

2.3 使用済燃料プール設備

2.3.1 基本設計

2.3.1.1 設置の目的

2.3.1.1.1 使用済燃料プール設置の目的

使用済燃料プールは原子炉建屋内にあって、使用済燃料及び放射化された機器等の貯蔵を目的に設置する。

2.3.1.1.2 使用済燃料プール冷却系設置の目的

既設の燃料プール冷却浄化系（以下、FPC系）については、その機能が失われており、復旧の見通しが立っていない状態であることから、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を安定的に除去する必要がある。既設設備と新設設備とを組み合わせ、使用済燃料プール水を冷却する系統である使用済燃料プール冷却系を構成し、使用済燃料プール水の冷却を行う。なお、4号機については使用済燃料プール内に燃料がないことから、使用済燃料プール冷却系を構成し冷却を行う必要はない。

2.3.1.2 要求される機能

2.3.1.2.1 使用済燃料プールの要求される機能

- (1) 臨界が防止されていることを適切に確認し、臨界を防止できる機能を有すること。
- (2) 使用済燃料プールからの漏えいを検出できること。
- (3) 基準地震動Ssによる地震力に対して安全機能が確保できること。

2.3.1.2.2 使用済燃料プール冷却系の要求される機能

- (1) 使用済燃料からの崩壊熱を適切に除去できること。
- (2) 使用済燃料プールに水を補給できること。
- (3) 異常時においても適切に対応できる機能を有すること。
- (4) 必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができる機能を有すること。
- (5) 建屋外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (6) 使用済燃料プール水の冷却状態を適切に監視できること。
- (7) 動的機器、駆動電源について多重性を有すること。

2.3.1.3 設計方針

2.3.1.3.1 使用済燃料プールの設計方針

(1) 未臨界性

使用済燃料プールは、燃料集合体を貯蔵容量最大に収容した場合でも通常時はもちろん、想定されるいかなる場合でも、未臨界性を確保できる設計とすると共に、臨界が防止されていることを確認する。

(2) 漏えい監視

使用済燃料プール水の漏えいが検出可能であることを確認する。

(3) 構造強度

使用済燃料プールは、地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得ることを確認する。

2.3.1.3.2 使用済燃料プール冷却系の設計方針

(1) 冷却機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール内の燃料の崩壊熱を熱交換器により連続的に除去し、使用済燃料プール水の冷却を安定して継続できる設計とする。また、熱交換器で除去した熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出できる設計とする。

(2) 補給機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールに水を補給できる設計とする。

(3) 非常用注水機能

非常用注水設備は、想定を超える地震や津波等による設備の破損・損傷、あるいは全電源の喪失により使用済燃料プール循環冷却系の冷却機能が喪失した場合であっても使用済燃料が露出しないように使用済燃料プールに注水できる設計とする。

(4) 浄化機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール水の分析ができる設計とし、燃料被覆管あるいは使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プールの保有水の漏えい防止、使用済燃料プール水中の放射能濃度低減、微生物腐食防止の観点から、必要な場合には、使用済燃料プール水の浄化ができる設計とする。

(5) 漏えい防止機能

使用済燃料プール循環冷却系は、漏えいしがたい設計とし、万一、一次系（使用済燃料プール水を熱交換器を介して循環させる系）から漏えいが発生しても建屋外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

また、漏えいがあった場合に拡大を防止することができるように、漏えいの検出ができ、漏えい箇所を隔離できる設計とする。

(6) 構造強度

使用済燃料プール循環冷却系は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(7) 監視機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールの保有水量及び水温、並びに循環流量等の冷却状態の確認、使用済燃料プールからの放射性物質放出の抑制の程度及び漏えいの検知に必要な主要パラメータが監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

(8) 多重性・多様性

使用済燃料プール循環冷却系のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも冷却機能を確保できる設計とする。

(9) 火災防護

消火設備を設けることで、初期消火を行い、火災により、安全性を損なうことのないようにする。

2.3.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 使用済燃料プール水温が1号機において60℃以下で、2～3号機において65℃以下であること。
- (2) 使用済燃料プールへ冷却水を補給できること。
- (3) 使用済燃料プール水がオーバーフロー水位付近にあること。

2.3.1.5 主要な機器

(1) 使用済燃料プール

使用済燃料プールは原子炉建屋内にあって、全炉心及び1回取替量以上の燃料及び制御棒の貯蔵が可能であり、さらに放射化された機器の取扱い及び貯蔵ができるスペースをもたせている。使用済燃料プールの壁の厚さ及び水深は遮へいを考慮して、十分厚くとり、内面はステンレス鋼でライニングされた構造となっている。

使用済燃料貯蔵ラックは、適切な燃料間距離をとることにより、使用済燃料プール水温、使用済燃料貯蔵ラック内燃料位置等について、想定されるいかなる場合でも実効増倍率を0.95以下に保ち、貯蔵燃料の臨界を防止するように設計している。

貯蔵燃料の未臨界性が確保されていることの確認として、使用済燃料プールの水温及び水位の監視やモニタリングポストの監視を行う。また、貯蔵燃料の異常な発熱状態においても未臨界性に影響する使用済燃料貯蔵ラック内の燃料位置が確保されていることの確認

は、使用済燃料プールの水質管理による使用済燃料プール内機器の腐食防止対策やオペロ作業時におけるガレキ等の異物落下防止対策を講じることにより行う。

使用済燃料プール水の漏えいについては、現場の漏えい検出計又は使用済燃料プール水がスキマ・サージ・タンクへオーバーフローし、スキマ・サージ・タンク水位が著しい低下傾向を示していないことにより監視する。

(2) 使用済燃料プール冷却系

a. 設備概要

使用済燃料プール冷却系は、既設設備と新設設備を組み合わせ、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を除去し、使用済燃料プール水を冷却するとともに燃料の冠水を維持することを目的とし使用済燃料プール循環冷却系及び非常用注水設備で構成する。なお、使用済燃料プール循環冷却系はポンプ、熱交換器等、非常用注水設備は電動ポンプ、消防車等で構成する。

b. 使用済燃料プール循環冷却系

使用済燃料プール循環冷却系は、冷却機能及び補給機能を有する使用済燃料プール循環冷却設備、漏えい防止機能を有する漏えい拡大防止設備、監視機能を有する監視設備、浄化機能を有する浄化装置と、これら設備に供給する電源によって構成する。

(i) 使用済燃料プール循環冷却設備

使用済燃料プール循環冷却設備は、使用済燃料プール水を熱交換器を介して循環させる系（以下、一次系）及び冷却水を熱交換器、エアフィンクーラを介して循環させる系（以下、二次系）からなり、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を一次系により除去し、二次系により大気へ放出することにより使用済燃料プール水の冷却を行う。また、一次系は補給水ラインを持ち、使用済燃料プールに水を補給する。

使用済燃料プール循環冷却設備の冷却能力は、使用済燃料プール水温をコンクリートの温度制限値である 65℃以下に保つこととして設定する。ただし、1号機においては、使用済燃料プール循環冷却設備における最高使用温度である 60℃以下に保つこととして設定する。また、使用済燃料プール循環冷却設備のポンプ等の動的機器は、1系列 100%容量、1系列以上を予備とすることで多重性を有する設計とする。

i) 一次系

(1号機)

既設のFPC系を使用し、FPC系のポンプ、熱交換器、配管、計測・制

御機器等で構成され、使用済燃料プールのスキマ・サージ・タンクより吸い込んだ使用済燃料プール水をポンプにより循環させ、熱交換器を通した後に使用済燃料プールに戻すことにより、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を熱交換器で除去する。また、使用済燃料プールへの補給水ラインを設ける。

(2～3号機)

新設のポンプ、熱交換器、計測・制御機器及び既設のF P C系の配管（一部新設を含む）等で構成され、使用済燃料プールのスキマ・サージ・タンクより既設のF P C系の配管を通して吸い込んだ使用済燃料プール水をポンプにより循環させ、熱交換器を通した後に既設のF P C系の配管を通して使用済燃料プールに戻すことにより、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を熱交換器で除去する。また、使用済燃料プールへの補給水ラインを設ける。

ii) 二次系

新設のポンプ、エアフィンクーラ、サージタンク、配管、計測・制御機器等で構成され、一次系の熱交換器で除去した使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を、エアフィンクーラにより大気に放出する。これら二次系設備は1～3号機共用設備とする。

(ii) 漏えい拡大防止設備

使用済燃料プール循環冷却設備（2～3号機）は、新設の機器・配管を使用していることから、使用済燃料プール循環冷却設備の一次系系統水の系外及び建屋外への漏えいを最小限に留めるために、新設設備の損傷等による漏えいに対し、システムの自動停止のインターロックを設け、システムの出入口弁を自動閉とし、ポンプを自動停止できる設計とする。また、使用済燃料プール循環冷却設備一次系の設備はすべて建屋内に設置し（1～3号機）、設備の破損等による建屋外への漏えい経路には堰を設けることにより、一次系系統水の建屋外への漏えいを防止する。

(iii) 監視設備

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールの保有水量、冷却状態、漏えい等を監視できるとともに記録可能な監視設備を設ける。使用済燃料プールの保有水量については、スキマ・サージ・タンクへオーバーフローしていることをスキマ・サージ・タンク水位により監視する。スキマ・サージ・タンクの水位は、一次系ポンプ吸込側圧力計又はスキマ・サージ・タンク水位計により監視し、一

次系ポンプ吸込側圧力計及びスキマ・サージ・タンク水位計は、それぞれ免震重要棟内にある監視室のモニタで監視する。

使用済燃料プール水の冷却状態については使用済燃料プール循環冷却設備一次系流量、一次系圧力及び熱交換器入口及び出口温度を免震重要棟内にある監視室のモニタで監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

また、使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度は、試験により確認された水温と大気への移行率の関係に基づく温度確認により把握できることから、使用済燃料プール水温を免震重要棟集中監視室のモニタで監視する。

使用済燃料プール循環冷却設備一次系からの漏えいについては、使用済燃料プールと同様、スキマ・サージ・タンク水位で監視する。2～3号機においては、一次系差流量を免震重要棟内にある監視室のモニタで監視する。

また、一次系から二次系への漏えいについては、放射線モニタや一次系差流量により免震重要棟集中監視室のモニタで監視する。

漏えいを検知した場合や流量もしくは圧力の低下が発生した際は、免震重要棟内にある監視室内に警報が発報する。また、系統に異常が確認された際は、免震重要棟集中監視室の緊急停止ボタンにより手動停止を可能とする。

(iv) 電源

使用済燃料プール循環冷却系の電源は異なる送電系統で2回線の外部電源から受電できる構成とする。

外部電源喪失の場合でも、所内共通ディーゼル発電機又は専用のディーゼル発電機から電源を供給することで運転が可能な構成とする。

(v) 浄化装置

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から使用済燃料プール水の水質測定をするためのサンプリングが可能であり、燃料被覆管あるいは使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プール保有水の漏えい防止、使用済燃料プール水中の放射能濃度低減、微生物腐食防止の観点から必要な場合には、使用済燃料プールへの薬液の注入や使用済燃料プール水の浄化ができるよう配管等を設け、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を配備する。モバイル式処理装置は、移動式の設定であり、1～4号機の使用済燃料プール水質に応じた浄化作業ができ、使用時のみ設置する。なお、モバイル式処理装置（放射能除去装置）については、1号機のみを使用とする。

c. 非常用注水設備

非常用注水設備は、発電所に配備している電動ポンプ、消防車、消防ホース等からなり、非常用注水機能を有する。非常用注水設備による注水は、電動ポンプや消防車等により、ろ過水タンク、原水地下タンク、または海水を水源とし、既設のF P C系配管等にホース等を接続することにより行う。

2.3.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波等により、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合は、使用済燃料プールの冷却を再開できるよう、消防車等を配備する。

(2) 火災

使用済燃料プール循環冷却系の現場制御室の制御盤等からの火災が考えられることから、初期消火の対応ができるよう、近傍に消火器を設置する。

2.3.1.7 構造強度及び耐震性

2.3.1.7.1 使用済燃料プールの構造強度及び耐震性

使用済燃料プールは鉄筋コンクリート構造であり、内側に鋼製ライナを設置して漏えい防止機能を確保する。使用済燃料プールは、原子炉建屋の3階から4階にかけて設置されており、原子炉建屋の壁や床と一体構造となっている。耐震性に関する検討については、現状の原子炉建屋の損傷状況を反映した解析モデルを作成し、基準地震動 S_s を入力地震動とした時刻歴応答解析などにより、評価を行う。

2.3.1.7.2 使用済燃料プール冷却系の構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

使用済燃料プール冷却系のうち使用済燃料プール循環冷却系は、技術基準上、燃料プール冷却浄化系及び原子炉補機冷却系に相当するクラス3機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、設計・建設規格という）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、耐圧ホース等の非金属材についての基準がない。従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、当該の設備が JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。

なお、使用済燃料プール冷却系のうち非常用注水設備は燃料プール水補給設備に相当す

るクラス2機器と位置付けられるが、消防車、消防ホース等は常設機器ではなく使用時のみ設置するものであることから構造強度が求められるものではないが、1～3号機のホースの接続口については既設のFPC系配管であり、クラス3機器として設計されている。これについてはクラス2に対してグレードが劣るが、当該部は東北地方太平洋沖地震、その後の津波でも健全性が維持されていた。

(2) 耐震性

使用済燃料プール冷却系のうち使用済燃料プール循環冷却系は耐震設計審査指針上のBクラスの設備と位置づけられることから、その主要設備については、静的震度(1.8Ci)に基づく構造強度評価及び共振の恐れがある場合は動的解析を行い、評価基準値を満足することを原則とする。

耐震性に関する評価にあたっては、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準拠することを基本とするが、必要に応じてその他の適切と認められる指針や試験結果等を用いた現実的な評価を行う。

なお、使用済燃料プール冷却系のうち非常用注水設備は燃料プール水補給設備に相当するものであり耐震設計審査指針上はSクラスと位置づけられるが、消防車、消防ホース等は常設機器ではなく使用時のみ設置するものであることから耐震性は求められるものではない。一方、1～3号機のホースの接続口については既設のFPC系配管であり、耐震Bクラスとして設計されている。これについてはSクラスに対してグレードが劣るが、当該部は東北地方太平洋沖地震、その後の津波でも健全性が維持されていた。

2.3.1.8 機器の故障への対応

2.3.1.8.1 使用済燃料プール循環冷却系の機器の単一故障

(1) 一次系又は二次系ポンプ故障

一次系又は二次系ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機号機の起動を行い、使用済燃料プールの循環冷却を再開する。

(2) 電源喪失

使用済燃料プール循環冷却系の電源が外部電源喪失や所内電源喪失により喪失した場合、電源の切替に長時間を要しない場合(目安時間:約1日)は、電源の切替操作により使用済燃料プールの循環冷却を再開する。電源切替に長時間を要する場合(目安時間:約2日以上)は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プール水の冷却を行う。

電源喪失に伴う非常用注水設備の電源喪失時は、予め免震重要棟付近に待機している電源車等を用いて非常用注水設備の電源を復旧し、使用済燃料プールへの注水を行う。

(3) 一次系循環ラインの損傷

使用済燃料プール循環冷却系の一次系循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の一次系系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした一次系系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下（2～3号機は廃棄物処理建屋地下）に移送する。

移送後、一次系循環ラインの復旧に長時間を要しない場合は、復旧後、使用済燃料プールの循環冷却を再開する。復旧に長時間を要する場合は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プール水の冷却を行う。

2.3.1.8.2 使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統・機器の同時機能喪失

地震、津波等により、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、現場状況に応じて、予め免震重要棟西側（T.P.約35m）に待機している消防車等の配備を行い、使用済燃料プール水の冷却を再開する。使用済燃料プール循環冷却の機能が停止してから、燃料の露出を確実に防止でき且つ水遮へいが有効とされる使用済燃料の有効燃料頂部の上部2mに至るまでは最短でも2号機における約98日であることから、使用済燃料プール水の冷却を確保することは可能である。

2.3.1.8.3 異常時の評価

使用済燃料プール循環冷却系の機能が喪失した事故時や非常用注水設備が機能喪失したシビアアクシデント相当を想定した場合においても、使用済燃料の冠水は確保され、使用済燃料から発生する崩壊熱を確実に除去することが可能である。

2.3.2 基本仕様

2.3.2.1 1号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様

(1) F P C ポンプ (既設品)

| | |
|--------|--------------------------------|
| 台 数 | 2 |
| 容 量 | 91.92m ³ /h (1台あたり) |
| 揚 程 | 91.5m |
| 最高使用圧力 | 1.03MPa |
| 最高使用温度 | 65.5℃ |
| 負荷容量 | 45kW (1台あたり) |

(2) F P C 熱交換器 (既設品)

| | |
|----------------|--|
| 型 式 | 横形U字管式 |
| 基 数 | 1 (B系利用) |
| 伝熱面積 (交換熱量) | 25.6m ² (1基あたり) (0.32MW/基) |
| 最高使用圧力 | 一次側 1.38MPa, 二次側 0.7MPa |
| 最高使用温度 | 一次側 60℃, 二次側 60℃ |

(3) 二次系ポンプ (完成品)

| | |
|--------|-----------------------------|
| 台 数 | 3 |
| 容 量 | 80m ³ /h (1台あたり) |
| 揚 程 | 20m |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 70℃ |
| 負荷容量 | 7.5kW (1台あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(4) エアフィンクーラ (完成品)

| | |
|--------|-----------------|
| 型 式 | 密閉型 |
| 基 数 | 3 |
| 交換熱量 | 0.435MW (1基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 60℃ |
| 負荷容量 | 22.2kW (1基あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(5) サージタンク (完成品)

| | |
|--------|---------------------------|
| 型 式 | 密閉型 |
| 基 数 | 2 |
| 容 量 | 1 m ³ (1 基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.15MPa |
| 最高使用温度 | 95℃ |
| 胴内径 | 1000mm |
| 胴板厚さ | 6mm |
| 上部鏡板厚さ | 6mm |
| 下部鏡板厚さ | 6mm |
| 高さ | 1900mm |
| 胴板材料 | SS400 |
| 上部鏡板材料 | SS400 |
| 下部鏡板材料 | SS400 |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(6) 温度計

| | |
|------|---------|
| 型 式 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0℃～300℃ |
| 個 数 | 1 |

(7) 消防車

| | |
|--------------|------------------------------|
| 基 数 | 1 |
| 規格放水圧力 | 0.7MPa 以上 |
| 放水性能 | 60m ³ /h 以上 |
| 高压放水圧力 | 1.0MPa 以上 |
| 放水性能 | 36m ³ /h 以上 |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 63 l (参考値), 約 37 l/h (参考値) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

(8) 電動ポンプ (完成品)

| | |
|------|---------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 72m ³ /h |
| 揚 程 | 85m |
| 負荷容量 | 37kW |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(9) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（一次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台数 | 1 |
| 容量 | 270kVA 以上 |
| 力率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電圧 | 約 200V 以上 |
| 周波数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 490 l（参考値）, 約 45.7 l/h（参考値） |

(10) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（二次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台数 | 1 |
| 容量 | 200kVA 以上 |
| 力率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電圧 | 約 200V 以上 |
| 周波数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値） |

※ 1～3 号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(11) モバイル式処理装置（放射能除去装置）（完成品：供用中）※¹

| | |
|-----|-----------------------|
| 系列数 | 1 |
| 処理量 | 約 20m ³ /h |

(12) モバイル式処理装置（放射能除去装置）吸着塔（完成品）※²

| | |
|----|---|
| 塔数 | 1 |
|----|---|

(13) モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置））（完成品：供用中）

（1～4 号機共通）

| | |
|-----|------------------------|
| 系列数 | 1 |
| 処理量 | 約 4.2m ³ /h |

(14) モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置））（完成品：供用中）

（1～4 号機共通）

| | |
|-----|-----------------------|
| 系列数 | 1 |
| 処理量 | 約 10m ³ /h |

※¹ 2.5 汚染水処理設備等「(55)モバイル式処理装置」と共用

※² 2.5 汚染水処理設備等「(56)モバイル式処理装置 吸着塔」と共用

表2. 3-1 主要配管仕様 (1/2)

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|----------------------------------|--|
| 一次系主要配管 (既設) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 150A/Sch. 40 200A/Sch. 40 STPG410S/SUS304TP 1.38MPa/1.03MPa 60°C |
| 二次系主要配管 | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 80 65A/Sch. 40 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 STPG370/STPT370 0.5MPa/0.15MPa 60°C |
| 二次系フレキシブルチューブ | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 150A 相当 SUS304 0.5MPa 60°C |
| 二次系ポリエチレン管 | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A, 150A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 40°C |
| 一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 出口まで (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 80 65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 SUS316LTP 1.0MPa 66°C |
| 一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 出口まで (フレキシブルチューブ) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 65A, 150A 相当 SUS316L 1.0MPa 66°C |
| 一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 出口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50°C |

表2. 3-1 主要配管仕様 (2/2)

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|----------------------------------|---|
| モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 濃縮水タンク出口から1号機原子炉建屋地下排水口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃ |
| モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 内配管 | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 40 STPG370 0.98MPa 40℃ |
| | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 40 SUS316L 0.98MPa 40℃ |
| | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃ |
| モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 内配管 (1~4号機共通) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 10 SUS304TP 1.0MPa 66℃ |
| | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 1.0MPa 66℃ |
| | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 耐油性合成ゴム 1.0MPa 66℃ |
| モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) 内配管 (1~4号機共通) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A/Sch. 10 SUS316TP 1.0MPa 66℃ |

2.3.2.2 2号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様

(1) 一次系ポンプ (完成品)

| | |
|--------|------------------------------|
| 台数 | 2 |
| 容量 | 100m ³ /h (1台あたり) |
| 揚程 | 60m |
| 最高使用圧力 | 1.0MPa |
| 最高使用温度 | 100℃ |
| 負荷容量 | 30kW (1台あたり) |

(2) 熱交換器 (完成品)

| | |
|----------------|---|
| 型式 | プレート式 |
| 基数 | 2 |
| 伝熱面積 (交換熱量) | 32.86m ² (1基あたり) (1.17MW/基) |
| 最高使用圧力 | 一次側 1.0MPa, 二次側 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 一次側 100℃, 二次側 100℃ |

(3) 二次系ポンプ (完成品)

| | |
|--------|-----------------------------|
| 台数 | 3 |
| 容量 | 80m ³ /h (1台あたり) |
| 揚程 | 20m |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 70℃ |
| 負荷容量 | 7.5kW (1台あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(4) エアフィンクーラ (完成品)

| | |
|--------|-----------------|
| 型式 | 密閉型 |
| 基数 | 3 |
| 交換熱量 | 0.435MW (1基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 60℃ |
| 負荷容量 | 22.2kW (1基あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(5) サージタンク (完成品)

| | |
|--------|---------------------------|
| 型 式 | 密閉型 |
| 基 数 | 2 |
| 容 量 | 1 m ³ (1 基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.15MPa |
| 最高使用温度 | 95℃ |
| 胴内径 | 1000mm |
| 胴板厚さ | 6mm |
| 上部鏡板厚さ | 6mm |
| 下部鏡板厚さ | 6mm |
| 高さ | 1900mm |
| 胴板材料 | SS400 |
| 上部鏡板材料 | SS400 |
| 下部鏡板材料 | SS400 |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(6) 温度計

| | |
|------|---------|
| 型 式 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0℃～100℃ |
| 個 数 | 1 |

(7) 消防車

| | |
|--------|------------------------|
| 基 数 | 1 |
| 規格放水圧力 | 0.7MPa 以上 |
| 放水性能 | 60m ³ /h 以上 |
| 高压放水圧力 | 1.0MPa 以上 |
| 放水性能 | 36m ³ /h 以上 |

燃料タンク容量, 消費量 約 63 l (参考値), 約 37 l/h (参考値)

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

(8) 電動ポンプ (完成品)

| | |
|------|---------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 72m ³ /h |
| 揚 程 | 85m |
| 負荷容量 | 37kW |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(9) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（一次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 200kVA 以上 |
| 力 率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電 圧 | 約 200V 以上 |
| 周 波 数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値） |

(10) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（二次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 200kVA 以上 |
| 力 率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電 圧 | 約 200V 以上 |
| 周 波 数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値） |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

表 2. 3 - 2 主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|---|--------------------------------------|--|
| 一次系主要配管 | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 1. 0MPa 100℃ |
| 二次系主要配管 | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch. 80 65A／Sch. 40 80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 0. 5MPa/0. 15MPa 100℃/60℃ |
| 二次系ポリエチレン管 | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A, 150A 相当 ポリエチレン 0. 5MPa 40℃ |
| 一次系主要配管からモバイル式処理装置入口, 出口まで (鋼管) | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 1. 0MPa 66℃ |
| 一次系主要配管からモバイル式処理装置入口, 出口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A, 80A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0. 98MPa 50℃ |
| モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 濃縮水タンク出口から 2 号機廃棄物処理建屋地下排水口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0. 98MPa 50℃ |

2.3.2.3 3号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様

(1) 一次系ポンプ (完成品)

| | |
|--------|------------------------------|
| 台数 | 2 |
| 容量 | 100m ³ /h (1台あたり) |
| 揚程 | 60m |
| 最高使用圧力 | 1.0MPa |
| 最高使用温度 | 100℃ |
| 負荷容量 | 30kW (1台あたり) |

(2) 熱交換器 (完成品)

| | |
|----------------|---|
| 型式 | プレート式 |
| 基数 | 2 |
| 伝熱面積 (交換熱量) | 32.86m ² (1基あたり) (1.17MW/基) |
| 最高使用圧力 | 一次側 1.0MPa, 二次側 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 一次側 100℃, 二次側 100℃ |

(3) 二次系ポンプ (完成品)

| | |
|--------|-----------------------------|
| 台数 | 3 |
| 容量 | 80m ³ /h (1台あたり) |
| 揚程 | 20m |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 70℃ |
| 負荷容量 | 7.5kW (1台あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(4) エアフィンクーラ (完成品)

| | |
|--------|-----------------|
| 型式 | 密閉型 |
| 基数 | 3 |
| 交換熱量 | 0.435MW (1基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.5MPa |
| 最高使用温度 | 60℃ |
| 負荷容量 | 22.2kW (1基あたり) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(5) サージタンク (完成品)

| | |
|--------|---------------------------|
| 型 式 | 密閉型 |
| 基 数 | 2 |
| 容 量 | 1 m ³ (1 基あたり) |
| 最高使用圧力 | 0.15MPa |
| 最高使用温度 | 95℃ |
| 胴内径 | 1000mm |
| 胴板厚さ | 6mm |
| 上部鏡板厚さ | 6mm |
| 下部鏡板厚さ | 6mm |
| 高さ | 1900mm |
| 胴板材料 | SS400 |
| 上部鏡板材料 | SS400 |
| 下部鏡板材料 | SS400 |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(6) 温度計

| | |
|------|---------|
| 型 式 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0℃～100℃ |
| 個 数 | 1 |

(7) 消防車

| | |
|--------------|------------------------------|
| 基 数 | 1 |
| 規格放水圧力 | 0.7MPa 以上 |
| 放水性能 | 60m ³ /h 以上 |
| 高压放水圧力 | 1.0MPa 以上 |
| 放水性能 | 36m ³ /h 以上 |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 63 l (参考値), 約 37 l/h (参考値) |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

(8) 電動ポンプ (完成品)

| | |
|------|---------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 72m ³ /h |
| 揚 程 | 85m |
| 負荷容量 | 37kW |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(9) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（一次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 270kVA 以上 |
| 力 率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電 圧 | 約 200V 以上 |
| 周 波 数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 490 l（参考値）, 約 45.7 l/h（参考値） |

(10) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（二次系）

| | |
|--------------|-------------------------------|
| 台 数 | 1 |
| 容 量 | 200kVA 以上 |
| 力 率 | 約 0.8（遅れ） |
| 電 圧 | 約 200V 以上 |
| 周 波 数 | 50Hz |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値） |

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

表 2. 3 - 3 主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|--------------------------------------|--|
| 一次系主要配管 | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 1. 0MPa 100℃ |
| 二次系主要配管 | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch. 80 65A／Sch. 40 80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 0. 5MPa/0. 15MPa 100℃/60℃ |
| 二次系ポリエチレン管 | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A, 150A 相当 ポリエチレン 0. 5MPa 40℃ |
| 一次系主要配管からモバイル式処理装置入口, 出口まで (鋼管) | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 80A／Sch. 40 100A／Sch. 40 200A／Sch. 40 STPG370 1. 0MPa 66℃ |
| 一次系主要配管からモバイル式処理装置入口, 出口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A, 80A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0. 98MPa 50℃ |
| モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 濃縮水タンク 出口から 3 号機廃棄物処理建屋地下排水口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0. 98MPa 50℃ |

2.3.3 添付資料

- 添付資料－1 使用済燃料プール概要図
- 添付資料－2 使用済燃料プール冷却系系統概略図
- 添付資料－3 漏えい拡大防止設備概要図
- 添付資料－4 セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験
- 添付資料－5 使用済燃料プール保有水から大気への放射性物質の移行程度の評価
- 添付資料－6 使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度の目標値について
- 添付資料－7 使用済燃料プールの構造強度及び耐震性に関する説明書
- 添付資料－8 1～3号機使用済燃料プール循環冷却系及び4号機使用済燃料プール循環系の新設設備の構造強度及び耐震性に係る説明書
- 添付資料－9 使用済燃料プール冷却系機能喪失評価
- 添付資料－10 使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化
- 添付資料－11 有効燃料頂部＋2 mにおける線量評価
- 添付資料－12 使用済燃料プール浄化装置について
- 添付資料－13 1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系設備の共用化について
- 添付資料－14 4号機使用済燃料プール循環系について

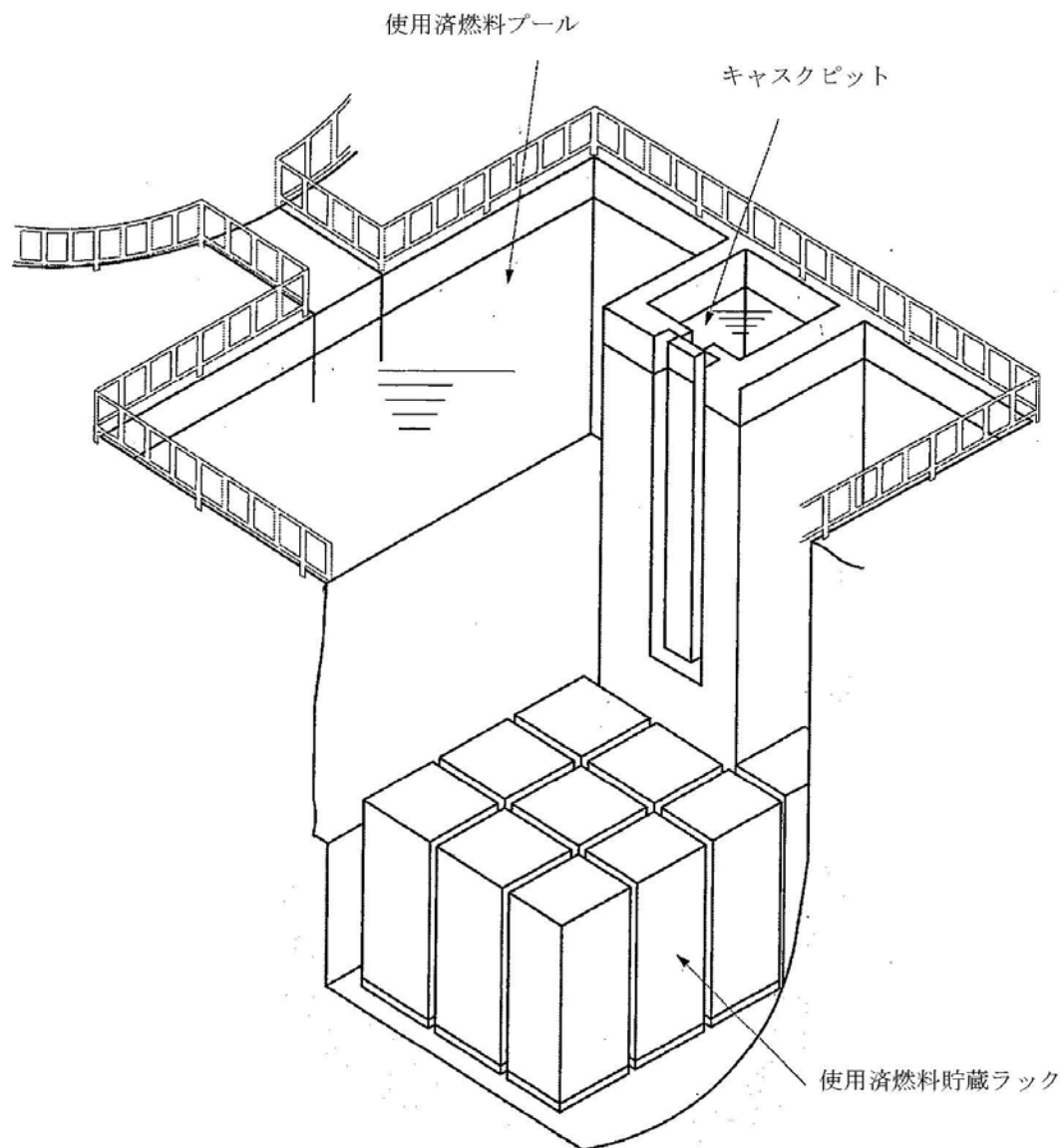


図1 使用済燃料プール概要図

※二次系設備は1~3号機で共用

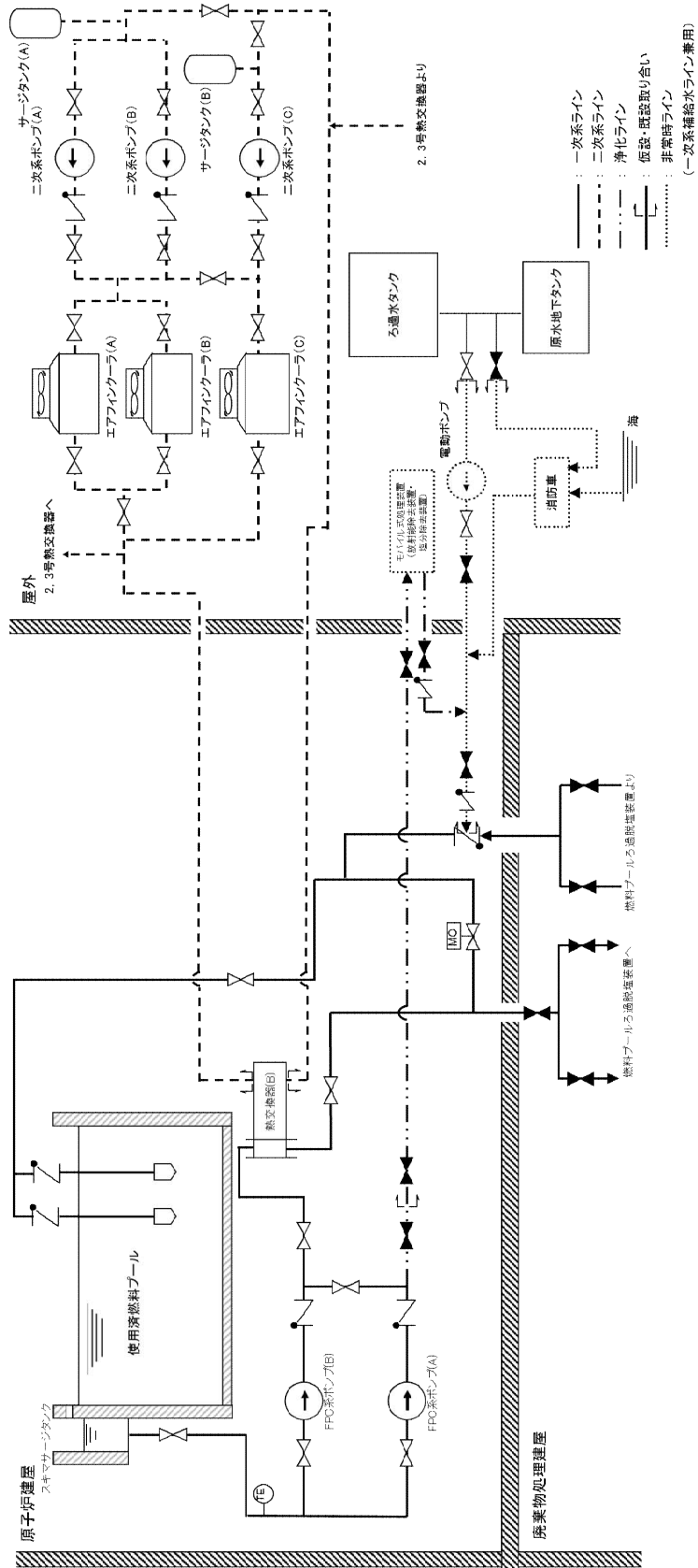


図1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図

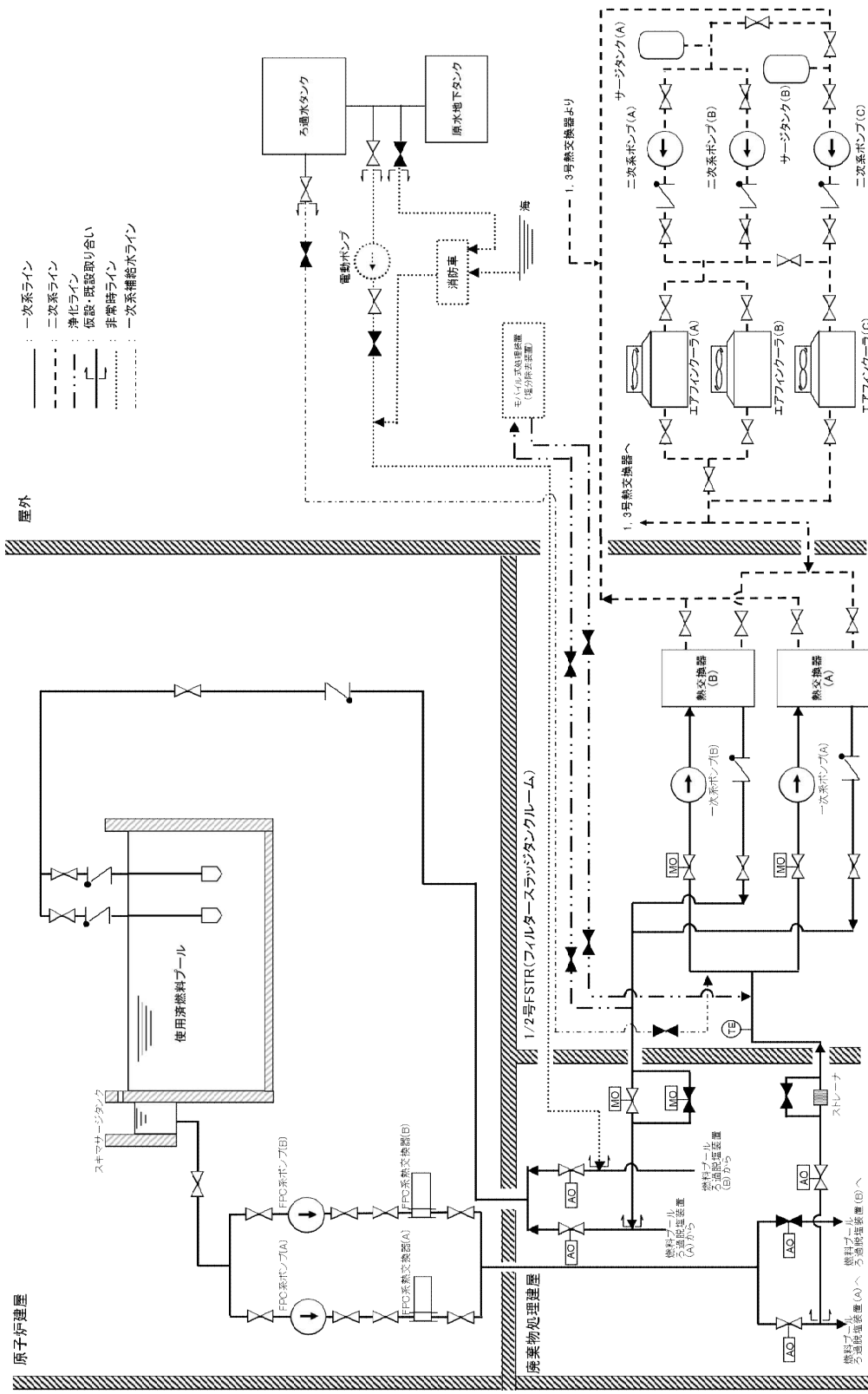


図 2 2号機使用済燃料プール冷却系系統概略図

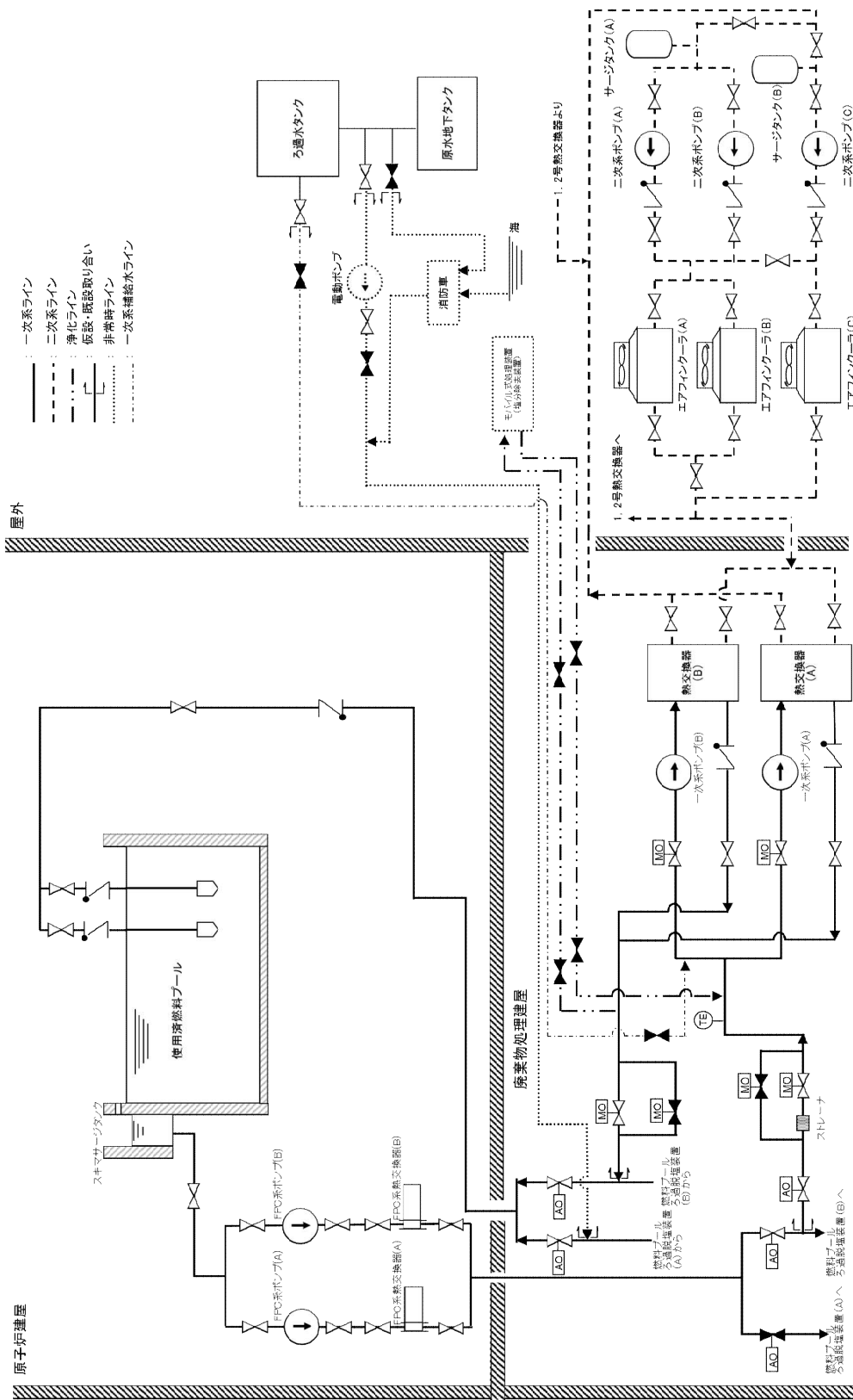


図 3 3 号機使用済燃料プール冷却系系統概略図

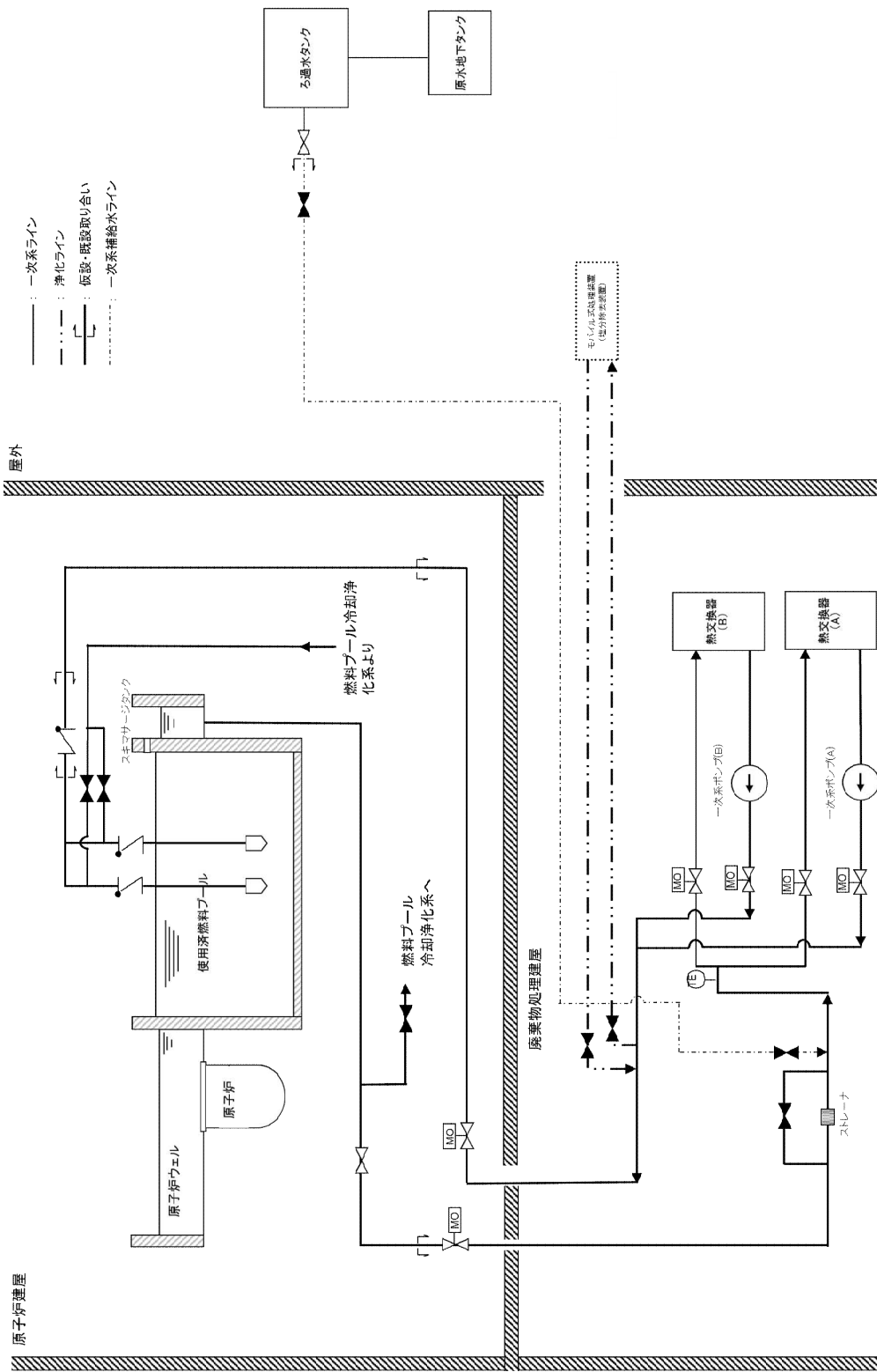


図 4 4号機使用済燃料プール循環系系統概略図

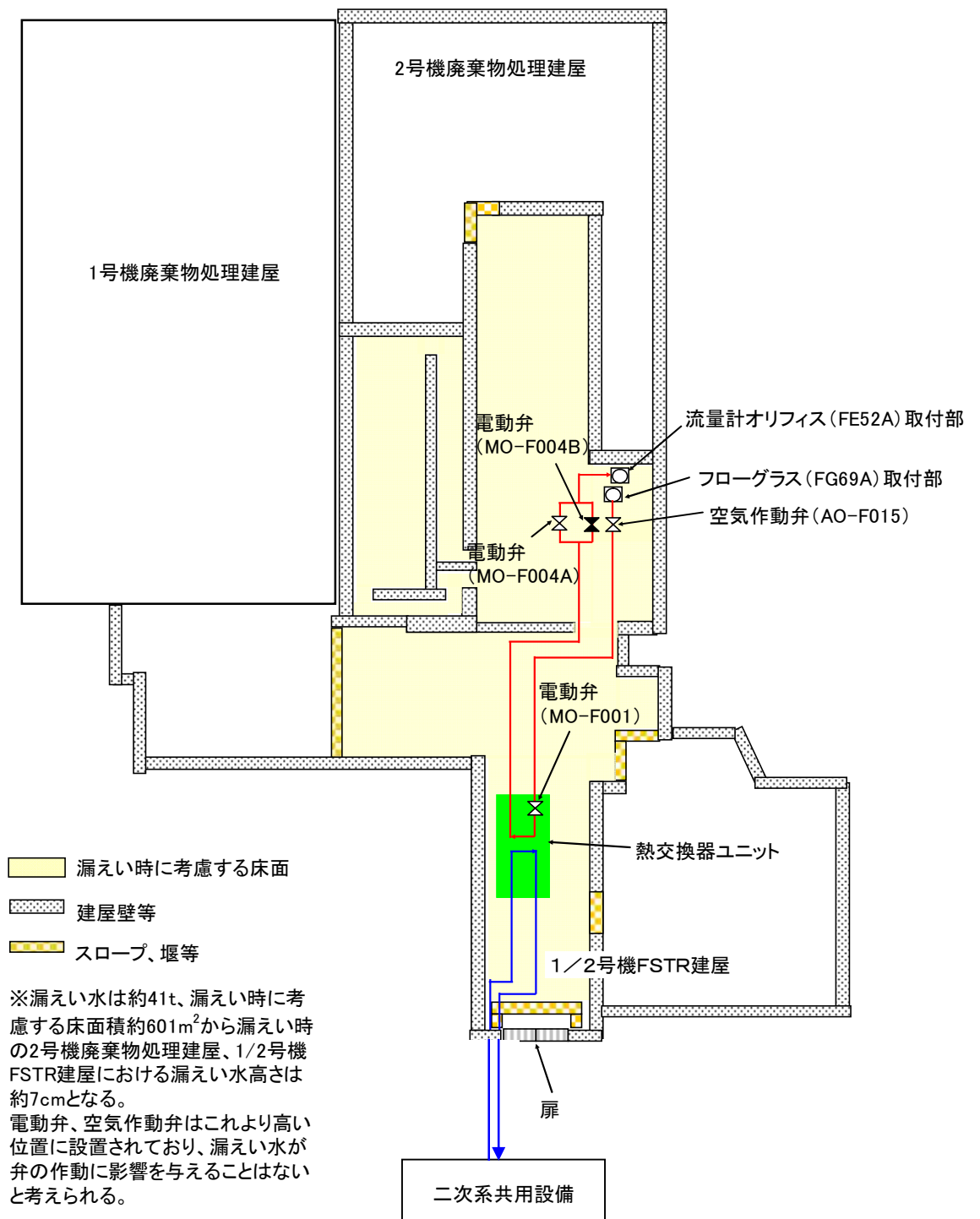


図1 2号機使用済燃料プール冷却系
漏えい拡大防止設備概要図 (2号機 廃棄物処理建屋 1FL)

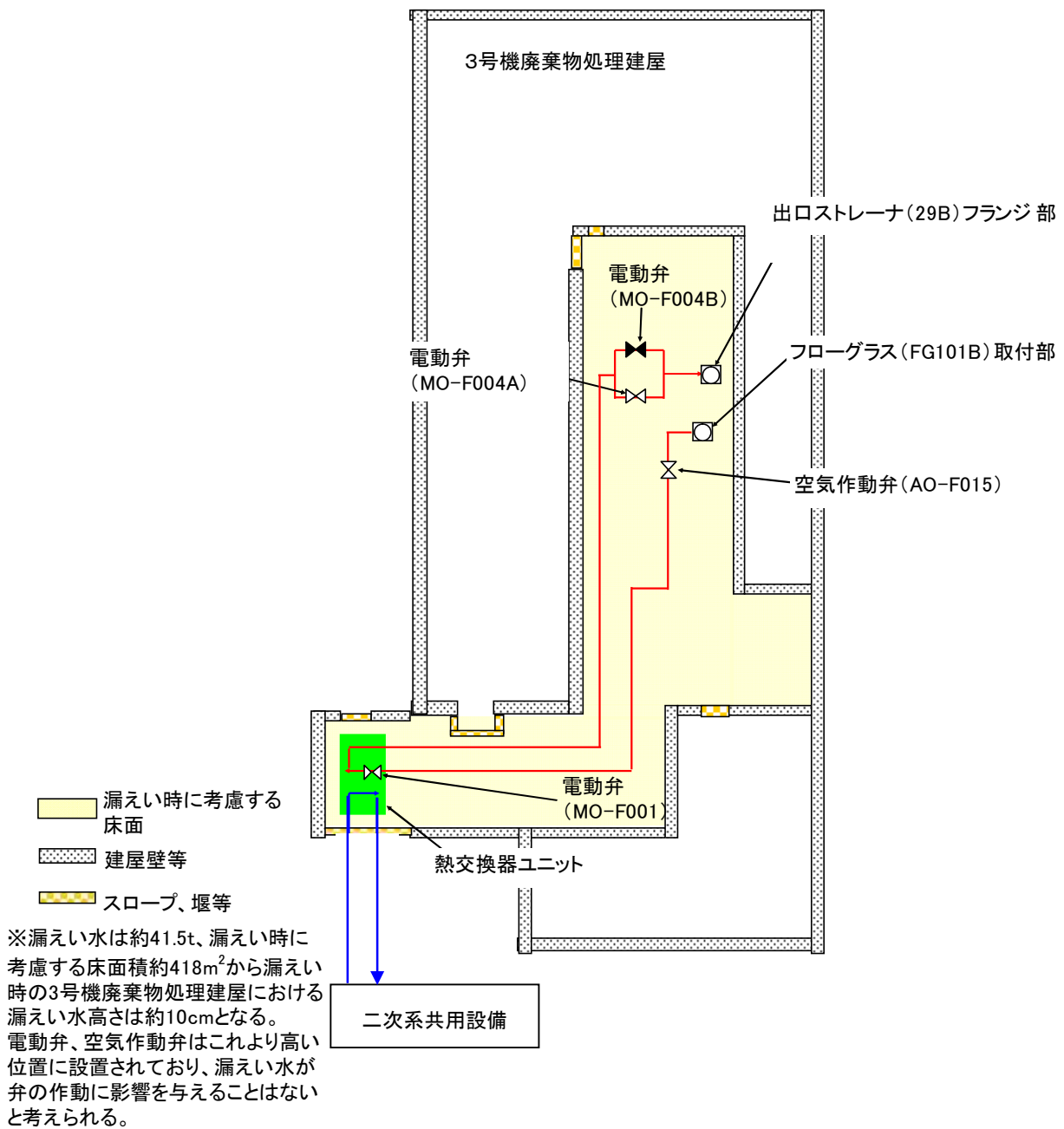
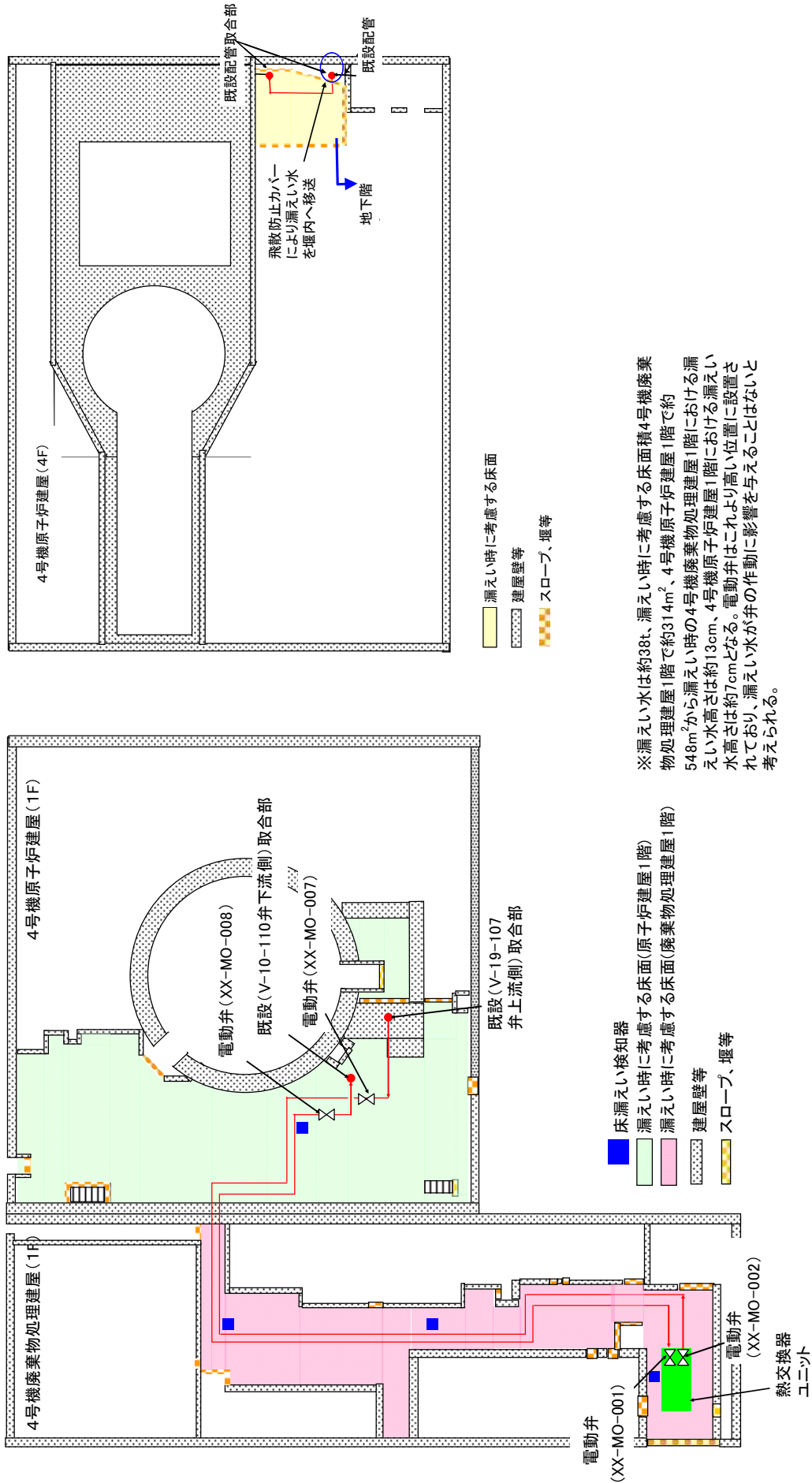


図2 3号機使用済燃料プール冷却系
漏えい拡大防止設備概要図 (3号機 廃棄物処理建屋 1FL)



※漏えい水は約38t、漏えい時に考慮する床面積4号機廃棄物処理建屋1階で約314m²、4号機原子炉建屋1階で約548m²から漏えい時の4号機廃棄物処理建屋1階における漏えい水高さは約13cm、4号機原子炉建屋1階における漏えい水高さは約7cmとなる。電動弁はこれより高い位置に設置されており、漏えい水が弁の作動に影響を与えることはないと考えられる。

図3 4号機使用済燃料プール循環系
漏えい拡大防止設備概要図 (4号機 廃棄物処理建屋1F, 原子炉建屋1F, 4F)

セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験

使用済燃料プールからの放射性物質の放出が抑制されていることを把握する方法として、セシウム溶液から大気中へのセシウム移行率確認試験の結果を以下に示す。

1. 試験概要

蒸留装置模式図及び蒸留条件を図1、図2に示す。図1の試験では、純水及び海水に塩化セシウムの安定同位体[CsCl]を溶解した試料をヒーターにて熱し、沸騰温度にて蒸留を行った。また、図2の試験では、同様に純水及び海水に塩化セシウムの安定同位体[CsCl]を溶解した試料を恒温槽に入れ、ビーカー開口部をシーロンフィルムで覆い、冷却水を満たした丸底フラスコを設置した。

図1の試験では試料を沸騰（100 [°C]）させ、また図2の試験では恒温槽を用いて試料温度を30 [°C]、50 [°C]、70 [°C]、85 [°C]、100 [°C] に調整し、ロートより回収した蒸留水（10ml程度）のCs濃度を誘導結合プラズマ質量分析装置により測定した。なお、図2の試験での100 [°C]での温度調整において、試料を100 [°C]に調整することができないことから、92 [°C]の温度条件にて蒸留した。

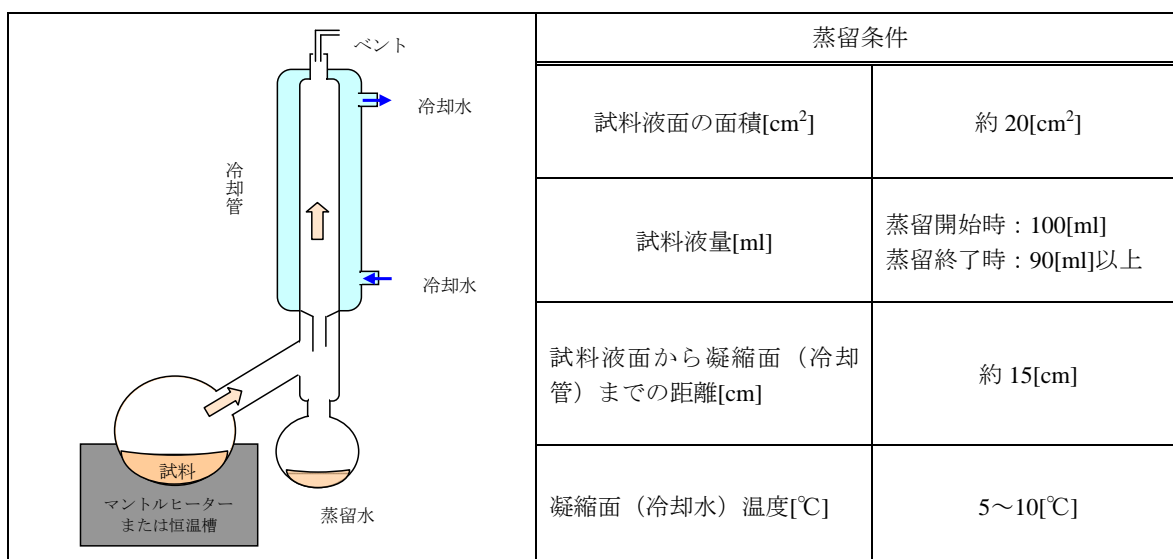


図1 蒸留装置模式図及び蒸留条件

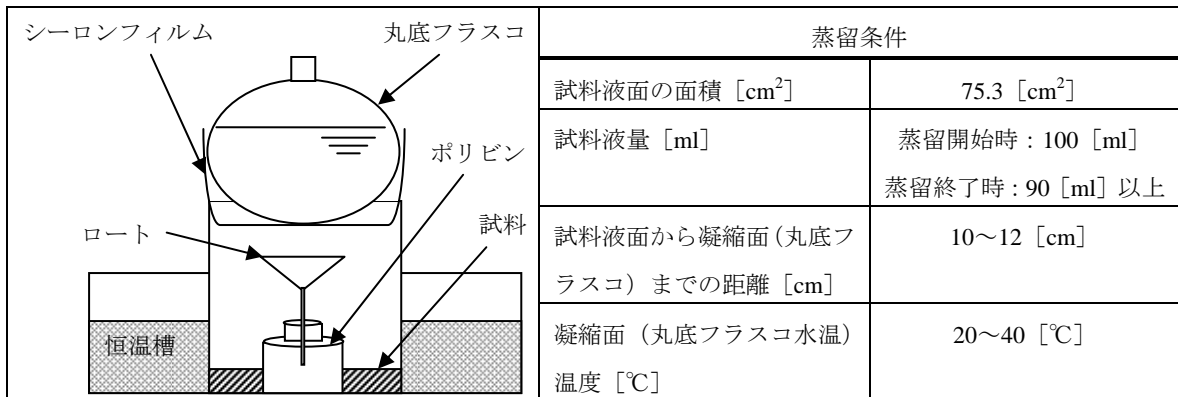


図2 蒸留装置模式図及び蒸留条件

2. 試験結果

蒸留温度と大気中へのCs移行率 [%] (蒸留水のCs濃度/試料水のCs濃度実測値×100 [%]) の関係を図3に示す。この結果より、100 [°C] 以下の海水もしくは純水に含まれるCsの大気への移行率は概ね $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ [%] の範囲であることが判明した。

なお、30°Cの試料(海水)については、同温度条件の他の結果と比較し1000倍以上大きいに、全温度条件における結果と比較しても約100倍多い。また、低温度ほど移行率が高いという傾向も見られない。以上より、何らかの原因により試料(塩化セシウムを含む海水)が蒸留水中に混入したため、蒸留後の塩化セシウム濃度が実際よりも大きくなり、それに伴い移行率が大きくなったもので、実験手順の間違いだったと考えられる。

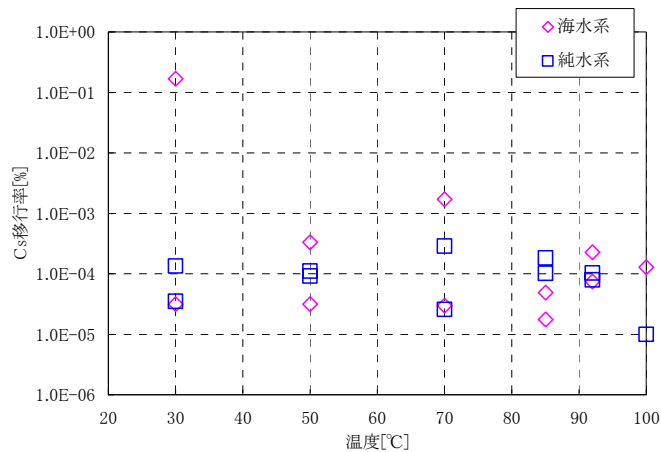


図3 蒸留温度別の大気中へのCsの移行量

3. まとめ

以上より、100 [°C] 以下におけるCsの大気へのおおよその放出量を把握することが可能となった。

使用済燃料プール保有水から大気への放射性物質の移行程度の評価

1～4号機使用済燃料プールは、使用済燃料プール循環冷却系により平成23年5月31日以降順次冷却されており、平成24年11月25日時点でおよそ13～24[°C]となっている。しかしながら、使用済燃料プール保有水の自然蒸発に伴い、使用済燃料プール水中の放射性物質も空気中に拡散していると考えられる。

そこで、実験により得られた放射性物質の移行率（添付資料－4）より、使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度（蒸発した空気中に含まれる放射性物質濃度）を推定及び評価した。

1. 評価条件

使用済燃料プールから大気への移行の程度を推定するための条件を以下に示す。

(1) 放射性物質濃度

1～4号機使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度を表1に示す。

表1 使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度

| 放射性物質 | 使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度 | | | |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | 1号機[Bq/cm ³] ※1 | 2号機[Bq/cm ³] ※2 | 3号機[Bq/cm ³] ※3 | 4号機[Bq/cm ³] ※4 |
| Cs134 | 7.7×10^3 | 4.2×10^1 | 2.1×10^3 | 2.6×10^{-1} |
| Cs137 | 1.5×10^4 | 8.5×10^1 | 3.6×10^3 | 5.7×10^{-1} |

※1 平成24年11月21日に1号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※2 平成24年10月24日に2号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※3 平成24年11月12日に3号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※4 平成24年10月10日に4号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

(2) 使用済燃料プール水温

平成24年11月25日時点における1～4号機使用済燃料プール保有水の水温を以下に示す。

- 1号機：16.0°C
- 2号機：13.9°C
- 3号機：14.2°C
- 4号機：24.0°C

(3) 放射性物質移行率

添付資料-4の「セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験」の測定結果及び上記(2)の使用済燃料プール水温より、各号機のセシウムの大気への移行率を以下のように仮定する。

○ 1～4号機： 1.0×10^{-4} [%]

2. 使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度の推定及び評価

以上の条件から、使用済燃料プールから大気への移行の程度（蒸発した空気中に含まれる放射性物質濃度）を推定したものを表2に示す。

表2より、現状の各号機から放出される放射性物質濃度の推定合計量はCs134が 7.9×10^{-6} [Bq/cm³]、Cs137が 1.5×10^{-5} [Bq/cm³]であり、現状の敷地境界（発電所西門）での空気中の放射性物質濃度は検出限界以下と十分低い値となっている。なお、参考として、炉規則告示限度濃度（敷地境界での空気中の許容濃度）は、Cs134が 2×10^{-3} [Bq/cm³]、Cs137が 3×10^{-3} [Bq/cm³]である。浄化設備により2～4号機使用済燃料プール保有水の浄化を実施していること、また3/4号機に燃料取り出し用カバーを設置し、封じ込め機能を追加することから、大気への移行量はより小さい値となっていくと考えられる。

表2 使用済燃料プールから大気への移行の程度の推定値
及び敷地境界での大気中の放射性物質濃度

| 放射性物質 | 使用済燃料プールから大気への移行の程度※5 | | | | | 敷地境界における空気中の放射性物質濃度※6 [Bq/cm ³] | 炉規則告示限度濃度（敷地境界での空気中の許容濃度） [Bq/cm ³] |
|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---|---|
| | 1号機 [Bq/cm ³] | 2号機 [Bq/cm ³] | 3号機 [Bq/cm ³] | 4号機 [Bq/cm ³] | 合計 [Bq/cm ³] | | |
| Cs134 | 6.2×10^{-6} | 3.4×10^{-8} | 1.7×10^{-6} | 2.1×10^{-10} | 7.9×10^{-6} | ND※7 | 2×10^{-3} |
| Cs137 | 1.2×10^{-5} | 6.8×10^{-8} | 2.9×10^{-6} | 4.6×10^{-10} | 1.5×10^{-5} | ND※7 | 3×10^{-3} |

※5 1～4号機の分析した使用済燃料プール保有水の放射性物質濃度及び平成24年11月25日時点での水温より評価。同温度における水から水蒸気への膨張は約1244倍。

※6 平成24年11月25日に発電所西門にて採取した揮発性または粒子状のCs134及びCs137の合計放射性物質濃度を示す。

※7 NDとは検出限界値以下を示す。揮発性Cs134及びCs137の検出限界値は 2×10^{-7} [Bq/cm³]、粒子状Cs134及びCs137の検出限界値は 3×10^{-7} [Bq/cm³]である。

使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度の目標値について

1. 使用済燃料プールライナーには塩化物イオンによる腐食への影響が認められている SUS304 材を使用していることから、念のため塩化物イオン濃度の目標値を 100ppm 以下とする。
2. 使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度は、1 回/3 ヶ月の頻度で確認を行う。なお、通常は導電率 40mS/m 以下にて確認を行い、これを超える場合は、塩化物イオン濃度の測定を行う。

<100ppm の根拠>

- 塩化物イオンによる SUS304 の局部腐食発生限界を考慮。
 - ・ 図中曲線の下領域が腐食が発生しない環境。
 - ・ 使用済燃料プール水の温度は実績として 40℃以下で管理されていることから、40℃における局部腐食臨界電位に相当する塩化物イオン濃度を評価すると、図 1 より 160ppm となる。
 - ・ 以上から、使用済燃料プール水質の目標値を保守的に 100 ppm と設定。
 - ・ なお、プール水温度が長期間 40℃を上回る場合には目標値を見直すこととする。

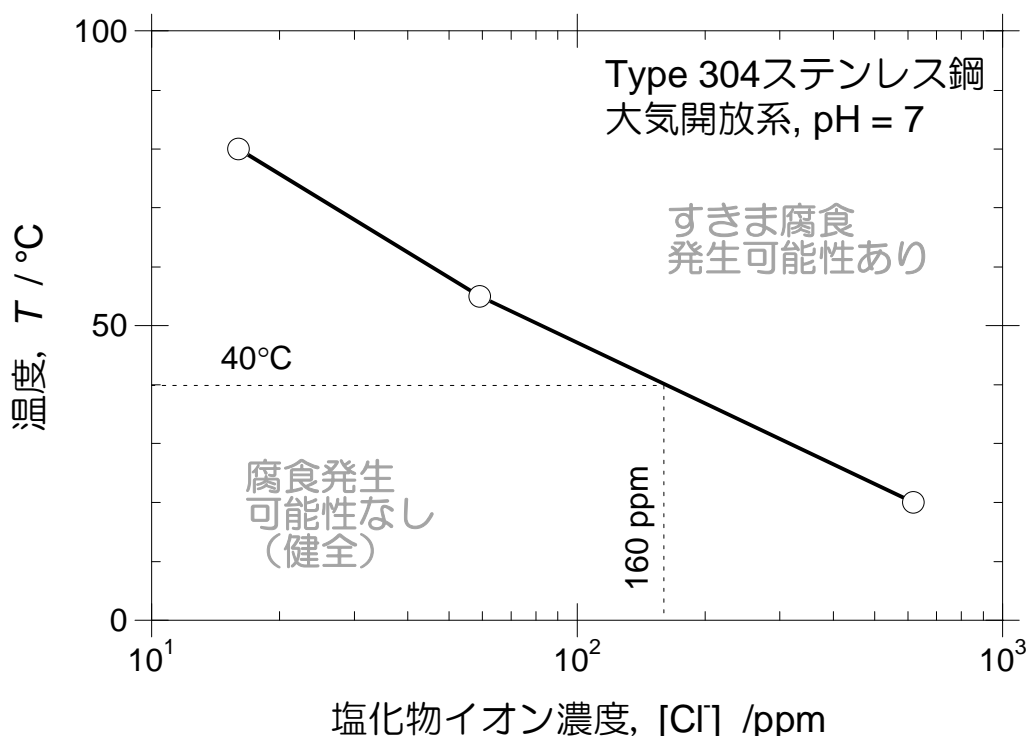


図 1 大気開放条件での 304 ステンレス鋼の腐食マップ^{1), 2)}

1) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).

2) T. Fukuda, M. Akashi: Proc. Nuclear Waste Packaging –FOCUS'91, ANS, p. 201 (1991).

使用済燃料プールの構造強度及び耐震性に関する説明書

(1) 1号機使用済燃料プール

1号機の原子炉建屋については、5階より上部が破損しており、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.06×10^{-3} (Ss-1H, EW方向, 3階)であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。

(2) 2号機使用済燃料プール

2号機の原子炉建屋については、ブローアウトパネルが落下している以外は目立った損傷がないので、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.09×10^{-3} (Ss-1H, EW方向, 3階)であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。なお、炉心損傷の段階で格納容器内部が 300°C 程度の状態が長時間継続した影響により、その外側のシェル壁の剛性が低下した可能性等が考えられるが、そのような条件を想定したパラメータスタディを行った結果においても解析結果に大きな差異は生じておらず、耐震安全性は確保されることを確認している。

(3) 3号機使用済燃料プール

3号機の原子炉建屋については、5階以上の損傷が著しく、さらにその損傷は4階にも及んでおり、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.12×10^{-3} (Ss-2H, EW方向, 3階)であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。さらに、5階から下部の損傷が不規則であることから、使用済燃料プールを含めた範囲をFEM解析モデルに置換して、温度荷重などと地震荷重を組み合わせた応力解析を行った結果、使用済燃料プールの耐震安全性は確保されるものと評価している。

(4) 4号機使用済燃料プール

4号機の原子炉建屋については反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.12×10^{-3} (Ss-1H, EW方向, 3F)であり、耐震安全性は確保されることを評価している。さらに、5階から下部の損傷が不規則であることから、使用済燃料プールを含めた範囲をFEM解析モデルに置換して、温度荷重などと地震荷重を組み合わせた応力解析を行った結果、使用済燃料プールの耐震安全性は確保されるものと評価している。

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系及び4号機使用済燃料プール循環系の
新設設備の構造強度及び耐震性に係る説明書

1. ポンプ

1.1 2号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

2号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.5MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.9MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、2号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

2号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-----------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | S S 4 0 0 | 引張 | 作用しない | 145 |
| | | せん断 | 3 | 112 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.2 2号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.2 3号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

3号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.5MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.9MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、3号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

3号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-----------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | S S 4 0 0 | 引張 | 作用しない | 145 |
| | | せん断 | 3 | 112 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.4 3号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.3 4号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

4号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 2.15MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.95MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、4号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

4号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共に架台に組み込み、架台含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等に固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|---------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400相当 | 引張 | 作用しない | 145 |
| | | せん断 | 5 | 112 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.6 4号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.4 1～3号機二次系共用ポンプ

(1) 構造強度

1～3号機二次系共用ポンプについては、系統最高使用圧力 0.5MPa に対し、工場にて 0.75MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、1～3号機二次系共用ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1～3号機二次系共用ポンプについては、屋外に鋼製架台を設置し、架台にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価としてボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_s における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 50℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 作用しない | 180 |
| | | せん断 | 3 | 139 |

2. タンク

2.1 1～3号機二次系共用サージタンク

(1) 構造強度

1～3号機二次系共用サージタンクについては、タンク最高使用圧力0.15MPaに対し、工場にて0.23MPaの水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、1～3号機二次系共用サージタンクについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1～3号機二次系共用サージタンクについては、屋外に鋼製架台を設置し、架台にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。また、1～3号機二次系共用サージタンクについては、胴板部及びスカート部に地震による応力が作用する。これを踏まえ、耐震性の評価としてボルト、胴板部及びスカート部の強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」のスカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準じて、サージタンク基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は50℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 1 | 173 |
| | | せん断 | 4 | 133 |

b. 胴板部及びスカート部の強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」のスカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準じて、胴板部及びスカート部の評価を行った。胴板部及びスカート部の許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、評価温度は胴板部 95℃、スカート部 50℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出値は全て許容値以下となっている。

評価結果

| 部位 | 材料 | 評価種類 | 算出値 | 許容値 |
|------|-------|---------|---------|----------|
| 胴板 | SS400 | 一次一般膜応力 | 13[MPa] | 223[MPa] |
| スカート | SS400 | 組合せ応力 | 5[MPa] | 241[MPa] |
| | | 座屈 | 0.02 | 1 |

3. 熱交換器

3.1 2号機熱交換器

(1) 構造強度

2号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、0.5MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.10MPa（一次側）、0.55MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の以上がないことを確認している。また、また、系統機能試験時に 0.9MPa（一次側）、0.35MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、2号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

2号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプ、配管、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止対策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 47 | 176 |
| | | せん断 | 11 | 101 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

「3.2 2号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.2 2号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

2号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等をトレーラ上に組み込んだものであり、トレーラ含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、「建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）」を準用し、熱交換器ユニットにたいして転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出するとともに、アンカボルトの評価を行った。

なお、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

熱交換器ユニット固定部に、転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出した結果、転倒しない水平力は、水平震度 0.71Gの地震時であり、耐震 B クラス相当の水平方向震度 0.36G に対して余裕があることを確認した。

b. アンカボルト評価

a. 転倒評価にて算出した水平力によるアンカボルトの評価結果を以下に示す。アンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており十分な強度を有している。

評価結果

| 部位 | 材料 | 荷重 | 算出荷重[N] | 許容荷重[N] |
|--------|-------------|-----|---------|---------|
| アンカボルト | S U S 3 0 4 | 引張 | 作用しない | 41000 |
| | | せん断 | 30114 | 58000 |

遮へい板は、熱交換器ユニットの側壁に設置しており、熱交換器ユニットの最大機器荷重に含み評価している。

3.3 3号機熱交換器

(1) 構造強度

3号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、0.5MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.10MPa（一次側）、0.55MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の以上がないことを確認している。また、また、系統機能試験時に 0.9MPa（一次側）、0.353～0.355MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、3号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

3号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプ、配管、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止対策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 47 | 176 |
| | | せん断 | 11 | 101 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

後述の「3.4 3号機熱交換器ユニット(1)耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.4 3号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

3号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等をトレーラ上に組み込んだものであり、トレーラ含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、「建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）」を準用し、熱交換器ユニットにたいして転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出するとともに、アンカボルトの評価を行った。

なお、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

熱交換器ユニット固定部に、転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出した結果、転倒しない水平力は、水平震度 1.0G の地震時であり、耐震 B クラス相当の水平方向震度 0.36G に対して余裕があることを確認した。

b. アンカボルト評価

a. 転倒評価にて算出した水平力によるアンカボルトの評価結果を以下に示す。アンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており十分な強度を有している。

評価結果

| 部位 | 材料 | 荷重 | 算出荷重 [N] | 許容荷重[N] |
|--------|-------------|-----|----------|---------|
| アンカボルト | S U S 3 0 4 | 引張 | 作用しない | 41000 |
| | | せん断 | 23782 | 58000 |

遮へい板は、熱交換器ユニットの側壁に設置しており、熱交換器ユニットの最大機器荷重に含み評価している。

3.5 4号機熱交換器

(1) 構造強度

4号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、1.0MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.5MPa（一次側）、1.5MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.95MPa（一次側）、0.62MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、4号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

4号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプや配管、弁等と共に架台に組み込み、架台含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 55 | 176 |
| | | せん断 | 13 | 101 |

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

後述の「3.6 4号機熱交換器ユニット(1)耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.6 4号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

4号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等を架台に組み込んだものであり、架台含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。

これを踏まえ、耐震性の評価として地震の水平荷重による転倒モーメントよりも自重による安定モーメントが大きいことを確認し、アンカボルトの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

水平震度 0.36G に対し熱交換器ユニットが十分な強度を有し、転倒しないことを確認した。

b. アンカボルト評価

アンカボルトの評価結果を以下に示す。水平震度 0.36G によりアンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており、十分な強度を有している。

評価結果

| 部位 | 材料 | 荷重種類 | 算出荷重[N] | 許容荷重[N] |
|--------|---------|------|---------|---------|
| アンカボルト | SS400相当 | 引張 | 作用しない | 381000 |
| | | せん断 | 28224 | 286000 |

4. 配管

4.1 1号機配管

(1) 構造強度

1号機二次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.68～0.7MPaで漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (4.1)$$

t：管の計算上必要な厚さ[mm]

P：最高使用圧力[MPa]

D₀：管の外径[mm]

S：最高使用温度における「設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5」に規定する材料の許容引張応力[MPa]

η：長手継手の効率で、「設計・建設規格 PVC-3130」に定めるところによる。

1号機二次系鋼管の構造強度評価結果

| 名称 | 公称肉厚[mm] | 必要最小厚さ [*] [mm] |
|-----------|----------|--------------------------|
| 1号機二次系ライン | 5.5 | 2.4 |
| | 7.1 | 3.8 |
| | 5.5 | 2.4 |
| | 7.1 | 3.8 |

※1号機二次系鋼管は系統最高使用圧力1.0MPaとして評価を行い製作された後、運送発官27第226号により、系統最高使用圧力0.5MPaに変更されている。本評価では製作時の評価条件を考慮し、保守的に最高使用圧力1.0MPaでの必要最小厚さを示す。

(2) 耐震性

二次系設備のうち、新設配管の耐震性についての評価結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数0.52^注よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は，耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とする。

b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく，地震により管軸方向は動かないと考えられることから，水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は，下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.2)式で表すことができる。

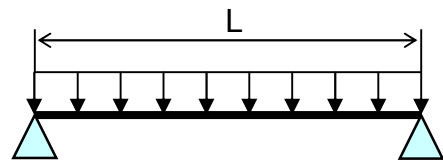
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

L : サポート支持間隔 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

w : 等分布荷重 [N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\cdot S_s = \alpha S_w \tag{4.2}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1 , α 2-27

また，崩壊制限に「JEAG4601 (1984 年版)」のクラス 2 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いるとすると，地震評価としては(4.3)式で表すことができる。

$$\cdot S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \tag{4.3}$$

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

S : 内圧，自重，地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

従って，上記(4.3)式を満足するように，配管サポート配置を設定することにより，配管は十分な強度を有していると考えられることができる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40$ [MPa]の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の $0.36G$ ，内圧による応力 $S_p=10$ [MPa]，自重による応力 $S_w=40$ [MPa]，許容応力を STPT370[100°C]の $0.9S_u=315$ [MPa]とし，(4.3)に代入すると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w = 10+(1+0.36)\times 40= 64.4\text{[MPa]} \leq 0.9S_u = 315\text{[MPa]} \quad (4.4)$$

また，継手がある場合には，応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし，(4.4)式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ， $S_w=120$ [MPa]とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3= 10+(1+0.36)\times 120= 173.2\text{[MPa]} \leq 0.9S_u = 315\text{[MPa]} \quad (4.5)$$

以上のことから，両端単純支持はりで自重による応力 S_w を 40 [MPa]程度の配管サポート配置とした場合，発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.2 2号機配管

(1) 構造強度

2号機一次系／二次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.9MPa（一次系）、0.35MPa（二次系）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

2号機一次系／二次系鋼管の構造強度評価結果

| 名称 | 公称肉厚[mm] | 必要最小厚さ[mm] |
|---------------|----------|------------|
| 2号機 一次系ライン | 6.0 | 3.4 |
| | 7.1 | 3.8 |
| | 8.2 | 3.8 |
| 2号機二次系ライン | 7.1 | 3.8 |
| | 8.2 | 3.8 |

(2) 耐震性

一次系設備のうち、既設取合～熱交換器ユニット間の新設配管についての耐震性の評価結果を示す。

a. 解析条件

・解析モデル：

既設 FG69A～熱交換器ユニット：KFPC-901

熱交換器ユニット～既設 FE52A：KFPC-902

- ・水平地震力：耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とした場合の新設配管の発生応力を確認する。

b. 評価結果

以下に配管の応力評価結果を示す。

応力評価結果

| | 一次応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-----------------------|-----------|-----------|
| 既設 FG69A ～熱交換器ユニット | 77 | 189 |
| 熱交換器ユニット ～既設 FE52A | 46 | 189 |

4.3 3号機配管

(1) 構造強度

3号機一次系／二次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.9MPa（一次系）、0.353～0.355MPa（二次系）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

3号機一次系／二次系鋼管の構造強度評価結果

| 名称 | 公称肉厚[mm] | 必要最小厚さ[mm] |
|---------------|----------|------------|
| 3号機 一次系ライン | 6.0 | 3.4 |
| | 7.1 | 3.8 |
| | 8.2 | 3.8 |
| 3号機二次系ライン | 7.1 | 3.8 |
| | 8.2 | 3.8 |

(2) 耐震性

一次系設備のうち、既設取合～熱交換器ユニット間の新設配管についての耐震性の評価結果を示す。

a. 解析条件

・解析モデル：

既設 FG101B～熱交換器ユニット：KFPC-901

熱交換器ユニット～既設ストレーナ 29B：KFPC-902

- ・水平地震力：耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とした場合の新設配管の発生応力を確認する。

b. 評価結果

以下に配管の応力評価結果を示す。

応力評価結果

| | 一次応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|--------------------------|-----------|-----------|
| 既設 FG101B ～熱交換器ユニット | 83 | 173 |
| 熱交換器ユニット ～既設ストレーナ 29B | 53 | 173 |

4.4 4号機配管

(1) 構造強度

4号機一次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.95MPa（一次系）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

4号機一次系鋼管の構造強度評価結果

| 名称 | 公称肉厚[mm] | 必要最小厚さ[mm] |
|---------------|----------|------------|
| 4号機 一次系ライン | 6.0 | 3.4 |
| | 7.1 | 3.8 |
| | 6.0 | 3.4 |
| | 7.1 | 3.8 |
| | 6.0 | 0.47 |

(2) 耐震性

使用済燃料プール循環システムの新設設備のうち、配管の耐震性についての評価結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数0.52^注よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとする。

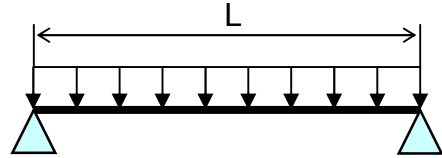
b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.6)式で表すことができる。

$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]
 L : サポート支持間隔 [mm]
 Z : 断面係数 [mm³]
 w : 等分布荷重 [N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\bullet S_s = \alpha S_w \quad (4.6)$$

S_w : 自重による応力 [MPa] S_s : 地震による応力 [MPa]
 α : 水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1, α 2-27

また、崩壊制限に「JEAG4601 (1984年版)」のクラス 2 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(4.7)式で表すことができる。

$$\bullet S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \quad (4.7)$$

S_p : 内圧による応力 [MPa] S_w : 自重による応力 [MPa]
 S_s : 地震による応力 [MPa] S : 内圧, 自重, 地震による応力 [MPa]
 α : 水平方向震度

従って、上記(4.7)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40$ [MPa]の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の 0.36G, 内圧による応力 $S_p=10$ [MPa], 自重による応力 $S_w=40$ [MPa], 許容応力を STPT370[100°C]の $0.9S_u=315$ [MPa]とし、(4.7)に代入すると以下となる。

$$\bullet S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 10 + (1 + 0.36) \times 40 = 64.4 \text{ [MPa]} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ [MPa]} \quad (4.8)$$

また、継手がある場合には、応力係数も存在する。例えば応力係数を3とし、(4.8)式の自重による応力 S_w に3を乗じ、 $S_w=120[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w \times 3=10+(1+0.36) \times 120=173.2[\text{MPa}] \leq 0.9S_u=315[\text{MPa}] \quad (4.9)$$

以上のことから、両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $40[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.5 1, 4号機フレキシブルチューブ

(1) 構造強度

1, 4号機フレキシブルチューブは、設計・建設規格に記載がない機器であるが、系統最高使用圧力 0.5MPa^{注)} (1号機 二次系) 及び系統最高使用圧力 1.0MPa (4号機 一次系) に対し、工場にて 1.25MPa (1号機 二次系, 4号機 一次系) の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

また、系統機能試験時に下表の圧力で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

各号機における系統機能試験圧力

| 号機 | 一次系 系統機能試験圧力[MPa] | 二次系 系統機能試験圧力[MPa] |
|-----|----------------------|----------------------|
| 1号機 | | 0.68~0.7 |
| 4号機 | 0.95 | |

注) 1号機二次系フレキシブルチューブは系統最高使用圧力 1.0MPa として評価を行い製作された後、運総発官 27 第 226 号により、系統最高使用圧力 0.5 MPa に変更されている。

(2) 耐震性

1, 4号機フレキシブルチューブは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

4.6 1～3号機二次系共用配管

(1) 構造強度

1～3号機二次系共用配管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）ことから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (4.10)$$

t：管の計算上必要な厚さ[mm]

P：最高使用圧力[MPa]

D₀：管の外径[mm]

S：最高使用温度における「設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5」に規定する材料の許容引張応力[MPa]

η：長手継手の効率で、「設計・建設規格 PVD-3110」に定めるところによる。

1～3号機二次系共用配管の構造強度評価結果

| 名称 | 公称肉厚[mm] | 必要最小厚さ[mm] |
|-------------------|----------|------------|
| 1～3号機共用 二次系ライン | 5.5 | 2.4 |
| | 5.2 | 2.7 |
| | 5.5 | 3.0 |
| | 6.0 | 3.4 |
| | 7.1 | 3.8 |

(2) 耐震性

1～3号機二次系共用配管の耐震性について、定ピッチスパン法を用いて評価を行った結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52^注よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である 0.36G とする。

b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.11)式で表すことができる。

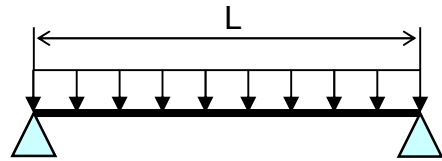
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

L : サポート支持間隔 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

w : 等分布荷重 [N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\cdot S_s = \alpha S_w \tag{4.11}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1, α 2-27

また、崩壊制限に「JEAC4601 (2008年版)」のクラス3配管の供用状態Csの場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(4.12)式で表すことができる。

$$\cdot S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 1.0 S_y \tag{4.12}$$

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

S : 内圧、自重、地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

従って、上記(4.12)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管は十分な強度を有していると考えられることができる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=30[\text{MPa}]$ の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の $0.36G$ ，内圧による応力 $S_p=7[\text{MPa}]$ ，自重による応力 $S_w=30[\text{MPa}]$ ，許容応力を STPG370[60°C] の $1.0S_y=191[\text{MPa}]$ とし，(4.12) に代入すると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w = 7+(1+0.36)\times 30= 48[\text{MPa}] \leq 1.0S_y = 191[\text{MPa}] \quad (4.13)$$

また，継手がある場合には，応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし，(4.13) 式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ， $S_w\times 3=90[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3= 7+(1+0.36)\times 90= 130[\text{MPa}] \leq 1.0S_y = 191[\text{MPa}] \quad (4.14)$$

以上のことから，両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $30[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合，発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.7 1～3号機二次系共用ポリエチレン管

(1) 構造強度

ポリエチレン管については非金属材料であるため、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格設計・建設規格」による規定はない。使用済燃料プール循環冷却系にて使用するポリエチレン管は、ISO TR9080 及び ISO 12162 により PE100 として規定・分類され、性能については、日本水道協会規格 (JWWA K 144) に規定されている。

使用済燃料プール循環冷却系の使用圧力及び温度はこれらの規格に定める使用条件を満足していることから、ポリエチレン管は十分な構造強度を有していると判断する。

以上のことから、ポリエチレン管は使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

ポリエチレン管の耐震設計については、土中に埋設された状態における耐震計算が日本水道協会規格等で規定されているのみであり、福島第一原子力発電所のように地上に設置したポリエチレン管の耐震計算に関する規定はない。しかしながら、ポリエチレン管は、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

5. エアフィンクーラ

5.1 1～3号機共用エアフィンクーラ

(1) 構造強度

1～3号機共用エアフィンクーラについては、系統最高使用圧力 0.5MPa に対し、工場にて 0.63MPa の気圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、1～3号機共用エアフィンクーラについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1～3号機共用エアフィンクーラについては、屋外に敷鉄板を設置し、敷鉄板にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価としてボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. 引張力

機器に発生する引張力 F_b は以下の計算式で算出することができる。

$$F_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_V) \cdot \ell_G}{\ell}$$

ここに、 F_H : 設計水平地震力 ($K_H \cdot W$) [N]

K_H : 設計用水平震度

W : 機器重量 [N]

h_G : 据付面より機器重心までの高さ [mm]

F_V : 設計用鉛直地震力 ($K_V \cdot W$) [N]

K_V : 設計用鉛直震度

ℓ_G : 検討する方向から見た評価点から機器重心までの距離 [mm]

ℓ : 検討する方向から見た評価点スパン [mm]

b. ボルトの強度評価

基礎ボルトの許容応力については、「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の供用状態 C_s における許容応力を準用し、ボルトの評価温度は 50℃ とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

| 部位 | 材料 | 応力種類 | 算出応力[MPa] | 許容応力[MPa] |
|-------|-------|------|-----------|-----------|
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 作用しない | 173 |
| | | せん断 | 5 | 133 |

6. 二次系共用の各設備の設置場所における地盤支持力

二次系共用の各設備の設置場所における地盤については、地盤支持力の評価を行い（下表参照）、地震時において、各設備の鉛直荷重に対して十分な支持力を有していることを確認した。

地盤支持力の許容値は、「社団法人 日本道路協会 道路橋仕方書・同解説IV下部構造編」に準拠し、下記の算定式に基づく極限支持力から安全率2を除して算定する。

（極限支持力の算定式）

$$Q_u = A_u \left(\alpha k c N_c S_c + k q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_r S_r \right)$$

- Q_u : 極限支持力
- A_e : 有効載荷面積
- α, β : 基礎の形状係数
- k : 根入れ効果に対する割増し係数
- c : 地盤の粘着力
- N_c, N_q, N_r : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数
- S_c, S_q, S_r : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数
- q : 上載荷重 ($q = \gamma_2 D_f$)
- γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位重量
- D_f : 基礎の有効根入れ深さ
- B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 ($B_e = B - 2e_B$)
- B : 基礎幅
- e_B : 荷重の偏心量

（各設備の鉛直荷重）

$$W = m \times g$$

- W : 鉛直荷重
- m : 機器等の質量
- g : 重力加速度

設備の設置場所における地盤支持力の評価結果

| 評価対象機器 | 水平震度 | 鉛直荷重 [kN] | 許容支持力 [kN] |
|--------------------|------|--------------|---------------|
| 1～3号機二次系共用ポンプ※ | 0.3 | 232 | 11762 |
| 1～3号機二次系共用サージタンク※ | 0.3 | 232 | 11762 |
| 1～3号機二次系共用エアフィンクーラ | 0.3 | 515 | 40070 |

※1～3号機二次系共用ポンプ及び1～3号機二次系共用サージタンクは同一の鋼製架台上に設置されているため、評価結果は同じ値となる。

使用済燃料プール冷却系機能喪失評価

(1) 原因

使用済燃料プール冷却中に、ポンプ故障や地震・津波等の原因により使用済燃料プール冷却系が機能喪失し、使用済燃料プールの冷却が停止し、使用済燃料プール水の温度が上昇すると共に使用済燃料プール水位が低下する。

(2) 対策及び保護機能

- a. 一次系又は二次系ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機号機の起動を行い、使用済燃料プールの循環冷却を再開する。
(冷却再開の所要時間(目安):約1時間程度)※
- b. 使用済燃料プール循環冷却系の電源喪失時において、外部電源および所内電源の切替に長時間を要する場合(目安時間:約2日以上)は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約3時間程度)※
- c. 使用済燃料プール循環冷却系の一次系循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の一次系系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした一次系系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下(2～3号機は原子炉建屋地下、4号機は廃棄物処理建屋地下又は原子炉建屋地下)に移送する。移送後、一次系循環ラインの復旧に長時間を要する場合は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約6時間程度)※
- d. 地震・津波等により使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、現場状況に応じて、予め免震重要棟西側(T.P.約35m)に待機している消防車等の配備を行い、使用済燃料プールの冷却を再開する。
(冷却再開の所要時間(目安):約3時間程度)※
- e. 地震・津波等により、非常用注水設備による使用済燃料プールの冷却が困難な場合は、ろ過水タンク西側(T.P.約39m)に待機しているコンクリートポンプ車により使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約6時間程度)※

※:所要時間(目安)とは復旧作業の着手から完了までの時間(目安)である。

(3) 評価条件及び評価結果

a. 評価条件

- (a) 保守的に使用済燃料から発生する崩壊熱は全て使用済燃料プール水の温度上昇に寄与するものとし、外部への放熱は考慮しないものとする。

(b) 使用済燃料から発生する崩壊熱は、次に示す値とする。

1号機：0.07MW 2号機：0.19MW 3号機：0.16MW

(平成28年3月1日時点のORIGEN評価値)

なお、平成28年3月1日時点及び1～3年後の各号機における使用済燃料プールから発生する崩壊熱は以下のとおりである。

| 号機 | 使用済燃料崩壊熱 [MW] ※ | | | |
|----|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 平成28年3月1日 時点 | 平成29年3月1日 時点(1年後) | 平成30年3月1日 時点(2年後) | 平成31年3月1日 時点(3年後) |
| 1号 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 |
| 2号 | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.16 |
| 3号 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.14 |

※各燃料について、プラント停止時（平成23年3月11日時点）の各燃料の燃焼度（運転データ）を入力し、計算コードORIGENを用いて計算

(c) 保守的に使用済燃料プール水の初期温度は65℃とする。

b. 評価結果

使用済燃料プール冷却系が機能喪失している間、使用済燃料プール水位が水遮へい有効とされる有効燃料頂部+2mに至るまでの期間は以下の通りとなる。

1号機：約203日、 2号機：約98日、 3号機：約115日

(4) 判断基準への適合性の検討

本事象に対する判断基準は、「使用済燃料から発生する崩壊熱を確実に除去できること」である。

使用済燃料プール循環冷却系の機能喪失後、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2mに至るまでには、最短で2号機において約98日程度の時間的余裕がある。このことから、他に緊急度の高い復旧作業がある場合は、そちらを優先して実施することになるが、使用済燃料プールの冷却再開に関する復旧作業は事前の準備が整い次第、速やかに実施することで使用済燃料プールの冷却を再開する。なお、有効燃料頂部+2mでの使用済燃料プール近くのオペフロや原子炉建屋周辺における線量率は十分低いと評価しており、使用済燃料プールの冷却再開に関する復旧作業は十分可能と考えられる。

以上により、使用済燃料プール冷却系の機能が喪失した場合でも、燃料の冠水は確保され、使用済燃料から発生する崩壊熱が確実に除去されることから、判断基準は満足される。

(5) 非常用注水設備の代替注水手段

地震・津波等により、非常用注水設備の使用が困難な場合、ろ過水タンク西側（T.P. 約 39m）に待機しているコンクリートポンプ車等を用いて使用済燃料プールを冷却する。

コンクリートポンプ車の使用が困難な 2 号機においては、消防ホースを使用済燃料プールまで敷設し、消防車による直接注水を行うことで、使用済燃料プールを冷却する。

燃料取り出し用カバー設置後の 3 号機においては、カバー南側面に設ける注水口を通じてコンクリートポンプ車による注水を行う。注水口は受け口及び注水配管により構成され、受け口はコンクリートポンプ車先端の位置を合わせやすくするために設置する。

なお、注水口には弁を設けず、常に使用済燃料プールへの注水が可能な設計とする。

コンクリートポンプ車の仕様、3 号機注水口（受け口・注水配管）の仕様及び概略図を以下に示す。

コンクリートポンプ車

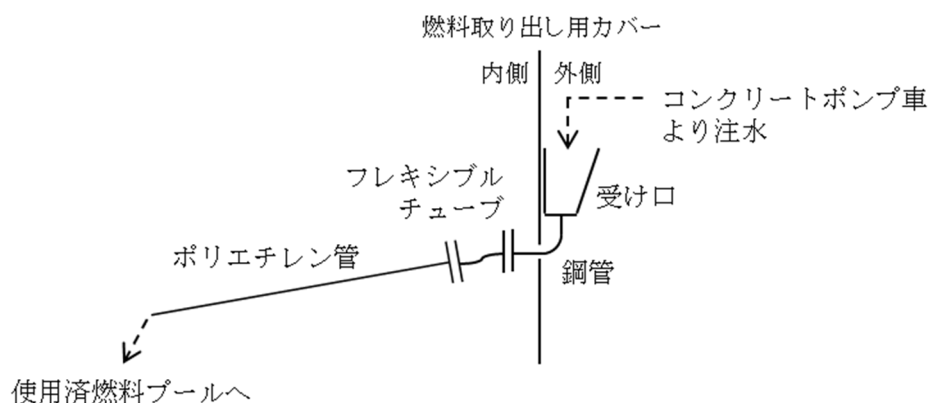
| | |
|--------------|--------------------------------|
| 台数 | 1 |
| アーム長さ | 62m 以上 |
| 容量 | 160m ³ /h 以上 |
| 燃料タンク容量, 消費量 | 約 500 l (参考値), 約 20 l /h (参考値) |

3 号機受け口

| | |
|------|---|
| 台数 | 1 |
| 材質 | 炭素鋼 |
| 概略寸法 | 約 3.5m×約 1m (開口部幅×開口部奥行) 約 1.7m (高さ) |

表－1 3号機注水配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 注水配管（鋼管） | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 200A／Sch. 40 STPG370 静水頭 40℃ |
| 注水配管（フレキシブルチューブ） | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 200A 相当 SUS316L 静水頭 40℃ |
| 注水配管（ポリエチレン管） | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 200A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃ |



図－1 3号機注水口概略図

(6) 3号機注水口について

a. 規格・基準等

3号機注水口は、設計、製作及び検査について以下の規格の準拠等により信頼性を確保する。

- ・ 日本工業規格（JIS 規格）
- ・ ISO 規格
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年，日本機械学会）
- ・ JEAG 4601 原子力発電所耐震設計技術指針（1987年，日本電気協会）
- ・ JEAC 4601 原子力発電所耐震設計技術規程（2008年，日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準（2005年，日本建築学会）

b. 構造強度

注水口は、弁を設置しないため水を貯めることを想定していないが、水を貯めた場合の静水圧に対して十分な強度を有することを確認する。

注水口のうち受け口については、水を貯めた試験条件にて有意な変形や漏えい等のないことを確認する。

注水口のうちフレキシブルチューブ、ポリエチレン管については、水を貯めた場合の静水圧を超える圧力にて耐圧試験を実施し、有意な変形や漏えい等のないことを確認する。

注水口のうち鋼管については、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に基づく必要肉厚（3.8mm）を有していることを確認する。

c. 耐震性

注水口の耐震性については、耐震設計技術指針における燃料プール水補給設備としてSクラス相当での評価を行う。なお、注水口は水を貯めることを想定していないため、地震時に受ける荷重は相対的に小さい。

注水口のうち受け口の耐震性については、「g. 受け口の強度設計」に示す通り、Sクラス相当の耐震性を有する。フレキシブルチューブ、ポリエチレン管は、可撓性により耐震性を確保する。鋼管は、定ピッチスパン法により剛設計となるサポート間隔とする。

なお、注水口の重量は燃料取り出し用カバーの重量に比べ十分小さいため、実施計画Ⅱ.2.11に記載している燃料取り出し用カバーの耐震性評価への影響はない。

d. 自然災害対策等

(a) 豪雨

注水口は、一部を屋外に据え付ける設備であるが、ポンプ・電動弁等の電動機器を使用する設備ではないため、豪雨により注水口の機能を失う恐れはない。

また、豪雨による雨水は注水口を通じて使用済燃料プールへ流入するが、受け口の開口面積に年間降雨量を乗じても年間の流入量は10m³以下であり、使用済燃料プールの容量(約1400m³)に対して十分小さく、使用済燃料プールへの影響は僅かである。

なお、燃料取り出し用カバーが設置されておらず使用済燃料プールへ雨水が直接流入する期間においても、使用済燃料プールの水質管理・冷却運転に支障は生じていない。

(b) 津波

注水口は、燃料取り出し用カバーに取り付ける設備であり、その位置はT.P.38m付近であるため、東北地方太平洋沖地震津波相当の津波により注水口が被水する恐れは

ない。

なお、燃料取り出し用カバーの脚部は津波を被水する恐れがある。燃料取り出し用カバーは鉄骨構造と鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込み、津波による波圧は生じにくい。

(c) 火災

注水口は、ポンプ・電動弁等の動的機器を使用する設備ではないため、火災の発生要因となる恐れはない。

(d) 強風・竜巻

注水口は、風の影響を受ける受け口部について、建築基準法施行令に準拠した風圧力に対し設計している。詳細は「g. 受け口の強度設計」に示す。

万が一、強大な竜巻により注水口が損傷した場合、原子炉建屋及び廃棄物処理建屋に設置している使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管が損傷する可能性は低い。ため、消防車等の非常用注水設備を用いて注水を実施する。さらに一次系配管も同時に損傷した場合は、配管補修、注水口補修、燃料取り出し用カバー撤去等の対応策から速やかに出来るものを実施し、非常用注水設備またはコンクリートポンプ車を用いて注水を実施する。

なお、使用済燃料プール循環冷却系の機能喪失後、崩壊熱による使用済燃料プール水の蒸発により、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2 mに到達するまでの期間は「(3) 評価条件及び評価結果」に示す通りであり、対応のための十分な時間的余裕がある。

e. 環境条件対策

注水口は、耐食性を考慮した設計とする。注水口のうち受け口は、防食加工した炭素鋼を使用し、注水配管は、ポリエチレン管、十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管、ステンレス (SUS316L) のフレキシブルチューブを使用する。

f. 小動物侵入防止対策

受け口部に鳥類が営巣し、注水時の障害となる恐れがあることから、受け口部にネット等の侵入防止を設置する。

g. 受け口の強度設計

受け口について、強風・地震に対する許容応力度設計を実施する。

(a) 使用材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表－2に示す。

表－2 使用材料の許容応力度

| 板厚 | 材料 | 基準強度 F (N/mm ²) | 許容応力度 |
|----------|----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| T ≤ 40mm | SS400, STKR400 | 235 | 「鋼構造設計基準」に従い、 左記 F の値より求める |

(b) 荷重及び荷重組合せ

- ・鉛直荷重 (VL)

受け口の固定荷重を考慮する。

- ・風圧力 (WL)

風圧力は、建築基準法施行令第 87 条に基づき、基準風速を 30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定し、2180N/m²とする。この値は、実施計画Ⅱ.2.11にて燃料取り出し用カバーの外装材妻壁の評価に用いる値である。

- ・地震荷重 (K)

NS方向の震度 1.5, EW方向の震度 1.0, UD方向の震度 1.5 として地震荷重を考慮する。この値は、解放基盤表面位置に基準地震動 Ss-1, Ss-2 及び Ss-3 を入力して得られる門型架構の応答加速度（実施計画Ⅱ.2.11 参照）を包含する値である。

- ・荷重組合せ

荷重組合せを表－3に示す。

表－3 受け口の荷重組合せ

| 状態 | 荷重ケース | 荷重組合せ | 許容応力度 |
|-----|-------|------------------|-------|
| 強風時 | W1 | VL + WL (NS) | 短期 |
| | W2 | VL + WL (EW) | |
| 地震時 | E1 | VL + K (NS + UD) | |
| | E2 | VL + K (EW + UD) | |

(c) 検討結果

図－2に断面検討を行う部位、表－4に各部位の応力度比が最大となる検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

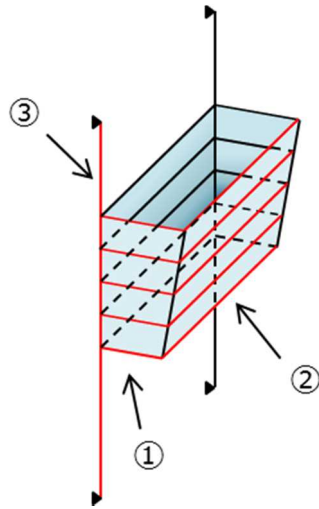


図-2 断面検討を行う部位

表-4 断面検討結果

| 部位 ^{*1} | | 部材形状 〈使用材料〉 | 荷重 ケース | 作用応力度 (N/mm ²) | | | 許容応力度 (N/mm ²) | | | 応力 度比 | 判定 |
|------------------|---|--------------------------------|-----------|-------------------------------|------|------|-------------------------------|-----|-----|----------|------|
| | | | | 軸力 | 曲げ | | 軸力 | 曲げ | | | |
| | | | | | 強軸 | 弱軸 | | 強軸 | 弱軸 | | |
| 短 辺 梁 | ① | □-100×100 ×4.5 〈STKR400〉 | E2 | — | 34.7 | 5.7 | — | 235 | 235 | 0.18 | 0.K. |
| 長 辺 梁 | ② | □-100×100 ×4.5 〈STKR400〉 | W1 | — | 30.3 | 10.5 | — | 235 | 235 | 0.18 | 0.K. |
| 縦 材 | ③ | H-194×150 ×6×9 〈SS400〉 | E2 | 1.8 (圧縮) | 14.5 | 60.7 | 113 (圧縮) | 231 | 235 | 0.34 | 0.K. |

* 1 : ①~③は断面検討箇所を示す

h. 確認事項

3号機注水口の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表-5に示す。

表-5 確認事項

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|----------|----------|---|---|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 【鋼管・ポリエチレン管】 実施計画に記載した主要寸法を確認する。 【フレキシブルチューブ】 指定のサイズ（呼び径）であることを確認する。 | 【鋼管・ポリエチレン管】 実施計画のとおりであること。 【フレキシブルチューブ】 指定のサイズ（呼び径）であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。 |
| 機能・性能 | 機能確認 | 使用済燃料プールへ注水できることを確認する。 | 流路が確保されていること。 |

使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

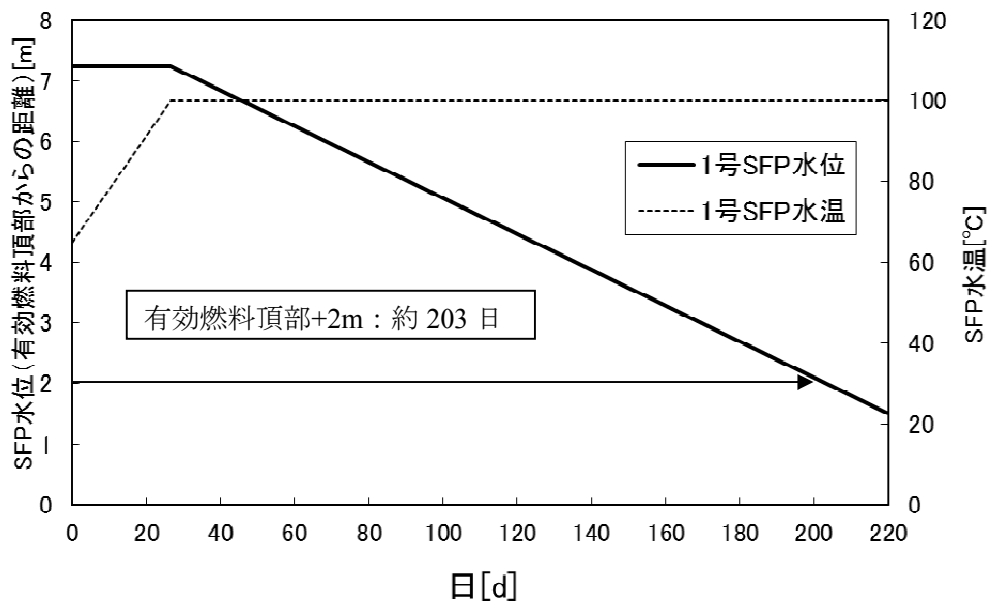


図1 1号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

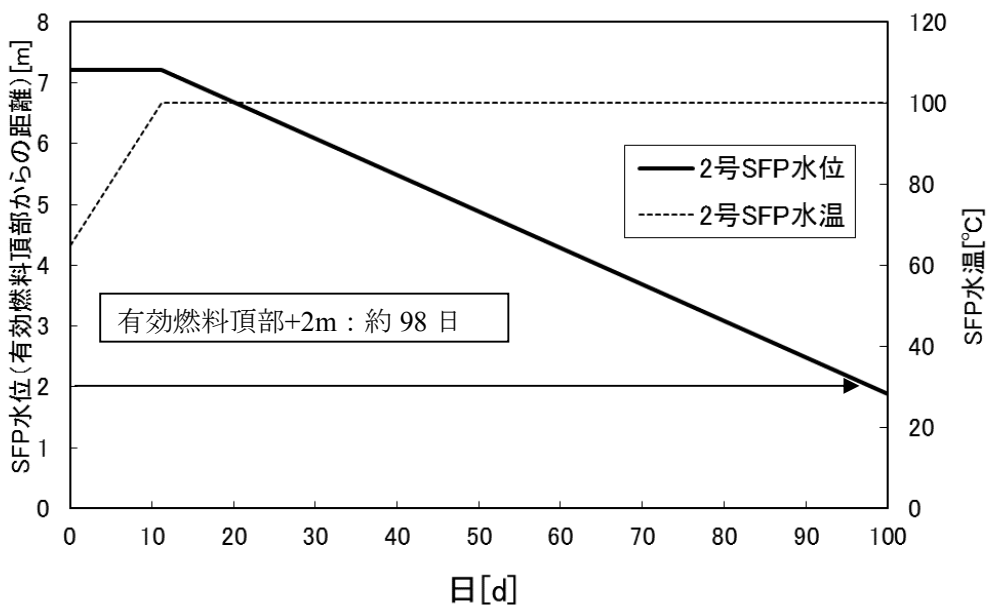


図2 2号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

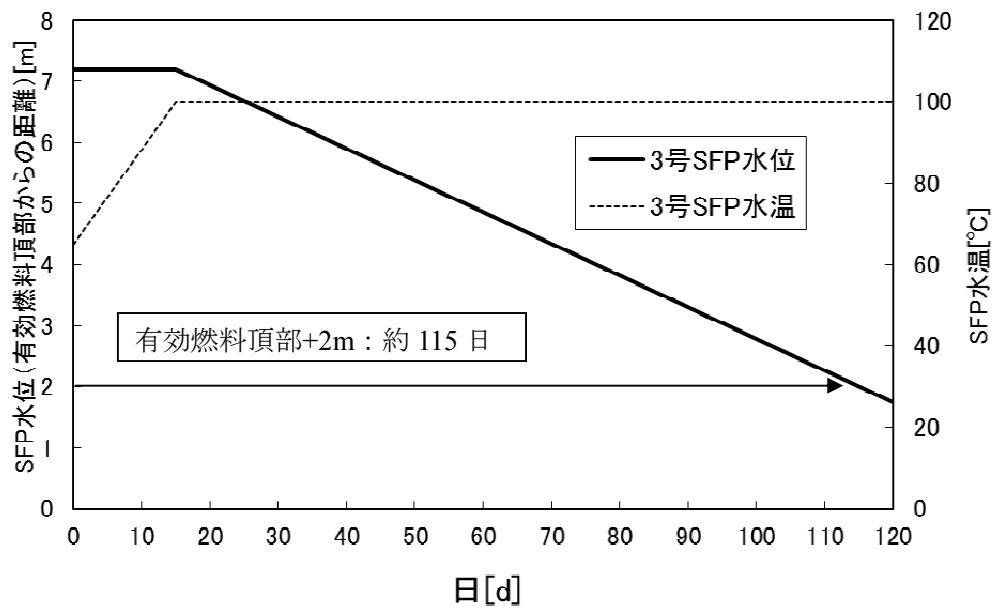


図3 3号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

以上

有効燃料頂部＋ 2 mにおける線量評価

使用済燃料プール循環冷却設備の機能が喪失した場合、非常用注水設備等を用いて使用済燃料プールの冷却を再開する必要がある。冷却再開にあたり、有効燃料頂部＋ 2 mにおいても、使用済燃料プール近くのおペフロ及び原子炉建屋周辺での作業が可能な線量かどうかの評価を行った。

1. 評価条件

評価条件は以下の通りである。

- (1) 冷却期間の短い使用済燃料体数が多い4号機使用済燃料プールについて評価。
(使用済燃料の照射期間及び冷却期間は燃料毎に考慮、評価日は H23.4.22 時点)
- (2) ORIGEN2 により使用済燃料の線源強度を計算し、この線源強度を用い MCNP により線量率を計算。
- (3) 線量率の評価位置は、使用済燃料プール真上「おペフロ＋ 5 m 高さ」。

2. 評価結果

評価結果を下記表に示す。

| 有効燃料頂部からの水位 (m) | 線量率 (mSv/h) |
|-----------------|--------------------|
| 0 | 3×10^{-4} |
| 1 | 8×10^{-1} |
| 2 | 3×10^{-1} |

評価位置は使用済燃料プール真上「おペフロ＋ 5 m」であるが、面線源であることを考慮するとおペフロ高さにおいても同程度の評価結果になると考える。

以上の結果より、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部から水深 2 m 確保されていれば、使用済燃料による線量率は十分低いことから、コンクリートポンプ車が使用できない場合の使用済燃料プール近くのおペフロ作業や非常用注水設備等を用いた冷却作業は十分可能と考える。

なお、現在及び今後は、さらに使用済燃料の冷却期間が経過しており、線量率はより小さくなる。

使用済燃料プール浄化装置について

1. はじめに

1～4号機使用済燃料プールの水質を実施計画にて定める基準値内に管理するため、使用済燃料プール浄化装置（以下、「浄化装置」という。）を配備し、必要に応じて使用済燃料プール水の浄化を実施する。

浄化装置は、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から採水し再び一次系へ水を戻す配管（浄化ライン）と、移動式の処理装置（モバイル式処理装置）から構成され、浄化の際はこれらを組み合わせて使用する。

浄化装置は、震災以降緊急対応的に設置した機器であり、2～4号機使用済燃料プールに対しては平成25年8月14日（実施計画の初回認可日）以前から使用した実績がある。

2. 基本方針

2.1 設置の目的

1～4号機使用済燃料プールの水質を管理するために、必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができること。

2.2 設計方針

2.2.1 浄化ライン

浄化ラインは、使用済燃料プール循環冷却設備一次系からの使用済燃料プール水の採水と、モバイル式処理装置により浄化した水を再び一次系へ戻すことが可能で、なおかつ、モバイル式処理装置との接続ができる設計とする。

（1）材料

使用済燃料プール水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

（2）放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

浄化ラインは、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。
- b. モバイル式処理装置と接続する配管には耐圧ホースを使用するが、継手部については固縛等により継手が外れない処置を実施し、漏えいの発生を防止する。また、耐圧ホースは二重管構造とすることで、漏えいの拡大を防止する。

(3) 誤操作の防止に対する考慮

浄化ラインには誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(4) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

2.2.2 モバイル式処理装置（放射能除去装置）

モバイル式処理装置（放射能除去装置）（以下、「放射能除去装置」という。）は、2号機海水配管トレンチ（以下、「トレンチ」という。）の汚染水処理に使用している装置※を用いることとしており、基本設計（基本仕様、構造強度及び耐震性等）は同じである。

放射能除去装置は、装置内に設置した吸着塔に使用済燃料プール水を通水することにより使用済燃料プール水中の放射能濃度を低減することができ、なおかつ、必要に応じて移動ができる設計とする。

※ 2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」

(1) 運用方針

1号機使用済燃料プール水中の放射能濃度低減のため、トレンチの汚染水処理に使用している装置を使用時のみ設置する。使用後は、トレンチの汚染水の処理状況に応じて、装置を移設する。

なお、放射能除去装置は、1号機原子炉建屋山側エリア（屋外、T.P.約 8.5m）に設置する。

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の放射性物質の濃度を低減する能力を有する。

(3) 規格・基準等

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

放射能除去装置の機器等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な

材料を使用する。

- b. 液体状の放射性物質の漏えい防止として、屋外には二重管構造の耐圧ホースを使用し、継手部については固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- c. 万一の漏えいを考慮し、放射能除去装置（車両）内に堰を設置するとともに、堰内に設置した漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合には放射能除去装置の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- d. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(8) 誤操作の防止に対する考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(9) 検査可能性に対する設計上の考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(10) 電気故障の拡大防止に対する考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(11) 放射線防護に係わる被ばく防止措置

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔』』に同じ。

(12) 監視機能

放射能除去装置の動作確認に必要な計器類の指示値を車両内の制御盤に表示させる。また、この制御盤の画像を免震重要棟に送信することで、免震重要棟からの監視が可能となるようにする。なお、免震重要棟には監視盤を設置し、装置の異常時には警報を発報し、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。

2.2.3 モバイル式処理装置（塩分除去装置）

モバイル式処理装置（塩分除去装置）（以下、「塩分除去装置※」という。）は、装置内のRO膜またはイオン交換樹脂に使用済燃料プール水を通水することにより使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度を低減することができ、なおかつ、必要に応じて移動ができる設計とする。

なお、塩分除去装置は、RO膜装置及びイオン交換装置の2種類を配備し、2～4号機の使用済燃料プール水の塩分除去に使用している装置を用いる。

※ 特記無き場合は、RO膜装置とイオン交換装置の両方のことを指す。

(1) 運用方針

1～4号機の使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度低減のため、これまで2～4号機の使用済燃料プール水の塩分除去に使用している装置を使用時のみ設置する。

なお、塩分除去装置は、各号機原子炉建屋山側エリア（屋外、T.P.約8.5m）に設置する。

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の塩化物イオンの濃度を低減する能力を有する。

(3) 材料

塩分除去装置は、使用済燃料プール水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

塩分除去装置の機器等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。
- b. 万一の漏えいを考慮し、塩分除去装置（車両）内に堰を設置するとともに、漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合には塩分除去装置の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- c. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。

（５）放射線遮へいに対する考慮

塩分除去装置は、放射線業務従事者等の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

（６）誤操作の防止に対する考慮

塩分除去装置には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転操作手順書を整備し運転にあたる。また、操作スイッチをCS 式 (Control Switch;制御スイッチ)、COS 式(Change over Switch;切替スイッチ)とし、タッチパネル特有の問題（ボタン間隔が狭い、反応が鈍い）を回避すると共に、装置の停止に係わる重要なスイッチには、注意表示をする。

（７）検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

（８）電気故障の拡大防止に対する考慮

塩分除去装置は、電気的な故障が発生した場合には、その拡大及び伝播を防止するため異常箇所を自動的に切り離す保護装置を備える。

（９）監視機能

塩分除去装置の動作確認に必要な計器類の指示値を車両内の制御盤に表示させる。また、この制御盤の画像を免震重要棟に送信することで、免震重要棟からの監視が可能となるようにする。なお、免震重要棟には監視盤を設置し、装置の異常時には警報を発報し、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。

2.3 供用期間

2.3.1 浄化ライン

浄化ラインは、1～4号機の使用済燃料プール水の浄化時のみ使用する。

なお、浄化ラインは、1～4号機の使用済燃料プールからの燃料取出が完了するまで随時使用する可能性があることから、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

2.3.2 放射能除去装置

放射能除去装置は、トレンチの汚染水処理に使用している装置を移設し、1号機の使用済燃料プール水中の放射性物質濃度が、塩分除去装置の運用に支障がない程度に低下するまで使用する。1号機の使用済燃料プール水中の放射性物質濃度低下後は、必要に応じ再びトレンチの汚染水処理に使用するため移設する。

なお、放射能除去装置は、2～4号機では浄化実施後に再び使用済燃料プール水の放射能濃度が上昇した実績はなく、1号機使用済燃料プール水の浄化についても一度で完了する見込みであるが、放射能除去装置を使用する場合に備え、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

2.3.3 塩分除去装置

塩分除去装置は、1～4号機の使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度等が上昇し、実施計画に定める基準値を超える恐れが生じた場合に使用する。

なお、塩分除去装置は、1～4号機の使用済燃料プールからの燃料取出が完了するまで随時使用する可能性があることから、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

※有効な保全とは、設備又は機器の重要度、使用頻度、使用環境、過去の点検結果等から総合的に判断し、保全方式（時間基準保全、状態基準保全又は事後保全）及び保全方法（点検内容、点検周期、点検時期等）を定めた保全計画（長期点検計画）に基づき点検、補修、取替え及び改造等の保全を実施することをいう。

2.4 供用期間中に確認する項目

必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができるよう、浄化装置が使用可能であること。

2.5 装置概要

2.5.1 浄化ライン

浄化ラインは、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から使用済燃料プール水を採水するラインと、モバイル式処理装置により浄化した水を再び一次系へ戻すラインで

構成され、設置箇所に応じて、鋼管、フレキシブルチューブ、耐圧ホースのいずれかを用いる。

2.5.2 放射能除去装置

放射能除去装置は、吸着塔を装荷する吸着塔ユニット（車載）及び流量調整等の機能を有する弁ユニット（車載）から構成する（図-1）。吸着塔ユニットは、1塔の吸着塔により、使用済燃料プール水に含まれるセシウム等の放射性核種を除去し、吸着塔出入口差圧、吸着性能、吸着塔表面線量により吸着塔を交換する場合がある。吸着材は、2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」のうち、「吸着材2」を使用する（表-1）。

放射能除去装置で使用する吸着塔の構造は、『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。なお、1号機使用済燃料プール水に含まれる放射能量は、約 3×10^{13} Bqである（ ^{137}Cs 及び ^{134}Cs の合計値、平成26年10月現在）。

表-1 放射能除去装置の吸着材について*

| 除去核種 | 吸着材 | 表面線量率 (mSv/h) | ※ 吸着量 (Bq/塔) | 温度評価 | | 備考 |
|------|------|------------------|------------------------|--------------|----------|------------|
| | | | | 最高温度 (°C) | 耐熱温度(°C) | |
| Cs | 吸着材1 | <1.0 | 約 1.3×10^{15} | 約160 | 200 | 管理条件が最も厳しい |
| | 吸着材2 | <1.0 | 約 1.3×10^{15} | 約215 | 600 | |
| Sr | 吸着材3 | <1.0 | 約 1.3×10^{15} | 約280 | 600 | |

(※) 除去核種 Cs の場合は、 ^{137}Cs 及び ^{134}Cs の合計値
除去核種 Sr の場合は、 ^{89}Sr 及び ^{90}Sr の合計値

* 『2.5 汚染水処理設備等 添付資料-1 1 2号機及び3号機の海水配管トレンチにおける高濃度汚染水の処理設備』より引用

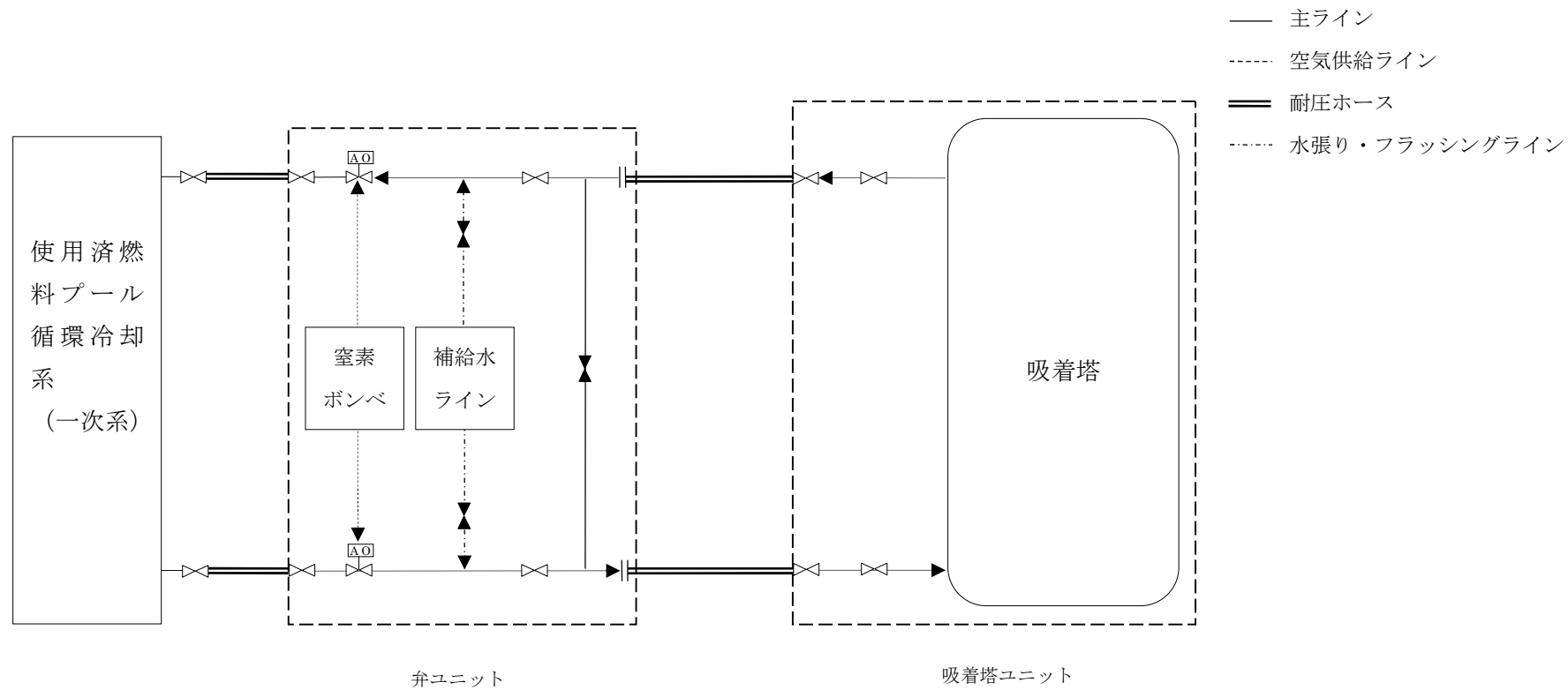


図-1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 系統概略図

2.5.3 塩分除去装置

2.5.3.1 塩分除去装置 (RO 膜装置) (図-2)

塩分除去装置 (RO 膜装置) (以下、「RO 膜装置」という。)は、逆浸透膜 (RO 膜) 装置とそれに付随する前置フィルタ、バッファタンク、ろ過ポンプ、チェックフィルタ、処理水移送ポンプ、処理水受けタンク、濃縮水タンク、濃縮水移送ポンプ及びホース・配管・弁・計器等で構成し、これらを 1 台の車両 (トラック) に積載する。

(1) 逆浸透膜 (RO 膜) 装置

逆浸透膜装置は、高圧ポンプ及び RO モジュールで構成され、使用済燃料プール水を処理水と濃縮水に分離する。処理水は、使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送し、濃縮水は濃縮水タンクに排出する。

(2) 前置フィルタ

使用済燃料プール水に含まれる固形分を除去することによって、下流側の機器への影響を低減する。

(3) バッファタンク

使用済燃料プール循環冷却系から一次系の水を受け入れるタンクである。また、塩分濃度を高くするために、濃縮水を受け入れ循環ラインを構築し濃縮度を上げる。

(4) ろ過ポンプ

バッファタンクからの使用済燃料プール水をチェックフィルタを経由して逆浸透膜装置へ移送する。

(5) チェックフィルタ

チェックフィルタは、残存する固形分を除去し、下流側の逆浸透膜装置を保護する。

(6) 処理水移送ポンプ、処理水受けタンク

処理水を受け入れ、処理水移送ポンプを介して使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送する。

(7) 濃縮水タンク、濃縮水移送ポンプ、濃縮水移送ライン

濃縮水を受け入れ、濃縮水移送ポンプ及び濃縮水移送ラインを介して濃縮水を各号機の建屋地下へ排出する。

2.5.3.2 塩分除去装置（イオン交換装置）（図－3）

塩分除去装置（イオン交換装置）（以下、「イオン交換装置」という。）は、樹脂塔、前置フィルタ、移送ポンプ、コンプレッサ及びホース・配管・弁・計器等で構成し、これらを1台の車両（トラック）に積載する。

（1）樹脂塔

使用済燃料プール水を通水し、プール水中の塩化物イオンをイオン交換樹脂にて捕捉する。

（2）前置フィルタ

使用済燃料プール水中のクラッド成分を除去し、下流側の樹脂を保護する。

（3）移送ポンプ

樹脂塔出口の処理水を使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送する。

（4）コンプレッサ

装置の出入口に設けた隔離弁（空気作動弁）の駆動用空気を供給する。

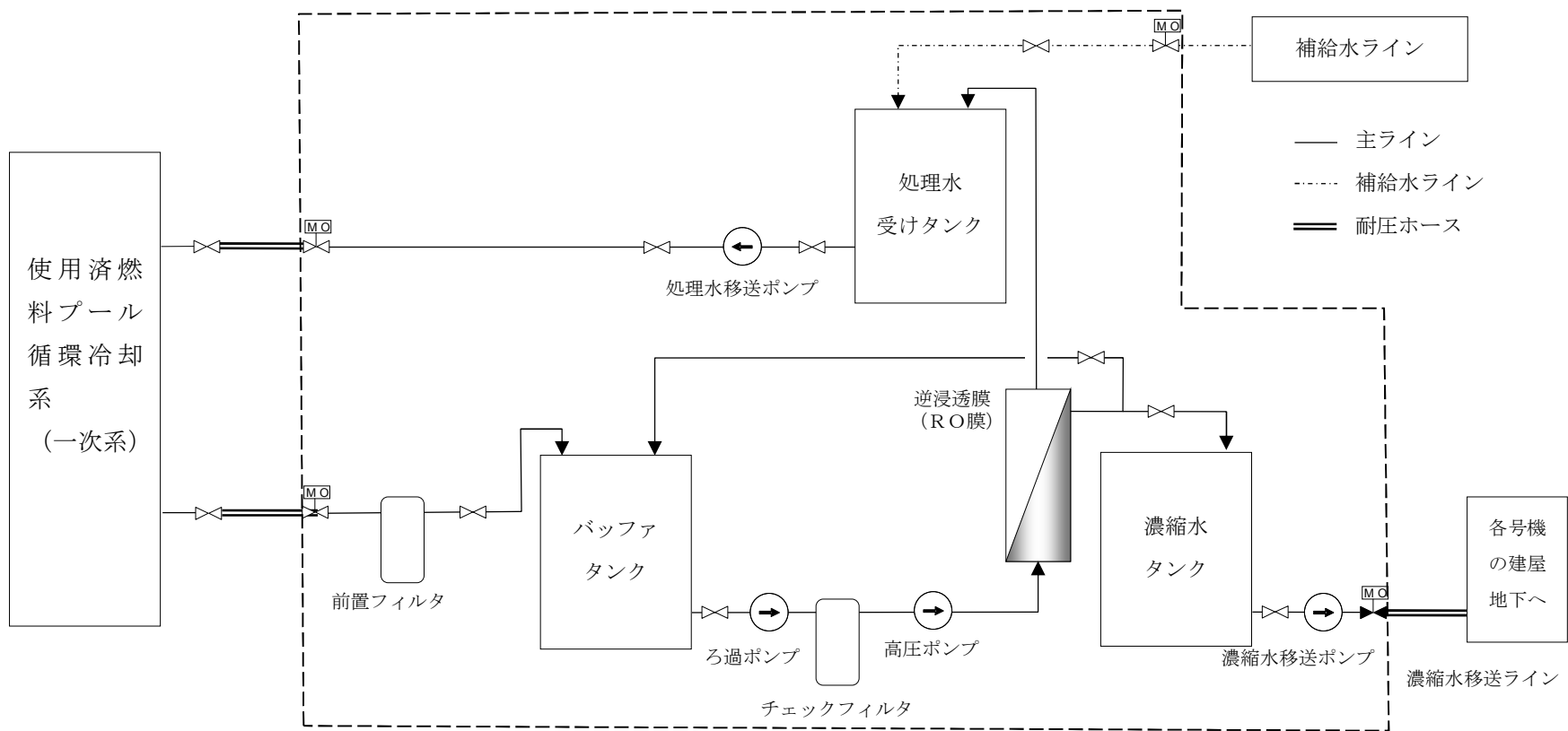


図-2 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) 系統概略図

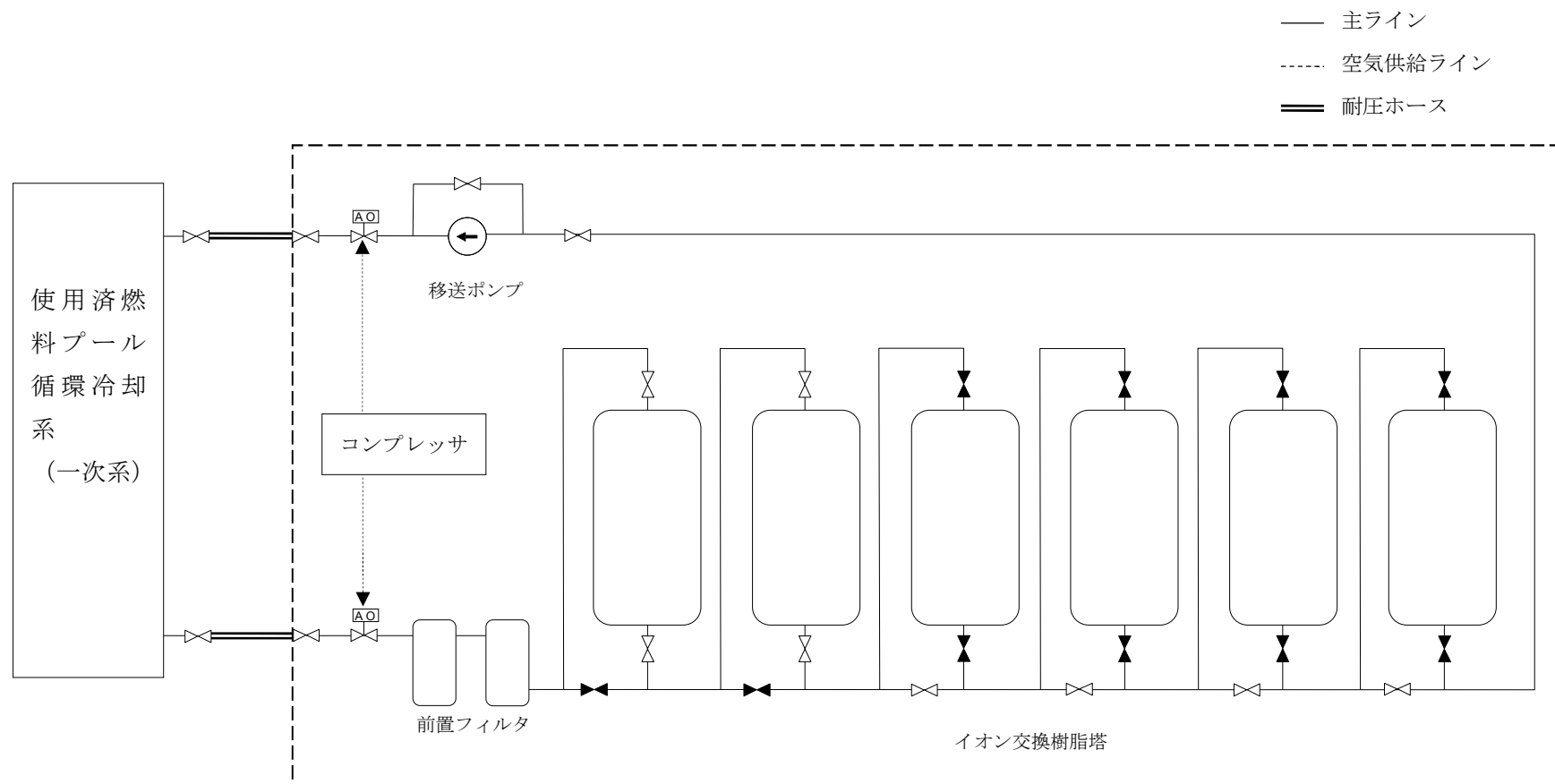


図-3 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) 系統概略図

2.6 廃棄物の管理

a. 放射能除去装置の運転により発生する使用済み吸着塔

吸着塔は、1号機使用済燃料プール水の浄化で使用したのち、トレンチの汚染水処理に用いた吸着塔と同様の方法で貯蔵する。使用済み吸着塔の発生量は、1個程度と想定している。なお、他号機では浄化実施後に再び使用済燃料プール水の放射能濃度が上昇した実績はないことから、1号機使用済燃料プール水の浄化についても一度で完了する見込みである。

b. 塩分除去装置の運転により発生する廃棄物

- ・RO膜装置の廃フィルタ類、イオン交換装置の廃樹脂については、容器に収納した上で固体廃棄物貯蔵庫にて保管する。なお、過去に発生した仮置中の廃棄物についても順次、固体廃棄物貯蔵庫へ移動する。
- ・塩分除去は必要に応じて実施することから廃棄物の年間発生量を見積もることはできないものの、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（プール水の初期塩分濃度を70ppmとし、10ppmまで低減させる場合）において、RO膜装置の廃フィルタ類が約0.2m³（RO膜（0.03m³）6本）^{*}、イオン交換装置の廃樹脂が約15m³（ドラム缶（0.25m³）約60本）と少量であり、塩分除去は1～4号機合計で1回／年程度（過去2年間の実績）であることから、固体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。

※保管の際は、保管容器（6m³）に収納する。

- ・RO膜装置で発生する液体廃棄物（濃縮水）は、各号機の建屋地下へ排出する。RO膜装置で1回あたりの塩分除去で発生する濃縮水は、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（条件は上記と同じ）において、700m³程度であり、液体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

浄化装置については、仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）の電源を停止し、隔離弁を閉止することで、使用済燃料プール水の流出を防止する。

なお、万一、浄化ラインが損傷したとしても、使用済燃料プールへの戻りラインに逆止弁が付いていることから、サイフォン現象により配管を通じて使用済燃料プールから水が流出することは無い。

2.7.2 火災

火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、初期消火の対応ができるよう、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）及び耐圧ホース近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は、巡視点検、監視カメラにより確認できる。また、モバイル式処理装置は独立した車両上のコンテナ内または遮蔽付きスキッド内にあり、装置周辺から可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼し難い。

2.7.3 豪雨

- ・放射能除去装置（吸着塔ユニット及び弁ユニット）は、鋼製の箱内に収納されると共に防水シートで養生され雨水の浸入を防止する構造とする。万一大雨警報等の予報、特別警報により、大量の雨水が浸入し、処理の停止に至る等の可能性がある場合は、装置を停止することで、装置の計画外停止に備える。
- ・塩分除去装置は、鋼製の荷台（コンテナ）内に収納され、雨水の浸入を防止する構造とする。

2.7.4 強風（台風・竜巻）

- ・放射能除去装置（吸着塔ユニット及び弁ユニット）は、鋼製の箱内に収納されており、強風に耐えうる構造としている。なお、吸着塔の蓋はボルト締結等により固定している。万一暴風警報等の予報、特別警報（台風・竜巻）により、計器類・監視カメラが故障する等、運転継続に支障を来す可能性がある場合には、使用済燃料プール水の漏えい防止を図るため、装置を停止する。
- ・塩分除去装置は、鋼製の荷台（コンテナ）内に収納され、強風に耐えうる構造とする。

3. 構造強度及び耐震性

3.1 構造強度評価の基本方針

3.1.1 浄化ライン

新設する1号機浄化ラインのうち鋼管については、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、燃料貯蔵設備に相当するクラス3機器と位置づけられており、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2007年追補版）（JSME S NC1-2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3機器相当での評価を行う。2～4号機浄化ラインのうち鋼管については、日本工業規格（JIS）等に準拠して設計しており、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。その他の設備については、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

3.1.2 放射能除去装置

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔』』に同じ。

3.1.3 塩分除去装置

塩分除去装置を構成する機器は、日本工業規格（JIS）等に準拠して設計しており、使用済燃料プール循環冷却系の使用条件に対し、十分な構造強度を有している。なお、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

3.2 耐震性評価の基本方針

3.2.1 浄化ライン

新設する1号機浄化ラインのうち鋼管は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけ、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して耐震性評価を行う。2～4号機浄化ラインのうち鋼管は、配管長が短く地震変位による有意な応力は発生しないが、簡易的な手法を用いて地震による応力を試算する。支持部材がない等の理由により耐震性に関する評価ができないものについては、可撓性を有する材料の使用等により耐震性を確保する。

3.2.2 放射能除去装置

『2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔』』に同じ。

3.2.3 塩分除去装置

塩分除去装置は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけ、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して評価しており、その結果、塩分除去装置は水平震度に対して転倒しない。支持部材がない等の理由により耐震性に関する評価ができないものについては、可撓性を有する材料の使用等により耐震性を確保する。

3.3 評価結果

3.3.1 浄化ライン

(1) 構造強度

a. 配管（1～4号機鋼管）

1号機鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（表－2）。

また、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことにより、必要な構造強度を有していることを確認する。

2～4号機鋼管については、運転時に漏えい確認を実施し、漏えい等がないことを確認している。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
 D_0 : 管の外径
 P : 最高使用圧力[MPa]
 S : 最高使用温度における材料の許容引張応力[MPa]
 η : 長手継手の効率

表-2 構造強度評価結果（1号機鋼管）

| 評価機器 | 口径 | Sch. | 材質 | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 必要肉厚 (mm) | 肉厚 (mm) |
|------|------|------|-----------|--------------|-------------|-----------|---------|
| 配管① | 50A | 80 | SUS316LTP | 1.00 | 66 | 0.28 | 5.5 |
| 配管② | 65A | 40 | SUS316LTP | 1.00 | 66 | 0.36 | 5.2 |
| 配管③ | 100A | 40 | SUS316LTP | 1.00 | 66 | 0.53 | 6.0 |
| 配管④ | 150A | 40 | SUS316LTP | 1.00 | 66 | 0.77 | 7.1 |

b. 配管（1号機フレキシブルチューブ）

「設計・建設規格」に記載がない機器であるが、1号機フレキシブルチューブについては系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.25MPa の気圧試験を実施し、漏えい等がないことを確認している。また、系統機能試験時に漏えい試験を実施し、漏えい等がないことを確認する。

c. 配管（1～4号機耐圧ホース）

「設計・建設規格」に記載がない機器であるが、系統の温度・圧力を考慮して仕様を選定し、通水等により漏えい等がないことを確認し信頼性を確保する。

(2) 耐震性

a. 配管（1号機鋼管）

(i) 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角 2 方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配

管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを設定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52^{注)} よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とする。

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α. 基礎編 表 4-1, α2-27

(ii) 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

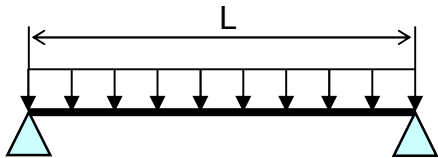
- $S_w = \frac{wL^2}{8Z}$

S_w: 自重による応力 [MPa]

L: サポート支持間隔 [mm]

Z: 断面係数 [mm³]

w: 等分布荷重 [N/mm]



(両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力)

• $S_s = \alpha S_w$ (1)

S_w: 自重による応力 [MPa] S_s: 地震による応力 [MPa]

α: 水平方向震度

また、崩壊制限に「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (JEAG 4601・補-1984)」のクラス 3 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

• $S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u$ (2)

S_p: 内圧による応力 [MPa]

S_w: 自重による応力 [MPa]

S_s: 地震による応力 [MPa]

S: 内圧, 自重, 地震による応力 [MPa]

α: 水平方向震度

従って、上記(2)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

(iii) 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40$ [MPa] の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の $0.36G$ 、内圧による応力 $S_p=10$ [MPa]、自重による応力 $S_w=40$ [MPa]、許容応力を SUS316LTP [66°C] の $0.9S_u=413$ [MPa] とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w = 10+(1+0.36)\times 40= 64.4[\text{MPa}] \leq 0.9S_u = 413[\text{MPa}] \quad (3)$$

また、継手がある場合には、応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし、(3)式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ、 $S_w=120$ [MPa] とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3= 10+(1+0.36)\times 120= 173.2[\text{MPa}] \leq 0.9S_u = 413[\text{MPa}] \quad (4)$$

以上のことから、両端単純支持はりで自重による応力 S_w を 40 [MPa] 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

b. 配管 (2～4号機鋼管)

鋼管は、一次系からの分岐の短い部分に使用されており、その前後はフレキシビリティを有した耐圧ホースと接続されていることから、地震による有意な応力は発生しないが、簡易的な手法を用いて地震による応力を試算した (別紙 (7) 参照)。

c. 配管 (1号機フレキシブルチューブ)

フレキシブルチューブは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

d. 配管 (1～4号機耐圧ホース)

耐圧ホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

3.3.2 放射能除去装置

(1) 構造強度

a. 放射能除去装置

『2.5 汚染水処理設備等 「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔』に同じ。

b. 配管

(i) 配管 (鋼製)

『2.5 汚染水処理設備等 「(55) モバイル式処理装置』に同じ (表-3)。

表-3 配管構造強度評価結果*

| 評価機器 | 口径 | Sch. | 材質 | 最高使用 圧力 (MPa) | 最高使用 温度 (°C) | 必要肉厚 (mm) | 肉厚 (mm) |
|------|-----|------|---------|------------------|-----------------|--------------|---------|
| 配管① | 50A | 40 | STPG370 | 0.98 | 40 | 0.32 | 3.9 |
| 配管② | 50A | 80 | STPG370 | 0.98 | 40 | 0.32 | 5.5 |
| 配管③ | 80A | 80 | STPG370 | 0.98 | 40 | 0.47 | 7.6 |
| 配管④ | 50A | 40 | SUS316L | 0.98 | 40 | 0.27 | 3.9 |
| 配管⑤ | 80A | 40 | STPG370 | 0.98 | 40 | 0.47 | 5.5 |

注) 放射能除去装置では上記の赤枠部のみ該当。

* 『2.5 汚染水処理設備等 添付資料-1 1 2号機及び3号機の海水配管トレンチにおける高濃度汚染水の処理設備』より引用

(ii) 配管 (耐圧ホース)

設計・建設規格に記載がない機器であるが、系統の温度・圧力を考慮して仕様を選定し、通水等により漏えい等がないことを確認し信頼性を確保する。

(2) 耐震性

a. 放射能除去装置 (吸着塔, トレーラー) の転倒評価

『2.5 汚染水処理設備等 「(55) モバイル式処理装置」及び「(56) モバイル式処理装置 吸着塔』に同じ。

3.3.3 塩分除去装置

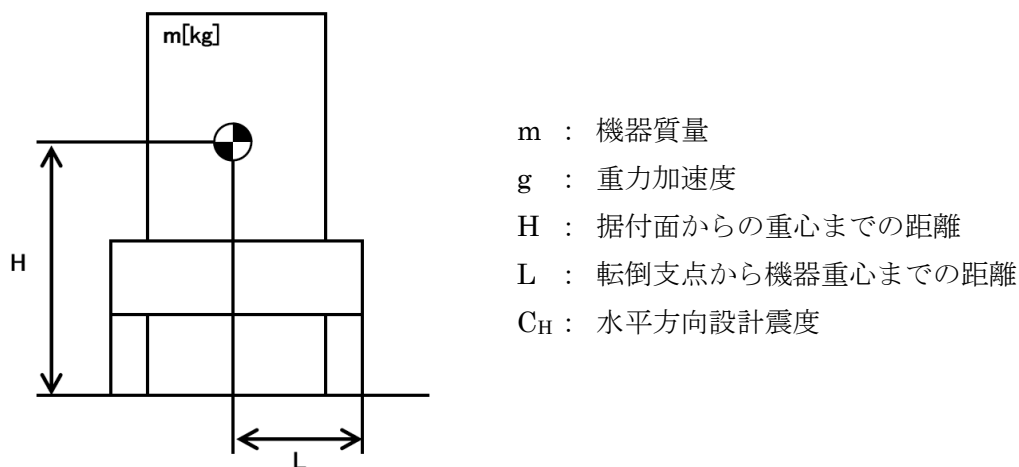
(1) 構造強度

漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。

従って、必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性

塩分除去装置及びそれを搭載している車両について、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。



地震による転倒モーメント： $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

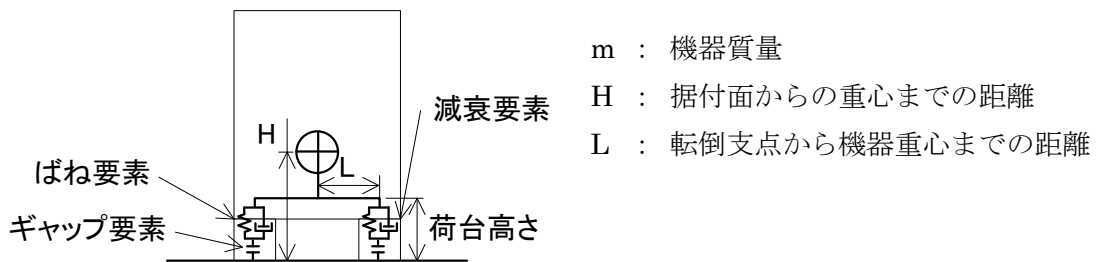
自重による安定モーメント： $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

表-4 塩分除去装置耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|---------|------|------|------|-----|-----|------|
| RO膜装置 | 本体 | 転倒 | 0.36 | 62 | 199 | kN・m |
| イオン交換装置 | 本体 | 転倒 | 0.36 | 35 | 124 | kN・m |

なお、塩分除去装置の時刻歴解析による耐震性確認について、過去に電源車（塩分除去装置と同様に車両上に機器を設置）で実施した評価と比較した。

電源車の解析モデルは、コンテナと車両を一体し、評価は、ばね要素、減衰要素およびギャップ要素を地表面と荷台高さとの間に配置している。実車両を模擬し、本車両転倒解析モデルを構築する場合、転倒評価に用いる重心位置最大応答角は、重心位置と荷台を結ぶ剛体要素の角度差より求まることから、荷台高さを回転中心とした。



電源車の耐震評価結果と塩分除去装置形状比較は以下のとおり。

表-5 電源車の耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 重心位置 最大応答 回転角 (deg) | 最大安定 傾斜角 (deg) | 裕度 |
|------|------|------|------|---------------------------|----------------------|------|
| 電源車 | 本体 | 転倒 | 1.00 | 11.0 | 30 | 2.72 |

- ・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表-6 塩分除去装置と電源車の形状比較

| 機器名称 | H (m) | L (m) | H/L |
|---------|-------|-------|-------|
| RO膜装置 | 1.025 | 1.185 | 0.865 |
| イオン交換装置 | 0.906 | 1.175 | 0.772 |
| 電源車 | 1.181 | 0.923 | 1.280 |

m : 機器質量
 H : 据付面からの重心までの距離
 L : 転倒支点から機器重心までの距離

- ・塩分除去装置と電源車の形状は、塩分除去装置の方が安定している。

また、電源車の耐震性評価においては支配的な基準地震動を選定しており、その水平方向の最大応答加速度（重心位置）は約 800gal である。これに対して、福島第一原子力発電所の水平方向の最大応答加速度（T.P.8.5m^{*}）は約 500gal と小さい。

以上のことから、過去に実施した電源車の転倒評価には十分な裕度があること、形状は塩分除去装置の方が安定していること、水平方向の加速度は電源車評価時に比べ小さいことから、塩分除去装置の耐震性は十分に確保されている。

※本標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P. から T.P. への換算値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式> T.P. = 旧 O.P. -1, 436

4. 浄化装置の具体的な安全確保策

浄化装置は、使用済燃料プール水を扱うため、漏えい防止対策、放射線遮へい、環境条件対策について具体的に安全確保策を以下の通り定め、実施する。

4.1 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）との接続部は、耐圧ホース（二重管構造）とする。ここで、耐圧ホースの継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- b. 放射能除去装置吸着塔の容器は、腐食による漏えい発生を防止するために、耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材の使用を基本とする。
- c. モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を移設する場合には設備との取り合い箇所における閉止処置（隔離弁の閉止、フランジ開口部の養生等）を実施し、系統のバウンダリとして適切に管理する。また、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は各号機の建屋地下へ排出する。
- d. モバイル式処理装置（放射能除去装置）をトレンチ側から移設する場合には、装置内の残水の放射性物質濃度を 1 号機使用済燃料プール水以下に抑え、移設後に系統水濃度を上昇させないようにする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 耐圧ホースについては、二重管構造とし、継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- b. 万一の漏えいを考慮し、車両内に堰を設置するとともに、堰内に設置した漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合にはモバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- c. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。
- d. 浄化ライン（鋼管、フレキシブルチューブ）からの漏えいについては、スキマ・サージ・タンクの水位により監視が可能であり、万一、漏えいが発生した際には、建屋内のファンネル等を通じて建屋地下へ排出される。
- e. 装置運転中は、巡視点検等により漏えい等の有無を確認する。
- f. モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良、装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防

止することから、運転開始以降に想定される漏えい事象としては、配管フランジ部等からの僅かなにじみが考えられる。なお、装置内部に内包する使用済燃料プール水が漏えいした場合でも堰内に収まることから、堰外へ漏えいすることはない。

g. 放射能除去装置内部に内包する使用済燃料プール水と堰容量

- ・吸着塔ユニットが内包する使用済燃料プール水：約 0.7m³，吸着塔ユニット堰容積：約 1.0m³
- ・弁ユニットが内包する使用済燃料プール水：約 0.1m³，弁ユニット堰容積：約 0.7m³

表－7 放射能除去装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

| 対象設備 | | 縦幅 (m) | 横幅 (m) | 高さ (m) | 容積 (m ³) | 備考 |
|---------|---------|--------|--------|--------|----------------------|----|
| 放射能除去装置 | 吸着塔ユニット | 3.25 | 2.04 | 0.19 | 0.996 | ※ |
| | 弁ユニット | 3.82 | 1.24 | 0.14 | 0.663 | |

※ 吸着塔ユニット容積から吸着塔体積を差し引いた容積

h. 塩分除去装置の堰は、装置の隔離弁の内側に設置された機器及び配管内の保有水が漏えいした場合、堰内の最大容器容量の全量を受け入れられるものとする（表－8）。

表－8 塩分除去装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

| 対象設備 | | 堰容積 (m ³) | 保有水量 (m ³) (最大) |
|---------|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| RO 膜装置 | バフファタンク，処理水受けタンク用 | 3.6 | 3.0 |
| | 濃縮水タンク用 | 9.0 | 8.0 |
| イオン交換装置 | | 1.6 | 0.9 |

(3) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 運転中のモバイル式処理装置の周りには柵や注意喚起の表示を設置し、不用意に人が近づかないようにする。また、運転中の浄化ラインの周りには近接防止の表示を設置し、不用意に人が近づかないようにする。
- b. 放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は、鋼製の容器や鉛毛マット等で遮へいする。
- c. 運転パラメータを監視し、フィルタ類を早めに交換することにより、作業時の被ばく低減を図る。

(4) 崩壊熱除去

『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(5) 可燃性ガスの滞留防止

a. 放射能除去装置

『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。なお、放射能除去装置の吸着塔を収納する鋼製の箱は通気性を有しており、可燃性ガスが内部に滞留することはない。また、吸着塔の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスの発生を抑制するとともに、ベント弁を開操作するため可燃性ガスが内部に滞留することはない。なお、保守的な評価として、ベント弁を閉じた状態での吸着塔内部における可燃性ガスの濃度を計算した場合においても、濃度が可燃限界以下であることを確認した（別紙（3）参照）。

b. 浄化ライン、塩分除去装置

塩分除去装置の運転中に水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。運転後は系統内の水抜きを実施することから、有意な量の可燃性ガスが発生することはない。また、塩分除去装置の廃棄物の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスの発生を抑制する。なお、保守的な評価として、使用済燃料プール水中の放射性物質を全て捕捉したと仮定して廃棄物容器内部における可燃性ガスの濃度を計算した場合においても、濃度が可燃限界以下であることを確認した（別紙（3）参照）。

(6) 吸着塔交換作業時の考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

(7) 敷地境界における実効線量

モバイル式処理装置（放射能除去装置）の吸着塔が敷地境界における実効線量に対して与える影響は、約 0.0001mSv/年未満*であり、線量評価上有意な値ではない。

*吸着塔表面線量を運用上の最大値（1mSv/h）とし、本設備に最も近い評価済みの放射性廃棄物一時保管エリア 0 と表面線量率および表面積を比較することにより、最短距離となる敷地境界評価点及び敷地境界で最大となる評価点への影響を確認した結果。なお、本設備は常時設置するものではないが、常時設置したと仮定。

4.2 環境条件対策

(1) 腐食

塩化物イオンによるステンレス鋼の局部腐食については、使用済燃料プール水の水温は年間を通して 40℃以下で、なおかつ塩化物イオン濃度は 100ppm 以下で管理してお

り、添付資料－6 図1に示す“腐食発生可能性なし”の領域にあることから、腐食が発生する可能性は極めて低い。また、放射能除去装置吸着塔及び一部の鋼管については、SUS304よりも耐腐食、耐応力腐食割れに優れるSUS316材、SUS316L材を用いている。

なお、ステンレス鋼以外に一部炭素鋼を使用しているが、炭素鋼の腐食は一般的にステンレス鋼のような局部腐食ではなく全面腐食が想定され、全面腐食の進展速度は局部腐食と比較して小さく、なおかつ浄化装置の運転期間も短期間であることから、影響は極めて低い。

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

使用済燃料プール水を浄化している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。浄化を停止した場合、屋外に敷設されている耐圧ホース等は、凍結による破損が懸念されることから、装置停止中は必要に応じてホース内の水抜きを実施する。また、塩分除去装置内に投光器設置及び配管保温を取付けることにより、凍結防止を図る。

(4) 耐放射線性

耐圧ホースの構造部材であるポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は、 $10^5 \sim 10^6 \text{Gy}$ の集積線量において、破断時の伸びの減少等が確認されている。耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間（11.4年）と評価される。そのため、耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはない。

(5) 長期停止中の措置

モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を長期停止する場合は、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施し、腐食及び凍結を防止する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は各号機の建屋地下へ排出する。

(6) 使用済み吸着塔長期保管時の考慮

『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

4.3 吸着塔の温度評価

『2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」』に同じ。

別紙

- (1) モバイル式処理装置配置図
- (2) モバイル式処理装置切り離し状態図
- (3) 廃棄物保管時の可燃性ガス発生量について
- (4) 使用済燃料プール浄化装置に係る申請範囲
- (5) 使用済燃料プール浄化装置に係る確認事項
- (6) 使用済燃料プール冷却系系統概略図（モバイル式処理装置運転中）
- (7) 2～4号機浄化ライン鋼管（ヘッダ部）について

以上

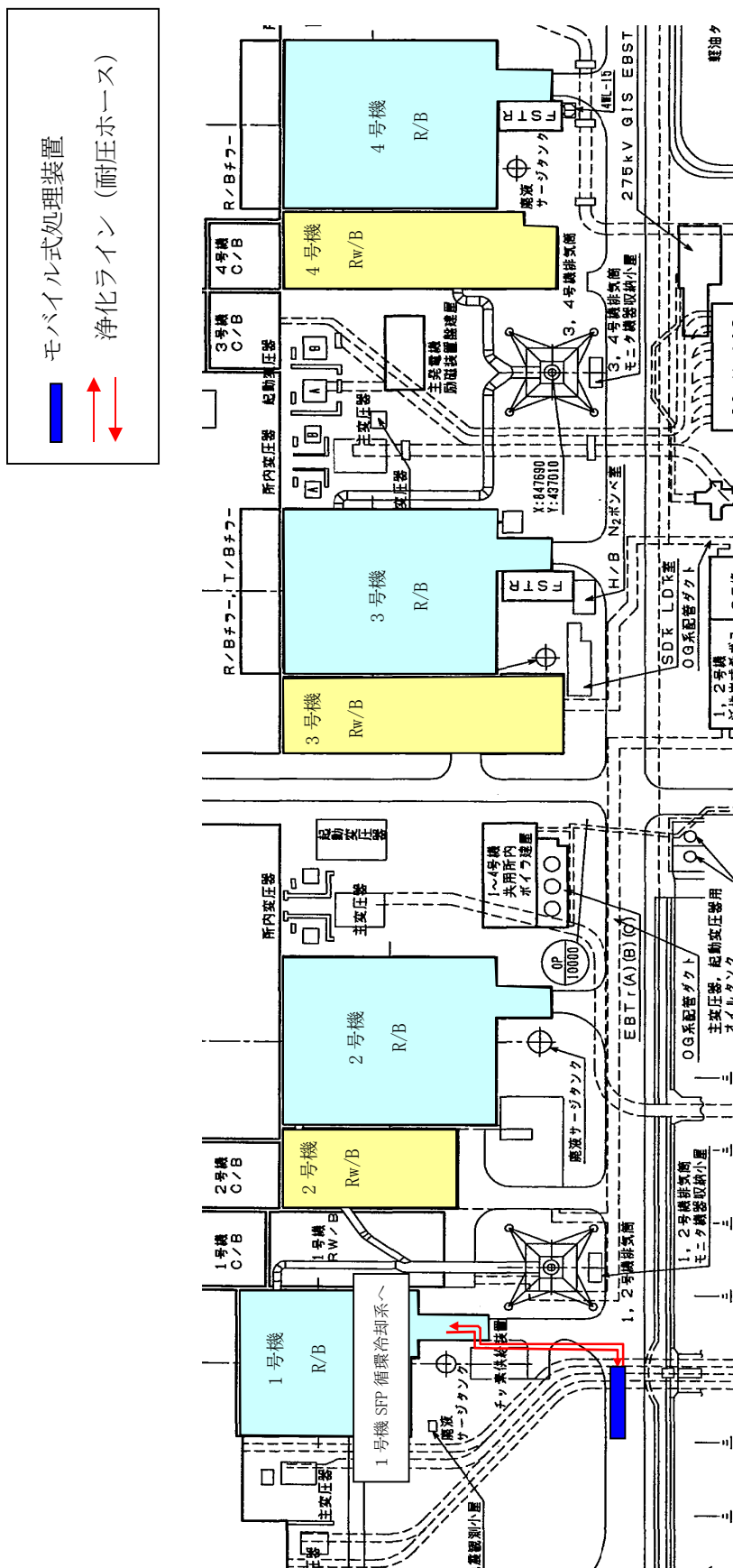


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 配置図

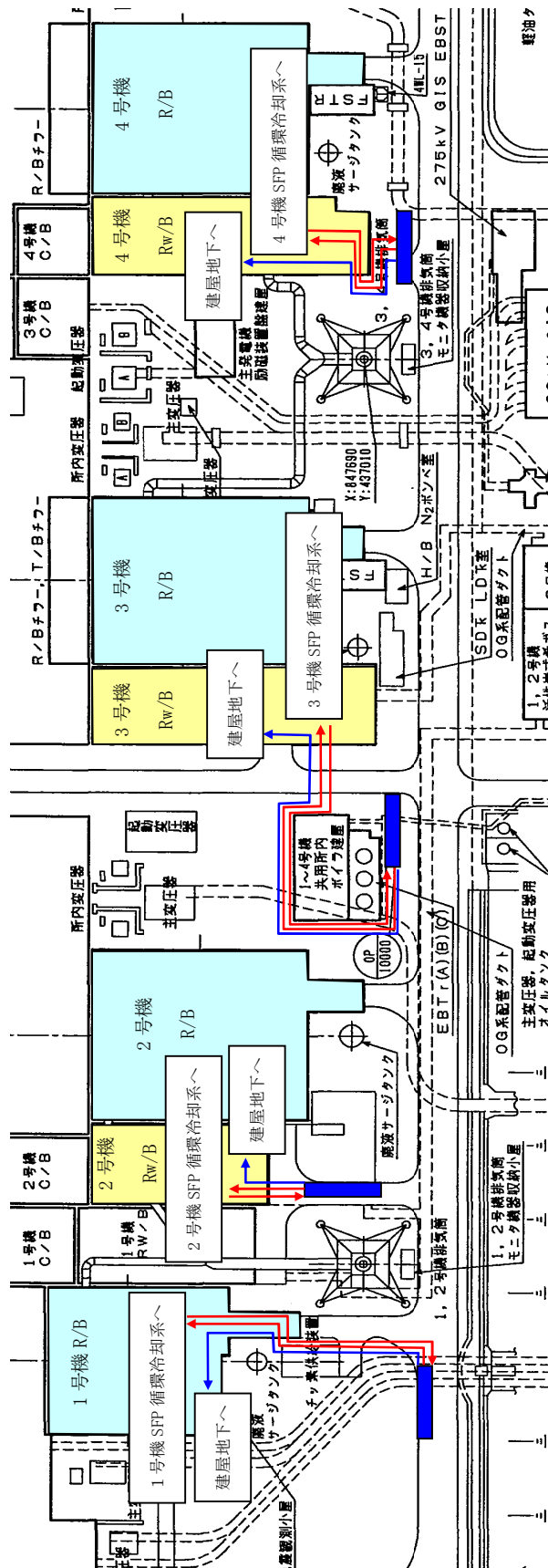
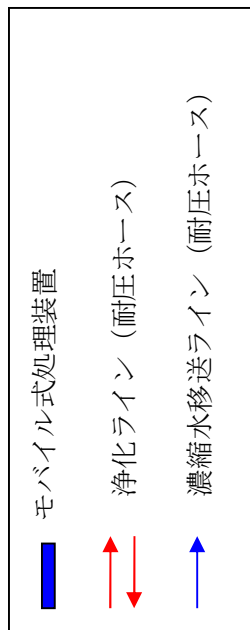


図2 モバイル式処理装置 (塩分除去装置) 配置図

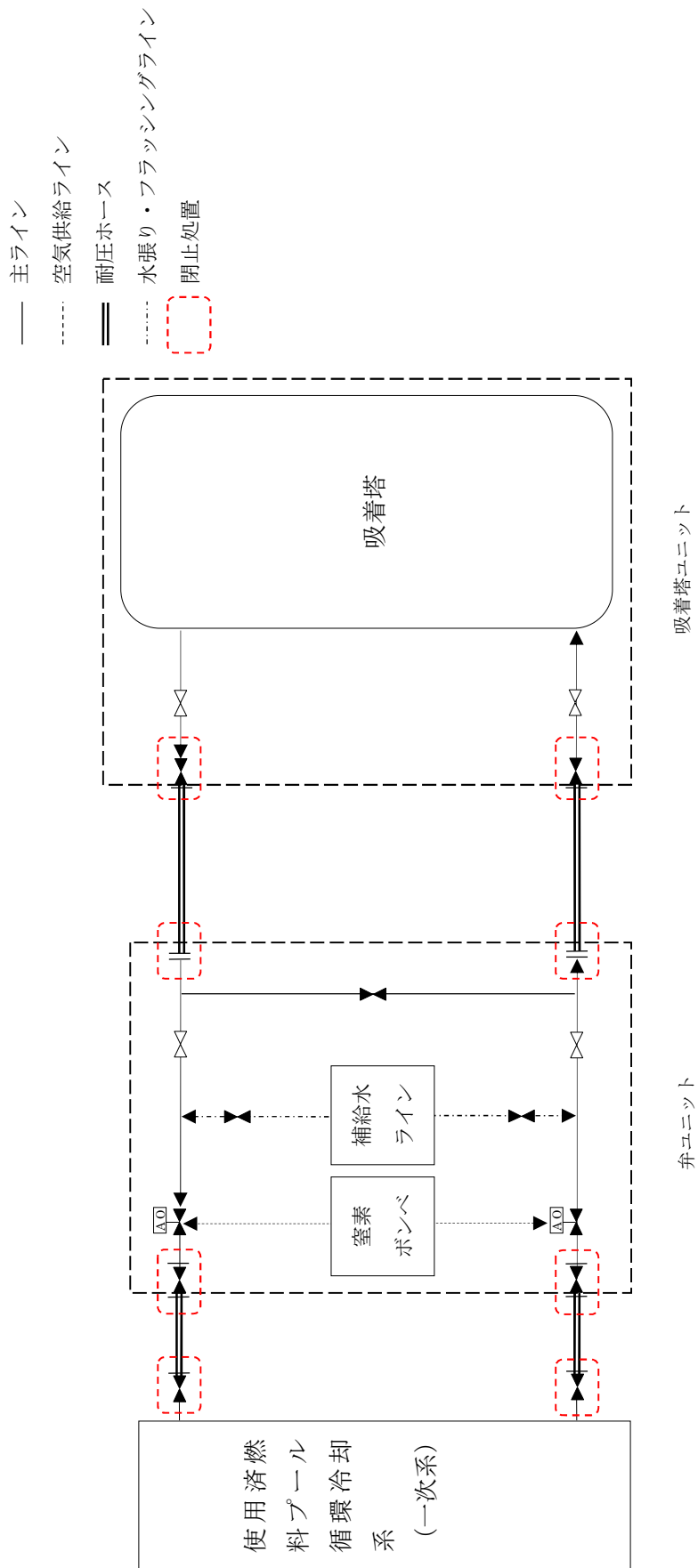


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 切り離し状態図

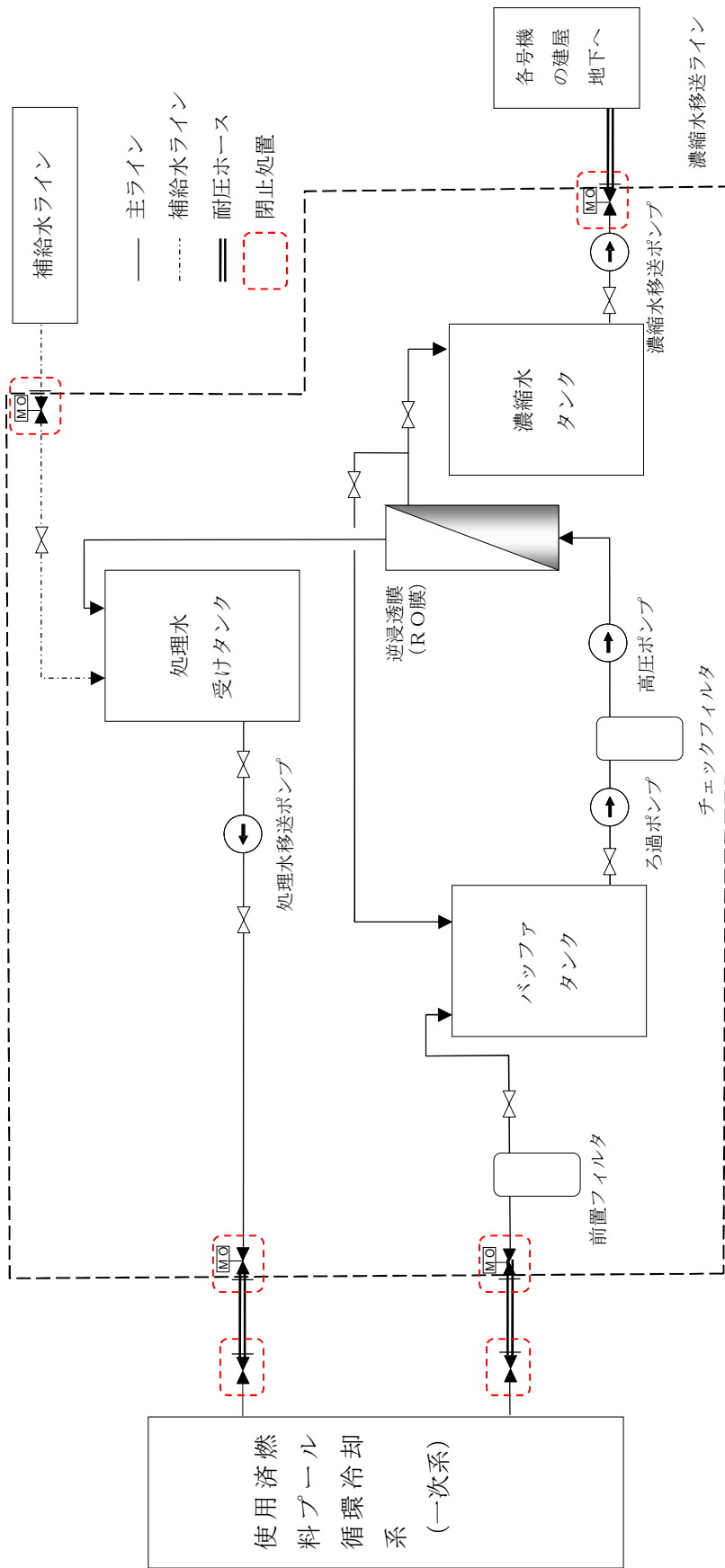


図2 モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置）切り離し状態図

— 主ライン
 - - - 空気供給ライン
 ≡ 耐圧ホース
 □ 閉止処置

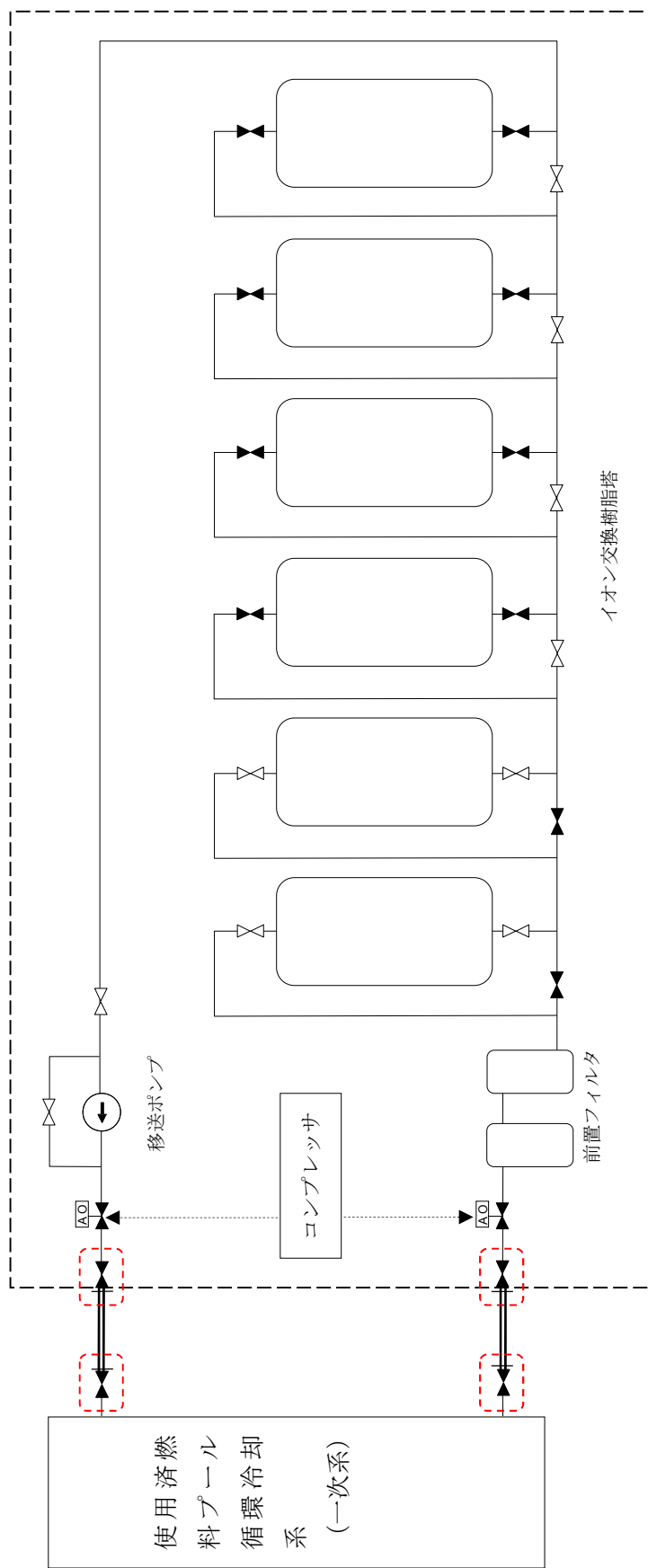


図3 モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置）切り離し状態図

廃棄物保管時の可燃性ガス発生量について

（1）放射能除去装置

吸着塔の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスを抑制し、また、ベント弁を開操作するため可燃性ガスが内部に滞留することはないが、ここでは、ベント弁を閉じた状態において、吸着塔内部における可燃性ガスの発生量を評価する。

【評価条件】

- ・放射能量 (Bq) : 1.3×10^{15} (吸着塔の最大吸着量)
- ・吸着塔内は満水状態と仮定 (実際は水抜き後に保管)
- ・吸着塔のベント弁は『閉』と仮定 (実際の保管時には開運用)
- ・放射線分解により水素濃度が平衡に達するときの水素濃度を評価
- ・評価式 (反応式) は以下の通り

$$\frac{dC_l}{dt} = \frac{GIP}{N} + \sum_{ij} k_{ij} C_i C_j$$

C_l : l成分の濃度
 G_l : l成分のG値
 P : 吸収線量率
 N : アボガドロ数
 K_{ij} : 成分iと成分jの反応速度定数
 C_i : i成分の濃度
 C_j : j成分の濃度

【評価結果】

容器内の水素濃度は評価上約 2% となり、可燃限界 (4Vol%) 以下であることを確認。

（2）塩分除去装置

塩分除去装置は、使用済燃料プール水中の塩化物イオンを除去することが目的の設備であり、廃棄物には多くの放射性物質は含まれていないこと、保管時は水抜きを実施することから、有意な可燃性ガスは発生しないが、ここでは、使用済燃料プール水中の放射性物質を全て捕捉したと仮定し、可燃性ガスの発生量を評価する。

【評価条件】

- ・Cs 濃度 (Bq/cc) : Cs-134 1.0×10^2 , Cs-137 1.0×10^2
- ・使用済燃料プール体積 (m³) : 1500
- ・Cs 全量を吸着する (実際には Cs を選択的に吸着処理するものではない)
- ・廃樹脂はドラム缶 60 本発生 (実績ベース)
- ・ドラム缶内は満水状態と仮定 (実際は水抜き後に保管)

- ・ 30 年保管中の崩壊エネルギーが全て水の放射能分解に寄与すると仮定し，水素発生量を評価。

【評価結果】

容器内の水素濃度は評価上約 0.2%となり，可燃限界（4V_o1%）以下であることを確認。

以上

使用済燃料プール浄化装置に係る申請範囲

今回（運総発官 26 第 242 号及び運総発官 26 第 796 号）の申請範囲は、福島第一原子力発電所第 1～4 号機の次の部分であります。

表－１ 申請範囲（１／２）

| 申請範囲 | 備考 |
|--|--|
| 2.3 使用済燃料プール設備 2.3.1 基本設計 2.3.1.5 主要な機器 (2) 使用済燃料プール冷却系 b. 使用済燃料プール循環冷却系 (v) 浄化装置 | ・1号機浄化ラインの新設による記載変更 ・モバイル式処理装置の設置実績反映 ^{注)} による記載変更 |
| 2.3.2 基本仕様 2.3.2.1 1号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 (11) モバイル式処理装置（放射能除去装置） ^{※1} (12) モバイル式処理装置（放射能除去装置）吸着塔 ^{※1} | 設置実績反映（2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」参照） 設置実績反映（2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」参照） |
| (13) モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置）） ^{※2} (14) モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置）） ^{※2} | 設置実績反映 |
| 表 2.3-1 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、フレキシブルチューブ、耐圧ホース） | 新設（一部は設置実績反映） |
| 表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から1号機原子炉建屋地下排水口まで（耐圧ホース） | 新設 |
| 表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（放射能除去装置）内配管 | 設置実績反映 |
| 表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））内配管 ^{※2} | 設置実績反映 |
| 表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置））内配管 ^{※2} | 設置実績反映 |
| 2.3.2.2 2号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-2 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース） | 設置実績反映 |
| 表 2.3-2 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から2号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース） | 新設 |
| 2.3.2.3 3号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-3 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース） | 設置実績反映 |
| 表 2.3-3 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から3号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース） | 設置実績反映 |

注)“設置実績反映”とは、今回の申請以前に福島第一原子力発電所に設置し使用実績がある設備について、記載の適正化の観点から実施計画へ反映したものを。

※1 2.3 使用済燃料プール設備と 2.5 汚染水処理設備等にて共用

※2 1～4 号機共通

表-1 申請範囲 (2/2)

| 申請範囲 | 備考 |
|---|--|
| 2.3.2.4 4号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-4 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース） | 設置実績反映 |
| 表 2.3-4 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース） | 設置実績反映 |
| 2.5 汚染水処理設備等 2.5.1 基本設計 2.5.1.5 主要な機器 2.5.1.5.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等） (10) モバイル式処理装置 | (既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記) |
| 2.5.2 基本仕様 2.5.2.1 主要仕様 2.5.2.1.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等） (55) モバイル式処理装置 ^{※2} (56) モバイル式処理装置 吸着塔 ^{※2} | (既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記) |

注) “設置実績反映”とは、今回の申請以前に福島第一原子力発電所に設置し使用実績がある設備について、記載の適正化の観点から実施計画へ反映したもの。

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

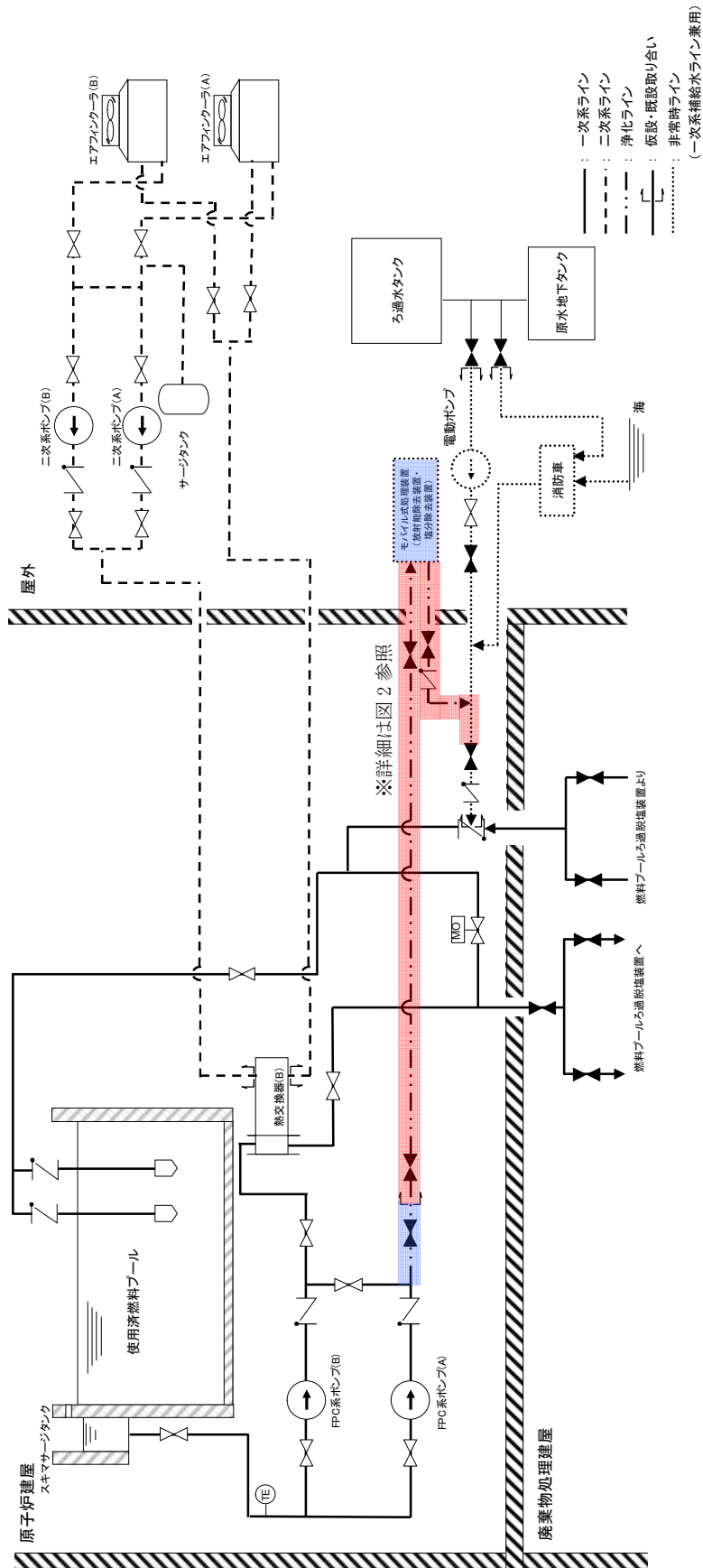


図1 申請範囲 (1号機使用済燃料プール冷却系)

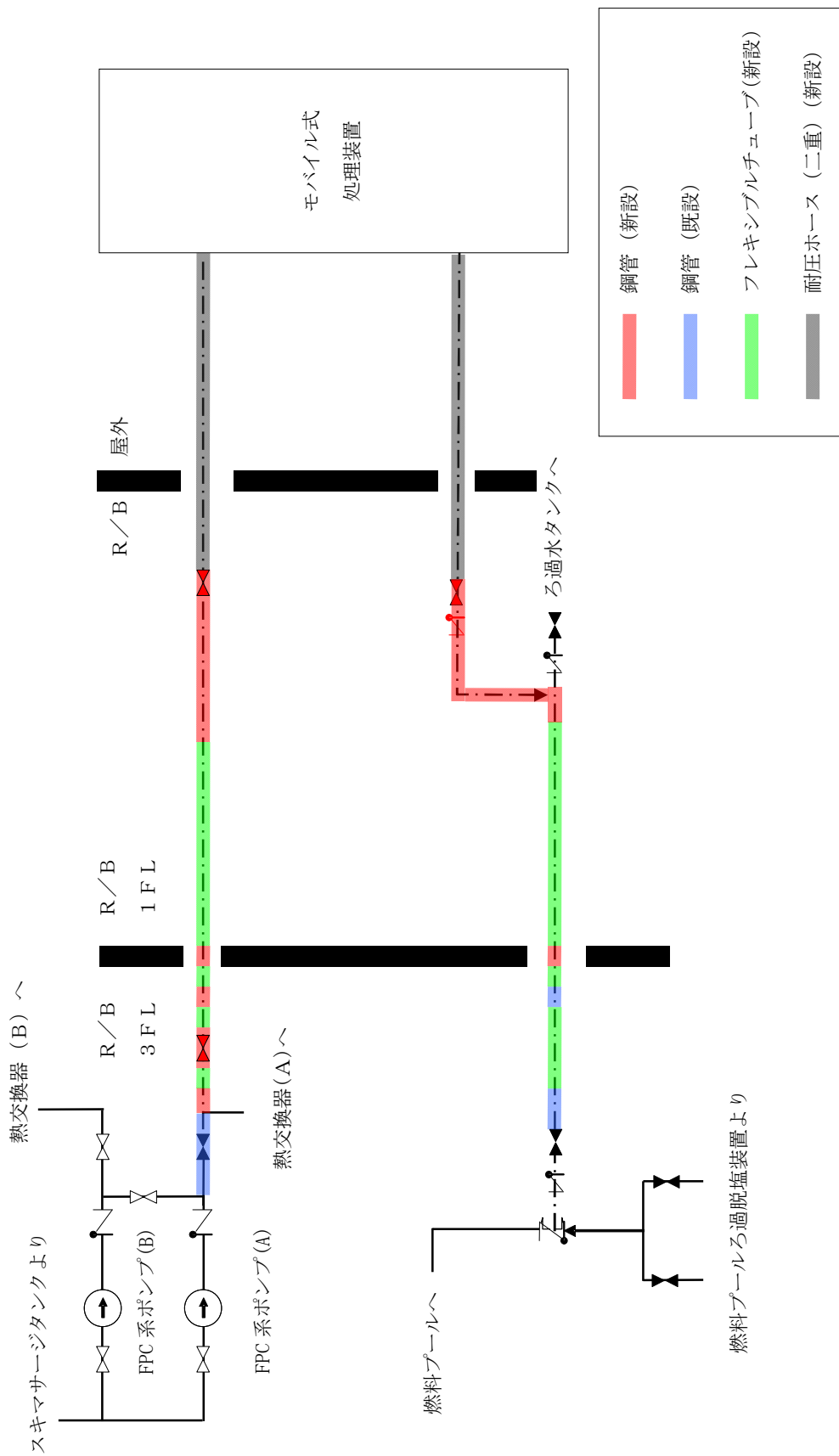


図2 申請範囲 (1号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

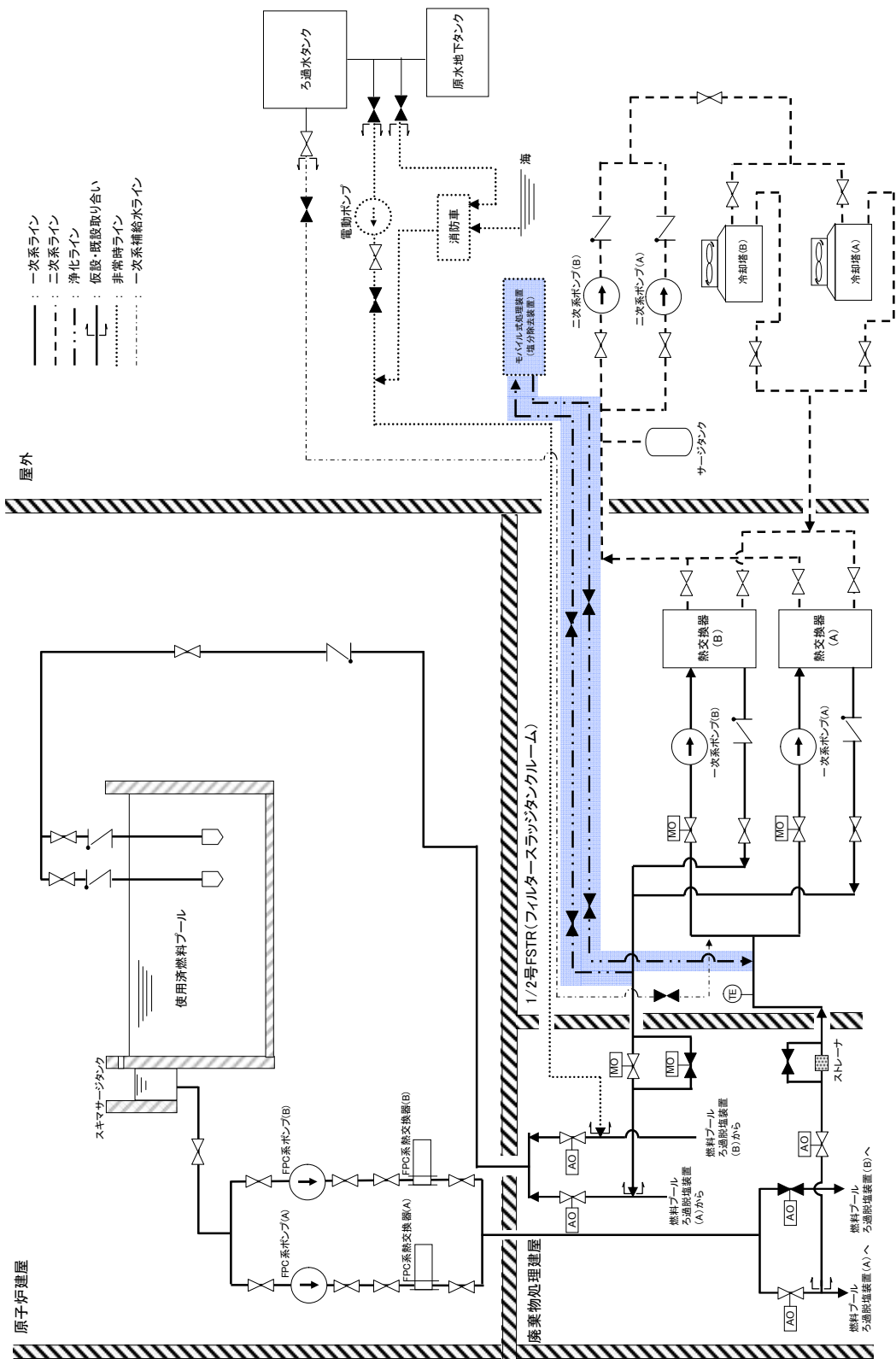


図3 申請範囲(2号機使用済燃料プール冷却系)

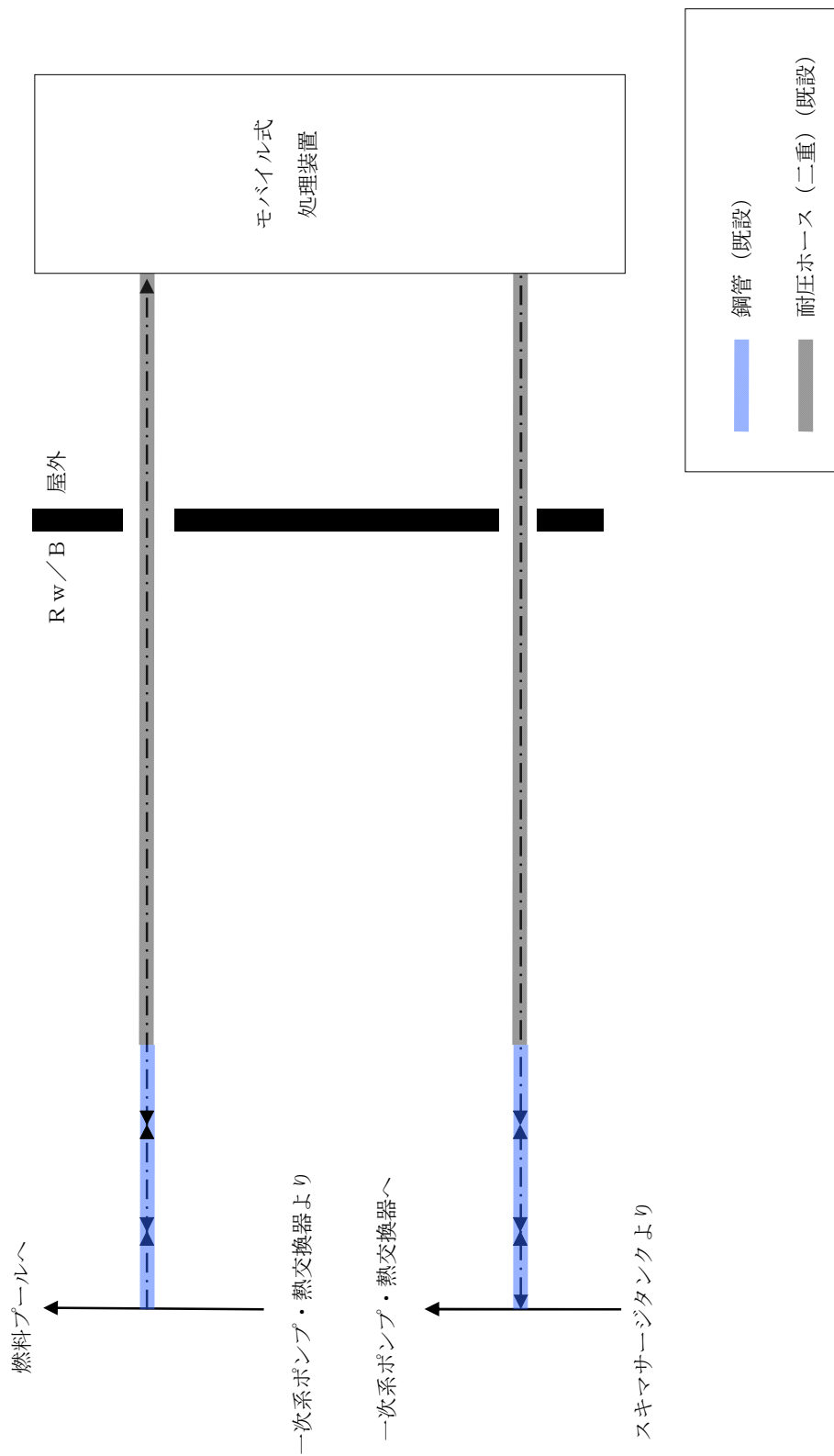


図 4 申請範囲 (2号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

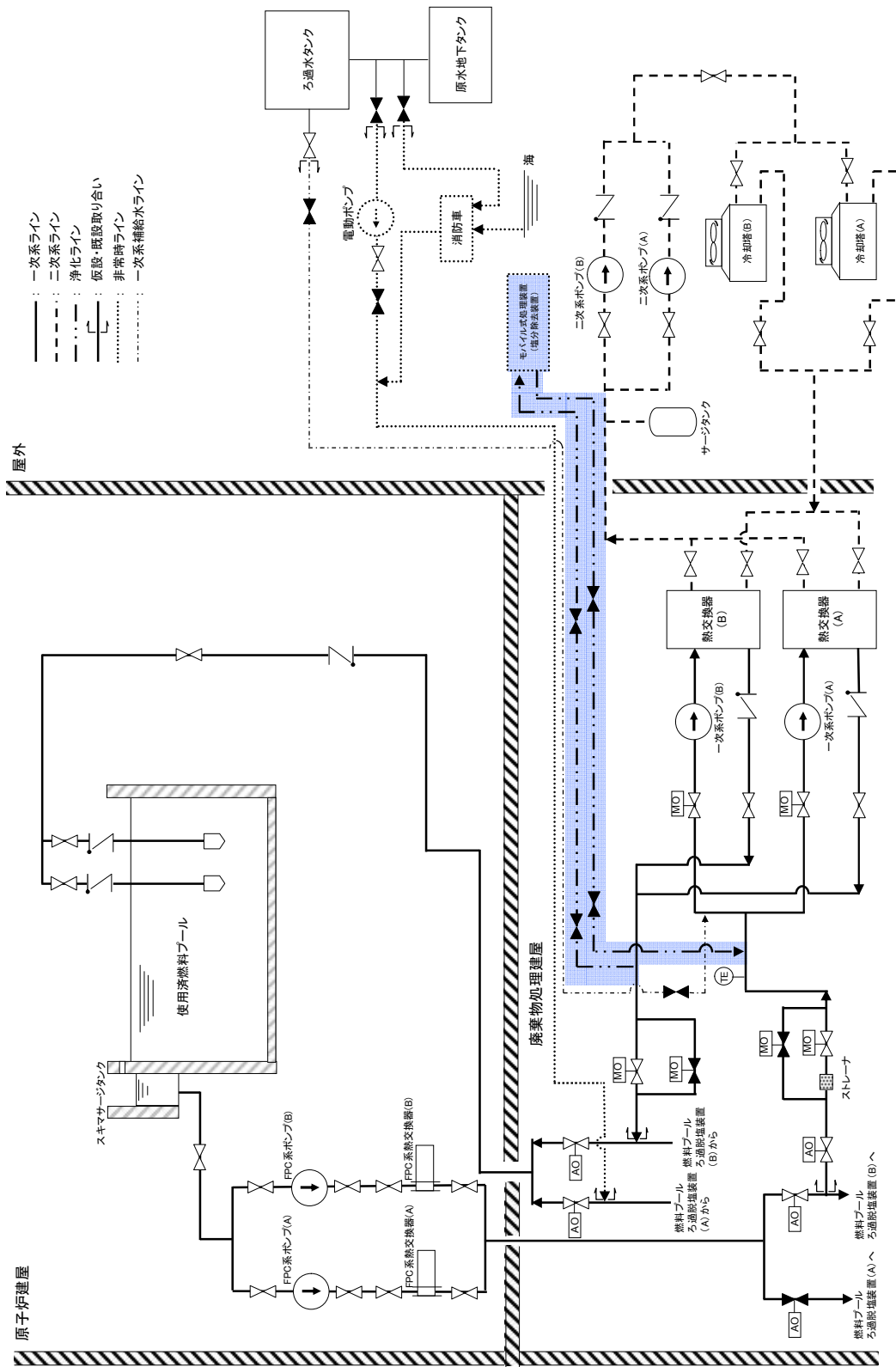


図5 申請範囲 (3号機使用済燃料プール冷却系)

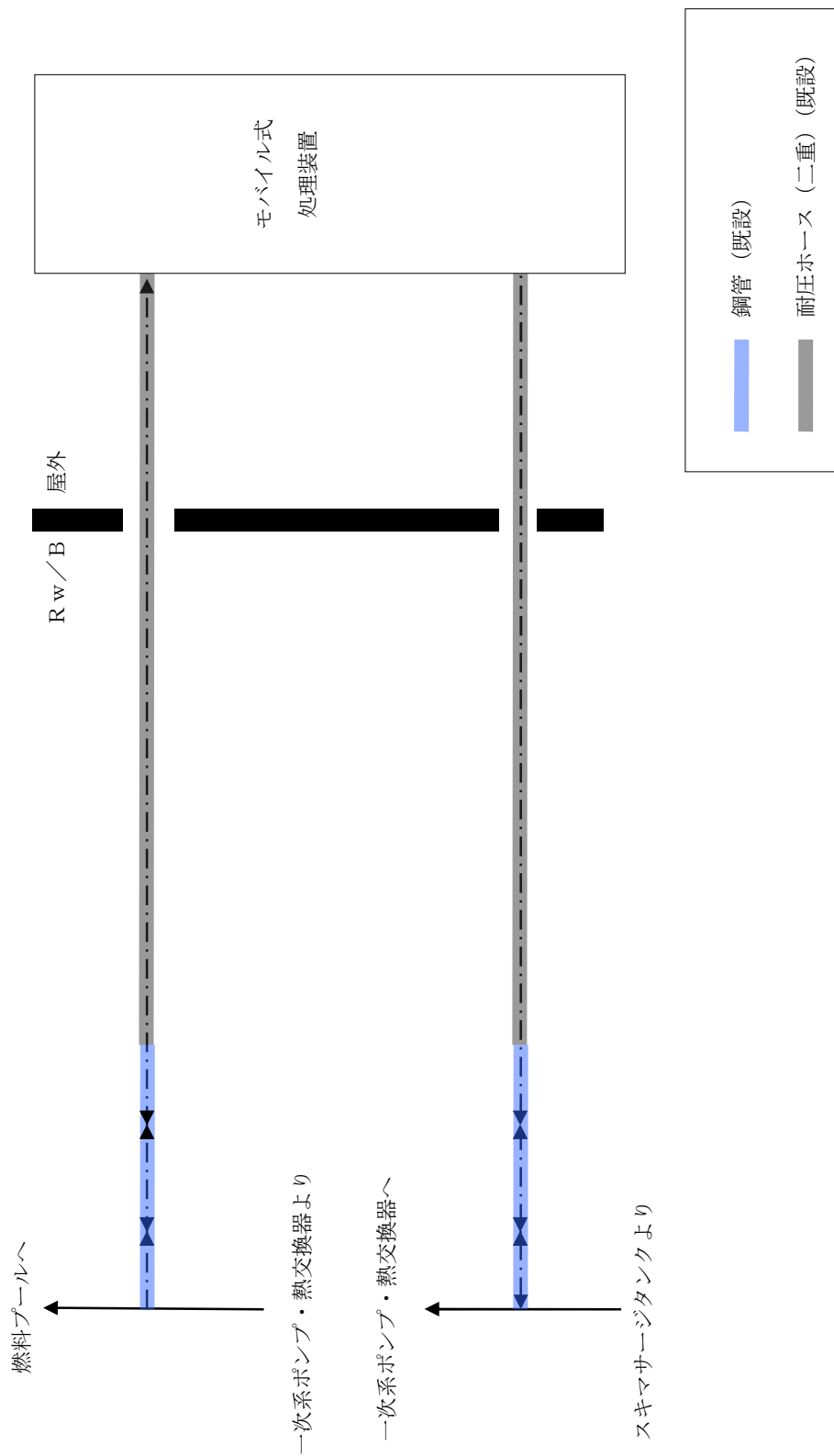


図6 申請範囲 (3号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

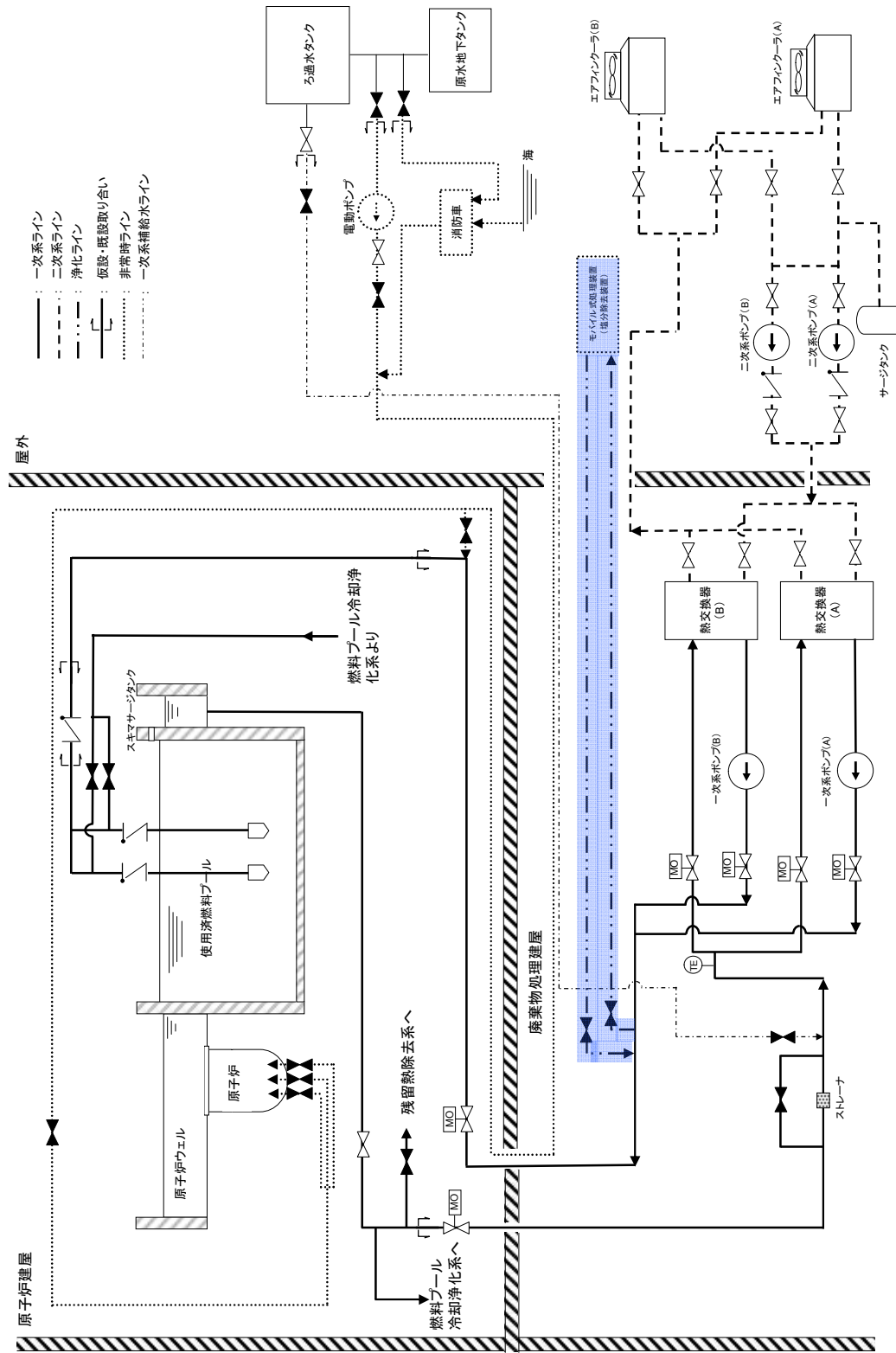


図7 申請範囲 (4号機使用済燃料プール冷却系)

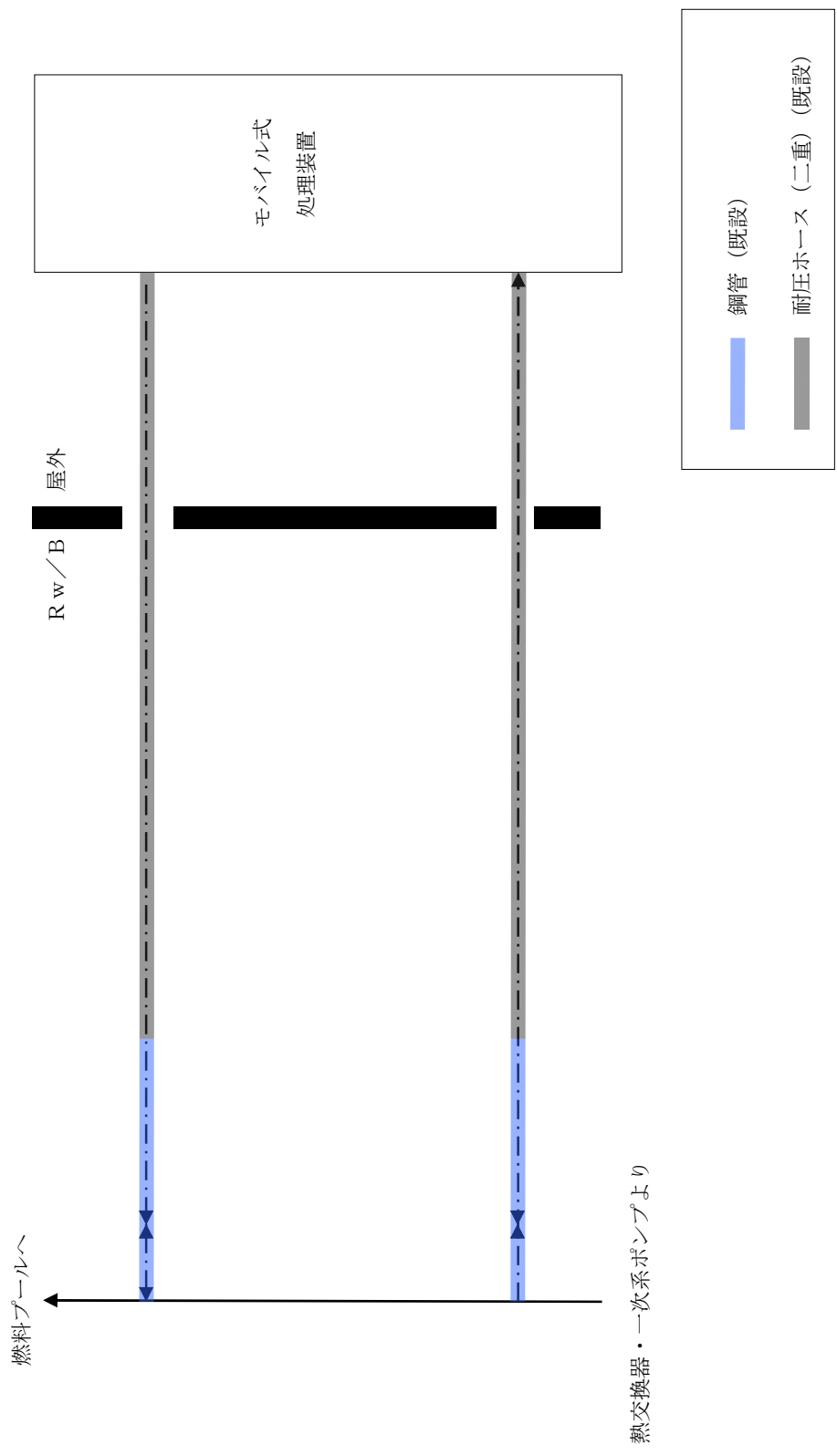


図8 申請範囲 (4号機浄化ライン詳細)

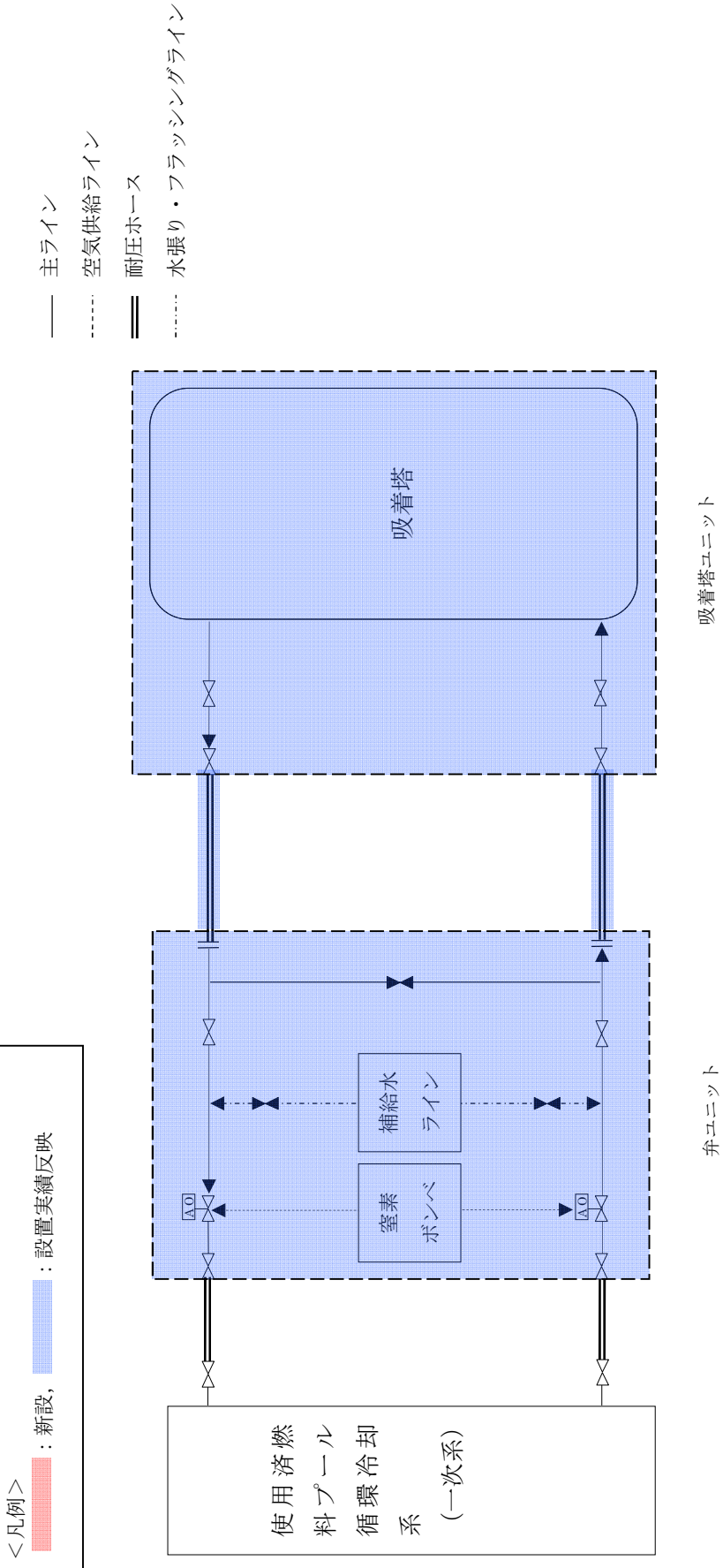




図9 申請範囲 (モバイル式処理装置 (放射能除去装置))

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

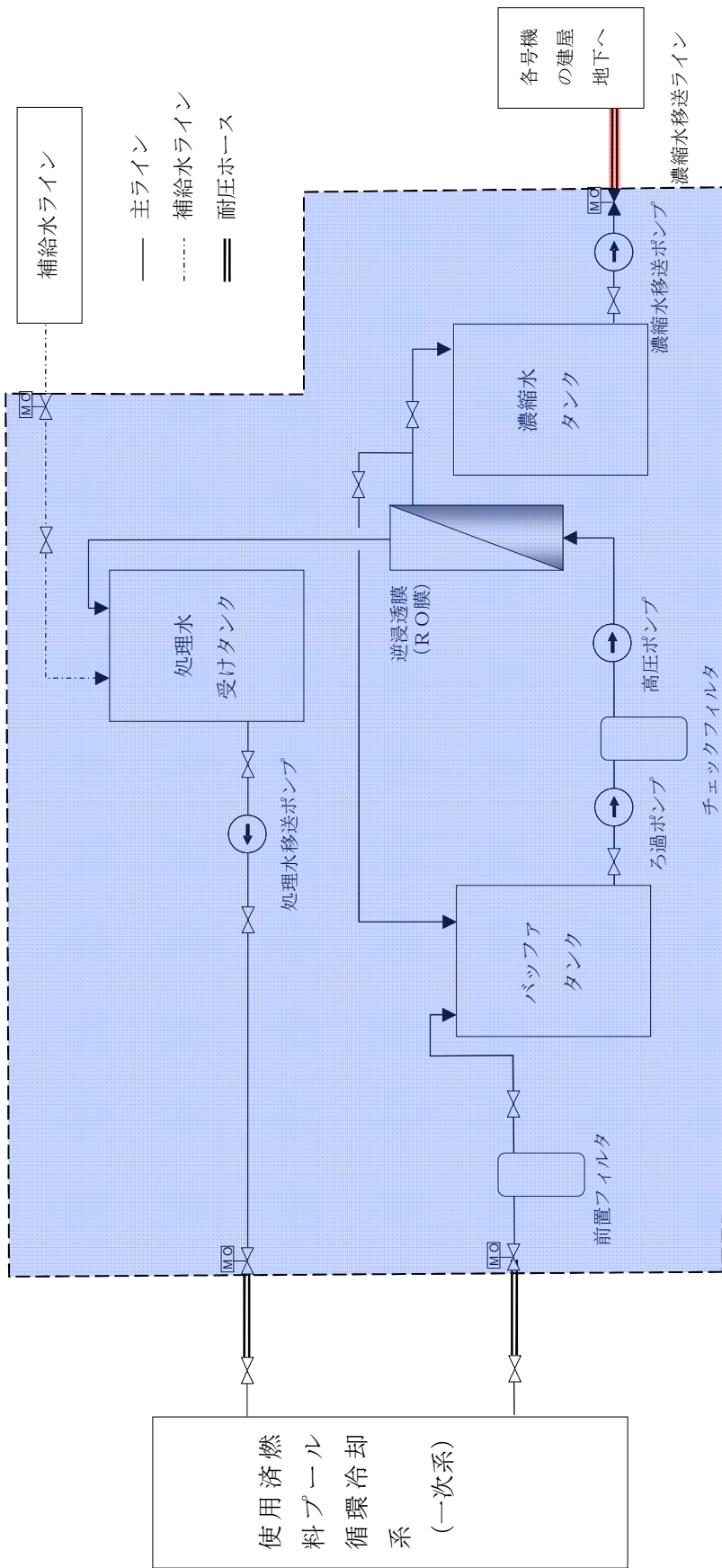


図 10 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩除去装置 (RO 膜装置))) ※ 1, 2号接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

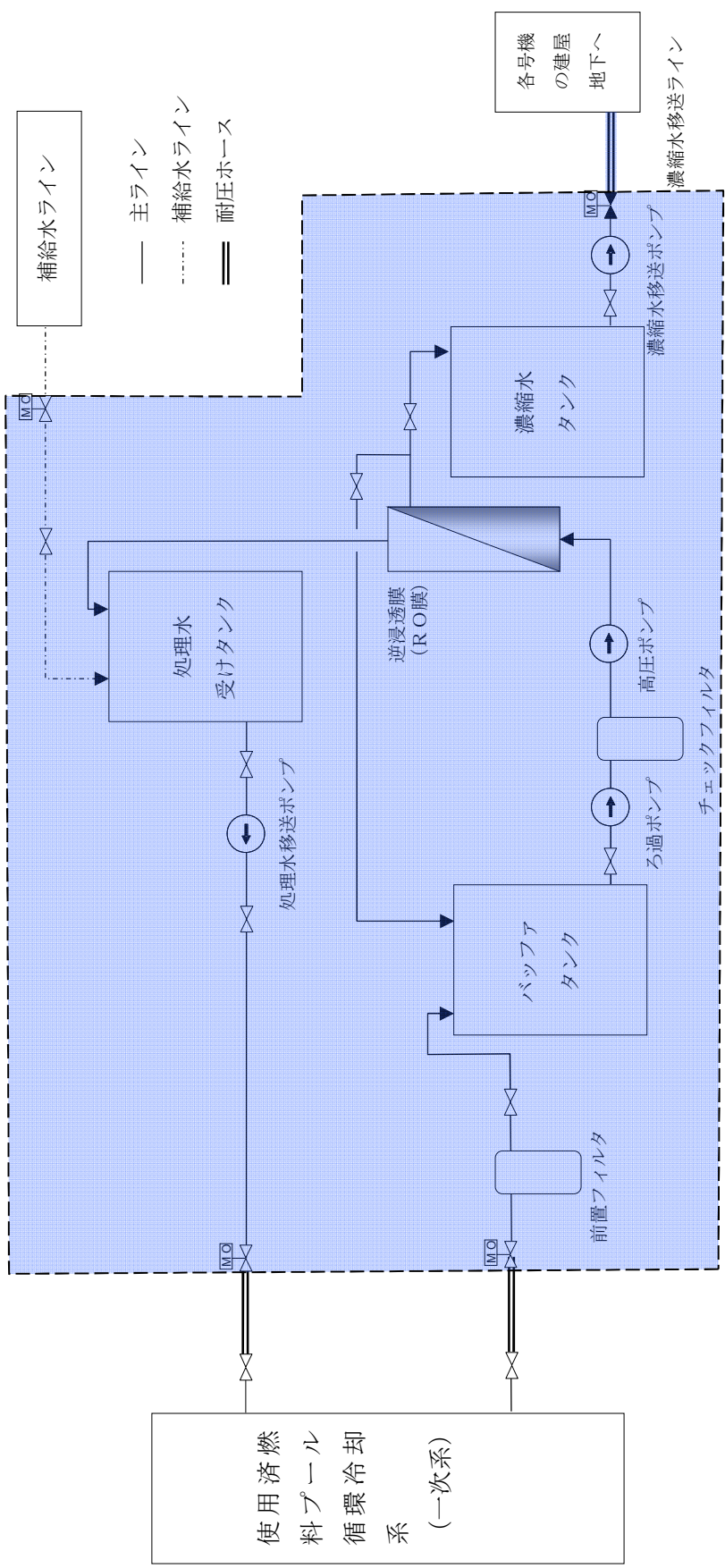


図 11 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置))) ※ 3, 4 号機接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

— 主ライン
 - - - 空気供給ライン
 = 耐圧ホース

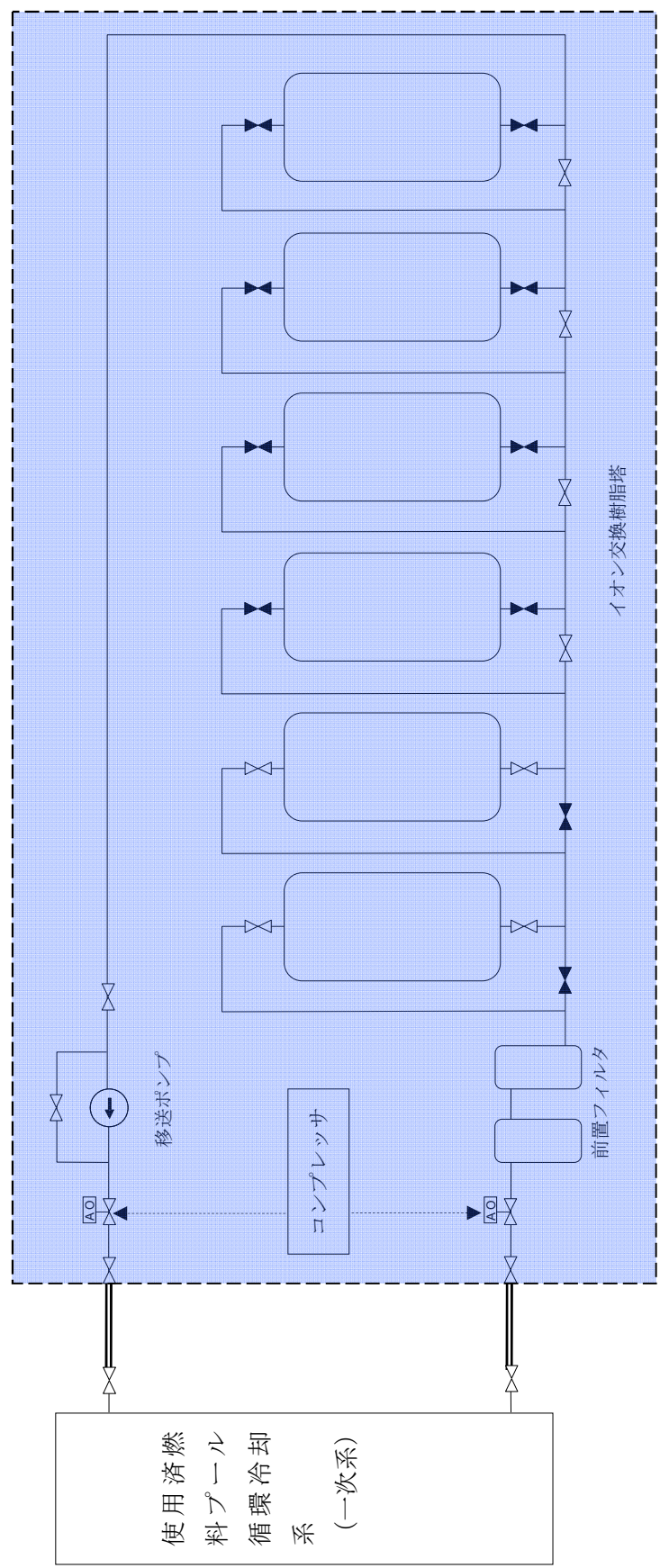


図 12 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)))

使用済燃料プール浄化装置に係る確認事項

使用済燃料プール浄化装置の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－１に示す。
使用済燃料プール浄化装置で扱う液体の放射能濃度は 37kBq/cm³ 以下である。

表－１ 確認事項（１号機浄化ライン※）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 | |
|--------------|--|-------------------------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料を記録にて確認する。 | 実施計画のとおりであること。 | |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。 | 実施計画のとおりであること。 | |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 | |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 | |
| | 耐圧・漏えい確認 | | <鋼管> 溶接部における浸透探傷検査記録を確認する。 | 「発電用原子力設備規格 溶接規格(2007年版)」(JSME S NB1-2007)による。 |
| | | | <フレキシブルチューブ> 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録にて確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| | | | <耐圧ホース> 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録にて確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| 通水確認 | 通常運転状態にて通水し、流路が確保されていること及び各部より漏えいのないことを確認する。 | 流路が確保されていること及び漏えいのないこと。 | | |

※ 一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで。ただし、既に使用実績のある部位を除く。

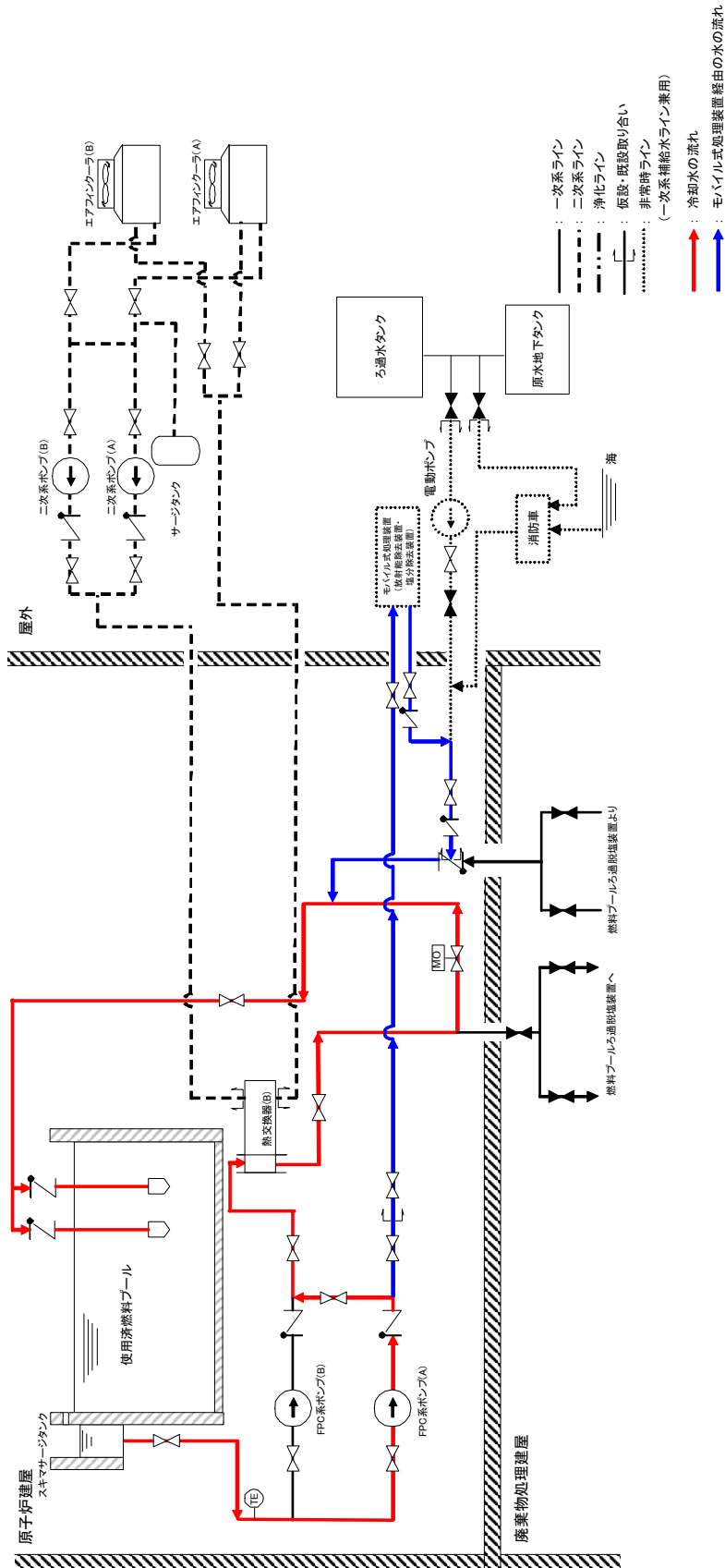
表－２ 確認事項（モバイル式処理装置（放射能除去装置））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|-------|---------------|--|-----------------------------------|
| 機能・性能 | 漏えい検知器漏えい警報確認 | 吸着塔ユニット及び弁ユニットの堰内に設置された漏えい検知器が信号を発信したときの警報を確認する。 | 漏えい検知器が作動し、監視盤（免震重要棟）にて警報が発信すること。 |

表－３ 確認事項（１，２号機濃縮水移送ライン）

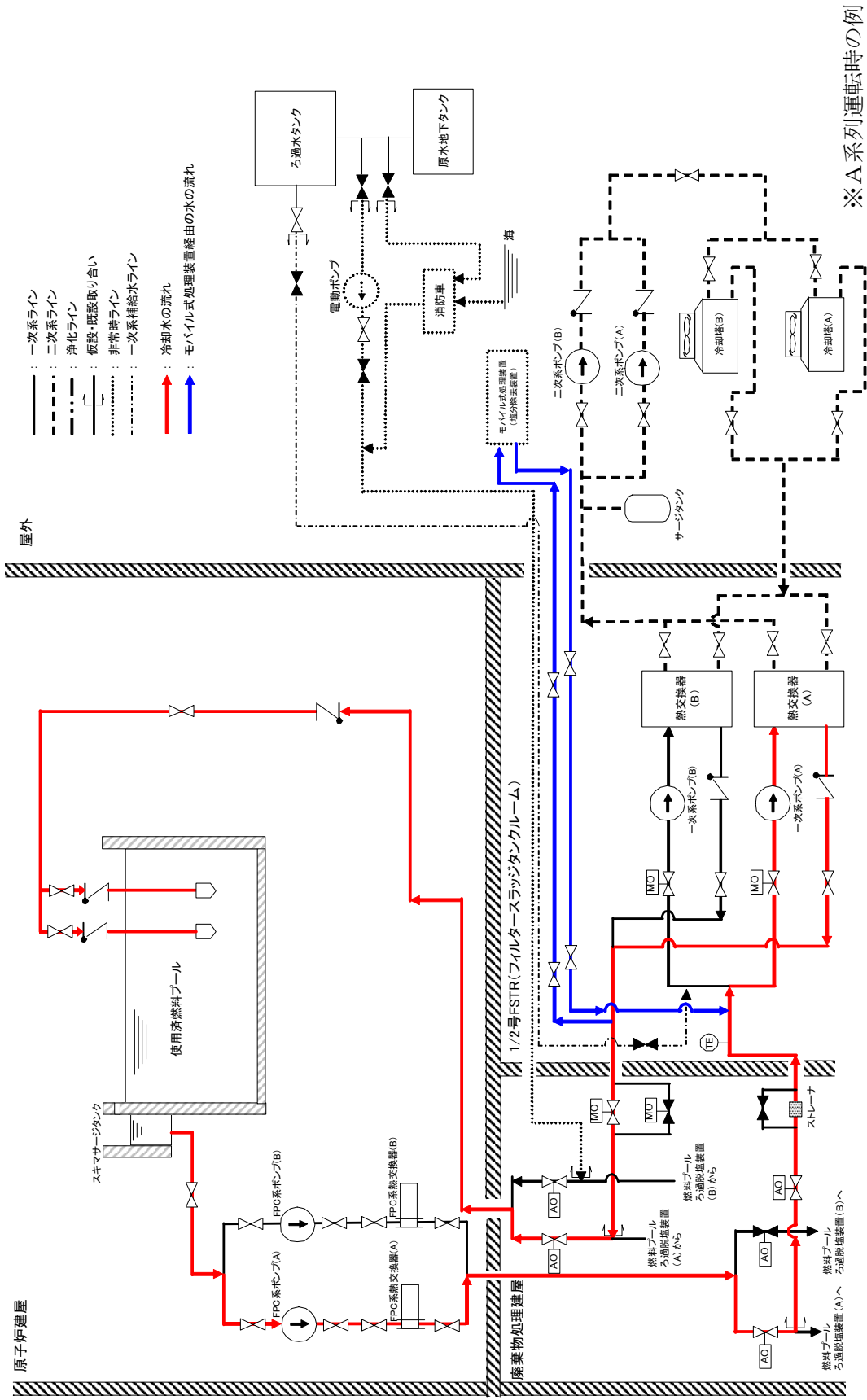
| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|----------|----------|---|---|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料を記録にて確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| | 通水確認 | 通常運転状態にて通水し、流路が確保されていること及び各部より漏えいのないことを確認する。 | 流路が確保されていること及び漏えいのないこと。 |

以上



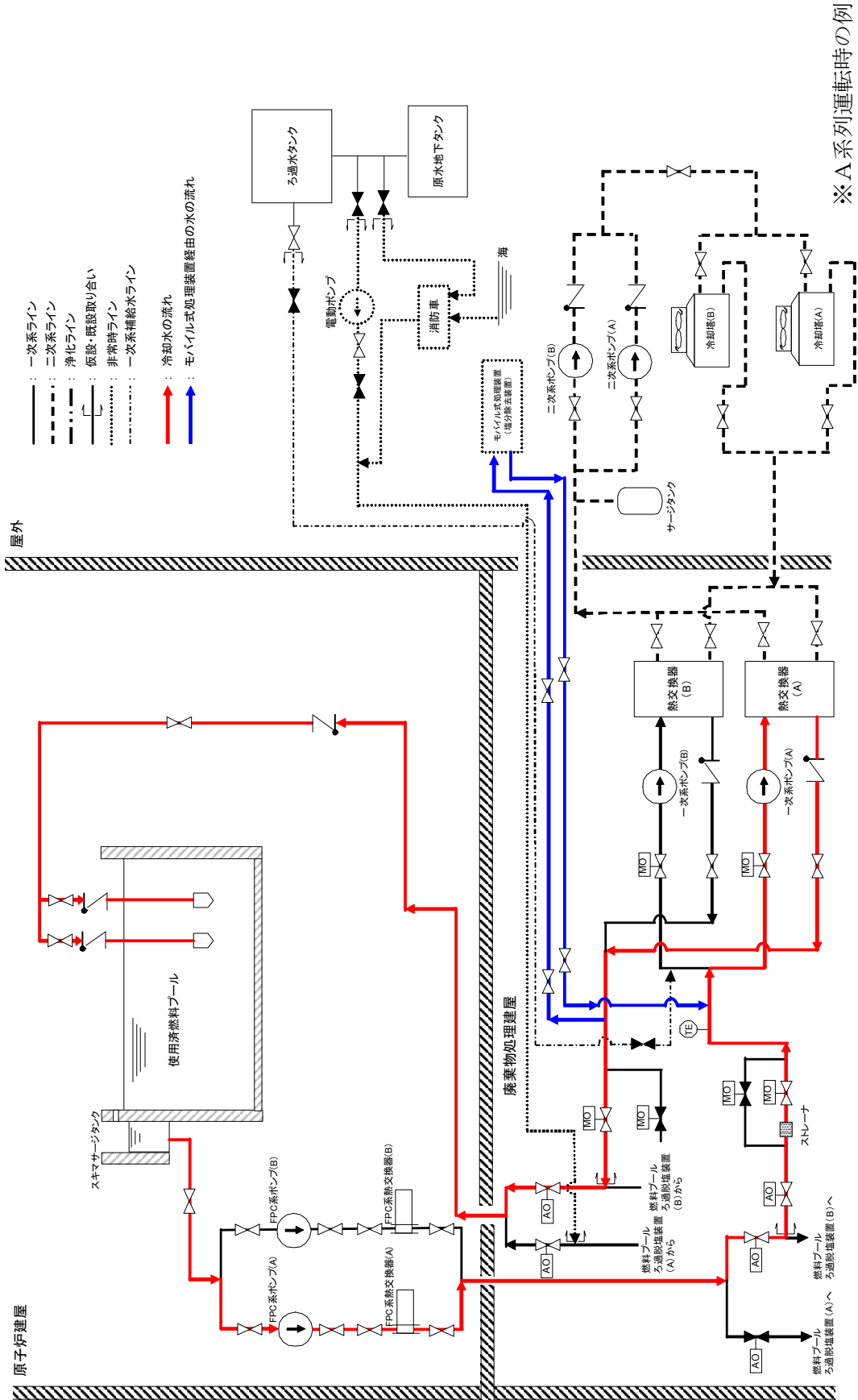
※A系列運転時の例
 (一次系熱交換器はB系列)

図1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



※A系列運転時の例

図 2 2号機使用済燃料プール冷却系系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



※A系列運転時の例

図 3 3 号機使用済燃料プール冷却システム図 (モバイル式処理装置運転中)

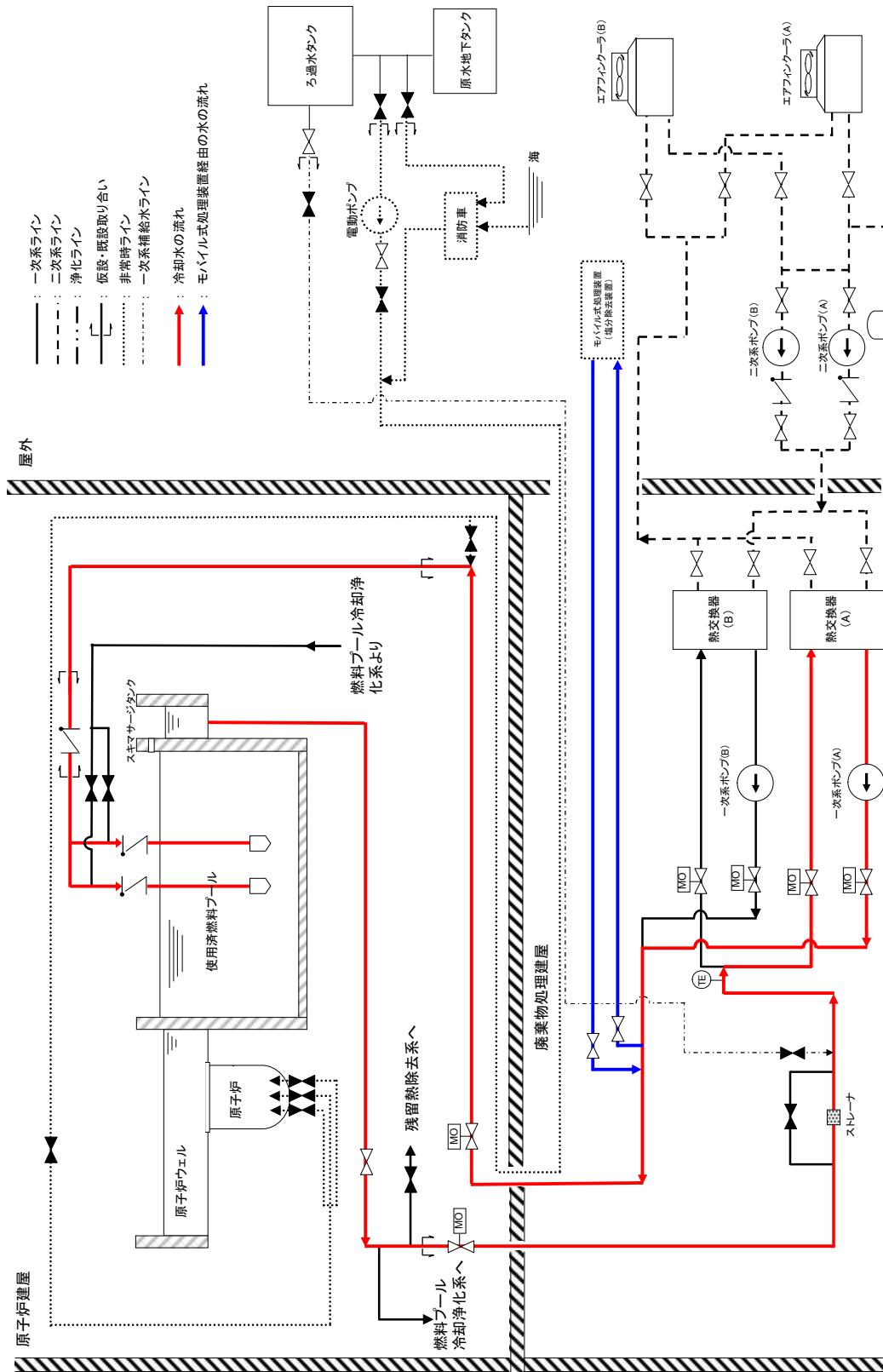


図 4 4号機使用済燃料プール冷却系統概略図 (モバイル式処理装置運転中) ※A系列運転時の例

2～4号機浄化ライン鋼管（ヘッド部）について

1. はじめに

2～4号機浄化ラインの鋼管は、一次系からの分岐の短い部分に使用されており、その前後はフレキシビリティを有した耐圧ホースと接続されていることから、地震による有意な応力は発生しないと考えられる（図1～3参照）。

ここでは、簡易的な手法を用いて、当該部における地震による応力を試算した。

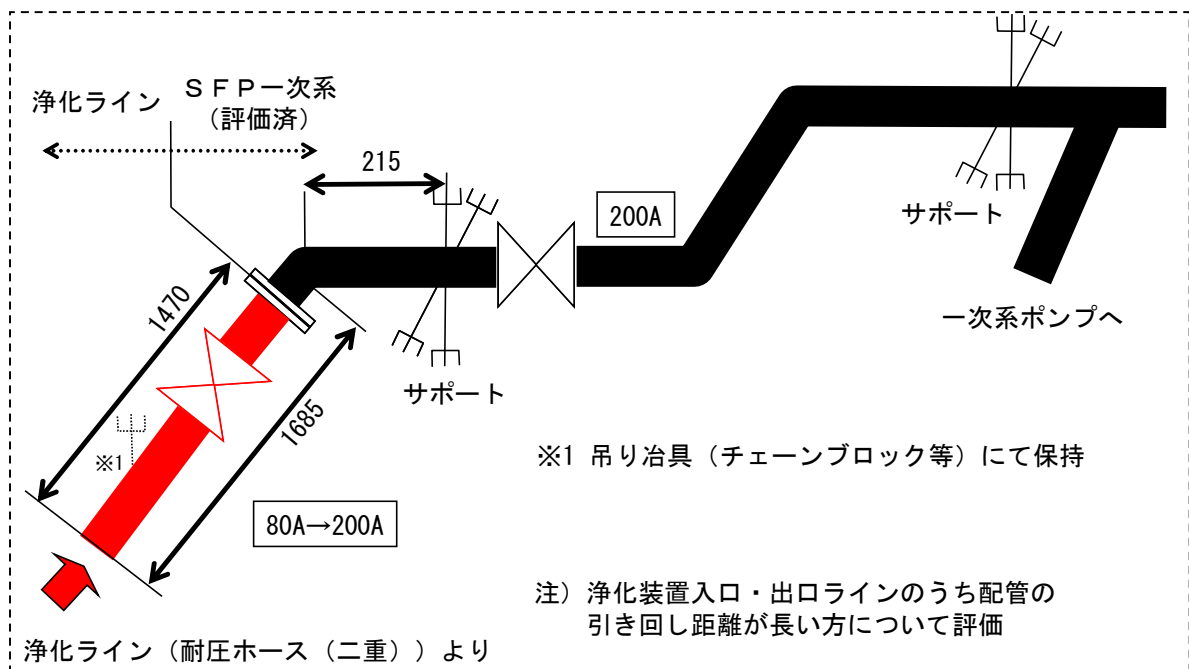


図-1 浄化ラインヘッド部概要図（2号機）

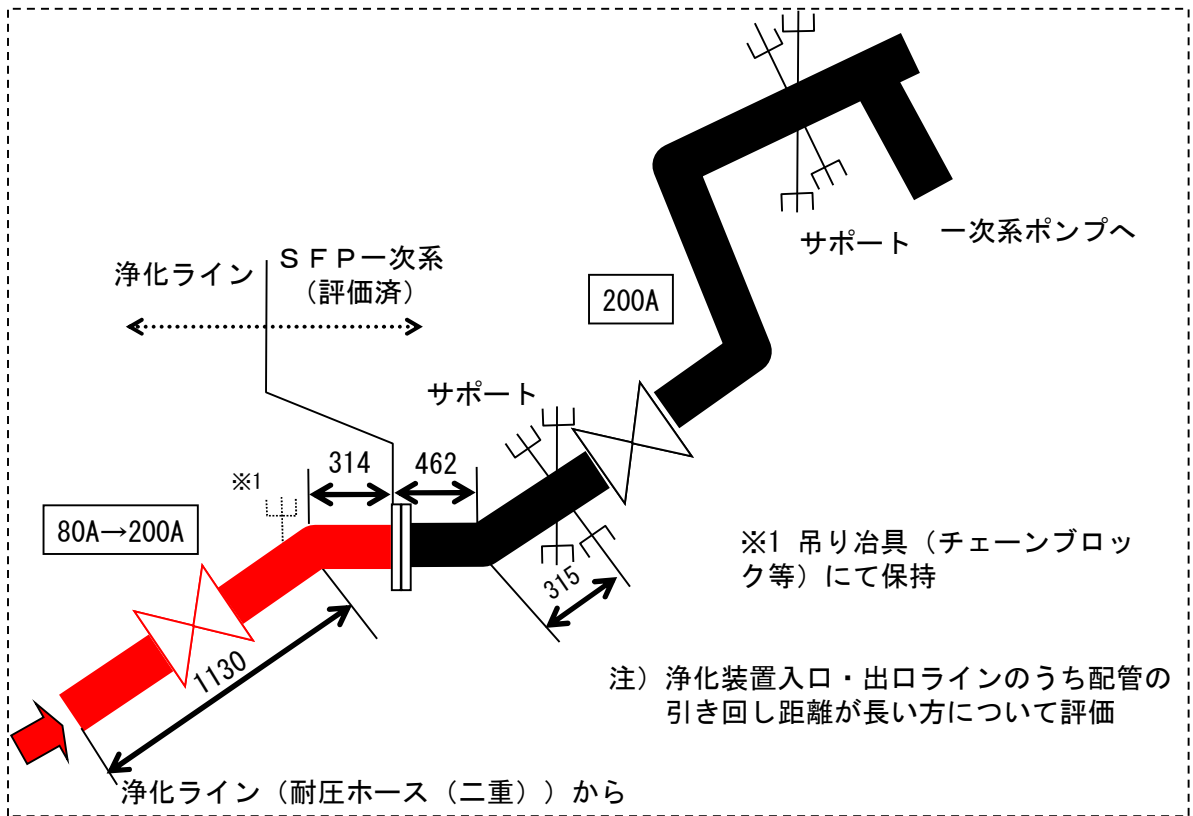


図-2 浄化ラインヘッド部概要図 (3号機)

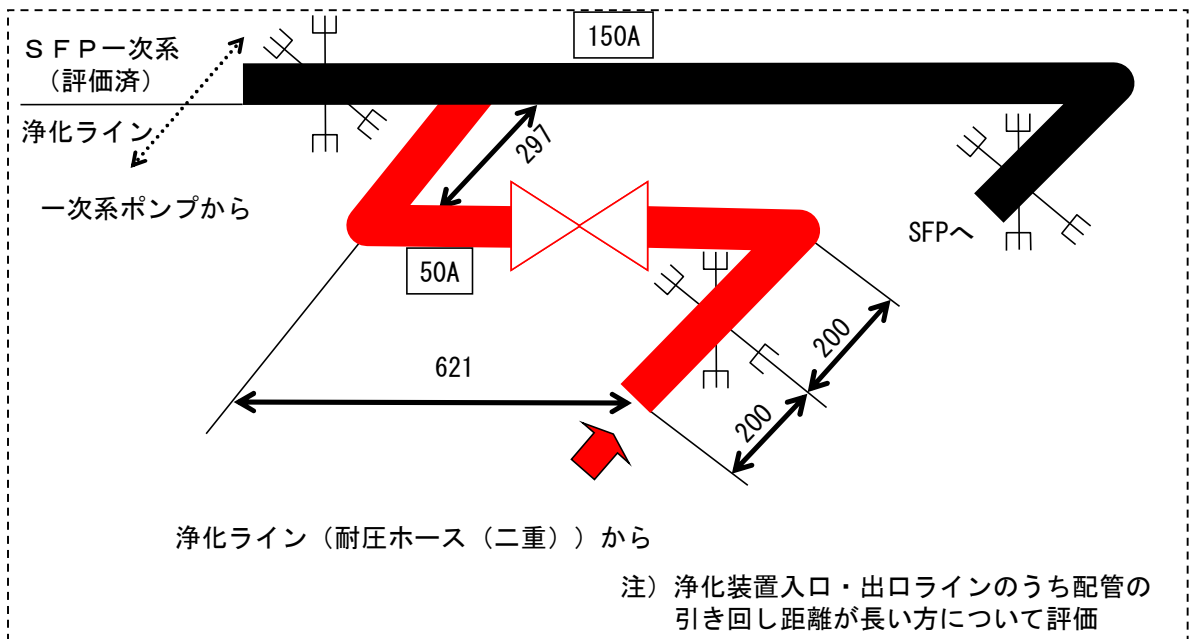


図-3 浄化ラインヘッド部概要図 (4号機)

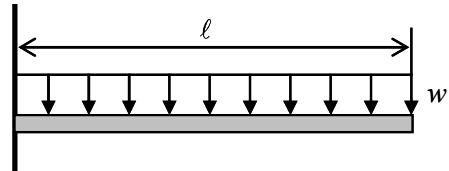
2. 試算結果

(1) 2号機

ヘッド部を、等分布荷重を受ける片持ち梁とみなし、応力を算出する。
等分布荷重を受ける片持ち梁の応力は下記の式で求められる。

$$\sigma = \frac{w\ell^2}{2Z}$$

σ : 応力 (MPa)
 w : 等分布荷重 (N/mm)
 ℓ : 長さ (mm)
 Z : 断面係数 (mm³)



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

$$\sigma = \frac{0.41 \times 1900^2}{2 \times 2.7 \times 10^5} = 2.77 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.41 N/mm (STPG370) ※全て200A (Sch.40) とした。
 ℓ : 1900mm ※チェーンブロックによる支持は考慮しない。
 Z : 2.7×10^5 mm³ (外径 : 216.3mm, 内径 : 199.9mm)

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$2.77 \times (1 + 0.36) = 3.77 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

(2) 3号機

2号機と同様に評価すると、自重による応力は、

$$\sigma = \frac{0.41 \times 2221^2}{2 \times 2.7 \times 10^5} = 3.79 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.41 N/mm (STPG370) ※全て200A (Sch.40) とした。
 ℓ : 2221mm ※チェーンブロックによる支持は考慮しない。
 Z : 2.7×10^5 mm³ (外径 : 216.3mm, 内径 : 199.9mm)

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$3.79 \times (1 + 0.36) = 5.15 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

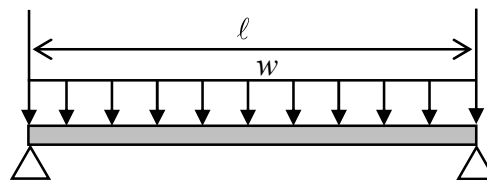
(3) 4号機

ヘッダ部を、等分布荷重を受ける両端支持梁とみなし、応力を算出する。

等分布荷重を受ける両端支持梁の応力は下記の式で求められる。

$$\sigma = \frac{wl^2}{8Z}$$

σ : 応力 (MPa)
 w : 等分布荷重 (N/mm)
 l : 長さ (mm)
 Z : 断面係数 (mm³)



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

$$\sigma = \frac{0.073 \times 1118^2}{8 \times 1.2 \times 10^4} = 0.96 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.073 N/mm (STPT370) ※50A (Sch.80)
 l : 1118mm
 Z : 1.2×10^4 mm³ (外径 : 60.5mm, 内径 : 49.5mm)

耐震 B クラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$0.96 \times (1 + 0.36) = 1.30 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

以上

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系設備の共用化について

1. はじめに

1～3号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を安定的に除去することが可能な1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備（以下、「二次系共用設備」という。）を配備する。

2. 基本方針

2.1 設置の目的

1～3号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水の冷却を行う。

2.2 設計方針

(1) 冷却機能

1～3号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水を冷却できる設計とする。

(2) 構造強度

二次系共用設備は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(3) 多重性・多様性

二次系共用設備のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも冷却機能を確保できる設計とする。

(4) 誤操作の防止に対する考慮

二次系共用設備には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(5) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

2.3 設備概要

二次系共用設備は、二次系ポンプ、エアフィンクーラ、サージタンクで構成され、配管は主に鋼管、ポリエチレン管を用いる。

2.4 自然災害対策等

2.4.1 津波

二次系共用設備については、仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。またアウターライズを上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合に備え、消防車等を配備し使用済燃料プールの冷却を再開できるようにする。

2.4.2 火災

火災の発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また初期消火の対応ができるよう、現場制御盤近傍に消火器を設置し、火災発生は巡視点検、運転パラメータ監視、監視カメラにより確認する。なお、二次系共用設備周辺からは可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼はし難い。

2.4.3 豪雨

二次系共用設備のポンプ、エアフィンクーラおよびサージタンクについては、屋外仕様としており雨水の系統への浸入を防止する構造としている。

2.4.4 強風（台風・竜巻）

二次系共用設備のポンプ、エアフィンクーラおよびサージタンクについては、ボルト締結により敷鉄板等へ固定し、強風（台風）に耐えうる構造としている。また竜巻などにより、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合に備え、消防車等を配備し使用済燃料プールの冷却を再開できるようにする。

2.5 共用に対する設計上の考慮

二次系共用設備のうち動的機器及び駆動電源は、1系列以上を予備とすることで多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合でも、所内共通ディーゼル発電機又は専用のディーゼル発電機から電源を供給し、冷却機能を確保できる設計とする。

1系列で1～3号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を全て除去することが可能な設計とする。

3. 二次系共用設備の具体的な安全確保策

二次系共用設備における、環境条件対策について具体的な安全確保策を以下の通り定める。

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

二次系共用設備の系統水はろ過水であり，閉ループで構成されていることから塩分等の流入がないため，腐食の影響は小さい。

(2) 熱による劣化

二次系冷却水の温度は，ほぼ常温のため，材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

大口径配管及び機器は，待機系についても冬季は微量通水運転を行うため凍結の恐れはない。凍結が懸念される小口径配管等については保温材または電気ヒータを取付けることにより，凍結防止を図る。

(4) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管は，耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を講ずることにより，紫外線による劣化を防止する。

別紙

(1) 1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

以上

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－1～6に示す。1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備で扱う液体の放射能濃度は37kBq/cm³以下である。

表－1 確認事項（二次系ポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|-------|--------------------------|---------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 漏えい確認 | 運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

表－2 確認事項（エアフィンクーラ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|----------|---|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

表－3 確認事項（サージタンク）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|----------|---|--|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置・据付状態を確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。 |

表－4 確認事項（二次系主要配管（鋼管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|----------|---|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付位置・据付状態を確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

表－5 確認事項（二次系ポリエチレン管）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|----------|-----------------------------|---------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 | 計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 製造者等の指定方法・圧力による漏えいの有無を確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

表－6 確認事項（使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|------|--------|--|---|
| 性能 | 運転性能確認 | 定格容量を通水出来ることを確認する。 ポンプ及びエアフィンクーラの運転状態を確認する。 | 定格容量を通水出来ること。 ポンプ及びエアフィンクーラの運転時に、異音、異臭、異常振動等がないこと。 |
| 機能 | 機能確認 | 使用済燃料プール水を冷却できることを確認する。 | エアフィンクーラの出口側の系統水温度が入口側の系統水温度を下回っていること。 |

以上

4号機使用済燃料プール循環系について

1. はじめに

4号機は使用済燃料プール内の全燃料を取り出しており、崩壊熱を除去する必要はないが、使用済燃料プール内の放射化された機器等を貯蔵するため4号機使用済燃料プール循環系として、既存の4号機使用済燃料プール循環冷却設備一次系を使用する。

2. 基本設計

2.1 設置の目的

使用済燃料プール内の水位をオーバーフロー水位付近に保ち、必要に応じて使用済燃料プール内に系統水を補給する。

2.2 要求される機能

- (1) 使用済燃料プール水の状態を適切に監視できること。
- (2) 使用済燃料プールに水を補給できること。
- (3) 必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができる機能を有すること。
- (4) 建屋外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (5) 動的機器、駆動電源について多重性を有すること。

2.3 設計方針

(1) 監視機能

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プールの保有水量、並びに循環流量等の運転状態の確認、使用済燃料プールからの漏えいの検知に必要な主要パラメータが監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

(2) 補給機能

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プールに水を補給できる設計とする。

(3) 浄化機能

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プール水の分析ができる設計とし、使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プールの保有水の漏えい防止、微生物腐食防止の観点から、必要な場合には、使用済燃料プール水の浄化ができる設計とする。

(4) 漏えい防止機能

使用済燃料プール循環系は、漏えいしがたい設計とし、万一、漏えいが発生しても建屋外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

また、漏えいがあった場合に拡大を防止することができるように、漏えいの検出ができ、漏えい箇所を隔離できる設計とする。

(5) 構造強度

使用済燃料プール循環系は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(6) 多重性・多様性

使用済燃料プール循環系のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも補給機能を確保できる設計とする。

(7) 誤操作の防止に対する考慮

使用済燃料プール循環系には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(8) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法として検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

(9) 放射線遮へいに対する考慮

使用済燃料プール循環系は、放射線業務従事者の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

2.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 使用済燃料プールへ系統水を補給できること。
- (2) 使用済燃料プール水がオーバーフロー水位付近にあること。

2.5 主要な機器

(1) 設備概要

使用済燃料プール循環系は、既設設備と新設設備を組み合わせ、使用済燃料プール水位を維持することを目的とし使用済燃料プール循環系設備で構成する。なお、使用済燃料プール循環系設備はポンプ等で構成する。

(2) 使用済燃料プール循環系設備

使用済燃料プール循環系設備は、補給機能を有する使用済燃料プール循環設備、漏えい防止機能を有する漏えい拡大防止設備、監視機能を有する監視設備、浄化機能を有する浄化装置と、これら設備に供給する電源によって構成する。

a. 使用済燃料プール循環設備

使用済燃料プール循環設備は、使用済燃料プール水を循環させる系からなり、補給水ラインを持ち、使用済燃料プールに水を補給する。

また、使用済燃料プール循環設備のポンプ等の動的機器は、1系列100%容量、1系列予備とすることで多重性を有する設計とする。

b. 漏えい拡大防止設備

使用済燃料プール循環設備は、震災以降に新設した機器・配管を使用していることから、使用済燃料プール循環設備の系統水の系外及び建屋外への漏えいを最小限に留めるために、新設設備の損傷等による漏えいに対し、系統の自動停止のインターロックを設け、系統の出入口弁を自動閉とし、ポンプを自動停止できる設計とする。また、使用済燃料プール循環設備はすべて建屋内に設置し、設備の破損等による建屋外への漏えい経路には堰を設けることにより、系統水の建屋外への漏えいを防止する。

c. 監視設備

使用済燃料プール循環系設備は、使用済燃料プールの保有水量、運転状態、漏えい等を監視できるとともに記録可能な監視設備を設ける。使用済燃料プールの保有水量については、スキマ・サージ・タンクへオーバーフローしていることをスキマ・サージ・タンク水位により監視する。スキマ・サージ・タンクの水位は、ポンプ吸込側圧力計又はスキマ・サージ・タンク水位計により監視し、それぞれ免震重要棟内にある監視室のモニタで監視する。

使用済燃料プール水の状態については使用済燃料プール循環設備の系統流量、系統圧力を免震重要棟内にある監視室のモニタで監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

使用済燃料プール循環設備からの漏えいについては、使用済燃料プールと同様、スキマ・サージ・タンク水位で監視する。また、床漏えい検知器により免震重要棟集中監視室の警報発生の有無を監視する。

漏えいを検知した場合や流量もしくは圧力の低下が発生した際は、免震重要棟内にある監視室内に警報が発報する。また、系統に異常が確認された際は、免震重要棟集中監視室の緊急停止ボタンにより手動停止を可能とする。

d. 電源

使用済燃料プール循環系設備の電源は異なる送電系統で2回線の外部電源から受電できる構成とする。

外部電源喪失の場合でも、所内共通ディーゼル発電機から電源を供給することで運転が可能な構成とする。

e. 浄化装置

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プール循環設備から使用済燃料プール水の水質測定をするためのサンプリングが可能であり、使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プール保有水の漏えい防止、微生物腐食防止の観点から必要な場合には、使用済燃料プールへの薬液の注入や使用済燃料プール水の浄化ができるよう配管等を設け、モバイル式処理装置（塩分除去装置）を配備する。モバイル式処理装置は、移動式の設備であり、使用済燃料プール水質に応じた浄化作業ができ、使用時のみ設置する。

2.6 廃棄物の管理

使用済燃料プール循環系設備が構成する系統水ラインは閉ループで構成され、液体廃棄物が発生しない設計としている。

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。またアウターライズを上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環系設備の機能が喪失する場合は、使用済燃料プール水の補給等を実施する。

2.7.2 火災

火災の発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また初期消火の対応ができるよう、現場制御盤近傍に消火器を設置し、火災発生は巡視点検、運転パラメータ監視、監視カメラにより確認する。なお、使用済燃料プール循環系設備周辺からは可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼はし難い。

2.7.3 豪雨

使用済燃料プール循環系設備は4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており、雨水の系統への浸入を防止する構造としている。

2.7.4 強風（台風・竜巻）

使用済燃料プール循環系設備は4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており、強風に耐えうる構造としている。

2.8 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

使用済燃料プール循環系のうち使用済燃料プール循環系設備は、技術基準上、燃料プール冷却浄化系に相当するクラス3機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、設計・建設規格という）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、当該の設備がJISや独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。

(2) 耐震性

使用済燃料プール循環系のうち使用済燃料プール循環系設備は耐震設計審査指針上のBクラスの設備と位置づけられることから、その主要設備については、静的震度（1.8Ci）に基づく構造強度評価及び共振の恐れがある場合は動的解析を行い、評価基準値を満足することを原則とする。

耐震性に関する評価にあたっては、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準拠することを基本とするが、必要に応じてその他の適切と認められる指針や試験結果等を用いた現実的な評価を行う。

2.9 機器の故障への対応

2.9.1 使用済燃料プール循環系の機器の単一故障

(1) ポンプ故障

ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機号機の起動を行い、使用済燃料プールの循環及び補給を再開する。

(2) 電源喪失

使用済燃料プール循環系設備の電源が外部電源喪失や所内電源喪失により喪失した場合、プール水の蒸発を考慮し必要に応じて補給機能による注水を行う。

(3) 循環ラインの損傷

使用済燃料プール循環系の循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下（廃棄物処理建屋地下又は原子炉建屋地下）に移送し、循環ラインの復旧後、使用済燃料プールの循環及び補給を再開する。

3. 使用済燃料プール循環系設備の具体的な安全確保策

使用済燃料プール循環系設備における、環境条件対策について具体的な安全確保策を以下の通り定める。

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

使用済燃料プール循環系設備の系統水は浄化装置により水質を管理されているため、腐食の影響は小さい。

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、熱による劣化の懸念はない。

(3) 凍結

使用済燃料プール循環系設備は4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており、使用済燃料プール水を循環する過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。

(4) 耐放射線性

使用済燃料プール循環系設備は震災以降使用しており、既に燃料の取り出しが完了していることから、放射線照射の影響により大きく劣化することはない。

4. 基本仕様

4.1 4号機使用済燃料プール循環系の主要仕様

(1) ポンプ (完成品)

| | |
|--------|-------------------------------|
| 台 数 | 2 |
| 容 量 | 100m ³ /h (1 台あたり) |
| 揚 程 | 68m |
| 最高使用圧力 | 1.0MPa |
| 最高使用温度 | 100℃ |
| 負荷容量 | 90kW (1 台あたり) |

(2) 熱交換器 (完成品)

| | |
|--------|------------|
| 型 式 | プレート式 |
| 基 数 | 2 |
| 最高使用圧力 | 一次側 1.0MPa |
| 最高使用温度 | 一次側 100℃ |

※ 4号機使用済燃料プールの冷却を行う必要がないが、使用済燃料プール水を循環させるためのバウンダリを構成する。

(3) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) (完成品 : 供用中)

(1~4号機共通)

| | |
|-------|------------------------|
| 系 列 数 | 1 |
| 処 理 量 | 約 4.2m ³ /h |

(4) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) (完成品 : 供用中)

(1~4号機共通)

| | |
|-------|-----------------------|
| 系 列 数 | 1 |
| 処 理 量 | 約 10m ³ /h |

表4. 1-1 主要配管仕様 (1/2)

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|----------------------------------|--|
| 一次系主要配管 | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 STPT370, STPT410, SUS304TP 1.0MPa 100℃ |
| 一次系フレキシブルチューブ | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 100A, 150A 相当 SUS316L 1.0MPa 100℃ |
| 主要配管からモバイル式処理装置入口，出口まで（鋼管） | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch. 80 STPT370 1.0MPa 66℃ |
| 主要配管からモバイル式処理装置入口，出口まで（耐圧ホース） | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当（二重管） ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃ |
| モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース） | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当（二重管） ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃ |

表4. 1-1 主要配管仕様 (2/2)

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|----------------------------------|--|
| モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））内配管 （1～4号機共通） | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch. 10 SUS304TP 1.0MPa 66℃ |
| | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 1.0MPa 66℃ |
| | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 耐油性合成ゴム 1.0MPa 66℃ |
| モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置））内配管 （1～4号機共通） | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch. 10 SUS316TP 1.0MPa 66℃ |

以上

2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋

2.6.1 基本設計

2.6.1.1 設置の目的

既設1～4号機の原子炉建屋，タービン建屋（コントロール建屋及び，2，3号機海水配管トレンチ・立坑^{※1}を含む），廃棄物処理建屋には，高レベル放射性汚染水（以下，「滞留水」という。）が滞留している。また，集中廃棄物処理建屋のうち，プロセス主建屋，雑固体廃棄物減容処理建屋（以下，「高温焼却炉建屋」という。）は，1～4号機のタービン建屋の滞留水を移送するための受け入れ先とするものであることから，各建屋の滞留水の状況を適切に監視し，放射性物質の建屋外への漏えいを防止するための機能を満足する設備とする。

※1：立坑とは，規模の大きな地中構造物のうち，比較的深い（10m程度）「縦の坑道」をいう。

2.6.1.2 要求される機能

- (1) 建屋等に滞留する滞留水の状況を監視できる機能を有し，建屋等の外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (2) 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいを防止できるよう水位を管理できること。
- (3) 滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出を抑制・管理できる機能を有すること。
- (4) 建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能を有すること。

2.6.1.3 設計方針

- (1) 建屋等の滞留水の状況を監視できる機能を有し，建屋等の外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

具体的には，建屋等の滞留水の状況を監視できる機能として，水位計を設置する。また，各建屋からの滞留水の漏えいを防止するために，建屋に滞留する滞留水の水位が地下水の水位よりも低くなるように管理する必要があること，地下水の水位は，サブドレン水^{※2}の水位により確認していることから，建屋近傍の適切なサブドレンに水位計を設置する。

※2：サブドレン水とは，建屋周辺の地下水をいう。

- (2) 汚染水処理設備の長期間の停止，豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいが

防止できるよう水位を管理する。

具体的には、汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持することにより管理する。また、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋については、受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

- (3) 滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出を抑制・管理できる機能を有する設計とする。

具体的には、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、必要に応じて各建屋についてダストサンプリングを実施する。

- (4) 建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能を有する設計とする。

具体的には、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

- (5) 必要に応じて、貯留または滞留している滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理が適切に行える機能を有する設計とする。

具体的には、滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し水素の滞留のないことを確認する。また、念のため、必要に応じて換気口を設けるなど水素の滞留を抑制する。

- (6) 環境条件に対する設計上の考慮は、次の通りとする。

海水による影響については、「Ⅲ. 3. 1. 3. 1. 2(5) 1～4号機原子炉建屋の点検について及び、同 添付資料-6 コメント回答③」に記載している。

- (7) 電源停止に対する設計上の考慮は、次の通りとする。

全電源喪失による水位の遠隔監視機能が喪失の場合でも、これまでの実績から地下水の流入及び原子炉注水による水位の上昇は緩慢なものであり、水位のシミュレーションも可能である。また、交流電源を使用しない別の水位計により電源復旧までの間、手動での水位計測も可能である。以上のことから、漏えい防止の水位監視機能は喪失しないことから、安全上の問題は生じない。

- (8) 信頼性に対する設計上の考慮は、次の通りとする。

建屋等の外への漏えいを防止できる機能については、多重性を持たないが、滞留水を貯留する機能については、1～4号機各建屋の滞留水をプロセス主建屋、高温焼却炉建屋に

移送することができ、更に、タービン建屋の復水器等にも移送が可能であり、それぞれ独立した設備であることから多重性、独立性を有している。

(9) 検査可能性に対する設計上の考慮は、次の通りとする。

建屋そのものの構造・強度の健全性については、直接的には、水没部が高線量であり確認することは出来ないが、類似箇所からの類推評価や解析により健全性を評価することが可能である。

また、建屋の滞留水を貯留する能力については、滞留水の水位制御により担保されていることから、水位が規定の値に制御されていることにより能力が保たれていることを確認することが可能である。また、建屋周囲のサブドレン水の放射能濃度を計測することにより、漏えいがないことを確認でき、滞留水の地下水への漏えいのないことを確認可能である。

(10) 建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減にかかる方針は、次の通りとする。

滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減を図るためには、今後、地下水位を管理し地下水の流入を抑制し滞留水の水位を下げタービン建屋、原子炉建屋、廃棄物処理建屋内にある滞留水を処理する必要がある。このため、地下水バイパス、トレンチ止水等の方策を検討する。

2.6.1.4 供用期間中に確認する項目

(1) 建屋等の外への滞留水の漏えいを防止できる機能を有すること

2.6.1.5 主要な機器

(1) 設備概要

滞留水を貯留している建屋等は、集中廃棄物処理建屋のうち、滞留水を貯留するプロセス主建屋、高温焼却炉建屋と、滞留水が滞留する1～4号機の原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋で構成する。

各号機の建屋等について設計内容を目標ごとに以下に記載する。

(2) プロセス主建屋

プロセス主建屋に貯留する滞留水は、1号機、2号機、3号機及び4号機から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送され、汚染水処理設備で処理されることにより水位調整を行う。移送については、移送元の1～4号機の水位や移送先となる集中廃棄物処理建屋の水位の状況を考慮し実施する。

プロセス主建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、水位計を設置し、建屋内水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 貫通部の止水

漏えいの経路となり得る当該建屋の系外への貫通部に適切な止水を実施する。

(b) 外壁、床面等の亀裂からの漏えい対策

亀裂等からの漏えい対策として、外壁、床面等の亀裂や浸潤などにひび割れ補修を実施する。

(c) 建屋に貯留する滞留水の水位管理

建屋に貯留する滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、建屋近傍の適切なサブドレンに水位計を設置する。

(d) コンクリート壁中における放射性物質の拡散について

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

(e) サイトバンカ建屋における滞留水の対応について

プロセス主建屋に隣接するサイトバンカ建屋においては、地下に滞留している水に放射能が検出されていることから、プロセス主建屋に貯留する滞留水が両建屋間を繋ぐ階段室を介し流入した可能性は否定できない。

このため、サイトバンカ建屋の滞留水は適宜プロセス主建屋へ移送する。

また、サイトバンカ建屋近傍のサブドレン水の水位及び放射能濃度を監視する。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、受け入れ元であるタービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持する。このことから、プロセス主建屋への受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行う。また、必要に応じてプロセス主建屋についてもダストサンプリングを実施する。

なお、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として設置する局所排風機は、チャコールフィルタ、高性能粒子フィルタを通して排気するものとする。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し、水素の滞留のないことを確認する。また念のため、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として、建屋上部より吸気して排気する局所排風機を設置する。

なお、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞する部位については、可燃性ガスが滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(3) 高温焼却炉建屋

高温焼却炉建屋に貯留する滞留水は、1号機、2号機、3号機及び4号機から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送することにより受け入れ、汚染水処理設備により処理することにより水位調整を行う。移送については、移送元の1～4号機の水位や移送先となる集中廃棄物処理建屋の水位の状況を考慮し実施する。

高温焼却炉建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、水位計を設置し、建屋内水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 貫通部の止水

漏えいの経路となり得る当該建屋の系外への貫通部に適切な止水工事を実施する。

(b) 外壁、床面等の亀裂からの漏えい対策

亀裂等からの漏えい対策として、外壁、床面等の亀裂や浸潤などにひび割れ補修を実施する。

(c) 建屋に貯留する滞留水の水位管理

建屋に貯留する滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理する。そのため、建屋近傍の適切なサブドレンに水位計を設置する。

(d) コンクリート壁中における放射性物質の拡散について

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

(e) 隣接する地下通路への滞留水の漏えい対応について

高温焼却炉建屋の滞留水は、隣接する地下通路に漏えいしていることが確認されたが地下通路部の水位の方が高いことから漏えいは抑制されていると考える。念のため、高温焼却炉建屋近傍のサブドレン水の水位及び放射能濃度を監視する。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、受け入れ元であるタービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持する。このことから、高温焼却炉建屋への受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行う。また、必要に応じてプロセス主建屋についてもダストサンプリングを実施する。

なお、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として設置する局所排風機は、チャコールフィルタ、高性能粒子フィルタを通して排気するものとする。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの監視箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し、水素の滞留のないことを確認する。また念のため、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として、建屋上部より吸気して排気する局所排風機を設置する。

なお、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞する部位については、可燃性ガスが滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(4) 1号機

1号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、原子炉建屋から主に廃棄物処理建屋を通して2号機廃棄物処理建屋へ流出するとと

もに、タービン建屋にも流出する場合がありますと考えられる。これらの滞留水は、1号機原子炉建屋・タービン建屋から3号タービン建屋または集中廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）を通じて移送することにより水位調整を行う。また、1号機タービン建屋の滞留水については、水位状況に応じて1号機廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）を通じて2号機タービン建屋に移送する。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。1号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置した場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、1号機の滞留水が流入する2号機タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(5) 2号機

2号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動があり、2号機原子炉建屋・タービン建屋・廃棄物処理建屋から3号機タービン建屋または集中廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）を通じて移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。2号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

T. P. 2, 564mmに開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏

えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出リスクの高まる T.P. 2, 564mm までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(6) 3号機

3号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、3/4号機の各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動がある。また、1号機および2号機から滞留水移送装置で移送された滞留水が流入する。これらの滞留水は3号機原子炉建屋・タービン建屋・廃棄物処理建屋から4号機タービン建屋、集中廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。3号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するた

め、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

T. P. 2, 564mmに開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出リスクの高まる T. P. 2, 564mm までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(7) 4号機

4号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、3/4号機の各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動があり、3号機タービン建屋または4号機原子炉建屋・タービン建屋・廃棄物処理建屋から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で集中廃棄物処理建屋へ移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。4号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

T. P. 2, 564mmに開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため拡散評価を実施する。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出リスクの高まる T. P. 2, 564mm までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、タービン建屋の復水器等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、必要に応じて原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施

する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

| |
|--|
| 本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P. から T.P. への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算している。 <換算式> T.P. = 旧 O.P. -1,436mm |
|--|

水位は、「2.35 サブドレン他水処理施設 添付-11 別紙-7 サブドレン及び建屋滞留水水位への測量結果の反映について」に基づき、計測する。

2.6.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波対策は、「Ⅲ.3.1.3.2 津波への対応」に記載している。

(2) 豪雨・台風

豪雨・台風対策は、「Ⅲ.3.1.4.1 台風・豪雨について」に記載している。

(3) 竜巻

竜巻対策は、「Ⅲ.3.1.4.2 竜巻について」に記載している。

(4) 火災

建屋内の各設備においては、設備毎に必要な火災対策を実施している。また、滞留水を貯留・滞留している建屋地下エリアは、火気作業が無いため火災が発生するリスクが低く、仮に火災が発生したとしても、滞留水の貯留機能に影響はないことから、追加の火災対策は不要である。

2.6.1.7 構造強度及び耐震性

(1) プロセス主建屋

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析，点検による確認

プロセス主建屋は耐震Bクラスであり，今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの，弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが，構造物としての健全性が維持されていることについて，地震応答解析，点検により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し，参考に基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

(2) 高温焼却炉建屋

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析，点検による確認

高温焼却炉建屋は耐震Bクラスであり，今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの，弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが，構造物としての健全性が維持されていることについて，地震応答解析，点検により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し，参考に基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

(3) 1～4号機

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析

原子炉建屋は耐震Sクラス，タービン建屋，廃棄物処理建屋は耐震Bクラスであり，今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの，弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが，原子炉建屋とタービン建屋は構造物としての健全性が維持されていることについて，地震応答解析により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し，原子炉建屋について，基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

また，参考に，タービン建屋，廃棄物処理建屋について，基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

2.6.2 添付資料

添付資料－1 系統概略図

- 添付資料－ 2 構造強度及び耐震性
- 添付資料－ 3 地下水バイパスによる地下水流入量の低減
- 添付資料－ 4 プロセス主建屋の貫通部の止水措置
- 添付資料－ 5 プロセス主建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策
- 添付資料－ 6 プロセス主建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価
- 添付資料－ 7 高温焼却炉建屋の貫通部の止水措置
- 添付資料－ 8 高温焼却炉建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策
- 添付資料－ 9 高温焼却炉建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価
- 添付資料－ 1 0 1～4号機の各建屋外への放射性物質移行量の評価
- 添付資料－ 1 1 建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減にかか
る方針
- 添付資料－ 1 2 汚染水処理対策委員会で議論された汚染水処理問題の抜本対策
- 添付資料－ 1 3 汚染された地下水の港湾への流出抑制策等について
- 添付資料－ 1 4 陸側遮水壁設置による地下水流入量の低減
- 添付資料－ 1 5 陸側遮水壁の閉合について
- 添付資料－ 1 6 陸側遮水壁（山側ライン）の試験凍結の実施

系統概略図

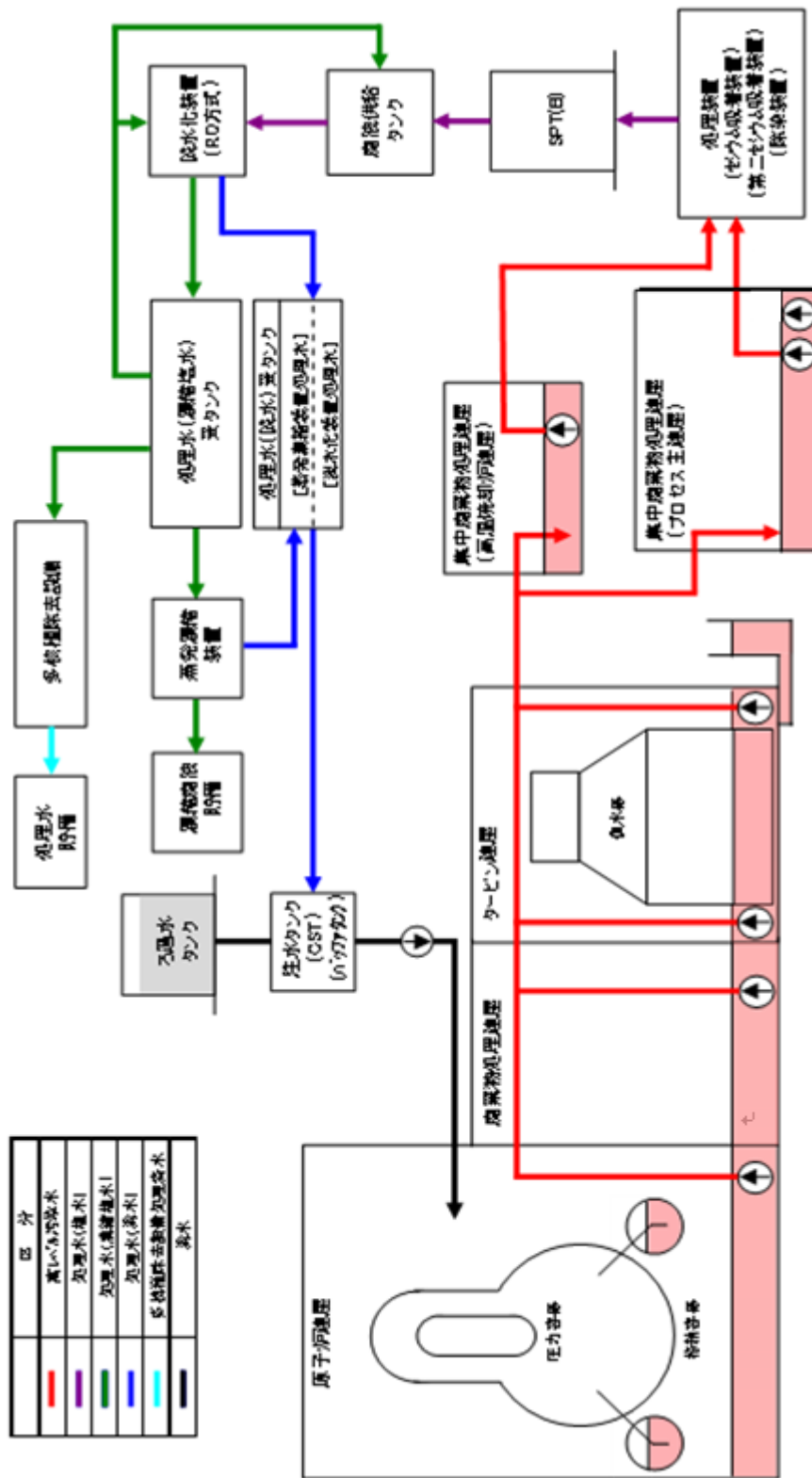


図1 滞留水移送概念図

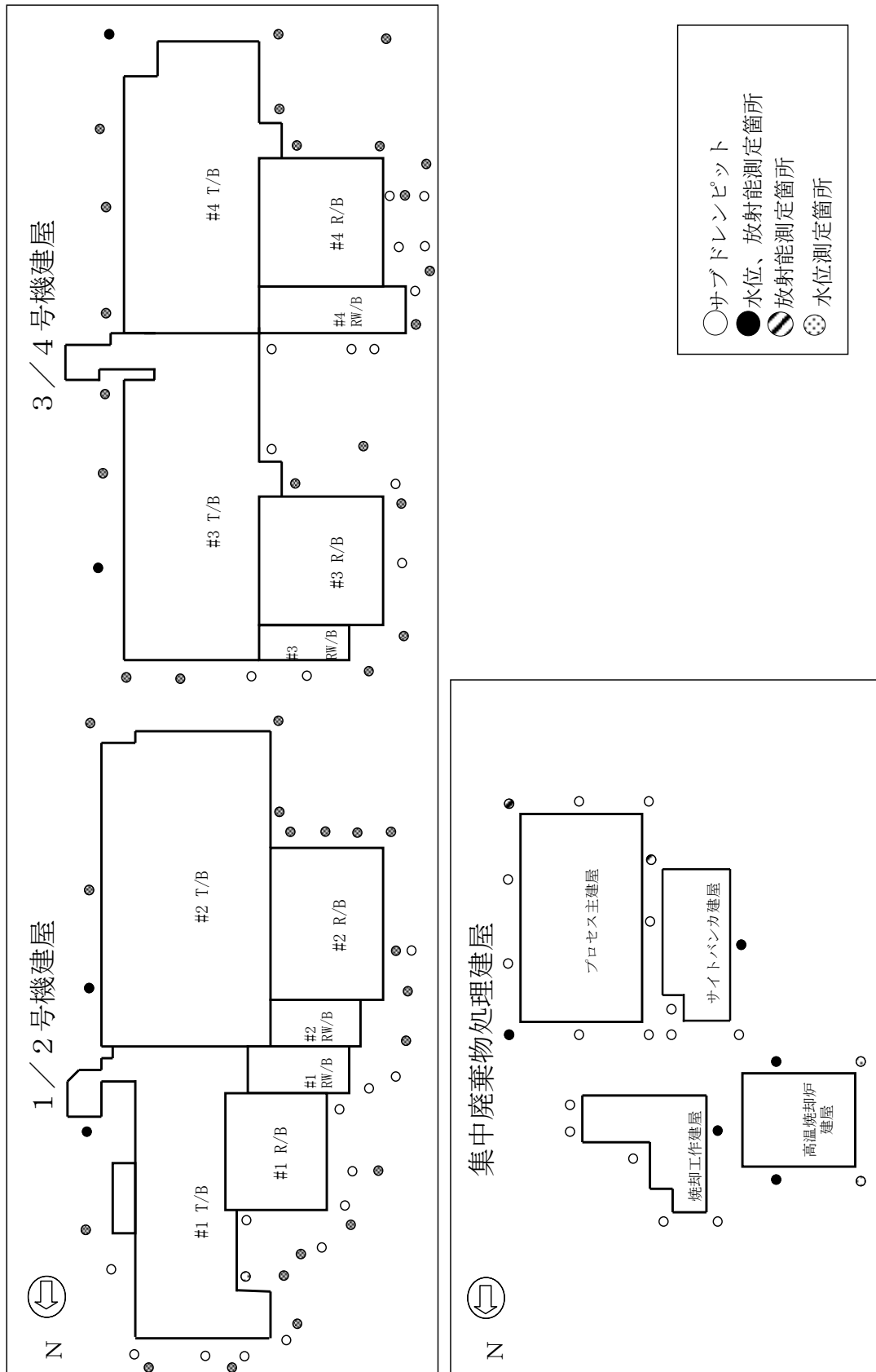


図2 サブドレンピット概略配置図

- : 制御水位計設置位置
- : 監視水位計設置位置[※]
- : 個別水位管理箇所

※局所的な水の滞留が確認された場合は、
個別の水位管理を実施
(「Ⅲ.3.1.7」参照)

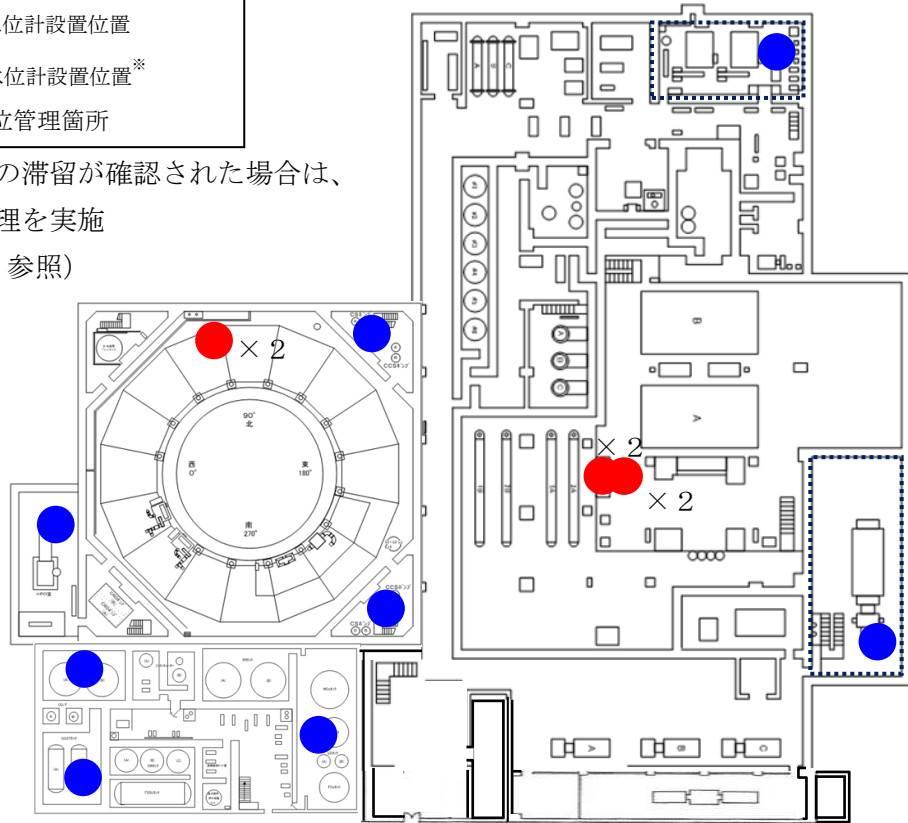


図3 1号機水位計設置位置図

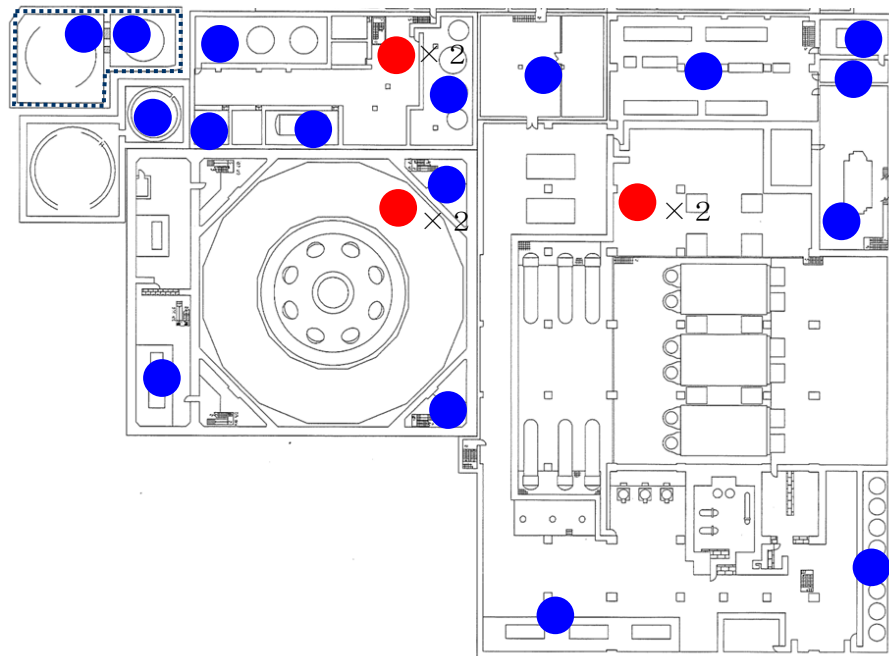
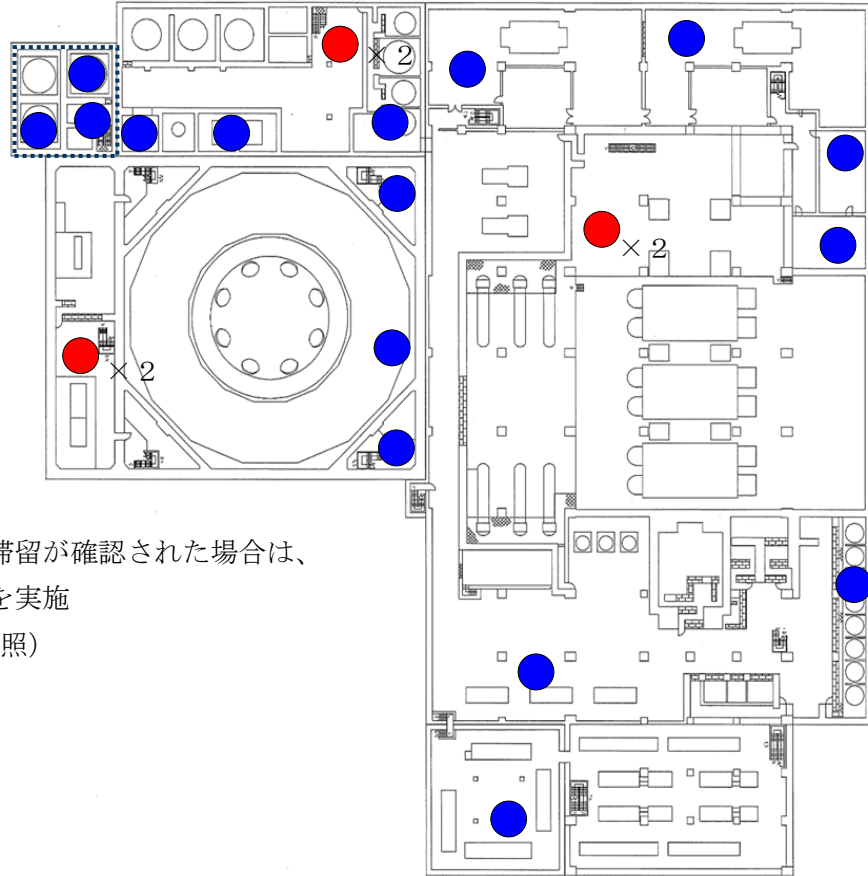
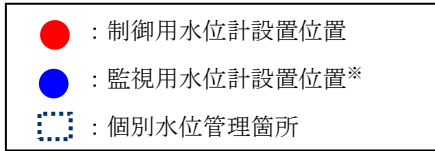


図4 2号機水位計設置位置図



※局所的な水の滞留が確認された場合は、
個別の水位管理を実施
(「Ⅲ.3.1.7」参照)

図5 3号機水位計設置位置図

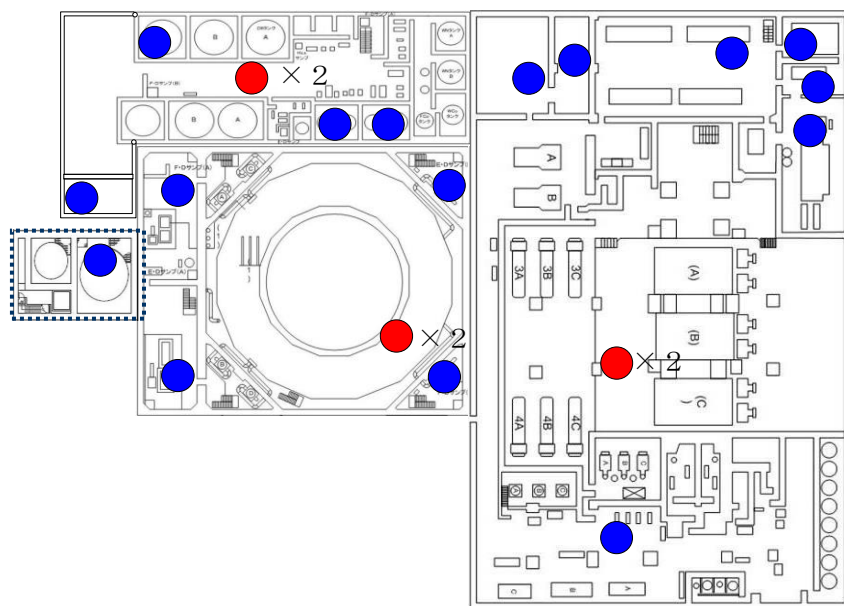


図6 4号機水位計設置位置図

構造強度及び耐震性
(地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全性評価)

1 はじめに

地下に滞留水を貯留する1～4号機原子炉建屋，1～4号機タービン建屋，1～4号機廃棄物処理建屋及び1～4号機コントロール建屋について，地下階に滞留水があることを考慮し，基準地震動 S_s に対し，地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は地下階の耐震壁が終局限界に至らないことを確認する。

1～4号機原子炉建屋について，基準地震動 S_s に対する地下滞留水を考慮した地震応答解析を実施し，地下外壁の耐震安全性を評価する。(4号機原子炉建屋については，Ⅲ.3.1.3 添付資料3を参照)

また，1～4号機タービン建屋，1～4号機廃棄物処理建屋及び1～4号機コントロール建屋について，それぞれ代表号機を選定した上で，基準地震動 S_s に対する地下滞留水を考慮した地震応答解析を実施し，地下外壁の耐震安全性を評価する。なお，代表号機以外については，代表号機の耐震安全性評価結果を踏まえ，建屋の類似性等を考慮して，耐震安全性を評価する。ここで，代表号機は滞留水の容量が最大の号機とする。

2 原子炉建屋

2.1 1号機原子炉建屋

2.1.1 解析評価方針

1号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

1号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図2.1.1-1に示す。

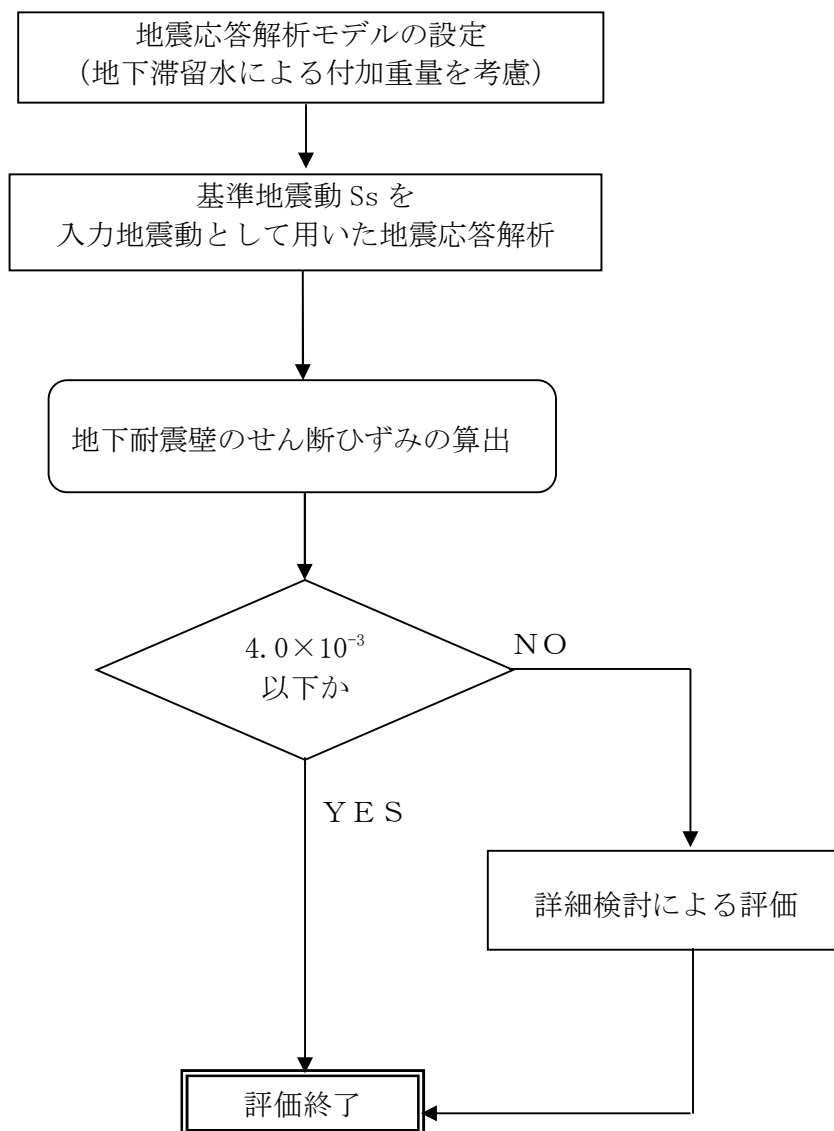


図 2.1.1-1 1号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.1.2 1号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

1号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表2.1.2-1に示す。

表 2.1.2-1 1号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 1号機 |
|-----|----------------------|
| 水位 | G. L. -3, 000 |
| 貯水量 | 5, 600m ³ |

2.1.3 解析に用いる入力地震動

1号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図2.1.3-1に示す。この1号機原子炉建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図2.1.3-2に示す。

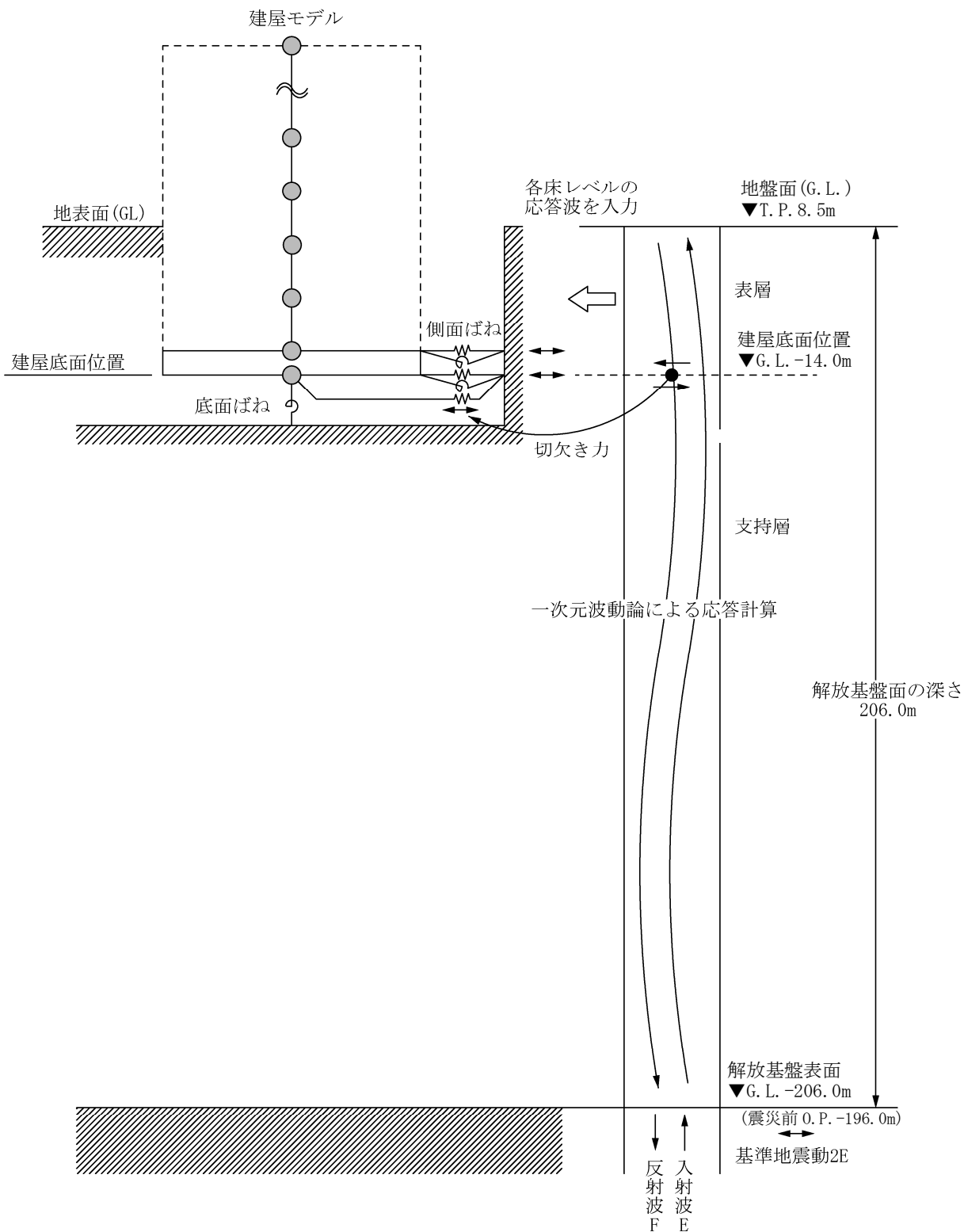


図 2.1.3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P. から T.P. への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. -1,436mm

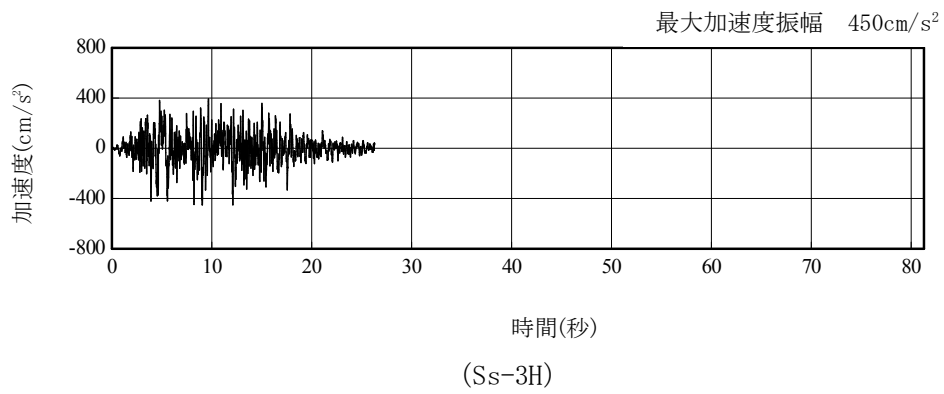
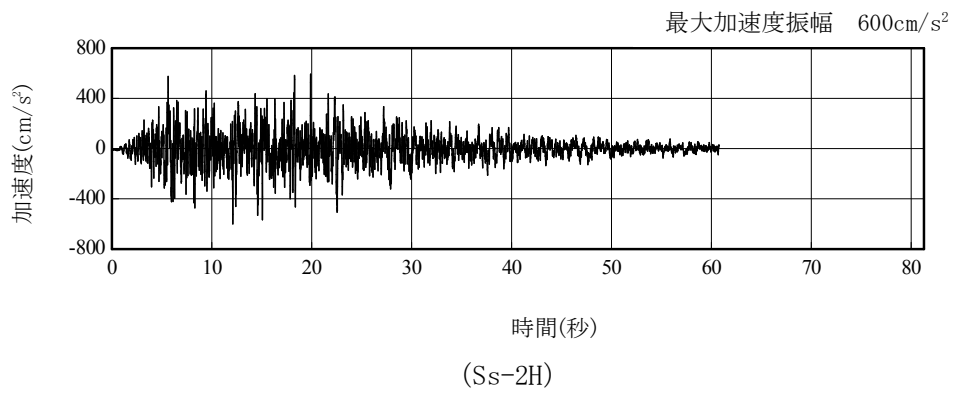
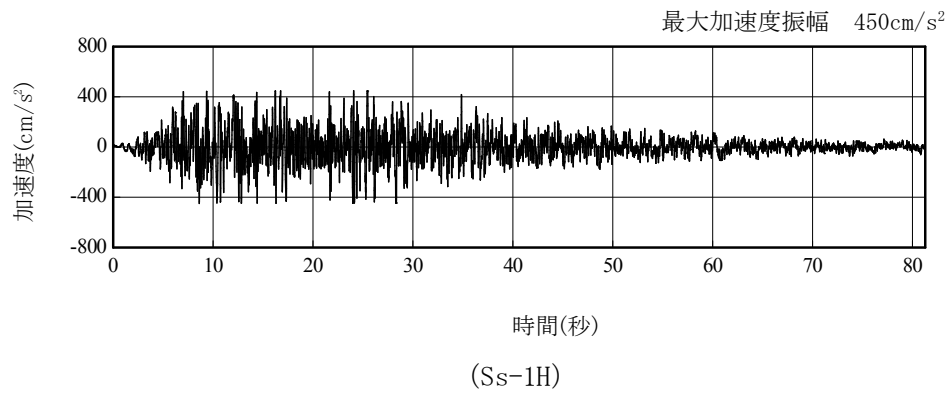


図 2.1.3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

2.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 1 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.1.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.1.4-1 及び図 2.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 2.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.1.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また、埋込部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.1.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

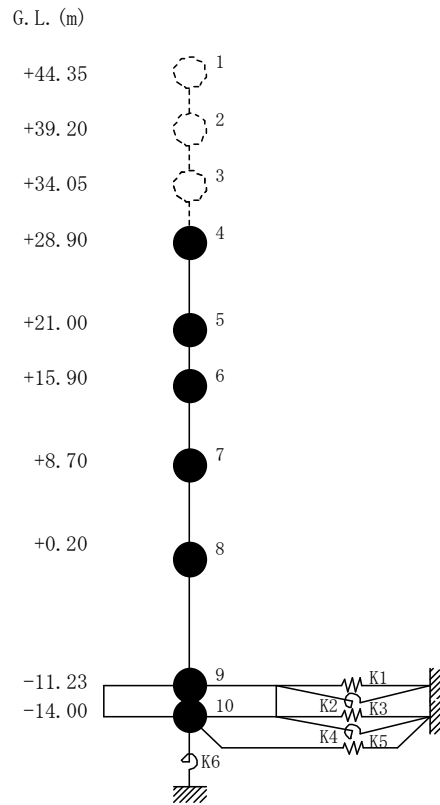


図 2.1.4-1 1号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS方向)

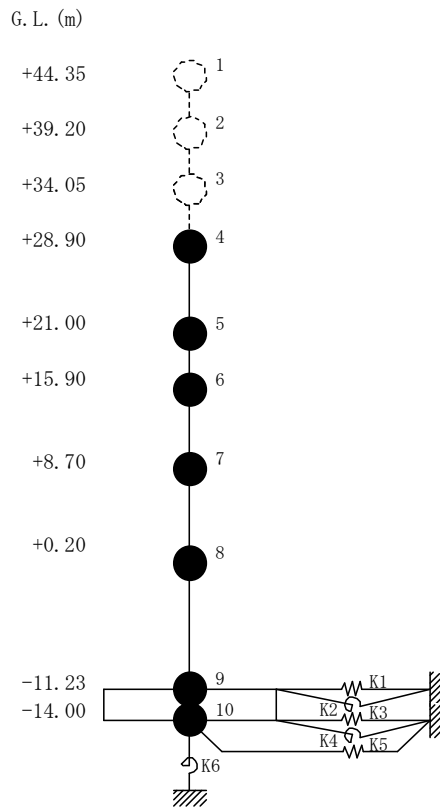


図 2.1.4-2 1号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (EW方向)

表 2.1.4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンク リート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|------------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |

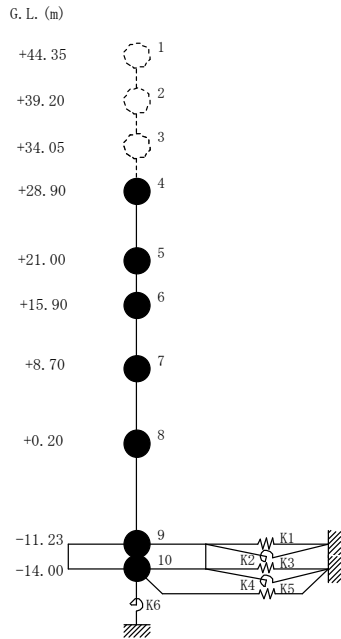
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

表 2.1.4-2 建屋解析モデルの諸元

NS 方向

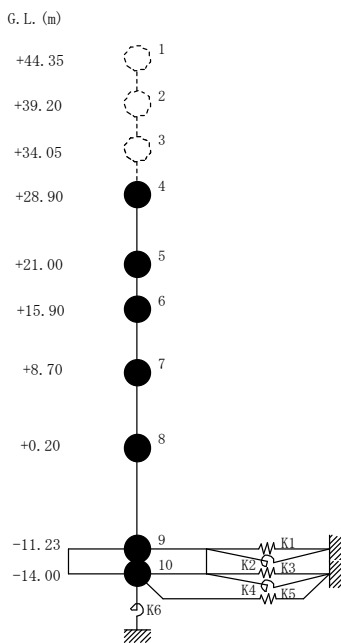


| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|--------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — |
| 3 | — | — | — | — |
| 4 | 58,690 | 84.43 | — | — |
| 5 | 67,910 | 97.77 | 135.0 | 16,012 |
| 6 | 77,220 | 111.11 | 160.8 | 21,727 |
| 7 | 88,440 | 127.32 | 132.8 | 24,274 |
| 8 | 162,800 [1,240] (16,780) | 234.31 [1.79] (24.15) | 155.6 | 36,481 |
| 9 | 185,210 (38,140) | 266.64 (54.91) | 294.0 | 52,858 |
| 10 | 62,400 | 89.83 | 1,914.3 | 275,530 |
| 合計 | 702,670 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
[]内はカバリング工事による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 41.56m (NS 方向) \times 43.56m (EW 方向)

EW 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|--------------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — |
| 3 | — | — | — | — |
| 4 | 58,690 | 48.34 | — | — |
| 5 | 67,910 | 55.90 | 102.7 | 9,702 |
| 6 | 77,220 | 63.55 | 163.9 | 13,576 |
| 7 | 88,440 | 127.32 | 131.6 | 14,559 |
| 8 | 162,800 [1,240] (16,780) | 234.31 [1.79] (24.15) | 197.8 | 36,427 |
| 9 | 185,210 (38,140) | 327.39 (67.42) | 294.0 | 52,858 |
| 10 | 62,400 | 110.32 | 1,914.3 | 338,428 |
| 合計 | 702,670 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
[]内はカバリング工事による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 41.56m (NS 方向) \times 43.56m (EW 方向)

表 2.1.4-3 (1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.1.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.1.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

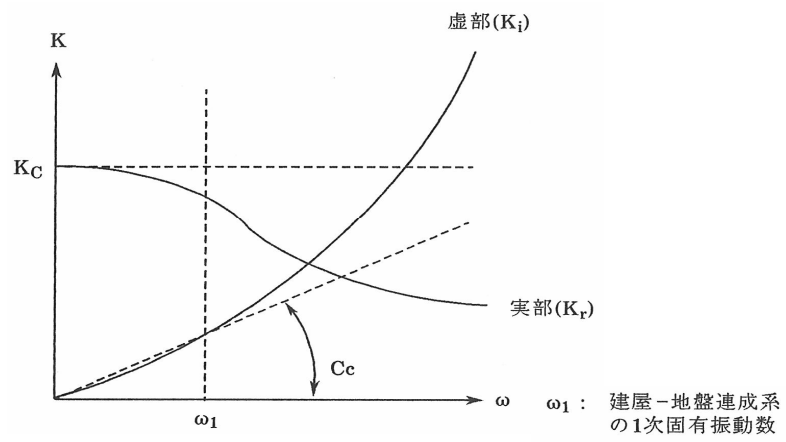


図 2.1.4-3 地盤ばねの近似

2.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向，EW 方向の最大応答加速度を，滞留水を未考慮^{*注}の場合と比較して，図 2.1.5-1～図 2.1.5-6 に示す。

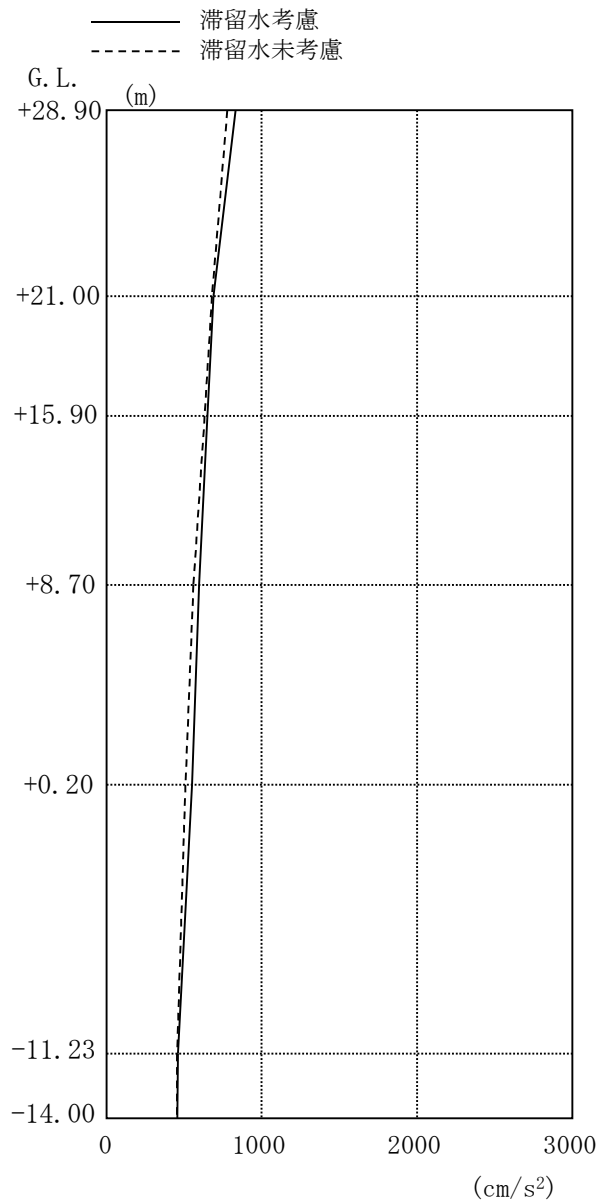


図 2.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

*注：滞留水考慮：本検討における結果であり，滞留水の重量の他，原子炉建屋カバーの重量を考慮したもの。

滞留水未考慮：損傷前の「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書 (改訂版)」(原管発官 21 第 110 号 平成 21 年 6 月 19 日付け)の結果。

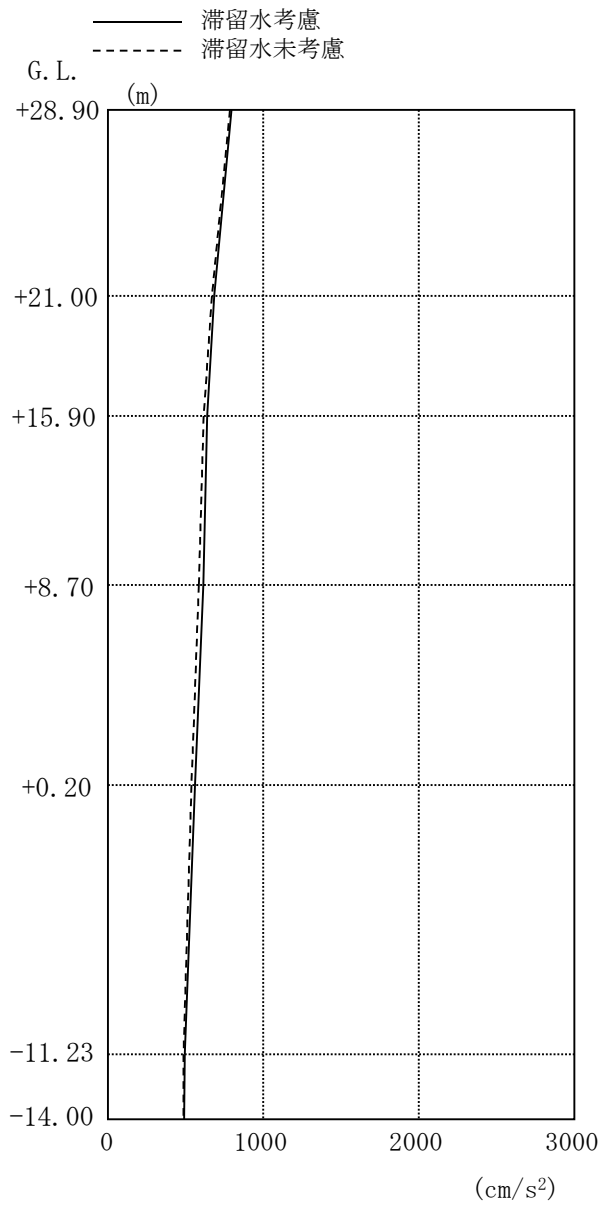


图 2. 1. 5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

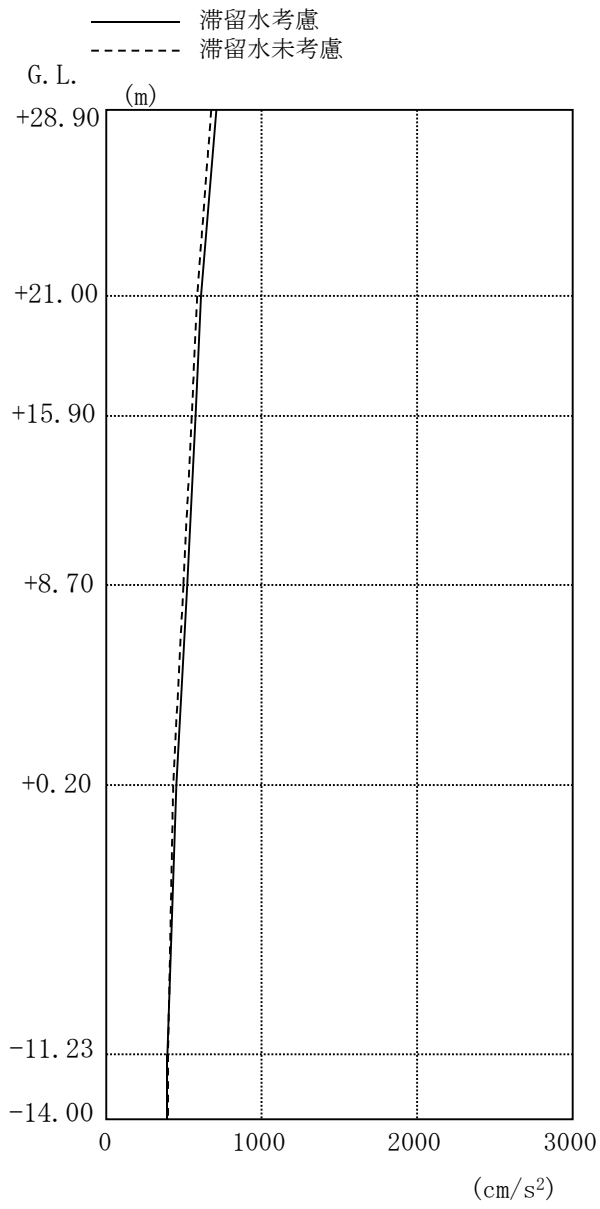


图 2.1.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

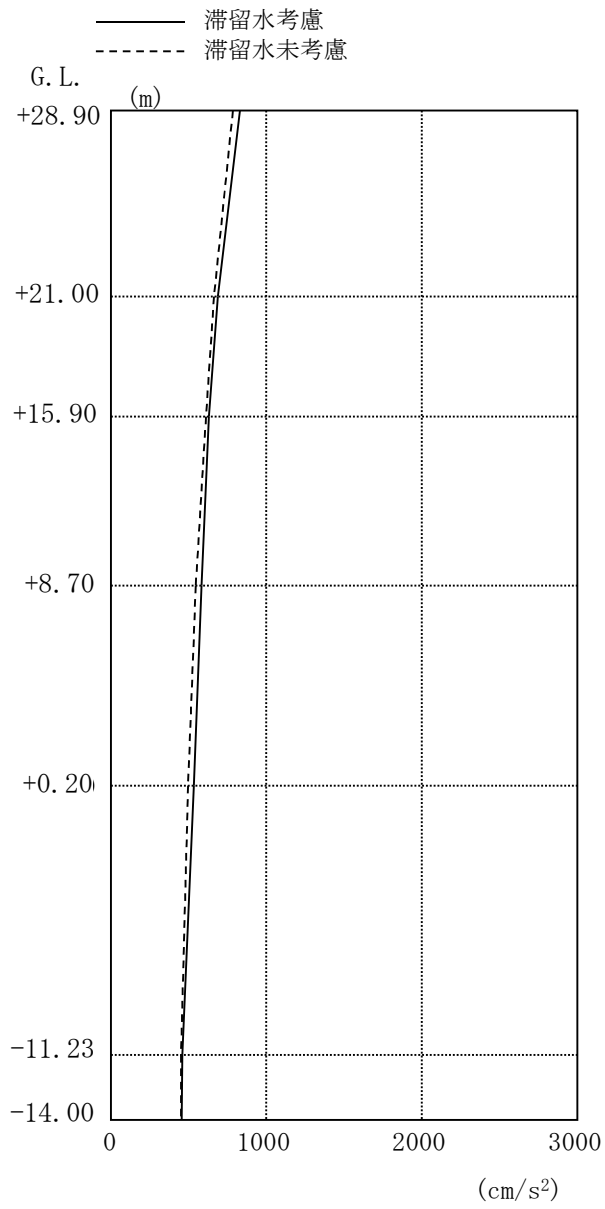


图 2.1.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

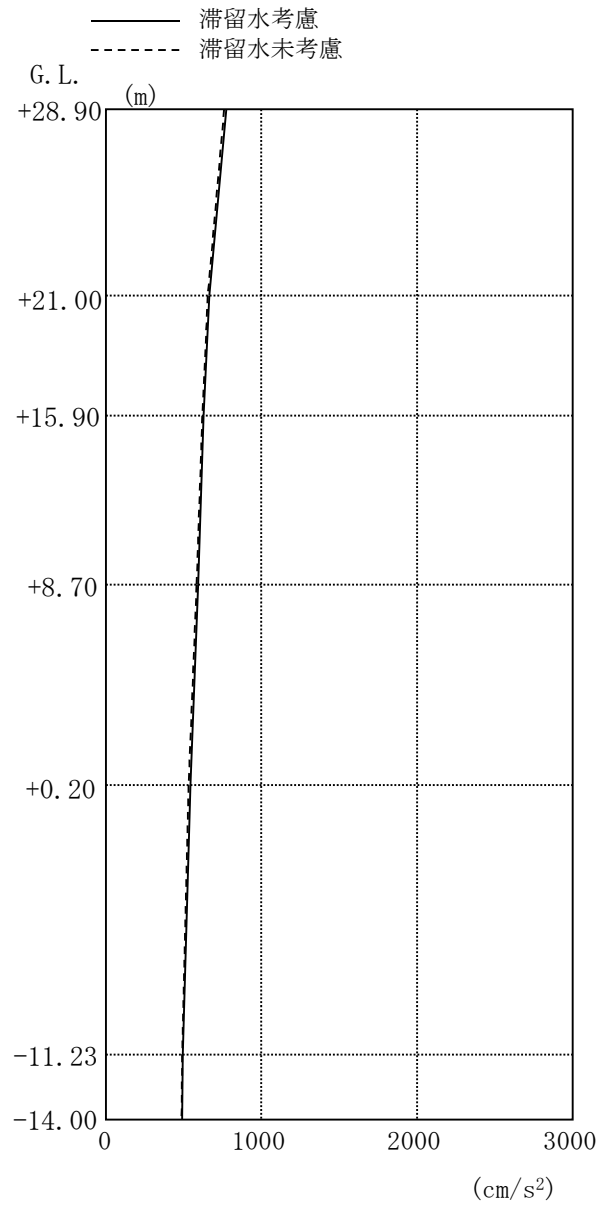


图 2. 1. 5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

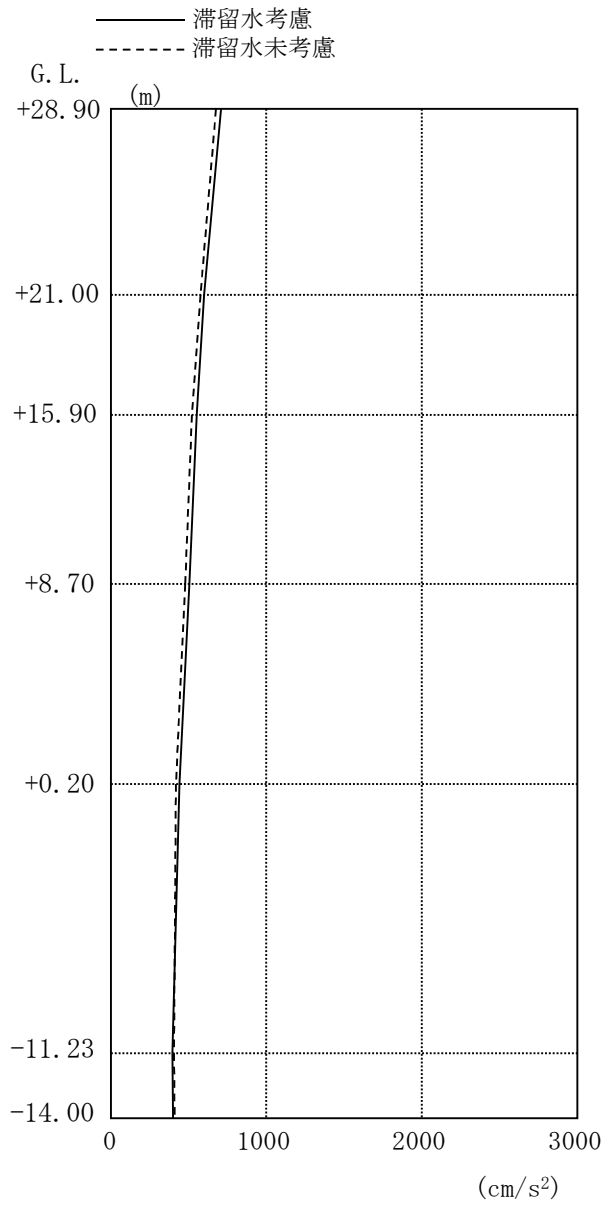


图 2.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 2.1.6-1 及び表 2.1.6-2 に示す。また、図 2.1.6-1 及び図 2.1.6-2 に基準地震動 Ss に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.09×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、1号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-11.23 | 考慮 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | |

表 2.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-11.23 | 考慮 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | |

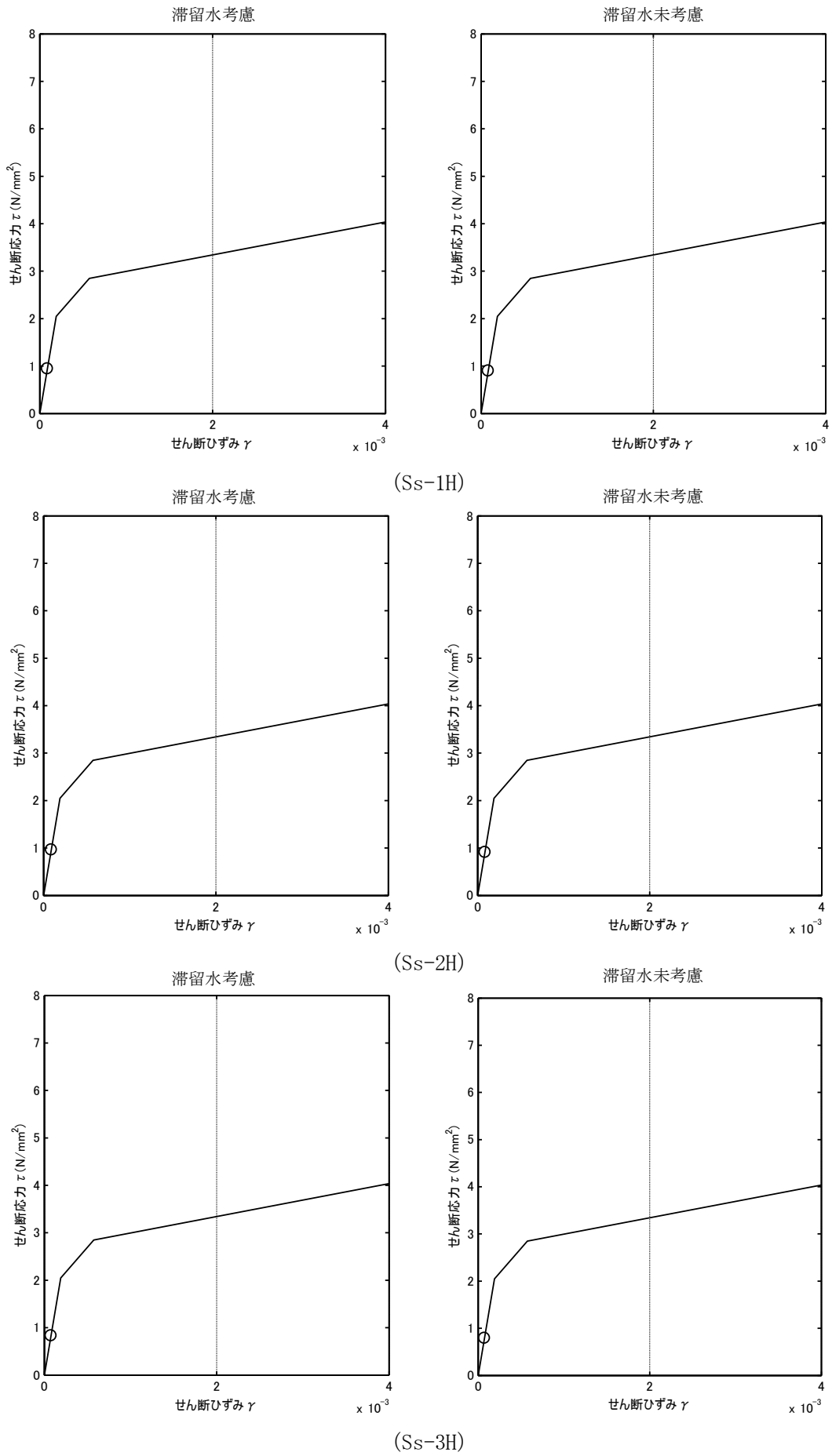
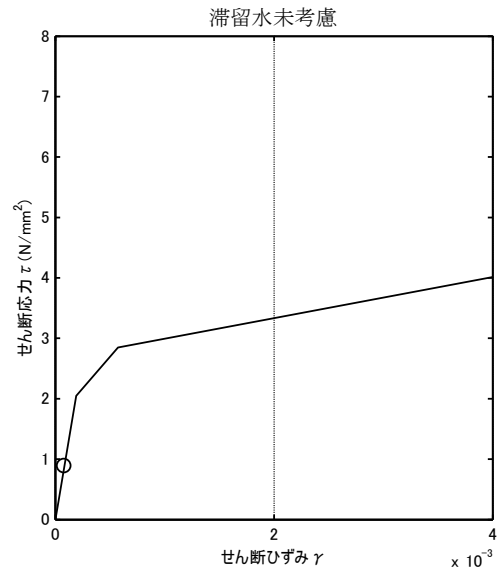
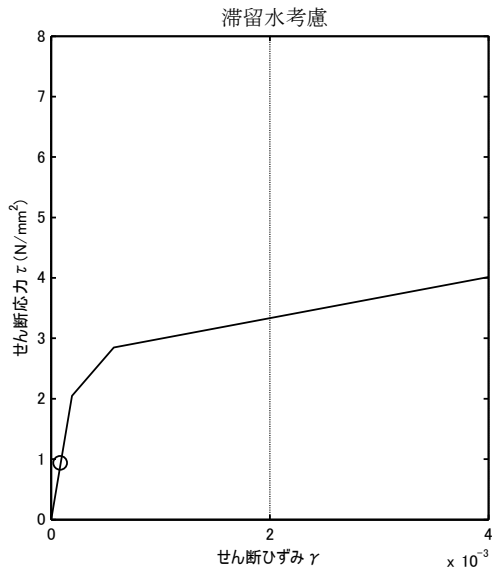
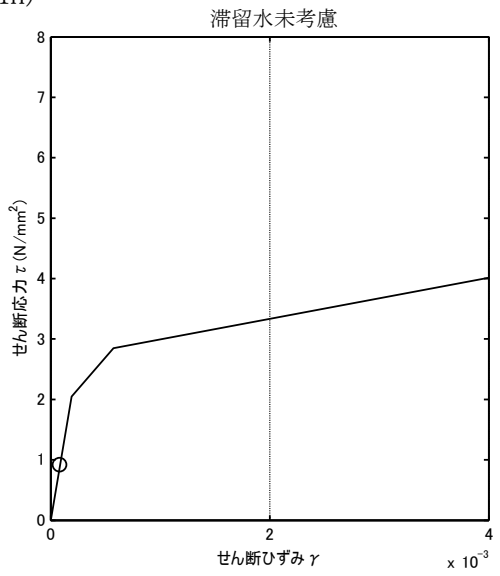
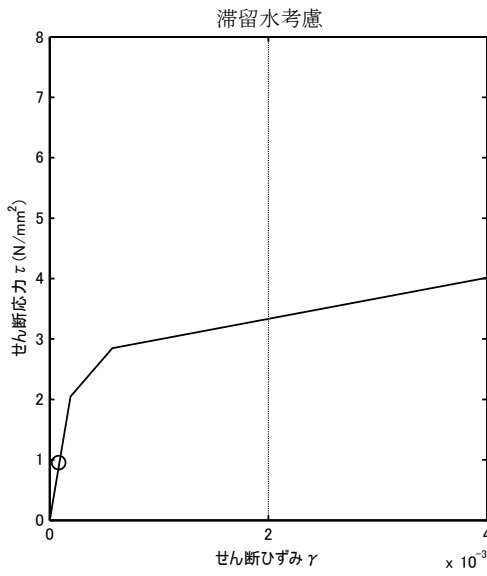


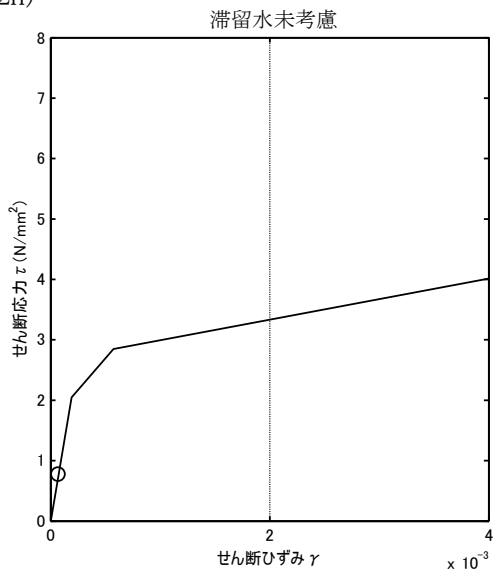
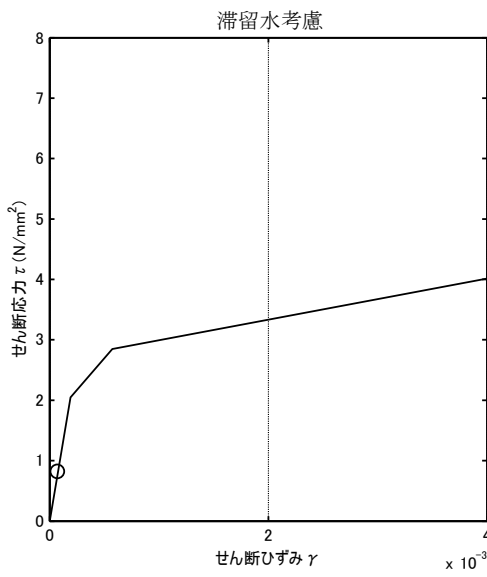
図 2.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 2.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

2.2 2号機原子炉建屋

2.2.1 解析評価方針

2号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

2号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 2.2.1-1 に示す。

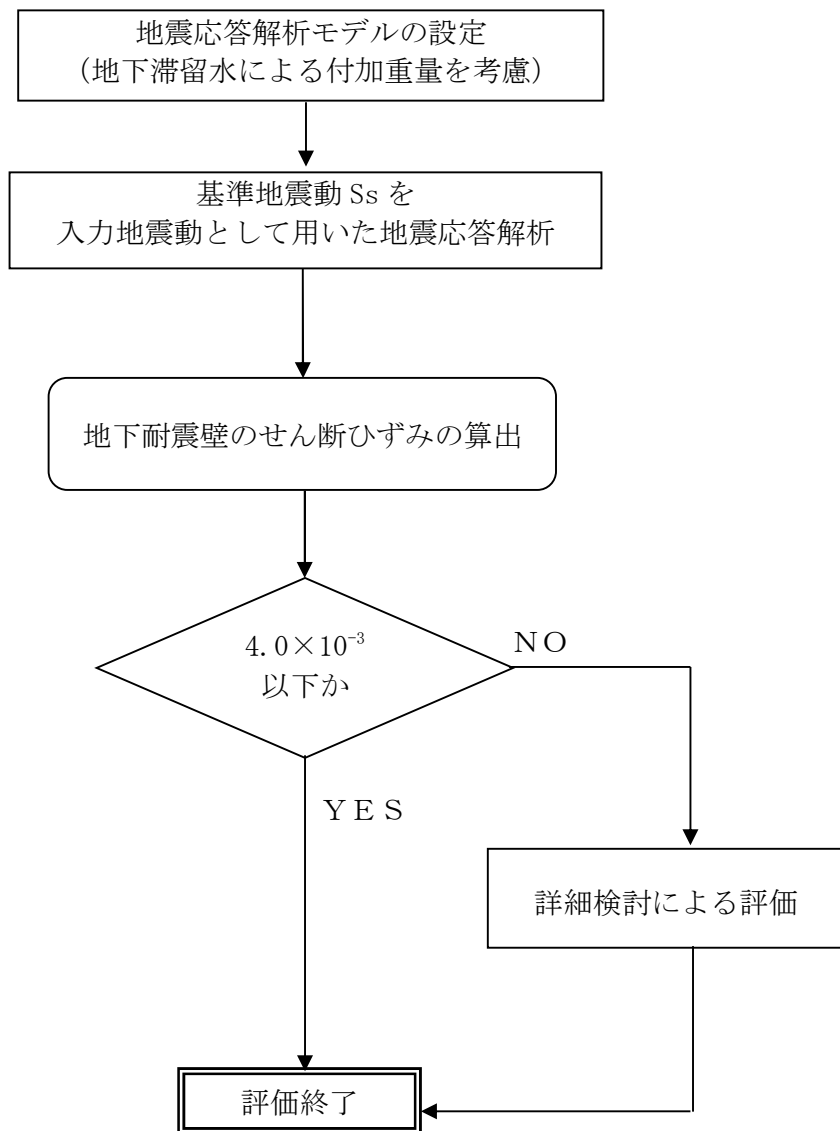


図 2.2.1-1 2号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.2.2 2号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

2号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2-1 2号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 2号機 |
|-----|----------------------|
| 水位 | G. L. -6, 000 |
| 貯水量 | 6, 500m ³ |

2.2.3 解析に用いる入力地震動

2号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 2.2.3-1 に示す。この2号機原子炉建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図 2.2.3-2 に示す。

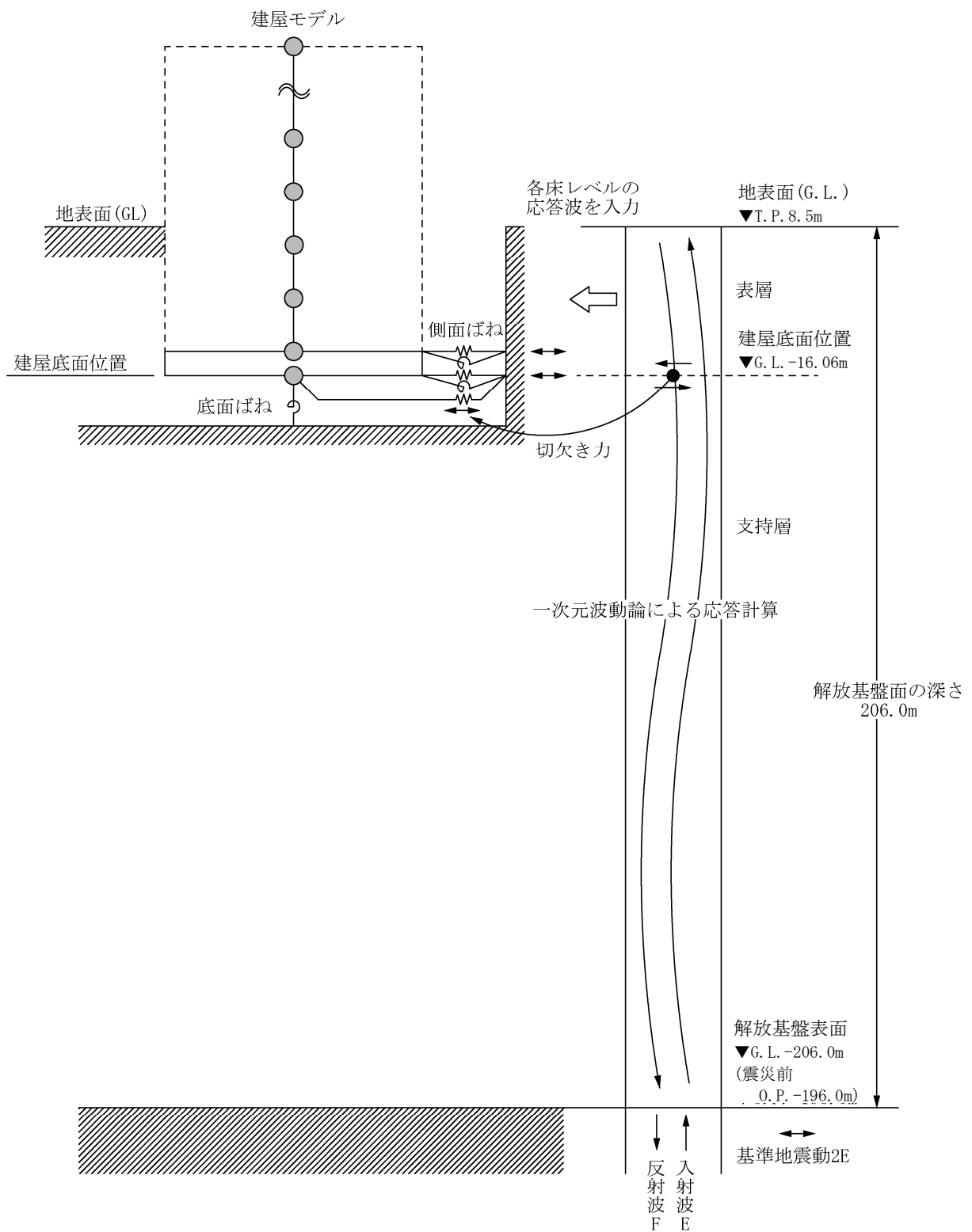


図 2. 2. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O. P. から T. P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 〈換算式〉 T. P. = 旧 O. P. - 1, 436mm

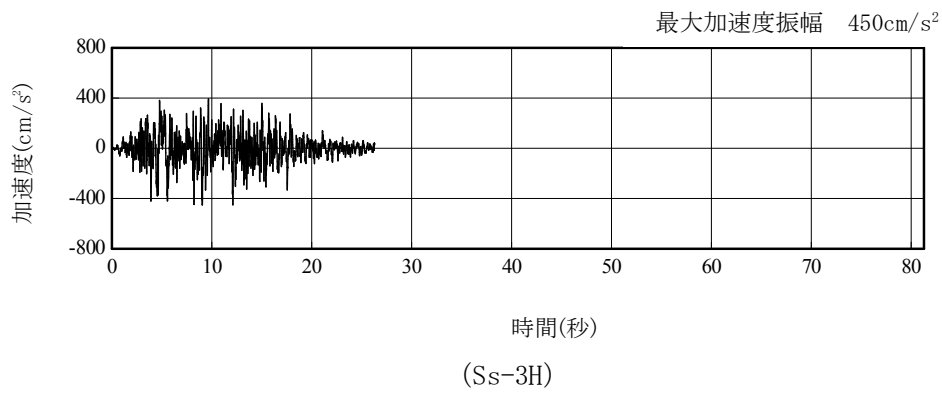
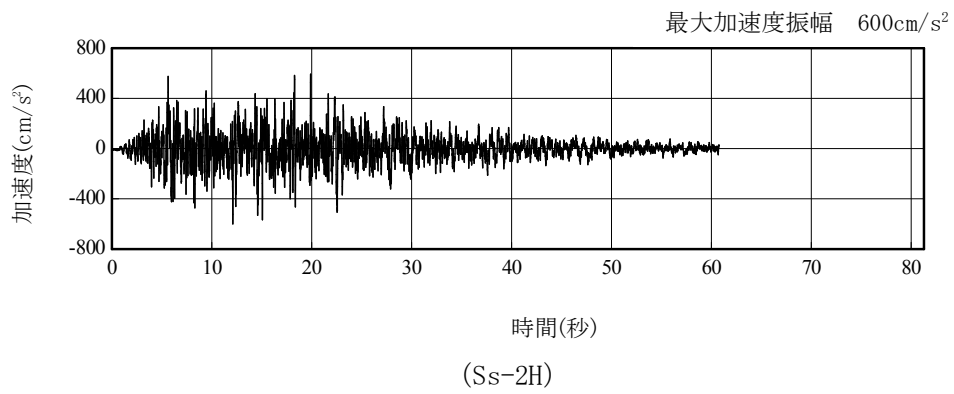
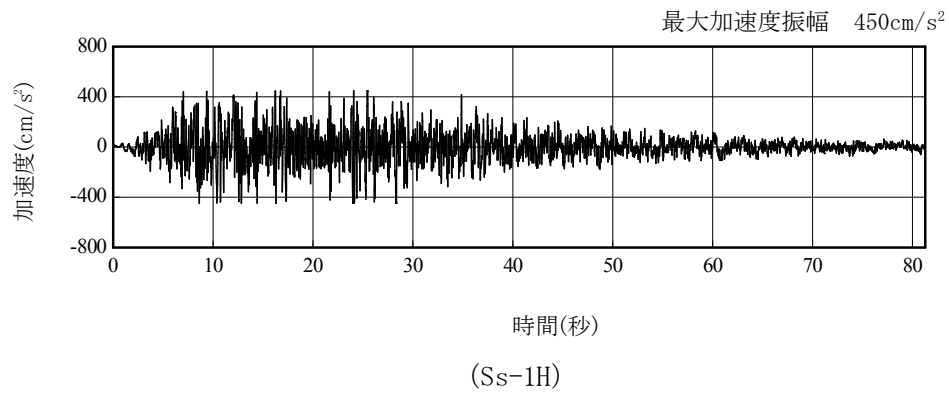


図 2. 2. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

2.2.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 2 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.2.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.2.4-1 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.2.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 2.2.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.2.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また、埋込部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.2.4-2 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

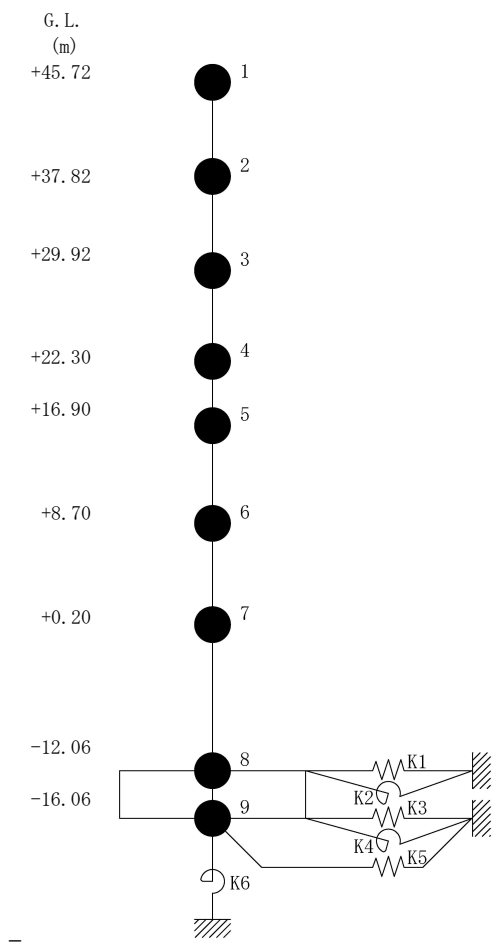


図 2.2.4-1 2号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS・EW 方向)

表 2. 2. 4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンク リート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|------------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |

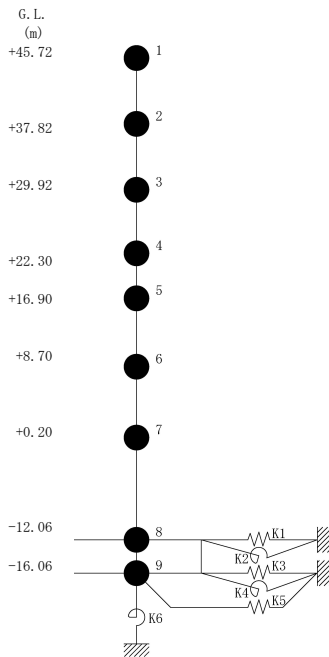
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

表 2.2.4-2 建屋解析モデルの諸元

NS 方向

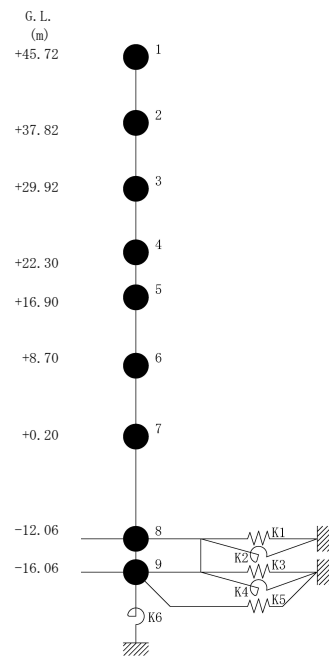


| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント I (m^4) |
|------|---------------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 14,380 | 25.99 | | |
| 2 | 10,220 | 18.53 | 18.6 | 10,154 |
| 3 | 58,470 | 105.81 | 18.6 | 10,675 |
| 4 | 70,440 | 127.49 | 184.3 | 22,551 |
| 5 | 107,720 | 194.96 | 166.8 | 24,629 |
| 6 | 116,670 | 211.14 | 249.3 | 44,401 |
| 7 | 199,190 | 360.49 | 157.1 | 40,661 |
| 8 | 341,290 (63,750) | 617.55 (115.35) | 456.8 | 110,444 |
| 9 | 125,030 | 226.24 | 2,656.2 | 480,675 |
| 合計 | 1,043,410 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 46.60m (NS 方向) \times 57.00m (EW 方向)

EW 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント I (m^4) |
|------|---------------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 14,380 | 14.71 | | |
| 2 | 10,220 | 10.40 | 14.0 | 5,941 |
| 3 | 58,470 | 59.72 | 14.0 | 6,307 |
| 4 | 70,440 | 71.88 | 108.2 | 11,927 |
| 5 | 107,720 | 194.96 | 117.3 | 14,199 |
| 6 | 116,670 | 211.14 | 185.7 | 33,796 |
| 7 | 199,190 | 539.37 | 173.1 | 41,960 |
| 8 | 341,290 (63,750) | 923.98 (172.59) | 418.1 | 132,121 |
| 9 | 125,030 | 338.53 | 2,656.2 | 719,166 |
| 合計 | 1,043,410 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 46.60m (NS 方向) \times 57.00m (EW 方向)

表 2.2.4-3 (1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.2.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.2.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

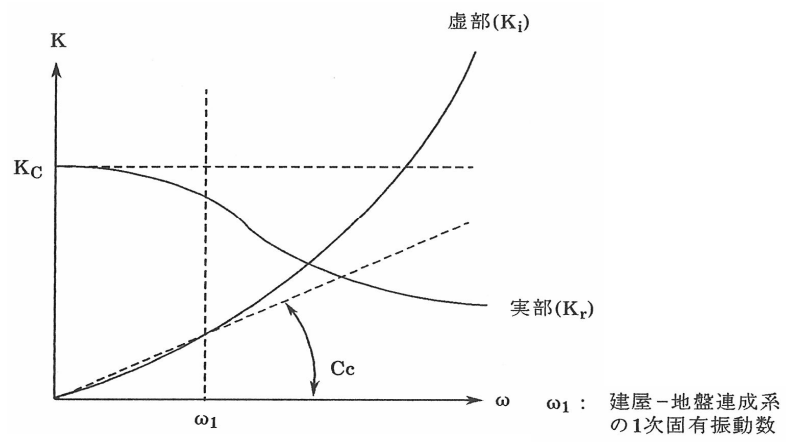


図 2.2.4-2 地盤ばねの近似

2.2.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向、EW方向の最大応答加速度を、滞留水を未考慮の場合と比較して、図2.2.5-1～図2.2.5-6に示す。

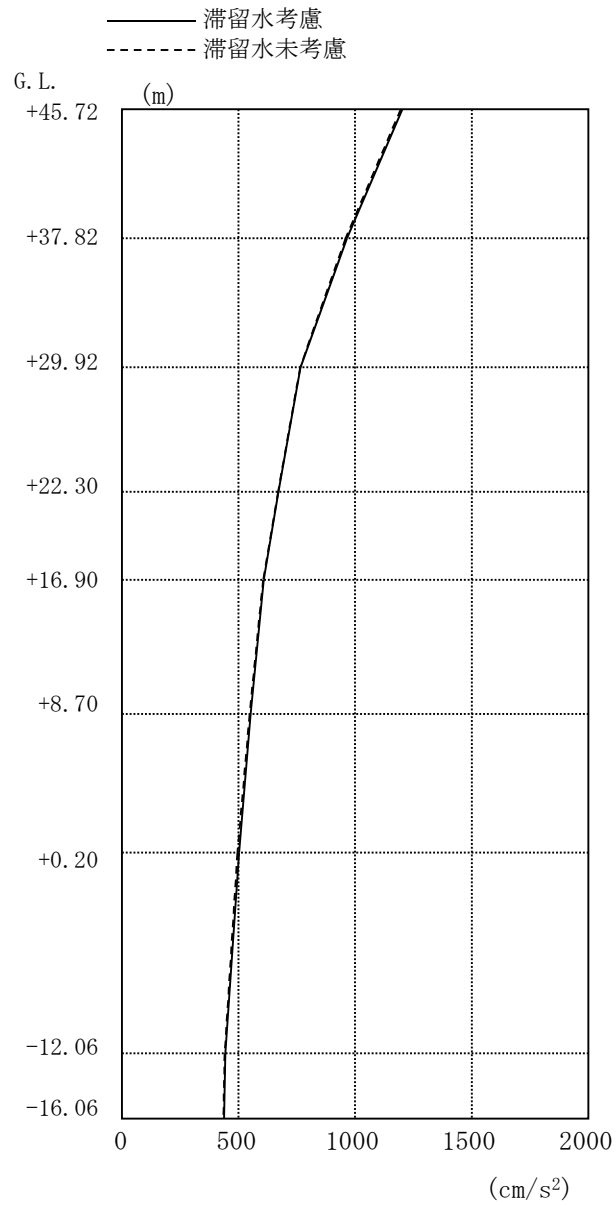


図 2.2.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

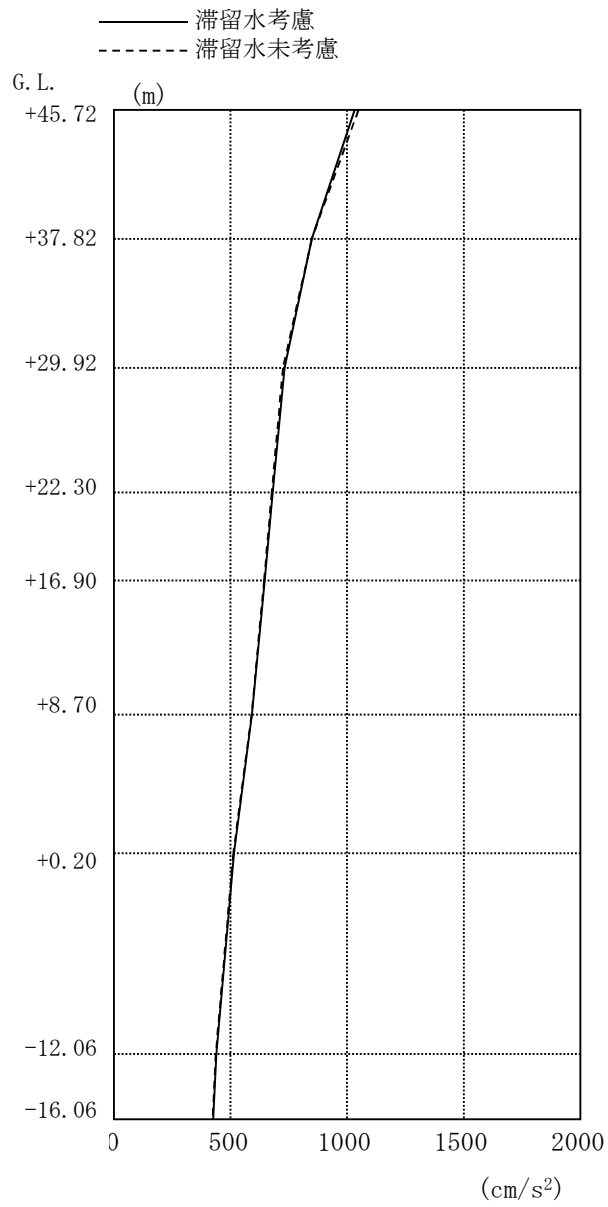


图 2.2.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

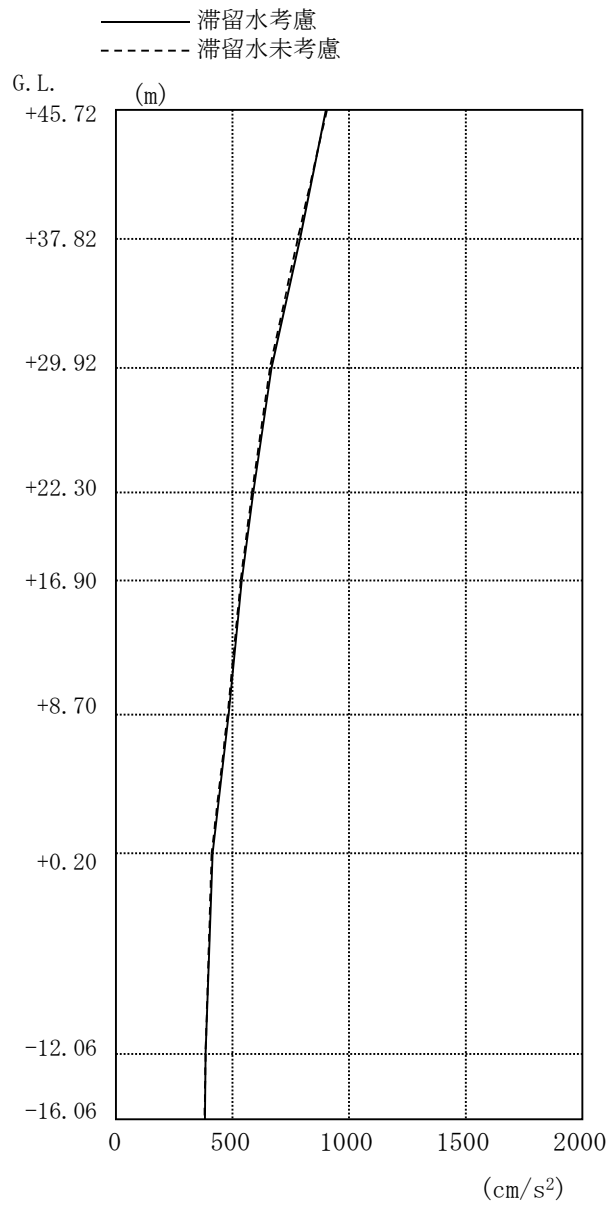


图 2.2.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

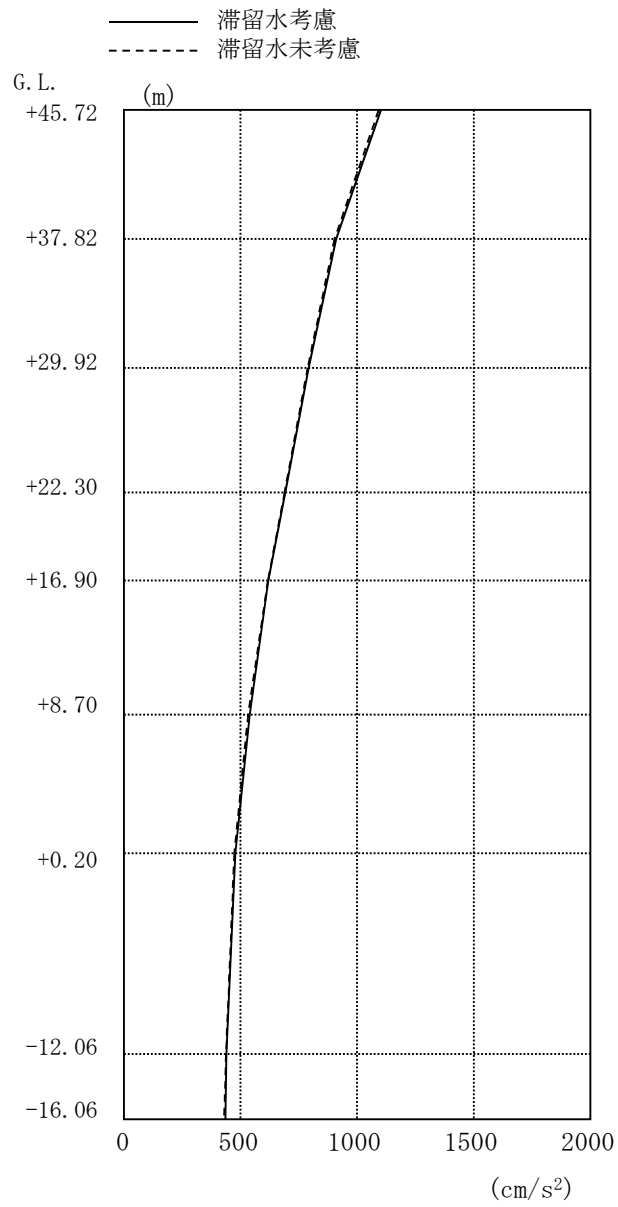


图 2. 2. 5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

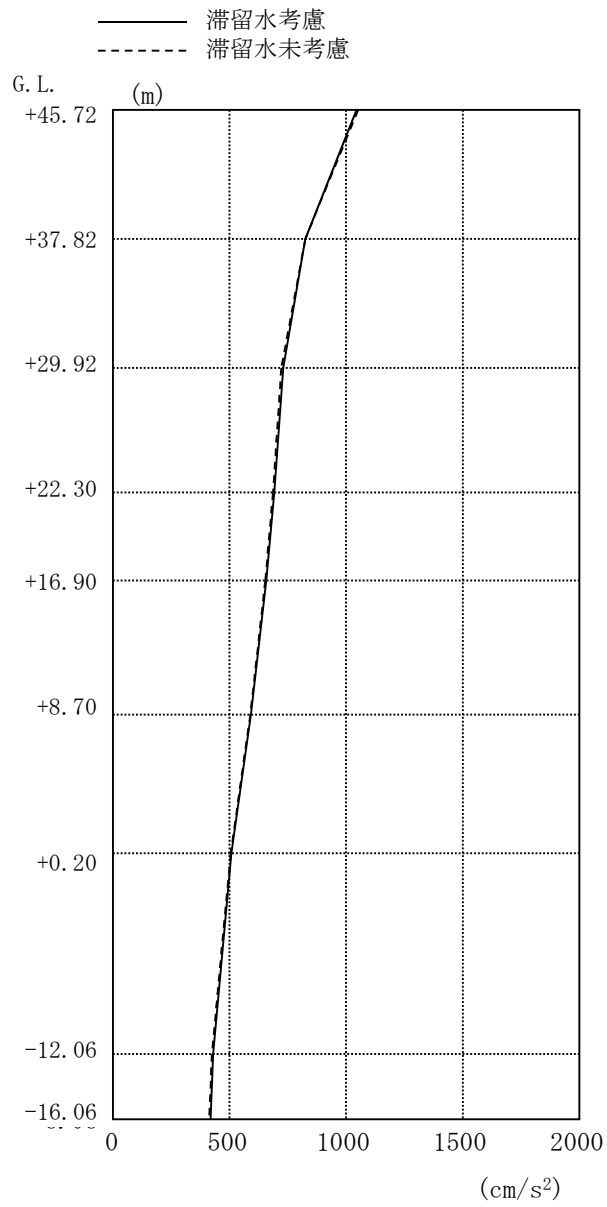


图 2.2.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

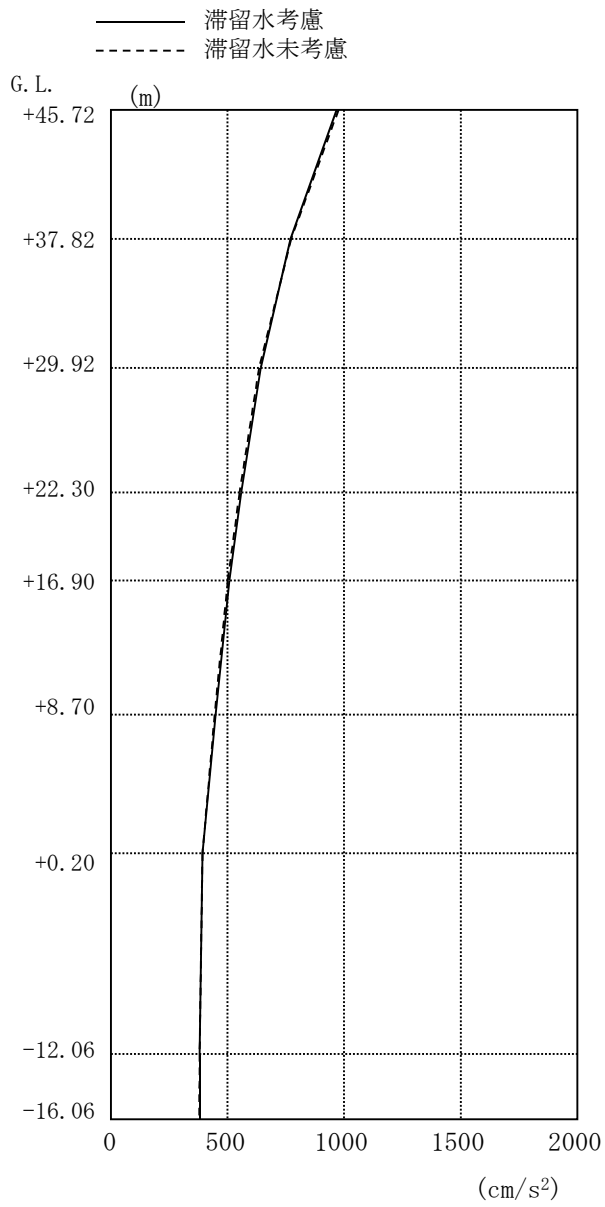


图 2. 2. 5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.2.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 2.2.6-1 及び表 2.2.6-2 に示す。また、図 2.2.6-1 及び図 2.2.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.08×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、2号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.2.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

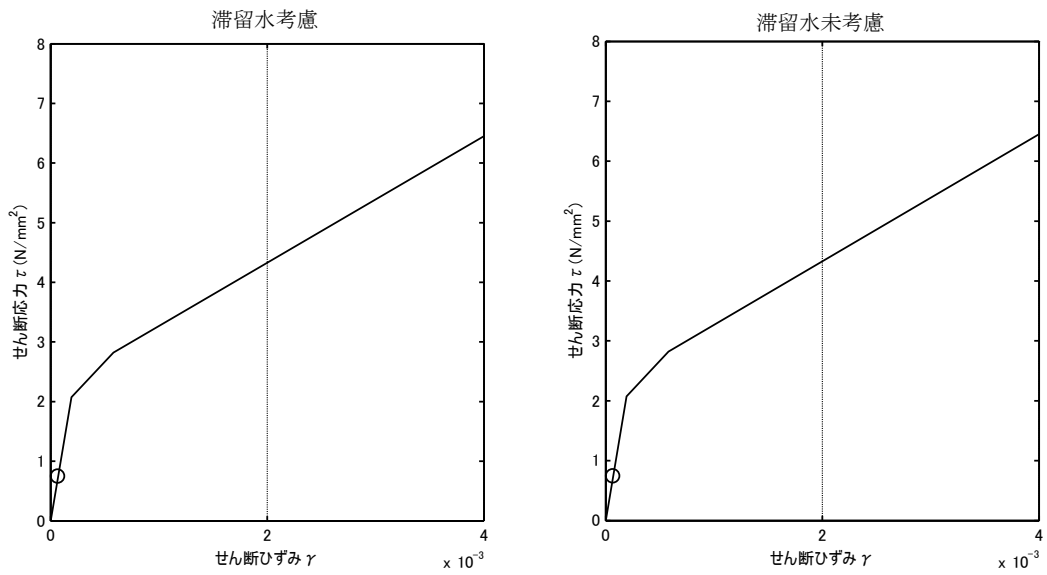
(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-12.06 | 考慮 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | |

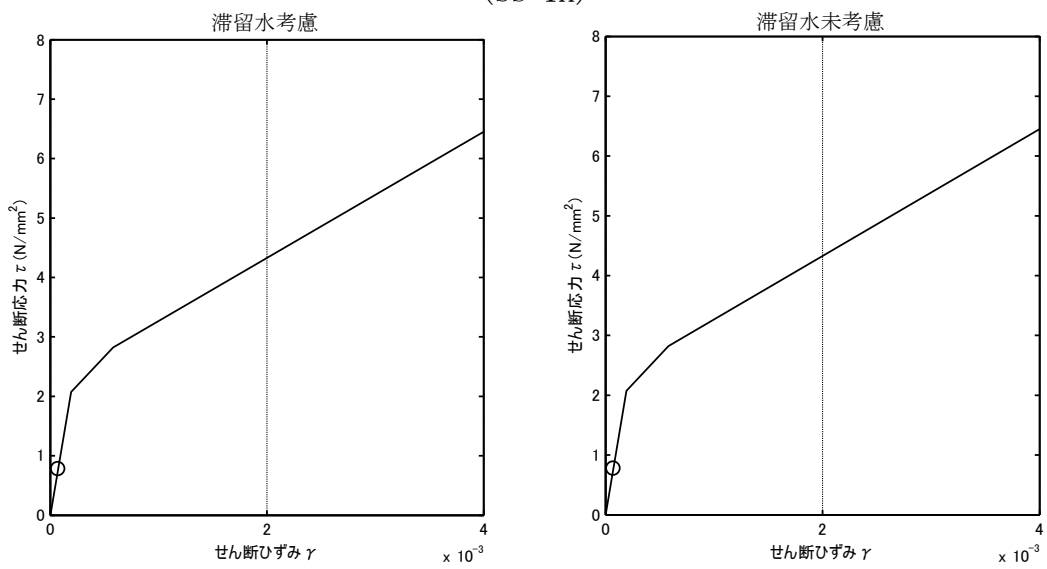
表 2.2.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

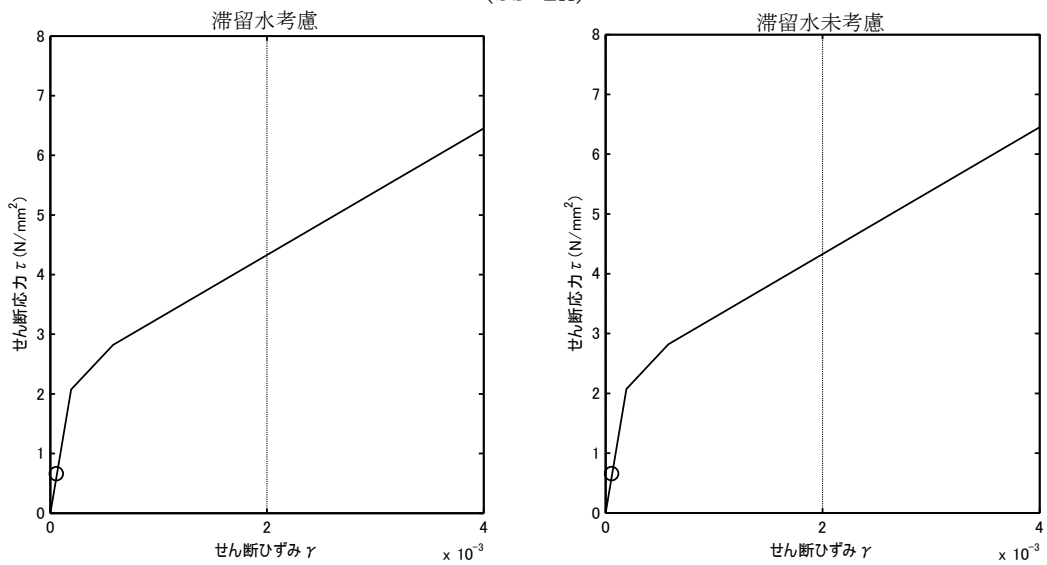
| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-12.06 | 考慮 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | |



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 2.2.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)

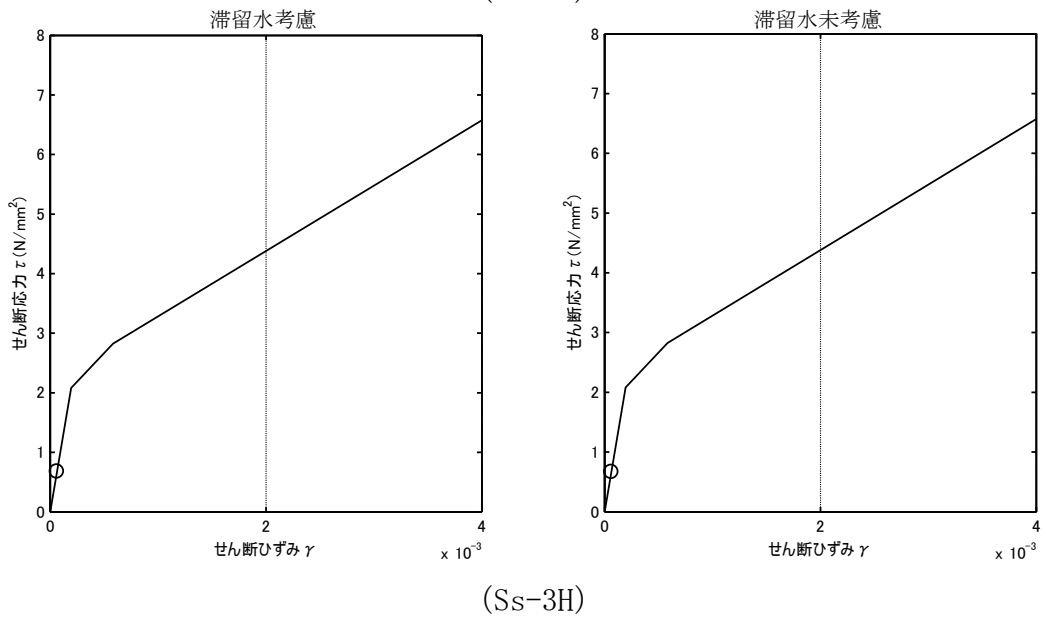
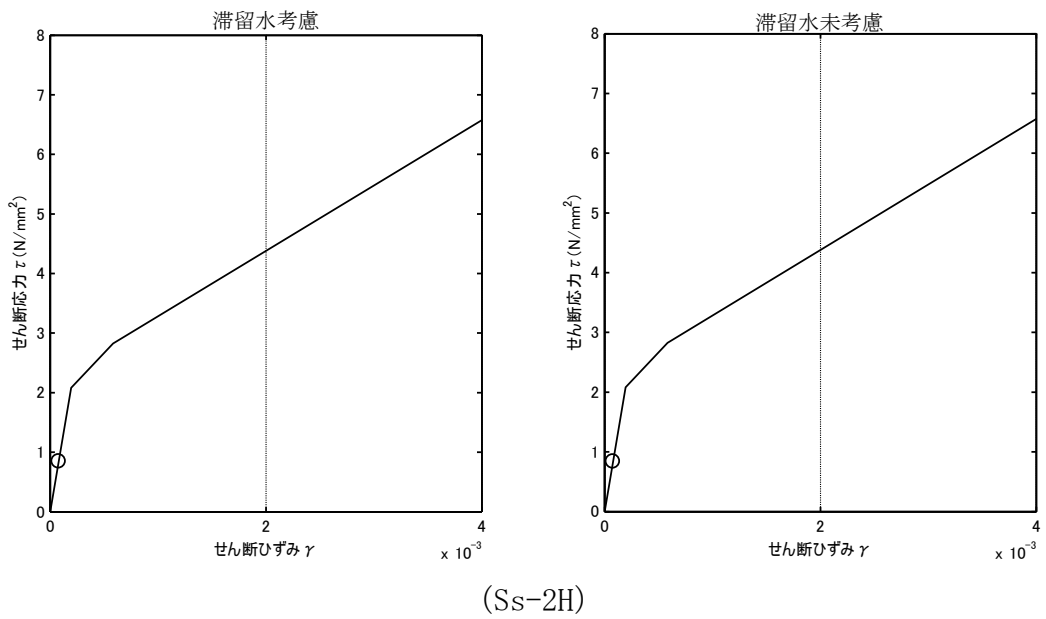
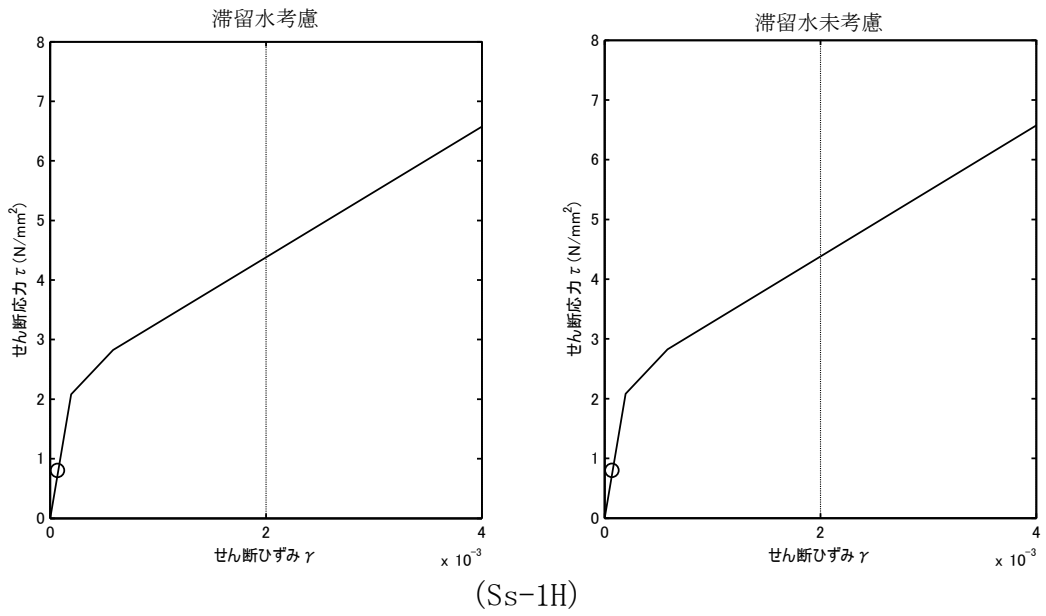


図 2.2.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

2.3 3号機原子炉建屋

2.3.1 解析評価方針

3号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

3号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 2.3.1-1 に示す。

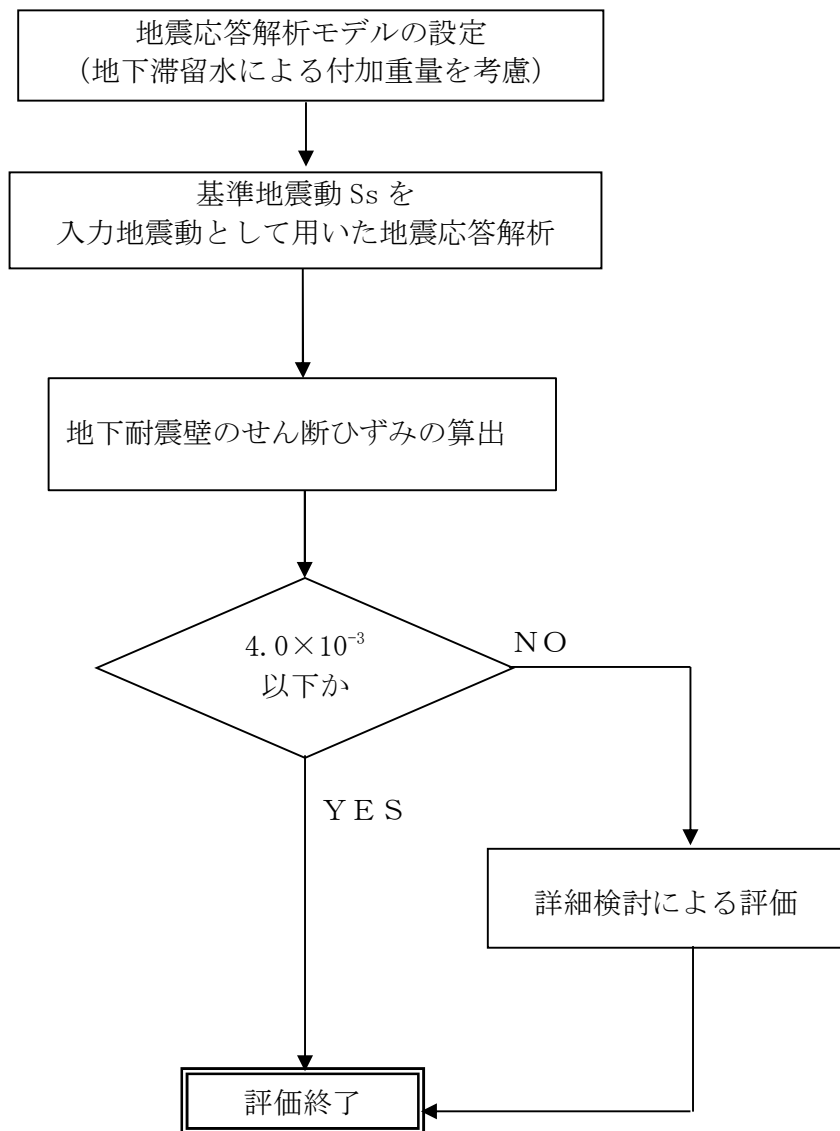


図 2.3.1-1 3号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.3.2 3号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

3号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.2-1 3号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 3号機 |
|-----|----------------------|
| 水位 | G. L. -6, 000 |
| 貯水量 | 6, 800m ³ |

2.3.3 解析に用いる入力地震動

3号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図2.3.3-1に示す。この3号機原子炉建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図2.3.3-2に示す。

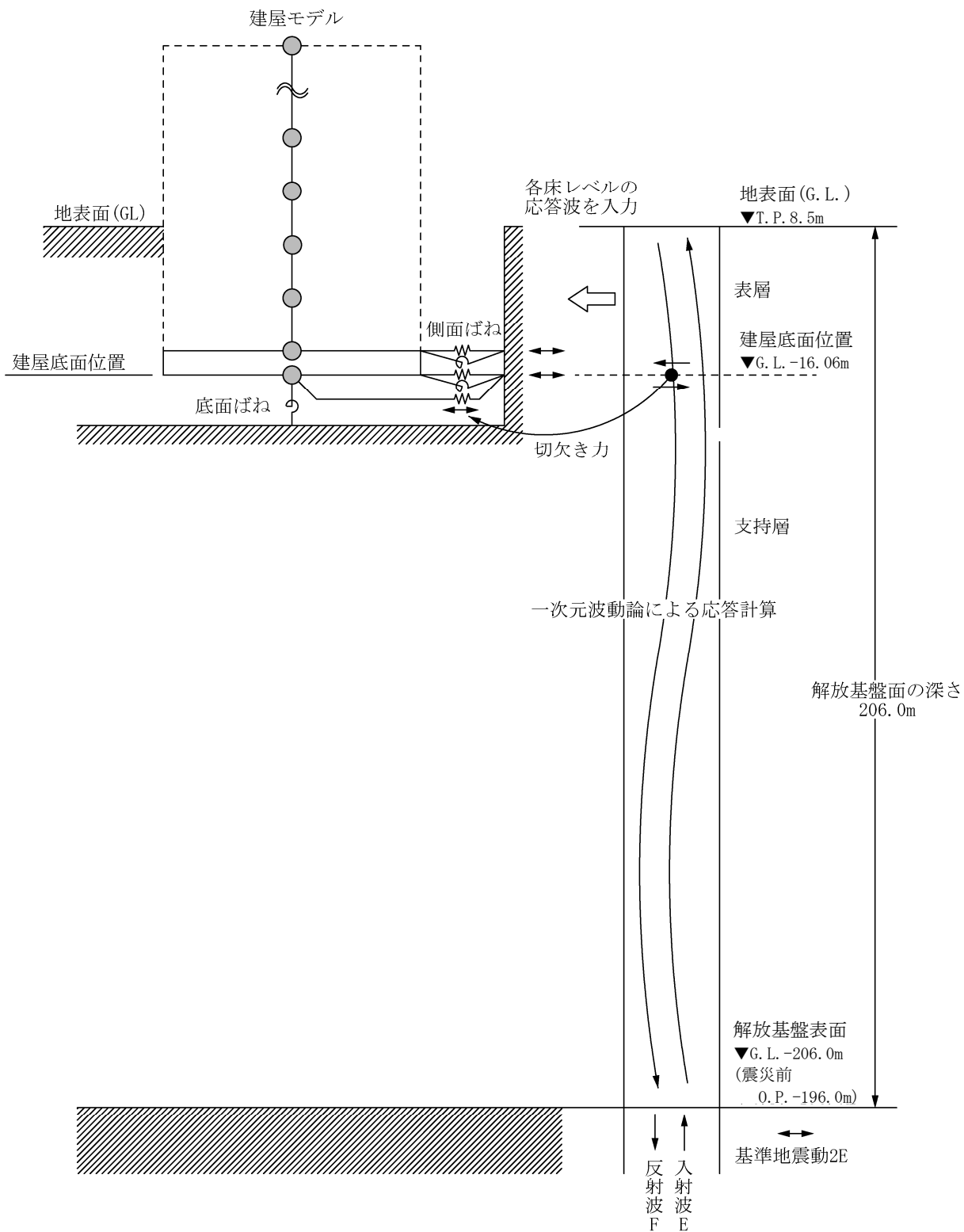


図 2.3.3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 〈換算式〉 T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

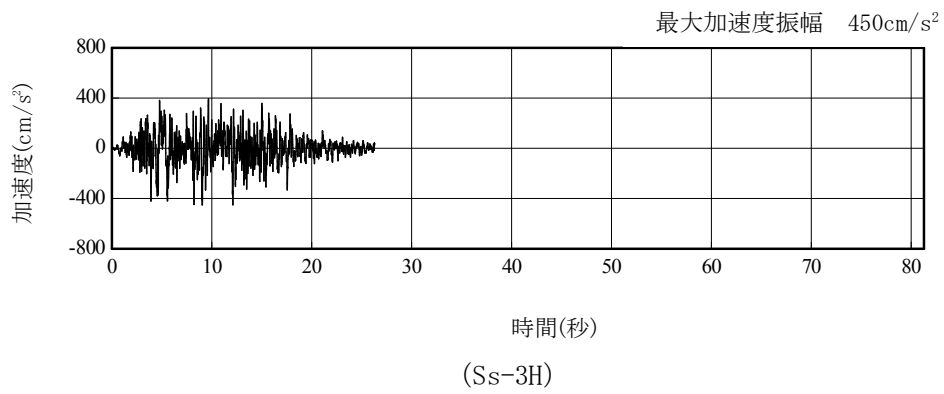
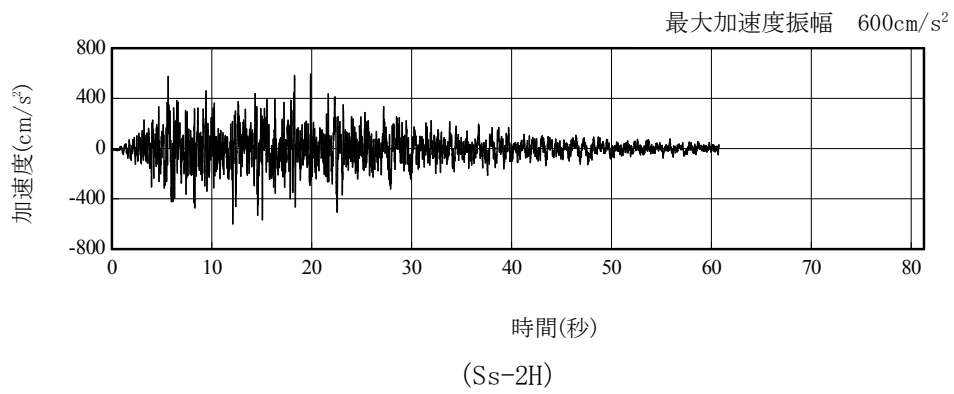
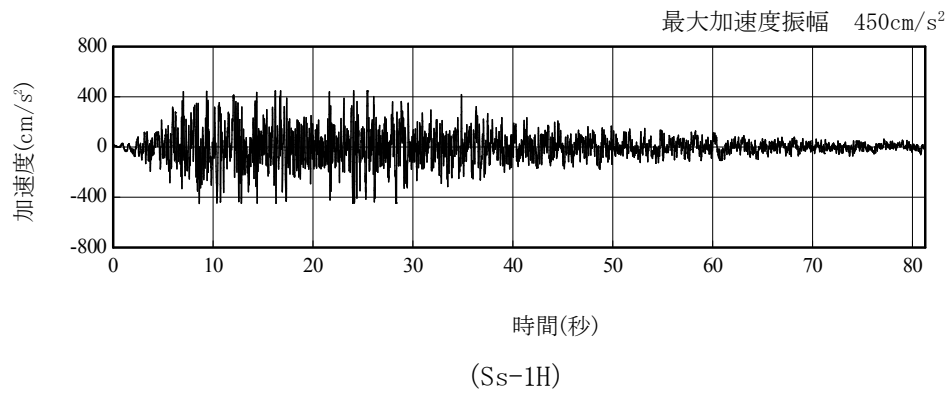


図 2.3.3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

2.3.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.3.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.3.4-1 及び図 2.3.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.3.4-1 に、建屋解析モデルの諸元^{*注}を表 2.3.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.3.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にし、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また、埋込部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.3.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

*注：建屋に係る部分の諸元については、「II-2-11 添付資料-4-2 3. 第 3 号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について」において原子炉建屋の耐震安全性評価に用いたモデルに、滞留水による重量増分を付加したものである。

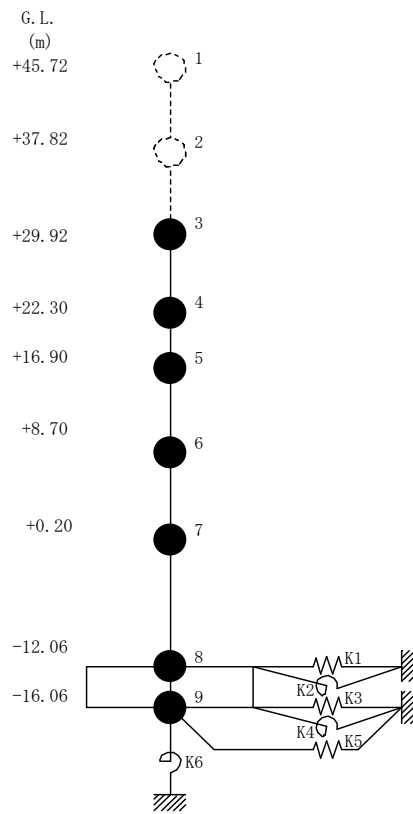


図 2.3.4-1 3号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

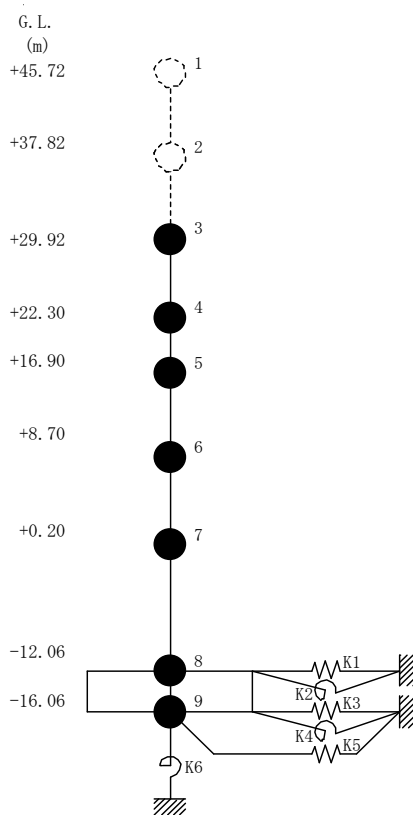


図 2.3.4-2 3号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 2.3.4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンク リート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|------------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |

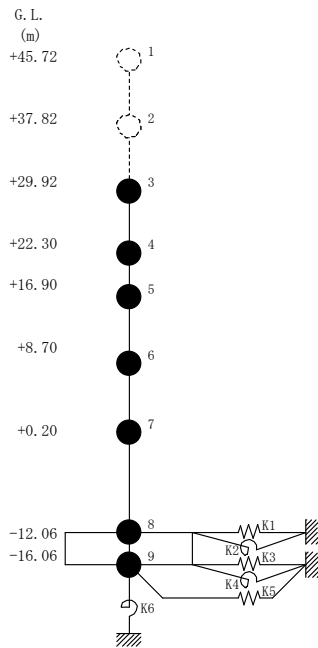
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

表 2.3.4-2 建屋解析モデルの諸元

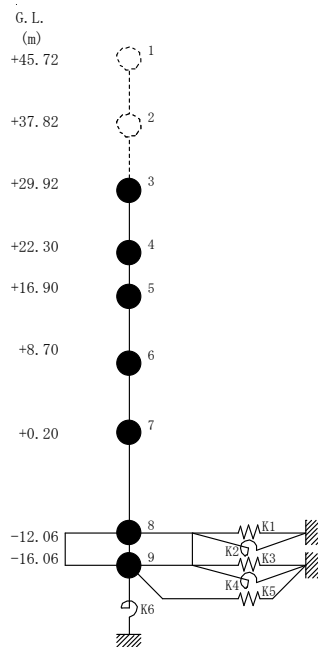
NS 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|---------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — |
| 3 | 87,590 | 92.34 | 145.3 | 9,598 |
| 4 | 119,490 | 238.33 | 146.1 | 29,271 |
| 5 | 111,340 | 204.95 | 237.3 | 56,230 |
| 6 | 130,160 | 239.58 | 208.6 | 60,144 |
| 7 | 253,710 | 467.09 | 458.7 | 112,978 |
| 8 | 367,710 (66,690) | 676.94 (122.77) | 2,697.8 | 496,620 |
| 9 | 127,000 | 233.79 | | |
| 合計 | 1,197,000 | | | |

柱：()内は滞留水による付加分を示す
 ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 47.0m(NS方向) × 57.4m(EW方向)

EW 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|---------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — |
| 3 | 87,590 | 67.32 | 61.9 | 5,665 |
| 4 | 119,490 | 124.49 | 123.4 | 12,460 |
| 5 | 111,340 | 204.95 | 204.1 | 41,352 |
| 6 | 130,160 | 239.58 | 226.6 | 61,084 |
| 7 | 253,710 | 696.62 | 431.3 | 135,128 |
| 8 | 367,710 (66,690) | 1,009.61 (183.11) | 2,697.8 | 740,717 |
| 9 | 127,000 | 348.72 | | |
| 合計 | 1,197,000 | | | |

柱：()内は滞留水による付加分を示す
 ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 47.0m(NS方向) × 57.4m(EW方向)

表 2.3.4-3 (1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.3.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 2.3.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

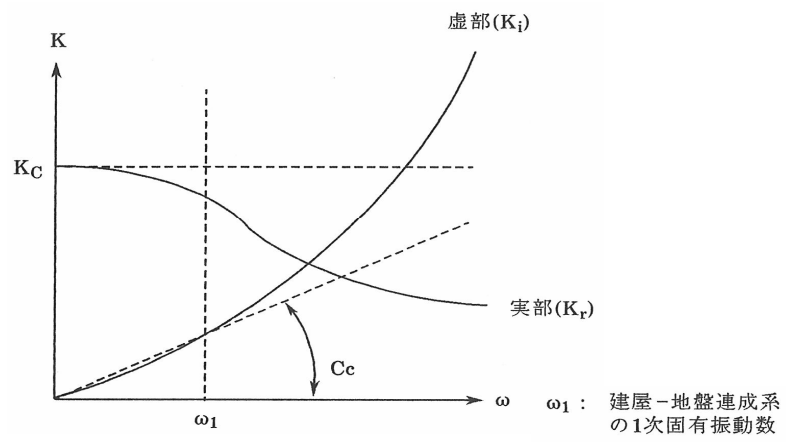


図 2.3.4-3 地盤ばねの近似

2.3.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して*注, 図 2.3.5-1~図 2.3.5-6 に示す。

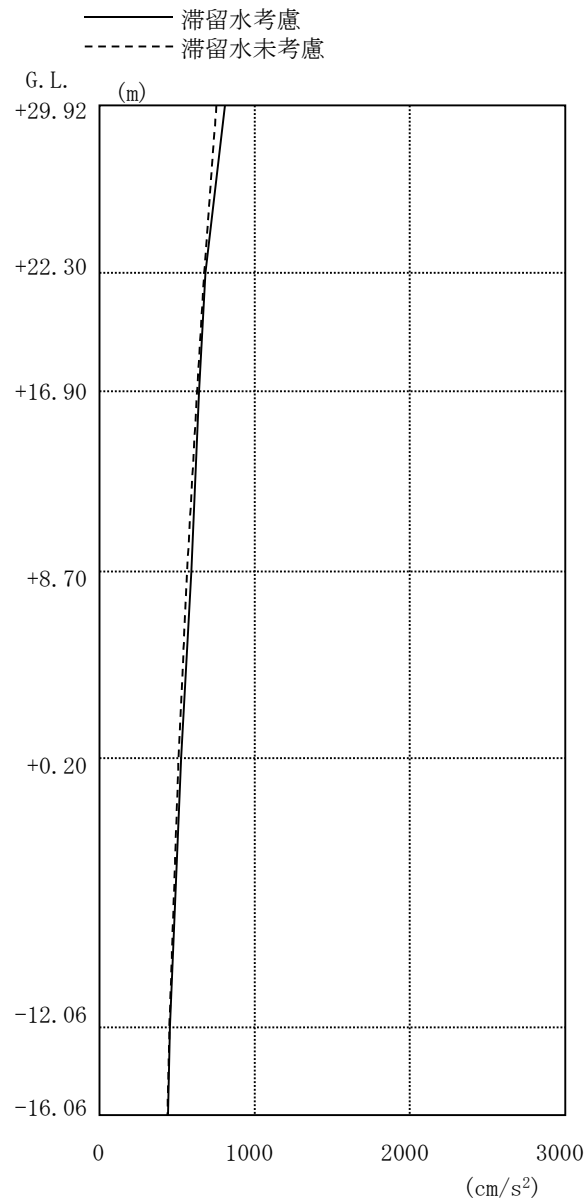


図 2.3.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

*注：滞留水考慮：本検討における結果であり，滞留水の重量の他，瓦礫撤去等による重量増減や燃料取り出し用カバールの重量を考慮したもの。

滞留水未考慮：損傷前の「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書 (改訂版)」(原管発官 21 第 110 号 平成 21 年 6 月 19 日付け)の結果。

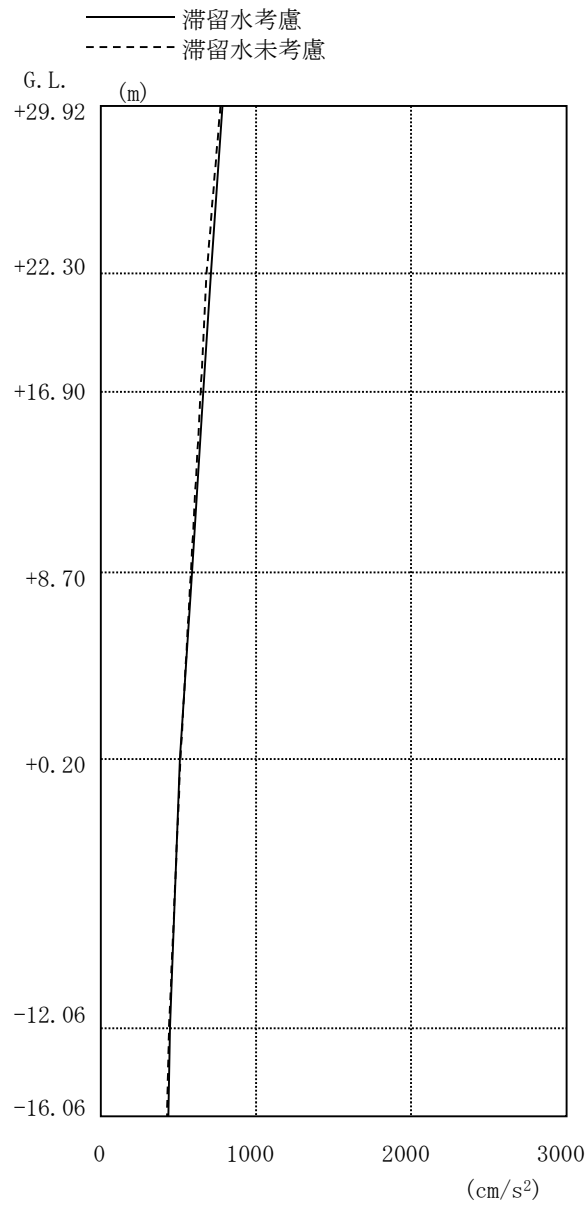


图 2.3.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

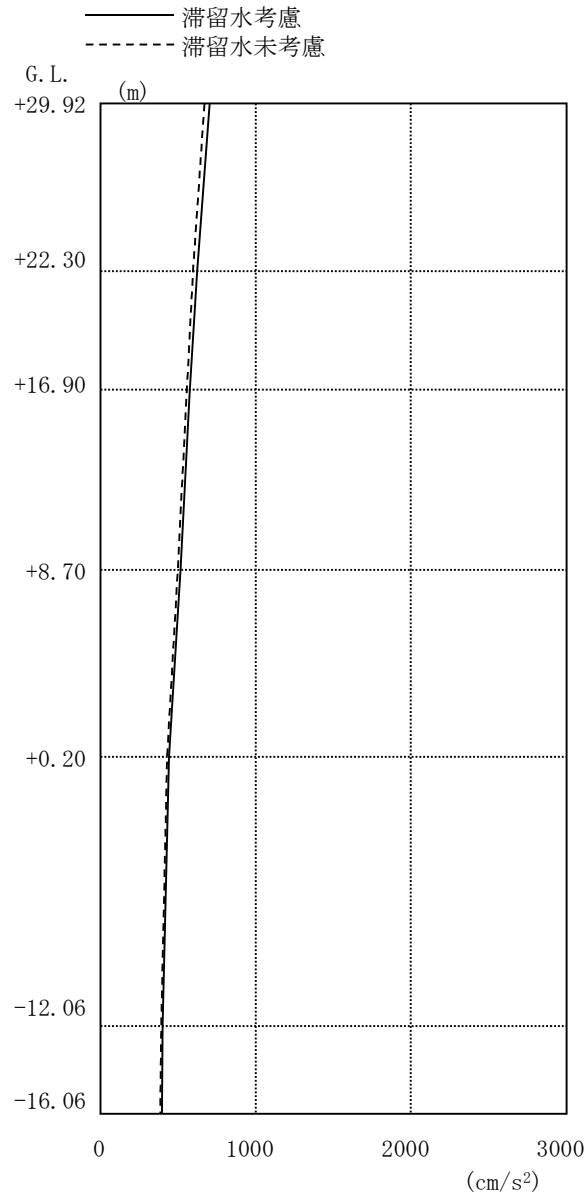


图 2.3.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

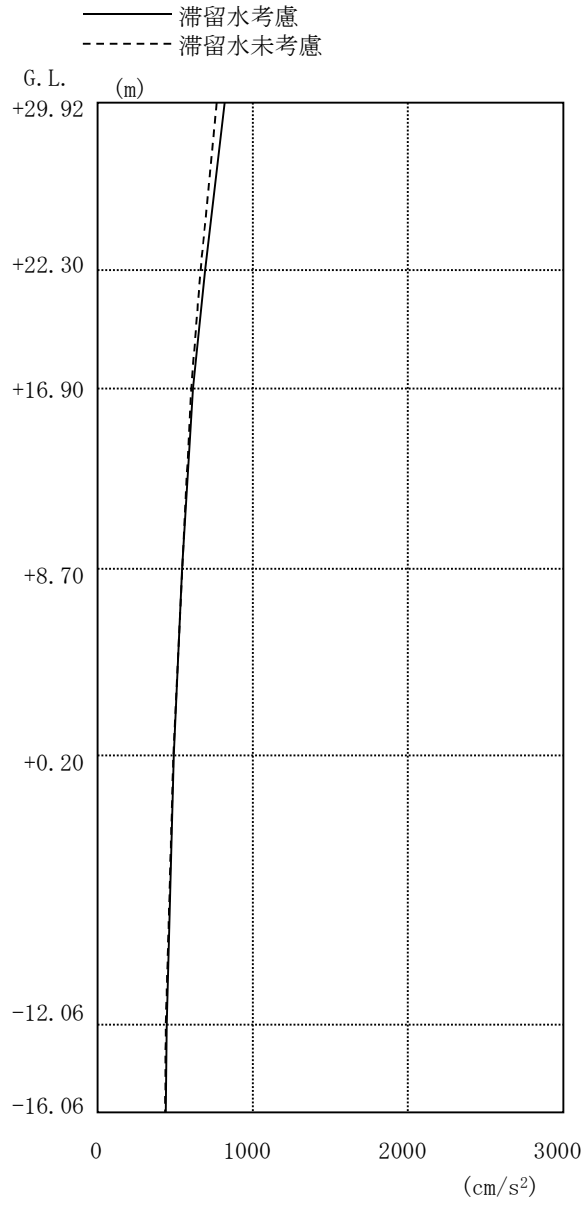


图 2.3.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

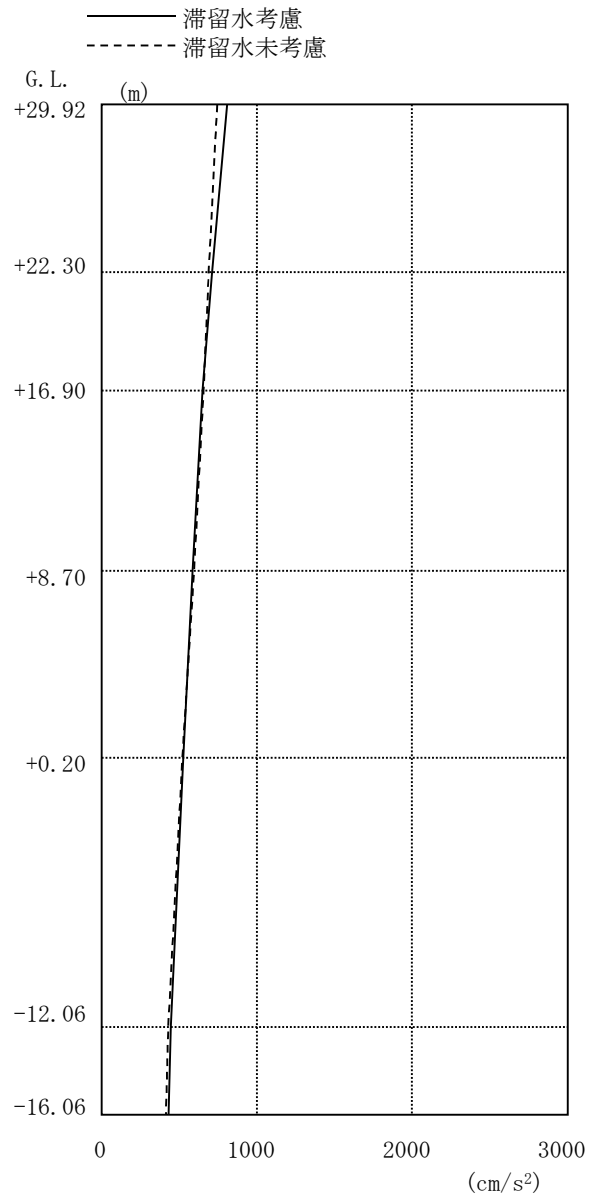


图 2.3.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

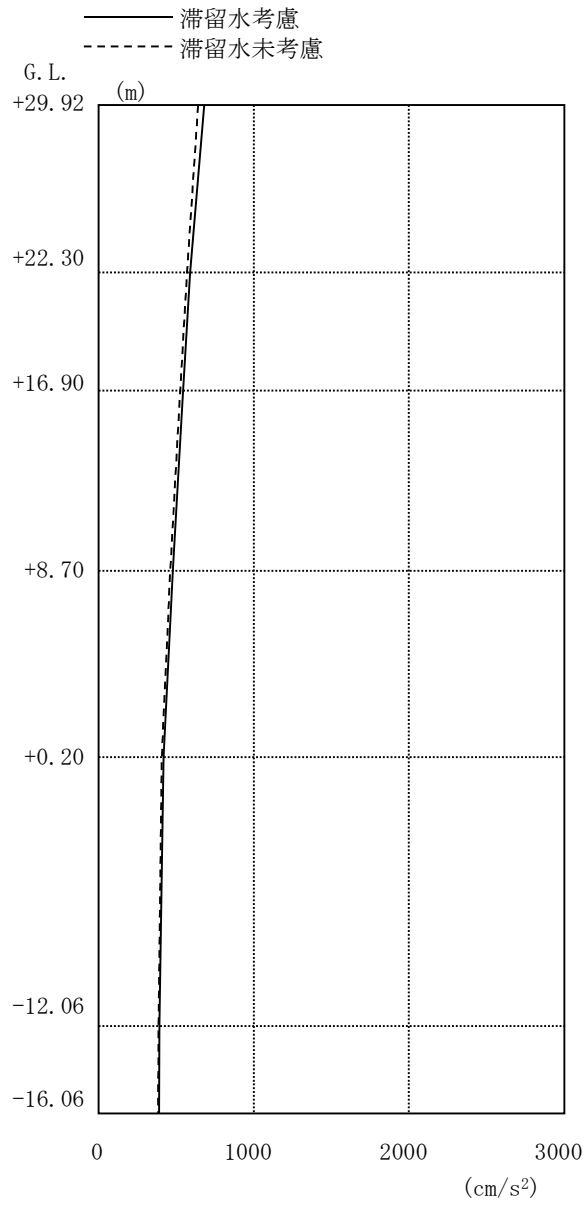


图 2.3.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.3.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 2.3.6-1 及び表 2.3.6-2 に示す。また、図 2.3.6-1 及び図 2.3.6-2 に基準地震動 Ss に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.10×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.3.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

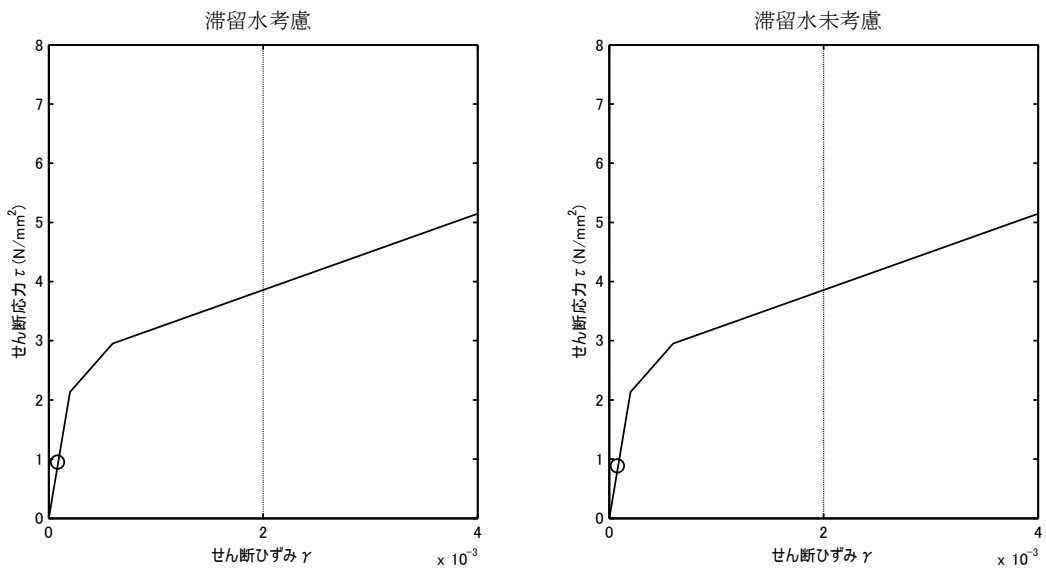
(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-12.06 | 考慮 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | |

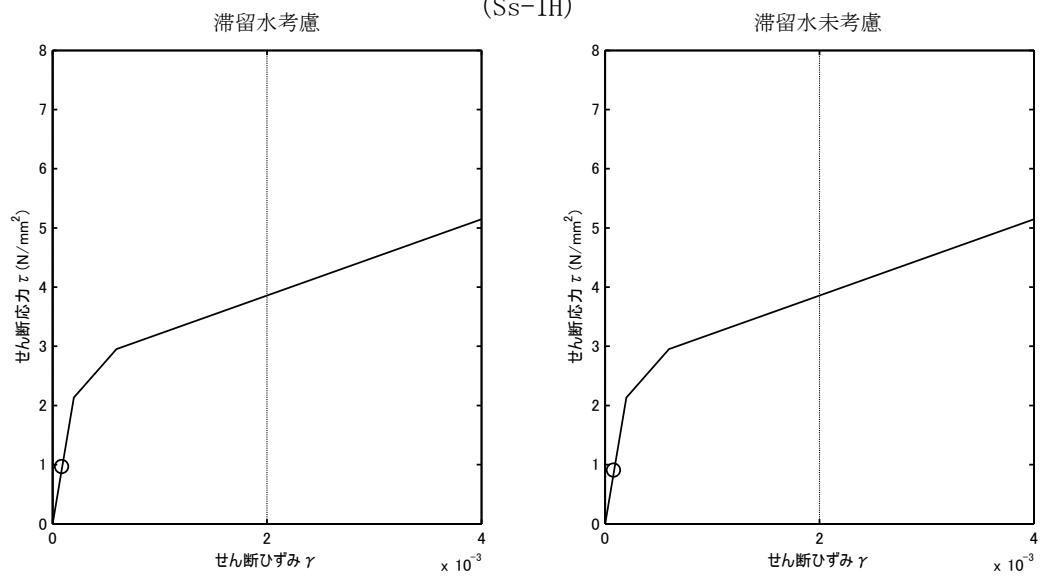
表 2.3.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

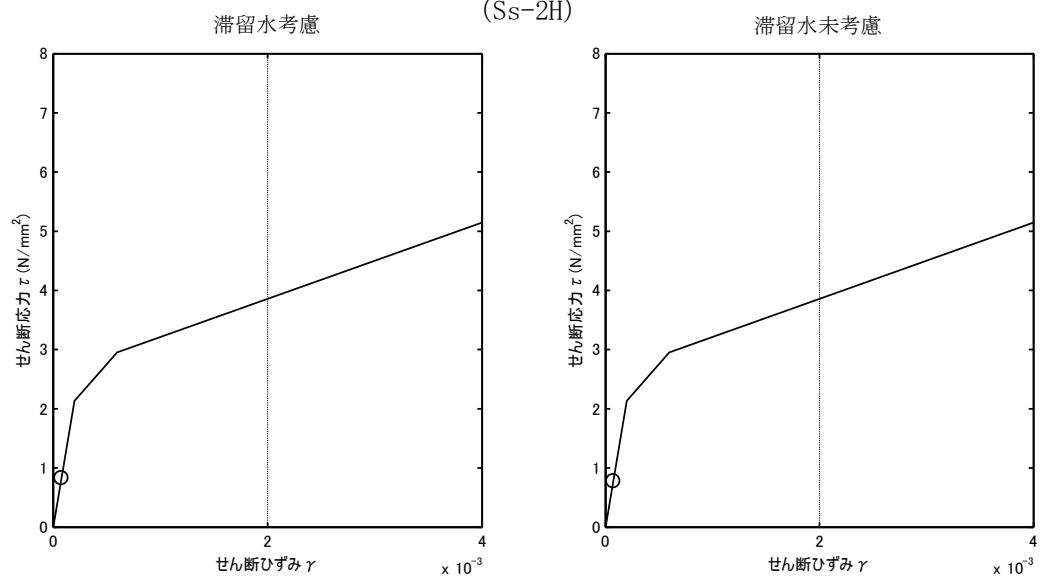
| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-12.06 | 考慮 | 0.09 | 0.10 | 0.08 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | |



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 2.3.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)

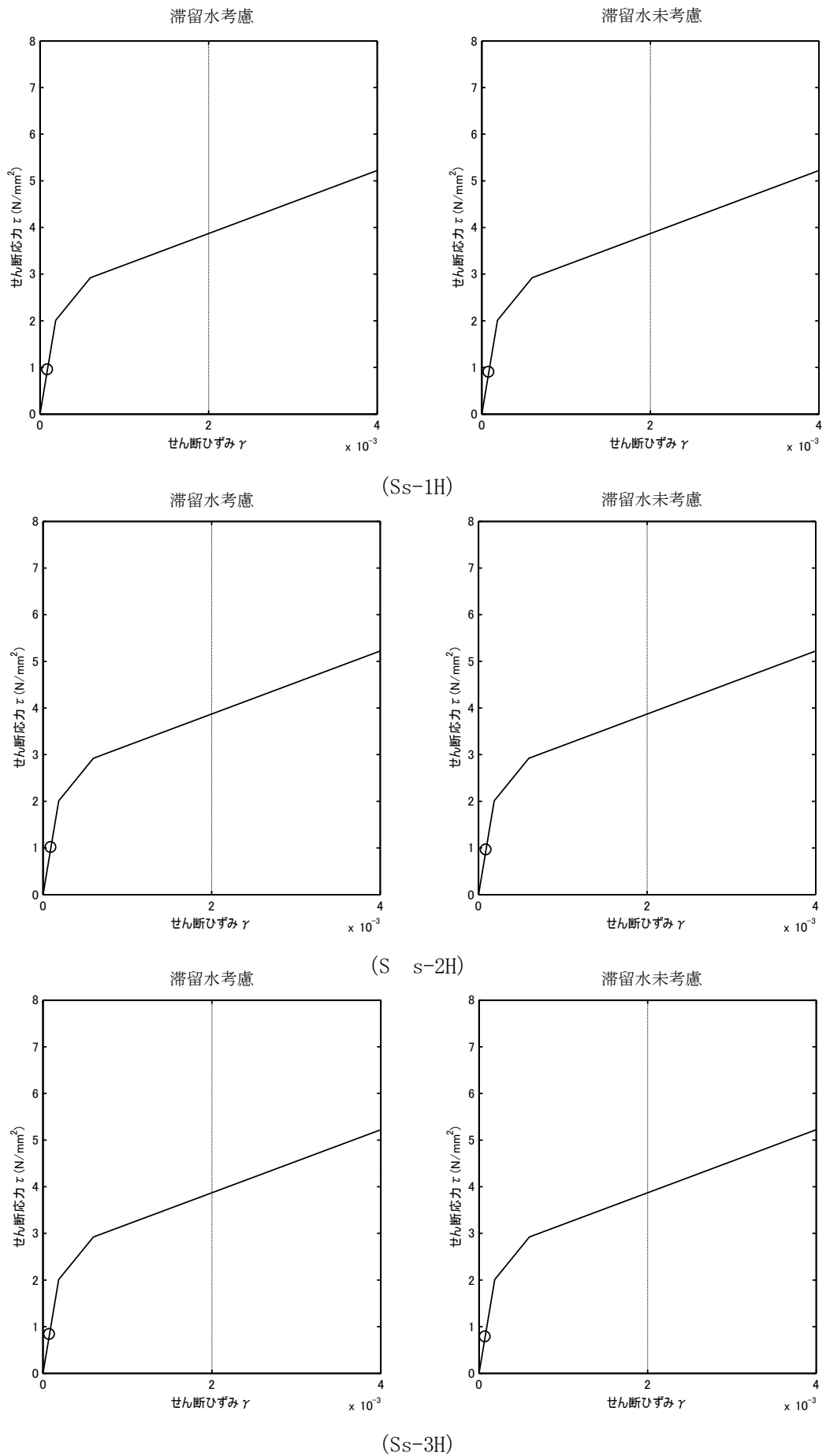


図 2.3.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

3 タービン建屋

3.1 3号機タービン建屋（代表号機）

3.1.1 解析評価方針

タービン建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

タービン建屋については地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下1階から地上3階に設置された機器を含む建屋全域をNS, EW方向とも多軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

タービン建屋の地震応答解析の評価手順例を、図-3.1.1に示す。

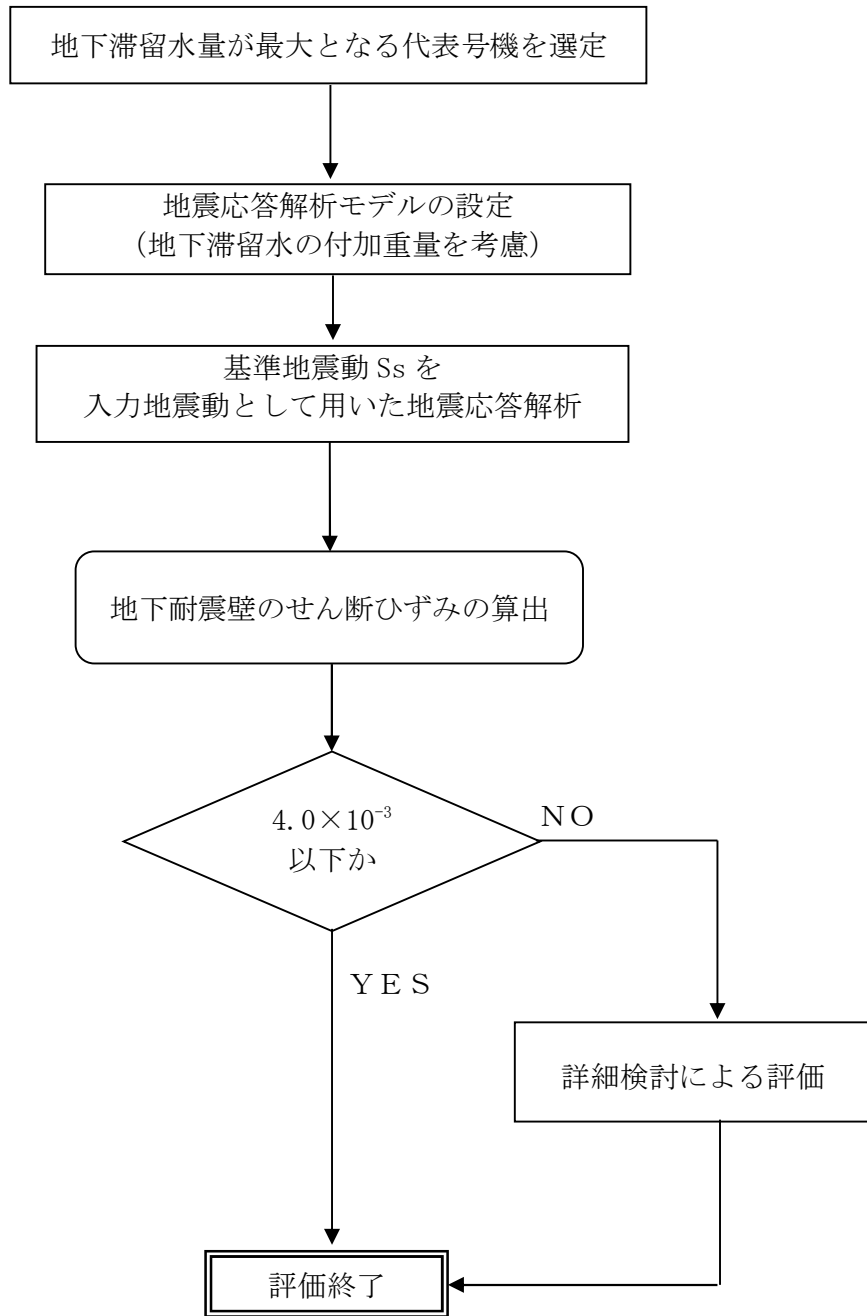


図 3.1.1-1 タービン建屋の地震応答解析の評価手順例

3.1.2 代表号機の選定

タービン建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 3.1.2-1 に示す。表 3.1.2-1 より、貯水量の最も多い3号機を代表号機と選定する。

表 3.1.2-1 タービン建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 |
|-----|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 水位 | G. L. -4, 700 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 |
| 貯水量 | 9, 600m ³ | 13, 500m ³ | 16, 400m ³ | 12, 800m ³ |

3.1.3 解析に用いる入力地震動

3号機タービン建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図3.1.3-1に示す。この3号機タービン建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図3.1.3-2に示す。

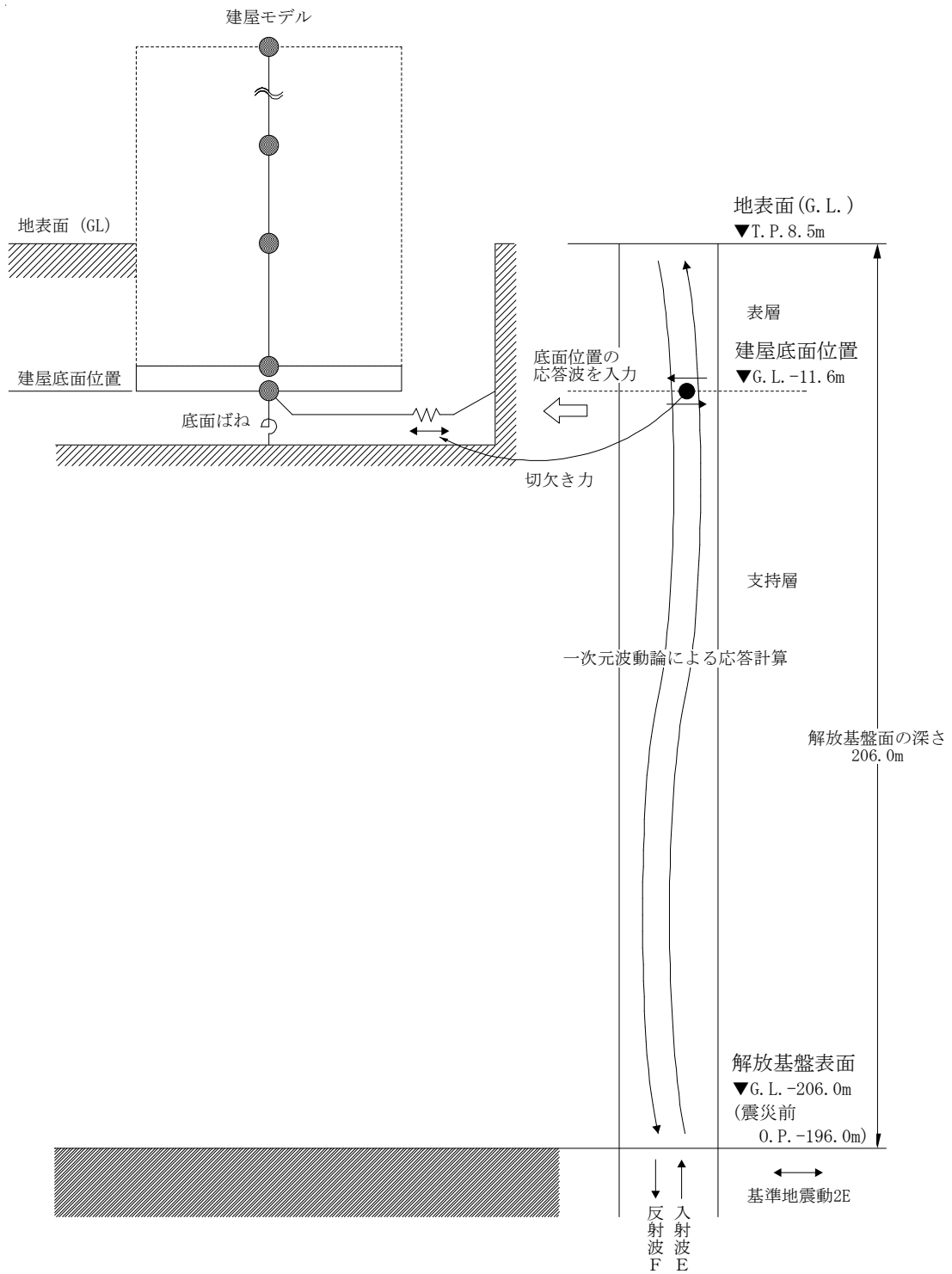
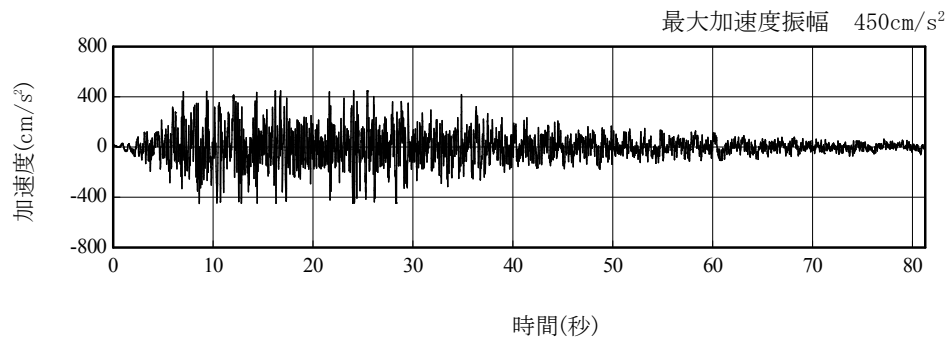


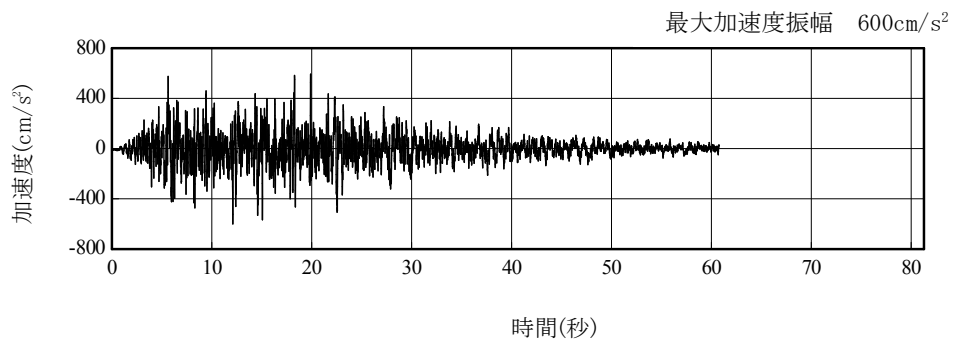
図 3. 1. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-710mm) と O.P. から T.P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

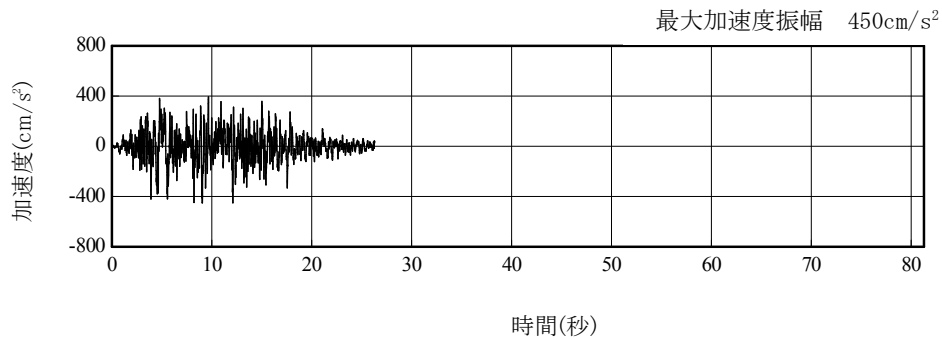
〈換算式〉 T.P. = 旧 O.P. - 1,437mm



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 3. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

3.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3号機タービン建屋の地震応答解析は、「3.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 3.1.4-1 及び図 3.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 3.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を図 3.1.4-3～図 3.1.4-6 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 3.1.4-2 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にし、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 3.1.4-7 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

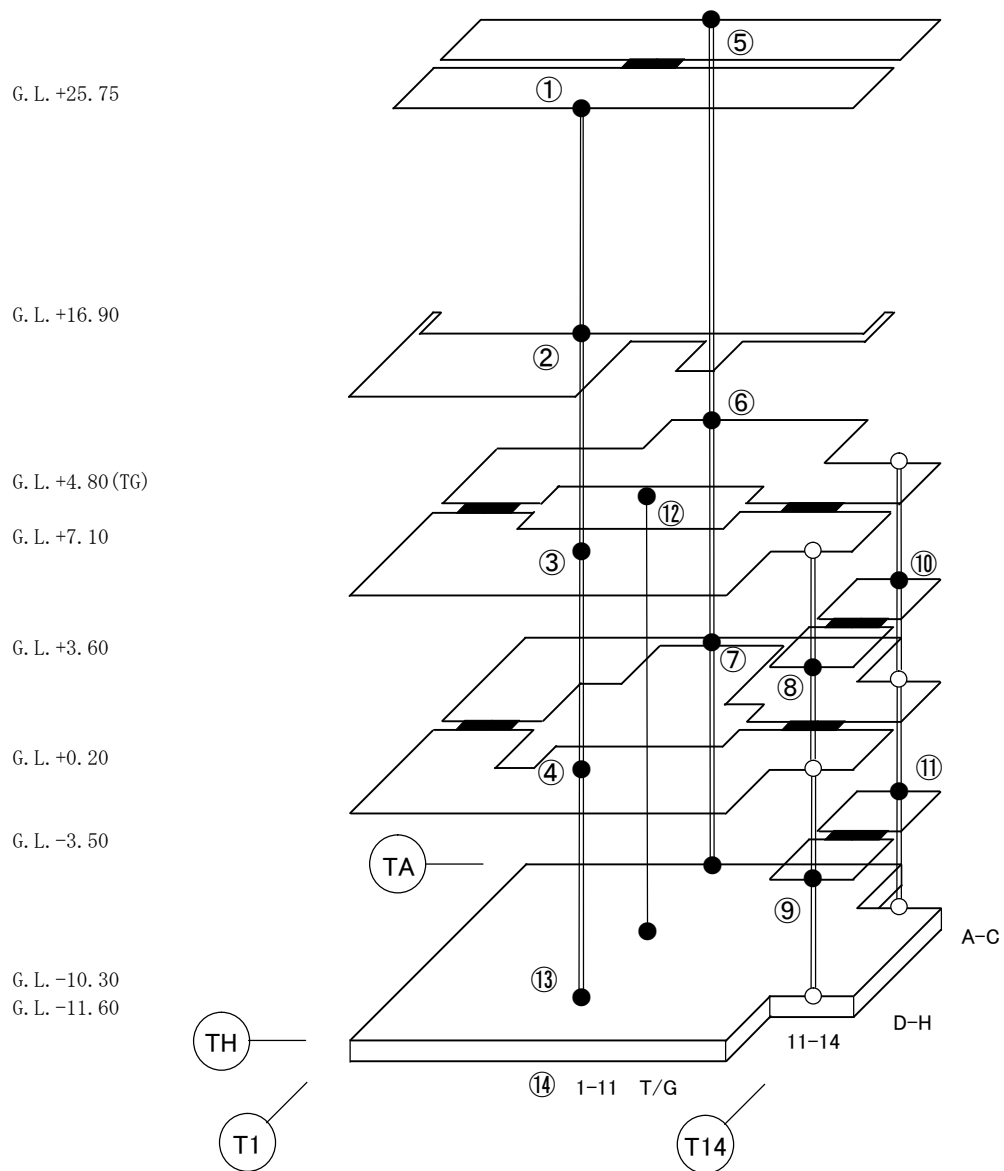


図 3.1.4-1 3号機タービン建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

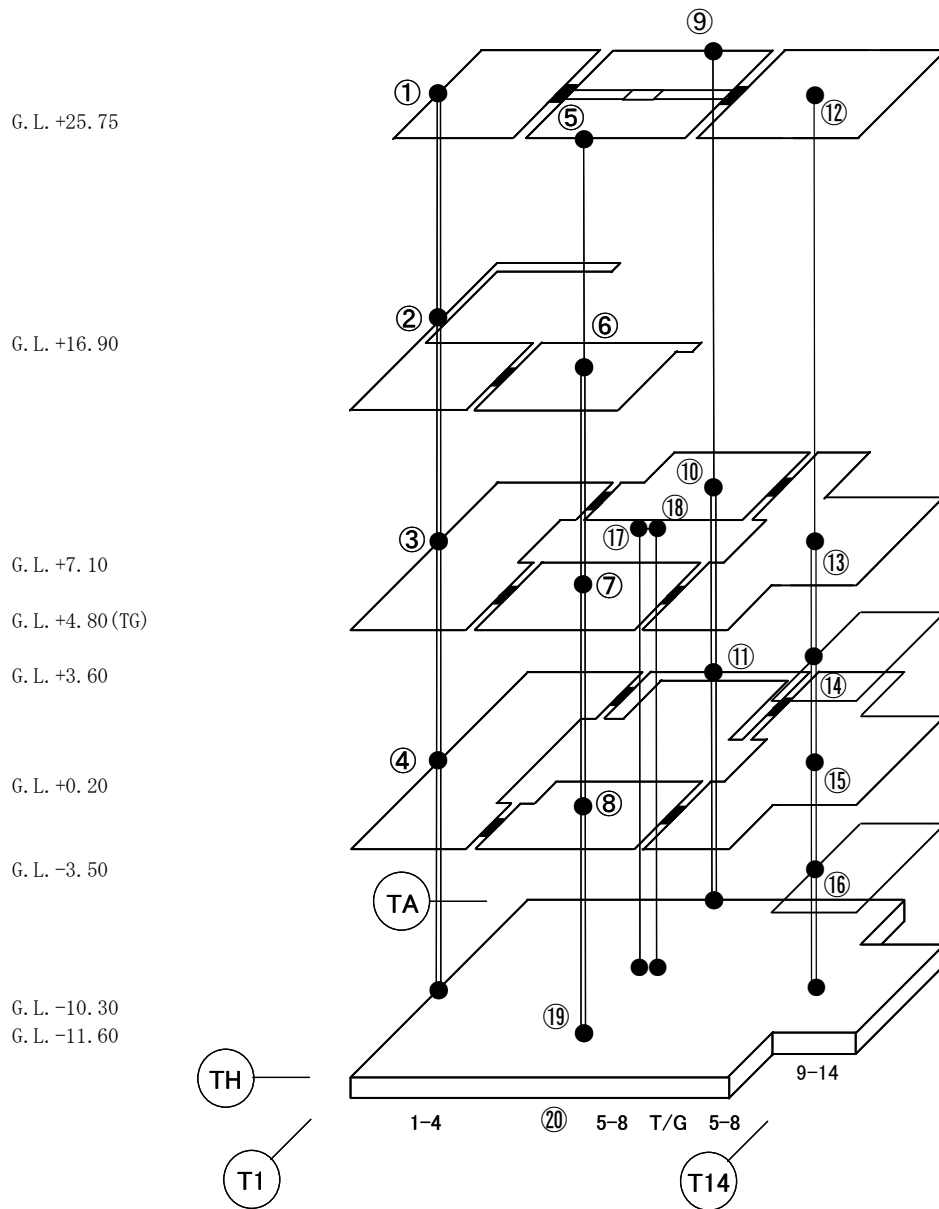


図 3. 1. 4-2 3号機タービン建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

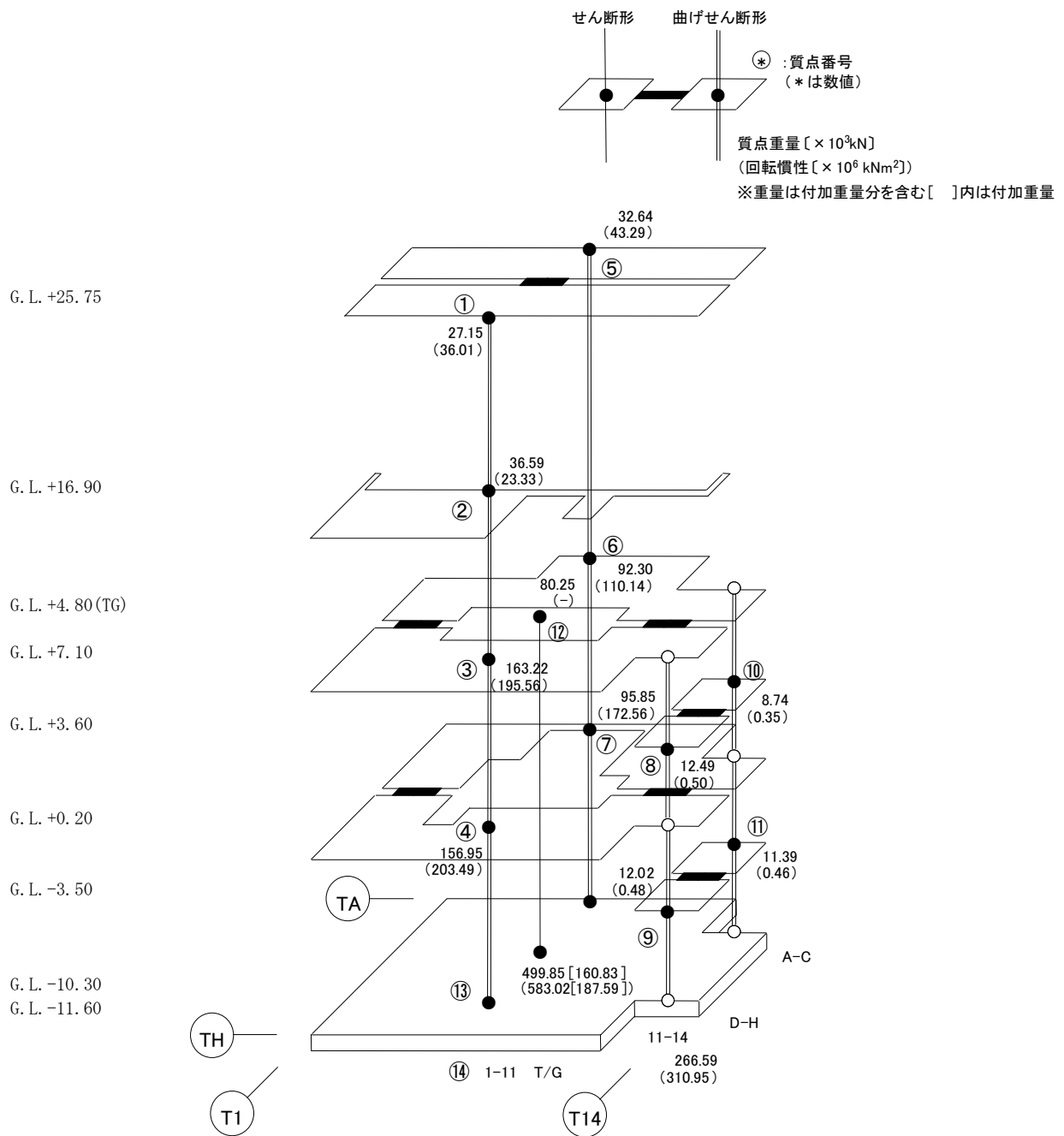
表 3.1.4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンク リート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|------------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |
| 鋼材 | SS400相当 (SS41) | | | | |

*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまるめた値とした。

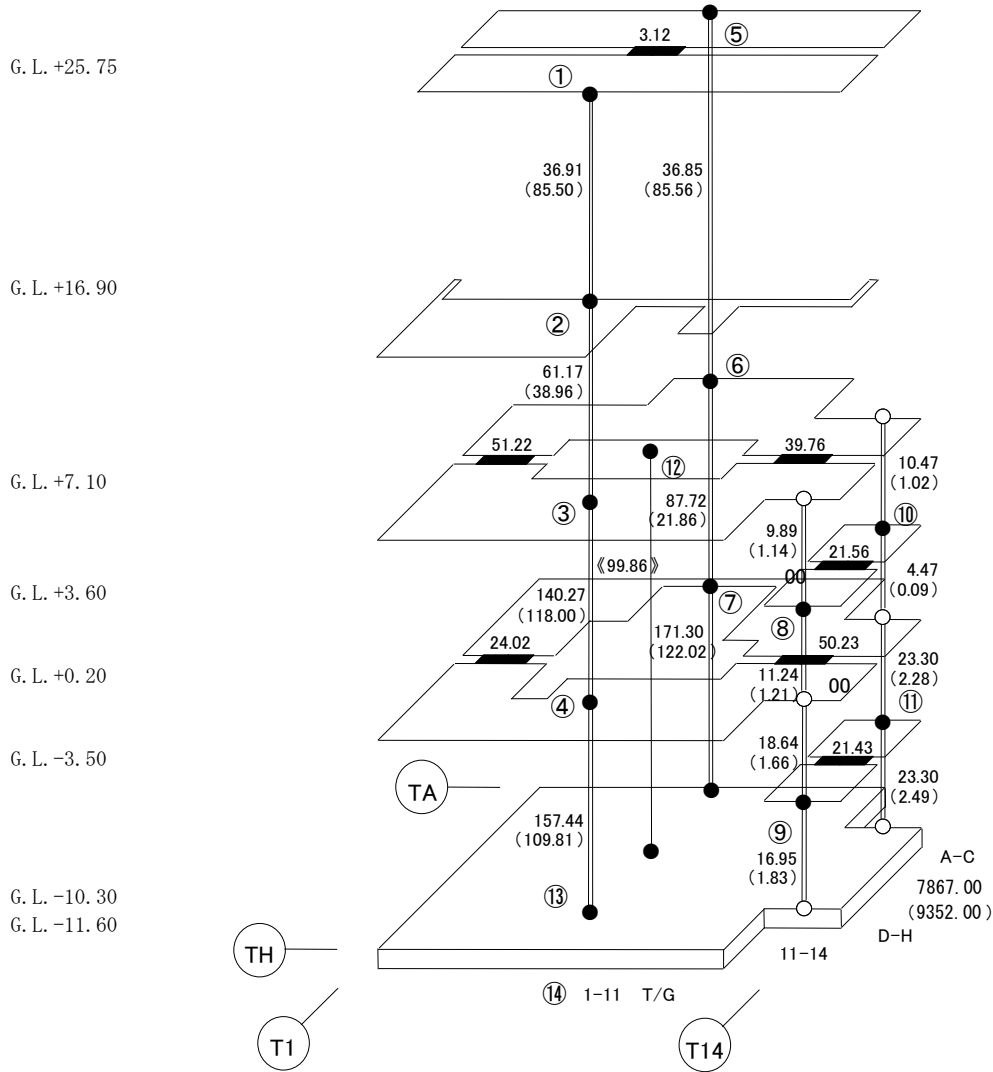
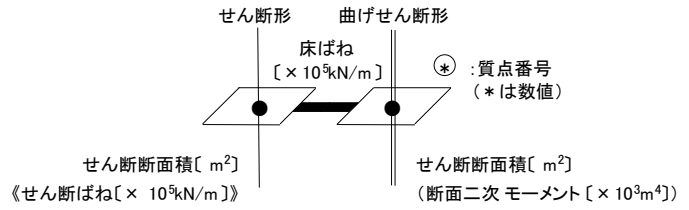
*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。



総重量 : 1,496,030 kN

図 3.1.4-3 建屋解析モデルの諸元 (重量・回転慣性) (NS 方向)



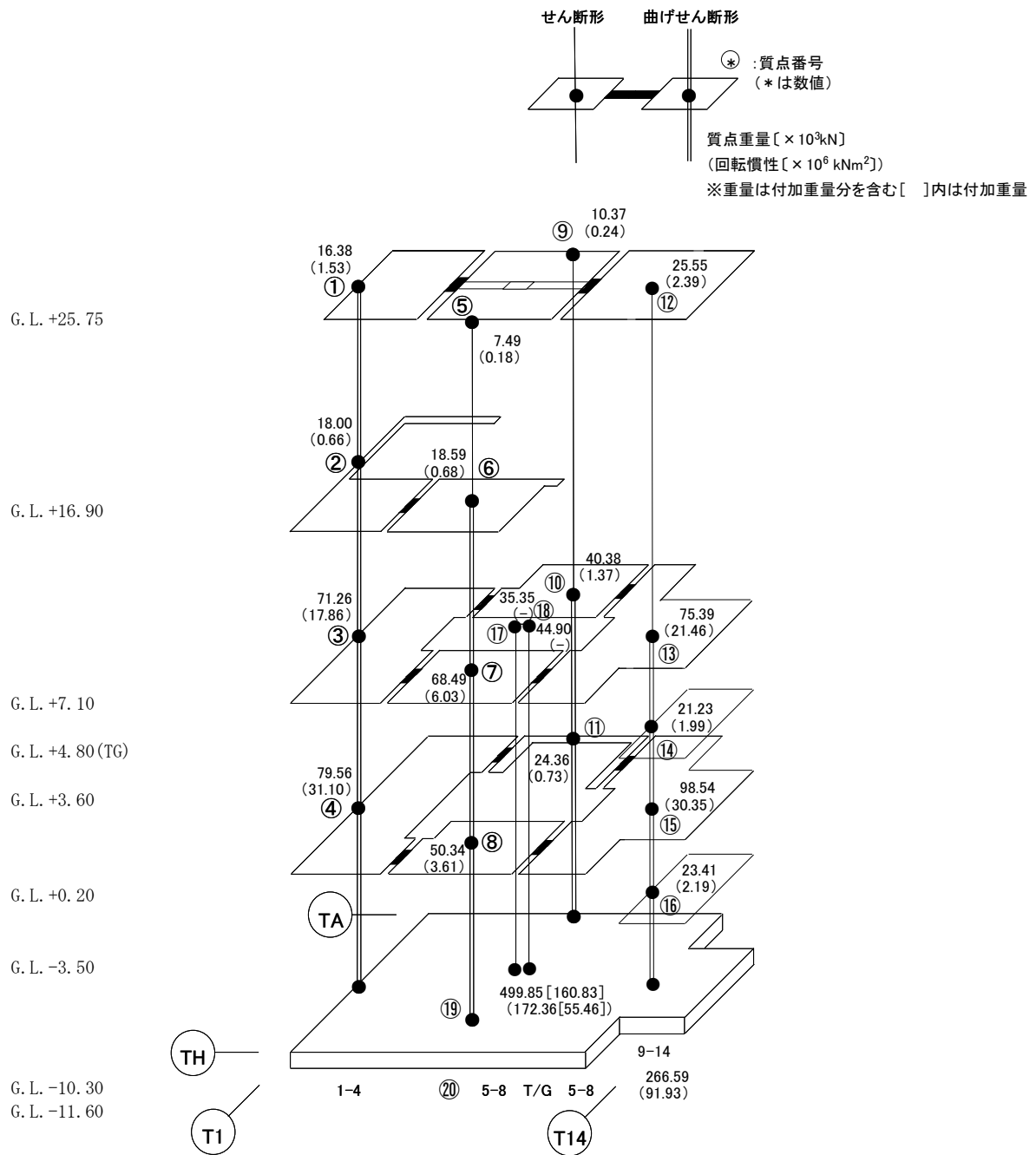
建屋の物性値

ヤング係数 : $E = 2.57 \times 10^7$ [kN/m^2] コンクリートの物性

せん断弾性係数 : $G = 10.7 \times 10^6$ [kN/m^2] コンクリートの物性

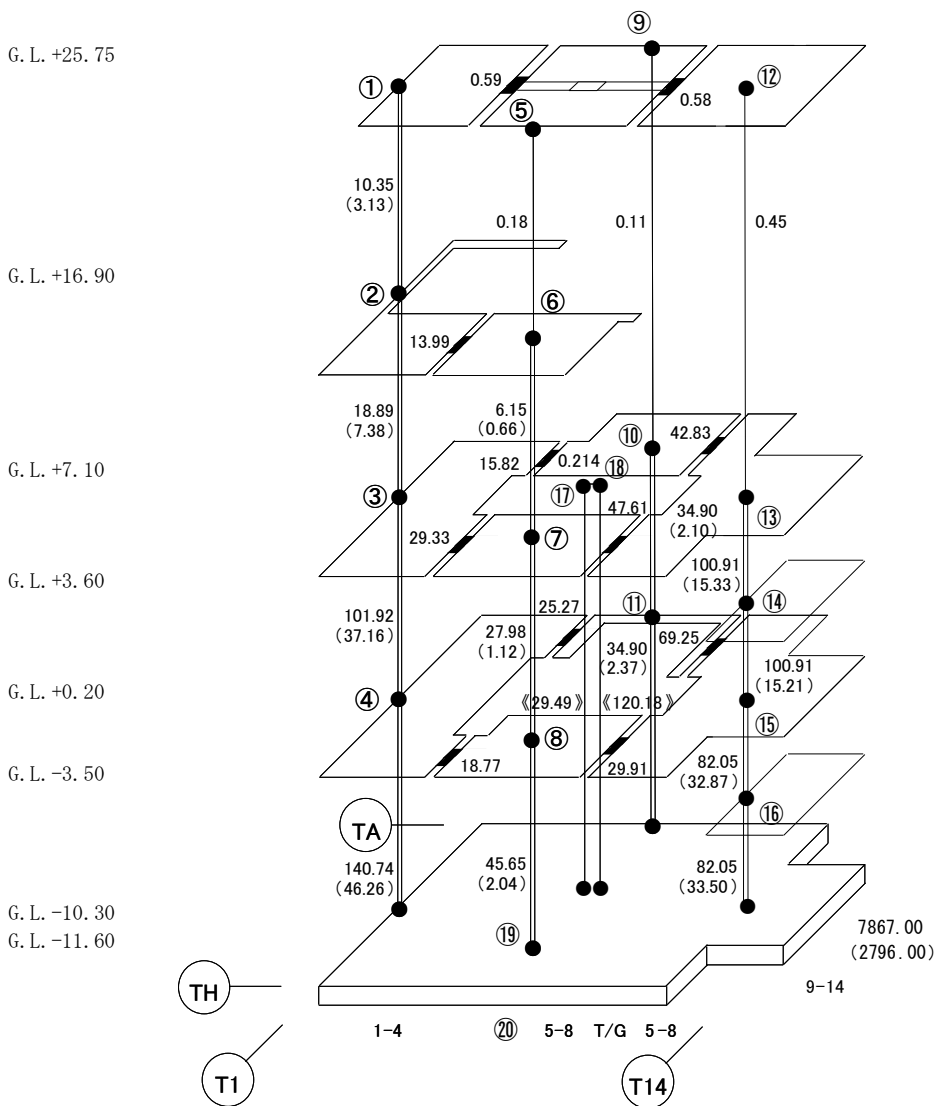
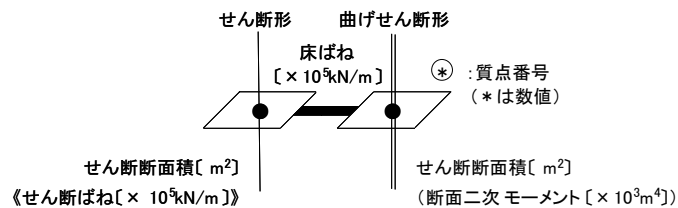
基礎形状 116.38m (NS 方向) x 67.60m (EW 方向)

図 3.1.4-4 建屋解析モデルの諸元 (剛性) (NS 方向)



総重量 : 1,496,030 kN

図 3.1.4-5 建屋解析モデルの諸元 (重量・回転慣性) (EW 方向)



建屋の物性値

ヤング係数 : $E = 2.57 \times 10^7$ [kN/m^2] コンクリートの物性
せん断弾性係数 : $G = 10.7 \times 10^6$ [kN/m^2] コンクリートの物性
基礎形状 116.38m (NS方向) \times 67.60m (EW方向)

図 3.1.4-6 建屋解析モデルの諸元 (剛性) (EW方向)

表 3.1.4-2 (1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 3.1.4-2 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 3.1.4-2 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

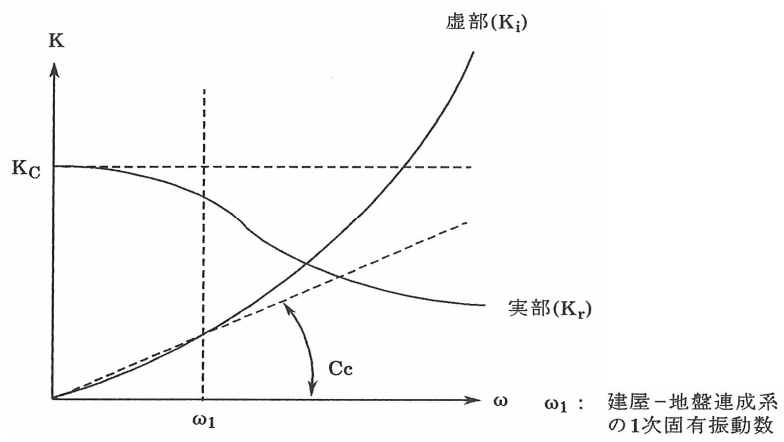


図 3.1.4-7 地盤ばねの近似

3.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して, 図 3.1.5-1～図 3.1.5-6 に示す。

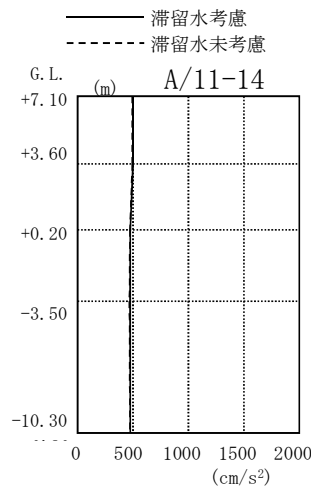
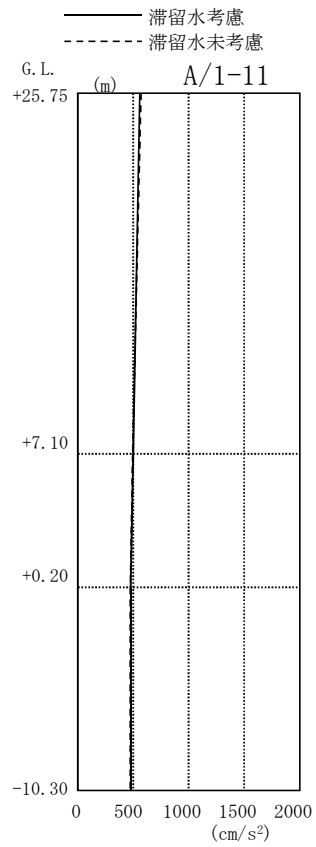
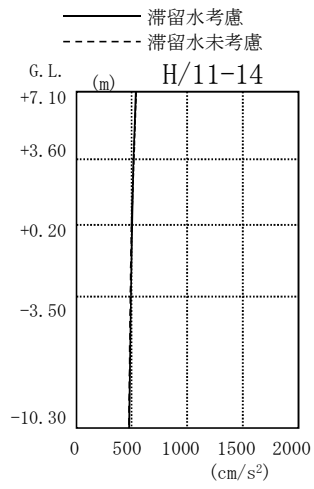
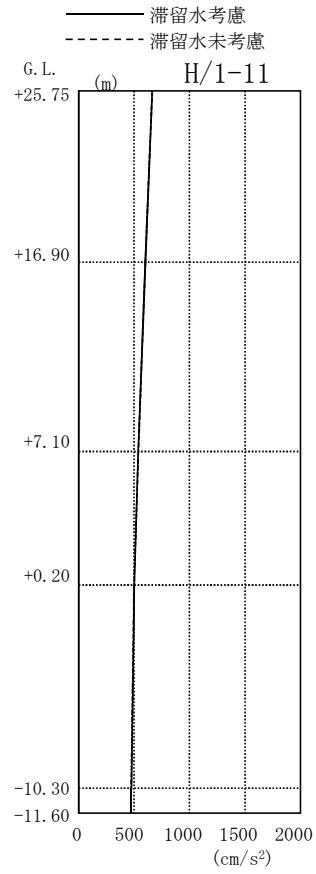


図 3.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・S_S-1H)

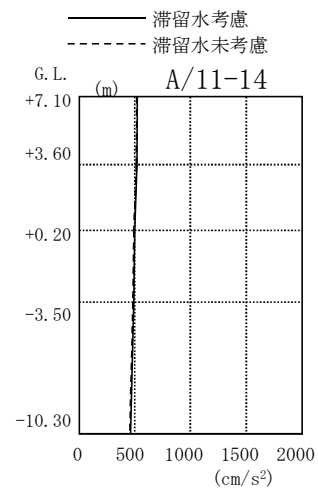
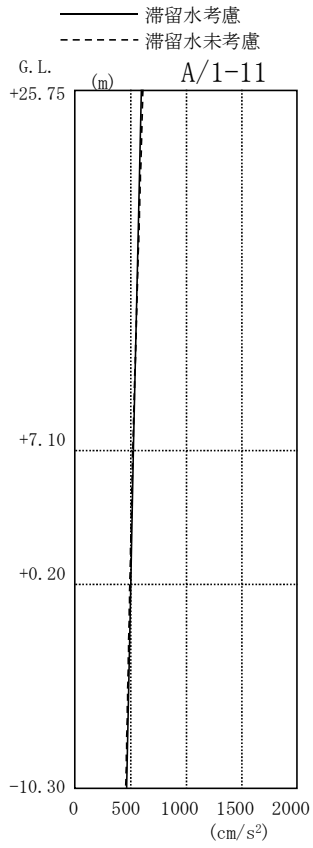
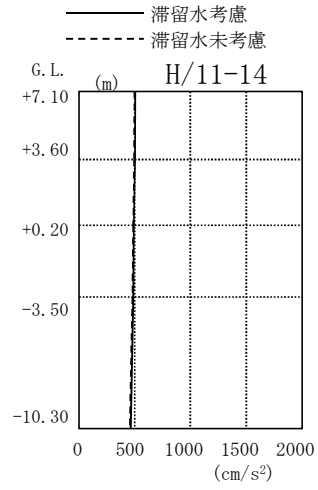
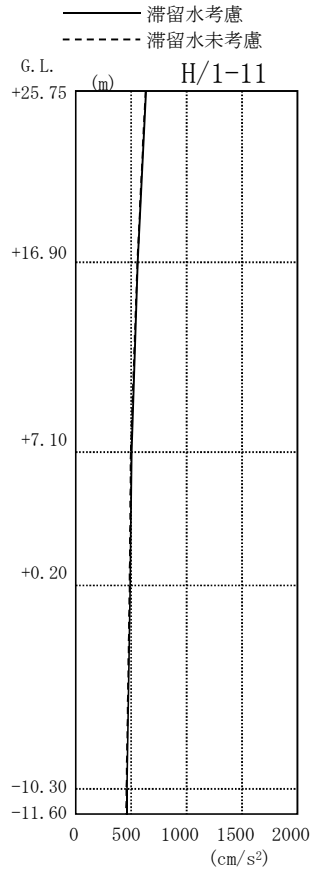


图 3.1.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

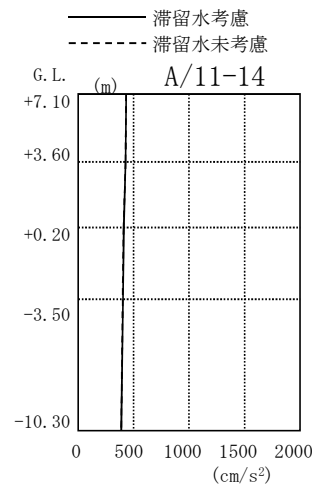
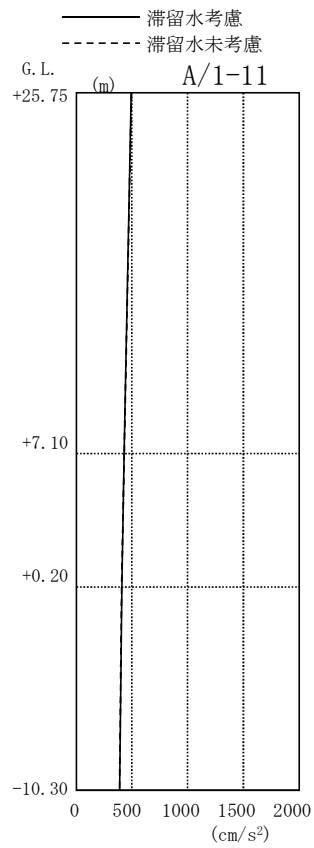
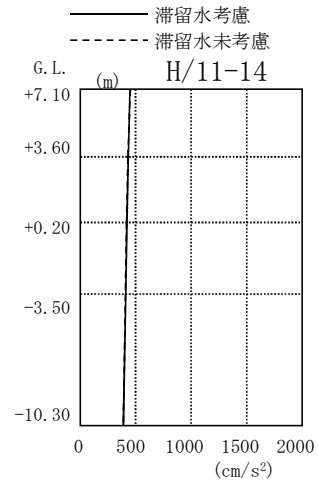
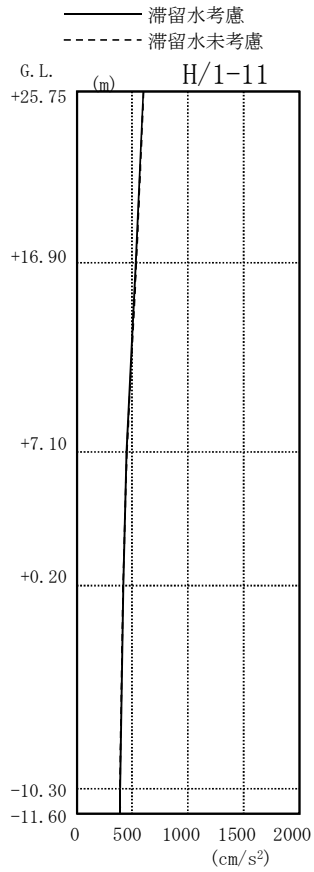


図 3.1.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

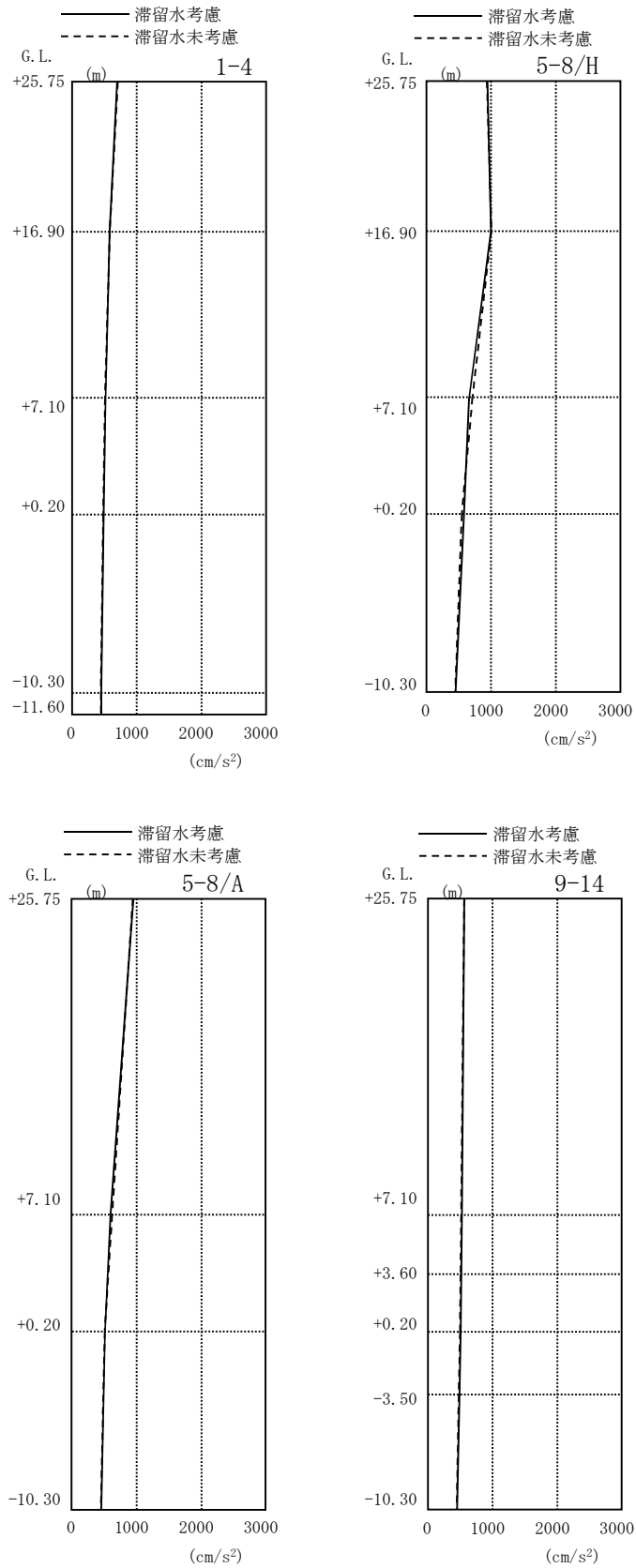


图 3.1.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

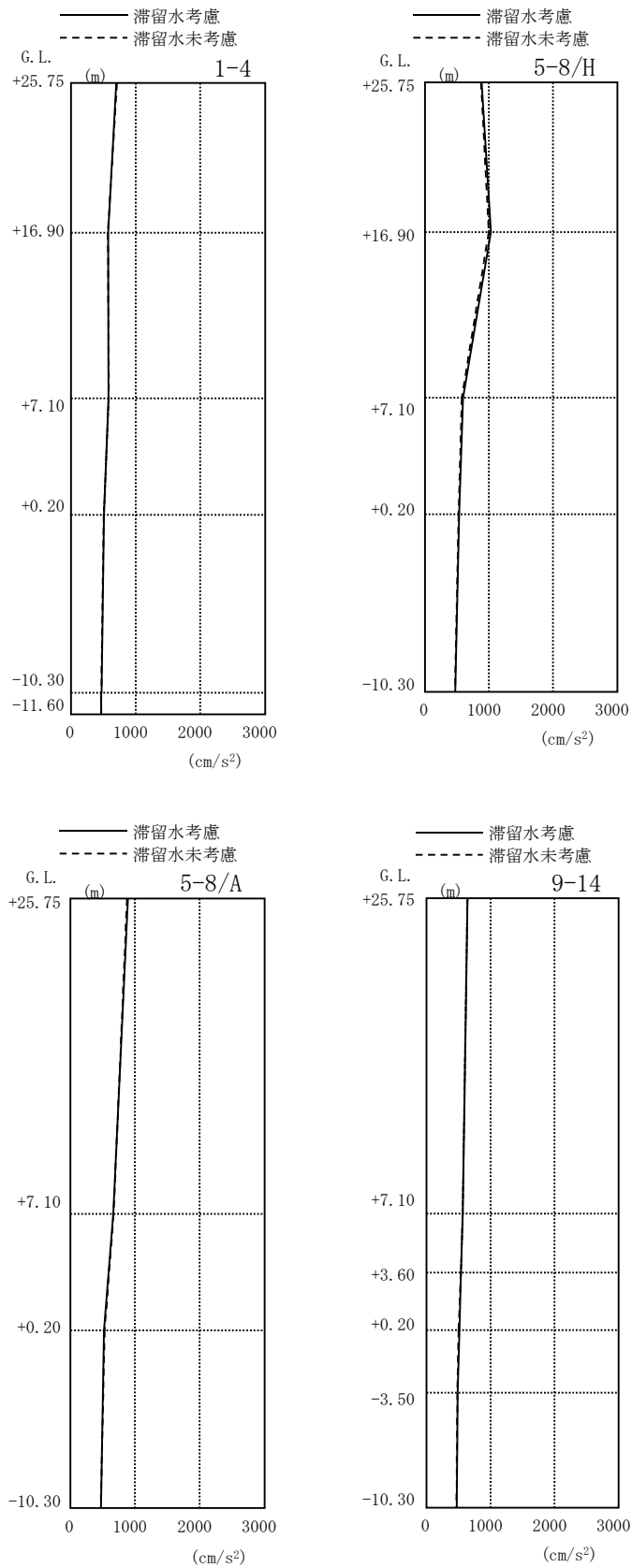


图 3.1.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・S_S-2H)

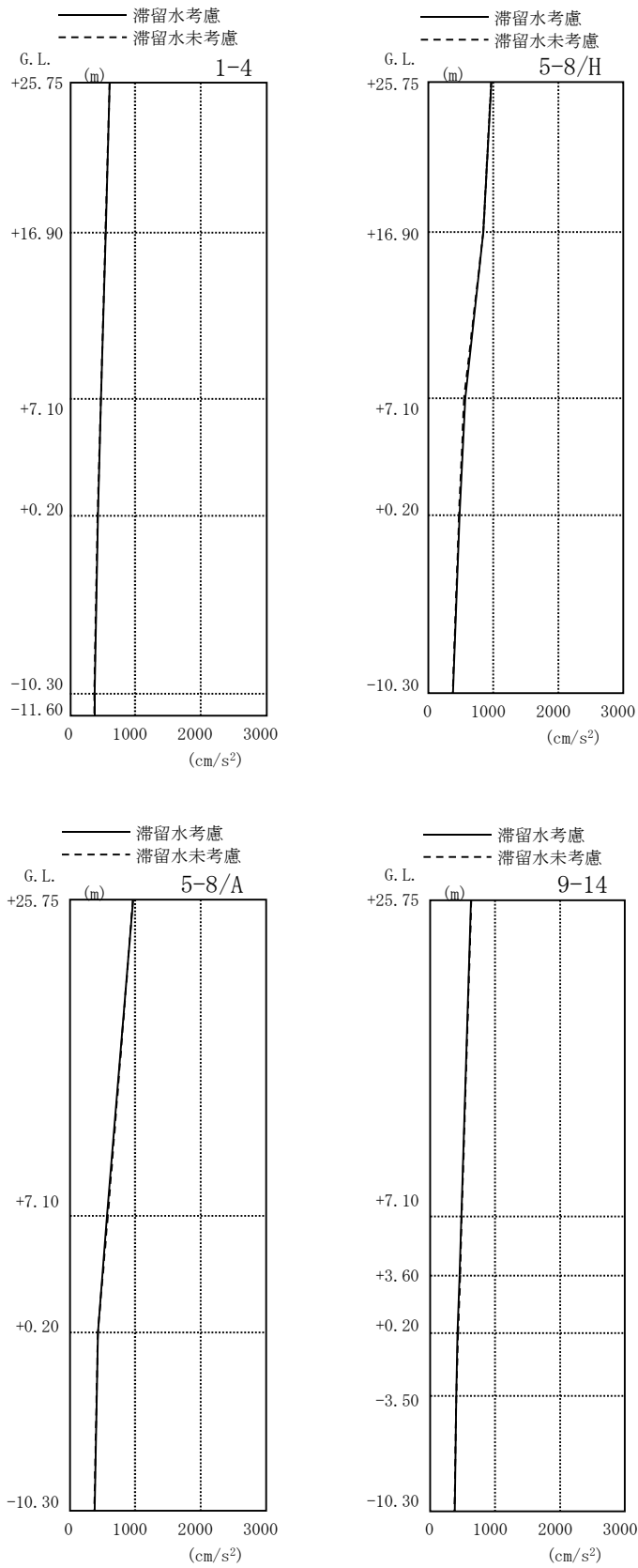


图 3.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・SS-3H)

3.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 3.1.6-1 及び表 3.1.6-2 に示す。また、図 3.1.6-1 及び図 3.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.15×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEA4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機タービン建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 3.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

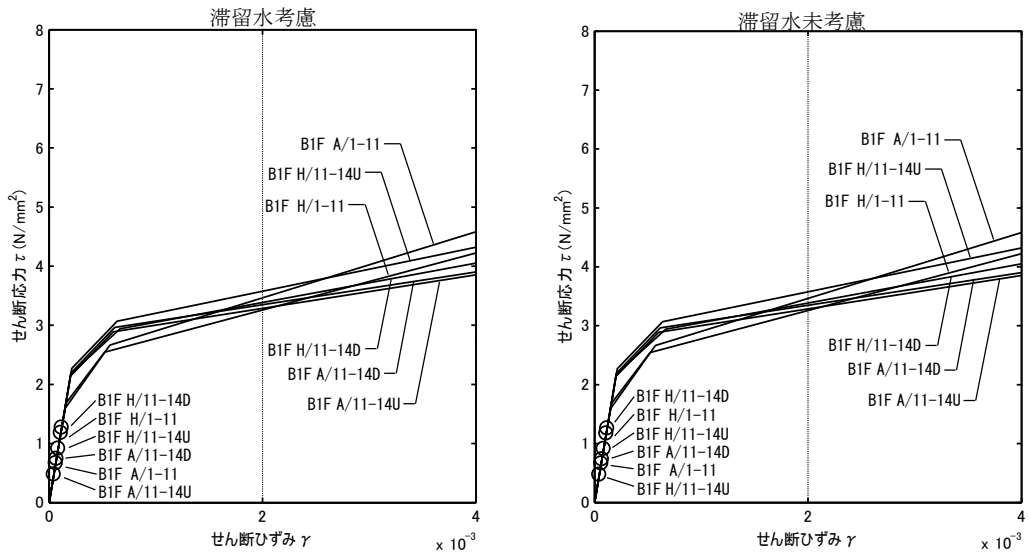
(単位： $\times 10^{-3}$)

| 階 | 通り | G. L. | S _s -1H | | S _s -2H | | S _s -3H | | 評価基準 | |
|-----|---------|--------------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------|------|
| | | | 滞留水 | | 滞留水 | | 滞留水 | | | |
| | | | 考慮 | 未考慮 | 考慮 | 未考慮 | 考慮 | 未考慮 | | |
| B1F | H/1-11 | +0.20~-10.30 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 | 4.0 以下 | |
| | H/11-14 | U | +0.20~-3.50 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | | 0.08 |
| | | D | -3.50~-10.30 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | | 0.11 |
| | A/1-11 | +0.20~-10.30 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | | |
| | A/11-14 | U | +0.20~-3.50 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | | 0.04 |
| | | D | -3.50~-10.30 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | | 0.06 |

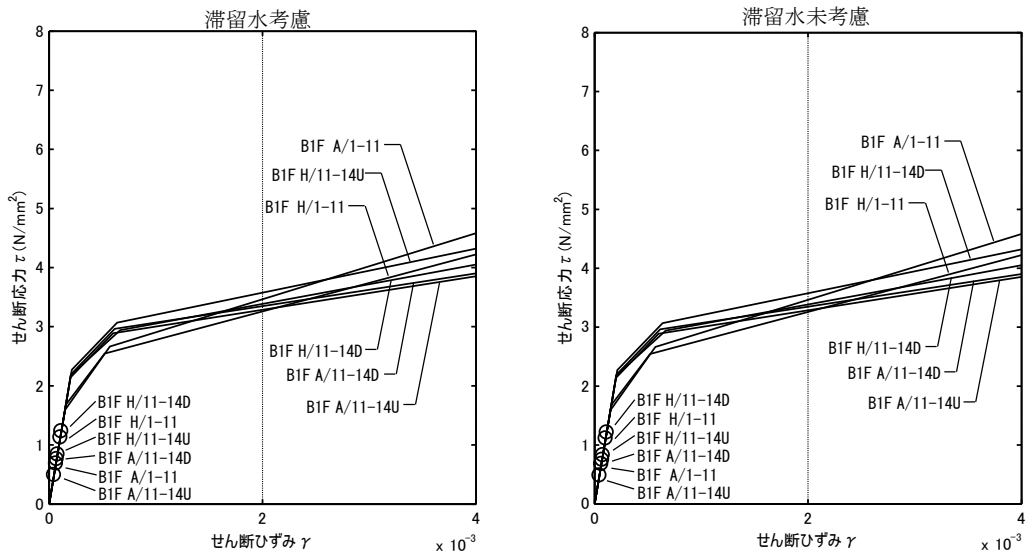
表 3.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位： $\times 10^{-3}$)

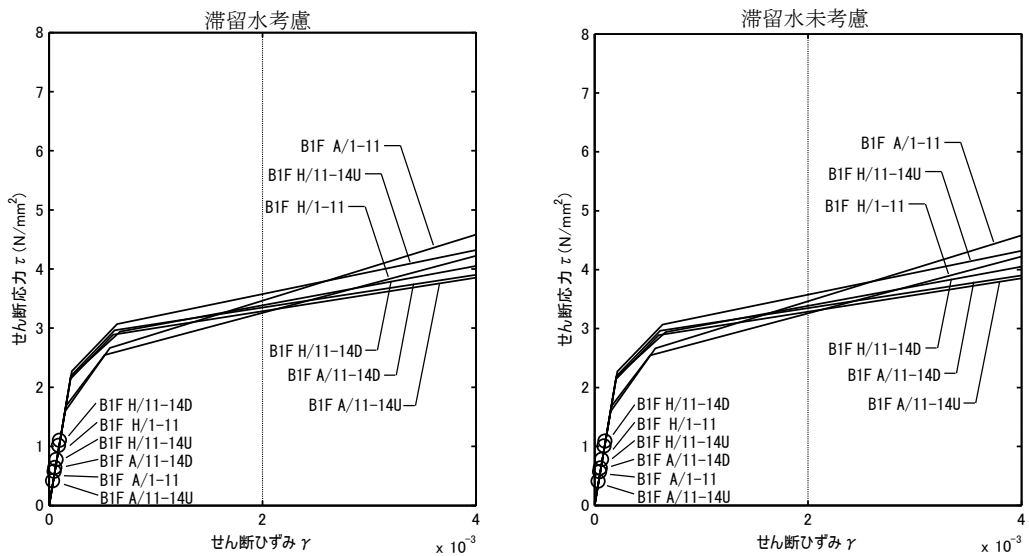
| 階 | 通り | G. L. | S _s -1H | | S _s -2H | | S _s -3H | | 評価基準 | |
|-----|-------|--------------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------|------|
| | | | 滞留水 | | 滞留水 | | 滞留水 | | | |
| | | | 考慮 | 未考慮 | 考慮 | 未考慮 | 考慮 | 未考慮 | | |
| B1F | 1-4 | +0.20~-10.30 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 4.0 以下 | |
| | 5-8/H | +0.20~-10.30 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.08 | | |
| | 5-8/A | +0.20~-10.30 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | | |
| | 9-14 | U | +0.20~-3.50 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.13 | 0.11 | | 0.11 |
| | | D | -3.50~-10.30 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.12 | | 0.12 |



(Ss-1H)

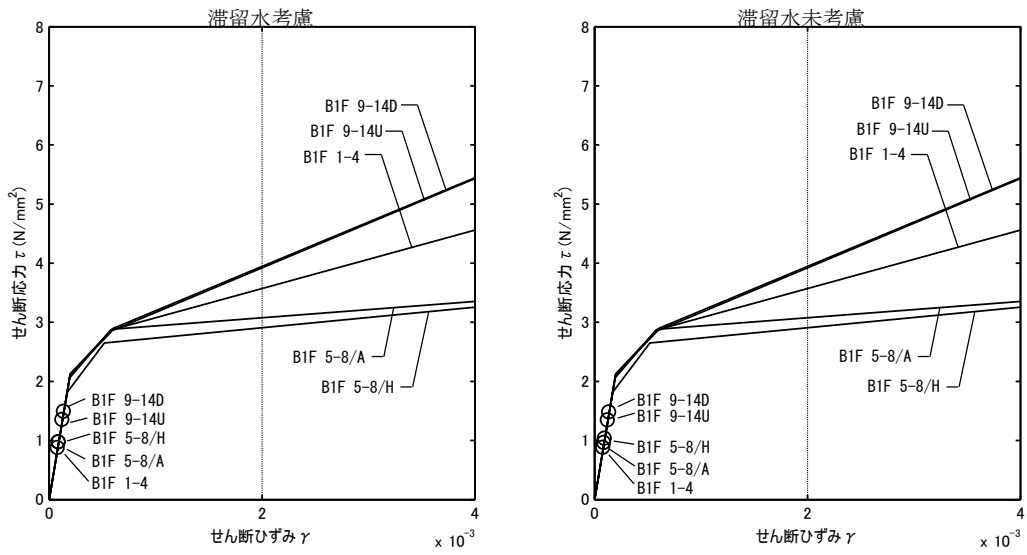


(Ss-2H)

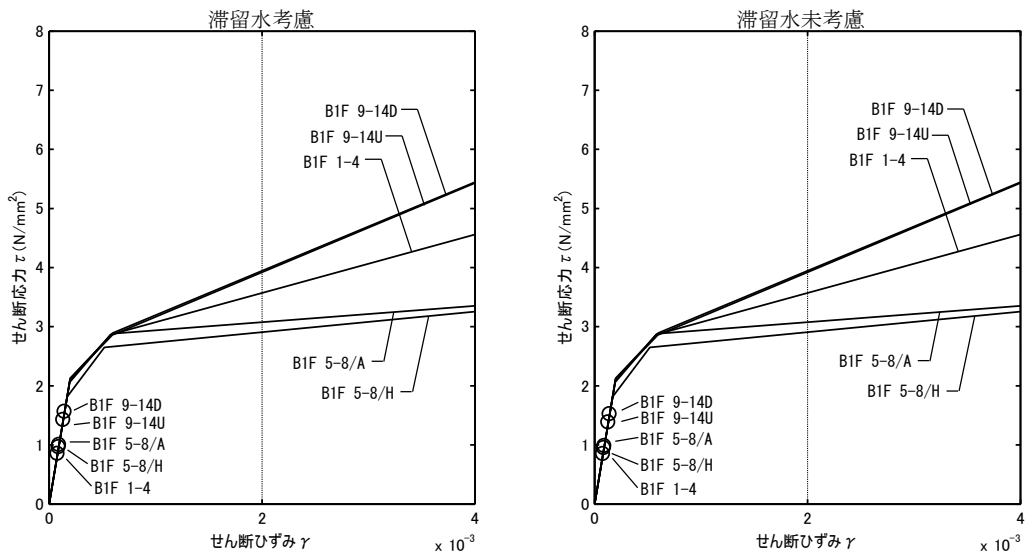


(Ss-3H)

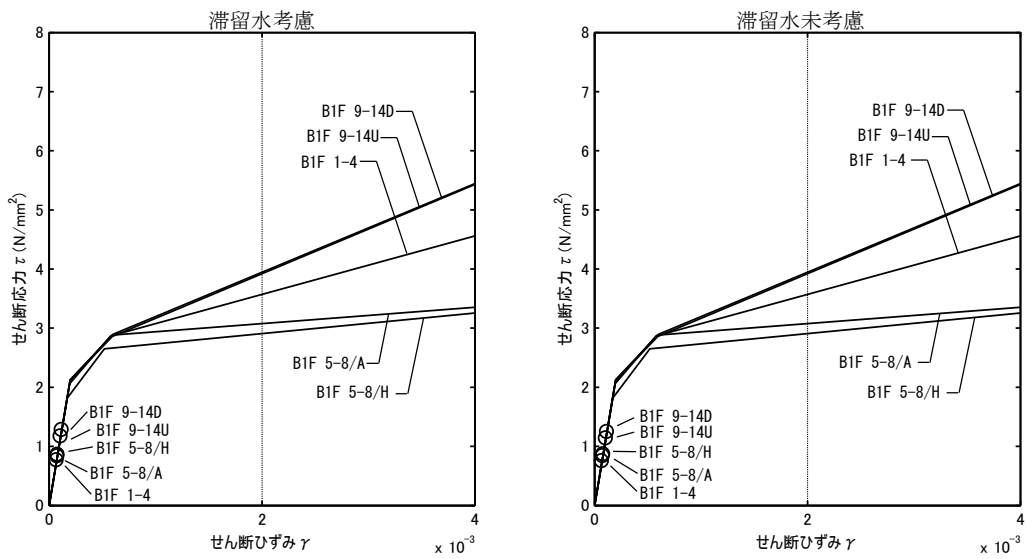
図 3.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

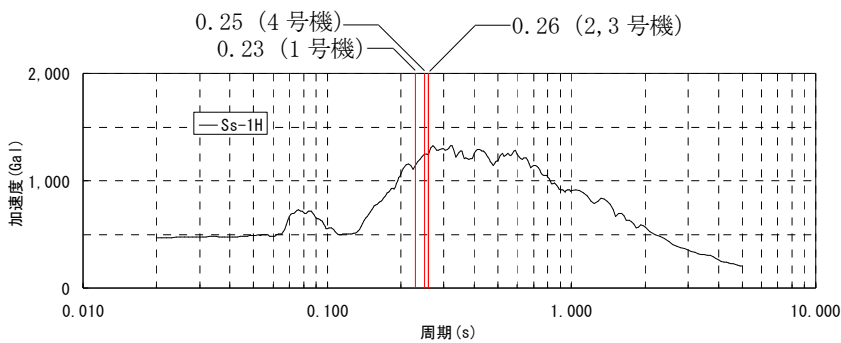
図 3. 1. 6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

3.2 代表号機以外の検討

滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる3号機タービン建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

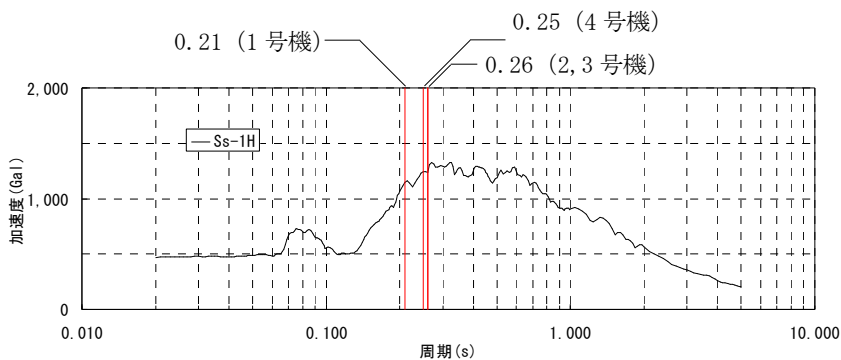
また、タービン建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機のタービン建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.23～0.26秒、EW方向で0.21～0.26秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたもの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図3.2-1～図3.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.23 | 1,139 | 0.92 | 0.11 |
| #2 | 0.26 | 1,238 | 1.00 | 0.12 |
| #3 | 0.26 | 1,238 | — | 0.12 |
| #4 | 0.25 | 1,247 | 1.01 | 0.13 |

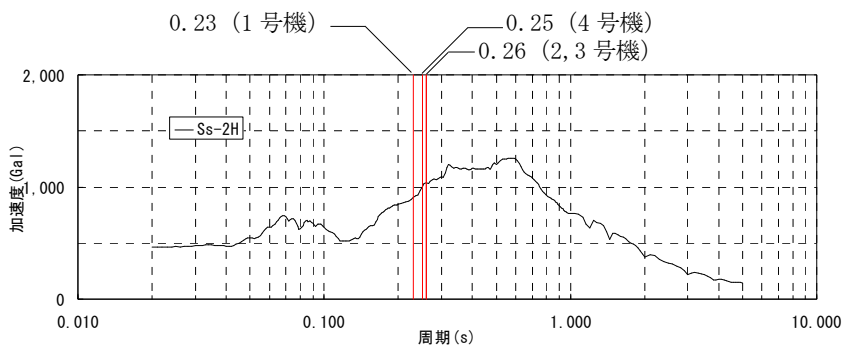
(タービン建屋 NS 方向)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.21 | 1,150 | 0.93 | 0.13 |
| #2 | 0.26 | 1,238 | 1.00 | 0.14 |
| #3 | 0.26 | 1,238 | — | 0.14 |
| #4 | 0.25 | 1,247 | 1.01 | 0.15 |

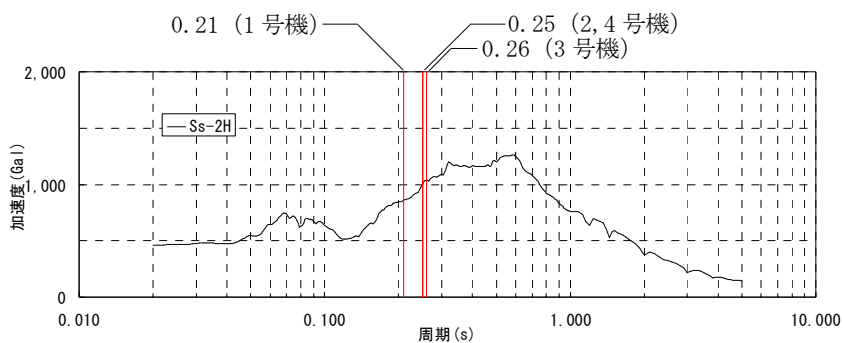
(タービン建屋 EW 方向)

図 3.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.23 | 909 | 0.88 | 0.11 |
| #2 | 0.26 | 1,038 | 1.00 | 0.12 |
| #3 | 0.26 | 1,038 | — | 0.12 |
| #4 | 0.25 | 1,000 | 0.96 | 0.12 |

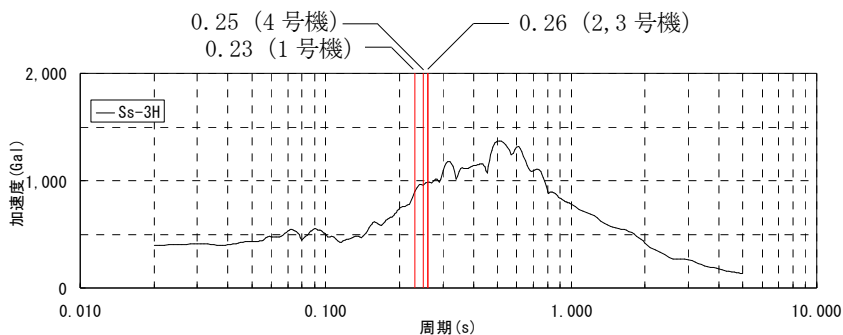
(タービン建屋 NS 方向)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.21 | 860 | 0.83 | 0.13 |
| #2 | 0.25 | 1,000 | 0.96 | 0.15 |
| #3 | 0.26 | 1,038 | — | 0.15 |
| #4 | 0.25 | 1,000 | 0.96 | 0.15 |

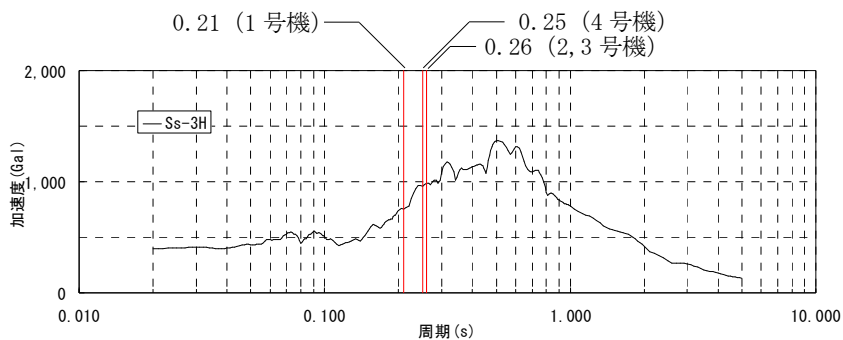
(タービン建屋 EW 方向)

図 3.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-2H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.23 | 898 | 0.91 | 0.10 |
| #2 | 0.26 | 984 | 1.00 | 0.11 |
| #3 | 0.26 | 984 | — | 0.11 |
| #4 | 0.25 | 959 | 0.97 | 0.11 |

(タービン建屋 NS 方向)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.21 | 757 | 0.77 | 0.10 |
| #2 | 0.26 | 984 | 1.00 | 0.12 |
| #3 | 0.26 | 984 | — | 0.12 |
| #4 | 0.25 | 959 | 0.97 | 0.12 |

(タービン建屋 EW 方向)

図 3.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-3H)

表 3.2-1 タービン建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

| | | 1号機タービン建屋 | 2号機タービン建屋 | 3号機タービン建屋 (代表号機) | 4号機タービン建屋 | |
|------------------------|--------|-----------|-----------|------------------|-----------|------|
| 一次固有周期 (s) | N S | Ss-1H | 0.23 | 0.26 | 0.26 | 0.25 |
| | | Ss-2H | 0.23 | 0.26 | 0.26 | 0.25 |
| | | Ss-3H | 0.23 | 0.26 | 0.26 | 0.25 |
| | E W | Ss-1H | 0.21 | 0.26 | 0.26 | 0.25 |
| Ss-2H | | 0.21 | 0.25 | 0.26 | 0.25 | |
| Ss-3H | | 0.21 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | |
| 滞留水量 (m ³) | | 9,600 | 13,500 | 16,400 | 12,800 | |
| 同一レベルの滞留比率※ | | B1F:0.330 | B1F:0.313 | B1F:0.370 | B1F:0.285 | |

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(下記)と0.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。

| 建屋名 | 地盤沈下量 | 換算式 |
|-----|--------|------------------------|
| 1号機 | -730mm | T.P. = 旧0.P. - 1,457mm |
| 2号機 | -725mm | T.P. = 旧0.P. - 1,452mm |
| 3号機 | -710mm | T.P. = 旧0.P. - 1,437mm |
| 4号機 | 712mm | T.P. = 旧0.P. - 1,439mm |

4 廃棄物処理建屋

4.1 4号機廃棄物処理建屋（代表号機）

4.1.1 解析評価方針

廃棄物処理建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

廃棄物処理建屋については地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下1階から地上3階に設置された機器を含む建屋全域をNS, EW方向とも多軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、保守的にその全てを固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

廃棄物処理建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 4.1.1-1 に示す。

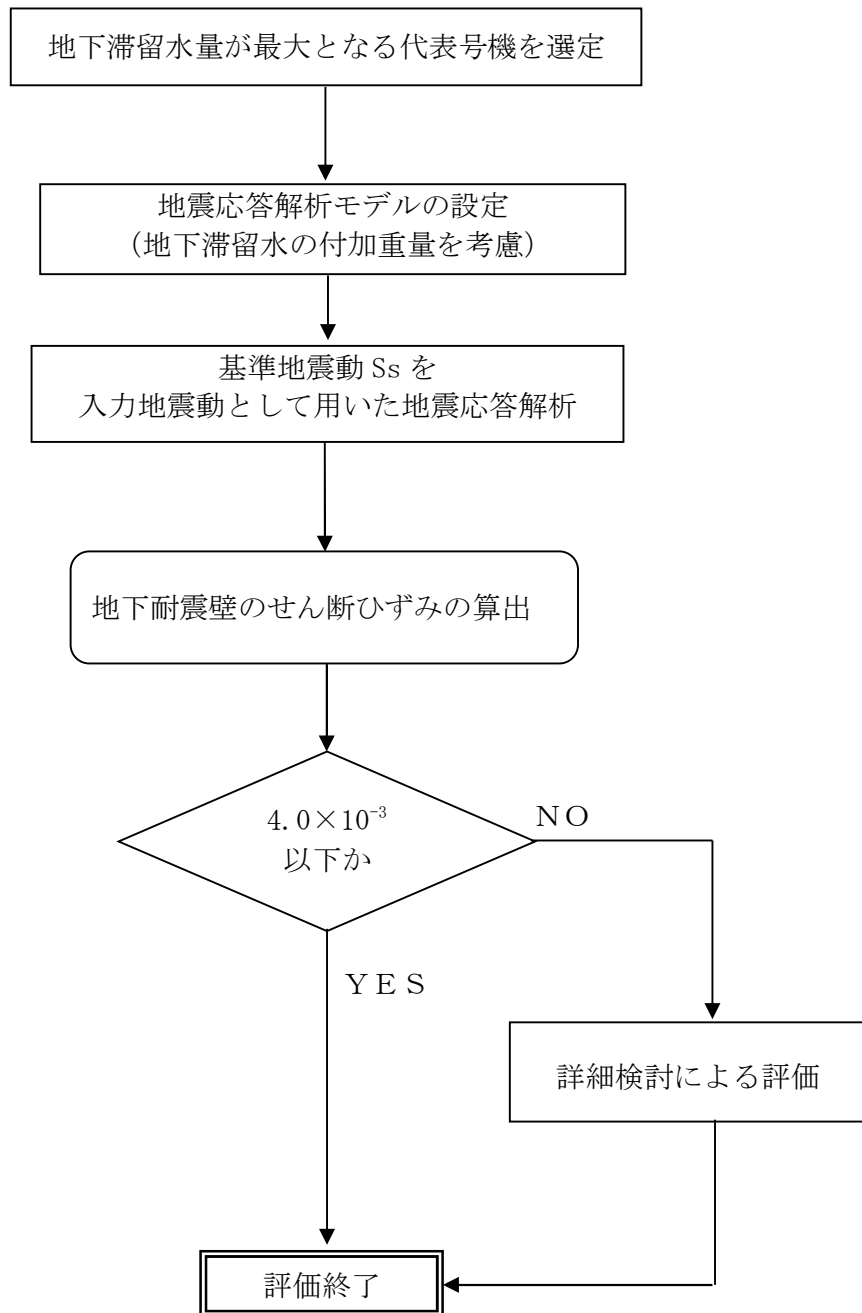


図 4.1.1-1 廃棄物処理建屋の地震応答解析の評価手順例

4.1.2 代表号機の選定

廃棄物処理建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 4.1.2-1 に示す。表 4.1.2-1 より、貯水量の最も多い4号機を代表号機と選定する。

表 4.1.2-1 廃棄物処理建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 水位 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 |
| 貯水量 | 1, 400m ³ | 2, 600m ³ | 2, 600m ³ | 4, 500m ³ |

4.1.3 解析に用いる入力地震動

4号機廃棄物処理建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図4.1.3-1に示す。この廃棄物処理建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図4.1.3-2に示す。

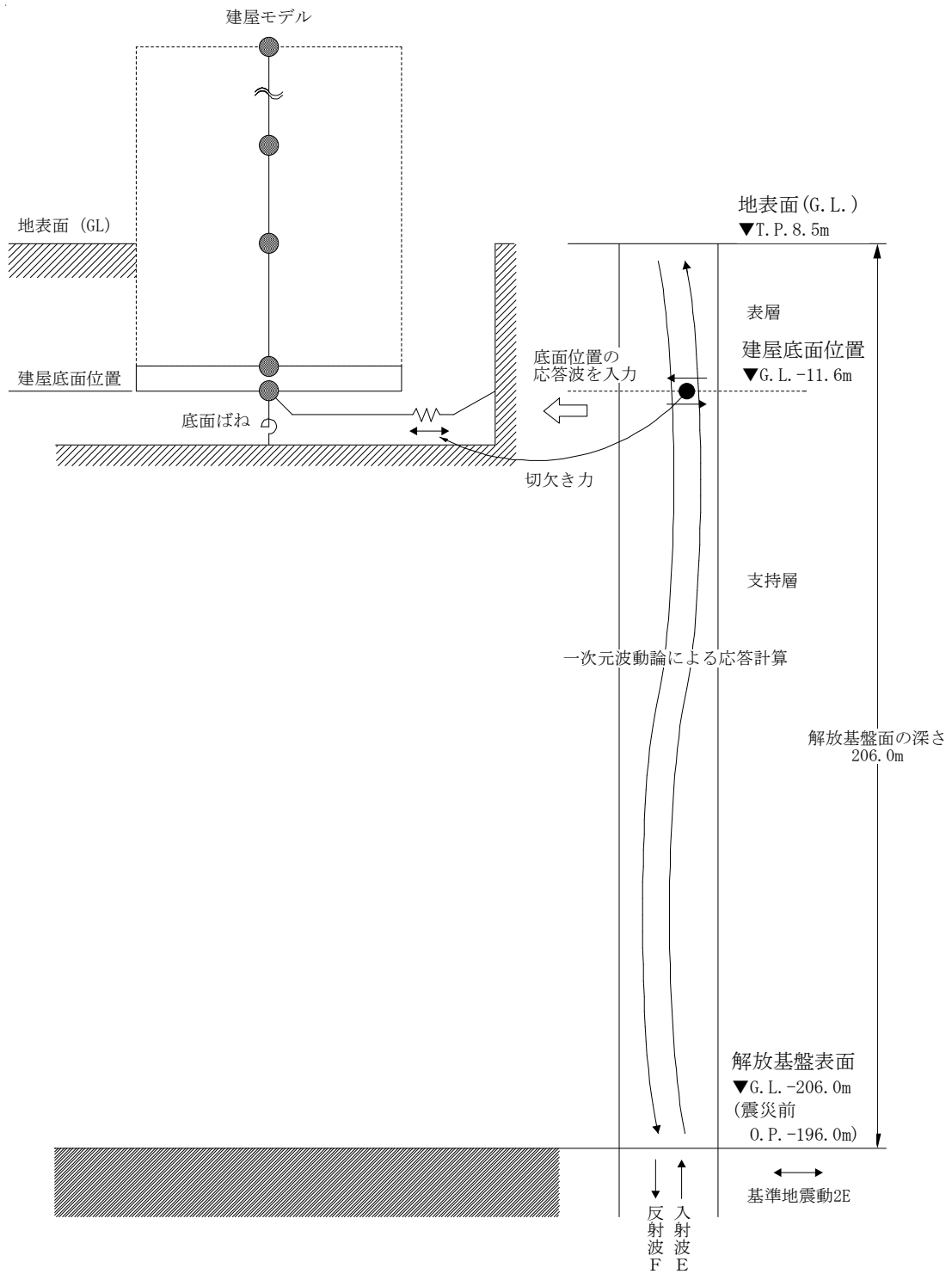


図 4.1.3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

〈換算式〉 T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

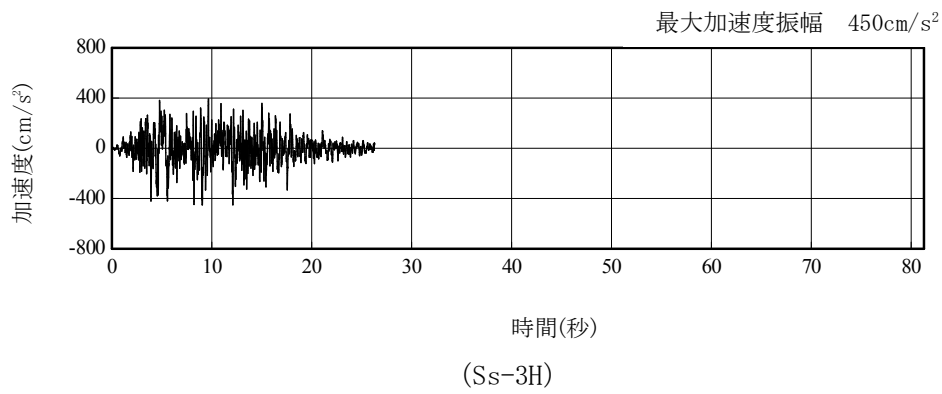
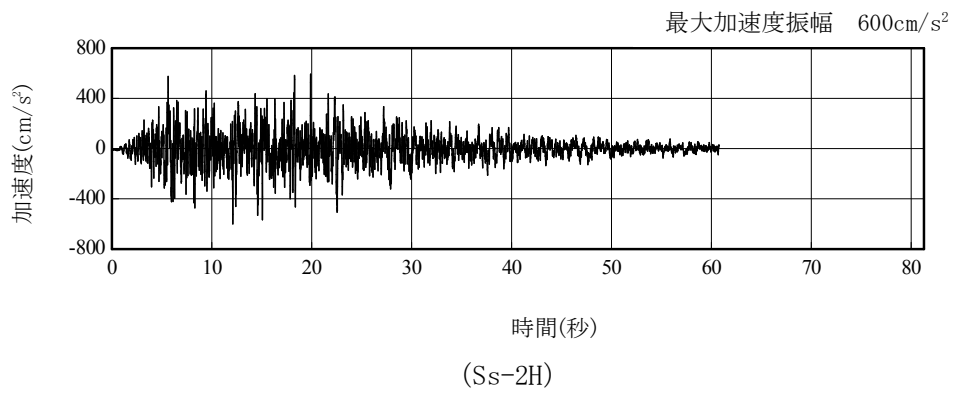
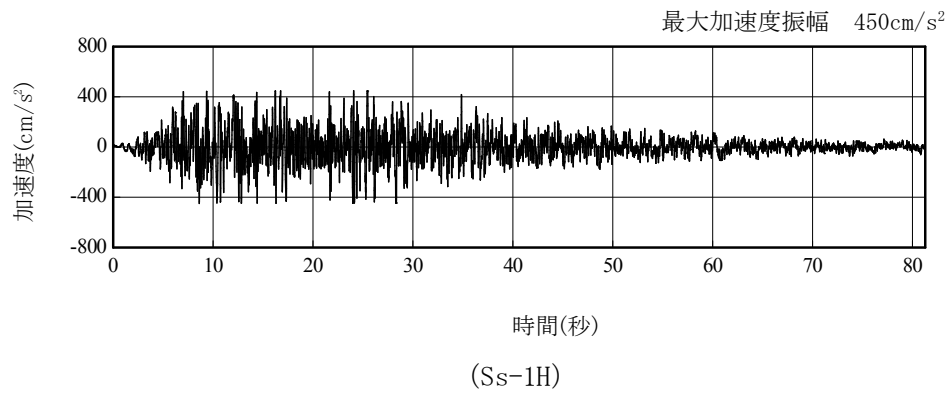


図 4. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

4.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 4 号機廃棄物処理建屋の地震応答解析は、「4.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 4.1.4-1 及び図 4.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 4.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 4.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 4.1.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にし、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-1.4.3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

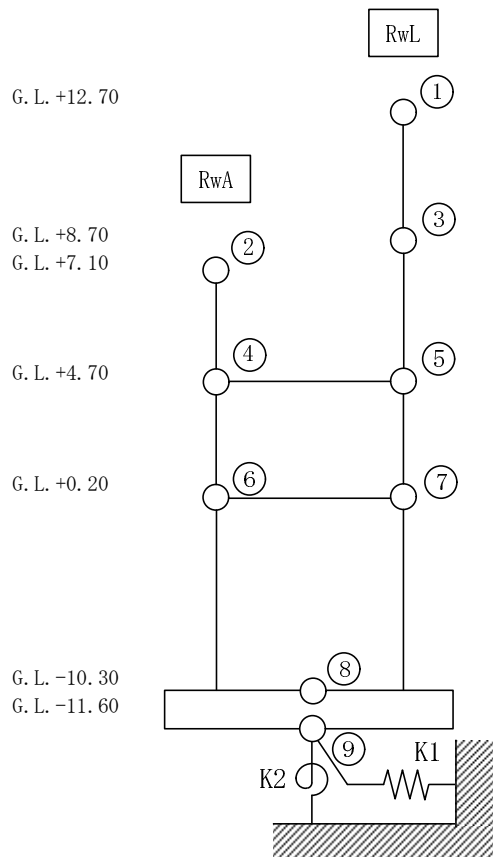


図 4. 1. 4-1 4号機廃棄物処理建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

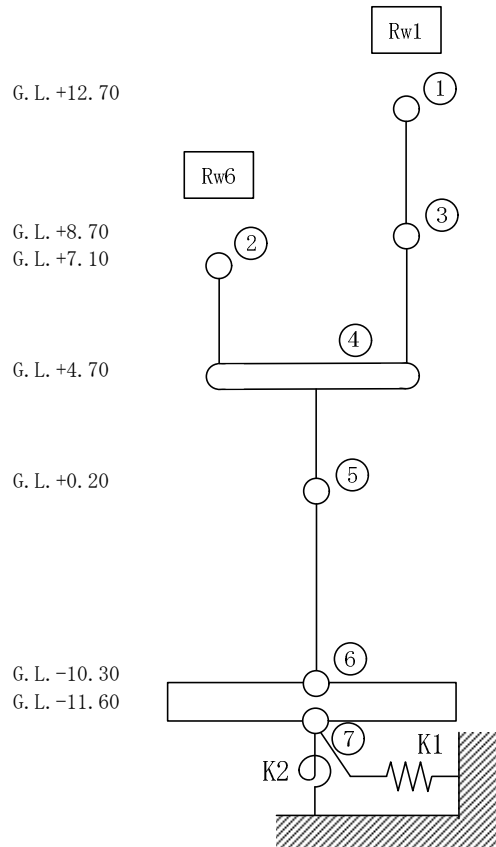


図 4. 1. 4-2 4号機廃棄物処理建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 4. 1. 4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンクリート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|--------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| コンクリート | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |

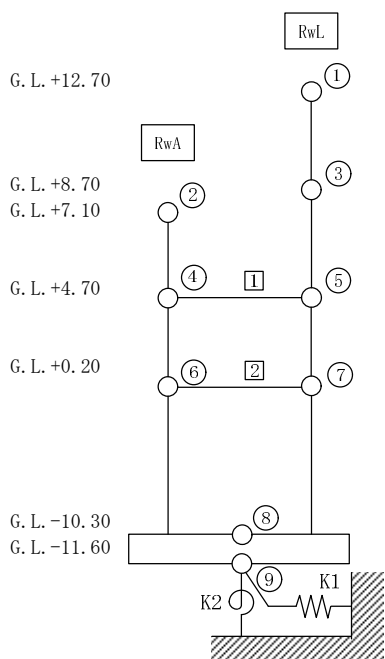
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまるめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

表 4.1.4-2 建屋解析モデルの諸元

NS 方向

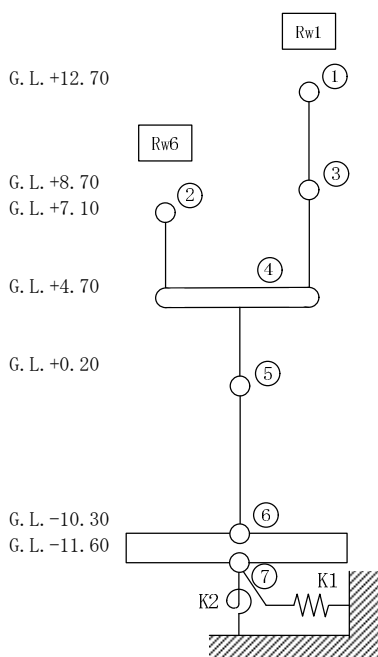


| 質点番号 | 質点位置 G.L. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 I _R (×10 ⁵ kN/m ²) | せん断断面積 A _s (m ²) | 断面2次モメント I _B (m ⁴) | 質点番号 | 質点位置 G.L. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 I _R (×10 ⁵ kN/m ²) | せん断断面積 A _s (m ²) | 断面2次モメント I _B (m ⁴) |
|------|---------------|------------------|---|---|---|------|---------------|-------------|---|---|---|
| | | | | | | ① | +12.7 | 4,050 | 0.69 | | |
| ② | +7.1 | 1,920 | 0.65 | 16.0 | 987 | ③ | +8.7 | 11,790 | 2.33 | 13.2 | 271 |
| ④ | +4.7 | 13,110 | 5.48 | 34.3 | 4,408 | ⑤ | +4.7 | 24,610 | 10.29 | 30.6 | 1,186 |
| ⑥ | +0.2 | 35,150 | 14.70 | 44.1 | 6,208 | ⑦ | +0.2 | 75,660 | 63.32 | 50.9 | 6,138 |
| ⑧ | -10.3 | 129,370 (44,130) | 91.69 (31.28) | 1,832.6 | 129,874 | | | | | 125.7 | 25,167 |
| ⑨ | -11.6 | 28,040 | 19.87 | | | | | | | | |
| 合計 | | 323,700 | | | | | | | | | |

注 () 内は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c 2.57 × 10⁷ (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.07 × 10⁷ (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 25.22m (NS 方向) × 72.65m (EW 方向)
 床のせん断ばね定数 K_s ① : 44.48 × 10⁵ (kN/m) ② : 45.21 × 10⁵ (kN/m)

EW 方向



| 質点番号 | 質点位置 G.L. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 I _R (×10 ⁵ kN/m ²) | せん断断面積 A _s (m ²) | 断面2次モメント I _B (m ⁴) | 質点番号 | 質点位置 G.L. (m) | 質点重量 W (kN) | 回転慣性 I _R (×10 ⁵ kN/m ²) | せん断断面積 A _s (m ²) | 断面2次モメント I _B (m ⁴) |
|------|---------------|------------------|---|---|---|------|---------------|-------------|---|---|---|
| | | | | | | ① | +12.7 | 4,050 | 0.52 | | |
| ② | +7.1 | 1,920 | 0.08 | 5.4 | 30 | ③ | +8.7 | 11,790 | 5.15 | 21.2 | 280 |
| ④ | +4.7 | 37,730 | 127.38 | 151.8 | 30,007 | | | | | 45.2 | 1,824 |
| ⑤ | +0.2 | 110,800 | 526.07 | 176.5 | 66,926 | | | | | | |
| ⑥ | -10.3 | 129,370 (44,130) | 614.23 (209.52) | 1,832.6 | 870,078 | | | | | | |
| ⑦ | -11.6 | 28,040 | 133.13 | | | | | | | | |
| 合計 | | 323,700 | | | | | | | | | |

注 () は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c 2.57 × 10⁷ (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.07 × 10⁷ (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 25.22m (NS 方向) × 72.65m (EW 方向)

表 4. 1. 4-3(1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 4. 1. 4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

表 4. 1. 4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|----|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | (解放基盤) | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - |

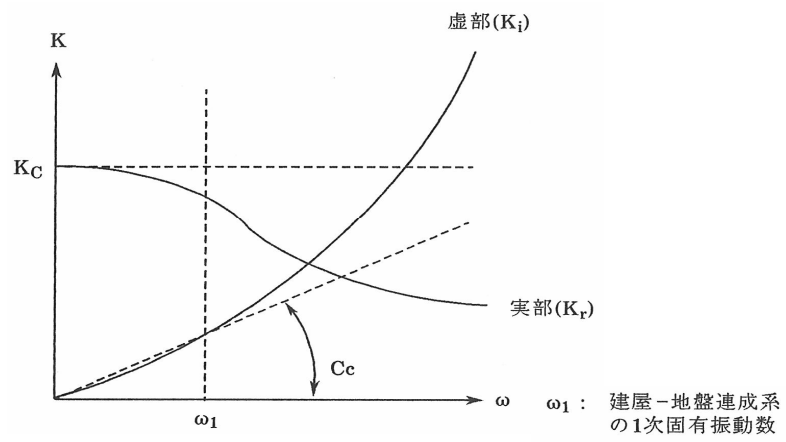


図 4. 1. 4-3 地盤ばねの近似

4.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して, 図 4.1.5-1~図 4.1.5-6 に示す。

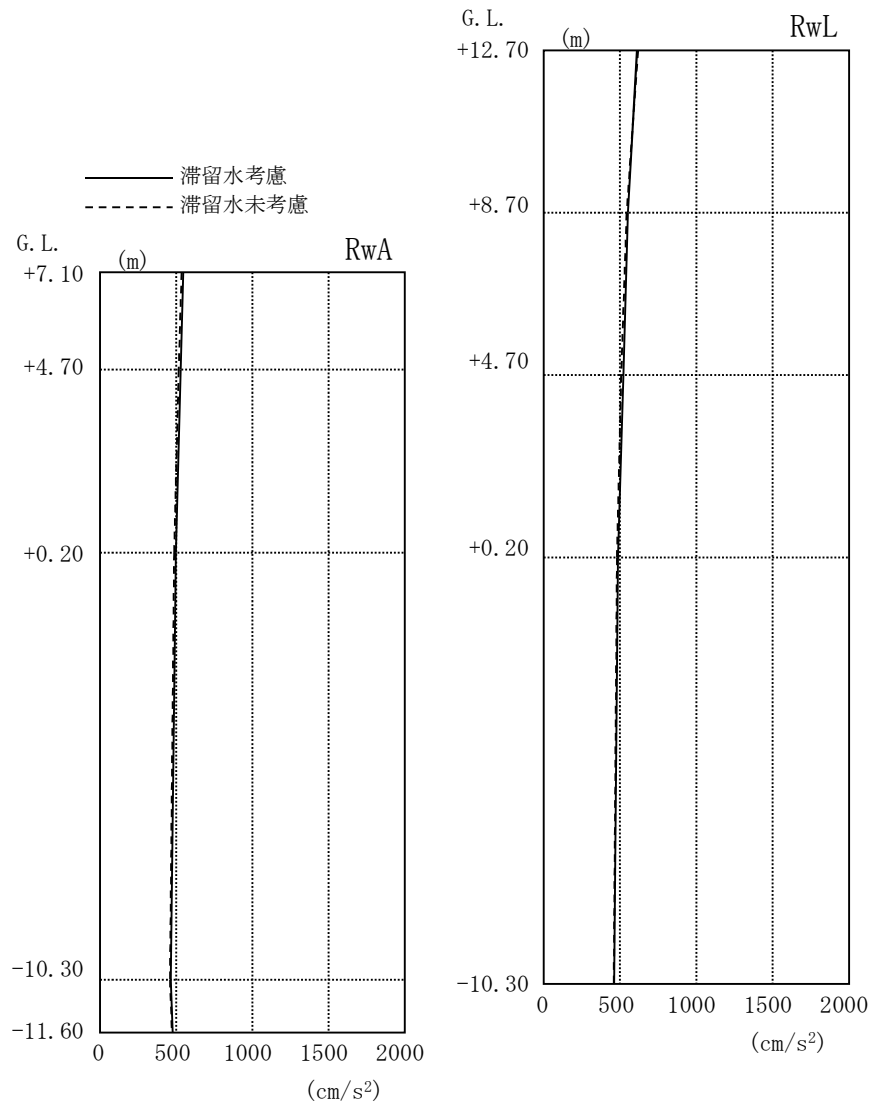


图 4.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

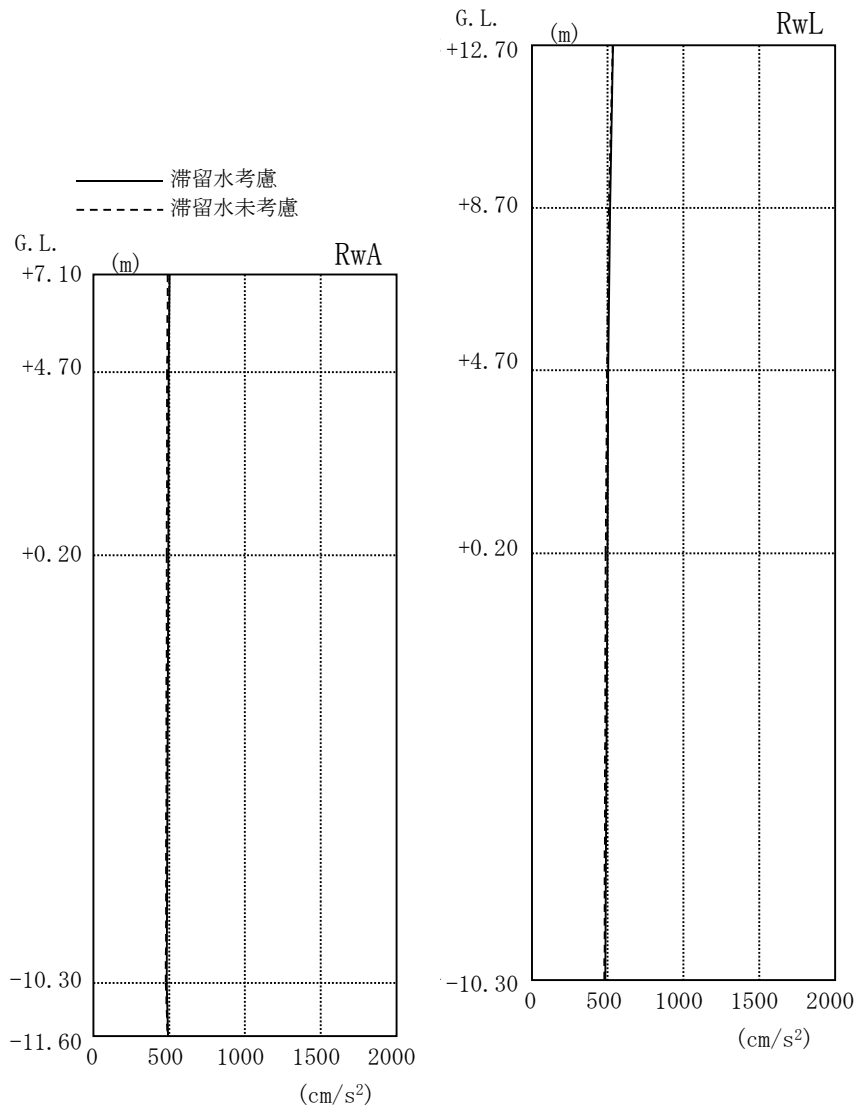


图 4.1.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

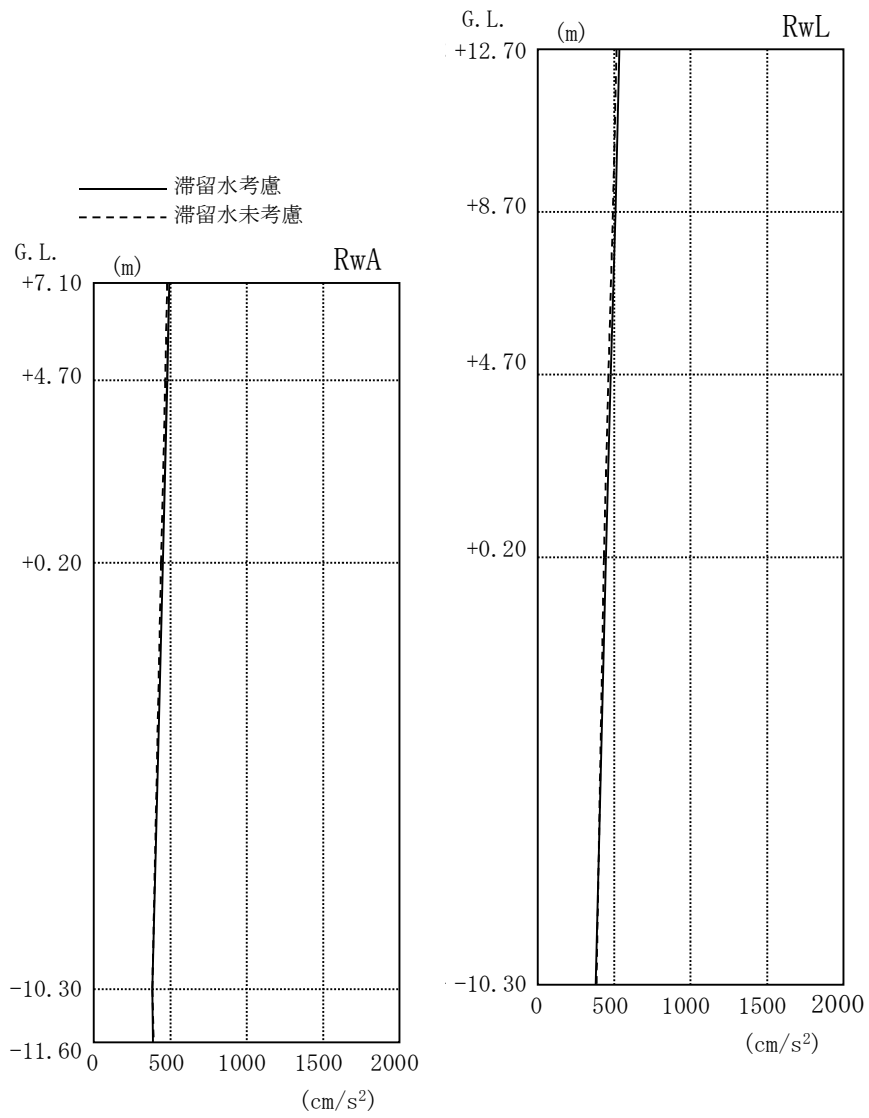


图 4.1.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

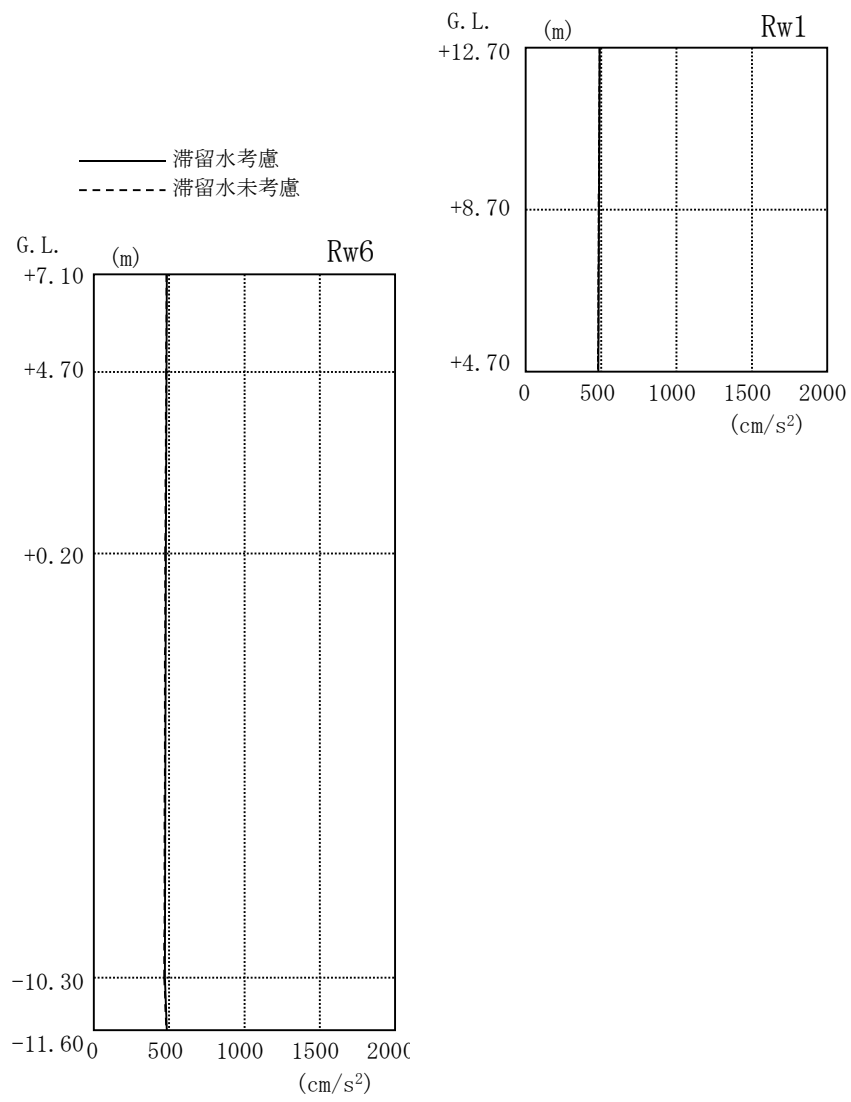


图 4.1.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

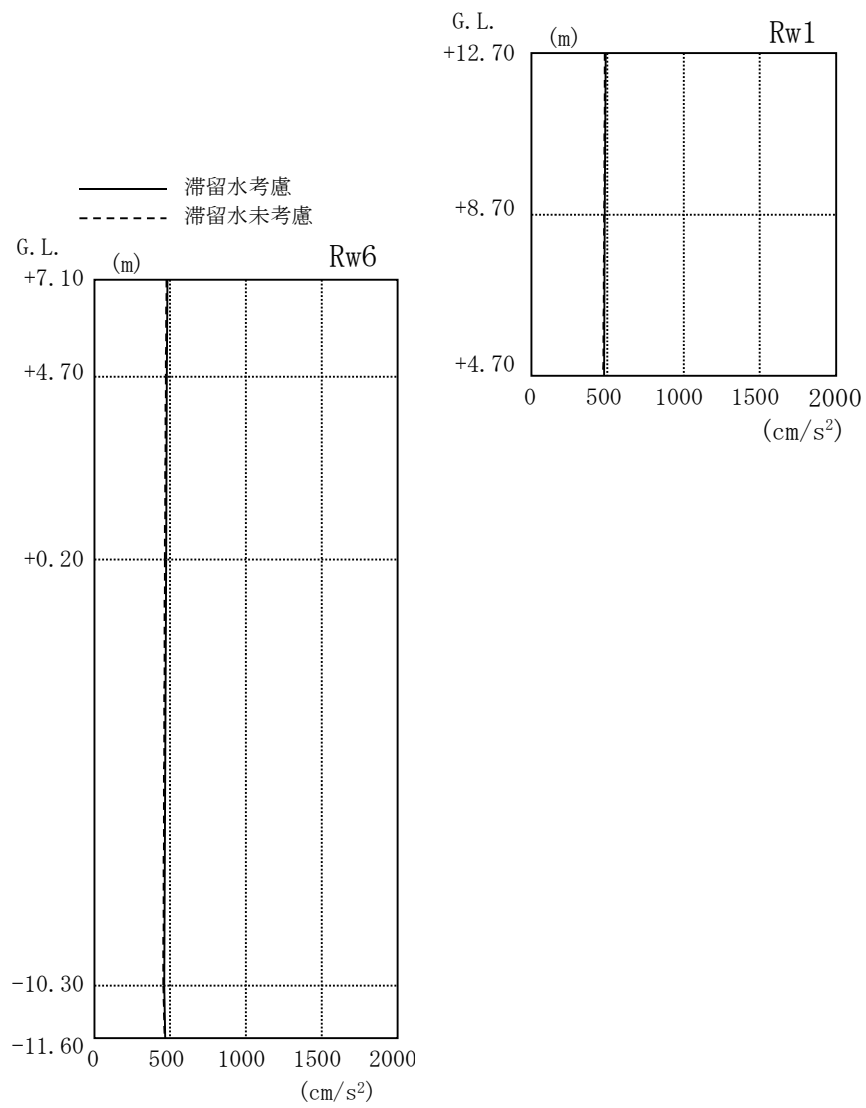


图 4.1.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

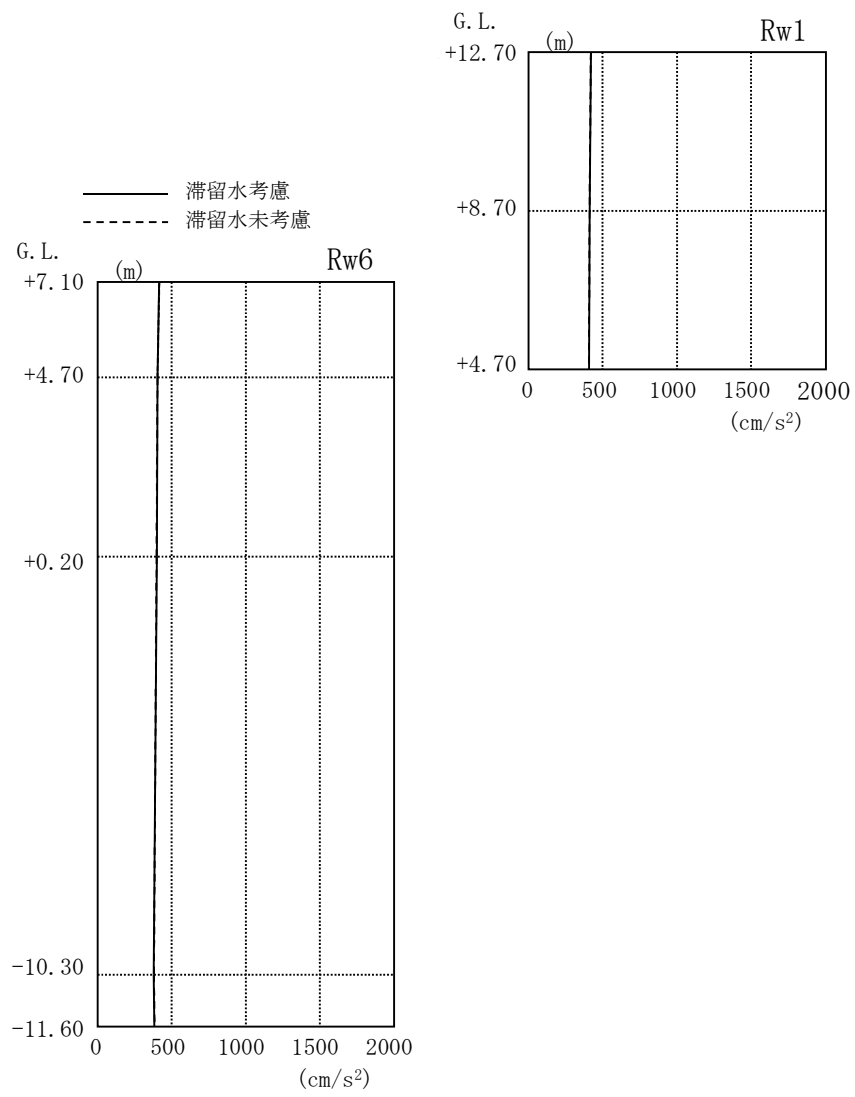


图 4.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

4.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 4.1.6-1 及び表 4.1.6-2 に示す。また、図 4.1.6-1 及び図 4.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.06×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、4号機廃棄物処理建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 4.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

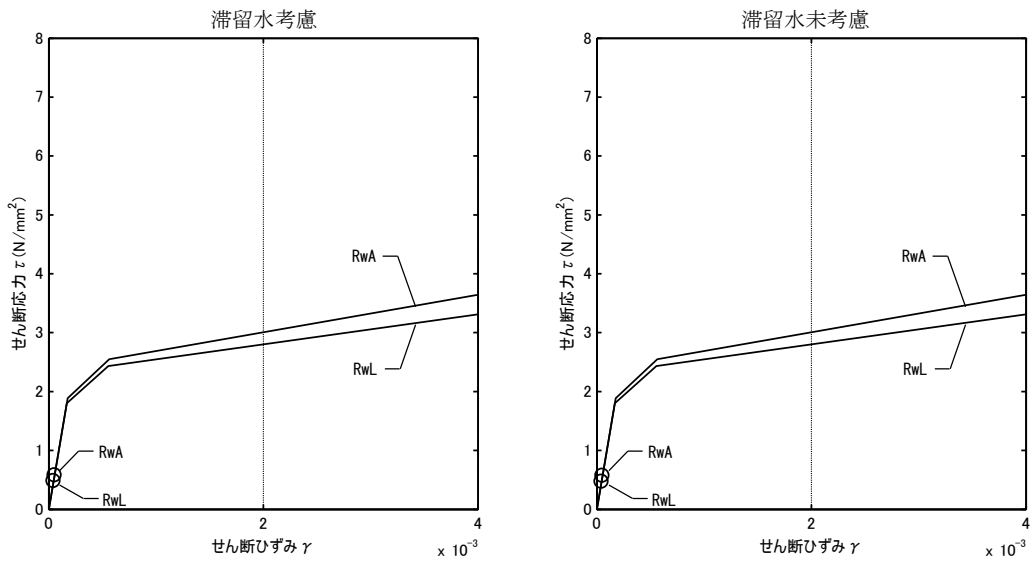
(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | 通り | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|-----|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | RwA | +0.20~ -10.30 | 考慮 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 4.0 以下 |
| | | | 未考慮 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | |
| | RwL | +0.20~ -10.30 | 考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | |
| | | | 未考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | |

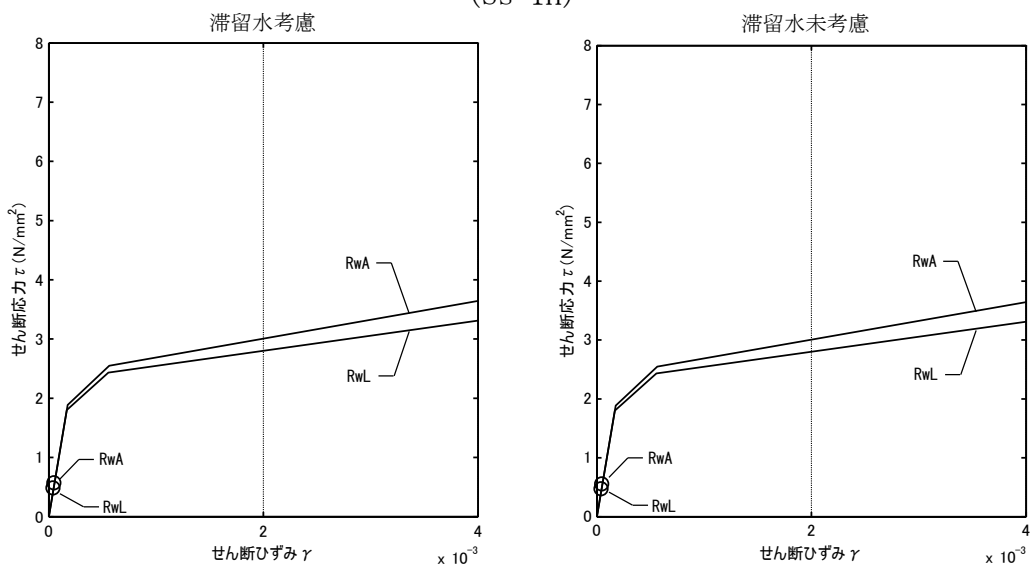
表 4.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

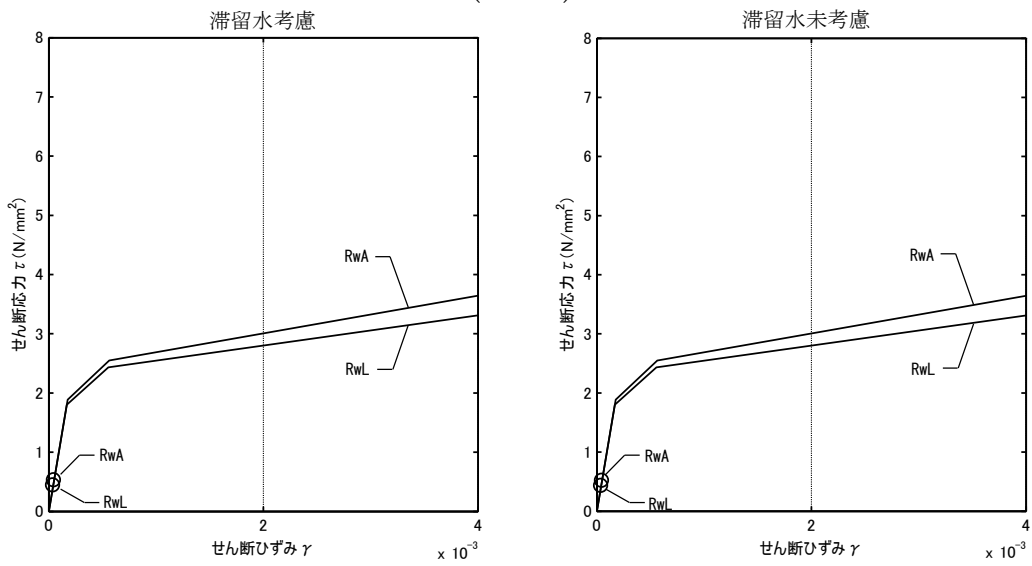
| 階 | G. L. | 滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|--------------|-----|-------|-------|-------|--------|
| B1F | +0.20~-10.30 | 考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | |



(Ss-1H)

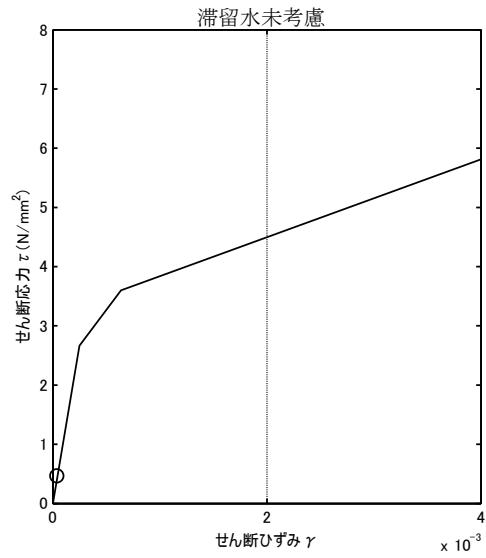
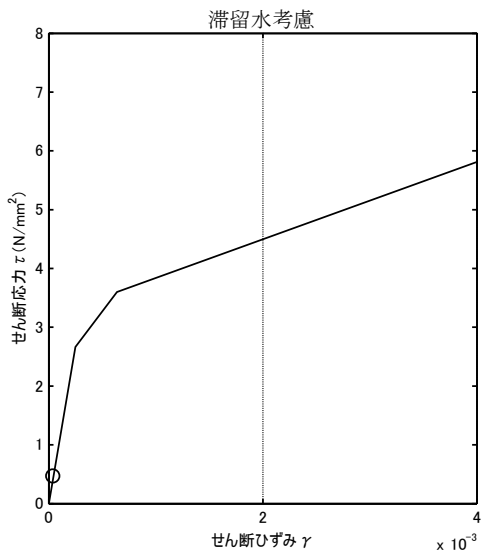


(Ss-2H)

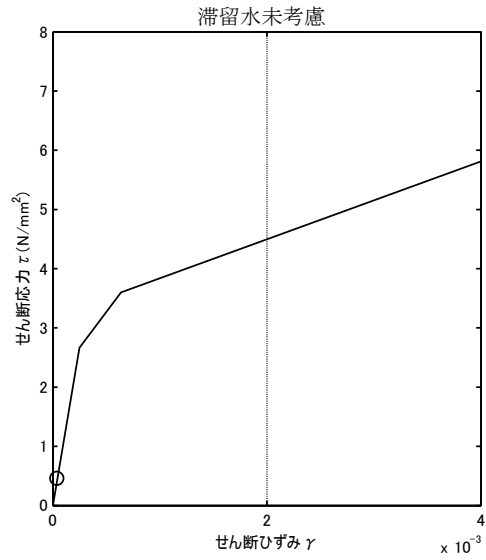
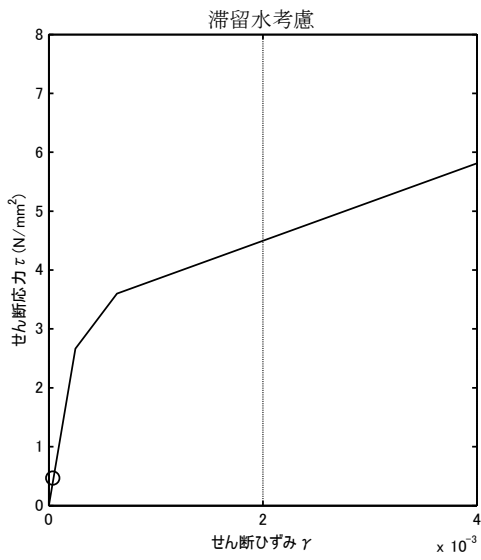


(Ss-3H)

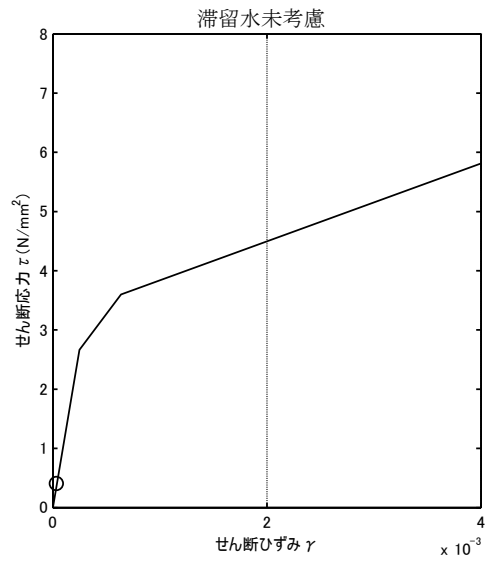
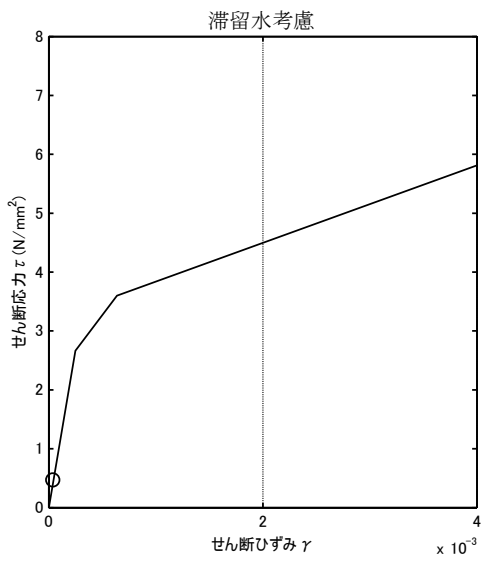
図 4.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

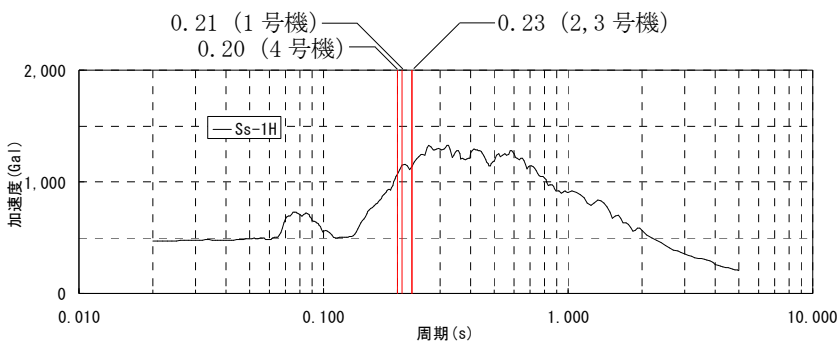
図 4.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

4.2 代表号機以外の検討

滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる4号機廃棄物処理建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

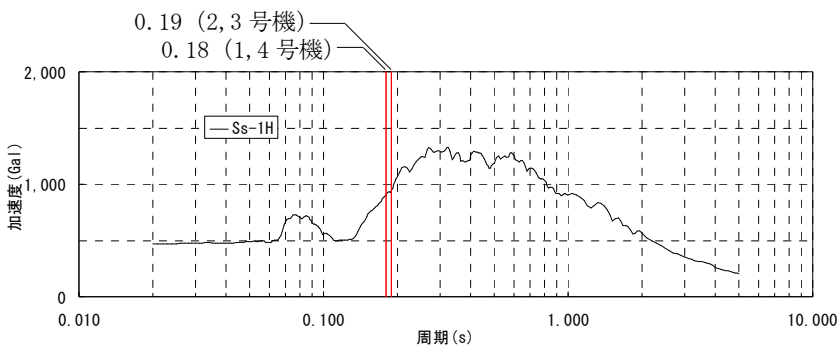
また、廃棄物処理建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機の廃棄物処理建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.21~0.23秒、EW方向で0.18~0.19秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたものの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図4.2-1~図4.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。



(廃棄物処理建屋 NS 方向)

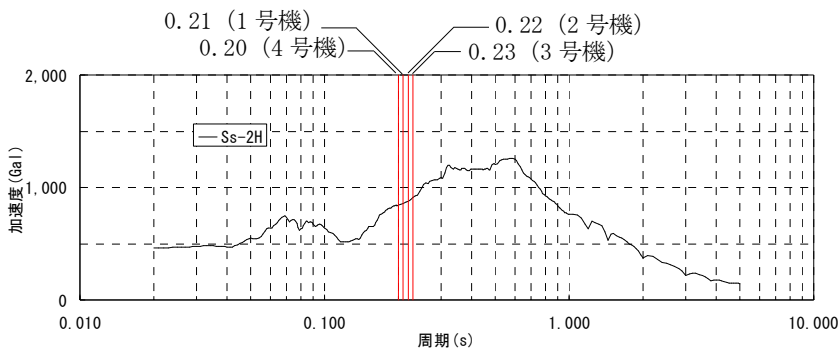
| 号機 | 一次固有周期 T_1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.21 | 1,150 | 1.08 | 0.07 |
| #2 | 0.23 | 1,139 | 1.07 | 0.07 |
| #3 | 0.23 | 1,139 | 1.07 | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 1,067 | — | 0.06 |



(廃棄物処理建屋 EW 方向)

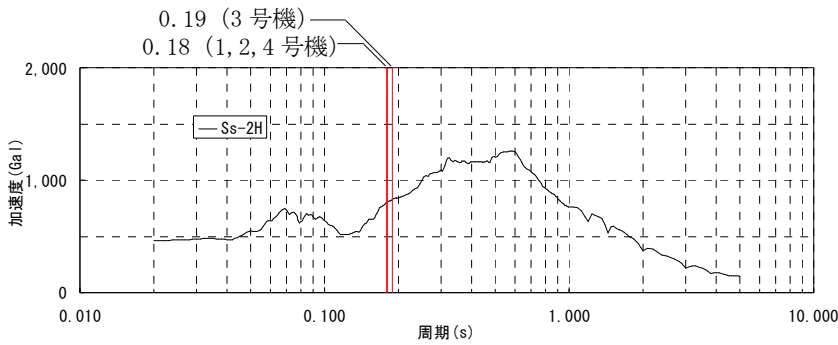
| 号機 | 一次固有周期 T_1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.18 | 903 | 1.00 | 0.05 |
| #2 | 0.19 | 944 | 1.05 | 0.06 |
| #3 | 0.19 | 944 | 1.05 | 0.06 |
| #4 | 0.18 | 903 | — | 0.05 |

図 4.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.21 | 860 | 1.02 | 0.07 |
| #2 | 0.22 | 877 | 1.04 | 0.07 |
| #3 | 0.23 | 909 | 1.07 | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 847 | — | 0.06 |

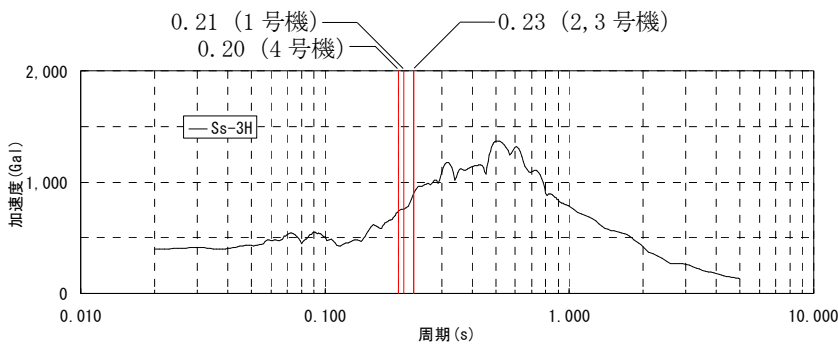
(廃棄物処理建屋 NS 方向)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.18 | 805 | 1.00 | 0.05 |
| #2 | 0.18 | 805 | 1.00 | 0.05 |
| #3 | 0.19 | 832 | 1.03 | 0.06 |
| #4 | 0.18 | 805 | — | 0.05 |

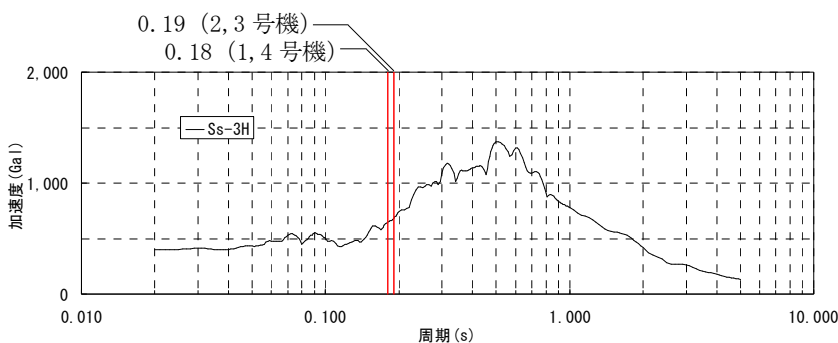
(廃棄物処理建屋 EW 方向)

図 4.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-2H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-5}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.21 | 757 | 1.02 | 0.06 |
| #2 | 0.23 | 898 | 1.21 | 0.07 |
| #3 | 0.23 | 898 | 1.21 | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 742 | — | 0.05 |

(廃棄物処理建屋 NS 方向)

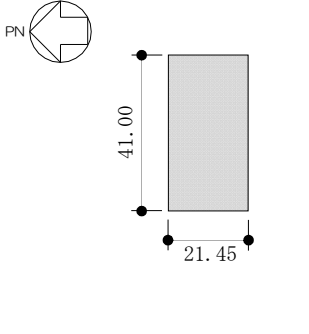
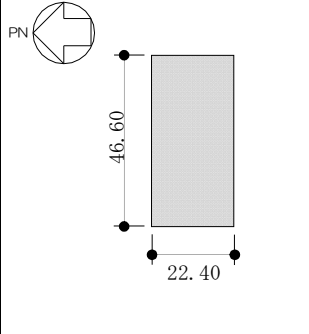
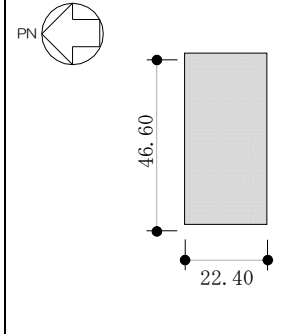
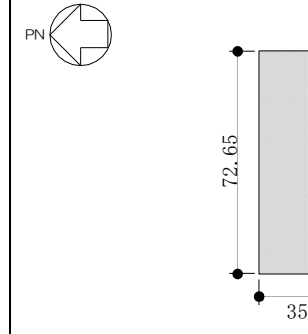
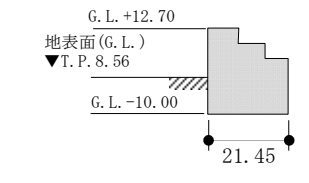
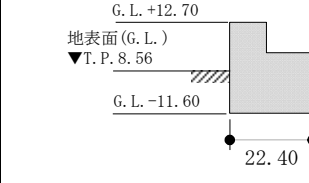
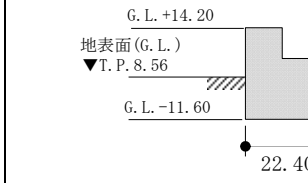
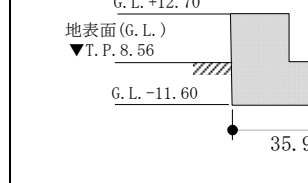
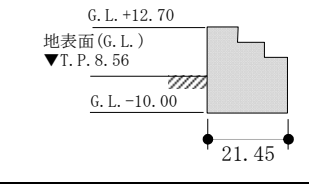
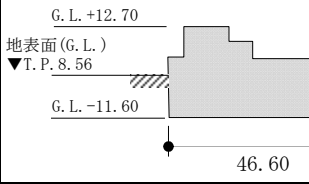
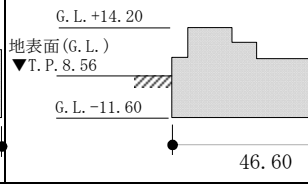
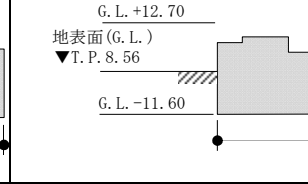


| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答加速度 α_{T1} (Gal) | 応答加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| #1 | 0.18 | 647 | 1.00 | 0.04 |
| #2 | 0.19 | 683 | 1.06 | 0.05 |
| #3 | 0.19 | 683 | 1.06 | 0.05 |
| #4 | 0.18 | 647 | — | 0.04 |

(廃棄物処理建屋 EW 方向)

図 4.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-3H)

表 4.2-1 廃棄物処理建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

| | | 1号機廃棄物処理建屋 | 2号機廃棄物処理建屋 | 3号機廃棄物処理建屋 | 4号機廃棄物処理建屋 | |
|-----------------------|----|---|--|---|---|------|
| 平面図 | |  |  |  |  | |
| N S 方向断面 | |  |  |  |  | |
| E W 方向断面 | |  |  |  |  | |
| 一次固有周期 (s) | NS | Ss-1H | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.20 |
| | | Ss-2H | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.20 |
| | | Ss-3H | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.20 |
| | EW | Ss-1H | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.18 |
| | | Ss-2H | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.18 |
| | | Ss-3H | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.18 |
| 滞留水量(m ³) | | 1,400 | 2,600 | 2,600 | 4,500 | |
| 同一レベルの貯留比率* | | B1F:0.286 | B1F:0.495 | B1F:0.512 | B1F:0.518 | |

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧O.P. - 1,436mm

5 コントロール建屋

5.1 3号機コントロール建屋（代表号機）

5.1.1 解析評価方針

コントロール建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

コントロール建屋については、地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下2階から地上2階に設置された機器を含む建屋全域をNS, EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

コントロール建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 5.1.1-1 に示す。

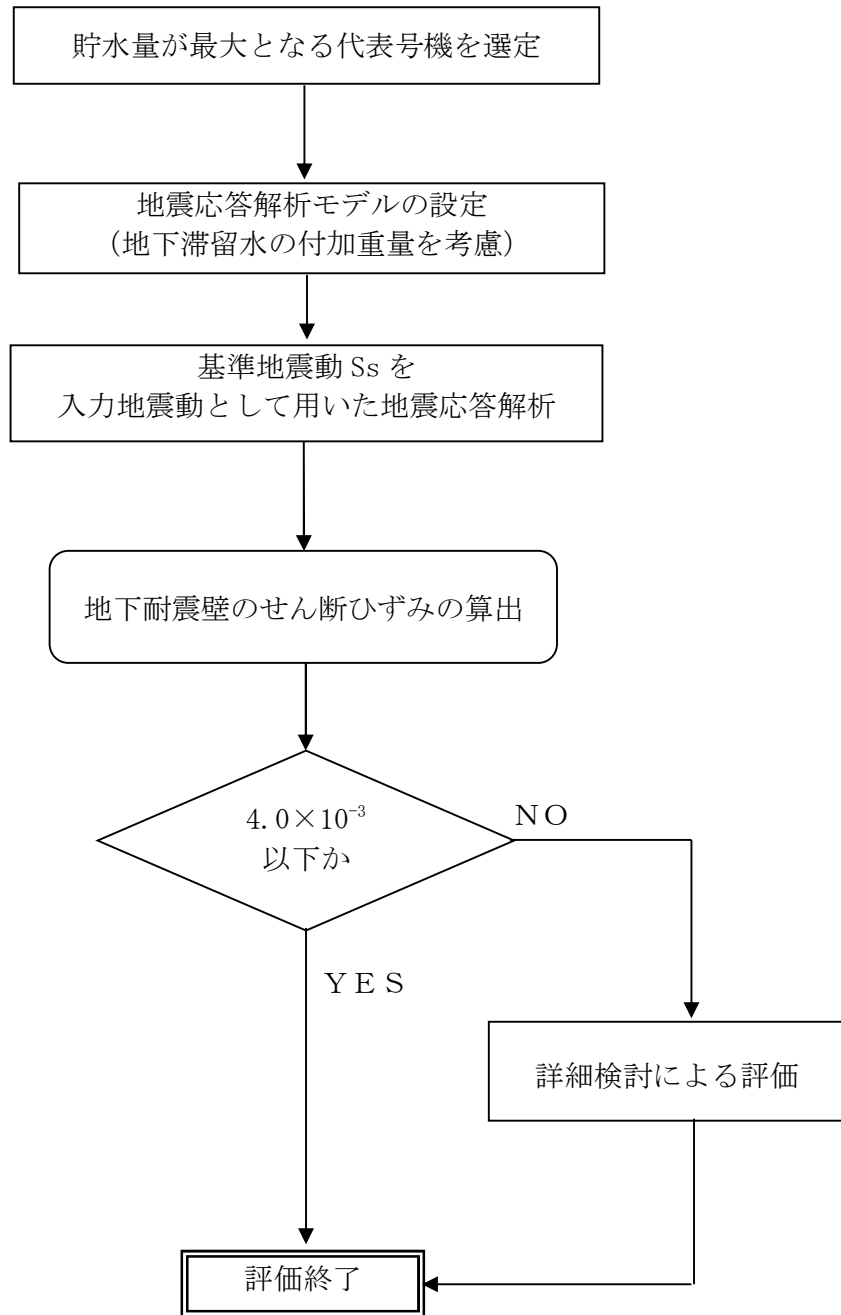


図 5.1.1-1 コントロール建屋の地震応答解析の評価手順例

5.1.2 代表号機の選定

コントロール建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 5.1.2-1 に示す。表 5.1.2-1 より、貯水量の最も多い 3 号機を代表号機と選定する。

表 5.1.2-1 コントロール建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

| | 1 号機 | 2 号機 | 3 号機 | 4 号機 |
|-----|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 水位 | G. L. -4, 700 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 | G. L. -6, 000 |
| 貯水量 | 700m ³ | 1, 600m ³ | 1, 900m ³ | 1, 600m ³ |

5.1.3 解析に用いる入力地震動

3号機コントロール建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図5.1.3-1に示す。このコントロール建屋の解析モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち、解放基盤表面位置における基準地震動 S_s の加速度波形について、図5.1.3-2に示す。

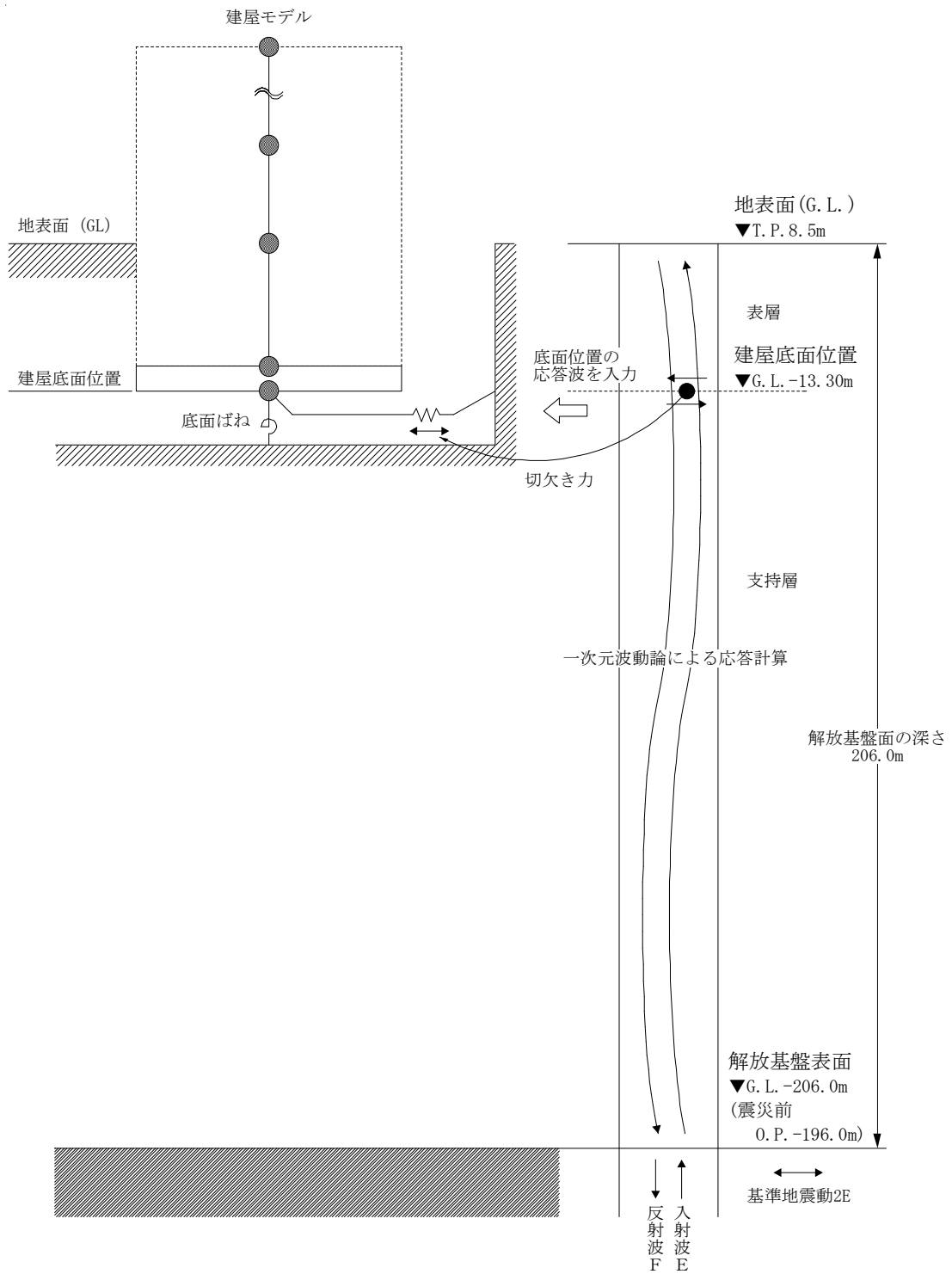
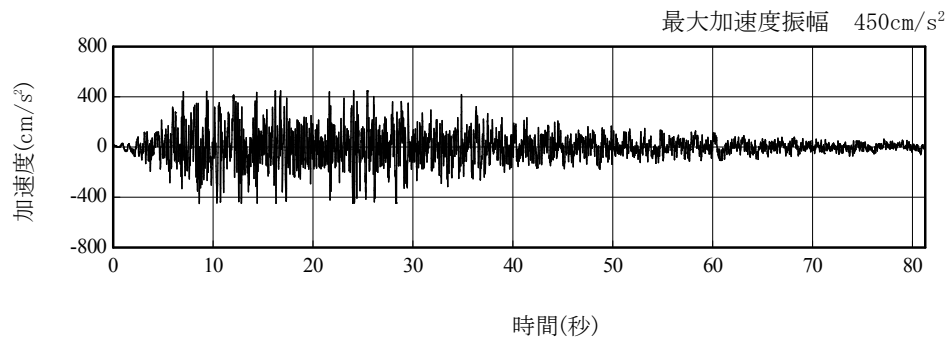


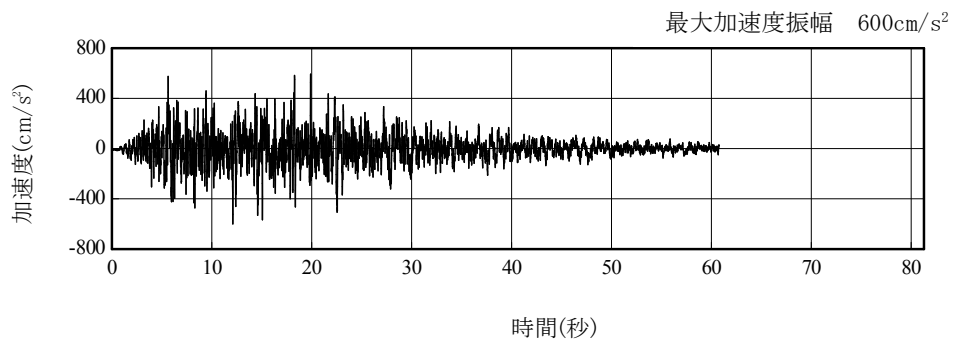
図 5.1.3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

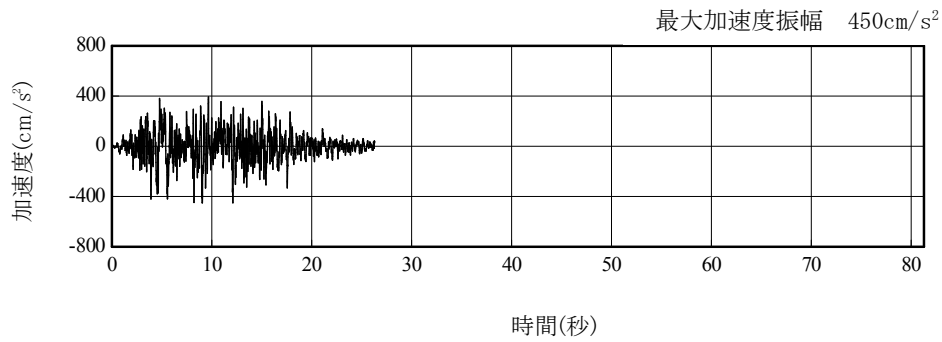
〈換算式〉 T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 5. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形 (水平方向)

5.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3号機コントロール建屋の地震応答解析は、「5.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは、図 5.1.4-1 及び図 5.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 5.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 5.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 5.1.4-3 に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 5.1.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

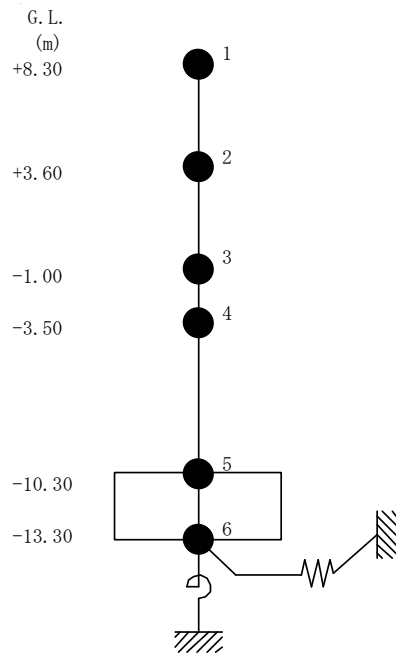


図 5.1.4-1 3号機コントロール建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

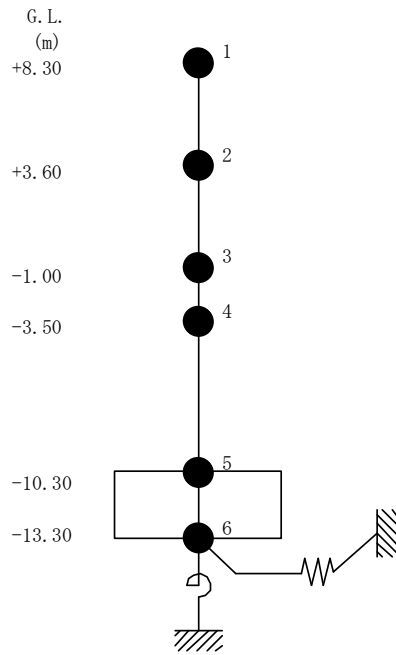


図 5.1.4-2 3号機コントロール建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 5.1.4-1 地震応答解析に用いる物性値

| コンク リート | 強度*1 F _c (N/mm ²) | ヤング係数*2 E (N/mm ²) | せん断弾性係数*2 G (N/mm ²) | ポアソン比 ν | 単位体積重量*3 γ (kN/m ³) |
|------------|--|--------------------------------------|--|------------|---------------------------------------|
| | 35.0 | 2.57×10 ⁴ | 1.07×10 ⁴ | 0.2 | 24 |
| 鉄筋 | SD345相当 (SD35) | | | | |

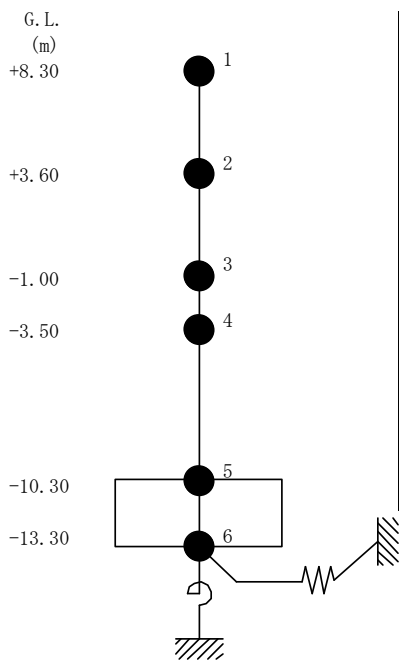
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

表 5.1.4-2 建屋解析モデルの諸元

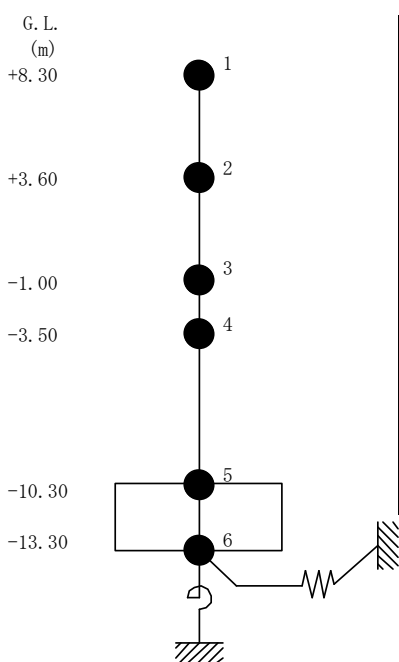
NS 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|-------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 13,620 | 547 | | |
| 2 | 9,160 | 368 | 21.5 | 2,658 |
| 3 | 8,290 | 333 | 21.5 | 3,177 |
| 4 | 15,110 | 607 | 33.8 | 5,271 |
| 5 | 36,680 (3,900) | 1,473 (157) | 33.8 | 5,271 |
| 6 | 16,230 | 652 | 459.9 | 18,463 |
| 合計 | 99,090 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
 ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 21.95m(NS 方向) \times 20.95m(EW 方向)

EW 方向



| 質点番号 | 質点重量 W (kN) | 回転慣性重量 $I_G (\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2)$ | せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$ | 断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$ |
|------|-------------------|--|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 13,620 | 498 | | |
| 2 | 9,160 | 335 | 16.0 | 2,855 |
| 3 | 8,290 | 303 | 20.5 | 2,957 |
| 4 | 15,110 | 553 | 32.2 | 4,654 |
| 5 | 36,680 (3,900) | 1,342 (143) | 32.2 | 4,654 |
| 6 | 16,230 | 594 | 459.9 | 16,819 |
| 合計 | 99,090 | | | |

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
 ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 21.95m(NS 方向) \times 20.95m(EW 方向)

表 5.1.4-3(1) 地盤定数

(Ss-1)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

表 5.1.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ (×10 ⁵ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E (×10 ⁵ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|---|------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.23 | 2.62 | 0.85 | 6.57 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.76 | 3.41 | 0.81 | 8.08 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.53 | 4.36 | 0.81 | 10.27 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.56 | 5.63 | 0.81 | 13.19 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.29 | 6.53 | 0.81 | 15.26 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

表 5.1.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

| G. L. (m) | 地質 | せん断波 速度 Vs (m/s) | 単位体積 重量 γ (kN/m ³) | ポアソン比 ν | せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²) | 初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²) | 剛性 低下率 G/G ₀ | ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²) | 減衰 定数 h (%) | 層厚 H (m) |
|--------------|------------------|---------------------------|--|----------------|---|--|-------------------------------|---|----------------------|----------------|
| ±0.0 | | | | | | | | | | |
| -8.1 | 砂岩 | 380 | 17.8 | 0.473 | 2.25 | 2.62 | 0.86 | 6.63 | 3 | 8.1 |
| -20.0 | 泥岩 (解放基盤) | 450 | 16.5 | 0.464 | 2.66 | 3.41 | 0.78 | 7.79 | 3 | 11.9 |
| -90.0 | | 500 | 17.1 | 0.455 | 3.40 | 4.36 | 0.78 | 9.89 | 3 | 70.0 |
| -118.0 | | 560 | 17.6 | 0.446 | 4.39 | 5.63 | 0.78 | 12.70 | 3 | 28.0 |
| -206.0 | | 600 | 17.8 | 0.442 | 5.09 | 6.53 | 0.78 | 14.68 | 3 | 88.0 |
| | | 700 | 18.5 | 0.421 | 9.24 | 9.24 | 1.00 | 26.26 | - | - |

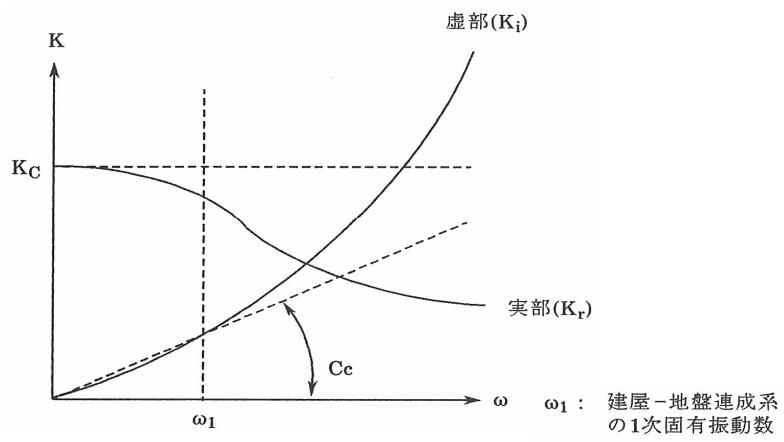


図 5. 1. 4-3 地盤ばねの近似

5.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向,EW方向の最大応答加速度を図5.1.5-1及び図5.1.5-2に,地下滞留水の影響を考慮しない場合と併せて示す。

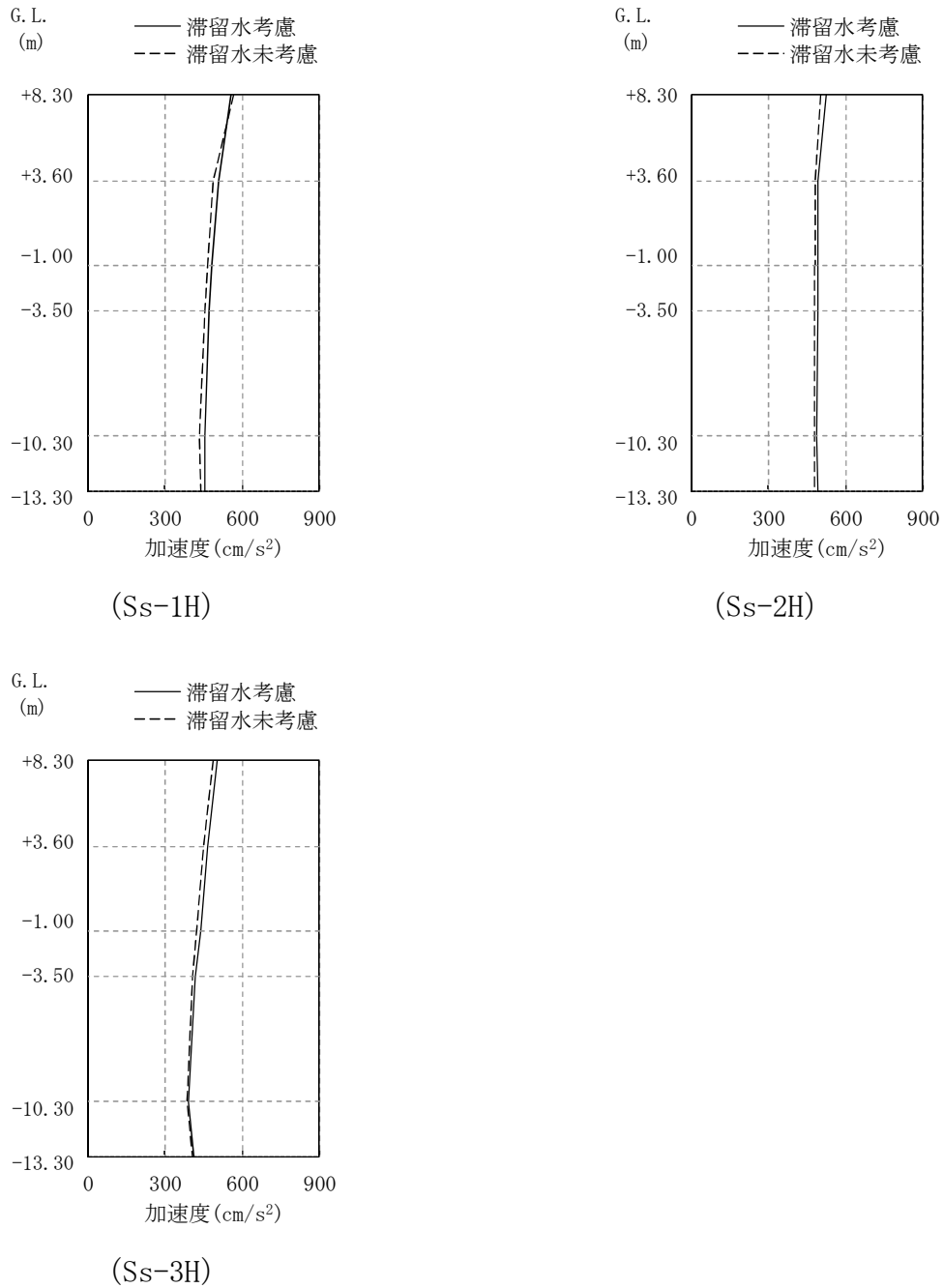
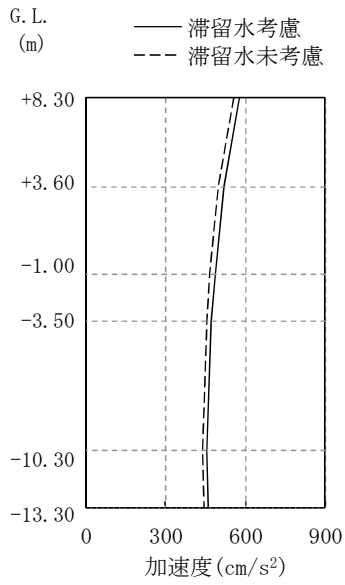
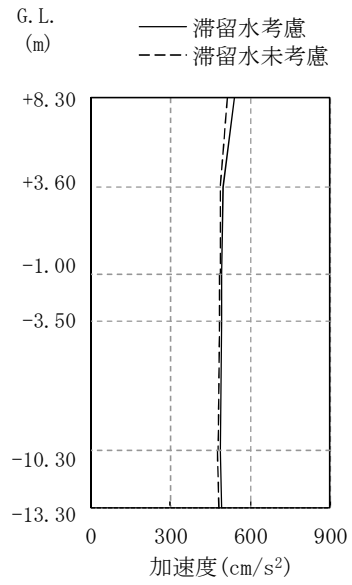


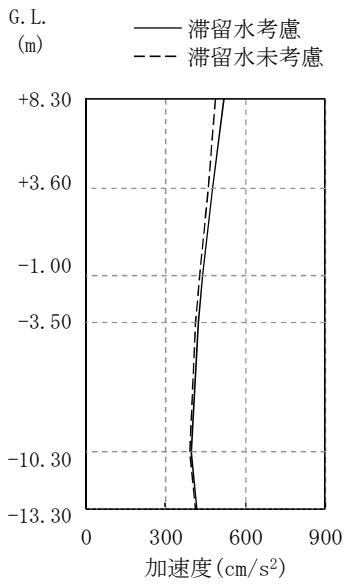
図 5.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

图 5.1.5-2 最大応答加速度 (EW 方向)

5.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、表 5.1.6-1 及び表 5.1.6-2 に示す。また、図 5.1.6-1 及び図 5.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、最大で 0.07×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機コントロール建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 5.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

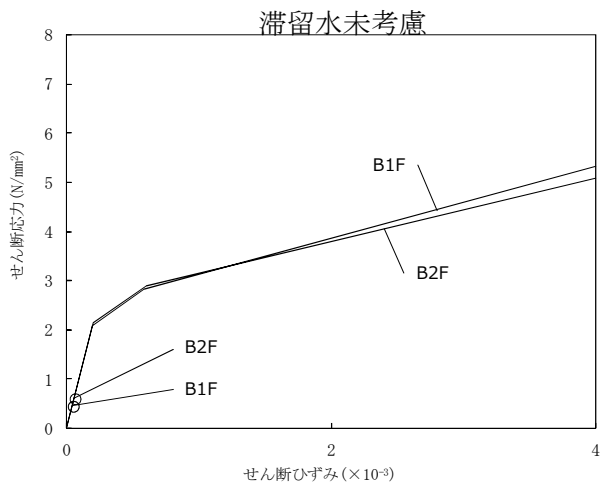
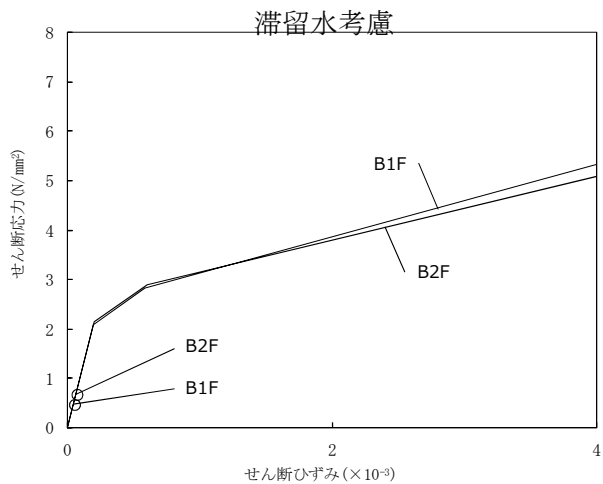
(単位: $\times 10^{-3}$)

| 階 | G. L. | 地下滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| B1F | -1.00 ~ -3.50 | 考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | |
| B2F | -3.50 ~ -10.30 | 考慮 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | |
| | | 未考慮 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | |

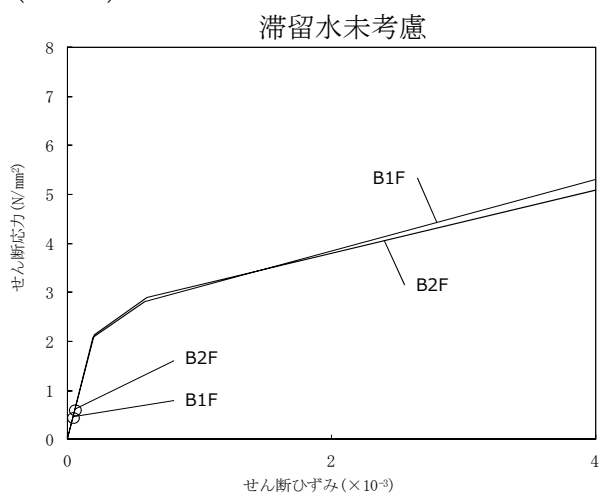
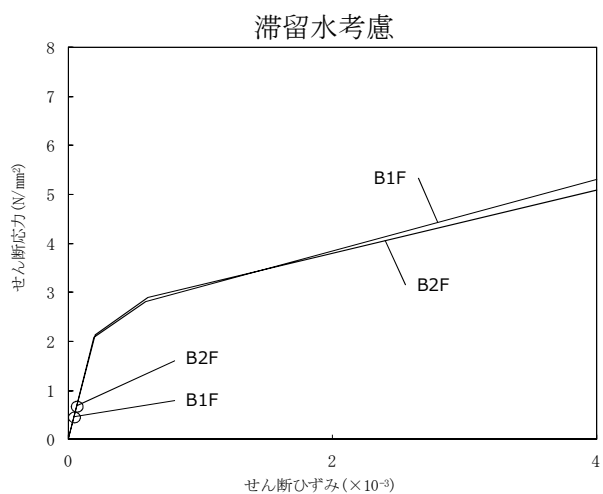
表 5.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

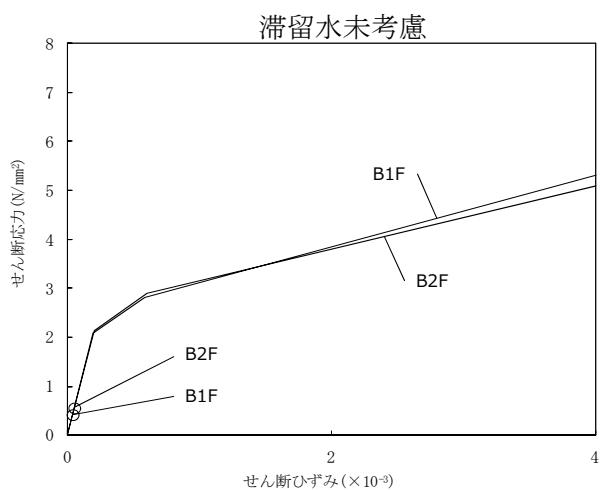
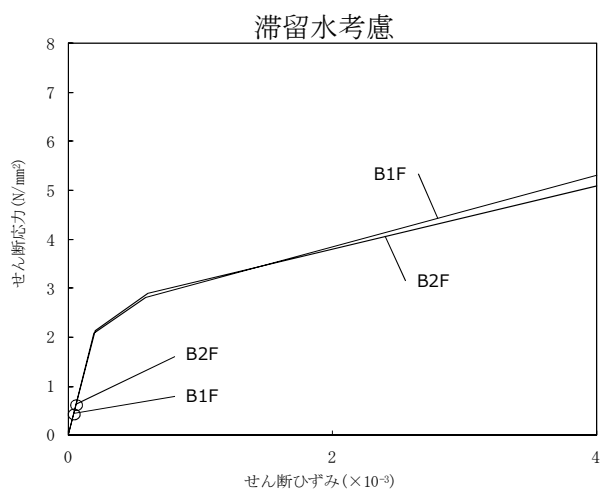
| 階 | G. L. | 地下滞留水 | Ss-1H | Ss-2H | Ss-3H | 評価基準 |
|-----|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| B1F | -1.00 ~ -3.50 | 考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 4.0 以下 |
| | | 未考慮 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | |
| B2F | -3.50 ~ -10.30 | 考慮 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | |
| | | 未考慮 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | |



(Ss-1H)

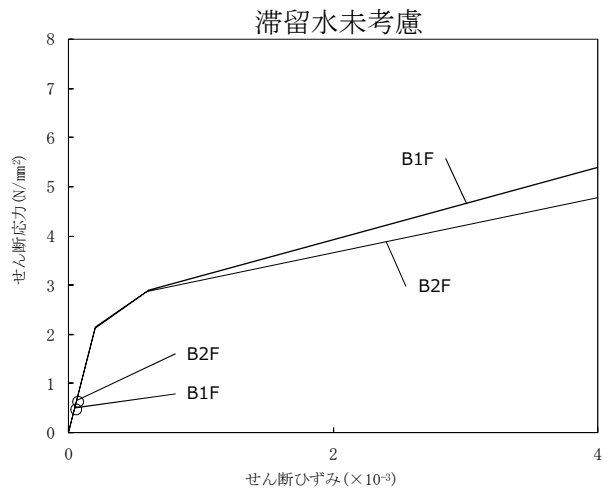
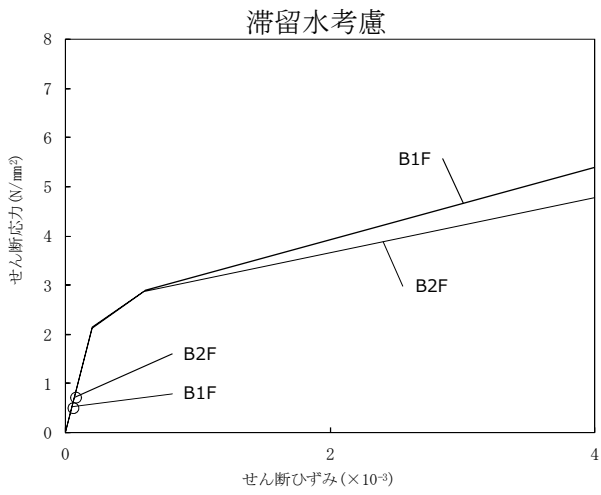


(Ss-2H)

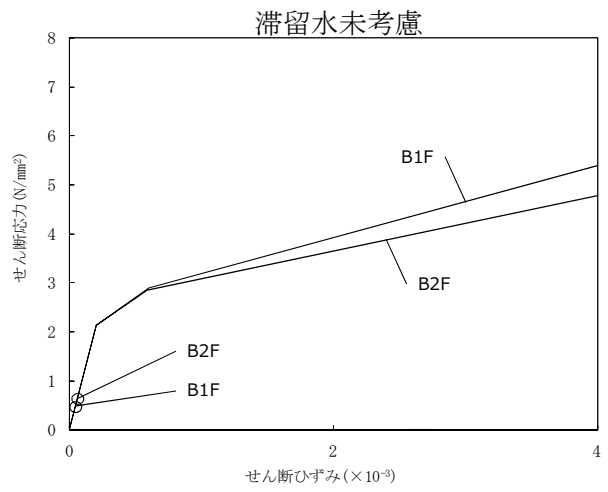
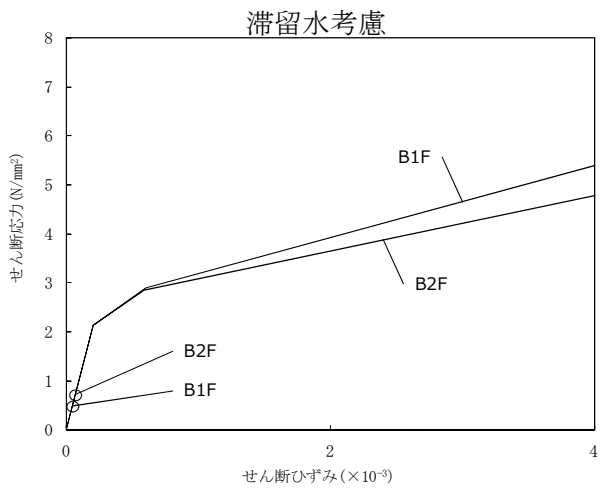


(Ss-3H)

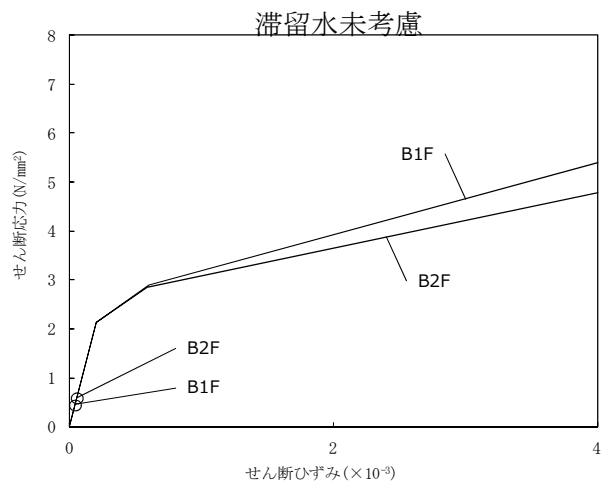
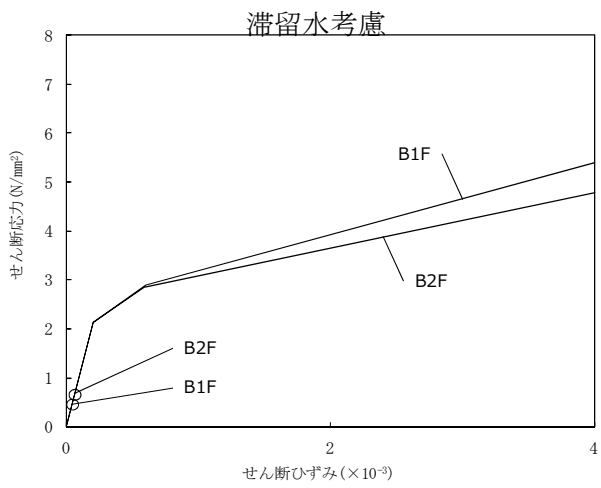
図 5.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

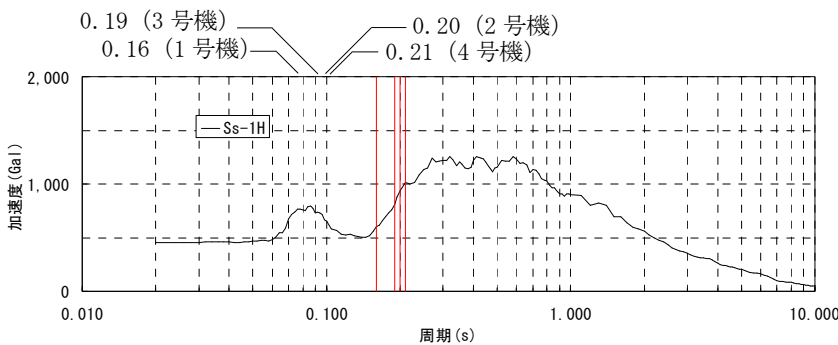
図 5.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

5.2 代表号機以外の検討

滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる3号機コントロール建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

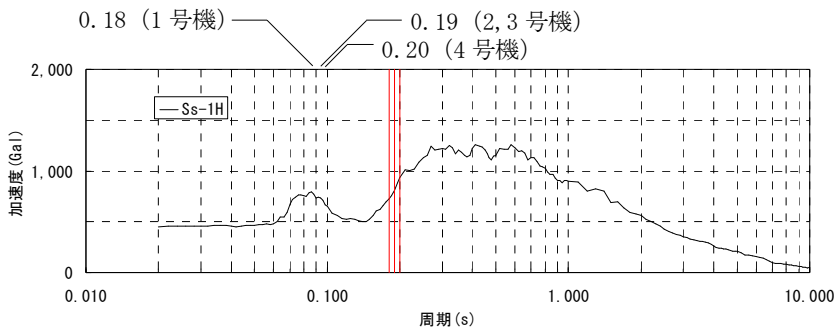
また、コントロール建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機のコントロール建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.16~0.21秒、EW方向で0.18~0.20秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたもの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図5.2-1~図5.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。



(コントロール建屋 NS 方向)

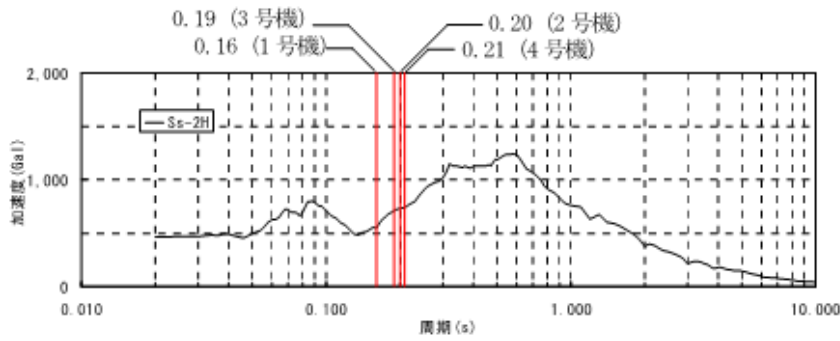
| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.16 | 606 | 0.75 | 0.06 |
| #2 | 0.20 | 934 | 1.16 | 0.09 |
| #3 | 0.19 | 807 | — | 0.07 |
| #4 | 0.21 | 1,012 | 1.25 | 0.09 |



(コントロール建屋 EW 方向)

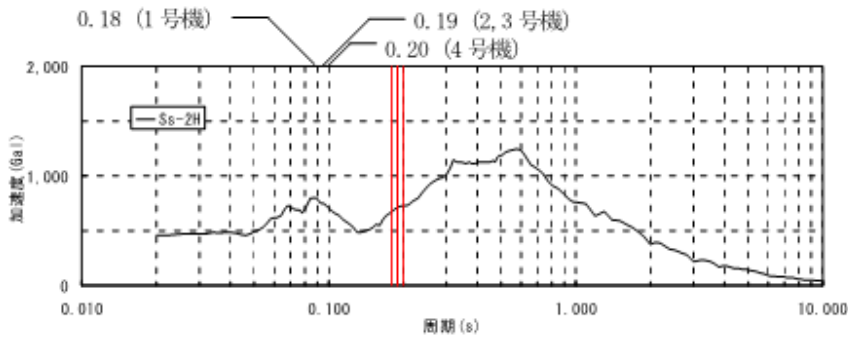
| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.18 | 728 | 0.90 | 0.07 |
| #2 | 0.19 | 807 | 1.00 | 0.07 |
| #3 | 0.19 | 807 | — | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 934 | 1.16 | 0.09 |

図 5.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.16 | 549 | 0.78 | 0.06 |
| #2 | 0.20 | 728 | 1.03 | 0.08 |
| #3 | 0.19 | 708 | — | 0.07 |
| #4 | 0.21 | 734 | 1.04 | 0.08 |

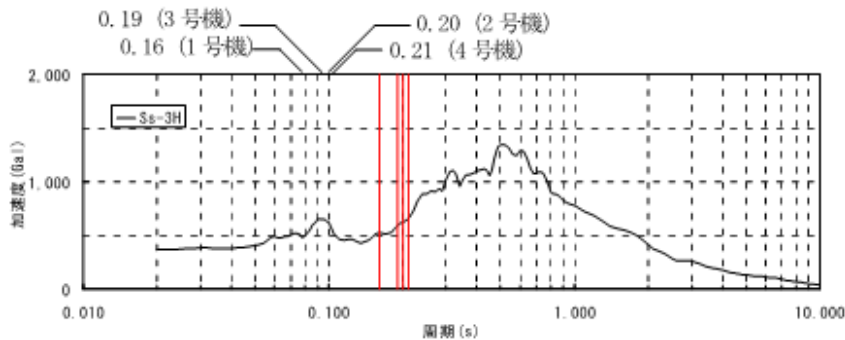
(コントロール建屋 NS 方向)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.18 | 678 | 0.96 | 0.07 |
| #2 | 0.19 | 708 | 1.00 | 0.07 |
| #3 | 0.19 | 708 | — | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 728 | 1.03 | 0.08 |

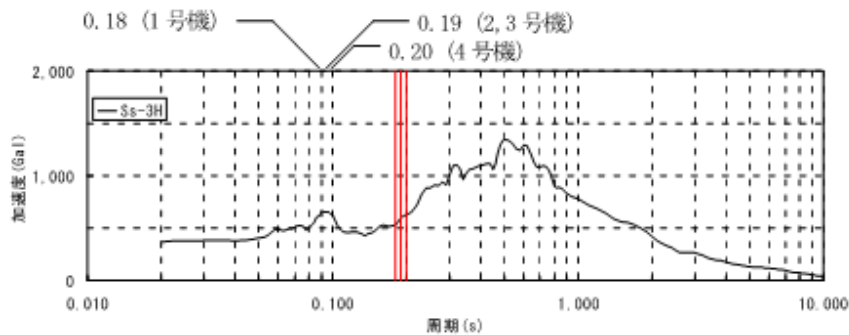
(コントロール建屋 EW 方向)

図 5.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一時固有周期 (Ss-2H)



| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.16 | 528 | 0.89 | 0.06 |
| #2 | 0.20 | 625 | 1.05 | 0.07 |
| #3 | 0.19 | 594 | — | 0.06 |
| #4 | 0.21 | 655 | 1.10 | 0.07 |

(コントロール建屋 NS 方向)

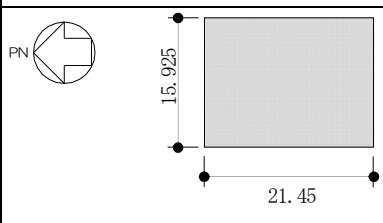
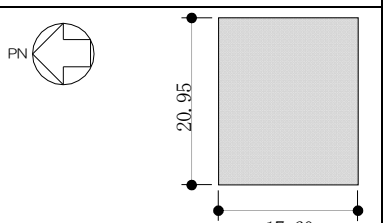
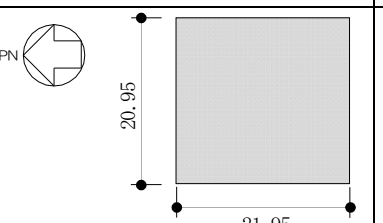
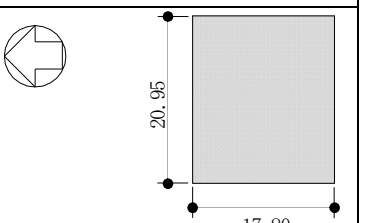
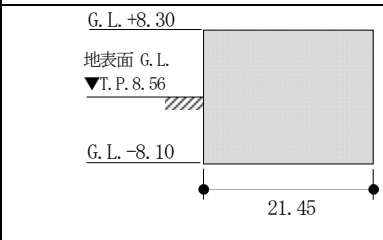
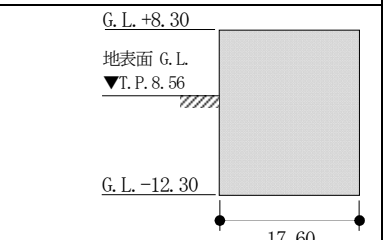
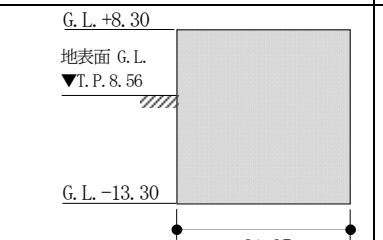
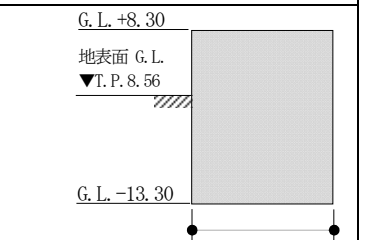
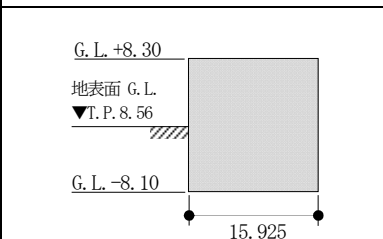
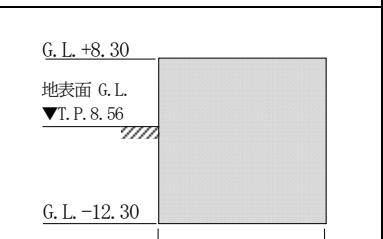
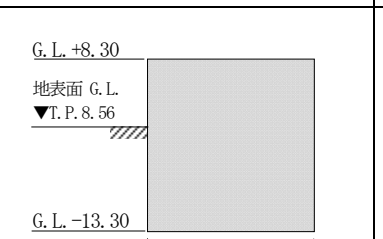
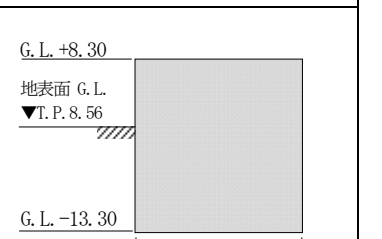


| 号機 | 一次固有周期 T1 (sec) | 応答 加速度 α_{T1} (Gal) | 応答 加速度比 α_{amp} | γ_{resp} ($\times 10^{-3}$) |
|----|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| #1 | 0.18 | 532 | 0.90 | 0.07 |
| #2 | 0.19 | 594 | 1.00 | 0.07 |
| #3 | 0.19 | 594 | — | 0.07 |
| #4 | 0.20 | 625 | 1.05 | 0.08 |

(コントロール建屋 EW 方向)

図 5.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一時固有周期 (Ss-3H)

表 5.2-1 コントロール建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

| | | 1号機コントロール建屋 | 2号機コントロール建屋 | 3号機コントロール建屋 | 4号機コントロール建屋 | |
|-----------------------|----|---|--|---|---|------|
| 平面図 | |  |  |  |  | |
| NS方向断面 | |  |  |  |  | |
| EW方向断面 | |  |  |  |  | |
| 一次固有周期 (s) | NS | Ss-1H | 0.16 | 0.20 | 0.19 | 0.21 |
| | | Ss-2H | 0.16 | 0.20 | 0.19 | 0.21 |
| | | Ss-3H | 0.16 | 0.20 | 0.19 | 0.21 |
| | EW | Ss-1H | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 |
| | | Ss-2H | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 |
| | | Ss-3H | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 |
| 滞留水量(m ³) | | 700 | 1,600 | 1,900 | 1,600 | |
| 同一レベルの貯留比率* | | B1F:0.342 | B1F:0.623 B2F:0.273 | B1F:0.348 B2F:0.672 | B1F:0.487 | |

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と0.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧0.P. - 1,436mm

地下水バイパスによる地下水流入量の低減

1 概要

建屋周辺の地下水は、山側から海側に向かって流れていることから、建屋山側の高台で地下水を揚水し、その流路を変更して海にバイパスすることにより、建屋周辺の地下水位を段階的に低下させ、建屋への地下水流入量の低減を図っていく（図1）。

地下水バイパスの設備は、建屋山側で地下水を汲み上げる揚水井及びポンプ、汲み上げた地下水を一時的に貯留して水質を確認するタンク、地下水を移送するための配管等からなる（図2）。

2 地下水バイパスによる地下水の建屋流入抑制効果

建屋周辺の地下水位は、浸透流解析により検討した結果、地下水バイパスの実施に伴い、原子炉建屋山側で現況（T. P. + 7. 5 m程度）より最大で1. 3 m程度、タービン建屋海側で現況（T. P. + 2. 5 m程度）より最大で0. 2 m程度低下するものと想定され（図3～5）、これにより、建屋内への地下水流入量は現況より20 m³/日～120 m³/日程度低減されるものと考えられる。

3 滞留水の建屋外漏えい防止対策への影響

地下水バイパスの実施にあたっては、地下水低下状況及び水質等をモニタリングし、浸透流解析結果の検証を行いつつ、段階的に地下水位を低下させることで（図6）、建屋内滞留水が建屋外に漏れ出さないように慎重な水位管理を実施していく。

モニタリングにあたっては、原子炉建屋山側のサブドレンを活用するとともに、原子炉建屋と揚水井の間に観測孔を新設する（図7）。

なお、豪雨等の発生による直接的な雨水の流入及び地下水位上昇による地下水流入量の増加時には、地下水位と建屋内滞留水の水位を注意深く監視し、必要に応じて、集中廃棄物処理建屋への移送量を増加すること等により、建屋内滞留水の水位上昇を抑制する。

4 地下水の汲み上げによる地盤沈下

地下水バイパスの実施に伴い地下水を汲み上げるが、T. P. + 8. 5 m盤の原子炉建屋、タービン建屋、運用補助共用施設（共用プール）などの建屋については、直接岩盤に支持されていることから沈下の恐れはないと考えられる。また、建屋周辺の地下水位は、東北地方太平洋沖地震前にはサブドレンが稼働し十分に低下していたことから、地下水バイパスの実施に伴い現況から地下水位が低下しても、建屋周辺の地盤沈下の恐れはないと考えられる。

T. P. + 3. 5 m盤のタンクエリア等の一部については、地下水位が若干低下

するが、その量は2 m程度以下と少なく、また、揚水する地下水は不圧地下水であり、現況の地下水位よりも下の地層は地質年代が古く（新第三紀）、十分圧密されていることから、地下水位の低下に伴う沈下の恐れはないと考えられる。

5 汲み上げた地下水の管理

地下水バイパスの実施に伴い汲み上げた地下水は、一時貯留タンクに貯留し、含まれる放射性物質濃度が告示濃度限度よりも十分に低い運用目標（告示濃度限度に対する割合の和0.22）を満足することを確認した後に、排水を行う。汲み上げた地下水を汚染させない管理については、以下のとおりである。

- ・ 水質確認のための一時貯留タンクとバイパス用の専用配管を通して移送する。
- ・ 一時貯留タンクエリア周辺の空気は、事故発災後の測定において、管理区域設定基準を超えておらず、現在は基準値の2桁程度低い濃度で安定に推移しているが、万一の空气中放射性物質混入を防止する対策として、一時貯留タンクの吸気管口を汚染のおそれのない管理対象区域に設ける。
- ・ 水質確認の結果、運用目標以上の放射性物質が確認された場合には、揚水井からの地下水くみ上げを停止する。

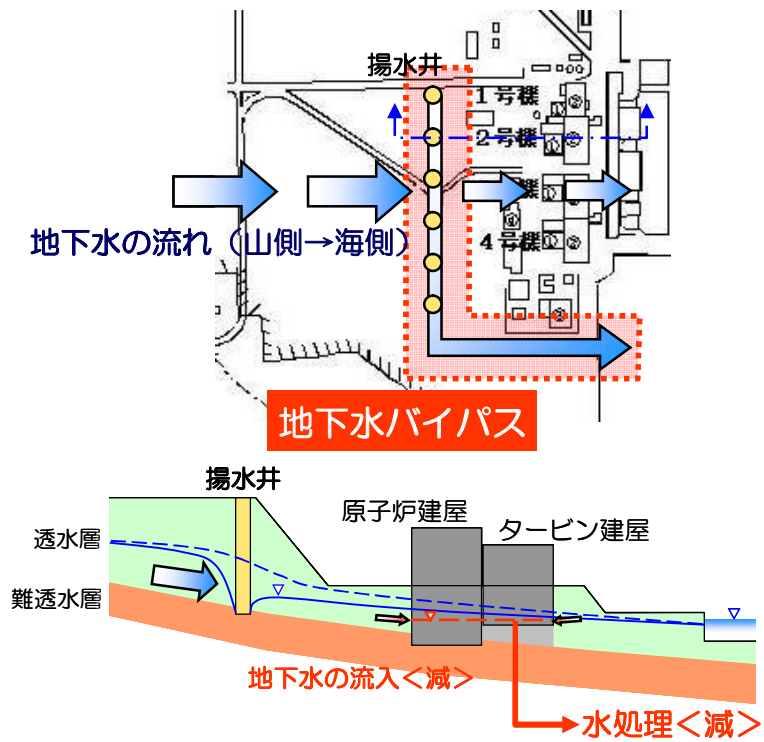


図1 地下水バイパス (イメージ)

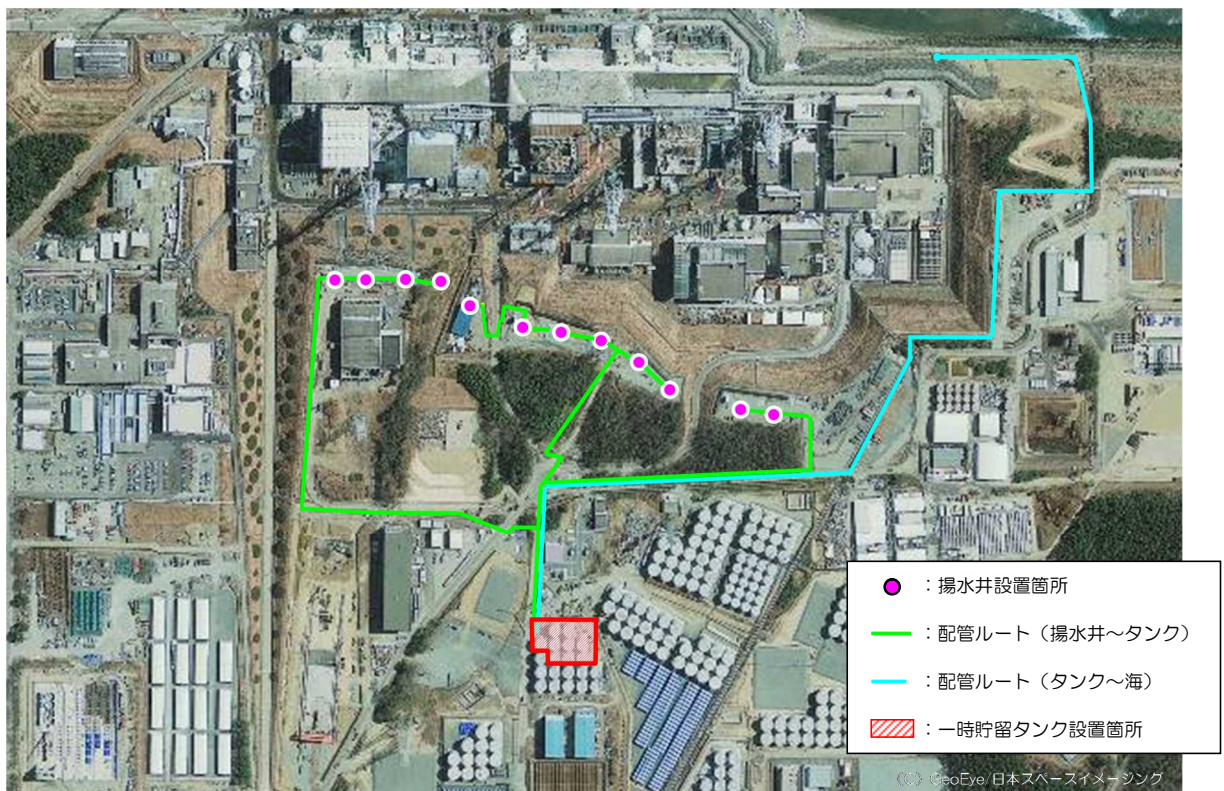


図2 地下水バイパスの設備

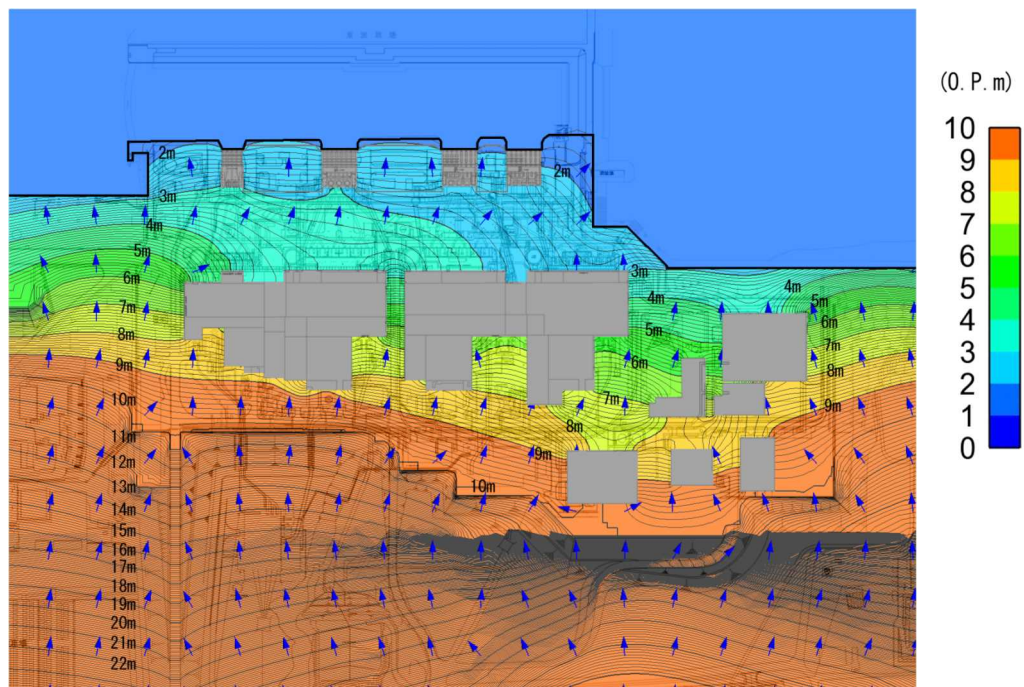


図3 建屋周りの地下水位（現況）

※O. P. 表記は震災前の「旧 O. P. 表記」を指す。

T. P. 表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O. P. から T. P. への読み替え地（-727mm）を用いて、下式に基づき換算する。

<換算式>T. P. =旧 O. P. -1, 436mm

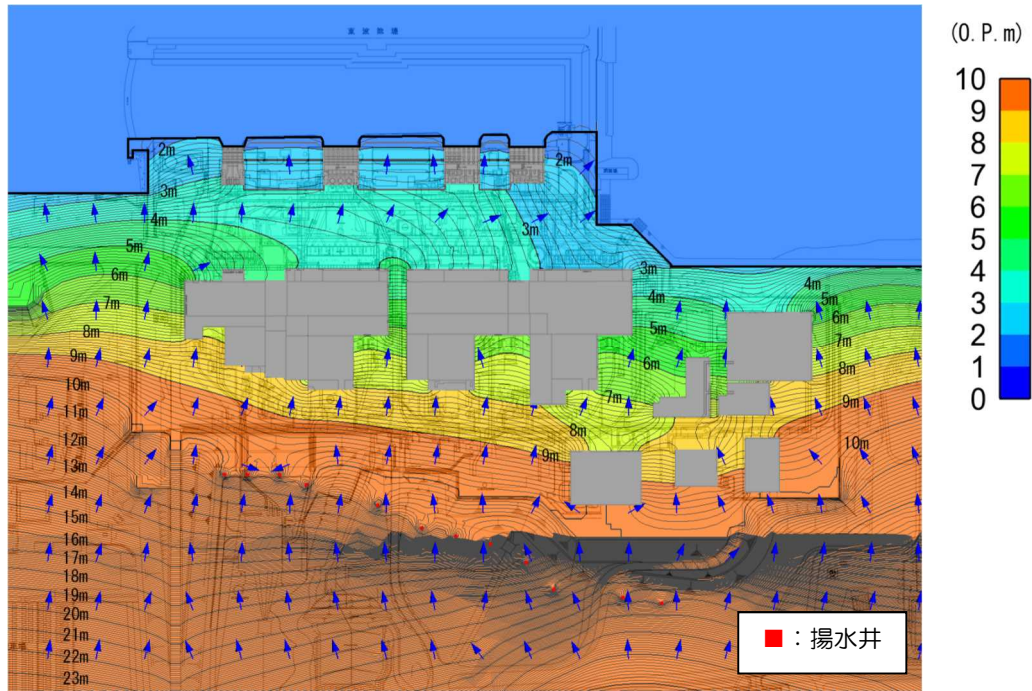


図4 建屋周りの地下水位（地下水バイパス実施後）

※O.P. 表記は震災前の「旧 O.P. 表記」を指す。

T.P. 表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P. から T.P. への読み替え地（-727mm）を用いて、下式に基づき換算する。

<換算式>T.P. = 旧 O.P. -1, 436mm

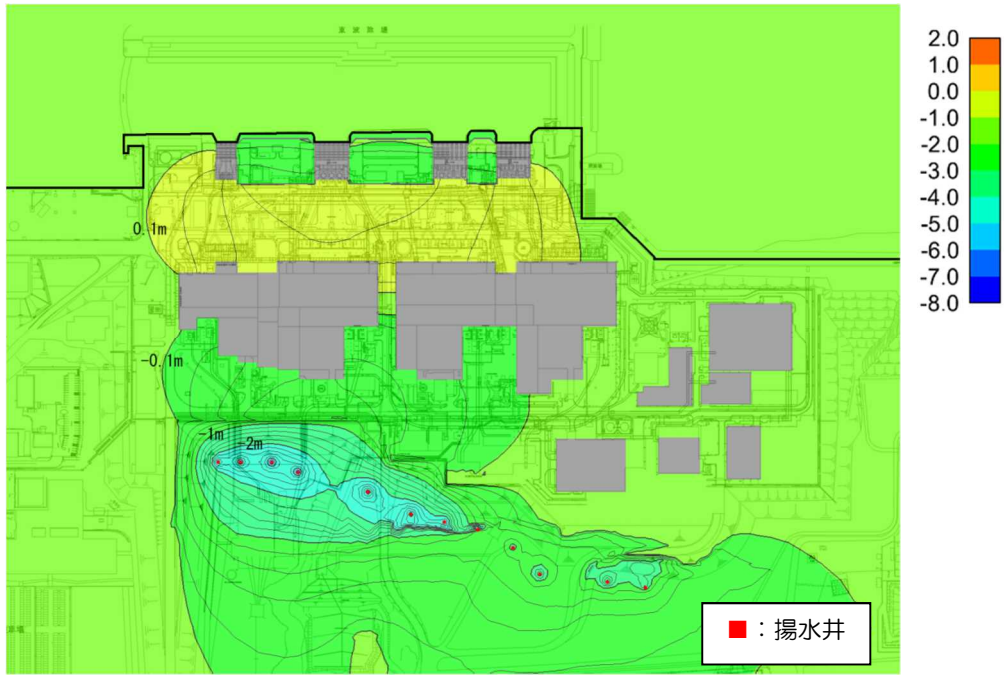


図5 建屋周りの地下水位の低下量（現況と地下水バイパス実施後の差分）

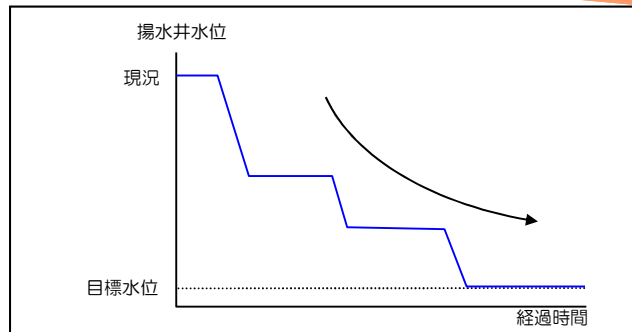
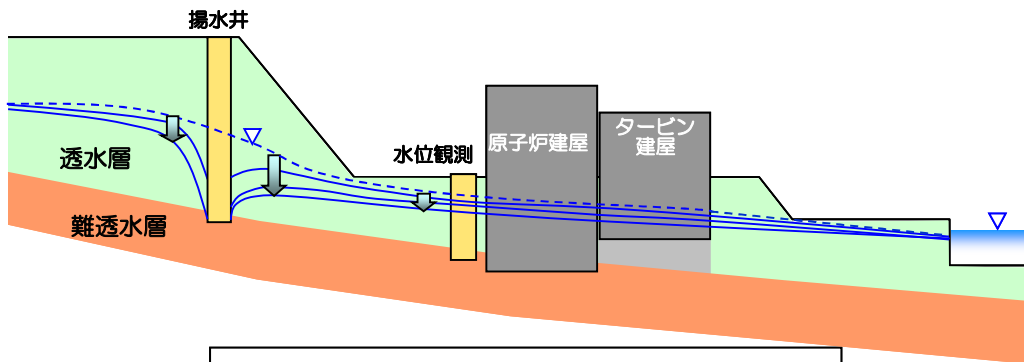


図6 段階的な地下水位低下のイメージ

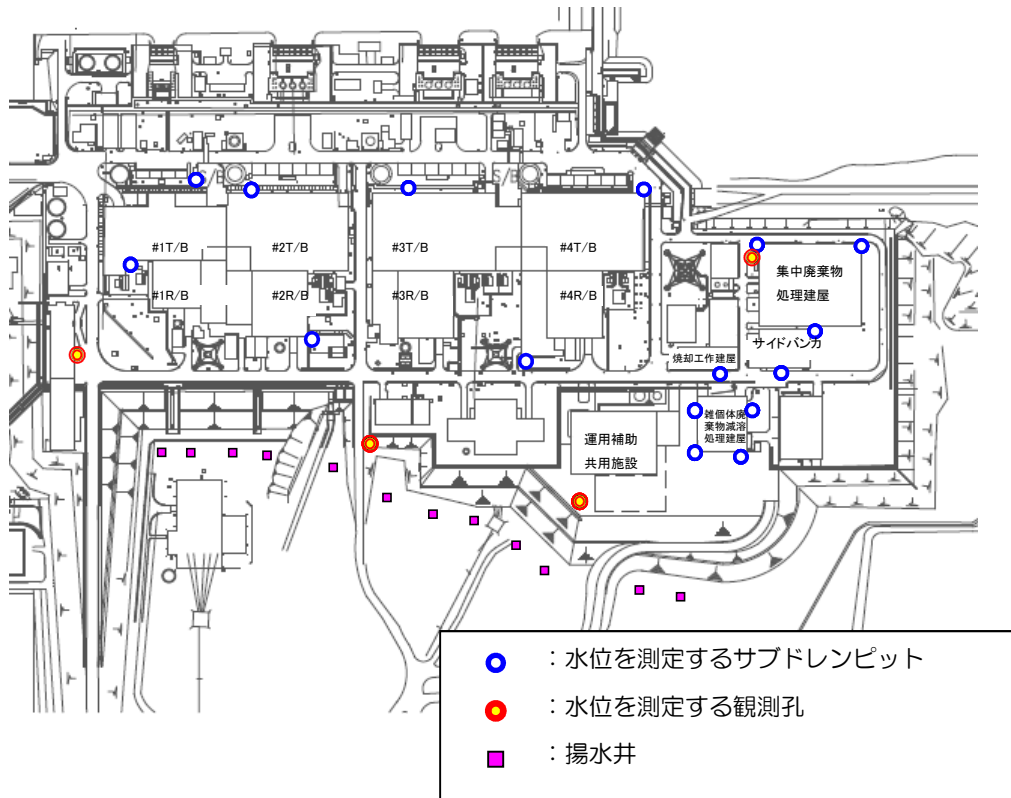
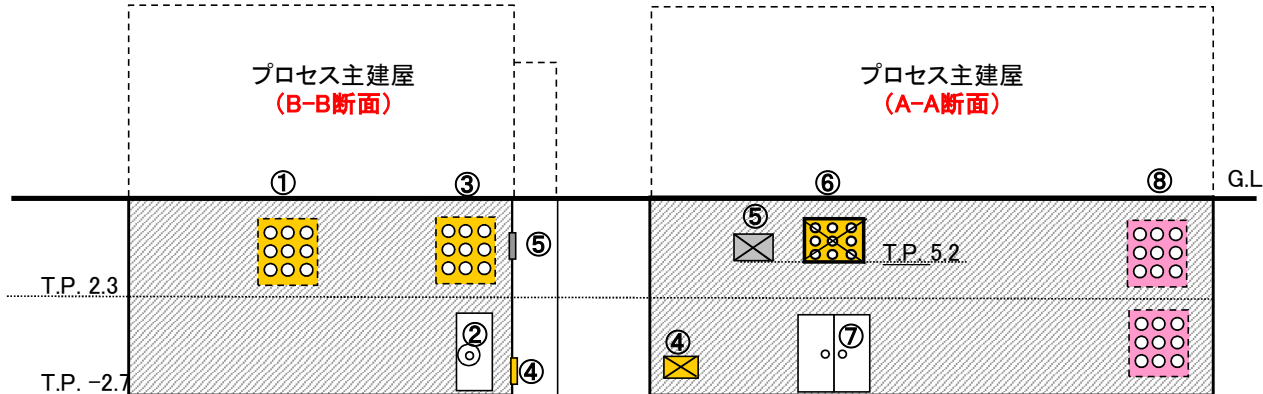
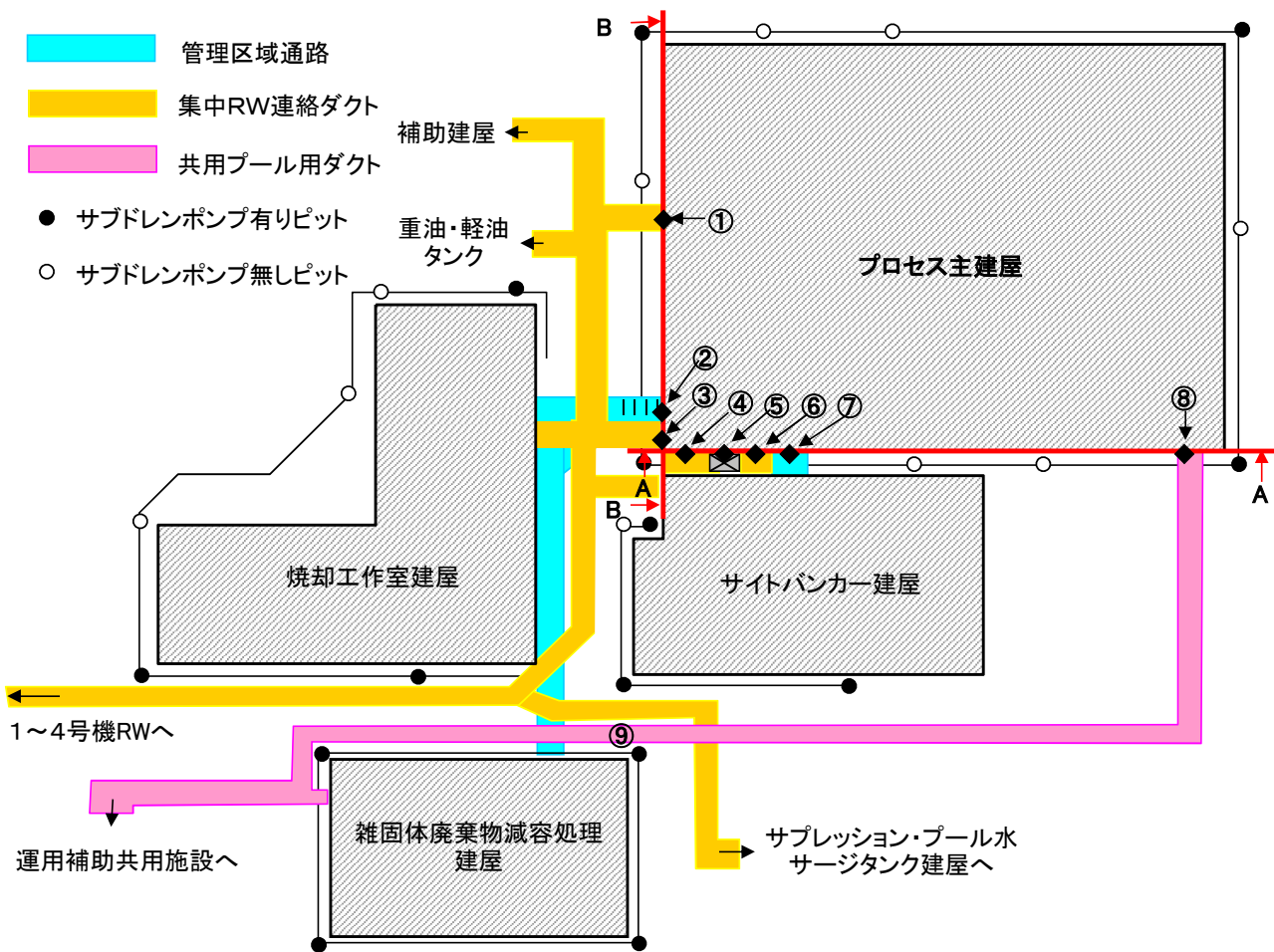
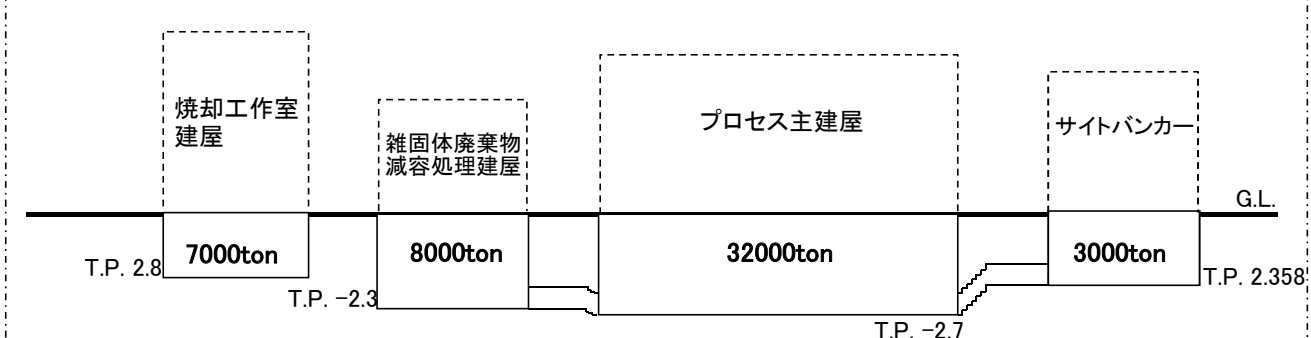


図7 モニタリング計画

プロセス主建屋の貫通部の止水措置



プロセス主建屋位置関係図

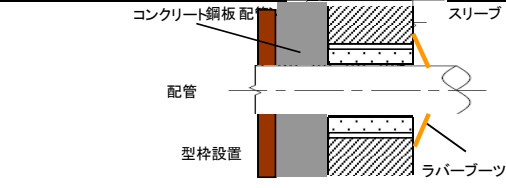
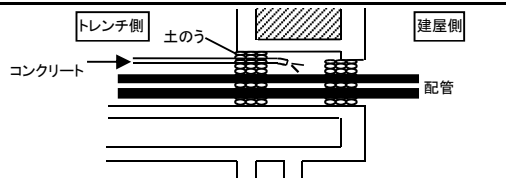
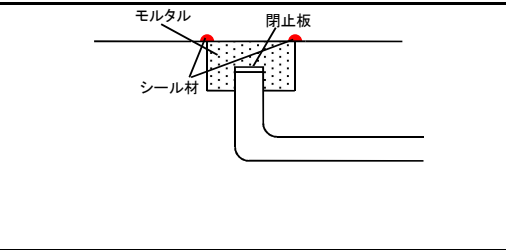
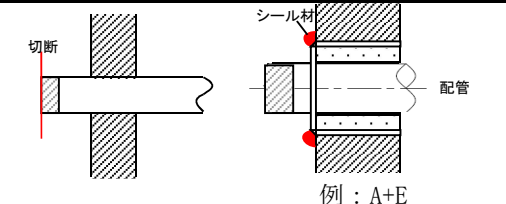
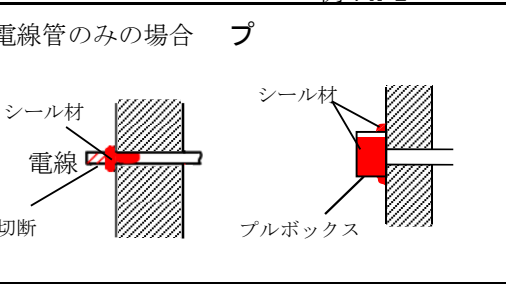
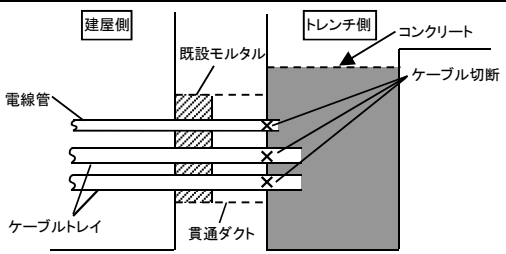


集中廃棄物処理建屋断面図 (地下部空体積)

添付資料-4に記載の標高は、震災後の地盤沈下量と、O.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。

| 建屋名 | 地盤沈下量 | 換算式 |
|--------------|--------|----------------------|
| プロセス主建屋 | -635mm | T.P. = 旧O.P. - 1,362 |
| 焼却工作室建屋 | -665mm | T.P. = 旧O.P. - 1,392 |
| 雑固体廃棄物減容処理建屋 | -719mm | T.P. = 旧O.P. - 1,446 |
| サイトバンカー建屋 | -711mm | T.P. = 旧O.P. - 1,438 |

貫通部止水工事 施工方法について

| | | | |
|------------|---|---|----------|
| | <p>型枠を設置してコンクリートを充填する。</p> |  | <p>B</p> |
| | <p>開口部の両端に土のうを積み開口内部にコンクリートを充填する。</p> |  | <p>C</p> |
| | <p>ファンネル流入口に閉止板を設置し、モルタルをファンネル内に充填した後、床面と充填したモルタルの境界表面にシール材を塗布する。</p> |  | <p>D</p> |
| | <p>配管を切断し、閉止板を溶接にて取り付けることにより閉塞する。</p> |  <p style="text-align: right;">例：A+E</p> | <p>E</p> |
| <p>電線管</p> | <p>電線管切断後、シール材を充填する。</p> | <p>電線管のみの場合 プ</p>  | <p>F</p> |
| | <p>トレンチ側の電線を切断し、コンクリートで充填する。</p> |  | <p>G</p> |

| 設備 | 処置方法 | 概要図 | 記号 |
|--------|--|--|----|
| ダクト | ダクトを切断し、プレートを取り付けて閉止した後、溶接箇所にはシール材を塗布する。 | <p>溶接 プレート シール材 ダクト 切断</p> | H1 |
| ダクト | ダクトに閉止板を設置し、型枠との隙間にコンクリートを充填する。 | <p>コンクリート 閉止板 型枠設置 溶接</p> | H2 |
| 煙道 | 煙道出口に閉止板を設置した後、コンクリートを充填して閉塞する。 | <p>コンクリート 煙道 通路 点検用のふた</p> | I |
| 扉 | 型枠を設置した後、コンクリートを充填することで閉塞する。 | <p>コンクリート 煙突 型枠設置 扉</p> | J |
| トレンチ | 地上との貫通部よりコンクリートを充填する。 | <p>g 配管等 コンクリート</p> | K |
| 予備スリーブ | 予備スリーブの加工箇所の壁面、モルタル充填部表面にシール材を塗布 | <p>シール材</p> | L |

プロセス主建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策

1 はじめに

プロセス主建屋の地下躯体部分の水密性を確保する観点から、ひび割れ点検を行うとともに、ひび割れ箇所の補修を行った。

2 現場確認方法

プロセス主建屋のひび割れ点検は、日常点検における記録を基に地震後に新たに生じたと考えられるひび割れについて目視点検を行った。

3 点検結果及び評価

点検では、新たに地震により生じたひび割れは確認されなかった。今回の地震前から存在していたと思われるひび割れは確認されたが、縦方向のひび割れであることから、経年によるコンクリートの乾燥収縮によって生じたひび割れと判断した。

その他のひび割れについても、ひび割れ部分にはエフロッセンス（白華現象）等の変化が見られないことから、通常時には漏水等の問題はなかったものと考えられる。

また、プロセス主建屋は、不透水層である富岡層（泥岩）に基礎マットが設置されていること、地下外壁面周囲にアスファルト防水が施工されていることから、止水性は確保されているものと考えられるが、地下外壁のひび割れ部の補修を行い、水密性を高めるものとする。

4 ひび割れ補修

4.1 補修範囲

ひび割れの補修は、プロセス主建屋の日常点検により記録されたひび割れのほか、目視で確認できる全てのひび割れについて実施した。プロセス主建屋のひび割れの補修本数を表-1 に示す。

表-1 ひび割れ補修本数

| | 部 位 | 実施本数 (0.3mm 以上のひび割れ) |
|---------|------|-------------------------|
| プロセス主建屋 | 地下1階 | 59 |
| | 地下2階 | 249 |

4.2 補修方法

- ・ 目視で確認できるひび割れを全て補修する。
- ・ 使用材料：ポリマーセメント系塗膜防水材

5 まとめ

対象となるひび割れについて全て補修を実施し、当社は適切に補修されたことを確認した。

6 ひび割れ調査図 (壁展開図・ひび割れ幅 0.3mm 以上のものを記録)

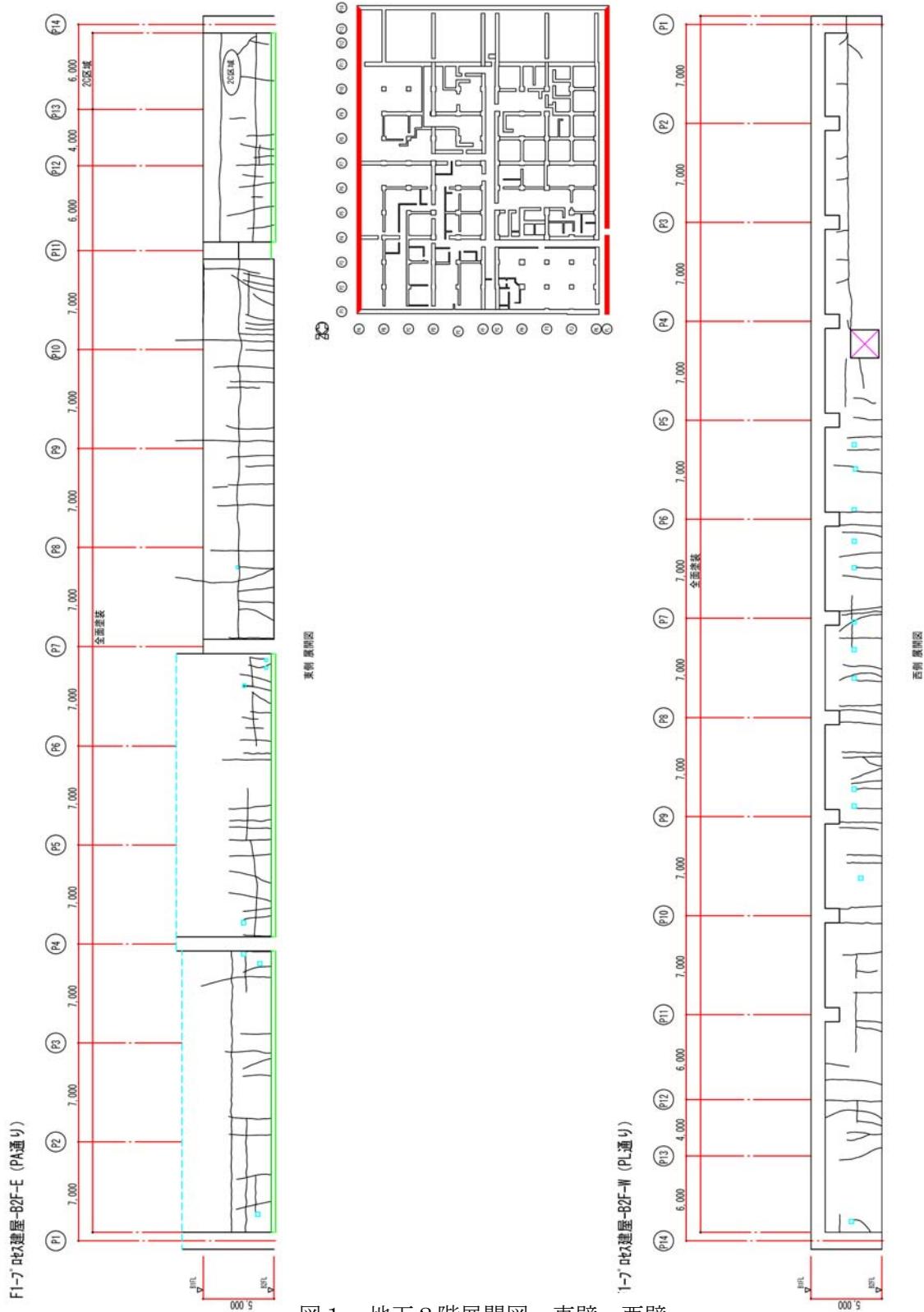


図1 地下2階展開図 東壁, 西壁

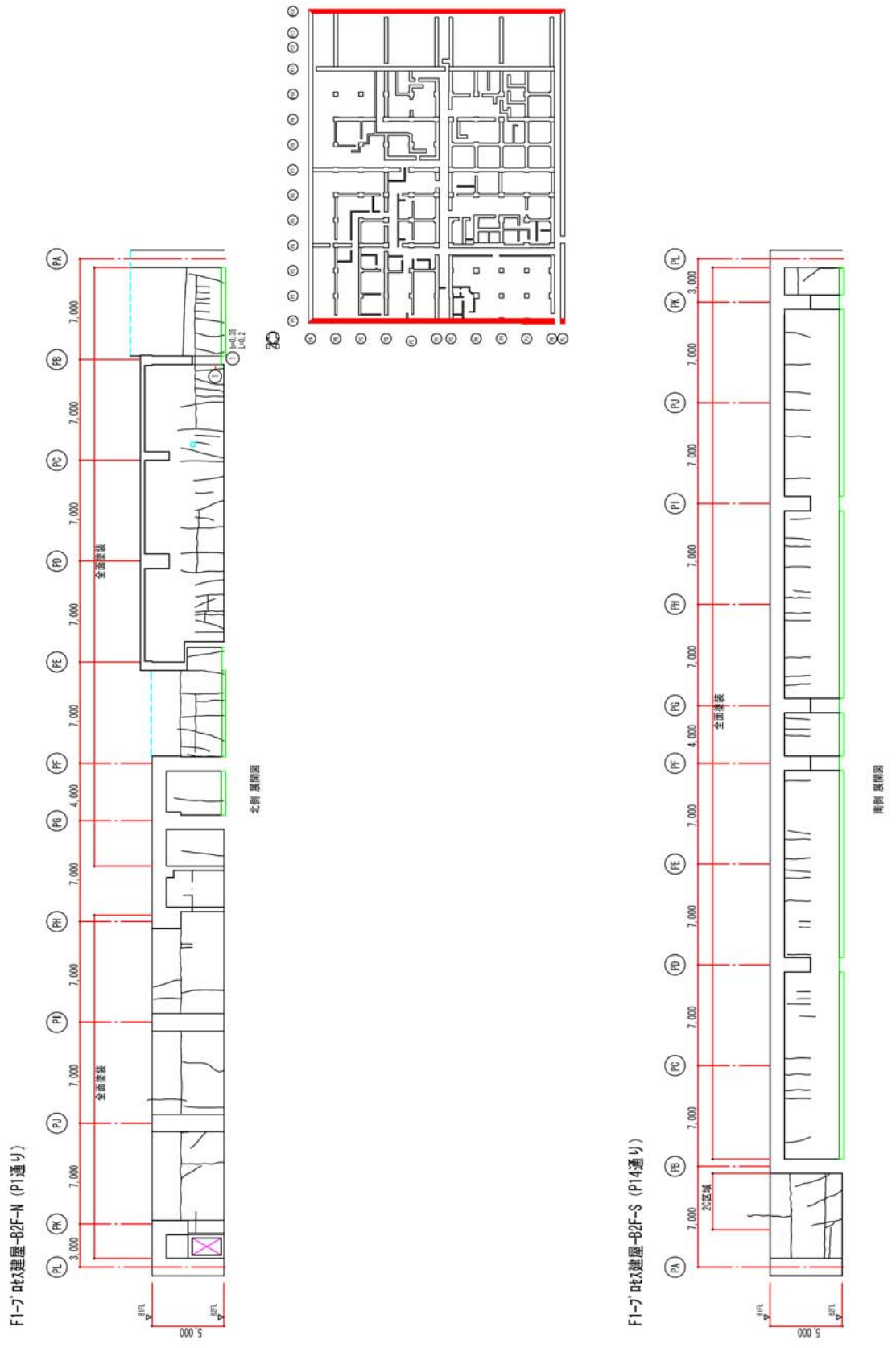
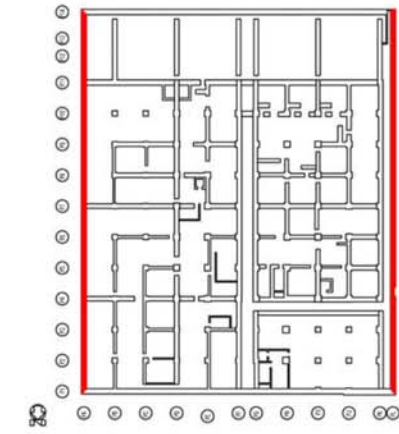
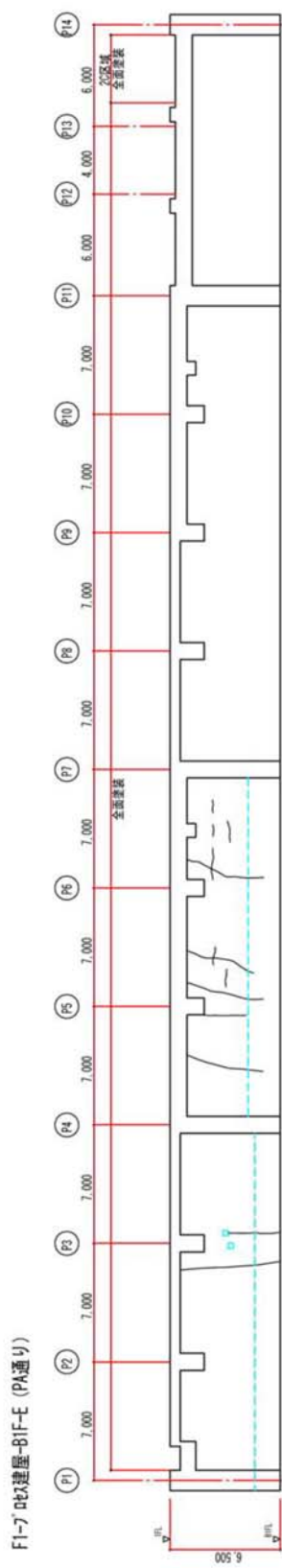
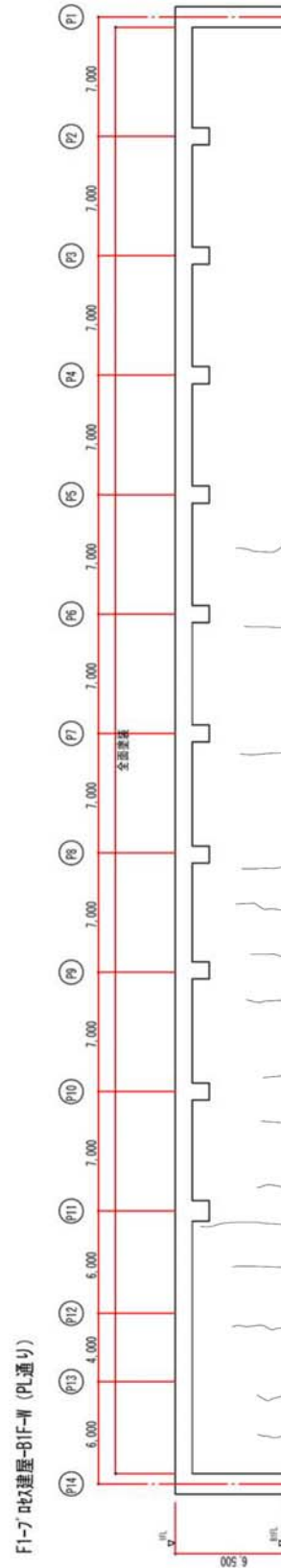


図2 地下2階展開図 北壁, 南壁



東側 展開図



西側 展開図

図3 地下1階展開図 東壁, 西壁

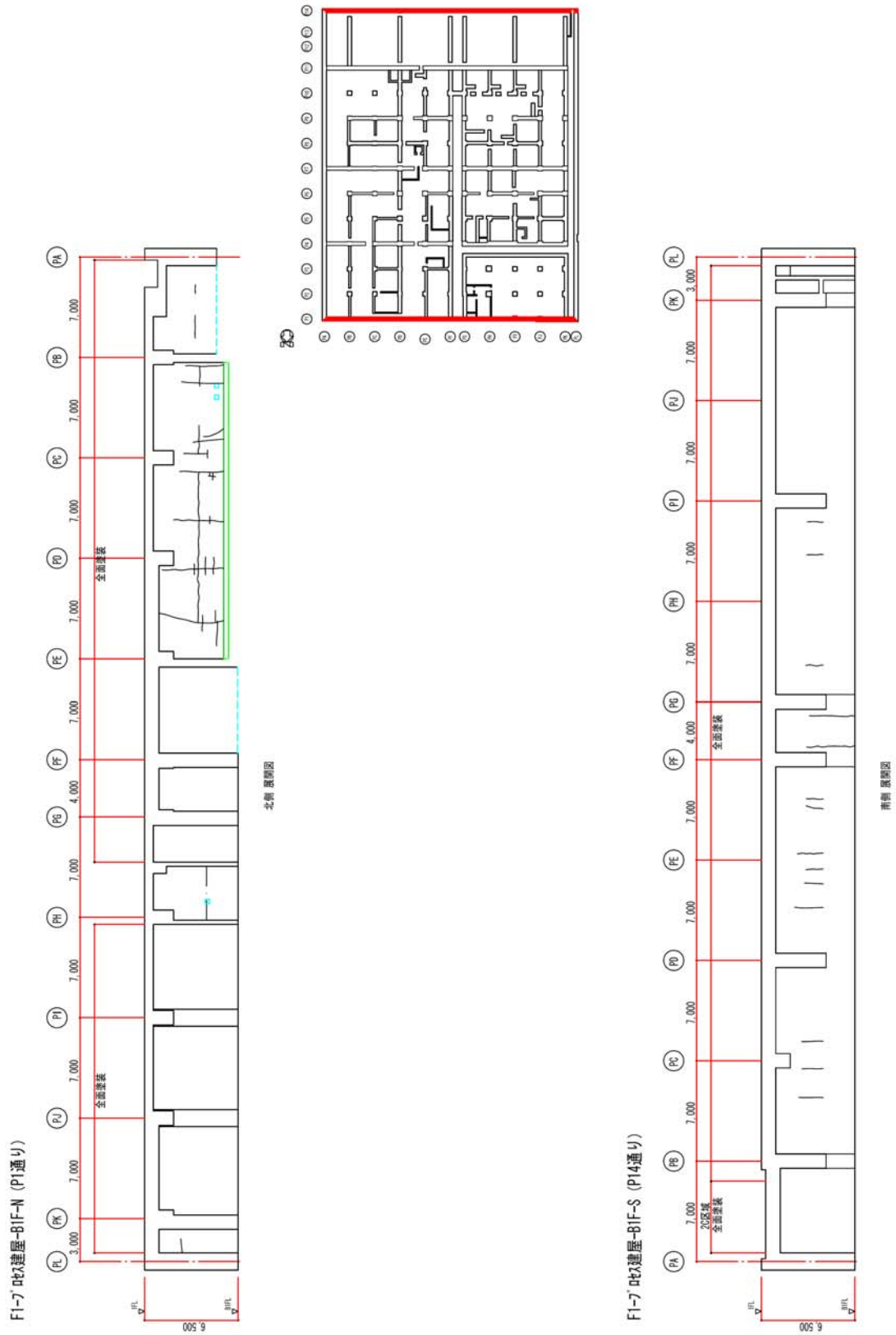
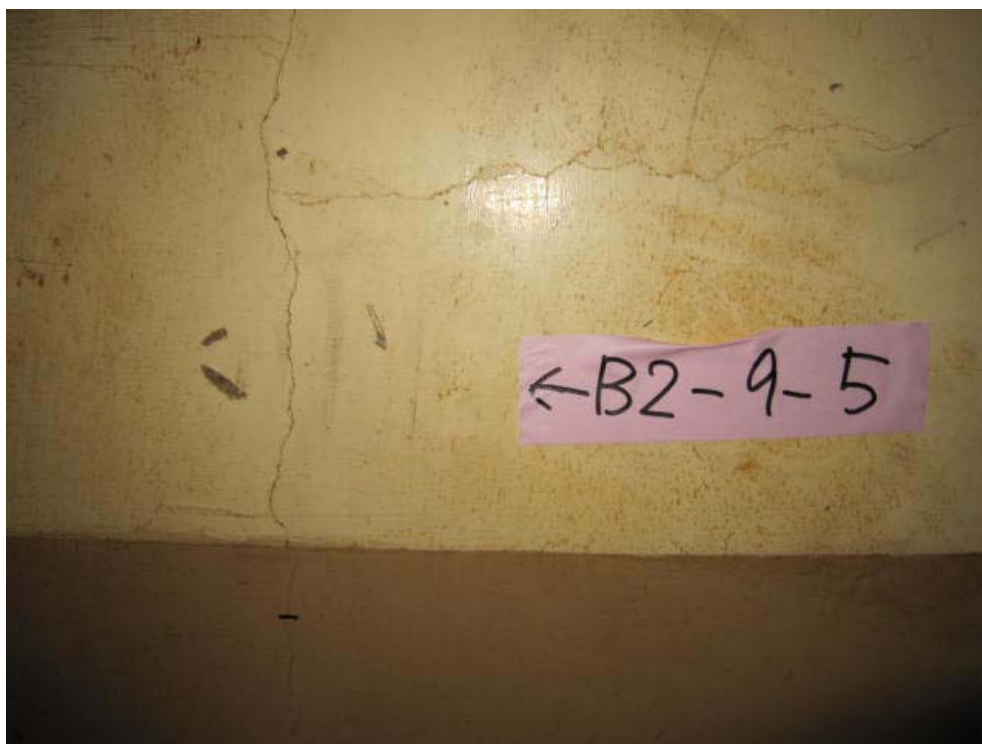
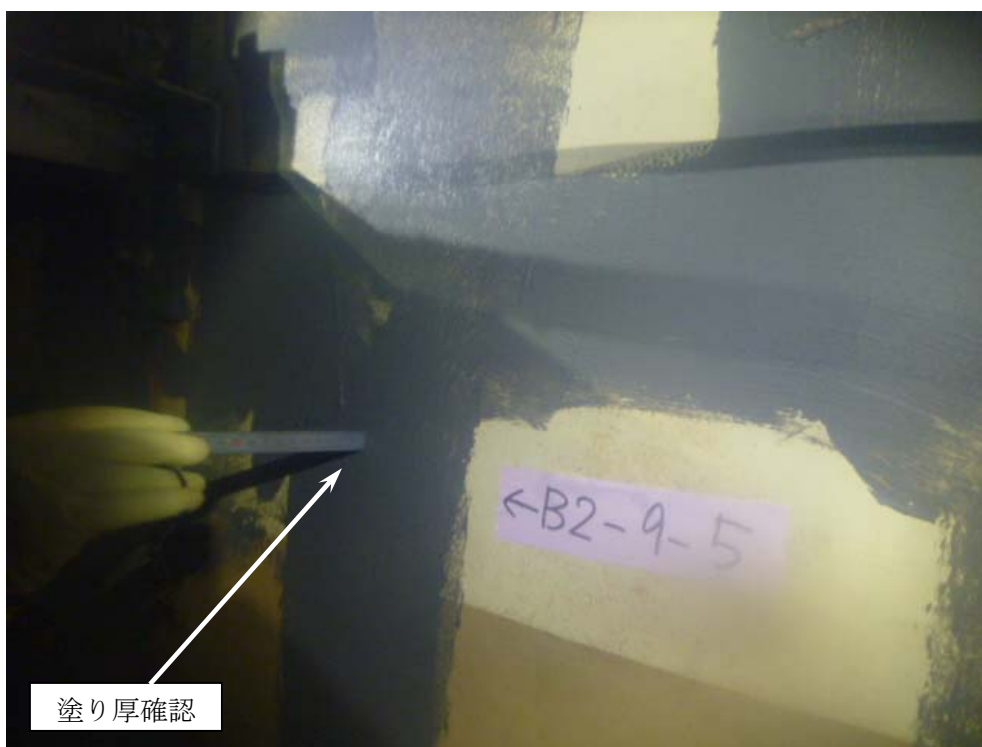


図4 地下1階展開図 北壁, 南壁

7 幅 0.3mm 以上のひび割れ補修状況



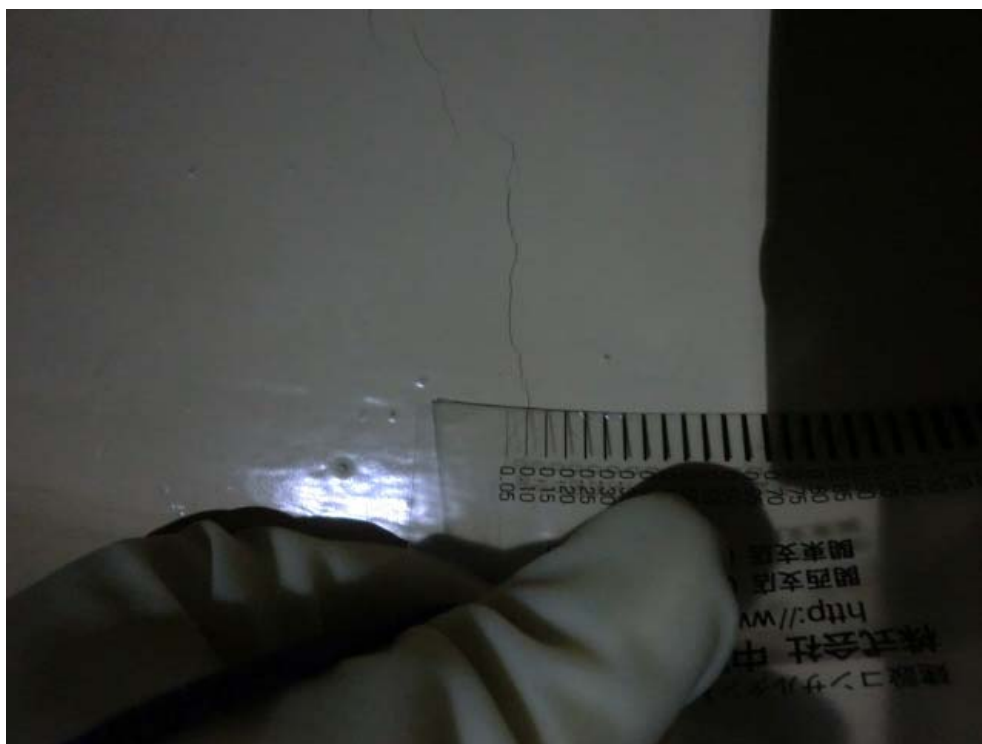
補修前



補修後

図 5 幅 0.3mm 以上のひび割れ補修状況

8 幅 0.3mm 未満のひび割れ補修状況



補修前



補修後

図 6 幅 0.3mm 未満のひび割れ補修状況

プロセス主建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価

1 建屋外への放射性物質の移行

放射性廃液を建屋の地下に貯蔵した場合には、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高い場合には圧力差による放射性廃液の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

廃液を現状地下水水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1 mm程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水頭差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図1に示す。

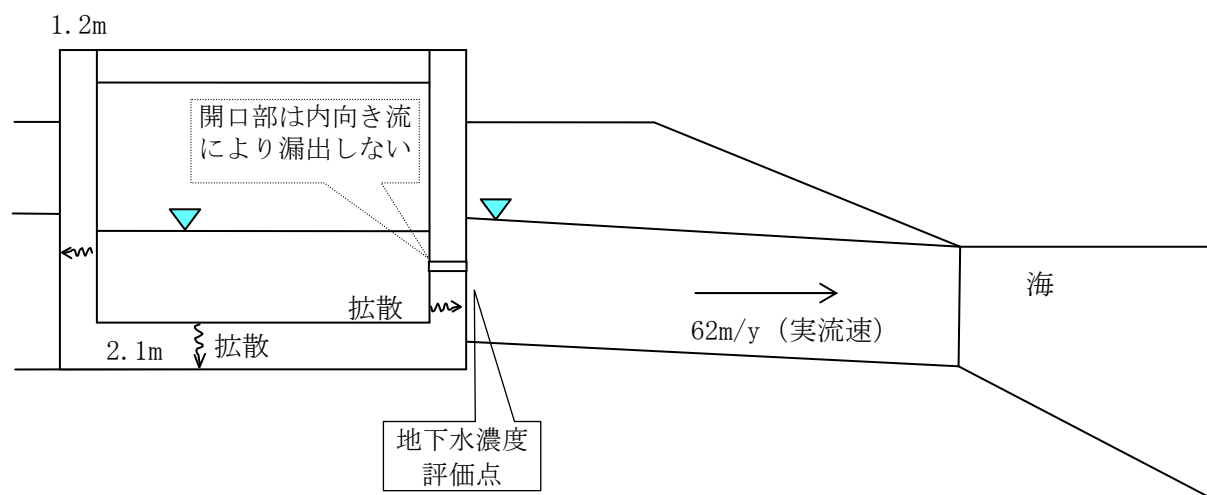


図1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図1の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \left. \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \right|_{z=L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots (2)$$

$$Cc(0,t) = Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$Cc(L,t) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$Cc(z,0) = 0$$

$$Cc(0,t) = 0, (t > Tc)$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
- Cw : 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
- $Cw0$: 廃液中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
- Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
- Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
- $Cc(z, t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
- \cdot : 崩壊定数 (1/s)
- L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
- Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) = $1 + \frac{1-\varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
- $\cdot c$: コンクリートの間隙率 (-)
- $\cdot c$: コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
- Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
- Tc : 廃液貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|--|---|--|
| 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³) | I-131 : 1.3E+13 Cs-134 : 3.1E+12 Cs-137 : 3.0E+12 | 2011/3/27 採水 2号機タービン建屋 滞留水の分析結果に基づく |
| 建屋コンクリートの内面積 (m ²) | 底面積 : 5834.24 側面積 : 1751.04 | 底面積 : 84.8W×68.8L 側面積 : 84.8W, 68.8L, 5.7H の 4 側面 |
| コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m ² /s) | 1E-11 | 土木学会技術資料より |
| コンクリートの間隙率 (-) | 0.2 | |
| コンクリートの粒子密度 (kg/m ³) | 2700 | 単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2 より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³) |
| コンクリートの分配係数 (m ³ /kg) | I : 0 Cs : 0.001 | JAEA-Review 2006-011 の海水系地下水のセメントモルタルの値をオーダーでまるめた。 |
| コンクリート健全部のダルシー流速 (m/s) | 0 | 健全部の内向き流は小さいので保守的に考慮しない。 |

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|-------------------------|---------------|---|
| 開口部面積 (m ²) | 実質 0 | 逆向き流れになるので、拡散に寄与しない。 |
| 建屋からの漏出継続期間 (y) | 0.25～10 継続 | 3 ヶ月から 10 年の範囲で検討 |
| 帯水層のダルシー流速 (m/y) | 25.42 | 実流速 62 m/y (2E-5m/s×0.04/ 0.41) ダルシー流速 = 実流速×0.41 |
| 帯水層の厚さ (m) | 7 | 底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定 |

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び図 3 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では、100 年以内に建屋を解体撤去することにより、建屋外への移行は、環境試料の放射能濃度分析における Cs-137 の検出限界である 8×10^{-6} Bq/cm³ を下回る値となる。

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

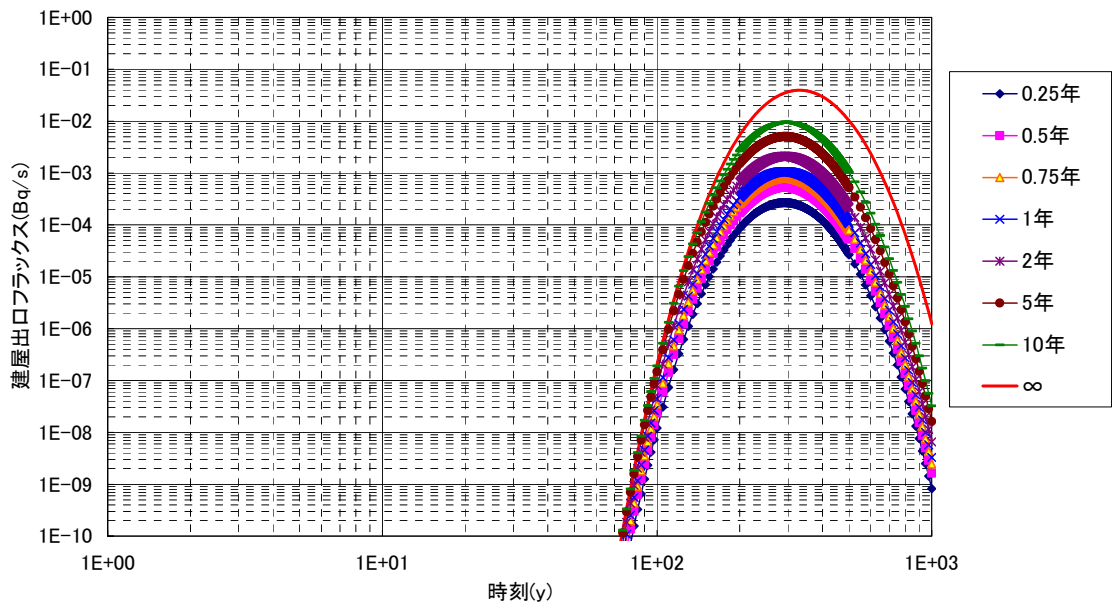


図2 建屋からの流出フラックス
(プロセス主建屋 側壁 1.2 m)

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

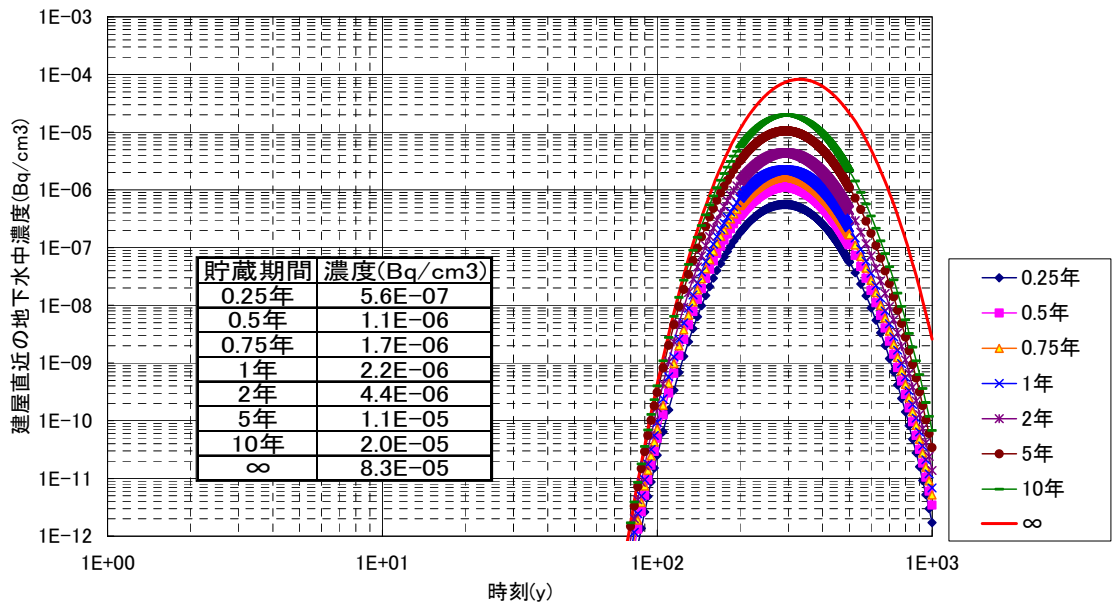
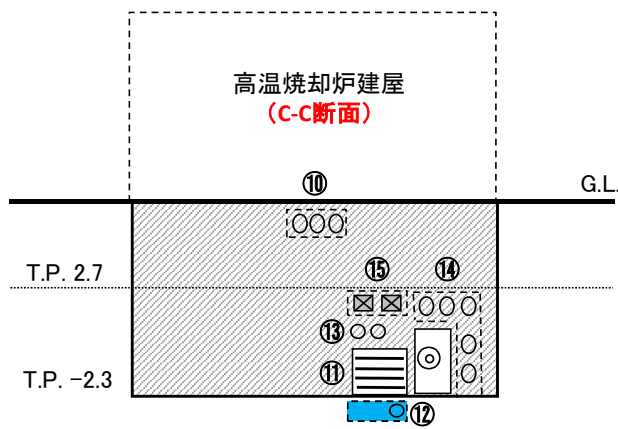
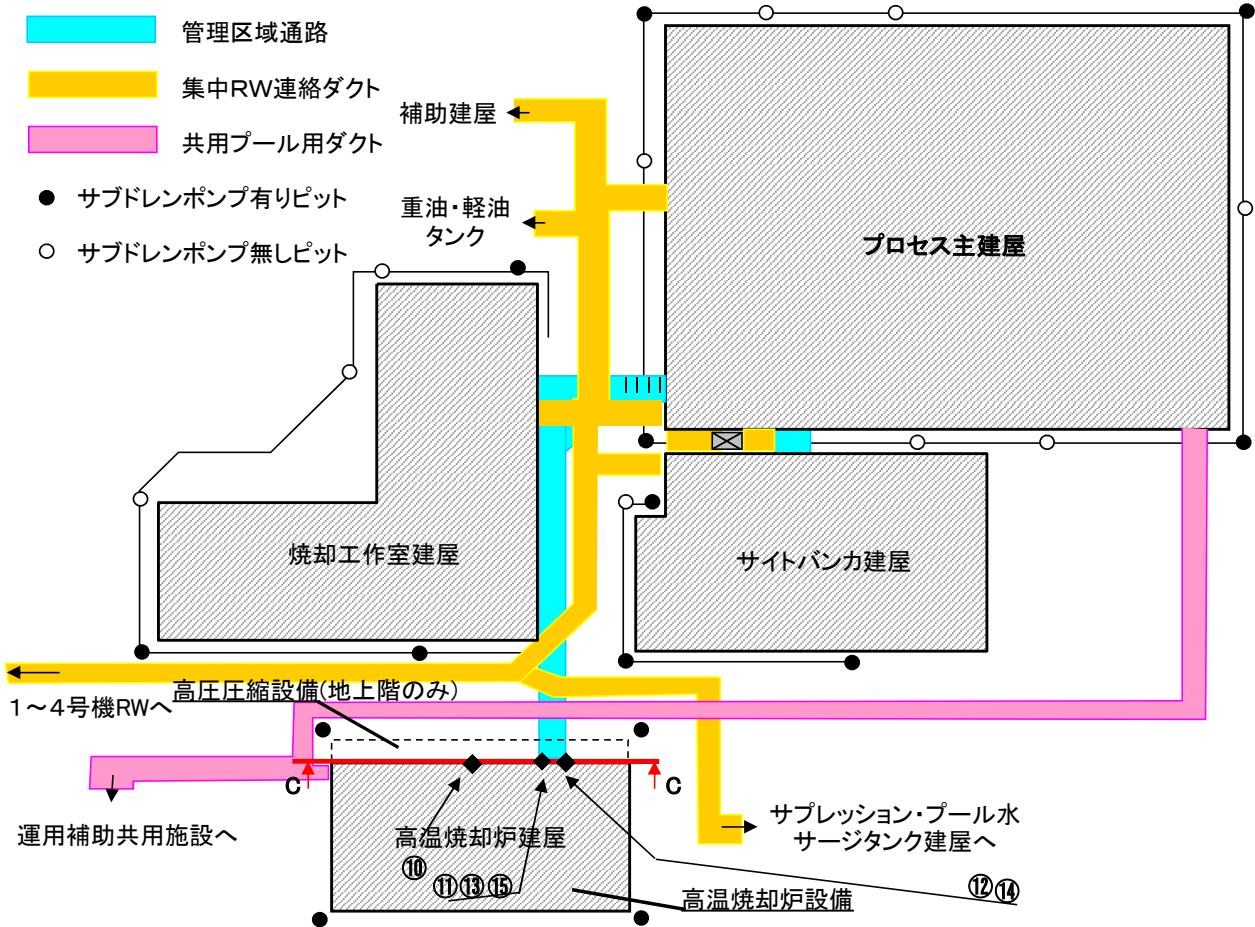
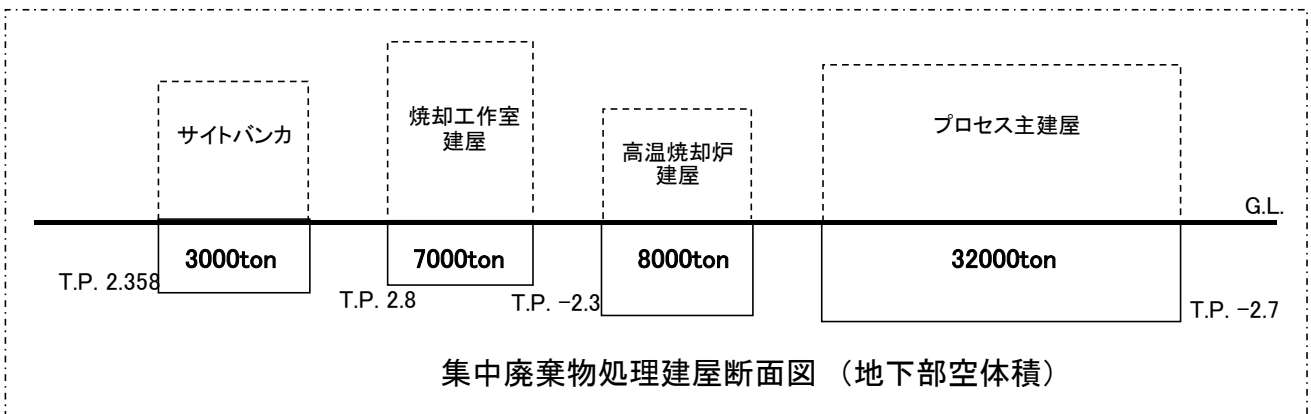


図3 建屋直近の放射性物質の濃度
(プロセス主建屋 側壁 1.2 m)



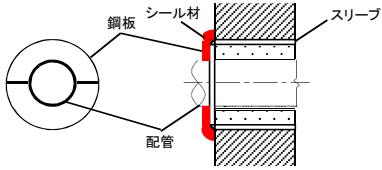
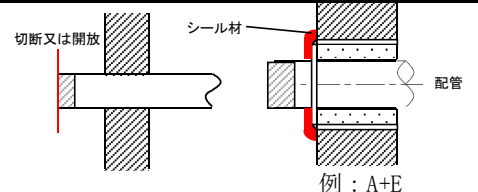
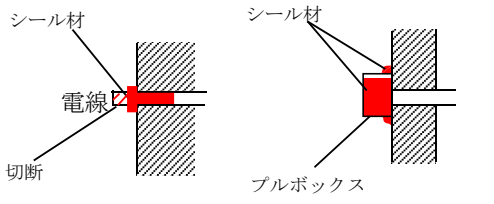
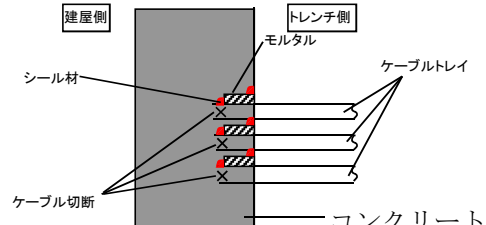
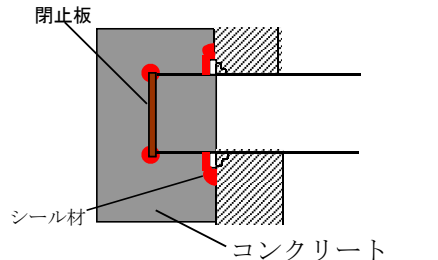
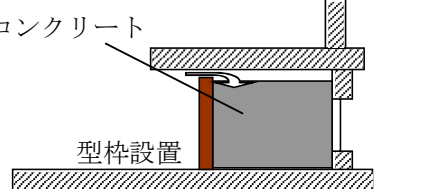
高温焼却炉建屋位置関係図

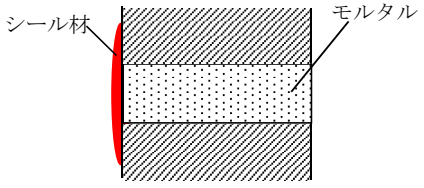
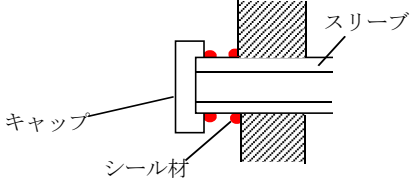


添付資料-7に記載の標高は、震災後の地盤沈下量と、O.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。

| 建屋名 | 地盤沈下量 | 換算式 |
|----------|--------|----------------------|
| プロセス主建屋 | -635mm | T.P. = 旧O.P. - 1,362 |
| 焼却工作室建屋 | -665mm | T.P. = 旧O.P. - 1,392 |
| 高温焼却炉建屋 | -719mm | T.P. = 旧O.P. - 1,446 |
| サイトバンカ建屋 | -711mm | T.P. = 旧O.P. - 1,438 |

貫通部止水工事 施工方法について

| 設備 | 処置方法 | 概要図 | 記号 |
|-----------|--|---|----|
| 配管 | <p>コンクリートと鋼板、配管と鋼板の各接合部表面にシーリング材を塗布する。</p> |  | A |
| | 欠番 | | B |
| | 欠番 | | C |
| | 欠番 | | D |
| | <p>配管を切断又は開放し、閉止板等を固定することにより閉塞する。</p> |  | E |
| 電線管 | <p>電線管切断後、シーリング材を充填する。</p> | <p>電線管のみの場合</p>  | F |
| | <p>建屋側の電線を切断し、コンクリートで充填する。</p> |  | G |
| ダクト | 欠番 | | H1 |
| | <p>ダクトに閉止板を設置し、型枠との隙間にコンクリートを充填する。</p> |  | H2 |
| 煙道 | 欠番 | | I |
| 扉／シャッター一部 | <p>型枠を設置した後、コンクリートを充填することで閉塞する。</p> |  | J |

| 設備 | 処置方法 | 概要図 | 記号 |
|--------|---|--|----|
| トレンチ | 欠番 | | K |
| 予備スリーブ | 予備スリーブの加工箇所の壁面、モルタル充填部表面にシール材を塗布 |  | L1 |
| | ねじ込み式キャップの接合部と、コンクリートとスリーブの接合部表面にシール材を塗布する。 |  | L2 |

高温焼却炉建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策

1 はじめに

高温焼却炉建屋の地下躯体部分の水密性を確保する観点から、ひび割れ点検を行うとともに、ひび割れ箇所の補修を行った。

2 現場確認方法

高温焼却炉建屋のひび割れ点検は、地下外壁を対象とし、日常点検における記録を基に地震後に新たに生じたと考えられるひび割れについて目視点検を行った。

3 点検結果及び評価

点検では、新たに地震により生じたひび割れは確認されなかった。今回の地震前から存在していたと思われるひび割れは確認されたが、縦方向のひび割れであることから、経年によるコンクリートの乾燥収縮によって生じたひび割れと判断した。

また、その他のひび割れについても、ひび割れ部分にはエフロレッセンス（白華現象）等の変化が見られないことから、通常時には漏水等の問題はなかったものと考えられる。

また、高温焼却炉建屋は、不透水層である富岡層（泥岩）に基礎マットが設置されていること、地下外壁面周囲にアスファルト防水が施工されていることから、止水性は確保されているものと考えられるが、地下外壁のひび割れ部の補修を行い、水密性を高めるものとする。

4 ひび割れ補修

4.1 補修範囲

ひび割れの補修は、高温焼却炉建屋の日常点検により記録されたひび割れのほか、目視で確認できる全てのひび割れについて実施した。高温焼却炉建屋のひび割れの補修本数を表-1 に示す。

表-1 ひび割れ補修本数

| | 部 位 | 実施本数 (0.3mm 以上のひび割れ) |
|---------|------|-------------------------|
| 高温焼却炉建屋 | 地下1階 | 42 |
| | 地下2階 | 48 |

4.2 補修方法

- ・ 目視で確認できるひび割れを全て補修する。
- ・ 使用材料：ポリマーセメント系塗膜防水材

5 まとめ

対象となるひび割れについて全て補修を実施し、当社は適切に補修されたことを確認した。

6 ひび割れ調査図（壁展開図・ひび割れ幅 0.3mm 以上のものを記録）

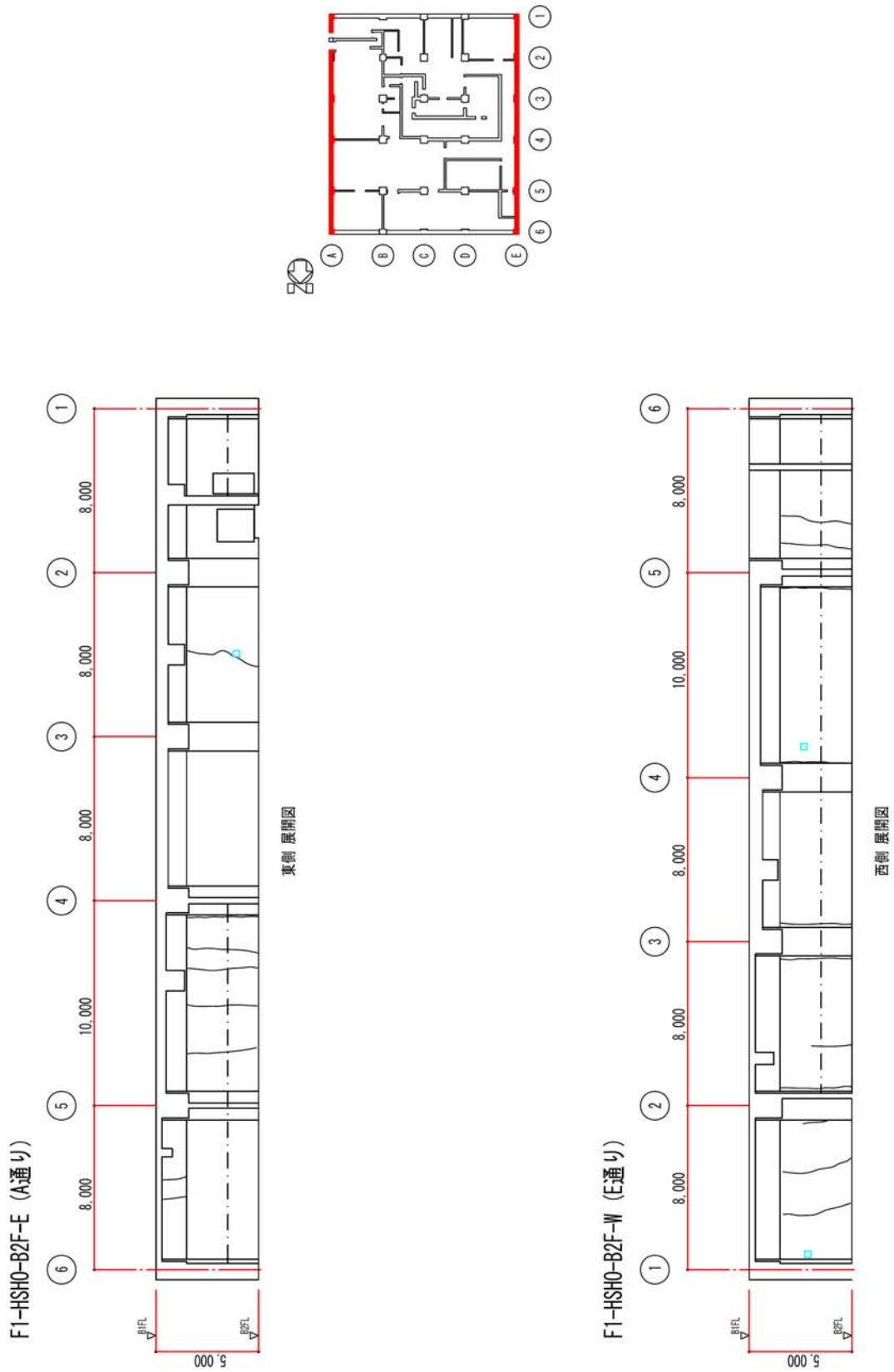


図1 地下2階展開図 東壁, 西壁

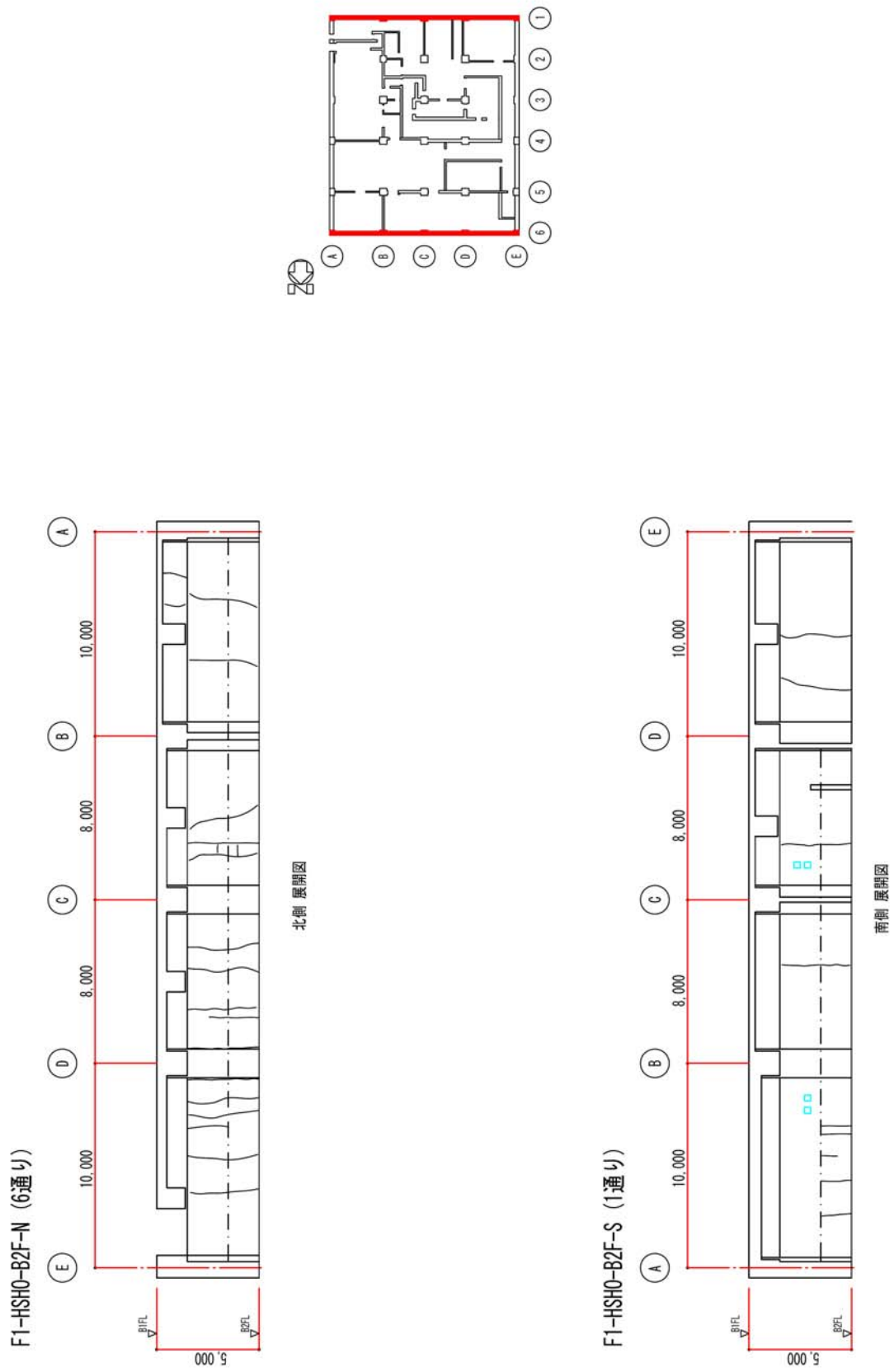


図2 地下2階展開図 北壁, 南壁

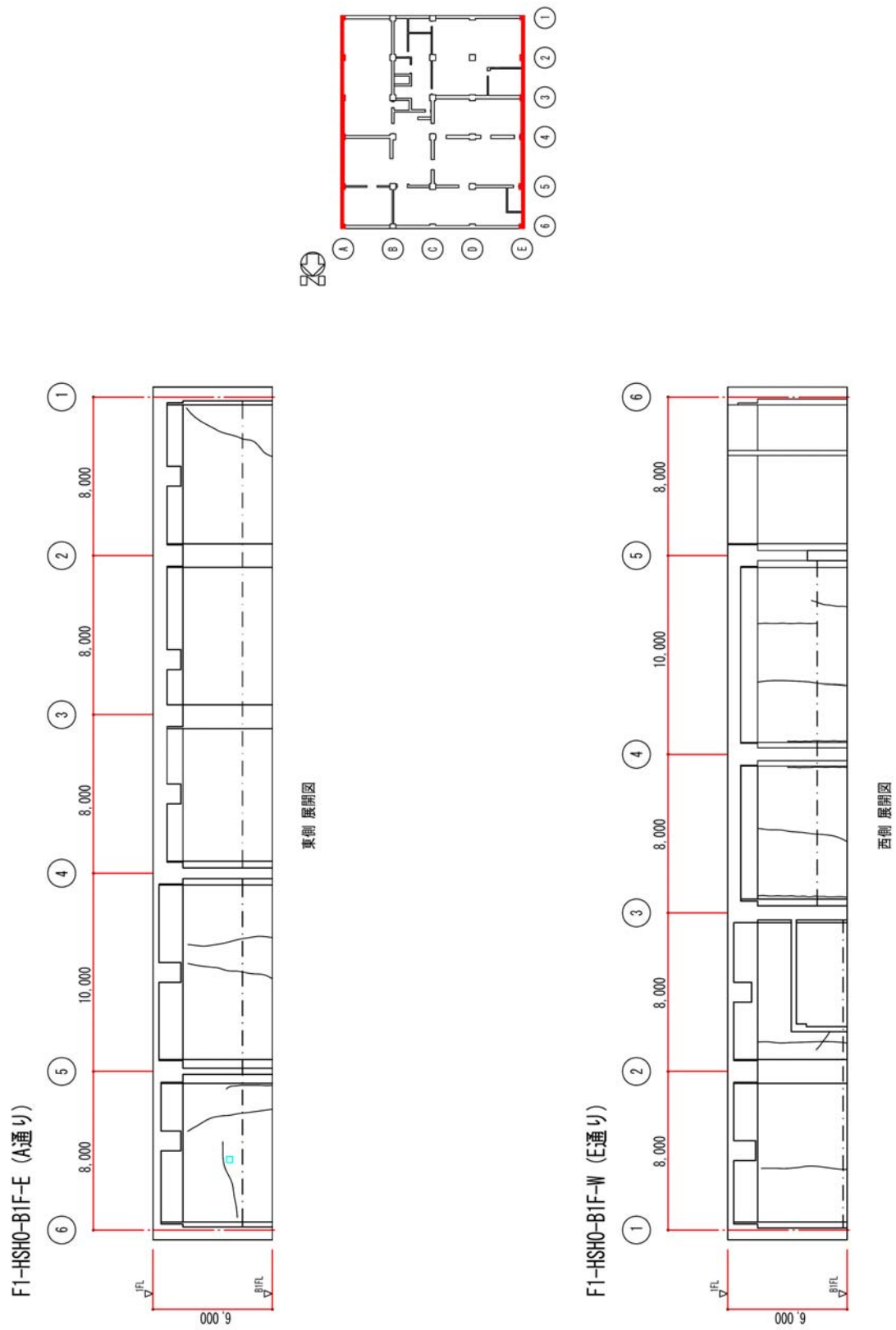


図3 地下1階展開図 東壁, 西壁

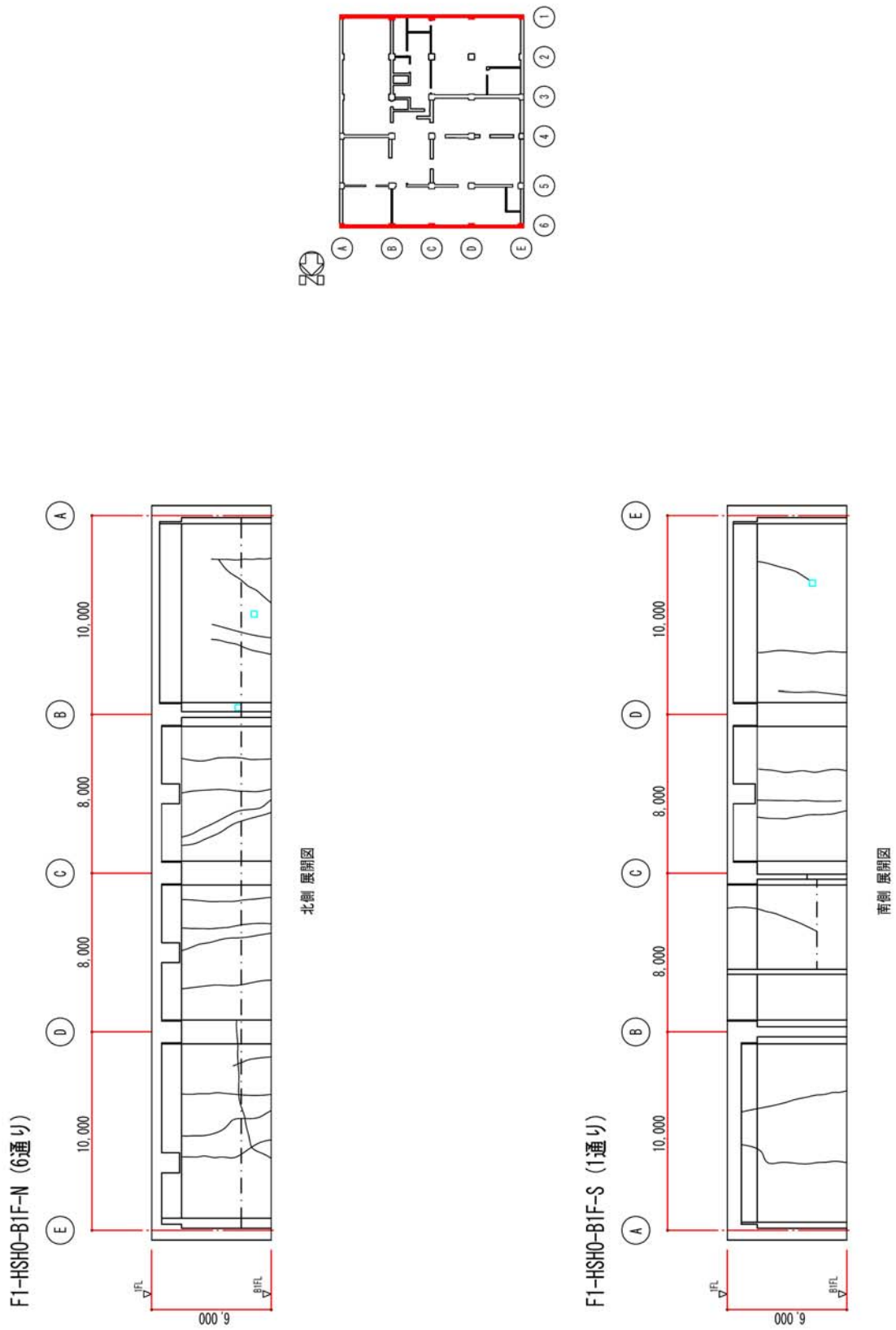
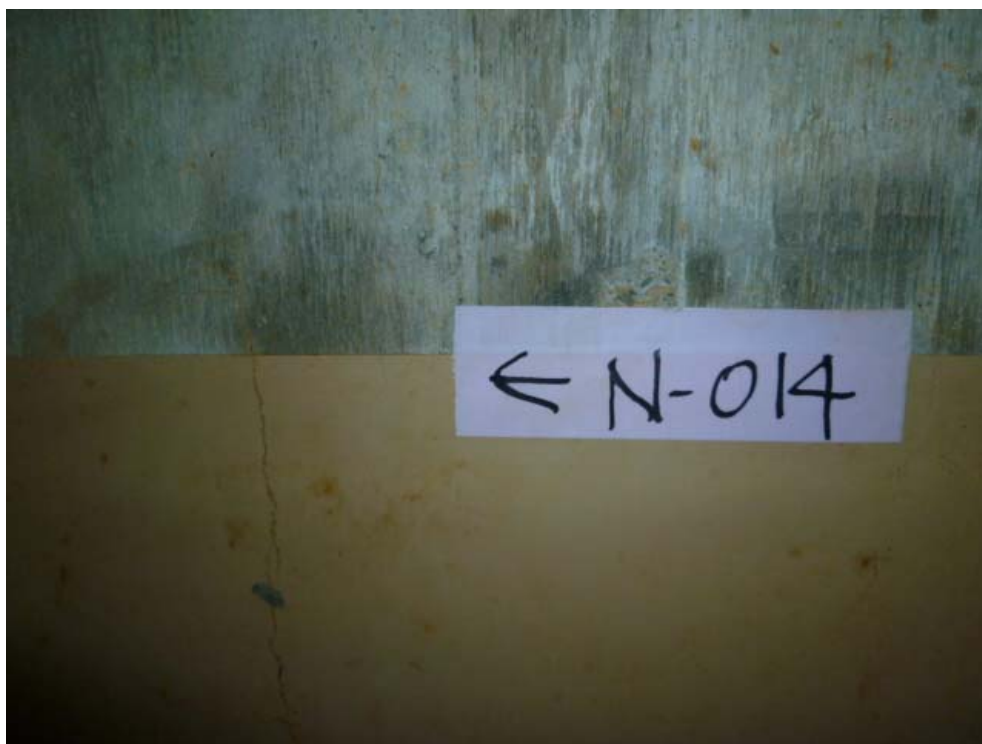
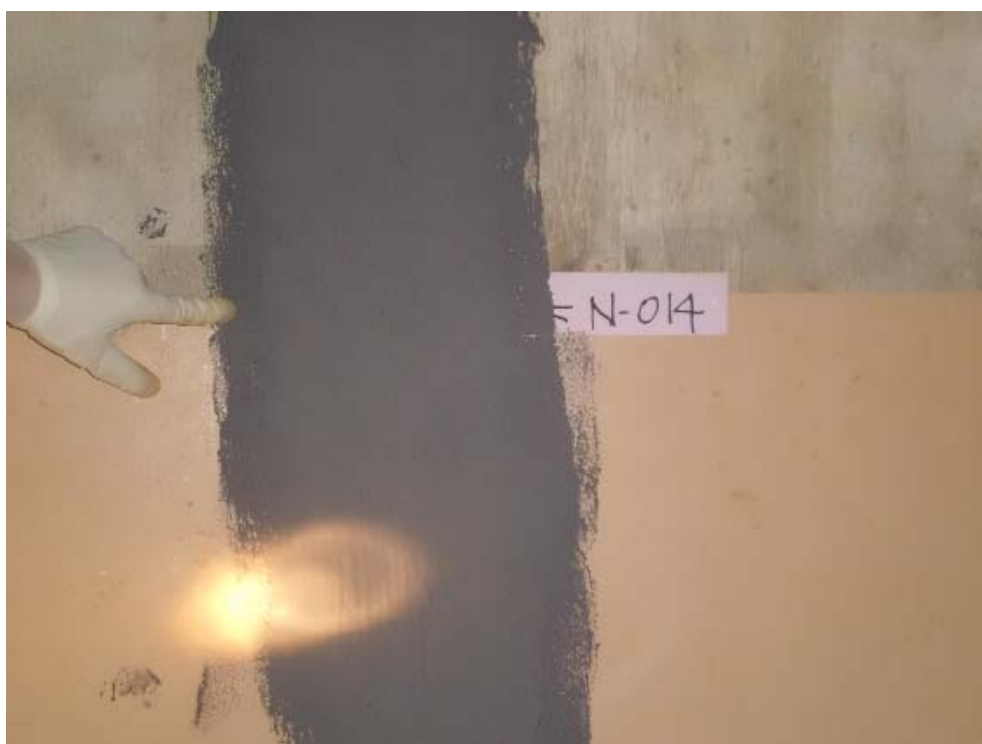


図4 地下1階展開図 北壁, 南壁

7 ひび割れ補修状況（幅 0.3mm 以上のひび割れ）



補修前



補修後

図5 ひび割れ補修状況（幅 0.3mm 以上のひび割れ）

高温焼却炉建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価

1 屋外への放射性物質の移行

放射性廃液を建屋の地下に貯蔵した場合には、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高い場合には圧力差による放射性廃液の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

廃液を現状地下水水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1 mm 程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水頭差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図 1 に示す。

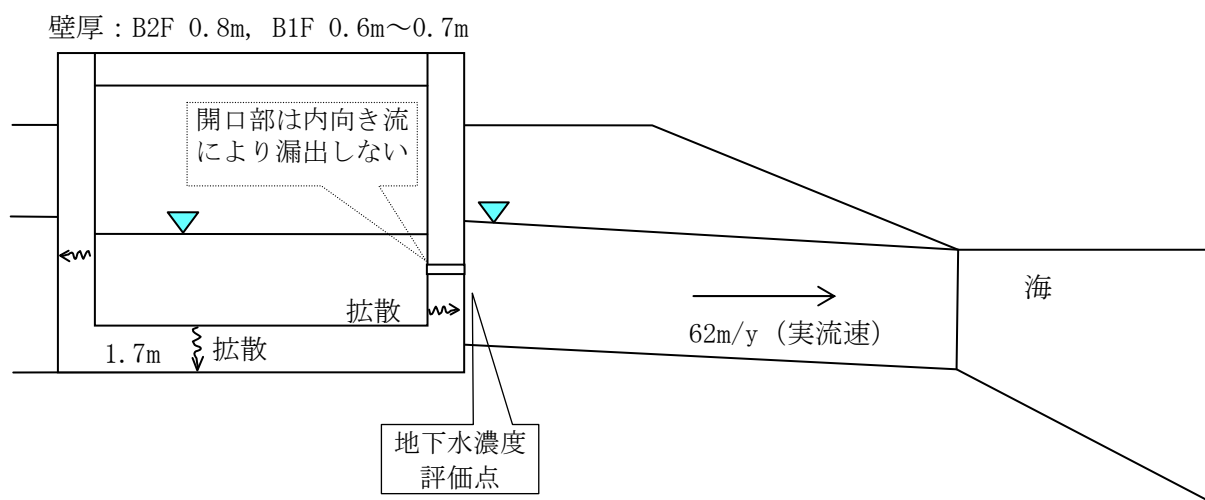


図 1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図 1 の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \left. \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \right|_{z=L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots (2)$$

$$Cc(0,t) = Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$Cc(L,t) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

$$Cc(z,0) = 0$$

$$Cc(0,t) = 0, (t > Tc)$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
- Cw : 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
- $Cw0$: 廃液中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
- Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
- Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
- $Cc(z, t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
- \cdot : 崩壊定数 (1/s)
- L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
- Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) $= 1 + \frac{1-\varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
- $\cdot c$: コンクリートの間隙率 (-)
- $\cdot c$: コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
- Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
- Tc : 廃液貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|--|--|---|
| 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³) | I-131 : 1.3E+13 Cs-134 : 3.1E+12 Cs-137 : 3.0E+12 | 2011/3/27 採水 2号機タービン建屋 滞留水の分析結果に基づく |
| 建屋コンクリートの内面積 (m ²) | 底面積 : 1465.56 側面積: B2F(壁厚0.8m) 768.0 B1F(壁厚0.6m) 414.96 B1F(壁厚0.7m) 174.42 | 底面積 : 41.4W×35.4L 側面積 : B2F 41.4W, 35.4L, 5.0H の4側面 B1F(壁厚0.6m) 壁厚0.6m, 0.65m 部分の長さ 109.2×3.8H B1F(壁厚0.7m) 壁厚0.7m部分の 長さ 45.9×3.8H |
| コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m ² /s) | 1E-11 | 土木学会技術資料より |
| コンクリートの間隙率 (-) | 0.2 | |
| コンクリートの粒子密度 (kg/m ³) | 2700 | 単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³) |

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|-------------------------------------|---------------------|---|
| コンクリートの分配係数 (m ³ /kg) | I : 0 Cs : 0.001 | JAEA-Review 2006-011 の海水系地下水のセメントモルタルの値をオーダーでまるめた。 |
| コンクリート健全部のダルシー流速 (m/s) | 0 | 健全部の内向き流は小さいので保守的に考慮しない。 |
| 開口部面積 (m ²) | 実質 0 | 逆向き流れになるので、拡散に寄与しない。 |
| 建屋からの漏出継続期間 (y) | 0.25~10 継続 | 3 ヶ月から 10 年の範囲で検討 |
| 帯水層のダルシー流速 (m/y) | 25.42 | 実流速 62 m/y (2E-5m/s×0.04/0.41) ダルシー流速 = 実流速×0.41 |
| 帯水層の厚さ (m) | 7 | 底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定 |

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び図 3 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では、30 年以内に建屋を解体撤去することにより、建屋外への移行は、環境試料の放射能濃度分析における Cs-137 の検出限界である 8×10^{-6} Bq/cm³ を下回る値となる。

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

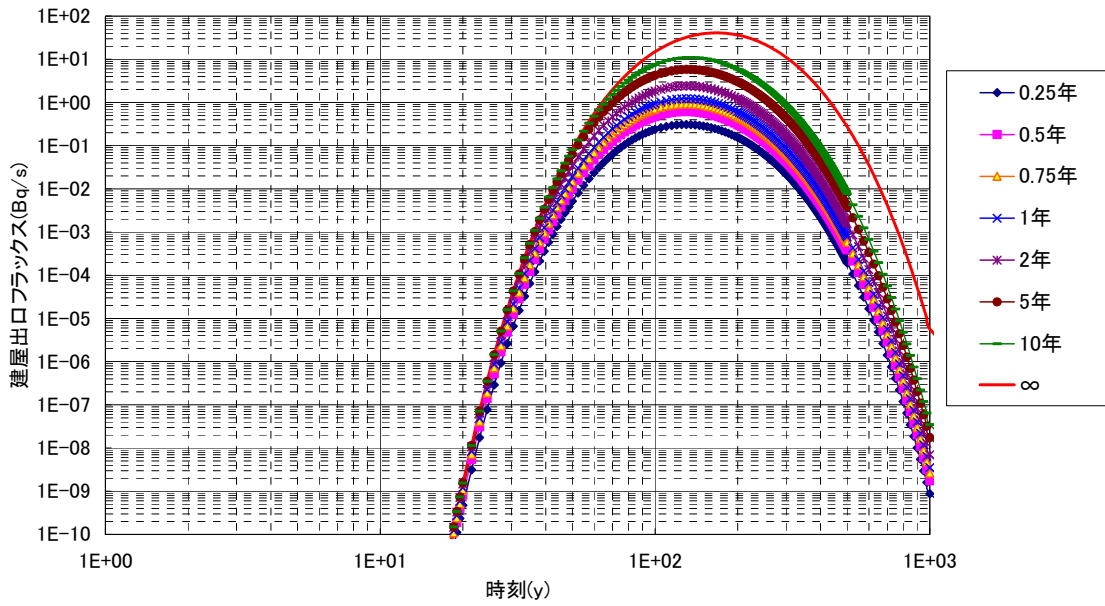


図2 建屋からの流出フラックス
(高温焼却炉建屋)

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

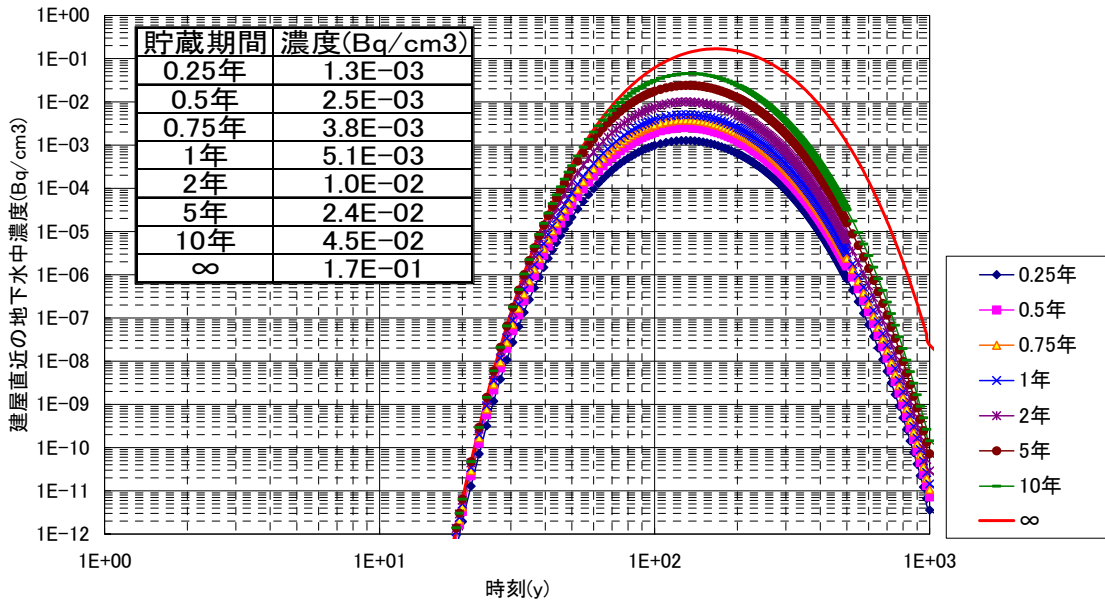


図3 建屋直近の放射性物質の濃度
(高温焼却炉建屋)

1～4号機の各建屋外への放射性物質移行量の評価

1 建屋外への放射性物質の移行

高レベル放射性汚染水（以下、「滞留水」という。）が建屋の地下に滞留した場合、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高くなったときに圧力差による滞留水の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

滞留水を現状地下水水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1mm程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水位差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図1に示す。

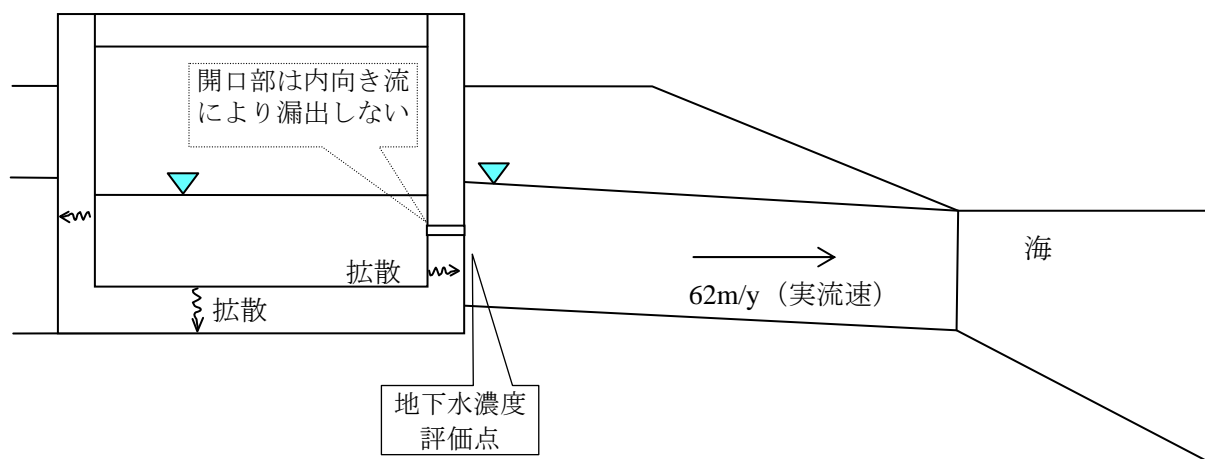


図1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図1の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \left. \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \right|_{z=L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} Cc(0,t) &= Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ Cc(L,t) &= 0 \\ Cc(z,0) &= 0 \\ Cc(0,t) &= 0, \quad (t > Tc) \end{aligned} \dots\dots\dots (3)$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
- Cw : 滞留水中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
- $Cw0$: 滞留水中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
- Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
- Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
- $Cc(z,t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
- λ : 崩壊定数 (1/s)
- L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
- Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) = $1 + \frac{1-\varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
- εc : コンクリートの間隙率 (-)
- ρc : コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
- Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
- Tc : 滞留水貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|--|-------------------|--|
| 滞留水中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³) | Cs-137: 1.5E+12 | 2011/7/17 採水_2号機タービン建屋滞留水の分析結果に基づく |
| 建屋コンクリートの内面積 (m ²) | — | 表2 (滞留水に接する表面積) 参照 |
| コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m ² /s) | 1E-11 | 土木学会技術資料より |
| コンクリートの間隙率 (-) | 0.2 | |
| コンクリートの粒子密度 (kg/m ³) | 2700 | 単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2 より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³) |
| コンクリートの分配係数 (m ³ /kg) | I: 0 Cs: 0.001 | JAEA-Review 2006-011 の海水系地下水のセメントモルタルの値をオーダーでまらめた。 |
| コンクリート健全部のダルシー流速 (m/s) | 0 | 健全部の内向き流は小さいので保守的に考慮しない。 |

| パラメータ | 設定値 | 備考 |
|-------------------------|---------------|--|
| 開口部面積 (m ²) | 実質 0 | 逆向き流れになるので、拡散に寄与しない。 |
| 建屋からの漏出継続期間 (y) | 0.25～10 継続 | 3 ヶ月から 10 年，継続の範囲で検討 |
| 帯水層のダルシー流速 (m/y) | 25.42 | 実流速 62m/y (2E-5m/s×0.04／0.41) ダルシー流速 = 実流速×0.41 |
| 帯水層の厚さ (m) | 7 | 底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定 |

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び表 2 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では、今後 3 年間程度に 1～4 号機の各建屋のコンクリート壁中から放射性物質が拡散により建屋外への漏えいする可能性は低いと考える。

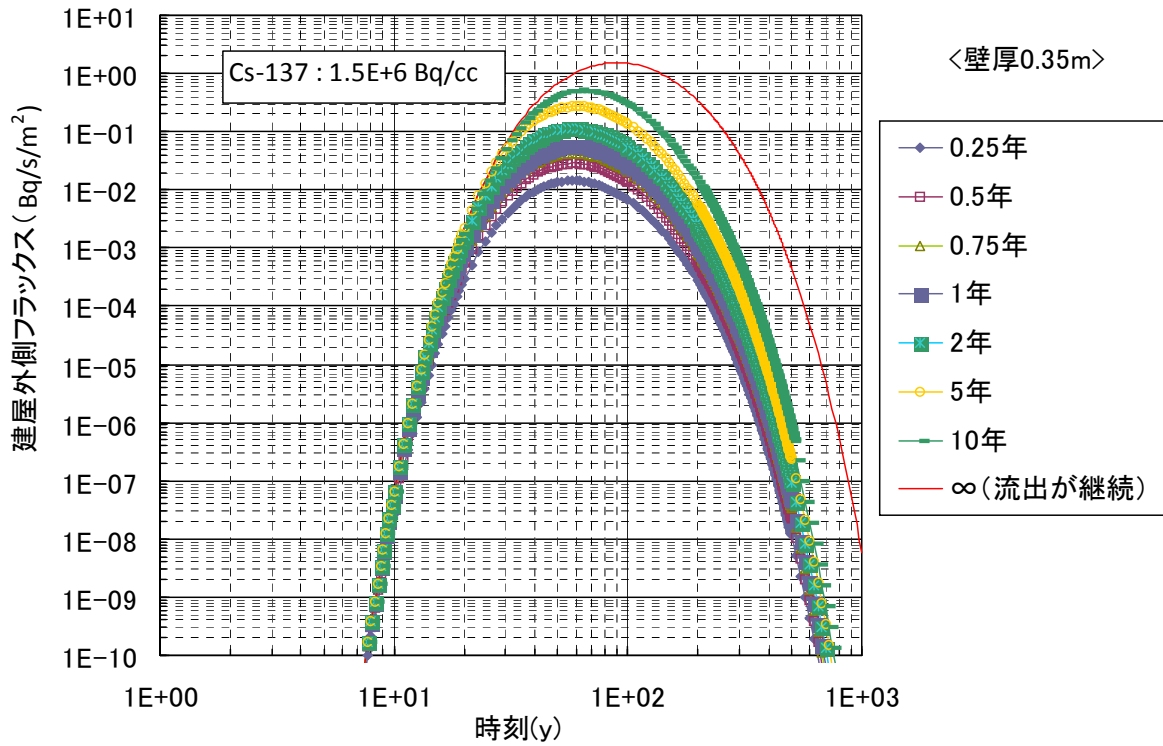


図2 (1) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.35m)

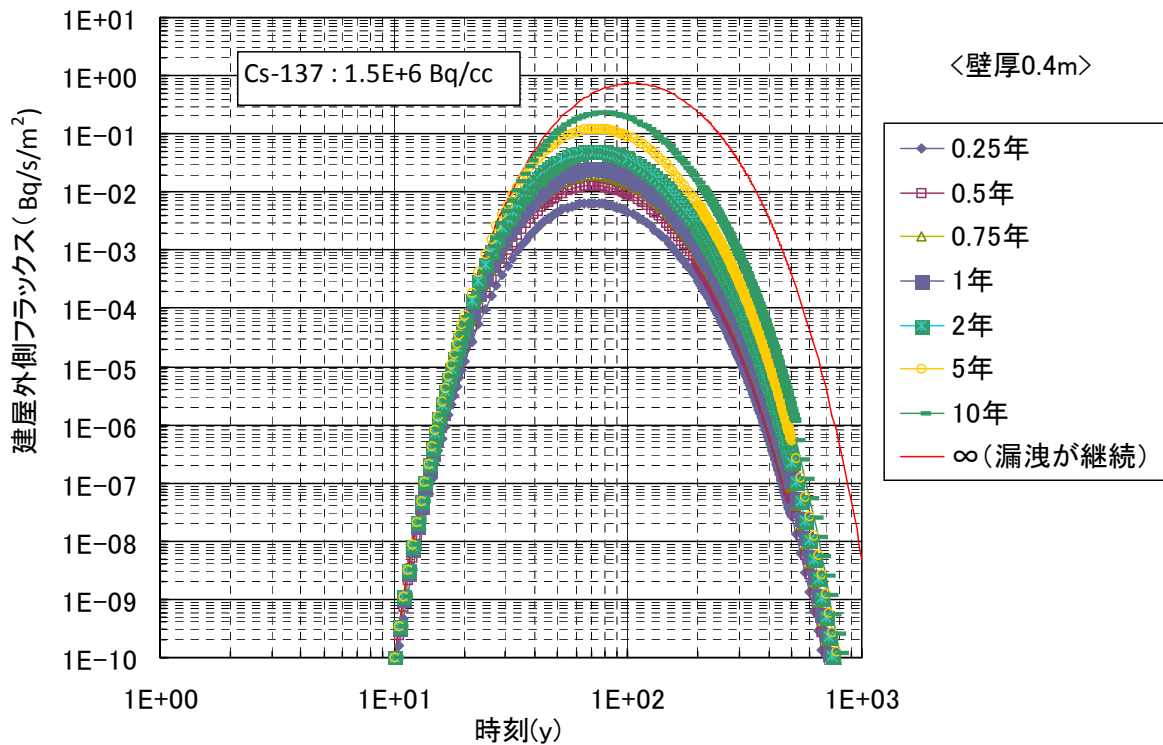


図2 (2) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.4m)

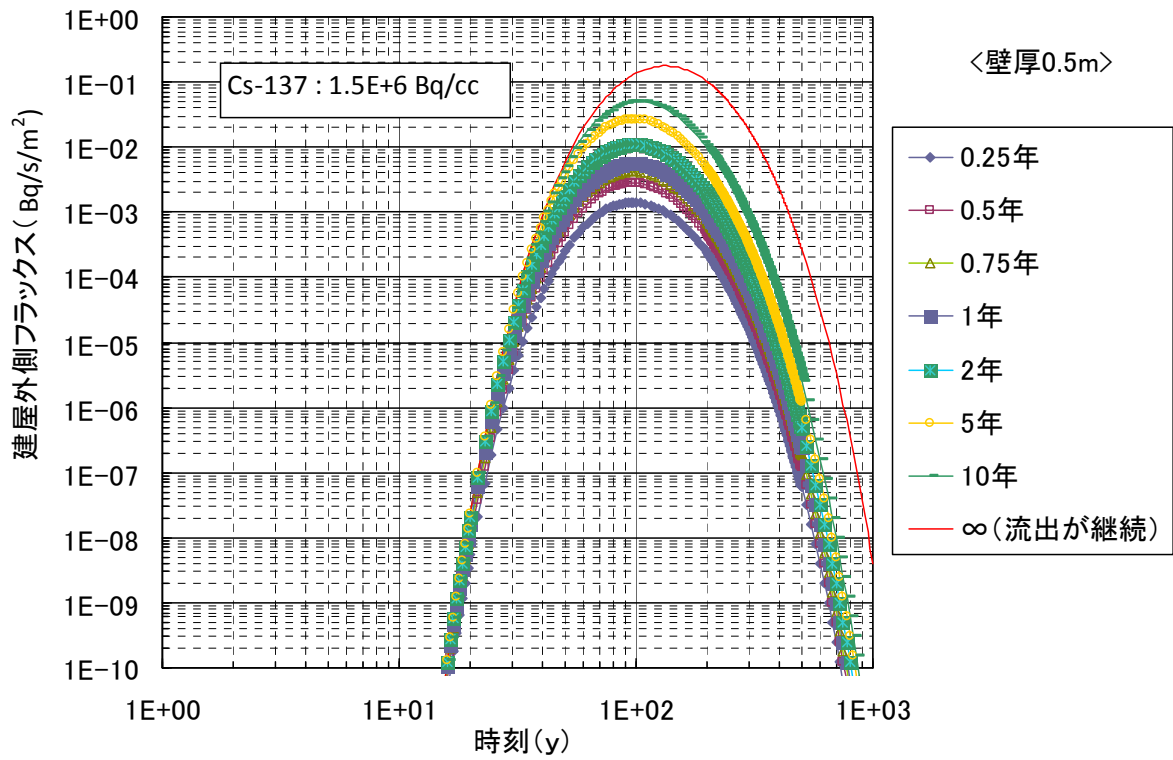


図2 (3) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.5m)

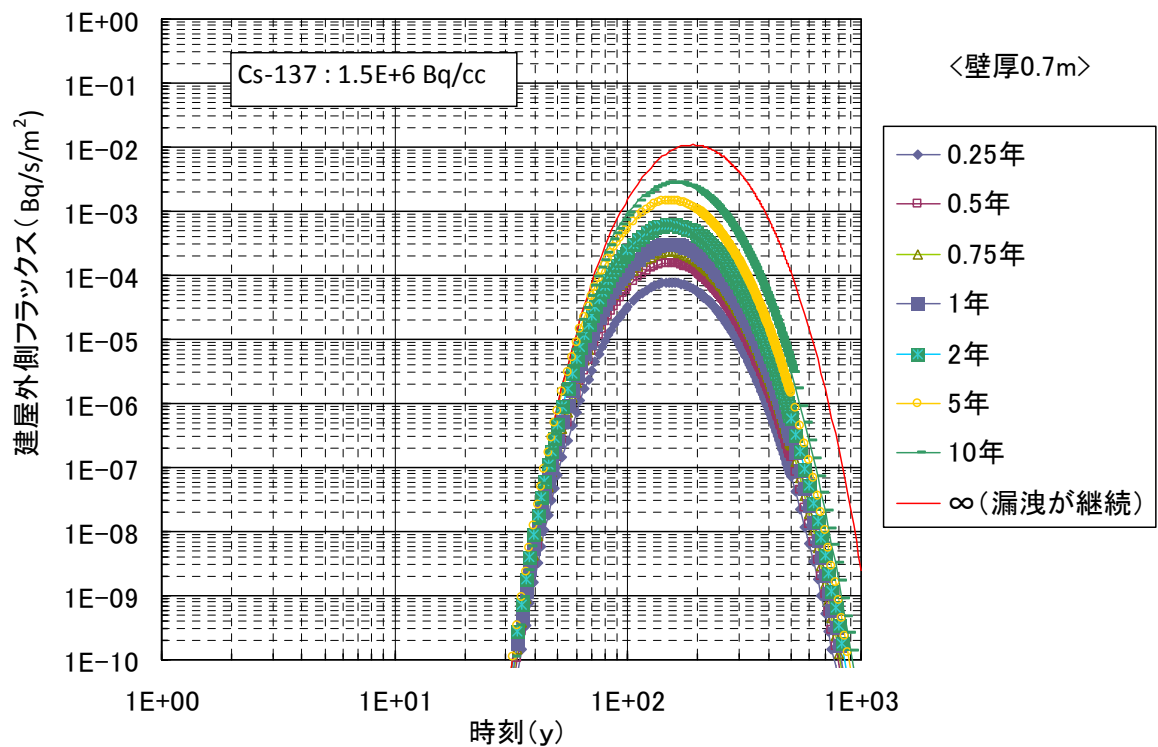


図2 (4) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.7m)

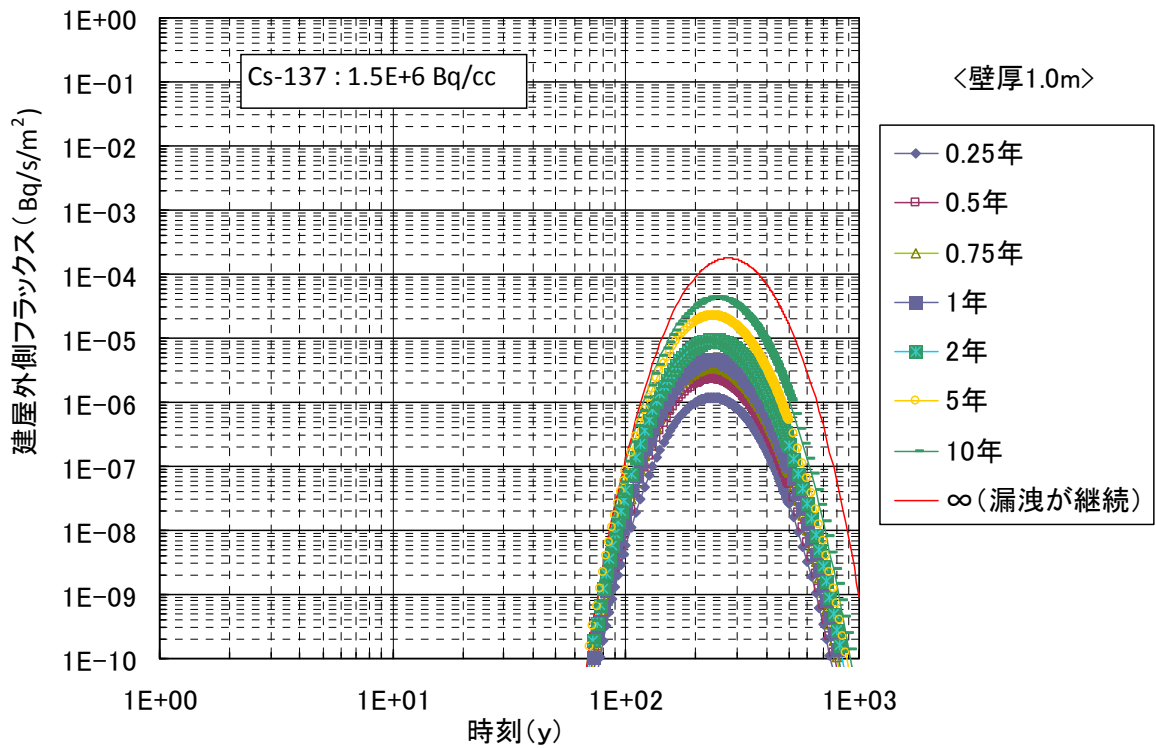


図2 (5) 建屋からの流出フラックス
(側壁 1.0m)

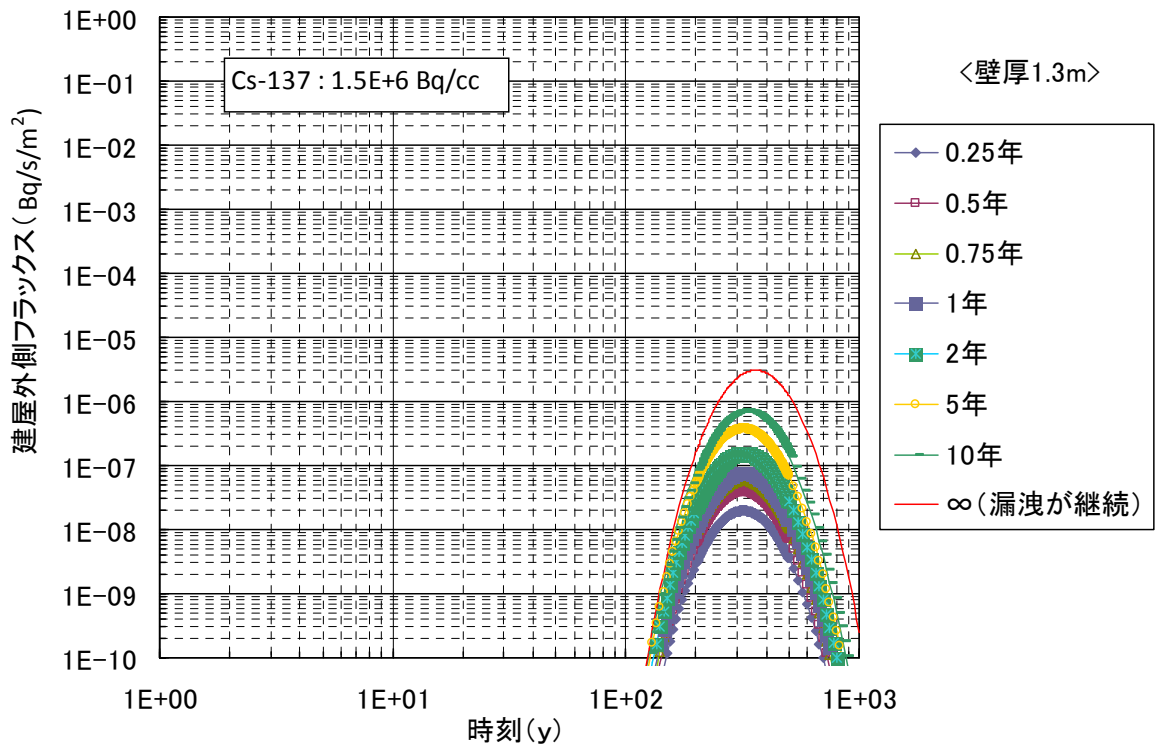


図2 (6) 建屋からの流出フラックス
(側壁 1.3m)

表2 建屋外への放射性物質移行量の評価

| 1号炉 | 壁厚(m) | 滞留水に接する 表面積(m ²) | 建屋の南北長(m) | 8E-6Bq/cm ³ となる経過年 |
|------|-------|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| R/B | 1.3 | 3040 | 42 | 200 |
| T/B | 0.5 | 6250 | 97 | 20 |
| RW/B | 0.5 | 1080 | 22 | 20 |

| 2号炉 | 壁厚(m) | 滞留水に接する 表面積(m ²) | 建屋の南北長(m) | 8E-6Bq/cm ³ となる経過年 |
|------|-------|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| R/B | 1.5 | 3760 | 47 | 200* ¹ |
| T/B | 0.55 | 8530 | 105 | 20* ² |
| RW/B | 0.7 | 1510 | 23 | 40 |

| 3号炉 | 壁厚(m) | 滞留水に接する 表面積(m ²) | 建屋の南北長(m) | 8E-6Bq/cm ³ となる経過年 |
|------|-------|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| R/B | 1.5 | 3840 | 47 | 200* ¹ |
| T/B | 0.7 | 9800 | 128 | 40 |
| RW/B | 0.7 | 2050 | 23 | 40 |

| 4号炉 | 壁厚(m) | 滞留水に接する 表面積(m ²) | 建屋の南北長(m) | 8E-6Bq/cm ³ となる経過年 |
|------|-------|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| R/B | 1.5 | 3840 | 47 | 200* ¹ |
| T/B | 0.5 | 8410 | 106 | 20* ¹ |
| RW/B | 0.7 | 2760 | 36 | 40 |

| | 壁厚(m) | 滞留水に接する 表面積(m ²) | トレンチの南北長(m) | 8E-6Bq/cm ³ となる経過年 |
|---------|-------|---------------------------------|-------------|----------------------------------|
| 2号炉トレンチ | 0.4 | 1380 | 7 | 13 |
| 3号炉トレンチ | 0.4 | 1180 | 6 | 13 |
| 4号炉トレンチ | 0.35 | 1090 | 5 | 10 |

*1: 壁厚1.3mで評価

*2: 壁厚0.5mで評価

建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減にかかる方針

1 現状及び中期的見通し

現状、1～4号機の滞留水については、建屋内水位を地下水水位よりも低く管理し滞留水の系外流出を防止している。

滞留水の増加抑制及び拡散リスク低減を図るためには、今後、地下水位を管理し地下水の流入を抑制し滞留水の水位を下げタービン建屋、原子炉建屋、廃棄物処理建屋内にある滞留水を処理する必要がある。このため、地下水バイパス、トレンチ止水等の方策を検討する。

2 基本的対応方針及び中期的計画

滞留水の水位を維持するとともに、下記の基本的考え方に基づき、処理を継続していく。将来的には、水位低下に必要となる技術、工法の研究開発を進め、滞留水の減少を図っていく。

滞留水処理の基本的考え方

- ・現行水処理設備について、引き続き一部機器の設備改善などを行い、更なる信頼性向上を図るとともに、運転継続・延命化を行い、安定運転を維持する。
- ・タービン建屋等の滞留水の水位が建屋周囲に設けられたサブドレン水位を上回らないように管理しつつ、サブドレン水位を低下させ、地下水流入量の抑制を図る。
- ・今後実施する研究開発成果に基づき滞留水量を減少させていくとともに、これに応じた循環ラインの段階的な縮小化等を検討していく。

中期的には、現行水処理設備の信頼性向上による運転継続、サブドレン水位の低下方法の検討・水位低下を進める。

今後の検討と対策

(1) 建屋等からの漏えい防止

1～4号機建屋内に滞留している高濃度放射性汚染水については、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋に移送し、さらに、汚染水処理設備により放射性核種のセシウム及び塩分を除去して淡水を生成し、原子炉への注水に再使用している（循環注水冷却）。ただし、1～4号機の建屋内には地下水が流入しているため、高濃度放射性汚染水が系外に放出しないよう適切に建屋内水位を管理する必要がある。

建屋内の水位については、引き続き管理を継続していく。また、万一、水位が T. P. 2, 564mm に到達するようなことになれば、高濃度放射性汚染水をタービン建屋の

復水器等に移送する措置を施す。さらに、滞留水の地下水への流出を防止するため、建屋内の水位をサブドレン水位より低く管理している。

万一、建屋内の水位がサブドレン水位より高くなった場合は、サブドレン水の放射能濃度を確認し、建屋内からサブドレンへの滞留水の流出の有無を確認する。また、当該建屋からプロセス主建屋、高温焼却炉建屋、タービン建屋の復水器等へ滞留水を移送することにより、当該建屋内の水位を早期に下げることとする。

今後、地下水の流入量を低減させるため、建屋山側の高台で地下水を揚水し、建屋周辺の地下水の水位を段階的に低下させる計画である（地下水バイパス）。

地下水バイパスの設備は、建屋山側で地下水を汲み上げる揚水井及びポンプ、汲み上げた地下水を一時的に貯留して水質を確認するタンク、地下水を移送するための配管等からなる。地下水バイパスの稼働にあたっては、段階的な稼働とモニタリングにより、水質及び地下水低下状況等を確認し、建屋内滞留水が建屋外に漏れ出さないように慎重な水位管理を実施していく。

(2) 止水・回収方法

①建屋に滞留する汚染水の止水・回収

汚染水の上流側に位置する原子炉建屋（格納容器下部を含む）を止水するためには、漏えい箇所を特定し、漏えい状況に応じた補修（止水）工法や装置を検討する必要がある。現在、漏えい箇所を調査・補修（止水）するための工法と遠隔操作装置を研究開発しているところである。今後、開発成果を活用して漏えい箇所の特定や漏えい状況の確認を行うとともに、補修（止水）工法や装置の開発成果をもって原子炉建屋（格納容器下部を含む）を補修（止水）する予定である。建屋内に滞留する汚染水については、水処理状況を踏まえつつ、原子炉建屋やタービン建屋等への地下水の流入を抑制するため建屋周辺の地下水位を低下させながら回収する。

地下水位を低下させるには、建屋周辺のサブドレン水を汲み上げる方法が有力であるが、一部のサブドレンピット内の水に僅かな汚染が確認されていることから、サブドレンピット内の溜まり水の浄化を行った後にサブドレン設備の復旧を順次実施する。

また、漏えい箇所の調査や止水のための工法・装置開発を進めつつ、建屋間の配管貫通部を対象とした止水工法・材料の検討も行っている。建屋間の配管貫通部からの漏水を模擬した大型試験装置を製作し、基礎試験で選定した止水材料を用いて止水試験を行い、効果を確認している。

なお、建屋内に滞留する汚染水を回収するまでの間、2、3号機立坑、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水の水位を制限値以下に維持し、原子炉建屋及びタービン建屋等の滞留水の水位についても周辺のサブドレン水の水位以下に維持するとともにサブドレン水の放射性物質濃度を監視していく。

②トレンチ等に滞留する汚染水の止水・回収

建屋内と同レベルの高濃度の汚染水が滞留していると想定される2号機、3号機並びに4号機海水配管トレンチ等については、タービン建屋内の汚染水の水位よりもトレンチの接続高さが低いことから、トレンチ内の汚染水を回収しても、継続的にタービン建屋から汚染水が流入するため、現時点では、汚染水の回収は困難である。

このため、タービン建屋内の汚染水が回収され、海水配管トレンチ等への汚染水の再流入が無い状態になってから、海水配管トレンチ等の汚染水を回収することとしていたが、系外への流出リスクの低減の観点から、海水配管トレンチ等の汚染水の回収をできるだけ早期に実施できるように、タービン建屋と海水配管トレンチの接続部における止水の可能性について検討を進めるとともに、水処理状況等を踏まえ、可能なトレンチ等から順次、止水・回収を実施する予定である。

なお、海水配管トレンチ等から海へ汚染水が流出しないように、ピットの閉塞等の措置は既に実施しており、2、3号機立坑、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水の水位を制限値以下に維持し、原子炉建屋及びタービン建屋等の滞留水の水位についても周辺のサブドレン水の水位以下に維持するとともにサブドレン水の放射性物質濃度を監視していく。

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算している。

<換算式> T.P. = 旧 O.P. -1, 436mm

水位は、「2.35 サブドレン他水処理施設 添付-11 別紙-7 サブドレン及び建屋滞留水水位への測量結果の反映について」に基づき、計測する。

添付資料12に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧O.P.-1,436mm

汚染水処理対策委員会で議論された汚染水処理問題の抜本対策

1 陸側遮水壁の設置

【基本方針】

陸側遮水壁は、1号機～4号機の汚染水が滞留している建屋を囲い込むように、遮水性の高い壁を設置するものである。これにより、山側から建屋に向かう地下水の流れを遮断し、建屋周辺の地下水位を低下させることができ、建屋内への地下水の流入を抑制するものである。この陸側遮水壁を設置し、可能な限り早期の建設・運用を行う。また、地下水の流入抑制を効果的に行うために、地下水観測網の整備、遮水壁で囲い込む範囲の地下水位の管理等を実施するとともに、フェーシング（地面をアスファルト等で覆うことで、雨水の地下への浸透を防止するなど）等の検討を進める。汚染水処理対策委員会で、凍土方式による施工が適切と判断されていることを踏まえ、今後、概念設計等を進めていく中で、技術的な課題の解決状況を検証していく。

また、建屋周辺の地下水と建屋内の汚染水の水位のバランスを十分に制御することも重要な技術課題である。

【目標工程】

| | |
|----------|----------------------------|
| 2013年6月～ | 概念設計，詳細設計，施工計画等の策定 |
| 2013年上期 | 地下水観測網の拡充，早期の整備 |
| 2013年12月 | 陸側遮水壁の施工性，効果，水位管理方法等の検証の実施 |
| 2013年度内 | 陸側遮水壁のフェージビリティ・スタディの実施 |
| 2015年度上期 | 陸側遮水壁の運用開始 |

2 海水配管トレンチ内の汚染水の除去

【基本方針】

2号機及び3号機の海水配管トレンチ^{※1}には、高濃度な汚染水が滞留している。早期に海水配管トレンチ内の汚染水を処理するため、まず、汚染水の放射性物質の濃度を再計測し、建屋接続部の止水方法、トレンチ内の汚染水の移送方法、トレンチ内の充填方法等について直ちに具体化するとともに、その濃度の低減を図るなどの環境改善措置を行う。また、この対策は、建屋を囲い込む形で陸側遮水壁を運用開始する前に、完了させることを目指す。

【目標工程】

| | |
|---------|------------------------|
| 2014年度内 | 海水配管トレンチ内の汚染水の除去完了を目指す |
|---------|------------------------|

※1 「地下水の流入抑制のための対策」汚染水処理対策委員会（平成25年5月30日）には、高濃度の汚染水が滞留する海水配管トレンチを2号機から4号機としたが、その後の調査結果により2/3号機とされた。

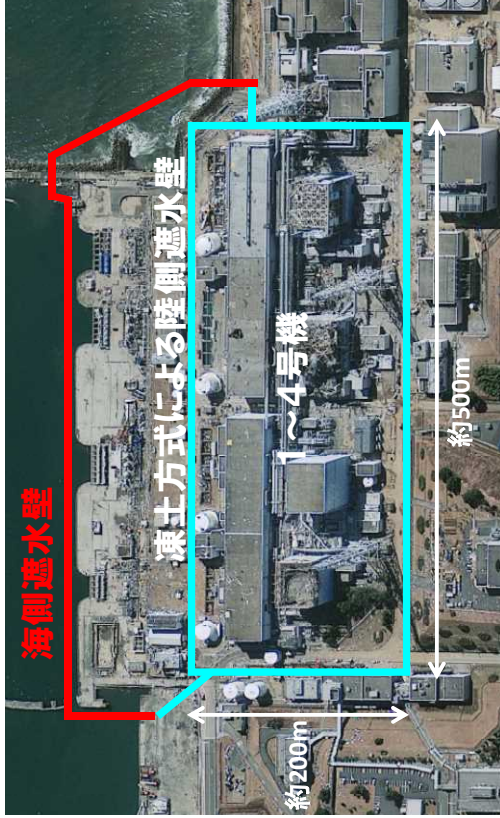
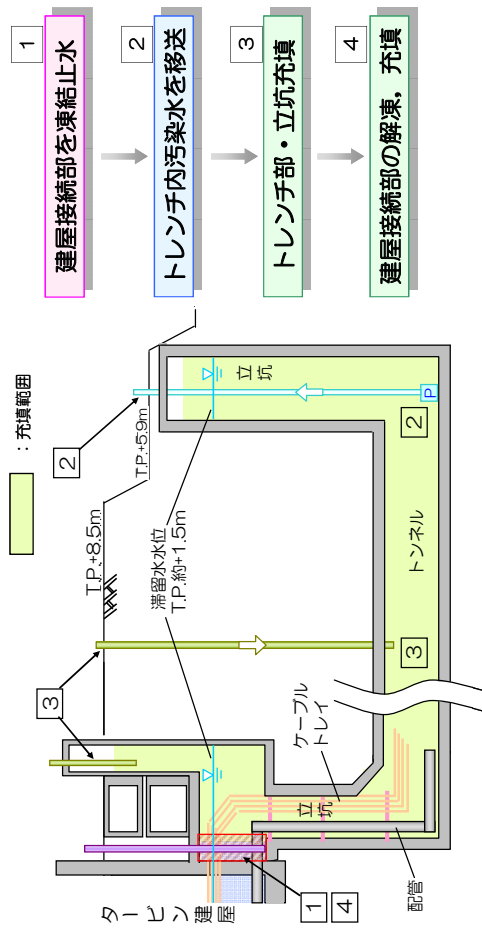
陸側遮水壁の設置

- 1号機～4号機の汚染水が滞留している建屋を囲い込むように、遮水性の高い壁を設置することで、山側から建屋に向かう地下水の流れを遮断し、建屋内への地下水の流入を抑制する。
- 汚染水処理対策委員会で、凍土方式による施工が適切と判断されており、今後、凍土方式による陸側遮水壁について、概念設計等を進め、2013年内を目的に技術的課題の解決状況を検証する。
- 2013年度末までにフィージビリティスタディを実施し、その後準備が整い次第速やかに建設工事着手、2015年度上期を目的に運用開始する。

海水配管トレンチ内の汚染水の除去

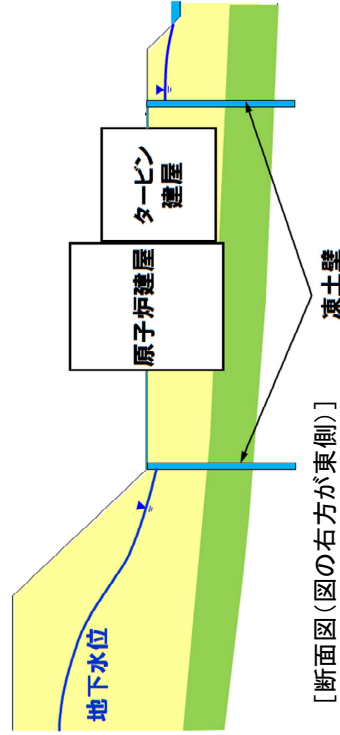
- 2号機から4号機の海水配管トレンチに滞留している、高濃度な汚染水について、2014年度中の除去完了を目指す。

■ 2号機施工案



〔平面図(図の上方が東側)〕

〔凍土による陸側遮水壁の配置イメージ(図の上方が東側)〕



〔断面図(図の右方が東側)〕

〔断面イメージ(図の右方が東側)〕

添付資料13に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P. からT.P. への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧O.P. -1, 436mm

汚染された地下水の港湾への流出抑制策等について

1 現状及び基本的対応方針について

1, 2号機タービン建屋東側の護岸付近の地下水において、放射性物質が告示濃度限度（海水中の放射性物質濃度が線量限度等を定める告示に定める周辺監視区域外の濃度限度）を上回る高い濃度で検出されており、港湾内海水中の放射性物質濃度が減少しておらず、地下水の水位等のデータ分析結果から、汚染された地下水が海水に漏れいしているものと推定した。

このため、地下水を経由しての海洋汚染の拡大を抑制する措置を早急に講じるとともに、地下水のモニタリング等により汚染経路の調査を実施する。

また、高濃度の汚染水が滞留している2号機及び3号機の海水配管トレンチ等については、トレンチ内の汚染水の処理、移送、止水を検討、実施していく。

さらに、地下水及び港湾内の海水についてモニタリングを強化する。

また、海洋汚染の拡大防止のための対策として着手している海側遮水壁の設置を進めていく。

なお、本流出抑制策等については、可能な限り早期に着手・実施していくとともに、新たな対策についても継続して検討していく。

2 具体的計画について

(1) 護岸付近の地盤改良

告示濃度限度を超える放射性物質の海域への流出を抑制するため、護岸付近の地盤改良や地下水の移送等の対策を実施する。特に、海水中におけるトリチウム濃度の上昇傾向が見られることから、1-2号機間、2-3号機間、3-4号機間の護岸付近において、地盤改良による汚染範囲の囲い込みを実施することなど、可及的速やかに汚染水の海洋への漏れい拡大抑制対策の実施・完了を目指す（図1、図2）。

(2) トレンチ内汚染水処理・排水及び閉塞

2号機及び3号機の主トレンチ（図3、図4）、2号機の分岐トレンチ（図5）には、高濃度の汚染水が滞留していることが確認されている。早期にこれらトレンチ内の汚染水を処理するため、トレンチ毎（電源ケーブル管路を含む）に汚染水の滞留状況を調査する。その後、調査結果に基づき、分岐トレンチについては、汚染水の排水及び当該トレンチの閉塞を実施する。主トレンチについては、建屋接続部の止水方法、トレンチ内の汚染水の移送方法、トレンチ内の充填方法等について具体化するとともに、その濃度の低減を図るなどの環境改善措置を行う。

主トレンチ内の放射性物質濃度の低減策としては、モバイル式の処理装置を導入する

ことに加え（図6）、汚染水の処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置）へ汚染水を移送するための配管を設置する（図7）。なお，止水方法の成立性については，凍結時の配管等への影響評価，高線量下での作業員の被ばく低減策等の技術課題があることから，実証試験を実施し，評価する。

(3) 海側遮水壁

汚染した地下水からの海洋汚染拡大防止を目的として着手している海側遮水壁の設置工事については，既に2012年4月に本格着工し，2014年9月の完成を目指している（図8）。なお，海側遮水壁の構築に伴いせき止められる地下水は汲上げた後，適切に処理する。具体的な処理方法について検討し，平成25年度末までに実施計画へ反映する。

(4) 繊維状吸着材浄化装置

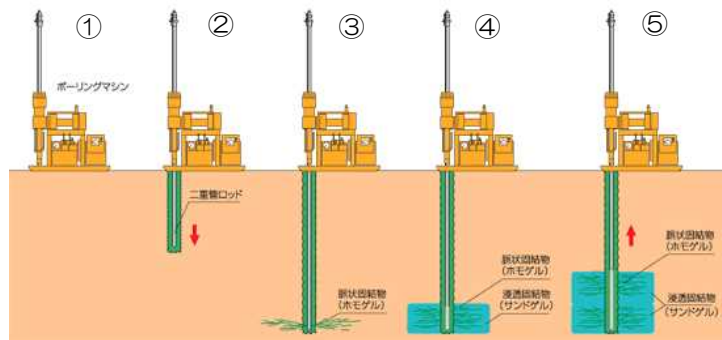
1～4号機取水路前面において，海水中の放射性セシウムの除去を目的とした繊維状吸着材浄化装置を設置し，その効果を検証する。

(5) モニタリングの強化等

地下水及び港湾内の海水について放射性物質のモニタリングを強化する（詳細は，「Ⅲ 特定原子力施設の保安 第3編 3.1.4 港湾内の海水，海底土及び地下水の放射性物質の低減」を参照）。

3 工程について

| | H25年度 | | H26年度 | |
|----------------|-------|------------------|-------|----------------|
| | 上期 | 下期 | 上期 | 下期 |
| 護岸付近の地盤改良 | □□□□ | □□□□ | | |
| トレンチ内汚染水の処理等 | □□□□ | 処理装置設置工事 □□□□ | □□□□ | トレンチ内汚染水の処理・移送 |
| 既存水処理装置への移送ライン | □□□□ | 移送ライン設置工事 | | |
| トレンチ止水 | □□□□ | 止水の成立性判断 | □□□□ | 接続部止水 □□□□ |
| 海側遮水壁 | | | | 遮水壁設置工事 |



出典：ライト工業（株）マルチライザー工法パンフレット

図1 薬液注入による地盤改良（概念図）

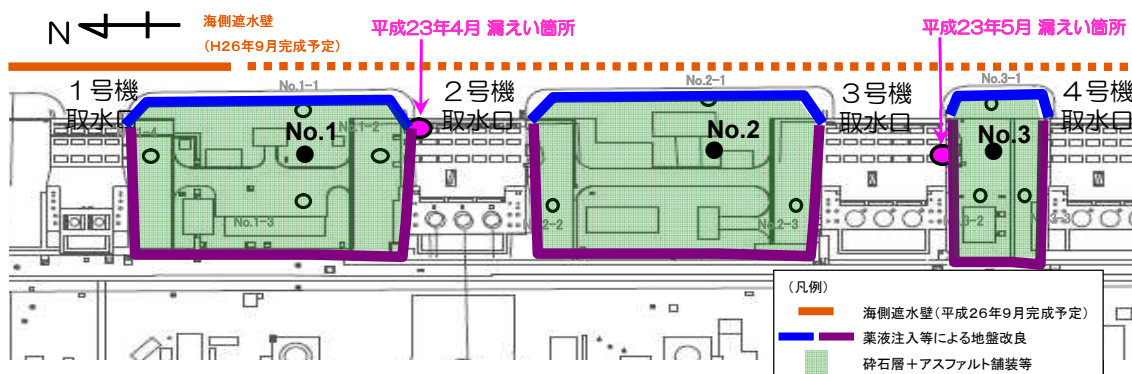


図2 地盤改良等の範囲（イメージ）

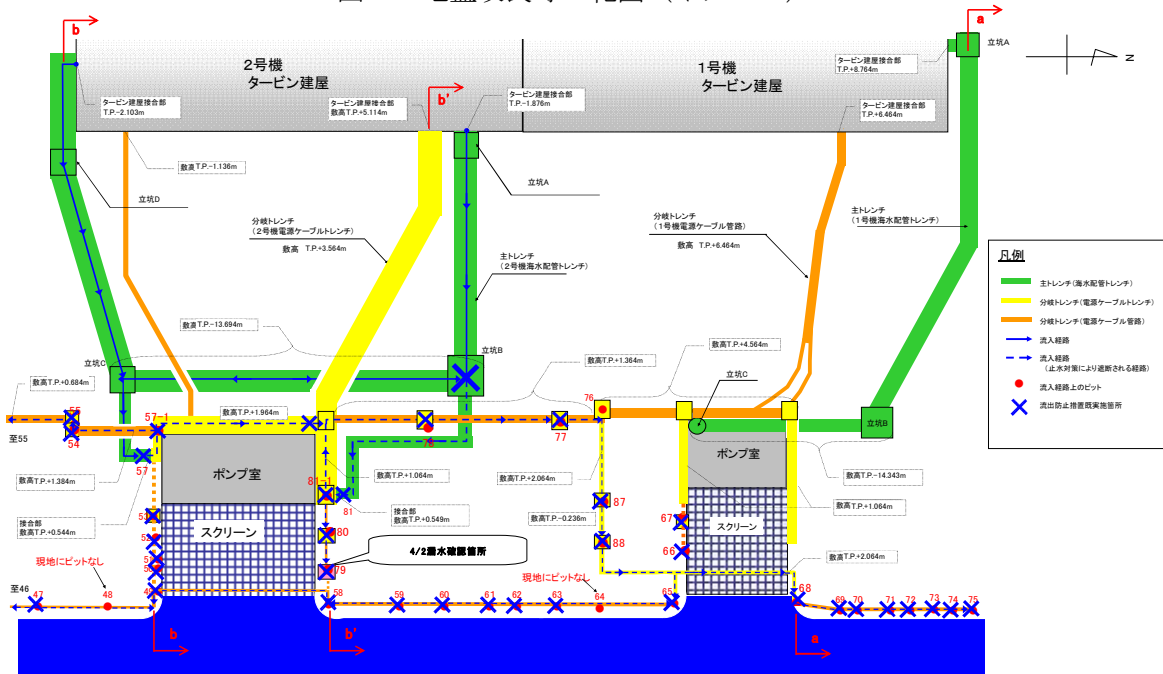


図3 1 / 2号機海側トレンチ平面図

添付資料13に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と0.P. から T.P. への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 $\text{換算式} > \text{T.P.} = \text{旧0.P.} - 1,436\text{mm}$

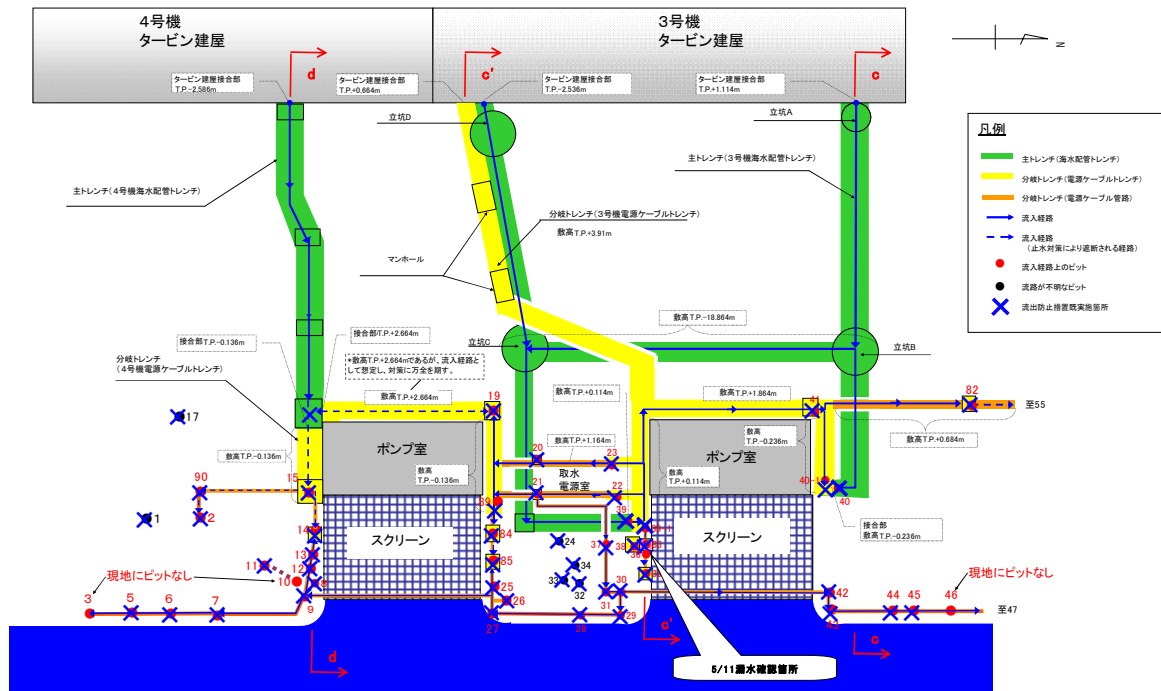
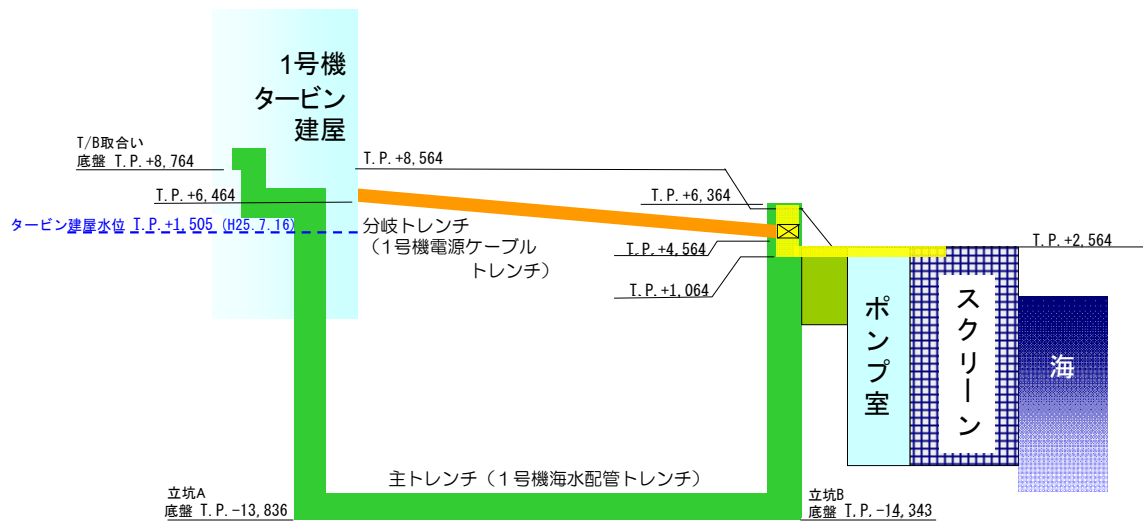
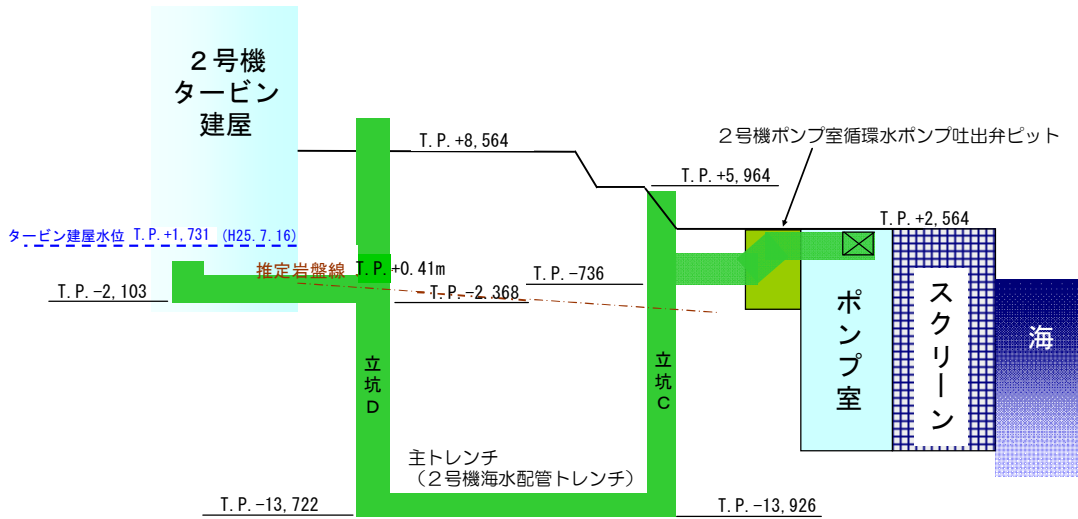


図4 3 / 4号機海側トレンチ平面図

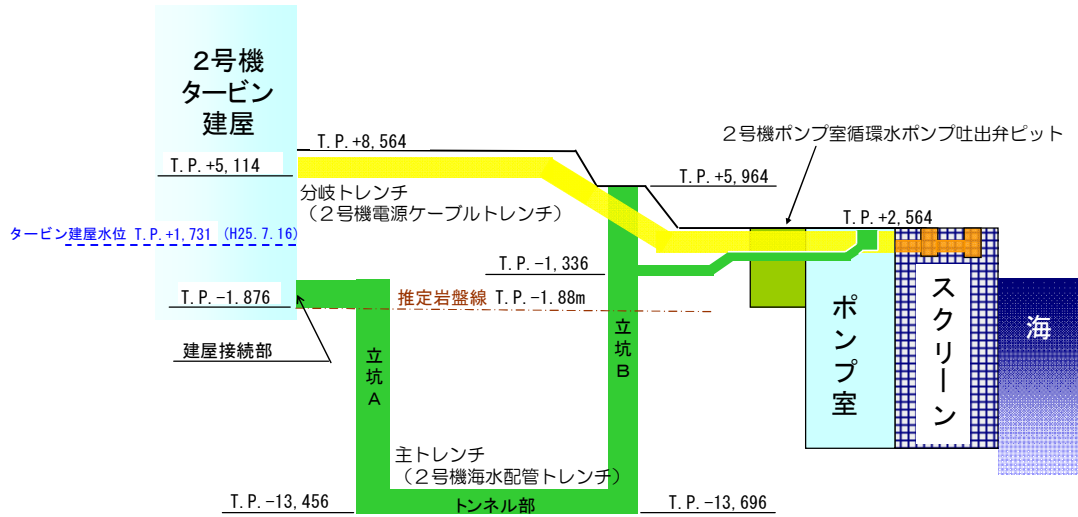


1号機 (a - a 断面)

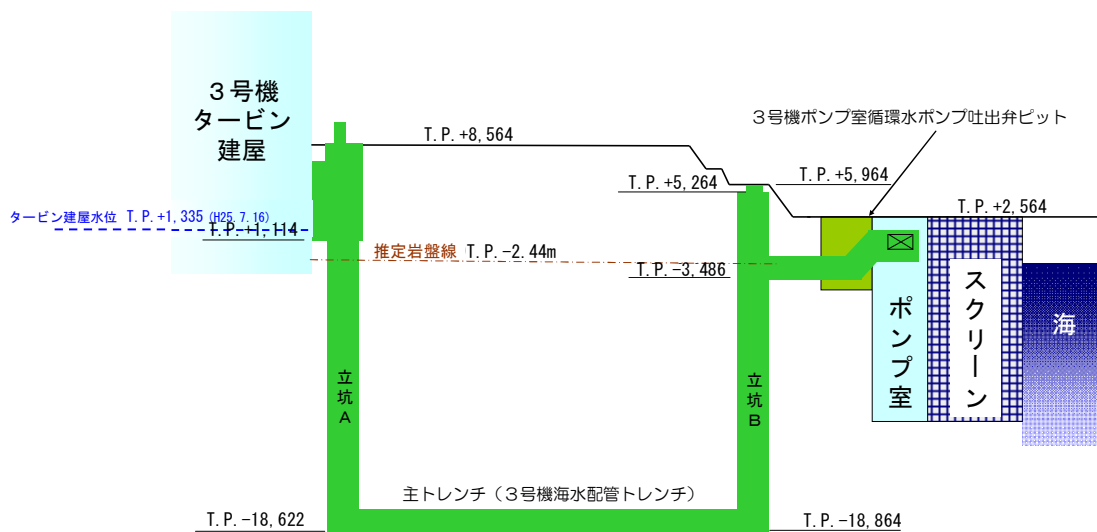
添付資料13に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P. から T.P. への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧O.P. -1,436mm



2号機 (b - b 断面)

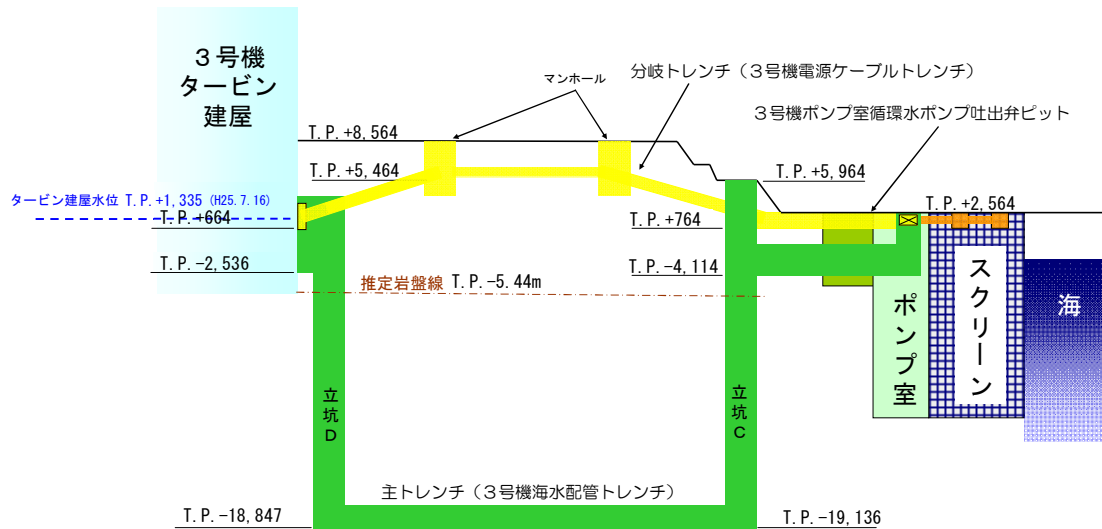


2号機 (b' - b' 断面)

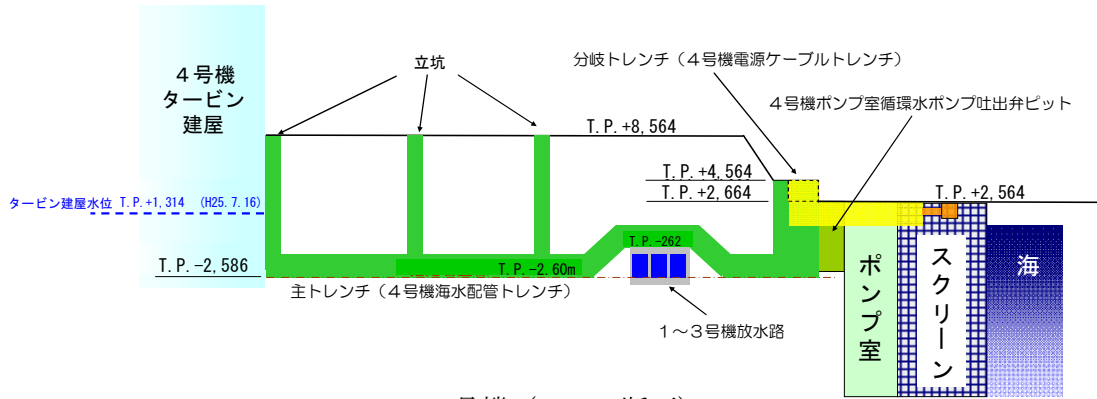


3号機 (c - c 断面)

添付資料13に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)とO.P.からT.P.への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧O.P. -1,436mm



3号機 (c' - c' 断面)

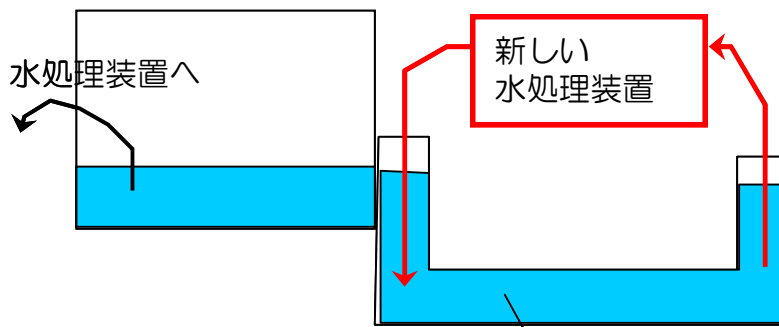


4号機 (d - d 断面)

図5 1~4号機トレンチの構造図

添付資料13に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と0.P.からT.P.への換算値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧0.P. -1,436mm

新しい水処理装置にてトレンチ内の水を循環処理



T/B建屋からの流出を制限することにより、T/B建屋より低濃度まで処理可能

トレンチ内水処理装置の追設

図6 処理装置設置のイメージ

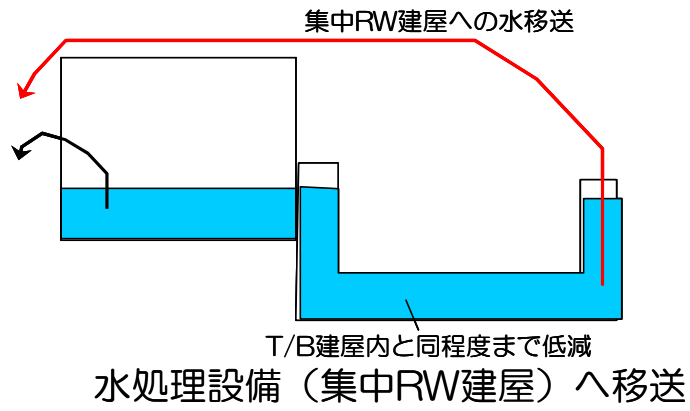


図7 既存水処理設備への移送のイメージ

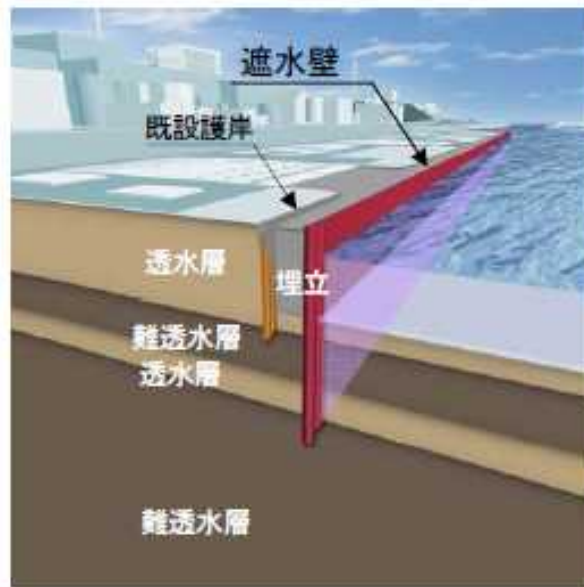


図8 海側遮水壁（概念図）

陸側遮水壁設置による地下水流入量の低減

1 概要

汚染水処理対策委員会で議論された汚染水処理問題の抜本対策（添付資料－ 1 2）に基づき、汚染源に水を「近づけない」重層的な対策の一つとして、高レベル放射性汚染水が滞留している 1～4 号機の原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋（以下「1～4 号機のタービン建屋等」という）の周囲に陸側遮水壁（汚染水処理対策委員会の「凍土方式の陸側遮水壁」を「陸側遮水壁」とする）を造成する。

陸側遮水壁は、「汚染源である建屋に水を近づけない」ことが必要な期間に限り凍結を行い、その必要がなくなった場合には速やかに解凍する。

既認可範囲および今回の申請範囲は、以下のとおりとする。なお、観測井等の設置および建屋内外の水位管理計画、緊急時の対応については、必要な事項を別途実施計画変更で反映する。

陸側遮水壁解凍後の凍結管等の処理方法については解凍時期に近づいた段階で検討する。

<既認可範囲>

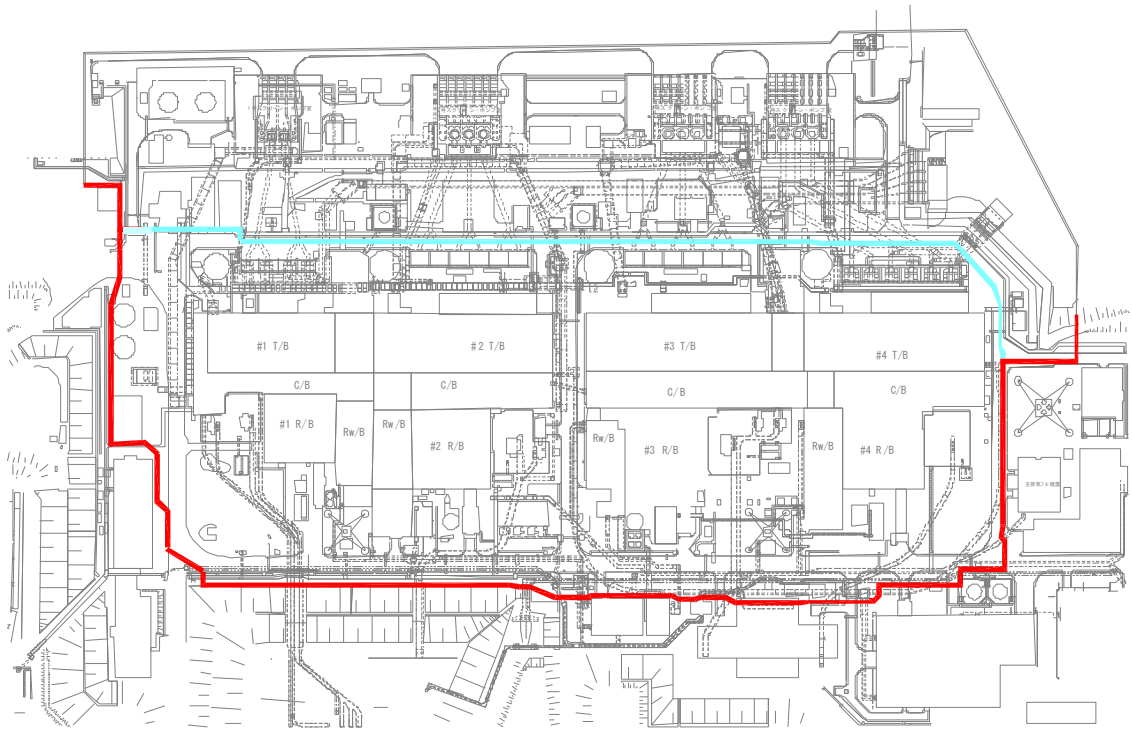
○山側ライン上の埋設物との干渉箇所での貫通施工による凍結管設置工事（図 1－1 参照）

- ・ 埋設物の貫通施工は、「別添－ 2 5 山側ライン上の貫通施工・複列施工の対象箇所」における、貫通施工箇所を対象とする。
- ・ 埋設物の貫通は、埋設物内部等の状況により、以下の方法を用いて施工する。
 - ボーリング工法を用いて埋設物を単純に貫通する施工方法（以下、単純貫通工法と言う）
 - 内部充填により貫通箇所の水密性を確保し、ボーリング工法を用いて埋設物を貫通する施工方法（以下、内部充填工法と言う）
 - マルチステップ（多段式）ボーリング工法を用いて貫通箇所の水密性を確保し、埋設物を貫通する施工方法（以下、マルチステップ工法と言う）

○陸側遮水壁造成後の基礎地盤沈下検討

○山側ライン上の運用中の設備の損傷防止対策

○不明埋設物への対応





| | | |
|-------|---|--------------|
| 海側ライン |  | 既認可における申請範囲外 |
| 山側ライン |  | 既認可範囲 |

図 1 - 1 埋設物干渉箇所での貫通施工による凍結管設置工事に関する申請範囲図 (既認可)

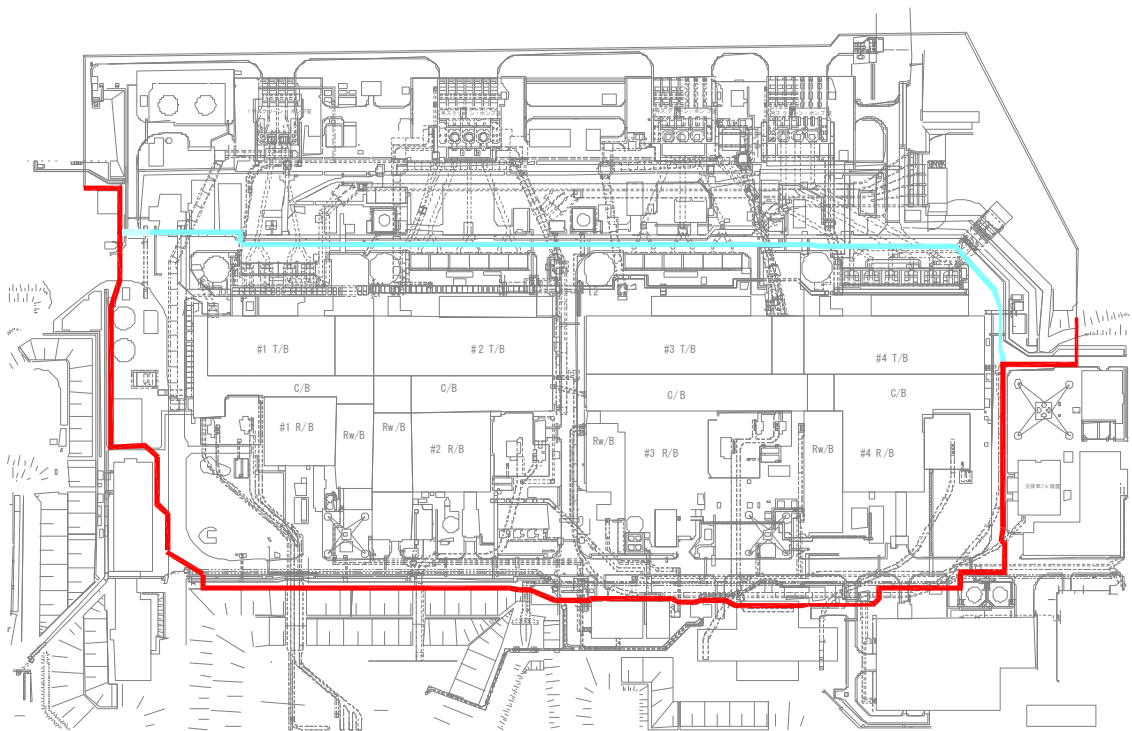
注) 陸側遮水壁のルートについては、現場支障物などの状況により変更の可能性あり。
貫通施工の方法が申請範囲と異なる場合は、別途変更申請を行う。

<今回申請範囲>

○海側ライン上の埋設物との干渉箇所での貫通施工による凍結管設置工事（図1-2参照）

- ・ 埋設物の貫通施工は、「別添-3 5 海側ライン上の貫通施工・複列施工の対象箇所」における、貫通施工箇所を対象とする。
- ・ 埋設物の貫通は、埋設物内部等の状況により、以下の方法を用いて施工する。
 - ボーリング工法を用いて埋設物を単純に貫通する施工方法（以下、単純貫通工法と言う）

○海側ライン上の運用中の設備の損傷防止対策





| | | |
|-------|---|-------------|
| 山側ライン |  | 申請範囲 (既認可) |
| 海側ライン |  | 申請範囲 (今回申請) |

図 1 - 2 埋設物干涉箇所での貫通施工による凍結管設置工事に関する申請範囲図 (今回申請)

注) 陸側遮水壁のルートについては、現場支障物などの状況により変更の可能性あり。
貫通施工の方法が申請範囲と異なる場合は、別途変更申請を行う。

2 陸側遮水壁の造成方法

陸側遮水壁を造成するための機器は、冷凍機、冷却塔、冷却水循環ポンプ、ブライン循環ポンプ、ブライン供給ポンプ、ブラインタンク、ブライン移送管、接続管、凍結管である。

上記のうち、冷凍機、冷却塔、冷却水循環ポンプ、ブライン循環ポンプ、ブライン供給ポンプ、ブラインタンクについては凍結プラント(1)、凍結プラント(2)として2系統に分割して設置し、冷凍機については建屋内に設置する。ブライン移送管(主管)については、陸側遮水壁造成ライン上に設置し、30m程度毎にブライン移送管(ヘッダー管)を設け接続管を介して凍結管に接続する。凍結管は二重管構造とし、ボーリングにて所定の深度まで削孔した後、保護ケーシング管内に設置する(図2～6参照)。

陸側遮水壁造成には、冷凍機で冷却したブラインを、ポンプ圧送により、ブライン移送管(主管・ヘッダー管)を経由して、地中に配置した各凍結管の中を循環させることで凍結管周辺の地盤を凍結させる。循環後温められたブラインは、ブラインタンクに回収され、再度冷凍機で冷却することで連続的に陸側遮水壁の造成を行う。

冷凍機・ポンプ等の運転監視は監視制御装置で行い、電源は異なる2系統の所内高圧母線から受電できる。

機器類の運転状況については、免震重要棟集中監視室で遠隔監視する。

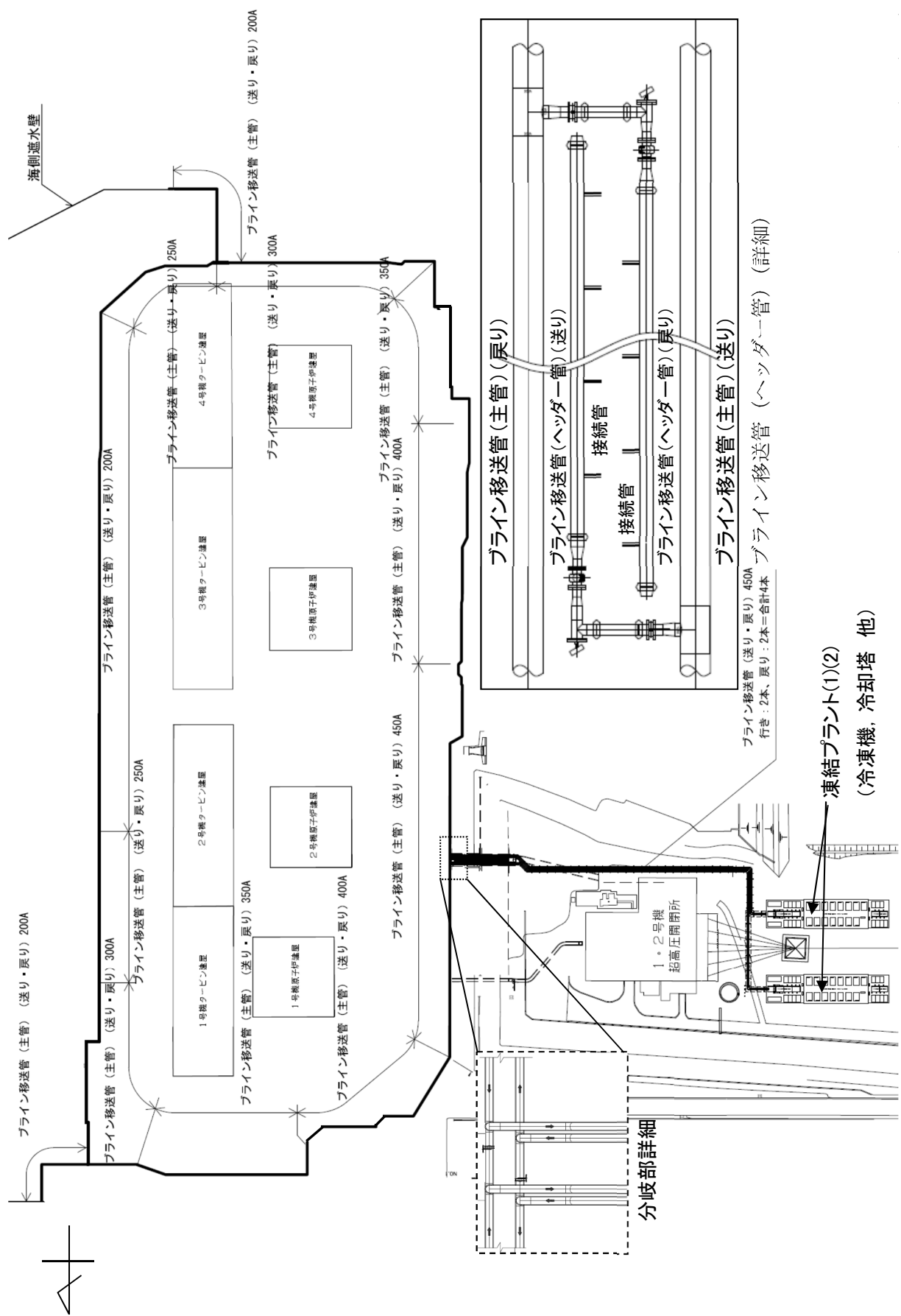


図2 陸側遮水壁を造成する機器配置 平面図

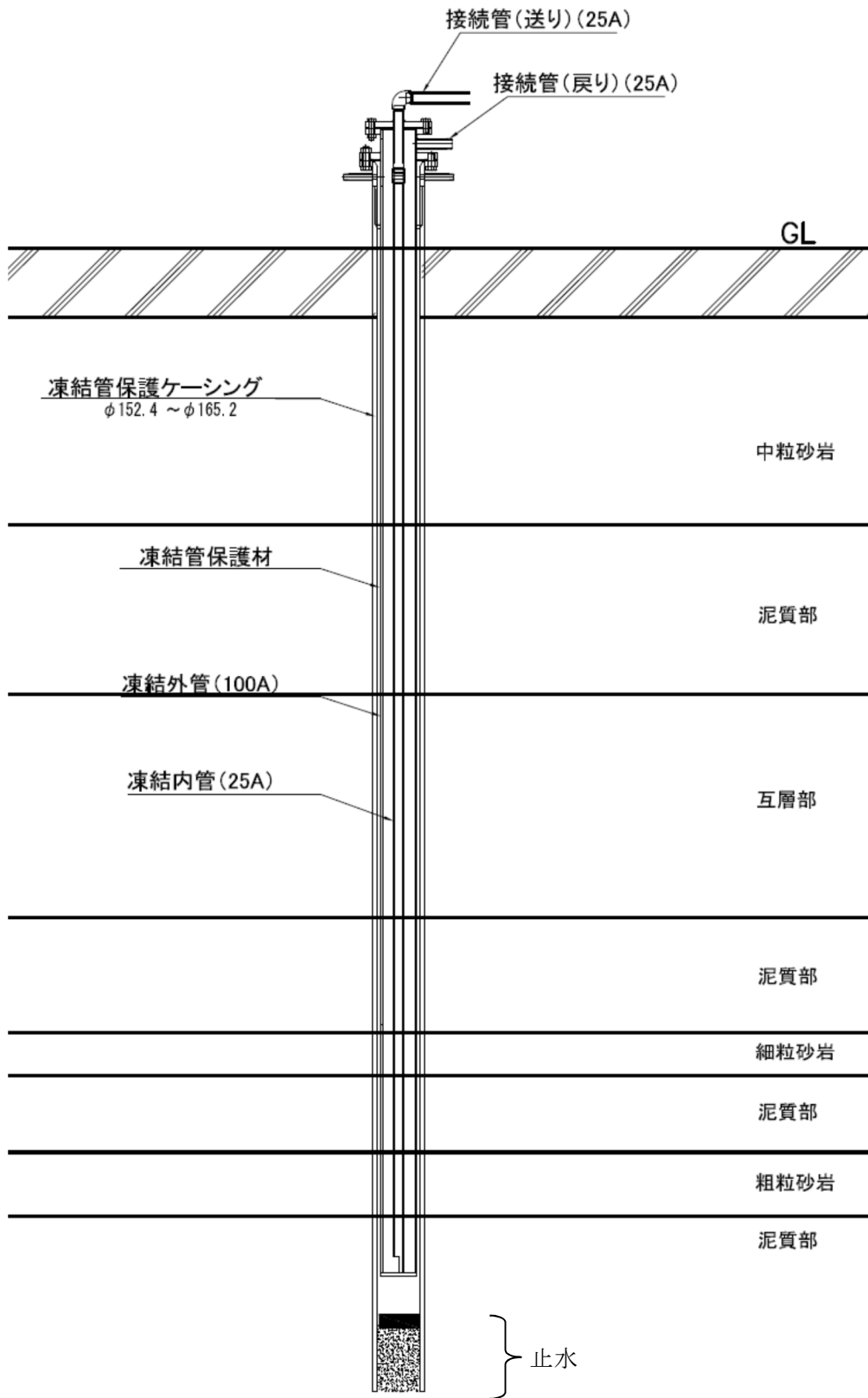


図3 凍結管基本構造図

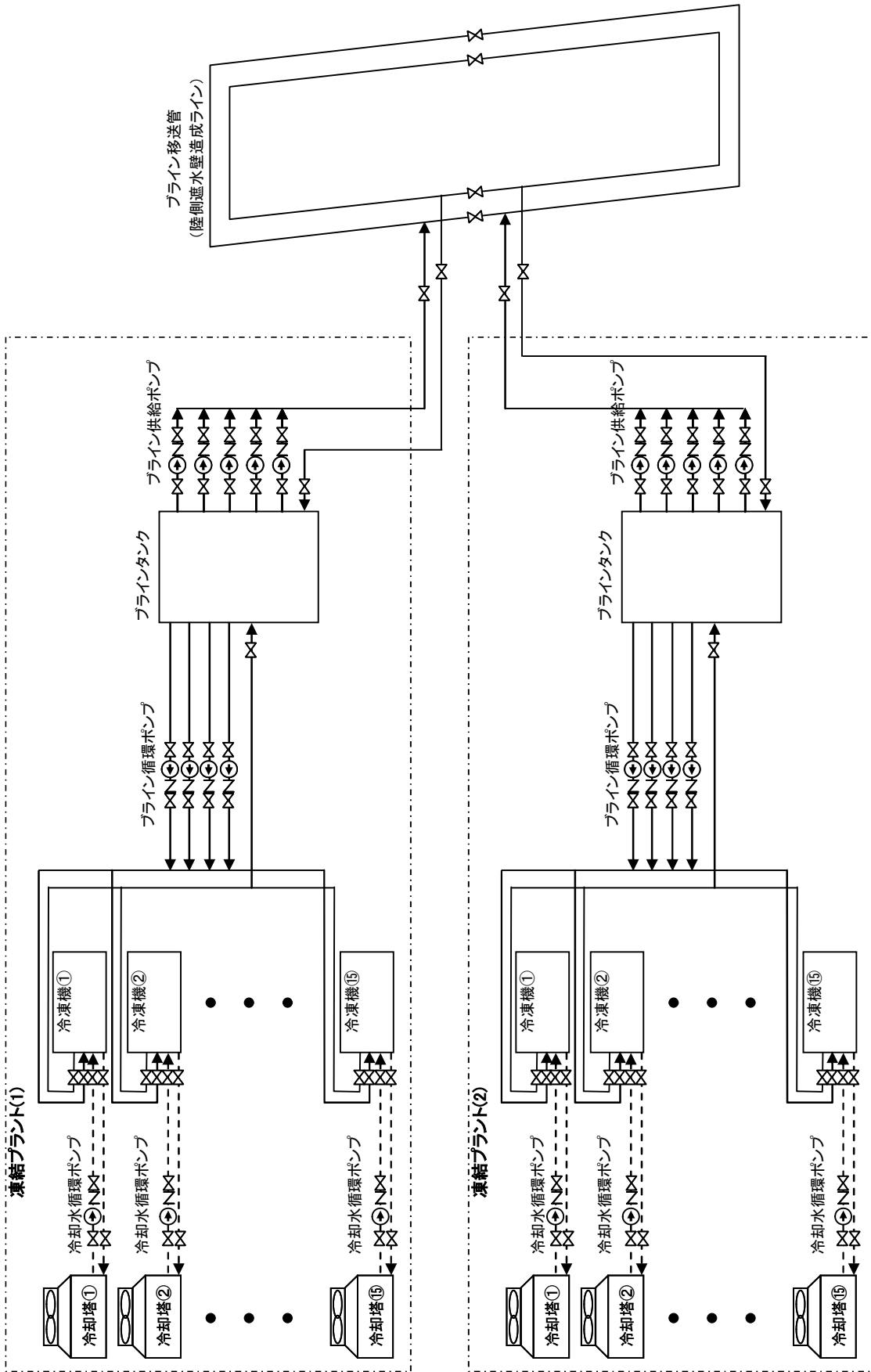
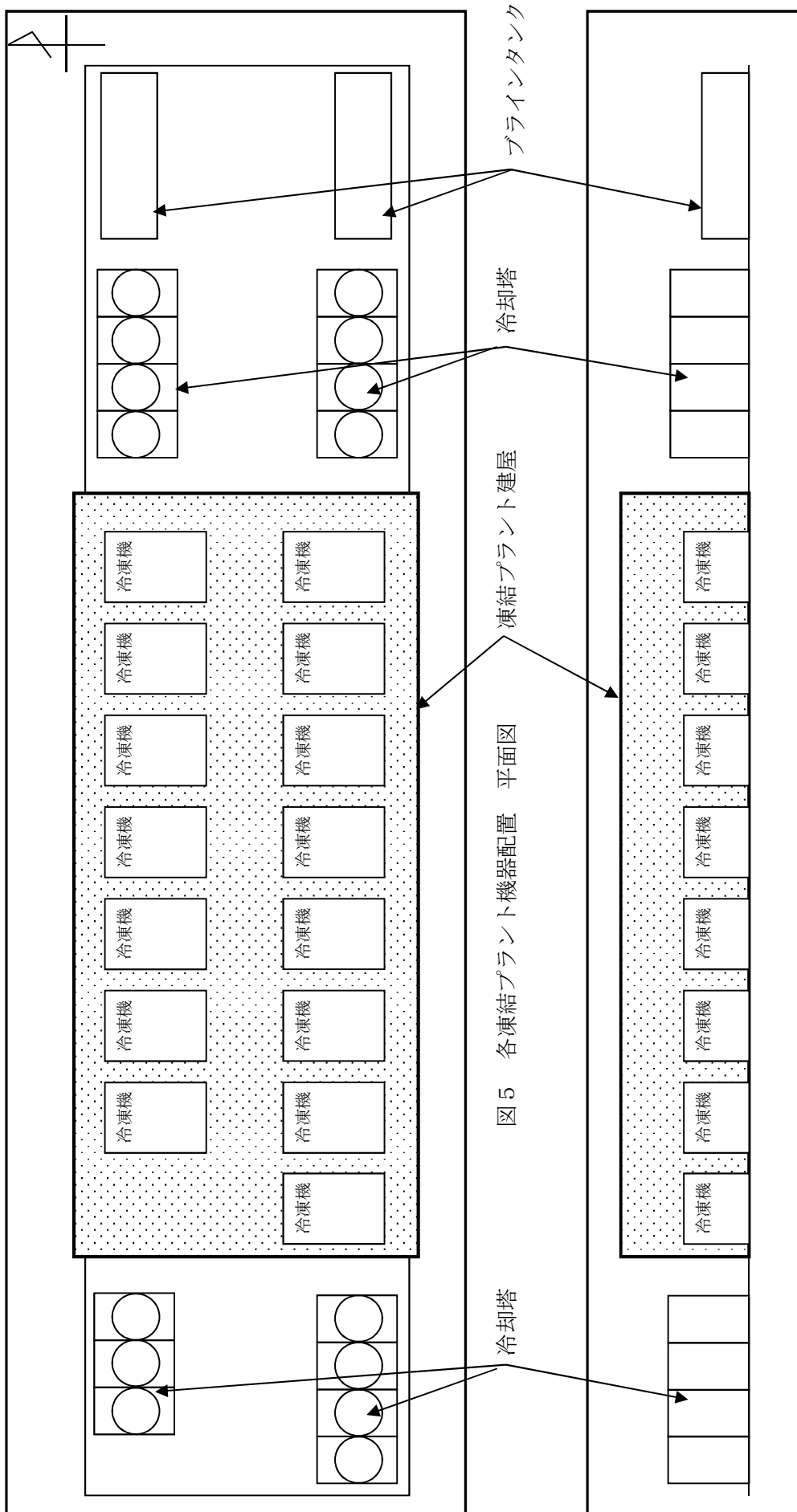


図 4 陸側遮水壁を造成する機器 系統図 (概略)



3 主要機器の基本仕様

(1) 冷凍機 (完成品)

| | |
|------|---------------------------|
| 形式 | ユニット型 (高圧ガス保安法 冷凍保安規則による) |
| 基数 | 30 |
| 使用冷媒 | R404A |
| 冷凍能力 | 261 kW (1基あたり) |

(2) ブライン

| | |
|----|------------|
| 種類 | 塩化カルシウム水溶液 |
|----|------------|

(3) 冷却塔 (完成品)

| | |
|------|--------------------------------------|
| 形式 | 密閉型 |
| 基数 | 30 |
| 冷却能力 | 2,721 kW (4連タイプ) 2,041 kW (3連タイプ) |

(4) 冷却水循環ポンプ (完成品)

| | |
|----|---------------------|
| 台数 | 30 |
| 容量 | 1,750 L/min (1台あたり) |
| 揚程 | 27 m |

(5) ブライン循環ポンプ (完成品)

| | |
|----|---------------------|
| 台数 | 8 |
| 容量 | 3,400 L/min (1台あたり) |
| 揚程 | 17 m |

(6) ブライン供給ポンプ (完成品)

| | |
|----|---------------------|
| 台数 | 10 |
| 容量 | 4,000 L/min (1台あたり) |
| 揚程 | 40 m |

(7) ブラインタンク (完成品)

| | |
|----|-----------------------------|
| 基数 | 4 |
| 容量 | 40m ³ (1基あたり) |
| 寸法 | L 8.0×W 2.5×H 2.4 m (1基あたり) |

4 陸側遮水壁による地下水の建屋流入抑制効果

1～4号機のタービン建屋等の周辺を高い遮水性が確保できる陸側遮水壁で囲むことにより、1～4号機のタービン建屋等への地下水の流入量が低減されるものとする。

第11回汚染水処理対策委員会（平成25年12月10日）の報告より、T.P.2.5m盤対策（ガラス固化壁、ウェルポイント）だけの場合（ケース1）と比較して、陸側遮水壁を追加設置した場合（ケース6）では、1～4号機のタービン建屋等への地下水の流入量が320トン/日から30トン/日へと低減するというシミュレーション結果が得られている。

表1 各対策工実施後の建屋流入量・地下水汲上げ量の想定

| ケース | 対策工 | | | | | 建屋流入量（トン/日） | | | 地下水汲上げ量（トン/日） | | |
|-----|---------------------------|---------|-------------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------|-------------|
| | 4m盤対策 (ガラス固化壁、ウェルポイント) | 地下水バイパス | 海側遮水壁 (地下水ドレン) | 山/海側 サドレ | 陸側遮水壁 (凍土壁) | 合計 | 1～4号機 建屋 | プロセス主 建屋、高温 焼却炉建屋 | タービン+地 下水ドレ | 地下水 バイパス | 山/海側 サドレ |
| 1 | ● | | | | | 410 | 320 | 90 | 50 | - | - |
| 6 | ● | | | | ● | 130 | 30 | 100 | 10 | - | - |

注) 汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）より抜粋，一部，加筆

5 陸側遮水壁造成後の地下水位低下に伴う地盤沈下

陸側遮水壁造成後の1～4号機建屋周りの地下水位低下に伴う原子炉建屋・タービン建屋基礎地盤の不等沈下を評価した。保守的な条件から求まる基礎底面の傾斜は最大1/10,000程度となり、各種基準に示される基礎地盤の傾斜の目安値1/2,000～1/500以下であることから、建屋基礎の安定上問題ないものと評価した（別添-1参照）。

また、建屋基礎の沈下量をモニタリングして、建屋基礎が安定上問題ないことを確認していくこととする。

6 埋設物に対する施工時の考慮

陸側遮水壁と干渉する埋設物周辺の施工にあたっては、埋設物を図面・試掘・現地調査で確認し、構造形式、内容物、埋設物内部の状況を整理した上で、埋設物の幅・機能に応じて、適切な施工方法を選定する（別添-2, 3参照）。

なお、運用中の設備および運用中の設備を内包している構造物を横断して陸側遮水壁を施工する箇所（図7-1・7-2, 表2-1・2-2参照）については、図面・試掘・現地調査で確認し、構造物に損傷を与えないように適切に施工する。また、施工に先立ち、防護が完了していることを確認してから工事を実施する。

運用中の設備の損傷防止策として以下の対策を実施する。

- 図面等による位置の把握および現地確認
- 試掘（震災前の地盤面以深2mまで*）による敷設場所の確認
- 注意喚起の表示（図8参照）
- 配管移動・防護（表3-1・3-2, 図9-1～9-4参照）

※ 震災前の地盤面から深さ2mまで試掘することにより、東日本大震災以降に設置した電源ケーブル等の確認を行う。

万が一、運用中の設備および運用中の設備を内包している構造物が損傷した場合は、損傷箇所を速やかに復旧する（表4-1・4-2参照）。

また、貫通施工を行わない1～4号機海水配管トレンチの上部・側部に凍結管を設置（図10-1～10-6）する際は、凍結管の設置予定位置における探査ボーリングの結果に基づき、当該地点における同トレンチの位置・深度を把握し、施工計画を作成した上で施工する。施工計画の作成にあたっては以下について留意し、同トレンチの損傷を防止する。

- 海水配管トレンチ上部：
凍結管設置箇所にて探査ボーリングを全数実施し、最も浅い到達深度より1m上方を安全深度として削孔深度を決定する（図10-7）。削孔深度が安全深度以深とならないよう削孔ケーシング長・本数を管理する。
- 海水配管トレンチ側部：
凍結管設置箇所より同トレンチ側にて探査ボーリングを実施し、同トレンチに接触

することがない範囲を安全隔離として削孔位置を決定する（図10-8）。削孔位置は現地に削孔不可範囲を明示し、管理する。

なお、探査ボーリングにて同トレンチに接触する場合には、同トレンチから離れる方向で再度、探査ボーリングを行い、接触が回避できる位置を確認して削孔位置を決定する。ただし、同トレンチ側部の凍結管と近接する凍結管の隔離が確保できない場合は、削孔深度を上記「海水配管トレンチ上部」に従い決定し、施工する（図10-9）。

なお、1～4号機海水配管トレンチの下部を閉合しないことによる影響が生じる等で当該部を施工する場合には、必要に応じて変更申請を行う。

7 ボーリング削孔水管理

ボーリング削孔作業時には、ボーリング孔内部より削孔機先端へ泥水（以下、削孔水）を注水し、削孔箇所地上部においてボーリング孔壁に沿って地上に戻った削孔水（一部は地盤中に逸水）を回収する。回収された削孔水は削孔プラント※にて濁水処理し、水（構内の作業用水）を補給した上で、削孔水として再利用する（ボーリング孔内部より注水）。削孔水の役割、性状は以下の通りである。

※ 汲み上げた削孔水から切削した土を分離し、水（構内の作業用水）を補給した上で再度削孔箇所へ送水する設備

- ・役割：削孔機先端の切削土の排出，削孔機の回転不良防止，ボーリング孔壁の保護
- ・性状：ベントナイトおよび切削土混じりの泥水

なお、削孔水の放射性物質濃度は1～4号機サブドレンピットの放射性物質濃度（図11-1参照），1～4号機建屋周辺観測井の放射性物質濃度（図11-2参照）と同程度と想定される。

ボーリング削孔作業における削孔水については、削孔箇所地上部，削孔プラントそれぞれで以下の漏えい対策（図12-1・12-2参照）を実施することにより、閉じた系統で循環する。なお、地下水の放射性物質濃度が高い場所では、漏えい対策に万全を期す。

- ・削孔プラント：周囲に堰の設置，雨水浸入防止カバーの設置
万削孔プラントから堰内に削孔水が漏えいした場合は自動起動のポンプにより削孔プラントに移送する。
- ・削孔箇所地上部：地表部をシート等で囲み，削孔水を集水し，ポンプで削孔プラントへ移送する。

削孔区間は、山側についてはサブドレンおよび対象観測井，海側についてはそれらに加え必要に応じ陸側遮水壁ライン上で事前の地下水調査を行うことで，陸側遮水壁ライン近傍の放射性物質濃度分布を把握した上で，濃度が同様であると想定される区間ごとに定める（図11-1，2参照）。現状想定される各削孔区間の地下水の放射性物質濃度レベ

ルは表6に示す通りであり、今後、削孔作業完了後に削孔プラント内に残った使用済みの削孔水（以下、余剰水）の放射性物質濃度を確認した上で、表5に示すオーダー（桁数）単位の管理で、余剰水を削孔水として再利用できる削孔区間を選定する。

余剰水については、当該削孔区間よりも放射性物質濃度レベルが高い（表5において、Cs-134, Cs-137, 全β, H-3全て該当するものとする）削孔区間の削孔水に再利用することは可能であるが、当該削孔区間よりも放射性物質濃度レベルが低い（表5において、Cs-134, Cs-137, 全β, H-3の1つでも該当するものとする）削孔区間の削孔水に利用することはできない。

最終的に再利用できない余剰水は「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係わる実施計画」に記載の汚染水処理設備で処理する。

削孔プラント内に残った泥土（ベントナイトおよび切削土）については、飛散しない状態（トンパックに入れるなど）で管理して、一時保管エリアで保管する。また、泥土の発生量※は、「Ⅱ 2.10 放射性固体廃棄物等の管理施設」に示している瓦礫等の保管量に見込んでいる。

※ ボーリング削孔による泥土の発生量は、2,000m³程度と想定され、瓦礫等の一時保管エリアの保管容量（「Ⅱ 2.10 放射性固体廃棄物等の管理施設」を参照）に対して十分に少量（現在の貯蔵量の1%程度）で、一時保管エリアの運用に支障を与えるものではない。

8 施工時の放射線被ばく管理

放射線業務従事者が立ち入る場所では、外部放射線に係わる線量率を把握し、放射線業務従事者等の立入頻度の管理、滞在時間等を考慮した遮へいの設置や除染等を実施することにより、作業時における放射線業務従事者が受ける線量が労働安全衛生法およびその関連法令に定められた線量限度（100mSv/5年および50mSv/年）を超えないようにする※¹。

※¹ 陸側遮水壁工事における年間被ばく線量は40mSvを限度とする。

陸側遮水壁施工時の作業空間における被ばく線量低減対策として空間線量率・現場状況に応じて、施工前に以下の対策を実施する（図13-1～13-11参照）。

- ・線源の除去（表土すき取り、清掃、高線量ガレキの撤去 等）
- ・線源からの遮蔽（L型擁壁・タングステンマット・コンクリートパネル・遮へいボックス※²・鉛板※²の設置、被覆実施 等）

※² 「福島第一原子力発電所における放射線管理に関する検討課題」（第24回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2）を踏まえて、更なる遮蔽対策として遮へいボックス・鉛板の設置に加え図13-7、13-8の追加対策を実施した。また、海側の被ばく線量対策として図13-9の瓦礫撤去を実施した。

さらに、必要に応じて作業員の被ばくを低減させるため遮蔽ベストの着用を行う（図14参照）。

長期にわたる、かつ、高線量エリアにおける施工であるため、現場状況を踏まえ、今後継

続的に被ばく線量低減に向けた線源の把握と除去，線源からの遮蔽，区域管理作業等を行い，更なる被ばく線量低減に努める。

9 陸側遮水壁と他工事との調整状況

陸側遮水壁造成に関する工事期間において，他の安定化に向けた工事・作業との干渉について作業区域・道路占有・作業期間等について必要な調整を行った。今後も，工事・作業の進捗等に合わせて随時調整しながら，工事を進める（図15参照）。

10 施工時の熱中症対策

陸側遮水壁造成に関する工事は炎天下，高気温下での作業が多く発生すると想定されることから，特に熱中症について対策を実施する（表6参照）。

11 緊急時の避難

「Ⅱ 1 1.13 緊急時対策」に準じて適切に対応する。緊急時には緊急放送・ペーシング等により構内に周知されるが，本工事では施工エリアが複数にわたることから，これに加えて各施工エリアの責任者に携帯電話にて避難指示を行い，図16に示す避難経路により避難する。これらについては，新規入場者教育にて本工事の関係者（作業員含む）に周知される。なお，構内の車両通行規制（避難経路含む）の情報については，1回／週程度で行う連絡会議で作業員に周知する。

12 別添

別添ー1 陸側遮水壁造成後の基礎地盤沈下検討

別添ー2 山側ライン上の埋設物に対する施工時の考慮

別添ー3 海側ライン上の埋設物に対する施工時の考慮

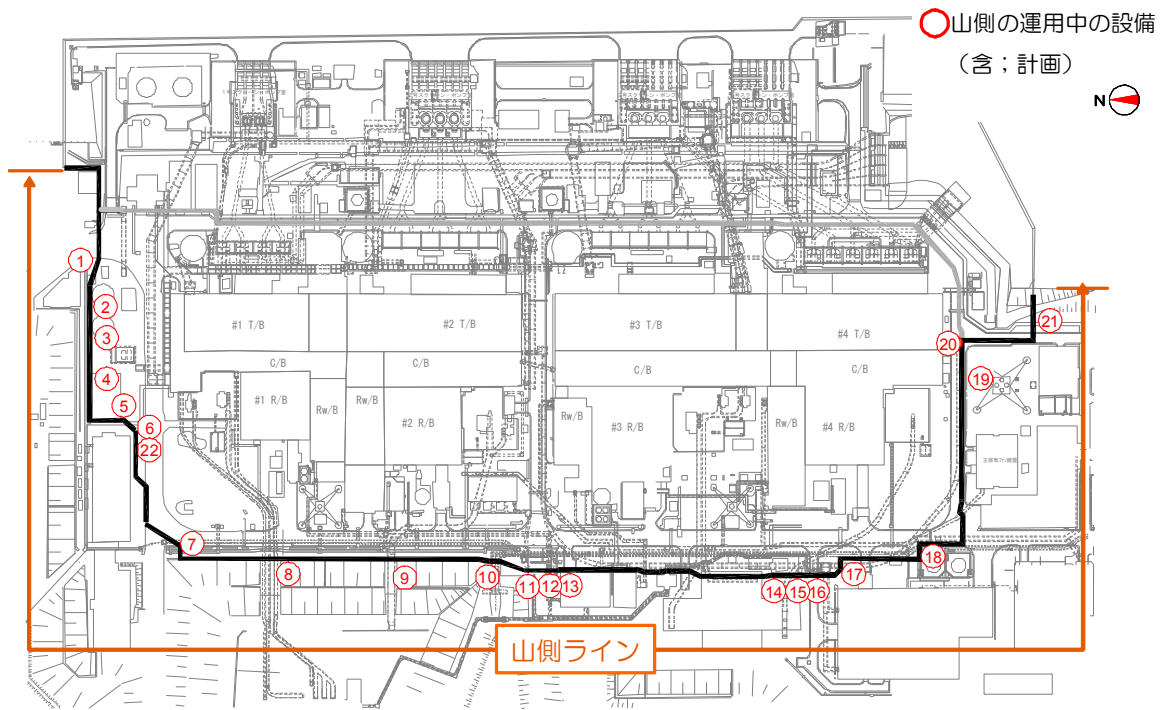


図 7 - 1 主な運用中の設備と陸側遮水壁の横断箇所（既認可）

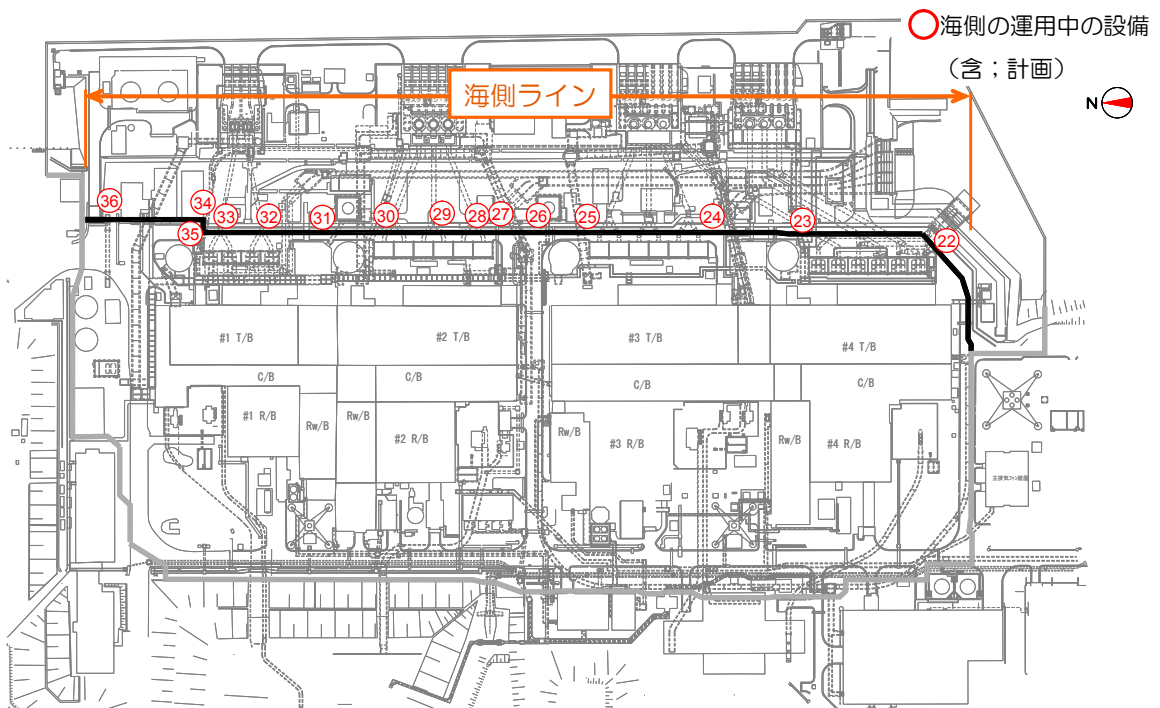


図 7 - 2 主な運用中の設備と陸側遮水壁の横断箇所（今回申請）

表 2-1 主な運用中の設備と陸側遮水壁の横断箇所（既認可）

| 位置番号 (図 7 平面図参照) | 設備名称 注) () 内の数字は表 4 と対応 | 交差位置での状況 | 防護パターン (図 9 参照) |
|---------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|
| ① | (1) 原子炉圧力容器・炉注水ライン※ | 地上 | A |
| ① | (2) 原子炉格納容器内窒素封入ライン | 地上 | A |
| ① | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ① | (5) 電源ケーブル | 地上 | A |
| ① | (6) 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ① | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ② | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ③ | (5) 電源ケーブル | 地上 | A |
| ④ | (1) 原子炉圧力容器・炉注水ライン | 地上 | A |
| ④ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑤ | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ⑥ | (6) 通信用光ケーブル | 地下 | B |
| ⑦ | (2) 原子炉格納容器内窒素封入ライン | 地上 | A |
| ⑦ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑦ | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ⑧ | (6) 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ⑨ | (6) 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ⑩ | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ⑪ | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ⑫ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑬ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑭ | (7) サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ⑮ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑯ | (5) 電源ケーブル | 地上 | A |
| ⑰ | (5) 電源ケーブル | 地上 | A |
| ⑰ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地上 | A |
| ⑱ | (3) 使用済燃料プール冷却ライン | 地下 (K排水路内部) | A |
| ⑲ | (6) 通信用光ケーブル | 地下 | B |
| ⑳ | (4) 滞留水移送ライン | 地上 | C |
| ㉑ | (5) 電源ケーブル | 地上 | A |
| ㉒ | (6) 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ㉓ | (5) 電源ケーブル | 地下 (仮設ケーブルトンネル内部) | A |

※：格納容器ホウ酸水注入ラインは，原子炉圧力容器・炉注水ラインと兼用

合計 32 設備

表 2-2 主な運用中の設備と陸側遮水壁の横断箇所（今回申請）

| 位置番号 (図7-2平面図参照) | 設備名称 注) () 内の数字は表4-2と対応 | | 交差位置での状況 | 防護パターン (図9参照) |
|---------------------|-----------------------------|-----------------|----------|------------------|
| ㉒ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉓ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉔ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉕ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉖ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉗ | (4) | 滞溜水移送ライン | 地上 | D |
| ㉘ | (6) | 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ㉙ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉚ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉛ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉜ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉝ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉞ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㉟ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㊱ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㊲ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㊳ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㊴ | (8) | 雨水排水ライン | 地下 | B |
| ㊵ | (7) | サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |
| ㊶ | (2) | 原子炉格納容器内窒素封入ライン | 地上 | A |
| ㊷ | (5) | 電源ケーブル | 地上 | A |
| ㊸ | (6) | 通信用光ケーブル | 地上 | A |
| ㊹ | (7) | サブドレン他水処理施設ライン | 地上 | A |

合計 19 設備

本対策については、今後の現場調査により変更の可能性があるとともに、新規設置設備が発生した際も、現場環境により同様の対策を実施する。



図8 運用中の設備の損傷防止策（注意喚起の表示（例））

表3-1 運用中の設備の防護パターン（既認可）

| 防護パターン | 施工内容 |
|--------|---|
| A | 地上部で陸側遮水壁ラインを横断・近接する運用中設備について、必要に応じて移動・結束などを行い整理し、単管・足場板等を用いて、作業区域との区画分けを行い防護する。 |
| B | 地下部で陸側遮水壁ラインを横断・近接する運用中設備について、試掘(G.L.-2m)により埋設位置を確認し、埋設後は地上部に注意喚起表示を行う。 |
| C | 陸側遮水壁ラインを横断・近接する滞留水移送ラインについては、地上で確認できるコンクリート製の堅固な防護が施されており、仮にコンクリート構造物に接触しても滞留水移送ラインを傷つけることはない。 |

表3-2 運用中の設備の防護パターン（今回申請）

| 防護パターン | 施工内容 |
|--------|--|
| D | 陸側遮水壁ラインを横断・近接する滞留水移送ラインについては、地上で確認できる鋼製の堅固な防護が施されており、仮に鋼製構造物に接触しても滞留水移送ラインを傷つけることはない。 |

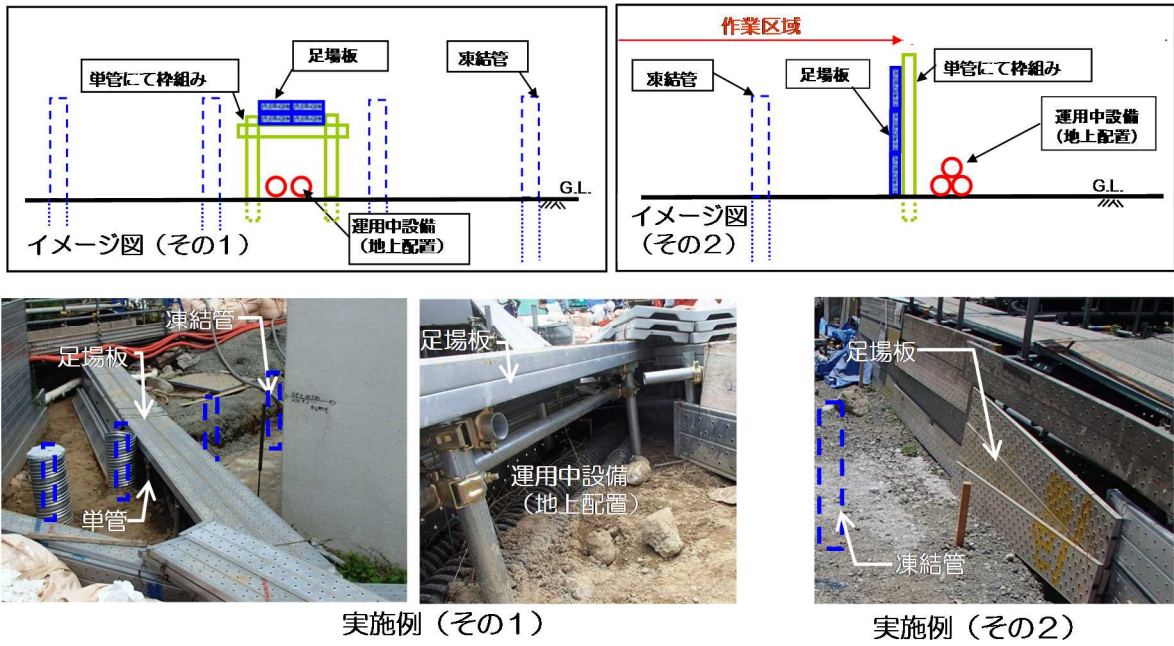


図 9-1 運用中の設備の防護パターンA (既認可)

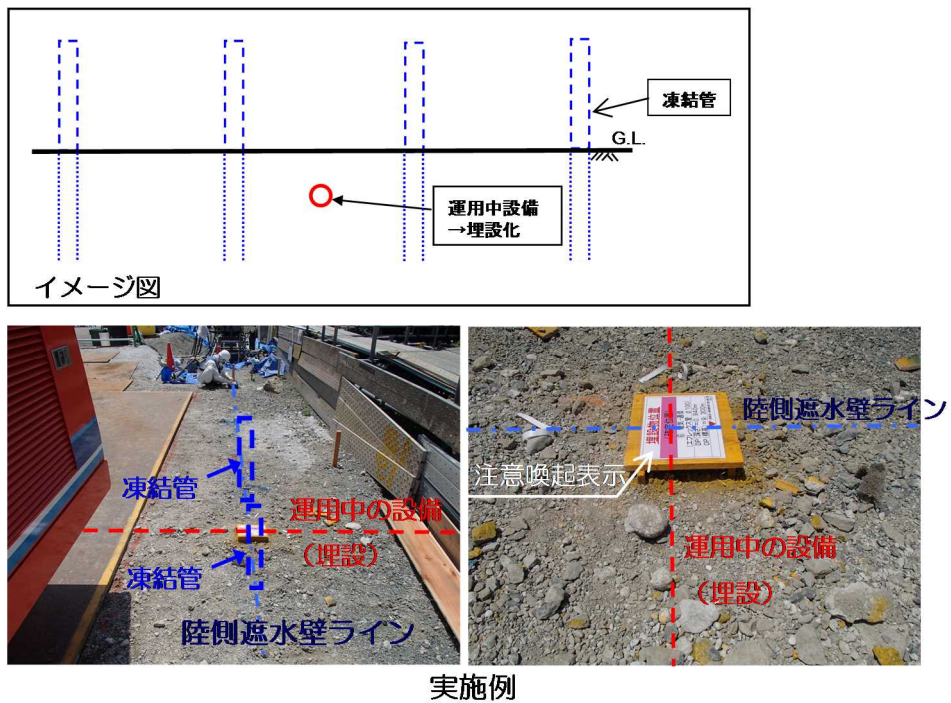
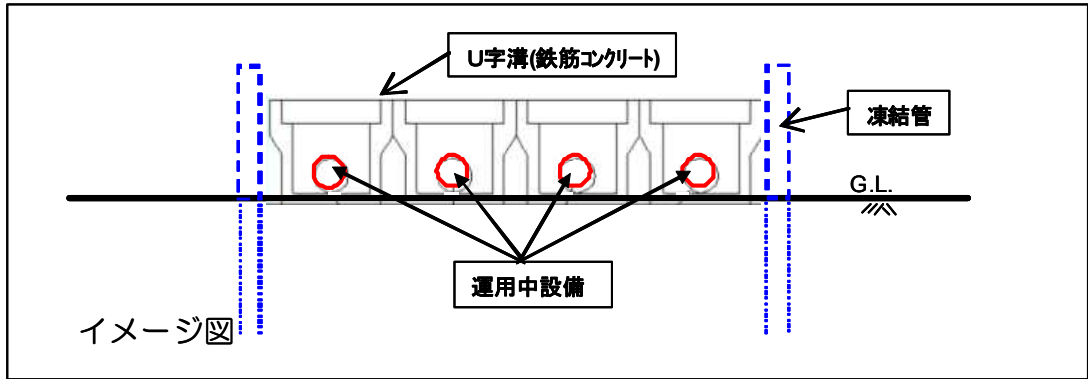
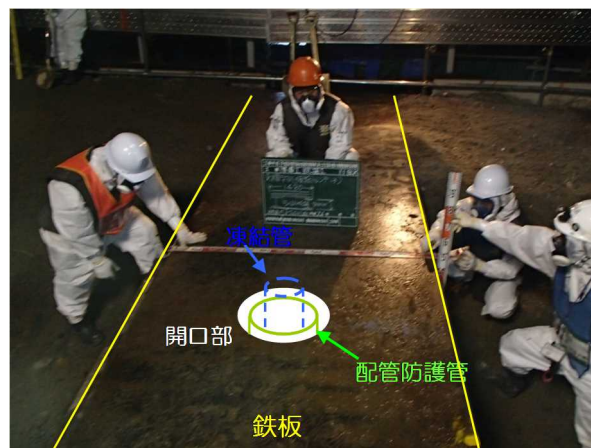
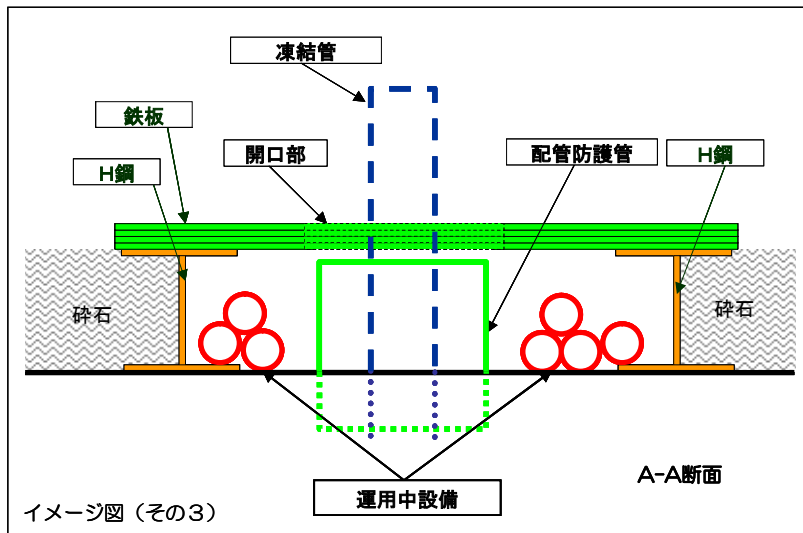
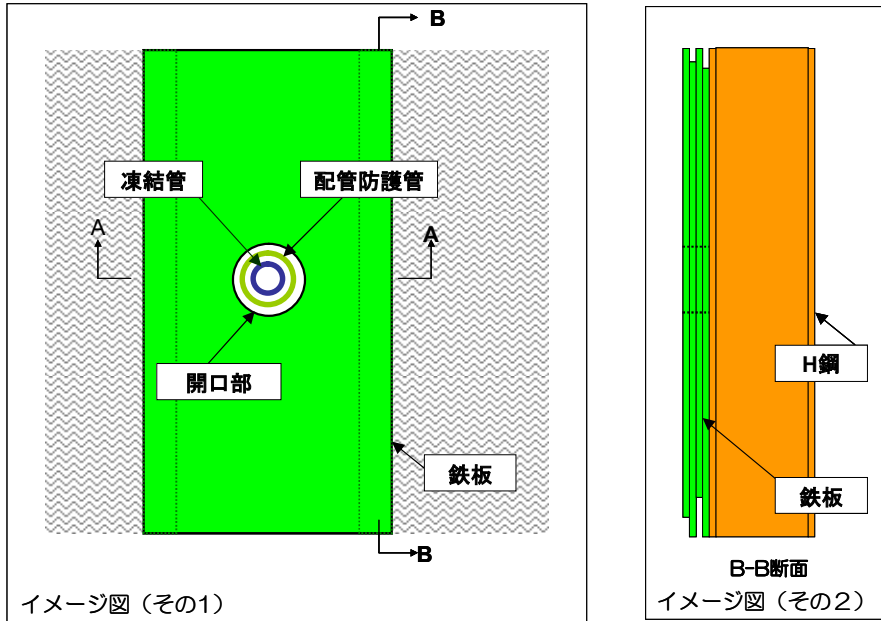


図 9-2 運用中の設備の防護パターンB (既認可)



実施例

図 9 - 3 運用中の設備の防護パターンC (既認可)



実施例

図9-4 運用中の設備の防護パターンD (今回申請)

表 4-1 運用中の設備が損傷した場合の対応（既認可）

| | 設備名称 | 損傷した場合の対応 |
|-----|-----------------------------------|--|
| (1) | 原子炉圧力容器・炉注水ライン (格納容器ホウ酸水注入ライン) | <ul style="list-style-type: none"> ・「Ⅱ 2 特定原子炉施設の構造及び設備, 工事の計画」に準じて適切に対応する。 |
| (2) | 原子炉格納容器内窒素封入ライン | |
| (3) | 使用済燃料プール冷却ライン | |
| (4) | 滞留水移送ライン | <ul style="list-style-type: none"> ・「Ⅱ 2 特定原子炉施設の構造及び設備, 工事の計画」に準じて適切に対応する。 ・陸側遮水壁ラインを横断・近接する滞留水移送ラインについては, 地上で確認できるコンクリート製の堅固な防護が施されており, 仮にコンクリート構造物に接触しても滞留水移送ラインを傷つけることはない。 |
| (5) | 電源ケーブル | <ul style="list-style-type: none"> ・速やかに損傷の影響を判断して, 代替手段を検討・実行するとともに, 損傷箇所を復旧する。 |
| (6) | 通信用光ケーブル | |
| (7) | サブドレン他水処理施設ライン | |

表 4-2 運用中の設備が損傷した場合の対応（今回申請）

| | 設備名称 | 損傷した場合の対応 |
|-----|-----------------|---|
| (2) | 原子炉格納容器内窒素封入ライン | <ul style="list-style-type: none"> ・「Ⅱ 2 特定原子炉施設の構造及び設備, 工事の計画」に準じて適切に対応する。 |
| (4) | 滞留水移送ライン | <ul style="list-style-type: none"> ・「Ⅱ 2 特定原子炉施設の構造及び設備, 工事の計画」に準じて適切に対応する。 ・陸側遮水壁ラインを横断・近接する滞留水移送ラインについては, 地上で確認できる鋼製の堅固な防護が施されており, 仮に鋼製構造物に接触しても滞留水移送ラインを傷つけることはない。 |
| (5) | 電源ケーブル | <ul style="list-style-type: none"> ・速やかに損傷の影響を判断して, 代替手段を検討・実行するとともに, 損傷箇所を復旧する。 |
| (6) | 通信用光ケーブル | |
| (7) | サブドレン他水処理施設ライン | |
| (8) | 雨水排水ライン | <ul style="list-style-type: none"> ・陸側遮水壁ラインを横断・近接する雨水排水ラインについては, コンクリート製の堅固な防護が施されており, 仮にコンクリート構造物に接触しても雨水排水ラインを傷つけることはない。 |

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への
読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

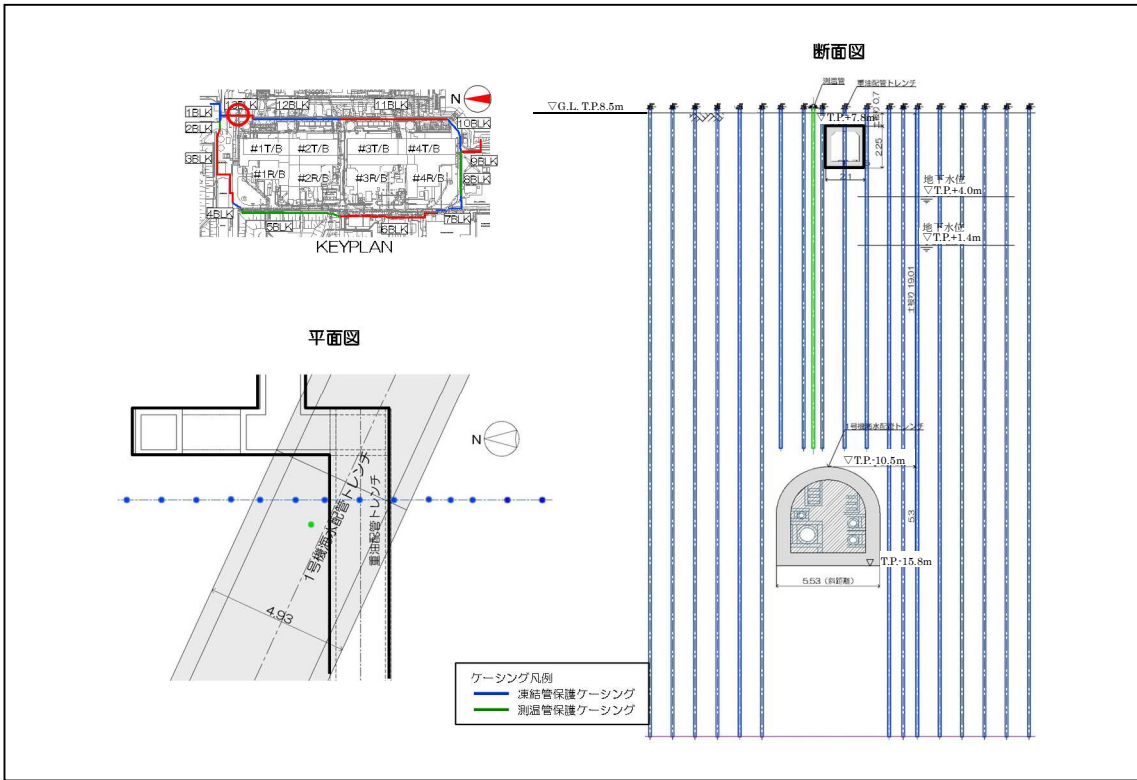


図 10-1 1号機海水配管トレンチ部 施工平面図・断面図

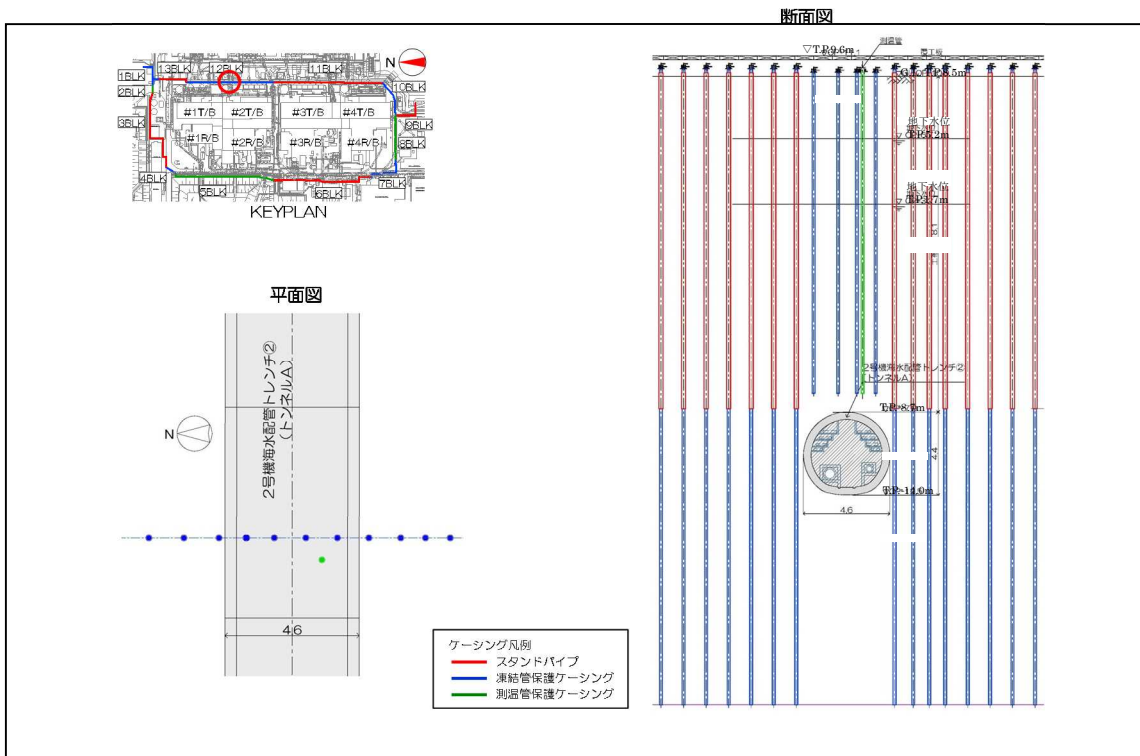


図 10-2 2号機海水配管トレンチトンネルA部 施工平面図・断面図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

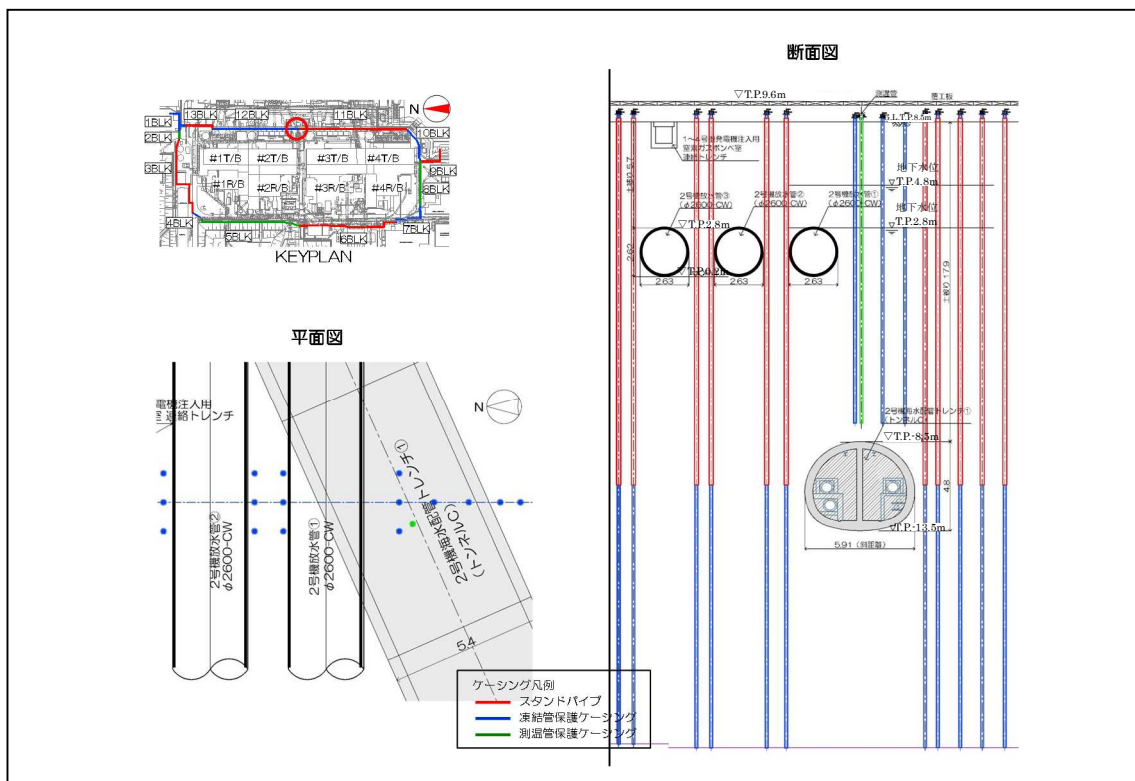


図10-3 2号機海水配管トレンチトンネルC部 施工平面図・断面図

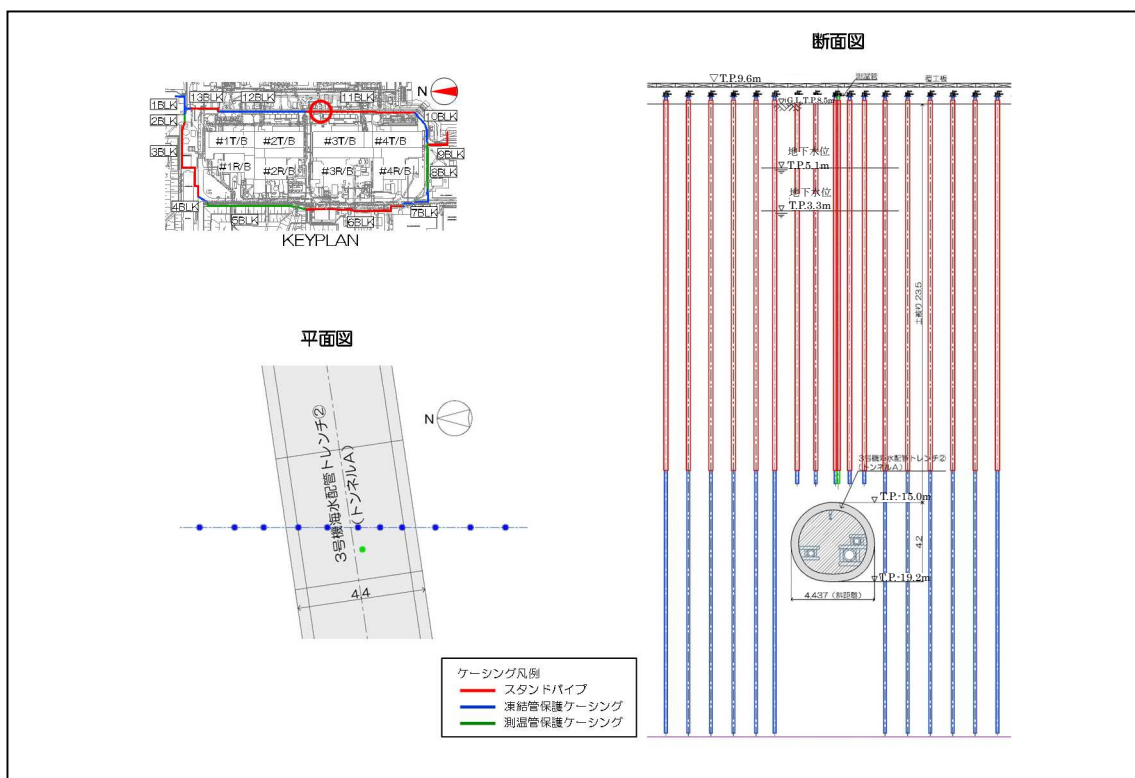


図10-4 3号機海水配管トレンチトンネルA部 施工平面図・断面図

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への
読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

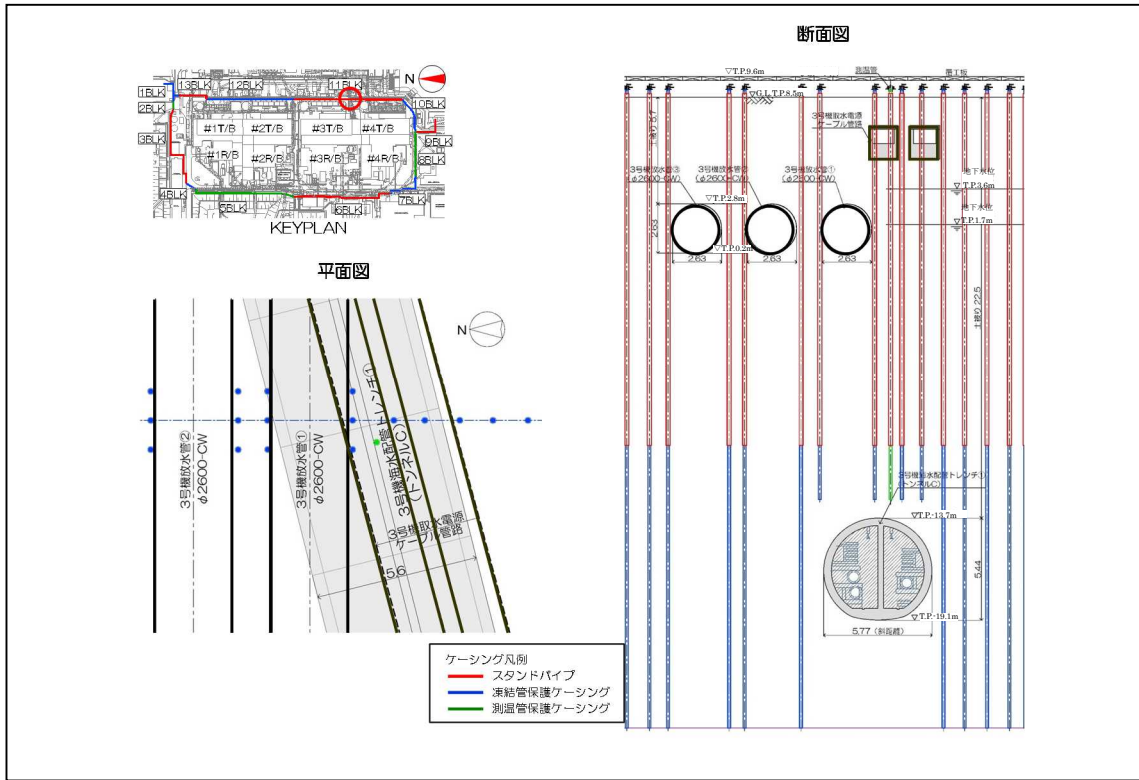


図 10-5 3号機海水配管トレンチトンネルC部 施工平面図・断面図

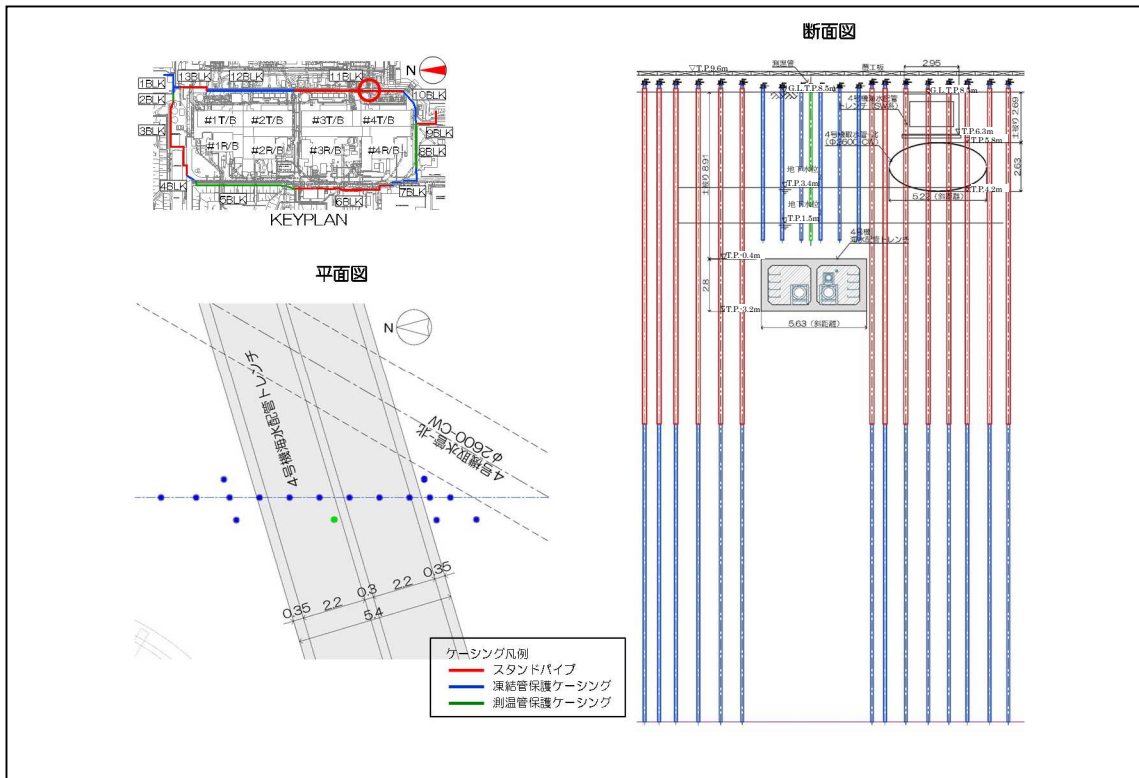


図 10-6 4号機海水配管トレンチ部 施工平面図・断面図

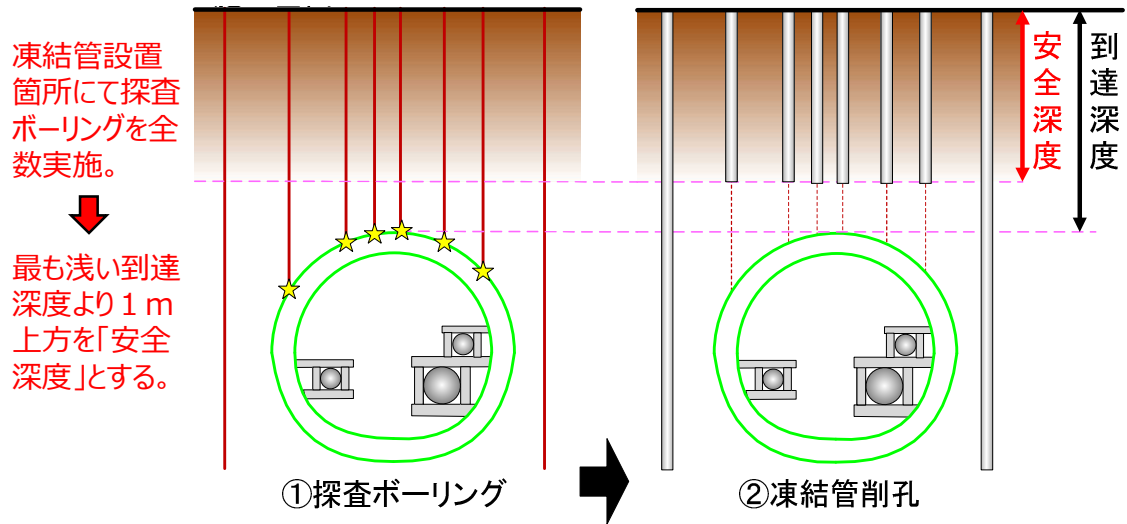


図10-7 海水配管トレンチ上部 削孔深度の決定方法

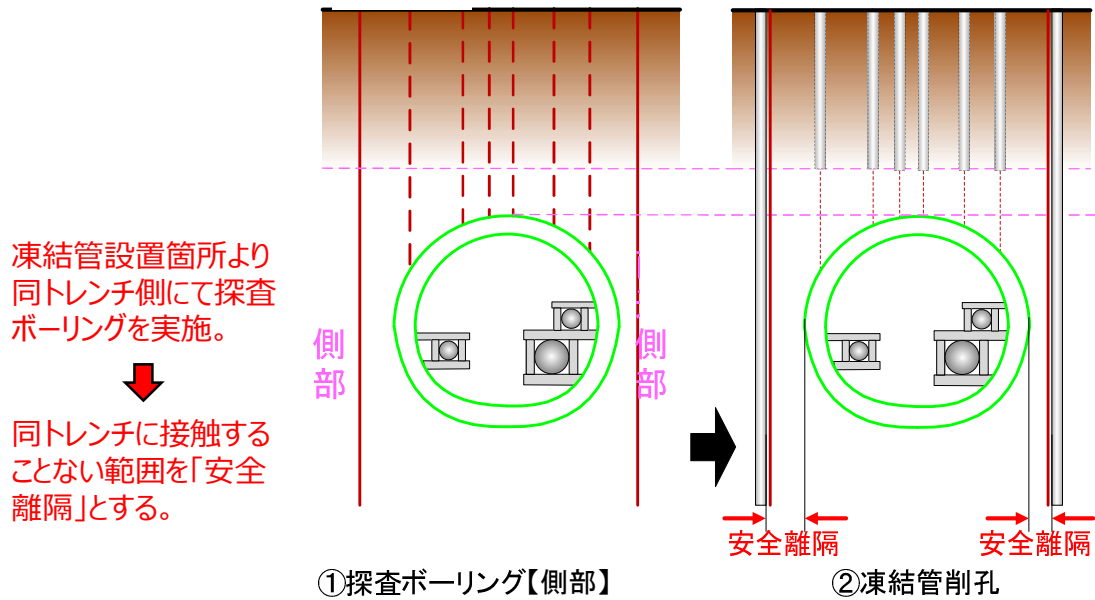


図10-8 海水配管トレンチ側部 削孔位置の決定方法

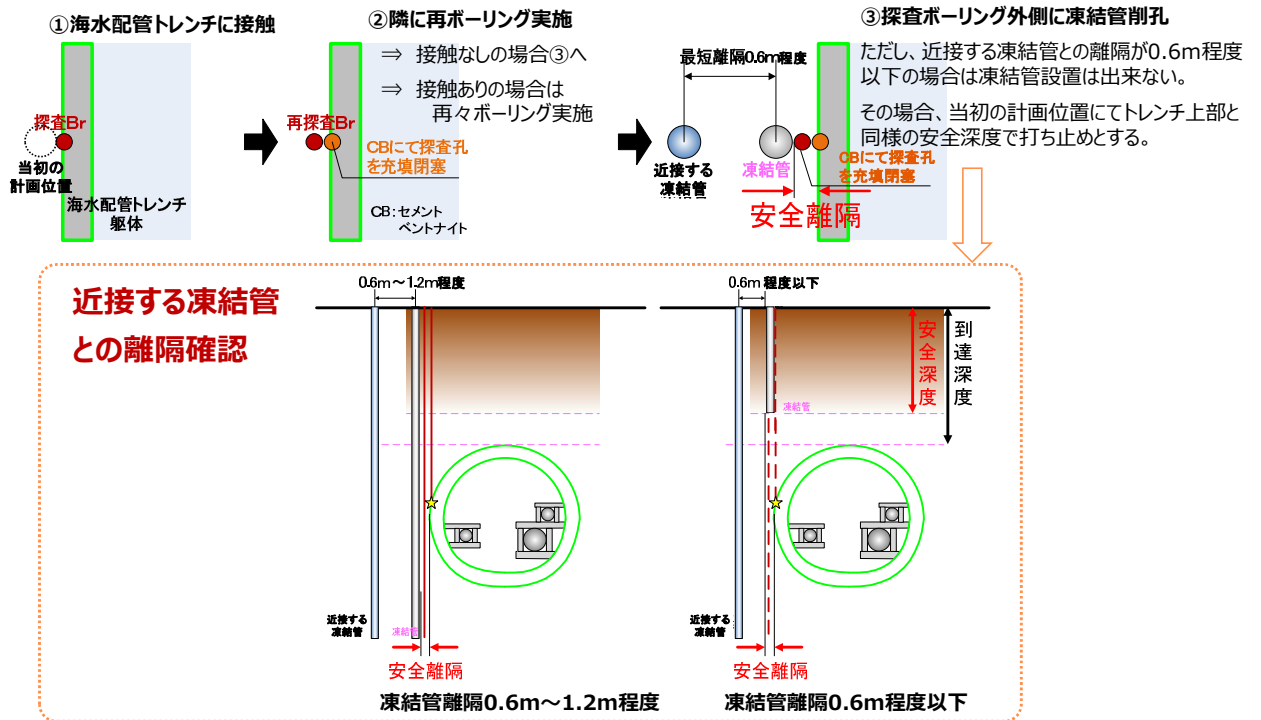
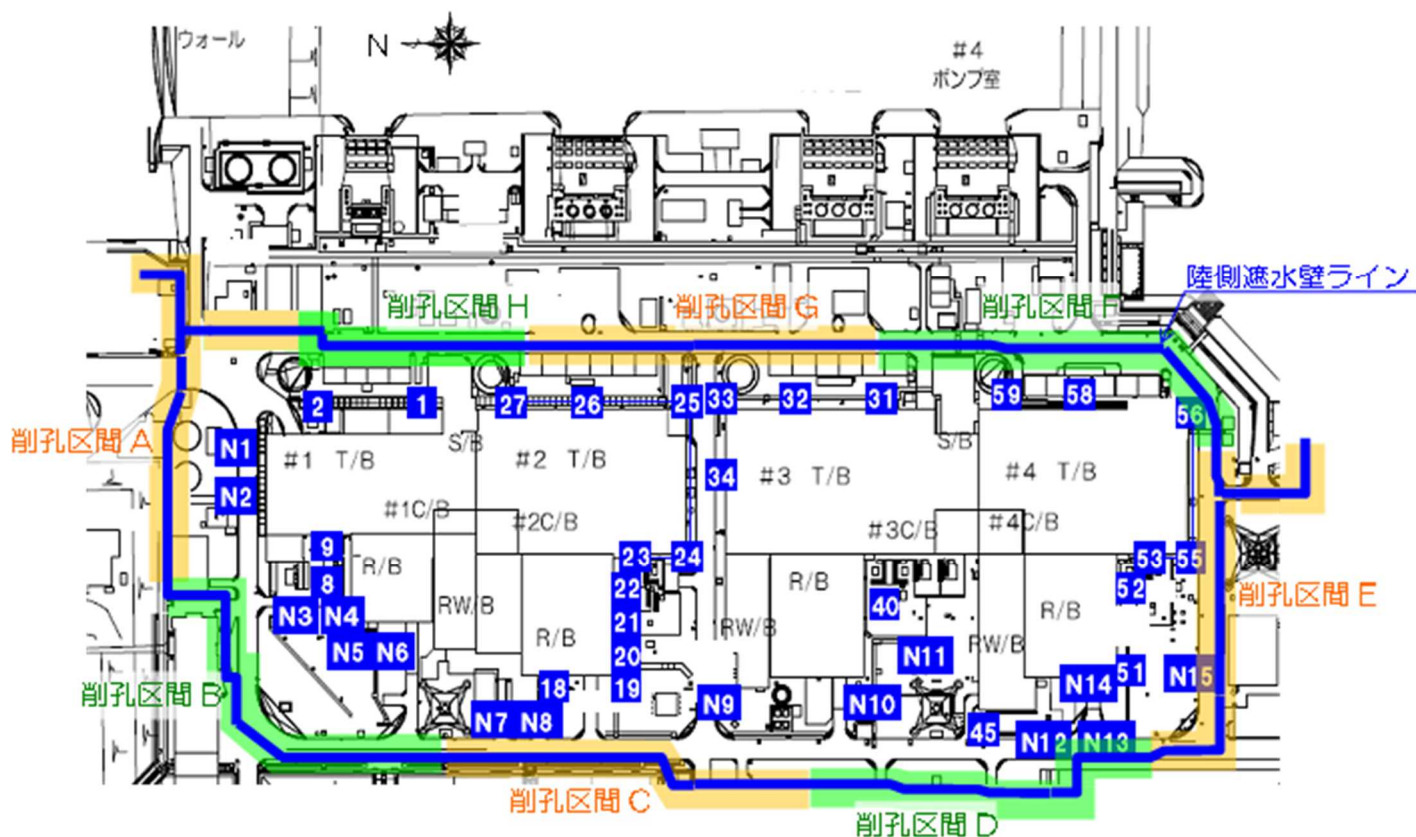


図 10-9 探査ボーリングにて海水配管トレンチに接触する場合の対応



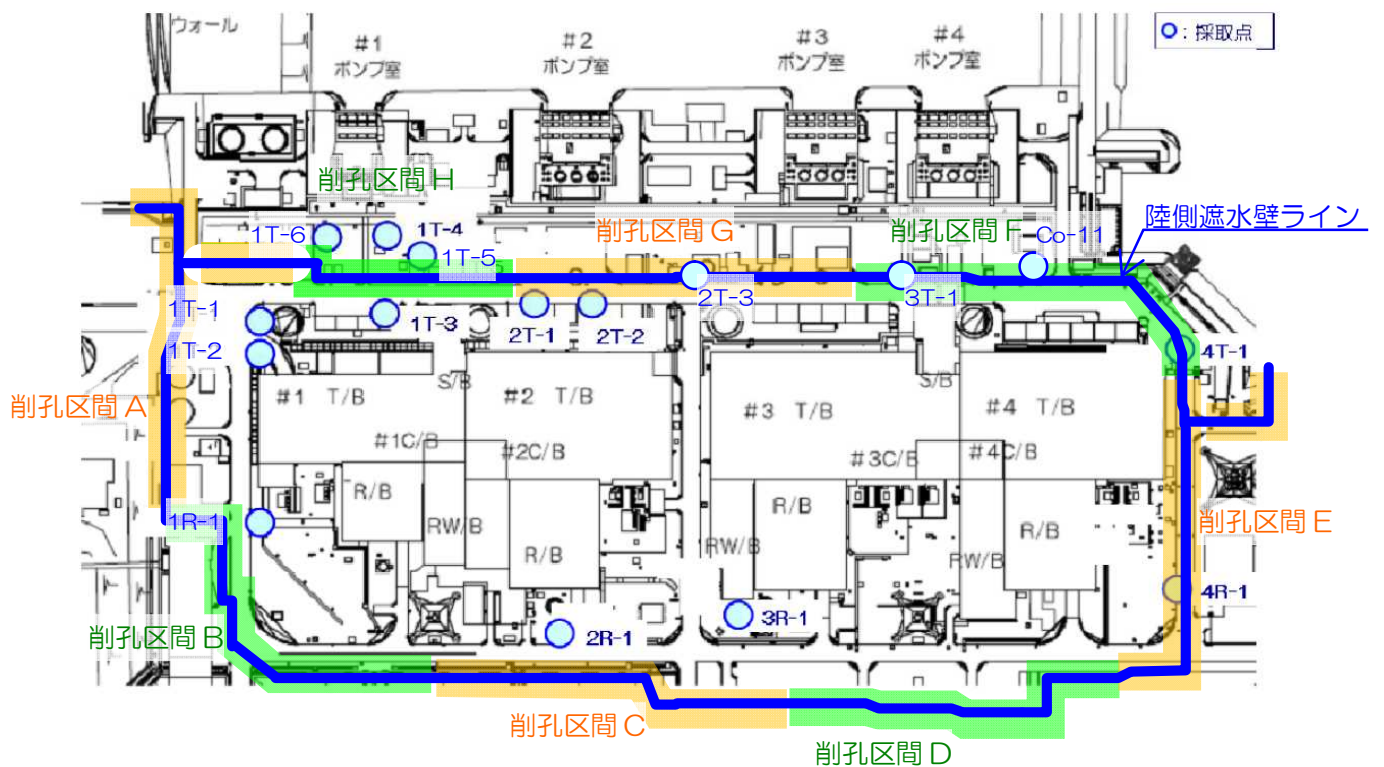
| 建屋 | ピット | セシウム 134 | セシウム 137 | 全β | トリチウム | 採取日 |
|-----|-----|----------|----------|--------|---------|-----------|
| 1号機 | 1 | 21 | 76 | 81 | 45,000 | H26 10/22 |
| | 2 | ND(8.4) | 6.9 | ND(17) | 640 | H26 10/22 |
| | 8 | 59 | 240 | 320 | 2,100 | H26 10/22 |
| | 9 | 42 | 160 | 240 | 1,400 | H26 10/22 |
| | 18 | 3,800 | 14,000 | 17,000 | 1,100 | H27 1/8 |
| 2号機 | 19 | 1,600 | 6,200 | 7,300 | 1,800 | H27 1/8 |
| | 20 | ND(13) | 20 | 60 | 1,500 | H27 1/8 |
| | 21 | 15 | 60 | 100 | 1,500 | H26 10/22 |
| | 22 | 44 | 140 | 220 | 650 | H26 10/22 |
| | 23 | ND(8.4) | 23 | 67 | 790 | H26 10/22 |
| | 24 | 100 | 280 | 350 | 530 | H26 10/22 |
| | 25 | 38 | 140 | 250 | 480 | H26 10/22 |
| | 26 | 37 | 150 | 270 | ND(120) | H26 10/22 |
| 3号機 | 27 | 50 | 140 | 220 | ND(120) | H26 10/22 |
| | 31 | 200 | 590 | 1,000 | 300 | H26 10/22 |
| | 32 | ND(9.4) | 5.9 | ND(17) | ND(120) | H26 10/22 |
| | 33 | 13 | 43 | 65 | 390 | H26 10/22 |
| 4号機 | 34 | 63 | 180 | 290 | 690 | H26 10/22 |
| | 40 | 3,500 | 11,000 | 16,000 | 500 | H26 10/22 |
| | 45 | ND(12) | ND(19) | ND(16) | ND(110) | H26 10/17 |
| | 51 | ND(12) | ND(20) | 21 | 760 | H26 10/17 |
| | 52 | ND(9.4) | ND(6.8) | ND(17) | 210 | H26 10/22 |

| 建屋 | ピット | セシウム 134 | セシウム 137 | 全β | トリチウム | 採取日 | |
|----------------|-----|----------|----------|---------|--------|---------|-----------|
| サブドレン 既設ピット | 4号機 | 53 | ND(8.1) | ND(6.2) | ND(17) | ND(120) | H26 10/22 |
| | | 55 | ND(7.2) | ND(6.2) | ND(17) | 170 | H26 10/22 |
| | | 56 | ND(9.4) | ND(5.9) | ND(17) | 290 | H26 10/22 |
| | | 58 | ND(8.5) | 37 | 30 | 140 | H26 10/22 |
| | | 59 | ND(8.4) | 12 | ND(17) | 130 | H26 10/22 |
| サブドレン 新設ピット | 1号機 | N1 | ND(6.5) | ND(6.2) | ND(17) | ND(110) | H26 10/22 |
| | | N2 | ND(6.7) | ND(5.9) | ND(17) | 110 | H26 10/22 |
| | | N3 | ND(8.5) | ND(7.2) | ND(17) | 260 | H26 10/22 |
| | | N4 | ND(7.6) | 9.0 | 69 | 210 | H26 10/22 |
| | | N5 | ND(7.2) | ND(6.2) | ND(17) | 240 | H26 10/22 |
| | | N6 | ND(7.3) | ND(6.8) | ND(17) | ND(110) | H26 10/22 |
| | 2号機 | N7 | ND(5.5) | ND(6.2) | ND(17) | 150 | H26 10/22 |
| | | N8 | ND(11) | ND(17) | ND(16) | ND(100) | H27 1/8 |
| | 3号機 | N9 | ND(9.4) | ND(7.1) | ND(16) | 490 | H26 10/22 |
| | | N10 | ND(11) | ND(17) | 20 | ND(110) | H26 10/17 |
| | | N11 | ND(11) | ND(16) | 16 | 120 | H26 10/17 |
| | 4号機 | N12 | ND(12) | ND(19) | ND(16) | 150 | H26 10/17 |
| | | N13 | ND(11) | ND(17) | ND(16) | 410 | H26 10/17 |
| | | N14 | ND(13) | ND(19) | ND(16) | 12,000 | H26 10/17 |
| | | N15 | ND(7.6) | ND(8.0) | ND(17) | ND(110) | H26 10/22 |

単位：ベクレル/リットル

注) 「ND」は検出限界値未満を表し、()内に検出限界値を示す。

図 1 1 - 1 1～4号機サブドレンピットの放射性物質濃度



単位: Bq/L

| | 観測井 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 建屋海側 | | | | | | 建屋山側 | | | | | | | | | |
| | 1号機 | | 2号機 | | 3号機 | | 4号機 | | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 4号機 |
| | 1T-1 | 1T-2 | 1T-3 | 1T-4 | 1T-5 | 1T-6 | 2T-1 | 2T-2 | 2T-3 | 3T-1 | 4T-1 | Co-11 | 1R-1 | 2R-1 | 3R-1 | 4R-1 |
| 採取日 | 平成23年9月5日 | 平成23年9月19日 | 平成23年9月5日 | 平成23年10月11日 | 平成23年10月11日 | 平成23年12月2日 | 平成23年9月11日 | 平成23年9月11日 | 平成23年7月1日 | 平成23年7月1日 | 平成23年9月9日 | 平成23年10月21日 | 平成23年9月5日 | 平成23年9月3日 | 平成23年9月23日 | 平成23年9月18日 |
| Cs-134 (約2年) | ND(0.37) | ND(0.38) | ND(0.54) | ND(0.67) | ND(0.73) | ND(0.82) | ND(0.36) | ND(0.47) | ND(0.35) | 1.5 | ND(0.38) | ND(0.29) | 0.64 | ND(0.55) | ND(0.43) | ND(0.46) |
| Cs-137 (約30年) | ND(0.47) | ND(0.45) | ND(0.52) | ND(0.74) | 0.98 | ND(0.84) | 0.66 | ND(0.60) | ND(0.43) | 3.3 | ND(0.44) | 0.41 | 1.3 | 0.97 | ND(0.58) | ND(0.59) |
| 全β | ND(21) | ND(18) | ND(21) | 8,500 | 5,000 | 13,000 | ND(24) | 830 | 550 | 42 | ND(17) | ND(15) | ND(21) | 36 | ND(17) | ND(18) |
| H-3 (約12年) | 200 | 200 | 80,000 | 12,000 | 2,500 | 3,300 | 20,000 | 770 | 740 | 1,700 | 1,800 | ND(112) | 150 | 31 | 1,100 | ND(7) |
| Sr-90 (約29年) | 0.90 | 1.3 | 1.1 | — | — | 8,700 | 0.36 | 740 | — | — | ND(0.28) | — | 0.46 | 2.4 | ND(0.26) | ND(0.28) |

注1) NDは検出限界値未満を表し、()内に検出限界値を示す。

注2) 測定対象外の項目は「—」と記す。

図 1 1 - 2 1 ~ 4 号機建屋周辺観測井の放射性物質濃度

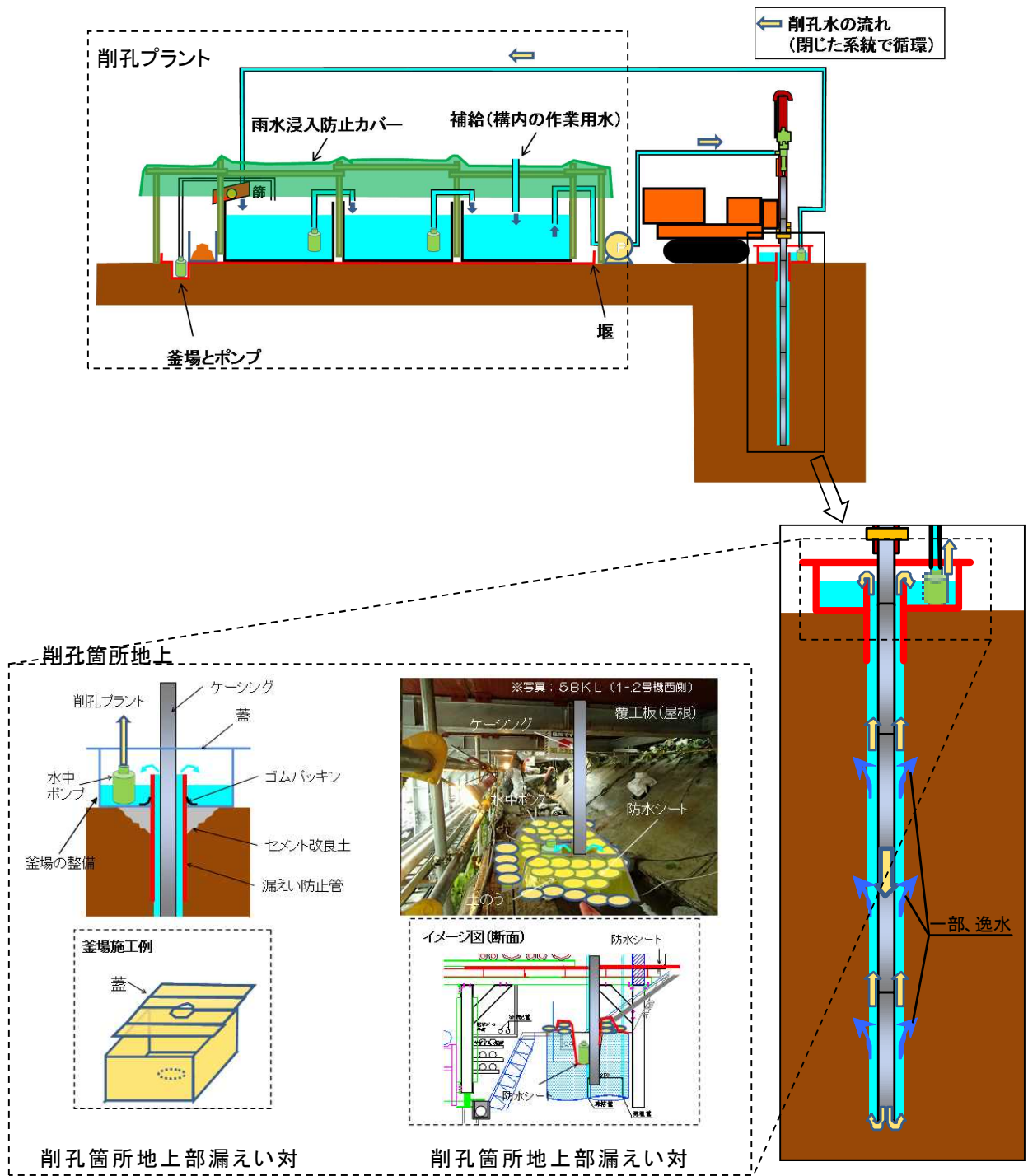


図 1 2 - 1 削孔水の漏えい対策イメージ (既認可)

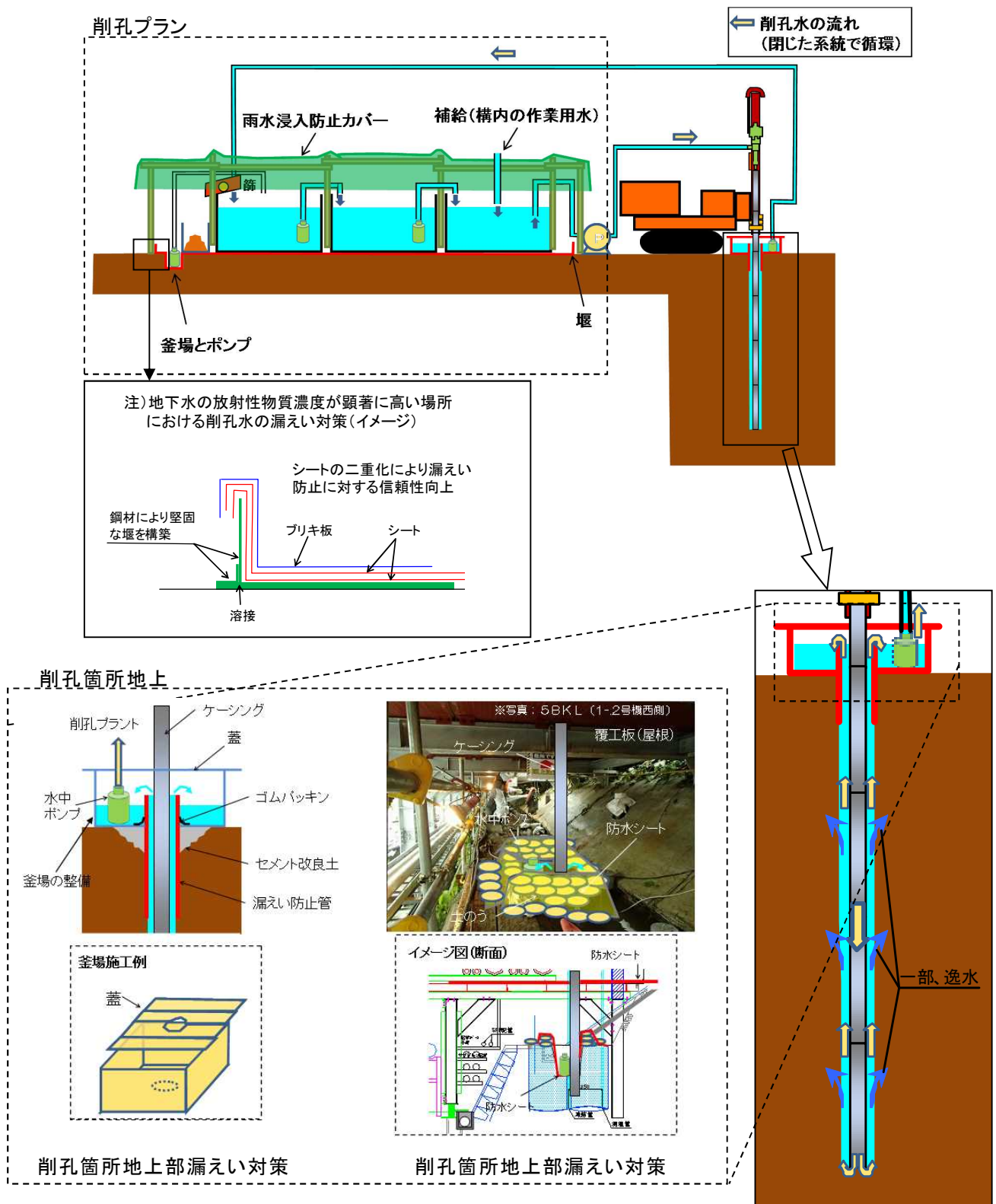


図12-2 削孔水の漏えい対策イメージ (今回申請)

表5 各削孔区間の放射性物質濃度レベル

単位：Bq/L（桁数オーダー表示）

| 削孔区間 | 対象サブドレンピット※ 対象観測井※ | Cs-134 | Cs-137 | 全β | H-3 |
|------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| A | N1, N2 1T-1 | ND | ND | ND | ND~10 ² |
| B | N3, N4, N5, N6 1R-1 | ND | ND~10 ⁰ | ND~10 ¹ | ND~10 ² |
| C | N7, N8, N9 2R-1, 3R-1 | ND | ND | ND~10 ¹ | ND~10 ³ |
| D | 45, N10, N11, N12, N13 | ND | ND | ND~10 ¹ | ND~10 ² |
| E | 55, N15 4R-1 | ND | ND | ND~10 ¹ | ND~10 ² |
| F | 31, 56, 58, 59 3T-1, 4T-1, Co-11 | ND~10 ² | ND~10 ² | ND~10 ³ | ND~10 ³ |
| G | 25, 26, 32, 33 2T-1, 2T-2, 2T-3 | ND~10 ¹ | ND~10 ² | ND~10 ² | ND~10 ⁴ |
| H | 2, 27 1T-3, 1T-4, 1T-5, 1T-6 | ND~10 ¹ | ND~10 ² | ND~10 ⁴ | ND~10 ⁴ |

※ 陸側遮水壁ラインに近いサブドレンピット・観測井として選択

注1) 各削孔区間の放射性物質濃度の最大値に着目し、相対的に低いレベルから網掛なし・緑・黄・橙・赤で表示

注2) 海側の削孔区間については、陸側遮水壁ライン近傍のデータを充実することを目的とした事前の地下水質調査（Co-11）を実施し、同結果により放射性物質濃度レベルを確認した。

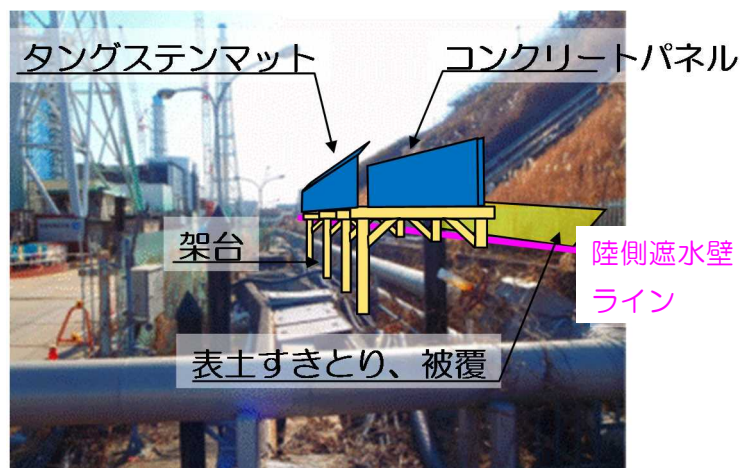
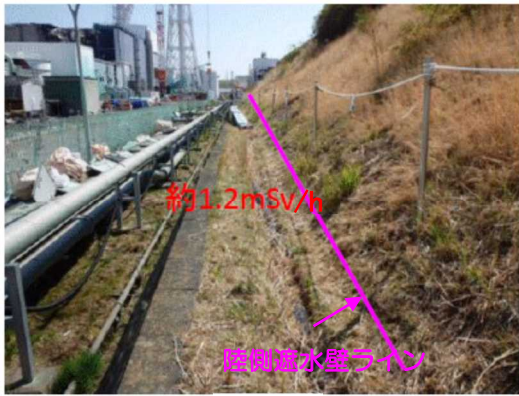


図 1 3 - 1 被ばく線量低減対策実施例 1 (既認可)

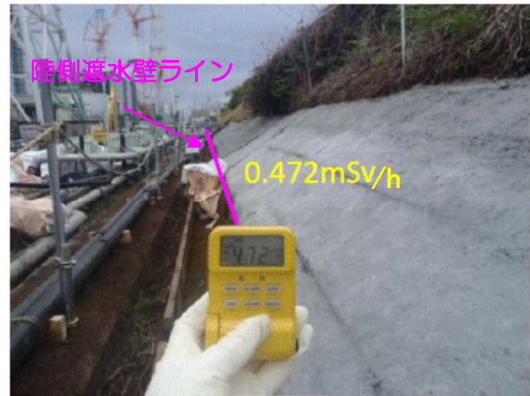


1・2号原子炉建屋西側斜面において、飛散ガレキの除去を実施した。

図 1 3 - 2 被ばく線量低減対策実施例 2 (既認可)



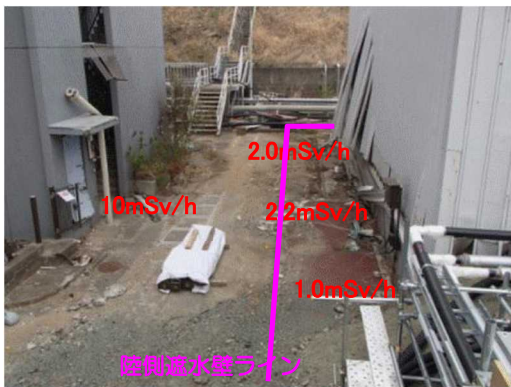
対策前



対策後

1号機原子炉建屋山側で、被ばく線量低減対策（側溝清掃，表土すきとり，被覆）を実施し，簡易放射線測定器*で測定した結果，空間線量率は半分以下に低減した。
 ※「特定原子力施設に係わる実施計画 Ⅲ特定原子炉施設の保安 第61条」に記載された放射線測定器以外の放射線測定器を使用

図13-3 被ばく線量低減対策実施例3（既認可）



対策前



対策後

1号機原子炉建屋北側 旧事務本館前で、被ばく線量低減対策（表土除去，砂利敷き，擁壁設置）を実施し，簡易放射線測定器*で測定した結果，空間線量率は大幅に低減した。
 ※「特定原子力施設に係わる実施計画 Ⅲ特定原子炉施設の保安 第61条」に記載された放射線測定器以外の放射線測定器を使用

図13-4 被ばく線量低減対策実施例4（既認可）



作業待ち時間中の被ばく低減のため、一時退避できる遮へいボックスを設置。

図 1 3 - 5 被ばく線量低減対策実施例 5 (既認可)



対策前



対策後

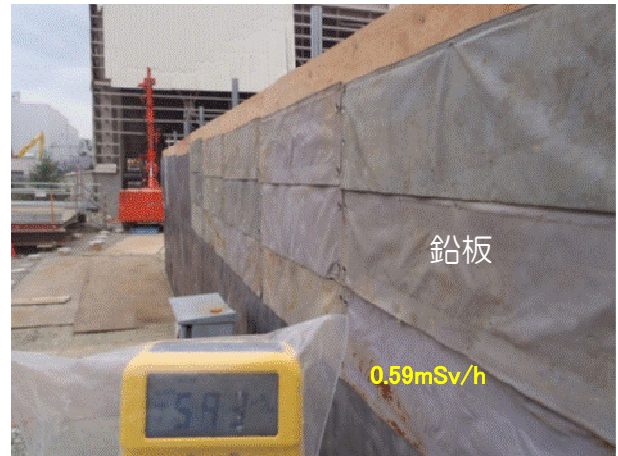
2号機原子炉建屋山側で、被ばく線量低減対策（鉛板設置）を実施し、簡易放射線測定器*で測定した結果、空間線量率は半分以下に低減した。

※「特定原子力施設に係わる実施計画 Ⅲ特定原子炉施設の保安 第61条」に記載された放射線測定器以外の放射線測定器を使用

図 1 3 - 6 被ばく線量低減対策実施例 6 (既認可)



対策前



対策後

3号機原子炉建屋山側で、被ばく線量低減対策（鉛板設置）を実施し、簡易放射線測定器*で測定した結果、空間線量率は半分程度に低減した。

※「特定原子力施設に係わる実施計画 Ⅲ特定原子炉施設の保安 第61条」に記載された放射線測定器以外の放射線測定器を使用

図13-7 被ばく線量低減対策実施例7（今回申請）



対策前

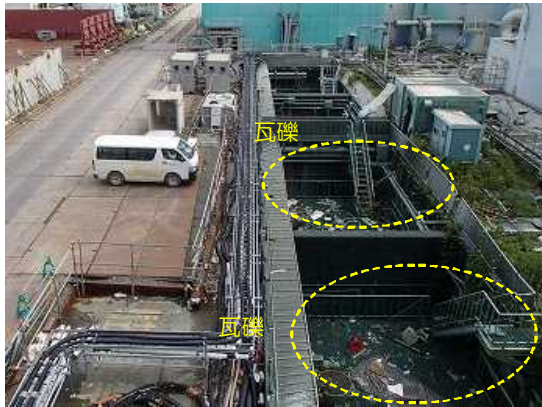


対策後

3号機原子炉建屋山側で、被ばく線量低減対策（擁壁設置）を実施し、簡易放射線測定器*で測定した結果、空間線量率は大幅に低減した。

※「特定原子力施設に係わる実施計画 Ⅲ特定原子炉施設の保安 第61条」に記載された放射線測定器以外の放射線測定器を使用

図13-8 被ばく線量低減対策実施例8（今回申請）



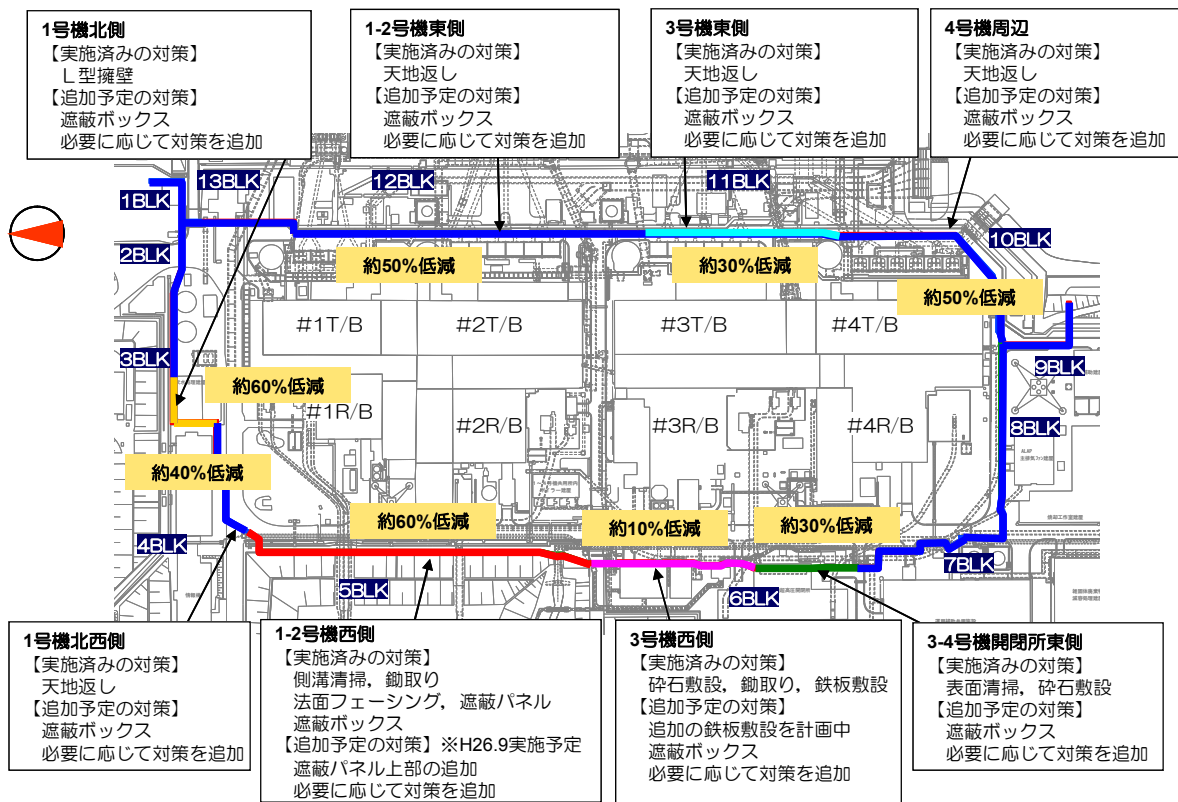
対策前



対策後

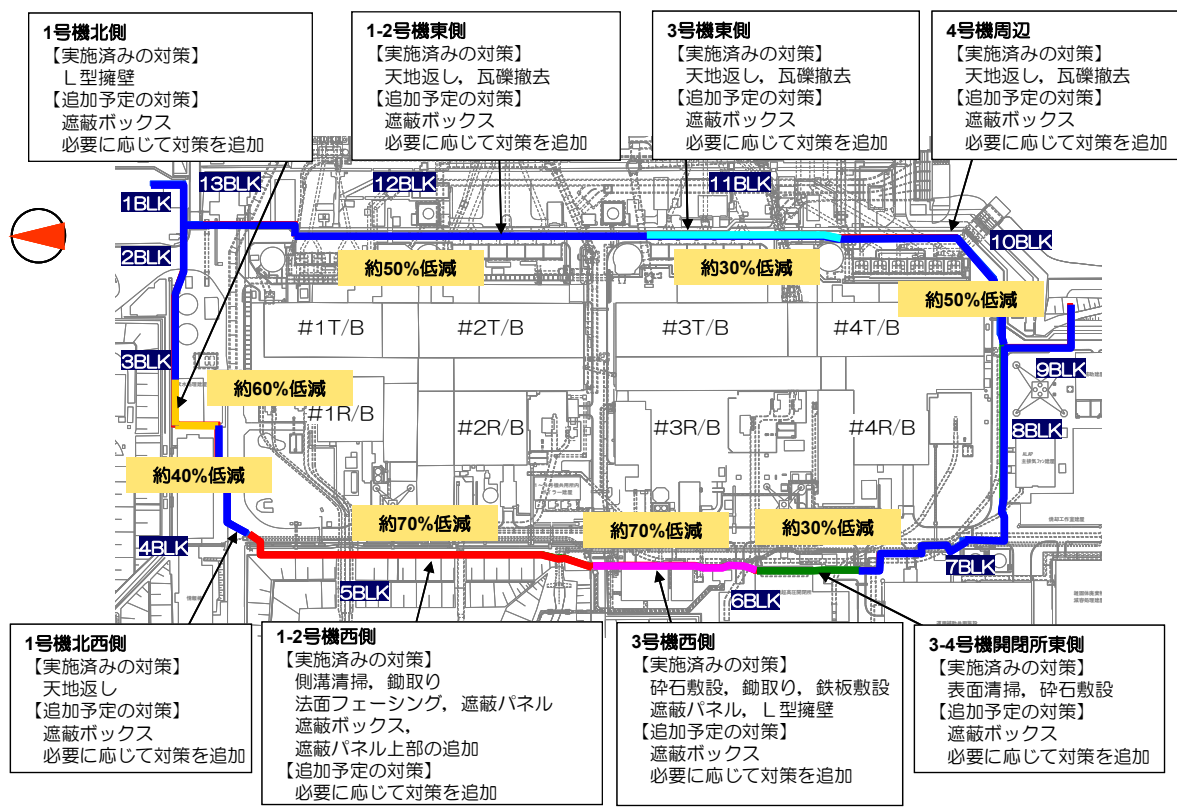
タービン建屋海側で、被ばく線量低減対策（瓦礫撤去）を実施した。
（写真は1号機タービン建屋海側）

図13-9 被ばく線量低減対策実施例9（今回申請）



注1) ■内は、作業エリア付近における代表測点の空間線量率の平均値を用いて、対策前に対する対策後の空間線量率の低減量を示している。
 注2) 3号機西側の低減量は、対策工の施工途中における測定結果を用いているため、再度、測定を予定している。

図 1 3 - 1 0 被ばく線量低減対策の実施状況 (既認可)



注) ■内は、作業エリア付近における代表測点の空間線量率の平均値を用いて、対策前に対する対策後の空間線量率の低減量を示している。

図 1 3 - 1 1 被ばく線量低減対策の実施状況 (今回申請)



図 1 4 遮蔽ベスト着用例

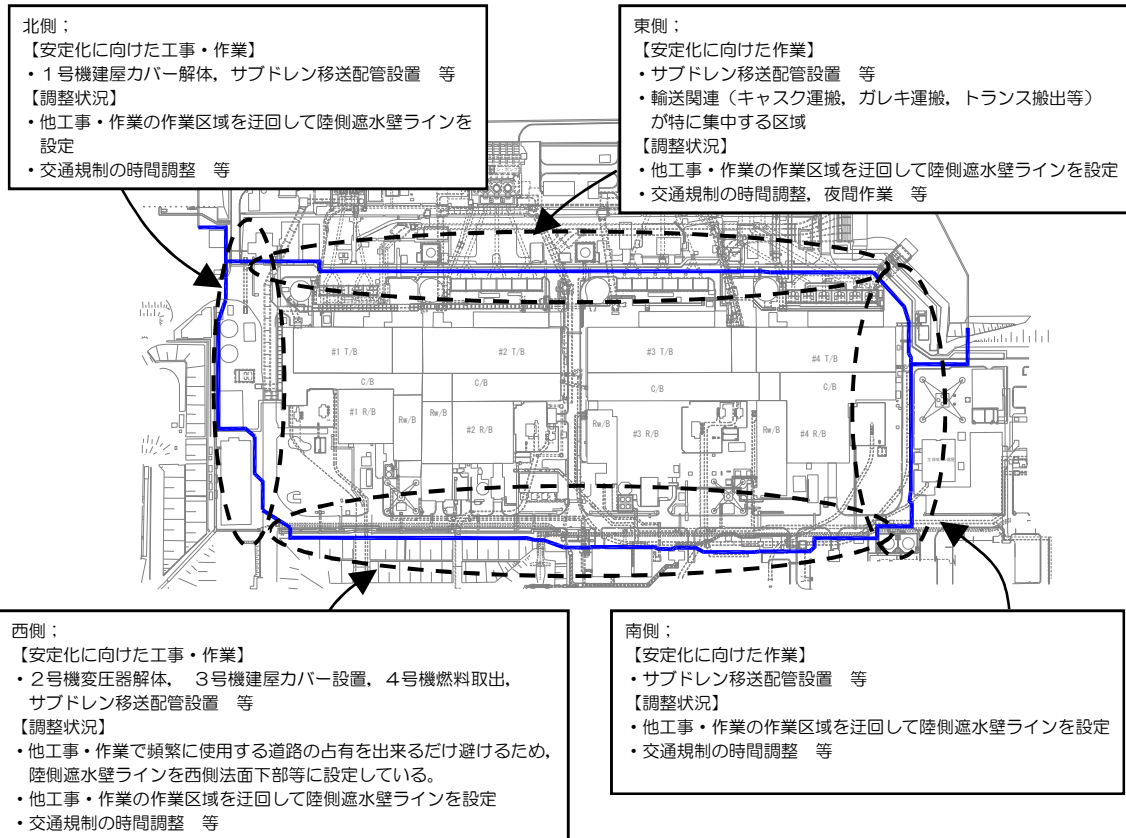


図 1 5 陸側遮水壁と他の廃炉に向けた工事・作業との調整状況

表 6 施工時の熱中症対策

| | |
|-------------------------|---|
| 体調管理のチェック | 作業開始前にチェックリストを用いて体調確認。 |
| 水分・塩分の摂取 | 作業前後に、十分な水分・塩分の摂取。 |
| クールベストの着用 | WBGT値が25℃以上と予想される時は、クールベストの着用を義務付ける。 |
| 休憩時間の設定 (WBGT値の活用など) | 作業場所ごとにWBGT測定器を設置し、WBGT値を基準に連続作業時間の上限を設け、その都度作業員の体調を確認し、必要に応じ現場の休憩所（エアコン設置）における休憩時間の確保等を行う。 |
| 体調不良者の早期発見 | 作業員同士の声掛けにより、体調不良者の早期発見に努める。 |

注) WBGT 値（暑さ指数）：人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の3つを取り入れた指標で、乾球温度・湿球温度・黒球温度の値を使って計算する。

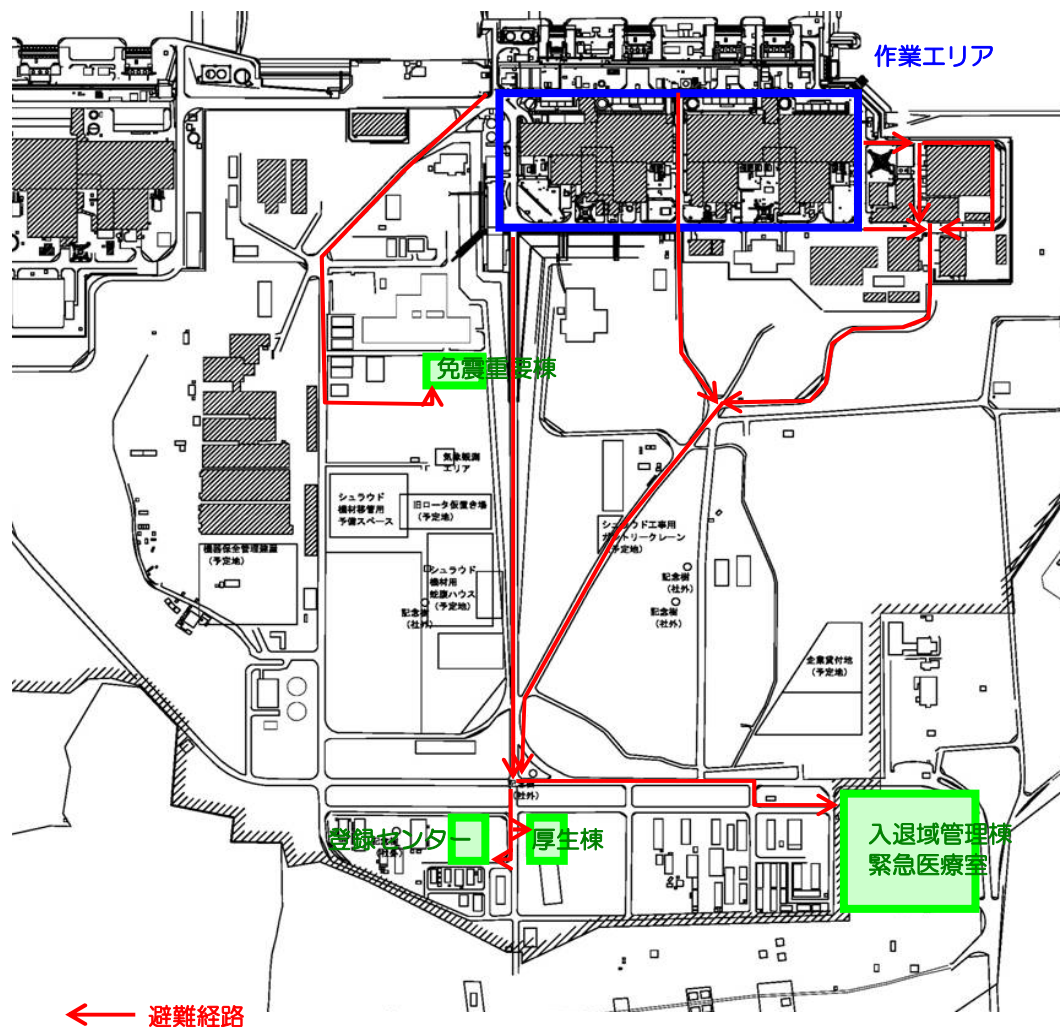


図 1 6 緊急時の避難経路

表 7 工事工程表

| | 平成 25 年度 | 平成 26 年度 | | | | 平成 27 年度 | | |
|-------|------------------|----------|----------------|------|-----|----------|-------|--|
| | 1 月 | 4 月 | 7 月 | 10 月 | 1 月 | 4 月 | 7 月 | |
| 陸側遮水壁 | 準備工事 (ヤード整備他) | | 本工事 (機器設置等) | | | | 造成・維持 | |
| | ----- | | ----- | | | | ----- | |

注) 現場状況等により変更の可能性有り

陸側遮水壁造成後の基礎地盤沈下検討

1 1～4号機建屋周辺の地層構成

既往の調査結果より作成した1～4号機建屋周辺の地層構成を図1に示す。敷地を構成する地層は、上位より段丘堆積物、中粒砂岩層（I層）、泥質部（II層）、互層部（III層）、泥質部（IV層）から構成され、IV層は細粒砂岩、粗粒砂岩からなる二層の砂岩層薄層を含む地層からなり、敷地全域にわたってほぼ水平な成層構造である。

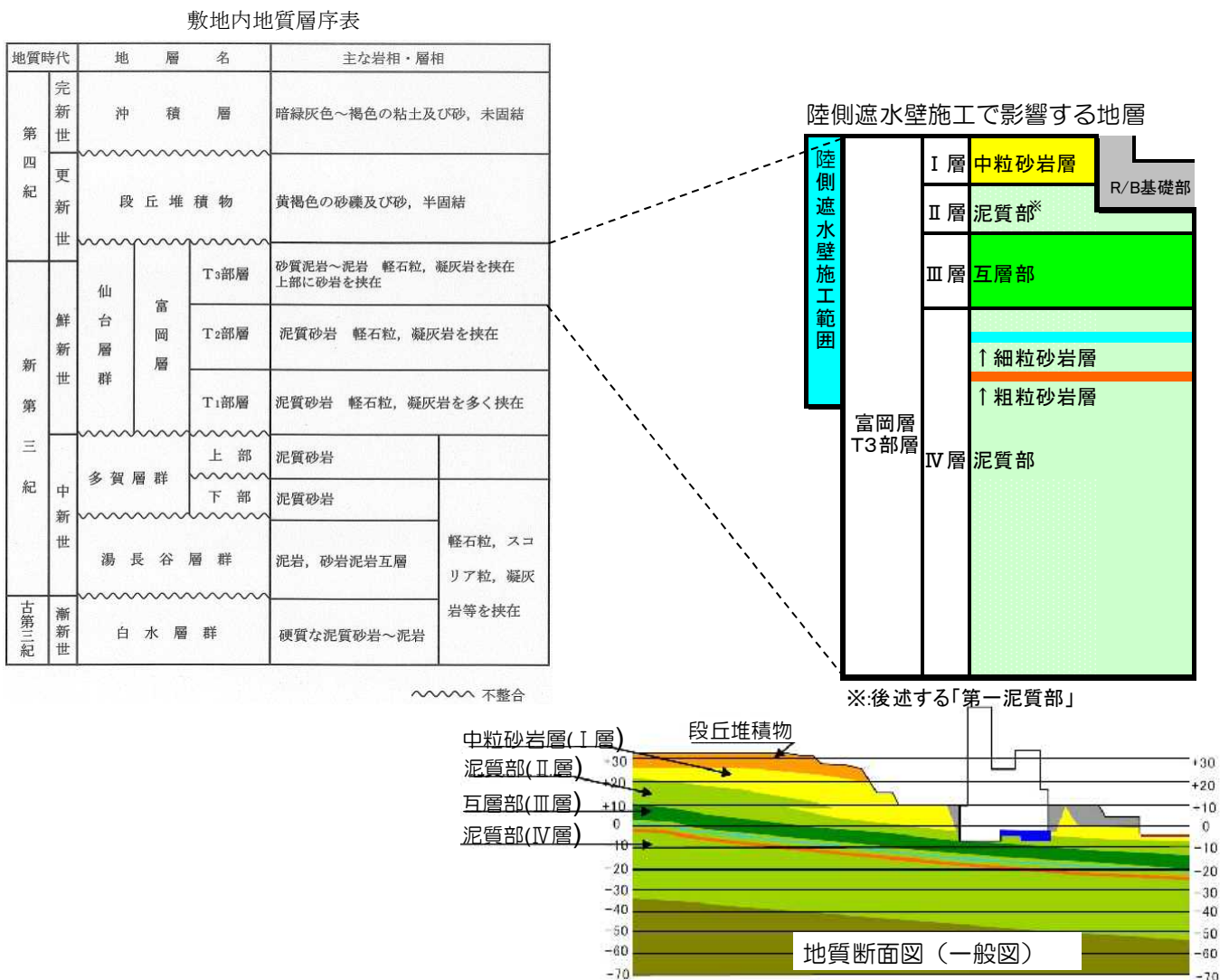


図1 1～4号機建屋周辺の地層構成

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

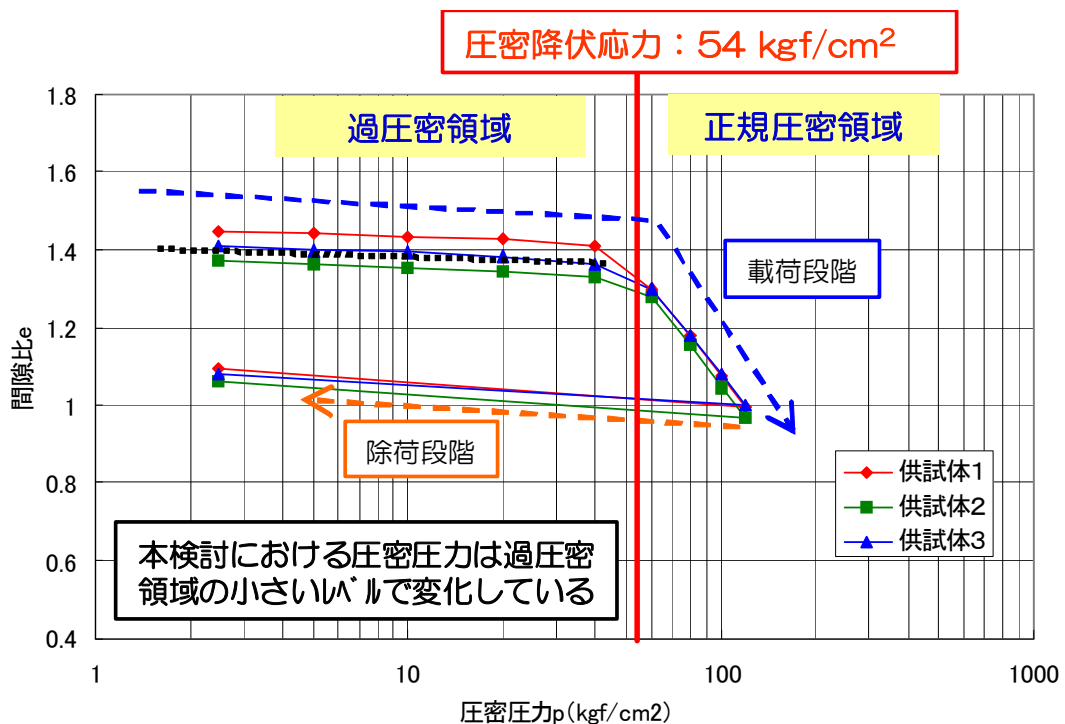
2 地盤の荷重履歴

現地地盤（第一泥質部）より採取した供試体3体の圧密試験結果を図2に示す。本試験結果から、建屋基礎地盤は形成過程において相当の圧縮応力（圧密降伏応力；54kgf/cm²）を受けていたことがわかる。

「(a)発電所建設前」,「(b)発電所建設中(切土後)」,「(c)運転時(震災前)」,「(d)震災後」,「(e)陸側遮水壁造成後」それぞれのフェーズにおいて建屋基礎地盤に生じていた、或いは生じると想定される全応力、間隙水圧、有効応力を算定し、それぞれの有効応力レベルを上記圧密試験結果に追記した(図3-1~3-5)。

上記より、建屋基礎地盤に生じる有効応力のレベルは、以下の状態であることがわかる。

- ・ 建屋設置後((c) 運転時(震災前)~(d)震災後~(e)陸側遮水壁造成後)は、圧密降伏応力(54kgf/cm²)に対して3~4kgf/cm²程度と小さく、十分な余裕がある。
- ・ (e)陸側遮水壁造成後は、(d)震災後に対して1kgf/cm²程度増加することになるが、震災前も同様にサブドレンで水位低下させていたことから、(c)運転時(震災前)と同程度となる。



※「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」のデータより作成

図2 圧密試験結果

(a) 発電所建設前

- 1～4号機建屋設置箇所は，造成前はT.P.+33.5m程度の丘陵地であった。
- そのため，建屋基礎地盤には相当の上載荷重が作用していたこととなり，十分に圧縮・圧密していたことが想定される。

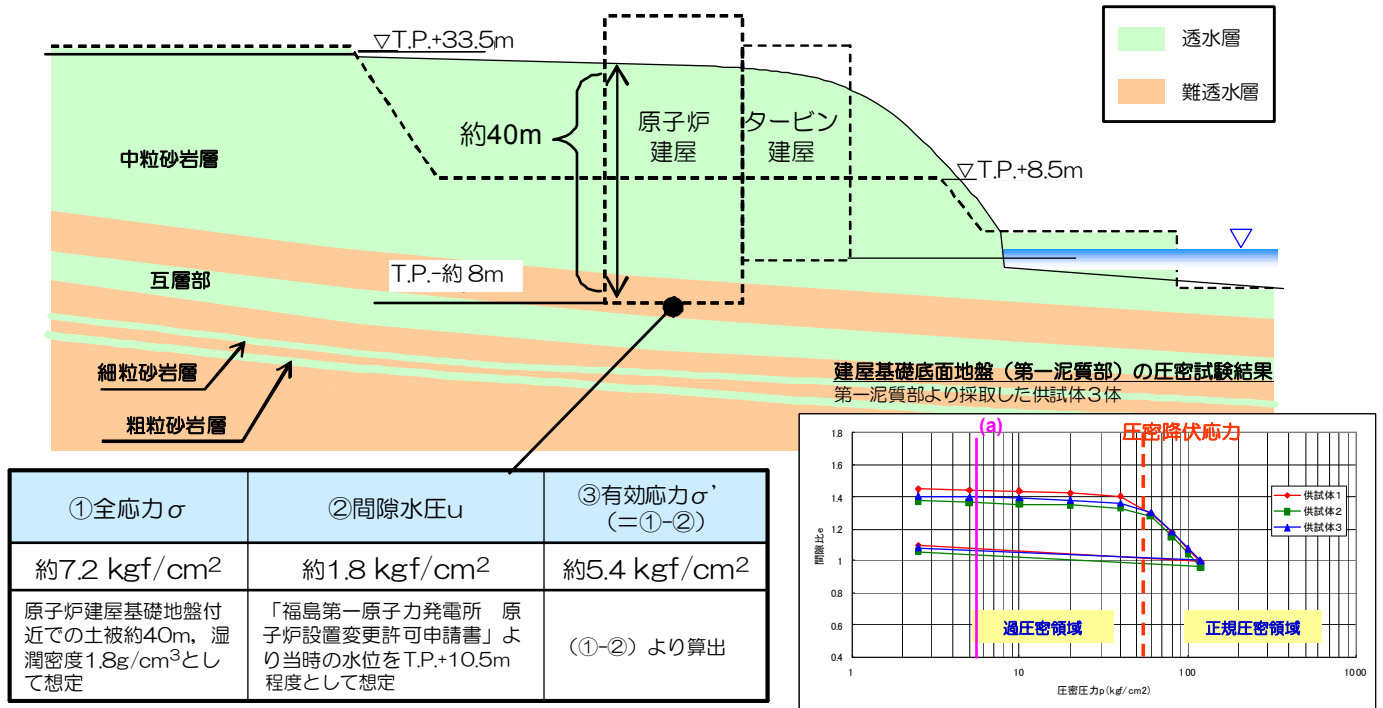


図3-1 「(a) 発電所建設前」の全応力，間隙水圧，有効応力

(b) 発電所建設中（切土後）

- 1～4号機建屋設置に当たっては、基盤となる岩盤面を露出させるため、T.P.-8～-9m 程度まで掘削し、その上に各建屋を構築した。
- そのため、建屋基礎地盤は、上部地盤相当の上載荷重が除荷される。

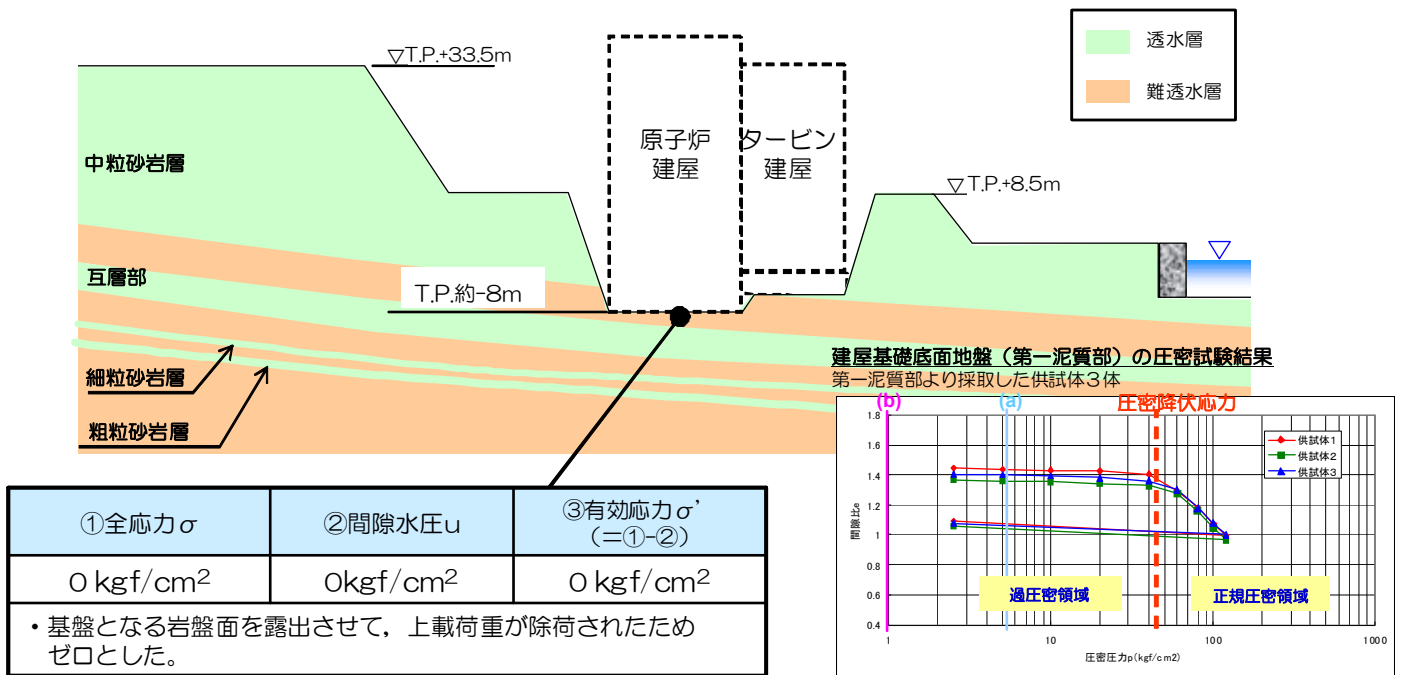


図 3 - 2 「(b) 発電所建設中（切土後）」の全応力，間隙水圧，有効応力

(c) 運転時（震災前）

- 建屋基礎地盤は、建屋・機器重量の上載荷重による圧縮力を受ける。
- 運転中は、建屋周囲に配置したサブドレンにより、建屋周りの地下水位を原子炉建屋の床面付近まで低下させていた。

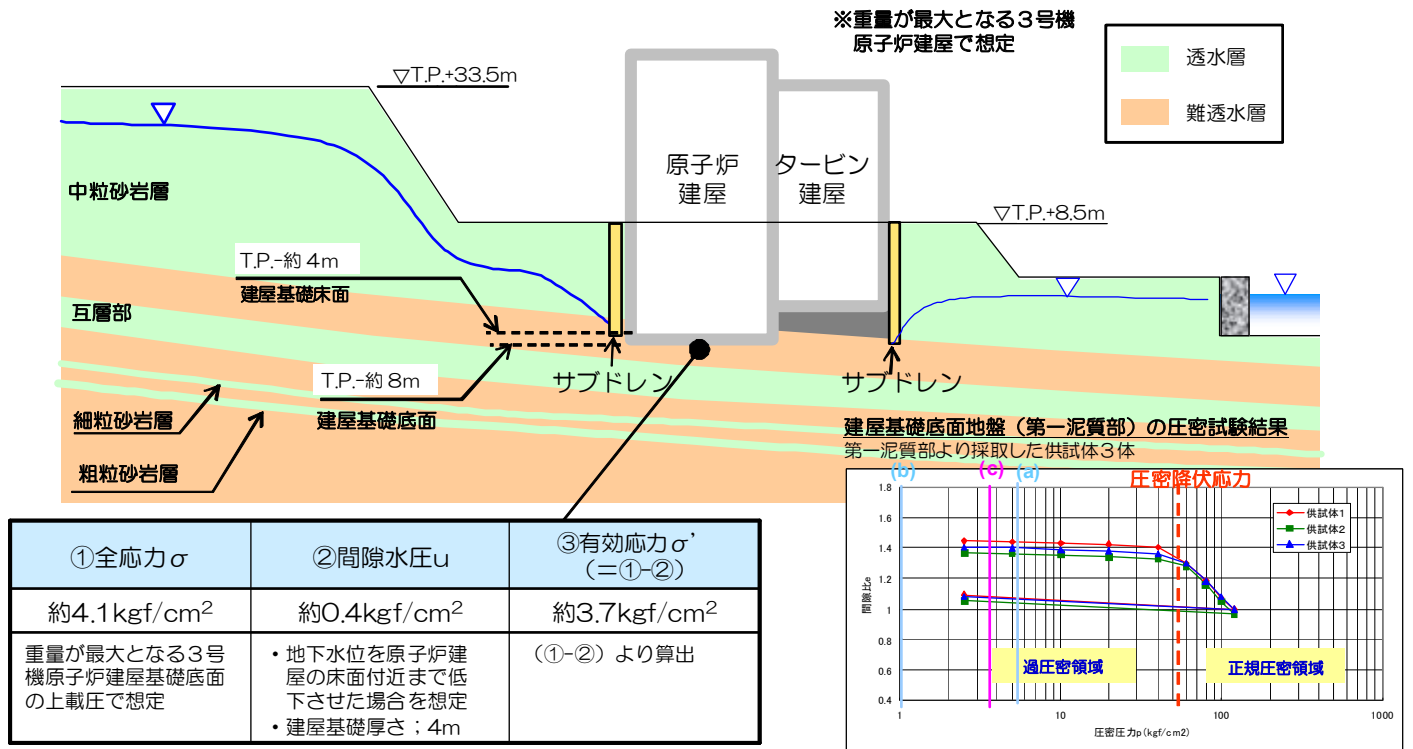


図 3 - 3 「(c) 運転時（震災前）」の全応力，間隙水圧，有効応力

(d) 震災後

- ・サブドレンが停止し、建屋周りの地下水水位が上昇。
- ・地下水水位が上昇したことにより、建屋基礎底面に働く地下水の揚圧力（浮力）が震災前より増加。
- ・一方、建屋内滞留水により建屋基礎に働く荷重が増加。

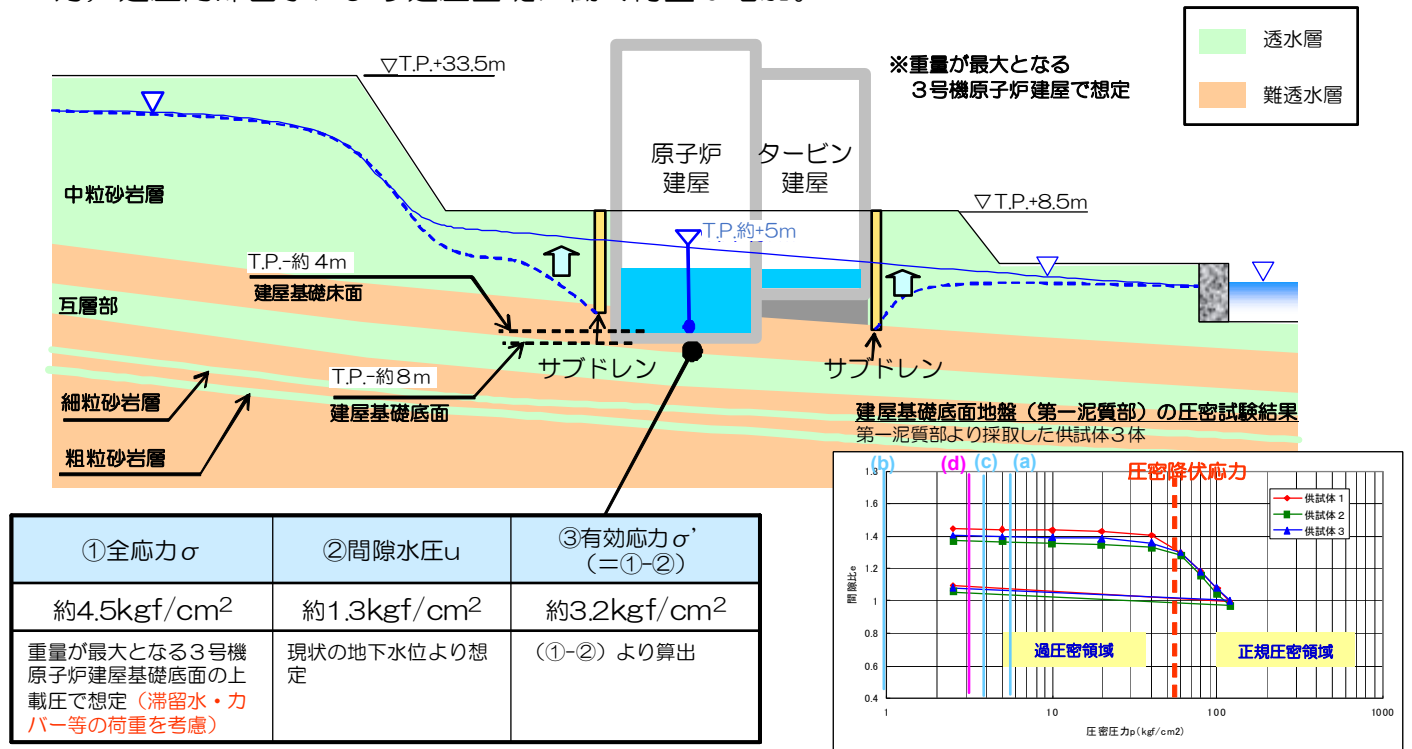


図3-4 「(d)震災後」の全応力，間隙水圧，有効応力

(e) 陸側遮水壁造成後

- 陸側遮水壁造成後，建屋水位を原子炉建屋基礎床面（T.P.-1~-4m 程度）付近まで低下し，滞留水分の荷重が低下。
- 地下水位低下に伴い，建屋基礎底面に働く地下水の揚圧力（浮力）が陸側遮水壁造成前よりも低下。

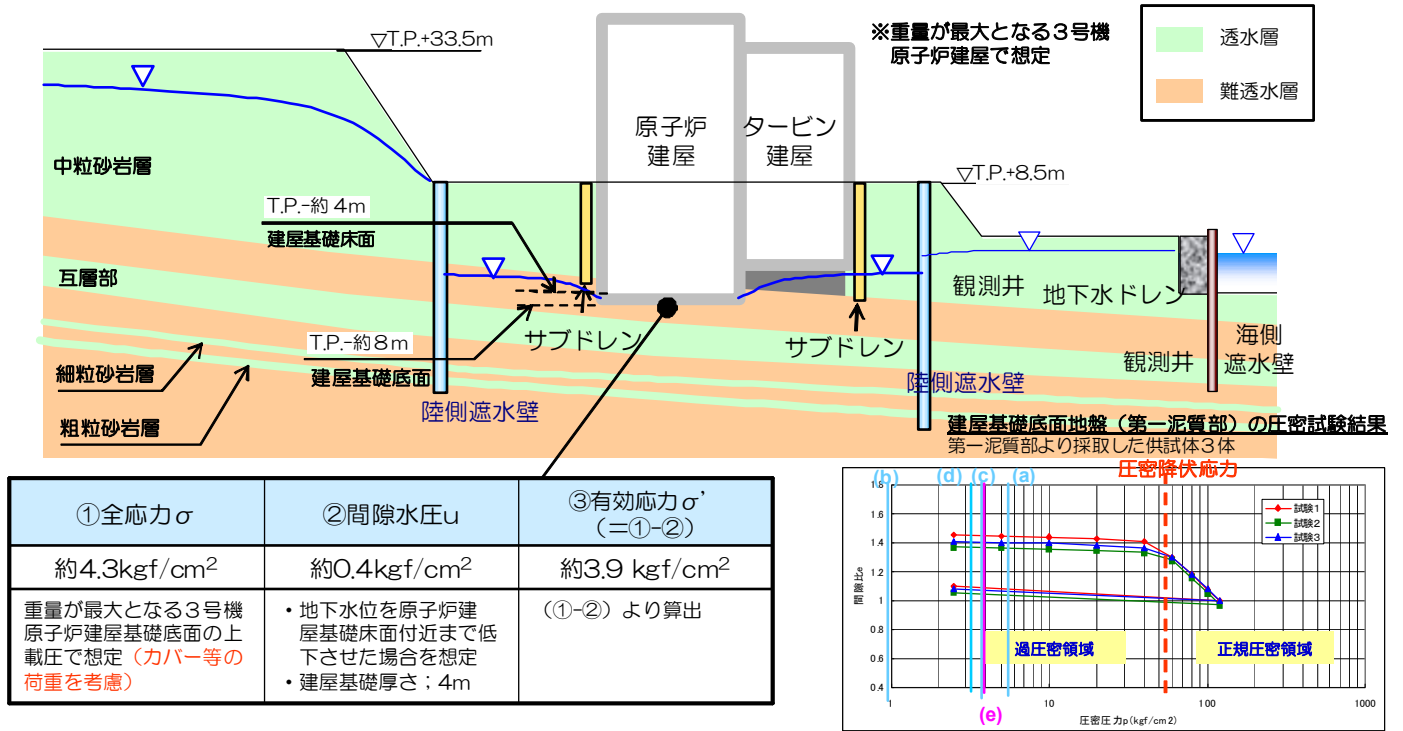


図 3 - 5 「(e)陸側遮水壁造成後」の全応力，間隙水圧，有効応力



3 基礎地盤沈下量の算定

本検討では、現状（(d)震災後）から地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）にかけて変化する有効応力をパラメータとし、原子炉建屋・タービン建屋の基礎地盤の沈下量を算定した。算定方法の概要を図4に、算定フローを図5に示す。

○対象箇所

- ・ 1～4号機の原子炉建屋・タービン建屋の建屋四隅の地点について地下水位・水圧の低下に伴い発生する基礎地盤の沈下量（32箇所）を算定。

（原子炉建屋；1～4号機×4箇所，タービン建屋；1～4号機×4箇所）

○計算方法

- ・ 算定地点において、砂岩層と泥質部の変形量を地層ごとに計算し、総和を地盤沈下量とした。

- ・ 各地層の扱いは以下の通りとした。

砂岩層；互層部（砂岩），細粒砂岩層，粗粒砂岩層

泥質部；泥質部，互層部（泥岩）

- ・ 砂岩層は，弾性圧縮による変形量を一次元計算で算出。
- ・ 泥質部は，圧密試験の結果に基づいて変形量を一次元計算で算出。

図4 沈下量算定方法の概要

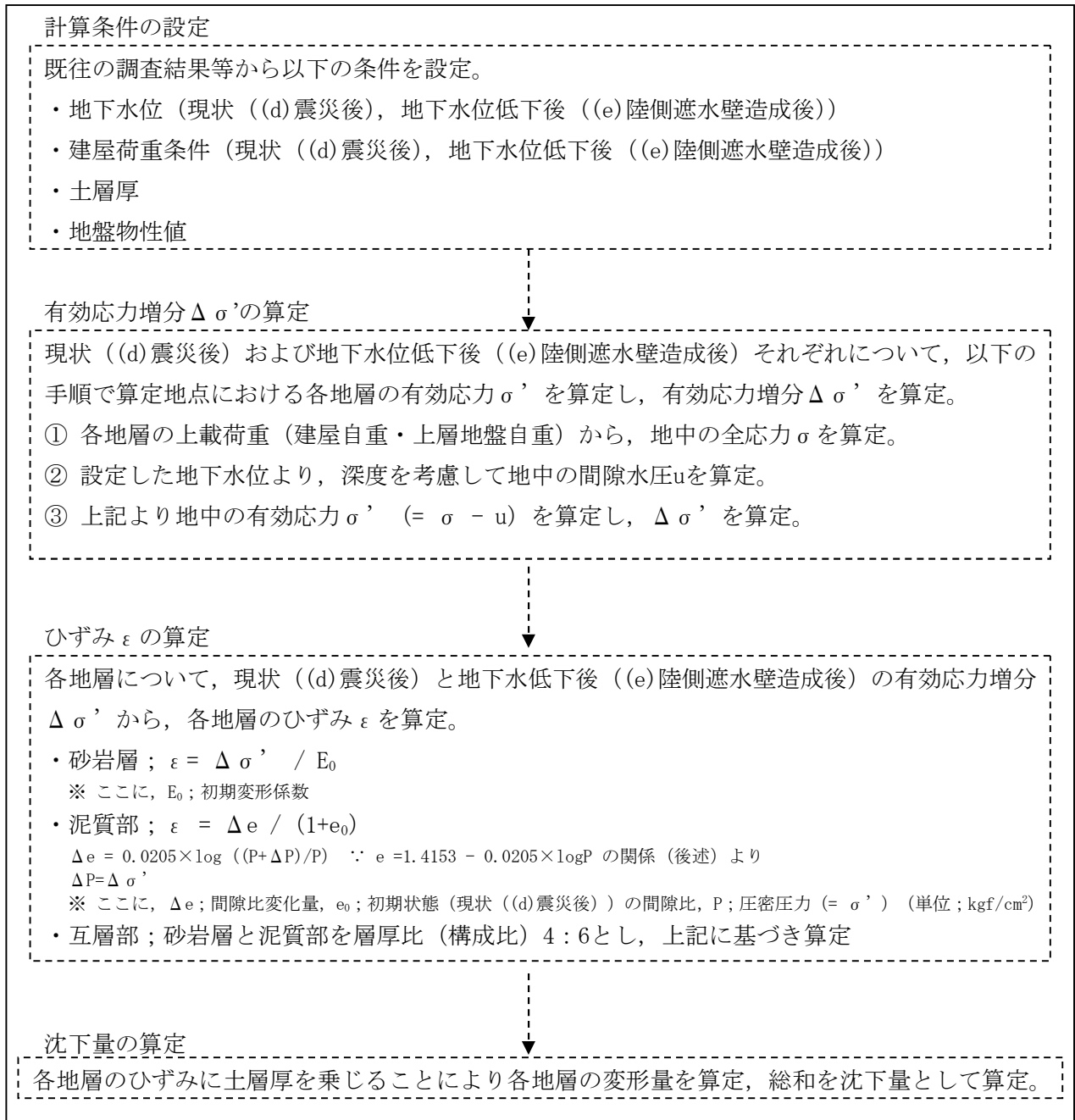


図5 算定フロー

3.1 計算条件の設定

沈下量算定に用いる計算条件を表1に示す。

表1 計算条件一覧

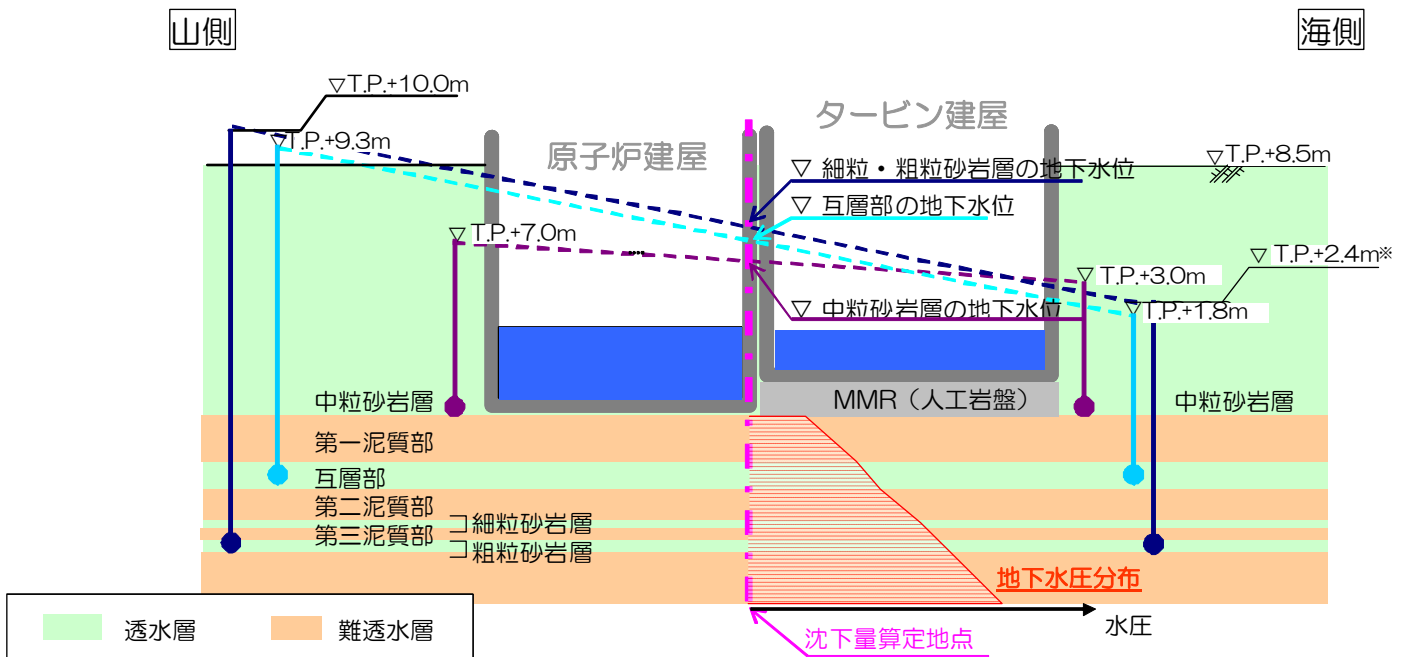
| | 現状 ((d) 震災後) | 地下水位低下後 (e) 陸側遮水壁造成後) | 備考 |
|--------|---|--|--|
| 地下水位 | 各透水層の建屋海・山側の測定値（サブドレン・地下水観測井）より、建屋直下の地下水位を線形補完し設定 ※ 細粒・粗粒砂岩層は同一水位とした | 各透水層全て、1～4号機建屋のうち最も深い2～4号機原子炉建屋基礎上面の標高（T.P. -3.50m）を地下水位とし設定 | 沈下量算定地点毎に設定 |
| 建屋荷重条件 | 滞留水等の付加重量を含む荷重 | 左記より滞留水重量を差し引いた荷重 | |
| 土層厚 | ボーリング調査結果に基づき作成した三次元地質構造モデル（汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）にて示された解析モデル）に基づき設定 | | 沈下量算定地点毎に設定 |
| 地盤物性値 | <p>【湿潤単位体積重量 γ_t (gf/cm³)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂岩層：1.84 ・泥質部：1.71 <p>【変形特性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂岩層；$\sigma' = E_0 \cdot \varepsilon$ ここで、E_0：初期変形係数 ※1 今回の試算における応力状態の変化量（約0.7kgf/cm²，3号機原子炉建屋下面センター）は破壊強度（13.3kgf/cm²）に対して十分に小さいため変形係数Eについては初期変形係数E_0を使用。 ※2 三軸圧縮試験結果に基づき、以下の通り設定。 $E_0 = 124P + 963$（P；有効上載圧，単位；kgf/cm²） ・泥質部；$e = 1.4153 - 0.0205 \times \log P$（単位；kgf/cm²） ※ 圧密試験結果に基づき設定（第一泥質部より採取した供試体3体の試験結果（過圧密領域）を線形近似したもの） | | 泥質部の変形特性のみ今回設定。 上記以外は福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書等に準拠。 |

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

3.1.1 地下水位の設定

現状 ((d)震災後), 地下水位低下後 ((e)陸側遮水壁造成後) の具体的な地下水位の設定方法を図6, 7に示す。

- 現状 ((d)震災後) の地下水位は各透水層の至近の1年間 (H25.4~H26.5) の測定値の平均値を用いて以下の通り設定。
 - ・ 中粒砂岩層; 山側 T.P.+7.0m, 海側 T.P.+3.0m
 - ・ 互層部; 山側 T.P.+9.3m, 海側 T.P.+1.8m
 - ・ 細粒・粗粒砂岩層; 山側 T.P.+10.0m, 海側 T.P.+2.4m*
- 難透水層の地下水位は上下に接する各透水層の地下水位より線形補完し設定。



※ 細粒・粗粒砂岩層の海側の地下水位は、細粒・粗粒砂岩層の山側および互層部の地下水位より推定した。

図6 現状 ((d)震災後) の地下水位設定方法

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

- 地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）の地下水位は2～4号機原子炉建屋基礎上面の標高（T.P.-3.5m）として設定。
- 難透水層の地下水位は上下に接する各透水層の地下水位より線形補完し設定。

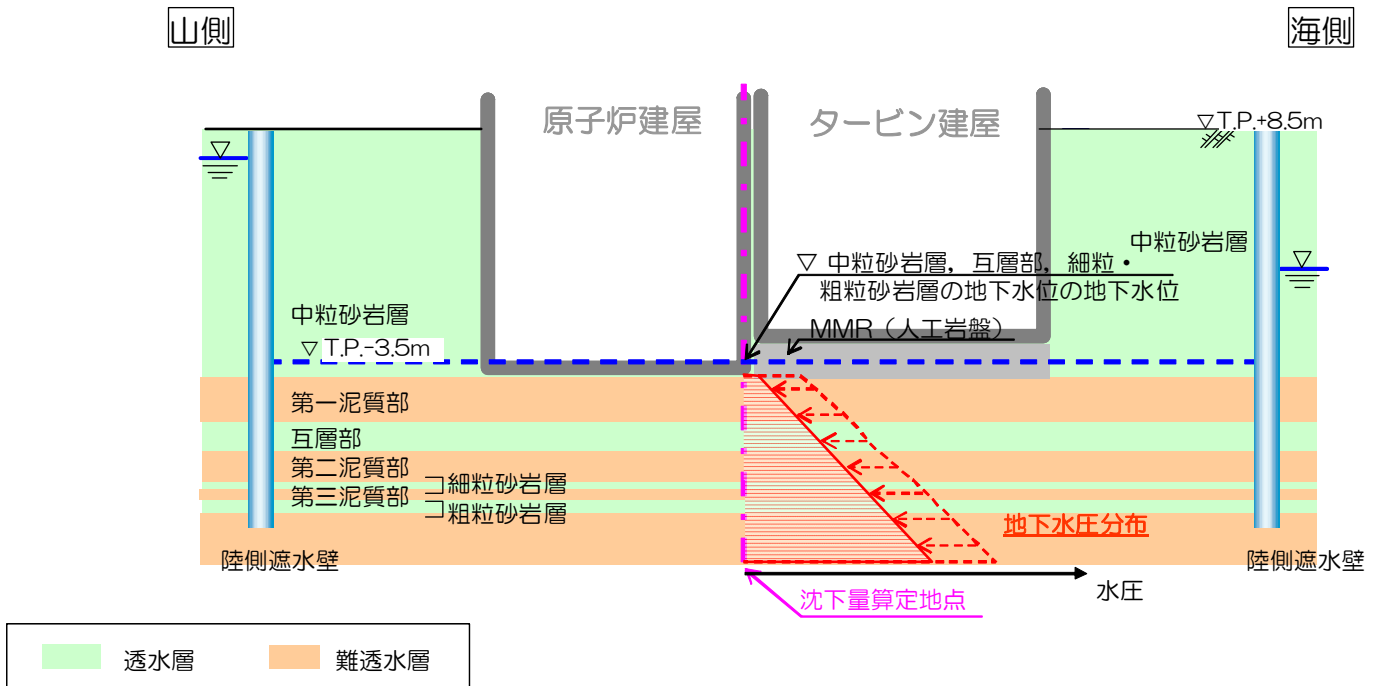


図7 地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）の地下水位設定方法

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

3.1.2 建屋荷重条件の設定

現状（(d)震災後）の建屋荷重については建屋内滞留水の重量等を考慮，地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）の建屋荷重については建屋内滞留水分を差し引いて設定した（「Ⅱ 2.6 2.6.2 添付資料－2」および「福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性および補強等に関する検討に係る報告書（その1）（追補版）（改定2）」（H24.12）等に基づき設定）。

現状（(d)震災後），地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）の具体的な建屋荷重を表2，3に示す。

表2 現状（(d)震災後）の建屋荷重

| | 重量 (ton) | 基礎形状(NS×EW, m) | 基礎面積 (m ²) | 接地圧 (ton/m ²) | 備考 |
|--------|----------|----------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| #1 R/B | 71,652 | 41.56*43.56 | 1,810 | 40 | 滞留水等付加重量分含む |
| #1 T/B | 75,671 | 96.76*46.49 | 4,498 | 17 | 滞留水等付加重量分含む |
| #2 R/B | 106,398 | 46.60*57.00 | 2,656 | 40 | 滞留水等付加重量分含む |
| #2 T/B | 133,060 | 104.95*67.60 | 7,095 | 19 | 滞留水等付加重量分含む |
| #3 R/B | 122,060 | 47.00*57.40 | 2,698 | 45 | 滞留水等付加重量分含む |
| #3 T/B | 152,553 | 116.38*67.60 | 7,867 | 19 | 滞留水等付加重量分含む |
| #4 R/B | 114,053 | 49.00*57.40 | 2,813 | 41 | 滞留水等付加重量分含む |
| #4 T/B | 127,279 | 105.15*67.60 | 7,108 | 18 | 滞留水等付加重量分含む |

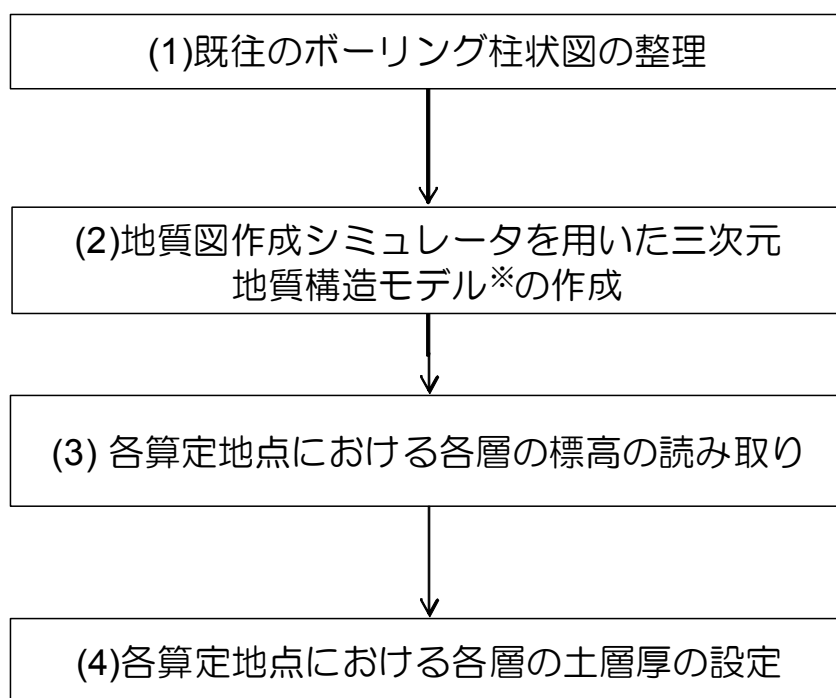
表3 地下水位低下後（(e)陸側遮水壁造成後）の建屋荷重

| | 重量 (ton) | 基礎形状(NS×EW, m) | 基礎面積 (m ²) | 接地圧 (ton/m ²) | 備考 |
|--------|----------|----------------|------------------------|---------------------------|-------------|
| #1 R/B | 66,052 | 41.56*43.56 | 1,810 | 36 | 滞留水等付加重量分除く |
| #1 T/B | 66,071 | 96.76*46.49 | 4,498 | 15 | 滞留水等付加重量分除く |
| #2 R/B | 99,898 | 46.60*57.00 | 2,656 | 38 | 滞留水等付加重量分除く |
| #2 T/B | 119,560 | 104.95*67.60 | 7,095 | 17 | 滞留水等付加重量分除く |
| #3 R/B | 115,260 | 47.00*57.40 | 2,698 | 43 | 滞留水等付加重量分除く |
| #3 T/B | 136,153 | 116.38*67.60 | 7,867 | 17 | 滞留水等付加重量分除く |
| #4 R/B | 107,253 | 49.00*57.40 | 2,813 | 38 | 滞留水等付加重量分除く |
| #4 T/B | 114,479 | 105.15*67.60 | 7,108 | 16 | 滞留水等付加重量分除く |

3.1.3 土層厚の設定

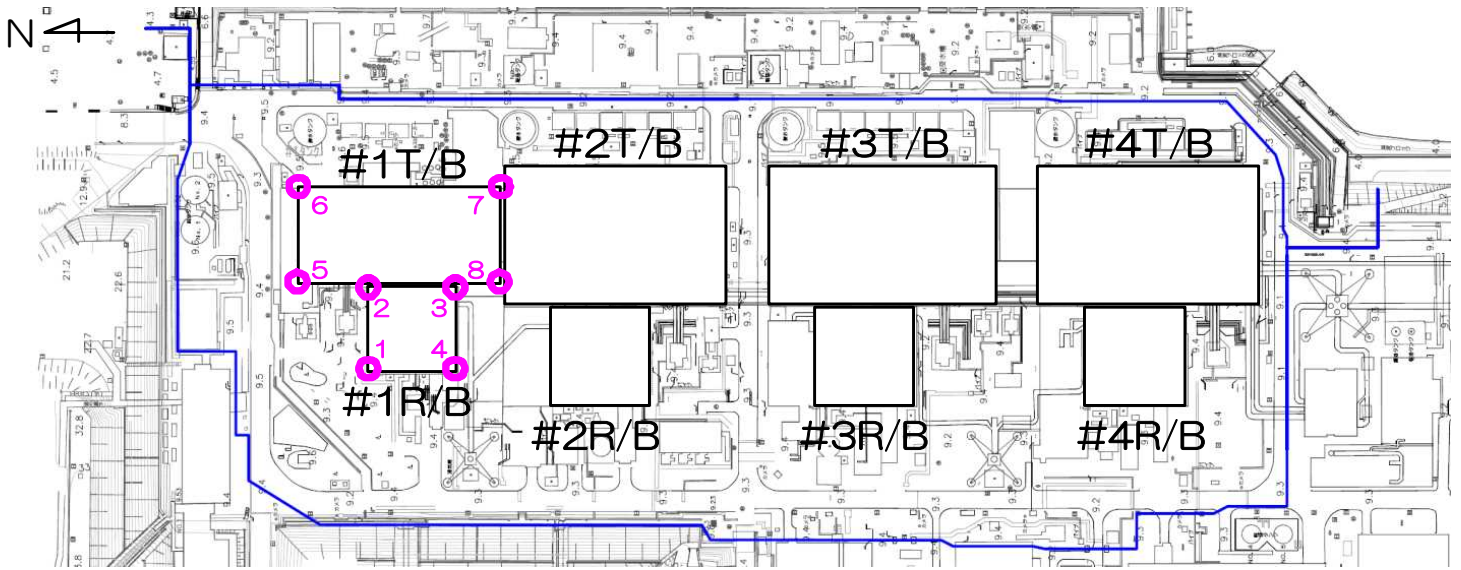
既往のボーリング柱状図を用い、地質図作成シミュレータにて作成した発電所敷地周辺の三次元地質構造モデルに基づき、各算定地点における土層厚を設定した。

具体的な土層厚設定フローを図8に、これに基づき設定した1～4号機の原子炉建屋・タービン建屋四隅の土層厚を図9-1～4に示す。



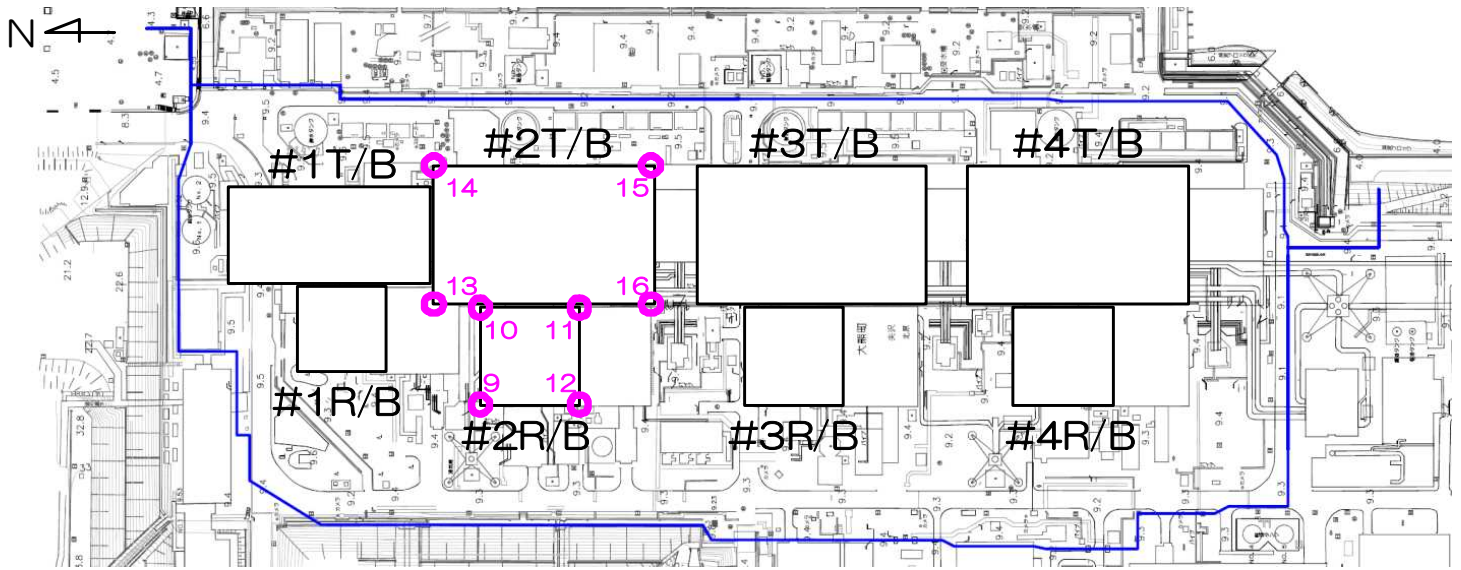
※ 汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）にて示された解析モデル

図8 土層厚設定フロー



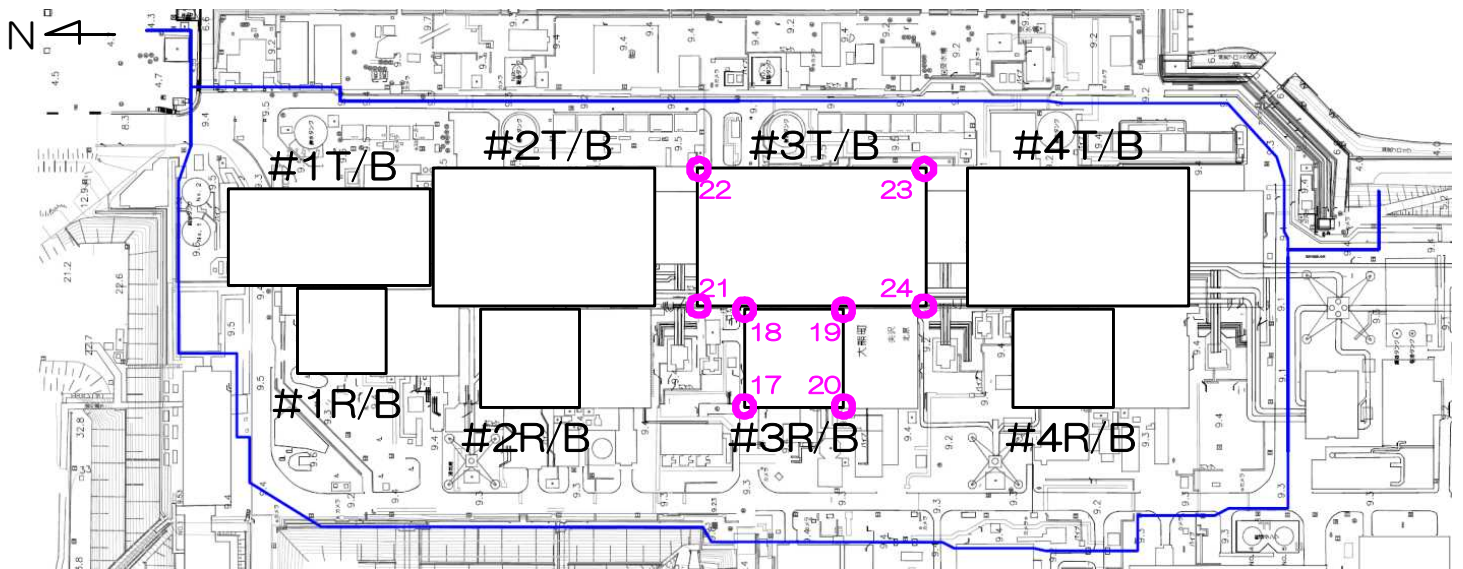
| 土層厚 (m) | #1R/B 1 | #1R/B 2 | #1R/B 3 | #1R/B 4 | #1T/B 5 | #1T/B 6 | #1T/B 7 | #1T/B 8 |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| MMR | — | — | — | — | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 |
| 第1泥質部 | 3.45 | 4.50 | 4.45 | 3.63 | 5.06 | 6.20 | 5.88 | 5.00 |
| 互層部 | 6.15 | 5.76 | 5.77 | 5.79 | 5.74 | 5.59 | 5.83 | 5.82 |
| 第2泥質部 | 1.29 | 1.74 | 1.80 | 1.32 | 1.86 | 1.90 | 2.49 | 1.90 |
| 細粒砂岩層 | 1.18 | 0.91 | 1.26 | 1.73 | 0.76 | 0.58 | 1.16 | 1.51 |
| 第3泥質部 | 1.15 | 1.40 | 1.18 | 0.91 | 1.53 | 1.88 | 1.34 | 1.05 |
| 粗粒砂岩層 | 0.13 | 0.24 | 0.31 | 0.21 | 0.23 | 0.52 | 0.43 | 0.35 |

図9-1 1号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の土層厚



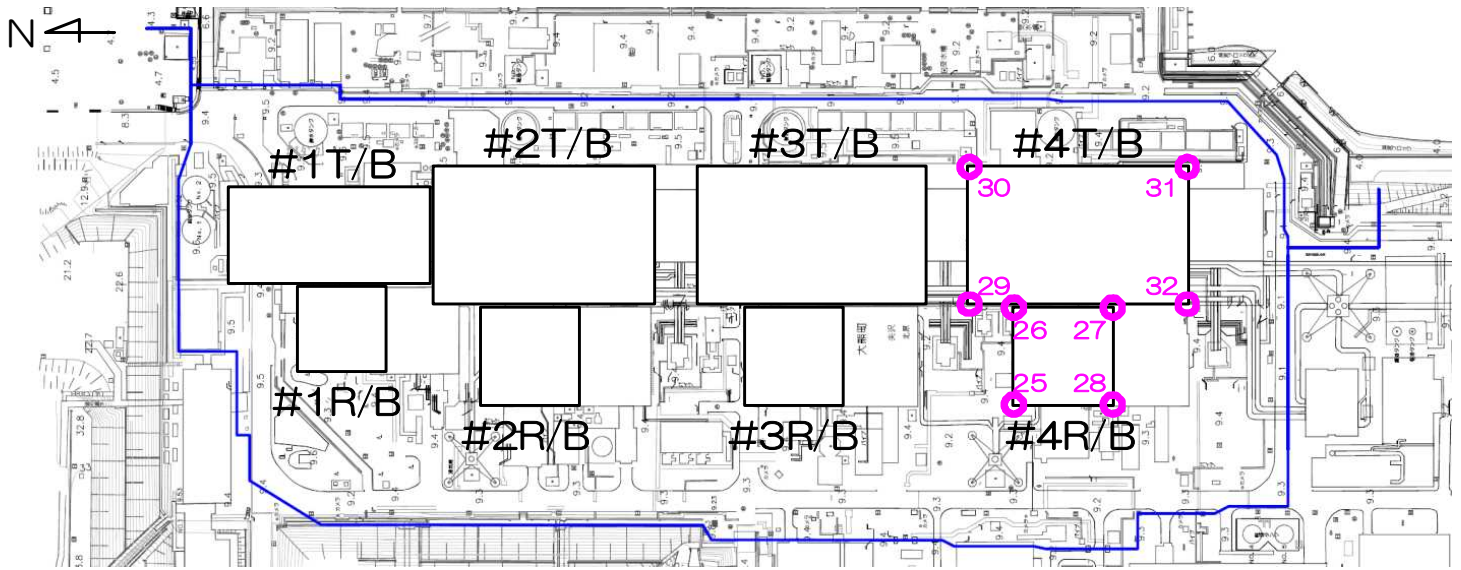
| 土層厚 (m) | #2R/B 9 | #2R/B 10 | #2R/B 11 | #2R/B 12 | #2T/B 13 | #2T/B 14 | #2T/B 15 | #2T/B 16 |
|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MMR | — | — | — | — | 1.70 | 3.80 | 3.80 | 1.70 |
| 第1泥質部 | 1.24 | 2.01 | 1.96 | 0.50 | 4.87 | 4.01 | 4.23 | 4.98 |
| 互層部 | 4.95 | 5.69 | 5.39 | 5.18 | 5.74 | 5.80 | 5.96 | 5.01 |
| 第2泥質部 | 1.49 | 1.93 | 2.36 | 1.88 | 1.80 | 2.61 | 3.07 | 2.73 |
| 細粒砂岩層 | 2.83 | 1.90 | 2.09 | 3.69 | 1.63 | 1.16 | 1.63 | 1.70 |
| 第3泥質部 | 0.50 | 0.88 | 0.98 | 0.23 | 0.99 | 1.39 | 0.67 | 1.23 |
| 粗粒砂岩層 | 0.34 | 0.37 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.44 | 0.46 | 0.39 |

図9-2 2号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の土層厚



| 土層厚 (m) | #3R/B 17 | #3R/B 18 | #3R/B 19 | #3R/B 20 | #3T/B 21 | #3T/B 22 | #3T/B 23 | #3T/B 24 |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MMR | — | — | — | — | 1.70 | 3.80 | 3.80 | 1.70 |
| 第1泥質部 | 0.51 | 1.49 | 0.94 | 0.00 | 4.61 | 5.35 | 3.75 | 3.30 |
| 互層部 | 5.55 | 5.88 | 6.31 | 5.97 | 5.44 | 4.61 | 5.17 | 6.19 |
| 第2泥質部 | 2.24 | 2.86 | 2.83 | 2.49 | 2.87 | 3.07 | 3.47 | 3.02 |
| 細粒砂岩層 | 1.29 | 1.50 | 1.28 | 1.53 | 1.62 | 1.02 | 0.87 | 1.29 |
| 第3泥質部 | 1.97 | 1.12 | 1.39 | 1.56 | 1.00 | 1.57 | 1.91 | 1.36 |
| 粗粒砂岩層 | 0.56 | 0.80 | 0.59 | 0.50 | 0.71 | 0.41 | 0.56 | 0.72 |

図9-3 3号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の土層厚



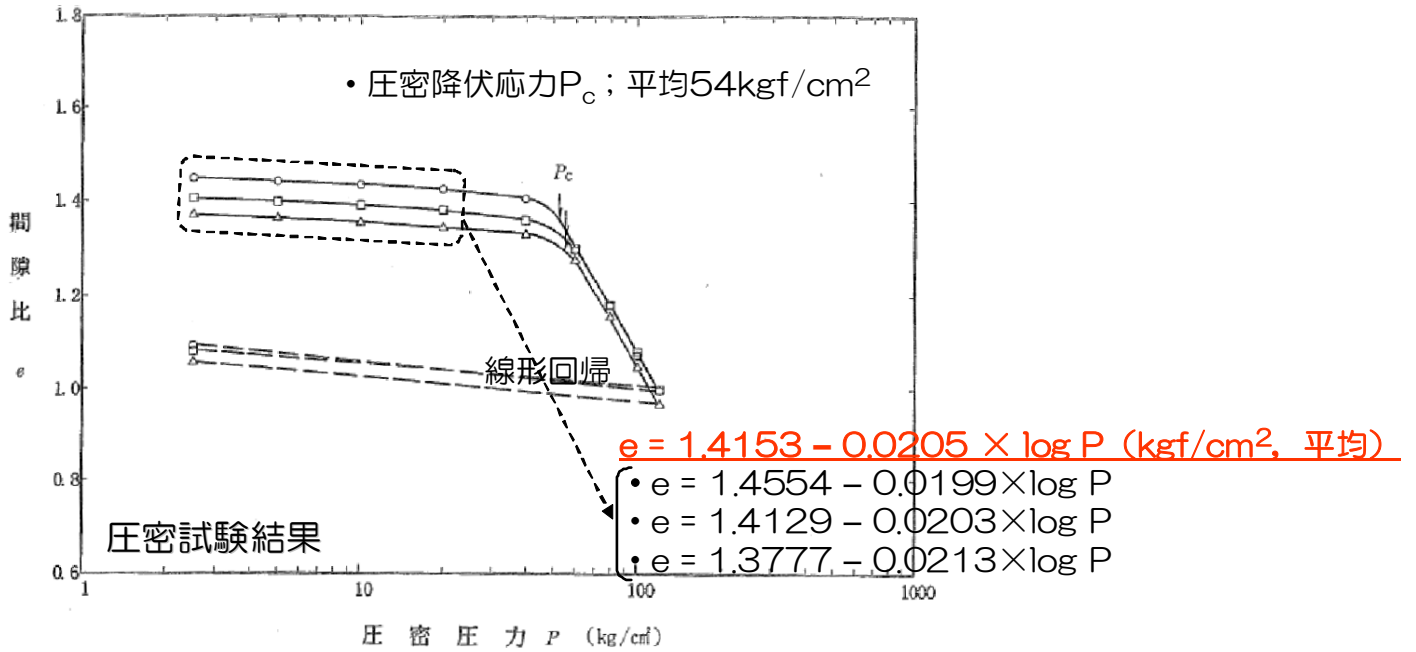
| 土層厚 (m) | #4R/B 25 | #4R/B 26 | #4R/B 27 | #4R/B 28 | #4T/B 29 | #4T/B 30 | #4T/B 31 | #4T/B 32 |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| MMR | 4.90 | 4.90 | 4.90 | 4.90 | 2.86 | 3.72 | 3.72 | 2.86 |
| 第1泥質部 | — | — | — | — | 1.87 | 3.48 | 1.33 | 0.54 |
| 互層部 | — | 0.91 | — | — | 6.08 | 5.21 | 5.65 | 5.64 |
| 第2泥質部 | 3.09 | 3.24 | 3.25 | 1.60 | 3.09 | 3.50 | 3.56 | 3.65 |
| 細粒砂岩層 | 1.32 | 1.36 | 1.65 | 1.28 | 1.31 | 0.99 | 0.87 | 0.33 |
| 第3泥質部 | 1.52 | 1.41 | 1.76 | 2.46 | 1.37 | 1.96 | 1.96 | 3.42 |
| 粗粒砂岩層 | 0.91 | 1.15 | 1.22 | 1.15 | 0.93 | 0.66 | 1.01 | 1.06 |

図9-4 4号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の土層厚

3.1.4 地盤物性値の設定

地盤物性値については既往の調査結果(福島第一原子力発電所原子炉設置変更許可申請書等)に基づき設定した。

なお、泥質部の変形特性(e-logP関係)については、圧密試験結果を線形近似し、設定した(図10参照)。



※「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」より抜粋，一部加筆

図10 泥質部の変形特性(e-logP関係)の線形近似結果

3.2 有効応力増分 $\Delta \sigma'$ の算定

3.1 により設定した計算条件に基づき、現状 ((d)震災後) および地下水位低下後 ((e)陸側遮水壁造成後) それぞれについて、算定地点における各地層の全応力 σ 、間隙水圧 u 、有効応力 σ' ならびに有効応力増分 $\Delta \sigma'$ を算定した。

全応力分布、間隙水圧分布、有効応力分布を比較した算定結果例 (3号機原子炉建屋の地点「17」) を図11に示す。

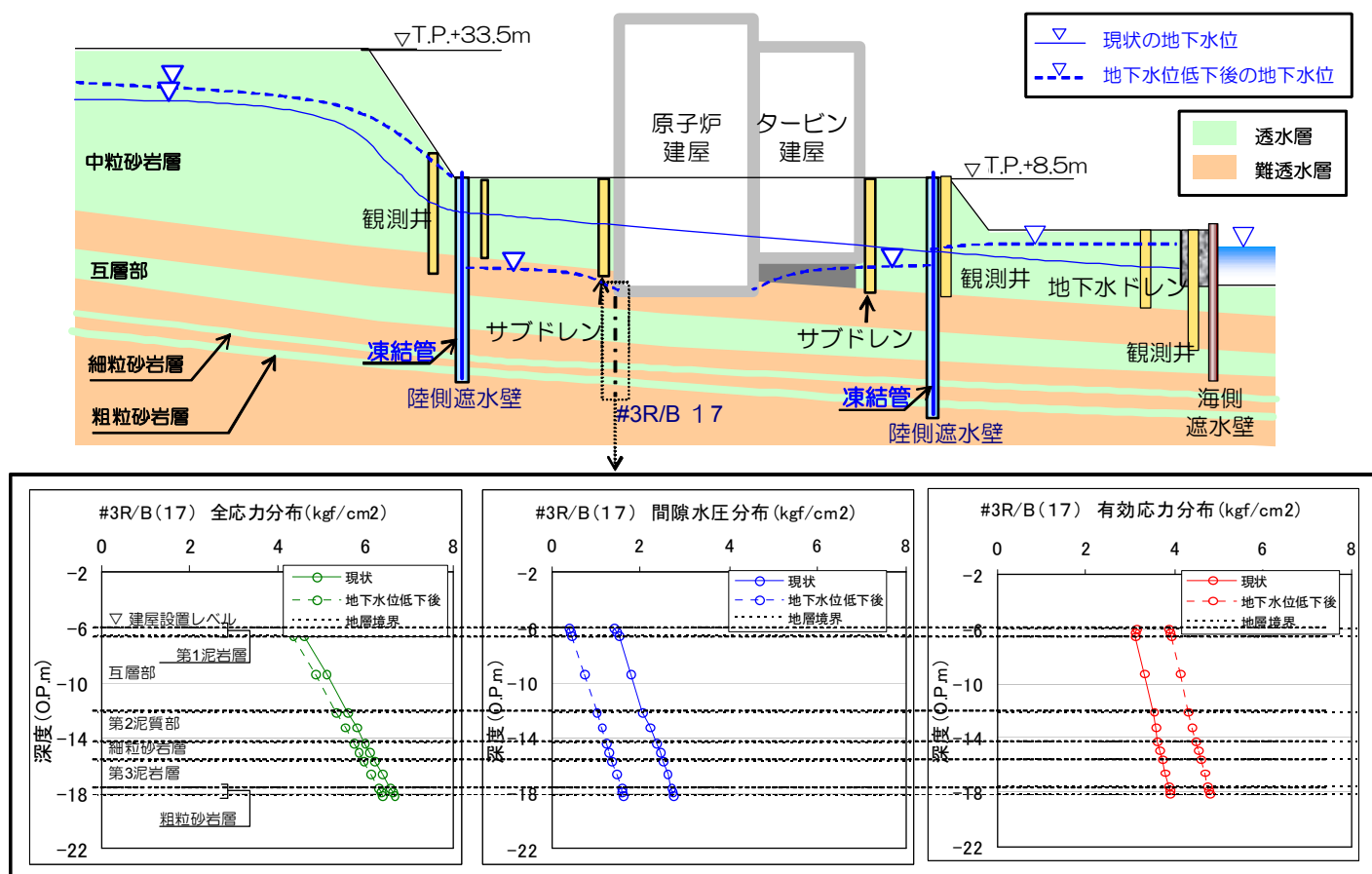
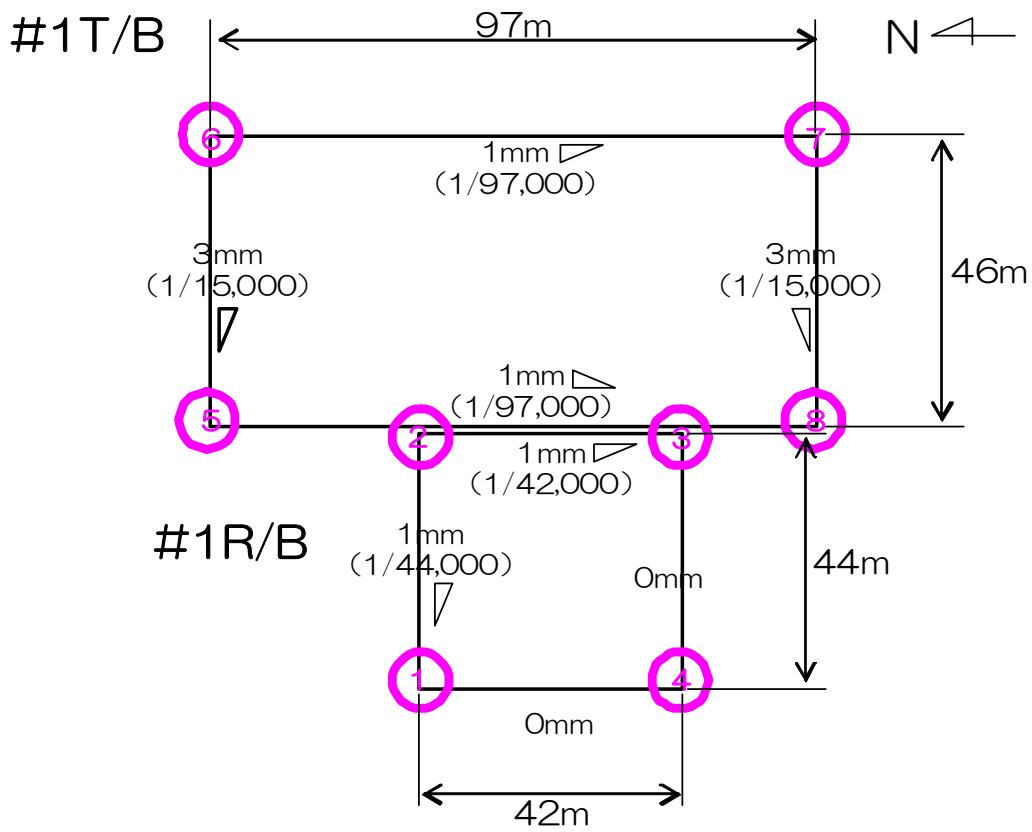


図 1 1 全応力分布、間隙水圧分布、有効応力分布を比較した計算結果例 (3号機原子炉建屋の地点「17」)

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下記に基づき換算する。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

3.3 沈下量の算定

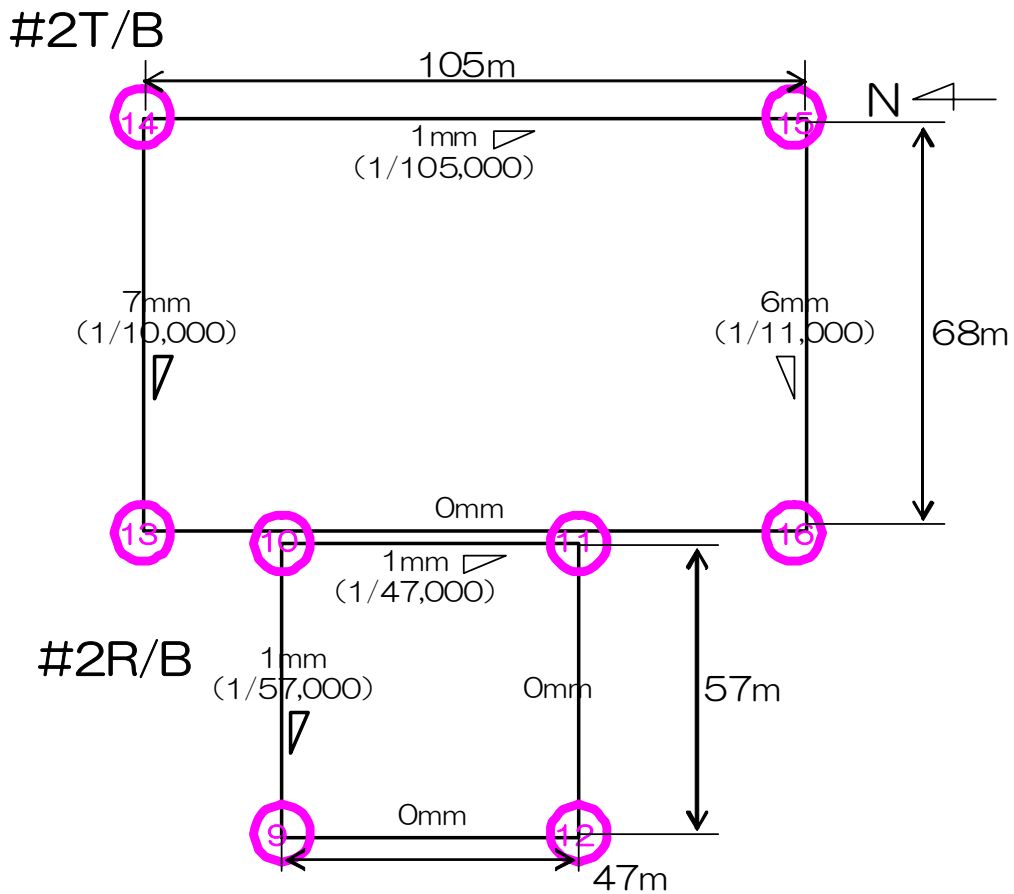
1～4号機の原子炉建屋・タービン建屋四隅の基礎地盤沈下量算定結果および基礎底面の傾斜を図12-1～12-4に示す。



| 沈下量 (mm) | #1T/B 5 | #1T/B 6 | #1T/B 7 | #1T/B 8 |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| 合計 | -13 | -10 | -11 | -14 |
| 第1泥質部 | -6 | -5 | -5 | -6 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -3 | -2 | -2 | -3 |
| 第2泥質部 | -2 | -1 | -2 | -2 |
| 細粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 沈下量 (mm) | #1R/B 1 | #1R/B 2 | #1R/B 3 | #1R/B 4 |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| 合計 | -9 | -8 | -9 | -9 |
| 第1泥質部 | -3 | -3 | -3 | -3 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 第2泥質部 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 細粒砂岩層 | -1 | 0 | -1 | -1 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

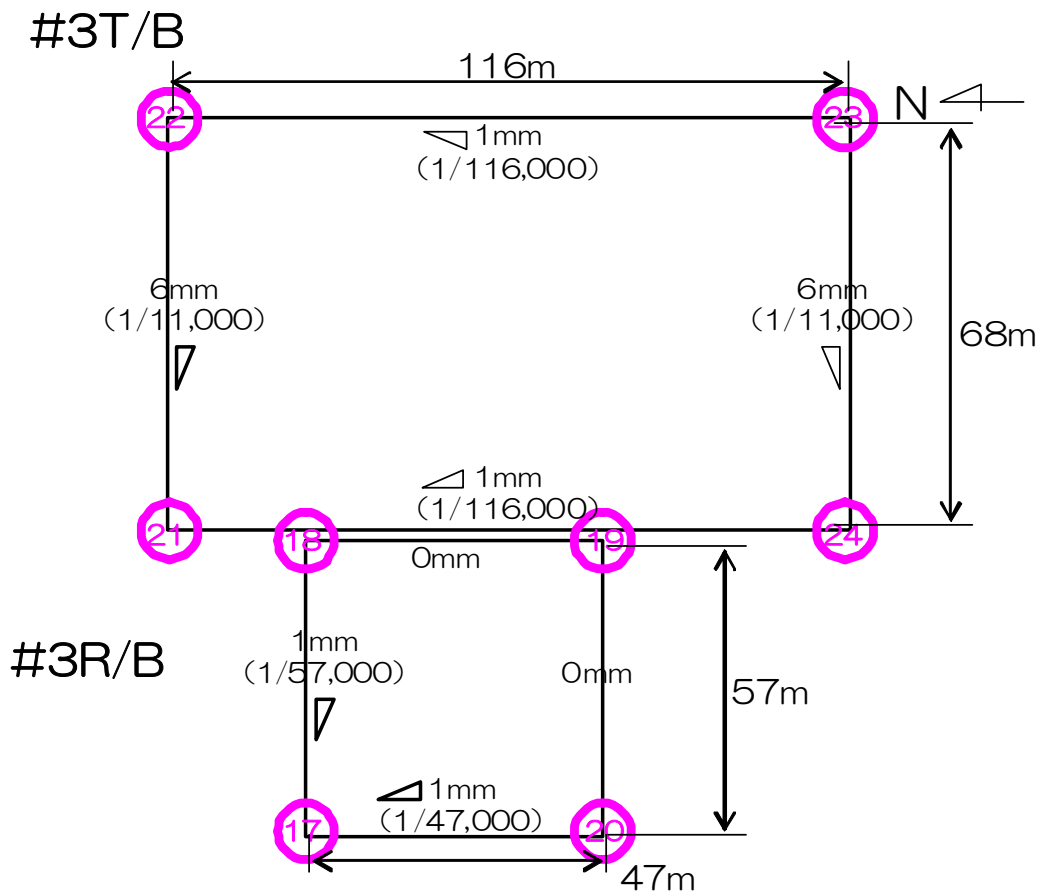
図 1 2 - 1 1号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の基礎地盤沈下量および基礎底面の傾斜



| 沈下量 (mm) | #2T/B 13 | #2T/B 14 | #2T/B 15 | #2T/B 16 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -16 | -9 | -10 | -16 |
| 第1泥質部 | -7 | -3 | -4 | -7 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -4 | -2 | -2 | -3 |
| 第2泥質部 | -2 | -2 | -2 | -3 |
| 細粒砂岩層 | -1 | 0 | -1 | -1 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 沈下量 (mm) | #2R/B 9 | #2R/B 10 | #2R/B 11 | #2R/B 12 |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -8 | -7 | -8 | -8 |
| 第1泥質部 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -3 | -2 | -2 | -3 |
| 第2泥質部 | -1 | -1 | -2 | -2 |
| 細粒砂岩層 | -2 | -1 | -1 | -2 |
| 第3泥質部 | 0 | -1 | -1 | 0 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

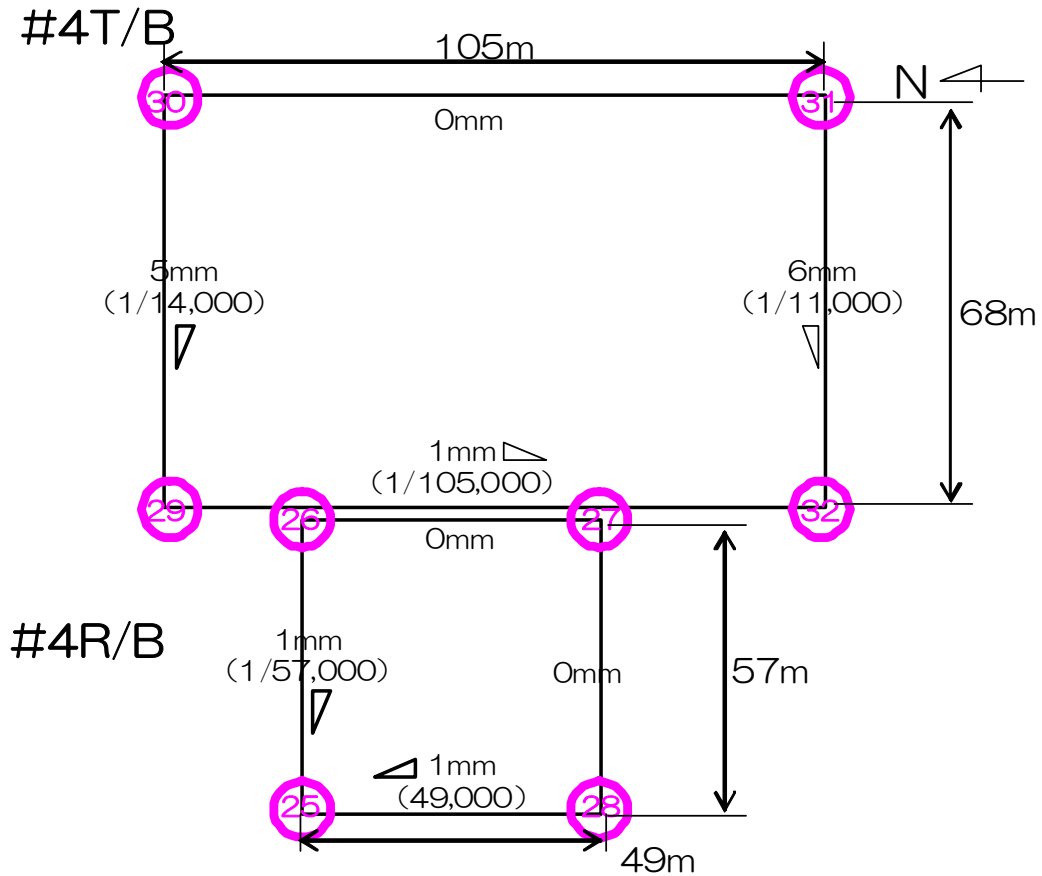
図 1 2 - 2 2号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の基礎地盤沈下量および基礎底面の傾斜



| 沈下量 (mm) | #3T/B 21 | #3T/B 22 | #3T/B 23 | #3T/B 24 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -16 | -10 | -9 | -15 |
| 第1泥質部 | -6 | -4 | -3 | -5 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -4 | -2 | -2 | -4 |
| 第2泥質部 | -3 | -2 | -2 | -3 |
| 細粒砂岩層 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| 沈下量 (mm) | #3R/B 17 | #3R/B 18 | #3R/B 19 | #3R/B 20 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -9 | -8 | -8 | -8 |
| 第1泥質部 | 0 | -1 | -1 | 0 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -3 | -2 | -2 | -3 |
| 第2泥質部 | -2 | -2 | -2 | -2 |
| 細粒砂岩層 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 第3泥質部 | -2 | -1 | -1 | -1 |
| 粗粒砂岩層 | 0 | 0 | 0 | 0 |

図 1 2 - 3 3号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の基礎地盤沈下量および基礎底面の傾斜



| 沈下量 (mm) | #4T/B 29 | #4T/B 30 | #4T/B 31 | #4T/B 32 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -14 | -9 | -9 | -15 |
| 第1泥質部 | -3 | -3 | -1 | -1 |
| 互層部(砂岩) | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 互層部(泥岩) | -4 | -2 | -3 | -4 |
| 第2泥質部 | -3 | -2 | -3 | -4 |
| 細粒砂岩層 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | -1 | -4 |
| 粗粒砂岩層 | -1 | 0 | 0 | -1 |

| 沈下量 (mm) | #4R/B 25 | #4R/B 26 | #4R/B 27 | #4R/B 28 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 合計 | -6 | -5 | -5 | -5 |
| 第1泥質部 | - | - | - | - |
| 互層部(砂岩) | - | 0 | - | - |
| 互層部(泥岩) | - | 0 | - | - |
| 第2泥質部 | -3 | -2 | -2 | -1 |
| 細粒砂岩層 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 第3泥質部 | -1 | -1 | -1 | -2 |
| 粗粒砂岩層 | -1 | -1 | -1 | -1 |

図 1 2 - 4 4号機原子炉建屋・タービン建屋四隅の基礎地盤沈下量および基礎底面の傾斜

4 建屋基礎地盤の沈下量の評価

各建屋の基礎底面の傾斜（最大値）および各種基準に示される目安値[※]を整理し、表4に示す。各建屋の基礎底面の傾斜（最大値）は、同目安値以下であることから、建屋基礎の安定上問題ないものと評価した。

また、「鉄筋コンクリート造の建物に構造的な障害が発生する限度角となる変形角の目安値」に対して余裕があることから、現状の建屋構造に有意な変化が生じることはなく、建屋構造部材や現状の滞留水管理に有害な影響を与えないものとする。

※ 目安値

①基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（平成25年6月原子力規制委員会）

；発電用軽水炉型原子炉施設の各建物及び構築物の基礎底面の傾斜に対する目安値

②建築基礎構造設計指針（日本建築学会）

；鉄筋コンクリート造の建物に構造的な障害が発生する限度角となる変形角の目安値

表4 各建屋基礎底面の傾斜の最大値および各種基準に示される目安値

| | | 基礎底面の傾斜 (最大) | 評価① (安定性評価に係る審査ガイド) | 評価② (建築基礎構造設計指針) |
|------------|-----|-----------------|------------------------|------------------------|
| | | | 【目安値】 1/2,000 | 【目安値】 1/1,000~1/500 |
| 原子炉 建屋 | 1号機 | 1/42,000 | OK | OK |
| | 2号機 | 1/47,000 | OK | OK |
| | 3号機 | 1/47,000 | OK | OK |
| | 4号機 | 1/49,000 | OK | OK |
| タービン 建屋 | 1号機 | 1/15,000 | OK | OK |
| | 2号機 | 1/10,000 | OK | OK |
| | 3号機 | 1/11,000 | OK | OK |
| | 4号機 | 1/11,000 | OK | OK |

山側ライン上の埋設物に対する施工時の考慮

1 はじめに

陸側遮水壁は、地盤中に凍結管を約1m間隔で設置し、凍結管内に-30℃のブライン（冷却材）を循環させて凍結管周囲の地盤を凍結して造成する。建屋周辺の地盤中には、トレンチ・配管・排水路等の埋設物が存在し、埋設物が陸側遮水壁を横断する箇所では、埋設物の周囲の地盤を巻き込んで陸側遮水壁を造成する。陸側遮水壁を横断する埋設物周辺の施工にあたっては、埋設物を図面・試掘・現地調査で確認し、構造形式、内容物、埋設物内部の状況を整理した上で、埋設物の幅・機能に応じて、適切な施工方法を選定する。

1.1 陸側遮水壁の施工手順

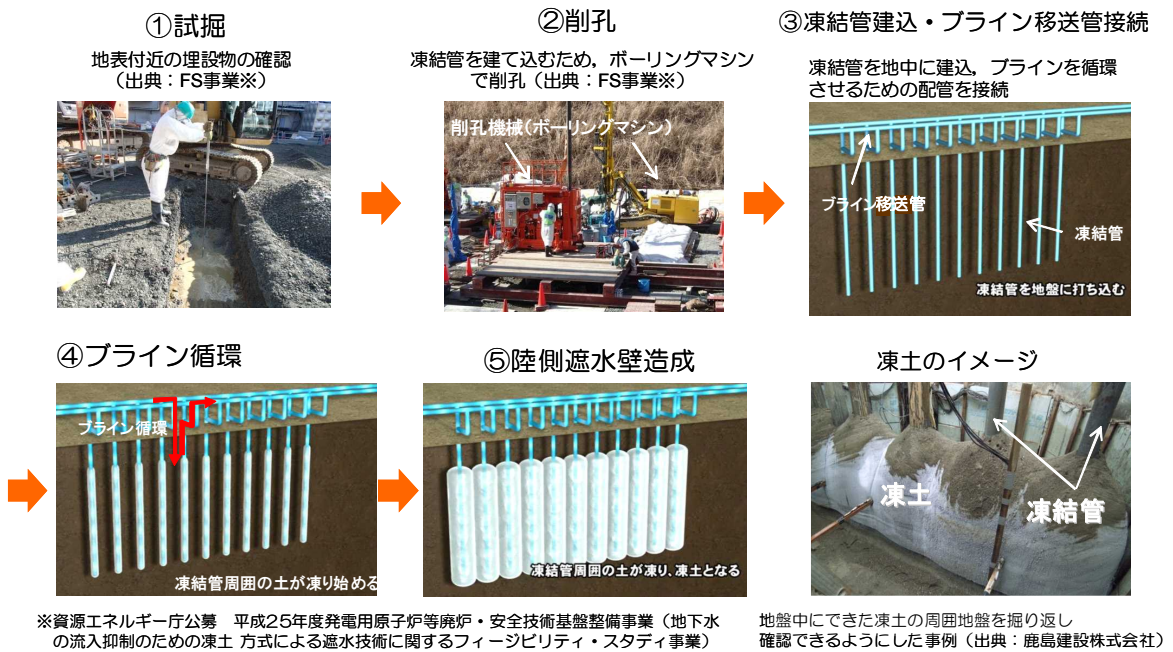


図1 陸側遮水壁の施工手順イメージ

1.2 埋設物の種類

建屋周辺の地盤中には、建屋間を連絡する電気・通信ケーブルや配管を内包するトレンチおよび雨水用の排水路等の埋設物が存在する。

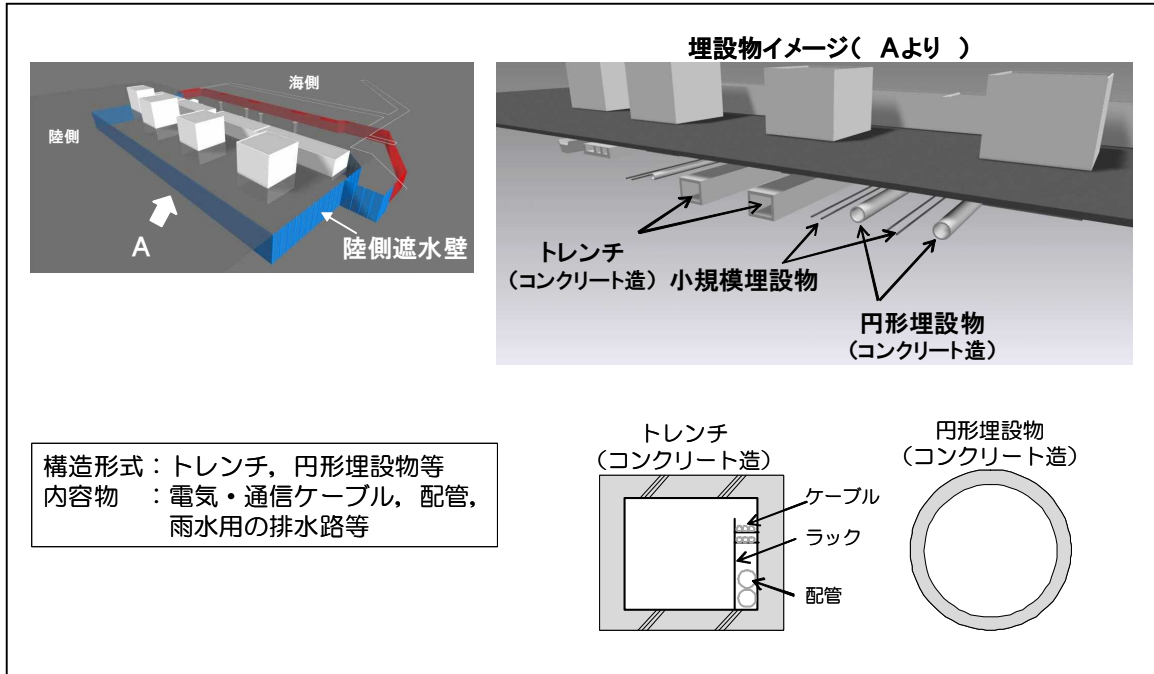


図2 埋設物のイメージ

2 埋設物に対する施工方法

陸側遮水壁の凍結管は、一般部では約1m間隔で1列に設置することから、幅1m程度以下の埋設物が横断する箇所では、凍結管の設置間隔を微調整することで干渉を回避することができる。しかし、幅1m程度以上の埋設物が横断する箇所では、干渉を回避すると凍結管の間隔が広がるため、十分な凍結効果が得られず、凍結管の間に未凍結部分が生じるおそれがある。このような埋設物の横断箇所においては、埋設物を貫通して凍結管を設置する貫通施工や、埋設物の軸方向に複数の凍結管を設置する複列施工を用いて、埋設物周囲の地盤を巻き込んで凍結する。

2.1 単列施工

一般部と同様の間隔で凍結管を設置し、埋設物周囲の地盤を巻き込んで凍結する。

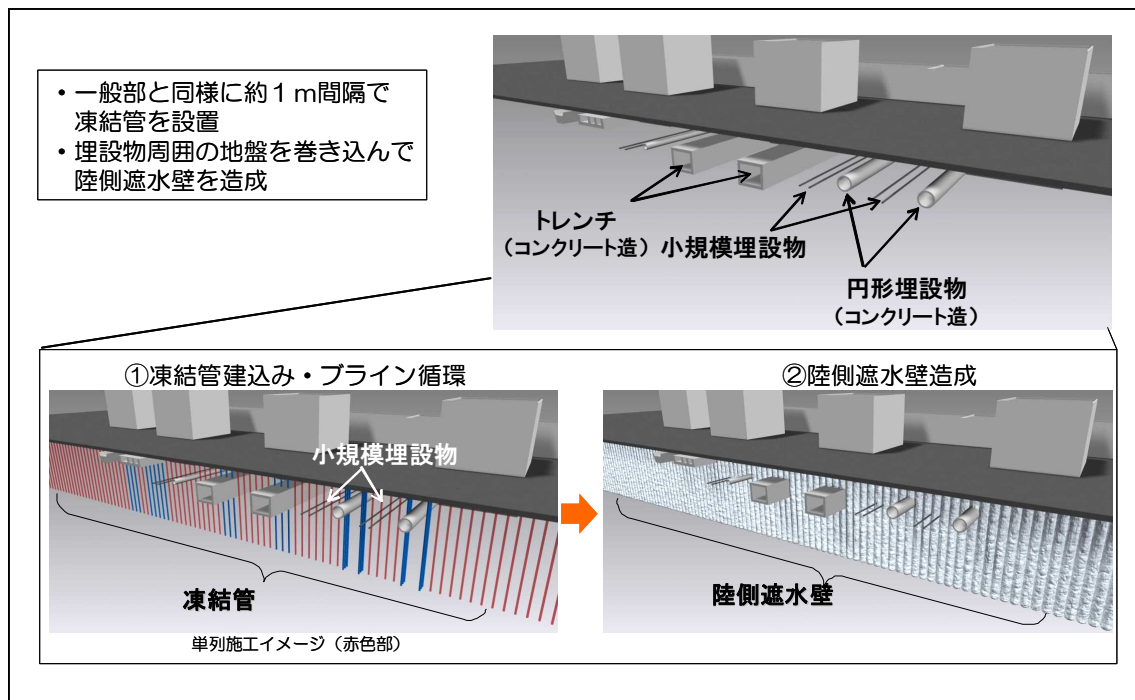


図3 単列施工のイメージ

2.2 貫通施工

- 埋設物の頂版・底版を切削・貫通して凍結管を設置し，埋設物周囲の地盤を巻き込んで陸側遮水壁を造成する。
- 埋設物の貫通は，埋設物内部等の状況により，単純貫通工法，内部充填工法，マルチステップ工法のいずれかを用いて施工する。

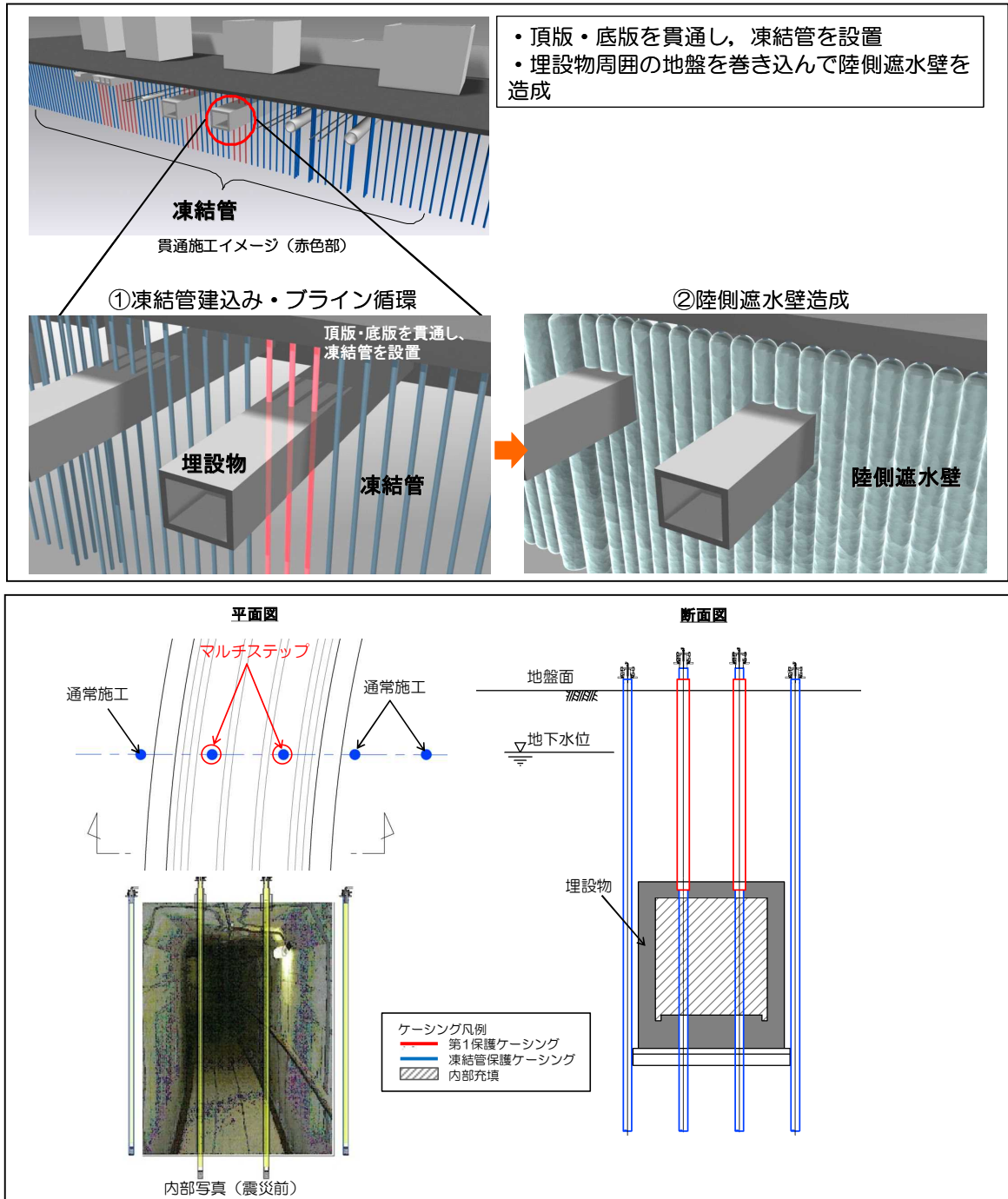


図4 貫通施工のイメージ

2.3 複列施工

埋設物の幅が1 m程度以上で、必要な埋設物内部の通水断面が貫通施工では確保できない箇所において、埋設物の軸方向に複数の凍結管を設置し、埋設物周囲の地盤を巻き込んで陸側遮水壁を造成する。

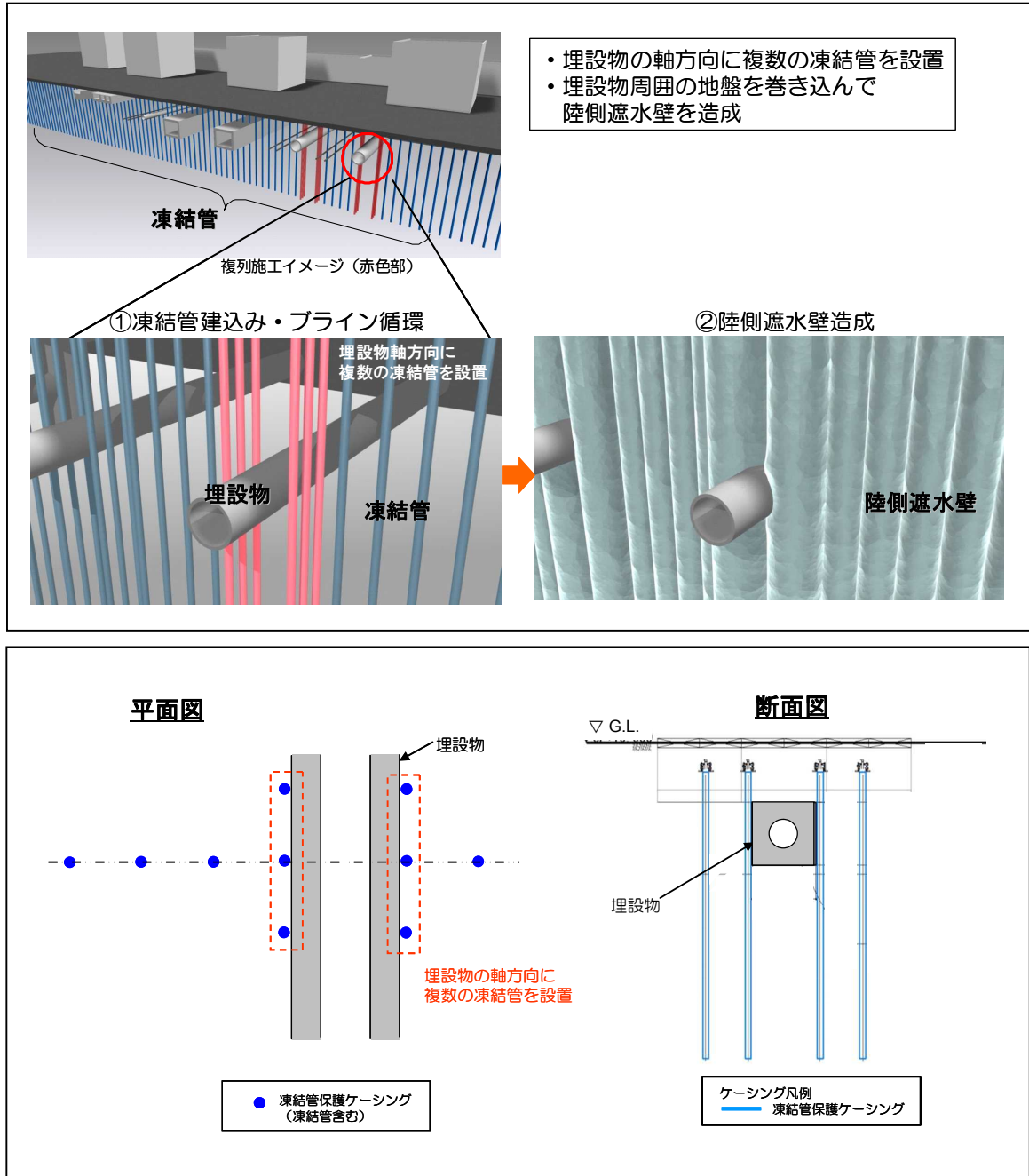


図5 複列施工のイメージ

3 貫通施工の基本方針

3.1 貫通施工の種類と施工パターン

3.1.1 貫通施工の種類

- 単純貫通工法 : ボーリング工法を用いて埋設物を単純に貫通する施工方法
- 内部充填工法 : 内部充填により貫通箇所の水密性を確保し、ボーリング工法を用いて埋設物を貫通する施工方法
- マルチステップ工法 : マルチステップ(多段式)ボーリング工法を用いて貫通箇所において漏えい防止の水密性を確保し、埋設物を貫通する施工方法

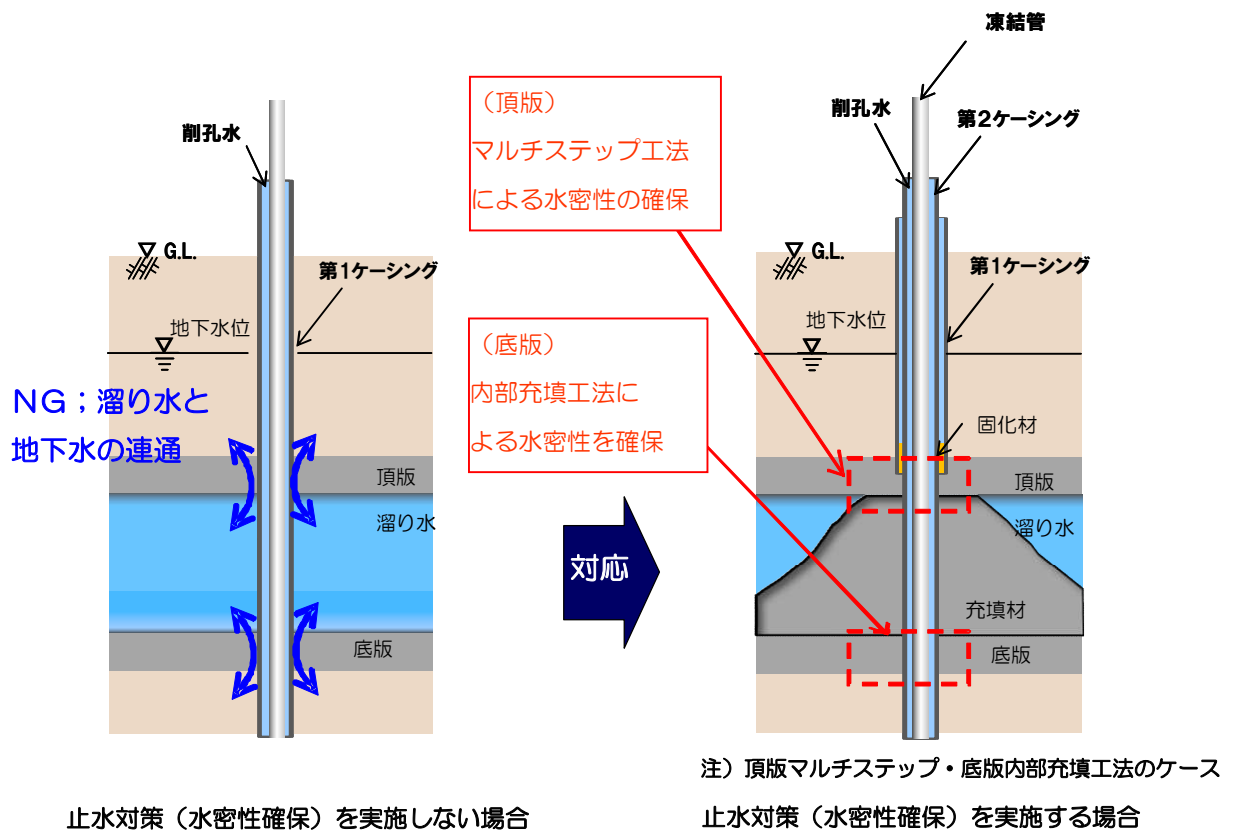
貫通箇所の水密性の確保は、埋設物の頂版はマルチステップ工法、底版は内部充填工法を用いる。ただし、内部の通水を確保する必要がある排水路の底版においては、マルチステップ工法を用いて貫通箇所の水密性を確保する。

3.2 貫通施工における水密性の確保

3.2.1 貫通施工時の留意事項

貫通施工を行う際には、以下について留意する。

| 留意事項 | 対応 |
|--|---|
| 埋設物内の溜り水と地下水の連通の防止 | 水密性の確保（内部充填工法・マルチステップ工法の適用） |
| OF ケーブル（Oil Filled, ケーブル油含む）や運用中の通信・制御ケーブルの損傷の防止 | <ul style="list-style-type: none"> ・ OF ケーブル；トレンチ内の位置確認，移動 ・ 通信・制御ケーブル；図面・現地確認により使用状況を確認，必要に応じて移動 |



マルチステップ工法における水密性確保に関する成立性確認

マルチステップ工法による埋設物頂版・底版貫通施工時の水密性確保については、資源エネルギー庁公募「平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業（地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフェージビリティ・スタディ事業）」により成立性が確認されている。

図 6 貫通施工時の留意事項

3.2.2 貫通施工の施工パターン

貫通施工は、以下の施工パターンの工法を用いて施工する。

(1) 頂版単純貫通・底版内部充填工法

埋設物周辺の地下水位が頂版より低く、かつ、貫通箇所の溜り水が自由水面を持つ場合に適用する。

(2) 頂版マルチステップ・底版内部充填工法

埋設物周辺の地下水位が頂版より高い場合、または、貫通箇所の溜り水が被圧されている場合（不明な場合を含む）に適用する。

(3) 頂版撤去・底版内部充填工法

浅部に設置されて掘削して頂版に開口部を設けることが可能な埋設物、または、頂版が蓋掛け構造の埋設物において、貫通箇所に溜り水が存在する場合に適用する。

(4) 頂版単純貫通・底版マルチステップ工法

埋設物周辺の地下水位が頂版より低く、かつ、内部の溜り水が自由水面を持つ埋設物において、貫通箇所の通水を確保する必要がある場合（排水路を想定）に適用する。

(5) 頂版単純貫通・底版単純貫通工法

埋設物周辺の地下水位が底版より低く、かつ、貫通箇所に溜り水がない場合に適用する。

3.3.1 頂版単純貫通・底版内部充填工法

頂版単純貫通・底版内部充填工法の施工手順を図7に示す。

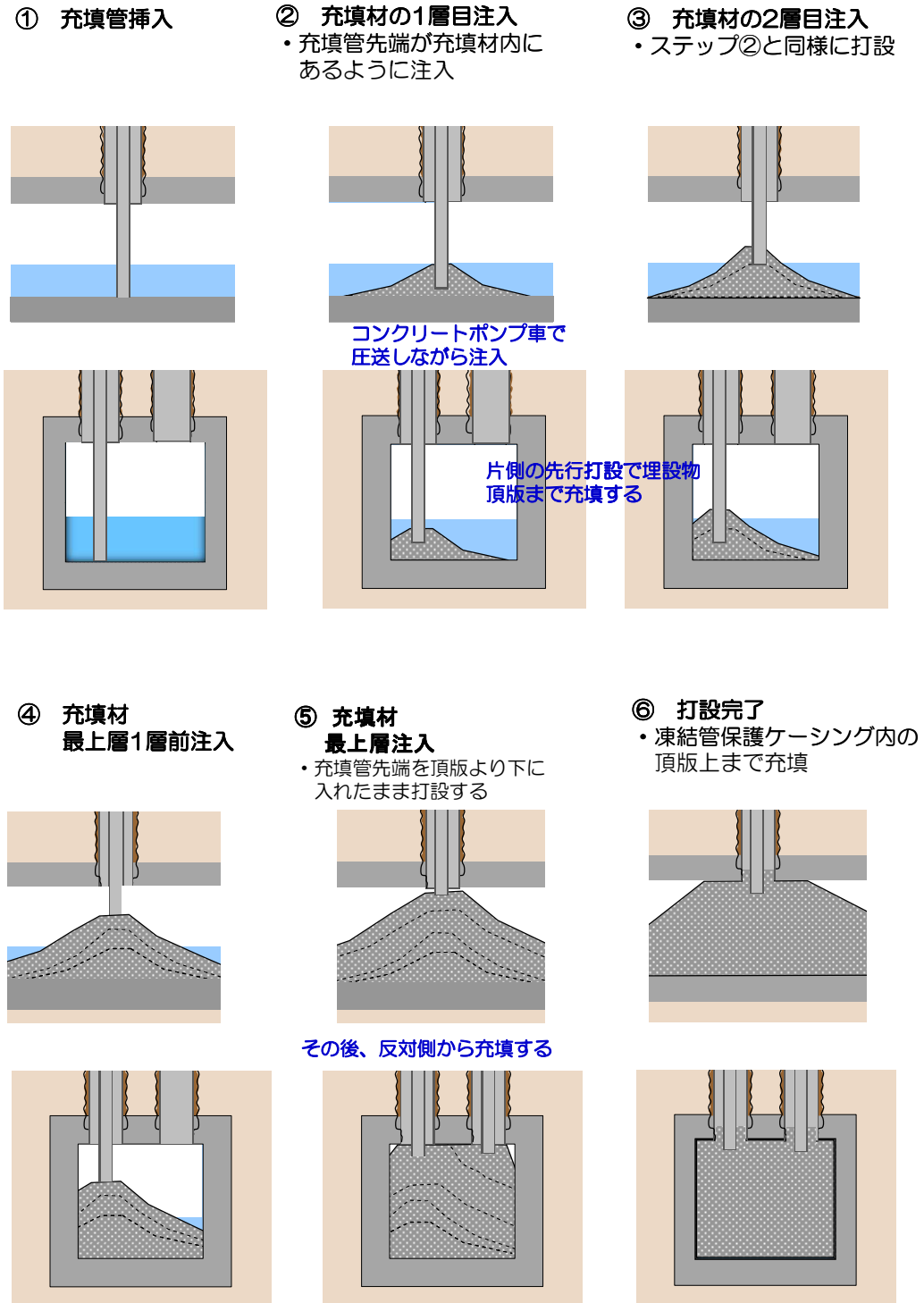
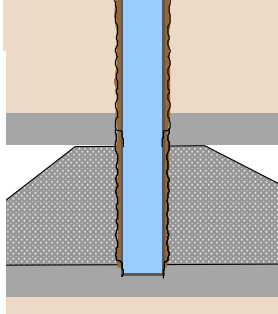


図7-1 頂版単純貫通・底版内部充填工法の施工手順（1）

⑦ 底版切込・水密性確認

- ・凍結管保護ケーシングで削孔
- ・底版切込後、ケーシングを少し引上げ、水密性確認



⑧ 底版貫通・地盤削孔

- ・凍結管保護ケーシングで底版を削孔貫通
- ・継続して、地盤を削孔

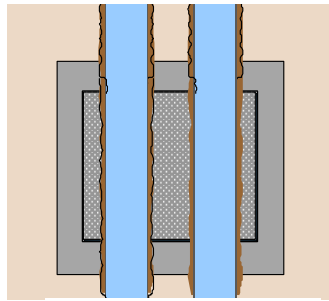
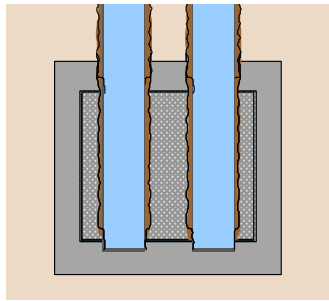
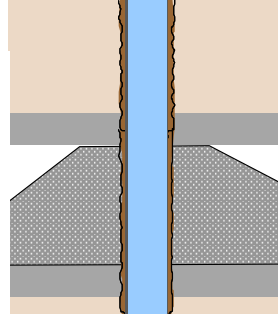
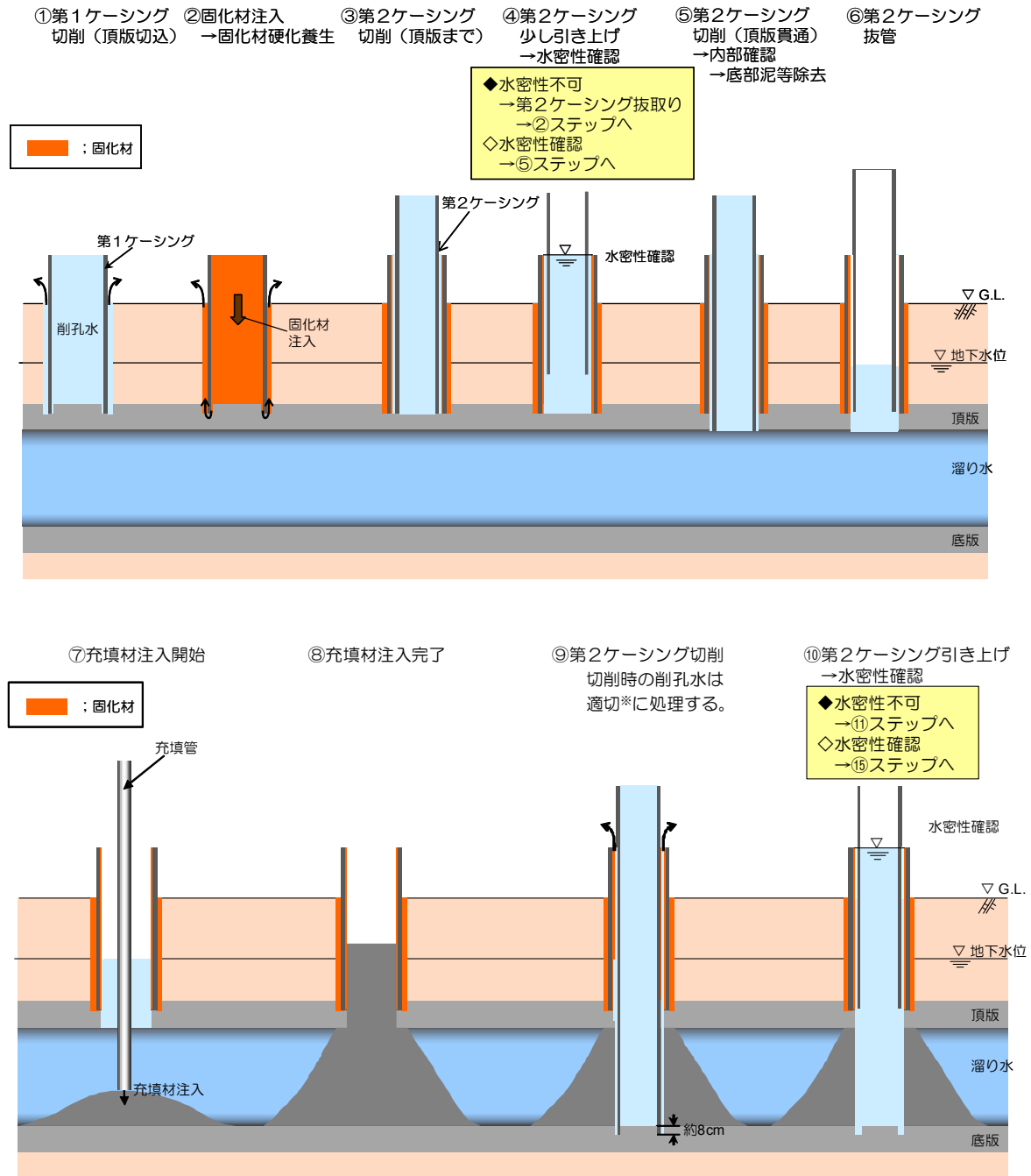


図7-2 頂版単純貫通・底版内部充填工法の施工手順(2)

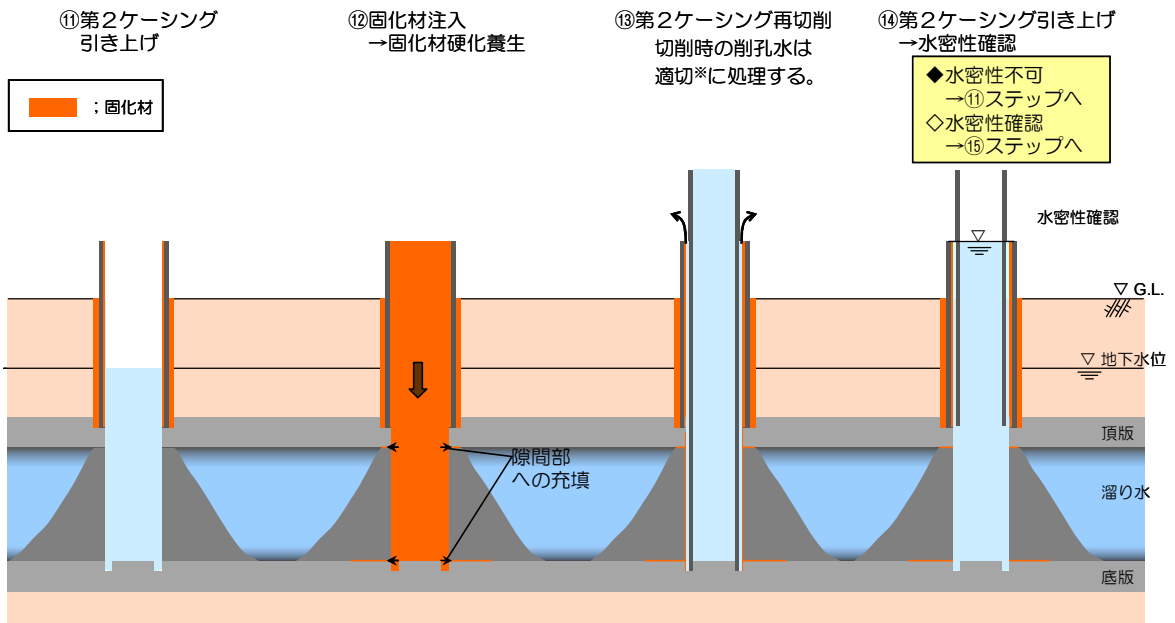
3.3.2 頂版マルチステップ・底版内部充填工法

頂版マルチステップ・底版内部充填工法の施工手順を図8に示す。



注) 同一の構造物における同一の手順の削孔には再利用する。
 また、放射性物質濃度を測定した上で、同程度の濃度以上の溜り水を有する構造物における同一手順の削孔にも再利用する。
 最終的に再利用できない余剰水は「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係わる実施計画」に記載の設備で処理する。

図8-1 頂版マルチステップ・底版内部充填工法の施工手順 (1)



注) 同一の構造物における同一の手順の削孔には再利用する。
また、放射性物質濃度を測定した上で、同程度の濃度以上の溜り水を有する構造物における同一手順の削孔にも再利用する。
最終的に再利用できない余剰水は「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係わる実施計画」に記載の設備で処理する。

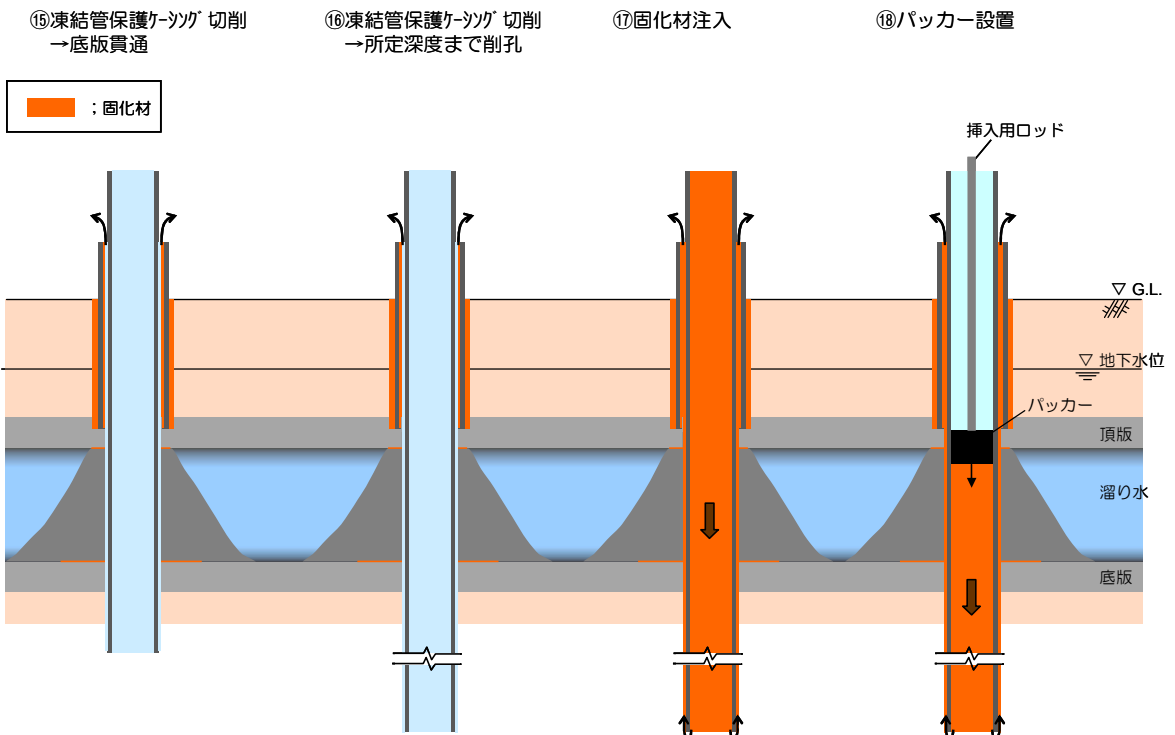


図 8 - 2 頂版マルチステップ・底版内部充填工法の施工手順 (2)

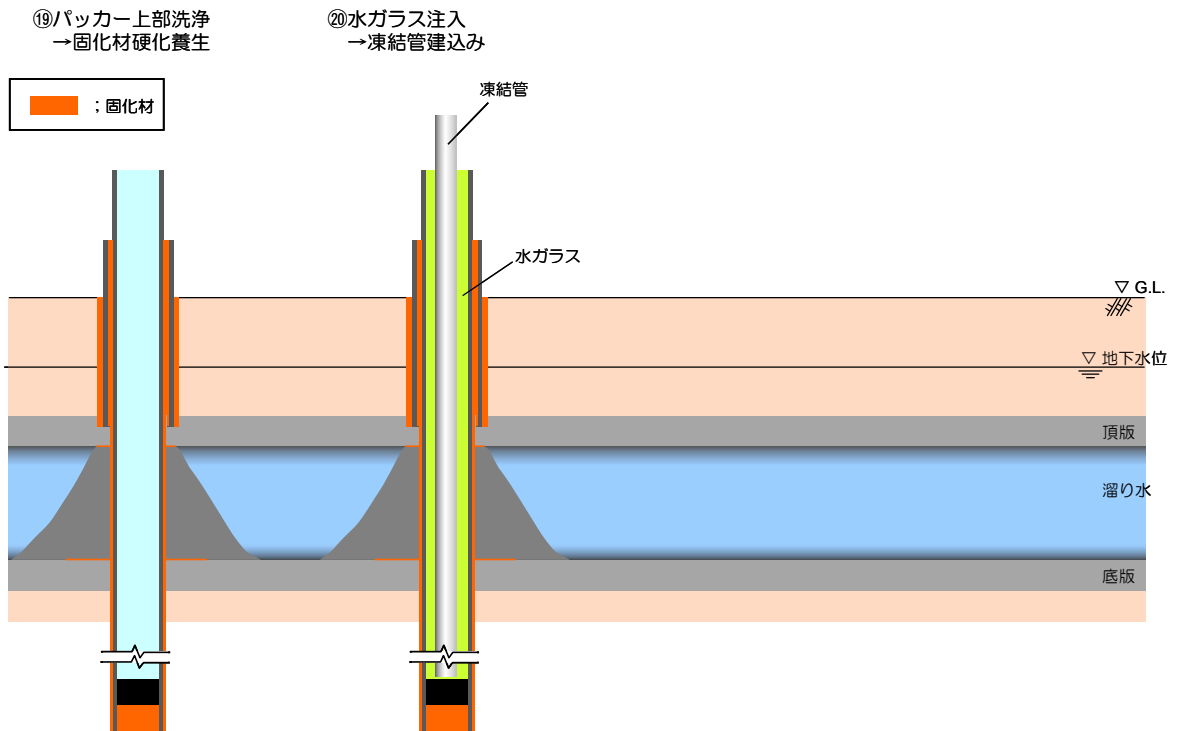


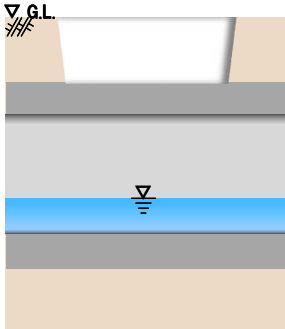
図 8 - 3 頂版マルチステップ・底版内部充填工法の施工手順 (3)

3.3.3 頂版撤去・底版内部充填工法

頂版撤去・底版内部充填工法の施工手順を図9に示す。

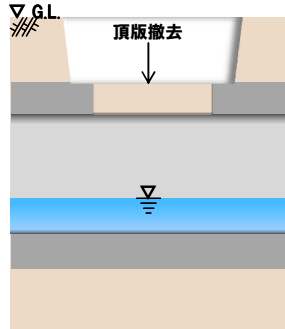
① 埋設物上部地盤の掘削

- ・試掘により埋設物の位置を確認した上で、埋設物上部の地盤を掘削



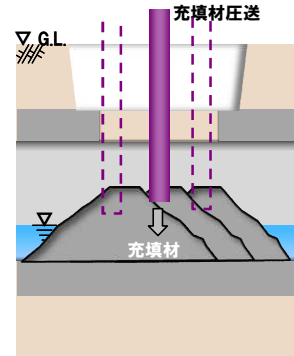
② 頂版撤去

- ・頂版撤去後、内部状況を確認



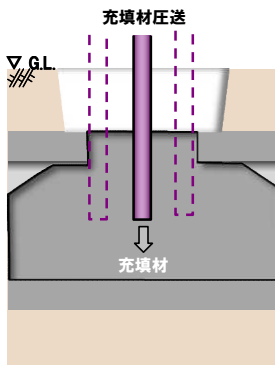
③ 内部充填

- ・内部状況確認しながら、充填管を用いて開口部より均等に充填材を圧送



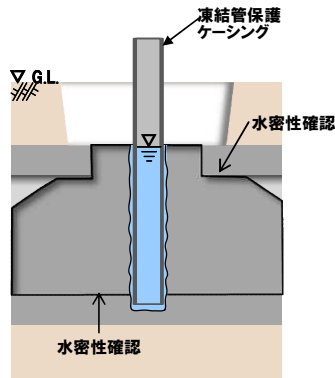
④ 内部充填

- ・埋設物内部が均等に充填されていることを確認しながら、頂版上まで充填



⑤ 底版切込・水張試験

- ・凍結管保護ケーシングで削孔
- ・頂版を切削後、ケーシングを少し引き上げ
- 水密性確認



⑥ 底版貫通・地盤削孔

- ・水質確認後、凍結管保護ケーシングで底版貫通
- ・ケーシングで地盤を削孔

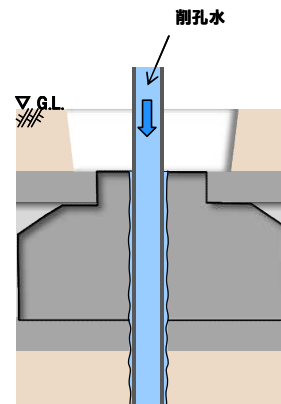


図9 頂版撤去・底版内部充填工法の施工手順

3.3.4 頂版単純貫通・底版マルチステップ工法

頂版単純貫通・底版マルチステップ工法の施工手順を図10に示す。

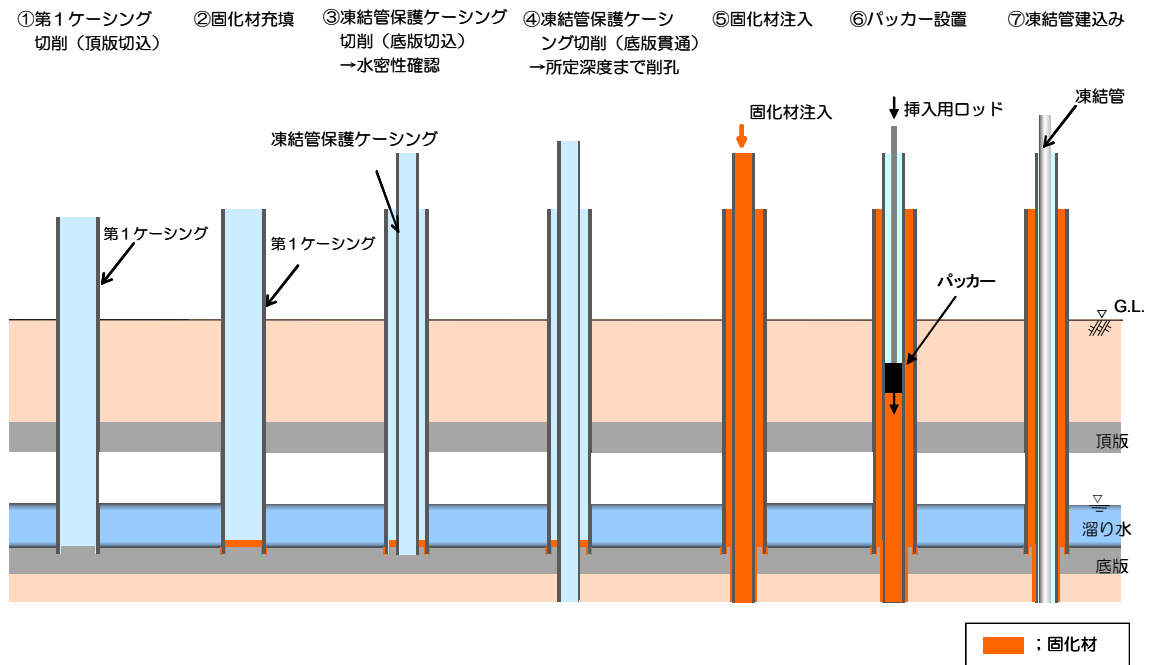


図10 頂版単純貫通・底版マルチステップ工法の施工手順

3.3.5 頂版単純貫通・底版単純貫通工法

埋設箇所の水密性確保を必要としない箇所については、通常のボーリング削孔を用いて埋設物の頂版および底版を削孔する。

3.3.6 施工後の貫通箇所の水密性確認

(1) 排水路を除く埋設物

- ・埋設物内の溜り水および貫通箇所近傍地下水の水位・水質を測定し、貫通箇所の水密性確認を行う。

(埋設物内の溜り水)

貫通施工前後に埋設物内の溜り水の水位・水質を測定し、貫通箇所の漏えい有無を確認する。

＜確認時期＞・施工前：順次実施

- ・施工後：各年実施する「福島原子力発電所 1～4号機トレンチ内滞留水の点検」に、貫通施工を対象とする埋設物を追加して確認

(貫通箇所近傍地下水)

貫通箇所近傍^{※1}地下水の水位・水質について測定する。Cs-137 または Sr-90 の放射性物質濃度が告示濃度限度^{※2}を超えた場合は、調査頻度の増加等により原因を調査する。実施にあたっては、漏えい監視計画を作成した上で実施する。

＜確認時期＞・初回：溜り水水位より周辺地下水水位が低下する前に実施^{※3}

- ・2回目以降：各年実施する「福島原子力発電所 1～4号機トレンチ内滞留水の点検」の点検時期に合わせて実施^{※4}
- ・溜り水水位より周辺地下水水位が低下した時^{※5}

- ※1 新たに観測井を設置する場合は、構造物の貫通箇所から地下水の流下方向で干渉物を避けた最短位置に可能な限り速やかに設置する。
- ※2 東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示に基づく周辺監視区域外の水中の濃度限度
- ※3 貫通施工箇所近傍の観測井を活用して確認する。なお、貫通施工箇所と観測井の離隔距離等の状況によっては、新たに観測井を設置し確認箇所を可能な限り速やかに変更する。但し、溜り水水位より周辺地下水水位が低下した後に観測井を変更した場合は、設置後速やかに水位・水質を測定する。
- ※4 初回から2回目の確認の期間が6ヶ月以上の間隔が空く場合は、追加の確認を実施する。
- ※5 溜り水水位より周辺地下水水位が低下する時期は、貫通箇所周辺の観測井等の水位データを活用して判断する。

(2)排水路

- ・地下水位など埋設物ごとの周辺状況に応じた方法で、水密性を確認する。

＜確認時期＞ 貫通施工後～凍結開始前

(排水路内の流況を踏まえて確認時期を確定する)

(3)漏えいが確認された場合の対応

- ・別途、変更申請を行う。

表1 施工後の排水路の貫通箇所における水密性の確認方法

| 設 備 | | 確認方法 | 備 考 |
|-----|--------|-------------------------|------------|
| 4-1 | K排水路① | ・水張り試験による貫通箇所周辺の水密性確認 | ・地下水位<底版標高 |
| 5-3 | 大芋沢排水路 | | ・常時没水 |
| 7-3 | K排水路② | ・排水路内部点検による貫通箇所の湧水の有無確認 | ・底版標高<地下水位 |

4 凍結防止措置

陸側遮水壁を横断する埋設物のうち、埋設物内部の凍結を防止する必要がある箇所では、以下に示す方法等により対応する。

4.1 凍結管外周部に断熱材を設置する方法

凍結管外周部に断熱材を設置し、埋設物内部の凍結を防止する。

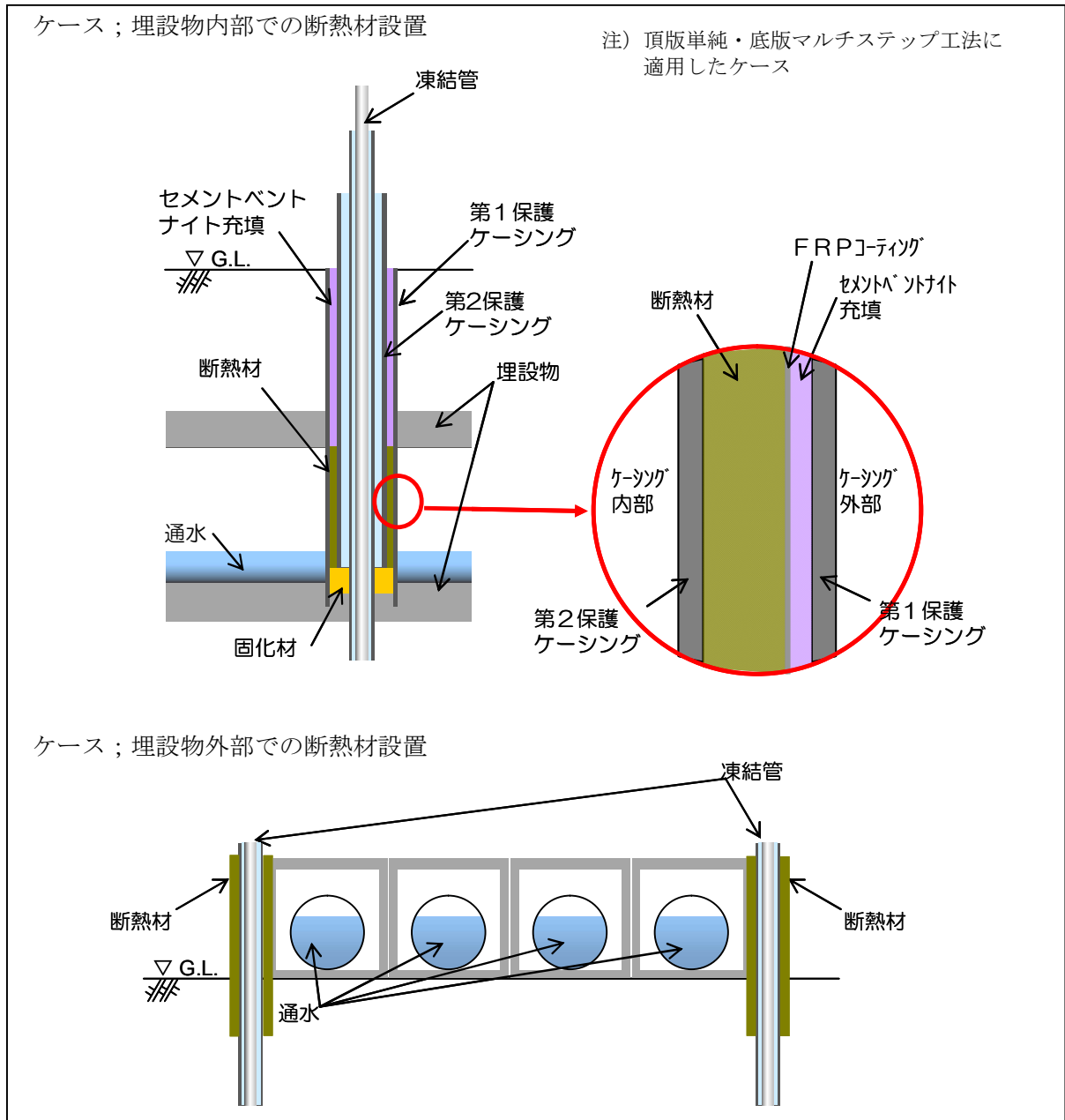


図 1 1 凍結管外周部への断熱材設置による凍結防止イメージ

4.2 埋設物外周部に断熱材を設置する方法

埋設物外周部に断熱材を設置し，埋設物内側の凍結を防止する。

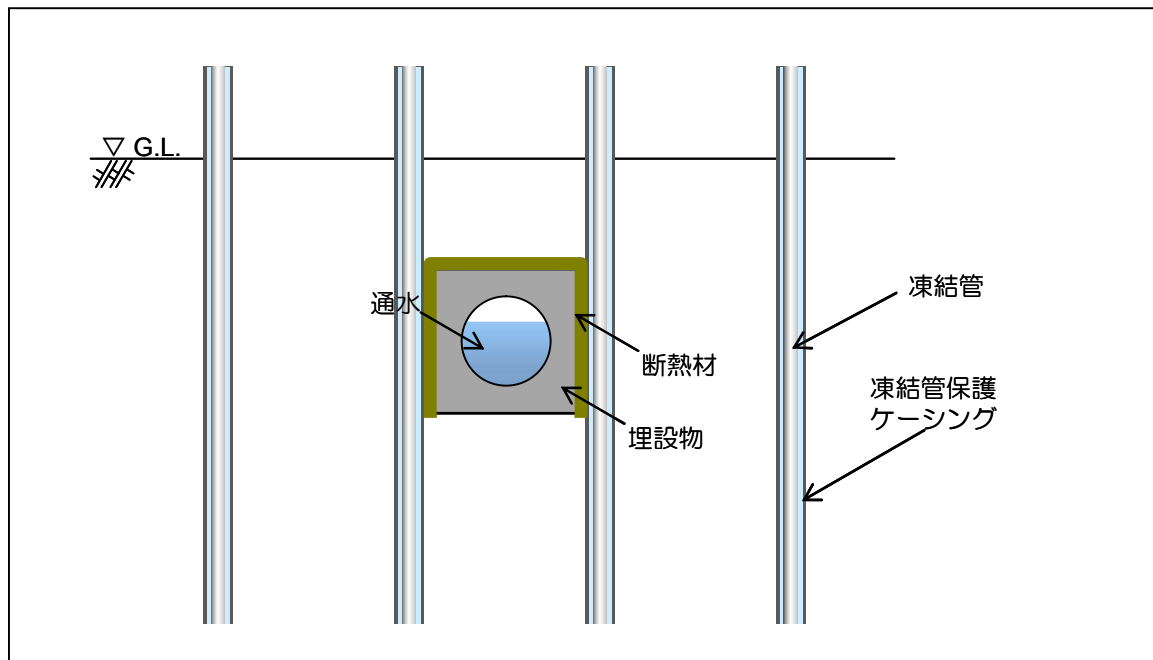


図 1 2 埋設物外周部への断熱材設置による凍結防止イメージ

5 山側ライン上の貫通施工・複列施工の対象箇所

山側ライン上の凍結管（測温管含む）の貫通施工・複列施工の対象箇所を図13、表2に示す。また、それぞれ箇所での施工方法を図16に示す。

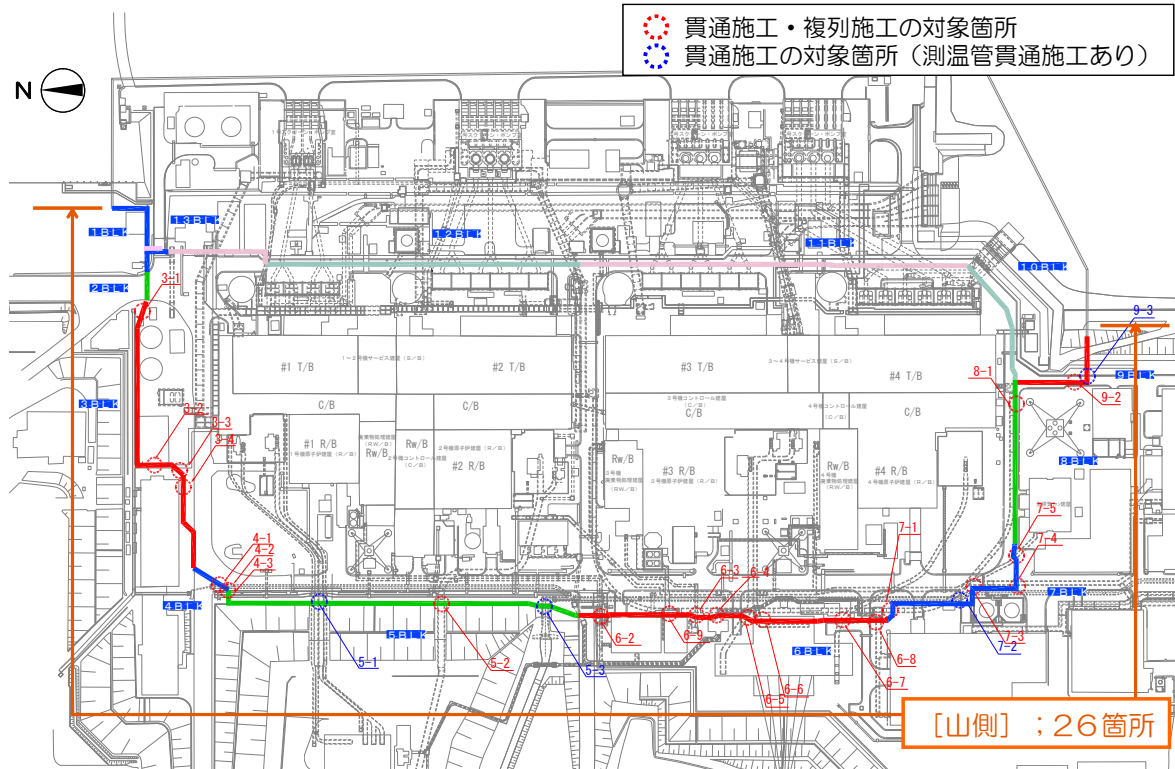


図13 貫通施工・複列施工の対象箇所

表2 貫通施工・複列施工の対象箇所

| | 構造物名 | 溜り水調査※4 | | 貫通施工箇所での溜り水※4 | | 調査時期 | 施工パターン | 備考 |
|---------------------|------------------------|----------|----------|---------------|---------|----------------------------|-------------------------|---|
| | | 溜り水※3の有無 | 溜り水※1の区分 | 有無 | 自由水面・被圧 | | | |
| 3BLK | 3-1 排水ヒューム管① | —※2 | — | — | — | — | 複列 | |
| | 3-2 水処理建屋～1号機T/B連絡ダクト① | 有 | C | — | — | H25.12 | 複列 | |
| | 3-3 水処理建屋～1号機T/B連絡ダクト② | | | — | — | | 複列 | |
| | 3-4 仮設ケーブルトレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.12 | 複列 | |
| 4BLK | 4-1 K排水路① | —※2 | — | — | — | — | (頂版)単純 (底版)マルチステップ | |
| | 4-2 ケーブルダクト | 無 | — | 無 | — | H23.12 ～H24.1 | (頂版)頂版撤去 (底版)単純 | 蓋がほぼ地上に位置している |
| | 4-3 発電所西側ケーブルダクト | 無 | — | 無 | — | H23.12 ～H24.1 | (頂版)頂版撤去 (底版)単純 | 蓋がほぼ地上に位置している |
| 5BLK | 5-1 1号機電気ケーブルダクト | 有 | C | 無 | — | H23.12 ～H24.1 H25.12 | (頂版)単純 (底版)単純 | ・起動用変圧器洞道 ・主要変圧器洞道 ・測温管貫通施工あり ・予備電源ケーブル洞道 ・コントロール洞道 ・測温管貫通施工あり |
| | 5-2 2号機主変圧器ケーブルダクト | 有 | C | 無 | — | H23.12 ～H24.1 | (頂版)単純 (底版)単純 | |
| | 5-3 大芋沢排水路 | —※2 | — | — | — | — | (頂版)単純 (底版)マルチステップ | 測温管貫通施工あり |
| 6BLK | 6-2 1号機活性炭ホールダアップダクト | 有 | C | 有 | 自由水面 | H23.12 ～H24.1 | (頂版・中床版)単純 (底版)内部充填 | |
| | 6-3 3号機オフガス配管ダクト(北側) | — | — | — | — | — | 複列 | |
| | 6-4 1～4号機共用所内ポイラトレンチ | 無 | — | 無 | — | H23.12 ～H24.1 | (頂版)頂版撤去 (底版)単純 | |
| | 6-5 3号機主変圧器ケーブルダクト | 有 | C | 有 | 被圧 | H23.12 ～H24.1 | (頂版)マルチステップ (底版)内部充填 | |
| | 6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト | 有 | C | 有 | 被圧 | H25.12 | (頂版)マルチステップ (底版)内部充填 | |
| | 6-7 4号機主変圧器ケーブルダクト | 有 | C | 有 | 被圧 | H23.12 ～H24.1 | (頂版)マルチステップ (底版)内部充填 | |
| | 6-8 2～4号機DG連絡ダクト① | 有 | C | 無 | — | H25.12 | (頂版)単純 (底版)単純 | |
| 6-9 3号機活性炭ホールダアップ管路 | 無 | — | 無 | — | H26.11 | (頂版)単純 (底版)単純 | | |
| 7BLK | 7-1 2～4号機DG連絡ダクト② | 有 | C | 有 | 被圧 | H24.12 | (頂版)マルチステップ (底版)内部充填 | |
| | H24.12 | | | | | (頂版)マルチステップ (底版)内部充填 | 測温管貫通施工あり | |
| | 7-2 2～4号機DG連絡ダクト③ | —※2 | — | — | — | — | (頂版)単純 (底版)マルチステップ | |
| | 7-3 K排水路② | 有 | C | 有 | 自由水面 | H25.12 | (頂版)頂版撤去 (底版)内部充填 | |
| | 7-4 廃棄物系共通配管ダクト① | 有 | C | 有 | 自由水面 | H26.11 | (頂版)単純 (底版)内部充填 | |
| 7-5 廃棄物系共通配管ダクト② | 有 | C | 有 | 自由水面 | H26.11 | (頂版)単純 (底版)内部充填 | | |
| 8BLK | 8-1 滞留水移送管 | —※2 | — | — | — | — | 複列 | |
| 9BLK | 9-2 配管ダクト | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂版)単純 (底版)単純 | |
| | 9-3 集中ラド側カルパート | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂版)単純 (底版)単純 | 測温管貫通施工あり |

※1 貫通施工に関する溜り水の区分(放射性物質濃度(Cs))

- A: 1.0 × 10⁶Bq/L以上
- B: 1.0 × 10⁴Bq/L以上～1.0 × 10⁶Bq/L未満
- C: 1.0 × 10⁴Bq/L未満

今後の陸側遮水壁貫通施工に伴う調査により上記区分のA、Bに相当する溜り水が確認された場合は、溜り水の除去の計画を検討の上、実施する。

※2 排水設備および滞留水移送管

排水設備については雨水や地表水が流れる構造である。

※3 上表で溜り水「無」の埋設構造物内に、貫通施工前の調査によって溜り水を有することが確認された場合には工事を中止し、別途、変更申請を行う。ただし、測定の結果、明らかに雨水由来あるいは地下水由来の水と推定される場合については報告する。

※4 貫通施工を行う埋設構造物の貫通施工中に埋設構造物内の溜り水の水位が大きく変動した場合など、溜り水の漏えいを防止する観点で、上表の施工パターンを変更する必要がある場合には直ちに工事を中止し、別途変更申請を行う。

注1) 「6-1 2～3号機共用所内ポイラトレンチ」については、現地調査等により溜り水がないこと、また、現状使用しておらず今後とも使用しないことを確認したため、陸側遮水壁ラインと干渉する部分を撤去することとした。

これに伴い「貫通施工・複列施工の対象箇所」から除外した。

注2) 「8-2 排水ヒューム管②」及び「9-1 排水ヒューム管③」については、現地調査等により単列施工にて対応可能であることを確認したため、「貫通施工・複列施工の対象箇所」から除外した。

6 貫通施工箇所に溜り水を有する埋設物からの溜り水漏えいについて

貫通施工箇所に溜り水を有する埋設物に対して貫通施工を行う下記の8箇所については、溜り水水位と地下水位の関係で2種類の貫通施工方法を選択する。

建屋のひび割れ部において建屋内部の滞留水の水頭に対して外部の地下水の水頭が高い場合には、建屋外部から内部への移流が支配的となる。同様に、埋設物の貫通施工が完了した箇所において万一水密性が損なわれた場合、埋設物内の溜り水の調査結果から、溜り水の水頭よりも構造物周辺地下水の水頭が高くなる状態では、地下水が埋設物内に流入する“移流”が支配的となり、埋設物から溜り水が漏えいすることはない。一方、溜り水水頭よりも構造物周辺地下水の水頭が低くなる状態となり、万一貫通箇所の水密性が損なわれて溜り水が漏えいした場合においても、解析から得られた放射性物質濃度の上昇幅を、貫通箇所周辺地下水（震災以降に設置したサブドレンピット・観測井）の放射性物質濃度に加えた値が告示濃度限度以下であることから、周辺環境に与える影響はないものと考えられる（6.2参照）。

表3 貫通施工箇所に溜り水を有する埋設物の貫通施工方法

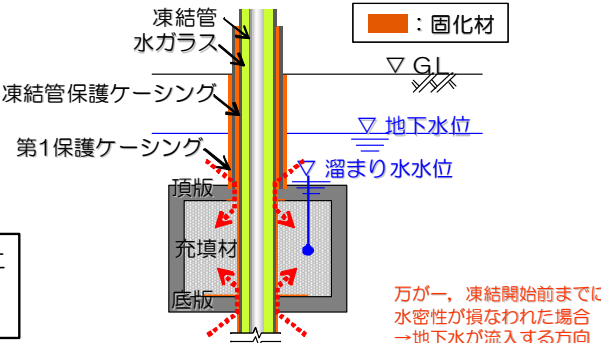
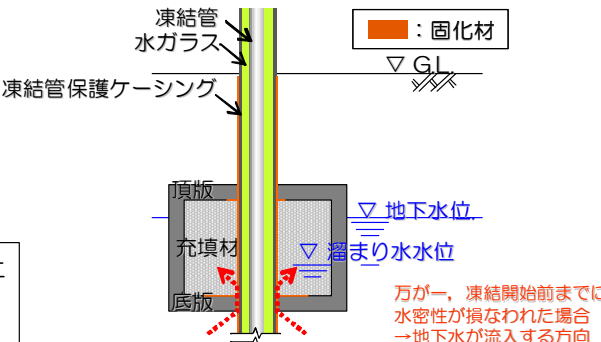
| 対象貫通箇所 | 貫通施工方法 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 6-5 3号機主変圧器ケーブルダクト • 6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト • 6-7 4号機主変圧器ケーブルダクト • 7-1 2~4号機DG連絡ダクト② • 7-2 2~4号機DG連絡ダクト③ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> 以下の施工方法により溜り水の漏えいを防止 頂版：マルチステップ工法 底版：内部充填工法 </div> |  |
| <ul style="list-style-type: none"> • 6-2 1号機活性炭ホールドアップダクト • 7-4 廃棄物系共通配管ダクト① • 7-5 廃棄物系共通配管ダクト② <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> 以下の施工方法により溜り水の漏えいを防止 頂版：単純貫通工法または頂版撤去 底版：内部充填工法 </div> |  |

表4 貫通施工箇所に溜り水を有する埋設物の溜り水水位と地下水位

| 対象貫通箇所 | 貫通施工方法 | 溜り水水位（測定時期） | 地下水位※（測定時期） |
|----------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| 6-2 1号機活性炭ホールドアップダクト | 頂版・中床版 ：単純貫通 底版：内部充填 | T.P. +4.96m (平成24年1月) | T.P. +5.1m (地下水位観測孔B孔 平成24年12月20日) |
| 6-5 3号機主変圧器ケーブルダクト | 頂版：マルチステップ 底版：内部充填 | T.P. +5.16m (平成24年1月) | T.P. +6.4m (サブドレンNo.45 平成24年4月18日) |
| 6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト | | T.P. +6.28m (平成25年12月) | |
| 6-7 4号機主変圧器ケーブルダクト | | T.P. +5.81m (平成24年1月) | |
| 7-1 2~4号機DG連絡ダクト② | | T.P. +4.69m (平成24年12月) | |
| 7-2 2~4号機DG連絡ダクト③ | | | |
| 7-4 廃棄物系共通配管ダクト① | 頂版：頂版撤去 底版：内部充填 | T.P. +5.74m (平成25年12月) | |
| 7-5 廃棄物系共通配管ダクト② | 頂版：単純貫通 底版：内部充填 | T.P. +5.99m (平成26年11月) | |

※：地下水位については貫通箇所近傍のサブドレン・地下水位観測孔の震災後の観測値（既往最低）より保守的に推定した。

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）とO.P.からT.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧O.P.-1,436mm

6.1 施工時の確認事項

上記の8箇所のうち2~4号機DG連絡ダクトを除く6箇所については、貫通施工を開始する前に、過去1年程度以内の測定結果を用いて当該埋設物の「溜り水水位 ≤ 地下水位」の確認、および、放射性物質濃度（Cs）が至近の測定データに対して有意に上昇していないこと（桁数オーダーで上昇していないこと）を確認した上で、当該箇所の貫通施工を実施する。なお、頂版の貫通施工後にも当該埋設物内の溜り水の水位計測を行い「溜り水水位 ≤ 地下水位」の確認を行った上で、その後の施工を実施する。

2~4号機DG連絡ダクトについては、自由水面を持つ箇所にアクセス出来ないことから、マルチステップにて頂版貫通を行った後に、水位および水質を計測し当該埋設物の「溜り水水位 ≤ 地下水位」の確認、および、放射性物質濃度（Cs）が至近の測定データに対して有意に上昇していないこと（桁数オーダーで上昇していないこと）を確認する。

上記条件を逸脱する計測・調査結果が得られた場合には別途変更申請を行う。

また、上記8箇所以外の埋設物貫通箇所については、貫通施工前に溜り水の有無を調査し、溜り水を有することが確認された場合には工事を中止し、別途、変更申請を行う。ただし、測定の結果、明らかに雨水由来あるいは地下水由来の水と推定される場合については報告する。

また、貫通施工を行う埋設物の貫通施工中に埋設物内の溜り水の水位が大きく変動した場合など、溜り水の漏えいを防止する観点で、表2記載の施工パターンを変更する必要性が生じた場合には直ちに工事を中止し、別途変更申請を行う。

6.2 溜り水を有する埋設物の貫通箇所から漏えいが生じた場合の影響

溜り水を有する埋設物の貫通箇所については、貫通箇所から溜り水の漏えいを生じさせない対策として、施工時に内部充填、水密性確認により水密性を確保するが、万一貫通箇所の水密性が損なわれた場合を仮定して、周辺地下水への影響を評価した。

影響の評価にあたり、貫通施工箇所に溜り水を有する埋設物に対して貫通施工を行う8箇所について水質調査を実施した結果、「6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト」の放射性物質濃度（Cs-137, 全β）が最も高かった（表5参照）。このため、「6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト」について、一次元核種移流拡散解析を用いて、貫通箇所から漏えいした溜り水が地下水を移流し地下水の流れ方向に位置する地点に到達した場合の核種の移流時間、濃度上昇幅を解析した結果、貫通箇所から流れ方向に1m離れた地点における地下水の放射性物質濃度の上昇幅はCs-137で1.4Bq/L, Sr-90で0.16Bq/L程度であった。なお、解析に用いた計算条件を表6に示す。

解析から得られた放射性物質濃度の上昇幅を、貫通箇所周辺地下水（震災以降に設置したサブドレンピット・観測井）の放射性物質濃度（図15参照）に加えた値が告示濃度限度以下であることから、万一貫通箇所の水密性が損なわれて溜り水が漏えいした場合においても、周辺環境に与える影響はないものと考えられる（表7参照）。

ただし、念のため、溜り水を有する埋設物の貫通施工箇所について、貫通施工後に、溜り水および貫通箇所周辺地下水の水位・水質を測定する（3.3.6参照）。

表5 溜り水を有する埋設物の貫通施工箇所における溜り水調査結果

(単位: Bq/L)

| | Cs-137 | 全β | Sr-90 | H-3 | 採水日 |
|----------------------|------------|------------|-------|------------|----------------------------|
| 6-2 1号機活性炭ホールドアップダクト | 210 170 | 300 240 | — | 210 190 | 平成26年10月18日 平成26年10月18日 |
| 6-5 3号機主変圧器ケーブルダクト | 200 | 330 | 7.3 | 150 | 平成27年3月4日* |
| 6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクト | 250 | 370 | 8.1 | ND(110) | 平成27年3月4日* |
| 6-7 4号機主変圧器ケーブルダクト | 50 | 68 | — | ND(110) | 平成26年10月16日 |
| 7-1 2~4号機DG連絡ダクト② | 64 | 71 | — | ND(110) | 平成26年10月29日 |
| 7-2 2~4号機DG連絡ダクト③ | 76 | 84 | — | ND(110) | 平成26年11月5日 |
| 7-4 廃棄物系共通配管ダクト① | 62 | 75 | — | 230 | 平成26年10月25日 |
| 7-5 廃棄物系共通配管ダクト② | 48 | 100 | — | 210 | 平成26年11月7日 |

注) NDは検出限界値未満を表し、()内に検出限界値を示す。

※ 平成26年10~11月の調査で放射性物質濃度が高かったことから、平成27年3月にSr-90を含めた再調査を実施

表6 一次元核種移流拡散解析に用いた計算条件

| 項目 | 設定値 | 備考 | |
|--------------------------|--------------------|--|------------------------|
| 貫通箇所周りの地下水流速 (ダルシー流速) | 11.4 cm/sec | <ul style="list-style-type: none"> 6-6 3号機起動用変圧器ケーブルダクトの底版貫通施工箇所において想定されるダルシー流速 海側遮水壁が閉合し、サブドレン稼働水位を屋屋水位+1m*の場合を仮定し、3次元地下水浸透流解析を用いて想定した。 ※サブドレン稼働の設定水位 <ul style="list-style-type: none"> No.8,9,N4,N5,N6 : T.P.+3.5m 上記以外のビット : T.P.+2.5m | |
| 漏えい期間 | 継続 | — | |
| 地盤の間隙率 | 0.41 | <ul style="list-style-type: none"> 中粒砂岩相当 (『福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書』平成5年4月(平成5年7月一部補正)) 地盤の真密度: 2650 kg/m³ | |
| 比重 | 2.65 | | |
| 地盤間隙の屈曲度 | 1.414 | • Kozeny-Carmanの式での定数 | |
| 分散長 | 1 m (移行距離の1/10) | <ul style="list-style-type: none"> 貫通施工箇所とその周辺の観測井の距離(数m~20m)を評価対象区間とし、その中間地点(10m)の分散長を想定し、移行距離(10m)の1/10として設定した。また、1/10については以下の文献を参考にした。 Gelhar et al.1992. A critical review of data on field-scale dispersion in Water Resources Research, Vol.28(7) ,pp.1955-1974. | |
| 解析期間 | 25年 | — | |
| 半減期 | Cs-137 | 30.17年 | — |
| | Sr-90 | 28.90年 | — |
| 分配係数 | Cs-137 | 0.4 m ³ /Kg | • 現地で採取した砂岩を用いた室内試験結果 |
| | Sr-90 | 7×10 ⁻³ m ³ /Kg | |
| 水中拡散係数 | Cs-137 | 2.02×10 ⁻⁹ m ² /sec | • 文献 (Gray, 1972)からの引用 |
| | Sr-90 | 7.94×10 ⁻¹⁰ m ² /sec | |

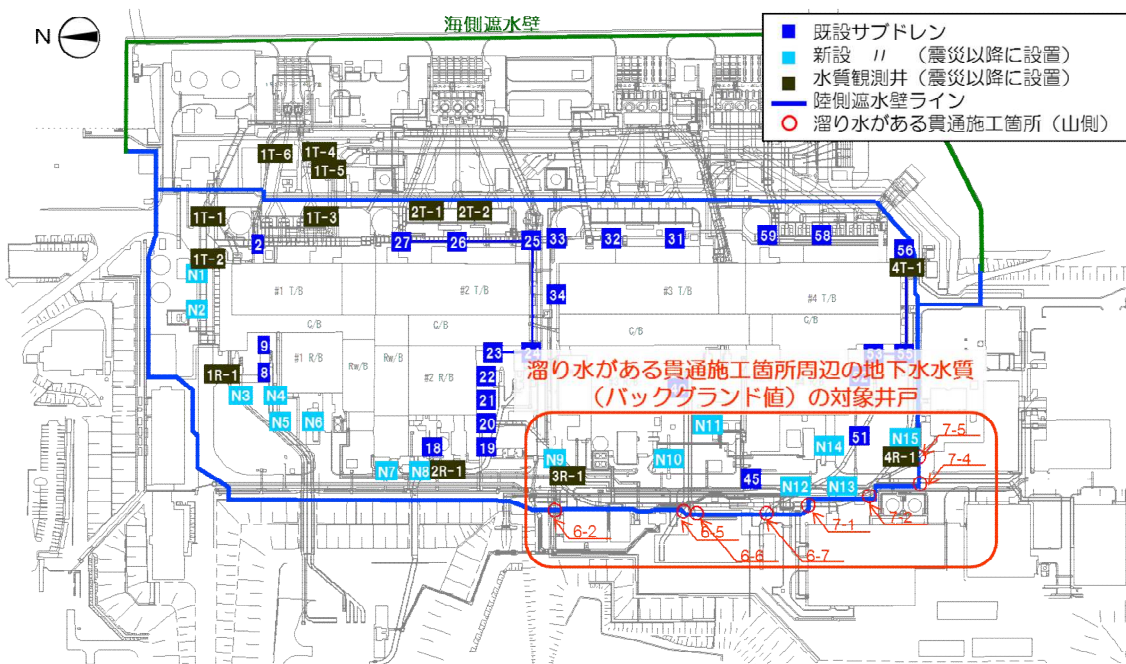


図 1 4 埋設物内に溜り水を有する貫通箇所周辺地下水の水質を測定するためのサブドレンピット・観測井 位置図

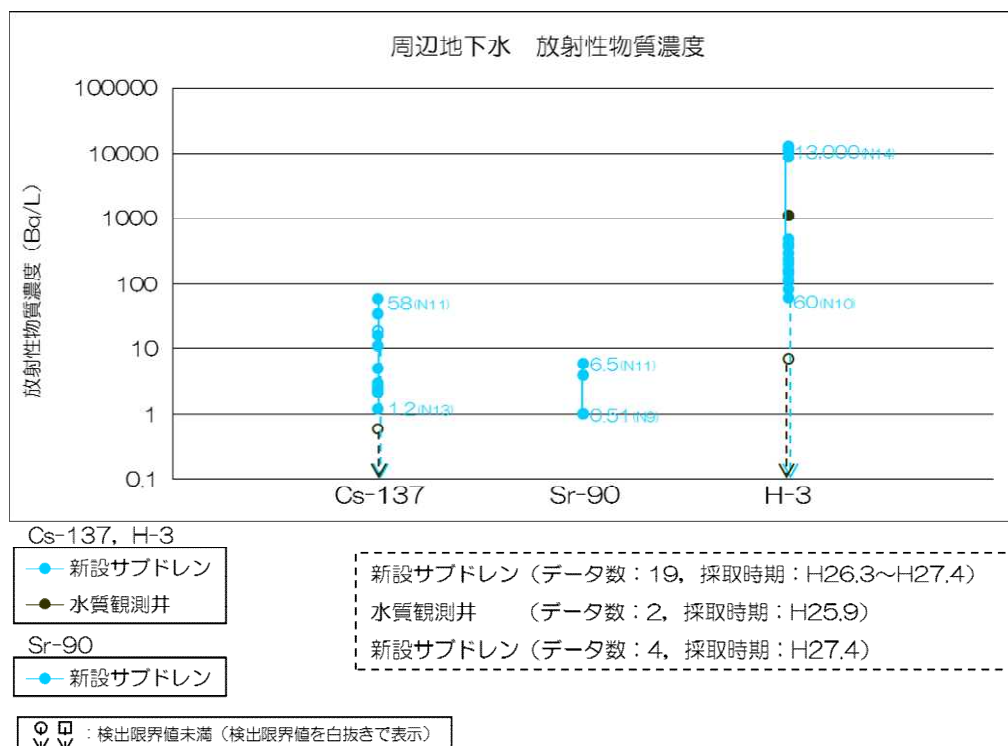


図 1 5 貫通箇所周辺地下水 (震災以降に設置したサブドレンピット・観測井) の放射性物質濃度

表7 貫通箇所から流れ方向に1 m離れた地点における放射性物質濃度変化

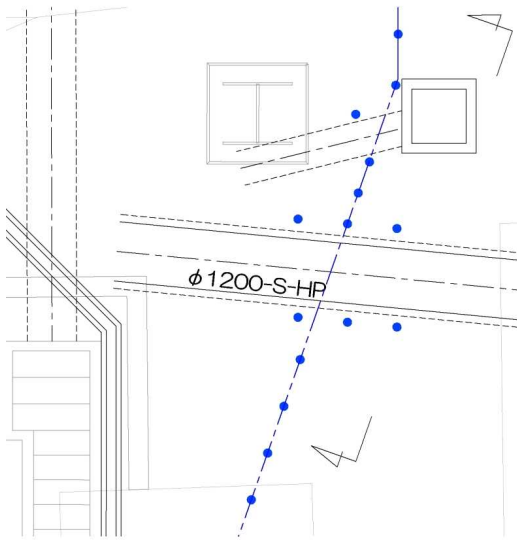
| | 濃度ピーク到達 までの期間 | 濃度ピーク到達時または 25年後の最大濃度 | (参考) 3-4号機建屋山側における震災以降に設置 したサブドレンピット・観測井の放射性物質濃度 |
|--------|------------------|--------------------------|---|
| Cs-137 | 25年以上 | 1.4Bq/L | 1.2~58Bq/L |
| Sr-90 | 1,000日程度 | 0.16Bq/L | 0.51~6.5Bq/L |

注1 埋設物内部の溜り水が凍結管と外壁の隙間を漏えい経路として、周辺地下水に継続して流出したものと仮定し、周辺地下水のCs-137, Sr-90の移行時間、濃度変化を一次元核種移流拡散解析により推定した。

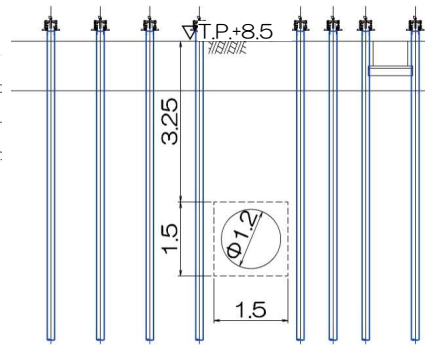
注2 埋設物内の溜り水のトリチウム濃度は周辺地下水と同程度であるため、漏えいした場合においても周辺環境への影響はないことから対象外とした。



平面図



断面図



<埋設物情報>

位置：山側 3BLK
形状：円形
寸法：幅1.5m
標高：T.P.+5.31m
溜り水：－
内部施設：雨水排水

<施工パターン>

複列

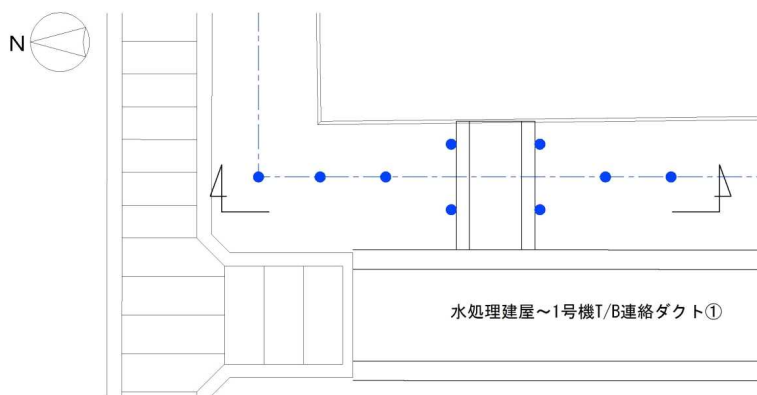
※ 地下水位及びヒューム管内部状況を確認し、必要に応じて凍結防止対策を実施する。

ケーシング凡例
— 凍結管保護ケーシング

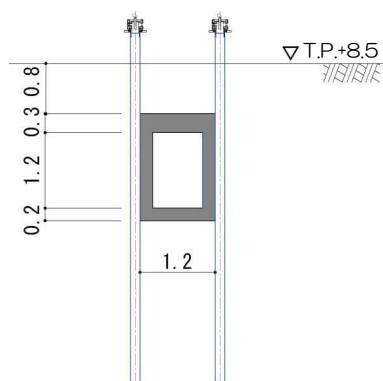
図16-1 【3-1】排水ヒューム管① 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
<換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

平面図



断面図



写真(震災後)

<埋設物情報>

位置：山側 3BLK

形状：矩形

寸法：幅1.2m

標高：T.P.+7.7m

溜り水：有

・Cs-134： 1.4×10^2 Bq/L

・Cs-137： 3.2×10^2 Bq/L

(H25.12測定)

内部施設：電気ケーブル

<施工パターン>

複列

ケーシング凡例

凍結管保護ケーシング

図16-2 【3-2】水処理建屋～1号機 T/B 連絡ダクト① 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

平面図

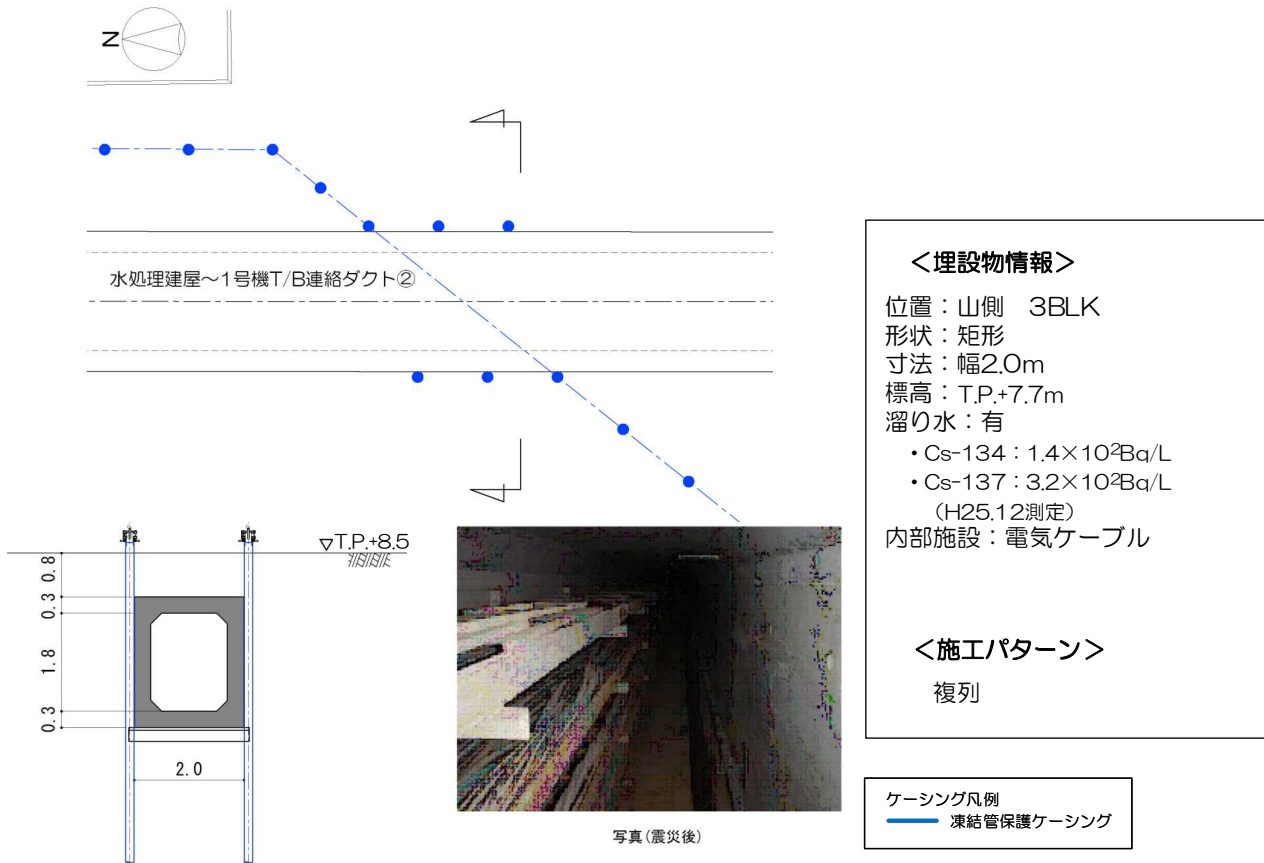


図16-3 【3-3】水処理建屋～1号機 T/B 連絡ダクト② 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

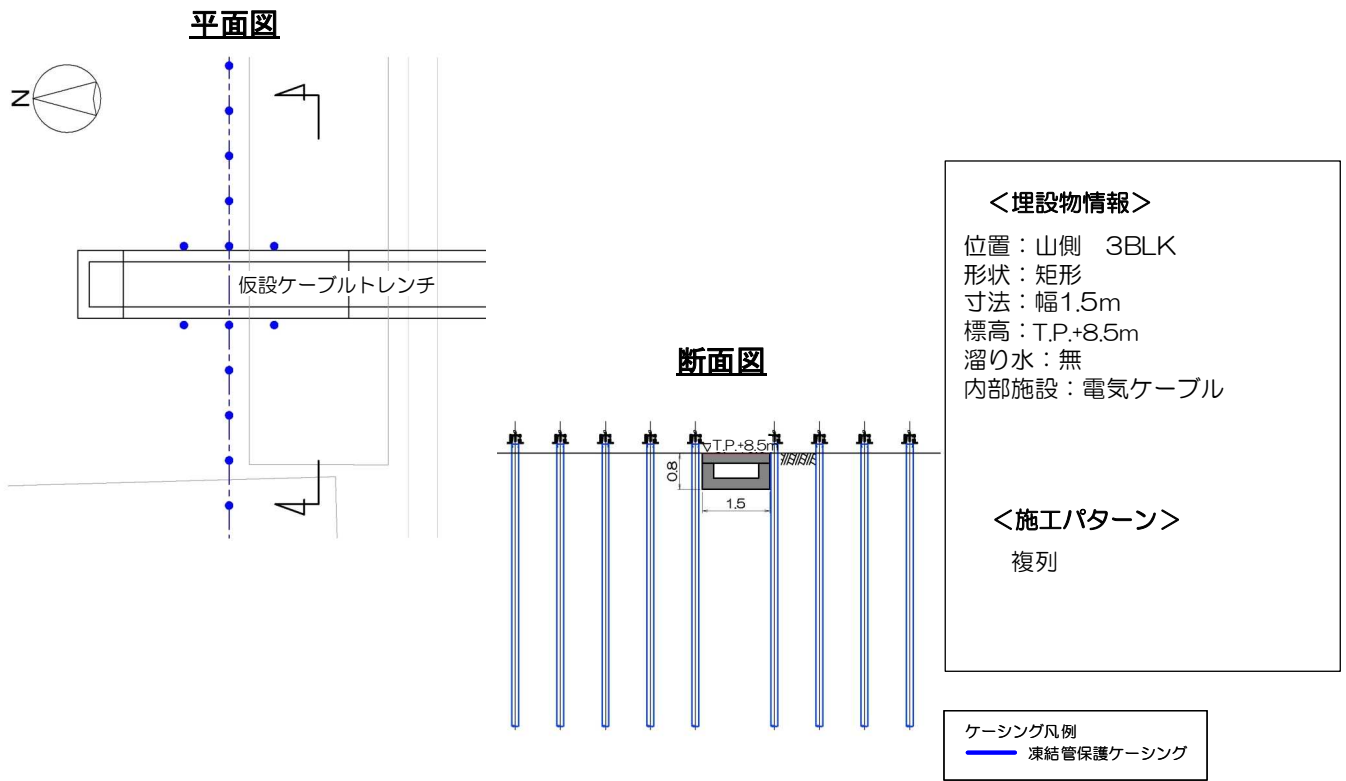
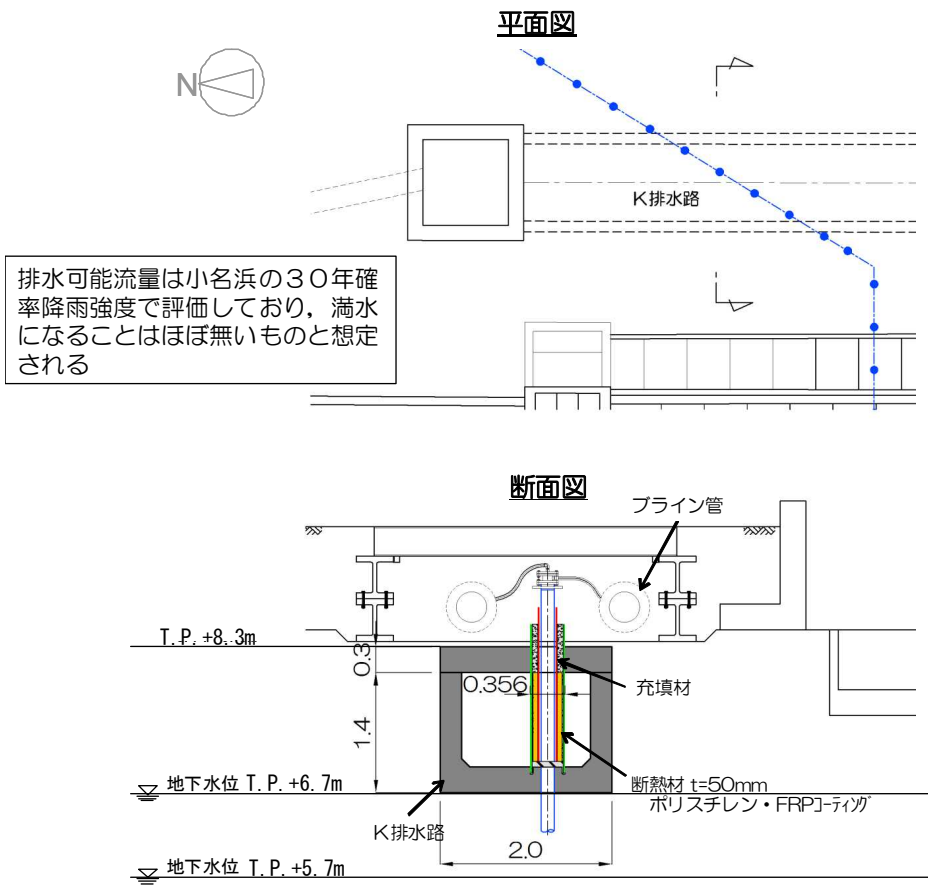


図16-4 【3-4】 仮設ケーブルトレンチ 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>
 位置：山側 4BLK
 形状：矩形
 寸法：幅2.0m
 標高：T.P.+8.3m
 溜り水：－
 内部施設：雨水排水

<施工パターン>
 【頂版】単純
 【底板】マルチステップ

- ・排水路内部は凍結管に断熱材取付け（排水流量は確保）

ケーシング凡例
 第1保護ケーシング
 (断熱材保護用)
 第2保護ケーシング
 凍結管保護ケーシング

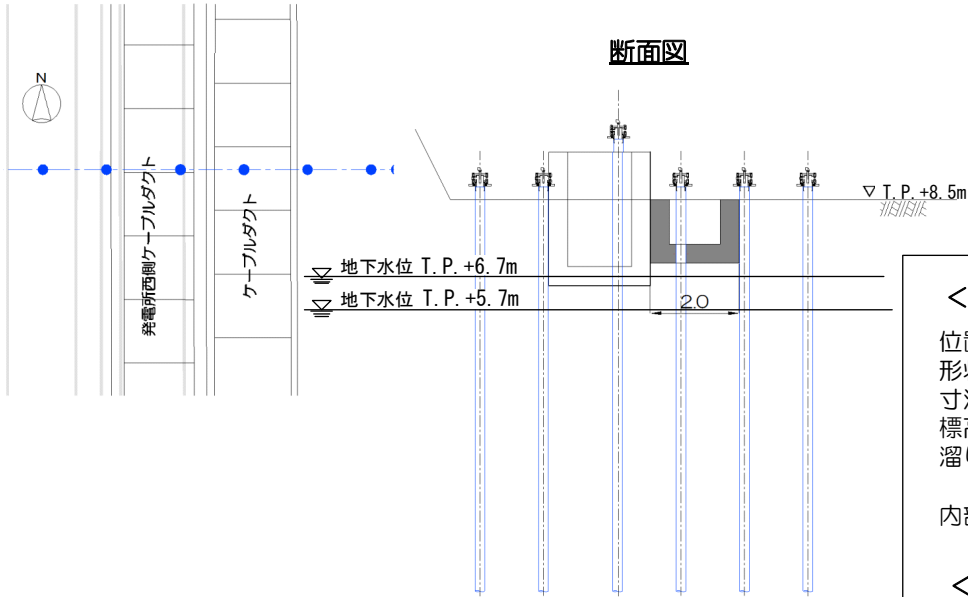
A孔の地下水位観測値
 ・最大値；T.P.+6.7m (H25.10.22)
 ・最小値；T.P.+5.7m (H25.3.27)

注) 貫通施工完了後に補助工法（水中不分離コンクリート等）を用いて第1保護ケーシングと構造物境界面の止水を行う。

図 16-5 【4-1】 K排水路① 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

平面図



<埋設物情報>

位置：山側 4BLK
 形状：矩形
 寸法：幅2.0m
 標高：T.P.+8.5m
 溜り水：無
 （貫通施工前に調査）
 内部施設：電気ケーブル

<施工パターン>

【頂版】頂版撤去
 【底板】単純貫通

A孔の地下水位観測値

- ・最大値；T.P.+6.7m (H25.10.22)
- ・最小値；T.P.+5.7m (H25.3.27)

ケーシング凡例
 凍結管保護ケーシング

図16-6 【4-2】 ケーブルダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

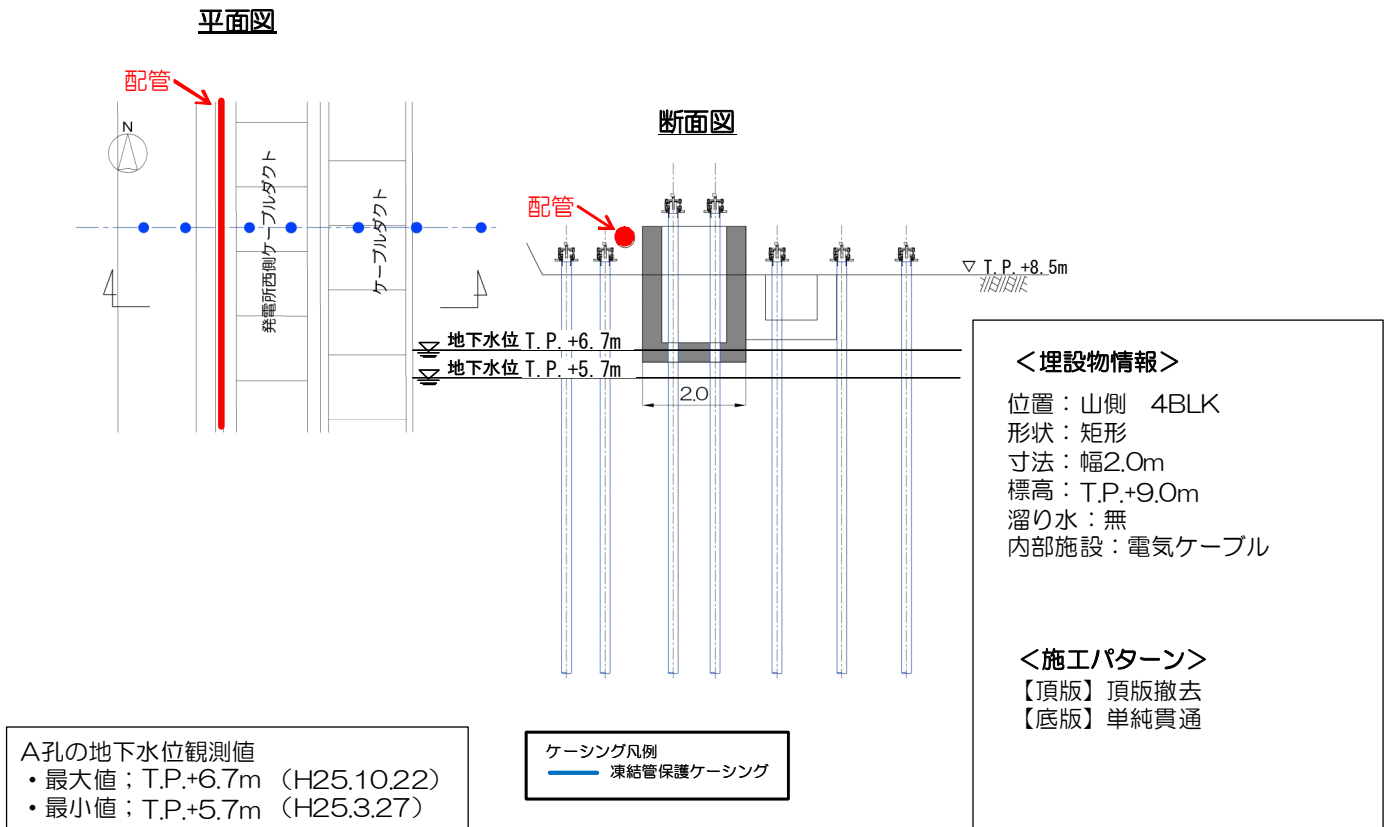
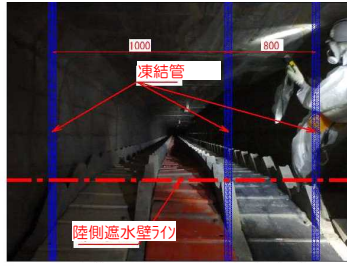
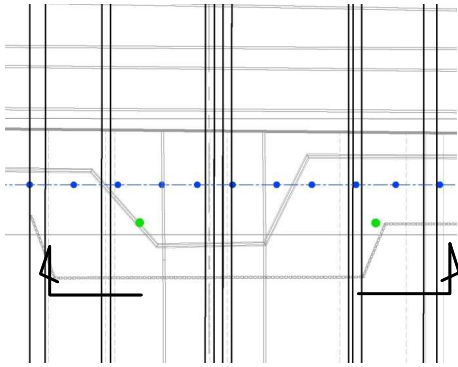


図 1 6 - 7 【 4 - 3 】 発電所西側ケーブルダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



平面図



内部写真



内部写真 (溜り水)

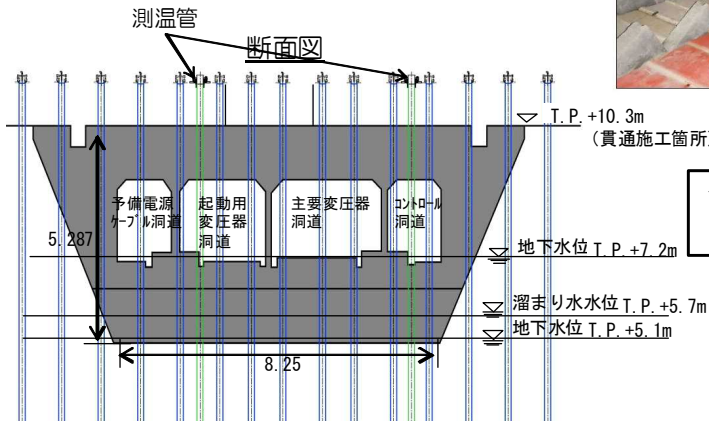
<埋設物情報>

位置：山側 5BLK
形状：矩形
寸法：幅8.25m
標高：T.P.+10.3m
溜り水：有（貫通箇所：無）
（貫通施工前に水位を調査）

- (予備電源ケーブル洞道) *1
 - ・Cs-134： 6.4×10^1 Bq/L
 - ・Cs-137： 2.4×10^2 Bq/L
 - (起動用変圧器洞道) *2
 - ・Cs-134： 2.2×10^3 Bq/L
 - ・Cs-137： 3.0×10^3 Bq/L
 - (主要変圧器洞道) *2
 - ・Cs-134： 1.5×10^3 Bq/L
 - ・Cs-137： 2.3×10^3 Bq/L
 - (コントロール洞道) *1
 - ・Cs-134： 1.7×10^2 Bq/L
 - ・Cs-137： 4.1×10^2 Bq/L
- (*1：H25.12測定)
(*2：H23.12~H24.1測定)
内部施設：電気ケーブル (OFケーブル)

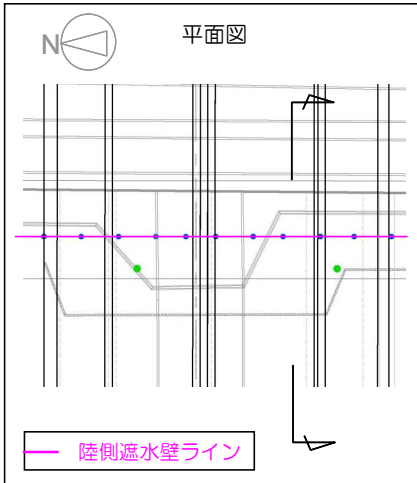
<施工パターン>

- 【頂版】単純
- 【底版】単純



B孔の地下水位観測値

- ・最大値； T.P.+7.2m (H25.10.26)
- ・最小値； T.P.+5.1m (H24.12.20他)



本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

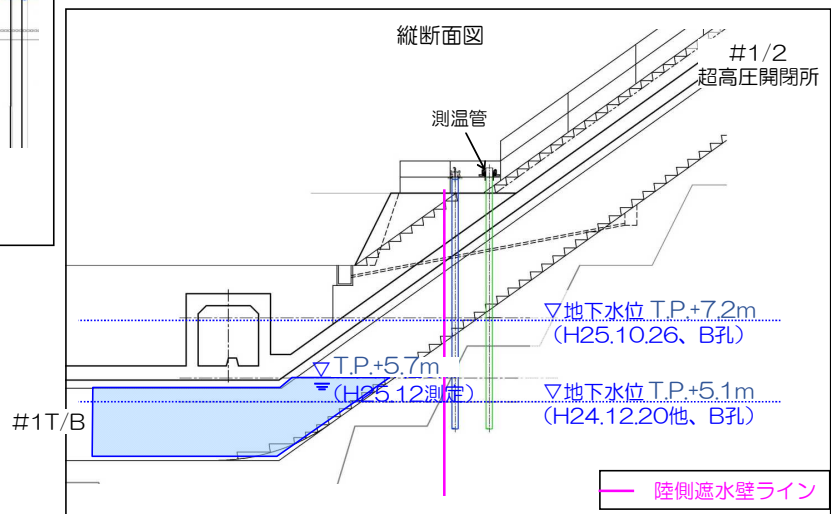
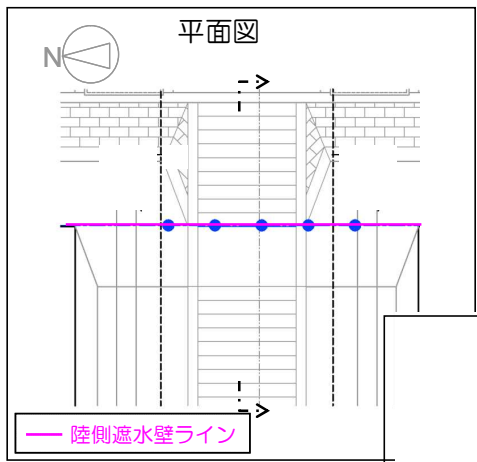
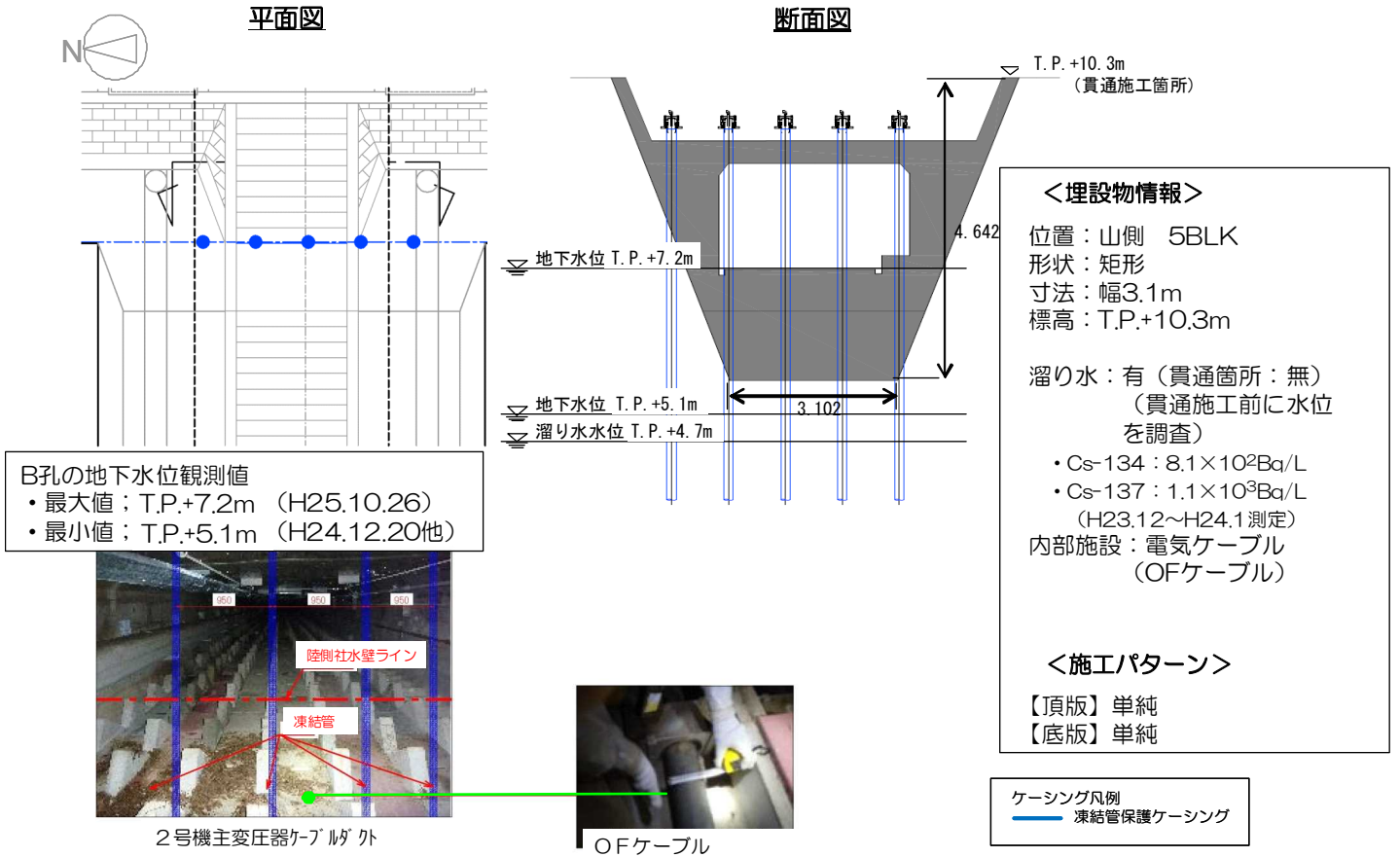


図16-8 【5-1】1号機電気ケーブルダクト 施工方法 (貫通施工)



本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

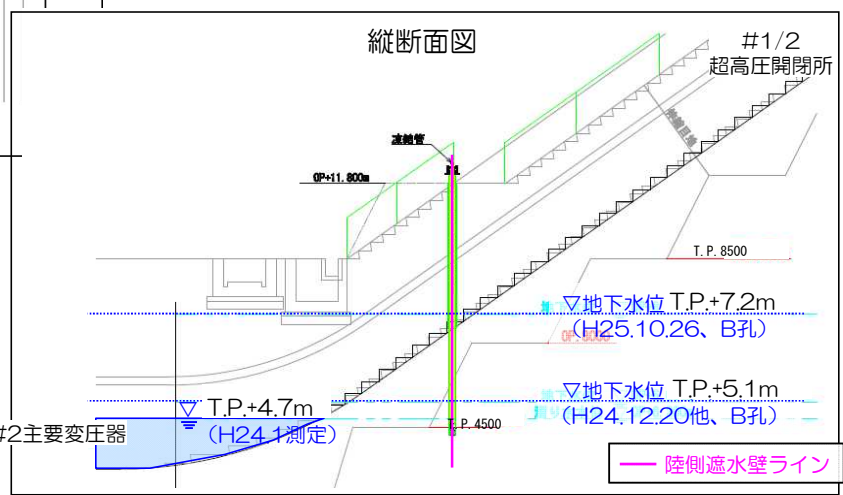
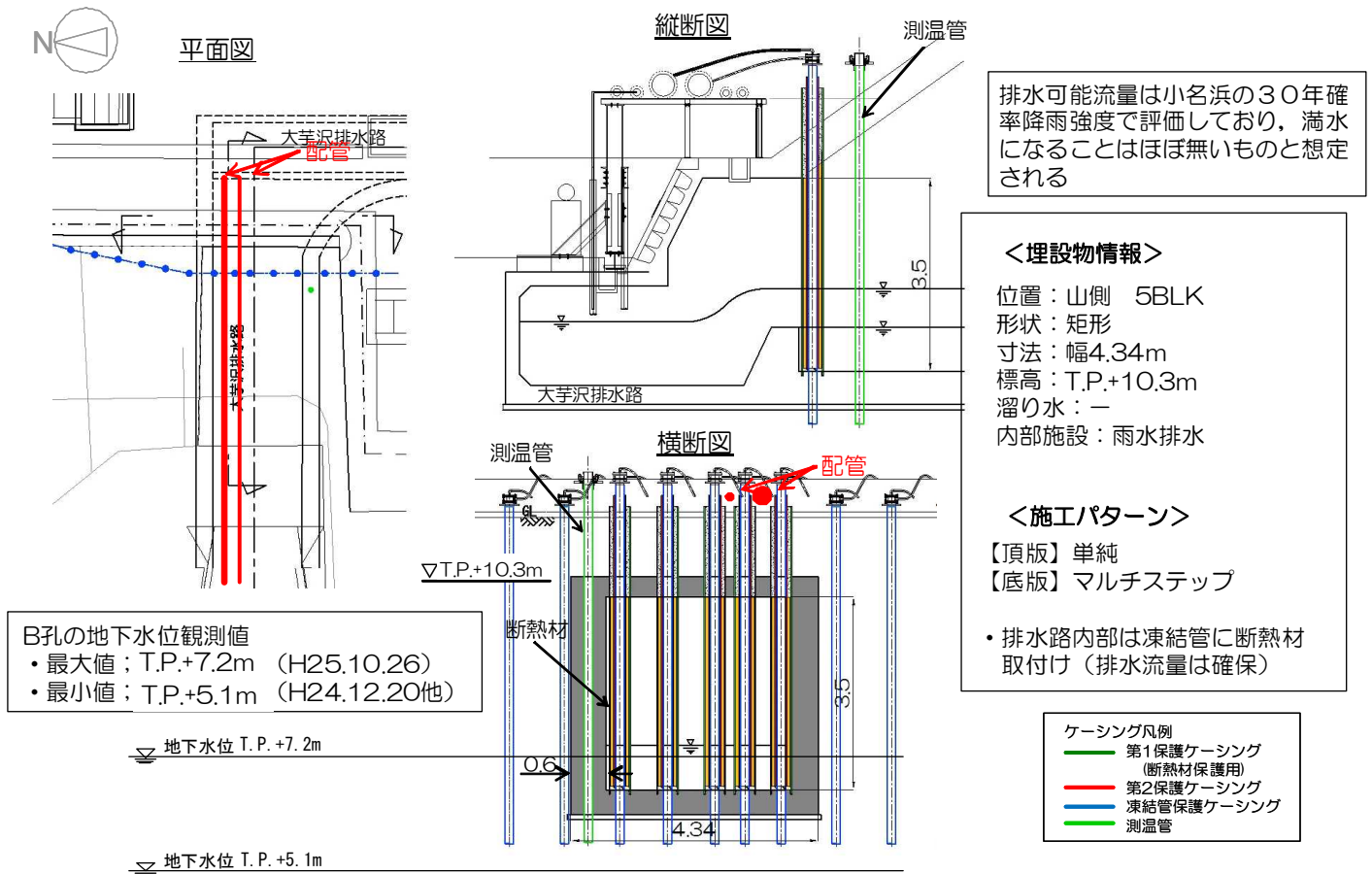


図16-9 【5-2】2号機主変圧器ケーブルダクト 施工方法（貫通施工）



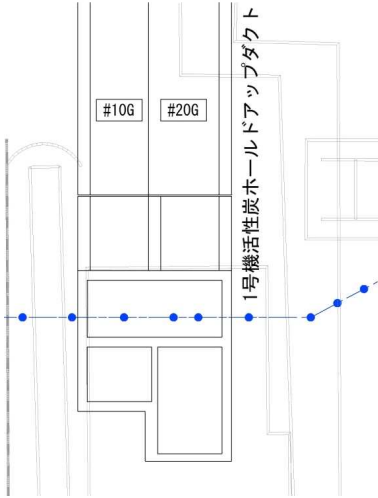
注) 貫通施工完了後に補助工法（水中不分離コンクリート等）を用いて第1保護ケーシングと構造物境界面の止水を行う。

図16-10 【5-3】大芋沢排水路 施工方法（貫通施工）

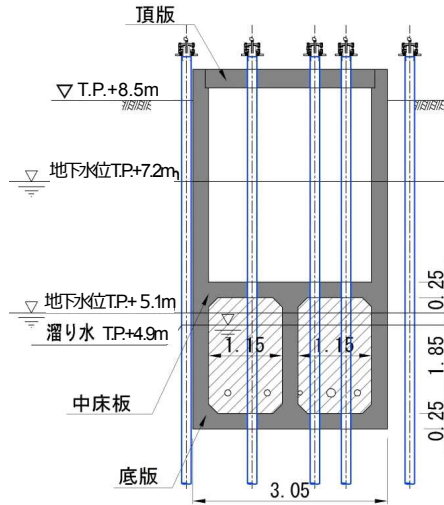
本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）とO.P.からT.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧O.P.-1,436mm



平面図



断面図



＜埋設物情報＞

位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：幅3.05m
 標高：T.P.+8.5m 以上
 溜り水：有
 （貫通施工前に調査）
 ・Cs-134： 1.6×10^2 Bq/L
 ・Cs-137： 2.7×10^2 Bq/L
 （H23.12～H24.1測定）
 内部施設：電気ケーブル
 オフガス配管

＜施工パターン＞

【頂版】単純貫通
 【中床板】単純貫通
 （またはマルチステップ）
 【底板】内部充填

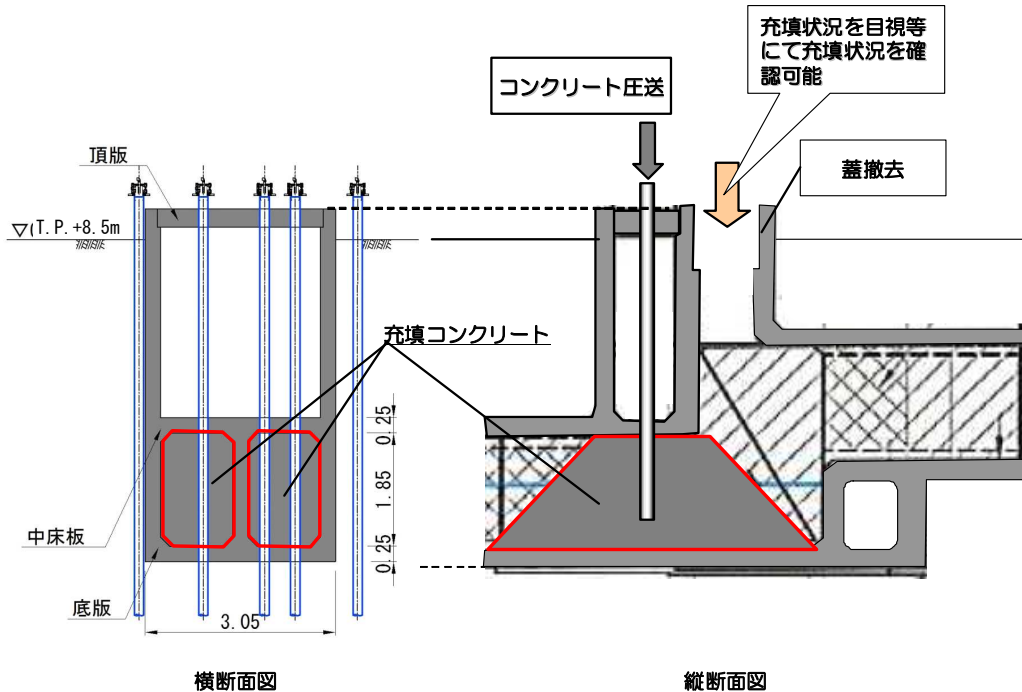
B孔の地下水位観測値

- ・最大値；T.P.+7.2m (H25.10.26)
- ・最小値；T.P.+5.1m (H24.12.20)

ケーシング凡例

- 凍結管保護ケーシング
- 内部充填

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 ＜換算式＞T.P.=旧 O.P.-1,436mm



注) 1号機活性炭ホルドアップダクトの下部構造充填コンクリートの打設時には、直ぐ横が立坑構造となっているため、蓋を外して直接目視にて充填状況を確認する。

図 16-11 【6-2】1号機活性炭ホルドアップダクト 施工方法（貫通施工）

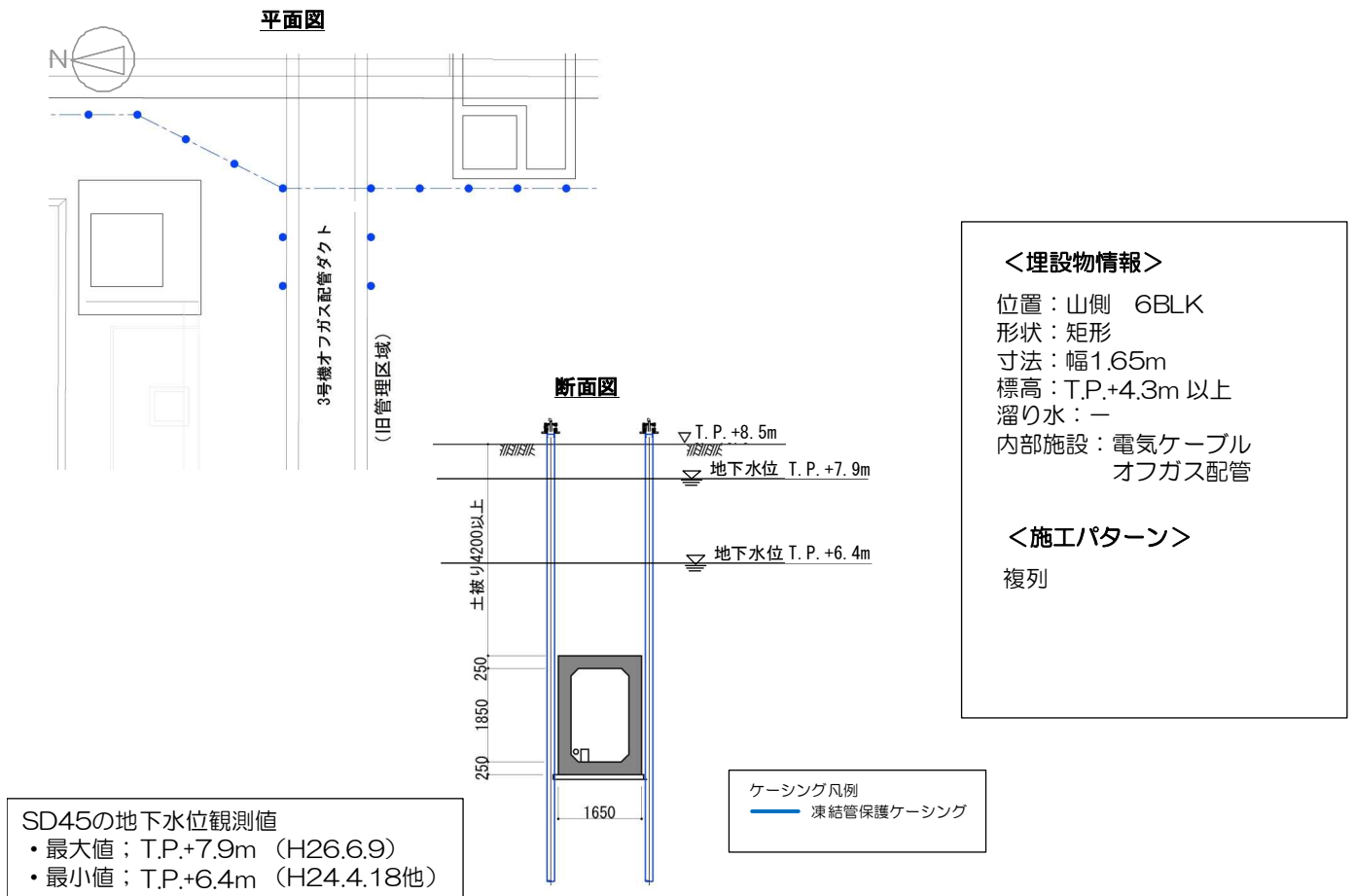
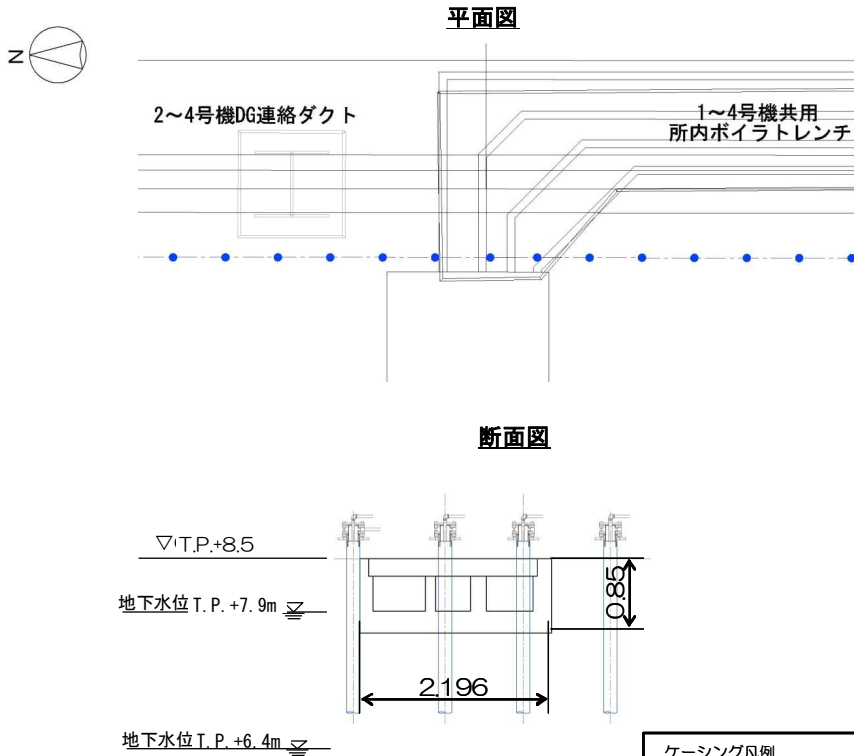


図16-12 【6-3】3号機オフガス配管ダクト（北側） 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
<換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



SD45の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+7.9m (H26.6.9)
 ・最小値：T.P.+6.4m (H24.4.18他)

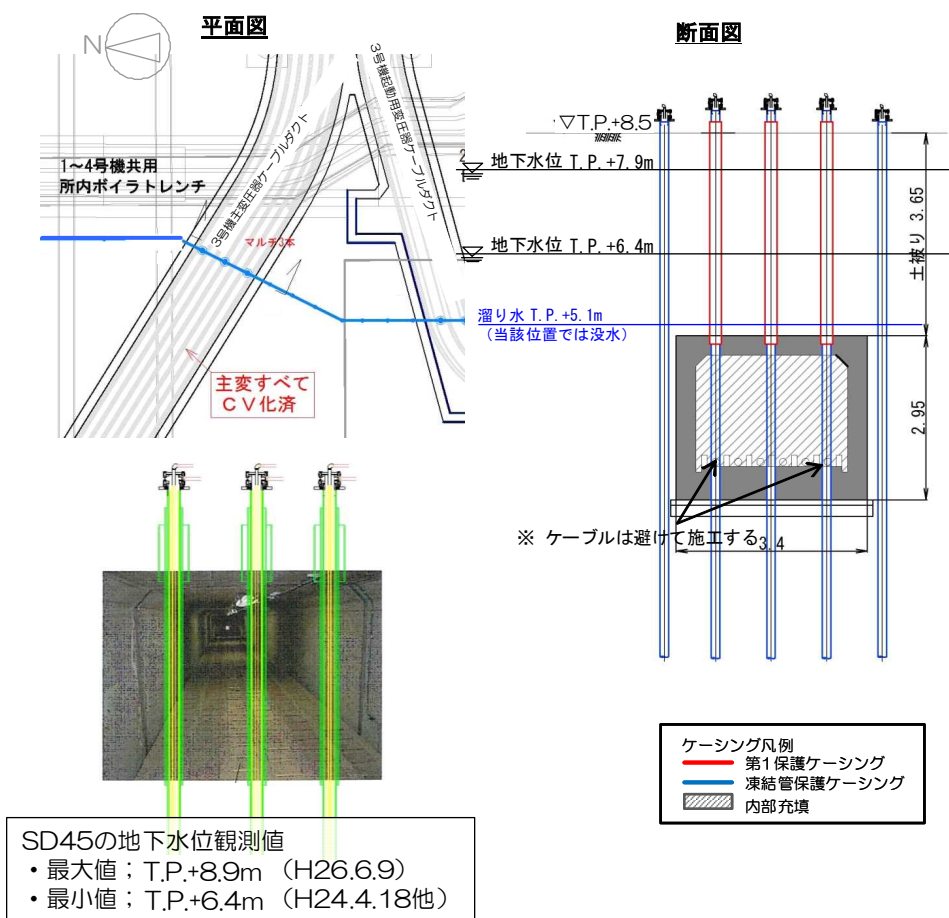
ケーシング凡例
 — 凍結管保護ケーシング

<埋設物情報>
 位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：外幅2.2m
 標高：T.P.+8.5m
 溜り水：無（施工前に調査）
 内部施設：CVケーブル

<施工パターン>
 【頂版】頂版撤去
 【底版】単純貫通

図 16-13 【6-4】1~4号機共用所内ボイラトレンチ 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：幅3.4m
 標高：T.P.+4.91m (天端)
 溜り水：有 (施工前に調査)

- ・Cs-134：1.4×10³Bq/L
- ・Cs-137：1.8×10³Bq/L
(H23.12~H24.1測定)

内部施設：電気ケーブル

<施工パターン>

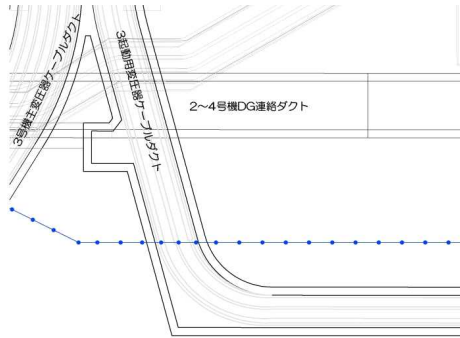
【頂版】マルチステップ
 【底版】内部充填

図16-14 【6-5】3号機主変圧器ケーブルダクト 施工方法 (貫通施工)

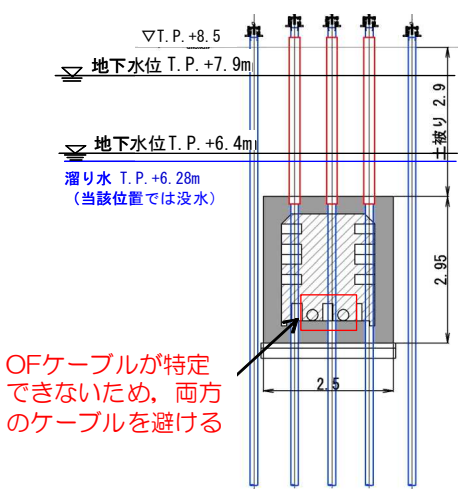
本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への
 読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



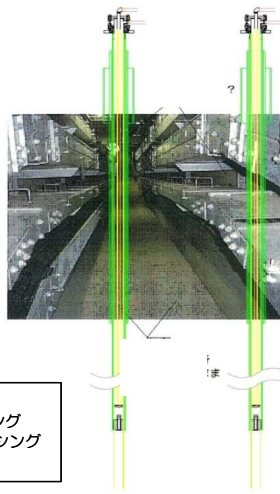
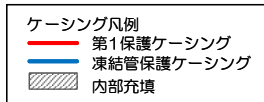
平面図



断面図



OFケーブルが特定できないため、両方のケーブルを避ける



<埋設物情報>

位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：幅2.5m
 標高：T.P.+5.6m(天端)
 溜り水：有（貫通施工前に調査）
 ・Cs-134： 3.0×10^2 Bq/L
 ・Cs-137： 7.4×10^2 Bq/L
 （H25.12測定）
 内部施設：電気ケーブル
 （CVケーブル・OFケーブル）

<施工パターン>

【頂版】マルチステップ
 【底板】内部充填
 （OFケーブルは貫通しない）

SD45の地下水位観測値

・最大値；T.P.+7.9m（H26.6.9）
 ・最小値；T.P.+6.4m（H24.4.18他）

図16-15 【6-6】3号機起動用変圧器ケーブルダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

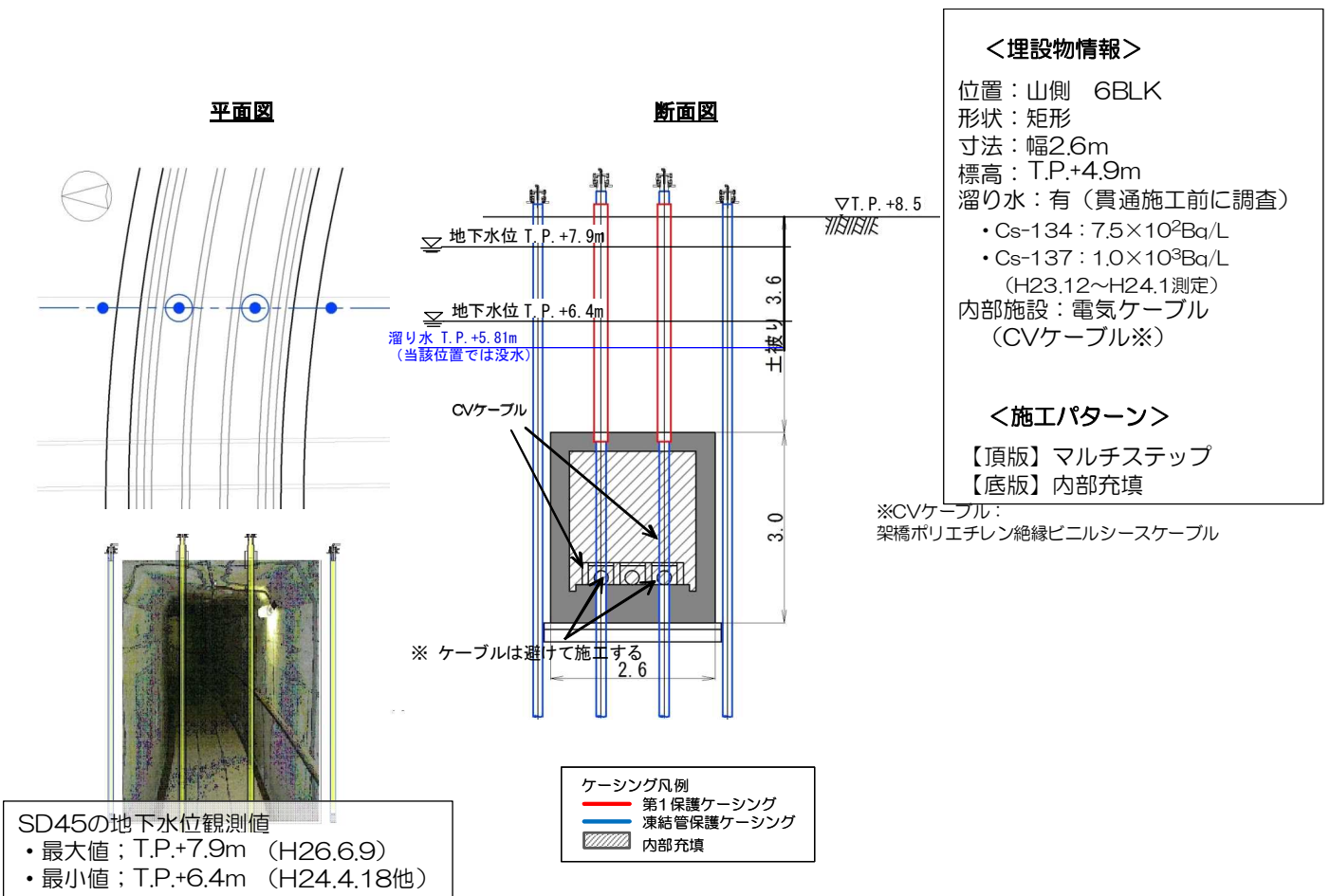
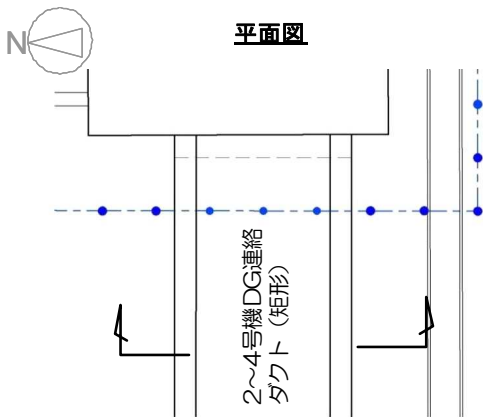


図16-16 【6-7】4号機主変圧器ケーブルダクト 施工方法（貫通施工）

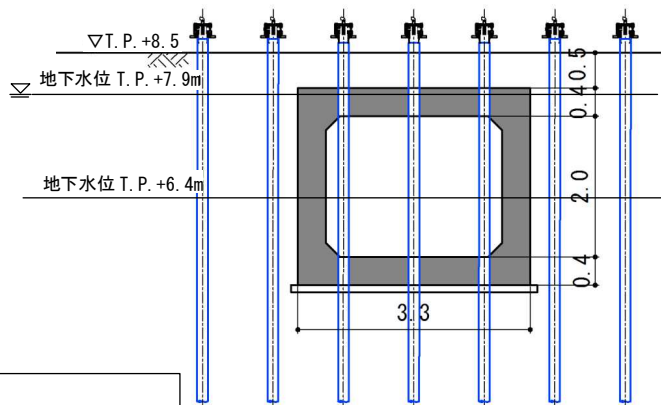
本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



平面図

2~4号機DG連絡ダクト (矩形)

断面図



<埋設物情報>

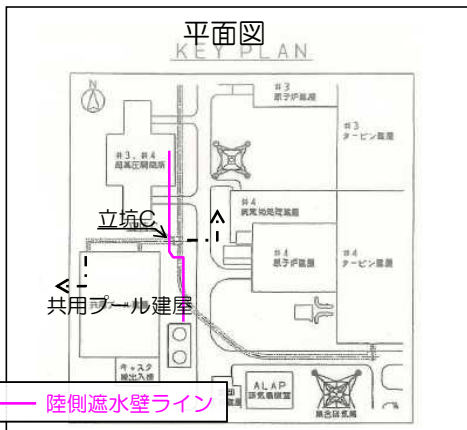
位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：外幅3.3m
 標高：T.P.+7.0m
 溜り水：有（貫通箇所：無）
 貫通施工前に調査
 ・Cs-134： $1.5 \times 10^3 \text{Bq/L}$
 ・Cs-137： $2.5 \times 10^3 \text{Bq/L}$
 (H24.12測定)
 内部施設：電気ケーブル
 (CVケーブル)

<施工パターン>

【頂版】単純
 【底版】単純

ケーシング凡例
 凍結管保護ケーシング

SD45の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+8.9m (H26.6.9)
 ・最小値：T.P.+6.4m (H24.4.18他)

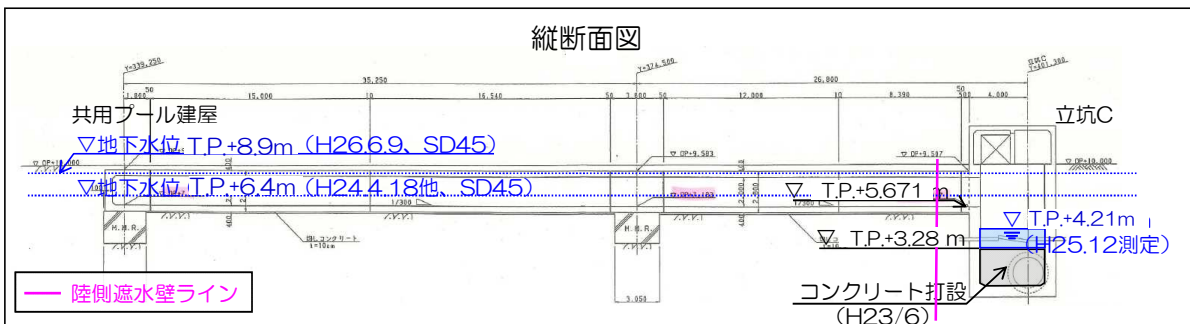


平面図
KEY PLAN

立坑C
共用プール建屋

陸側遮水壁ライン

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



縦断面図

共用プール建屋

▽地下水位 T.P.+8.9m (H26.6.9, SD45)

▽地下水位 T.P.+6.4m (H24.4.18他, SD45)

陸側遮水壁ライン

立坑C

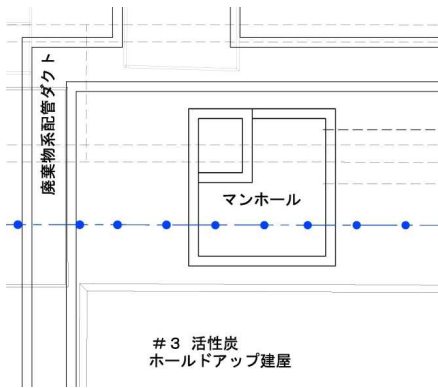
▽ T.P.+4.21m (H25.12測定)

コンクリート打設 (H23/6)

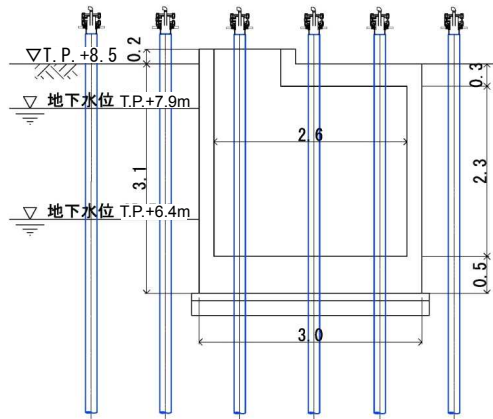
図16-17 【6-8】2~4号機DG連絡ダクト① 施工方法 (貫通施工)



平面図



断面図



SD45の地下水位観測値

- ・最大値；T.P.+7.9m (H26.6.9)
- ・最小値；T.P.+6.4m (H24.4.18他)

ケーシング凡例

凍結管保護ケーシング

<埋設物情報>

位置：山側 6BLK
 形状：矩形
 寸法：幅3.0m
 標高：T.P.+8.7m
 溜り水：無
 内部施設：電気ケーブル

<施工パターン>

- 【頂版】単純
- 【底版】単純

図16-18 【6-9】3号機活性炭ホールドアップ管路 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への
 読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

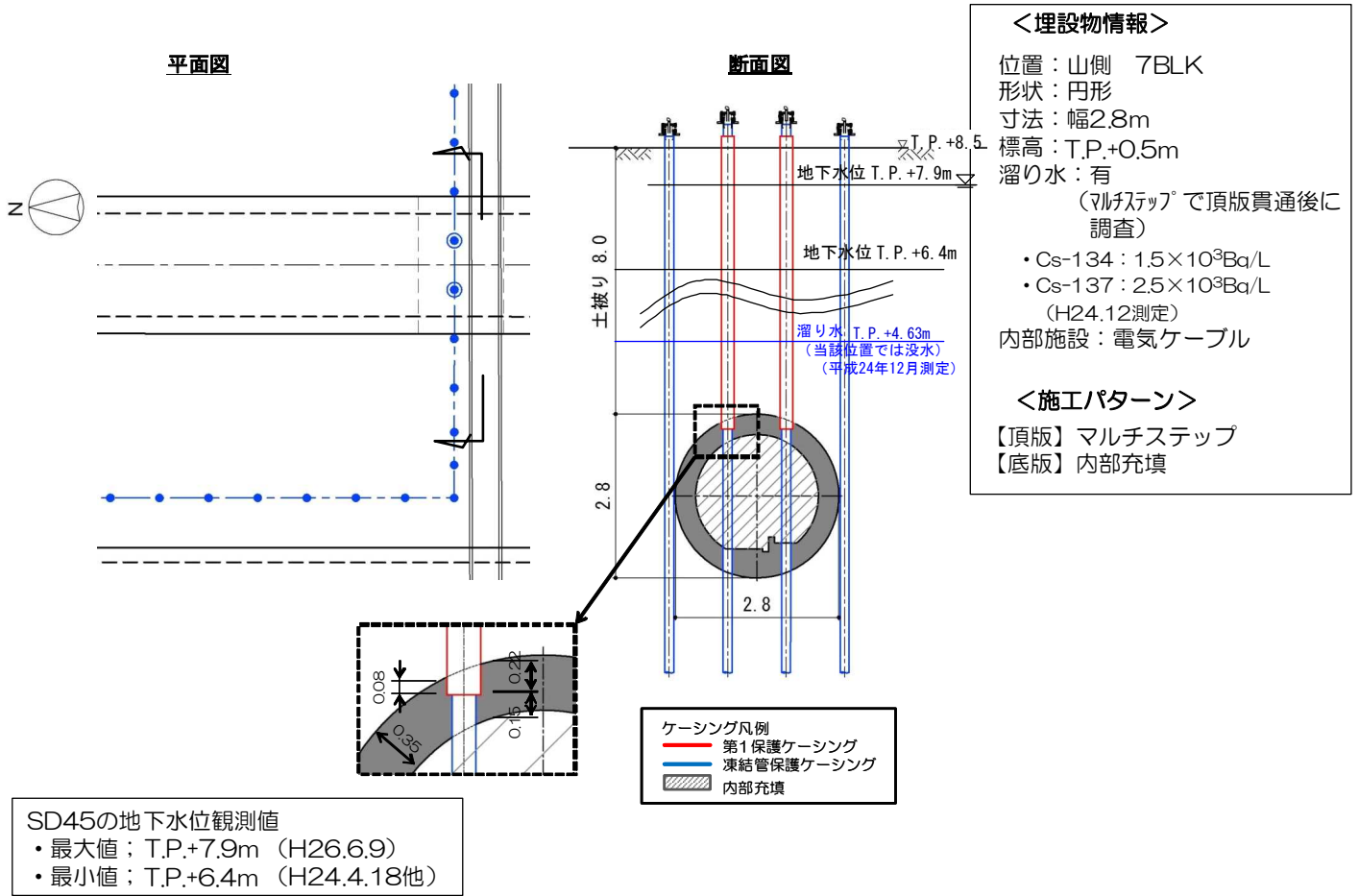
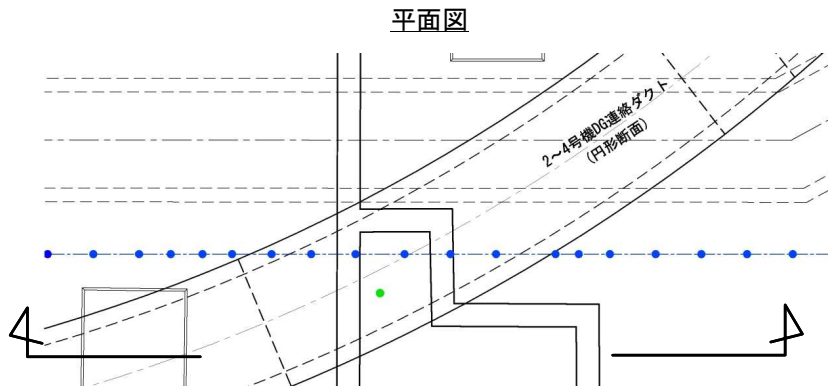


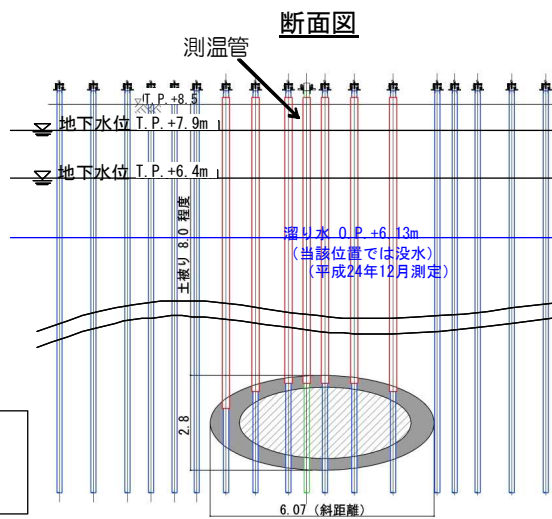
図16-19 【7-1】2~4号機DG連絡ダクト② 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>
 位置：山側 7BLK
 形状：円形
 寸法：外幅6.07m
 標高：T.P.+0.5m
 溜り水：有
 (マルチステップで頂版貫通後に調査)
 ・Cs-134： $1.5 \times 10^3 \text{Bq/L}$
 ・Cs-137： $2.5 \times 10^3 \text{Bq/L}$
 (H24.12測定)
 内部施設：電気ケーブル

<施工パターン>
 【頂版】マルチステップ
 【底板】内部充填

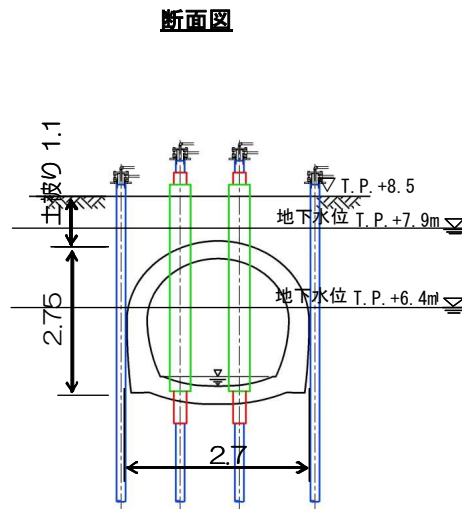
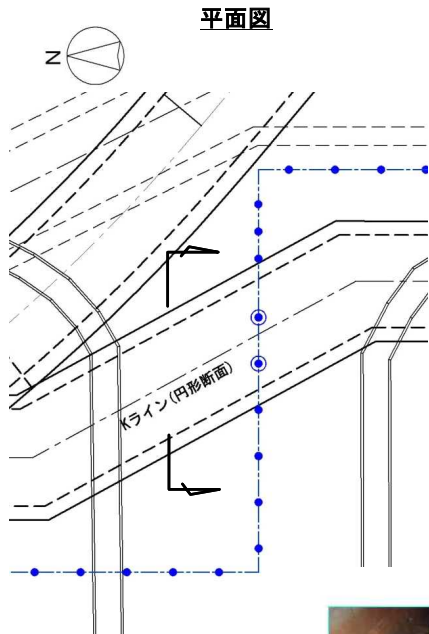


SD45の地下水位観測値
 ・最大値；T.P.+7.9m (H26.6.9)
 ・最小値；T.P.+6.4m (H24.4.18他)

ケーシング凡例
 第1保護ケーシング
 凍結管保護ケーシング
 内部充填
 測温管

図16-20 【7-2】2~4号機DG連絡ダクト③ 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



排水可能流量は小名浜の30年確率降雨強度で評価しており、満水になることはほぼ無いものと想定される

<埋設物情報>
 位置：山側 7BLK
 形状：円形
 寸法：外幅2.7m
 標高：T.P.+7.4m（天端）
 溜り水：－
 内部施設：雨水排水

<施工パターン>
 【頂版】単純
 【底版】マルチステップ
 （排水管内部は凍結管に断熱材取付け）



SD45の地下水位観測値
 ・最大値；T.P.+7.9m（H26.6.9）
 ・最小値；T.P.+6.4m（H24.4.18他）

ケーシング凡例
 第1保護ケーシング
 第2保護ケーシング
 凍結管保護ケーシング

貫通施工完了後に補助工法（水中不分離コンクリート等）を用いて第1保護ケーシングと構造物境界面の止水を行う。

図16-21 【7-3】K排水路② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）とO.P.からT.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧O.P.-1,436mm

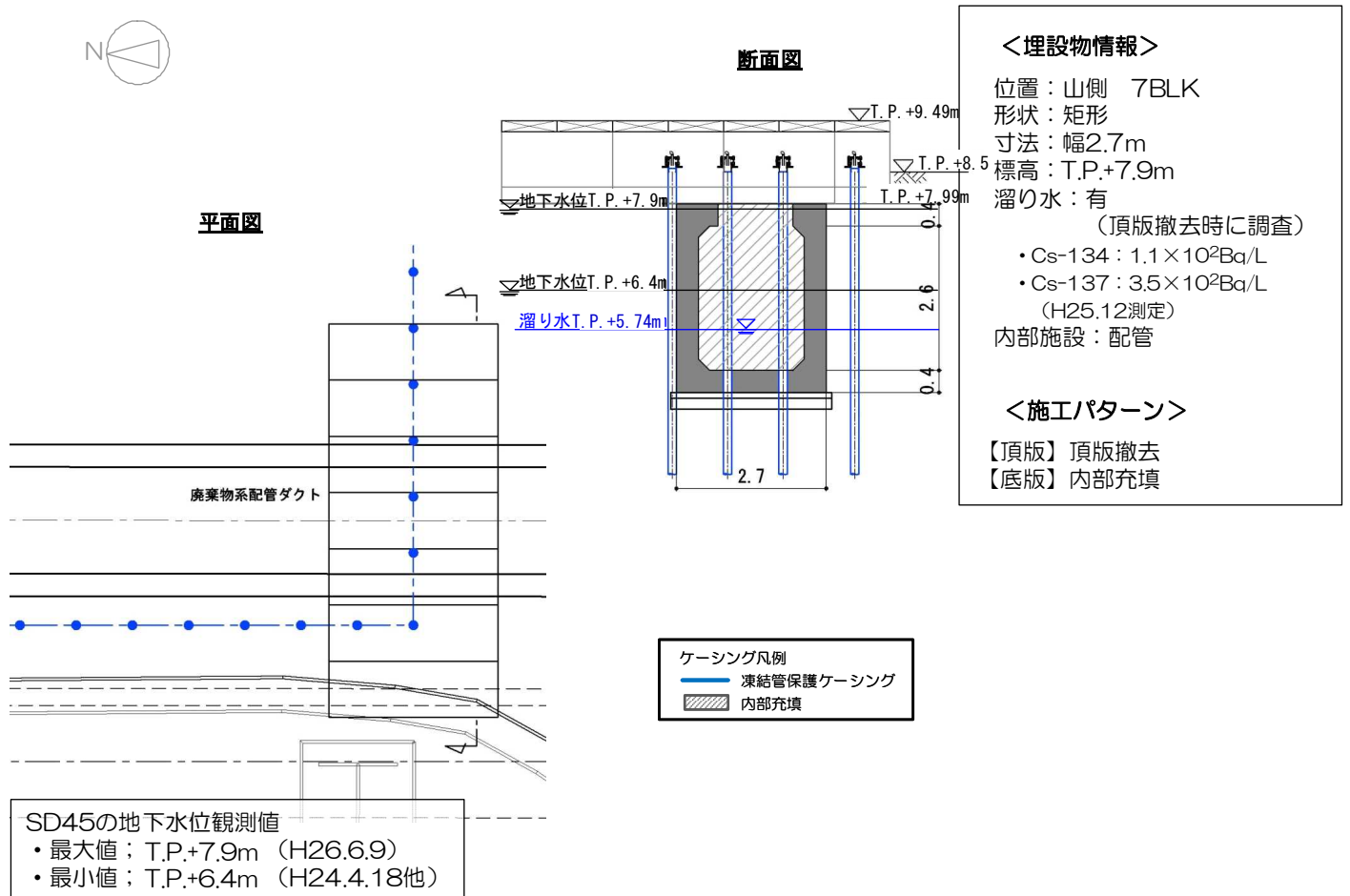


図 16-22 【7-4】 廃棄物系共通配管ダクト① 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
<換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

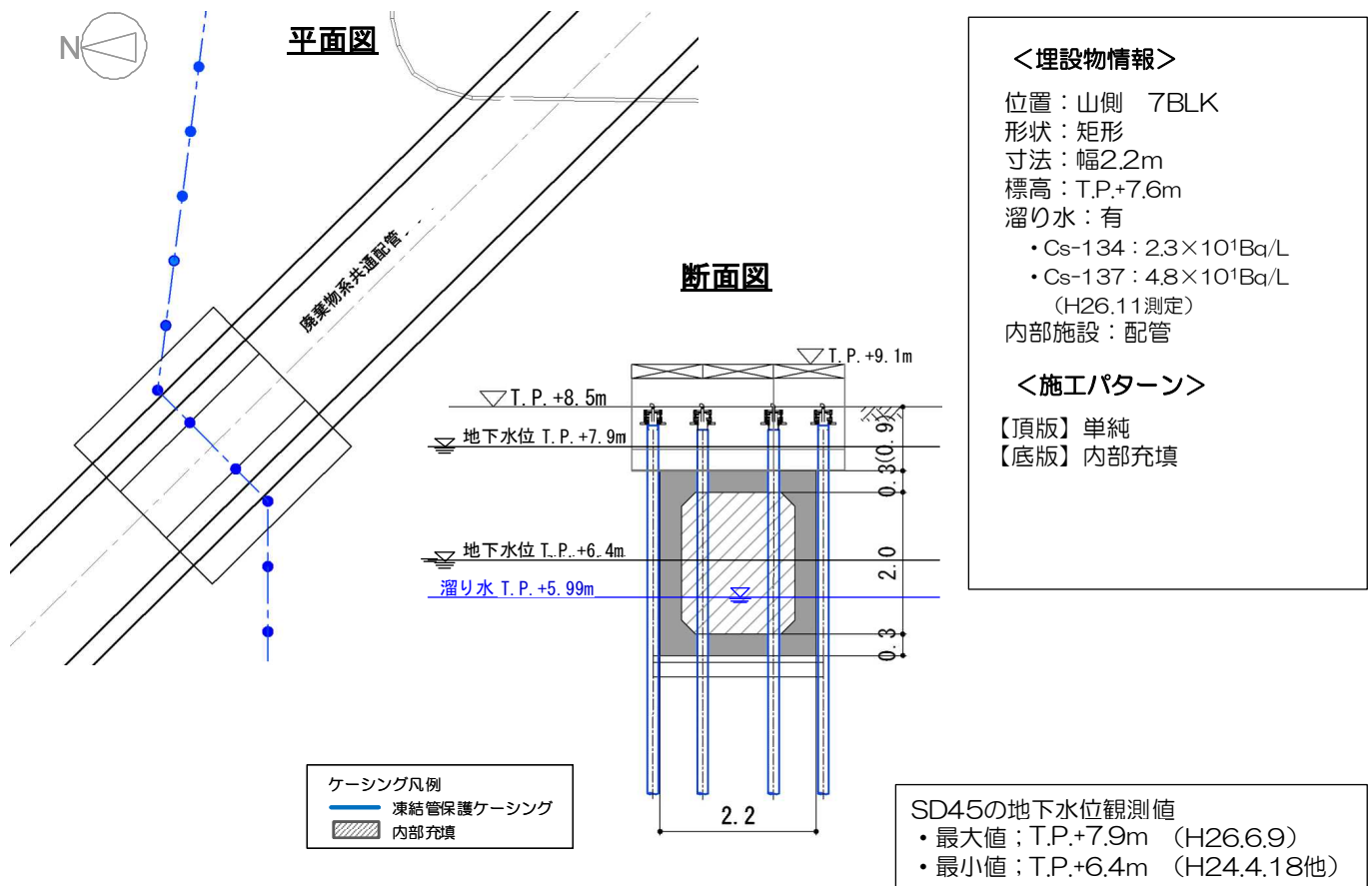
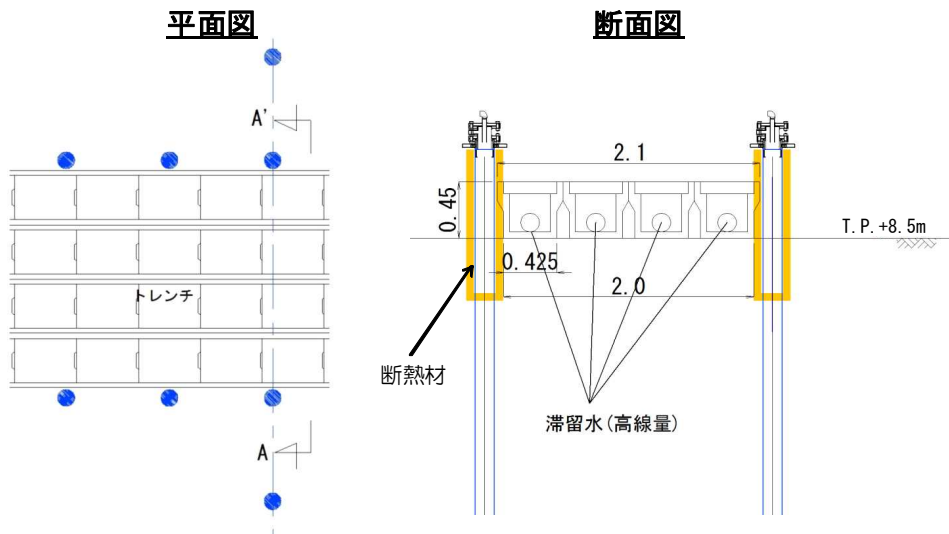


図 16-23 【7-5】 廃棄物系共通配管ダクト② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：山側 8BLK
 形状：矩形
 寸法：外幅2.1m
 標高：T.P.+8.5m (下端)
 溜り水：—
 内部施設：

<施工パターン>

複列



ケーシング凡例
 — 凍結管保護ケーシング

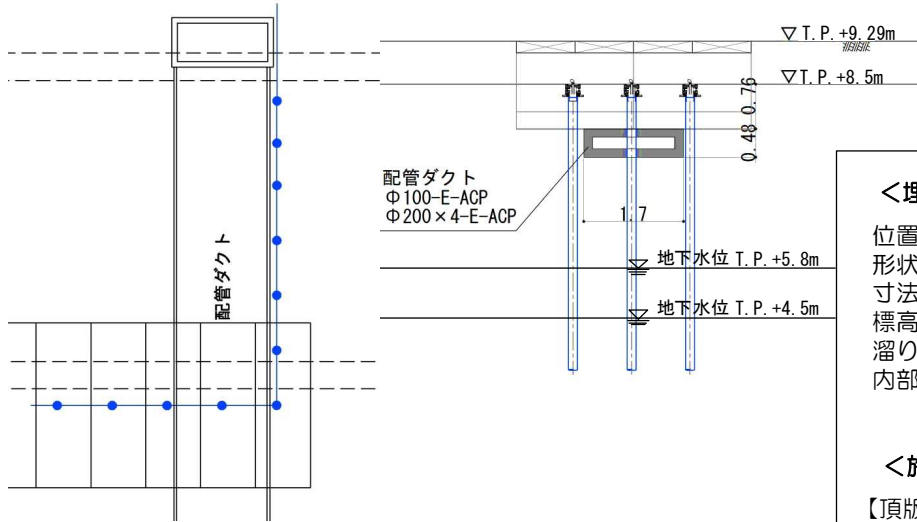
図16-24 【8-1】滞留水移送管 施工方法 (複列施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への
 読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



平面図

断面図



<埋設物情報>

位置：山側 9BLK
 形状：矩形
 寸法：幅1.7m
 標高：T.P.+7.7m
 溜り水：無
 内部施設：配管

<施工パターン>

【頂版】単純
 【底板】単純

SD55の地下水位観測値

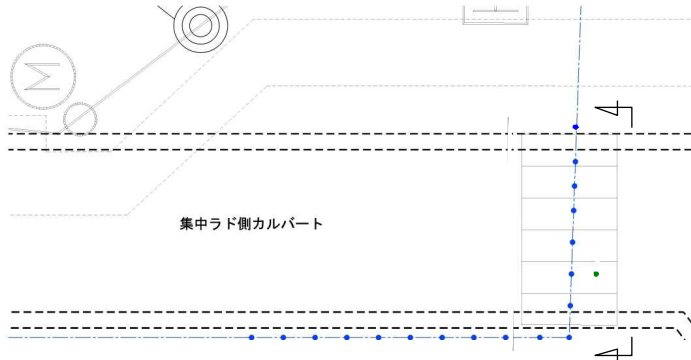
- ・最大値； T.P.+5.8m (H25.10.21)
- ・最小値； T.P.+4.5m (H26.1.20他)

ケーシング凡例
 — 凍結管保護ケーシング

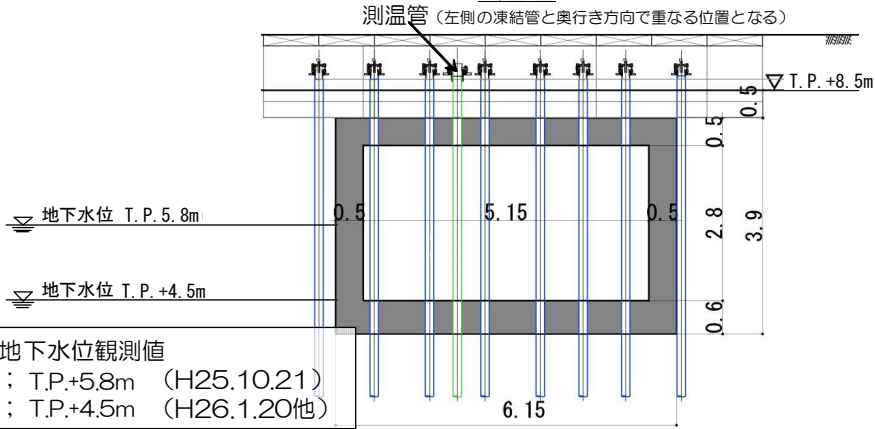
図 16-25 【9-2】配管ダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

平面図



断面図



SD55の地下水位観測値
 ・最大値； T.P.+5.8m (H25.10.21)
 ・最小値； T.P.+4.5m (H26.1.20他)

<埋設物情報>

位置：山側 9BLK
 形状：矩形
 寸法：幅6.15m
 標高：T.P.+8.0m
 溜り水：無
 内部施設：海水配管

<施工パターン>

【頂版】単純
 【底板】単純

ケーシング凡例
 凍結管保護ケーシング
 測温管

図 1 6 - 2 6 【 9 - 3 】 集中ラド側カルバート 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

3次元解析の結果では、建屋周辺（T.P.8.5m 盤、山側）の中粒砂岩層の水位は2～4%程度の勾配で山から海に向かって低下している。

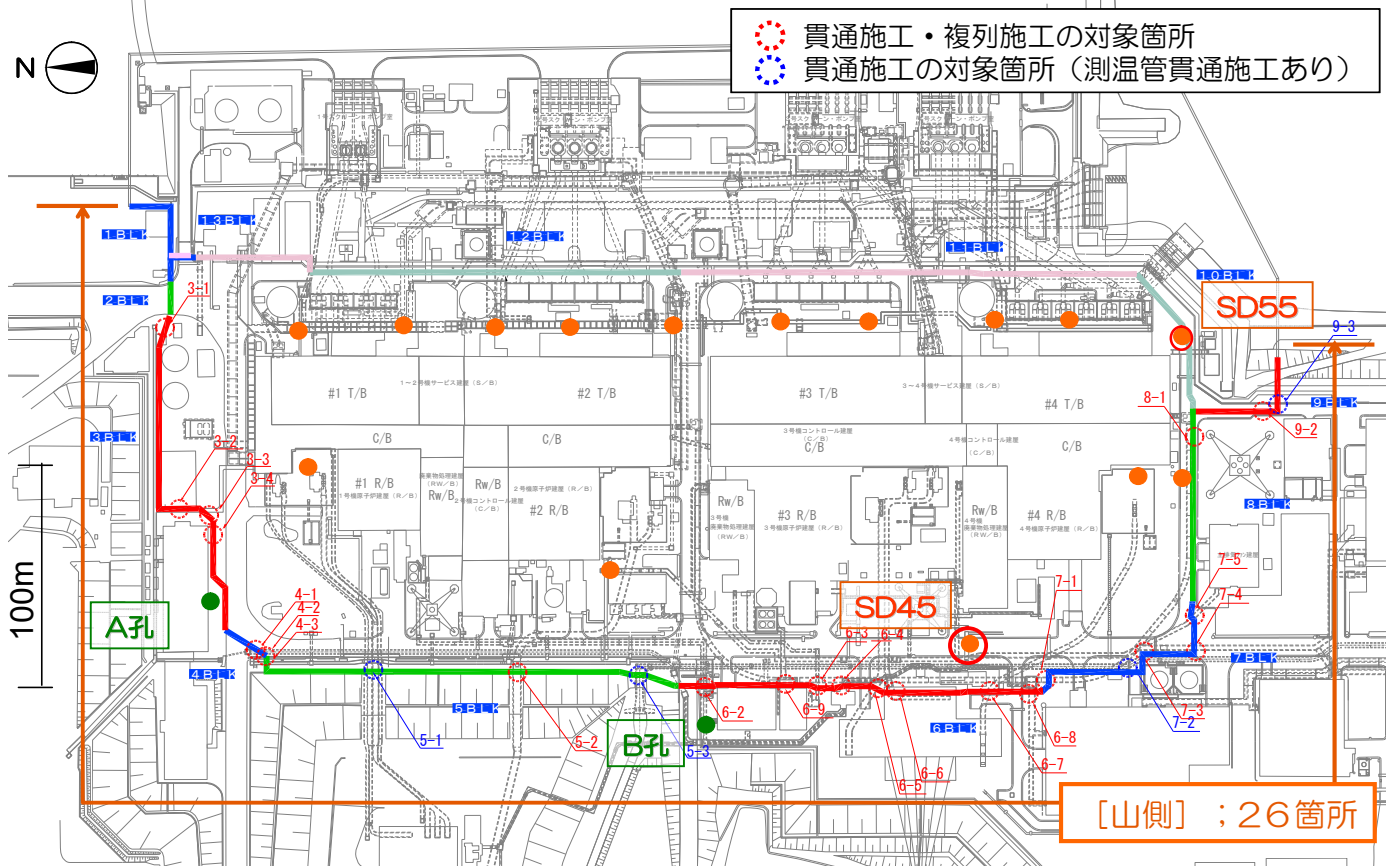
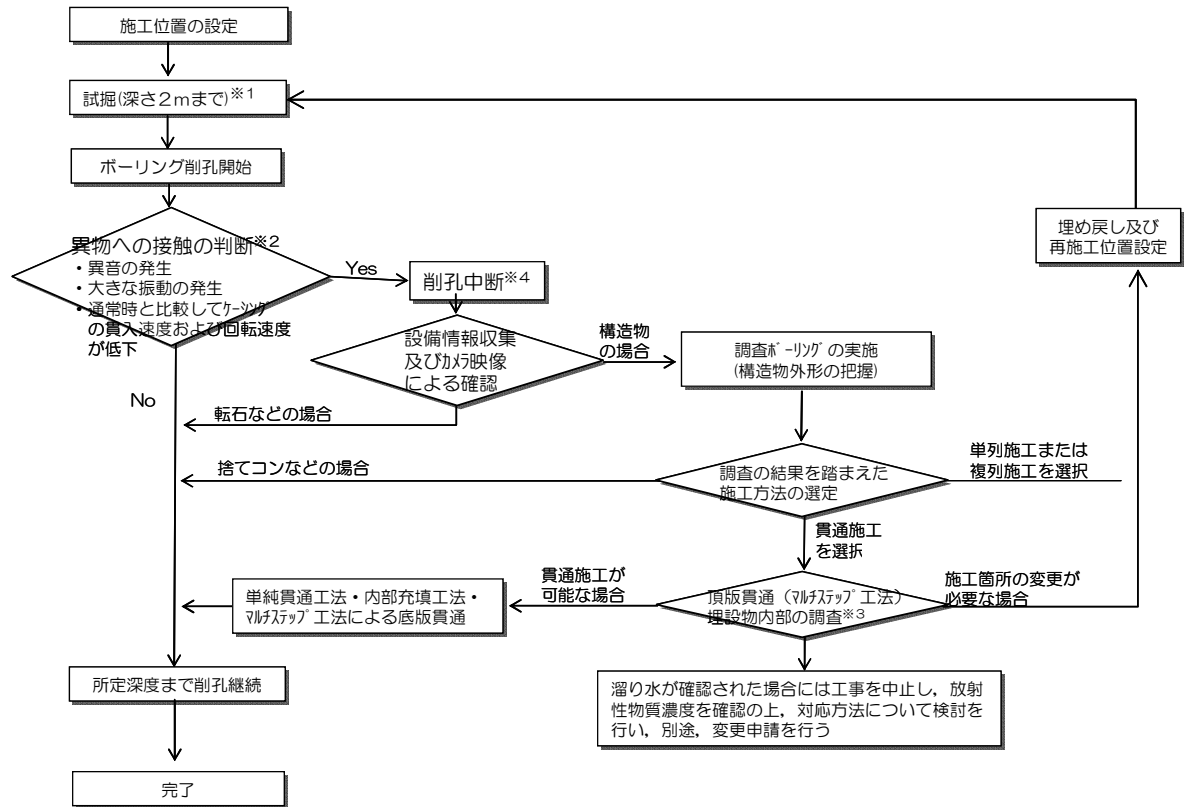


図 1 6 - 2 7 陸側遮水壁ライン近傍のサブドレン・地下水位観測孔 配置図

7 不明埋設物への対応

ボーリング削孔中に「異音が発生する」、「大きな振動が発生する」等により、図面がない不明な埋設物が確認された場合は削孔を中断し、カメラ等により埋設物の状況の確認等を行った上で、適切な施工方法を選定、または、施工位置の移動等を行う。



- ※1 旧地盤面から深さ2mまで試掘することにより、東日本大震災以降に設置した電源ケーブル等の確認を行う。この試掘により、削孔作業において比較的容易に損傷する可能性が想定される埋設物（直接埋設された配管・ケーブル等）については、その位置・規模を全て特定出来る。2m以深の埋設物のうち、建屋と連通している埋設物については、基本的には図面等で確認済みであり、不明埋設物の多くが建屋建設当時の残置物（配管・ガレキ・仮設物基礎等）であると想定している。
- ※2 「異物への接触の判断」は、削孔深度が所定の深度に達するまで、異物への接触の都度に行う。
- ※3 カメラ映像による内容物確認および水質調査
- ※4 万が一、不明埋設物を誤って破損した際には、溜り水が有る場合には水の放射性物質濃度を確認する。並行して「不明物対処確認委員会」で不明埋設物の同定・対応方法について検討する。

図17 不明埋設物への対応フロー

以上

海側ライン上の埋設物に対する施工時の考慮

1 はじめに

陸側遮水壁は、地盤中に凍結管を約1m間隔で設置し、凍結管内に-30℃のブライン（冷却材）を循環させて凍結管周囲の地盤を凍結して造成する。海側ライン上の埋設物周辺の施工にあたっては、埋設物を図面・試掘・現地調査で確認し、構造形式、内容物、埋設物内部の状況を整理した上で、埋設物の幅・機能に応じて、適切な施工方法を選定する。

1.1 陸側遮水壁の施工手順

「添付資料-14 別添-2 1.1 陸側遮水壁の施工手順」に示す通り。

1.2 埋設物の種類

建屋周辺の地盤中には、建屋間を連絡する電気・通信ケーブルや配管を内包するトレンチや取水管、放水管等の埋設物が存在する。

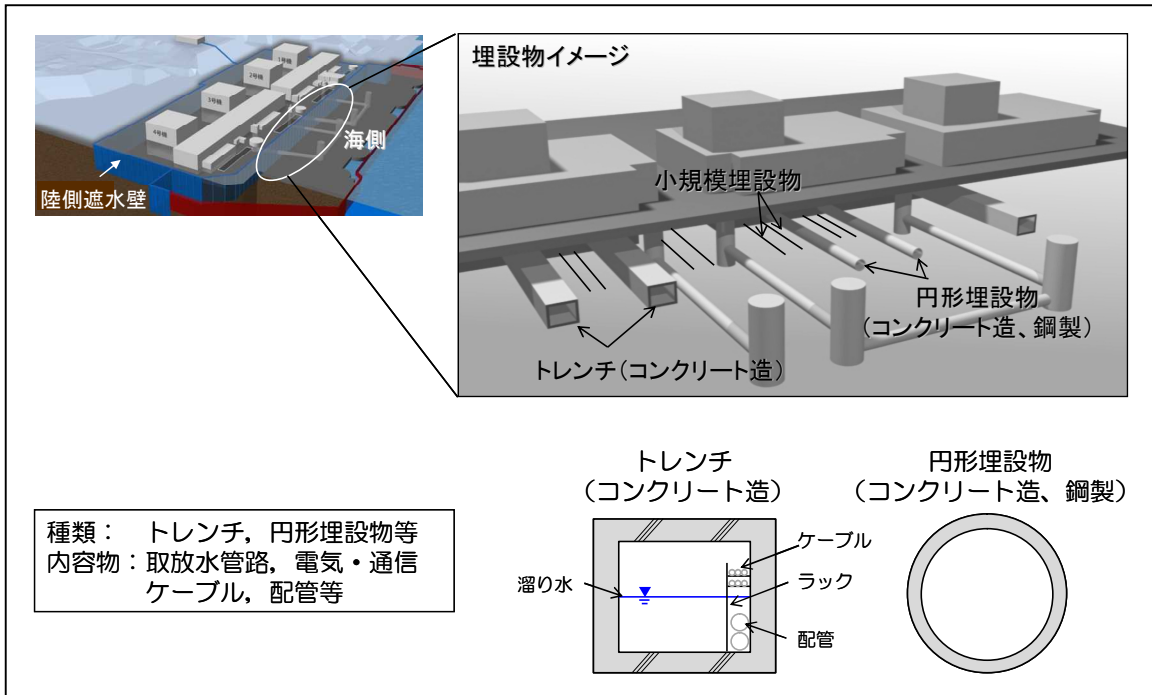


図1 埋設物のイメージ

2 埋設物に対する施工方法

「添付資料-14 別添-2 2 埋設物に対する施工方法」に示す通り。

3 貫通施工の基本方針

3.1 貫通施工の種類とパターン

「添付資料－1 4 別添－2 3.1 貫通施工の種類とパターン」に示す通り。

3.2 貫通施工時の留意事項

| 留意事項 | 対応 |
|---------------------------------------|---|
| 重油配管, 軽油配管および薬品配管や運用中の通信・制御ケーブルの損傷の防止 | ・重油配管, 軽油配管および薬品配管 ; トレンチ内の位置確認, 防護・離隔確保 ・通信・制御ケーブル ; 図面・現地確認により使用状況を確認, 必要に応じて移動 |

3.3 貫通施工の施工パターン

「添付資料－1 4 別添－2 3.2.2 貫通施工の施工パターン」に示す施工パターンを用いて施工する。

4 凍結防止措置

「添付資料－1 4 別添－2 4 凍結防止措置」に示す通り。

5 海側ライン上の貫通施工・複列施工の対象箇所

海側ライン上の凍結管（測温管含む）の貫通施工・複列施工の対象箇所を図2，表1に示す。また，それぞれ箇所での施工方法を図3に示す。

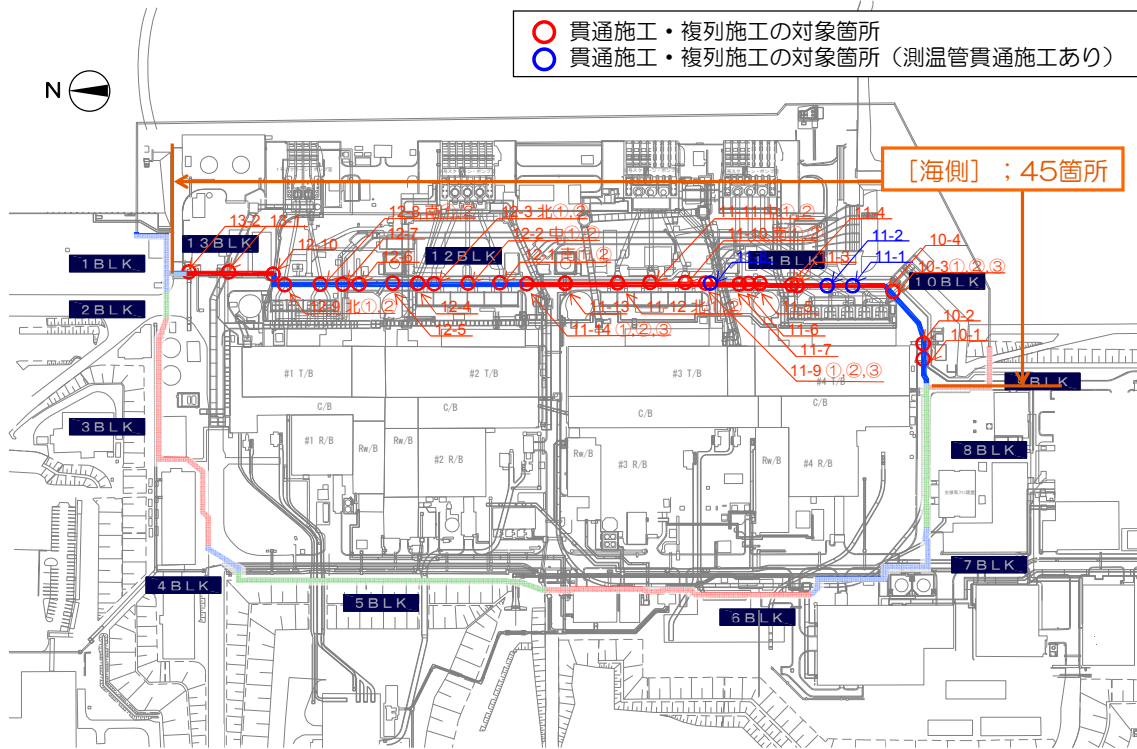


図2 貫通施工・複列施工の対象箇所

表1 貫通施工・複列施工の対象箇所

| | 構造物名 | 溜り水調査 | | 貫通施工箇所での溜り水 | | 調査時期 | 施工パターン | 備考 |
|-----------------------|-------------------------|----------|----------|-------------|---------|--------------------|--------------------|--------------|
| | | 溜り水※2の有無 | 溜り水※1の区分 | 有無 | 自由水面・被圧 | | | |
| 10BLK | 10-1 消火配管トレンチ(4号機南側) | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 10-2 4号機薬品タンク連絡ダクト | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 4号機放水管① | 有 | C | — | — | H26.9 | 複列 | |
| | 10-3 4号機放水管② | 有 | C | — | — | H26.9 | 複列 | |
| | 4号機放水管③ | 有 | C | — | — | H26.9 | 複列 | |
| 10-4 4号機海水配管(SW)埋設ダクト | 無 | — | — | — | H26.10 | 複列 | | |
| 11BLK | 11-1 4号機取水管-南 | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | 測温管貫通施工あり |
| | 11-2 4号機取水管-中 | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | 測温管貫通施工あり |
| | 11-3 4号機取水管-北 | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 11-4 4号機海水配管トレンチ(SW系) | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 11-5 4号機別棟機械室連絡トレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 11-6 ストームドレン配管トレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 11-7 3号機薬品タンク連絡ダクト | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 11-8 3号機取水電源ケーブル管路 | 無 | — | 無 | — | H26.11 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | 測温管貫通施工あり |
| | 3号機放水管① | 有 | C | — | — | H27.5 | 複列 | |
| | 11-9 3号機放水管② | 有 | C | — | — | H27.5 | 複列 | |
| | 3号機放水管③ | 有 | C | — | — | H27.5 | 複列 | |
| | 11-10 3号機取水管-南① | 無 | — | 無 | — | H26.8 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 3号機取水管-南② | 無 | — | 無 | — | H26.8 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 11-11 3号機取水管-中① | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| 3号機取水管-中② | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 11-12 3号機取水管-北① | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 3号機取水管-北② | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 11-13 No.2軽油配管トレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | | |
| 2号機放水管① | 有 | C | — | — | H27.6 | 複列 | | |
| 11-14 2号機放水管② | 有 | C | — | — | H27.6 | 複列 | | |
| 2号機放水管③ | 有 | C | — | — | H27.6 | 複列 | | |
| 12BLK | 12-1 2号機取水管-南① | 無 | — | 無 | — | H27.7 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 2号機取水管-南② | 無 | — | 無 | — | H27.7 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 12-2 2号機取水管-中① | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 2号機取水管-中② | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 12-3 2号機取水管-北① | 無 | — | 無 | — | H27.7 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 2号機取水管-北② | 無 | — | 無 | — | H27.7 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| | 12-4 2号機取水電源ケーブル管路A, B | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | 管路Aは溜り水なしを確認 |
| | 12-5 No.1軽油配管トレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 12-6 1号機ボイラー室電気品室連絡トレンチ | 有 | C | 無 | — | H26.10 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 1号機放水管① | 有 | B | — | — | H27.6 | 複列 | |
| | 1号機放水管② | 有 | B | — | — | H27.6 | 複列 | |
| | 12-8 1号機取水管-南① | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | |
| 1号機取水管-南② | 無 | — | 無 | — | H26.9 | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 12-9 1号機取水管-北① | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 1号機取水管-北② | —※3 | — | 調査予定 | 調査予定 | — | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 12-10 1号機取水電源ケーブル管路 | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂部)単統 (底部)単統 | | |
| 13BLK | 13-1 重油配管トレンチ | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂部)頂版撤去 (底部)単統 | |
| | 13-2 地下通路 | 無 | — | 無 | — | H26.10 | (頂部)単統 (底部)単統 | |

※1 貫通施工に関する溜り水の区分 (放射性物質濃度 (Cs))

- A : 1.0 × 10⁴Bq/L以上
- B : 1.0 × 10³Bq/L以上 ~ 1.0 × 10⁴Bq/L未満
- C : 1.0 × 10²Bq/L未満

※2 今後の陸側遮水壁貫通施工に伴う調査により上記区分のA, Bに相当する溜り水が確認された場合は、溜り水の除去の計画を検討の上、実施する。

※3 上表で溜り水「無」の埋設構造物内に、貫通施工前の調査によって溜り水を有することが確認された場合には工事を中止し、別途、変更申請を行う。

調査予定

「3号機取水管-中①②」、「3号機取水管-北①②」、「2号機取水電源ケーブル管路B」、「1号機取水管-北①②」は貫通施工前に調査孔により溜り水の有無を確認する。溜り水の有無・放射性物質濃度を確認した後に施工方法を決定する。

溜り水がある場合には工事を中止し、別途、変更申請を行う。

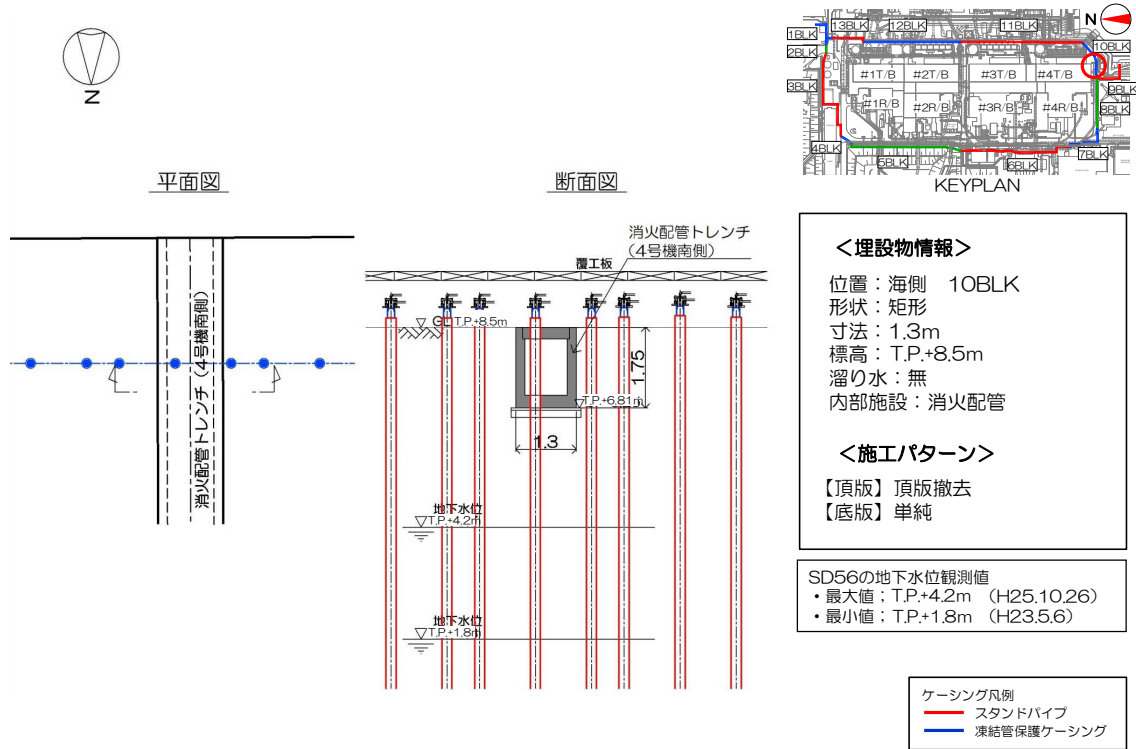
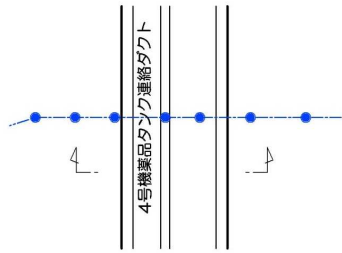


図3-1 【10-1】消火配管トレンチ 4号機南側 施工方法（貫通施工）

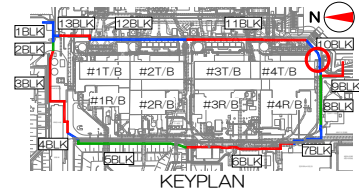
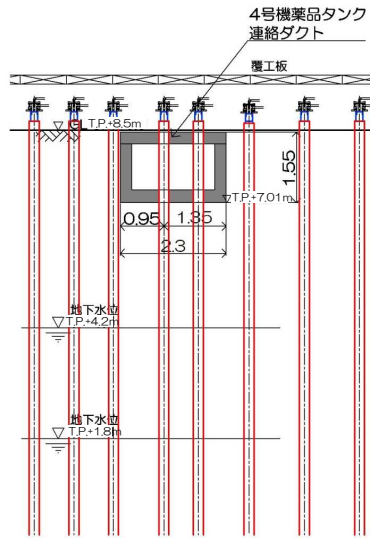
本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



平面図



断面図



KEYPLAN

<埋設物情報>

位置：海側 10BLK
 形状：矩形
 寸法：2.3m
 標高：T.P.+8.5m
 溜り水：無
 内部施設：配管

<施工パターン>

【頂版】頂版撤去
 【底版】単純

SD56の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+4.2m (H25.10.26)
 ・最小値：T.P.+1.8m (H23.5.6)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング

図 3-2 【10-2】 4号機薬品タンク連絡ダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

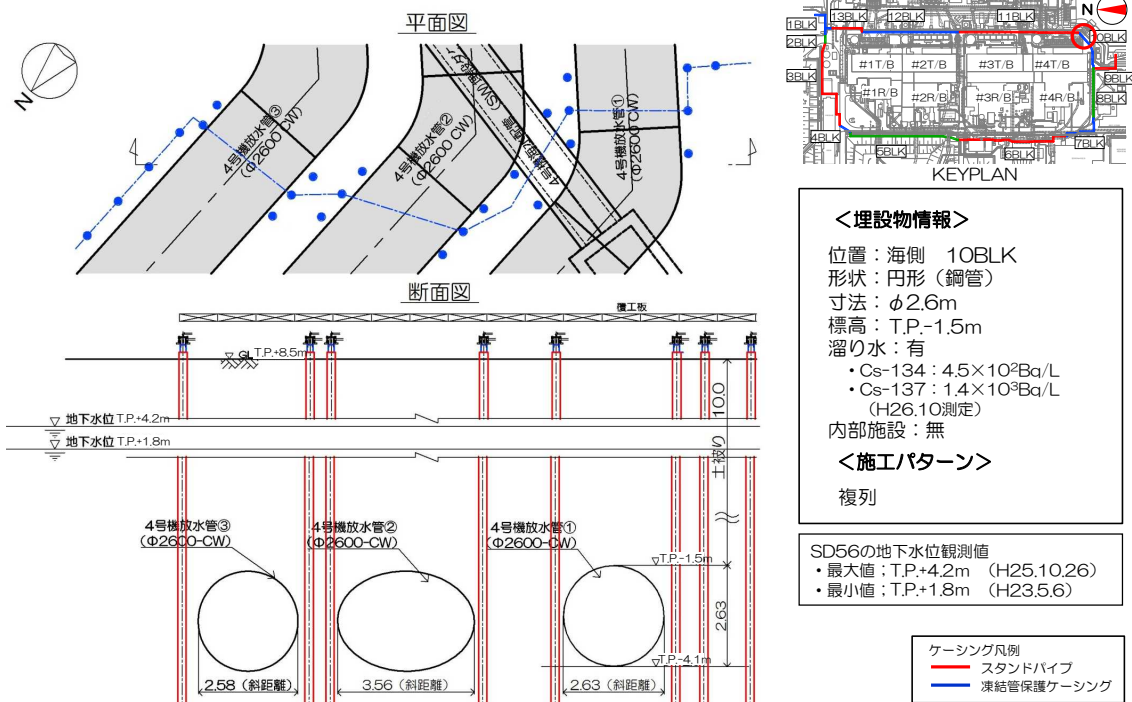


図 3-3 【10-3】4号機放水管①②③ 施工方法(複列施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

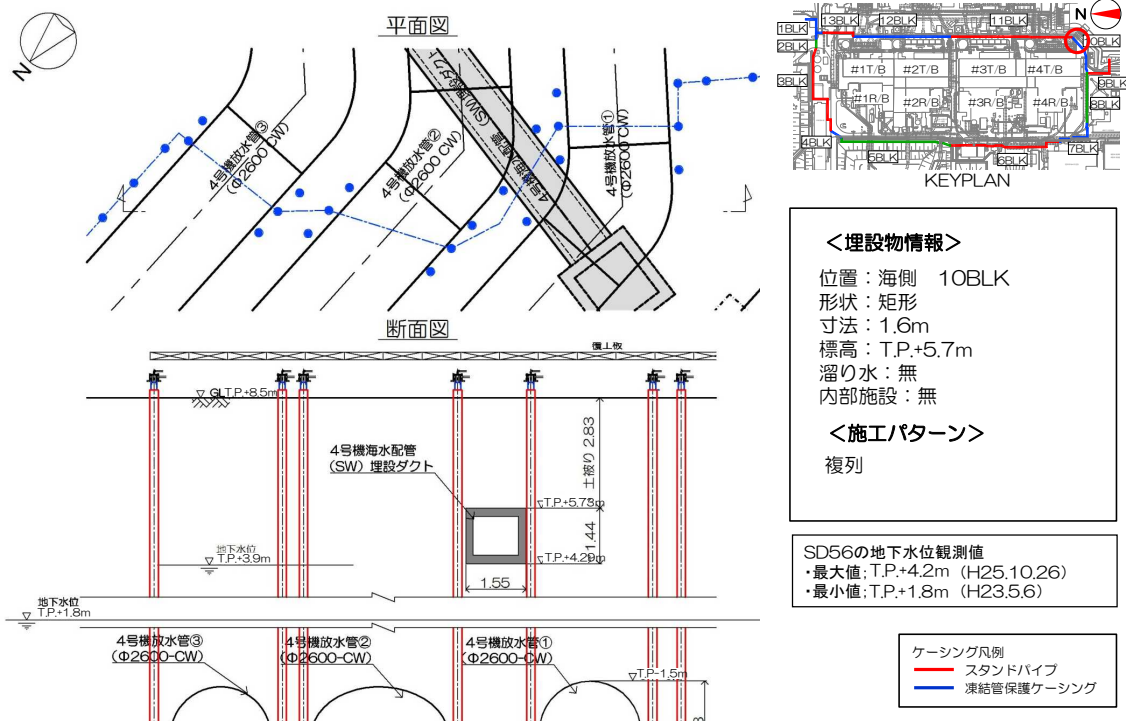
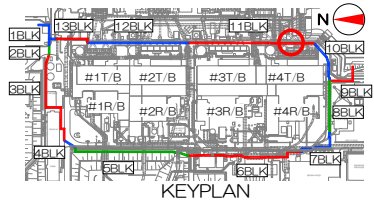
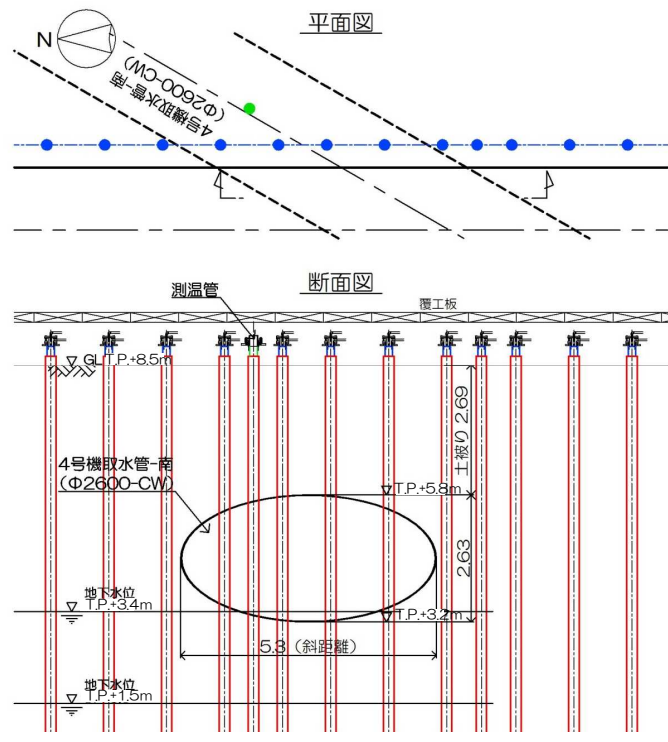


図3-4 【10-4】4号機海水配管 (SW) 埋設ダクト 施工方法(複列施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>
 位置：海側 11BLK
 形状：円形（鋼管）
 寸法：φ2.6m
 標高：T.P.+5.8m
 溜り水：無
 内部施設：無

<施工パターン>
 【頂版】単純
 【底版】単純

SD59の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+3.4m (H25.10.21)
 ・最小値：T.P.+1.5m (H25.7.15)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング
 〓 测温管

図 3 - 5 【 1 1 - 1 】 4号機取水管-南 施工方法(貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

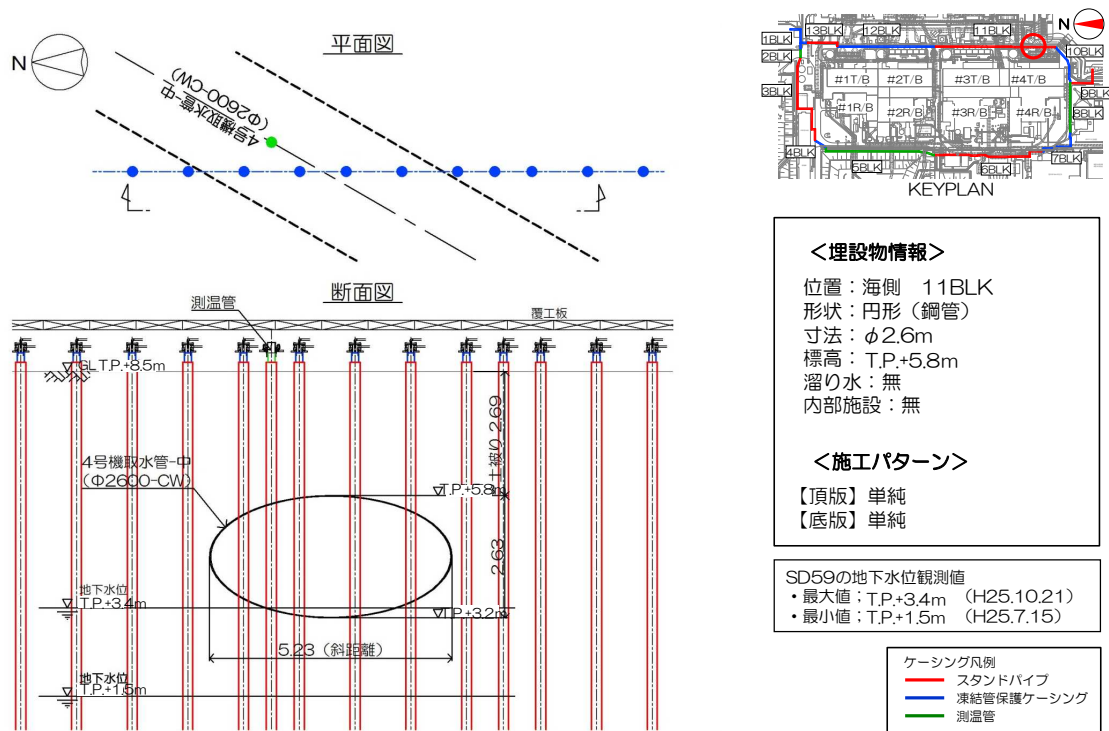
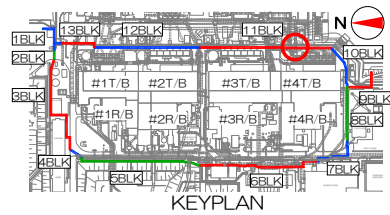
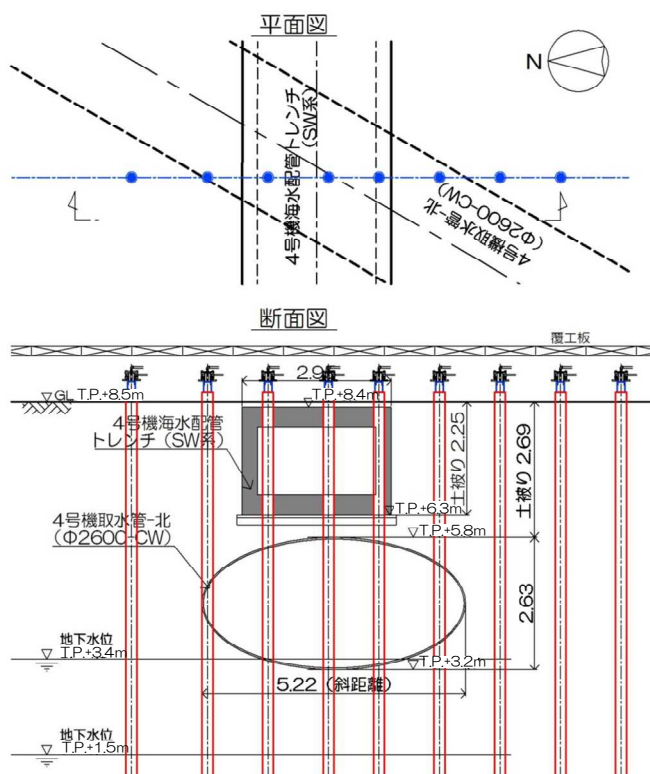


図 3 - 6 【 1 1 - 2 】 4号機取水管-中 施工方法(貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：海側 11BLK
 形状：円形（鋼管）
 寸法：φ2.6m
 標高：T.P.+5.8m
 溜り水：無
 内部施設：無

<施工パターン>

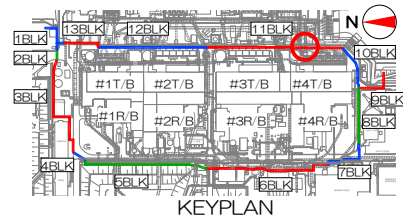
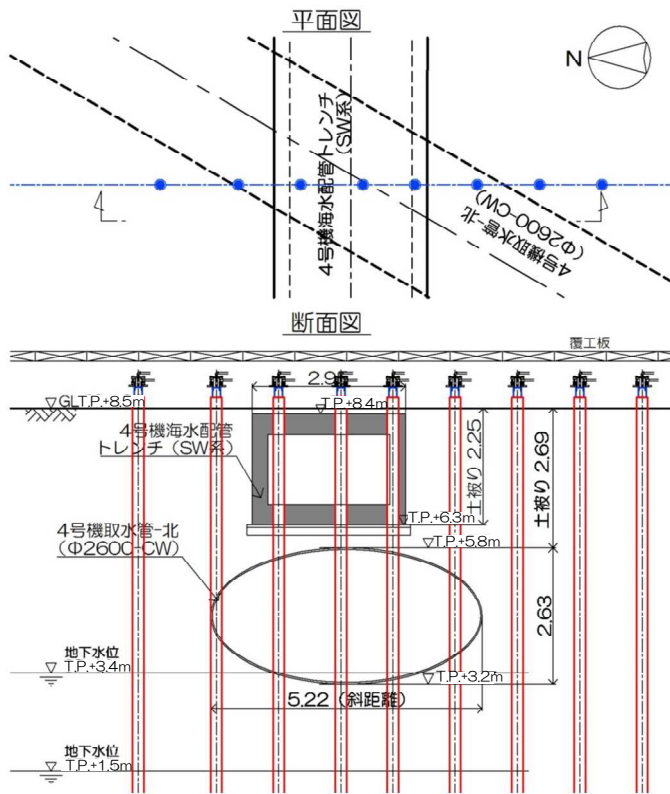
【頂版】単純
 【底版】単純

SD59の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+3.4m (H25.10.21)
 ・最小値：T.P.+1.5m (H25.7.15)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング

図 3 - 7 【 1 1 - 3 】 4号機取水-北 施工方法(貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：海側 11BLK
 形状：矩形
 寸法：2.95m
 標高：T.P.+8.4m
 溜り水：無
 内部施設：配管

<施工パターン>

【頂版】頂版撤去
 【底板】単純

SD59の地下水位観測値

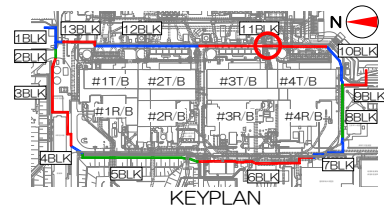
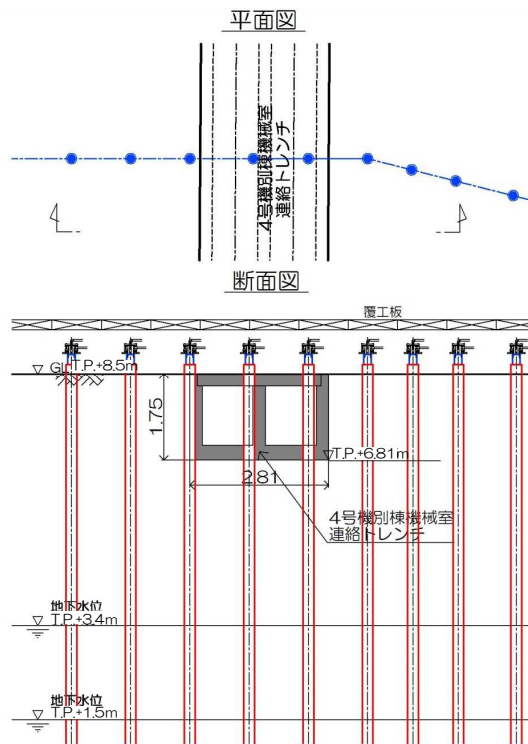
- ・最大値；T.P.+3.4m (H25.10.21)
- ・最小値；T.P.+1.5m (H25.7.15)

ケーシング凡例

- スタンドパイプ
- 凍結管保護ケーシング

図3-8 【11-4】4号海水配管トレンチ (SW系) 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：海側 11BLK
 形状：矩形
 寸法：2.81m
 標高：T.P.+8.5m
 溜り水：無
 内部施設：配管

<施工パターン>

【頂版】頂版撤去
 【底版】単純

SD59の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+3.4m (H25.10.21)
 ・最小値：T.P.+1.5m (H25.7.15)

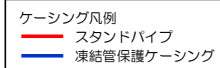


図3-9 【11-5】4号機別棟機械室連絡トレンチ 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

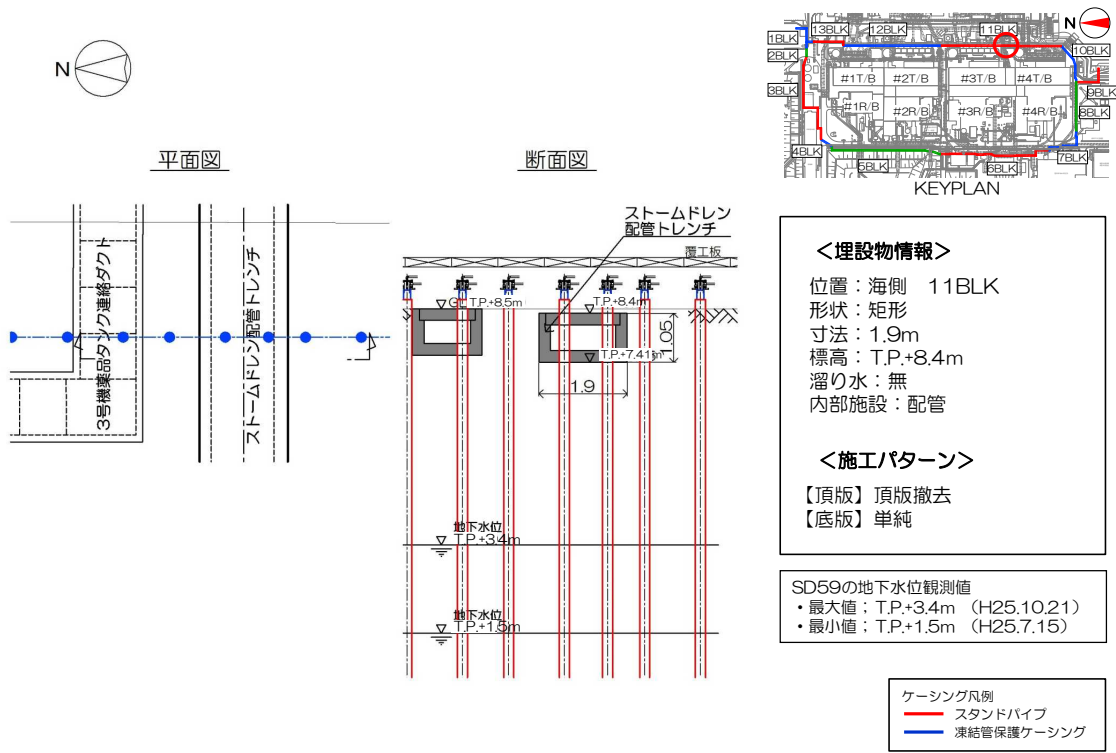


図3-10 【11-6】ストームドレン配管トレンチ 施工方法 (貫通施工)

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

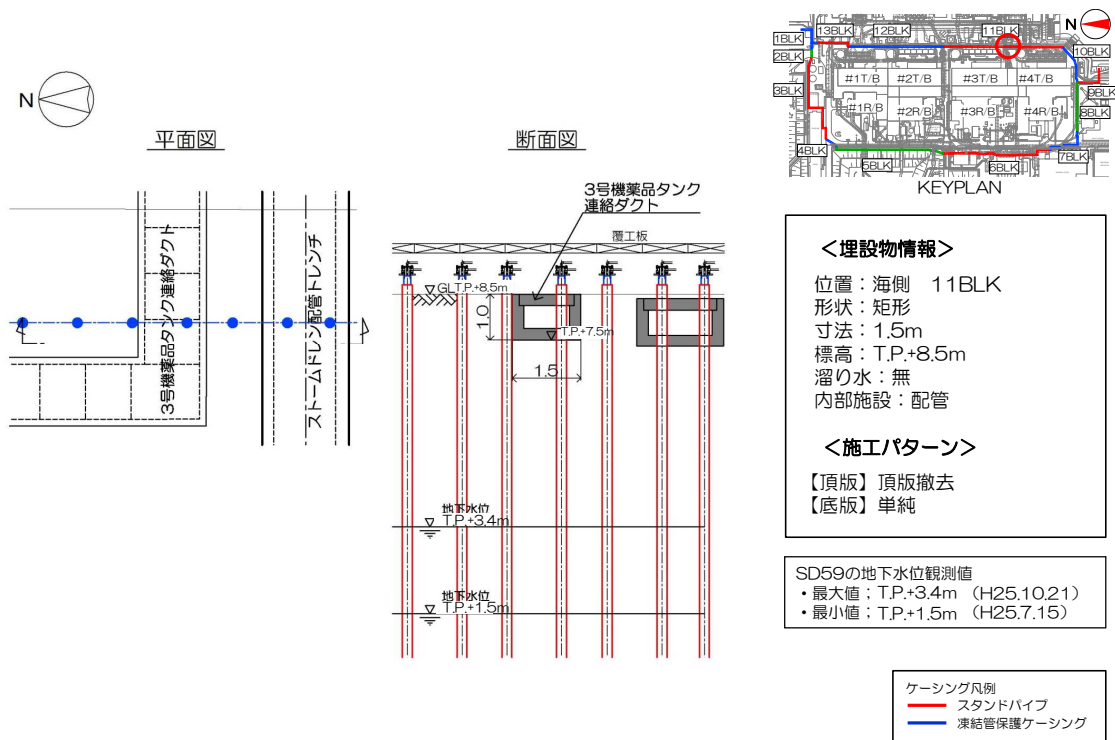


図 3-11 【11-7】 3号機薬品タンク連絡ダクト 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

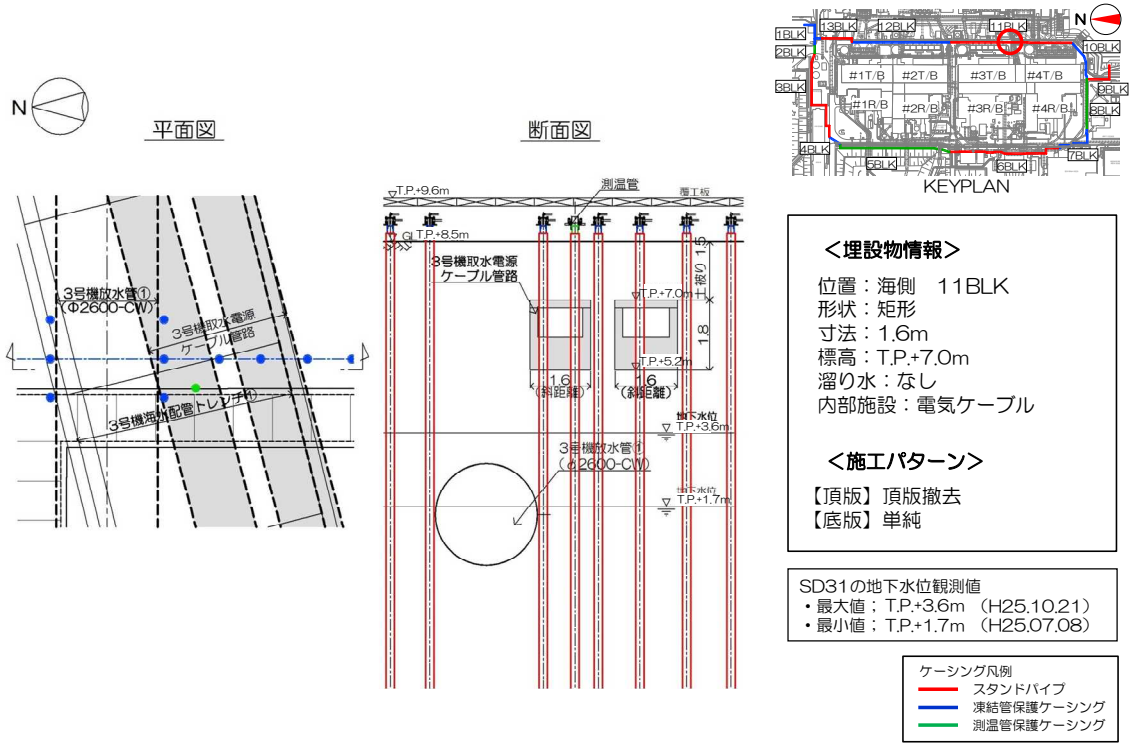


図 3 - 1 2 【 1 1 - 8 】 3号機取水電源ケーブル管路 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

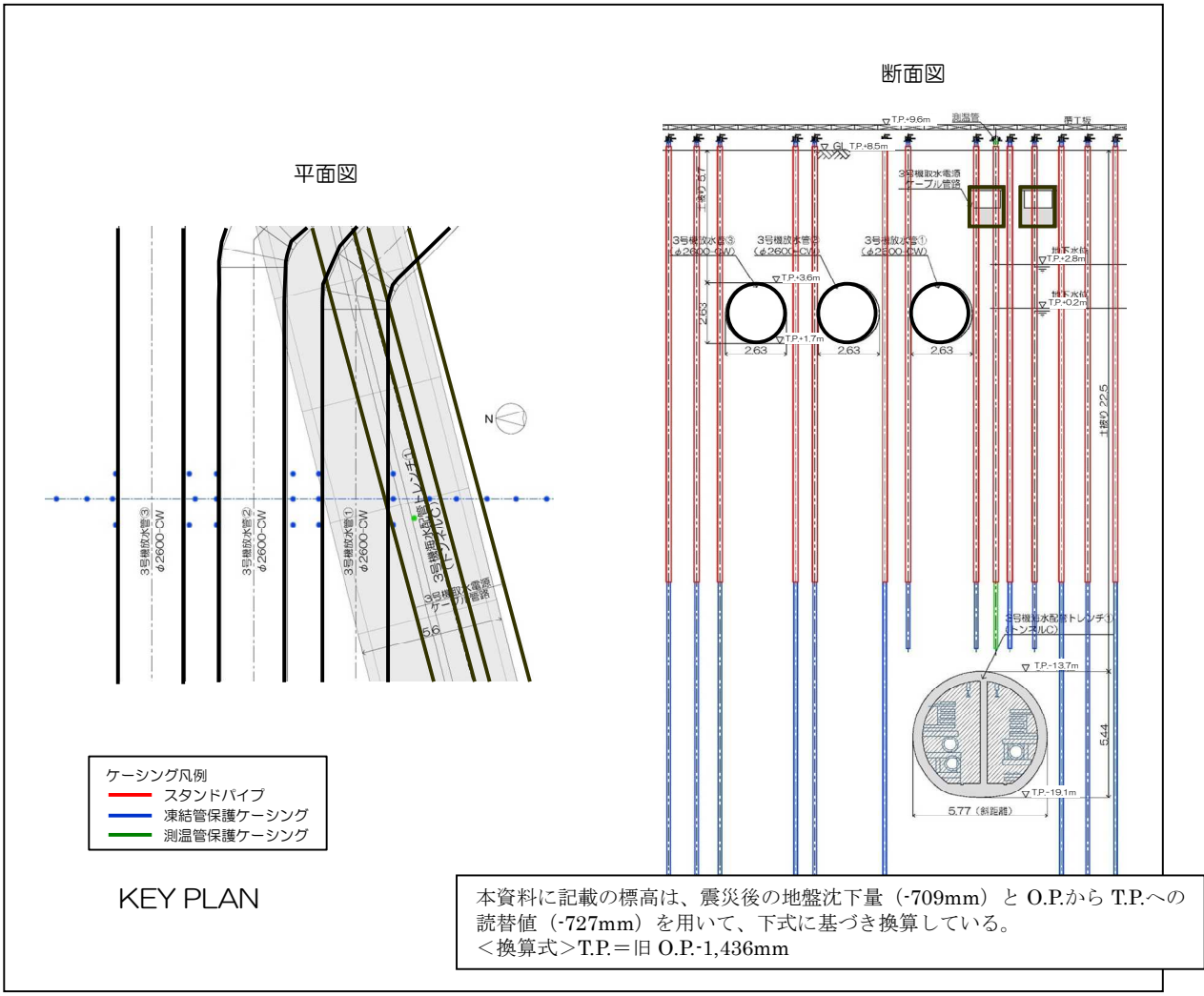
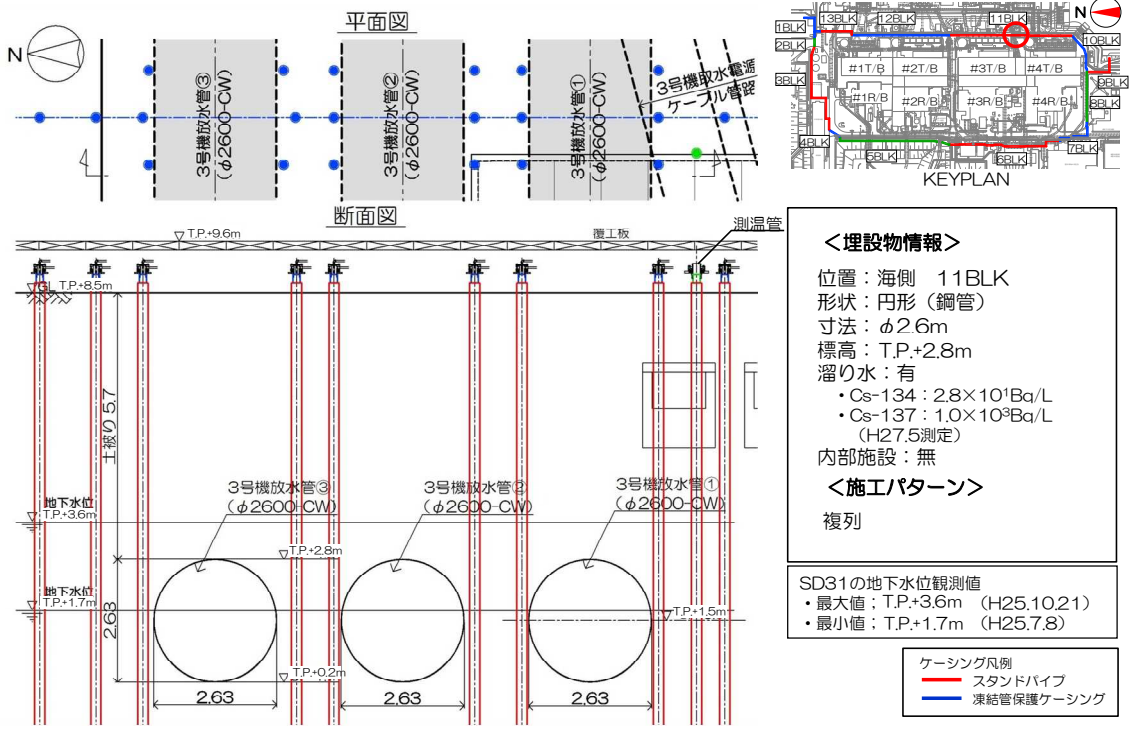


図 3 - 1 3 【 1 1 - 9 】 3 号機放水管①②③ 施工方法（複列施工）

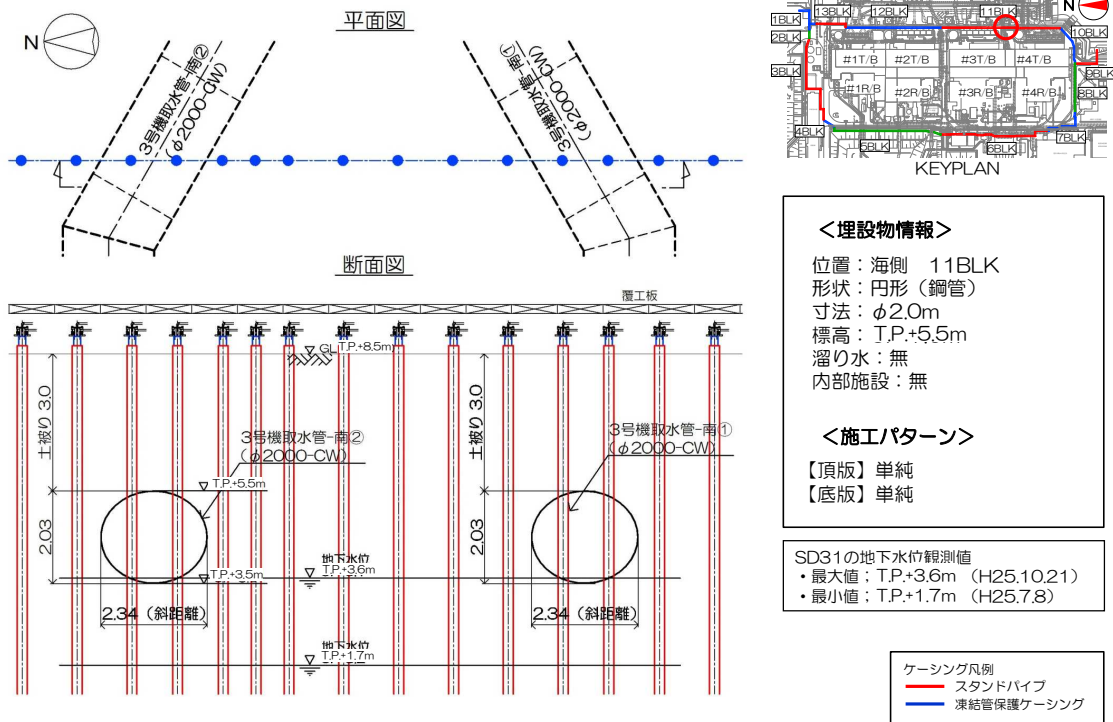
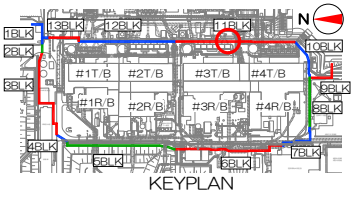
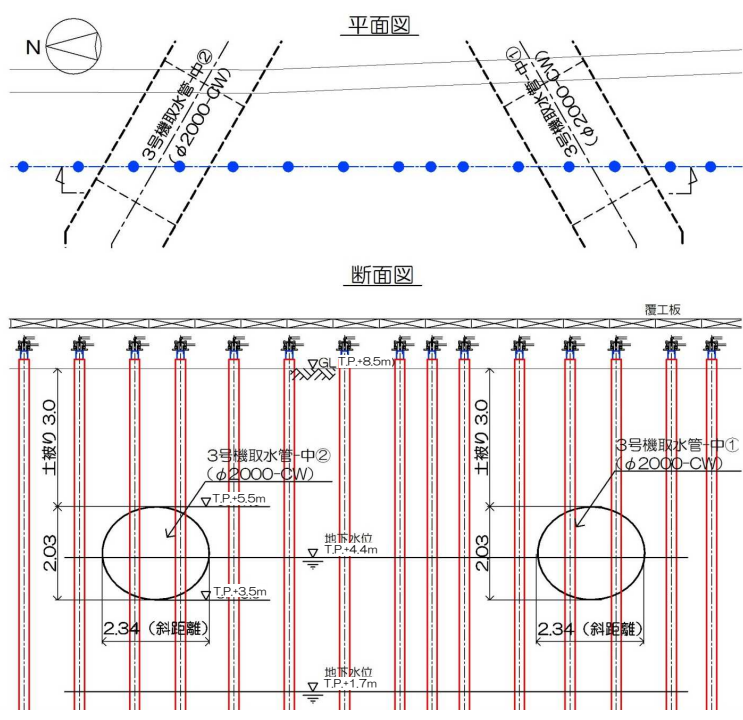


図 3-14 【11-10】3号機取水管-南①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P.から T.P.への読替値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm



<埋設物情報>
 位置：海側 11BLK
 形状：円形（鋼管）
 寸法：φ2.0m
 標高：T.P.+5.5m
 溜り水：貫通施工前に調査
 内部施設：無

<施工パターン>
 【頂版】単純
 【底版】単純

SD32の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+4.4m (H25.10.21)
 ・最小値：T.P.+1.7m (H25.7.17)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング

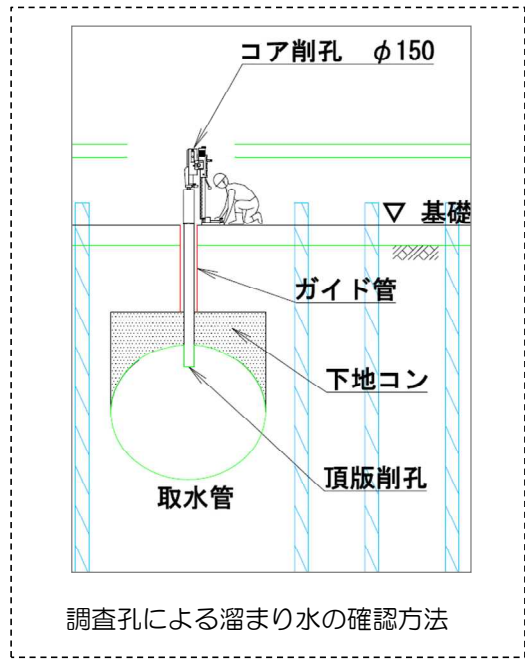
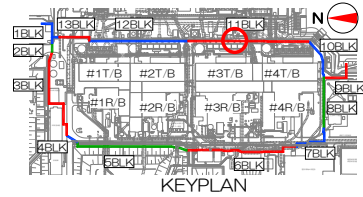
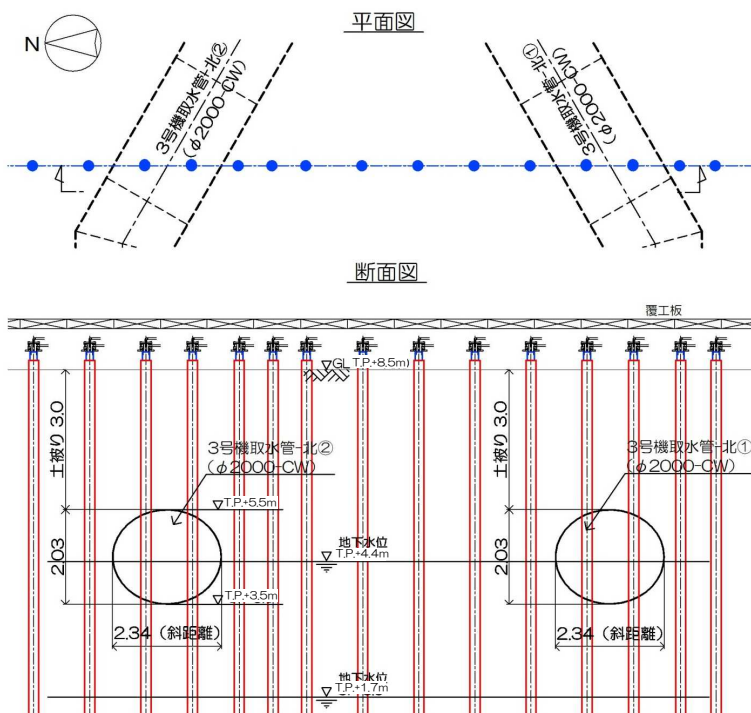


図3-15 【11-11】3号機取水管-中①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>

位置：海側 11BLK
 形状：円形（鋼管）
 寸法：φ2.0m
 標高：T.P.+5.5m
 溜り水：貫通施工前に調査
 内部施設：無

<施工パターン>

【頂版】単純
 【底板】単純

SD32の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+4.4m (H25.10.21)
 ・最小値：T.P.+1.7m (H25.7.17)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング

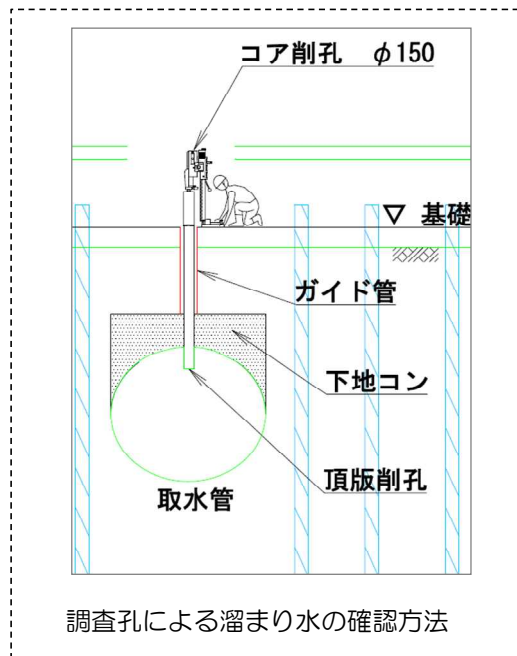


図3-16 【11-12】3号機取水管-北①② 施工方法（貫通施工）

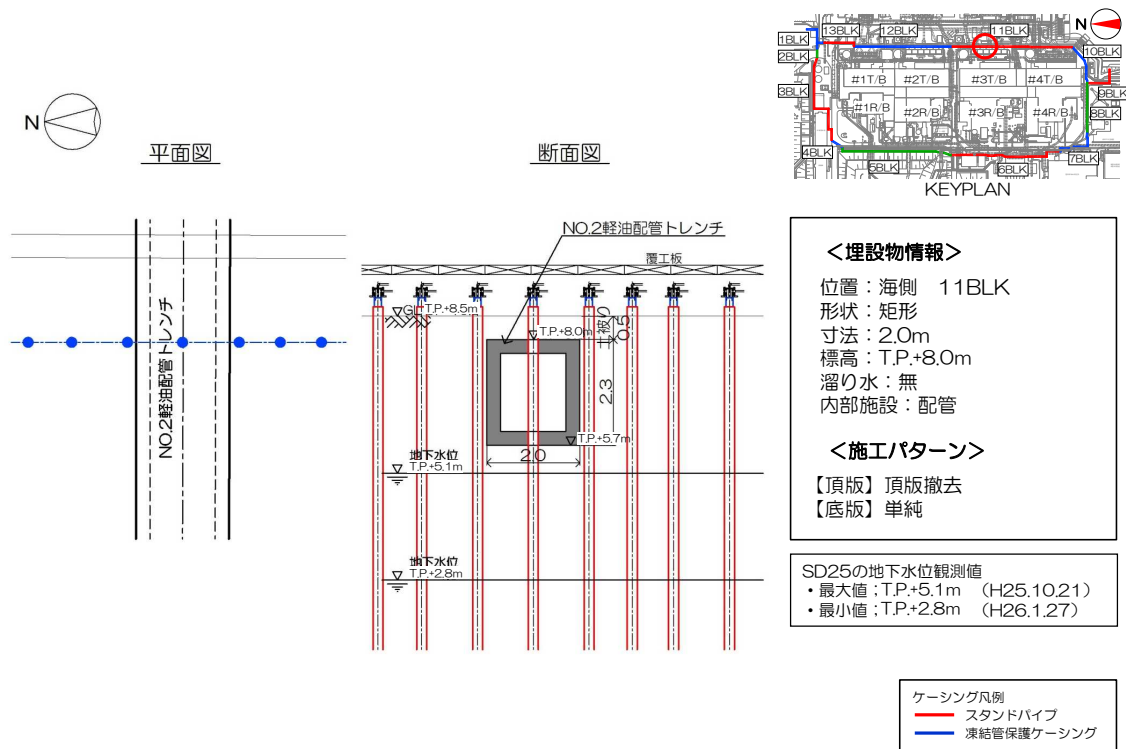
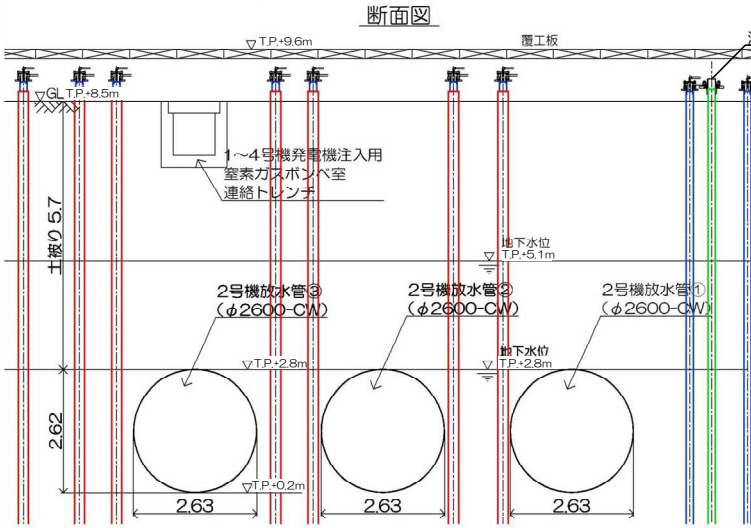
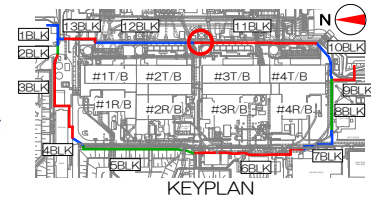
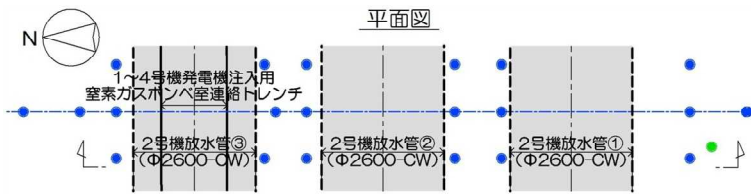


図 3-17 【11-13】 No.2 軽油配管トレンチ 施工方法（貫通施工）

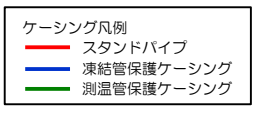
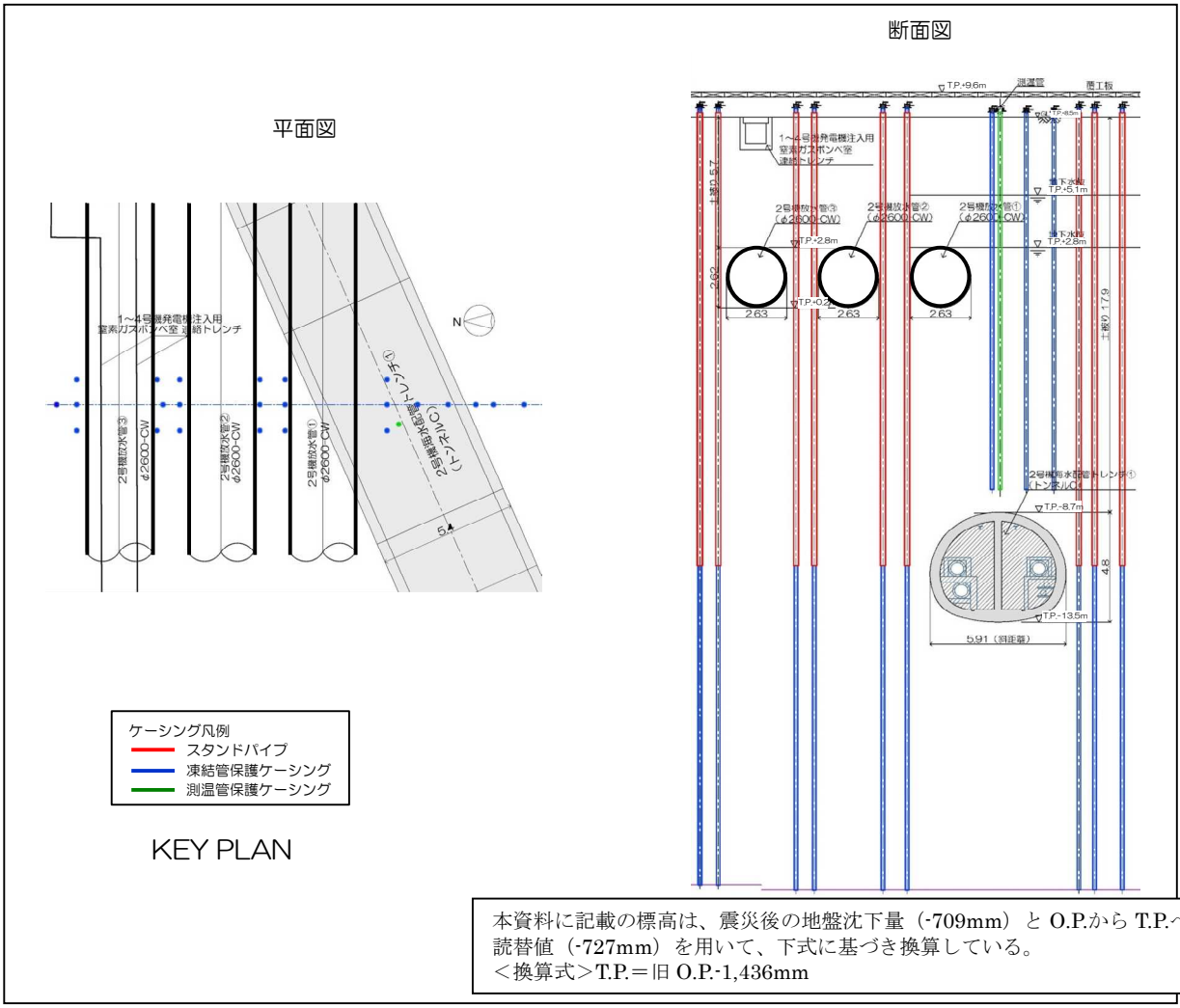
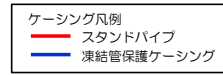
本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>
 位置：海側 11BLK
 形状：円形（鋼管）
 寸法：φ2.6m
 標高：T.P.+2.8m
 溜り水：有
 ・Cs-134：9.4×10¹Bq/L
 ・Cs-137：3.7×10²Bq/L
 （H27.6測定）
 内部施設：無

<施工パターン>
 複列

SD25の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+5.1m（H25.10.21）
 ・最小値：T.P.+2.8m（H26.1.27）



本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

図3-18 【11-14】2号機放水管①②③ 施工方法（複列施工）

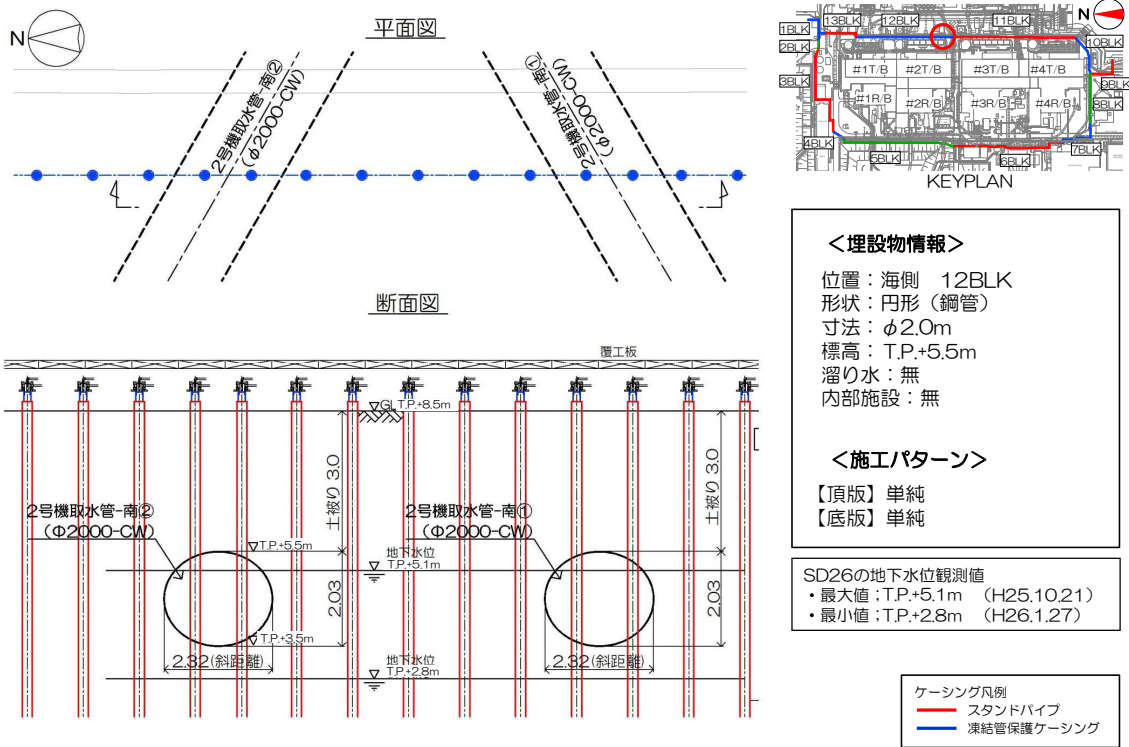


図 3-1-9 【12-1】2号機取水管-南①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. = 旧 O.P. - 1,436mm

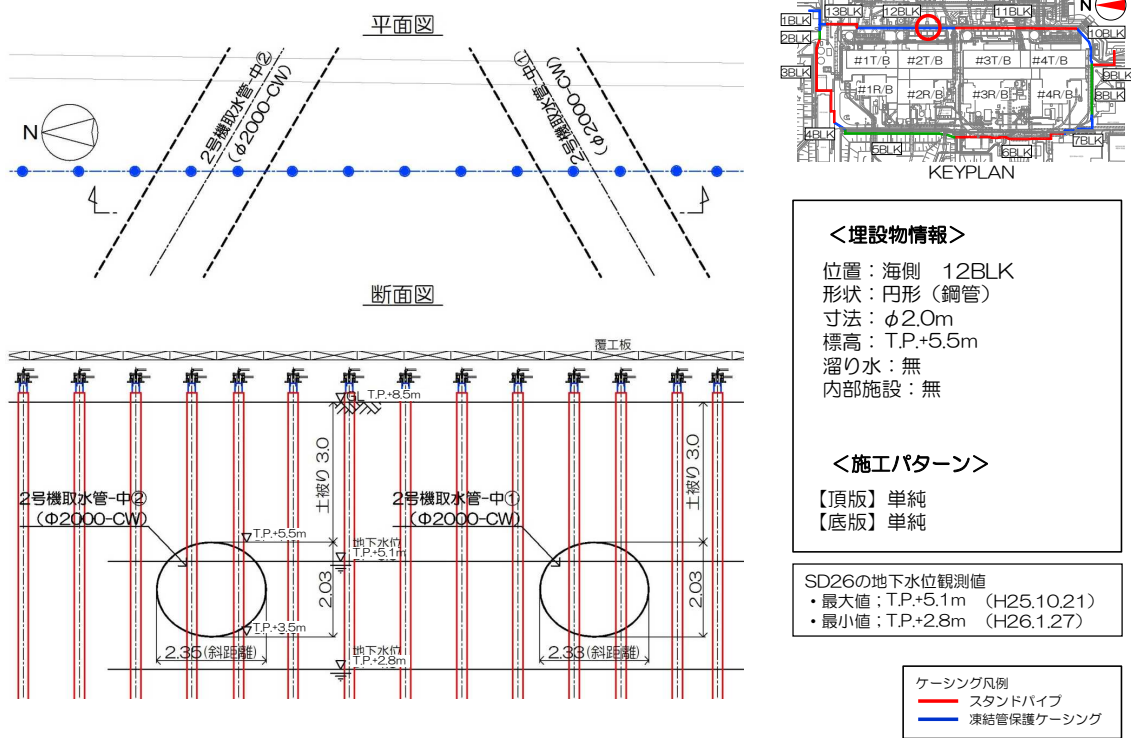


図 3-20 【12-2】2号機取水管-中①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

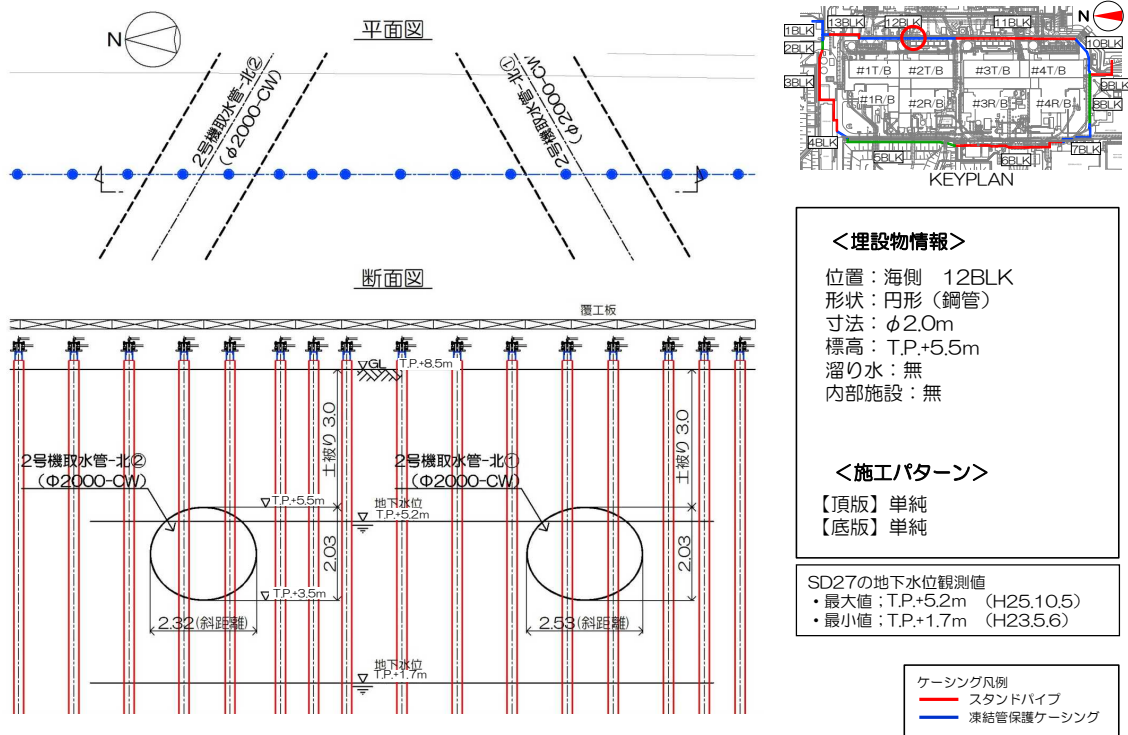
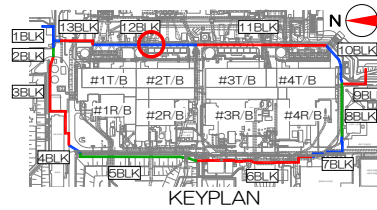
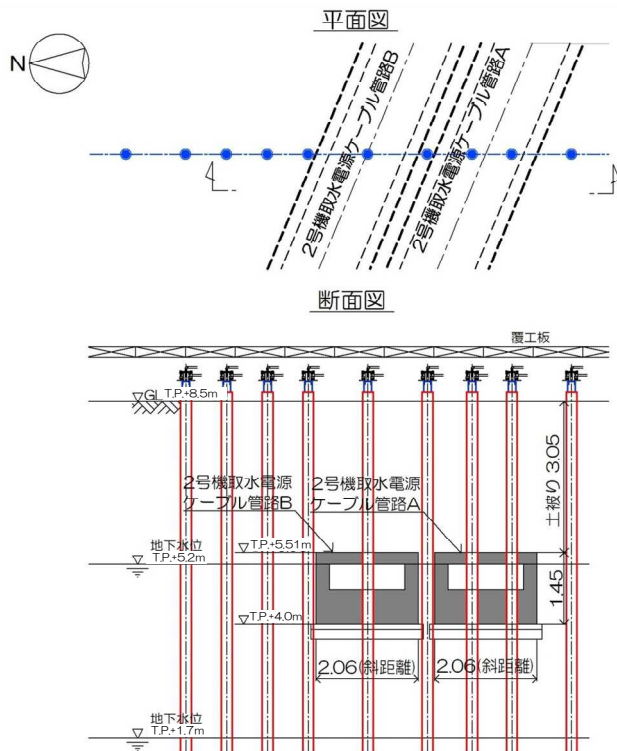


図 3-21 【12-3】2号機取水管-北①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm



<埋設物情報>
 位置：海側 12BLK
 形状：矩形
 寸法：1.9m
 標高：T.P.+5.51m
 溜り水：無（管路A）
 貫通施工前に調査（管路B）
 内部施設：電気ケーブル
<施工パターン>
 【頂版】頂版撤去
 【底板】単純

SD27の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+5.2m (H25.10.5)
 ・最小値：T.P.+1.7m (H23.5.6)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング

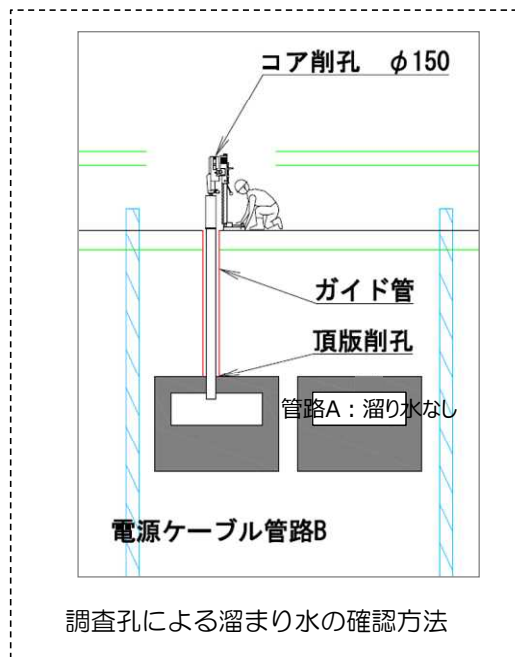


図3-22 【12-4】2号機取水電源ケーブル管路A,B 施工方法（貫通施工）

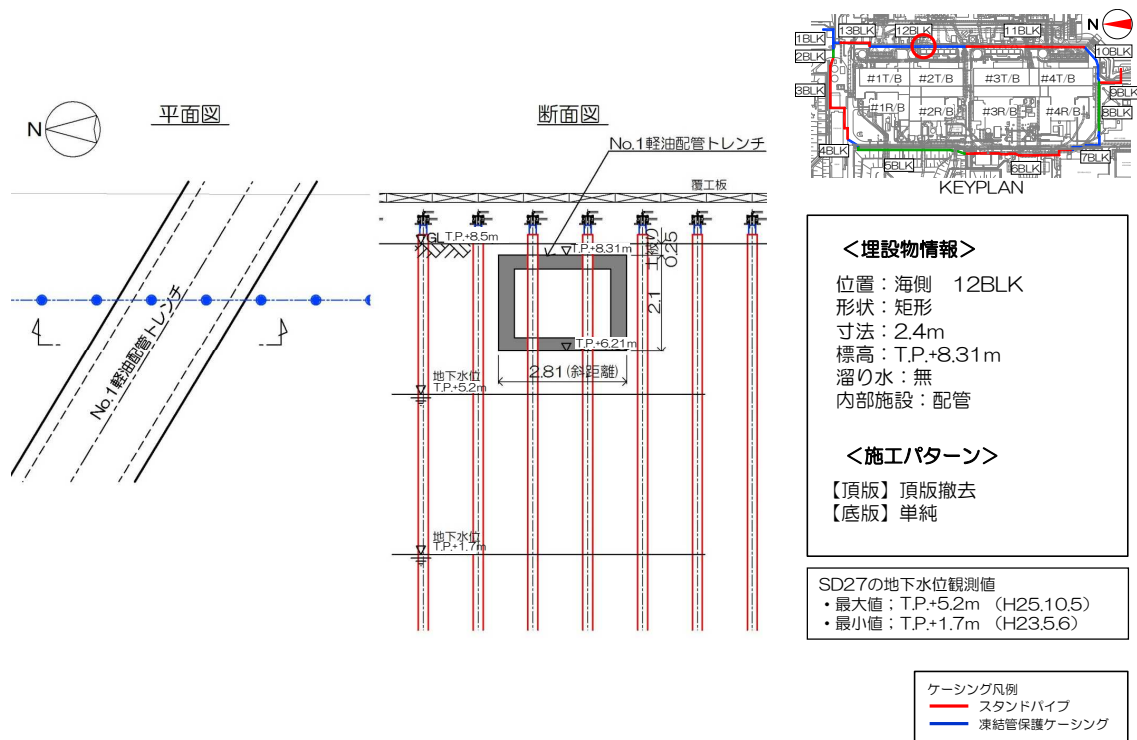
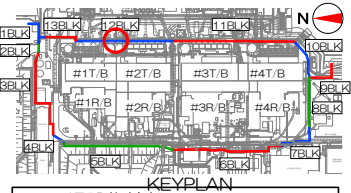
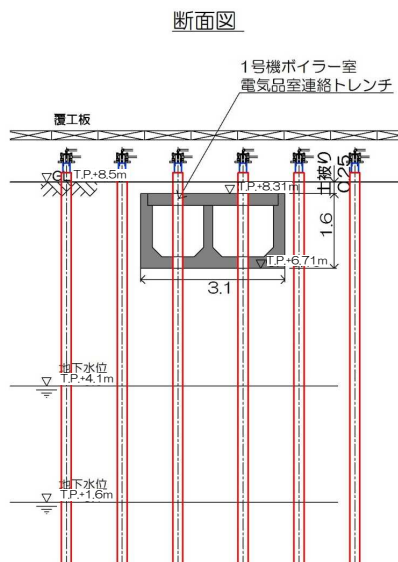
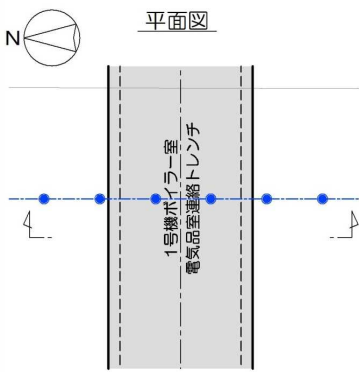


図 3-23 【12-5】 No.1 軽油配管トレンチ 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

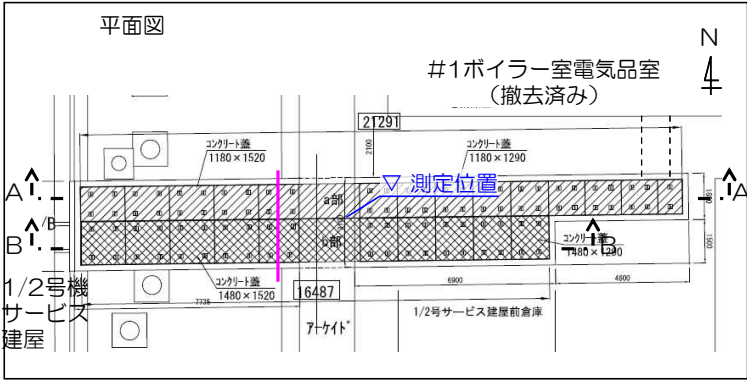
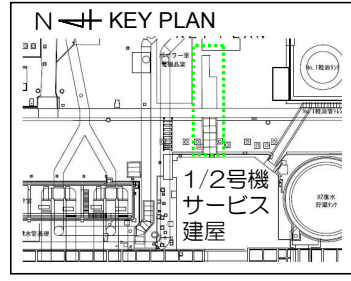


<埋設物情報>
 位置：海側 12BLK
 形状：矩形
 寸法：3.1m
 標高：T.P.+8.31m
 溜り水：有（貫通箇所：無）
 ・Cs-134： 1.2×10^2 Bq/L
 ・Cs-137： 3.2×10^2 Bq/L
 （H24.1測定）
 内部施設：電源ケーブル配管

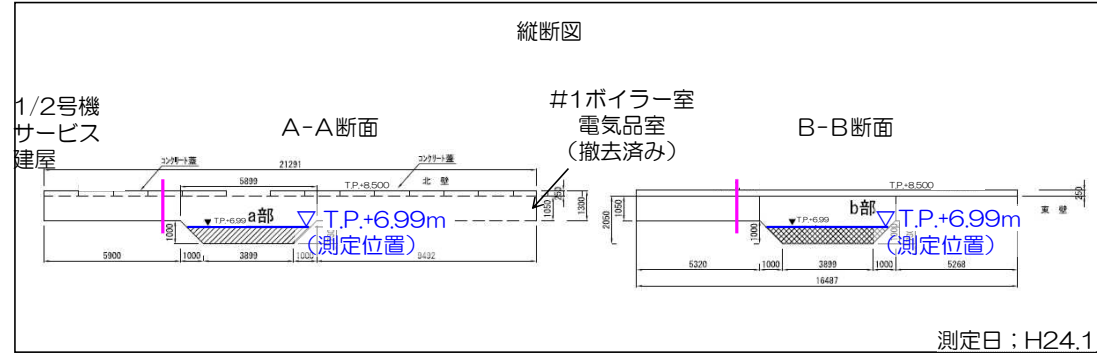
<施工パターン>
 【頂版】頂版撤去
 【底板】単純

SD1の地下水水位観測値
 ・最大値：T.P.+4.1m (H23.9.21)
 ・最小値：T.P.+1.6m (H23.5.9)

ケーシング凡例
 〓 スタンドパイプ
 〓 凍結管保護ケーシング



— 陸側遮水壁ライン



測定日：H24.1

図3-24 【12-6】1号機ボイラー室電気品室連絡トレンチ 施工方法（貫通施工）

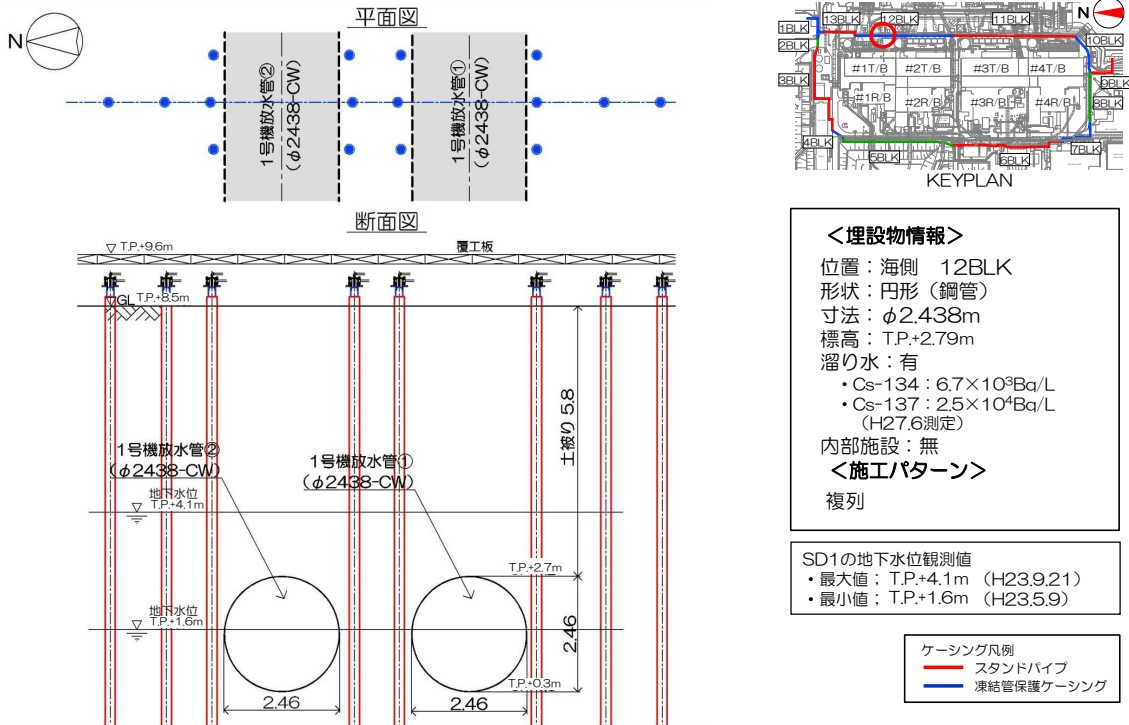


図 3-25 【12-7】1号機放水管①② 施工方法（複列施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

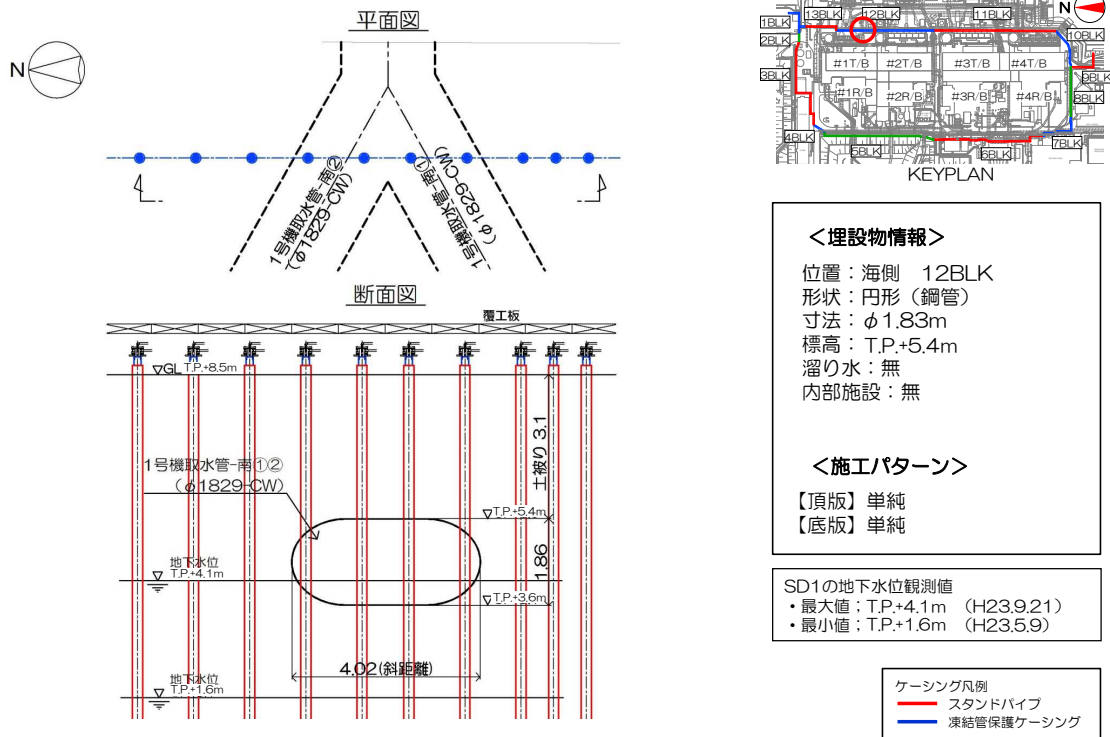


図3-26 【12-8】1号機取水 pipe-南①② 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

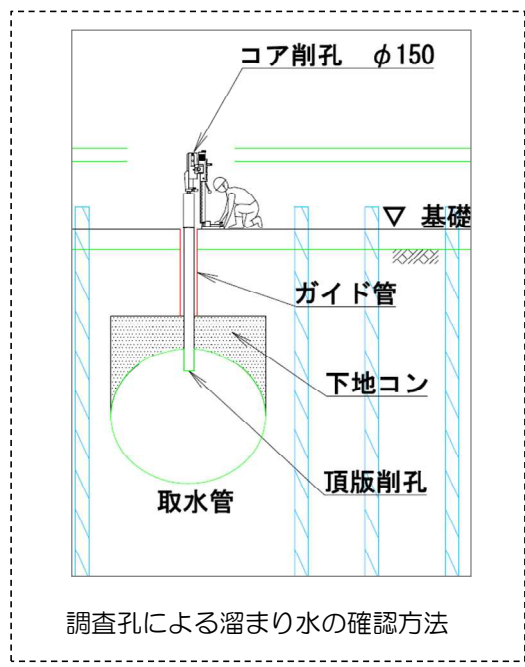
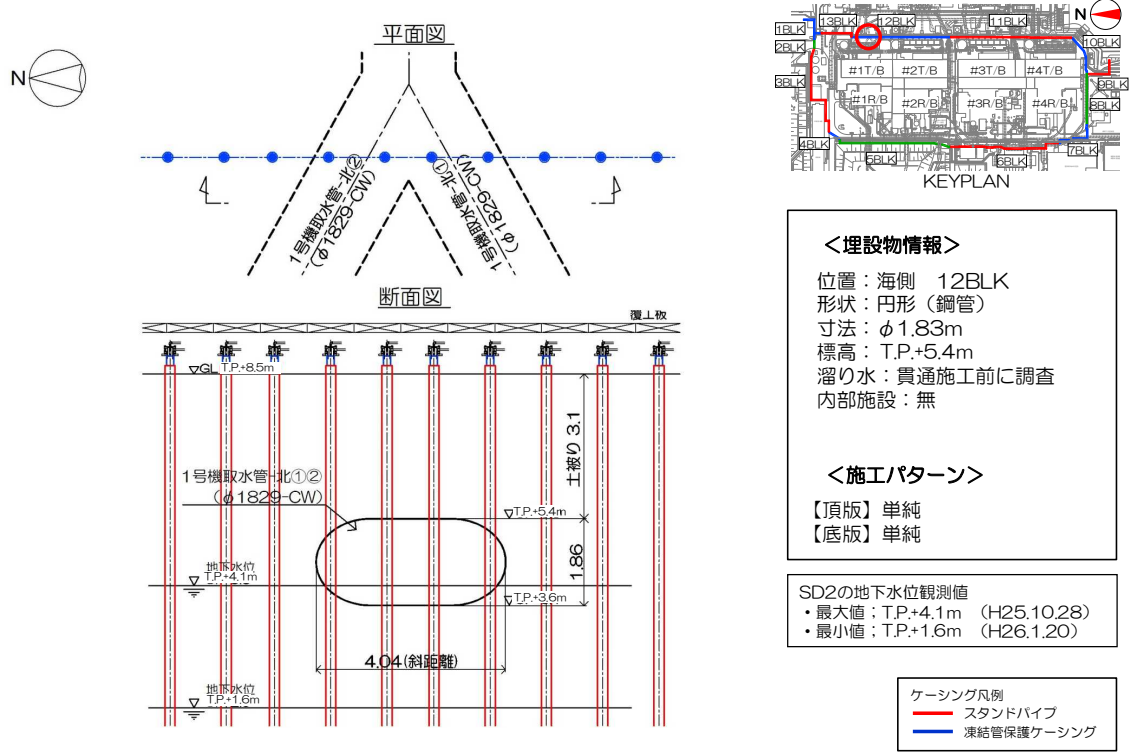


図 3-27 【12-9】1号機取水管-北①② 施工方法（貫通施工）

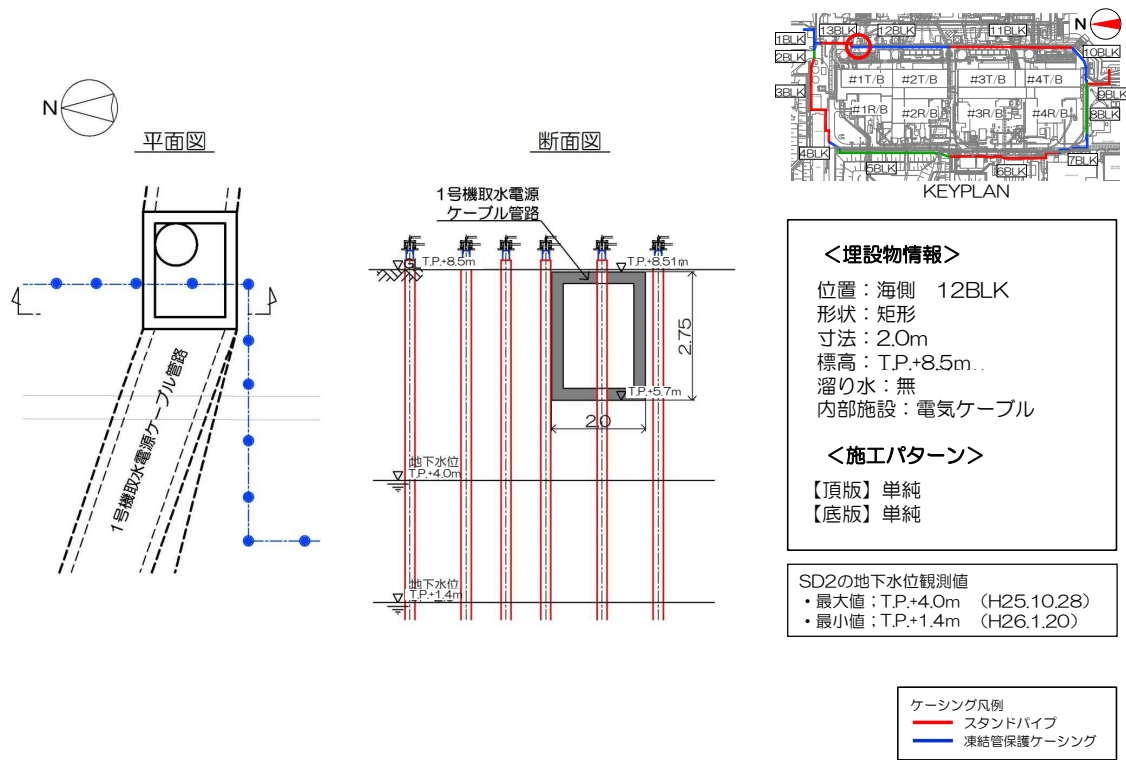
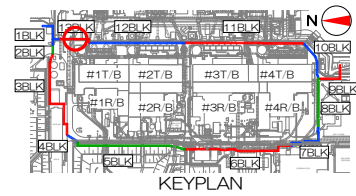
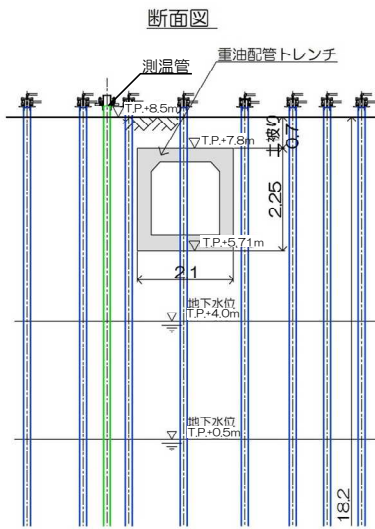
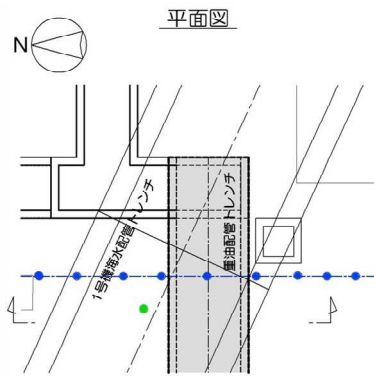


図 3-28 【12-10】1号機取水電源ケーブル管路 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

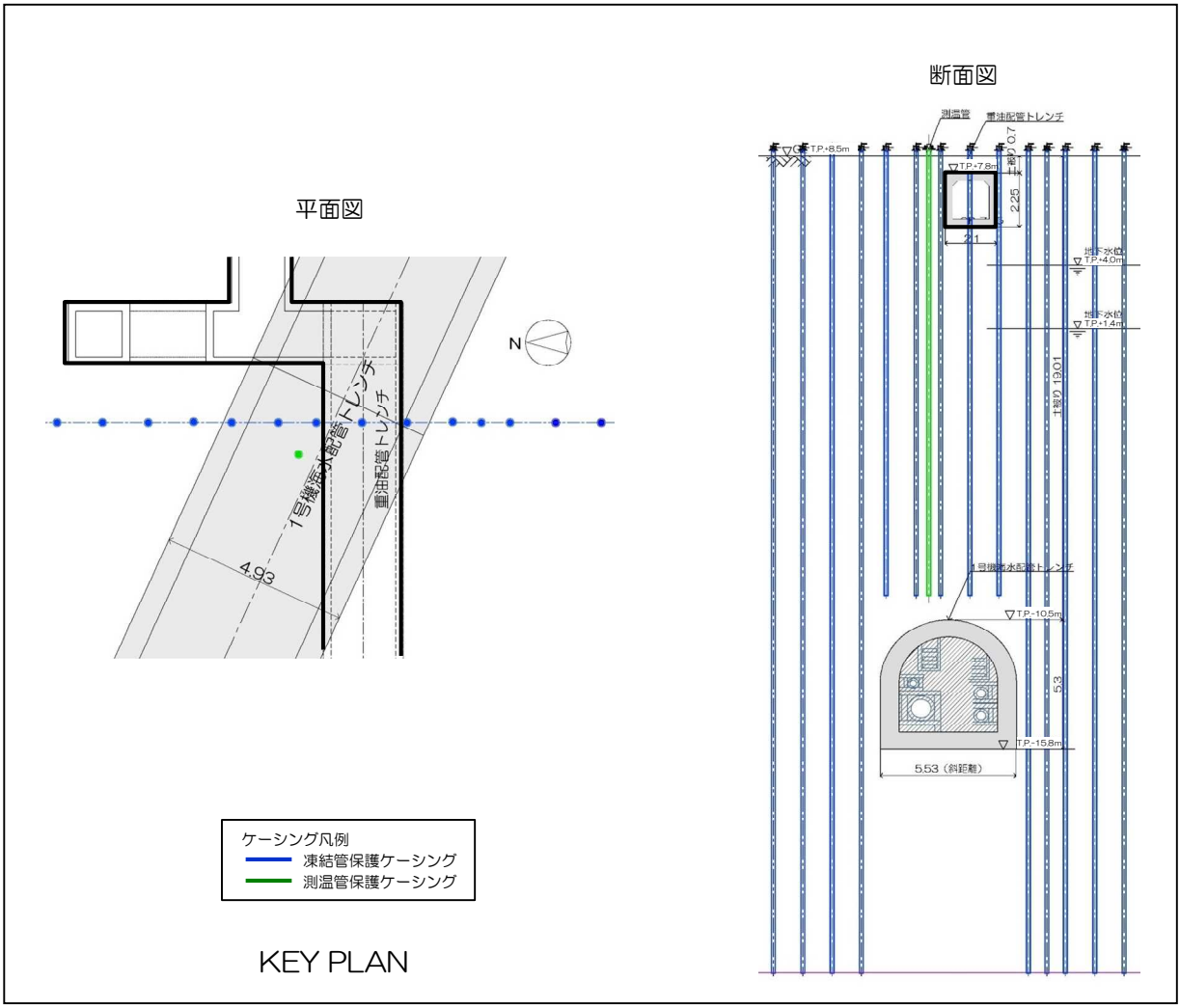


<埋設物情報>
 位置：海側 13BLK
 形状：矩形
 寸法：2.1m
 標高：T.P.+7.8m
 溜り水：無
 内部施設：配管

<施工パターン>
 【頂版】頂版撤去
 【底板】単純

SD2の地下水位観測値
 ・最大値：T.P.+4.0m (H25.10.28)
 ・最小値：T.P.+0.5m (H26.1.20)

ケーシング凡例
 凍結管保護ケーシング



ケーシング凡例
 凍結管保護ケーシング
 測温管保護ケーシング

KEY PLAN

図 3-29 【13-1】重油配管トレンチ 施工方法（貫通施工）

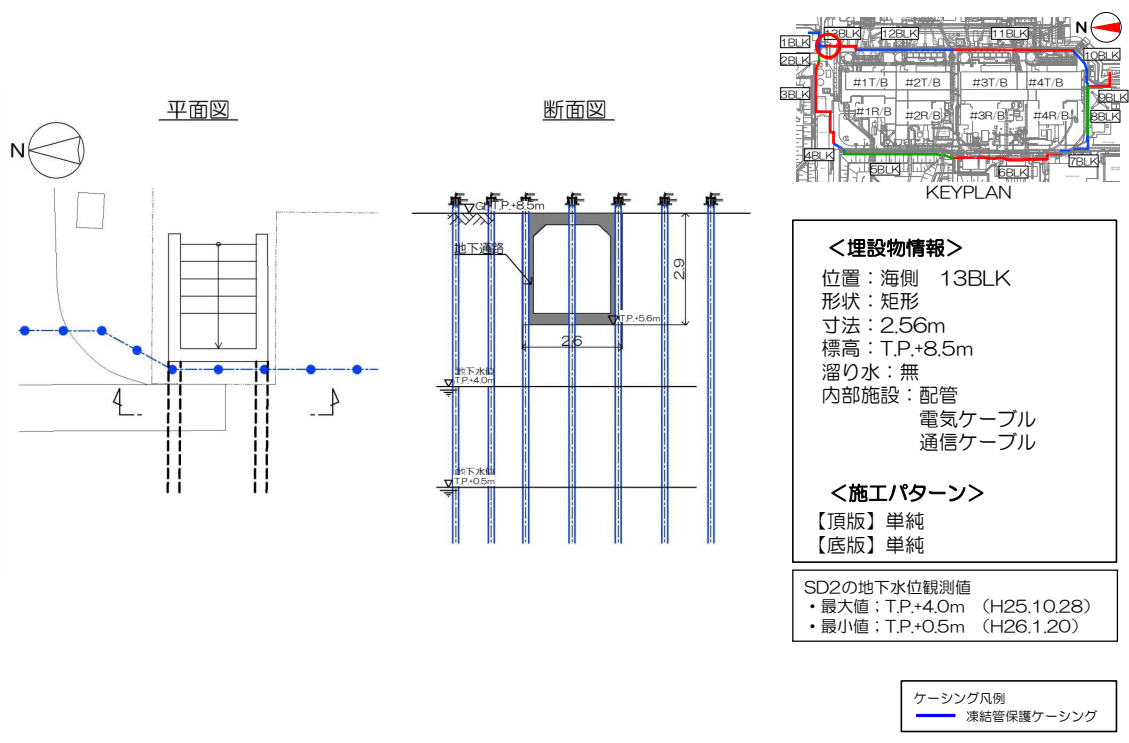


図 3 - 3 0 【 1 3 - 2 】 地下通路 施工方法（貫通施工）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式>T.P.=旧 O.P.-1,436mm

3次元解析の結果では、建屋周辺(T.P.8.5m 盤、山側)の中粒砂岩層の水位は2~4%程度の勾配で山から海に向かって低下している。

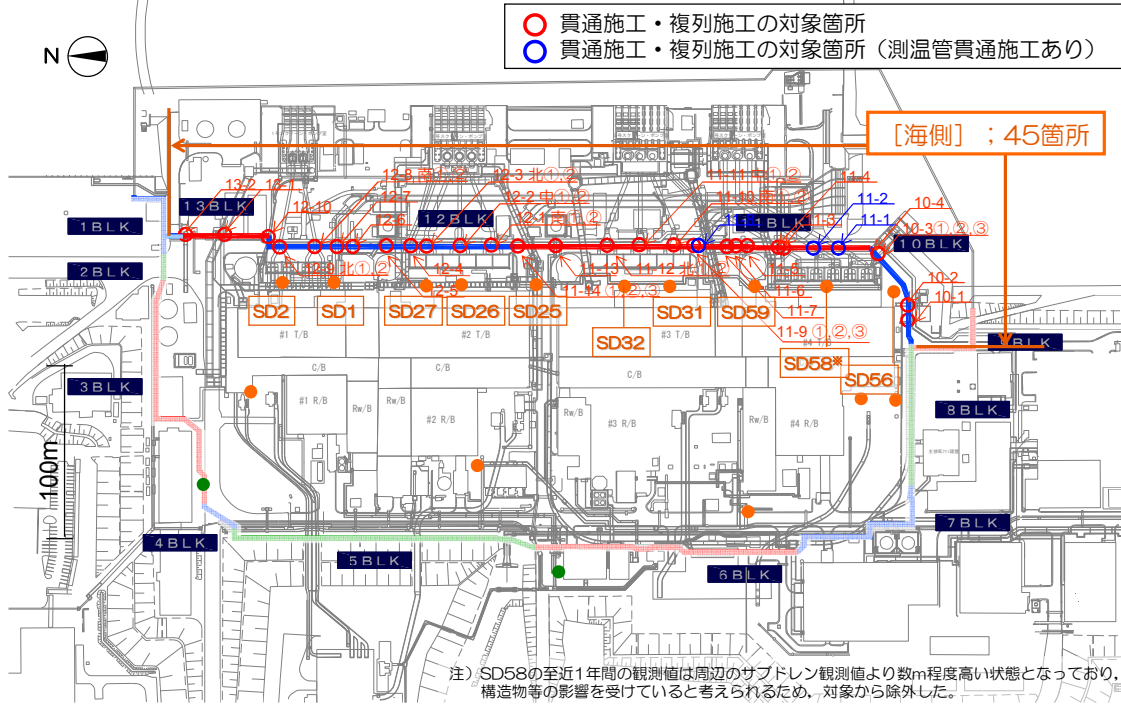


図 3 - 3 1 陸側遮水壁ライン近傍のサブドレン・地下水位観測孔 配置図

6 不明埋設物への対応

「添付資料－14 別添－2 7 不明埋設物への対応」に示す通り。

以 上

陸側遮水壁の閉合について

1. 概要

汚染水処理対策委員会で議論された汚染水処理問題の抜本対策（添付資料－ 1 2）に基づき、汚染源に水を「近づけない」重層的な対策の一つとして、高レベル放射性汚染水が滞留している1～4号機の原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋（以下「1～4号機のタービン建屋等」という）の周囲に陸側遮水壁（汚染水処理対策委員会の「凍土方式の陸側遮水壁」を「陸側遮水壁」とする）を造成する。

陸側遮水壁の閉合は以下の3段階で進める。

- 第一段階：海側全面閉合＋山側部分閉合する段階
- 第二段階：第一段階と第三段階の間の段階
- 第三段階：完全閉合する段階

なお、陸側遮水壁は、「汚染源である建屋に水を近づけない」ことが必要な期間に限り凍結を行い、その必要がなくなった場合には速やかに解凍する。陸側遮水壁解凍後の凍結管等の処理方法については解凍時期に近づいた段階で検討する。

2. 申請範囲

<既認可範囲>

- 山側ライン上の埋設物との干渉箇所での貫通施工による凍結管設置工事
- 海側ライン上の埋設物との干渉箇所での貫通施工による凍結管設置工事
- 陸側遮水壁造成後の基礎地盤沈下検討
- 山側ライン上の運用中の設備の損傷防止対策
- 海側ライン上の運用中の設備の損傷防止対策
- 不明埋設物への対応
- 陸側遮水壁（山側ライン）における試験凍結の実施
- 陸側遮水壁海側全面閉合及び山側部分閉合（第一段階）
- 陸側遮水壁未凍結箇所の一部閉合（Ⅰ）（第二段階）
- 陸側遮水壁未凍結箇所の一部閉合（Ⅱ）（第二段階）

<今回の申請範囲>

- 陸側遮水壁の完全閉合（第三段階）

第三段階は、サブドレンが稼働していることを前提に、建屋周りの地下水位が低下し

た際にも、サブドレンを停止することで迅速かつ確実に地下水位が回復でき、建屋滞留水水位と地下水位が逆転しないよう、未凍結箇所（西側③）を閉合し、陸側遮水壁を完全閉合していく段階である。

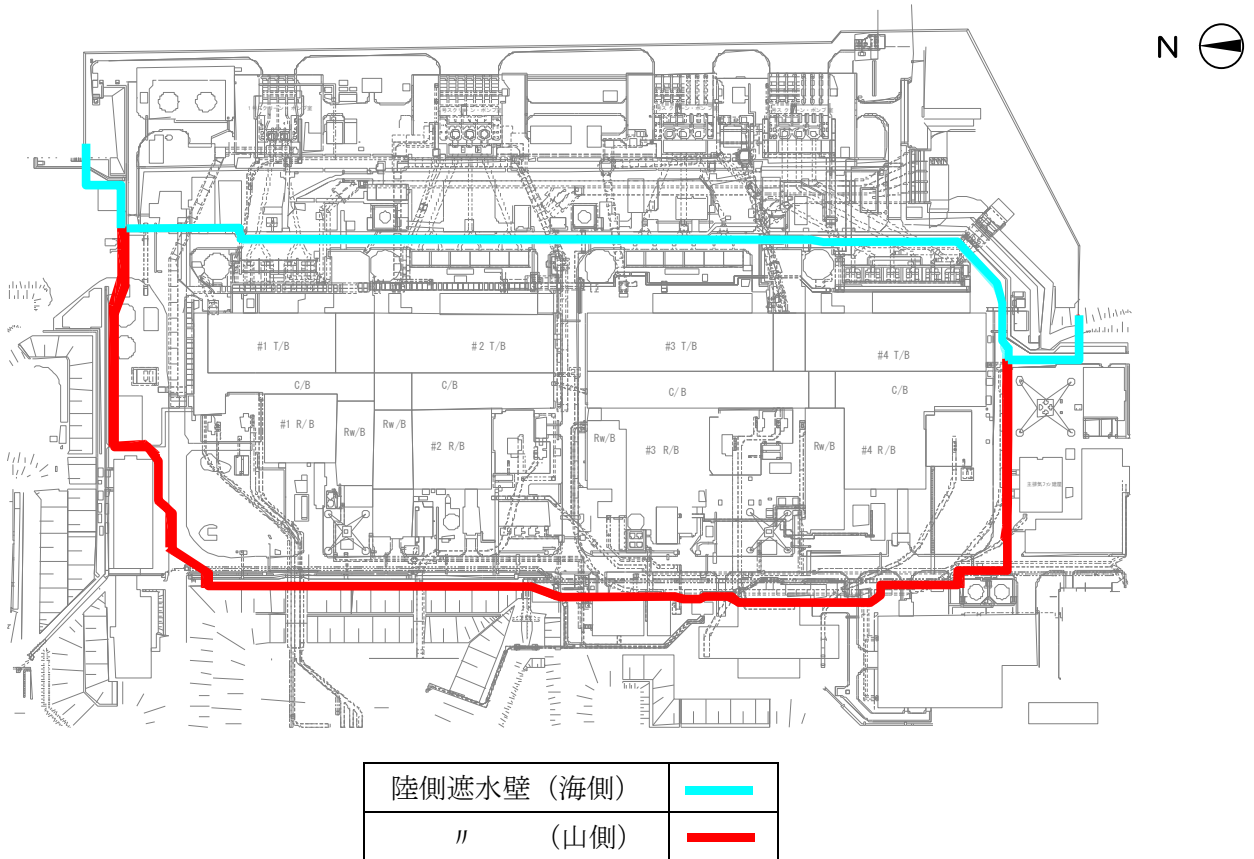


図-1 陸側遮水壁全体図

3. 計画上考慮すべき事項

陸側遮水壁閉合開始後、遮水性の発現に伴って、閉合範囲内の地下水位は全体に変化することが想定される。その際にも、建屋滞留水の水位を周辺地下水の水位よりも低く維持し、水位逆転を生じさせないとの前提のもと、下記を考慮し、陸側遮水壁の閉合を計画する。

(1) 絶対下限水位

万が一、地下水位が絶対下限水位（これ以上低下することのない水位：平均潮位）まで低下した場合でも、いずれの建屋からも滞留水を移送することが可能であり、地下水位と建屋滞留水水位の逆転は生じない。なお、建屋滞留水の移送先については、移送状況により貯蔵設備容量は変動する。今後も、上記の緊急時に必要な移送量を考慮し、貯蔵設備の増設等により必要な容量を確保していく。（別紙－1）

(2) 周辺状況

① 地質構造と地下水環境

1～4号機建屋周辺の各透水層の水位・水頭の実測データによれば、中粒砂岩層の水位に対して、互層部、細粒・粗粒砂岩の水頭は同等または高く、陸側遮水壁範囲内の各透水層間に介在する泥質部は難透水性を有している。従って、中粒砂岩層の地下水が難透水層を抜けて深部に移動することは考え難い。（別紙－2）

② 海側遮水壁の遮水性能

閉合後の海側遮水壁は、海の潮汐変動と遮水壁内の地下水位変動の実測値の比較によれば、 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 程度の遮水性を有している。（別紙－3）

4. 陸側遮水壁閉合における実施事項と確認事項

(1) 第一段階の実施事項

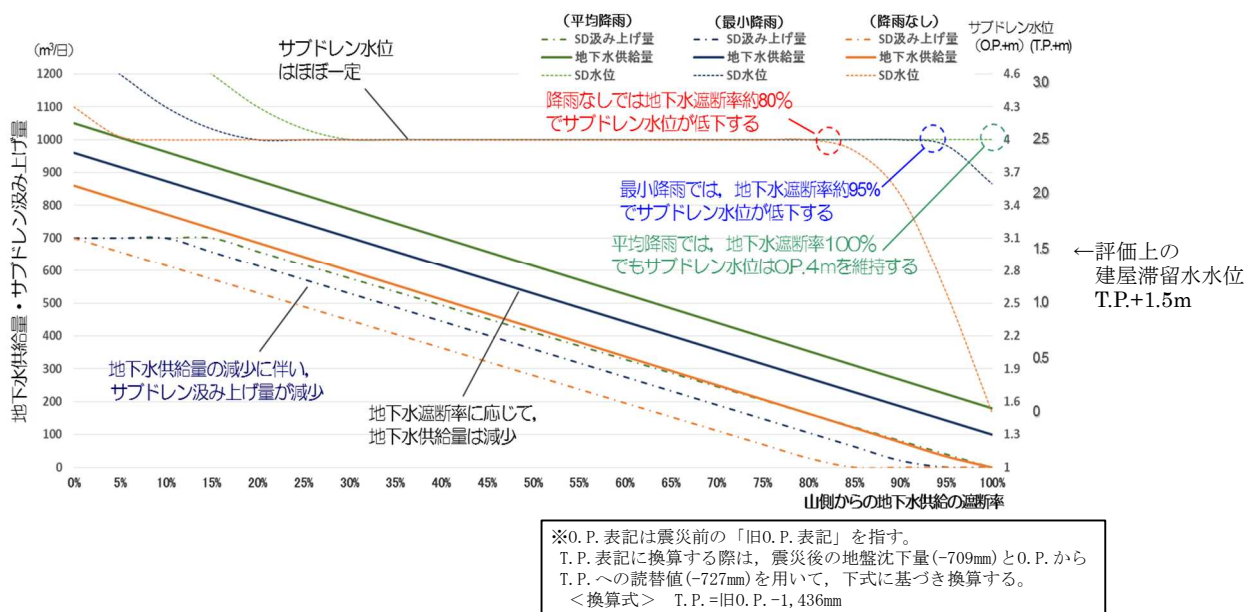
① 閉合範囲

陸側遮水壁（海側）：全面的に閉合（別紙－4）

陸側遮水壁（山側）：山側総延長の約95%以下を閉合（閉合率※1約95%以下）

※1：山側総延長に対して閉合する長さの割合

山側の段階的閉合を進めていくと、山側からの地下水流入の減少にともない、陸側遮水壁内の地下水位は低下し、サブドレンの汲み上げ量が減少する（図－2）。



図－2 地下水遮断率※2とサブドレン汲み上げ量及び建屋周辺地下水位（サブドレン水位）の関係

※2：山側からの地下水流入量に対する減少量の割合

実測に基づく地下水収支計算（別紙－5）によれば、年間平均降雨（4mm/日）相当の降水量があれば、地下水遮断率を100%とした場合でもサブドレンは停止することなく稼働を続け、緊急時にはサブドレンの稼働を停止することで地下水位の回復が可能であり、建屋との水位差を維持できる。降雨の条件を最小降雨※3（2mm/日）とした場合、地下水遮断率約95%までサブドレンは稼働する。無降雨の状態を想定しても、地下水遮断率約80%までサブドレンは稼働する。

解析では、山側の閉合率95%に対し地下水遮断率は約50～60%の結果を得ており（別紙－6）、無降雨の状態でサブドレンが停止し水位が低下する変曲点である約80%よりも十分低い値となっている。第一段階は、サブドレンが稼働し

ていることを前提とし、建屋周りの地下水位が低下した際にも、サブドレンを停止することで迅速かつ確実に地下水位が回復でき、建屋滞留水水位と地下水位の逆転リスクが極めて低い段階であることから、十分余裕を持ってサブドレン稼働を継続できるように山側の閉合率を95%以下とする。

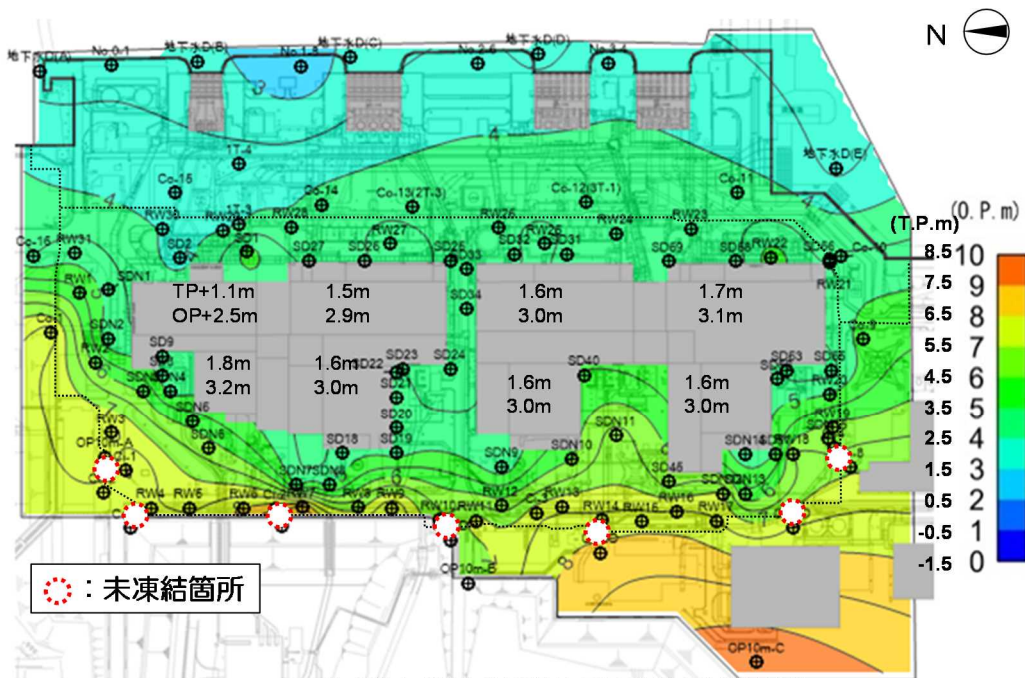
※3：浪江地点の過去30年間における12ヶ月間累積最小降雨実績
(気象庁HP) から設定 (763mm/365日≒2mm/日)

② 未凍結箇所への配置に当たり留意すべき事項

(ア) 陸側遮水壁閉合範囲内への地下水流入量の確保

陸側遮水壁閉合範囲内への一定の地下水流入を確保するために、現状の地下水の流れをもとに未凍結箇所を配置する。

地下水の等水位線は汀線と平行に分布し、地下水は山側（西）から海側（東）の流れが支配的であり、建屋山側に局所的に特異な地下水の流れは認められない（図-3）。未凍結箇所は可能な限り山側（西）に配置することで地下水流入を確保する。念のため、南北にも未凍結箇所を設けることで1号機建屋北側周辺、4号機建屋南側周辺への地下水流入を確保する。



サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後(2016/1/17)

〔海側サブドレン稼働水位T.P.+2.8m〕

〔山側サブドレン稼働水位T.P.+3.1m〕

地下水位分布は実測の地下水位から、Golden Software社のソフトウェアSurfer ver13を用いてKriging法に基づいて作成した。

図-3 中粒砂岩層の地下水位 (2016年1月17日時点)

※0.P.表記は震災前の「旧0.P.表記」を指す。
T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と0.P.からT.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。
<換算式> T.P.=旧0.P.-1,436mm

(イ) 地下水管理への配慮

陸側遮水壁閉合範囲内の地下水位のばらつきが少なくなるように、未凍結箇所を均等に配置する。また、未凍結箇所からの地下水流入量を評価するため、観測井近傍に未凍結箇所を配置する。

(ウ) 凍結状態管理への配慮

未凍結長さを適切に管理するため、測温管の近傍に未凍結箇所を配置する。

(エ) 陸側遮水壁（海側）閉合による影響への対処

陸側遮水壁（海側）閉合によりせき止められた地下水が南北方向へ移動することによる周辺環境への影響（別紙－7）を考慮して未凍結箇所を配置する。

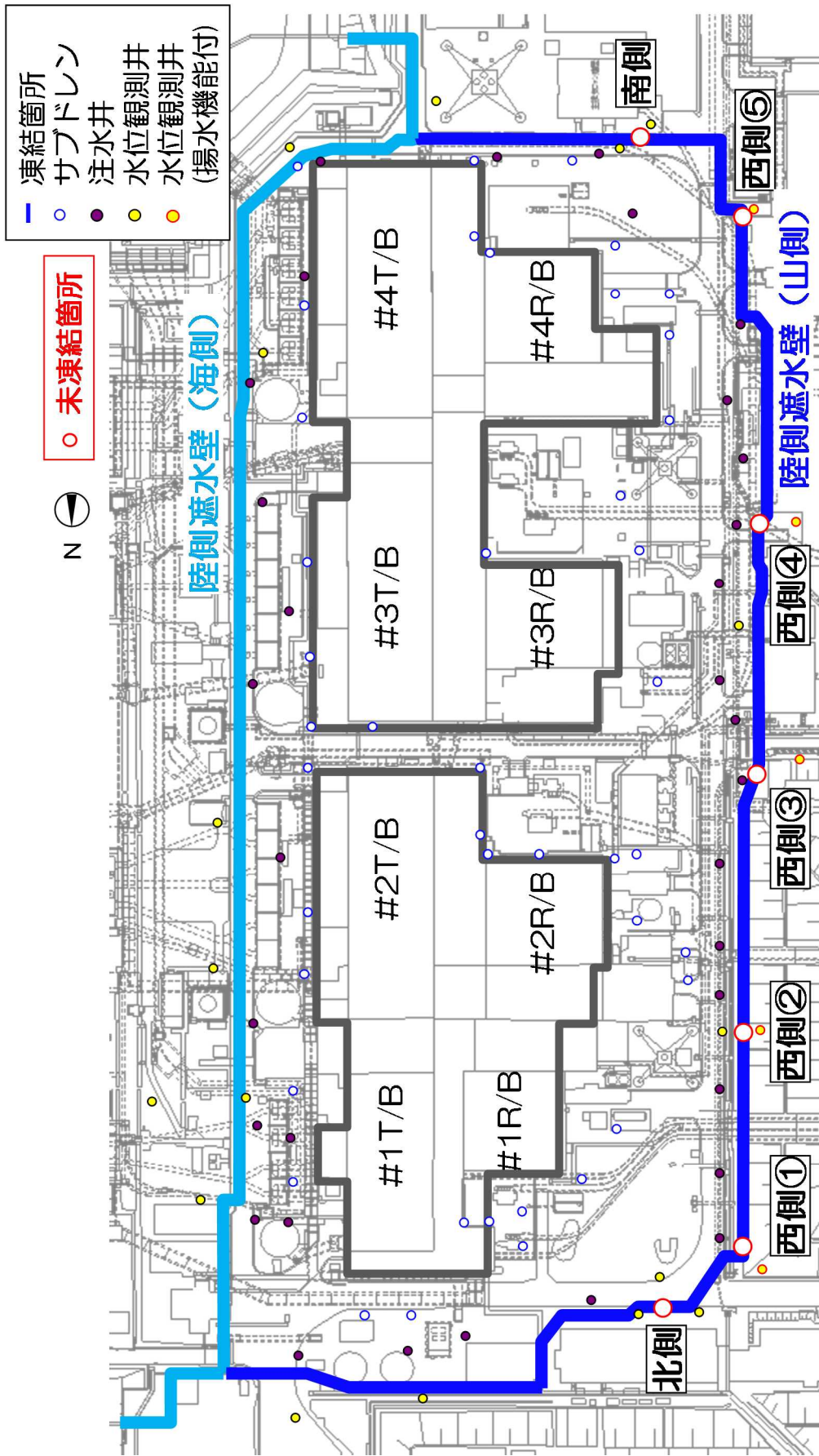
(オ) 第二段階における施工性への配慮

第二段階以降に未凍結箇所を凍結する際には、地下水流速が速くなり、凍結しにくい状態となる可能性がある。地下水流速を低減させて凍結させるために計画している補助工法（地盤改良により地下水流速を低減させて凍結し易くする方法）の施工性や揚水機能付観測井の位置を考慮して未凍結箇所を配置する。

③ 未凍結箇所の配置

上記留意事項に基づき設定した未凍結箇所の配置と長さを図－4と表－1に、各未凍結箇所の凍結管等の具体的な配置を図－5～11に示す。

未凍結箇所では、凍結管のバルブを閉として、ブライン（冷凍液）を循環させないことで未凍結状態を保持する。また、隣接する凍結管による凍土の造成を考慮し、ブラインを循環させない凍結管を未凍結長さの範囲外に設定することで、表－1に示す未凍結長さ以上を確保する。



※サブドレンの配置は参考であり、H28.3時点のもの

図-4 観測井・未凍結箇所の配置 (第一段階の実施範囲)

表-1 各未凍結箇所の未凍結長さ

| | |
|-----|--------------------------|
| 北側 | 約4m |
| 西側① | 約6m |
| 西側② | 約9m |
| 西側③ | 約7m |
| 西側④ | 約8m |
| 西側⑤ | 約7m |
| 南側 | 約4m |
| 合計 | 約45m (山側総延長約860mの約5%) |

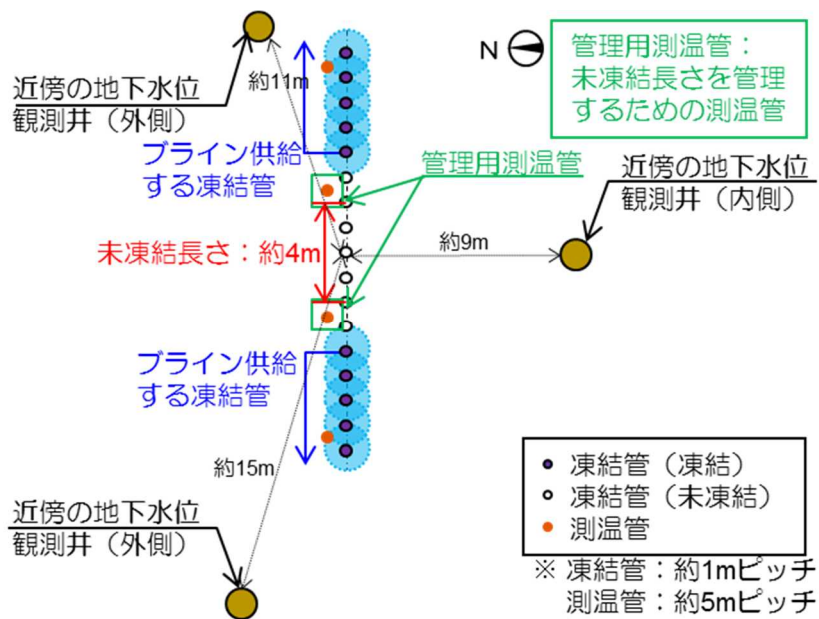


図-5 未凍結箇所の配置 (北側)

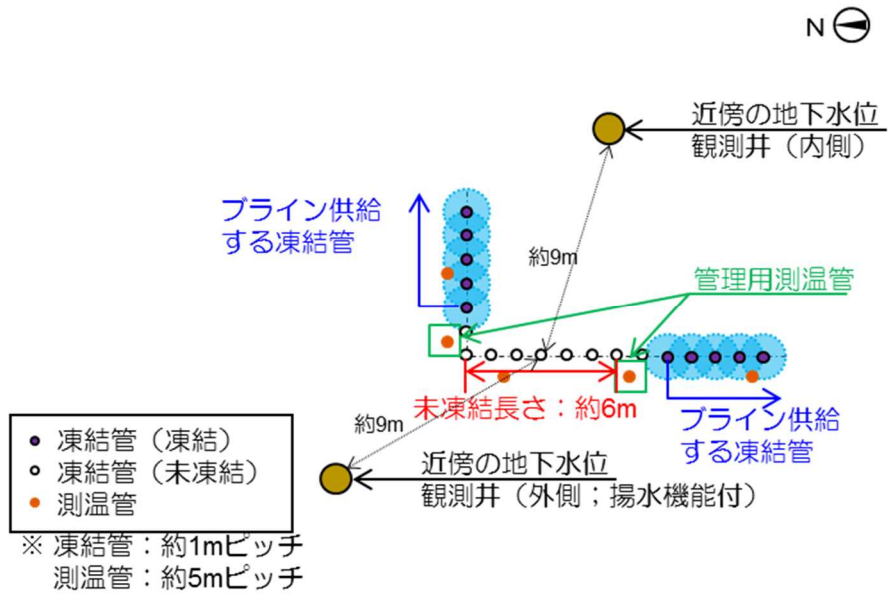


図-6 未凍結箇所配置 (西側①)

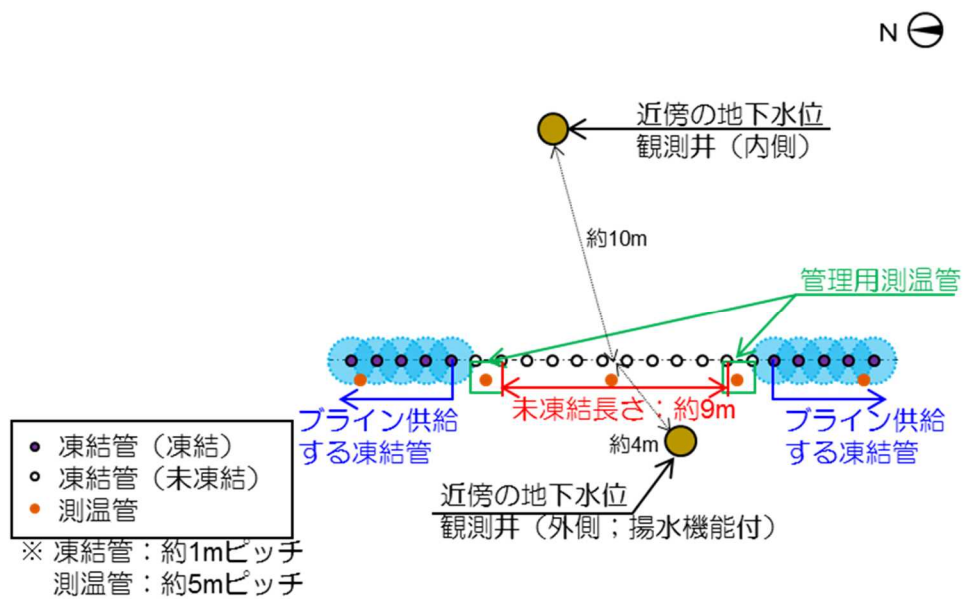


図-7 未凍結箇所配置 (西側②)

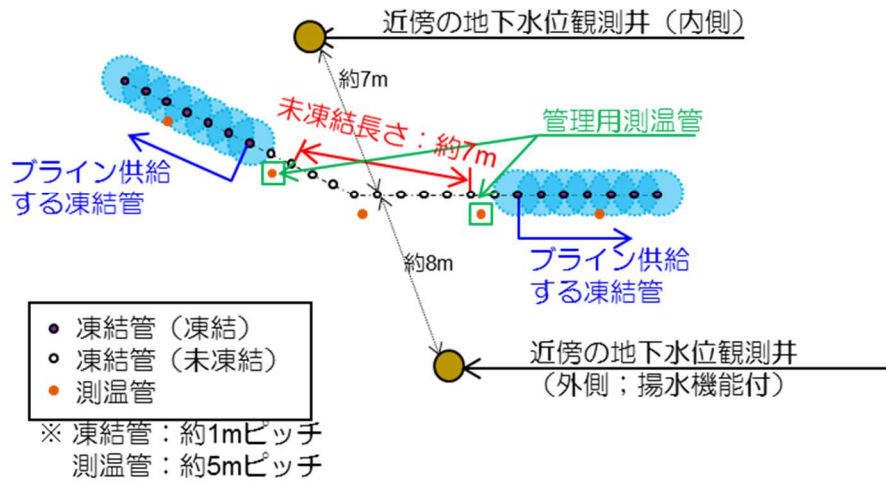


図-8 未凍結箇所配置 (西側③)

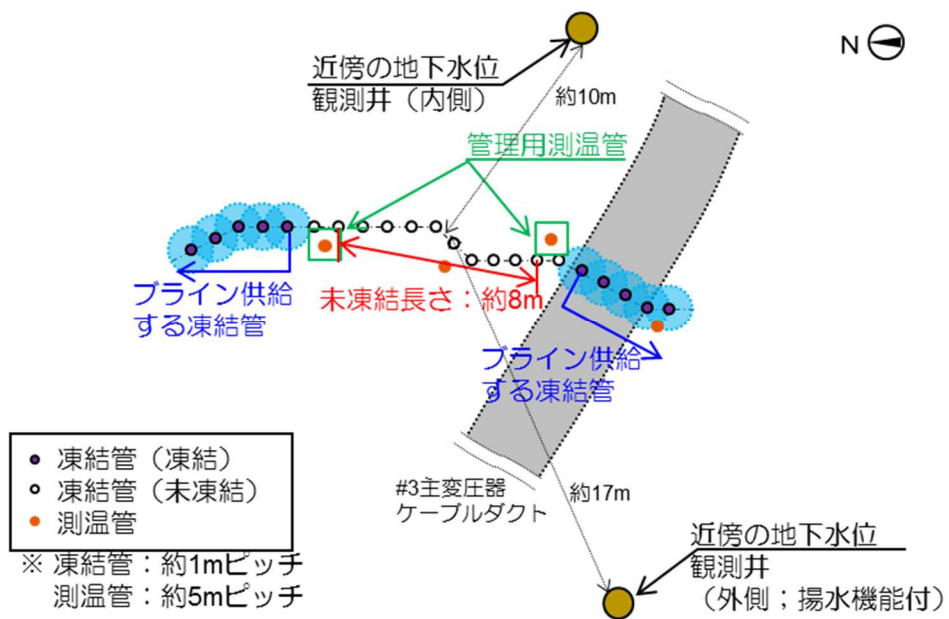


図-9 未凍結箇所配置 (西側④)

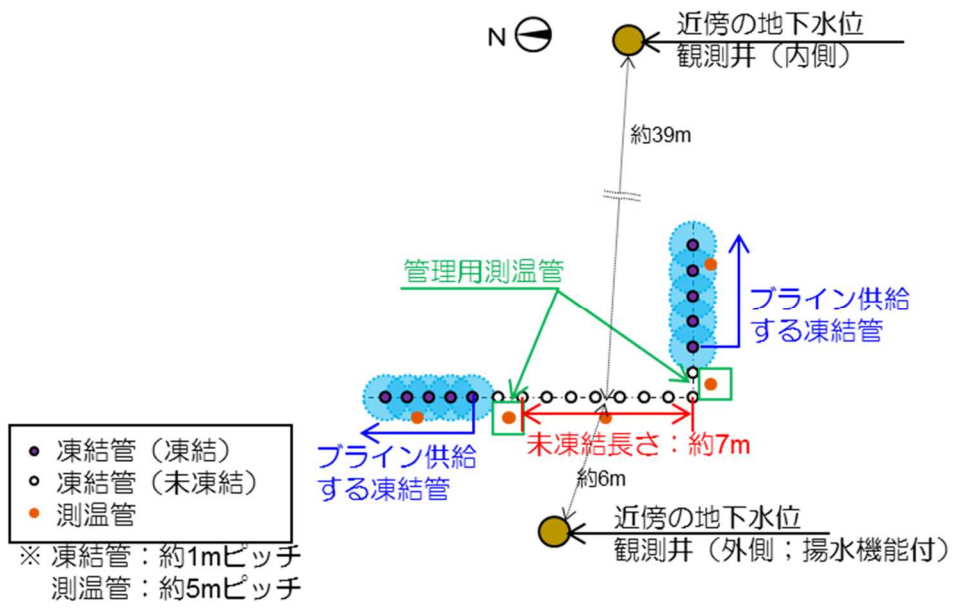


図-10 未凍結箇所の配置 (西側⑤)

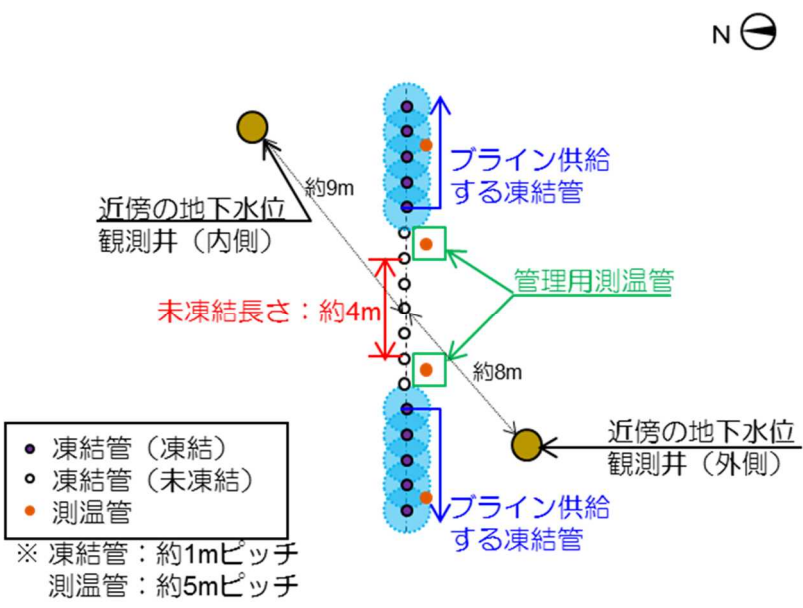


図-11 未凍結箇所の配置 (南側)

④ 第一段階の閉合手順

第一段階では更に段階的に2つのフェーズを設け、フェーズ毎の凍結状況を確認しながら慎重に閉合を進める。

(ア) フェーズ1

フェーズ1では、陸側遮水壁の「海側全面」、「北側一部」、「山側の部分先行凍結箇所（凍結管間隔が広く凍りにくい箇所等）」を同時に凍結する。

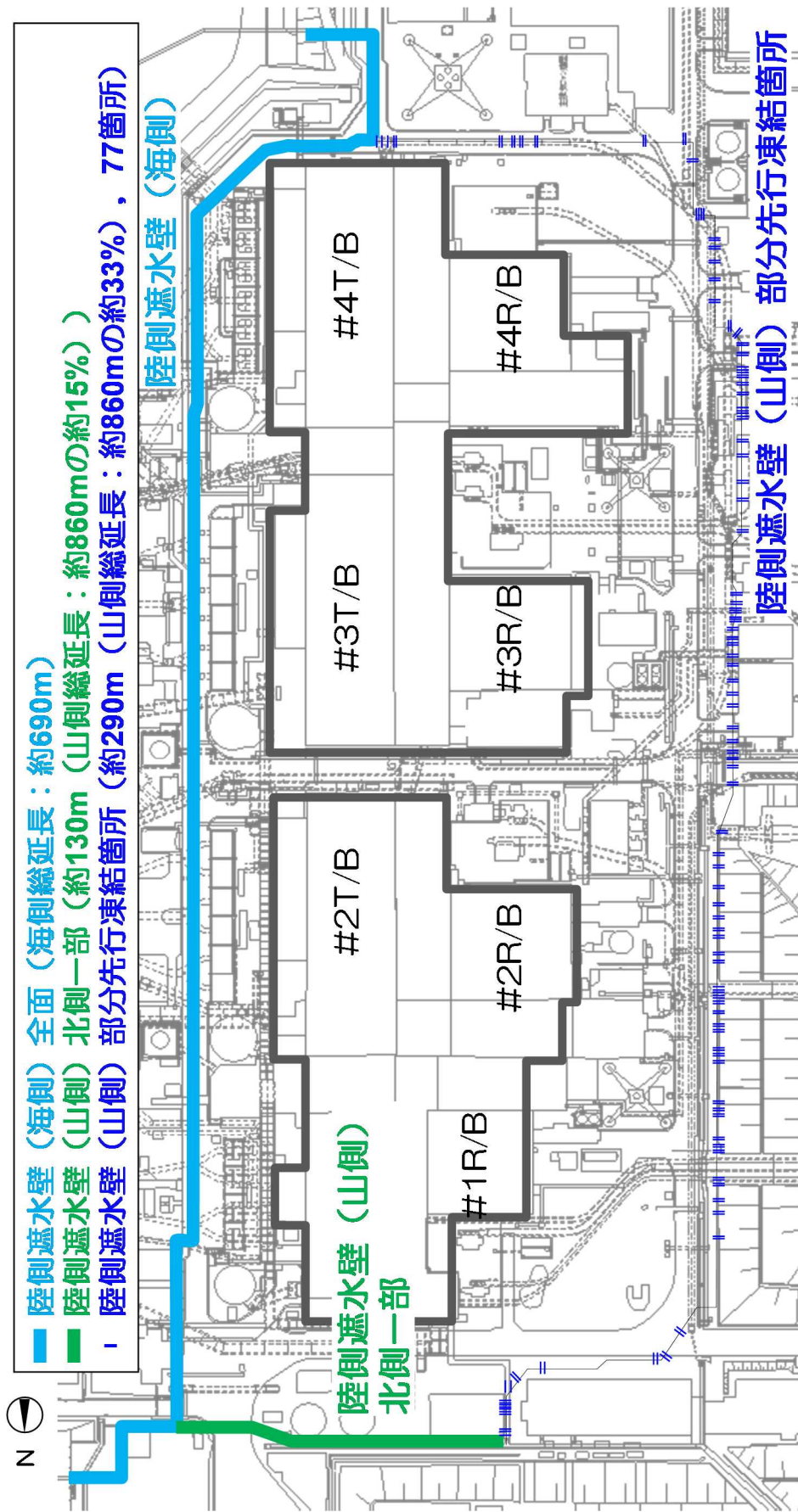
(図-12)

- 海側全面：山側より先行させることにより、水位逆転リスクを低減するため
- 北側一部：1号機建屋周辺の地下水の拡散を抑制するため（別紙-7）
- 部分先行凍結箇所：凍結管間隔が広く凍りにくい箇所等を先行し、確実に凍結するため^{※4}

※4：凍結管間隔が広い箇所（複列施工箇所など）等は、陸側遮水壁（山側）一般部（凍結管間隔：約1m）と比較して、凍結に時間を要するため、一般部と同時に凍結開始した場合、地下水流が集中し、さらに凍結しにくくなる事象が想定される。これを避けるため、そのような部位を一般部に先行して凍結する。

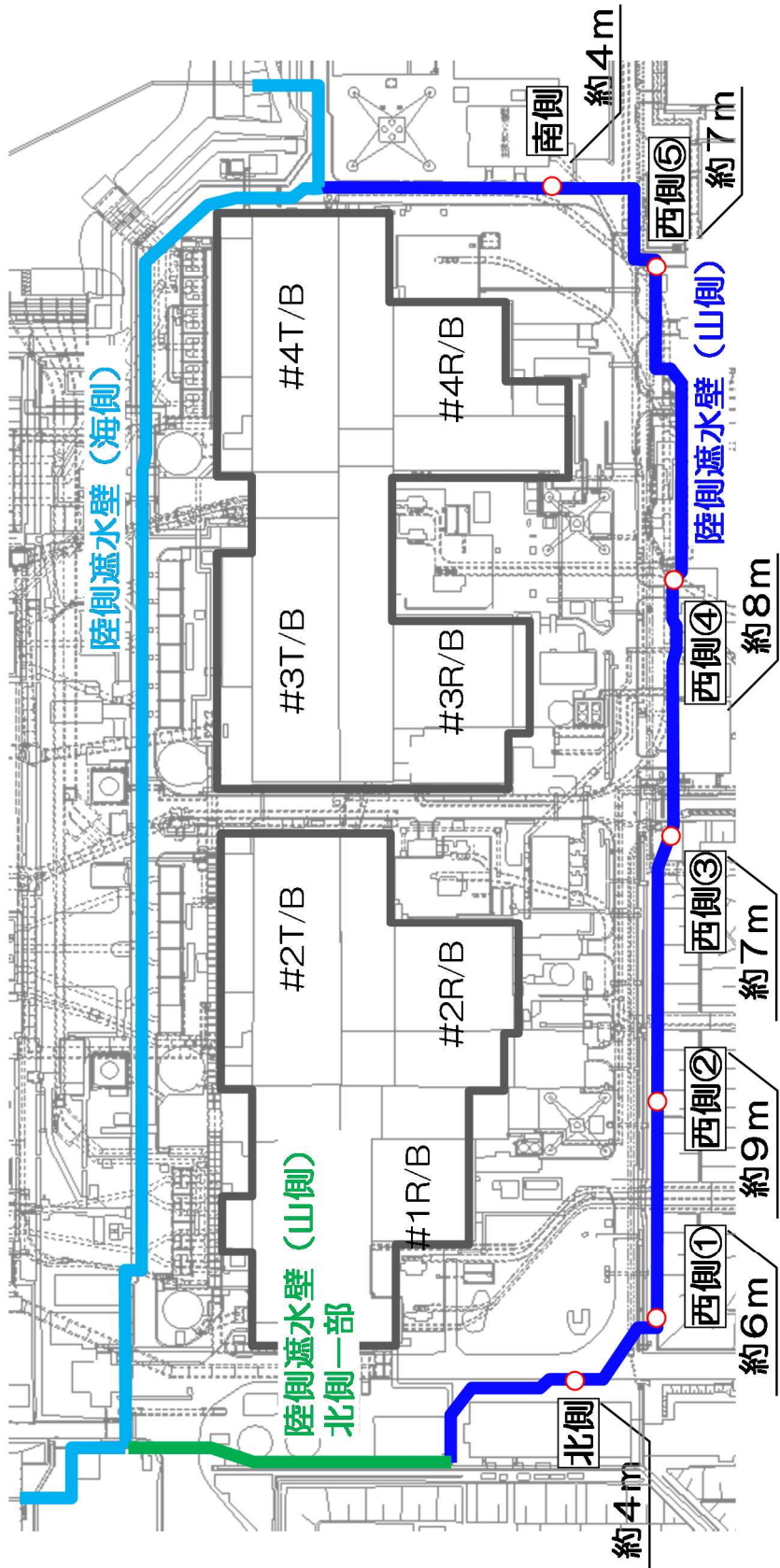
(イ) フェーズ2

フェーズ2では、海側の遮水効果発現開始に併せて第一段階の「未凍結箇所」を除く山側の残りの部位を凍結する。山側の閉合範囲は山側総延長の95%以下となる。(図-13)



図一12 第一段階フェーズ1（海側全面凍結＋北側一部＋山側部分先行凍結箇所）

○ 未凍結箇所（未凍結長さ計：約45m（山側総延長：約860mの約5%），7箇所）



※ 図中の数値は各未凍結箇所の未凍結長さ

図-1-3 第一段階フェーズ2（フェーズ1の凍結箇所+未凍結箇所7箇所を除く山側）

⑤ フェーズ1からフェーズ2への移行

陸側遮水壁（海側）凍結開始後は、隣接する凍結管周りの凍土柱が成長し、陸側遮水壁（海側）内外で地下水位差が生じ、その後、陸側遮水壁（海側）から離れた建屋周りやT.P. 2.5m盤の地下水位に変化が現われる。遮水状況の管理上、「陸側遮水壁（海側）内外の地下水位差の変化」が観測され始める時点を経て、効果発現開始とする。

フェーズ1において陸側遮水壁（海側）の効果発現開始を確認し、フェーズ2へ移行する。

効果発現開始は、陸側遮水壁（海側）内外の地下水位差が拡大することを確認する。但し、海水配管トレンチ下部の非凍結箇所の影響範囲は除く。地下水位差の拡大については、必要に応じ一定期間確認を継続する。なお、降雨の影響は、凍結開始前の降雨時の挙動で評価する。

一定期間確認を継続しても地下水位差の拡大が明瞭でない場合は、陸側遮水壁（海側）内側・外側それぞれにおいて一つ以上の確認項目（表-2）が有意な変化^{※5}を示し、一定期間変化した状態を継続していることを確認することで、地下水位差による確認を補完する。

上記の確認は、別途定めた手順に基づいて実施する。

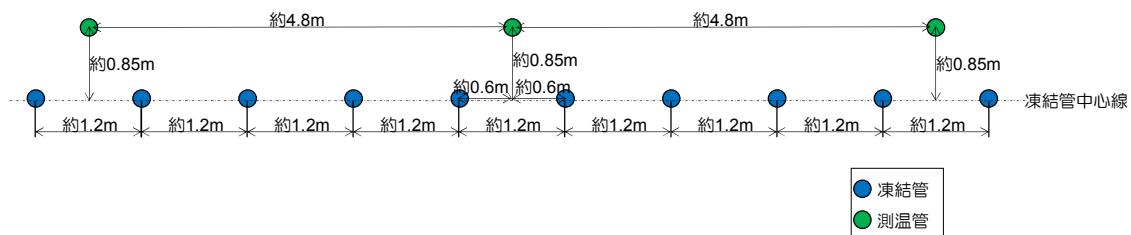
※5：実測値に基づき、降雨の影響を考慮した地下水位の変動幅を評価し、変動幅を超えて地下水位が上昇した場合等

表-2 陸側遮水壁（海側）効果発現開始に関する確認項目（水位差が明瞭でない場合）

| | 確認項目 | 確認内容 |
|----|--------------------|------------------------------|
| 内側 | 建屋周りの地下水位 | ・陸側遮水壁（海側）とタービン建屋間の地下水位の上昇傾向 |
| | 建屋周りのサブドレン稼働状況 | ・サブドレンの汲み上げ量の増加傾向 |
| | 建屋流入量 | ・建屋流入量の増加傾向 |
| 外側 | 陸側遮水壁（海側）より海側の地下水位 | ・陸側遮水壁（海側）より海側の地下水位の低下傾向 |
| | 地下水ドレン稼働状況 | ・地下水ドレンの汲み上げ量の減少傾向 |
| | ウェルポイント稼働状況 | ・ウェルポイントの汲み上げ量の減少傾向 |

⑥ 第一段階の確認事項

- ・第一段階を通じて、陸側遮水壁の効果発現状況を遮水壁内外の水位差およびサブドレン・ウェルポイント・地下水ドレンの汲み上げ量等の変化により確認する。なお、凍結管周辺に設置した測温管（海側は約4.8mに1箇所、深度方向約30m）で地中温度を測定し、凍結状況を把握する。（図-14）



※ 現場の状況により、基本配置通りに測温管を配置していない箇所がある。

図-14 測温管の基本配置（海側の例）

- ・ 陸側遮水壁（山側）の閉合率と地下水遮断率の関係の不確実性を考慮して、第一段階を通じて、全体的な地下水収支を見ていくことで、「地下水遮断率」を総合的に評価し、過大となっていないことを確認していく。また、第一段階においてはサブドレンが稼働していることを前提としていることから、サブドレンの稼働状態や周辺の観測井等の水位変動から地下水挙動を確認していく。

第一段階の途中において、下記のいずれかの状態に対して、十分余裕を持って凍結（冷却ラインの供給）の停止^{※6}を行うことで、それ以上第一段階の閉合を進めないこととする。その後、地下水の状況や凍結状態を踏まえ、以降の対応を検討する^{※7}。（別紙-8）

- 「地下水遮断率が80%^{※8}」以上であると評価した場合
- サブドレンの広範囲な停止^{※9}が発生した場合

※6：フェーズ2で凍結開始した凍結管へのライン供給を停止する。

※7：原因究明や必要に応じて対策を実施し、再開の可否を検討する。

※8：図-2に示した評価において降雨なしの状態サブドレンが停止し水位が低下する変曲点が地下水遮断率約80%である。

※9：「サブドレンの広範囲な停止」に至る前においても、地下水位が低下することにより局所的にサブドレン水位が低下し、サブドレンポンプ停止水位（L値）を連続的に下回った状態となった場合、周辺の地下水位変動状況等を確認し、注水井への注水等の必要な対策を行う。（水質・機器メンテナンス等の理由により人為的に停止しているサブドレンは除く。）

- ・ 第一段階を通じて、サブドレンや陸側遮水壁内外の水位観測孔により地下水位を測定し、地下水挙動や北側一部凍結による海洋への流出抑制効果等を確認する。また、フェーズ毎で想定される地下水挙動と比較して状況を確認する。

(2) 第二段階（未凍結箇所の一部閉合）の実施事項

① 閉合範囲

陸側遮水壁（山側）における第一段階の未凍結箇所の一部を閉合する。

未凍結箇所の閉合に当たっては、一部を閉合した後においても、サブドレンが稼働を継続し、建屋の内外水位が逆転しないことを前提として、実測の地下水収支等に基づき閉合箇所を選定する。

一部閉合後に関する事前評価は、保守的な評価として閉合箇所から陸側遮水壁へ流入していた地下水が他へ回り込むことなく全て減少するという仮定条件の下、地下水収支により行う。（別紙－10，11）

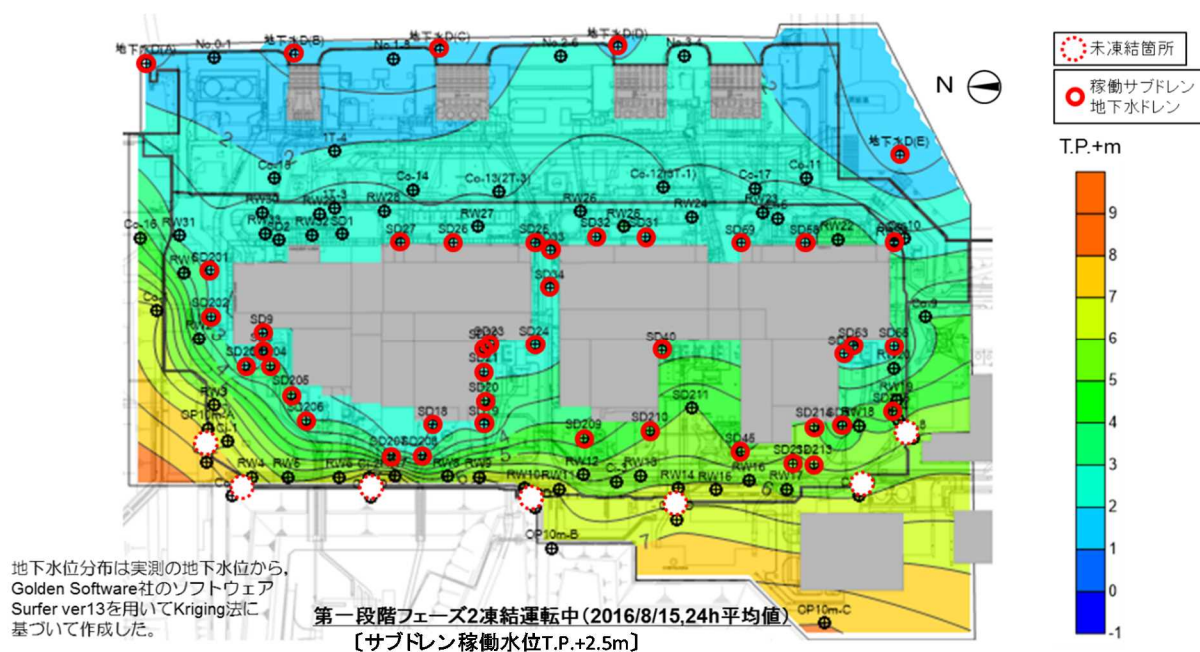
② 未凍結箇所の一部閉合に当たり留意すべき事項

(ア) 陸側遮水壁閉合範囲内への地下水流入量の確保

地下水の等水位線は汀線と平行に分布し、地下水は山側から海側への流れが支配的であり、建屋山側に局所的に特異な地下水の流れは認められない。

（図－15）

未凍結箇所は、第一段階における陸側遮水壁内への一定の地下水流入確保の観点から主に建屋山側に配置されており、山側の未凍結箇所からの流入が陸側遮水壁内への地下水流入に対し支配的であることから、山側の未凍結箇所の一部を残すことで、一定の地下水流入を確保し、建屋周辺における急激な地下水位低下へ配慮する。



図－15 地下水位の状況（2016年8月15日時点）

(イ) 地下水管理への配慮

一部閉合前の観測井水位等の計測結果を用いて、未凍結箇所を通じた地下水流入量や閉合範囲内の地下水位状況を確認しながら閉合箇所を選定する。

また、一部閉合後の未凍結箇所を通じた地下水流入量や閉合範囲内の地下水位状況を確認し、次の一部閉合に反映する。

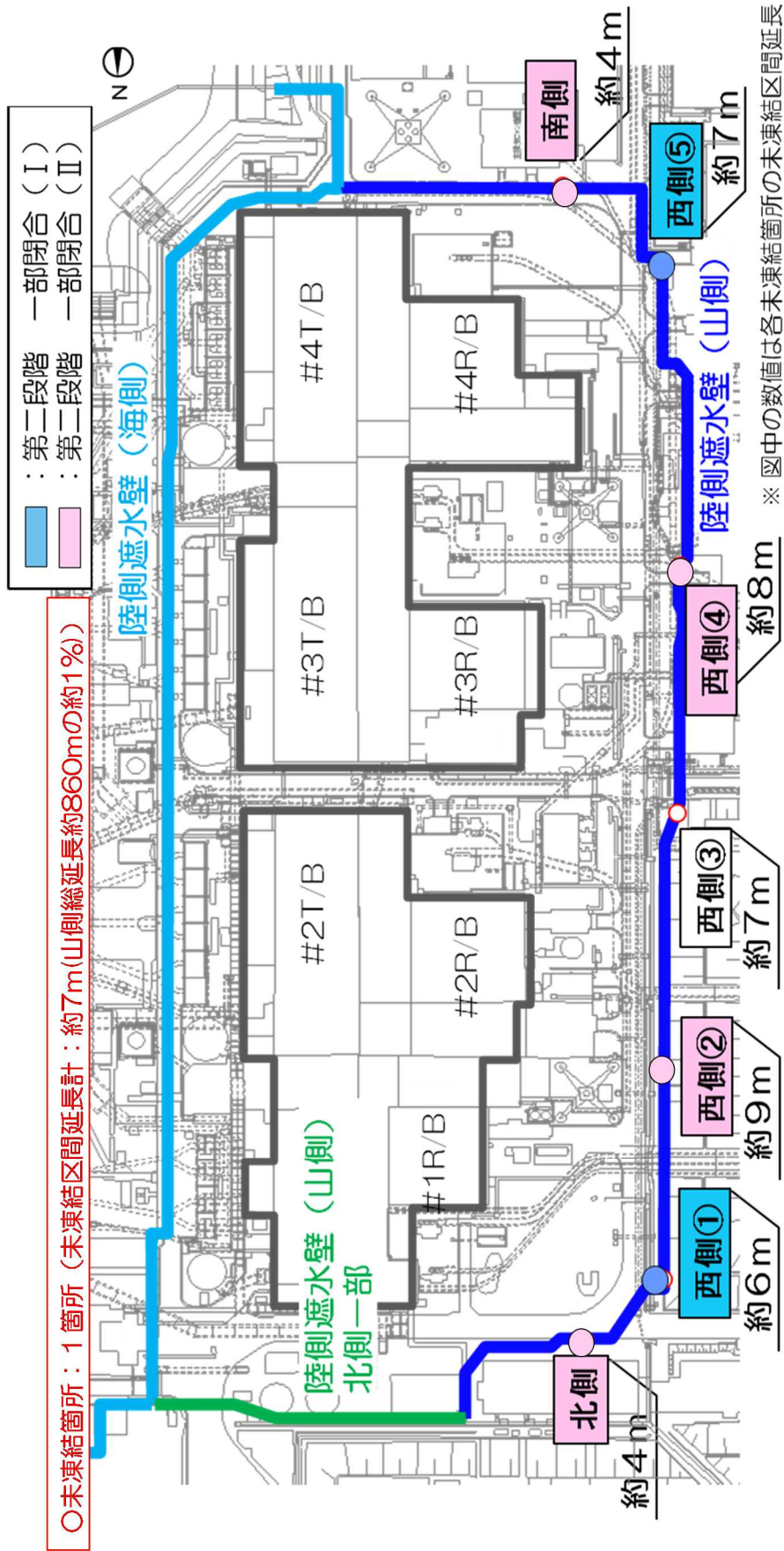
③ 一部閉合箇所を選定

(ア) 一部閉合 (I)

上記留意事項に基づき図-16に示す2箇所(西側①, 西側⑤)を一部閉合箇所として選定する。

(イ) 一部閉合 (II)

上記留意事項に基づき図-16に示す4箇所(北側, 西側②, 西側④, 南側)を一部閉合箇所として選定する。



図一16 第二段階（未凍結箇所の一部閉合箇所）

④ 第二段階（未凍結箇所の一部閉合）の確認事項

- ・ 陸側遮水壁の効果発現状況を陸側遮水壁（山側）内外の地下水位差およびサブドレンのくみ上げ量の変化等により確認する。また、凍結管周辺に設置した測温管で地中温度を測定し、凍結状況を把握する。
- ・ サブドレンが稼働していることを前提としていることから、陸側遮水壁内の地下水収支に基づいて、サブドレンの稼働が継続することを随時評価し、未凍結箇所の一部閉合によって山側からの地下水流入が過剰に減少していないことを確認していく。（別紙－１０，１１）

一部閉合の途中において、下記のいずれかの状態に対して、十分余裕を持って凍結（冷却ブラインの供給）の停止^{※10}を行うことで、それ以上閉合を進めないこととする。その後、地下水の状況や凍結状態を踏まえ、以降の対応を検討する^{※7}。

- 将来サブドレンの停止が想定されると評価した場合
- サブドレンの広範囲な停止^{※9}が発生した場合

※10：一部閉合で凍結開始した凍結管へのブライン供給を停止する。

(3) 第三段階（完全閉合）の実施事項

① 閉合範囲

陸側遮水壁（山側）における未凍結箇所（西側③）を閉合する。

完全閉合後に関する事前評価は、保守的な評価として山側から陸側遮水壁へ流入していた地下水が全て減少するという仮定条件の下、地下水収支により行う。（別紙－１３）

② 第三段階（完全閉合）の確認事項

- ・ 陸側遮水壁の効果発現状況を陸側遮水壁（山側）内外の地下水位差およびサブドレンのくみ上げ量の変化等により確認する。また、凍結管周辺に設置した測温管で地中温度を測定し、凍結状況を把握する。
- ・ サブドレンが稼働していることを前提としていることから、陸側遮水壁内の地下水収支に基づいて、サブドレンの稼働が継続することを随時評価していく。（別紙－１３）

完全閉合の途中において、下記のいずれかの状態に対して、十分余裕を持って凍結（冷却ブラインの供給）の停止^{※10}を行うことで、それ以上閉合を進めないこととする。その後、地下水の状況や凍結状態を踏まえ、以降の対応を検討する^{※7}。

- 将来サブドレンの停止が想定されると評価した場合

- サブドレンの広範囲な停止^{※9}が発生した場合
- ・ 西側③閉合後の一定期間においては、陸側遮水壁内の西側③周辺の注水井・観測井の水位低下状況を確認する。

5. 建屋内外水位差等の管理

(1) 建屋内外水位差の管理

建屋滞留水水位の管理方法は「2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋」本文に記載の通り。

サブドレン水位の管理方法は「2.35 サブドレン他水処理施設 添付資料-11」に記載の通り。

既認可の「建屋滞留水とサブドレン間の水位差の確保」「建屋滞留水水位管理」「サブドレン水位管理」の運用は変わることなく、陸側遮水壁閉合の各段階において同様の管理を行う。

既認可に基づく上述の運用に加え、サブドレンの「ポンプ停止バックアップ位置（LL値）の警報」が発報した場合には、「建屋-サブドレン水位差」を確保するため、地下水挙動を分析・評価し、早急な対応の要否を判断し対応する

① 局所的な地下水位低下の場合

局所的な地下水位低下の場合には、当該サブドレン周辺の注水井への注水（本申請では申請対象外）を行い、状況が改善されない場合には更に注水範囲を拡大する。

上記を行っても状況が改善されない場合には「②早急な対応が必要な場合」に記載の通り対応する。

② 早急な対応が必要な場合（別紙-9）

上記①で状況改善されない場合や、広範囲のサブドレンで「ポンプ停止バックアップ位置（LL値）の警報」が発報した場合等には、下記の対策について実測データ等から総合的に判断し、必要な対策を実施する。これらの対策を複合的に実施することで、余裕を持って水位差確保あるいは水位回復が可能である。

- ・ 建屋滞留水の移送^{※11}
- ・ 陸側遮水壁（山側）へのブライン供給停止
- ・ 陸側遮水壁（山側）の部分撤去
- ・ その他緊急対策（注水量・注水範囲の拡大、建屋周辺地盤面への散水、原因に対する対策実施（止水・地盤改良 等））

※11：別紙-1参照

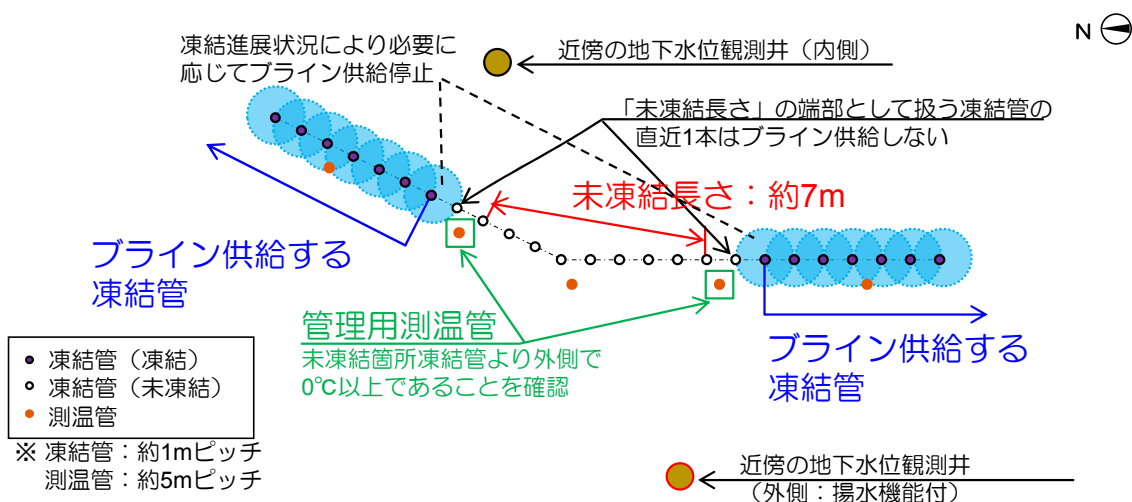
また、「注水井への注水」については上記に限らず、降雨が少ない時期が継続する等の際には実施する場合がある。散水は構内に常備されている散水車等を用いて、必要箇所へ実施する。（別紙－１２）

(2) 未凍結長さの管理

未凍結箇所外側に配置した管理用測温管の温度を確認することで、未凍結長さが計画値を下回らないように未凍結箇所単位で管理する。

管理用測温管の深さ方向の平均温度^{※12}で0℃未満が確認された場合、凍結箇所の一番外側に位置する凍結管からバルブを閉止し、ラインの供給を停止して温度を回復する。（図－１７）

※12：地表付近で外気温の影響を受ける範囲を除く。



図－１７ 未凍結長さの管理図（例：西側③）

6. 第一段階、第二段階および第三段階で主に用いる観測データ

陸側遮水壁閉合の第一段階、第二段階および第三段階で蓄積していく地下水位等の主な実測データについて表－３に示す。「4. 陸側遮水壁閉合における実施事項と確認事項」「5. 建屋内外水位差等の管理」の各項の確認・評価等に用いる実測データを表－４に示す。なお、確認・評価の方法や用いるデータは地下水環境の実態にあわせて適宜見直す場合がある。

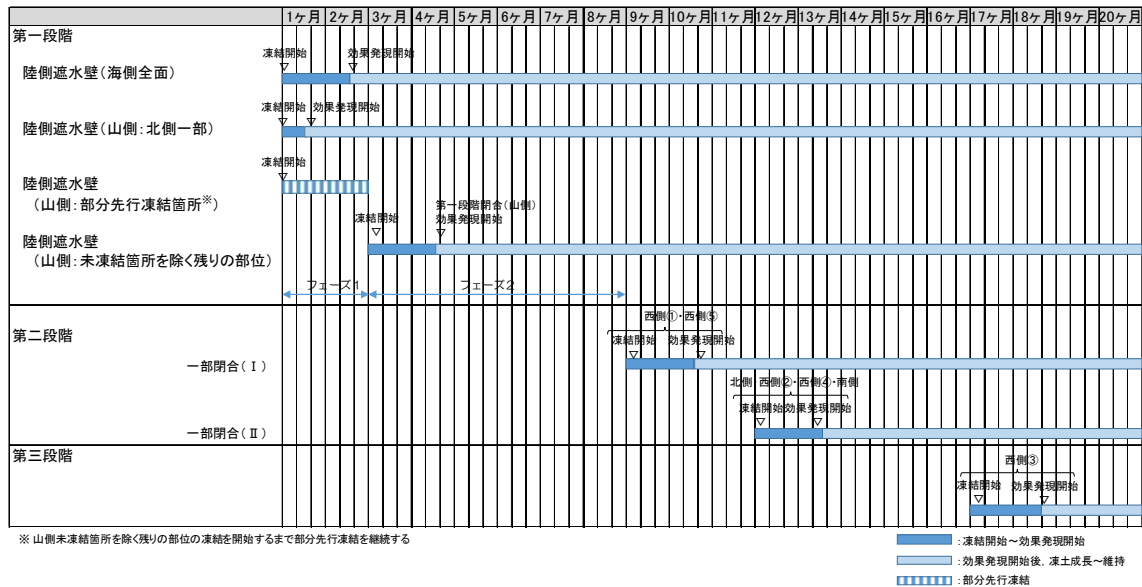
表－3 第一段階，第二段階および第三段階で蓄積する地下水位等主な観測データ

| | |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| ① 中粒砂岩層水位， 互層部，細粒・粗粒砂岩水頭 | ①-1 陸側遮水壁（海側） 閉合範囲外側 一般部 |
| | ①-2 陸側遮水壁（海側） 閉合範囲内側 一般部 |
| | ①-3 陸側遮水壁（海側） 閉合範囲外側 海水配管トレンチ下部非凍結部近傍 |
| | ①-4 陸側遮水壁（海側） 閉合範囲内側 海水配管トレンチ下部非凍結部近傍 |
| | ①-5 陸側遮水壁（山側） 閉合範囲外側 一般部 |
| | ①-6 陸側遮水壁（山側） 閉合範囲内側 一般部 |
| | ①-7 陸側遮水壁（山側） 閉合範囲外側 未凍結部近傍 |
| | ①-8 陸側遮水壁（山側） 閉合範囲内側 未凍結部近傍 |
| ② サブドレン汲上量 | |
| ③ サブドレン稼働状況 | |
| ④ サブドレン水位 | |
| ⑤ 建屋流入量 | |
| ⑥ 地下水ドレン汲上量 ウェルポイント汲上量 | |
| ⑦ 地中温度 | ⑦-1 一般部 |
| | ⑦-2 未凍結箇所近傍 |
| ⑧ 降雨量 | |

表－4 「4. 陸側遮水壁閉合における実施事項と確認事項」「5. 建屋内外水位差等の管理」の各項の確認・評価等に用いる観測データ

| 項目 | 主に使用するデータ | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 【4.(1)】第一段階フェーズ1からフェーズ2への移行 | ①-1, 2, ②, ⑤, ⑥, ⑧ | |
| 【4.(1),(2)】陸側遮水壁の凍結状況の把握 | ①-1, 2, 5~8, ②, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ | |
| 【4.(1),(2)】地下水遮断率の評価 | ①-3, 4, 7, 8, ②, ⑤, ⑦, ⑧ | |
| 【4.(1),(2)】サブドレンの継続稼働 | ②, ③, ④, ⑧ | |
| 【4.(1),(2)】地下水挙動と北側一部凍結状況の把握 | ①-1~8, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧ | |
| 【5.(1)】建屋内外水位差等の管理 | ④, ⑧ | |
| 【5.(2)】未凍結長さの管理 | ⑦-2 | |
| その他 | 陸側遮水壁閉合範囲周辺の地下水位・水頭全体変化傾向の把握 | ①-1~8, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑧ |
| | 中粒砂岩層と深部（互層部，細粒・粗粒砂岩）の水頭比較 | ①-1~8, ⑧ |
| | 地盤安定性の評価 | ①-3, 4, 7, 8 |

7. 概略工程



8. 別紙

別紙－1 : 周辺地下水位が絶対下限水位まで低下する際の建屋内外の水位管理について

【第一～第三段階共通】絶対下限水位を想定した建屋内外水位差管理の安全性

別紙－2 : 発電所建屋周辺の地質構造・地下水位

【第一～第三段階共通】地下水位変化想定に関する地盤境界条件の設定根拠

別紙－3 : 海側遮水壁の遮水性能の評価

【第一～第三段階共通】地下水位変化想定に関する海域部境界条件の設定根拠

別紙－4 : 陸側遮水壁（海側）の閉合範囲

【第一段階】陸側遮水壁（海側）の閉合範囲と海水配管トレンチ下部非凍結箇所の影響

別紙－5 : 地下水収支と地下水位低下挙動

【第一～第三段階】遮断率毎の地下水収支及び地下水位低下挙動

- 別紙－ 6 : 陸側遮水壁（山側）の閉合率と地下水遮断率の関係
【第一段階】陸側遮水壁（山側）の閉合率と地下水遮断率の関係（パラメータスタディ）等
- 別紙－ 7 : 陸側遮水壁（海側）のみを閉合した場合の影響評価
【第一段階】フェーズ1にて陸側遮水壁（山側）の北側一部の閉合を実施しない場合の環境影響評価
- 別紙－ 8 : 地下水遮断率の評価とサブドレン稼働状態
【第一段階】第一段階の確認事項として地下水遮断率を評価
- 別紙－ 9 : 地下水位の回復方策
【第一～第三段階共通※】地下水位低下時の早急な対応方策とその妥当性
※ 妥当性検討では最も厳しい条件（第三段階）を設定
- 別紙－ 1 0 : 第二段階における陸側遮水壁（山側）の未凍結箇所の一部閉合（Ⅰ）の評価
【第二段階】第二段階の未凍結箇所一部閉合（Ⅰ）による陸側遮水壁内への地下水流入量を評価
- 別紙－ 1 1 : 第二段階における陸側遮水壁（山側）の未凍結箇所の一部閉合（Ⅱ）の評価
【第二段階】第二段階の未凍結箇所一部閉合（Ⅱ）による陸側遮水壁内への地下水流入量を評価
- 別紙－ 1 2 : 注水・散水用水の確保
【第二～第三段階】注水・散水における用水の確保
- 別紙－ 1 3 : 陸側遮水壁（山側）の完全閉合の評価
【第三段階】完全閉合後における建屋周辺の地下水位変動を評価

周辺地下水位が絶対下限水位まで低下する際の建屋内外の水位管理について

敷地周辺の地下水位は全て海水面以上であり、地下水の流出先として最も低い水位は海水面である。そのため、地下水位が海水面を超えて低下することは考えにくい。なお、参考2に示す通り、潮汐の変動が、建屋周辺の地下水位に与える影響は軽微であることから、海水面の平均である平均潮位を絶対下限水位として設定した。

「陸側遮水壁（山側）により地下水供給が遮断される」条件下で、「海側遮水壁の遮水性を喪失」、かつ、「無降雨の状態が継続」した場合に、建屋周辺の地下水位は低下を続け、最終的に海水面（平均潮位：絶対下限水位（これ以上低下することのない水位）と設定）まで低下する想定外の異常事象を対象に、建屋内外の水位管理に関する安全性を確認する。

1. 建屋内外の水位管理

各建屋に設置している滞留水移送ポンプにて排水できる水位は、表－1に示すとおり、設置床面より0.2～0.3m高い位置である。これを考慮して、絶対下限水位（平均潮位 T. P. -0.098m[※]）に対する各建屋の滞留水の移送可能なレベル（ポンプによる最低排水レベル）を確認した結果、絶対下限水位よりも最低排水レベルが高い建屋は、1号機タービン建屋だけである。

1号機タービン建屋において建屋滞留水を最低排水レベル:T. P. 0.74mまで移送した場合、主に復水器エリア・復水ポンプピット等に200m³程度の滞留水が残留する。

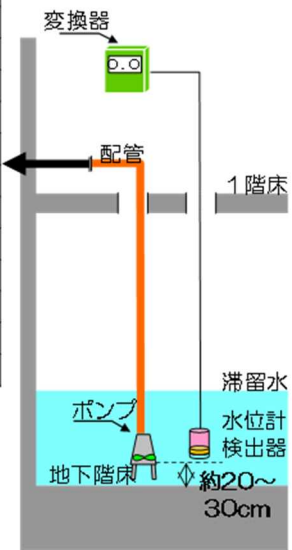
この状況においては、仮設ポンプ（約10m³/h）を床面上に追加設置し、残留する滞留水を他の建屋へ移送することにより、1日程度で排水することが可能である。

※ 気象庁HPより小名浜地点の平均潮位は T. P. -0.098m（2010～2014年平均）

| 建屋 | | ポンプの最低排水レベル※1 T.P.+m | 最低床レベル※1 T.P.+m | 【参考】水位計測下限レベル T.P.+m |
|----|------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1号 | R/B | -0.40 | -2.67 | -2.54 |
| | T/B | 0.74 | 0.44 | 0.56 |
| | Rw/B | -0.04※2 | -0.04 | -0.04※2 |
| 2号 | R/B | -0.08※3 | -4.80 | -0.26 |
| | T/B | -1.40 | -1.75 | 0.57 |
| | Rw/B | -1.43 | -1.74 | -1.61 |
| 3号 | R/B | -2.09 | -4.80 | -3.40 |
| | T/B | -1.34 | -1.74 | 0.58 |
| | Rw/B | -1.43 | -1.74 | -1.58 |
| 4号 | R/B | -3.20 | -4.80 | -0.15 |
| | T/B | -1.44 | -1.74 | -1.62 |
| | Rw/B | -1.44 | -1.74 | -1.59 |

【注】 T/B：タービン建屋、R/B：原子炉建屋、Rw/B：廃棄物処理建屋

- ※1：各建屋の水位は、滞留水移送ポンプの吸い込み高さ等の関係から、床面より約20～30cmの高さまで滞留水を移送し低下させることが可能である。ただし、移送ポンプ・水位計は、干渉物等の影響から、各建屋の最低床レベルに設置出来ない箇所がある。
- ※2：1号Rw/Bは、2号Rw/Bと開いた扉で連通しているため、移送ポンプを設置していない。2号Rw/Bの移送ポンプにより水位を低下させることで、2号Rw/Bの最低排水レベルまでは低下可能。残水はピット内に少量（数m³程度）。
- ※3：2号R/Bは2号T/BとT.P.-1.75付近で連通しているため、2号T/B水位を低下させることで、2号R/B水位を連通高さまでは低下可能と評価している。



表－1 各建屋の滞留水移送ポンプの最低排水レベル（2016年2月現在）



図－1 1号タービン建屋で最低排水レベルまで移送した場合の建屋内滞留水の残水量（2016年2月現在）

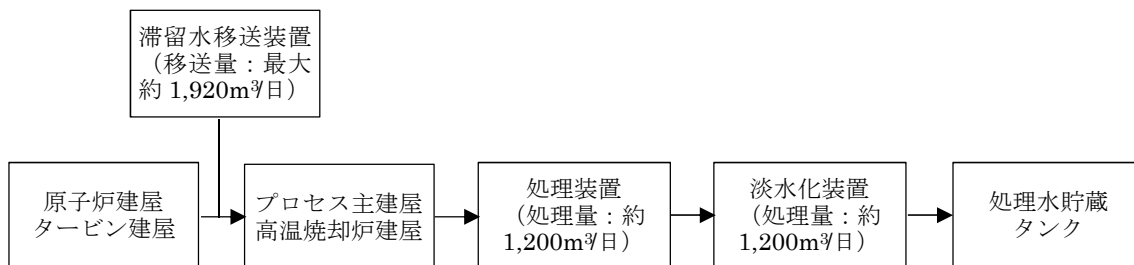
1～4号建屋の滞留水水位を絶対下限水位（平均潮位）まで低下させる場合の低下可能な速度について、滞留水移送設備や水処理設備の設備容量による律速条件を検討した。

- ・滞留水水位を低下させるために定常的に移送可能な量は、移送設備の移送可能な量が最大約 1,920m³/日であるが、その後の水処理設備の処理容量約 1,200m³/日に律速される（図－2参照）。なお、水処理設備の点検等を実施している状態で発生した場合、速やかに移送できる状態に復旧させる。
- ・300m³/日程度の原子炉注水量、200m³/日程度の建屋流入量および 400m³/日程度の T.P. 2.5m 盤から建屋への移送量がある場合、0.013m/日程度の建屋滞留水水位低下（300m³/日の滞留水移送）が可能である（表－2のケース1）。
- ・至近の実績（2016年2月11～17日の平均値）の場合の原子炉への注水量・建屋流入量・T.P. 2.5m 盤から建屋への移送量の実績に基づいて算定すると、0.022m/日程度（515m³/日程度の滞留水移送）の建屋滞留水水位低下が可能である（表－2のケース1'）。
- ・海側遮水壁の遮水性喪失時などを想定した場合には、0.03m/日（700m³/日程度の滞留水移送）程度の水位低下が可能である。ただし、建屋への地下水流入量が現状から減らないなど、算出条件は保守的に設定しており、実際にはこれ以上の建屋滞留水水位低下が可能である（表－2のケース2）。

なお、建屋滞留水の移送先については、移送状況により各貯留設備容量が変動する。

今後も、上記の緊急時に必要な移送量を考慮し、貯留設備の増設等により、必要な容量を確保していく。また、上記の緊急時において淡水化装置（図－2参照）中の逆浸透膜装置の廃水を移送する際には溶接タンクへの貯留を基本とするが、止むを得ずフランジタンクへ貯留した場合は、緊急移送による貯留量増加分については、1年間を目途に処理作業を進めていく。さらに、漏えいリスクを低減させるために、水位計による監視・巡視点検等による監視強化を図る。

なお、万が一のフランジタンクからの漏えいを想定して、補修材を準備し、漏えい拡散の抑制を図る。



図－2 建屋滞留水の移送可能量

表－２ 建屋滞留水の水位低下速度

| | 建屋への流入量 | | | 建屋滞留水 移送可能量 ^{※4} (m ³ /日) | 水位低下の ための移送分 (m ³ /日) | 建屋有効面積 (下表参照) (m ²) | 建屋滞留水 水位低下速度 (m/日) |
|--------------------|---------------------------------|--|---|---|--|---------------------------------------|--------------------------|
| | 原子炉への注水量 (m ³ /日) | 建屋流入量 ^{※3} (m ³ /日) | T.P.2.5m盤から 建屋への移送量 (m ³ /日) | | | | |
| ケース1 | 300 | 200 | 400 | 1,200 | 300 | 23,470 | 0.013 |
| ケース1 ^{※1} | 315 | 220 | 150 | | 515 | | 0.022 |
| ケース2 ^{※2} | 300 | 200 | 0 | | 700 | | 0.030 |

※1：2016年2月11～17日の原子炉注水量・建屋流入量・T.P.2.5m盤から建屋への移送量の各実績の平均値に基づいて算出した。
 ※2：海側遮水壁の遮水性喪失時などにT.P.2.5m盤の地下水位が低下し、T.P.2.5m盤のみ上げ量は0m³/日になったと仮定した。
 ※3：建屋流入量は、周辺地下水位の低下により減少すると考えられるが、保守的な検討女権として、現状程度の建屋流入量が継続すると仮定した。
 ※4：建屋滞留水移送可能量は、律速となる滞留水処理設備の処理量1,200m³/日とした。

表－３ 建屋有効面積

| | 1号 | 2号 | 3号 | 4号 | 計 |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| 建屋有効面積 ^{※5} (m ²) | 1,750 | 6,840 | 7,730 | 7,150 | 23,470 |

※5：建屋有効面積は、建屋構造上の平面積（壁等で囲まれた範囲）から、機器類の専有面積を除いて算出した。

(参考：平均潮位まで建屋滞留水水位を低下させるのに必要な建屋滞留水移送量：約18,260m³に対して、滞留水移送先の空き容量：約39,700m³ (2017年6月1日現在))

表－４ 滞留水移送先の空き容量 (2017年6月1日現在)

| 貯留設備 (滞留水移送先) | 空き容量 (m ³) |
|--|------------------------|
| プロセス主建屋・高温焼却炉建屋 | 約15,200 |
| 貯留設備(処理水貯蔵タンク：溶接タンク) | 約4,000 |
| 貯留設備(処理水貯蔵タンク：フランジタンク ^(*)) | 約18,600 |
| 貯留設備(多核種処理水貯槽) | 約1,900 |
| 合計 | 約39,700 |

(*) Sr 処理水・濃縮塩水貯槽のフランジタンク空き容量。但し、H5/H6エリアのタンク容量(約55,600m³)については、上記に含んでいない。

以上を踏まえ、陸側遮水壁（山側）閉合後、地下水位の予期せぬ低下が発生する想定外の異常事象を対象に、建屋内外の水位変動を評価した。なお、評価は保守的に、陸側遮水壁（海側）の遮水性が無い条件で実施した。

【検討条件】

- ・地下水位の予期せぬ低下の発生要因：海側遮水壁の遮水性喪失※
※ 海側遮水壁の継手の一部が損傷し、遮水性が失われた状態を想定した。遮水壁内から海への地下水流出量は、海側遮水壁閉合作業進捗に伴い生じた遮水壁内側の地下水位低下時の実測データを基に設定した。
- ・陸側遮水壁：（山側）遮水性 100%，（海側）遮水性 0%
- ・降雨：無降雨期間が継続
- ・建屋滞留水水位：1号タービン建屋最低排水レベル（T.P.0.74m）まで滞留水移送による低下実施（低下速度：0.01m/日）

【評価結果】

地下水位は、初期は建屋滞留水水位低下速度を上回る速度で低下するものの、地下水位の低下に伴い低下速度は徐々に小さくなり、建屋滞留水水位低下速度を下回る。建屋滞留水を適切に移送することにより、建屋滞留水水位と地下水位には余裕がある水位差を確保した状態を維持して建屋滞留水水位を低下させることができることから、地下水位が1号機タービン建屋最低排水レベルに達するまでには約4.5ヶ月の時間的余裕がある※（図-3参照）。この間、仮設ポンプによる残水処理（約10m³/h）を行うことで、建屋内外の水位逆転を回避することが十分可能である。

また、地下水位は最終的に絶対下限水位（平均潮位）に漸近するが、1号機タービン建屋以外の建屋における最低排水レベルは絶対下限水位（平均潮位）以下である。1号機タービン建屋以外の建屋においても建屋滞留水水位と地下水位には余裕がある水位差を確保した状態を維持して建屋滞留水水位を低下させることができることから、水位逆転することはない。

※ 現状（2016年3月現在）のサブドレン運用で認可されているポンプ停止位置（L値）はT.P.2.464mであり、LL値はT.P.2.264mである。これを考慮し、地下水位低下前の建屋周辺地下水位をT.P.2.264mとした場合には、地下水位が1号機タービン建屋最低排水レベルに達するまでの期間は約3.5ヶ月となるが、上記と同様、仮設ポンプによる残水処理（約10m³/h）を行うことで、建屋内外の水位逆転を回避することが十分可能である。

水位(T.P.+m)

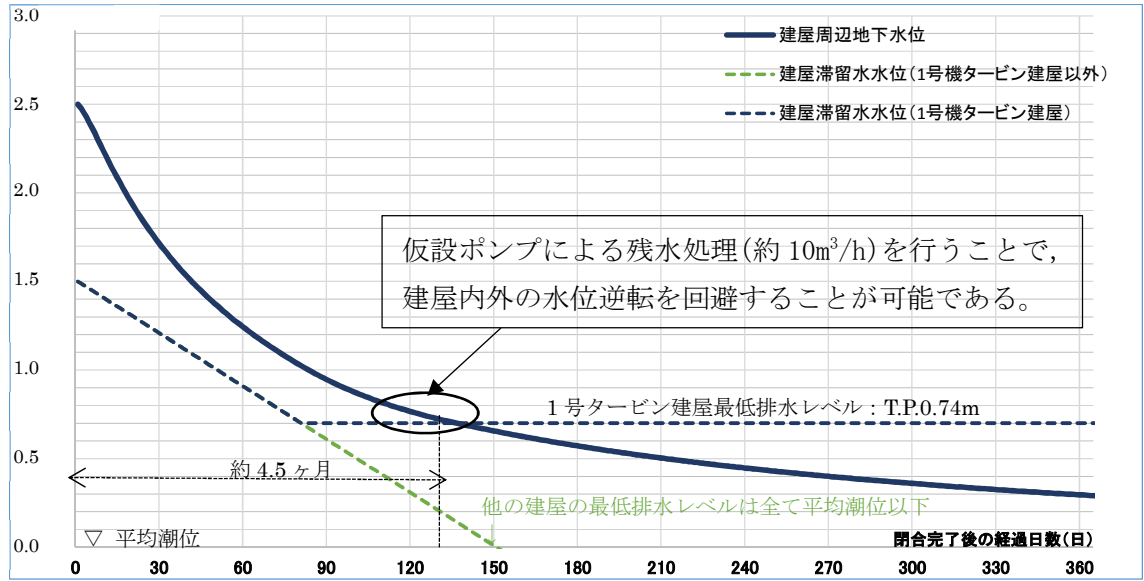


図-3 想定外の異常事象における建屋滞留水水位と地下水位の低下

【参考1】1号機原子炉建屋の水位低下状況

図-4に1号機原子炉建屋の建屋滞留水水位低下状況の実績を示す。滞留水移送ポンプによる移送により、2015年12月において、約0.03m/h程度で建屋滞留水水位を低下することができている。

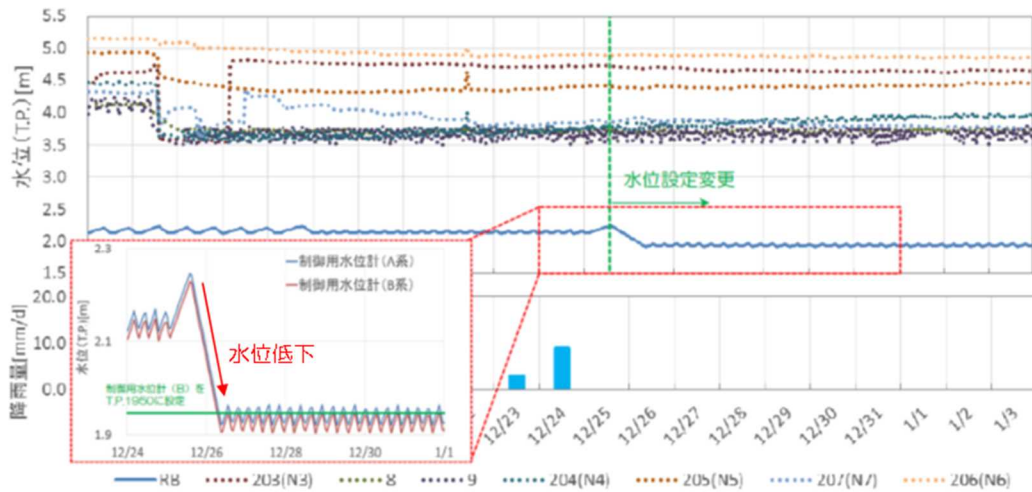


図-4 1号機原子炉建屋の建屋滞留水水位低下状況（実績）

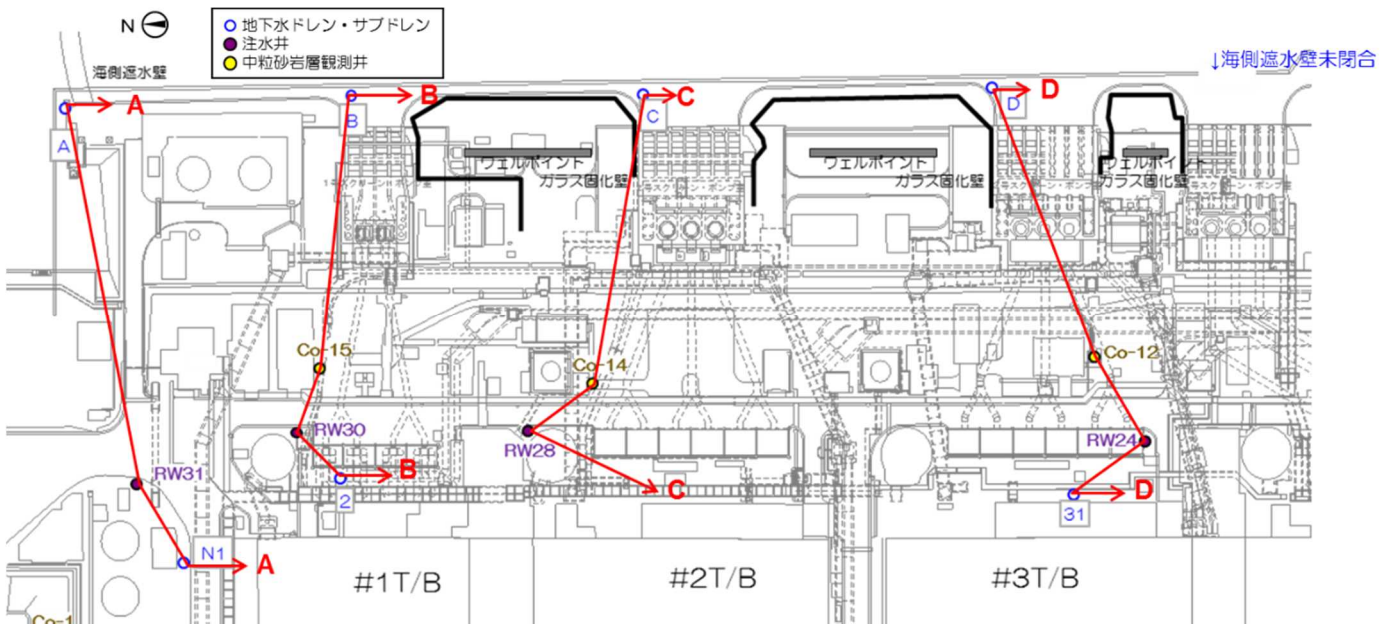
【参考2】絶対下限水位を平均潮位とすることの妥当性

現在は、海側遮水壁が閉合されているため、潮汐の変動が建屋周辺の地下水位に与える影響は極めて小さいと考えられる。しかし、安全側の観点から、海側遮水壁閉合前のデータを用いて、絶対下限水位を平均潮位とすることの妥当性を検討する。検討にあたっては、海側遮水壁閉合前の小名浜地点潮位データと建屋海側の地下水位データを用いた。

【使用データ】

- ・小名浜地点潮位データ：2015年4月1日～9月1日（気象庁HPより取得）
- ・地下水位データ：2015年4月1日～9月1日

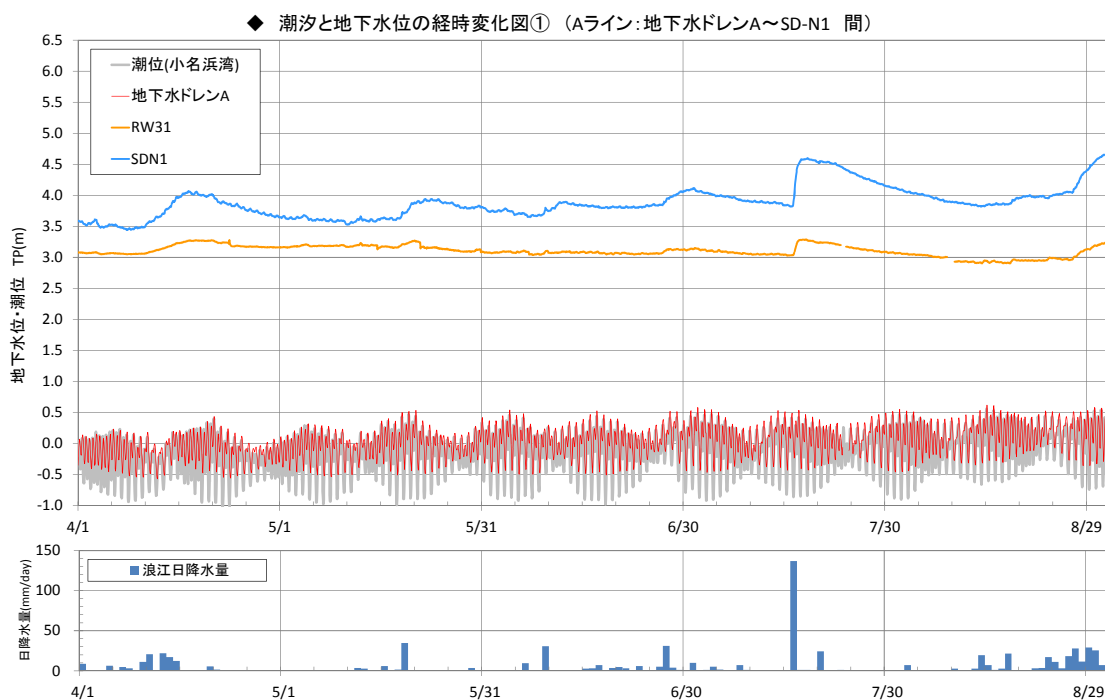
地下水ドレンA～Dを起点とし、山側に向かうライン上の
中粒砂岩層地下水観測井，注水井，サブドレン（図－5参照）



図－5 検討位置図

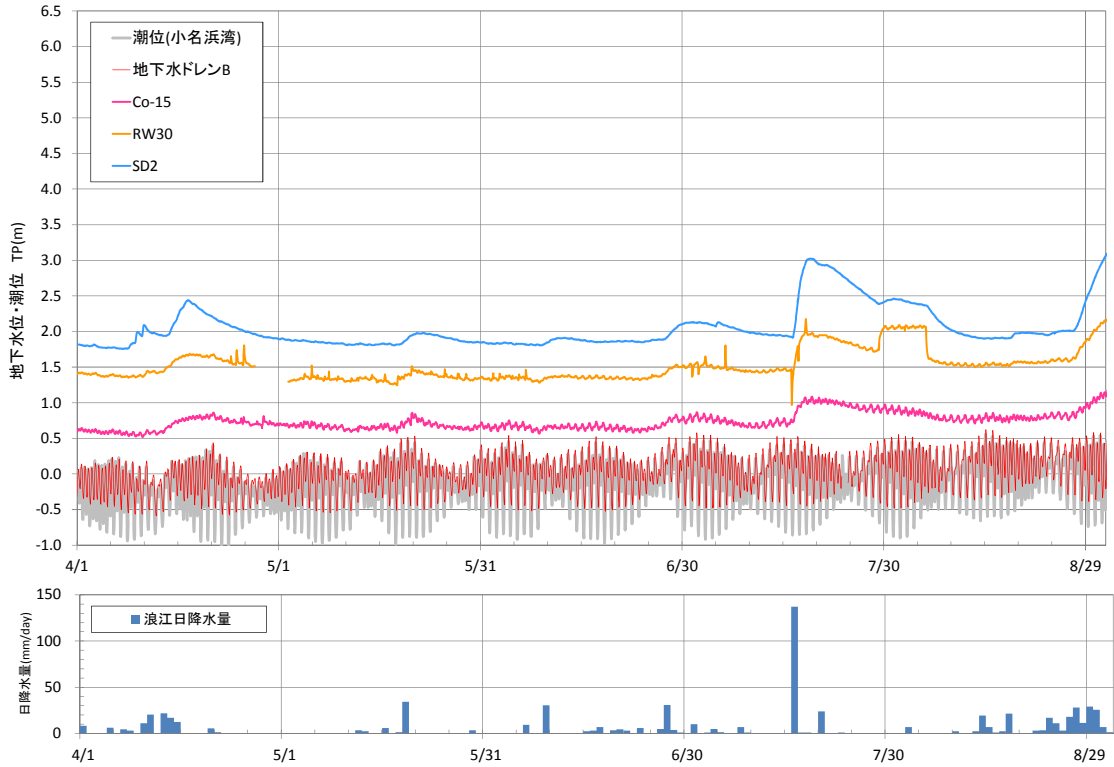
地下水ドレンA～Dの各ライン上の地下水位と小名浜地点潮位の経時変化を図－6～9に示す。

地下水ドレンA～Dでは、潮汐と同様の周期での水位変動が明瞭であるが、海から遠い地点では、潮汐と同様の周期での水位変動が明瞭ではない。



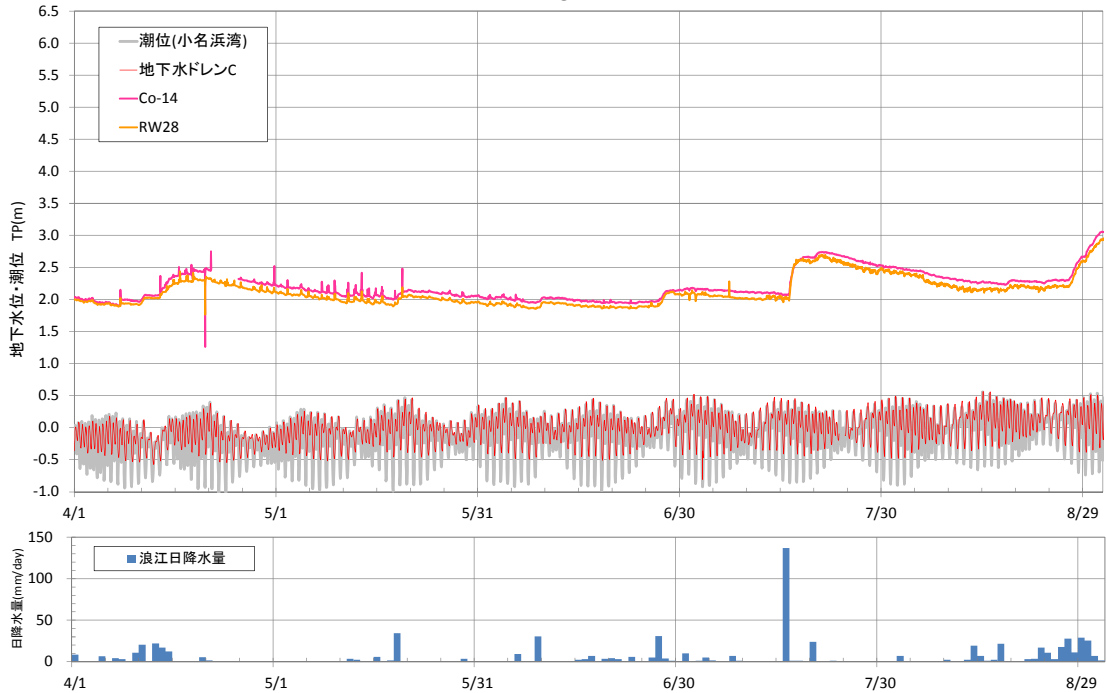
図－6 地下水ドレンAライン上の地下水位の経時変化

◆ 潮汐と地下水位の経時変化図② (Bライン: 地下水ドレンB～SD2 間)



図ー 7 地下水ドレンBライン上の地下水位の経時変化

◆ 潮汐と地下水位の経時変化図③ (Cライン: 地下水ドレンC～RW28 間)



図ー 8 地下水ドレンCライン上の地下水位の経時変化

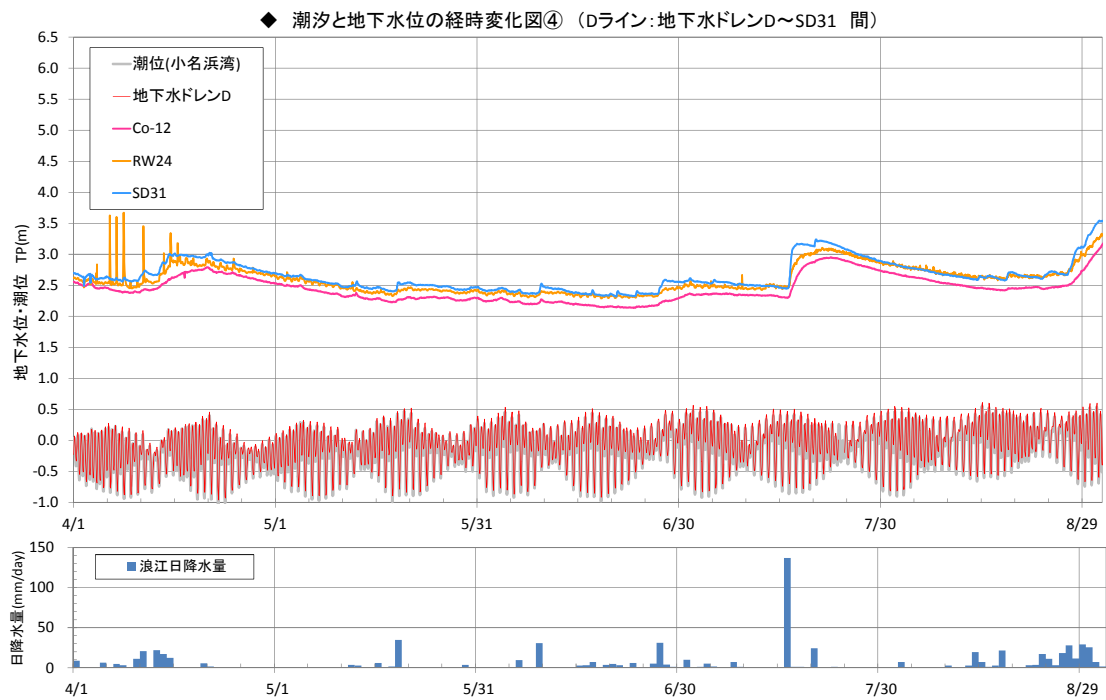


図-9 地下水ドレンDライン上の地下水位の経時変化

地下水位への潮汐の影響をより詳しく把握するために、周波数分析を実施した。結果を図-10～24に示す。

小名浜地点潮位，地下水ドレンA～Dでは，明瞭な卓越周期（0.52日，1.00日，0.50日，1.08日）が認められる。

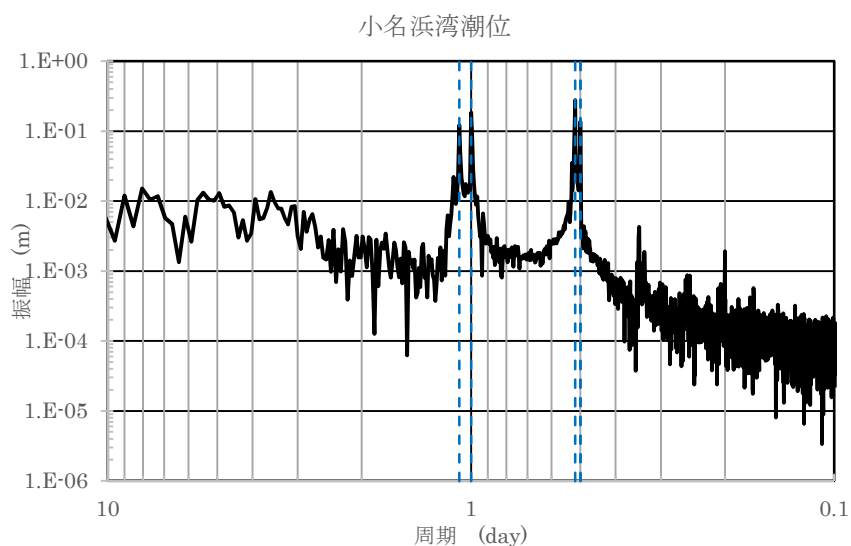


図-10 周波数分析の結果（小名浜潮位）

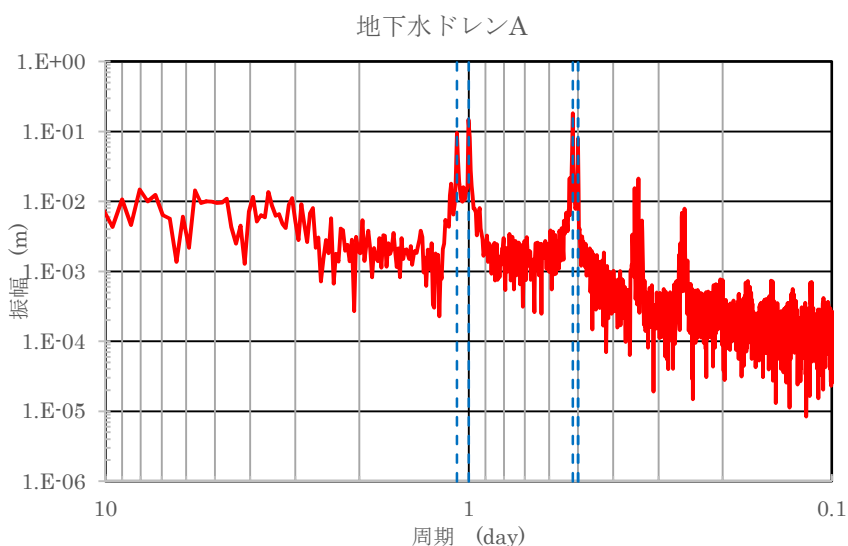


図-11 周波数分析の結果（地下水ドレンA）

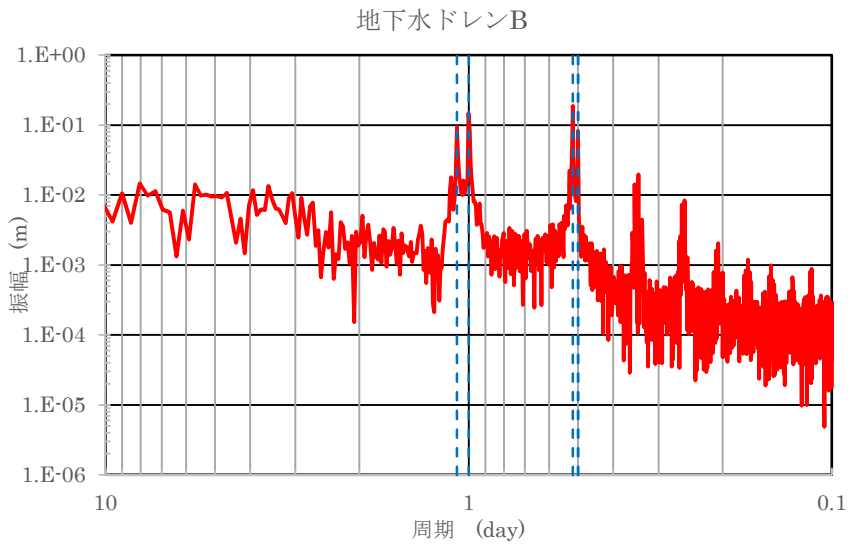


図-12 周波数分析の結果（地下水ドレンB）

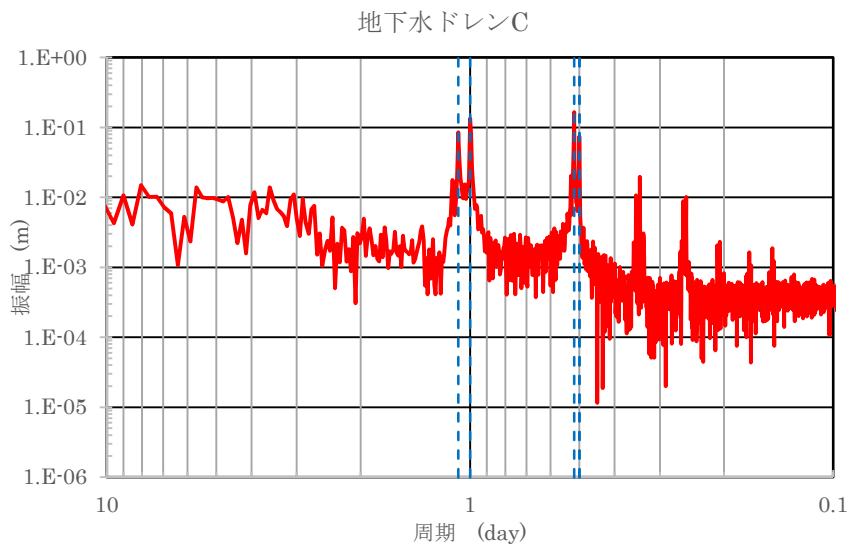


図-13 周波数分析の結果（地下水ドレンC）

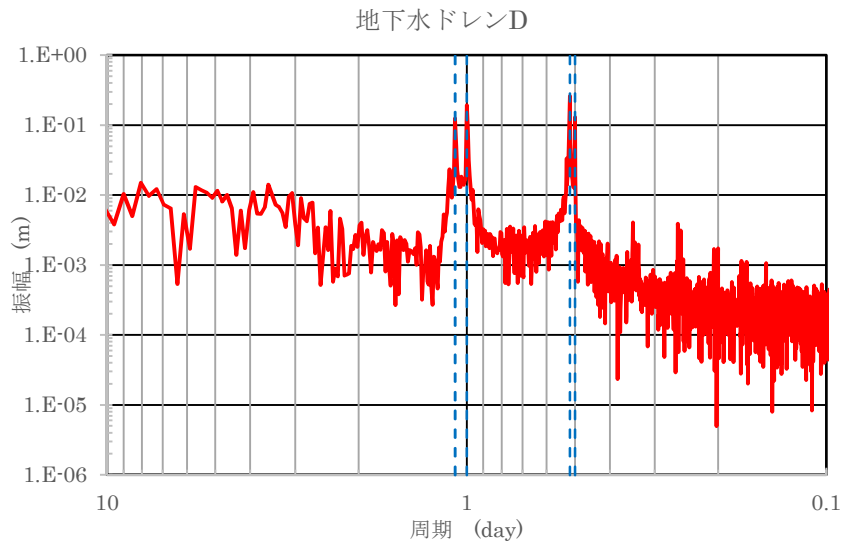


図-14 周波数分析の結果 (地下水ドレンD)

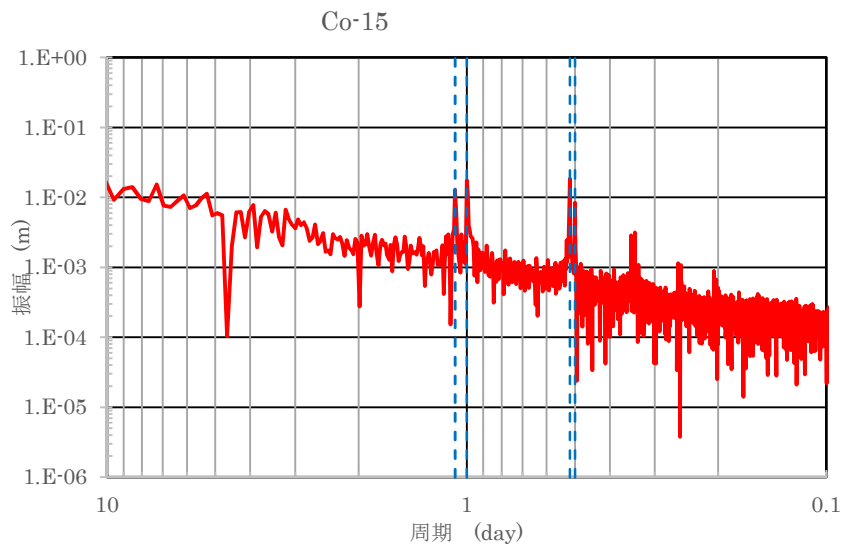


図-15 周波数分析の結果 (Co-15)

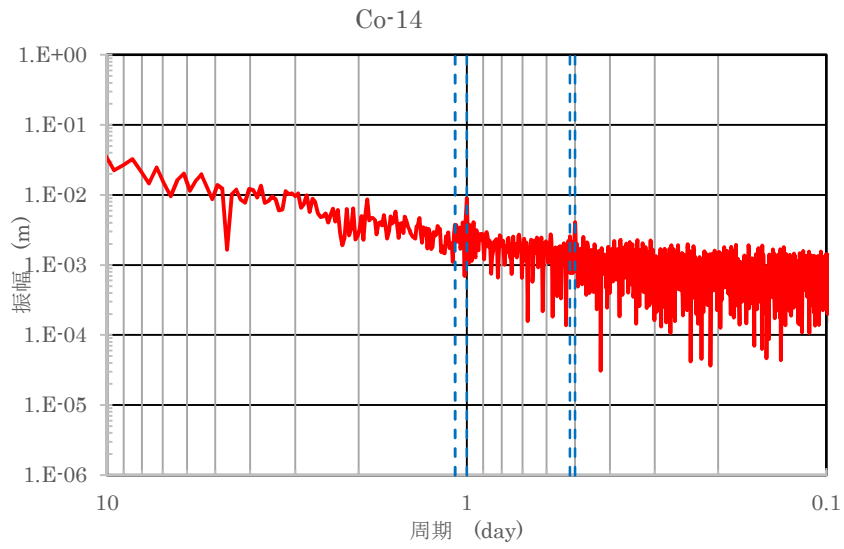


図-16 周波数分析の結果 (Co-14)

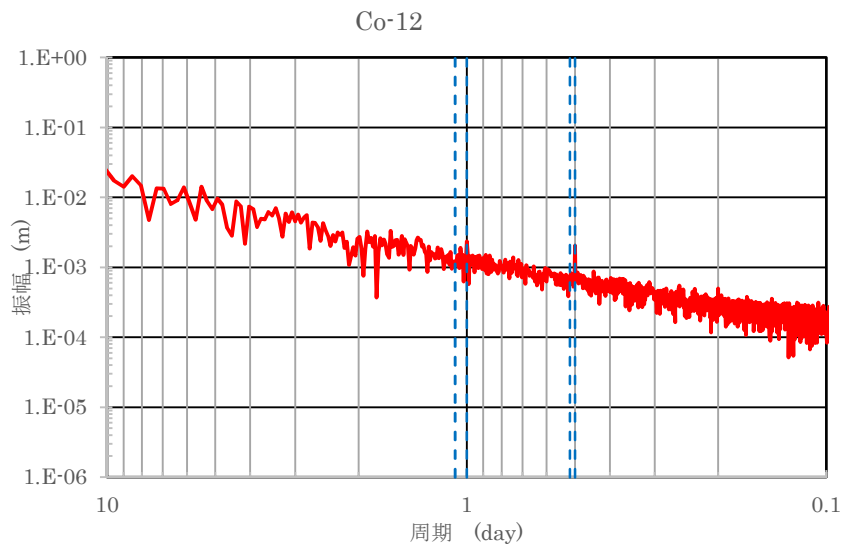


図-17 周波数分析の結果 (Co-12)

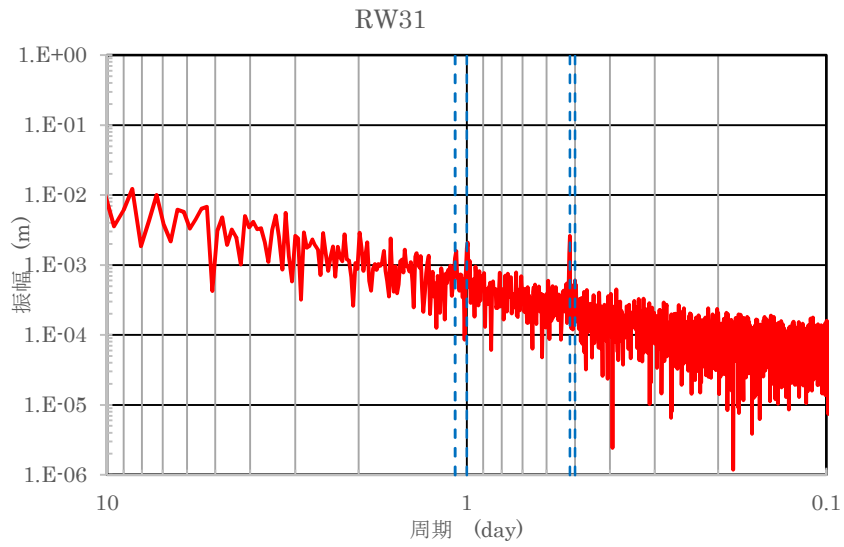


図-18 周波数分析の結果 (RW31)

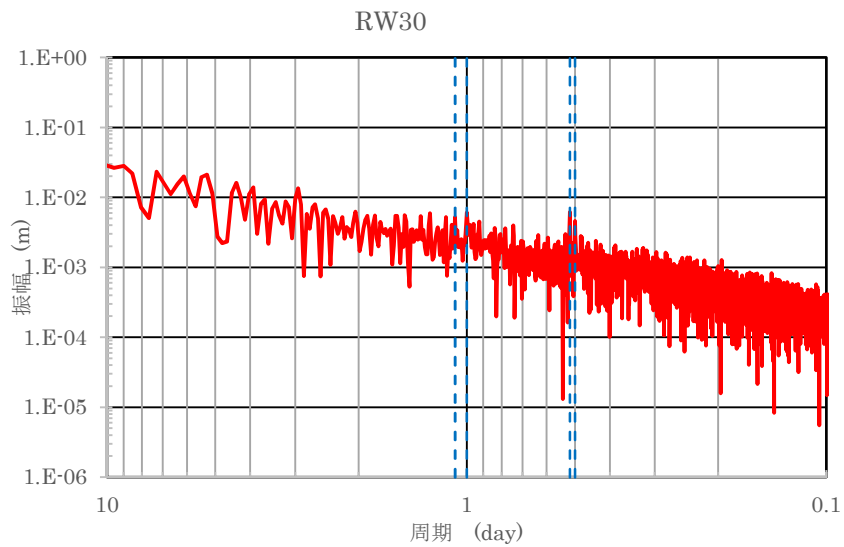


図-19 周波数分析の結果 (RW30)

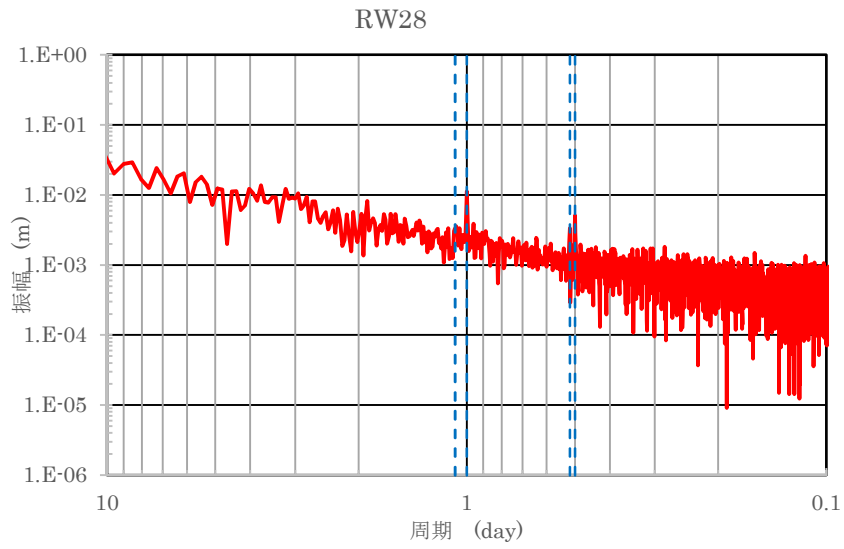


図-20 周波数分析の結果 (RW28)

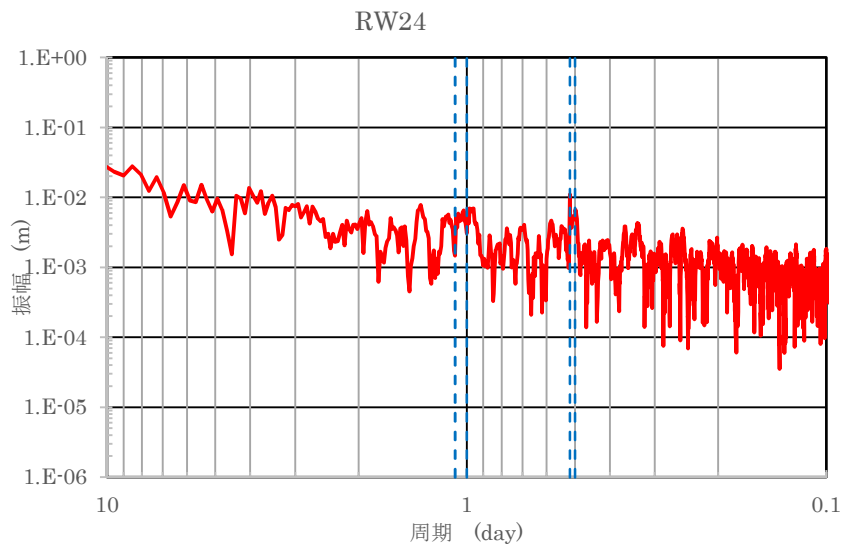


図-21 周波数分析の結果 (RW24)

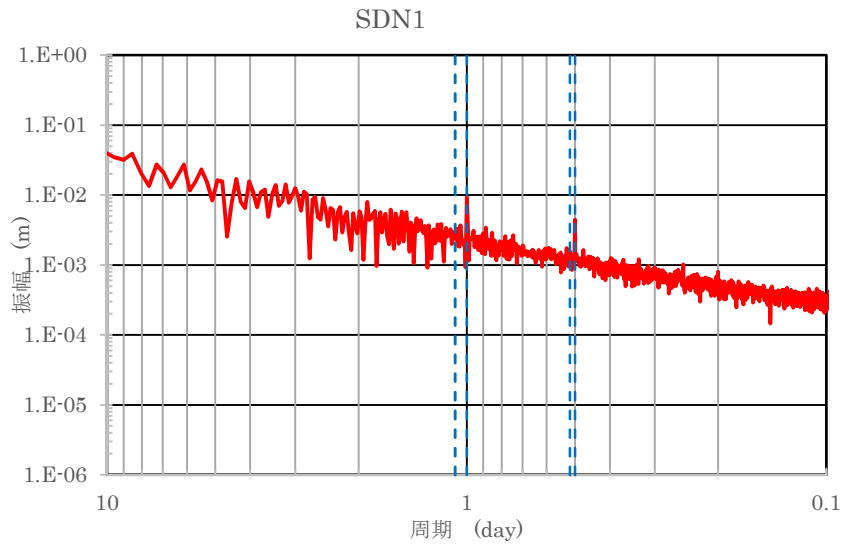


図-22 周波数分析の結果 (SDN1)

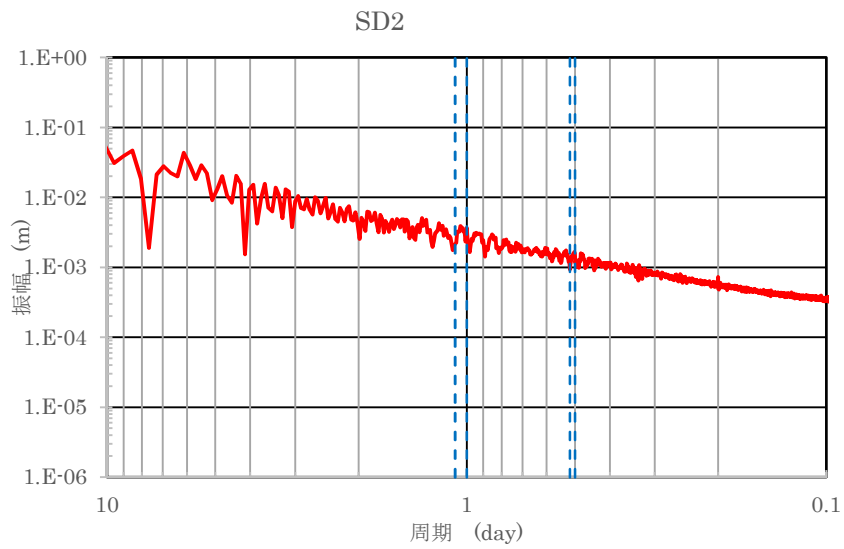


図-23 周波数分析の結果 (SD2)

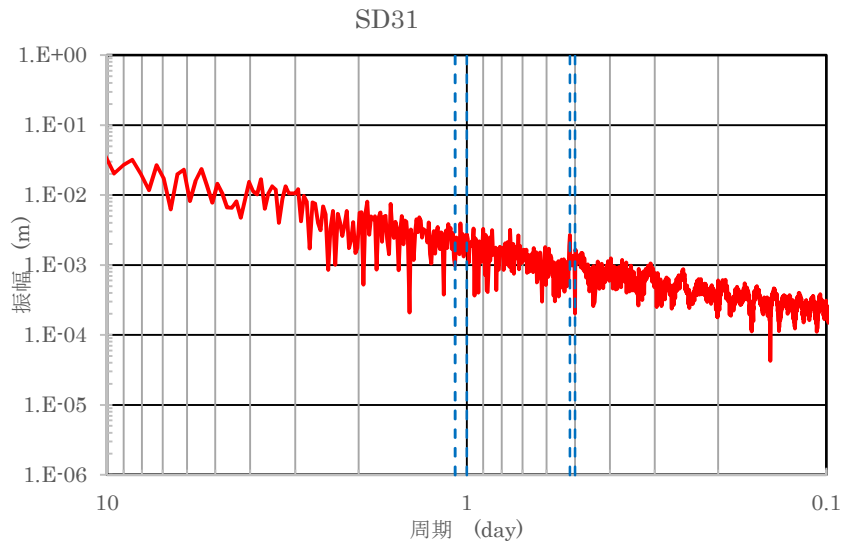


図-24 周波数分析の結果 (SD31)

表-5及び図-25に、小名浜地点潮位の卓越周期(0.52日, 1.00日, 0.50日, 1.08日)における振幅を示す。

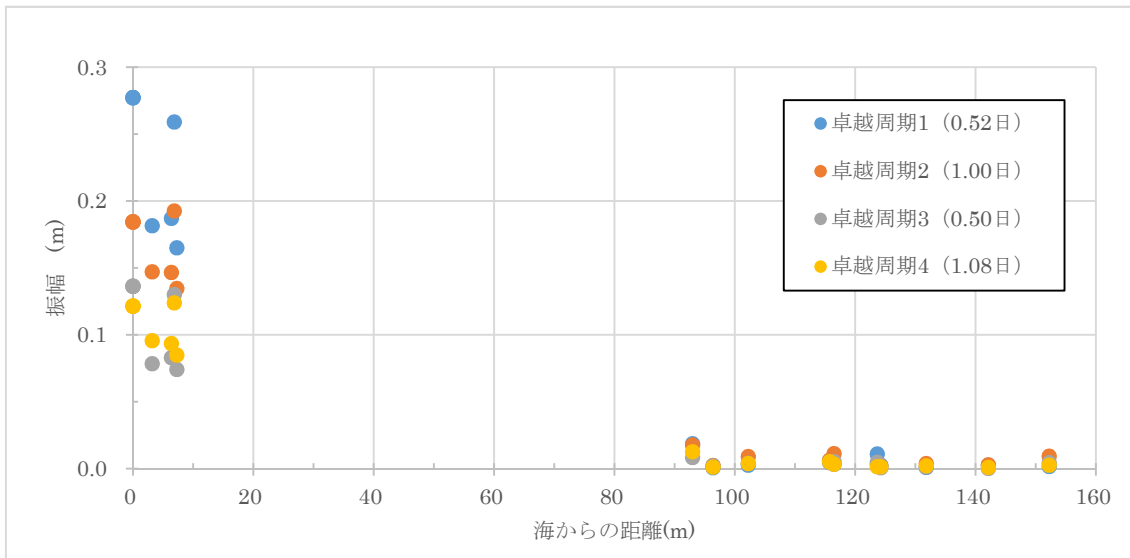
海から近い地点(地下水ドレンA~D)においては、小名浜地点潮位の卓越周期における振幅は大きいままであるが、海から100m以上離れた建屋周辺(RW31, SDN1, RW30, SD2, RW28, RW24, SD31)においては、卓越周期1(0.52日)で4.0%以下、卓越周期2(1.00日)で6.1%以下、卓越周期3(0.50日)で3.8%以下、卓越周期4(1.08日)で4.3%以下に減衰し、振幅は0.011m以下であることが確認できる。

以上から、潮汐の変動が建屋周辺での地下水位に与える影響は軽微であり、絶対下限水位を平均潮位とすることは妥当と判断している。

なお、仮に、朔望平均満潮位(T.P.+0.764m)及び朔望平均干潮位(T.P.-0.736m)の潮位振幅が継続した場合でも、上記の減衰を考慮すると、建屋周辺での地下水位の振幅は0.05m以下になると考えられる。これは、現状の建屋内外水位差の運用目標(サブドレン稼働時0.8m, 非稼働時0.45m)内に包含される。

表－5 海からの距離と小名浜地点潮位の卓越周期における振幅の関係

| | 地点名 | 海からの距離(m) | 振幅 (m) | | | |
|------------|---------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 卓越周期1 (0.52日) | 卓越周期2 (1.00日) | 卓越周期3 (0.50日) | 卓越周期4 (1.08日) |
| 地下水ドレンAライン | 小名浜湾潮位 | 0 | 0.277 | 0.184 | 0.136 | 0.121 |
| | 地下水ドレンA | 3 | 0.182 | 0.147 | 0.078 | 0.096 |
| | RW31 | 124 | 0.003 | 0.002 | 0.001 | 0.001 |
| | SDN1 | 152 | 0.002 | 0.009 | 0.004 | 0.003 |
| 地下水ドレンBライン | 小名浜湾潮位 | 0 | 0.277 | 0.184 | 0.136 | 0.121 |
| | 地下水ドレンB | 6 | 0.187 | 0.147 | 0.083 | 0.094 |
| | Co-15 | 93 | 0.019 | 0.018 | 0.008 | 0.013 |
| | RW30 | 116 | 0.006 | 0.006 | 0.005 | 0.005 |
| 地下水ドレンCライン | SD2 | 132 | 0.001 | 0.004 | 0.001 | 0.002 |
| | 小名浜湾潮位 | 0 | 0.277 | 0.184 | 0.136 | 0.121 |
| | 地下水ドレンC | 7 | 0.165 | 0.135 | 0.074 | 0.085 |
| | Co-14 | 102 | 0.003 | 0.009 | 0.004 | 0.004 |
| 地下水ドレンDライン | RW28 | 116 | 0.003 | 0.011 | 0.005 | 0.003 |
| | 小名浜湾潮位 | 0 | 0.277 | 0.184 | 0.136 | 0.121 |
| | 地下水ドレンD | 7 | 0.259 | 0.193 | 0.130 | 0.124 |
| | Co-12 | 96 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| | RW24 | 124 | 0.011 | 0.003 | 0.005 | 0.001 |
| SD31 | 142 | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | |



図－25 海からの距離と小名浜地点潮位の卓越周期における振幅の関係

以上

発電所建屋周辺の地質構造・地下水位

1. 発電所周辺の地形

発電所の敷地は、周囲を川に挟まれた海拔 T.P. 33.5m 程度の台地であり、海側を掘削し海拔約 T.P. 8.5m の地盤に、発電所建屋を設置している。

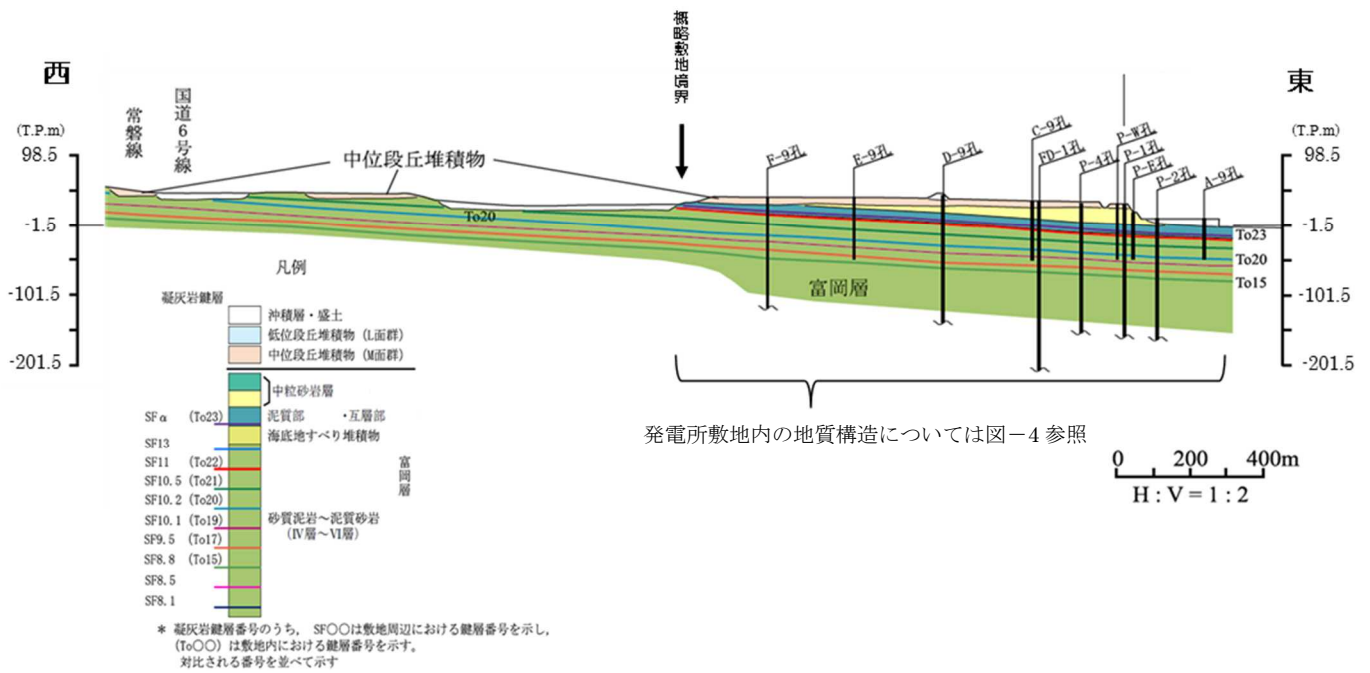


図-1 発電所周辺の地形

2. 発電所周辺の地質構造

敷地を中心とする半径約 30km の範囲及びその周辺について、文献調査、地表地質調査、海上音波探査等を実施し、敷地内について、地表地質調査、ボーリング調査等を実施している。

発電所敷地に分布する富岡層は、発電所の西方約 8km から海岸部までの範囲に広く分布し、海で堆積した泥岩及び砂岩が主体である。凝灰岩を多く挟在し良好な鍵層（地層の生成年代を対比し連続性を判断する際に目印となる地層）が認められ、敷地内の地層でもこの鍵層が確認できる。



図一 2 発電所周辺の地質構造

3. 発電所敷地内でのボーリング

発電所の調査・建設時以降に建屋付近を中心に構内で実施した約200孔(平均孔長約170m)のボーリングについて地質の判別を行い、周辺露頭調査結果と合わせて発電所周辺の三次元地質モデルを構築している。

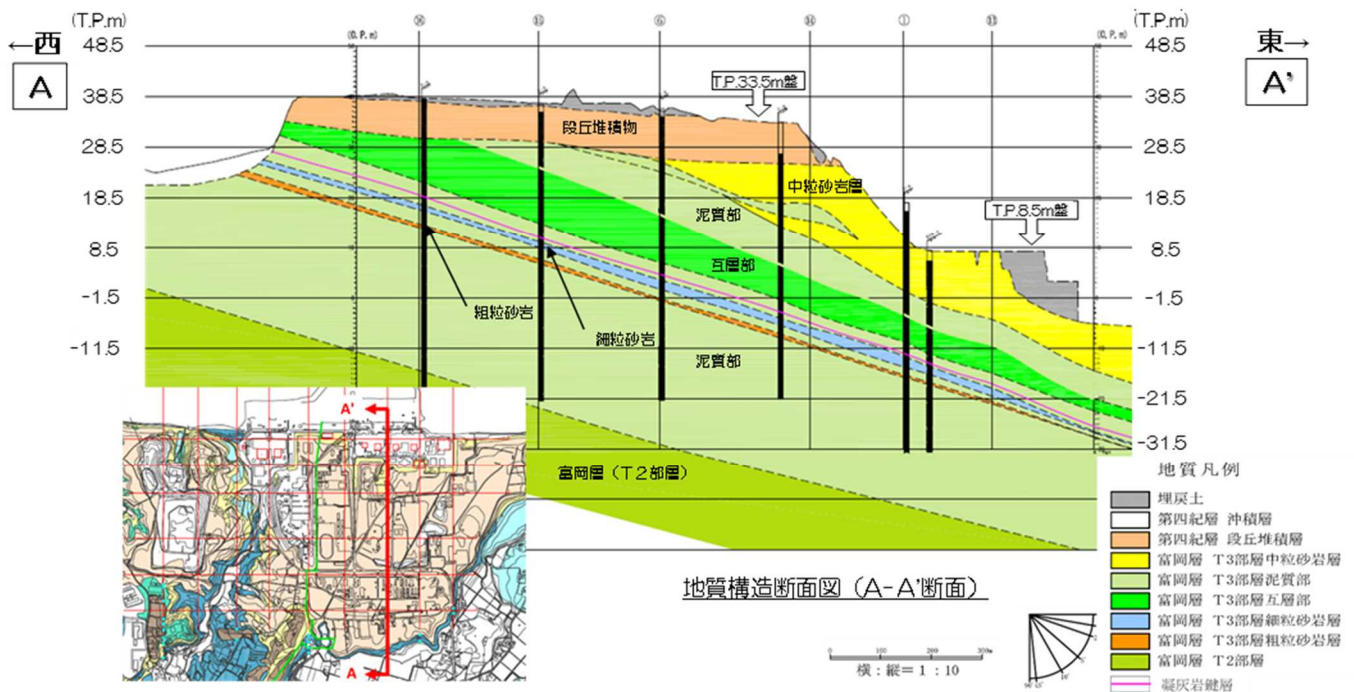


図一 3 発電所敷地内でのボーリング位置図

4. 発電所敷地内の地質構造（東西断面）

発電所敷地内の地層は、地表面付近の段丘堆積物より下層が、富岡層（T3 部層）の砂岩・泥岩主体の地層であり、上から中粒砂岩層（中粒砂岩を主体としシルト岩を挟在）、泥質部、互層部（数 cm～の間隔で中粒砂岩とシルト岩が交互に分布）、泥質部（2層の連続性のよい砂層（細粒砂岩・粗粒砂岩）を挟在）が敷地内に連続し、傾斜角約2度で海側に傾いている。西側で台地が切れることから、中粒砂岩層・互層部の地下水は主に台地への降雨により涵養されている。

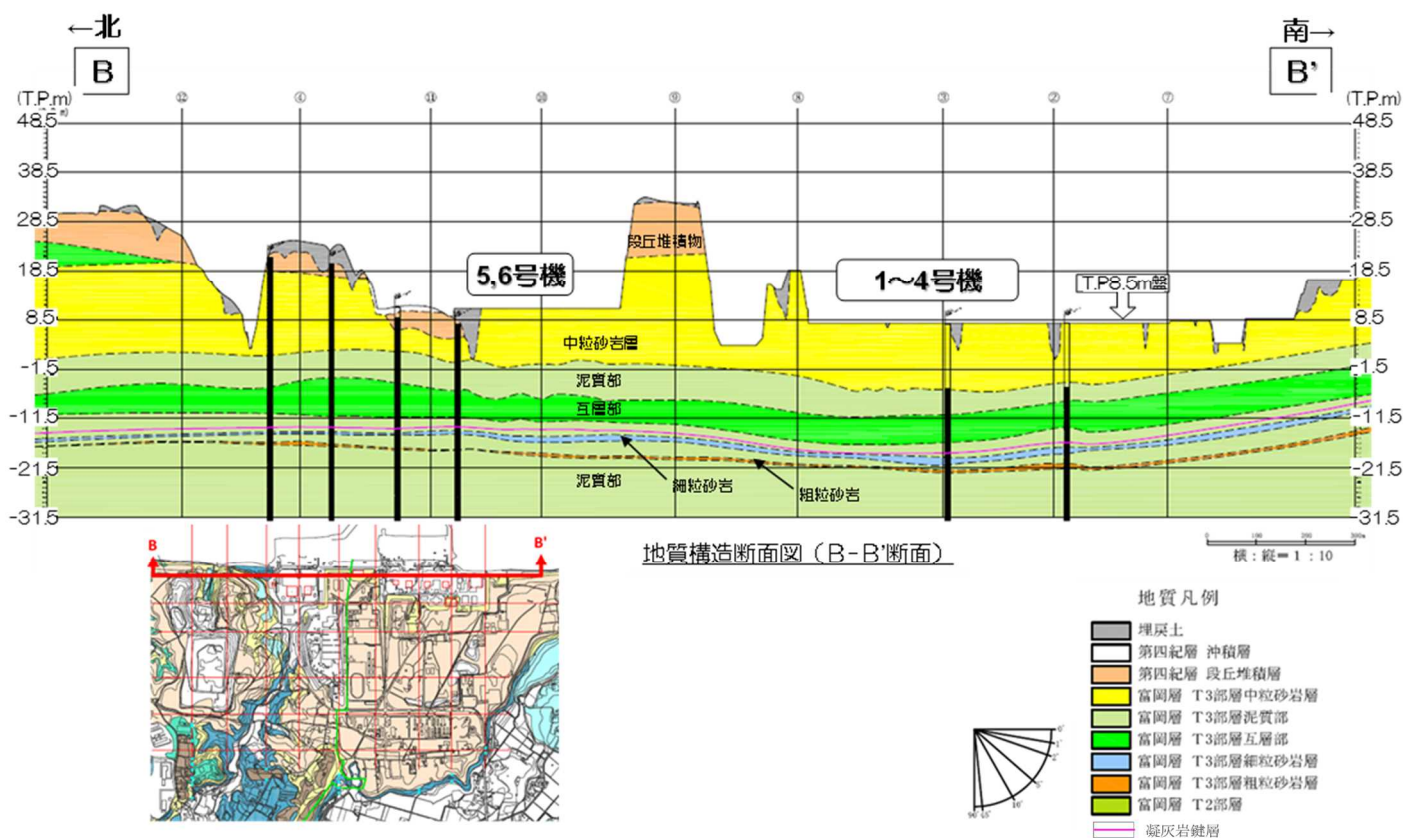
富岡層（T3 部層）の下部には、砂岩・泥岩主体で厚さ約 100m の富岡層（T2 部層）が分布する。



図－4 発電所敷地内の地質構造（東西断面）

5. 発電所敷地内の地質構造（南北断面）

地層は南北方向にほぼ水平に分布している。中粒砂岩層と互層部を隔てる泥質部は厚さ数 m、互層部下側の泥質部は厚さ 30～40m で連続して分布する。



図一 5 発電所敷地内の地質構造 (南北断面)

6. 発電所内の地下水

地層の透水性は、ボーリング孔内における透水試験の結果をもとに、段丘堆積物・中粒砂岩層・互層部・細粒砂岩・粗粒砂岩を透水層（水の通りやすい層）、泥質部を難透水層（水の通りにくい層）としている。

地表に近い地下水は不圧地下水（地下水面を有する地下水）で、段丘堆積物・中粒砂岩層を流れ、地形の低下に伴い台地から建屋付近に向かって大きく水位が低下する。

難透水層に上下を挟まれた透水層（互層部・細粒砂岩・粗粒砂岩）の地下水は被圧地下水（水面を持たず圧力がかかっている）となっていて、それぞれの層の中を海側に向かって流れており、4号機建屋付近を除き、不圧地下水とは隔てられている。

中粒砂岩層の地下水が、建屋内・建屋海側に流入することで汚染水増加の主要因となっている。

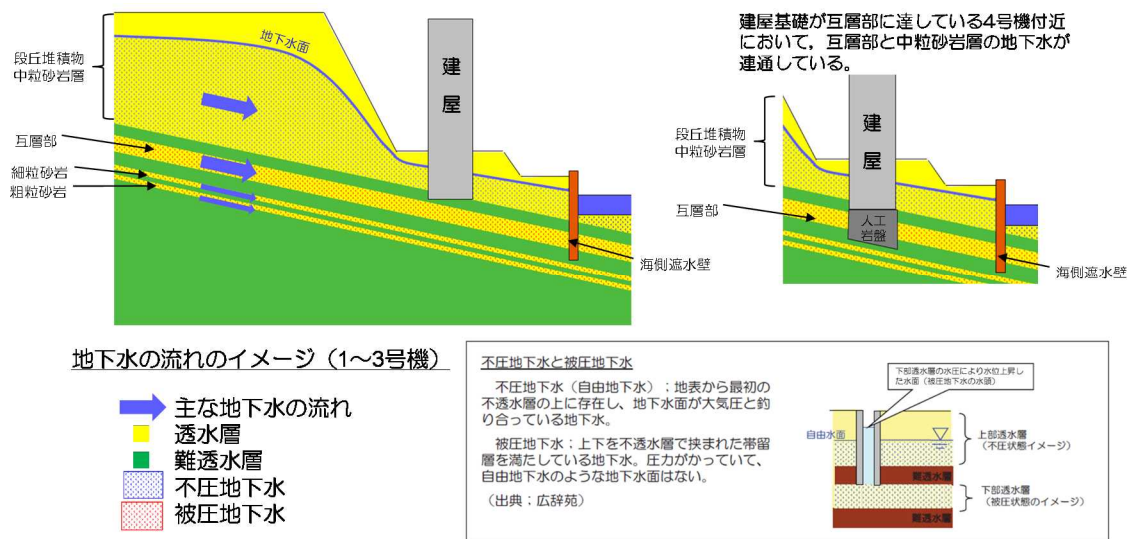


図-6 発電所内の地下水（イメージ）

7. 中粒砂岩層と互層部および細粒・粗粒砂岩の水頭比較

地下水位観測井位置を図-7, 中粒砂岩層, 互層部及び細粒・粗粒砂岩のエリア毎の水頭比較を図-8. 1~8. 12に示す。

建屋山側1・2号機周辺での互層部の水頭は, 中粒砂岩層の地下水位よりも水頭差で約2~5m高くなっている(図-8. 1~8. 3)。このことから, 中粒砂岩層と互層部間の泥質部は難透水層であると評価される。細粒・粗粒砂岩の水頭は, 互層部の水頭と同程度である(図-8. 1, 8. 3~8. 4)。

互層部の水頭と中粒砂岩層の地下水位との差は, 南側に行くほど小さくなり, 4号機付近では両者の差がなくなる(図-8. 2~8. 5)。建屋基礎が互層部に達していることにより, 地下水が連通していると考えられる。

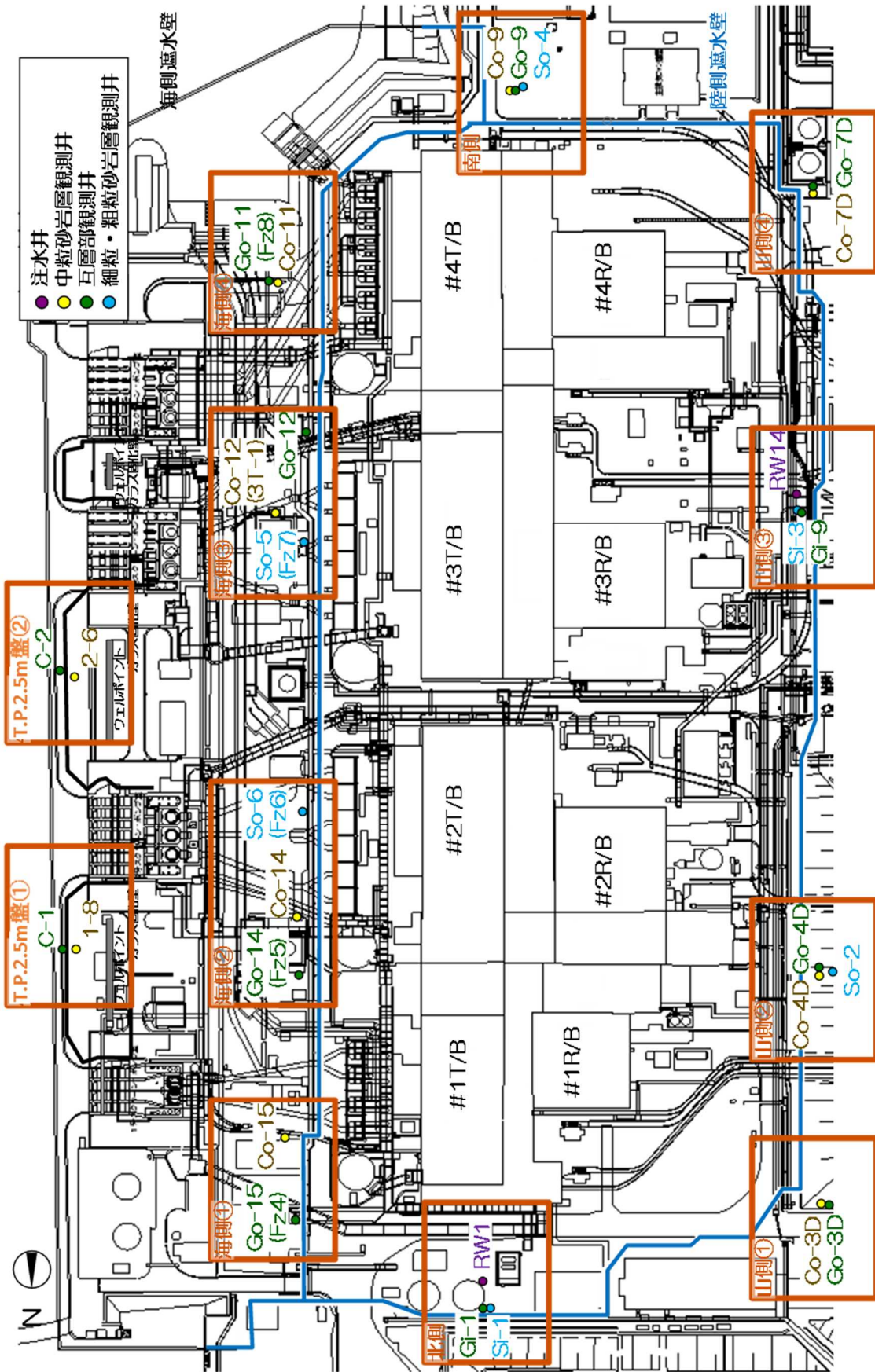
建屋山側と同様に, 建屋海側においても互層部の水頭と中粒砂岩層の地下水位の差は, 南側に行くほど小さくなる(図-8. 6~8. 9)。細粒・粗粒砂岩の水頭は, 南側に行くほど互層部水頭より大きくなる(図-8. 7~8. 8)。細粒・粗粒砂岩と互層部に水頭差があることから, その間にある泥質部は難透水層であると評価される。

4号機建屋南側では, 中粒砂岩層の地下水位, 互層部の水頭, 細粒・粗粒砂岩の水頭に差異が認められ(図-8. 10), 中粒砂岩層と互層部, 互層部と細粒・粗粒砂岩それぞれの間にある泥質部は難透水層であると評価される。

T.P. 2.5m盤の中粒砂岩層の水位はウェルポイントによる汲上げ等の影響を受け, 変動している(図-8. 11~8. 12)。互層部の水頭は海側遮水壁閉合後, 上昇が確認され, 現時点では, 中粒砂岩層の水位よりも安定して高くなっており, 中粒砂岩層と互層部の泥質部は難透水層であると評価される。

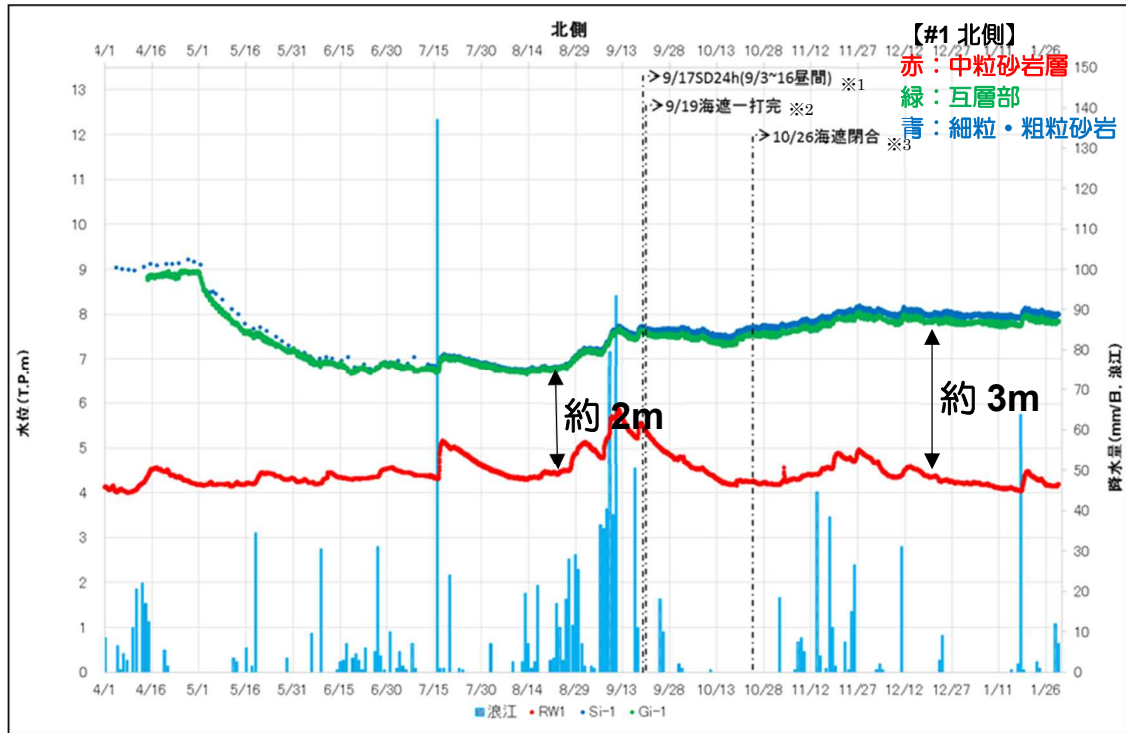
以上より, 中粒砂岩層/互層部/細粒・粗粒砂岩間の泥質部の存在により, 中粒砂岩層と

深部間の地下水の連通性は小さい。また，互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭はいずれも T.P. ±0m を上回っており，平均潮位まで下がることは考えにくい。

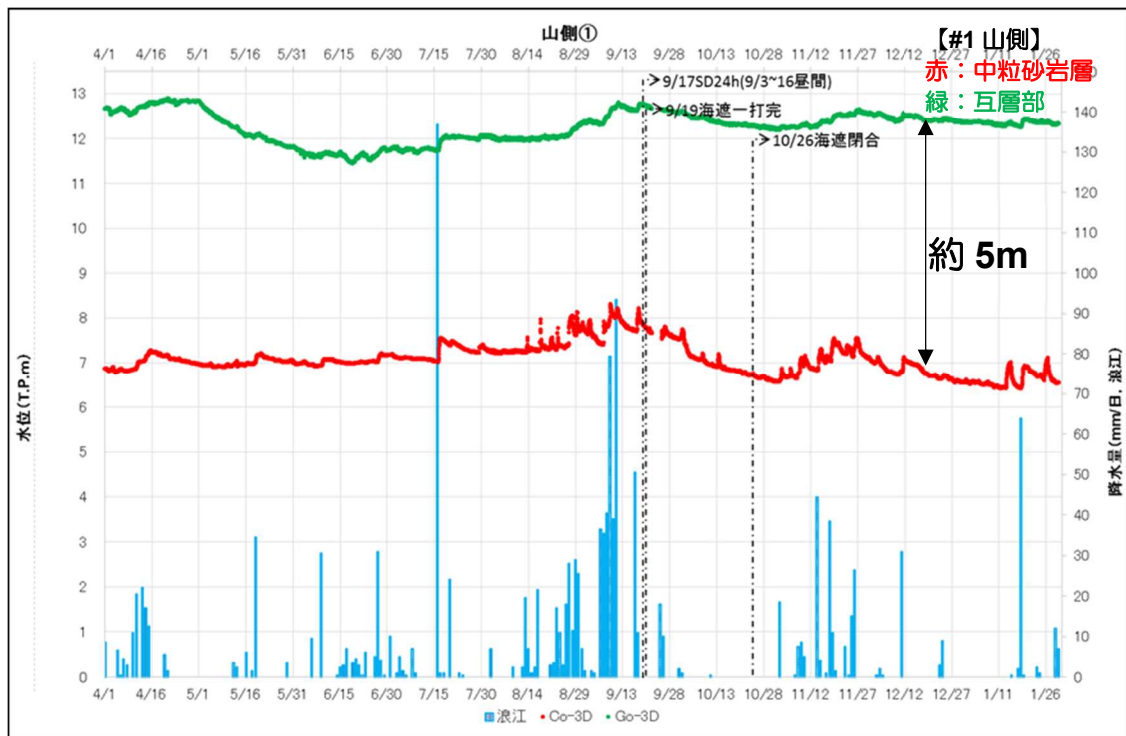


図一 7 地下水観測井位置図

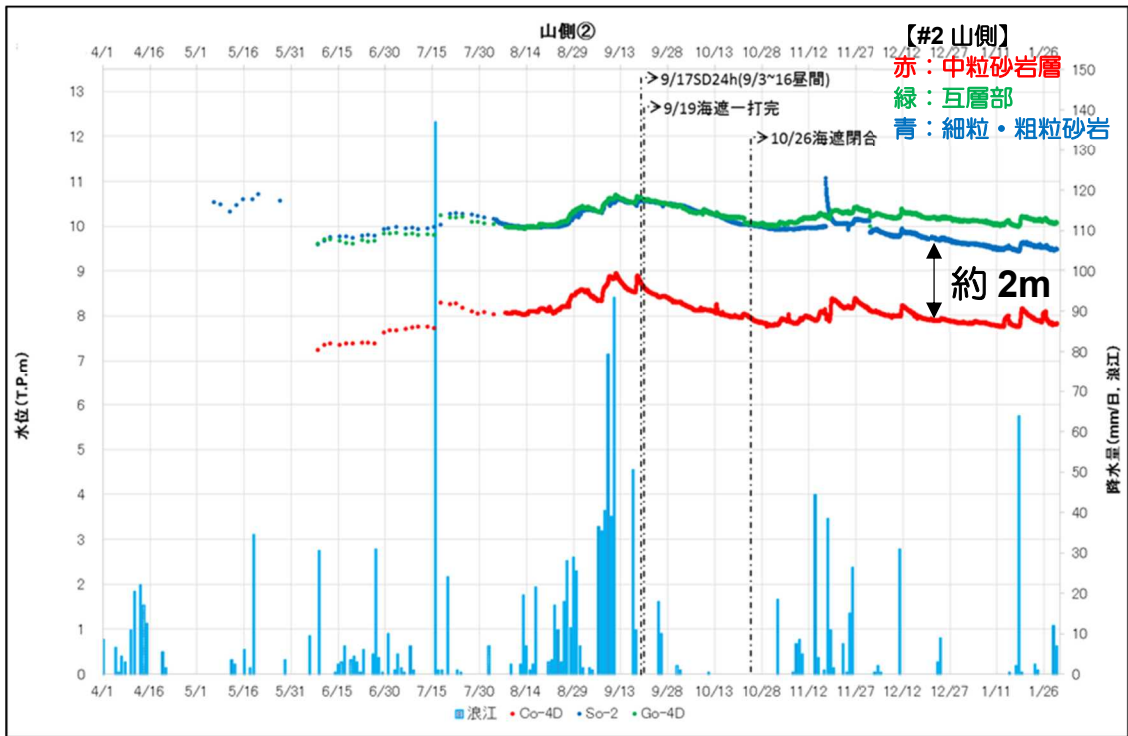
※1 9/17：サブドレン 24 時間稼働開始
 ※2 9/19：海側遮水壁鋼管矢板一次打設完了
 ※3 10/26：海側遮水壁閉合完了



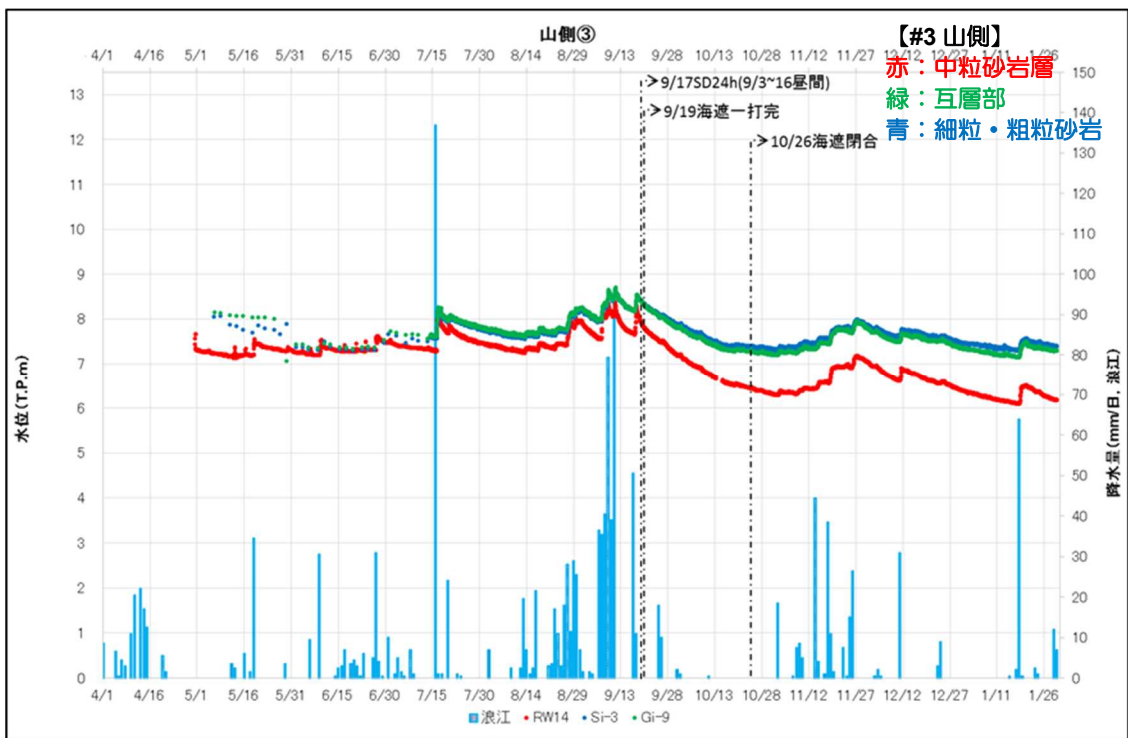
図一8. 1 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（北側）



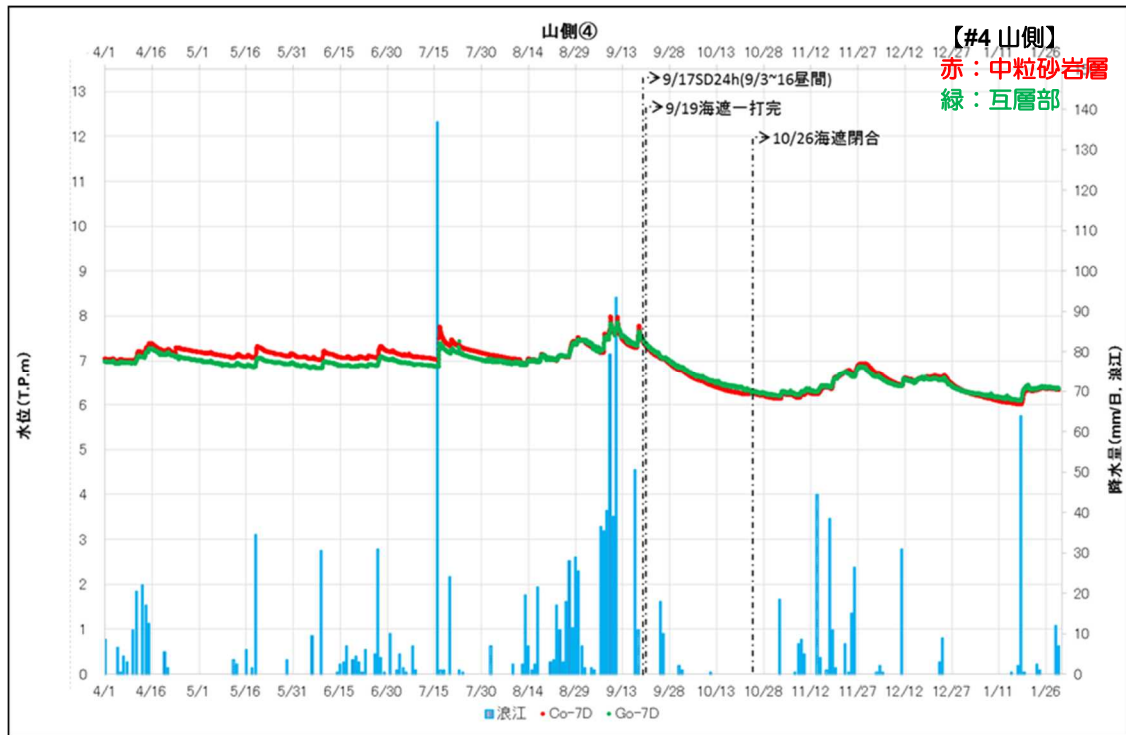
図一8. 2 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（山側①）



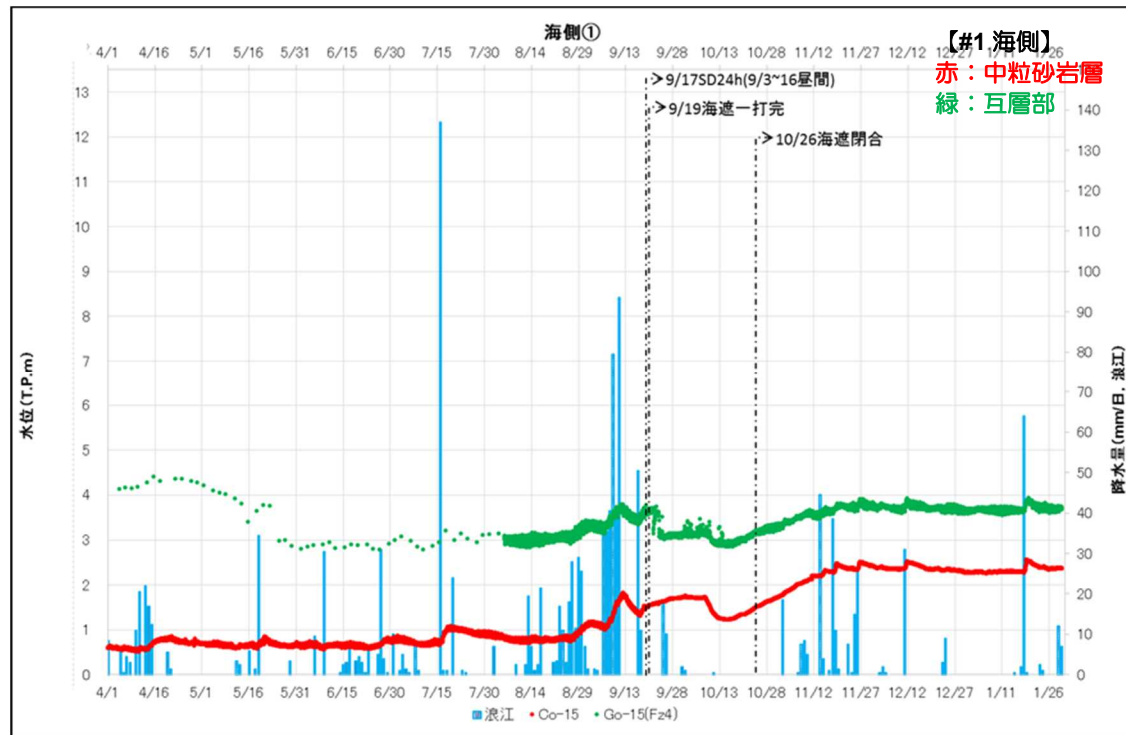
図一 8. 3 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（山側②）



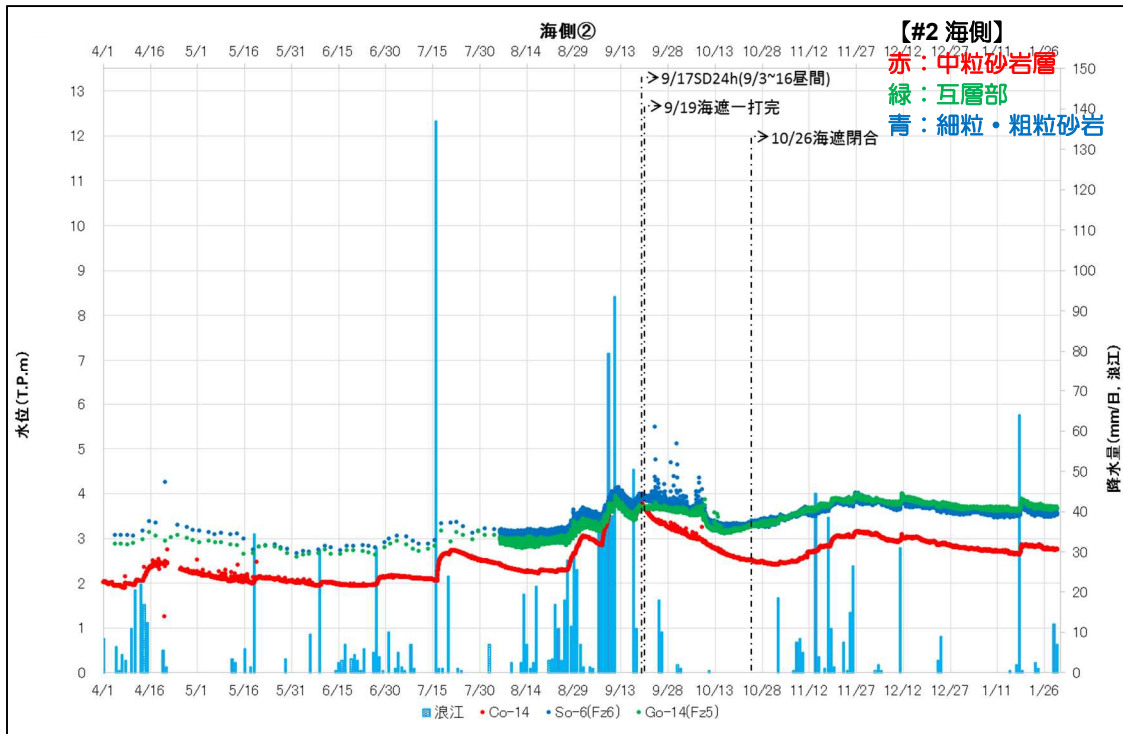
図一 8. 4 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（山側③）



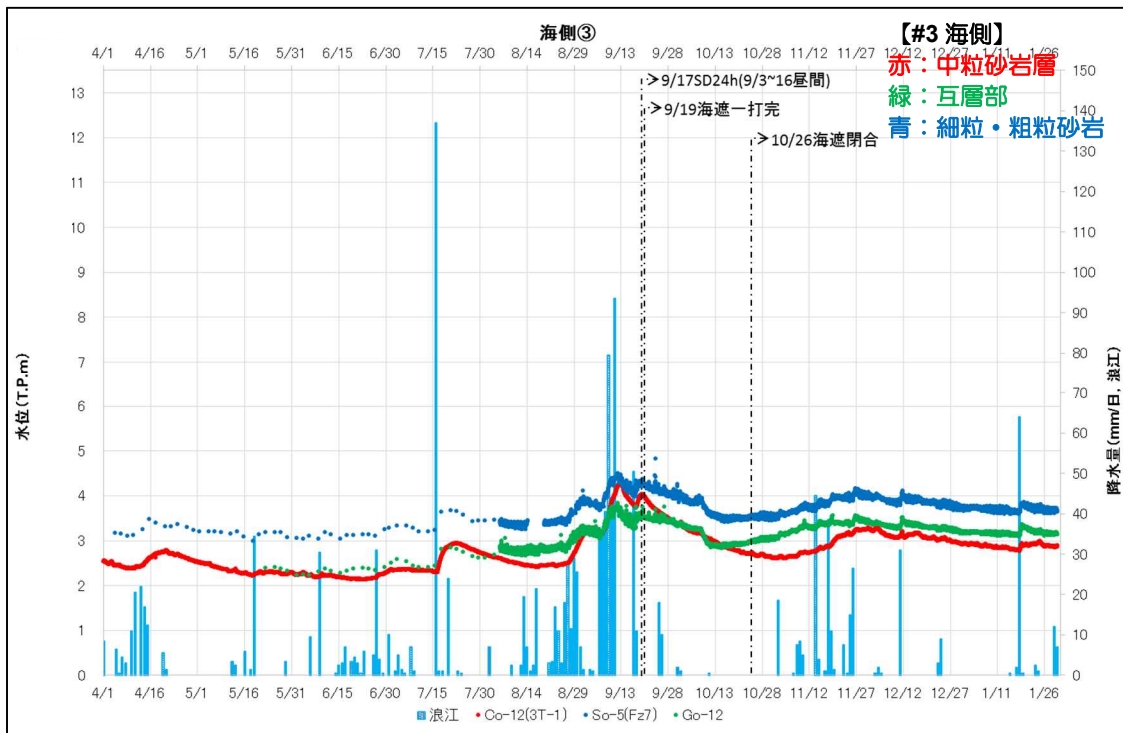
図一8. 5 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（山側④）



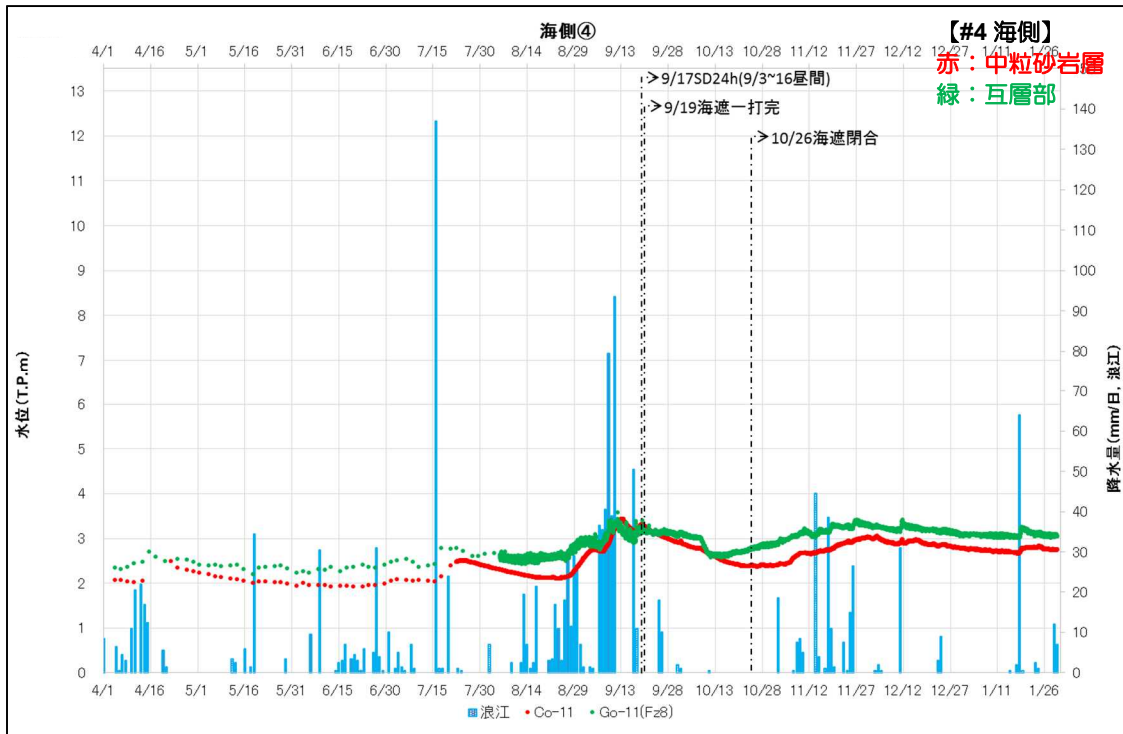
図一8. 6 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（海側①）



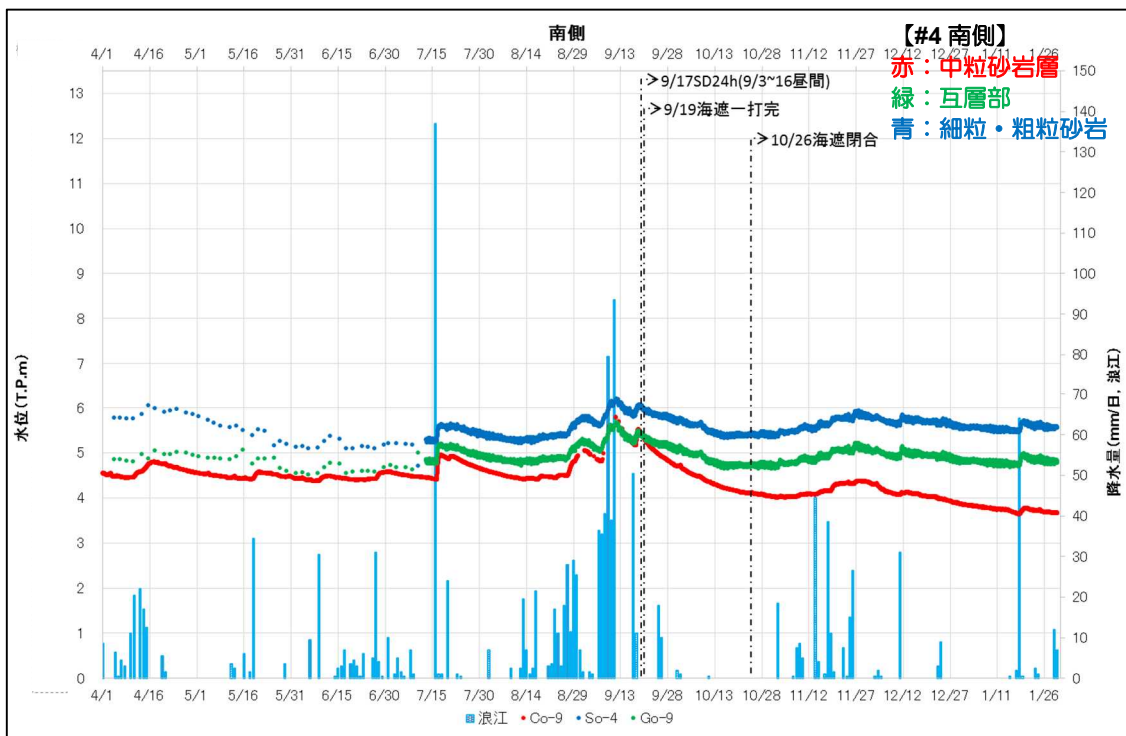
図一8. 7 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（海側②）



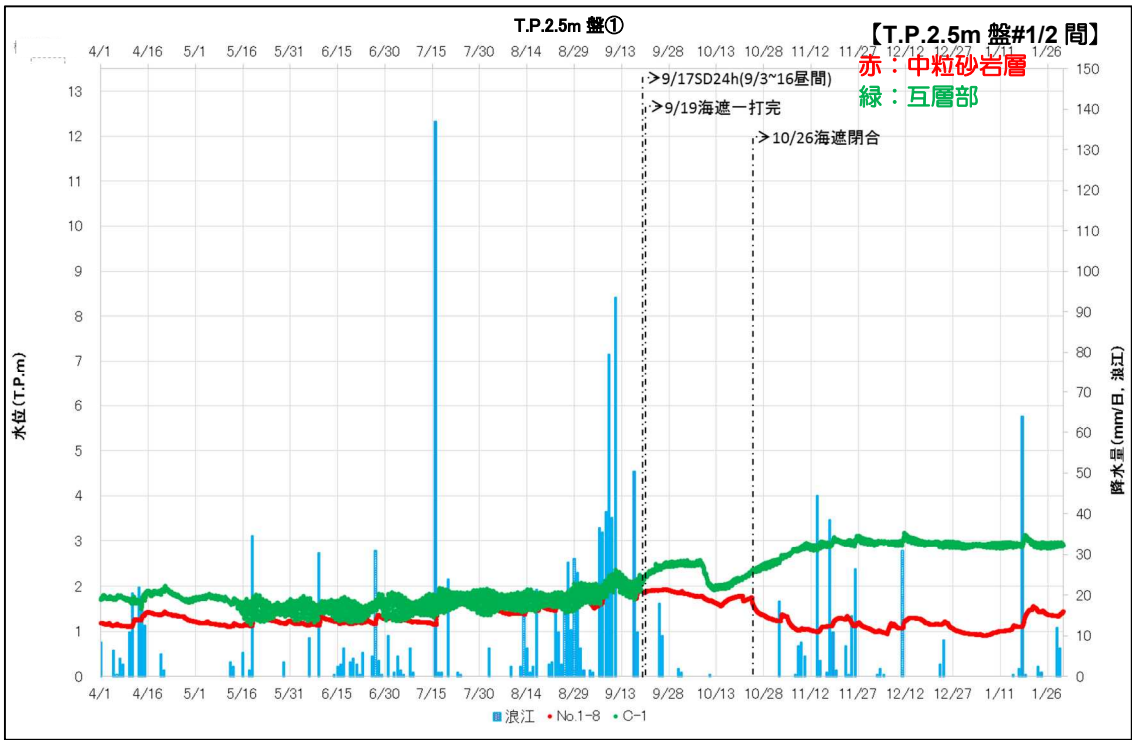
図一8. 8 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（海側③）



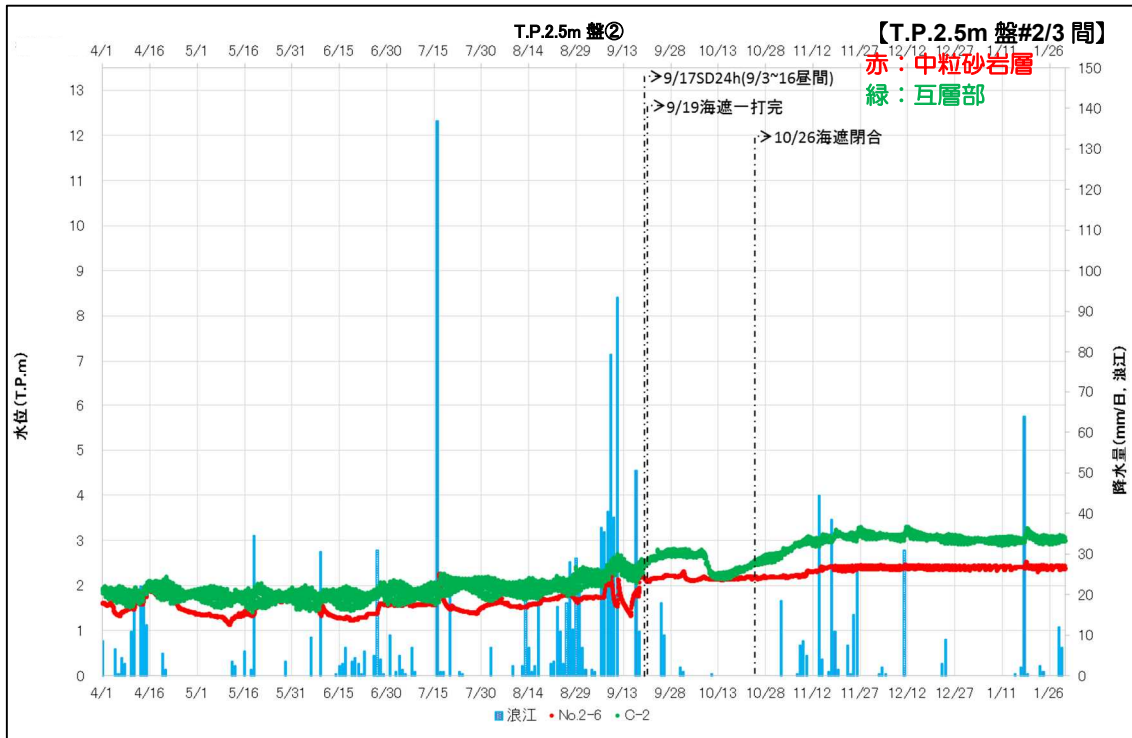
図一8. 9 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（海側④）



図一8. 10 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較（南側）



図一8. 1 1 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較 (T. P. 2. 5m盤①)



図一8. 1 2 中粒砂岩層／互層部，細粒・粗粒砂岩の水頭比較 (T. P. 2. 5m盤②)

以上

海側遮水壁の遮水性能の評価

1. 概要

海側遮水壁の遮水性は、既往の文献等を勘案して、建屋周辺の難透水層と同等程度である、 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 程度の透水係数を有していると想定しており、同値を陸側遮水壁の検討における地下水収支や地下水シミュレーションの計算条件に用いている。

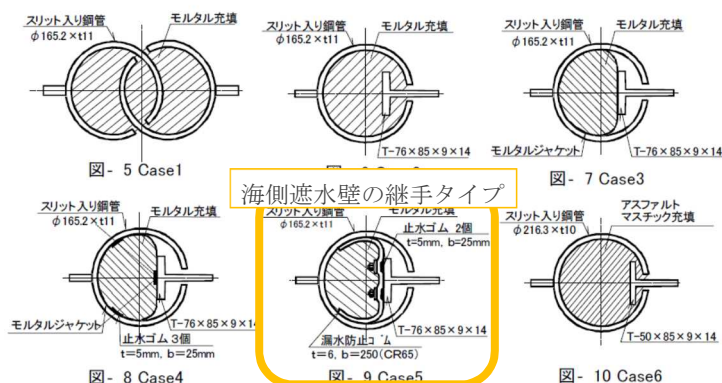
なお、海側遮水壁閉合後の鋼管矢板の透水係数を直接測定することは困難であることから、潮位変動と地下水ドレンポンドの水位変動の関係から海側遮水壁閉合後の透水係数を試算し、 $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 程度を有していると評価した。

2. 既往の文献に基づく海側遮水壁の透水係数の想定

『土木学会第56回年次学術講演会 鋼管矢板継手の遮水性能評価試験』に基づいて、海側遮水壁に採用している鋼管矢板の継手形式である、P-T 継手（ベロ式ゴム＋止水ゴム）の透水係数を確認した。なお、上記試験では、試験実施前に継手の曲げひずみが 250μ となるよう変形を与えた状態で実施している。

地下水ドレンポンド揚水ポンプ起動水位（H 値）が T.P. 約 1.8m であり、平均潮位 T.P. 約 0m との水位差が約 1.8m であることから、载荷水圧を 0.02MPa ($\approx 1.8 \text{m} \times 9.8 \text{kN/m}^3 \times 10^{-3}$) とした時の試験結果より、透水係数は $1 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 程度を有すると確認出来る（図－1 参照）。

以上より保守性を考慮して、海側遮水壁の透水係数を $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ と想定した。



| 試験体番号 | 継手タイプ | モルタルジャケット | 充填材 | 継手管曲げ歪み | 特徴 |
|-------|-------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| Case1 | P-P型 | 無 | 無収縮モルタル | 500 μ | 従来型 |
| Case2 | P-T型 | 無 | 無収縮モルタル | 500 μ | 従来型 |
| Case3 | P-T型 | 有 | 無収縮モルタル | 250 μ | モルタルジャケットのみ |
| Case4 | P-T型 | 有 | 無収縮モルタル | 250 μ | モルタルジャケット+止水ゴム |
| Case5 | P-T型 | 無 | 無収縮モルタル | 250 μ | へろ式ゴム+止水ゴム |
| Case6 | P-T型 | 無 | アスファルトマスチック | 500 μ | アスファルトマスチック充填 |

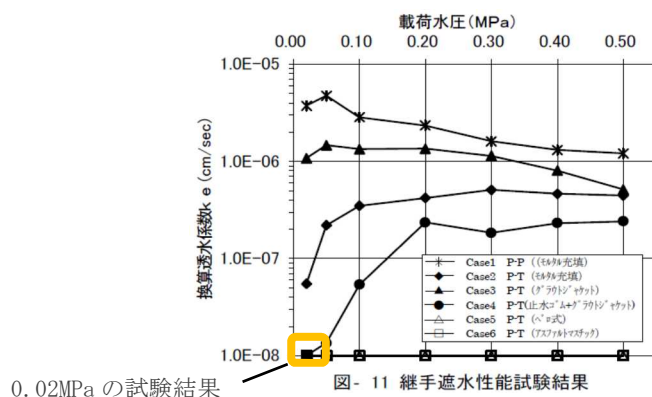


図-11 継手遮水性能試験結果

図-1 鋼管矢板継手の遮水性能試験結果 (土木学会第56回年次学術講演会 鋼管矢板継手の遮水性能評価試験)

3. 海側遮水壁閉合後の遮水性能の評価

海側遮水壁閉合後の鋼管矢板の透水係数を直接測定することは困難であることから、潮位変動と地下水ドレンポンドの水位変動の関係から透水係数の試算を行った。

「海の潮汐変動による湾岸地下水の水位変動（周期変動の伝播）」については、『土と基礎 実用数式・図表の解説/土質工学会編』において、図-2の(式7.15)のとおり示されている。

$$\left. \begin{aligned} h(x, t) &= D + \Delta h_0 e^{-\alpha x} \cos(\sigma t - \alpha x) \\ \alpha &= \sqrt{\sigma S / 2kD} \end{aligned} \right\} (7.15)$$

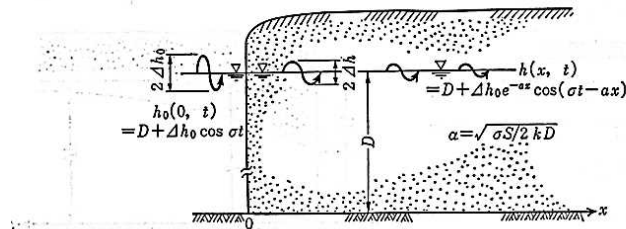


図-7.7 地下水位の周期変動の伝播

S : 貯留係数, t : 時間, σ : 周期

海の潮汐変動による海岸地下水の水位変動などは上式(7.15)を用いて計算できる。

| | |
|----------------------------|----------------------------|
| $h(x, t)$ | : 境界から x の位置の t 時間後の水位 |
| D | : 水深 |
| Δh_0 | : 潮汐変動 |
| $\Delta h_0 e^{-\alpha x}$ | : 境界から x の位置の地下水位変動 |
| σ | : 周期 |
| S | : 貯留係数 |
| t | : 時間 |
| k | : 透水係数 |

出典「土質工学ライブラリー7 土と基礎 実用数式・図表の解説／土質工学会編」

図-2 海の潮汐変動による海岸地下水の水位変動
(土と基礎 実用数式・図表の解説／土質工学会編)

海側遮水壁閉合後の降雨や地下水ドレン稼働の影響を受けていない期間(2015年10月29日～11月1日)における海側遮水壁内の地下水位は、約0.9cm(図-3赤文字①～⑮)の変動を伴いながら上昇しているが、2周期/日の潮汐変動(約88cm;図-3青文字①～⑮)との明瞭な同調は見られない。従って、海側遮水壁の透水係数は極めて小さいと考えられる。

海側遮水壁の透水係数を大きめに評価するため、潮汐変動と明瞭な同調が見られていない図-3中の地下水位の変動(赤文字①～⑮)が全て潮汐(青文字①～⑮)の影響によるものと仮定し、式7.15に基づき海側遮水壁の透水係数を算定すると、約 1×10^{-6} cm/sec(換算厚0.5m)となった。

以上より、陸側遮水壁の検討において用いた海側遮水壁の遮水性の想定に対して、同等以上の遮水性を有していると評価した。

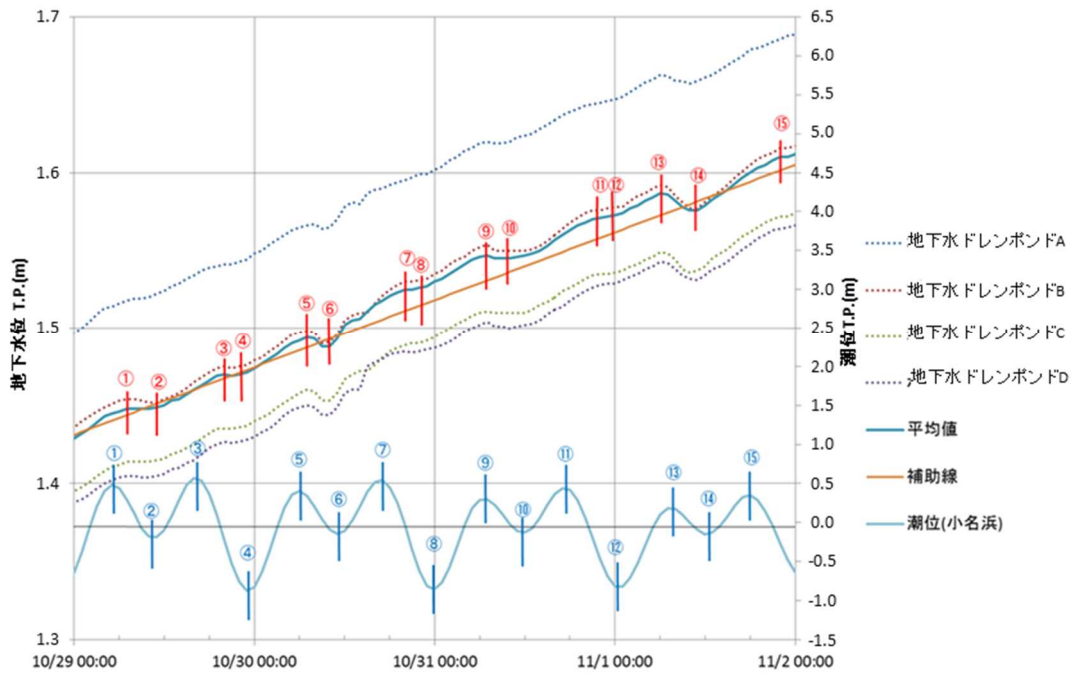
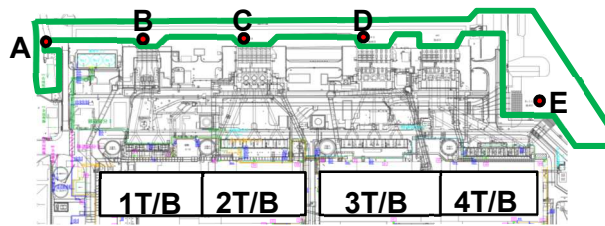


図-3 海側遮水壁閉合後における潮汐と地下水位との関係

以上

陸側遮水壁（海側）の閉合範囲

1. 概要

陸側遮水壁（海側）は1～4号機海水配管トレンチ下部は非凍結とし、残りの部分を凍結する。

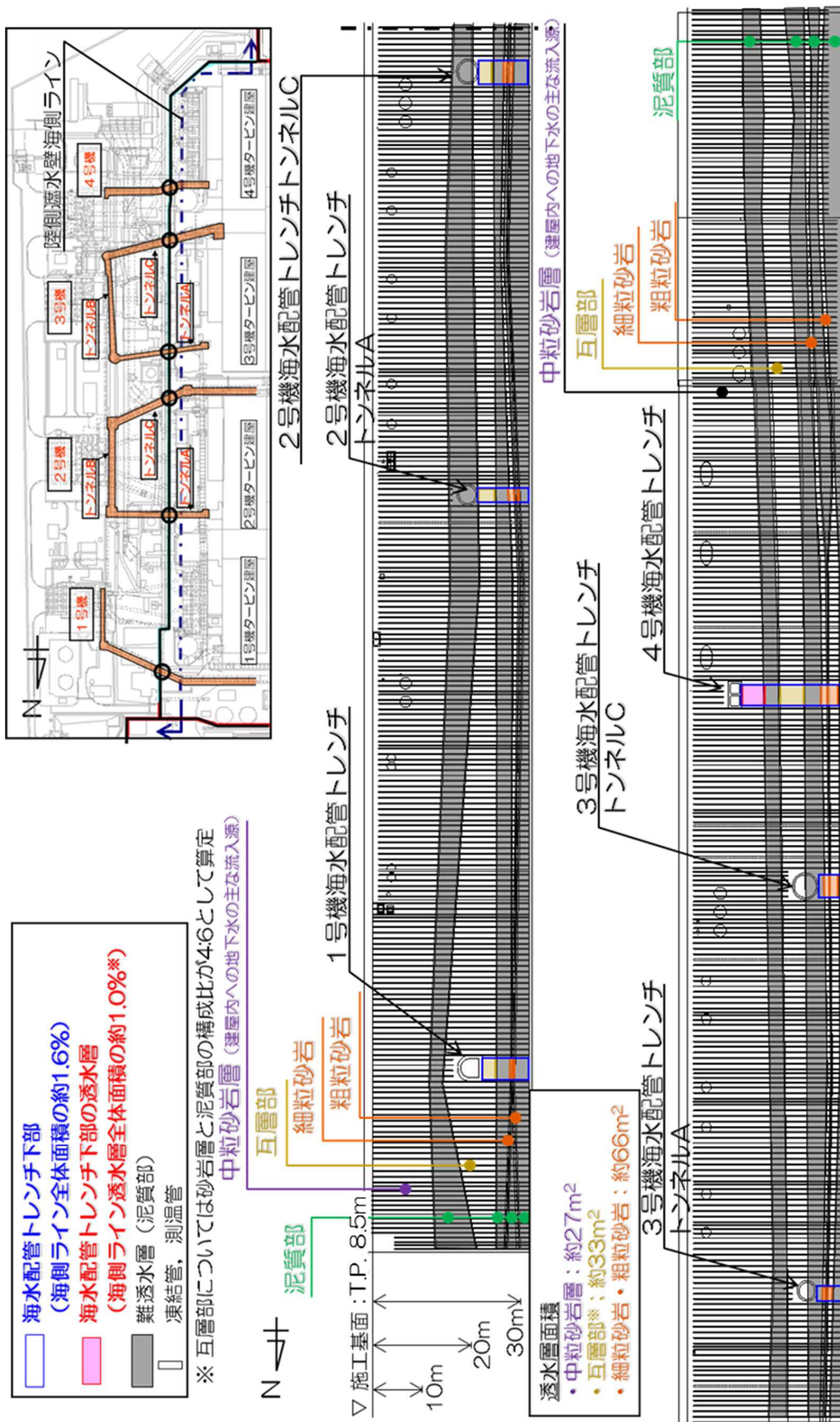
そのため、第一段階の海水配管トレンチ下部の非凍結箇所における地下水流の影響による地盤安定性を評価することを目的として以下の検討を行った。

2. 陸側遮水壁（海側）における海水配管トレンチ下部の非凍結箇所

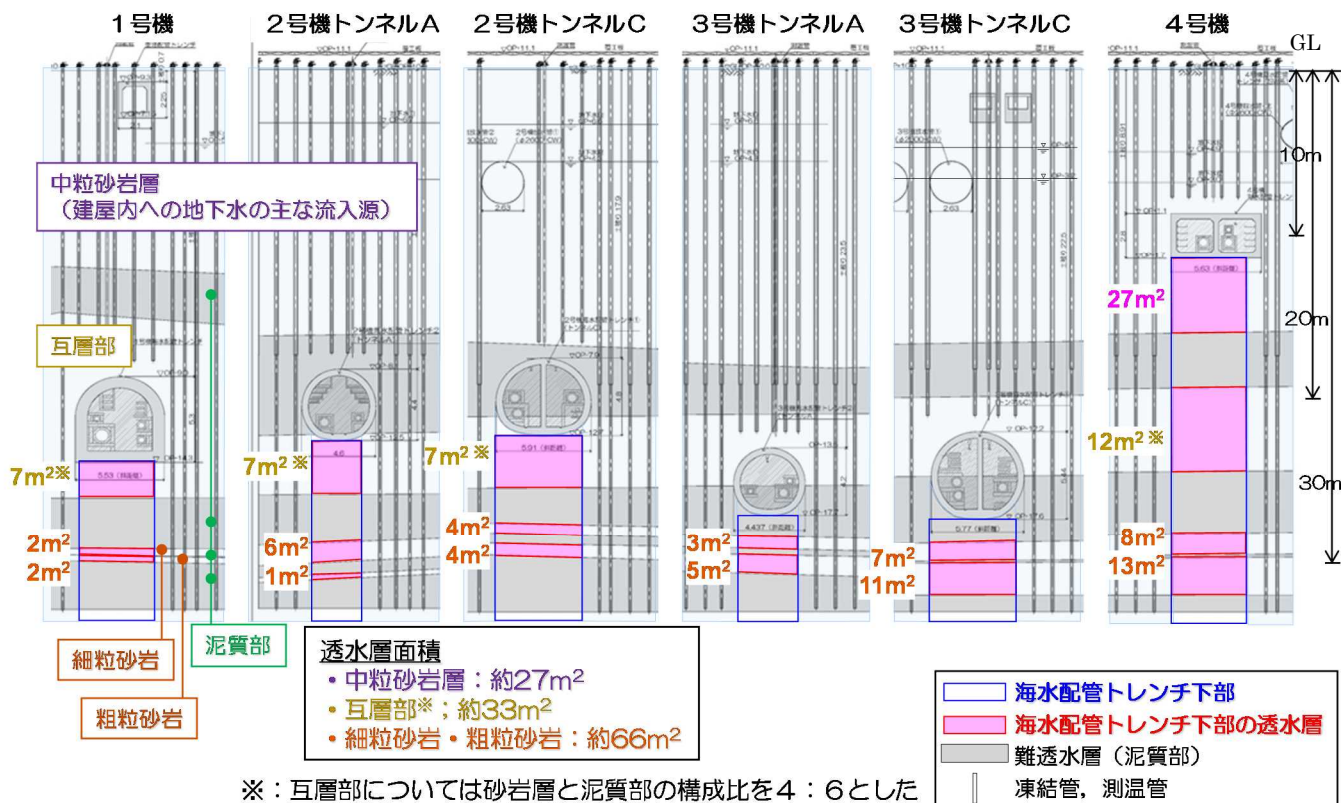
1～4号機海水配管トレンチ（海水配管トレンチ）部においては、削孔ビットがトレンチ内部の配管架台（H鋼等）等と干渉し、削孔に長時間を要することから、まず、海水配管トレンチ下部の地盤を除いた範囲を凍結することとする。その後、海水配管トレンチ近傍で地下水位のモニタリングを実施し、周辺地下水位との比較や建屋流入量への影響などを評価して、海水配管トレンチ下部の施工時期を決める。

従って、第一段階の海側の閉合時には、図－1に示す海水配管トレンチ下部を非凍結（海側ライン全体面積の約1.6%、海側ライン透水層全体面積の約1.0%）とする。

なお、非凍結箇所の透水層面積は中粒砂岩層：約27m²、互層部：約33m²、細粒・粗粒砂岩：約66m²、計126 m²となっている（図－2）。



図一1 海水配管トレンチ下部の非凍結範囲 (概要)



図一 2 海水配管トレンチ下部の非凍結範囲 (詳細)

3. 海水配管トレンチ下部の非凍結箇所を通じた陸側遮水壁外への地下水移動量の評価

海水配管トレンチ下部の非凍結箇所を通じた陸側遮水壁外への地下水移動量を確認するため、陸側遮水壁 (海側) 西側の地下水位が上昇し、移動量が大きくなる第一段階フェーズ1を対象とし、評価を実施した。なお、評価に使用した物性値を表一1に示す。

陸側遮水壁 (海側) 西側の地下水収支計算 (図一3) を、海水配管トレンチ下部の非凍結箇所 (中粒砂岩層, 互層, 細粒・粗粒砂岩) を通じた地下水の移動を考慮して実施し、地下水収支がバランスする地下水位および非凍結箇所を通じた移動量を算定した。ただし、フェーズ1で南北方向へ地下水が移動しないと仮定した。

① 中粒砂岩層・互層

上述の計算により、フェーズ1での中粒砂岩層の地下水位は T.P. 3.5m, 最大上昇量は 1.0m となった。互層は陸側遮水壁 (海側) 内外で中粒砂岩層の上昇量相当の 1.0m の水頭差が生じるとした。海水配管トレンチ下部の非凍結箇所を通じた地下水移動量は、中粒砂岩層が約 60m³/日, 互層が約 20m³/日となった (図一4)。

但し、互層を通じて流出した地下水は、以下の②と同様の経路により、全量、海へ流出すると考えた。

② 細粒・粗粒砂岩

建屋周辺の下部に存在する泥質部は遮水性が高いことから、4号機建屋周辺を除き、下部への地下水の流れは生じ難く、陸側遮水壁（海側）の海水配管トレンチ下部の細粒・粗粒砂岩に一部非凍結の箇所があっても遮水壁内の地下水の移動は考え難い。しかし、ここでは保守的に、海側遮水壁近傍で細粒・粗粒砂岩の圧力が抜けた場合を仮定して、海水配管トレンチ下部の細粒・粗粒砂岩を通じて海へと移動する地下水量を算定した。

①で示した通り、フェーズ1での中粒砂岩層の地下水位はT.P.3.5mとなった。移動経路を図-5に示す通り、陸側遮水壁（海側）西側の互層部→泥質部→細粒・粗粒砂岩→泥質部→互層部→泥質部→海域として算定すると、海水配管トレンチ下の非凍結箇所（細粒・粗粒砂岩）を通じた移動量は約30m³/日となった（図-5）。

表-1 物性値

| 地層区分 | 震災前 | | 震災後 | | 有効間隙率 (実流速換算時) | 備考 |
|-----------------|--------------|---------|--------------|---------|-------------------|--------------------------------|
| | 透水係数(cm/sec) | | 透水係数(cm/sec) | | | |
| 地層名 | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | | |
| 盛土 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 0.46 | |
| 段丘堆積物 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 0.41 | 中粒砂岩層同様 |
| 沖積層 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 0.41 | 文献値 |
| 中粒砂岩 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 0.41 | |
| 中粒砂岩(南側、上部) | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | T.P.3.5m盤の号測線以南範囲 |
| 中粒砂岩(南側、下部) | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 互層 | 1.0E-03 | 1.1E-06 | 1.0E-03 | 1.1E-06 | 0.41 | 異方性考慮 |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 細粒砂岩 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 粗粒砂岩 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 建屋基礎およびMMR | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | コンクリート相当 |
| 建屋側壁 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 0.30 | 感度解析から設定 ^{※1} |
| 既設矢板 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.30 | 感度解析から設定、施工幅0.8m ^{※2} |
| ポンプ室およびピット | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | コンクリート相当 |
| T.P.2.5m盤グラウチング | - | - | 3.0E-05 | 3.0E-05 | 0.30 | 中粒砂岩層の1/100相当、施工幅2m |
| 碎石 | - | - | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 0.41 | 埋立部 |
| 鋼管矢板 | - | - | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | 海側バウンダリ、施工幅2m |
| 陸側遮水壁 | - | - | 0.0E+00 | 0.0E+00 | - | 施工幅2m |

※1:建屋への流入量が400m³/日を再現できる透水係数
 ※2:地下水位(C-3, C-4, C-5)が再現できる透水係数

沖積層の透水係数については実測データがないため、日本の地盤を対象とした地下水データベース（梅田浩司、柳澤孝一、米田茂夫(1995)：日本の地盤を対象とした透水係数データベースの作成、地下水学会誌、第37巻、第1号、1995)の第四紀更新世（平均値：1.2E-03 cm/sec）と第四紀完新世（平均値：5.6E-04 cm/sec）の透水係数の平均値(8.1E-4 cm/sec)から1E-3(cm/sec)と設定した。

T.P.2.5m盤のフェーシングエリア
 における降雨浸透率は0%と仮定。
 ○内の数字は降雨浸透率を30%
 とした場合の参考値。

| | 地下水供給量 (m ³ /日) ① | 降雨浸透量 (m ³ /日) ② | 供給量計 (m ³ /日) ^{※1} ③=①+② | SD水位 (T.P.+m) | SD汲み上 げ量 (m ³ /日) ④ | 建屋流入 量 (m ³ /日) ⑤ | T.P.2.5m盤 汲み上げ量 (m ³ /日) ⑥ | 港湾内へ の移動量 (m ³ /日) ⑦ | 系外への 移動量 (m ³ /日) ⑧ | 支出量計 (m ³ /日) ⑨= Σ④~⑧ |
|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------|---|---------------------------------------|--|--|---|---|
| 海側閉合 平均降雨 | 860 | 190 (250) | 1,050 (1,110) | 3.5 | 700 | 190 | 80 (140) | 30 | 50 | 1,050 (1,110) |

※1 供給量は至近のデータ（2015年11月6日～2016年1月7日）に基づく

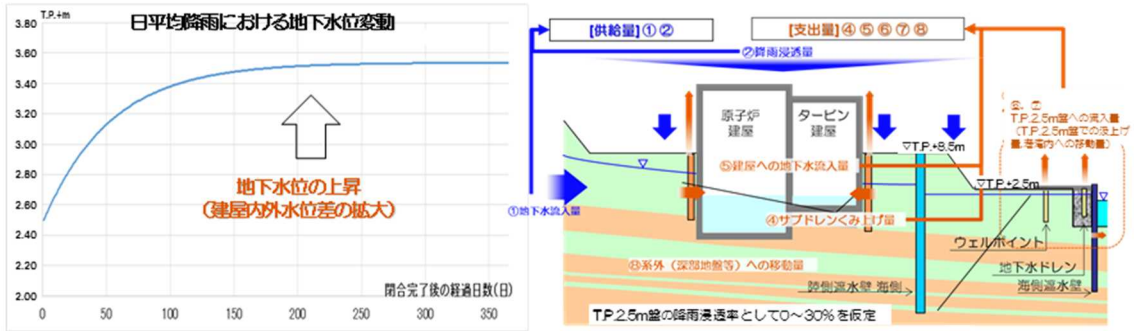
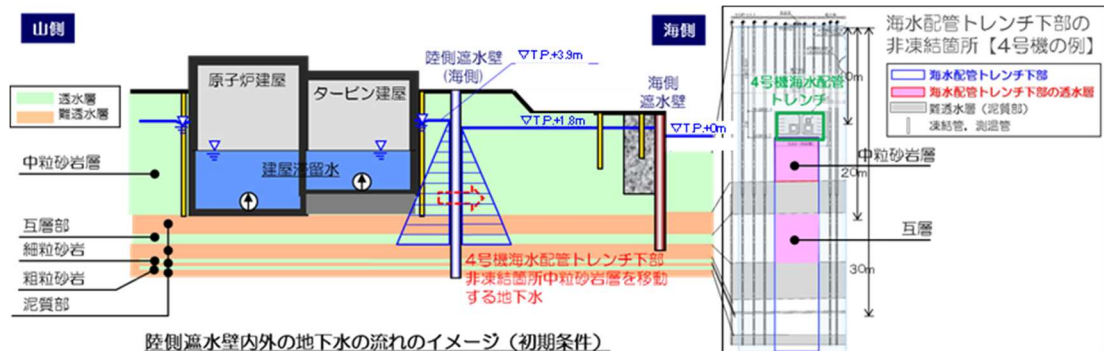


図-3 陸側遮水壁（海側）のみ閉合した場合の地下水収支想定



陸側遮水壁内外の地下水の流れのイメージ (初期条件)

| | 流出量 (m ³ /日) | |
|-------|-------------------------|-----|
| | 中粒砂岩層 | 互層 |
| フェーズ1 | 約60 | 約20 |

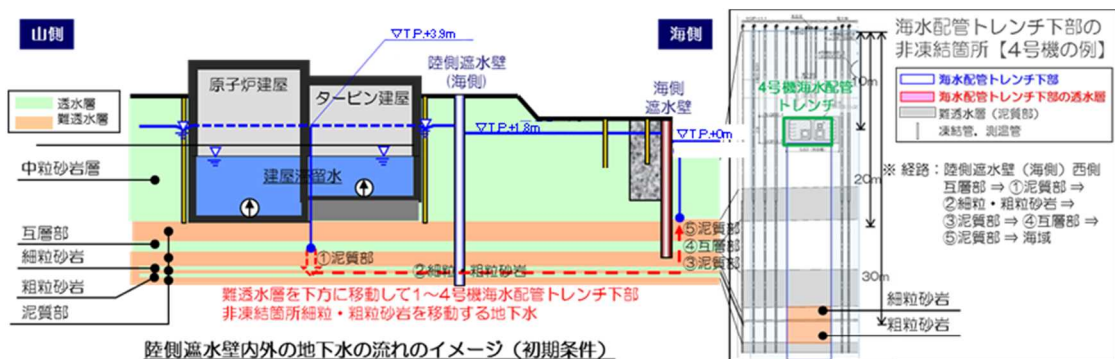
【算定式】

$$Q = A \times k \times \frac{\Delta h}{L}$$

【試算条件】

- 陸側遮水壁 厚さ L : 2m
 - <中粒砂岩層>
 - 中粒砂岩層透水係数 : 3.4×10^{-3} (cm/s, 試験結果対数平均)
 - 水位差 Δh : 1.7 m
 - 【陸側遮水壁 (海側) 西側】 T.P.+3.5m
 - 【陸側遮水壁 (海側) ~ 海側遮水壁】 : T.P.+1.9m
 - 断面積 A : 27m²
 - <互層>
 - 互層透水係数 : 1.3×10^{-3} (cm/s, 試験結果対数平均)
 - 水頭差 Δh : 1.0m (中粒砂岩層上昇相当)
 - 断面積 A : 32m²
- 互層の非凍結箇所から流出した地下水は全量海側に流出すると考えた。

図-4 海水配管トレンチ下部の非凍結箇所を通じた地下水移動量の想定 (第一段階フェーズ1 中粒砂岩層)



陸側遮水壁内外の地下水の流れのイメージ (初期条件)

| | 流出量 (m ³ /日) | |
|-------|-------------------------|--|
| | 細粒・粗粒砂岩 | |
| フェーズ1 | 約30 | |

【算定式】

$$Q = \Delta h \times \frac{k_1 \times \frac{A_1}{L_1} \times k_2 \times \frac{A_2}{L_2}}{K_1 \times \frac{A_1}{L_1} + k_2 \times \frac{A_2}{L_2}}$$

【試算条件】

- 通過経路のうち, ①, ② (陸側遮水壁 (海側) 通過部のみ), ③~⑤の経路通過による圧力損失を考える。
- 圧力損失 Δh : 3.5m
- 【陸側遮水壁 (海側) 西側】 T.P.+3.5m , 【海域】 : T.P.±0m
- ①・③~⑤
 - 透水係数 k : 2.5×10^{-6} (cm/s, 試験結果対数平均)
 - ※ 互層部の鉛直透水係数は泥質部と同一の透水係数に設定
 - 泥質部・互層部厚さ L : 計 18m, 断面積 A : 100,000m² (陸側遮水壁 (海側) 西側面積)
- ② (陸側遮水壁 (海側) 通過部)
 - 透水係数 k : 1.8×10^{-3} (cm/s, 試験結果対数平均)
 - 陸側遮水壁 (海側) 厚さ L : 2m, 断面積 A : 66m² (海水配管トレンチ下部非凍結箇所面積)

図-5 海水配管トレンチ下部の非凍結箇所を通じた地下水移動量の想定 (第一段階フェーズ1 細粒・粗粒砂岩)

4. 海水配管トレンチ下部の非凍結箇所における地下水流速増加に対する地盤の安定性

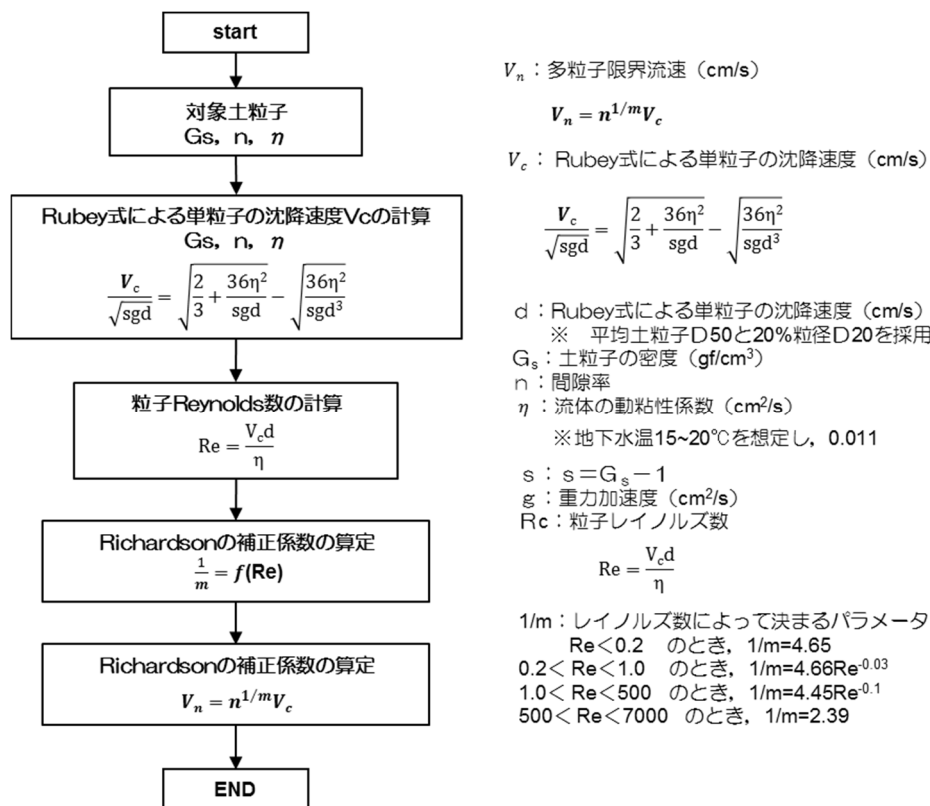
陸側遮水壁（海側）の閉合後，海水配管トレンチ下部の非凍結箇所では，地下水流速が速くなり，地盤中の土粒子が動いて地盤に損傷を与える懸念があることから，地下水流速に対する地盤安定性について評価する。ここでは海水配管トレンチ下部の非凍結箇所の地下水流速による地盤損傷を確認するため，地下水流速が厳しい，第一段階（フェーズ1）を対象とする。

(1) 評価方法

3次元浸透流解析等を用いて，陸側遮水壁（海側）の海水配管トレンチ下部の非凍結箇所の地下水流速を想定し，地盤中の土粒子が地下水の流れにより動き出す時の地下水流速（限界実流速）よりも小さいことを確認する。

具体的には，地盤中の土粒子が動く限界実流速の算定にあたっては，土粒子付近に発生する渦や摩擦等の影響を考慮した「多粒子限界流速の算定式」（杉井他 1997）（図-6）を用いて算定した平均粒径（D50）および20%粒径（D20）における限界実流速が，非凍結箇所の実流速（3次元浸透流解析結果）よりも大きいことを確認する。

なお，評価に用いる土粒子の粒径は，土質試験を複数実施している5号機南側付近（5試料）の試験結果を用いる。



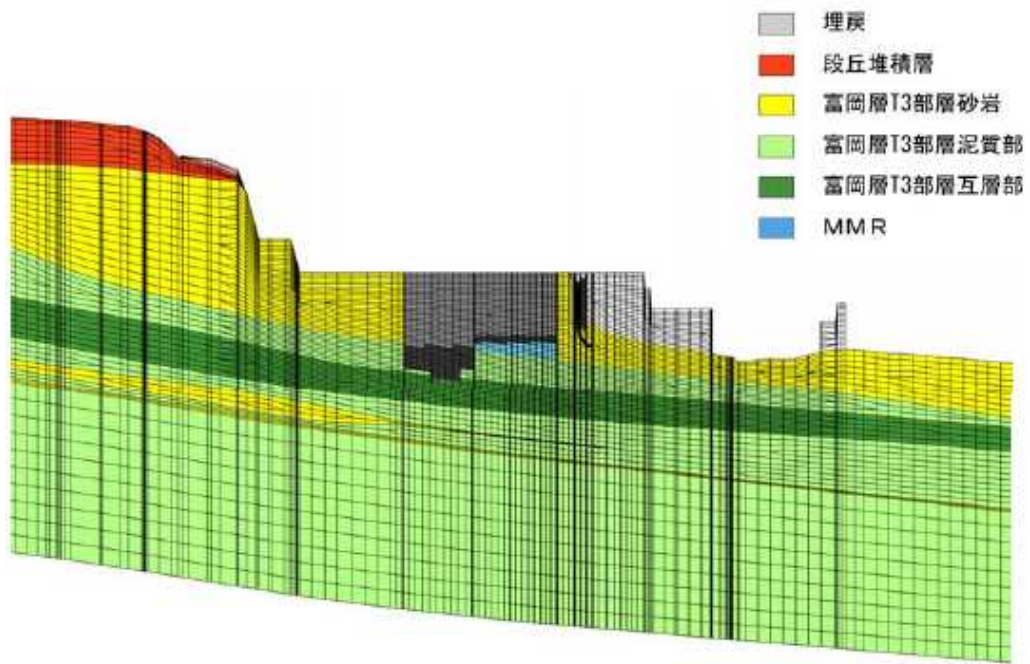
出典 浸透破壊における粒子群を考慮した限界流速 (1997, 杉井, 宇野, 山田ら)

図-6 多粒子限界流速の算定式フロー

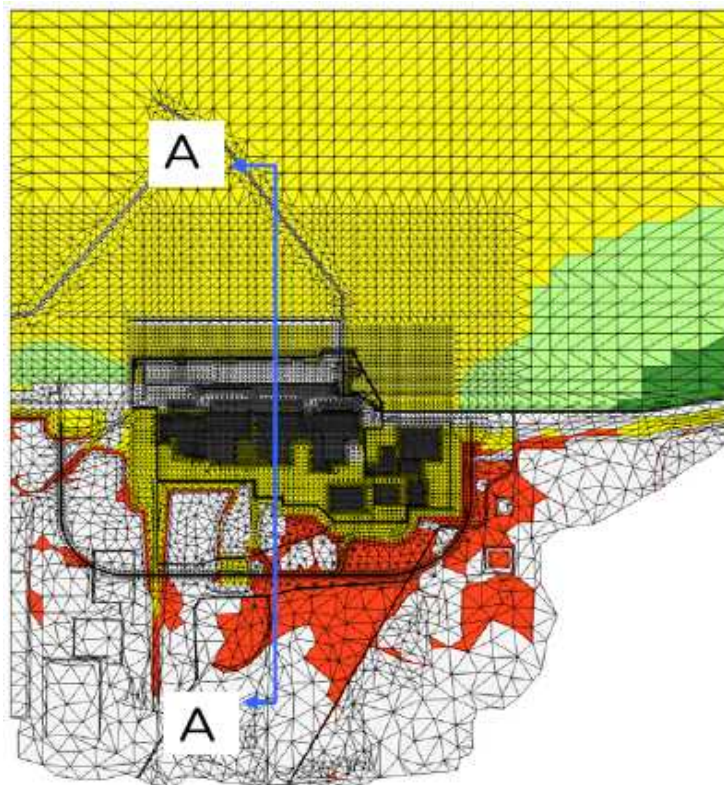
(2) 非凍結箇所における地下水実流速の想定

海側のみを閉合した条件で、3次元浸透流解析を用いて海水配管トレンチ下部の透水層における流速を基に、実流速を算定した。解析モデルを図-7に、物性値は表-1に、解析条件を表-2に、解析により算定した地下水分布を図-8、9に示す。その結果、表-3に示す通り、1号機海水配管トレンチ下部の互層部において地下水実流速が最大となり3.6m/day (4.2×10^{-3} cm/s)程度になった。

上記解析では、陸側遮水壁(山側)の北側一部を未閉合の状態で評価している。この影響を保守的に考慮するため、「3.②」で述べた建屋周辺地下水位の地下水収支計算上における最大上昇量(約1.0m)を、上記3次元浸透流解析により得られた陸側遮水壁(海側)内外の水位差に考慮し、地下水実流速を求めた。その結果、1号機海水配管トレンチ下部の互層部における地下水実流速は、7.2m/day (8.3×10^{-3} cm/s)程度になった。



【断面図 (A-A)】



【平面図】

図-7 解析モデル

表-2 3次元浸透流解析に用いた計算条件

| 各設備 | | 解析条件 |
|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 降雨量 | | 年平均降雨量1,545mm (建屋以外の領域に降雨) |
| 降雨浸透率 | | 55% |
| 海側(鋼管)遮水壁 | | 閉合 |
| T.P.2.5m盤 | 地盤改良 | 海側のみ |
| | 揚水工(ケルヒン1号) | T.P. 1.9m |
| | 地下水ドレン | T.P. 1.9m |
| | フェーシング | 100% |
| T.P.2.5~8.5m盤 | フェーシング | 0% |
| T.P.8.5m盤 (陸側遮水壁内) | フェーシング | 0% |
| | 1~4号建屋水位 | T.P. 1.5m |
| | サブドレン | T.P. 2.5m |
| | 陸側遮水壁 | 海側:閉合 山側:0% |
| T.P.33.5m盤 | 注水井からの注水 | 無 |
| | 地下水バイパス | 稼働 |

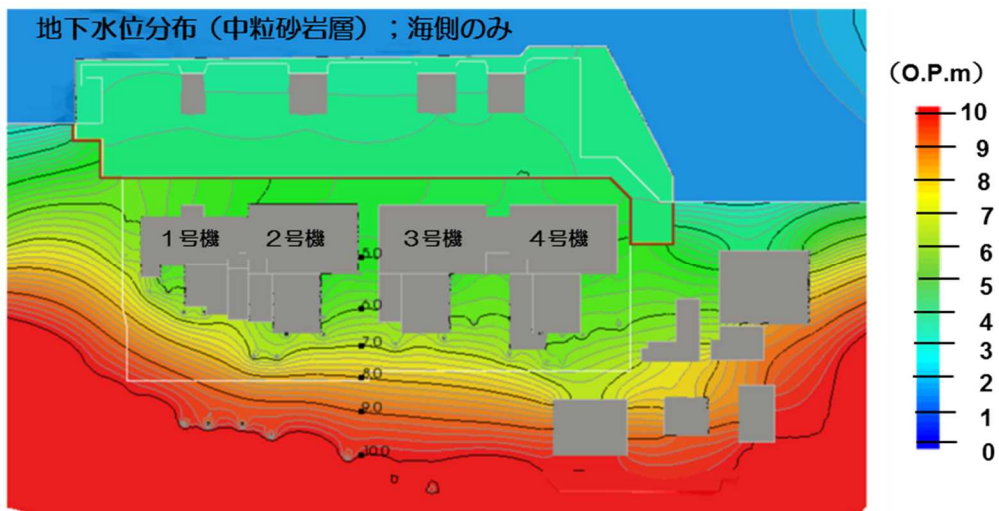


図-8 3次元浸透流解析結果による地下水水位分布（中粒砂岩層）

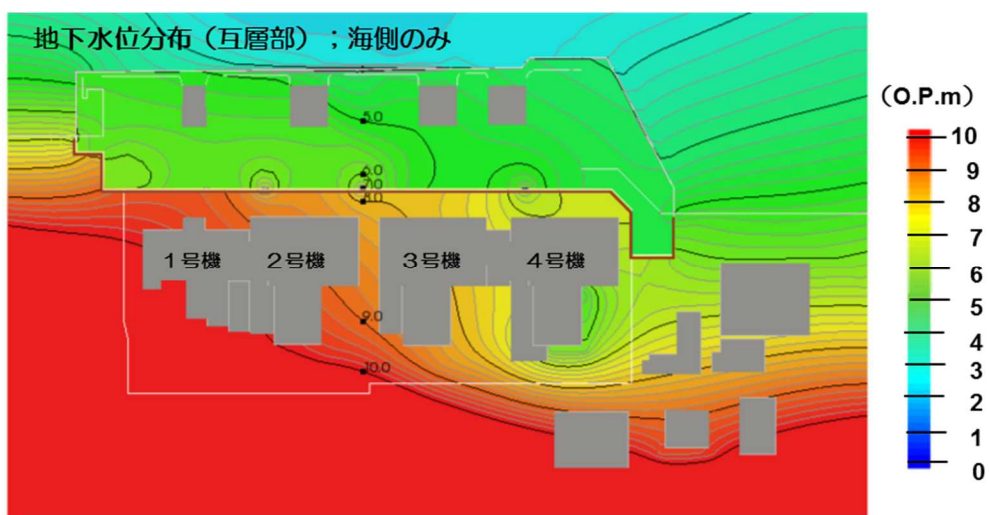


図-9 3次元浸透流解析結果による地下水水位分布（互層部）

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。

T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算する。

<換算式> $T.P. = \text{旧 O.P.} - 1,436\text{mm}$

表－3 非凍結箇所での最大流速（3次元浸透流解析結果）

| | 中粒砂岩層 | 互層部 | 細粒砂岩 | 粗粒砂岩 |
|-----------------|-------|------|------|------|
| 最大流速が発生する箇所 | 4号機下 | 1号機下 | 1号機下 | 1号機下 |
| ダルシー流速 (cm/day) | 27.4 | 42.8 | 54 | 39.1 |
| 実流速① (cm/day) | 66.8 | 261 | 132 | 95.4 |
| 実流速② (cm/day) | 91.3 | 357 | 180 | 130 |

①有効間隙率：41%，②有効間隙率:30%

互層部内のうち砂岩のみ地下水が流れるものと仮定（砂岩：泥岩=4:6）

(3) 互層部の土質試験結果

土質試験結果（5号機南側，5試料）による互層部（互層部中の砂岩）の粒度試験結果は表－4に示す通り，20%粒径は0.205mm，平均粒径は0.306mmであった。

表－4 粒度試験結果（5号機南側付近 互層部内の砂岩）

（単位：mm）

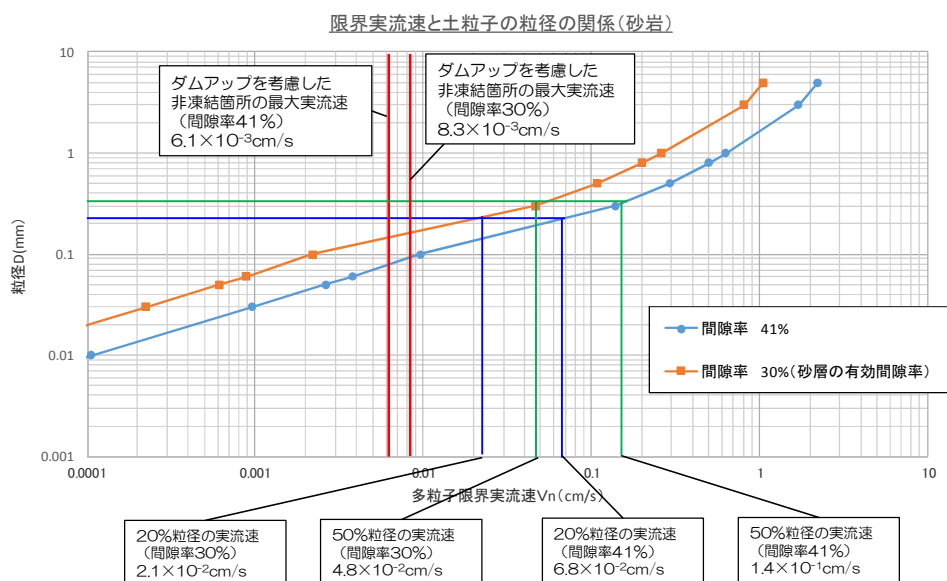
| ボーリング名 | 20%粒径 | 平均粒径 |
|---------|-------|-------|
| ow5c-8 | 0.190 | 0.300 |
| ow5c-10 | 0.180 | 0.300 |
| ow6c-8 | 0.220 | 0.320 |
| ow6c-9 | 0.235 | 0.310 |
| ow7c-10 | 0.200 | 0.300 |
| 平均値 | 0.205 | 0.306 |

20%粒径をD20，平均粒径をD50とした

(4) 陸側遮水壁（海側）の非凍結箇所での地盤安定性の評価

地盤中の土粒子が動き出す時の最大流速（限界実流速）と土粒子の関係，想定最大実流速を図-10に示す。20%粒径および50%粒径の限界実流速は，間隙率が30%（砂層の有効間隙率），41%（室内試験値）のいずれの条件でも，想定最大実流速の方が小さい結果となった。

以上より，陸側遮水壁の海側の非凍結箇所は，地盤安定上は問題ないものと評価する。



※ 水平方向における土粒子の抵抗を考慮して多粒子限界実流速は「多粒子限界実流速の算定式」の算出結果に摩擦係数（内部摩擦角 38.5° ）を乗じた値としている。内部摩擦角は、「福島第一原子力発電所 原子炉変更許可申請書」を参照。

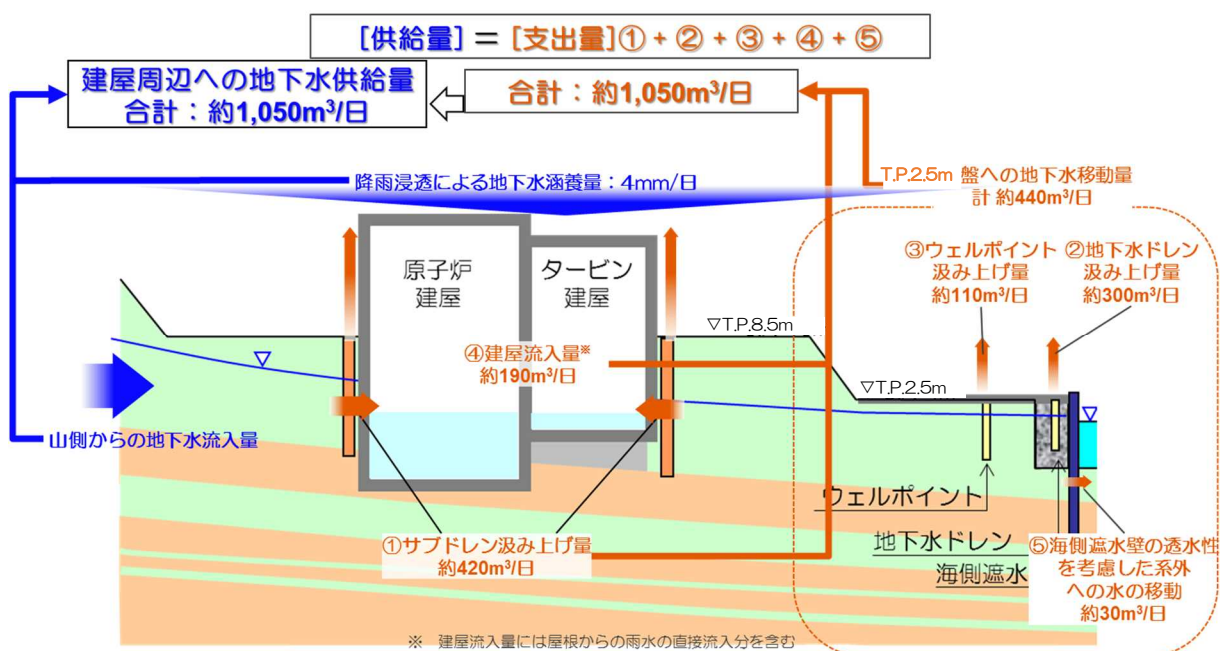
図-10 限界実流速と土粒子の粒径の関係および想定最大実流速

以上

地下水収支と地下水位低下挙動

1. 陸側遮水壁閉合前の建屋周辺への地下水供給量

陸側遮水壁閉合前の建屋周辺への地下水供給量については、地下水ドレンの汲み上げを開始した2015年11月6日から2016年1月7日までの間の建屋流入量・各種汲み上げ量の実績等から、1,050m³/日程度（下式）と評価した。



図－1 陸側遮水壁閉合前の建屋周辺への地下水供給量の評価結果

2. 陸側遮水壁閉合後の地下水収支と地下水位低下挙動

陸側遮水壁山側の段階閉合時における地下水遮断率ごとの地下水収支、地下水位低下挙動を評価する。

(1) 評価の考え方と仮定

①地下水収支

陸側遮水壁閉合域内の地下水収支は、下式で表せる（図－2参照）。

降雨浸透による地下水涵養量【E】＋ 山側からの地下水流入量【F】＝
サブドレン汲み上げ量【A】＋建屋流入量【B】＋T.P. 2.5m盤への地下水移動量【C】
＋ 陸側遮水壁閉合範囲外（深部地盤等）への移動量【D】

上流からの地下水流入量が減少すると、閉合域内の地下水位が低下するとともに、A、B、C、D各々が減少する。ここで、Eは定数、Fは地下水遮断率のみに、B、C、Dは、地下水位のみに依存すると仮定すると、Aは、E＋FとB＋C＋Dの差分で示すことができる。下記のように地下水遮断率を設定し、収束計算により、地下水位、並びにA、B、C、Dを算定する。

なお、ここでは、以下を仮定する。

- ・地下水遮断率：50%，90%，100%
- ・降雨浸透率：T.P. 2.5m 盤以外：55%，T.P. 2.5m 盤：0%※，(参考)30%※

※段階閉合時の地下水位低下量に関して、降雨による地下水涵養量を少なく評価するために、T.P. 2.5m 盤のフェーシング効果を100%見込み、降雨浸透率を0%と仮定した。

なお、参考として、浸透率を30%とした場合の評価も併せて示す。

- ・降雨量：12ヶ月間累積最小降雨（【参考】参照）にもとづき、2mm/日（ $\div 763\text{mm}/365$ 日）とする。
- ・地下水位：閉合域内の地下水位は一様に変動する
- ・建屋流入量：建屋滞留水水位とT.P. 8.5m 盤地下水位（サブドレン水位）との水位差に比例する
- ・T.P. 2.5m 盤への地下水移動量：T.P. 8.5m 盤地下水位（サブドレン水位）とT.P. 2.5m 盤地下水位との水位差に比例する。但し、互層を通じた地下水の移動は考慮しない。（別紙－4 図－4参照）
- ・陸側遮水壁閉合範囲外（深部地盤等）への移動量：深部地盤への地下水の移動が存在すると仮定し、T.P. 8.5m 盤地下水位（サブドレン水位）と潮位との水位差に比例する（別紙－4 図－5参照）
- ・陸側遮水壁閉合範囲内の地下水位（サブドレン水位）の初期値：T.P. +2.5m

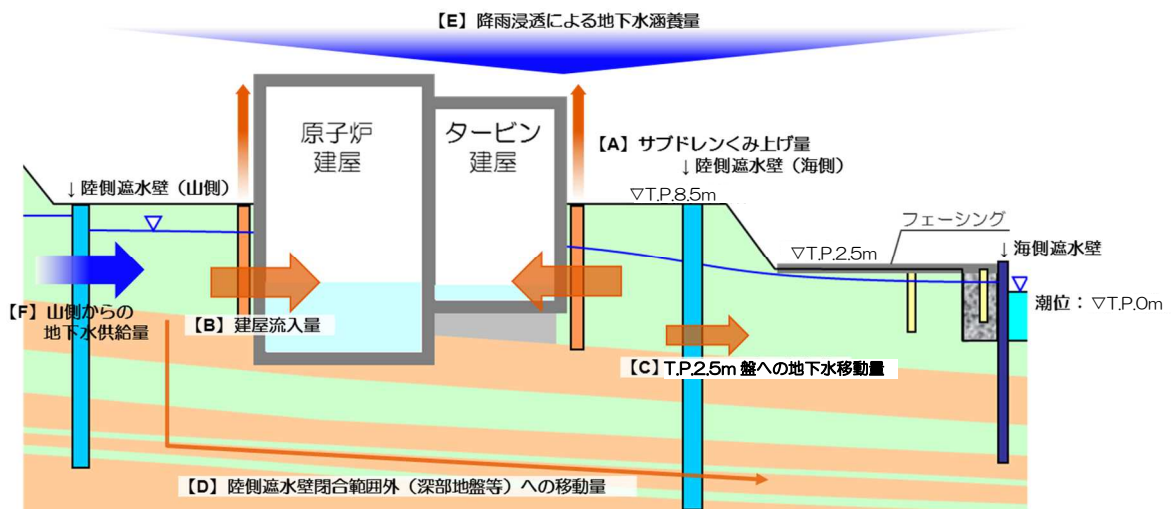
- T. P. 6m～2.5m 盤の地下水位の初期値：T. P. +1.9m

②地下水水位低下挙動

設定した遮断率の状態が、長期間継続すると仮定し、その期間の地下水水位低下量の時間的変動を評価する。評価は地下水遮断率を 50% (ケース 1)、90% (ケース 2)、100% (ケース 3) の 3 ケースについて行う。①の考え方をもとに、建屋滞留水水位を固定し、降雨浸透による涵養量および建屋流入量等の地下水収支に基づき、地下水水位の変化量を算出する。変化後の地下水位を基に地下水収支を算出し、地下水水位変化量を算出する繰り返し計算により地下水水位低下量の時間的変動を評価する。

ここでは、①の仮定のうち、以下を変更する。

- 降雨量：1～12ヶ月間の累積最小降雨（【参考】参照）にもとづき、各月の降雨量から、1日あたりの降雨量を評価。
- 降雨浸透率：T. P. 2.5m 盤以外：55%，T. P. 2.5m 盤：0%



図－2 地下水収支・地下水水位変動量の時間的変動の算定に関わる各種項目

(2) 評価結果

①地下水収支 (図－3)

地下水遮断率を 50%とした場合において建屋流入量は現状より減少するものの、サブドレン汲み上げ量は現状とほぼ変わらない結果であった。

地下水遮断率を 90%とした場合においても、サブドレン汲み上げ量は約 30m³/日程度であり、サブドレン水位は T. P. 2.5m を維持している。

| 地下水遮断率 | 山側からの地下水流入量① (m ³ /日) | 降雨浸透による地下水涵養量② (m ³ /日) | 供給量計③=①+② (m ³ /日) | サブドレン水位 (T.P.m) | サブドレン汲み上げ量④ (m ³ /日) | 建屋流入量⑤ (m ³ /日) | 4m盤汲み上げ量⑥ (m ³ /日) | 港湾内への移動量⑦ (m ³ /日) | 支出量計⑧=Σ④~⑦ (m ³ /日) |
|----------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 0%現状 | 860 | 190 | 1050 | 3.5 | 420 | 190 | 410 | 30 | 1050 |
| 50%最小降雨 | 430 | 100(130) | 530(560) | 2.5 | 370 | 90 | 40(70) | 30 | 530(560) |
| 90%最小降雨 | 90 | 100(130) | 190(220) | 2.5 | 30 | 90 | 40(70) | 30 | 190(220) |
| 100%最小降雨 | 0 | 100(130) | 100(130) | 2.0 | 0 | 50 | 20(50) | 30 | 100(130) |

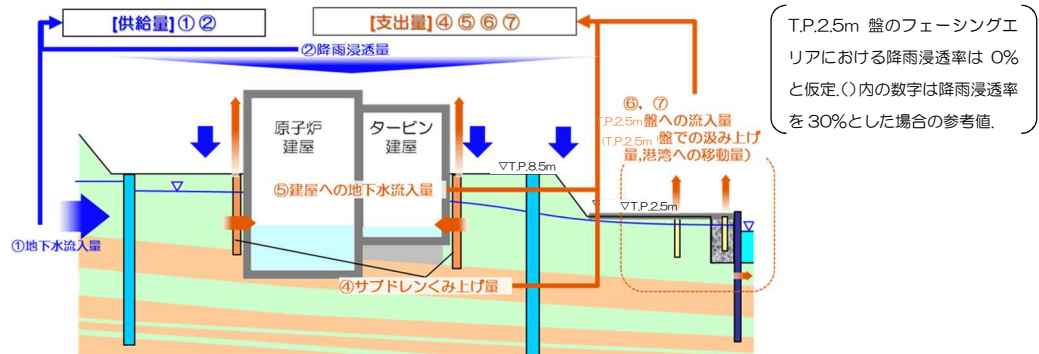


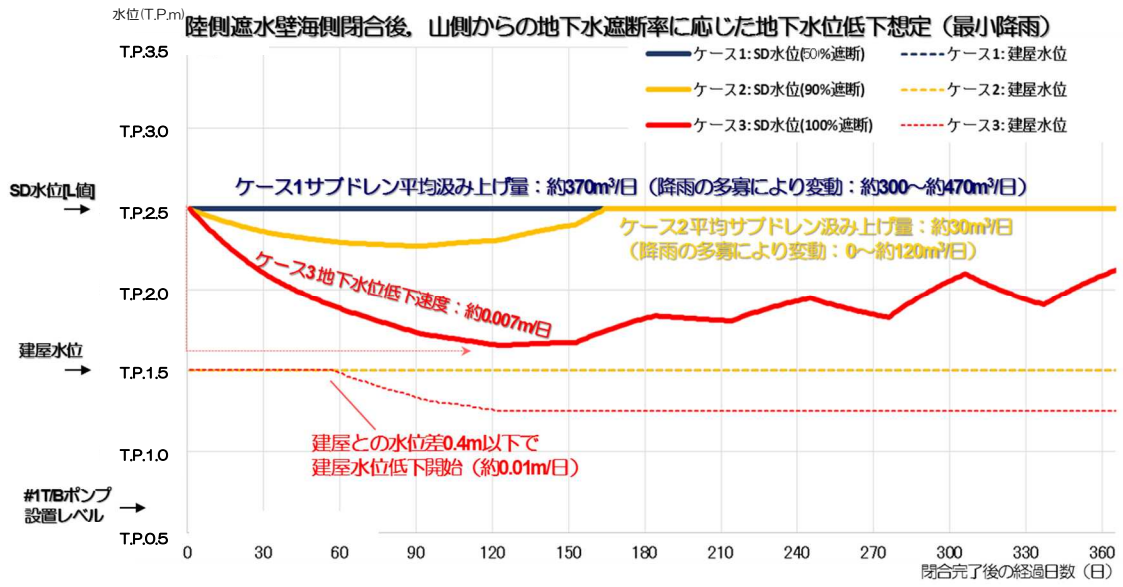
図-3 山側からの地下水流入の遮断率に応じた地下水収支イメージ

②地下水水位低下挙動 (図-4)

ケース 1 (遮断率 50%) では、上流からの地下水の流入および降雨浸透が日平均で約 530m³/日あり、サブドレンの稼働が継続し、地下水水位は平均的に T.P. 2.5m に維持される。

ケース 2 (遮断率 90%) では、供給量が日平均で約 190m³/日あり、少雨時期にはサブドレン稼働水位以下まで地下水水位が低下するものの、降雨とともに徐々に水位が回復し、サブドレンが稼働すると評価できる。

一方、ケース 3 (遮断 100%) では、山側からの流入が完全に遮断されるため、地下水水位は低下するが、その地下水水位低下量 (最大約 0.007m/日) は建屋滞留水水位制御能力 (約 0.01m/日) 以下であり、建屋内外水位差が逆転することはないと評価している。なお、降雨とともに水位が回復し、建屋との水位差を保持した状態で推移する。



図－4 山側からの地下水流入の遮断率に応じた地下水変動の想定

【参考】浪江地点の1～12ヶ月累積最小降雨

降雨条件については、地域気象観測システム（アメダス）浪江地点の30年間の降水実績（気象庁HPより）から、下表のように1～12ヶ月累積最小降雨（対象月は表-1のとおり）および、降水量の月間差分を算出し、設定した。なお、サイトが位置する大熊地点（福島第一原子力発電所構内）の降水量とほぼ同程度であることを確認済みであり、長期間のデータの信頼性（欠測期間の有無・長さ）を考慮し、浪江地点の降水量実績を用いることとした。

表-1 浪江地点の1～12ヶ月の累積最小降雨の設定

| 月間 | 時期 | 降水量 (mm) | 降水量月間差分 (mm) |
|----|---------------------|-------------|-----------------|
| 1 | 1985年1月 1995年12月 | 2 | 2 |
| 2 | 1977年1～2月 | 11 | 9 |
| 3 | 1995年12月～1996年2月 | 25 | 14 |
| 4 | 1998年11月～1999年2月 | 54 | 29 |
| 5 | 1995年10月～1996年2月 | 105 | 51 |
| 6 | 1995年10月～1996年3月 | 200 | 95 |
| 7 | 1995年10月～1996年4月 | 262 | 62 |
| 8 | 1995年10月～1996年5月 | 369 | 107 |
| 9 | 1995年10月～1996年6月 | 421 | 52 |
| 10 | 1995年10月～1996年7月 | 569 | 148 |
| 11 | 1995年10月～1996年8月 | 619 | 50 |
| 12 | 1983年10月～1984年9月 | 763 | 144 |

以上

陸側遮水壁（山側）の閉合率と地下水遮断率の関係

1. 閉合率と地下水遮断率の関係

未凍結箇所では地下水の流れが集中して流速が大きくなり流入量が増加することから、陸側遮水壁（山側）閉合による山側からの地下水流入の減少の割合（地下水遮断率）は、陸側遮水壁（山側）総延長に対する凍結長さの割合（閉合率）より小さくなる。

ここでは、閉合率と地下水遮断率の関係について、解析を用いて評価する。

(1) 評価方法

陸側遮水壁（山側）を段階的に凍結した場合の、閉合率と地下水遮断率の関係について、3次元浸透流解析を用いて評価した。

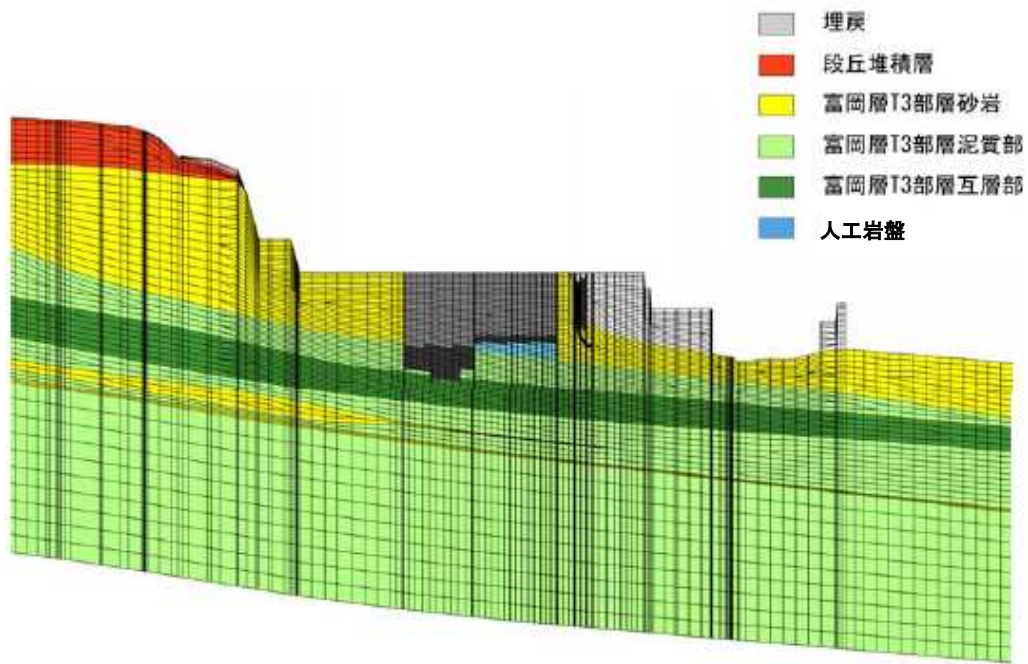
解析モデルを図-1に、物性値を表-1に、解析条件を図-2に示す。

解析ケースは、ケース1が陸側遮水壁（山側）の閉合率が0%の場合、ケース2と2'で「未凍結箇所の中粒砂岩の透水係数（現地透水試験結果の平均値と最小値）」を、ケース2と3で「未凍結箇所の配置（南北面への配置の有無）」をパラメータとして設定した。

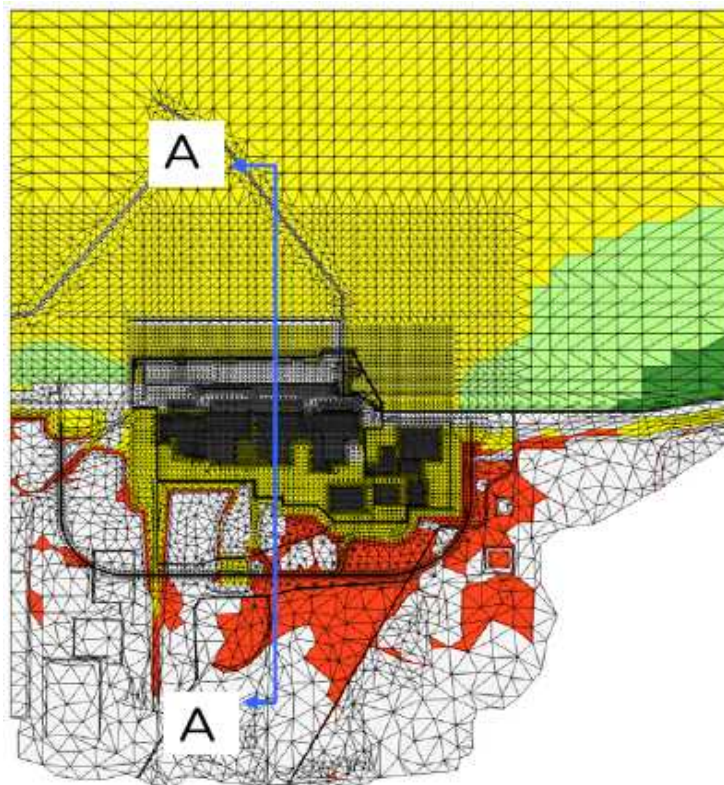
山側からの地下水流入量は、①建屋流入量、②サブドレンくみ上げ量、③海水配管トレンチ下の未凍結箇所を通じたT.P. 2.5m盤への地下水流出量から、陸側遮水壁内の降雨浸透量（④）を除いた量（①+②+③-④）と算定した。地下水遮断率は、陸側遮水壁（山側）の閉合率が0%の場合（ケース1）の地下水流入量に対する、閉合率が約95%の場合（ケース2, 2', 3）の地下水流入量の減少率として算定した。

(2) 評価結果

陸側遮水壁（山側）の閉合率95%の場合の地下水遮断率は、約50~60%であった。



【断面図 (A-A)】 (縦・横で縮尺は異なる)



【平面図】

図-1 解析モデル

表-1 物性値

| 地層区分 | 震災前 | | 震災後 | | 有効間隙率 (実流速換算時) | 備考 |
|-----------------|--------------|---------|--------------|---------|-------------------|--------------------------------|
| | 透水係数(cm/sec) | | 透水係数(cm/sec) | | | |
| 地層名 | 水平 | 鉛直 | 水平 | 鉛直 | | |
| 盛土 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 2.8E-03 | 0.46 | |
| 段丘堆積物 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 0.41 | 中粒砂岩層同様 |
| 沖積層 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 1.0E-03 | 0.41 | 文献値 |
| 中粒砂岩 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 3.0E-03 | 0.41 | |
| 中粒砂岩(南側、上部) | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | T.P.33.5m 盤の号側線以南範囲 |
| 中粒砂岩(南側、下部) | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 互層 | 1.0E-03 | 1.1E-06 | 1.0E-03 | 1.1E-06 | 0.41 | 異方性考慮 |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 細粒砂岩 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 2.3E-03 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 粗粒砂岩 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 2.0E-03 | 0.41 | |
| 泥岩 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 1.1E-06 | 0.54 | |
| 建屋基礎およびMMR | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | コンクリート相当 |
| 建屋側壁 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 0.30 | 感度解析から設定 ^{※1} |
| 既設矢板 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-04 | 1.0E-04 | 0.30 | 感度解析から設定、施工幅0.8m ^{※2} |
| ポンプ室およびピット | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | コンクリート相当 |
| T.P.25m 盤グラウチング | - | - | 3.0E-05 | 3.0E-05 | 0.30 | 中粒砂岩層の1/100相当、施工幅2m |
| 碎石 | - | - | 1.0E-01 | 1.0E-01 | 0.41 | 埋立部 |
| 鋼管矢板 | - | - | 1.0E-06 | 1.0E-06 | 0.30 | 海側バウンダリ、施工幅2m |
| 陸側遮水壁 | - | - | 0.0E+00 | 0.0E+00 | - | 施工幅2m |

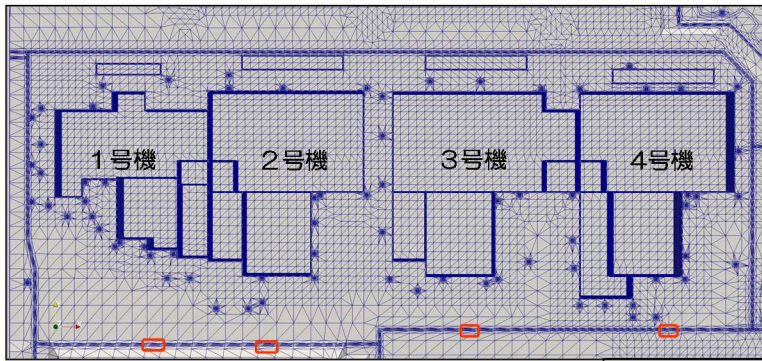
※1: 建屋への流入量が400m³/日を再現できる透水係数
 ※2: 地下水位(C-3, C-4, C-5)が再現できる透水係数

沖積層の透水係数については実測データがないため、日本の地盤を対象とした地下水データベース(梅田浩司, 柳澤孝一, 米田茂夫(1995): 日本の地盤を対象とした透水係数データベースの作成, 地下水学会誌, 第37巻, 第1号, 1995)の第四紀更新世(平均値: 1.2E-03 cm/sec)と第四紀完新世(平均値: 5.6E-04 cm/sec)の透水係数の平均値(8.1E-4 cm/sec)から1E-3(cm/sec)と設定した。

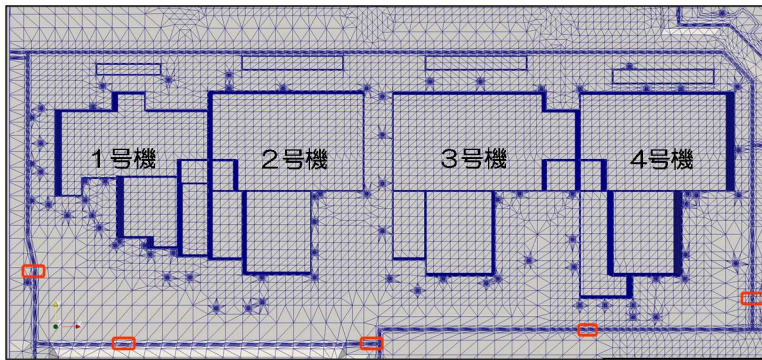
検討ケース

| | 陸側遮水壁 (山側)の閉合率 | 未凍結箇所配置 | 未凍結箇所 中粒砂岩層の透水係数※1 |
|-------|-------------------|---------------|----------------------------------|
| ケース1 | 0% | | |
| ケース2 | 95% | 西側4箇所 | $3.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ |
| ケース2' | | 西側4箇所 | $1.4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ |
| ケース3 | | 西側3箇所, 南北各1箇所 | $3.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ |

※1 透水係数は、現地透水試験結果の平均値 ($3.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) と最小値 ($1.4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) とした。



未凍結箇所の配置 (ケース2, 2') □ 未凍結箇所



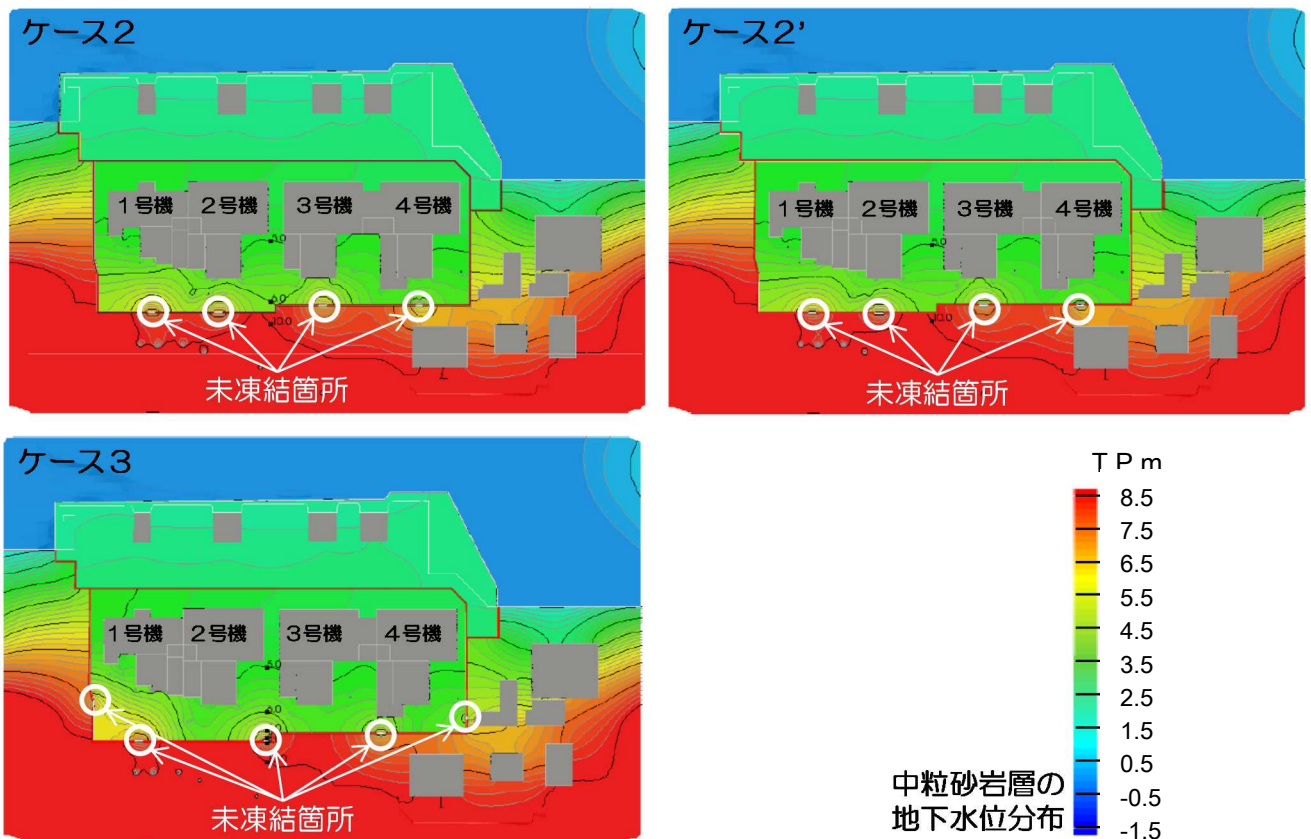
未凍結箇所の配置 (ケース3) □ 未凍結箇所

解析条件設定

| 各設備 | | 解析条件 |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 海側(鋼管)遮水壁 | | 閉合 |
| T.P.2.5m 盤 | 地盤改良 揚水工 (ウエル・イト) | 海側のみ |
| | 地下水ドレン | T.P.1.9m |
| | フェーシング | 100% |
| T.P.2.5~8.5m 盤 | フェーシング | 0% |
| | フェーシング | 0% |
| T.P.8.5m 盤 (陸側遮水壁内) | 1~4号建屋水位 | T.P.1.5m |
| | サブドレン | T.P.2.5m |
| | 陸側遮水壁 | 海側: 閉合 山側: 検討ケース参照 |
| | 注水井からの注水 | 無 |
| T.P.33.5m 盤 | 地下水バイパス | 稼働 |

| | | |
|-----------|---------------------------|----------------|
| 降雨量 | 約4mm/日 一定 (建屋以外の領域に降雨) | 年平均降雨量1,545mm |
| 降雨 浸透率 | 55% | 汚染水処理対策委員会報告より |

図-2 閉合率と地下水遮断率に関する解析条件



浸透流解析の結果
 ※2 陸側遮水壁内の面積を64,000m²として算定
 ※3 ケース1に対する地下水流入量の減少率

| | 閉合率 | 建屋流入量 ① | サブドレン 汲上げ量② | 海水配管トレンチ下の T.P. 2.5m盤への流出③ | 降雨浸透量 ④※2 | 地下水流入量 ⑤=①+②+③-④ | 地下水 遮断率※3 |
|-------|-----|------------|----------------|-------------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| ケース1 | 0% | 230 | 370 | 5 | 140 | 465 | — |
| ケース2 | 95% | 180 | 170 | 5 | 140 | 215 | 54% |
| ケース2' | 95% | 170 | 150 | 5 | 140 | 185 | 60% |
| ケース3 | 95% | 170 | 170 | 5 | 140 | 205 | 56% |

図－3 閉合率と地下水遮断率に関する解析結果

2. 地下水流速増加に対する地盤の安定性

未凍結箇所では、地下水流速が速くなり、地盤中の土粒子が動いて地盤に損傷を与える懸念があることから、地下水流速に対する地盤安定性について評価した。

(1) 評価方法

別紙－4 3. (1)と同様とした。

(2) 未凍結箇所の実流速の想定

「1. 閉合率と地下水遮断率の関係」についての解析結果のうち、地下水流速が最も大きい「ケース2」を検討対象として、実流速を想定した。その結果、表－2に示す通り、

1号機西側の互層部において地下水実流速が最大となり 2.6m/day (3.0×10^{-3} cm/s) 程度になった。

表-2 未凍結箇所最大の流速 (3次元浸透流解析結果)

| | 中粒砂岩層 | 互層部* | 細粒砂岩 | 粗粒砂岩 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| ダルシー流速 (cm/day) | 74 | 31 | 40 | 55 |
| 実流速① (cm/day) | 180.5 | 189.0 | 97.6 | 134.1 |
| 実流速② (cm/day) | 246.7 | 258.3 | 133.3 | 183.3 |

①間隙率41%、②有効間隙率30%

※互層部内のうち砂岩のみ地下水が流れるものと仮定 (砂岩：泥岩=4:6)

(3) 互層部の土質試験結果

土質試験結果 (5号機南側, 5試料) による互層部 (互層部中の砂岩) の粒度試験結果は表-3に示す通り。20%粒径は0.205mm, 平均粒径は0.306mmであった。

表-3 粒度試験結果 (5号機南側付近 互層部内の砂岩)

(単位: mm)

| ボーリング名 | 20%粒径 | 平均粒径 |
|---------|-------|-------|
| ow5c-8 | 0.190 | 0.300 |
| ow5c-10 | 0.180 | 0.300 |
| ow6c-8 | 0.220 | 0.320 |
| ow6c-9 | 0.235 | 0.310 |
| ow7c-10 | 0.200 | 0.300 |
| 平均値 | 0.205 | 0.306 |

20%粒径をD20, 平均粒径をD50とした

(4) 陸側遮水壁 (山側) の未凍結箇所の地盤安定性の評価

地盤中の土粒子が動き出す時の最大流速 (限界実流速) と土粒子の関係, 想定最大実流速を図-4に示す。20%粒径および50%粒径の限界実流速は, 間隙率が30% (砂層の有効間隙率), 41% (室内試験値) のいずれの条件でも, 想定最大実流速より1オーダー程度大きい結果となった。

以上より, 陸側遮水壁 (山側) の未凍結箇所は, 地盤安定上問題ないものと評価した。

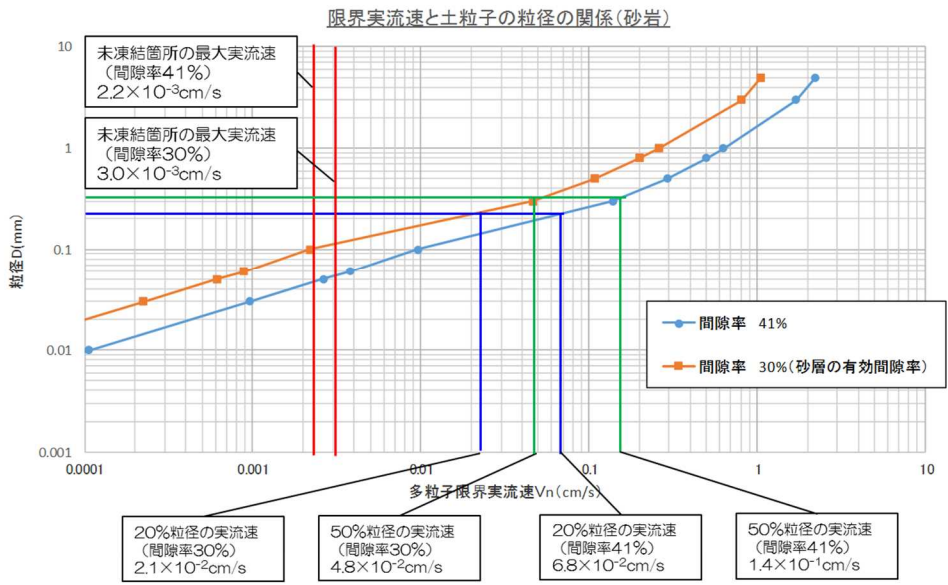


図-4 限界実流速と土粒子の粒径の関係と想定最大実流速

以上

陸側遮水壁（海側）のみを閉合した場合の影響評価

1. 概要

ここでは、仮に第一段階（フェーズ1）において、陸側遮水壁（山側）の北側一部を閉合しない場合、山側から流れ込む地下水は、建屋近傍の汚染されたエリアを通過し、陸側遮水壁（海側）の南北両脇から護岸付近に到達する可能性があることから、その影響を評価する。

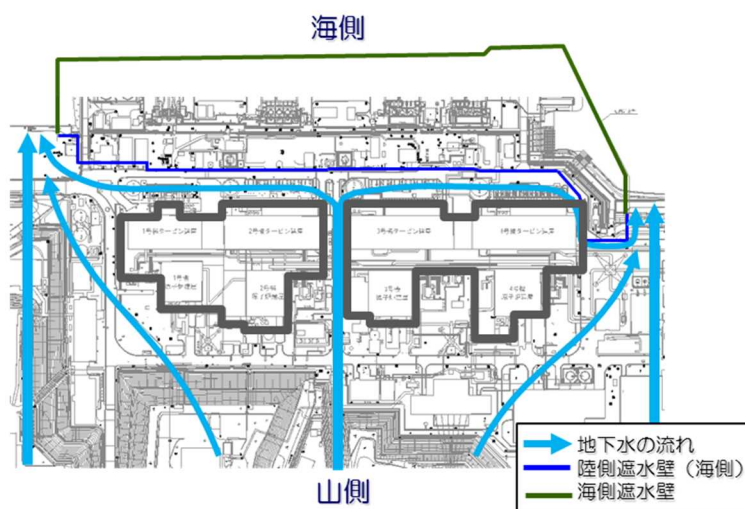


図-1 第一段階（フェーズ1）において陸側遮水壁（山側）の北側一部を閉合しない場合の建屋周辺の地下水の流れの概要

2. 建屋周辺の観測井における放射性物質濃度測定結果

建屋周辺の地下水の放射性物質濃度測定結果（2016年1月28日時点）を図-2～4に示す。

測定の結果、セシウム-137については、2号機建屋山側において 10^3 Bq/L オーダー、1, 2号機建屋海側において 10^2 Bq/L オーダーが検出されている。トリチウムについては、1, 2号機建屋海側において 10^4 Bq/L オーダーが検出されている。ストロンチウム-90については、1号機タービン建屋海側において 10^3 Bq/L オーダーが検出されている。

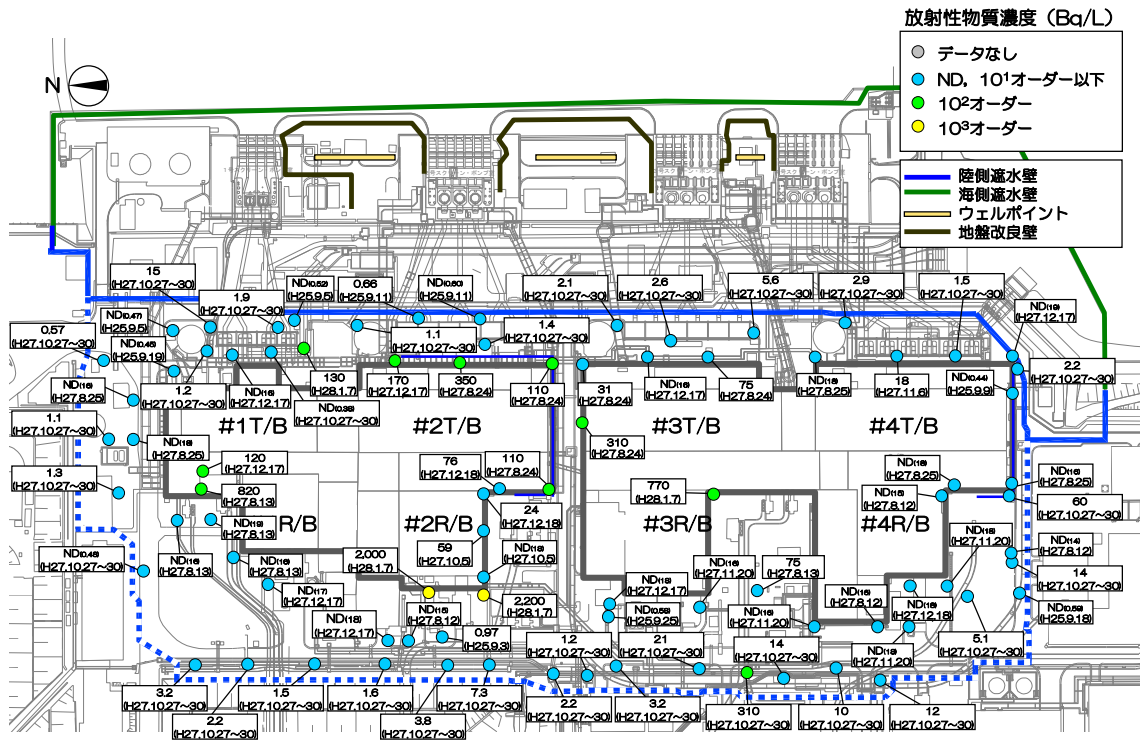


図-2 建屋周辺（海側）の観測井における放射性物質濃度測定結果（2016年1月28日時点）
（セシウム-137）

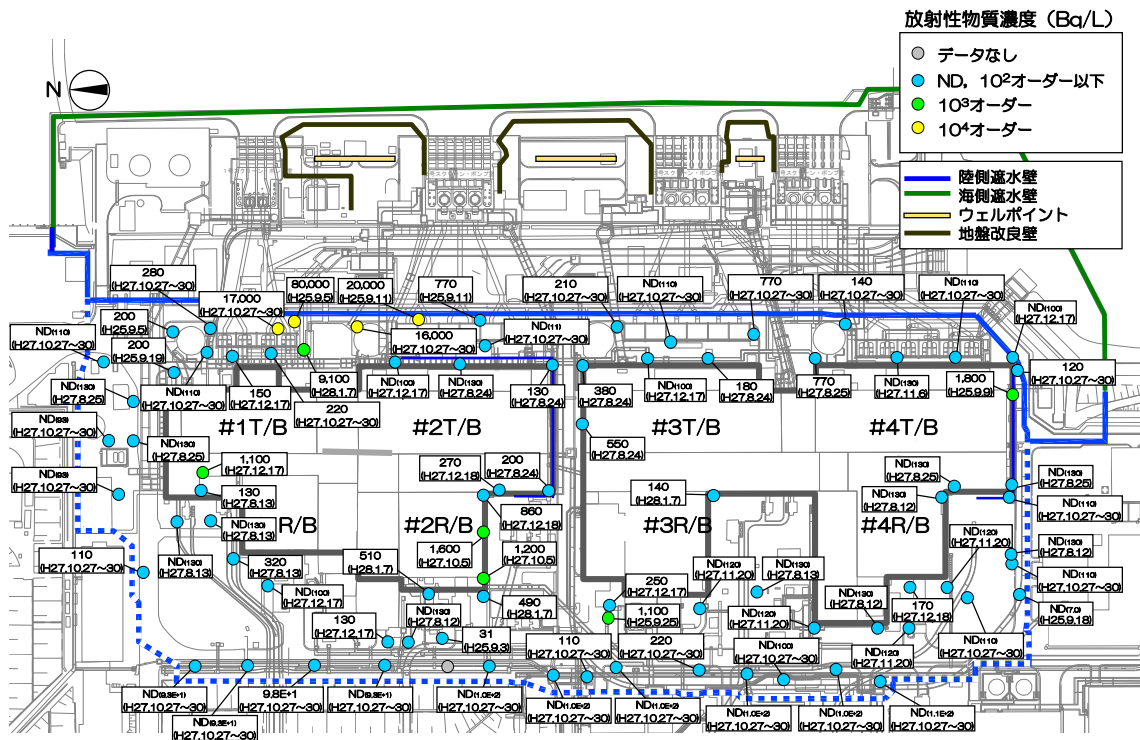


図-3 建屋周辺（海側）の観測井における放射性物質濃度測定結果（2016年1月28日時点）
（トリチウム）

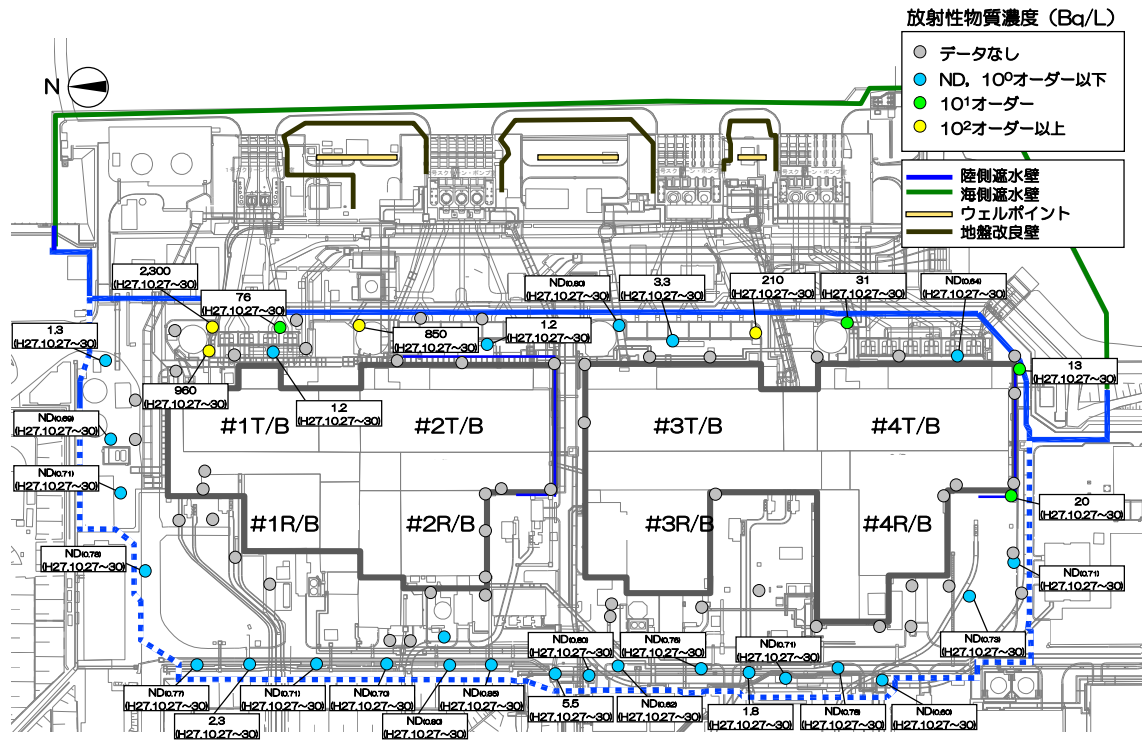


図-4 建屋周辺（海側）の観測井における放射性物質濃度測定結果（2016年1月28日時点）
 (ストロンチウム-90)

3. 評価方法

測定結果（図－2～4）より地下水中の放射性物質濃度が高く護岸に近い1，2号機タービン建屋海側を対象として，陸側遮水壁（海側）を閉合，陸側遮水壁（山側）を閉合しない条件で，建屋近傍の汚染されたエリアを通過した地下水が，護岸に到達した場合の核種の到達時間，濃度上昇幅を一次元核種移流分散解析により評価する。解析条件を表－1に，設定値を表－2に示す。検討ケースは，表－3に示す通り，1，2号機建屋海側の放射性物質濃度を平均値とした場合（ケース1）と放射性物質濃度を最大値とした場合（ケース2）の2ケースを実施する。

表－1 解析条件

| | |
|--------|---|
| 概要 | ・評価エリアから護岸までの流速を求めて，評価地点での地下水の放射性物質濃度の濃度変化を一次元移流分散解析を用いて評価する |
| 評価エリア | ・放射性物質濃度が高く護岸に近い建屋海側の北側エリア（1,2号機タービン建屋海側） ※南側エリアは放射性物質濃度が低く，また，陸側遮水壁（海側）ラインの配置上，護岸に到達しにくい ため，評価対象外とした |
| 流出経路 | ・観測井から護岸まで構造物を迂回しながら最短距離となる経路 |
| 条件 | ・「海側閉合＋山側段階的閉合」の場合，陸側遮水壁（山側）が閉合後は陸側遮水壁（海側）の両脇の流れは抑制されるが，本検討では陸側遮水壁（山側）を運用しないと仮定し，継続して流出した場合を想定した。 |
| 解析対象核種 | ・Cs-137 ・H-3 ・Sr-90 |

表－2 設定値

| 項目 | 設定値 | | 備考 |
|----------------------|-----------------------------|--|--|
| 投入期間 | 継続 | | ・観測井の初期の放射性物質濃度に対して放射壊変の影響を考慮した |
| 建屋海側近傍の地下水位 | T.P.+5.6m | | ・建屋周り地下水位は陸側遮水壁（海側）のダムアップ効果により上昇し，サブドレン稼働前の建屋山側の地下水位（T.P.4.5m～5.5m）程度まで上昇するものと仮定 |
| 平均潮位 | T.P.0m | | － |
| 透水係数（ k ） | 3.0×10^{-3} cm/sec | | ・中粒砂岩層の透水係数を適用 |
| 地盤の間隙率（ α ） | 0.41 | | ・中粒砂岩相当（『福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書』1993年4月（1993年7月一部補正）） ・比重：2.65 |
| 地盤の真密度（ ρ ） | 2,650 kg/m ³ | | |
| 地盤間隙の屈曲度（ δ ） | 1.414 | | ・Kozeny-Carmanの式での定数 |
| 分散長（ a ） | RW30 | 12m | ・対象とする注水井から護岸付近までの移行距離の1/10として設定 ・文献 Gelhar et al.,1992. A critical review of data on field-scale dispersion in Water Resources Research, Vol.28(7) ,pp.1955-1974. |
| | 1T-3 | 16m | |
| | SD26 | 35m | |
| 半減期 | Cs-137 | 30.17年 | － |
| | H-3 | 12.32年 | － |
| | Sr-90 | 28.90年 | － |
| 分配係数（ K_d ） | Cs-137 | 0.4m ³ /Kg | ・現地で採取した砂岩を用いた室内試験結果 |
| | Sr-90 | 7×10^{-3} m ³ /Kg | |
| 水中拡散係数（ D_w ） | Cs-137 | 2.02×10^{-9} m ² /sec | ・文献（Gray, 1972）からの引用 |
| | Sr-90 | 7.94×10^{-10} m ² /sec | |

表 3 検討ケース

| | 初期濃度 | | | 護岸付近までの移動距離 | |
|------|---------------------|---------------|----------------|-------------|-------------------------------------|
| | データ | 対象核種 | 放射性物質濃度 (Bq/L) | | |
| ケース1 | 北側 (1,2号機建屋海側) の平均値 | Cs-137 | 47 | 120m | ・ 建屋海側近傍のうち、最も護岸に近い観測井から護岸までの距離 |
| | | H-3 | 8,600 | | |
| | | Sr-90 | 700 | | |
| ケース2 | 北側 (1,2号機建屋海側) の最大値 | Cs-137 (SD26) | 350 | 350m | ・ 核種ごとに最大の放射性物質濃度が測定された観測井から護岸までの距離 |
| | | H-3 (1T-3) | 80,000 | 160m | |
| | | Sr-90 (RW30) | 2,300 | 120m | |

4. 評価結果

解析の結果、護岸での放射性物質濃度の上昇幅は、以下の通りであった。

(ケース 1)

Cs-137 : 護岸での濃度上昇幅は、10 年後で 0.1Bq/L 未満である。

H-3 : 護岸での濃度上昇幅は、3 年後に 7,000Bq/L 程度である。

Sr-90 : 護岸での濃度上昇幅は、10 年後に 1 Bq/L 程度である。

(ケース 2)

Cs-137 : 護岸での濃度上昇幅は、10 年後でも 0Bq/L である。

H-3 : 護岸での濃度上昇幅は、4～5 年後に 59,000Bq/L 程度である。

Sr-90 : 護岸での濃度上昇幅は、10 年後に 4 Bq/L 程度である。

以上

地下水遮断率の評価とサブドレン稼働状態

1. 第一段階のフェーズ2における地下水遮断率の評価方法

実測値等を用いて地下水遮断率を下式に基づき評価し、「地下水遮断率が80%」以下であることを確認する。

【第一段階のフェーズ2における地下水遮断率の評価方法】

$$\frac{F_0 - F_1}{F_0} \leq 80\%$$

F_0 ：陸側遮水壁（山側）設置前の状態での地下水流入量

F_1 ：フェーズ2における山側からの地下水流入量

F_0 は凍結を開始する前の地下水環境を評価するために必要な期間を設定し、建屋流入量や各種汲み上げ量の実績等をもとに統計的な処理を行い、評価を行う。なお、降雨や現場の状況などが地下水流入量に影響を与える場合には、必要に応じて見直しを行う。

参 考 地下水遮断率の評価例

地下水遮断率の評価は、【方法1：地下水収支に基づく評価】と【方法2：未凍結箇所からの流入量に基づく評価】を併用して評価していくことで、「地下水遮断率が80%」以下であることを確認する。【方法1】は、フェーズ2の期間を通じて適用性が高い、また【方法2】は、閉合がある程度進み、未凍結箇所からの流入が支配的になっている状態での適用性が高いため、凍結状況に応じて両者を総合的に評価することで、地下水遮断率が過大になっていないことを確認する。

なお、計算条件や算定方法などは地下水環境の実態に合わせて適宜修正を行っていく。

(次頁に続く)

(前頁の続き)

【方法1】 地下水収支に基づく評価

フェーズ2の初期段階など、陸側遮水壁（山側）の遮水効果が発現途中の場合は、7箇所の未凍結箇所以外からの流入も大きく、未凍結箇所以外からの流入量を考慮した地下水遮断率を、以下により評価する。

図-1に示すように地下水収支は下式で表される。

降雨浸透による地下水涵養量【E】 + 山側からの地下水流入量【F】 =
サブドレン汲み上げ量【A】 + 建屋流入量【B】 + T.P.2.5m盤への地下水移動量【C】 + 陸側遮水壁閉合範囲外（深部地盤等）への移動量【D】

この時、山側からの地下水流入量（F）は7箇所の未凍結箇所からの流入（イ）、遮水壁の他部位からの流入（ロ）、深部地盤からの流入（ハ）から成る。

7箇所の未凍結箇所からの流入量（イ）を F_{1a} とすると、A、B、C、Eが既知であることから、他の部位からの地下水流入量（ロ、ハ）はDに含まれることになる。そこで、山側からの地下水流入量（ F_{1a}' ）を7箇所の未凍結箇所からの流入量（ F_{1a} ）及び他からの流出入量（ D' ）の合計として、地下水遮断率を評価する。

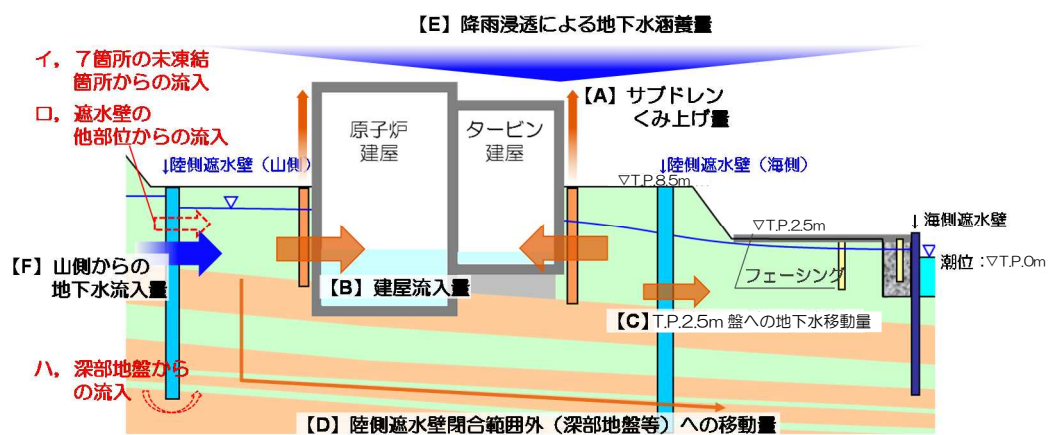
$$F_{1a}' = F_{1a} - D' = A + B + C - E$$

F_{1a}' : 7箇所の未凍結箇所以外からの流入量を含めた山側からの地下水流入量等

F_{1a} : 7箇所の未凍結箇所からの流入量

D' : 「陸側遮水壁閉合範囲外（深部地盤等）への移動量【D】」

+ 「ロ. 遮水壁の他部位からの流入」 + 「ハ. 深部地盤からの流入」



(次頁に続く)

(前頁の続き)

【方法2】 未凍結箇所からの流入量に基づく評価

閉合がある程度進み、7箇所の未凍結箇所からの流入が支配的になっている状態では、地下水遮断率を以下により評価する。この方法では、フェーズ2の初期段階などでは地下水流入量を過小評価し、地下水遮断率を過大評価するため、利用には注意が必要である。

- ① 各未凍結箇所からの地下水の流入量 (Q_i) を下式に示す通り算定する。

$$Q_i = A(\text{m}^2) \times k(\text{m}/\text{日}) \times \frac{\Delta H(\text{m})}{L(\text{m})}$$

A : 開口箇所面積 (m²)
k : 透水係数 (m/日)
 ΔH : 内外水位差 (m)
L : 陸側遮水壁厚さ (m)
i : 未凍結箇所

A : 開口箇所面積 (m²)

未凍結箇所の開口部幅と開口部高さの積を開口箇所面積とする。

k : 透水係数 (m/日)

既往の透水試験結果に基づいて設定する。

ΔH : 内外水位差 (m)

未凍結箇所近傍における陸側遮水壁の内側と外側に位置する地下水位観測井の水位差により算定する。

L : 陸側遮水壁厚さ (m)

陸側遮水壁の計画厚さとする。

- ② ①で求めた各未凍結箇所からの地下水流入量を合計 (7箇所) して、地下水流入量 (F_{1b}) を算出し、地下水遮断率を評価する。

$$F_{1b} = \sum (Q_i) \quad (i = 1 \sim 7) \quad i : \text{未凍結箇所}$$

2. サブドレンの広範囲な停止について

「サブドレンの広範囲な停止」の発生とは、建屋周辺毎（図-2）に過半数のサブドレンにおいて、水位が低下することによりサブドレンポンプ停止水位（L値）を連続的に下回った状態となった場合とする。但し、水質・機器メンテナンス等の理由により人為的に停止しているサブドレンは除く。

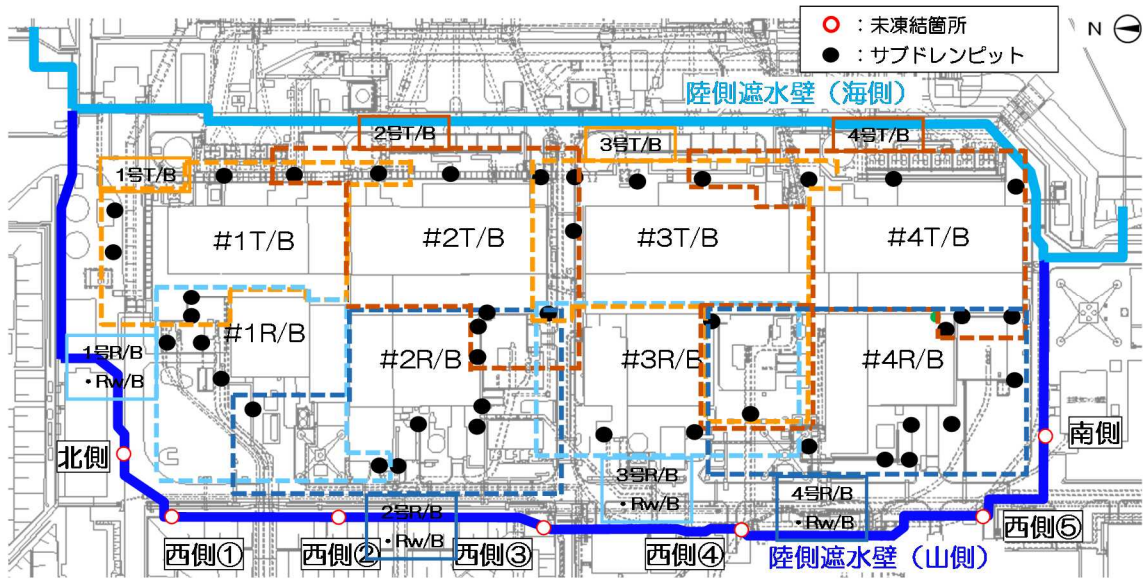


図-2 建屋周辺サブドレン位置図

以上

地下水位の回復方策

1. 概要

「サブドレンのポンプ停止バックアップ位置(LL値)の警報」が発報した場合において、「建屋－サブドレン水位差」を確保するため、早急な対応が必要と判断された場合の実施方策及びその妥当性を示す。

2. 注水による地下水位の回復・維持

陸側遮水壁内に設置した注水井から注水することで、建屋周辺地下水位の低下を抑制する。

注水による地下水位の回復・維持を目的に陸側遮水壁内に33孔注水井を設けている。注水設備の構造について、図－1に示す。

注水井は、内径450mm、深さ10～20m程度で中粒砂岩層および埋戻し土を対象に全体で最大約360m³/日の水を供給できる構造となっている。

注水配管は、本管から分岐した枝管を通じて各注水井に水を供給する構造となっている。

各注水井に対して電磁流量計・電磁弁・水位計を設置しており、注水井1孔毎の計測データを取り込み、免震重要棟にて遠隔監視・操作が可能となっている。また、電磁弁が故障した等の場合には、手動バルブで注水井に水を供給する。

注水井は図－2のように配置し、注水を行う。全ての注水井において、設計最大量(10L/分以上)の注水が可能であることを確認している。

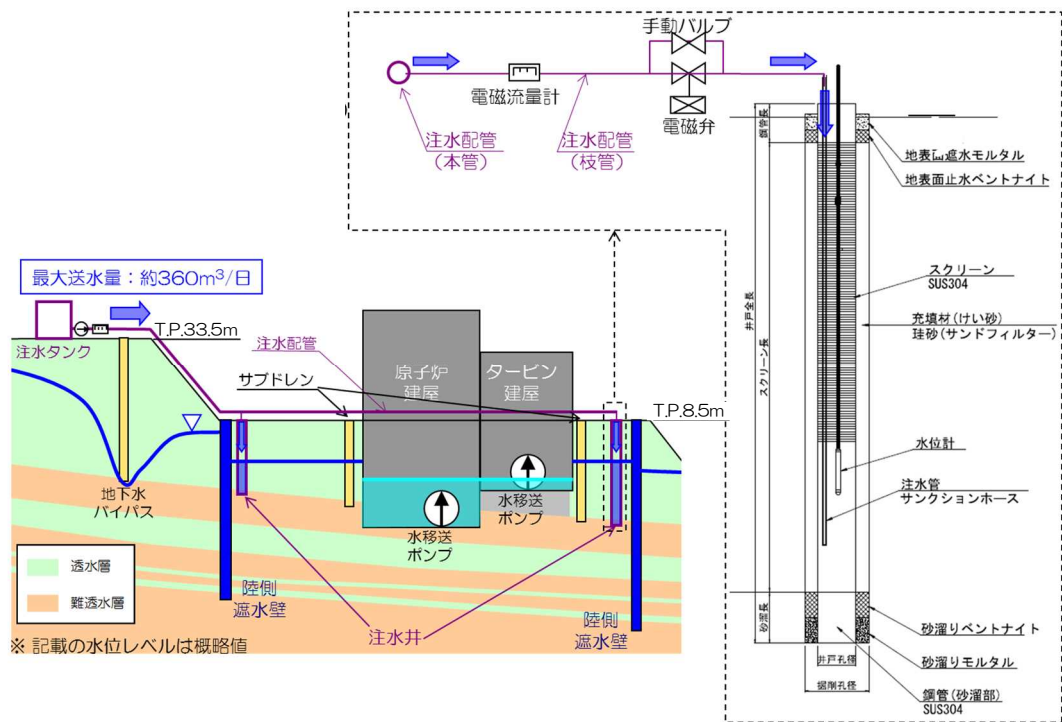
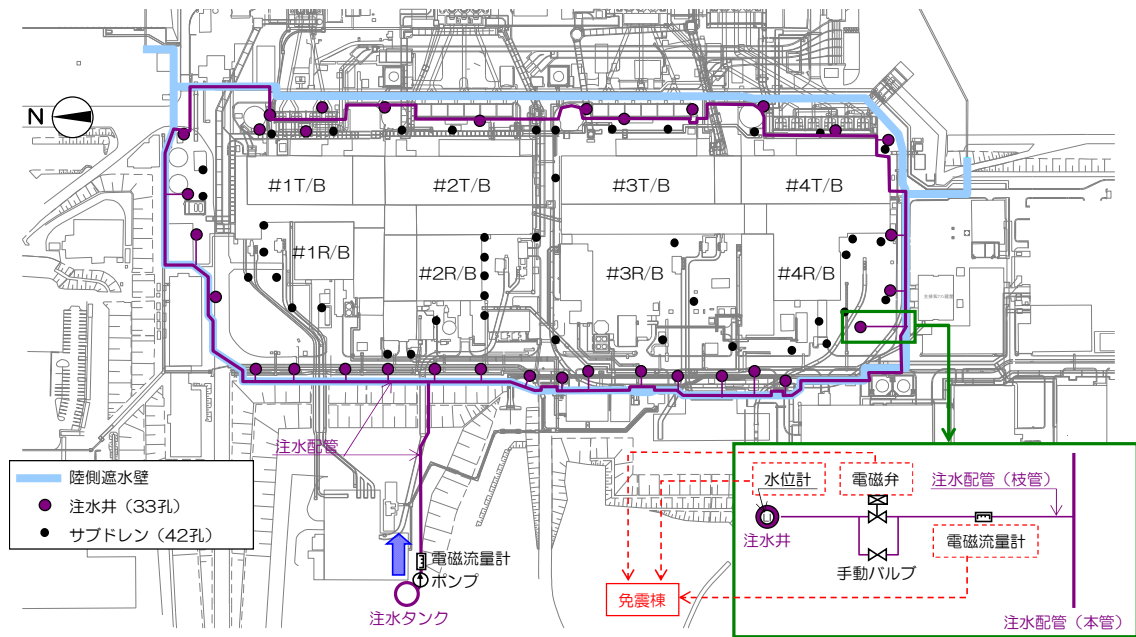


図-1 注水設備 構造概要



※サブドレンの配置は参考であり、H28.3時点のもの

図-2 注水井の配置

3. 陸側遮水壁（山側）へのブライン供給の停止

陸側遮水壁（山側）へのブライン供給を停止し，陸側遮水壁（山側）の凍土を融解させることで，山側からの地下水流入を回復する。

4. 陸側遮水壁（山側）の部分撤去

陸側遮水壁（山側）の一部分を強制的に撤去することで，山側からの地下水流入を回復する。陸側遮水壁（山側）の部分撤去方法を以下に示す。

- ・撤去方法：ボーリングマシンによる削孔後，削孔箇所には砕石等を充填
- ・撤去期間：（準備作業）約0.7ヶ月，（撤去作業）約1ヶ月

準備作業

- ・ブライン供給停止後，陸側遮水壁（山側）上部の配管類を撤去。
- ・ボーリングマシン，削孔プラント等を手配，据え付け。



図－3 配管類撤去箇所の例

撤去作業

- ・撤去箇所それぞれでボーリング削孔を行い、削孔箇所に碎石等を充填。



図-4 ボーリング削孔（イメージ）

【削孔手順例】

- (1) 凍土中心部（①～④）を削孔，碎石等充填，ケーシング引抜き。
- (2) 凍土壁内側及び外側（⑤）を削孔，碎石等充填。ケーシングは残置。
- (3) 凍土壁内側及び外側（⑤）の手順(2)の完了後，残置したケーシング引抜き。
凍土壁内側と外側の水位差に応じて，地下水が流入。

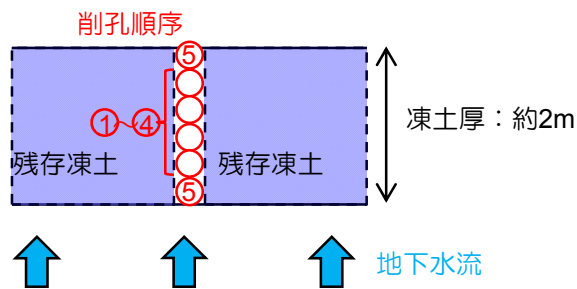


図-5 ボーリング削孔手順例

5. 地下水位回復方策の妥当性

【検討内容】

陸側遮水壁（山側）閉合後，地下水位の予期せぬ低下が起きた場合に，地下水位を回復させるのに要する期間について，想定外の最悪の条件（山側からの地下水流入がない第三段階を想定）で検討した。

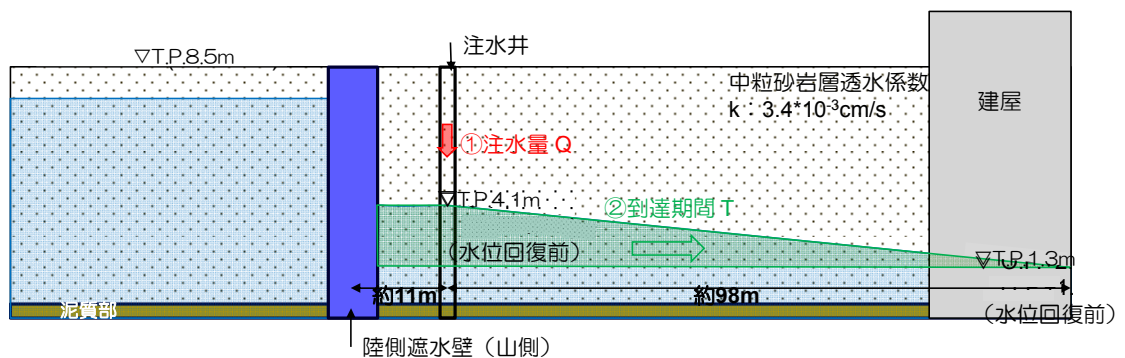
- ・ 地下水位の予期せぬ低下の発生要因：海側遮水壁の遮水性喪失
- ・ 陸側遮水壁：（山側）遮水性 100%（初期状態），（海側）遮水性 0%（継続）
- ・ 降雨：降雨がない期間が継続
- ・ 建屋滞留水水位：1号タービン建屋最低排水レベル（T.P. 0.7m）まで滞留水移送による低下実施（低下速度：0.01m/日）
- ・ 目標地下水位回復レベル：T.P. 1.7m
（1号機タービン建屋最低排水レベル+1m）
- ・ 異常時に以下の対策を施した場合の地下水位回復期間を評価
 - (1) 注水井からの注水
 - (2) 凍結運転停止
 - (3) 陸側遮水壁（山側）の部分撤去

【検討結果】

(1) 注水井からの注水

① 計算条件

- ・ 地下水位低下確認後，注水井への注水開始。同時に建屋滞留水水位低下開始。
- ・ 注水した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。



図－6 注水井への注水 計算条件

(ア) 注水量Q

- ・ 約 360m³/日（一定流量継続）

注) 総注水量のうち, 3/4 が T.P. 8.5m 盤水位(サブドレン水位), 1/4 が T.P. 2.5m 盤水位に寄与すると仮定した。

(イ) 到達期間T : 約1.9ヶ月

断面積は定常状態でバランスする水位, 奥行き延長は一様(約500m)を仮定して, 陸側遮水壁(山側)~建屋周辺まで地下水が到達し, 建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間を算定。

②計算結果

注水井からの注水により地下水位を回復させる場合, 「地下水位低下前の水位(建屋滞留水水位+1m)」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は約3.9ヶ月(到達期間: 約1.9ヶ月 + 地下水位回復: 約2ヶ月)となる。建屋周辺の地下水位(サブドレン水位)は1号機タービン建屋最低排水レベル(T.P. 0.7m)以上であり, 水位は逆転しない。

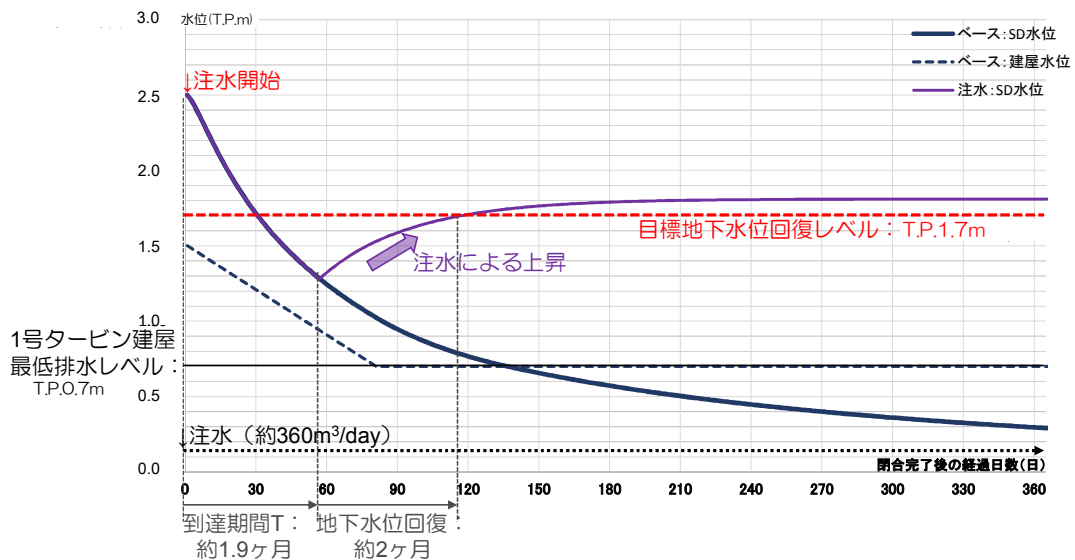


図-7 注水井からの注水 計算結果

(2) 凍結運転停止

① 計算条件

- 水位低下確認後，凍結運転を停止。同時に建屋滞留水水位低下開始。
- 凍結運転停止後，2ヶ月後に地表-2m，3ヶ月後に地表-3mの凍土が融解^{※1}（地表-3m以深の融解は考えない），融解範囲より地下水が越流。
- ※1 小規模凍土実証試験結果による（詳細は参考1参照）
- 越流した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。

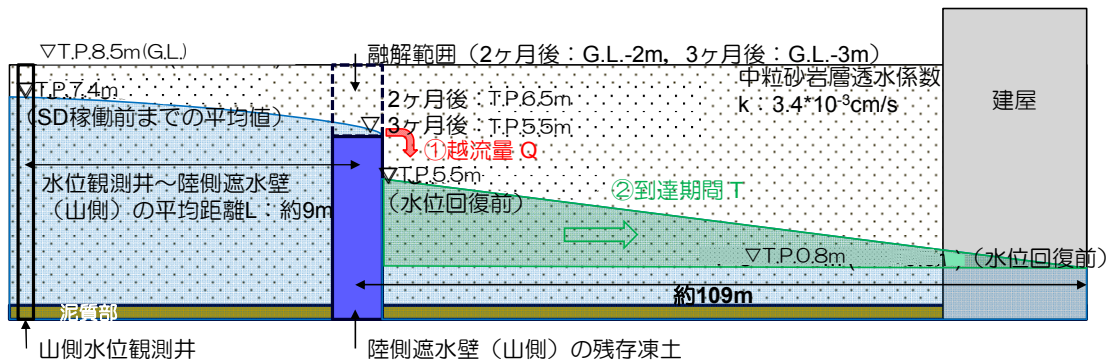


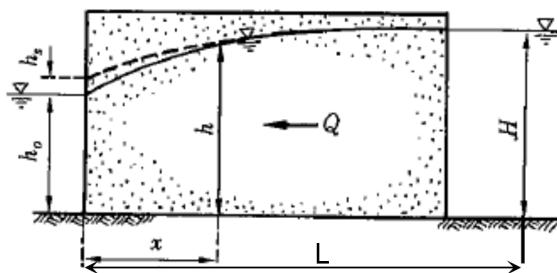
図-8 凍土の自然融解 計算条件

(ア) 越流量Q

定常一次元地下水流を仮定し，越流量を算定。

- 2ヶ月後：約70m³/日（延長500m，地表-2m融解），L=9m，H=0.9(=8.9-8)m，h₀=0m
- 3ヶ月後以降：約300m³/日（延長500m，地表-3m融解），L=9m，H=1.9(=8.9-7)m，h₀=0m

注) 2~3ヶ月間は一定速度でG.L.-2~3mの範囲が融解し，それに応じて越流量が増加するものとした。



$$Q = \frac{k}{2L} (H^2 - h_0^2)$$

ここで，
Q：流量，k：透水性係数，
H：x=0での水頭，h₀：x=Lでの水頭

「地下水工学（河野,1989）」より引用，加筆

図-9 定常一次元地下水流における水頭と流量

(イ) 到達期間T：約1.2ヶ月

断面積は定常状態でバランスする水位，奥行き延長は一樣（約500m）を仮定して，陸側遮水壁（山側）～建屋周辺まで地下水が到達し，建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間を算定。

②計算結果

凍結運転停止・自然融解により地下水位を回復させる場合、「地下水位低下前の水位（建屋滞留水水位+1m）」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は、約 8.1 ヶ月（自然融解：約 3 ヶ月 + 到達期間：約 1.2 ヶ月 + 地下水位回復：約 3.9 ヶ月）である。建屋周辺の地下水位(サブドレン水位)は 1 号機タービン建屋最低排水レベル(T.P. 0.7m) 以上であり、水位は逆転しない。

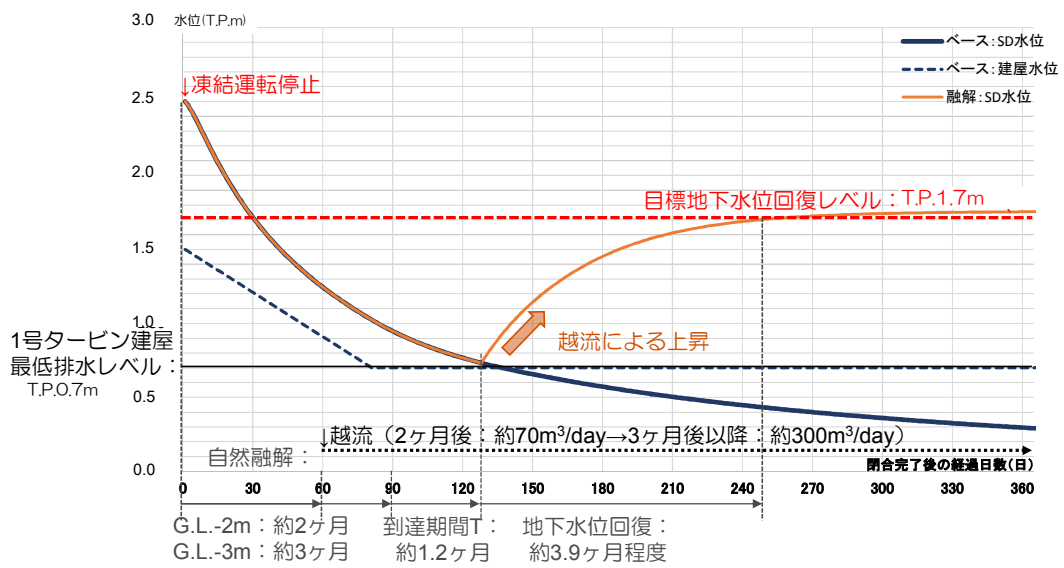


図-10 凍土の自然融解 計算結果

(3) 陸側遮水壁（山側）の部分撤去

①計算条件

- ・水位低下確認後，部分撤去作業を準備（約 0.7 ヶ月），撤去作業を実施（約 1 ヶ月）。同時に建屋滞留水水位低下開始。
- ・部分撤去作業開始後，撤去範囲（深度：地表より約-10m）より地下水が流入。
- ・流入した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。

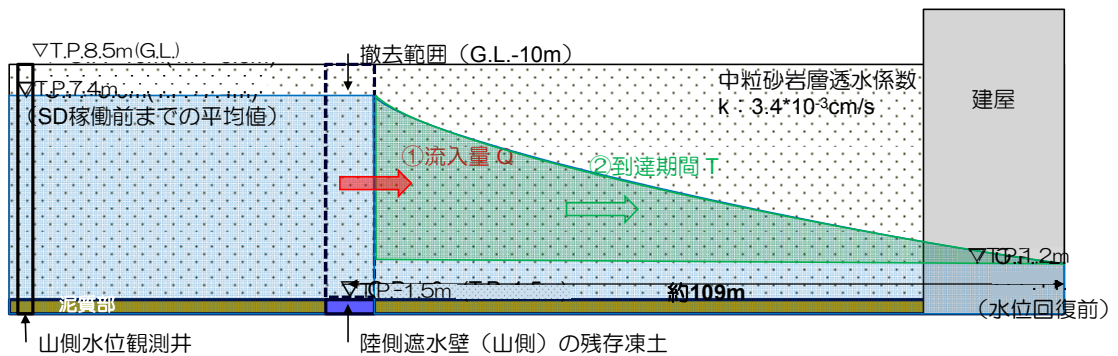


図- 1 1 凍土の部分撤去 計算条件

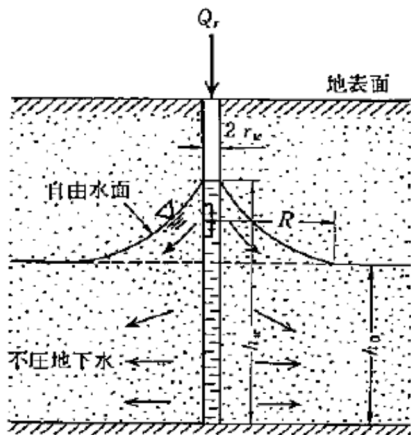
(ア) 流入量Q

撤去箇所からの流入を注水井からの注水時の定常地下水流と仮定し，以下の算定式により流入量を算定。

- ・約 470m³/日（撤去延長 10m×5 箇所とした場合）

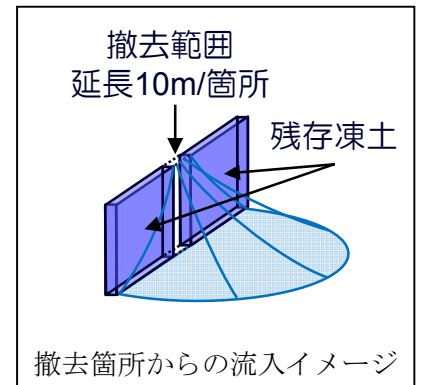
$h_w=8.9m, h_0=2.7m, R=109m, r_w=3.2m$ （撤去延長 10m に相当する井戸半径）

注）撤去期間中は撤去延長分に相当する流入量を段階的に増加し算定。また，地下水位の回復に応じて流入量は減少するものとした。



$$Q_r = \frac{\pi k (h_w^2 - h_0^2)}{2.3 \log_{10} \frac{R}{r_w}}$$

- ただし， Q_r ：注水量
 h_w ：井戸内水位
 h_0 ：地下水位
 R ：影響圏
 r_w ：井戸半径
 D ：被圧帯水層の厚さ
 k ：透水係数



「根切り工事と地下水・調査・設計から施工まで」（地盤工学会,1991）より引用

図- 1 2 注水井からの注水時の定常地下水流

(イ) 到達期間T：（撤去完了後）約0.6ヶ月

撤去範囲からの流入が定常状態でバランスする体積を仮定し，陸側遮水壁（山側）～建屋周辺まで地下水が到達して，建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間を算定。

②計算結果

凍土の部分撤去実施により地下水位を回復させる場合，「地下水位低下前の水位（建屋滞留水水位+1m）」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は，約3.1ヶ月（撤去作業準備・実施：約1.7ヶ月＋到達期間：約0.6ヶ月＋地下水位回復：約0.8ヶ月）となる。建屋周辺の地下水位（サブドレン水位）は1号タービン建屋最低排水レベル（T.P.0.7m）以上であり，水位は逆転しない。

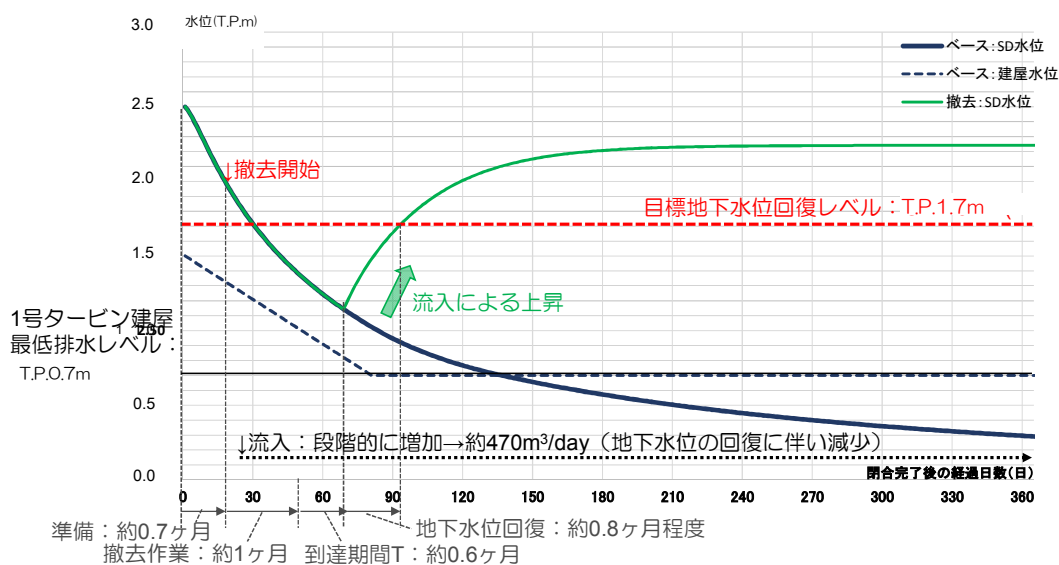


図-13 凍土の部分撤去 計算結果

小規模凍土実証試験における凍土融解期間

1～4号機建屋西側(共用プール西側)で実施された小規模凍土実証試験*では、冷凍機の運転停止後2ヶ月程度で地表から2m程度、3ヶ月程度で地表から3m程度の深さが融解した。

※ 資源エネルギー庁公募「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業(地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフェージビリティ・スタディ事業)」のうち①凍土方式の小規模遮水壁実証試験

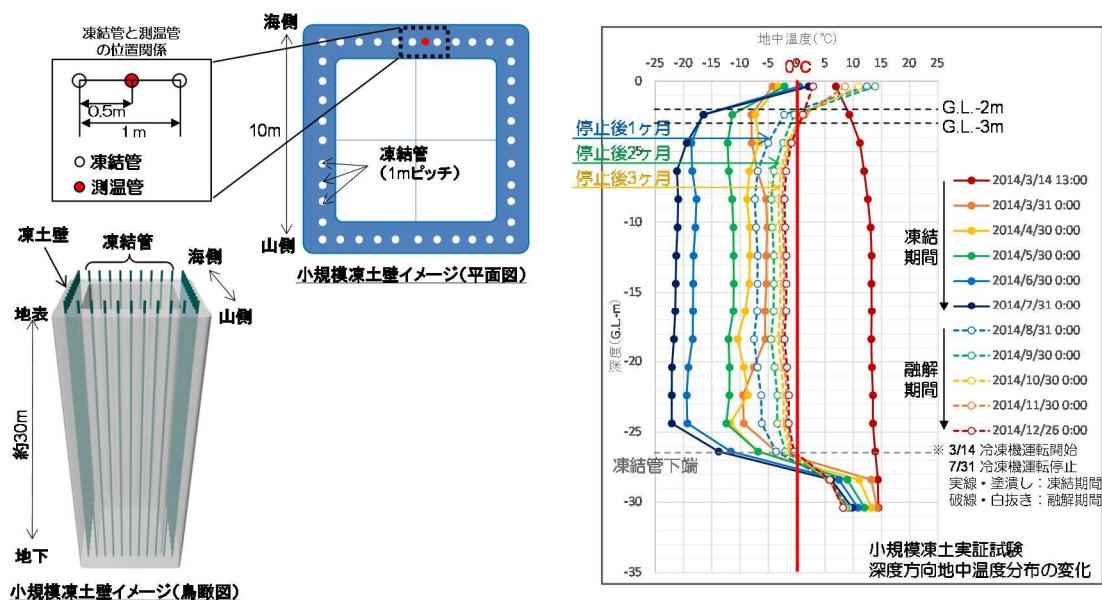


図-14 小規模凍土実証試験結果

以上

第二段階における陸側遮水壁（山側）の未凍結箇所の一部閉合（I）の評価

1. 概要

第二段階において、第一段階フェーズ 2 で凍結対象外としていた山側の 7 箇所の未凍結箇所（図-1）のうち、一部（西側①と西側⑤）を閉合する場合に、閉合後に陸側遮水壁閉合域内への地下水流入量が確保され、建屋内外水位の逆転は生じないことについて評価した。

なお、未凍結箇所の一部閉合（I）後の地下水流況についても、本評価方法を用いて建屋内外水位の逆転が起こらないことを確認していく。

また、一部閉合（II）の実施期間については、別紙-11 の評価方法を用いて、建屋内外水位の逆転が起こらないことを確認していく。

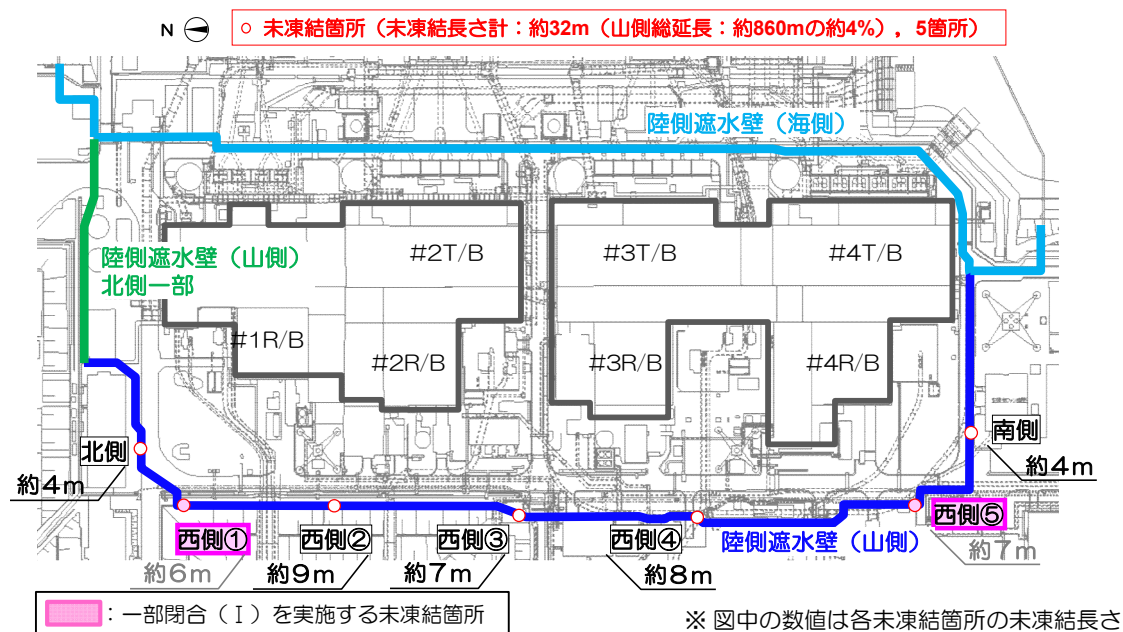


図-1 第二段階 一部閉合（I）実施箇所

2. 未凍結箇所の一部閉合（I）の評価

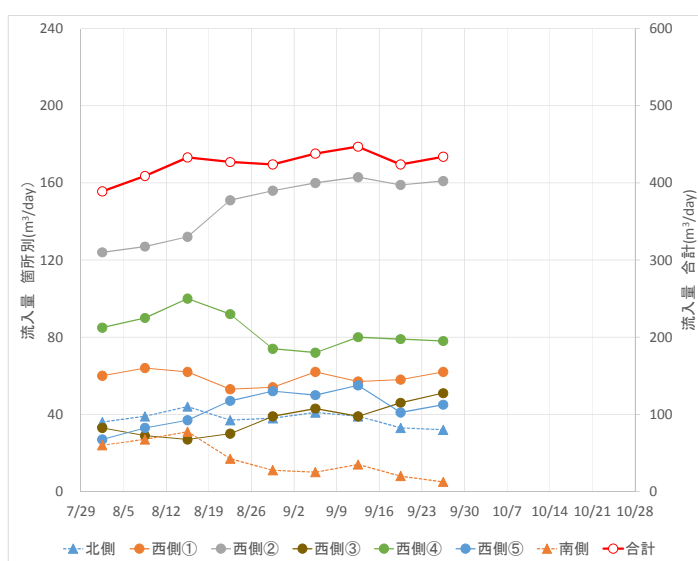
山側からの地下水は「凍結に至っていない箇所^{※1}」と「未凍結箇所」から流入している。評価にあたっては、一部閉合（I）後に「凍結に至っていない箇所」が全て凍結して地下水流入が無くなる状態を想定して、一部閉合（I）を実施した箇所以外の残りの「未凍結箇所」からの陸側遮水壁閉合域内への地下水流入により、建屋内外水位の逆転は起こらないことを確認する。

※1：第一段階フェーズ2で凍結対象としていた範囲で凍結に至っていない箇所

(1) 未凍結箇所を2箇所閉合した場合の地下水流入の減少割合

山側の未凍結箇所からの流入量を，実測値（2016.8～9）に基づいて評価^{※2}した（図－2）。その結果，未凍結箇所のうち西側①と西側⑤を閉合した場合，その閉合割合は，想定流量比や延長比から未凍結全箇所の30%未満になるものと想定される（表－1）。そこで評価にあたっては，2箇所閉合後の地下水流入量の減少割合を保守的に30%と設定する。

※2：通水面積（中粒砂岩層・互層部）と内外水位差・透水係数（平均値）を用いたダルシー則により評価した。



図－2 山側の未凍結箇所からの想定流入量

表－1 山側の未凍結箇所の区間延長と想定流入量

| | 未凍結区間延長 | 想定流入量 (m³/日) 8/12時点 |
|-----|---------|------------------------|
| 北側 | 約4m | 約40 |
| 西側① | 約6m | 約60 |
| 西側② | 約9m | 約130 |
| 西側③ | 約7m | 約30 |
| 西側④ | 約8m | 約100 |
| 西側⑤ | 約7m | 約40 |
| 南側 | 約4m | 約30 |
| 計 | 約45m | 約430 |

西側①,西側⑤の合計
延長 : 約13m
想定流入量 : 約100m³/日

(2) 一部閉合（Ⅰ）後の建屋周辺への地下水流量の想定

一部（西側①と西側⑤）閉合後の建屋周辺への地下水流量について、以下に示す2ケースで評価した。

（ケース1）第一段階フェーズ2の閉合が進み、かつ降雨が少ない期間（2016. 8. 1～8. 15）の実測値に基づいて、今後 T. P. 2. 5m 盤への地下水移動量（ C_2 ）が、閉合が進むとともに減少する場合

（ケース2）ケース1よりも山側の凍結に至っていない箇所での凍結が進んだ期間（2016. 10. 13～10. 27）の実測値に基づいて、閉合後の T. P. 2. 5m 盤への地下水移動量（ C_2 ）が、閉合前と同程度とした場合

[ケース 1]

ケース 1 における、一部（西側①と西側⑤）閉合後の建屋周辺への地下水流量について、以下のように評価した。

(ア) 閉合前の山側からの地下水流入量の想定

閉合前の山側からの地下水流入量を、第一段階フェーズ 2 の閉合が進み、かつ降雨が少ない期間（2016. 8. 1～8. 15）の実測値に基づいて評価した。その結果、山側からの流入量は 690m³/日程度と想定される（図- 3）。

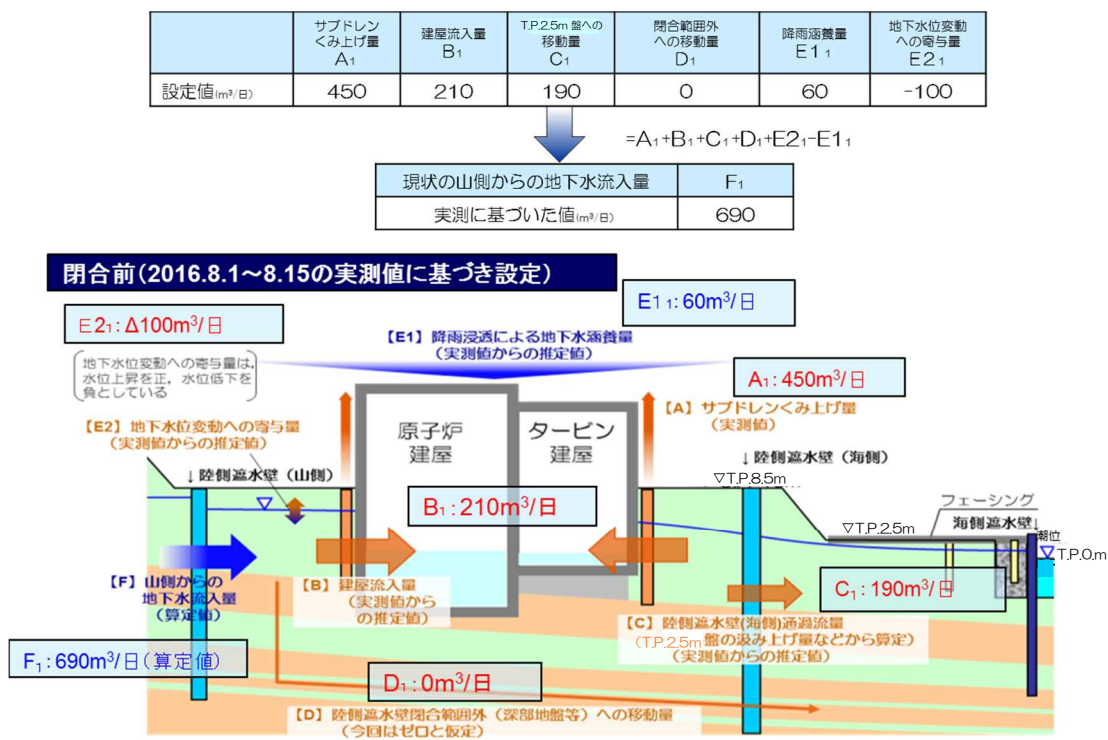
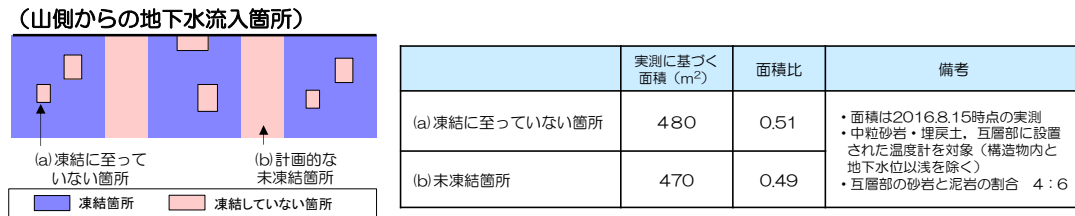


図- 3 一部閉合 (I) 前の山側からの地下水流入量の想定 (ケース 1)

(イ) 一部閉合 (I) 後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量の想定

山側からの地下水流入量には、(a)凍結に至っていない箇所と、(b) 7箇所の計画的な未凍結箇所からの流入があり、(a) (b)からの流入量については、山側からの地下水流入量のそれぞれの通水面積比より想定する。そのうち、(a)からの流入は凍結が進めばなくなることから、閉合後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量は、(b)からの流入量に未凍結箇所を 2 箇所閉じた場合の地下水流入の減少割合 (約 30%) を乗じた値とした。

その結果、未凍結箇所（西側①，西側⑤）を閉合後、残り 5 箇所の未凍結箇所からの地下水流入量は 240m³/日程度と想定される（図-4）。



(凍結に至っていない箇所および未凍結箇所からの流入量の想定)

(単位：m³/日)

| | 現状 | 未凍結2箇所閉合後 |
|-----------------------------|------------------|-----------|
| 山側からの地下水流入量 F_n ((a)+(b)) | 690 | 240 |
| (a)凍結に至っていない箇所からの流入量 | 350 (0.51) ※3 | 0 |
| (b)未凍結箇所からの流入量 | 340 (0.49) ※3 | 240※4 |

※3：括弧内は面積比
 ※4：現状の未凍結箇所からの流入量の30%減

図-4 一部閉合（I）後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量の想定（ケース1）

(ウ) 一部閉合（I）後の建屋周辺への地下水流入量の想定

一部閉合（I）後に山側からの地下水流入量が 240m³/日に減少した場合でも、サブドレン稼働（A₂）と建屋への地下水流入（B₂）が継続するための地下水が建屋周辺へ供給されていることを評価し、サブドレン稼働の調整により建屋内外水位の逆転が生じない運用が可能であることを確認する。なお、閉合後の地下水収支の想定にあたっては、以下の点に留意した。

- ・T.P.2.5m盤への地下水の移動量（C₂）は、閉合が進むとともに今後減少し、30m³/日※5になるものとした。
- ・閉合後の降雨涵養量（E₁₂）は、過去（1977～2015年）の年間最小降雨量に基づき 90m³/日とした。

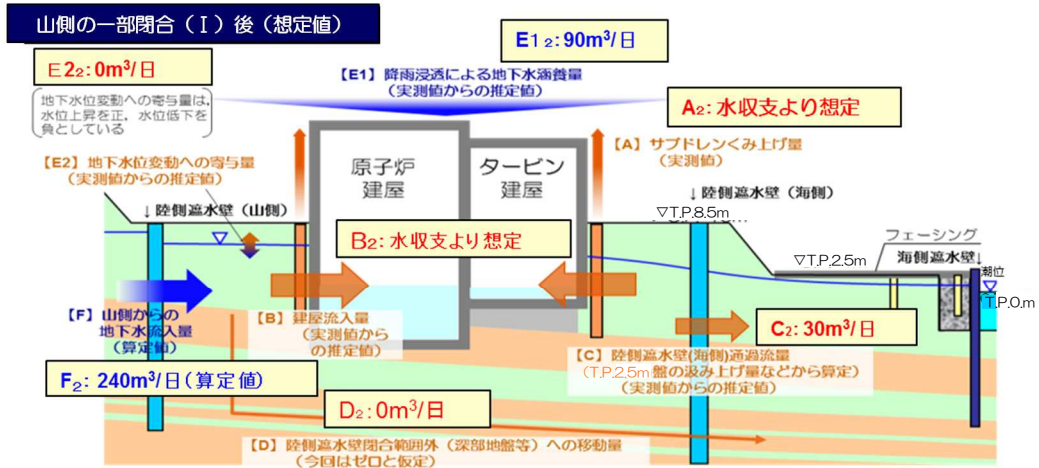
その結果、建屋周辺への地下水供給量（サブドレンくみ上げ量（A₂）と建屋流入量（B₂）の合計値）は、300m³/日程度と想定される（図-5）。

※5：T.P.2.5m盤への地下水移動量（C₂）は、実測値の状況に応じて評価していく。

| | T.P.2.5m盤への移動量 C ₂ | 閉合範囲外への移動量 D ₂ | 降雨浸透量 E _{1 2} | 地下水位変動への寄与量 E _{2 2} | 山側からの地下水流入量 F ₂ |
|------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 設定値(m ³ /日) | 30 | 0 | 90 | 0 | 240 |

↓
=E_{1 2}+F₂-C₂-D₂-E_{2 2}

| | サブドレンくみ上げ量A ₂ +建屋流入量B ₂ |
|------------------------|---|
| 想定値(m ³ /日) | 300 |



- 注1) D₂は、山側の一部閉合 (I) 後も中粒砂岩層と深部の被圧透水層の水位・水頭関係は変わらないことから、ゼロとした。
- 注2) E_{2 2}は、地下水位の定常状態を想定しゼロとする。

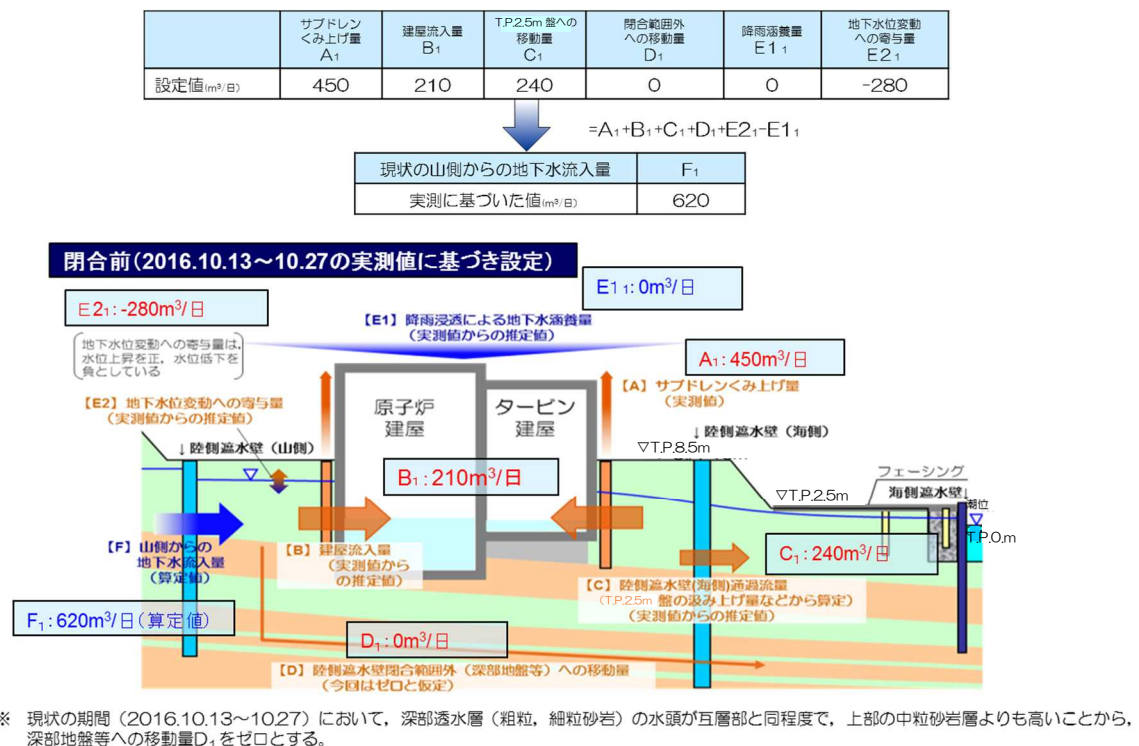
図-5 一部閉合 (I) 後の山側からの地下水流入量の想定 (ケース1)

[ケース 2]

ケース 2 における、一部（西側①と西側⑤）閉合後の建屋周辺への地下水流量について、以下のように評価した。

(ア) 閉合前の山側からの地下水流入量の想定

閉合前の山側からの地下水流入量を，ケース 1 よりも山側の凍結に至っていない箇所での凍結が進んだ期間（2016. 10. 13～10. 27）の実測値に基づいて評価した。その結果，山側からの流入量は 620m³/日程度と想定される（図－6）。

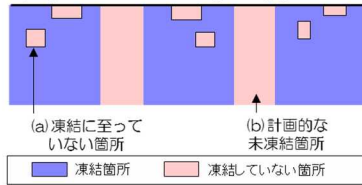


図－6 一部閉合（I）前の山側からの地下水流入量の想定（ケース 2）

(イ) 一部閉合（I）後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量の想定

ケース 1（イ）と同様に，一部（西側①と西側⑤）閉合後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量を想定した結果，残り 5 箇所の未凍結箇所からの地下水流入量は 300m³/日程度と想定される（図－7）。

(山側からの地下水流入箇所)



| | 実測に基づく面積 (m ²) | 面積比 | 備考 |
|----------------|----------------------------|------|---|
| (a)凍結に至っていない箇所 | 210 | 0.30 | ・面積は2016.10.20時点の実測 ・中粒砂岩、埋戻土、互層部に設置された温度計を対象（構造物内と地下水位以浅を除く） ・互層部の砂岩と泥岩の割合 4：6 |
| (b)未凍結箇所 | 500 | 0.70 | |

(凍結に至っていない箇所および未凍結箇所からの流入量の想定)

(単位：m³/日)

| | 現状 | 未凍結2箇所閉合後 |
|---------------------------|------------------|-----------|
| 山側からの地下水流入量 F_n (a)+(b) | 620 | 300 |
| (a)凍結に至っていない箇所からの流入量 | 190 (0.30) ※3 | 0 |
| (b)未凍結箇所からの流入量 | 430 (0.70) ※3 | 300※4 |

※3：括弧内は面積比
 ※4：現状の未凍結箇所からの流入量の30%減

図-7 一部閉合（I）後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量の想定（ケース2）

(ウ) 一部閉合（I）後の建屋周辺への地下水流入量の想定

一部閉合（I）後に山側からの地下水流入量が 300m³/日に減少した場合でも、サブドレン稼働（A₂）と建屋への地下水流入（B₂）が継続するための地下水が建屋周辺へ供給されていることを評価し、サブドレン稼働の調整により建屋内外水位の逆転が生じない運用が可能であることを確認する。なお、閉合後の地下水収支の想定にあたっては、以下の点に留意した。

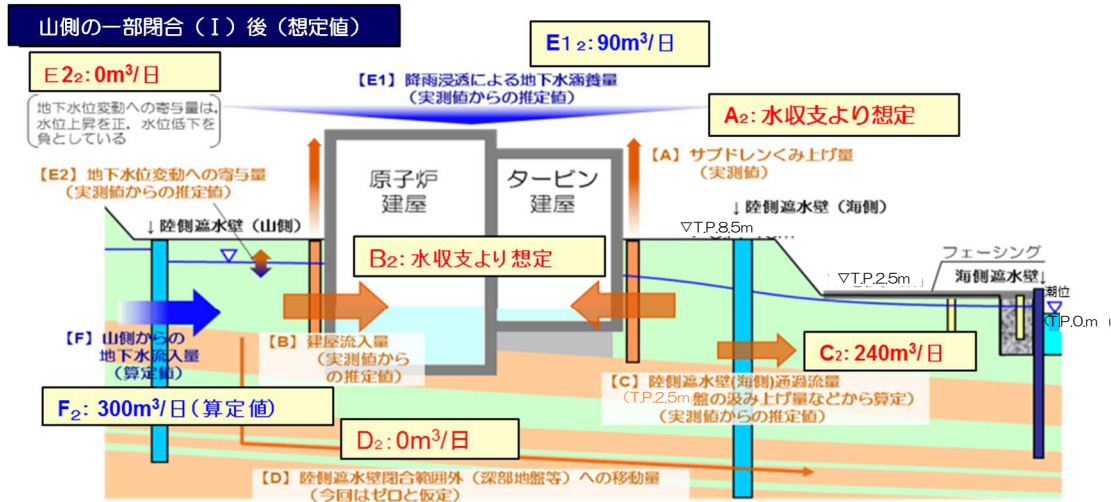
- ・ T.P. 2.5m盤への地下水の移動量（C₂）は、閉合前の期間（2016.10.13～10.27）と同程度とした。
- ・ 閉合後の降雨涵養量（E₁₂）は、過去（1977～2015年）の年間最小降雨量に基づき 90m³/日とした。

その結果、建屋周辺への地下水供給量（サブドレンくみ上げ量（A₂）と建屋流入量（B₂）の合計値）は、150m³/日程度と想定される（図-8）。

| | TP.2.5m盤への移動量 C ₂ | 閉合範囲外への移動量 D ₂ | 降雨浸透量 E _{1,2} | 地下水位変動への寄与量 E _{2,2} | 山側からの地下水流入量 F ₂ |
|------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 設定値(m ³ /日) | 240 | 0 | 90 | 0 | 300 |

$$=E_{1,2} + F_2 - C_2 - D_2 - E_{2,2}$$

| | サブドレンくみ上げ量A ₂ +建屋流入量B ₂ |
|------------------------|---|
| 想定値(m ³ /日) | 150 |



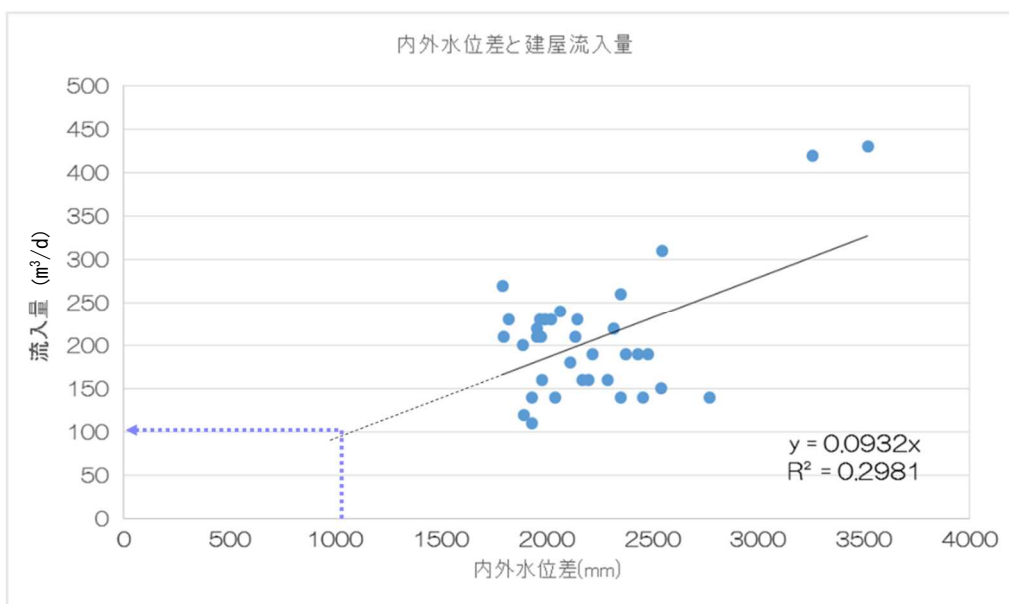
- 注1) D₂は、山側の一部閉合(I)後も中粒砂岩層と深部の被圧透水層の水位・水頭関係は変わらないことから、ゼロとした。
 注2) E_{2,2}は、地下水位の定常状態を想定しゼロとする。

図-8 一部閉合(I)後の山側からの地下水流入量の想定(ケース2)

(3) 評価結果

西側①, 西側⑤の一部閉合(I)後に山側未凍結箇所からの地下水流入量が30%減少した場合の地下水収支を想定して、サブドレンくみ上げ量と建屋流入量を確認した結果、合計でケース1は300m³/日程度、ケース2は150m³/日程度となる。建屋流入量と内外水位差の関係(期間:2016.1~2016.9)から、建屋内外水位差が1mの場合における建屋流入量は100m³/日程度と想定されるため(図-9)、一部閉合(I)後も陸側遮水壁内側への地下水流入量は十分に確保されサブドレン稼働が継続(汲み上げ量は、ケース1は200m³/日程度、ケース2は50m³/日程度)し、建屋内外水位の逆転は生じないと評価した。

上記より、未凍結箇所のうち西側①と西側⑤を閉合しても、地下水位管理上、問題とはならないものと考えられる。



図－9 建屋内外水位差と建屋流入量の関係（期間：2016.1～2016.9）

以上

第二段階における陸側遮水壁（山側）の未凍結箇所の一部閉合（Ⅱ）の評価

1. 概要

第一段階フェーズ 2 および第二段階一部閉合（Ⅰ）で凍結対象外としていた山側の 5 箇所（図-1）のうち、一部（北側、西側②、西側④、南側）の閉合後においても陸側遮水壁閉合域内への地下水流入量が確保され、建屋内外水位の逆転は生じないことについて評価した。

なお、未凍結箇所の一部閉合（Ⅱ）の実施期間における地下水流況についても、本評価方法を用いて建屋内外水位の逆転が起こらないことを確認していく。

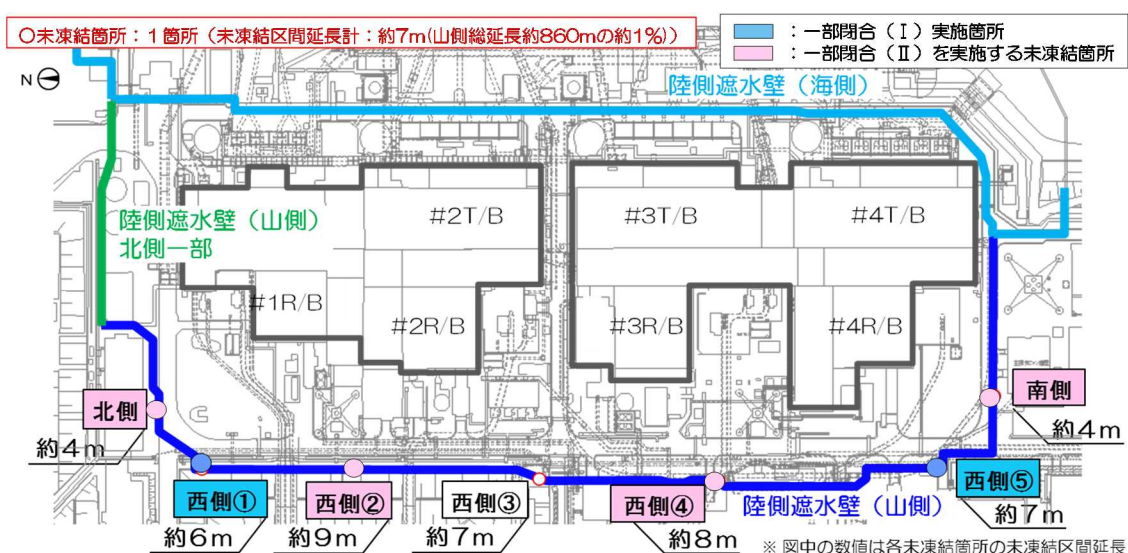


図-1 第二段階 一部閉合（Ⅱ）実施箇所

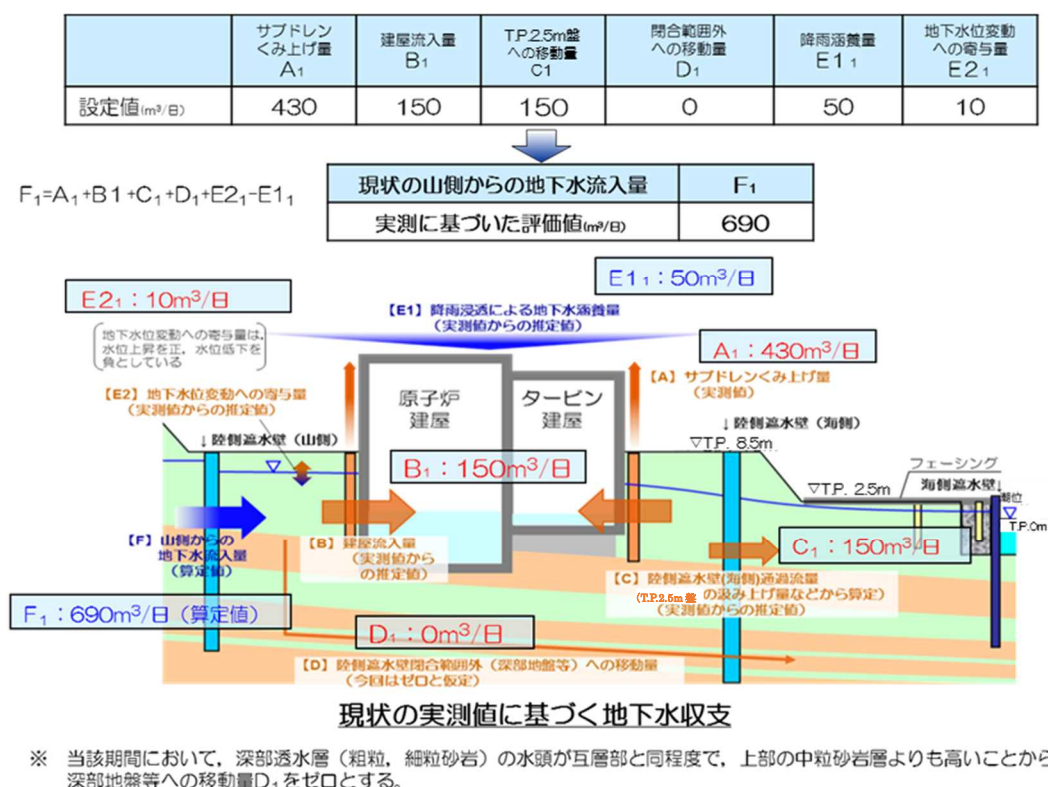
2. 未凍結箇所の一部閉合（Ⅱ）の評価

山側からの地下水は「凍結に至っていない箇所※1」と「未凍結箇所」から流入している。評価にあたっては、一部閉合（Ⅱ）の実施期間に「凍結に至っていない箇所」が全て凍結して地下水流入が無くなる状態を想定して、一部閉合（Ⅱ）実施箇所以外の残りの「未凍結箇所（西側③）」からの陸側遮水壁閉合域内への地下水流入により、建屋内外水位の逆転は起こらないことを確認する。

※1：第一段階フェーズ2および一部閉合（Ⅰ）で凍結対象としていた範囲で凍結に至っていない箇所

(1) 一部閉合（Ⅱ）の実施期間における建屋周辺への地下水流量の想定
 一部閉合（Ⅱ）（北側，西側②，西側④，南側）の実施期間における建屋周辺への地下水流量について，下記の通り評価した。

(ア) 閉合前の山側からの地下水流入量の想定
 一部閉合（Ⅱ）実施前の山側からの地下水流入量を，一部閉合（Ⅰ）開始後の期間（2017. 1. 6～1. 19）の実測値に基づいて評価した。その結果，山側からの流入量は690m³/日程度と想定される（図－2）。

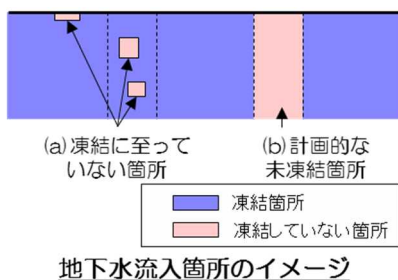


図－2 一部閉合（Ⅱ）実施前の山側からの地下水流入量の想定

(イ) 一部閉合（Ⅱ）の実施期間における凍結箇所からの地下水流入量の想定
 山側からの地下水流入量には，(a)凍結に至っていない箇所（第一段階，第二段階一部閉合（Ⅰ））と，(b)5箇所の計画的な未凍結箇所からの流入があり，(a)(b)からの流入量については，山側からの地下水流入量のそれぞれの通水面積比より想定する。そのうち，(a)からの流入は凍結が進めばなくなることから，閉合後の残りの未凍結箇所からの地下水流入量は，(b)からの流入量に未凍結箇所を4箇所閉じた場合の通水面積比を乗じた値とした。

その結果，未凍結箇所の4箇所（北側，西側②，西側④，南側）を閉合後，残り1箇所

所の未凍結箇所(西側③)からの地下水流入量は 120m³/日程度と想定される(図-3)。



現状に基づいた一部閉合(Ⅱ)後の山側からの地下水流入量の想定

| | 現状 | | | 一部閉合(Ⅱ)(北側・西側②・④・南側閉合後の想定) | |
|---|----------------|-----|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | 未凍結面積※1 | | 流入量 m ³ /日 | 未凍結面積 m ² | 流入量 m ³ /日 |
| | m ² | % | | | |
| 山側全体 (a)+(b) | 400 | 100 | 690※2 | 70 | 120 |
| (a)凍結に至っていない箇所 (第一段階, 第二段階(一部閉合(Ⅰ))) | 60 | 15 | 100 | 0 | 0 |
| (b)未凍結箇所(5箇所→1箇所) | 340 | 85 | 590 | 70 | 120 |

※1: 2017.1.16の0℃以上の領域の通水面積
中粒砂岩, 埋戻土, 互層部に設置された測温点を対象(構造物内と地下水位以浅を除く)
互層部の砂岩と泥岩の割合 4:6

※2: 2017.1.6~2017.1.19の地下水収支より

図-3 一部閉合(Ⅱ)の実施期間における残りの未凍結箇所からの地下水流入量の想定

(ウ) 一部閉合(Ⅱ)の実施期間における建屋周辺の地下水位変動の想定

一部閉合(Ⅱ)の実施期間に山側からの地下水流入量が 120m³/日に減少した場合でも, サブドレン稼働と建屋への地下水流入が継続するための地下水が建屋周辺へ供給されていることを評価し, 建屋内外水位の逆転が生じない運用が可能であることを確認する。なお, 閉合開始後の地下水位変動の想定にあたっては, 以下の点に留意した。

- ・今後, 建屋滞留水位を T.P. +0.43 まで徐々に低下するとともに, サブドレンの設定水位(L値)を建屋水位低下に伴い建屋水位+1m とすると仮定した。
- ・建屋への地下水流入量(B₁)は, 建屋内外水位差の減少に伴い減少するものとした。(図-4)
- ・T.P. 2.5m 盤への地下水の移動量(C₁)は, 陸側遮水壁(海側)の内外水位差の減少に伴い減少するものとした。(図-5)
- ・閉合後の降雨涵養量(E₁₁)は, 過去(1977~2015年)の12か月間累積最小降雨を用いた。

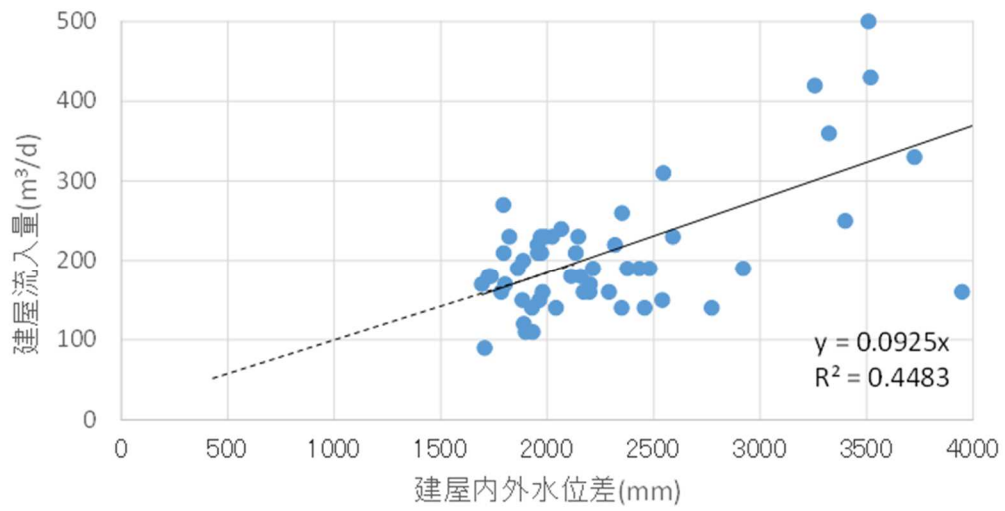


図-4 建屋内外水位差と建屋流入量の関係 (期間：2016.1～2017.1)

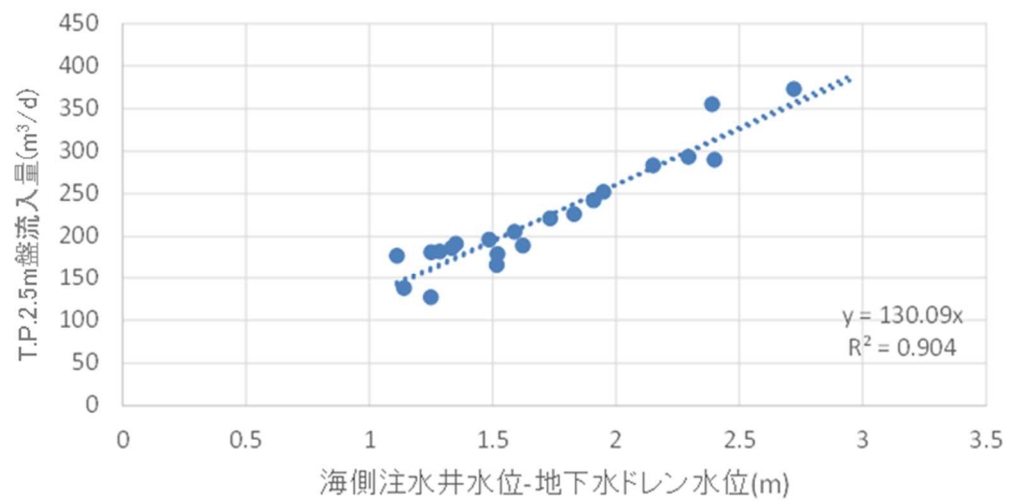


図-5 海側注水井水位-地下水ドレン水位と T.P. 2.5m 盤流入量の関係
(期間：2016.7～2017.1)

その結果、一部閉合（Ⅱ）の効果が現れ、未凍結箇所からの流入量が 120m³/日となった後においても、サブドレンの稼働は継続し、また建屋内外水位差は 1m 以上確保されると想定される（図-6）。

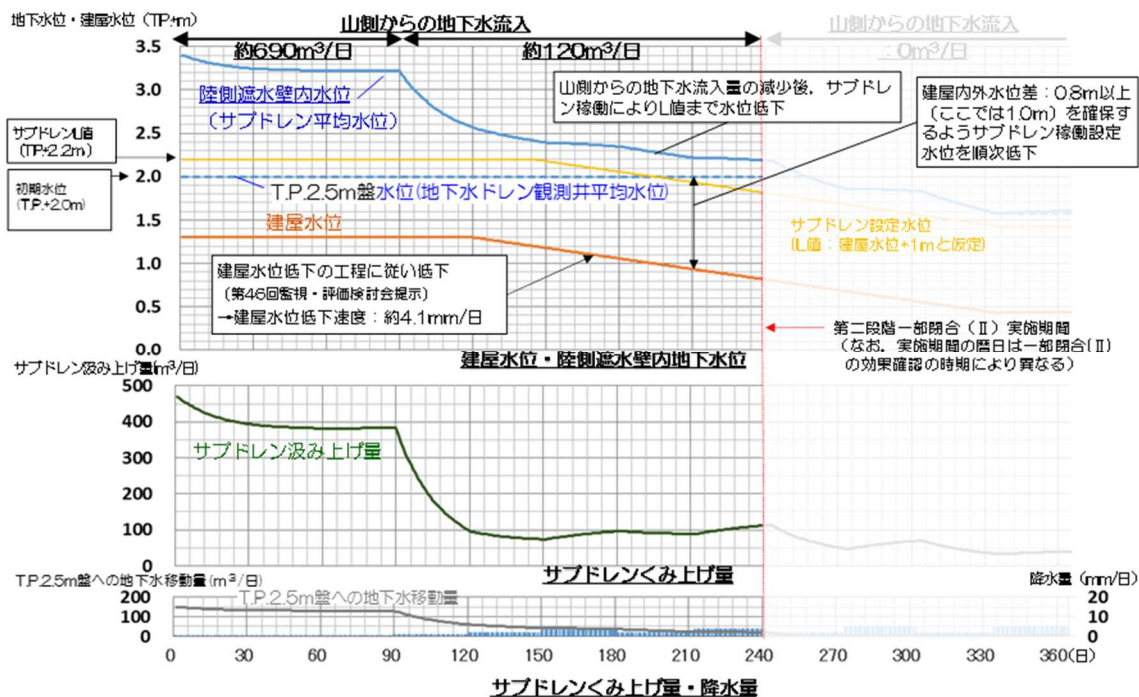


図-6 一部閉合（Ⅱ）の実施期間における建屋周辺の地下水位変動の想定

(2) 評価結果

北側、西側②、西側④、南側閉合後に、山側未凍結箇所からの地下水流入量が減少した場合の地下水収支を確認した結果、サブドレンの稼働は継続し、建屋周辺の地下水位はサブドレン設定水位（L 値）よりも高い位置で推移すると想定されることから、建屋内外水位の逆転は生じないと評価した。

上記より、未凍結箇所のうち北側、西側②、西側④、南側を閉合しても、地下水位管理上、問題とはならないものと考えられる。

以上

注水・散水用水の確保

1. 概要

早急な対応が必要と判断された場合や、降雨が少ない時期が継続する等の場合における、地下水涵養の方策として注水・散水の実施にあたり、用水の確保について示す。

2. 用水の確保

注水・散水に使用可能な用水として、坂下ダムから所内へ導水している原水と、原水を水源とする浄水設備（処理能力：600m³/日程度）より給水される浄水がある。浄水は、凍結プラントの冷却補給水に使用しており、残りを注水と散水に使用する。

原水の水源である坂下ダムにおける当社の最大使用可能量は 11,000m³/日である。また、浄水設備への給水とは別に、坂下ダムから所内までの導水管から分岐して、水処理設備付近へ原水を直接導水していることから、仮に浄水から注水(最大量約 360m³/日)した場合においても、原水の直接供給分を含めると、約 240m³/日^{*}以上は散水等へ利用可能であり、注水や散水の用水は確保されている。

^{*}降水量換算で約 3.8mm/日程度 (240m³/64,000m²≒0.0038m)

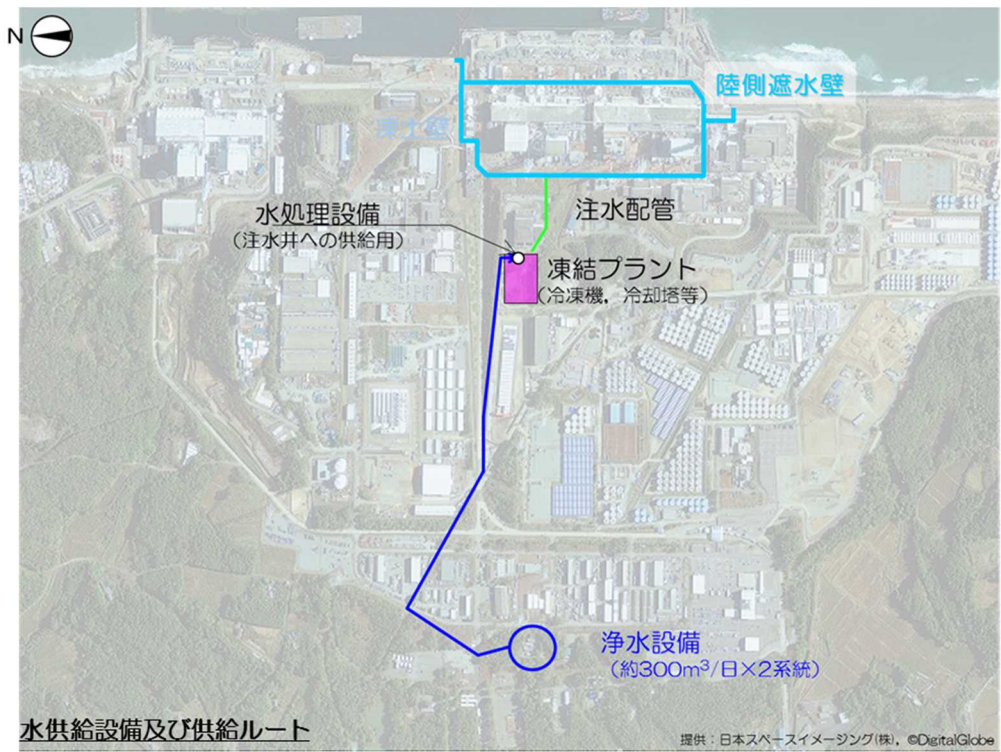


図 水供給設備および供給ルート概要

以上

陸側遮水壁（山側）の完全閉合の評価

1. 概要

第一段階フェーズ 2 および第二段階で凍結対象外としていた未凍結箇所である西側③の閉合後においても、建屋内外水位の逆転は生じないことについて評価した。

なお、第三段階（完全閉合）の実施期間における地下水流況についても、本評価方法を用いて建屋内外水位の逆転が起こらないことを確認していく。

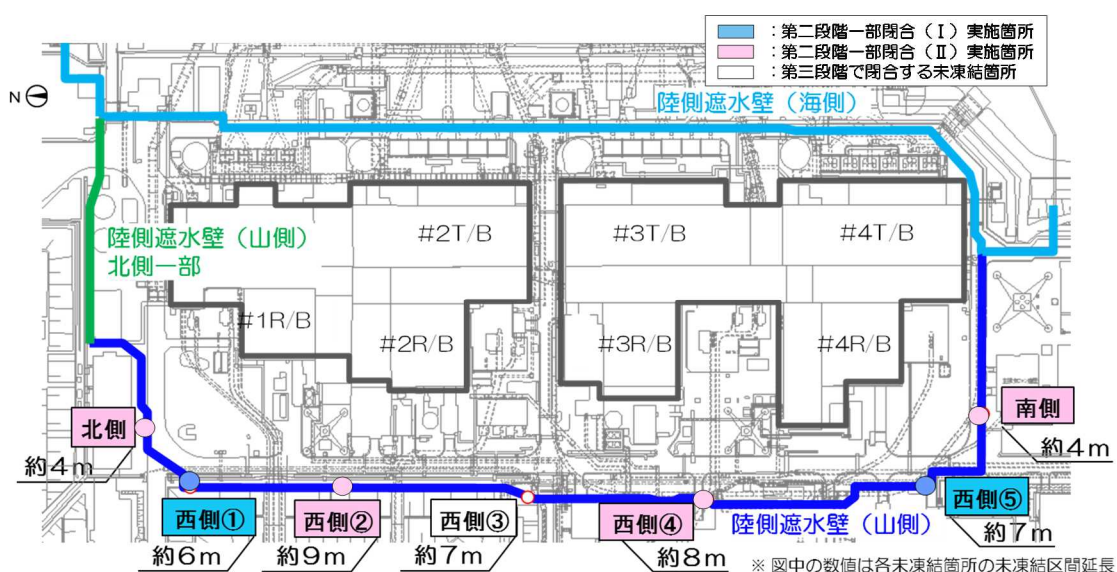


図-1 第三段階（完全閉合）における閉合実施箇所

2. 第三段階（完全閉合）の評価

山側からの地下水は「凍結に至っていない箇所^{※1}」と「未凍結箇所（西側③）」から流入している。評価にあたっては、第三段階（完全閉合）の実施期間に「凍結に至っていない箇所」および「未凍結箇所（西側③）」が全て凍結し、地下水流入が無くなる状態を想定しても、建屋内外水位の逆転は起こらないことを確認する。

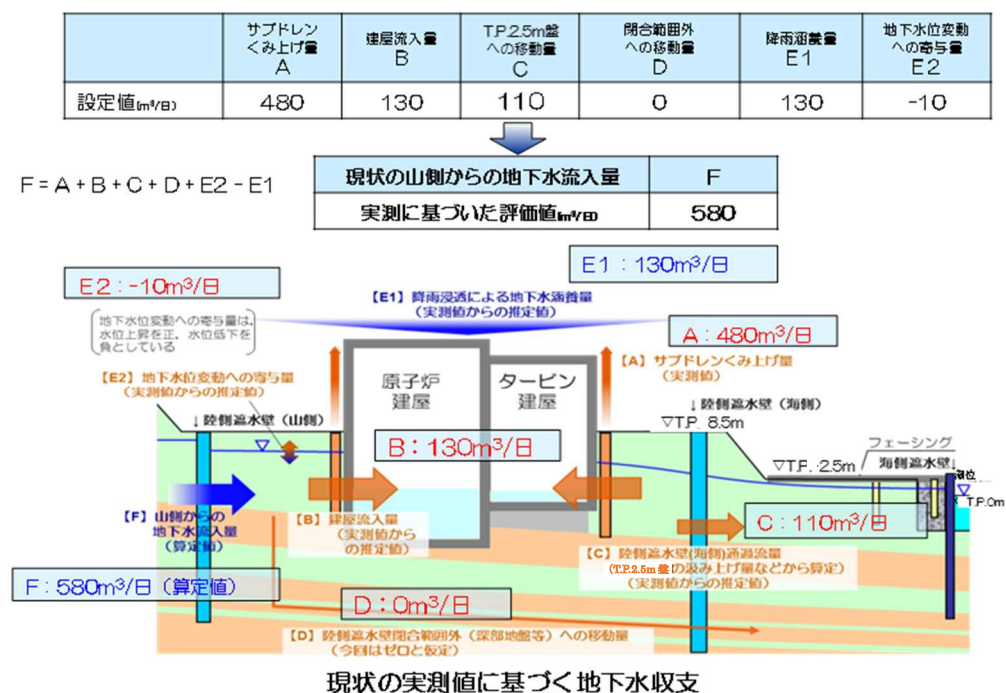
※1：第一段階フェーズ2および第二段階一部閉合（I）、（II）で凍結対象としていた範囲で凍結に至っていない箇所

(1) 第三段階（完全閉合）の実施期間における建屋周辺の地下水位変動の想定

第三段階（完全閉合）の実施期間における建屋周辺の地下水位変動について、下記の通り想定される。

(ア) 閉合前の山側からの地下水流入量の想定

第三段階（完全閉合）実施前の山側からの地下水流入量を，第二段階一部閉合（Ⅱ）開始後の期間（2017.5.1～5.31）の実測値に基づいて評価した。その結果，山側からの流入量は 580m³/日程度と想定される（図－2）。



※ 当該期間において，深部透水層（粗粒，細粒砂岩）の水頭が互層部と同程度で，上部の中粒砂岩層よりも高いことから，深部地盤等への移動量D₁をゼロとする。

図－2 第三段階（完全閉合）実施前の山側からの地下水流入量の想定

(イ) 第三段階（完全閉合）の実施期間における山側からの地下水流入量の想定

山側からの地下水流入量には，(a)凍結に至っていない箇所（第一段階，第二段階一部閉合（Ⅰ），（Ⅱ））と，(b)1箇所の計画的な未凍結箇所からの流入がある。

(a)からの流入は凍結が進めばなくなることで，閉合後には(b)からの流入量もなくなることから，山側からの地下水流入量は 0m³/日となると仮定した。

(ウ) 第三段階（完全閉合）の実施期間における建屋周辺の地下水位変動の想定

第三段階（完全閉合）の実施期間における山側からの地下水流入量が 0m³/日となった場合でも，サブドレン稼働と建屋への地下水流入が継続することを評価し，建屋内外水位の逆転が生じない運用が可能であることを確認する。なお，閉合開始後の地下水位変動の想定にあたっては，以下の点に留意した。

- ・今後、建屋滞留水位を T. P. -0.036m まで徐々に低下するとともに、サブドレンの設定水位 (L 値) を建屋水位低下に伴い建屋水位+0.9m とすると仮定した。
- ・建屋への地下水流入量 (B) は、建屋内外水位差の減少に伴い減少するものとした。
(図-3)
- ・T. P. 2.5m 盤への地下水の移動量 (C) は、陸側遮水壁 (海側) の内外水位差の減少に伴い減少するものとした。(図-4)
- ・閉合後の降雨涵養量 (E 1) は、過去 (1977~2016 年) の 24 か月間累積最小降雨を用いた。

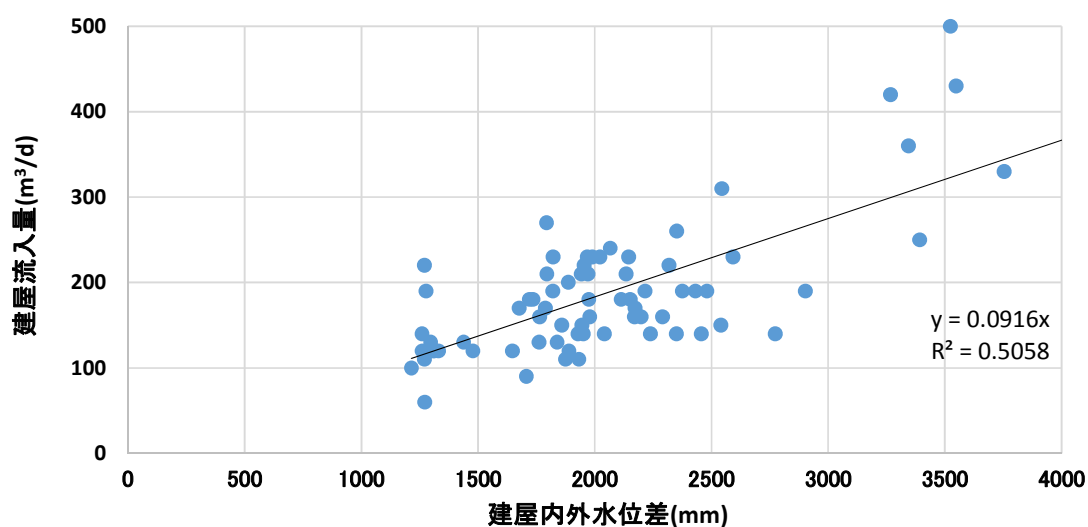


図-3 建屋内外水位差と建屋流入量の関係 (期間: 2016.1~2017.5)

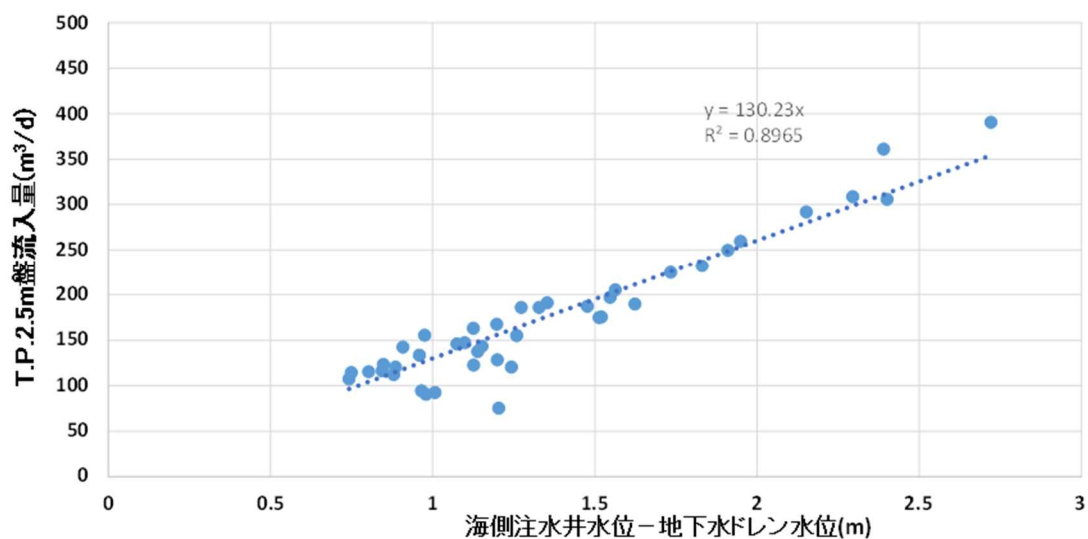


図-4 海側注水井水位-地下水ドレン水位と T. P. 2.5m 盤流入量の関係
(期間: 2016.7~2017.5)

その結果、完全閉合の効果が現れ、山側からの地下水流入量が $0\text{m}^3/\text{日}$ となった後においても、サブドレンの稼働は継続し、また建屋内外水位差は 0.9m 以上確保されると想定される（図-5）。

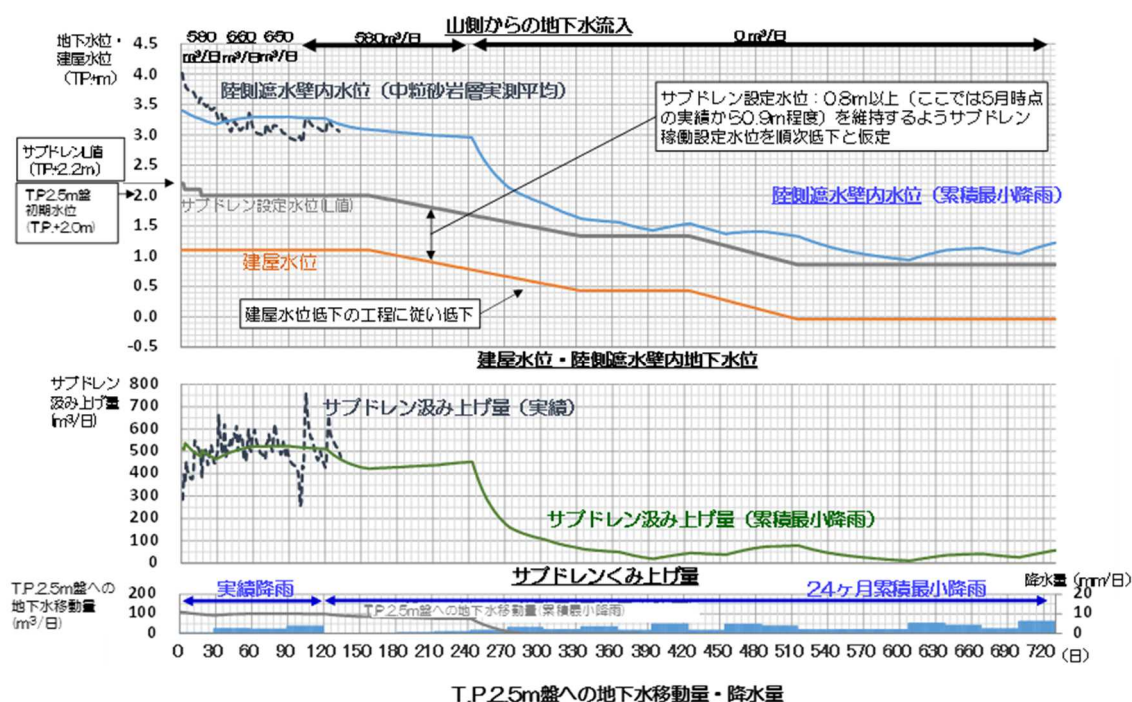


図-5 第三段階（完全閉合）の実施期間における建屋周辺の地下水位変動の想定

(2) 評価結果

第三段階（完全閉合）後に、山側からの地下水流入量が $0\text{m}^3/\text{日}$ となった場合の地下水収支を確認した結果、サブドレンの稼働は継続し、建屋周辺の地下水位はサブドレン設定水位（L値）よりも高い位置で推移すると想定されることから、建屋内外水位の逆転は生じないと評価した。

上記より、未凍結箇所（西側③）を閉合しても、地下水位管理上、問題とはならないともと考えられる。

以上

陸側遮水壁（山側ライン）における試験凍結の実施

1. はじめに

陸側遮水壁は、地盤中に凍結管を約1 m間隔で配置し、凍結管内にブライン（冷却材）を循環させて凍結管周囲の地盤を凍結して造成する。陸側遮水壁を造成するための機器は、冷凍機、冷却塔、冷却水循環ポンプ、ブライン循環ポンプ、ブライン供給ポンプ、ブライントank、ブライン移送管、接続管、凍結管（以下：「ブライン循環設備」という）で構成されている。

試験凍結では、主に、ブライン移送管や凍結管等に循環されるブラインや測温管で計測される地中の温度変化傾向を確認し、ブライン循環設備の全体システムや地下水流況の影響等を確認する。

本実施計画は、様々な条件下で上記の温度変化傾向を確認していくことが対象であり、試験凍結箇所での閉合確認を実施するものではない。また、陸側遮水壁（山側ライン）の閉合を開始するものではない。

2. 実施目的

試験凍結における具体的な実施目的は、以下の事項に関して、測温管で計測される地中温度、ブラインの送り側（ヘッダー管単位）温度、ブラインの戻り側（凍結管単位）温度の変化傾向を確認する。

- (1) ブライン循環設備の全体システムの稼働状況（ブライン移送距離、移送管設置形状）
- (2) 地下水流況の影響（設置箇所、背後斜面、周辺構造物）
- (3) 特殊環境の影響（複列箇所、試験凍結箇所が近接する場所）

上記の凍結環境において、特に影響が大きいと想定される箇所での凍結過程の地中温度などの温度変化傾向を確認することで、本格凍結時に留意すべき点の抽出や対応策を立案するための資料を得ることが可能となる。

3. 試験凍結箇所

具体的な実施箇所は以下の通り（図1参照）。

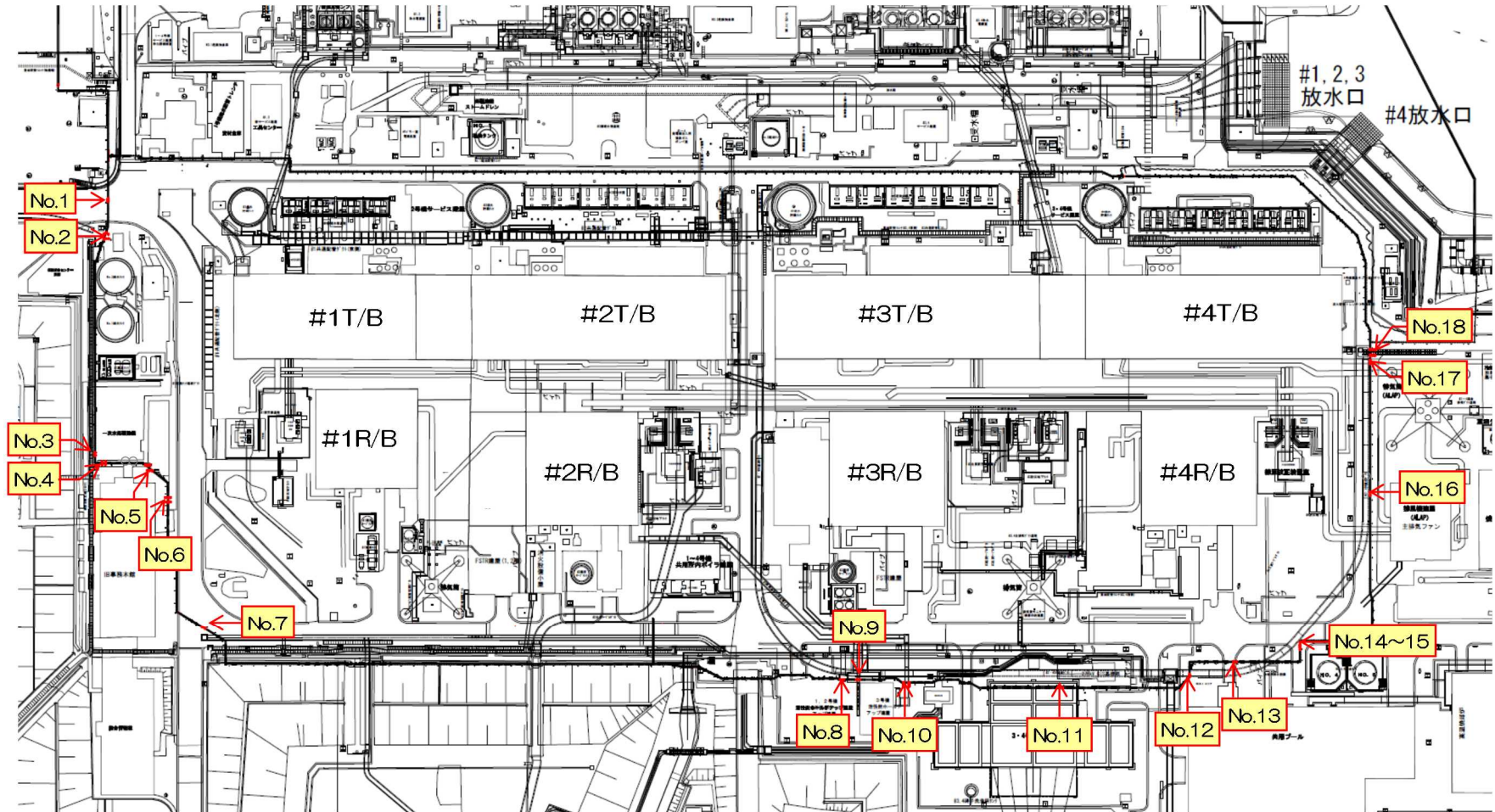


図1 試験凍結箇所

4. 試験凍結での確認項目

以下の項目を確認し、「2. 実施目的」で記載した内容を確認する。

測温管で計測される地中温度

ブラインの送り側（ヘッダー管単位）の温度

ブラインの戻り側（凍結管単位）の温度

5. 試験凍結時の建屋周辺地下水位に与える影響

フィージビリティ・スタディ※で実施した、延長12mの小規模遮水壁実証試験における遮水壁周辺の地下水位変動の分析結果および3次元浸透流解析結果から、今回の試験凍結実施においては、建屋周辺の地下水位低下の影響は僅かであるため、現状の建屋内滞留水と周辺地下水の水位差に大きく影響を与えるものではない。

※：資源エネルギー庁公募「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業（地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフィージビリティ・スタディ事業）」

以下にその理由を述べる。

- 1) フィージビリティ・スタディで実施した、延長12mの小規模遮水壁実証試験における遮水壁周辺の地下水位変動の分析結果から、小規模遮水壁実証試験では、凍結箇所近傍においては、約2.5ヶ月を経て15cm以下の水位低下であったこと、かつ約120m離隔したサブドレンの地下水位の低下傾向を確認できなかったことから、試験凍結の実施においては、降雨による一時的な水位上昇後の一過性による低下傾向を除き、建屋周辺の地下水位低下の影響は僅かである。（別添－1参照）
- 2) 今回実施する試験凍結時の3次元浸透流解析では、試験凍結前に対して、凍結完了後の地下水位低下幅は、凍結箇所近傍で1～3cm程度、建屋山側近傍で1cm程度の水位低下であり、かつ建屋海側近傍では水位低下はない結果であることから、試験凍結による建屋周辺の地下水位低下の影響は僅かである。（別添－2参照）

6. 緊急時の対応

(1) 試験凍結箇所近傍での地下水位低下時

- a. 試験凍結により地下水位に有意な影響が見られた場合には、試験凍結を休止する。

具体的な方法は、以下の通り。

- ・試験凍結箇所近傍および複数の試験凍結影響範囲外の地下水位を観測し、前日計測値からの試験凍結影響範囲外の変化量（ Δy_i ）、試験凍結箇所近傍の変化量

（ Δx ）を算出

試験凍結箇所近傍の変化量 $\Delta x = H_{x前日} - H_{x本日}$ （単位：cm）

試験凍結影響範囲外の変化量 $\Delta y_i = H_{yi前日} - H_{yi本日}$ （単位：cm）（平均値で評価）

- ・荒天時等を除き，1日につき1回，上記2点を比較する。
- ・各々の変化量に関して，下記の評価式において15cm以上となった時点で，3日間の継続監視体制をとり，1日につき2回の監視体制をとる。なお，この評価式は試験凍結開始日より適用する。

$$\Sigma (\Delta X) - \Sigma (\Delta y_i) \geq 15\text{cm} \quad (\text{単位: cm})$$

ただし，4日目以降においても，15cm以上の場合は，試験凍結による地下水位に有意な影響が見られた場合と判断し，試験凍結を休止するとともに，原因究明を行う。

また，試験凍結休止以降においても，1日につき2回の監視体制をとる。

- ・試験凍結箇所近傍での地下水位を観測予定箇所等は図2に示す。

- b. 試験凍結の休止の判断後においては，「2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋」の本文に記載のとおり，試験凍結実施箇所近傍のサブドレン水位が建屋内滞留水の水位よりも高いことを継続監視し，「2.6.1.3 設計方針（2） 汚染水処理設備の長期間の停止，豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいが防止できるよう水位を管理する。」に準拠する。

なお，休止解除にあつては，試験凍結箇所近傍や建屋周辺の地下水位を継続監視し，休止判断段階での基準水位に回復見込めた段階で試験凍結を再開する。

(2) 機器の単一故障

ブライン循環設備の故障・破損時には，速やかに必要な対応・復旧を実施する。

(3) 外部電源喪失時

ブライン循環設備の電源は，異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。

(4) 外部人為事象に対する対応

外部人為事象に対する設計上の考慮については，発電所全体の対応に従う（実施計画 II-1-14 設計上の考慮（3）外部人為事象に対する設計上の考慮）。

ブライン循環設備の機能確認に関する個別対応としては，凍結プラント建屋・制御盤等の施錠を行うことで，関係者以外の立ち入り・操作を制限する。

また，凍結プラント稼働状況，ブライン循環ポンプ，ブライン供給ポンプ等機器類の稼働状況等について，遠隔監視することで，不正操作の有無を速やかに検知する。

7. 別添

別添—1 小規模遮水壁実証試験における遮水壁周辺の地下水位変動の分析結果

別添—2 試験凍結時の3次元浸透流解析結果

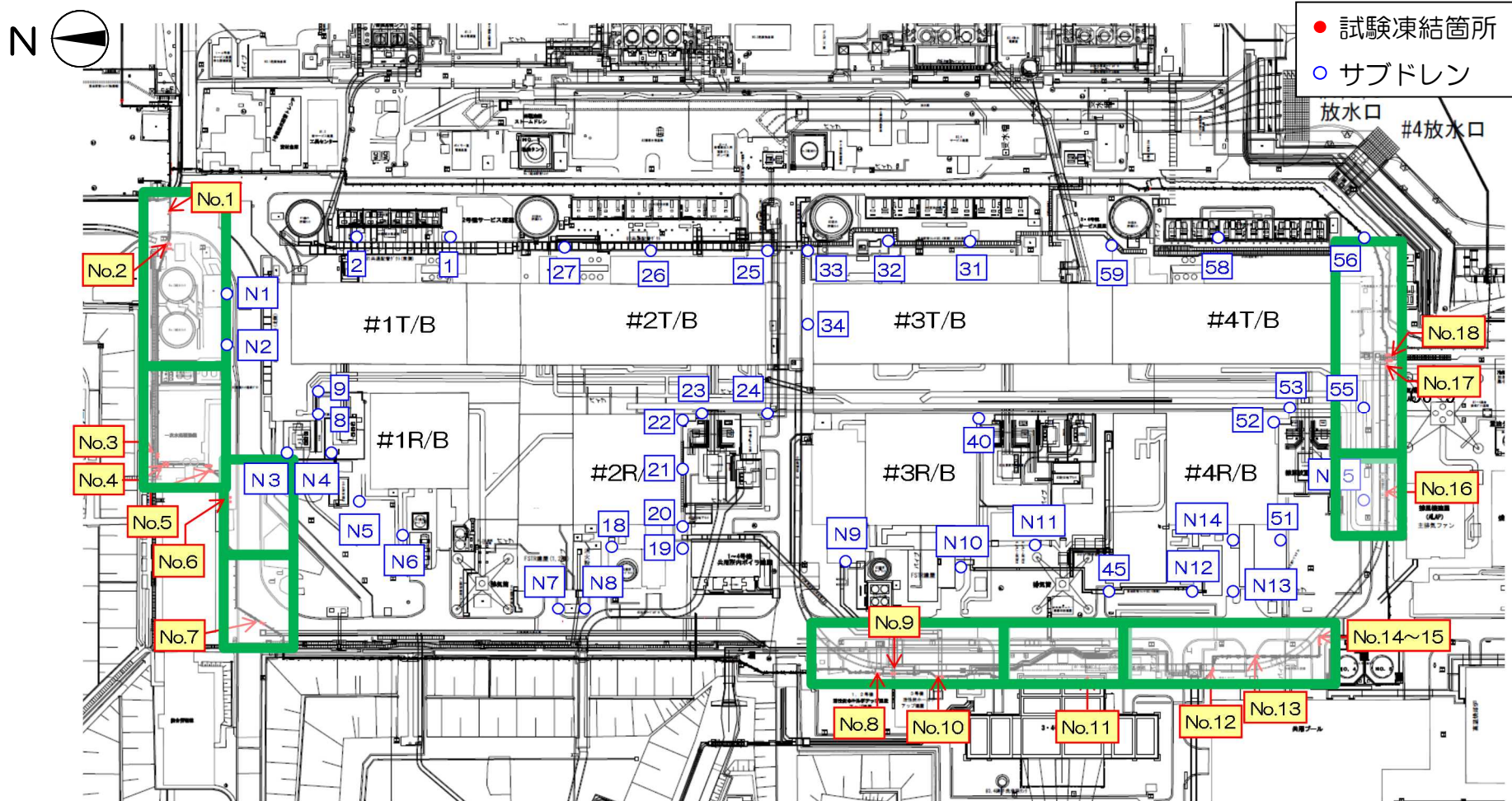


図2 試験凍結箇所・サブドレン・試験凍結箇所近傍地下水位観測予定箇所（緑枠※1） 位置関係

※1 試験凍結箇所近傍 地下水位観測予定箇所：敷地制約を考慮しながら、可能な限り試験凍結箇所近傍で地下水位を観測予定

※2 試験凍結影響範囲外 地下水位観測予定箇所：複数箇所（4箇所以上）を選定し、凍結影響範囲外で観測予定

小規模遮水壁実証試験における遮水壁周辺の地下水位変動の分析結果

1. 分析方法

フィージビリティ・スタディ^{*}で実施した延長 12mの小規模遮水壁実証試験における遮水壁周辺の地下水位変動について分析した（図1参照）。

今回着目した地下水位観測位置は、地下水の流れに対して以下の通りである。

上流側（遮水壁周辺）：OS-5, OS-6

下流側（遮水壁周辺）：OS-2, OS-3, OS-4, 観測井C

下流側（建屋周辺）：サブドレン SD45

なお、今回実施の試験凍結での最大造成長は約 8mであり、小規模遮水壁実証試験の方が遮水壁造成長の規模（12m）は大きく、地下水位変動の分析結果は保守的な評価といえる。

※：資源エネルギー庁公募「平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業（地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフィージビリティ・スタディ事業）」

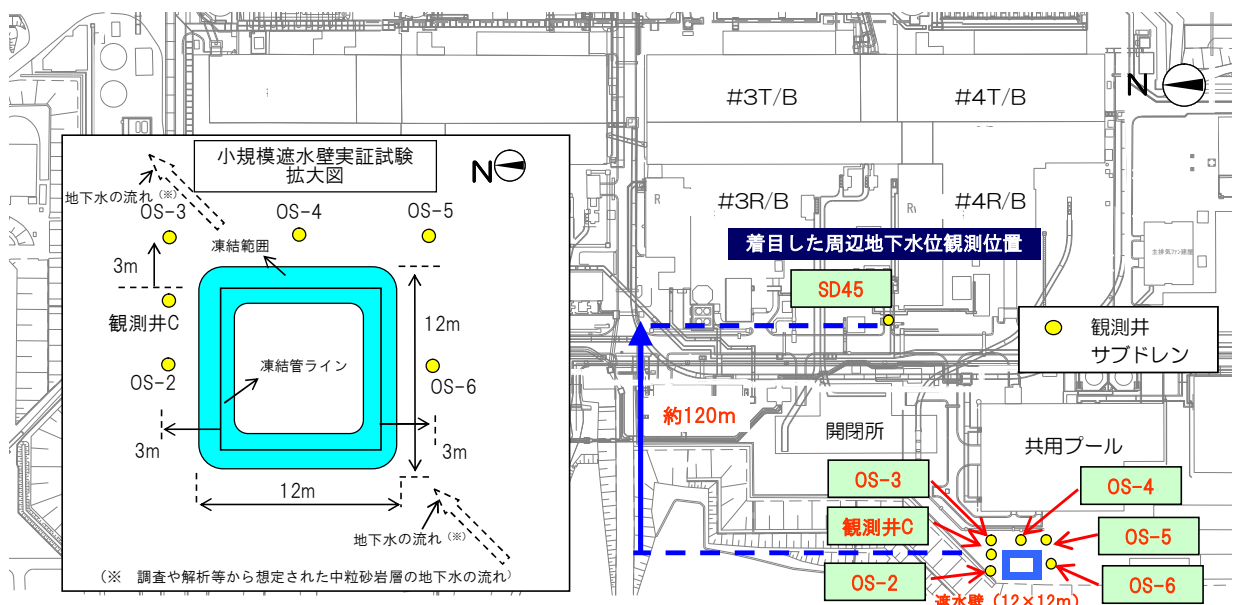


図1 小規模遮水壁実証試験での地下水位観測位置

2. 分析結果

小規模遮水壁周辺での地下水変動の経時変化（2014年3月～2014年5月）を以下に示す（図2，表1参照）。

なお，図中の①，②，③に関する定義は以下の通りである。

- ①：試験スタート時：2014/3/14～3/20（7日間平均値）
- ②：2014/5/25～5/31（7日間平均値）
- ③：降雨影響による水位変動幅：2014/4/30～5/1

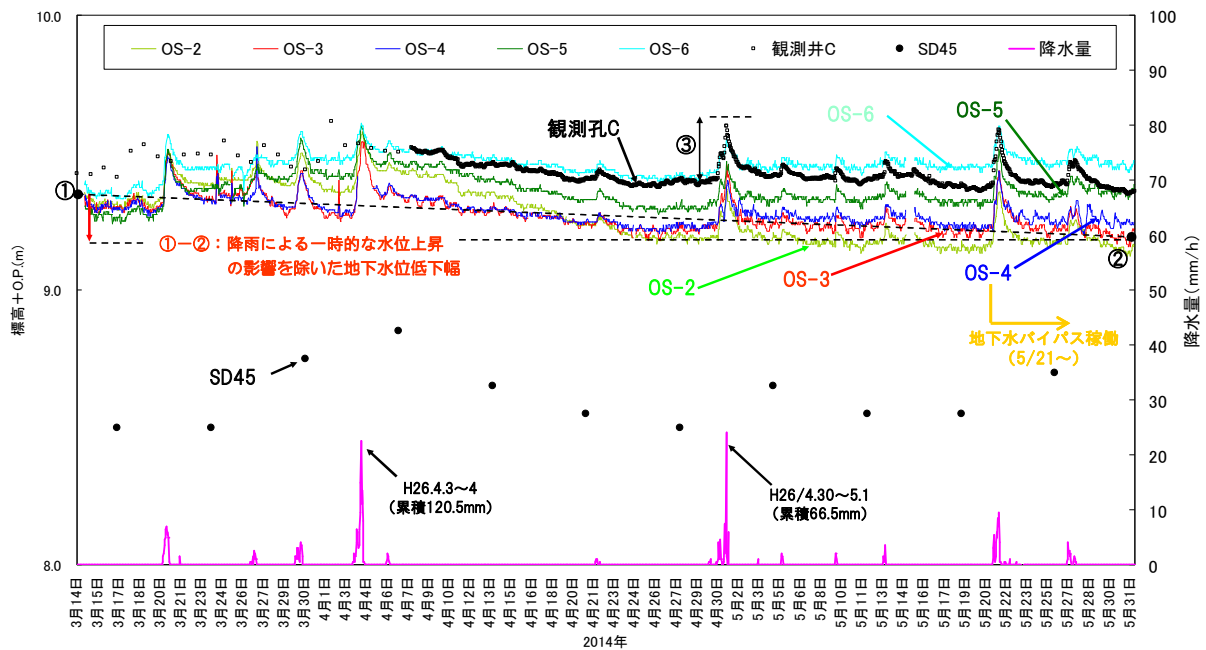


図2 小規模遮水壁実証試験での地下水変動の経時変化

※O.P.表記は震災前の「旧 O.P.表記」を指す。
 T.P.表記に換算する際は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読み替え地（-727mm）を用いて、下式に基づき換算する。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

表1 小規模遮水壁近傍での地下水変動の経時変化量

[地下水位変動幅：+：上昇 ▲：低下]

| 測定箇所 | 平均低下幅 (3/14~5/31) | 降雨影響 (4/30~5/1) |
|------|----------------------|--------------------|
| | 降雨等の影響を除外 ※1 (cm) | ※2 (cm) |
| OS-2 | ▲ 14 | +18 |
| OS-3 | ▲ 9 | +24 |
| OS-4 | ▲ 5 | +17 |
| OS-5 | +8 | +17 |
| OS-6 | +11 | +14 |
| 観測井C | ▲ 8 | +20 |

※1：①と②の差分から算出

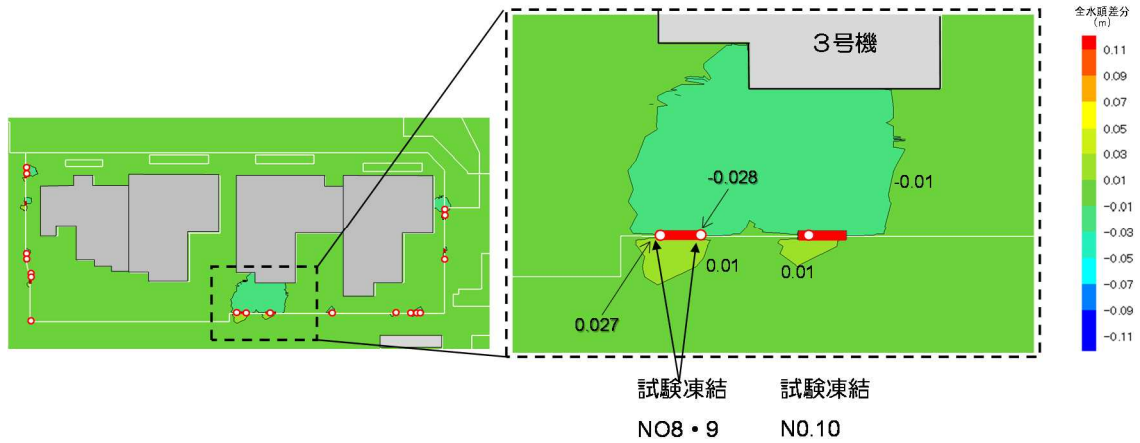
※2：降雨前3日間平均と降雨時最大値との差から算出

3. まとめ

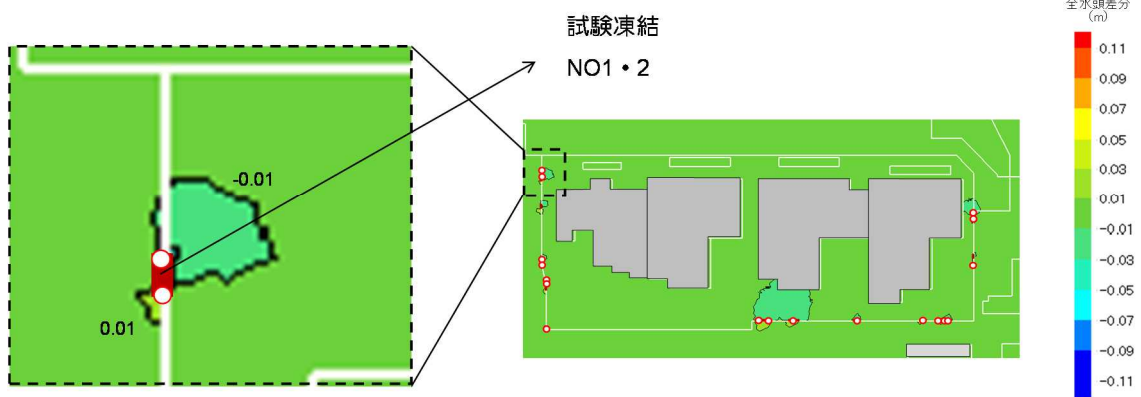
- ・小規模遮水壁近傍の地下水位観測値の分析結果から、降雨による一時的な水位上昇を除き、地下水位低下幅は近傍の水位観測孔において、約2.5ヶ月経て15cm以下。
- ・一方、降雨の影響による一時的な水位上昇幅は、2日間程度で20cm程度あり、降雨による変動上昇幅は大きく、その後の一過性による水位低下幅も大きい。
- ・小規模遮水壁から最近傍（東に約120m）のサブドレン（SD45）の地下水位変動は、低下傾向を確認できなかった。

試験凍結時の3次元浸透流解析結果

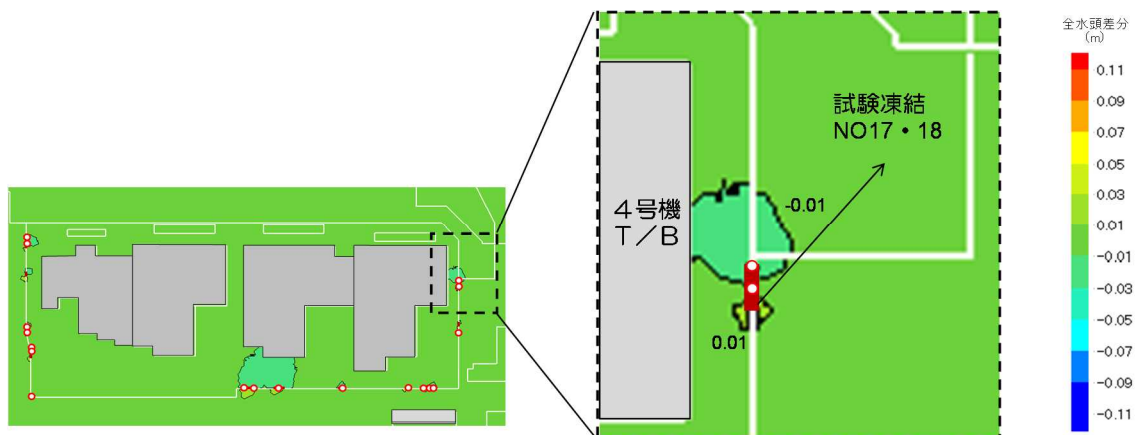
○3次元浸透流解析による試験凍結前に対する凍結後の地下水位増減の差分コンターを以下に示す。



西側：3号機山側



北側：1号機



南側：4号機

2.7 電気系統設備

2.7.1 基本設計

2.7.1.1 設置の目的

特定原子力施設に対して、必要な外部電源及び非常用所内電源を確保し、特定原子力施設の機能を達成するために必要とする電力を供給できる電気系統設備を設置する。

2.7.1.2 要求される機能

- (1) 特定原子力施設のうち重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器に対し、外部電源又は非常用所内電源のいずれからも電力の供給を受けられること。
- (2) 外部電源は、異なる送電系統で2回線以上であること。
- (3) 非常用所内電源が使用できない場合は、電源車などの代替機能を有すること。

2.7.1.3 設計方針

特定原子力施設のうち電気系統設備の設計方針は次のとおりとする。

(1) 電源の確保

特定原子力施設に対して必要な電源を確保できる設計とする。

重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器が、その機能を達成するために電力を必要とする場合においては、外部電源又は非常用所内電源のいずれからも電力の供給を受けられる設計とする。

具体的には、特に高い安全機能や監視機能を有する設備は多重化又は多様化による電力の供給、高い安全機能や監視機能を有する設備は電源切替による電力の供給、それ以外の設備は単一系統による電力の供給など、設備の機能要求に応じて電力を供給する。

(2) 外部電源

外部電源は、異なるルートで2回線以上の送電線により電力系統に接続できる設計とする。

(3) 非常用所内電源

非常用所内電源は、多重性又は多様性を備え、かつ、独立性を備えた設計とする。

(4) 検査可能性

安全機能に関連する電気系統設備は、その機能の重要度に応じて、その重要な部分の健全性及び能力を確認するために、適切な方法によりその機能を検査できる設計とする。

(5) 火災防護

所内ケーブル，電源盤等の材料は，不燃性又は難燃性のものを使用することを基本とする。

(6) 耐雷対策

電気系統設備の主要な機器については，新たな接地網の布設や既設の接地網との接続等による接地抵抗の低減対策を行う。また，送電線については，避雷器を設置する対策を行う。

(7) 小動物侵入防止対策

電源盤内への小動物の侵入による短絡・地絡事故を防止するため，小動物の侵入する恐れのある電源盤については，貫通孔等の侵入路の閉塞を行う。

2.7.1.4 供用期間中に確認する項目

所内共通ディーゼル発電機は，定期的に負荷をかけての運転状況を確認する。

2.7.1.5 主要な機器

(1) 設備概要

福島第一原子力発電所1～4号機の特定原子力施設に電力供給する送電線は，66kV送電線5回線（大熊線3号，4号，東北電力（株）東電原子力線，双葉線1号，2号）で構成する。

通常時には，所内電力は，大熊線3号及び4号から南側66kV開閉所及び66kV受電用変圧器を経由して供給する。また，双葉線1号及び2号から5号機及び6号機の起動用開閉所，起動変圧器及び所内高圧母線を通じて供給することもできる。さらに南側66kV開閉所は，東北電力（株）東電原子力線からも受電できる。

外部電源がすべて喪失した場合には，所内共通ディーゼル発電機2台から所内電力を供給できる。また，所内高圧母線は5号機又は6号機の非常用ディーゼル発電機からも受電できる。

(2) 送電線

外部電源は，以下の4回線の66kV送電線により当社の電力系統から受電する。

大熊線3号

大熊線4号

双葉線1号（5号機及び6号機の起動用開閉所で受電）

双葉線2号（5号機及び6号機の起動用開閉所で受電）

これら66kV送電線は，1回線で特定原子力施設の必要電力を送電し得る容量を有する。

また、上記の 66kV 送電線が全て停止するような場合、東北電力（株）東電原子力線から受電する。

(3) 開閉所

南側 66kV 開閉所は、66kV 送電線と 66kV 受電用変圧器を連系する遮断器、66kV 母線等で構成する。

(4) 変圧器

66kV 受電用変圧器は、送電線電圧 66kV を所内高圧母線電圧 6.9kV に降圧する変圧器で構成し、特定原子力施設の必要電力を供給する。

(5) 所内高圧母線

所内高圧母線はメタルクラッド開閉装置で構成し、所内高圧母線間を連系することにより、特定原子力施設の各設備へ電力を振り分ける。

所内高圧母線は、接続される特定原子力施設の重要度等に応じて、単一の所内高圧母線の故障があっても設備の全機能が喪失しないよう、設備を 2 母線以上に分割接続、又は双方の母線から受電できる構成とする。

尚、今後、特定原子力施設の新設等に合わせ、必要に応じ所内高圧母線及び建屋の増設を行う。

(6) ケーブル及び電線路

特定原子力施設の設備の容量に応じたケーブルで接続する。

(7) 非常用所内電源とその代替機能

所内共通ディーゼル発電機は、外部電源が喪失した場合に、1 台にて特定原子力施設のうち重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器がその機能を達成するために必要となる電力を供給できる。

所内共通ディーゼル発電機は 2 台を備え、多重性を有した設備となっており、各々専用の所内高圧母線に接続する。

また、所内共通ディーゼル発電機全台が使用できない場合においても、5 号機又は 6 号機の非常用ディーゼル発電機（5 A、5 B、6 A、6 B）から電力を供給できる。また、免震重要棟については、ガスタービン発電機から電力を供給できる。

外部電源及び非常用所内電源が使用できない場合は、代替電源の電源車（500kVA 以上×2 台）を所内高圧母線の所内共通 M/C 1 A 及び 2 A の各々に接続することにより、原子炉圧力容器・原子炉格納容器注水設備等の必要な負荷に対して電力を供給できる構成とする。

(8) 監視装置等

免震重要棟から以下を監視可能とする装置を備える。

- ・ 送電線電圧
- ・ 所内高圧母線電圧

また、電気系統設備の故障が発生した場合には、異常を検知し、その拡大及び伝播を防止するため異常箇所を自動的に切り離す保護装置を備える。

2.7.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

a. 開閉設備，変圧器

開閉設備，変圧器については，津波により影響がないと想定される高台（T.P. 約 28m 以上）へ設置する。

b. 所内高圧母線

所内高圧母線は，津波による影響がないと想定される建屋内（防水性向上対策を実施した建屋又は建屋の高所階（T.P. 約 15m 以上））又は高台（T.P. 約 28m 以上）へ設置する。

c. 所内共通ディーゼル発電機

所内共通ディーゼル発電機については，津波による影響がないと想定される建屋内に設置する。

d. 電源車

電源車については，津波による影響がないと想定される高台へ配備する。（T.P. 約 28m 以上）

(2) 火災

所内ケーブル，電源盤等の材料は，不燃性又は難燃性のものを使用することを基本とする。

(3) 豪雨，台風

所内高圧母線は，風による影響及び雨水の浸入を防止するために，建築基準法及び関連法令に基づき設計した建屋内に設置する。

2.7.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 外部電源受変電設備

外部電源からの受変電設備については、耐震設計審査指針上の C クラス設備と位置づけられており、C クラス設備として設計する。

(2) メタルクラッド開閉装置

メタルクラッド開閉装置については、床面に後打ちアンカにより固定し耐震性を確保する設計とする。

(3) 所内共通ディーゼル発電機及び補機冷却系（空気冷却器，ポンプ，主配管）

所内共通ディーゼル発電機及び補機冷却系（空気冷却器，ポンプ，主配管）については、耐震設計指針上の S クラスの設備として設計する。

(4) ケーブル及び電線路

ケーブル及び電線路についてはフレキシビリティを持たせた構造を基本とする。

2.7.1.8 機器の故障への対応

常時は 66kV 2 回線（大熊線 3 号，4 号）から所内電力を供給するが、いずれかの回線の停電時には他方の回線で電力を供給する。新福島変電所からの全ての回線（大熊線 3 号，4 号，双葉線 1 号及び 2 号）が停止している場合には、東北電力（株）東電原子力線 66kV 1 回線から供給する。これら全ての外部電源が停電している場合には、非常用所内電源から必要な設備の電力を供給する。更に、非常用所内電源からの電力供給ができない場合は、電源車 2 台から必要な設備の電力を供給する。これらの切替における 6.9kV 所内高圧母線の連系については、連系用遮断器を手動にて投入する操作を実施する。

(1) 機器の単一故障

送電線における故障の場合は、送電線の故障箇所の特定制り離しを行うが、南側 66kV 開閉所は二重母線構成のため、大熊線 3 号，4 号のいずれかが停止となっても、所内共通変圧器 2 台への電力供給は他方の送電線により維持される。一方、変圧器，所内高圧母線等の故障等により停電した場合には、故障箇所を特定した上で所内電源機器の損傷状況や現場状況に加えて負荷の損傷状況等を把握し、電源切り替えや非常用所内電源からの受電を行い、電力供給を再開する。

(2) 複数の設備が同時に機能喪失した場合

電気系統は、機器の故障等による機能喪失を防止するよう配慮した構成としているが、複数の設備の機能が同時に喪失した場合は、故障箇所を特定した上で、送電線，変圧器，所内高圧母線等の損傷状況や現場状況に加えて負荷の損傷状況等を把握し、電源切り替えや非常用所内電源の受電や電源車の配備を行い、電力供給を再開する。

2.7.2 基本仕様

2.7.2.1 変圧器主要仕様

(1) 66kV 受電用変圧器

| | |
|-----|-------------------|
| 台数 | 2 |
| 容量 | 30,000kVA (1台あたり) |
| 電圧 | 約66kV/6.9kV |
| 相数 | 3 |
| 周波数 | 50Hz |

2.7.2.2 非常用ディーゼル発電機主要仕様 (既設)

(1) 所内共通ディーゼル発電機 (A) (非常用ディーゼル発電機 4 B)

| | |
|--------------|----------|
| 台数 | 1 |
| 容量 | 8,250kVA |
| 電圧 | 6.9kV |
| 力率 | 0.8 |
| 周波数 | 50Hz |
| 補機冷却系 (冷却方式) | 空気冷却 |

(2) 所内共通ディーゼル発電機 (B) (非常用ディーゼル発電機 2 B)

| | |
|--------------|----------|
| 台数 | 1 |
| 容量 | 8,250kVA |
| 電圧 | 6.9kV |
| 力率 | 0.8 |
| 周波数 | 50Hz |
| 補機冷却系 (冷却方式) | 空気冷却 |

(3) 免震重要棟ガスタービン発電機

| | |
|-----|----------|
| 台数 | 1 |
| 容量 | 1,000kVA |
| 電圧 | 6.9kV |
| 力率 | 0.8 |
| 周波数 | 50Hz |

2.7.2.3 電源車

| | |
|----|----------|
| 台数 | 2台以上 |
| 容量 | 500kVA以上 |

電 圧 6.6kV (使用電圧 6.9kV)

相 数 3

周波数 50Hz

タンク容量／燃料消費率 2時間以上

2.7.3 添付資料

添付資料－1 送電系統一覽図

添付資料－2 所内単線結線図及び構内電源配置図

添付資料－3 所内高圧母線に接続する主な負荷及び電源設備の設計区分の考え方

添付資料－4 電源車からの電力供給負荷について

添付資料－5 構造強度及び耐震性について

添付資料－6 事故拡大及び伝播防止を目的としたメタルクラッド開閉装置の
保護継電器について

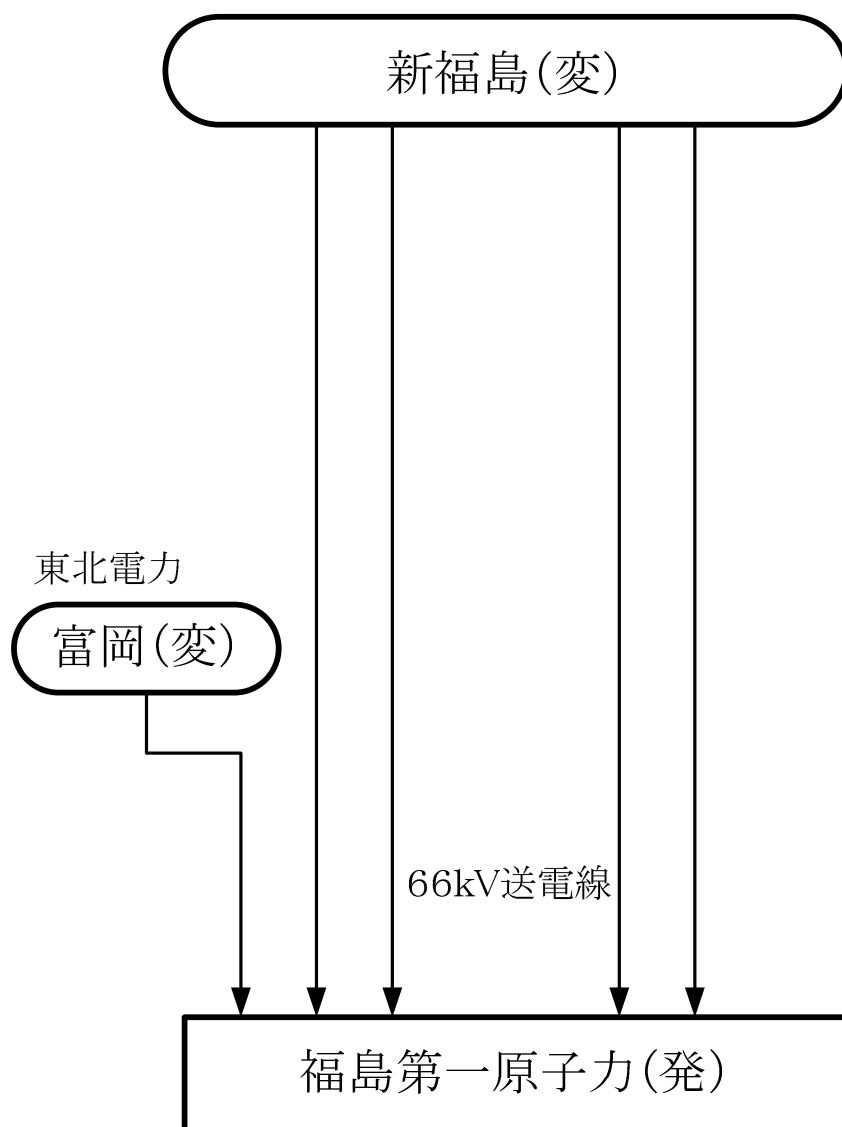


図-1. 送電系統一覽図

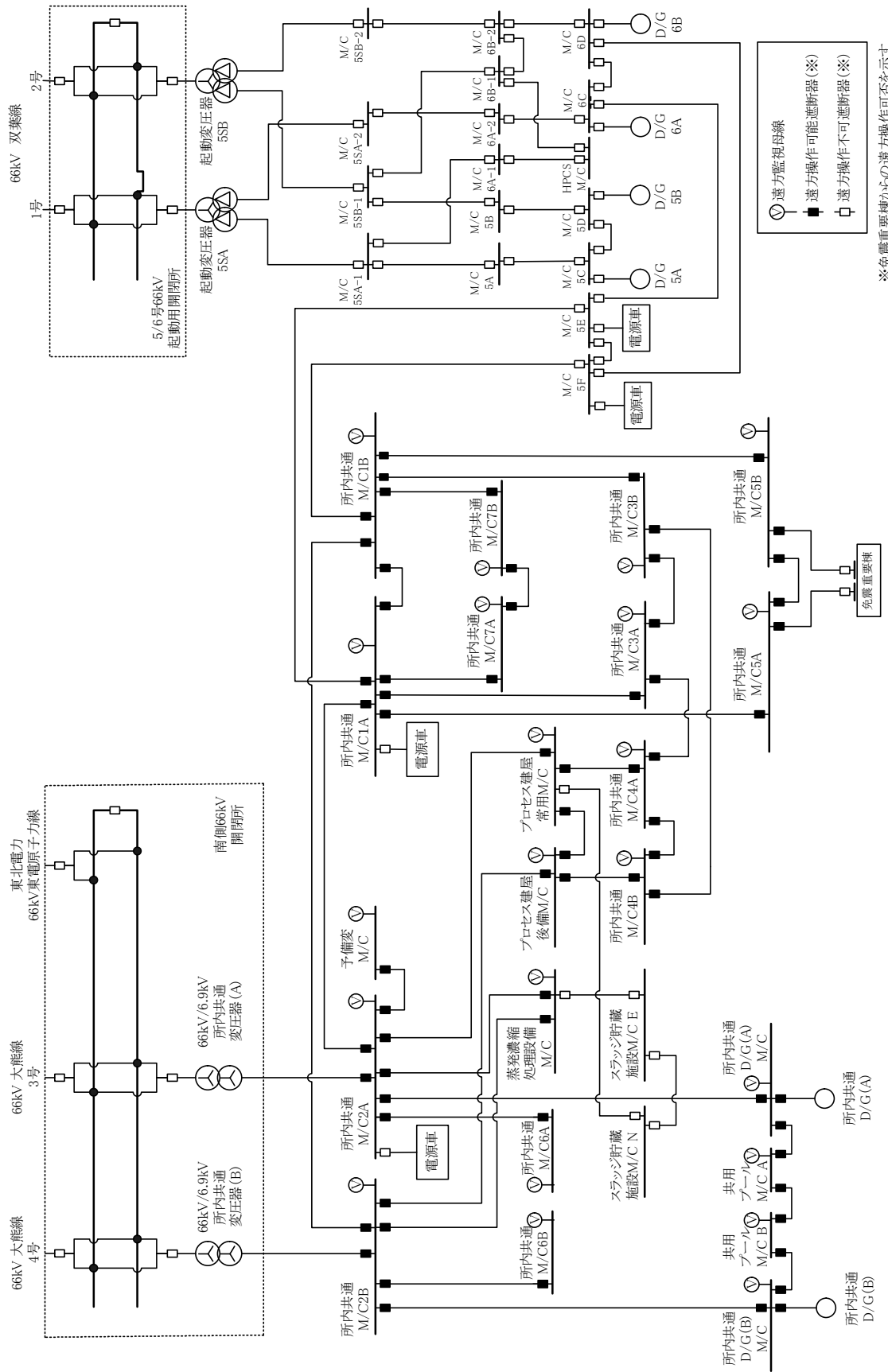


図-1. 所内単線結線図

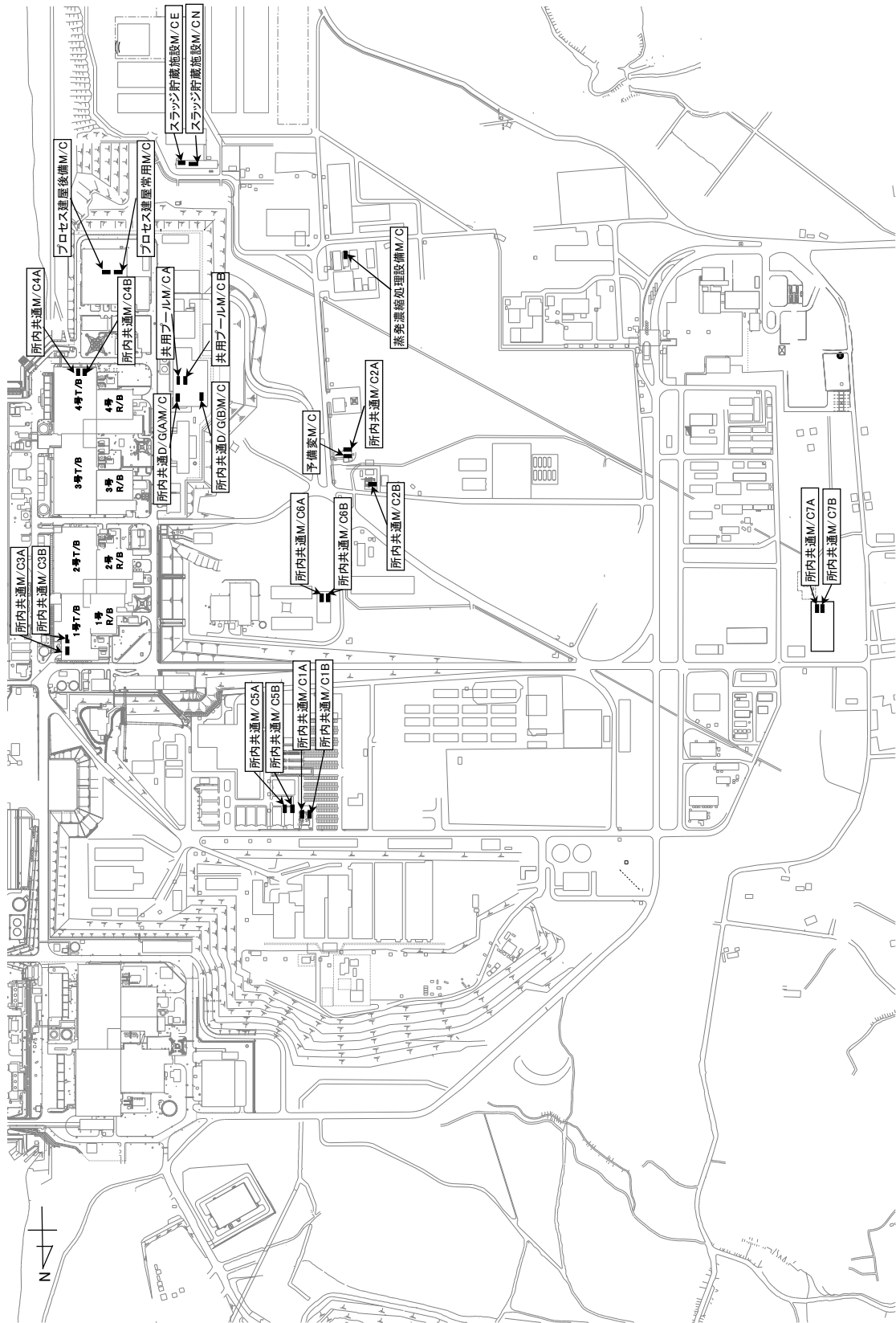


図-2. 構内電源配置図

所内高圧母線に接続する主な負荷及び電源設備の設計区分の考え方

表-1. 所内高圧母線に接続する主な負荷及び電源設備の設計区分 (A系電源)

| 所内高圧母線 | 所内共通P/C 又は 主な変圧器盤 | 接続する主な負荷 | | 供給対象 | | | 電源設計 | | 備考 | | |
|-------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|--|---|
| | | | | 所内 共通 D/G 供給 | 電源 供給 | 機器 D/G 供給 | 区分 | 負荷への電源 供給形態 | | 設備多重性 | |
| 所内共通 M/C1A | ②-2 変圧器盤 | 原子炉格納容器内窒素封入設備 | 窒素ガス分離装置 A | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 使用済燃料プール設備 | 非常用注水設備(電動ポンプ) | ○ | ○ ※2 | - | I-2 | 単一 | 多様化※1 | ※1: 消防車との多様性 | |
| | 多核種除去設備 変圧器盤A | 放射核種除去設備 | 多核種除去設備 A系、C系/共通系 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 使用済燃料乾式キャスク取扱設備 | キャスク取扱設備 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | | |
| 所内共通 M/C3A | 所内共通P/C3A | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | サブドレン他水処理施設 | 地下水ドレン前処理装置 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | | |
| | 放水路浄化設備 | 放水路浄化装置 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | | | |
| | 所内共通P/C3A、3C | 1/2号機 建屋内照明 | | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | 所内共通P/C3C | 1/2号機 計測用電源(監視計測器通信設備含む) | | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | | | 2号機 タービン建屋内炉注水ポンプ | ◎ | ◎ | - | I-2 | 単一 | 多様化 | | |
| 原子炉格納容器ガス管理設備 | | 1/2号機 CST炉注水ポンプ A | ◎ | ◎ | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | | |
| 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | | 1/2号機 原子炉格納容器ガス管理設備 A | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | | |
| プロセス建屋 常用M/C | プロセス水処理P/C(A)他 | 汚染水処理設備等 | 除染装置(12)、セシウム吸着装置(12)、造粒固化体貯槽(1) | ○ ※2 | - | - | I-2 | 単一 | 多様化 | ()内は区分 | |
| | | 滞留水移送装置 | | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| 所内共通 M/C2A | 所内共通P/C4A、4C | 3/4号機 建屋内照明 | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | 所内共通P/C4C | 3/4号機 計測用電源(監視計測器通信設備含む) | | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | | 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | 3号機 タービン建屋内炉注水ポンプ | ◎ | ◎ | - | I-2 | 単一 | 多様化 | |
| | | 原子炉格納容器ガス管理設備 | 3号機 CST炉注水ポンプ A | ◎ | ◎ | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 原子炉格納容器ガス管理設備 | 3号機 原子炉格納容器ガス管理設備 A | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | 4号機 燃料取扱設備 受電設備 | 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 | 4号機 燃料取扱設備 | カバ-A | - | - | - | III | 単一 | 燃料取扱設備は、「高い安全機能」であるがフェイルセーフ設計のため電源供給機能は「安全機能」となる | |
| | 所内共通 M/C5A | 免責重要種受電設備 | 監視室・制御室 | 免責重要種 | ○ | - | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | 免責種は非常用スタービン発電機があるため電源供給対象外 D/G負荷はCVCF |
| | | | サブドレン浄化設備高圧 変圧器盤A | サブドレン他水処理施設 | サブドレン他浄化設備 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 |
| | | 高性能多核種除去設備 変圧器盤A | 放射核種除去設備 | 増設多核種除去設備 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 所内共通 M/C6A | 凝結プラントP/C A系 | 滞留水を貯留している(滞留している場合を含む) 建屋 | 凝土遮水壁設備 | - | - | - | I-1 (I-2) | 二重化 (単一) | 二重化 (多様化) | ()内は凝土切筋完成時 | |
| | | 凝結プラントP/C A-2 | 放射線管理関係設備等 | モニタリングポスト(予備側) | ○ | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| 所内共通 M/C7A | SFP循環冷却設備配電 盤A系 | 使用済燃料プール設備 | 1~3号機 使用済燃料プール冷却系 | ○ | - | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 放射核種除去設備 | 放射核種除去設備 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | | |
| 所内共通 D/G(A)M/C | 所内共通DGAP/C | 所内共通D/G(A)補機 | | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| 共用プール M/C A | 共用プールP/C A | 共用プール補給水系 | | ○ | ○ ※2 | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | | 共用プール冷却浄化系 | | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| 予備変M/C | - | 構内配電線(モニタリングポスト予備等) | | ○ | - | - | I-2 | 切替 | 多様化 | D/G負荷はMP予備 | |
| スラッジ貯蔵施設M/C N | スラッジ貯蔵施設P/C N | 汚染水処理設備等 | 廃スラッジ一時保管施設 | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | D/G負荷は廃スラッジ設備(水素発生排気設備) | |

(注)
 ・H28.10月時点の計画におけるH31.3月末設備の主要な負荷を記載
 ・◎は重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する設備として供給するもの、○は◎以外で供給する設備(※2は運用上重要な設備と判断し供給対象とした)。
 ・各設備のうち運転に必要な系統や機器に対して供給するため、◎又は○はすべての機器に同時に供給するものではない。
 ・D/G供給時、電源供給時は一部負荷を制限する。

表-2. 所内高圧母線に接続する主な負荷及び電源設備の設計区分 (B系電源)

| 所内高圧母線 | 所内共通P/C 又は 主な変圧器盤 | 接続する主な負荷 | | 供給対象 | | | 電源設計 | | | 備考 |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------|--------------|--------------|----------------|--------------|--|
| | | | | 所内 共通 D/G 供給 | 電源車 供給 | 機器付 D/G供給 | 区分 | 負荷への電源 供給形態 | 設備多重性 | |
| 所内共通 M/C1B | ①変圧器盤 | 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | 常用高台炉注水ポンプ | ◎ | ◎ | - | I-2 | 単一 | 多様化 | |
| | ②変圧器盤 | | 純水タンク脇炉注水ポンプ | ◎ | ◎ | ○ | I-2 | 単一 | 多様化 | |
| | ①変圧器盤 | 原子炉格納容器内窒素封入設備 | 窒素ガス分離装置 C | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | ②変圧器盤 | | 窒素ガス分離装置 B | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | 多核種除去設備 変圧器盤B | 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設 | 多核種除去設備 B系、C系/共通系 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 使用済燃料乾式キャスク取保管設備 | キャスク取保管設備 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| 所内共通 M/C3B | 所内共通P/C3B | 1/2号機 建屋内照明 | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | サブレン他水処理施設 | 地下水ドレン前処理装置 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| | | 放水路浄化設備 | 放水路浄化装置 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| | 所内共通P/C3D | 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | 1/2号機 CST炉注水ポンプ B | ◎ | ◎ | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 原子炉格納容器ガス管理設備 | 1/2号機 原子炉格納容器ガス管理設備 B | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 1/2号機 計測用電源(監視計測器通信設備含む) | | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| プロセス建屋 後備M/C | 第二セシウム吸着設備変 圧器盤 | 汚染水処理設備等 | 第二セシウム吸着装置 | ○ ※2 | - | - | I-2 | 単一 | 多様化 | |
| | プロセス水処理P/C(B) | プロセス建屋内照明他 | | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 所内共通 M/C 2B | 所内共通P/C4B | 汚染水処理設備等 | 滞留水移送装置 | ○ ※2 | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 3/4号機 建屋内照明 | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | 所内共通P/C4D | 3/4号機 計測用電源(監視計測器通信設備含む) | | ◎ | ◎ | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | 3号機 CST炉注水ポンプ B | ◎ | ◎ | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | 原子炉格納容器ガス管理設備 | 3号機 原子炉格納容器ガス管理設備 B | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 | 4号機 燃料取り出し用カバー B | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | | |
| 所内共通 M/C5B | 免震重要機受電設備 | 監視室・制御室 | 免震重要機 | ○ | - | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | 免震機は非常用ガスタービン発電機があるため電源車供給対象外 D/G負荷はLVCF |
| | サブレン浄化設備高圧 変圧器盤 B | サブレン他水処理施設 | サブレン他浄化設備 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | 高性能多核種除去設備 変圧器盤B | 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設 | 増設多核種除去設備 | - | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 所内共通 M/C6B | 凍結プラントP/C B系 | 滞留水を貯留している(滞留している場合を含む) 建屋 | 凍土遮水壁設備 | - | - | - | I-1 (I-2) | 二重化 (単一) | 二重化 (多様化) | ()内は凍土初期造成時 |
| | 凍結プラントP/C B-2 | 放射線管理関係設備等 | モニタリングポスト | ○ | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| | SFP循環冷却設備配電 盤B系 | 使用済燃料プール設備 | 1~3号機 使用済燃料プール冷却系 | ○ | - | ○ | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | - | 大型機器除染設備 | 大型機器除染設備 | - | - | - | III | 単一 | 単一 | |
| 所内共通 M/C7B | - | 放射性物質分析・研究施設第1棟 | 放射性物質分析・研究施設第1棟 | - | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | |
| 所内共通 D/G(B) M/C | 所内共通D/G(B)P/C | 所内共通D/G(B)補機 | | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 共用プール M/C B | 共用プールP/C B | 使用済燃料共用プール設備 | 共用プール補給水系 | ○ | ○ ※2 | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| | | | 共用プール冷却浄化系 | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | |
| 蒸発濃縮処理設備 M/C | 蒸発濃縮処理設備用 変圧器盤 ほか | 汚染水処理設備等 | 蒸発濃縮装置、逆浸透膜装置、シールド中機 | ○ ※2 | - | - | II-2 | 切替 | 単一 | D/G負荷はシールド中機 |
| スラッジ貯蔵施設M/C 他 | スラッジ貯蔵施設P/C E 他 | 汚染水処理設備等 | 廃スラッジ一時保管施設(II)、使用済セシウム吸着塔保管施設(III) | ○ | - | - | I-1 | 二重化 | 二重化 | D/G負荷は廃スラッジ設備(水素発生排気設備) ()内は区分 |

(注)
 ・H28.10月時点の計画におけるH31.3月末設備の主要な負荷を記載。
 ・◎は重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する設備として供給するもの、○は◎以外で供給する設備(※2は運用上重要な設備と判断し供給対象とした)。
 ・各設備のうち運転に必要な系統や機器に対して供給するため、◎又は○はすべての機器に同時に供給するものではない。
 ・D/G供給時、電源車供給時は一部負荷を制限する。

福島第一原子力発電所1～4号機電源設備における設計区分の考え方

福島第一原子力発電所1～4号機特定原子力施設に関する系統及び機器への電源設備については、以下の3つの区分を基本的考え方として設計している。

■区分Ⅰ

設備機能要求：単一故障かつ外部電源喪失時においても安全機能維持すること

設計方針：電源供給，システム設備ともに多重化設計もしくはシステム設備を多様化し，それぞれに異系統の電源を供給

■区分Ⅱ

設備機能要求：単一故障かつ外部電源喪失時において，長期の安全機能の喪失がないこと
(機能要求に時間的裕度あり)

設計方針：電源を切替方式にて2系統を供給

■区分Ⅲ

設備機能要求：区分Ⅰ，Ⅱ以外

設計方針：電源供給，システム設備ともに単一

以上の考え方について，概要単結を図-1に示す。

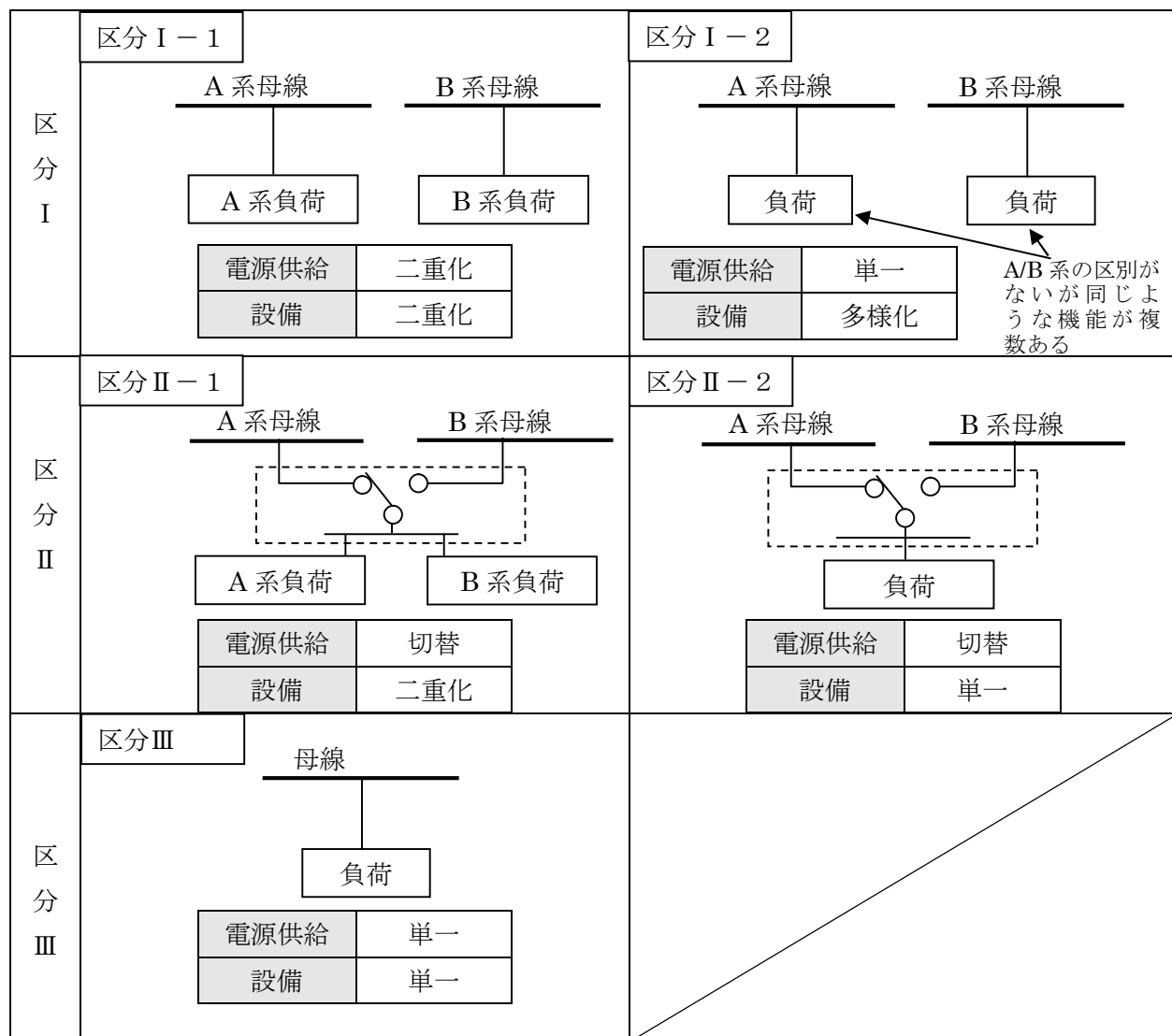


図-1 電源設備設計に関する区分別概要単結

電源車からの電力供給負荷について

所内共通M/C 1 A接続の電源車及び所内共通M/C 2 A接続の電源車（各々500kVA 以上）からの電力供給は、以下の重要度の特に高い安全機能や監視機能を有する設備等に対して計画している。

表1 所内共通M/C 1 A接続の電源車からの電力供給負荷

| 所内共通M/C1A接続の電源車からの電力供給負荷 | | 負荷容量 | 最大 |
|--------------------------|--------------------|---------|---------|
| 原子炉压力容器・格納容器注水設備 | 常用高台炉注水ポンプ | 約45kVA | 約70kVA |
| | 純水タンク脇炉注水ポンプ | 約70kVA | |
| | 1号機 CST炉注水ポンプ A又はB | 約19kVA | |
| | 2号機 CST炉注水ポンプ A又はB | 約19kVA | |
| | 1号機 タービン建屋内炉注水ポンプ | 約14kVA | |
| | 2号機 タービン建屋内炉注水ポンプ | 約14kVA | |
| 1/2号機 計測用電源及び建屋内照明 | | 約130kVA | 約130kVA |
| 使用済燃料プール設備 | 非常用注水設備(電動ポンプ) | 約47kVA | 約47kVA |
| 合計 | | | 約247kVA |

表2 所内共通M/C 2 A接続の電源車からの電力供給負荷

| 所内共通M/C2A接続の電源車からの電力供給負荷 | | 負荷容量 | 最大 |
|--------------------------|--------------------|---------|---------|
| 原子炉压力容器・格納容器注水設備 | 3号機 CST炉注水ポンプ A又はB | 約19kVA | 約19kVA |
| | 3号機 タービン建屋内炉注水ポンプ | 約14kVA | |
| 3/4号機 計測用電源及び建屋内照明 | | 約130kVA | 約130kVA |
| 使用済燃料共用プール設備 | 共用プール補給水系 | 約38kVA | 約38kVA |
| 合計 | | | 約187kVA |

構造強度及び耐震性について

- (1) 外部電源からの受変電設備については、耐震設計審査指針上のCクラス設備と位置づけられており、Cクラス設備として設計している（JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程）。新設した大熊線3号、4号、東北電力（株）東電原子力線が連系する南側66kV開閉所の開閉設備には地震に強いガス絶縁開閉装置（GIS）を採用するとともに、所内共通変圧器の基礎ボルト本数を従来に比べて増やし耐震性を高めている。
- (2) メタルクラッド開閉装置については、床面に後打ちアンカにより固定し耐震性を確保している。
- (3) 所内共通ディーゼル発電機及び補機冷却系（空気冷却器、ポンプ、主配管）については、従来同様、耐震Sクラス設計の設備を採用しており、高い信頼性を確保している。また、構造強度及び耐震性については、以下の工事計画認可申請書等により確認された設備を復旧して使用している。

所内共通ディーゼル発電機（A）及び補機冷却系（空気冷却器、ポンプ、主配管）（既設 非常用ディーゼル発電機 4 B）

工事計画届出書（総文発官5第1222号 平成6年4月25日届出）

建設時第11回工事計画認可申請書（49資庁第18004号 昭和49年11月14日認可）

建設時第19回工事計画軽微届出書（総官第989号 昭和51年12月3日届出）

建設時第21回工事計画軽微届出書（総官第1341号 昭和52年2月15日届出）

所内共通ディーゼル発電機（B）及び補機冷却系（空気冷却器、ポンプ、主配管）（既設 非常用ディーゼル発電機 2 B）

工事計画届出書（総文発官5第1220号 平成6年4月25日届出）

建設時第14回工事計画認可申請書（46公第11145号 昭和46年8月17日認可）

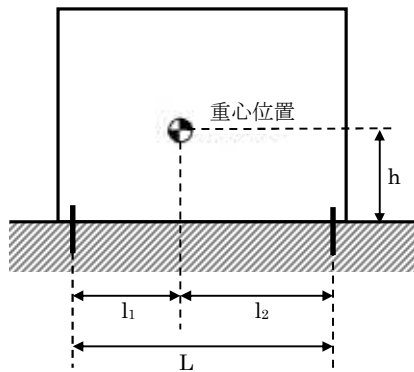
- (4) ケーブル及び電線路についてはフレキシビリティを持たせた構造を基本としており、ケーブル本体は可とう管路材に収納することで損傷防止策を講じている。

所内共通 M/C5A/B, 6A/B 及び 7A/B の耐震性評価について

(1) 耐震性評価方法について

所内共通 M/C5A/B, 6A/B 及び 7A/B の耐震性評価については、JEAC4601「原子力発電所耐震設計技術規程」等に基づき盤の固有振動数値に応じた入力地震動 S_s の応答加速度を算出し、その加速度における基礎ボルトに生じるせん断応力及び引張り応力が、許容応力に対して裕度を有しているか評価を実施した。(図 1 参照)

具体的な耐震性評価については別冊 20 参照。



- L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力が作用する基礎ボルトまでの距離
- m 盤の質量
- g 重力加速度
- h 据付面から重心までの距離
- $l_{1/2}$ 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n 基礎ボルトの本数
- A_b 基礎ボルトの軸断面積
- C_H 水平方向評価震度
- C_V 鉛直方向評価震度

図 1 所内高圧母線設備（盤）評価の概要図

ボルトに作用する引張力： $F_b = \max [F_{b1}, F_{b2}]$

$$F_{b1,2} = \frac{1}{L} \{ mg \sqrt{ \{ (C_H h)^2 + (C_V l_{1,2})^2 \} } - mg l_{1,2} \}$$

$$\text{ボルトの引張応力：} \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

ボルトに作用するせん断力： $Q_b = mg C_H$

$$\text{ボルトのせん断応力：} \tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

(2) 入力地震動について

福島第一原子力発電所における基準地震動 S_s は、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書」(原管発官 19 第 603 号平成 20 年 3 月 31 日付け)に示すとおりであり、所内共通 M/C5A/B, 6A/B 及び 7A/B 設置エリアにおける、盤の固有振動数値に応じた入力地震動 S_s の最大応答加速度を表 1 に示す。

表1 評価用最大応答加速度

| | 方向 | 最大応答加速度(gal) |
|--------------|------|--------------|
| 所内共通 M/C5A/B | 水平方向 | 806 |
| | 鉛直方向 | 517 |
| 所内共通 M/C6A/B | 水平方向 | 884 |
| | 鉛直方向 | 507 |
| 所内共通 M/C7A/B | 水平方向 | 773 |
| | 鉛直方向 | 684 |

(3) 耐震性評価結果

評価上の裕度を表2に示す。

表2 耐震性評価結果

| 名称 | 裕度 | |
|--------------|------|-----|
| | 引張り | せん断 |
| 所内共通 M/C5A/B | 13.0 | 9.2 |
| 所内共通 M/C6A/B | 30.4 | 7.4 |
| 所内共通 M/C7A/B | 21.2 | 3.8 |

以上の通り、所内共通 M/C5A/B、6A/B 及び 7A/B の所内高圧母線設備については裕度が 1 以上であり、基礎ボルトの損傷に伴い機能不全となる可能性は低いことを確認した。

(4) 凍土遮水壁凍結プラント電気品建屋の耐震性評価について

電気品建屋は、所内共通 M/C6A/B に耐震性を考慮すべき負荷設備を接続しないことから、耐震性を考慮すべき建屋には該当しない。

事故拡大及び伝播防止を目的としたメタルクラッド開閉装置の保護継電器について

所内高圧母線を構成するメタルクラッド開閉装置には、表1に示す保護継電器を組み合わせて設置し、所内高圧母線及び所内高圧母線に接続する設備で事故が発生した場合に異常を検知し、その拡大及び伝播を防止する。

表1. 保護継電器の種類

| 保護継電器の種類 | 想定事故 | 保護継電器の目的・用途 |
|----------|--------|---|
| 過電流継電器 | 短絡・過負荷 | 短絡・過負荷事故時に生じる過電流により短絡・過負荷を検知し、警報を発報するとともに、遮断器を開放する。 |
| 地絡過電圧継電器 | 地絡 | 地絡事故時に生じる零相電圧により地絡を検知し、警報を発報する。 |
| 地絡方向継電器 | | 地絡事故時に生じる地絡電流により地絡を検知し、警報を発報する。 |

2.8 原子炉格納容器ガス管理設備

2.8.1 基本設計

2.8.1.1 設置の目的

原子炉格納容器ガス管理設備は、原子炉格納容器内気体の抽気・ろ過等によって、環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減することを目的とする。また、未臨界状態、水素濃度等の監視のため、原子炉格納容器内のガスを抽気することを目的とする。

2.8.1.2 要求される機能

- (1) 環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減できること。
- (2) 未臨界状態、水素濃度等の監視のため、原子炉格納容器内のガスの抽気ができること。
- (3) 当該設備内及び放出口近傍において、不活性雰囲気を維持できること。

※：未臨界状態、水素濃度等の監視については、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器（Ⅱ.2.9 参照）に、放射性物質濃度及び量の監視については放射線管理関係設備（Ⅱ.2.15 参照）に各々記載。

2.8.1.3 設計方針

(1) 放射性物質の放出抑制及び管理機能

原子炉格納容器の隔離機能または抽気機能によって、想定される事象に対して、環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減できる設計とする。

(2) 不活性雰囲気の維持機能

原子炉格納容器ガス管理設備は、当該設備内及び放出口近傍において、不活性雰囲気を維持できる機能を有する設計とする。

(3) 構造強度

原子炉格納容器ガス管理設備は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 多重性又は多様性及び独立性

原子炉格納容器ガス管理設備のうち動的機器、フィルタ及び駆動電源は、多重性又は多様性及び独立性を備え、定期的に機能確認が行える設計とする。

(5) 異常時の対応機能

外部電源が利用できない場合においても放射性物質の放出抑制機能を継続できる設計とする。また、地震、津波等の発生を考慮しても、放射性物質の放出抑制機能

が再開可能である設計とする。

(6) 原子炉格納容器に接続する配管に対する考慮

原子炉格納容器に接続する原子炉格納容器ガス管理設備の配管は、水素爆発により、原子炉格納容器に影響を与えないよう、適切に対応するものとする。

(7) 火災防護

火災の早期検知に努めるとともに、消火設備を設けることで初期消火を行い、火災により安全性を損なうことのないようにする。

2.8.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 排気ファンが運転しており、原子炉格納容器内のガスが抽気されていること。
- (2) フィルタユニットの前後差圧に異常がないこと。

2.8.1.5 主要な機器

(1) 原子炉格納容器ガス管理設備

原子炉格納容器ガス管理設備は、排気ファン、除湿機（1号機：空調機，2・3号機：放熱器），電気ヒータ，フィルタユニット及び流量計等で構成され，原子炉格納容器よりガスを抽気し，フィルタユニットにより放射性物質を除去した後に，一部のガスをタービン建屋脇より大気へ放出する。残りの大部分のガスは，再循環し，再びフィルタユニットを通る。フィルタの湿分対策として，除湿機等により抽出ガス中の水蒸気を凝縮・分離させ，電気ヒータにより相対湿度を低下させる。

原子炉格納容器ガス管理設備によるガス抽出がない場合は，原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入量分は原子炉格納容器から漏えいしている。一方，原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーは，ガス抽出量に比例する。したがって，原子炉格納容器ガス管理設備は，窒素封入量と同程度のガスを抽気することで原子炉格納容器からの大気へ放射性物質の直接の漏えいを抑制するとともに，抽出したガスの放射性物質濃度を 1/100 以下にして放出することで，環境に放出される放射性物質の濃度及び量を低減させることができる。

原子炉格納容器ガス管理設備の動的機器及びフィルタユニットは，1系列100%容量を2系列とすることで，多重性を有する設計とする。

(2) 電源

動的機器及びフィルタユニットは2系統を有し，各々異なる系統の所内高圧母線から受電することとする。また，外部電源喪失の場合でも，非常用所内電源から電源を供給することでいずれかの系統が運転可能な構成とする。

(3) 放射性物質除去設備

放射性物質除去設備は、フィルタユニットに取り付けられた高性能粒子フィルタ（HEPA フィルタ）により、セシウム等の粒子状の放射性物質を捕獲する。なお、気体状の放射性物質（希ガス）は、セシウム等の粒子状物質と比べて影響が小さいため、放射能の減衰設備は設けていない。

また、弁開閉操作により、フィルタユニット廻りの再循環量を変更することにより、大気へ放出する放射性物質の濃度を低減できるものとする。

(4) その他

原子炉格納容器ガス管理設備は、窒素を注入できる構成とし、水素濃度が2.5%以上となった場合には、窒素の封入、設備の停止、隔離等の適切な対応をとることとする。原子炉格納容器ガス管理設備の配管等の枝管は、「BWR 配管における混合ガス（水素・酸素）の燃焼による配管損傷防止に関するガイドライン（第3版）」（一般社団法人 日本原子力技術協会）を参考に、水平下り勾配とする等、水素の滞留を防止する。

また、当該設備内に予備座を設けることにより、気体の採取ができる構成とする。

2.8.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波により、万が一、原子炉格納容器ガス管理設備の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、当該設備の停止、隔離、巡視点検を行い、速やかに機器等の復旧を行う。原子炉格納容器ガス管理設備は、設備停止後は速やかに対応し運転を再開させる。

(2) 火災

現場盤等からの火災が考えられることから、初期消火の対応ができるよう近傍に消火器を設置することとする。

2.8.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

a. 基本方針

原子炉格納容器ガス管理設備は、既設設備に該当する系統は無いが、その用途から、換気空調系に類似すると考える。当該設備は、技術基準に定められた内包する流体の放射性物質の濃度が $37\text{mBq}/\text{cm}^3$ 以上に該当することから、排気ファン等の機器についてはクラス3機器相当、配管・ダクト等については放射線管理設備に属するダクトとしてクラス4配管相当と位置付けられる。

クラス3機器及びクラス4配管の構造・強度は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、設計・建設規格という）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している主要設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当やクラス4配管相当での評価を行い、非金属材料等については、当該設備が JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用できるものとし、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

b. 主要設備の構造強度

(a) 排気ファン

排気ファンは、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(b) フィルタユニット

フィルタユニットは、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(c) 除湿機

除湿機は、原子炉格納容器ガス管理設備内ガスを通気する放熱器について評価する。放熱器は、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(d) 配管類（鋼管、鋼板ダクト、ダクトホース、フレキシブルホース）

配管類は、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス4配管相当の要求を満足するものではないが、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(2) 耐震性

a. 基本方針

原子炉格納容器ガス管理設備は、既設設備に該当する系統が無いが、その用途から、換気空調系であるCクラス相当と位置付けられることから、一般構造物と同等の耐震性を有する設計とする。

b. 主要設備の耐震構造

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等を準用し、静的震度 (1.2Ci) に基づく主要機器の転倒等の評価を行い、Cクラス相当の耐震性を有するものと評価する。この他、フレキシビリティを有する材料を用いるなどして耐震性を確保する。

2.8.1.8 機器の故障への対応

2.8.1.8.1 機器の単一故障

(1) 排気ファン、フィルタユニット等の故障

排気ファン、フィルタユニット等の機器が故障した場合は、予備機への切替を行う。

(2) 電源喪失

原子炉格納容器ガス管理設備の電源は多重化されており、受電中の電源が喪失した場合には他系統の電源に切替えを行う。

(3) 配管類の損傷

配管類が損傷した場合については、排気ファンの上流は負圧であること及びフィルタユニットが排気ファンの上流側に設置されていることから、放射性物質の濃度の高いガスの系統外への漏えいの可能性は低い。

配管類の損傷が大きく復旧が困難な場合は、原子炉格納容器ガス管理設備を停止し、速やかに配管類の取替を行う。

2.8.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

地震、津波により、万が一、原子炉格納容器ガス管理設備の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、当該設備の停止、隔離、巡視点検を行い、速やかに機器等の復旧を行う。原子炉格納容器ガス管理設備は、設備停止後は速やかに対応し運転を再開させる。

2.8.2 基本仕様

2.8.2.1 1号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

| | |
|------|-------------------------------|
| 種 類 | 遠心式 |
| 容 量 | 250 m ³ /h (1台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 3.7 kW (1台あたり) |

(2) フィルタユニット

| | |
|-----|---|
| 種 類 | 高性能粒子フィルタ |
| 効 率 | 単体 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上 総合 99.9% (粒径 0.3 μm) 以上 |
| 基 数 | 4 |

(3) 凝縮配管室空調機

| | |
|------|-----------------|
| 冷却能力 | 28 kW (1台あたり) |
| 台 数 | 4 |
| 負荷容量 | 15.8 kW (1台あたり) |

(4) 電気ヒータ

| | |
|------|----------------|
| 種 類 | 電気式 |
| 容 量 | 約 4 kW (1台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 4 kW (1台あたり) |

(5) 流量計

| | |
|------|------------------------|
| 種 類 | オリフィス式 |
| 計測範囲 | 0~40 m ³ /h |
| 台 数 | 1 |

表 2. 8 - 1 1号機 主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|---|--------------------------------------|--|
| 【1号機 原子炉格納容器ガス管 理設備】 (鋼管) | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 150A／Sch. 40 100A／Sch. 40 80A／Sch. 40 50A／Sch. 80 25A／Sch. 80 STPT370 0.35 MPa 100 °C |
| (鋼管) | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 150A／Sch. 40 STPT410 0.35 MPa 100 °C |

2.8.2.2 2号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

| | |
|------|---------------------------------|
| 種 類 | 遠心式 |
| 容 量 | 1000 m ³ /h (1 台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 5.5 kW (1 台あたり) |

(2) フィルタユニット

| | |
|-----|---|
| 種 類 | 高性能粒子フィルタ, 活性炭フィルタ |
| 効 率 | 単体 (HEPA) 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上, (活性炭) 99% (I ₂ ガス) 以上 総合 99% (粒径 0.3 μm) 以上 |
| 基 数 | 2 |

(3) 放熱器

| | |
|------|-----------------------|
| 種 類 | 空冷式 |
| 容 量 | 24.94 kW (1 基あたり) |
| 材 料 | 銅チューブ (C1220T)、アルミフィン |
| 基 数 | 4 |
| 負荷容量 | 0.4 kW (1 基あたり) |

(4) 電気ヒータ

| | |
|------|--------------------|
| 種 類 | 電気式 |
| 容 量 | 1.95 kW/h (1 台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 2 kW (1 台あたり) |

(5) 流量計

| | |
|------|---------------------------|
| 種 類 | 超音波式 |
| 計測範囲 | 2.5~150 m ³ /h |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 電池式 |

表 2. 8 - 2 2号機 主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| 【2号機 原子炉格納容器ガス管理設備】 (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 250A/Sch. 20S 250A/Sch. 10S 200A/Sch. 20S 125A/Sch. 20S 125A/Sch. 10S 50A/Sch. 20S SUS304TP 1.0 MPa 180 °C |
| (鋼管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 125Su SUS304TPD 1.0 MPa 180 °C |
| (鋼管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A, 20A SGP 1.0 MPa 180 °C |
| (ダクト) | 外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 260.0 mm 角 5.0 mm SUS304 5.8 kPa 180 °C |
| (ダクト) | 外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 257.8 mm 角 1.4 mm 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C |
| (フレキシブルチューブ) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 125A 相当 SUS304 1.0 MPa 95 °C |
| (ダクトホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 250A 相当 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C |
| (ダクトホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 60A 相当 テフロン 5.2 kPa(100°Cにおいて) 100 °C |

2.8.2.3 3号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

| | |
|------|---------------------------------|
| 種 類 | 遠心式 |
| 容 量 | 1000 m ³ /h (1 台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 5.5 kW (1 台あたり) |

(2) フィルタユニット

| | |
|-----|---|
| 種 類 | 高性能粒子フィルタ, 活性炭フィルタ |
| 効 率 | 単体 (HEPA) 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上, (活性炭) 99% (I ₂ ガス) 以上 総合 99% (粒径 0.3 μm) 以上 |
| 基 数 | 2 |

(3) 放熱器

| | |
|------|-----------------------|
| 種 類 | 空冷式 |
| 容 量 | 24.94 kW (1 基あたり) |
| 材 料 | 銅チューブ (C1220T)、アルミフィン |
| 基 数 | 4 |
| 負荷容量 | 0.4 kW (1 基あたり) |

(4) 電気ヒータ

| | |
|------|--------------------|
| 種 類 | 電気式 |
| 容 量 | 1.95 kW/h (1 台あたり) |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 2 kW (1 台あたり) |

(5) 流量計

| | |
|------|---------------------------|
| 種 類 | 超音波式 |
| 計測範囲 | 2.5~150 m ³ /h |
| 台 数 | 2 |
| 負荷容量 | 電池式 |

表 2. 8 - 3 3号機 主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| 【3号機 原子炉格納容器ガス管理設備】 (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 250A/Sch. 20S 250A/Sch. 10S 200A/Sch. 20S 125A/Sch. 20S 125A/Sch. 10S 50A/Sch. 20S SUS304TP 1.0 MPa 180 °C |
| (鋼管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 125Su SUS304TPD 1.0 MPa 180 °C |
| (鋼管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A, 20A SGP 1.0 MPa 180 °C |
| (ダクト) | 外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 260.0 mm 角 5.0 mm SUS304 5.8 kPa 180 °C |
| (ダクト) | 外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 257.8 mm 角 1.4 mm 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C |
| (フレキシブルチューブ) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 125A 相当 SUS304 1.0 MPa 95 °C |
| (ダクトホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 250A 相当 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C |
| (ダクトホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 60A 相当 テフロン 5.2 kPa(100°Cにおいて) 100 °C |

2.8.3 添付資料

添付資料—1 系統概略図

添付資料—2 構造強度及び耐震性について

添付資料—3 原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーについて

添付資料—4 原子炉格納容器ガス管理設備に係る確認事項

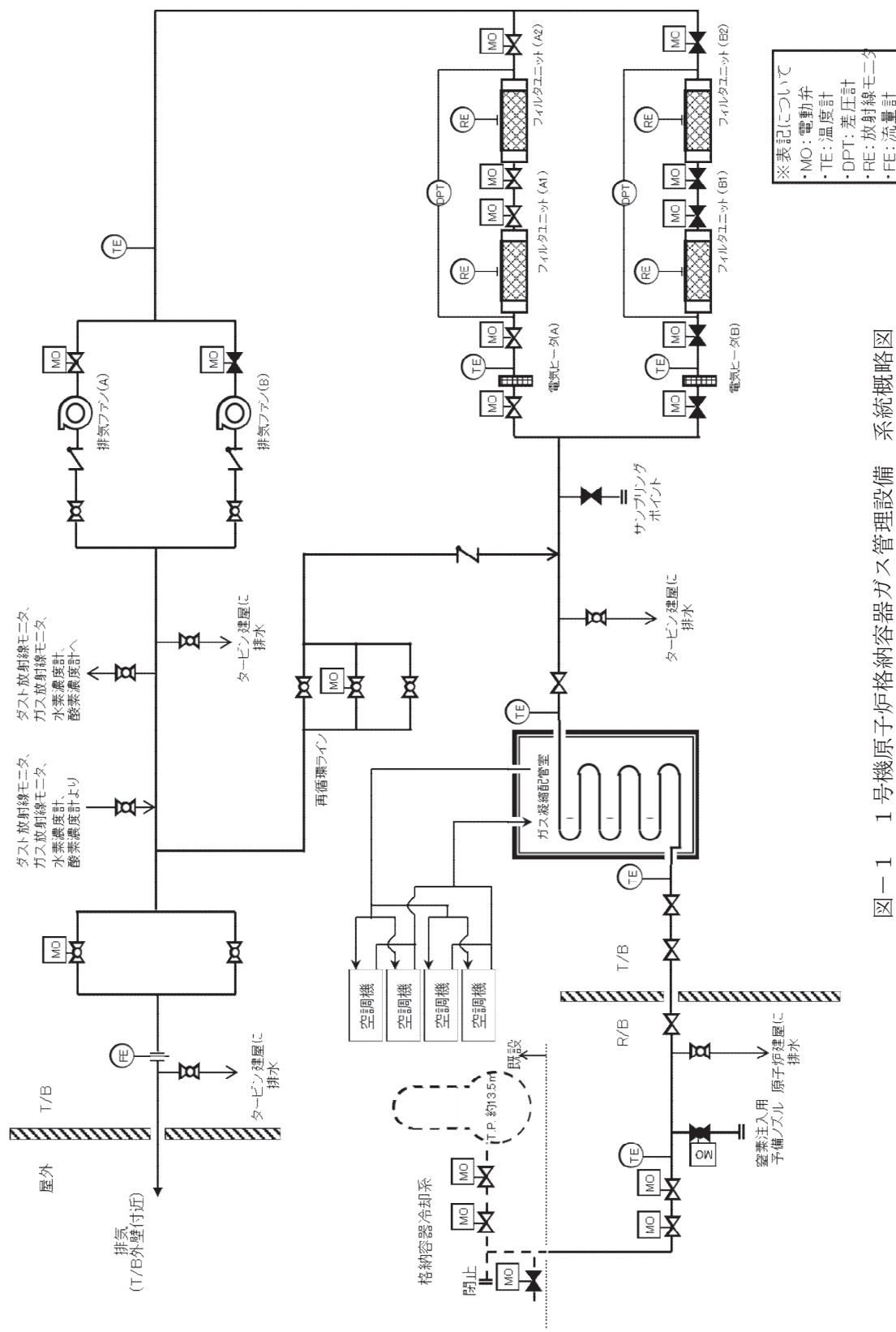


図-1 1号機原子炉格納容器ガス管理設備 系統概略図

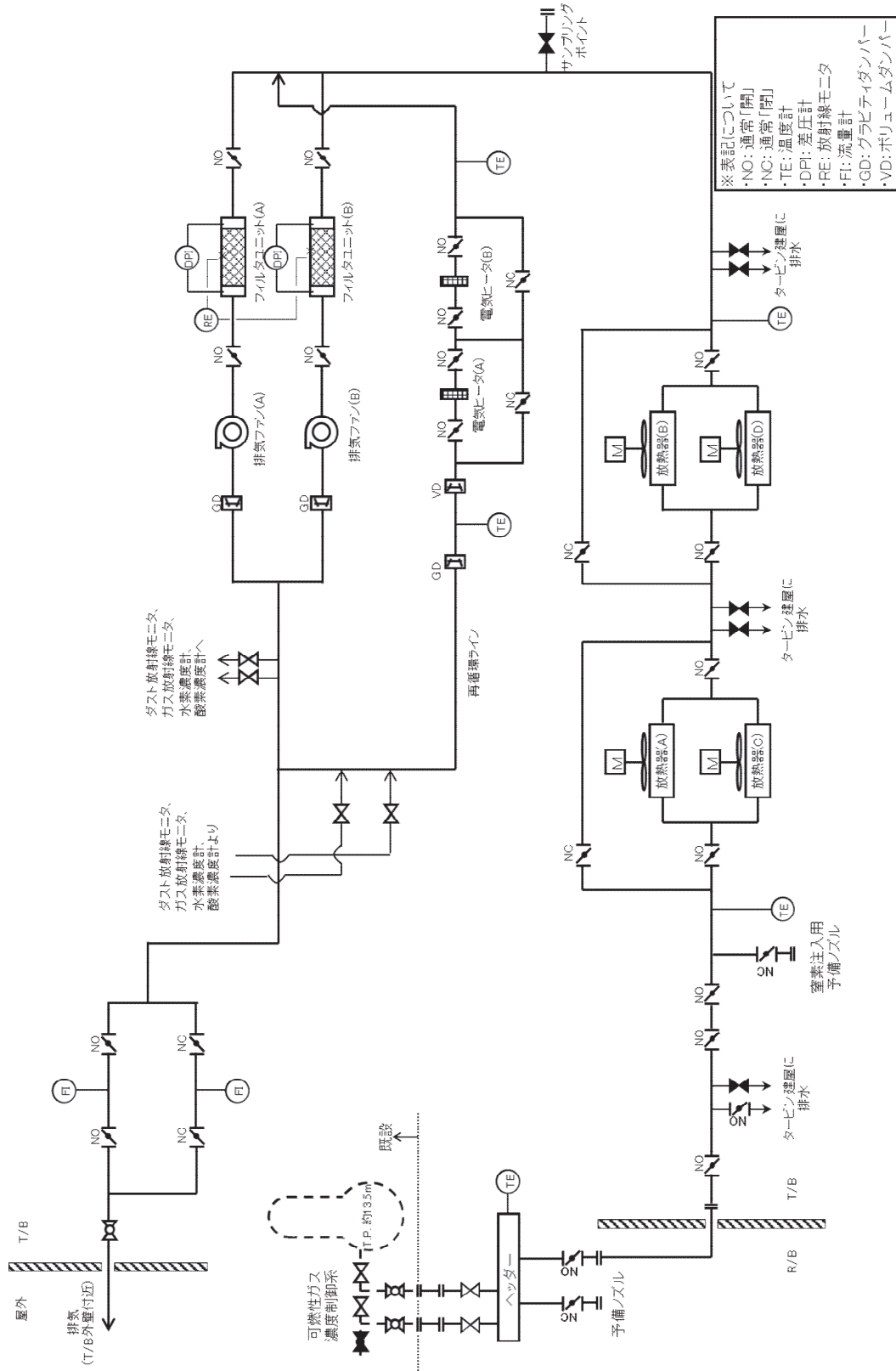
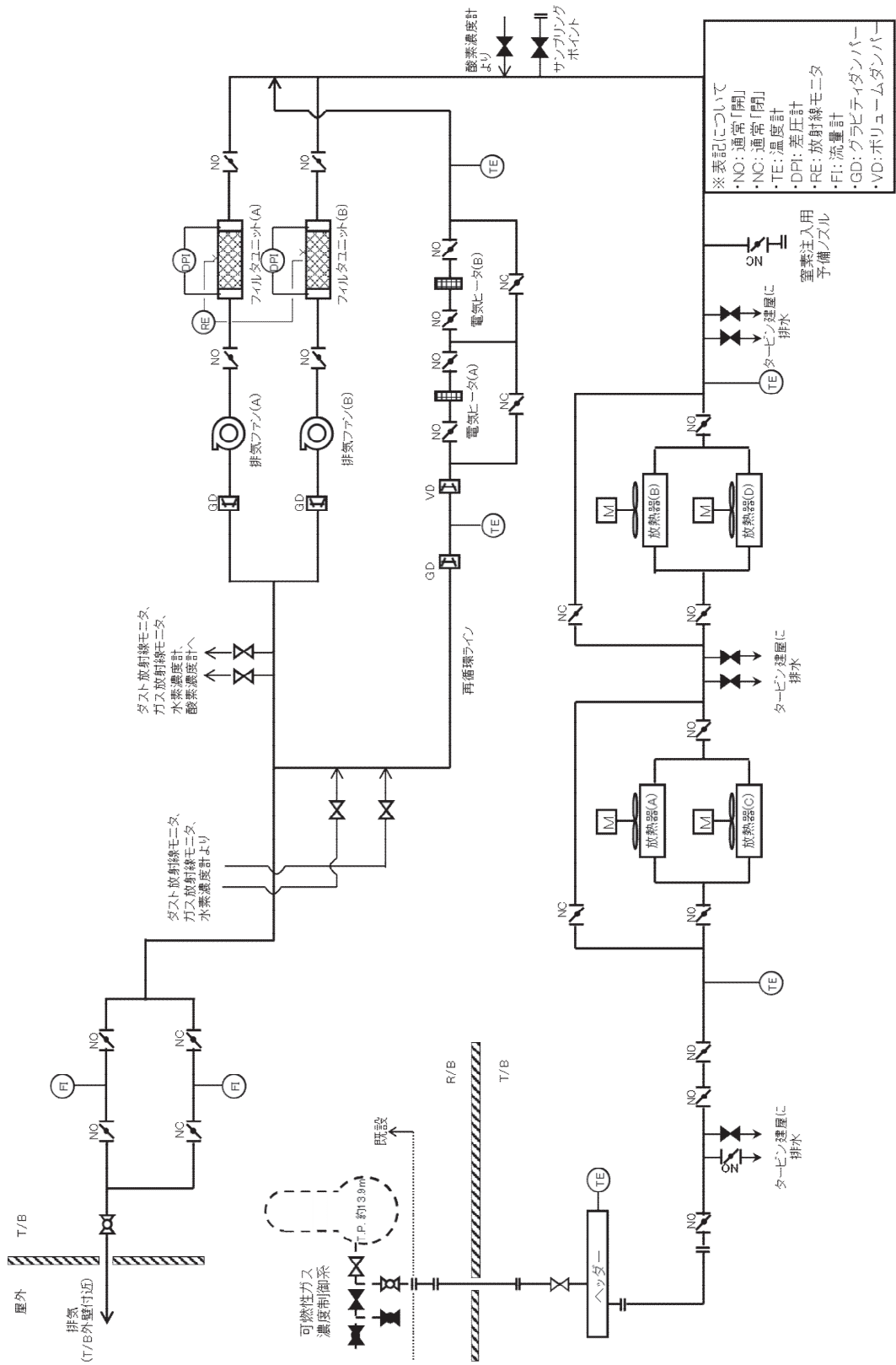


図-2 2号機原子炉格納容器ガス管理設備 系統概略図



構造強度及び耐震性について

1. 1号機

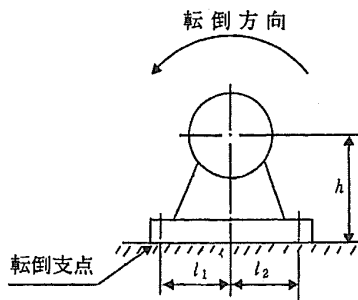
(1) 排気ファンの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

排気ファンについては、工場試験にて締切運転（約6kPa）を実施し、異常がないことを確認しており、排気ファンの運転にあたり十分な構造強度を有していると評価する。

(b) 耐震性

排気ファンの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、ファン基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力（1号機：0.21G）を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当りへの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した（表-1参照）。



C_H : 水平方向設計震度

C_p : ファン振動による震度

M_P : ファン回転により働くモーメント

l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離

l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$)

d : 基礎ボルトの呼び径

n : 基礎ボルトの本数

n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

h : 据付面から重心までの距離

W : 据付面に作用する重量

A_b : 基礎ボルトの軸断面積

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{W(C_H + C_p) \cdot h + M_P - W(1 - C_p) \cdot l_1}{1/2 \cdot n_f \cdot (l_1 + l_2)}$$

$$\text{ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q_b = W(C_H + C_p)$$

$$\text{ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

表-1 排気ファンの基礎ボルトの強度評価結果

| 号機 | 系統 | 応力種類 | 耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価 | |
|----|------|------|------------------------------|-----------|
| | | | 発生荷重[MPa] | 許容荷重[MPa] |
| 1 | A, B | 引張 | 5 | 174 |
| | | せん断 | 2 | 133 |

(2) フィルタユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

フィルタユニットについては、最高使用圧力 0.35MPa に対し、工場にて 0.5MPa の耐圧試験を実施し、破損等の異常がないことを確認している。以上のことから、フィルタユニットについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

フィルタユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-2参照)。

表-2 フィルタユニットの基礎ボルトの強度評価結果

| 号機 | 系統 | 応力種類 | 耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価 | |
|----|------|------|------------------------------|-----------|
| | | | 発生荷重[MPa] | 許容荷重[MPa] |
| 1 | A, B | 引張 | 作用しない | 174 |
| | | せん断 | 10 | 133 |

(3) 凝縮配管室空調機ユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

凝縮配管室空調機については、凝縮配管室内の空気を冷却するものであり原子炉格納容器から抽気したガスを通気するものではなく、一般的な汎用機器を使用している。

(b) 耐震性

凝縮配管室空調機ユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、保守的に供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-3参照)。

表-3 凝縮配管室空調機ユニットの基礎ボルトの強度評価結果

| 号機 | 系統 | 応力種類 | 耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価 | |
|----|------|------|------------------------------|-----------|
| | | | 発生荷重[MPa] | 許容荷重[MPa] |
| 1 | A, B | 引張 | 作用しない | 174 |
| | | せん断 | 8 | 133 |

(4) 管の構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

配管については、「設計・建設規格(2005年版)」に基づき、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、十分な構造強度を有していると評価している(表-4参照)。

表-4 配管強度確認結果

| 型式 | 公称肉厚 [mm] | 設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm] |
|----|--------------|-------------------------|
| 円型 | 4.5 | 0.5 |
| | 5.5 | 0.5 |
| | 6.0 | 0.5 |
| | 7.1 | 0.5 |

(b) 耐震性

a. 評価条件

配管は、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配管系(両端単純支持はり構造)とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸

方向については地震により管軸方向は動かないものとし、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。水平方向震度は、0.21G とする。

b. 評価方法

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

$$S_s = \alpha S_w \quad (1)$$

S_s :地震による応力

α :水平方向震度

S_w :自重による応力

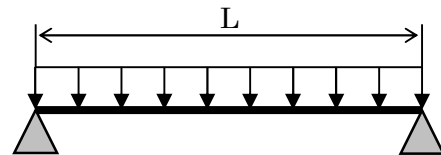
ここで、
$$S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w :自重による応力

L :サポート支持間隔

Z :断面係数

w :等分布荷重



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

また、崩壊制限に「JEAG4601 (1984 年度)」を準用し、供用状態 D の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \quad (2)$$

S_p :内圧による応力

S_w :自重による応力

S_s :地震による応力

S :内圧, 自重, 地震による応力

α :水平方向震度

従って、上記(2)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 40 MPa 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有すると評価した。

- ・内圧による応力 $S_p=10$ MPa, 許容応力を STPT370 (100°C) の $0.9 S_u=315$ MPa とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$S = 59 \text{ MPa} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・継手がある場合には、応力係数も存在する。応力係数を 3 とし、以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 3 = 156 \text{ MPa} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ MPa} \quad (4)$$

2. 2 / 3号機

(1) ユニット架台の構造強度及び耐震性

排気ファン、フィルタ、放熱器、電気ヒータ、ヘッダ、流量計は、鋼材と共にユニット化している。

(a) 構造強度

排気ファンユニットについては、材料証明書及び耐圧試験記録がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、系統最高使用圧力 5.2kPa まで耐えうる構造で設計していることを確認している。

放熱器ユニットについては、系統最高使用圧力 5.2kPa に対し、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求に準じて、工場にて 6.5kPa の気密試験により、漏えい等の異常がないことを確認している。

電気ヒータユニット、ヘッダユニット、流量計ユニットについては、ユニット内が配管で構成されているため、「(2) - 1 鋼管及び鋼板ダクト」の構造強度に示すとおり、必要な構造強度を有していることを確認している。

以上のことから、フィルタユニット以外のユニット架台については、系統最高使用圧力 5.2kPa に耐えうる構造強度を有していると判断する。

フィルタユニットについては、排気ファンの吸込側に設置しているため、フィルタユニットは負圧になる。そのため、工場にて設計風量における排気ファン吸込圧力に配管圧損を考慮した試験圧力-4.7kPa の気密試験により、漏えい等の異常がないことを確認していることから、負圧に耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

各ユニット架台の支持鋼材は、基礎ボルトで固定している。各ユニット架台の耐震性の評価として JEAC4601-2008 を準用し、基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス設備に適用される静的地震力 (2, 3号機 : 0.21G) を採用した。

評価の結果、ボルト 1 本あたりに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した (表-5, 6 参照)。

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q = \frac{C_H \cdot m \cdot g}{n}$$

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot L_1}{n_f \cdot (L_1 + L_2)}$$

C_H : 水平方向設計震度
 m : 機器の運転時質量
 h : 重心高さ
 $L1, L2$: 重心とボルト間の水平距離($L1 \leq L2$)
 nf : 評価上引張力を受けるボルト本数
 n : 評価上せん断力を受けるボルト本数
 g : 重力加速度

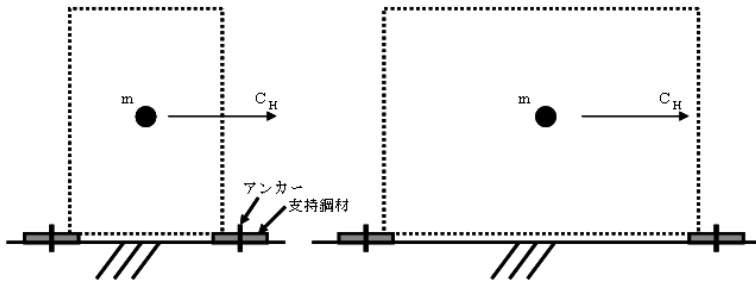


図-1 せん断評価

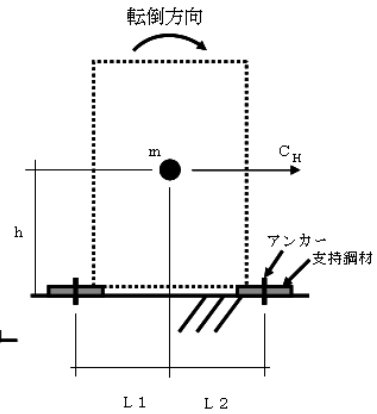


図-2 引張評価

表-5 ユニット架台の基礎ボルトの強度評価結果 (2号機)

| ユニット名 | 系統 | 応力種類 | 耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価 | |
|---------------|----|------|------------------------------|---------|
| | | | 発生荷重[N] | 許容荷重[N] |
| 排気ユニット | A | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 327 | 1725 |
| | B | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 497 | 1725 |
| フィルタ ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 411 | 1725 |
| 放熱器ユニット | A | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 366 | 1725 |
| | B | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 389 | 1725 |
| 電気ヒータ ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 348 | 1725 |
| ヘッダユニット | - | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 399 | 1725 |
| 流量計ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 255 | 1725 |

※ : フィルタユニット, 電気ヒータユニット, 流量計ユニットは, 2つ (2系統) で1つのユニットとなっている。

表-6 ユニット架台の基礎ボルトの強度評価結果（3号機）

| ユニット名 | 系統 | 応力種類 | 耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価 | |
|---------------|----|------|------------------------------|---------|
| | | | 発生荷重[N] | 許容荷重[N] |
| 排気ユニット | A | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 497 | 1725 |
| | B | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 327 | 1725 |
| フィルタ ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 411 | 1725 |
| 放熱器ユニット | A | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 366 | 1725 |
| | B | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 389 | 1725 |
| 電気ヒータ ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 348 | 1725 |
| ヘッドユニット | - | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 399 | 1725 |
| 流量計ユニット | -※ | 引張 | 0 | 2843 |
| | | せん断 | 255 | 1725 |

※：フィルタユニット，電気ヒータユニット，流量計ユニットは，2つ（2系統）で1つのユニットとなっている。

(2) 管の構造強度及び耐震性

(2) - 1 鋼管及び鋼板ダクト

(a) 構造強度

鋼管及び鋼板ダクトについては、「設計・建設規格(2005年版)」を準用し、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、原子炉格納容器ガス管理設備における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると判断する(表-7参照)。

表-7 配管強度確認結果

| 形式 | 公称肉厚 [mm] | 設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm] |
|----|--------------|-------------------------|
| 円形 | 2.0 | 0.5 |
| | 2.8 | 0.5 |
| | 3.4 | 0.5 |
| | 3.5 | 0.5 |
| | 3.8 | 0.5 |
| | 4.0 | 0.6 |
| | 5.0 | 0.5 |
| | 6.5 | 0.6 |
| 角形 | 5.0 | 0.8 |

(b) 耐震性

a. 評価条件

配管は、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配管系(両端単純支持はり構造)とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については地震により管軸方向は動かないものとし、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。水平方向震度は、0.21Gとする。

b. 評価方法

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

$$S_s = \alpha S_w \quad (1)$$

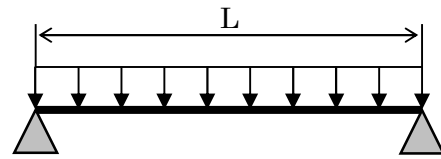
S_s :地震による応力

α :水平方向震度

S_w :自重による応力

ここで, $S_w = \frac{wgL^2}{8Z}$

S_w : 自重による応力
 L : サポート支持間隔
 Z : 断面係数
 w : 等分布質量
 g : 重力加速度



両端単純支持はりの等分布荷重より
 求まる自重による応力

また, 崩壊制限に「JEAC4601-2008」を準用し, 供用状態 C_s の場合の一次応力制限を用いるとすると, 地震評価としては(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq S_y \quad (2)$$

S_p : 内圧による応力 S_w : 自重による応力
 S_s : 地震による応力 S : 内圧, 自重, 地震による応力
 α : 水平方向震度

従って, 上記(2)式を満足するように, 配管サポート配置を設定することにより, 配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 24 MPa 程度の配管サポート配置とした場合, 発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有すると評価した。

- ・ 内圧による応力 $S_p=18$ MPa, 許容応力を SUS304TP(100°C)の $S_y=171$ MPa とし, (2)式に代入すると以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 48 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・ 継手や曲管, 分岐管, レジューサがある場合には, 応力係数も存在する。これらの応力係数を求めた結果, より安全側の評価となるように応力係数を 5 とし, 以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 5 = 164 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (4)$$

(2) - 2 ダクトホース

(a) 構造強度

ダクトホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

(b) 耐震性

ダクトホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

(2) - 3 フレキシブルホース

(a) 構造強度

フレキシブルホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

(b) 耐震性

フレキシブルホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーについて

1. 概要

原子炉格納容器ガス管理設備は、原子炉格納容器内のガスを抽出し、放射性物質を除去してから放出することで、環境へ放出される放射エネルギーを低減させる設備である。ここでは、当該設備を用いた場合に放出される放射性物質の量及び濃度ならびに当該設備全体の効率^{※1}を評価^{※2}した。

その結果、1～3号機合計で、放出する放射性物質の量は抽出した放射性物質の量の3千分の一以下に低減する能力を有すると評価した。

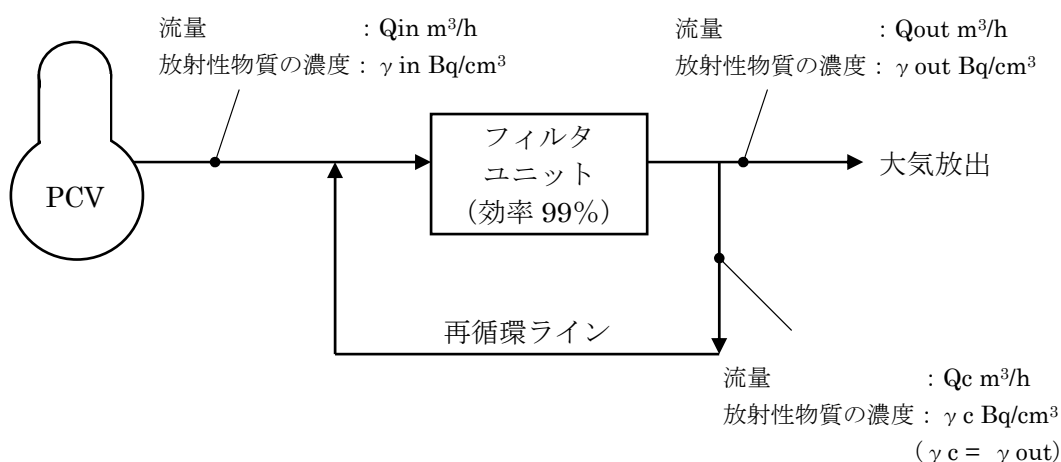
※1 フィルタユニット単体の除去効率に抽出したガスの再循環による放射性物質の除去を考慮したシステム全体としての放射性物質の除去効率

※2 検出されている粒子状放射性物質 Cs-134 及び Cs-137 について評価

2. 評価条件

(1) 評価モデル

原子炉格納容器ガス管理設備が運転し平衡状態に達すると、図—1 に示すモデルとなる。なお、原子炉格納容器より抽出したガスは、除湿機により、ガス中に含まれる水蒸気を凝縮・分離させるが、ここでは保守的に、放射性物質は水蒸気側に移行せず全量ガス中に残留しているものとした。



図—1 評価モデル

図—1 より、フィルタ前後の放射エネルギーの釣り合いは、下式となる。

$$(Q_{in} \cdot \gamma_{in} + Q_c \cdot \gamma_c) \cdot \frac{100 - 99}{100} = Q_{out} \cdot \gamma_{out} + Q_c \cdot \gamma_c \quad \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

図一 1 より $\gamma_c = \gamma_{out}$ とし、上式を大気放出側の放射性物質の濃度 γ_{out} についてまとめると、下記で示される。

$$\gamma_{out} = \frac{1}{100 \cdot Q_{out} + 99 \cdot Q_c} \cdot Q_{in} \cdot \gamma_{in} \quad \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

(2) 評価条件

評価条件を表一 1 に示す。抽出側のガス流量 Q_{in} は、流量が大きいほど、評価上厳しくなる。また、原子炉格納容器内の雰囲気温度に比例して、原子炉格納容器内の水蒸気量も増加することから、抽出側のガス流量 Q_{in} は、抽出ガス温度が高いほど増加する。したがって、流量 Q_{in} は、運転範囲を考慮し高温の 95℃とした。原子炉格納容器内ガスの放射性物質の濃度 γ_{in} については、高濃度の 100 Bq/cm³とした。放出側の流量 Q_{out} については、放出時のガス温度が低いほど気体の密度が高くなると、放出時の放射性物質の濃度も高くなることから、保守的な条件として、放出ガス温度は冬場に 5℃に低下するとした。

3. 評価結果

上述の評価条件に基づく評価結果を表一 2 に示す。原子炉格納容器ガス管理設備は、1～3号機合計で、抽出する放射エネルギー 3.83×10¹⁰ Bq/h を、1.2×10⁷ Bq/h（3千分の一以下）に低減して放出すると評価した。放射性物質の濃度は、原子炉格納容器ガス管理設備全体の効率から、1号機で 1/200 程度、2・3号機で 1/750 程度になるものと評価した。この1号機と2・3号機の違いは、排気ファンの仕様の違いによるものであり、排気ファンの容量に比例して再循環量（流量 Q_c ）が増加することから、放射性物質が除去され放射性物質の濃度が低減した再循環ガスによる抽出ガス（流量 Q_{in} ）の希釈割合が大きくなるためである。

4. 参考（1～3号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績）

1号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績（平成 24 年 1 月 12 日）は、放出放射エネルギー 4.0×10² Bq/h、当該設備全体の効率 99.998%以上であり、表一 2 の評価結果を十分に上回っている。（フィルタ入口側濃度 約 1.1 Bq/cm³^{※3}、フィルタ出口側濃度 約 1.3×10⁻⁵ Bq/cm³未満^{※3}）

2号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績（平成 23 年 11 月 14 日）は、放出放射エネルギー 1.2×10³ Bq/h、当該設備全体の効率 99.995%であり、表一 2 の評価結果を十分に上回っている。（フィルタ入口側濃度 約 1.2 Bq/cm³^{※3}、フィルタ出口側濃度 約 5.0×10⁻⁵ Bq/cm³^{※3}）

3号機原子炉格納容器ガス管理設備については、試運転中の実績（平成 24 年 2 月 24 日）として、放出放射エネルギー 3.7×10³ Bq/h、当該設備全体の効率 99.98%以下であり、

表一2の評価結果を上回るものとする。(フィルタ入口側濃度 約 6.7×10^{-1} Bq/cm³ 未満^{*3}, フィルタ出口側濃度 約 1.2×10^{-4} Bq/cm^{3*})

※3 Cs-134 と Cs-137 の合計値。検出限界未満の場合は、検出限界値として考慮。なお、フィルタ入口側についてはバイアル瓶によるガス採取であり、フィルタ出口側については粒子フィルタ及びチャコールフィルタによる採取。

表一1 評価条件

| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 備考 |
|---|--|--|-----|--|
| 流量 Q _{in} | 123 m ³ /h (15m ³ /h (Normal)) | 130 m ³ /h (16 m ³ /h (Normal)) | 同左 | 抽出ガス温度 95℃条件 |
| 放射性物質の濃度 γ _{in} | 100 Bq/cm ³ | 100 Bq/cm ³ | 同左 | |
| 流量 Q _{out} | 15.3 m ³ /h (15 m ³ /h (Normal)) | 16.4 m ³ /h (16 m ³ /h (Normal)) | 同左 | 運用開始時における想定流量 (大気放出ガス温度は 5℃で換算) |
| 流量 Q _c | 234.7 m ³ /h | 983.6 m ³ /h | 同左 | 排気ファン流量による (1号機 250m ³ /h, 2, 3号機 1,000m ³ /h) |
| (参考) 抽出する放射性物質の量 Q _{in} × γ _{in} | 1.23×10^{10} Bq/h | 1.30×10^{10} Bq/h | 同左 | 1～3号機合計 3.83×10^{10} Bq/h |

表一2 評価結果

| | 1号機 | 2号機 | 3号機 | 備考 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|
| 原子炉格納容器ガス管理設備から放出される放射性物質の濃度 γ _{out} | 0.497 Bq/cm ³ | 0.132 Bq/cm ³ | 同左 | — |
| 原子炉格納容器ガス管理設備から放出される放射性物質の量 Q _{out} × γ _{out} | 7.6×10^6 Bq/h | 2.2×10^6 Bq/h | 同左 | 1～3号機合計 1.2×10^7 Bq/h |
| 原子炉格納容器ガス管理設備全体の効率 $\left\{ \left(1 - \frac{\gamma_{out}}{\gamma_{in}} \right) \cdot 100 \right\}$ | 99.503 % | 99.868 % | 同左 | — |

原子炉格納容器ガス管理設備に係る確認事項

今回（運総発官 26 第 198 号）の申請範囲における，原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度に関する確認事項を以下に示す。

表－1 確認事項（原子炉格納容器ガス管理設備主配管（鋼管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|--------------|----------|--|--|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後，その圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。 |
| 機能 | 通気確認 | 通常運転状態にて連続運転を行い，実施計画に記載した箇所について通気されていることを確認する。 | 通常運転状態にて，通気されていること。 |

<構造強度・耐震性に係る準拠規格及び基準>

- ・ JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程
- ・ JEAG4601 原子力発電所耐震設計指針
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表-2 確認事項（原子炉格納容器ガス管理設備主配管（鋼管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定 |
|------|---------|---|--|
| 溶接検査 | 材料検査 | 材料が、溶接規格に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。 | 材料が、溶接規格に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。 |
| | 開先検査 | 開先形状が溶接規格に適合するものであることを確認する。 | 開先形状が溶接規格に適合するものであること。 |
| | 溶接作業検査 | あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。 | あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。 |
| | 非破壊試験 | 溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格に適合するものであることを確認する。 | 溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格に適合するものであること。 |
| | 耐圧・外観検査 | 規定圧力で保持した後、規定圧力に耐えかつ漏えいが無いことを確認する。また、目視により溶接部の仕上がり状況を確認し、溶接規格に適合していることを確認する。 | 規定圧力で保持した後、規定圧力に耐えかつ漏えいが無いことを確認すること。また、溶接部に外観上、傷・へこみ・変形等の異常がなく、溶接規格に適合するものであること。 |

<溶接検査に係る準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NB-1 発電用原子力設備規格 溶接規格
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則第17条15号等

以上

2.9 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器

2.9.1 基本設計

2.9.1.1 設置の目的

福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態、未臨界状態、不活性雰囲気状態を適切に監視するため、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器を設置する。

2.9.1.2 要求される機能

- (1) 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態を適切に監視できるとともに、記録が可能な機能を有すること。
- (2) 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の未臨界状態を適切に監視できるとともに、記録が可能な機能を有すること。
- (3) 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の不活性雰囲気状態を適切に監視できるとともに、記録が可能な機能を有すること。

2.9.1.3 設計方針

(1) 冷却状態の監視

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態が監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

(2) 未臨界状態の監視

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の未臨界状態が監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

(3) 不活性雰囲気状態の監視

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の水素濃度が監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

2.9.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 冷却状態の監視のための計測器が監視に使用できる状態であること。
- (2) 未臨界状態の監視のための計測器が監視に使用できる状態であること。
- (3) 不活性雰囲気状態の監視のための計測器が監視に使用できる状態であること。

2.9.1.5 主要な機器

(1) 設備概要

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器は、冷却状態の監視のための計測器として原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計、未臨界状態の監視のための計測器としてガス放射線モニタ、不活性雰囲気状態の監視のための計測器として水素濃度

計で構成される。

原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度計は、原子炉压力容器・原子炉格納容器内に設置し、免震重要棟集中監視室で遠隔監視可能な設備とする。免震重要棟集中監視室までの伝送設備については、多重化、無停電電源装置の設置、プラント監視計測器専用に設置している電源（プラント計測器用エンジン発電機）の確保等により十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設備とする。

ガス放射線モニタ、水素濃度計は原子炉格納容器ガス管理設備に設置し、免震重要棟集中監視室で遠隔監視可能な設備とする。また、酸素濃度計も、原子炉格納容器ガス管理設備に設置する。

なお、今後の廃炉作業に向け、原子炉格納容器の漏洩孔位置に関する情報を得ることを目的として、原子炉格納容器水位計の設置を検討・実施することとしているが、冷却状態の補助的な監視としても使用する。

(2) 原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度計

原子炉压力容器・原子炉格納容器内の周方向、高さ方向に温度検出器を複数設置する。また、温度計の指示値を記録可能な設備とする。ただし、故障と判断されたものについては除外する。なお、故障に伴い監視に使用できる温度計が減少することから新たな温度計の設置を検討・実施する。

既設の原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度計については、事故後の過酷条件下で、一定の影響を受けているものの、事故後の状態変化に対し相当の挙動を示していること、また、その信頼性は冷温停止状態での監視に影響を及ぼす程度ではないことを確認している。既設の原子炉压力容器温度計による冷却状態の監視においては、温度計の不確かさ（20℃以内）を踏まえても原子炉压力容器底部の温度を概ね 100℃以下に維持できるように、約 80℃以下に維持することを目標に管理していく。さらに、燃料の一部が原子炉格納容器に移行している可能性を考慮し、原子炉格納容器内温度についても併せて確認していくこととし、原子炉格納容器内温度に全体的に著しい温度上昇傾向がないように管理していく。また、継続して既設温度計の信頼性評価を実施する。

(3) ガス放射線モニタ

ガス放射線モニタは2チャンネル設置し、指示値を記録可能な設備とする。

未臨界状態の監視においては、ガス放射線モニタで短半減期核種である Xe-135 を監視する。

(4) 水素濃度計

水素濃度計は2チャンネル設置し、指示値を記録可能な設備とする。

(5) 酸素濃度計

酸素濃度計は、原子炉格納容器ガス管理設備に設置する。

(6) 電源構成

電源は異なる系統の所内高圧母線から受電できる構成とし、外部電源喪失の場合でも、非常用所内電源から受電できる構成とする。

2.9.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器については、仮設防潮堤を設置したことでアウトサイズ津波の影響がないと想定される T.P. 8.5m 以上のエリアに設置する。

(2) 火災

現場盤等からの火災が考えられることから、初期消火の対応ができるよう近傍に消火器を設置する。

2.9.1.7 構造強度及び耐震性

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器については、一般産業施設と同等以上の安全性を保持するものとして設計する。

原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計については、集中監視室までの伝送設備の多重化、プラント監視計測器専用設置している電源の確保等により十分に高い信頼性を確保しているものの、地震等で機能が喪失した場合には、他の関連計器の監視や、地震や津波が収まった後、各設備の設置箇所又は1～4号機の中央制御室の計測機器の監視を行うとともに、復旧に努める。

2.9.1.8 機器の故障への対応

2.9.1.8.1 機器の単一故障

(1) 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計の故障

原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計は複数有り、故障時には故障した温度計を除外し、他の温度計で原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態の監視を行うとともに、必要に応じて復旧に努める。

(2) ガス放射線モニタの故障

ガス放射線モニタは、2チャンネルの連続運転であり、1チャンネル故障時には他の1チャンネルのガス放射線モニタで原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の未臨界状態の監視を行う。

(3) 水素濃度計の故障

水素濃度計は、2チャンネルの連続運転であり、1チャンネル故障時には他の1チャンネルの水素濃度計で原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の不活性雰囲気状態の監視を行う。

(4) 伝送設備等の故障

伝送設備等は、多重化しており、単一故障時には他の伝送設備等を使用している計測器を用いて、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態、未臨界状態、不活性雰囲気状態の監視を行う。

(5) 電源喪失

1系統の電源喪失においては、他の電源より供給されている計測器により、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態、未臨界状態、不活性雰囲気状態の監視を行う。

2.9.1.8.2 複数の設備の同時機能喪失

(1) 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計の故障

原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計は複数有り、故障時には故障した温度計を除外し、他の温度計で監視を行う。全ての温度計が故障により機能喪失した場合には、他の関連計器を監視することにより原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却状態の監視を行うとともに、復旧に努める。

(2) ガス放射線モニタの故障

ガス放射線モニタが全て故障した場合、ガス放射線モニタを復旧させる措置を行うとともに、代替措置として原子炉圧力容器底部温度計、モニタリングポストにより、未臨界状態の監視を行う。

(3) 水素濃度計の故障

水素濃度計が全て故障した場合、速やかに復旧させる措置を行うとともに、代替措置として、必要な窒素封入量が確保されていることの確認を行う。

(4) 伝送設備等の故障

伝送設備等の故障により遠隔監視に支障が生じた場合には、故障機器の交換等を行い速やかに復旧することを原則とするが、復旧までに時間を要する場合には、関連するパラメータの監視や、必要に応じて各設備の設置箇所又は1～4号機の中央制御室の計測機器を監視する等により、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の冷却

状態、未臨界状態、不活性雰囲気状態の監視を行う。

(5) 電源喪失

a. 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計

2系統の電源喪失においては、非常用所内電源から受電する。

非常用所内電源からの受電が困難となった場合は、無停電電源装置、プラント監視計測器専用設置している電源（プラント計測器用エンジン発電機）から必要な電源を供給する。

b. ガス放射線モニタ、水素濃度計

2系統の電源喪失においては、非常用所内電源から受電する。

非常用電源からの受電が困難となった場合は、速やかに復旧させる措置を行うとともに、他の関連計測器の確認を行うなどの代替措置を行う。

2.9.1.8.3 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視機能喪失事象に対する評価

監視機能喪失により、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の状態把握が困難となるが、監視機能であり、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の状態に直接的な影響を与えるものではない。また、原子炉への注水量の減少操作や、窒素封入量の減少操作といった原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の状態を変化させる操作を実施しないこと、必要な注水量や窒素封入量が確保されていることを確認することにより、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内の状態を把握することが可能である。

2.9.2 基本仕様

2.9.2.1 主要仕様

(1) 1号機

a. 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計

(原子炉圧力容器温度) (既設)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 42 (添付資料-1 図-1. No. 1～42) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 7 (添付資料-1 図-1. No. 43～49) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|----------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 200 °C |
| 個数 | 15 (添付資料-1 図-1. No. 50～64) |

(原子炉格納容器内温度)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | -40～約 300 °C |
| 個数 | 7 (添付資料-1 図-1. No. 65～71) |

b. ガス放射線モニタ

| | |
|--------|-------------------------------------|
| 検出器の種類 | 半導体検出器 |
| 計測範囲 | 0～ $1.4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

c. 水素濃度計

| | |
|--------|--------------|
| 検出器の種類 | 熱伝導度式水素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～5 vol% |
| チャンネル数 | 2 |

d. 酸素濃度計

| | |
|--------|------------------|
| 検出器の種類 | 隔膜ガルバニ電池式酸素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～25 vol% |
| チャンネル数 | 2 |

(2) 2号機

a. 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計

(原子炉圧力容器温度) (既設)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 41 (添付資料-1 図-2. No. 1～41) |

(原子炉圧力容器温度)

| | |
|--------|------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 1 (添付資料-1 図-2. No. 78) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|----------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 11 (添付資料-1 図-2. No. 42～52) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|----------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 200 °C |
| 個数 | 25 (添付資料-1 図-2. No. 53～77) |

(原子炉格納容器内温度)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 8 (添付資料-1 図-2. No. 80～87) |

b. ガス放射線モニタ

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | 1～10 ⁵ s ⁻¹ |
| チャンネル数 | 2 |

c. 水素濃度計

| | |
|--------|--------------|
| 検出器の種類 | 熱伝導度式水素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～5 vol% |
| チャンネル数 | 2 |

d. 酸素濃度計 (可搬式)

| | |
|--------|------------------|
| 検出器の種類 | 隔膜ガルバニ電池式酸素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～25 vol% |
| 個数 | 1 |

(3) 3号機

a. 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度計

(原子炉圧力容器温度) (既設)

| | |
|--------|---------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 42 (添付資料-1 図-3. No. 1～42) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|----------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 11 (添付資料-1 図-3. No. 43～53) |

(原子炉格納容器内温度) (既設)

| | |
|--------|--------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 200 °C |
| 個数 | 25 (添付資料-1 図-3. No54～78) |

(原子炉格納容器内温度)

| | |
|--------|-------------------------|
| 検出器の種類 | 熱電対 |
| 計測範囲 | 0～約 300 °C |
| 個数 | 5 (添付資料-1 図-3. No79～83) |

b. ガス放射線モニタ

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | 1～10 ⁵ s ⁻¹ |
| チャンネル数 | 2 |

c. 水素濃度計

| | |
|--------|--------------|
| 検出器の種類 | 熱伝導度式水素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～5 vol% |
| チャンネル数 | 2 |

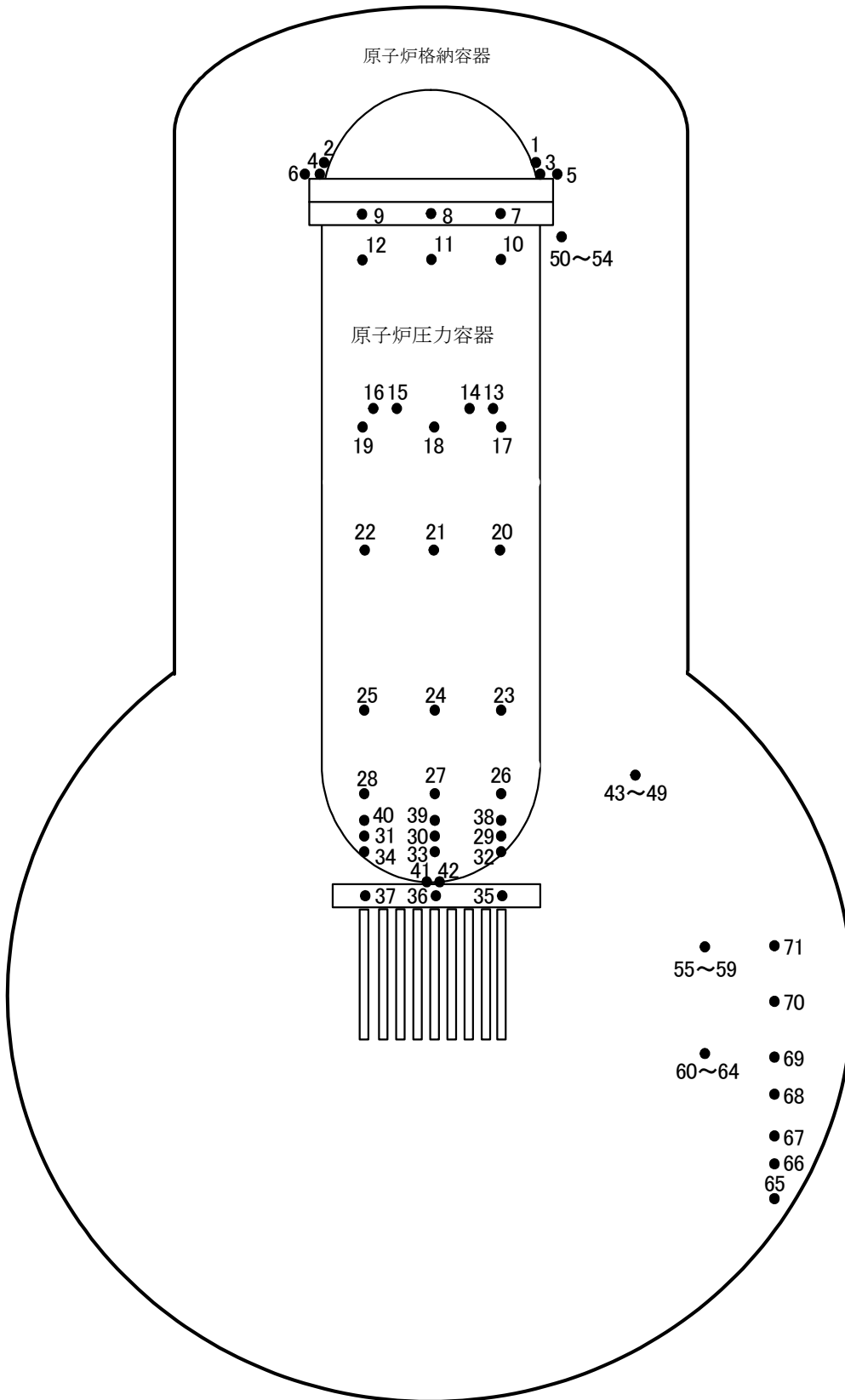
d. 酸素濃度計 (可搬式)

| | |
|--------|------------------|
| 検出器の種類 | 隔膜ガルバニ電池式酸素濃度検出器 |
| 計測範囲 | 0～25 vol% |
| 個数 | 1 |

2.9.3 添付資料

添付資料-1 原子炉圧力容器・原子炉格納容器内温度検出器 配置図

添付資料-2 ガス放射線モニタ, 水素濃度計 系統概略図



図一 1. 1号機 原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度検出器 配置図

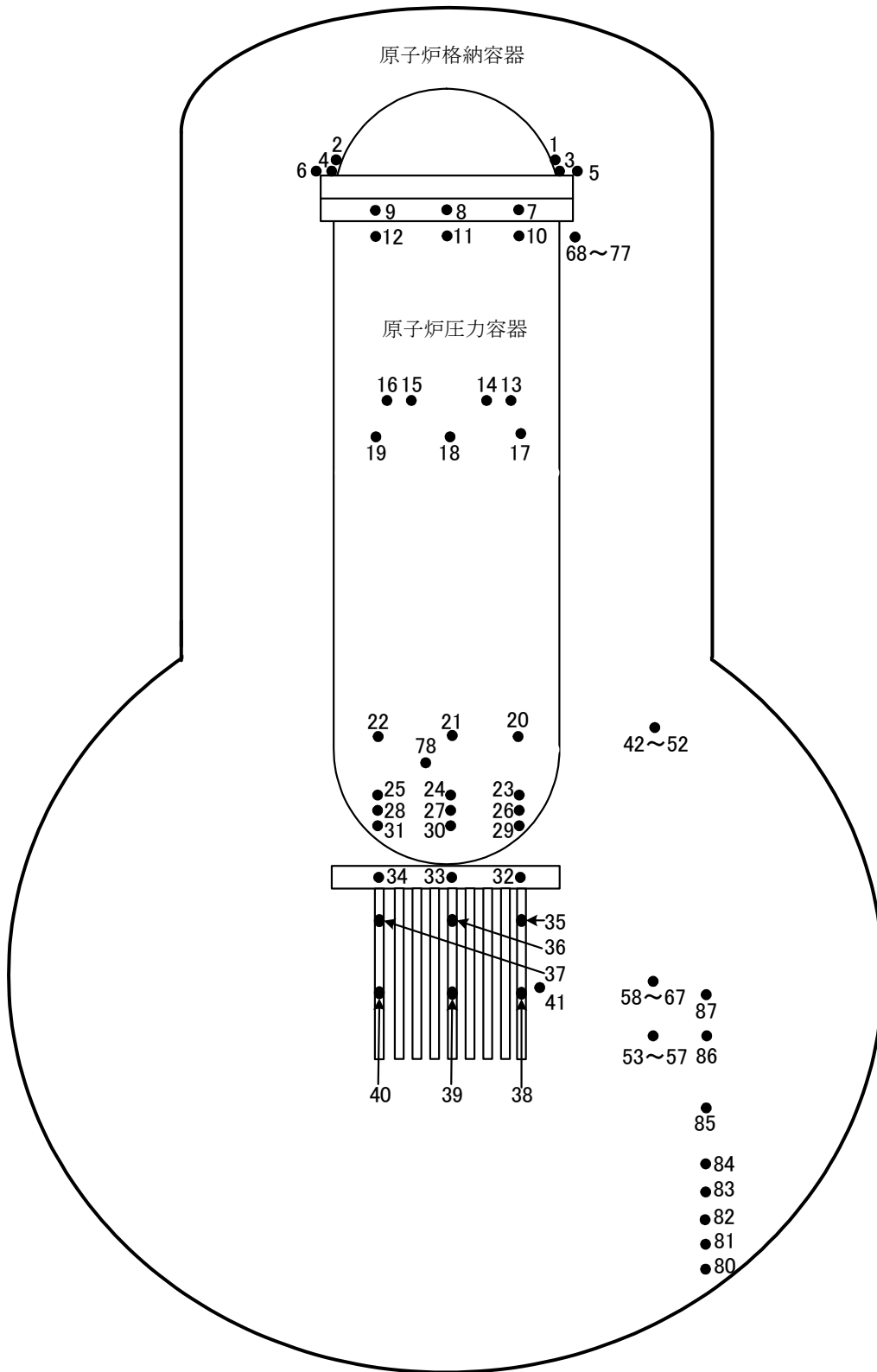


図-2. 2号機 原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度検出器 配置図

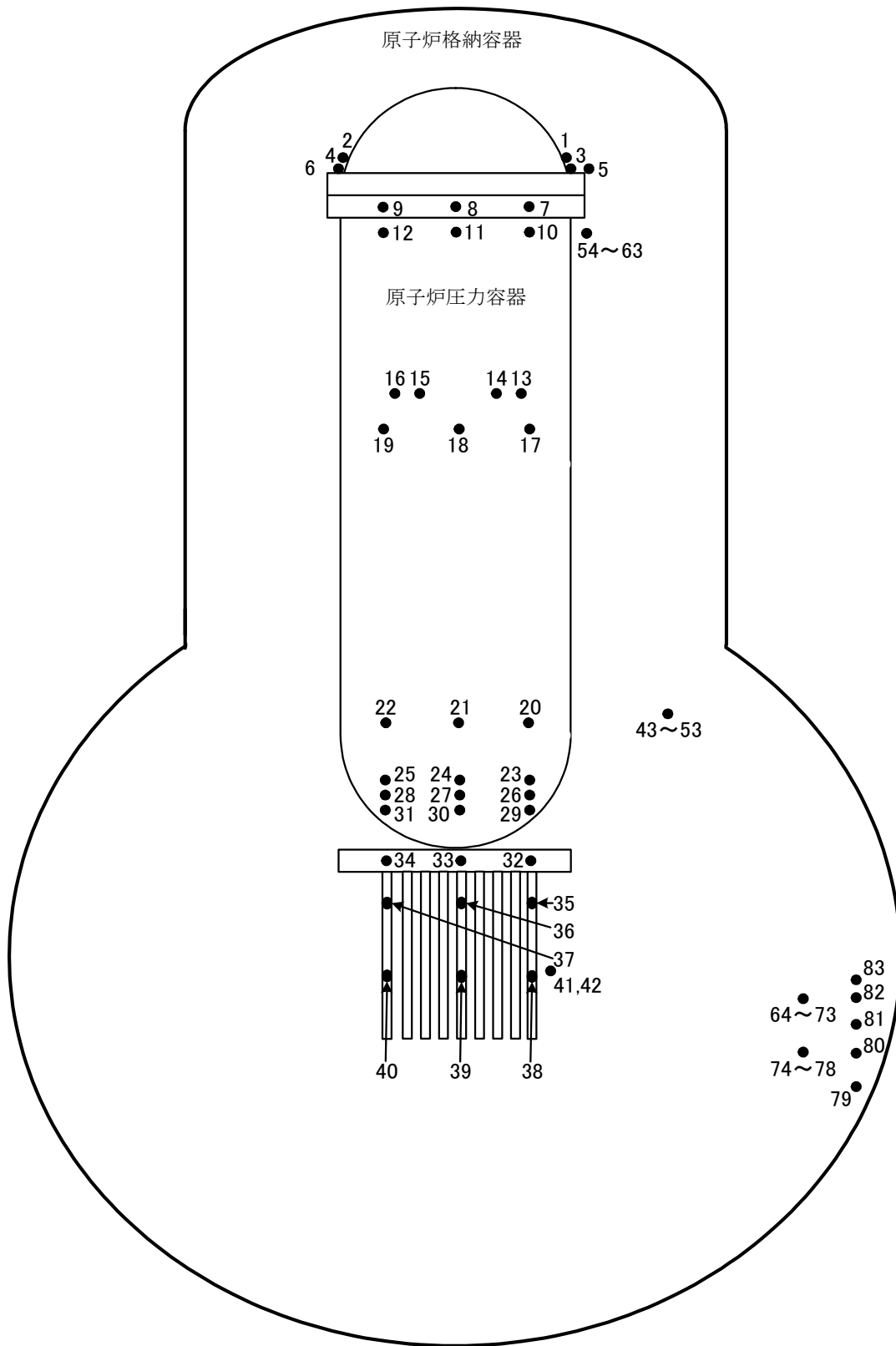


図-3. 3号機 原子炉压力容器・原子炉格納容器内温度検出器 配置図

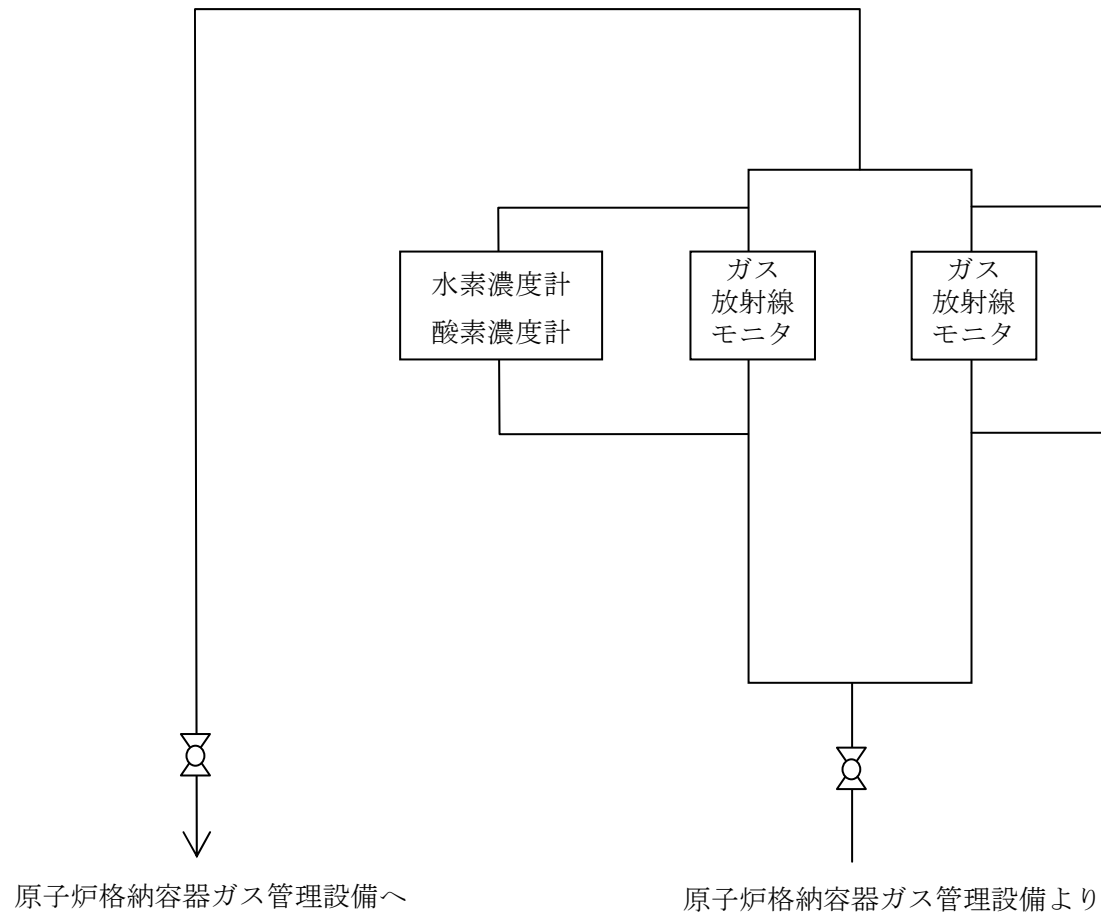


図-1. 1号機 ガス放射線モニタ, 水素濃度計 系統概略図

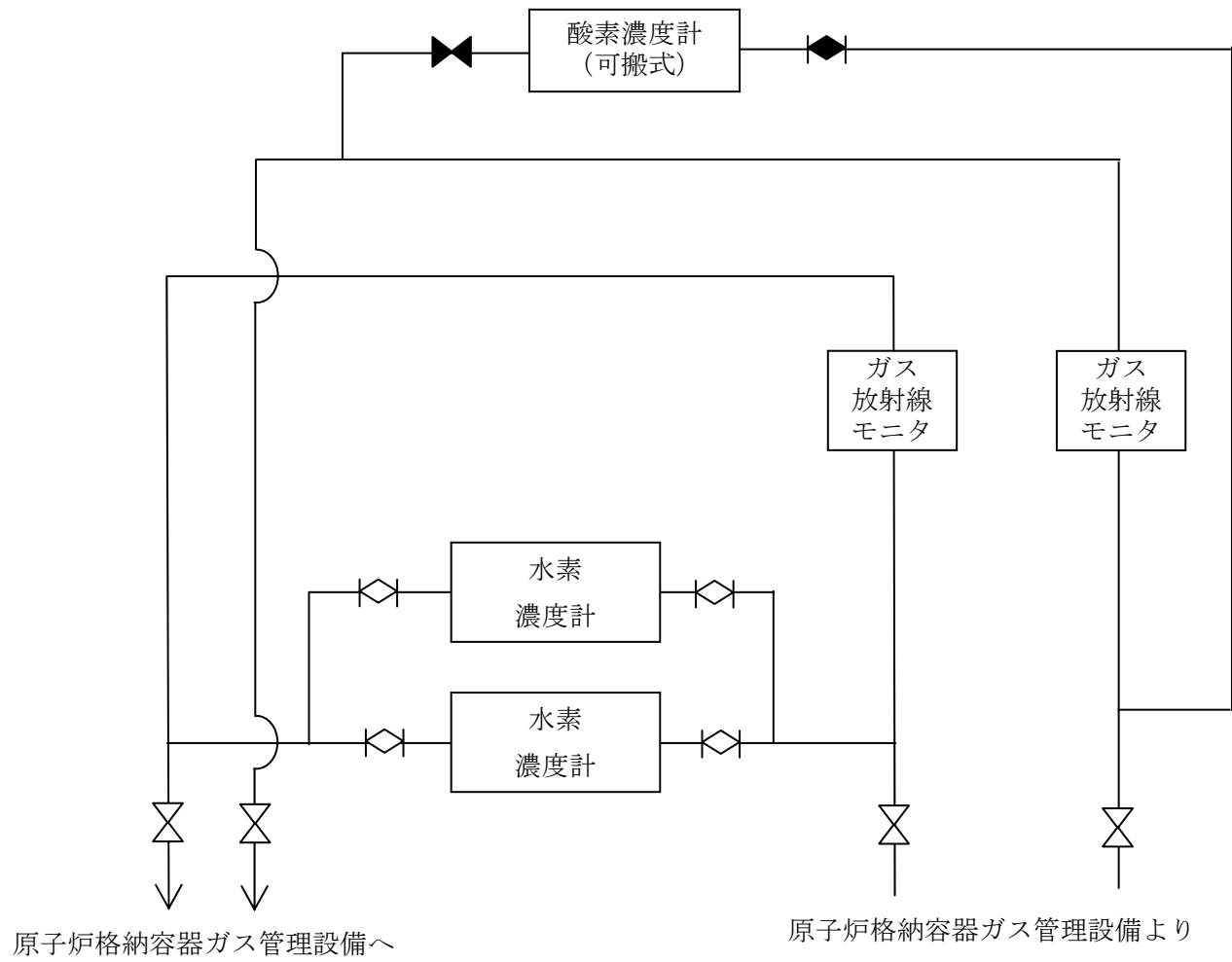


図-2. 2号機 ガス放射線モニタ, 水素濃度計 系統概略図

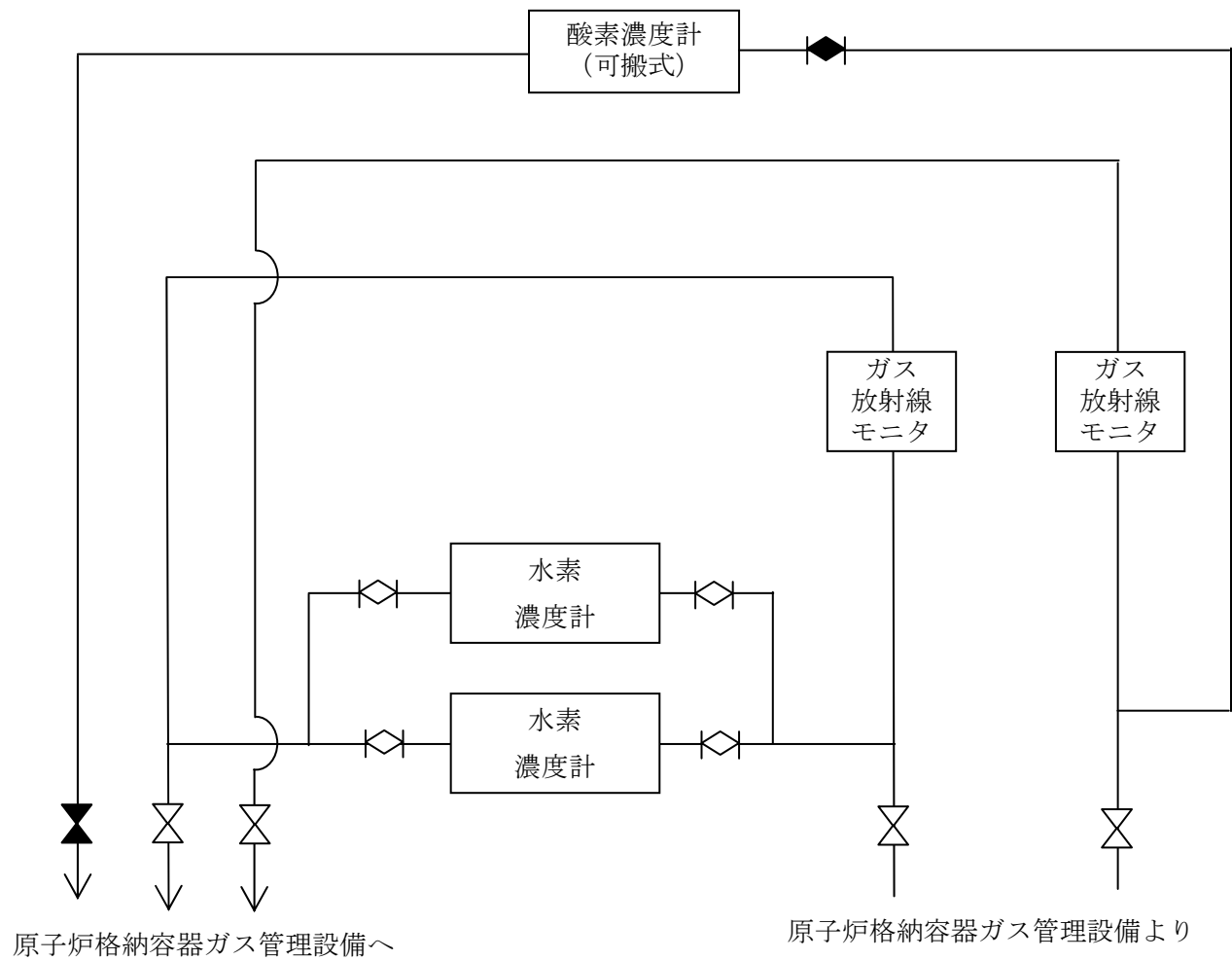


図-3. 3号機 ガス放射線モニタ, 水素濃度計 系統概略図

2.10 放射性固体廃棄物等の管理施設

2.10.1 基本設計

2.10.1.1 設置の目的

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等の放射性固体廃棄物等の管理施設は、作業員の被ばく低減、公衆被ばくの低減及び安定化作業の安全確保のために、放射性固体廃棄物等を適切に管理することを目的として設置する。

2.10.1.2 要求される機能

放射性固体廃棄物等の処理・貯蔵にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、適切に処理し、十分な保管容量を確保し、遮蔽等の適切な管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.10.1.3 設計方針

(1) 貯蔵設備

放射性固体廃棄物は、固体廃棄物貯蔵庫、サイトバンカ、使用済燃料プール、使用済燃料共用プール、使用済樹脂貯蔵タンク、造粒固化体貯槽等に貯蔵、または保管する設計とする。

発電所敷地内において、今回の地震、津波、水素爆発による瓦礫や放射性物質に汚染した資機材、除染を目的に回収する土壌等の瓦礫類は、固体廃棄物貯蔵庫、仮設保管設備、屋外等に一時保管エリアを設定し、一時保管する。

伐採木は、屋外の一時保管エリアに一時保管する。

使用済保護衣等は、固体廃棄物貯蔵庫、仮設保管設備、屋外の一時保管エリアに一時保管する。

(2) 被ばく低減

放射性固体廃棄物の管理施設は、作業員及び公衆の被ばくを達成できる限り低減できるように、必要に応じて十分な遮蔽を行う設計とする。

瓦礫等の管理施設については、保管物の線量に応じた適切な遮蔽や設置場所を考慮することにより、被ばく低減を図る設計とする。

(3) 飛散等の防止

放射性固体廃棄物の管理施設は、処理過程における放射性物質の散逸等を防止する設計とする。

瓦礫等の管理施設については、発電所敷地内の空間線量率を踏まえ、周囲への污染拡大の影響の恐れのある場合には、容器、仮設保管設備、固体廃棄物貯蔵庫、覆土式一時保管施設に収納、またはシートによる養生等を実施する。

(4) 貯蔵能力

放射性固体廃棄物や事故後に発生した瓦礫等を適切に管理するため、今後の発生量に応じて保管場所を計画的に追設し、保管容量を十分に確保する（Ⅲ. 3. 2. 1 参照）。

(5) 津波への対応

固体廃棄物貯蔵庫、瓦礫等一時保管エリア（1ヵ所除く）は、アウターライズ津波が到達しないと考えられる標高の高い場所に設置されている。また、敷地北側の標高の低い1ヵ所（T.P.+約11m）の一時保管エリアについてもアウターライズ津波が遡上しないことを確認している。

サイトバンカ、使用済燃料プール、使用済燃料共用プール、使用済樹脂貯蔵タンク、造粒固化体貯槽等の貯蔵設備についても仮設防潮堤によりアウターライズ津波が遡上しないことを確認している（Ⅲ. 3. 1. 3 参照）。

(6) 外部人為事象への対応

外部人為事象に対する設計上の考慮については、発電所全体の外部人為事象の対応に従う（Ⅱ. 1. 14 参照）。

(7) 火災への対応

火災に対する設計上の考慮については、発電所全体の火災への対応に従う（Ⅲ. 3. 1. 2 参照）。

2. 10. 1. 4 主要な設備

(1) 固体廃棄物貯蔵庫（第1棟～第8棟）

固体廃棄物貯蔵庫は、原子炉設置許可申請書、工事計画認可申請書に基づく設備であり、1～6号機で発生したドラム缶に収納された放射性固体廃棄物、ドラム缶以外の容器に収納された放射性固体廃棄物、開口部閉止措置を実施した大型廃棄物であるドラム缶等の他、使用済保護衣等や原子炉設置許可申請書、工事計画認可申請書にて許可されていない瓦礫類を一時保管する。

瓦礫類は、材質により可能な限り分別し、容器に収納して一時保管エリアとしての固体廃棄物貯蔵庫内に一時保管する。また、容器に収納できない大型瓦礫類は、飛散抑制対策を講じて一時保管する。

固体廃棄物貯蔵庫は、第1棟～第8棟の8つの棟からなり、第6棟～第8棟については、地上1階、地下2階で構成している。固体廃棄物貯蔵庫に一時保管する瓦礫類のうち、目安線量として表面30mSv/hを超える高線量の瓦礫類は地下階に保管する。地下階に高線量の瓦礫類を保管した場合には、コンクリート製の1階の床及び天井や壁による遮蔽効果により固体廃棄物貯蔵庫表面またはエリア境界の線量は十分低減されるが、この場合には、固体廃棄物貯蔵庫表面またはエリア境界において法令で定められた管理区

域の設定基準線量 (1.3mSv/3ヶ月 (2.6 μ Sv/h) 以下) を満足するよう運用管理を実施する。ただし、バックグラウンド線量の影響を除く。なお、最大線量と想定している表面線量率 10Sv/h の瓦礫類を地下 2 階一面に収納したと仮定した場合でも、固体廃棄物貯蔵庫建屋表面線量率は約 $4 \times 10^{-7} \mu$ Sv/h となり、法令で定められた管理区域の設定基準線量を満足することを評価し、確認している。

震災後の固体廃棄物貯蔵庫の建物調査の結果、第 1 棟については屋根や壁、柱の一部、第 2 棟については柱の一部に破損があり、第 3 棟と第 4 棟については、床の一部に亀裂がみられるため、工事計画認可申請書記載の機能を満足するよう復旧し使用していく。第 1 棟、第 3 棟の復旧工事は概ね終了しており、第 2 棟、第 4 棟は平成 27 年中に復旧する予定である。第 5 棟～第 8 棟については、大きな損傷はみられない。

また、固体廃棄物貯蔵庫の第 1 棟～第 8 棟のうち、第 4 棟～第 8 棟については遮蔽機能、第 5 棟～第 8 棟については耐震性を以下の工事計画認可申請書により確認している。

- 第 1 棟 建設時第 1 7 回工事計画認可申請書 (45 公第 3715 号 昭和 45 年 5 月 11 日認可)
- 第 2 棟 建設時第 1 9 回工事計画認可申請書 (47 公第 577 号 昭和 47 年 2 月 28 日認可)
- 第 3 棟 建設時第 1 5 回工事計画認可申請書 (48 資庁第 1626 号 昭和 48 年 10 月 22 日認可)
- 第 4 棟 建設時第 1 4 回工事計画認可申請書 (50 資庁第 12545 号 昭和 51 年 1 月 31 日認可)
建設時第 2 1 回工事計画軽微変更届出書 (総官第 860 号 昭和 51 年 11 月 4 日届出)
建設時第 2 5 回工事計画軽微変更届出書 (総官第 1293 号 昭和 52 年 2 月 7 日届出)
- 第 5 棟 工事計画認可申請書 (平成 11・09・06 資第 11 号 平成 11 年 10 月 6 日認可)
建設時第 1 4 回工事計画認可申請書 (51 資庁第 11247 号 昭和 51 年 10 月 22 日認可)
建設時第 2 1 回工事計画軽微変更届出書 (総官第 1341 号 昭和 52 年 2 月 15 日届出)
- 第 6 棟 建設時第 1 4 回工事計画認可申請書 (52 資庁第 2942 号 昭和 52 年 4 月 12 日認可)
- 第 7 棟 工事計画認可申請書 (55 資庁第 9548 号 昭和 55 年 8 月 28 日認可)
工事計画軽微変更届出書 (総文発官 56 第 430 号 昭和 56 年 6 月 26 日届出)
- 第 8 棟 工事計画認可申請書 (56 資庁第 14021 号 昭和 56 年 11 月 30 日認可)

(2) サイトバンカ

サイトバンカは、原子炉設置許可申請書、工事計画認可申請書に基づく設備であり、

1～6号機で発生した原子炉内で照射された使用済制御棒，チャンネルボックス等を保管する。ただし，サイトバンカに保管する前段階において，原子炉内で照射された使用済制御棒，チャンネルボックス等は使用済燃料プールに貯蔵するか，原子炉内で照射されたチャンネルボックス等は運用補助共用施設内の使用済燃料共用プールに貯蔵する。

また，構造強度及び耐震性については，以下の工事計画認可申請書等により確認している。

工事計画認可申請書（53資庁第7311号 昭和53年8月18日認可）

工事計画軽微変更届出書（総文発官53第994号 昭和53年11月4日届出）

(3) 使用済樹脂，フィルタスラッジ，濃縮廃液（造粒固化体（ペレット））の貯蔵設備

使用済樹脂，フィルタスラッジ，濃縮廃液（造粒固化体（ペレット））の貯蔵設備は，原子炉設置許可申請書，工事計画認可申請書に基づく設備であり，1～5号機廃棄物処理建屋（廃棄物地下貯蔵設備建屋を含む），6号機原子炉建屋付属棟，廃棄物集中処理建屋，運用補助共用施設内にある使用済樹脂貯蔵タンク，地下使用済樹脂貯蔵タンク，機器ドレン廃樹脂タンク，廃スラッジ貯蔵タンク，地下廃スラッジ貯蔵タンク，沈降分離タンク，造粒固化体貯槽等である。

現状において1～4号機廃棄物処理建屋及び廃棄物集中処理建屋設置分については，水没や汚染水処理設備の設置等により高線量となっており貯蔵設備へアクセスできないが，仮に放射性廃液等が漏えいしたとしても滞留水に対する措置により系外へ漏えいする可能性は十分低く抑えられている（Ⅰ.2.3.7，Ⅱ.2.6参照）。

なお，点検が可能な液体廃棄物処理系または5，6号機のタンク等について，定期的に外観点検または肉厚測定等を行い，漏えいのないことを確認することにより，当該貯蔵設備の状態を間接的に把握する。

今後，滞留水の処理状況が進み，環境が改善されれば確認を実施していく。

6号機原子炉建屋付属棟の地下を除いた5号機廃棄物処理建屋，6号機原子炉建屋付属棟及び運用補助共用施設の貯蔵設備については，大きな損傷がないこと並びに工事計画認可申請書等により構造強度，耐震性及び建屋内壁による遮蔽機能を確認している。

6号機原子炉建屋付属棟の地下は，滞留水により没水しアクセスできないことから，貯蔵設備に対する滞留水の影響について確認しており（Ⅱ.2.33 添付資料-3参照），今後，滞留水の処理状況が進み，環境が改善されれば確認を実施していく。

主要な設備・機器について以下に示す。

a. 5号機

(a) 廃棄物地下貯蔵設備使用済樹脂貯蔵タンク

工事計画認可申請書（57資庁第13908号 昭和57年11月9日認可）

(b) 廃棄物地下貯蔵設備廃スラッジ貯蔵タンク

工事計画認可申請書（57資庁第13908号 昭和57年11月9日認可）

(c) 液体・固体廃棄物処理系浄化系スラッジ放出混合ポンプ

- 建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
建設時第2・3回工事計画変更認可申請書（52資庁第519号 昭和52年3月1日認可）
- (d) 液体・固体廃棄物処理系浄化系スラッジブースタポンプ
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
建設時第2・3回工事計画変更認可申請書（52資庁第519号 昭和52年3月1日認可）
- (e) 液体・固体廃棄物処理系床ドレン系廃スラッジサージポンプ
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
建設時第2・3回工事計画変更認可申請書（52資庁第519号 昭和52年3月1日認可）
建設時第2・8回工事計画軽微変更届出書（総官第303号 昭和52年5月30日届出）
- (f) 液体・固体廃棄物処理系使用済樹脂貯蔵タンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
- (g) 液体・固体廃棄物処理系濃縮廃液貯蔵タンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第8回工事計画軽微変更届出書（総官第534号 昭和49年7月29日届出）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
建設時第2・3回工事計画変更認可申請書（52資庁第519号 昭和52年3月1日認可）
- (h) 液体・固体廃棄物処理系機器ドレン系廃スラッジサージタンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第4回工事計画軽微変更届出書（総官第1375号 昭和49年1月30日届出）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
- (i) 液体・固体廃棄物処理系床ドレン系廃スラッジサージタンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第4回工事計画軽微変更届出書（総官第1375号 昭和49年1月30日届出）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
- (j) 液体・固体廃棄物処理系原子炉冷却材浄化系廃樹脂貯蔵タンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第4回工事計画軽微変更届出書（総官第1375号 昭和49年1月30日届出）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
- (k) 液体・固体廃棄物処理系廃スラッジ貯蔵タンク
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）
建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）
- (l) 液体・固体廃棄物処理系フェイズセパレータ
建設時第3回工事計画認可申請書（47公第11378号 昭和48年2月19日認可）

建設時第4回工事計画軽微変更届出書（総官第1375号 昭和49年1月30日届出）

建設時第9回工事計画変更認可申請書（49資庁第15900号 昭和50年3月10日認可）

(m) 廃棄物地下貯蔵設備建屋

工事計画認可申請書（57資庁第13908号 昭和57年11月9日認可）

(n) 廃棄物処理建屋内壁

建設時第30回工事計画軽微変更届出書（総官第961号 昭和52年10月8日届出）

b. 6号機

(a) 液体固体廃棄物処理系原子炉浄化系フィルタスラッジ貯蔵タンク

建設時第4回工事計画認可申請書（49資庁第21657号 昭和50年2月5日認可）

(b) 液体固体廃棄物処理系機器ドレンフィルタスラッジ貯蔵タンク

建設時第4回工事計画認可申請書（49資庁第21657号 昭和50年2月5日認可）

(c) 液体固体廃棄物処理系使用済樹脂貯蔵タンク

建設時第4回工事計画認可申請書（49資庁第21657号 昭和50年2月5日認可）

(d) 液体固体廃棄物処理系濃縮廃液貯蔵タンク

建設時第4回工事計画認可申請書（49資庁第21657号 昭和50年2月5日認可）

建設時第7回工事計画変更認可申請書（51資庁第9100号 昭和51年10月8日認可）

(e) 廃棄物処理建屋内壁

建設時第16回工事計画認可申請書（53資庁第5742号 昭和53年6月27日認可）

(4) 覆土式一時保管施設

一時保管エリアの中に設置する覆土式一時保管施設には、瓦礫類を一時保管することができる。

覆土式一時保管施設は、線量低減対策として覆土による遮蔽機能を有する一時保管施設である。

覆土式一時保管施設は、地面を掘り下げ、底部にベントナイトシート、遮水シート、保護土を設置し、瓦礫類を収納して上から保護シート、緩衝材、遮水シート、土で覆う構造である。遮水シートにより雨水等の浸入を防止し、飛散、地下水汚染を防止する。また、保管施設内に溜まった水をくみ上げる設備を設ける。

なお、覆土式一時保管施設に用いる遮水シートは、覆土の変形並びに地盤変状に追従できるよう、引張伸び率が大きいものを使用する。

覆土による遮蔽機能が万が一損傷した場合には、損傷の程度に応じて、遮蔽の追加、施設の修復や瓦礫類の取り出しを行う。

(5) 伐採木一時保管槽

一時保管エリアの中に設置する伐採木一時保管槽には、伐採木を一時保管することができる。

伐採木一時保管槽は、防火対策や線量低減対策として覆土をする一時保管槽である。火災に対しては、双葉地方広域市町村圏組合火災予防条例を考慮している。

伐採木一時保管槽は、擁壁または築堤等にて保管槽を設置し、収納効率を上げるために伐採木（枝葉根）を減容し保管槽に収納して、保護シート、土、遮水シートで覆う構造である。また、伐採木（枝葉根）は、保管中の腐食による沈下を考慮する。

なお、伐採木一時保管槽に用いる遮水シートは、覆土の変形に追従できるよう、引張伸び率が大きいものを使用する。

覆土による遮蔽機能が万が一損傷した場合には、損傷の程度に応じて、遮蔽の追加、保管槽の修復や伐採木の取り出しを行う。

(6) 固体廃棄物貯蔵庫第9棟

固体廃棄物貯蔵庫第9棟は、固体廃棄物貯蔵庫第8棟の西側に位置する鉄筋コンクリート造で、平面が約125m（東西方向）×約48m（南北方向）、地上高さが約9mの建物及び平面が約27m（東西方向）×約33m（南北方向）、地上高さが約15mの建物から成り、共に地上2階、地下2階である。

1～6号機で発生したドラム缶に収納された放射性固体廃棄物、ドラム缶以外の容器に収納された放射性固体廃棄物、開口部閉止措置を実施した大型廃棄物であるドラム缶等及び雑固体廃棄物焼却設備より発生する焼却灰を保管する。

瓦礫類は、材質により可能な限り分別し、容器に収納して一時保管する。また、容器に収納できない大型瓦礫類は、飛散抑制対策を講じて一時保管する。

放射性固体廃棄物等からの放射線に対し、放射線業務従事者等を保護するため、また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、コンクリート製の壁及び天井により遮蔽を行う。

2.10.2 基本仕様

2.10.2.1 主要仕様

(1) 固体廃棄物貯蔵庫（第1棟～第8棟）（1～6号機共用）

棟数：8

容量：約284,500本（ドラム缶相当）

(2) サイトバンカ（1～6号機共用）

基数：1

容量：約4,300m³

(3) 仮設保管設備

a. 一時保管エリアA1（テント）

大きさ：幅約33m×奥行約51m

高さ：約16m

設置個数：1

b. 一時保管エリアA2（テント）

大きさ：幅約51m×奥行約51m

高さ：約16m

設置個数：1

(4) 覆土式一時保管施設

大きさ：約80m×約20m

高さ：約5m（最大）

設置個数：4

保管容量：約4000m³/箇所

上部：覆土（厚さ1m以上）、遮水シート、緩衝材、保護シート

底部、法面部：保護土、遮水シート、ベントナイトシート

(5) 伐採木一時保管槽

大きさ：1槽あたり、200m²以内

高さ：約3m

保管容量：1槽あたり、約600m³以内

上部：遮水シート、覆土（厚さ0.5m以上）、保護シート

槽間の離隔距離：2m以上

(6) 固体廃棄物貯蔵庫第9棟（1～6号機共用）

大きさ：約 125m（東西方向）×約 48m（南北方向），地上高さ約 9m

約 27m（東西方向）×約 33m（南北方向），地上高さ約 15m

棟数：1

容量：約 61,200m³（ドラム缶約 110,000 本相当）

補助遮蔽：

| 種類 | | 主要寸法 (mm) | 冷却 方法 | 材料 | | |
|------|-------------|--------------|----------|--|--------------|-----|
| 補助遮蔽 | 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 | 貯蔵室 | 自然 冷却 | 普通コンクリート (密度 2.1g/cm ³ 以上) | | |
| | | | | | 天井 (地下2階) | 300 |
| | | | | | 北壁 (地下1階) | 650 |
| | | | | | 西壁 (地下1階) | 650 |
| | | | | | 南壁 (地下1階) | 600 |
| | | | | | 天井 (地下1階) | 300 |
| | | | | | 北壁 (1階) | 650 |
| | | | | | 西壁 (1階) | 650 |
| | | | | | 南壁 (1階) | 500 |
| | | | | | 天井 (1階) | 300 |
| | | | | | 北壁 (2階) | 400 |
| | | | | | 西壁 (2階) | 400 |
| | | | | | 南壁 (2階) | 200 |

| 種類 | | 主要寸法 (mm) | 冷却 方法 | 材料 | |
|------|-------------|--------------|----------|----------|--|
| 補助遮蔽 | 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 | 天井 (地下2階) | 600 | 自然 冷却 | 普通コンクリート (密度 2.1g/cm ³ 以上) |
| | | 北壁 (地下1階) | 600 | | |
| | | 北壁 (1階) | 600 | | |
| | | 西壁 (1階) | 300 | | |
| | | 南壁 (1階) | 300 | | |
| | | 北壁 (2階) | 300 | | |
| | | 西壁 (2階) | 300 | | |
| | | 南壁 (2階) | 300 | | |
| | | 北壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 西壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 南壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 天井 (屋上階) | 300 | | |

2.10.3 添付資料

- 添付資料－1 覆土式一時保管施設の主要仕様
- 添付資料－2 覆土式一時保管施設の仕様と安全管理
- 添付資料－3 伐採木一時保管槽の主要仕様
- 添付資料－4 伐採木一時保管槽の仕様と安全管理
- 添付資料－5 放射性固体廃棄物等の管理施設設置工程
- 添付資料－6 放射性固体廃棄物等の管理施設に係る確認項目
- 添付資料－7 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の全体概要図
- 添付資料－8 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図
- 添付資料－9 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の構造強度に関する検討結果
- 添付資料－10 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面
- 添付資料－11 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面
- 添付資料－12 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面
- 添付資料－13 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書
- 添付資料－14 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図
- 添付資料－15 固体廃棄物貯蔵庫第9棟に係る確認事項

覆土式一時保管施設の主要仕様

大きさ：約 80m×約 20m

高さ：約 5m (最大)

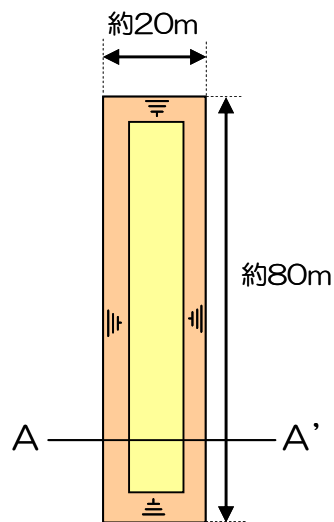
設置個数：4

保管容量：約 4,000m³/箇所

上 部：覆土 (厚さ 1m 以上), 遮水シート, 緩衝材, 保護シート

底部, 法面部：保護土, 遮水シート, ベントナイトシート

平面図



A-A' 断面図

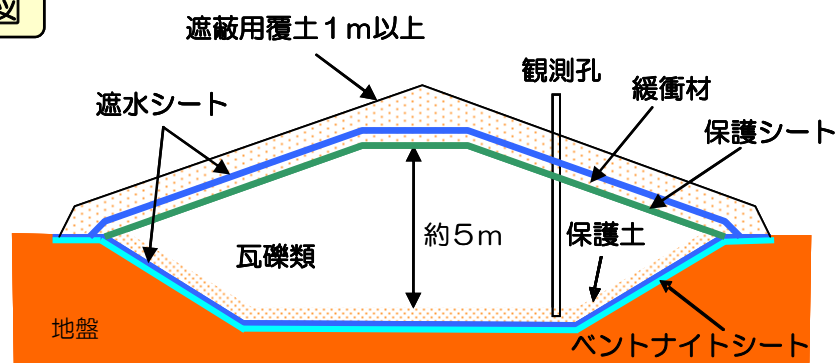


図 覆土式一時保管施設概略図

覆土式一時保管施設の仕様と安全管理

| | 瓦礫類搬入時 | 瓦礫類搬入後 保管状態 |
|--------------------|--|---|
| 飛散抑制対策 | <ul style="list-style-type: none"> 搬入した瓦礫類は、仮設テントで覆い飛散を抑制する。 | <ul style="list-style-type: none"> 瓦礫類の搬入が全て終了した後は、上に遮水シート^{*1}を敷設し、さらに覆土し飛散を抑制する。 |
| 雨水等の浸入防止、地下水汚染防止対策 | <ul style="list-style-type: none"> 底部にベントナイトシート、遮水シート^{*1}を敷設し、その上に遮水シート^{*1}を保護するための土を敷く。 底面には、縦断勾配を設ける。槽内の最も低い位置には観測孔を設け、孔の底部には釜場を設置する。 雨水や地下水が槽内に浸入した場合には、観測孔から水を回収し、保管または処理を実施する。 | |
| | <ul style="list-style-type: none"> 瓦礫類の搬入時は、仮設テントで覆いをして、瓦礫類に雨がからないようにする。 | <ul style="list-style-type: none"> 瓦礫類の搬入が全て終了した後は、上に遮水シート^{*1}を敷設し、さらに覆土し雨水等の流入を防止する。 |
| 遮蔽対策 | <ul style="list-style-type: none"> 瓦礫類を搬入した後、覆土する。 | <ul style="list-style-type: none"> 瓦礫類の搬入が全て終了した後は、覆土する。覆土の厚さは搬入時とあわせて1m以上とする。 |
| 保管管理 | <ul style="list-style-type: none"> 観測孔を用いて定期的に槽内の水位計測を行い、槽内に雨水や地下水が浸入していないことを確認する。 施設の周辺の空間線量率、空气中放射性物質濃度を定期的に測定し、線量率測定結果を表示する。 地下水の放射能濃度を定期的に測定する。 外観確認により、覆土の状態など施設に異常がないことを確認する。 施設の保管量を確認する。 一時保管エリアに柵かロープ等により区画を行い、関係者以外の立ち入りを制限する。 | |
| 異常時の措置 | <ul style="list-style-type: none"> 地震や大雨等に起因した覆土のすべりや陥没による遮蔽機能の低下など施設の保管状態に異常が認められた場合には、損傷の程度に応じて遮蔽の追加、施設の修復や瓦礫類の取り出しを行う。 | |

※1：遮水シート

(1) 耐久性

遮水シートの耐久性に関して、最も影響が大きい因子は紫外線の暴露であるが、本施設では覆土により直接紫外線を受けない環境下にあることから、長期の耐久性を期待できる。

本施設で使用する HDPE シート（高密度ポリエチレン）は、耐候性試験 5000 時間（自然暴露で約 15 年に相当）で 80%以上の強度を持つことが規定されている¹⁾。

また、ポリエチレンの耐放射線性については、10⁵Gy 程度までは良好な耐放射線性を有すると報告されている²⁾。今回、一時保管する瓦礫類の放射線量率は最大 30mSv/h 程度（約 30mGy/h）であることから、十分長い期間について、放射線による遮水シートの劣化が表れることはないと考えられる。

遮水シートの耐久性については、熱安定性、耐薬品性等についても品質上の規定が設けられており¹⁾、いずれの項目についても基準を満足することを確認した。

(2) 施工時の品質確認

シート施工の際、以下に示す試験によりシートの品質確認を行う。

a. 加圧試験（シート自動溶着部の水密性の確認）

シートの自動溶着部全数に対して、加圧試験を実施し、漏気がなく、圧力低下率が 20% 以下であることを確認する。

b. 負圧試験（シート手溶着部の水密性の確認）

シートの手溶着部全数に対して、負圧試験を実施し、気泡が発生しないことを確認する。

c. スパーク試験（シート母材の水密性の確認）

シート全面に対して、スパーク試験を実施し、スパークが発生しないことを確認する。

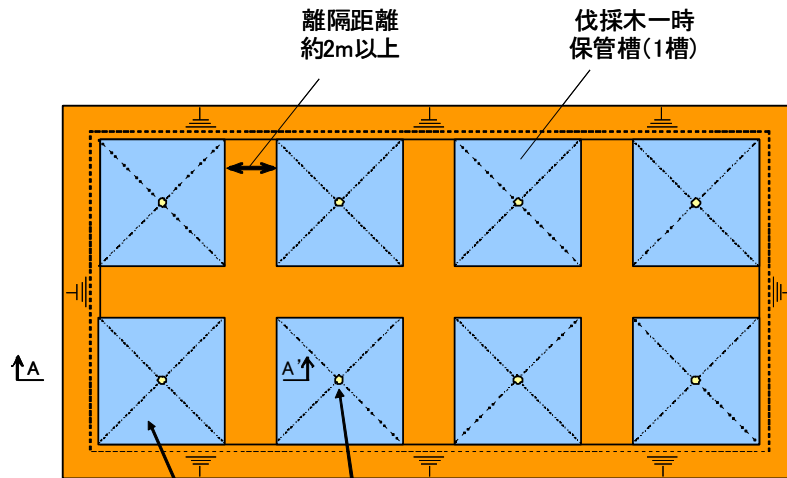
1) 出典：日本遮水工協会ホームページ（遮水シート日本遮水工協会自主基準）

2) 出典：先端材料シリーズ 照射効果と材料 日本材料学会編（図 3.12 種々の高分子材料における耐放射線性の比較）

伐採木一時保管槽の主要仕様

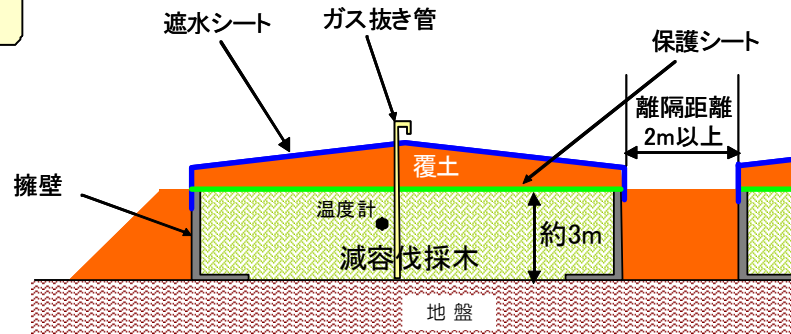
- 大きさ：1槽あたり，200m²以内
- 高さ：約3m
- 保管容量：1槽あたり，約600m³以内
- 上部：遮水シート，覆土（厚さ0.5m以上），保護シート
- 槽間の離隔距離：2m以上

標準配置図



標準断面図
(擁壁タイプ)

A-A'断面



標準断面図
(築堤タイプ)

A-A'断面

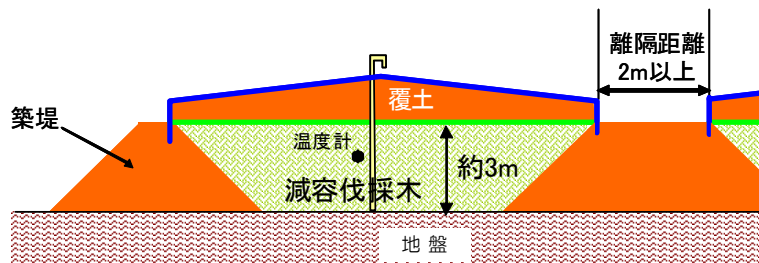


図 伐採木一時保管槽概略図

なお、保管槽の配置および形状は、現地の地形状況に応じて可能な限り効率的に配置する計画としているため、概略図通りとならない場合がある。

伐採木一時保管槽の仕様と安全管理

| | |
|--------|---|
| 飛散抑制対策 | <ul style="list-style-type: none"> 減容した伐採木に覆土し、飛散を抑制する。 |
| 防火対策 | <ul style="list-style-type: none"> 減容した伐採木に覆土後、遮水シート※1を敷設することにより、雨水等の流入の防止、空気中の酸素供給を抑制し、減容した伐採木の発酵発熱を抑制する。 1槽あたりの設置面積を200m²以内とし、各保管槽との間に2m以上の離隔距離をとることにより、火災時の延焼を防止する。 覆土することによって、もらい火、不審火を防ぐ構造とする。 温度測定により保管槽内の状態を監視する。 |
| 遮蔽対策 | <ul style="list-style-type: none"> 減容した伐採木を覆土する。 |
| 保管管理 | <ul style="list-style-type: none"> 保管槽の周辺の空間線量率、空気中放射性物質濃度を定期的に測定し、線量率測定結果を表示する。 外観確認により、遮水シートに破損や覆土の異常な沈下がないことを確認する。 保管槽の保管量を確認する。 一時保管エリアに柵かロープ等により区画を行い、関係者以外の立ち入りを制限する。 温度測定により保管槽内の状態を監視する。 |
| 異常時の措置 | <ul style="list-style-type: none"> 地震や大雨等に起因した覆土のすべりや陥没による遮蔽機能の低下など保管槽に異常が認められた場合には、異常の程度に応じて、保管槽の修復を行う。 保管槽内において異常な温度上昇が認められた場合には、冷却等の措置を行う。 |

※1：遮水シートは、瓦礫類の覆土式一時保管施設と同等の品質である。

放射性固体廃棄物等の管理施設設置工程

| 設備 | 平成27年 | | | | | 平成28年 | | | | | | | | | | | | 平成29年 | | | | | | | | | | | | 平成30年 | | |
|-------------|-------------------|---|----|----|----|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|-------|---|---|
| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| 覆土式一時保管施設 | | | | | | 1 槽目, 2 槽目は、覆土完了 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 3 槽目 (平成30年8月 覆土完了予定) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 4 槽目 (平成31年5月 覆土完了予定) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 伐採木一時保管槽 | 伐採木一時保管槽設置, 伐採木搬入 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 | | | | | | 固体廃棄物貯蔵庫第9棟設置 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

放射性固体廃棄物等の管理施設に係る確認項目

放射性固体廃棄物等の管理施設の工事に係る主要な確認項目を表－1、表－2に示す。

表－1 覆土式一時保管施設の工事に係る確認項目

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 遮蔽機能 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている覆土の厚さを確認する。 | 覆土厚さ 1m 以上であること。 |
| 遮水機能 | 材料確認 | 実施計画に記載されている遮水シートの材料を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 施工確認 | 実施計画に記載されている遮水シートの施工状態を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| 保管容量 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている保管容量であることを確認する。 | 約4,000m ³ /箇所であること。 |
| 性能 | 外観確認 | 実施計画に記載されている覆土の状態など施設に異常がないことを確認する。 | 覆土表面に亀裂や陥没がなく平滑であること。 |

表－2 伐採木一時保管槽の工事に係る確認項目

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|------|---|---|
| 遮蔽機能 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている覆土の厚さを確認する。 | 覆土厚さ 0.5m または 0.7m 以上であること。 |
| 防火対策 | 材料確認 | 実施計画に記載されている遮水シートを確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 施工確認 | 実施計画に記載されている遮水シートの施工状態を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている保管槽の面積と高さ、離隔距離を確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 1 槽あたり、200m²以内 ・ 高さ約3m ・ 槽間の離隔距離2m以上 |
| | 外観確認 | 実施計画に記載されている防火対策設備（ガス抜き管、温度計）が設置されていることを確認する。 | ガス抜き管、温度計が設置されていること。 |
| 保管容量 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている保管容量であることを確認する。 | 1 槽あたり、約600m ³ 以内であること。 |
| 性能 | 外観確認 | 実施計画に記載されている遮水シートに破損や覆土の異常な沈下がないことを確認する。 | 遮水シートに破損がなく、覆土表面に亀裂や陥没がなく平滑であること。 |

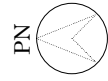
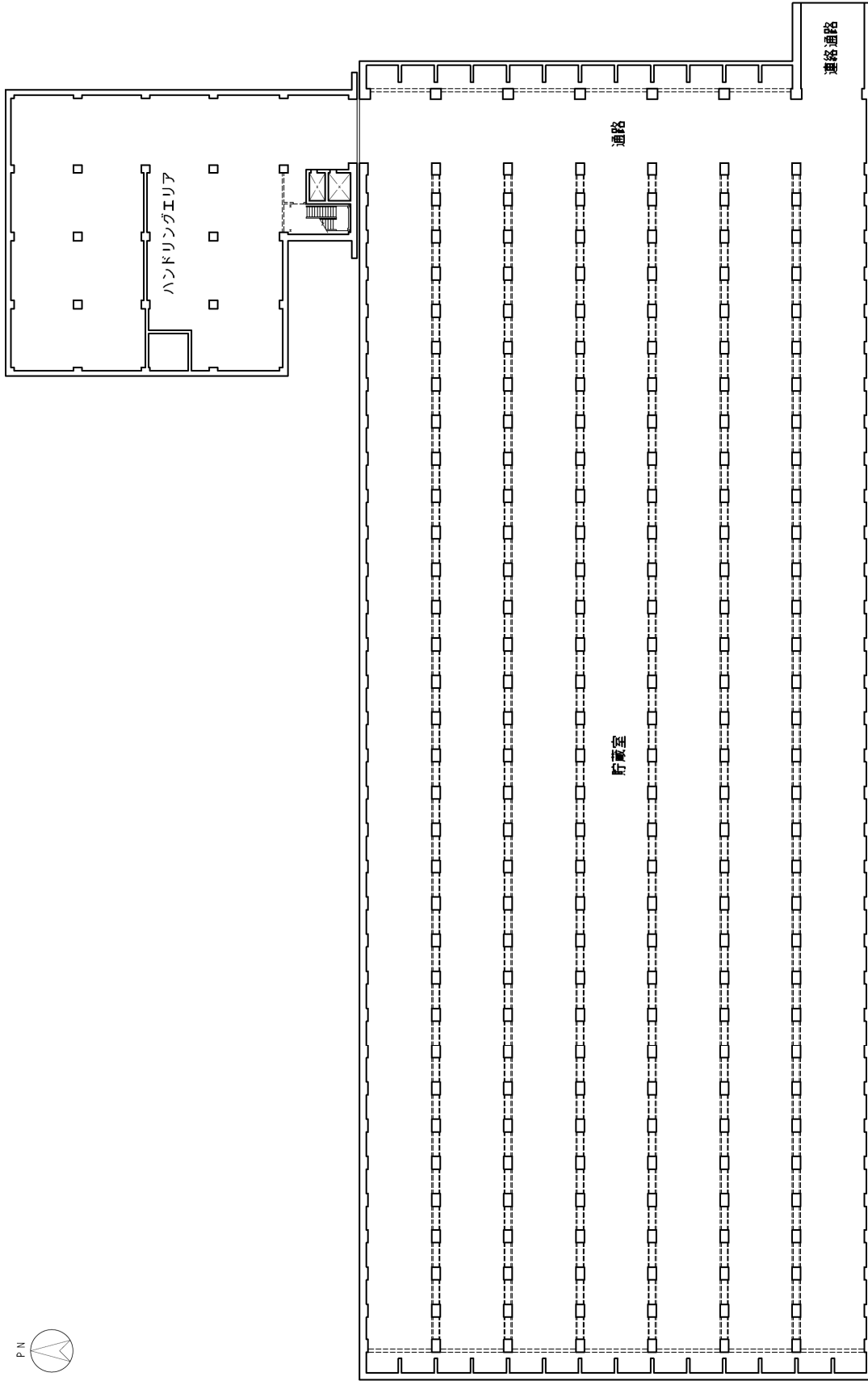
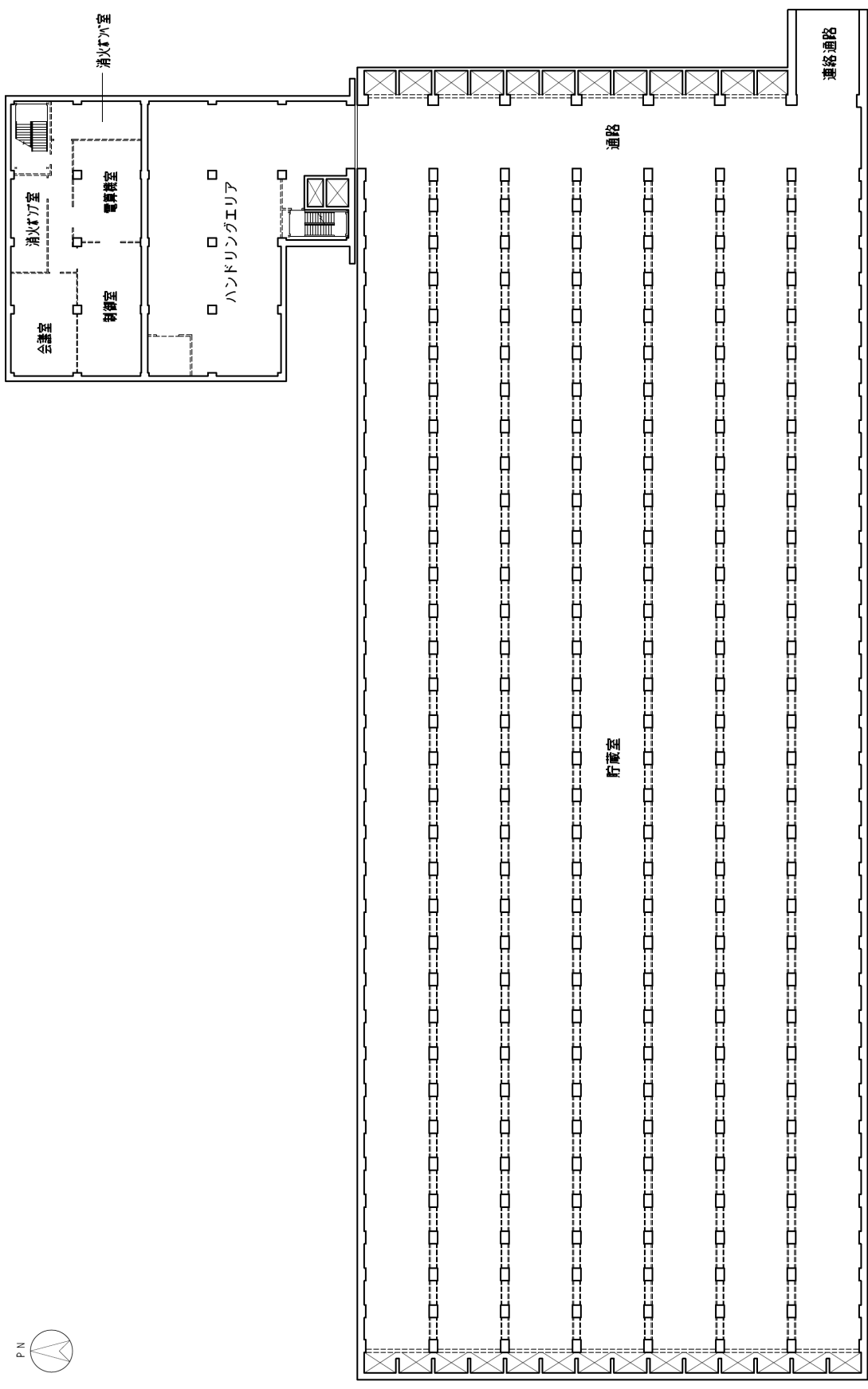


図- 1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の全体概要図



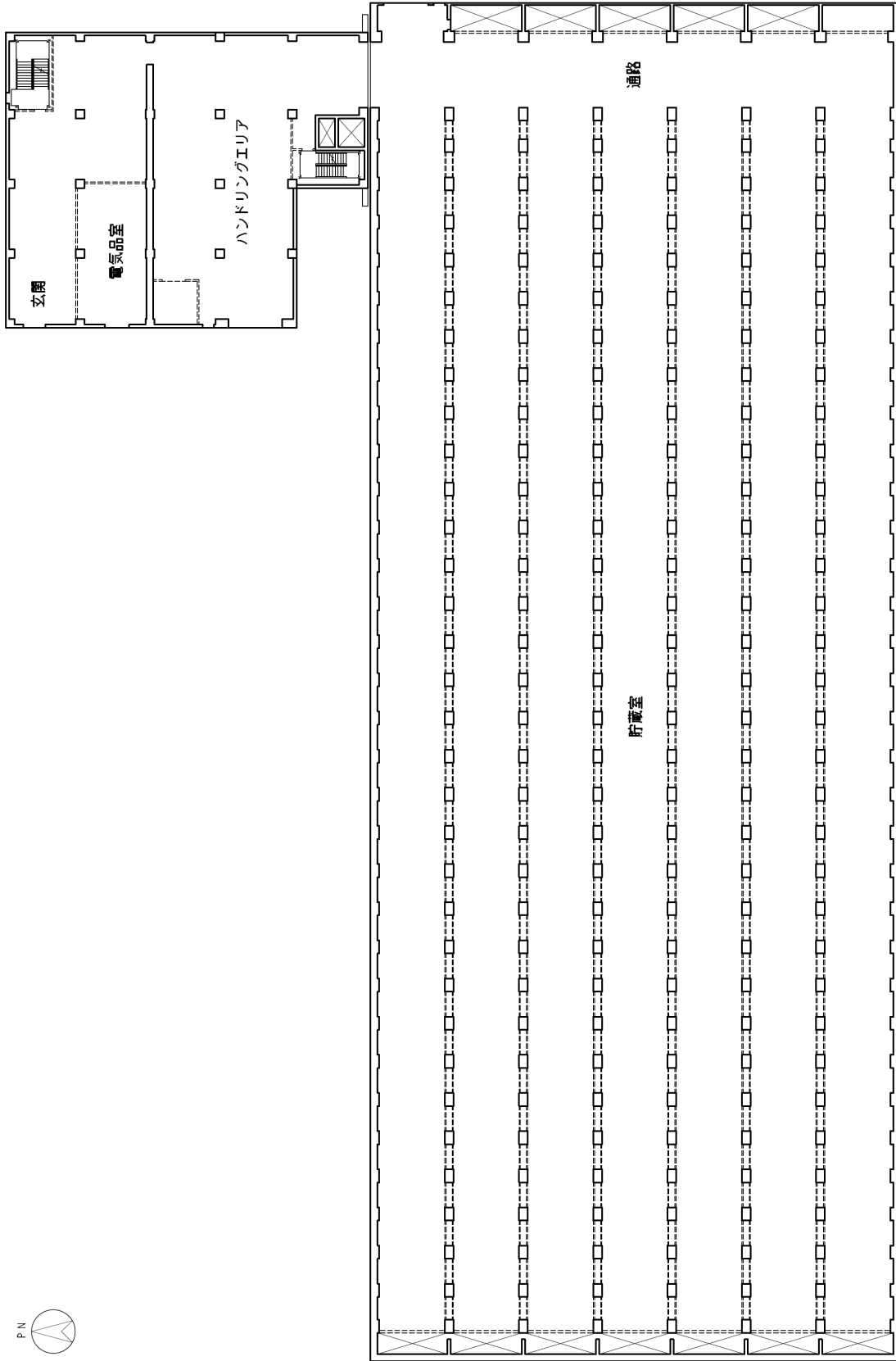
固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図 (1/5)



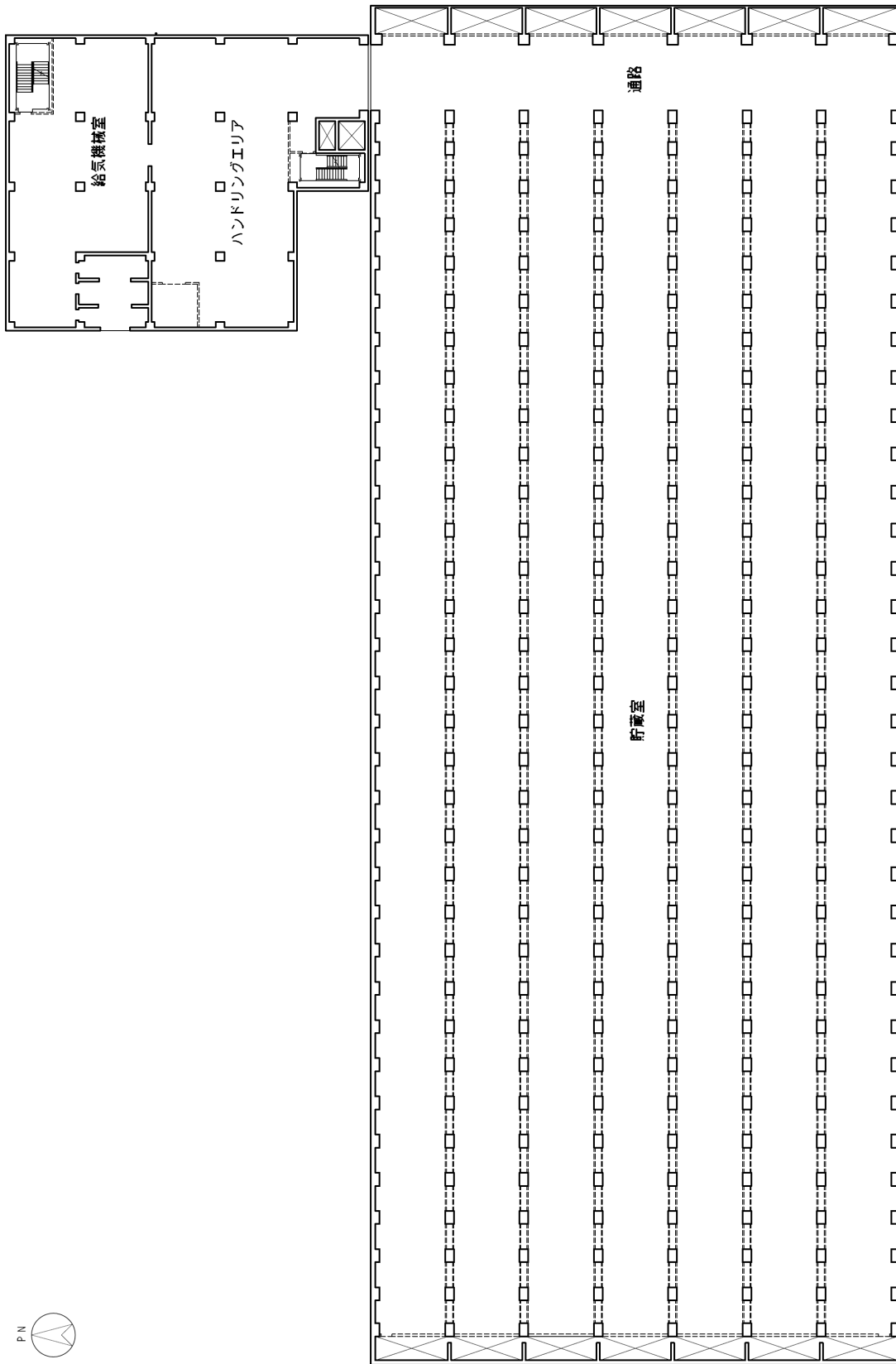
固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図 (2 / 5)



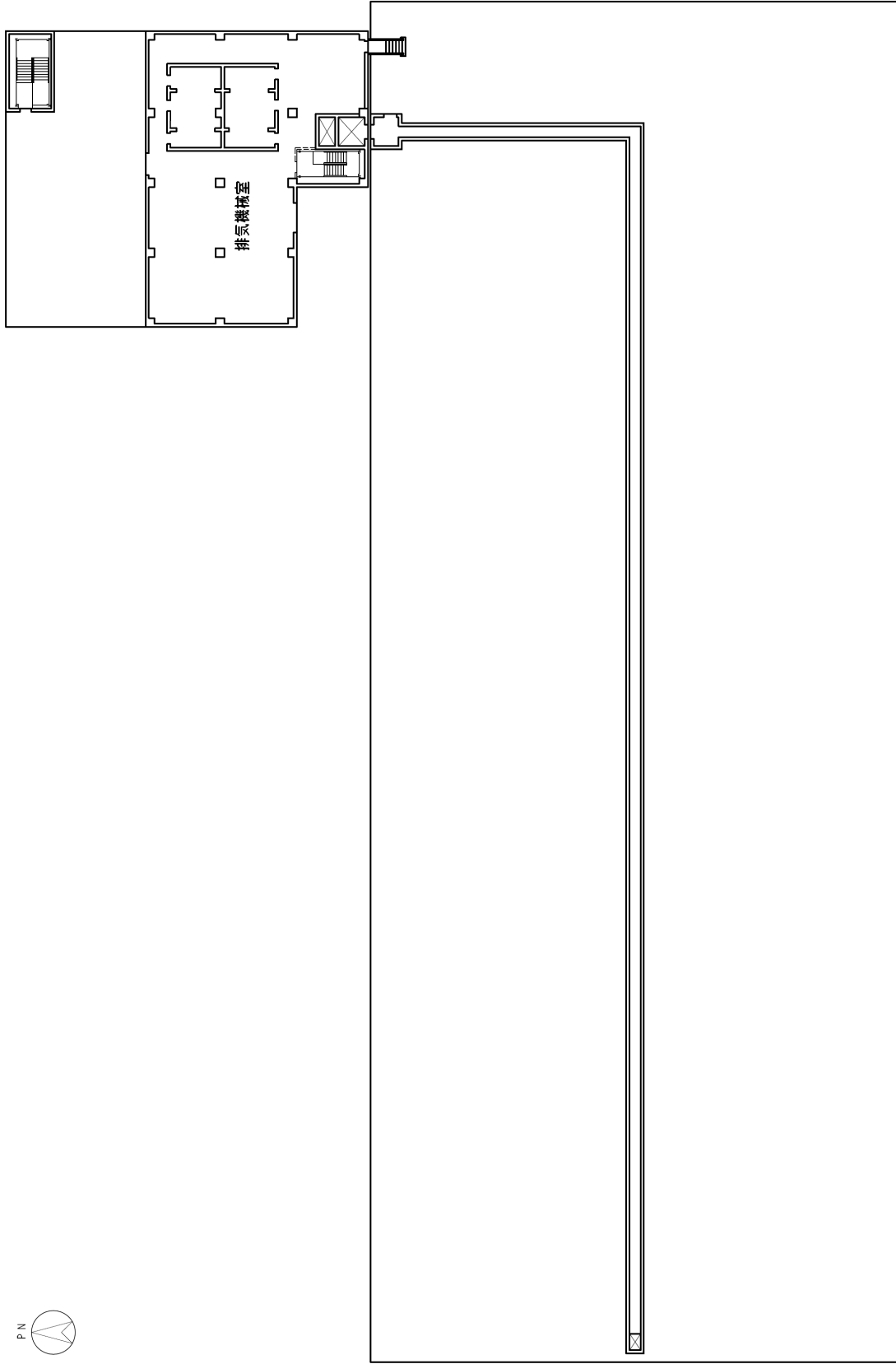
固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図 (3/5)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図 (4/5)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 屋上階

図一1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟平面図 (5 / 5)

固体廃棄物貯蔵庫第9棟の構造強度に関する検討結果

固体廃棄物貯蔵庫第9棟を構成する貯蔵庫棟及び付帯設備棟は、耐震Cクラスとしての評価を実施した。

ただし、従来の固体廃棄物貯蔵庫（固化処理装置より下流の固体廃棄物取扱い設備（貯蔵庫を含む））は、「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）」上、耐震Cクラスと分類できるが、固体廃棄物貯蔵庫第9棟は、震災前に発生した放射性固体廃棄物を保管する他に、震災後に発生した高線量の瓦礫類を一時保管するという特殊性がある。

よって、固体廃棄物貯蔵庫第9棟の構造設計では、耐震安全性に余裕のある設計とした。

1. 貯蔵庫棟の耐震性評価

1.1 評価方針

貯蔵庫棟は、鉄筋コンクリート造の地下2階地上2階で、平面が124.6m（EW）×48.4m（NS）であり、地上高さは9.1mである。

貯蔵庫棟は、杭を介してG.L. -21m～-18mに位置するN値50以上の富岡層（泥岩）に支持させる。貯蔵庫棟の杭配置図、平面図及び断面図を図－1～図－8に示す。

貯蔵庫棟に加わる地震時の水平力は、耐震壁及び柱とはりからなるラーメン構造で負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.0 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。貯蔵庫棟の評価手順を図－9に示す。

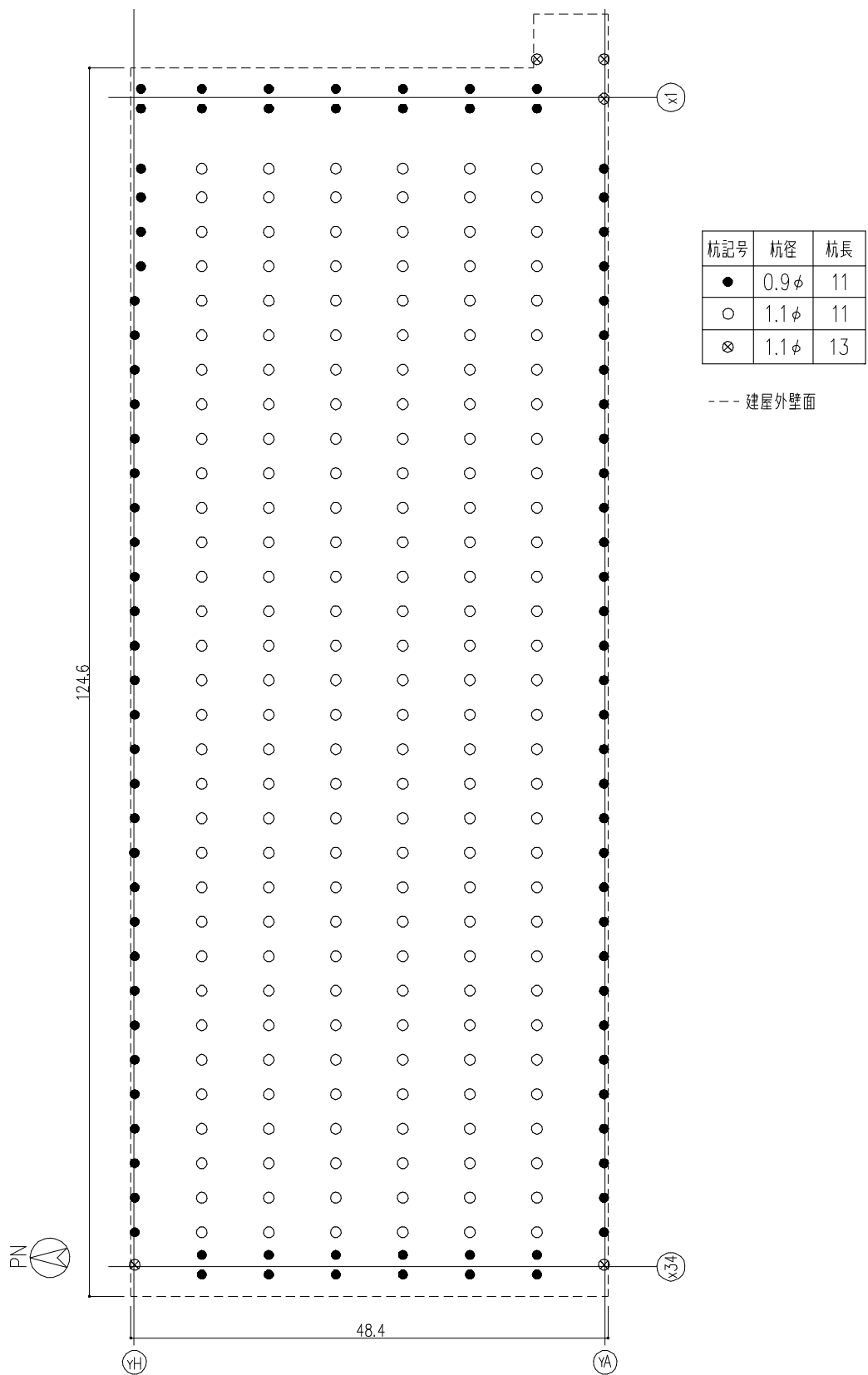
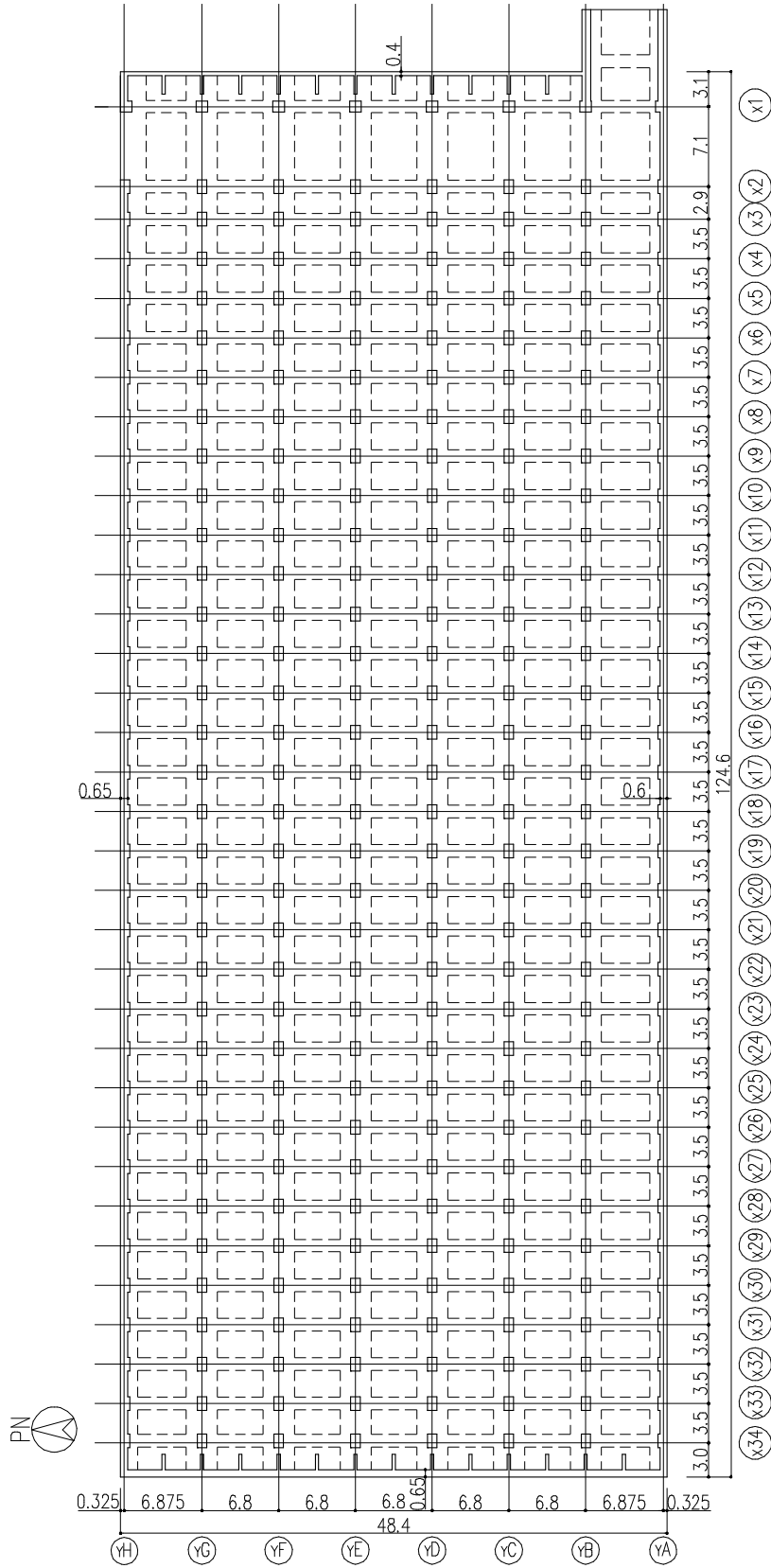
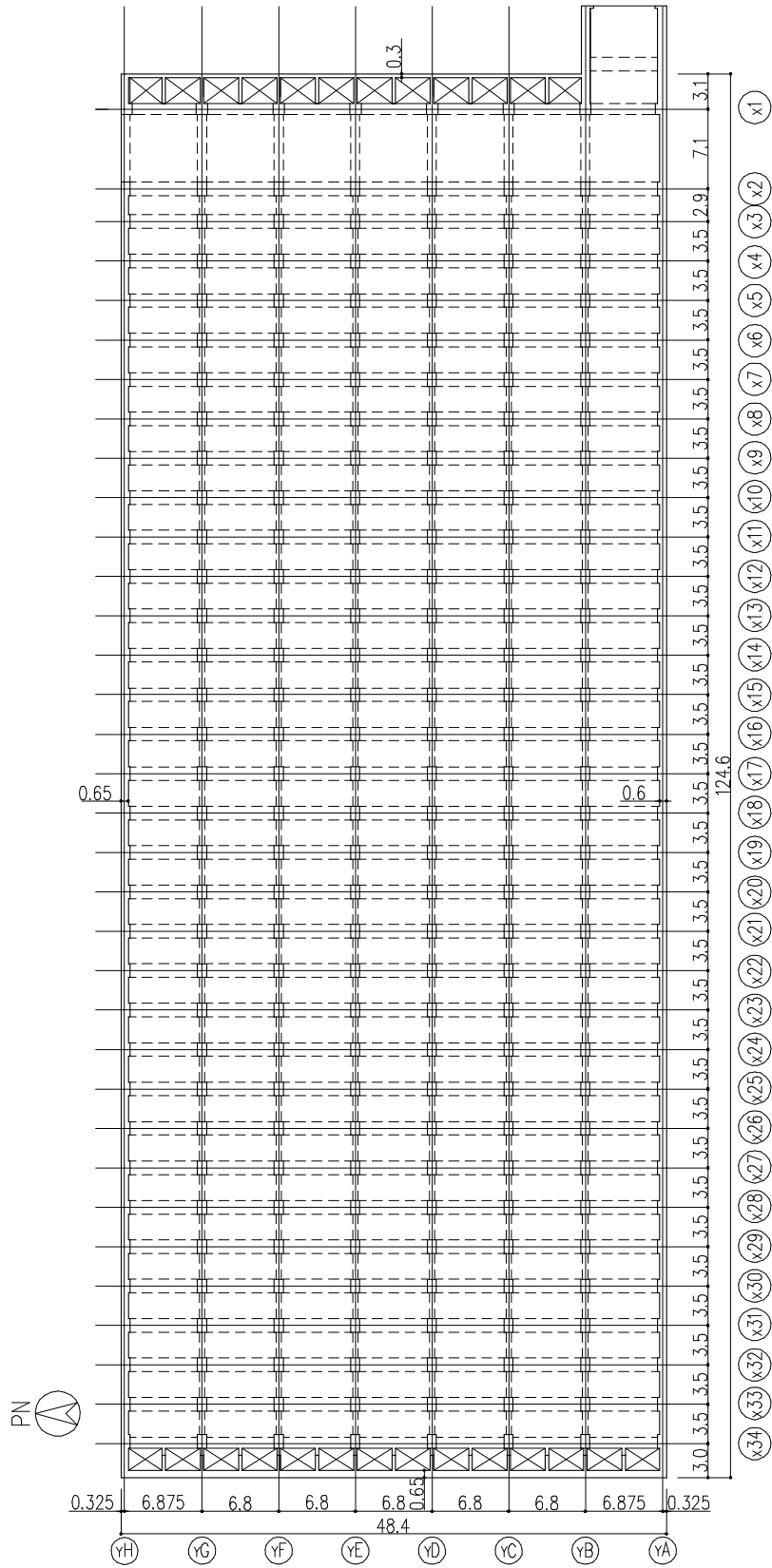


図-1 杭配置図 (G.L. -11.0) (单位 : m)



图一 2 地下 2 階平面図 (G.L. -8.7) (单位 : m)



图一 3 地下1階平面図 (G.L. -4.2) (单位 : m)

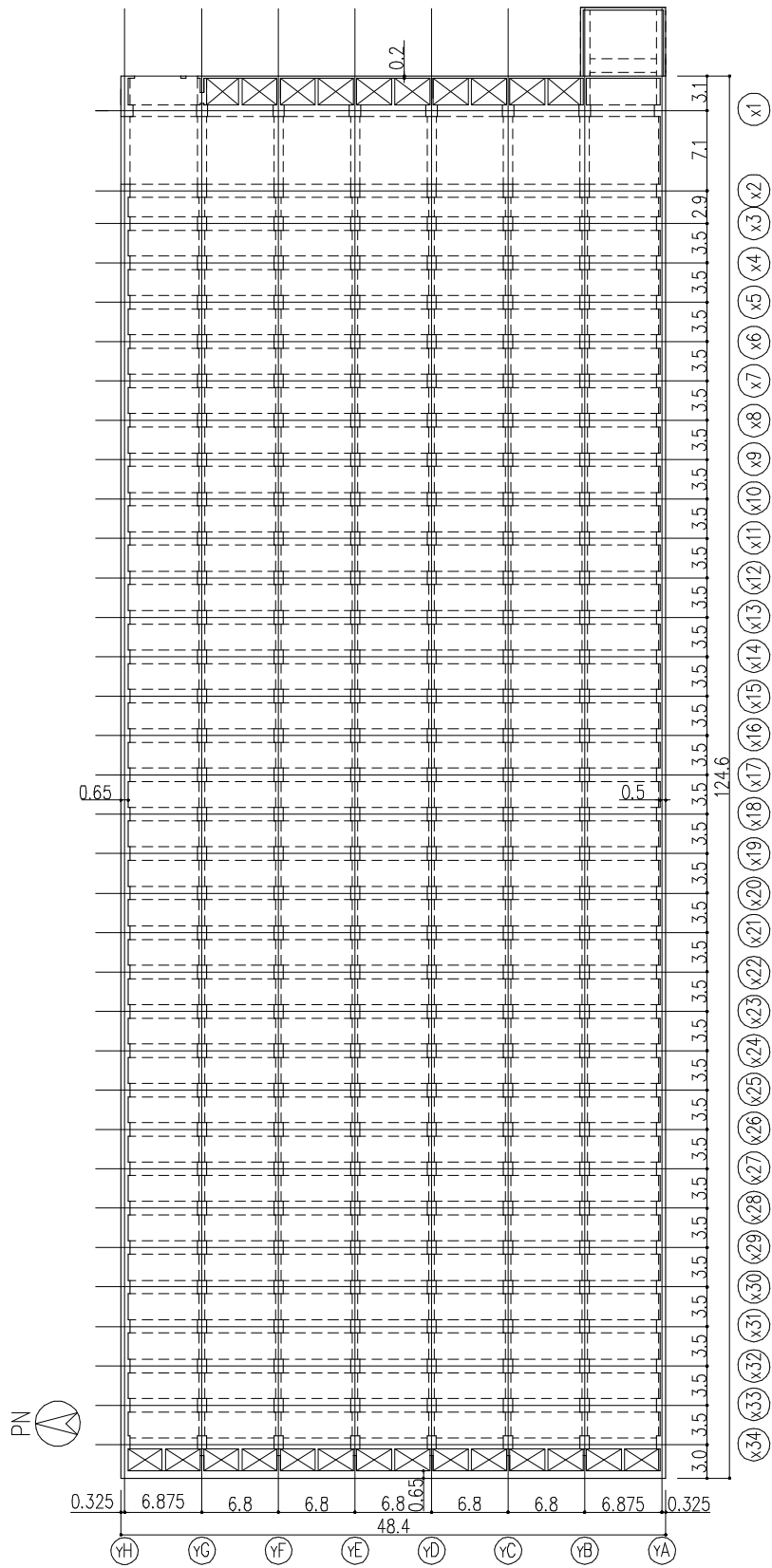
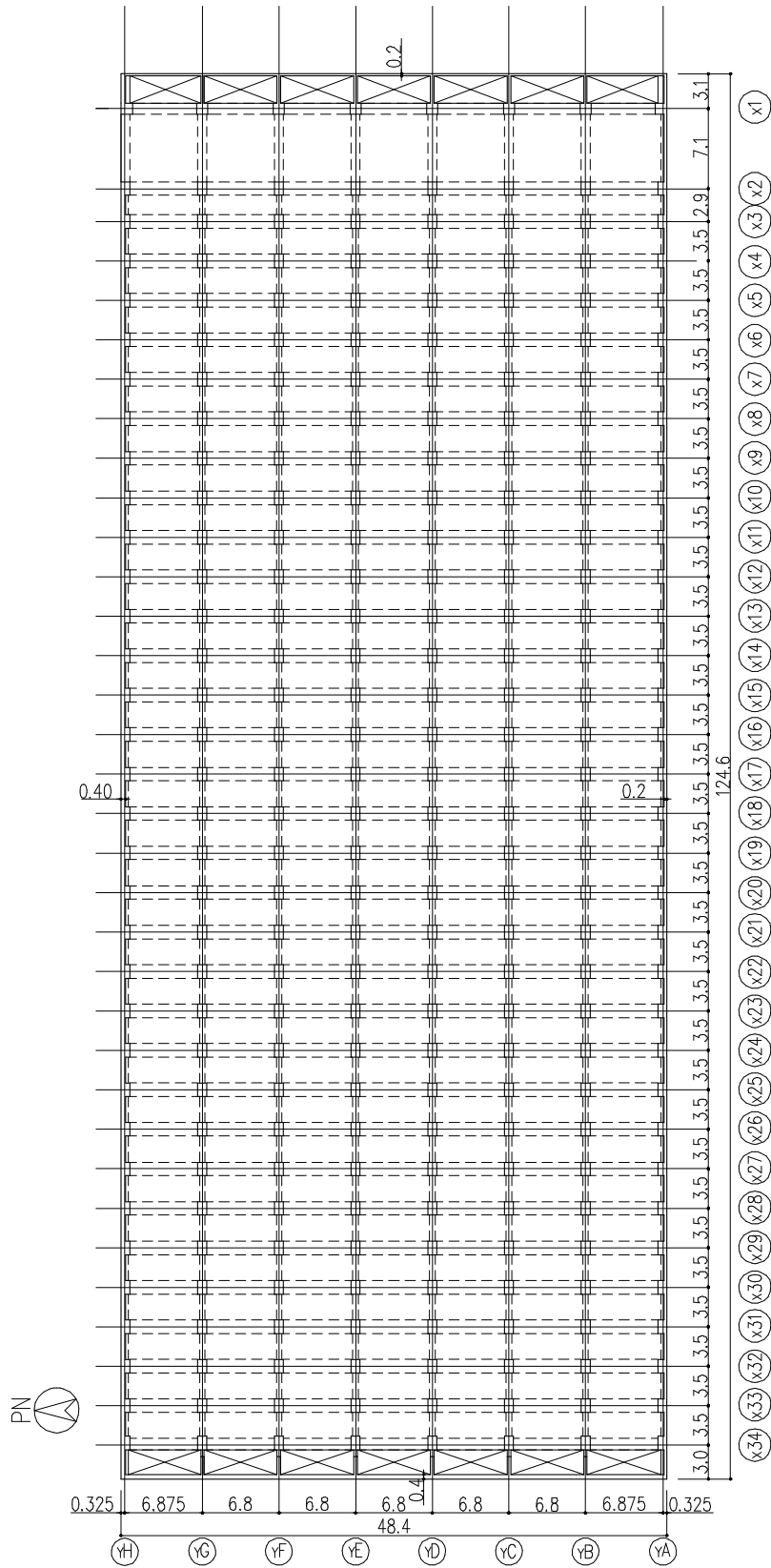


图-4 地上1階平面図 (G. L. +0.3) (单位 : m)



图一五 地上2階平面図 (G. L. +4.7) (单位 : m)

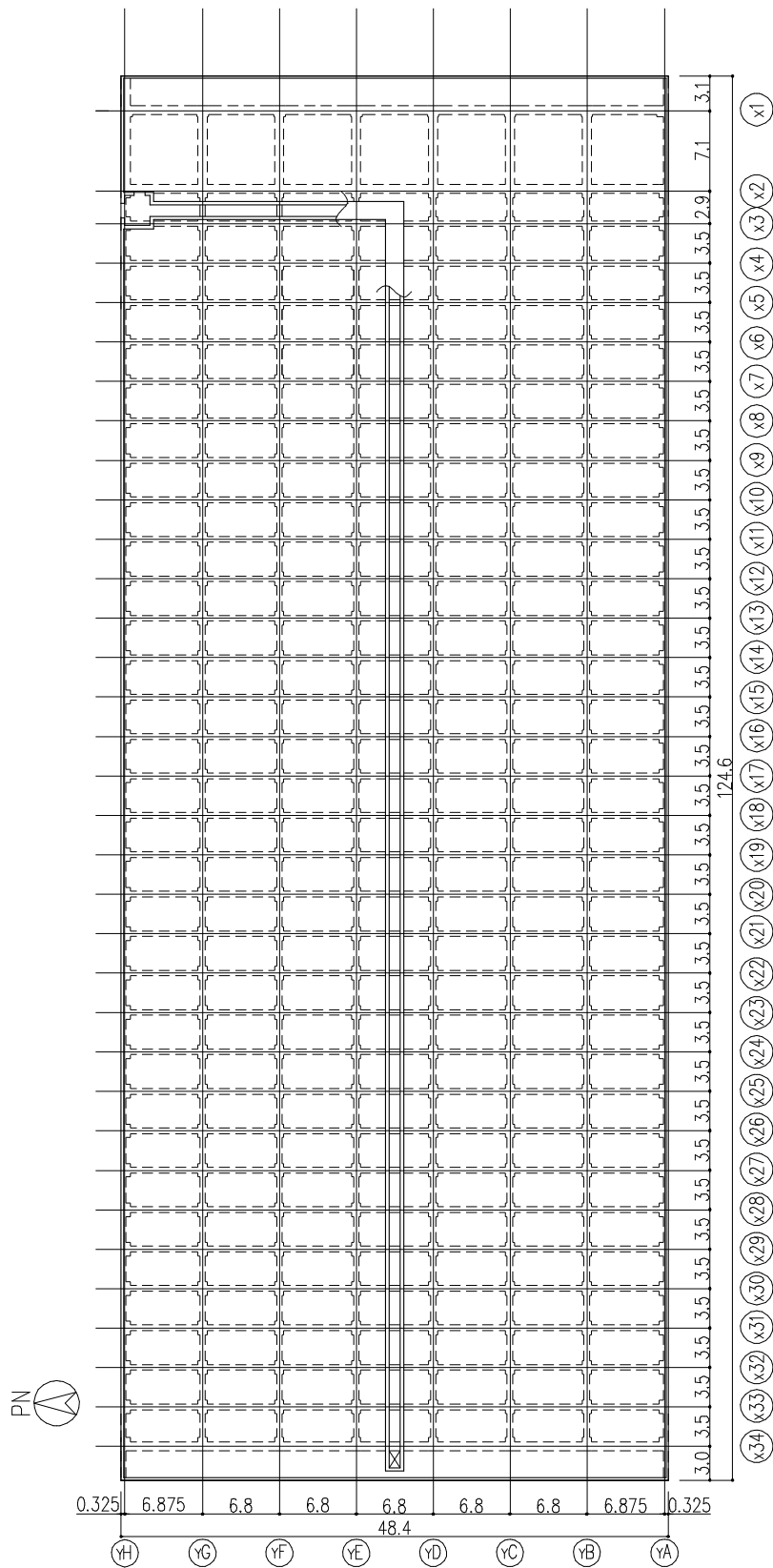


图-6 屋上階平面図 (G.L. +9.1) (单位 : m)

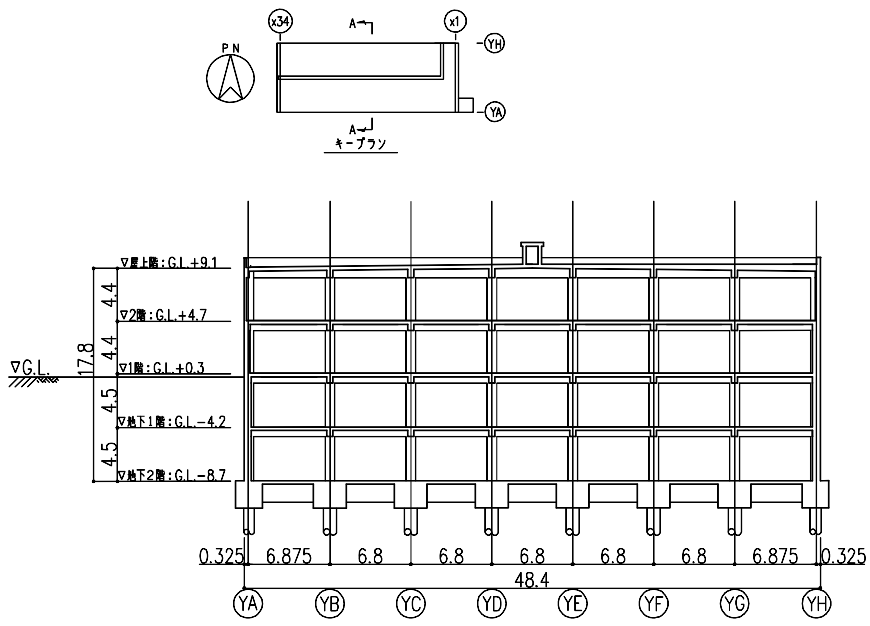
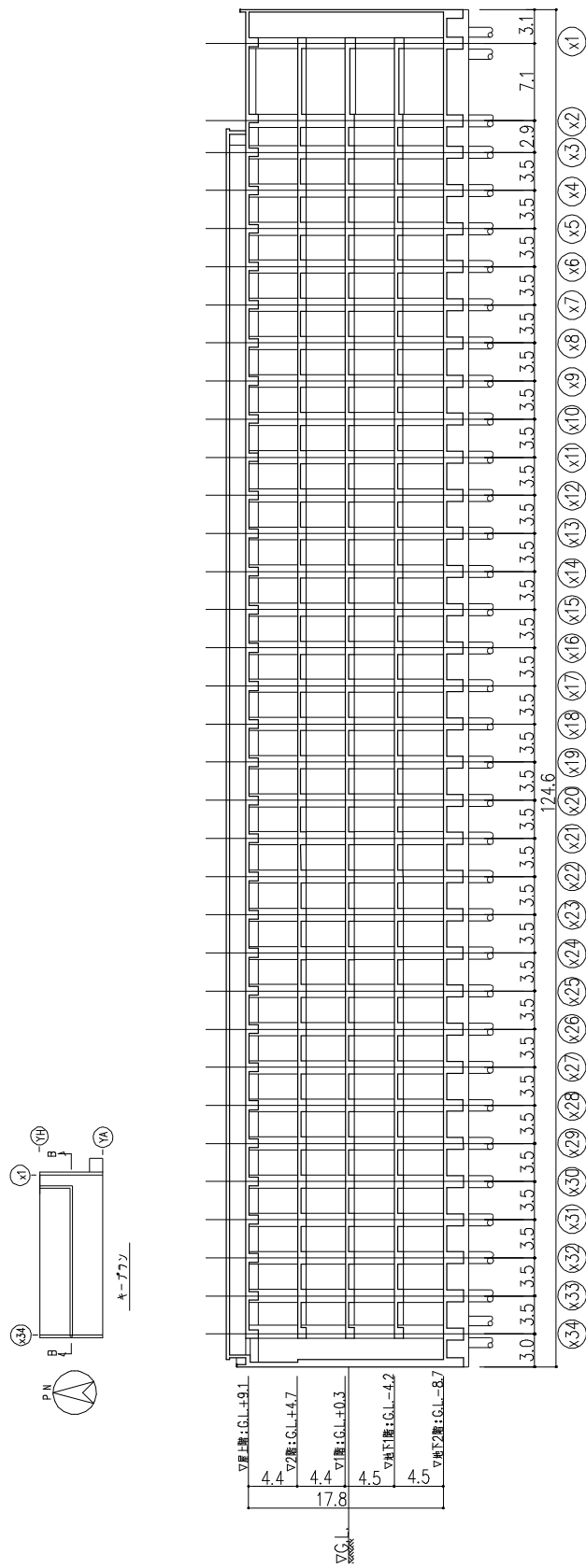
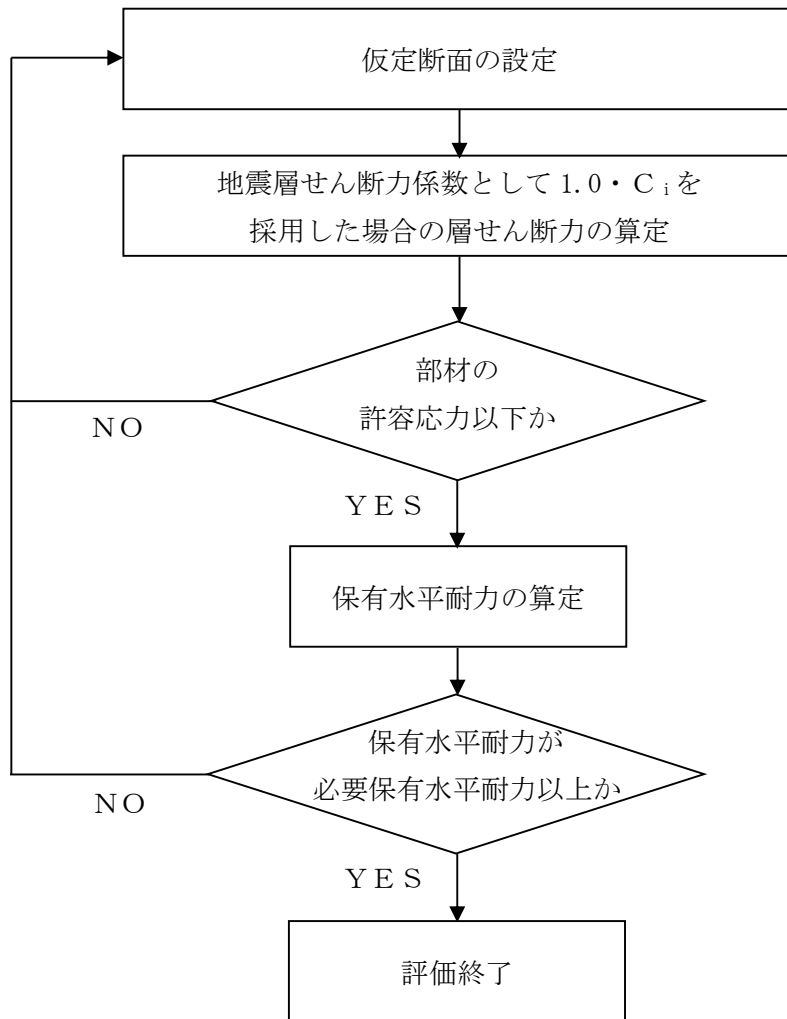


図-7 A-A断面図 (単位: m)



图一 8 B—B 断面图 (单位: m)



図ー 9 Cクラス施設としての建屋の耐震安全性評価手順

1.2 評価条件

1.2.1 使用材料並びに材料の許容応力度

貯蔵庫棟に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 36N/mm^2 とする。鉄筋はSD295A、SD345及びSD390とする。杭は既製杭とし、杭径は 900ϕ 及び 1100ϕ とする。

各使用材料の許容応力度及び杭の許容支持力を表-1～表-3に示す。

表-1 コンクリートの許容応力度*

(単位： N/mm^2)

| | 長期 | | 短期 | |
|------------|----|------|----|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| $F_c = 36$ | 12 | 0.85 | 24 | 1.28 |

※：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-2 鉄筋の許容応力度*

(単位： N/mm^2)

| | 長期 | | 短期 | |
|--------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A | 195 | 195 | 295 | 295 |
| SD345 | D25 以下 | 195 | 345 | 345 |
| | D29 以上 | | | |
| SD390 | D25 以下 | 195 | 390 | 390 |
| | D29 以上 | | | |

※：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-3 杭の許容支持力*

(単位： kN/本)

| 杭径 (mm) | 杭長 (m) | 長期 | 短期 |
|------------|--------|------|-------|
| 900ϕ | 11 | 5040 | 10080 |
| 1100ϕ | 11 | 7170 | 14340 |
| 1100ϕ | 13 | 7540 | 15080 |

※：許容支持力の算定方法は、別添-1による。

1.2.2 荷重及び荷重の組合せ

1.2.2.1 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

(1) 鉛直荷重 (V L)

鉛直荷重は、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。

(2) 積雪荷重 (S N L)

積雪荷重は、建築基準法施行令第 86 条、福島県建築基準法施行規則細則第 19 条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量：30 cm
- ・単位荷重：20 N/m²/cm

(3) 風荷重 (W L)

風荷重は、建築基準法施行令第 87 条、建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：II

(4) 地震荷重 (S E L)

地震荷重は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針に準拠し、算定する際の基準面を地盤面として算定する。地上部分の水平地震力は下式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i ：地上部分の水平地震力 (kN)
- n ：施設の重要度分類に応じた係数 ($n=1.0$)
- C_i ：地震層せん断力係数
- W_i ：当該層以上の重量 (kN)
- Z ：地震地域係数 ($Z=1.0$)
- R_t ：振動特性係数 ($R_t=1.0$)
- A_i ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- C_0 ：標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

地下部分の水平地震力は、下式により算定する。

$$P_k = n \cdot k \cdot W_k$$

ここで、

P_k : 地下部分の水平地震力 (kN)

n : 施設の重要度分類に応じた係数 ($n = 1.0$)

k : 水平震度 ($k = 0.1$)

W_k : 当該部分の固定荷重, 機器荷重, 配管荷重及び積載荷重の和 (kN)

水平地震力の算定結果を表-4に示す。

表-4 水平地震力の算定結果

| G. L. (m) | 当該層以上の重量 W_i (kN) | 地震層せん断力係数 $1.0 \cdot C_i$ | 設計用地震力 (kN) |
|--------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| +9.10 | 105200 | 0.280 | 29500 |
| +4.70 | 405200 | 0.200 | 81100 |
| +0.30 | 710900 | 0.157 ($k=0.1$) ※ | 111700 |
| -4.20 | 1020800 | 0.140 ($k=0.1$) ※ | 142600 |
| -8.70 | | | |

※：() 内は地下部分の水平震度を示す。

1.2.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-5に示す。

表-5 荷重の組合せ

| 荷重状態 | 荷重ケース | 荷重の組合せ | 許容応力度 |
|------|-------|------------------------------|-------|
| 常時 | A | $V L^{*1}$ | 長期 |
| 積雪時 | B | $V L + S N L$ | 短期 |
| 地震時 | C 1 | $V L + S E L$ (W→E 方向) | |
| | C 2 | $V L + S E L$ (E→W 方向) | |
| | C 3 | $V L + S E L$ (S→N 方向) | |
| | C 4 | $V L + S E L$ (N→S 方向) | |
| 暴風時 | D 1 | $V L + W L$ (W→E 方向) *2 | |
| | D 2 | $V L + W L$ (E→W 方向) *2 | |
| | D 3 | $V L + W L$ (S→N 方向) *2 | |
| | D 4 | $V L + W L$ (N→S 方向) *2 | |

※1：鉛直荷重 (VL) は固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重を加え合わせたものである。

※2：風荷重 (WL) は地震荷重 (SEL) に比べて小さいため，荷重の組合せにおいては地震荷重によって代表させる。

図-10に暴風時と地震時の層せん断力の比較結果を示す。

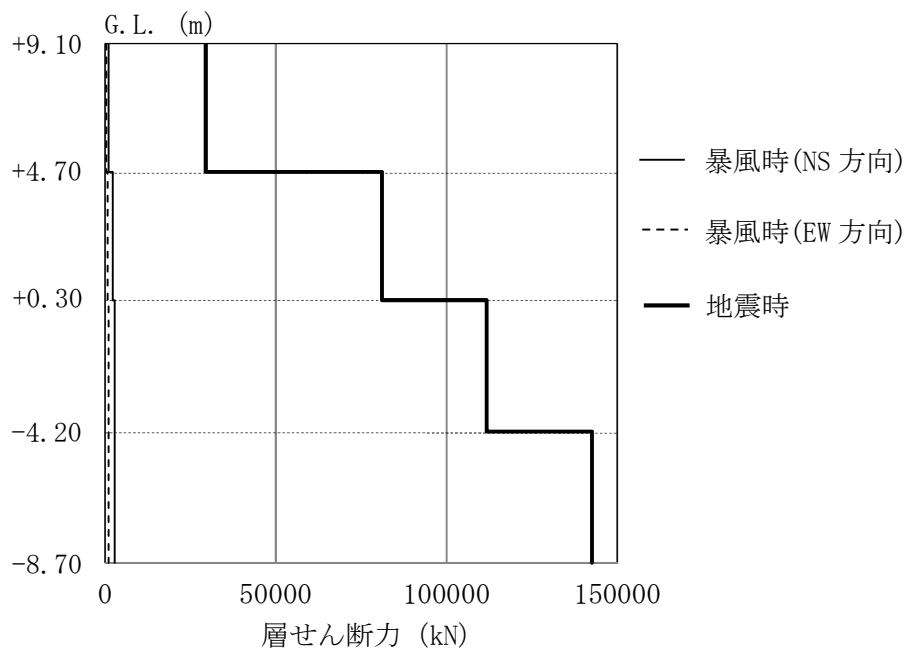


図-10 暴風時と地震時の層せん断力の比較結果

1.3 評価結果

上部構造の応力解析は、柱とはり線を線材置換、耐震壁をエレメント置換とした立体フレームモデルにより行う。

図-11に解析モデルを示す。解析モデルに鉛直荷重、積雪荷重及び地震荷重を作用させ、これらの荷重に対して建屋が耐えうるように柱はり及び耐震壁を設計する。

各部材は、曲げ、せん断及び軸変形を考慮する。杭については、最下層の節点位置に杭頭ばねとして考慮する。

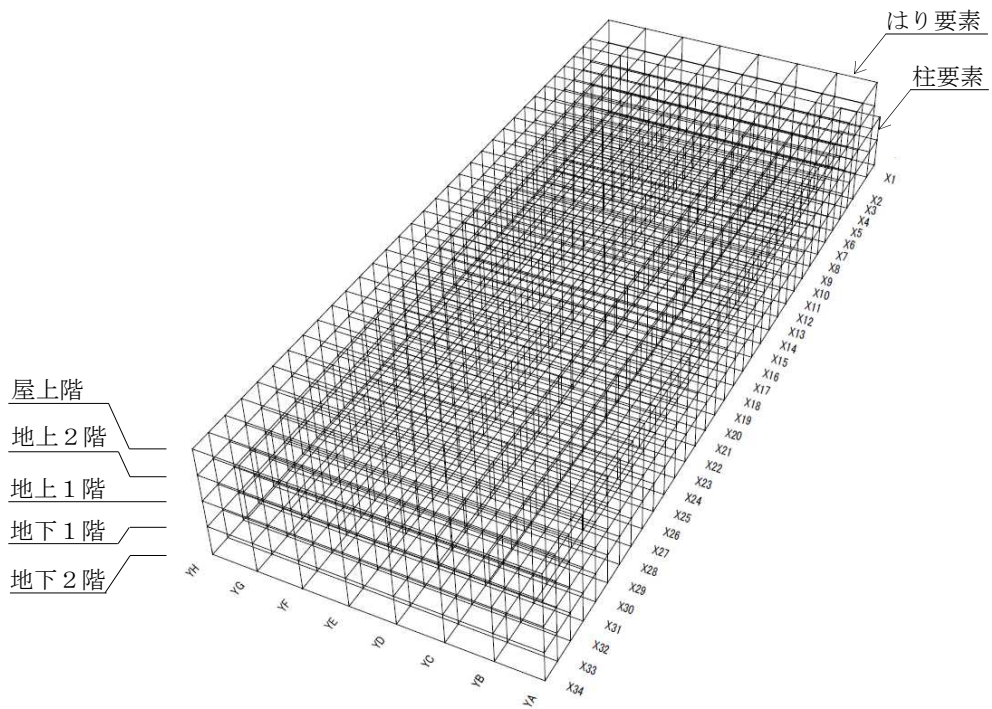


図-11 解析モデル図

1.3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-6に示し、配筋図を図-12に示す。

これより、耐震壁の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表-6 耐震壁の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 (kN) | 許容応力 (kN) | 検定比 |
|--------------------------------|---|-----------|------|-----------|-----------|------|
| 地下1階 YH通り X17~X18 通り間 | 壁厚 650mm タテ, ヨコ共 屋内側 D16@200 屋外側 D19@200 | 地震時 C1 | せん断力 | 1878 | 3283 | 0.58 |

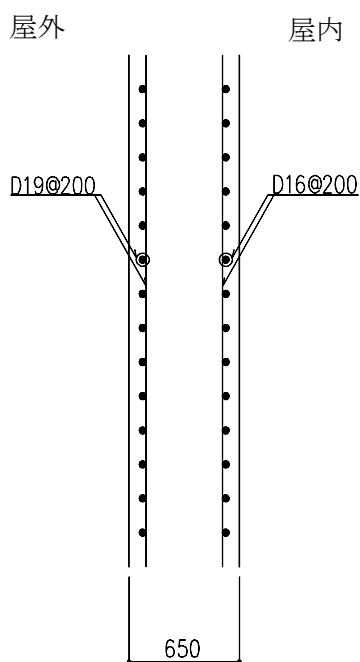


図-12 耐震壁の配筋図 (地下1階, YH通り X17~X18通り間) (単位: mm)

1.3.2 ラーメン構造部の評価結果

検討により求められたラーメン構造部の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-7及び表-8に示し、配筋図を図-13から図-16に示す。

これより、各部材の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表-7 大ばりの作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 (単位: mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|--------------------------------|--|-----------|---------|----------|----------|------|
| 地下1階 YC通り X33~X34 通り間 | B×D =500×800 主筋上端 6-D32 主筋下端 3-D32 あばら筋 3-D16@125 (端部) | 常時 A | 曲げモーメント | 242 kN・m | 274 kN・m | 0.89 |
| | | | せん断力 | 322 kN | 457 kN | 0.71 |
| 屋上階 X3通り YD~YE 通り間 | B×D =500×800 主筋上端 5-D29 主筋下端 3-D29 あばら筋 3-D13@200 (端部) | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 491 kN・m | 723 kN・m | 0.68 |
| | | | せん断力 | 335 kN | 440 kN | 0.77 |

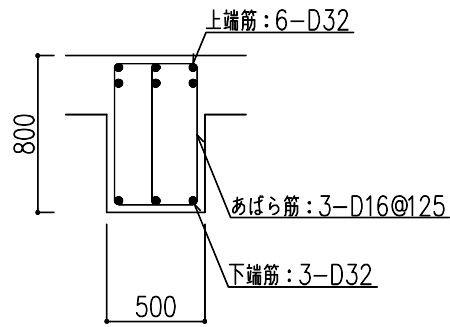


図-13 大ばりの配筋図（地下1階，YC 通り X33～X34 通り間，端部）（単位：mm）

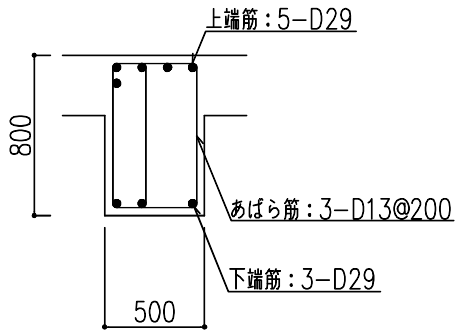


図-14 大ばりの配筋図（屋上階，X3 通り YD～YE 通り間，端部）（単位：mm）

表-8 柱の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 (単位: mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|----------------------|--|-----------|---------|-----------|-----------|------|
| 地下2階 X34/YC 通り | B×D =800×1200 主筋 32-D38 帯筋 2-D16@100 (柱脚部) | 常時 A | 曲げモーメント | 1500 kN・m | 2370 kN・m | 0.64 |
| | | | せん断力 | 395 kN | 637 kN | 0.63 |
| 地下2階 X3/YF 通り | B×D =1200×800 主筋 18-D38 帯筋 7-D13@100 (柱脚部) | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 1375 kN・m | 2638 kN・m | 0.53 |
| | | | せん断力 | 957 kN | 1688 kN | 0.57 |

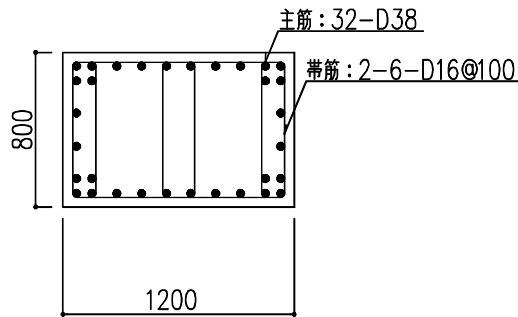


図-15 柱の配筋図 (地下2階, X34/YC 通り, 柱脚部) (単位: mm)

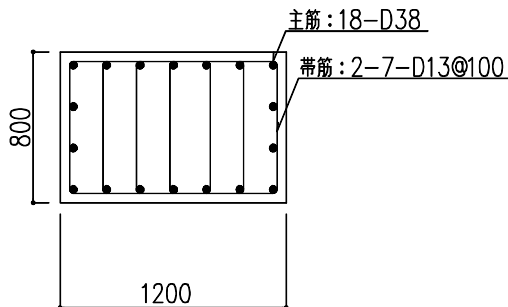


図-16 柱の配筋図 (地下2階, X3/YF 通り, 柱脚部) (単位: mm)

1.3.3 杭の評価結果

検討により求められた杭に作用する鉛直力と許容支持力を比較し、検定比が最大となる部位を表-9に示す。

これより、杭の鉛直力が許容支持力以下であることを確認した。

表-9 杭の鉛直力と許容支持力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 鉛直力 (kN) | 許容支持力 (kN) | 検定比 |
|--------------|----------|------------|----------|------------|------|
| X34/YE 通り | 杭径 900mm | 常時 A | 4152 | 5040 | 0.83 |
| X8/YH 通り | 杭径 900mm | 地震時 C 3 | 5119 | 10080 | 0.51 |

また、杭の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-10に示す。

これより、杭の作用応力が許容応力以下であることを確認した。

表-10 杭の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|-------------|----------|------------|---------|----------|-----------|------|
| X1/YH 通り | 杭径 900mm | 地震時 C 4 | 曲げモーメント | 1035kN・m | 3320 kN・m | 0.32 |
| | | | せん断力 | 563 kN | 3391 kN | 0.17 |

1.4 保有水平耐力の検討

保有水平耐力 (Q_u) が、必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法・同施行令第82条の3及び平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-11に示す。

これより、貯蔵庫棟は必要保有水平耐力以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-11 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1) EW 方向

| G. L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | 安全余裕 $\frac{Q_u}{Q_{un}}$ |
|--------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| +4.70~+9.10 | 81070 | 98641 | 1.21 |
| +0.30~+4.70 | 222860 | 271164 | 1.21 |
| -4.20~+0.30 | 306955 | 373487 | 1.21 |
| -8.70~-4.20 | 392150 | 477148 | 1.21 |

(2) NS 方向

| G. L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | 安全余裕 $\frac{Q_u}{Q_{un}}$ |
|--------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| +4.70~+9.10 | 58960 | 70968 | 1.20 |
| +0.30~+4.70 | 162080 | 195089 | 1.20 |
| -4.20~+0.30 | 223240 | 268705 | 1.20 |
| -8.70~-4.20 | 285200 | 343284 | 1.20 |

1.5 まとめ

耐震壁，ラーメン構造部及び杭について，作用応力が許容応力以下であることを確認した。

保有水平耐力について，必要保有水平耐力以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

以上より，貯蔵庫棟の耐震安全性を確認した。

2. 付帯設備棟の耐震性評価

2.1 評価方針

付帯設備棟は、鉄筋コンクリート造の地下2階地上2階塔屋1階で、平面が27.1m (EW) ×33.15m (NS) であり、地上高さは15.4mである。

付帯設備棟は杭を介して G.L. -21m~-18m に位置する N 値 50 以上の富岡層（泥岩）に支持させる。付帯設備棟の杭配置図、平面図及び断面図を図-17～図-25に示す。

付帯設備棟に加わる地震時の水平力は、耐震壁及び柱とはりからなるラーメン構造で負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.0 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。付帯設備棟の評価手順を図-26に示す。

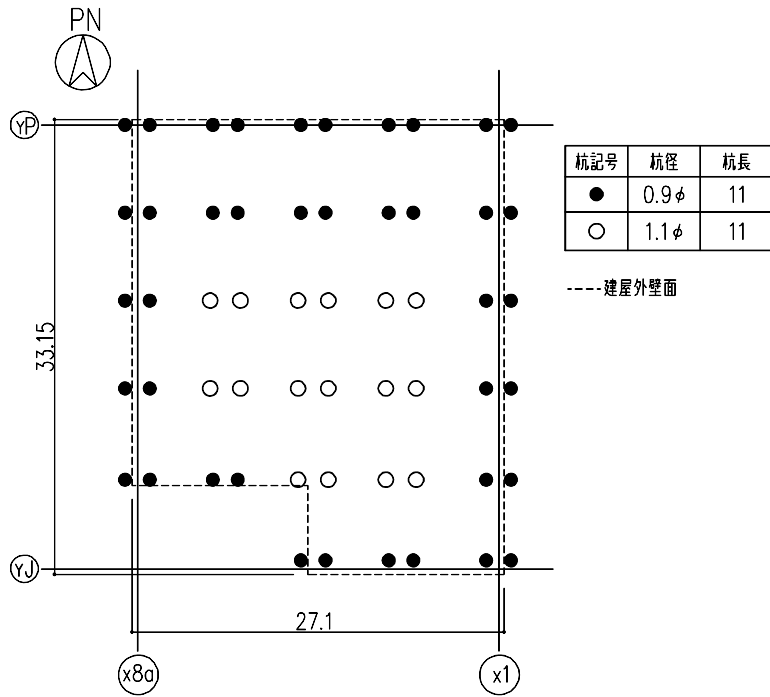


図-17 杭配置図 (G.L. -11.0) (単位 : m)

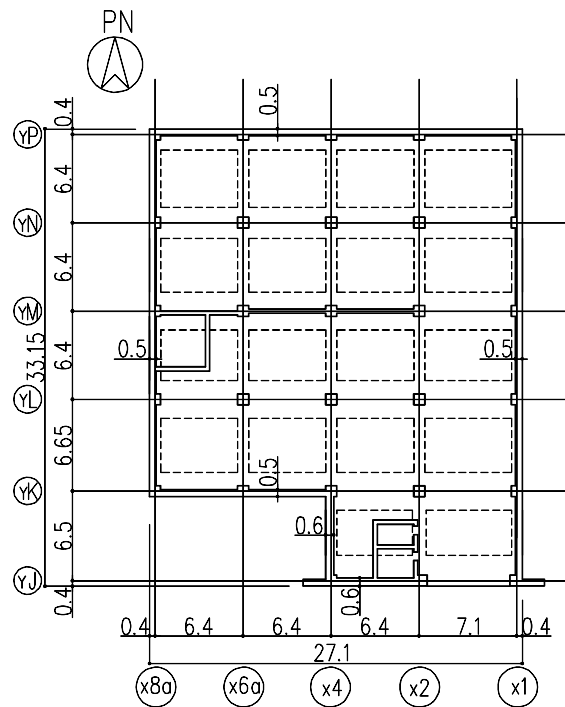


図-18 地下2階平面図 (G.L. -8.7) (単位 : m)

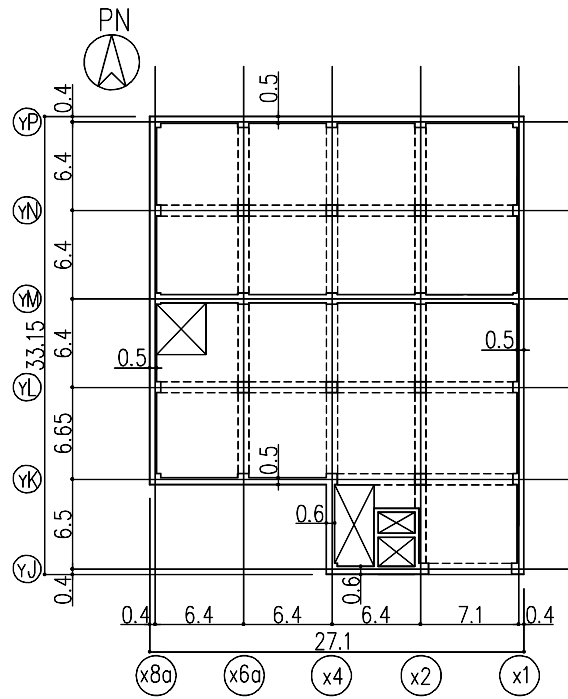


图-19 地下1階平面図 (G.L. -4.2) (单位 : m)

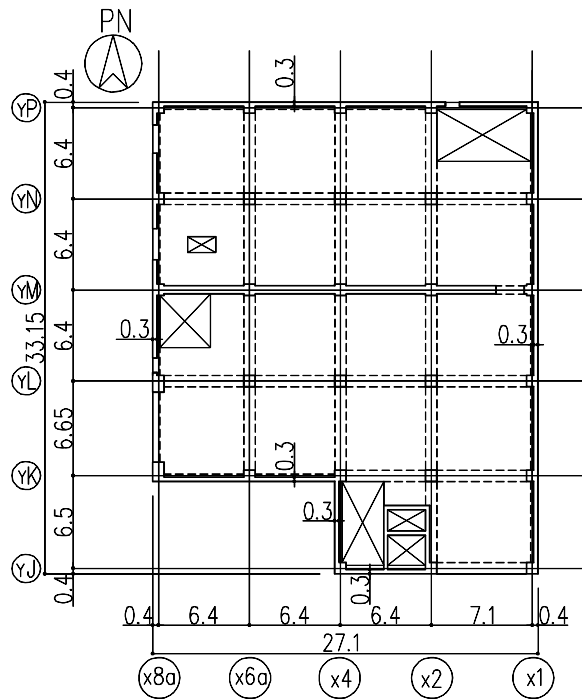


图-20 地上1階平面図 (G.L. +0.3) (单位 : m)

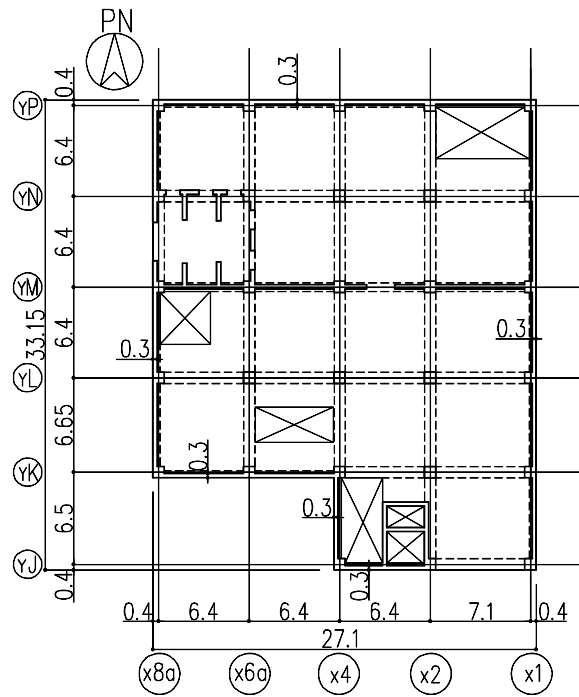


图-2-1 地上2階平面図 (G.L.+4.7) (单位:m)

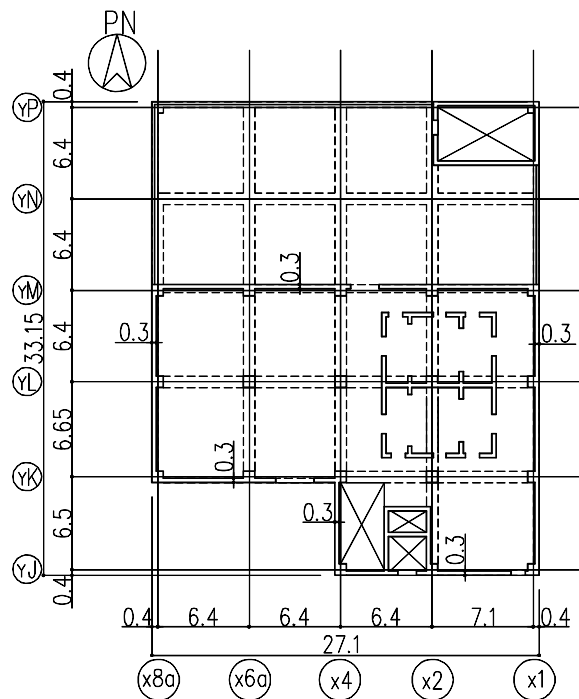


图-2-2 塔屋階平面図 (G.L.+11.0) (单位:m)

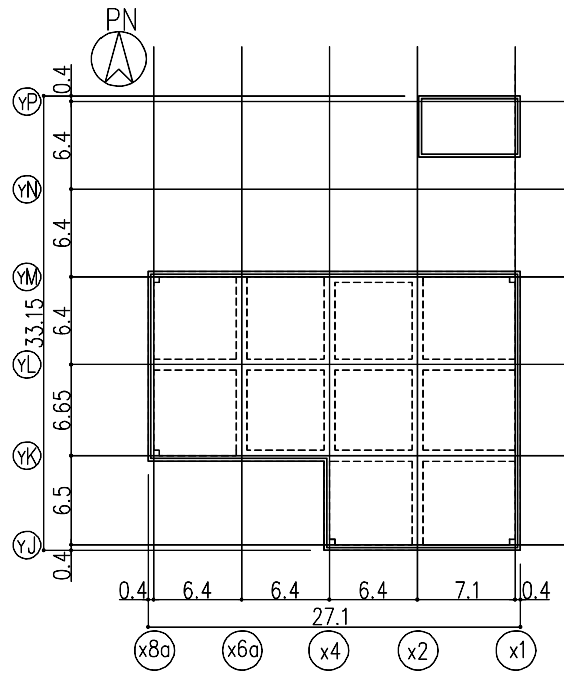


图-23 屋上階平面図 (G. L. +15.4) (单位: m)

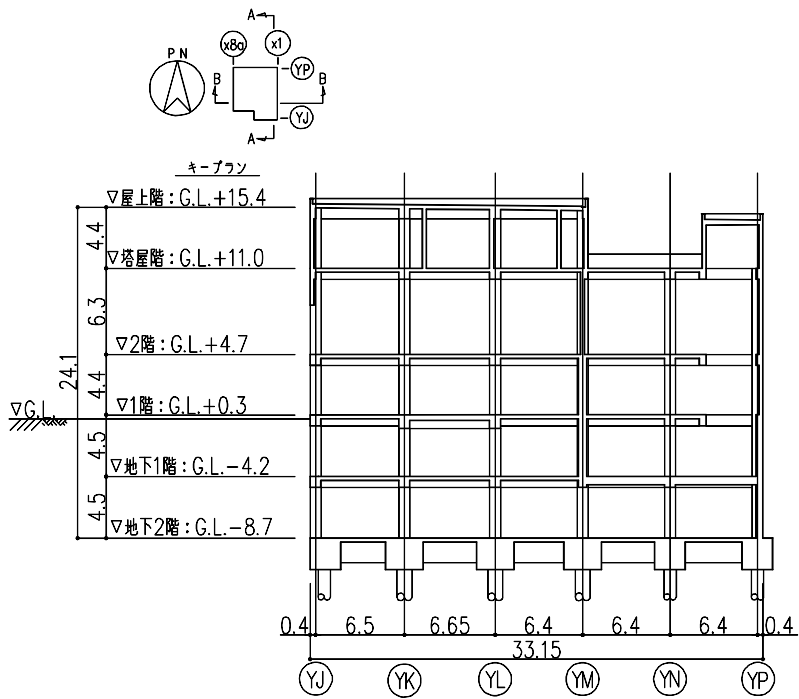


図-24 A-A断面図 (単位:m)

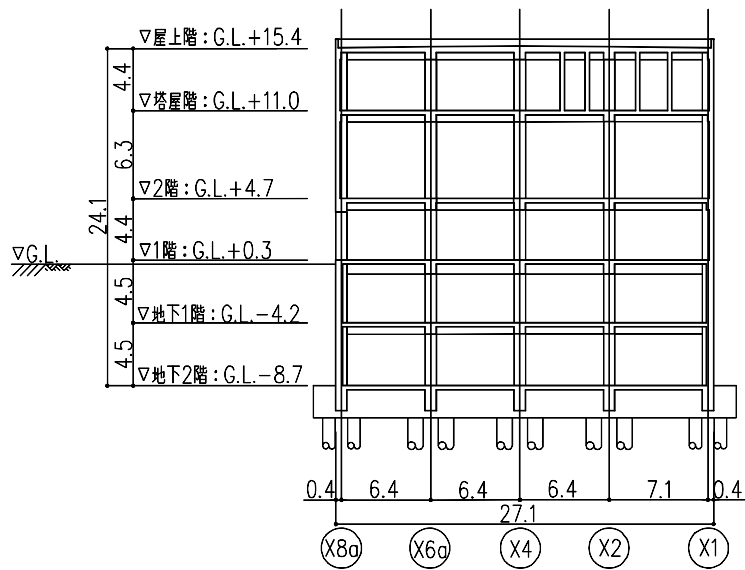


図-25 B-B断面図 (単位:m)

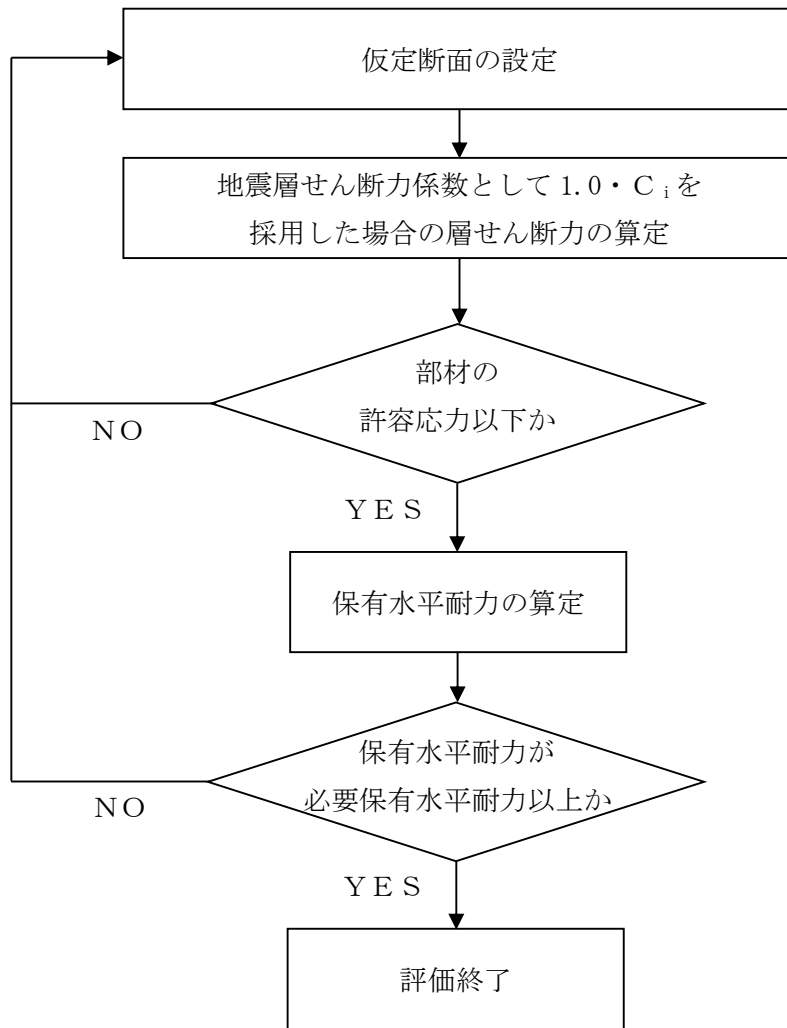


図-26 Cクラス施設としての建屋の耐震安全性評価手順

2.2 評価条件

2.2.1 使用材料並びに材料の許容応力度

付帯設備棟に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 36N/mm^2 とする。鉄筋は SD295A, SD345 及び SD390 とする。杭は既製杭とし、杭径は 900ϕ 及び 1100ϕ とする。

各使用材料の許容応力度及び杭の許容支持力を表-12～表-14に示す。

表-12 コンクリートの許容応力度*

(単位： N/mm^2)

| | 長期 | | 短期 | |
|------------|----|------|----|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| $F_c = 36$ | 12 | 0.85 | 24 | 1.28 |

※：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-13 鉄筋の許容応力度*

(単位： N/mm^2)

| | 長期 | | 短期 | |
|--------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A | 195 | 195 | 295 | 295 |
| SD345 | D25 以下 | 195 | 345 | 345 |
| | D29 以上 | | | |
| SD390 | D25 以下 | 195 | 390 | 390 |
| | D29 以上 | | | |

※：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-14 杭の許容支持力*

(単位： kN/本)

| 杭径 (mm) | 杭長 (m) | 長期 | 短期 |
|------------|--------|------|-------|
| 900ϕ | 11 | 5040 | 10080 |
| 1100ϕ | 11 | 7170 | 14340 |

※：許容支持力の算定方法は、別添-1による。

2.2.2 荷重及び荷重の組合せ

2.2.2.1 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

(1) 鉛直荷重 (V L)

鉛直荷重は、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。

(2) 積雪荷重 (S N L)

積雪荷重は、建築基準法施行令第 86 条及び福島県建築基準法施行規則細則第 19 条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量：30 cm
- ・単位荷重：20 N/m²/cm

(3) 風荷重 (W L)

風荷重は、建築基準法施行令第 87 条、建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：II

(4) 地震荷重 (S E L)

地震荷重は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針に準拠し、算定する際の基準面を地盤面として算定する。地上部分の水平地震力は下式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i ：地上部分の水平地震力 (kN)
- n ：施設の重要度分類に応じた係数 ($n=1.0$)
- C_i ：地震層せん断力係数
- W_i ：当該層以上の重量 (kN)
- Z ：地震地域係数 ($Z=1.0$)
- R_t ：振動特性係数 ($R_t=1.0$)
- A_i ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- C_0 ：標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

地下部分の水平地震力は、下式により算定する。

$$P_k = n \cdot k \cdot W_k$$

ここで、

P_k : 地下部分の水平地震力 (kN)

n : 施設の重要度分類に応じた係数 ($n = 1.0$)

k : 水平震度 ($k = 0.1$)

W_k : 当該部分の固定荷重, 機器荷重, 配管荷重及び積載荷重の和 (kN)

水平地震力の算定結果を表-15に示す。

表-15 水平地震力の算定結果

| G. L. (m) | 当該層以上の重量 W_i (kN) | 地震層せん断力係数 $1.0 \cdot C_i$ | 設計用地震力 (kN) |
|--------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| +15.40 | 9500 | 0.334 | 3200 |
| +11.00 | 30200 | 0.243 | 7400 |
| +4.70 | 49400 | 0.200 | 9900 |
| +0.30 | 71100 | 0.169 ($k=0.1$) ※ | 12100 |
| -4.20 | 92900 | 0.153 ($k=0.1$) ※ | 14300 |
| -8.70 | | | |

※：() 内は地下部分の水平震度を示す。

2.2.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-16に示す。

表-16 荷重の組合せ

| 荷重状態 | 荷重ケース | 荷重の組合せ | 許容応力度 |
|------|-------|--------------------------------|-------|
| 常時 | A | VL ^{※1} | 長期 |
| 積雪時 | B | VL + SNL | 短期 |
| 地震時 | C1 | VL + SEL (W→E 方向) | |
| | C2 | VL + SEL (E→W 方向) | |
| | C3 | VL + SEL (S→N 方向) | |
| | C4 | VL + SEL (N→S 方向) | |
| 暴風時 | D1 | VL + WL (W→E 方向) ^{※2} | |
| | D2 | VL + WL (E→W 方向) ^{※2} | |
| | D3 | VL + WL (S→N 方向) ^{※2} | |
| | D4 | VL + WL (N→S 方向) ^{※2} | |

※1：鉛直荷重 (VL) は固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重を加え合わせたものである。

※2：風荷重 (WL) は地震荷重 (SEL) に比べて小さいため，荷重の組合せにおいては地震荷重によって代表させる。

図-27に暴風時と地震時の層せん断力の比較結果を示す。

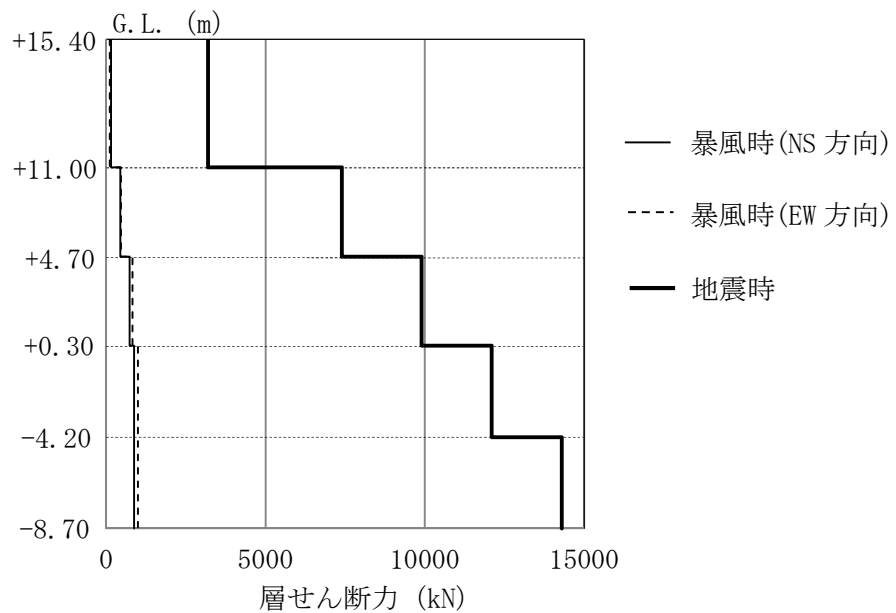


図-27 暴風時と地震時の層せん断力の比較結果

2.3 評価結果

上部構造の応力解析は、柱とはりを線材置換、耐震壁をエレメント置換とした立体フレームモデルにより行う。

図-28に解析モデルを示す。解析モデルに鉛直荷重、積雪荷重及び地震荷重を作用させ、これらの荷重に対して建屋が耐えうるように柱はり及び耐震壁を設計する。

各部材は、曲げ、せん断及び軸変形を考慮する。杭については、最下層の節点位置に杭頭ばねとして考慮する。

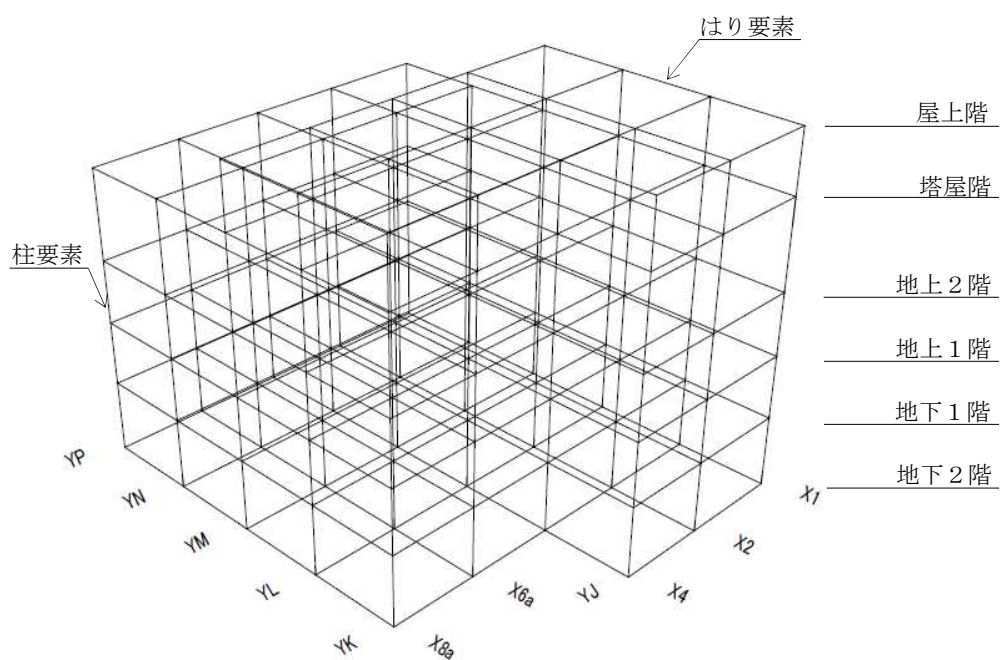


図-28 解析モデル図

2.3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-17に示し、配筋図を図-29に示す。

これより、耐震壁の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表-17 耐震壁の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 (kN) | 許容応力 (kN) | 検定比 |
|----------------------------|----------------------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| 1階 YM通り X1~X2 通り間 | 壁厚 600mm タテ, ヨコ共 2-D16@200 | 地震時 C1 | せん断力 | 1460 | 2841 | 0.52 |

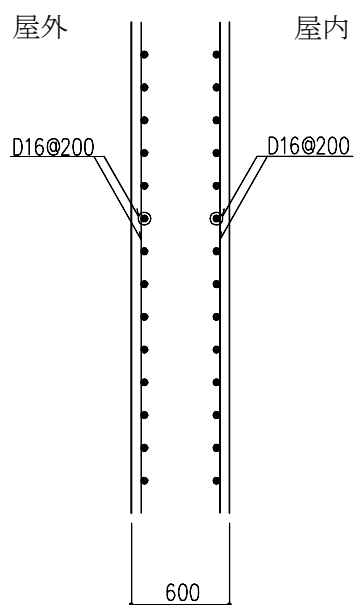


図-29 耐震壁の配筋図 (1階, YM通り X1~X2通り間) (単位: mm)

2.3.2 ラーメン構造部の評価結果

検討により求められたラーメン構造部の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-18及び表-19に示し、配筋図を図-30から図-33に示す。

これより、各部材の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表-18 大ばりの作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 (単位: mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|------------------------------|--|-----------|---------|----------|-----------|------|
| 屋上階 X2 通り YK~YL 通り間 | B×D =800×800 主筋上端 5-D29 主筋下端 4-D29 あばら筋 3-D13@200 (端部) | 常時 A | 曲げモーメント | 342 kN・m | 370 kN・m | 0.93 |
| | | | せん断力 | 251 kN | 459 kN | 0.55 |
| 2階 X8a 通り YM~YN 通り間 | B×D =800×800 主筋上端 5-D38 主筋下端 4-D38 あばら筋 4-D13@150 (端部) | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 725 kN・m | 1274 kN・m | 0.57 |
| | | | せん断力 | 461 kN | 679 kN | 0.68 |

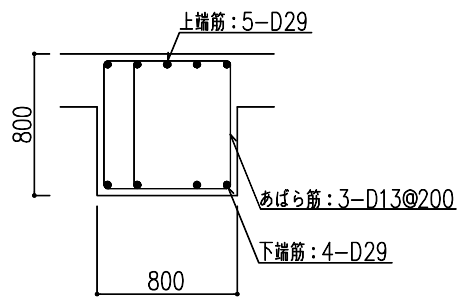


図-30 大ばりの配筋図 (屋上階, X2 通り YK~YL 通り間, 端部) (単位: mm)

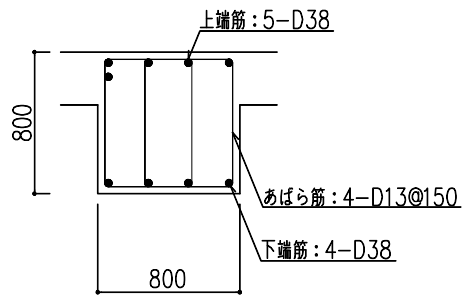


図-31 大ばりの配筋図 (2階, X8a 通り YM~YN 通り間, 端部) (単位: mm)

表-19 柱の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 (単位:mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|----------------------|---|-----------|---------|----------|-----------|------|
| 地下2階 X6a/YP 通り | B×D =800×800 主筋 12-D38 帯筋 3-D13@100 (柱頭部) | 常時 A | 曲げモーメント | 604 kN・m | 775 kN・m | 0.78 |
| | | | せん断力 | 513 kN | 585 kN | 0.88 |
| 地下2階 X4/YP 通り | B×D =800×800 主筋 12-D38 帯筋 3-D13@100 (柱頭部) | 地震時 C4 | 曲げモーメント | 662 kN・m | 1573 kN・m | 0.43 |
| | | | せん断力 | 618 kN | 857 kN | 0.73 |

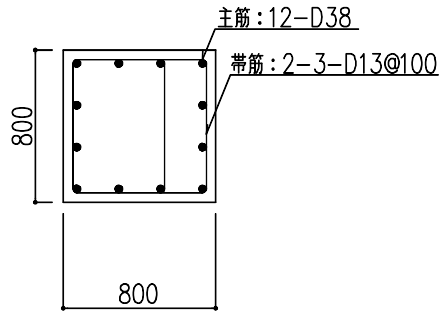


図-32 柱の配筋図 (地下2階, X6a/YP 通り, 柱頭部) (単位:mm)

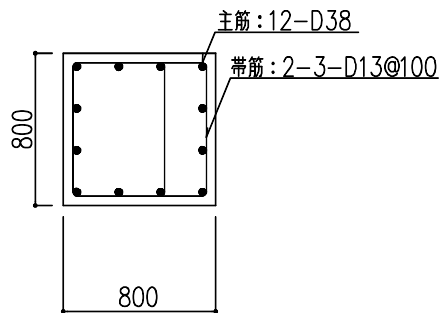


図-33 柱の配筋図 (地下2階, X4/YP 通り, 柱頭部) (単位:mm)

2.3.3 杭の評価結果

検討により求められた杭に作用する鉛直力と許容支持力を比較し、検定比が最大となる部位を表-20に示す。

これより、杭の鉛直力が許容支持力以下であることを確認した。

表-20 杭の鉛直力と許容支持力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 鉛直力 (kN) | 許容支持力 (kN) | 検定比 |
|--------------|----------|------------|----------|------------|------|
| X6a/YN 通り | 杭径 900mm | 常時 A | 2889 | 5040 | 0.58 |
| X1/YJ 通り | 杭径 900mm | 地震時 C 4 | 3703 | 10080 | 0.37 |

また、杭の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-21に示す。
これより、杭の作用応力が許容応力以下であることを確認した。

表-21 杭の作用応力と許容応力

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|-------------|----------|------------|---------|---------|-----------|------|
| X1/YP 通り | 杭径 900mm | 地震時 C 2 | 曲げモーメント | 573kN・m | 2760 kN・m | 0.21 |
| | | | せん断力 | 332 kN | 2876 kN | 0.12 |

2.4 保有水平耐力の検討

保有水平耐力 (Q_u) が、必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法・同施行令第82条の3及び平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-22に示す。

これより、付帯設備棟は必要保有水平耐力以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-22 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1) EW 方向

| G.L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | 安全余裕 $\frac{Q_u}{Q_{un}}$ |
|---------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| +11.00~+15.40 | 8745 | 10694 | 1.22 |
| +4.70~+11.00 | 20185 | 24685 | 1.22 |
| +0.30~ +4.70 | 27170 | 33227 | 1.22 |
| -4.20~ +0.30 | 37212 | 45507 | 1.22 |
| -8.70~ -4.20 | 41353 | 50572 | 1.22 |

(2) NS 方向

| G.L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | 安全余裕 $\frac{Q_u}{Q_{un}}$ |
|---------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|
| +11.00~+15.40 | 8745 | 10691 | 1.22 |
| +4.70~+11.00 | 20185 | 24678 | 1.22 |
| +0.30~ +4.70 | 40755 | 49826 | 1.22 |
| -4.20~ +0.30 | 33165 | 40547 | 1.22 |
| -8.70~ -4.20 | 39160 | 47876 | 1.22 |

2.5 まとめ

耐震壁，ラーメン構造部及び杭について，作用応力が許容応力以下であることを確認した。

保有水平耐力について，必要保有水平耐力以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

以上より，付帯設備棟の耐震安全性を確認した。

3. 別添

別添－1 杭の許容支持力の算定に関する説明書

別添－2 耐震Bクラス相当の地震力に対する参考評価について

別添－3 自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）を考慮した構造設計について

杭の許容支持力の算定に関する説明書

1. 杭の許容支持力の算定

1.1 設計方針

杭は外殻鋼管付コンクリート杭（以下、SC杭という）を使用し、杭工法はハイエフビー（HiFB）工法（先端地盤：粘土質地盤）（国住指第1823-1号，平成19年10月5日，認定番号：TACP-0259）とする。

杭の許容支持力は，平成13年国土交通省告示第1113号に従い地盤の許容支持力又は杭の許容耐力のうちいずれか小さい値とする。

1.2 使用材料

SC杭に使用するコンクリートは $F_c 105 \text{ N/mm}^2$ ，鋼管はSKK490とする。杭の諸元を表－1及び表－2に示す。

表－1 杭の諸元（貯蔵庫棟）

| 杭径 (mm) | 杭長 ^{※1} (m) | コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²) | 鋼管の 基準強度 F (N/mm ²) | 板厚 ^{※2} t (mm) | 鋼管厚 t_s (mm) |
|------------|-------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| 900 | 11.0 | 105 | 325 | 120 | 14 |
| 1100 | 11.0 | 105 | 325 | 140 | 12 |
| 1100 | 13.0 | 105 | 325 | 140 | 16 |

※1：杭長は全長を示す。

※2：板厚 t は，鋼管厚 t_s を含む値

表－2 杭の諸元（付帯設備棟）

| 杭径 (mm) | 杭長 ^{※1} (m) | コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²) | 鋼管の 基準強度 F (N/mm ²) | 板厚 ^{※2} t (mm) | 鋼管厚 t_s (mm) |
|------------|-------------------------|---|---|------------------------------|-------------------|
| 900 | 11.0 | 105 | 325 | 120 | 12 |
| 1100 | 11.0 | 105 | 325 | 140 | 12 |

※1：杭長は全長を示す。

※2：板厚 t は，鋼管厚 t_s を含む値

1.3 杭の許容支持力

1.3.1 地盤から決まる許容支持力

地盤から求まる許容支持力は、平成13年国土交通省告示第1113号に従い算定する。

- (1) 長期に生じる力に対する地盤の許容支持力

$$R_a = \frac{1}{3} \cdot \left\{ \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p + (\beta \cdot \bar{N}_s \cdot L_s + \gamma \cdot \bar{q}_u \cdot L_c) \cdot \phi \right\} \text{ (kN)}$$

- (2) 短期に生じる力に対する地盤の許容支持力

$$R_a = \frac{2}{3} \cdot \left\{ \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p + (\beta \cdot \bar{N}_s \cdot L_s + \gamma \cdot \bar{q}_u \cdot L_c) \cdot \phi \right\} \text{ (kN)}$$

ここで、

α : くい先端支持力係数 ($\alpha = 315$)

β : 砂質地盤におけるくい周面摩擦力係数 ($\beta = 6.2$)

γ : 粘性土地盤におけるくい周面摩擦力係数 ($\gamma = 0.8$)

\bar{N} : 基礎ぐいの先端より下方に $1 D_1$ (D_1 : 基礎ぐい先端部の直径), 上方に $1 D_1$ の間の地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (回)
ただし, \bar{N} が 60 を超える場合は 60 とする。

A_p : 基礎ぐい先端の有効断面積 (m^2)

$$A_p = \pi \cdot D_1^2 / 4$$

\bar{N}_s : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち砂質地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (回)

ただし, \bar{N}_s が 30 を超える場合は 30 とする。

\bar{q}_u : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち粘土質地盤の一軸圧縮強度の平均値 (kN/m^2)

ただし, \bar{q}_u が 200 を超える場合は 200 とする。

L_s : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち砂質地盤に接する有効長さの合計 (m)

有効長さは根固め部上端より上の地盤についての長さとする。

L_c : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち粘土質地盤に接する有効長さの合計 (m)

有効長さは根固め部上端より上の地盤についての長さとする。

ϕ : 基礎ぐい周囲の有効長さ (m)

$$\phi = \pi \cdot D_1$$

1.3.2 杭材から決まる許容耐力

杭材から求まる許容耐力は，平成13年国土交通省告示第1113号に従い算定する。

- (1) 長期に生じる力に対する杭材の許容耐力

$$N_a = L f_c \cdot A_e \cdot (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \text{ (kN)}$$

- (2) 短期に生じる力に対する杭材の許容耐力

$$N_a = s f_c \cdot A_e \cdot (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \text{ (kN)}$$

ここで，

$L f_c$: コンクリートの長期許容圧縮応力度 (kN/m²)

$s f_c$: コンクリートの短期許容圧縮応力度 (kN/m²)

A_e : SC杭の換算断面積 (m²)

α_1 : 継手による低減係数 (継手1ヶ所について0.05)

α_2 : 細長比による低減係数 ($\alpha_2 = (L/d - 85)/100$)

L : 杭長 (m)

d : 杭径 (m)

耐震Bクラス相当の地震力に対する参考評価について

貯蔵庫棟及び付帯設備棟について、参考評価として、耐震Bクラス相当の地震力（ $1.5 \cdot C_i$ ）に対する耐震安全性を確認した。

以下に、耐震壁、ラーメン構造部及び杭の評価結果のうち、検定比が最大となる部材の断面検討結果を示す。

貯蔵庫棟の断面検討結果を表-1に、付帯設備棟の断面検討結果を表-2に示す。

これより、耐震Bクラス相当の地震力に対して、作用応力が許容応力以下であることを確認した。

表-1 耐震Bクラス相当の地震力に対する断面検討結果（大ばり、貯蔵庫棟）

| 検討箇所 | 断面 (単位: mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|------------------------------|--|-----------|---------|----------|----------|------|
| 屋上階 X3 通り YD~YE 通り間 | B×D =500×800 主筋上端 5-D29 主筋下端 3-D29 あばら筋 3-D13@200 (端部) | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 579 kN・m | 723 kN・m | 0.81 |
| | | | せん断力 | 379 kN | 421 kN | 0.91 |

表-2 耐震Bクラス相当の地震力に対する断面検討結果（大ばり、付帯設備棟）

| 検討箇所 | 断面 (単位: mm) | 荷重 ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|------------------------------|--|-----------|---------|----------|-----------|------|
| 2階 X8a 通り YM~YN 通り間 | B×D =800×800 主筋上端 5-D38 主筋下端 4-D38 あばら筋 4-D13@150 (端部) | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 924 kN・m | 1274 kN・m | 0.73 |
| | | | せん断力 | 566 kN | 679 kN | 0.84 |

自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）を考慮した構造設計について

固体廃棄物貯蔵庫第9棟は，アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P. +約 42m に建設するため，津波による影響は受けない。

台風・竜巻など暴風時の設計は，建築基準法及び関係法令に準拠した風圧力に対して行っている。なお，その風圧力は，その地方における観測記録に基づくものとなっている。

豪雨に対しては，構造設計上考慮することはないが，屋根面の排水等，適切に排水計画を行っている。

その他自然現象としては，積雪時に対しては，建築基準法及び関係法令，福島県建築基準法施行規則細則第19条に準拠した積雪荷重に対し設計している。なお，その積雪荷重は，その地方における垂直積雪量を考慮したものとなっている。

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面

1. 安全避難通路の設置方針

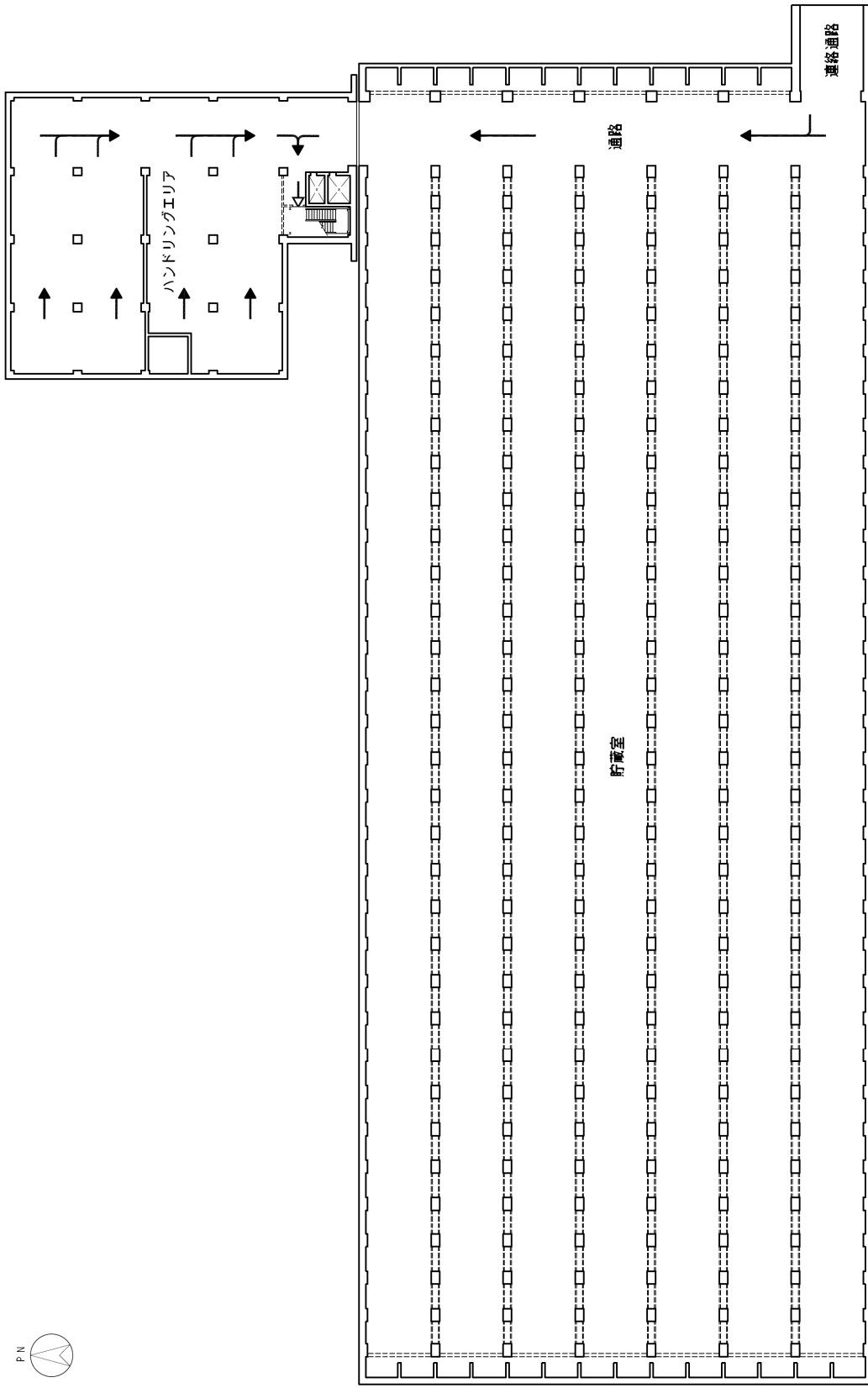
固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟には、定期的な放射線測定、建物及び貯蔵品等の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令並びに消防法及び関係法令に基づく安全避難通路を設定する。

避難経路は、建築基準法及び関係法令に基づき、安全な歩行距離を遵守する。また、消防法及び関係法令に基づき、火災時や電源喪失時等にも安全な避難が行えるよう避難方向を示す誘導灯（電池内蔵）及び非常用照明（電池内蔵）を設置し、容易に識別できる安全避難通路を設定する。

安全避難経路を、図－ 1 に示す。

2. 緊急時対応

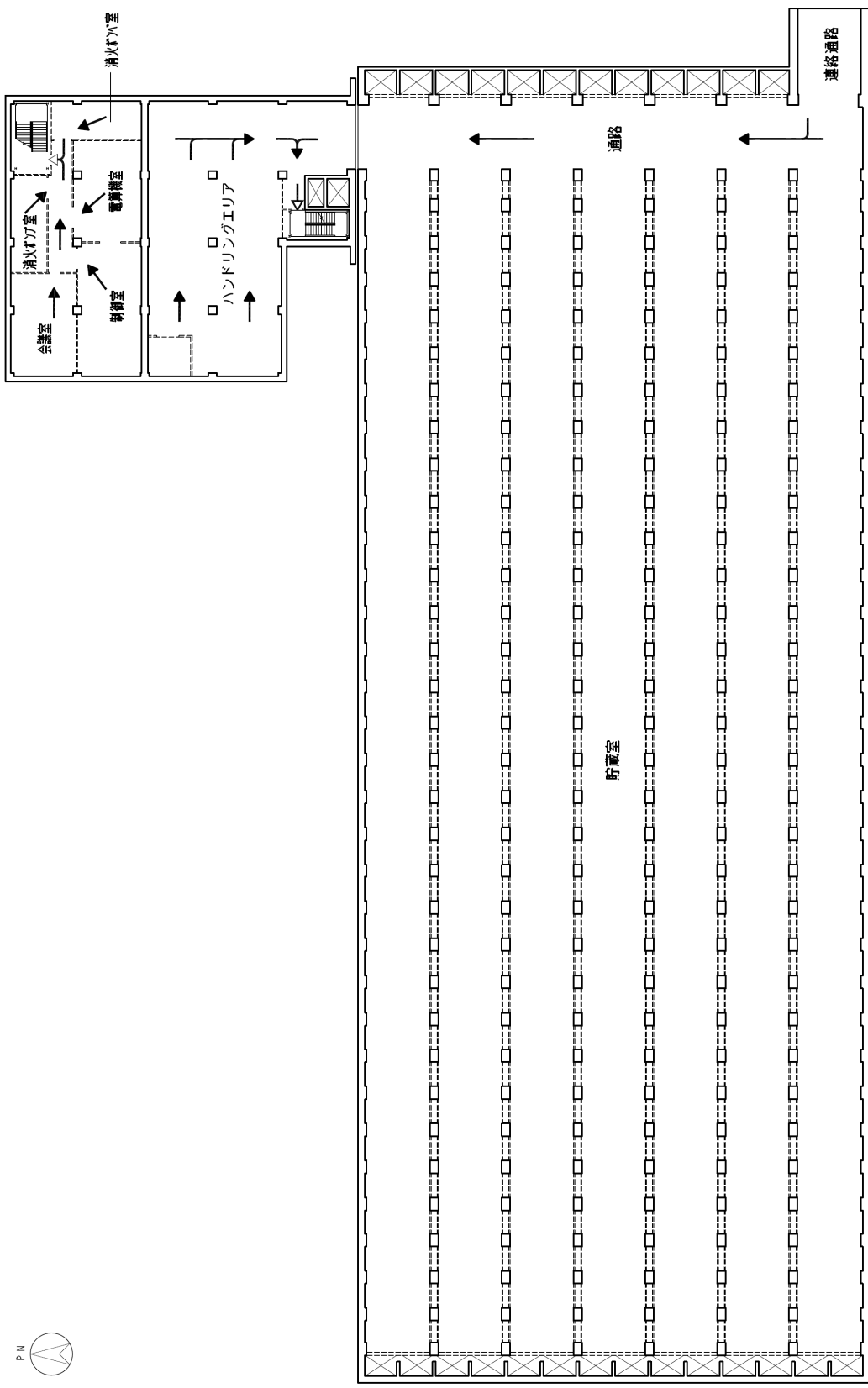
緊急時の通信設備として、PHS が使用可能であること及び各階毎にスピーカを設置し、免震重要棟より建屋内にいる作業員等に指示・連絡ができるよう設計している。



| | |
|----|------|
| 凡例 | |
| ◀ | 非常口 |
| ▶ | 避難経路 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階

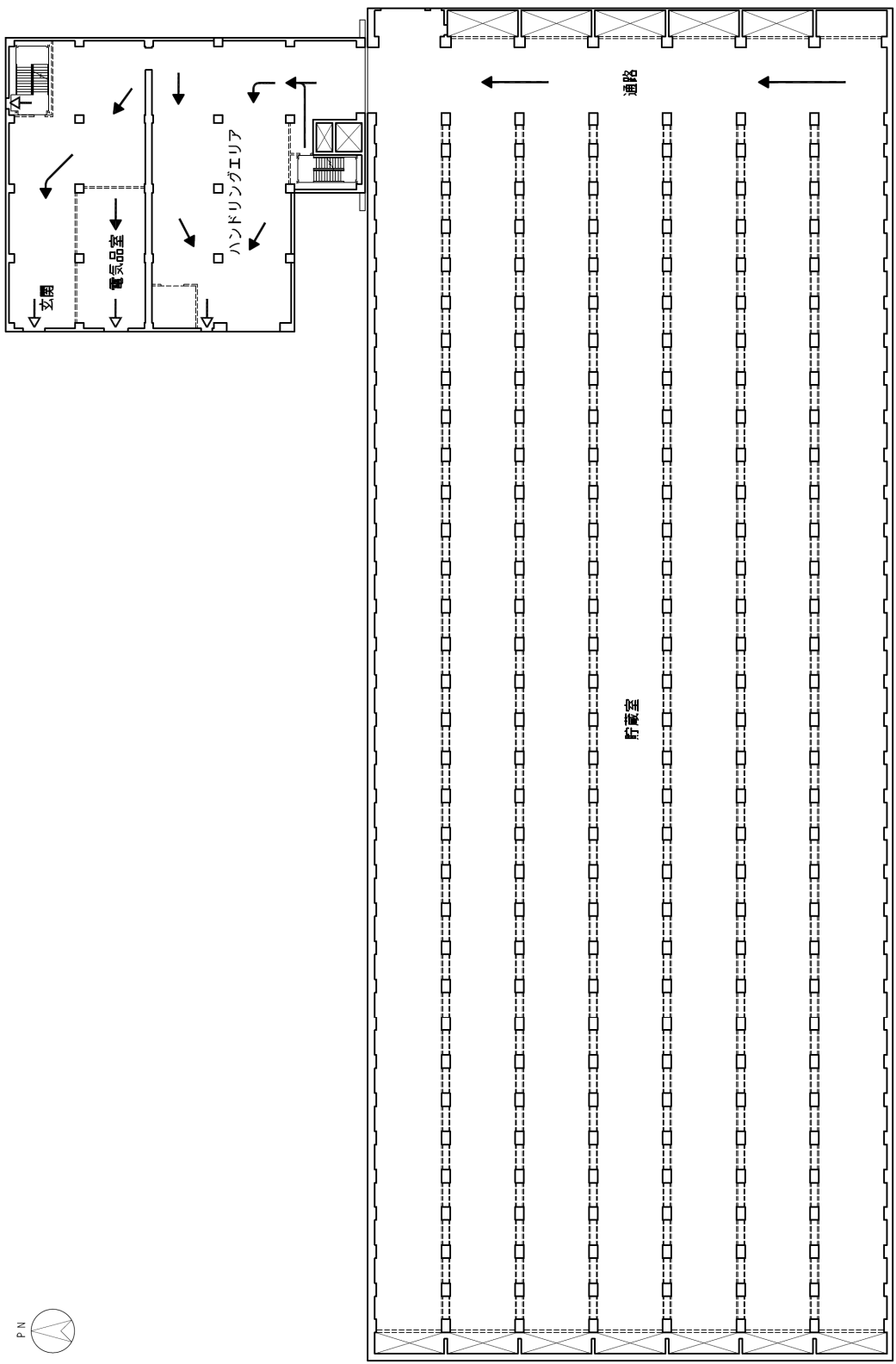
図-1 安全避難通路を明示した図面 (1 / 5)



| | |
|----|------|
| 凡例 | |
| | 非常口 |
| | 避難経路 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階

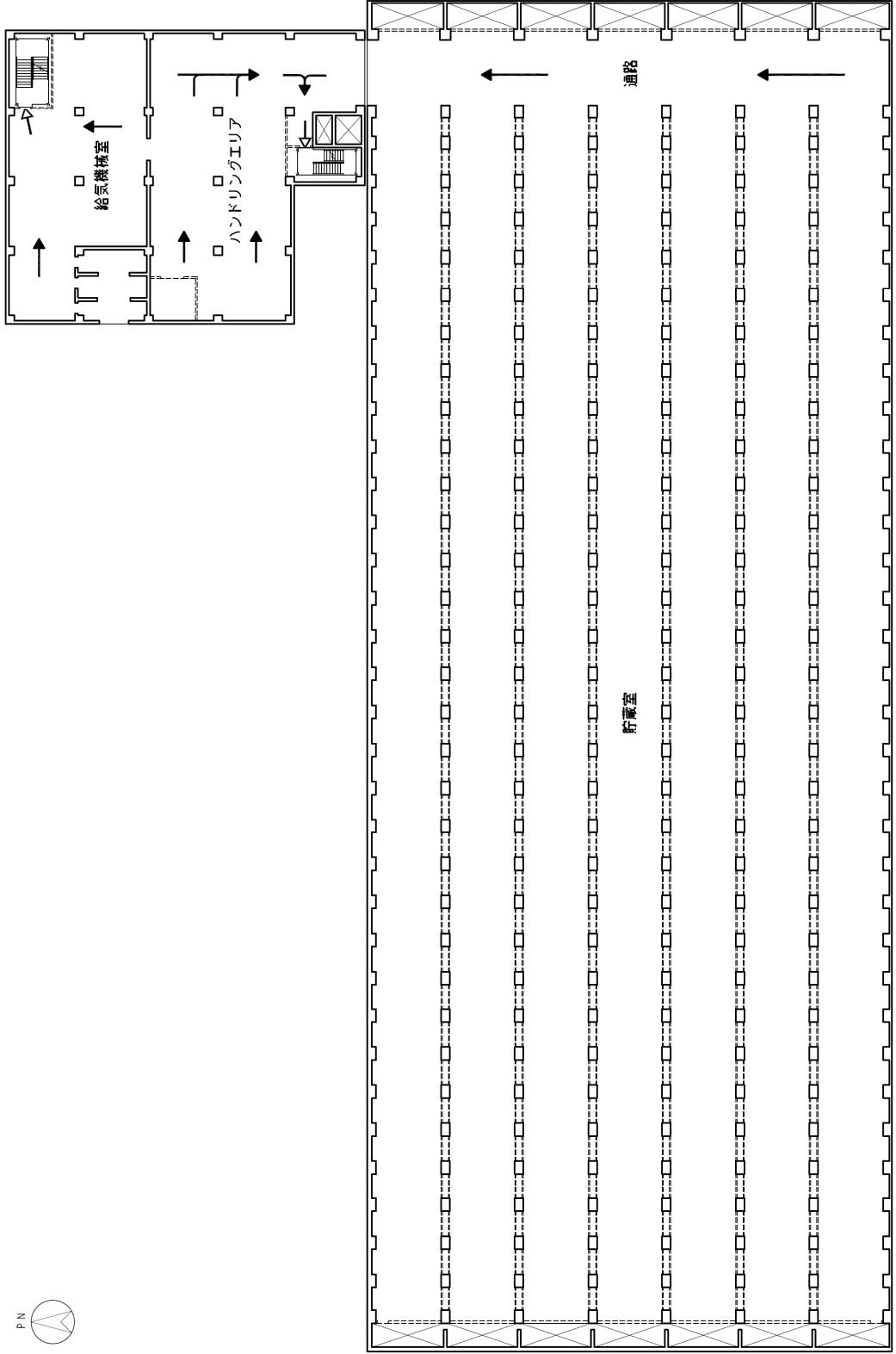
図-1 安全避難通路を明示した図面 (2/5)



| | |
|----|------|
| 凡例 | |
| ← | 非常口 |
| → | 避難経路 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階

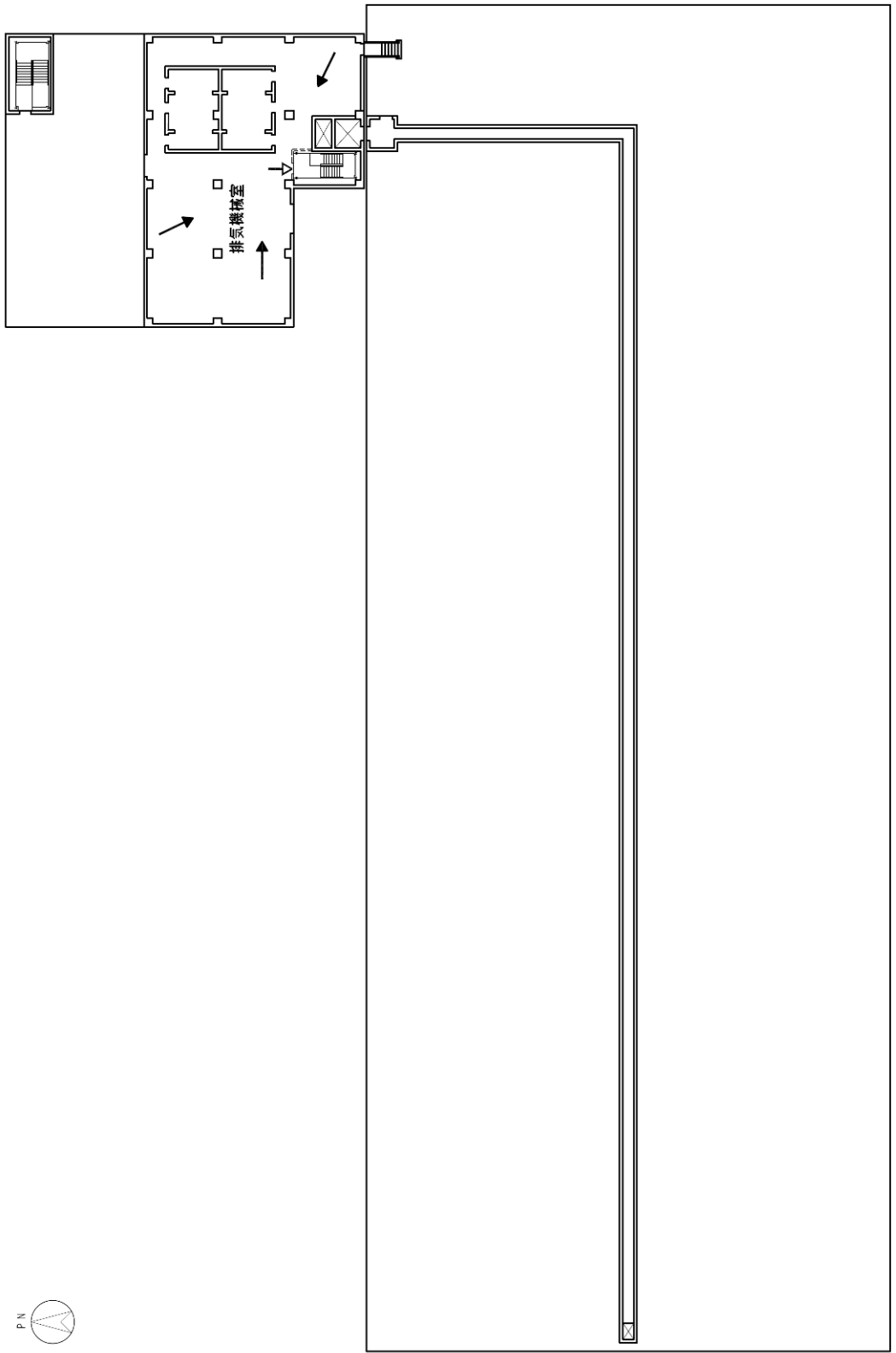
図-1 安全避難通路を明示した図面 (3/5)



| | |
|----|------|
| 凡例 | 非常口 |
| | 避難経路 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階

図一 1 安全避難通路を明示した図面 (4 / 5)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 屋上階

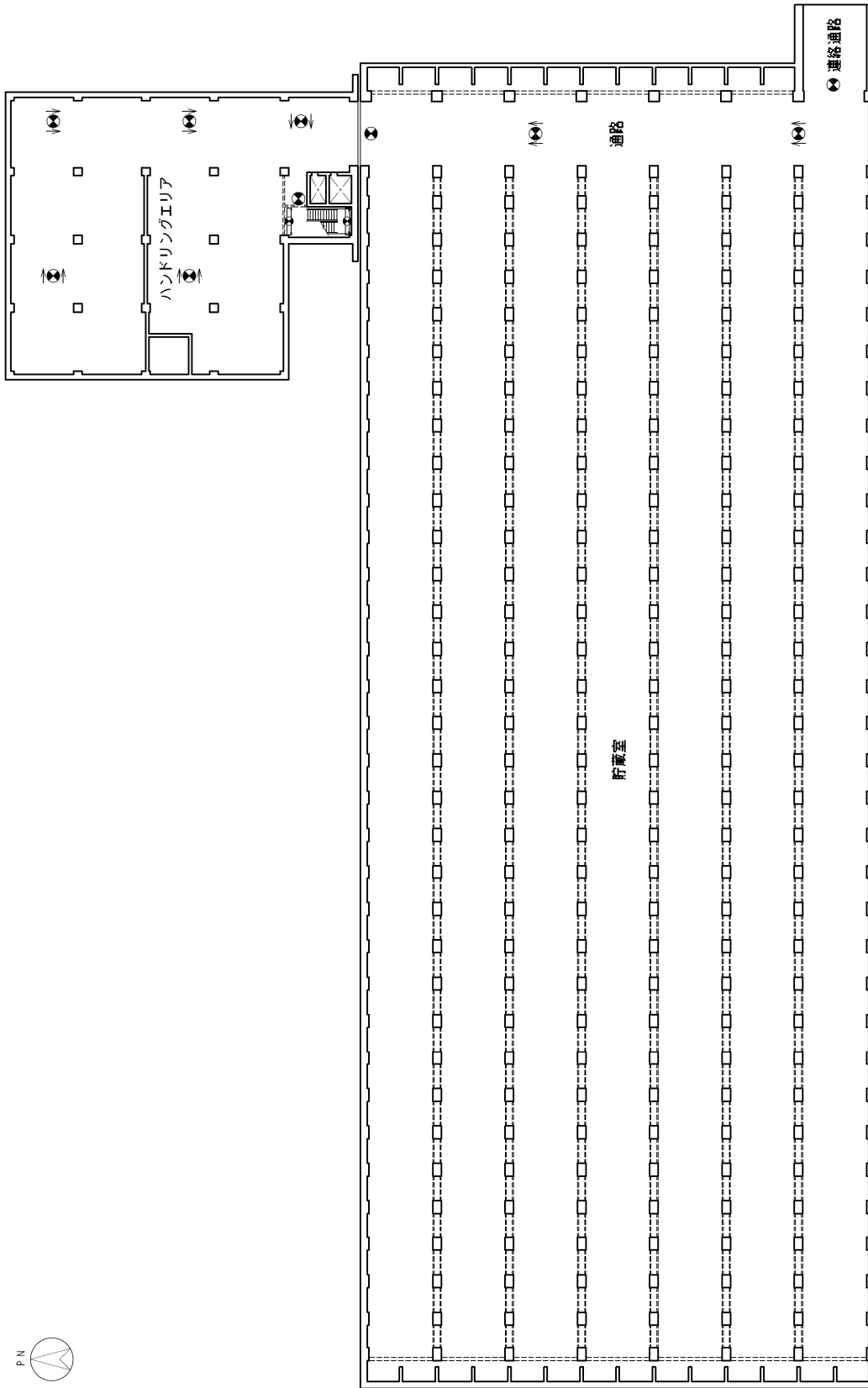
図-1 安全避難通路を明示した図面 (5 / 5)

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面

1. 非常用照明の設置方針

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟には、定期的な放射線測定、建物及び貯蔵品等の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令に基づく非常用の照明装置、並びに消防法及び関係法令に基づく誘導灯を設置する。

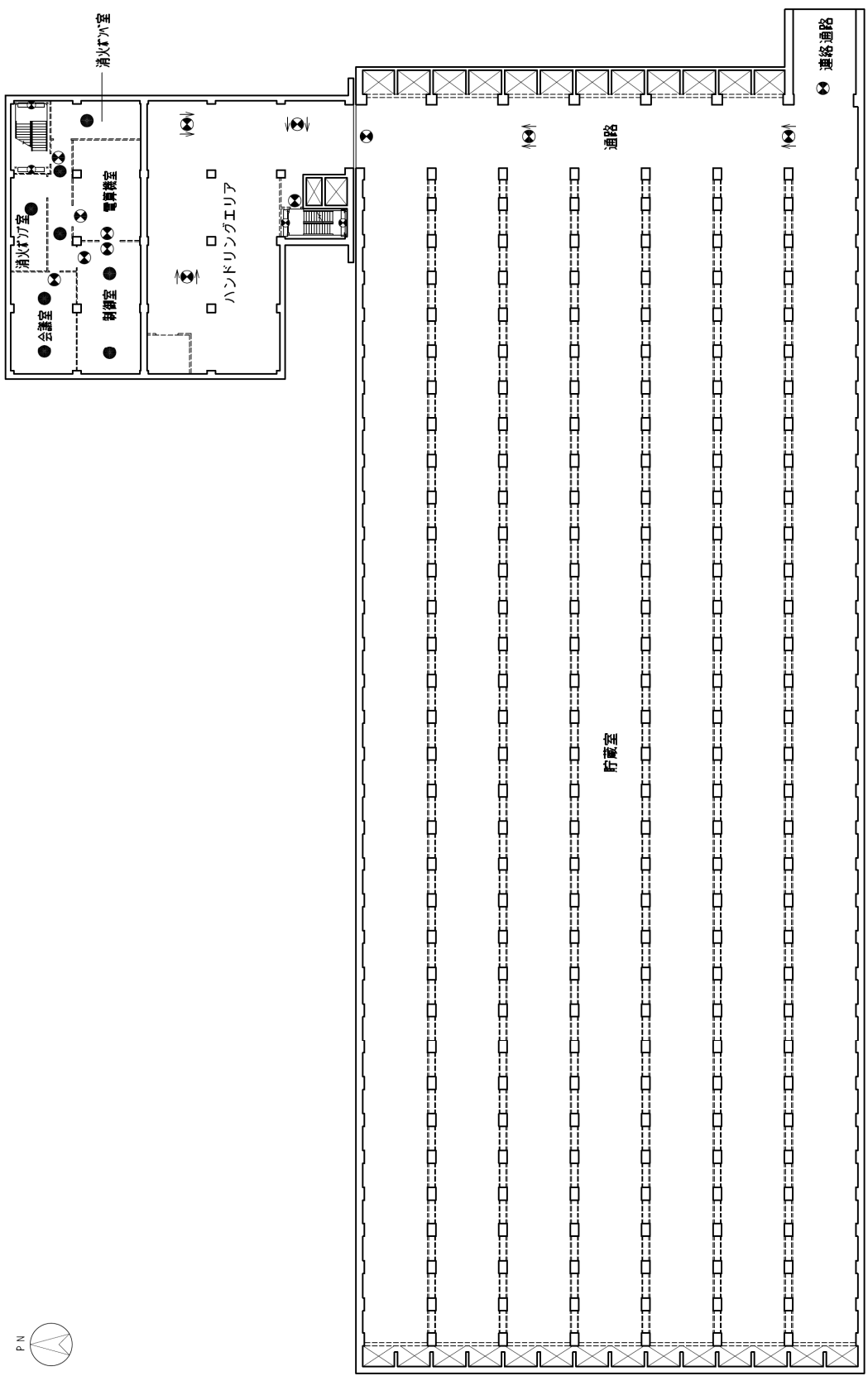
非常用照明の取付箇所について、図－ 1 に示す。



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ⊗ | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ⊙ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| ● | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| ⊗□ | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階

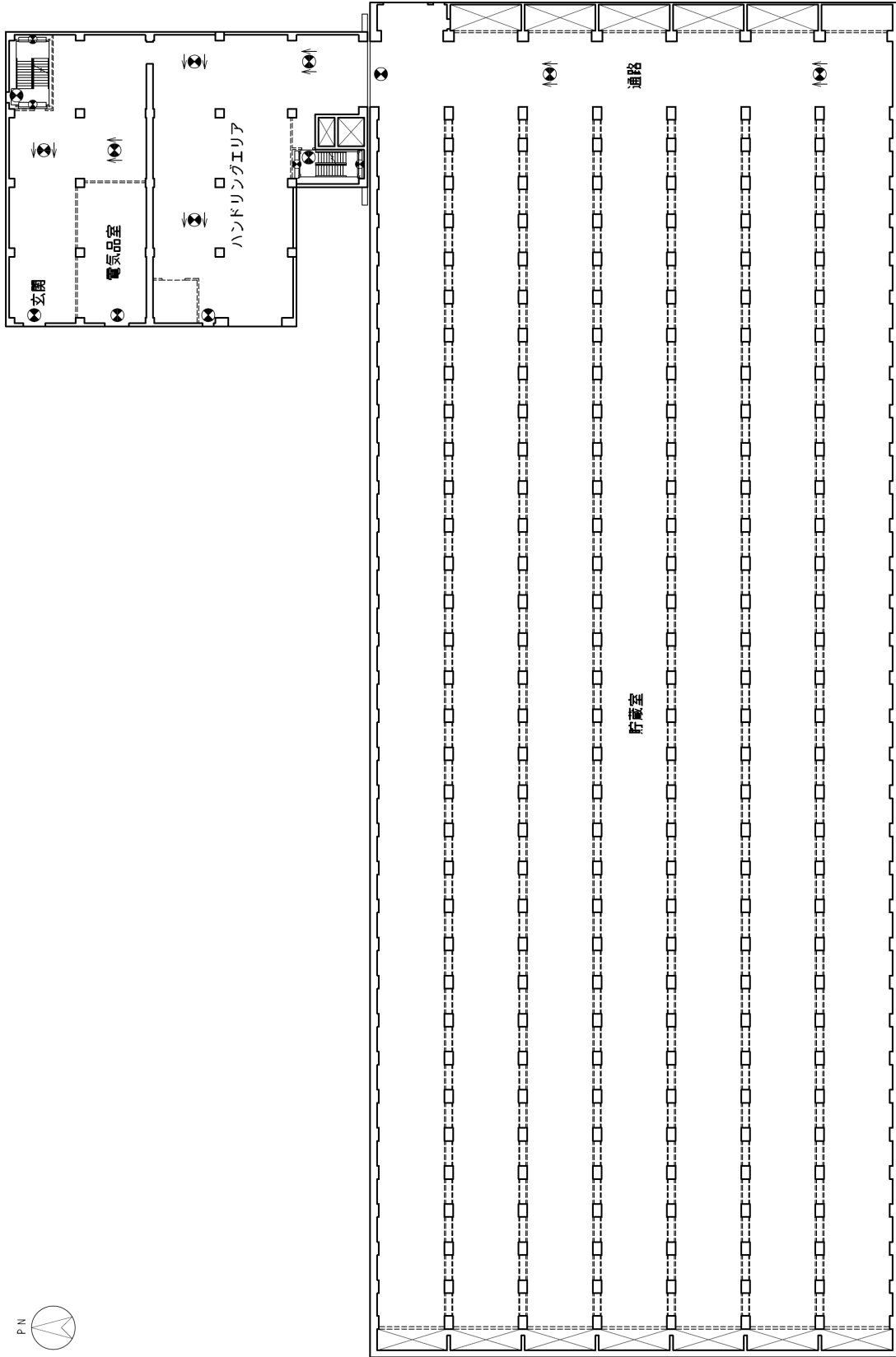
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (1 / 5)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ● | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ○ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| ● | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| □ | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階

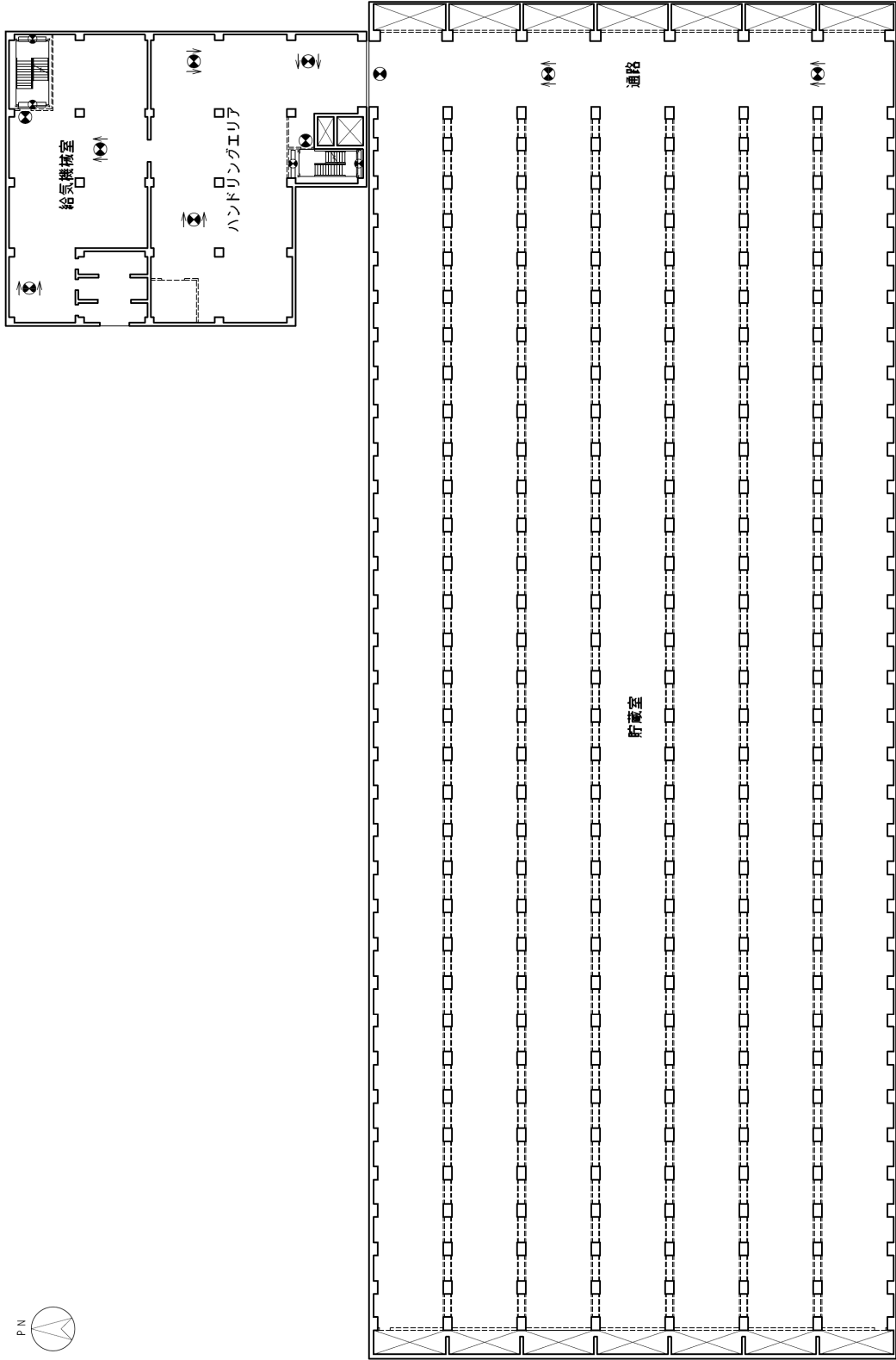
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (2/5)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ● | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ⊙ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| ● | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| □ | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階

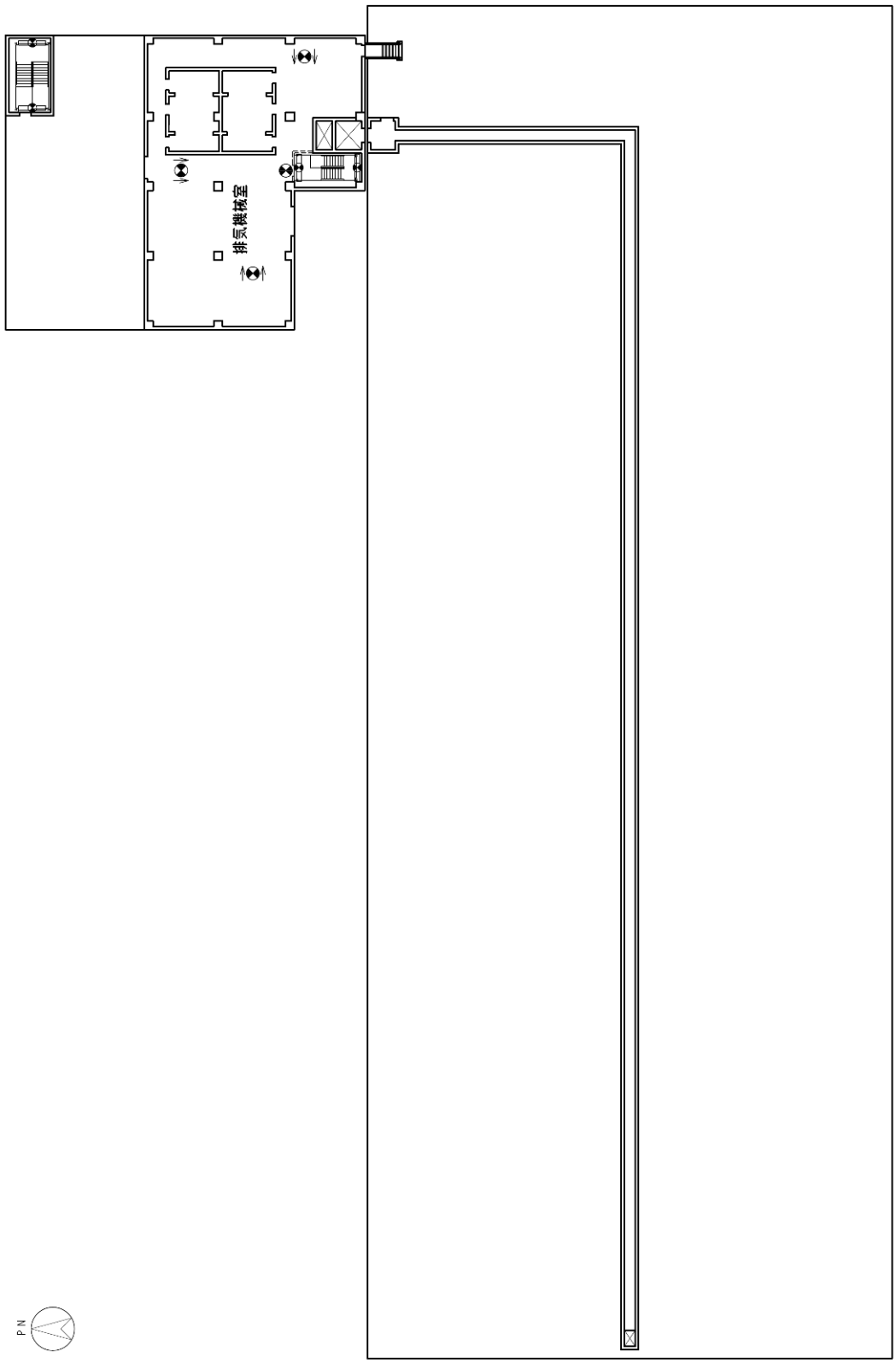
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (3 / 5)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| | 緊急通路誘導灯 (電池内蔵型) |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階

図一1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (4 / 5)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ● | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ○ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| ● | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| □ | 階段誘導灯 (電池内蔵型) |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 屋上階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (5 / 5)

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の火災防護に関する説明書
並びに消火設備の取付箇所を明示した図面

1. 火災防護に関する基本方針

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の 3 方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

2. 火災の発生防止

2.1 不燃性材料、難燃性材料の使用

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は、主要構造部である壁、柱、床、梁、屋根は、不燃性材料である鉄筋コンクリートを使用し、間仕切り壁及び天井材は、建築基準法及び関係法令に基づき、不燃性材料を使用する。

また、建屋内の機器、配管、ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体、及びこれらの支持構造物は、全て不燃性材料とし、幹線ケーブル及び動力ケーブルは難燃ケーブルを使用する他、消防設備用のケーブルは消防法に基づき、耐火ケーブルや耐熱ケーブルを使用する。

なお、電灯及びコンセントのケーブルは、付帯設備棟の一部エリア（会議室、制御室、電算機室）を除いて、電線管（不燃性材料）に収める。

2.2 自然現象による火災発生防止

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の建物、系統及び機器は、落雷、地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とするが、固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は高さが 20m を超えないため、建築基準法及び関係法令に従い避雷設備は設置しない。

固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日）（以下、「耐震設計審査指針」という。）に従い設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する設計とする。

3. 火災の検知及び消火

3.1 火災検出設備及び消火設備

火災検出設備及び消火設備は、固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟に対する火災の悪影響を限定し、早期消火を行えるよう消防法及び関係法令に基づいた設計とする。

① 火災検出設備

放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮

して感知器の型式（熱・煙）を選定する。ただし、貯蔵室は可燃物を保管しないため、感知器は設置しない。なお、火災検出設備は、外部電源喪失時に機能を失わないよう電池を内蔵した設計とするとともに、火災検出時は、常時人のいる免震重要棟に移報する設計とする。

② 消火設備

消火設備は、屋内・屋外消火栓設備、ハロゲン化物消火設備及び消火器で構成する。

なお、外部電源喪失時に機能を失わないよう、消火ポンプは非常用電源に接続し、ハロゲン化物消火設備は電池を内蔵した設計とする。ただし、貯蔵室は可燃物を保管しないため、消火設備は設置せず、貯蔵室で火災が発生した場合は、通路部に設置する消火器を使用する。

消防法上の消火水槽の容量は約 16.6m³であるが、これは屋内消火栓においては約 2 時間の放水量に相当し、屋外消火栓においては約 50 分の放水量に相当する。また、固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の付近に容量約 40m³の防火水槽を設置するため、消防車を連結することにより、固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の消火が可能である。

3.2 自然現象に対する消火装置の性能維持

火災検出設備及び消火設備は地震等の自然現象によっても、その性能が著しく阻害されることがないように措置を講じる。消火設備は、消防法及び関係法令に基づいた設計とし、耐震設計は耐震設計審査指針に基づいて適切に行う。

4. 火災の影響の軽減

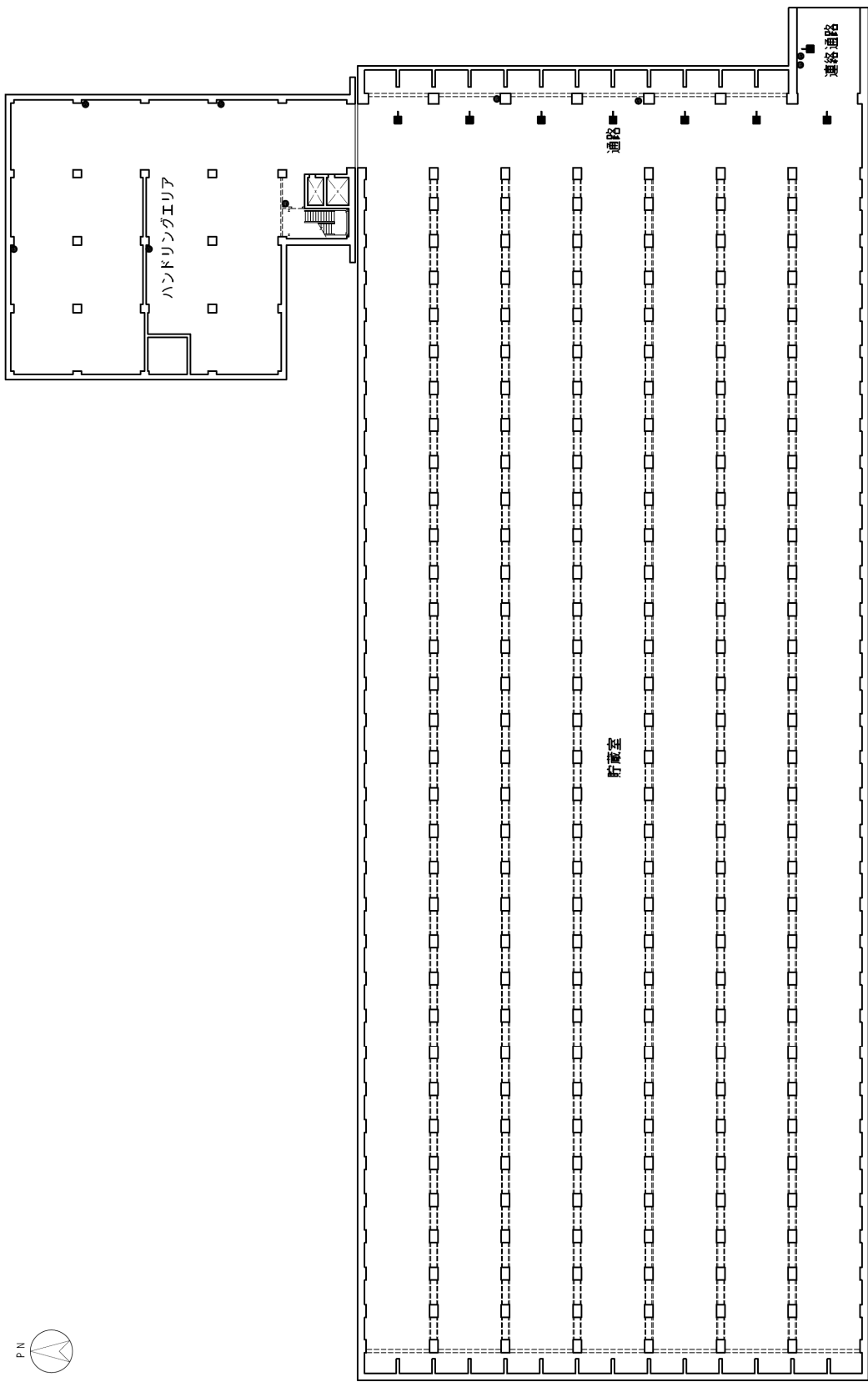
固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟は、建築基準法及び関係法令に従い防火区画を設置し、消防設備と組み合わせることにより、火災の影響を軽減する設計とする。

なお、主要構造部の外壁（鉄筋コンクリート造）は、3 時間耐火性能*を有する設計とする。外壁面には、シャッター及び扉を取り付けるが、隣接する固体廃棄物貯蔵庫第 8 棟の主要構造部の外壁は、固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟と同様の 3 時間耐火性能を有しているため、延焼の恐れは少ない。

*：「2001 年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説（「建設省告示第 1433 号 耐火性能検証法に関する算出方法等を定める件」講習会テキスト（国土交通省住宅局建築指導課）」によりコンクリート壁の屋内火災保有耐火時間（遮熱性）の算定方法が示されており、これにより最小壁厚を算出することができる。当該算定方法を用いると、屋内火災保有耐火時間 3 時間に必要な壁厚は普通コンクリート壁で 123mm と算出できる。固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟の外壁面の最小壁厚は、鉄筋コンクリート造（普通コンクリート）で 200mm あることから、3 時間耐火性能を有する。

5. 消火設備の取付箇所を明示した図面

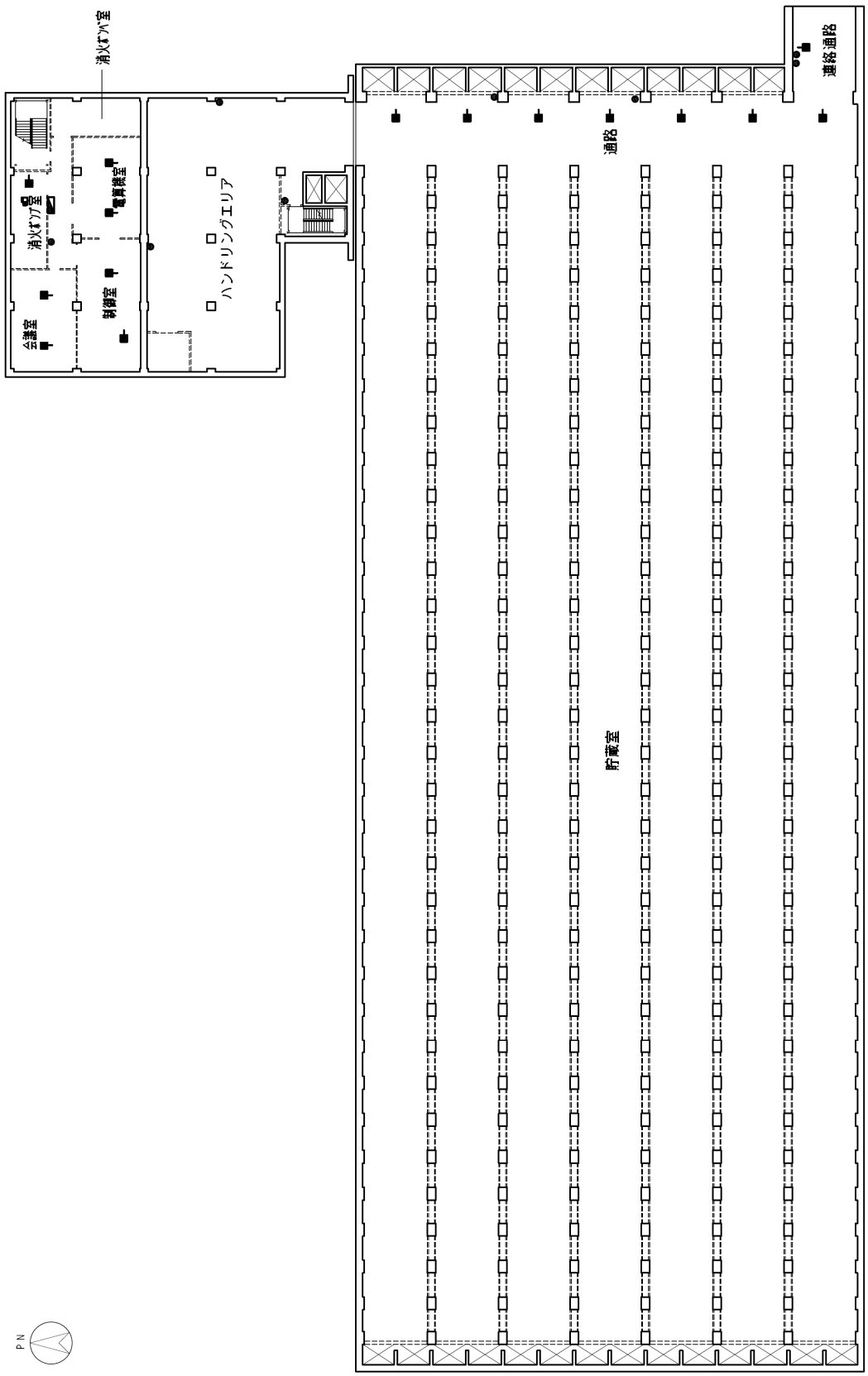
消火設備の取付箇所について、図-1に示す。



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階

| | |
|---|------------|
| ● | 消火器 |
| ■ | ハロゲン化物消火設備 |

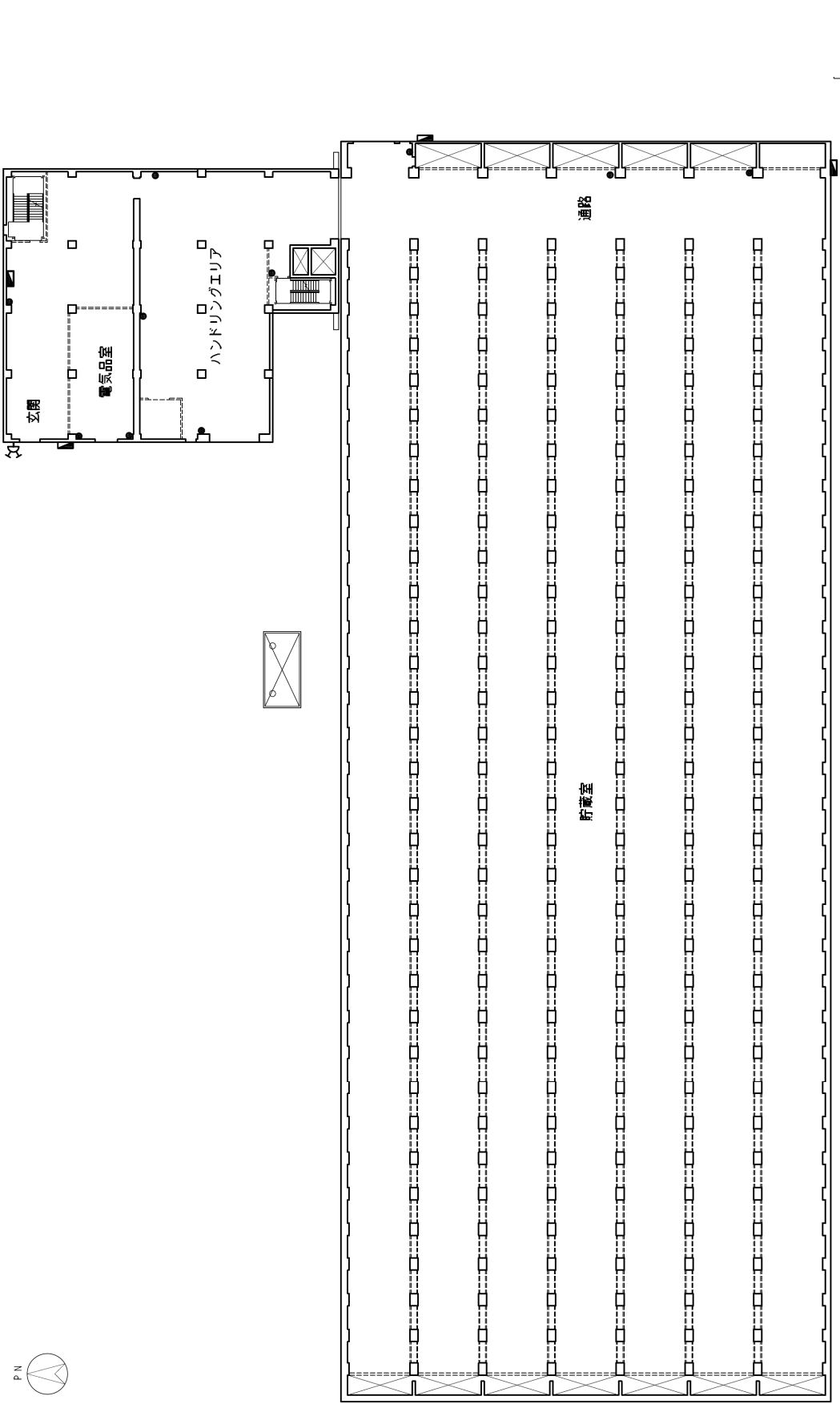
図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (1 / 5)



| 凡 例 | |
|-----|------------|
| ■ | 屋内消火栓設備 |
| ● | 消火器 |
| ■ | ハロゲン化物消火設備 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階

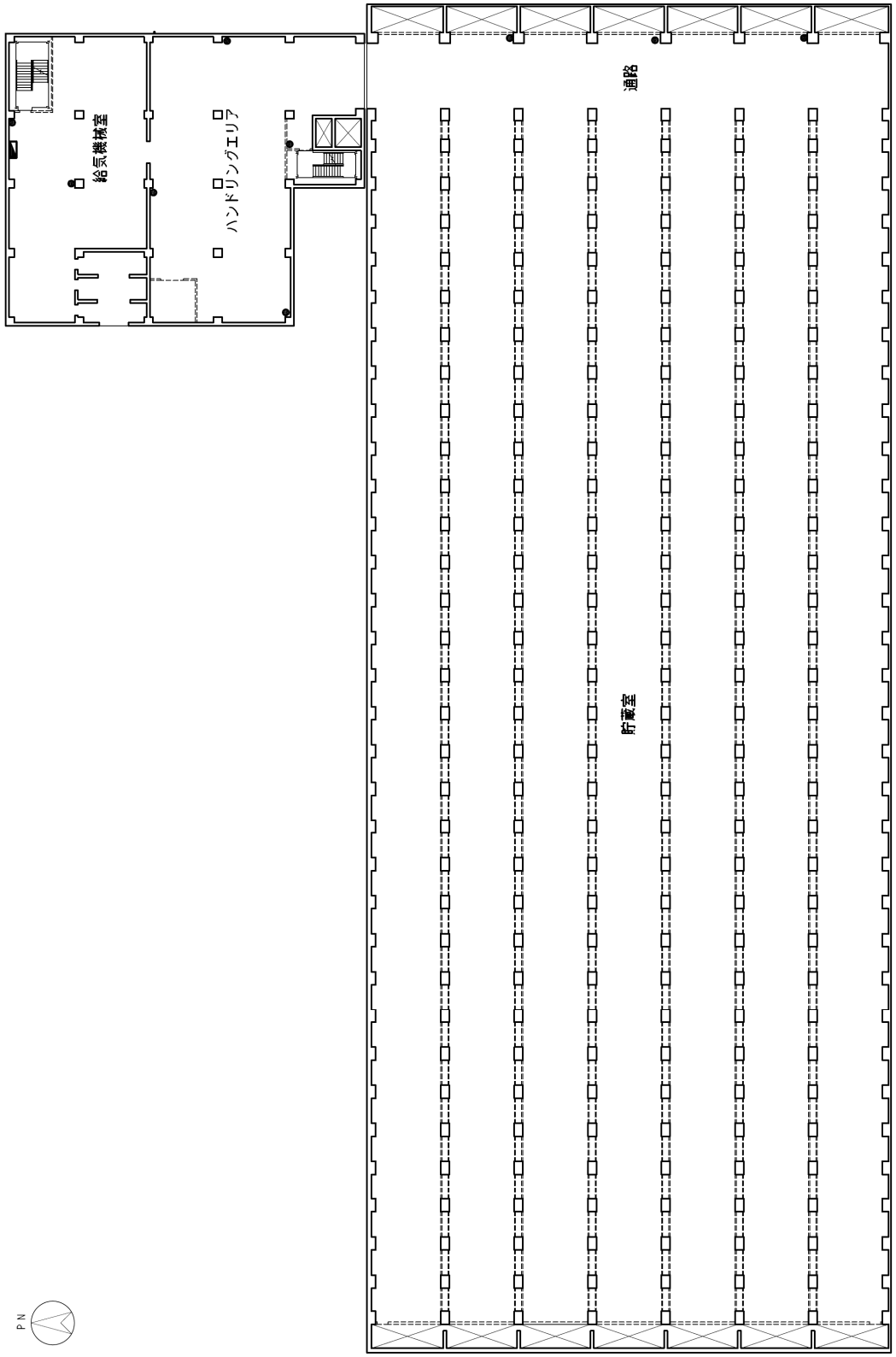
図一1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (2 / 5)



| 凡 例 | |
|-----|------------|
| ■ | 屋外・屋内消火栓設備 |
| ● | 消火器 |
| □ | 送水口 |
| ☒ | 防火水槽 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階

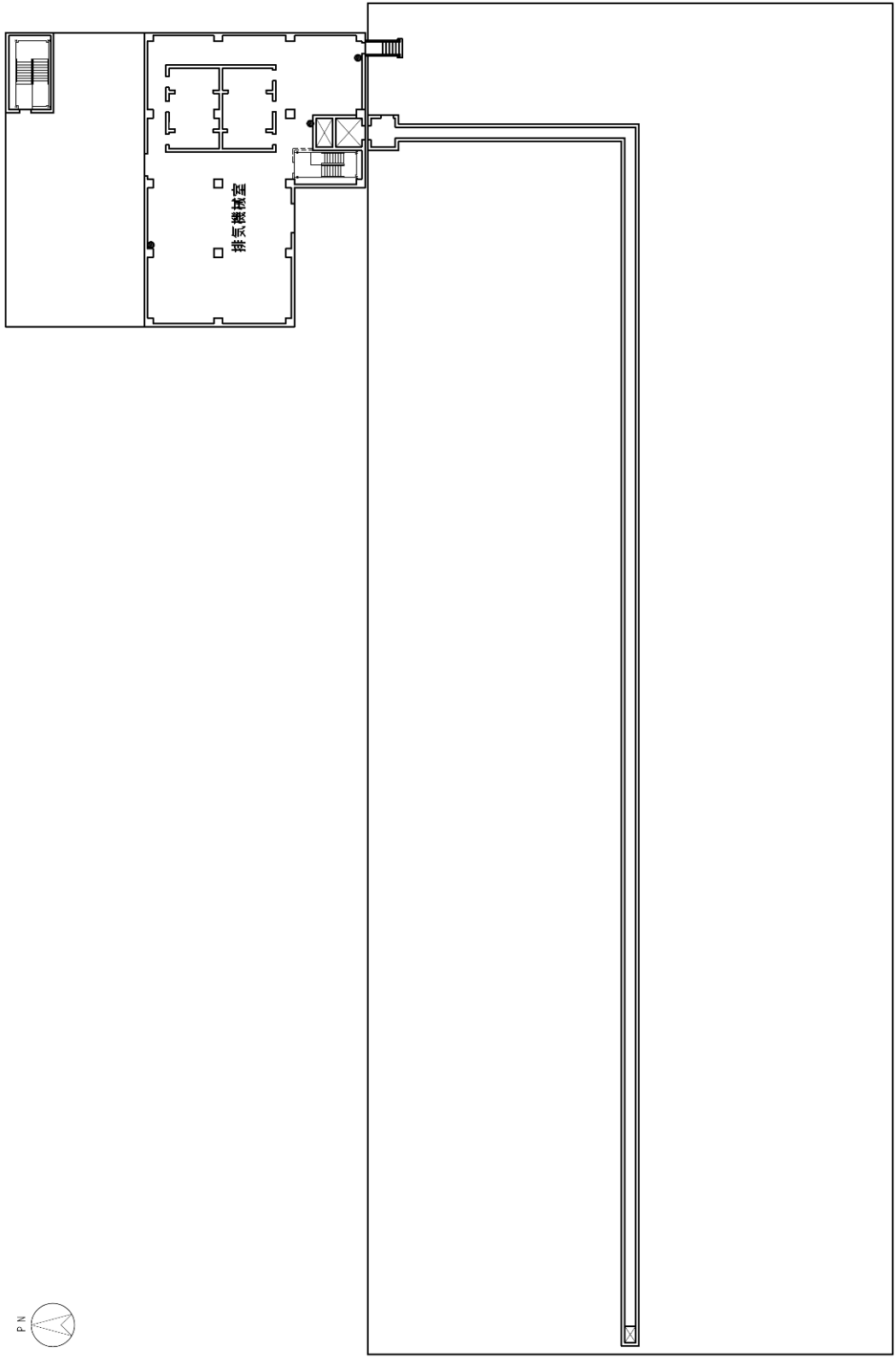
図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (3 / 5)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階

| | |
|----|---------|
| 凡例 | |
| | 屋内消火栓設備 |
| | 消火器 |

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (4 / 5)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 屋上階

| | |
|---|-----|
| ● | 凡 例 |
| | 消火器 |

図一1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (5 / 5)

固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

1. 一般事項

本計算書は、固体廃棄物貯蔵庫第9棟における補助遮蔽の放射線の遮蔽及び熱除去に関する評価について説明するものである。

1.1 遮蔽設計評価の基本方針

固体廃棄物貯蔵庫第9棟は、建屋躯体を用いた補助遮蔽で区画し、その補助遮蔽の厚さに対し、建屋内各線源からの線量率計算結果が、外部放射線に係る設計基準線量率を満足していることを確認することにより遮蔽設計が十分であるものと評価する。

1.2 遮蔽設計の設計基準線量率

固体廃棄物貯蔵庫第9棟における保管時の放射線業務従事者の受ける線量が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規制の規定に基づく線量限度等を定める告示」（経済産業省告示第187号）に定めた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮蔽設計に際しては、建屋内の各線源からの外部放射線に係る線量率が、設計基準線量率 $2.6\mu\text{Sv/h}$ 以下を満足する設計とする。

1.3 遮蔽設計の方法

固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽の設計方法は、以下のとおりである。

- (1) 線源となる、1～6号機で発生したドラム缶に収納された放射性固体廃棄物、ドラム缶以外の容器に収納された放射性固体廃棄物、開口部閉止措置を実施した大型廃棄物であるドラム缶等、瓦礫類及び雑固体廃棄物焼却設備より発生する焼却灰は、原則としてコンクリートの遮蔽壁で区画された貯蔵室に收容する。
- (2) 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の保管容量満杯時かつ実効線量率が最大となる時の線源強度を計算する。
- (3) 遮蔽計算は、対象となる線源の線源強度及び幾何学的形状を勘案し適切な計算コードを用いて行う。

1.4 遮蔽設計の前提条件

補助遮蔽の遮蔽設計に用いる前提条件は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートの密度は 2.1g/cm^3 とする。
- (2) 遮蔽計算に用いる壁の厚さは、公称値からマイナス側許容差（5mm）を引いた値を用いる。
- (3) 計算モデル化に際しては、保守的な評価となるようにする。

1.5 熱除去に関する設計

補助遮蔽は、そのコンクリート壁に入射するガンマ線エネルギー束が低く、コンクリート壁での発熱量は小さいので、放射線による温度上昇は自然冷却で十分おさえることができる。

2. 補助遮蔽の計算に用いる線源強度

固体廃棄物貯蔵庫第9棟における補助遮蔽の対象となる線源は、1～6号機で発生したドラム缶に収納された放射性固体廃棄物、ドラム缶以外の容器に収納された放射性固体廃棄物、開口部閉止措置を実施した大型廃棄物であるドラム缶等、瓦礫類及び雑固体廃棄物焼却設備より発生する焼却灰である。線源が一様分布する直方体とし、線源核種はCo-60で代表した。

3. 補助遮蔽計算

3.1 計算方法

固体廃棄物貯蔵庫第9棟の遮蔽計算には、MCNPを用いる。主な入力条件は以下の項目である。

- ・線源の放射能濃度
- ・線源核種
- ・線源形状
- ・遮蔽厚さ
- ・線源からの距離
- ・遮蔽体の材料

3.2 線量率計算

線量率計算は、3.1に示した入力条件を計算コードに入力して行う。

3.2.1 線量率計算モデル

線量率の評価位置は、補助遮蔽の外側表面（南壁については、外側表面から南3mの位置）において、線量率が最大となる箇所とする。

線源の表面線量率は表-1とし、線源の形状は各保管レーン毎に、直方体（幅6,000(mm)×長さ113,750(mm)×高さ3,280(mm)）とした。

表-1 線源の表面線量率

| 階 | 線量率 |
|------|--------------|
| 地上2階 | 0.05 (mSv/h) |
| 地上1階 | 1 (mSv/h) |
| 地下1階 | 30 (mSv/h) |
| 地下2階 | 10 (Sv/h) |

3.2.2 線量率計算結果

線量率の計算結果を表-2に示す。

線量率は、いずれの箇所も設計基準線量率 $2.6 \mu\text{Sv/h}$ 以下を満足することを確認した。東側は、固体廃棄物貯蔵庫第8棟に隣接するため評価対象外とした。

表-2 線量率計算結果

| 評価箇所 | 線量率計算結果 | 設計基準線量率 |
|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 1階貯蔵室北壁外側表面 | $0.5 \mu\text{Sv/h}$ | $2.6 \mu\text{Sv/h}$ 以下 |
| 1階貯蔵室西壁外側表面 | $0.5 \mu\text{Sv/h}$ | |
| 1階貯蔵室南壁外側表面から南へ3mの位置 | $2.6 \mu\text{Sv/h}$ | |

4. 補助遮蔽の熱除去計算

4.1 補助遮蔽の熱除去計算方法

補助遮蔽であるコンクリート中のガンマ発熱密度はコンクリート中のガンマ線フラックスの減衰に応じて減少する。しかし、安全側にガンマ線の減衰を無視して入射面の最大のガンマ発熱密度でコンクリート全体が均一に発熱するものと仮定すると、コンクリート中の温度と表面温度の差の最大値 ΔT_{max} は、内部発熱が均一とした平板の温度分布の計算式(5. 引用文献(1)参照)を引用した下式により求められる。

$$\Delta T_{\text{max}} = T_{\text{max}} - T_{\text{s}} = Q' \cdot L^2 / 2\lambda$$

ここで、 T_{max} : コンクリート厚さ中心での最高温度 (°C)

T_{s} : コンクリート表面温度 (°C)

Q' : コンクリートの発熱密度 (W/m³)

L : コンクリートの厚さの1/2 (m)

λ : コンクリートの熱伝導率 (W/m・°C)

また、上記のコンクリートの発熱密度は、下式により求められる。

$$Q' = 10^6 \cdot \rho \cdot Q$$

ここで、 ρ : コンクリート密度 (g/cm³)

Q : ガンマ発熱密度 (W/g)

$$= K \cdot \phi$$

K : ガンマ発熱密度換算係数 (W・s・cm²/g)

$$= C \cdot E \cdot (\mu \text{en} / \rho)$$

C : 換算係数 (W・s / MeV)

E : ガンマ線エネルギー (MeV)

$(\mu \text{en} / \rho)$: コンクリートの質量エネルギー吸収係数 (cm²/g)

ϕ : ガンマ線フラックス (photons/cm²・s)

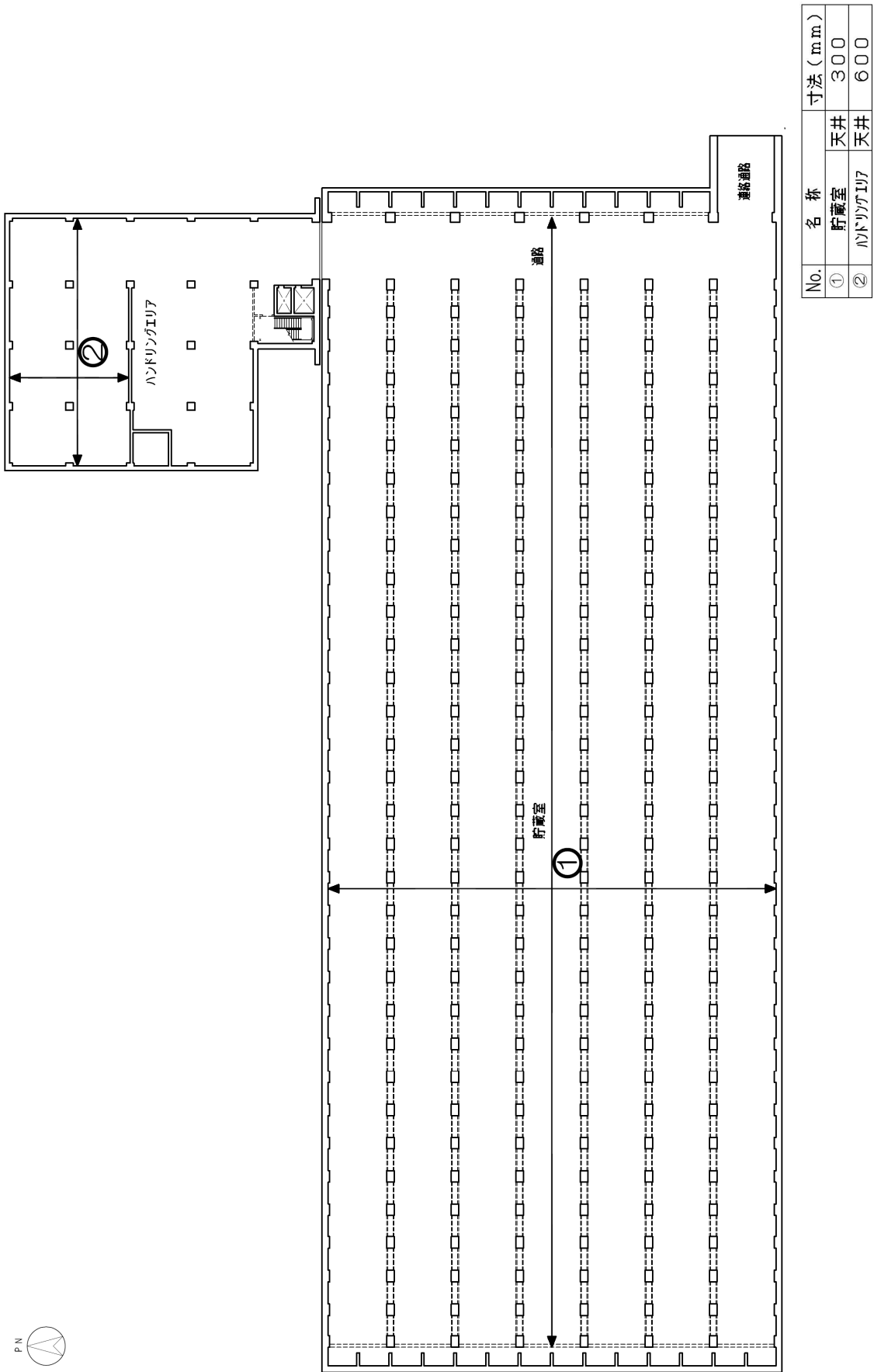
ガンマ線フラックスは、貯蔵室の補助遮蔽壁の最大となる点について計算コードQADにて計算を行う。

4.2 補助遮蔽の熱除去計算結果

補助遮蔽のコンクリート発熱密度は、約 5.6W/m^3 となり、温度上昇は 0.21°C となることから、自然冷却で十分である。

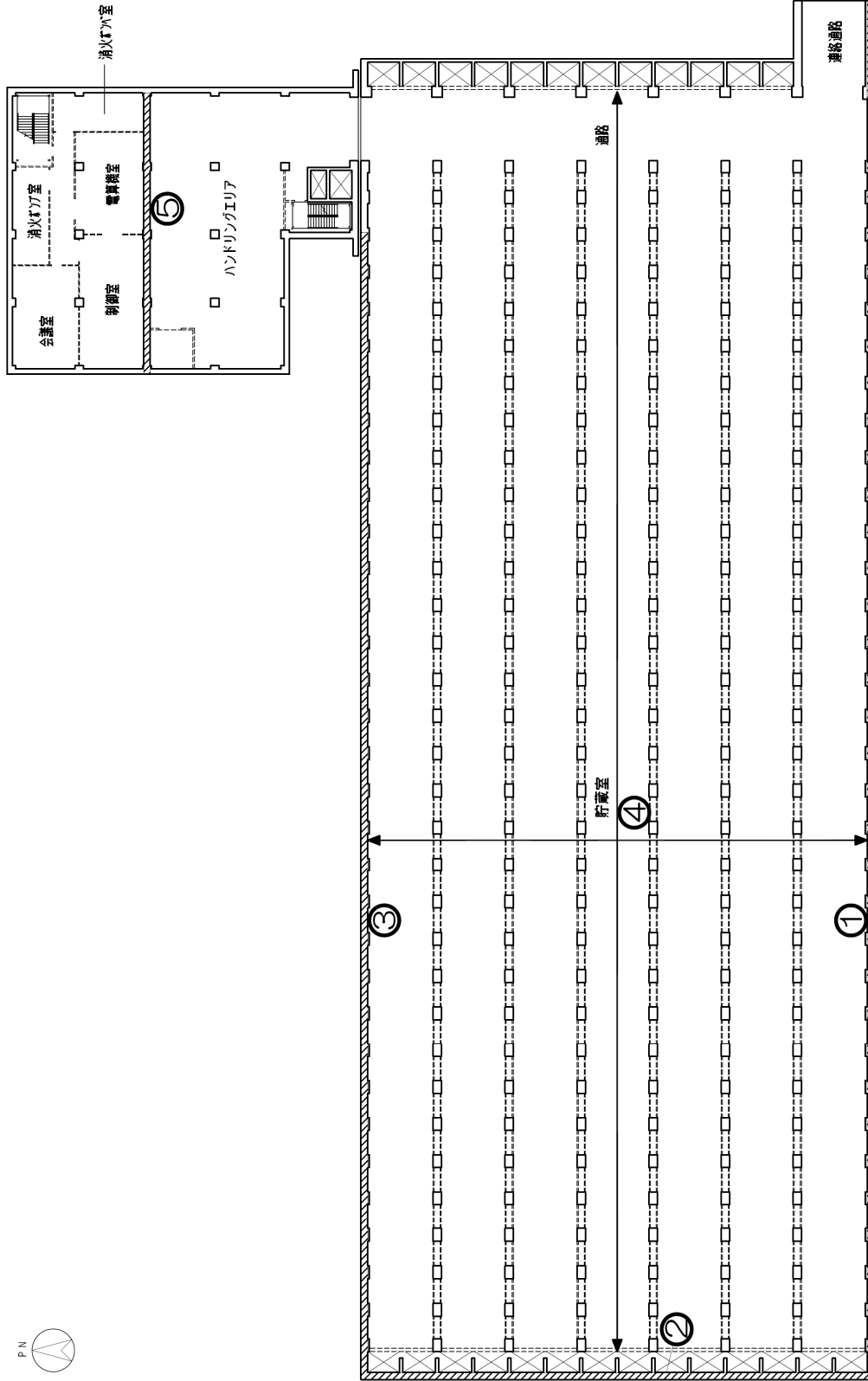
5. 引用文献

- (1) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(2009)



固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階

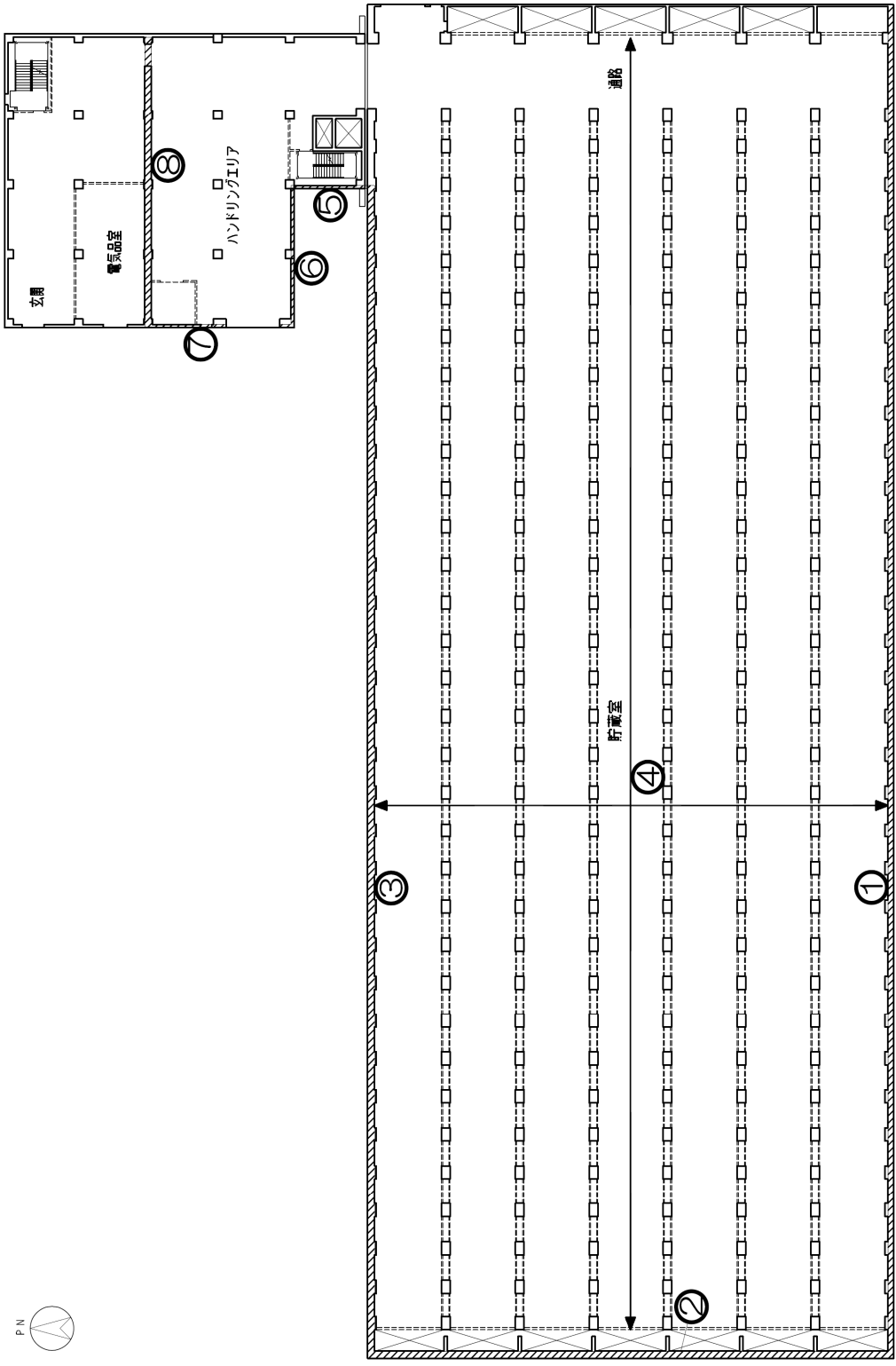
図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図 (1/5)



| No. | 名称 | 寸法 (mm) |
|-----|--------------|---------|
| ① | 貯蔵室 南壁 | 600 |
| ② | 貯蔵室 西壁 | 650 |
| ③ | 貯蔵室 北壁 | 650 |
| ④ | 貯蔵室 天井 | 300 |
| ⑤ | ハンドリングエリア 北壁 | 600 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階

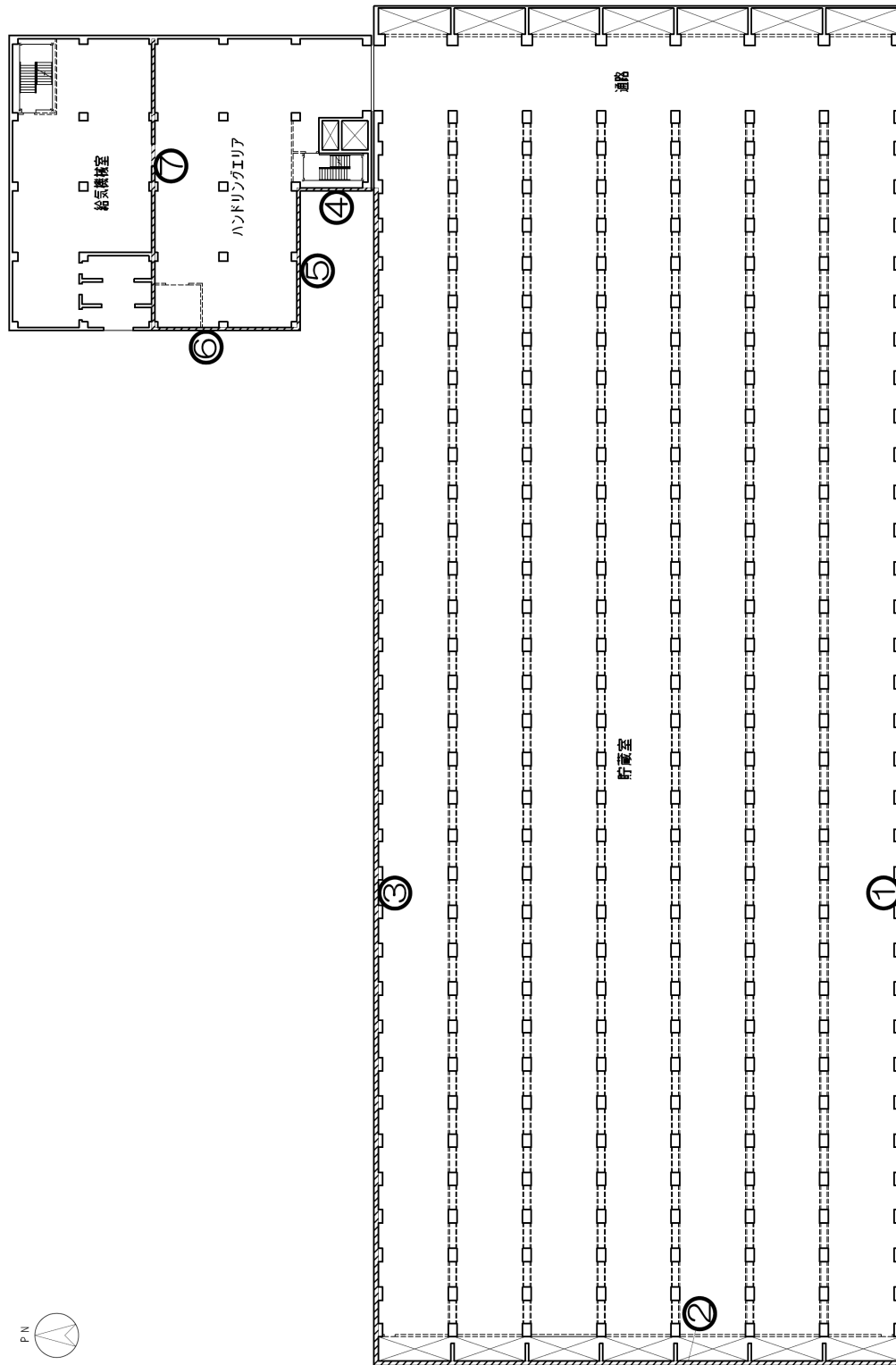
図一1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図 (2/5)



| No. | 名称 | | 寸法 (mm) |
|-----|-----------|----|---------|
| | 南壁 | 西壁 | |
| ① | 貯蔵室 | 南壁 | 500 |
| ② | 貯蔵室 | 西壁 | 650 |
| ③ | 貯蔵室 | 北壁 | 650 |
| ④ | 貯蔵室 | 天井 | 300 |
| ⑤ | ハンドリングエリア | 西壁 | 300 |
| ⑥ | ハンドリングエリア | 南壁 | 300 |
| ⑦ | ハンドリングエリア | 西壁 | 300 |
| ⑧ | ハンドリングエリア | 北壁 | 600 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階

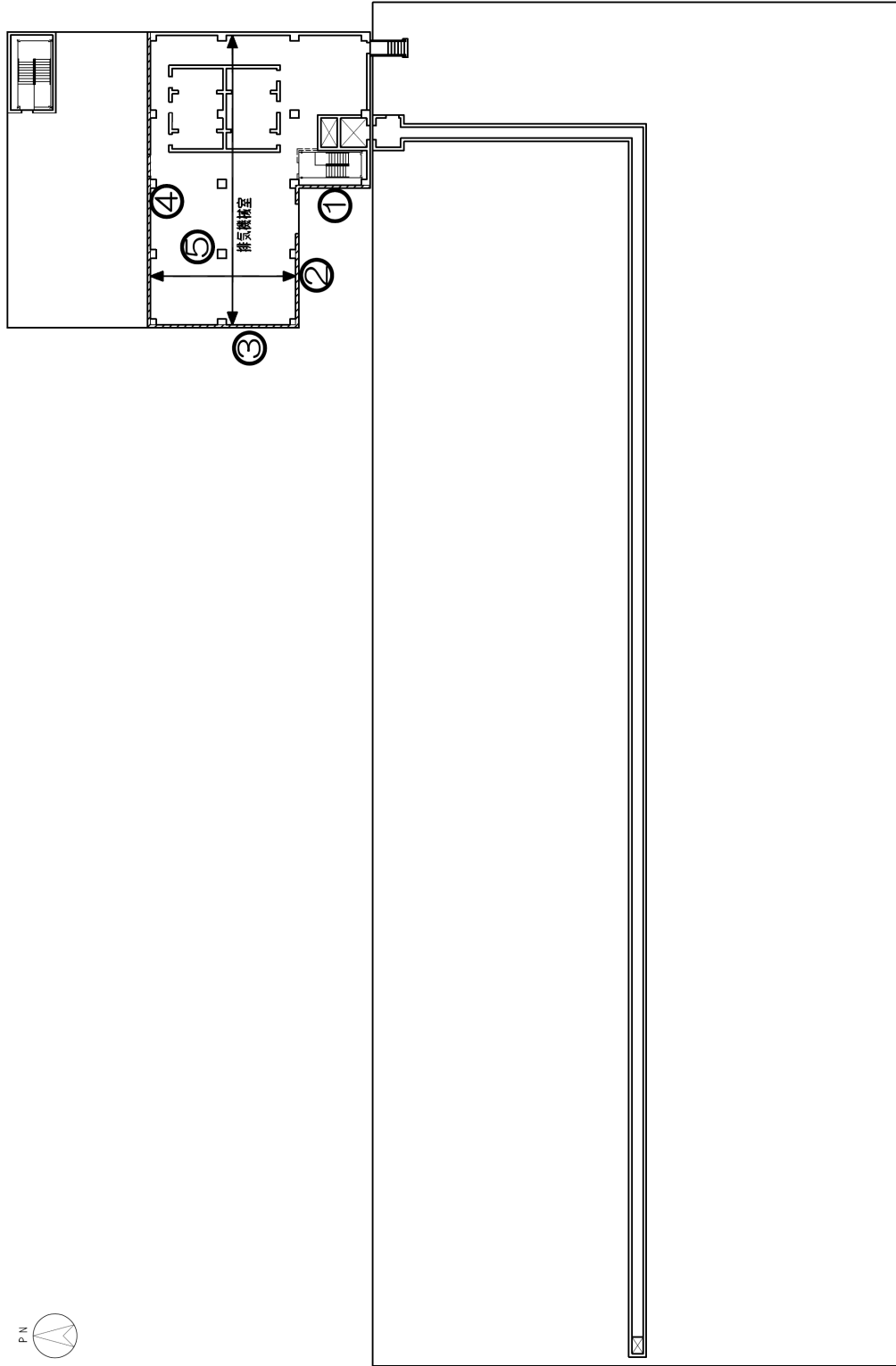
図一1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図 (3/5)



| No. | 名称 | 寸法 (mm) | |
|-----|-----------|---------|-----|
| | | 南壁 | 西壁 |
| ① | 貯蔵室 | 200 | 400 |
| ② | 貯蔵室 | 400 | 400 |
| ③ | 貯蔵室 | 400 | 300 |
| ④ | ハンドリングエリア | 300 | 300 |
| ⑤ | ハンドリングエリア | 300 | 300 |
| ⑥ | ハンドリングエリア | 300 | 300 |
| ⑦ | ハンドリングエリア | 300 | 300 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図 (4 / 5)



| No. | 名称 | 寸法 (mm) |
|-----|----------|---------|
| ① | 排気機補室 西壁 | 300 |
| ② | 排気機補室 南壁 | 300 |
| ③ | 排気機補室 西壁 | 300 |
| ④ | 排気機補室 北壁 | 300 |
| ⑤ | 排気機補室 天井 | 300 |

固体廃棄物貯蔵庫第9棟 屋上階

図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の補助遮蔽に関する構造図 (5 / 5)

固体廃棄物貯蔵庫第9棟に係る確認事項

確認事項

固体廃棄物貯蔵庫第9棟の工事に係る主要な確認項目を表－1に示す。

表－1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟の工事に係る確認項目

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|------|------------------------|---|
| 遮蔽機能 | 外観確認 | 目視により外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 材料確認 | コンクリートの乾燥単位容積質量を確認する。 | コンクリートの乾燥単位容積質量が、実施計画に記載されている通りであること。 |
| | 寸法確認 | 遮蔽部材の断面寸法を確認する。 | 遮蔽部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| 構造強度 | 材料確認 | 構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。 | 構造体コンクリート強度が、実施計画に記載されている設計基準強度に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| | | 鉄筋の材質、強度、化学成分を確認する。 | JIS G 3112に適合すること。 |
| | 寸法確認 | 構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。 | 構造体コンクリート部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| | 据付確認 | 鉄筋の径、間隔を確認する。 | 鉄筋の径が、実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載しているピッチにほぼ均等に分布していること。 |
| 貯蔵能力 | 寸法確認 | 貯蔵室の寸法を確認する。 | 貯蔵室の寸法(図1～図5)に対して、JASS5Nをもとに設定した基準を満足すること。 |



貯蔵能力

: (レーン幅) 6.0m × (レーン長さ) 111.4m × (放射性固体廃棄物等の高さ) 3.28m × 7 レーン

≒ (階当たりの貯蔵能力) 15,300 m³

(階当たりの貯蔵能力) 15,300 m³ × 4 階層 = (全体の貯蔵能力) 61,200m³

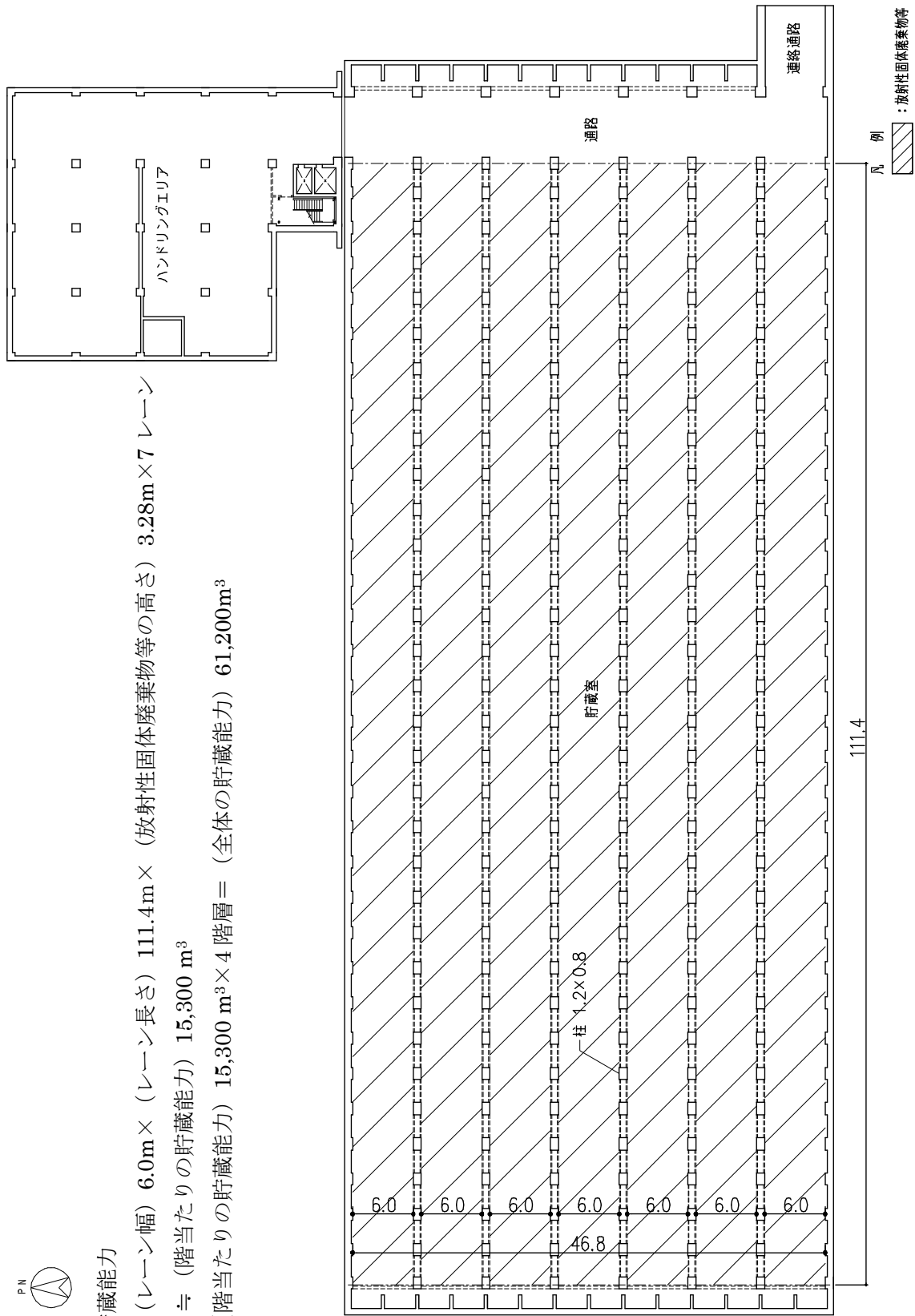


図-1 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下2階 平面図 (単位: m)

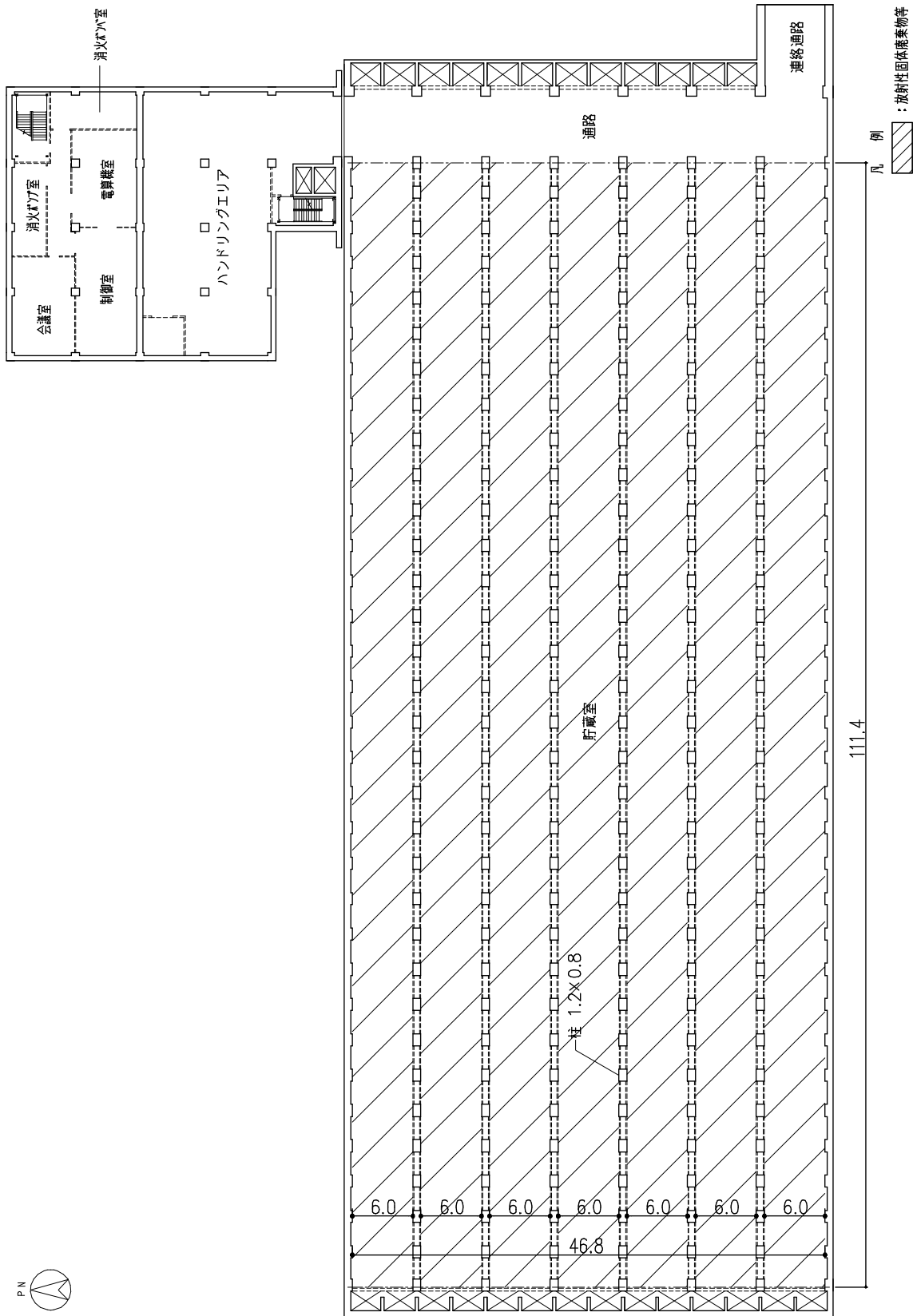
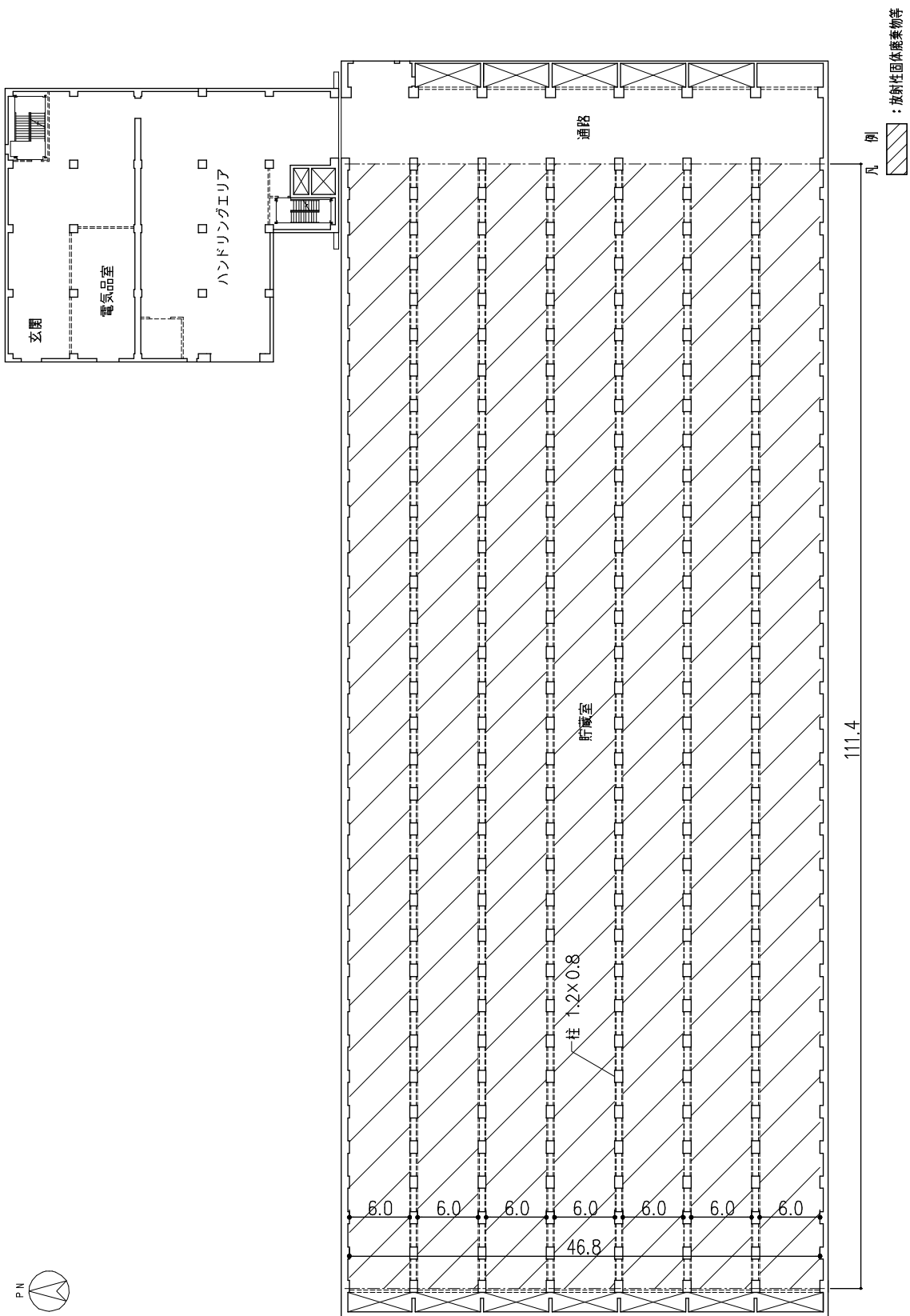
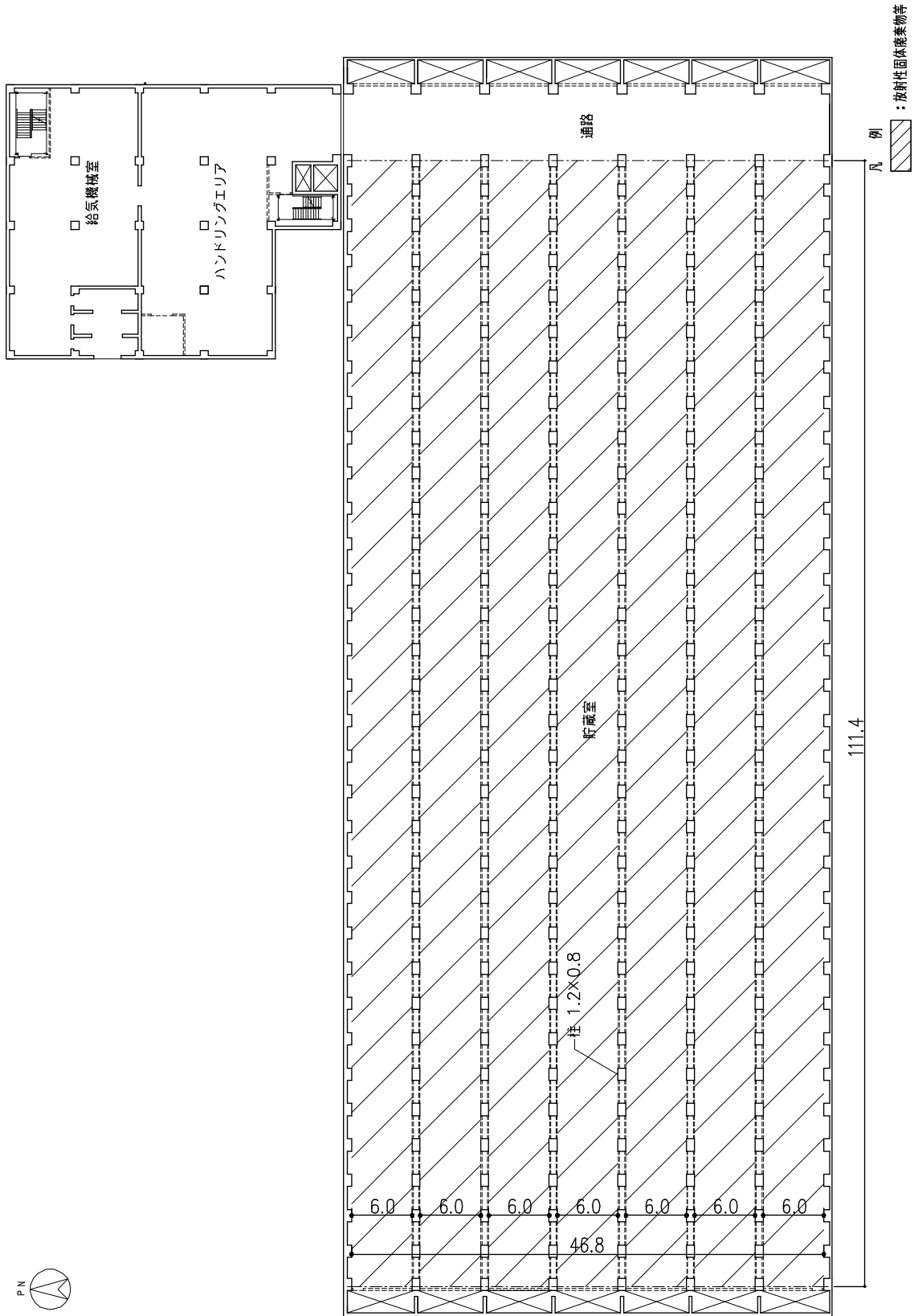


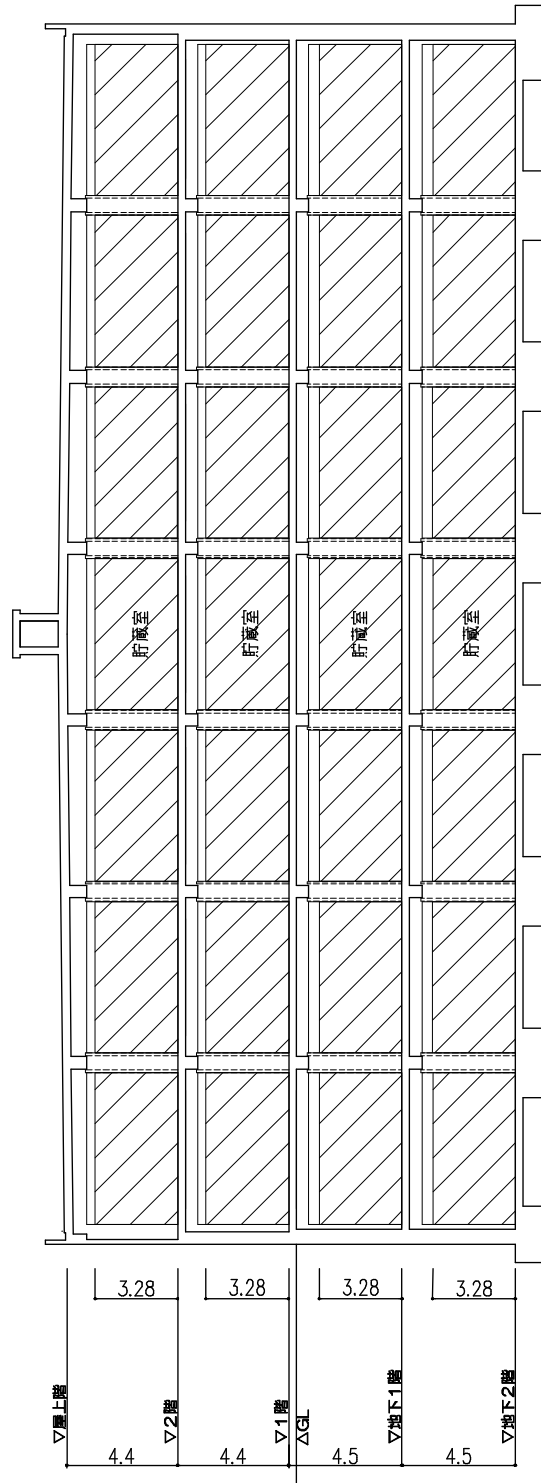
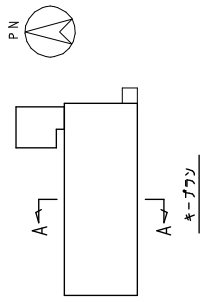
図-2 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 地下1階 平面図 (単位 : m)



図一3 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 1階 平面図 (単位: m)



図一4 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 2階 平面図 (単位 : m)



凡例 : 放射性固体廃棄物等

図-5 固体廃棄物貯蔵庫第9棟 断面図 (単位: m)

2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備

2.13.1 基本設計

2.13.1.1 設置の目的

使用済燃料輸送容器保管建屋（以下、「キャスク保管建屋」という。）には現在（平成24年12月時点）9基（中型4基，大型5基）の使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式貯蔵キャスク」という。）にて408体の使用済燃料を貯蔵している。しかしながら，キャスク保管建屋は継続して使用することが困難な状況にあることから，9基の乾式貯蔵キャスクをキャスク保管建屋から搬出し，使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（以下，「キャスク仮保管設備」という。）に保管することを目的とする。

また，使用済燃料共用プール（以下，「共用プール」という。）に，1～4号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料，5,6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料（合計5,936体）の受け入れを計画している。この受け入れ準備として共用プールの空き容量を確保するため，共用プールに貯蔵中で健全性が確認された使用済燃料を乾式貯蔵キャスク及び使用済燃料輸送貯蔵兼用容器（以下，「輸送貯蔵兼用キャスク」という。また，乾式貯蔵キャスクと輸送貯蔵兼用キャスクを総じて「乾式キャスク」という。）に装填し，キャスク仮保管設備に保管することを目的とする。

2.13.1.2 要求される機能

- (1) 原則，「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」指針49から50に適合すること。
- (2) 「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について」を参照すること。
- (3) 適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計であること。
- (4) 乾式貯蔵キャスクの落下防止対策，乾式貯蔵キャスク相互の衝突防止等の適切な対策が講じられていること。
- (5) 被災した既設乾式貯蔵キャスク（9基）については，乾式貯蔵キャスクとして必要な機能（除熱，密封，遮へい，臨界防止機能及び構造強度）が確保されていることを確認するとともに，収納されている使用済燃料の健全性を確認すること。

2.13.1.3 設計方針

キャスク仮保管設備は，乾式キャスク及びこれを収納するキャスク仮保管構築物，揚重機，監視装置，障壁等で構成し，使用済燃料が核分裂性物質及び核分裂生成物等を内包し，放射線を発生し，崩壊熱を伴うことを考慮し，周辺公衆及び放射線業務従事者の安全を守る観点から，以下に示すとおり，除熱，遮へい，密封及び臨界防止の安全機能を有する設計とするとともに，必要な構造強度を有する設計とする。

- (1) 除熱機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるように、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。

(2) 密封機能

乾式キャスクについて、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。

(3) 遮へい機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮へいする設計とする。

(4) 臨界防止機能

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、想定されるいかなる場合にも、使用済燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。

(5) 構造強度

乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

(6) 落下防止対策

キャスク仮保管設備は、乾式キャスクの落下防止及び乾式キャスク相互の衝突防止等の適切な対策を講ずる。

(7) 耐震性

キャスク仮保管設備は、基準地震動 S_s を考慮しても、(1)～(4)に示す安全機能が維持される設計とする。

2.13.1.4 供用期間中に確認する項目

(1) 乾式キャスクの表面温度に異常がないこと

(2) 乾式キャスクの蓋間圧力に異常がないこと

2.13.1.5 主要な機器

(1) 乾式キャスク

キャスク仮保管設備において、乾式キャスクは既存設計のものを使用する。乾式キャスクは、貯蔵容器本体、蓋部、バスケット等で構成され、これらの部材は、設計貯蔵期間*における放射線照射影響、腐食、クリープ、疲労、応力腐食割れ等の経年変化に対して十分信頼性を有する材料を選定し、その必要とされる強度、性能を維持し、必要な安全機能を失うことのないように設計されている。

また、乾式キャスクには、使用済燃料プールまたは共用プールで所定の期間以上冷却

され、かつ運転中のデータ、シッピング検査等により健全であることを確認した使用済燃料を使用済燃料プール内あるいは共用プール内で装填し、排水後内部にはヘリウムガスを封入する。ヘリウムガスは、冷却媒体であるとともに燃料被覆管の腐食を防止する。

※：設計貯蔵期間は、乾式貯蔵キャスク：40年、輸送貯蔵兼用キャスク：50年である。

(2) コンクリートモジュール

仮保管する乾式キャスク1基毎にこれを覆うコンクリートモジュールを設置する。壁面下部に給気口を、上部に排気口を設けることで、乾式キャスクからコンクリートモジュール内空気に伝達された使用済燃料の崩壊熱をモジュール内の自然対流により大気へ拡散する。

(3) 監視装置

キャスク仮保管設備には、乾式キャスクの一次蓋、二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置と、乾式貯蔵キャスク表面の温度を監視することにより乾式貯蔵キャスクの除熱機能を監視する表面温度監視装置を設置する。又、過度の放射線レベル上昇が確認できるエリア放射線モニタを設置する。

(4) クレーン

キャスク仮保管設備内で乾式キャスク及びコンクリートモジュールの据付ができるクレーンを設置する。乾式キャスクの落下防止対策として、ワイヤーロープ、ブレーキを2重化し、電源喪失時には直ちにブレーキが作動し、ドラムの空転による荷の落下を防止する設計とする。

(5) 電源

キャスク仮保管設備の電源は、所内共通M/C 1A及び1Bからそれぞれ受電している多核種除去設備変圧器盤(A)及び(B)の2系統より受電しており、いずれからも受電可能な構成である。

2.13.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

キャスク仮保管設備は、発電所構内の高台(T.P. 約38m)に位置するグラウンドに設置することから、津波の影響を受けることはない。

(2) 火災

火災の発生が考えられる箇所について、火災の早期検知につとめるとともに、消火器を設置することで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないよう

にする。

(3) 台風・竜巻

乾式キャスクは基礎に据え付けられ、コンクリートモジュールの中に保管されているため、台風・竜巻の影響を受けない。

(4) 環境条件

乾式キャスクの除熱機能，密封機能，遮へい機能，臨界防止機能及びコンクリートモジュールの除熱機能については，保守的な環境条件にて設計を行っている。またその他の経年的な影響についても，監視や定期的な巡視点検等を行うことで劣化等の早期発見に努め，機能維持を図る。

また，キャスク仮保管設備に保管する乾式貯蔵キャスクのうち，津波により一時的に水没したとみられるキャスク保管建屋に保管している既設 9 基については，必要な点検や消耗品の交換を行ったうえで，キャスク仮保管設備に搬入し，他の乾式キャスクと同様に管理する。

2.13.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

a. 乾式キャスク及び支持架台

乾式キャスク及び支持架台については，JSME 設計・建設規格の分類に基づく設計とする。

b. コンクリートモジュール

コンクリートモジュールについては，建築基準法に基づく設計とする。

c. クレーン

クレーンについては，クレーン構造規格に基づく設計とする。

d. コンクリート基礎

キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに，これを固定する固定ボルトの引抜き力が許容引抜き力を下回り，基礎の傾斜が許容傾斜量を下回る設計とする。

(2) 耐震性

a. 乾式キャスク及び支持架台

乾式キャスクについては，基準地震動 S_s に対し，乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。

支持架台については，基準地震動 S_s に対し，乾式キャスクを落下・転倒させない設計とする。

b. コンクリートモジュール

基準地震動 S_s に対し、建築基準法及び国土交通省告示に基づくとともに、倒壊等により、乾式貯蔵キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

c. クレーン

基準地震動 S_s に対し、JSME 設計・建設規格に基づくとともに、転倒・倒壊・逸走等により、乾式キャスクの安全機能に波及的影響を与えない設計とする。

d. コンクリート基礎

キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引抜きに抵抗すること、基礎の傾斜によりクレーンの転倒、倒壊などが生じない設計とする。

2.13.1.8 異常時の措置

乾式キャスクの蓋間圧力及び温度は免震重要棟にて監視でき、万一、蓋間圧力が設定値まで低下した場合や表面温度が設定値まで上昇した場合には免震重要棟に設置した監視装置にて警報が確認できる。

警報確認後に現場確認を行い状況に応じた対処を行う。また、必要に応じ乾式キャスクを共用プールまで運搬し、共用プールにて必要な措置を行う。

2.13.2 基本仕様

2.13.2.1 主要仕様

(1) 乾式キャスク仮保管設備

表 2. 1 3 - 1 乾式キャスク仮保管設備仕様

| 項目 | 仕様 | |
|-------|-------------|------------|
| エリア | 約 96m×約 80m | |
| 保管対象物 | 乾式貯蔵キャスク | 輸送貯蔵兼用キャスク |
| 保管容量 | 20 基 | 30 基 |

(2) 乾式キャスク

表 2. 1 3 - 2 乾式貯蔵キャスク仕様

| 項目 | 乾式貯蔵キャスク (中型) | 乾式貯蔵キャスク (大型) |
|-------------------|--|------------------|
| 重量 (t) (燃料を含む) | 約 96 | 約 115 |
| 全長 (m) | 約 5.6 | 約 5.6 |
| 外径 (m) | 約 2.2 | 約 2.4 |
| 収納体数 (体) | 37 | 52 |
| 基数 (基) | 4 (既設) 8 (増設) | 5 (既設) 3 (増設) |
| 収納可能燃料 | 8×8 燃料 (燃焼度 30,000Mwd/t 以下) 新型 8×8 燃料 (燃焼度 33,500Mwd/t 以下) 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 (燃焼度 36,500Mwd/t 以下) 冷却期間 4 年以上 (既設 9 基) ※ 冷却期間 13 年以上 (増設 11 基) | |

※既設 9 基の乾式貯蔵キャスク内に収納している使用済燃料を取り出し、共用プールで貯蔵している使用済燃料と入れ替える場合、冷却期間 13 年以上の燃料を収納する。

表 2. 1 3 - 3 輸送貯蔵兼用キャスク仕様

| 項目 | 輸送貯蔵兼用キャスク A | 輸送貯蔵兼用キャスク B |
|-------------------|--|---|
| 重量 (t) (燃料を含む) | 約 119 | 約 119 |
| 全長 (m) | 約 5.4 | 約 5.3 |
| 外径 (m) | 約 2.5 | 約 2.5 |
| 収納体数 (体) | 69 | 69 |
| 基数 (基) ※1 | 13 | 17※2※3 |
| 収納可能燃料※4 | <p>8×8 燃料 平均燃焼度 26,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 29,000Mwd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> <p>新型 8×8 燃料, 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 平均燃焼度 34,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 40,000Mwd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> | <p>新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 平均燃焼度 34,000Mwd/t 以下 最高燃焼度 40,000Mwd/t 以下 冷却期間 18 年以上</p> |

※1 製造工程やキャスクへの使用済燃料の装填工程等に応じて配分が変わることがある

※2 うち 8 基は、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書（平成 22 年 11 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社）及び、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について（平成 22 年 12 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社）による

※3 うち 9 基は、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書（平成 24 年 10 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社）及び、使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について（平成 25 年 10 月 リサイクル燃料貯蔵株式会社）による

ただしこの 9 基は福島第一原子力発電所構内専用として使用する

※4 燃焼度や燃料タイプに応じて、以下の図書に基づき収納物の配置制限を行う

- ・輸送貯蔵兼用キャスク A：核燃料輸送物設計承認申請書 (NEO-2569CB 型)
(平成 22 年 8 月 23 日申請 東京電力株式会社)
- ・輸送貯蔵兼用キャスク B：核燃料輸送物設計承認申請書 (HDP-69B 型)
(平成 22 年 8 月 23 日申請 東京電力株式会社)

(3) コンクリートモジュール

表 2. 13-4 コンクリートモジュール仕様

| 項目 | | 仕様 | |
|-------|----|-------------|------------|
| 名称 | | コンクリートモジュール | |
| 保管対象物 | | 乾式貯蔵キャスク | 輸送貯蔵兼用キャスク |
| 数量 | | 20 基 | 30 基 |
| 主要寸法 | 長手 | 約 7300mm | 約 7100mm |
| | 短手 | 約 4680mm | 約 4680mm |
| | 高さ | 約 4000mm | 約 4000mm |
| | 板厚 | 約 200mm | 約 200mm |
| 構造 | | 鉄筋コンクリート構造 | |

(4) クレーン

表 2. 13-5 クレーン仕様

| 項目 | 仕様 |
|------|------------------|
| 型式 | 門型クレーン |
| 数量 | 1 基 |
| 定格荷重 | 主巻 150t 補巻 20t |
| 揚程 | 主巻 9.0m 補巻 11.3m |

(5) 監視装置

表 2. 13-6 圧力・温度監視装置仕様

| 項目 | 仕様 | |
|--------|----------------|----------|
| 名称 | 蓋間圧力検出器 | 温度検出器 |
| 検出器の個数 | 2 個/基 | 1 個/基 |
| 計測対象 | 蓋間圧力 | 外筒表面温度 |
| 取付箇所 | 二次蓋 | 外筒表面 |
| 計測範囲 | 50~500kPa abs. | -20~160℃ |

表 2. 1 3 - 7 放射線監視装置仕様

| 項目 | 仕様 |
|------|---|
| 名称 | エリア放射線モニタ |
| 基数 | 4 基 ^{注 1) 注 2)} |
| 種類 | 半導体検出器 |
| 取付箇所 | 設備敷地内 |
| 検出高さ | 基礎から 600mm 以上 1800mm 以下 |
| 計測範囲 | $10^{-1} \mu\text{Sv/h} \sim 10^5 \mu\text{Sv/h}$ |

注 1) 4 基の内 1 基は将来増設予定。

注 2) 監視可能とする基数は乾式キャスクの保管状況による。

2.13.3 添付資料

添付資料－1 設備概略図

添付資料－2 評価の基本方針

添付資料－3 構造強度及び耐震性について

添付資料－4 安全評価について

添付資料－5 安全対策について

添付資料－6 管理・運用について

添付資料－7 工事工程表

添付資料－8 キャスク保管建屋及び既設 9 基乾式貯蔵キャスクの現在の設備状況並びに既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性について

添付資料－9 既設 9 基乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出について

添付資料－10 キャスク仮保管設備クレーンレーン間移動時の転倒について

添付資料－11 キャスク仮保管設備に係る確認事項について

設備概略図

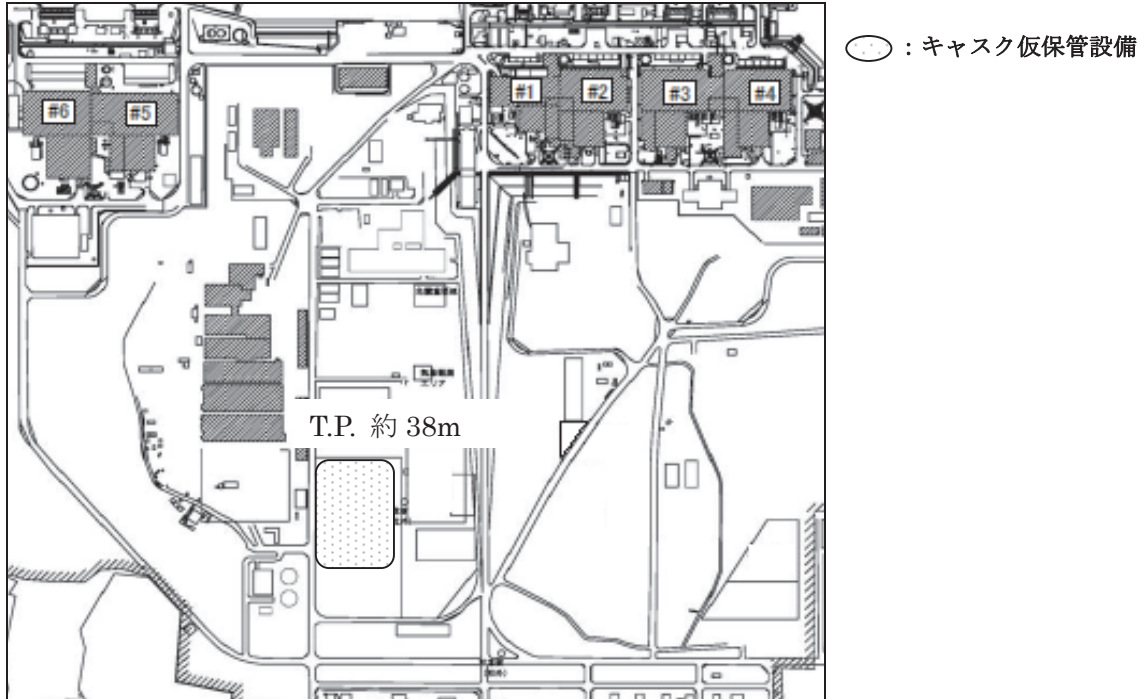
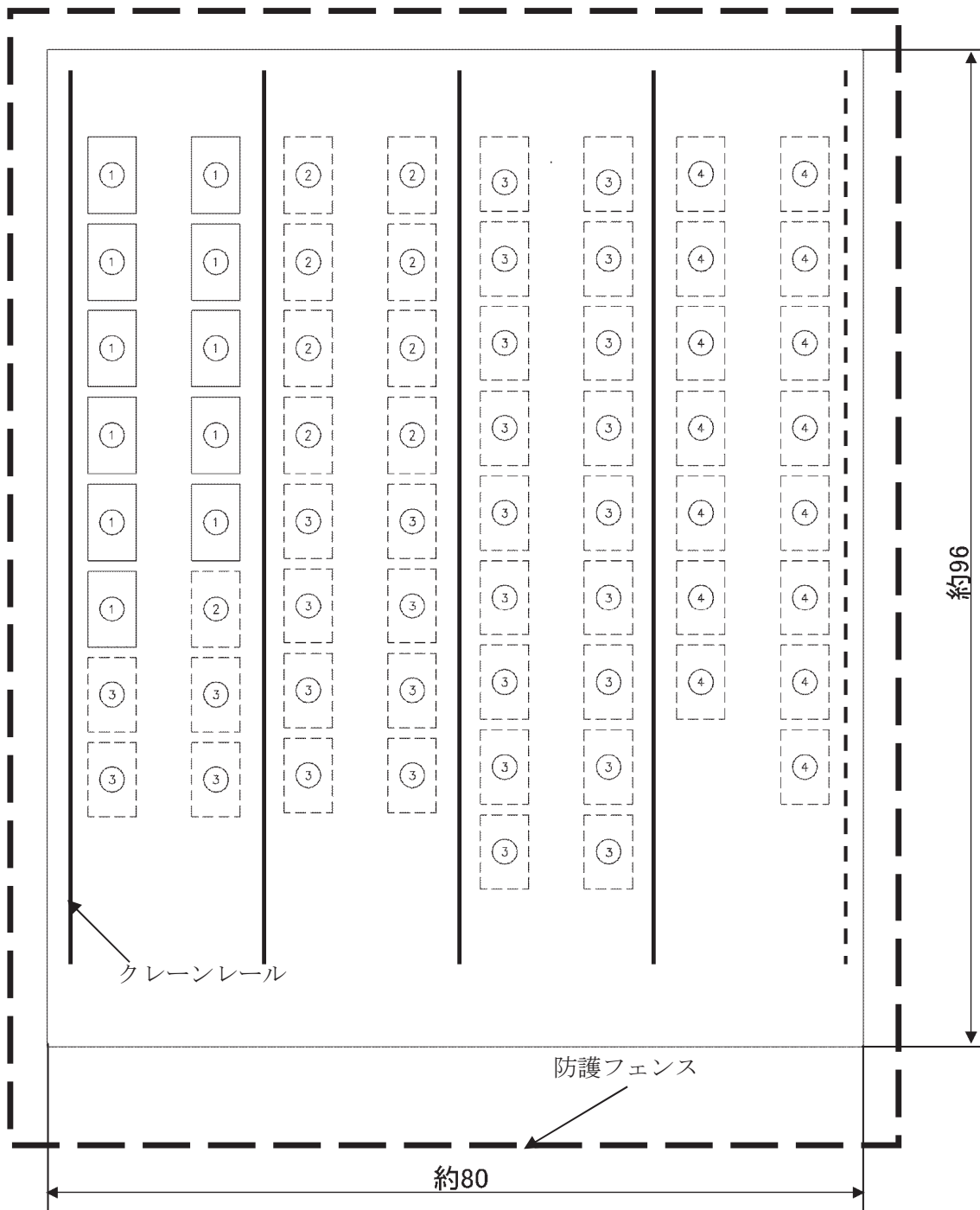


図 1-1 キャスク仮保管設備の構内位置



| | | |
|----|-------------------|------|
| ①② | 乾式貯蔵キャスク | 20 基 |
| ③ | 輸送貯蔵兼用キャスク | 30 基 |
| ④ | 輸送貯蔵兼用キャスク (将来設置) | 15 基 |

図 1-2 キャスク仮保管設備配置概略図 (単位 : m)

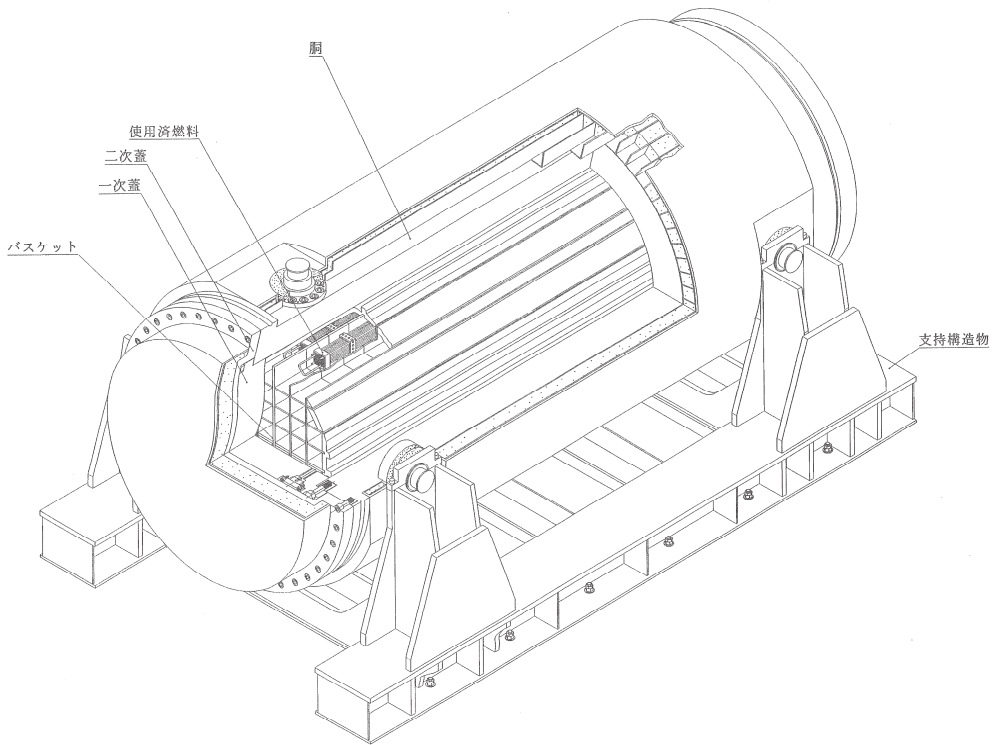


図 1-3 乾式貯蔵キャスクの構造図例
(大型)

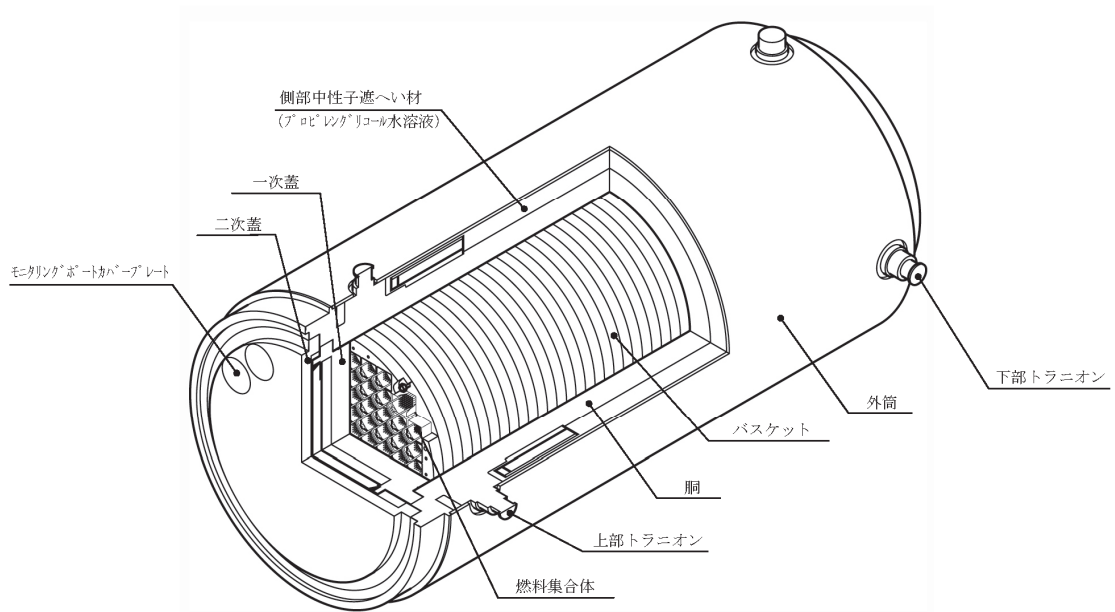


図 1-4 輸送貯蔵兼用キャスクの構造図例
(輸送貯蔵兼用キャスク A)

評価の基本方針

1 設計方針

1.1 基本的安全機能

本設備は、乾式キャスク及びこれを収納するコンクリートモジュール、支持架台、クレーン、監視装置等で構成され、本文の設計方針に示される除熱、遮へい、密封及び臨界防止の安全機能を設計とするとともに、必要な構造強度を有する設計であることを確認する。

1.2 乾式キャスクの安全機能について

本設備で保管する乾式キャスクは、既存設計のものを使用する。乾式キャスクの安全機能に関しては、以下の図書にて評価されている。

(1) 乾式貯蔵キャスク

- ①沸騰水型原子力発電所 使用済燃料の乾式キャスク貯蔵施設について(平成5年7月 株式会社東芝 TLR-053 改訂1)
- ②沸騰水型原子力発電所 使用済燃料の乾式キャスク貯蔵施設の安全設計で使用する解析コードについて(平成5年4月 株式会社東芝 TLR-054)
- ③福島第一原子力発電所 第4号機工事計画認可申請書本文及び添付書類(平成6年3月14日申請, 東京電力株式会社)
- ④福島第一原子力発電所 第6号機工事計画認可申請書本文及び添付書類(平成6年3月14日申請, 東京電力株式会社)
- ⑤福島第一原子力発電所 第4号機工事計画認可申請書本文及び添付書類(平成22年10月22日申請, 東京電力株式会社)
- ⑥福島第一原子力発電所 第5号機工事計画認可申請書本文及び添付書類(平成22年10月22日申請, 東京電力株式会社)
- ⑦福島第一原子力発電所 第6号機工事計画認可申請書本文及び添付書類(平成22年10月22日申請, 東京電力株式会社)

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク

- ①使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクについて (NEO-2569CB 型)
(平成21年5月 株式会社オー・シー・エル OCL-TR-001-改1)
- ②使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクについて (HDP-69B 型)
(平成21年5月 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 HLR-110 訂1)
- ③核燃料輸送物設計承認申請書(NEO-2569CB 型)
(平成22年8月23日申請 東京電力株式会社)

- ④核燃料輸送物設計承認申請書(HDP-69B型)
(平成22年8月23日申請 東京電力株式会社)
- ⑤使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 (平成22年6月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)
- ⑥使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 本文及び添付書類の一部補正について (平成22年8月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)
- ⑦使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 (平成22年11月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)
- ⑧使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について (平成22年12月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)
- ⑨使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 (平成24年10月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)
- ⑩使用済燃料貯蔵施設に関する設計及び工事の方法の認可申請書 添付書類の一部補正について (平成25年10月 リサイクル燃料貯蔵株式会社)

2 安全設計・評価方針

表2-1に評価すべき各安全機能に関する既存の評価内容と本設備での安全設計・評価の方針を示す。

表 2-1 キャスク仮保管設備安全評価の基本方針

| 項目 | 中期安全確保の考え方 | 評価対象 | 乾式貯蔵キャスク | | | 輸送貯蔵兼用キャスク | | |
|--------|---|-----------------------------|----------|-------|--|------------|-------|--|
| | | | 既存評価を引用 | 新評価実施 | 評価方針 | 既存評価を引用 | 新評価実施 | 評価方針 |
| 除熱機能 | 乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるように、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。 | 燃料被覆管 | ○ | — | 以下の確認をもって評価条件が既存評価と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 ・保管中のコンクリートモジュール内の温度が45℃以下となること。 | — | ○ | 既存評価における評価条件は以下事項に相違がある為、改めて解析評価を実施する。 ・保管中の姿勢が異なる。(既存評価での乾式キャスクの姿勢は縦置きであるが、キャスク仮保管設備では横置きの姿勢となる) |
| | | 乾式キャスク | ○ | — | 以下の確認をもって評価条件が既存評価と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 ・保管中のコンクリートモジュール内の温度が45℃以下となること。 | — | ○ | 既存評価における評価条件は以下事項に相違がある為、改めて解析評価を実施する。 ・保管中の姿勢が異なる。(既存評価での乾式キャスクの姿勢は縦置きであるが、キャスク仮保管設備では横置きの姿勢となる) |
| | | コンクリートモジュール (キャスク仮保管構築物) | — | ○ | 既存評価における評価条件は以下事項に相違がある為、改めて解析評価を実施する。 ・保管中の乾式キャスク周辺環境温度が異なる。(既存評価ではキャスク保管建屋内の評価) なお、評価は設計発熱量の大きい大型キャスクを代表キャスクとする。 | — | ○ | 既存評価における評価条件は以下事項に相違がある為、改めて解析評価を実施する。 ・保管中の乾式キャスク周辺環境が異なる。(既存評価ではキャスク保管建屋内の評価) |
| 密封機能 | 乾式キャスクについて、周辺公衆及び放射線従事者に対し、放射線上的影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。 | 乾式キャスク | ○ | — | 既存評価における評価条件と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 | ○ | — | 既存評価における評価条件は以下事項に相違があるが、本設備の設計条件が既存評価の評価条件に包絡されることを確認し、既存評価を引用して評価を行う。 ・キャスク内部温度及びシール部温度 |
| 遮へい機能 | 乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、周辺公衆及び放射線従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮へいする設計とする。 | 乾式キャスク | ○ | — | 既存評価における評価条件と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 | ○ | — | 既存評価における評価条件と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 |
| 臨界防止機能 | 乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、想定されるいかなる場合にも使用済燃料が臨界に達することを防止できる設計とする。 | 乾式キャスク | ○ | — | 既存評価においてはキャスク配列、バスケット内の燃料配置等最も厳しい状態を想定し評価しており、本設備での条件と比較して、十分安全側であることから、既存評価を引用して評価を行う。 | ○ | — | 既存評価においてはキャスク配列、バスケット内の燃料配置等最も厳しい状態を想定し評価あり、本設備での条件と比較して、十分安全側であることから、既存評価を引用して評価を行う。 |

| 項目 | 中期安全確保の考え方 | 評価対象 | 乾式貯蔵キャスク | | | 輸送貯蔵兼用キャスク | | |
|--------|--|-------------|----------|-------|--|------------|-------|--|
| | | | 既存評価を引用 | 新評価実施 | 評価方針 | 既存評価を引用 | 新評価実施 | 評価方針 |
| 構造強度 | 乾式キャスク及びキャスク仮保管構築物について、除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能を維持するために必要な構造強度を有する設計とする。 | 乾式キャスク | ○ | — | 以下の確認をもって評価条件が既存評価と同等であると言える為、既存評価を引用して評価を行う。 ・本設備における設計事象の荷重条件が既存評価における設計事象の荷重条件に包絡すること。 | ○ | ○ | 評価条件が既存評価の評価条件と同一のものは既存評価を引用して評価を行い、評価条件が既存評価の評価条件と異なるものは新たに評価を実施する。 |
| 耐震性 | キャスク仮保管設備は、基準地震動 Ss を考慮しても、5.2.1～5.2.4 に示す安全機能が維持されていることを確認する。 | 乾式キャスク | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力と既存評価で用いた設計用地震力の比率が、既存評価の余裕率より小さいことを確認する。 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 |
| | | 支持架台 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 |
| | | 支持架台固定具 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 |
| | | コンクリートモジュール | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 |
| | | クレーン | — | ○ | 本設置場所における設計用地震力により評価を実施する。 | — | — | (乾式貯蔵キャスクと共用) |
| 異常時の評価 | 安全評価において想定すべき異常事象として今後抽出される各事象を考慮しても 5.2.1～5.2.4 に示す安全機能が維持されていることを確認する。 | 乾式キャスク | — | ○ | 本設備の異常事象の抽出を行い、評価を実施する。 | — | ○ | 本設備の異常事象の抽出を行い、評価を実施する。 |

3 耐震設計方針

(1) 耐震設計の基本方針

キャスク仮保管設備は、本文「設計方針」に基づき、基準地震動 S_s に対し、設備の設計方針に示される除熱機能、密封機能、遮へい機能、臨界防止機能等の安全機能が維持されていることを確認する。

(2) 対象設備と構造計画

キャスク仮保管設備は、乾式キャスク、支持架台、コンクリートモジュール、クレーン、並びにコンクリート基礎から構成される。

これらの設備のうち、乾式キャスクは、使用済燃料を収納し、除熱、密封、遮へい、臨界防止等の基本的安全機能を有する。このことから基準地震動 S_s に対する評価は、乾式キャスクの健全性維持の観点から、次の設備を対象に実施する。

- ① 乾式貯蔵キャスク及び支持架台
- ② 輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台
- ③ コンクリートモジュール
- ④ クレーン
- ⑤ コンクリート基礎

表 3-1 に各設備の構造計画の概要と概略図を示す。

表 3-1 主要設備の構造計画

| 主要設備 | 構造計画の概要 | 概略構造図 |
|---------------------------|--|-------|
| <p>① 乾式貯蔵キャスク及び支持架台</p> | <p>乾式貯蔵キャスクは横置きで、トラニオンを介し4つの支持脚柱を持つ支持架台で支持され、支持架台は固定ボルトと基礎ボルトで基礎に固定される。</p> | |
| <p>② 輸送貯蔵兼用キャスク及び支持架台</p> | <p>輸送貯蔵兼用キャスクは横置きで、トラニオンを介し鋼製の支持架台で支持され、支持架台は、アンカーボルトで埋め込み金物に固定される。埋め込み金物は、アンカーボルトで基礎から立ち上げたコンクリート基礎部に固定される。</p> | |

| 主要設備 | 構造計画の概要 | 概略構造図 |
|---------------------|--|-------|
| <p>③コンクリートモジュール</p> | <p>コンクリートモジュールの平面寸法は、約7.3m×約4.7m又は約7.1m×約4.7mであり、高さは約4mある。コンクリートモジュールは、厚さ200mmの鉄筋コンクリート製パネルで構成され、各パネルは金物にて連結され、基礎とは固定用金物を介して固定ボルトで固定される。</p> | |
| <p>④クレーン</p> | <p>クレーンはスパン約19mの門型クレーンで、定格荷重は約150トンである。クレーンは、4つの支持脚、車輪を介して、レール上を走行する。</p> | |

| 主要設備 | 構造計画の概要 | 概略構造図 |
|------------------|---|--------------|
| <p>⑤コンクリート基礎</p> | <p>基礎は、N-S方向80m、E-W方向約96m、厚さ0.8m(一部1.0m, 1.8m)の鉄筋コンクリート基礎である。</p> <p>基礎は、埋め込まれる固定ボルトや固定金具を介して、①乾式キャスク及び支持架台並びに、②コンクリートモジュールを固定する。また、③クレーンのレールを固定する。</p> | <p>概略構造図</p> |

(3) 設計用地震力

各機器の耐震設計に用いる設計用地震力は、以下より算定する。

| 項目 | 機器等 | 摘要 |
|-------------|--|--|
| (1) 基準地震動 | Ss | |
| (2) 設計用地震動 | 基準地震動 Ss-1 : (水平)最大加速度振幅 450gal, 約 81 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 300gal, 約 81 秒間 基準地震動 Ss-2 : (水平)最大加速度振幅 600gal, 約 60 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 400gal, 約 60 秒間 基準地震動 Ss-3 : (水平)最大加速度振幅 450gal, 約 26 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 300gal, 約 26 秒間 | T.P. -197m の基盤 (Vs=約 700m/s) を解放基盤表面として定義する。 |
| (3) 動的解析の方法 | 時刻歴応答解析法 応答スペクトル法 | |

(4) 運転状態と地震動の組合せに対する供用状態

運転状態と地震動の組合せに対応する供用状態は以下とする。

| 運転状態と地震動の組合せ | 供用状態 |
|----------------------|-------------------------|
| I ^{注1)} +Ss | D (IVAS) ^{注2)} |

注 1) 「運転状態 I」とは、通常運転の運転状態をいい、乾式キャスクの場合は、取り扱い時及び本設備での機器の通常の保管時の状態で「設計事象 I」に読み替える。

注 2) 「原子力発電所耐震設計技術指針」において規定される許容応力状態（「設計・建設規格」の許容状態 D 相当）

基準地震動 S_s による荷重を運転状態 I により生じる荷重と組み合わせた状態で、保管を行っている使用済燃料に過大な影響が生じないよう許容応力を定めるものとするが、本設備の乾式キャスクに対する機能維持の基本的な考え方は以下とする。

| 設備区分 | 基準地震動 S_s に対する機能維持 |
|-------------|--|
| 乾式キャスク | 乾式キャスクの安全機能を維持するために必要な構造強度を有すること。 |
| 支持架台 | 基準地震動 S_s に対し、乾式キャスクを落下・転倒させないこと。 |
| コンクリートモジュール | 基準地震動 S_s に対し、コンクリートモジュールの倒壊等により、乾式キャスクの安全機能に影響を与えないこと。 |
| クレーン | クレーンの倒壊、転倒等により、乾式キャスクの安全機能に影響を与えないこと。 |
| コンクリート基礎 | 支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引き抜きに抵抗すること。 基礎の傾斜により、クレーンの転倒、倒壊などが生じないこと。 |

(5) 地盤の応答解析による設計用地震力の算定

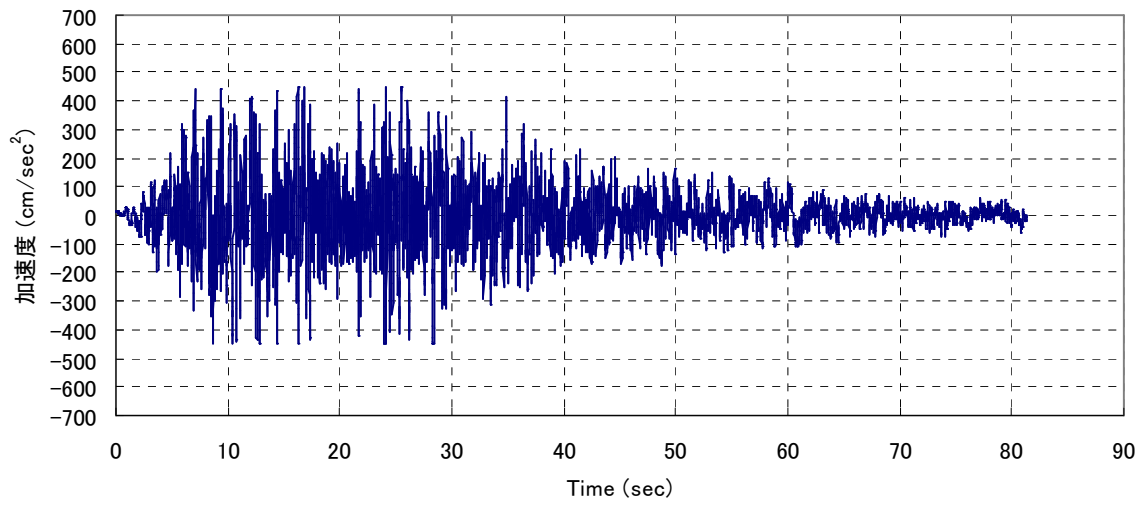
1) 解析概要

本検討では基礎－地盤連成系の2次元FEM応答解析を行い、基礎上面での応答波の応答スペクトルの作成、設計用地震力の算定を行う。解析プログラムはSuper-FLUSH/2Dを用いる。

2) 解析に用いる検討用地震動

検討用地震動は、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関わる耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(平成20年3月31日 東京電力株式会社)にて作成した解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を用いる。解放基盤表面位置における基準地震動 S_{s-1} 、 S_{s-2} 、 S_{s-3} の加速度時刻歴波形を図3-1～3に示す。

Ss-1(水平)-450gal



Ss-1-(鉛直) 300gal

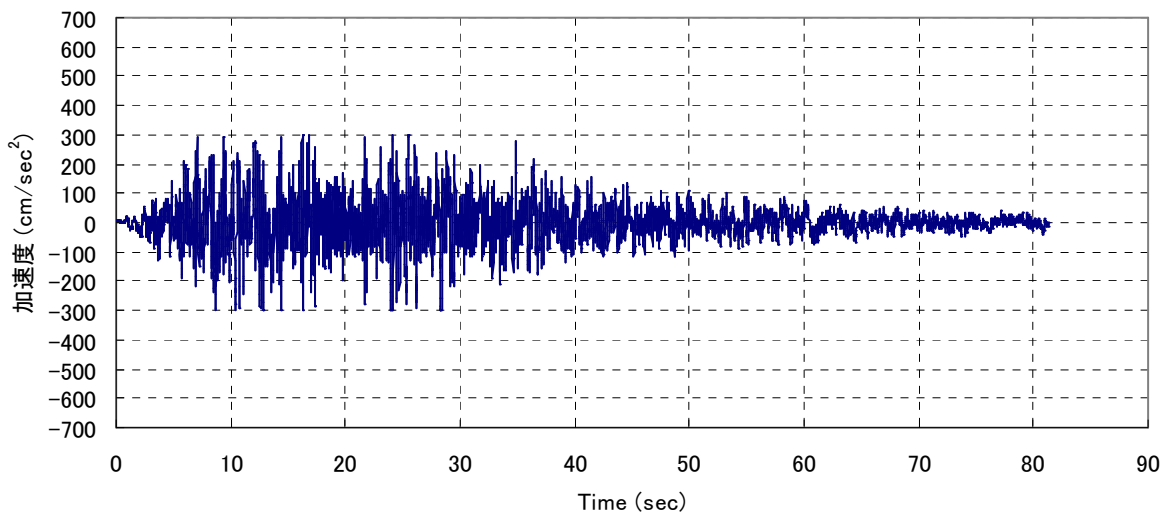
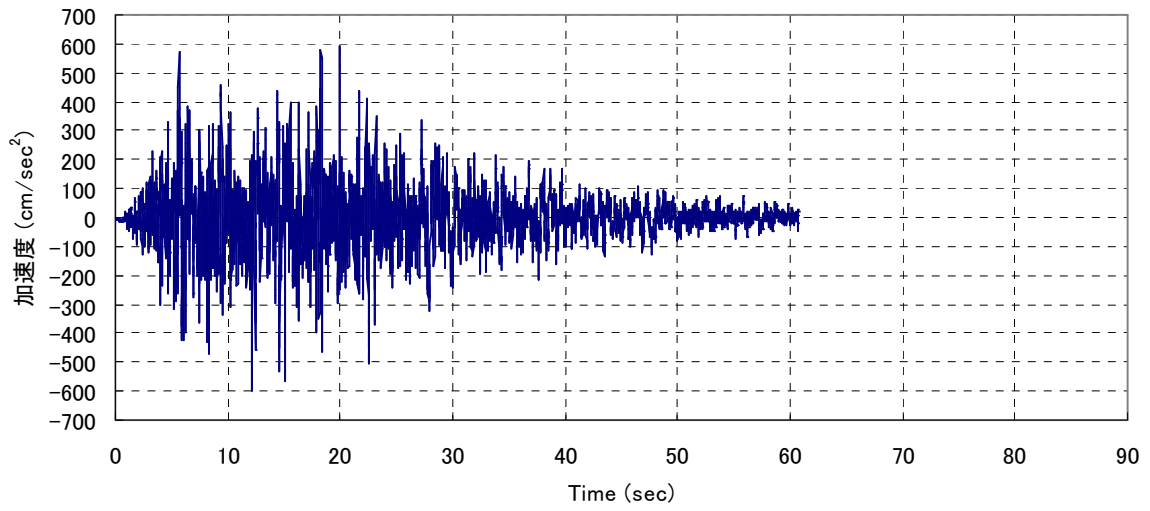


図 3-1 基準地震動加速度時刻歴波形 (Ss-1)

Ss-2(水平)-600gal



Ss-2(鉛直)-400gal

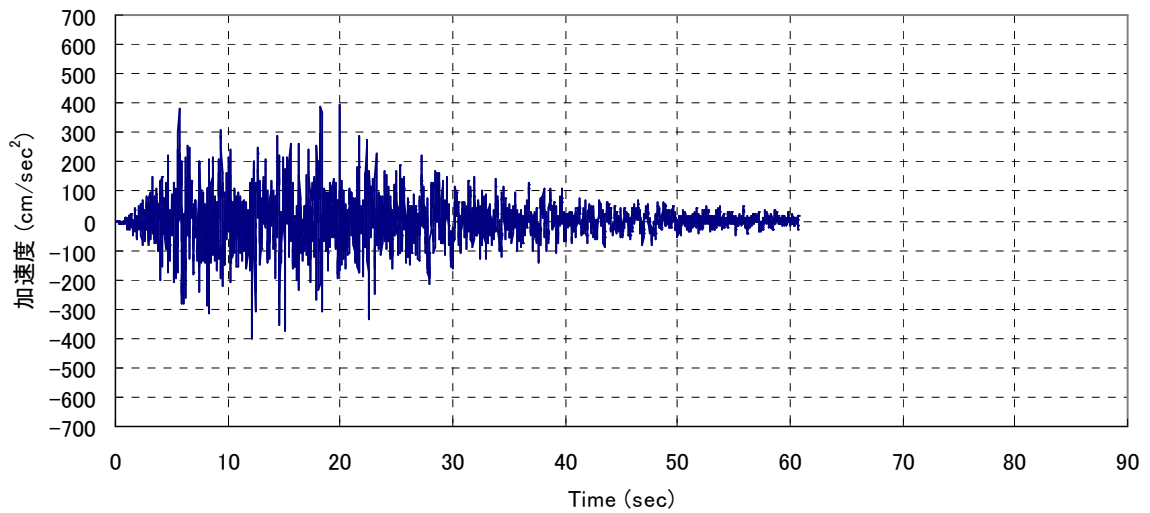


図 3-2 基準地震動加速度時刻歴波形 (Ss-2)

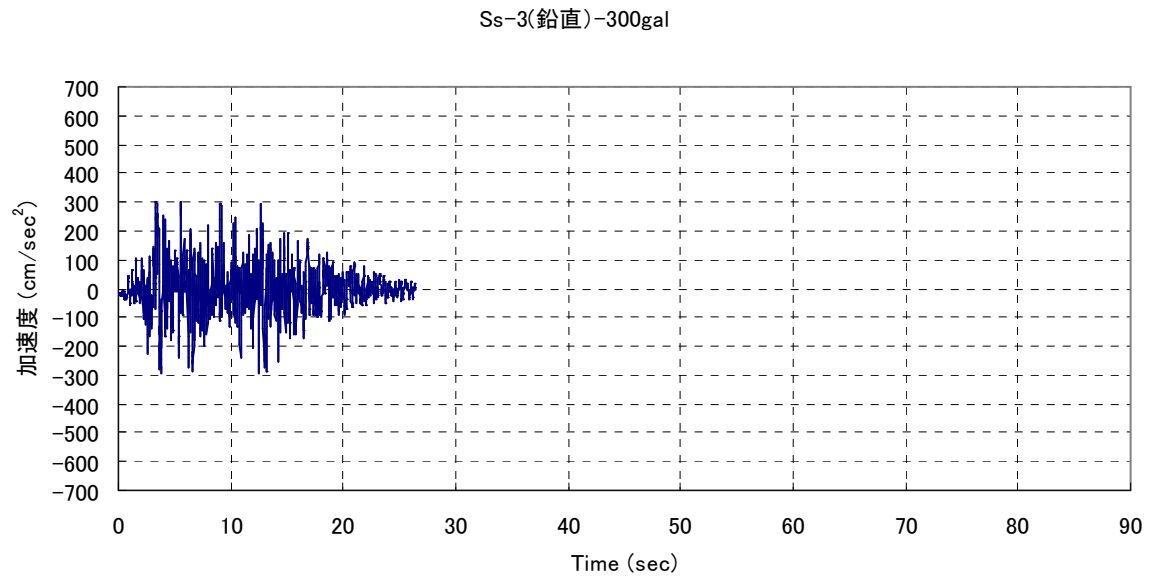
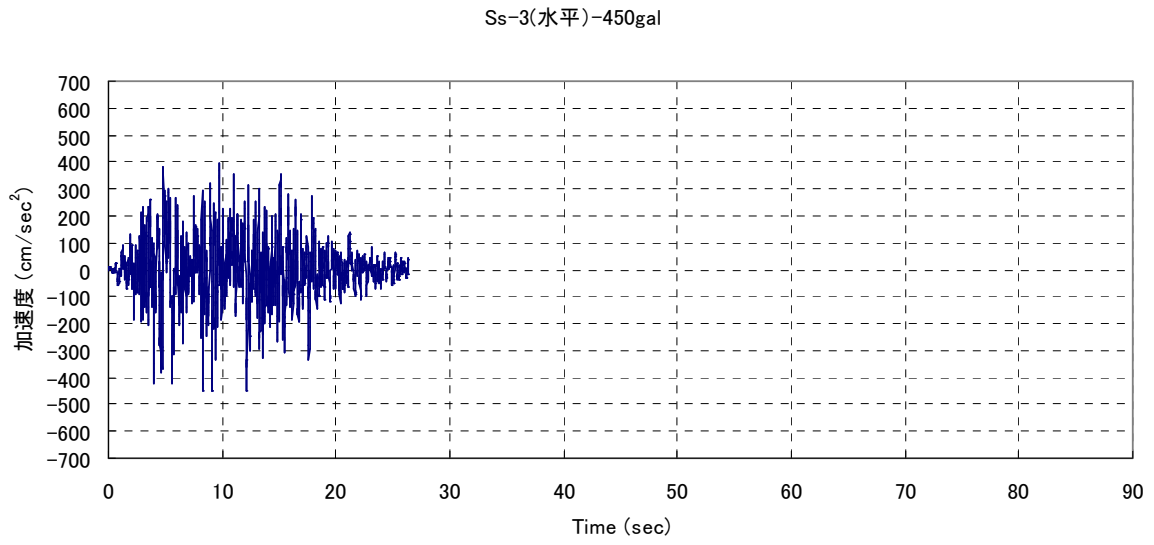


图 3-3 基準地震動加速度時刻歴波形 (Ss-3)

3) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは図 3-4, 5 のように、基礎-地盤連成系モデルとする。地盤応答解析に用いる地盤定数の設定結果を表 3-2 に示す。また、コンクリート基礎を除く各層のモデル化においては、地盤の非線形性を考慮する。図 3-6 に各層の動的変形特性を示す。

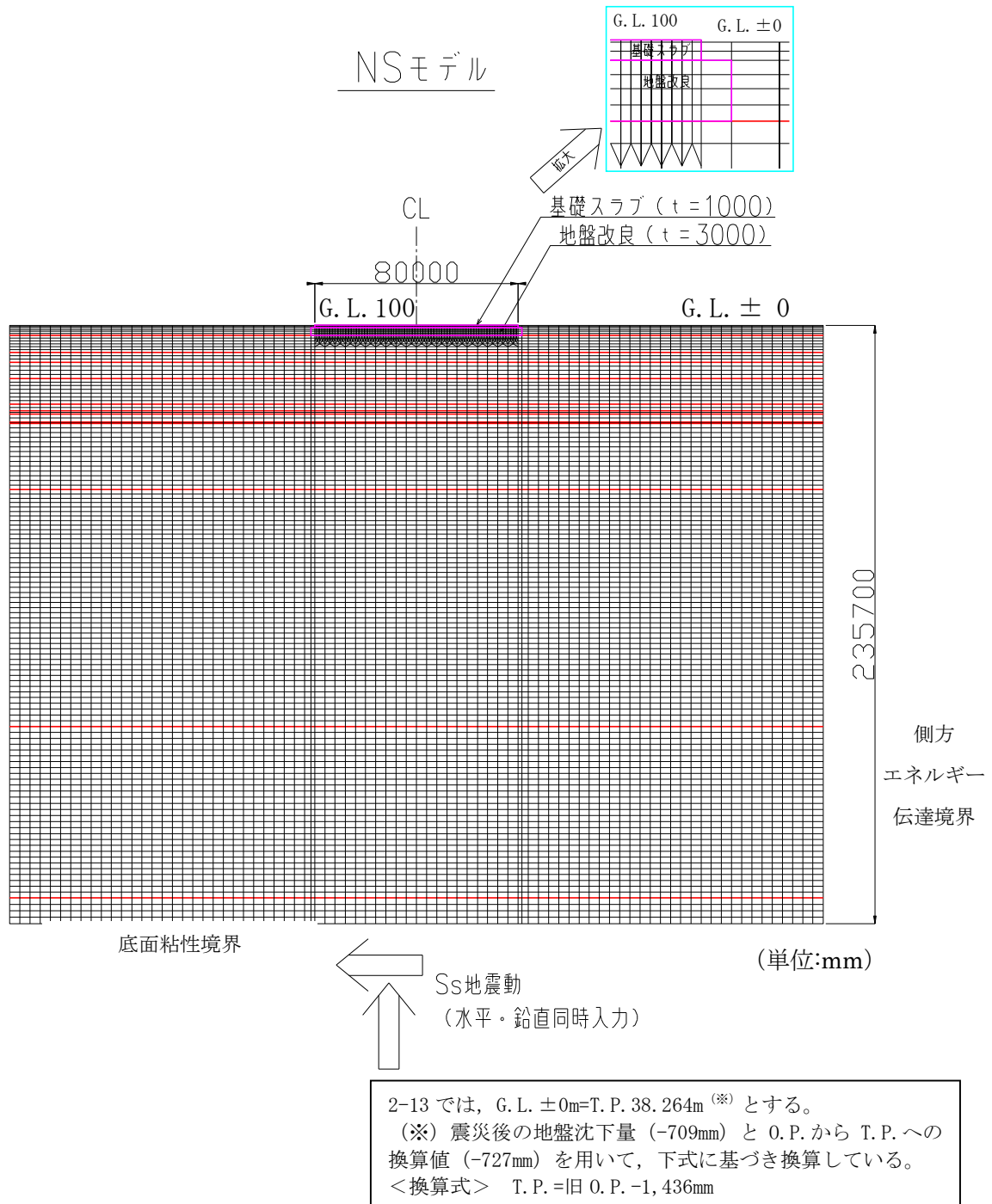
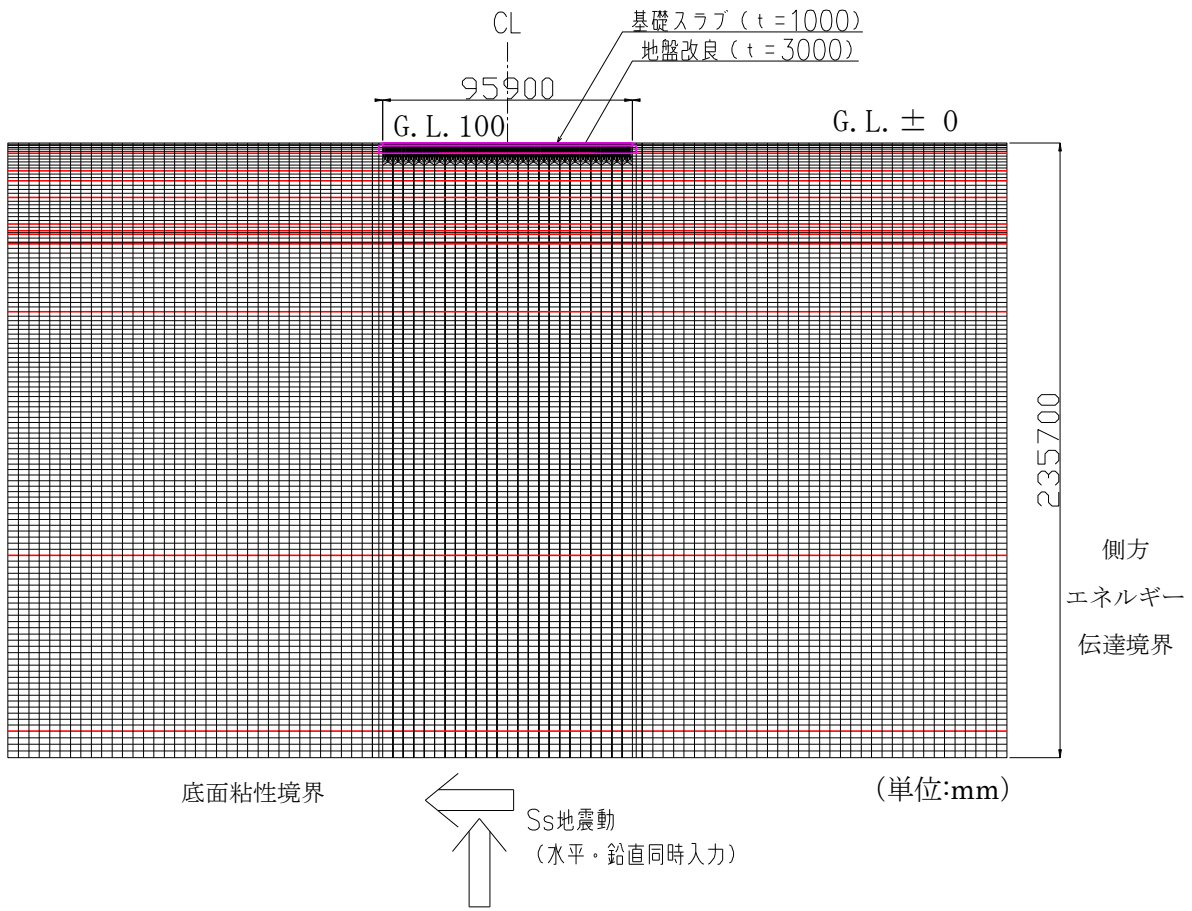


図 3-4 解析モデルの概要 (N-S 方向)

EWモデル



2-13では、G.L. ±0m=T.P. 38.264m^(※)とする。
 (※) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への
 換算値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧 O.P. -1,436mm

図 3-5 解析モデルの概要 (E-W 方向)

表 3-2 解析用地盤定数

| 地層名 | 層標高 | | 各地層厚 (m) | 湿潤密度 ρ (t/m ³) | せん断弾性 係数 G_0 (kN/m ²) | せん断波 速度 V_s (m/sec) | 強度特性 | |
|-------------|----------------|----------------|-------------|---------------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------|---------------|
| | 上端 G.L. (m) | 下端 G.L. (m) | | | | | C (N/mm ²) | ϕ (°) |
| | コンクリート基礎 | 0.100 | -0.900 | 1.000 | 2.679 | 10,420,000 | 1972 | - |
| 埋戻し土 | 0.000 | -3.900 | 3.900 | 1.8 | 72,600 | 201 | 0 | 30 |
| 改良地盤 | -0.900 | -3.900 | 3.000 | 1.8 | 380,000 | 459 | - | - |
| 段丘堆積物 | -3.900 | -10.674 | 6.774 | 1.59 | 158,000 | 315 | 0.039 | 24.7 |
| T3 部層 中粒砂岩層 | -10.674 | -14.485 | 3.811 | 1.84 | 210,000 | 338 | 0.098 | 38.6 |
| T3 部層 泥質部 | -14.485 | -20.863 | 6.378 | 1.71 | 427,000 | 500 | 1.5 | 0 |
| T3 部層 互層部 | -20.863 | -31.006 | 10.143 | 1.76 | 302,000 | 414 | 0.098 | 38.6 |
| T3 部層 泥質部 | -31.006 | -33.591 | 2.585 | 1.71 | 427,000 | 500 | 1.5 | 0 |
| T3 部層 中粒砂岩層 | -33.591 | -34.946 | 1.355 | 1.84 | 210,000 | 338 | 0.098 | 38.6 |
| T3 部層 泥質部 | -34.946 | -38.007 | 3.061 | 1.71 | 427,000 | 500 | 1.5 | 0 |
| T3 部層 粗粒砂岩層 | -38.007 | -38.572 | 0.565 | 1.84 | 210,000 | 338 | 0.098 | 38.6 |
| T3 部層 泥質部 | -38.572 | -64.680 | 26.108 | 1.71 | 427,000 | 500 | 1.5 | 0 |
| T2 部層 | -64.680 | -158.100 | 93.420 | 深度依存 1.76~ 1.80 | 深度依存 334,000~ 635,000 | 深度依存 436~594 | 深度依存 1.131~ 1.839 | 0 |
| T1 部層 | -158.100 | -225.580 | 67.480 | 1.79 | 667,000 | 610 | 1.62 | 0 |
| 先富岡層 | -225.580 | -235.700 | 10.120 | 1.88 | 954,000 | 712 | 1.8 | 0 |
| 解放基盤面 | -235.700 | - | - | 1.88 | 954,000 | 712 | 1.8 | 0 |

出典：「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」（平成5年4月）等

2-13 では、G.L. ± 0 m=T.P. 38.264m^(※) とする。
 (※) 震災後の地盤沈下量 (-709mm) と O.P. から T.P. への
 換算値 (-727mm) を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P. =旧 O.P. -1,436mm

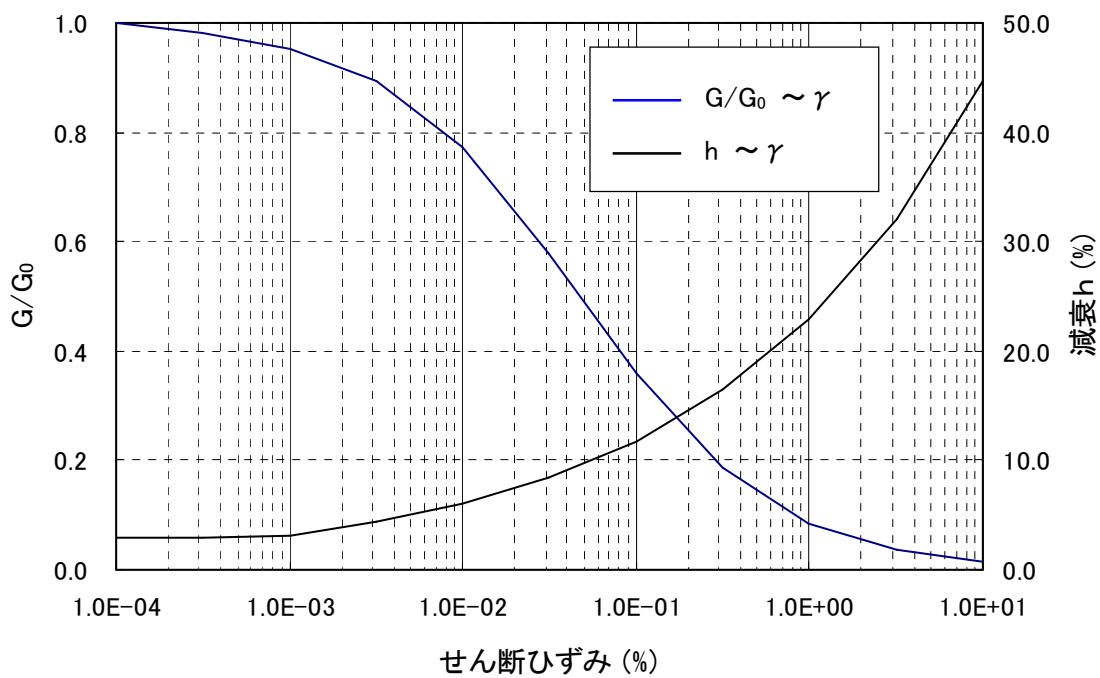


図 3-6 (1) 埋戻土層の動的変形特性

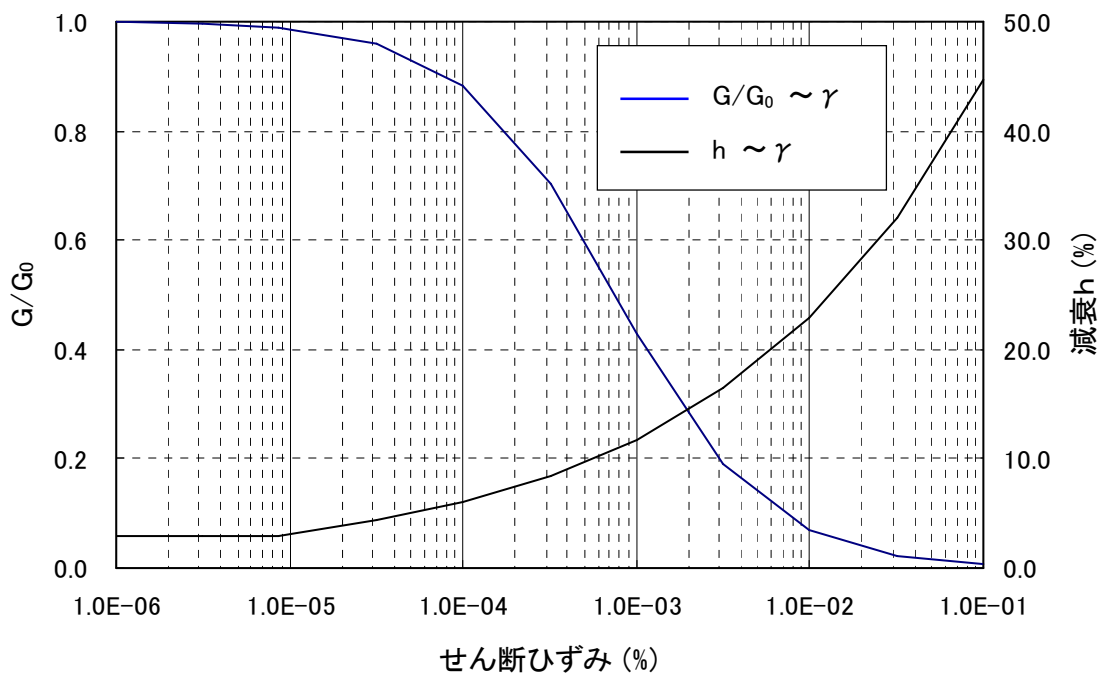


図 3-6 (2) 改良地盤の動的変形特性

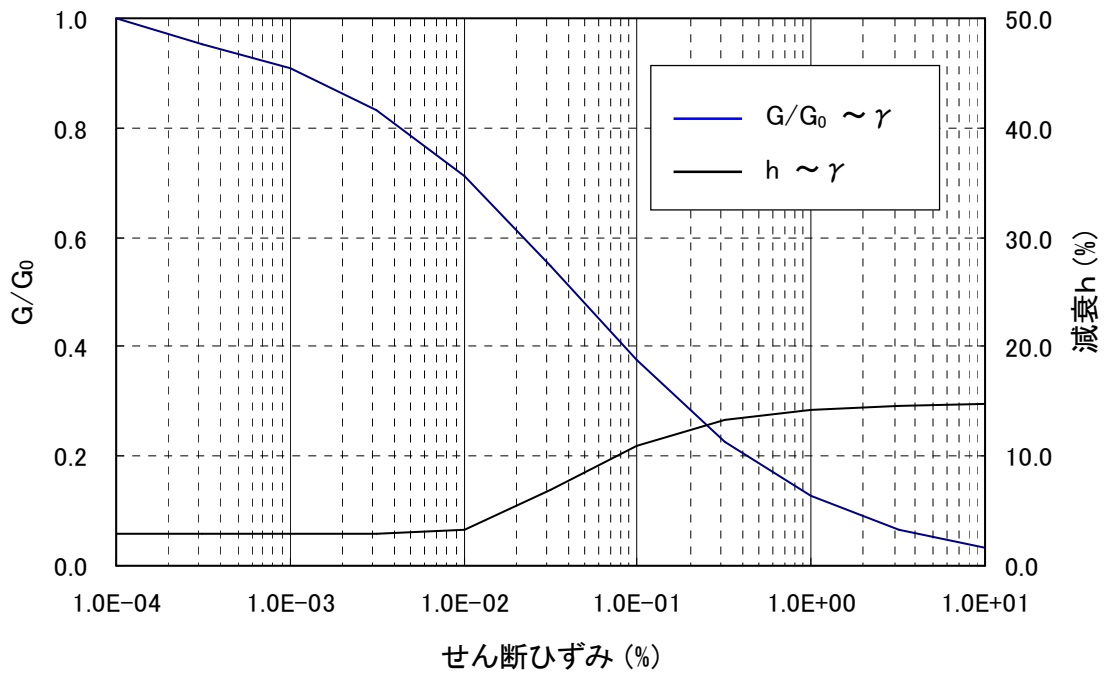


図 3-6 (3) 段丘堆積物の動的変形特性

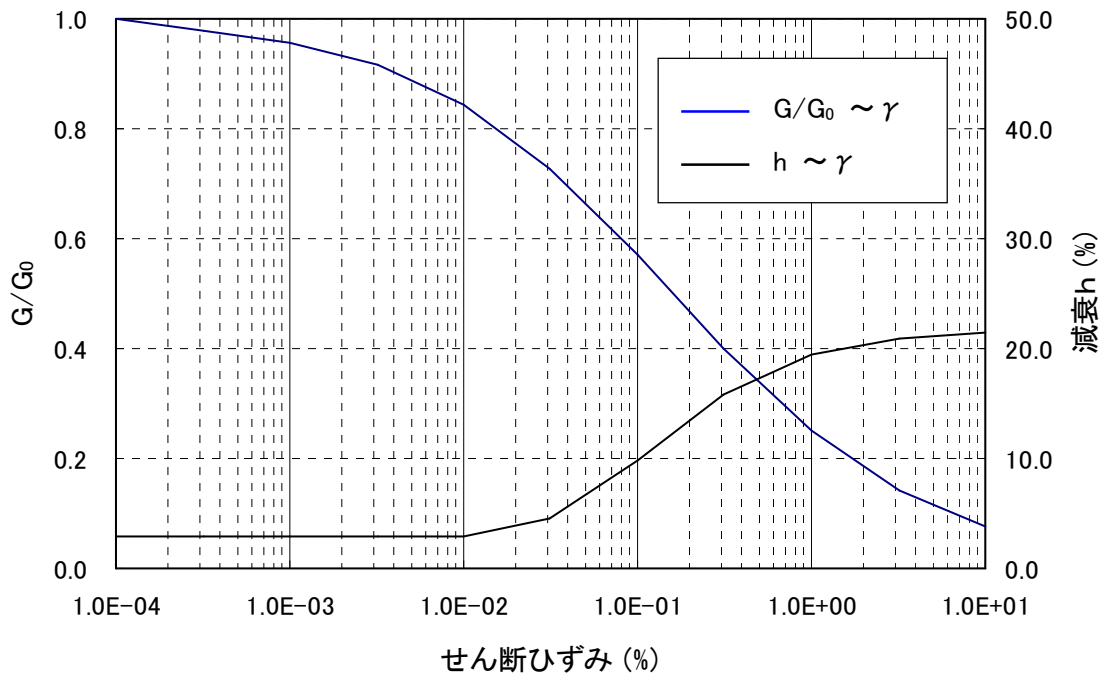


図 3-6 (4) T3 部層中粒砂岩層の動的変形特性

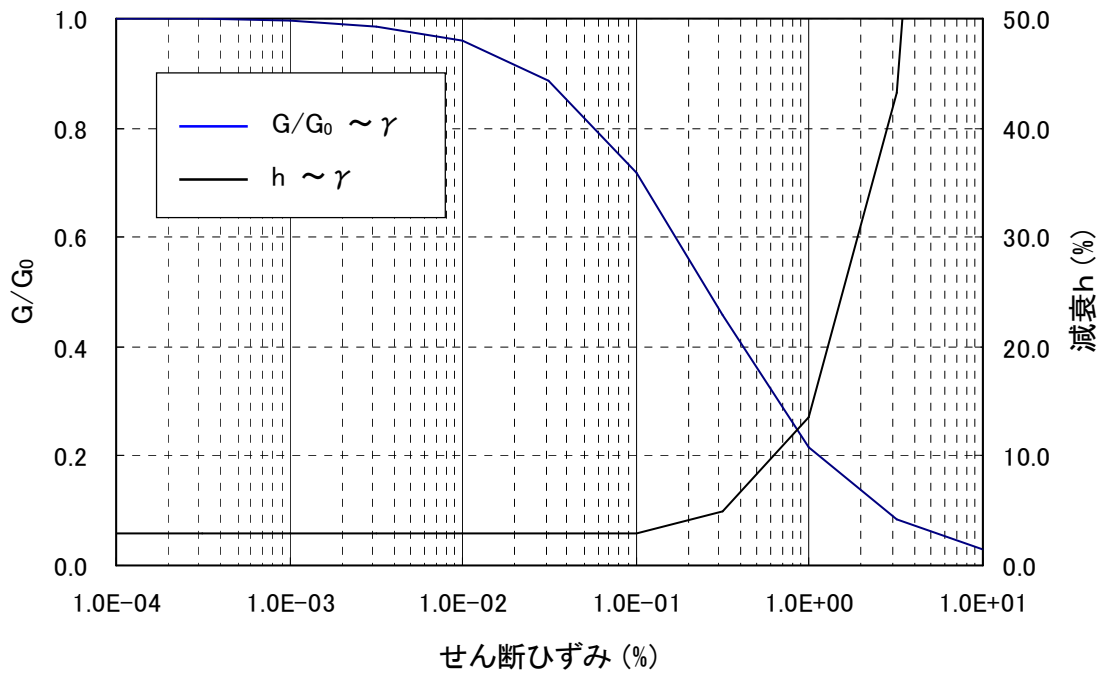


図 3-6 (5) T3 部層泥質部の動的変形特性

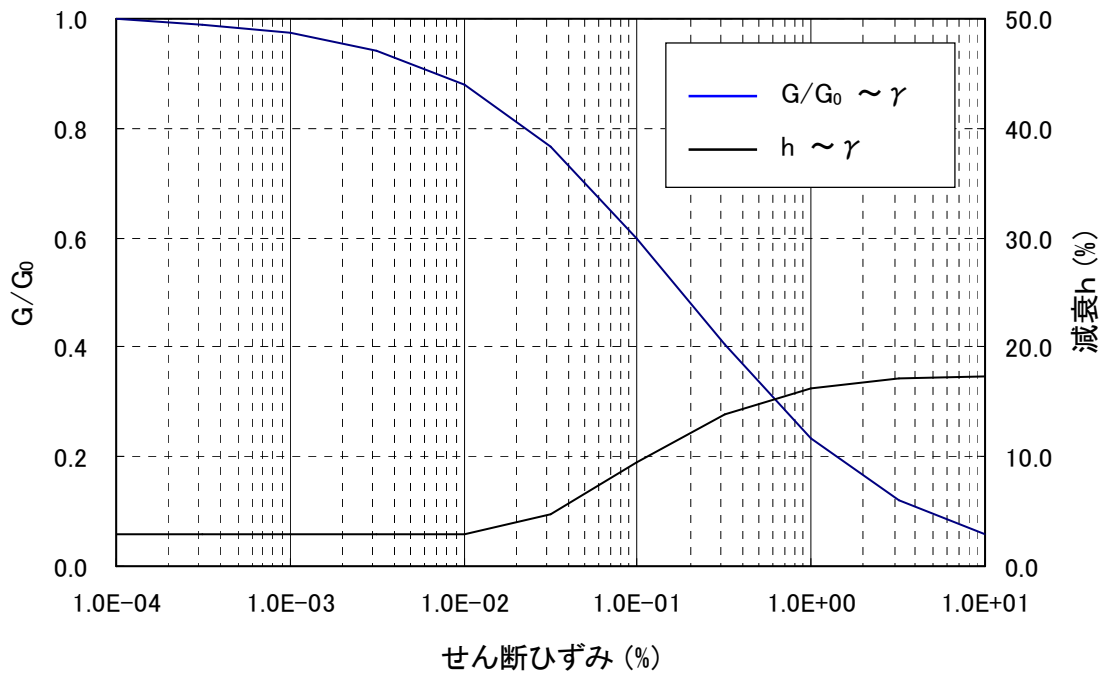


図 3-6 (6) T3 部層互層部の動的変形特性

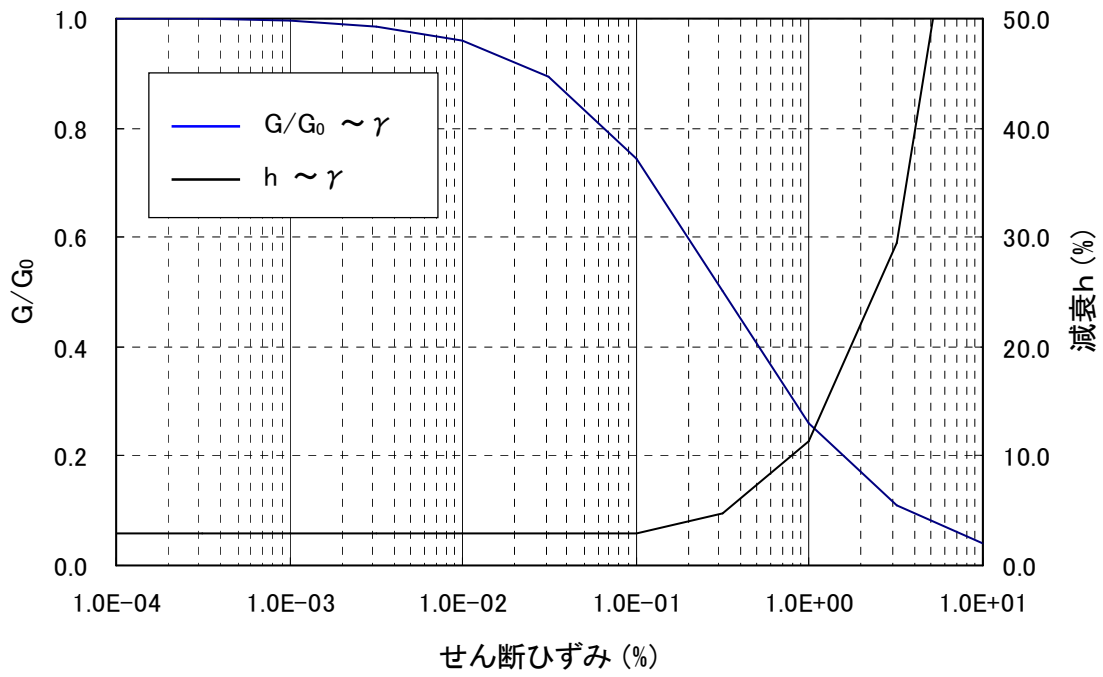


図 3-6 (7) T2 部層の動的変形特性

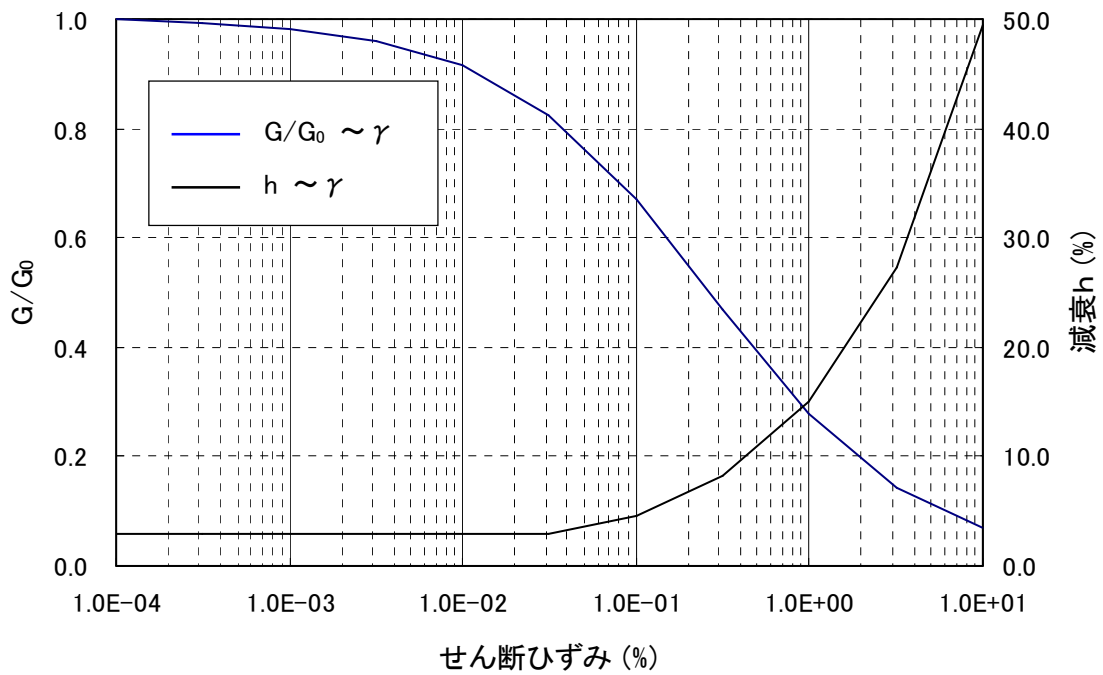


図 3-6 (8) T1 部層の動的変形特性

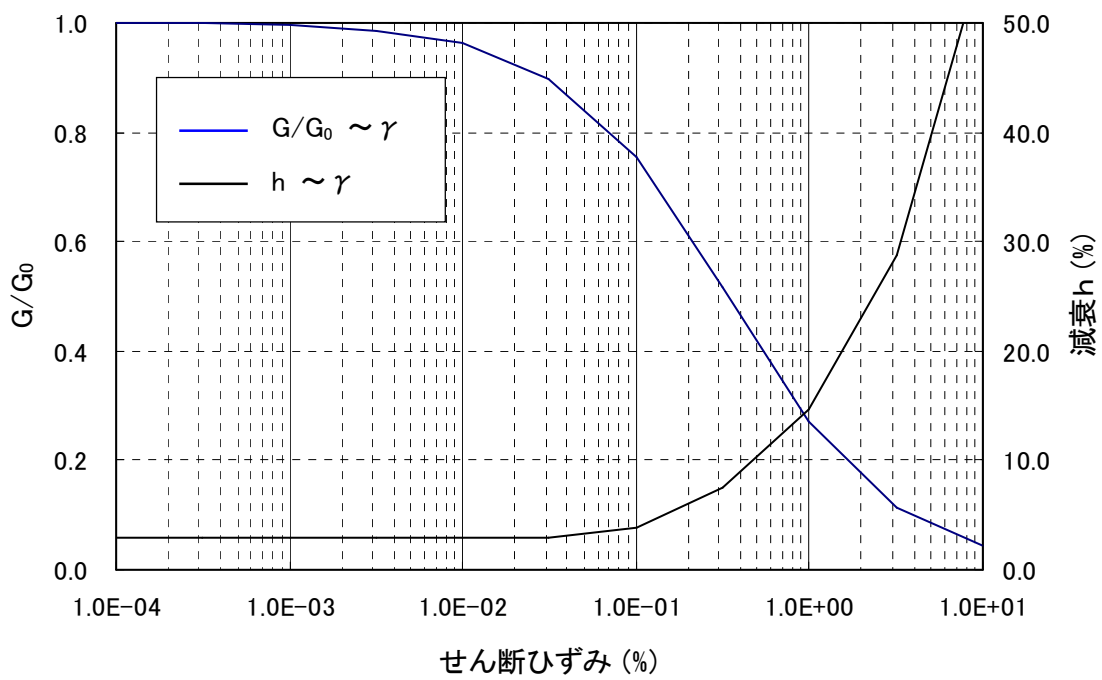


図 3-6 (9) 先富岡層の動的変形特性

4) 設計用地震力の算定

地盤表面における地震波の加速度応答の包絡スペクトル ($S_s-1 \sim S_s-3$) を図 3-7~15 に示す。設計用地震力は、床応答スペクトルを周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅したスペクトルを用いて算定する。

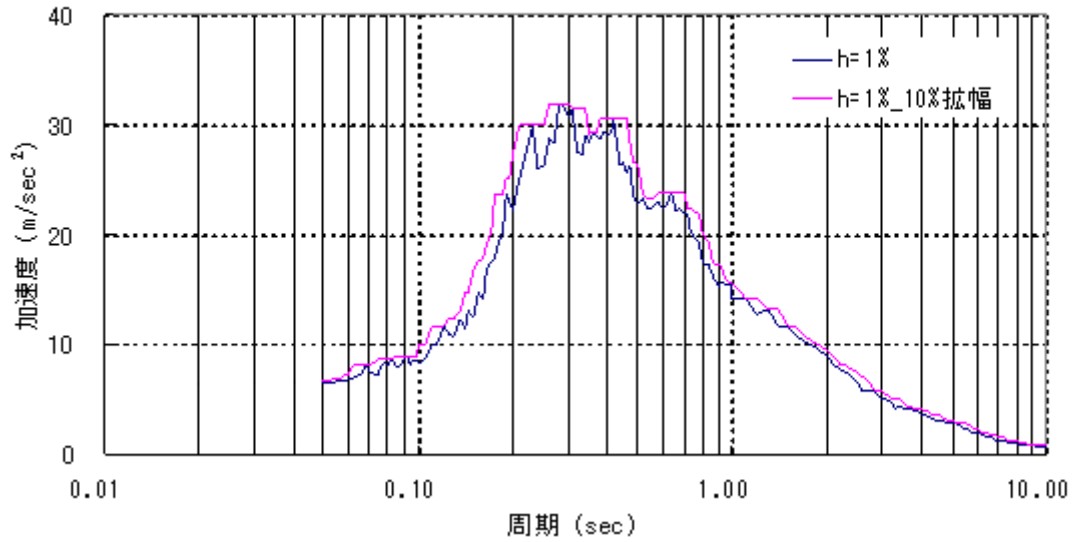


図 3-7 加速度応答包絡スペクトル S_s-H (水平 NS) ($h=1\%$)

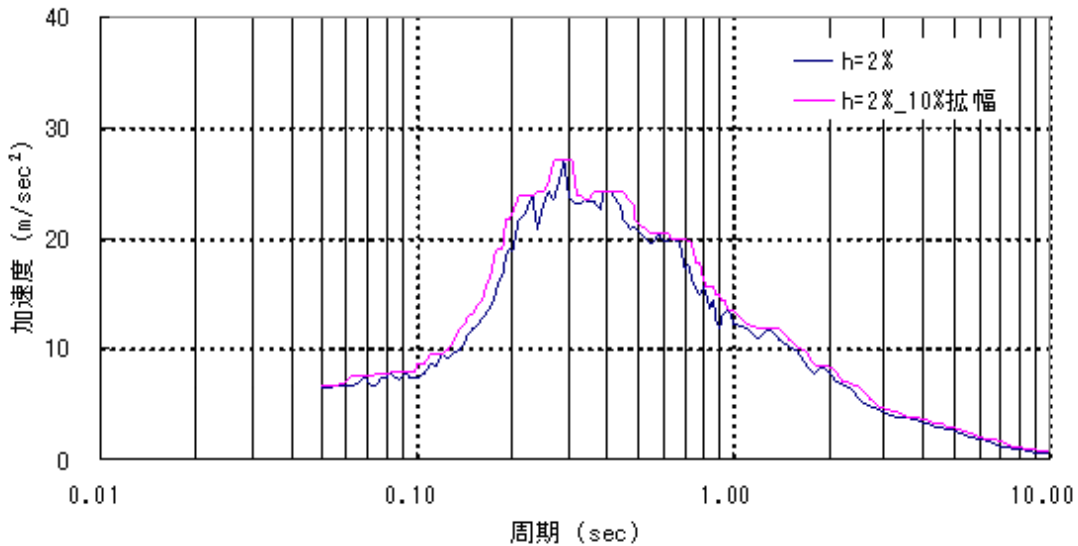


図 3-8 加速度応答包絡スペクトル S_s-H (水平 NS) ($h=2\%$)

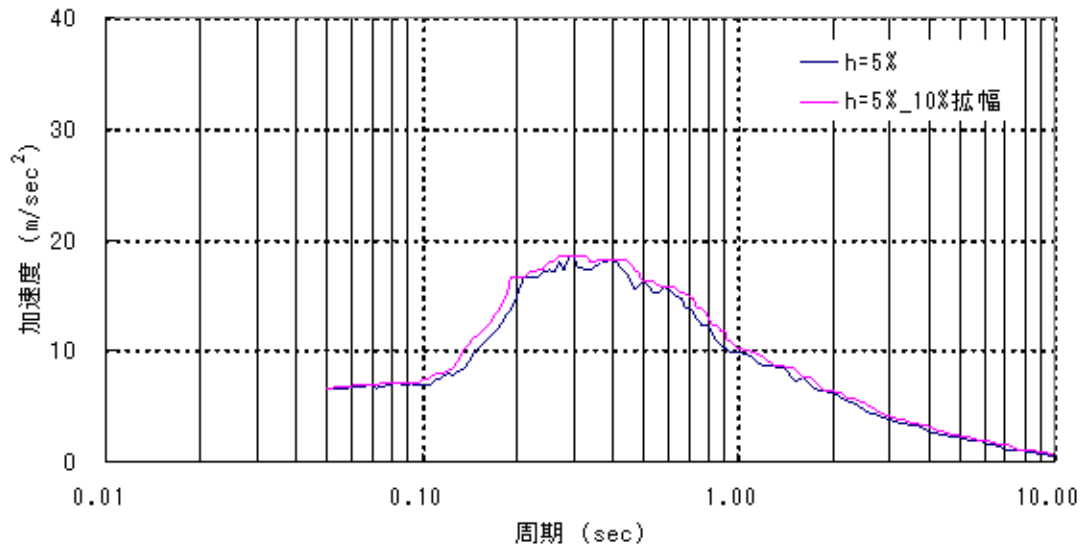


図 3-9 加速度応答包絡スペクトル S_s-H (水平 NS) (h=5%)

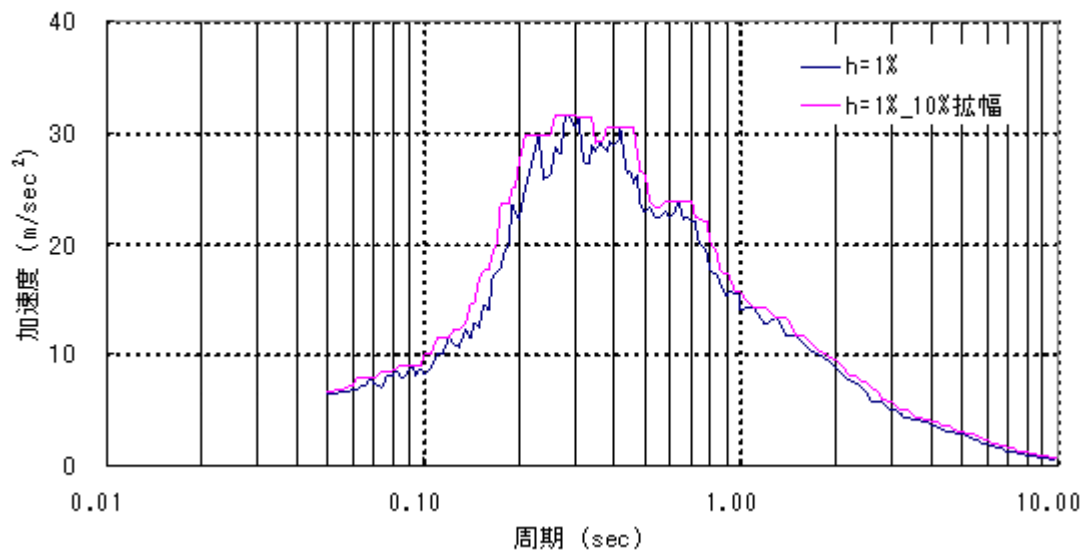


図 3-10 加速度応答包絡スペクトル S_s-H (水平 EW) (h=1%)

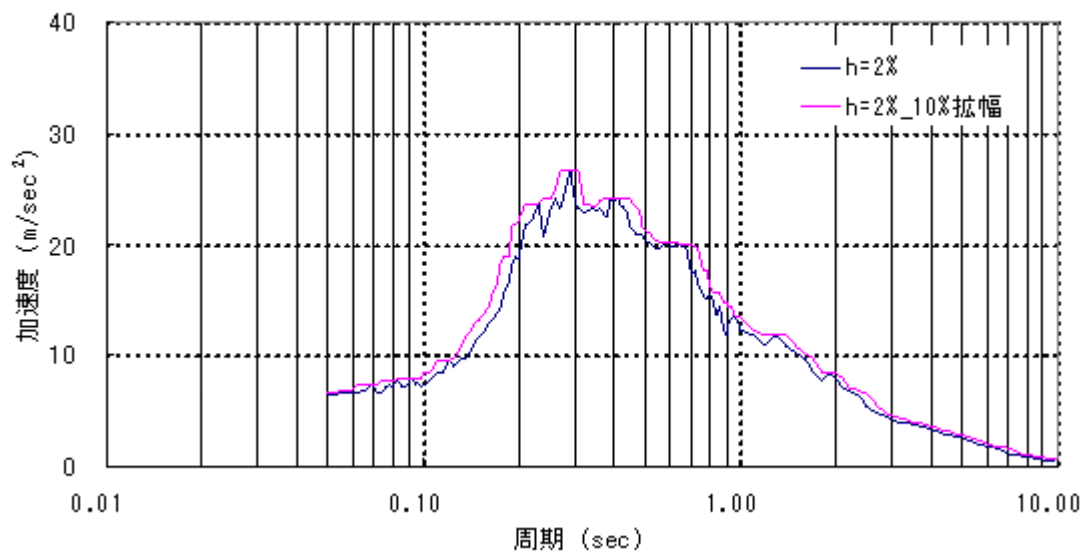


図 3-11 加速度応答包絡スペクトル S_s-H (水平 EW) (h=2%)

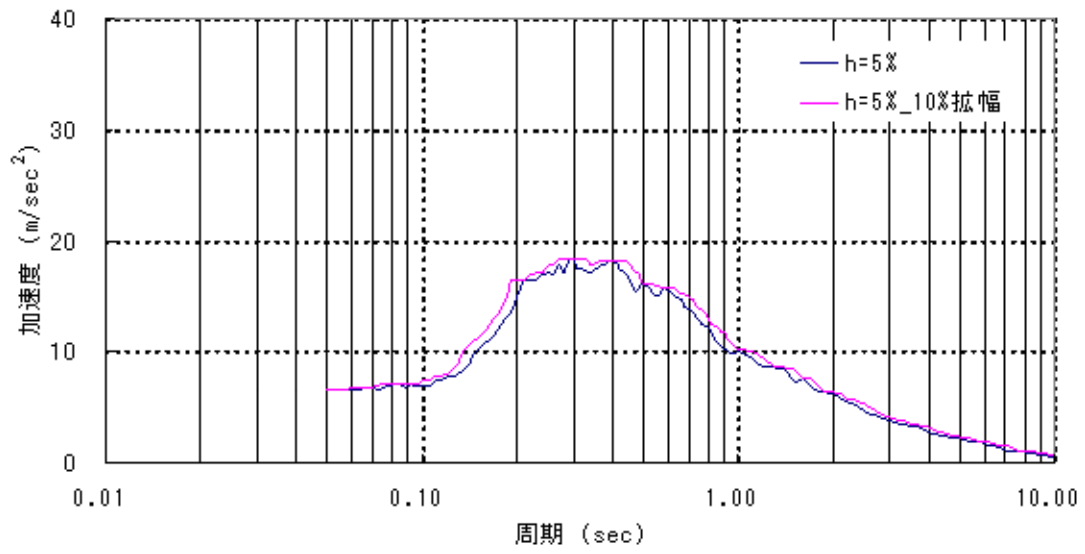


図 3-12 加速度応答包絡スペクトル Ss-H (水平 EW) ($h=5\%$)

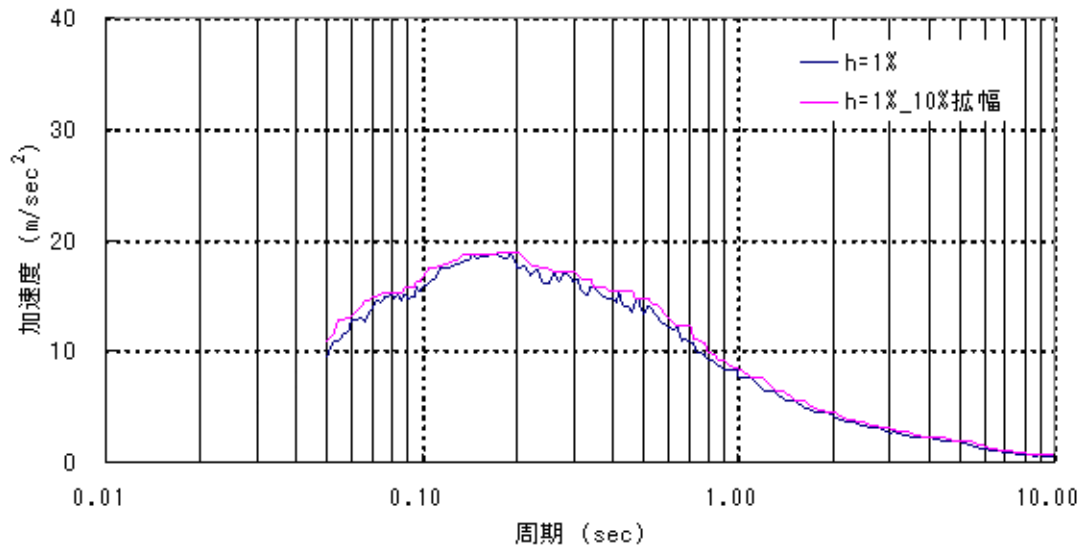


図 3-13 加速度応答包絡スペクトル S_s-V (鉛直) (h=1%)

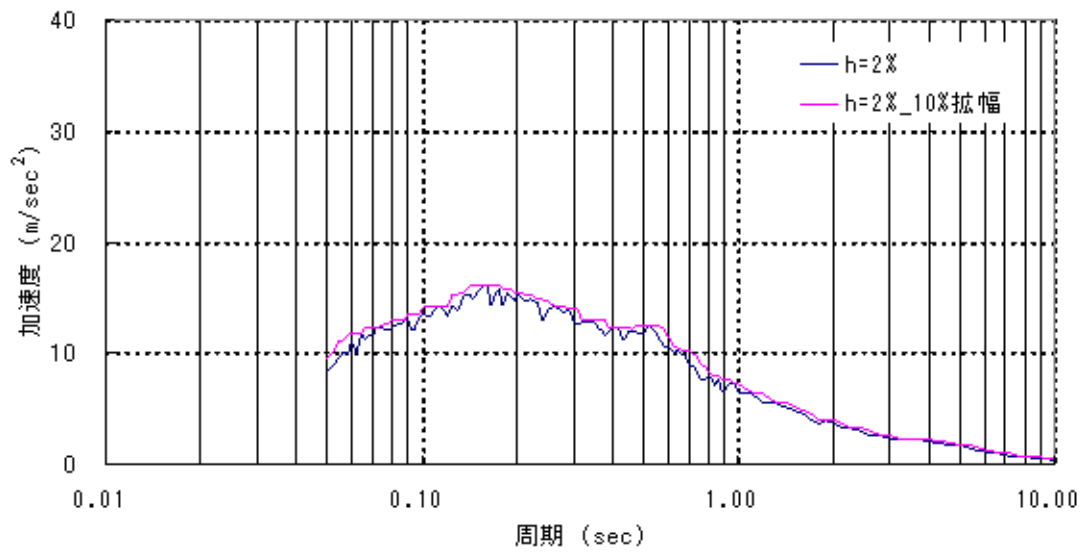


図 3-14 加速度応答包絡スペクトル S_s-V (鉛直) (h=2%)

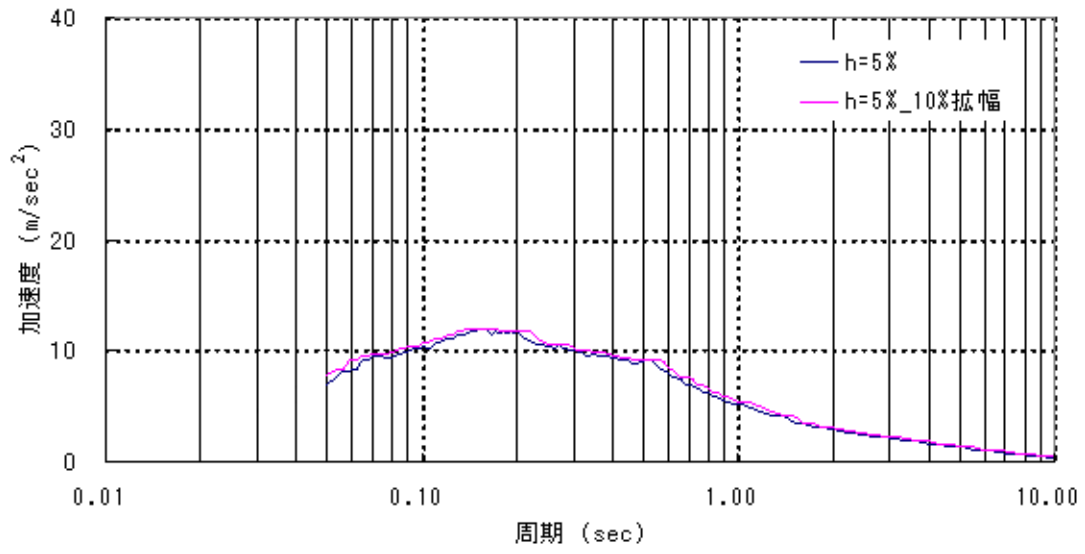


図 3-15 加速度応答包絡スペクトル Ss-V (鉛直) ($h=5\%$)

(1) 概要

Super-FLUSH/2D は、主に地盤－構造物連成系の相互作用解析を行う二次元有限要素プログラムである。

(2) 機能

Super-FLUSH/2D は、解析に際して以下の機能を有している。

- ①面外方面へのエネルギーの逸散を考慮した疑似三次元解析を行うことができる。
- ②側方の十分な拡がりを持った成層構造の地盤を表せる。
- ③歪依存による土の非線形特性を考慮できる。

(3) 使用実績

原子力発電環境整備機構の「地層処分施設の耐震性評価」にて用いられている。

耐震安全性解析に用いるコード (NASTRAN) について

(1) 概要

NASTRAN コードは 1968 年アメリカ航空宇宙局 (NASA) で開発され、1971 年に米国 MacNeal-Schwendler Corporation (MSC 社) から発売された有限要素法に基づく構造解析等の汎用解析コード (MSCNastran) であり、航空宇宙、自動車、造船、重機械、原子力機器、土木・建設など重工業を中心に広く受け入れられている。輸送キャスクでは固有振動解析に利用されている。

(2) 機能

NASTRAN コードは固有振動解析に際して以下の機能を有している。

- ①ある固有振動範囲の設定、あるいは必要固有値個数を設定すればその範囲の多くの固有振動及び必要固有値個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ②各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③引張等の初期応力があれば、この初期応力を考慮した固有振動解析ができる。
- ④スペクトルモード解析の入力データとして固有振動解析結果をそのまま利用できる。
- ⑤使用要素は一次元～三次元の多くの要素が適用できる。
- ⑥質量は集中質量、分布質量が適用できる。

(3) 解析フロー

NASTRAN コードの固有振動解析フローを図 3-16 に示す。

(4) 使用実績

NASTRAN コードは、これまで多くの固有振動解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認。

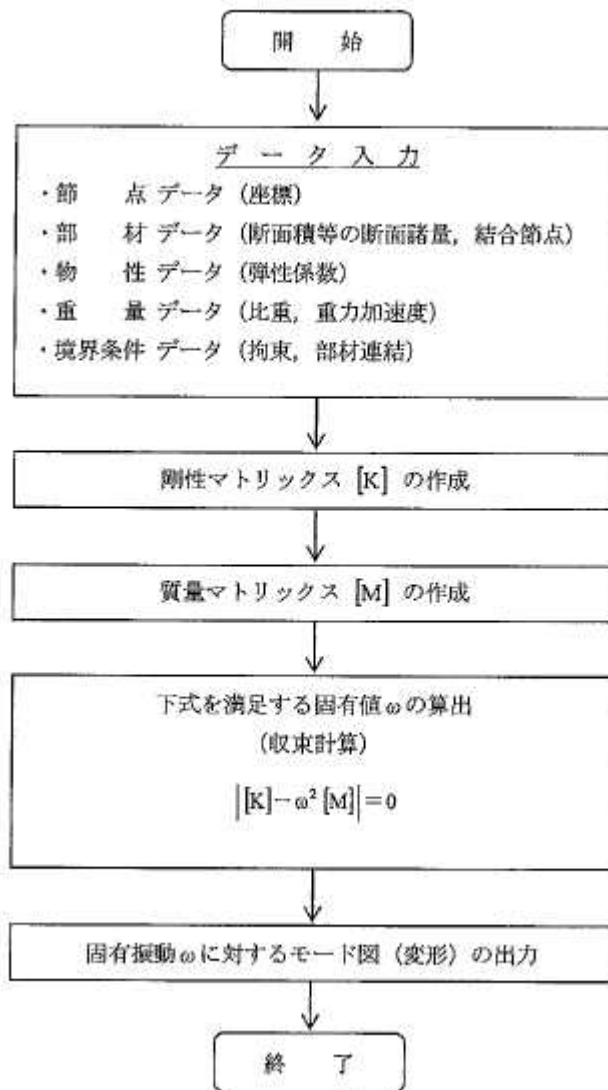


図 3-16 NASTRAN コードの固有振動解析フロー図

耐震安全性解析に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは米国Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Inc (KHS社)で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの応力解析等に広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ①定常・非定常の弾性・弾塑性のいずれの解も得ることができる。
- ②材料特性として時間依存、歪の履歴依存並びに等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③モデルの形状は一次元～三次元、また連続体についても取り扱うことができる。
- ④伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤荷重条件として集中荷重、分布荷重、モーメント、加速度力 (慣性力)、圧力、遠心力、コリオリ力等が取り扱える。また、これら条件の時間依存、線形変化に対しても対応可能である。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 3-17 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは、これまで多くの固有振動解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認。

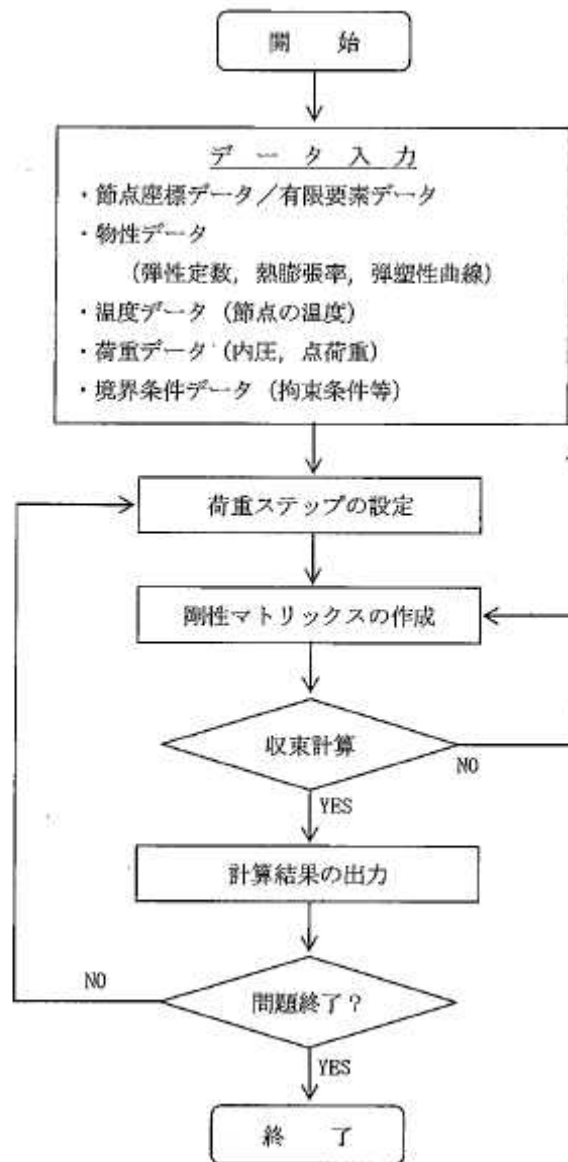


図 3-17 ABAQUS コードの解析フロー図

構造強度及び耐震性について

1 構造強度

1.1 乾式キャスクの構造強度

(1) 乾式貯蔵キャスク

1) 評価方針

本設備で保管する乾式貯蔵キャスク及び支持架台は、既存設計のものを使用し、乾式貯蔵キャスクの安全機能に関しては、添付資料－2「評価の基本方針」で記載している既存評価書にて評価されている。

乾式貯蔵キャスク及び支持架台の構造強度については、既存評価の結果を基に、乾式貯蔵キャスクの構造強度が本設置場所での保管に適合していることを確認する。

2) 主な構成部材と適用基準

① 主な構成部材

乾式貯蔵キャスク及び支持架台の構造強度設計は、要求される安全機能を維持するため、次の構造部材について評価する。

A. キャスク容器

乾式貯蔵キャスクのうち、放射性物質を閉じ込めるための圧力バウンダリを構成するものであって、胴板、底板、一次蓋、一次蓋締付けボルト、貫通孔蓋板及び貫通孔蓋板締付けボルトをいう。

B. バスケット

乾式貯蔵キャスクの容器内に配置され、使用済燃料を収納し、かつ燃料間距離を保つことにより、燃料の支持機能及び臨界防止機能を併せ持つものであって、バスケットプレート、バスケットサポート及びバスケットサポート取付けボルトをいう。

C. トラニオン

乾式貯蔵キャスクの取扱い時及び仮保管時の支持のため、吊上げ及び固定に使用されるものであって、トラニオン及びトラニオン締付けボルトをいう。

D. 二次蓋

乾式貯蔵キャスクの密封監視のために圧力空間を保持するための部材である。

E. 支持架台

乾式貯蔵キャスクの仮保管時にトラニオンを支持する構造であり、乾式貯蔵キャスク全体を支持するものであって、支持架台、固定ボルト及び基礎ボルトをいう。なお、基礎ボルトについては、本設備において新たに設置するため、本評価から除き、耐震性についての説明書に記載する。

② 適用基準と規格

乾式貯蔵キャスクの構造強度設計における適用基準と規格を構造部材ごとに表 1.1-1

に示す。

表 1.1-1 乾式貯蔵キャスクの構造強度に係る適用基準・規格

| 機器 | 設計・建設規格 機器区分 | 構造強度 評価方法 | 考え方 |
|--------|-----------------|-----------------------|---|
| キャスク容器 | クラス 3 容器 | クラス 1 容器の 規定を準用 | 放射性物質を貯蔵する観点から、使用済燃料プールや使用済樹脂貯蔵タンク等と同様に JSME 設計・建設規格の区分の定義からクラス 3 容器に区分されるものと考えられる。しかしながら、構造強度評価方法については、熱荷重や取扱い時の衝撃荷重等の各種の荷重の作用が想定されることから応力解析により発生応力を求めて評価することが必要であり、構造強度評価手法は「解析による設計」の考え方が採用されている JSME 設計・建設規格のクラス 1 容器に準拠することとする。 |
| バスケット | ノンクラス | 炉心支持構造物の規 定を準用 | バスケットは、使用済燃料ラックと同様に JSME 設計・建設規格の区分の定義に当てはまらなないと考える。しかしながら、使用済燃料を直接支持する部材であるため、構造強度評価手法は JSME 設計・建設規格の炉心支持構造物に準拠することとする。なお、バスケット材料として使用するアルミニウム合金(A6061P)及びボロン添加アルミニウム合金(B-A0)は、「使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格(2007年版) JSME S FA1-2007」の規定に準じてバスケット材料として A6061P 及び B-A0 を使用すると共に、材料と強度評価手法の整合の観点から、バスケットは構造規格に準じた評価手法による強度評価も行う。 |
| トラニオン | クラス 3 支持構造物 | クラス 1 支持構造物 の規定を準用 | トラニオンはキャスク容器を支持することから、JSME 設計・建設規格の区分の定義からクラス 3 支持構造物に区分されるものと考えられる。しかしながら、乾式貯蔵キャスク全体を支持するため、キャスク容器との整合をとり、構造強度評価手法は JSME 設計・建設規格のクラス 1 支持構造物に準拠することとする。 |
| 二次蓋 | ノンクラス | クラス 3 容器の 規定を準用 | JSME 設計・建設規格に該当する機器区分はないものと考えられる。しかしながら、乾式貯蔵キャスクの貯蔵時の密封監視のために圧力空間を保持するための部材であり、二次蓋及び一次蓋の蓋間内が正圧となる。したがって、構造強度評価手法はクラス 3 容器の規定に準拠することとする。 |
| 支持架台 | クラス 3 支持構造物 | クラス 1 支持構造物 の規定を準用 | 支持架台は、トラニオンと同様にキャスク容器を支持することから、JSME 設計・建設規格の区分の定義からクラス 3 支持構造物に区分されるものと考えられる。しかしながら、保管時にトラニオンを支持するため、トラニオンとの整合をとり、構造強度評価手法は JSME 設計・建設規格のクラス 1 支持構造物に準拠することとする。 |

3) 既存評価書における構造強度評価方法

① 設計条件

乾式貯蔵キャスク及び支持架台の構造評価に当たっての荷重を以下に示す。

A. 圧力による荷重

乾式貯蔵キャスク各部の内面及び外面が受ける最高使用圧力、取り扱い時及び貯蔵時に受ける圧力並びに試験圧力による荷重をいう。

既存評価における乾式貯蔵キャスクの最高使用圧力を以下に示す。

キャスク容器：1.6 MPa

二次蓋：0.4 MPa

B. 機械的荷重

自重、衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。機械的荷重の主なものは以下の通りである。

- a. 自重による荷重
- b. ボルト締付け力
- c. 運搬時荷重
- d. 吊上げ荷重
- e. 衝撃荷重

C. 熱荷重

乾式貯蔵キャスクに生じる温度変化、温度こう配による荷重であって、熱解析の結果から得られるものをいう。

既存評価において用いる各構造部材の最高使用温度を以下に示す。

キャスク容器：170℃

バスケット：225℃

トラニオン：170℃

支持架台：50℃

② 評価方法

乾式貯蔵キャスク及び支持架台の構造解析フローを図 1.1-1 に、主な構造部材の応力評価箇所を図 1.1-2(1)～(4)に示す。

A. キャスク容器

キャスク容器の胴、底板及び蓋部等の構造強度は、想定される圧力荷重、機械的荷重、熱荷重をもとに、キャスク容器の実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS を用いて胴、底板、一次蓋、一次蓋締付けボルト等の応力評価を行う。

ABAQUS による解析は、圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む応力の解析及び温度分布計算に使用する。

B. バスケット

バスケットの構造強度評価は、想定される機械的荷重、熱荷重をもとにバスケットの

実形状をモデル化し、構造解析コード ABAQUS 及び応力評価式を用いて応力評価を行う。

ABAQUS による解析は、荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む応力の解析及び温度分布計算に使用する。

C. トラニオン

トラニオンの構造強度評価は想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

D. 二次蓋

二次蓋の構造強度評価は想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

E. 支持架台

支持架台の構造強度評価は想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

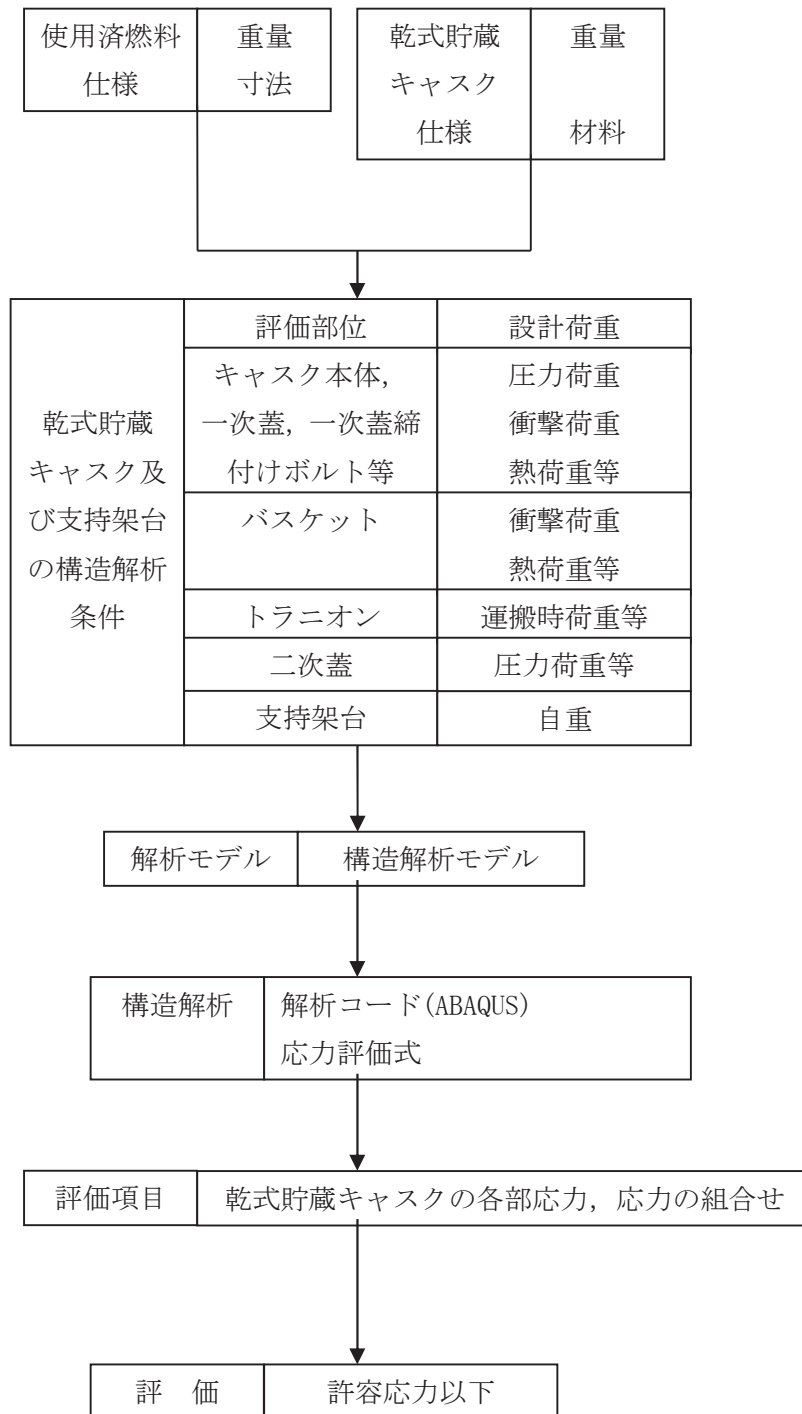


図 1.1-1 乾式貯蔵キャスク及び支持架台の構造強度評価フロー

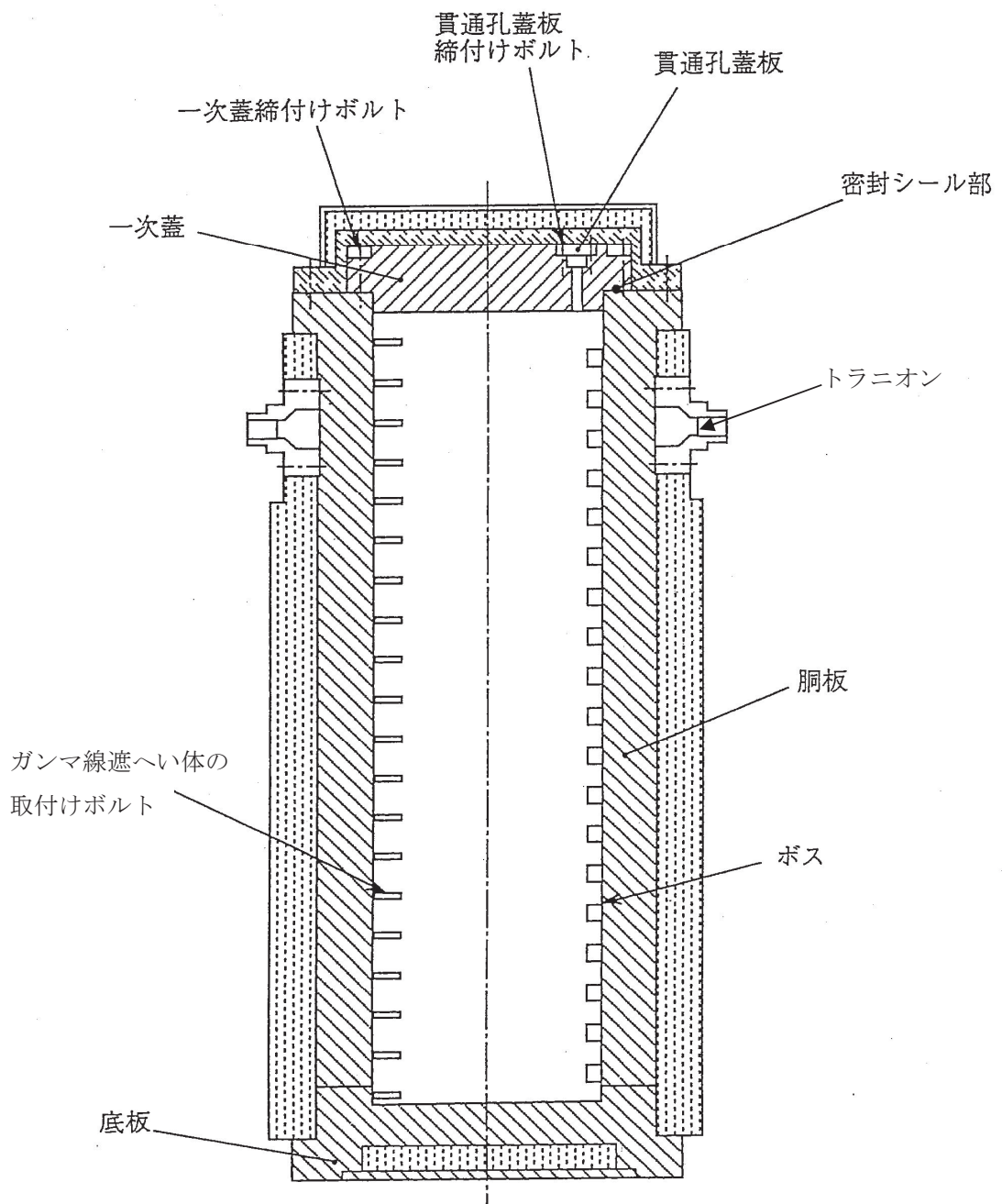


図 1.1-2 (1) キャスク容器の応力評価箇所 (全体断面図)

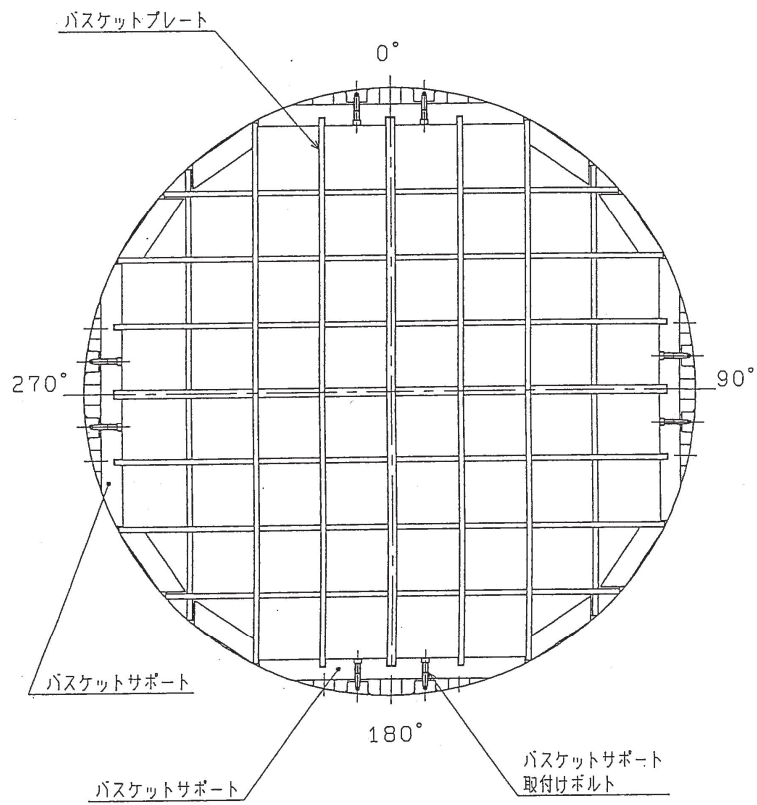


図 1.1-2 (2) バスケットの応力評価箇所

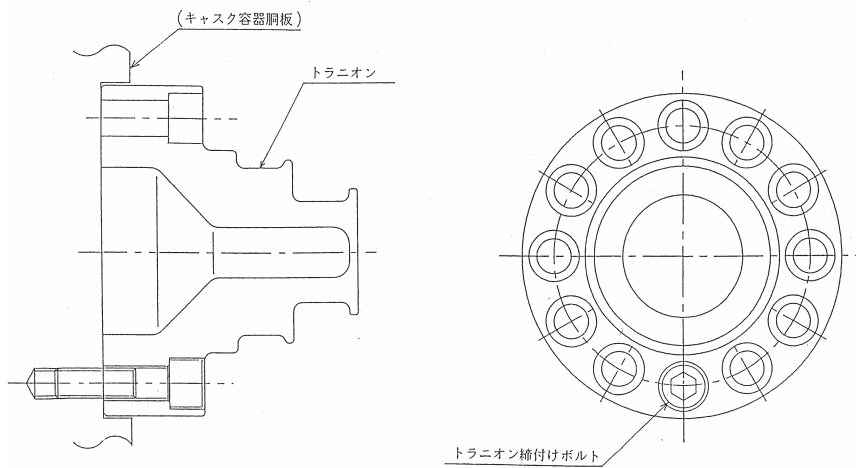
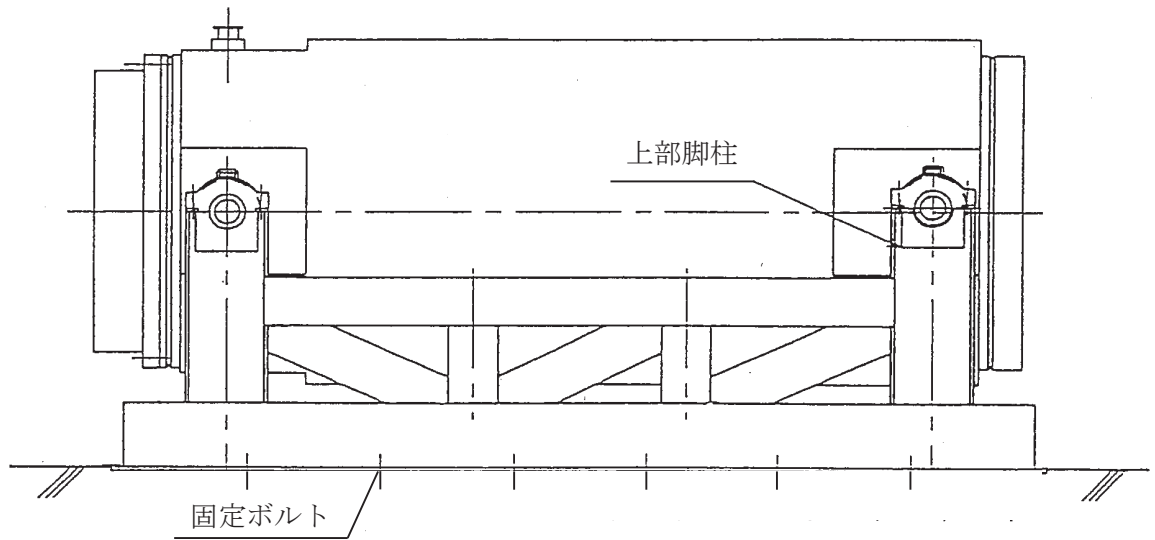
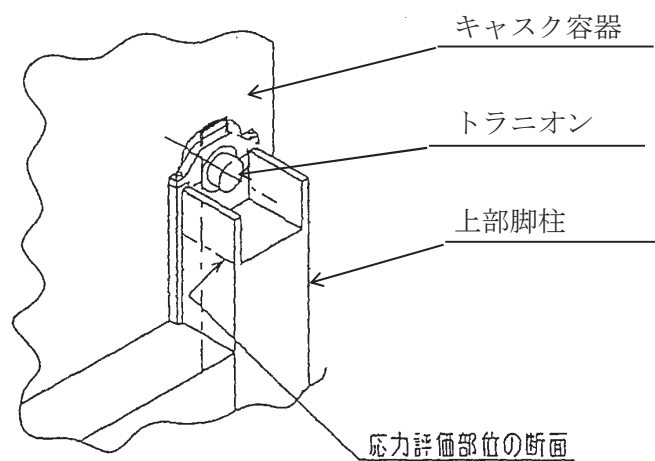


図 1.1-2 (3) トランニオンの応力評価箇所



a) 支持架台の応力評価箇所



b) 上部脚柱詳細

図 1.1-2 (4) 支持架台の応力評価箇所

③ 設計事象と荷重の組み合わせ

乾式貯蔵キャスクの構造強度評価において考慮する設計事象を表 1.1-2 に示す。
既存評価における選定事象は以下の通りである。

[設計事象Ⅰ]

- ・貯蔵
- ・乾式貯蔵キャスクの吊上げ，吊下げ，移動
- ・事業所内運搬

[設計事象Ⅱ]

- ・コンクリート基礎への支持架台付きでの衝突

また，各設計事象においてキャスク容器，バスケット，トラニオン，二次蓋及び支持架台の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 1.1-3(1)～(5)に示す。（地震時を除く）

表 1.1-2 乾式貯蔵キャスクの設計事象

| 設計事象 | 定義 | 解説 | 既存評価における選定事象 |
|------|---|--|---|
| I | 乾式貯蔵キャスクの通常取扱い時及び貯蔵時の状態をいう。 | 貯蔵状態及び計画的な取扱い状態。 | <ul style="list-style-type: none"> 貯蔵 乾式貯蔵キャスクの吊上げ, 吊下げ, 移動 事業所内運搬 |
| II | 設計事象 I, 設計事象 III, 設計事象 IV 及び試験状態以外の状態をいう。 | 乾式貯蔵キャスクの寿命程度の期間中に予想される取扱い機器の単一故障, 単一誤動作等の事象によって, 乾式貯蔵キャスクが通常貯蔵状態あるいは通常取扱い状態から外れるような状態をいう。 | <ul style="list-style-type: none"> 乾式貯蔵キャスクの異常着床 乾式貯蔵キャスクのキャスク支持架台への衝突 |
| III | 乾式貯蔵キャスク又はその取扱い機器等の故障, 異常な作動等により, 貯蔵又は計画された取扱いの停止が緊急に必要とされる状態をいう。 | 発生頻度が十分低い事象によって引き起こされる状態をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運転員の単一誤操作等によって引き起こされるもののうち, その発生頻度が十分に低いと考えられるものを分類する。 | |
| IV | 乾式貯蔵キャスクの安全設計上想定される異常な事態が生じている状態をいう。 | 発生頻度が極めて低く, 乾式貯蔵キャスクの寿命中に起こるとは考えられない事象によって引き起こされる状態をいうが, 万一発生した場合の設計の妥当性を確保するために特に設けたものをいう。 | |
| 試験状態 | 耐圧試験によりキャスク容器に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。 | | <ul style="list-style-type: none"> 耐圧試験 (製造時) |

(JSME S FA1-2007 使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格による)

表 1.1-3 (1) キャスク容器の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 荷 重 | | ボルト初期締付け力 | 運搬時荷重 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 (基礎コンクリート への衝突) | 熱荷重 | 備 考 |
|------|---------------------|-----------------|---------------|-----------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----|--------|
| | | 圧力による荷重 | 自重による荷重 | | | | | | |
| 設計条件 | 設 計 時 | ○ ¹⁾ | ○ | ○ | ○ ²⁾ | ○ ²⁾ | ○ ²⁾ | | |
| I | 貯 蔵 時 | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | |
| | 運 搬 時 | ○ | ³⁾ | ○ | ○ | | | ○ | |
| | 吊 上 げ 時 | ○ | ³⁾ | ○ | | ○ | | ○ | |
| | 搬出前作業及び 燃料取出し作業時 | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | |
| II | 衝撃荷重作用時 | ○ | ³⁾ | ○ | | | ○ | ○ | |
| 試験状態 | 試 験 時 | ○ ⁴⁾ | ○ | ○ | | | | | |

注 1) 最高使用圧力

注 2) 運搬時荷重，吊上げ荷重及び衝撃荷重は同時に作用しないので，最大荷重を用いて評価する。

注 3) 本状態での自重による荷重は，運搬時荷重，吊上げ荷重及び衝撃荷重に含まれる。

注 4) 最高使用圧力の 1.5 倍の圧力

表 1.1-3 (2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 荷 重 | | 運搬時荷重 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 (基礎コンクリート への衝突) | 熱荷重 | 備 考 |
|------|---------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----|--------|
| | | 自重による荷重 | | | | | | |
| 設計条件 | 設 計 時 | ○ | ○ ¹⁾ | ○ ¹⁾ | ○ ¹⁾ | | | |
| I | 貯 蔵 時 | ○ | | | | | ○ | |
| | 運 搬 時 | ²⁾ | ○ | | | | ○ | |
| | 吊 上 げ 時 | ²⁾ | | ○ | | | ○ | |
| II | 衝撃荷重作用時 | ²⁾ | | | | ○ | ○ | |

注 1) 運搬時荷重，吊上げ荷重及び衝撃荷重は同時に作用しないので，最大荷重を用いて評価する。

注 2) 本状態での自重による荷重は，運搬時荷重，吊上げ荷重及び衝撃荷重に含まれる。

表 1.1-3 (3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 荷 重 | | | | | 熱荷重 ¹⁾ | 備考 |
|------|---------|---------------|---------|-------|-------|------------------------|-------------------|----|
| | | 荷重時 | 自重による荷重 | 運搬時荷重 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 (基礎コンクリートへの衝突) | | |
| I | 貯蔵時 | ○ | | | | | ○ | |
| | 運搬時 | ²⁾ | ○ | | | | ○ | |
| | 吊上げ時 | ²⁾ | | | ○ | | ○ | |
| II | 衝撃荷重作用時 | ²⁾ | | | | ○ | ○ | |

注 1) 乾式貯蔵キャスクにおける温度変化により生じる荷重をいう。ただし、キャスク容器の熱膨張により生じる荷重に限る。

注 2) 本状態での自重による荷重は、運搬時荷重、吊上げ荷重及び衝撃荷重に含まれる。

表 1.1-3 (4) 二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 荷 重 | | | | | | 熱荷重 | 備考 |
|------|-----|-----|---------|------------|---------|-------|-------|-----|----|
| | | 荷重時 | 圧力による荷重 | ガスケットからの荷重 | 自重による荷重 | 運搬時荷重 | 吊上げ荷重 | | |
| I | 貯蔵時 | ○ | ○ | ○ | | | | | |

表 1.1-3 (5) 支持架台の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | 荷重時 | 荷 重 | | | | | 備 考 |
|------|-----|---------|-------|-------|----------------------------|-------------------|--------|
| | | 自重による荷重 | 運搬時荷重 | 吊上げ荷重 | トへの衝突) 衝撃荷重 (基礎コンクリー | ¹⁾ 熱荷重 | |
| I | 貯蔵時 | ○ | | | | ○ | |

注 1) 乾式貯蔵キャスクにおける温度変化により生じる荷重をいう。ただし、キャスク容器の熱膨張により生じる荷重に限る。

④ 評価結果

既存評価の評価結果から規定を満足していることが確認されている。評価結果については参考資料に示す。

4) 本設備での評価

表 1.1-4(1)～(4)に本仮保管設備での荷重条件と既存評価との比較を示す。

なお、二次蓋については圧力による荷重等により評価されるが、既存評価と本仮置設備での評価でこれらの荷重条件に変更がないため、既存評価と差異はない。

以上から、本仮保管設備での荷重条件は既存評価における荷重条件に包絡されることから、本仮保管設備の乾式貯蔵キャスクの構造強度は規定を満たす。

表 1.1-4(1) 既存評価との荷重条件の比較 (キャスク容器)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 既存評価 (1Fキャスク工認) | | | |
|----------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| | 代表 事象 ^{注1)} | 包絡され る事象 | 荷重条件 | 評価結果 | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| 設計 条件 | 設計時 | — | 運搬時と 同じ | 既存評価と同じ荷重 条件 | 設計時 | — | 運搬時と 同じ | 設計時のうち、運搬時荷 重、吊上げ荷重及び衝撃荷 重の中で荷重条件が最も 厳しいのは運搬時荷重 |
| I | 貯蔵時 | — | 圧力, 自重, ボルト, 熱 | 既存評価と同じ荷重 条件 | 貯蔵時 | — | 圧力, 自重, ボルト, 熱 | 設計事象 I のうち大半の 期間を占める代表的事象 |
| | 運搬時 | ・仮保管設 備内 での吊上 げ | 圧力, ボルト, 運搬 ^{注2)} , 熱 | 既存評価と同じ荷重 条件 | 運搬時 | ・取扱い時 (原子 炉建屋内での吊 上げ) ・真空乾燥時 ・取扱い時 (保管 建屋内での吊上 げ) | 圧力, ボルト, 運搬 ^{注2)} , 熱 | 荷重条件が最も厳しいた め、代表事象は運搬時 |
| II | 基礎コン クリート への架台 付き衝突 | — | 圧力, ボルト, 衝撃, 熱 | 「3.2 異常事象の評価」 の結果から、運搬時の 荷重条件に包絡 ^{注3)} | 異常着床 | — | 圧力, ボルト, 熱, 衝撃 ^{注4)} | — |
| | | | | | キャスク支 持架台への 衝突 (保管建屋 内) | キャスク支持架台 への衝突 (原子炉 建屋内) | 圧力, ボルト, 熱, 衝撃 ^{注4)} | 板厚の薄い胴板が衝突す る保管建屋内での事象が 代表事象 |
| 試験 状態 | 試験時 | — | 圧力 ^{注5)} , 自重, ボルト | 既存評価と同じ荷重 条件 | 試験時 | — | 圧力 ^{注5)} , 自 重, ボルト | — |

注1) 本事象について応力解析を行う。

注2) 運搬時の荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を考慮), 前後方向 2G, 左右方向 1G

注3) 「3.2 異常事象の評価」の結果より衝撃荷重は中型乾式貯蔵キャスクで 2.75G, 大型乾式貯蔵キャスクで 2.63G となり、運搬時の下方向荷重 3G に包絡される。

注4) 衝撃荷重は 2G であり、自重を含む。

注5) クラス 3 容器の試験圧力である最高使用圧力の 1.5 倍の圧力

表 1.1-4(2) 既存評価との荷重条件の比較 (バスケット)

| 設計事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 既存評価 (1F キャスク工認) | | | |
|------|---------------------|--------------|-----------------------|---|----------------------|---|-----------------------|--|
| | 代表事象 ^{注1)} | 包絡される事象 | 荷重条件 | 評価結果 | 代表事象 | 包絡される事象 | 荷重条件 | 備考 |
| 設計条件 | 設計時 | — | 運搬時と同じ | 既存評価と同じ荷重条件 | 設計時 | — | 運搬時と同じ | 設計時のうち、運搬時荷重、吊上げ荷重及び衝撃荷重の中で荷重条件が最も厳しいのは運搬時荷重 |
| I | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 既存評価と同じ荷重条件 | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 設計事象 I のうち大半の期間を占める代表的事象 |
| | 運搬時 | ・仮保管設備内での吊上げ | 運搬 ^{注2)} , 熱 | 既存評価と同じ荷重条件 | 運搬時 | ・取扱い時 (原子炉建屋内での吊上げ) ・真空乾燥時 ・取扱い時 (保管建屋内での吊上げ) | 運搬 ^{注2)} , 熱 | 荷重条件が最も厳しいため、代表事象は運搬時 |
| II | 基礎コンクリートへの架台付き衝突 | — | 熱, 衝撃 | 「3.2 異常事象の評価」の結果から、運搬時の荷重条件に包絡 ^{注3)} | 異常着床 | — | 熱, 衝撃 ^{注4)} | — |
| | | | | | キャスク支持架台への衝突 (保管建屋内) | キャスク支持架台への衝突 (原子炉建屋内) | 熱, 衝撃 ^{注4)} | 板厚の薄い胴板が衝突する保管建屋内での事象が代表事象 |

注1) 本事象について応力解析を行う。

注2) 運搬時の荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を考慮), 前後方向 2G, 左右方向 1G

注3) 「3.2 異常事象の評価」の結果より衝撃荷重は大型乾式貯蔵キャスクで 2.63G, 中型乾式貯蔵キャスクで 2.75G となり、運搬時の下方向荷重 3G に包絡される。

注4) 衝撃荷重は 2G であり、自重を含む。

表 1.1-4(3) 既存評価との荷重条件の比較 (トラニオン)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 既存評価 (1Fキャスク工認) | | | |
|----------|------------------------------|-------------|-----------------------|--|-------------------------------------|---|-----------------------|------------------------------|
| | 代表 事象 ^{注1)} | 包絡され る事象 | 荷重条件 | 評価結果 | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| I | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 既存評価と同じ荷重 条件 | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 設計事象 I のうち大半の 期間を占める代表的事象 |
| | 運搬時 | — | 運搬 ^{注2)} , 熱 | 既存評価と同じ荷重 条件 | 運搬時 | <ul style="list-style-type: none"> ・取扱い時 (原子 炉建屋内での吊 上げ) ・真空乾燥時 ・取扱い時 (保管 建屋内での吊上 げ) | 運搬 ^{注2)} , 熱 | 荷重条件が最も厳しい事 象 |
| | 吊上げ時 | — | 熱, 吊上げ ^{注3)} | 既存評価と同じ荷重 条件 | 吊上げ時 | — | 熱, 吊上げ ^{注3)} | — |
| II | 基礎コン クリート への架台 付き衝突 | — | 熱, 衝撃 | 「3.2 異常事象の評価」 の結果から, 運搬時の 荷重条件に包絡 ^{注4)} | 異常着床 | — | — | トラニオンに支持機能が 働かない状態 |
| | | | | | キャスク支 持架台への 衝突 (保管建屋 内) | — | — | この荷重条件は運搬時に 包絡 |

注1) 本事象について応力解析を行う。

注2) 運搬時の荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を考慮), 前後方向 2G, 左右方向 1G

注3) 吊上げ荷重は 1.32G であり, 自重を含む。

注4) 「3.2 異常事象の評価」の結果より衝撃荷重は中型乾式貯蔵キャスクで 2.75G, 大型乾式貯蔵キャスクで 2.63G となり, 運搬時の下
方向荷重 3G に包絡される。

表 1. 1-4(4) 既存評価との荷重条件の比較 (支持架台)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 既存評価 (1 F キャスク工認) | | | |
|----------|-------------------------|-------------|-------|-----------------|-------------------|-------------|-------|------------------------------|
| | 代表 事象 ^{注1)} | 包絡され る事象 | 荷重条件 | 評価結果 | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| I | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 既存評価と同じ荷重 条件 | 貯蔵時 | — | 自重, 熱 | 設計事象 I のうち大半の 期間を占める代表的事象 |

注1) 本事象について応力解析を行う。

参考資料

福島第一原子力発電所第6号機 工事計画認可申請書本文及び添付資料
福島第一原子力発電所第4号機 工事計画認可申請書本文及び添付資料
における応力計算結果の抜粋（地震時を除く）

1. 乾式貯蔵キャスク(大型) (出典:福島第一原子力発電所第6号機 工事計画認可申請書本文及び添付資料 IV-3-2 使用済燃料乾式貯蔵容器の応力計算書)

1.1 キャスク容器(1/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | 一次局部膜応力強さ | | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 一次+二次応力強さ | |
|-------------------|---------|-------|-----------|------|-----------|------|------------------|------|-----------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 胴 板 | GLF1相当 | 設計時 | 7 | 120 | 17 | 181 | 19 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 42 | 362 |
| | | 試験時 | 8 | 162 | 5 | 244 | 11 | 244 | — | — |
| 一次蓋 | GLF1相当 | 設計時 | 1 | 120 | 15 | 181 | 29 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 29 | 362 |
| | | 試験時 | 1 | 162 | 20 | 244 | 37 | 244 | — | — |
| 底 板 | GLF1相当 | 設計時 | 3 | 120 | 8 | 181 | 9 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 17 | 362 |
| | | 試験時 | 3 | 162 | 6 | 244 | 12 | 244 | — | — |
| 貫通孔蓋板 | SUS304 | 設計時 | 7 | 133 | 33 | 200 | 49 | 200 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 58 | 401 |
| | | 試験時 | 8 | 135 | 33 | 203 | 49 | 203 | — | — |
| 密封シール部 | GLF1相当 | 設計時 | 16 | 120 | — | — | 17 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 15 | 181 |
| | | 試験時 | 10 | 162 | — | — | 10 | 181 | 10 | 181 |
| ボス溶接部 | SUS304L | 設計時 | 19 | 56 | — | — | 19 | 84 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 54 | 168 |
| | | 試験時 | 1 | 57 | — | — | 1 | 85 | — | — |
| ガンマ線遮へい体取付けボルト溶接部 | SUS304 | 設計時 | 9 | 60 | — | — | 9 | 90 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 99 | 181 |
| | | 試験時 | 3 | 67 | — | — | 3 | 101 | — | — |

キャスク容器(2/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 平均引張応力+ 曲げ応力 | |
|-------------|------|-------|--------|------|-----------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 一次蓋締付けボルト | GBL1 | 設計時 | 89 | 216 | — | — |
| | | I, II | 93 | 433 | 123 | 650 |
| 貫通孔蓋板締付けボルト | GBL1 | 設計時 | 199 | 216 | — | — |
| | | I, II | 234 | 433 | 306 | 650 |

許容応力は設計・建設規格による。

1.2 バスケット(1/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 一次+二次応力強さ | | |
|-----------|--------------|-------|-----------|--------------------|-----|--------------|--------------------|-----|-----------------|--------------------|------------------|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | |
| バスケットプレート | A6061P及びB-A0 | 設計時 | 5 | 33 | 33 | 8 | 49 | 49 | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 11 | 99 | — |
| | | | — | — | — | — | — | — | 9 ²⁾ | — | 49 ²⁾ |
| バスケットサポート | SUS304 | 設計時 | 6 | 126 | 126 | 6 | 189 | 189 | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 6 | 378 | 378 |

バスケット(2/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 一次膜+二次膜応力強さ | | | (一次+二次)膜応力+曲げ応力強さ | | |
|-----------------|--------|-------|-----------|--------------------|-----|--------------|--------------------|---|-------------|--------------------|-----|-------------------|--------------------|-----|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | |
| バスケットサポート取付けボルト | SUS304 | 設計時 | 72 | 126 | 126 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 77 | 125 | 125 | 77 | 166 | 166 |

注1) 設計・建設規格に基づく許容応力値を左側に、構造規格に基づく許容応力値を右側に示す。

注2) 応力強さのサイクルにおける応力の最大値を評価。

1.3 トラニオン(1/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | | | 引張応力 | | 圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | | 支圧応力 | | 組合せ応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | SUS630 | I | 10 | 390 | 10 | 389 | 88 | 225 | 188 | 390 | 37 | 732 | 242 | 390 |

トラニオン(2/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次+二次応力 | | | | | | | |
|-------|--------|------|---------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 引張・圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | | 支圧応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | SUS630 | I | 20 | 1172 | 99 | 676 | 188 | 1172 | 37 | 1098 |

トラニオン(3/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | 引張応力 | | せん断応力 | | 組合せ応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン締付けボルト | GBL1 | I | 233 | 324 | 85 | 249 | 275 | 324 |

許容応力は設計・建設規格による。

1.4 二次蓋

(厚さの単位:mm)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 設計厚さ | 必要厚さ |
|----|---------|------|-------|-------|
| 平板 | SUSF304 | I | 90.00 | 71.81 |
| 胴 | SUSF304 | I | 57.00 | 3.05 |

許容応力は設計・建設規格による。

1.5 支持架台

(応力値の単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 ¹⁾ | |
|------|----------------|------|--------------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 |
| 支持架台 | 炭素鋼 (SS400) | I | 11 | 141 |

許容応力は設計・建設規格による。

注 1) 圧縮, 曲げ, せん断による組合せ応力

2. 乾式貯蔵キャスク(中型) (出典:福島第一原子力発電所第4号機 工事計画認可申請書本文及び添付資料 IV-3-2 使用済燃料乾式貯蔵容器の応力計算書)

2.1 キャスク容器(1/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | 一次局部膜応力強さ | | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 一次+二次応力強さ | |
|----------------------------|--------|-------|-----------|------|-----------|------|------------------|------|-----------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 胴 板 | GLF1相当 | 設計時 | 6 | 120 | 10 | 181 | 13 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 36 | 362 |
| | | 試験時 | 7 | 162 | 4 | 244 | 10 | 244 | — | — |
| 一次蓋 | GLF1相当 | 設計時 | 1 | 120 | 13 | 181 | 24 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 24 | 362 |
| | | 試験時 | 1 | 162 | 17 | 244 | 28 | 244 | — | — |
| 底 板 | GLF1相当 | 設計時 | 2 | 120 | 12 | 181 | 14 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 16 | 362 |
| | | 試験時 | 3 | 162 | 5 | 244 | 9 | 244 | — | — |
| 貫通孔蓋板 | SUS304 | 設計時 | 9 | 133 | 33 | 200 | 50 | 200 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 58 | 401 |
| | | 試験時 | 10 | 135 | 33 | 203 | 50 | 203 | — | — |
| 密封シール部 | GLF1相当 | 設計時 | 16 | 120 | — | — | 17 | 181 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 15 | 181 |
| | | 試験時 | 9 | 162 | — | — | 9 | 181 | 9 | 181 |
| バスケットサ ポート取付け ボルト溶接部 | SUS304 | 設計時 | 60 | 60 | — | — | 60 | 90 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 142 | 181 |
| | | 試験時 | 4 | 67 | — | — | 4 | 101 | — | — |
| ガンマ線遮へ い体取付けボ ルト溶接部 | SUS304 | 設計時 | 9 | 60 | — | — | 9 | 90 | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 97 | 181 |
| | | 試験時 | 3 | 67 | — | — | 3 | 101 | — | — |

キャスク容器(2/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 平均引張応力+ 曲げ応力 | |
|-----------------|------|-------|--------|------|-----------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 一次蓋締付け ボルト | GBL1 | 設計時 | 84 | 216 | — | — |
| | | I, II | 88 | 433 | 113 | 650 |
| 貫通孔蓋板締 付けボルト | GBL1 | 設計時 | 198 | 216 | — | — |
| | | I, II | 230 | 433 | 299 | 650 |

許容応力は設計・建設規格による。

2.2 バスケット(1/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 一次+二次応力強さ | | |
|-----------|--------------|-------|-----------|--------------------|-----|--------------|--------------------|-----|-----------------|--------------------|------------------|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | |
| バスケットプレート | A6061P及びB-A0 | 設計時 | 5 | 33 | 33 | 9 | 49 | 49 | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 9 | 99 | — |
| | | | — | — | — | — | — | — | 8 ²⁾ | — | 49 ²⁾ |
| バスケットサポート | SUS304 | 設計時 | 6 | 126 | 126 | 6 | 189 | 189 | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 6 | 378 | 378 |

バスケット(2/2)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 一次膜+二次膜応力強さ | | | (一次+二次)膜応力+曲げ応力強さ | | |
|-----------------|--------|-------|-----------|--------------------|-----|--------------|--------------------|---|-------------|--------------------|-----|-------------------|--------------------|-----|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | |
| バスケットサポート取付けボルト | SUS304 | 設計時 | 85 | 126 | 126 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | I, II | — | — | — | — | — | — | 89 | 125 | 125 | 89 | 166 | 166 |

注1) 設計・建設規格に基づく許容応力値を左側に、構造規格に基づく許容応力値を右側に示す。

注2) 応力強さのサイクルにおける応力の最大値を評価。

2.3 トラニオン(1/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | | | 引張応力 | | 圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | | 支圧応力 | | 組合せ応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | SUS630 | I | 9 | 390 | 9 | 389 | 74 | 225 | 157 | 390 | 37 | 732 | 202 | 390 |

トラニオン(2/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次+二次応力 | | | | | | | |
|-------|--------|------|---------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 引張・圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | | 支圧応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | SUS630 | I | 17 | 1172 | 83 | 676 | 157 | 1172 | 37 | 1098 |

トラニオン(3/3)

(応力値の単位: N/mm²)

| 部 位 | 材 料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| | | | 引張応力 | | せん断応力 | | 組合せ応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン締付けボルト | GBL1 | I | 194 | 324 | 71 | 249 | 230 | 324 |

許容応力は設計・建設規格による。

2.4 二次蓋

(厚さの単位:mm)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 設計厚さ | 必要厚さ |
|----|---------|------|-------|-------|
| 平板 | SUSF304 | I | 90.00 | 64.18 |
| 胴 | SUSF304 | I | 57.00 | 3.00 |

許容応力は設計・建設規格による。

2.5 支持架台

(応力値の単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 ¹⁾ | |
|------|----------------|------|--------------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 |
| 支持架台 | 炭素鋼 (SS400) | I | 9 | 141 |

許容応力は設計・建設規格による。

注 1) 圧縮, 曲げ, せん断による組合せ応力

構造強度計算に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは米国 Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Ins. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの応力解析等に広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常，非定常の弾性，非弾性のいずれの解も得ることができる。
- ② 材料特性として時間依存，歪の履歴依存及びに等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③ モデルの形状は一次元～三次元，又は連続体についても取り扱うことができる。
- ④ 伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤ 荷重条件として集中荷重，分布荷重，モーメント，加速度力（慣性力），圧力，遠心力及びコリオリ力等が取り扱える。また，これらの条件の時間依存，線形変化に対しても対応可能である。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 1.1-3 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは，これまで多くの応力解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認している。

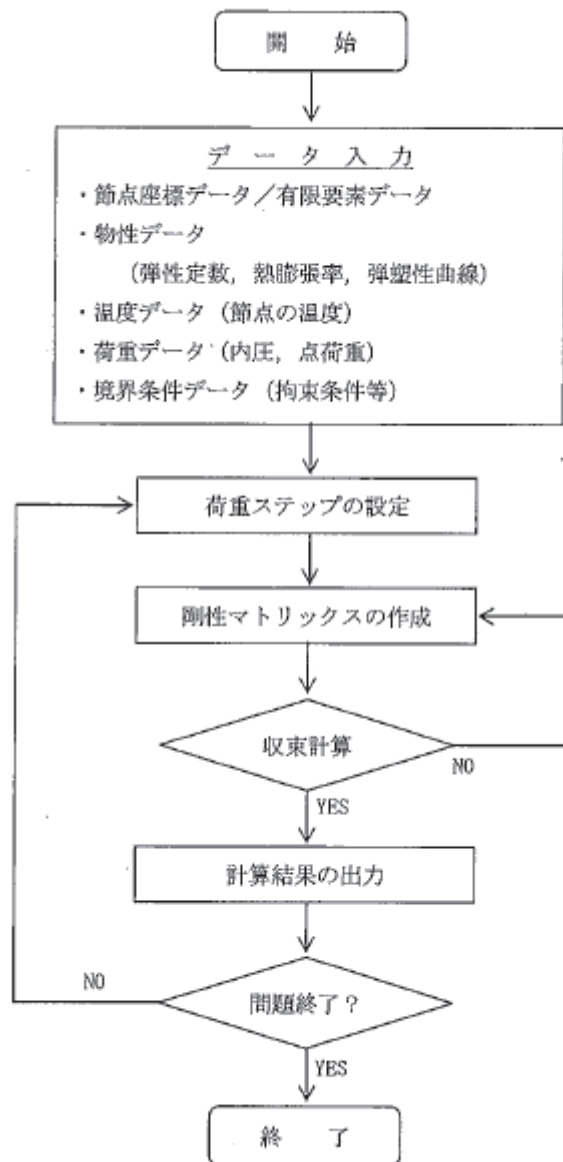


図 1.1-3 ABAQUS コードの応力解析フロー図

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク A

輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B

1) 評価方針

本設備で保管する輸送貯蔵兼用キャスク B は、既存設計のものを使用する。従って、輸送貯蔵兼用キャスク B の構造評価は、基本的に既存評価の結果を基に評価し、既存評価の結果を参考とできない内容については新たに評価を実施し、本設置場所での保管に適合していることを確認する。

2) 主な構成部材と適用基準

① 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスクの構造強度設計は、要求される安全機能を維持するため、次の構成部材について評価する。

A. キャスク容器

輸送貯蔵兼用キャスク B のうち、放射性物質を閉じ込めるための圧力バウンダリを構成するものであって、胴、底板、一次蓋、一次蓋締付けボルト、カバープレート及びカバープレート締付けボルトをいう。

B. バスケット

輸送貯蔵兼用キャスク B の容器内に配置され、使用済燃料を収納し、かつ燃料間距離を保つことにより、燃料の支持機能及び臨界防止機能を併せ持つものであって、バスケットプレートをいう。

バスケットの応力解析は、バスケットプレートについて行っている。

C. トラニオン

輸送貯蔵兼用キャスク B の取扱い及び仮保管時の支持のため、吊上げ及び固定に使用されるものであって、トラニオンをいう。

トラニオンについて応力解析を行っている。

D. 二次蓋

輸送貯蔵兼用キャスク B の密封監視のための圧力空間を保持するための部材であると同時に、一次蓋と二次蓋で多重の閉じ込め構造を形成し、一次蓋と同等の閉じ込め性能を要求される部材である。

② 適用基準と規格

輸送貯蔵兼用キャスク B の構造強度設計には「使用済燃料貯蔵施設規格金属キャスク構造規格 (JSME S FA1-2007)」を適用する。

3) 既存設計における構造強度評価方法

輸送貯蔵兼用キャスク B の強度評価にあたり、既存設計における評価方法を示す。

① 設計条件

輸送貯蔵兼用キャスクBの構造評価にあたっての荷重を以下に示す。

A. 圧力による荷重

輸送貯蔵兼用キャスクB各部の内面及び外面が受ける最高使用圧力，取扱い時及び貯蔵時に受ける圧力並びに試験圧力による荷重をいう。

既存評価における輸送貯蔵兼用キャスクBの最高使用圧力を以下に示す。

キャスク容器：1.0 MPa

二次蓋：0.4 MPa

B. 機械的荷重

自重，衝撃荷重及びその他の付加荷重をいう。機械的荷重の主なものは以下の通りである。

a. 自重による荷重

b. ボルト締付け力

c. 吊上げ荷重

d. 衝撃荷重

C. 熱荷重

輸送貯蔵兼用キャスクBに生じる温度変化，温度こう配による荷重であって，熱解析の結果から得られるものをいう。

既存評価書における各構造部材の最高使用温度を以下に示す。

キャスク容器：150℃

バスケット：260℃

トラニオン：130℃

二次蓋：110℃

② 評価方法

輸送貯蔵兼用キャスクBの構造解析フローを図1.1-4に，主な構造部材の応力評価箇所を図1.1-5(1)，(2)に示す。

A. キャスク容器

キャスク容器の胴，底板及び蓋部等の構造強度は，想定される圧力荷重，機械的荷重，熱荷重をもとに，キャスク容器及び二次蓋の実形状をモデル化し，構造解析コードABAQUSを用いて，胴，底板，一次蓋及び一次蓋締付けボルト等の応力評価を行う。

ABAQUSによる解析は，圧力荷重，機械的荷重及び熱荷重によって生じる形状の不連続の効果を含む応力の解析及び温度分布計算に使用する。

B. バスケット

バスケットの構造強度評価は，想定される機械的荷重，熱荷重をもとに応力評価式を用いて応力評価を行う。

C. トラニオン

トラニオンの構造強度評価は想定される機械的荷重及び熱荷重を基に，応力評価式を用いて評価を行う。

D. 二次蓋

二次蓋の構造強度評価は，キャスク容器の構造強度評価と同時に構造解析コードABAQUSにより計算し，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力評価を行う。

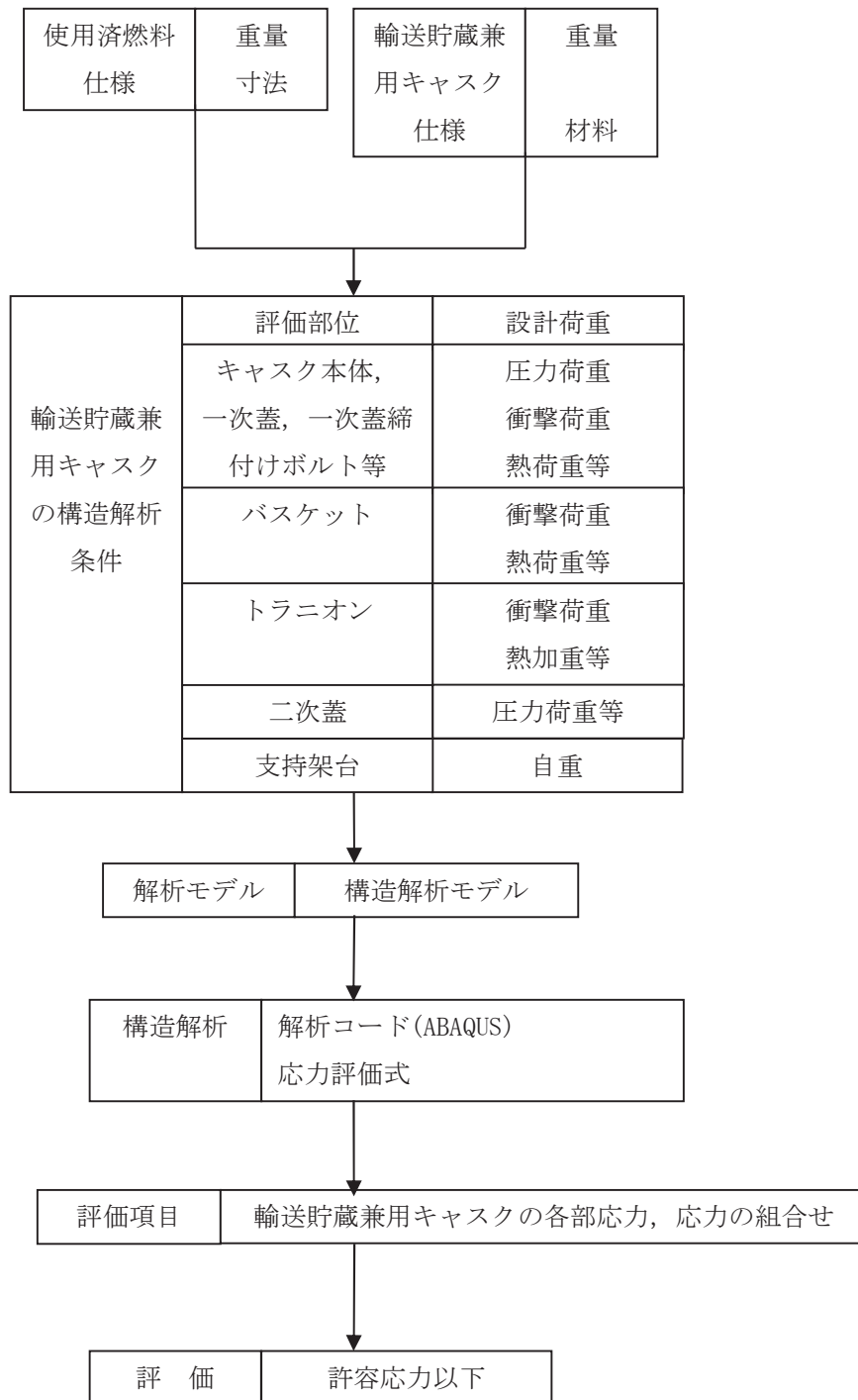


図 1.1-4 輸送貯蔵兼用キャスク B の構造強度評価フロー

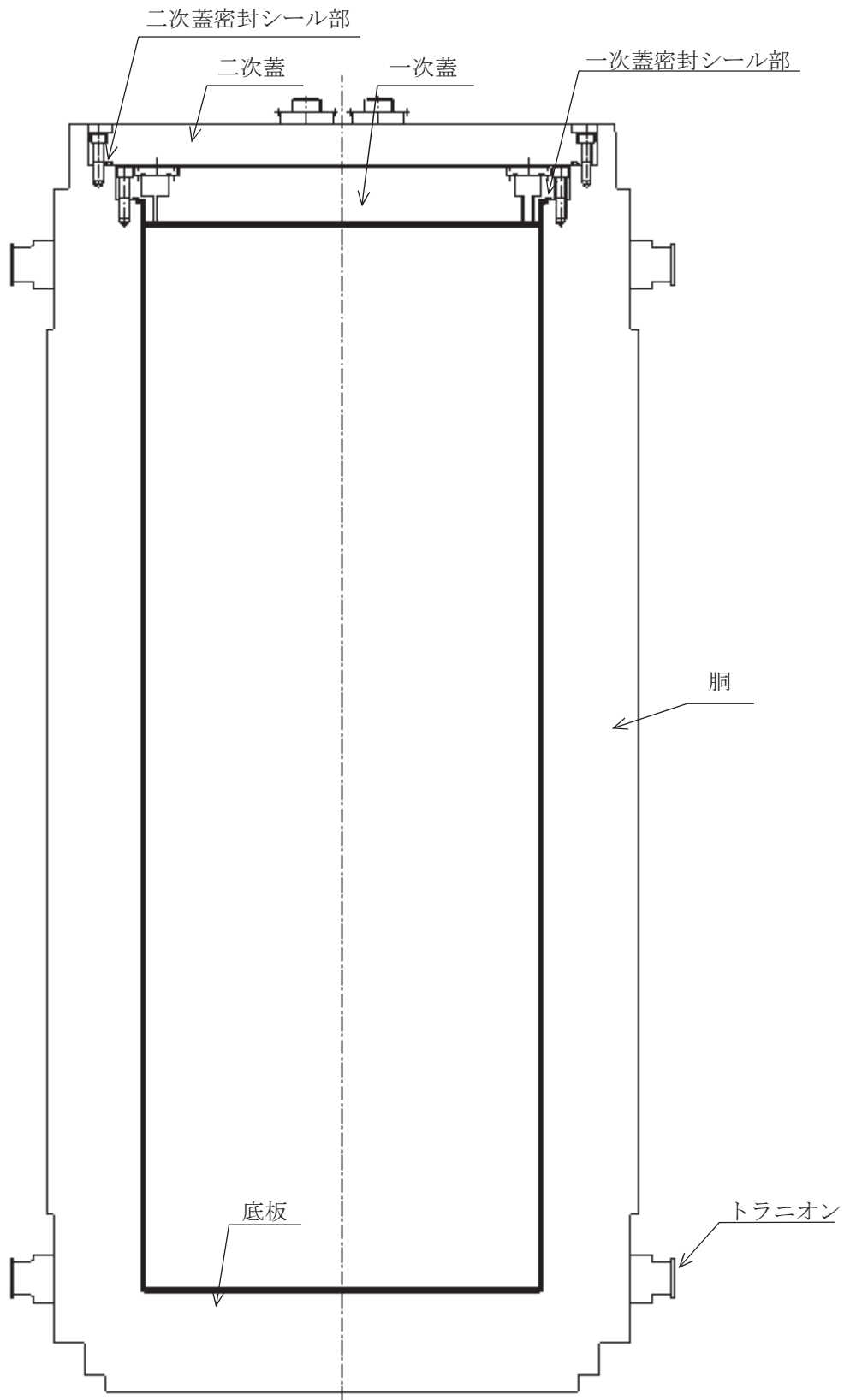


図 1.1-5(1) キャスク容器の応力評価箇所 (全体断面図)

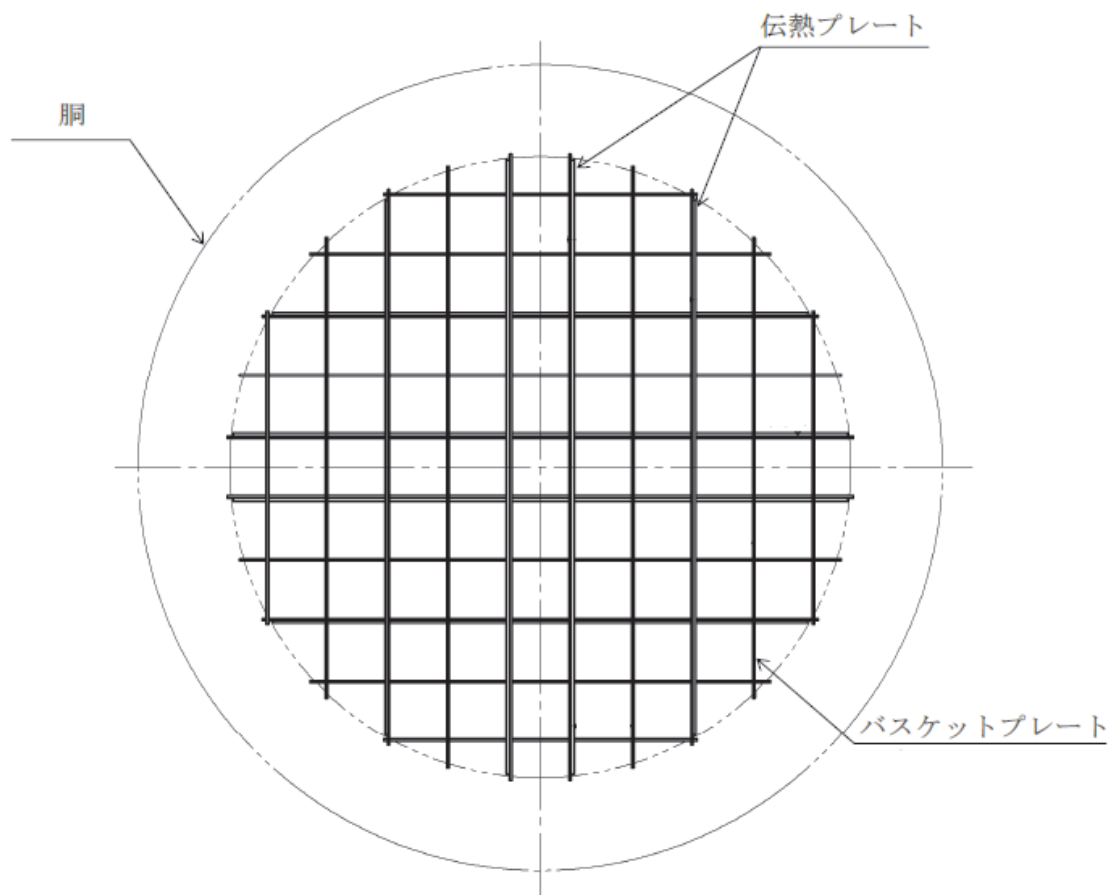


図 1.1-5(2) バスケットの応力評価箇所

③ 設計事象と荷重の組合せ

既存評価書における輸送貯蔵兼用キャスク B の設計事象と選定事象を表 1.1-5 に示す。
設計事象 I 及び II における選定事象は以下のとおりである。

[設計事象 I]

- ・ 貯蔵時
- ・ 吊上げ, 吊下げ, 移動

[設計事象 II]

- ・ 支持脚への衝突
- ・ 貯蔵架台への衝突

また, 各設計事象においてキャスク容器及び二次蓋, バスケット, トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 1.1-6(1)~(3)に示す。(地震時を除く)

表 1.1-5 既存評価書における輸送貯蔵兼用キャスク B の設計事象

| 設計事象 | 定義 | 解説 | 選定事象 |
|------|---|--|---|
| I | 輸送貯蔵兼用キャスクの通常の手扱い時及び運搬時の状態をいう。 | 輸送貯蔵兼用キャスクの計画的な手扱い状態。 | <ul style="list-style-type: none"> ・貯蔵 ・吊上げ, 吊下げ, 移動 |
| II | 設計事象 I, 設計事象 III, 設計事象 IV 及び試験状態以外の状態をいう。 | 輸送貯蔵兼用キャスクの寿命程度の期間中に予想される手扱い機器の単一故障, 単一誤動作等の事象によって, 輸送貯蔵兼用キャスクが通常手扱い状態から外れるような状態をいう。 | <ul style="list-style-type: none"> ・支持脚への衝突 ・貯蔵架台への衝突 |
| III | 輸送貯蔵兼用キャスク又はその手扱い機器等の故障, 異常な作動等により, 計画された手扱いの停止が緊急に必要とされる状態をいう。 | 発生頻度が十分低い事象によって引き起こされる状態をいう。すなわち, 設計事象 II でいう機器の単一故障, 運転員の単一誤操作等によって引き起こされるもののうち, その発生頻度が十分に低いと考えられるものを分類する。 | |
| IV | 輸送貯蔵兼用キャスクの安全設計上想定される異常な事態が生じている状態をいう。 | 発生頻度が極めて低く, 輸送貯蔵兼用キャスクの寿命中に起こるとは考えられない事象によって引き起こされる状態をいうが, 万一発生した場合の設計の妥当性を確保するために特に設けたものをいう。 | |
| 試験状態 | 耐圧試験により, キャスク容器に最高使用圧力を超える圧力が加えられている状態をいう。 | | <ul style="list-style-type: none"> ・耐圧試験 (製造時) |

表 1.1-6(1) キャスク容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 供用状態 評価事象 | | | 荷 重 | | | | | |
|----------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|-----------|-------|------|-----|
| 設計事象 | 供用状態 | 評価事象 | 圧力による荷重 | 自重による荷重 | ボルト初期締付け力 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 | 熱荷重 |
| 設計条件 | 設計条件 | 設計時 ^{注1)} | ○ | — ^{注4)} | ○ | ○ | ○ | — |
| I | A ^{注2)} | 通常貯蔵時 | ○ | ○ | ○ | — | — | ○ |
| | | 吊上げ時 | ○ | — ^{注4)} | ○ | ○ | — | ○ |
| II | B ^{注2)} | 衝撃荷重作用時 | ○ | — ^{注4)} | ○ | — | ○ | ○ |
| 試験状態 | 試験状態 | 試験時 | ○ ^{注3)} | ○ | ○ | — | — | — |

注1) 最高使用圧力に対する評価条件で，供用状態A及びBの一次応力評価を代表する事象

注2) 評価事象の中で，他の評価事象に包絡される事象や荷重条件については評価を省略する。

注3) 耐圧試験圧力（最高使用圧力により定められる圧力）とする。

注4) 本状態での自重による荷重は，衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 1.1-6(2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 供用 状態 | 評価事象 | 荷 重 | | | |
|------|------|----------|--------------------|---------|-------|------|-----|
| 設計事象 | 設計条件 | | | 自重による荷重 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 | 熱荷重 |
| 設計条件 | 設計条件 | | 設計時 ^{注1)} | —注2) | ○ | ○ | — |
| I | A | 貯蔵時 | | ○ | — | — | ○ |
| | | 吊上げ時 | | —注2) | ○ | — | ○ |
| II | B | 衝撃荷重作用時 | | —注2) | — | ○ | ○ |

注 1) 供用状態 A 及び B の一次応力評価を代表する事象

注 2) 本状態での自重による荷重は、衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

表 1.1-6(3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 | | 供用 状態 | 評価事象 | 荷 重 | | | | |
|------|------|----------|------|---------|------|-------|------|------------|
| 設計事象 | 設計条件 | | | 自重による荷重 | 固縛荷重 | 吊上げ荷重 | 衝撃荷重 | 熱荷重 注1) |
| I | A | 貯蔵時 | | ○ | ○ | — | — | ○ |
| | | 吊上げ時 | | —注2) | — | ○ | — | ○ |
| II | B | 衝撃荷重作用時 | | —注2) | — | — | ○ | ○ |

注 1) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

注 2) 本状態での自重による荷重は、衝撃荷重又は吊上げ荷重の慣性力による荷重に含まれる。

④ 評価結果

既存評価の評価結果から規定を満足していることが確認されている。

4) 本設備での構造評価

表 1.1-7(1)～(3)に本仮保管設備での荷重条件と既存評価との比較を示す。このことから以下のことが言える。

- ①キャスク容器（二次蓋含む）の設計条件，運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。
- ②バスケットの設計条件，運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。
- ③トラニオンの運搬時（設計事象Ⅰ），搬送台車架台への衝突時（設計事象Ⅱ）の評価加速度は既存評価書で包絡される。吊上げ時（設計事象Ⅰ）の評価加速度は後述の 5)で行う「支持架台への衝突時（設計事象Ⅱ）」の解析で用いる加速度に包絡される。

以上の包絡性の説明及び本設備において最も厳しい荷重条件として，「支持架台への衝突（設計事象Ⅱ）」について応力解析を実施する。評価対象は，キャスク容器，二次蓋，バスケット及びトラニオンの各部とする。

なお，キャスク容器（二次蓋含む）の設計条件（最高使用圧力），試験状態及びトラニオンの吊り上げ時の荷重条件は既存評価書により包絡する。

表 1.1-7(1) 既存評価との比較と評価方法（キャスク容器及び二次蓋）

| 設計事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 参考（既存評価書） | | | |
|------|-----------|---------|--|--|---------------------|---------|--|---------------------------------------|
| | 代表事象 | 包絡される事象 | 荷重条件 | 本設備での評価方法（包絡性含む） | 代表事象 | 包絡される事象 | 荷重条件 | 備考 |
| 設計条件 | 設計条件 | — | 圧力 ^{注1)} ， ボルト， 衝撃 ^{注2)} | ・最高使用圧力における縦姿勢における衝撃荷重負荷時の評価は既存評価書で包絡する。 ○（既存評価書で包絡） | 設計時 | — | 圧力 ^{注1)} ， ボルト， 衝撃 ^{注3)} | 設計事象 I 及び II の中で荷重条件が最も厳しいのは貯蔵架台への衝突時 |
| I | 吊上げ時 | 貯蔵時 | 圧力，ボルト，吊上げ ^{注4)} ，熱 | 荷重条件，支持条件が同じ「キャスク支持架台への衝突（設計事象 II）」の評価で包絡する。 ○（設計事象 II で包絡） | 貯蔵時 | — | 圧力，ボルト，自重，熱 | 設計事象 I のうち大半の期間を占める代表的事象 |
| | | | | | 吊上げ時 | — | 圧力，ボルト，吊上げ ^{注5)} ，熱 | 荷重条件が最も厳しいのは吊上げ時 |
| | 運搬時 | — | 圧力，ボルト，熱，運搬 ^{注6)} | 核燃料輸送物設計承認申請書のうち，一般の試験条件 0.3m 落下に包絡する。 ○（既存評価書で包絡） | 一般の試験条件 0.3m 頭部垂直落下 | — | 圧力，ボルト，熱，落下時荷重 ^{注7)} | — |
| | | | | | 一般の試験条件 0.3m 底部垂直落下 | — | 圧力，ボルト，熱，落下時荷重 ^{注7)} | — |
| | | | | | 一般の試験条件 0.3m 水平落下 | — | 圧力，ボルト，熱，落下時荷重 ^{注7)} | — |

表 1.1-7(1) 既存評価との比較と評価方法（キャスク容器及び二次蓋）

| 設計事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 参考（既存評価書） | | | |
|------|-------------|-----------|-----------------------------|--|-----------|---------|-----------------------------|------------------------|
| | 代表事象 | 包絡される事象 | 荷重条件 | 本設備での評価方法（包絡性含む） | 代表事象 | 包絡される事象 | 荷重条件 | 備考 |
| II | 支持架台への衝突時 | 輸送架台への衝突時 | 圧力，ボルト，衝撃 ^{注8)} ，熱 | 他事象の包絡及び本設備の設計事象 I 及び II における最も厳しい荷重条件として解析評価する。 ◎（応力解析を実施） | — | — | — | — |
| | 搬送台車架台への衝突時 | — | 圧力，ボルト，衝撃 ^{注2)} ，熱 | 既存評価における「支持脚への衝突時」と同じ荷重条件 ○（既存評価書で包絡） | 支持脚への衝突時 | — | 圧力，ボルト，衝撃 ^{注9)} ，熱 | — |
| | | | | | 貯蔵架台への衝突時 | — | 圧力，ボルト，衝撃 ^{注3)} ，熱 | 荷重条件が最も厳しいのは，貯蔵架台への衝突時 |
| 試験状態 | 試験時 | — | 圧力 ^{注9)} ，自重，ボルト | 既存評価と同じ荷重条件 ○（既存評価書で包絡） | 試験時 | — | 圧力 ^{注10)} ，自重，ボルト | — |

◎：解析を実施。 ○：既存評価又は他の評価事象で包絡

注 1) キャスク容器内圧は最高使用圧力。

注 2) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり，自重を含む。

注 3) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 5G であり，自重を含む。

注 4) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり，自重を含む。

注 5) 吊上げ荷重は縦姿勢下方向 1.3G であり，自重を含む。

注 6) 運搬時荷重は上方向 2G，下方向 3G(自重を含む)，前後方向 2G，左右方向 1G である。

注 7) 頭部垂直落下荷重は 30.0G，底部垂直落下荷重は 30.0G，水平落下荷重は 20.0G である。

注 8) 衝撃荷重は横姿勢下方向 3G であり，自重を含む。

注 9) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.5G であり，自重を含む。

注 10) 最高使用圧力の 1.25 倍の圧力。

表 1.1-7(2) 既存評価の比較と評価方法 (バスケット)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 参考 (既存評価書) | | | |
|-------------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|--|---------------------|---------------|----------------------------------|----------------|
| | 代表事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 本設備での評価方法 (包絡性含む) | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| 設計 条件 | 設計条件 | — | 衝撃 ^{注1)} | ・縦姿勢における衝撃荷重負荷時の一次応力に対する評価は既存評価書の「貯蔵架台への衝突時 (設計事象Ⅱ)」で包絡する。 ○ (既存評価書で包絡) | 設計時 | — | 衝撃 ^{注2)} | — |
| I | 吊上げ時 | 貯蔵時 | 吊上げ ^{注3)} , 熱 | 荷重条件, 支持条件が同じ「キャスク支持架台への衝突 (設計事象Ⅱ)」の評価で包絡する。 ○ (設計事象Ⅱで包絡) | 貯蔵架台への衝突時 | ・貯蔵時 ・吊上げ時 | 衝撃 ^{注2)} , 熱 | 設計事象Ⅱの条件に包絡される |
| | 運搬時 | — | 圧力, ボルト, 熱, 運搬 ^{注4)} | 核燃料輸送物設計承認申請書のうち, 一般の試験条件 0.3m 落下に包絡する。 ○ (既存評価書で包絡) | 一般の試験条件 0.3m 頭部垂直落下 | — | 圧力, ボルト, 熱, 落下時荷重 ^{注5)} | — |
| | | | | | 一般の試験条件 0.3m 底部垂直落下 | — | 圧力, ボルト, 熱, 落下時荷重 ^{注5)} | — |
| 一般の試験条件 0.3m 水平落下 | — | 圧力, ボルト, 熱, 落下時荷重 ^{注5)} | — | | | | | |

表 1.1-7(2) 既存評価の比較と評価方法 (バスケット)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 参考 (既存評価書) | | | |
|----------|------------------------------|---------------|-----------------------|---|---------------|---------------|-----------------------|----|
| | 代表事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 本設備での評価方法 (包絡性含む) | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| II | 支持架台への 衝突時 ^{注6)} | 輸送架台への 衝突時 | 衝撃 ^{注7)} , 熱 | 他事象の包絡及び本設備の設計事象 I 及び II における最も厳しい荷重条件として評価する。 ◎ (応力解析を実施) | — | — | — | — |
| | 搬送台車架台 への衝突時 | — | 衝撃 ^{注1)} , 熱 | 既存評価と同じ荷重条件 ○ (既存評価書で包絡) | 貯蔵架台への 衝突時 | ・支持脚への 衝突時 | 衝撃 ^{注2)} , 熱 | — |

◎ : 解析を実施。 ○ : 既存評価又は他の評価事象で包絡

注 1) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり, 自重を含む。

注 2) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 5G であり, 自重を含む。

注 3) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり, 自重を含む。

注 4) 運搬時荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を含む), 前後方向 2G, 左右方向 1G である。

注 5) 頭部垂直落下荷重は 30.0G, 底部垂直落下荷重は 30.0G, 水平落下荷重は 20.0G である。

注 6) 長期荷重(自重)に対する評価を含む。

注 7) 衝撃荷重は横姿勢下方向 3G であり, 自重を含む。

表 1.1-7(3) 既存評価の比較と評価方法 (トラニオン)

| 設計 事象 | キャスク仮保管設備 | | | | 参考 (既存評価書) | | | |
|----------|-----------------|---------------|------------------------|--|--------------|---------------|------------------------|---|
| | 代表事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 本設備での評価方法 (包絡性含む) | 代表 事象 | 包絡される 事象 | 荷重条件 | 備考 |
| I | 吊上げ時 | 貯蔵時 | 吊上げ ^{注1)} , 熱 | 荷重条件, 支持条件が同じ「キャ スク支持架台への衝突 (設計事象 II)」の評価で包絡する。 ○ (設計事象IIで包絡) | 貯蔵時 | — | 自重, ボルト, 熱 | — |
| | | | | | 吊上げ時 | — | 吊上げ ^{注2)} , 熱 | 荷重条件が最も厳 しいため, 代表事象 を吊上げ時とする。 |
| | 運搬時 | — | 運搬 ^{注3)} , 熱 | 核燃料輸送物設計承認申請書の うち, 通常の輸送条件に包絡され る。 ○ (既存評価書で包絡) | 運搬時 | — | 運搬 ^{注3)} , 熱 | — |
| II | 支持架台への 衝突時 | 輸送架台へ の衝突時 | 衝撃 ^{注4)} , 熱 | 本設備の設計事象IIにおける最 も厳しい荷重条件として評価す る。 ◎ (応力解析を実施) | — | — | — | — |
| | 搬送台車架台 への衝突時 | — | 衝撃 ^{注5)} , 熱 | 既存評価と同じ荷重条件 ○ (既存評価書で包絡) | 支持脚への 衝突時 | ・貯蔵架台 への衝突 | 衝撃 ^{注6)} , 熱 | 荷重条件が最も厳 しいため, 代表事象 を支持脚への衝突 時とする。 |

◎ : 解析を実施。 ○ : 既存評価又は他の評価事象で包絡

注1) 吊上げ荷重は横姿勢下方向 1.32G であり, 自重を含む

注2) 縦姿勢下方向 1.3G であり, 自重を含む。

注3) 運搬時荷重は上方向 2G, 下方向 3G(自重を含む), 前後方向 2G, 左右方向 1G である。

注4) 横姿勢下方向 3G であり, 自重を含む。

注5) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.33G であり, 自重を含む。

注6) 衝撃荷重は縦姿勢下方向 2.5G であり, 自重を含む。

5) 支持架台への衝突時の評価（設計事象Ⅱ）

以下に支持架台への衝突時の応力解析結果を示す。

① 計算条件

A. 解析事象

「支持架台の衝突時」

キャスクの支持架台への設置に作業員の誤操作によりクレーンの下降速度でトラニオンがトラニオン受台に着床する事象をいう。着床時の衝突荷重（加速度：自重を含む）は、「3.2 異常事象の評価」での評価に余裕をみて3Gとする。

B. 最高使用温度

各機器の最高使用圧力及び最高使用温度は添付資料－4「1.1. 乾式キャスクの除熱機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱機能」の解析結果に基づき、以下とする。

表 1.1-8 最高使用圧力及び最高使用温度

| | | |
|--------|--------|---------|
| キャスク容器 | 最高使用圧力 | 1.0 MPa |
| | 最高使用温度 | 150 °C |
| 二次蓋 | 最高使用圧力 | 0.4 MPa |
| | 最高使用温度 | 110 °C |
| バスケット | 最高使用温度 | 260 °C |
| トラニオン | 最高使用温度 | 130 °C |

② 解析方法

A. 解析手順概要

a. キャスク容器及び二次蓋

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、解析コードである ABAQUS を用いて行う。

なお、二次蓋についてもキャスク容器と同様に評価を行う。

b. バスケット

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

c. トラニオン

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

B. 応力評価式による応力評価

a. バスケット

(イ) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部である。鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力(σ_x)は、次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_1}{A_1} \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、 m_A : 評価対象バスケットプレートとこれに接する使用済燃料等の合計質量(kg)
 G_1 : 鉛直方向加速度(G)
 A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(ロ) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部である。鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力(σ_y)は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= \frac{M}{Z} \\ M &= \frac{m_B \cdot G_1 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_w}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

- ここで、 M : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント(N・mm/mm)
 Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数(mm³/mm)
 m_B : 評価対象バスケットプレートとこれに接する伝熱プレート、使用済燃料等の合計質量(kg)
 l_p : バスケットプレート内のり(mm)
 l_w : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ(mm)
 G_1 : 鉛直方向加速度(G)

鉛直方向加速度により発生するバスケットプレートの格子端部に発生する平均せん断応力(τ_{xy})は次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_1}{2 \cdot \frac{A_1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

- ここで、 G_1 : 鉛直方向加速度(G)
 A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(ハ)一次+二次応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部である。支持架台への衝突により発生する一次+二次応力は(1)～(3)式で計算する。

(ニ)平均せん断応力

バスケットプレート格子端部に発生する平均せん断応力(σ_s)は(3)式で計算する。

(ホ)平均支圧応力

バスケットプレート端部に発生する平均支圧応力(σ_p)は(1)式で計算する。

(ヘ)圧縮応力

バスケットプレート端部に発生する圧縮応力(σ_c)は(1)式で計算する。

b. トラニオン

イ. 一次応力

(イ) せん断応力

最大応力が発生する箇所は図 1. 1-5(1)に示す下部トラニオンである。衝撃荷重により発生するせん断応力 (τ) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \frac{F_m}{A} \\ F_m &= \frac{m}{4} \cdot G_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 F_m : 支持架台への衝突時においてトラニオンに作用する荷重 (N)

m : 金属キャスクの質量 (kg)

A : 評価点の断面積 (mm^2)

G_2 : 鉛直方向加速度 (G)

(ロ) 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 1. 1-5(1)に示す下部トラニオンである。衝撃荷重により発生する曲げ応力 (σ_b) は、次式で計算する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= \frac{M}{Z} \\ M &= F_m \cdot L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 評価点の断面係数 (mm^3)

L : 評価点と荷重作用位置との距離 (mm)

F_m : (1) 式と同じ

(ハ) 組合せ応力

最大応力が発生する箇所は図 1.1-5(1)に示す下部トラニオンである。

せん断応力 (τ) と曲げ応力 (σ_b) との組合せ応力 (σ_T) は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (3)$$

ここで, τ : (1) 式と同じ

σ_b : (2) 式と同じ

ただし, Z : 評価点の断面係数 (mm³)

L : 評価点と荷重作用位置との距離 (mm)

ロ. 一次+二次応力

キャスク容器の熱膨張による応力は無視できるので、トラニオンに発生する一次+二次応力は、イ.と同様である。

C. 解析結果

表 1.1-9 に支持架台への衝突時の主な応力評価結果を示す。

支持架台への衝突時において輸送貯蔵兼用キャスク B は金属キャスク構造規格に定められた許容応力を満足している。

表 1.1-9 支持架台の衝突時の応力評価結果

(単位 : MPa)

| 評価部位 | 部位 | 計算値 | 許容応力 |
|--------|-----------|-----|------|
| キャスク容器 | 胴 | 34 | 366 |
| | 底板 | 38 | 366 |
| | 一次蓋 | 56 | 366 |
| | 一次蓋密封シール部 | 58 | 183 |
| | 一次蓋締付けボルト | 336 | 831 |
| 二次蓋 | 二次蓋 | 34 | 474 |
| | 二次蓋密封シール部 | 37 | 183 |
| | 二次蓋締付けボルト | 279 | 847 |
| バスケット | バスケットプレート | 12 | 219 |
| トラニオン | トラニオン | 133 | 394 |

6) 評価結果

5)に示したとおり、「支持架台への衝突時」（設計事象Ⅱ）において輸送貯蔵兼用キャスク B の各評価部位（キャスク容器，二次蓋，バスケット，トラニオン）は金属キャスク構造規格に定められた許容応力を満足する。

従って，表 1.1-7 に示す「支持架台の衝突時」で包絡する各設計事象は，いずれも輸送貯蔵兼用キャスクの構造強度の規定を満足し，輸送貯蔵兼用キャスク B は，本設備で要求される構造強度を有している。

(4) 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

1) 評価方針

本設備で使用する輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の構造評価について記載する。

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は新設計であるため、新たに評価を実施し、本設置場所での保管に適合していることを確認する。なお、輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

2) 主な構成部材と適用基準

① 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は鋼製支持架台、埋め込み金物、基礎ボルト、コンクリート支持架台により構成される。

② 適用基準

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は原子力発電所耐震設計技術規程 [JEAC4601-2008] 及び、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版 (2007 年追補版含む) [JSME S NC1-2005/2007] を適用する。

3) 構造強度の評価方法

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の強度評価における評価方法を示す。

① 設計条件

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の構造評価に当たっての機械荷重を以下に示す。

A. 自重による荷重

B. キャスクによる荷重

② 評価方法

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の構造解析フローを図1.1-6に、主な構成部材の応力評価箇所を図1.1-7に示す。

鋼製支持架台、基礎ボルト、コンクリート支持架台について想定される機械荷重を基に、応力評価式を用いて応力評価を行う。

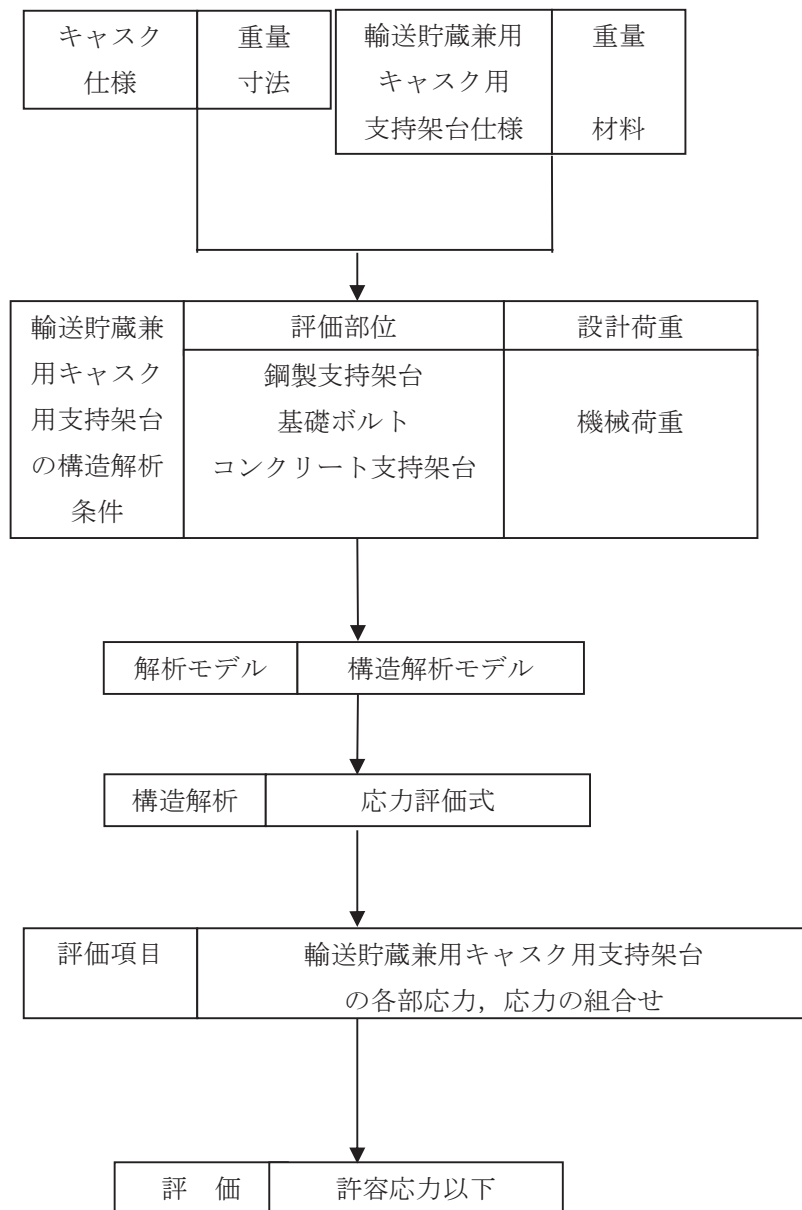


図 1.1-6 輸送貯蔵兼用カスク用支持架台の構造強度評価フロー

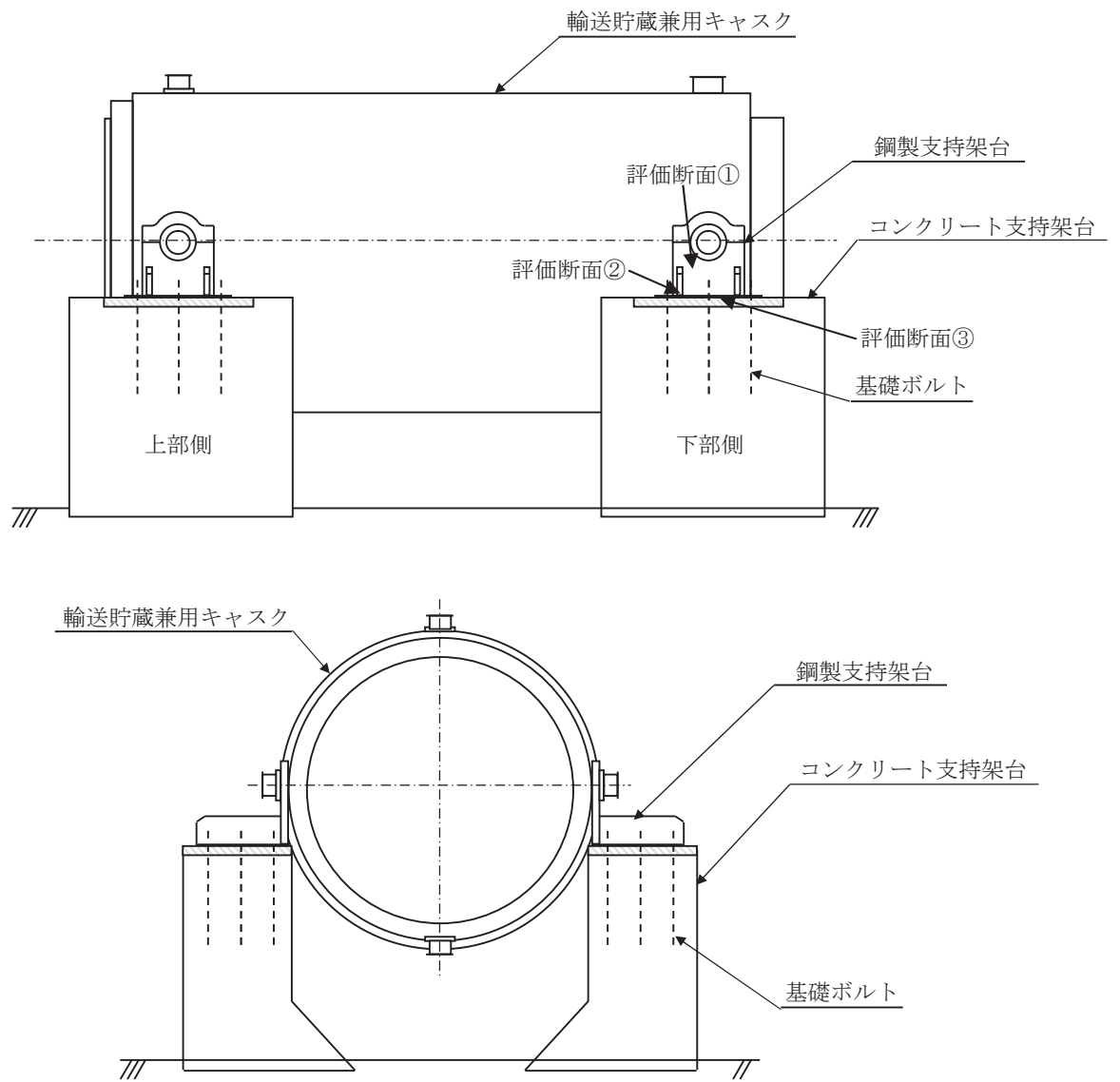


図 1.1-7 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力評価箇所

③ 設計事象と荷重の組合せ

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の設計事象と選定事象は以下の通りである。

[設計事象 I]

・貯蔵時

4) 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の貯蔵時の評価（設計事象 I）

以下に貯蔵時の輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力評価結果を示す。

① 計算条件

A. 解析事象

「貯蔵時」

キャスクが支持架台に設置されている計画的な取り扱い状態をいう。

② 解析方法

A. 解析手順概要

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析は、想定される機械荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

B. 荷重計算

図 1.1-8 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用するキャスク自重 (F_{WU} , F_{WL}) は次式で表される。

$$F_{WU} = \frac{P_W}{2} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{WL} = \frac{P_W}{2} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_W = W \cdot g$$

ここで、

F_{WU} : 鋼製支持架台 1 脚（上部側）に作用するキャスク自重 (N)

F_{WL} : 鋼製支持架台 1 脚（下部側）に作用するキャスク自重 (N)

P_W : キャスク自重 (N)

a : キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離 (mm)

b : キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離 (mm)

W : キャスク設計質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

C. 応力評価

a. 鋼製支持架台（評価断面①）

図 1.1-9 において自重により鋼製支持架台（評価断面①）に発生する圧縮応力 (σ_c) は次

式で表される。

$$\sigma_c = \frac{F_w}{B \cdot t}$$

ここで、

F_w : 図 1.1-8 に示す自重の設計用値 (N)

B : 図 1.1-9 に示す評価断面の幅 (mm)

t : 図 1.1-9 に示すトラニオン受部の板厚 (mm)

b. 鋼製支持架台 (評価断面②)

図 1.1-10 において自重により鋼製支持架台 (評価断面②) に発生する圧縮応力 (σ_c) は次式で表される。

$$\sigma_c = \frac{F_w}{B_1 \cdot t_1 + 2 \cdot B_2 \cdot t_2}$$

図 1.1-10 において自重により鋼製支持架台 (評価断面②) に発生する最大曲げ応力 (σ_{b1} , σ_{b2}) は次式で表される。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_w \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{b2} = \frac{F_w \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

図 1.1-10 において自重により鋼製支持架台 (評価断面②) に発生する組合せ応力 (σ_{T1} , σ_{T2}) は次式で表される。

$$\sigma_{T1} = \sigma_c + \sigma_{b1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{T2} = \sigma_c - \sigma_{b2} \quad (\text{リブ側})$$

ここで、

F_w : 図 1.1-8 に示す自重 (F_{wU} , F_{wL}) の設計用値 (N)

B_1 : 図 1.1-10 に示すトラニオン受部の幅 (mm)

B_2 : 図 1.1-10 に示すリブの幅 (mm)

t_1 : 図 1.1-10 に示すトラニオン受部の板厚 (mm)

t_2 : 図 1.1-10 に示すリブの板厚 (mm)

L_1 : 図 1.1-10 に示す中立軸からトラニオン受け端部までの距離 (mm)

L_2 : 図 1.1-10 に示す中立軸からリブ端部までの距離 (mm)

I : 図 1.1-10 に示す断面の中立軸に関する断面二次モーメント (mm^4)

c. 鋼製支持架台 (評価断面③)

図 1.1-11 において自重により基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力

(σ_{bb}) , コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{bc}) は次式で表される。

$$\sigma_{bb} = \frac{T \cdot L_1}{B \cdot t^2 / 6}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{\sigma_{cc} \cdot L_2^2 / 2}{t^2 / 6}$$

$$T = \sigma_{tb} \cdot A_m$$

ここで,

σ_{tb} : 図 1.1-11 に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張応力 (N/mm²)

σ_{cc} : 図 1.1-11 に示すコンクリートに発生する本荷重条件下における圧縮応力 (N/mm²)

T : 図 1.1-11 に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張力 (N)

t : 図 1.1-11 に示す鋼製支持架台底板の板厚 (mm)

B : 図 1.1-11 に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力の評価断面幅 (mm)

L₁ : 図 1.1-11 に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げモーメントのモーメントアーム長さ (mm)

L₂ : 図 1.1-11 に示すコンクリートから圧縮力を受ける長さ (mm)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)

図 1.1-11 において自重により, 基礎ボルトから引張力を受けて発生するせん断応力 (τ_b), コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生するせん断応力 (τ_c) は次式で表される。

$$\tau_b = \frac{T}{B \cdot t}$$

$$\tau_c = \frac{\sigma_{cc} \cdot L_2}{t}$$

ここで, 各記号は上記と同様である。

図 1.1-11 において自重により, 基礎ボルトから引張力を受けて発生する組合せ応力 (σ_{Tb}), コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{Tc}) は次式で表される。

$$\sigma_{Tb} = \sqrt{\sigma_{bb}^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

$$\sigma_{Tc} = \sqrt{\sigma_{bc}^2 + 3 \cdot \tau_c^2}$$

d. 基礎ボルト

図 1.1-12 において自重により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_t) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_t = \sigma_{cc} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = [X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})] \cdot b \cdot D^2$$

$$I_n = [X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2] \cdot b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

ここで、

σ_{cc} : 図 1.1-12 に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm²)

n : ヤング係数比 (=15)

D : 図 1.1-12 に示す断面高さ (mm)

b : 図 1.1-12 に示す断面幅 (mm)

d_t : 図 1.1-12 に示す引張側ボルトに関する距離 (mm)

d_{t1} : 引張側ボルトに関する係数 (-)

X_n : 図 1.1-12 に示す中立軸距離を表し、次式を満足する値 (mm)

$$X_n - D / 2 + e = I_n / S_n$$

ただし、 e : 図 1.1-12 に示す鉛直力偏心距離 (mm)

X_{n1} : 中立軸比 (-)

N : 図 1.1-12 に示す鉛直力であり、自重の設計用値 (N)

a_t : 有効ボルト総断面積 (mm²)

P_t : 引張鉄筋比 (-)

A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm²)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)

N_b : 有効引張側ボルト本数 (本)

S_n : 有効等価断面一次モーメント (mm³)

I_n : 有効等価断面二次モーメント (mm⁴)

e. コンクリート支持架台

コンクリート支持架台の下端に発生する荷重は表 1.1-10 の通りである。これらの荷重を用いて後述する 1.4 コンクリート基礎の構造強度と同様に評価を行う。

表 1.1-10 コンクリート支持架台下端における荷重

| | | NS方向 | | | EW方向 | | |
|----|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 鉛直力 | 水平力 | モーメント | 鉛直力 | 水平力 | モーメント |
| | | (kN) | (kN) | (kN・m) | (kN) | (kN) | (kN・m) |
| 長期 | キャスク | 320.00 | 0.00 | 105.00 | 320.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | — | — | — | — | — | — |
| | 合計 | 355.22 | 0.00 | 105.00 | 355.22 | 0.00 | 0.00 |
| 短期 | キャスク | 320.00 | 154.00 | 105.00 | 320.00 | 148.00 | 68.90 |
| | | — | — | 182.49 | — | — | 175.38 |
| | ペDESTAL | 35.22 | 10.56 | 5.68 | 35.22 | 10.56 | 5.68 |
| | 合計 | 355.22 | 164.56 | 293.17 | 355.22 | 158.56 | 249.96 |

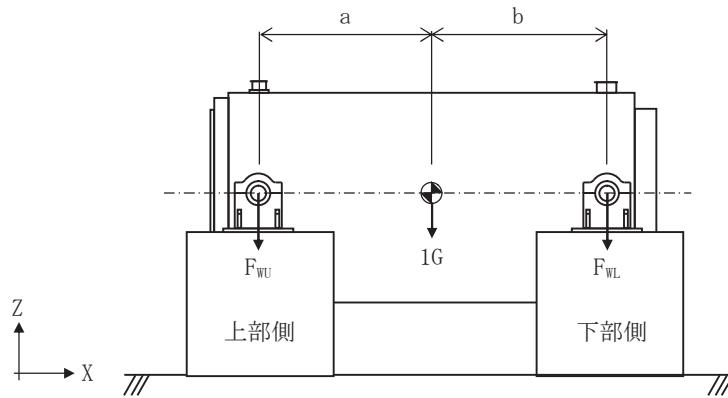
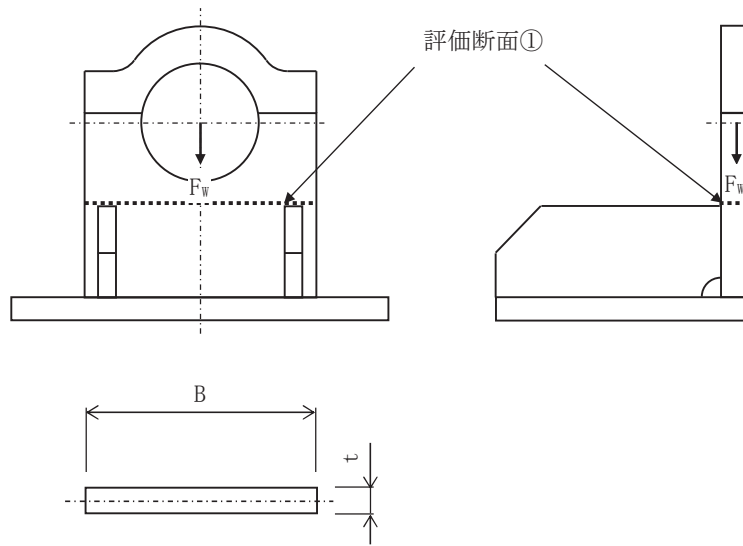


図 1.1-8 鋼製支持架台に作用する荷重



評価断面図

図 1.1-9 計算モデル図 (設計事象 I, 評価断面①)

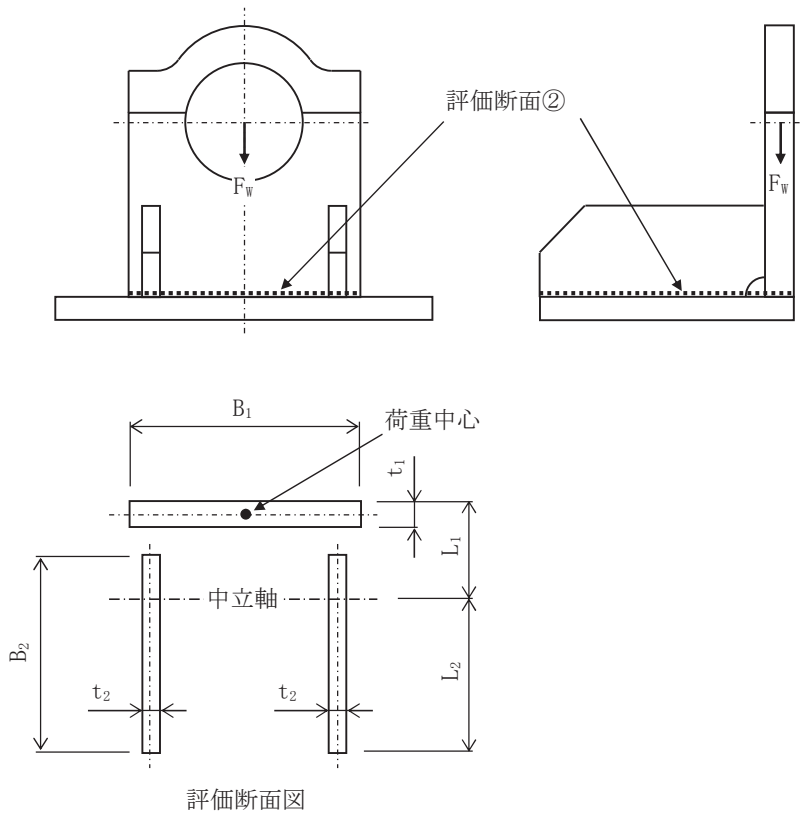


図 1.1-10 計算モデル図（設計事象 I，評価断面②）

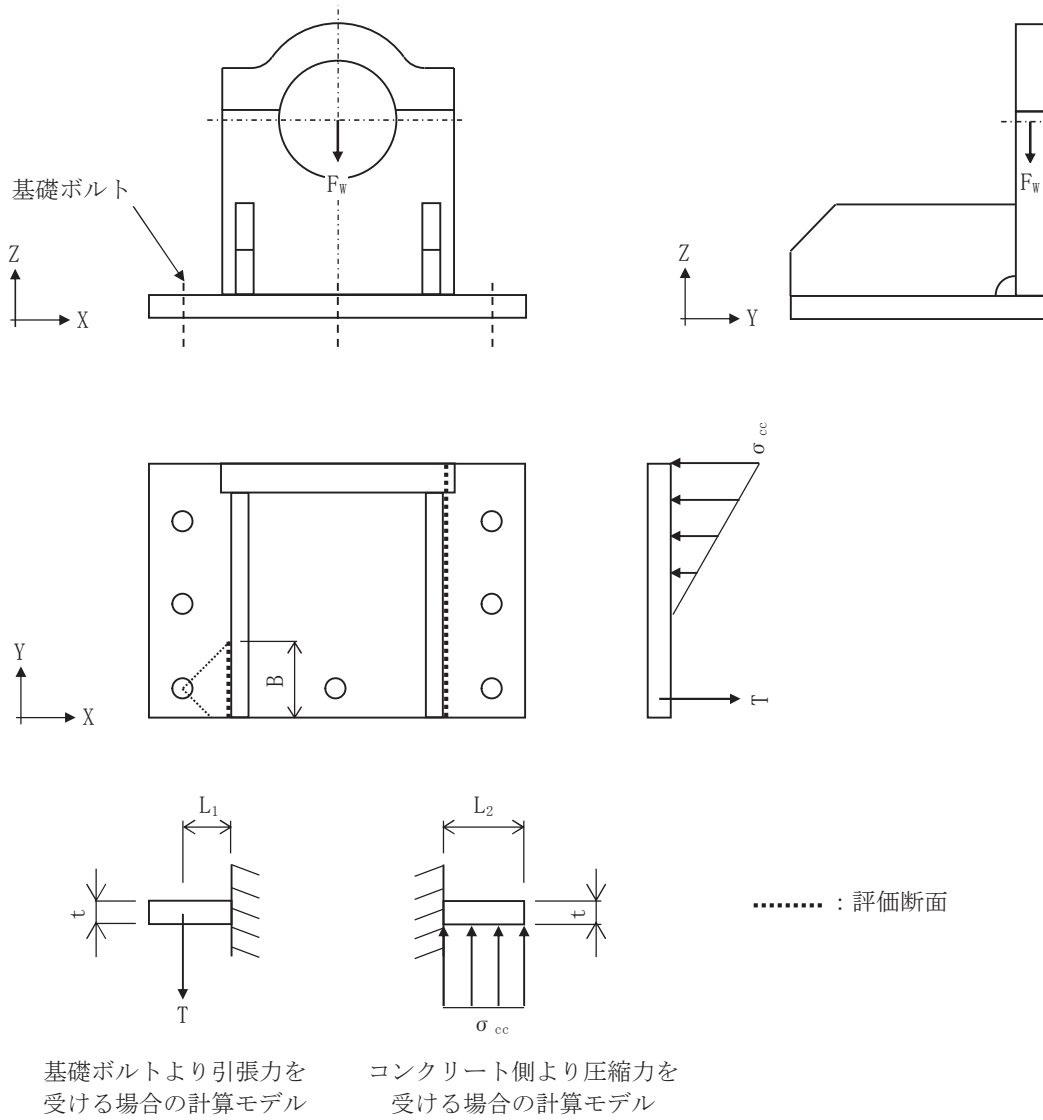


図 1.1-11 計算モデル図 (設計事象 I, 評価断面③)

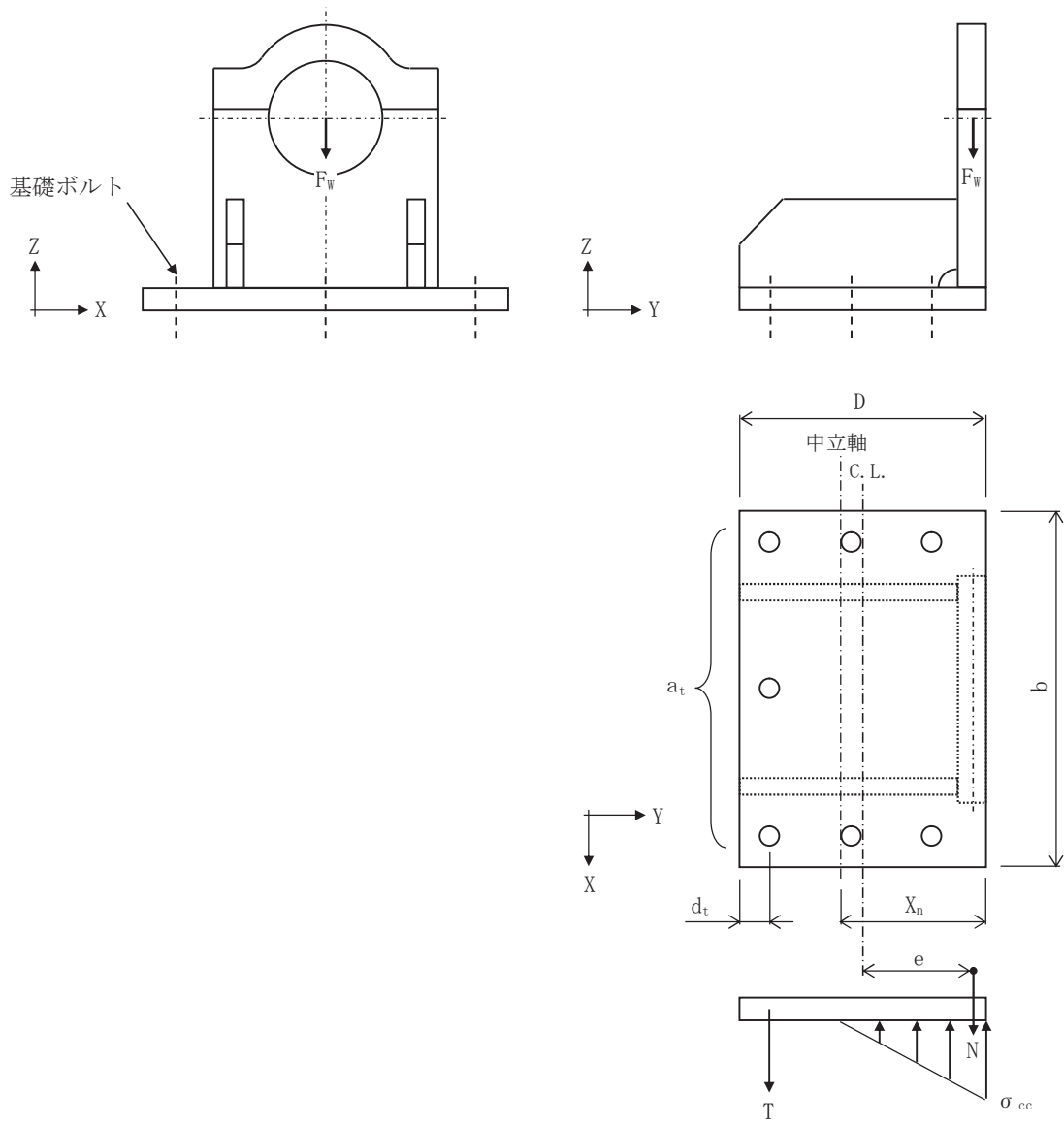


図 1.1-12 計算モデル図 (設計事象 I, 基礎ボルト)

③ 解析結果

表 1.1-11 に貯蔵時の評価結果を示す。

貯蔵時の輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は許容応力を満足している。

表 1.1-11(1) 鋼製支持架台の評価 (タイプB)

| 部 位 | | 応力の種類 | 計算値 | 許容応力 |
|--------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 鋼製支持架台 | 評価断面① | 圧縮 | 10 N/mm ² | 186 N/mm ² |
| | 評価断面② | 圧縮 | 5 N/mm ² | 187 N/mm ² |
| | | 曲げ | 8 N/mm ² | 188 N/mm ² |
| | | 組合せ | 9 N/mm ² | 188 N/mm ² |
| | 評価断面③ | 曲げ | 68 N/mm ² | 188 N/mm ² |
| | | せん断 | 8 N/mm ² | 108 N/mm ² |
| 組合せ | | 69 N/mm ² | 188 N/mm ² | |
| 基礎ボルト | | 引張 | 20 N/mm ² | 226 N/mm ² |

表 1.1-11(2) コンクリート支持架台の評価

| 項目 | 記号 | 単位 | ペデスタル | | | | | |
|-----|---------|-----------------------------------|---------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 長期 | | 短期 | | | |
| | | | NS方向 | EW方向 | NS方向 | EW方向 | | |
| 断面力 | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 105 | 0 | 293 | 250 | |
| | 軸力 | Nd | (kN) | 355 | 355 | 355 | 355 | |
| | せん断力 | Vd | (kN) | 0 | 0 | 165 | 159 | |
| 応力度 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 1.24 | 0.29 | 3.68 | 1.52 |
| | | 許容圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 9.00 | 13.50 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.14 | 0.03 | 0.27 | 0.11 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 14 | 4 | 93 | 24 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 196 | 294 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.07 | 0.02 | 0.32 | 0.08 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| | せん断 | せん断応力度 | τ | (N/mm ²) | 0.000 | 0.000 | 0.202 | 0.180 |
| | | 許容せん断応力度 | τ_a | (N/mm ²) | 0.450 | 0.450 | 0.675 | 0.675 |
| | | $\tau / \tau_a \leq 1.0$ | | | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.27 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |

1.2 コンクリートモジュールの構造強度

(1) 乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュール

1) 評価方針

本設備で使用する乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールが、建築基準法に基づく規定を満たしていることを確認する。

2) 乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールの構成

コンクリートモジュールの概略図を図 1.2-1 に示す。

コンクリートモジュールは長辺側板 3 枚、短辺側板 2 枚、天板 3 枚のコンクリート製パネルで構成されている。それぞれのパネルは金物とボルトにより連結されている。

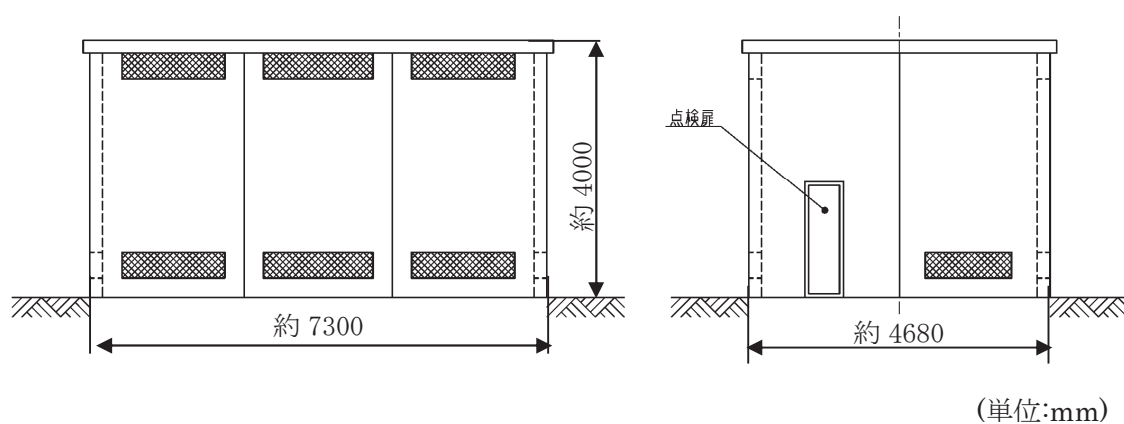


図 1.2-1 コンクリートモジュール概略図

3) 解析モデル

許容応力度設計及び各荷重に対する検討には 3 次元 FEM モデルを採用し、解析コードとして NASTRAN を用いる。

FEM モデルとして、コンクリートモジュールの PC 板（側板及び天板）及び接合部の金物は板厚一様な平板要素でモデル化する。PC 板と金物の接合部はボルト位置で同一変位とし、基礎とベースプレートの接合部はアンカーボルト位置で拘束する。解析モデルを図 1.2-2 に示す。

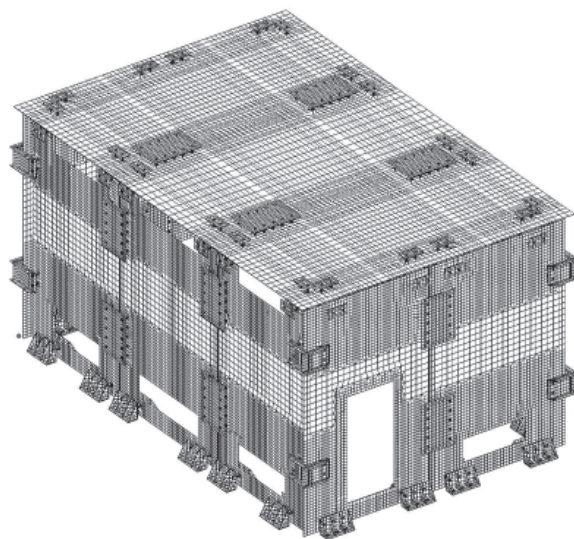


図 1.2-2 コンクリートモジュールの解析モデル

4) 許容応力度

許容応力度を以下のように定める。材料の許容応力度は建築基準法・同施行令に定める値とし、表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | 短期 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A 及び B | 195 | 195 | 295 | 295 |

5) 応力計算

① 応力評価点

応力評価点はSRSS法により求められる各部材応力の中から最大応力となる部材を抽出して評価を行う。評価箇所は図 1.2-3 に示す箇所とする。

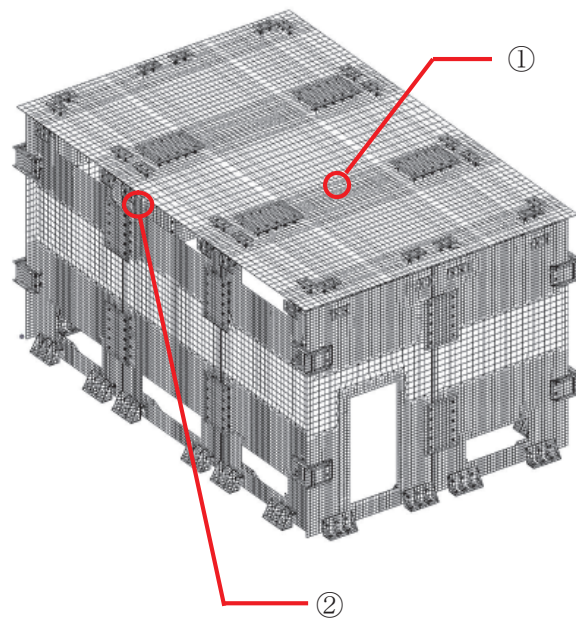


図 1.2-3 応力評価箇所

応力評価箇所名称

- ① 天板パネル
- ② 側板パネル

② 荷重条件

コンクリートモジュールの強度評価においては建築基準法施行令第82条より表1.2-2の荷重組合せに基づき評価を行う。なお、地震時の荷重に関しては2.3(1)にて別途評価を行っており、基準地震動 S_s において倒壊しないことを確認している。また、積雪時、暴風時の荷重は地震時の荷重に包絡されることから、ここでは常時の荷重のみ評価する。

A. 固定荷重

固定荷重は、鉄筋コンクリートで 24kN/m^3 、鋼材で 77kN/m^3 とし算定する。また、コンクリートの厚さは 200mm とする。仕上げは 0N/m^2 とする。

B. 積載荷重

積載荷重は 0 N/m^2 とする。

C. 積雪荷重

建築基準法施行令第86条、平成12年建設省告示第1455号、福島県建築基準法施行細則より設定する。

D. 風圧力

コンクリートモジュールに作用する風圧力は、建築基準法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号により算定する。

表 1.2-2 荷重組合せ

| 力の種類 | 荷重及び外力について想定する状態 | 本設計 |
|---------|-------------------|-----------|
| 長期に生ずる力 | 常時 | G + P |
| 短期に生ずる力 | 積雪時 ^{※1} | G + P + S |
| | 暴風時 ^{※1} | G + P + W |
| | 地震時 ^{※2} | G + P + K |

ただし、G：固定荷重、P：積載荷重、S：積雪荷重、W：風圧力によって生ずる力、K：地震力

※1 積雪荷重と風圧力の荷重の組合せに関する構造強度の評価は、2.3(1)の耐震性の評価に包絡される。

※2 地震時の荷重の組合せに関する評価は、2.3(1)の耐震性の評価にて行う。

③ 応力評価

A. 天板パネル(①) (図 1.2-4 参照)

天板 PC 板 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($L\sigma t = 195 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (長辺方向 上筋, 短辺方向 上下筋) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13@200 (長辺方向 下筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

長期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{を } \sigma_t, M_a \text{を } M_d \text{に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。}$$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント $8270 \text{ Nmm/mm} \rightarrow 1\text{m}$ 辺りに換算すると $M_d = 8.27\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{8.27 \times 10^6}{127 \times 5 \times 131} = 99.5 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 195 / 99.5 = 1.96 > 1.0 \dots \text{OK}$$

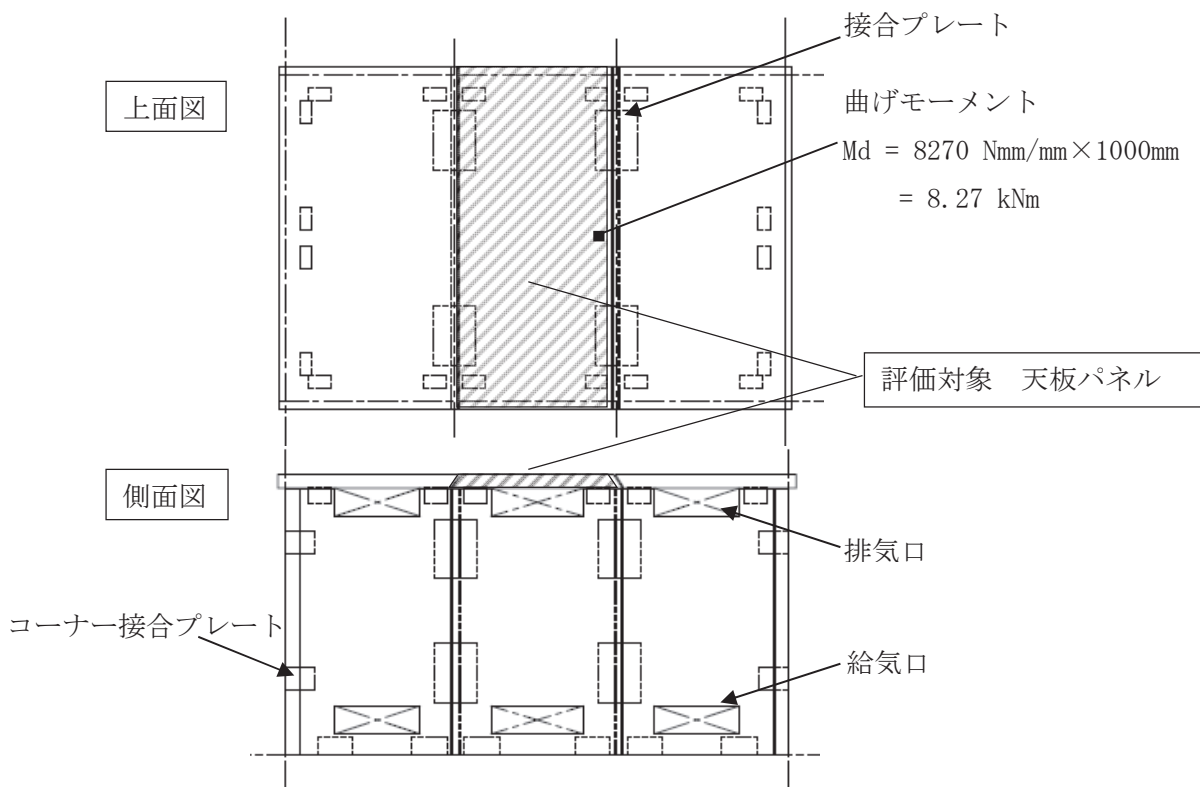


図 1.2-4 天板パネル

B. 側板パネル(②) (図 1.2-5 参照)

側板 PC 版 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($L\sigma t = 195 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (縦筋・横筋, 内外共) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13 (開口部及び外周部の補強筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

長期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma t, M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。}$$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 7374 Nmm/mm \rightarrow 500mm 辺りに換算すると $M_d = 3.69 \text{ kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{3.69 \times 10^6}{(127 + 71 + 127) \times 131} = 86.7 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 195 / 86.7 = 2.25 > 1.0 \dots \text{OK}$$

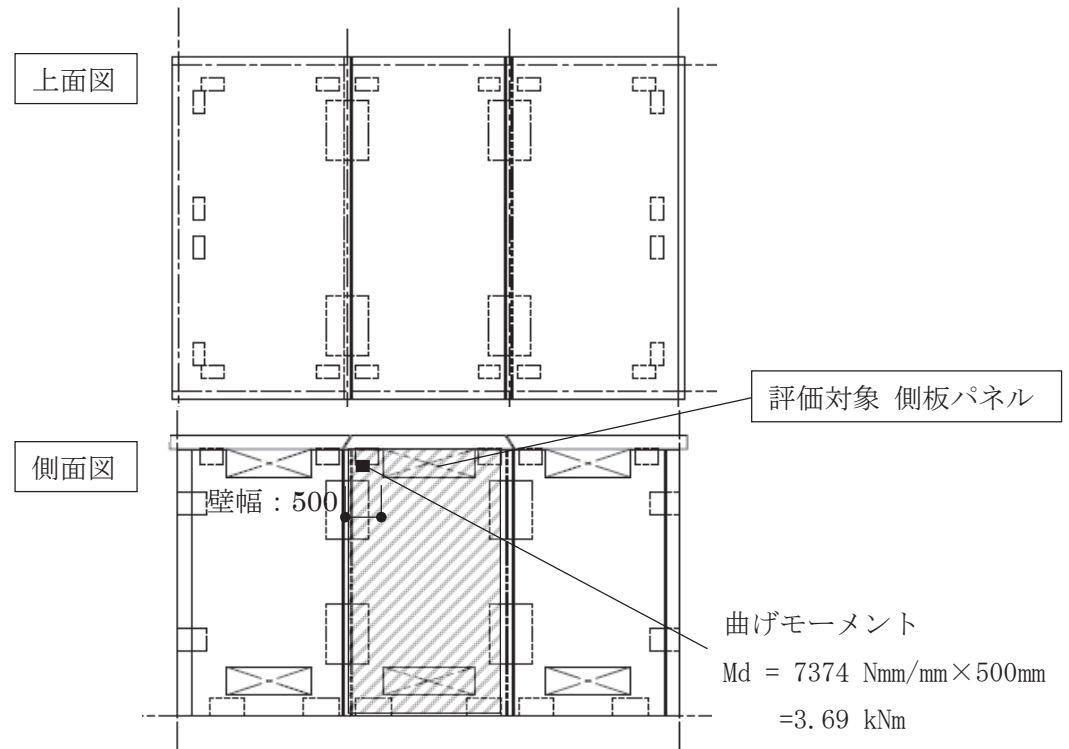


図 1.2-5 側板パネル

④ 評価結果

評価結果を表 1.2-3 に示す。

表 1.2-3 評価結果 (N/mm²)

| | 項目 | 計算値 | 許容値 | 評価結果 |
|---|-------|------|-----|------|
| ① | 天板パネル | 99.5 | 195 | OK |
| ② | 側板パネル | 86.7 | 195 | OK |

以上よりコンクリートモジュールは建築基準法に基づく規定を満たしている。

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

1) 評価方針

本設備で使用する輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールが、建築基準法に基づく規定を満たしていることを確認する。

2) 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの構成

コンクリートモジュールの概略図を図 1.2-6 に示す。

コンクリートモジュールは長辺側板 3 枚、短辺側板 2 枚、天板 3 枚のコンクリート製パネルで構成されている。それぞれのパネルは金物とボルトにより連結されている。

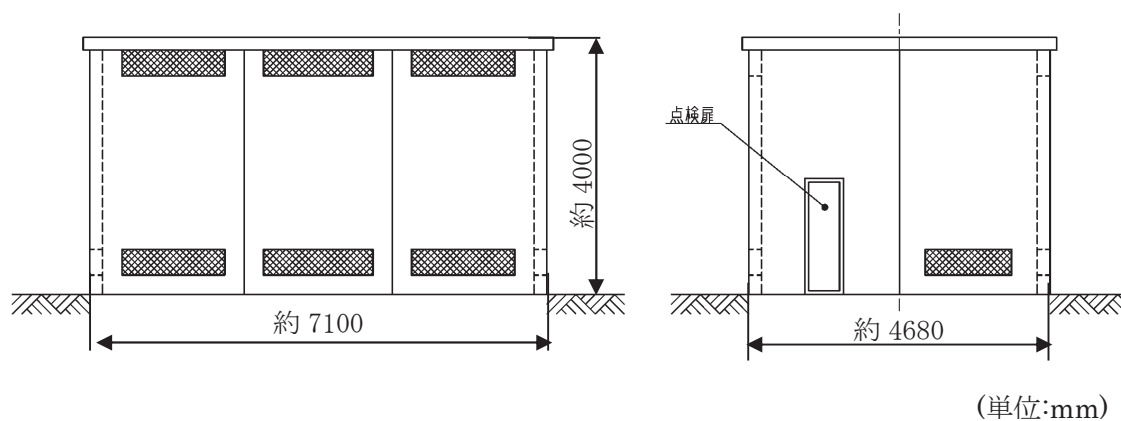


図 1.2-6 コンクリートモジュール概略図

3) 解析モデル

許容応力度設計及び各荷重に対する検討には 3 次元 FEM モデルを採用し、解析コードとして NASTRAN を用いる。

FEM モデルとして、コンクリートモジュールの PC 板（側板及び天板）及び接合部の金物は板厚一様な平板要素でモデル化する。PC 板と金物の接合部はボルト位置で同一変位とし、基礎とベースプレートの接合部はアンカーボルト位置で拘束する。解析モデルを図 1.2-7 に示す。

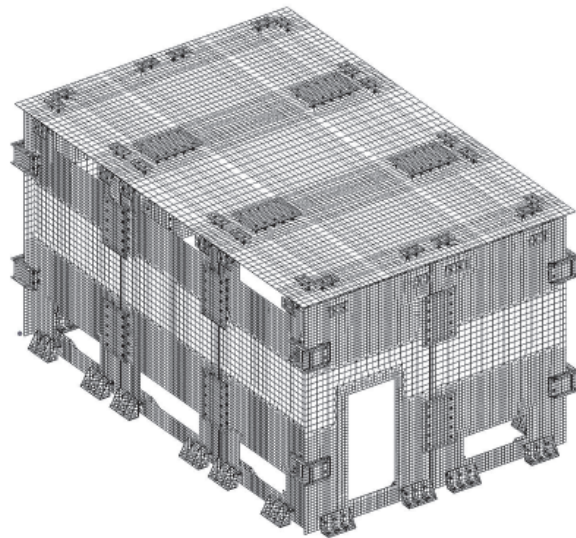


図 1.2-7 コンクリートモジュールの解析モデル

4) 許容応力度

許容応力度を以下のように定める。材料の許容応力度は建築基準法・同施行令に定める値とし、表 1.2-4 に示す。

表 1.2-4 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | 短期 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A 及び B | 195 | 195 | 295 | 295 |

5) 応力計算

① 応力評価点

応力評価点はSRSS法により求められる各部材応力の中から最大応力となる部材を抽出して評価を行う。評価箇所は図 1.2-8 に示す箇所とする。

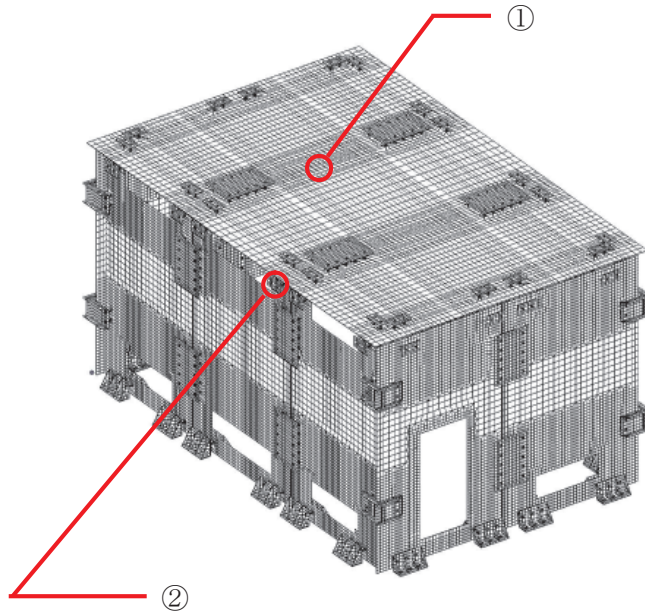


図 1.2-8 応力評価箇所

応力評価箇所名称

- ① 天板パネル
- ② 側板パネル

② 荷重条件

コンクリートモジュールの強度評価においては建築基準法施行令第82条より表1.2-5の荷重組合せに基づき評価を行う。なお、地震時の荷重に関しては2.3(2)にて別途評価を行っており、基準地震動 S_s において倒壊しないことを確認している。また、積雪時、暴風時の荷重は地震時の荷重に包絡されることから、ここでは常時の荷重のみ評価する。

A. 固定荷重

固定荷重は、鉄筋コンクリートで 24kN/m^3 、鋼材で 77kN/m^3 とし算定する。また、コンクリートの厚さは 200mm とする。仕上げは 0N/m^2 とする。

B. 積載荷重

積載荷重は 0N/m^2 とする。

C. 積雪荷重

建築基準法施行令第86条、平成12年建設省告示第1455号、福島県建築基準法施行細則より設定する。

D. 風圧力

コンクリートモジュールに作用する風圧力は、建築基準法施行令第87条及び平成12年建設省告示第1454号により算定する。

表 1.2-5 荷重組合せ

| 力の種類 | 荷重及び外力について想定する状態 | 本設計 |
|---------|-------------------|-----------|
| 長期に生ずる力 | 常時 | G + P |
| 短期に生ずる力 | 積雪時 ^{※1} | G + P + S |
| | 暴風時 ^{※1} | G + P + W |
| | 地震時 ^{※2} | G + P + K |

ただし、G：固定荷重、P：積載荷重、S：積雪荷重、W：風圧力によって生ずる力、K：地震力

※1 積雪荷重と風圧力の荷重の組合せに関する構造強度の評価は、2.3(2)の耐震性の評価に包絡される。

※2 地震時の荷重の組合せに関する評価は、2.3(2)の耐震性の評価にて行う。

③ 応力評価

A. 天板パネル(①) (図 1.2-9 参照)

天板 PC 板 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($L\sigma t = 195 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (長辺方向 上筋, 短辺方向 上下筋) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13@200 (長辺方向 下筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

長期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j}$ f_t を σ_t , M_a を M_d に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 8118Nmm/mm \rightarrow 1m 辺りに換算すると $M_d = 8.12\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{8.12 \times 10^6}{127 \times 5 \times 131} = 97.7 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 195 / 97.7 = 2.00 > 1.0 \dots \text{OK}$$

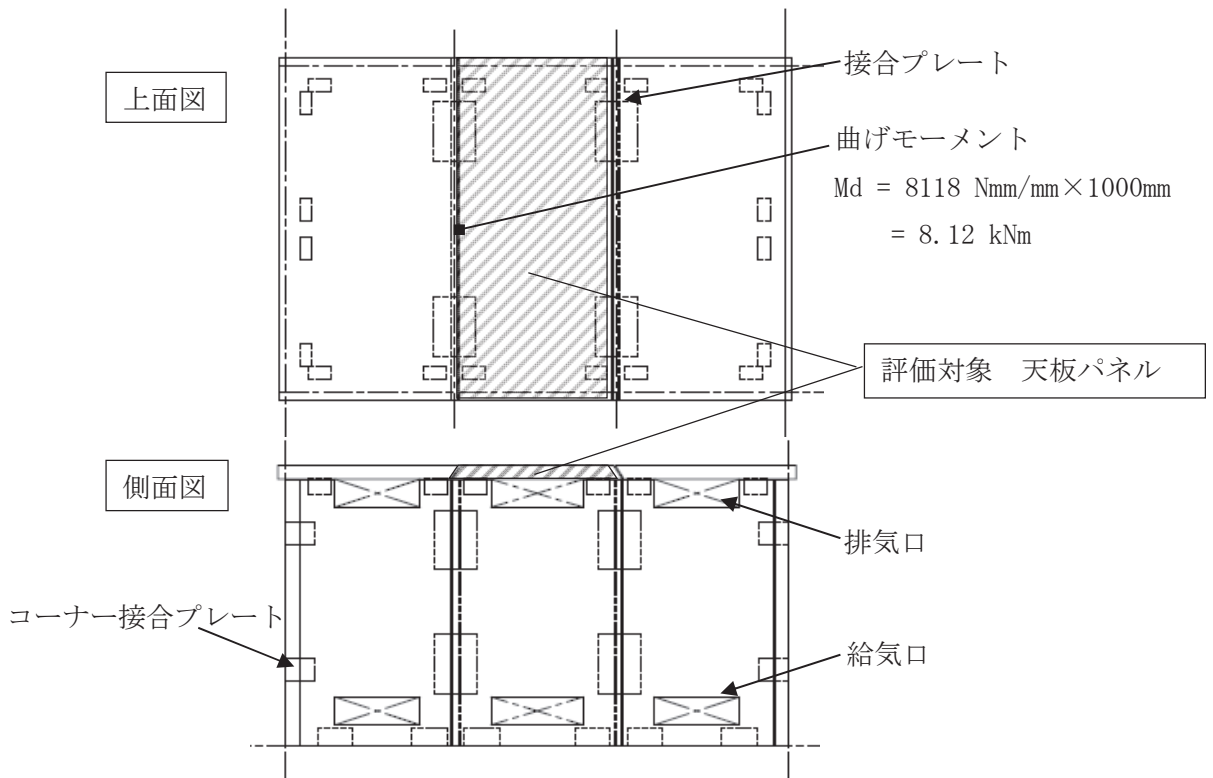


図 1.2-9 天板パネル

B. 側板パネル(②) (図 1.2-10 参照)

側板 PC 版 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($L\sigma t = 195 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (縦筋・横筋, 内外共) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13 (開口部及び外周部の補強筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

長期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma t, M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定する。}$$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 7151 Nmm/mm \rightarrow 500mm 辺りに換算すると $M_d = 3.58 \text{ kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{3.58 \times 10^6}{(127 + 71 + 127) \times 131} = 84.1 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 195 / 84.1 = 2.32 > 1.0 \dots \text{OK}$$

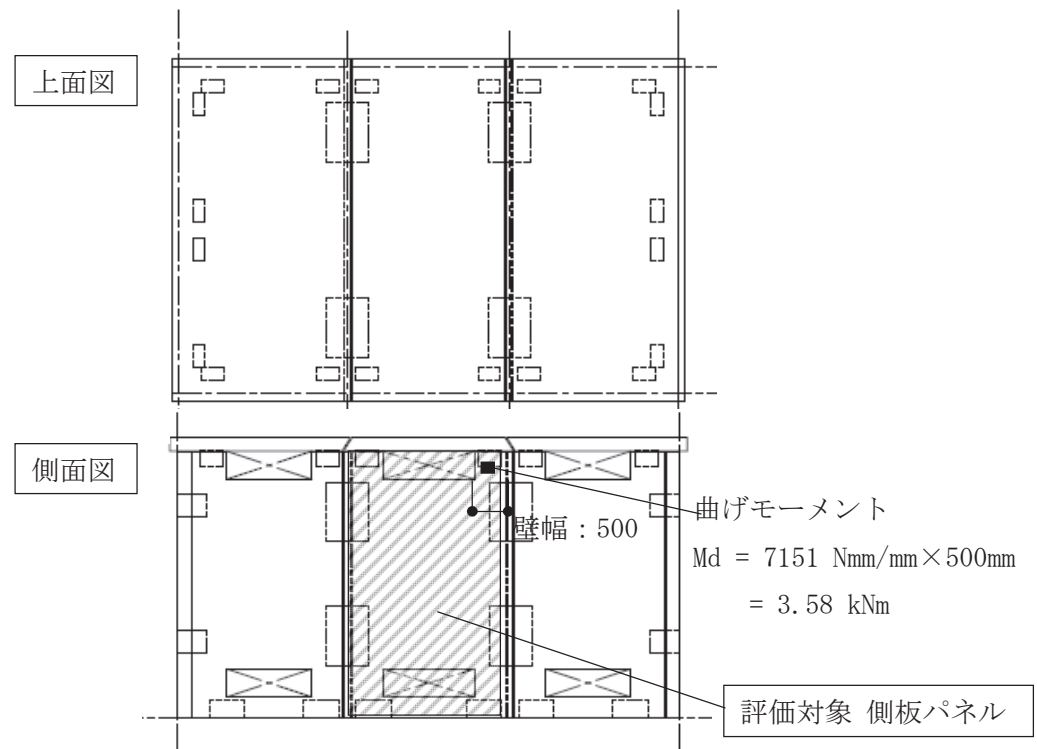


図 1.2-10 側板パネル

④ 評価結果

評価結果を表 1.2-6 に示す。

表 1.2-6 評価結果 (N/mm²)

| | 項目 | 計算値 | 許容値 | 評価結果 |
|---|-------|------|-----|------|
| ① | 天板パネル | 97.7 | 195 | OK |
| ② | 側板パネル | 84.1 | 195 | OK |

以上よりコンクリートモジュールは建築基準法に基づく規定を満たしている。

1.3 クレーンの構造強度

(1) 評価方針

本設備で使用するクレーンの構造強度がクレーン構造規格(平成7年12月26日 労働省告示第134号)に基づく規定を満たしていることを確認する。

(2) 構造強度評価の概要

評価対象とするクレーンの主要仕様を表 1.3-1 に、概要図を図 1.3-1 に示す。

表 1.3-1 クレーンの仕様

| 項目 | 仕様 |
|------|--------|
| 型式 | 門形クレーン |
| 主巻定格 | 150ton |
| 補巻定格 | 20ton |
| スパン | 19m |

構造強度評価においては以下の荷重に関して考慮する。

垂直動荷重: 定格荷重に吊具の質量を加えた荷重がクレーンに作用することによって生じる力。

垂直静荷重: クレーンを構成する部分のうち、垂直動荷重に含まれない部分の質量によって生じる力。

水平動荷重: クレーンの走行、横行、若しくは旋回に伴う慣性力、又は遠心力によって生じる力。

熱荷重: 温度変化により部材の伸縮が妨げられることによって生ずる力。当該クレーンは熱伸縮を拘束する構造でないため、熱荷重は生じない。

風荷重: クレーンが風を受けることにより生ずる力。

地震荷重: 垂直静荷重の二十パーセントに相当する水平荷重。

衝突荷重: クレーンが緩衝装置に衝突したときに生ずる力。

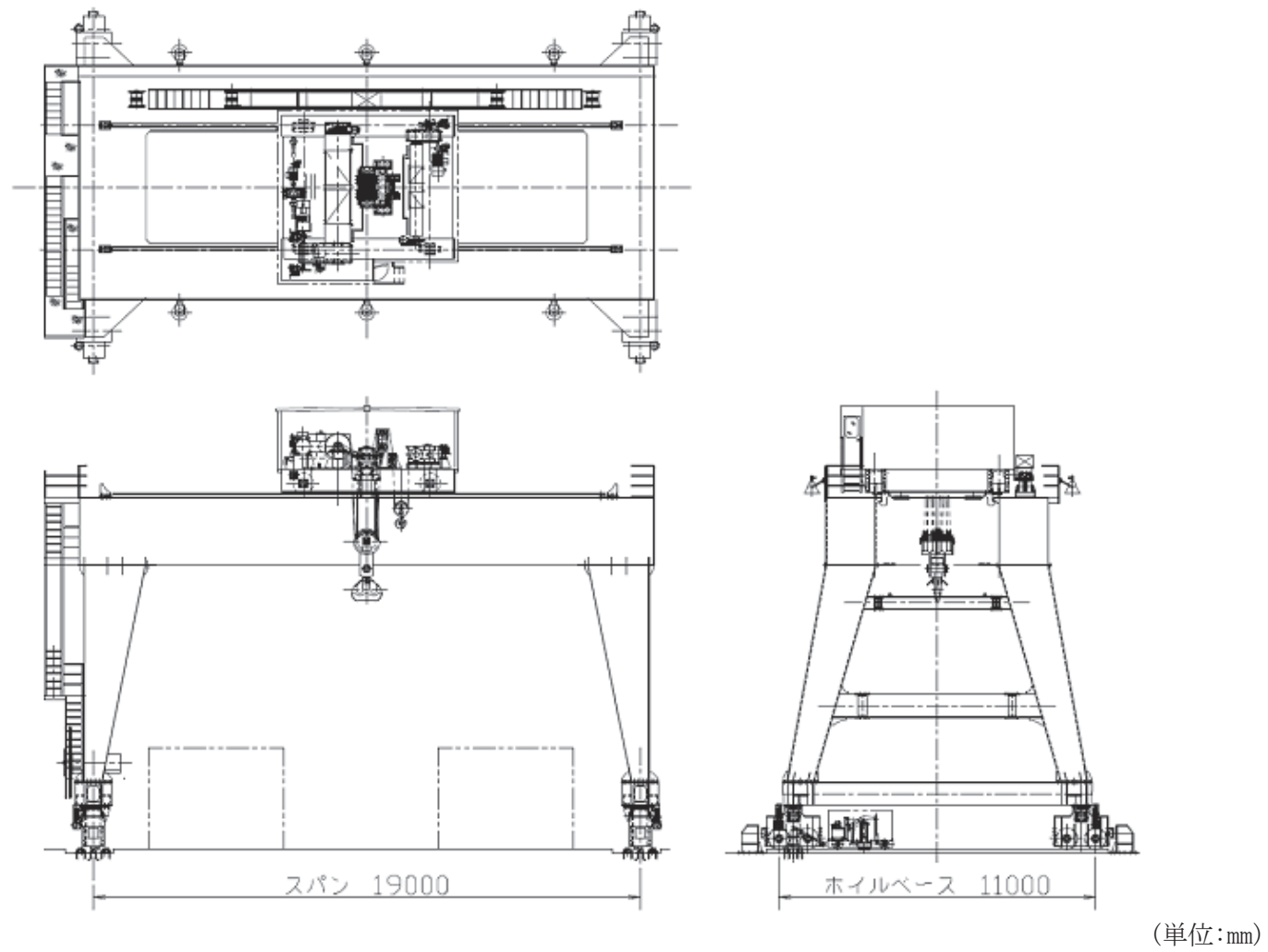


図 1.3-1 クレーン全体図

(3) クレーン各部の応力評価

1) 評価対象部位の形状

評価対象箇所を図 1.3-2 に示す。また評価対象部位の形状を図 1.3-3, 4 に示す。

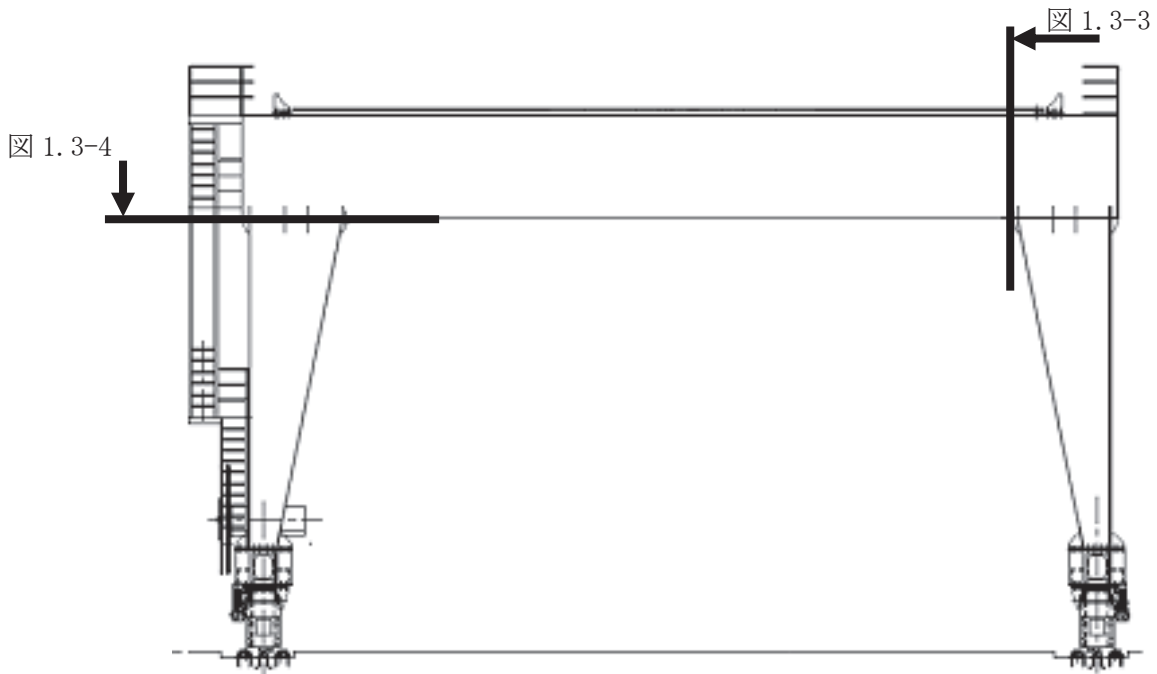


図 1.3-2 応力評価対象箇所

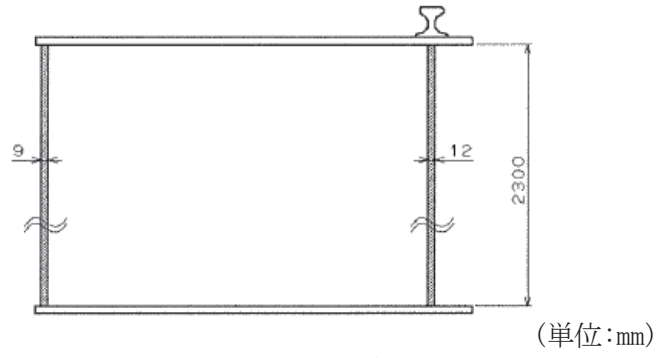


図 1.3-3 本体ガーダ端部

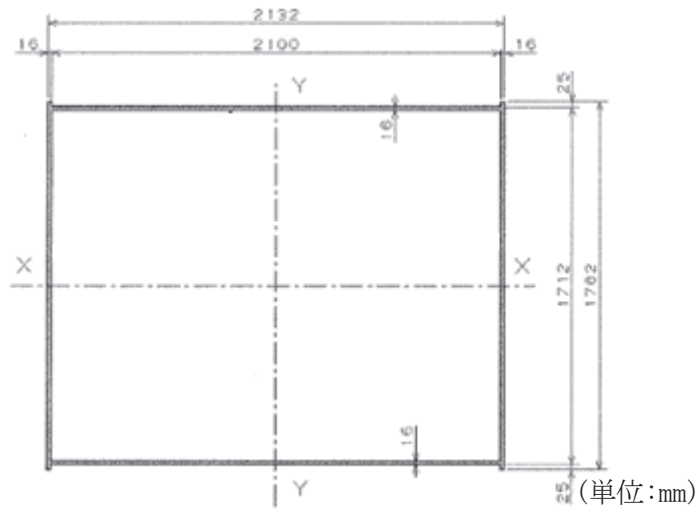


図 1.3-4 剛脚上部

2) 発生応力と許容応力

クレーン構造規格に基づき算出したクレーン各部に発生する応力と許容応力の比較を表 1.3-2 に示す。

表 1.3-2 クレーン各部応力の評価結果

| | 材料 | 応力の組合せ ^{注1)} | 算出応力 (N/mm ²) | 許容応力 (N/mm ²) | 評価結果 |
|-------------|--------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-------|
| 本体ガーダ 下部 | SM490A | 構造規格第 11 条 1 項第 1 号 | 69 | 182 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 2 号 | 70 | 209 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 3 号 | 62 | 236 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 4 号 | 58 | 236 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 5 号 | 28 | 236 | O. K. |
| 本体ガーダ 上部 | SM490A | 構造規格第 11 条 1 項第 1 号 | 66 | 158 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 2 号 | 67 | 181 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 3 号 | 59 | 205 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 4 号 | 55 | 205 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 5 号 | 27 | 205 | O. K. |
| 剛脚 | SS400 | 構造規格第 11 条 1 項第 1 号 | 15 | 127 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 2 号 | 16 | 146 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 3 号 | 14 | 165 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 4 号 | 11 | 165 | O. K. |
| | | 構造規格第 11 条 1 項第 5 号 | 12 | 165 | O. K. |

注 1 : 構造規格における応力の組合せは以下の通り。

第 1 号 : 衝撃係数及び作業係数を乗じた垂直動荷重, 作業係数を乗じた垂直静荷重, 作業係数を乗じた水平動荷重並びに熱荷重の組合せ

第 2 号 : 衝撃係数及び作業係数を乗じた垂直動荷重, 作業係数を乗じた垂直静荷重, 作業係数を乗じた水平動荷重, 熱荷重並びにクレーンの作動時における風荷重の組合せ

第 3 号 : 垂直動荷重, 垂直静荷重, 熱荷重及び地震荷重の組合せ

第 4 号 : 垂直動荷重, 垂直静荷重, 熱荷重及び衝突荷重の組合せ

第 5 号 : 垂直静荷重, 熱荷重及びクレーンの停止時における風荷重の組合せ

(4) 評価結果

以上から当該クレーンの構造強度はクレーン構造規格に基づく規定を満たしている。

1.4 コンクリート基礎の構造強度

(1) 評価方針

長期及び短期荷重時のコンクリート基礎に対する要求性能は、キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引抜き力が許容引抜き力を下回ること、及び、基礎の傾斜が許容傾斜量を下回ることである。ここでは、コンクリート基礎の構造強度評価を行い、基礎が要求性能を有していることを確認する。

評価の方法は、長期及び短期荷重時に対する梁モデルによる構造計算を行い、コンクリート基礎の応力度の照査、地盤改良体強度の照査、地盤の支持力度の照査を行うこととする。

(2) 評価方法の概要

1) 構造図面

図 1.4-1～図 1.4-4 にキャスク配置図，基礎構造図及び地盤改良断面図を示す。

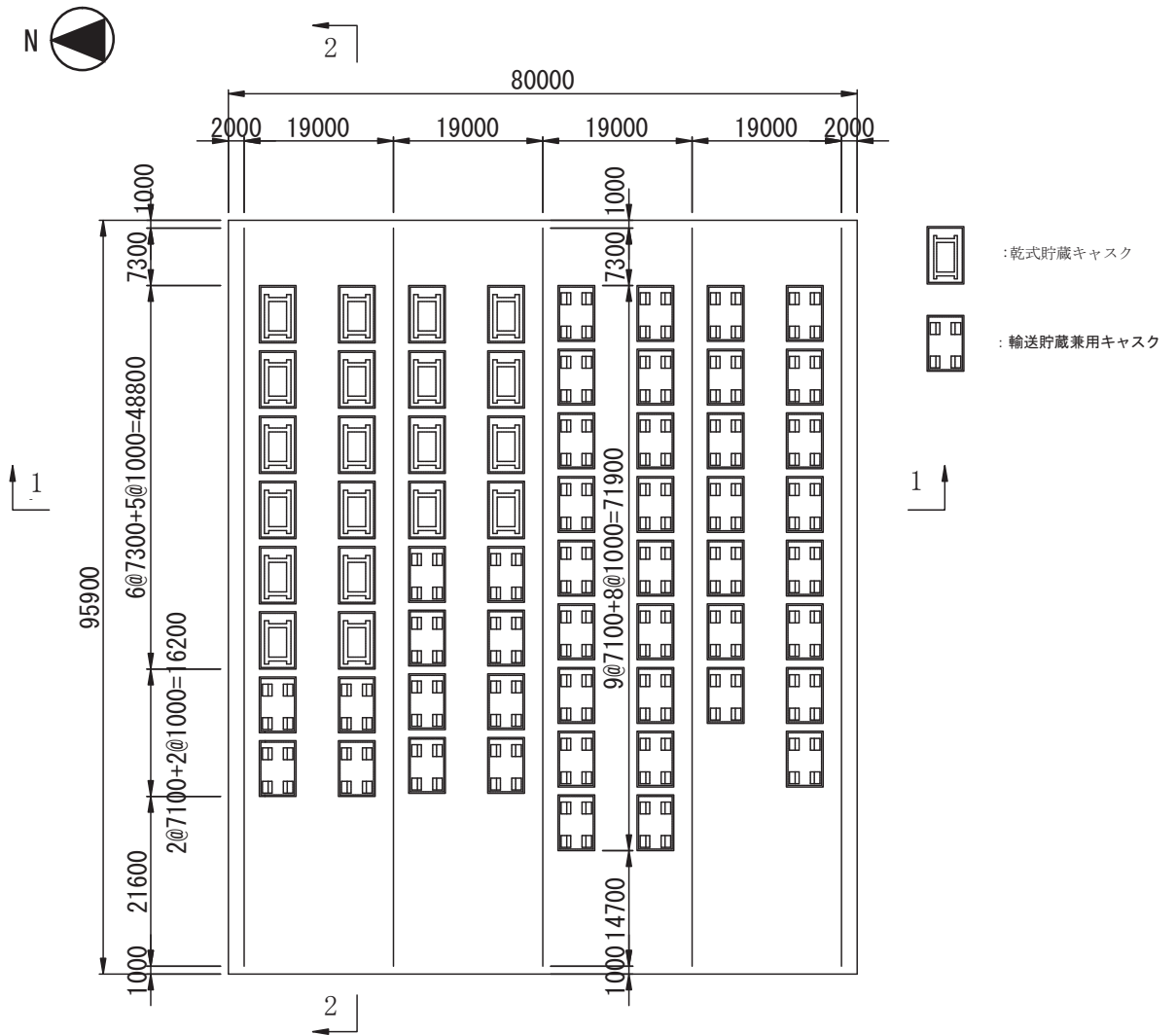


図 1.4-1 キャスク配置図 (単位 : mm)

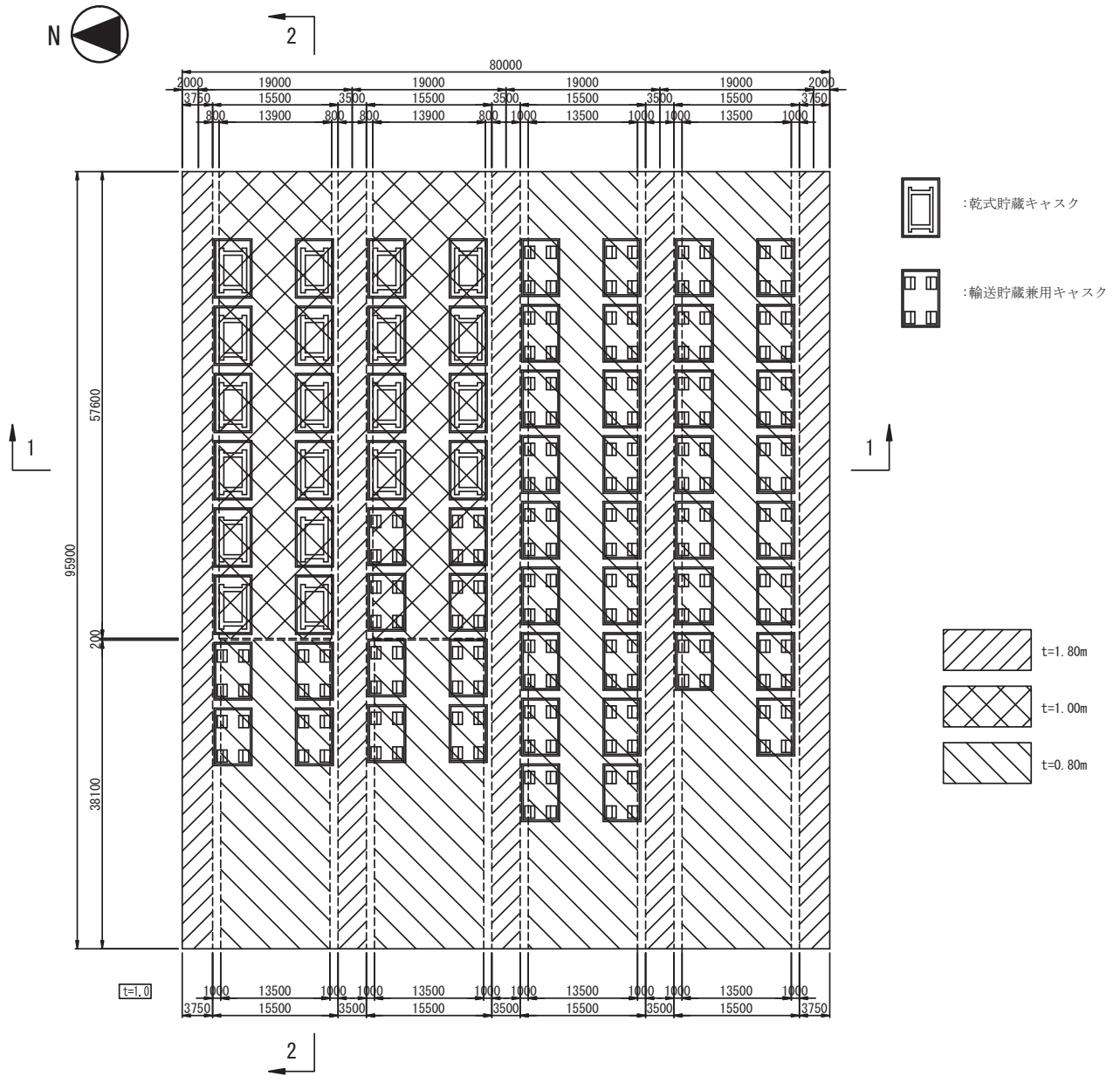
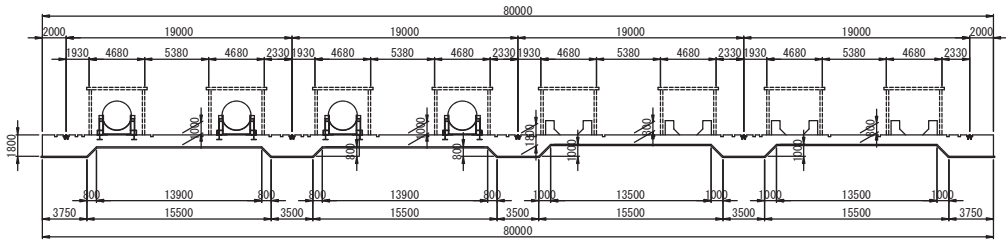


图 1.4-2 基础平面图 (单位: mm)

1-1 断面 (NS 方向)



2-2 断面 (EW 方向)

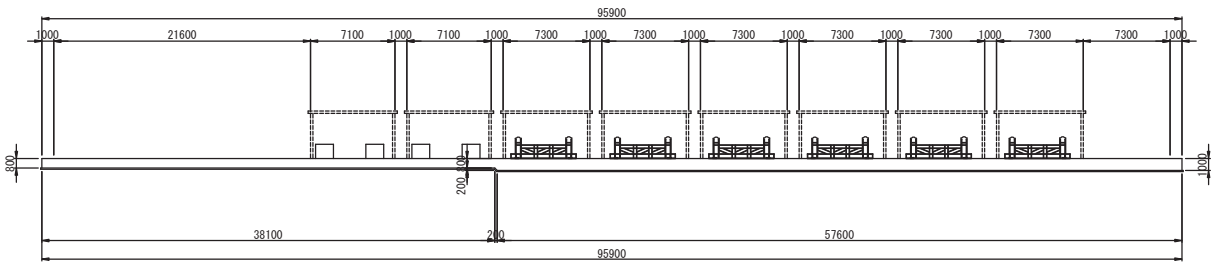
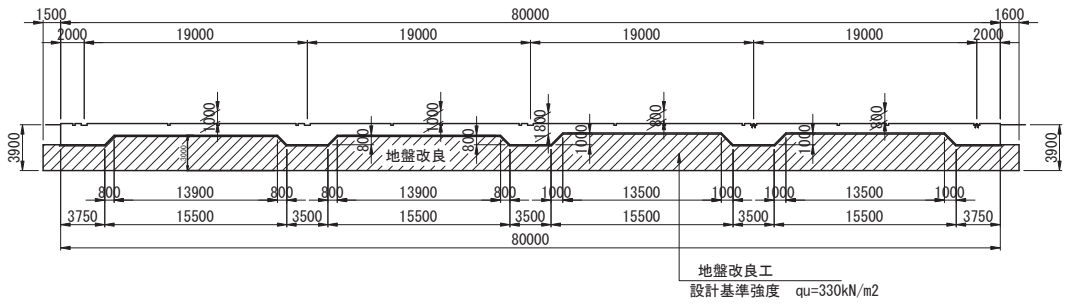


图 1.4-3 基础断面图 (单位: mm)

1-1 断面 (NS 方向)



2-2 断面 (EW 方向)

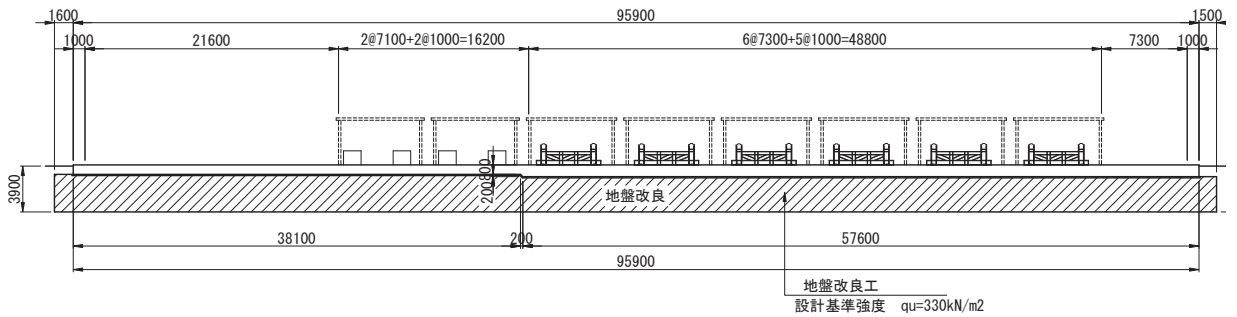


图 1.4-4 地盘改良断面图 (单位: mm)

2) 検討フロー

コンクリート基礎の構造強度の検討フローを図 1.4-5 に示す。

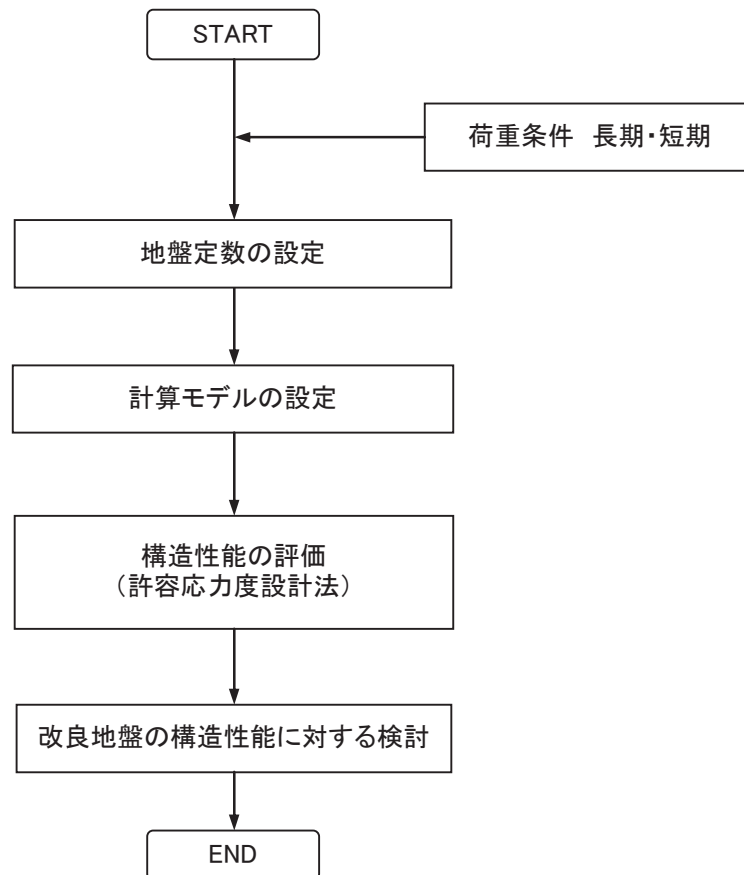


図 1.4-5 キヤスク仮保管設備コンクリート基礎の構造強度の検討フロー

3) 準拠規準

コンクリート基礎の検討は、以下の法規及び規準類に準拠して行う。

- ① 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (社) 日本電気協会
- ② 乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程
JEAC4616-2009 (社) 日本電気協会
- ③ コンクリート標準示方書 設計編 (2007) (社) 土木学会
- ④ コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002) (社) 土木学会
- ⑤ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル (1992)
(社) 土木学会
- ⑥ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005)
(社) 土木学会
- ⑦ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)
- ⑧ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)

4) 評価方法

構造強度の評価方法を表 1.4-1 に示す。

表 1.4 -1 構造強度の評価方法

| 評価対象 | 評価方法 | 準拠規準 |
|----------|--|------|
| 鉄筋コンクリート | コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容応力度を下回ることを確認する。 | ④ |
| 改良地盤 | 改良地盤に作用する地盤反力度，せん断応力度が，改良地盤の許容圧縮応力度，許容せん断応力度を下回ることを確認する。 | ② |
| 支持地盤 | 改良体下面に作用する地盤反力度が，許容地盤反力度を下回ることを確認する。 | ②及び⑦ |
| 基礎の沈下 | クレーンレール部基礎の沈下に伴うレールの傾斜が許容値を下回ることを確認する。 | — |

5) 使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び設計強度を表 1.4-2 及び表 1.4-3 に示す。

表 1.4-2 コンクリートの材料定数，許容応力度及び鉄筋の許容応力度

コンクリートの材料定数

| | 記号 | 単位 | |
|--------|----|----------------------|------------------------|
| ヤング係数 | E | (N/mm ²) | 2.50 × 10 ⁴ |
| 単位体積重量 | γ | (kN/m ³) | 24.0 |

コンクリートの許容応力度

| | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 |
|----------|-----------------|----------------------|-------|-------|
| 設計基準強度 | σ _{ck} | (N/mm ²) | 24.00 | |
| 許容圧縮応力度 | σ _{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 13.50 |
| 許容せん断応力度 | τ _{a1} | (N/mm ²) | 0.450 | 0.675 |

鉄筋の許容応力度

| | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 |
|---------|-----------------|----------------------|---------|-----|
| 鋼材の種類 | | | SD345 | |
| 許容引張応力度 | σ _{sa} | (N/mm ²) | 196 | 294 |
| 鉄筋径 | | | D13～D32 | |

表 1.4-3 改良地盤，支持地盤の物性値，許容応力度並びにクレーンレールの許容傾斜量

改良地盤の物性値、許容応力度

| | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 |
|----------|-----------------|----------------------|-------|-----|
| 変形係数 | E | (kN/m ²) | 32900 | |
| 許容圧縮応力度 | f _{sc} | (kN/m ²) | 110 | 220 |
| 許容せん断応力度 | f _{ss} | (kN/m ²) | 22 | 44 |

支持地盤の許容支持力度

| | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 |
|--------|----------------|----------------------|-----|-----|
| 許容支持力度 | q _a | (kN/m ²) | 666 | 531 |

クレーンの許容傾斜量

| | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 |
|-------|----|----|-------|----|
| 許容傾斜量 | i | — | 1/800 | — |

※「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—，2005 改定，(社) 日本建築学会」より

(3) 本設備の設計荷重とコンクリート基礎のモデル化

1) 設計荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重 (VL)

コンクリート基礎自重による鉛直方向の荷重で、基礎及びペDESTALの鉛直荷重を対象とする。表 1. 4-4 に鉛直荷重を示す。

表 1. 4-4 鉛直荷重

| | | 奥行き方向幅 | 部材高 | 鉛直荷重 |
|--------------|----------|-----------------|------|--------|
| | | (m) | (m) | (kN/m) |
| レール支持梁(EW方向) | レール部スラブ | 3.50 | 1.80 | 151 |
| NS方向スラブ | レール部スラブ | 8.30 | 1.80 | 359 |
| | キャスク部スラブ | 8.30 | 1.00 | 199 |
| | キャスク部スラブ | 8.30 | 0.80 | 159 |
| | ペDESTAL | 1.50×0.72×1.185 | | 70 |
| EW方向スラブ | キャスク部スラブ | 5.17 | 1.00 | 132 |
| | キャスク部スラブ | 5.17 | 0.80 | 111 |
| | ペDESTAL | 1.50×0.72×1.185 | | 70 |

注) ペDESTALの鉛直荷重は2脚当りを示す。

・クレーン荷重 (CL)

クレーンによる荷重を表 1. 4-5 に示す。

表 1. 4-5 クレーン荷重

(1輪当り)

| | 状態 | フック寄り | 走行車輪荷重 | | | | | |
|----|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 走行給電側 | | | 反走行給電側 | | |
| | | | 鉛直方向 | 横行方向 | 走行方向 | 鉛直方向 | 横行方向 | 走行方向 |
| | | | (UD方向) | (NS方向) | (EW方向) | (UD方向) | (NS方向) | (EW方向) |
| | | | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 長期 | 定格荷重(150t) | 走行給電側 | 622 | 62 | 93 | 262 | 26 | 39 |
| 短期 | 定格荷重(150t) | 走行給電側 | 743 | 86 | 86 | 142 | 17 | 17 |

注) 基礎天端の荷重を示す。

・キャスク荷重(CAL)

キャスクによる荷重を表 1.4-6 に示す。

表 1.4-6 キャスク荷重

| 貯蔵キャスク | | | 1基当たり | |
|--------|-------|--------|-------|------|
| | 項目 | 単位 | 長期 | 短期 |
| NS方向 | 鉛直力 | (kN) | 1280 | 1280 |
| | 水平力 | (kN) | 0 | 307 |
| | モーメント | (kN・m) | 0 | 453 |
| EW方向 | 鉛直力 | (kN) | 1280 | 1280 |
| | 水平力 | (kN) | 0 | 307 |
| | モーメント | (kN・m) | 88 | 540 |

| 輸送貯蔵兼用キャスク | | | 1脚当たり | |
|------------|-------|--------|-------|-----|
| | | | 長期 | 短期 |
| NS方向 | 鉛直力 | (kN) | 320 | 320 |
| | 水平力 | (kN) | 0 | 154 |
| | モーメント | (kN・m) | 105 | 105 |
| EW方向 | 鉛直力 | (kN) | 320 | 320 |
| | 水平力 | (kN) | 0 | 148 |
| | モーメント | (kN・m) | 0 | 69 |

・モジュール荷重(MJL)

モジュールによる荷重を表 1.4-7 に示す。

表 1.4-7 モジュール荷重

| 貯蔵キャスク | | | 1基当たり | |
|--------|----|------|-------|------|
| | 記号 | 単位 | NS方向 | EW方向 |
| 長期 | V | (kN) | 576 | 576 |
| | H | (kN) | 0 | 0 |
| 短期 | V | (kN) | 576 | 576 |
| | H | (kN) | -138 | 138 |

| 輸送貯蔵兼用キャスク | | | 1基当たり | |
|------------|----|------|-------|------|
| | 記号 | 単位 | NS方向 | EW方向 |
| 長期 | V | (kN) | 565 | 566 |
| | H | (kN) | 0 | 0 |
| 短期 | V | (kN) | 565 | 565 |
| | H | (kN) | -136 | 136 |

・地震荷重(K)

コンクリート基礎の短期荷重における設計震度は、一般産業施設（原子力施設の耐震設計上の重要度分類におけるCクラス相当）として、準拠規準①より以下の値とする。

$$K_H=0.3$$

なお、鉛直震度は考慮しない。

[参考] 準拠規準①より抜粋

5.3.1 設計用地震力

屋外重要土木構造物に用いる設計用地震力は、以下に示す2つの地震力とする。

① 構造物の基本設計に用いる静的地震力

屋外重要土木構造物の基本設計に用いる静的水平地震力は、以下に示す設計水平震度 (K_H) によることを原則とする。

表 5.3.1-1 設計震度

| 地盤の種類 | K_H |
|-----------------------------|-------|
| 原子炉建屋基礎地盤とほぼ同等の地盤 | 0.2 |
| 原子炉建屋基礎地盤より軟質で震度の増幅が予想される地盤 | 0.3 |

② 構造物の詳細設計に用いる地震動

屋外重要土木構造物の詳細設計に用いる地震動は、基準地震動 S_s （水平方向地震動及び鉛直方向地震動）に基づくものとする。

・風荷重(WL)

コンクリート基礎に対しては、風荷重は考慮しない（コンクリート基礎が扁平な形状であり大部分が地中構造物のため）。

・積雪荷重 (SL)

短期事象では地震時が支配的であることから、積雪時の検討は省略する。

2) コンクリート基礎のモデル化

コンクリート基礎は梁バネモデルにより解析する。検討モデルは荷重と基礎形状の特性により、表 1.4-8 に示す 3 タイプについてモデル化する。

表 1.4-8 検討タイプ

| 検討タイプ | 考慮する設備荷重 | 形状特性 |
|--------------|-----------------|-------------------|
| レール支持梁(EW方向) | クレーン | 幅3.5m, 厚1.8mの一定形状 |
| NS方向基礎 | キャスク、クレーン、モジュール | 厚1.8m, 1.0m, 0.8m |
| EW方向基礎 | キャスク、モジュール | 厚1.0m, 0.8m |

3 タイプの検討位置を図 1.4-6 に、解析モデルを表 1.4-9 に示す。

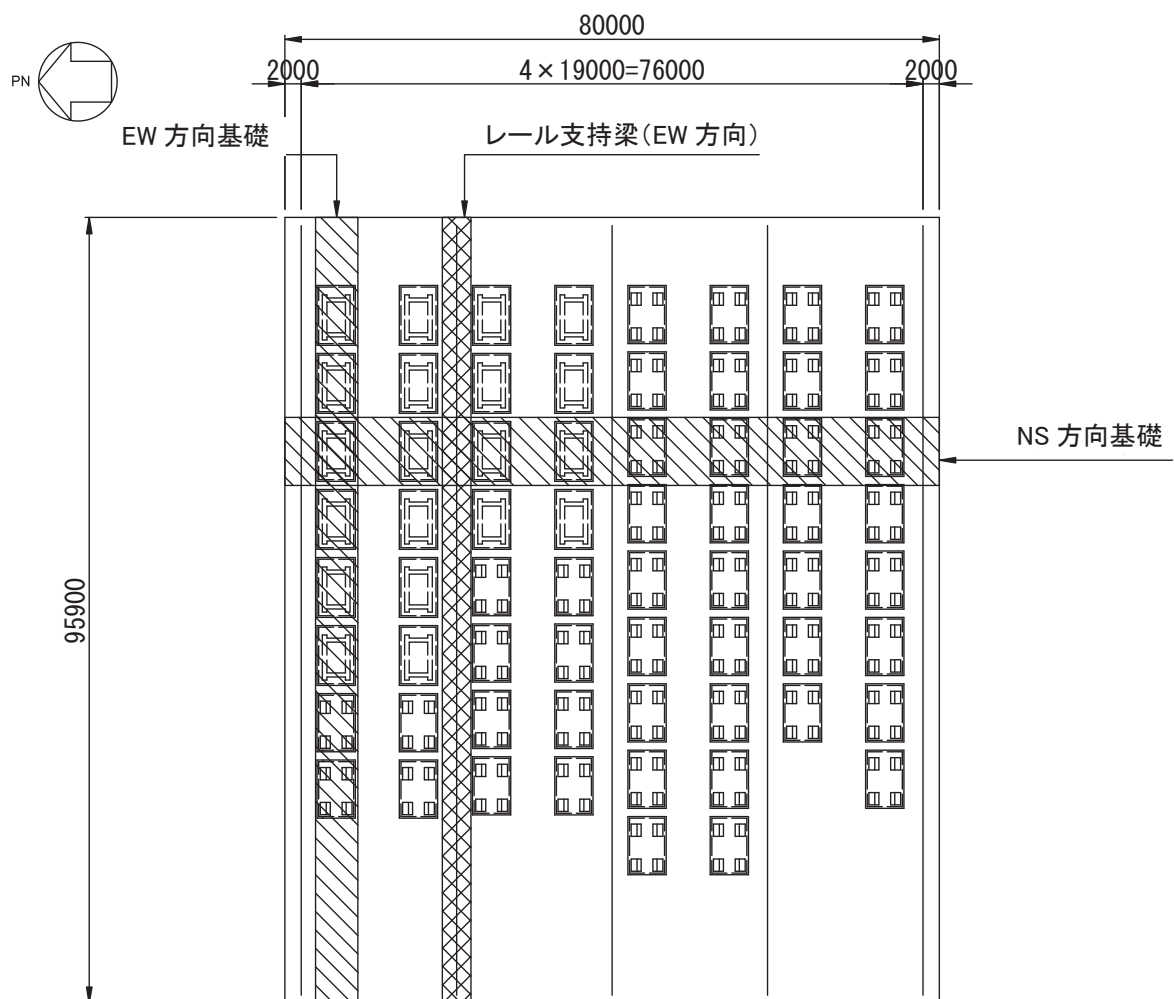


図 1.4-6 検討モデル (単位 : mm)

表 1.4-9 検討タイプの形状とモデル図

| | |
|---|--|
| <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">レール支持梁</p> | |
| <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">NS方向基礎</p> | |
| <p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">EW方向基礎</p> | |

(単位:mm)

3) 荷重の組合せ

荷重組合せを表 1.4-10 に示す。

表 1.4-10 コンクリート基礎の荷重組合せ

レール支持梁(EW方向)

| 想定する状態 | 許容応力度 | 荷重組合せ内容 |
|--------|-------|-------------|
| 常時 | 長期 | VL+CL |
| 地震時 | 短期 | VL+CL+K(EW) |

NS方向基礎

| 想定する状態 | 許容応力度 | 荷重組合せ内容 |
|--------|-------|---------------------|
| 常時 | 長期 | VL+CL+CAL+MJL |
| 地震時 | 短期 | VL+CL+CAL+MJL+K(NS) |

EW方向基礎

| 想定する状態 | 許容応力度 | 荷重組合せ内容 |
|--------|-------|------------------|
| 常時 | 長期 | VL+CAL+MJL |
| 地震時 | 短期 | VL+CAL+MJL+K(EW) |

4) クレーン及びキャスク・モジュールの載荷ケース

載荷ケース別のクレーン及びキャスク・モジュールの載荷位置を表 1.4-11～1.4-14 に示す。

表 1.4-11 クレーンの載荷位置 (レール支持梁 (EW 方向))



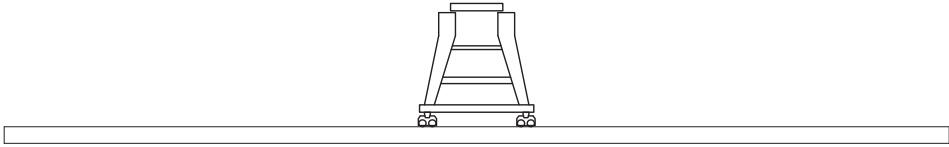


| | |
|-----------|--|
| クレーン 1 |  |
| クレーン 2 |  |
| クレーン 3 |  |
| クレーン 4 |  |
| クレーン 5 |  |

表 1.4-12 クレーンの載荷位置 (NS 方向基礎)


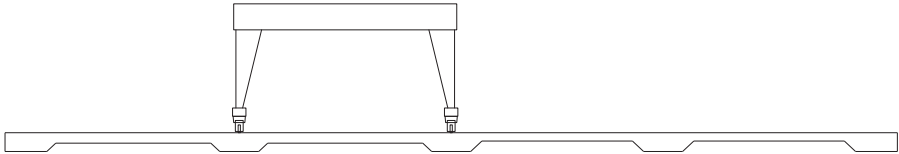
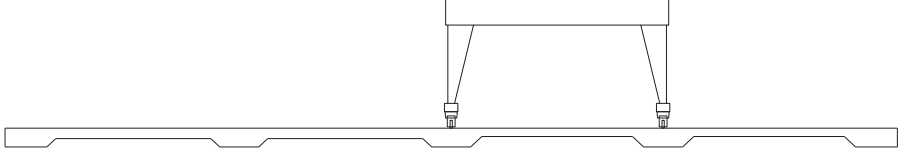

| | |
|-----------|--|
| クレーン 1 |  |
| クレーン 2 |  |
| クレーン 3 |  |
| クレーン 4 |  |

表 1.4-13 キャスク及びモジュールの載荷位置 (NS 方向基礎)

| | |
|---------------------|--|
| <p>キャスク・モジュール 1</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 2</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 3</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 4</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 5</p> | |

表 1.4-14 キャスク及びモジュールの載荷位置 (EW 方向基礎)

| | |
|--------------------|--|
| モジュール キャスク 1 | |
| モジュール キャスク 2 | |
| モジュール キャスク 3 | |
| モジュール キャスク 4 | |
| モジュール キャスク 5 | |
| モジュール キャスク 6 | |
| モジュール キャスク 7 | |

5) 載荷ケースの組合せ

クレーン及びキャスク・モジュールの載荷ケースの組合せを表 1.4-15～表 1.4-17 に示す。

表 1.4-15 載荷ケースの組合せ（レール支持梁（EW 方向））

| | 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール |
|----|--------|--------|------------|
| 長期 | ケース 1 | クレーン 1 | - |
| | ケース 2 | クレーン 2 | - |
| | ケース 3 | クレーン 3 | - |
| | ケース 4 | クレーン 4 | - |
| | ケース 5 | クレーン 5 | - |
| 短期 | ケース 6 | クレーン 1 | - |
| | ケース 7 | クレーン 2 | - |
| | ケース 8 | クレーン 3 | - |
| | ケース 9 | クレーン 4 | - |
| | ケース 10 | クレーン 5 | - |

表 1.4-16 載荷ケースの組合せ（NS 方向基礎）

| | 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール | |
|----|--------|--------|--------------|-----------------------------|
| 長期 | ケース 1 | クレーン 1 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 2 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 3 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 4 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 5 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 6 | クレーン 2 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 7 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 8 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 9 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 10 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 11 | クレーン 3 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 12 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 13 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 14 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 15 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 16 | クレーン 4 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 17 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 18 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 19 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 20 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| 短期 | ケース 21 | クレーン 1 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 22 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 23 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 24 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 25 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 26 | クレーン 2 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 27 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 28 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 29 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 30 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 31 | クレーン 3 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 32 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 33 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 34 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 35 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| | ケース 36 | クレーン 4 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| | ケース 37 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 38 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 39 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 40 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |

表 1.4-17 載荷ケースの組合せ (EW 方向基礎)

| | 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール | |
|----|--------|------|--------------|-----------------------------|
| | | | キャスク・モジュール | 乾式貯蔵キャスク |
| 長期 | ケース 1 | - | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 6 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 2 | - | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 6 基 |
| | ケース 3 | - | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 5 基 |
| | ケース 4 | - | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 5 | - | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスク 3 基 |
| | ケース 6 | - | キャスク・モジュール 6 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 7 | - | キャスク・モジュール 7 | 乾式貯蔵キャスク 1 基 |
| 短期 | ケース 8 | - | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 6 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| | ケース 9 | - | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 6 基 |
| | ケース 10 | - | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 5 基 |
| | ケース 11 | - | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| | ケース 12 | - | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスク 3 基 |
| | ケース 13 | - | キャスク・モジュール 6 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| | ケース 14 | - | キャスク・モジュール 7 | 乾式貯蔵キャスク 1 基 |

6) 設計断面力

検討タイプ別に、全ての組合せケースの最大値（負の値は最小値）を抽出し、設計断面力とする。

7) 荷重図

代表例として、検討タイプ別に下側鉄筋の決定ケースとなった組合せケースの荷重図を図 1.4-7～図 1.4-9 に示す。

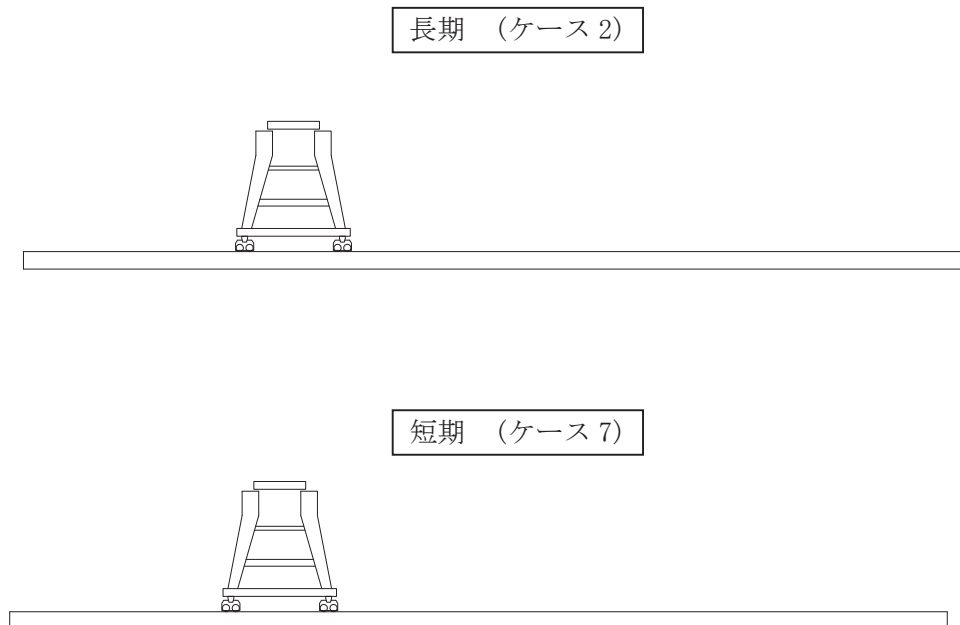
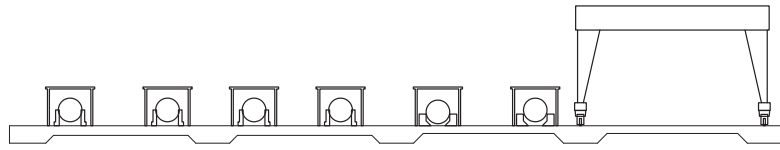


図 1.4-7 荷重図 (レール支持梁 (EW 方向))

長期 (ケース 17)



短期 (ケース 37)

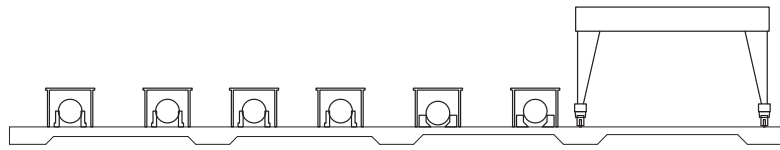
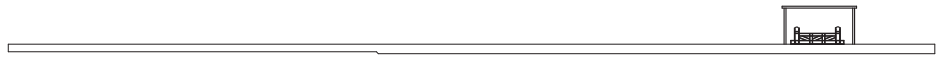


図 1.4-8 荷重図 (NS 方向基礎)

長期 (ケース 7)



短期 (ケース 8)



図 1.4-9 荷重図 (EW 方向基礎)

(4) 構造強度の評価

構造強度の評価は次式に示すように応力度が許容応力度を下回ることを確認する。

曲げ応力度の照査

$$\sigma_c \leq \sigma_{ca}$$

$$\sigma_s \leq \sigma_{sa}$$

ここに、

σ_c : コンクリートの曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{ca} : コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)

σ_s : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

せん断応力度の照査

$$\tau \leq \tau_a$$

ここに、

τ : コンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

τ_a : コンクリートの許容せん断応力度 (N/mm²)

断面検討結果を表 1.4-18～表 1.4-20 に示す。

断面検討の結果、応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表 1.4-18 断面検討結果（レール支持梁（EW 方向））

| 項目 | | 記号 | 単位 | レール支持梁 | |
|------|-----|----------------|------|--------------------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 3500 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 1800 | |
| 鉄筋 | 1段目 | 位置 | d | (mm) | 525 |
| | | 鉄筋 | | | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 24.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 121.61 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 866 |
| | | 鉄筋 | | | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 6.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 30.40 |
| | 3段目 | 位置 | d | (mm) | 1658 |
| | | 鉄筋 | | | D32 |
| | | 本数 | | (本) | 24.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 190.61 |
| | せん断 | 鉄筋 | | | D22 |
| ピッチ | | | (mm) | — | |
| 鉄筋本数 | | | (本) | 4.000 | |
| 配置間隔 | | S _s | (mm) | 450 | |

| 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 | |
|--------|-------|---------|------|--------|-------|-------|
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース5 | ケース10 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | -1838 | -1409 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -142 | -131 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 7 | 9 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース2 | ケース7 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 3175 | 2777 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 47 | 43 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 169 | 162 |
| せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース2 | ケース8 | |
| | せん断力 | Vd | (kN) | 748 | 814 | |

| 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | 短期 | |
|------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|
| 上側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 2.43 | 1.87 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.27 | 0.14 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 123 | 95 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.63 | 0.32 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| 下側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 3.10 | 2.71 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.34 | 0.20 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 109 | 95 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.56 | 0.32 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| せん断 | 引張応力度 | τ | (N/mm ²) | 0.147 | 0.160 | |
| | 許容引張応力度 | τ_a | (N/mm ²) | 0.450 | 0.675 | |
| | $\tau / \tau_a \leq 1.0$ | | | 0.33 | 0.24 | |
| | 判定 | | | OK | OK | |

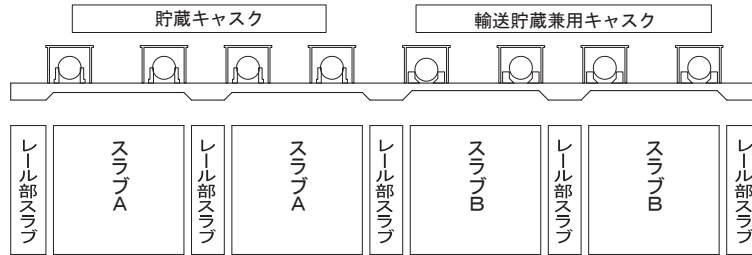


図 1.4-10 NS 方向基礎検討位置図

表 1.4-19 断面検討結果 (NS 方向基礎)

| 項目 | | 記号 | 単位 | レール部スラブ | スラブA | スラブB | |
|----|------|------|----------------|--------------------|--------|--------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 4380 | 7280 | 5760 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 1650 | 850 | 650 | |
| 鉄筋 | 1段目※ | 位置 | d | (mm) | 350 | 350 | 100 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D25 | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 58.000 | 48.000 | 38.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 293.89 | 243.22 | 192.55 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 1540 | 740 | 540 |
| | | 鉄筋 | | | D32 | D25 | D32 |
| | | 本数 | | (本) | 29.000 | 48.000 | 38.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 230.32 | 243.22 | 301.80 |
| | せん断 | 鉄筋 | | | D16 | D16 | D16 |
| | | ピッチ | | (mm) | 600 | 600 | 600 |
| | | 鉄筋本数 | | (本) | 13.833 | 13.833 | 13.833 |
| | | 配置間隔 | S _s | (mm) | 900 | 600 | 600 |

| | 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | | | 短期 | | |
|-------|--------|---------|----|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | | | | レール部スラブ | スラブA | スラブB | レール部スラブ | スラブA | スラブB |
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース 5 | ケース 7 | ケース 11 | ケース 34 | ケース 27 | ケース 31 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | -934 | -1501 | -1338 | -187 | -1388 | -1070 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -116 | -56 | -16 | -695 | -466 | -117 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 643 | 45 | 28 | 268 | 74 | 78 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース 18 | ケース 13 | ケース 17 | ケース 34 | ケース 33 | ケース 37 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 3570 | 2622 | 2471 | 3573 | 2216 | 1931 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 128 | 80 | 119 | -391 | -516 | -486 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 633 | 406 | 988 | 752 | 1151 | 1016 |
| | せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース 9 | ケース 7 | ケース 16 | ケース 31 | ケース 33 | ケース 36 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 913 | 1167 | 1047 | 926 | 1151 | 1053 |

| 引張鉄筋位置 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | | | 短期 | | | |
|--------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | | | レール部スラブ | スラブA | スラブB | レール部スラブ | スラブA | スラブB | |
| 上側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 0.73 | 4.74 | 4.30 | 0.00 | 4.50 | 3.43 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 13.50 | 13.50 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.08 | 0.53 | 0.48 | 0.00 | 0.33 | 0.25 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 29 | 144 | 145 | 39 | 146 | 119 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 196 | 196 | 294 | 294 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.15 | 0.73 | 0.74 | 0.13 | 0.50 | 0.40 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| 下側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 2.86 | 4.98 | 7.21 | 2.68 | 4.17 | 5.53 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 9.00 | 9.00 | 13.50 | 13.50 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.32 | 0.55 | 0.80 | 0.20 | 0.31 | 0.41 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 106 | 149 | 174 | 119 | 136 | 146 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 196 | 196 | 294 | 294 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.54 | 0.76 | 0.89 | 0.40 | 0.46 | 0.50 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| せん断 | せん断応力度 | τ | (N/mm ²) | 0.082 | 0.217 | 0.267 | 0.083 | 0.214 | 0.268 | |
| | 許容せん断応力度 | τ_a | (N/mm ²) | 0.450 | 0.450 | 0.450 | 0.675 | 0.675 | 0.675 | |
| | $\tau / \tau_a \leq 1.0$ | | | 0.18 | 0.48 | 0.59 | 0.12 | 0.32 | 0.40 | |
| | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | OK | OK | |

※ 1段目の鉄筋量は長期上引張が最も厳しくなる部材における値を示す。

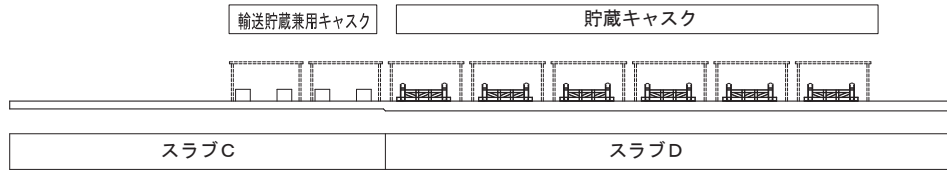


図 1.4-11 EW 方向基礎検討位置図

表 1.4-20 断面検討結果 (EW 方向基礎)

| 項目 | | 記号 | 単位 | スラブC | スラブD | |
|-----|------|----------------|------|--------------------|--------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 4.003 | 4.504 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 800 | 1000 | |
| 鉄筋 | 1段目 | 位置 | d | (mm) | 275 | 525 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 24.000 | 30.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 121.61 | 152.01 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 661 | 866 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D22 |
| | | 本数 | | (本) | 26.000 | 30.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 131.74 | 116.13 |
| せん断 | 鉄筋 | | | D16 | D16 | |
| | ピッチ | | (mm) | 600 | 600 | |
| | 鉄筋本数 | | (本) | 8.617 | 8.617 | |
| | 配置間隔 | S _s | (mm) | 600 | 600 | |

| | 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | | 短期 | |
|-------|--------|---------|----|--------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | スラブC | スラブD | スラブC | スラブD |
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース 1 | ケース 5 | ケース 9 | ケース 11 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN·m) | -730 | -1000 | -453 | -674 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 0 | 0 | -979 | -947 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 5 | 2 | 13 | 4 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース 1 | ケース 7 | ケース 8 | ケース 14 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN·m) | 907 | 1930 | 927 | 1524 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 3 | 2 | -562 | -100 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 468 | 39 | 450 | 5 |
| | せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース 1 | ケース 7 | ケース 8 | ケース 14 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 619 | 564 | 685 | 474 |

| 引張鉄筋位置 | 項目 | 記号 | 単位 | 長期 | | 短期 | | |
|--------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | スラブC | スラブD | スラブC | スラブD | |
| 上側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 4.19 | 5.85 | 2.88 | 4.92 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 9.00 | 13.50 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.47 | 0.65 | 0.21 | 0.36 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 130 | 160 | 136 | 171 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 196 | 294 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.66 | 0.82 | 0.46 | 0.58 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| 下側 | コンクリート | 圧縮応力度 | σ_c | (N/mm ²) | 3.75 | 4.88 | 3.79 | 3.85 |
| | | 許容曲げ圧縮応力度 | σ_{ca} | (N/mm ²) | 9.00 | 9.00 | 13.50 | 13.50 |
| | | $\sigma_c / \sigma_{ca} \leq 1.0$ | | | 0.42 | 0.54 | 0.28 | 0.29 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| | 鉄筋 | 引張応力度 | σ_s | (N/mm ²) | 113 | 163 | 135 | 131 |
| | | 許容引張応力度 | σ_{sa} | (N/mm ²) | 196 | 196 | 294 | 294 |
| | | $\sigma_s / \sigma_{sa} \leq 1.0$ | | | 0.58 | 0.83 | 0.46 | 0.45 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK | OK |
| せん断 | せん断応力度 | τ | (N/mm ²) | 0.207 | 0.144 | 0.229 | 0.121 | |
| | 許容せん断応力度 | τ_a | (N/mm ²) | 0.450 | 0.450 | 0.675 | 0.675 | |
| | $\tau / \tau_a \leq 1.0$ | | | 0.46 | 0.32 | 0.34 | 0.18 | |
| | 判定 | | | OK | OK | OK | OK | |

(5) 改良地盤の構造強度に対する検討

1) 検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、長期及び短期荷重により発生する荷重に対して許容応力度を満足することを確認する。

改良地盤の許容応力度は、改良地盤の設計圧縮強度、圧縮応力度及びせん断応力度に対する安全率に基づき設定する。

支持地盤の許容支持力度は、支持地盤の極限支持力度に対する安全率に基づき設定する。

2) 検討モデル

改良地盤の範囲は、コンクリート基礎下面から G.L. -3.90m までである。図 1.4-12 に地盤改良平面図、図 1.4-13 に 1-1 断面を示す。

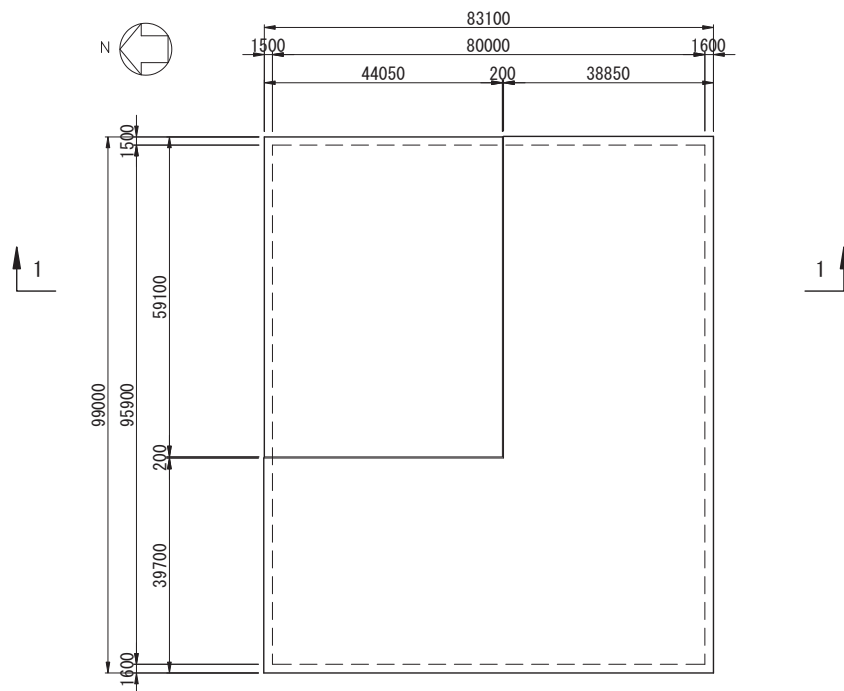


図 1.4-12 地盤改良平面図 (単位: mm)

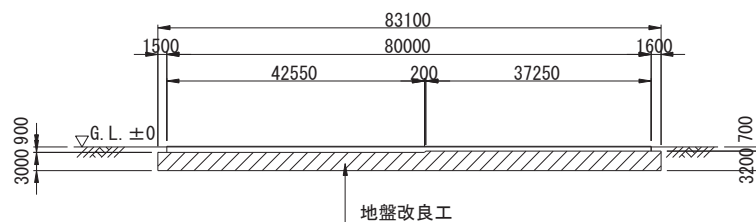


図 1.4-13 1-1 断面 (単位: mm)

3) 改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討

改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討は、改良地盤に発生する最大地盤反力度（梁バネモデルにより算出するバネ反力度）が改良地盤の許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$$q_{\max} \leq f_{sc}$$

ここに、

q_{\max} : 最大地盤反力度 (kN/m²)

f_{sc} : 改良地盤の許容圧縮応力度 (kN/m²)

長期 ${}_L f_{sc} = 110$ (kN/m²)

短期 ${}_S f_{sc} = 220$ (kN/m²)

安全率の検討結果を表 1.4-21 に示す。検討結果より改良地盤に発生する最大地盤反力度が改良地盤の許容圧縮応力度を下回ることを確認した。

表 1.4-21 改良地盤の地盤反力度に対する検討結果
(基礎下面)

| | | 最大地盤反力度 | 改良地盤の許容圧縮応力度 | 検定値 | 判定 |
|---------|----|----------------------|----------------------------|------------------------------|----|
| | | q_{\max} | ${}_L f_{sc}, {}_S f_{sc}$ | $q_{\max} / f_{sc} \leq 1.0$ | |
| | | (kN/m ²) | (kN/m ²) | | |
| レール支持梁 | 長期 | 104 | 110 | 0.95 < 1.0 | OK |
| | 短期 | 119 | 220 | 0.54 < 1.0 | OK |
| NS方向スラブ | 長期 | 84 | 110 | 0.76 < 1.0 | OK |
| | 短期 | 97 | 220 | 0.44 < 1.0 | OK |
| EW方向スラブ | 長期 | 72 | 110 | 0.65 < 1.0 | OK |
| | 短期 | 72 | 220 | 0.33 < 1.0 | OK |

4) 改良地盤に生じるせん断応力に対する検討

改良地盤に生じるせん断応力に対する検討は、改良地盤に発生する最大せん断応力度が許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_{\max} \leq f_{SS}$$

$$\tau_{\max} = \kappa \cdot \tau$$

$$f_{SS} = 1/5 \cdot f_{SC}$$

ここに、

τ_{\max} : 最大せん断応力度 (kN/m²)

f_{SS} : 改良地盤の許容せん断応力度 (kN/m²)

κ : 形状係数 ($\kappa = 1.2$)

τ : 平均せん断応力度 (kN/m²)

f_{SC} : 改良地盤の許容圧縮応力度 (kN/m²)

長期 ${}_L f_{SC} = 110$ (kN/m²)

短期 ${}_S f_{SC} = 220$ (kN/m²)

${}_L f_{SS} = 1/5 \cdot 110 = 22$ (kN/m²)

${}_S f_{SS} = 1/5 \cdot 220 = 44$ (kN/m²)

長期 $\tau = 0.046$ (kN/m²) $\tau_{\max} = 0.046 \times 1.2 = 0.055$ (kN/m²)

短期 $\tau = 12.1$ (kN/m²) $\tau_{\max} = 12.1 \times 1.2 = 14.5$ (kN/m²)

せん断応力度の検討結果を表 1.4-22 に示す。検討結果より改良地盤に発生する最大せん断応力度が許容せん断応力度を下回ることを確認した。

表 1.4-22 改良地盤のせん断応力度に対する検討結果

| | 最大せん断応力度 | 許容せん断応力度 | 検定値 | 判定 |
|----|----------------------|----------------------------|---------------------------------|----|
| | τ_{\max} | ${}_L f_{SS}, {}_S f_{SS}$ | | |
| | (kN/m ²) | (kN/m ²) | $\tau_{\max} / f_{SS} \leq 1.0$ | |
| 長期 | 0.055 | 22 | 0.003 < 1.0 | OK |
| 短期 | 14.5 | 44 | 0.33 < 1.0 | OK |

2 耐震性

2.1 乾式キャスクの耐震性

(1) 乾式貯蔵キャスク

1) 評価方針

本設備で使用する乾式貯蔵キャスクは、添付資料-2「評価の基本方針」で記載している既存評価書で確認した設計で製作するもので、既存評価書にてキャスク保管建屋における基準地震動 S_2 に対する耐震性が確認されている。

本設備での保管にあたっては設置場所が異なることから、本設置場所における基準地震動 S_s による地震動に対し、既存評価の結果を用いて余裕率の範囲にあることを確認する。

2) 評価方法

既存評価に基づく乾式貯蔵キャスクの耐震性の評価手順を図 2. 1-1 に示す。

評価は既存設計からの耐震安全性評価で用いている応答倍率法を参考に、既存評価書の設計震度と本設置場所での設計震度の応答比を求め、余裕率と比較することで耐震安全性評価を行う。

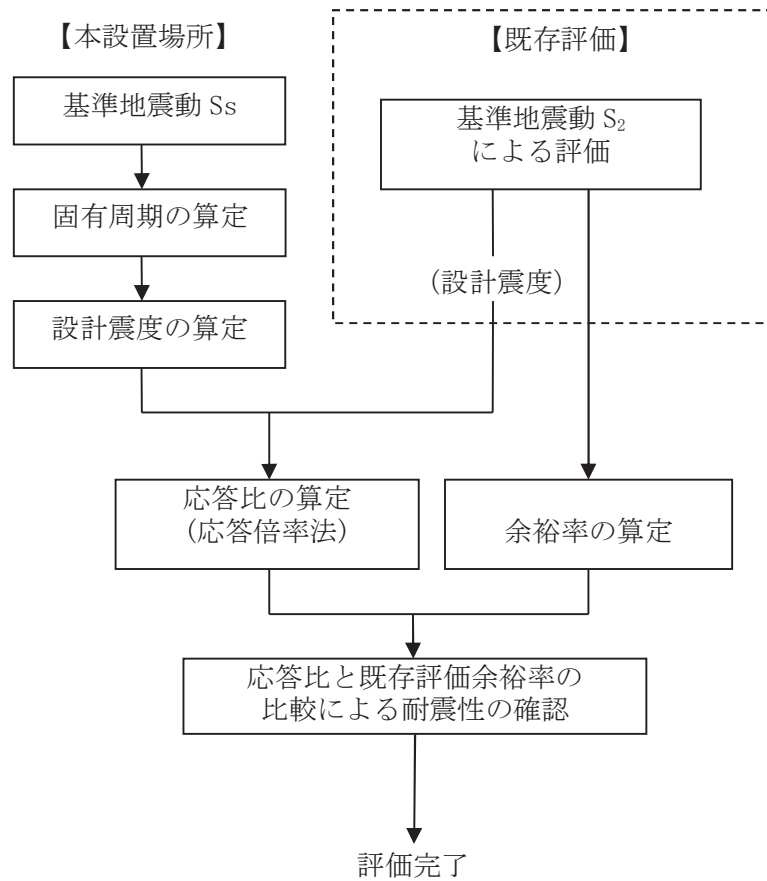


図 2. 1-1 乾式貯蔵キャスクの耐震性評価フロー

3) 固有周期の算定

支持架台に設置された乾式貯蔵キャスクの固有周期の算定モデルは、既存評価と同様である。以下に乾式貯蔵キャスクの固有周期についての計算方法及び計算結果を示す。

① 固有周期の計算条件

- A. 乾式貯蔵キャスクは、横置きで支持される。
- B. 乾式貯蔵キャスクの自重（内部を含む）は、4 個のトラニオンを介してキャスク支持架台に固定される。
- C. 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定される。
- D. キャスク支持架台は固定ボルトで固定具に固定される。固定具は基礎ボルトで基礎に固定される。

概略構造図を図 2.1-2 に示す。なおキャスク容器とは、胴板、底板、一次蓋、一次蓋締付けボルト、貫通孔蓋板及び貫通孔蓋板締付けボルトで構成される。

② 固有周期の計算方法

A. 設定条件

- a. 自重及び鉛直方向地震力に対しては、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。
- b. キャスク容器軸方向水平地震力に対しては、キャスク支持架台の 2 本の脚柱で支える。
- c. キャスク容器軸直角方向水平地震力に対しては、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。

B. 計算モデル及び計算方法

- a. キャスク容器及びキャスク支持架台をはりでモデル化する。
- b. キャスク容器のりは、その質量（内部のバスケット、使用済燃料等を含む）と等価質量となるはり要素を用いる。
- c. キャスク支持架台の脚柱下部を固定端とする。
- d. 計算コードとして NASTRAN を用いる。
- e. 計算モデルは図 2.1-3 とする。なお、計算モデルは既存評価と同様である。

③ 固有周期

固有周期の算定結果を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 保管時の乾式貯蔵キャスクの固有周期
大型キャスク (単位 : s)

| 方 向 | 固有周期 |
|-------------|-------|
| キャスク容器軸方向 | 0.048 |
| キャスク容器軸直角方向 | 0.045 |
| キャスク容器鉛直方向 | 0.013 |

中型キャスク (単位 : s)

| 方 向 | 固有周期 |
|-------------|-------|
| キャスク容器軸方向 | 0.043 |
| キャスク容器軸直角方向 | 0.035 |
| キャスク容器鉛直方向 | 0.012 |

計算モデル及び乾式貯蔵キャスク，支持架台の仕様が既存評価書と同じことから，固有周期は，既存評価と同様である。

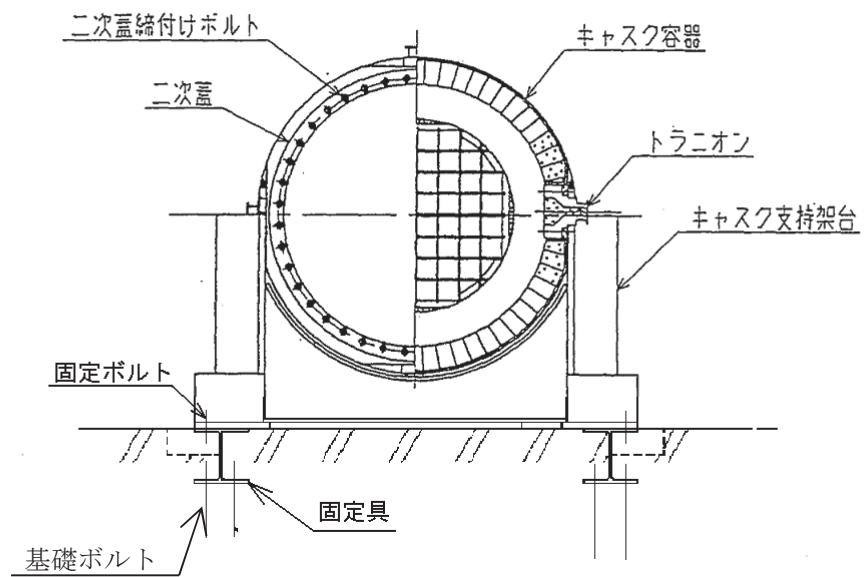
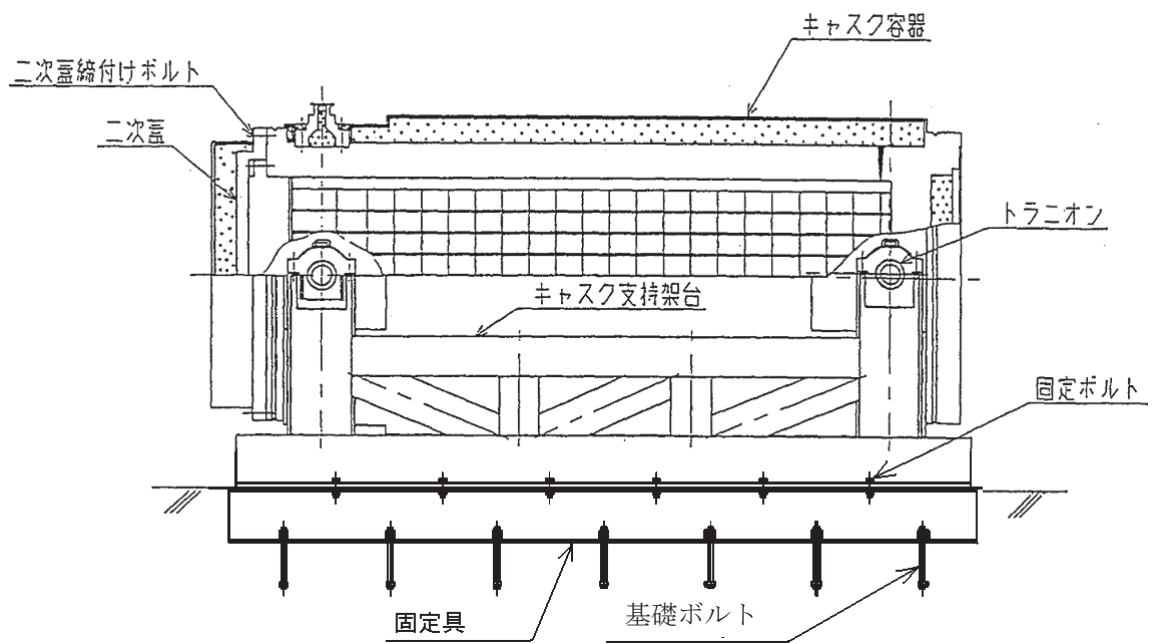
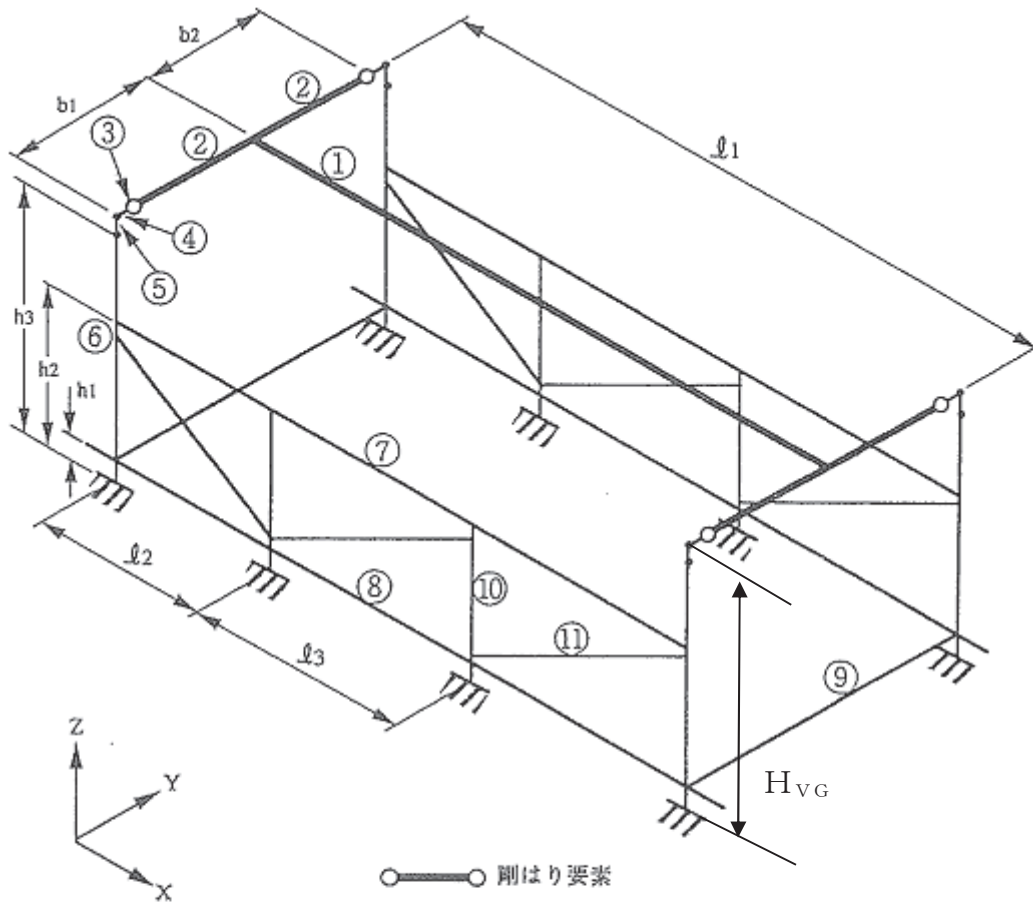


図 2.1-2 乾式貯蔵キャスクの概略構造図



| 部 材 名 称 | 部 材 名 称 |
|-----------------------------|-------------|
| ① キャスク容器本体 (等価質量の剛はり要素) | ⑥ 下 部 脚 柱 |
| ② キャスク容器本体 (剛はり要素, 質量なし) | ⑦ 上部軸方向水平はり |
| | ⑧ 下部軸方向水平はり |
| ③ トラニオン取付部 | ⑨ 軸直角方向水平はり |
| ④ ト ラ ニ オ ン | ⑩ 脚柱補強垂直材 |
| ⑤ 上 部 脚 柱 | ⑪ 脚柱補強斜材 |

(単位: mm)

| | h_1 | h_2 | h_3 | b_1 | b_2 | l_1 | l_2 | l_3 | H_{VG} |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 大型 | 200 | 1000 | 1380 | 1301 | 1007 | 4250 | 1480 | 1290 | 1600 |
| 中型 | 200 | 1030 | 1380 | 1218 | 902 | 4250 | 1480 | 1290 | 1600 |

図 2.1-3 固有周期解析モデル

4) 本設備での設計震度

「3) 固有周期の算定」で求めた固有周期から、乾式貯蔵キャスクの耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

乾式貯蔵キャスクの固有周期は全て 0.05sec 以下であることから、乾式貯蔵キャスクは剛体と見なすことができる。従って設計用地震力は 1.2ZPA とする。表 2.1-2 に Ss の 1.2ZPA を示す。

表 2.1-2 Ss の 1.2ZPA

| | | |
|----|------------|------------|
| | 1.2ZPA(水平) | 1.2ZPA(鉛直) |
| Ss | 0.79G | 0.49G |

5) 耐震性評価

① 設計震度の比較

「4) 本設備での設計震度」で算出した本設置場所の設計水平及び鉛直震度と既存評価における設計水平及び鉛直震度を表 2.1-3 に示す。

表 2.1-3 既存評価との設計震度の比較

| 項目 | 既存評価 | 本設置場所 |
|---------|----------------|-------|
| 基準地震動 | S ₂ | Ss |
| 水平震度 Ch | 0.55G | 0.79G |
| 鉛直震度 Cv | 0.23G | 0.49G |

② 耐震性の評価

前項で示した設計震度の比較から、応答倍率法により本設置場所における乾式貯蔵キャスクの耐震性を評価する。

また応答比の算出方法は種々あるが、ここではより安全側の評価となるように応答比 β を以下のように定める。

$$\beta = \max\left(\frac{C_{H1}}{C_{H0}}, \frac{C_{V1}}{C_{V0}}\right)$$

C_{H0} : 既存の評価で用いた水平震度

C_{H1} : 新たな評価で用いる水平震度

C_{V0} : 既存の評価で用いた鉛直震度

C_{V1} : 新たな評価で用いる鉛直震度

既存評価書で用いている設計震度と本評価で用いる設計震度の値から上式で算定した応答比は 2.130 である。

参考資料より既設評価における余裕率は全ての部位で 2.130 を上回っており、本設置場所においても耐震安全性を確保できる。

1 基準地震動 S₂

1-1 乾式貯蔵キャスク 大型 (6号機)

| 基準地震動 S ₂ | |
|-----------------------|-----------------------|
| 水平方向 設計加速度 | 鉛直方向 設計加速度 |
| C _H =0.55G | C _V =0.23G |

出典

福島第一原子力発電所 第6号機工事計画認可申請書及び添付資料
(平成22年10月22日申請, 東京電力株式会社)
IV-3-2 使用済燃料乾式貯蔵容器の応力計算

(1) キャスク容器

(単位: N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | 余裕率 | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 余裕率 | 一次+二次応力 | | 余裕率 |
|--------------------------|--------------------|------------------|-----------|------|-------|------------------|------|------|---------|------|-------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 胴板 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 6 | 251 | 41.8 | 8 | 377 | 47.1 | 12 | 362 | 30.2 |
| 一次蓋 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 1 | 251 | 251.0 | 27 | 377 | 14.0 | 2 | 362 | 181.0 |
| 底板 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 2 | 251 | 125.5 | 7 | 377 | 53.9 | 4 | 362 | 90.5 |
| 貫通孔蓋板 | SUS304 | I+S ₂ | 7 | 276 | 39.4 | 49 | 414 | 8.4 | 2 | 401 | 200.5 |
| 密封シール部 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 11 | 181 | 16.5 | 11 | 181 | 16.5 | 5 | 181 | 36.2 |
| ボス溶接部 | SUS304L | I+S ₂ | 5 | 125 | 25.0 | 5 | 188 | 37.6 | 9 | 168 | 18.7 |
| ガンマ線遮へい体 取付ボルト 溶接部 | SUS304 | I+S ₂ | 3 | 125 | 41.7 | 3 | 188 | 62.7 | 7 | 181 | 25.9 |

注 1) GLF1 相当材は GLF1 として表記する。

(キャスク容器)

(単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 余裕率 | 平均引張応力 +曲げ応力 | | 余裕率 |
|----------------|------|------------------|--------|------|-----|-----------------|------|-----|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 一次蓋 締付けボルト | GBL1 | I+S ₂ | 81 | 649 | 8.0 | 106 | 649 | 6.1 |
| 貫通孔蓋板 締付ボルト | GBL1 | I+S ₂ | 199 | 649 | 3.3 | 265 | 649 | 2.4 |

(2)バスケット

(単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 余裕率 | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 余裕率 |
|------------------------|------------------|------------------|-----------|--------------------|-----|-------|--------------|--------------------|-----|-------|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | |
| バスケット プレート | A6061P 及びB-A1 | I+S ₂ | 2 | 65 | 65 | 32.5 | 3 | 98 | 98 | 32.7 |
| バスケット サポート | SUS304 | I+S ₂ | 2 | 266 | 266 | 133.0 | 2 | 400 | 400 | 200.0 |
| バスケット サポート 取付ボルト | SUS304 | I+S ₂ | 18 | 266 | 266 | 14.8 | 18 | 400 | 400 | 22.2 |

注 1) 設計・建設規格に基づく許容応力値を左側に、構造規格に基づく許容応力値を右側に示す。

(3) トラニオン

(単位: N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | | | 引張応力 | | 余裕率 | 圧縮応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 6 | 586 | 97.7 | 6 | 583 | 97.2 | 17 | 338 | 19.9 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | | | 曲げ応力 | | 余裕率 | 支圧応力 | | 余裕率 | 組合せ応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 21 | 586 | 27.9 | 37 | 1098 | 29.7 | 35 | 586 | 16.7 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次+二次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|---------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 引張・圧縮応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 | 曲げ応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 22 | 1172 | 53.3 | 23 | 676 | 29.4 | 29 | 1172 | 40.4 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 引張応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 | 組合せ応力 | | 余裕率 |
|----|----|------|----------------|------|-------------------|-------|------|-----|-------|------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| | | | トラニオン 締付ボルト | GBL1 | I +S ₂ | 71 | 584 | 8.2 | 28 | 449 | 16.0 |

(4) 二次蓋

(単位: N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 余裕率 | 一次+二次応力 | | 余裕率 |
|-----|---------|-------------------|------------------|------|------|---------|------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 二次蓋 | SUSF304 | I +S ₂ | 25 | 372 | 14.9 | 8 | 301 | 37.6 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 余裕率 |
|--------------|------|-------------------|-------------------|------|-----|
| | | | 計算値 ¹⁾ | 許容応力 | |
| 二次蓋 締付ボルト | GBL1 | I +S ₂ | 157 | 346 | 2.2 |

注 1) 曲げ応力を含んだ計算値

1-2 乾式貯蔵キャスク 中型 (4, 5号機)

| 基準地震動 S ₂ | |
|-----------------------|-----------------------|
| 水平方向 設計加速度 | 鉛直方向 設計加速度 |
| C _H =0.55G | C _V =0.23G |

出典

福島第一原子力発電所 第4号機工事計画認可申請書及び添付資料
(平成22年10月22日申請, 東京電力株式会社)
IV-3-2 使用済燃料乾式貯蔵容器の応力計算

(1) キャスク容器

(単位: N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | 余裕率 | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 余裕率 | 一次+二次応力 | | 余裕率 |
|---------------------------|--------------------|------------------|-----------|------|-------|------------------|------|------|---------|------|-------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 胴板 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 5 | 251 | 50.2 | 7 | 377 | 53.9 | 10 | 362 | 36.2 |
| 一次蓋 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 1 | 251 | 251.0 | 22 | 377 | 17.1 | 2 | 362 | 181.0 |
| 底板 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 2 | 251 | 125.5 | 6 | 377 | 62.8 | 4 | 362 | 90.5 |
| 貫通孔蓋板 | SUS304 | I+S ₂ | 9 | 276 | 30.7 | 50 | 414 | 8.3 | 2 | 401 | 200.5 |
| 密封シール部 | GLF1 ¹⁾ | I+S ₂ | 12 | 181 | 15.1 | 14 | 181 | 12.9 | 5 | 181 | 36.2 |
| バスケットサポ- ト取付ボルト 溶接部 | SUS304L | I+S ₂ | 15 | 125 | 8.3 | 15 | 188 | 12.5 | 30 | 181 | 6.0 |
| ガンマ線遮へい体 取付ボルト 溶接部 | SUS304 | I+S ₂ | 3 | 125 | 41.7 | 3 | 188 | 62.7 | 6 | 181 | 30.2 |

注 1) GLF1 相当材は GLF1 として表記する。

(キャスク容器)

(単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 余裕率 | 平均引張応力 +曲げ応力 | | 余裕率 |
|-----------------|------|------------------|--------|------|-----|-----------------|------|-----|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 一次蓋 締付けボルト | GBL1 | I+S ₂ | 78 | 649 | 8.3 | 99 | 649 | 6.6 |
| 貫通孔蓋板 締付けボルト | GBL1 | I+S ₂ | 198 | 649 | 3.3 | 263 | 649 | 2.5 |

(2)バスケット

(単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次一般膜応力強さ | | | 余裕率 | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | | 余裕率 |
|------------------------|------------------|------------------|-----------|--------------------|-----|-------|--------------|--------------------|-----|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | | 計算値 | 許容応力 ¹⁾ | | |
| バスケット プレート | A6061P 及びB-A1 | I+S ₂ | 2 | 65 | 65 | 32.5 | 3 | 98 | 98 | 32.7 |
| バスケット サポート | SUS304 | I+S ₂ | 2 | 266 | 266 | 133.0 | 2 | 400 | 400 | 200 |
| バスケット サポート 取付ボルト | SUS304 | I+S ₂ | 21 | 266 | 266 | 12.7 | 21 | 400 | 400 | 19.0 |

注 1) 設計・建設規格に基づく許容応力値を左側に、構造規格に基づく許容応力値を右側に示す。

(3) トラニオン

(単位: N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
| | | | 引張応力 | | 余裕率 | 圧縮応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 5 | 586 | 117.2 | 5 | 583 | 116.6 | 14 | 338 | 24.1 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | | | 曲げ応力 | | 余裕率 | 支圧応力 | | 余裕率 | 組合せ応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 18 | 586 | 32.6 | 37 | 1098 | 29.7 | 30 | 586 | 19.5 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次+二次応力 | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------------|---------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | 引張・圧縮応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 | 曲げ応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン | SUS630 | I +S ₂ | 19 | 1172 | 61.7 | 19 | 676 | 35.6 | 24 | 1172 | 48.8 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次+二次応力 | | | | | | | | |
|----------------|------|-------------------|---------|------|-----|-------|------|------|-------|------|-----|
| | | | 引張応力 | | 余裕率 | せん断応力 | | 余裕率 | 組合せ応力 | | 余裕率 |
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| トラニオン 締付ボルト | GBL1 | I +S ₂ | 60 | 584 | 9.7 | 24 | 449 | 18.7 | 72 | 584 | 8.1 |

(4) 二次蓋

(単位:N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 一次膜+ 一次曲げ応力強さ | | 余裕率 | 一次+二次応力 | | 余裕率 |
|-----|---------|-------------------|------------------|------|------|---------|------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | | 計算値 | 許容応力 | |
| 二次蓋 | SUSF304 | I +S ₂ | 19 | 372 | 19.6 | 7 | 301 | 43.0 |

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 平均引張応力 | | 余裕率 |
|--------------|------|-------------------|-------------------|------|-----|
| | | | 計算値 ¹⁾ | 許容応力 | |
| 二次蓋 締付ボルト | GBL1 | I +S ₂ | 151 | 346 | 2.3 |

注 1) 曲げ応力を含んだ計算値

- (2) 輸送貯蔵兼用キャスク A
輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B

1) 評価方針

キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスク B の基準地震動 S_s に対する耐震強度を確認する。

2) 固有周期の算定

以下に輸送貯蔵兼用キャスク B の固有周期について計算方法及び計算結果を示す。

① 固有周期の計算条件

- A. 輸送貯蔵兼用キャスク B は、横置きで支持される。
- B. 輸送貯蔵兼用キャスク B の自重（内部を含む）は、4 個のトラニオンを介してキャスク支持架台に固定される。
- C. 二次蓋は二次蓋締付けボルトでキャスク容器に固定される。
- D. 鋼製支持架台は基礎ボルトでコンクリート支持架台に固定され、コンクリート支持架台は基礎と一体の構造となっている。概略構造図を図 2.1-4 に示す。

② 固有周期の計算方法

A. 設定条件

- a. 自重及び鉛直方向地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。
- b. キャスク容器軸方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 2 本の脚柱で支える。
- c. キャスク容器軸直角方向水平地震力に対して、キャスク支持架台の 4 本の脚柱で支える。

B. 計算モデル及び計算方法

- a. キャスク容器及びキャスク支持架台をはりでモデル化する。
- b. キャスク容器のはりは、その質量（内部のバスケット、使用済燃料等を含む）と等価質量となるはり要素を用いる。
- c. コンクリート支持架台の下部を固定端とする。
- d. 計算コードとして NASTRAN を用いる。
- e. 計算モデルは図 2.1-5 とする。

③ 固有周期

固有周期の算定結果を表 2.1-4 に示す。

表 2.1-4 保管時の輸送貯蔵兼用キャスク B の固有周期

(単位:s)

| 方 向 | 固有周期 |
|-------------|-------|
| キャスク容器軸方向 | 0.047 |
| キャスク容器軸直角方向 | 0.041 |
| キャスク容器鉛直方向 | 0.020 |

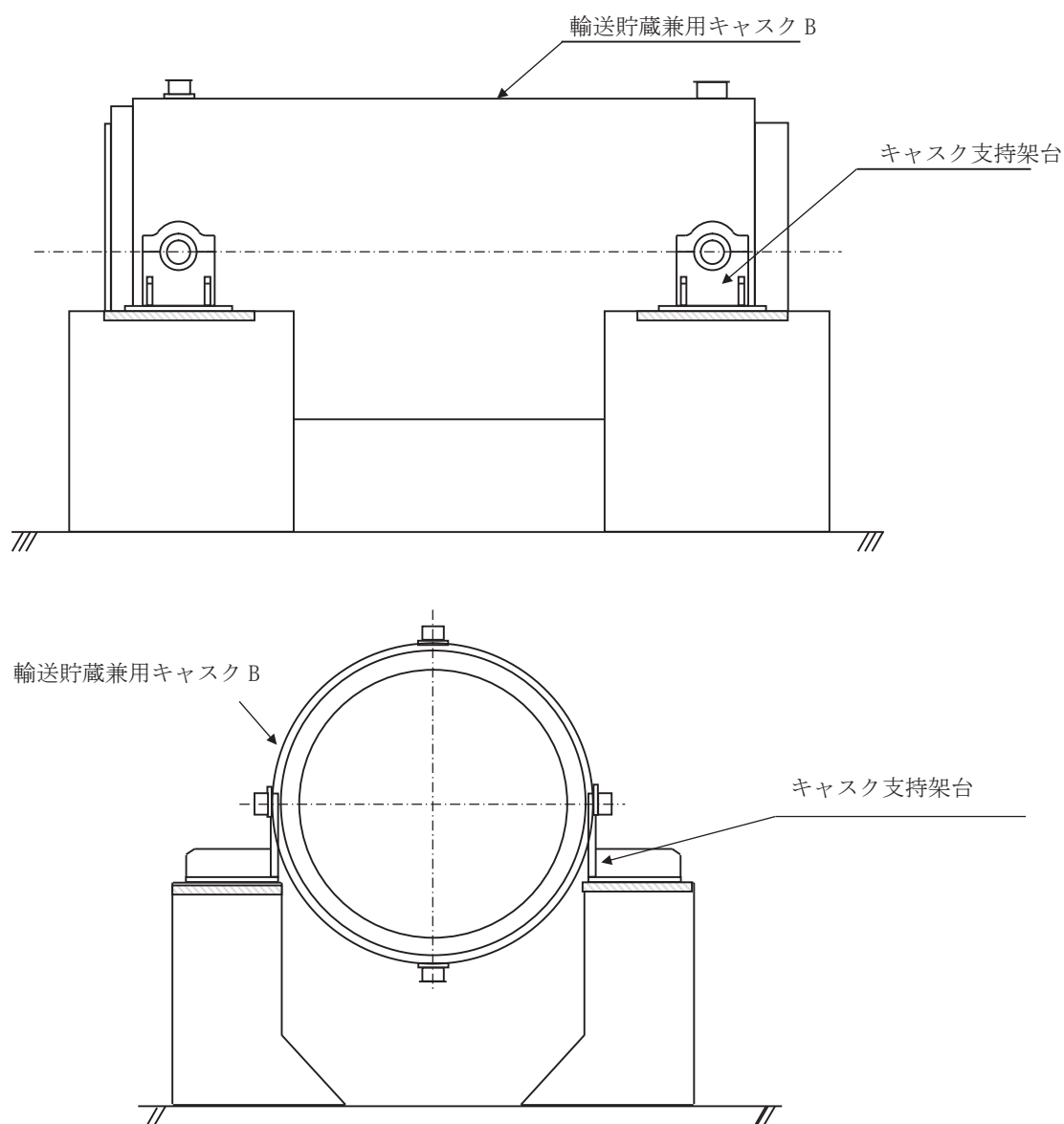


図 2.1-4 輸送貯蔵兼用キャスク B の概略構造図

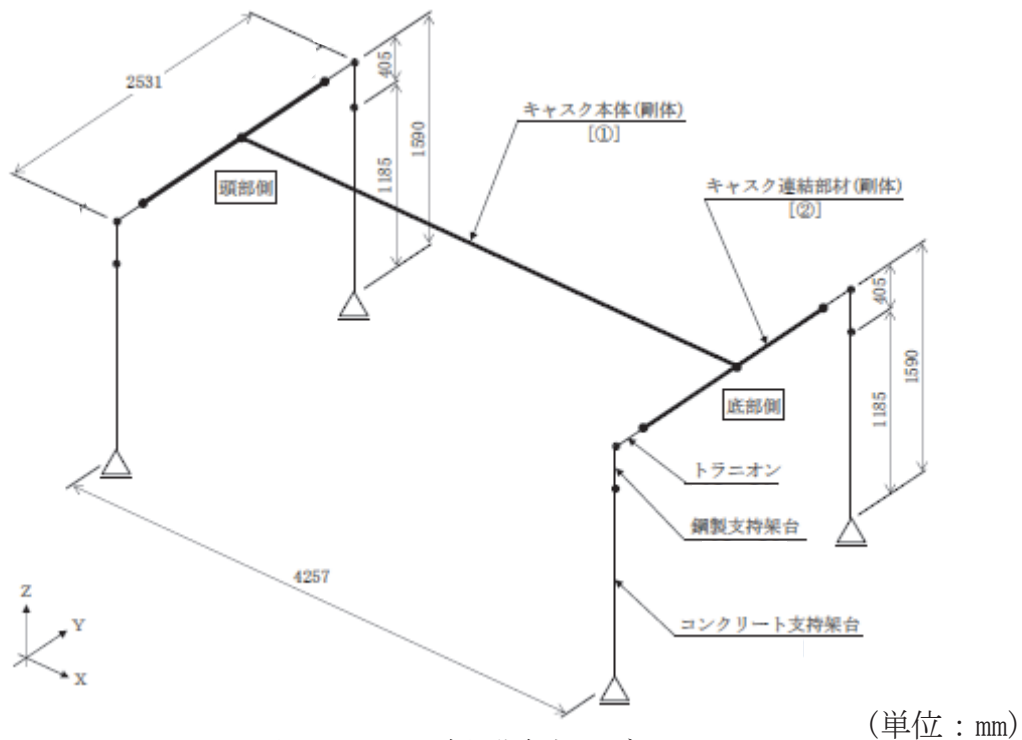


図 2.1-5 固有周期解析モデル

3) 設計震度

「2) 固有周期の算定」で求めた固有周期から、添付資料-2「3 耐震設計方針」に基づき、輸送貯蔵兼用キャスク B の耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

輸送貯蔵兼用キャスク B の固有周期は全て 0.05sec 以下であることから、輸送貯蔵兼用キャスク B は剛体とみなすことができる。従って設計用地震力は 1.2ZPA とする。表 2.1-5 に S_s の 1.2ZPA を示す。

表 2.1-5 S_s の 1.2ZPA

| | 1.2ZPA(水平) | 1.2ZPA(鉛直) |
|-------|------------|------------|
| S_s | 0.79G | 0.49G |

4) 解析条件

① 荷重の組合せ

S_s 地震時の評価において、キャスク容器及び二次蓋、バスケット、トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 2.1-6(1)～(3)に示す。

表 2.1-6(1) キャスク容器及び二次蓋の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 評価事象 | | 荷重 | 圧力による荷重 | 自重による荷重 | ボルト初期締付け力 | 熱荷重 | 地震荷重 |
|--------------------|---------------------------|----|---------|---------|-----------|-----|------|
| I + S _s | S _s 地震力が作用する場合 | | ○ | ○ | ○ | —注) | ○ |

注) 密封シール部及び密封蓋締付けボルトの応力評価に当たっては、熱荷重を考慮する。

表 2.1-6(2) バスケットの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 評価事象 | | 荷重 | 自重による荷重 | 熱荷重 | 地震荷重 |
|--------------------|---------------------------|----|---------|-----|------|
| I + S _s | S _s 地震力が作用する場合 | | ○ | — | ○ |

表 2.1-6(3) トラニオンの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| 設計事象 評価事象 | | 荷重 | 自重による荷重 | 熱荷重 | 地震荷重 |
|--------------------|---------------------------|----|---------|-----|------|
| I + S _s | S _s 地震力が作用する場合 | | ○ | 注) | ○ |

注) キャスク容器の熱膨張により生じる応力に限る。

② 最高使用圧力と温度

各機器の最高使用圧力及び最高使用温度を表 2.1-7 に示す。

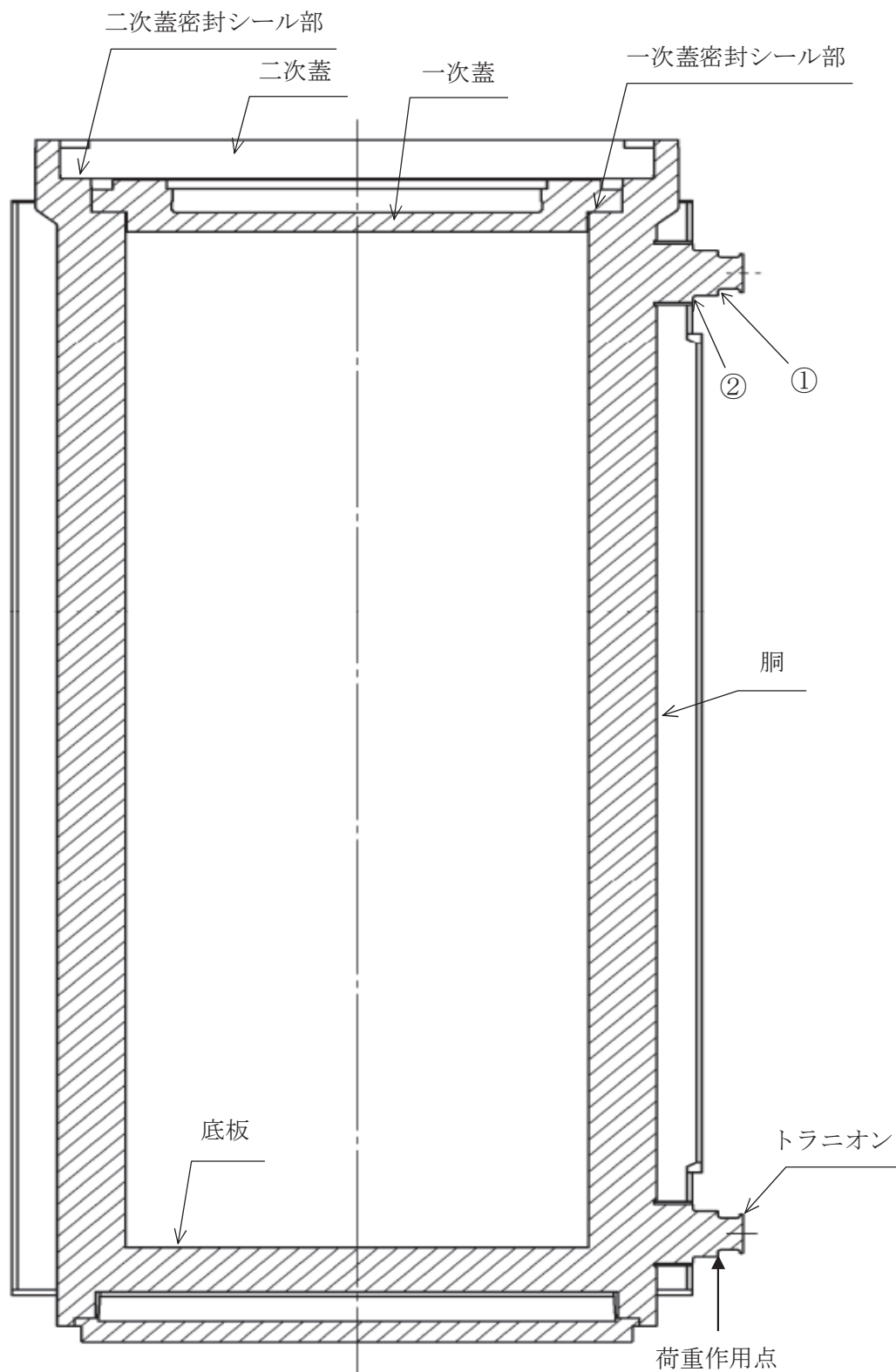
なお、各部最高使用温度は、添付資料-4「1.1 乾式キャスクの除熱機能 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱機能」の算定結果に基づく。

表 2.1-7 最高使用圧力及び最高使用温度

| | | |
|--------|--------|---------|
| キャスク容器 | 最高使用圧力 | 1.0 MPa |
| | 最高使用温度 | 150 °C |
| 二次蓋 | 最高使用圧力 | 0.4 MPa |
| | 最高使用温度 | 110 °C |
| バスケット | 最高使用温度 | 260 °C |
| トラニオン | 最高使用温度 | 130 °C |

③ 解析箇所

応力解析箇所を図 2.1-6, 7 に示す。



①、②はトラニオンの評価点を示す

図 2.1-6 キャスク容器等の応力解析箇所

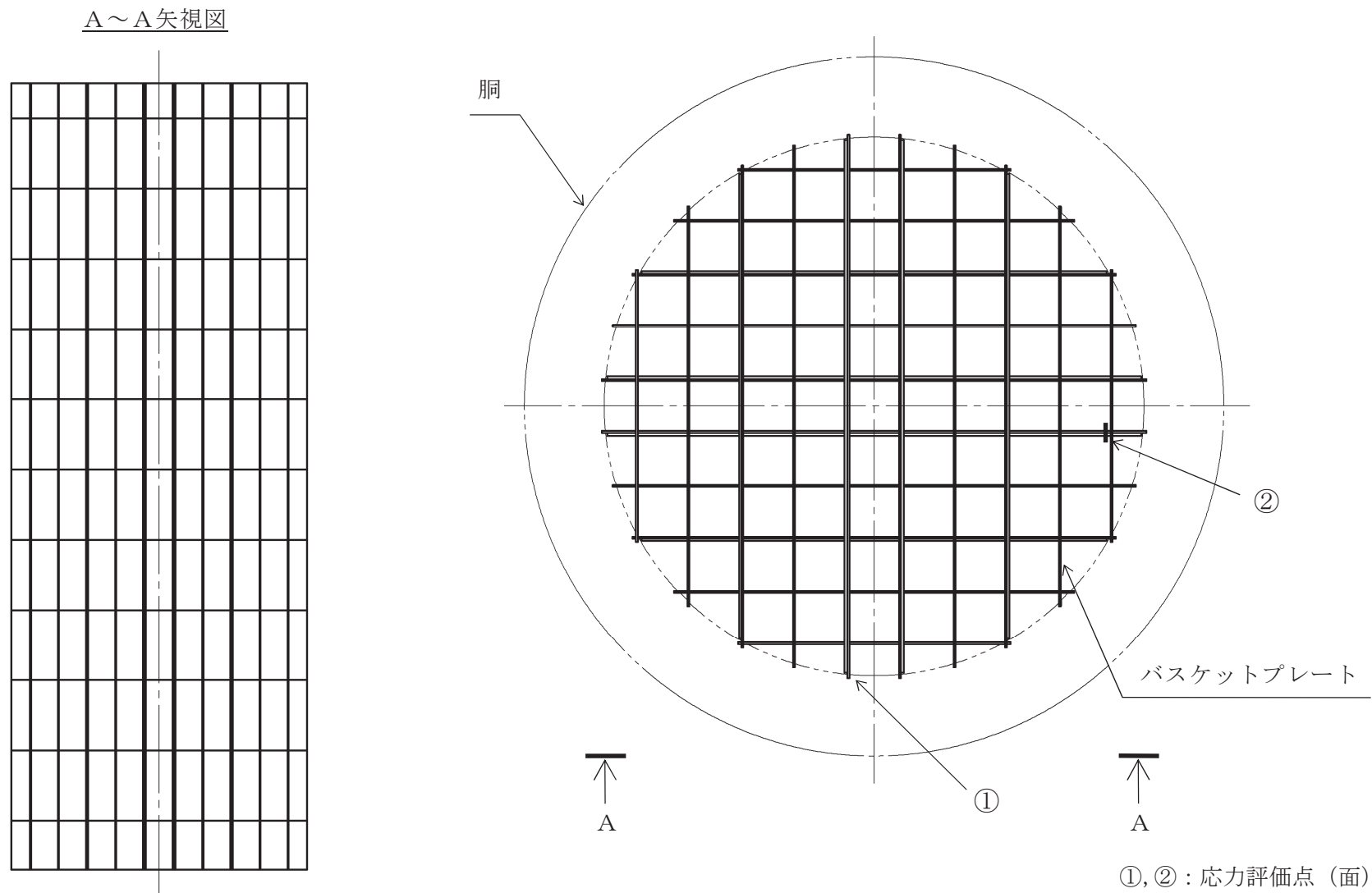


図 2.1-7 バスケットの応力解析箇所

④ 物性値

A. キャスク容器及び二次蓋

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2.1-8 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

内圧及び機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、温度分布計算で得られた温度を各部ごとに設定し、これに対応した値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

B. バスケット

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2.1-9 に示す。なお、熱応力計算に使用する物性値はその温度依存性を考慮する。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

C. トラニオン

熱応力計算に使用する材料の物性値を表 2.1-10 に示す。

機械的荷重による応力計算に使用する物性値は、最高使用温度に対する値を用いる。なお、常温は 20°C とする。

表 2.1-8 熱応力計算に使用する材料の物性値 (キャスク容器及び二次蓋)

| 構成部材 | 材料 | 温度 (°C) | 縦弾性係数 (MPa) | 平均熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C)) | ポアソン比 (-) |
|-------------------------|-------------------|------------|----------------|---|--------------|
| 胴 底板 一次蓋 | 炭素鋼 (GLF1) | 20 | 203000 | 9.73 | 0.3 |
| | | 50 | 201000 | 10.10 | |
| | | 75 | 200000 | 10.39 | |
| | | 100 | 198000 | 10.69 | |
| | | 125 | 196000 | 11.00 | |
| | | 150 | 195000 | 11.28 | |
| | | 175 | 193000 | 11.56 | |
| | | 200 | 191000 | 11.85 | |
| 二次蓋 底部中性子 遮へい材カバー | 炭素鋼 (SGV480) | 20 | 202000 | 9.73 | 0.3 |
| | | 50 | 200000 | 10.10 | |
| | | 75 | 198000 | 10.39 | |
| | | 100 | 197000 | 10.69 | |
| | | 125 | 195000 | 11.00 | |
| | | 150 | 193000 | 11.28 | |
| | | 175 | 192000 | 11.56 | |
| | | 200 | 190000 | 11.85 | |
| 一次蓋締付けボルト 二次蓋締付けボルト | 低合金鋼 (SNB23-3) | 20 | 192000 | 11.14 | 0.3 |
| | | 50 | 189000 | 11.40 | |
| | | 75 | 188000 | 11.62 | |
| | | 100 | 186000 | 11.82 | |
| | | 125 | 185000 | 12.00 | |
| | | 150 | 184000 | 12.21 | |
| | | 175 | 182000 | 12.37 | |
| | | 200 | 180000 | 12.54 | |

表 2.1-9 熱応力計算に使用する材料の物性値 (バスケット)

| 構成部材 | 材料 | 温度 (°C) | 縦弾性係数* ¹ (MPa) | 平均熱膨張係数* ¹ ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C)) | ポアソン比 (-) |
|---------------|-----------------------------------|------------|------------------------------|---|--------------|
| バスケット プレート | ボロン添加 ステンレス鋼板 (B-SUS304P-1) | 20 | 216000 | 15.22 | 0.3 |
| | | 50 | 216000 | 15.52 | |
| | | 75 | 214000 | 15.88 | |
| | | 100 | 212000 | 16.24 | |
| | | 125 | 210000 | 16.24 | |
| | | 150 | 208000 | 16.24 | |
| | | 175 | 206000 | 16.43 | |
| | | 200 | 204000 | 16.63 | |
| | | 225 | 202000 | 16.83 | |
| | | 250 | 200000 | 17.02 | |
| | | 275 | 199000 | 17.12 | |
| | | 300 | 197000 | 17.22 | |

* 1 事例規格参照

表 2.1-10 熱応力計算に使用する材料の物性値 (トラニオン)

| 構成部材 | 材 料 | 温度 (°C) | 縦弾性係数 (MPa) | 平均熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$ mm/(mm \cdot °C)) |
|-------|--------------------------|------------|----------------|---|
| トラニオン | ステンレス鋼 (SUS630 H1150) | 130 | 188000 | 11.25 |

5) 解析

① 解析手順

(1) キャスク容器及び二次蓋

キャスク容器の応力解析フローを図 2.1-8 に示す。

キャスク容器の応力解析は、想定される圧力荷重、機械的荷重及び熱荷重を基に、キャスク容器の実形状をモデル化し、解析コードである ABAQUS 及び応力評価式を用いて行う。

なお、二次蓋についてもキャスク容器と同様に評価を行う。

(2) バスケット

バスケットの応力解析フローを図 2.1-9 に示す。

バスケットの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に、応力評価式を用いて行う。

(3) トラニオン

トラニオンの応力解析フローを図 2.1-10 に示す。

トラニオンの応力解析は、想定される機械的荷重及び熱荷重を基に応力評価式を用いて行う。

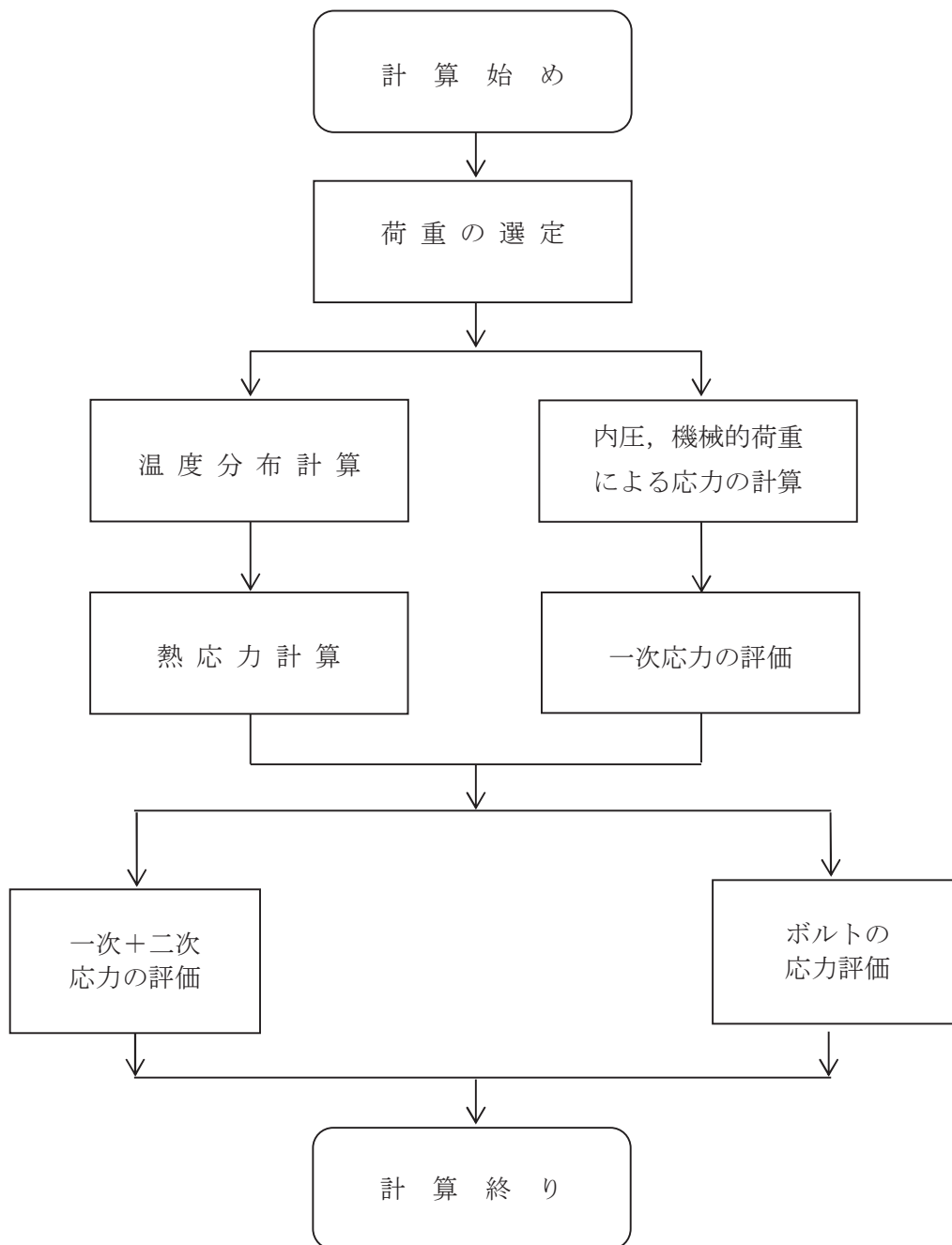


図 2.1-8 キャスク容器及び二次蓋の応力解析フロー図

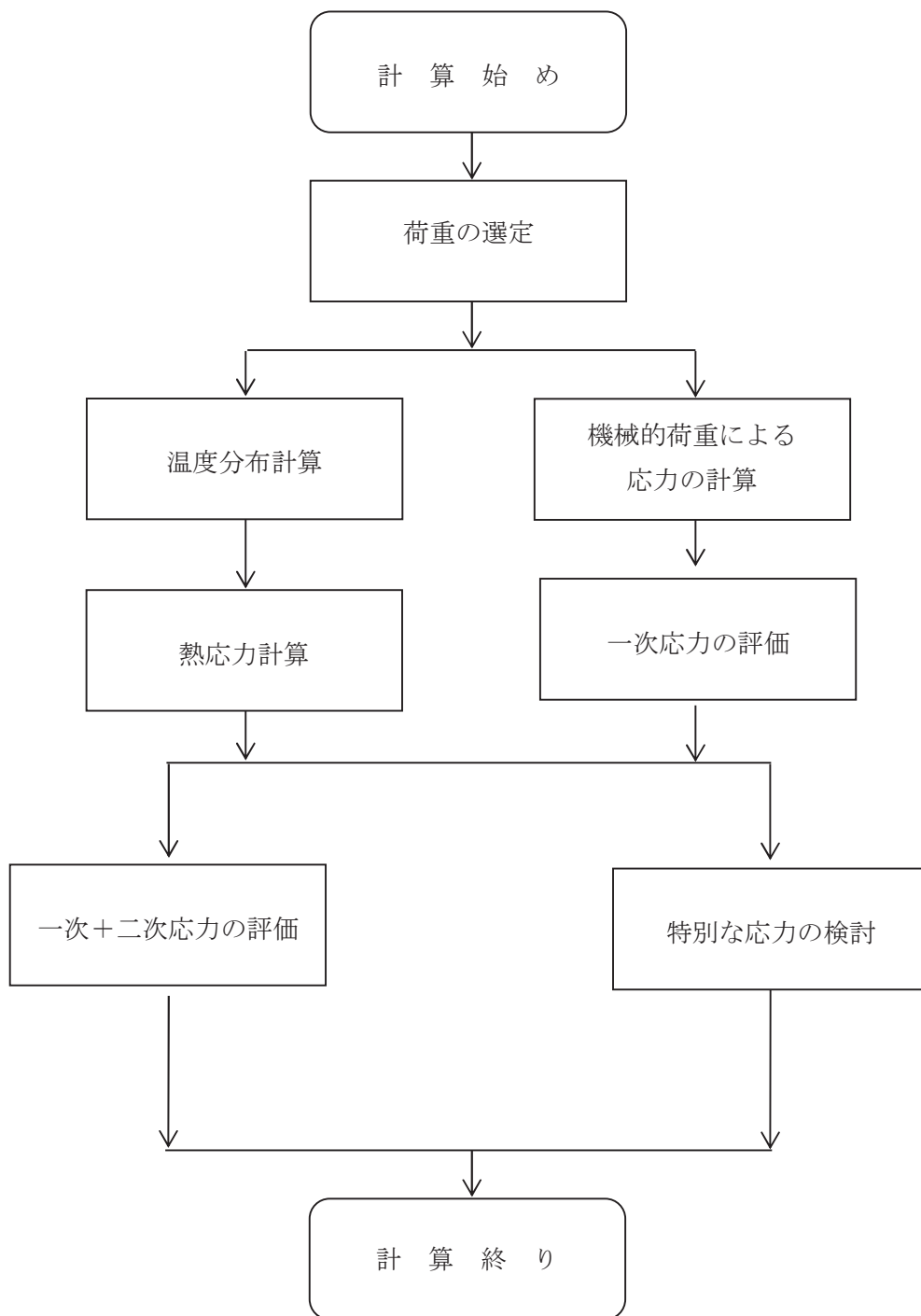


図 2.1-9 バスケットの応力解析フロー図

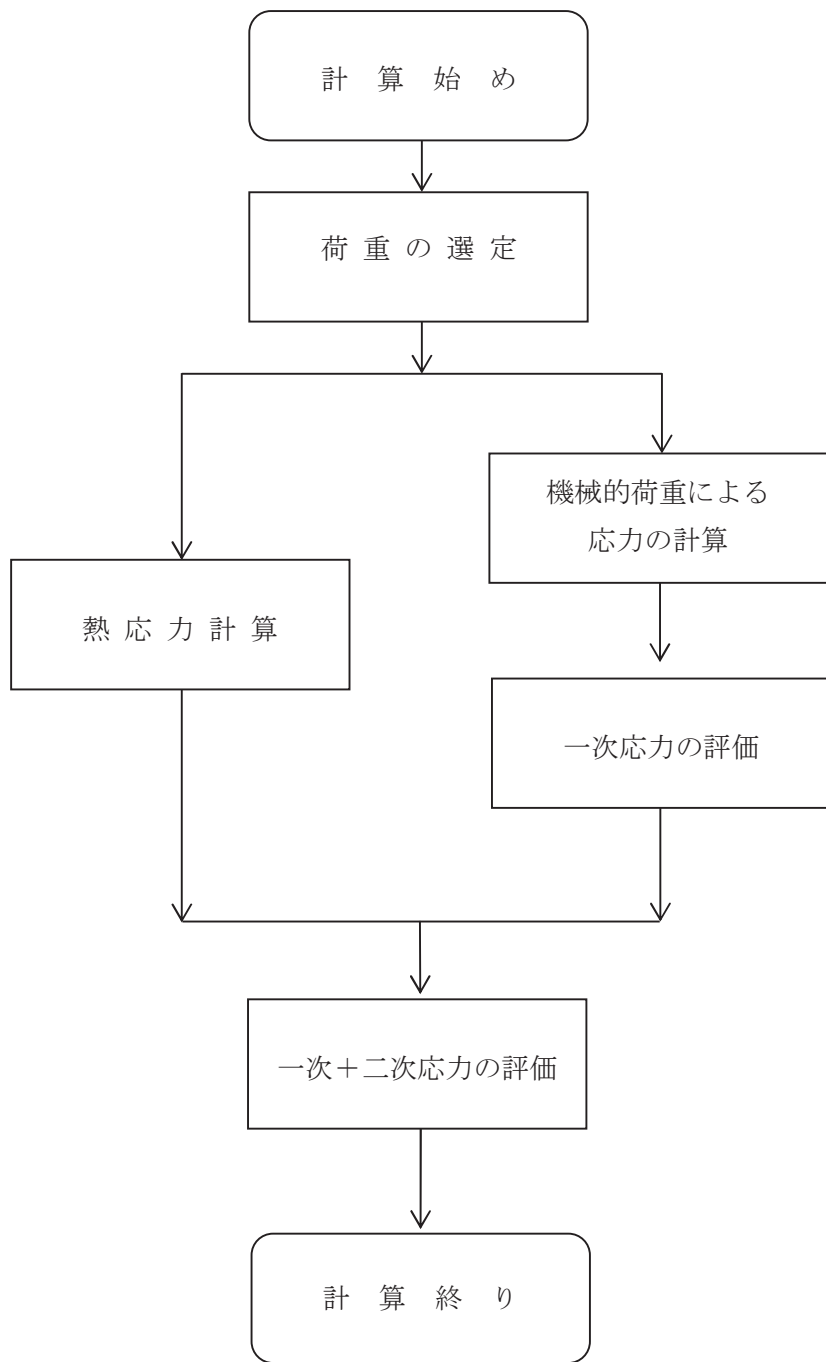


図 2.1-10 トラニオンの応力解析フロー図

② 応力の評価

A. キャスク容器及び二次蓋

a. 一次応力

一次蓋，一次蓋締付けボルト，胴，底板，底部中性子遮へい材カバー，二次蓋及び二次蓋締付けボルトの応力計算は，解析コード ABAQUS により行う。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度として次の値を用いる。鉛直方向加速度については，プラスの方向と自重の加速度と組み合わせて考慮する。

$$\left. \begin{aligned} G_1 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\} \text{(軸方向水平地震力+鉛直方向地震力+自重の場合)}$$

ここで， C_H ：水平方向設計震度（=0.79）

C_V ：鉛直方向設計震度（=0.49）

$$\left. \begin{aligned} G_3 &= C_H \cdot G \\ G_2 &= (1 + C_V) \cdot G \end{aligned} \right\} \text{(軸直角方向水平地震力+鉛直方向地震力+自重の場合)}$$

ここで， C_H ：水平方向設計震度（=0.79）

C_V ：鉛直方向設計震度（=0.49）

b. 一次+二次応力

(a) 密封シール部を除く，一次蓋，胴，底板，底部中性子遮へい材カバー及び二次蓋
応力計算の方法は，a.と同様である。ただし，荷重条件は地震力のみとして計算を行
い，振幅を考慮して最大値を2倍して求める。

(b) 密封シール部，一次蓋締付けボルト及び二次蓋締付けボルト

応力計算の方法は，a.と同様である。ただし，荷重条件として熱荷重を含める。

c. 平均支圧応力

胴とバスケット側面との接触部に発生する平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_G \cdot G_2}{A}$$

ここで， G_2 : a.と同じ

m_G : バスケットプレート及び燃料の質量(kg)

A : 胴の接触面積(mm²)

B. バスケット

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) である。
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_x) は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで G_2 : A. a.と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部) である。
水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_y) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{m_A \cdot G_3}{A_1}$$

ここで G_3 : A. a.と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量(kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積(mm²)

鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力 (σ_y) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_2 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_w}{2}}$$

ここでG₂: A. a. と同じ

M: バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント (N・mm/mm)

Z: バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm³/mm)

m_B: 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

l_p: バスケットプレートの内のり (mm)

l_w: バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし, バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり, 実際の荷重負荷面の長さを l_w/2 とする。

鉛直方向加速度によりバスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部) に発生する平均せん断応力 (τ_{xy}) は, 次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_2}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここでG₂: A. a. と同じ

m_B: 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A₁: バスケットプレートの断面積 (mm²)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力 (σ_s) は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_2}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここでG₂: A. a. と同じ

m_B: 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A₁: バスケットプレートの断面積 (mm²)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここでG₂: A. a. と同じ

m_A: 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A₁: バスケットプレートの断面積 (mm²)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力 (σ_c) は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

(a) 一次一般膜応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) である。
鉛直方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_x) は次式で計算する。

$$\sigma_x = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで, G_2 : A. a. と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_z) は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_w \cdot G_1$$

ここで, G_1 : A. a. と同じ

ρ : バスケットプレートの密度 (kg/mm^3)

l_w : バスケットプレートの全長 (mm)

(b) 一次一般膜+一次曲げ応力

最大応力が発生するのはバスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部) である。
鉛直方向加速度により発生する一次曲げ応力 (σ_y) は次式で計算する。

$$\sigma_y = \frac{M}{Z}$$

$$M = \frac{m_B \cdot G_2 \cdot l_p}{12 \cdot \frac{l_w}{2}}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

M : バスケットプレート格子端部の単位幅当たりの曲げモーメント (N·mm/mm)

Z : バスケットプレートの単位幅当たりの断面係数 (mm^3/mm)

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

l_p : バスケットプレートの内り (mm)

l_w : バスケットプレートのキャスク容器軸方向長さ (mm)

ただし, バスケットプレート同士の嵌合のため切欠きがあり, 実際の荷重負荷面の長さを $l_w/2$ とする。

水平方向加速度により発生する一次一般膜応力 (σ_z) は次式で計算する。

$$\sigma_z = \rho \cdot l_w \cdot G_1$$

ここで, G_1 : A. a. と同じ

ρ : バスケットプレートの密度 (kg/mm^3)

l_w : バスケットプレートの全長 (mm)

鉛直方向加速度により発生するバスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部)

に発生する平均せん断応力 (τ_{xy}) は次式で計算する。

$$\tau_{xy} = \frac{m_B \cdot G_2}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

(c) 平均せん断応力

バスケットプレート格子端部 (図 2.1-7 ②部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均せん断応力 (σ_s) は次式で計算する。

$$\sigma_s = \frac{m_B \cdot G_2}{2 \cdot \frac{A_1}{2}}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

m_B : 使用済燃料, 伝熱プレート及びバスケットプレートの合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

(d) 平均支圧応力

バスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である平均支圧応力 (σ_p) は次式で計算する。

$$\sigma_p = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

(e) 圧縮応力

バスケットプレート端部 (図 2.1-7 ①部) に発生する特別な応力の検討の対象である圧縮応力 (σ_c) は次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{m_A \cdot G_2}{A_1}$$

ここで G_2 : A. a. と同じ

m_A : 使用済燃料とバスケットプレート等の合計質量 (kg)

A_1 : バスケットプレートの断面積 (mm^2)

C. トラニオン

a. 地震力が鉛直方向と軸直角方向に作用する場合

(a) 一次応力

イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図 2.1-6 に示す下部トラニオンの評価点①である。

鉛直方向加速度により発生するせん断応力 (τ) は, 次式で計算する

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_2}{4}$$

ここで、 G_2 : A. a. と同じ

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A : 評価点①の断面積(mm²)

ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点②である。

鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで、 F_m : イ. と同じ

Z : 評価点②の断面係数(mm³)

L : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

ハ. 圧縮応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点②である。

水平方向加速度により発生する圧縮応力(σ_c)は、次式で計算する。

$$\sigma_c = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \cdot G_3}{2}$$

ここで、 G_3 : A. a. と同じ

F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A : 評価点②の断面積(mm²)

ニ. 組合せ応力

I. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は、次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、 τ : イ. と同じ

σ_b : ロ. と同じ

ただし, Z: 評価点①の断面係数(mm³)

L: 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力(τ)の全振幅は, (a) イ. で求めたせん断応力(τ)の2倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力(σ_b)の全振幅は, (a) ロ. で求めた曲げ応力(σ_b)の2倍とする。

ハ. 圧縮応力

地震力による圧縮応力(σ_c)は左右方向荷重により作用し, 左右方向が反転した場合, 対向する別のトラニオンで荷重を受ける。地震力による圧縮応力(σ_c)の最大値は, (a) ハ. で求めた圧縮応力(σ_c)と同様である。

b. 地震力が鉛直方向と軸水平方向に作用する場合

(a) 一次応力

イ. せん断応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点①である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生するせん断応力(τ)は, 次式で計算する

$$\tau = \frac{F_m}{A}$$

$$F_m = \frac{m_2 \sqrt{4G_1^2 + G_2^2}}{4}$$

ここで, F_m : 地震力によりトラニオンに作用する荷重(N)

m_2 : 保管時における金属キャスクの質量(kg)

A: 評価点①の断面積(mm²)

ロ. 曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点②である。

水平方向加速度及び鉛直方向加速度により発生する曲げ応力(σ_b)は次式で計算する。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$M = F_m \cdot L$$

ここで、 F_m :イ. と同じ

Z : 評価点②の断面係数(mm³)

L : 評価点②と荷重作用位置との距離(mm)

ハ. 組合せ応力

1. せん断応力と曲げ応力

最大応力が発生する箇所は図 2. 1-6 に示す下部トラニオンの評価点①である。

せん断応力(τ)と曲げ応力(σ_b)との組合せ応力(σ_T)は次式で計算する。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、 τ :イ. と同じ

σ_b :ロ. と同じ

ただし、 Z : 評価点①の断面係数(mm³)

L : 評価点①と荷重作用位置との距離(mm)

(b) 一次+二次応力

イ. せん断応力

地震力によるせん断応力(τ)の全振幅は、(a) イ. で求めたせん断力(τ)の2倍とする。

ロ. 曲げ応力

地震力による曲げ応力(σ_b)の全振幅は、(a) ロ. で求めた曲げ応力(σ_b)の2倍とする。

6) 解析結果

応力計算結果を表 2. 1-11～表 2. 1-14 に示す。いずれの機器も許容応力を満足している。

表 2.1-11(1) 計算結果 (キャスク容器)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 一次一般膜応力強さ | | 一次膜+一次曲げ応力強さ | | 一次+二次応力強さ | |
|----------------------|-----|------------------|-----------|------|--------------|------|-----------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 一次蓋 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 4 | 251 | 18 | 377 | 49 | 366 |
| 胴 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 2 | 251 | 11 | 377 | 19 | 366 |
| 底板 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 3 | 251 | 10 | 377 | 11 | 366 |
| 底部中性子 遮へい材 カバー | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 5 | 282 | 45 | 424 | 15 | 465 |
| 一次蓋密封 シール部 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | — | — | 13 | 183 | 59 | 183 |

表 2.1-11(2) 計算結果 (キャスク容器)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 平均支圧応力 | |
|-----|-----|------------------|--------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 |
| 胴 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 2 | 377 |

表 2.1-11(3) 計算結果 (キャスク容器)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 平均引張応力 | | 平均引張応力 + 曲げ応力 | |
|-----------|------|------------------|--------|------|---------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 一次蓋締付けボルト | 低合金鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 243 | 831 | 345 | 831 |

表 2.1-12(1) 計算結果(二次蓋)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 一次一般膜応力強さ | | 一次膜 + 一次曲げ応力強さ | | 一次 + 二次応力強さ | |
|---------------|-----|------------------|-----------|------|----------------|------|-------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 二次蓋 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 1 | 286 | 30 | 429 | 63 | 474 |
| 二次蓋密封 シール部 | 炭素鋼 | 供用状態 D (IVAS) | — | — | 17 | 183 | 37 | 183 |

表 2.1-12(2) 計算結果(二次蓋)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 平均引張応力 | | 平均引張応力 + 曲げ応力 | |
|-----------|------|------------------|--------|------|---------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 二次蓋締付けボルト | 低合金鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 245 | 848 | 273 | 848 |

表 2.1-13(1) 計算結果 (バスケット)

(単位 : MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 一次一般膜応力強さ | | 一次一般膜+一次曲げ応力強さ | |
|---------------|------------------|------------------|-----------|------|----------------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| バスケット プレート | ボロン添加 ステンレス鋼板 | 供用状態 D (IVAS) | 2 | 291 | 7 | 437 |

表 2.1-13(2) 計算結果 (バスケット)

(単位 : MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 平均せん断応力 | | 平均支圧応力 | | 圧縮応力 | |
|---------------|------------------|------------------|---------|------|--------|------|------|------|
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| バスケット プレート | ボロン添加 ステンレス鋼板 | 供用状態 D (IVAS) | 1 | 175 | 2 | 404 | 2 | 176 |

表 2.1-14(1) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 一次応力 | | | | | | | |
|-------|--------|------------------|------|------|-------|------|------|------|--------------------|------|
| | | | 圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | | 垂直応力とせん断 応力の組合せ | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | ステンレス鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 13 | 590 | 42 | 341 | 81 | 591 | 96 | 591 |

表 2.1-14(2) 計算結果 (トラニオン)

(単位: MPa)

| 部 位 | 材 料 | 許容応力 区分 | 一次+二次応力 | | | | | |
|-------|--------|------------------|---------|------|-------|------|------|------|
| | | | 圧縮応力 | | せん断応力 | | 曲げ応力 | |
| | | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| トラニオン | ステンレス鋼 | 供用状態 D (IVAS) | 13 | 590 | 84 | 682 | 163 | 1182 |

2.2 キャスク支持架台の耐震性

(1) 乾式貯蔵キャスク

1) 評価方針

本設備で使用する乾式貯蔵キャスク支持架台, 固定ボルト及び基礎ボルトの耐震性について示す。

支持架台については, 添付資料-2「評価の基本方針」で記載している既存評価書で基準地震動 S_2 に対する耐震性が確認されているが, 新たに設置する固定ボルト及び基礎ボルトと同様に, 本書にて基準地震動 S_s に対する耐震強度を確認する。

2) 支持架台及び固定具の構成

乾式貯蔵キャスク支持架台，固定ボルト及び基礎ボルトを図 2.2-1 に示す。

乾式貯蔵キャスクは横置きでトラニオンを介し，4つの支持脚柱を持つ支持架台で支持される。支持架台は固定ボルトと基礎ボルトで基礎に固定される。

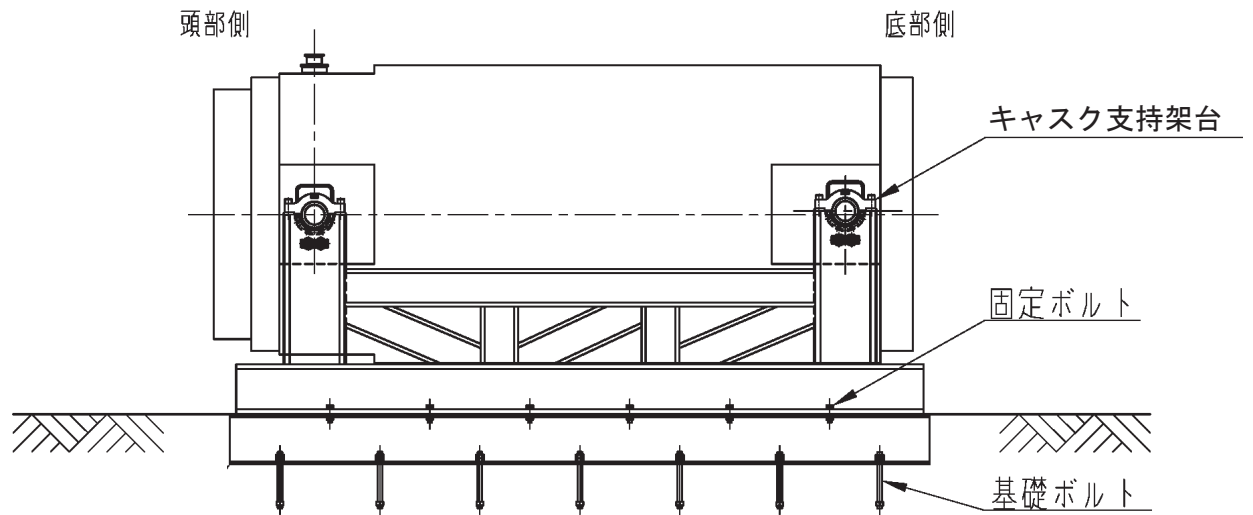


図 2.2-1 乾式貯蔵キャスク支持架台概略構造図

3) 支持架台

① 概要

本項では、大型及び中型の乾式貯蔵キャスクの支持架台の応力計算について示す。

なお、本項で示す「応力評価箇所」「計算条件」「応力計算」は、既存評価書に基づくものである。

A. 記号の説明

応力評価に関する記号の説明を以下に示す。

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-------------|---|------------------------|
| A_s | 支持架台の上部脚柱の断面積 | mm^2 |
| f_t | 許容引張応力 | N/mm^2 |
| f_s | 許容せん断応力 | N/mm^2 |
| f_c | 許容圧縮応力 | N/mm^2 |
| f_b | 許容曲げ応力 | N/mm^2 |
| f_p | 許容支圧応力 | N/mm^2 |
| $f_t^{*1)}$ | 許容引張応力 | N/mm^2 |
| $f_s^{*1)}$ | 許容せん断応力 | N/mm^2 |
| $f_c^{*1)}$ | 許容圧縮応力 | N/mm^2 |
| $f_b^{*1)}$ | 許容曲げ応力 | N/mm^2 |
| $f_p^{*1)}$ | 許容支圧応力 | N/mm^2 |
| G | 重力加速度 (=9.80665) | m/s^2 |
| J_s | 支持架台の上部脚柱のねじり剛性係数 | mm^4 |
| l_{SY} | 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱における荷重点からせん断中心までの距離 | mm |
| l_{TY} | 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱における荷重点から断面中立軸までの距離 | mm |
| l_{TZ} | 図 2.2-3 に示すトラニオン部（荷重作用点）から支持架台の脚柱の応力評価部位までの距離 | mm |
| S_s | 基準地震動 S_s による地震力 | — |
| t_{SC} | トラニオン受部の上部脚柱の板厚 | mm |
| W_{S1} | 支持架台の上部脚柱の総質量 | kg |
| W_V | キャスク容器（内部を含む）の総質量 | kg |
| Z_{SCX} | 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱の X 軸に関する断面係数 | mm^3 |
| Z_{SCY} | 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱の Y 軸に関する断面係数 | mm^3 |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|--------------------|--|-------------------|
| σ_{bHX} | キャスク容器軸方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に発生する曲げ応力 | N/mm ² |
| σ_{bHY} | キャスク容器軸直角方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に発生する曲げ応力 | N/mm ² |
| σ_{co} | 自重により支持架台の上部脚柱に発生する圧縮応力 | N/mm ² |
| σ_{bo} | 自重により支持架台の上部脚柱に発生する曲げ応力 | N/mm ² |
| σ_{To} | 自重により支持架台の上部脚柱に発生する組合せ応力 | N/mm ² |
| σ_c | 座屈応力 | N/mm ² |
| σ_{cV} | 自重と鉛直方向地震力により支持架台の上部脚柱に発生する圧縮応力 | N/mm ² |
| σ_{bV} | 自重と鉛直方向地震力により支持架台の上部脚柱に発生する曲げ応力 | N/mm ² |
| σ_{Tc} | 自重のみによる圧縮応力と鉛直方向地震力による圧縮応力の合成圧縮応力 | N/mm ² |
| σ_{Tb} | 自重のみによる曲げ応力と鉛直方向地震力による曲げ応力、水平地震力による曲げ応力の合成曲げ応力 | N/mm ² |
| σ_{THX} | 自重、鉛直方向地震力、キャスク容器軸方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に発生する圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力 | N/mm ² |
| σ_{THY} | 自重、鉛直方向地震力、キャスク容器軸直角方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に発生する圧縮応力、曲げ応力及びせん断応力の組合せ応力 | N/mm ² |
| τ_{SHX} | キャスク容器軸方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に発生する平均せん断応力 | N/mm ² |
| τ_{SHY} | キャスク容器軸直角方向水平地震力によりキャスク支持架台の上部脚柱に発生する平均せん断応力 | N/mm ² |
| τ_{THX} | キャスク容器軸方向水平地震力により支持架台の上部脚柱に加わるねじりによるせん断応力 | N/mm ² |
| τ_{HX} | 水平地震力による平均せん断応力とねじりせん断応力の合成せん断応力 | N/mm ² |
| $\Delta\sigma_c$ | 地震力のみによる引張・圧縮応力の応力範囲 | N/mm ² |
| $\Delta\sigma_b$ | 地震力のみによる曲げ応力の応力範囲 | N/mm ² |
| $\Delta\tau$ | 地震力のみによるせん断応力の応力範囲 | N/mm ² |
| I + S _s | 設計事象 I の仮保管時の状態において、S _s 地震力が作用した場合の許容応力状態 | — |

注1) f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* : f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 SSB-3121.1(1)における「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」とあるのを「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍の値」と読み替えて算出した値。

B. 計算条件

計算条件を表 2.2-1 に示す。

2.1 (1) 3) ③より支持架台の固有周期が 0.05[s]以下であることから、支持架台は剛であると考えられる。よって支持架台の機械的荷重である設計用地震力は乾式貯蔵キャスクと同様に 1.2ZPA とする。

C. 許容応力

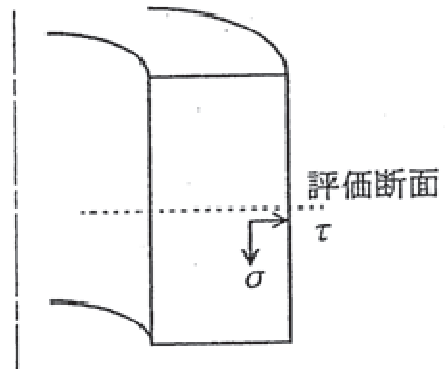
支持架台材料の許容応力値を表 2.2-2 に示す。

D. 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は下記のとおりである。

σ : 評価断面に垂直な方向の応力

τ : せん断応力



② 応力計算

A. 応力評価点

支持架台の応力評価点を図 2.2-2 及び図 2.2-3 に示す。

B. 仮保管時（S_s地震力が作用する場合）

a. 荷重条件

仮保管時において S_s地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。

荷重の組合せ：自重＋地震力

b. 計算方法

支持架台の応力計算は、以下に示す方法で計算する。

(a) 支持架台の応力

支持架台の上部脚柱（図 2.2-3 参照）に発生する圧縮応力、曲げ応力、せん断応力及びこれらの組合せ応力を計算する。

自重のみによる支持架台の上部脚柱（図 2.2-3 参照）の一次応力の圧縮応力（ σ_{c0} ）、曲げ応力（ σ_{b0} ）、組合せ応力（ σ_{T0} ）は次式で表される。

$$\sigma_{c0} = \frac{(W_V + W_{S1}) \cdot G}{4 \cdot A_5} \quad (1)$$

$$\sigma_{b0} = \frac{(W_V + W_{S1}) \cdot G \cdot l_{TY}}{4 \cdot Z_{SCX}} \quad (2)$$

$$\sigma_{T0} = \sigma_{c0} + \sigma_{b0} \quad (3)$$

ここで、

W_V : キャスク容器（内部を含む）の総質量

・大型 115000 kg

・中型 96000 kg

W_{S1} : 支持架台の上部脚柱の総質量

・大型 600 kg

・中型 600 kg

A_5 : 支持架台の上部脚柱の断面積

・大型 50600 mm²

・中型 53080 mm²

l_{TY} : 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱における荷重点から断面中立軸までの距離

・大型 93.6 mm

・中型 116.4 mm

Z_{SCX} : 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱の X 軸に関する断面係数

・大型 キャスク容器側 : 5.535×10⁶ mm³

キャスク容器と反対側 : 2.611×10⁶ mm³

・中型 キャスク容器側 : 7.081×10⁶ mm³

キャスク容器と反対側 : 3.352×10⁶ mm³

なお、応力計算では下記の荷重を組合せる。

- ①自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力
- ②自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力

イ. 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力の場合

(イ)一次応力

自重のみによる圧縮応力 (σ_{c0}) と鉛直方向地震力による圧縮応力 (σ_{cV}) の合成圧縮応力 (σ_{Tc})

$$\sigma_{cV} = \frac{C_V \cdot (W_V + W_{S1})}{4 \cdot A_5} \quad (4)$$

$$\sigma_{Tc} = \sigma_{c0} + \sigma_{cV} \quad (5)$$

自重のみによる曲げ応力 (σ_{b0}) と鉛直方向地震力による曲げ応力 (σ_{bV})、水平地震力による曲げ応力 (σ_{bHX}) の合成曲げ応力 (σ_{Tb})

$$\sigma_{bV} = \frac{C_V \cdot (W_V + W_{S1}) \cdot l_{TY}}{4 \cdot Z_{SCX}} \quad (6)$$

$$\sigma_{bHX} = \frac{C_H \cdot (W_V + W_{S1}) \cdot l_{TZ}}{2 \cdot Z_{SCY}} \quad (7)$$

$$\sigma_{Tb} = \sigma_{b0} + \sigma_{bV} + \sigma_{bHX} \quad (8)$$

水平地震力による平均せん断応力 (τ_{SHX}) とねじりせん断応力 (τ_{THX}) の合成せん断応力 (τ_{HX})

$$\tau_{SHX} = \frac{C_H \cdot (W_V + W_{S1})}{2 \cdot A_5} \quad (9)$$

$$\tau_{THX} = \frac{C_H \cdot (W_V + W_{S1}) \cdot l_{SY} \cdot t_{SC}}{2 \cdot J_5} \quad (10)$$

$$\tau_{HX} = \tau_{SHX} + \tau_{THX} \quad (11)$$

以上の圧縮応力 (σ_{Tc})、曲げ応力 (σ_{Tb})、せん断応力 (τ_{HX}) による組合せ応力 (σ_{THX}) は次式で表される。

$$\sigma_{THX} = \sqrt{(\sigma_{Tc} + \sigma_{Tb})^2 + 3 \cdot \tau_{HX}^2} \quad (12)$$

ここで、

l_{TZ} : 図 2.2-3 に示すトラニオン部 (荷重作用点) から支持架台の脚柱の応力評価部位までの距離

- ・大型 250 mm
- ・中型 250 mm

Z_{SCY} : 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱の Y 軸に関する断面係数

- ・大型 $6.400 \times 10^6 \text{ mm}^3$
- ・中型 $6.815 \times 10^6 \text{ mm}^3$

J_5 : 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱のねじり剛性係数

- ・大型 $3.448 \times 10^7 \text{ mm}^4$
- ・中型 $3.296 \times 10^7 \text{ mm}^4$

- l_{SY} : 図 2.2-3 に示す支持架台の上部脚柱における荷重点からせん断中心までの距離
 ・大型 124.7 mm
 ・中型 152.7 mm
 t_{SC} : トラニオン受部の上部支柱の板厚
 ・大型 50 mm
 ・中型 50 mm
 C_V : 鉛直方向加速度
 ・大型 0.49 G
 ・中型 0.49 G
 C_H : 水平方向加速度
 ・大型 0.79 G
 ・中型 0.79 G

(ロ)一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲 ($\Delta \sigma_c$), 曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_b$), せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$), 及び座屈応力 (σ_c) は次式により表される。なお, この部位では支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈を評価する。

$$\Delta \sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cV} \quad (13)$$

$$\Delta \sigma_b = 2 \cdot (\sigma_{bV} + \sigma_{bHX}) \quad (14)$$

$$\Delta \tau = 2 \cdot \tau_{HX} \quad (15)$$

$$\sigma_c = \sigma_{Tc} \quad (16)$$

ロ. 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力の場合

(イ)一次応力

自重のみによる応力と鉛直方向地震力による応力, 軸直角方向水平地震力による曲げ応力 (σ_{bHY}) を組合せた曲げ応力 (σ_{Tb}) 及び平均せん断応力 (τ_{SHY}) との組合せ応力 (σ_{THY}) は次式で表される。

$$\sigma_{bHY} = \frac{C_H \cdot (W_V + W_{S1}) \cdot \ell_{TZ}}{4 \cdot Z_{SCX}} \quad (17)$$

$$\tau_{SHY} = \frac{C_H \cdot (W_V + W_{S1})}{4 \cdot A_5} \quad (18)$$

$$\sigma_{Tb} = \sigma_{bo} + \sigma_{bV} + \sigma_{bHY} \quad (19)$$

$$\sigma_{THY} = \sqrt{(\sigma_{Tc} + \sigma_{Tb})^2 + 3 \cdot \tau_{SHY}^2} \quad (20)$$

(ロ)一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_b$), せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) は次式により表される。引張・圧縮の応力範囲 ($\Delta \sigma_c$) は (13) 式による。なお, この部位では支圧応力は生じない。座屈評価は (16) 式による。

$$\Delta \sigma_b = 2 \cdot (\sigma_{bV} + \sigma_{bHY}) \quad (21)$$

$$\Delta \tau = 2 \cdot \tau_{SHY} \quad (22)$$

c. 計算結果

応力計算結果を表 2.2-3 に示す。

③ 応力の評価

A. 一次応力の評価

設計事象における評価を表 2.2-3 に示す。

表 2.2-3 より、支持架台の一次応力は、許容応力以下となる。

B. 一次＋二次応力の評価

設計事象における評価を表 2.2-3 に示す。

表 2.2-3 より、支持架台の一次＋二次応力は、許容応力以下となる。

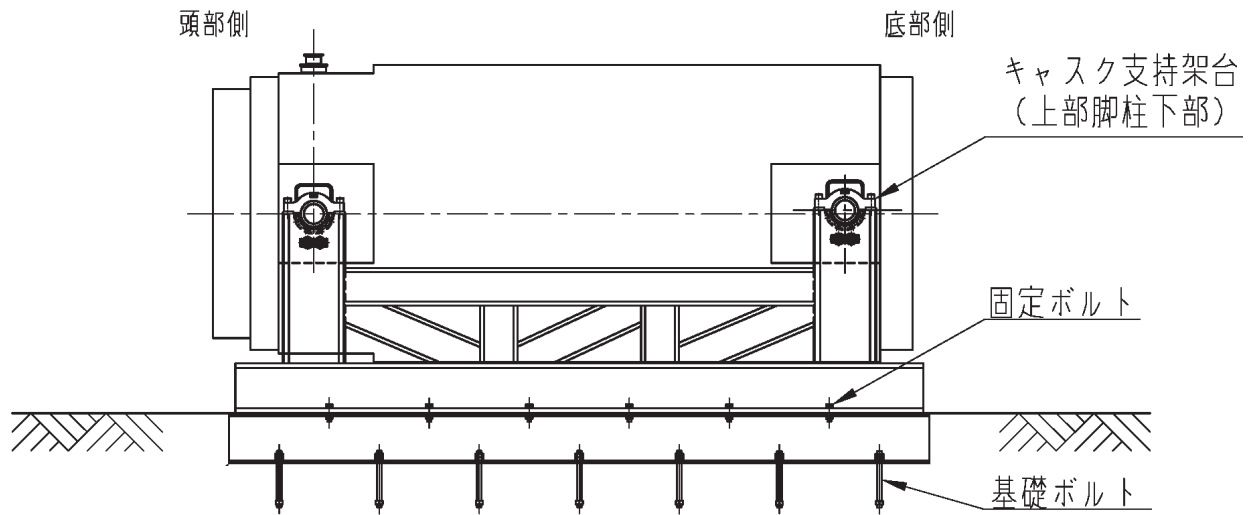


図 2.2-2 応力評価部位

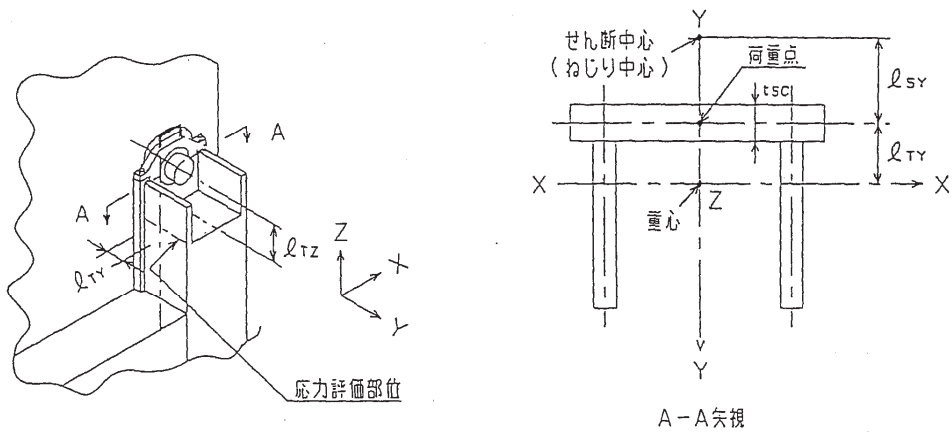


図 2.2-3 応力評価部位 (キャスト支持架台の上部脚柱)

表 2.2-1 計算条件

| 項 目 | | 計算条件 |
|-------|--------|---|
| 機械的荷重 | 地 震 力 | S _s 地震力 水平方向 : 0.79 G 鉛直方向 : 0.49 G |
| 熱 荷 重 | 最高使用温度 | 50℃ |
| 材 料 | | SS400 |

表 2.2-2 支持構造物用材料の許容応力値

| 許容 応力 区分 | 応力の種類 | | 許容応力値 (N/mm ²) | | |
|--------------------------|---------------------|---------|----------------------------|-------|---|
| | | | 炭素鋼 ¹⁾ (支持架台) | | |
| | | | 大型 | 中型 | 許容値基準 |
| | | | SS400 | SS400 | |
| I + S _s | 一次 応力 | 引張応力 | 253 | 253 | 1.5 f _t * |
| | | 圧縮応力 | 210 | 211 | 1.5 f _c * |
| | | せん断応力 | 146 | 146 | 1.5 f _s * |
| | | 曲げ応力 | 253 | 253 | 1.5 f _b * |
| | | 支圧応力 | 346 | 346 | 1.5 f _p * |
| | 一次 + 二次 応力 | 引張・圧縮応力 | 423 | 423 | 3 f _t ²⁾ |
| | | せん断応力 | 244 | 244 | 3 f _s ²⁾ |
| | | 曲げ応力 | 423 | 423 | 3 f _b ²⁾ |
| | | 支圧応力 | 346 | 346 | 1.5 f _p * |
| | | 座屈応力 | 210 | 211 | 1.5 f _b , 1.5 f _s 又は 1.5 f _c |

注 1) 一次応力における組合せ応力評価は以下による。

- ① 評価断面に垂直な方向の応力 (σ) とせん断応力 (τ) を組合せた応力 (σ_T) は、引張応力に対する許容応力値以下であること。

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- ② 組合せ応力評価として、評価断面に垂直な方向の応力同士での組合せ (軸応力+曲げ応力, せん断応力を考慮しない) として下記の評価がある。

○圧縮応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{|{}_c\sigma_b|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|{}_t\sigma_b| - |\sigma_c|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1$$

○引張応力と曲げ応力との組合せが生じる場合は、次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_t| + |{}_t\sigma_b|}{1.5 \cdot f_t^*} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{|{}_c\sigma_b| - |\sigma_t|}{1.5 \cdot f_b^*} \leq 1$$

ここで、σ_c : 平均圧縮応力 (N/mm²)

σ_t : 平均引張応力 (N/mm²)

_cσ_b : 圧縮側曲げ応力 (N/mm²)

_tσ_b : 引張側曲げ応力 (N/mm²)

注 2) S_s地震力のみによる応力範囲について評価。

表 2.2-3 支持架台の応力評価（仮保管時：S_s地震力が作用する場合）

（単位：N/mm²）

| 部位 | 応力の種類 | | 大型 | | | 中型 | | |
|--------------------|-------------------------------|---------|---------------------|---------------------|------|---------------------|---------------------|------|
| | | | 計算値 | | 許容応力 | 計算値 | | 許容応力 |
| | | | ケース 1 ¹⁾ | ケース 2 ¹⁾ | | ケース 1 ¹⁾ | ケース 2 ¹⁾ | |
| 支持架台 | 一次応力 | 引張応力 | — | — | 253 | — | — | 253 |
| | | 圧縮応力 | 9 | 9 | 210 | 7 | 7 | 211 |
| | | せん断応力 | 90 | 5 | 146 | 94 | 4 | 146 |
| | | 曲げ応力 | 33 | 37 | 253 | 26 | 27 | 253 |
| | | 組合せ応力 | 159 | 30 | 253 | 165 | 21 | 253 |
| | | 支圧応力 | — | — | 346 | — | — | 346 |
| | 一次 + 二次応力 ²⁾ | 引張・圧縮応力 | 6 | 6 | 423 | 5 | 5 | 423 |
| | | せん断応力 | 180 | 9 | 244 | 188 | 7 | 244 |
| | | 曲げ応力 | 45 | 53 | 423 | 36 | 36 | 423 |
| | | 支圧応力 | — | — | 346 | — | — | 346 |
| 座屈応力 ³⁾ | | 9 | 9 | 210 | 7 | 7 | 211 | |

注 1) ケース 1 は自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力の場合

ケース 2 は自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力の場合

注 2) S_s地震力のみによる応力範囲について評価

注 3) 自重+地震力の最大応力で評価

4) 固定ボルト，基礎ボルト

① 概要

本項では，大型及び中型の乾式貯蔵キャスクの支持構造物のうち固定ボルト，基礎ボルトに関する応力計算について示す。

なお，地震時における支持架台の設計震度は大型と中型で同じであり，乾式貯蔵キャスクの質量は大型の方が大きく（大型：115000kg，中型：96000kg），また当該評価部位の形状，材料等は共通であるため大型のみを検討対象とする。

A. 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 2.2-4 に示す。

B. 計算条件

計算条件を表 2.2-4 に示す。

C. 許容応力

解析箇所の許容応力を表 2.2-5 に示す。

D. 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は，3) ① D 項と同じである。

② 応力計算

A. 荷重条件

仮保管時においてS_s地震力が作用する場合の荷重は、次に示す組合せとする。

荷重の組合せ：自重+地震力

B. 計算方法

固定ボルト、基礎ボルトの応力計算は、以下に示す方法で計算する。

なお、鉛直地震力と水平地震力を同時に考慮した荷重により、発生する応力を計算する。

a. 固定ボルトの応力

(a)固定ボルトの引張応力

イ. 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力の場合

図 2.2-6 において、最大引張応力が発生するのは支点から最も遠い固定ボルトである。支点回りのモーメントの釣合による最大引張応力 (σ_{tFHx}) は次式で表される。

$$\sigma_{tFHx} = \frac{F_{fX1}}{A_{fb}}$$

$$F_{fX1} = \frac{L_{fX1} \cdot M_{fTHx}}{\sum_{i=1}^6 N_{fXi} \cdot L_{fXi}^2}$$

$$M_{fTHx} = \{C_H \cdot H_{fVG} - (1G - C_V) \cdot L_{fVGX}\} \cdot W_V + \{C_H \cdot H_{fSG} - (1G - C_V) \cdot L_{fSGX}\} \cdot W_S$$

ここで、

- W_V : キャスク質量 (=115000 kg)
- W_S : キャスク支持架台質量 (=15000 kg)
- C_V : 鉛直方向震度 (=0.49 G)
- C_H : 水平方向震度 (=0.79 G)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- $F_{fX1} \sim F_{fX6}$: 図 2.2-6 に示す固定ボルトに発生する引張力 (N)
- A_{fb} : 固定ボルト 1 本の呼び径断面積 (=855.3 mm²)
- $L_{fX1} \sim L_{fX6}$: 図 2.2-6 に示す固定ボルトの各位置 (mm)
- ΔL_{fX} : 図 2.2-6 に示す固定ボルトの間隔
 $L_{fXi+1} = L_{fXi} - \Delta L_{fX}$
 ΔL_{fX} (=800 mm) , L_{fX1} (=4750 mm)
- $N_{fX1} \sim N_{fX6}$: 図 2.2-6 に示す固定ボルトの各位置での本数 (=各 2 本)
- M_{fTHx} : 軸方向水平地震力に関する転倒モーメント (N・mm)
- H_{fVG} : 図 2.2-6 に示すキャスク容器の重心高さ (=1600 mm)
- H_{fSG} : 図 2.2-6 に示すキャスク支持架台の重心高さ (=522 mm)
- L_{fVGX} : 図 2.2-6 に示すキャスク容器の軸方向の重心位置 (=2672 mm)
- L_{fSGX} : 図 2.2-6 に示すキャスク支持架台の軸方向の重心位置 (=2754.9 mm)

(1) 式の転倒モーメント (M_{fTHX}) が負であれば、引張力 (F_{fx1}) は作用しないので、この場合は引張応力の計算は省略する。

ロ. 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向地震力の場合

図 2.2-7 において、最大引張応力が発生するのは支点から最も遠い固定ボルトである。支点回りのモーメントを片側の固定ボルトで受ける場合の最大引張応力 (σ_{tfHY}) は次式で表される。

$$\sigma_{tfHY} = \frac{F_{fY}}{A_{fb}}$$

$$F_{fY} = \frac{M_{fTHY}}{N_{fY} \cdot L_{fY}}$$

$$M_{fTHY} = \{C_H \cdot H_{fVG} - (1G - C_V) \cdot L_{fVGY}\} \cdot W_V + \{C_H \cdot H_{fSG} - (1G - C_V) \cdot L_{fSGY}\} \cdot W_S$$

ここで、

- W_V : キヤスク質量 (=115000 kg)
- W_S : キヤスク支持架台質量 (=15000 kg)
- C_V : 鉛直方向震度 (=0.49 G)
- C_H : 水平方向震度 (=0.79 G)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- F_{fY} : 図 2.2-7 に示す固定ボルトに発生する引張力 (N)
- A_{fb} : 固定ボルト 1 本の呼び径断面積 (=855.3 mm²)
- L_{fY} : 図 2.2-7 に示す支点から固定ボルトまでの距離 (=3200 mm)
- N_{fY} : 図 2.2-7 に示す固定ボルト位置 (L_{fY}) での本数 (=6 本)
- M_{fTHY} : 軸直角方向水平地震力に関する転倒モーメント (N・mm)
- H_{fVG} : 図 2.2-7 に示すキヤスク容器の重心高さ (=1600 mm)
- H_{fSG} : 図 2.2-7 に示すキヤスク支持架台の重心高さ (=522 mm)
- L_{fVGY} : 図 2.2-7 に示すキヤスク容器の軸直角方向の重心位置 (=1650 mm)
- L_{fSGY} : 図 2.2-7 に示すキヤスク支持架台の軸直角方向の重心位置 (=1650 mm)

(2) 式の転倒モーメント (M_{fTHY}) が負であれば、引張力 (F_{fY}) は作用しないので、この場合は引張応力の計算は省略する。

(b) 固定ボルトのせん断応力

固定ボルトのせん断応力 (τ_f) は次式で表される。

$$\tau_f = \frac{C_H \cdot (W_V + W_S)}{N_f \cdot A_{fm}} \quad (3)$$

ここで、

C_H : 水平方向震度 (=0.79 G)

N_f : 固定ボルトの本数 (=12 本)

A_{fm} : 固定ボルトの有効断面積 (=693.6 mm²)

W_V : キャスク質量 (=115000 kg)

W_S : キャスク支持架台質量 (=15000 kg)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

b. 基礎ボルトの応力

(a) 基礎ボルトの引張応力

イ. 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力の場合

図 2.2-8 において，最大引張応力が発生するのは支点から最も遠い基礎ボルトである。支点回りのモーメントの釣合による最大引張応力 (σ_{taHX}) は次式で表される。

$$\sigma_{taHX} = \frac{F_{aX1}}{A_{ab}}$$

$$F_{aX1} = \frac{L_{aX1} \cdot M_{aTHX}}{\sum_{i=1}^7 N_{aXi} \cdot L_{aXi}^2}$$

$$M_{aTHX} = \{C_H \cdot H_{aVG} - (1G - C_V) \cdot L_{aVGX}\} \cdot W_V + \{C_H \cdot H_{aSG} - (1G - C_V) \cdot L_{aSGX}\} \cdot W_S + \{C_H \cdot H_{aPG} - (1G - C_V) \cdot L_{aPGX}\} \cdot W_P$$

ここで，

- W_V : キャスク質量 (=115000 kg)
- W_S : キャスク支持架台質量 (=15000 kg)
- W_P : 固定具質量 (=3000 kg)
- C_V : 鉛直方向震度 (=0.49 G)
- C_H : 水平方向震度 (=0.79 G)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- $F_{aX1} \sim F_{aX7}$: 図 2.2-8 に示す基礎ボルトに発生する引張力 (N)
- A_{ab} : 基礎ボルト 1 本の呼び径断面積 (=1017.9 mm²)
- $L_{aX1} \sim L_{aX7}$: 図 2.2-8 に示す基礎ボルトの各位置 (mm)
- ΔL_{aX} : 図 2.2-8 に示す基礎ボルトの間隔
 $L_{aXi+1} = L_{aXi} - \Delta L_{aX}$
 ΔL_{aX} (=800 mm) , ΔL_{aX1} (=5200 mm)
- $N_{aX1} \sim N_{aX7}$: 図 2.2-8 に示す基礎ボルトの各位置での本数 (本)
- M_{aTHX} : 軸方向水平地震力に関する転倒モーメント (N・mm)
- H_{aVG} : 図 2.2-8 に示すキャスク容器の重心高さ (=2000 mm)
- H_{aSG} : 図 2.2-8 に示すキャスク支持架台の重心高さ (=922 mm)
- H_{aPG} : 図 2.2-8 に示す固定具の重心高さ (=200 mm)
- L_{aVGX} : 図 2.2-8 に示すキャスク容器の軸方向の重心位置
(=2722 mm)
- L_{aSGX} : 図 2.2-8 に示すキャスク支持架台の軸方向の重心位置
(=2804.9 mm)
- L_{aPGX} : 図 2.2-8 に示す固定具の軸方向の重心位置 (=2800 mm)

(4) 式の転倒モーメント (M_{aTHX}) が負であれば，引張力 (F_{aX1}) は作用しないので，この場合は引張応力の計算は省略する。

ロ. 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向地震力の場合

図 2.2-9 において、最大引張応力が発生するのは支点から最も遠い基礎ボルトである。支点回りのモーメントを片側の基礎ボルトで受ける場合の最大引張応力 (σ_{taHY}) は次式で表される。

$$\sigma_{\text{taHY}} = \frac{F_{\text{aY1}}}{A_{\text{ab}}} \quad \left. \begin{aligned} F_{\text{aY1}} &= \frac{M_{\text{aTHY}} \cdot L_{\text{aY1}}}{N_{\text{aY1}} \cdot L_{\text{aY1}}^2 + N_{\text{aY2}} \cdot L_{\text{aY2}}^2} \\ M_{\text{aTHY}} &= \{C_{\text{H}} \cdot H_{\text{aVG}} - (1\text{G} - C_{\text{V}}) \cdot L_{\text{aVGY}}\} \cdot W_{\text{V}} + \{C_{\text{H}} \cdot H_{\text{aSG}} - (1\text{G} - C_{\text{V}}) \cdot L_{\text{aSGY}}\} \cdot W_{\text{S}} \\ &\quad + \{C_{\text{H}} \cdot H_{\text{aPG}} - (1\text{G} - C_{\text{V}}) \cdot L_{\text{aPGY}}\} \cdot W_{\text{P}} \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで、

- W_{V} : キャスク質量 (=115000 kg)
- W_{S} : キャスク支持架台質量 (=15000 kg)
- W_{P} : 固定具質量 (=3000 kg)
- C_{V} : 鉛直方向震度 (=0.49 G)
- C_{H} : 水平方向震度 (=0.79 G)
- G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- $F_{\text{aY1}} \sim F_{\text{aY2}}$: 図 2.2-9 に示す基礎ボルトに発生する引張力 (N)
- A_{ab} : 固定ボルト 1 本の呼び径断面積 (=1017.9 mm²)
- $L_{\text{aY1}} \sim L_{\text{aY2}}$: 図 2.2-9 に示す支点から基礎ボルトまでの距離
($L_{\text{aY1}}=3200$ mm, $L_{\text{aY2}}=3000$ mm)
- N_{aYi} : 図 2.2-9 に示す基礎ボルト位置 (L_{aYi}) での本数 (=各 7 本)
- M_{aTHY} : 軸直角方向水平地震力に関する転倒モーメント (N・mm)
- H_{aVG} : 図 2.2-9 に示すキャスク容器の重心高さ (=2000 mm)
- H_{aSG} : 図 2.2-9 に示すキャスク支持架台の重心高さ (=922 mm)
- H_{aPG} : 図 2.2-9 に示す固定具の重心高さ (=200 mm)
- L_{aVGY} : 図 2.2-9 に示すキャスク容器の軸直角方向の重心位置 (=1650 mm)
- L_{aSGY} : 図 2.2-9 に示すキャスク支持架台の軸直角方向の重心位置 (=1650 mm)
- L_{aPGY} : 図 2.2-9 に示すキャスク支持架台の軸直角方向の重心位置 (=1650mm)

(5) 式の転倒モーメント (M_{aTHY}) が負であれば、引張力 (F_{aY1}) は作用しないので、この場合は引張応力の計算は省略する。

(b) 基礎ボルトのせん断応力

基礎ボルトのせん断応力 (τ_f) は次式で表される。

$$\tau_f = \frac{C_H \cdot (W_V + W_S + W_P)}{N_a \cdot A_{am}} \quad (6)$$

ここで、

C_H : 水平方向震度 (=0.79 G)

N_a : 基礎ボルトの本数 (=28 本)

A_{am} : 基礎ボルトの有効断面積 (=816.7 mm²)

W_V : キャスク質量 (=115000 kg)

W_S : キャスク支持架台質量 (=15000 kg)

W_P : 固定具質量 (=3000 kg)

G : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)

④応力の評価

設計事象 I + S_sにおける固定ボルト及び基礎ボルトの評価を表 2.2-6 に示す。
表 2.2-6 より、各部の一次応力は許容応力以下となっている。

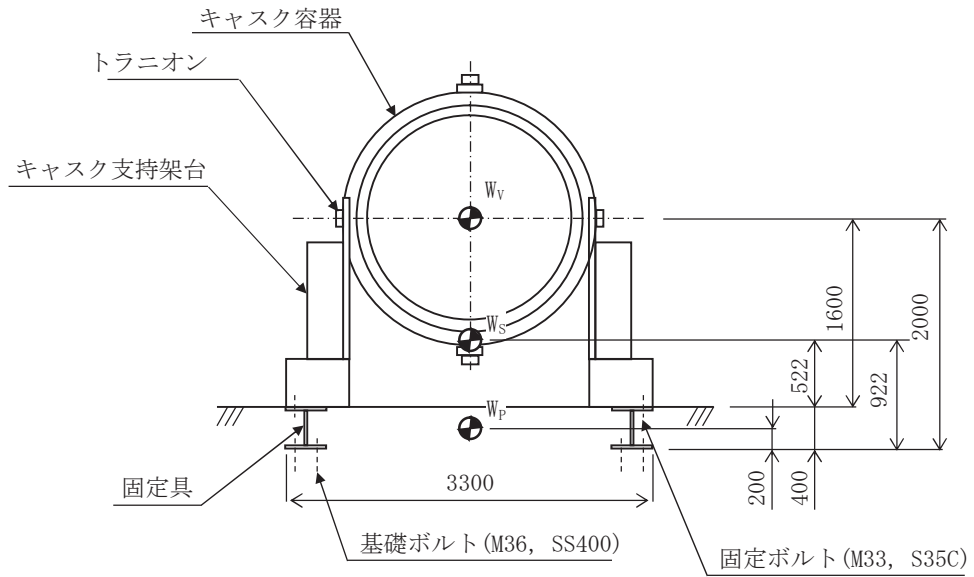
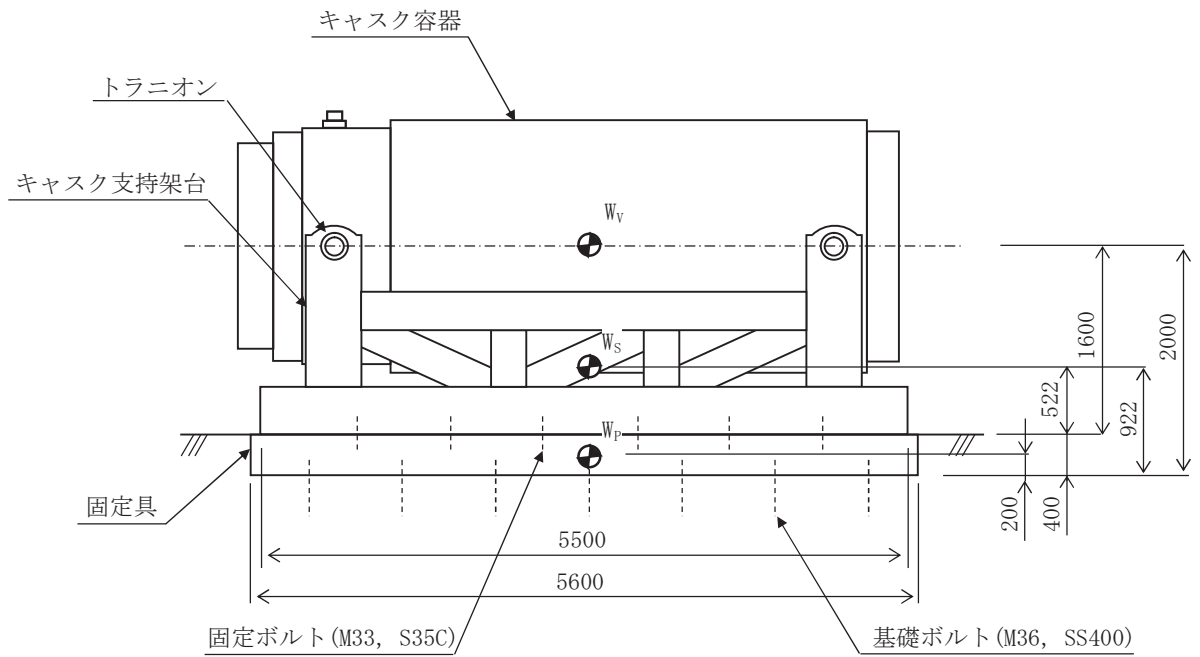


図 2.2-4 形状・寸法・材料

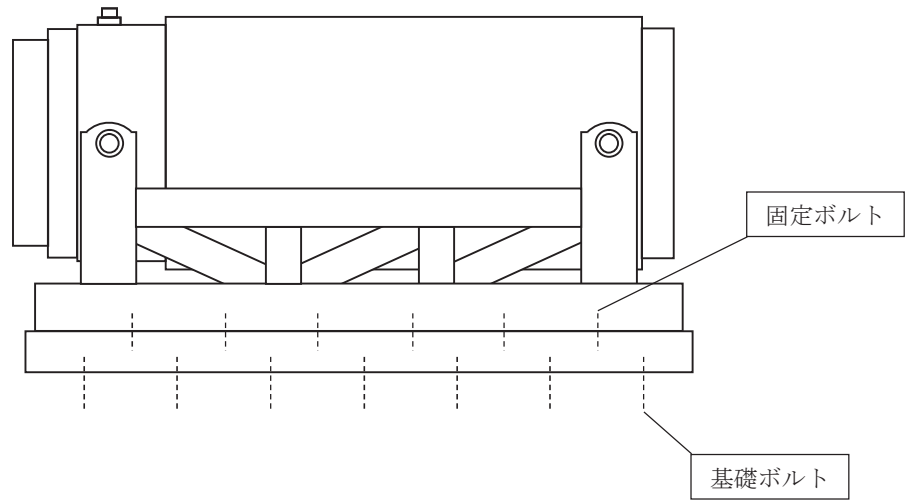


図 2.2-5 応力評価部位

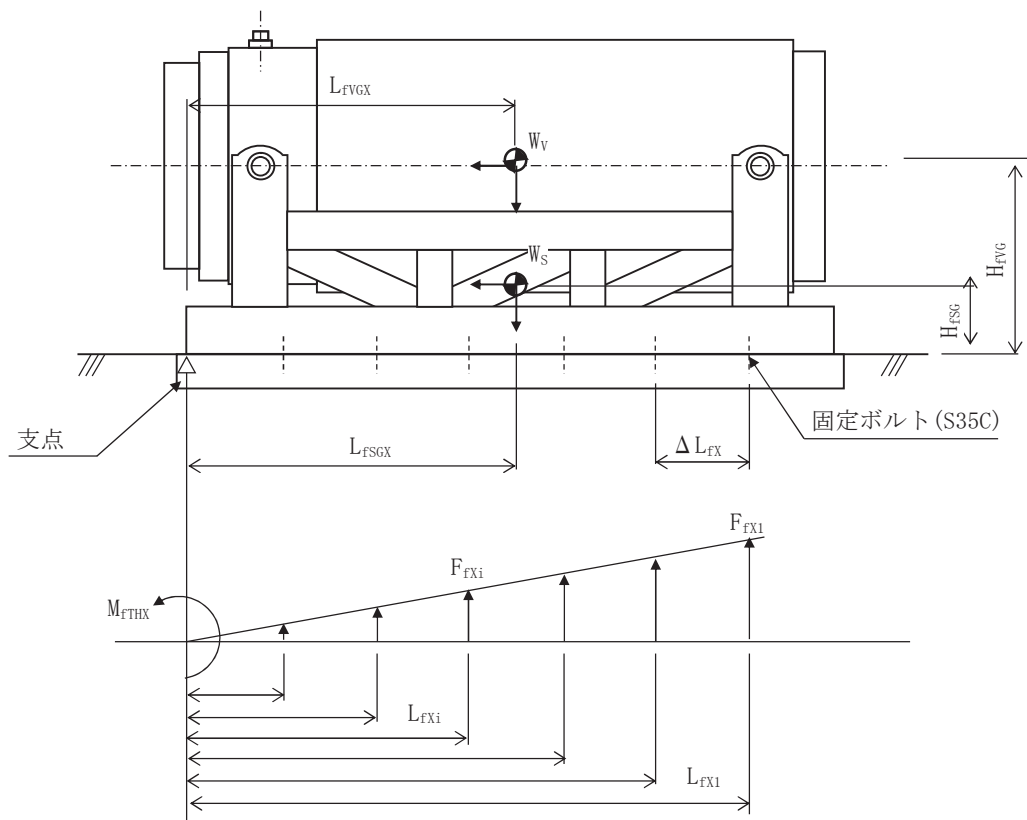


図 2.2-6 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力が作用した場合の
固定ボルトの引張応力計算モデル

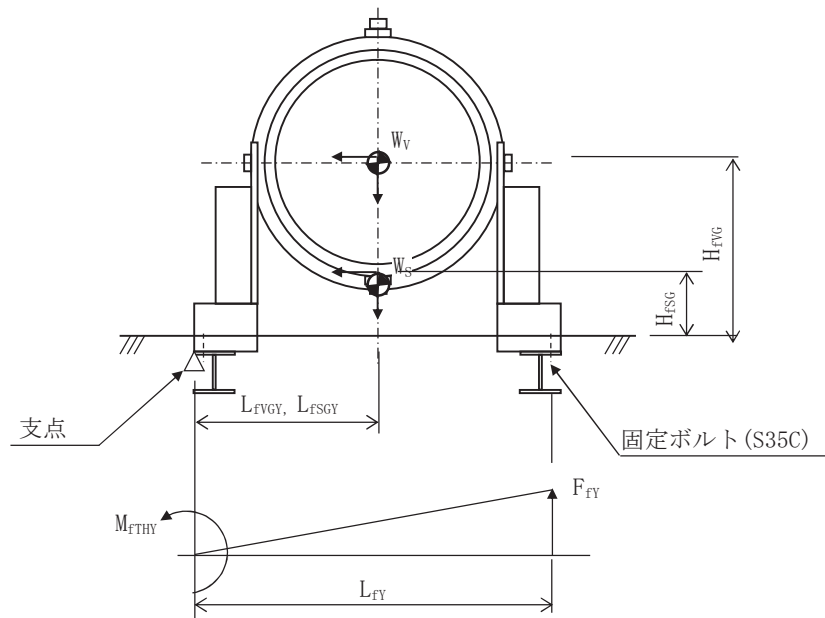


図 2.2-7 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力が作用した場合の
固定ボルトの引張応力計算モデル

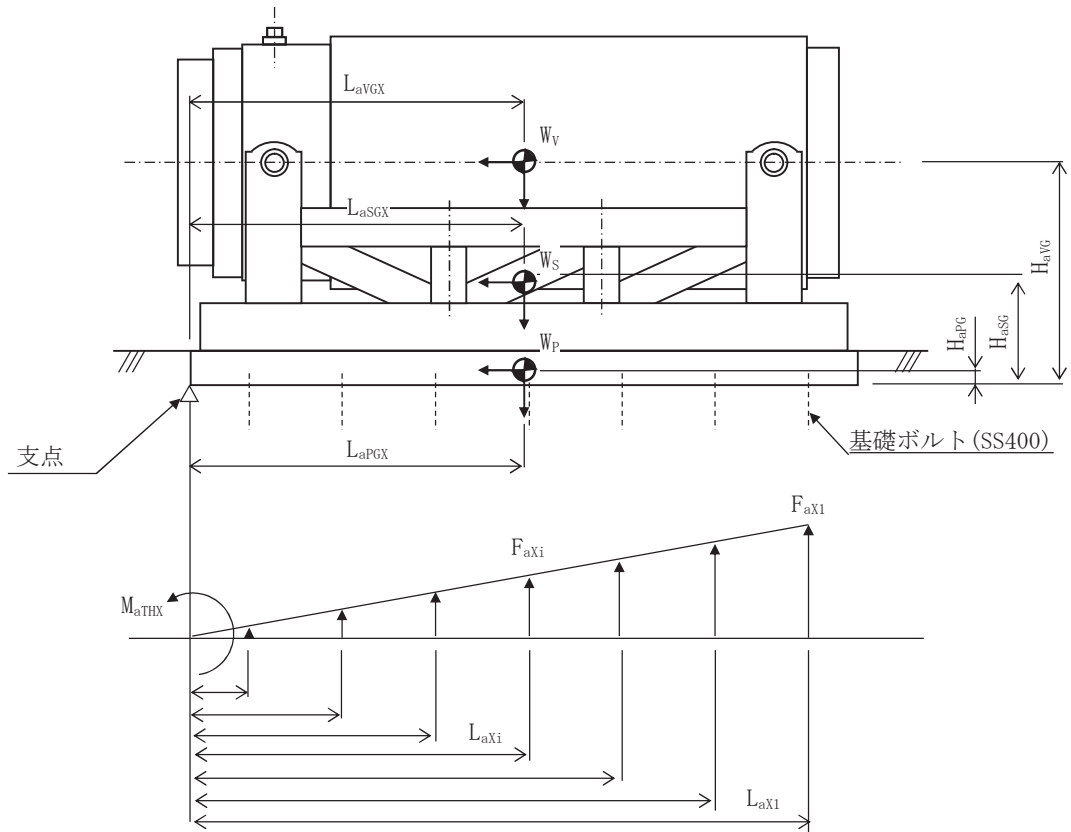


図 2.2-8 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力が作用した場合の基礎ボルトの引張応力計算モデル

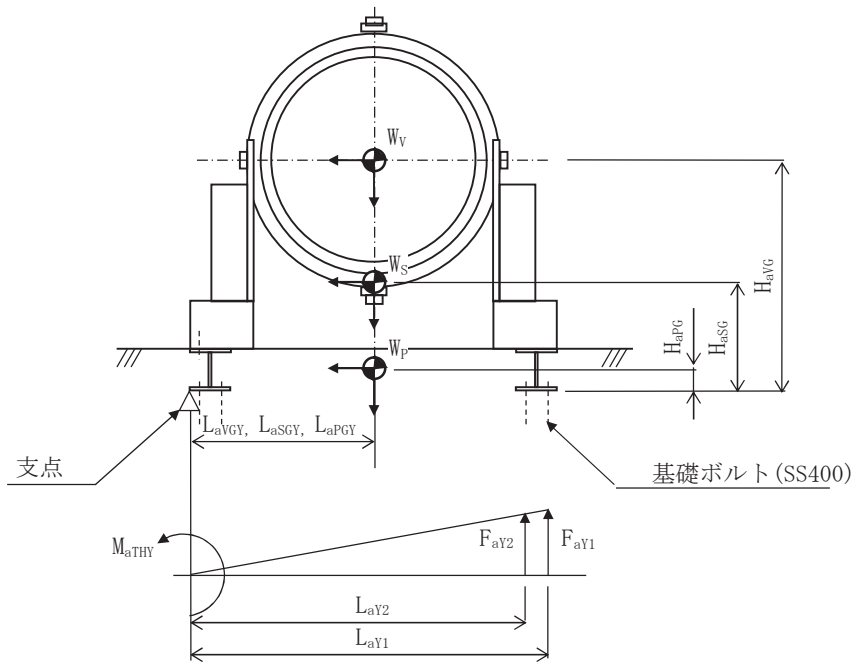


図 2.2-9 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力が作用した場合の基礎ボルトの引張応力計算モデル

表 2.2-4 計算条件

| 項目 | | 計算条件 |
|-------|--------|---|
| 機械的荷重 | 地震力 | S _s 地震力 水平方向 : 0.79 G 鉛直方向 : 0.49 G |
| 熱荷重 | 最高使用温度 | 50℃ |
| 材料 | 固定ボルト | 炭素鋼(S35C) |
| | 基礎ボルト | 炭素鋼(SS400) |

表 2.2-5 許容応力

(単位 : N/mm²)

| 部位 | 材料 | 設計事象 | 許容応力 ^(注1) | |
|-------|----------------|--------------------|----------------------|-----|
| | | | 引張 | せん断 |
| 固定ボルト | 炭素鋼 (S35C) | I + S _s | (注2) | 224 |
| 基礎ボルト | 炭素鋼 (SS400) | | (注2) | 158 |

(注1) 許容応力は、次式で算出

<固定ボルト及び基礎ボルト>

$$\text{許容引張応力 } f_t = \frac{F}{2} \times 1.5$$

$$\text{許容せん断応力 } f_s = \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \times 1.5$$

ただし、

$$F : \text{設計基準強度 (N/mm}^2\text{)} \quad F = \text{Min}[1.2S_y, 0.7S_u]$$

(注2) 固定ボルト及び基礎ボルトの許容引張応力はせん断応力との組合せを考慮し、次式で低減させる

$$\text{Min}[f_{t0}, 1.4f_{t0} - 1.6\tau]$$

ここで、

f_{t0} : ボルトの許容引張応力 (N/mm²)

τ : ボルトに発生するせん断応力 (N/mm²)

表 2.2-6 固定ボルト及び基礎ボルトの応力評価（設計事象 I + S_s）

（単位：N/mm²）

| 部位 | 応力の種類 | 計算値 | | 許容応力 ^(注2) |
|-------|-------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | | ケース 1 ^(注1) | ケース 2 ^(注1) | |
| 固定ボルト | 引張 | — ^(注3) | 26 | 213 |
| | せん断 | 121 | 121 | 224 |
| 基礎ボルト | 引張 | 2 | 19 | 206 |
| | せん断 | 45 | 45 | 158 |

(注 1) ケース 1：自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力

ケース 2：自重＋鉛直方向地震力＋軸直角方向水平地震力

(注 2) 固定ボルト及び基礎ボルトの許容引張応力は，発生せん断応力を考慮し低減させた値

(注 3) (1)式に示す転倒モーメント (M_{FTHX}) が負となり，固定ボルトに引張応力が発生しない。

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク

1) 評価方針

キャスク仮保管設備における輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の基準地震動 S_s に対する耐震性について示すものである。なお、輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

2) 主な構成部材と適用基準

① 主な構成部材

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の耐震強度は、地震時に要求される安全機能を維持するため、鋼製支持架台、埋め込み金物、基礎ボルト、コンクリート支持架台により構成される。

② 適用基準と規格

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台は原子力発電所耐震設計技術規程 [JEAC4601-2008] 及び、発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005 年版 (2007 年追補版含む) [JSME S NC1-2005/2007] を適用する。

3) 固有周期の算定

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の固有周期は 2.1 乾式キャスクの耐震性 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の内 2) 固有周期の算定と同一である。

4) 設計震度

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の設計震度は 2.1 (3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の内 3) 設計震度と同一である。

5) 解析条件

① 荷重の組合せ

S_s 地震時の評価において、輸送貯蔵兼用キャスクの設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せを表 2.2-7 に示す。

表 2.2-7 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の設計上考慮すべき荷重の種類とその組合せ

| | | | |
|--------------------|---------------------------|---------|------|
| | | 自重による荷重 | 地震荷重 |
| | | ○ | ○ |
| I + S _s | S _s 地震力が作用する場合 | | |

② 解析箇所

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析を行う箇所を図 2.2-10 に示す。

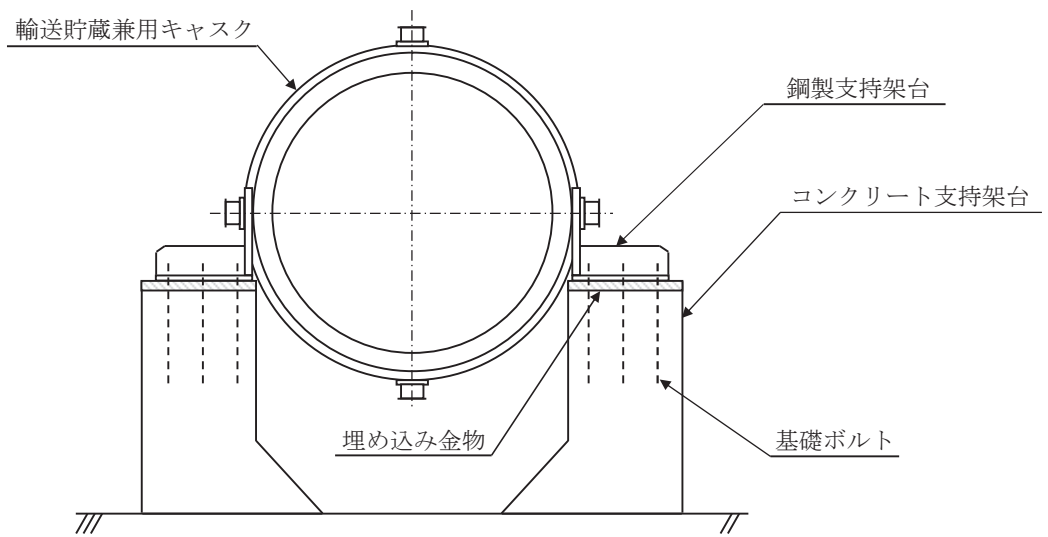
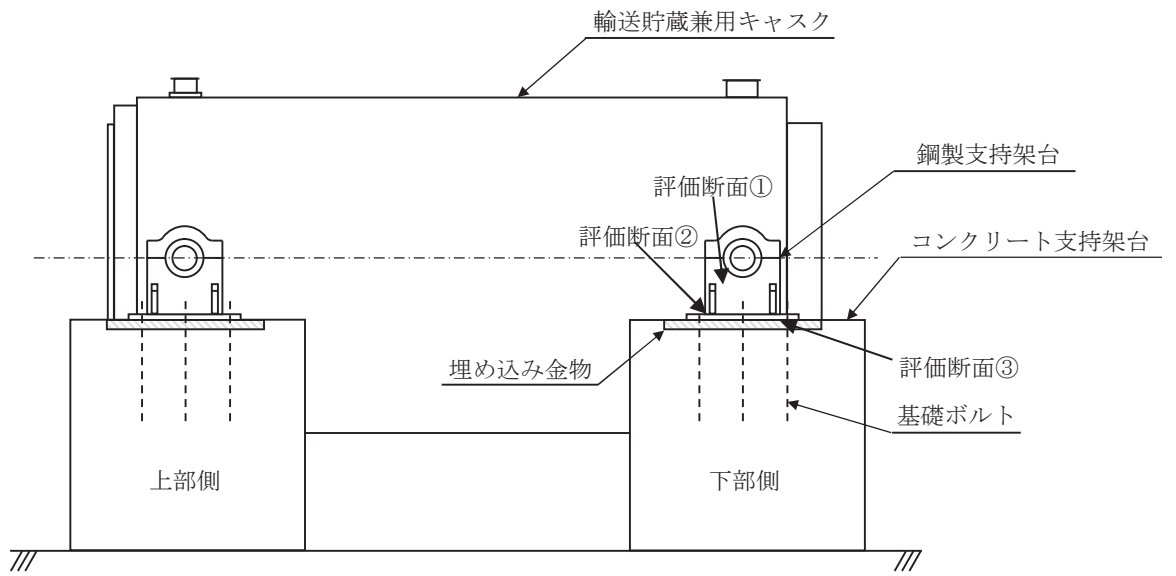


図 2.2-10 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台

6) 解析

① 解析手順

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析フローを図 2.2-11 に示す。

輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析は、想定される機械的荷重を基に応力評価式を用いて行う。

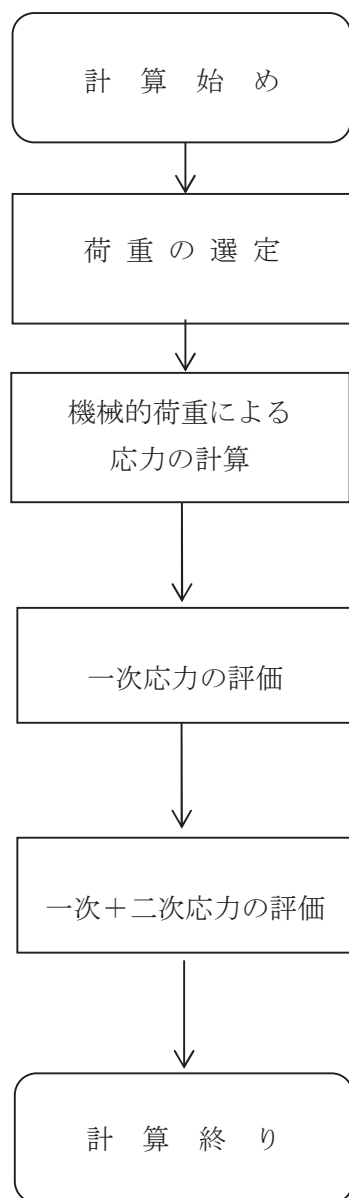


図 2.2-11 輸送貯蔵兼用キャスク用支持架台の応力解析フロー図

② 荷重条件の選定

貯蔵時において Ss 地震力が作用する場合の荷重は次に示す組合せとする。

自重+地震力

③ 荷重計算

図 2.2-12 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用するキャスクの自重(F_{wU} , F_{wL})は次式で表される。

$$F_{wU} = \frac{P_w}{2} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{wL} = \frac{P_w}{2} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_w = W \cdot g$$

ここで,

F_{wU} :鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用するキャスクの自重(N)

F_{wL} :鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用するキャスクの自重(N)

P_w :キャスク自重(N)

a :キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離(mm)

b :キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離(mm)

W :キャスク設計質量(kg)

g :重力加速度(m/s^2)

図 2.2-12 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する鉛直方向地震力(F_{vU} , F_{vL})は次式で表される。

$$F_{vU} = \frac{P_v}{2} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{vL} = \frac{P_v}{2} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_v = W \cdot C_v \cdot g$$

ここで,

F_{vU} :鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する鉛直方向地震力(N)

F_{vL} :鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する鉛直方向地震力(N)

P_v :キャスクに作用する鉛直方向地震力(N)

a :キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離(mm)

b :キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離(mm)

W :キャスク設計質量(kg)

C_v :鉛直方向震度

g :重力加速度(m/s^2)

図 2.2-12 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する軸方向水平地震力(F_{HXU} , F_{HXL})は次式で表される。なお、上部側のトラニオン受けには、キャスク軸方向にスライドする機構を備えており、軸方向水平地震力は作用しない。

$$F_{HXU} = 0$$

$$F_{HXL} = \frac{P_{HX}}{2}$$

$$P_{HX} = W \cdot C_H \cdot g$$

ここで、

F_{HXU} :鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する軸方向水平地震力 (N)

F_{HXL} :鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する軸方向水平地震力 (N)

P_{HX} :キャスクに作用する軸方向水平地震力 (N)

W :キャスク設計質量 (kg)

C_H :水平方向震度

g :重力加速度 (m/s^2)

図 2.2-12 に示す鋼製支持架台 1 脚に作用する軸直角方向水平地震力(F_{HYU} , F_{HYL})は次式で表される。なお、トラニオン受けには、鋼製支持架台に作用する軸直角方向荷重が、キャスクから支持架台の方向のみ作用する機構を備えている。

$$F_{HYU} = P_{HY} \cdot \frac{b}{(a+b)}$$

$$F_{HYL} = P_{HY} \cdot \frac{a}{(a+b)}$$

$$P_{HY} = W \cdot C_H \cdot g$$

ここで、

F_{HYU} :鋼製支持架台 1 脚 (上部側) に作用する軸直角方向水平地震力 (N)

F_{HYL} :鋼製支持架台 1 脚 (下部側) に作用する軸直角方向水平地震力 (N)

P_{HY} :キャスクに作用する軸直角方向水平地震力 (N)

a :キャスク重心から上部トラニオン軸心までの距離 (mm)

b :キャスク重心から下部トラニオン軸心までの距離 (mm)

W :キャスク設計質量 (kg)

C_H :水平方向震度

g :重力加速度 (m/s^2)

④ 応力評価

A. 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力

a. 鋼製支持架台 (評価断面①)

(a) 一次応力

図 2.2-13 において自重のみによる圧縮応力(σ_{cW})と鉛直方向地震力による圧縮応力(σ_{cV})の合成圧縮応力(σ_{cT})は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cT} = \sigma_{cW} + \sigma_{cV}$$

図 2.2-13 において軸方向水平地震力による曲げ応力(σ_{bHX})は次式で表される。

$$\sigma_{bHX} = \frac{F_{HX} \cdot l}{t \cdot B^2 / 6}$$

図 2.2-13 において軸方向水平地震力による平均せん断応力(τ_{HX})は次式で表される。

$$\tau_{HX} = \frac{F_{HX}}{B \cdot t}$$

以上の合成圧縮応力(σ_{cT})、曲げ応力(σ_{bHX})、平均せん断応力(τ_{HX})による組合せ応力(σ_{THX})は次式で表される。

$$\sigma_{THX} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bHX})^2 + 3 \cdot \tau_{HX}^2}$$

ここで、

F_W : 図 2.2-12 に示す自重の設計用値(N)

F_V : 図 2.2-12 に示す鉛直方向地震力の設計用値(N)

F_{HX} : 図 2.2-12 に示す軸方向水平地震力の設計用値(N)

B : 図 2.2-13 に示す評価断面の幅(mm)

t : 図 2.2-13 に示すトラニオン受部の板厚(mm)

l : 図 2.2-13 に示す軸方向水平地震力に対するモーメントアーム(mm)

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲($\Delta \sigma_c$)、曲げの応力範囲($\Delta \sigma_b$)、せん断の応力範囲($\Delta \tau$)、及び座屈応力(σ_{bc})は次式により表される。

なお、この部位では支圧応力、せん断座屈、曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta \sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cV}$$

$$\Delta \sigma_b = 2 \cdot \sigma_{bHX}$$

$$\Delta\tau = 2 \cdot \tau_{HX}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_{cT}$$

b. 鋼製支持架台(評価断面②)

(a) 一次応力

図2.2-14において自重のみによる圧縮応力 (σ_{cW}) と鉛直方向地震力による圧縮応力 (σ_{cV}) の合成圧縮応力 (σ_{cT}) は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cT} = \sigma_{cW} + \sigma_{cV}$$

図2.2-14において自重による曲げ応力 (σ_{bW1} , σ_{bW2}) , 鉛直方向地震力による曲げ応力 (σ_{bV1} , σ_{bV2}) , 及び軸方向水平地震力による曲げ応力 (σ_{bHX1} , σ_{bHX2}) の合成曲げ応力 (σ_{bT1} , σ_{bT2}) は次式で表される。

$$\sigma_{bW1} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bW2} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bV1} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bV2} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bHX1} = \frac{F_{HX} \cdot l}{I_Y} \cdot L_3 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bHX2} = \frac{F_{HX} \cdot l}{I_Y} \cdot L_4 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bT1} = \sigma_{bW1} + \sigma_{bV1} + \sigma_{bHX1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bT2} = \sigma_{bW2} + \sigma_{bV2} + \sigma_{bHX2} \quad (\text{リブ側})$$

図2.2-14において軸方向水平地震力による平均せん断応力 (τ_{HX}) は次式で表される。

$$\tau_{HX} = \frac{F_{HX}}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

以上の合成圧縮応力 (σ_{cT}) , 合成曲げ応力 (σ_{bT1} , σ_{bT2}) , 平均せん断応力 (τ_{HX}) による組合せ応力 (σ_{THX1} , σ_{THX2}) は次式で表される。

$$\sigma_{THX1} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bT1})^2 + 3 \cdot \tau_{HX}^2} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{THX2} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bT2})^2 + 3 \cdot \tau_{HX}^2} \quad (\text{リブ側})$$

ここで,

F_W : 図2.2-12 に示す自重の設計用値 (N)

F_V : 図2.2-12 に示す鉛直方向地震力の設計用値 (N)

F_{HX} : 図2.2-12 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

B_1 : 図2.2-14に示すトラニオン受部の幅 (mm)

B_2 : 図2.2-14に示すリブの幅 (mm)

t_1 : 図2.2-14に示すトラニオン受部の板厚 (mm)

t_2 : 図2.2-14に示すリブの板厚 (mm)

L_1 : 図2.2-14に示す中立軸(X軸)からトラニオン受け端部までのY方向距離 (mm)

L_2 : 図2.2-14に示す中立軸(X軸)からリブ端部までのY方向距離 (mm)

L_3 : 図2.2-14に示す中立軸(Y軸)からトラニオン受け端部までのX方向距離, L_3' 及び L_3'' の大きい方の値 (mm)

L_4 : 図2.2-14に示す中立軸(Y軸)からリブ端部までのX方向距離, L_4' 及び L_4'' の大きい方の値 (mm)

1 : 図2.2-14に示す軸方向水平地震力に対するモーメントアーム (mm)

I_X : 図2.2-14に示す断面の中立軸(X軸)に関する断面二次モーメント (mm⁴)

I_Y : 図2.2-14に示す断面の中立軸(Y軸)に関する断面二次モーメント (mm⁴)

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲 ($\Delta \sigma_c$) , 曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_{b1}$, $\Delta \sigma_{b2}$) , せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) , 及び座屈応力 (σ_{bc}) は次式により表される。なお, この部位では支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta\sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cV}$$

$$\Delta\sigma_{b1} = 2 \cdot (\sigma_{bV1} + \sigma_{bHX1}) \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\Delta\sigma_{b2} = 2 \cdot (\sigma_{bV2} + \sigma_{bHX2}) \quad (\text{リブ側})$$

$$\Delta\tau = 2 \cdot \tau_{HX}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_{cT}$$

c. 鋼製支持架台(評価断面③)

(a) 一次応力

図2.2-15において自重，鉛直方向地震力及び軸方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{bHXb})，コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{bHXc}) は次式で表される。

$$\sigma_{bHXb} = \frac{T_{HX} \cdot L_1}{B \cdot t^2 / 6}$$

$$\sigma_{bHXc} = \frac{\sigma_{ccHX} \cdot L_2^2 / 2}{t^2 / 6}$$

$$T_{HX} = \sigma_{tbHX} \cdot A_m$$

ここで，

σ_{tbHX} : 図2.2-15に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張応力 (N/mm²)

σ_{ccHX} : 図2.2-15に示すコンクリートに発生する本荷重条件下における圧縮応力 (N/mm²)

T_{HX} : 図2.2-15に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張力 (N)

t : 図2.2-15に示す鋼製支持架台底板の板厚 (mm)

B : 図2.2-15に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力の評価断面幅 (mm)

L_1 : 図2.2-15に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げモーメントのモーメントアーム長さ (mm)

L_2 : 図2.2-15に示すコンクリートから圧縮力を受ける長さ (mm)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)

図2.2-15において自重，鉛直方向地震力及び軸方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する平均せん断応力 (τ_{HXb})，コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する平均せん断応力 (τ_{HXc}) は次式で表される。

$$\tau_{HXb} = \frac{T_{HX}}{B \cdot t}$$

$$\tau_{HXc} = \frac{\sigma_{ccHX} \cdot L_2}{t}$$

ここで、各記号は上記と同様である。

以上の曲げ応力 (σ_{bHXb} , σ_{bHXc})、平均せん断応力 (τ_{HXb} , τ_{HXc}) による組合せ応力 (σ_{THXb} , σ_{THXc}) は次式で表される。

$$\sigma_{THXb} = \sqrt{\sigma_{bHXb}^2 + 3 \cdot \tau_{HXb}^2}$$

$$\sigma_{THXc} = \sqrt{\sigma_{bHXc}^2 + 3 \cdot \tau_{HXc}^2}$$

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_b$)、せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) は次式により表される。

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bHXb} + \sigma_{bHXc}$$

$$\Delta \tau = \tau_{HXb} + \tau_{HXc}$$

d. 埋め込み金物

自重及び鉛直方向地震力により埋め込み金物に発生する応力は微小であるためこれらの荷重は無視する。

(a) 一次応力

自重及び鉛直方向地震力は無視する。

図2.2-16において軸方向水平地震力により発生する曲げ応力 (σ_{bHX1})、軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大曲げ応力 (σ_{bHX2}) とその合成曲げ応力 (σ_{bHX}) は次式で表される。

$$\sigma_{bHX1} = \frac{F_{HX} \cdot H / 2}{4 \cdot B \cdot t^2 / 6}$$

$$\sigma_{bHX2} = \sigma_{bHX1} \cdot \frac{\tau_{HX2}}{\tau_{HX1}}$$

$$\sigma_{bHX} = \sigma_{bHX1} + \sigma_{bHX2}$$

ここで、

F_{HX} : 図2.2-12に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

H : 図2.2-16に示すシアプレート部の高さ (mm)

- B : 図2.2-16に示すシアプレート部の幅 (mm)
- t : 図2.2-16に示すシアプレート部の板厚 (mm)
- τ_{HX1} : 図2.2-16において軸方向水平地震力により発生する平均せん断応力 (N/mm²)
- τ_{HX2} : 図2.2-16において軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大せん断応力 (N/mm²)

図2.2-16において軸方向水平地震力により発生する平均せん断応力 (τ_{HX1}) , 軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大せん断応力 (τ_{HX2}) とその合成せん断応力 (τ_{HX}) は次式で表される。

$$\tau_{HX1} = \frac{F_{HX}}{4 \cdot B \cdot t}$$

$$\tau_{HX2} = \frac{F_{HX} \cdot l}{I_p} \cdot r_{\max}$$

$$\tau_{HX} = \tau_{HX1} + \tau_{HX2}$$

ここで、

- F_{HX} : 図2.2-16に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)
- B : 図2.2-16に示すシアプレートの幅 (mm)
- t : 図2.2-16に示すシアプレート部の板厚 (mm)
- l : 図2.2-16に示す軸方向水平地震力作用点から振りせん断中心までのY 方向距離 (mm)
- I_p : 図2.2-16に示すシアプレートの断面二次極モーメント (mm⁴)
- r_{\max} : 図2.2-16に示す振りせん断中心からシアプレートまでの最大距離 (mm)

以上の合成曲げ応力 (σ_{bHX}) , 合成せん断応力 (τ_{HX}) による組合せ応力 (σ_{THX}) は次式で表される。

$$\sigma_{THX} = \sqrt{\sigma_{bHX}^2 + 3 \cdot \tau_{HX}^2}$$

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_b$) , せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) は次式により表される。なお, この部位では圧縮応力, 支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じない。

$$\Delta \sigma_b = 2 \cdot \sigma_{bHX}$$

$$\Delta \tau = 2 \cdot \tau_{HX}$$

e. 基礎ボルト

(a) 一次応力

I. 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(+Z) + 軸方向水平地震力(±X)

基礎ボルトに発生する合成引張応力 (σ_{tT}) 及び合成せん断応力 (τ_T) は次式で表される。

$$\sigma_{tT} = \sigma_{tV} + \sigma_{tHX}$$

$$\tau_T = \tau_{HX1} + \tau_{HX2}$$

ここで,

σ_{tV} : 自重及び鉛直方向地震力により発生する引張応力 (N/mm²)

σ_{tHX} : 軸方向水平地震力により発生する引張応力 (N/mm²)

τ_{HX1} : 軸方向水平地震力により発生する平均せん断応力 (N/mm²)

τ_{HX2} : 軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大せん断応力 (N/mm²)

イ. 自重及び鉛直方向地震力による引張応力

図2.2-17において自重及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tV}) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tV} = \sigma_{cc} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = \left\{ X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1}) \right\} b \cdot D^2$$

$$I_n = \left\{ X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2 \right\} b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

ここで,

σ_{cc} : 図2. 2-17に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm²)

n : ヤング係数比

D : 図2. 2-17に示す断面高さ (mm)

b : 図2. 2-17に示す断面幅 (mm)

d_t : 図2. 2-17に示す引張側ボルトに関する距離 (mm)

d_{t1} : 引張側ボルトに関する係数 (-)

X_n : 図2. 2-17に示す中立軸距離 (mm)

$$X_n - D / 2 + e = I_n / S_n$$

ただし, e : 図2. 2-17に示す鉛直力偏心距離 (mm)

X_{n1} : 中立軸比 (-)

N : 図2. 2-17に示す鉛直力であり, 次式により算出した値 (N)

$$N = [\text{自重の設計用値}] - [\text{鉛直方向地震力の設計用値}]$$

a_t : 有効ボルト総断面積 (mm²)

P_t : 引張鉄筋比 (-)

A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm²)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)

N_b : 有効引張側ボルト本数 (本)

S_n : 有効等価断面一次モーメント (mm³)

I_n : 有効等価断面二次モーメント (mm⁴)

ロ. 軸方向水平地震力による引張応力

図2. 2-17において軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tHX}) は, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010 年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tHX} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot n \cdot (d - X_n) \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot X_n$$

$$X_{n1} = -n \cdot P_t + \sqrt{n \cdot P_t \cdot (2 + n \cdot P_t)}$$

$$X_n = d \cdot X_{n1}$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

$$P_t = a_t / (b \cdot d)$$

ここで,

- σ_{cc} : 図2. 2-17に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm²)
- F_{HX} : 図2. 2-12 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)
- I : 断面の断面二次モーメント (mm⁴)
- n : ヤング係数比
- l_1 : 軸方向水平地震力作用点から鋼製支持架台下面までのZ 方向距離 (mm)
- b : 図2. 2-17に示す断面幅 (mm)
- d : 図2. 2-17に示す断面有効高さ (mm)
- X_n : 図2. 2-17に示す中立軸距離 (mm)
- X_{n1} : 中立軸比 (-)
- a_t : 有効ボルト総断面積 (mm²)
- P_t : 引張鉄筋比 (-)
- A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm²)
- A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)
- N_b : 有効引張側ボルト本数 (本)

ハ. 軸方向水平地震力により発生するせん断応力

軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 (τ_{HX1}), 及び軸方向水平地震力作用点が図2. 2-17に示す基礎ボルト重心位置から偏心していることにより発生する最大せん断応力 (τ_{HX2}) は次式で表される。

$$\tau_{HX1} = \frac{F_{HX}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

$$\tau_{HX2} = \frac{F_{HX} \cdot l_2}{I_p} \cdot r_{\max}$$

ここで,

- F_{HX} : 図2. 2-12に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)
- N_{bs} : 図2. 2-17に示す基礎ボルト本数 (本)
- A_b : 図2. 2-17に示す基礎ボルト有効断面積 (mm²)
- I_p : 図2. 2-17に示す基礎ボルトの断面二次極モーメント (mm⁴)
- l_2 : 図2. 2-17に示す軸方向水平地震力作用点から基礎ボルト有効断面の図心位置 (振りせん断中心) までのY 方向距離 (mm)
- r_{\max} : 上記図心位置から基礎ボルトまでの最大距離 (mm)

Ⅱ. 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(-Z) + 軸方向水平地震力(±X)

基礎ボルトに発生する合成引張応力 (σ_{tT}) 及び合成せん断応力 (τ_T) は次式で表される。

$$\sigma_{tT} = \sigma_{tV} + \sigma_{tHX}$$

$$\tau_T = \tau_{HX1} + \tau_{HX2}$$

ここで、

σ_{tV} : 自重及び鉛直方向地震力により発生する引張応力 (N/mm²)

σ_{tHX} : 軸方向水平地震力により発生する引張応力 (N/mm²)

τ_{HX1} : 軸方向水平地震力により発生する平均せん断応力 (N/mm²)

τ_{HX2} : 軸方向水平地震力作用点の偏心により発生する最大せん断応力 (N/mm²)

イ. 自重及び鉛直方向地震力による引張応力

図 2.2-18 において自重及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tV}) は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tV} = \sigma_{cc} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = \left\{ X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1}) \right\} b \cdot D^2$$

$$I_n = \left\{ X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2 \right\} b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_{bt}$$

ここで、

σ_{cc} : 図 2.2-18 に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm²)

n : ヤング係数比

D : 図 2.2-18 に示す断面高さ (mm)

b : 図 2.2-18 に示す断面幅 (mm)

d_t : 図 2.2-18 に示す引張側ボルトに関する距離 (mm)

d_{t1} : 引張側ボルトに関する係数 (-)

X_n : 図 2.2-18 に示す中立軸距離を表し、次式を満足する値 (mm)

$$X_n - D/2 + e = I_n / S_n$$

ただし、 e : 図 2.2-18 に示す鉛直力偏心距離 (mm)

X_{n1} : 中立軸比 (-)

N : 図 2.2-18 に示す鉛直力であり、次式により算出した値 (N)

$$N = [\text{自重の設計用値}] + [\text{鉛直方向地震力の設計用値}]$$

a_t : 有効ボルト総断面積 (mm^2)

P_t : 引張鉄筋比 (-)

A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm^2)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm^2)

N_{bt} : 有効引張側ボルト本数 (本)

S_n : 有効等価断面一次モーメント (mm^3)

I_n : 有効等価断面二次モーメント (mm^4)

ロ. 軸方向水平地震力により発生する引張応力

図 2.2-18 において軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tHX}) は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tHX} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot n \cdot (d - X_n) \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = \frac{F_{HX} \cdot l_1}{I} \cdot X_n$$

$$X_{n1} = -n \cdot P_t + \sqrt{n \cdot P_t \cdot (2 + n \cdot P_t)}$$

$$X_n = d \cdot X_{n1}$$

$$a_t = A_b \cdot N_b$$

$$P_t = a_t / (b \cdot d)$$

ここで、

σ_{cc} : 図 2.2-18 に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm^2)

F_{HX} : 図 2.2-12 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)

I : 断面の断面二次モーメント (mm^4)

n : ヤング係数比

l_1 : 軸方向水平地震力作用点から鋼製支持架台下面までの Z 方向距離 (mm)

b : 図 2.2-18 に示す断面幅 (mm)

d : 図 2.2-18 に示す断面有効高さ (mm)

X_n : 図 2.2-18 に示す中立軸距離 (mm)

X_{n1} : 中立軸比 (-)

a_t : 有効ボルト総断面積 (mm^2)

- P_t : 引張鉄筋比 (-)
 A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm²)
 A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)
 N_b : 有効引張側ボルト本数 (本)

ハ. 軸方向水平地震力により発生するせん断応力

軸方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 (τ_{HX1}), 及び軸方向水平地震力作用点が図 2.2-18 に示す基礎ボルト重心位置から偏心していることにより発生する最大せん断応力 (τ_{HX2}) は次式で表される。

$$\tau_{HX1} = \frac{F_{HX}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

$$\tau_{HX2} = \frac{F_{HX} \cdot l_2}{I_p} \cdot r_{\max}$$

ここで,

- F_{HX} : 図 2.2-12 に示す軸方向水平地震力の設計用値 (N)
 N_{bs} : 図 2.2-18 に示す基礎ボルト本数 (本)
 A_b : 図 2.2-18 に示す基礎ボルト有効断面積 (mm²)
 I_p : 図 2.2-18 に示す基礎ボルトの断面二次極モーメント (mm⁴)
 l_2 : 図 2.2-18 に示す軸方向水平地震力作用点から基礎ボルト有効断面の図心位置 (振りせん断中心) までの Y 方向距離 (mm)
 r_{\max} : 上記図心位置から基礎ボルトまでの最大距離 (mm)

f. コンクリート支持架台

コンクリート支持架台の下端に発生する荷重は表 2.2-7 の通りである。これらの荷重を用いて後述する 2.5 コンクリート基礎の耐震性と同様に評価を行う。

表 2.2-7 コンクリート支持架台下端における荷重

| | 鉛直力 | 水平力 | モーメント |
|---------|--------|--------|--------|
| | (kN) | (kN) | (kN・m) |
| キャスク | 477.00 | 485.00 | 226.00 |
| | - | - | 574.73 |
| ペDESTAL | 49.41 | 23.10 | 12.43 |
| 合計 | 526.41 | 508.10 | 813.16 |

B. 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力

a. 鋼製支持架台（評価断面①）

(a) 一次応力

図 2.2-19 において自重のみによる圧縮応力(σ_{cW})と鉛直方向地震力による圧縮応力(σ_{cV})の合成圧縮応力(σ_{cT})は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B \cdot t}$$

$$\sigma_{cT} = \sigma_{cW} + \sigma_{cV}$$

図 2.2-19 において軸直角方向水平地震力による曲げ応力(σ_{bHY})は次式で表される。

$$\sigma_{bHY} = \frac{F_{HY} \cdot l}{B \cdot t^2 / 6}$$

図 2.2-19 において軸直角方向水平地震力による平均せん断応力(τ_{HY})は次式で表される。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{B \cdot t}$$

以上の合成圧縮応力(σ_{cT})、曲げ応力(σ_{bHY})、平均せん断応力(τ_{HY})による組合せ応力(σ_{THY})は次式で表される。

$$\sigma_{THY} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bHY})^2 + 3 \cdot \tau_{HY}^2}$$

ここで、

F_W : 図 2.2-12 に示す自重の設計用値(N)

F_V : 図 2.2-12 に示す鉛直方向地震力の設計用値(N)

F_{HY} : 図 2.2-12 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値(N)

B : 図 2.2-19 に示す評価断面の幅(mm)

t : 図 2.2-19 に示すトラニオン受部の板厚(mm)

l : 図 2.2-19 に示す軸直角方向水平地震力に対するモーメントアーム(mm)

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲($\Delta \sigma_c$)、曲げの応力範囲($\Delta \sigma_b$)、せん断の応力範囲($\Delta \tau$)、及び座屈応力(σ_{bc})は次式により表される。

なお、この部位では支圧応力、せん断座屈、曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta \sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cV}$$

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bHY}$$

$$\Delta\tau = \tau_{HY}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_{cT}$$

b. 鋼製支持架台(評価断面②)

(a) 一次応力

図2.2-20において自重のみによる圧縮応力 (σ_{cW}) と鉛直方向地震力による圧縮応力 (σ_{cV}) の合成圧縮応力 (σ_{cT}) は次式で表される。

$$\sigma_{cW} = \frac{F_W}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_V}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

$$\sigma_{cT} = \sigma_{cW} + \sigma_{cV}$$

図2.2-20において自重による曲げ応力 (σ_{bW1} , σ_{bW2}) , 鉛直方向地震力による曲げ応力 (σ_{bV1} , σ_{bV2}) , 及び軸直角方向水平地震力による曲げ応力 (σ_{bHY1} , σ_{bHY2}) の合成曲げ応力

(σ_{bT1} , σ_{bT2}) は次式で表される。

$$\sigma_{bW1} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bW2} = \frac{F_W \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bV1} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bV2} = \frac{F_V \cdot (L_1 - t_1 / 2)}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bHY1} = \frac{F_{HY} \cdot l}{I_X} \cdot L_1 \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bHY2} = \frac{F_{HY} \cdot l}{I_X} \cdot L_2 \quad (\text{リブ側})$$

$$\sigma_{bT1} = \sigma_{bW1} + \sigma_{bV1} + \sigma_{bHY1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{bT2} = \sigma_{bW2} + \sigma_{bV2} + \sigma_{bHY2} \quad (\text{リブ側})$$

図2. 2-20において軸直角方向水平地震力による平均せん断応力 (τ_{HY}) は次式で表される。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{B_1 \cdot t_1 + 2B_2 \cdot t_2}$$

以上の合成圧縮応力 (σ_{cT}) , 合成曲げ応力 (σ_{bT1} , σ_{bT2}) , 平均せん断応力 (τ_{HY}) による組合せ応力 (σ_{THY1} , σ_{THY2}) は次式で表される。

$$\sigma_{THY1} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bT1})^2 + 3 \cdot \tau_{HY}^2} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\sigma_{THY2} = \sqrt{(\sigma_{cT} + \sigma_{bT2})^2 + 3 \cdot \tau_{HY}^2} \quad (\text{リブ側})$$

ここで,

F_W : 図2. 2-12 に示す自重の設計用値 (N)

F_V : 図2. 2-12 に示す鉛直方向地震力の設計用値 (N)

F_{HX} : 図2. 2-12 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

B_1 : 図2. 2-20に示すトラニオン受部の幅 (mm)

B_2 : 図2. 2-20に示すリブの幅 (mm)

t_1 : 図2. 2-20に示すトラニオン受部の板厚 (mm)

t_2 : 図2. 2-20に示すリブの板厚 (mm)

L_1 : 図2. 2-20に示す中立軸(X 軸)からトラニオン受け端部までのY方向距離 (mm)

L_2 : 図2. 2-20に示す中立軸(X 軸)からリブ端部までのY方向距離 (mm)

l : 図2. 2-20に示す軸直角方向水平地震力に対するモーメントアーム (mm)

I_X : 図2. 2-20に示す断面の中立軸(X 軸)に関する断面二次モーメント (mm⁴)

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる引張・圧縮の応力範囲 ($\Delta \sigma_c$) , 曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_{b1}$, $\Delta \sigma_{b2}$) , せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) , 及び座屈応力 (σ_{bc}) は次式により表される。なお, この部位では支圧応力, せん断座屈, 曲げ座屈は生じないので圧縮応力に対する座屈応力を評価する。

$$\Delta\sigma_c = 2 \cdot \sigma_{cV}$$

$$\Delta\sigma_{b1} = 2 \cdot \sigma_{bV1} + \sigma_{bHY1} \quad (\text{トラニオン受側})$$

$$\Delta\sigma_{b2} = 2 \cdot \sigma_{bV2} + \sigma_{bHY2} \quad (\text{リブ側})$$

$$\Delta\tau = \tau_{HY}$$

$$\sigma_{bc} = \sigma_{cT}$$

c. 鋼製支持架台(評価断面③)

(a) 一次応力

図2.2-21において自重,鉛直方向地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{bHYb}), コンクリート支持架台から圧縮力を受けて発生する曲げ応力 (σ_{bHYc}) は次式で表される。

$$\sigma_{bHYb} = \frac{T_{HY} \cdot L_1}{B \cdot t^2 / 6}$$

$$\sigma_{bHYc} = \frac{\sigma_{ccHY} \cdot L_2^2 / 2}{t^2 / 6}$$

$$T_{HY} = \sigma_{tbHY} \cdot A_m$$

ここで,

σ_{tbHY} : 図2.2-21に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張応力 (N/mm²)

σ_{ccHY} : 図2.2-21に示すコンクリートに発生する本荷重条件下における圧縮応力 (N/mm²)

T_{HY} : 図2.2-21に示す基礎ボルトに発生する本荷重条件下における引張力 (N)

t : 図2.2-21に示す鋼製支持架台底板の板厚 (mm)

B : 図2.2-21に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げ応力の評価断面幅 (mm)

L_1 : 図2.2-21に示す基礎ボルトから引張力を受けて発生する曲げモーメントのモーメントアーム長さ (mm)

L_2 : 図2.2-21に示すコンクリートから圧縮力を受ける長さ (mm)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)

図2.2-21において自重,鉛直方向地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトから引張力を受けて発生する平均せん断応力 (τ_{HYb}), コンクリート支持架台から圧縮

力を受けて発生する平均せん断応力（ τ_{HYc} ）は次式で表される。

$$\tau_{HYb} = \frac{T_{HY}}{B \cdot t}$$

$$\tau_{HYc} = \frac{\sigma_{ccHY} \cdot L_2}{t}$$

ここで、各記号は上記と同様である。

以上の曲げ応力（ σ_{bHYb} , σ_{bHYc} ）、平均せん断応力（ τ_{HYb} , τ_{HYc} ）による組合せ応力（ σ_{THYb} , σ_{THYc} ）は次式で表される。

$$\sigma_{THYb} = \sqrt{\sigma_{bHYb}^2 + 3 \cdot \tau_{HYb}^2}$$

$$\sigma_{THYc} = \sqrt{\sigma_{bHYc}^2 + 3 \cdot \tau_{HYc}^2}$$

(b) 一次+二次応力

地震力のみによる曲げの応力範囲（ $\Delta \sigma_b$ ）、せん断の応力範囲（ $\Delta \tau$ ）は次式により表される。なお、この部位では圧縮応力、支圧応力、せん断座屈、曲げ座屈は生じない。

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bHYb} + \sigma_{bHYc}$$

$$\Delta \tau = \tau_{HYb} + \tau_{HYc}$$

d. 埋め込み金物

(a) 一次応力

図2.2-22において軸直角方向水平地震力により発生する曲げ応力（ σ_{bHY} ）は次式で表される。

$$\sigma_{bHY} = \frac{F_{HY} \cdot H / 2}{(L - 4 \cdot t) \cdot t^2 / 6}$$

ここで、

F_{HY} : 図2.2-12 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

H : 図2.2-22に示すシアプレート部の高さ (mm)

L : 図2.2-22に示すシアプレート部の幅 (mm)

t : 図2.2-22に示すシアプレート部の板厚 (mm)

図2.2-22において軸直角方向水平地震力により発生する平均せん断応力（ τ_{HY} ）は次式で表される。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{(L - 4 \cdot t) \cdot t}$$

ここで、

F_{HY} : 図2.2-12 に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

L : 図2.2-22に示すシアプレート部の幅 (mm)

t : 図2.2-22に示すシアプレート部の板厚 (mm)

以上の曲げ応力 (σ_{bHY}) , 平均せん断応力 (τ_{HY}) による組合せ応力 (σ_{THY}) は次式で表される。

$$\sigma_{THY} = \sqrt{\sigma_{bHY}^2 + 3 \cdot \tau_{HY}^2}$$

(b) 一次+二次応力

軸直角方向水平地震力は一方向のみ (図2.2-22に示す-Y 方向のみ) に作用し、応力の振幅は片側のみとなるため、地震力のみによる曲げの応力範囲 ($\Delta \sigma_b$) , せん断の応力範囲 ($\Delta \tau$) は次式により表される。なお、せん断座屈、曲げ座屈は生じない。

$$\Delta \sigma_b = \sigma_{bHY}$$

$$\Delta \tau = \tau_{HY}$$

e. 基礎ボルト

(a) 一次応力

I. 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(+Z) + 軸方向水平地震力(-Y)

イ. 自重, 鉛直方向地震力, 軸直角水平方向地震力による引張応力

図2.2-23において自重, 鉛直方向地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに引張応力が発生するかは下記条件により定まる。

(i) $e_T < -(D/6 + d_t'/3)$ のとき

基礎ボルトに引張応力が発生する。

(ii) $-(D/6 + d_t'/3) \leq e_T < -D/6$ のとき

鋼製支持架台底板の一部が圧縮となり、基礎ボルトに引張応力が発生しない。

(iii) $-D/6 \leq e_T < D/6$ のとき

鋼製支持架台底板の全面が圧縮となり、基礎ボルトに引張応力が発生しない。

(iv) $D/6 \leq e_T < D/6 + d_t/3$ のとき

鋼製支持架台底板の一部が圧縮となり、基礎ボルトに引張応力が発生しない。

(v) $D/6 + d_t/3 \leq e_T$ のとき

基礎ボルトに引張応力が発生する。

ただし、

$$e_T = e_N + e_M$$

$$e_M = -F_{HY} \cdot l / N$$

ここで、

D : 図2.2-23に示す断面高さ (mm)

d_t : 図2.2-23に示す引張側ボルトに関する距離 (キヤスクと反対側) (mm)

d_t' : 図2.2-23に示す引張側ボルトに関する距離 (キヤスク側) (mm)

e_T : 合成荷重偏心距離 (mm)

e_N : 図2.2-23に示す鉛直力偏心距離 (mm)

e_M : 曲げモーメント置換偏心距離 (mm)

l : 図2.2-23に示す軸直角方向水平地震力作用点から鋼製支持架台下面までのZ方向距離 (mm)

F_{HY} : 図2.2-23に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

N : 図2.2-23に示す鉛直力であり、次式により算出した値 (N)

$$N = [\text{自重の設計用値}] - [\text{鉛直方向地震力の設計用値}]$$

各条件で発生する基礎ボルトの引張応力は以下に示すとおり計算する。

(i) $e_T < -(D/6 + d_t'/3)$ のとき

基礎ボルトに引張応力が発生する。図2.2-23において自重、鉛直方向地震力、軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tHY}) は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tHY} = \sigma_{cc} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t' - X_n)}{X_n} \cdot \frac{A_b}{A_m}$$

$$\sigma_{cc} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = \left\{ X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1}) \right\} b \cdot D^2$$

$$I_n = \left\{ X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2 \right\} b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t' / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_{bt}'$$

ここで,

σ_{cc} : 図2.2-23に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm^2)

n : ヤング係数比

D : 上記と同じ

b : 図2.2-23に示す断面幅 (mm)

d_t' : 上記と同じ

d_{t1} : 引張側ボルトに関する係数 (-)

X_n : 図2.2-23に示す中立軸距離を表し, 次式を満足する値 (mm)

$$X_n - D/2 + |e_T| = I_n / S_n$$

ただし, e_T : 上記と同じ

X_{n1} : 中立軸比 (-)

N : 上記と同じ

a_t : 有効ボルト総断面積 (mm^2)

P_t : 引張鉄筋比 (-)

A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm^2)

A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm^2)

N_{bt}' : 有効引張側ボルト本数 (本)

S_n : 有効等価断面一次モーメント (mm^3)

I_n : 有効等価断面二次モーメント (mm^4)

(ii) $-(D/6 + d_t'/3) \leq e_T < -D/6$ のとき

鋼製支持架台底板の一部が圧縮となり, 基礎ボルトに引張応力が発生しないが, ここでは, コンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力を算出する。図2.2-23において自重, 鉛直方向地震力, 軸直角方向水平地震力によりコンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力 (σ_{cc}) は, 次式で表される。

$$\sigma_{cc} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot b \cdot (D/2 - |e_T|)}$$

ここで,

N, e_T, D, b : 上記と同じ

(iii) $-D/6 \leq e_T < D/6$ のとき

鋼製支持架台底板の全面が圧縮となり, 基礎ボルトに引張応力が発生しないが, ここでは, コンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力を算出する。図2.2-23において自重, 鉛直方向地震力, 軸直角方向水平地震力によりコンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力 (σ_{cc}) は, 次式で表される。

$$\sigma_{cc} = \frac{N \cdot |e_T|}{b \cdot D^2 / 6} + \frac{N}{b \cdot D}$$

ここで、

N, e_T, D, b: 上記と同じ

(iv) $D/6 \leq e_T < D/6 + d_t/3$ のとき

鋼製支持架台底板の一部が圧縮となり、基礎ボルトに引張応力が発生しないが、ここでは、コンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力を算出する。図2.2-23において自重、鉛直方向地震力、軸直角方向水平地震力によりコンクリート支持架台に発生する最大圧縮応力 (σ_{cc}) は、次式で表される。

$$\sigma_{cc} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot b \cdot (D/2 - |e_T|)}$$

ここで、

N, e_T, D, b: 上記と同じ

(v) $D/6 + d_t/3 \leq e_T$ のとき

基礎ボルトに引張応力が発生する。図2.2-23において自重、鉛直方向地震力、軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する引張応力 (σ_{tHY}) は、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2010年版)より次式で表される。

$$\sigma_{tHY} = \sigma_{cc} \cdot n \cdot \frac{(D - d_t - X_n) \cdot A_b}{X_n \cdot A_m}$$

$$\sigma_{cc} = N \cdot X_n / S_n$$

$$S_n = \left\{ X_{n1}^2 / 2 - n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1}) \right\} b \cdot D^2$$

$$I_n = \left\{ X_{n1}^3 / 3 + n \cdot P_t \cdot (1 - d_{t1} - X_{n1})^2 \right\} b \cdot D^3$$

$$X_{n1} = X_n / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$P_t = a_t / (b \cdot D)$$

$$a_t = A_b \cdot N_{bt}$$

ここで、

σ_{cc} : 図2. 2-23に示すコンクリートの最大圧縮応力 (N/mm²)
 n : ヤング係数比
 D : 上記と同じ
 b : 上記と同じ
 d_t : 上記と同じ
 d_{t1} : 引張側ボルトに関する係数 (-)
 X_n : 図2. 2-23に示す中立軸距離を表し、次式を満足する値 (mm)

$$X_n - D/2 + |e_T| = I_n / S_n$$
 ただし、 e_T : 上記と同じ

X_{n1} : 中立軸比 (-)
 N : 上記と同じ
 a_t : 有効ボルト総断面積 (mm²)
 P_t : 引張鉄筋比 (-)
 A_b : 基礎ボルト有効断面積 (mm²)
 A_m : 基礎ボルト呼び径断面積 (mm²)
 N_{bt} : 有効引張側ボルト本数 (本)
 S_n : 有効等価断面一次モーメント (mm³)
 I_n : 有効等価断面二次モーメント (mm⁴)

ロ. 軸直角方向水平地震力によるせん断応力

軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 (τ_{HY}) , は次式で算出する。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

ここで、

F_{HY} : 図2. 2-12に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

N_{bs} : 図2. 2-23に示す基礎ボルト本数 (本)

A_b : 図2. 2-23に示す基礎ボルト有効断面積 (mm²)

II. 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(-Z) + 軸直角方向水平地震力(-Y)

イ. 自重, 鉛直方向地震力, 軸直角方向水平地震力による引張応力

図2. 2-24において自重, 鉛直方向地震力及び軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに引張応力が発生するかはI項と同様に求められる。ただし, 鉛直力 (N) については以下のとおりとする。

N : 図2.2-24に示す鉛直力であり、次式により算出した値 (N)

$$N = [\text{自重の設計用値}] + [\text{鉛直方向地震力の設計用値}]$$

ロ. 軸直角方向水平地震力によるせん断応力

軸直角方向水平地震力により基礎ボルトに発生する平均せん断応力 (τ_{HY}) , は次式で算出する。

$$\tau_{HY} = \frac{F_{HY}}{A_b \cdot N_{bs}}$$

ここで,

F_{HY} : 図2.2-12に示す軸直角方向水平地震力の設計用値 (N)

N_{bs} : 図2.2-24に示す基礎ボルト本数 (本)

A_b : 図2.2-24に示す基礎ボルト有効断面積 (mm^2)

f. コンクリート支持架台

コンクリート支持架台の下端に発生する荷重は表 2.2-8 の通りである。これらの荷重を用いて後述する 2.5 コンクリート基礎の耐震性と同様に評価を行う。

表 2.2-8 コンクリート支持架台下端における荷重

| | 鉛直力 | 水平力 | モーメント |
|---------|--------|--------|--------|
| | (kN) | (kN) | (kN・m) |
| キャスク | 477.00 | 506.00 | 157.00 |
| | - | - | 599.60 |
| ペDESTAL | 49.41 | 23.10 | 12.43 |
| 合計 | 526.41 | 529.10 | 769.04 |

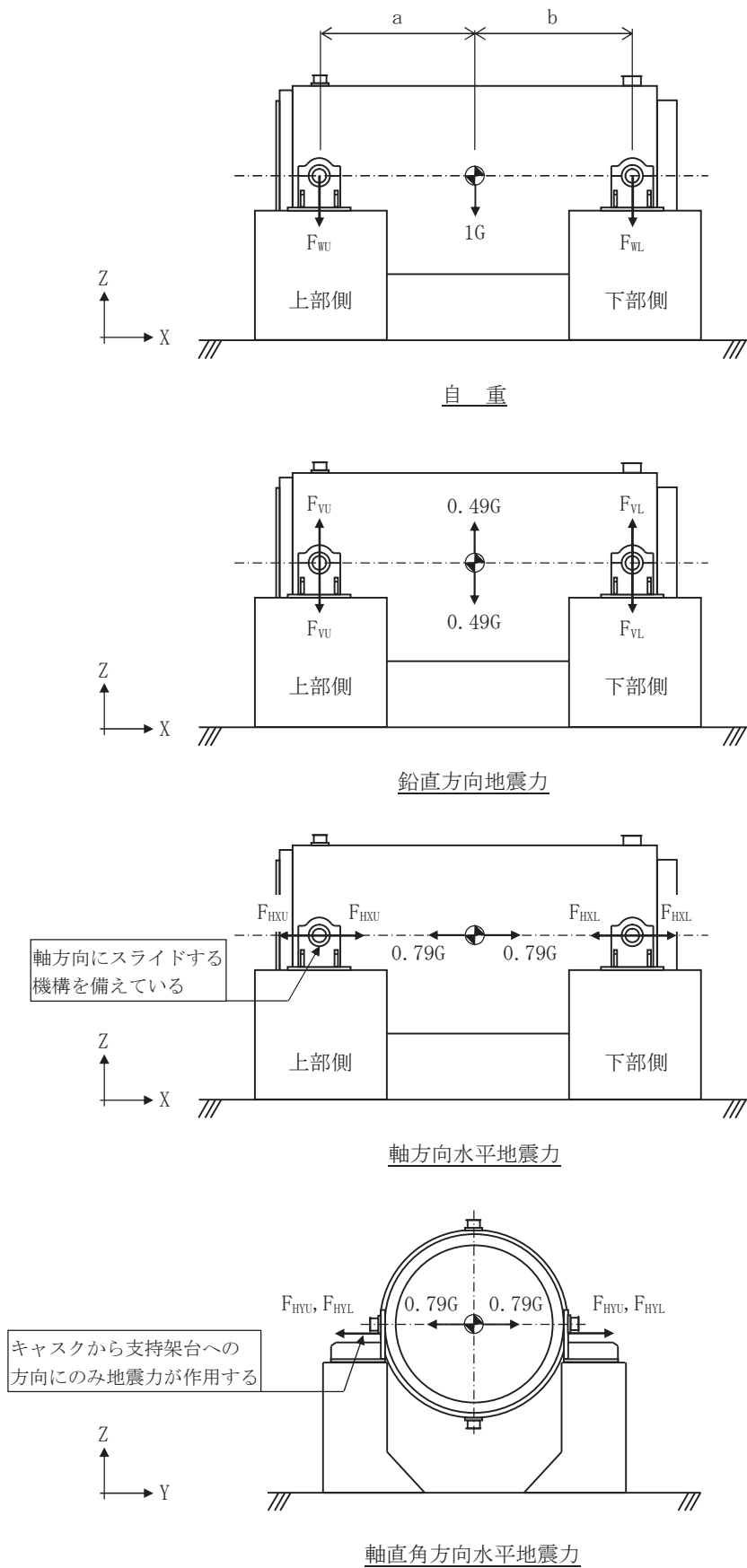


図 2.2-12 鋼製支持架台に作用する荷重

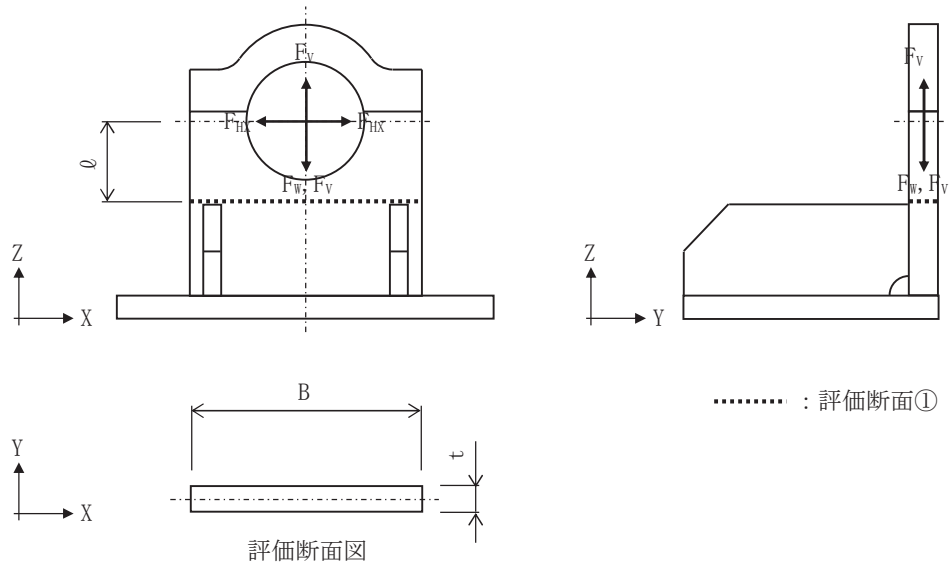


図 2.2-13 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面①)
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力]

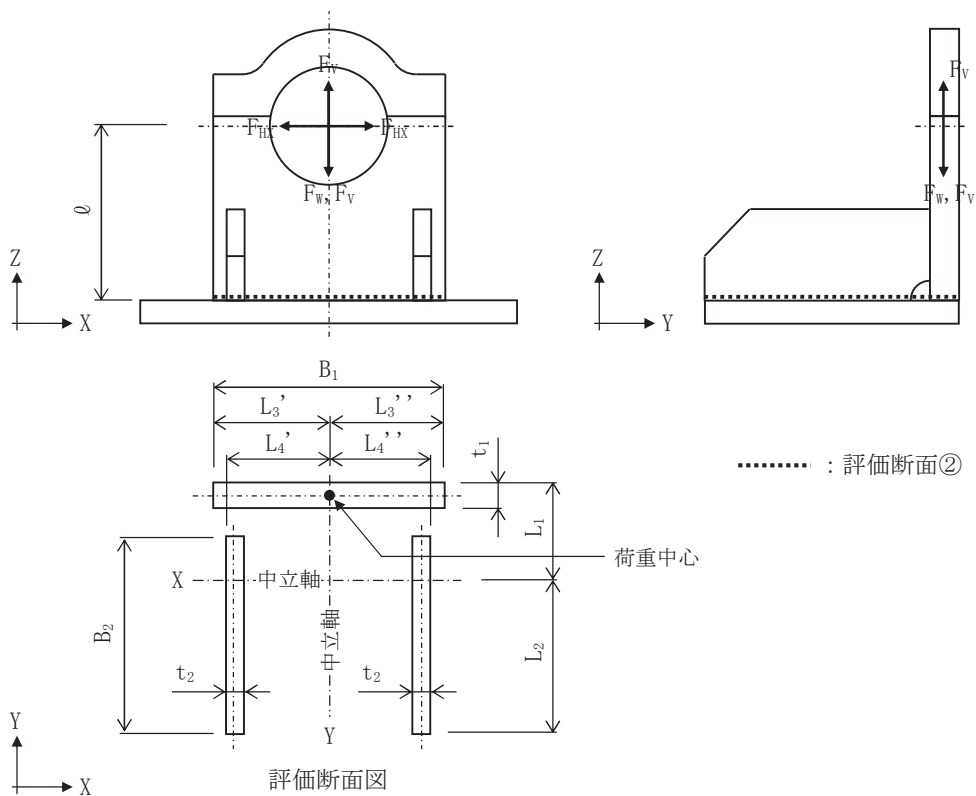


図 2.2-14 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面②)
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力]

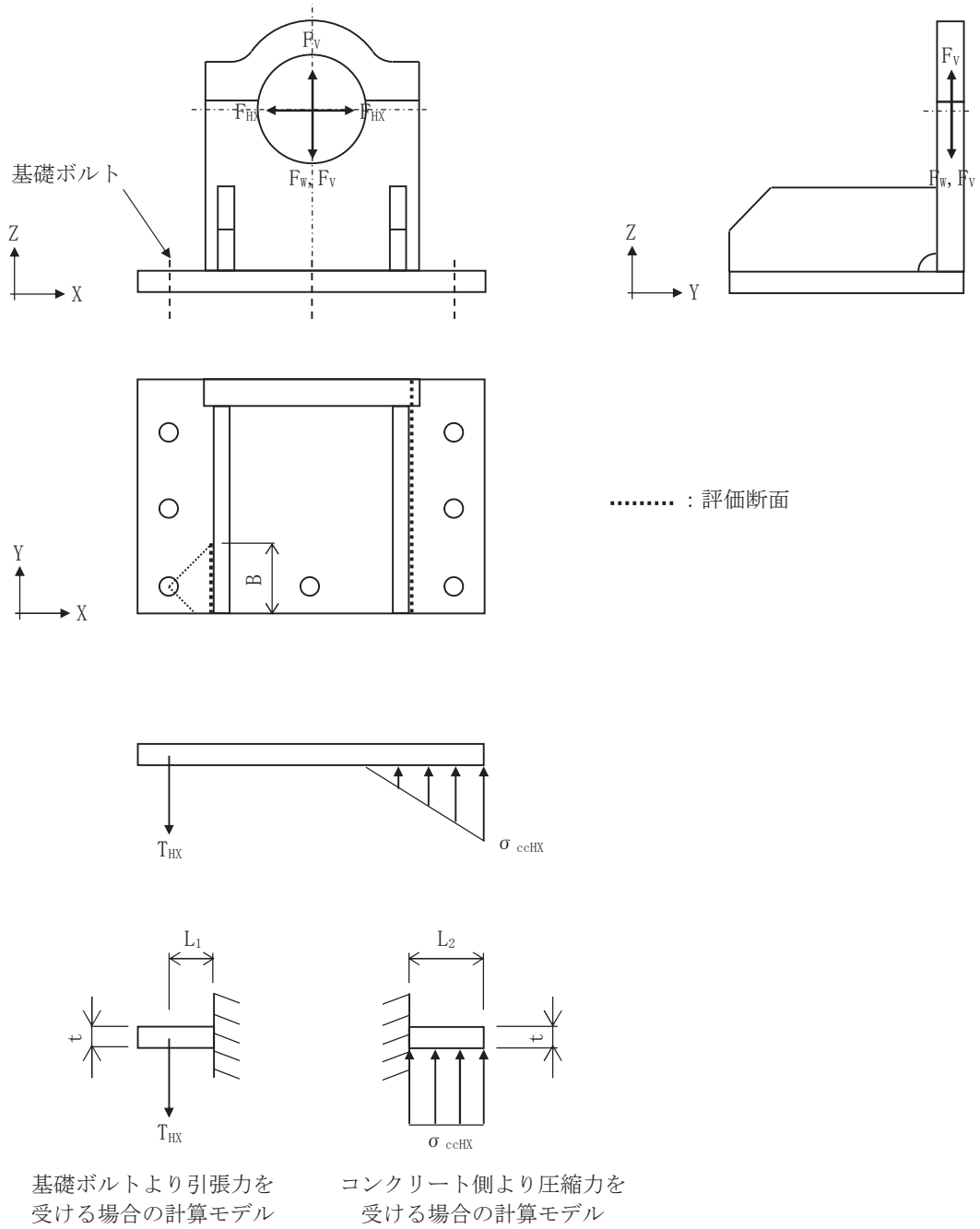


図 2.2-15 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面③)
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力]

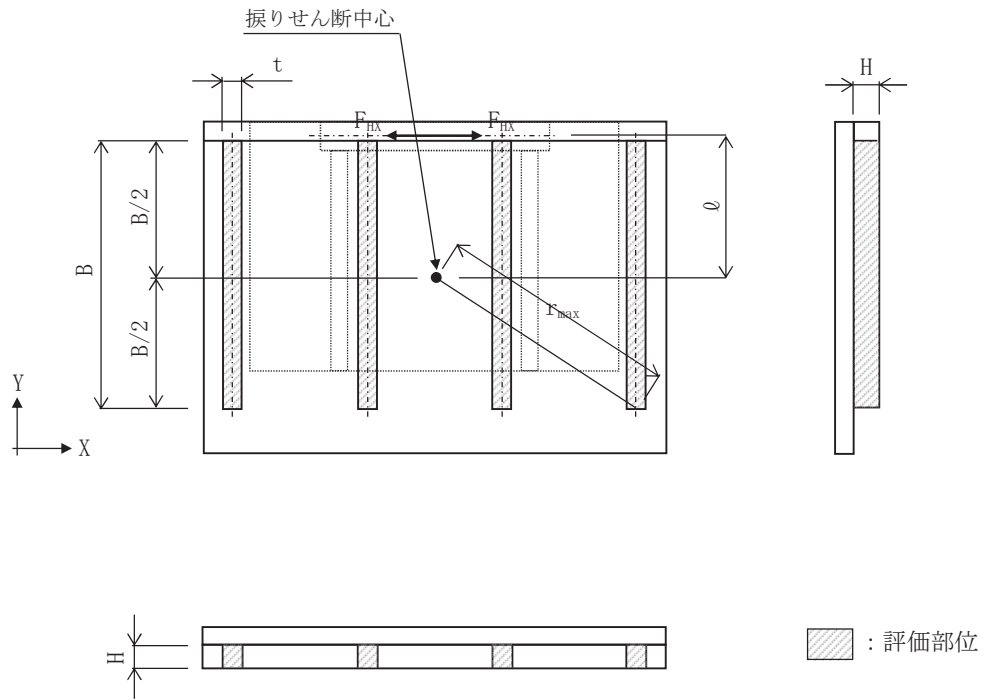
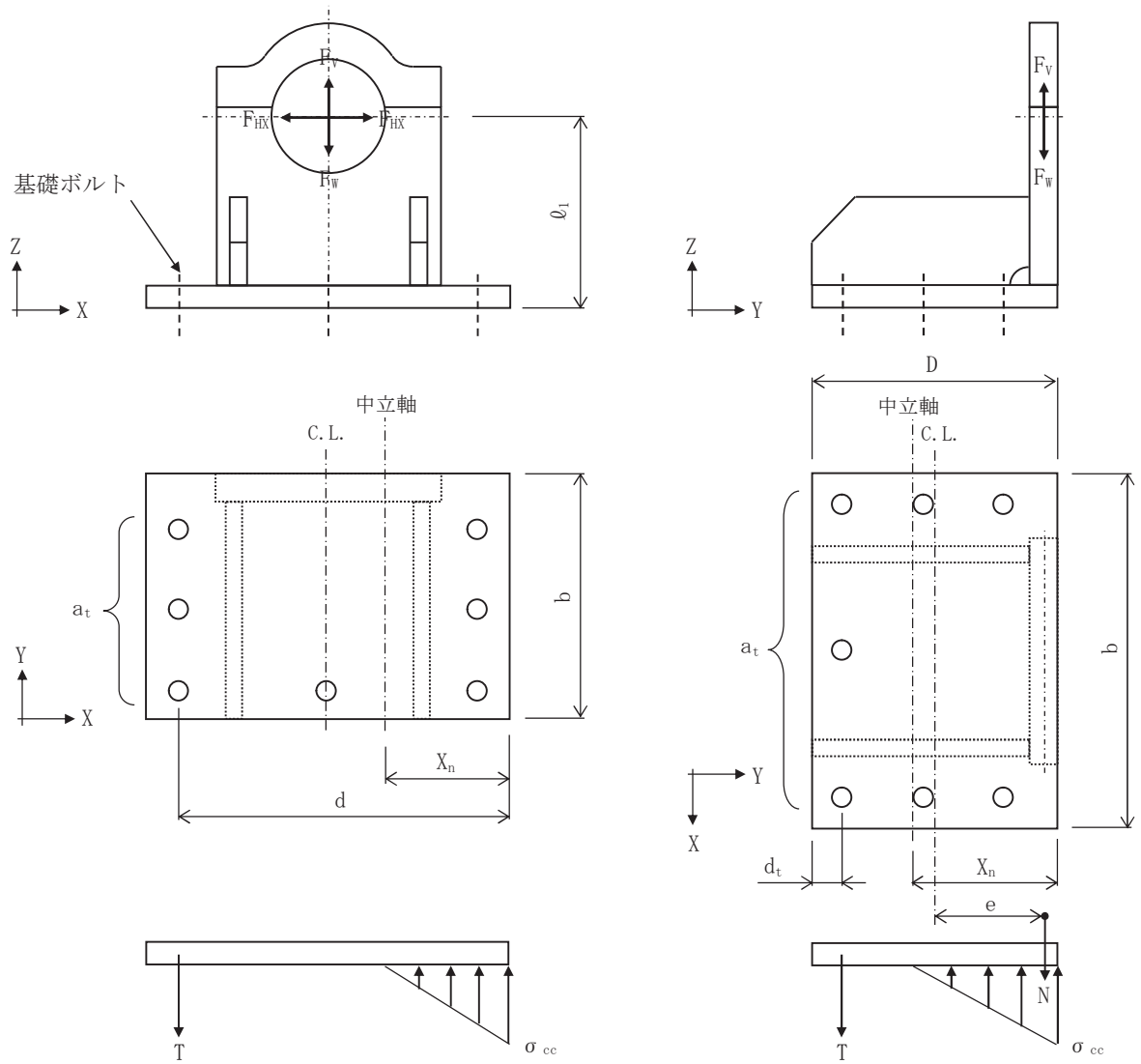
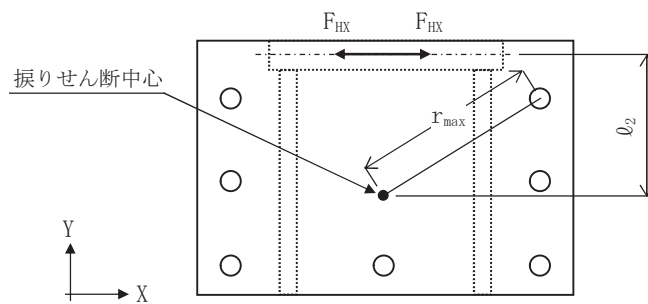


図 2.2-16 計算モデル図 (埋め込み金物)
 [設計事象 I + S_s, (自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震)



軸方向水平地震力により発生する引張応力計算モデル

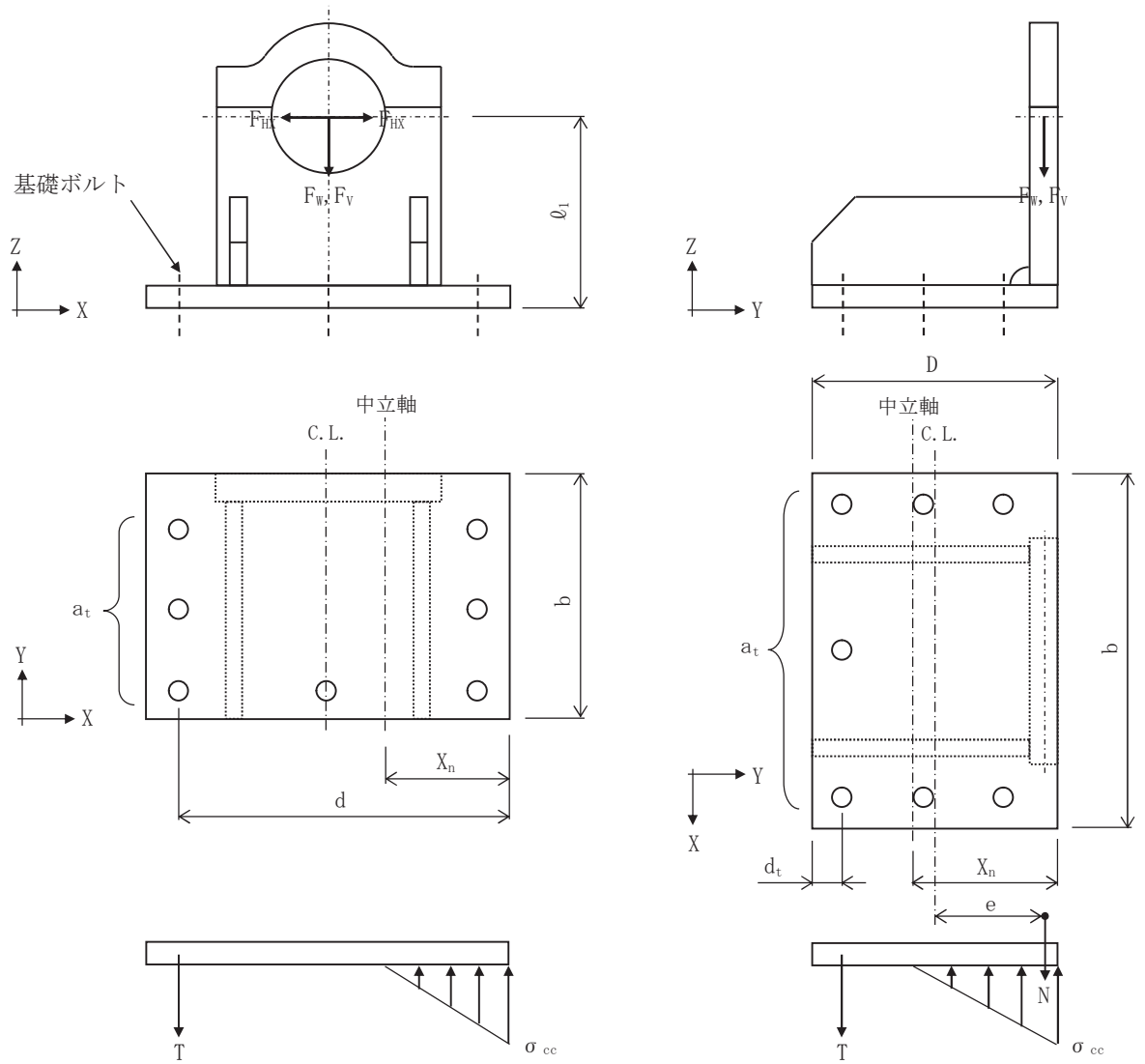
自重及び鉛直方向地震力により発生する引張応力計算モデル



軸方向水平地震力により発生する振りせん断応力計算モデル

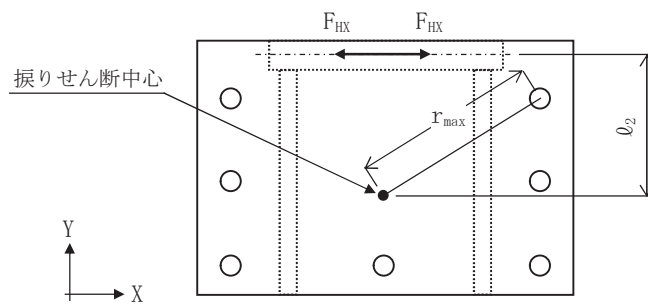
図 2.2-17 計算モデル図 (基礎ボルト)

[設計事象 I + S_s, 自重 (-Z) + 鉛直方向地震力 (+Z) + 軸方向水平地震力 (±X)]



軸方向水平地震力により発生する
引張応力計算モデル

自重及び鉛直方向地震力により発生する
引張応力計算モデル



軸方向水平地震力により発生する
振りせん断応力計算モデル

図 2.2-18 計算モデル図 (基礎ボルト)

[設計事象 I + S_s, 自重 (-Z) + 鉛直方向地震力 (-Z) + 軸方向水平地震力 (±X)]

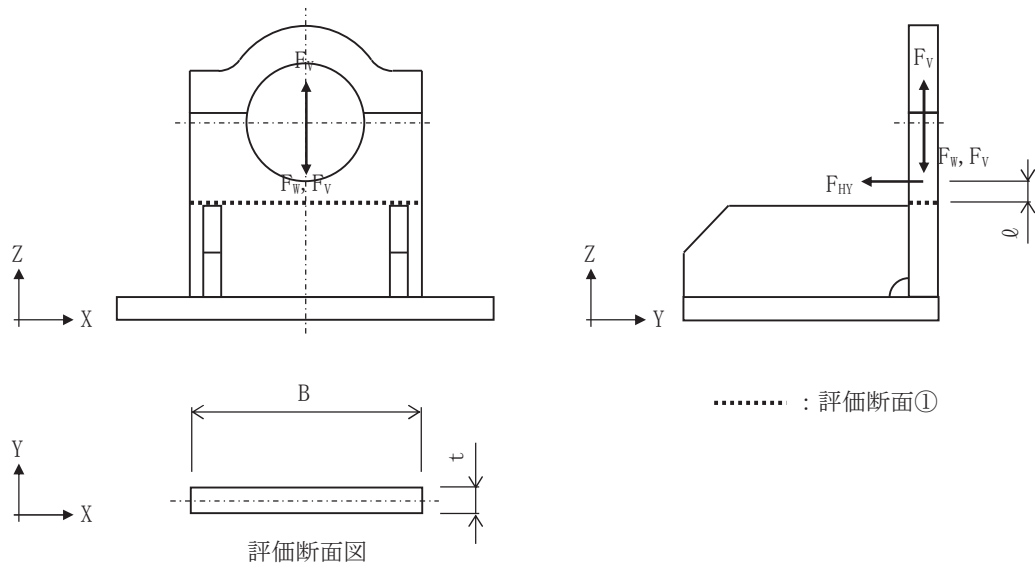


図 2.2-19 計算モデル図（鋼製支持架台, 評価断面①）
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力]

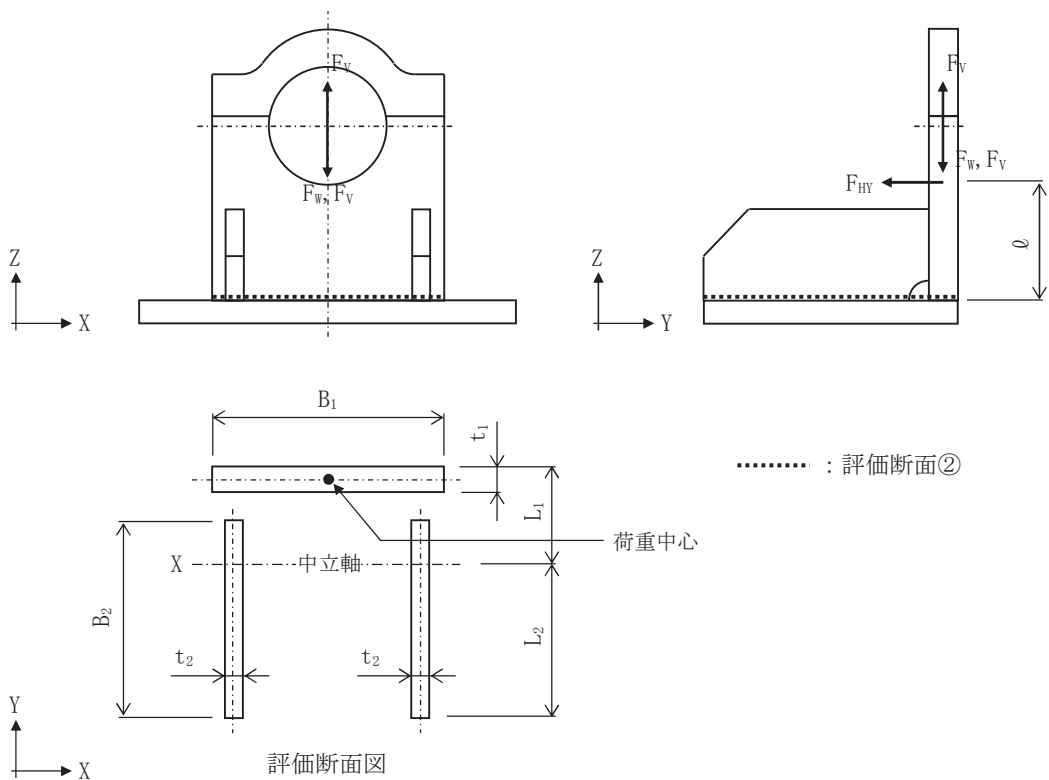


図 2.2-20 計算モデル図（鋼製支持架台, 評価断面②）
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力]

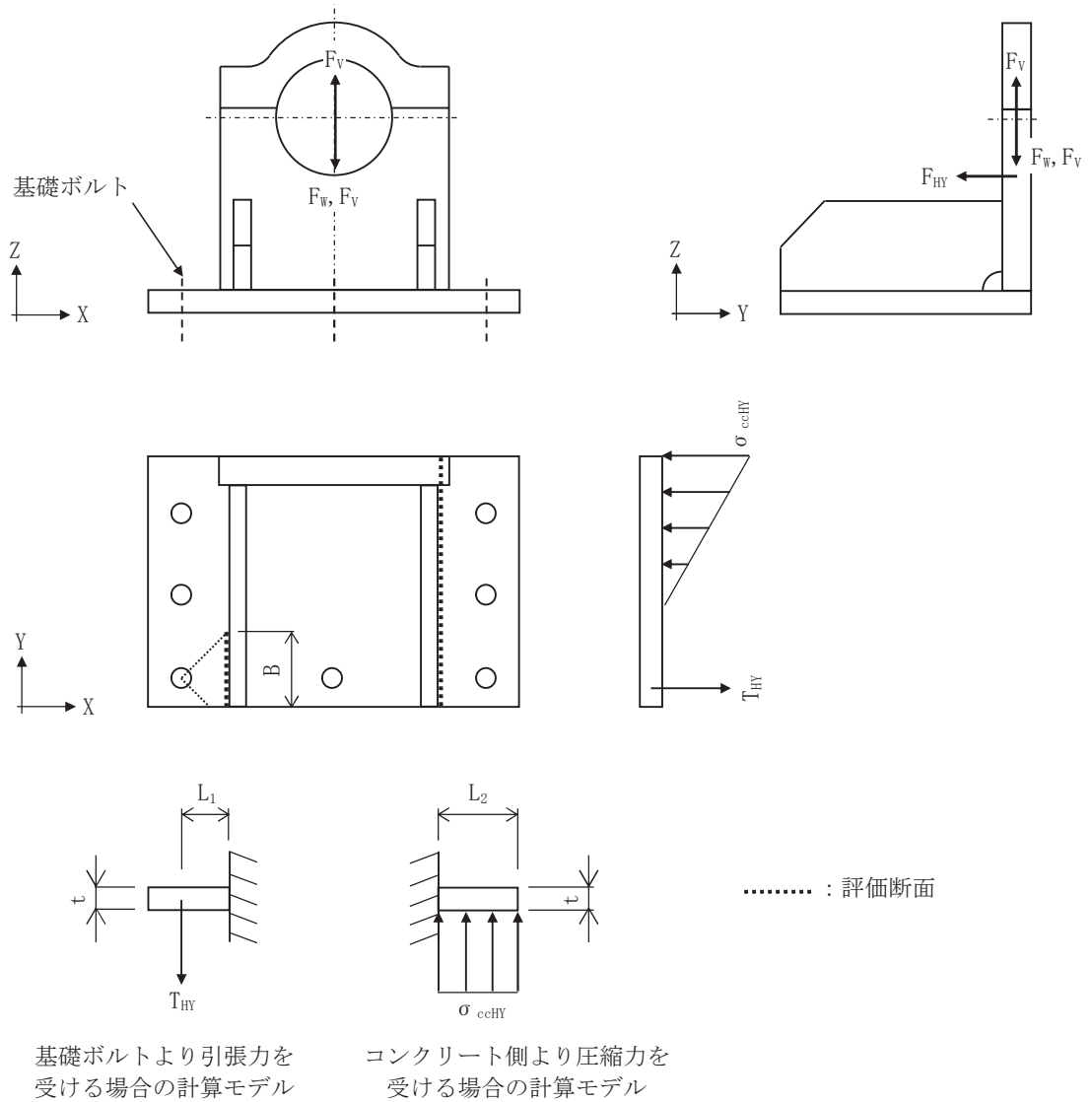


図 2.2-21 計算モデル図 (鋼製支持架台, 評価断面③)
 [設計事象 I + S_s, 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力]

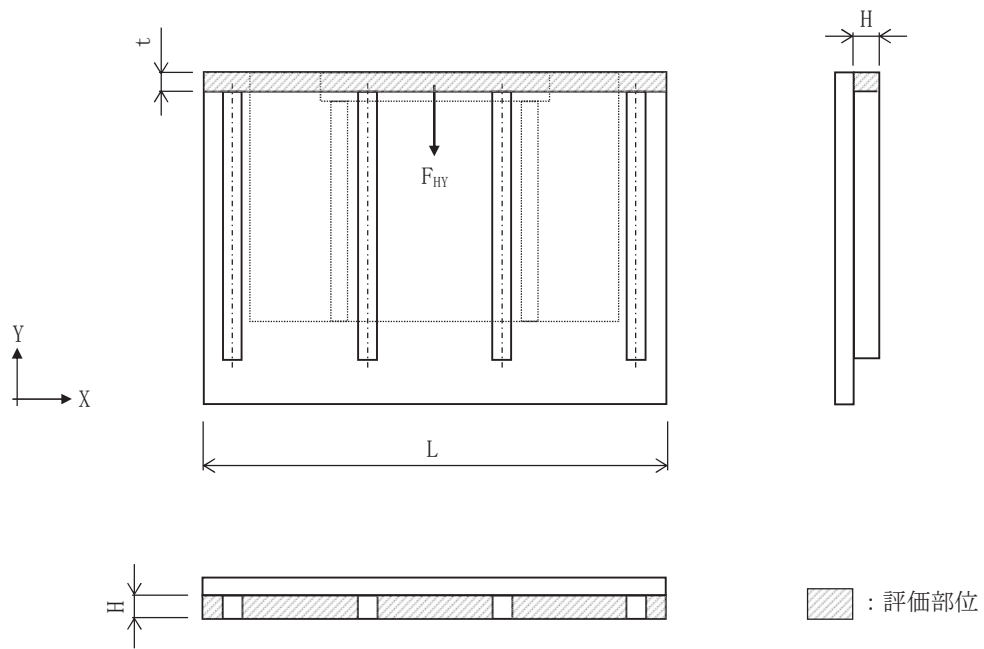
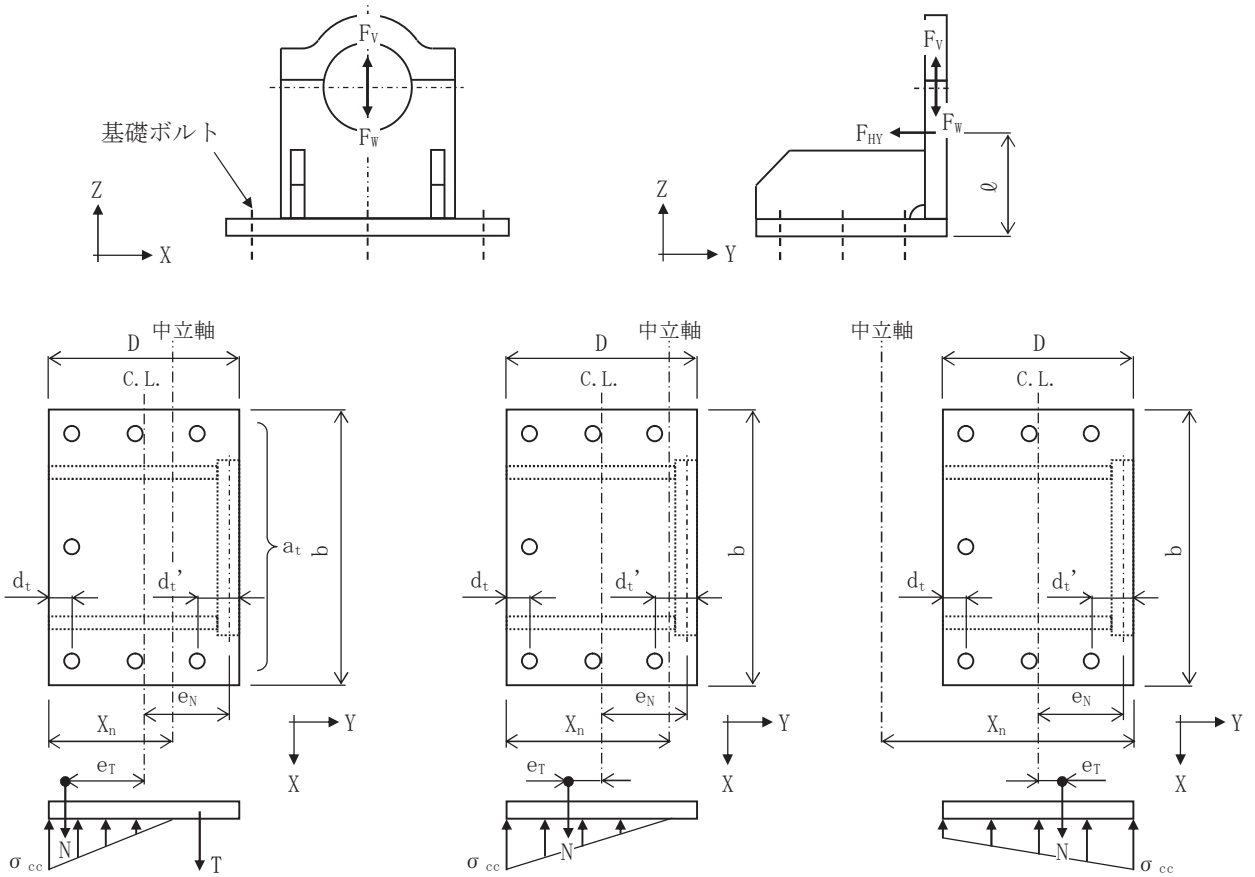


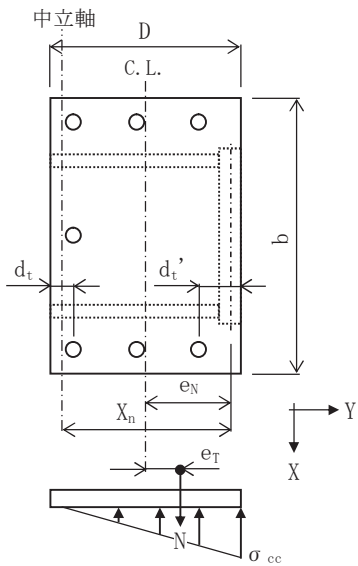
図 2.2-22 計算モデル図 (埋め込み金物)
 [設計事象 I + S_s , 自重 + 鉛直方向地震力 + 軸直角方向水平地震力]



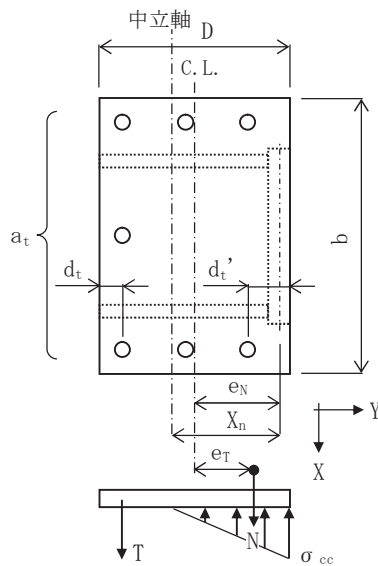
基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (i) $e_T < -(D/6 + d_t'/3)$
 ・基礎ボルトに引張応力発生

基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (ii) $-(D/6 + d_t'/3) \leq e_T < -D/6$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし

基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (iii) $-D/6 \leq e_T < D/6$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし



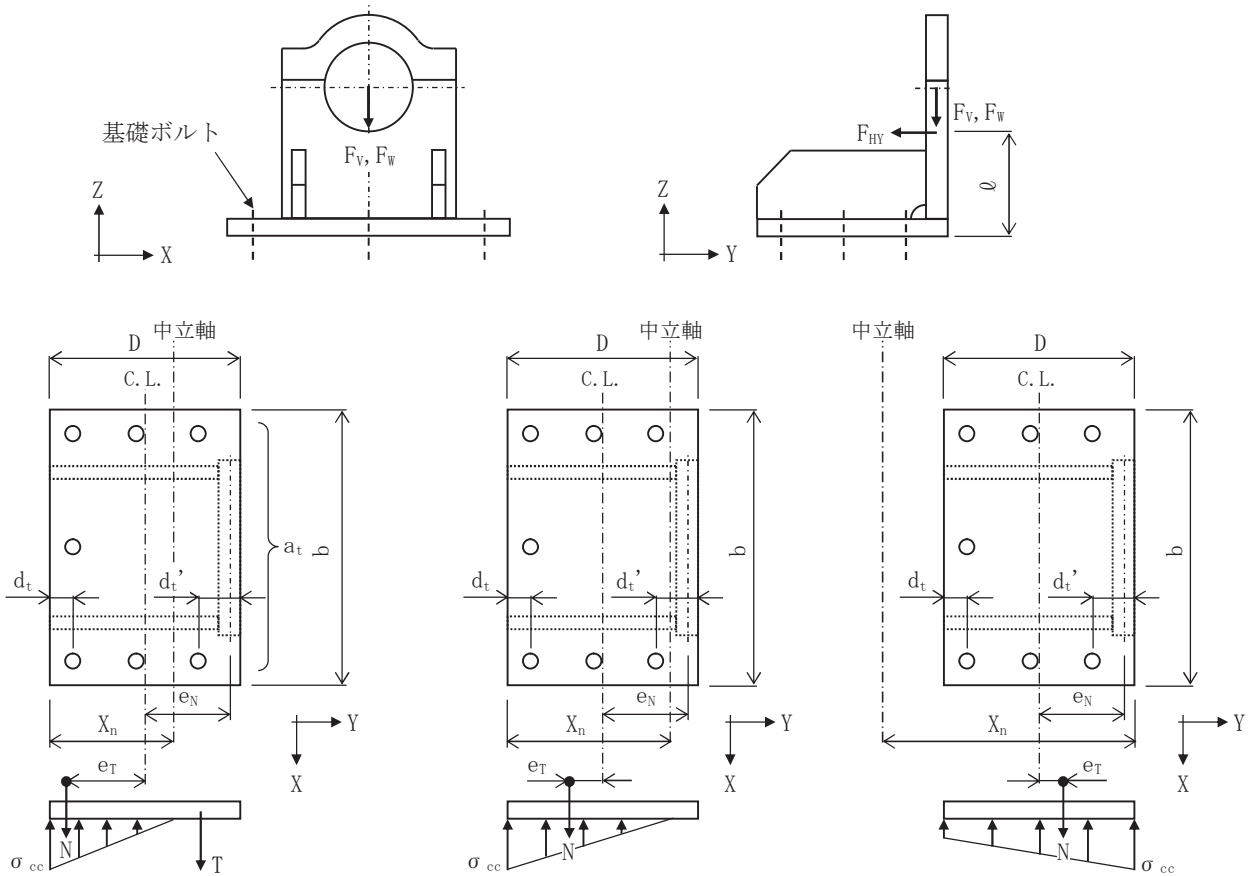
基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (iv) $D/6 \leq e_T < D/6 + d_t'/3$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし



基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (v) $D/6 + d_t'/3 \leq e_T$
 ・基礎ボルトに引張応力発生

図 2.2-23 計算モデル図 (基礎ボルト)

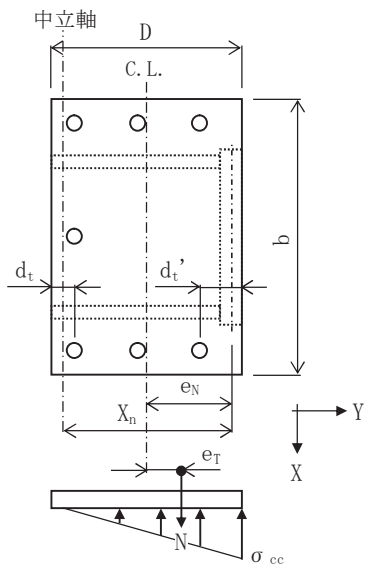
[設計事象 I + S_s, 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(+Z) + 軸直角方向水平地震力(-Y)]



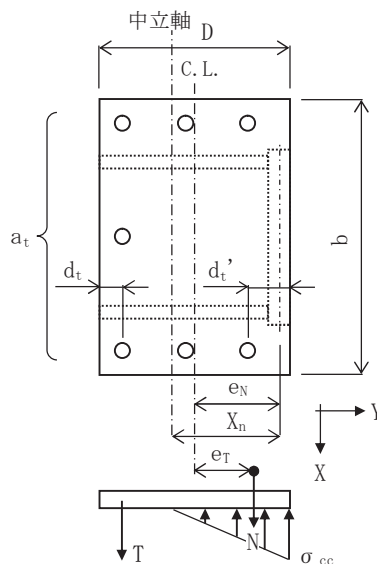
基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (i) $e_T < -(D/6 + d_t'/3)$
 ・基礎ボルトに引張応力発生

基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (ii) $-(D/6 + d_t'/3) \leq e_T < -D/6$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし

基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (iii) $-D/6 \leq e_T < D/6$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし



基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (iv) $D/6 \leq e_T < D/6 + d_t'/3$
 ・基礎ボルトに引張応力発生なし



基礎ボルトの引張応力計算モデル
 (v) $D/6 + d_t'/3 \leq e_T$
 ・基礎ボルトに引張応力発生

図 2.2-24 計算モデル図 (基礎ボルト)

[設計事象 I + S s, 自重(-Z) + 鉛直方向地震力(-Z) + 軸直角方向水平地震力(-Y)]

⑤評価結果

評価結果は表2.2-9(1)～(3)となる。

表 2.2-9(1) 鋼製支持架台の応力評価 (設計事象 I + Ss, 輸送貯蔵兼用キヤスク B)
(単位: N/mm²)

| 部 位 | | 応力の種類 | | 計 算 値 ^(注) | | 許容応力 | 評価 |
|------------|-----------|-----------------|-------|----------------------|-------|------|----|
| | | | | ケース 1 | ケース 2 | | |
| 鋼製 支持架台 | 評価 断面① | 一次応力 | 圧縮 | 15 | 15 | 322 | OK |
| | | | 曲げ | 37 | 151 | 326 | OK |
| | | | せん断 | 15 | 16 | 188 | OK |
| | | | 組合せ | 58 | 168 | 326 | OK |
| | | 一次 + 二次応力 | 引張・圧縮 | 10 | 10 | 564 | OK |
| | | | 曲げ | 74 | 151 | 564 | OK |
| | | | せん断 | 30 | 16 | 324 | OK |
| | | | 座屈 | 15 | 15 | 279 | OK |
| | 評価 断面② | 一次応力 | 圧縮 | 7 | 7 | 325 | OK |
| | | | 曲げ | 27 | 28 | 326 | OK |
| | | | せん断 | 7 | 7 | 188 | OK |
| | | | 組合せ | 35 | 36 | 326 | OK |
| | | 一次 + 二次応力 | 引張・圧縮 | 5 | 5 | 564 | OK |
| | | | 曲げ | 37 | 24 | 564 | OK |
| | | | せん断 | 13 | 7 | 324 | OK |
| | | | 座屈 | 7 | 7 | 280 | OK |
| | 評価 断面③ | 一次応力 | 曲げ | 201 | 111 | 326 | OK |
| | | | せん断 | 23 | 13 | 188 | OK |
| | | | 組合せ | 205 | 114 | 326 | OK |
| | | 一次+ 二次応力 | 曲げ | 347 | 201 | 564 | OK |
| せん断 | | | 38 | 22 | 324 | OK | |

(注) ケース 1 : 自重+鉛直方向地震力+軸方向水平地震力

ケース 2 : 自重+鉛直方向地震力+軸直角方向水平地震力

表 2.2-9(2) 埋め込み金物，基礎ボルトの応力評価（設計事象 I + Ss，輸送貯蔵兼用キャスク B）

（単位：N/mm²）

| 部 位 | 応力の種類 | | 計 算 値 ^(注1) | | 許容応力 ^(注2) | 評 価 |
|-----------------------|---------|------------|-----------------------|-------|------------------------|-----|
| | | | ケース 1 | ケース 2 | | |
| 埋め込み金物 | 一次応力 | 曲げ | 66 | 85 | 270 | OK |
| | | せん断 | 14 | 19 | 155 | OK |
| | | 組合せ | 70 | 91 | 270 | OK |
| | 一次＋二次応力 | 曲げ | 131 | 85 | 450 | OK |
| | | せん断 | 28 | 19 | 258 | OK |
| 基礎ボルト ^(注3) | 一次応力 | 引張 | 109 | 79 | ケース 1：165 ケース 2：332 | OK |
| | | | 129 | - | | |
| | せん断 | 193 193 | 89 89 | 261 | OK | |

(注 1) ケース 1：自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力

ケース 2：自重＋鉛直方向地震力＋軸直角方向水平地震力

(注 2) 基礎ボルトの許容引張応力は，発生せん断応力を考慮し低減させた値

(注 3) 上段の値は鉛直方向地震力が上向き（+Z 方向）のときの値を示し，下段の値は鉛直方向地震力が下向き（-Z 方向）のときの値を示す

表 2.2-9(3) コンクリート支持架台の応力評価（設計事象 I + Ss）

| 項目 | | 記号 | 単位 | ケース 1 | ケース 2 |
|-----|------------------------------------|------------|--------|-------|-------|
| 曲げ | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 813 | 769 |
| | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | 2808 | 1048 |
| | 構造物係数 | γ_i | - | 1.00 | 1.00 |
| | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | - | 0.29 | 0.73 |
| | 判定 | | - | OK | OK |
| せん断 | せん断力 | Vd | (kN) | 508 | 529 |
| | せん断耐力 | Vyd | (kN) | 890 | 777 |
| | 構造物係数 | γ_i | - | 1.00 | 1.00 |
| | $\gamma_i \cdot Vd / Vyd \leq 1.0$ | | - | 0.57 | 0.68 |
| | 判定 | | - | OK | OK |

(注 1) ケース 1：自重＋鉛直方向地震力＋軸方向水平地震力

ケース 2：自重＋鉛直方向地震力＋軸直角方向水平地震力

2.3 コンクリートモジュールの耐震性

(1) 乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュール

1) 評価方針

本設備で使用する乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールが、基準地震動 S_s により乾式貯蔵キャスクの除熱、密封、遮へい、臨界防止等の安全機能に影響を与えるような、倒壊等をしないことを確認する。

2) 乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールの構成

コンクリートモジュールの概略図を図 2.3-1 に示す。

コンクリートモジュールは長辺側板 3 枚、短辺側板 2 枚、天板 3 枚のコンクリート製パネルで構成されている。それぞれのパネルは金物とボルトにより連結されている。

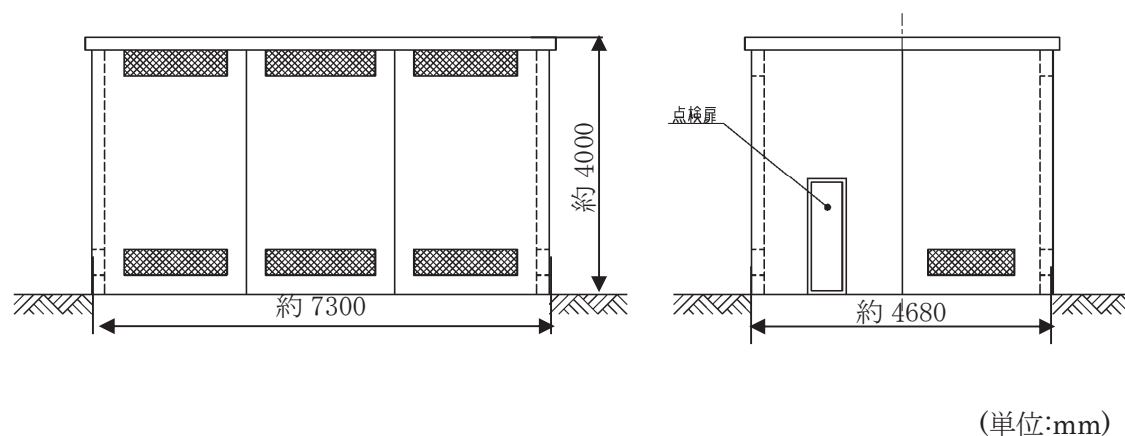


図 2.3-1 コンクリートモジュール概略図

3) 解析モデル

固有値解析，許容応力度設計及び基準地震動 S_s に対する検討には 3 次元 FEM モデルを採用し，解析コードとして NASTRAN を用いる。

FEM モデルとして，コンクリートモジュールの PC 板（側板及び天板）及び接合部の金物は板厚一様な平板要素でモデル化する。PC 板と金物の接合部はボルト位置で同一変位とし，基礎とベースプレートの接合部はアンカーボルト位置で拘束する。解析モデルを図 2.3-2 に示す。

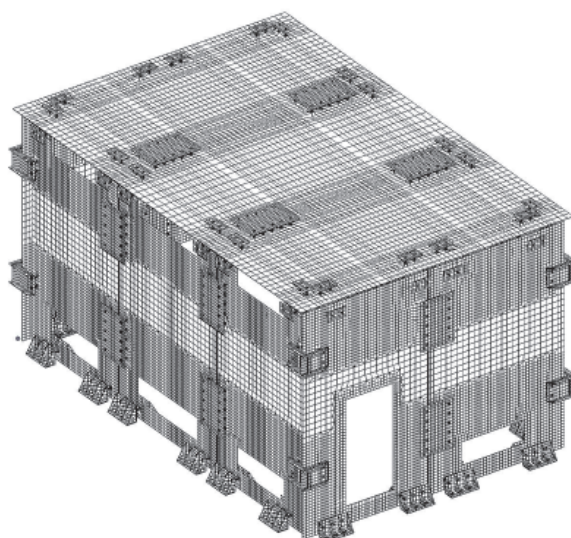


図 2.3-2 コンクリートモジュールの解析モデル

4) 固有周期の算定

コンクリートモジュールの固有周期は図 2.3-2 の FEM モデルにより求める。この結果を表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 コンクリートモジュールの固有周期

| | 固有周期 (s) |
|---------|----------|
| 水平 (長辺) | 0.036 |
| 水平 (短辺) | 0.046 |
| 鉛直 | 0.053 |

5) 設計用地震力

「4)固有周期の算定」において求めた固有周期と添付資料-2「3 耐震設計方針」に基づき、コンクリートモジュールの耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

コンクリートモジュールの水平方向の固有周期は0.05sec以下であることから、コンクリートモジュールの水平地震力に対しては剛体と見なすことができる。従って設計用水平地震力は1.2ZPAとする。設計用鉛直地震力については添付資料-2「3 耐震設計方針」の応答スペクトルから設計用地震力を定める。

本耐震評価で用いる設計用地震力を表2.3-2に示す。

表 2.3-2 設計用地震力

| | 水平 | 鉛直 |
|-----------------------------|------|-------|
| 設計用加速度 (mm/s ²) | 7800 | 11800 |

6) 許容応力

許容応力を以下のように定める。材料の許容応力度は建築基準法・同施行令及び国土交通省告示に定める値とし、表2.3-3~5に示す。

表 2.3-3 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | | 短期 | | |
|----------|------------------|-------------------|--|----------|----|-----|
| | 圧縮 | 引張 | せん断 | 圧縮 | 引張 | せん断 |
| 普通コンクリート | $\frac{1}{3}F_c$ | $\frac{1}{30}F_c$ | $\frac{1}{30}F_c$ かつ $\left(0.49 + \frac{1}{100}F_c\right)$ 以下 | 長期に対する2倍 | | |

$F_c=36 \text{ N/mm}^2$ とする。

表 2.3-4 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | 短期 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A 及び B | 195 | 195 | 295 | 295 |

表 2.3-5 鋼材の許容応力度 (N/mm²)

| 鋼材 | 長期 | | | | 短期 | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-------|
| | 圧縮 | 引張 | 曲げ | せん断 | 圧縮 | 引張 | 曲げ | せん断 |
| SS400 | 156.6 | 156.6 | 156.6 | 90.4 | 235 | 235 | 235 | 135.6 |

板厚 ≤ 40mm とする。

7) 応力計算

① 応力評価点

応力評価点は SRSS 法により求められる各部材応力の中から最大応力となる部材を抽出して評価を行う。評価箇所は図 2.3-3 に示す箇所とする。

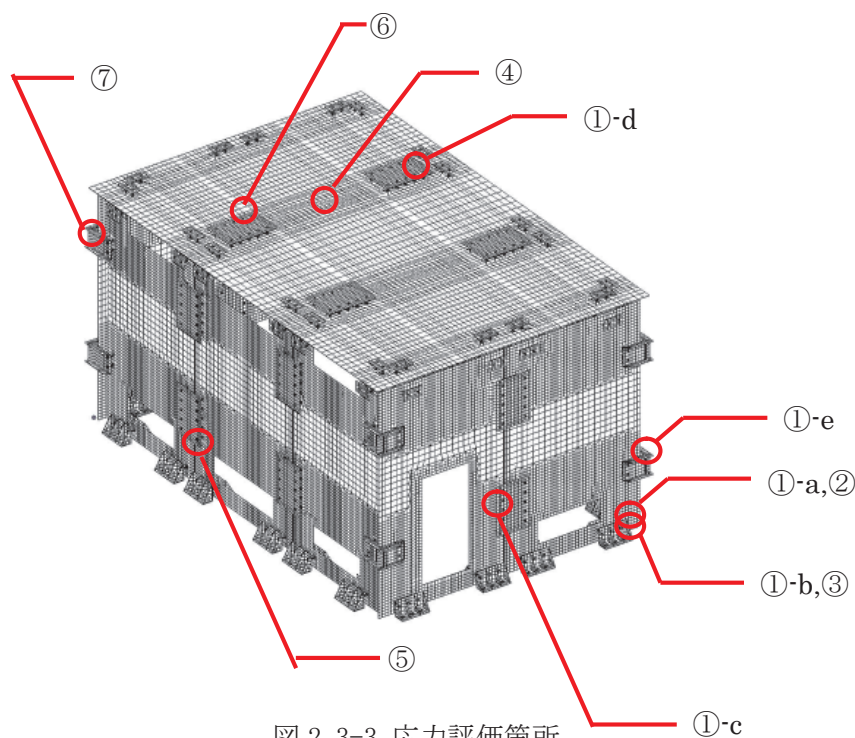


図 2.3-3 応力評価箇所

応力評価箇所名称

- ①-a アンカーボルト
- ①-b 側板柱脚ボルト
- ①-c 側板接合ボルト
- ①-d 天板接合ボルト
- ①-e コーナー接合ボルト
- ② ベースプレート
- ③ 側板アンカー部はしあき
- ④ 天板パネル
- ⑤ 側板パネル
- ⑥ 側板, 天板接合プレート
- ⑦ 側板, 天板コーナー接合プレート (内側)

② 荷重条件

コンクリートモジュールの耐震安全性の評価においては建築基準法施行令第 82 条より表 2.3-6 の地震時の荷重組合せに基づき評価を行う。ただし、コンクリートモジュールには積載荷重が無いため、考慮する荷重は固定荷重と地震力のみとする。また、コンクリートモジュールの厚さは200mmと比較的薄いため温度勾配による影響は小さいと考えられ、温度応力は考慮しないものとする。

表 2.3-6 荷重組合せ

| 力の種類 | 荷重及び外力について想定する状態 | 本設計 |
|---------|------------------|-----------|
| 短期に生ずる力 | 地震時 | G + P + K |

ただし、G：固定荷重，P：積載荷重，K：地震力

③ 応力評価

A. ボルト

ボルトの基準強度は平成 12 年建設省告示第 2464 号，許容応力度は建築基準法施行令第 90 条及び平成 12 年建設省告示第 1451 号を用いる。

a. アンカーボルト(①-a) M20 (SS400 : F=235)

せん断力 $Q_d=13.0 \text{ kN}$

引張力 $N_d=26.0 \text{ kN}$

有効断面積 $A_e = 245 \text{ mm}^2$

・短期許容引張応力度

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの引張応力度
(鋼構造設計規準・同解説より)

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau \quad \text{かつ} \quad f_{ts} \leq f_{t0}$$

$$f_{ts} = 1.4 \times 235 - 1.6 \times (13.0 \times 10^3 / 245) = 244.1 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 235 \text{ N/mm}^2$$

短期引張応力度

$$\sigma_t = N_d / A_e = 26.0 \times 1000 / 245 = 107 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_{ts} / \sigma_t = 235 / 107 = 2.20 > 1.0 \dots \text{OK}$$

b. 側板柱脚ボルト(①-b) M27 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=68.4\text{kN}$

有効断面積 $Ae = 459\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / Ae = 68.4 \times 1000 / 459 = 150\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 150 = 1.62 > 1.0 \dots \text{OK}$$

c. 側板接合ボルト(①-c) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=48.5\text{kN}$

有効断面積 $Ae = 245\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / Ae = 48.5 \times 1000 / 245 = 198\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 198 = 1.22 > 1.0 \dots \text{OK}$$

d. 天板接合ボルト(①-d) M16 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=21.2\text{kN}$

有効断面積 $Ae = 157\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / Ae = 21.2 \times 1000 / 157 = 136\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 136 = 1.78 > 1.0 \dots \text{OK}$$

e. コーナー接合ボルト(①-e) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=37.5\text{ kN}$

有効断面積 $Ae = 245\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / Ae = 37.5 \times 1000 / 245 = 154\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 154 = 1.57 > 1.0 \cdot \cdot \cdot \text{OK}$$

B. ベースプレート(②) $t=19$ (SS400 : $F=235$)

負担幅は 165mm とする。断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 165 \times 19^2 / 6 = 9927.5 \text{ mm}^3$

短期許容曲げ応力度 $f_b = 235 \text{ N/mm}^2$

引張時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2.3-4 参照)

設計曲げモーメント(2辺固定として算定)

$$M_d = 26.0 \times 0.0825 / 2 = 1.08 \text{ kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b = M_d / z = 1.08 \times 10^6 / 9927.5 = 109 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 109 = 2.16 > 1.0 \dots \text{OK}$$

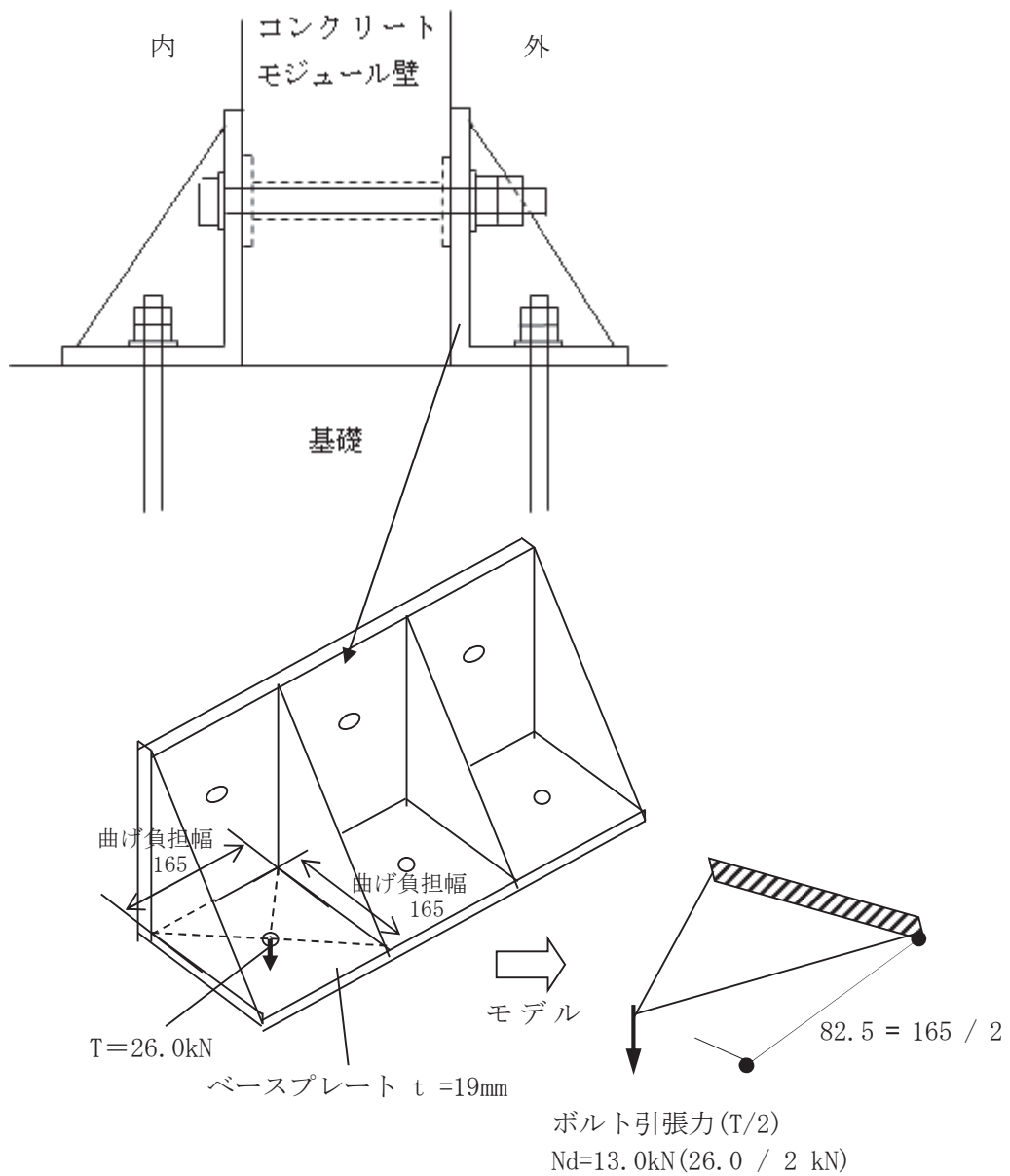


図 2.3-4 ベースプレート (引張時)

圧縮時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2.3-5 参照)

ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

設計曲げモーメント(1辺固定1辺単純支持の1方向板として)

$$M_d = (38.5 / 0.165^2 \times 0.165 \times 0.165^2) / 8 = 0.80 \text{ kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b = M_d / z = 0.80 \times 10^6 / 9927.5 = 80.6 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 80.6 = 2.92 > 1.0 \dots \text{OK}$$

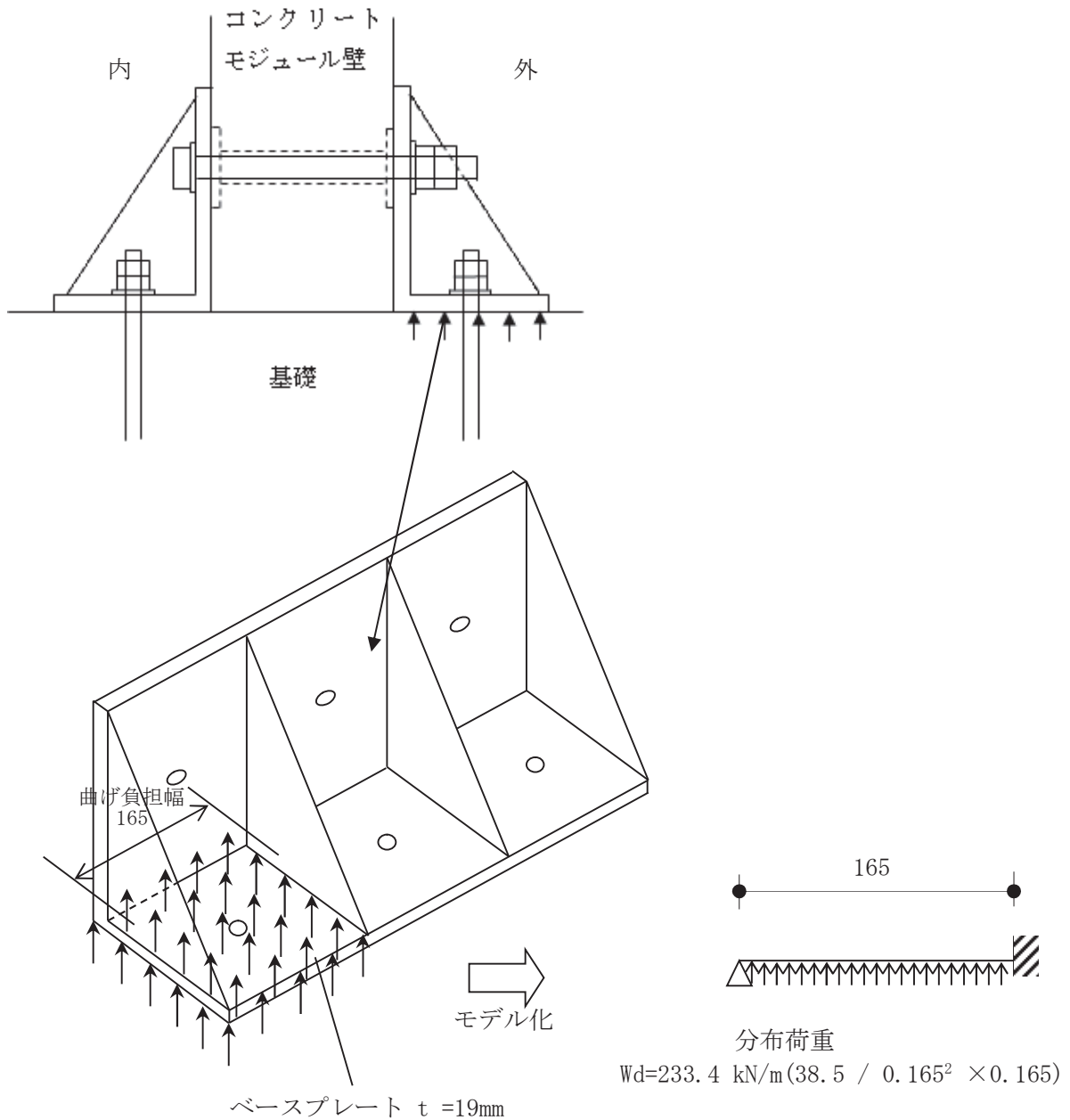


図 2.3-5 ベースプレート (圧縮時)

C. 側板アンカー部はしあき(③) (図 2.3-6 参照)

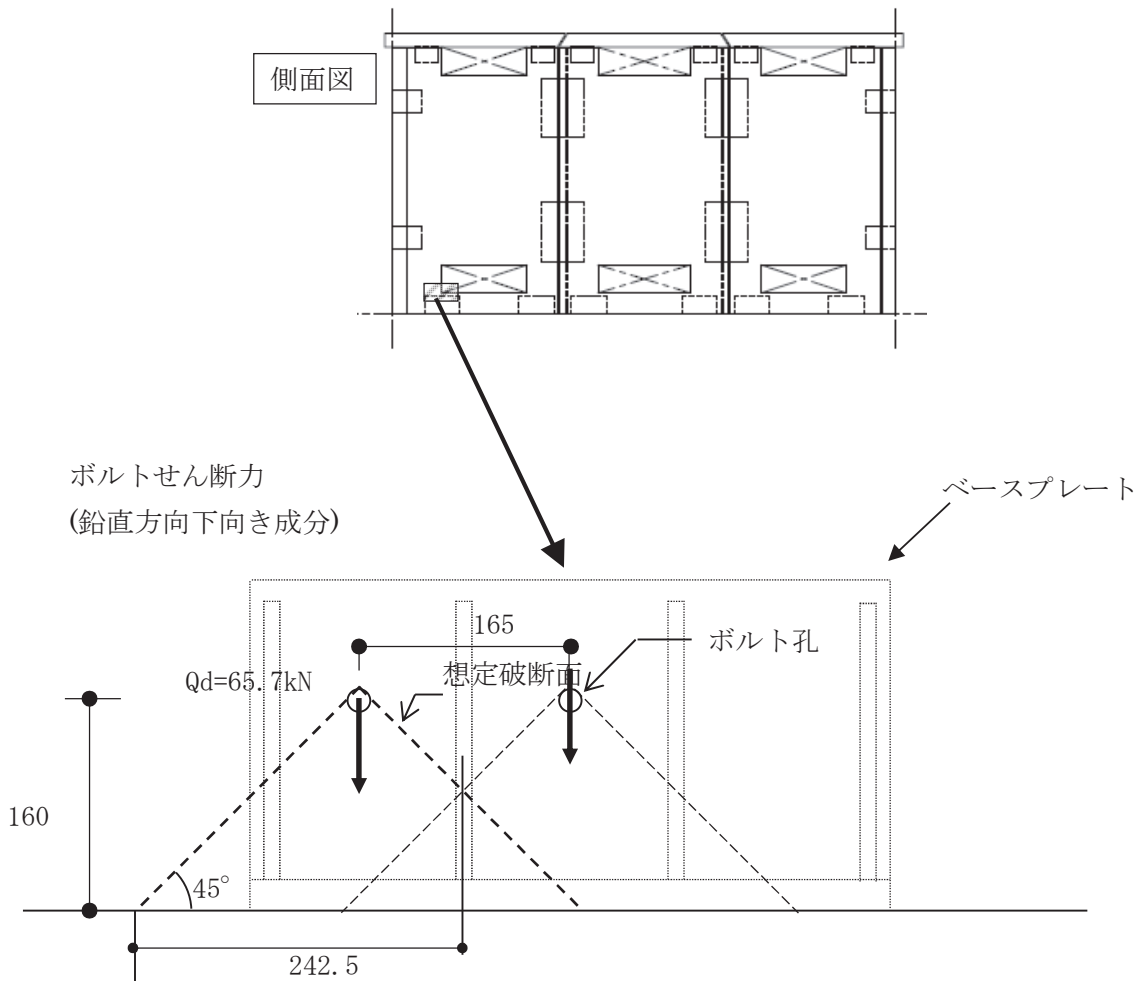


図 2.3-6 側板アンカー

短期許容せん断力応力度

(建築基準法施行令第 91 条及び平成 12 年建設省告示第 1450 号より)

$$f_{sa} = (0.49 + F_c / 100) \times 2 = 1.70 \text{ N/mm}^2$$

想定破断面積

$$A = 242.5 \times \sqrt{2} \times 200 = 68589 \text{ mm}^2$$

せん断力応力度

$$\tau = Q_d / (A / \sqrt{2}) = 65.7 \times 1000 / (68589 / \sqrt{2}) = 1.36 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_{sa} / \tau = 1.7 / 1.36 = 1.25 > 1.0 \dots \text{OK}$$

D. 天板パネル(④) (図 2.3-7 参照)

天板 PC 板 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($s\sigma t = 295 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (長辺方向 上筋, 短辺方向 上下筋) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13@200 (長辺方向 下筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma t, \quad M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定す}$$

る。

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント $9986 \text{ Nmm/mm} \rightarrow 1\text{m}$ 辺りに換算すると $M_d = 9.99\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{9.99 \times 10^6}{127 \times 5 \times 131} = 121 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 121 = 2.44 > 1.0 \dots \text{OK}$$

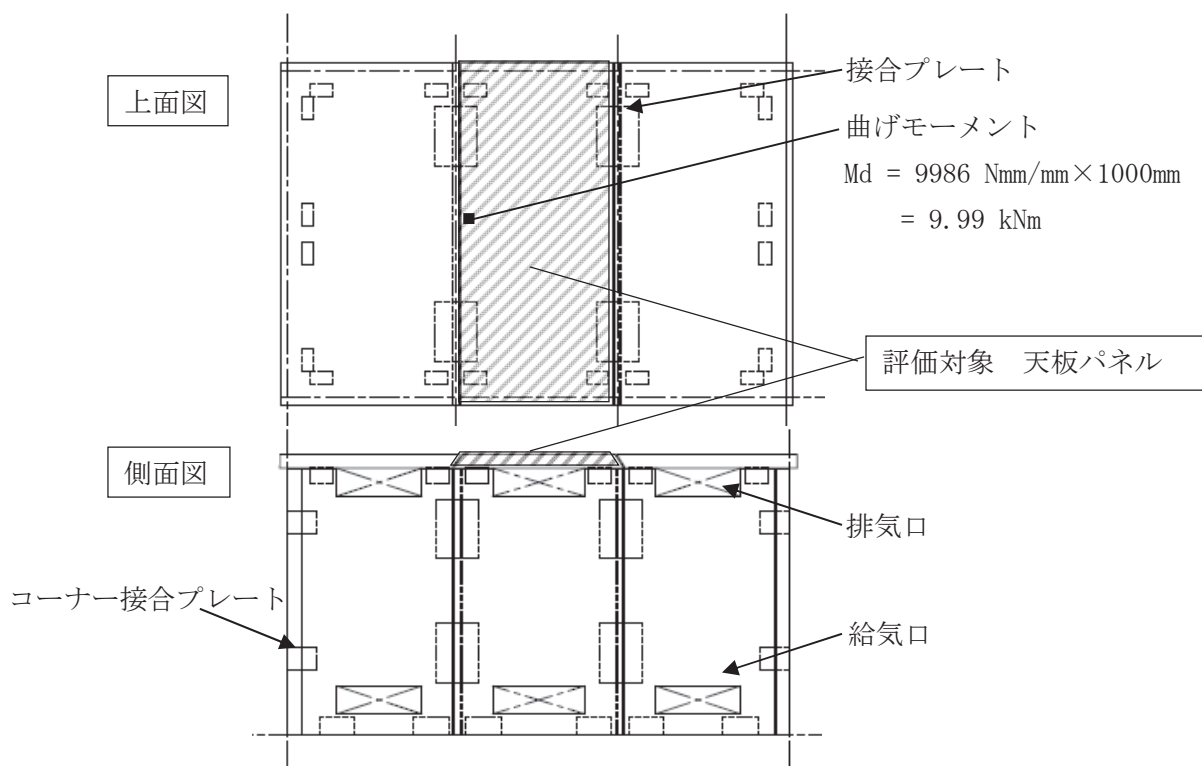


図 2.3-7 天板パネル

E. 側板パネル(⑤) (図 2.3-8 参照)

側板 PC 版 $t = 200$ 鉄筋 : SD295A ($\sigma_t = 295 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (縦筋・横筋, 内外共) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13 (開口部及び外周部の補強筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma_t, \quad M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定す}$$

る。

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 20484 Nmm/mm \rightarrow 500mm 辺りに換算すると $M_d = 10.3 \text{ kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{10.3 \times 10^6}{(127 + 71 + 127) \times 131} = 242 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 242 = 1.22 > 1.0 \dots \text{OK}$$

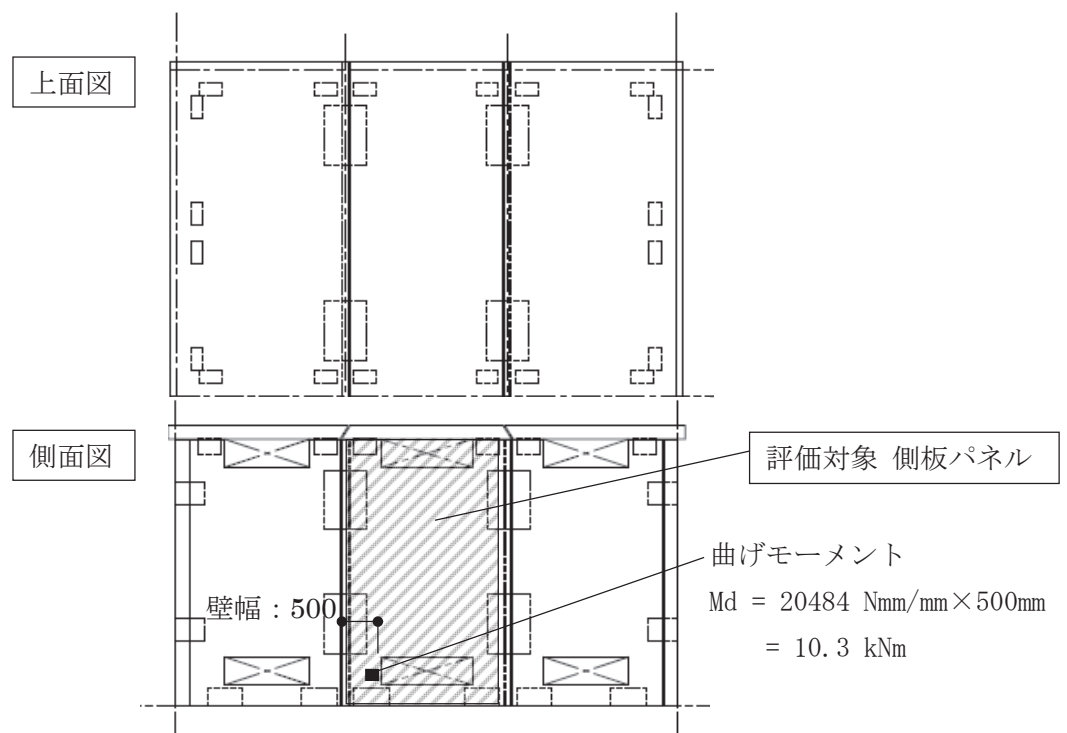


図 2.3-8 側板パネル

F. 側板, 天板接合プレート(⑥) $t = 6$ (SS400) (図 2.3-9 参照)

単位幅当たりの断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 1 \times 6^2 / 6 = 6 \text{ mm}^3/\text{mm}$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 136 Nmm/mm

$\sigma_b = 136 / 6 = 22.7 \text{ N/mm}^2$

検定値

$f_b / \sigma_b = 235 / 22.7 = 10.4 > 1.0 \dots \text{OK}$

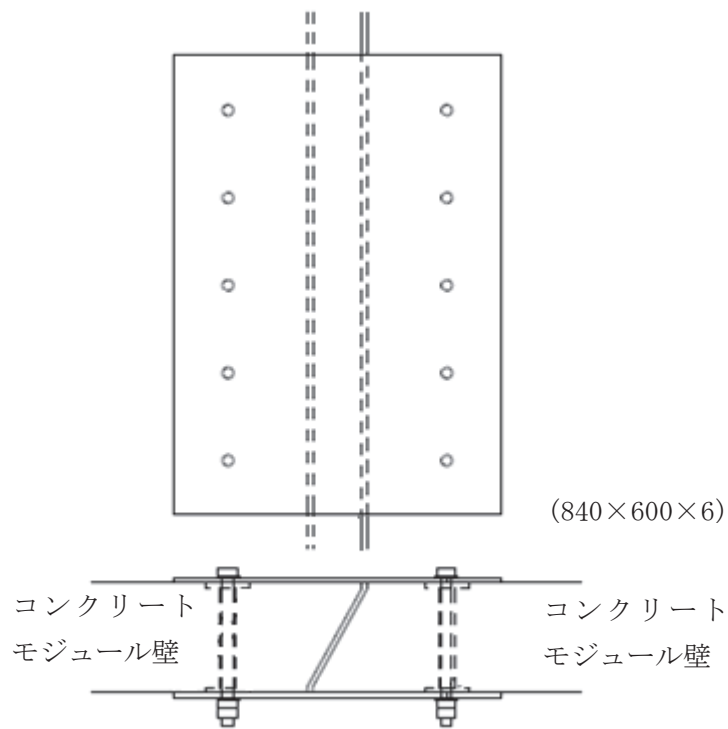


図 2.3-9 側板, 天板接合プレート

G. 側板, 天板コーナー接合プレート(㉞) $t = 9$ (SS400) (図 2.3-10 参照)

負担幅は 160mm とする。断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 160 \times 9^2 / 6 = 2160 \text{ mm}^3$

設計曲げモーメント

ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

設計曲げモーメント(1辺固定1辺単純支持の1方向板として)

$$M_d = (7.30 / 0.160^2 \times 0.160 \times 0.160^2) / 8 = 0.15 \text{ kNm}$$

$$\sigma_b = 0.15 \times 10^6 / 2160 = 69.5 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 69.5 = 3.38 > 1.0 \dots \text{OK}$$

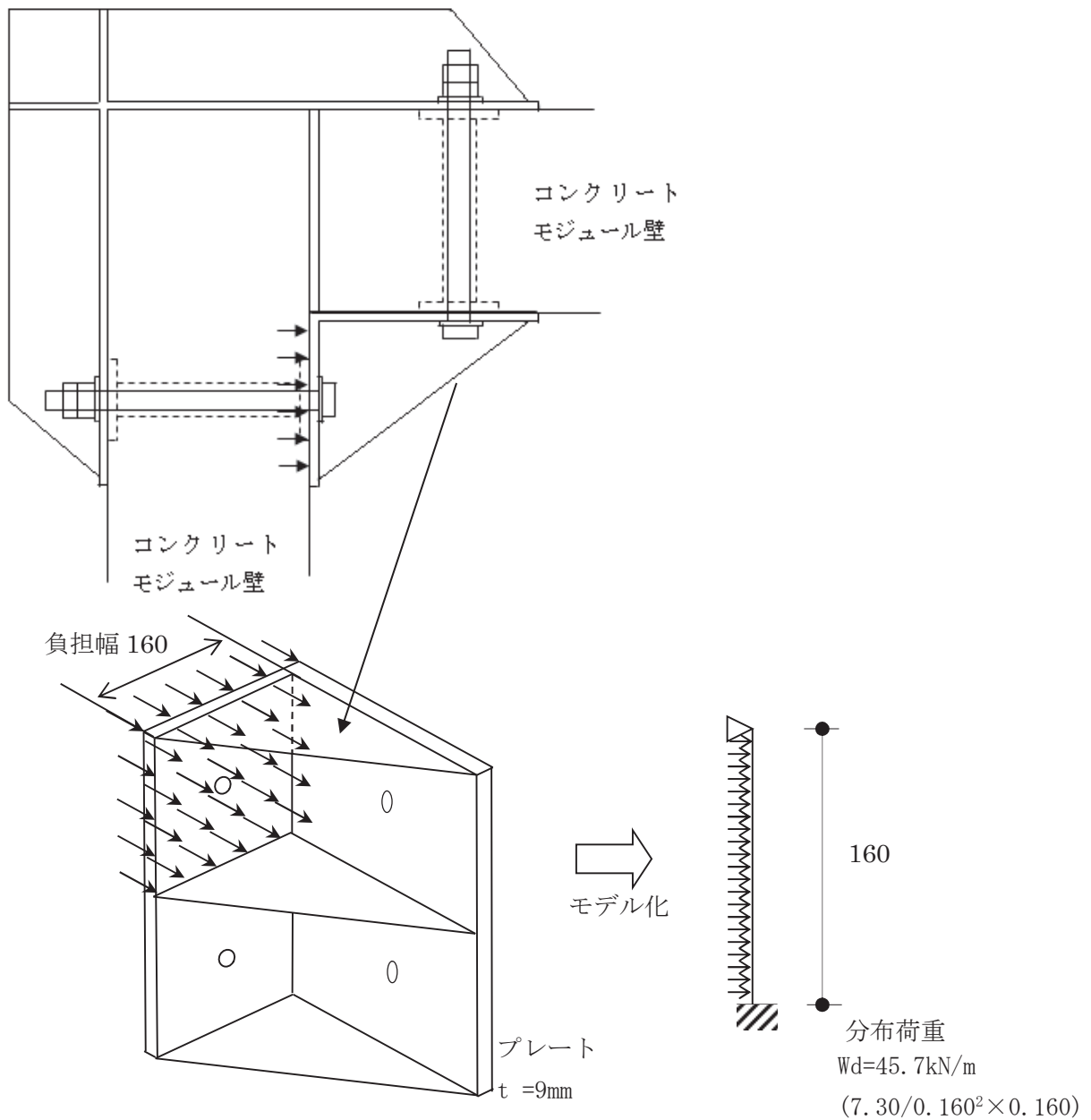


図 2.3-10 側板, 天板コーナー接合プレート

④ 評価結果

評価結果を表 2.3-7 に示す。

表 2.3-7 評価結果 (N/mm²)

| | 項目 | 計算値 | 許容値 | 評価結果 |
|------|------------------|------|-------|------|
| ①-a) | アンカーボルト | 107 | 235 | OK |
| ①-b) | 側板柱脚ボルト | 150 | 242.4 | OK |
| ①-c) | 側板接合ボルト | 198 | 242.4 | OK |
| ①-d) | 天板接合ボルト | 136 | 242.4 | OK |
| ①-e) | コーナーボルト | 154 | 242.4 | OK |
| ② | ベースプレート (引張時) | 109 | 235 | OK |
| ② | ベースプレート (圧縮時) | 80.6 | 235 | OK |
| ③ | 側板アンカー部はしあき | 1.36 | 1.70 | OK |
| ④ | 天板PC板 | 121 | 295 | OK |
| ⑤ | 側板PC板 | 242 | 295 | OK |
| ⑥ | 側板, 天板接合プレート | 22.7 | 235 | OK |
| ⑦ | 側板, 天板コーナー接合プレート | 69.5 | 235 | OK |

以上よりコンクリートモジュールはS_s地震動に対しての耐震安全性を確保できる。

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュール

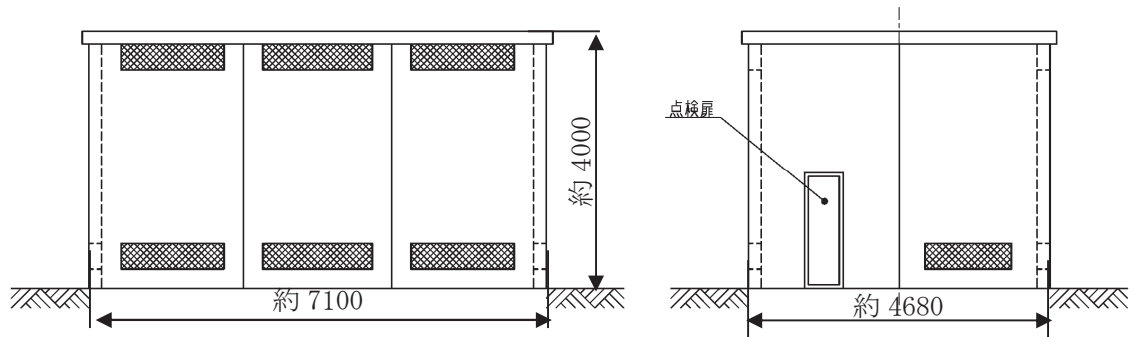
1) 評価方針

本設備で使用する輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールが、基準地震動 S_s により輸送貯蔵兼用キャスクの除熱、密封、遮へい、臨界防止等の安全機能に影響を与えるような、倒壊等をしないことを確認する。

2) 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの構成

コンクリートモジュールの概略図を図 2.3-11 に示す。

コンクリートモジュールは長辺側板 3 枚、短辺側板 2 枚、天板 3 枚のコンクリート製パネルで構成されている。それぞれのパネルは金物とボルトにより連結されている。



(単位:mm)

図 2.3-11 コンクリートモジュール概略図

3) 解析モデル

固有値解析，許容応力度設計及び基準地震動 S_s に対する検討には 3 次元 FEM モデルを採用し，解析コードとして NASTRAN を用いる。

FEM モデルとして，コンクリートモジュールの PC 板（側板及び天板）及び接合部の金物は板厚一様な平板要素でモデル化する。PC 板と金物の接合部はボルト位置で同一変位とし，基礎とベースプレートの接合部はアンカーボルト位置で拘束する。解析モデルを図 2.3-12 に示す。

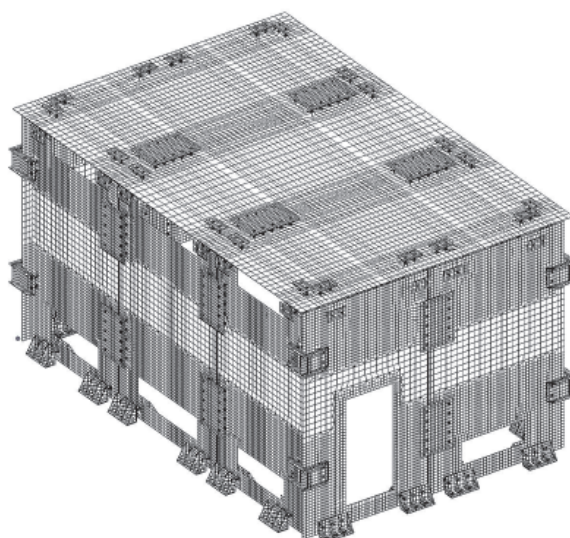


図 2.3-12 コンクリートモジュールの解析モデル

4) 固有周期の算定

コンクリートモジュールの固有周期は図 2.3-12 の FEM モデルにより求める。この結果を表 2.3-8 に示す。

表 2.3-8 コンクリートモジュールの固有周期

| | 固有周期 (s) |
|---------|----------|
| 水平 (長辺) | 0.036 |
| 水平 (短辺) | 0.045 |
| 鉛直 | 0.052 |

5) 設計用地震力

「4)固有周期の算定」において求めた固有周期と添付資料-2「3 耐震設計方針」に基づき、コンクリートモジュールの耐震性の評価に用いる設計用地震力を定める。

コンクリートモジュールの水平方向の固有周期は0.05sec以下であることから、コンクリートモジュールの水平地震力に対しては剛体と見なすことができる。従って設計用水平地震力は1.2ZPAとする。設計用鉛直地震力については添付資料-2「3 耐震設計方針」の応答スペクトルから設計用地震力を定める。

本耐震評価で用いる設計用地震力を表2.3-9に示す。

表 2.3-9 設計用地震力

| | 水平 | 鉛直 |
|-----------------------------|------|-------|
| 設計用加速度 (mm/s ²) | 7800 | 11800 |

6) 許容応力

許容応力を以下のように定める。材料の許容応力度は建築基準法・同施行令及び国土交通省告示に定める値とし、表2.3-10~12に示す。

表 2.3-10 コンクリートの許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | | 短期 | | |
|----------|------------------|-------------------|--|----------|----|-----|
| | 圧縮 | 引張 | せん断 | 圧縮 | 引張 | せん断 |
| 普通コンクリート | $\frac{1}{3}F_c$ | $\frac{1}{30}F_c$ | $\frac{1}{30}F_c$ かつ $\left(0.49 + \frac{1}{100}F_c\right)$ 以下 | 長期に対する2倍 | | |

$F_c=36 \text{ N/mm}^2$ とする。

表 2.3-11 鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

| 種類 | 長期 | | 短期 | |
|-------------|--------|-------|--------|-------|
| | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A 及び B | 195 | 195 | 295 | 295 |

表 2.3-12 鋼材の許容応力度 (N/mm²)

| 鋼材 | 長期 | | | | 短期 | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-------|
| | 圧縮 | 引張 | 曲げ | せん断 | 圧縮 | 引張 | 曲げ | せん断 |
| SS400 | 156.6 | 156.6 | 156.6 | 90.4 | 235 | 235 | 235 | 135.6 |

板厚 ≤ 40mm とする。

7) 応力計算

① 応力評価点

応力評価点は SRSS 法により求められる各部材応力の中から最大応力となる部材を抽出して評価を行う。評価箇所は図 2.3-13 に示す箇所とする。

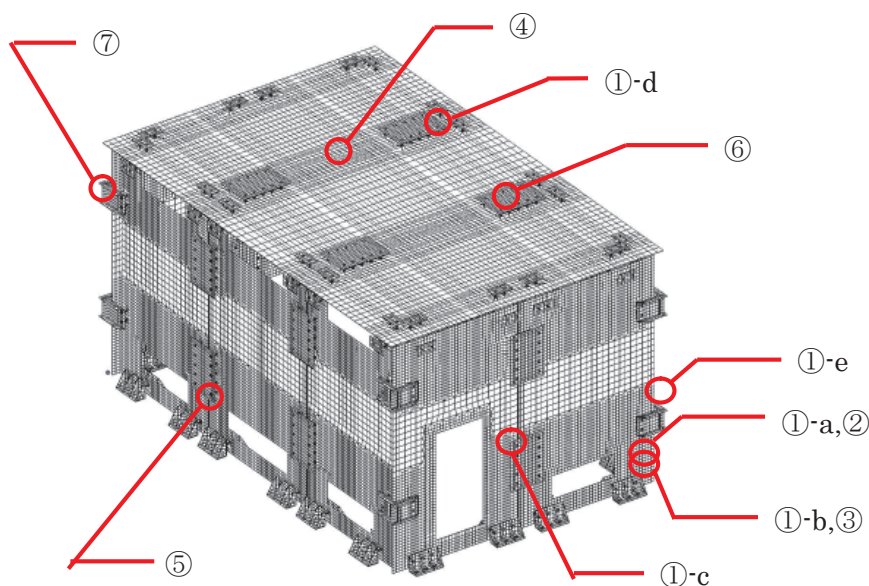


図 2.3-13 応力評価箇所

応力評価箇所名称

- ①-a アンカーボルト
- ①-b 側板柱脚ボルト
- ①-c 側板接合ボルト
- ①-d 天板接合ボルト
- ①-e コーナー接合ボルト
- ② ベースプレート
- ③ 側板アンカー部はしあき
- ④ 天板パネル
- ⑤ 側板パネル
- ⑥ 側板, 天板接合プレート
- ⑦ 側板, 天板コーナー接合プレート (内側)

② 荷重条件

コンクリートモジュールの耐震安全性の評価においては建築基準法施行令第 82 条より表 2.3-13 の地震時の荷重組合せに基づき評価を行う。ただし、コンクリートモジュールには積載荷重が無いため、考慮する荷重は固定荷重と地震力のみとする。また、コンクリートモジュールの厚さは200mmと比較的薄いため温度勾配による影響は小さいと考えられ、温度応力は考慮しないものとする。

表 2.3-13 荷重組合せ

| 力の種類 | 荷重及び外力について想定する状態 | 本設計 |
|---------|------------------|-----------|
| 短期に生ずる力 | 地震時 | G + P + K |

ただし、G：固定荷重，P：積載荷重，K：地震力

③ 応力評価

A. ボルト

ボルトの基準強度は平成 12 年建設省告示第 2464 号，許容応力度は建築基準法施行令第 90 条及び平成 12 年建設省告示第 1451 号を用いる。

a. アンカーボルト(①-a) M20 (SS400 : F=235)

せん断力 $Q_d=12.5\text{kN}$

引張力 $N_d=25.1\text{kN}$

有効断面積 $A_e = 245 \text{ mm}^2$

・短期許容引張応力度

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの引張応力度
(鋼構造設計規準・同解説より)

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau \quad \text{かつ} \quad f_{ts} \leq f_{t0}$$

$$f_{ts} = 1.4 \times 235 - 1.6 \times (12.5 \times 10^3 / 245) = 247.3 \text{ N/mm}^2 \rightarrow 235 \text{ N/mm}^2$$

短期引張応力度

$$\sigma_t = N_d / A_e = 25.1 \times 1000 / 245 = 103 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_{ts} / \sigma_t = 235 / 103 = 2.28 > 1.0 \dots \text{OK}$$

b. 側板柱脚ボルト(①-b) M27 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=66.1\text{kN}$

有効断面積 $A_e = 459\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / A_e = 66.1 \times 1000 / 459 = 145\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 145 = 1.67 > 1.0 \dots \text{OK}$$

c. 側板接合ボルト(①-c) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=47.7\text{kN}$

有効断面積 $A_e = 245\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / A_e = 47.7 \times 1000 / 245 = 195\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 195 = 1.24 > 1.0 \dots \text{OK}$$

d. 天板接合ボルト(①-d) M16 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=20.3\text{kN}$

有効断面積 $A_e = 157\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / A_e = 20.3 \times 1000 / 157 = 130\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 130 = 1.86 > 1.0 \dots \text{OK}$$

e. コーナー接合ボルト(①-e) M20 (強度区分 6.8 : F=420)

せん断力 $Qd=37.6\text{ kN}$

有効断面積 $A_e = 245\text{ mm}^2$

せん断応力度 $\tau = Qd / A_e = 37.6 \times 1000 / 245 = 154\text{ N/mm}^2$

短期許容せん断応力度 $f_s = \frac{F}{\sqrt{3}} = \frac{420}{\sqrt{3}} = 242.4\text{ N/mm}^2$

検定値

$$f_s / \tau = 242.4 / 154 = 1.57 > 1.0 \cdot \cdot \cdot \text{OK}$$

B. ベースプレート(②) $t=19$ (SS400 : $F=235$)

負担幅は 165mm とする。断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 165 \times 19^2 / 6 = 9927.5 \text{ mm}^3$

短期許容曲げ応力度 $f_b = 235 \text{ N/mm}^2$

引張時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2.3-14 参照)

設計曲げモーメント(2辺固定として算定)

$$M_d = 25.1 \times 0.0825 / 2 = 1.04 \text{ kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b = M_d / z = 1.04 \times 10^6 / 9927.5 = 105 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 105 = 2.24 > 1.0 \dots \text{OK}$$

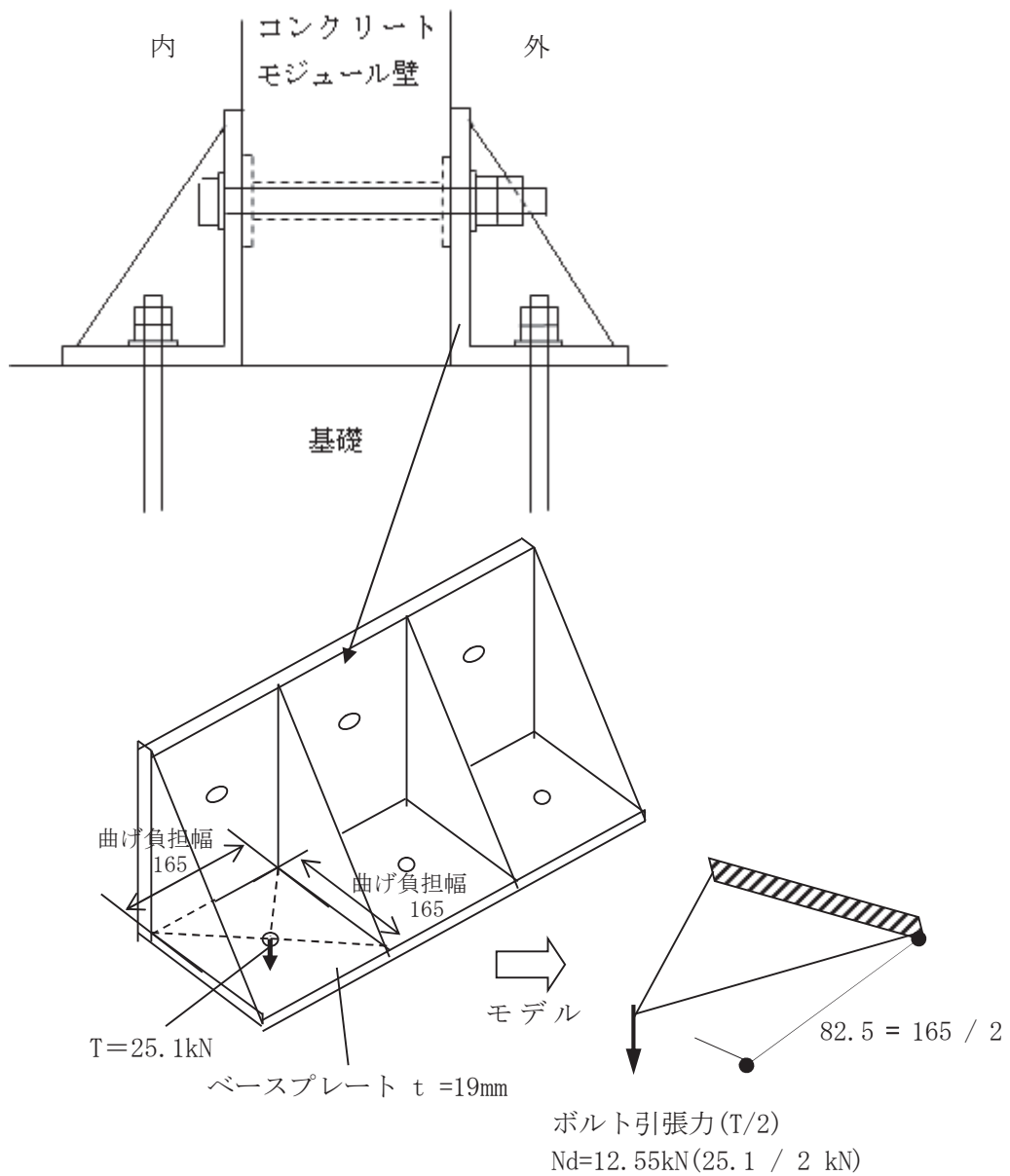


図 2.3-14 ベースプレート (引張時)

圧縮時 (A. a. アンカーボルトによる 計算モデルは図 2.3-15 参照)

ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

設計曲げモーメント(1辺固定1辺単純支持の1方向板として)

$$M_d = (37.5 / 0.165^2 \times 0.165 \times 0.165^2) / 8 = 0.78 \text{ kNm}$$

短期曲げ応力度

$$\sigma_b = M_d / z = 0.78 \times 10^6 / 9927.5 = 78.6 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 78.6 = 2.99 > 1.0 \dots \text{OK}$$

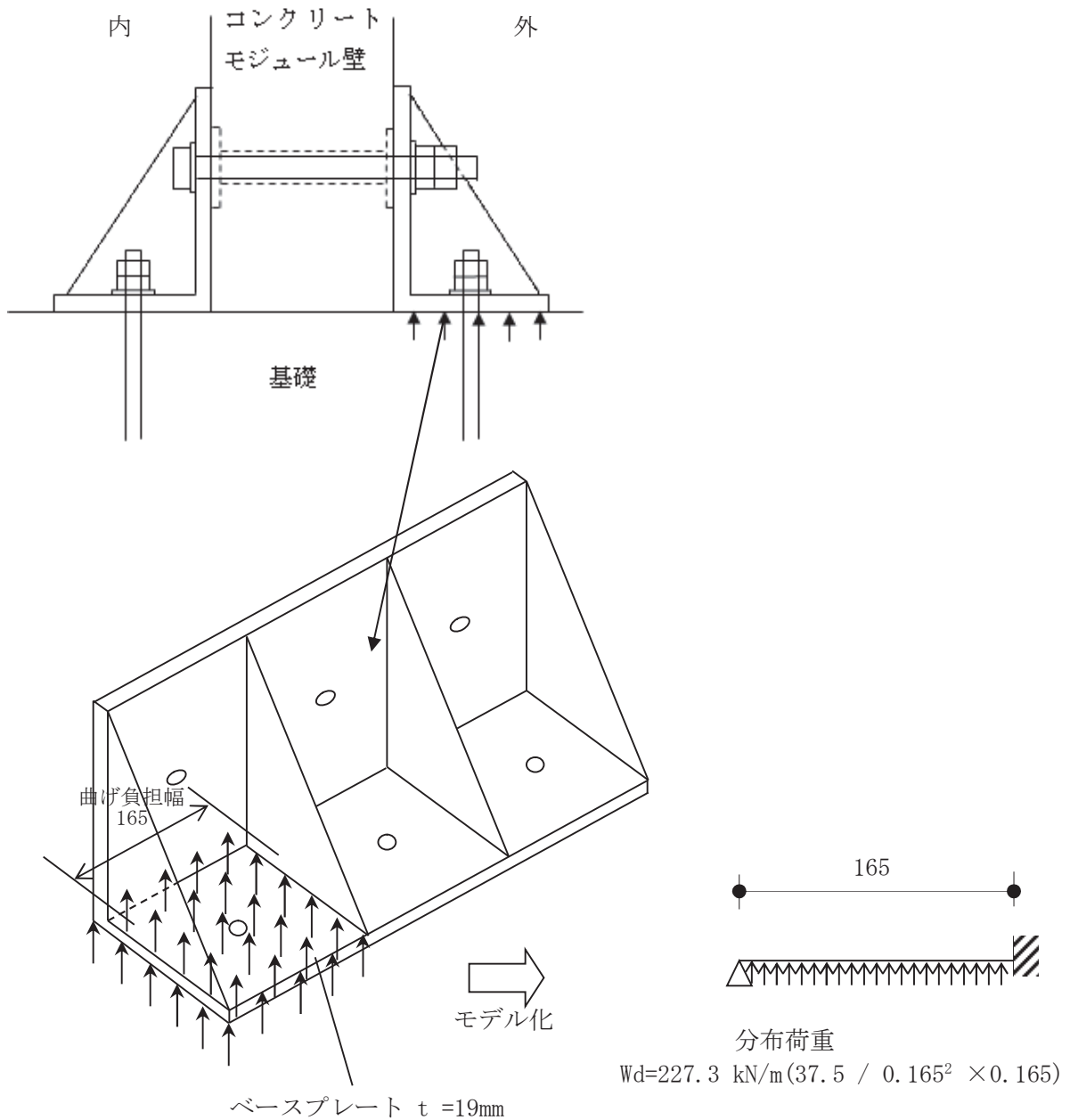


図 2.3-15 ベースプレート (圧縮時)

C. 側板アンカー部はしあき(③) (図 2.3-16 参照)

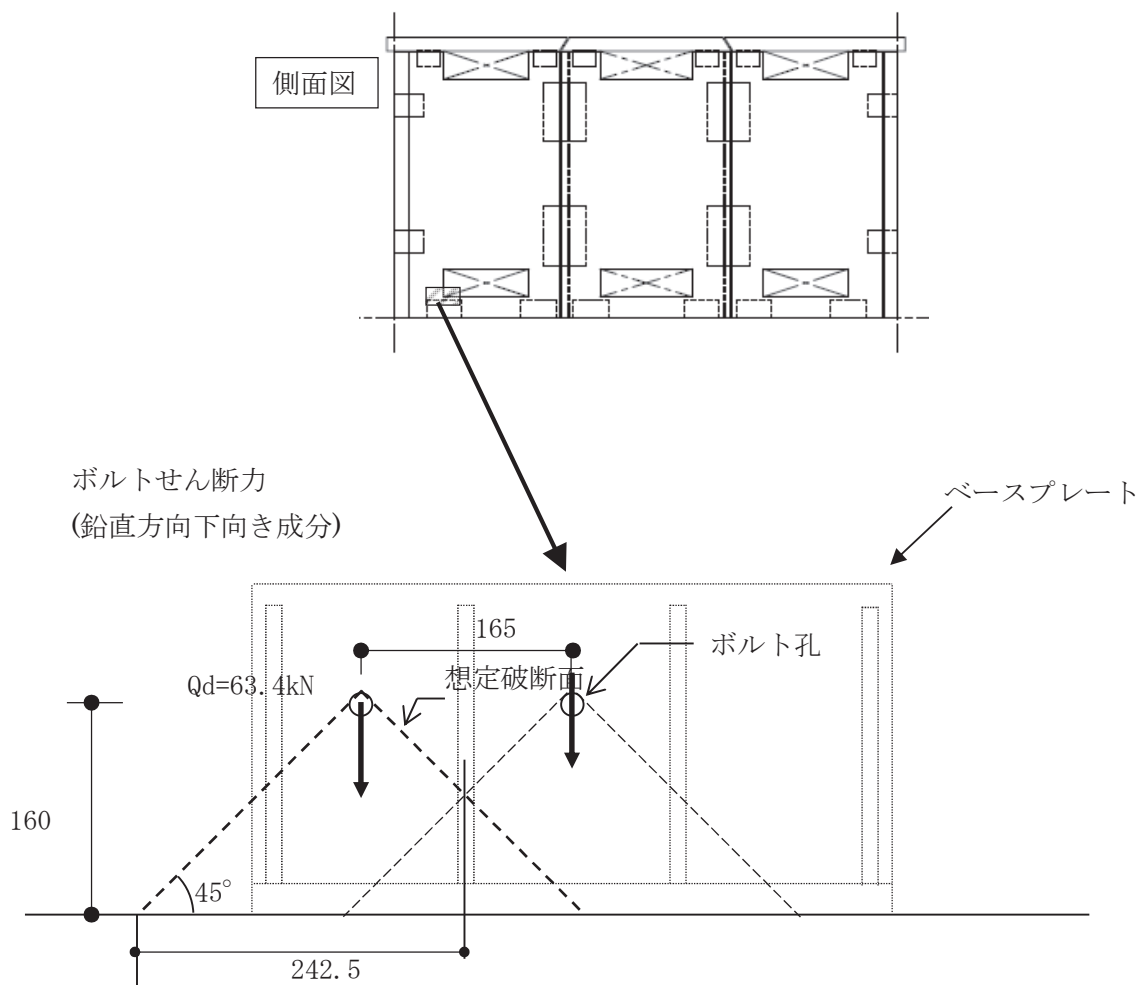


図 2.3-16 側板アンカー

短期許容せん断力応力度

(建築基準法施行令第 91 条及び平成 12 年建設省告示第 1450 号より)

$$f_{sa} = (0.49 + F_c / 100) \times 2 = 1.70 \text{ N/mm}^2$$

想定破断面積

$$A = 242.5 \times \sqrt{2} \times 200 = 68589 \text{ mm}^2$$

せん断力応力度

$$\tau = Q_d / (A / \sqrt{2}) = 63.4 \times 1000 / (68589 / \sqrt{2}) = 1.31 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_{sa} / \tau = 1.70 / 1.31 = 1.30 > 1.0 \dots \text{OK}$$

D. 天板パネル(④) (図 2.3-17 参照)

天板 PC 板 $t = 200$, 鉄筋 : SD295A ($s\sigma t = 295 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (長辺方向 上筋, 短辺方向 上下筋) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13@200 (長辺方向 下筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma t, \quad M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定す}$$

る。

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント $9797 \text{ Nmm/mm} \rightarrow 1\text{m}$ 辺りに換算すると $M_d = 9.80\text{kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{9.80 \times 10^6}{127 \times 5 \times 131} = 118 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 118 = 2.50 > 1.0 \dots \text{OK}$$

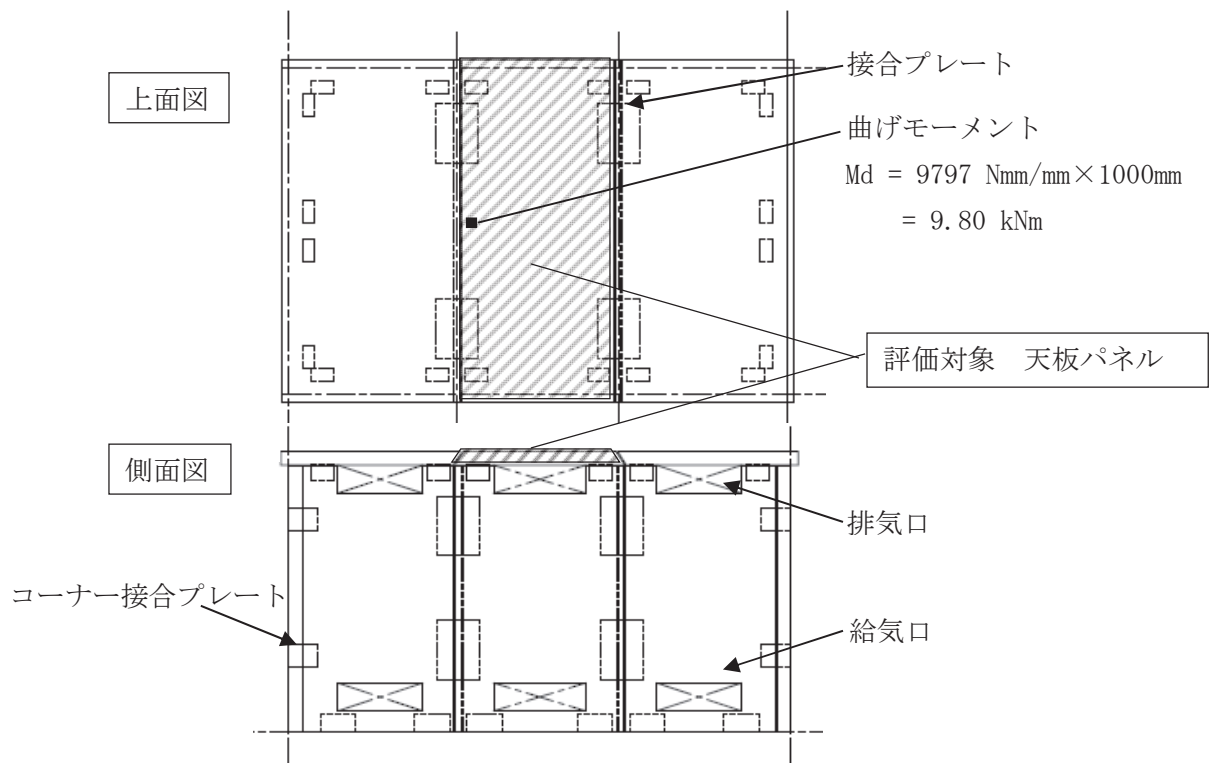


図 2.3-17 天板パネル

E. 側板パネル(⑤) (図 2.3-18 参照)

側板 PC 版 $t = 200$ 鉄筋 : SD295A ($\sigma_t = 295 \text{ N/mm}^2$)

D10@200 (縦筋・横筋, 内外共) D10 : 断面積 $A = 71 \text{ mm}^2$

D13 (開口部及び外周部の補強筋) D13 : 断面積 $A = 127 \text{ mm}^2$

$d = 150\text{mm}$, $j = 131\text{mm}$

短期許容曲げモーメント (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説より)

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$\Rightarrow f_t = \frac{M_a}{a_t \cdot j} \quad f_t \text{ を } \sigma_t, \quad M_a \text{ を } M_d \text{ に置き換え, 鉄筋の引張応力度を算定す}$$

る。

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 19430 Nmm/mm \rightarrow 500mm 辺りに換算すると $M_d = 9.72 \text{ kNm}$

$$\sigma_t = \frac{M_d}{a_t \cdot j} = \frac{9.72 \times 10^6}{(127 + 71 + 127) \times 131} = 229 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_t / \sigma_t = 295 / 229 = 1.29 > 1.0 \dots \text{OK}$$

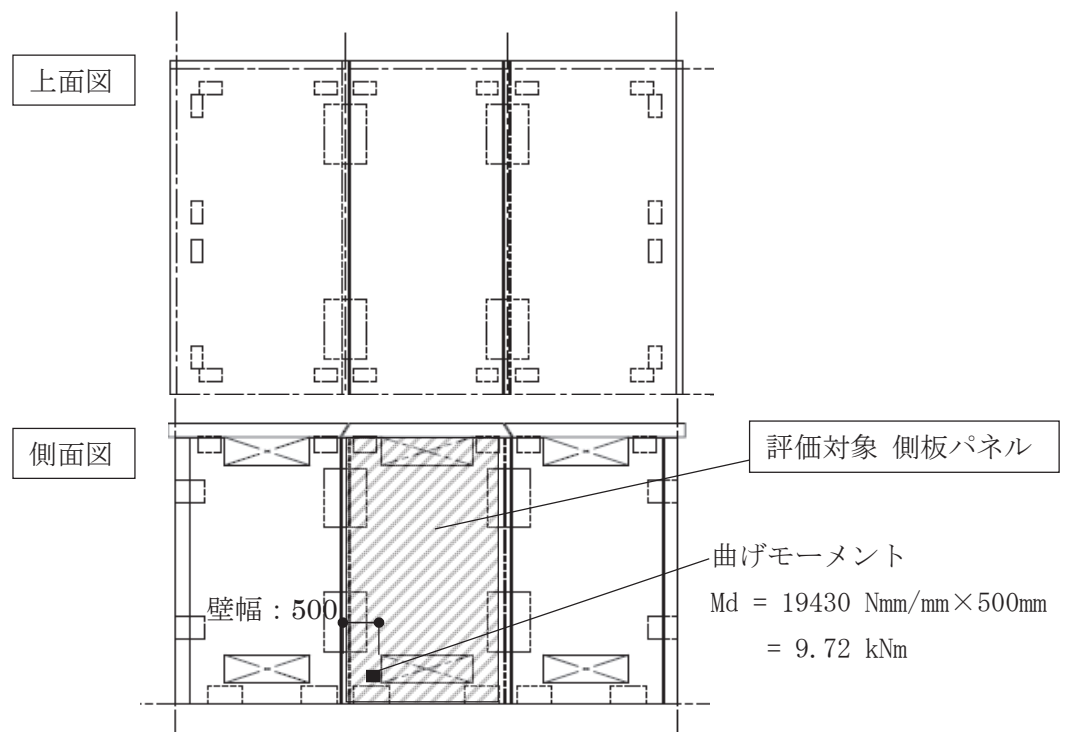


図 2.3-18 側板パネル

F. 側板, 天板接合プレート(⑥) $t = 6$ (SS400) (図 2.3-19 参照)

単位幅当たりの断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 1 \times 6^2 / 6 = 6 \text{ mm}^3 / \text{mm}$

設計曲げモーメント

最大曲げモーメント 133.4 Nmm/mm

$\sigma_b = 133.4 / 6 = 22.3 \text{ N/mm}^2$

検定値

$f_b / \sigma_b = 235 / 22.3 = 10.5 > 1.0 \dots \text{OK}$

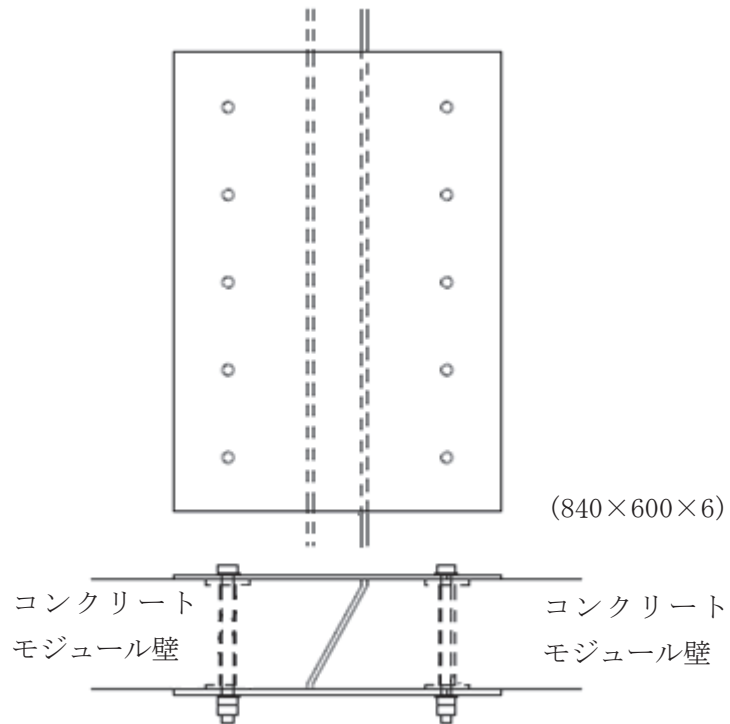


図 2.3-19 側板, 天板接合プレート

G. 側板, 天板コーナー接合プレート(㉞) $t = 9$ (SS400) (図 2.3-20 参照)

負担幅は 160mm とする。断面係数 $z = b \times t^2 / 6 = 160 \times 9^2 / 6 = 2160 \text{ mm}^3$

設計曲げモーメント

ボルト位置に生じる圧縮力を面荷重に置き換えて算定する。

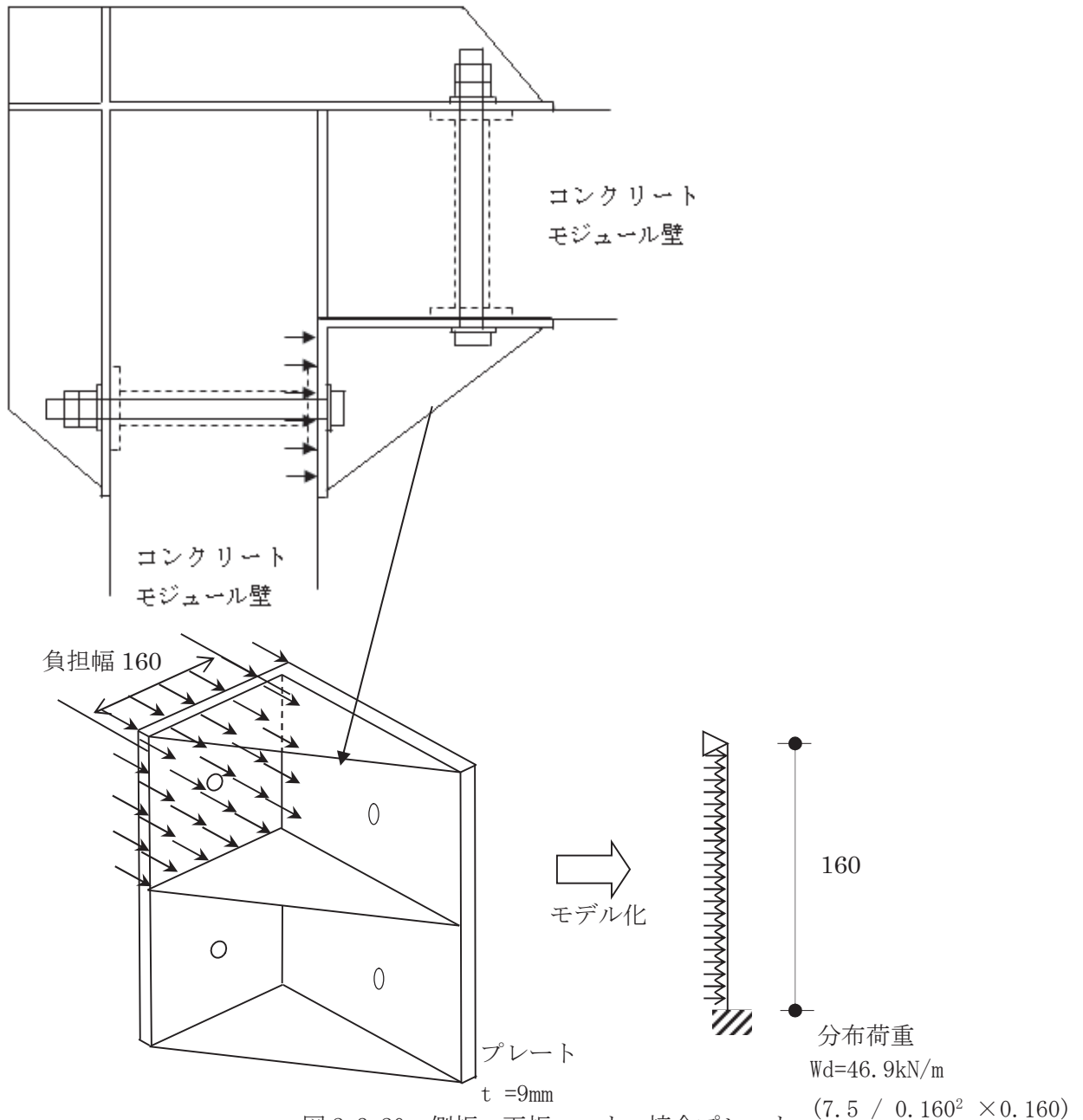
設計曲げモーメント(1辺固定1辺単純支持の1方向板として)

$$M_d = (7.5 / 0.160^2 \times 0.160 \times 0.160^2) / 8 = 0.15 \text{ kNm}$$

$$\sigma_b / f_b = 0.15 \times 10^6 / 2160 = 69.5 \text{ N/mm}^2$$

検定値

$$f_b / \sigma_b = 235 / 69.5 = 3.38 > 1.0 \dots \text{OK}$$



④ 評価結果

評価結果を表 2.3-14 に示す。

表 2.3-14 評価結果(単位 : N/mm²)

| | 項目 | 計算値 | 許容値 | 評価結果 |
|-----|------------------|------|-------|------|
| ①-a | アンカーボルト | 103 | 235 | OK |
| ①-b | 側板柱脚ボルト | 145 | 242.4 | OK |
| ①-c | 側板接合ボルト | 195 | 242.4 | OK |
| ①-d | 天板接合ボルト | 130 | 242.4 | OK |
| ①-e | コーナーボルト | 154 | 242.4 | OK |
| ② | ベースプレート (引張時) | 105 | 235 | OK |
| ② | ベースプレート (圧縮時) | 78.6 | 235 | OK |
| ③ | 側板アンカー部はしあき | 1.31 | 1.70 | OK |
| ④ | 天板PC板 | 118 | 295 | OK |
| ⑤ | 側板PC板 | 229 | 295 | OK |
| ⑥ | 側板, 天板接合プレート | 22.3 | 235 | OK |
| ⑦ | 側板, 天板コーナー接合プレート | 69.5 | 235 | OK |

以上よりコンクリートモジュールはS_s地震動に対しての耐震安全性を確保できる。

2.4 クレーンの基準地震動 S_s に対する波及的影響

(1) 評価方針

本設備で使用するクレーンが基準地震動 S_s により本クレーンが乾式キャスクの除熱、密封、遮へい、臨界防止等の安全機能に波及的影響を与えるような倒壊、転倒、逸走等が生じないことを確認する。なお、当該クレーンは一般産業用施設と同等の耐震性を有する設計とし、クレーン構造規格に基づき設計を行っている。

(2) 波及的影響評価方法の概要

評価対象とするクレーンの主要仕様を表 2.4-1 に、概要図を図 2.4-1 に示す。

表 2.4-1 クレーンの仕様

| 項目 | 仕様 |
|------|--------|
| 型式 | 門形クレーン |
| 主巻定格 | 150ton |
| 補巻定格 | 20ton |
| スパン | 19m |

クレーンの波及的影響評価フローを図 2.4-2 に示す。

以下の手順により基準地震動 S_s によるクレーンの波及的影響が、乾式キャスクの安全機能に及ばないことを確認する。

- ・評価には基準地震動 S_s に基づく地表面加速度応答スペクトルを用いて行う。
- ・汎用有限要素解析コード ABAQUS を使用した三次元有限要素モデルによりクレーンの固有周期を求める。
- ・地表面加速度応答スペクトルと固有周期により設計用加速度を定め、クレーン各部に発生する応力を算定し、クレーンが倒壊しないことを確認する。
- ・汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いて、地表面時刻歴データによる非線形応答解析を行い、クレーン本体の浮き上がり量から、クレーンが転倒しないことを確認する。
- ・クレーン本体の浮き上がり量からクレーンがレールピットから飛び出し、逸走しないことを確認する。

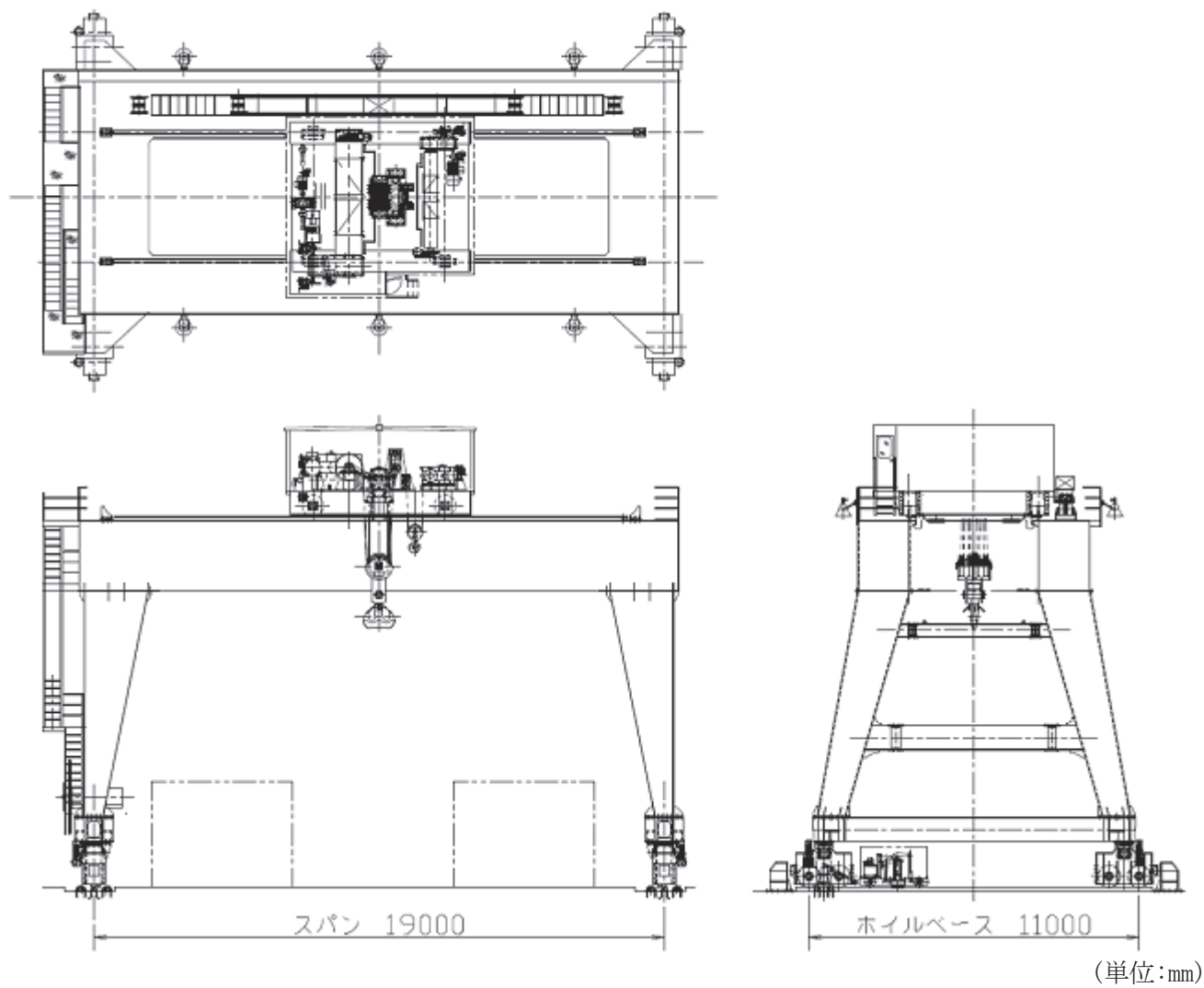


図 2.4-1 クレーン全体図

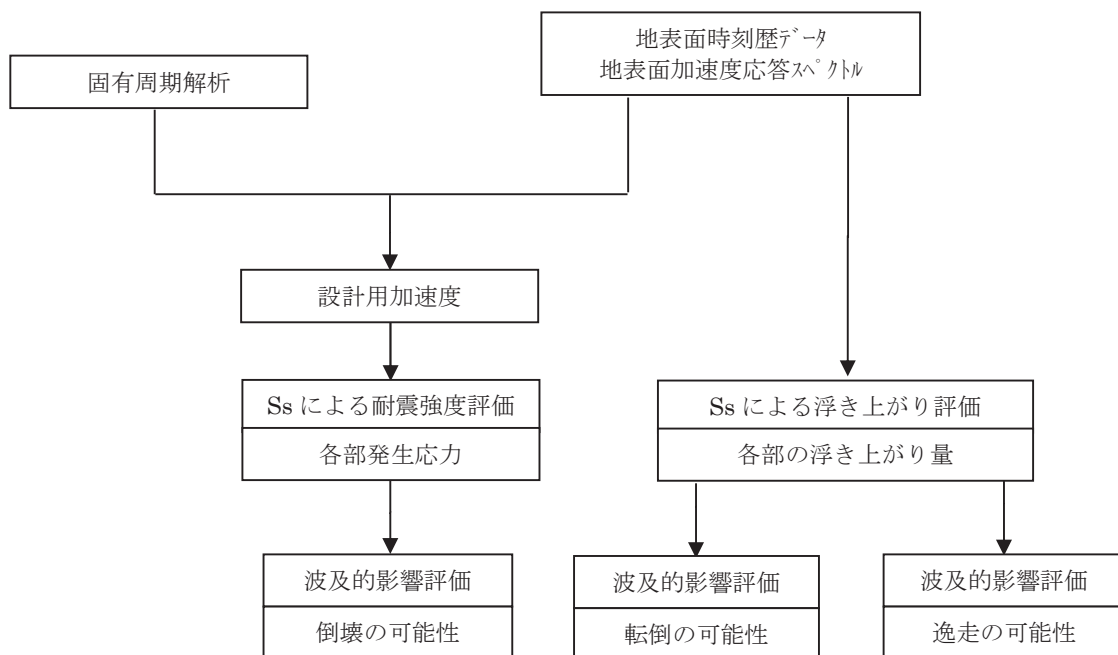


図 2.4-2 クレーンの波及的影響評価フロー

(3) 波及的影響評価

1) クレーンの倒壊評価

① 固有周期の算定

A. 固有周期の計算方法

汎用有限要素解析コード ABAQUS を使用した三次元有限要素モデルにより、各方向に関するクレーンの固有周期の評価を行う。図 2.4-3 に解析モデル図を示す。

- a. ガーダ、剛脚及びサドル等の構造物は、断面積、断面二次モーメントなどの断面特性を考慮したビーム要素でモデル化する。
- b. トロリは質量特性のみを考慮した剛体要素でモデル化する。
- c. ワイヤロープは剛な鉛直線形ばねでモデル化する。
- d. 走行方向の水平力がクレーンに加わった場合、クレーンはレール上を滑り、クレーン自体にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。このため走行方向の固有周期の算定は行わない。

B. 固有周期

固有周期の算定結果を表 2.4-2 に示す。

表 2.4-2 クレーンの固有周期

| トロリ位置 | 本体ガーダ中央 | | | 本体ガーダ端部 ^{注記} | | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | 走行方向 (EW方向) | 横行方向 (NS方向) | 鉛直方向 (UD方向) | 走行方向 (EW方向) | 横行方向 (NS方向) | 鉛直方向 (UD方向) |
| 固有周期 (sec) | - | 0.334 | 0.137 | - | 0.331 | 0.096 |

注記：トロリが剛脚にもっとも近づいた位置とする。

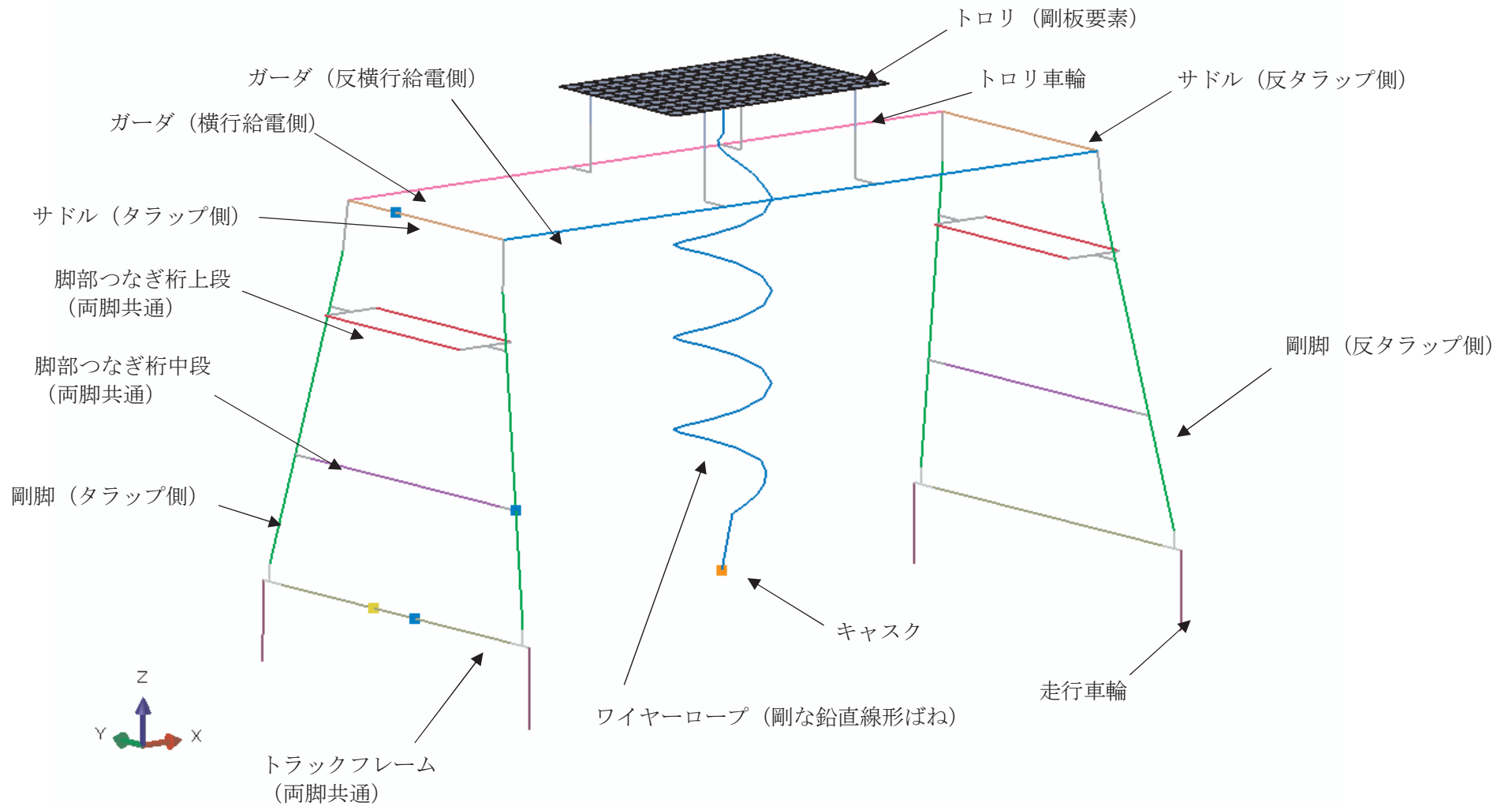


図 2.4-3 クレーン 固有周期 解析モデル図 鳥瞰図(トロリ中央の場合)

② 本設備の設計加速度

添付資料-2「評価の基本方針」の加速度応答スペクトル及び表 2.4-2 に示した固有周期から算定される設計用加速度を表 2.4-3 に示す。

表 2.4-3 クレーンの設計用加速度

| 加振方向 | 走行方向 (EW方向) | 横行方向 (NS方向) | 鉛直方向 (UD方向) |
|---------------|--------------------|----------------------------|--|
| 設計用加速度 (G) | 0.15 ^{注1} | 2.43 0.15 ^{注2} | 1.60 ^{注3} 1.38 ^{注4} |

注1：走行方向の設計用加速度は、走行駆動輪とレールの最大静止摩擦係数により定まる加速度とする。

注2：トロリに作用する横行方向の設計用加速度は、横行駆動輪と横行レールの最大静止摩擦係数により定まる加速度とする。

注3：本体ガーダ中央にトロリがある場合

注4：本体ガーダ端部にトロリがある場合

③クレーン各部の応力評価

A. 評価対象部位の形状

評価対象箇所を図 2.4-4 に示す。また評価対象部位の形状を図 2.4-5～図 2.4-8 に示す。

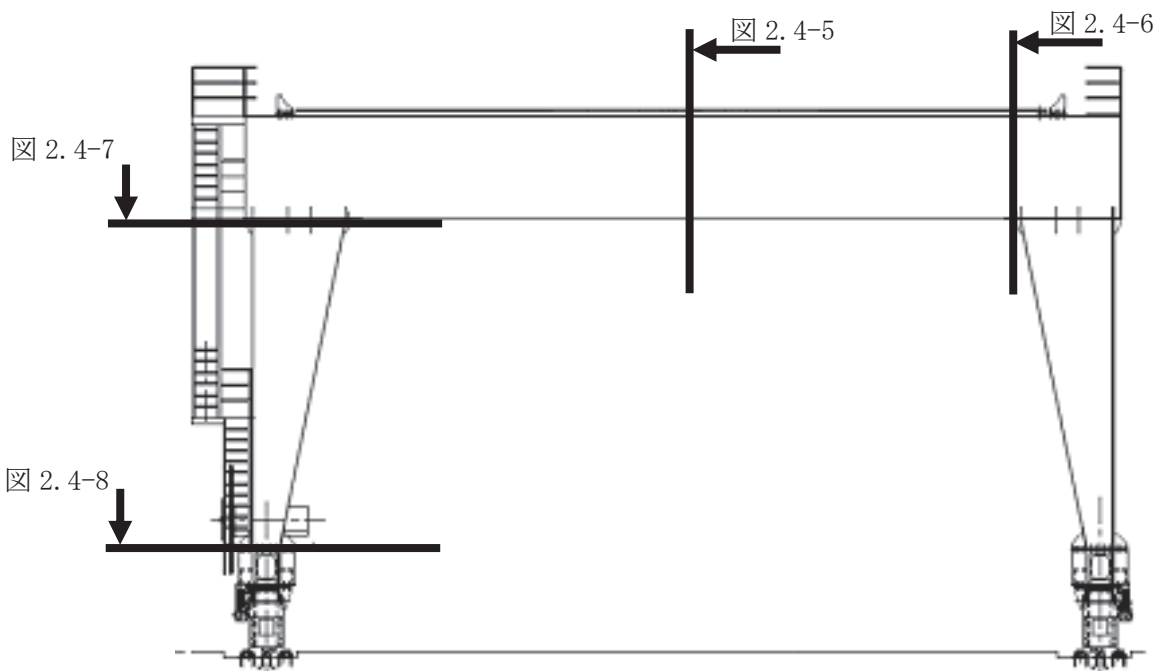


図 2.4-4 応力評価部位対象箇所

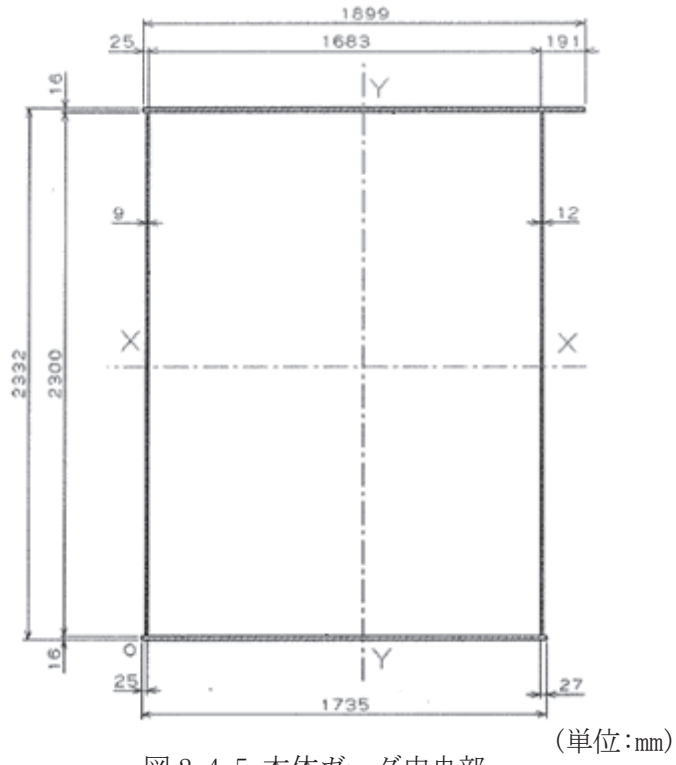


図 2.4-5 本体ガーダ中央部

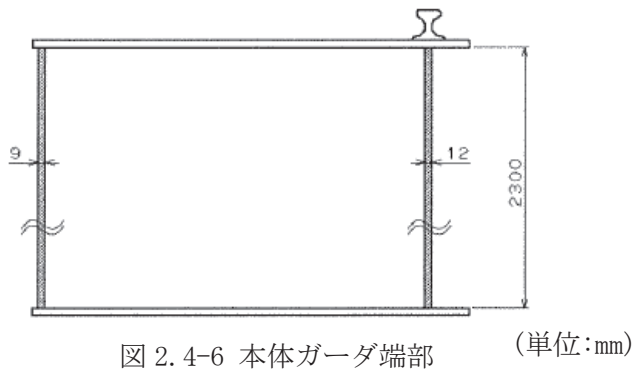


図 2.4-6 本体ガーダ端部

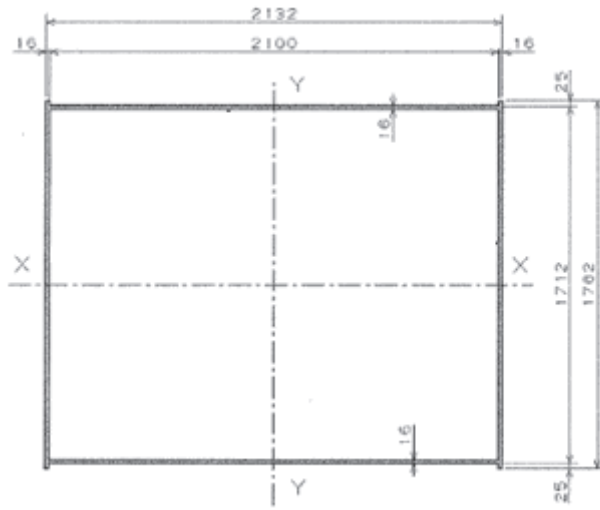


图 2.4-7 刚脚上部 (单位:mm)

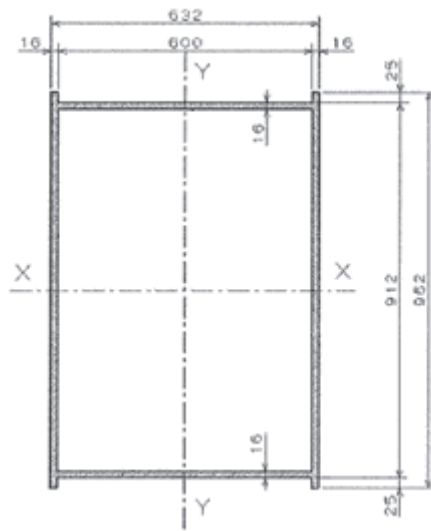


图 2.4-8 刚脚下部 (单位:mm)

B. 発生応力と許容応力

基準地震動 S_s によりクレーン各部に発生する応力と許容応力の比較を表 2.4-4 に示す。

表 2.4-4 クレーン各部応力の評価結果

| | 材料 | 応力の種類 | 算出応力 (N/mm ²) | 許容応力 (N/mm ²) | 評価結果 |
|---------|--------|-------|------------------------------|------------------------------|-------|
| 本体ガード | SM490A | 曲げ | 146 | 343 | O. K. |
| | | せん断 | 51 | 198 | O. K. |
| | | 組合せ | 148 | 343 | O. K. |
| 剛脚 (上部) | SS400 | 曲げ | 115 | 280 | O. K. |
| | | 圧縮 | 76 | 246 | O. K. |
| 剛脚 (下部) | | 曲げ | 174 | 280 | O. K. |
| | | 圧縮 | 76 | 246 | O. K. |

④ 評価結果

本体ガード、剛脚などクレーン本体に発生する応力は許容値内に留まる。このことから基準地震動 S_s がクレーンに生じた場合、クレーン本体は倒壊しない。なお、参考としてクレーンレールについても S_s 地震による応力評価を行ったところ、レールが湾曲するおそれがあることが判明した。このことから次項ではクレーンが S_s 地震時にクレーンが転倒、逸走をしないことを確認し、当該クレーンが乾式キャスクの安全性に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

2) クレーンの転倒評価

図 2.4-9 のモデルを用いて非線形時刻歴応答解析を行い、クレーンが転倒しないことを確認する。

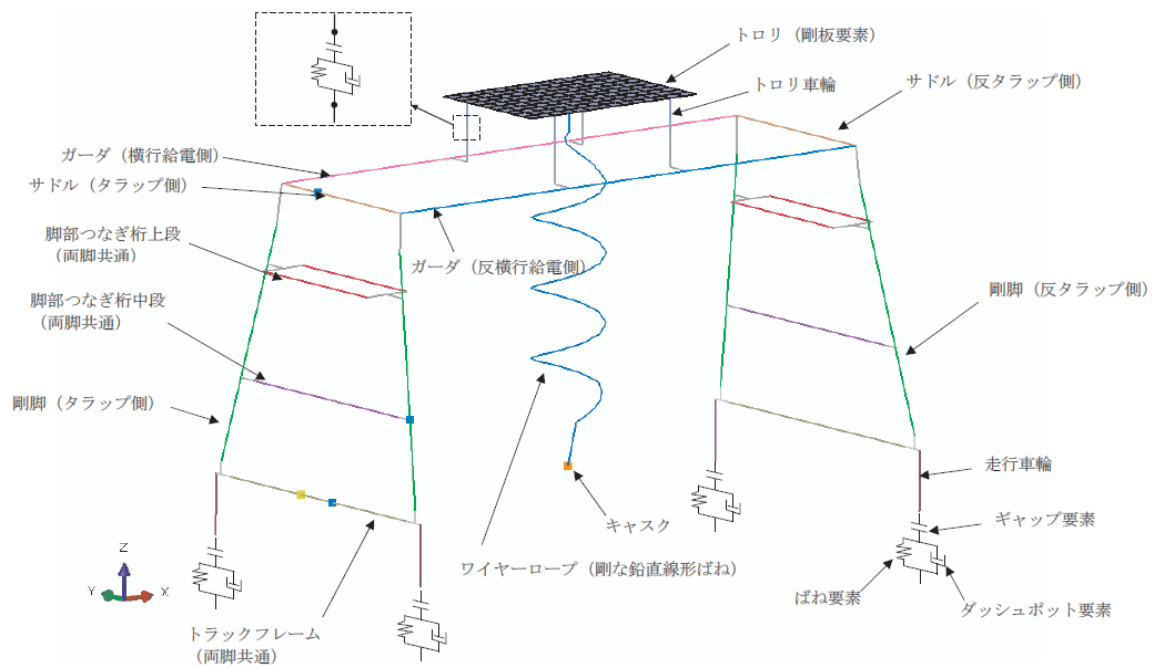


図 2.4-9 転倒評価モデル

① 地表面時刻歴データ

非線形時刻歴応答解析に用いる地表面時刻歴波形は、 $S_s-1 \sim S_s-3$ のうち、クレーンの鉛直方向固有周期における地表面加速度応答スペクトル値が最も大きい地震波の地表面時刻歴データである、 S_s-1 の表面時刻歴波形を用いる。 S_s-1 の表面時刻歴波形を図 2.4-10、図 2.4-11 に示す。

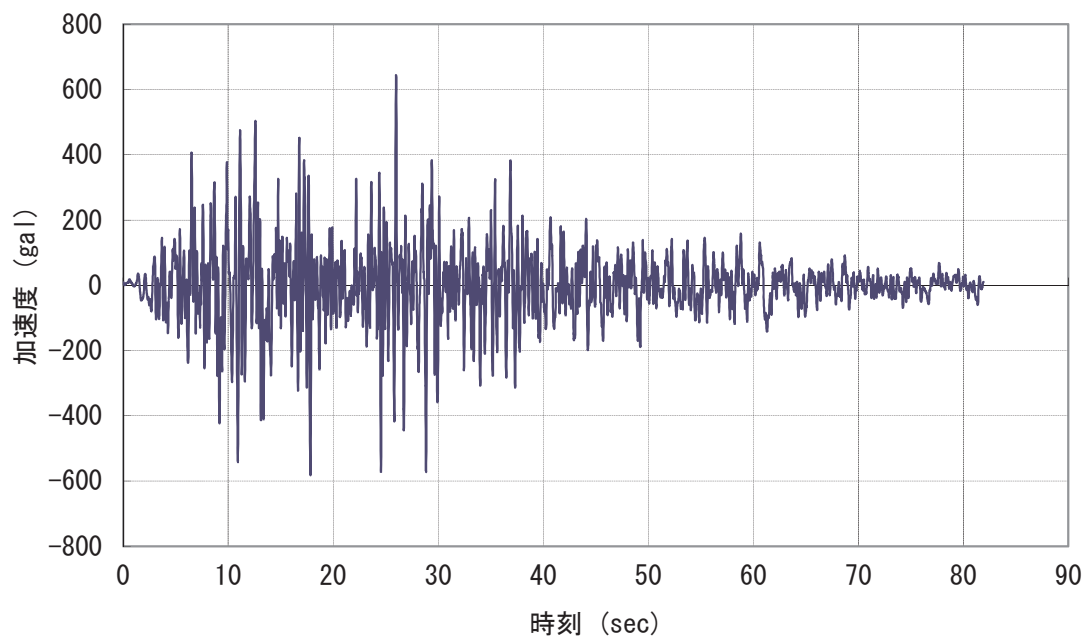


图 2.4-10 地表面時刻歷波形水平方向 Ss-1

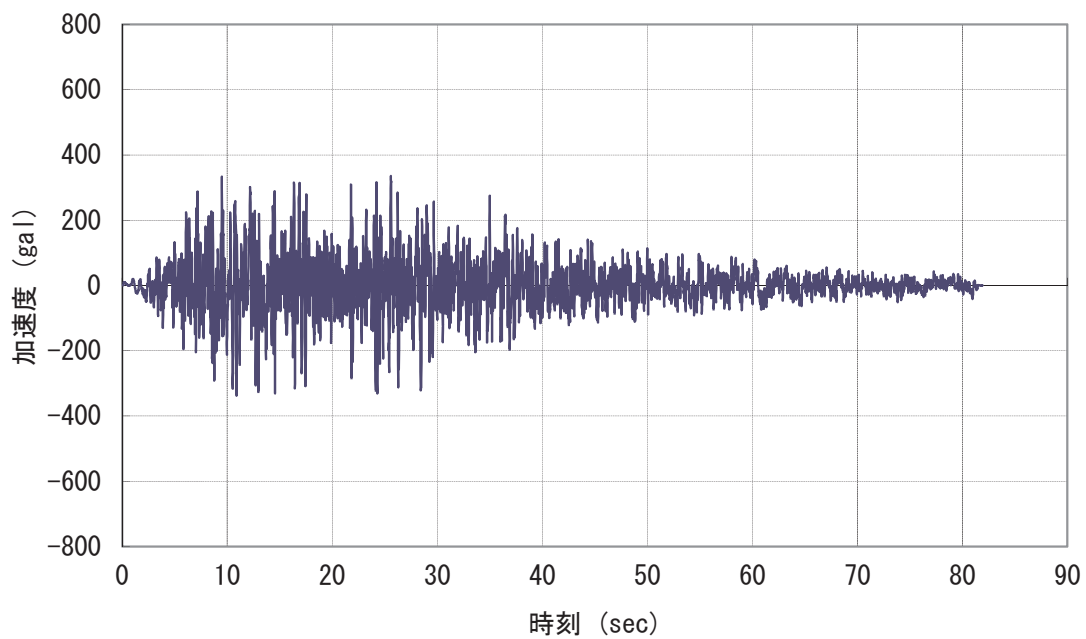
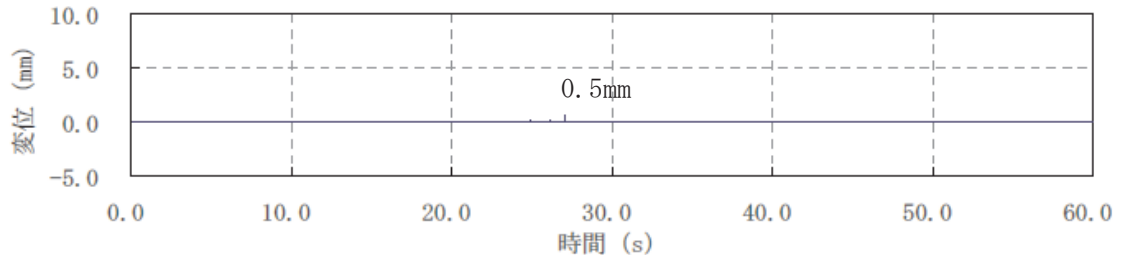


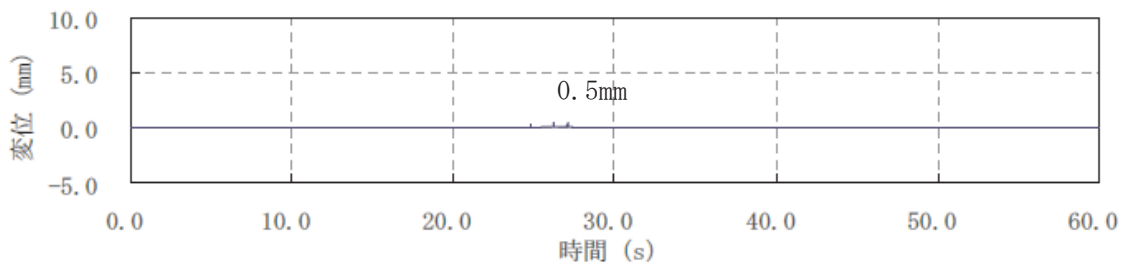
图 2.4-11 地表面時刻歷波形鉛直方向 Ss-1

② 浮き上がり量結果

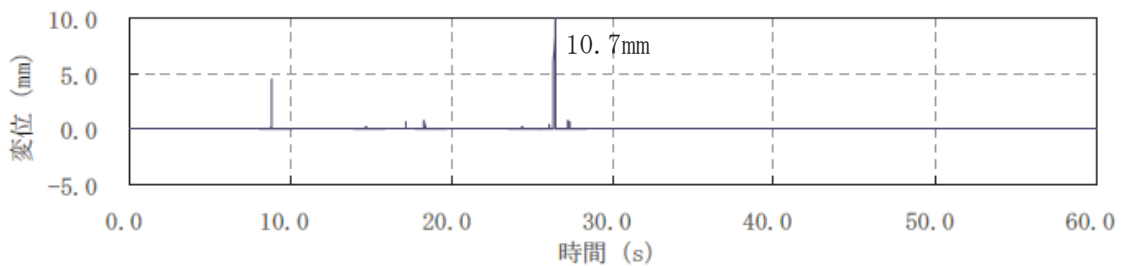
非線形時刻歴応答解析によるクレーンの浮き上がり量の時刻歴データを図 2.4-12 に示す。
また本解析の評価箇所各部の最大浮き上がり量を表 2.4-5 に示す。



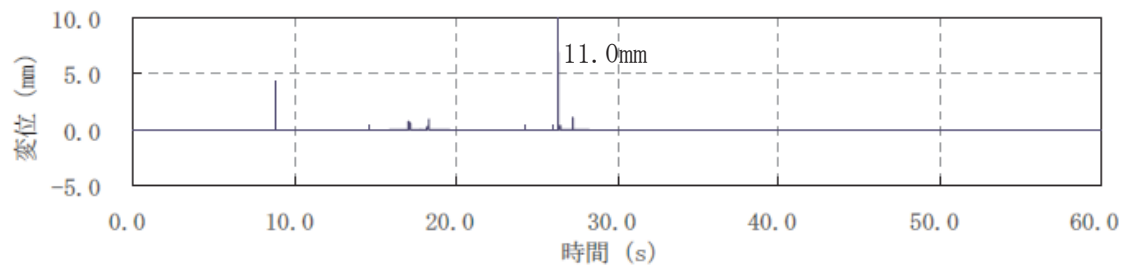
F1 浮き上がり量



F2 浮き上がり量



F3 浮き上がり量



F4 浮き上がり量

図 2.4-12 車輪浮き上がり量

表 2.4-5 非線形時刻歴応答解析によるクレーン最大浮き上がり量の結果

(加振方向：鉛直方向+横行方向)

| 評価応答 | 評価部位 | 方向 | 番号 | 解析結果 |
|------------------------|-------|-----|----|------|
| 床面－走行車輪の 浮き上がり (mm) | 走行車輪部 | Z方向 | F1 | 0.5 |
| | | | F2 | 0.5 |
| | | | F3 | 10.7 |
| | | | F4 | 11.0 |

注記：評価点の位置を図 2.4-13 に示す。

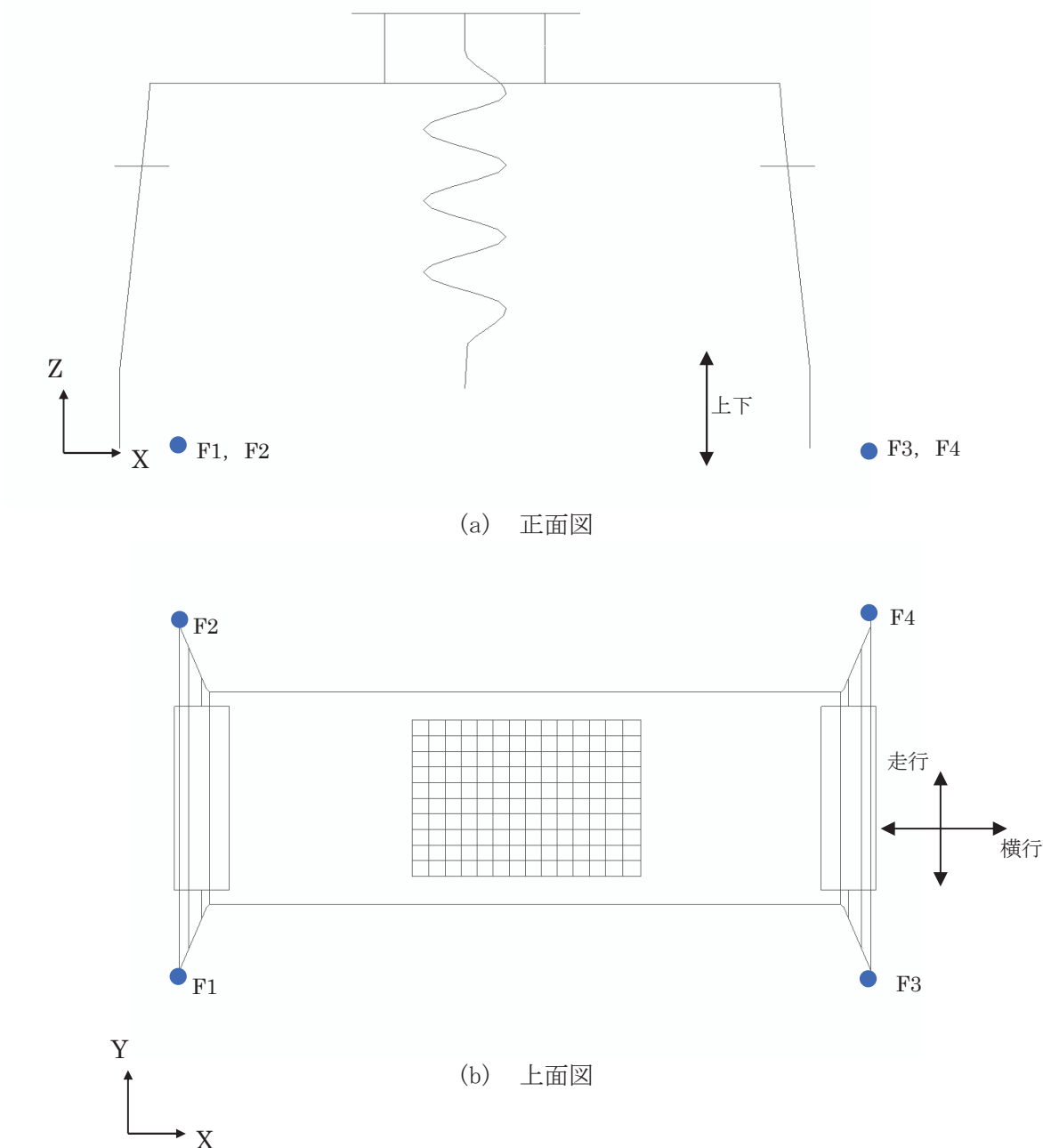


図 2.4-13 非線形時刻歴応答解析における評価点記号

③ 評価結果

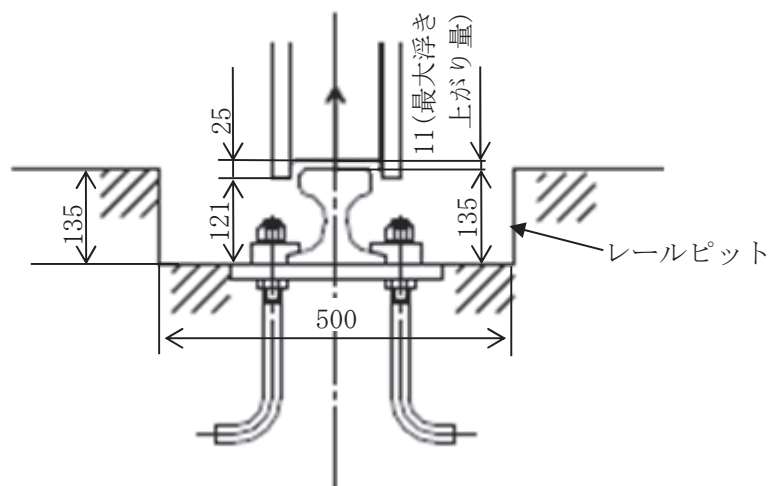
表 2.4-5 よりクレーンの車輪は最大で 11mm 浮き上がる。クレーンの重心の位置関係から片側の車輪が 14,706mm 浮きあがらなければクレーンは転倒しないことから、当該クレーンは Ss 地震を受けても転倒しない。

3) クレーンの逸走評価

クレーンが逸走する条件として、クレーンの車輪が全てレールピットから飛び出すことが挙げられる。このことから当該クレーンが Ss 地震を受けたとしても、車輪がレールピット内に収まっていることを確認する。

① レールピット高さとの浮き上がり時の車輪位置の比較

2) で検討した最大の浮き上がりが生じた場合の車輪とレールピットの位置関係は図 2.4-14 のようになる。車輪の下端の高さはレールピットの底部から 121mm であり、レールピットの高さ 135mm を超えることはない。



(単位:mm)

図 2.4-14 車輪とレールピットの位置関係(最大浮き上がり時)

② 評価結果

レールピットの高さとクレーンが浮き上がった場合の車輪の高さを比較した結果、最大の浮き上がりが予想される車輪においてもレールピットを超えないことが確認された。このことから当該クレーンはレールピットから飛び出し、逸走することはない。

4) 評価結果

基準地震動 S_s に基づく評価では以下が確認され、クレーンには倒壊、転倒、逸走が生じない結果となった。

- ①クレーン本体に発生する応力は、許容応力を下回る。
- ②地表面時刻歴データによる非線形応答解析評価により浮き上がりの評価では最大 11mm の浮き上がりであるが、転倒が生じる浮き上がり高さまで十分な余裕がある。
- ③クレーンの浮き上がりにより車輪の下端がレールピットより高くなることはない。
従って、地震時にクレーンが乾式キャスクの安全機能に影響を及ぼすことはない。

2.5 コンクリート基礎の耐震性

(1) 評価方針

基準地震動 S_s 荷重時のコンクリート基礎に対する要求性能は、キャスク支持架台に作用する力を支持するとともに、これを固定する固定ボルトの引き抜きに抵抗すること、及び、基礎の傾斜により、クレーンの転倒、倒壊などが生じないことである。ここでは、コンクリート基礎の耐震性評価を行い、基礎が要求性能を有していることを確認する。

評価の方法は、基準地震動 S_s 荷重に対する梁モデルによる構造計算を行い、コンクリート基礎の終局限界状態の照査、地盤改良体強度の照査、地盤の支持力の照査を行うこととする。

なお、本設備の周辺に評価対象となる斜面は存在しない。

(2) 評価方法の概要

1) 構造図面

図 2.5-1～図 2.5-4 にキャスク配置図、基礎構造図及び地盤改良断面図を示す。

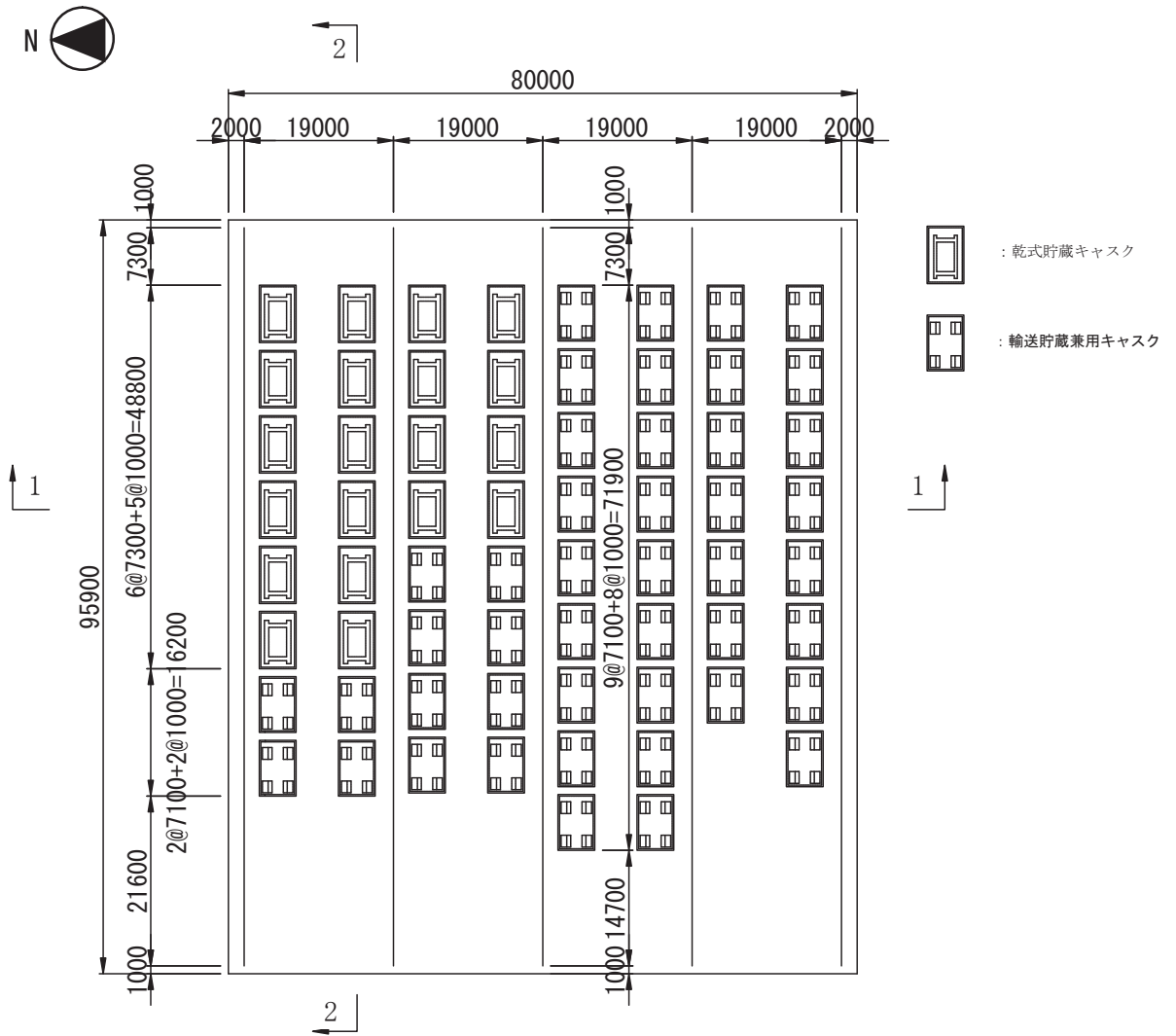


図 2.5-1 キャスク配置図 (単位 : mm)

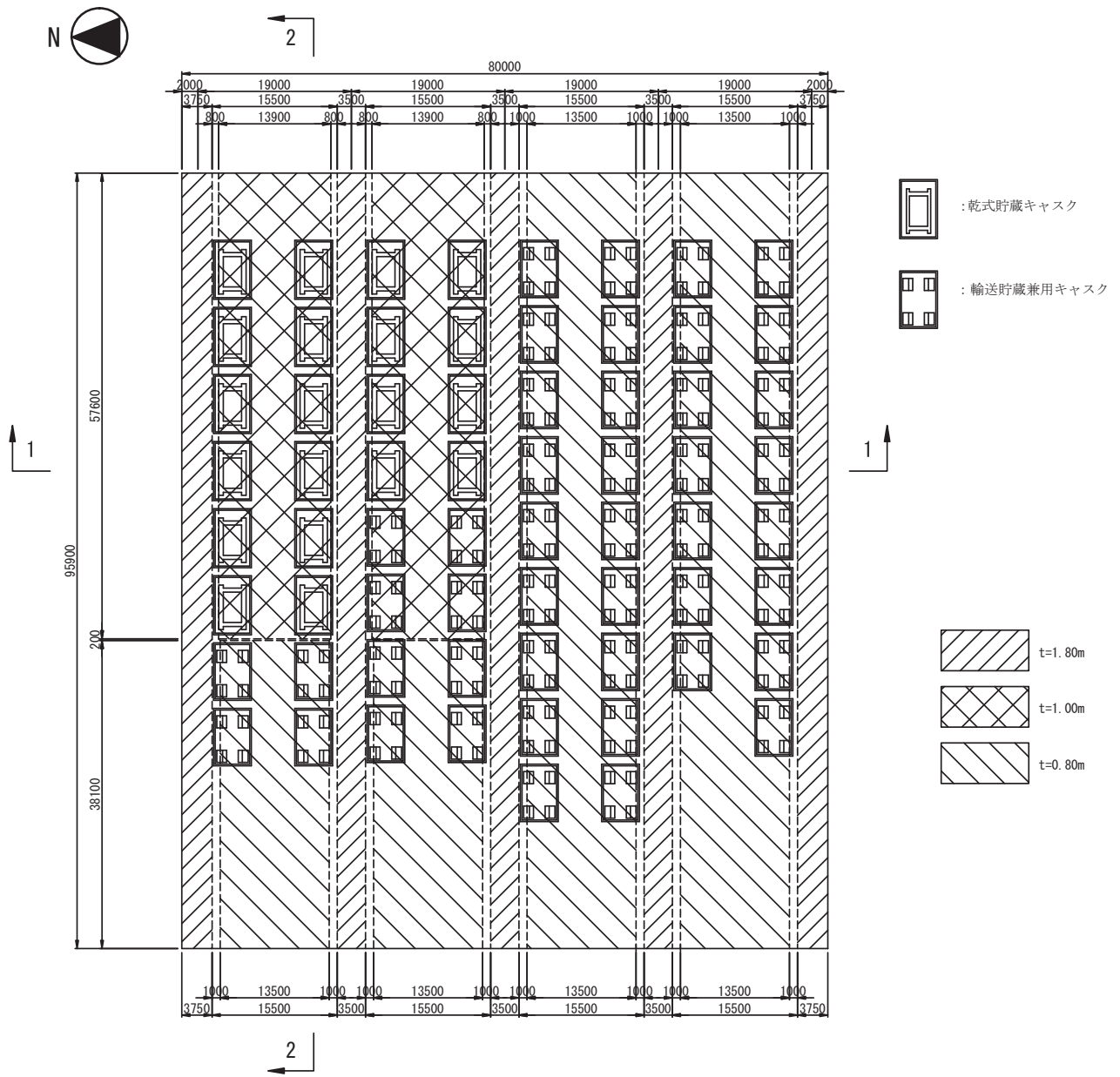
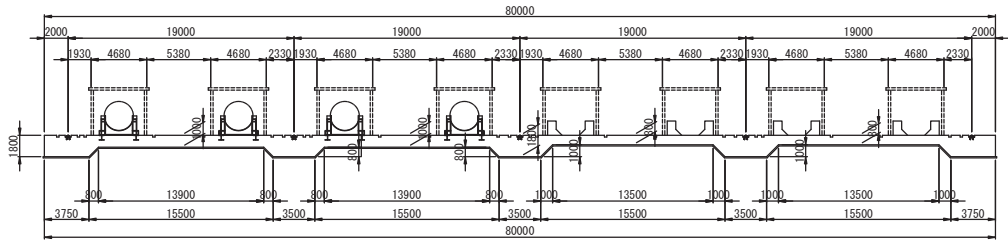


図 2.5-2 基礎平面図 (単位 : mm)

1-1 断面 (NS 方向)



2-2 断面 (EW 方向)

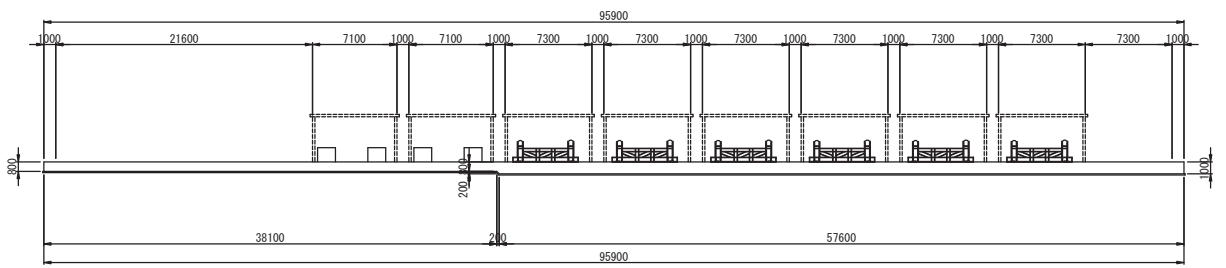
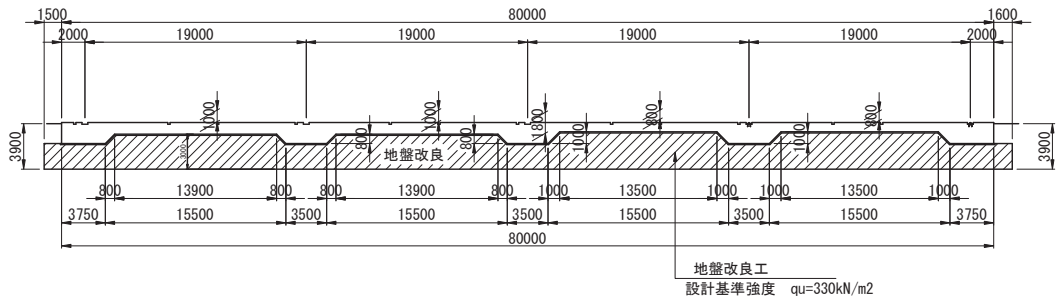


图 2.5-3 基础断面图 (单位: mm)

1-1 断面 (NS 方向)



2-2 断面 (EW 方向)

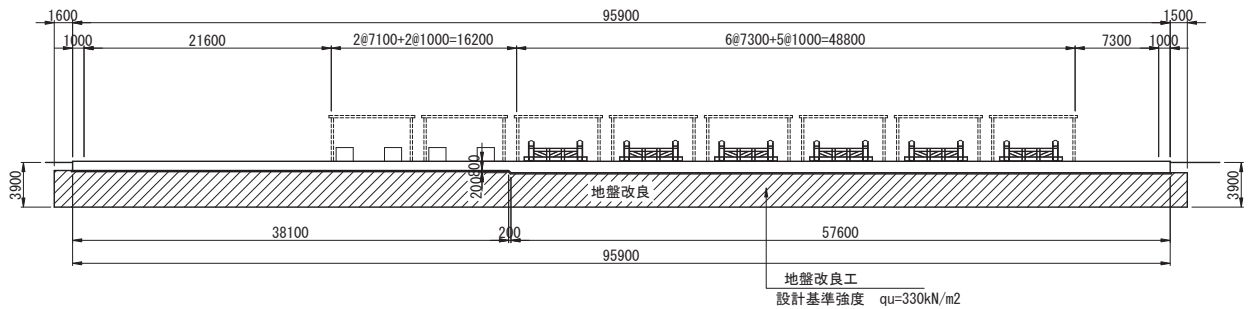


图 2.5-4 地盤改良断面图 (单位: mm)

2) 検討フロー

コンクリート基礎の耐震性検討フローを図 2.5-5 に示す。

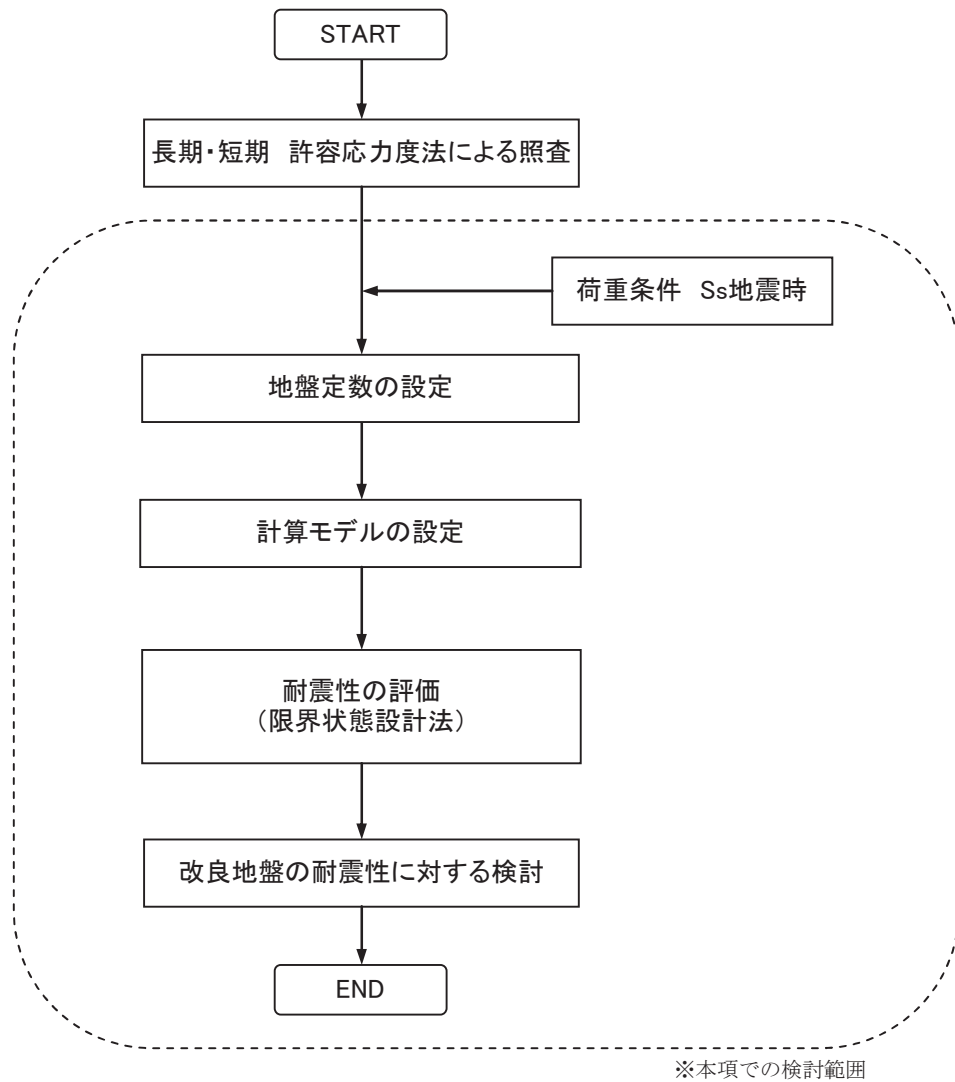


図 2.5-5 キャスク仮保管設備コンクリート基礎の耐震性検討フロー

3) 準拠規準

コンクリート基礎の検討は、以下の法規及び規準類に準拠して行う。

- ① 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008 (社) 日本電気協会
- ② 乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009 (社) 日本電気協会
- ③ コンクリート標準示方書 設計編 (2007) (社) 土木学会
- ④ コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (2002) (社) 土木学会
- ⑤ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル (1992) (社) 土木学会
- ⑥ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005) (社) 土木学会
- ⑦ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)
- ⑧ 道路橋示方書・同解説 I 共通編 V 耐震設計編 (社) 日本道路協会 (平成 14 年)

4) 評価方法

耐震性の評価方法を表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 耐震性の評価方法

| 評価対象 | 評価方法 | 準拠規準 |
|----------|---|------|
| 鉄筋コンクリート | 検討用断面力が部材の終局耐力を下回ることを確認する。 | ③ |
| 改良地盤 | 改良地盤に作用する地盤反力度が、改良地盤の設計圧縮強度、せん断抵抗に対する安全率に基づき設定した改良地盤の許容限界を下回ることを確認する。 | ② |
| 支持地盤 | 改良体下面に作用する鉛直荷重が、極限支持力に対する安全率に基づき設定した支持地盤の許容限界を下回ることを確認する。 | ②及び⑦ |

5) 使用材料及び許容応力度

使用材料の物性値及び設計強度を表 2.5-2 及び表 2.5-3 に示す。

表 2.5-2 コンクリートの材料定数, 設計強度及び鉄筋の設計強度

コンクリートの材料定数

| | 記号 | 単位 | |
|--------|----|----------------------|------------------------|
| ヤング係数 | E | (N/mm ²) | 2.50 × 10 ⁴ |
| 単位体積重量 | γ | (kN/m ³) | 24.0 |

コンクリートの設計強度

| | 記号 | 単位 | |
|---------|------------------|----------------------|-------|
| 設計基準強度 | f _{ck} | (N/mm ²) | 24.00 |
| 設計圧縮強度 | f' _{cd} | (N/mm ²) | 18.46 |
| 設計せん断強度 | τ _{cd} | (N/mm ²) | 0.529 |

鉄筋の設計強度

| | 記号 | 単位 | |
|-------|-----------------|----------------------|---------|
| 鋼材の種類 | | | SD345 |
| 降伏強度 | f _{yd} | (N/mm ²) | 345.0 |
| 鉄筋径 | | | D13~D32 |

表 2.5-3 改良地盤, 支持地盤の物性値及び設計強度

改良地盤の物性値, 設計強度

| | 記号 | 単位 | 設計強度 |
|-------|-------------------|----------------------|-------|
| 変形係数 | E | (kN/m ²) | 32900 |
| 圧縮強度 | ss _{fsc} | (kN/m ²) | 548.0 |
| せん断強度 | ss _{fss} | (kN/m ²) | 109.6 |

支持地盤の極限支持力度

| | 記号 | 単位 | 設計強度 |
|--------|----------------|----------------------|-------|
| 極限支持力度 | q _u | (kN/m ²) | 511.3 |

(3)本設備の設計荷重とコンクリート基礎のモデル化

1) 設計荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

・鉛直荷重 (VL)

コンクリート基礎自重による鉛直方向の荷重で、基礎及びペDESTALの鉛直荷重を対象とする。表 2.5-4 に鉛直荷重を示す。

表 2.5-4 鉛直荷重

| | | 奥行き方向幅 | 部材高 | 鉛直荷重 |
|--------------|----------|---------------------|------|--------|
| | | (m) | (m) | (kN/m) |
| レール支持梁(EW方向) | レール部スラブ | 3.50 | 1.80 | 151 |
| NS方向スラブ | レール部スラブ | 8.30 | 1.80 | 359 |
| | キャスク部スラブ | 8.30 | 1.00 | 199 |
| | キャスク部スラブ | 8.30 | 0.80 | 159 |
| | ペDESTAL | 1.50 × 0.72 × 1.185 | | 70 |
| EW方向スラブ | キャスク部スラブ | 5.17 | 1.00 | 132 |
| | キャスク部スラブ | 5.17 | 0.80 | 111 |
| | ペDESTAL | 1.50 × 0.72 × 1.185 | | 70 |

・クレーン荷重 (CL)

注)ペDESTALの鉛直荷重は2脚当りを示す。

クレーンによる荷重を表 2.5-5 に示す。

表 2.5-5 クレーン荷重

(1輪当り)

| 状態 | フック寄り | 走行車輪荷重 | | | | | |
|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 走行給電側 | | | 反走行給電側 | | |
| | | 鉛直方向 | 横行方向 | 走行方向 | 鉛直方向 | 横行方向 | 走行方向 |
| | | (UD方向) | (NS方向) | (EW方向) | (UD方向) | (NS方向) | (EW方向) |
| | | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) | (kN) |
| 定格荷重(150t) | 走行給電側 | 2470 | 490 | 185 | 305 | 490 | 84 |

注)基礎天端の荷重を示す。

・キャスク荷重(CAL)

キャスクによる荷重を表 2.5-6 に示す。

表 2.5-6 キャスク荷重

| 乾式貯蔵キャスク | | | 1基当たり |
|----------|-------|--------|-------|
| 方向 | 項目 | 単位 | Ss地震時 |
| NS方向 | 鉛直力 | (kN) | 1910 |
| | 水平力 | (kN) | 1010 |
| | モーメント | (kN・m) | 1490 |
| EW方向 | 鉛直力 | (kN) | 1910 |
| | 水平力 | (kN) | 1010 |
| | モーメント | (kN・m) | 1620 |

注)基礎天端の荷重を示す。

| 輸送貯蔵兼用キャスク | | | 1脚当たり |
|------------|-------|--------|-------|
| 方向 | 項目 | 単位 | Ss地震時 |
| NS方向 | 鉛直力 | (kN) | 477 |
| | 水平力 | (kN) | 506 |
| | モーメント | (kN・m) | 157 |
| EW方向 | 鉛直力 | (kN) | 477 |
| | 水平力 | (kN) | 485 |
| | モーメント | (kN・m) | 226 |

注)ペDESTAL天端の荷重を示す。

- ・モジュール荷重(MJL)

モジュールによる荷重を表 2.5-7 に示す。

表 2.5-7 モジュール荷重

| 貯蔵キャスク | | 1基当たり | |
|--------|------|-------|------|
| 記号 | 単位 | NS方向 | EW方向 |
| V | (kN) | 1269 | 1269 |
| H | (kN) | -458 | 458 |

注)スラブ天端の荷重を示す。

| 輸送貯蔵兼用キャスク | | 1基当たり | |
|------------|------|-------|------|
| 記号 | 単位 | NS方向 | EW方向 |
| V | (kN) | 1246 | 1246 |
| H | (kN) | -450 | 450 |

注)スラブ天端の荷重を示す。

- ・地震荷重(K)

地震震度は水平方向・鉛直方向とも応答加速度の最大値を用いて算出する。

応答加速度の最大値は以下の値となる。

水平方向 643.73(gal)

鉛直方向 395.59(gal)

コンクリート基礎の地震震度は以下の値となる。

$$K_H = 643.73 / 981 = 0.656$$

$$K_V = 395.59 / 981 = 0.403$$

鉛直震度方向は下向きが支配的であり、鉛直震度方向下向きについて検討する。

- ・風荷重(WL)

コンクリート基礎に対しては、風荷重は考慮しない(コンクリート基礎が扁平な形状であり大部分が地中構造物のため)。

- ・積雪荷重(SL)

Ss 地震時には積雪荷重を載荷しない。

2) コンクリート基礎のモデル化

コンクリート基礎は梁バネモデルにより解析する。検討モデルは荷重と基礎形状の特性により、表 2.5-8 に示す 3 タイプについてモデル化する。

表 2.5-8 検討タイプ

| 検討タイプ | 考慮する設備荷重 | 形状特性 |
|--------------|-----------------|-------------------|
| レール支持梁(EW方向) | クレーン | 幅3.5m, 厚1.8mの一定形状 |
| NS方向基礎 | キャスク、クレーン、モジュール | 厚1.8m, 1.0m, 0.8m |
| EW方向基礎 | キャスク、モジュール | 厚1.0m, 0.8m |

3 タイプの検討位置を図 2.5-6 に、解析モデルを表 2.5-9 に示す。

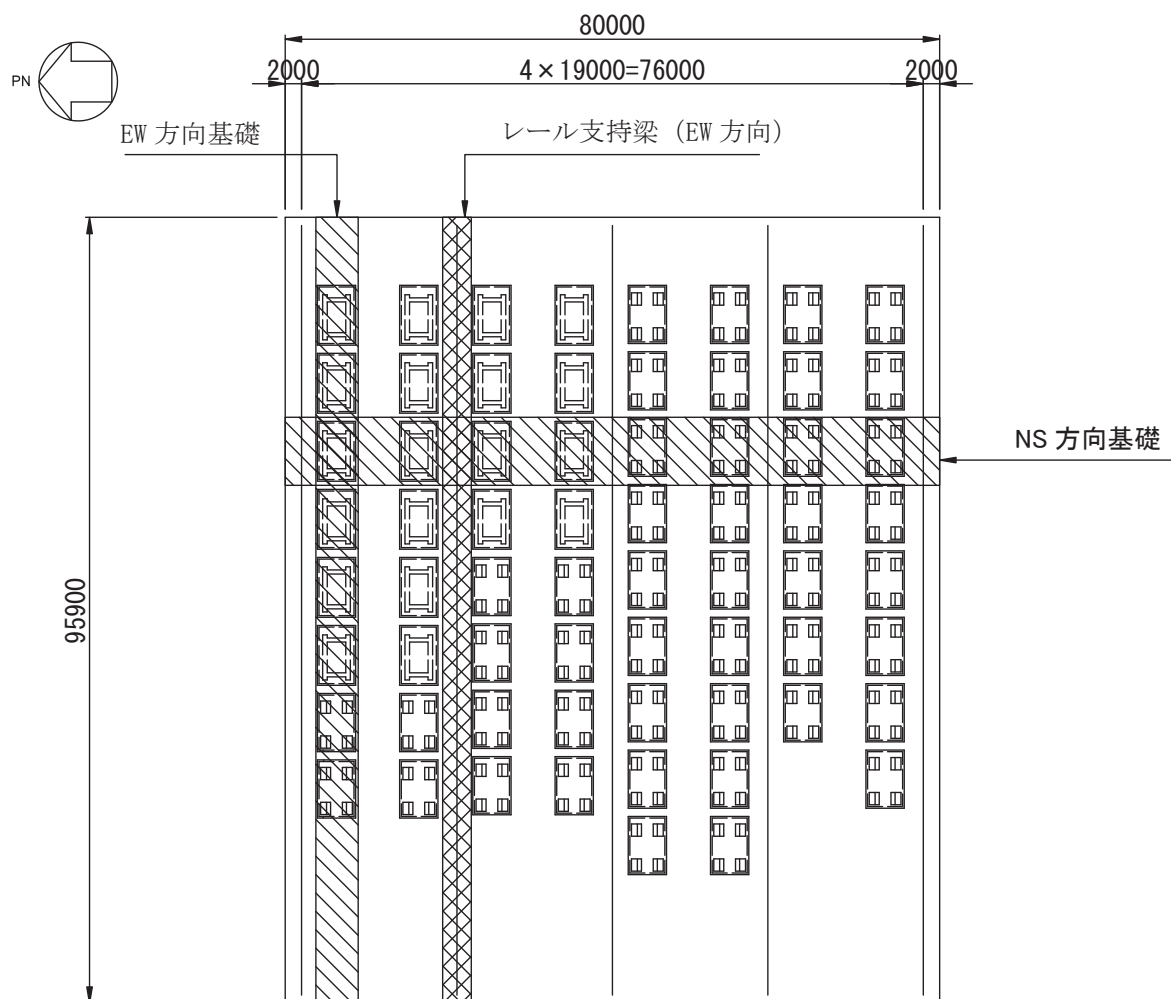


図 2.5-6 検討モデル (単位 : mm)

表 2.5-9 検討タイプの形状とモデル図

| | |
|-----------------------|--|
| <p>レール支持梁 (E-W方向)</p> | |
| <p>N-S方向基礎</p> | |
| <p>E-W方向基礎</p> | |

3) 荷重の組合せ

荷重組合せを表 2.5-10 に示す。

表 2.5-10 基礎の荷重組合せ

| 想定する状態 | 検討タイプ | 組合せ荷重 |
|--------|--------------|----------------------------|
| Ss地震時 | レール支持梁(EW方向) | VL+CL+K(H)+K(V下向き) |
| | NS方向基礎 | VL+CL+CAL+MJL+K(H)+K(V下向き) |
| | EW方向基礎 | VL+CAL+MJL+K(H)+K(V下向き) |

4) クレーン及びキャスク・モジュールの載荷ケース

載荷ケース別のクレーン及びキャスク・モジュールの載荷位置を表 2.5-11~2.5-14 に示す。

表 2.5-11 クレーンの載荷位置 (レール支持梁 (EW 方向))



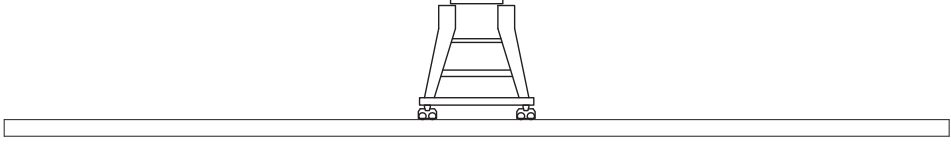


| | |
|-----------|--|
| クレーン 1 |  |
| クレーン 2 |  |
| クレーン 3 |  |
| クレーン 4 |  |
| クレーン 5 |  |

表 2.5-12 クレーンの載荷位置 (NS 方向基礎)


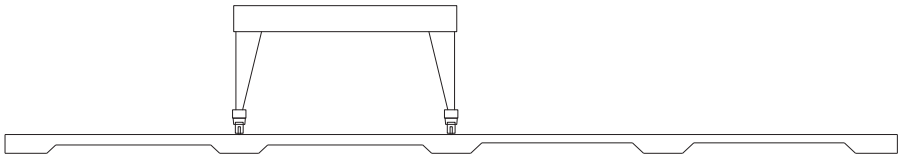
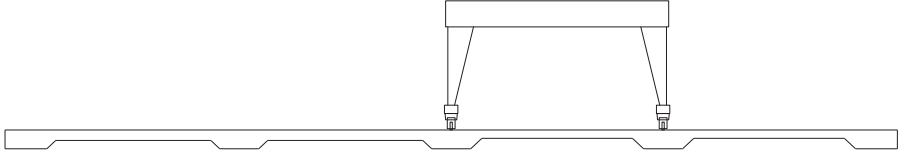

| | |
|-----------|--|
| クレーン 1 |  |
| クレーン 2 |  |
| クレーン 3 |  |
| クレーン 4 |  |

表 2.5-13 キャスク及びモジュールの載荷位置 (NS 方向基礎)

| | |
|---------------------|--|
| <p>キャスク・モジュール 1</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 2</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 3</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 4</p> | |
| <p>キャスク・モジュール 5</p> | |

表 2.5-14 キャスク及びモジュールの載荷位置 (EW 方向基礎)

| | |
|--------------------|--|
| モジュール キャスク 1 | |
| モジュール キャスク 2 | |
| モジュール キャスク 3 | |
| モジュール キャスク 4 | |
| モジュール キャスク 5 | |
| モジュール キャスク 6 | |
| モジュール キャスク 7 | |

5) 載荷ケースの組合せ

クレーン及びキャスク・モジュールの載荷ケースの組合せを表 2.5-15～表 2.5-17 に示す。

表 2.5-15 載荷ケースの組合せ（レール支持梁（EW 方向））

| 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール |
|--------|--------|------------|
| ケース 1 | クレーン 1 | - |
| ケース 2 | クレーン 2 | - |
| ケース 3 | クレーン 3 | - |
| ケース 4 | クレーン 4 | - |
| ケース 5 | クレーン 5 | - |

表 2.5-16 載荷ケースの組合せ（NS 方向基礎）

| 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール | |
|--------|--------|--------------|-----------------------------|
| | | キャスク・モジュール | 乾式貯蔵キャスク |
| ケース 1 | クレーン 1 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| ケース 2 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| ケース 3 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| ケース 4 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| ケース 5 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| ケース 6 | クレーン 2 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| ケース 7 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| ケース 8 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| ケース 9 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| ケース 10 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| ケース 11 | クレーン 3 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| ケース 12 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| ケース 13 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| ケース 14 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| ケース 15 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |
| ケース 16 | クレーン 4 | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 4 基 |
| ケース 17 | | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 4 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| ケース 18 | | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| ケース 19 | | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| ケース 20 | | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスクなし |

表 2.5-17 載荷ケースの組合せ (EW 方向基礎)

| 組合せケース | クレーン | キャスク・モジュール | |
|--------|------|--------------|-----------------------------|
| | | キャスク・モジュール | キャスク・モジュール |
| ケース 1 | - | キャスク・モジュール 1 | 乾式貯蔵キャスク 6 基+輸送貯蔵兼用キャスク 2 基 |
| ケース 2 | - | キャスク・モジュール 2 | 乾式貯蔵キャスク 6 基 |
| ケース 3 | - | キャスク・モジュール 3 | 乾式貯蔵キャスク 5 基 |
| ケース 4 | - | キャスク・モジュール 4 | 乾式貯蔵キャスク 4 基 |
| ケース 5 | - | キャスク・モジュール 5 | 乾式貯蔵キャスク 3 基 |
| ケース 6 | - | キャスク・モジュール 6 | 乾式貯蔵キャスク 2 基 |
| ケース 7 | - | キャスク・モジュール 7 | 乾式貯蔵キャスク 1 基 |

6) 設計断面力

検討タイプ別に、全ての組合せケースの最大値（負の値は最小値）を抽出し、設計断面力とする。

7) 荷重図

代表例として、検討タイプ別に下側鉄筋の決定ケースとなった組合せケースの荷重図を図 2.5-7～図 2.5-9 に示す。



図 2.5-7 荷重図 (レール支持梁 (EW 方向) ケース 2)

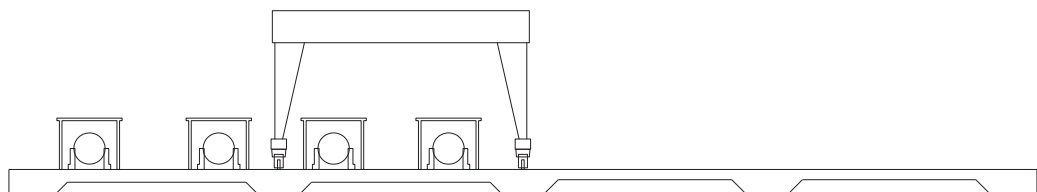


図 2.5-8 荷重図 (NS 方向基礎 ケース 8)

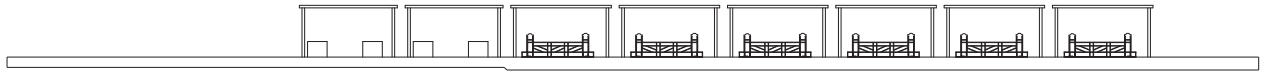


図 2.5-9 荷重図 (EW 方向基礎 ケース 1)

(4) 耐震性の評価

耐震性の評価は次式に示すように検討用断面力が部材の終局耐力を下回ることを確認する。

曲げ耐力の照査

$$\gamma_i \cdot \frac{M_d}{M_{ud}} \leq 1.0$$

ここに、

- γ_i : 構造物係数 $\gamma_i = 1.0$
- M_d : 設計曲げモーメント (kN・m)
- M_{ud} : 設計曲げ耐力 (kN・m)

せん断耐力の照査

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

ここに、

- γ_i : 構造物係数 $\gamma_i = 1.0$
- V_d : 設計せん断力 (kN)
- V_{yd} : 設計せん断耐力 (kN)

断面検討結果を表 2.5-18～表 2.5-20 に示す。

断面検討の結果、検討用断面力が部材の終局耐力以下であることを確認した。

表 2.5-18 断面検討結果（レール支持梁（EW 方向））

| 項目 | | 記号 | 単位 | レール支持梁 | |
|------|-----|----------------|------|--------------------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 3500 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 1800 | |
| 鉄筋 | 1段目 | 位置 | d | (mm) | 525 |
| | | 鉄筋 | | | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 24.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 121.61 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 866 |
| | | 鉄筋 | | | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 6.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 30.40 |
| | 3段目 | 位置 | d | (mm) | 1658 |
| | | 鉄筋 | | | D32 |
| | | 本数 | | (本) | 24.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 190.61 |
| | せん断 | 鉄筋 | | | D22 |
| ピッチ | | | (mm) | — | |
| 鉄筋本数 | | | (本) | 4.000 | |
| 配置間隔 | | S _s | (mm) | 450 | |

| 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | レール支持梁 | |
|-------|--------|---------|----|--------|-------|
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース5 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | -4671 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -282 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 33 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース2 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 9200 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 92 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 546 |
| | せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース3 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 8733 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | 163 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 2701 |

| 引張鉄筋位置 | 項目 | 記号 | 単位 | レール支持梁 | |
|--------|-----|------------------------------------|------------|--------|-------|
| 終局限界 | 上側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | -5306 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.88 |
| | | 判定 | | | OK |
| | 下側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | 11224 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.82 |
| | | 判定 | | | OK |
| | せん断 | せん断耐力 | Vyd | (kN) | 3003 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Vd / Vyd \leq 1.0$ | | | 0.90 |
| | | 判定 | | | OK |

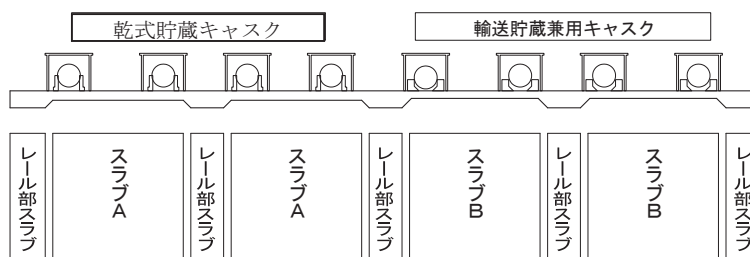


図 2.5-10 NS 方向基礎検討位置図

表 2.5-19 断面検討結果 (NS 方向基礎)

| 項目 | | 記号 | 単位 | レール部スラブ | スラブA | スラブB | |
|----|-----|------|----------------|--------------------|--------|--------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 8300 | 8300 | 8300 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 1650 | 850 | 650 | |
| 鉄筋 | 1段目 | 位置 | d | (mm) | 350 | 350 | 100 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D25 | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 55.00 | 110.00 | 55.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 278.69 | 557.37 | 278.69 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 1540 | 740 | 540 |
| | | 鉄筋 | | | D32 | D25 | D32 |
| | | 本数 | | (本) | 55.00 | 55.00 | 55.00 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 436.81 | 278.69 | 436.81 |
| | せん断 | 鉄筋 | | | D16 | D16 | D16 |
| | | ピッチ | | (mm) | 600 | 600 | 600 |
| | | 鉄筋本数 | | (本) | 13.833 | 13.833 | 13.833 |
| | | 配置間隔 | S _s | (mm) | 900 | 600 | 600 |

| 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | レール部スラブ | スラブA | スラブB | |
|-------|--------|---------|----|---------|-------|-------|-------|
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース14 | ケース3 | ケース11 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | -871 | -5042 | -1929 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -1792 | -1606 | 19 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 386 | 289 | 266 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース14 | ケース8 | ケース17 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 10214 | 5322 | 4166 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -588 | -2062 | -823 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 2498 | 1440 | 1495 |
| | せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース8 | ケース7 | ケース16 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 9692 | 3647 | 3697 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -937 | 498 | 1121 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 2961 | 2274 | 2450 |

| 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | レール部スラブ | スラブA | スラブB | |
|------|-----|------------------------------------|------------|---------|-------|-------|-------|
| 終局限界 | 上側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | -4455 | -6829 | -4524 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.20 | 0.74 | 0.43 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK |
| | 下側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | 21197 | 7384 | 6320 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.48 | 0.72 | 0.66 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK |
| | せん断 | せん断耐力 | Vyd | (kN) | 4407 | 3022 | 2853 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Vd / Vyd \leq 1.0$ | | | 0.67 | 0.75 | 0.86 |
| | | 判定 | | | OK | OK | OK |

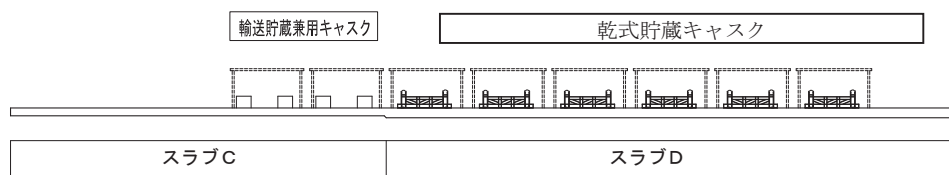


図 2.5-11 EW 方向基礎検討位置図

表 2.5-20 断面検討結果 (EW 方向基礎)

| 項目 | | 記号 | 単位 | スラブC | スラブD | |
|-----|------|----------------|------|--------------------|--------|--------|
| 部材 | 部材幅 | b | (mm) | 5170 | 5170 | |
| | 部材高 | h | (mm) | 800 | 1000 | |
| 鉄筋 | 1段目 | 位置 | d | (mm) | 113 | 113 |
| | | 鉄筋 | | | D13 | D13 |
| | | 本数 | | (本) | 17.000 | 14.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 21.54 | 17.74 |
| | 2段目 | 位置 | d | (mm) | 275 | 525 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D25 |
| | | 本数 | | (本) | 28.000 | 32.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 141.88 | 162.14 |
| | 3段目 | 位置 | d | (mm) | 661 | 866 |
| | | 鉄筋 | | | D25 | D22 |
| | | 本数 | | (本) | 34.000 | 34.000 |
| | | 鉄筋量 | As | (cm ²) | 172.28 | 131.61 |
| せん断 | 鉄筋 | | | D16 | D16 | |
| | ピッチ | | (mm) | 600 | 600 | |
| | 鉄筋本数 | | (本) | 8.617 | 8.617 | |
| | 配置間隔 | S _s | (mm) | 600 | 600 | |

| | 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | スラブC | スラブD |
|-------|--------|---------|----|--------|-------|-------|
| 設計断面力 | 上側 | 決定ケース | | | ケース1 | ケース4 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | -983 | -1133 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -2510 | -3051 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 35 | 34 |
| | 下側 | 決定ケース | | | ケース1 | ケース7 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 1966 | 2695 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -1307 | -317 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 1291 | 203 |
| | せん断力最大 | 決定ケース | | | ケース1 | ケース7 |
| | | 曲げモーメント | Md | (kN・m) | 1966 | 2450 |
| | | 軸力 | Nd | (kN) | -1307 | 122 |
| | | せん断力 | Vd | (kN) | 1291 | 928 |

| | 引張鉄筋 | 項目 | 記号 | 単位 | スラブC | スラブD |
|------|------|------------------------------------|------------|--------|-------|-------|
| 終局限界 | 上側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | -1596 | -1352 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.62 | 0.84 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| | 下側 | 曲げ耐力 | Mud | (kN・m) | 3474 | 5415 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Md / Mud \leq 1.0$ | | | 0.57 | 0.50 |
| | | 判定 | | | OK | OK |
| | せん断 | せん断耐力 | Vyd | (kN) | 1554 | 1939 |
| | | 構造物係数 | γ_i | | 1.00 | 1.00 |
| | | $\gamma_i \cdot Vd / Vyd \leq 1.0$ | | | 0.83 | 0.48 |
| | | 判定 | | | OK | OK |

(5) 改良地盤の耐震性に対する検討

1) 検討方針

検討は「JEAC 4616-2009」に準拠し、基準地震動 S_s により発生する荷重に対して許容限界を満足することを確認する。

改良地盤の許容限界は、改良地盤の設計圧縮強度、せん断抵抗に対する安全率に基づき設定する。

支持地盤の許容限界は、支持地盤の極限支持力に対する安全率に基づき設定する。

2) 検討モデル

改良地盤の範囲は、コンクリート基礎下面から G.L. -3.90m までである。図 2.5-12 に地盤改良平面図、図 2.5-13 に 1-1 断面を示す。

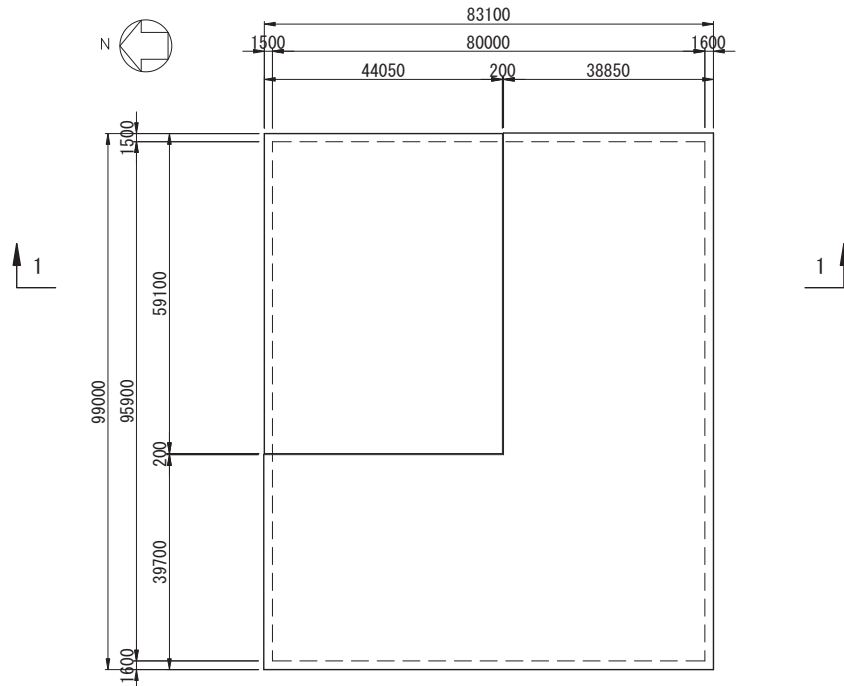


図 2.5-12 地盤改良平面図 (単位 : mm)

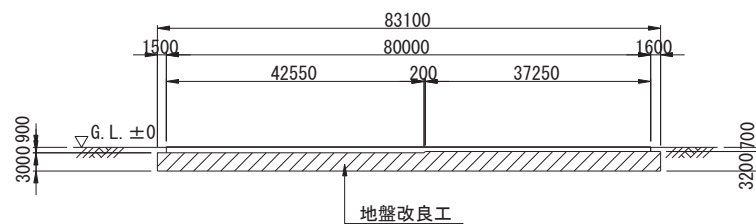


図 2.5-13 1-1 断面 (単位 : mm)

3) 改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討

改良地盤に生じる地盤反力度に対する検討は、改良地盤に発生する最大地盤反力度（梁バネモデルにより算出するバネ反力度）に対して圧縮強度が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{ss f_{sc}}{q_{max}} \geq 1.5$$

ここに、

$ss f_{sc}$: 改良地盤の圧縮強度 (kN/m²)

q_{max} : 最大地盤反力度 (kN/m²)

安全率の検討結果を表 2.5-21 に示す。検討結果より改良地盤の圧縮強度はコンクリート基礎直下の最大地盤反力度の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2.5-21 改良地盤の地盤反力度に対する検討結果
(基礎下面)

| | 最大地盤反力度 | 改良地盤の圧縮強度 | 安全率 | 判定 |
|---------|----------------------|----------------------|-----------------------|----|
| | q_{max} | $ss f_{sc}$ | $ss f_{sc} / q_{max}$ | |
| | (kN/m ²) | (kN/m ²) | | |
| レール支持梁 | 312 | 548 | 1.76 > 1.5 | OK |
| NS方向スラブ | 230 | 548 | 2.38 > 1.5 | OK |
| EW方向スラブ | 115 | 548 | 4.77 > 1.5 | OK |

4) 改良地盤に生じるせん断力に対する検討

改良地盤に生じるせん断力に対する検討は、改良地盤に発生する設計せん断力に対して地盤のせん断抵抗力が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{H_u}{H_d} \geq 1.5$$

$$H_u = f_{ss} \cdot B \cdot L$$

$$f_{ss} = 1/5 \cdot f_{sc}$$

ここに、

- Hu : 改良地盤のせん断抵抗力 (kN)
- Hd : 設計せん断力 (コンクリート基礎底面に作用する水平力) (kN)
- f_{ss} : 改良地盤のせん断強度 (kN/m²)
- f_{sc} : 改良地盤の圧縮強度 (kN/m²) f_{sc} = 548 (kN/m²)
- B : コンクリート基礎幅 B = 80.0 (m)
- L : コンクリート基礎長 L = 95.9 (m)

改良地盤のせん断抵抗力は次式により算定する。

$$f_{ss} = 1/5 \cdot 548 = 109.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$H_u = 109.6 \times 80.0 \times 95.9 = 840851 \text{ (kN)}$$

安全率の検討結果を表 2.5-22 に示す。検討結果より改良地盤のせん断抵抗力はコンクリート基礎直下の設計せん断力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2.5-22 改良地盤のせん断力に対する検討結果

| 設計せん断力 Hd (kN) | 改良地盤のせん断抵抗力 Hu (kN) | 安全率 | 判定 |
|-------------------|------------------------|-------------|----|
| 238043 | 840851 | 3.53 > 1.50 | OK |

5) 支持力の検討

改良地盤直下の支持地盤については、改良体下面に作用する設計鉛直力に対して支持地盤の極限支持力が 1.5 以上の安全率を有していることを確認する。

$$\frac{R_u}{V_d} \geq 1.5$$

$$\begin{aligned} R_u &= q_u \times A_e \\ &= 511.3 \times 7855.8 = 4016671 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

ここに、

- R_u : 支持地盤の極限支持力 (kN)
- Q_u : 極限支持力度 (kN/m²)
- A_e : 基礎地盤の有効載荷面積 (m²)

$$V_d = V_{d1} + V_{d2}$$

ここに、

- V_d : 設計鉛直力 (kN)
- V_{d1} : コンクリート基礎下面に作用する鉛直力 (kN) V_{d1} = 513853 (kN)
- V_{d2} : 改良地盤による鉛直力 (kN) V_{d2} = 619393 (kN)

$$V_d = V_{d1} + V_{d2} = 1133246 \text{ (kN)}$$

安全率の検討結果を表 2.5-23 に示す。検討結果より地盤の極限支持力は設計鉛直力の 1.5 以上の安全率を有していることを確認した。

表 2.5-23 支持力に対する検討結果

| 設計鉛直力 V _d (kN) | 支持地盤の極限支持力 R _u (kN) | 安全率 | 判定 |
|------------------------------|-----------------------------------|------------|----|
| 1133246 | 4016671 | 3.54 > 1.5 | OK |

3 異常時の評価

3.1 異常事象の抽出

3.1.1 想定すべき異常事象の抽出

乾式キャスクの取扱い及び仮保管時の作業の際に想定される異常事象の発生原因として、図 3.1-1 に示すように機器の破損、誤操作等の内部事象に起因するもの及び地震、火災等の外部事象に起因するものに分け、以下に示すような設計／運用による対応等を考慮して、選定された異常事象の選定結果の妥当性を確認し、安全評価において想定すべき異常事象として抽出する。

- ① 設計／運用による対応の有効性
- ② 事象の結果の大きさ（影響度）
- ③ 原子炉施設の安全評価事象との包絡性

3.1.2 評価条件の設定

乾式キャスクの取扱い時及び仮保管時の各作業における、以下の諸条件を考慮して、抽出された異常事象の評価条件を設定する。

- ① 乾式キャスクの取扱いに係る機器の仕様、状態
- ② 乾式キャスクを取扱う際の位置
- ③ 移送用機器の仕様、状態
- ④ 仮保管に係る設備の仕様、状態

3.1.3 安全評価基準

乾式キャスクの輸送、保管等の取扱いは構内にて行われることからキャスク仮保管設備の安全評価における各安全機能の評価基準は、専門部会報告書「原子力発電所内の使用済燃料の乾式キャスク貯蔵について（平成4年8月27日原子力安全委員会了承、平成18年9月19日一部改訂）」に基づき、以下のとおりとする。

(1) 除熱

想定される異常事象に対して、乾式キャスク各部の温度の異常な上昇を防止できること。

具体的評価にあたっては、乾式キャスクの温度解析を行い、各部の温度が密封、遮へい及び臨界防止のために設定する温度制限を上回らず、各安全機能を確保するために支障のない温度であることを確認する。

(2) 密封

想定される異常事象に対して、必要とされる漏えい率が維持できること等乾式キャスクの密封機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体及び一次蓋が破損しないこと、一次蓋締め付けボルト及び密封シール面に塑性変形が生じないこと並びに金属ガスケット

等のシール部温度が密封健全性を維持できる温度を上回らないことを確認する。

(3) 遮へい

想定される異常事象に対して、遮へい機能を維持できること。

具体的評価にあたっては、荷重、温度上昇等が遮へい材に及ぼす影響を考慮した上で乾式キャスクの線量率を評価し、乾式キャスク表面より 1m の点において 10mSv/h 以下であることを確認する。

(4) 臨界防止

想定される異常事象に対して、乾式キャスクに収納される使用済燃料が臨界に達しないこと。

具体的評価にあたっては、乾式キャスク本体、バスケット、使用済燃料等に及ぼされる形状変形等の影響を考慮した上で実効増倍率を評価し、計算誤差等を考慮しても、実効増倍率が 0.95 を上回らないことを確認する。

3.1.4 異常事象の抽出

図 3.1-2 及び図 3.1-3 に示すハンドリングフローに基づき、乾式キャスクの取扱い及び仮保管時までの各作業において想定される起因事象に着目し、発生防止対策を考慮して異常事象の発生の可能性を検討し、想定すべき異常事象を抽出した。異常事象の抽出結果を表 3.1-1 に示す。なお、共用プールの燃料取扱設備は震災前と同等に復旧する予定であり、共用プールからキャスク仮保管設備に乾式貯蔵キャスクを搬入する手順等は通常の発電所内と同等である為、乾式貯蔵キャスクの異常事象はキャスク仮保管設備での取扱いを対象にしているが、輸送貯蔵兼用キャスクは福島第一発電所構内で取扱った実績がないことから念のため、異常事象は共用プールでの取扱い、構内輸送、キャスク仮保管設備での取扱いを対象にしている。

抽出した異常事象は以下のとおりである。

- ・ 乾式貯蔵キャスクを支持架台が装着された状態で吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因で、支持架台が基礎コンクリートに異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを搬送台車架台に吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを輸送架台に吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが輸送架台に異常着床する。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクを支持架台に吊り下げる際に、クレーンの誤操作が原因となって、輸送貯蔵兼用キャスクが支持架台に異常着床する。

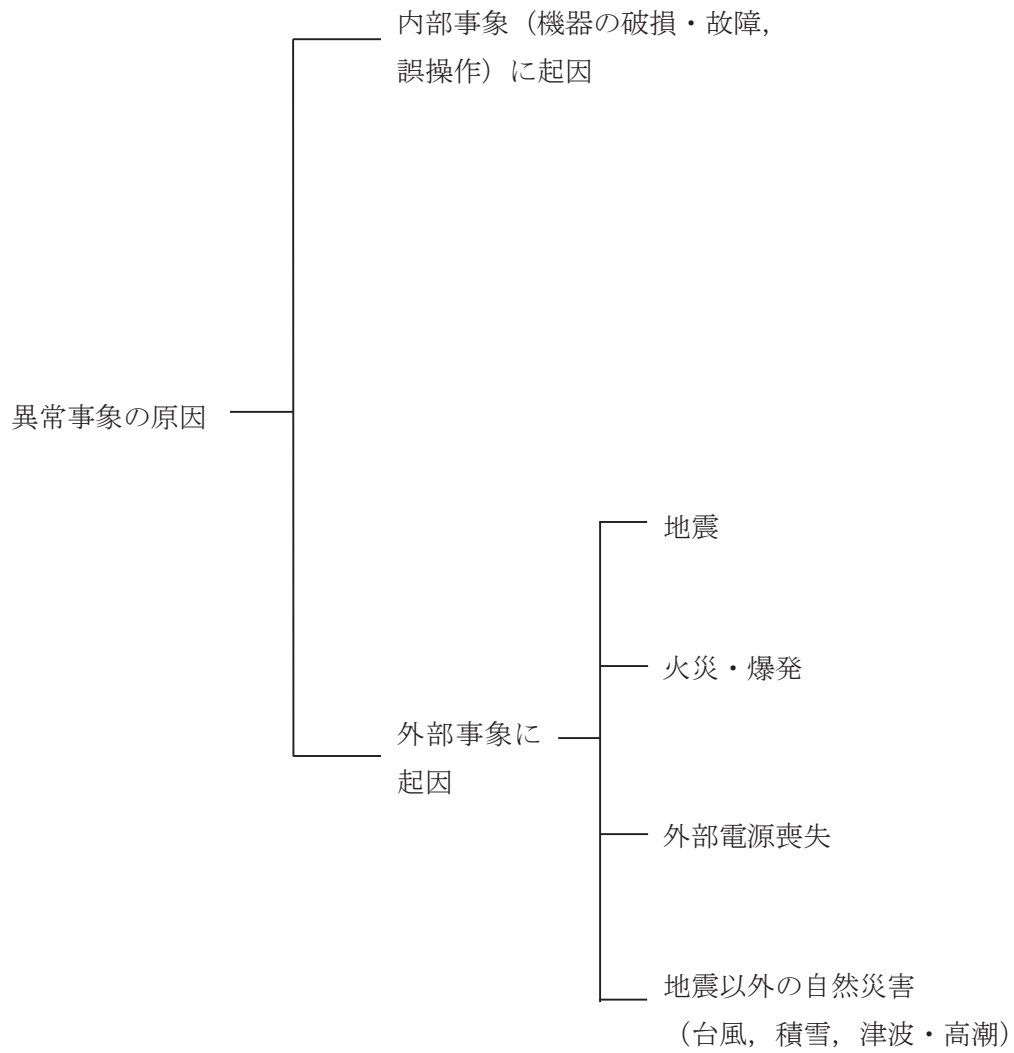


図 3.1-1 異常事象の発生原因

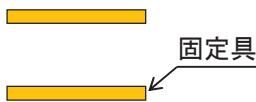
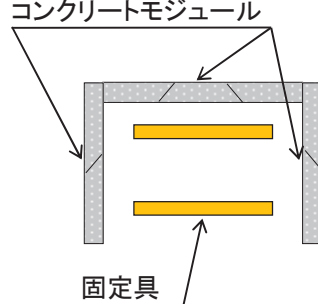
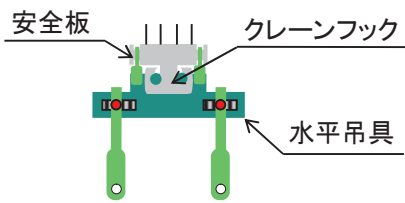
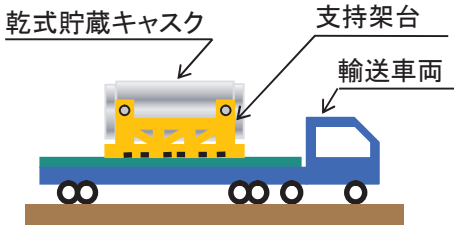
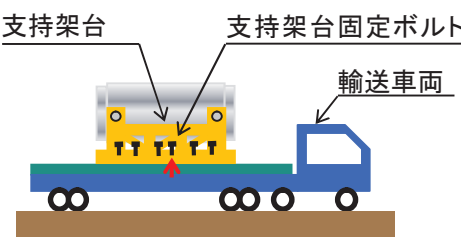
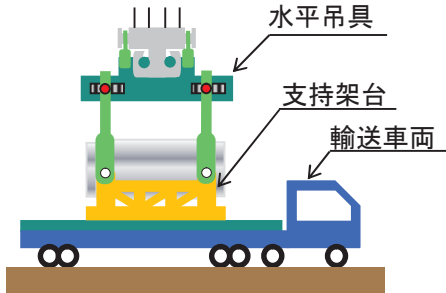
| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|-----|--|-----|--|
| 1-1 | <p>乾式貯蔵キャスクの支持架台を設置するための固定具を取り付ける。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> | 1-2 | <p>長手側の1面を開けて、コンクリートモジュールの3面を立てる。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> |
| 1-3 | <p>水平吊具をクレーンフックに取り付ける。</p>  | 1-4 | <p>輸送車両で乾式貯蔵キャスクを搬入させる。</p>  |
| 1-5 | <p>支持架台の固定ボルトを取り外す。</p>  | 1-6 | <p>輸送車両上の支持架台に、クレーンの水平吊具を取り付ける。</p>  |

図 3. 1-2 乾式貯蔵キャスクのハンドリングフロー (1/4)

| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|------|------------------------------------|------|------------------------------|
| 1-7 | 支持架台ごと乾式貯蔵キャスクをクレーンで吊上げた後、水平に移動する。 | 1-8 | 乾式貯蔵キャスクを保管場所までクレーンで移動する。 |
| | | | |
| 1-9 | 乾式貯蔵キャスクを固定具の上まで移動する。 | 1-10 | クレーンを下降させて、乾式貯蔵キャスクを固定具に載せる。 |
| | | | |
| 1-11 | 乾式貯蔵キャスクから水平吊具を取り外し、クレーンを上昇させる。 | 1-12 | 支持架台を、固定ボルトで固定具に固定する。 |
| | | | |

図 3. 1-2 乾式貯蔵キャスクのハンドリングフロー (2/4)

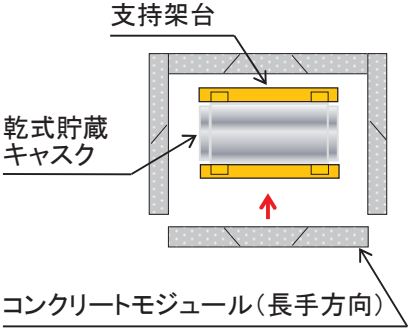
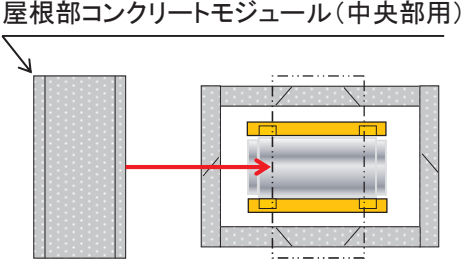
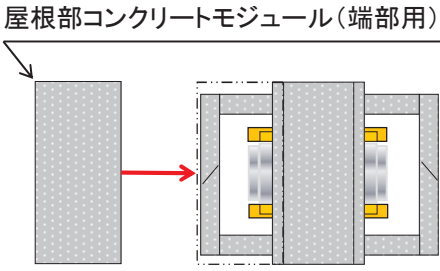
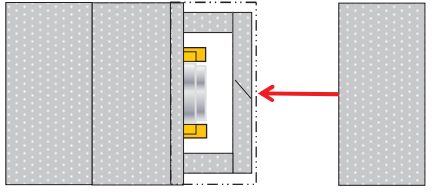
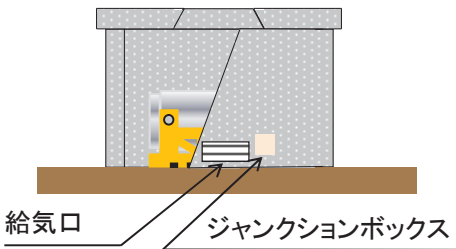
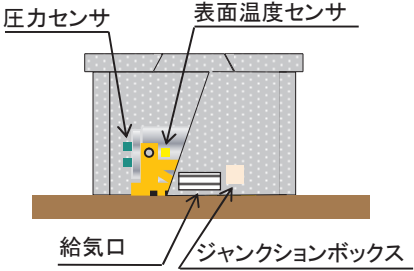
| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|------|--|------|--|
| 1-13 | <p>コンクリートモジュールの長手方向の残り 1 面を立てて、先に組み立てたコンクリートモジュールに固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> | 1-14 | <p>中央部用の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、組み立てたコンクリートモジュールの短手側から載せる。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> |
| 1-15 | <p>端部の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、短手側から載せて固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> | 1-16 | <p>もう一方の端部の屋根のコンクリートモジュールをクレーンで吊って、短手側から載せて固定する。</p>  <p>(図は平面図を示す)</p> |
| 1-17 | <p>コンクリートモジュールの長手方向の 1 面に、ジャンクションボックスを取り付ける。</p>  <p>給気口 ジャンクションボックス</p> | 1-18 | <p>乾式貯蔵キャスクに監視用センサ（圧力用 2 個、表面温度用 1 個）を取り付ける。</p>  <p>圧力センサ 表面温度センサ 給気口 ジャンクションボックス</p> |

図 3.1-2 乾式貯蔵キャスクのハンドリングフロー (3/4)

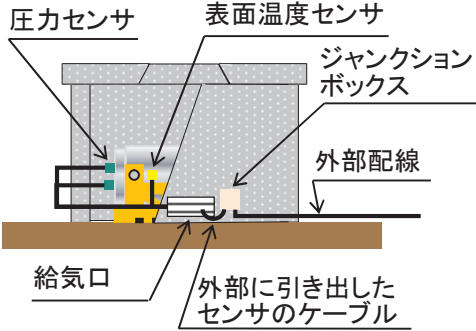
| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|------|--|-----|---------|
| 1-19 | <p>監視用センサのケーブルを、給排気口からコンクリートモジュールの外に出し、ジャンクションボックス内で外部配線と接続する。</p>  | | |
| | | | |
| | | | |

図 3.1-2 乾式貯蔵キャスクのハンドリングフロー (4/4)

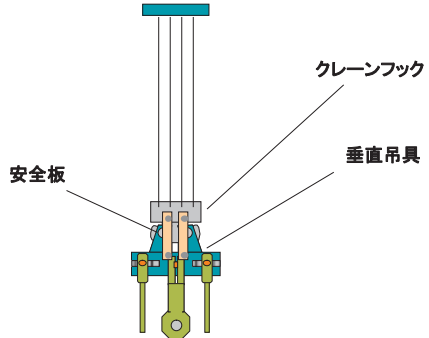
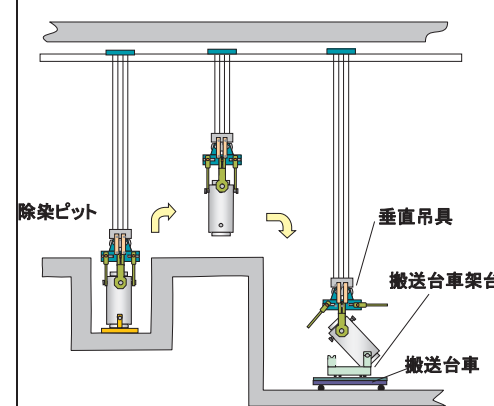
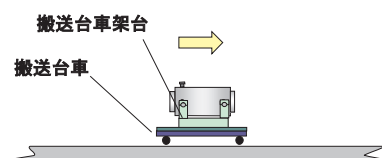
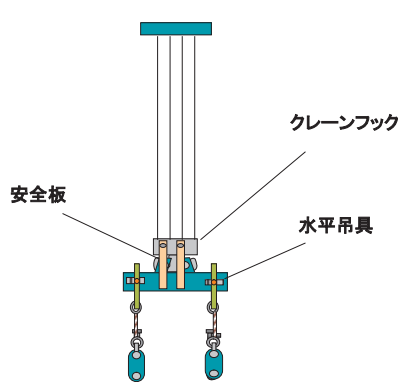
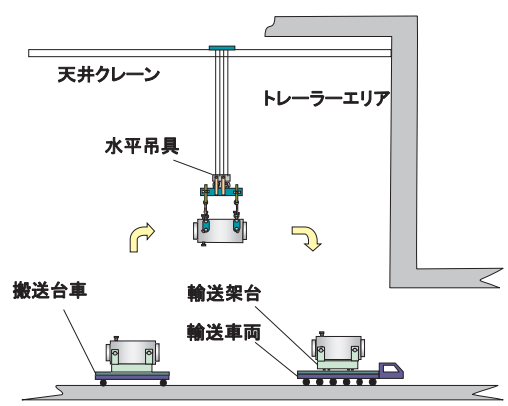
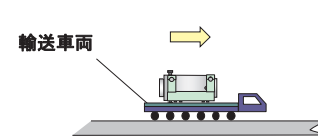
| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|-----|---|-----|---|
| 2-1 | 垂直吊具をクレーンフックに取り付ける。  | 2-2 | 輸送貯蔵兼用キャスクを共用プール除染ピットから垂直吊具で吊上げ、搬送台車上の架台に積載する。  |
| 2-3 | 搬送台車でトレーラーエリアに移動させる。  | 2-4 | 水平吊具をクレーンフックに取り付ける。  |
| 2-5 | トレーラーエリアで搬送台車から輸送貯蔵兼用キャスクを水平吊具で吊上げ、輸送車両上の輸送架台に積載する。  | 2-6 | 輸送車両でキャスク仮保管設備へ構内輸送する。  |

図 3.1-3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (1/3)

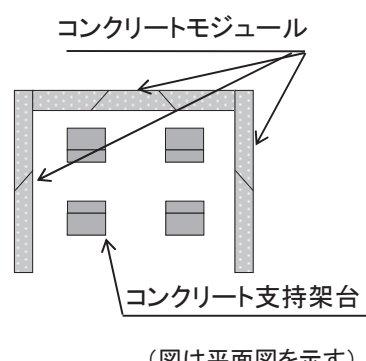
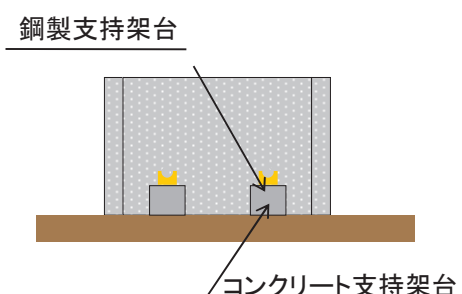
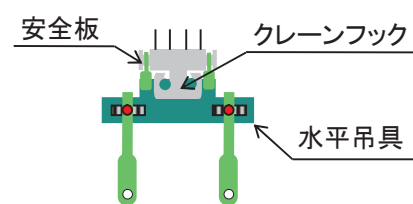
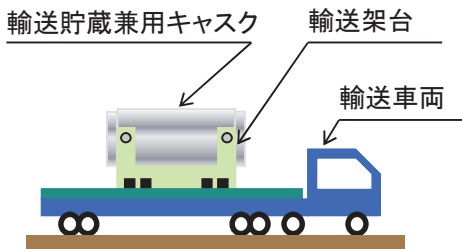
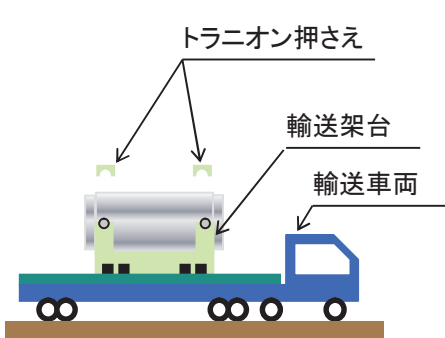
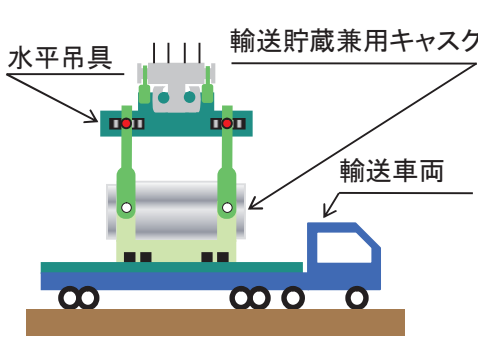
| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|------|---|------|--|
| 2-7 | <p>コンクリート支持架台を設置し、コンクリートモジュールの3面を立てる。 (事前に実施する)</p>  | 2-8 | <p>鋼製支持架台をコンクリート支持架台に取り付ける。 (事前に実施する)</p>  |
| 2-9 | <p>水平吊具をクレーンフックに取り付ける。</p>  | 2-10 | <p>輸送車両で輸送貯蔵兼用キャスクを搬入させる。</p>  |
| 2-11 | <p>輸送架台の上部と下部のトラニオン押さえを取り外す。</p>  | 2-12 | <p>輸送車両上の輸送貯蔵兼用キャスクに水平吊具を取り付ける。</p>  |

図 3.1-3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (2/3)

| No. | 取り扱いモード | No. | 取り扱いモード |
|------|---|------|--|
| 2-13 | <p>トラニオンが輸送架台をかわすまで輸送貯蔵兼用キャスクをクレーンで吊上げた後、水平に移動する。</p> | 2-14 | <p>輸送貯蔵兼用キャスクを保管場所までクレーンで移動する。</p> |
| 2-15 | <p>輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台の上まで移動する。</p> | 2-16 | <p>クレーンを下降させて、輸送貯蔵兼用キャスクを鋼製支持架台に載せる。</p> |
| 2-17 | <p>輸送貯蔵兼用キャスクから水平吊具を取り外し、クレーンを上昇させる。</p> | 2-18 | <p>トラニオンをトラニオン押さえで支持架台に固定する。</p> <p>(以降、乾式貯蔵キャスクの 1-13～1-19 と同じ手順)</p> |

図 3.1-3 輸送貯蔵兼用キャスクのハンドリングフロー (3/3)

表 3.1-1 異常事象の抽出 (1/3)

| 起因事象 (ハンドリングフローNo.) | | 原因 | 異常事象発生の可能性 | 発生の 要否 | 想定シナリオ | 抽出の 要否 |
|--|---|--|--|-----------|---|-----------|
| 乾式キャスクの落下 (1-4~1-10) (2-2~2-16) | 輸送車両取扱い時の 落下 | 固定ボルトの取付け不 良 | 乾式キャスクは、輸送車両に複数の固定ボルトで固縛されていることを確認する。また、乾式キャスクは輸送車両で徐行して輸送すること、輸送経路は輸送に関係する人、車両以外の立入を制限することから落下しない。 | × | | × |
| | 搬送台車取扱い時の 落下 | 固定ボルトの取付け不 良 | 輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車に複数のボルトで固縛されていることを確認する。また、搬送台車はレール上を走行し、走行範囲インターロック及び障害物検知装置を有していることから他の構築物等に衝突はしないため、落下しない。 | × | | × |
| | クレーン取扱い時の 落下 | 吊具の取り付け不良 | 吊具の二重化、始業前の吊具点検、取付け後の外れ止めを施すため、乾式キャスクは落下しない。 | × | | × |
| ワイヤーロープの切断 | | ワイヤーロープの二重化、始業前のワイヤーロープ点検を行うため、乾式キャスクは落下しない。 | × | | | |
| 乾式キャスクの衝突 (1-7~1-10) (2-2, 2-5, 2-13~ 2-16) | クレーンでの移動時 (走行, 横行) の衝突 (1-7~1-9) (2-2, 2-5, 2-13~ 2-15) | ブレーキの故障 | 移動前に移動経路に障害物がないことを確認し、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行い、走行の両輪及び横行それぞれにインバータによる停止機能に加えてブレーキによる停止機能により二重化しているため、乾式キャスクは他の構築物等へ衝突しない。 | × | | × |
| | | 操作員の誤操作 | クレーンの横行範囲に制限機構を設ける。また、移動前に移動経路に障害物がないことの確認、乾式キャスクと移動経路の芯あわせを行うため、乾式キャスクは他の構築物等へ衝突しない。 | × | | × |
| | クレーンでの吊下げ 時の衝突 (異常着床) (1-10) (2-2, 2-5, 2-16) | ブレーキの故障 | 巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、乾式貯蔵キャスクは架台基礎コンクリートへ衝突 (異常着床) しない。 | × | | × |
| | | | 巻き上げ装置ブレーキを二重化しているため、輸送貯蔵兼用キャスクは搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に衝突 (異常着床) しない。 | × | | × |
| | | 操作員の誤操作 | 吊下げ時の誤操作により、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは吊下げ速度で架台基礎コンクリートに異常着床する可能性がある。 | ○ | クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、支持架台を装着した状態で乾式貯蔵キャスクは、架台基礎コンクリート上に異常着床する場合は異常事象として抽出する。 | ○ |
| | | | 吊下げ時の誤操作により、輸送貯蔵兼用キャスクは吊下げ速度で搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する可能性がある。 | ○ | クレーンの最大吊下げ速度 1.5m/min で、輸送貯蔵兼用キャスクは、搬送台車架台、輸送架台及び支持架台に異常着床する場合は異常事象として抽出する。 | ○ |

表 3.1-1 異常事象の抽出 (2/3)

| 起回事象 (ハンドリングフローNo.) | | 原因 | 異常事象発生の可能性 | 発生の 要否 | 想定シナリオ | 抽出の 要否 |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|---|-----------|---|-----------|
| 乾式キャスクへの重量物の落下 (1-13~1-16) | コンクリートモジュール側壁部の転倒 (1-13) | 固定具取り付け不良 | コンクリートモジュールはコの字形に接合されているために自立すること、複数個の固定具で基礎に固定されていることから、1個の固定具が取り付け不良であっても、コンクリートモジュールは転倒しない。 | × | | × |
| | コンクリートモジュール(長手方向)の落下 (1-14~1-16) | 吊具取り付け不良 | 始業前に吊具の点検を行い、吊具は外れ止め防止金具を取り付けるため、コンクリートモジュール(長手方向)は落下しない。 | × | | × |
| | | ワイヤーロープの切断 | 始業前にワイヤーロープの点検を行い、ワイヤーロープは二重化しているため、コンクリートモジュールは落下しない。 | × | | × |
| | | 操作員の誤操作 | コンクリートモジュール(長手方向)の移動前に、コンクリートモジュール(長手方向)と移動経路の芯あわせを行い、荷振れ対策としてガイドロープを使用するため、コンクリートモジュール(長手方向)は乾式キャスクへ落下しない。 | × | | × |
| | 屋根部コンクリートモジュールの落下 | 吊具取り付け不良 | 始業前に吊具の点検を行い、吊具は外れ止め防止金具を取り付けるため、天板コンクリートモジュールは落下しない。 天板コンクリートモジュールは矩形に組んだ側板コンクリートモジュールに比べて迫出した形状であり、天板コンクリートモジュールの移動前に側板コンクリートモジュールとの接合位置があうように芯あわせするため、仮に天板コンクリートモジュールが落下したとしてもキャスク上には落下しない。 | × | | × |
| | | ワイヤーロープの切断 | 始業前にワイヤーロープの点検を行い、ワイヤーロープは二重化しているため、天板コンクリートモジュールは落下しない。 | × | | × |
| | | 操作員の誤操作 | 天板コンクリートモジュールは矩形に組んだ側板コンクリートモジュールに比べて迫出した形状であり、天板コンクリートモジュールの移動前に、側板コンクリートモジュールとの接合位置があうように芯あわせを行い、荷振れ対策としてガイドロープを使用するため、天板コンクリートモジュールは乾式キャスクへ落下しない。 | × | | × |
| | コンクリートモジュール給排気口の閉塞 | 異物の付着 | 異物の飛来により給気口の閉塞が想定される。 | ○ | 給気口の閉塞により、除熱機能への影響が懸念されるものの、日常の巡視点検により閉塞の有無を確認できる。また、乾式キャスク表面温度は免震重要棟で連続監視し、所定の設定温度で警報を発報するため事前に異常を検知できる。なお、温度センサーの断線により、データが採取されない場合にも警報を発報する。 | × |
| 積雪 | | 積雪による閉塞がないような設計対応及び日常の巡視等の運用対応により、給排気口が閉塞することはない。 | × | | × | |

表 3.1-1 異常事象の抽出 (3/3)

| 起因事象 (ハンドリングフローNo.) | | 原因 | 異常事象発生の可能性 | 発生の 要否 | 想定シナリオ | 抽出の 要否 |
|------------------------|-------|----|--|-----------|--------|-----------|
| 地震 | | | 乾式キャスク、コンクリートモジュールは、地震時にも基本的安全機能を維持できるよう設計する。 | × | | × |
| 火災・爆発 | | | 動力機関として内燃機関を使用するものではなく、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し、持ち込み物品の制限等の運用対応をするため、火災の発生する可能性は非常に低い。 | × | | × |
| 外部電源喪失 | | | クレーンのフェイルセーフ設計により、乾式キャスクの落下防止、衝突防止が施されている。 | × | | × |
| 経年変化 | | | 乾式貯蔵キャスクは設計貯蔵期間 40 年で、輸送貯蔵兼用キャスクは設計貯蔵期間 50 年で設計されており、それより短い期間で使用するため、経年変化を考慮する必要はない。 | × | | × |
| 地震以外の自然災害 | 台風 | | コンクリートモジュールの風荷重に対する設計は、「建築基準法」に定める設計基準に従う。 | × | | × |
| | 積雪、凍結 | | 敷地周辺の過去の記録に基づいて敷地で考えられる最も過酷な場合を想定した設計を行う。 | × | | × |
| | 津波、高潮 | | 敷地の標高 (T.P. 約 38m)、海岸からの距離等から判断して、敷地が被害を受けることは考えられない。 | × | | × |

3.2 異常事象の評価

(1) 乾式貯蔵キャスクの異常事象の評価

1) 評価方針

支持架台が装着された乾式貯蔵キャスクが水平姿勢でクレーンの最大吊下げ速度（1.5m/min）のまま基礎コンクリートに衝突した場合に、乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度を算出する。概念図を図 3.2-1 に示す。

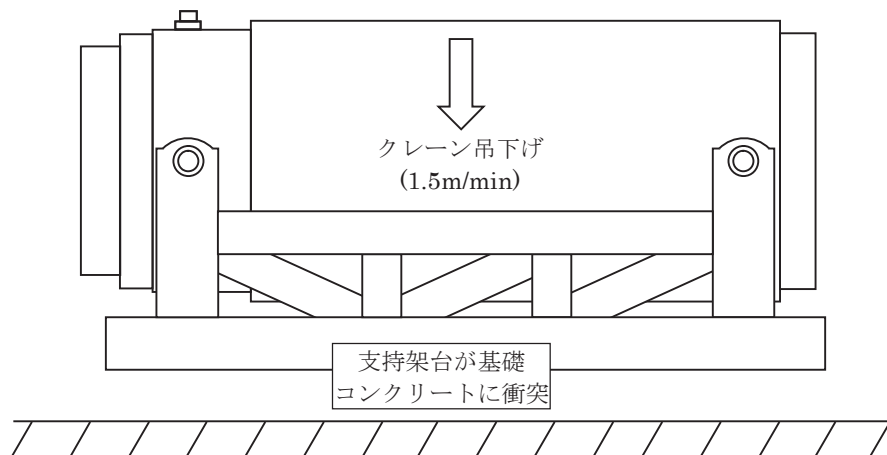


図 3.2-1 異常着床概念図

2) 評価条件及び方法

乾式貯蔵キャスクが支持架台に衝突する際に生じる衝撃加速度の計算条件は以下のとおりである。

- ・ 支持架台の弾性により乾式貯蔵キャスクの運動エネルギーを吸収する。
- ・ 乾式貯蔵キャスク本体（トラニオン除く）を剛とする。
- ・ 基礎コンクリート床面を剛とする。
- ・ 支持架台の自重は無視する。

a. 衝撃加速度の算出式

エネルギー保存則により乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度を算出する。

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \delta = \frac{1}{2}K \cdot \delta^2$$

ここで、

- m : 乾式貯蔵キャスクの質量 (kg)
- v : クレーンの巻下定格速度 = 1.5 (m/min) = 0.025 (m/s)
- g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)

δ : 支持架台の最大変形量 (m)

K : 支持架台のばね定数 (N/m)

上式を変形すると

$$\delta = \frac{m \cdot g}{K} + \sqrt{\frac{m^2 \cdot g^2}{K^2} + \frac{m \cdot v^2}{K}} \quad (\delta \geq 0)$$

また、乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度は次式で算出する。

$$\alpha = \frac{F}{m}$$

$$F = K \cdot \delta$$

ここで、

α : 乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度 (m/s²)

F : 乾式貯蔵キャスクに作用する衝撃力 (N)

以上より、乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度は次式のとおりとなる。

$$\alpha = g + \sqrt{g^2 + \frac{K \cdot v^2}{m}}$$

b. 支持架台のばね定数

支持架台のばね定数は、固有周期解析における鉛直方向の変形モードの固有振動数から計算した。

固有振動数（1質点の1次元自由振動）は、次式で求められる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

ここで、

f : 固有振動数 (Hz)

固有振動数は「2.1 乾式キャスクの耐震性 (1) 乾式貯蔵キャスク
3) 固有周期の算定」と同手法で算定した

M : 乾式貯蔵キャスク及び支持架台の合計質量 (kg)

中型乾式貯蔵キャスク : キャスク (96t) + 支持架台 (16t)

大型乾式貯蔵キャスク : キャスク (115t) + 支持架台 (15t)

上式を変形すると支持架台のばね定数は、

$$K = 4M \cdot \pi^2 \cdot f^2$$

となる。

3) 評価結果

乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度を表 3.2-1 に示す。乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度は運搬時の評価加速度(3G)より小さい値となり、運搬時の評価結果に包絡され、乾式貯蔵キャスクの安全機能は維持される。

表 3.2-1 乾式貯蔵キャスクに生じる衝撃加速度

| キャスク タイプ | 固有 振動数 f (Hz) | 支持架台の ばね定数 K (N/m) | 衝撃加速度 α | |
|------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|------|
| | | | (m/s ²) | (G) |
| 乾式貯蔵キャスク (中型) | 81.7 | 2.96×10^{10} | 26.9 | 2.75 |
| 乾式貯蔵キャスク (大型) | 74.2 | 2.83×10^{10} | 25.7 | 2.63 |

(2) 輸送貯蔵兼用キャスクの異常事象の評価

1) 評価方針

輸送貯蔵兼用キャスクがクレーンの最大吊下げ速度 (1.5m/min) のまま搬送台車架台、輸送架台及び、支持架台に衝突した場合に、輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を算出する。概念図を図 3.2-2~4 に示す。なお、輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

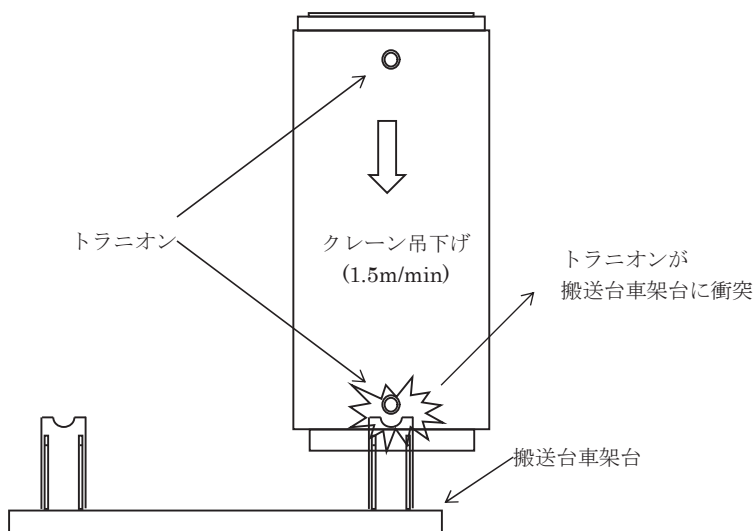


図 3.2-2 異常着床概念図 (搬送台車架台への衝突)

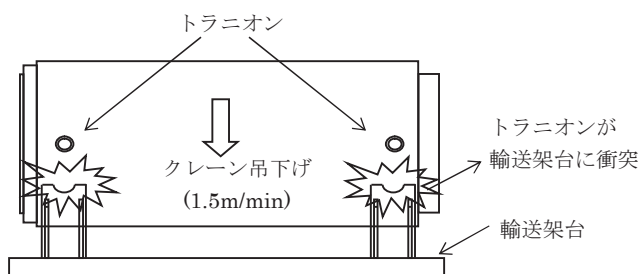


図 3.2-3 異常着床概念図 (輸送架台への衝突)

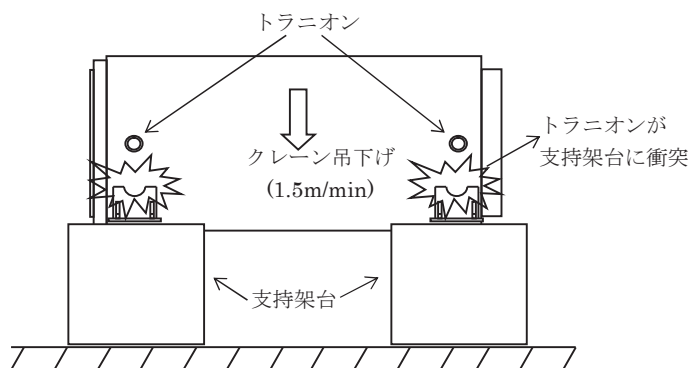


図 3.2-4 異常着床概念図 (支持架台への衝突)

2) 輸送貯蔵兼用キャスクの評価条件および方法

輸送貯蔵兼用キャスクが搬送台車架台，輸送架台，支持架台に衝突する際に生じる衝撃加速度の計算条件は以下のとおりである。

- ・搬送台車架台，輸送架台，支持架台の弾性により輸送貯蔵兼用キャスクの運動エネルギーを吸収する。
- ・輸送貯蔵兼用キャスク本体（トラニオン含む）を剛とする。
- ・搬送台車架台，輸送架台，支持架台の自重は無視する。

a. 衝撃加速度の算出式

エネルギー保存則によりキャスクに生じる衝撃加速度を算出する。

$$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot \delta = \frac{1}{2}K \cdot \delta^2$$

ここで，

- m : 輸送貯蔵兼用キャスク質量
輸送貯蔵兼用キャスク B : 1.186×10^5 (kg)
- v : クレーン巻下定格速度 = 1.5 (m/min) = 0.025 (m/s)
- g : 重力加速度 = 9.80665 (m/s²)
- δ : 架台の最大変形量 (m)
- K : 架台のばね定数 (N/m)

上式を変形すると

$$\delta = \frac{m \cdot g}{K} + \sqrt{\frac{m^2 \cdot g^2}{K^2} + \frac{m \cdot v^2}{K}} \quad (\delta \geq 0)$$

また，輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式で算出する。

$$\alpha = \frac{F}{m}$$

$$F = K \cdot \delta$$

ここで，

- α : 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度 (m/s²)
- F : 輸送貯蔵兼用キャスクに作用する衝撃力 (N)

以上より，輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度は次式のとおりとなる。

$$\alpha = g + \sqrt{g^2 + \frac{K \cdot v^2}{m}}$$

b. 架台のばね定数

架台のばね定数は、搬送台車架台、輸送架台、支持架台の鉛直方向の弾性から算出した。

- ・搬送台車架台のばね定数 : 1.36×10^{10} (N/m) (2脚分)
- ・輸送架台のばね定数
 輸送貯蔵兼用キャスク B 用 : 4.0×10^{10} (N/m) (4脚分) *1
- ・支持架台のばね定数
 輸送貯蔵兼用キャスク B 用 : 4.56×10^{10} (N/m) (4脚分)

*1：輸送貯蔵兼用キャスク B 用の輸送架台は設計中のため計画値

3) 評価結果

輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度を表 3.2-2 に示す。表 3.2-2 より設計事象Ⅱの衝撃加速度は、「1.1 乾式キャスクの構造強度」における構造強度評価で用いている衝撃加速度、横姿勢：3G、縦姿勢（キャスク、バスケット）：5G、縦姿勢（トラニオン）：2.5G に包絡されており、輸送貯蔵兼用キャスクの安全機能は維持されることを確認している。

表 3.2-2 輸送貯蔵兼用キャスクに生じる衝撃加速度

| 異常事象 | キャスクタイプ | 支持架台の ばね定数 K (N/m) | 衝撃加速度 α | |
|---------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|------|
| | | | (m/s ²) | (G) |
| 搬送台車架台への衝突 (縦姿勢) | 輸送貯蔵兼用キャスク B | 1.36×10^{10} | 22.8 | 2.33 |
| 輸送架台への衝突 (横姿勢) | | 4.0×10^{10} | 27.4 | 2.80 |
| 支持架台への衝突 (横姿勢) | | 4.56×10^{10} | 28.2 | 2.88 |

安全評価について

1 除熱機能

1.1 乾式キャスクの除熱機能

(1) 乾式貯蔵キャスクの除熱機能

1) 基本的な考え方

除熱設計に当たっては、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるよう、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できるように以下のとおり設計する。

- ① 乾式貯蔵キャスク内部には、格子構造のバスケットを設け、その中に使用済燃料を収納する。
- ② 乾式貯蔵キャスク内部には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充てんする。
- ③ 熱伝導率の低い中性子遮へい材内部には、伝熱プレートを設け、熱伝導性を向上させる。

乾式貯蔵キャスクには収納する使用済燃料の体数が異なる中型と大型の2種類の乾式貯蔵キャスクがあり、中型と大型それぞれについて評価する。

図1.1-1に除熱評価のフローを示す。乾式貯蔵キャスクは、図1.1-1の「使用済燃料の崩壊熱計算」から「乾式貯蔵キャスクの除熱計算」に関して、使用済燃料仕様、乾式貯蔵キャスク仕様及び解析モデル等は全て添付資料-2「評価の基本方針」で記載している既存評価書の内容から変更はない。また、乾式貯蔵キャスク周囲の温度についてもコンクリートモジュール内部の空気温度を45℃以下で設計する為、既存評価書と同じ条件である。

よって、本評価結果は既存評価書の内容を引用するが、燃料被覆管の設計基準温度に関しては、新知見を反映し、水素再配向等による強度低下が発生しない温度とした(表1.1-1)。

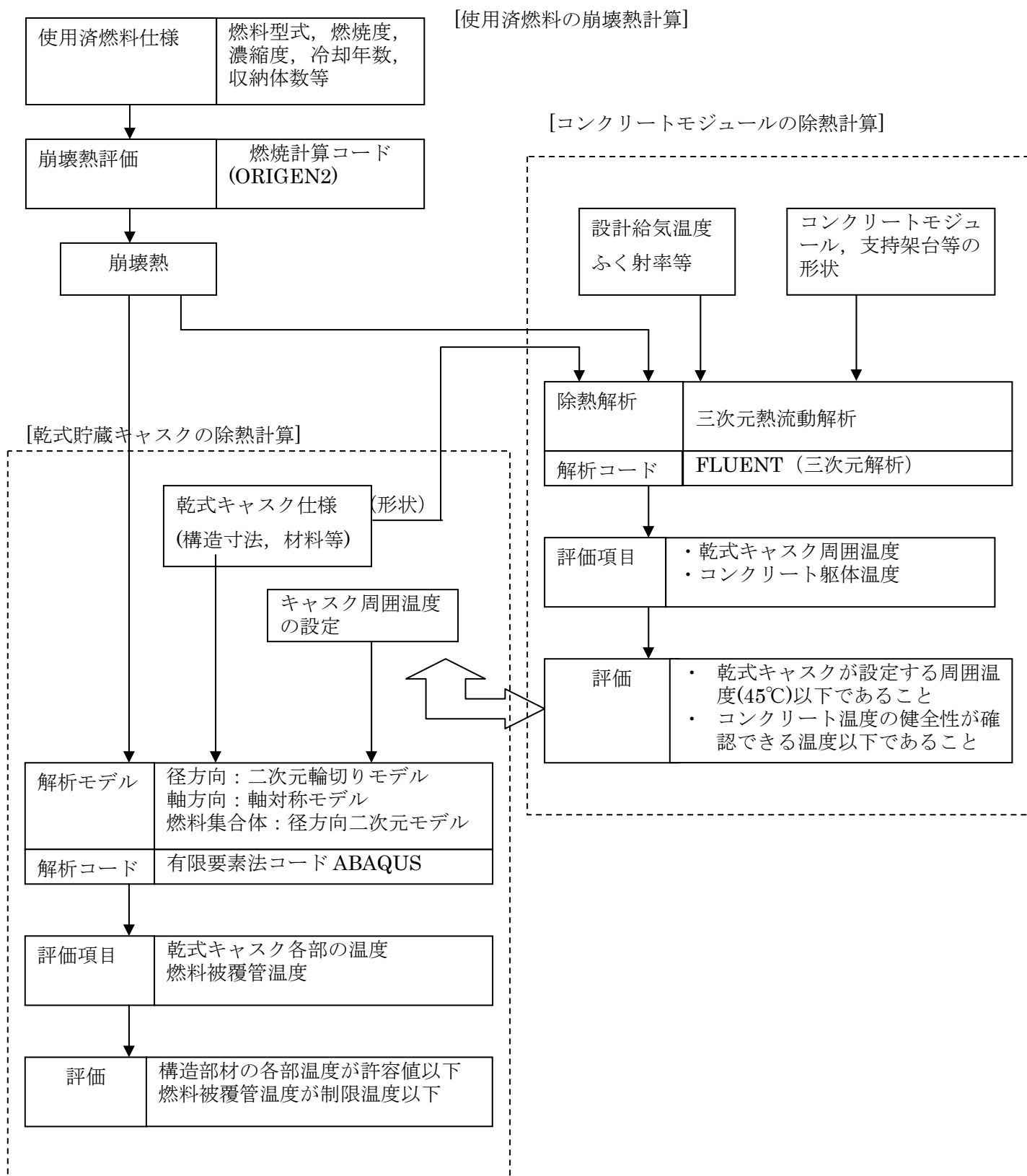


図 1.1-1 キャスク仮保管設備除熱評価フロー図

2) 設計基準

設計基準を表 1.1-1 に示す。

表 1.1-1 設計基準

(単位：℃)

| 対象となる部材 | 材質 | 設計基準 | 設計基準温度 | 備考 |
|----------|--------------|--|------------------|-------------------------|
| 燃料被覆管 | ジルカロイ-2 | 使用済燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度、照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となる温度とする ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ | 200 [*] | 使用済燃料(8×8燃料、新型8×8燃料) |
| | | | 300 [*] | 使用済燃料(新型8×8ジルコニウムライナ燃料) |
| 乾式貯蔵キャスク | レジン | 形状変化及び重量減少を考慮して遮へい機能が確保される制限温度 | 150 | 中性子遮へい材 |
| | 低合金鋼 | 構造強度が確保される制限温度 | 350 | 貯蔵容器本体 |
| | ステンレス鋼 | 構造強度が確保される制限温度 | 400 | 二次蓋 |
| | アルミニウム、インコネル | 基準漏えい率が保証でき、密封機能が維持される制限温度 | 150 | 金属ガスケット |
| | ボロン添加アルミニウム | 構造強度が確保される制限温度 | 230 | バスケット |

^{*}水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度を設計基準温度として設定したもので、燃料被覆管の周方向応力は設計基準温度状態で70 MPa以下とする。燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度は390℃と評価され、上記設計基準温度を超えている。また、燃料被覆管の照射硬化の回復については機械的強度への影響を評価するものとする。

- 1)平成15年度リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験(燃料の長期安全性に関する試験 最終成果報告書) (04基炉報-0001, 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- 2)平成18年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料長期健全性等確認試験に関する試験最終報告書) (06基炉報-0006, 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- 3)平成19年度リサイクル燃料資源貯蔵技術調査等(貯蔵燃料健全性等調査に関する試験成果報告書) (07基炉報-0004, 独立行政法人原子力安全基盤機構)
- 4)金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設における金属製乾式キャスクとその収納物の長期健全性について (総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 核燃料サイクル安全小委員会 中間貯蔵ワーキンググループ 輸送ワーキンググループ, 平成21年6月25日)

表 1.1-1 に示す乾式貯蔵キャスクを構成する部材のうち金属ガスケットについては、モデルとしては考慮しているが既存評価書には記載していない。一方、輸送貯蔵兼用キャスクでは、金属ガスケットについても評価対象となっていることから、乾式貯蔵キャスクについても同様に金属ガスケットを新たに追加し評価する。

3) 燃料仕様

評価は 8×8 燃料、新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のうち最も厳しい発熱量となる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料（最高燃焼度 36,500MWd/t、冷却期間 13 年）を収納した場合について行い、使用済燃料の発熱量は ORIGEN2 コードにより求める。

乾式貯蔵キャスク 1 基当たりの発熱量を中型及び大型についてそれぞれ表 1.1-2 及び表 1.1-3 に示す。共用プールに貯蔵中の上記使用済燃料のうち、発熱量の大きいものからキャスクに収納した場合の発熱量（平成 24 年 6 月 1 日時点）は、中型キャスクで約 6.9kW、大型キャスクで約 9.6kW であり、除熱設計の前提としている発熱量を大幅に下回る。

表 1.1-2 乾式貯蔵キャスク 1 基当たりの発熱量（中型キャスク）

| 燃料集合体の種類 | 8×8 燃料 | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 |
|-------------------|--------|-----------|--------------------|
| 初期濃縮度 (wt%) | 約 2.7 | 約 2.9 | 約 3.0 |
| 収納物の最高燃焼度 (MWd/t) | 30,000 | 33,500 | 36,500 |
| 冷却期間 (年) | 13 | 13 | 13 |
| 収納体数 (体) | 37 | 37 | 37 |
| 評価に用いる発熱量 (kW) | 9.0 | 9.6 | 10.8 |

表 1.1-3 乾式貯蔵キャスク 1 基当たりの発熱量（大型キャスク）

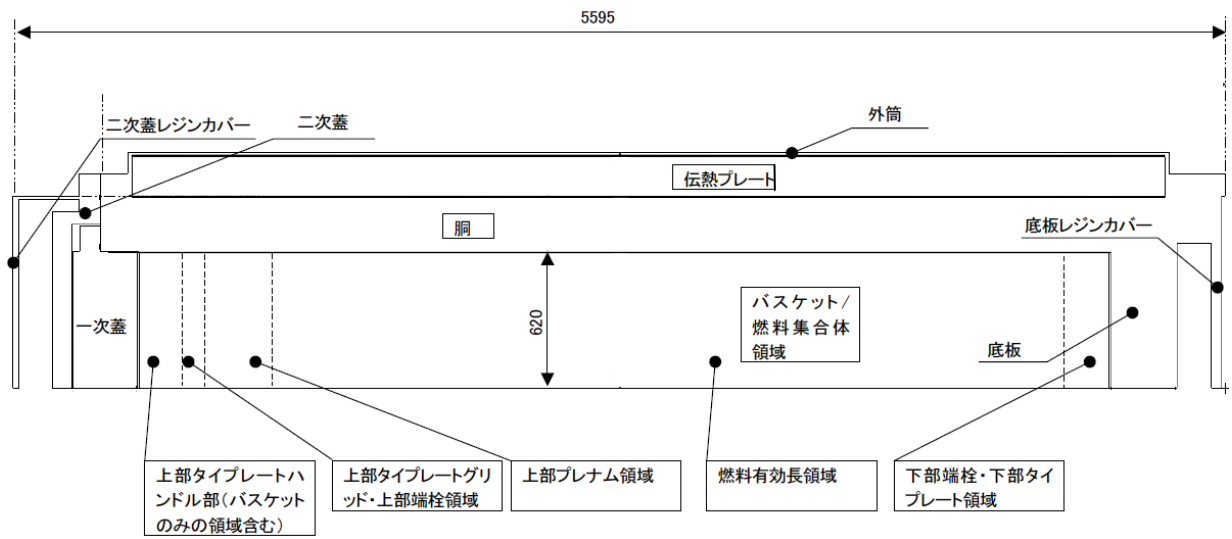
| 燃料集合体の種類 | 8×8 燃料 | 新型 8×8 燃料 | 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 |
|-------------------|--------|-----------|--------------------|
| 初期濃縮度 (wt%) | 約 2.7 | 約 2.9 | 約 3.0 |
| 収納物の最高燃焼度 (MWd/t) | 30,000 | 33,500 | 36,500 |
| 冷却期間 (年) | 13 | 13 | 13 |
| 収納体数 (体) | 52 | 52 | 52 |
| 評価に用いる発熱量 (kW) | 12.6 | 13.5 | 15.2 |

4) 評価条件

乾式貯蔵キャスクの除熱評価は以下の3種類の解析モデルを用いて行う。

- a. 軸方向断面モデル(乾式貯蔵キャスク全体の二次元軸対称モデル)
- b. 半径方向断面モデル(胴中央部断面形状の二次元平面モデル)
- c. 燃料集合体断面モデル(燃料集合体の断面形状の二次元平面モデル)

上記解析モデルを図 1.1-2～図 1.1-7 に示す。また、評価条件を表 1.1-4 及び表 1.1-5 に示す。



[単位:mm]

図 1.1-2 軸方向断面モデル(乾式貯蔵キャスク(中型キャスク))

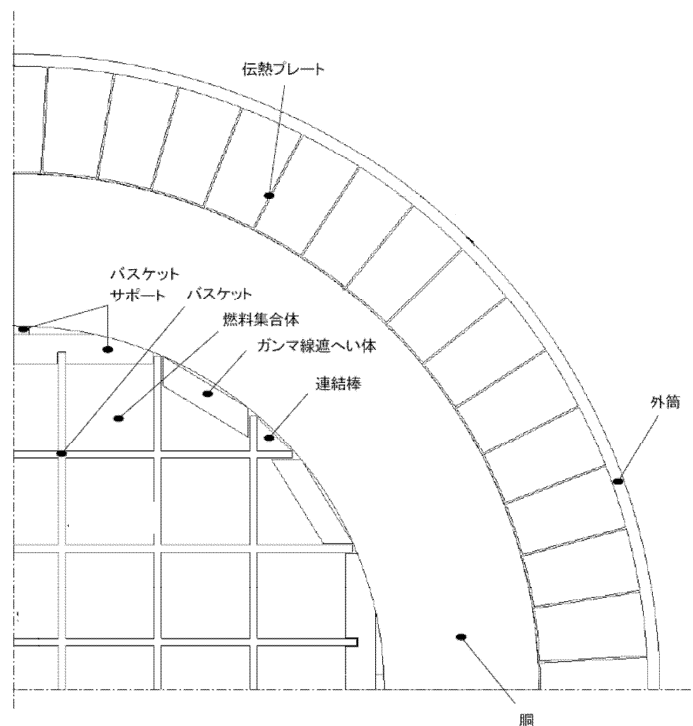


図 1.1-3 半径方向断面モデル(乾式貯蔵キャスク(中型キャスク))

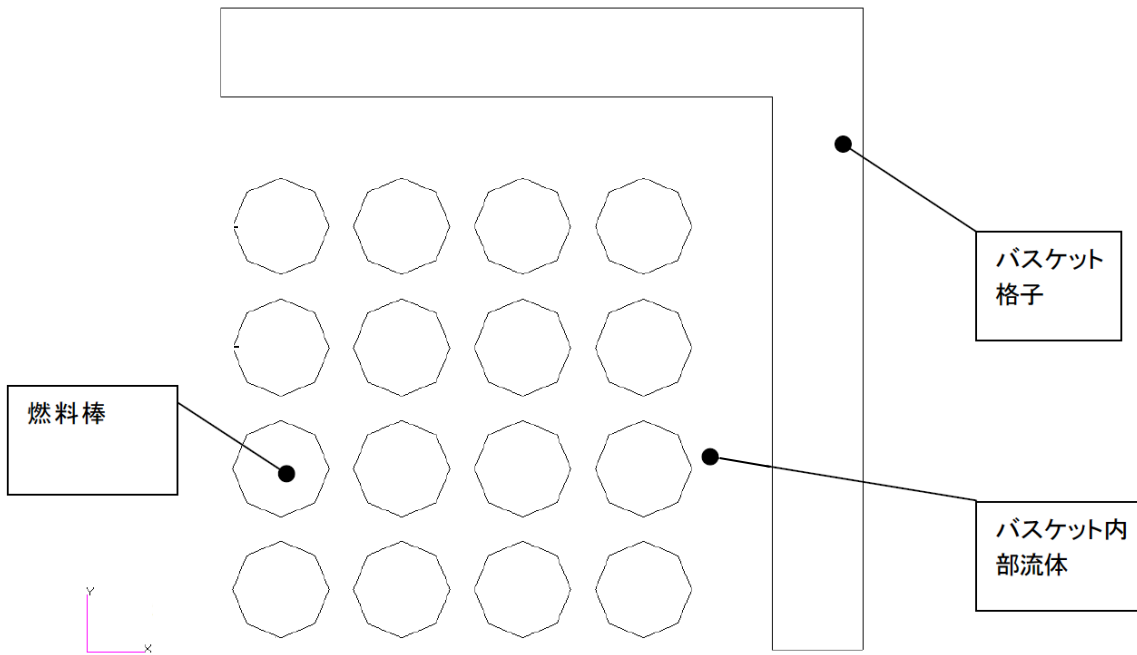
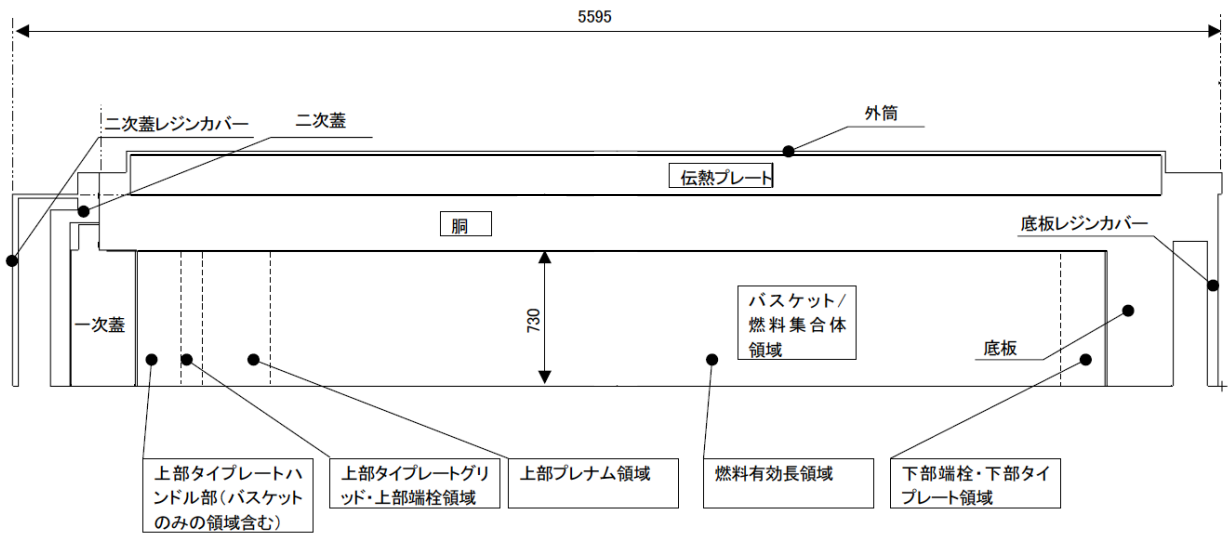


図 1.1-4 燃料集合体断面モデル(乾式貯蔵キャスク(中型キャスク))



[単位:mm]

図 1.1-5 軸方向断面モデル(乾式貯蔵キャスク(大型キャスク))

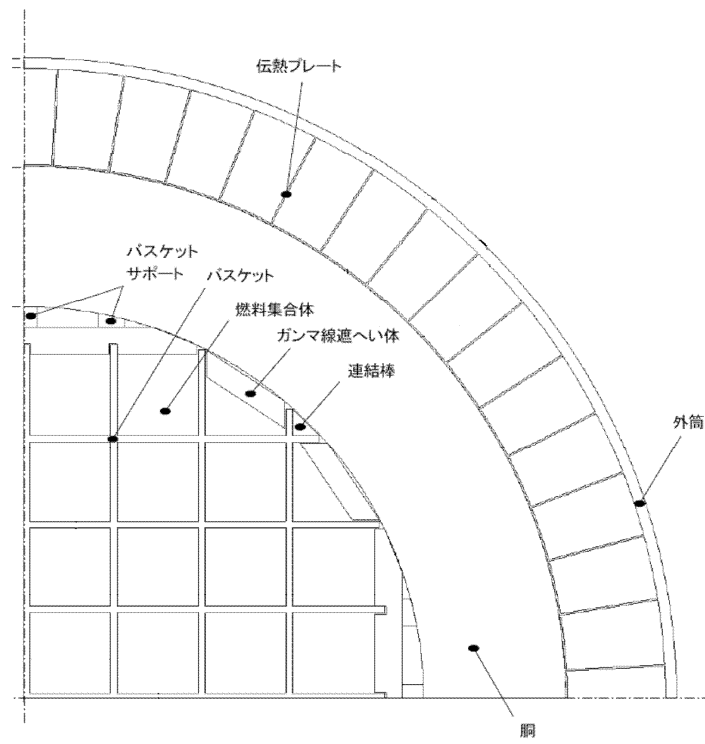


図 1.1-6 半径方向断面モデル(乾式貯蔵キャスク(大型キャスク))

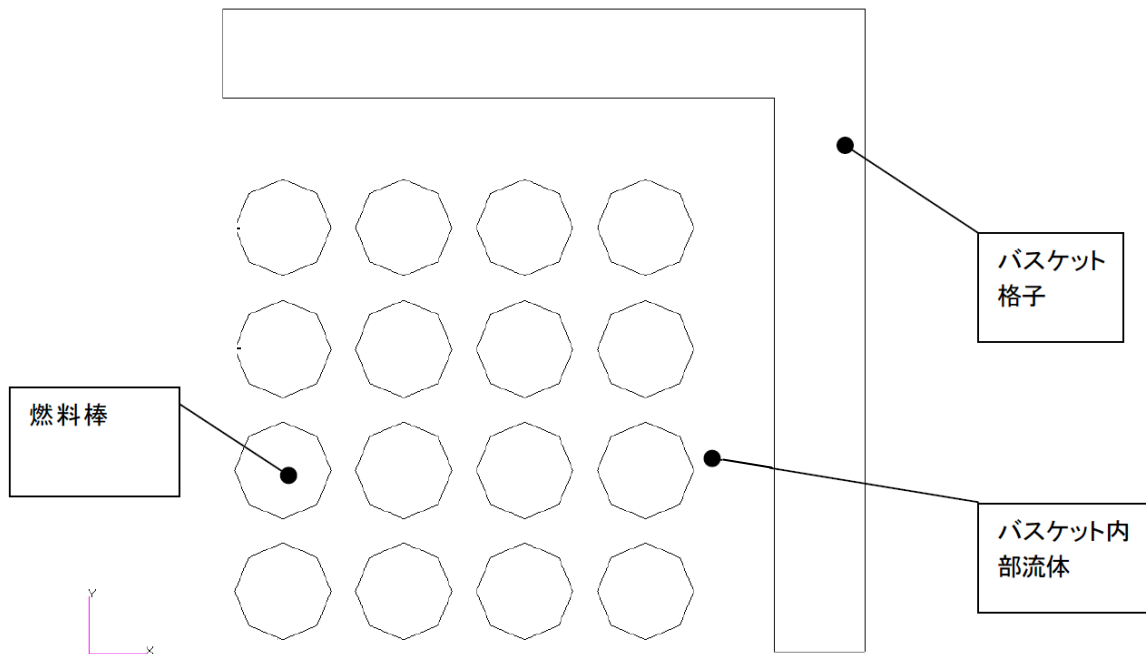


図 1.1-7 燃料集合体断面モデル(乾式貯蔵キャスク(大型キャスク))

表 1.1-4 評価条件（中型キャスク）

| 項 目 | 評価条件 |
|-----------|------|
| 収納体数（体） | 37 |
| 姿 勢 | 横置き |
| 発 熱 量（kW） | 10.8 |
| 周囲温度（℃） | 45 |

表 1.1-5 評価条件（大型キャスク）

| 項 目 | 評価条件 |
|-----------|------|
| 収納体数（体） | 52 |
| 姿 勢 | 横置き |
| 発 熱 量（kW） | 15.2 |
| 周囲温度（℃） | 45 |

5) 評価方法

まず、乾式貯蔵キャスク各部の温度分布を軸方向断面モデルにて求める。次に半径方向断面モデルにて乾式貯蔵キャスク中央断面各部の温度分布及びバスケットの最高温度を求める。

最後に、半径方向断面モデルの熱解析から得られたバスケットの最高温度を境界温度として燃料集合体断面モデルによる熱解析を実施し、燃料被覆管の温度分布を求める。解析は ABAQUS コードを用いる。

6) 評価結果

評価結果を表 1.1-6 及び表 1.1-7 に示す。評価は 8×8 燃料，新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のうち最も厳しい発熱量となる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料（最高燃焼度 36,500MWd/t，冷却期間 13 年）を収納した場合について行った。新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の評価結果においても，8×8 燃料及び新型 8×8 燃料の燃料被覆管設計基準温度（200℃）を満足しているため，発熱量がより低い 8×8 燃料及び新型 8×8 燃料についても設計基準温度を満足する。本表に示すとおり使用済燃料の健全性を示す燃料被覆管の温度及び乾式貯蔵キャスクを構成する各部材はいずれも設計基準温度を下回っており，熱的健全性は維持される。

表 1.1-6 評価結果(中型キャスク)

(単位：℃)

| 部材 | 評価結果 | 設計基準温度 | 備考 |
|--------------|------------------------|--------|---------------------------|
| 燃料被覆管 | 159 以下 ^{※1※2} | 200 | 使用済燃料(8×8 燃料，新型 8×8 燃料) |
| | 159 ^{※2※3} | 300 | 使用済燃料(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) |
| レジン | 92 | 150 | 中性子遮へい材 |
| 低合金鋼 | 102 | 350 | 貯蔵容器本体 |
| ステンレス鋼 | 75 | 400 | 二次蓋 |
| アルミニウム，インコネル | 74 | 150 | 一次蓋金属ガスケット |
| | 72 | 150 | 二次蓋金属ガスケット |
| ボロン添加アルミニウム | 142 | 230 | バスケット |

※1 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料（発熱量 10.8kW）の燃料被覆管温度が 159℃であるため，発熱量の低い 8×8 燃料（9.0kW），新型 8×8 燃料（9.6kW）の燃料被覆管温度は 159℃以下となる。

※2 通常取り扱い時及び異常時に燃料被覆管にかかる応力は，評価結果が最も厳しくなる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料で 56MPa となる。200℃での未照射材の降伏応力は約 230MPa であるため，照射硬化回復を考慮しても，燃料被覆管にかかる応力は降伏応力を超えることはない。

※3 運用期間中に燃料被覆管温度が最も高くなる真空乾燥時では，最も厳しい大型キャスクに新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納した場合，燃料被覆管温度は 194℃であり，この状態の燃料被覆管周方向応力は 46.0MPa であり，燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を満たしている。

表 1.1-7 評価結果(大型キャスク)

(単位：℃)

| 部材 | 評価結果 | 設計基準温度 | 備考 |
|---------------|------------------------|--------|---------------------------|
| 燃料被覆管 | 174 以下 ^{※4※5} | 200 | 使用済燃料(8×8 燃料, 新型 8×8 燃料) |
| | 174 ^{※5※6} | 300 | 使用済燃料(新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料) |
| レジン | 104 | 150 | 中性子遮へい材 |
| 低合金鋼 | 114 | 350 | 貯蔵容器本体 |
| ステンレス鋼 | 83 | 400 | 二次蓋 |
| アルミニウム, インコネル | 81 | 150 | 一次蓋金属ガスケット |
| | 79 | 150 | 二次蓋金属ガスケット |
| ボロン添加アルミニウム | 159 | 230 | バスケット |

※4 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 (発熱量 15.2kW) の燃料被覆管温度が 174℃であるため、発熱量の低い 8×8 燃料 (12.6kW), 新型 8×8 燃料 (13.5kW) の燃料被覆管温度は 174℃以下となる。

※5 通常取り扱い時及び異常時に燃料被覆管にかかる応力は、評価結果が最も厳しくなる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料で 56MPa となる。200℃での未照射材の降伏応力は約 230MPa であるため、照射硬化回復を考慮しても、燃料被覆管にかかる応力は降伏応力を超えることはない。

※6 運用期間中に燃料被覆管温度が最も高くなる真空乾燥時では、最も厳しい大型キャスクに新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料を収納した場合、燃料被覆管温度は 194℃であり、この状態の燃料被覆管周方向応力は 46.0MPa であり、燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を満たしている。

除熱解析に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは、米国 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく伝熱解析等の汎用解析コードであり、輸送キャスクの伝熱解析などに広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは、伝熱解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常、非定常のいずれの解も得ることができる。
- ② 一次元～三次元の任意形状の構造に対して解くことが可能である。
- ③ 初期条件 (温度) は要素ごとに変化させることができ、計算ステップの自動決定も可能である。
- ④ 境界条件として、時間に依存する熱流束、温度、伝導、対流及びふく射が考慮できる。
- ⑤ 構成物質の相変態が考慮できる。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 1.1-8 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは、多くの伝熱解析に使用された実績がある。

(5) 検証方法

貯蔵キャスクの定常伝熱試験に対して ABAQUS による解析結果と試験結果を比較・検討し、本コードの妥当性が検証されている¹⁾。

1) 山川秀次, 五味義雄, 尾崎幸男, 尾崎明朗「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立—キャスクの伝熱特性評価—」, 電中研報告書, U92038, (1993)

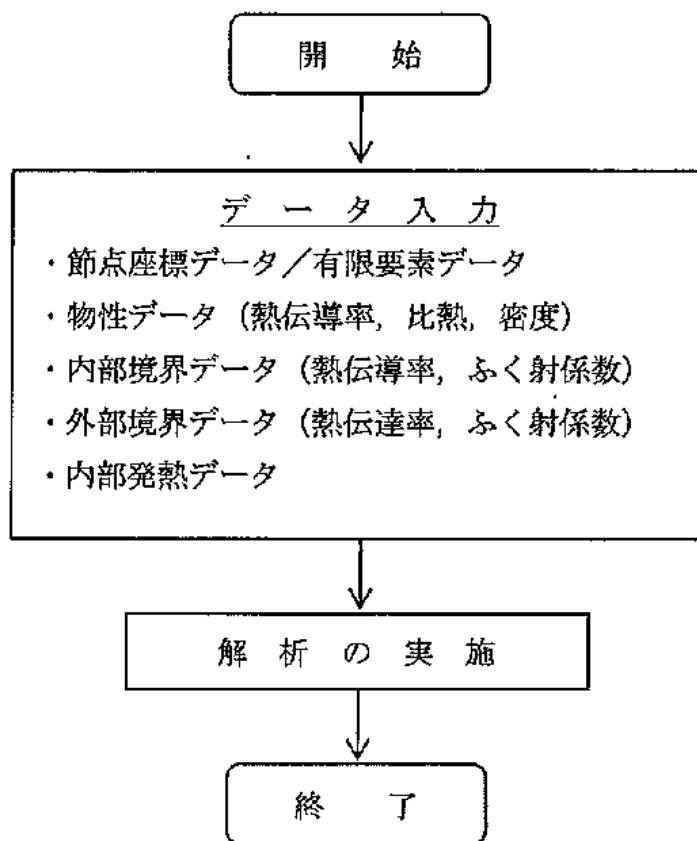


図 1.1-8 ABAQUS コードの解析フロー図

除熱解析に用いるコード (ORIGEN2) について

(1) 概要

ORIGEN2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは汎用解析コードであり、輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

(2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算，炉取出し後の減衰計算により，冷却期間に対応した崩壊熱，放射線の強度，各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し，中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており，任意に選択できる。
- ③ 計算結果は，放射化生成物，アクチニド，核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種データ（崩壊熱，ガンマ線のエネルギー分布，自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等）に関しては，ORIGEN2 コード専用のライブラリがあり，これを用いる。

(3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図 1.1-9 に示す。

(4) 使用実績

ORIGEN2 コードは，輸送キャスク，核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている¹⁾。

(5) 検証方法

汎用コードの導入評価¹⁾ が実施されていることが確認されている。

大型実験/ベンチマーク試験による検証²⁾ が実施されていることが確認されている。

1) A. G. Croff, “ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIALMETHOD”, CCC-371 (1987)

2) (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”，1989 年 8 月

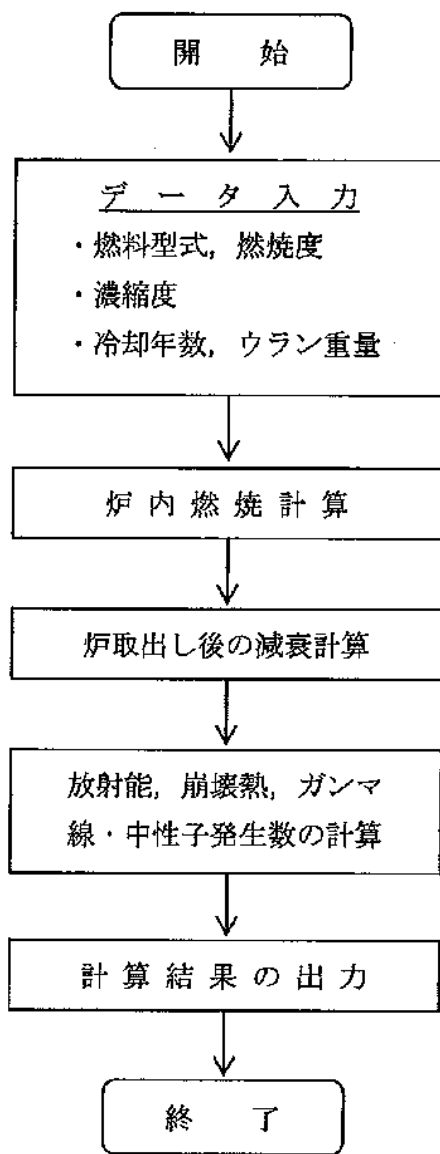


図 1.1-9 ORIGEN2 コードの計算フロー図

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク A の除熱機能

輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱機能

1) 基本的な考え方

除熱設計に当たっては、使用済燃料の健全性及び安全機能を有する構成部材の健全性が維持できるよう、使用済燃料の崩壊熱を適切に除去できる設計とする。そのため、以下の配慮を行う。

- a) 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部のバスケットは、熱伝導の優れた伝熱プレート の設置により必要な伝熱性能を確保する。
- b) 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部には、熱伝導率の高いヘリウムガスを充てんする。
- c) 側部中性子しゃへい材には熱伝導の低いレジンを用いており、伝熱フィンを設けることにより必要な伝熱性能を確保する。

輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱解析フローを図 1.1-10 に示す。なお、コンクリートモジュールの除熱解析フローは乾式貯蔵キャスクと同様であるため、輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱解析フローのみを示す。

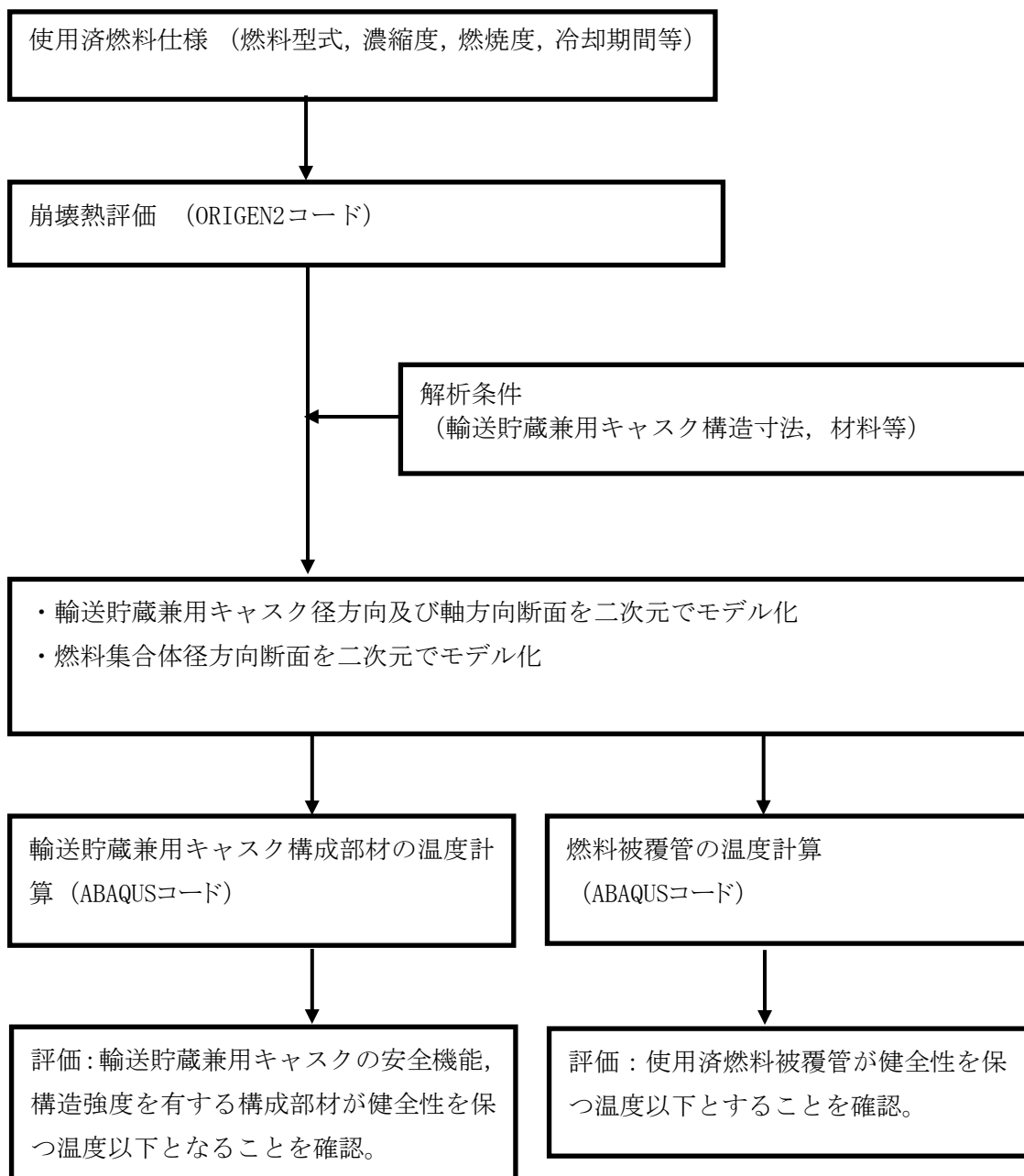


図 1.1-10 輸送貯蔵兼用キャスク B 除熱評価フロー図

2) 設計基準

設計基準を表 1.1-8 に示す。

表 1.1-8 設計基準

(単位：℃)

| 対象となる部材 | 材質 | 設計基準 | 設計基準温度 | 備考 |
|--------------|----------------------|---|--------|--------------------------|
| 燃料被覆管 | ジルカロイ-2 | 使用済燃料被覆管の累積クリープ量が1%を超えない温度, 照射硬化回復現象により燃料被覆管の機械的特性が著しく低下しない温度及び水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度以下となる温度とする | 300* | 使用済燃料(新型8×8 ジルコニウムライナ燃料) |
| 輸送貯蔵兼用キャスク B | レジン | 中性子遮へい材の性能が維持される制限温度 | 150 | 中性子遮へい材 |
| | 炭素鋼 | 構造強度が維持される制限温度 | 350 | 密封容器 二次蓋 |
| | アルミニウム合金, ニッケル基合金 | 閉じ込め機能が維持される制限温度 | 130 | 金属ガスケット |
| | ボロン添加 ステンレス鋼 | 構造強度が維持される制限温度 | 300 | バスケット |

*水素化物の再配向による燃料被覆管の機械的特性の低下が生じない温度を設計基準温度として設定したもので、燃料被覆管の周方向応力は設計基準温度状態で 70 MPa 以下とする。燃料被覆管の累積クリープ量が 1%を超えない初期温度は 360℃程度と評価され、上記設計基準温度を超えている。また、燃料被覆管の照射硬化の回復については機械的強度への影響を評価するものとする。

3) 燃料仕様

輸送貯蔵兼用キャスク B1 基当たりの発熱量を表 1.1-9 に示す。使用済燃料の発熱量は ORIGIN2 コードにより求める。

共用プールに貯蔵中の使用済燃料のうち、発熱量の最も大きい燃料（平成 24 年 12 月 1 日時点）を収納条件を満足するよう 69 体収納した場合、輸送貯蔵兼用キャスク B の発熱量は約 11.7kW となり、除熱設計の前提としている発熱量を大幅に下回る。

表 1.1-9 輸送貯蔵兼用キャスク B 1 基当たりの発熱量

| 燃料集合体の種類 | | 新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料 |
|-------------------|------------------|--------------------|
| 初期濃縮度 (wt%) | | 約 2.9 |
| 収納物の 燃焼度 | 平均燃焼度 (MWd/t) | 34,000 |
| 冷却期間 (年) | | 18 |
| 収納体数 (体) | | 69 |
| 評価に用いる発熱量 (kW) 注) | | 15.3 |

注) 輸送貯蔵兼用キャスク B の最大発熱量は 12.1kW であるが、除熱設計では燃料集合体の軸方向の燃焼度分布を保守的に考慮した設計発熱量を用いる。

4) 評価条件

輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱評価は以下の 3 種類の解析モデルを用いて行う。

- a. 軸方向断面モデル（輸送貯蔵兼用キャスク B 全体の二次元軸対称モデル）
- b. 半径方向断面モデル（胴中央部断面形状の二次元平面モデル）
- c. 燃料集合体断面モデル（燃料集合体の断面形状の二次元平面モデル）

上記解析モデルを図 1.1-11～図 1.1-13 に示す。また、評価条件を表 1.1-10 に示す。

表 1.1-10 評価条件

| 項目 | 評価条件 |
|-----------|---------------------------|
| 収納体数 (体) | 69 |
| 姿勢 | 横置き |
| 発熱量 (kW) | 15.3 |
| 周囲温度 (°C) | 空気：45 コンクリートモジュール内面：65 |

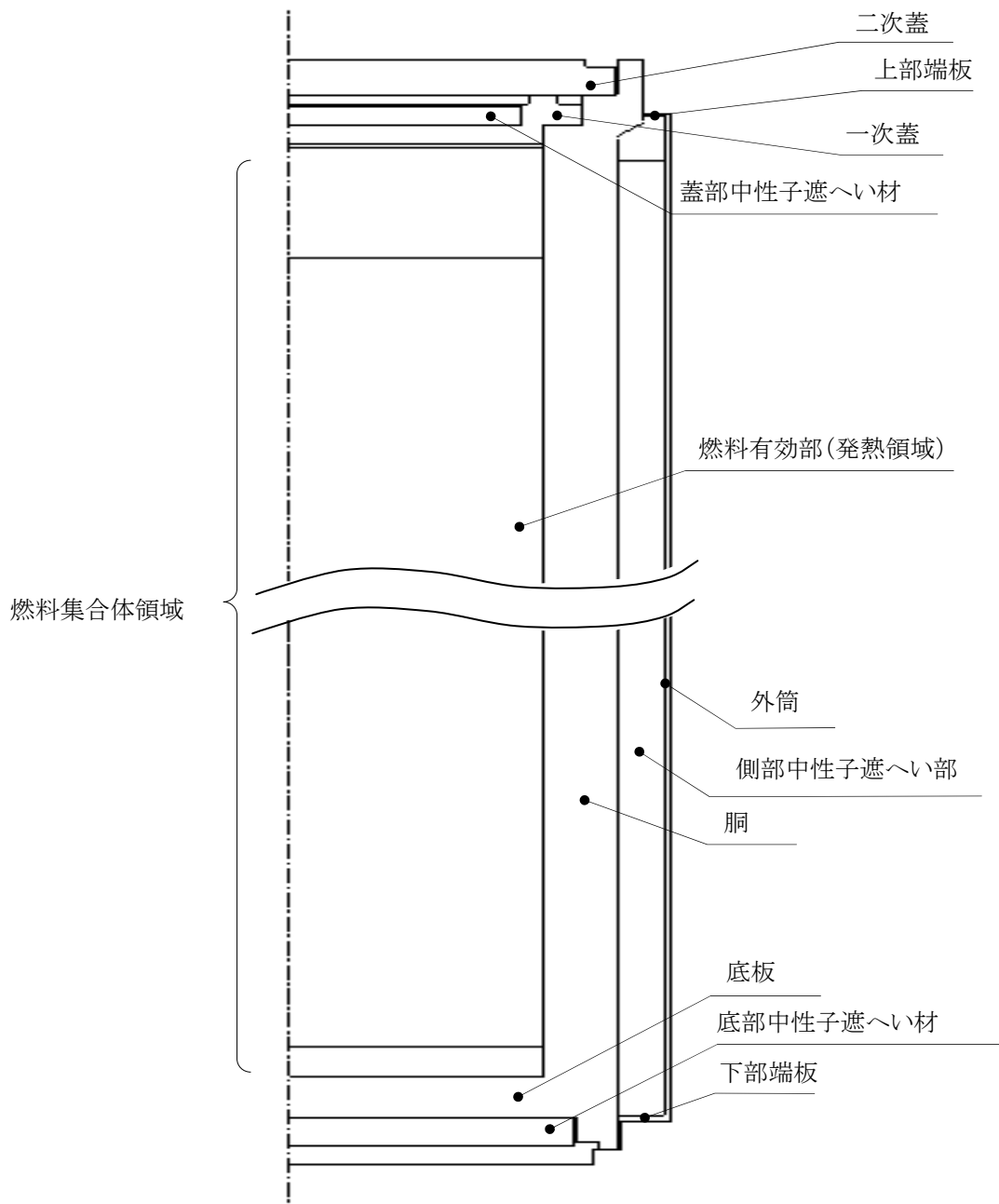


図 1. 1-11 軸方向断面モデル

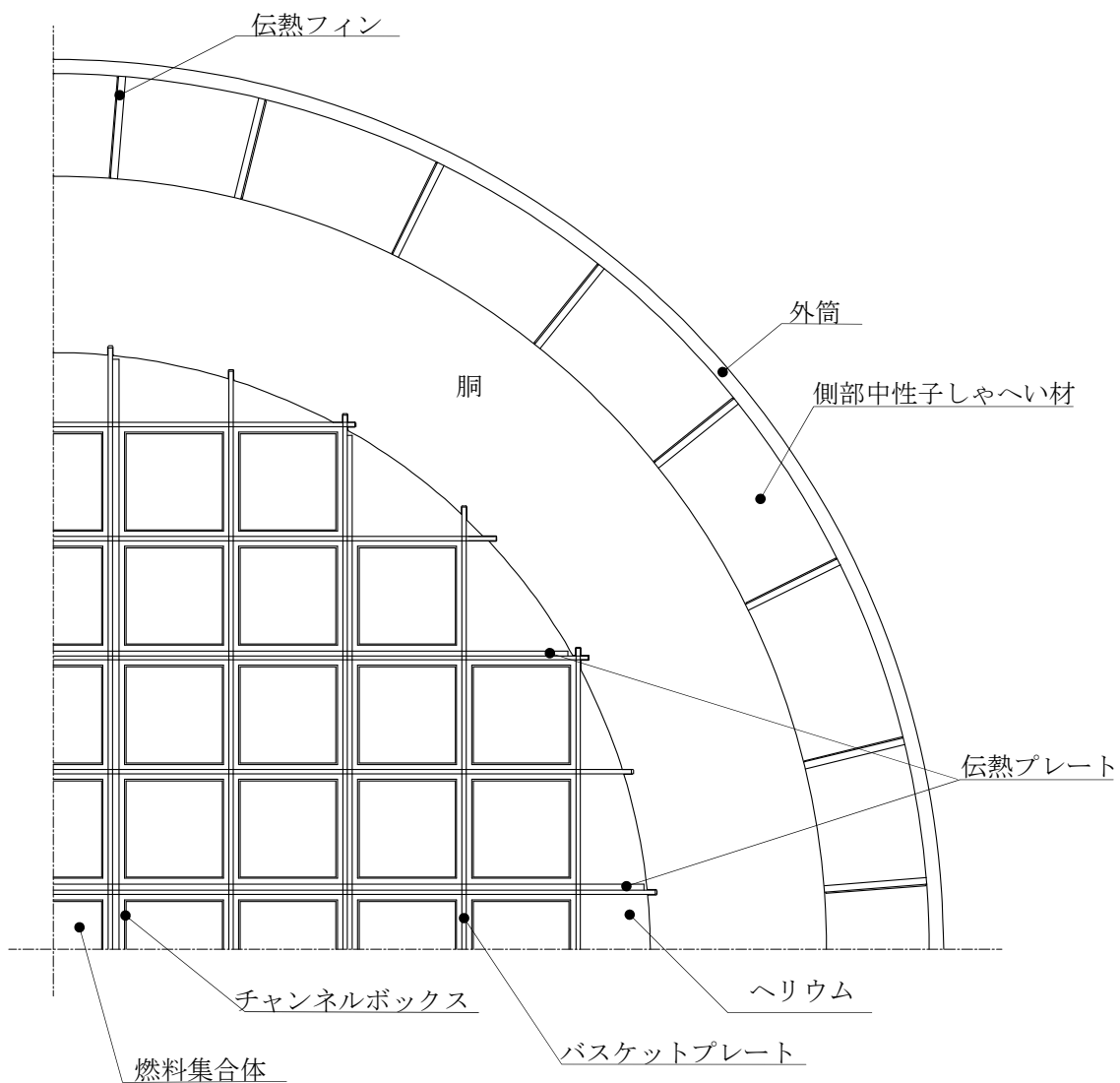
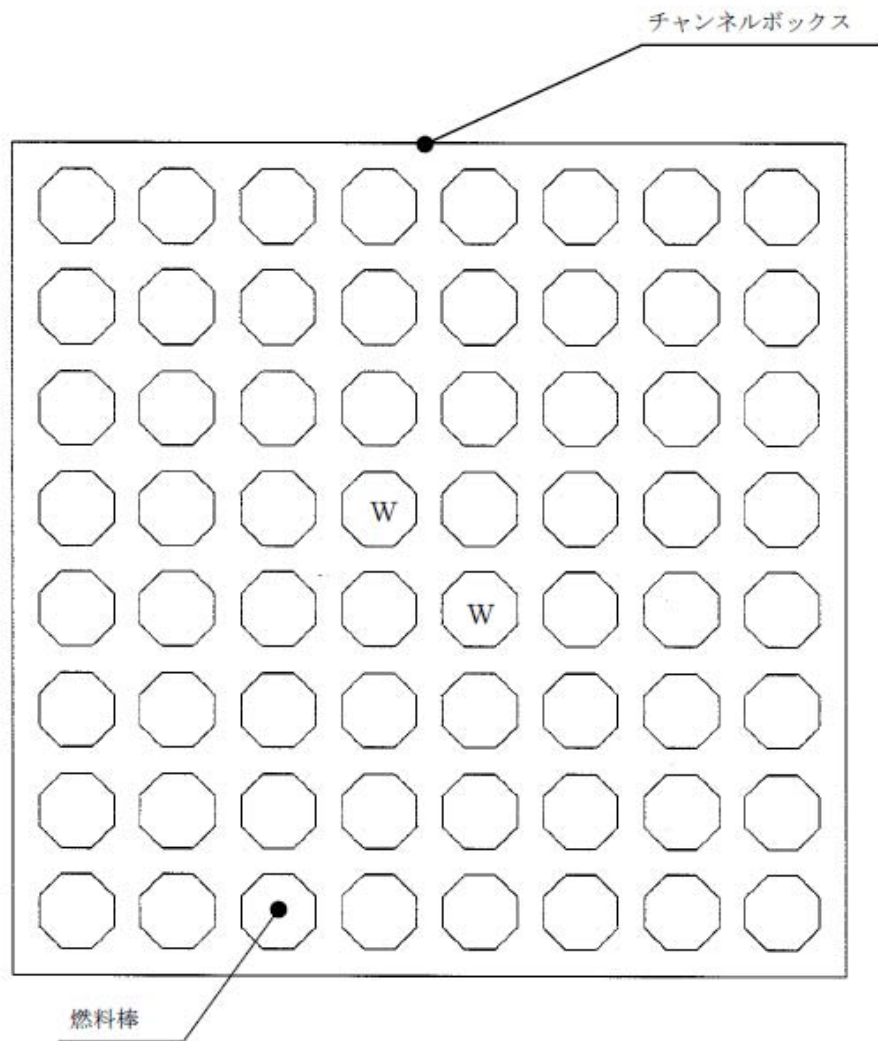


図 1.1-12 半径方向断面モデル



注) Wはウォーターロッドであり，発熱はない。

図 1.1-13 燃料集合体断面モデル

5) 評価方法

はじめに、輸送貯蔵兼用キャスク B 各部の温度分布を軸方向断面モデルにて求める。軸方向断面モデルでは、燃料集合体の軸方向発熱分布を考慮する。

次に、径方向断面モデルにて輸送貯蔵兼用キャスク B 中央断面各部の温度分布及びチャンネルボックスの最高温度を求める。径方向断面モデルでは、径方向の発熱分布を考慮して、燃料の配置制限に従い、中央に最高燃焼度燃料に対応した発熱量の燃料を配置し、当該断面の発熱量が設計発熱量の設定と等しくなるように外周には低い発熱量の燃料を配置する。また、径方向断面モデルでは、熱の軸方向移動による蓋板上面や底板下面からの放熱を模擬できないため、輸送貯蔵兼用キャスク B の温度分布が現実と比べて高めとなる。このため、軸方向断面モデルで得られた結果に基づいて軸方向への熱の移動を考慮する。

最後に、径方向断面モデルの熱解析から得られたチャンネルボックスの温度分布を境界温度として燃料集合体断面モデルによる熱解析を実施し、燃料被覆管の温度分布を求める。

解析は ABAQUS コードを用いる。

6) 評価結果

評価結果を表 1.1-11 に示す。本表に示すとおり、使用済燃料の健全性を示す燃料被覆管の温度及び輸送貯蔵兼用キャスク B を構成する各部材はいずれも設計基準温度を下回っており、熱的健全性は維持される。

表 1.1-11 評価結果

(単位：℃)

| 部材 | 評価結果 | 設計基準温度 | 備考 |
|----------------------|----------------------|--------|---------------------------|
| 燃料被覆管 | 249 ^{※1} ※2 | 300 | 使用済燃料（新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料） |
| レジン | 117 | 150 | 中性子遮へい材 |
| 炭素鋼 | 123 | 350 | 密封容器 |
| | 83 | | 二次蓋 |
| アルミニウム合金, ニッケル基合金 | 86 | 130 | 金属ガスケット |
| ボロン添加 ステンレス鋼 | 238 | 300 | バスケット |

※1 構造強度評価及び異常事象の評価における最大評価加速度 3G が燃料被覆管にかかる場合、燃料被覆管にかかる応力は 55MPa となる。既存評価書において 260℃における照射後の降伏応力 568MPa¹⁾に燃料被覆管の照射硬化回復式²⁾を保守的に考慮した降伏応力は 313MPa と評価されており、照射硬化回復を考慮しても、燃料被覆管にかかる応力は降伏応力を超えることはない。

※2 運用期間中に燃料被覆管温度が最も高くなる真空乾燥時での燃料被覆管温度は 249℃である。また、この状態の燃料被覆管周方向応力は 52MPa であり、燃料被覆管温度及び周方向応力ともに設計基準を満たしている。

1) : (独)原子力安全基盤機構, “平成 18 年度 高燃焼度 9×9 型燃料信頼性実証成果報告書 (総合評価編)”, (2007)

2) : (独)原子力安全基盤機構, “平成 15 年度 リサイクル燃料資源貯蔵施設安全解析コード改良試験 (燃料の長期安全性に関する試験最終成果報告書)”, (2004)

1.2 コンクリートモジュールの除熱機能

(1) 乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールの除熱機能

1) 基本的な考え方

コンクリートモジュール内の除熱評価においては、コンクリートモジュール及び乾式貯蔵キャスクを適切にモデル化し、三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて乾式貯蔵キャスク周囲空気温度、コンクリートモジュールの各部コンクリート温度を評価する。

コンクリートモジュール内に保管されたキャスクの崩壊熱は次の伝熱形態で最終的に外界へ放熱される。

- ① 使用済燃料から乾式貯蔵キャスク表面に伝えられた崩壊熱の大部分は、キャスク近傍の空気に対流と伝導により伝達される。崩壊熱の一部については、ふく射及び支持架台を介する伝導によりコンクリートモジュールに伝えられる。
- ② コンクリートモジュールへ伝わった熱は構造材を介した伝導伝熱及び対流により外界（外気、地中など）に放出される。あるいは、対流と伝導によってモジュール内の空気に伝わり、その自然換気に従って外界に放出される。

なお、発熱量の大きい大型乾式貯蔵キャスク用のコンクリートモジュールを代表して評価する。

2) 設計基準

設計基準を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 設計基準

| 対象箇所 | 設計基準 | 設計基準温度 |
|---------------|---------------------------|---------------------|
| キャスク周囲温度 | 乾式キャスク除熱評価のインプット条件となる制限温度 | 45℃以下 |
| モジュールのコンクリート材 | コンクリート材の構造強度が確保される制限温度 | 65℃以下 ¹⁾ |

1) 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 (JSME S NE1-2003)

3) 評価条件

コンクリートモジュールの除熱評価の解析モデルは以下の通りとする。

- ・ 保管状態の金属キャスク 1 基を含むコンクリートモジュール及び基礎スラブを解析対象とし、コンクリートモジュール及びキャスク形状の対称性を想定して 1/2 区分を模擬(モデル化)する。(図 1.2-1 参照)
- ・ 大型乾式貯蔵キャスクは、直径約 2.4m、全長約 5.6m の円柱形状で模擬する。(図 1.2-1 参照)

- ・ 解析で模擬しない部分の圧力損失要素として、給排気口に設置するグレーチングと外気が給排気口に流入/流出する際の縮流/拡流の圧力損失を、給排気面を換気流が通過する際に発生する圧力損失として付与する(相当する圧力損失係数の設定)。
- ・ コンクリートモジュール温度を保守的に評価するため、モジュール外壁表面及び床基礎スラブ底面は断熱条件とする。また、キャスク上面側のモジュール壁面に設けられる点検扉及び給気口(1面)は模擬しない。(図 1.2-1 参照) なお、モジュール外壁表面での外気との熱の出入りを考慮した評価については参考資料に示す。図 1.2-1 に三次元熱流動解析の評価領域を示す。また、評価条件を表 1.2-2 に示す。

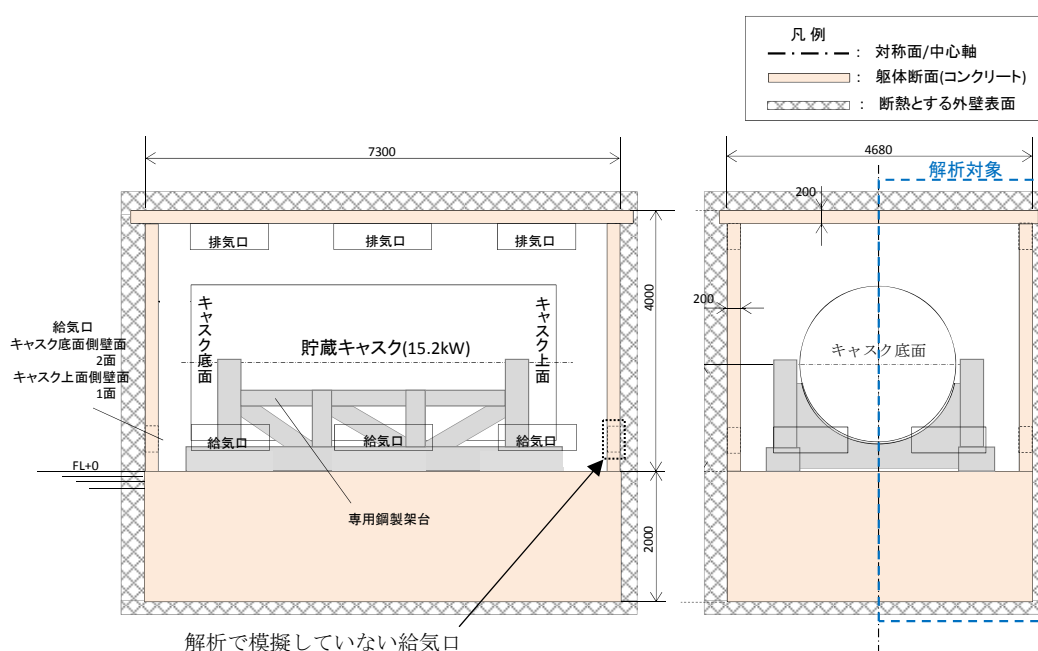


図 1.2-1 三次元熱流動解析の評価領域
(コンクリートモジュール断面(単位:mm))

表 1.2-2 評価条件

| 項目 | 評価条件 | 備考 |
|-------------|------|---|
| 設計給気温度 (°C) | 29.4 | 小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007 年～2011 年の夏季(6 月～9 月)毎正時観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度 |
| 発熱量 (kW) | 15.2 | 乾式貯蔵キャスク(大型キャスク)の発熱量。キャスク全表面(上面, 側面, 底面)に一樣な熱流束を設定する。 |

4) 評価方法

三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて、伝導、対流、ふく射が共存する伝熱流動場の支配方程式系を解くことにより、キャスク周囲雰囲気温度及びコンクリートモジュール温度を評価する。

図 1.2-2 に FLUENT での解析モデル図を示す。

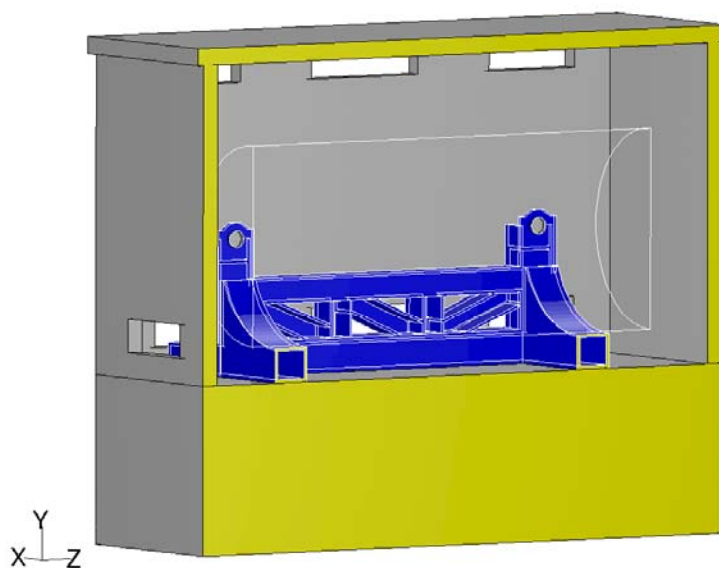


図 1.2-2 コンクリートモジュールの解析モデル図

5) 評価結果

評価結果を以下に示す。

A. 空気温度(キャスク周囲雰囲気温度及び排気温度)

表 1.2-3 に三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール内の平均空気温度と排気温度を示す。三次元熱流動解析の結果から、コンクリートモジュール内の平均空気温度は 34.5℃、排気温度は 39.4℃であり、制限温度 45℃と比較して十分に低い温度となっていることを確認した。

B. コンクリートモジュールの温度

表 1.2-4 に三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール最高温度値、図 1.2-3 にコンクリートモジュール内壁表面(天井面, 側壁面, 床面)の温度分布図を示す。

コンクリートモジュールのコンクリート材最高温度は 53.2℃(側壁)となり、制限温度 65℃まで十分な裕度があることを確認した。

表 1.2-3 三次元熱流動解析による空気温度

(単位:℃)

| キャスク型式 | 項目 | 評価結果 | 設計基準温度 |
|------------------|-------------------------|------|--------|
| 乾式貯蔵キャスク (大型) | コンクリートモジュール内の 平均空気温度 | 34.5 | 45 |
| | 排気温度 | 39.4 | |

表 1.2-4 三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール温度の最高値

(単位:℃)

| 評価部位 | 評価結果 | 設計基準温度 |
|------|------|--------|
| 天井面 | 52.8 | 65 |
| 側壁面 | 53.2 | |
| 床面 | 51.5 | |

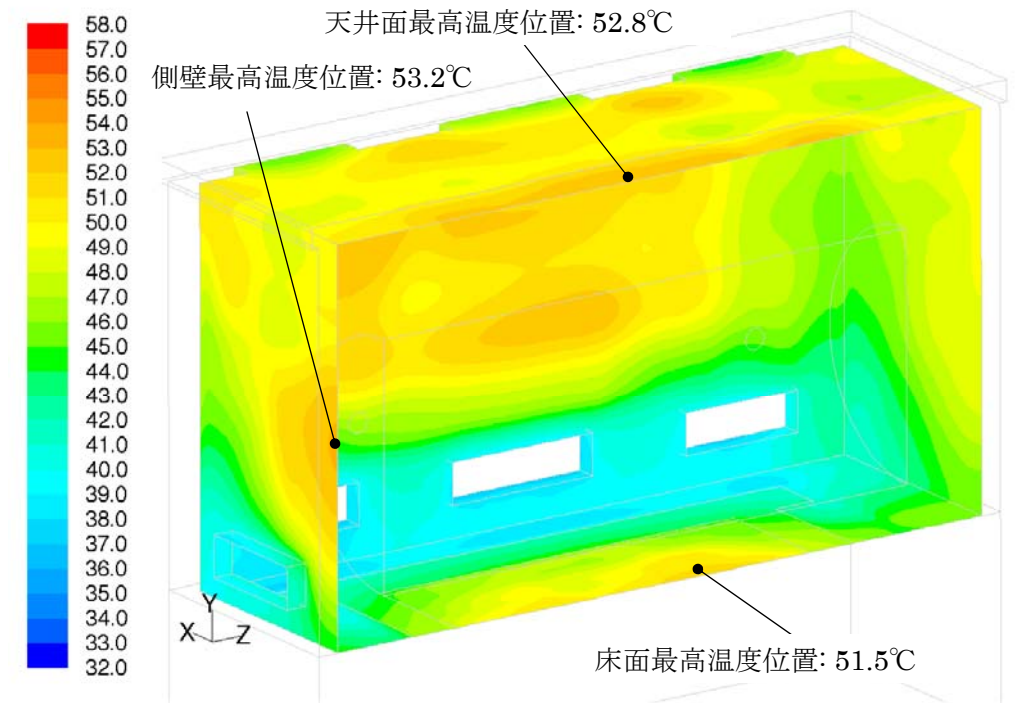


図 1. 2-3 コンクリートモジュール内壁表面温度分布

除熱解析に用いるコード (FLUENT) について

(1) 概要

FLUENT コードは、米国製の汎用熱流体解析コードであり、貯蔵キャスクの除熱解析などに利用されている。

(2) 機能

FLUENT コードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。

- ① 非圧縮性流れから圧縮性流れまで幅広く取り扱うことができ、層流、乱流、伝熱(対流、伝導、ふく射)、反応流、多相流等様々な流動場を解析の対象として取り扱うことができる。
- ② 熱伝導、対流熱伝達、ふく射の形態での伝熱過程を連成して解析することが可能であり、また、流体領域と固体領域での伝熱を同時に取り扱うことができる。

(3) 解析フロー

FLUENT コードの解析フローを図 1.2-4 に示す。

(4) 使用実績

FLUENT コードは、海外の金属キャスク貯蔵施設、コンクリートキャスクの除熱解析や国内中間貯蔵施設の貯蔵キャスク、貯蔵建屋の除熱評価に使用されている。

(5) 検証方法

ベンチマーク試験¹⁾による検証²⁾が実施されていることを確認。

1) 電力中央研究所報告 U99505 「キャスク貯蔵施設の除熱性能の実証に関する研究－スタック方式施設の除熱試験－」竹田浩文・古賀智成・亘真澄・坂本和昭(2000)

2) 使用済燃料中間貯蔵施設貯蔵建屋・設備の安全設計及び施設安全評価について(東電設計株式会社, TEPSCO-LR-001 改2 平成 21 年 8 月)

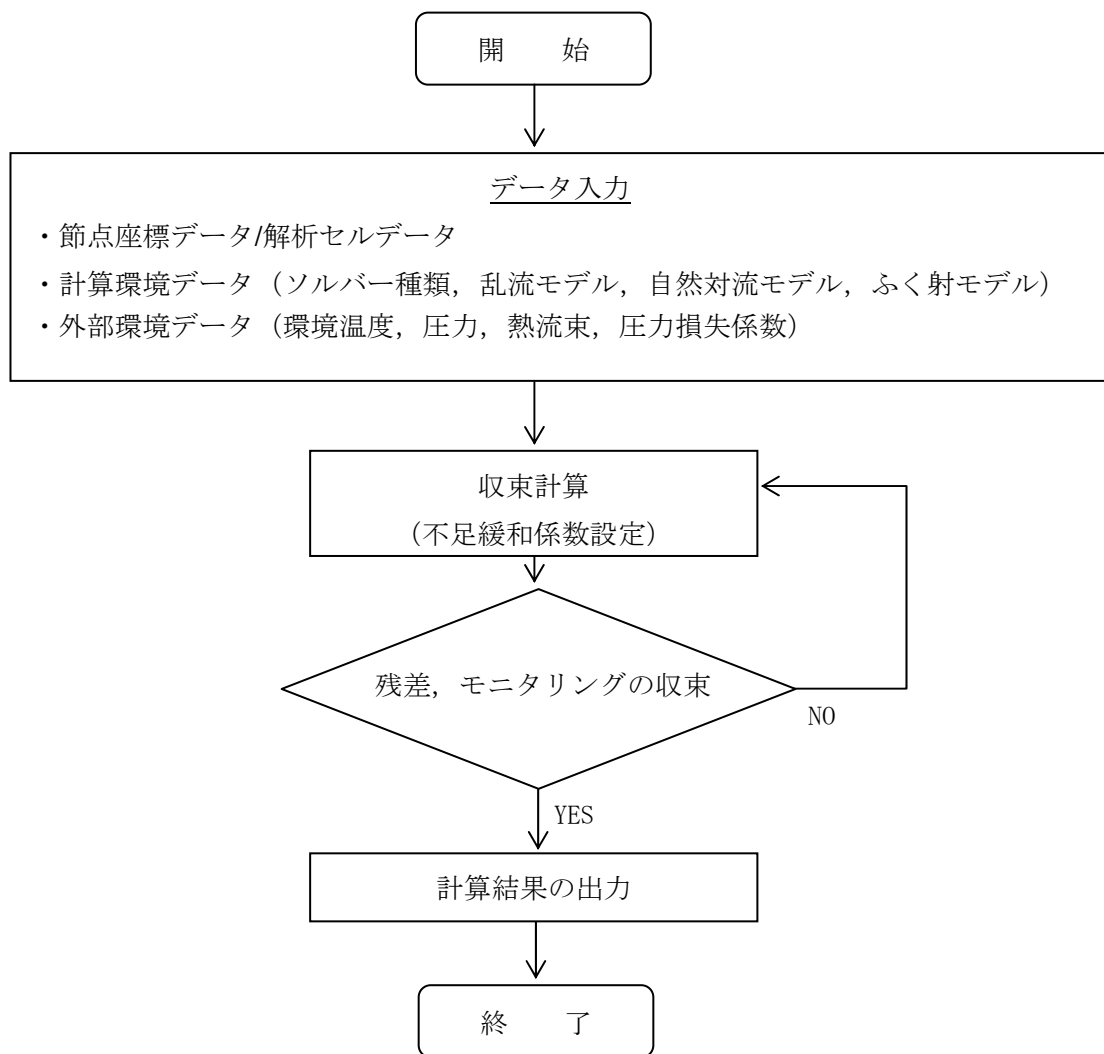


図 1.2-4 FLUENT コードの解析フロー図

外気との熱の出入りを考慮した除熱評価について

コンクリートモジュールの除熱評価においては、モジュール外壁表面及び床基礎スラブ底面は断熱条件とし評価を実施している。ここでは、モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮した評価を行い、モジュール外壁表面を断熱とする条件における評価との比較・検討を実施する。なお、床基礎スラブ底面は断熱条件とする。

1) 評価条件

モジュール外壁表面を断熱とする条件、及びモジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮する条件のそれぞれの評価条件を表 1.2-5 に示す。モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮した評価を行う場合、太陽からの日射量をコンクリート壁面に入熱量として付与すること、及びコンクリート外壁面からの放熱（外気による対流伝熱及び外気へのふく射伝熱）を考慮することの2点がモジュール外壁表面を断熱条件とする場合と異なる評価条件である。評価は、三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて行う。

表 1.2-5 評価条件

| | モジュール外壁断熱 | モジュール壁面での熱の出入りを考慮 | 備考 |
|-------------------------|-----------|-----------------------------------|--|
| 設計給気温度(°C) | 29.4 | 同左 | 表 1.2-2 評価条件と同一 |
| 崩壊熱(kW) | 15.2 | 同左 | 表 1.2-2 評価条件と同一 |
| 日射入熱(W/m ²) | 無し | 水平面：800 垂直面：200 (日射吸収率：0.6) | “核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示”，第 14 条，別記第四の一の規定を準用 |
| 外気による対流伝熱 | 無し | 風速 2m/s | 小名浜の夏季(6～9 月)の月平均風速の平年値 2.2～2.6m/s より |
| | | 参考： 風速 0.5m/s | 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に定める静穏状態の風速を参照し設定 |
| 外気-外壁間の輻射伝熱 | 無し | 考慮 | — |

2) 評価結果

評価結果を表 1.2-6 に示す。また、モジュール壁面での熱の出入りを考慮した評価における、風速 2m/s での評価と、風速 0.5m/s の評価のコンクリートモジュール内壁温度分布図をそれぞれ図 1.2-5、図 1.2-6 に示す（モジュール外壁表面を断熱とする条件での温度分布図は図 1.2-3 参照）。モジュール外壁断熱での評価と比べ、モジュール壁面での熱の出入りを考慮した評価では外気への排熱によりコンクリート温度が低くなるが、風速 0.5m/s の評価においては、天井面の入熱量が大きく、天井内面温度が大きくなる傾向にある。モジュール外壁を断熱条件とする場合と、モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮する場合いずれも設計基準値を満足する。

表 1.2-6 評価結果

(単位：℃)

| | モジュール 外壁断熱 | モジュール壁面での 熱の出入りを考慮 | | 設計基準値 |
|------------------|---------------|-----------------------|--------------------|-------|
| | | 風速 2m/s | 風速 0.5m/s (参考値) | |
| 排気温度 | 39.4 | 38.1 | 38.9 | 45 |
| モジュール内 空気平均温度 | 34.5 | 34.1 | 34.3 | |
| 天井内面最高温度 | 52.8 | 51.1 | 54.5 | 65 |
| 屋根面最高温度 | — | 51.9 | 59.3 | |
| 側壁内面最高温度 | 53.2 | 46.7 | 50.6 | |
| 側壁外面最高温度 | — | 41.0 | 43.4 | |
| 床面最高温度 | 51.5 | 50.9 | 51.1 | |

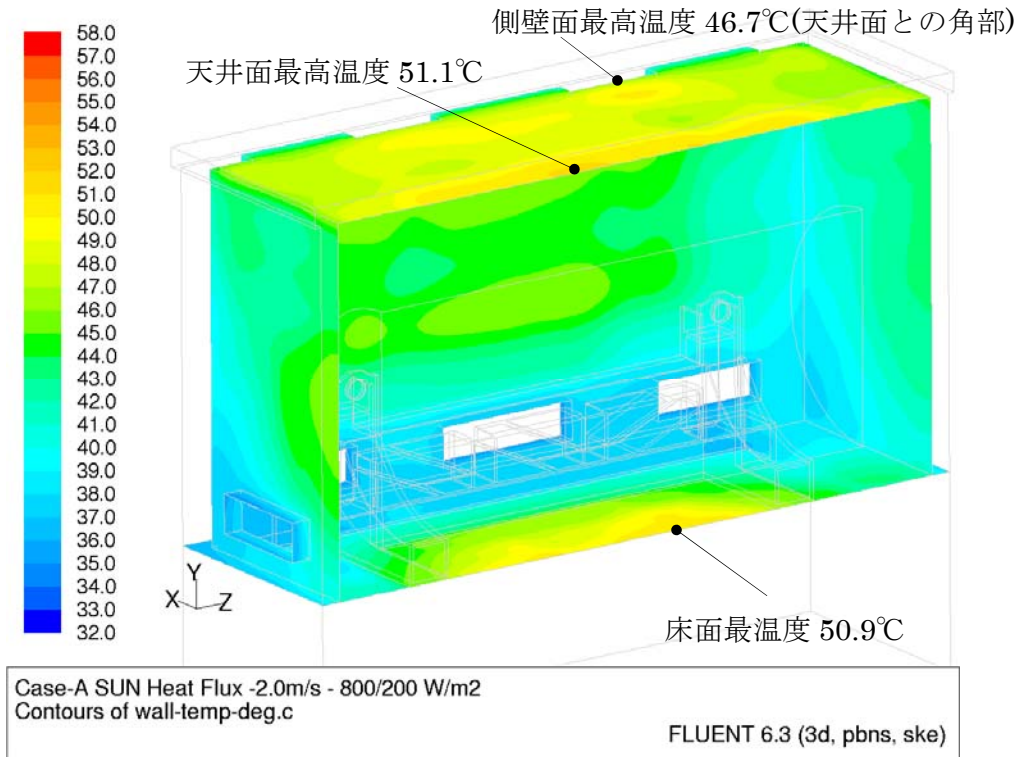


図 1.2-5 コンクリートモジュール内壁表面温度分布(風速 2.0m/s)

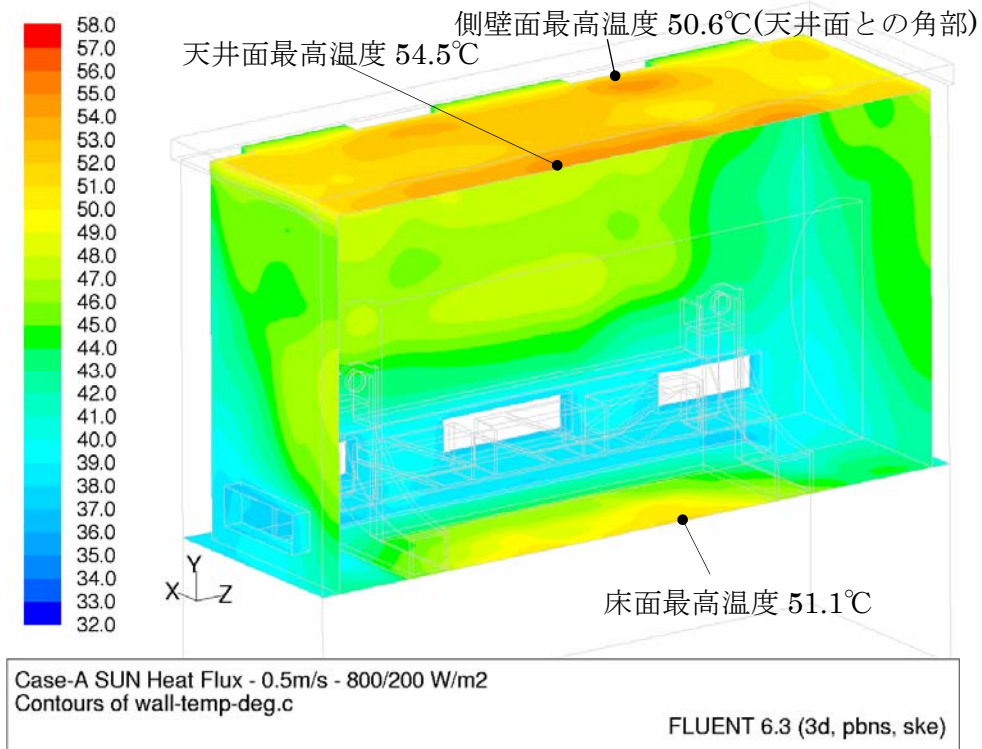


図 1.2-6 コンクリートモジュール内壁表面温度分布 (風速 0.5m/s (参考値))

3) 考察

評価条件、及び評価結果の不確定性に対する検討結果を以下に示す。モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮する条件において、評価条件は妥当であると考えられること、モジュール外壁を断熱とする条件とモジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮する条件とで評価結果に大きな差異はなく、またいずれも設計基準値を満足していること、評価結果に対する不確定性を考慮しても、設備への影響は無いと考えられることから、本文に記載しているモジュール外壁を断熱とする条件の評価は、コンクリートモジュールの除熱評価として妥当と考える。

① 日射入熱量の条件に事業所外運搬の告示に定める値を使用すること

各都市での夏期の設計用日射量 ($W \cdot h / (m^2 \cdot \text{日})$) を表 1.2-7 に示す。

(空気調和・衛生工学便覧〈第14版〉第17章 冷暖房負荷 表 17.6 設計用日射量(夏期))

表 1.2-7 各都市夏期の設計用日射量 ($W \cdot h / (m^2 \cdot \text{日})$)

| | 札幌 | 東京 | 福岡 |
|----------|------|------|------|
| 水平面全天 | 7959 | 8086 | 8100 |
| 垂直面全天(E) | 3752 | 3486 | 3511 |
| 垂直面全天(W) | 3705 | 3553 | 3475 |
| 垂直面全天(N) | 1117 | 1091 | 1121 |
| 垂直面全天(S) | 2527 | 1798 | 1598 |

福島から最も近く、南に位置する東京データでの水平面及び垂直面の日照時間中(5-18時の13時間と想定)の時間平均値を求めると、それぞれ以下の値となる。

- ・水平面： $8086 / 13 = 622 W / m^2$
- ・垂直面平均値： $(3486 + 3553 + 1091 + 1798) / (4 \times 13) = 191 W / m^2$

また、1F構内での気象観測データにおける、2006年～2010年6～9月の5年間の日射量データのうち、最も積算日射量が高い日の積算日射量を可照時間で割った値は $607 W / m^2$ であり、冷房設計用日射量計算モデル(東京： $622 W / m^2$)による時間平均値を下回る。以上より、事業所外運搬の告示に定める値(水平面： $800 W / m^2$ 、垂直面： $200 W / m^2$)は、保守的な設定値と考えられ、評価に用いることは妥当と考える。

② 日射吸収率

日射入熱量に対するコンクリートの日射吸収率は、日本建築学会「建築設計資料集成」より、明るい色のコンクリートの日射吸収率である 0.6 を用いている。文献により、コ

ンクリートの日射吸収率の数値は若干の違いがあり、空気調和・衛生工学便覧、第5編には、コンクリートの日射吸収率は0.7程度という記載がある。本評価では、上記のとおり日本建築学会「建築設計資料集成」記載値にて評価を行っているが、日射吸収率を0.7程度とした場合においても、表1.2-8のとおり設計基準温度を超えることは無い。

また、数年程度ではコンクリート表面色の変化はほぼ無いと考えられるが、仮保管期間が長期にわたる場合は、仮保管された乾式キャスクの表面温度やコンクリートの表面状態等を確認し、除熱機能に影響が無いか今後状態を確認していく。

表 1.2-8 日射吸収率を変えた場合の除熱評価結果（風速 0.5m/s）

（単位：℃）

| | 外壁断熱 | 熱の出入りを考慮 | | 設計基準値 |
|------------------|------|--------------|----------------|-------|
| | | 日射吸収率 0.6 | 日射吸収率 0.7程度 | |
| 排気温度 | 39.4 | 38.9 | 39.3 | 45 |
| モジュール内 空気平均温度 | 34.5 | 34.3 | 34.4 | |
| 天井内面最高温度 | 52.8 | 54.5 | 57.0 | 65 |
| 側壁内面最高温度 | 53.2 | 50.6 | 52.8 | |
| 床面最高温度 | 51.5 | 51.1 | 51.3 | |

③外気による対流伝熱にて考慮する風速について

コンクリート壁面と外気との対流伝熱において、外気の風速を考慮し伝熱量を設定している。外気の風速は、小名浜特別地域気象観測所の観測データより、夏季(6~9月)の月平均風速の平年値が約2.2~2.6m/sであることを踏まえ、2m/sと設定し評価を行っている。また、参考として静穏状態の評価もあわせて実施し、除熱評価の評価結果が設計基準温度を満足することを確認している。静穏状態の風速は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」の解説において、

（抜粋）

感度のよい微風向・微風速計では静穏時でも0.5m/s以上の風速を示していることが多く、また、静穏時における放射性雲からのガンマ線被曝も極端に高い実測値がえられていないことから、静穏時においても大気による拡散希釈は行われているものと考えられる。

このように記載されていることから、コンクリートモジュールの除熱評価においても、

静穏状態の風速として同指針を参照し、0.5m/s と設定している。なお、風速 0.5m/s は 1F 構内での気象観測データにおける、2006 年～2010 年 6～9 月の日照時間中（5 時-18 時と想定）風速データの約 97.5%を包絡する値であり、保守的な設定である。

④ 評価結果の不確定性

コンクリートモジュールの除熱評価における、現状の評価方針について、大きな保守性を有するものではないが、定常的に評価条件を逸脱することはないと考える。また、一時的に本評価条件を超える状態が発生した場合においても、以下の通り設備への影響はないと考える。

・コンクリートモジュールへの影響

コンクリートの設計基準温度は保守的に「コンクリート製原子炉格納容器規格 (JSME S NE1-2003)」の定常状態での温度制限値を用いている。同規格において 24 時間未満の非定常状態における温度制限値は 175℃とされており、一時的に 65℃以上の温度となったとしても、ただちにコンクリート内の水分の散逸により健全性に影響を与えることは考えにくい。

・キャスク除熱への影響

キャスクの除熱機能の確認のため、キャスク表面に温度センサ及び警報が設置されており、温度上昇が発生した場合には免震重要棟で検知でき、散水などによる外気温度の低下等の速やかな対処が可能である。

なお、キャスクの除熱評価における評価条件は、保守的な崩壊熱（※1）を設定しており、評価の保守性を有している。またキャスクの除熱評価結果は最も設計基準温度に対する余裕が厳しい燃料被覆管においても、26℃以上の裕度を有している。従って、一時的にコンクリートモジュール内温度が 45℃を超過したとしても、キャスク各部の設計基準温度を超過する恐れはないと考える。

※1 使用済燃料の軸方向燃焼度分布は中心部分で大きいことを考慮し、燃料の平均燃焼度から求まる崩壊熱より大きい値を設計崩壊熱量とし除熱評価を行っている。

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク用コンクリートモジュールの除熱機能

1) 基本的な考え方

コンクリートモジュール内の除熱評価においては、コンクリートモジュール及び輸送貯蔵兼用キャスクを適切にモデル化し、三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて輸送貯蔵兼用キャスク周囲温度、コンクリートモジュールの各部コンクリート温度を評価する。

コンクリートモジュール内に保管されたキャスクの崩壊熱は次の伝熱形態で最終的に外界へ放熱される。

- ③ 使用済燃料から乾式キャスク表面に伝えられた崩壊熱の大部分は、キャスク近傍の空気に対流と伝導により伝達される。崩壊熱の一部については、ふく射及び支持架台を介する伝導によりコンクリートモジュールに伝えられる。
- ④ コンクリートモジュールへ伝わった熱は構造材を介した伝導伝熱及び対流により外界(外気、地中など)に放出される。あるいは、対流と伝導によってモジュール内の空気に伝わり、その自然換気に従って外界に放出される。

本評価は輸送貯蔵兼用キャスク B におけるコンクリートモジュール内の除熱評価であり、輸送貯蔵兼用キャスク A については今後確認を行う。

2) 設計基準

設計基準を表 1.2-9 に示す。

表 1.2-9 設計基準

| 対象箇所 | 設計基準 | 設計基準温度 |
|---------------|---------------------------|---------------------|
| キャスク周囲温度 | 乾式キャスク除熱評価のインプット条件となる制限温度 | 45℃以下 |
| モジュールのコンクリート材 | コンクリート材の構造強度が確保される制限温度 | 65℃以下 ¹⁾ |

1) 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格(JSME S NE1-2003)

3) 評価条件

コンクリートモジュールの除熱評価の解析モデルは以下の通りとする。

- ・ 保管状態のキャスク 1 基を含むコンクリートモジュール及び基礎スラブを解析対象とし、コンクリートモジュール及びキャスク形状の対称性を想定して 1/2 区分を模擬(モデル化)する。(図 1.2-7 参照)
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスク B は直径約 2.5m、全長約 5.3m であるが、保守的に形状寸法が大きく流路の圧力損失が大きくなるよう直径約 2.5m、全長約 5.4m の円柱形状で

模擬する。(図 1.2-7 参照)

- 評価に用いる直径約 2.5m, 全長約 5.4m の円柱形状のモデルと輸送貯蔵兼用キャスク B の発熱量から求められる熱流束が等しくなるよう、評価に用いる発熱量は、 $15.3\text{kW} \times (\text{直径約 } 2.5\text{m}, \text{全長約 } 5.4\text{m} \text{ の円柱形状のモデルの表面積} / \text{B 型キャスクの表面積})$ とし、 15.9kW とする。
- 解析で模擬しない部分の圧力損失要素として、給排気口に設置するグレーチングと外気が給排気口に流入/流出する際の縮流/拡流の圧力損失を、給排気面を換気流が通過する際に発生する圧力損失として付与する(相当する圧力損失係数の設定)。
- コンクリートモジュール温度を保守的に評価するため、モジュール外壁表面及び床基礎スラブ底面は断熱条件とする。また、キャスク上面側のモジュール壁面に設けられる点検扉及び給気口(1面)は模擬しない。(図 1.2-7 参照) なお、モジュール外壁表面での外気との熱の出入りを考慮した評価については参考資料に示す。図 1.2-7 に三次元熱流動解析の評価領域を示す。また、評価条件を表 1.2-10 に示す。

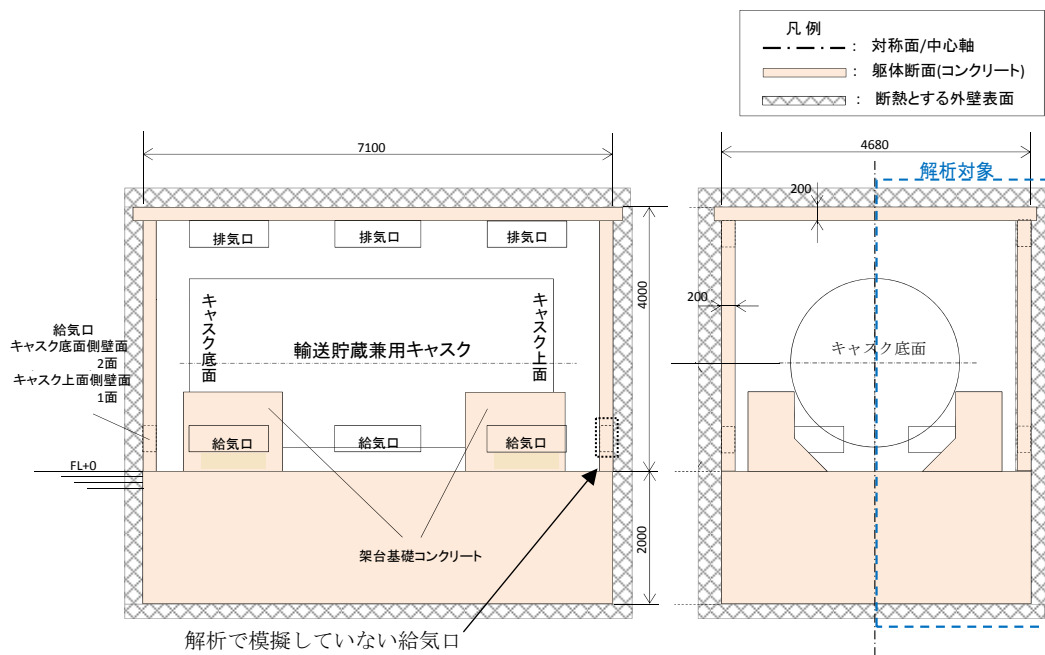


図 1.2-7 三次元熱流動解析の評価領域
(コンクリートモジュール断面(単位:mm))

表 1.2-10 評価条件

| 項目 | 評価条件 | 備考 |
|-------------|------|---|
| 設計給気温度 (°C) | 29.4 | 小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007 年～2011 年の夏季(6 月～9 月)毎正時観測データにおける累積出現率が 99%となる最高温度 |
| 発熱量 (kW) | 15.9 | 評価に用いる円柱形状モデルの表面の熱流束が輸送貯蔵兼用キャスク B の表面の熱流速と等しくなる値。 15.3kW×(直径約 2.5m, 全長約 5.4m の円柱形状のモデルの表面積/B 型キャスクの表面積)より設定。キャスク全表面(上面, 側面, 底面)に一樣な熱流束を設定する。 |

4) 評価方法

三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて、伝導、対流、ふく射が共存する伝熱流動場の支配方程式系を解くことにより、キャスク周囲温度及びコンクリートモジュール温度を評価する。

図 1.2-8 に FLUENT での解析モデル図を示す。

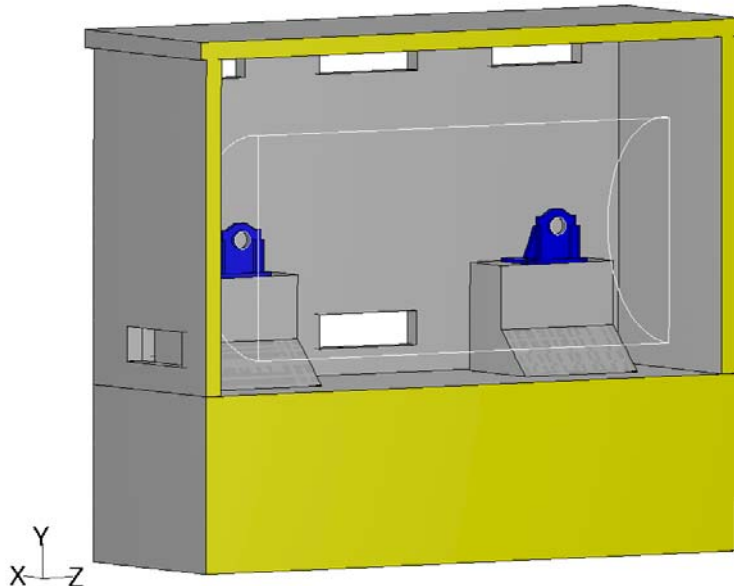


図 1.2-8 コンクリートモジュールの解析モデル図

5) 評価結果

評価結果を以下に示す。

A. 空気温度(キャスク周囲温度及び排気温度)

表 1.2-11 に三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール内の平均空気温度と排気温度を示す。三次元熱流動解析の結果から、コンクリートモジュール内の平均空気温度は 34.8℃、排気温度は 40.3℃であり、設計基準温度 45℃を満足する。

B. コンクリートモジュールの温度

表 1.2-12 に三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール最高温度値、図 1.2-9 にコンクリートモジュール内壁表面(天井面、側壁面、床面)及びコンクリート支持架台の温度分布図を示す。

コンクリートモジュールのコンクリート材最高温度は 57.6℃(側壁)となり、設計基準温度 65℃を満足する。

表 1.2-11 三次元熱流動解析による空気温度

(単位：℃)

| キャスク型式 | 項目 | 評価結果 | 設計基準温度 |
|----------------|---------------------|------|--------|
| 輸送貯蔵兼用 キャスク | コンクリートモジュール内の平均空気温度 | 34.8 | 45 |
| | 排気温度 | 40.3 | |

表 1.2-12 三次元熱流動解析によるコンクリートモジュール温度の最高値

(単位：℃)

| 評価部位 | 評価結果 | 設計基準温度 |
|------------|------|--------|
| 天井面 | 54.8 | 65 |
| 側壁面 | 57.6 | |
| 床面 | 50.2 | |
| コンクリート支持架台 | 54.7 | |

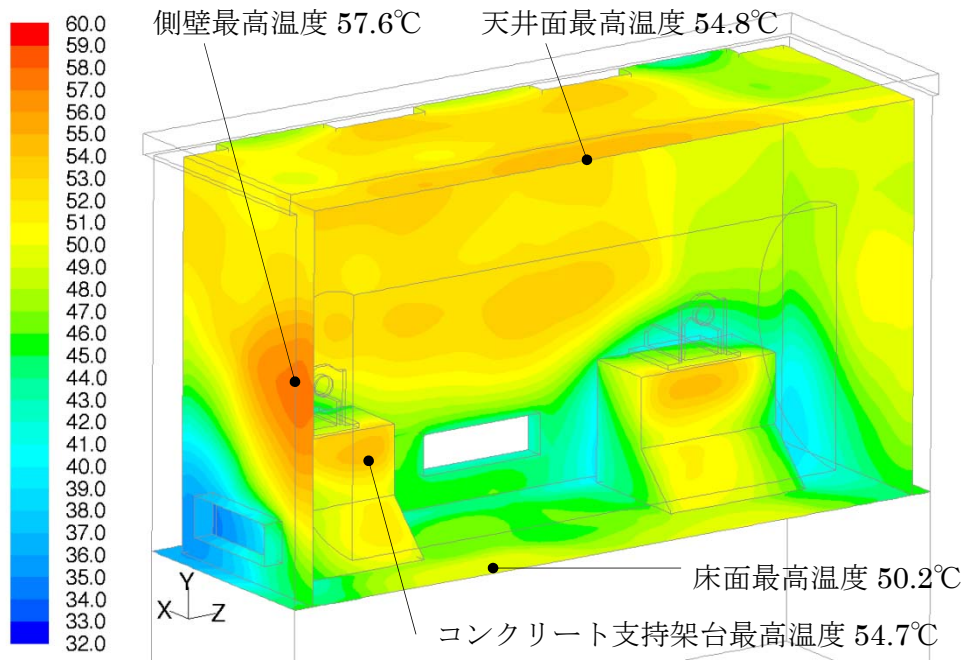


図 1.2-9 コンクリートモジュール内壁表面温度分布

外気との熱の出入りを考慮した除熱評価について（輸送貯蔵兼用キャスク）

コンクリートモジュールの除熱評価においては、モジュール外壁表面及び床基礎スラブ底面は断熱条件とし評価を実施している。ここでは、モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮した評価を行い、モジュール外壁表面を断熱とする条件における評価との比較・検討を実施する。なお、床基礎スラブ底面は断熱条件とする。評価条件等は乾式貯蔵キャスク用コンクリートモジュールでの除熱評価と同様である。

1) 評価条件

評価条件を表 1.2-13 に示す。評価は、三次元熱流動解析コード FLUENT を用いて行う。

表 1.2-13 評価条件

| | モジュール外壁断熱 | モジュール壁面での熱の出入りを考慮 | 備考 |
|-------------------------|-----------|-----------------------------------|--|
| 設計給気温度(°C) | 29.4 | 同左 | 表 1.2-10 評価条件と同一 |
| 崩壊熱(kW) | 15.9 | 同左 | 表 1.2-10 評価条件と同一 |
| 日射入熱(W/m ²) | 無し | 水平面：800 垂直面：200 (日射吸収率：0.6) | “核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示”，第 14 条，別記第四の一の規定を準用 |
| 外気による対流伝熱 | 無し | 風速 2m/s | 小名浜の夏季(6～9 月)の月平均風速の平年値 2.2～2.6m/s より |
| | | 参考： 風速 0.5m/s | 「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に定める静穏状態の風速を参照し設定 |
| 外気-外壁間の輻射伝熱 | 無し | 考慮 | — |

2) 評価結果

評価結果を表 1.2-14 に示す。また、モジュール壁面での熱の出入りを考慮した評価における、風速 2m/s での評価と、風速 0.5m/s の評価のコンクリートモジュール内壁温度分布図をそれぞれ図 1.2-10、図 1.2-11 に示す（モジュール外壁表面を断熱とする条件での温度分布図は図 1.2-9 参照）。モジュール外壁断熱での評価と比べ、モジュール壁面で

の熱の出入りを考慮した評価では外気への排熱によりコンクリート温度が低くなるが、風速 0.5m/s の評価においては、天井面の入熱量が大きく、天井内面温度が大きくなる傾向にある。モジュール外壁を断熱条件とする場合と、モジュール壁面での外気との熱の出入りを考慮する場合いずれも設計基準値を満足する。

表 1.2-14 評価結果

(単位：℃)

| | モジュール 外壁断熱 | モジュール壁面での 熱の出入りを考慮 | | 設計基準値 |
|------------------|---------------|-----------------------|--------------------|-------|
| | | 風速 2m/s | 風速 0.5m/s (参考値) | |
| 排気温度 | 40.3 | 38.6 | 39.4 | 45 |
| モジュール内 空気平均温度 | 34.8 | 34.3 | 34.5 | |
| 天井内面最高温度 | 54.8 | 52.2 | 55.7 | 65 |
| 屋根面最高温度 | — | 52.1 | 59.6 | |
| 側壁内面最高温度 | 57.6 | 47.9 | 51.8 | |
| 側壁外面最高温度 | — | 40.6 | 44.1 | |
| 床面最高温度 | 50.2 | 49.3 | 49.6 | |
| コンクリート支持架台 | 54.7 | 53.5 | 53.9 | |

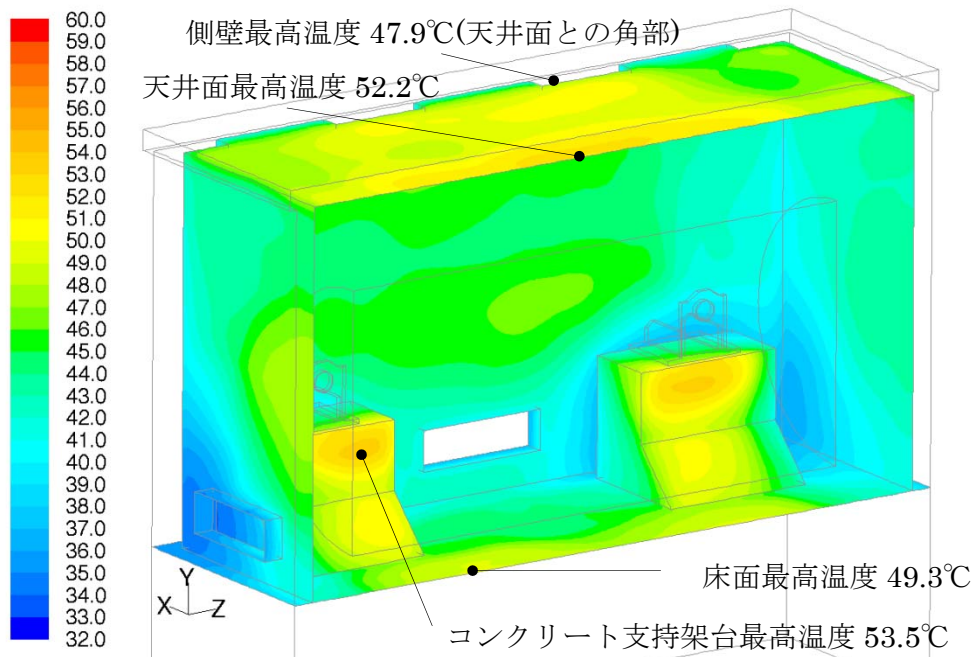


図 1.2-10 コンクリートモジュール内壁表面温度分布(風速 2.0m/s)

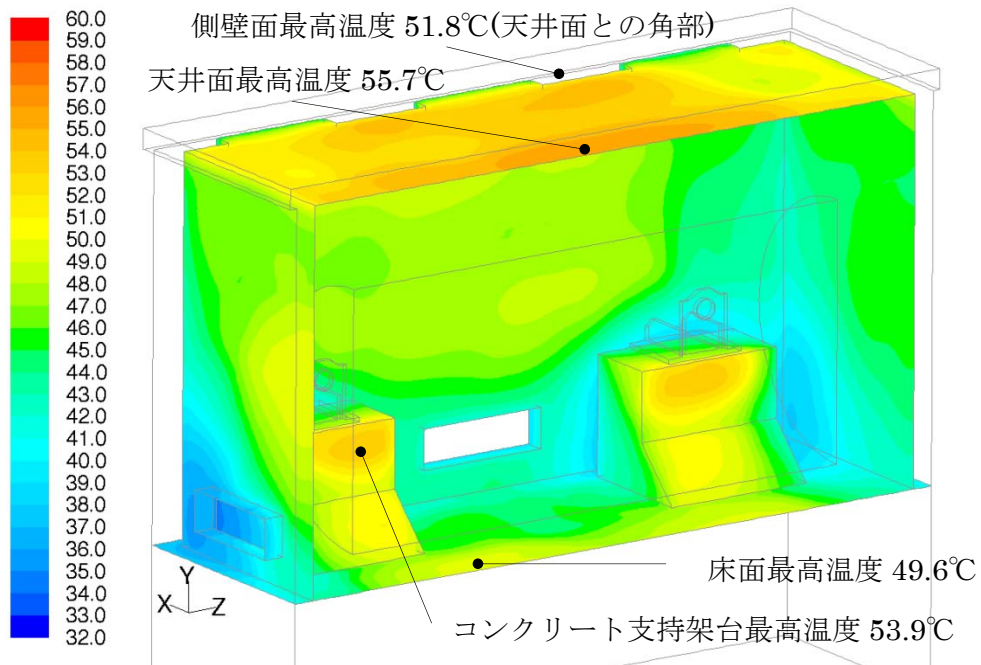


図 1.2-11 コンクリートモジュール内壁表面温度分布(風速 0.5m/s(参考値))

2 密封機能

2.1 乾式キャスクの密封機能について

(1) 乾式貯蔵キャスク

1) 基本的な考え方

乾式貯蔵キャスクについて、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。そのため以下の配慮を行う。

- ① 蓋部及び蓋部貫通孔のシール部には、金属ガスケットを用い、設計貯蔵期間中の圧力障壁を維持する構造とする。
- ② 乾式貯蔵キャスク本体は堅固な構造であり、蓋部は一次蓋、二次蓋の二重構造である。乾式貯蔵キャスク本体の密封境界は、図 2.1-1 に示すように胴、底板、一次蓋、貫通孔蓋板及び金属ガスケットからなる。また図 2.1-2 に示すように、胴、一次蓋、二次蓋、貫通孔蓋板及び金属ガスケットからなる密封監視圧力境界がある。
- ③ 乾式貯蔵キャスク内部は負圧（密封境界）とし、一次蓋と二次蓋の間は正圧とすることにより圧力障壁を設ける。
- ④ 蓋間空間の圧力を監視することにより、万一いずれかの金属ガスケットに漏えいが生じた場合には、密封機能低下が検出できる。この場合でも乾式貯蔵キャスク内部の負圧は維持され、内部気体が直接大気中に放出されることはない。
- ⑤ 金属ガスケットの構造は、コイルスプリングを内蔵する金属製Oリング状ガスケットである。外観はOリング状で、中心部にあるコイルスプリングと、これを覆う二層の被覆から構成される。

なお、密封評価は大型乾式貯蔵キャスクを代表して評価する。これは大型乾式貯蔵キャスクの金属ガスケットの直径が大きいことから、漏えい孔径が大きくなるためである。

密封評価の評価条件として用いるキャスク内部圧力、蓋間空間圧力、大気圧、キャスク容積、流体温度、内部気体、設計貯蔵期間は添付資料-2「評価の基本方針」に記載している既存評価書の内容と同じ条件である。よって本評価結果は既存評価書の内容を引用する。

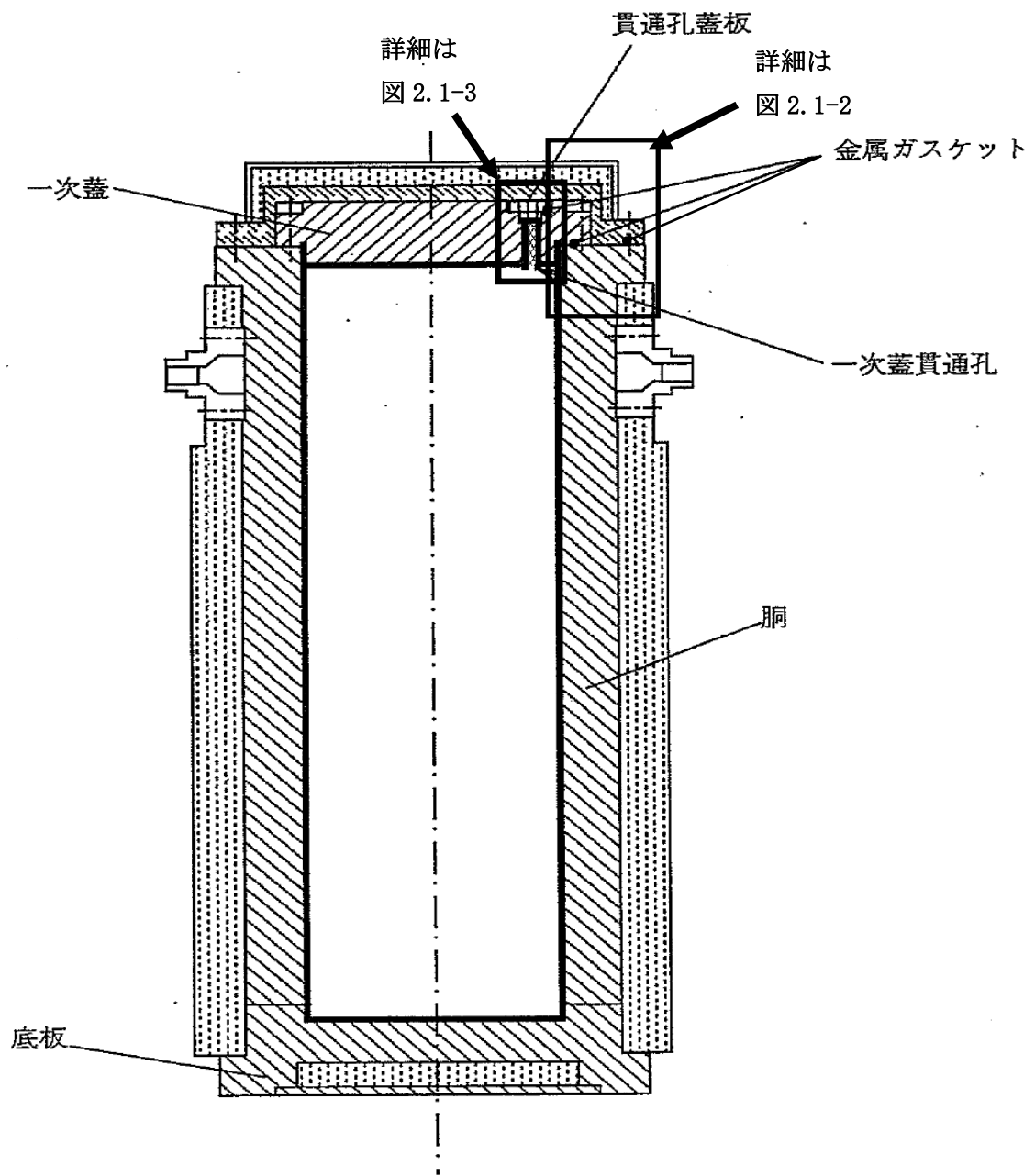


図 2.1-1 乾式貯蔵キャスクの密封構造図

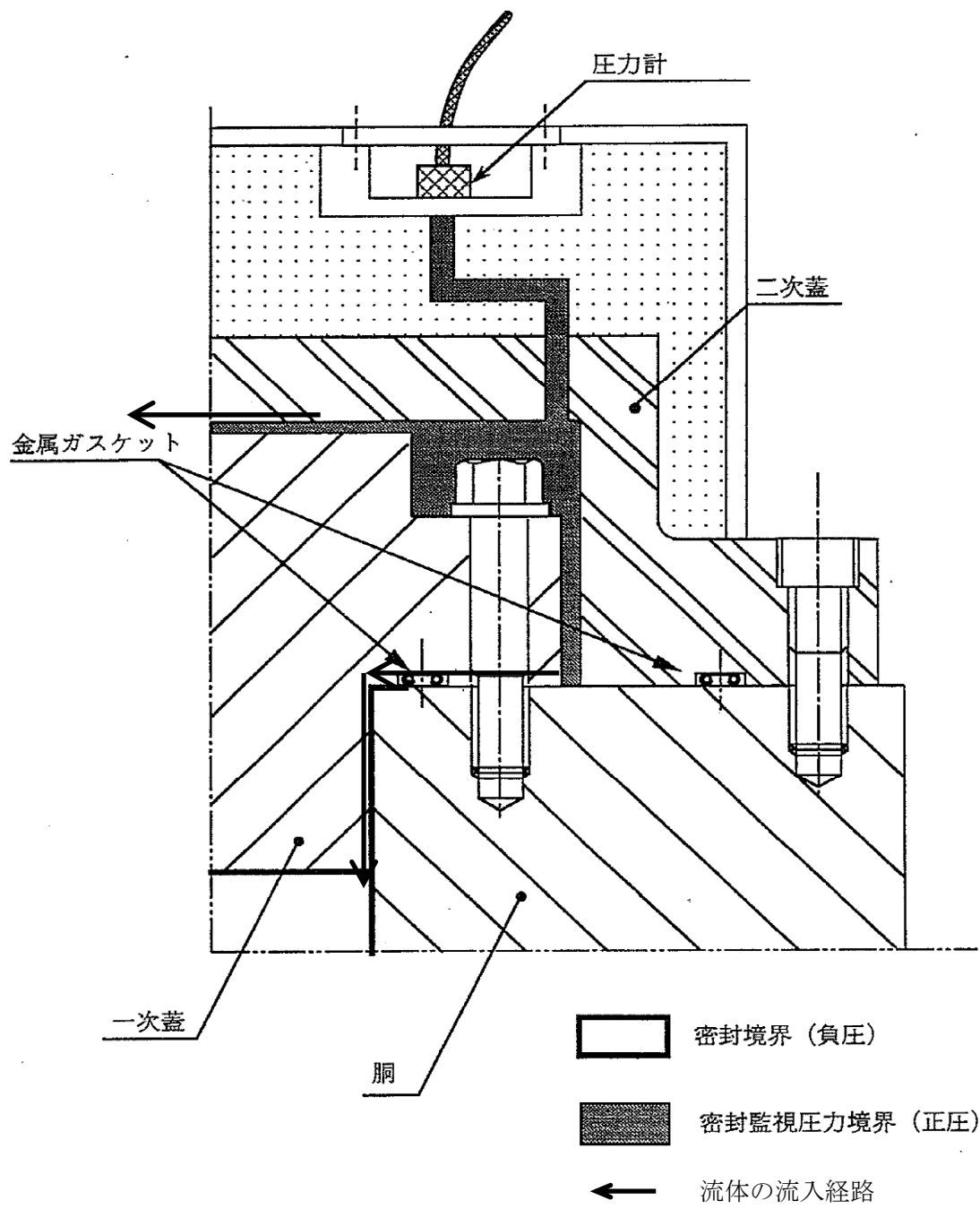


図 2.1-2 乾式貯蔵キャスクの密封部詳細図

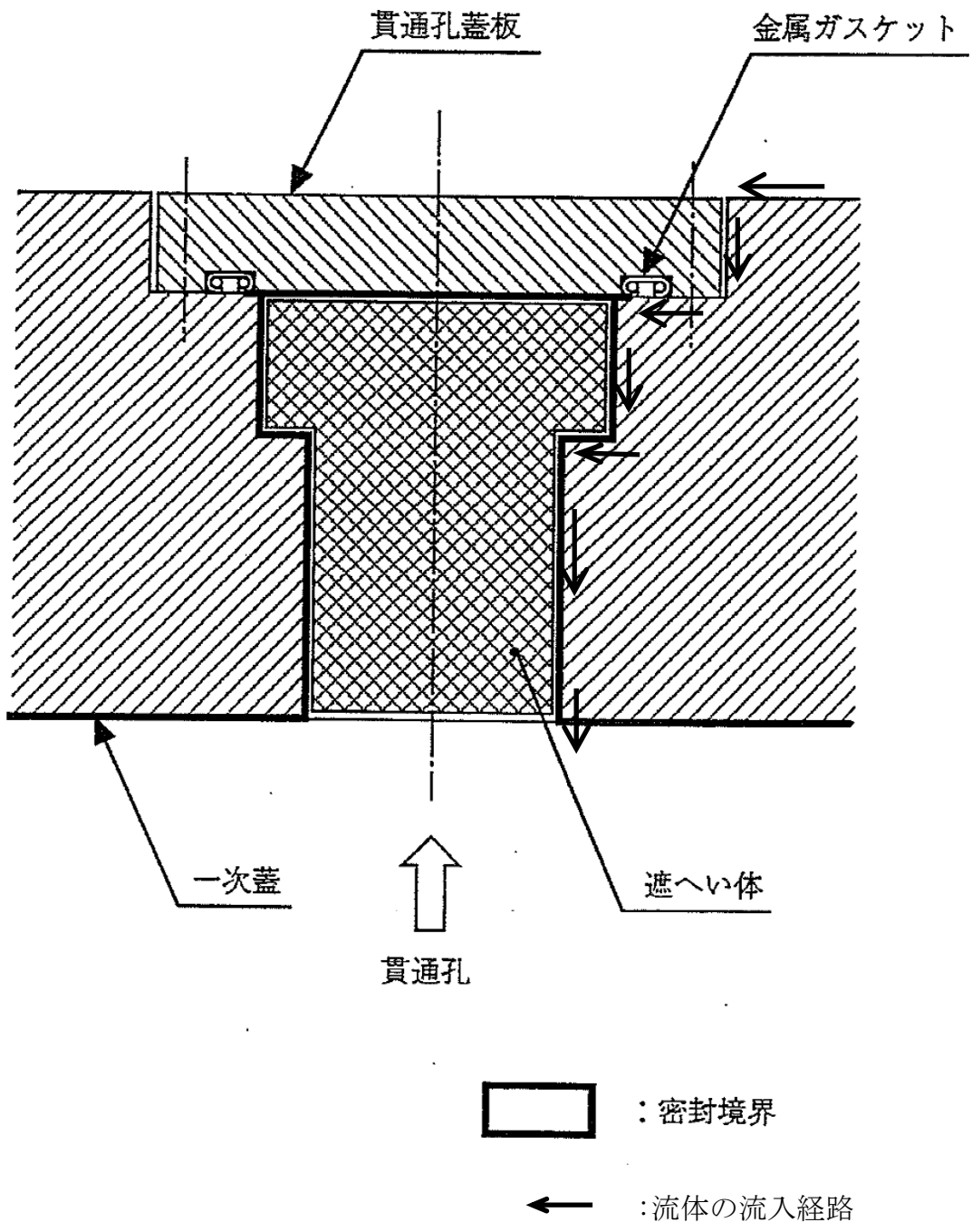


図 2.1-3 乾式貯蔵キャスクの貫通孔蓋板部詳細図

2) 評価基準

貯蔵容器の金属ガスケットの漏えい率が、基準漏えい率以下となること。

3) 評価条件

基準漏えい率を求めるにあたっては、蓋間圧力は一定及び蓋間空間のガスは乾式貯蔵キャスク内部側にのみ漏えいするものとして漏えい計算を行う。また大気圧としては、気象変化による圧力変動を考慮した値 $9.7 \times 10^4 \text{Pa}$ (0.96atm, 日本に上陸した平均的な台風の中心気圧¹⁾)とする。

密封評価条件を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 密封評価条件

| 項目 | 評価条件 |
|--------------------------------|---|
| 圧力 (Pa abs) | キャスク内部 : 8.1×10^4 (初期) 蓋間空間 : 4.1×10^5 (初期) 大気圧 : 9.7×10^4 |
| 空間容積 (m^3) | キャスク内部 : 4.0 |
| 流体温度 ($^{\circ}\text{C}$) | キャスク内部 : 240 (今回の熱解析の結果では、キャスクにヘリウムを封入した後の燃料被覆管の温度 174°C がキャスク内部の最高温度であるが、保守的に 240°C を採用する。) シール部 : -4.5 (小名浜特別地域気象観測所で観測された 2007 年 12 月～2012 年 2 月の冬季(12 月～2 月)毎正時観測データにおける累積出現率が 99%以上となる温度) |
| 内部気体 | ヘリウム |
| 設計貯蔵期間 (年) | 40 |

1) 理科年表, 国立天文台 1989

4) 評価方法

① 概要

密封評価では、設計貯蔵期間中にキャスク内部の負圧が維持できる漏えい率を求める。

漏えい率はシールする流体、シール部温度及び漏えい上流側と下流側の圧力に依存する。従って乾式貯蔵キャスクの漏えい計算では、初期値としてある漏えい率を設定し、微小時間ごとに乾式貯蔵キャスク内部圧力の変化とそれによる漏えい率の変化を求め、圧力変化を積分することにより、ある期間経過後の乾式貯蔵キャスク内部圧力を求める。

乾式貯蔵キャスクの密封評価の基準となる基準漏えい率は、設計貯蔵期間中に乾式貯蔵キャスク内部の負圧が維持できる漏えい率として定義される。これは上述の漏えい計算を繰り返して行うことにより、設計貯蔵期間経過後に乾式貯蔵キャスク内部圧力が大気圧となる漏えい率として求める。

なお、基準漏えい率及び漏えい率は一次蓋からの漏えいと貫通孔蓋板からの漏えいの合計の値とする。

② 基準漏えい率計算手順

基準漏えい率の算出フローを図 2. 1-4 に示す。

- A. 乾式貯蔵キャスクの密封境界の漏えい率 Q_0 を設定する。この漏えい率は使用済燃料の貯蔵開始時のシール部の圧力、温度条件での乾式貯蔵キャスクの密封境界（一次蓋）全箇所からの漏えい率の合計値として設定する。
- B. 乾式貯蔵キャスク初期内部圧力 $P_i(0)$ 、この時の漏えい率 $Q(P_i)=Q_0$ による微小時間 dt 後の内部圧力 $P_i(t)$ を、ボイル・シャルルの法則に基づき、以下のように求める。

$$\frac{V_i \cdot dP_i(t)}{T_i} = \frac{Q(P_i) \cdot dt}{T_s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$dP_i(t)$: 乾式貯蔵キャスク内部の圧力変動 (Pa)

P_i : 乾式貯蔵キャスク内部の圧力 (Pa)

V_i : 乾式貯蔵キャスク内部容積 (m^3)

T_i : 乾式貯蔵キャスク内部温度 (K)

$Q(P_i)$: 漏えい率 ($Pa \cdot m^3/s$)

dt : 微小時間 (s)

T_s : シール部温度 (K)

- C. 新しい乾式貯蔵キャスク内部圧力 $P_i(t)$ による漏えい率 $Q(P_i)$ を求める。

- D. 新しい漏えい率 $Q(P_i)$ による微小時間後の乾式貯蔵キャスク内部圧力 $P_i(t)$ を(1)の

式にて求める。

E. C, Dの手順で微小時間ごとに積算（数値積分）することにより，設計貯蔵期間経過後の乾式貯蔵キャスク内部圧力 P_f を求める。

F. P_f が正圧の場合はより小さい漏えい率を，負圧の場合はより大きい漏えい率 Q_0 を設定して，A～Eを繰り返し，設計貯蔵期間経過後の乾式貯蔵キャスク内部圧力が大気圧となる漏えい率 Q_f を求める。

G. Q_f を標準状態（25℃， 1×10^5 Pa）の漏えい率に換算し，基準漏えい率 Q_s とする。

③ 漏えい計算式

前項の漏えい率の計算や基準漏えい率の換算は，流体力学基礎式に基づく以下のクヌッセンの式を用いる。

$$Q = L P a$$

$$L = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d)$$

$$F_c = \frac{\pi}{128} \cdot \frac{D^4}{a \mu}$$

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi R_o}}{6} \cdot \frac{D^3 \sqrt{T/M}}{a P a}$$

ここで，

F_c : 連続流のコンダクタンス係数 ($\text{m}^3/(\text{Pa}\cdot\text{s})$)

F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数 ($\text{m}^3/(\text{Pa}\cdot\text{s})$)

D : 相当漏えい孔径 (m)

a : 漏えい孔長 (m)

μ : 粘性係数 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

T : 流体の温度 (K)

M : 流体の分子量 (kg/mol)

R_o : 気体定数 ($\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$)

L : 圧力 P_a における体積漏えい率 (m^3/s)

P_a : 流れの平均圧力 (Pa)， $P_a = (P_u + P_d) / 2$

P_u : 上流側（蓋間空間）の圧力 (Pa)

P_d : 下流側（乾式貯蔵キャスク内部）の圧力 (Pa)

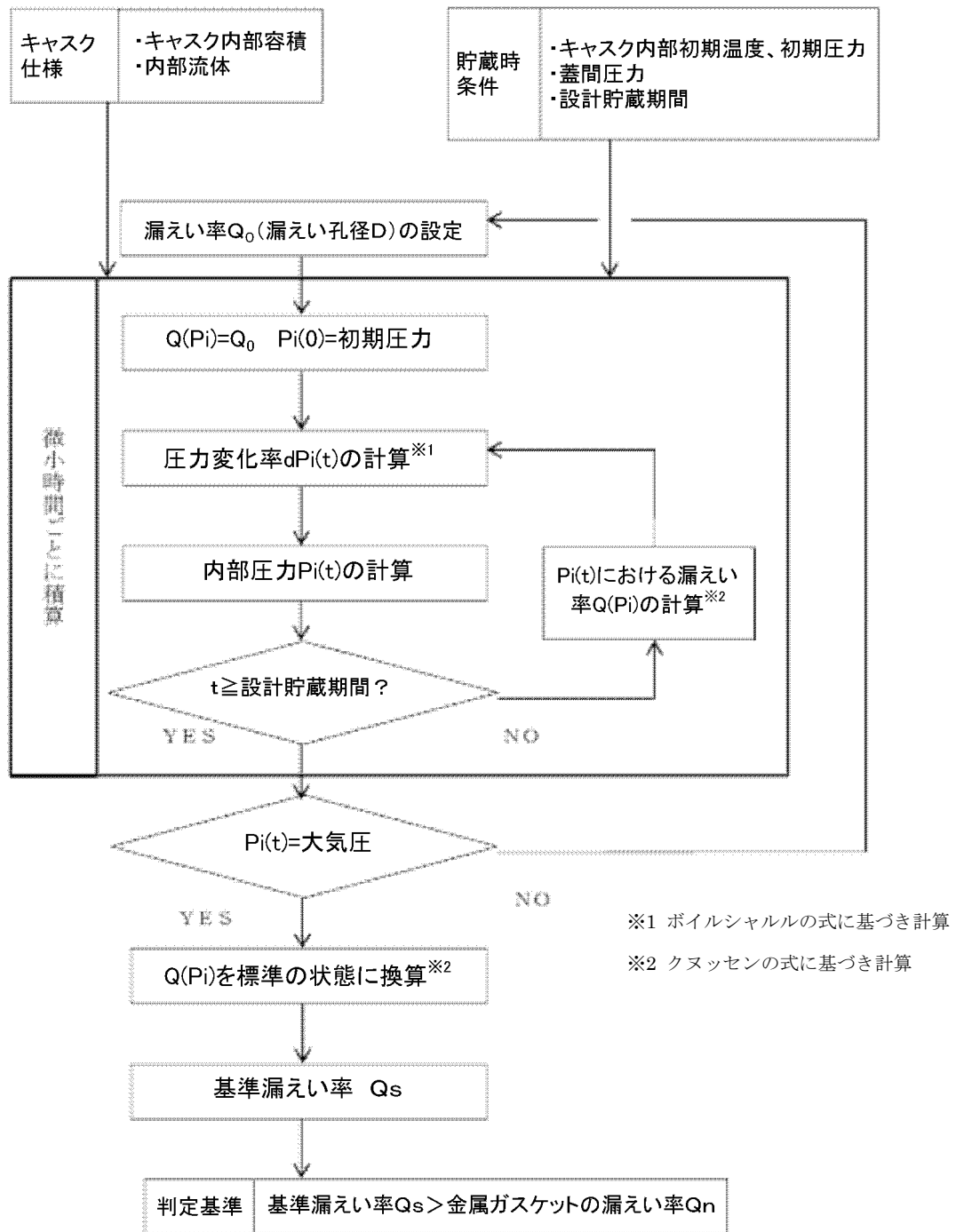


図 2.1-4 漏えい率計算フロー図

5) 評価結果

解析した結果を表 2.1-2 に示す。

乾式貯蔵キャスクの気密漏えい確認の判定基準が基準漏えい率を下回るように設定する。使用する金属ガスケットはこれまで当社で行った気密漏えい確認実績において漏えい率が $1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ オーダーであったものと同型のものを用い、気密漏えい確認において実機の漏えい率が基準漏えい率を下回ることを確認する。

表 2.1-2 密封評価結果

| 項目 | 解析結果 |
|--|--------------------|
| 基準漏えい率 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$) | 1×10^{-6} |

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク A

輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B

1) 基本的な考え方

輸送貯蔵兼用キャスク B について、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上の影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料が内包する放射性物質を適切に閉じ込める設計とする。そのため以下の配慮を行う。

- ① 蓋部及び蓋部貫通孔のシール部には、金属ガスケットを用い、設計評価期間中の圧力障壁を維持する構造とする。
- ② 輸送貯蔵兼用キャスク B 本体は堅固な構造であり、蓋部は一次蓋、二次蓋の二重構造である。輸送貯蔵兼用キャスク B 本体の密封境界は、図 2.1-5 に示すように本体胴、一次蓋、バルブカバー及び金属ガスケットからなる。また図 2.1-6 に示すように、本体胴、一次蓋、二次蓋、バルブカバー、圧力センサ及び金属ガスケットからなる密封監視圧力境界がある。
- ③ 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部は負圧（密封境界）とし、一次蓋と二次蓋の間は正圧とすることにより圧力障壁を設ける。
- ④ 蓋間空間の圧力を監視することにより、万一いずれかの金属ガスケットに漏えいが生じた場合には、密封機能低下が検出できる。この場合でも輸送貯蔵兼用キャスク B 内部の負圧は維持され、内部気体が直接大気中に放出されることはない。
- ⑤ 金属ガスケットの構造は、コイルスプリングを内蔵する金属製Oリング状ガスケットである。外観はOリング状で、中心部にあるコイルスプリングと、これを覆う二層の被覆から構成される。

密封評価の評価条件として用いるキャスク内部圧力、蓋間空間圧力、大気圧、キャスク容積、内部気体、設計評価期間は既存評価書の内容と同じ条件であるが、流体温度は異なっている。

よって本評価結果は既存評価書の内容を引用し、流体温度の影響を考察する。

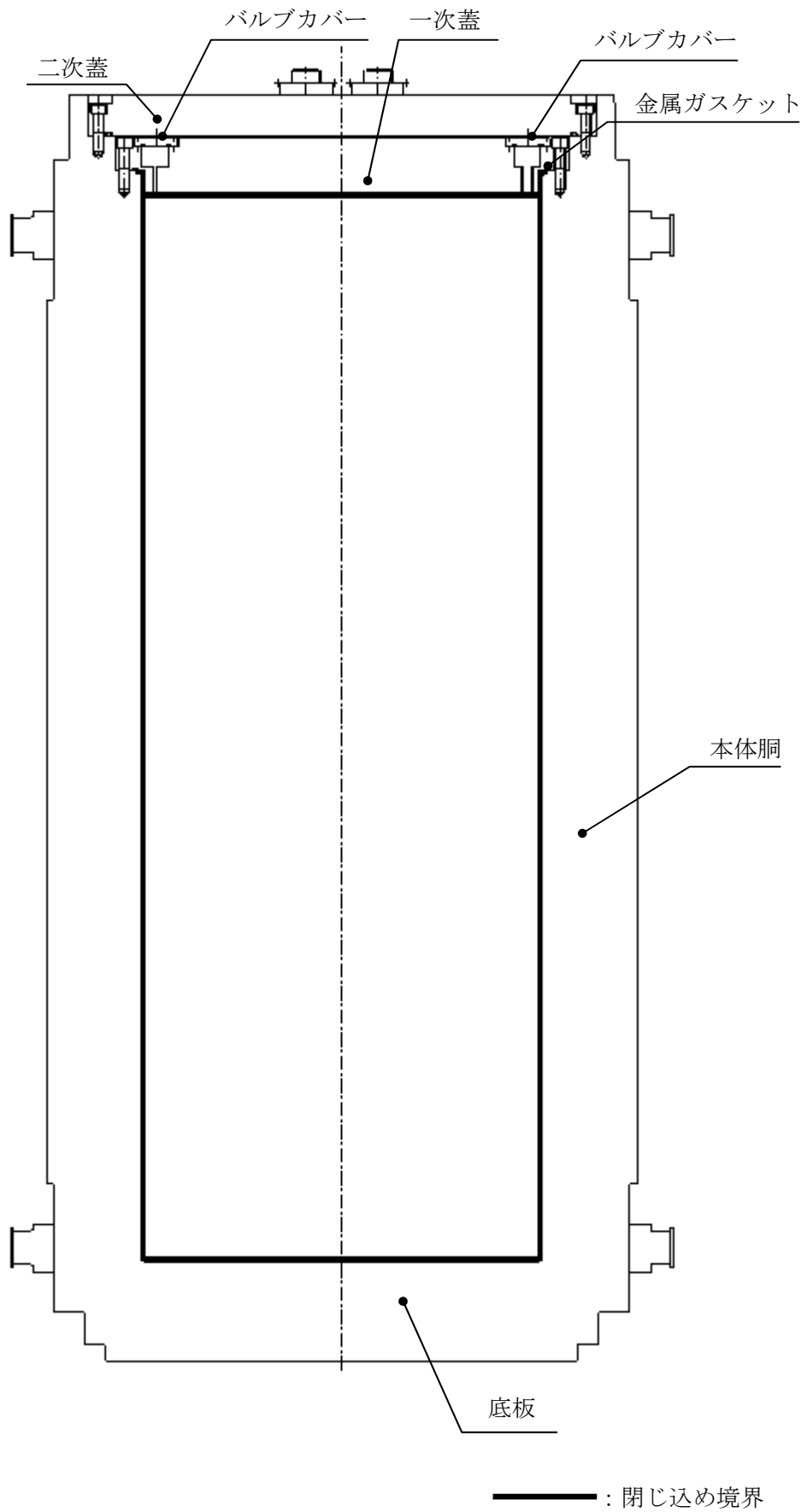


図 2.1-5 輸送貯蔵兼用キャスクの密封構造図

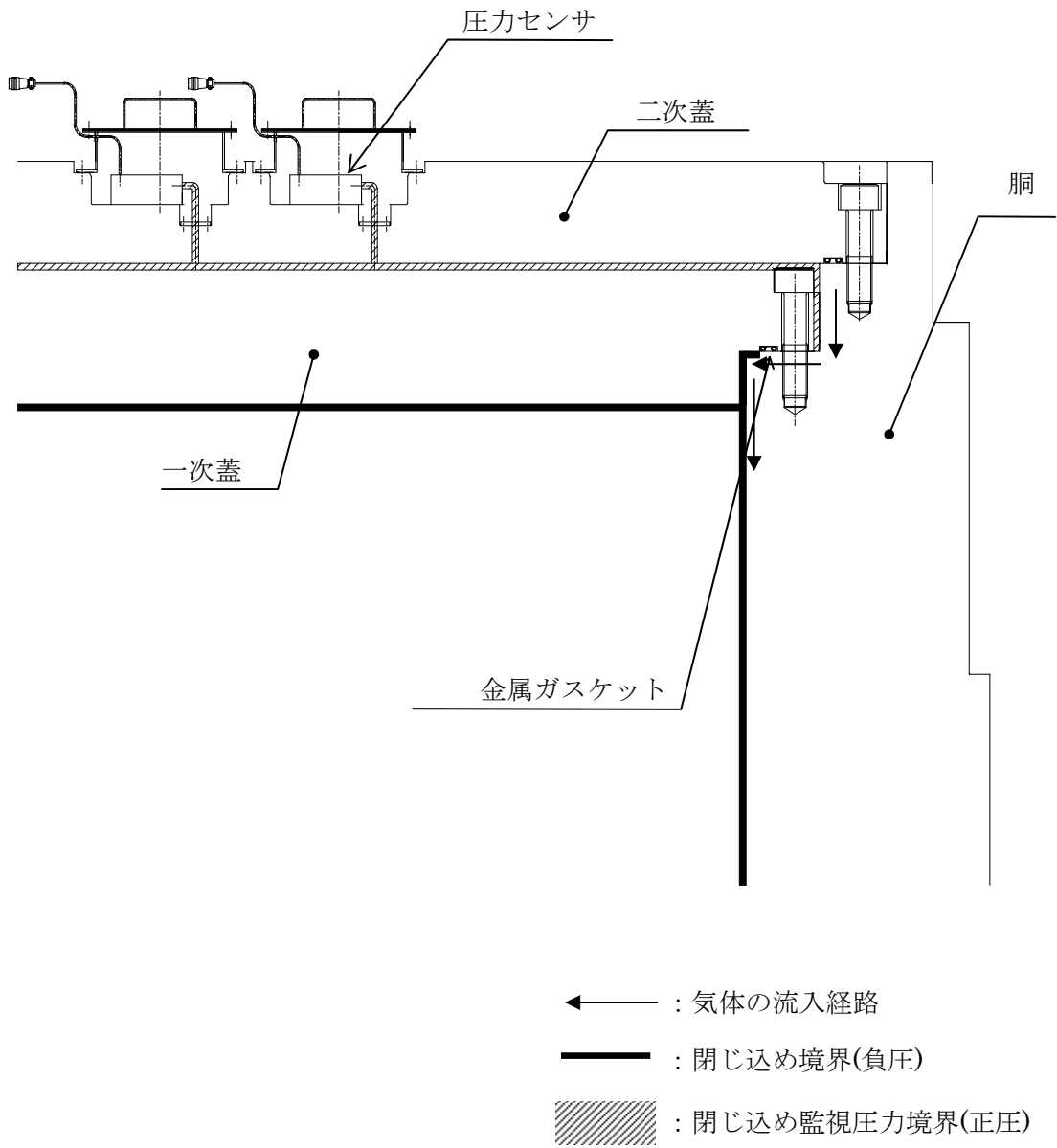


図 2.1-6 輸送貯蔵兼用キャスク B の密封部詳細図

2) 評価基準

貯蔵容器の金属ガスケットの漏えい率が、基準漏えい率以下となること。

3) 評価条件

基準漏えい率を求めるにあたっては、蓋間圧力は一定及び蓋間空間のガスは輸送貯蔵兼用キャスク B 内部側にのみ漏えいするものとして漏えい計算を行う。また大気圧としては、気象変化による圧力変動を考慮した値 $9.7 \times 10^4 \text{Pa}$ (0.96atm, 日本に上陸した平均的な台風の中心気圧¹⁾) とする。

密封評価条件を表 2.1-3 に示す。

表 2.1-3 密封評価条件

| 項目 | 評価条件 |
|--------------------------------|--|
| 圧力 (Pa abs) | キャスク内部： 8.0×10^4 (初期) 蓋間空間： 4.1×10^5 (初期) 大気圧： 9.7×10^4 |
| 空間容積 (m^3) | キャスク内部：約 6 |
| 流体温度 ($^{\circ}\text{C}$) | キャスク内部：259 (1.1(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の除熱機能の結果から、キャスクにヘリウムを封入した後のキャスク内部の最高温度は燃料被覆管の温度 249°C であるが、既存評価書で行った熱解析の結果 259°C を保守的に採用する。) シール部：-22.4 (乾式貯蔵キャスクの密封評価で用いる温度は -4.5°C であるが、既存評価書で実施した密封評価において用いた -22.4°C を保守的に採用する。) |
| 内部気体 | ヘリウム |
| 設計評価期間 (年) | 60 |

1) 理科年表，国立天文台 1989

4) 評価方法

① 概要

密封評価では、設計評価期間中にキャスク内部の負圧が維持できる漏えい率を求める。

漏えい率はシールする流体、シール部温度及び漏えい上流側と下流側の圧力に依存する。従って輸送貯蔵兼用キャスク B の漏えい計算では、初期値としてある漏えい率を設定し、微小時間ごとに輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力の変化とそれによる漏えい率の変化を求め、圧力変化を積分することにより、ある期間経過後の輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力を求める。

輸送貯蔵兼用キャスク B の密封評価の基準となる基準漏えい率は、設計評価期間中に輸送貯蔵兼用キャスク B 内部の負圧が維持できる漏えい率として定義される。これは上述の漏えい計算を繰り返して行うことにより、設計評価期間経過後に輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力が大気圧となる漏えい率として求める。なお、基準漏えい率及び漏えい率は一次蓋からの漏えいと一次蓋貫通孔蓋板からの漏えいの合計の値とする。

内部空間の圧力の算定にあたっては、使用済燃料の破損率として、米国の使用済燃料集合体の乾式貯蔵中における漏えい燃料発生率（約 0.01%）と日本の軽水炉における漏えい燃料発生率（約 0.01%以下）を考慮し、保守的な値として 0.1%¹⁾を想定する。

- 1) 日本原子力学会標準「使用済燃料中間貯蔵施設用金属キャスクの安全設計及び検査基準：2010」附属書 J（参考）金属キャスクの密封設計における使用済燃料の破損の仮定

② 基準漏えい率計算手順

基準漏えい率の算出フローを図 2.1-4 に示す。

- A. 輸送貯蔵兼用キャスク B の密封境界の漏えい率 Q_0 を設定する。この漏えい率は使用済燃料の貯蔵開始時のシール部の圧力、温度条件での輸送貯蔵兼用キャスク B の密封境界（一次蓋）全箇所からの漏えい率の合計値として設定する。
- B. 輸送貯蔵兼用キャスク B 初期内部圧力 $P_i(0)$ 、この時の漏えい率 $Q(P_i)=Q_0$ による微小時間 dt 後の内部圧力 $P_i(t)$ を、ボイル・シャルルの法則に基づき、以下のように求める。

$$\frac{V_i \cdot dP_i(t)}{T_i} = \frac{Q(P_i) \cdot dt}{T_s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$dP_i(t)$: 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部の圧力変動 (Pa)

P_i : 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部の圧力 (Pa)

- Vi : 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部容積 (m³)
 Ti : 輸送貯蔵兼用キャスク B 内部温度 (K)
 Q(Pi) : 漏えい率 (Pa・m³/s)
 dt : 微小時間 (s)
 Ts : シール部温度 (K)

- C. 新しい輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力 Pi (t) による漏えい率 Q(Pi) を求める。
 D. 新しい漏えい率 Q(Pi) による微小時間後の輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力 Pi (t) を (1) の式にて求める。
 E. C, D の手順で微小時間ごとに積算 (数値積分) することにより, 設計評価期間経過後の輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力 Pf を求める。
 F. Pf が正圧の場合はより小さい漏えい率を, 負圧の場合はより大きい漏えい率 Q₀ を設定して, A ~ E を繰り返し, 設計評価期間経過後の輸送貯蔵兼用キャスク B 内部圧力が大気圧となる漏えい率 Qf を求める。
 G. Qf を標準状態 (25°C, 1.01 × 10⁵ Pa) の漏えい率に換算し, 基準漏えい率 Qs とする。

③ 漏えい計算式

前項の漏えい率の計算や基準漏えい率の換算は, 流体力学基礎式に基づく以下のクヌッセンの式を用いる。

$$Q = LPa$$

$$L = (F_c + F_m) \cdot (P_u - P_d)$$

$$F_c = \frac{\pi}{128} \cdot \frac{D^4}{a\mu}$$

$$F_m = \frac{\sqrt{2\pi R_o}}{6} \cdot \frac{D^3 \sqrt{T/M}}{aPa}$$

ここで,

- F_c : 連続流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
 F_m : 自由分子流のコンダクタンス係数 (m³/(Pa・s))
 D : 相当漏えい孔径 (m)
 a : 漏えい孔長 (m)
 μ : 粘性係数 (Pa・s)
 T : 流体の温度 (K)
 M : 流体の分子量 (kg/mol)
 R_o : 気体定数 (J/(mol・K))
 L : 圧力 Pa における体積漏えい率 (m³/s)

P_a : 流れの平均圧力 (Pa), $P_a = (P_u + P_d) / 2$

P_u : 上流側 (蓋間空間) の圧力 (Pa)

P_d : 下流側 (輸送貯蔵兼用キャスク B 内部) の圧力 (Pa)

5) 評価結果

解析した結果を表 2.1-4 の基準漏えい率に示す。

設計評価期間中に輸送貯蔵兼用キャスク B 内部の負圧が維持できる漏えい率以下にリークテスト判定基準を設定し、これを満足することにより密封機能が維持される設計となっている。

なお、使用する金属ガスケットは乾式貯蔵キャスクで用いている金属ガスケットと同等である。

表 2.1-4 密封評価結果

| 項目 | 基準漏えい率 (Pa・m ³ /s) | リークテスト判定基準 (Pa・m ³ /s) |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 金属ガスケットの漏えい率 | 2.4×10^{-6} | 1.6×10^{-6} |

3 遮へい機能

3.1 乾式キャスクの遮へい機能

(1) 乾式貯蔵キャスクの遮へい機能

1) 基本的な考え方

遮へい設計に当たっては、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮へいする能力を有するよう以下のとおり設計する。

- ① 乾式貯蔵キャスクはガンマ線遮へいと中性子遮へいの機能を有する。
- ② ガンマ線遮へい材は主にキャスク構造体（胴、底板、一次蓋、二次蓋等）であり、鍛造炭素鋼等で構成される。
- ③ 中性子遮へい材は、水素を多く含有するレジンで構成される。

乾式貯蔵キャスクには収納する使用済燃料の体数が異なる中型と大型の2種類の乾式貯蔵キャスクがあり、中型と大型の乾式貯蔵キャスクそれぞれについて評価する。

乾式貯蔵キャスクの遮へい解析フローを図 3.1-1 に示す。この中で評価条件として用いる使用済燃料仕様、乾式貯蔵キャスク仕様、線源強度及び解析モデル等は添付資料-2「評価の基本方針」に記載している既存評価書の内容と同じ条件である。よって、本評価結果は既存評価書の内容を引用する。

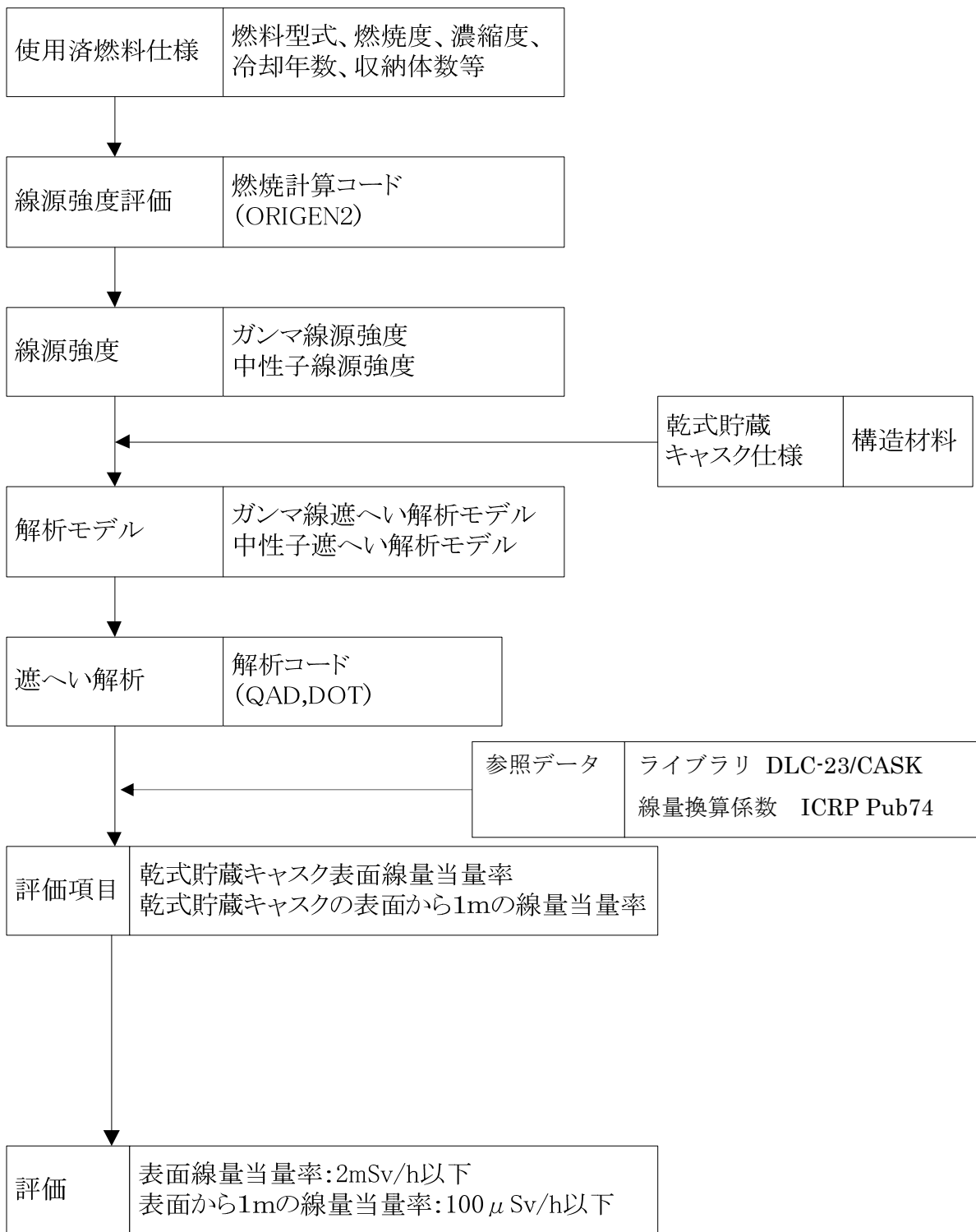


図 3.1-1 乾式貯蔵キャスクの遮へい解析フロー

2) 設計基準

乾式貯蔵キャスクの設計基準は、事業所内運搬に係る法令「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」（昭和 53 年 12 月 28 日通商産業省令第 77 号）第 13 条を適用し、表 3.1-1 のとおりとする。

表 3.1-1 設計基準

(単位： μ Sv/h)

| | 設計基準 |
|---------------------|---------|
| 乾式貯蔵キャスク 表面 | 2000 以下 |
| 乾式貯蔵キャスク 表面より 1m | 100 以下 |

3) 設計条件

①遮へい厚さ

乾式貯蔵キャスクの遮へい厚さを表 3.1-2 に示す。なお、遮へい厚さは大型・中型ともに同じ厚さである。

表 3.1-2 遮へい厚さ

(単位：mm)

| | 低合金鋼 | ステンレス鋼 | レジン |
|------|------|--------|-----------------------|
| 半径方向 | 260 | — | 106/170 ^{注1} |
| 蓋方向 | 295 | 90 | 140 |
| 底方向 | 305 | — | 150 |

注1：図 3.1-2 のようにレジンをを用いた中性子遮へい領域の厚さは場所によって違うため 2 つの値を併記した。

②線源条件

8×8 燃料、新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のうち最も厳しい線源条件となる新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料について評価する。燃料収納条件を表 3.1-3 に示す。乾式貯蔵キャスクの収納物の線源条件を中型、大型それぞれ表 3.1-4、表 3.1-5 に示す。

表 3.1-3 燃料収納条件

| | 燃料仕様 | | |
|----------------|--------|--------|---------------------|
| | 8×8 燃料 | 新型 8×8 | 新型 8×8 ジルコニウムライナ |
| 最高燃焼度 (MWd/tU) | 30,000 | 33,500 | 36,500 |
| 最低冷却期間 (年) | 13 | 13 | 13 |

表 3.1-4 線源条件 (中型キャスク)

| 項 目 | 線源条件 |
|---------------|--------|
| 平均燃焼度 (MWd/t) | 36,500 |
| 初期濃縮度 (%) | 約 3.0 |
| 冷却期間 (年) | 13 |
| 収納体数 (体) | 37 |

表 3.1-5 線源条件 (大型キャスク)

| 項 目 | 線源条件 |
|---------------|--------|
| 平均燃焼度 (MWd/t) | 36,500 |
| 初期濃縮度 (%) | 約 3.0 |
| 冷却期間 (年) | 13 |
| 収納体数 (体) | 52 |

③線源強度及びエネルギー

A. ガンマ線源強度

使用済燃料のガンマ線源強度の計算は ORIGEN2 コードにより行う。

得られたガンマ線源強度を中型，大型それぞれ表 3.1-6，表 3.1-7 に示す。

表 3.1-6 ガンマ線源強度（中型キャスク）

| エネルギー群 | 平均エネルギー (MeV) | エネルギー範囲 (MeV) | 線源強度 (ph/s) |
|--------|---------------|---------------|------------------------|
| 1 | 0.375 | 0.30 - 0.45 | 5.991×10^{14} |
| 2 | 0.575 | 0.45 - 0.70 | 2.619×10^{16} |
| 3 | 0.850 | 0.70 - 1.0 | 1.567×10^{15} |
| 4 | 1.25 | 1.0 - 1.5 | 9.238×10^{14} |
| 5 | 1.75 | 1.5 - 2.0 | 2.766×10^{13} |
| 6 | 2.25 | 2.0 - 2.5 | 5.429×10^{10} |
| 7 | 2.75 | 2.5 - 3.0 | 5.208×10^9 |
| 8 | 3.50 | 3.0 - 4.0 | 6.783×10^8 |

表 3.1-7 ガンマ線源強度（大型キャスク）

| エネルギー群 | 平均エネルギー (MeV) | エネルギー範囲 (MeV) | 線源強度 (ph/s) |
|--------|---------------|---------------|------------------------|
| 1 | 0.375 | 0.30 - 0.45 | 8.420×10^{14} |
| 2 | 0.575 | 0.45 - 0.70 | 3.681×10^{16} |
| 3 | 0.850 | 0.70 - 1.0 | 2.202×10^{15} |
| 4 | 1.25 | 1.0 - 1.5 | 1.298×10^{15} |
| 5 | 1.75 | 1.5 - 2.0 | 3.887×10^{13} |
| 6 | 2.25 | 2.0 - 2.5 | 7.630×10^{10} |
| 7 | 2.75 | 2.5 - 3.0 | 7.319×10^9 |
| 8 | 3.50 | 3.0 - 4.0 | 9.533×10^8 |

使用済燃料の構造材の放射化による線源強度を中型、大型それぞれ表 3.1-8, 表 3.1-9 に示す。

表 3.1-8 構造材の放射化によるガンマ線源強度 (中型キャスク)

| | Co-60 強度 (decay/s) |
|--------------------|------------------------|
| 上部タイプレートハンドル部 | 5.259×10^{11} |
| 上部タイプレートグリッド・上部端栓部 | 6.558×10^{12} |
| 上部プレナム部 | 2.640×10^{13} |
| 下部端栓・下部タイプレート部 | 1.270×10^{13} |

表 3.1-9 構造材の放射化によるガンマ線源強度 (大型キャスク)

| | Co-60 強度 (decay/s) |
|--------------------|------------------------|
| 上部タイプレートハンドル部 | 7.390×10^{11} |
| 上部タイプレートグリッド・上部端栓部 | 9.216×10^{12} |
| 上部プレナム部 | 3.710×10^{13} |
| 下部端栓・下部タイプレート部 | 1.784×10^{13} |

B. 中性子線源強度

使用済燃料の中性子線源強度の計算は ORIGEN2 コードにより行う。得られた中性子線源強度を中型、大型それぞれ表 3.1-10, 表 3.1-11 に示す。また計算で使用する中性子エネルギースペクトルを表 3.1-12 に示す。

表 3.1-10 中性子線源強度 (中型キャスク)

| | | 中性子線源強度 (n/s) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 次中性子源 | 自発核分裂によるもの | 6.307×10^9 |
| | (α , n) 反応によるもの | 1.042×10^8 |
| | 合計 | 6.411×10^9 |
| 増倍効果を考慮した全中性子線源強度 | | 1.069×10^{10} |

表 3.1-11 中性子線源強度 (大型キャスク)

| | | 中性子線源強度 (n/s) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 次中性子源 | 自発核分裂によるもの | 8.863×10^9 |
| | (α , n) 反応によるもの | 1.465×10^8 |
| | 合計 | 9.010×10^9 |
| 増倍効果を考慮した全中性子線源強度 | | 1.502×10^{10} |

表 3.1-12 中性子エネルギースペクトル

| エネルギー群 | 上限エネルギー (MeV) | スペクトル |
|--------|------------------------|------------------------|
| 1 | 1.492×10^1 | 5.72×10^{-4} |
| 2 | 1.220×10^1 | 2.02×10^{-3} |
| 3 | 1.000×10^1 | 6.07×10^{-3} |
| 4 | 8.180×10^0 | 2.00×10^{-2} |
| 5 | 6.360×10^0 | 4.12×10^{-2} |
| 6 | 4.960×10^0 | 5.27×10^{-2} |
| 7 | 4.060×10^0 | 1.10×10^{-1} |
| 8 | 3.010×10^0 | 8.74×10^{-2} |
| 9 | 2.460×10^0 | 2.28×10^{-2} |
| 10 | 2.350×10^0 | 1.15×10^{-1} |
| 11 | 1.830×10^0 | 2.07×10^{-1} |
| 12 | 1.110×10^0 | 1.89×10^{-1} |
| 13 | 5.500×10^{-1} | 1.31×10^{-1} |
| 14 | 1.110×10^{-1} | 1.59×10^{-2} |
| 15 | 3.350×10^{-3} | 8.12×10^{-5} |
| 16 | 5.830×10^{-4} | 5.89×10^{-6} |
| 17 | 1.010×10^{-4} | 3.89×10^{-7} |
| 18 | 2.900×10^{-5} | 5.53×10^{-8} |
| 19 | 1.070×10^{-5} | 1.33×10^{-8} |
| 20 | 3.060×10^{-6} | 1.88×10^{-9} |
| 21 | 1.120×10^{-6} | 4.19×10^{-10} |
| 22 | 4.140×10^{-7} | 1.20×10^{-10} |

4) 評価方法

①中性子遮へい計算（2次ガンマ線を含む）

中性子遮へい計算は DOT コードにより遮へい体を透過した中性子の線束を計算し、乾式貯蔵キャスク表面及び表面から 1m の線量率を求める。

また、2次ガンマ線の効果についても DOT コードを用いて中性子が遮へい体内で吸収される際に発生する 2次ガンマ線の線束を計算し、乾式貯蔵キャスク表面及び表面から 1m の線量率を求める。

中性子遮へいの解析モデルを図 3.1-2, 3 に示す。解析モデルは、乾式貯蔵キャスクの実形状を考慮してモデル化する。乾式貯蔵キャスク上部及び下部のトラニオン周辺については中性子遮へい材の遮へい厚さが他の部分より少ないため、図 3.1-4 に示した詳細モデル（中型・大型共通）を使用する。

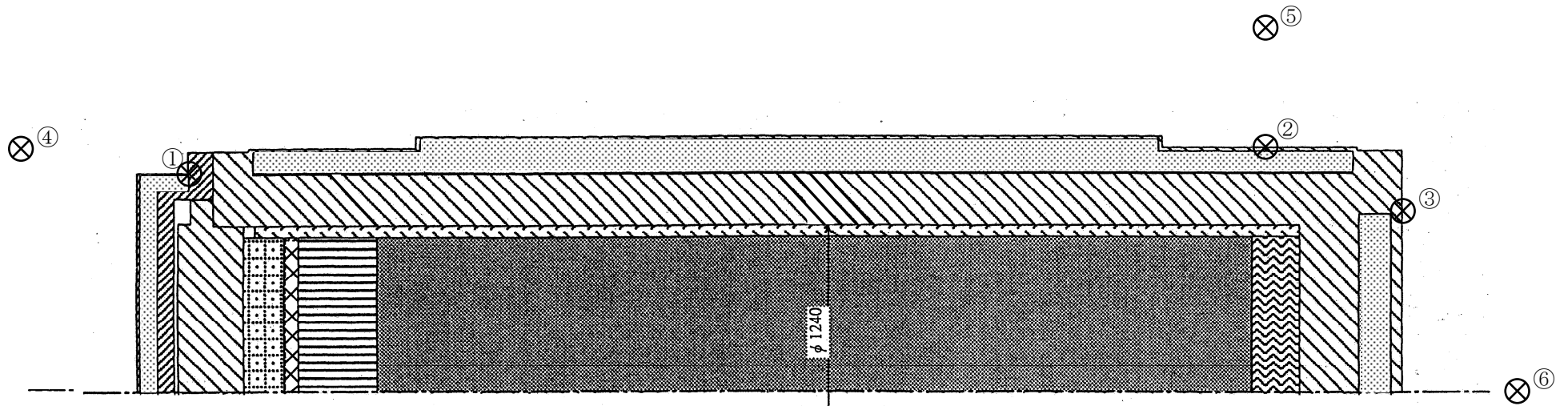
ライブラリとしては、DLC-23/CASK データを用い、線量率への変換は ICRP Pub 74 に従う。











②ガンマ線遮へい計算

ガンマ線遮へい計算は QAD コードにより遮へい体を透過したガンマ線の線束を計算し、乾式貯蔵キャスク表面及び表面から 1m の線量率を求める。

ガンマ線遮へいの解析モデルを図 3.1-5, 6 に示す。解析モデルは、乾式貯蔵キャスクの実形状を考慮してモデル化する。

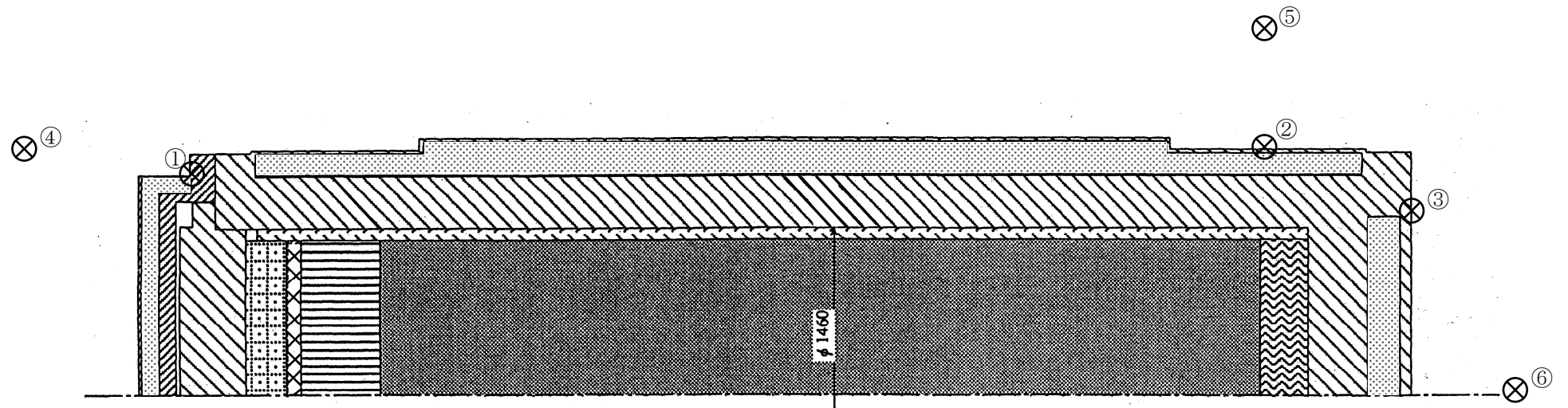
線量率への変換は ICRP Pub 74 のデータを用いる。













- | | |
|---|---|
|  燃料ペレット領域 |  乾式貯蔵キャスク本体, 一次蓋領域 (低合金鋼) |
|  上部プレナム領域 |  二次蓋領域 (ステンレス鋼) |
|  上部タイプレートハンドル領域 |  バスケットサポート領域 (ステンレス鋼) |
|  上部タイプレートグリッド・上部端栓領域 |  中性子しゃへい材領域 (レジン) |
|  下部端栓・下部タイプレート領域 |  伝熱プレート領域 (銅) |

(単位: mm)

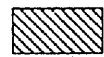


図 3.1-2 乾式貯蔵キャスク中性子遮へい解析モデル (中型キャスク)



- | | |
|---|---|
|  燃料ペレット領域 |  乾式貯蔵キャスク本体, 一次蓋領域 (低合金鋼) |
|  上部プレナム領域 |  二次蓋領域 (ステンレス鋼) |
|  上部タイプレートハンドル領域 |  バスケットサポート領域 (ステンレス鋼) |
|  上部タイプレートグリッド・上部端栓領域 |  中性子遮へい材領域 (レジン) |
|  下部端栓・下部タイプレート領域 |  伝熱プレート領域 (銅) |

(単位: mm)

図 3.1-3 乾式貯蔵キャスク中性子遮へい解析モデル (大型キャスク)

-  トラニオン領域 (ステンレス鋼)
-  中性子しゃへい材領域 (レジン)
-  胴板及び外筒領域 (低合金鋼)

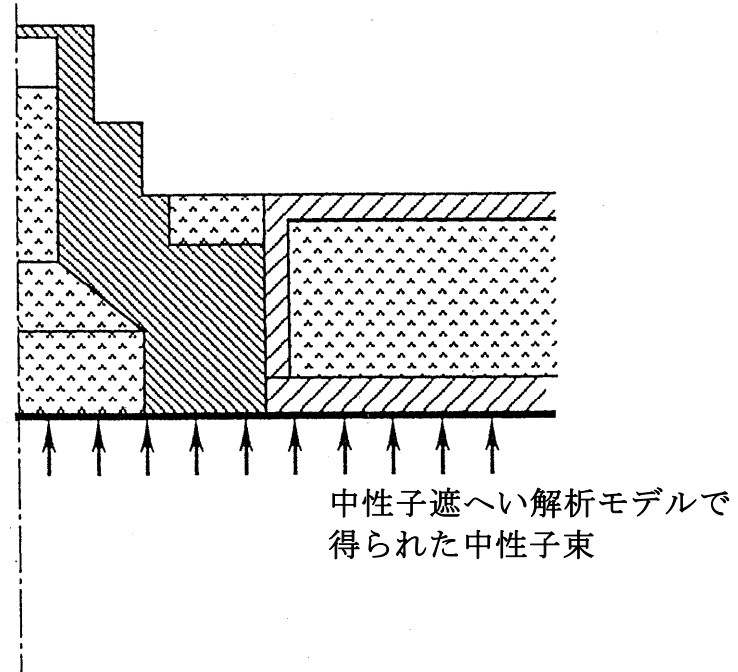
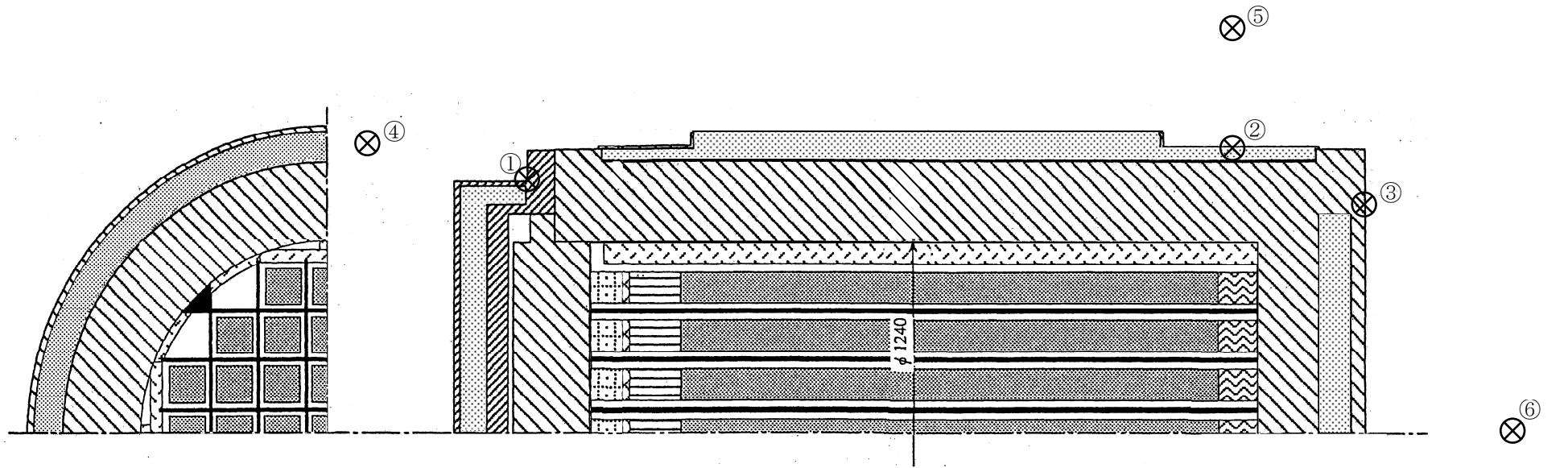


図 3.1-4 乾式貯蔵キャスクトラニオン部の中性子しゃへい解析モデル (中型キャスク・大型キャスク共通)

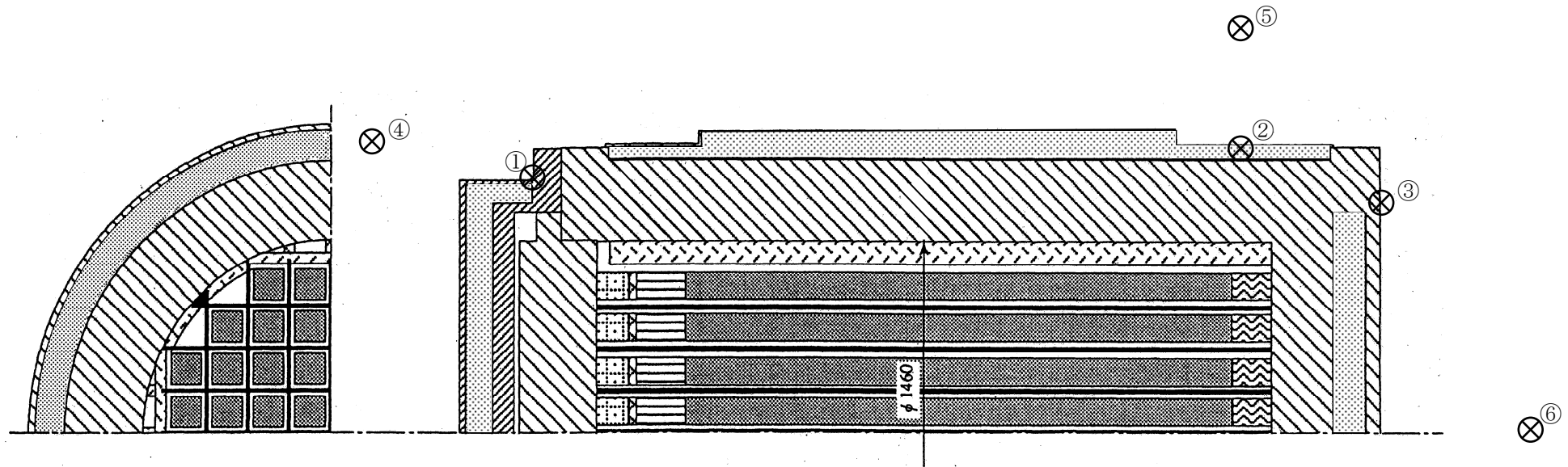



- | | |
|---|---|
|  燃料ペレット領域 |  乾式貯蔵キャスク本体, 一次蓋領域 (低合金鋼) |
|  上部プレナム領域 |  二次蓋領域 (ステンレス鋼) |
|  上部タイプレートハンドル領域 |  バスケットプレート領域 (ボロン添加アルミニウム合金[B-A0]) |
|  上部タイプレートグリッド・上部端栓領域 |  バスケットサポート領域 (ステンレス鋼) |
|  下部端栓・下部タイプレート領域 |  中性子遮へい材領域 (レジン) |
| |  伝熱プレート領域 (銅) |

⊗ 評価点
 (①②③ : 表面
 ④⑤⑥ : 表面から 1m)

(単位 : mm)

図 3.1-5 乾式貯蔵キャスクガンマ線遮へい解析モデル (中型キャスク)



- | | | | |
|---|---------------------|---|---------------------------------|
|  | 燃料ペレット領域 |  | 乾式貯蔵キャスク本体，一次蓋領域（低合金鋼） |
|  | 上部プレナム領域 |  | 二次蓋領域（ステンレス鋼） |
|  | 上部タイプレートハンドル領域 |  | バスケットプレート領域（ボロン添加アルミニウム合金[B-A0] |
|  | 上部タイプレートグリッド・上部端栓領域 |  | バスケットサポート領域（ステンレス鋼） |
|  | 下部端栓・下部タイプレート領域 |  | 中性子遮へい材領域（レジン） |
| | |  | 伝熱プレート領域（銅） |

⊗ 評価点

①②③：表面
④⑤⑥：表面から 1m

(単位：mm)

図 3.1-6 乾式貯蔵キャスクガンマ線遮へい解析モデル（大型キャスク）

5) 評価結果

乾式貯蔵キャスクの評価結果を中型, 大型それぞれ表 3.1-13, 表 3.1-14 に示す。なお, 評価結果は半径方向, 蓋方向及び底方向における線量率の最大値を示している。

本表に示すとおり, 乾式貯蔵キャスクは中型・大型ともに設計基準値を満足している。

半径方向 (評価点②) が計算結果のうち最大であるのは, 中性子遮へい材であるレジ
ンが他の領域に比べて少ないトラニオン部であり中性子線の線量率が大きいことによる。

なお使用済燃料を乾式貯蔵キャスクに収納する場合は, 収納する使用済燃料の燃焼度
が 36500Mwd/t 以下であることを確認する。

表 3.1-13 線量率の計算結果 (中型キャスク)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| | 表 面 | | | 表面から 1m | | |
|---------|------|------|-----|---------|------|-----|
| | 蓋方向 | 半径方向 | 底方向 | 蓋方向 | 半径方向 | 底方向 |
| 評価点 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| 計 算 結 果 | 300 | 1101 | 117 | 5 | 78 | 18 |
| 設計基準値 | 2000 | | | 100 | | |

表 3.1-14 線量率の計算結果 (大型キャスク)

(単位: $\mu\text{Sv/h}$)

| | 表 面 | | | 表面から 1m | | |
|---------|------|------|-----|---------|------|-----|
| | 蓋方向 | 半径方向 | 底方向 | 蓋方向 | 半径方向 | 底方向 |
| 評価点 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| 計 算 結 果 | 371 | 1189 | 131 | 6 | 80 | 22 |
| 設計基準値 | 2000 | | | 100 | | |

遮へい解析に用いるコード (ORIGEN2) について

(1) 概要

ORIGEN2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは汎用解析コードであり、輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

(2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算，炉取出し後の減衰計算により，冷却期間に対応した崩壊熱，放射線の強度，各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し，中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており，任意に選択できる。
- ③ 計算結果は，放射化生成物，アクチニド，核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種データ（崩壊熱，ガンマ線のエネルギー分布，自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等）に関しては，ORIGEN2 コード専用のライブラリがあり，これを用いる。

(3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図 3.1-7 に示す。

(4) 使用実績

ORIGEN2 コードは，輸送キャスク，核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている¹⁾。

(5) 検証方法

汎用コードの導入評価¹⁾ が実施されていることが確認されている。

大型実験/ベンチマーク試験による検証²⁾ が実施されていることが確認されている。

1) A. G. Croff, “ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIALMETHOD”, CCC-371 (1987)

2) (社) 日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”，1989 年 8 月

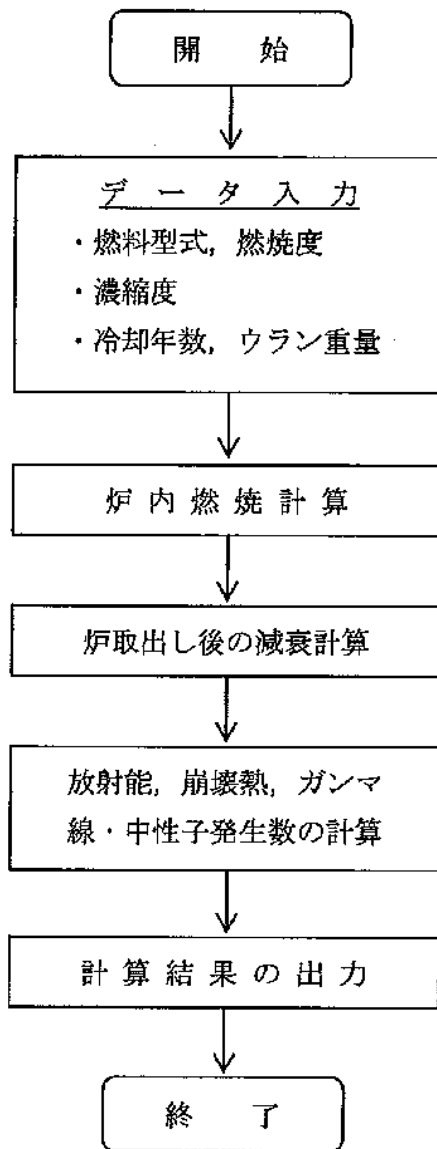


図 3.1-7 ORIGEN2 コードの計算フロー図

遮へい解析に用いるコード (DOT3.5 コード) について

(1) 概要

DOT3.5 コード (以下「DOT コード」という。) は二次元輸送コードであり, 米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された汎用解析コードである。

(2) 機能

DOT コードは, 遮へい解析に際して以下の機能を有する。

- ① ガンマ線や中性子線に対するボルツマン輸送方程式を解くことによる数値解析法であり, 放射線の挙動を追跡するのに重要な非等方性が表現できる。
- ② DOT コードは, 二次元の体系を扱うことができる。

(3) 解析フロー

DOT コードの解析フローを図 3.1-8 に示す。

(4) 使用実績

DOT コードは, 原子力施設の遮へい計算に広く用いられており, 輸送キャスクの遮へい解析に豊富な実績がある。

(5) 検証

汎用コードの導入評価¹⁾が実施されていることを確認。

大型実験/ベンチマーク試験による検証²⁾が実施されていることを確認。

1) W. A. Rhoades, “DOT3.5 TWO DIMENSIONAL DISCRETE ORDINATES RADIATION TRANSPORT CODE”, CCC-276, 1978 年 10 月

2) (社)日本原子力学会 “中性子遮蔽設計ハンドブック”, 1993 年 4 月

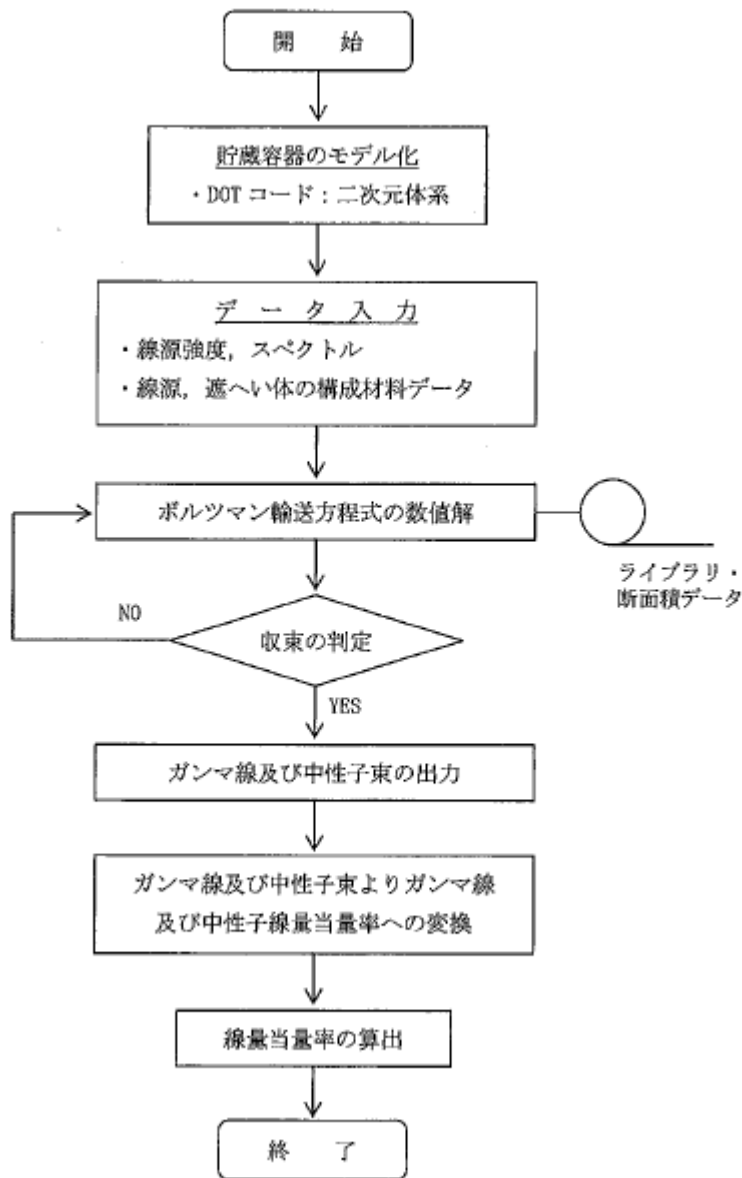


図 3.1-8 DOT コードの解析フロー図

遮へい解析に用いるコード（QAD コード）について

（1）概要

QAD コードは米国 Los Alamos National Laboratory で開発された点減衰核積分法に基づくコードであり，遮へい体内での高速中性子及びガンマ線の透過を計算できる。

QAD コードは公開コードであり，使用済燃料輸送キャスクの遮へい解析等に広く利用されている。

（2）機能

QAD コードは，遮へい解析に際して以下の機能を有する。

- ① 線源は角柱，円柱，あるいは球形の形状で表すことができる。
- ② 遮へい体領域は二次元線，あるいは角柱，球形等の組み合わせにより記述することが可能であり，三次元問題まで取り扱うことができる。
- ③ 計算は入力で指定した検出点について行われ，結果は同じく入力で指定される種々の形に表すことができる。

（3）解析フロー

QAD コードの解析フローを図 3.1-9 に示す。

（4）使用実績

QAD コードは，使用済燃料輸送キャスクのガンマ線遮へい解析に豊富な実績を有する。

（5）検証

ベンチマーク試験による検証¹⁾が実施されていることを確認。

1) (社)日本原子力学会 “ガンマ線遮蔽設計ハンドブック”，1988 年 1 月

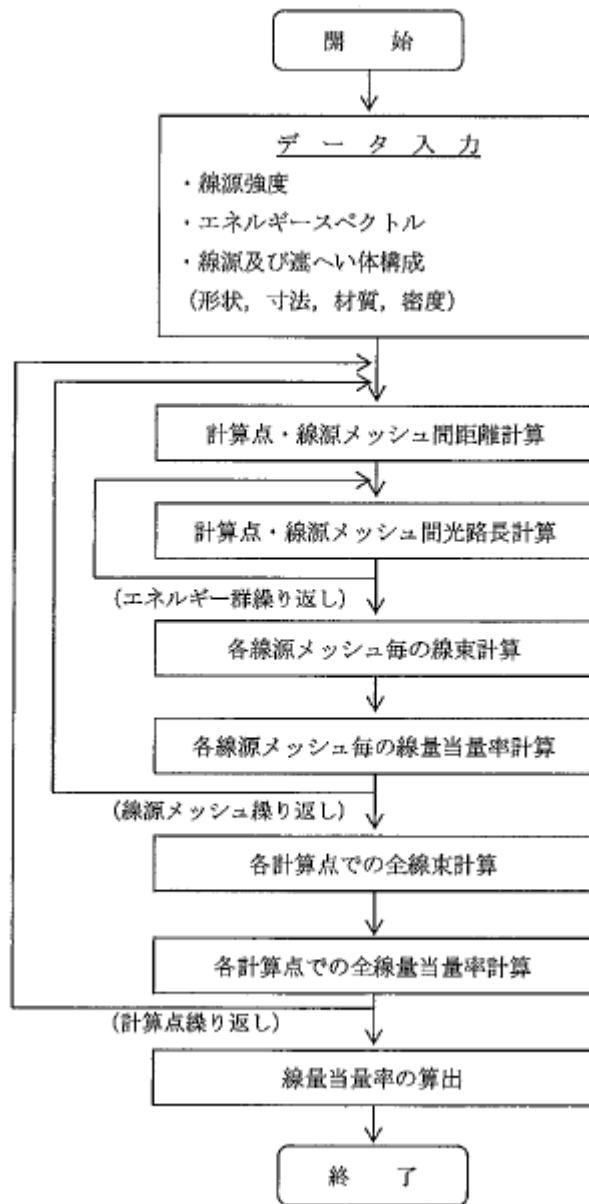


図 3.1-9 QAD コードの解析フロー図

(2) 輸送貯蔵兼用キャスク A の遮へい機能

輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

(3) 輸送貯蔵兼用キャスク B の遮へい機能

1) 基本的な考え方

遮へい設計に当たっては、周辺公衆及び放射線業務従事者に対し、放射線被ばく上影響を及ぼすことのないよう、使用済燃料の放射線を適切に遮へいする能力を有するよう以下のとおり設計する。

- ① 輸送貯蔵兼用キャスク B はガンマ線遮へいと中性子遮へいの機能を有する。
- ② ガンマ線遮へい材には、十分な厚みを有する鋼製の材料を用いる。
- ③ 中性子遮へい材は、水素を多く含有するレジンで構成される。

輸送貯蔵兼用キャスク B の遮へい解析フローは、図 3.1-1 に示す乾式貯蔵キャスクの遮へい解析フローと同様である。この中で評価条件として用いる使用済燃料仕様、輸送貯蔵兼用キャスク B の仕様、線源強度及び解析モデル等は添付資料-2「評価の基本方針」に記載している既存評価書の内容と同じ条件である。よって、本評価結果は既存評価書の内容を引用する。

2) 設計基準

輸送貯蔵兼用キャスク B の設計上の基準は、輸送貯蔵兼用キャスク B 表面の線量当量率が 2 mSv/h 以下及び輸送貯蔵兼用キャスク B 表面から 1m の線量当量率が 100 μ Sv/h 以下とする。

3) 設計条件

①遮へい厚さ

輸送貯蔵兼用キャスク B の評価において考慮する遮へい材の厚さを表 3.1-15 に示す。

表 3.1-15 遮へい厚さ

(単位 : cm)

| | 炭素鋼 ステンレス鋼 | レジン |
|------------------|---------------|------|
| 半径方向 (軸方向中央部) | 約 26 | 約 14 |
| 蓋方向 (径方向中央部) | 約 29 | 約 9 |
| 底方向 (径方向中央部) | 約 29 | 約 11 |

②線源条件

輸送貯蔵兼用キャスク B の収納物の線源条件を表 3.1-16 に示す。配置制限に従い、輸送貯蔵兼用キャスク B の中心領域に最高燃焼度燃料を配置し、外周領域には平均燃焼度燃料を配置する条件とする。

表 3.1-16 線源条件

| | | |
|-------------|------------------|----------------------|
| 燃料集合体の種類 | | 新型 8 × 8 ジルコニウムライナ燃料 |
| 初期濃縮度 (wt%) | | 約 2.9 |
| 燃焼度 | 平均燃焼度 (MWd/t) | 34,000 |
| | 最高燃焼度 (MWd/t) | 40,000 |
| 冷却期間 (年) | | 18 |

③線源強度及びエネルギー

A. ガンマ線源強度

使用済燃料の燃料有効部のガンマ線源強度の計算は ORIGEN2 コードにより行う。エネルギー群構造は, DLC-23/CASK ライブラリのガンマ線 18 群構造に振り分けたものを用いる。また, 使用済燃料の構造材の放射化によるガンマ線源強度には, 構造材中に含まれる Co を考慮する。

B. 中性子線源強度

使用済燃料の燃料有効部の中性子線源強度の計算は ORIGEN2 コードにより行う。

それぞれの線源強度を表 3.1-17 に示す。また, 中性子エネルギースペクトルを表 3.1-18 に示す。

表 3.1-17 使用済燃料の線源強度

| 線種 | | 線源強度 |
|---------|---------|--|
| ガンマ線源強度 | 燃料有効部 | $8.949 \times 10^{16} \text{ (s}^{-1}\text{)}$ |
| | 構造材の放射化 | $1.290 \times 10^{14} \text{ (Bq)}$ |
| 中性子線源強度 | | $1.415 \times 10^{10} \text{ (s}^{-1}\text{)}$ |

表 3.1-18 中性子エネルギースペクトル

| エネルギー群 | 上限エネルギー (eV) | スペクトル ^{注)} |
|--------|------------------------|------------------------|
| 1 | 1.492×10^7 | 5.72×10^{-4} |
| 2 | 1.220×10^7 | 2.02×10^{-3} |
| 3 | 1.000×10^7 | 6.07×10^{-3} |
| 4 | 8.180×10^6 | 2.00×10^{-2} |
| 5 | 6.360×10^6 | 4.12×10^{-2} |
| 6 | 4.960×10^6 | 5.27×10^{-2} |
| 7 | 4.060×10^6 | 1.10×10^{-1} |
| 8 | 3.010×10^6 | 8.74×10^{-2} |
| 9 | 2.460×10^6 | 2.28×10^{-2} |
| 10 | 2.350×10^6 | 1.15×10^{-1} |
| 11 | 1.830×10^6 | 2.07×10^{-1} |
| 12 | 1.110×10^6 | 1.89×10^{-1} |
| 13 | 5.500×10^5 | 1.31×10^{-1} |
| 14 | 1.110×10^5 | 1.59×10^{-2} |
| 15 | 3.350×10^3 | 8.12×10^{-5} |
| 16 | 5.830×10^2 | 5.89×10^{-6} |
| 17 | 1.010×10^2 | 3.89×10^{-7} |
| 18 | 2.900×10^1 | 5.53×10^{-8} |
| 19 | 1.070×10^1 | 1.33×10^{-8} |
| 20 | 3.060×10^0 | 1.88×10^{-9} |
| 21 | 1.120×10^0 | 4.19×10^{-10} |
| 22 | 4.140×10^{-1} | 1.20×10^{-10} |

注) ^{239}Pu の核分裂スペクトルを DLC-23/CASK ライブラリの中性子
22 群構造に振り分けたものである。

4) 評価方法

輸送貯蔵兼用キャスク B の遮へい解析においては、遮へい材の最小厚さを考慮し、輸送貯蔵兼用キャスク B の実形状を軸方向断面に二次元でモデル化する。輸送貯蔵兼用キャスク B の遮へい解析モデルを図 3.1-10 に示す。なお、上部と下部のトランニオン周辺と二次蓋に設ける圧力監視装置部については、当該部近傍の線束から、遮へい評価を行う。遮へい計算はガンマ線、中性子共に DOT コードにより遮へい材を透過したガンマ線及び中性子の線束を計算し、輸送貯蔵兼用キャスク B 表面及び表面から 1m の線量当量率を求める。また、二次ガンマ線の効果についても DOT コードにより中性子が遮へい材内で吸収される際に発生する二次ガンマ線の線束を計算し、輸送貯蔵兼用キャスク B 表面及び表面から 1m の線量当量率を求める。ライブラリとしては、DLC-23/CASK データを用いて線量当量率への変換は ICRP Pub. 74 に従う。

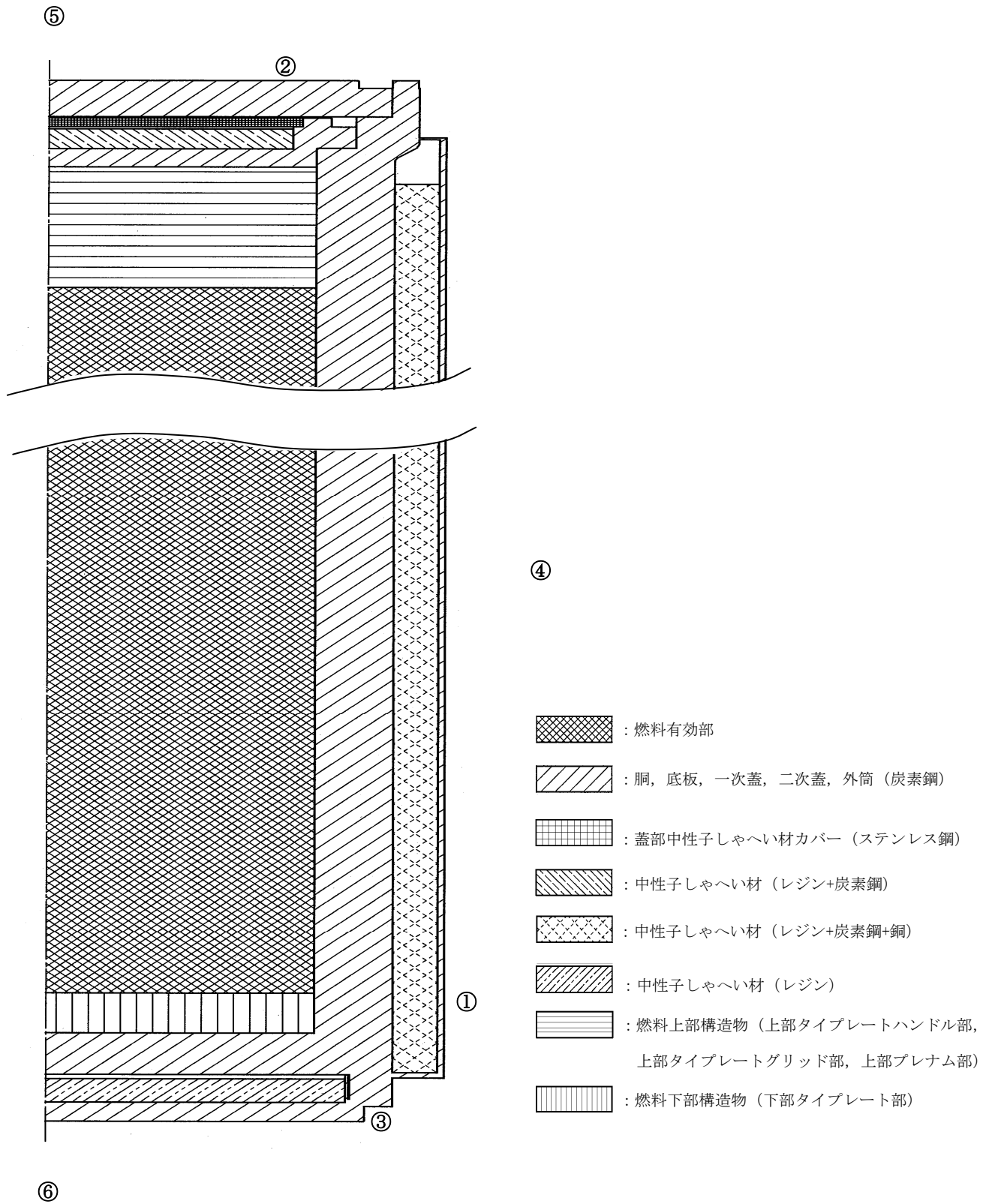


図 3.1-10 輸送貯蔵兼用キャスク B 遮へい解析モデル

5) 評価結果

輸送貯蔵兼用キャスク B の評価結果を表 3.1-19 に示す。なお、評価結果は半径方向、蓋方向及び底方向における線量当量率の最大値を示している。

本表に示すとおり、輸送貯蔵兼用キャスク B は設計基準値を満足している。

表 3.1-19 線量当量率の評価結果

(単位： $\mu\text{Sv/h}$)

| | 表面 | | | 表面から 1m | | |
|-------|------|-----|-----|---------|----|----|
| | 側部 | 蓋部 | 底部 | 側部 | 蓋部 | 底部 |
| 評価点 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ |
| 評価結果 | 1108 | 820 | 291 | 78 | 75 | 81 |
| 設計基準値 | 2000 | | | 100 | | |

4 臨界防止機能

4.1 乾式キャスクの臨界防止機能について

(1) 乾式貯蔵キャスクの臨界防止機能について

1) 基本的考え方

乾式貯蔵キャスクの臨界防止に当たっては、想定されるいかなる場合にも使用済燃料が臨界に達することを防止するため以下のとおり設計する。

①使用済燃料を収納するバスケットは格子構造として、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。

②バスケットの材料には、中性子を吸収するボロン添加アルミニウム合金等を使用する。

乾式貯蔵キャスクの臨界防止機能について、使用済燃料仕様、乾式貯蔵キャスク仕様及び解析モデル等は添付資料-2「評価の基本方針」で記載している既存評価書の内容から変更はない。よって、本評価結果は既存評価書の内容を引用する。

2) 設計基準

実効増倍率は想定されるいかなる場合も 0.95 以下であること。

3) 評価条件

乾式貯蔵キャスクの臨界解析は、KENO-VIコードを使用する。図 4.1-1、図 4.1-2 に臨界解析モデルを示す。実効増倍率を大きく見積もるため、評価条件を下記の通りとした。

- ・評価は 8×8 燃料、新型 8×8 燃料及び新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料のうち、濃縮度の高い新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料について行う。
- ・新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料の使用期間を通じての炉心内装荷状態での最大無限増倍率は 1.23 程度であるが、保守的に炉心内装荷状態での無限増倍率を 1.30 とする。
- ・キャスク内部については燃料有効長部には水が存在するとし、燃料有効長以外の領域及びキャスク外部は真空とする。
- ・乾式貯蔵キャスクの外側は、境界条件として完全反射体で無限個の乾式貯蔵キャスクが接触して配列しているものとする。
- ・使用済燃料がキャスクの中心寄りに配置された状態とする。
- ・バスケット板厚は製造公差を考慮した最小値とする。
- ・バスケット孔寸法は製造公差を考慮した最小値とする。
- ・バスケットプレート材料のボロン添加アルミニウム合金中のボロン 10 含有量は、製造下限値に余裕をみた値とした。

4) 評価方法

乾式貯蔵キャスクの実効増倍率は、燃料棒単位セル計算により求まる燃料集合体平均の核定数を用い、乾式貯蔵キャスクの実形状をモデル化し、臨界解析コードを使用して求める。臨界解析の評価フローを参考資料の図 4.1-3 に示す。

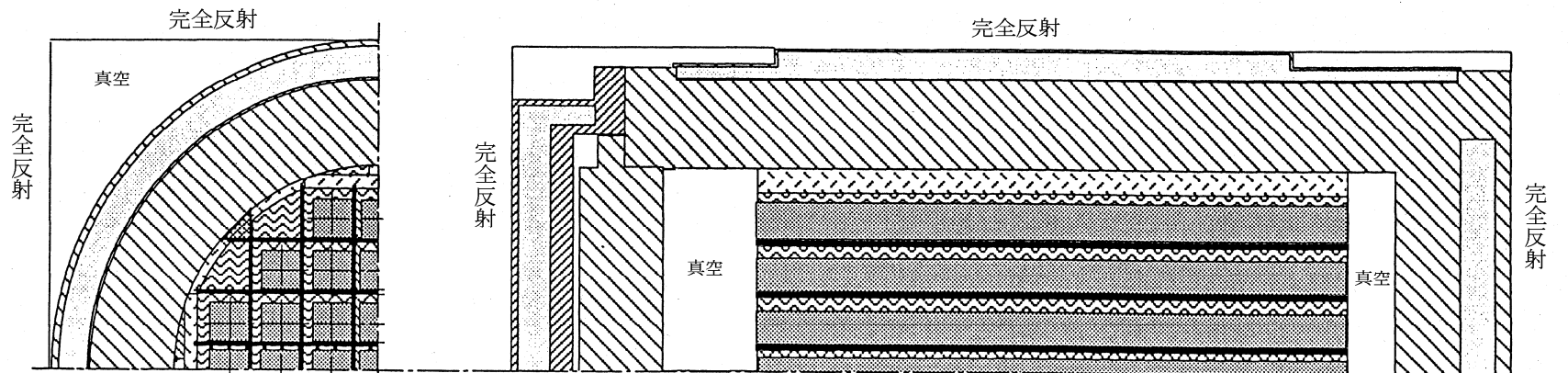
5) 評価結果

乾式貯蔵キャスクについて臨界解析の結果は、表 4.1-1 に示すとおり実効増倍率は設計基準を満足している。

表 4.1-1 臨界解析結果

| キャスクタイプ | 実効増倍率* | 設計基準値 |
|--------------|-----------------|-------|
| 乾式貯蔵キャスク(中型) | 0.83 (0.825) | 0.95 |
| 乾式貯蔵キャスク(大型) | 0.83 (0.824) | 0.95 |

*モンテカルロ計算の統計誤差 3σ を考慮した値
(括弧内は統計誤差を考慮しない値)












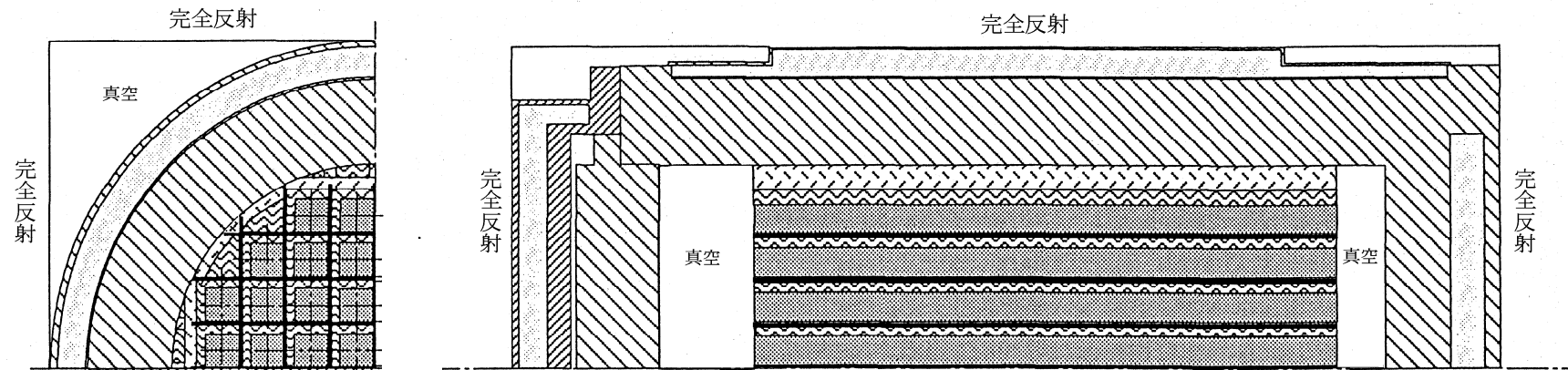
- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|----------------|
|  | 燃料集合体領域 (使用済燃料) |  | 銅, 一次蓋領域 (炭素鋼) |
|  | 空間領域 (水) |  | 二次蓋領域 (ステンレス鋼) |
|  | バスケットプレート領域 (ボロン添加アルミニウム合金[B-A0]) |  | 伝熱プレート領域 (銅) |
|  | 連結棒領域 (アルミニウム合金[A6061P]) | | |
|  | バスケットサポート領域 (ステンレス鋼) | | |
|  | 中性子遮へい材領域 (真空) | | |

図 4. 1-1 臨界解析モデル(乾式貯蔵キャスク(中型キャスク))












- | | | | |
|---|--------------------------------------|--|----------------|
|  | 燃料集合体領域 (使用済燃料) |  | 銅, 一次蓋領域 (炭素鋼) |
|  | 空間領域 (水) |  | 二次蓋領域 (ステンレス鋼) |
|  | バスケットプレート領域 (ボロン添加アルミニウム合金[B-A0]) |  | 伝熱プレート領域 (銅) |
|  | 連結棒領域 (アルミニウム合金[A6061P]) | | |
|  | バスケットサポート領域 (ステンレス鋼) | | |
|  | 中性子遮へい材領域 (真空) | | |

図 4.1-2 臨界解析モデル(乾式貯蔵キャスク(大型キャスク))

臨界解析に用いるコード（KENO-VI）について

(1) 概要

KENO-VIコードは、米国オークリッジ国立研究所（ORNL）で開発されたモンテカルロ法に基づく公開の臨界解析コードであり、輸送キャスクの臨界解析などに利用されている。

(2) 機能

KENO-VIコードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。

- ① 実際に中性子が出会う物理現象を確率理論を用いて模擬するため、どのような物理的問題にも適用できる。なお、統計的な手法を用いるため、計算結果には統計誤差が付随する。
- ② 一次元～三次元の任意形状の体系を扱うことができる。

(3) 解析フロー

KENO-VIコードの解析フローを図 4.1-3 に示す。

(4) 使用実績

KENO-VIコードは、国内外で輸送キャスクの臨界解析をはじめ、核燃料施設の臨界解析に使用されている。

(5) 検証

米国のバットル研究所（パシフィックノースウエスト研究所，PNL）で行われた臨界実験¹⁾の中から3種類の臨界体系をベンチマーク試験として選び、検証を行った。

1) S. R. Bierman, D. D. Clayton, and B. M. Durst, “Critical Separation between Sub-critical Clusters of 2.35wt% ²³⁵U Enriched UO₂ Rods in Water with Fixed Neutron Poisons,” PNL-2438, Battel Pacific Northwest Laboratories, 1977

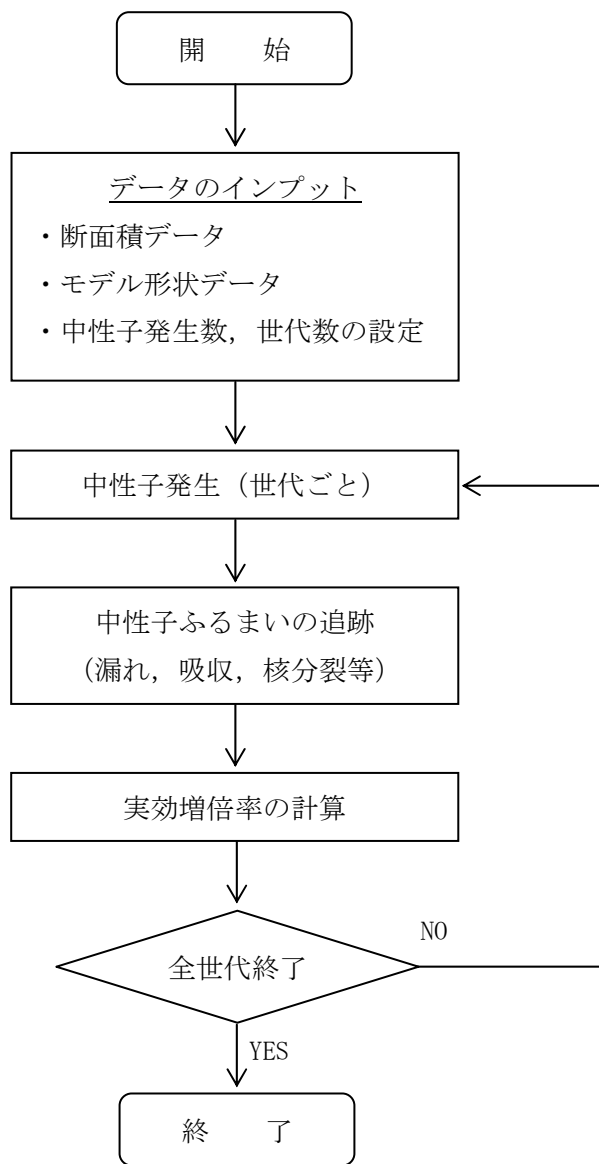


図 4.1-3 臨界解析フロー

(2) 輸送貯蔵兼用キャスクの臨界防止機能について

1) 基本的考え方

輸送貯蔵兼用キャスクの臨界防止に当たっては、想定されるいかなる場合にも使用済燃料が臨界に達することを防止するために以下のとおり設計する。

- ① 使用済燃料を収納するバスケットは格子構造として、使用済燃料を所定の幾何学的配置に維持する設計とする。
- ② 輸送貯蔵兼用キャスク B においては、バスケットの材料に中性子を吸収するボロンを添加したステンレス鋼を用いる。

輸送貯蔵兼用キャスクの臨界防止機能について、使用済燃料仕様、輸送貯蔵兼用キャスク仕様及び解析モデル等は添付資料-2「評価の基本方針」に記載している既存評価書の内容から変更はない。よって、本評価結果は既存評価書の内容を引用する。ここでは、評価上最も厳しい胴内に水が満たされたケースについて示す。

なお、輸送貯蔵兼用キャスク A については今後評価結果を記載する。

2) 設計基準

実効増倍率は想定されるいかなる場合も 0.95 以下であること。

3) 評価条件

輸送貯蔵兼用キャスクの臨界解析には、KENO-V.a コードを使用する。図 4.1-4 に臨界解析モデルを示す。実効増倍率を大きく見積もるため、評価条件を下記の通りとした。

- ・ 収納する使用済燃料の炉心内装荷状態での最大無限増倍率は 1.30 未満であるが、保守的に炉心内装荷状態での無限増倍率は 1.30 を仮定する。
- ・ キャスク胴内には水が存在するものとする。
- ・ キャスク胴内における燃料集合体として存在する部分は燃料有効長に相当する部分のみとし、上・下部タイプレート部等を水に置き換える。また、キャスク胴内での燃料領域の上、下の部分は水に置き換える。
- ・ 輸送貯蔵兼用キャスクの外側は、境界条件として完全反射体で無限個の輸送貯蔵兼用キャスクが配列しているものとする。
- ・ 使用済燃料がキャスクの中心寄りに配置された状態とする。
- ・ チャンネルボックスを考慮する。
- ・ バスケットの格子幅公差を安全側に考慮する。
- ・ 中性子遮へい材(側部, 蓋部, 底部)を無いものとする。
- ・ バスケットのボロン含有量は最小値を用いる。

4) 評価方法

輸送貯蔵兼用キャスクの実効増倍率は、KENO-V. a コードを用いて求める。臨界解析の評価フローを参考資料の図 4.1-5 に示す。

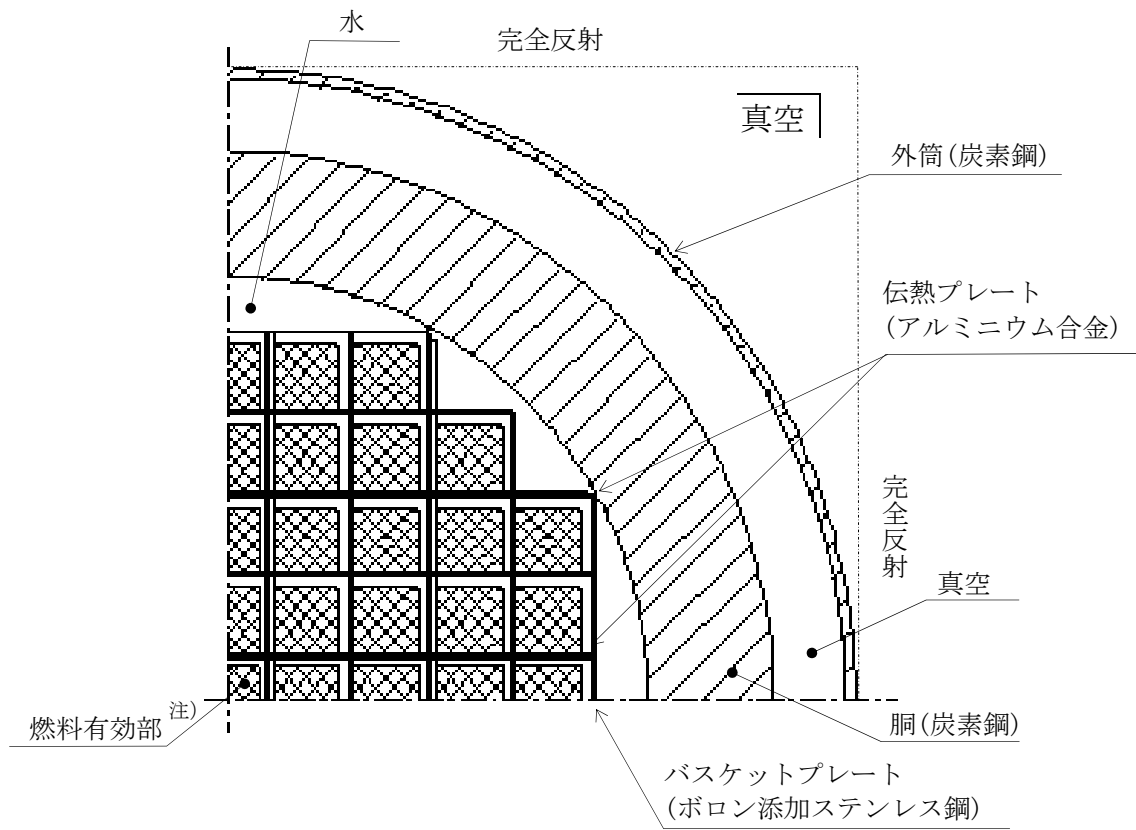
5) 評価結果

輸送貯蔵兼用キャスクについて臨界解析の結果は、表 4.1-2 に示すとおり実効増倍率は設計基準を満足している。

表 4.1-2 臨界解析結果

| キャスク タイプ | 実効増倍率* | 設計基準値 |
|--------------|-----------------|-------|
| 輸送貯蔵兼用キャスク B | 0.88 (0.875) | 0.95 |

※ モンテカルロ計算の統計誤差 3σ を考慮した値
(括弧内は統計誤差を考慮しない値)



注) 燃料有効長部はチャンネルボックスを考慮してモデル化

(縦断面の構成は、図 3.1-10 遮へい解析モデルとほぼ同じである)

図 4.1-4 臨界解析モデル(輸送貯蔵兼用キャスク B)

臨界解析に用いるコード (KENO-V.a) について

(1) 概要

KENO-V.a コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発されたモンテカルロ法に基づく公開の臨界解析コードであり、輸送キャスクの臨界解析などに利用されている。

(2) 機能

KENO-V.a コードは、臨界解析に際して以下の機能を有している。

- ③ 実際に中性子が出会う物理現象を確率理論を用いて模擬するため、どのような物理的問題にも適用できる。なお、統計的な手法を用いるため、計算結果には統計誤差が付随する。
- ④ 一次元～三次元の任意形状の体系を扱うことができる。

(3) 解析フロー

KENO-V.a コードの解析フローを図 4.1-5 に示す。

(4) 使用実績

KENO-V.a コードは、国内外で輸送キャスクの臨界解析をはじめ、核燃料施設の臨界解析に使用されている。

(5) 検証

米国のバットル研究所 (パシフィック ノースウエスト研究所, PNL) で行われた臨界実験¹⁾を対象としたベンチマーク解析を実施し、検証を行った。

1) S. R. Bierman and E. D. Clayton, “Criticality Experiments with Subcritical Clusters of 2.35 Wt% and 4.31 Wt% ²³⁵U Enriched UO₂ Rods in Water with Steel Reflecting Walls”, NUREG/CR-1784(PNL-3602), U.S. Nuclear Regulatory Commission, (1981).

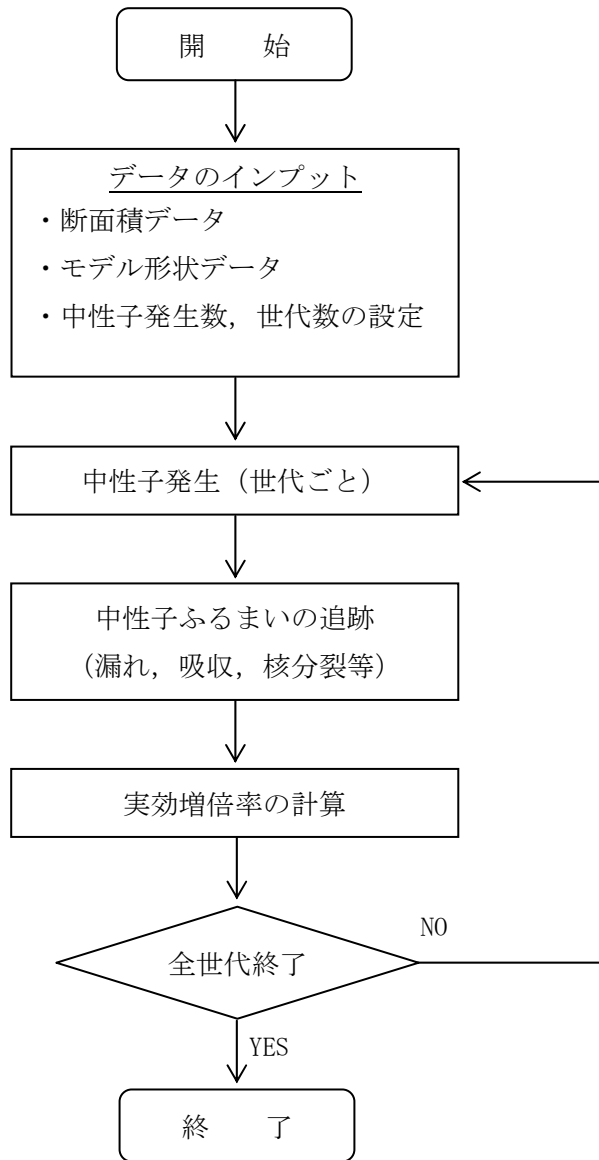


図 4.1-5 KENO-V.a コードの解析フロー図

安全対策について

1 安全対策

(1) 落下防止対策内容

キャスク水平吊具及びフック，ワイヤロープ等クレーンの揚重装置の構造を図 1-1～4 に示す。

1) ワイヤロープの二重化

一端をイコライザに固定し，他端をドラムに固定したワイヤロープによりフックブロックを吊る。図 1-2 のようにワイヤロープは 2 系列設けることで二重化する。

2) ブレーキの二重化

ワイヤロープの巻上げ，巻下げを行うドラム減速機のブレーキを図 1-3 のように 2 基設置し，ブレーキを二重化する。

3) キャスク水平吊具の二重化

図 1-4 のようにキャスク水平吊具をフックで吊上げると共に安全板を揚重機フックブロックのシーブピンに掛けることで吊上げ方法を二重化する。

4) その他の落下防止対策

- ・電源喪失時には直ちにブレーキが作動し，ドラムの空転による荷の落下を防止する。
- ・主巻減速機に過速検出器を設け，一定の回転速度以上になった場合にブレーキが作動するようにし，荷の落下を防止する。

(2) その他の安全対策

- ・主巻きの巻下げ速度を 1.5m/min に制限し，荷が着床した時の衝撃を緩和する。
- ・コンクリートモジュールに乾式キャスクが衝突しないように，クレーンの横行装置にリミットスイッチを取付け，横行範囲を制限する。

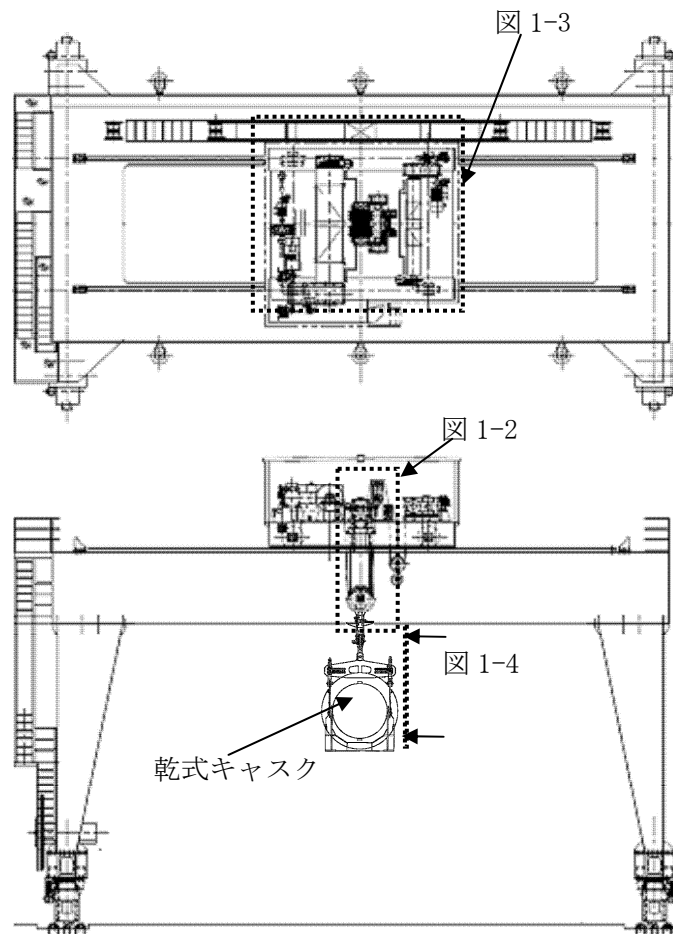


図 1-1 クレーン全体図

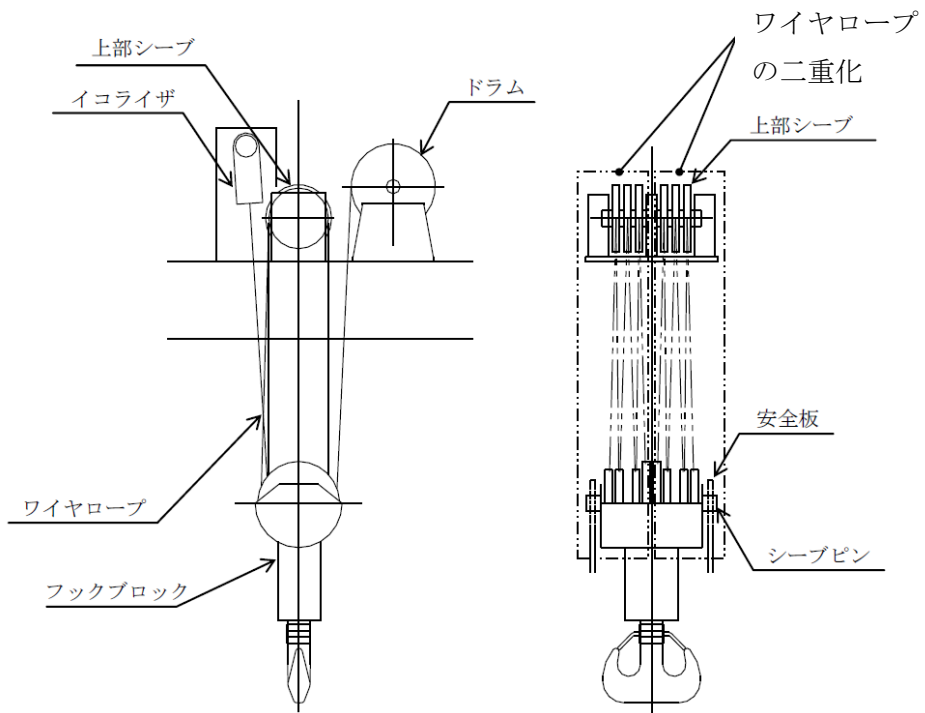


図 1-2 主巻シーブ詳細

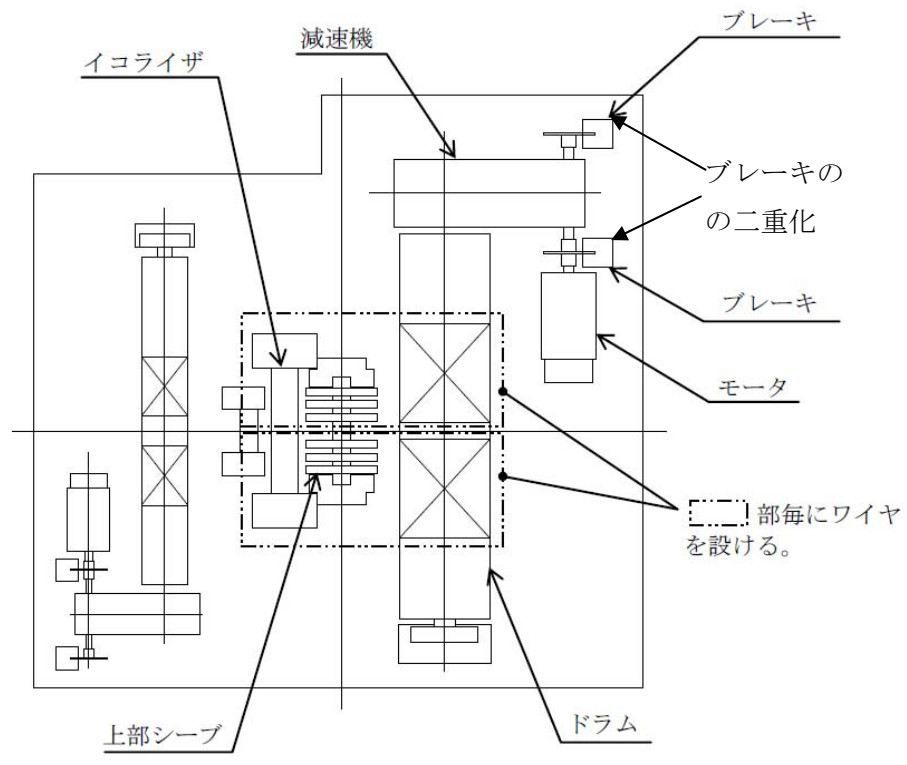


図 1-3 トロリ平面図

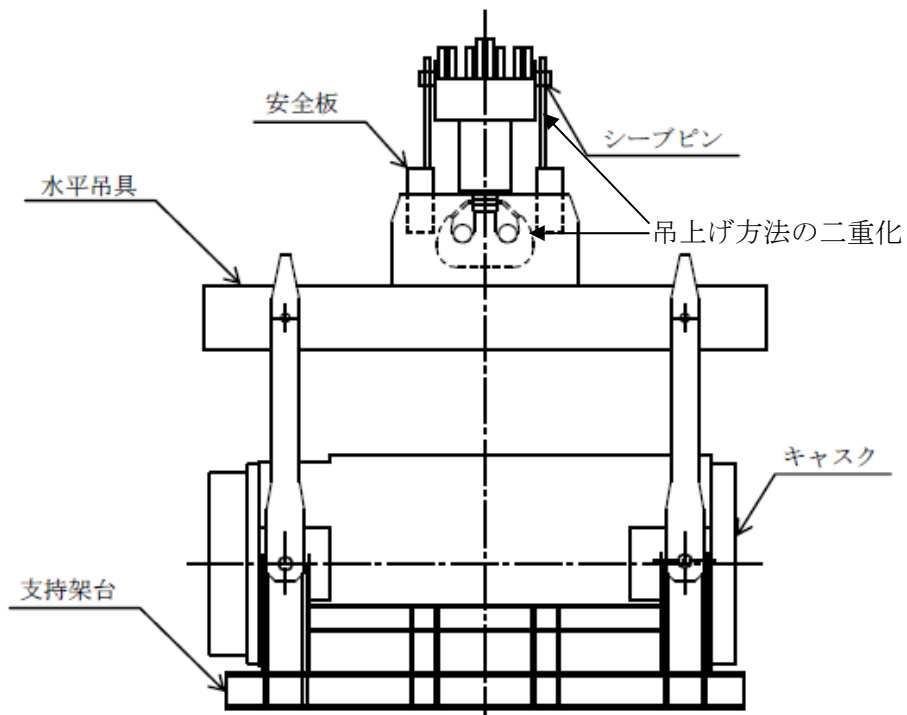


図 1-4 水平吊具

管理・運用について

1. 二重蓋間圧力及び表面温度の監視

キャスク仮保管設備には、乾式キャスクの一次蓋，二次蓋間の圧力を監視することにより密封機能を監視する密封監視装置と，乾式キャスク表面の温度を監視することにより乾式キャスクの除熱機能を監視する表面温度監視装置を設置する。

監視装置の概要を図 1-1 に示す。

密封監視装置は各乾式キャスクに圧力センサ 2 個をそれぞれ系統分離し 2 系統として設置され，万一，蓋間圧力が設定値まで低下した場合には免震重要棟に設置した監視装置(PC)にて警報が確認でき，指示値も確認できる。

表面温度監視装置は各乾式キャスクに温度センサ 1 個を設置し，万一，表面温度が設定値まで上昇した場合には免震重要棟に設置した監視装置(PC)にて警報が確認でき，指示値も確認できる。

なお，温度センサの接続ケーブルが断線によりデータが採取されない場合にも免震重要棟に設置した監視装置(PC)に警報が発生する。

また，密封監視装置および表面温度監視装置のデータは記録される。

監視装置の仕様を表 1-1 に示す。

2. 放射線量の監視

キャスク仮保管設備内に設置するエリア放射線モニタにより放射線量の監視を行うとともに，モニタリングポストにより周辺公衆に対する影響を確認する。また，巡視点検時にキャスク仮保管設備の線量測定を行う。エリア放射線モニタおよびモニタリングポストの測定値は免震重要棟に表示する。

エリア放射線モニタの仕様を表 2-1 に示す。また，モニタリングポストの位置を図 2-1 に，エリア放射線モニタの配置図を図 2-2 に示す。エリア放射線モニタは，乾式キャスクからの放射線量が大幅に変動する事象が発生した場合に放射線量の監視ができるよう，図 2-2 に示す第 1 レーンから第 4 レーンの中央付近に各 1 基ずつ設置する。各エリア放射線モニタの監視範囲である乾式キャスクは，図 2-2 の青枠で示す，対応する各レーン毎の乾式キャスクである。各レーン毎に乾式キャスクを搬入する前までに，対応するエリア放射線モニタを監視可能にする。なお，エリア放射線モニタの検出位置は乾式キャスクの設置高さおよび作業員の身長を考慮した位置に設置する。

3. 巡視点検

キャスク仮保管設備に対しては定期的に巡視点検を行い，キャスク仮保管設備の状態の異常の有無を確認する。

また，地震発生時には適宜，巡視点検を行い，コンクリートモジュール及び乾式キャスク

の外観などを確認する。

4. 運搬時の運用

「Ⅲ. 3. 3. 1 放射線防護及び管理」において、管理区域と同等の管理を要する区域として管理対象区域を定義しており、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」により作業場所も管理対象区域に設定される。

運搬に関しては、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の第 13 条（工場又は事業所において行われる運搬）」に準じて実施するが、周辺の雰囲気線量や汚染密度が高いことから、周辺環境によっては運搬物の表面及び表面から 1 メートルの距離における線量当量率及び運搬物の表面の放射性物質の密度に関しては法令に適合していることを確認できない可能性がある。このため、運搬物の表面及び表面から 1 メートルの距離における線量当量率および運搬物の表面の放射性物質の密度に関しては、作業実施時の最新の社内マニュアル等に基づき管理する。

5. 留意事項

乾式キャスクに収納する燃料は原子炉の運転中のデータや SHIPPING 検査により健全であることが確認された燃料とする。キャスク仕立て作業では真空乾燥を確実にしない、残留水の除去を徹底するとともに、気密漏えい等の必要な確認を実施する。

また、仮保管中の二重蓋間圧力データ等の記録の保存については、「Ⅲ. 特定原子力施設の保安」等にて定めるものとする。

表 1-1 監視装置の仕様

| 項目 | 仕様 | |
|--------|-------------------|-------------|
| | 蓋間圧力検出器 | 温度検出器 |
| 名称 | 蓋間圧力検出器 | 温度検出器 |
| 検出器の個数 | 2 個/基 | 1 個/基 |
| 計測対象 | 蓋間圧力 | 外筒表面温度 |
| 取付箇所 | 二次蓋 | 外筒表面 |
| 計測範囲 | 50～500kPa abs | -20～160℃ |
| 警報動作範囲 | 50～500kPa abs 注1) | -20～160℃注2) |

注1) 警報設定値は別途定める。

注2) 警報設定値は別途定める。

表 2-1 エリア放射線モニタの仕様

| 項目 | 仕様 |
|------|--|
| 基数 | 4 基 ^{注1)} ^{注2)} |
| 種類 | 半導体検出器 |
| 計測対象 | ガンマ線量率 |
| 取付箇所 | 設備敷地内 |
| 検出高さ | 基礎から 600mm 以上 1800mm 以下 |
| 計測範囲 | $10^{-1} \mu\text{Sv/h} \sim 10^5 \mu\text{Sv/h}$ ^{注3)} |

注 1) 4 基の内 1 基は将来増設予定。

注 2) 監視可能とする基数は乾式キャスクの保管状況による。

注 3) 警報設定値はバックグラウンドレベルを鑑み設定する。

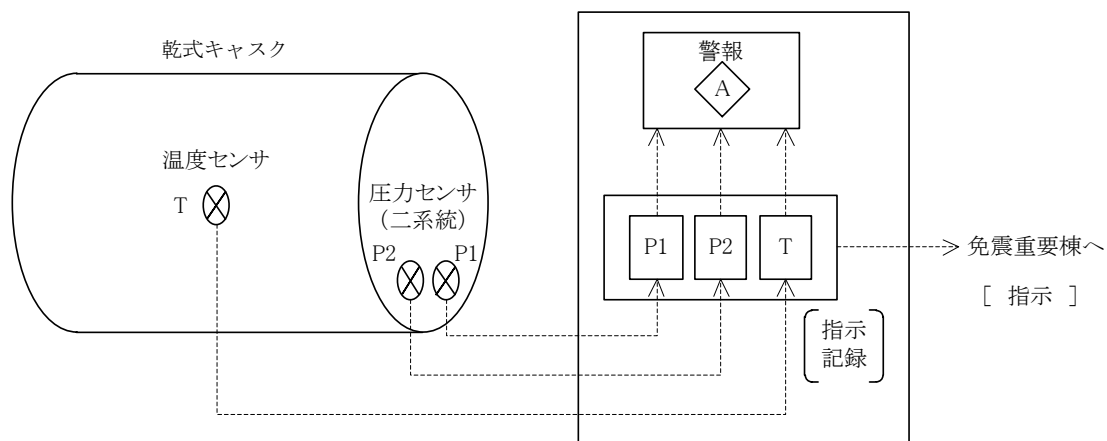


図 1-1 監視装置の概要

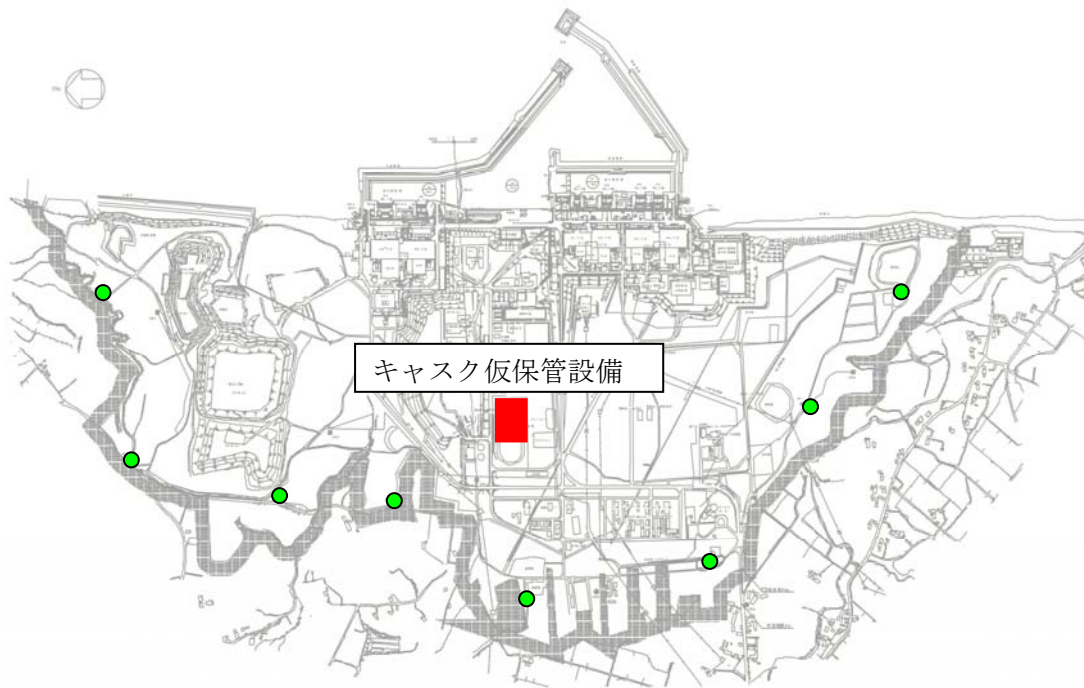


図 2-1 モニタリングポスト位置図

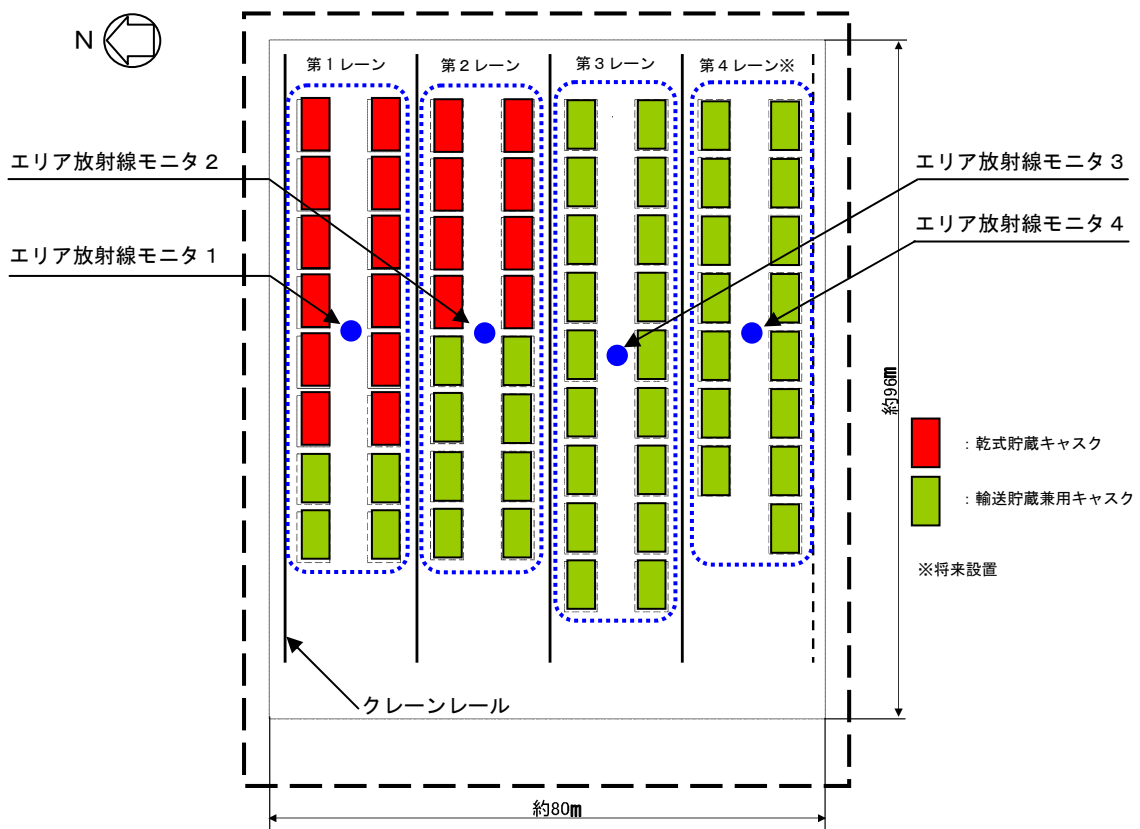


図 2-2 エリア放射線モニタ配置図

工事工程表

表 1 工事工程表

| 年 | 2012 | | | | | 2013 | | | | | | | | | | | | 2014 | | | | | | | | | | | | 2015 | | | |
|-----------|------|---|----|----|----|----------|---|---|---|----------|---------------|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|--|
| 月 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | |
| キヤスク仮保管設備 | 着工▽ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | 基礎工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | クレーン設置工事 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | コンクリートモジュール組立 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | … | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 運用開始▽ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 乾式キヤスク搬入 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | … | | | | | | | | | | | |

II-2-13-添7-1

キャスク保管建屋及び既設 9 基乾式貯蔵キャスクの現在の設備状況
並びに既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性について

1. キャスク保管建屋

津波により、トレーラー出入口シャッター及び空気取入口のルーバーが破損し、海水が侵入したものと考えられる。水の痕跡からは、貯蔵棟 1 階天井付近まで冠水したとみられる。

現在も、検査棟地下階には海水が滞留し、また、建屋内の天井クレーン等の設備は津波による被害が大きく使用できない状況である。

2. 乾式貯蔵キャスク

キャスク保管建屋貯蔵棟 1 階の天井付近まで冠水した痕跡が確認されており、貯蔵中の乾式貯蔵キャスクは全数が一時的に水没したとみられる。また、現在、常設の監視計装系は破損していることから監視不能となっている。

2.1. 外観（構造強度、臨界防止機能）

乾式貯蔵キャスク及び支持構造物の外観観察において、乾式貯蔵キャスク表面には冠水時のゴミの付着や汚れの他に、擦り傷が確認されたが、地震による変形等の構造に影響を及ぼすような異常はみられなかった。

2.2. 表面温度（除熱機能）

空気取入口ルーバーの破損・脱落がみられるが、給排気の流れの妨げとはなっていないものとみられる。棒温度計にて乾式貯蔵キャスクの胴部表面の温度を測定した結果、 $31.0\sim 35.0^{\circ}\text{C}$ ^{※1}程度（周囲温度 21.0°C ）と震災前の周囲温度が同程度のときの表面温度と同程度であり、また警報値^{※2}を十分下回っていることから、異常はみられなかった。

なお、現在 1 週間に 1 回の頻度で確認を行っているが、乾式貯蔵キャスクの胴部の表面温度と周囲温度の差に有意な変化はみられない。

※1：H24/10/23 測定。なお、H23 夏場の最大値は、 $39.0\sim 43.0^{\circ}\text{C}$ （周囲温度 27.5°C ）、H24 夏場の最大値は、 $39.0\sim 42.0^{\circ}\text{C}$ （周囲温度 27.0°C ）

※2：常設の監視計装系に設定されていた値「 102°C （中型）、 113°C （大型）」

2.3. 雰囲気線量（遮へい機能、臨界防止機能）

震災前に可搬式線量計にて測定した乾式貯蔵キャスクの線量当量率^{※3}は、表面の線量当量率は $3.1\mu\text{Sv/h}$ 、表面から 1m 位置での線量当量率は $1.2\mu\text{Sv/h}$ であった。一方、震災後、可搬式線量計にて測定した乾式貯蔵キャスクの線量当量率^{※4}は、胴部の表面の線量当量率が $2.8\sim 4.9\mu\text{Sv/h}$ 程度、表面から 1m 位置での線量当量率が $2.8\sim 4.2\mu\text{Sv/h}$ 程度と設計基準^{※5}を十分に下回っており、異常はみられなかった。また、中性子線のみ^{※6}では、胴部の表面の線量当量率が $0.3\sim 0.9\mu\text{Sv/h}$ 程度、表面

から 1m 位置での線量当量率が 0.3~0.7 μ Sv/h 程度の低い値であり、臨界の兆候はみられなかった。

なお、現在 1 週間に 1 回の頻度で確認を行っているが、有意な変化はみられない。

※3：H17/8/17 に抜き取り調査（電力自主調査）として大型 1 基について測定した γ 線と中性子線の合計値の震災後測定箇所と同位置の値。

※4：H24/10/23 に測定した γ 線と中性子線の合計値。

※5：表面の線量当量率 2mSv/h 以下、表面から 1m 位置での線量当量率 100 μ Sv/h 以下

※6：H24/10/23 に測定した中性子線の値。

2.4. 密封構造（密封機能）

津波により、二次蓋フランジ隙間部に海水が浸入している形跡があり、二次蓋金属ガスケットが被塩している可能性があるが、一次蓋にも金属ガスケットを使用していることから、乾式貯蔵キャスク内部と環境は隔てられていると考える。

以上より、現時点では常設の監視計装系が使用できない状況ではあるが、乾式貯蔵キャスクは堅牢であり、かつ二重蓋構造の設計となっており、現場での点検結果からも放射性物質の外部への影響の兆候はなく、安全上問題ないと考える。

3. 既設 9 基乾式貯蔵キャスクの健全性確認

貯蔵中の乾式貯蔵キャスクは、今後、キャスク保管建屋から搬出し共用プールに移動させた後、点検及び必要な部材取り替えを行うことを計画している。また、点検結果に基づき、除熱、遮へい、密封及び臨界防止の安全機能を有していることを確認した後に、キャスク仮保管設備に移動・保管する。なお、先行して点検を行う 1 基については、点検結果の如何を問わず、共用プールに沈めて、一次蓋を取り外し、貯蔵燃料 3 体及びバスケット（上部から全体外観）の外観点検を実施する。乾式貯蔵キャスクの点検フローを図 3-1~3 に示す。

3.1. 除熱機能

2.2. に示すとおり、現状、除熱機能は維持されていると判断できる。点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、乾式貯蔵キャスクの胴部表面の温度を測定し、キャスク仮保管設備の警報値未満であることを再確認する。

3.2. 遮へい機能

2.3. に示すとおり、現状、遮へい機能は維持されていると判断できる。点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、乾式貯蔵キャスクの胴部表面の線量率及び表面から 1m 位置での線量率を測定し、設計基準以下であることを再確認する。

3.3. 密封機能

2.4. に示すとおり、津波により、二次蓋フランジ隙間部に海水が浸入している形跡があることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクの二次蓋金属ガスケットを交換する。

一方、一次蓋金属ガスケットは、二次蓋金属ガスケットが腐食貫通していない限り、外部環境と隔てられており、被塩していない。このため、二次蓋金属ガスケットが腐食貫通していた場合又は一次蓋気密漏えい検査により基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa \cdot m³/s))^{※7} を超えた漏えいが確認された場合は、一次蓋金属ガスケットを交換する。また、先行点検する 1 基の一次蓋金属ガスケットを点検し、密封機能に影響を及ぼすシール面の有意な損傷が見つかった場合は、他の乾式貯蔵キャスクの一次蓋金属ガスケットを交換する。一次蓋金属ガスケット健全性確認フローを図 3-4 に示す。

蓋間圧力検出器は、破損が確認されていることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクにおいて交換し（蓋間圧力検出器は、増設の乾式貯蔵キャスクと同じ設計とする）、キャスク仮保管設備において二重蓋間の圧力を監視できるようにする。なお、密封機能に影響を及ぼすフランジ部のひび等が見つかった場合は、密封機能を回復するよう修理を行う。

点検後、キャスク仮保管設備へ移動する前に、気密漏えい検査を行い、基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa \cdot m³/s))^{※7} 以下であることを確認する。また、蓋間圧力を測定し、キャスク仮保管設備の警報値を超えていることを確認する。

※7：設計貯蔵期間中にキャスク内部の負圧が維持できる漏えい率。（添付資料-4「2 密封機能」参照）

3.4. 臨界防止機能

2.1. に示すとおり、現状、外観観察において擦り傷が確認されたが、変形等の構造に影響を及ぼすような異常はみられていない。また、2.3. に示すとおり、現状、臨界の兆候はないと判断できる。しかしながら、上述のとおり、念のため、先行点検する 1 基について、3 体の貯蔵燃料及びバスケット（上部から全体外観）の外観点検を実施する。先行点検する乾式貯蔵キャスクと点検する貯蔵燃料の選定の考え方を表 3-1 に示す。

3.5. 貯蔵燃料の健全性確認

全 9 基の乾式貯蔵キャスク内部のガスサンプリングを行い、クリプトンガス検出の有無により、貯蔵燃料の被覆管健全性確認を行うとともに、上述のとおり、先行点検する 1 基について 3 体の貯蔵燃料の外観点検を実施する。貯蔵燃料健全性確認フローを図 3-5 に示す。

なお、クリプトンガスが検出された場合は、当該乾式貯蔵キャスク内の貯蔵燃料を全て共用プールに取り出し、共用プール内に保管されている他の収納可能燃料（8×8 燃料，新型 8×8 燃料，新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料）を装填する。また、内部ガスの回収用タンクを準備しておく。

共用プールは、設置許可申請書において、健全燃料のみ保管することになっているが、参考-1 に示すとおり、現状に照らして周辺公衆及び放射線業務従事者の放射線被ばくが問題とならないように運用する。

4. 参考

参考-1 被覆管損傷が確認された貯蔵燃料を共用プールに取り出す場合の放射線被ばく影響について

参考-2 既設乾式貯蔵キャスクの海水影響による SCC に対する考え方について

表 3-1 先行点検する乾式貯蔵キャスクと点検する貯蔵燃料の選定の考え方

| | |
|--|--|
| 地震による影響 | <ul style="list-style-type: none"> 全 9 基の乾式貯蔵キャスクは、同一建屋内に同一構造で貯蔵。 大型キャスクと中型キャスクはほぼ同一構造であり、耐震設計裕度に大きな違いはない。(表 3-2) |
| ↓ | |
| 海水による影響 | <ul style="list-style-type: none"> 全 9 基の乾式貯蔵キャスクは同様に一時的に水没したとみられており、海水による影響はキャスク間に大きな違いはない。 |
| ↓ | |
| 建屋内侵入ガレキによる影響 | <ul style="list-style-type: none"> 全 9 基の乾式貯蔵キャスクは、胴部は外筒（厚さ 2cm）、蓋部及び底部はレジンカバー（それぞれ 2.5cm, 5cm）で覆われ、その下はゴム状のレジン配した構造となっている。更に、貯蔵燃料は、胴部は 26cm、一次蓋は 29.5cm、底部は 30.5cm の炭素鋼で覆われている。 いずれの乾式貯蔵キャスクも変形等の構造に影響を及ぼす異常はみられてなく、侵入ガレキによる影響は十分小さい。 |
| ↓ | |
| <p>乾式貯蔵キャスク間に大きな違いはないことから、下記の燃料を貯蔵する乾式貯蔵キャスク 1 基について先行点検を実施する。</p> | |
| 燃料タイプによる影響 | <ul style="list-style-type: none"> 貯蔵燃料は、8×8 燃料と新型 8×8 燃料の 2 タイプあるが、寸法、形状及び材料は同等であり、大きな違いはない。(表 3-3) |
| ↓ | |
| 水素脆化による影響 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料被覆管及び構造材の水素吸収量は照射期間と相関があることが示されている。貯蔵燃料の照射期間は、水素吸収量が大きく増加する領域にないが、相関を考慮して照射期間が最も長かったものから選定する。 (当該燃料が貯蔵されているのは、中型キャスク) |
| ↓ | |
| 乾式貯蔵キャスク内貯蔵位置による影響 | <ul style="list-style-type: none"> バスケットは、縦横中央の十字ラインの振れ幅が相対的に大きくなる。(図 3-6) そのため、当該位置に貯蔵されている燃料から選定する。 |
| ↓ | |
| <p>照射期間が最も長かった燃料の内、縦横中央の十字ラインに貯蔵されている燃料 2 体に加えて、縦横中央の真ん中に貯蔵されている燃料 1 体の計 3 体を選定する。</p> | |

表 3-2 乾式貯蔵キャスクの耐震設計裕度

| | 部位 | 設計裕度 ^{※1} | |
|---------------|---|-------------------------|-------------------------|
| | | 大型キャスク | 中型キャスク |
| | | S2 (工認値 ^{※2}) | S2 (工認値 ^{※2}) |
| 1. 乾式貯蔵キャスク本体 | 胴板 | 30.2~47.1 | 36.2~53.9 |
| | 一次蓋 | 14.0~251.0 | 17.1~251.0 |
| | 底板 | 53.9~125.5 | 62.8~125.5 |
| | 貫通孔蓋板 | 8.4~200.5 | 8.3~200.5 |
| | 密封シール部 | 16.5~36.2 | 12.9~36.2 |
| | ボス溶接部 ^{※3} バスケットサポート取付けボルト 溶接部 ^{※4} | 18.7~37.6 | 6.0~12.5 |
| | γ 遮へい体取付けボルト溶接部 | 25.9~62.7 | 30.2~62.7 |
| | 一次蓋締付けボルト | 6.1~8.0 | 6.6~8.3 |
| | 貫通孔蓋板締付けボルト | 2.4~3.3 | 2.5~3.3 |
| 2. バスケット | バスケットプレート | 32.5~32.7 | 32.5~32.7 |
| | バスケットサポート | 133.0~200.0 | 133.0~200.0 |
| | バスケットサポート取付けボルト | 14.8~22.2 | 12.7~19.0 |
| 3. トラニオン | トラニオン | 16.7~97.7 | 19.5~117.2 |
| | トラニオン締付けボルト | 6.8~16.0 | 8.1~18.7 |
| 4. 二次蓋 | 二次蓋 | 14.9~37.6 | 19.6~43.0 |
| | 二次蓋締付けボルト | 2.2 | 2.3 |

※1 設計裕度：許容応力 / (基準地震動 S2 での発生応力計算値)。応力の種類に対するそれぞれの許容応力との比（最小値と最大値）を範囲として記載している。

※2 既設分と増設分の乾式貯蔵キャスク設計は同一であるため、最新（乾式貯蔵キャスク増設分）の工事計画認可申請書（表中，工認）の値を示す。

※3 大型キャスク

※4 中型キャスク

表 3-3 貯蔵燃料の仕様概要

| | | 8×8 燃料 | 新型 8×8 燃料 |
|-----------|-------|------------------|------------------|
| 燃料棒本数 | | 63 本 | 62 本 |
| ウォータロッド本数 | | 1 本 | 2 本 |
| 燃焼度 | 集合体平均 | 約 27.5GWd/t | 約 29.5GWd/t |
| | 集合体最高 | 40.0GWd/t | 40.0GWd/t |
| 被覆管外径 | | 約 1.25cm | 約 1.23cm |
| 被覆管厚さ | | 約 0.86mm (ライナなし) | 約 0.86mm (ライナなし) |
| 被覆管材料 | | ジルカロイ-2 | ジルカロイ-2 |
| スペーサ形状 | | 格子型 | 格子型 |
| スペーサ厚さ | | 約 0.76mm | 約 0.76mm |
| スペーサ材料 | | ジルカロイ-4 | ジルカロイ-4 |

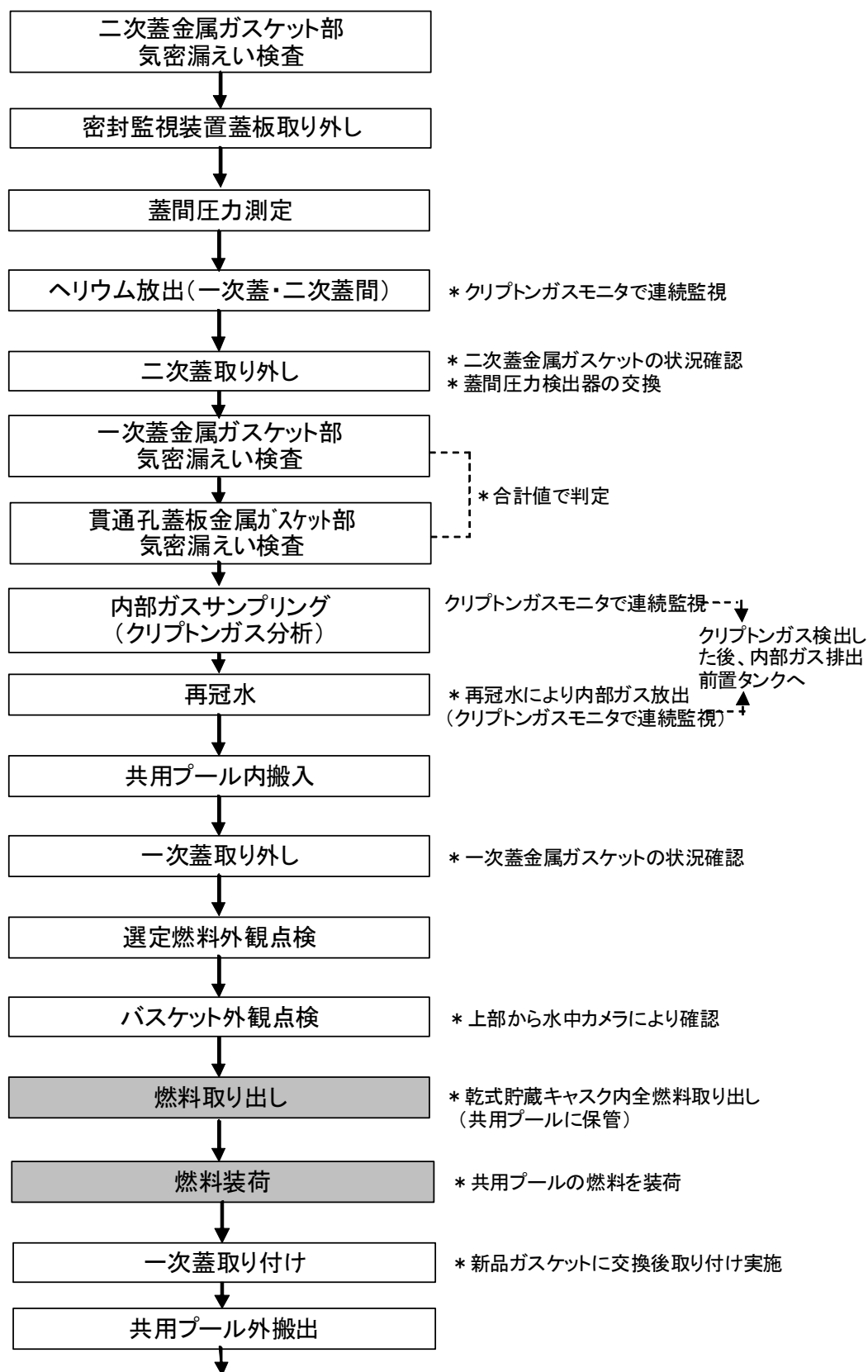


図 3-1 先行 1 基の点検フロー(1/2)

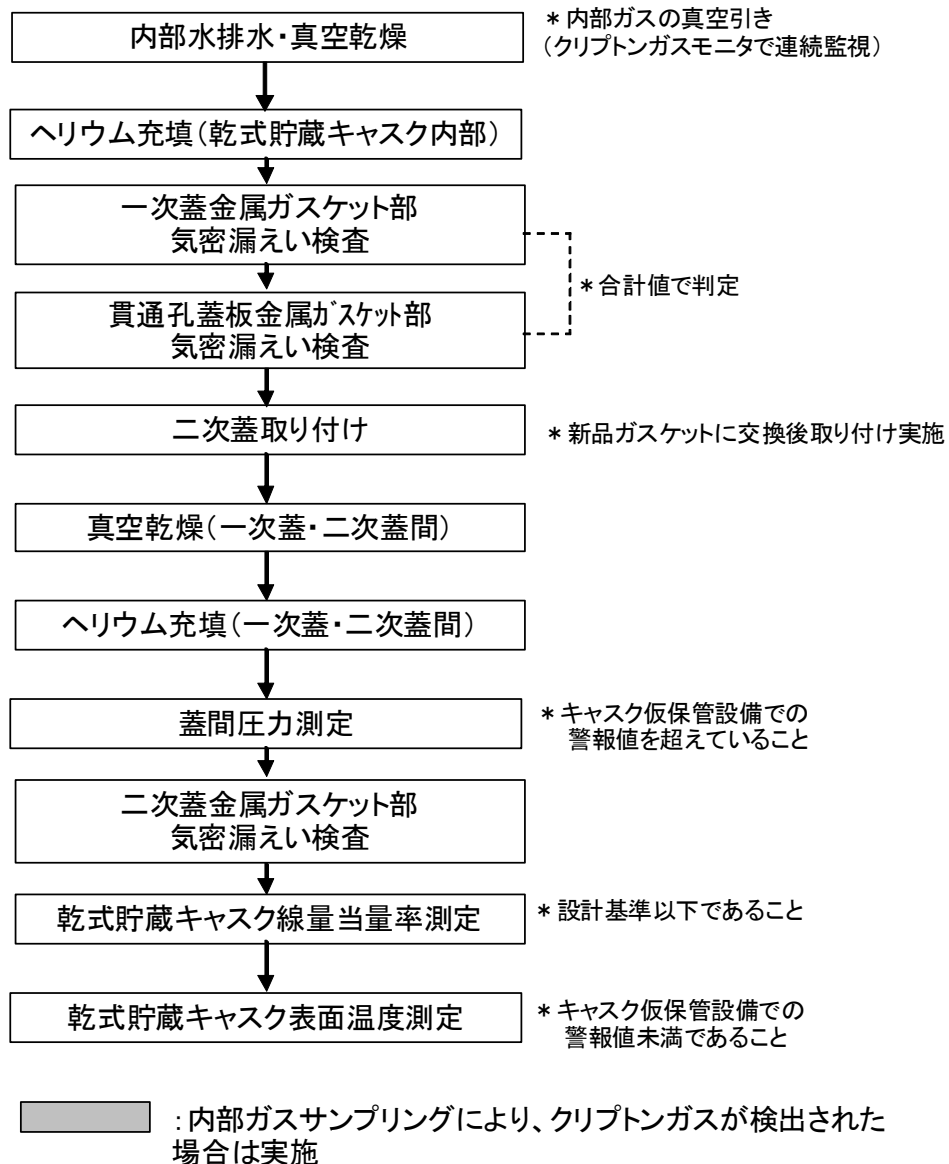


図 3-1 先行 1 基の点検フロー(2/2)

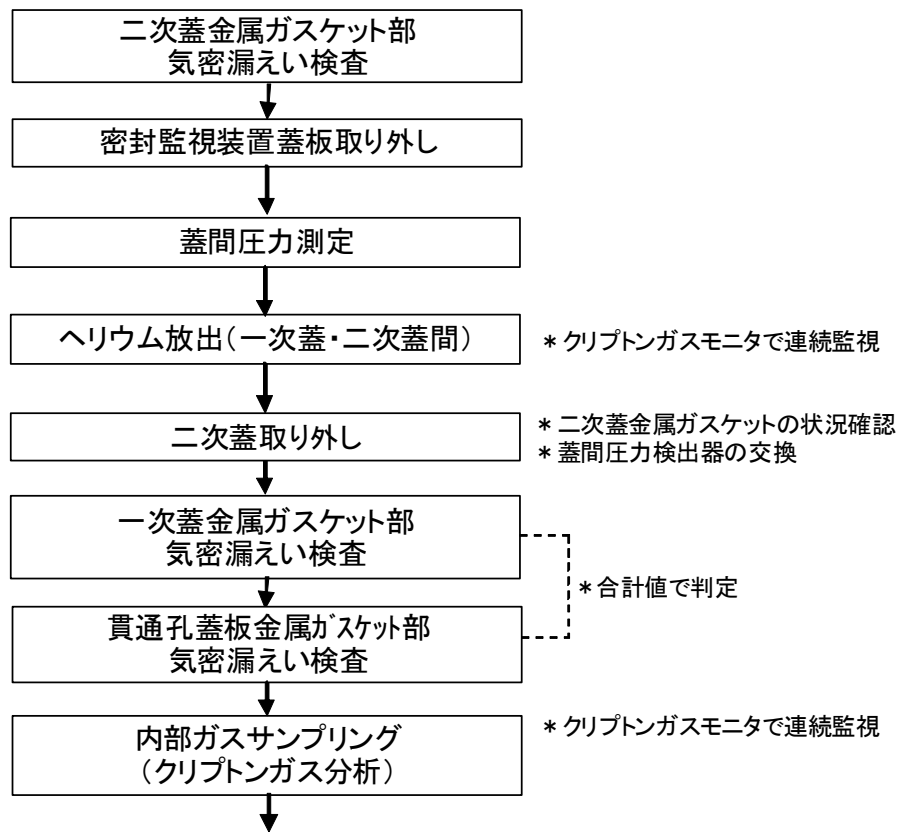


図 3-2 残り 8 基の点検フロー（共用プールに沈めない場合）(1/2)

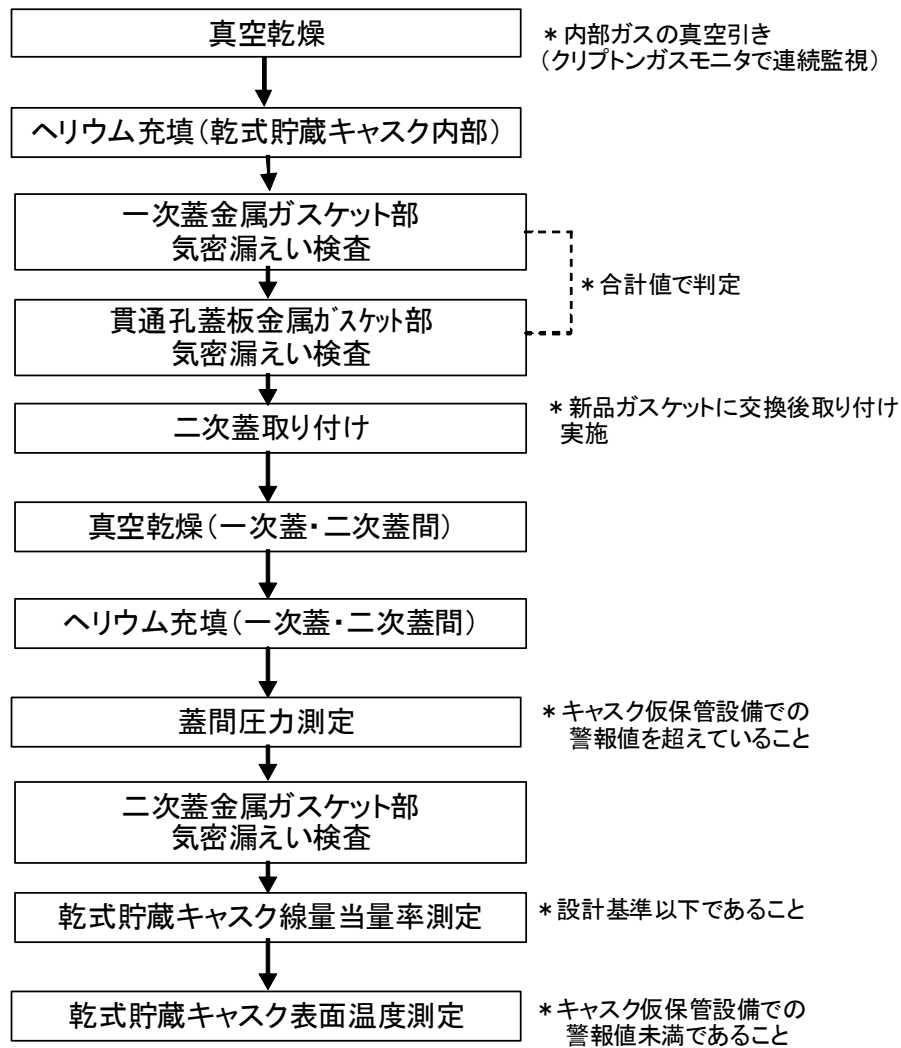


図 3-2 残り 8 基の点検フロー (共用プールに沈めない場合) (2/2)

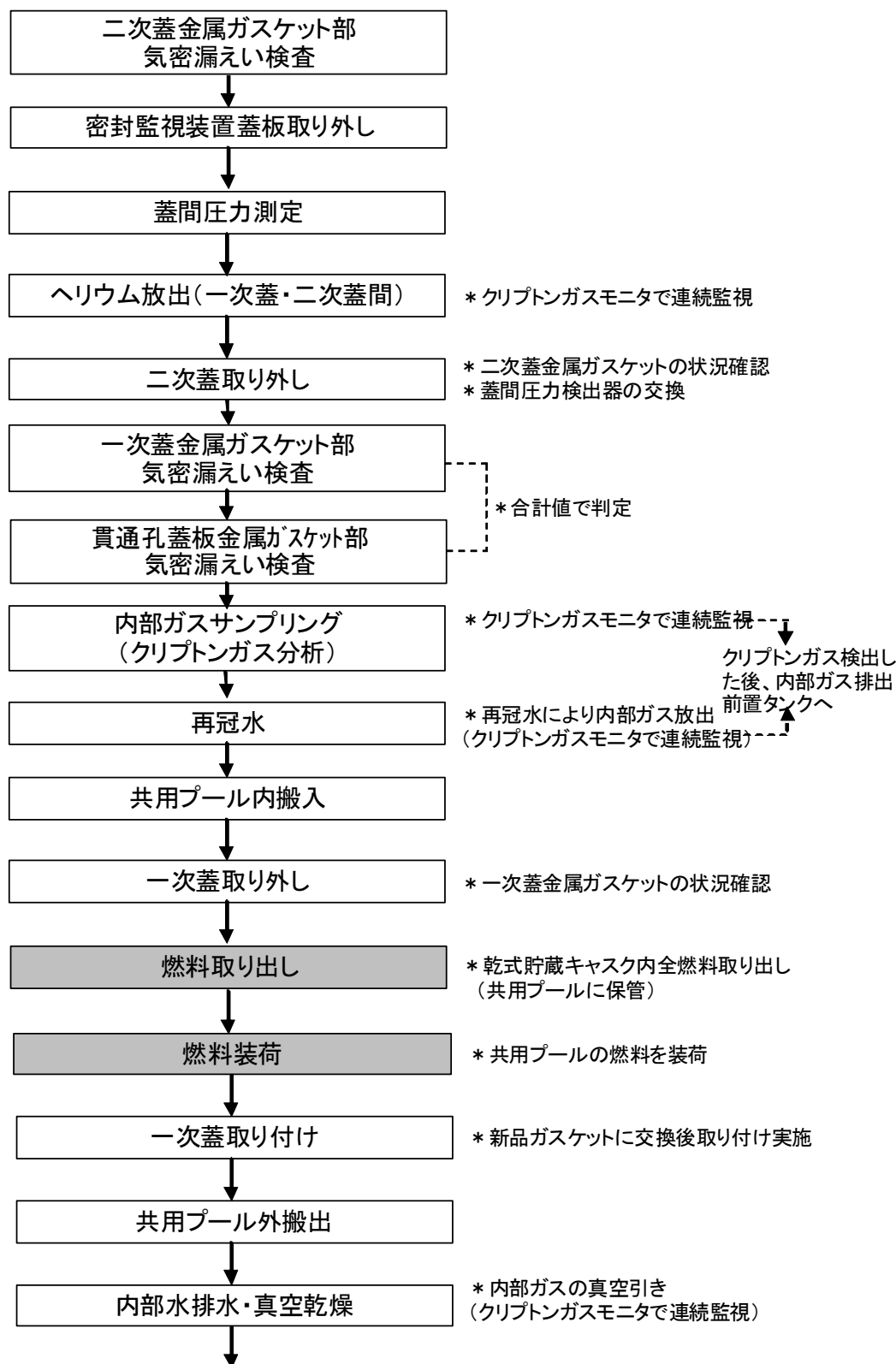


図 3-3 残り 8 基の点検フロー (共用プールに沈める場合) (1/2)

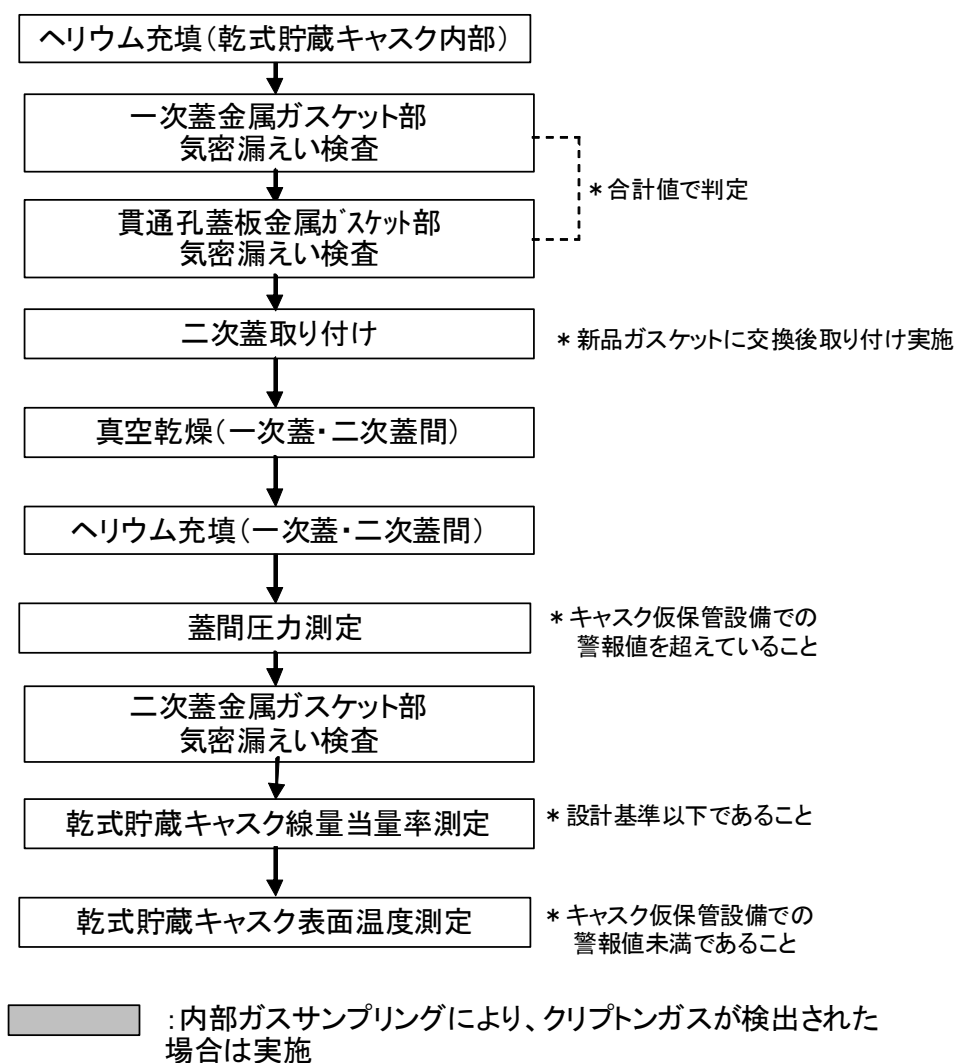
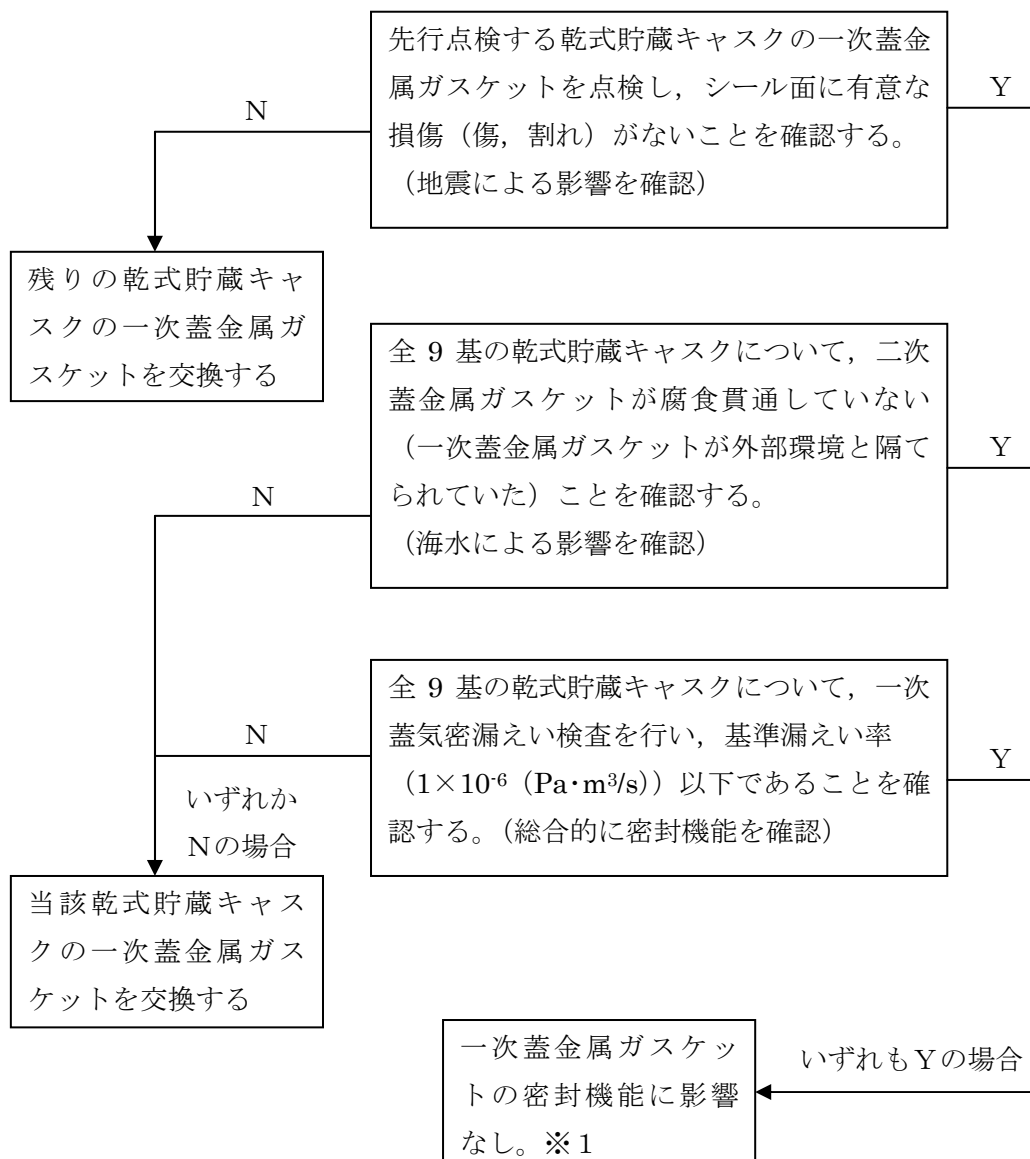


図 3-3 残り 8 基の点検フロー（共用プールに沈める場合）(2/2)



※1 万一、キャスク仮保管設備で保管中に一次蓋金属ガasketの密封機能に異常が生じた場合でも、キャスク仮保管設備では蓋間圧力が低下することで警報が発せられる設計としており、早期検知が可能である。その場合は、速やかに共用プールに移動して、一次蓋金属ガasketを交換することが可能である。

図 3-4 一次蓋金属ガasket健全性確認フロー

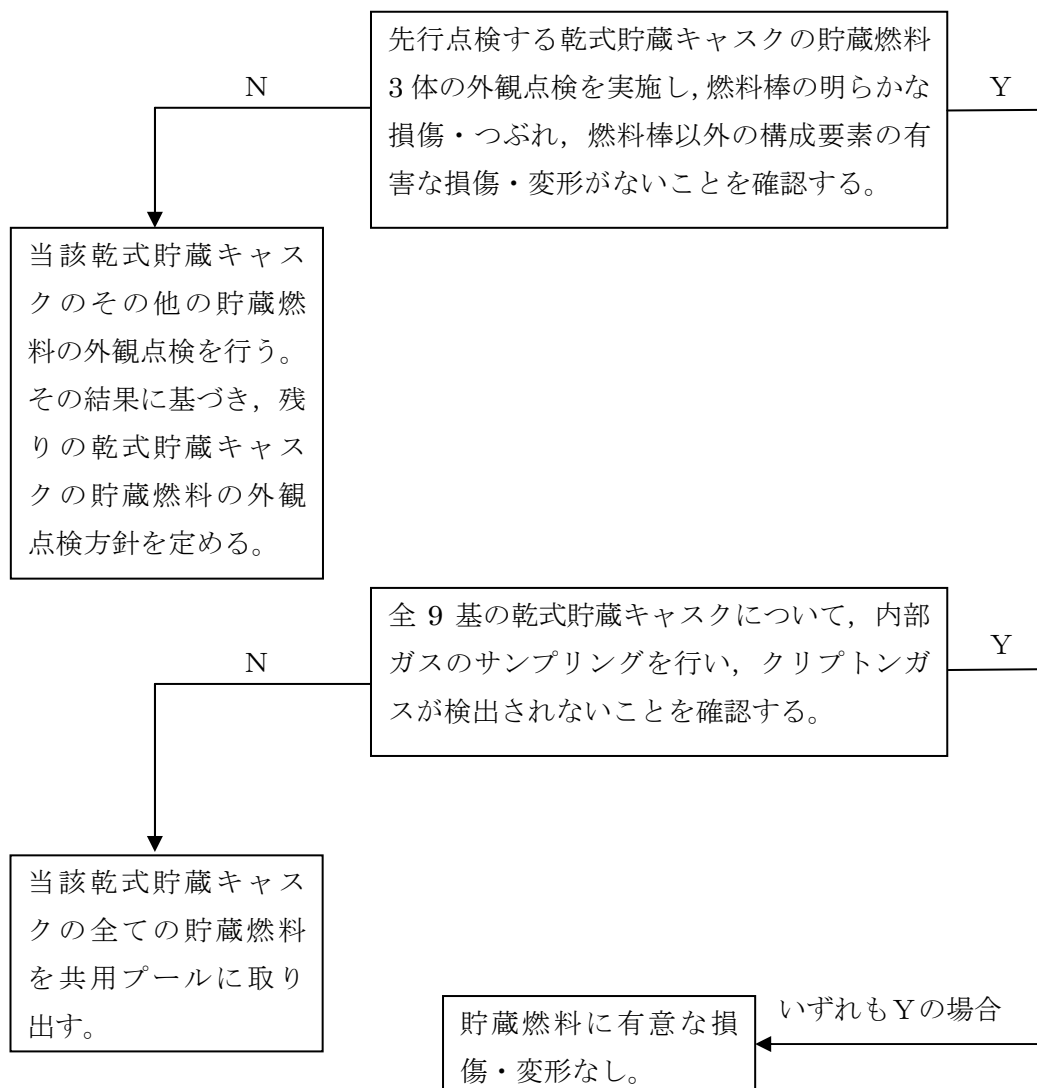
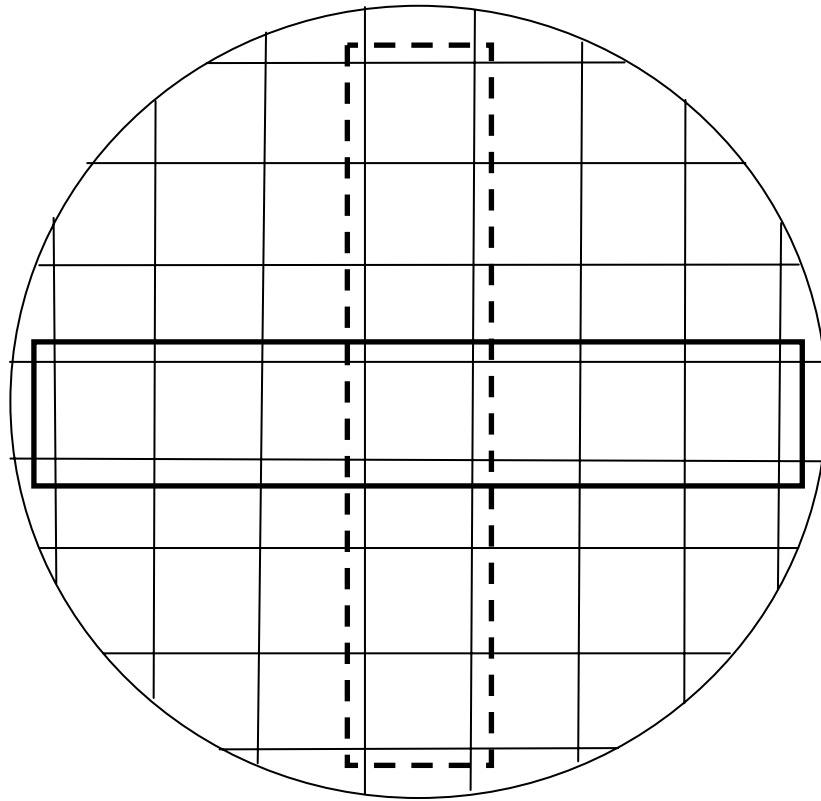


図 3-5 貯蔵燃料健全性確認フロー



- : 水平振動に対して、振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置
- : 垂直振動に対して、振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置

図 3-6 振れ幅が相対的に大きくなる貯蔵位置 (中型キャスクの場合)

被覆管損傷が確認された貯蔵燃料を共用プールに取り出す場合の 放射線被ばく影響について

設置許可申請書において、共用プールは健全燃料のみ保管することになっている。

ここでは、乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料の被覆管に損傷が確認された場合、共用プールに破損燃料を取り出す場合の放射線被ばく影響について説明する。

なお、添付資料-8 3.5. に示すとおり、全 9 基の乾式貯蔵キャスク内部のガスサンプリングを行い、クリプトンガス検出の有無を確認することから、貯蔵燃料を共用プールに取り出す前に、被覆管の損傷有無を認識できる。

1. 放射線被ばく影響

1.1. 放射線業務従事者への放射線被ばく影響

(1) 液相

乾式貯蔵キャスクから貯蔵燃料を共用プールに取り出すにあたっては、除染ピットにて乾式貯蔵キャスク内に水を注入した後、共用プールに沈め、一次蓋を開放する。貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合、水溶性の核分裂生成物が乾式貯蔵キャスク内に溶出するが、共用プール冷却浄化系により次第に除去される。このため、一次蓋を開放後に、共用プール水面上で線量率が一時的に上昇する場合でも、時間の経過とともに線量率は低下する（一次蓋を閉止し、共用プールから除染ピットに取り出した後の乾燥工程で、乾式貯蔵キャスク内の水を共用プールに排出する場合も同様）。仮に共用プール水面上での線量率が予想より高くなったとしても、エリア放射線モニタで検知でき、検知した場合は退避、線量率が十分下がった後に作業を再開する運用により、放射線業務従事者の放射線被ばくを低く抑えることが可能である。

(2) 気相

キャスク内部ガスのサンプリングの結果、クリプトンガスが検出された場合、図 1-1 に示すとおり、キャスク内部ガスを一旦タンクに回収し、屋外に徐々に放出する運用とする。そのため、建屋内へのガス状核分裂生成物の放出は無視できる。

1.2. 公衆への放射線被ばく影響

上述のとおり、貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合、キャスク内部ガスを一旦タンクに回収し、放出量を管理して、屋外に徐々に放出する。既設 9 基の乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料は 20 年以上冷却されているため、短半減期の核種は無視できる。

図 1-1 に示すとおり、キャスク内部ガスをタンクに回収した後、サンプリングをして対象核種の濃度（単位体積あたりのベクレル数）を測定することができる。放

出ラインには、流量計とバルブを設置することから、放出風量（単位時間あたりの体積放出量）を調整することで、放出率（単位時間あたりのベクレル数）を管理して屋外放出ができる。上記運用により、公衆への放射線被ばく影響を十分に小さくすることが可能である。

なお、仮に大型キャスクの全ての貯蔵燃料の被覆管が損傷して、ガス状核分裂生成物が短時間（1 時間）で共用プール建屋から全て放出されたとしても、貯蔵燃料は20年以上冷却されているため、敷地境界線量は、約 $2.8 \times 10^{-3} \text{mSv}$ 程度^{※1}である。

※1：よう素の内部被ばく及び希ガスの γ 線外部被ばくの和（評価条件は、添付資料-9 参考-1 表 2-1 参照）

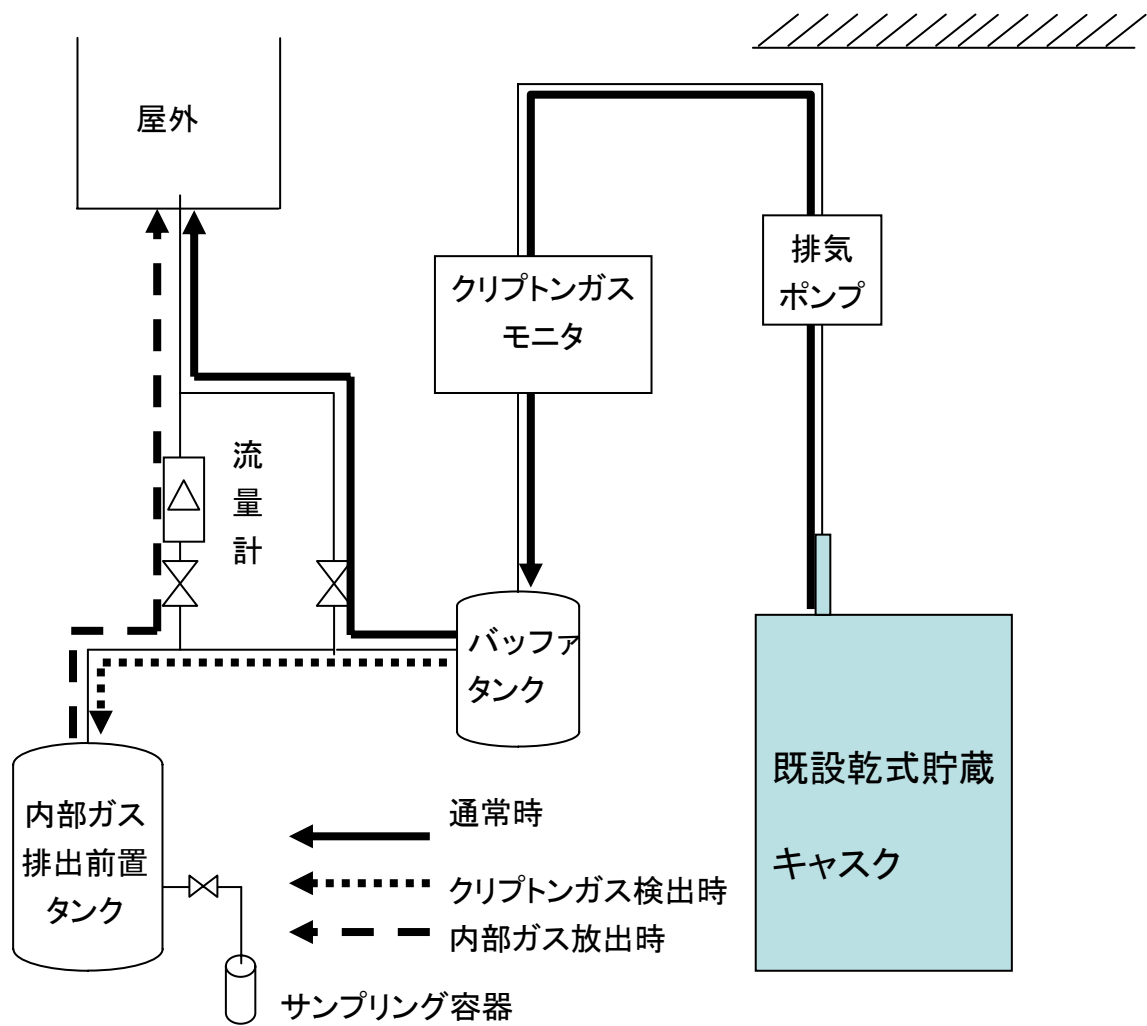


図 1-1 貯蔵燃料の被覆管に損傷があった場合の内部ガス放出の概略図

既設乾式貯蔵キャスクの海水影響による SCC に対する考え方について

SCC はオーステナイト系ステンレス等の感受性が高い材料に、引張応力が作用した状態で、特に塩化物が存在している腐食環境下にある場合、発生しやすい傾向にある。乾式貯蔵キャスクにも同様に当てはまり、深刻な SCC が発生した場合、密封機能に影響を及ぼす可能性があることが、NRC INFORMATION NOTICE 2012-20*に示されている。

乾式貯蔵キャスクの一次蓋と本体フランジ部は、図 1-1 に示すように、金属ガスケットを挟んで、ボルトとブッシュにより保持されている。(一次蓋には、仕立て時に使用される貫通孔があり、この貫通孔は、ネジ込み式のオリフィスプラグにより閉止され、更に、蓋板により金属ガスケットを挟んでボルトで保持されている)

東北地方太平洋沖地震により発生した津波により、二次蓋金属ガスケットが被塩している可能性があるが、乾式貯蔵キャスクは二重蓋構造となっており、二次蓋金属ガスケットが貫通していない場合、上記の部位(一次蓋貫通孔箇所を含む)及び金属ガスケットは環境と隔てられている。その場合、海水による塩化物の影響はないことから、SCC は発生しやすい状況にはなっていない。一方、二次蓋金属ガスケットが貫通している場合は、一次蓋側まで塩化物の影響を及ぼしている可能性がある。この場合は、当該乾式貯蔵キャスクは共用プールに沈めて一次蓋金属ガスケットを交換する点検フローとしており、その際、水中カメラによりフランジ部の目視確認を行う。密封機能に影響を及ぼすひび等が見つかった場合は、添付資料-8「3.3 密封機能」に示すとおり、密封機能を回復するよう修理を行う。キャスク仮保管設備へ移動する前に、気密漏えい検査を行い、基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa・m³/s)) 以下であることを確認することとしており、修理実施又は修理妥当性の判断は、最終的にこの判断基準に基づき行う。

なお、二次蓋は、密封境界となる部位ではないが、点検後、キャスク仮保管設備に保管した後は、蓋間圧力を監視することになることから、全 9 基の乾式貯蔵キャスクについてフランジ部について目視確認を行う。二次蓋と本体フランジ部の構造は、図 1-1 に示すように、一次蓋と本体フランジ部の構造と同様である。(二次蓋には、蓋間の密封監視装置が内蔵され、この装置は蓋板により金属ガスケットを挟んでボルトで保持されている。また、この装置は、バルブにより蓋間空間と隔離された構造となっている) 密封機能に影響を及ぼすひび等が見つかった場合は、同様に密封機能を回復するよう修理を行う。キャスク仮保管設備へ移動する前に、同様に気密漏えい検査を行い、基準漏えい率 (1×10^{-6} (Pa・m³/s)) 以下であることを確認することとしており、修理実施又は修理妥当性の判断は、最終的にこの判断基準に基づき行う。

万一、キャスク仮保管設備で保管中に一次蓋又は二次蓋の密封機能に異常が生じた場合でも、キャスク仮保管設備では蓋間圧力が低下することで警報が発せられる設計としており、早期発見が可能である。その場合は、速やかに共用プールに移動して、状況を確認することが可能である。

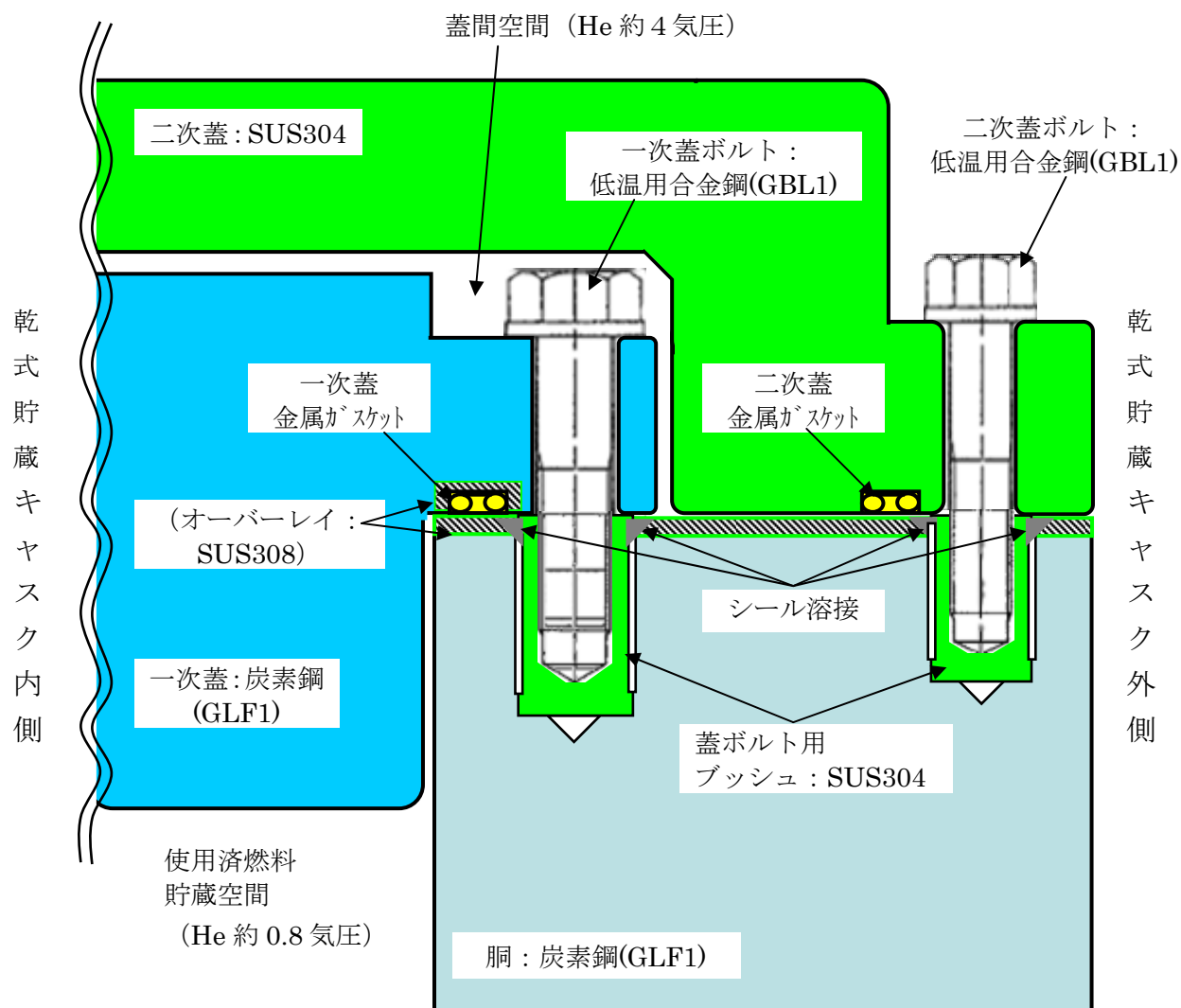


図 1-1 乾式貯蔵キャスク蓋部 概略図

既設9基乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出について

既設9基乾式貯蔵キャスクについては、キャスク保管建屋から搬出後、共用プールで点検及び必要な部材交換を実施し、キャスク仮保管設備に保管することを計画している。

ここでは、乾式貯蔵キャスクのキャスク保管建屋からの搬出の作業手順及び安全性について説明する。

1. 搬出方法

建屋内の天井クレーンは津波による被害が大きいため、耐震構造に寄与しない建屋ブロック壁の撤去、搬送台車を建屋外に搬出するための新設レールの敷設を行い、乾式貯蔵キャスクを建屋外に搬出する。建屋外での乾式貯蔵キャスクの搬送台車から輸送トレーラーへの載せ替えは、移動式クレーンを使用して行う。この場合、二重吊りの落下防止対策を講じることが出来ないため、万一の乾式貯蔵キャスクの落下時にも周辺公衆及び放射線業務従事者に対して放射線被ばく上の影響は十分小さくなるように、乾式貯蔵キャスクの吊り上げ高さを制限する手順を定めて運用する。

図1-1に乾式貯蔵キャスク搬出方法の概念図を示す。また、表1-1に乾式貯蔵キャスクの搬出工程表を示す。

2. 作業手順

| 作業内容 | 注意事項 |
|---|--|
| 【準備作業】 | |
| (1) 移動式クレーンをキャスク保管建屋の近くに設置する。 | 風速が10m/s以上の場合、作業を中止する。 |
| (2) 水平吊り具を移動式クレーンで吊り上げ、建屋から搬出後に速やかに乾式貯蔵キャスクに取り付けられるように用意する。 | |
| (3) 建屋外にウインチ支持台及びウインチを取り付ける。 | |
| 【乾式貯蔵キャスク搬出・輸送トレーラー載せ替え作業】 | |
| (4) ウインチを用いて、乾式貯蔵キャスクを載せた搬送台車を建屋外に搬出する。 | 運搬物の表面及び表面から1メートルの距離における線量当量率および運搬物の表面汚染密度の測定に関しては、作業実施時の最新の保安規定、社内マニュアル等に基づき管理する。 |

| | |
|---|--|
| (5) 建屋外に搬出後、速やかに乾式貯蔵キャスクに水平吊り具を取り付ける。 | |
| (6) ウインチ及びウインチ支持台を取り外し、輸送トレーラーを搬送台車と直列となるように駐車する。 | 搬送台車と輸送トレーラーの距離が十分小さくなるように輸送トレーラーを駐車する。 |
| (7) 搬送台車荷台と輸送トレーラー荷台に段差が極力生じないように高さ調整をする。 | |
| (8) 乾式貯蔵キャスクの吊り上げを監視するよう、専任の監視員を配置する。 | |
| (9) 移動式クレーンを用いて、吊り上げ高さが1m以下となるように監視しながら支持架台付き乾式貯蔵キャスクを搬送台車から輸送トレーラーに徐々に水平移動させる。 | 吊り上げ高さが確実に1m以下となるように、十分に低い高さで移動する。 |
| (10) キャスク支持架台を輸送トレーラー荷台に固定する。 | |
| (11) 乾式貯蔵キャスクから水平吊り具を取り外す。 | |
| (12) 輸送トレーラーにて共用プールまで構内運搬する。 | 構内運搬の安全措置は、作業実施時の最新の保安規定、社内マニュアル等に基づき管理する。共用プールでの乾式貯蔵キャスクの取り扱いは、従来通り、天井クレーンと搬送台車を使用する。 |
| 【片付け作業】 | |
| (13) 水平吊り具を移動式クレーンから取り外し、移動式クレーンを移動させる。 | 次の乾式貯蔵キャスクを続けて搬出する場合は、(13)は行わずに(2)に戻って繰り返す。 |

3. 安全性

(1) 事前検討, 作業資格

- ・ 作業手順書を作成し、事前に十分検討を行った上で作業を行う。
- ・ クレーンの運転は、有資格者を配置する。

(2) ウインチによる建屋外への搬出作業

- ・ ウインチによる搬送台車の移動は、建屋内 150cm/min, 建屋外 100cm/min 程度の非常に遅い速度で取り扱うものとする。

(3) 移動式クレーンによる輸送トレーラー載せ替え作業

- ・ クレーンによる支持架台付き乾式貯蔵キャスクの吊り上げは、10cm/min 程度の非

常に遅い速度で取り扱うものとする。

- ・ 吊り上げ高さが確実に 1m 以下となるように、吊り上げ高さを 50cm 程度以下で取り扱うように手順書に定める。
- ・ 乾式貯蔵キャスクは専用の水平吊り具を用いるため、水平を維持して取り扱うことができる。クレーンによる支持架台付き乾式貯蔵キャスクの水平移動は、500cm/min 程度の非常に遅い速度で取り扱うものとする。
- ・ 玉掛け合図者からクレーン運転者に連絡が取れるよう無線を用意する。また、専任の監視員は、玉掛け合図者を通してクレーン運転者に連絡が取れるように配置する。
- ・ 玉掛けの際、フックの外れ止めを確実に実施する。

4. 非常時の措置

(1) 乾式貯蔵キャスク落下

- ・ 万一、乾式貯蔵キャスクを 1m 高さから落下させた場合でも周辺公衆及び放射線業務従事者への放射線被ばく上の影響は十分に小さい。

5. 主要な設備

(1) 500t 級移動式クレーン

台数 1

(2) 搬送台車

台数 1

(3) ウインチ

個数 3 (1 個が手動, 2 個が電動) (建屋内)

2 (2 個とも電動) (建屋外)

(4) 水平吊り具

個数 1

(5) 輸送トレーラー

台数 1

6. 参考

参考-1 乾式貯蔵キャスクの 1m 落下時の放射線被ばく影響について

表 1-1 乾式貯蔵キャスクの搬出工程表

| | 平成 25 年 | | |
|--------------------------|---------|---|---|
| | 3 | 4 | 5 |
| 電源復旧（済） | | | |
| 貯蔵棟 1 階水抜き（済） | | | |
| ガレキ撤去・搬出ルート修復・コンテナ等回収（済） | | | |
| 建屋ブロック壁撤去（済） | | | |
| 新設レール敷設（済） | | | |
| 既設レール・搬送台車復旧（済） | | | |
| 乾式貯蔵キャスク搬出 | | | |

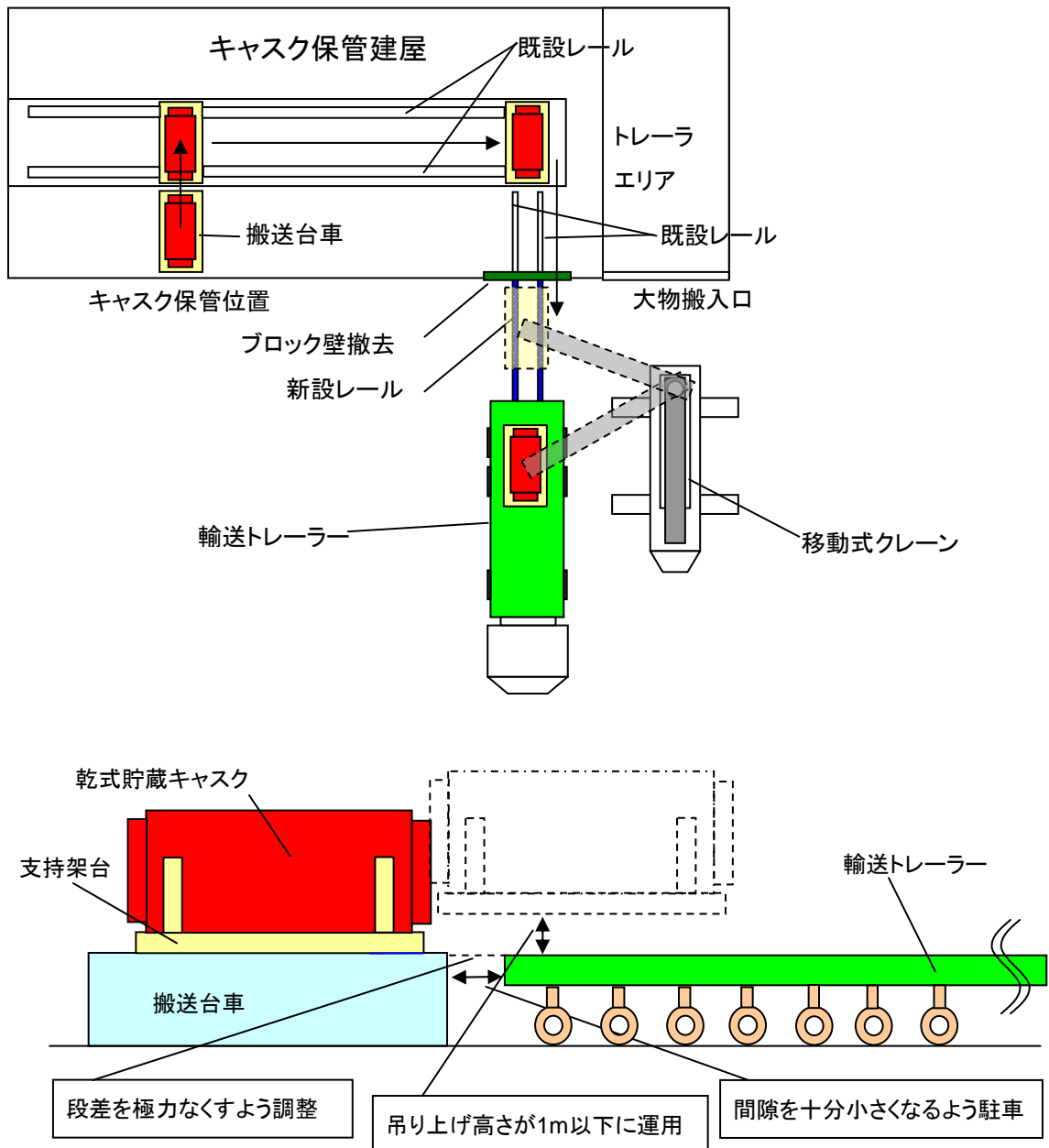


図 1-1 乾式貯蔵カスク搬出方法の概念図

乾式貯蔵キャスクの1m落下時の放射線被ばく影響について

既設9基乾式貯蔵キャスクについては、建屋外での搬送台車から輸送トレーラーへの載せ替えは、移動式クレーンを使用して行う。その際、乾式貯蔵キャスクの吊り上げ高さを確実に1m以内に制限できる手順を定め、運用する予定である。

ここでは、大型の乾式貯蔵キャスクが1m落下した場合でも、周辺公衆及び放射線業務従事者への放射線被ばく上の影響は十分に小さいことを説明する。

1. 一次蓋密封部の発生応力評価

1.1. 評価条件

評価条件は以下とする。

- ・支持架台付きで取り扱う。
- ・水平吊り具を使用して、水平状態で取り扱う。
- ・輸送トレーラーの駐車位置は、搬送台車との距離を十分小さくし、隙間から乾式貯蔵キャスクが落下しないようにする。
- ・搬送台車荷台と輸送トレーラー荷台に段差が極力生じないように高さ調整をする。

1.2. 評価方法

1m落下時に、乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力が基準値（使用済燃料貯蔵施設規格 金属キャスク構造規格（2007年版））を満足するかを評価する。評価方法は以下のとおりである。

- ・LS-DYNA コードを用いて、1m落下時に乾式貯蔵キャスクにどの程度の鉛直方向加速度が生じるかを求める。
- ・ABAQUS コードを用いて、乾式貯蔵キャスクがトラニオン4箇所でも水平に支持された状態で、上記で求めた鉛直方向加速度を慣性力として与え、また、工事計画認可申請書（以下、工認）に記載している最高使用圧力+ボルト初期締め付け力+熱荷重を同時に加えて、密封部の発生応力を求める。
- ・求められた発生応力が基準値を満足するかを評価する。

1.3. 評価結果

(1) 落下による最大加速度評価

LS-DYNA コードを用いて、1m落下時に乾式貯蔵キャスクにどの程度の鉛直方向加速度が生じるかを求めた。支持架台は板厚50mmの炭素鋼（SS400）の鋼板でトラニオンを支持しており、その部分の剛性は、乾式貯蔵キャスク本体及びトラニオンの剛性に比べて小さく、落下時にその部分の塑性変形で落下エネルギーが吸収される。

図1-1及び図1-2に、乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の変位履歴図及び速度履歴

図をそれぞれ示す。乾式貯蔵キャスク本体の速度勾配は蓋側のトラニオン取付部が最も大きく、その加速度は 33.1G である。以下、約 5%の余裕を見て、35G が鉛直方向加速度として作用するとして応力評価を行う。

(2) 乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力

ABAQUS コードを用いて、LS-DYNA コードで得られた鉛直方向加速度及び工認に記載している最高使用圧力+ボルト初期締め付け力+熱荷重を同時に加えて、乾式貯蔵キャスクの一次蓋密封部の発生応力を求めた。

考慮した荷重の具体的な値は、以下のとおりである。

- ・最高使用圧力：1.6MPa
- ・ボルト初期締め付け力： $3.372 \times 10^6 \text{N}$
- ・熱荷重：保守的に、最新工認（大型乾式貯蔵キャスク増設分）の乾式貯蔵キャスク各部の温度分布時に発生する荷重を使用^{※1}。
- ・LS-DYNA コードで得られた鉛直方向加速度：35G

一次蓋密封部の発生応力は胴フランジ断面最下部付近が最も大きく 58N/mm^2 である。また、一次蓋ボルトの最大応力は 109N/mm^2 である。

※1：既設 9 基乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料は 20 年以上冷却されており、増設分乾式貯蔵キャスクの貯蔵燃料の設計冷却期間 13 年以上を超えていることから、最新工認の熱荷重を使用することは保守的となる

(3) 基準値との比較

一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの基準値は、材料の降伏応力（ S_y ）であり、それぞれ

一次蓋密封部胴フランジ（GLF1）： $S_y = 181 \text{N/mm}^2$

一次蓋ボルト（GBL1）： $S_y = 649 \text{N/mm}^2$

である。このため、1m 落下での一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの裕度（基準値/発生応力）はそれぞれ

一次蓋密封部胴フランジ： $181/58 = 3.1$

一次蓋ボルト： $649/109 = 5.9$

となり、基準値を十分満足する。

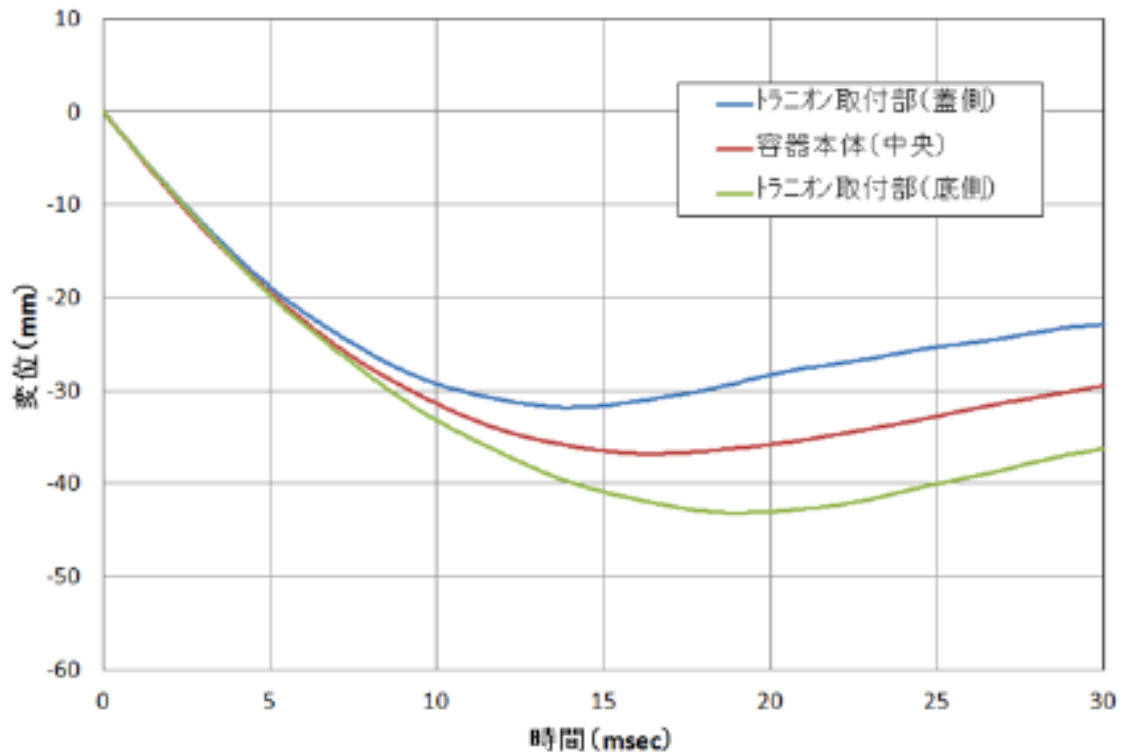


図 1-1 乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の変位履歴図

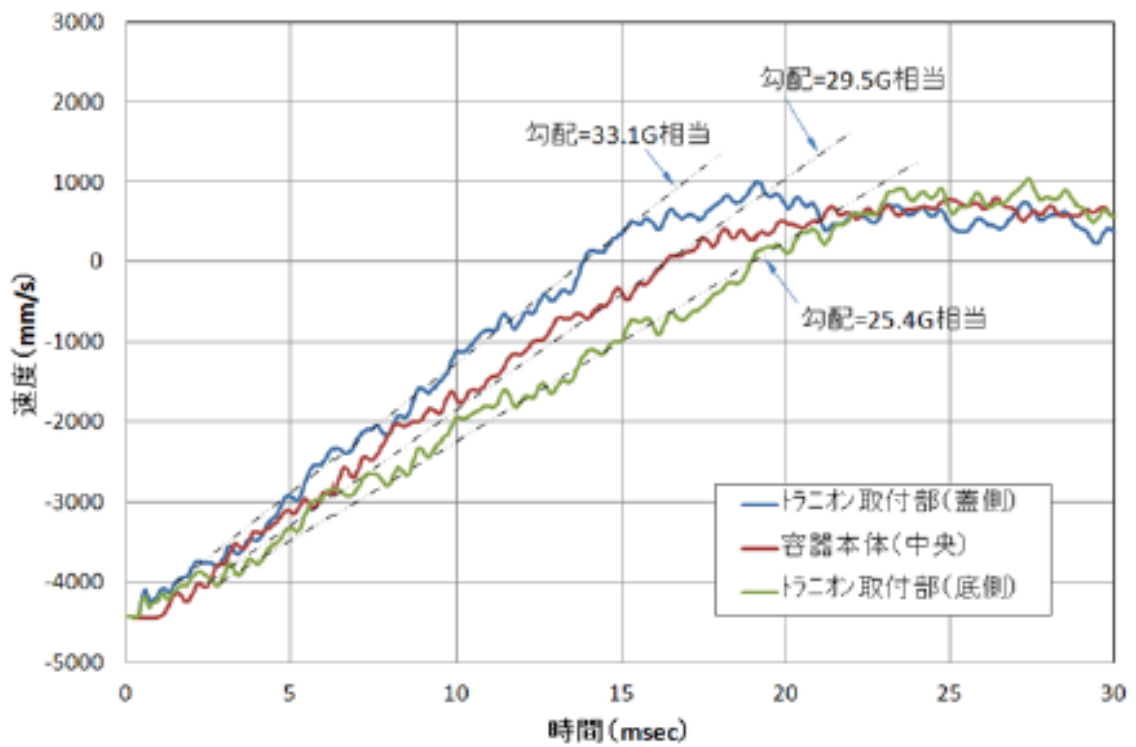


図 1-2 乾式貯蔵キャスク本体の鉛直方向の速度履歴図

衝撃計算に用いるコード(LS-DYNA)について

(1) 概要

LS-DYNA コードは米国 Livermore Software Technology Corporation(LSTC 社)からリリースされた汎用陽解法有限要素解析に基づく3次元非線形衝撃応答解析コードであり、輸送キャスクの衝撃解析等に広く利用されている。

(2) 機能

LS-DYNA コードは、衝撃解析に際して以下の機能を有している。

- ① 材料の非線形性を取り扱いできるため、衝撃吸収材が衝撃時に降伏応力を超え、塑性変形することによって衝撃エネルギーを吸収することを考慮できる。
- ② 20 を超える接触オプションが有効であり、接触面には固着、剥離、接触、滑り、摩擦などの条件が設定できる。
- ③ 面と面の接触状態だけでなく、辺と辺、節点と面の接触も可能である。
- ④ 要素の消滅などの特殊な条件も扱うことができる。
- ⑤ 多数の金属、非金属材料モデルを有している。

(3) 解析フロー

LS-DYNA コードの解析フローを図 1-3 に示す。

(4) 使用実績

LS-DYNA コードは、これまで自動車分野をはじめ、多くの分野の衝撃解析に対して使用実績がある。

原子力分野では、返還ガラス固化体輸送用キャスクの核燃料輸送物設計承認書において、構造解析の解析コードとして使用されている実績がある。

(5) 検証方法

実験との比較による検証が実施されていることを確認している。

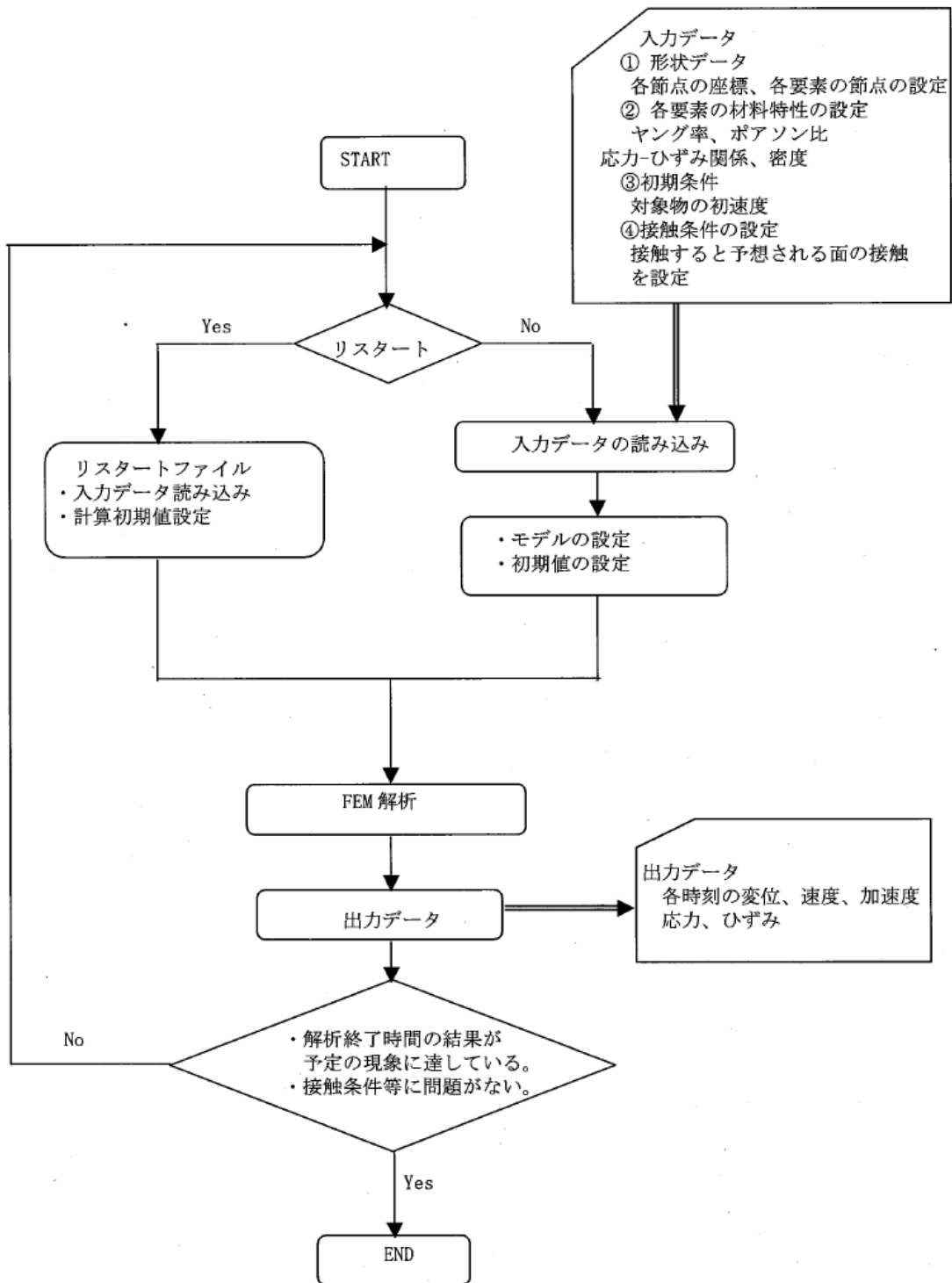


図 1-3 LS-DYNA コードの衝撃計算フロー図

構造強度計算に用いるコード (ABAQUS) について

(1) 概要

ABAQUS コードは米国 Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Ins. (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり, 輸送キャスクの応力解析等に広く利用されている。

(2) 機能

ABAQUS コードは, 応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常, 非定常の弾性, 非弾性のいずれの解も得ることができる。
- ② 材料特性として時間依存, 歪の履歴依存及びに等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③ モデルの形状は一次元～三次元, 又は連続体についても取り扱うことができる。
- ④ 伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤ 荷重条件として集中荷重, 分布荷重, モーメント, 加速度力 (慣性力), 圧力, 遠心力及びコリオリ力等が取り扱える。また, これらの条件の時間依存, 線形変化に対しても対応可能である。

(3) 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図 1-4 に示す。

(4) 使用実績

ABAQUS コードは, これまで多くの応力解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認している。

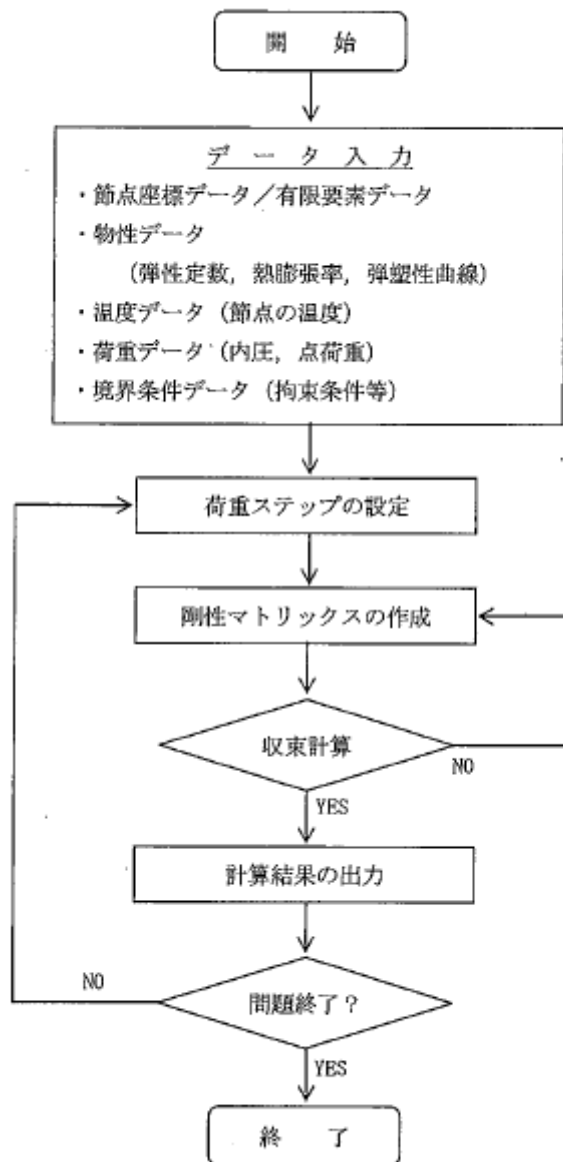


図 1-4 ABAQUS コードの応力解析フロー図

2. 一次蓋ずれを原因とした金属ガスケットからの瞬時漏えい率上昇の影響評価

2.1. 1m 落下試験

(1) 試験の概要

電力中央研究所において、実物大金属キャスク落下試験（69体のBWR燃料集合体を収納する乾式キャスクを模擬した試験体を用いた落下試験）が行われている^{※2}。その中で緩衝体を装着しない状態で1m高さから水平落下させた試験があり、一次蓋の変位及び瞬時漏えい率が測定されている。

※2：電力中央研究所報告 金属キャスク落下時瞬時漏えい評価－実物大金属キャスク落下試験－H18.12

(2) 試験結果からの類推

落下時の一次蓋の最大横ずれ量は約0.4mmであり、一次蓋の口開きは認められていない。一次蓋金属ガスケットからのヘリウム漏えい率は、落下直後にバックグラウンドより一桁上昇し、10分程度でバックグラウンドレベルまで復元、落下から25分程度経過してから再び一桁上昇し、更に10分程度でバックグラウンドレベルまで復元する現象が見られたが、この後6時間の計測中はバックグラウンドレベルのままであったことが確認されている。最終的に復元する原因については、金属ガスケット表面とキャスク本体のフランジ面とのなじみにより、金属ガスケット表面にできた隙間が解消されたものと考えられている。また、試験終了後、試験体を落下試験場から離れた工場に持ち込み、二回の密封検査を実施した結果、密封性が健全であることが確認されている。

乾式貯蔵キャスクの支持架台付き1m落下と電力中央研究所が行った1m水平落下試験を比較すると、金属ガスケットの熱劣化の有無と支持架台の有無の違いはあるが、概ねキャスク設計と落下条件は類似している。そのため、乾式貯蔵キャスクが支持架台付きで1m水平落下した場合、一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇する可能性はあるが、比較的短時間に復元するものと類推する。

一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇したとしても、乾式貯蔵キャスクの蓋間圧力は正圧、乾式貯蔵キャスク内部は負圧であることを踏まえると、乾式貯蔵キャスクを支持架台付きで1m落下した場合において、外部への核分裂生成物の漏えいはほとんどないと思われる。

2.2. 敷地境界線量の評価

ここでは、極めて保守的な例として、大型の乾式貯蔵キャスクの落下により、全ての貯蔵燃料の被覆管が損傷し、ガス状核分裂生成物がキャスク保管建屋前において短時間（1時間）で全て放出されたとして敷地境界線量の評価を行った。

評価条件を表2-1に示す。敷地境界線量は、よう素の内部被ばく及び希ガスの γ 線

外部被ばくの和として計算した。結果は、

約 2.5×10^{-3} mSv

となり、「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」（平成 2 年 8 月 30 日 原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会）において、事故時における周辺公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えない判断基準である発生事故当たりの実効線量 5mSv に対して十分小さい結果となっている。更に、設計基準事象である「燃料集合体の落下」の設置許可申請書（6 号機）で評価された敷地境界線量である約 4.3×10^{-2} mSv よりも小さい値である。

以上より、極めて保守的な条件で敷地境界線量を評価した結果においても、周辺公衆に与える放射線被ばく上の影響は十分に小さい。

2.3. まとめ

大型の乾式貯蔵キャスクが水平架台付きで 1m 落下した場合でも、一次蓋密封部の胴フランジ及び一次蓋ボルトの発生応力はいずれも基準値を十分満足することを確認した。

また、類似の落下試験から、一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇する可能性はあるが、比較的短時間に復元するものと類推した。

なお、極めて保守的な条件で敷地境界線量を評価した場合においても、周辺公衆に与える放射線被ばく上の影響は十分に小さいことを確認した。実際には、乾式貯蔵キャスクの落下による貯蔵燃料の破損は仮定より少ないと思われること及び一次蓋の横ずれにより瞬時的に漏えい率が上昇したとしても、乾式貯蔵キャスクの蓋間圧力は正圧である一方、乾式貯蔵キャスク内部は負圧であることから、周辺公衆及び放射線業務従事者に与える放射線被ばく上の影響は十分軽微であると考えられる。

表 2-1 敷地境界線量の評価条件

| | |
|---------------------------------|--|
| 評価手法 | ORIGEN2 (インベントリ), 気象指針 ^{※1} (大気拡散), 線量目標値に対する評価指針 ^{※2} (放射線被ばく) |
| 燃焼度 | 33GWd/t (保守的に, 実際の最大燃焼度を越えた燃焼度を設定) |
| 冷却期間 | 8000 日 (保守的に, 実際の最小冷却期間より少ない期間を設定) |
| ペレットから被覆管ギャップへ 核分裂生成物が放出する割合 | 30% ^{※3} |
| 実効放出継続時間 | 1 時間 |

※1 : 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針 (昭和 57 年 1 月 28 日 原子力安全委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会)

※2 : 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針 (昭和 51 年 9 月 28 日 原子力委員会決定 一部改訂 平成 13 年 3 月 29 日 原子力安全委員会)

※3 : H. Hayashi, M. Kitamura, T. Nomata, T. Kogai, K. Ito, T. Kubo, Y. Wakashima, H. Sakurai, " Irradiation Characteristics of BWR Step II Lead use Assemblies", ANS International Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Performance, Portland, Oregon, U. S. A., March 2-6, (1997)

インベントリ計算に用いるコード (ORIGEN2) について

(1) 概要

ORIGEN2 コードは、米国オークリッジ国立研究所 (ORNL) で開発された炉内中性子束の 1 点近似による燃焼計算コードである。ORIGEN2 コードは汎用解析コードであり、輸送キャスクの崩壊熱計算等に広く利用されている。

(2) 機能

ORIGEN2 コードは、燃焼解析に際して以下の機能を有している。

- ① 燃料の炉内での燃焼計算、炉取出し後の減衰計算により、冷却期間に対応した崩壊熱、放射線の強度、各核種の放射エネルギー等が求められる。
- ② 原子炉の炉型と燃料の組合せに対し、中性子エネルギースペクトルの違いにより重みをつけた断面積ライブラリが内蔵されており、任意に選択できる。
- ③ 計算結果は、放射化生成物、アクチニド、核分裂生成物に分類して出力される。
- ④ 燃焼計算に必要な放射性核種データ (崩壊熱、ガンマ線のエネルギー分布、自発核分裂と (α, n) 反応により発生する中性子源強度等) に関しては、ORIGEN2 コード専用のライブラリがあり、これを用いる。

(3) 計算フロー

ORIGEN2 コードの計算フローを図2-1 に示す。

(4) 使用実績

ORIGEN2 コードは、輸送キャスク、核燃料施設の崩壊熱計算に広く使用されている※¹。

(5) 検証方法

汎用コードの導入評価※¹が実施されていることが確認されている。
大型実験/ベンチマーク試験による検証※² が実施されていることが確認されている。

※¹: A. G. Croff, “ ORIGEN2 Isotope Generation and Depletion Code MATRIX EXPONENTIAL METHOD”, CCC-371(1987)

※²: (社)日本原子力学会 “原子炉崩壊熱とその推奨値”, 1989 年 8 月

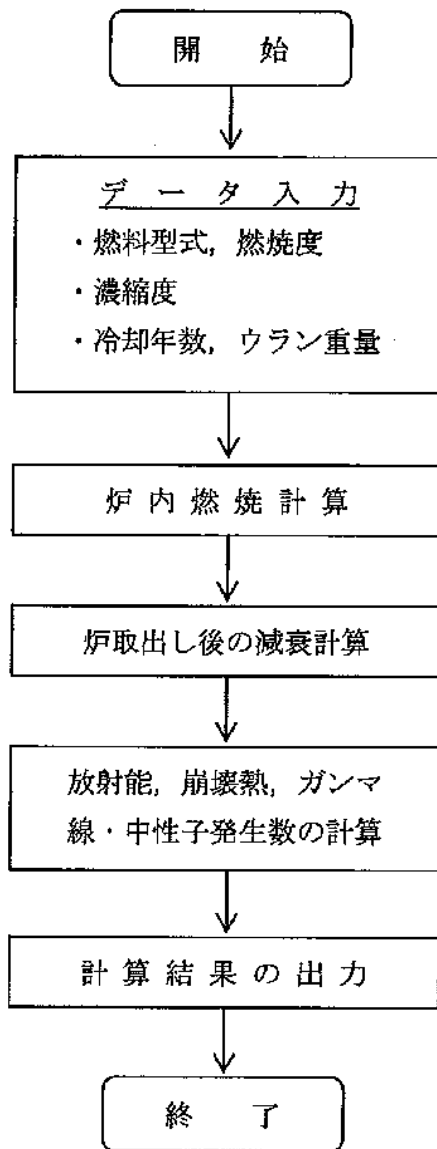


図 2-1 ORIGEN2 コードの計算フロー図

キャスク仮保管設備クレーンレーン間移動時の転倒について

1. クレーンレーン間移動手順

キャスク仮保管設備は複数のレーンに分かれており、どのレーンに乾式キャスクを設置するかにより、クレーンをレーン間移動させる必要がある。この時、クレーンのレーン間移動は以下の手順にて行う。

- (1) 図1のようにクレーンを待機位置(コンクリートモジュールとの最短距離が1000mm)に移動し、停止させる。
- (2) 図2のようにH鋼レールをクレーン走行装置の内側に設置し、図3のようにアンカーを用いて設置したレールズレ止めにより固定する。
- (3) 図2のようにH鋼レール上を移動できるように、逸走を防止するためのガイドローラが付いたチルトタンクと油圧ジャッキを取り付けた移動受台をH鋼レール上に乗せ、クレーンのトラックフレームの下に移動する。
- (4) 図1のように電動チルトホールまたは電動ウインチ、おしみチルトホール、ワイヤロープ、滑車を取り付ける。
- (5) 油圧ジャッキを操作してクレーンを押し上げ、車輪がレールから浮き上がった状態にする。
- (6) 電動チルトホールまたは電動ウインチを操作して、横行方向に移動させる。また、逸走防止を目的として同時におしみチルトホールを併用して移動操作を行う。
- (7) クレーンが移動レーンのレール上にあることを確認し、油圧ジャッキを操作して走行レール上に降ろす。

2. レーン間移動中の逸走評価

クレーンが本設レール上にある時に地震(基準地震動 S_s)により鉛直方向と走行方向に同時に加震された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加震された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの走行方向への滑り量は最大で約330mmであった。

レーン間移動時に地震が発生した場合、クレーンは基礎上面を逸走する可能性があるが、以下の点よりクレーンの逸走量は330mmを下回ると考えられる。

- ・車輪とレールの摩擦係数が0.3であるのに対し、車輪とコンクリートの摩擦係数は0.4程度であり、逸走に対する抵抗が大きい。
- ・図2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの逸走を阻害することになる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm 確保することで、クレーンが逸走したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。

3. レーン間移動中の転倒評価

レーン間移動中に最もクレーンが乾式キャスク設置の位置側に傾く事象として、クレーンが乾式キャスク設置側にある油圧ジャッキより脱落し、かつ地震によりクレーンの脚が浮き上がる場合が考えられる。

クレーンをジャッキアップした状態で片側の油圧ジャッキが外れる事象を想定した場合、ジャッキアップの量及び油圧ジャッキの配置等から、図4のように乾式キャスク設置位置と逆側の車輪は基礎から82mm程度浮き上がる。

さらに地震（基準地震動Ss）によりクレーンが浮き上がる場合を考える。クレーンが本設レール上にあるときに、地震により鉛直方向と走行方向に同時に加震された場合と鉛直方向と横行方向に同時に加震された場合について非線形時刻歴応答解析を実施した結果、クレーンの脚は最大で11mm浮き上がると評価されている。このクレーン脚の最大浮き上がり量11mmをクレーンの重心位置の浮き上がり量として扱うことにより、保守的な条件として浮き上がり量11mmを仮定する。

クレーンの重心の浮き上がり量を11mmと仮定した場合、乾式キャスク設置位置と逆側の脚が最も浮き上がるのは、乾式キャスク設置側の脚が浮き上がらない時であり、その浮き上がり量は脚と浮き上がり量算定位置（クレーンの重心位置または片側の脚）間のスパン長比による線形補間から求めると、22mmになる。

以上から脚の浮き上がり量は最大で104mm(=82mm+22mm)となる。

クレーンが乾式キャスク設置側に転倒する場合における乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は5700mm程度であることから、クレーンが乾式キャスク設置側に転倒することはない。またクレーンが待機位置から乾式キャスク方向に330mm逸走し、乾式キャスク設置側に傾いても乾式キャスクと衝突しない乾式キャスク設置位置と逆側の車輪の浮上がり量は参考資料のように4600mm程度であることから、クレーンが乾式キャスクに衝突することはない。

4. レーン間移動中のクレーンの回転移動評価

図5のように、クレーンが乾式キャスク設置位置と逆側にある油圧ジャッキの内一本を中心に回転した場合は、他の位置を回転中心とした場合に比べて、クレーンが乾式キャスクに最も接近しやすい保守的な条件であることから、この条件について評価を行う。

クレーンが回転しチルトタンクがH鋼レールから落ちた場合、もしくはクレーンが油圧ジャッキから落ちた場合については、クレーンの車輪とコンクリートとの摩擦係数が0.4程度であり、本設レールとクレーンの車輪との摩擦係数0.3に比べて摩擦による影響が大きくなる。このことから、本設レール上にクレーンが上載している条件により、基準地震動Ssを用いた非線形時刻歴応答解析を実施した結果（クレーンの重心の移動量330mm）は、レーン間移動中に当てはめると保守的な数値であると考えられる。

したがって、レーン間移動中のクレーンの重心の移動量を330mmと仮定し、クレーンの回

転による脚の最大移動量を推定すると、図5のように約700mm程度となる。なお、図2のように、クレーンの走行部の間にレーン間移動用のH鋼を設置することから、クレーンの回転を阻害することになり、クレーンの脚の移動量は700mmを下回ると考えられる。

以上からクレーンとコンクリートモジュールの最短距離を1000mm確保することで、クレーンが回転したとしても、モジュールに衝突することを防ぐことができる。

5. 結論

レーン間移動を行う場所は図1のように第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置としており、この場合以下のことがいえる。

- ・ クレーンのレール間移動中に地震が起きた場合に、クレーンが走行方向に逸走すると、その距離は330mm以下であり、コンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・ 地震によるクレーンの脚の最大浮き上がり量は104mmとなり、クレーンが停止位置から330mm逸走した後にクレーンが傾いてコンクリートモジュールに衝突する脚の浮き上がり量が4600mmであることから、クレーンが地震により浮き上がってもコンクリートモジュールに衝突することはない。
- ・ 移動受台の反乾式キャスク側の油圧ジャッキ一本を中心にクレーンが回転した場合、乾式キャスク側の脚の移動量は700mm以下であり、コンクリートモジュールにクレーンが衝突することはない。

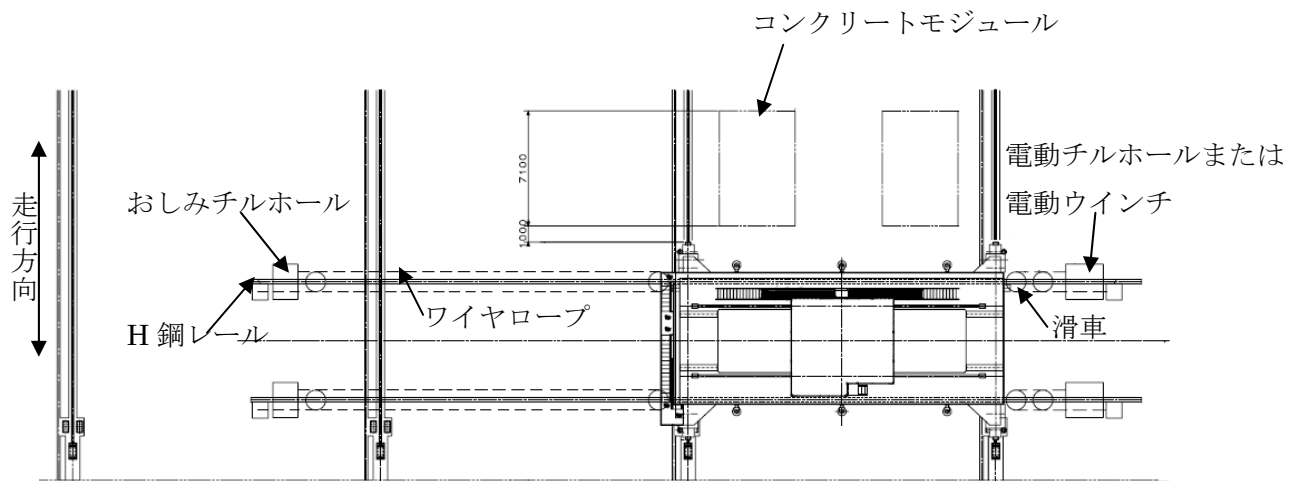


図1 レーン間移動時機材配置図

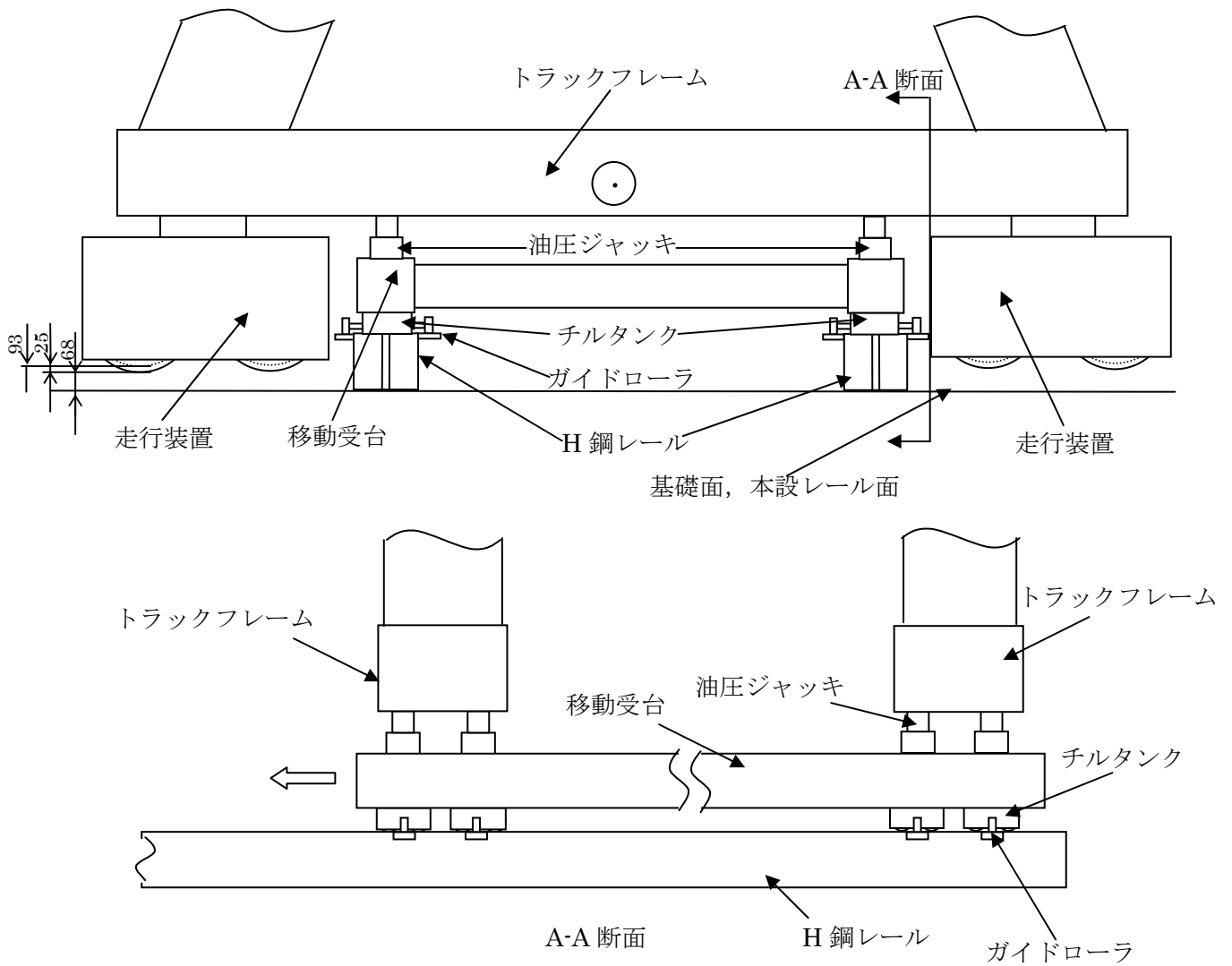


図2 クレーンジャッキアップ時概略図

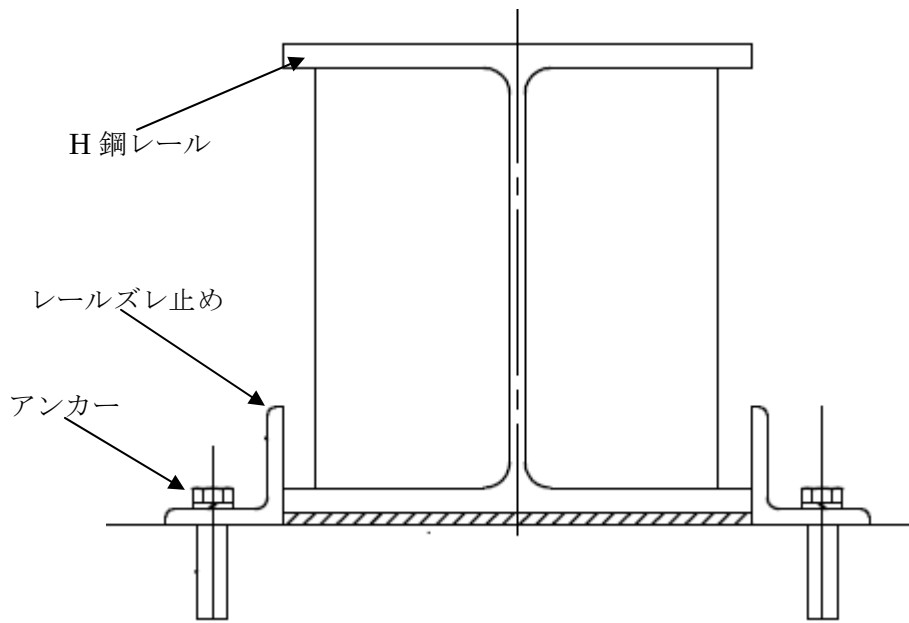


図3 H鋼レール拡大図

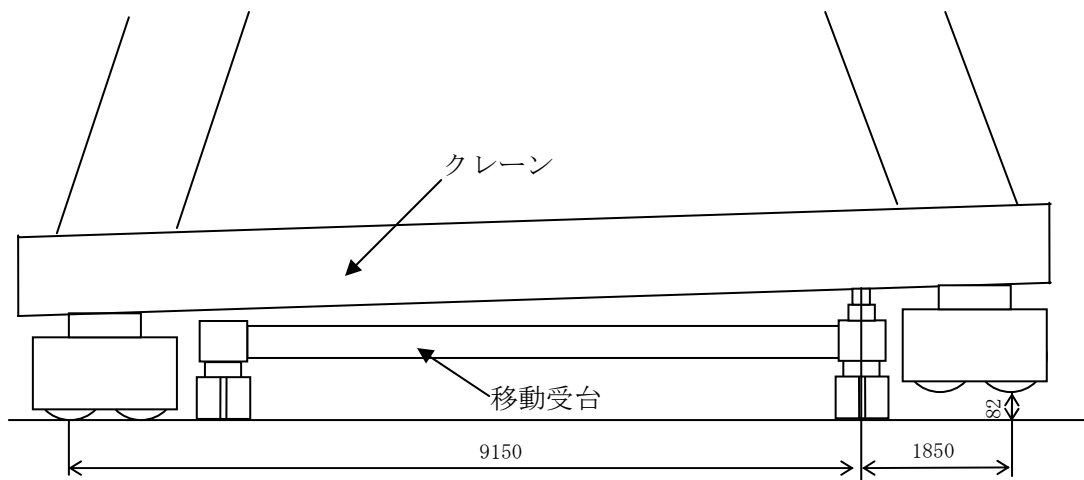


図4 油圧ジャッキが外れた場合の概略図

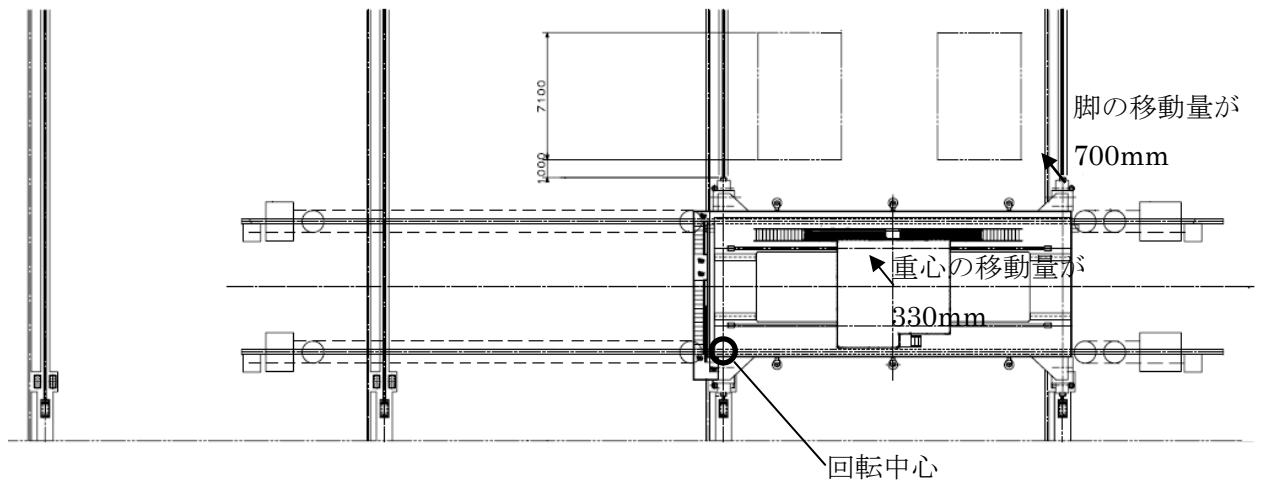


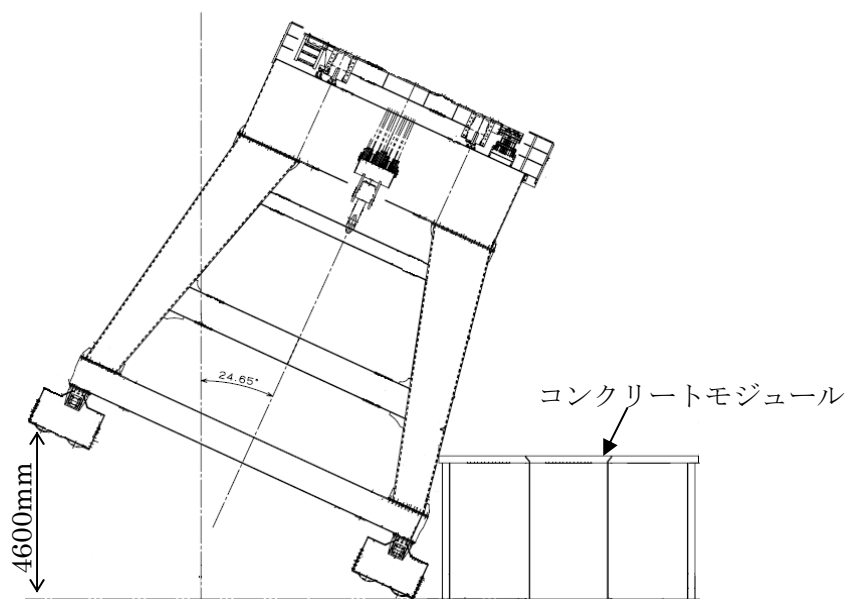
図5 クレーン回転時の説明図

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する浮上がり量について

クレーンがコンクリートモジュールに衝突する脚部浮上り量を以下のように考える。

1. レーン間移動を行う場所を第三レーンのコンクリートモジュールとクレーンの距離が1000mmとなる位置とする。
2. クレーンの位置は走行方向に330mm逸走することを考慮し、評価を行う。

上記条件の下で評価を行った結果、参考図1のように乾式キャスク設置位置と逆側の脚が4600mm以上持ち上がると、クレーンはコンクリートモジュールに衝突する



参考図1 脚の浮上がり量

キャスク仮保管設備に係る確認事項について

キャスク仮保管設備の設置工事および溶接に係る主要な確認項目を表 1～11 に示す。
尚、寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上、確認前に定める。

表 1 確認事項（乾式貯蔵キャスク（増設））（1/2）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|-------------------|----------|----------|---|--|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 強度・漏えい確認 | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| 構造強度・耐震性 遮へい機能 | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置、据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| 除熱機能 | 機能確認 | 伝熱確認 | 代表一基について容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。 | 周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。 |
| 密封機能 | 機能確認 | 気密漏えい確認 | ヘリウムリーク法及び真空放置法により、漏えい率を確認する。 | 基準漏えい率以下であること。 |
| 臨界防止機能 | 機能確認 | 未臨界確認 | バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。 ・有意な変形、破損等の異常がないこと。 |
| 監視 | 機能確認 | 密封監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |
| | | 除熱監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |

表 1 確認事項（乾式貯蔵キャスク（増設））(2/2)

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 | |
|----------|-------|----------|--|--------------------------------|
| 構造強度・耐震性 | 溶接確認※ | 材料確認 | 溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 計画書のとおりであること。 |
| | | 開先確認 | 開先面の状態，開先形状及び各部寸法等を確認する。 | ・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。 |
| | | 溶接作業確認 | 溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。 | 計画書，溶接規格のとおりであること。 |
| | | 溶接後熱処理確認 | 溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 計画書及び溶接規格等に適合するものであること |
| | | 非破壊確認 | 溶接部について非破壊確認を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 溶接規格等に適合するものであること |
| | | 機械確認 | 溶接部について機械試験をおこない，当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 溶接規格等に適合するものであること |
| | | 耐圧・外観確認 | 規定圧力で耐圧確認を行い，これに耐え，かつ，漏えいがないことを確認する。 | 規定圧力に耐え，かつ，漏えいがないこと。 |

※溶接の概要は表 12 参照

但し，詳細は事業者の定める溶接事業者検査計画書による。

表 2 確認事項（乾式貯蔵キャスク（既設））

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|----------|---|------------------------|
| 構造強度・耐震性 | 構造確認 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| 除熱機能 | 機能確認 | 温度確認 | 胴部表面の温度について確認する。 | 表面温度が警報設定値未満であること。 |
| 遮へい機能 | 機能確認 | 線量当量率確認 | 胴部表面の線量当量率及び表面から1m位置での線量当量率を確認する。 | 設計基準値以下であること。 |
| 密封機能 | 機能確認 | 気密漏えい確認 | ヘリウムリーク法及び真空放置法により，漏えい率を確認する。 | 基準漏えい率以下であること。 |
| 臨界防止機能 | 構造確認 | 外観確認 | 先行点検する1基について，バスケット（上部から全体外観）の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| 監視 | 機能確認 | 密封監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |
| | | 除熱監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ，設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |

表3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）（1/2）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|-------------------|----------|-------------|---|--|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認* | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 強度・漏えい確認 | 耐圧・漏えい確認* | 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| 構造強度・耐震性 遮へい機能 | 構造確認 | 寸法確認* | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 外観確認* | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置、据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| 除熱機能 | 機能確認 | 伝熱確認 | 容器内部に使用済燃料を模擬するヒータを挿入して発熱させ、温度を確認する。 | 周囲温度を補正した温度が最高使用温度以下であること。 |
| 密封機能 | 機能確認 | 気密漏えい確認 | ヘリウムリーク法等により、漏えい率を確認する。 | 基準漏えい率以下であること。 |
| 臨界防止機能 | 機能確認 | 未臨界確認 | バスケットの材料特性及び主要寸法が、実施計画の評価の前提条件となっている値を満足していることを確認し、バスケットの外観に異常のないことを確認する。 | ・設計の材料特性に適合し、寸法が許容範囲内であること。 ・有意な変形、破損等の異常がないこと。 |
| 取扱機能 | 機能確認 | 吊上荷重確認 | キャスクの吊上げ時重量の2倍以上の荷重をトラニオンに負荷し、トラニオンの外観に異常のないことを確認する。 | トラニオンの外観に有害な変形がないこと。 |
| | | 模擬燃料集合体挿入確認 | 代表5セルについてバスケットへ模擬燃料集合体の挿入、取出しを行い、支障がないことを確認する。 | バスケットへの模擬燃料集合体の挿入、取出しが支障なく行えること。 |
| 監視 | 機能確認 | 密封監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |
| | | 除熱監視機能確認 | 検査用計器により指示値を変化させ、設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |

※炉規制法第四十三条の九に則って使用前検査を実施しているときは、これをもって確認とする。

表 3 確認事項（輸送貯蔵兼用キャスク）(2/2)

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|-------|----------|--|-------------------------------------|
| 構造強度・耐震性 | 溶接確認※ | 材料確認 | 溶接に使用する材料が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 計画書のとおりであること。(設計仕様のとおり又は相当の材料であること) |
| | | 開先確認 | 開先面の状態，開先形状及び各部寸法等を確認する。 | ・有意な欠陥がないこと。 ・計画書のとおりであること。 |
| | | 溶接作業確認 | 溶接規格等に適合していることが確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工しているかを確認する。 | 計画書，溶接規格のとおりであること。 |
| | | 溶接後熱処理確認 | 溶接後熱処理の方法等が計画書及び溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 計画書及び溶接規格等に適合するものであること |
| | | 非破壊確認 | 溶接部について非破壊確認を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 溶接規格等に適合するものであること |
| | | 機械確認 | 溶接部について機械試験をおこない，当該溶接部の機械的性質が溶接規格等に適合するものであることを確認する。 | 溶接規格等に適合するものであること |
| | | 耐圧・外観確認 | 規定圧力で耐圧確認を行い，これに耐え，かつ，漏えいがないことを確認する。 | 規定圧力に耐え，かつ，漏えいがないこと。 |

※炉規制法第四十三条の十に則って溶接の方法及び検査に係る認可や検査を実施しているときは，これをもって確認とする。

表4 確認事項（乾式キャスク支持架台（乾式貯蔵キャスク増設分））

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|---------------------------|-----------------------|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 員数確認 | 固定ボルトの本数 | 片側に6本あること |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |

表5 確認事項（乾式キャスク支持架台（乾式貯蔵キャスク既設分））

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|-----------------------|-----------------------|
| 構造強度・耐震性 | 構造確認 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | | 員数確認 | 固定ボルトの本数 | 片側に6本あること |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |

表6 確認事項（乾式キャスク支持架台（輸送貯蔵兼用キャスク分））

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|---------------------------|-----------------------|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 員数確認 | 固定ボルトの本数 | 1箇所7本あること |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |

表7 確認事項（コンクリートモジュール）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|-----------------------------|-----------------------|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 員数確認 | ベースプレートのアンカーの本数の確認 | 1つのプレートで3本あること |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| 除熱機能 | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている給気口の寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 外観確認 | コンクリートモジュールの外観，給気口について確認する。 | 実施計画の通りに施工されていること。 |

表8 確認事項（クレーン）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|---------------------------|------------------------|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | | 外観確認 | クレーンの外観について確認する。 | 実施計画の通りに施行されていること。 |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| 性能 | 機能確認 | 容量確認 | 容量及び所定の動作について確認する。 | 横行，走行，巻き上げ，巻き下げが可能なこと。 |

表 9 確認事項（エリア放射線モニタ）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|------|------|--------|---|---------------------------------|
| 監視 | 構造確認 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画の通りに施工・据付されていること。 |
| | 機能確認 | 警報確認 | 設定値通り警報及び表示灯が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。 |
| | 性能確認 | 線源校正確認 | 標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。 | 基準線量当量率に対する正味線量当量が，許容範囲以内であること。 |
| | | 校正確認 | モニタ内のテスト信号発生部により，データ収集装置に各校正点の基準入力を与え，その時のデータ収集装置の指示値が正しいことを確認する。 | データ収集装置の各指示値が許容範囲以内に入っていること。 |

表 10 確認事項（地盤）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|--------------|--|
| 構造強度・耐震性 | 構造確認 | 寸法確認 | 地盤改良範囲を確認する。 | 地盤改良範囲が，実施計画に記載されている寸法に対して，許容値を満足すること。 |
| | | 強度確認 | 地盤改良強度を確認する。 | 地盤改良強度が，実施計画に記載されている設計強度に対して，J E A G 4616-2009に記載の基準を満足すること。 |

表 11 確認事項（基礎コンクリート）

| 確認事項 | 確認項目 | | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|------|------|---------------------------|--|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 構造確認 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 各寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、許容値を満足すること。 |
| | | 強度確認 | コンクリート強度を確認する。 | コンクリート強度が、実施計画に記載されている設計強度に対して、コンクリート標準示方書に記載の基準を満足すること。 |

表 12 乾式貯蔵キャスクの溶接概要

| | |
|---------------------|---|
| 適用基準 | 「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の解釈について (平成 17・12・15 原院第 5 号制定, 平成 23・09・09 原院第 2 号)」 |
| 機器の区分 【設備区分】 | クラス 3 容器 【燃料設備】 |
| 溶接施行法 ^{注)} | J+A+T _B , ST (クラッド) +T _B (クラッド) , ST (クラッド) +T _B (クラッド) +T _B (クラッド) * J+T _B , M+T _B (2 種類) , T _B (2 種類) * : 溶接後熱処理後に T _B (クラッド) の溶接を行う |

注) 溶接施行法の略称については発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2007
第 2 部 溶接施工法認証標準による。

表 13 輸送貯蔵兼用キャスク B の溶接概要

| | |
|---------------------|--|
| 適用基準 | 「使用済燃料貯蔵施設の溶接に関する技術基準を定める省令の解釈 (内規)」 (平成 21・02・26 原院第 7 号制定、平成 24・03・30 原院第 1 号改正) |
| 機器の区分 【設備区分】 | 容器 【使用済燃料貯蔵設備本体】 |
| 溶接施行法 ^{注)} | J、J+A*、ST (クラッド) +T _B (クラッド) (2 種類)、 ST+ST+T _B (2 種類)、M+T _B 、A+A、T _B (2 種類) * : 補修溶接が必要となった場合のみ適用。 |

注) 溶接施行法の略称については発電用原子力設備規格 溶接規格 JSME S NB1-2007
第 2 部 溶接施工法認証標準による。

2.14 監視室・制御室

2.14.1 基本設計

2.14.1.1 設置の目的

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備内の使用済燃料等の冷却温度，未臨界状態，汚染水処理設備など主要なパラメータ及び運転状況の監視及び制御において，集中的な監視及び制御を行うため，監視室・制御室を設置する。

監視室・制御室としては，次の通り。

- (1) 免震重要棟集中監視室
- (2) シールド中央制御室（シールド中操）

2.14.1.2 要求される機能

- (1) 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備内の使用済燃料等の主要パラメータ及び運転状況が監視できること。
- (2) 放射線業務従事者の作業性等を考慮して，遮へい等の放射線防護上の措置を講じること。
- (3) 地震，津波等の発生を考慮しても，その作業環境が確保できること。

2.14.1.3 設計方針

(1) 免震重要棟集中監視室

a. 監視・制御設備

免震重要棟集中監視室は，原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備内の使用済燃料等の冷却温度，未臨界状態，汚染水処理設備など主要パラメータ及び運転状況が監視できる設計とする。また，監視盤及び制御盤は誤操作，誤判断を防止するよう留意し，かつ操作が容易に行えるよう配慮した設計とする。

b. 放射線及び火災防護

運転員が監視室・制御室内に入り一定期間とどまることができるように遮へいその他の適切な放射線防護措置を講じた設計とする。また，火災を速やかに検知し，消火できる設計とする。

c. 耐震性及び津波対策

作業性を確保するうえで十分な免震機能を有するとともに，津波の遡上高さを考慮した場所に設置し，安全性を確保するために必要な監視機能を維持できる設計とする。

(2) シールド中操

a. 監視・制御設備

シールド中操は、汚染水処理設備等の主要パラメータ及び運転状況が監視できる設計とする。また、監視盤及び制御盤は誤操作、誤判断を防止するよう留意し、かつ操作が容易に行えるよう配慮した設計とする。

b. 放射線及び火災防護

運転員が監視室・制御室内に入り一定期間とどまることができるように遮へいその他の適切な放射線防護措置を講じた設計とする。また、火災を速やかに検知し、消火できる設計とする。

c. 耐震性及び津波対策

作業性を確保するうえで必要な耐震機能を有するとともに、津波の遡上高さを考慮した場所に設置し、安全性を確保するために必要な監視機能を維持できる設計とする。

2.14.1.4 供用期間中に確認する項目

原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備内の使用済燃料等の主要パラメータ及び運転状況が監視できること。

2.14.1.5 主要な機器

(1) 設備概要

監視装置は、現場からのパラメータ信号等を受信して表示するモニタにより構成され、制御装置は、警報、操作機器により構成される。

(2) 免震重要棟集中監視室

a. 監視・制御装置

免震重要棟集中監視室は、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内及び使用済燃料貯蔵設備内の使用済燃料等の冷却温度、未臨界状態、汚染水処理設備など主要なパラメータ及び運転状況の集中的な監視、総合的な判断ができ、また必要な操作が行えるような監視・制御装置を設置する。

監視装置の故障により、各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。

また、免震重要棟集中監視室で監視不能となった場合でも、各設備の設置箇所又は1～4号機の中央制御室においても主要なパラメータを監視することが可能な構成とする。

監視・制御装置は、運転員の誤操作、誤判断を防止するために、パラメータの識別表示を行う等の配慮を行う。また、操作器具は、運転員の誤操作を防止するために、保護カバー等を用いて識別する。

b. 放射線防護設備

免震重要棟は、過度な被ばくをしないように、十分なコンクリート厚とする等

の遮へいにより、適切な放射線防護措置を講じた設備とする。

また、空調設備についても、外気取り入れにおいて、高性能フィルター及びチャコールフィルターを設置し、室内ダストの低減を図る構成とする。

なお、放射線防護に必要な防護衣、防護マスク等の防護具類を備える。

c. 電源構成

免震重要棟の電源は、異なる系統の所内高圧母線から受電できる構成とし、外部電源喪失の場合でも非常用所内電源、さらにガスタービン発電機から受電できる構成とする。

(3) シールド中操

a. 監視・制御装置

シールド中操は、汚染水処理設備等の主要なパラメータ及び運転状況の集中的な監視ができ、また必要な操作が行えるような監視・制御装置を設置する。

監視装置の故障により、各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。

また、監視・制御装置は、運転員の誤操作、誤判断を防止するため、装置毎に区分して配置するなどの配慮を行うとともに、特に重要な装置の緊急停止操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。

b. 放射線防護設備

シールド中操は、過度な被ばくをしないように、周辺への土嚢設置、地面との間への鉄板付設、及び上部への鉛遮へい設置により放射線防護措置を講じた設備とする。

また、空調設備についても、外気取り入れにおいて、高性能フィルター及びチャコールフィルターを設置し、室内ダストの低減を図る構成とする。

なお、放射線防護に必要な防護衣、防護マスク等の防護具類を備える。

c. 電源構成

シールド中操の電源は、異なる系統の高圧母線から受電できる構成とし、外部電源喪失の場合でも非常用所内電源から受電できる構成とする。

2.14.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

免震重要棟集中監視室、シールド中操は何れも津波による影響がないと想定される高台（T.P.約28m以上）に設置する。

(2) 火災

火災感知器及び消火器を設けることによって、早期火災検知及び早期消火に努める。

2.14.1.7 構造強度及び耐震性

集中監視室を設置する免震重要棟は、東北地方太平洋沖地震及びその余震後に、点検を行った結果、構造上の問題は無かった。また、基準地震動 S_s に対して、免震装置が安全機能上問題ないこと（免震層の最大応答変位は 44.3cm であり、免震層の許容層間変位 60cm 以下、かつ、免震層のクリアランス 75cm 以下であること）を確認している。

また、免震重要棟集中監視室及びシールド中操の監視・制御装置については、一般産業施設と同等以上の安全性を保持するものとして設計する。

2.14.1.8 機器の故障への対応

2.14.1.8.1 機器の単一故障

(1) 機器の故障

機器の故障により監視及び制御に支障が生じた場合には、故障機器の交換等を行い速やかに復旧することとし、復旧までに時間を要する場合には、関連するパラメータの監視や、必要に応じて各設備の設置箇所又は 1～4 号機の中央制御室の計測機器を監視する等により、必要なパラメータの把握を行う。

(2) 電源喪失

a. 免震重要棟集中監視室

別系統の電源又はガスタービン発電機に切替えが可能な場合は、電源の切替えを行う。

b. シールド中操

別系統の電源に切替えが可能な場合は、電源の切替えを行う。

2.14.1.8.2 複数の設備の同時機能喪失

複数の設備の同時機能喪失や受電設備の故障により、免震重要棟集中監視室、シールド中操で遠隔監視ができない場合には、故障機器の交換等を行い速やかに復旧することとし、復旧までに時間を要する場合には、各設備の設置箇所又は 1～4 号機の中央制御室の計測機器を監視する等により、必要なパラメータの把握を行う。

2.14.1.8.3 遠隔監視・制御機能喪失事象に対する評価

遠隔監視機能喪失時には、各設備の設置箇所又は 1～4 号機の中央制御室の計測機器を監視する等により、必要なパラメータの把握を行うことが可能であるため、監視に対する直接的な影響はない。

2.14.2 基本仕様

2.14.2.1 主要仕様

(1) 免震重要棟集中監視室

監視・制御装置

一式

(2) シールド中操

監視・制御装置

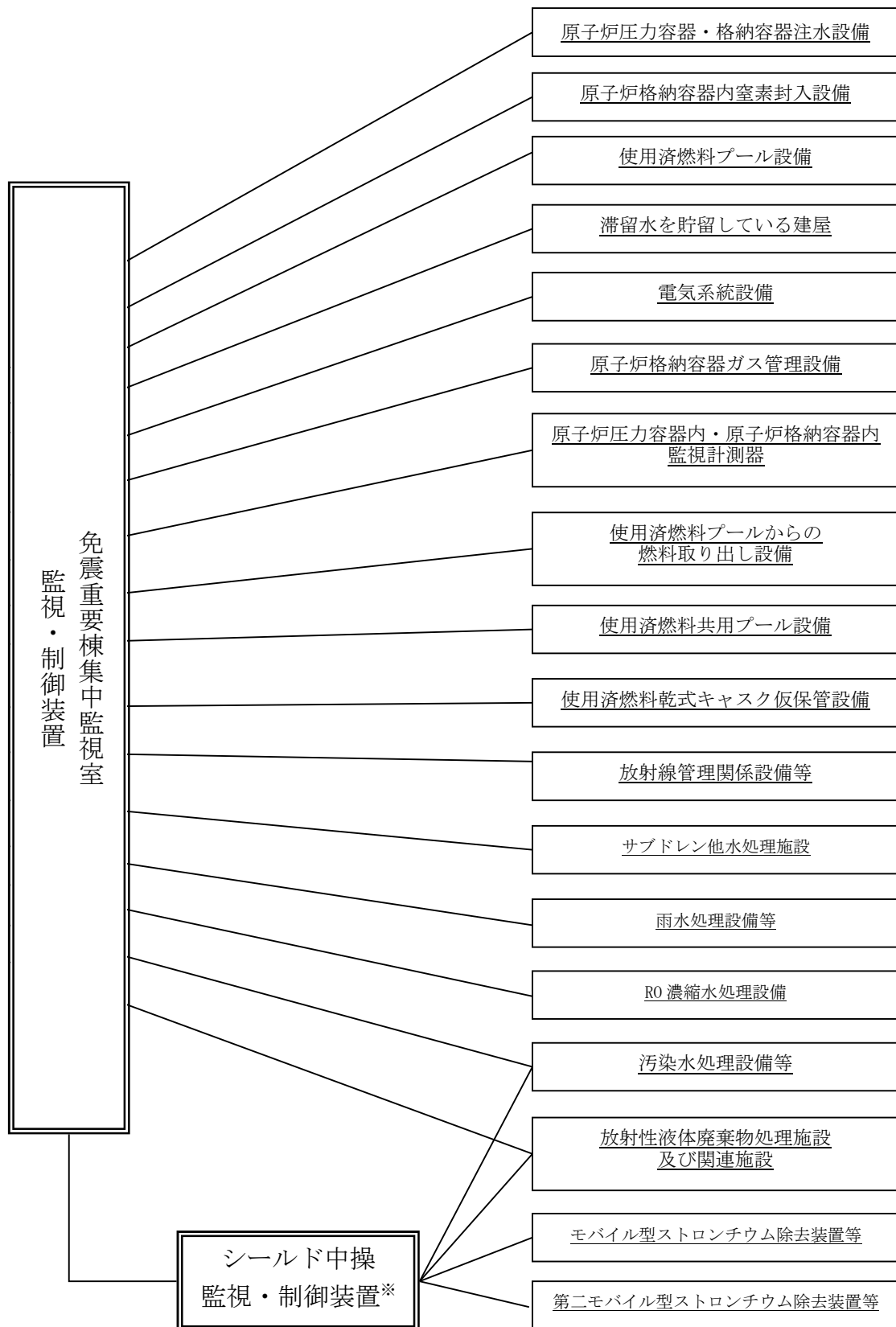
一式

2.14.3 添付資料

添付資料ー1 監視室・制御室 構成概略図

添付資料ー2 監視室・制御室における主要な監視項目

添付資料ー3 構造強度及び耐震性



図－1. 監視室・制御室 構成概略図

※：シールド中操機能移転後に設置する設備については，シールド中操への発報・表示機能は付加しない。

表－1. 監視室・制御室における主要な監視項目

| 設 備 | 監視項目 | 遠隔監視箇所 | 代替監視箇所例（現場） |
|------------------------|--|---|---|
| 原子炉圧力容器・格納容器注水設備 | 注水流量 注水圧力 | 集中監視室 集中監視室 | 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |
| 原子炉格納容器内窒素封入設備 | 窒素ガス封入圧力 窒素ガス封入流量 | 集中監視室 集中監視室 | 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |
| 使用済燃料プール設備 | 使用済燃料プール温度 スキマサージタンク水位 ポンプ吸込圧力 系統流量 系統圧力 熱交出入口温度 漏えい検知(4号機) 差流量 放射線モニタ | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 現場制御盤 各中操 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 |
| 滞留水を貯留している建屋 | 建屋水位 | 集中監視室 | 各建屋 |
| 電気系統設備 | 送電線電圧 所内高圧母線電圧 | 集中監視室 集中監視室 | 現場電源盤 現場電源盤 |
| 原子炉格納容器ガス管理設備 | 排気温度 排気流量 | 集中監視室 集中監視室 | 現場監視盤 各設備設置箇所近傍 |
| 原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器 | 原子炉圧力容器温度 原子炉格納容器内温度 水素濃度 酸素濃度 長・短半減期核種 原子炉圧力容器圧力 原子炉格納容器圧力 原子炉圧力容器水位 原子炉格納容器水位 サブプレッションプール水温度 原子炉格納容器ガス管理設備 フィルタユニット表面線量 | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 各中操 各中操 現場監視盤 現場監視盤 現場監視盤 現場監視盤 原子炉建屋 各中操 原子炉建屋，各中操 タービン建屋，各中操 各中操 各設備設置箇所近傍 |
| 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 | エリア放射線モニタ | 集中監視室 | 現場監視盤 |
| 使用済燃料共用プール設備 | 使用済燃料共用プール温度 スキマサージタンク水位 エリア放射線モニタ プロセス放射線モニタ | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 共用プール建屋 共用プール建屋 共用プール建屋 共用プール建屋 |
| 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備 | 乾式キャスク蓋間圧力 外筒表面温度 エリア放射線モニタ | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |
| 放射線管理関係設備等 | ダスト放射線モニタ モニタリングポスト 風向，風速 | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 現場監視盤 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |
| 汚染水処理設備等 | 運転状態表示 系統流量 主要タンク水位 | シールド中操・集中監視室 シールド中操・集中監視室 シールド中操・集中監視室 | 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |
| 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設 | 処理流量 タンク水位 | シールド中操・集中監視室 シールド中操・集中監視室 | 各設備設置箇所近傍 各設備設置箇所近傍 |

| 設 備 | 監視項目 | 遠隔監視箇所 | 代替監視箇所例（現場） |
|---------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| サブドレン他水処理施設 | サブドレンピット水位 タンク水位 漏えい検知 地下水ドレンポンド水位 | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 |
| 雨水処理設備等 | タンク水位 | 集中監視室 | 現場制御盤 |
| モバイル型ストロンチウム除去装置等 | タンク水位 漏えい検知 | シールド中操 シールド中操 | 現場制御盤 現場制御盤 |
| RO 濃縮水処理設備 | タンク水位 漏えい検知 エリア放射線モニタ | 集中監視室 集中監視室 集中監視室 | 現場制御盤 現場制御盤 現場制御盤 |
| 第二モバイル型ストロンチウム除去装置等 | タンク水位 漏えい検知 | シールド中操 シールド中操 | 現場制御盤 現場制御盤 |

（注）H27.10 時点

シールド中操機能移転後に設置する設備については、シールド中操への発報・表示機能は付加しない。

構造強度及び耐震性

(1) 主要設備の耐震構造

a. 免震重要棟集中監視室

集中監視室を設置する免震重要棟は、東北地方太平洋沖地震及びその余震後に、点検を行った結果、構造上の問題は無かった。また、基準地震動 S_s に対して、免震装置が安全機能上問題ないこと（免震層の最大応答変位は44.3cmであり、免震層の許容層間変位60cm以下、かつ、免震層のクリアランス75cm以下であること）を確認している。

また、監視室・制御室内の機器について、ボルト固定及び固縛等の耐震性向上対策を講じることにより、容易に損壊することのないようにする。

特に重要度の高い監視装置については耐震Sクラス相当の機能を有する必要があるが、一般産業品を使用しているため、基準地震動 S_s における耐震評価の基準値を満足することの確認ができていない。そのため、特に重要度の高い監視装置については集中監視室までの伝送設備の多重化、プラント監視計測器専用設置している電源の確保等により十分に高い信頼性を確保しているものの、監視装置に故障が発生した場合においては、故障機器の交換等による速やかな復旧を原則とし、さらに復旧までに時間を要する場合においても必要なパラメータの把握を行うことを可能とするため、各設備の設置箇所又は1～4号機の中央制御室に監視計器を確保し、地震や津波が収まった後、確認できるよう複数の監視機能を有する構成とする。

なお、1～4号機の中央制御室に設置されている監視計器は、一部耐震Sクラス設計ではない機器があるが、今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの破損・故障等を生じることなく機能を維持しており、必要な耐震性を有しているものと考えられる。

b. シールド中操

シールド中操は、耐震設計審査指針上のCクラス相当の設備であるが、自重による静置及び固定用治具による固定の実施や、固定用鋼材を張出構造とする等により、耐震性向上を図っている。

また、シールド中操内に設置した制御盤等は、転倒防止ベルトによる固縛がなされている。

震災以降に設置されたものであるが、震災後の余震においては建物・制御装置とも損傷しておらず、構造上、あるいは設備上の問題は発生していない。

2.15 放射線管理関係設備等

2.15.1 基本設計

2.15.1.1 設置の目的

福島第一原子力発電所1～4号機から環境に放出される気体廃棄物を抑制するために設けられた設備の健全性を把握すること、ならびに当該設備を経由して放出される放射性物質の放出量を把握することを目的とする。また、万が一、安全に関する機能が一時的に喪失した場合でも、一般公衆ならびに放射線業務従事者を放射線から防護するため、周辺環境における放射線量率等の状況を把握することを目的とする。

2.15.1.2 要求される機能

福島第一原子力発電所1～4号機から放出される気体廃棄物中の放射性物質、ならびに周辺監視区域周辺の空間放射線量率を監視できること。

2.15.1.3 設計方針

(1) 1～4号機から放出される気体廃棄物の監視設備

原子炉格納容器ガス管理設備、原子炉建屋カバー排気設備、原子炉建屋排気設備のダスト放射線モニタにより、建屋から放出される気体廃棄物中の放射性物質の濃度を監視できる設計とする。

(2) 周辺監視区域周辺の監視設備

モニタリングポストは、1～6号機その他、附帯設備を含めた発電所全体からの影響を把握するため、周辺監視区域境界付近8箇所空間放射線量率を監視できる設計とする。

(3) 供用期間中に確認する項目

福島第一原子力発電所1～4号機から放出される気体廃棄物中の放射性物質、ならびに周辺監視区域周辺の空間放射線量率を適切に監視できること。

2.15.1.4 主要な機器

a. ダスト放射線モニタ

ダスト放射線モニタは、2チャンネル設置し、免震重要棟において遠隔監視ならびに記録可能な設備とする。

b. モニタリングポスト

モニタリングポストは、周辺監視区域境界付近8箇所に設置し、空間放射線量率を連続的に測定可能な設備とし、免震重要棟において遠隔監視ならびに記録可能な設備とする。

2.15.1.5 設計上の考慮すべき事項

ダスト放射線モニタ、モニタリングポストならびに2号機原子炉建屋排気設備は、『特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について』に示される“14. 設計上の考慮”を踏まえた設計とすることを基本方針として、特に次の事項に考慮する。

(1) 準拠規格及び基準

一般的な放射線計測器や一般構造物と同様の構造強度を有する設計とし、耐震性についても一般構造物と同等なものとして設計する。

(2) 自然現象に対する設計上の考慮

仮設防潮堤を設置したことでアウターライズ津波の影響がないと想定される1~4号機の標高以上のエリアに設置する。(Ⅲ.3.1.3 参照)

(3) 信頼性に対する設計上の考慮

ダスト放射線モニタならびに2号機原子炉建屋排気設備においては、所内高圧母線からの受電の他、外部電源喪失の場合に備えて、非常用所内電源からも受電できる構成とする。

モニタリングポストにおいては、異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とし、外部電源喪失の場合に備えて、非常用所内電源ならびに蓄電池から受電できる構成とする。

2.15.2 基本仕様

2.15.2.1 主要仕様

(1) 1号機

ダスト放射線モニタ (原子炉建屋カバー排気設備出口※)

検出器の種類 シンチレーション検出器

計測範囲 $10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$

チャンネル数 2

※原子炉建屋カバー設置時のみ。(以下、本章において同様。)

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

検出器の種類 シンチレーション検出器

計測範囲 $10^{-1} \sim 10^6 \text{ s}^{-1}$

チャンネル数 2

(2) 2号機

ダスト放射線モニタ (原子炉建屋排気設備出口)

検出器の種類 シンチレーション検出器

| | |
|--------|---------------------------------|
| 計測範囲 | $10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

| | |
|--------|------------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | $10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

(3) 3号機

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

| | |
|--------|------------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | $10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

ダスト放射線モニタ (燃料取り出し用カバー換気設備出口)

| | |
|--------|------------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | $10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

(4) 4号機

ダスト放射線モニタ (燃料取り出し用カバー換気設備出口)

| | |
|--------|---------------------------------|
| 検出器の種類 | シンチレーション検出器 |
| 計測範囲 | $10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ |
| チャンネル数 | 2 |

(5) モニタリングポスト

| | |
|--------|------------------------------|
| 検出器の種類 | 電離箱検出器 |
| 測定範囲 | $10 \sim 10^8 \text{ nGy/h}$ |
| 台数 | 8 |

(6) エリア放射線モニタ

エリア放射線モニタについては、以下の各章に記載している。

- ・ II.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
- ・ II.2.12 使用済燃料共用プール設備
- ・ II.2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備
- ・ II.2.34 5・6号機 計測制御設備

(7)排気設備

a. 2号機原子炉建屋排気設備

| | |
|--------|-------------------------------|
| 台数 | 2台(※) |
| 容量 | 10000m ³ /h(1台当たり) |
| フィルタ形式 | 高性能粒子フィルタ |
| フィルタ効率 | 97%(粒径0.3μm)以上 |

※本設備は、作業環境改善の目的で設置されている設備であり、常時運転の必要性がある設備ではない。

b. その他排気設備

その他排気設備については、以下の各章に記載している。

- ・ 1号機原子炉建屋カバー排気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 添付資料6 別添5 原子炉建屋カバー付属設備について)
- ・ 3号機燃料取り出し用カバー換気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備)
- ・ 4号機燃料取り出し用カバー換気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備)
- ・ 原子炉格納容器ガス管理設備(Ⅱ.2.8 原子炉格納容器ガス管理設備)
- ・ 雑固体廃棄物焼却設備(Ⅱ.2.17 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設(雑固体廃棄物焼却設備))

2.15.3 添付資料

添付資料—1 ダスト放射線モニタ系統概略図

添付資料—2 モニタリングポストの配置図

ダスト放射線モニタ系統概略図

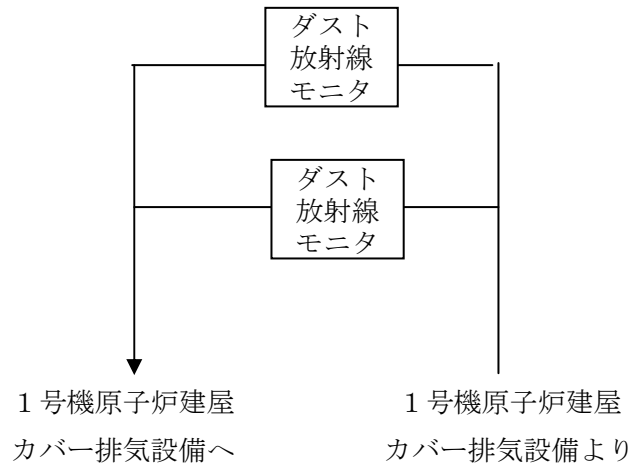


図2.15-1 1号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉建屋カバー排気設備出口)

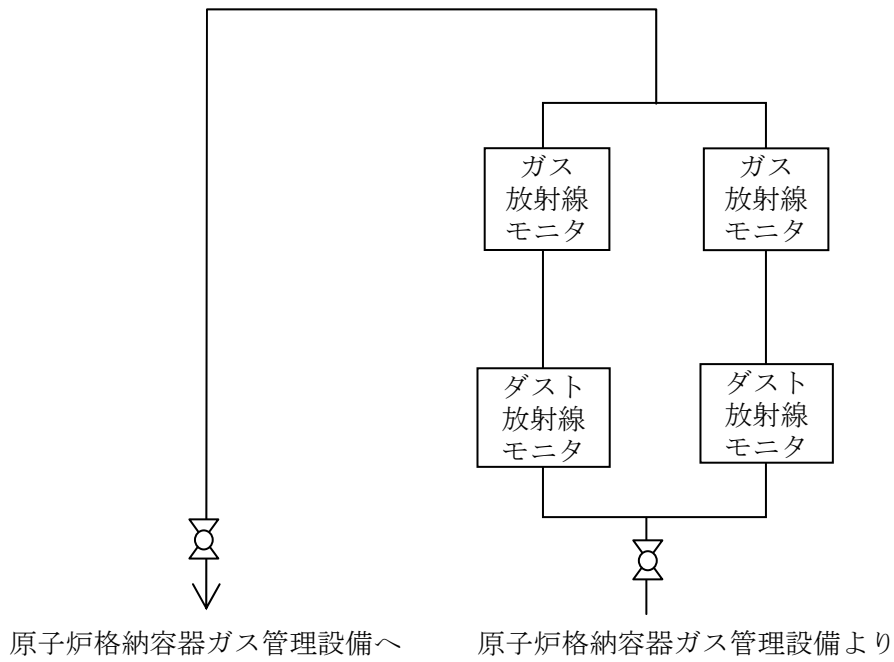


図2.15-2 1号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

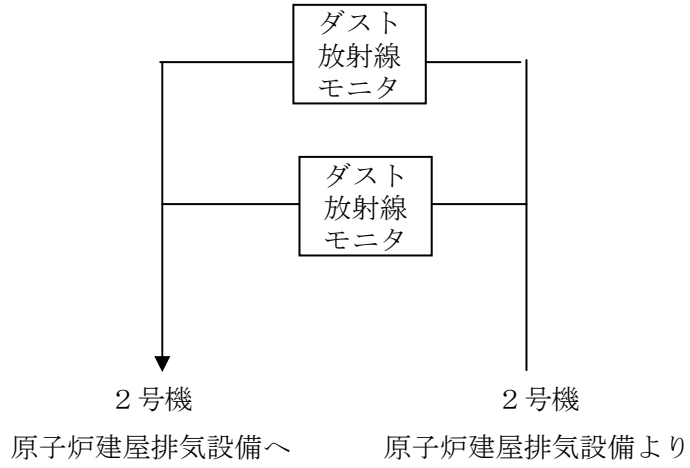


図 2. 15-3 2号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉建屋排気設備出口)

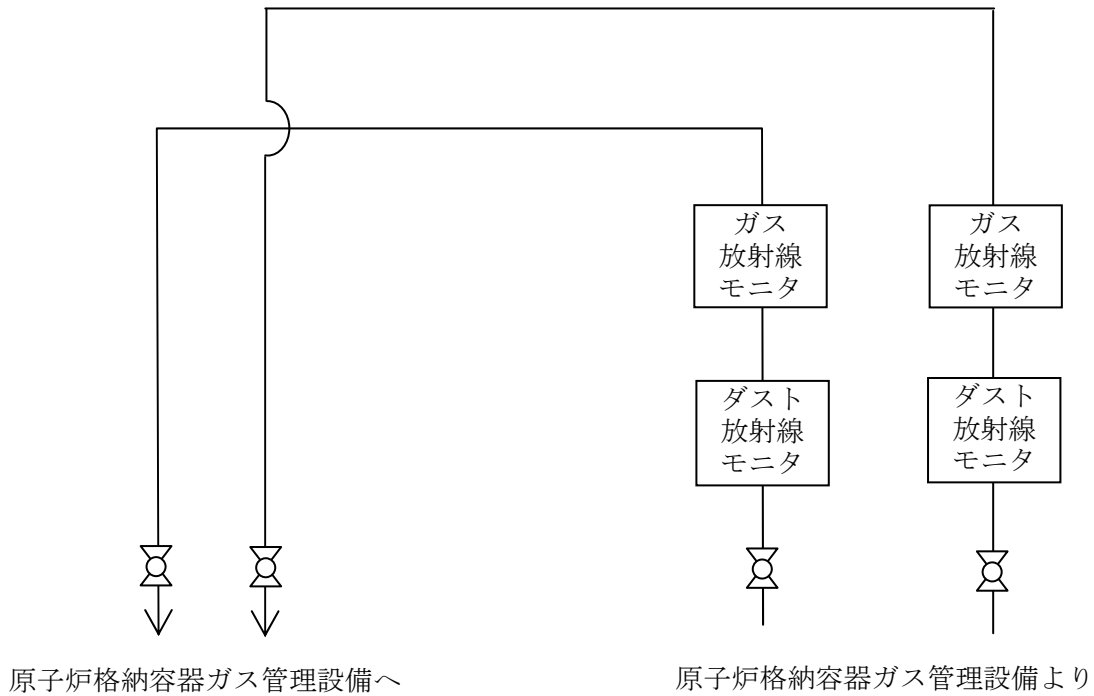


図 2. 15-4 2号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

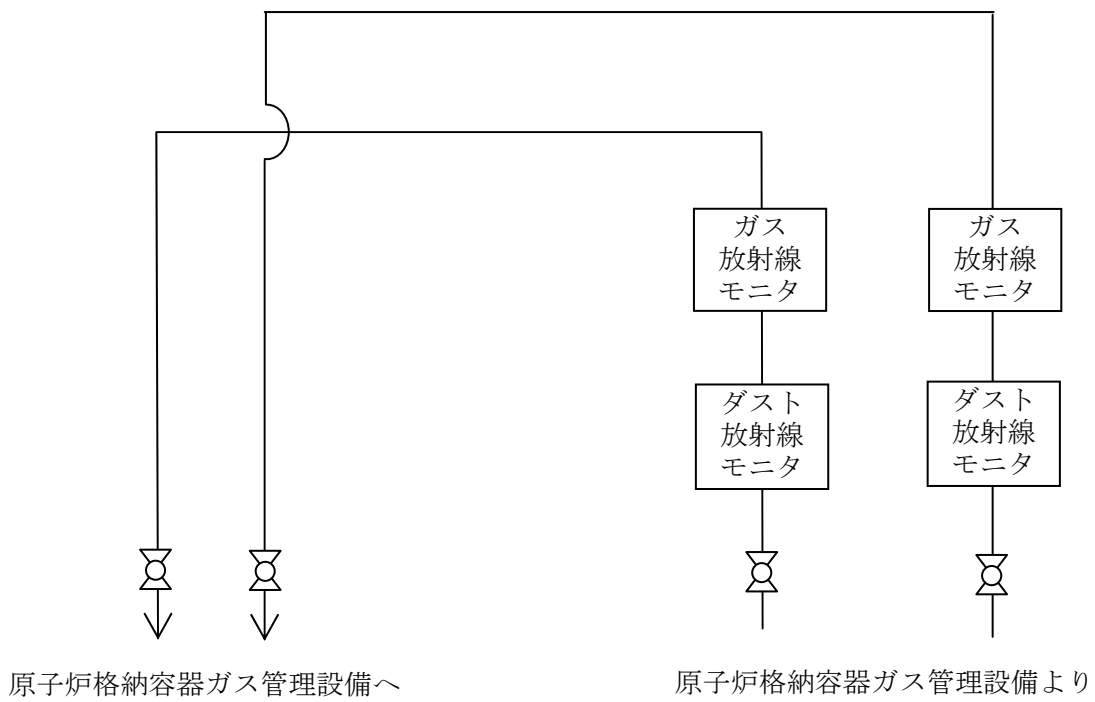


図2. 15-5 3号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

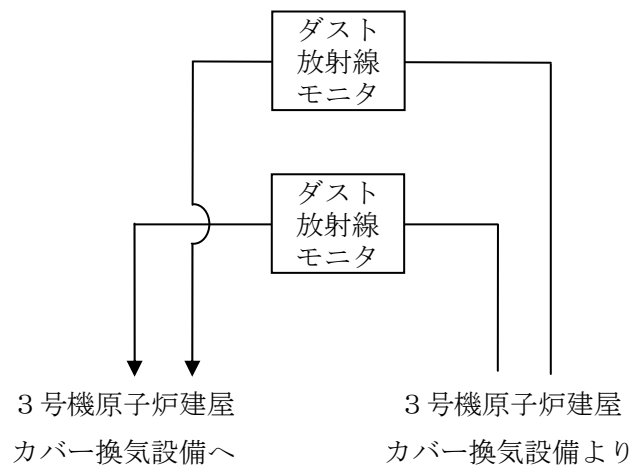


図2. 15-6 3号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(燃料取り出し用カバー換気設備出口)

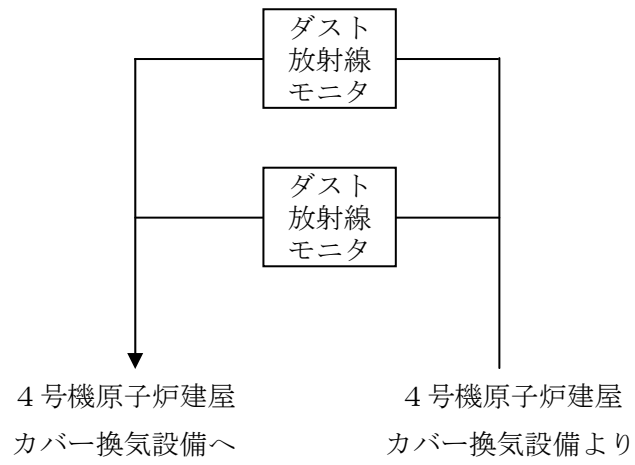


図2. 15-7 4号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(燃料取り出し用カバー換気設備出口)

モニタリングポストの配置図

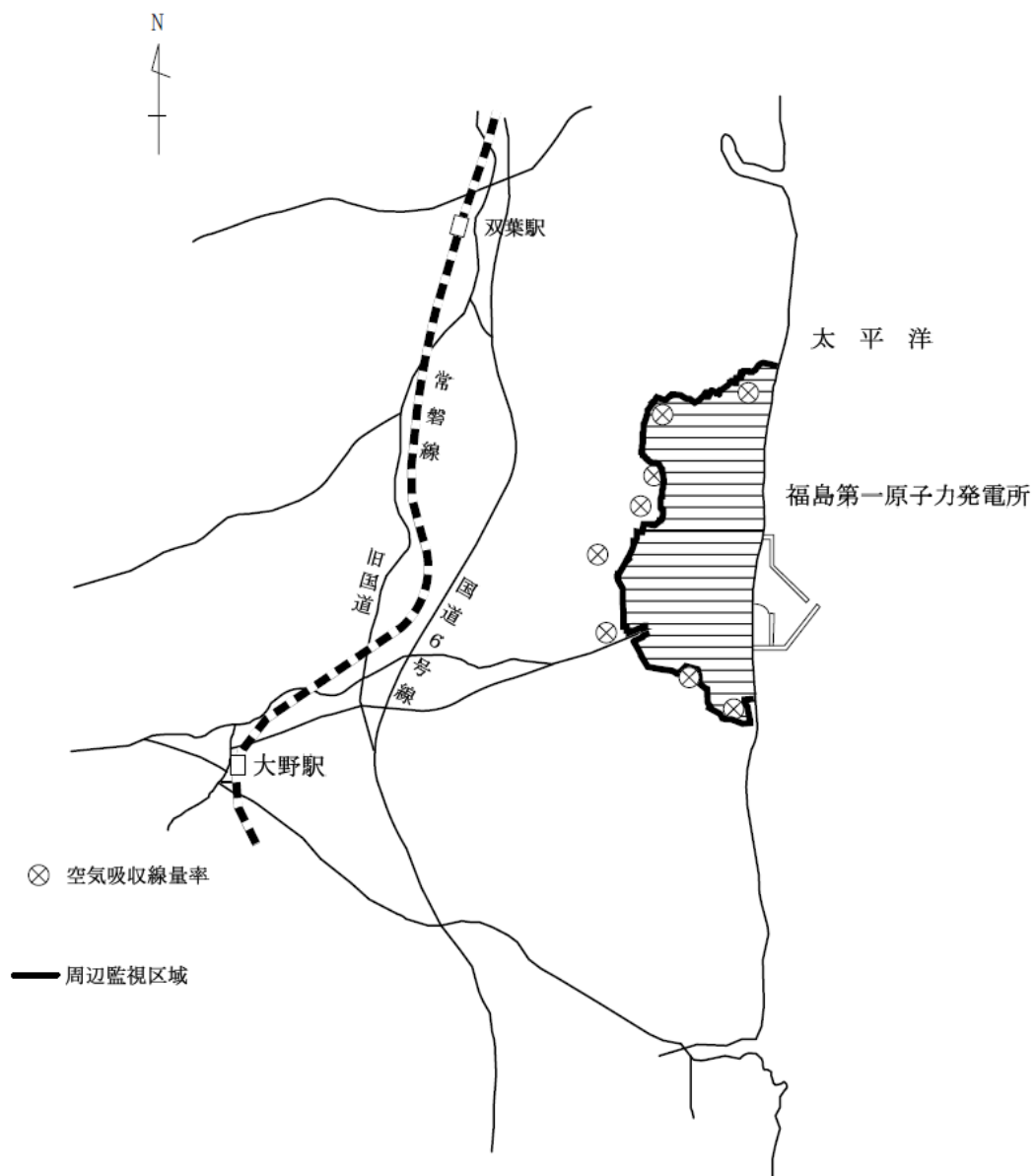


図2.15-8 モニタリングポスト配置図

2.16.4 高性能多核種除去設備検証試験装置

2.16.4.1 基本設計

2.16.4.1.1 設置の目的

高性能多核種除去設備検証試験装置（以下、「検証試験装置」という。）は、「2.16.3 高性能多核種除去設備」の除去性能及び吸着材の交換周期等を検証し、高性能多核種除去設備に検証結果を反映することを目的として設置するものである。

除去性能の検証では、処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を測定し、『実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示』の濃度限度を下回ることを確認するとともに、目的としている性能が十分に確認できない場合は、必要に応じて対策を講じる。なお、本設備は試験装置であることから除去性能について規定を設けるものではない。

また、高性能多核種除去設備の運転開始後も検証試験装置を用いた試験を継続し、得られた結果を適宜反映する。

2.16.4.1.2 要求される機能

- (1) 放射性液体廃棄物が漏えいし難いこと。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。
- (3) 放射性液体廃棄物が、万一、機器・配管等から漏えいした場合においても、施設からの漏えいを防止でき、又は敷地外への管理されない放出に適切に対応できる機能を有すること。
- (4) 施設内で発生する気体状及び固体状の放射性物質及び可燃性ガスの管理が適切に行える機能を有すること。

2.16.4.1.3 設計方針

(1) 材料

検証試験装置の機器等は、処理対象水等の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(2) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

検証試験装置の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、万が一漏えいが発生した場合には停止するインターロックを設ける。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、シールド中央制御室等に表示し、監視

できるようにする。

- d. 検証試験装置の機器等は、可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け、漏えいの拡大を防止する。

(3) 被ばく低減

検証試験装置は、遮へい、機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。また、監視装置・制御装置は可能な限り低線量となる機器を収容する車両5に配置する設計とする。

(4) 可燃性ガスの管理

検証試験装置は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また、排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には、適切に除去する設計とする。

使用済のフィルタ及び吸着塔を貯蔵する際は、エアブロー等により水切りを行い、放射線分解による可燃性ガスの発生を防止する。

(5) 崩壊熱除去に対する考慮

検証試験装置は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、崩壊熱を除去できる設計とする。

(6) 誤操作の防止に対する考慮

検証試験装置は、運転操作手順書を整備し、教育を実施すると共に、特に重要な運転操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。

2.16.4.1.4 供用期間

検証試験装置は、1年未満を目途として供用する。

2.16.4.1.5 主要な機器

検証試験装置は、1系列構成とし、前処理装置、多核種除去装置、ポンプ及び配管等で構成され、車両上の鋼製コンテナ内に設置する。また、フィルタ、吸着塔の最適構成を検証するため、前処理装置と多核種除去装置の通水順序を切替えるための切替ラインを設ける。検証試験装置は電源が喪失した場合、系統が隔離されるため、電源喪失による設備から外部への漏えいが発生することはない。

検証試験装置の主要な機器はシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び

運転状況の監視を行う。

また、各前処理フィルタ及び多核種吸着塔の各出口には、除去性能を評価するためにサンプリングラインを設ける。

検証試験装置で処理された水は、多核種処理水貯槽で貯留する。

(1) 前処理装置

前処理装置は、4塔の前処理フィルタで構成する。

前処理フィルタ1によって浮遊物質を除去し、前処理フィルタ2～4によってそれぞれセシウム、ストロンチウムを除去する。

前処理フィルタは、一定量処理後、水抜きを行い交換する。また、抜いた水は供給タンクに移送する。使用済のフィルタは、容器に収納し、瓦礫類の一時保管エリアで貯蔵する。

(2) 多核種除去装置

多核種除去装置は、15塔の吸着塔で構成する。

吸着塔は、吸着塔1～5によってセシウム及びストロンチウム等、吸着塔6～8によってアンチモン等、吸着塔9、10によって重金属核種（コバルト等）、吸着塔11～15によってルテニウム等を除去する。また、各吸着塔は、処理対象水の性状に応じて吸着材を変更する。

吸着塔は、一定量処理後、水抜きを行い、吸着塔ごと交換する。また、抜いた水は供給タンクに移送する。使用済の吸着塔は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

2.16.4.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

検証試験装置は、アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P. 約 28m 以上の場所に設置する。(Ⅲ.3.1.3 参照)

(2) 火災

初期消火の対応ができるよう、検証試験装置を設置する各コンテナ内に消火器を設置する。

(3) 豪雨、台風及び竜巻

検証試験装置は、雨水の浸入を防止及び強風に耐えうる構造とするため、車両上の鋼製コンテナ内に設置する。また、車両は、30m/s の風荷重においても転倒しない設計とする。

台風の接近が予見される場合は、その規模により必要に応じて設備の停止等を行い、漏

えい水の拡大防止を図る。また、竜巻の発生が予見される場合は、設備を停止し、漏えい水の拡大防止を図る。

2.16.4.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

前処理フィルタ及び吸着塔は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code(Sec VIII)」に準拠し、前処理フィルタ及び吸着塔廻りの鋼管についても、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code(Sec VIII)」に準拠する。その他の鋼材を使用している主要機器及び配管は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下、「設計・建設規格」)に準拠する。また、ポリエチレン管は、JWWA 規格または IS04427 に準拠する。その他の非金属材料を使用している主要機器及び配管は、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

(2) 耐震性

検証試験装置を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられ、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」(以下、「耐震設計技術規程」という。)に準拠することを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせたものを採用する。

ポリエチレン管、ポリ塩化ビニル管および耐圧ホース(合成ゴム及びポリ塩化ビニル)は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.16.4.2 基本仕様

2.16.4.2.1 系統仕様

高性能多核種除去設備検証試験装置

処理容量 50m³/日

2.16.4.2.2 機器仕様

(1) 容器

a. 供給タンク

| 名 称 | | 供給タンク | |
|--------|-------------------|--------|------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /個 | 1 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 45 | |
| 主要寸法 | 洞 内 径 | mm | 1000 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 5.0 |
| | 洞 部 高 さ | mm | 1300 |
| 材 料 | — | FRP | |
| 個 数 | 個 | 1 | |

b. No.1,2 pH調整槽

| 名 称 | | No.1,2 pH調整槽 | |
|--------|-------------------|--------------|------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /個 | 0.6 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 45 | |
| 主要寸法 | 洞 内 径 | mm | 800 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 5.0 |
| | 洞 部 高 さ | mm | 1500 |
| 材 料 | — | FRP | |
| 個 数 | 個 | 2 | |

c. 処理水タンク

| 名 称 | | 処理水タンク | |
|-------------|-------------------|--------|------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /個 | 1 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 静水頭 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 45 | |
| 主 要 寸 法 | 洞 内 径 | mm | 1000 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 5.0 |
| | 洞 部 高 さ | mm | 1300 |
| 材 料 | — | FRP | |
| 個 数 | 個 | 1 | |

d. 前処理フィルタ 1～4

| 名 称 | | 前処理フィルタ 1 | |
|-------------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/個 | 2.1 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 0.98 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 45 | |
| 主 要 寸 法 | 上 部 洞 内 径 | mm | 450 |
| | 上 部 洞 厚 さ | mm | 6.0 |
| | 下 部 洞 内 径 | mm | 450 |
| | 下 部 洞 厚 さ | mm | 6.0 |
| | 上 部 洞 フ ラ ン ジ 厚 さ | mm | 38 |
| | 下 部 洞 フ ラ ン ジ 厚 さ | mm | 38 |
| | 鏡 板 厚 さ | mm | 8.0 |
| | 高 さ | mm | 778.6 |
| 材 料 | 洞 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| | 鏡 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| | 洞 フ ラ ン ジ | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| 個 数 | 個 | 1 | |

| 名 称 | | 前処理フィルタ 2～4 | |
|------------------|---------------------|-------------|-------------------------------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/個 | 2.1 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 0.98 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 45 | |
| 主 要 寸 法 | 上 部 胴 内 径 | mm | 400 |
| | 上 部 胴 厚 さ | mm | 6.0 |
| | 下 部 胴 内 径 | mm | 400 |
| | 下 部 胴 厚 さ | mm | 6.0 |
| | 上部胴フランジ厚さ | mm | 35 |
| | 下部胴フランジ厚さ | mm | 35 |
| | 鏡 板 厚 さ | mm | 8.0 |
| | 高 さ | mm | 899.2 |
| 材 料 | 胴 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| | 鏡 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| | 胴 フ ラ ン ジ | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| 個 数 | 個 | 3 | |

e. 多核種吸着塔 1～15

| 名 称 | | 多核種吸着塔 1～15 | |
|-------------|---------------------|-------------|-------------------------------|
| 種 類 | — | たて置円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/個 | 2.1 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 0.98 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 45 | |
| 主 要 寸 法 | 胴 内 径 | mm | 500 |
| | 胴 板 厚 さ | mm | 6.0 |
| | 鏡 板 厚 さ | mm | 8.0 |
| | 高 さ | mm | 980 |
| 材 料 | 胴 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| | 鏡 板 | — | 二相ステンレス (ASME S32750-2507) |
| 個 数 | 個 | 15 | |

(2) ポンプ

a. 原水ポンプ (完成品)

| | |
|-----|-----------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 2.1 m ³ /h |

b. 中継ポンプ 1 (完成品)

| | |
|-----|-----------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 2.1 m ³ /h |

c. 中継ポンプ 2 (完成品)

| | |
|-----|-----------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 2.1 m ³ /h |

d. 中継ポンプ 3 (完成品)

| | |
|-----|-----------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 2.1 m ³ /h |

e. 処理水移送ポンプ (完成品)

| | |
|-----|-----------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 2.1 m ³ /h |

主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 蒸発濃縮装置入口ヘッダから 車両1入口まで (ポリエチレン管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 50A 相当 100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃ |
| 車両1入口から 車両2入口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 45℃ |
| (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 32A/Sch. 40 40A/Sch. 40 50A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 45℃ |
| (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A/Sch. 40 S32750 Type2507 0.98MPa 45℃ |
| (ポリ塩化ビニル管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 静水頭 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 合成ゴム 0.98 MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 45℃ |
| 車両2入口から 車両3入口まで (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 32A/Sch. 40 40A/Sch. 40 50A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 合成ゴム 0.98 MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 45℃ |

主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| 車両3入口から 車両4入口まで (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 45℃ |
| (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 32A/Sch. 40 40A/Sch. 40 50A/Sch. 40 STPG 0.6MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 合成ゴム 0.6MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.6MPa 45℃ |
| 車両4入口から 車両5入口まで (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 32A/Sch. 40 40A/Sch. 40 50A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.6MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 合成ゴム 0.6 MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.6MPa 45℃ |

主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| 車両5入口から 車両5出口まで (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.6MPa 45℃ |
| (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 32A/Sch. 40 40A/Sch. 40 50A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 45℃ |
| (ポリ塩化ビニル管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 静水頭 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 45℃ |
| 切替ライン (鋼管) | 呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A/Sch. 40 STPG370 + ライニング 0.98MPa 45℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 45℃ |
| 車両5出口から 処理水移送ライン合流部まで (ポリエチレン管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 40A 相当 50A 相当 100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃ |

2.16.4.2.3 添付資料

添付資料－1：全体概要図，系統構成図及び配置概要

添付資料－2：検証試験装置に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

添付資料－3：検証試験装置の具体的な安全確保策

添付資料－4：検証試験装置に係わる確認事項

添付資料－5：工事工程表

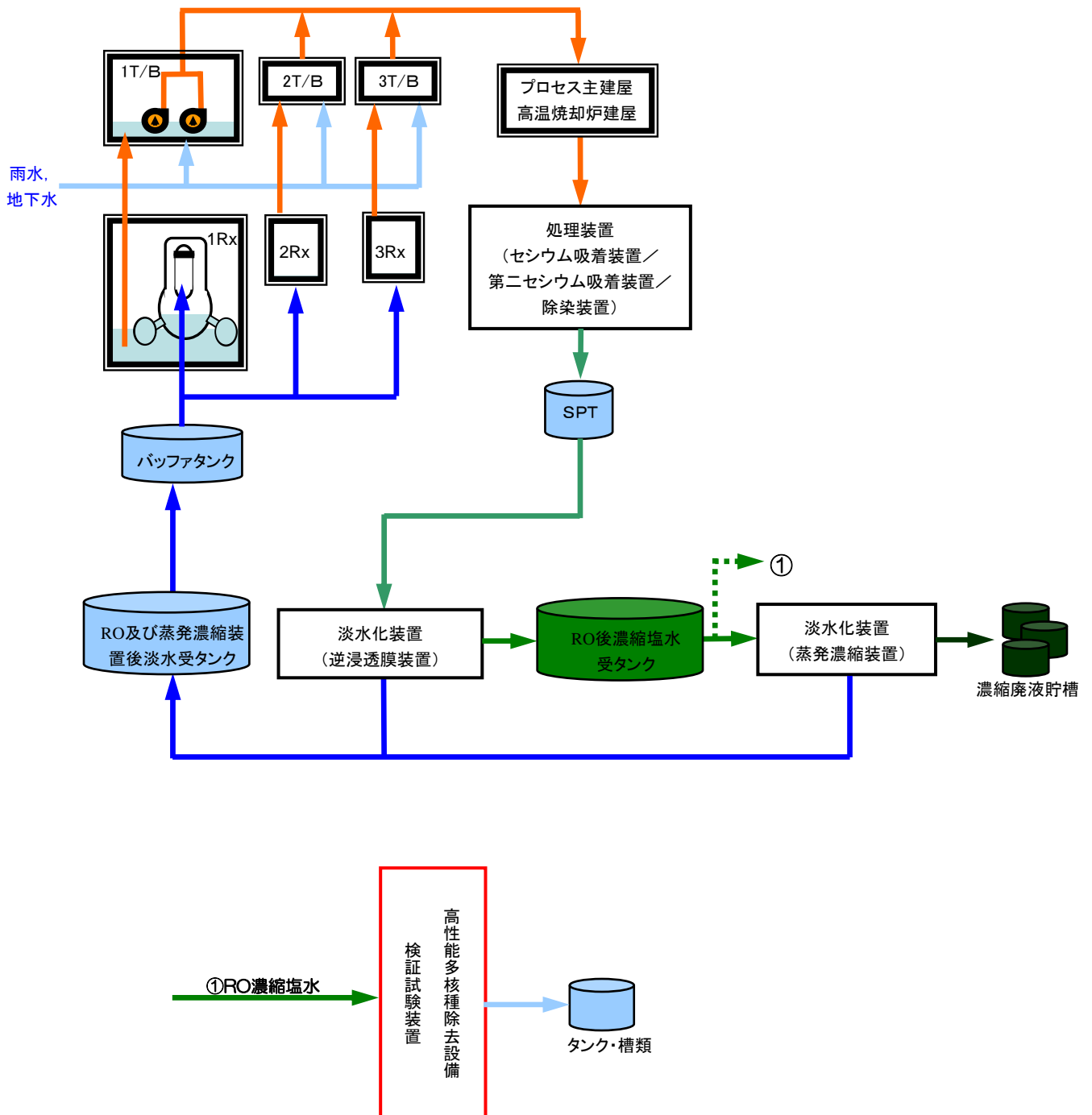


図-1 汚染水処理設備並びに高性能多核種除去設備検証試験装置等の全体概要図

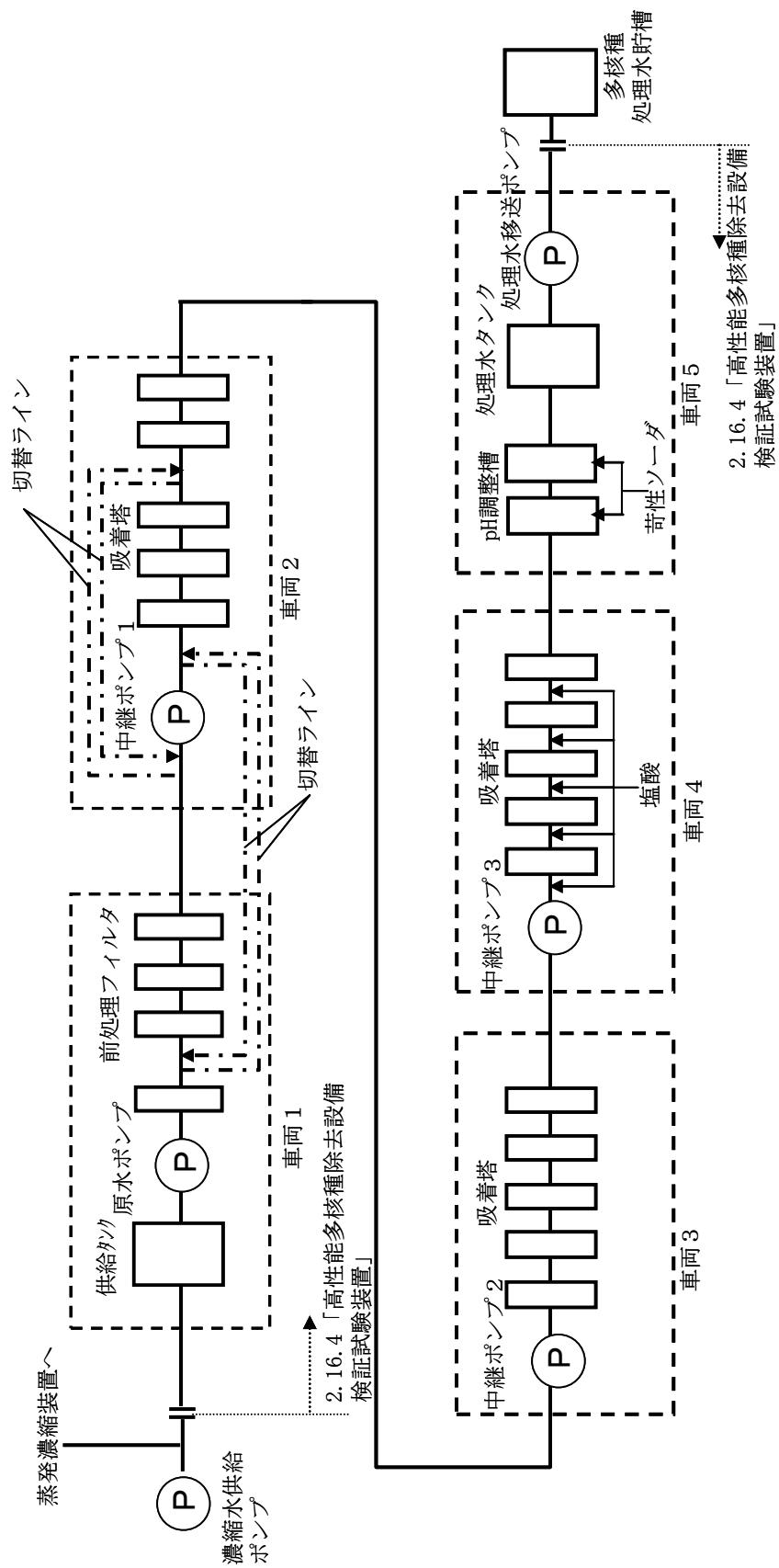


図-2 高性能多核種除去設備検証試験装置の系統構成図

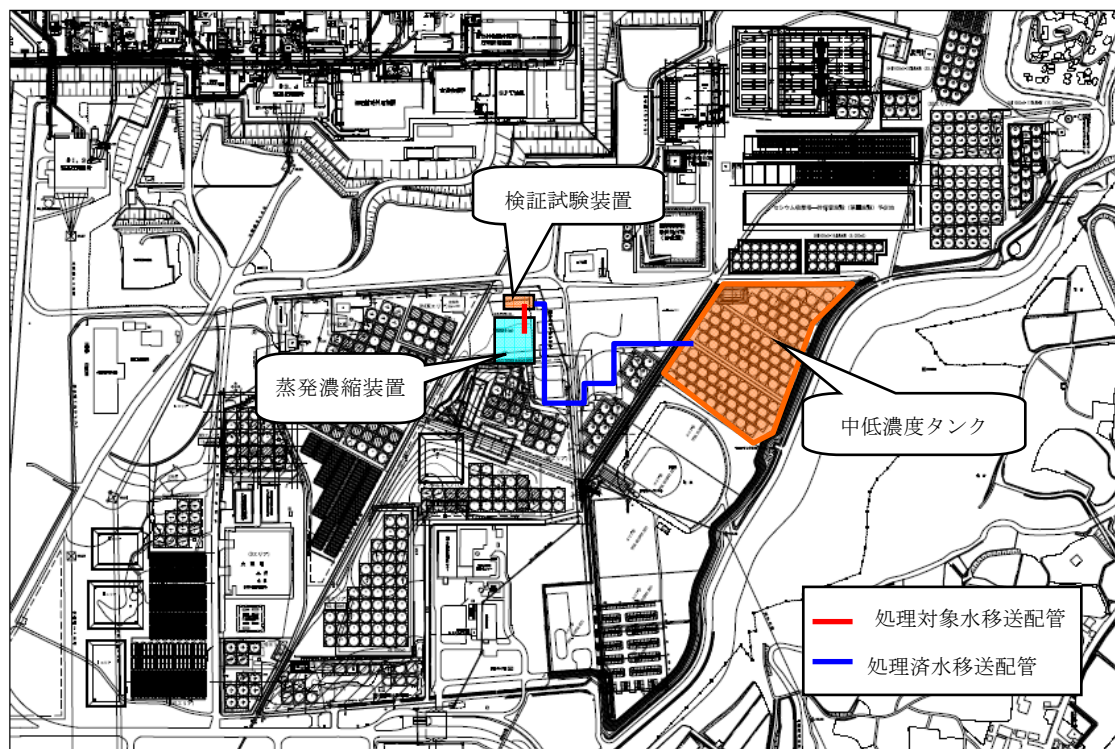


図-3 高性能多核種除去設備検証試験装置の配置概要

検証試験装置に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

検証試験装置を構成する機器について、構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性等の評価を行う。

1.1 基本方針

1.1.1 構造強度評価の基本方針

前処理フィルタ及び吸着塔は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Sec VIII)」に準拠し、前処理フィルタ及び吸着塔廻りの鋼管についても、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Sec VIII)」に準拠する。その他の鋼材を使用している主要機器及び配管は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」に準拠する。また、ポリエチレン管は、JWWA 規格または IS04427 に準拠する。その他の非金属材料を使用している主要機器及び配管は、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

1.1.2 耐震性評価の基本方針

検証試験装置を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられ、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」（以下、「耐震設計技術規程」という。）に準拠することを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせたものを採用する。

ポリエチレン管、ポリ塩化ビニル管および耐圧ホース（合成ゴム及びポリ塩化ビニル）は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

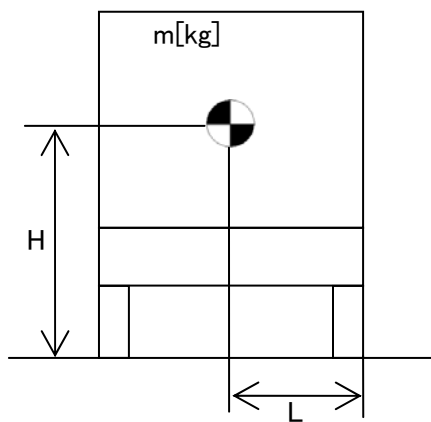
1.2 評価結果

1.2.1 検証試験装置

(1) 耐震性評価

a. 転倒評価

検証試験装置を搭載している車両について、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した（表 1）。



m : 機器質量
 g : 重力加速度
 H : 据付面から重心までの距離
 L : 転倒支点から機器重心までの距離
 C_H : 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント : $M_1 = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2 = m \times g \times L$

表 1 : 検証試験装置車両耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|------------------|------|------|------|--------------------|--------------------|------|
| 検証試験装置 (車両 1) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 1.60×10^8 | 3.01×10^8 | N・mm |
| 検証試験装置 (車両 2) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 1.83×10^8 | 3.31×10^8 | N・mm |
| 検証試験装置 (車両 3) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 1.78×10^8 | 3.25×10^8 | N・mm |
| 検証試験装置 (車両 4) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 1.81×10^8 | 3.33×10^8 | N・mm |
| 検証試験装置 (車両 5) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 1.29×10^8 | 2.16×10^8 | N・mm |

1.2.2 前処理フィルタ及び吸着塔

(1) 構造強度評価

前処理フィルタ及び吸着塔は、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認する。

また、設計・建設規格に準拠し、板厚評価を実施した。評価の結果、内圧に耐えられることを確認した(表2)。

a. 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a) 規格上必要な最小厚さ： t_1

t_1 の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は $t_1 = 3.00$ [mm] 以上，その他の金属の場合は $t_1 = 1.50$ [mm] 以上とする。

(b) 内面に圧力を受ける胴の必要厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t_2 ：計算上必要な厚さ

D_i ：胴の内径

P ：最高使用圧力

S ：最高使用温度における材料の許容引張応力

η ：長手継手の効率

b. 鏡板の厚さの評価

さら形鏡板に必要な厚さは、以下で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

(a) 胴の必要厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t_1 ：計算上必要な厚さ

D_i ：胴の内径

P ：最高使用圧力

S ：最高使用温度における材料の許容引張応力

η ：長手継手の効率

(b) 鏡板の必要厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{PRW}{2S\eta - 0.2P}$$

t_2 ：計算上必要な厚さ

P ：最高使用圧力

R ：鏡板の中央部における内面の半径

W ：さら形鏡板の形状による係数

S ：最高使用温度における材料の許容引張応力

η ：長手継手の効率

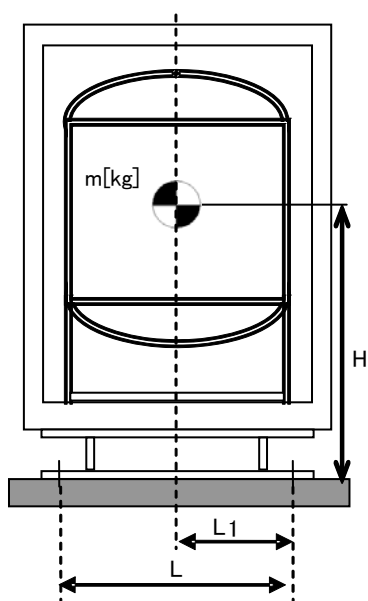
表 2：前処理フィルタ及び吸着塔板厚評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 必要肉厚[mm] | 肉厚[mm] |
|-------------|------|----------|--------|
| 前処理フィルタ 1 | 胴板 | 1.50 | 6.00 |
| | 鏡板 | 1.49 | 8.00 |
| 前処理フィルタ 2～4 | 胴板 | 1.50 | 6.00 |
| | 鏡板 | 1.33 | 8.00 |
| 多核種吸着塔 1～15 | 胴板 | 1.54 | 6.00 |
| | 鏡板 | 1.66 | 8.00 |

(2) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果、基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表 3）。



- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表 3 : 前処理フィルタ及び吸着塔耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|-------------|-----------|------|------|-----|-----|-----|
| 前処理フィルタ 1 | 基礎 ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 7 | 134 | MPa |
| 前処理フィルタ 2～4 | 基礎 ボルト | 引張 | 0.36 | 5 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 7 | 134 | MPa |
| 吸着塔 1～10 | 基礎 ボルト | 引張 | 0.36 | 4 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 10 | 134 | MPa |
| 吸着塔 11～15 | 基礎 ボルト | 引張 | 0.36 | 4 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 8 | 134 | MPa |

1.2.3 タンク

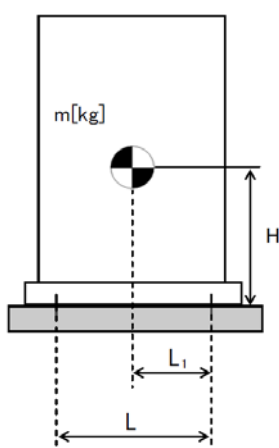
(1) 構造強度評価

供給タンク，処理水タンク，pH調整槽については，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。また，これらのタンクは全て大気開放のため，静水頭以上の内圧が作用することはない。

(2) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表4）。



- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- m : 機器重量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L_1 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表4：タンク耐震評価結果

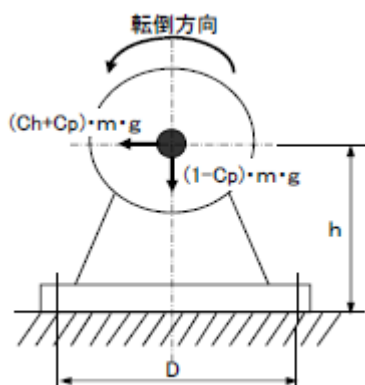
| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|----------------|-------|------|------|-----|-----|-----|
| 供給タンク | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | - | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 11 | 134 | MPa |
| 処理水タンク | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | - | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 11 | 134 | MPa |
| No. 1, 2 pH調整槽 | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | - | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 9 | 134 | MPa |

1.2.4 ポンプ

(1) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表5）。



m : 重量

g : 重力加速度

C_H : 水平方向設計震度

C_p : ポンプ振動による震度

h : 重心高さ

n : 基礎ボルトの本数

n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

D : 基礎ボルト間隔

A_b : 基礎ボルトの軸断面積

基礎ボルトに作用する引張力

$$F_b = \frac{(C_H + C_p) \times m \times g \times h - (1 - C_p) \times m \times g \times D/2}{n_f \times D}$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表5 : ポンプ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|----------|-------|------|------|-----|-----|-----|
| 原水ポンプ | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 134 | MPa |
| 中継ポンプ1 | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 134 | MPa |
| 中継ポンプ2 | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 134 | MPa |
| 中継ポンプ3 | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 134 | MPa |
| 処理水移送ポンプ | 基礎ボルト | 引張 | 0.36 | 2 | 174 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 134 | MPa |

1.2.5 配管

(1) 構造強度評価

a. 配管（鋼管）

配管の主要仕様から JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格に基づき管の厚さの評価を実施した。

評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表6）。

$$t = \frac{PD_o}{2S\eta + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
 D₀ : 管の外径
 P : 最高使用圧力
 S : 最高使用温度における材料の許容引張応力
 η : 長手継手の効率

表6：配管（鋼管）評価結果（管厚）

| 評価機器 | 口径 | Sch. | 材質 | 最高使用 圧力 (MPa) | 最高使用 温度 (°C) | 必要肉厚 [mm] | 肉厚 [mm] |
|------|-----|------|--------------------|------------------|-----------------|--------------|------------|
| 配管① | 32A | 40 | STPG370 | 0.98 | 45 | 1.90 | 3.60 |
| 配管② | 40A | 40 | STPG370 | 0.98 | 45 | 2.20 | 3.70 |
| 配管③ | 50A | 40 | STPG370 | 0.98 | 45 | 2.40 | 3.90 |
| 配管④ | 32A | 40 | STPG370 | 0.6 | 45 | 1.90 | 3.60 |
| 配管⑤ | 40A | 40 | STPG370 | 0.6 | 45 | 2.20 | 3.70 |
| 配管⑥ | 50A | 40 | STPG370 | 0.6 | 45 | 2.40 | 3.90 |
| 配管⑦ | 40A | 40 | S32750 Type2507 | 0.98 | 45 | 0.11 | 3.68 |

検証試験装置の具体的な安全確保策

検証試験装置は、高濃度の放射性物質を扱う設備のため、漏えい発生防止、放射線遮へい、崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止、環境条件を踏まえた対応、使用済フィルタ及び使用済吸着塔の貯蔵について具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。

1. 放射性物質の漏えい発生防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 処理対象水、処理済水の移送配管は、耐腐食性を有するポリエチレン管を基本とする。
- b. 放射性流体を内包する配管のうち、ポリエチレン管より可撓性を有する配管を使用する必要がある箇所（車両出入口、各車両間、各前処理フィルタ間、各吸着塔間）は、耐腐食性を有する耐圧ホースを使用する。また、福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホースと継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み、耐圧ホースと継手金属の結合部（カシメ部）に外れ防止金属を装着する。
- c. 前処理フィルタおよび吸着塔は、耐腐食性を有する二相ステンレスとする。
- d. タンク・槽類は、耐腐食性、耐薬品性を有するFRP（Fiber Reinforced Plastics）とする。
- e. タンク・槽類には水位検知器を設け、オーバーフローを防止するため、インターロックの作動によりポンプを停止出来る設計とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 検証試験装置は車両毎に漏えいパンおよび漏えい検知器を設け、エリア外への漏えいを防止する（図1）。
なお、漏えいパンは、各車両内の装置保有水を受けられる容量を確保しており、装置保有水が漏えいした場合でも、漏えいパン内に収まることから、漏えいパン外へ漏えいすることはない（表1）。
また、各車両間の耐圧ホースは、漏えい拡大防止のため二重管を採用する。
- b. 漏えいを検知した場合には、シールド中央制御室に警報を発するとともに、検証試験装置の運転を停止する。
- c. 漏えいパンが設置されていない移送配管で継手部がフランジ構造となる場合には、継手部に漏えい防止カバーを設置する。また、移送配管は、万が一漏えいが発生した場合でも構内排水路を通じて環境に汚染水が流出することがないように、排水路から可能な限り隔離して敷設する。

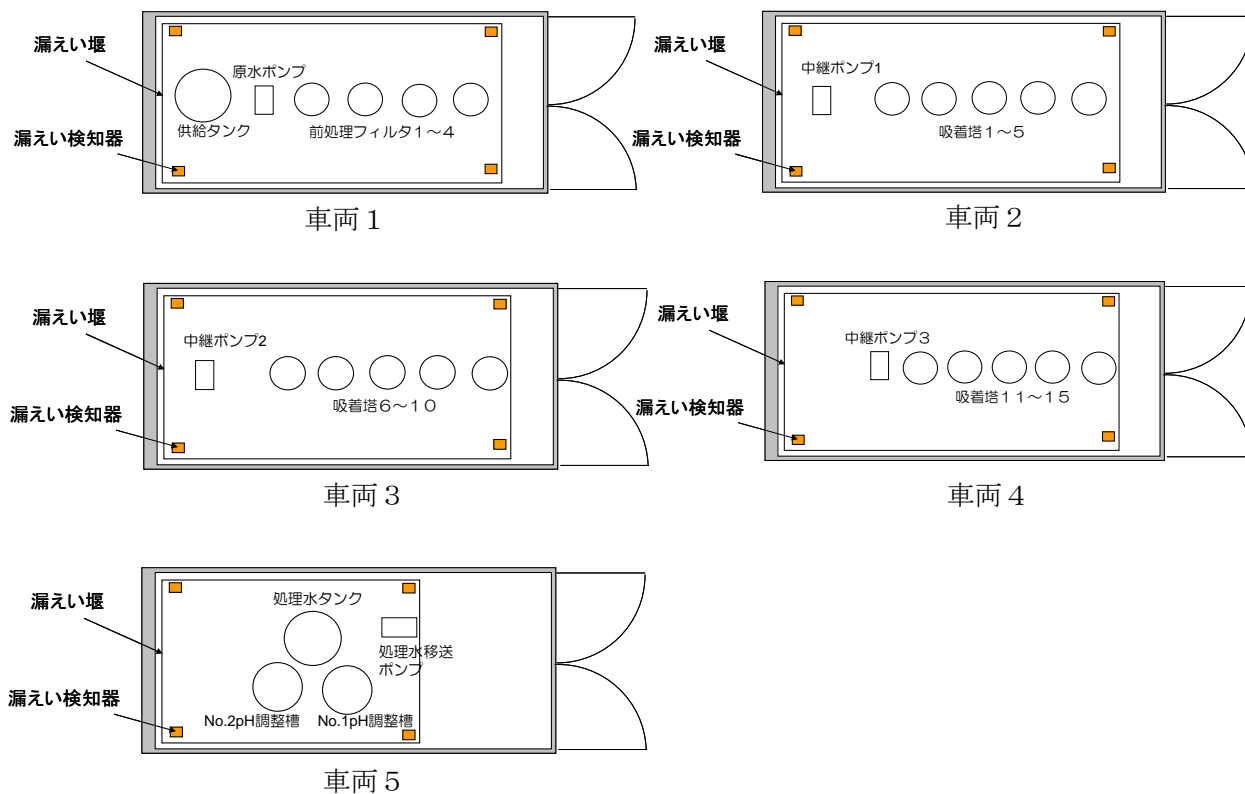


図1 漏えいパンおよび漏えい検知器配置図

表1 検証試験装置漏えいパン仕様（設計値）

| 対象設備 | | 全長 (mm) | 全幅 (mm) | 全高 (mm) | 公称容積 (m ³) | 有効容積 (m ³) ^{※1} | 保有水量 (m ³) |
|------------|-----|------------|------------|------------|---------------------------|---|---------------------------|
| 検証試験 装置 | 車両1 | 8296 | 2146 | 148 | 2.63 | 2.27 | 1.84 |
| | 車両2 | 8296 | 2146 | 148 | 2.63 | 2.30 | 1.13 |
| | 車両3 | 8096 | 2146 | 148 | 2.57 | 2.24 | 1.13 |
| | 車両4 | 8596 | 2146 | 148 | 2.73 | 2.38 | 1.68 |
| | 車両5 | 5696 | 2146 | 348 | 4.25 | 4.04 | 3.32 |

※1 公称容積から漏えいパン内に設置する鋼材分の容量等を除外

2. 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

検証試験装置の機器表面線量当量率が 1mSv/h 以下となるように遮へいを設ける(図2)。また、本設備から最寄りの敷地境界(敷地境界評価地点 No. 7)における直接線・スカイシャイン線の寄与は、年間約 0.02mSv となる。

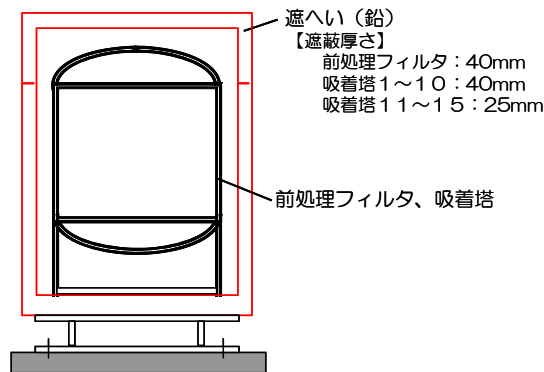


図2 機器遮蔽概要

3. 崩壊熱除去

- (1) 検証試験装置の前処理フィルタおよび吸着材に吸着した放射性物質の崩壊熱は、処理水を通水することにより除熱する。
- (2) 使用済フィルタ及び吸着塔の保管時においては、フィルタ及び吸着塔の最高温度は、それぞれ約 112°C 、約 278°C と想定される。一方、フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、それぞれ、 150°C 、 600°C であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない。

4. 可燃性ガスの滞留防止

- (1) 検証試験装置の前処理フィルタおよび吸着塔内で水の放射性分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その前処理フィルタおよび吸着塔により処理を行う場合には、可燃性ガスが滞留する可能性があるため、前処理フィルタおよび吸着塔内の可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント弁を手動で開操作して通気により排出する。なお、検証試験装置を設置するコンテナには換気装置のための貫通箇所があり、可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。
- (2) 使用済フィルタ及び吸着塔は、可燃性ガスの滞留防止のため、エアブロー等により水切りした後、ベントを開放して保管する。

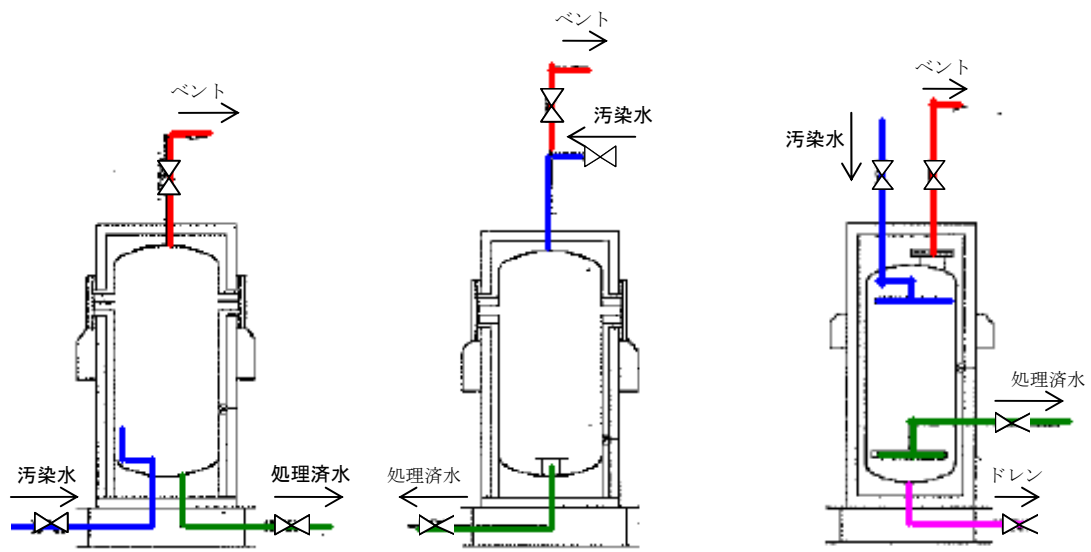


図3 フィルタ1の概要図

図4 フィルタ2～4の概要図

図5 吸着塔の概要図

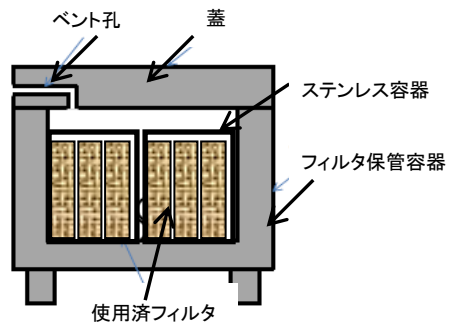


図6 フィルタ保管容器の概要図

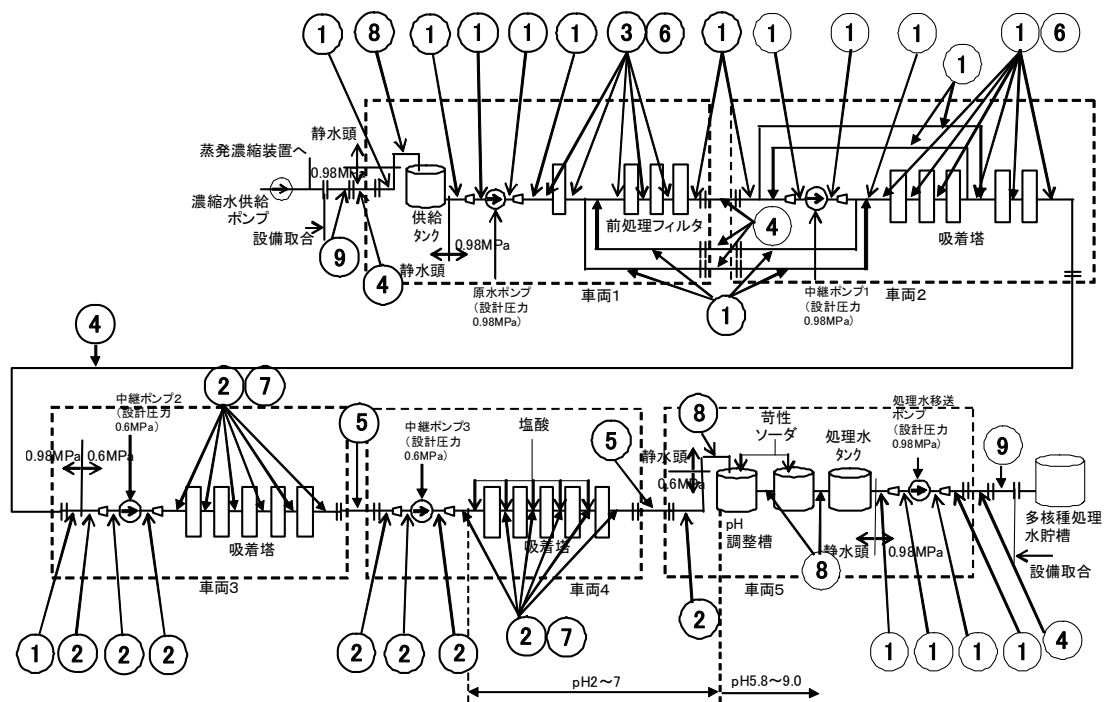
5. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

検証試験装置は、汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く、薬液注入によりpHが変動することから、耐腐食性を有する材料を選定する(表2)。また、使用済の吸着塔は、エアブロー等により水切りした後、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

表2 高性能多核種除去設備検証試験装置 主配管仕様

| No. | 機種 | 設計圧力 [MPa] | 材料 |
|-----|----------|---------------|--------------------|
| 1 | 鋼管 | 0.98 | STPG370 + ライニング |
| 2 | | 0.6 | STPG370 + ライニング |
| 3 | | 0.98 | S32750 Type2507 |
| 4 | 耐圧ホース | 0.98 | ポリ塩化ビニル |
| 5 | | 0.6 | ポリ塩化ビニル |
| 6 | | 0.98 | 合成ゴム |
| 7 | | 0.6 | 合成ゴム |
| 8 | ポリ塩化ビニル管 | 大気圧 | ポリ塩化ビニル |
| 9 | ポリエチレン管 | 0.98 | ポリエチレン |



(2) 熱による劣化

汚染水処理設備の処理済水の温度は、ほぼ常温のため、材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

汚染水処理設備の処理済水を移送している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。汚染水処理設備の処理済水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念される。そのため、汚染水処理設備の処理済水を移送している屋外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付ける。また、車両内については、温度調整により凍結防止を図る。

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは、集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示すが、ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8年）と評価される。そのため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

また、FRPは、集積線量が $3 \times 10^7 \sim 6 \times 10^7 \text{Gy}$ 程度で、曲げ強度が低下する傾向を示すが、 $3 \times 10^7 \text{Gy}$ に到達する時間は 3×10^7 時間（3424年）と評価される。そのため、FRPは共用期間である1年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

なお、検証試験装置のうち、系統バウンダリを構成するその他の部品には、ガスケット、グランドパッキンが挙げられるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料（EPDM、黒鉛）を使用しており、運転実績により、数年程度の使用は問題ないと考えられる。

(5) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管等には、紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。

(6) 長期停止中の措置

検証試験装置を長期停止する場合は、必要に応じて装置をフラッシングするとともに、内部の水抜きを実施することで、腐食および凍結を防止する。

6. 使用済フィルタ及び使用済吸着塔の貯蔵

(1) 使用済フィルタの貯蔵

前処理フィルタは、エアブロー等により水切りした後、容器から取り出し、ゴムシートが内張されたステンレス容器に収容する。さらに、遮へいの観点から、コンクリート製の保管容器（2m³容器）に収容して瓦礫類の一時保管エリア（E2, F1, Q）で貯蔵する。ステンレス容器、コンクリート製保管容器は、可燃性ガスの滞留防止のためベント孔を設ける。

使用済フィルタの年間発生量は、約 140m³（約 2m³の容器で 70 個程度）と想定され、貯蔵先である瓦礫類の一時保管エリアの空き容量は、平成 26 年 5 月時点で 2,260m³（エリア E2（線量区分≦10mSv/h）、エリア F1（線量区分≦10mSv/h）、エリア Q（線量区分≦5mSv/h）の空き容量の合計）である。使用済フィルタを除く 1~10mSv/h の瓦礫類は、H27 年度末まで新たに 8,061m³発生する見込みであることから、使用済フィルタの貯蔵容量が逼迫する場合は、必要に応じて瓦礫類をエリア E2, F1, Q 以外の一時的保管エリア（線量区分 1~30mSv/h の空き容量 6,633m³（H27 年度末の想定）及び>30mSv/h の空き容量：12,112m³（H27 年度末の想定）を合わせた空き容量：18,745m³（H27 年度末の想定））に貯蔵し、使用済フィルタの貯蔵容量を確保する。

また、瓦礫類の一時保管エリアの受入目安表面線量率に応じて、コンクリート製保管容器の表面線量率を管理（保管容器の表面線量率を測定し、必要に応じてフィルタの収納数を制限）する。

| | 線量区分 1~30mSv/h | | 線量区分>30mSv/h |
|--|----------------|-------------------------------|--------------|
| | E2,F1,Q エリア | L,A1,A2 エリア, 固体廃棄物貯蔵庫第 2 棟 | |
| H26 年 5 月末 瓦礫類貯蔵量 (m ³) | 6,290 | 10,390 | — |
| H27 年度末 瓦礫類想定貯蔵量 (m ³) | 14,351 | 18,467 | 2,888 |
| 貯蔵容量 (m ³) | 8,550 | 25,100 | 15,000 |

(2) 使用済吸着塔の貯蔵

使用済吸着塔は、エアブロー等により水切りした後、使用済吸着塔を 6 体収容可能な保管用架台に固定し、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）のボックスカルバート内に収容する。

使用済吸着塔の年間発生量は、100 基程度と想定され、ボックスカルバートを 17 基程度使用すると想定される。平成 26 年 7 月現在、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設、第四施設）におけるボックスカルバートの空き容量は 300 基程度であるため、他設備からの廃棄物発生量を考慮しても貯蔵に支障をきたすことはない。なお、共用期間が終了する 1 年後（H27.8 頃）のボックスカルバートの空き容量は 250 基程度であるため、他設備からの廃棄物発生量を考慮しても貯蔵に支障をきたすことはない。

また、使用済吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）に貯蔵される他の廃棄物と同程度であり、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

前処理フィルタ及び多核種吸着塔の温度評価

温度評価は、前処理フィルタ及び多核種吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし、一次元の定常温度評価により前処理フィルタ及び多核種吸着塔の最高温度を評価する。

1. 評価概要

- 評価手法：一次元定常温度評価
- 入熱条件：フィルタ及び吸着材のうち、発熱量が最大となるフィルタ1及び多核種吸着塔1の吸着材を発熱体とした。
- 評価条件：
 - ・ フィルタは、直方体のコンクリート製容器内に収容される。評価上は、保守的に直方体の側面2面のみから放熱するものとする。(評価体系については、図1参照)
 - ・ 多核種吸着塔は、円柱形の容器(S32750製)内に収用されており、さらに鉛の遮へい体に収容されている。評価上は、容器及び遮へい体を直方体のモデルとして評価し、保守的に直方体の側面2面のみから放熱するものとする。(評価体系については、図2参照)
 - ・ いずれのケースにおいても外気温度は40℃として評価。
 - ・ 発熱体の発熱量は、表1に示す放射能濃度から算出

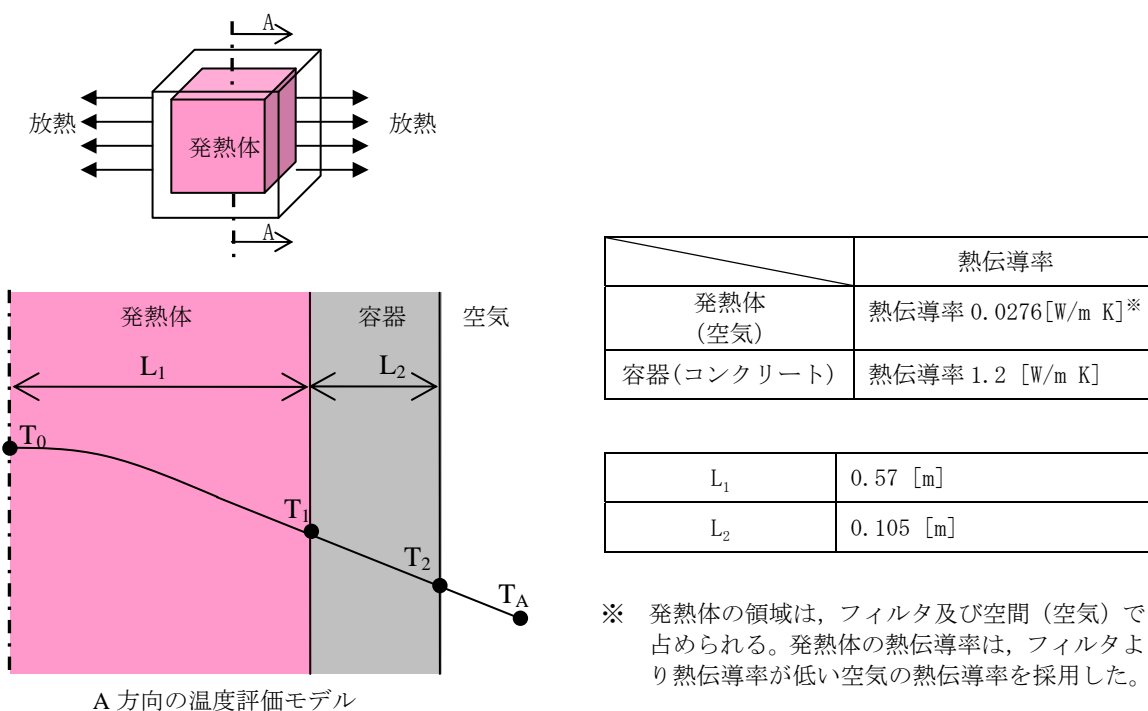
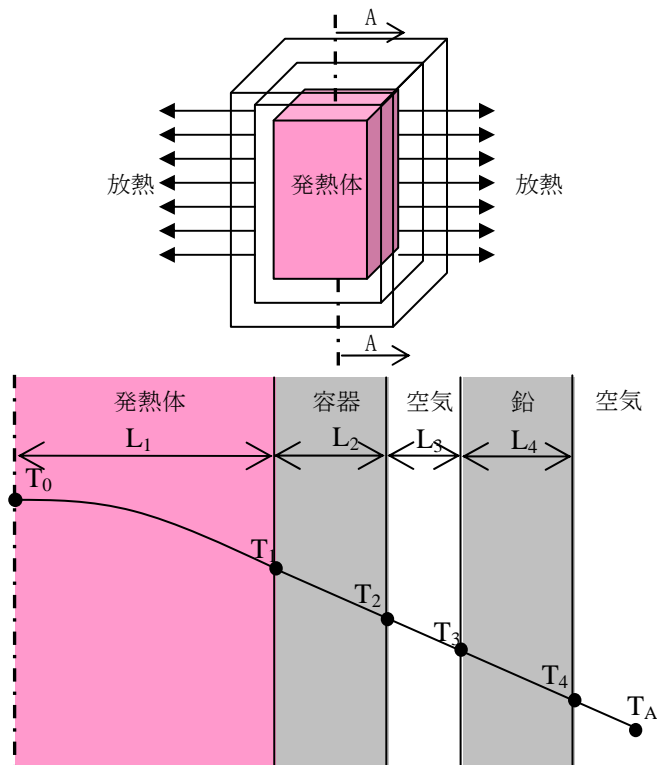


図1 フィルタの評価体系



A 方向の温度評価モデル

| | 熱伝導率 |
|----------------|---------------------|
| 発熱体 (吸着材 1) | 熱伝導率 0.119 [W/m K]※ |
| 容器 (S32750) | 熱伝導率 16.0 [W/m K] |
| 空気 | 熱伝導率 0.0276 [W/m K] |
| 鉛 | 熱伝導率 33.8 [W/m K] |

| | |
|----------------|------------|
| L ₁ | 0.25 [m] |
| L ₂ | 0.0060 [m] |
| L ₃ | 0.015 [m] |
| L ₄ | 0.040 [m] |

※ 吸着材 1 の熱伝導率は、容器に吸着材を充填した状態（吸着塔に吸着材を充填した状態と同様の条件）で測定した。

図 2 多核種吸着塔の評価体系

表 1 フィルタ 1 及び吸着材 1 の放射能濃度

| | 放射能濃度 [Bq] | |
|---------|------------|----------|
| | フィルタ 1 | 吸着材 1 |
| Rb-86 | 0.00E+00 | 3.64E+09 |
| Sr-89 | 1.36E+11 | 4.25E+12 |
| Sr-90 | 1.36E+13 | 4.25E+14 |
| Y-90 | 1.36E+13 | 4.25E+14 |
| Te-123m | 0.00E+00 | 8.89E+08 |
| Te-125m | 0.00E+00 | 2.34E+11 |
| Te-127 | 0.00E+00 | 7.02E+10 |
| Te-127m | 0.00E+00 | 7.02E+10 |
| Te-129 | 0.00E+00 | 4.40E+10 |
| Te-129m | 0.00E+00 | 1.36E+10 |
| Cs-134 | 1.36E+9 | 4.25E+10 |
| Cs-135 | 8.02E+03 | 2.51E+05 |
| Cs-136 | 1.01E+07 | 3.15E+08 |
| Cs-137 | 1.36E+9 | 4.25E+10 |
| Ba-137m | 1.36E+9 | 4.25E+10 |

2. 評価結果

フィルタ及び多核種吸着塔の温度評価の結果、容器の最高温度はフィルタでは約 112℃、多核種吸着塔では約 278℃となった（表 2 参照）。フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は、それぞれ、150℃、600℃であることから、材料の健全性に影響を与えるものではない。

表 2 温度評価結果

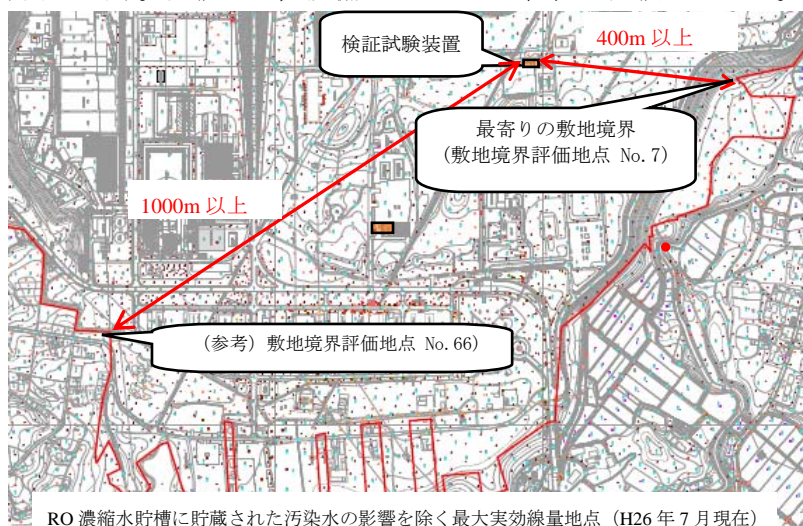
| 評価点 | フィルタ | 多核種吸着塔 |
|----------------|-----------|-----------|
| T ₀ | 約 112℃ | 約 278℃ |
| T ₁ | 約 46℃ | 約 144℃ |
| T ₂ | 約 45℃ | 約 144℃ |
| T ₃ | - | 約 74℃ |
| T ₄ | - | 約 74℃ |
| T _A | 40℃（初期条件） | 40℃（初期条件） |

敷地境界線量評価

本設備からの最寄りの敷地境界に対する直接線・スカイシャイン線の寄与を評価する。

1. 評価概要

- 評価手法：
解析コード MCNP を用いて評価
- 評価条件：
 - ・ 設備から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No. 7）までの距離は、400m 以上（下図参照）。評価上は、設備から 400m の位置を評価点とした。



- ・ 評価上考慮する機器は、吸着塔 19 基とした（フィルタの表面積は吸着塔の表面積より小さいため、保守的にフィルタ 4 基を吸着塔に置き換え評価を実施。）。
- ・ 線源強度は、セシウム及びストロンチウムを吸着する吸着材 1 の放射性物質の濃度分布から機器表面線量が 0.5mSv/h（機器表面線量は、0mSv/h～1mSv/h の間で推移するため、中間の値である 0.5mSv/h を用いた）となるよう規格化

表1 吸着材 1 の放射性物質濃度

| 核種 | 吸着材 1 放射能濃度 [Bq] |
|--------|---------------------|
| Sr-89 | 4.25E+12 |
| Sr-90 | 4.25E+14 |
| Y-90 | 4.25E+14 |
| Cs-134 | 4.25E+10 |
| Cs-137 | 4.25E+10 |

- ・ 評価点における直接線・スカイシャイン線の寄与は、吸着塔 1 基あたりの評価値に吸着塔の基数（19 基）を乗じて算出

2. 評価結果

上記条件により、評価を行った結果、評価点における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間約 0.02mSv となった。

検証試験装置に係る確認事項

検証試験装置に係る主要な確認事項を表１～１０に示す。また、海外製品の溶接検査に関する確認事項を別表１に示す。

表１ 確認事項（供給タンク，処理水タンク，pH調整槽）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※１ | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 ※１ | 実施計画のとおり据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表2 確認事項（前処理フィルタ，多核種吸着塔）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 ※1 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。 | 確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表3 確認事項（原水ポンプ，中継ポンプ1～3，処理水移送ポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|------------------------------|--------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 ※1。 | 実施計画のとおり据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 定格運転で耐圧部分からの漏えいの有無で確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| 性能 | 運転性能確認 | ポンプの運転確認を行う。 | 異音，異臭，異常振動等がないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表4 確認事項（主要配管（鋼管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径, 厚さについて記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 ※1 | 実施計画のとおり据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後, 確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後, 耐圧部分からの漏えい有無も確認する。 | 確認圧力に耐え, かつ構造物の変形等がないこと。また, 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1 : 現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

表5 確認事項（主要配管（ポリエチレン管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---------------------------|-----------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 当該材料規格の規定のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径について記録を確認する。 | 製造メーカー寸法許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 通水時に耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1 : 現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

表6 確認事項（主要配管（ポリ塩化ビニル管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---------------------------|-----------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径について記録を確認する。 | 製造メーカー寸法許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 ※1 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 通水時に耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表7 確認事項（主要配管（耐圧ホース））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---------------------------|-----------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した外径について記録を確認する。 | 製造メーカー寸法許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 配管の据付状態について確認する。 ※1 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 通水時に耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表 8 確認事項（漏えい検出器及び警報装置）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|---------|-----------------------|-----------------------------------|
| 構造強度 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 装置の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| 機能 | 漏えい警報確認 | 設定通りに警報が作動することを確認する。 | 漏えいを検知し，警報が作動すること。設定通りに警報が作動すること。 |

表 9 確認事項（漏えいパン）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|------|------------------|-----------------------|
| 構造強度 | 寸法確認 | 主要寸法について記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |

表 10 確認事項（検証試験装置）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|--------|----------------------------|--|
| 性能 | 運転性能確認 | 実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。 | 実施計画に記載した容量を通水することが可能であり，設備からの異音，異臭，振動等の異常がないこと。 |

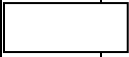
別表1 確認事項（海外製品溶接検査）


| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容※1 | 判定基準 |
|------|----------|--|--|
| 溶接検査 | 材料確認 | 溶接に使用する材料が、ASME Sec. VIII等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。 | 使用する材料が、ASME Sec. VIII等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。 |
| | 開先検査 | 開先形状等がASME Sec. VIII等に適合するものであることを記録で確認する。 | 開先形状等がASME Sec. VIII等に適合するものであること。 |
| | 溶接作業検査 | ASME Sec. VIIIに定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。 | ASME Sec. VIIIで確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。 |
| | 耐圧・漏えい検査 | 検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。 | 検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。 |
| | 外観検査 | 各部の外観を確認する。 ※2 | 外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。 |

※1：「別表1 確認事項（海外製品溶接検査）」の確認範囲は、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第26条第4号に規定する範囲とする。なお、適用する規格で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は、適用する規格の条件に適合していることについて行う。

※2：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

工事工程表

| | 平成 26 年 | | | | | | | |
|----------------------|---------|-----|---|------------------|-----|------|------|------|
| | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 高性能多核種除去設備 検証試験装置 | | |  | △ ① △ ③ | | | | |

 : 現地据付組立

① : 構造, 強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ : 原子力施設の工事の計画に係る工事が完了した時

2.17 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備）

2.17.1 基本設計

2.17.1.1 設置の目的

雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等（その他雑固体廃棄物、使用済樹脂、瓦礫類、伐採木、使用済保護衣等）で処理可能なものについて焼却処理することを目的とする。

2.17.1.2 要求される機能

放射性固体廃棄物等の処理にあたっては、その廃棄物の性状に応じて、適切に処理し、遮へい等の適切な管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.17.1.3 設計方針

(1) 放射性固体廃棄物等の処理

雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等の処理過程において放射性物質の散逸等の防止を考慮した設計とする。具体的には、焼却処理により発生する焼却灰はドラム缶に詰めて密閉し、固体廃棄物貯蔵庫などの遮へい機能を有する設備に貯蔵保管する。処理過程においては、系統を負圧にし、放射性物質が散逸しない設計とする。

(2) 放射性気体廃棄物の考慮

雑固体廃棄物焼却設備は、敷地周辺の線量を合理的に達成できる限り低減できるように、焼却処理に伴い発生する排ガス及び汚染区域の排気は、フィルタを通し、放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、本建屋専用の排気筒から放出する設計としており、放出された粒子状の放射性物質の濃度は、試料放射能測定装置により、法令に定める濃度限度を下回ることを確認する。

なお、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は、焼却運転を自動停止させる設計とする。

(3) 構造強度

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）に従うことを基本方針とし、必要に応じて JIS や製品規格に従った設計とする。

(4) 耐震性

雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に従い設計するものとする。

(5) 火災防護

火災の早期検知に努めるとともに、消火設備を設けることで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。

(6) 被ばく低減

雑固体廃棄物焼却設備は放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮へい、機器の配置、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、遮へい等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2.17.1.4 供用期間中に確認する項目

雑固体廃棄物焼却設備は、放出する排ガスについて、放射性物質の濃度を環境に放出可能な値までに低減できていること。

2.17.1.5 主要な機器

雑固体廃棄物焼却設備は、新たに設置する焼却炉建屋内に設置され、焼却設備、換気空調設備、モニタリング設備等で構成され、放射性固体廃棄物等で処理可能なものを焼却する。

(1) 焼却設備

焼却設備は焼却炉（ロータリーキルン式）、二次燃焼器、排ガス冷却器、バグフィルタ、排ガスフィルタ、排ガスブロア、排ガス補助ブロア、排気筒で構成される。焼却設備は、2系列で構成し、1系列が点検中の場合においても廃棄物を処理できる設計とする。

焼却炉（ロータリーキルン式）は、炉を回転させることで、攪拌させながら時間をかけて焼却処理を行う。

二次燃焼器では、排ガスを850℃以上で2秒以上の滞留で完全燃焼させ、ダイオキシン類を完全に分解し安定した性状の排ガスを排ガス冷却器へ供給する。

排ガス冷却器では、水噴霧により排ガスを急冷しダイオキシン類の再合成を防止するとともに、高温に達した排ガスをフィルタ類で処理できる温度まで冷却する。

バグフィルタはケーシング内にろ布が装着され、排ガスを通すことによりろ布表面で集塵を行う。ダストが堆積した場合、逆洗により定期的にダストを払い落とし、回収を行う。なお、焼却炉から当該設備までで除染係数（以下、DFとする）10以上を確保する。

排ガスフィルタは粒径0.3μmに対して99.97%の粒子捕集率があるHEPAフィルタで構成され、バグフィルタで集塵しきれなかった排ガス中の微粒子を回収する。当該設備ではHEPAフィルタを2段直列に配置することでDF=10⁵以上を確保する。

排ガスブロアは、焼却炉から一連の系統を吸引しフィルタにて処理された排ガスを排気

筒へ送り出す。また、系統を負圧にし、放射性物質の散逸等を防止する。

これらの焼却設備のDFは系統全体で 10^6 以上である。

なお、焼却処理にて発生する焼却灰はドラム缶等の密閉できる容器に保管する。

(2) 焼却炉建屋

5, 6号機北側に配置する焼却炉建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の地上3階で、平面が約69m（東西方向）×約45m（南北方向）の建物で、地上高さは約26.5mである。

(3) 換気空調設備

換気空調設備は、焼却炉建屋送風機、焼却炉建屋排風機、排気処理装置等で構成する。

焼却炉建屋送風機、焼却炉建屋排風機は、それぞれ50%容量のもの3台で構成する。建屋内に供給された空気は、フィルタを通した後、排風機により排気筒から大気に放出する。

(4) モニタリング設備

排気筒において排ガス中の放射性物質濃度をガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタにより監視する。

(5) 遮へい壁

焼却設備、雑固体廃棄物、焼却灰などからの放射線に対し、放射線業務従事者等を保護する目的として、主に機器まわりのコンクリート壁・天井による遮へいを行う。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、雑固体廃棄物及び焼却灰からの放射線について、建屋のコンクリート壁・天井により遮へいを行う。

2.17.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

アウターライズ津波による遡上、大雨等による溢水を考慮し、焼却炉建屋はT.P.約22mに設置する。

(2) 火災

焼却炉建屋内では、可燃性の雑固体廃棄物を一時保管し、燃料を使用するため、火災報知設備、消火栓設備、不燃性ガス消火設備、消火器等を消防法等に基づいて、適切に設置し、火災の早期検知、消火活動の円滑化を図る。

2.17.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 強度評価の基本方針

雑固体廃棄物焼却設備を構成する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に該当することから、クラス3に位置付けられる機器を含む。設計・建設規格のクラス3に該当するものについては、同規格に準拠した設計・製作・検査を行う。

(2) 耐震性評価の基本方針

雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に従い設計するものとする。また、耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準用する。

2.17.1.8 機器の故障への対応

2.17.1.8.1 機器の単一故障

(1) 負圧維持機能を有する動的機器の故障

雑固体廃棄物焼却設備の負圧維持機能を有する動的機器に関しては複数台設置する。負圧維持機能を有する動的機器が故障した場合でも、予備機により運転継続もしくは停止作業が可能となる。

(2) モニタリング設備の故障

ガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタは、2チャンネルを有し、1チャンネル故障時でも他の1チャンネルで排気筒における放射性物質濃度を監視可能とする。

(3) その他の主要な機器の故障

その他の主要な機器が故障した場合、速やかに焼却運転を停止させる。

(4) 電源喪失

雑固体廃棄物焼却設備の電源は2系統より受電する設計とし、1系統からの受電が停止した場合でも全ての負荷に給電できる構成とする。

2.17.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

雑固体廃棄物焼却設備の複数の設備が同時に機能喪失した場合、速やかに運転を停止させる。外部電源喪失した場合、廃棄物や燃料の供給は停止するため、焼却は自然に停止に向かう。

2.17.2 基本仕様

2.17.2.1 主要仕様

(1) 焼却設備

a. 焼却炉

| 名 称 | | | 焼却炉 |
|----------|---------|----------|-------------------------------|
| 容 量 | | kcal/h/基 | 約 2500000 (廃棄物 300kg/h 相当) |
| 主要 寸法 | 長 さ | mm | 10000 |
| | 胴 外 径 | mm | 2738 |
| | 外 殻 厚 さ | mm | 19 |
| 材料 | 外 殻 | — | SB410 |
| 基 数 | | 基 | 2 |

b. 二次燃焼器

| 名 称 | | | 二次燃焼器 |
|----------|---------|----|-------|
| 主要 寸法 | 高 さ | mm | 14759 |
| | 胴 外 径 | mm | 2812 |
| | 外 殻 厚 さ | mm | 6 |
| 材料 | 外 殻 | — | SS400 |
| 基 数 | | 基 | 2 |

c. 排ガス冷却器

| 名 称 | | | 排ガス冷却器 |
|----------|---------|----|--------|
| 主要 寸法 | 高 さ | mm | 14600 |
| | 胴 外 径 | mm | 3618 |
| | 外 殻 厚 さ | mm | 9 |
| 材料 | 外 殻 | — | SS400 |
| 基 数 | | 基 | 2 |

d. バグフィルタ

| 名 称 | | | バグフィルタ |
|----------|-------|----------------------|--------|
| 容 量 | | Nm ³ /h/基 | 15000 |
| 主要 寸法 | た て | mm | 2680 |
| | 横 | mm | 2610 |
| | 高 さ | mm | 11600 |
| 材料 | ケーシング | — | SS400 |
| 基 数 | | 基 | 2 |

e. 排ガスフィルタ

| 名 称 | | | 排ガスフィルタ |
|----------|-------|----------------------|---------|
| 容 量 | | Nm ³ /h/基 | 3000 |
| 主要 寸法 | た て | mm | 900 |
| | 横 | mm | 2000 |
| | 高 さ | mm | 3150 |
| 材料 | ケーシング | — | SS400 |
| 基 数 | | 基 | 10 |

f. 排気筒

| 名 称 | | | 排気筒 |
|----------|-----|----|-------|
| 主要 寸法 | 内 径 | mm | 1800 |
| | 高 さ | mm | 18900 |
| 材料 | 胴 板 | — | SS400 |
| 基 数 | | 基 | 1 |

g. 煙道

| 名 称 | | | 煙道 |
|----------|-----------|----|---------------------|
| 主要 寸法 | 外 径 / 厚 さ | mm | 718.0/9.0 |
| | | | 711.2/6.4 |
| | | | 457.2/7.9 |
| | | | 355.6/7.9 |
| 材料 | 本 体 | — | SS400, STPY400, SGP |

h. 排ガスブロー

| | |
|-----|--------------------------|
| 容 量 | 1500Nm ³ /h/基 |
| 基 数 | 2 |

i. 排ガス補助ブロー

| | |
|-----|--------------------------|
| 容 量 | 2500Nm ³ /h/基 |
| 基 数 | 2 |

(2) 廃液処理設備

a. 高電導度廃液サンプ

| 名 称 | | 高電導度廃液サンプ | |
|------------------|----------------|--------------|--------|
| 容 量 | m ³ | 3.6 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 60 | |
| 主 要 寸 法 | 洞 内 径 | mm | 1500 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 平 板 厚 さ | mm | 12 |
| | 高 さ | mm | 2511 |
| 材 料 | 洞 板 | — | SUS304 |
| | 鏡 板 | — | SUS304 |
| 基 数 | 基 | 1 | |
| 制 御 方 法 | — | 液位高による警報発報回路 | |

b. シャワードレンサンプ

| 名 称 | | シャワードレンサンプ | |
|------------------|----------------|--------------|--------|
| 容 量 | m ³ | 3.6 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 60 | |
| 主 要 寸 法 | 洞 内 径 | mm | 1500 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 平 板 厚 さ | mm | 12 |
| | 高 さ | mm | 2511 |
| 材 料 | 洞 板 | — | SUS304 |
| | 鏡 板 | — | SUS304 |
| 基 数 | 基 | 1 | |
| 制 御 方 法 | — | 液位高による警報発報回路 | |

c. 高電導度廃液サンプルタンク

| 名 称 | | 高電導度廃液サンプルタンク | |
|------------------|----------------|-------------------------------|--------|
| 容 量 | m ³ | 3.6 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 60 | |
| 主 要 寸 法 | 洞 内 径 | mm | 1500 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 上 部 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 下 部 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 高 さ | mm | 2598 |
| 材 料 | 洞 板 | — | SUS304 |
| | 上 部 鏡 板 | — | SUS304 |
| | 下 部 鏡 板 | — | SUS304 |
| 基 数 | 基 | 1 | |
| 制 御 方 法 | — | 液位高による受入停止回路 液位高高による警報発報回路 | |

d. シャワードレンサンプルタンク

| 名 称 | | シャワードレンサンプルタンク | |
|------------------|----------------|-------------------------------|--------|
| 容 量 | m ³ | 3.6 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 静水頭 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 60 | |
| 主 要 寸 法 | 洞 内 径 | mm | 1500 |
| | 洞 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 上 部 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 下 部 鏡 板 厚 さ | mm | 8 |
| | 高 さ | mm | 2598 |
| 材 料 | 洞 板 | — | SUS304 |
| | 上 部 鏡 板 | — | SUS304 |
| | 下 部 鏡 板 | — | SUS304 |
| 基 数 | 基 | 1 | |
| 制 御 方 法 | — | 液位高による受入停止回路 液位高高による警報発報回路 | |

- e. 高電導度廃液ポンプ
- | | |
|-----|----------------------|
| 容 量 | 5m ³ /h/基 |
| 基 数 | 2 |
- f. シャワードレンポンプ
- | | |
|-----|----------------------|
| 容 量 | 5m ³ /h/基 |
| 基 数 | 2 |
- g. 高電導度廃液サンプルポンプ
- | | |
|-----|----------------------|
| 容 量 | 5m ³ /h/基 |
| 基 数 | 1 |
- h. シャワードレンサンプルポンプ
- | | |
|-----|----------------------|
| 容 量 | 5m ³ /h/基 |
| 基 数 | 1 |

i. 主配管

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|---------------------------------|--|
| 高電導度廃液ポンプから 高電導度廃液サンプルタンクまで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 48.6mm／3.0mm SUS304 0.40MPa 60℃ |
| 高電導度廃液サンプルタンクから 高電導度廃液サンプルポンプまで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 60.5mm／3.5mm 48.6mm／3.0mm SUS304 静水頭 60℃ |
| 高電導度廃液サンプルポンプから 移送容器接続口まで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 48.6mm／3.0mm 34.0mm／3.0mm SUS304 0.40MPa 60℃ |
| シャワードレンポンプから シャワードレンサンプルタンクまで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 48.6mm／3.0mm SUS304 0.30MPa 60℃ |
| シャワードレンサンプルタンクから シャワードレンサンプルポンプまで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 60.5mm／3.5mm 48.6mm／3.0mm SUS304 静水頭 60℃ |
| シャワードレンサンプルポンプから 移送容器接続口まで (鋼管) | 外径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 48.6mm／3.0mm 34.0mm／3.0mm SUS304 0.40MPa 60℃ |

j. 施設外への漏えいの拡大を防止するための堰その他の設備

| | | |
|---------|--------|---------------------|
| 名 称 | | サンプルピット (J-1) |
| 主要寸法 | 堰の高さ | 200cm 以上 |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | 鉄筋コンクリート |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 1 階 |

| | | |
|---------|--------|---------------------|
| 名 称 | | サンプルタンク室 (J-2) |
| 主要寸法 | 堰の高さ | 150cm 以上 |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | 鉄筋コンクリート |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 1 階 |

| | | |
|---------|--------|--------------------------------------|
| 名 称 | | 焼却炉建屋 1 階の施設外との境界壁面及びこれに囲まれた床面 (J-3) |
| 主要寸法 | 堰の高さ | — |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から 2cm 以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | — |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 1 階 |

| | | |
|---------|--------------------|---------------------|
| 名 称 | 廃棄物受入エリア西側トラック出入口 | J-4 |
| | 廃棄物受入エリア北側出入口 | J-5 |
| | 廃棄物受入エリア東側出入口 | J-6 |
| | 廃油貯蔵室西側出入口 | J-7 |
| | 非常口出入口 | J-8 |
| | 焼却設備室 B 系南側出入口 | J-9 |
| | 灰ドラム搬出エリア東側トラック出入口 | J-10 |
| | 灰ドラム搬出エリア東側出入口 | J-11 |
| 主要寸法 | 堰の高さ | 2cm 以上 |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | 鉄筋コンクリート |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 1 階 |

| | | | |
|------|------------------------------------|-----------------------|--------------|
| 名 称 | 焼却炉建屋 2 階の施設外との境界壁面 及びこれに囲まれた床面 | | J-12 |
| | 堰の高さ | — | |
| 主要寸法 | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から 10cm 以上までの壁面 | |
| | 堰 | — | |
| 材 料 | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 | |
| | 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 2 階 |

| | | | |
|------|--------------------|---------------------|--------------|
| 名 称 | 焼却設備排気機械室 A 系西側出入口 | | J-13 |
| | 堰の高さ | 10cm 以上 | |
| 主要寸法 | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面 | |
| | 堰 | 鉄筋コンクリート | |
| 材 料 | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 | |
| | 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 2 階 |

| | | |
|---------|--------|---|
| 名 称 | | 焼却炉建屋 3 階の施設外との境界壁面 及びこれに囲まれた床面 (J-14) |
| 主要寸法 | 堰の高さ | — |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から 10cm 以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | — |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 3 階 |

| | | |
|---------|--------|---------------------|
| 名 称 | | 排気機械室北側出入口 (J-15) |
| 主要寸法 | 堰の高さ | 10cm 以上 |
| | 床・壁の塗装 | 床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面 |
| 材 料 | 堰 | 鉄筋コンクリート |
| | 床・壁の塗装 | エポキシ樹脂 |
| 取 付 箇 所 | | 焼却炉建屋 地上 3 階 |

k. 漏えいの検出装置及び自動警報装置

| | | |
|--------|----------------------------|-----------------------------|
| | | 高電導度廃液サンプ, シャワードレンサンプ (K-1) |
| 名 称 | 漏えい検出装置 | 警報装置 |
| 検出器の種類 | 電極式 | — |
| 動作範囲 | サンプピット底面+20mm ～サンプピット上端 | サンプピット底面+20mm ～サンプピット上端 |
| 取付箇所 | サンプルタンク室 サンプピット | 焼却炉建屋制御室個別表示 5号中央制御室一括表示 |

(3) 換気空調設備

a. 焼却炉建屋送風機

容 量 48500m³/h/基

基 数 3

b. 焼却炉建屋排風機

容 量 43500m³/h/基

基 数 3

c. 排気処理装置

| 名 称 | | 排気処理装置 | |
|----------|-----|---------------------|-------|
| 容 量 | | m ³ /h/基 | 14500 |
| 主要 寸法 | た て | mm | 700 |
| | 横 | mm | 4250 |
| | 高 さ | mm | 2240 |
| 基 数 | | 基 | 7 |

(4) 補助遮へい

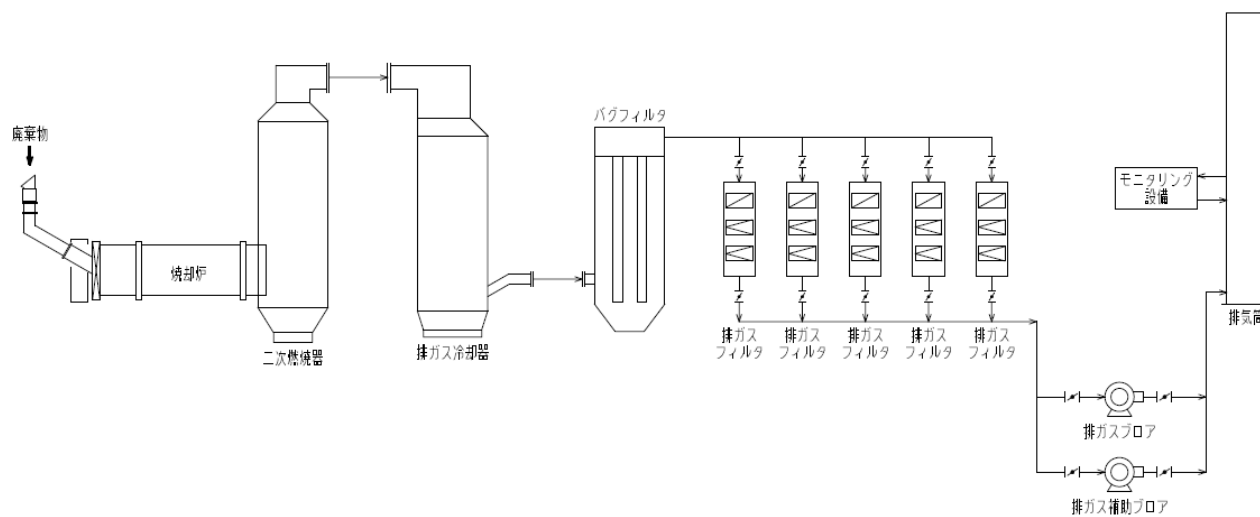
| 種類 | | 主要寸法 (mm) | 冷却方法 | 材料 | |
|-------|-----------|--------------|------|------|---|
| 補助遮へい | 廃棄物受入エリア | 北壁 (1 階) | 500 | 自然冷却 | 普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上) |
| | | 東壁 (1 階) | 500 | | |
| | 雑固体一時置場 | 西壁 (1 階) | 500 | | |
| | | 南壁 (1 階) | 500 | | |
| | | 天井 (1 階) | 500 | | |
| | 非常口 | 南壁 (1 階) | 450 | | |
| | | 東壁 (1 階) | 450 | | |
| | 充填エリア | 南壁 (1 階) | 500 | | |
| | 焼却設備室 A 系 | 北壁 (1 階) | 500 | | |
| | | 北壁 (2 階) | 500 | | |
| | | 西壁 (2 階) | 500 | | |
| | | 北壁 (3 階) | 500 | | |
| | | 西壁 (3 階) | 500 | | |
| | | 北壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 西壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 東壁 (屋上階) | 300 | | |

| 種類 | | | 主要寸法 (mm) | 冷却方法 | 材料 | |
|-----------|-----------|-----------|--------------|---------|------|---|
| 補助 遮へい | 焼却 炉建屋 | 焼却設備室 B 系 | 南壁 (1 階) | 500 | 自然冷却 | 普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上) |
| | | | 西壁 (2 階) | 500 | | |
| | | | 南壁 (2 階) | 500 | | |
| | | | 西壁 (3 階) | 500 | | |
| | | | 南壁 (3 階) | 500 | | |
| | | | 西壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | | 南壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | | 東壁 (屋上階) | 300 | | |
| | | 廃油貯蔵室 | 北壁 (1 階) | 300/400 | | |
| | | | 西壁 (1 階) | 300 | | |
| | | | 天井 (1 階) | 300/450 | | |
| | | サンプルタンク室 | 北壁 (1 階) | 400 | | |
| | | | 東壁 (1 階) | 700 | | |
| | | 灰ドラム一時貯蔵庫 | 南壁 (1 階) | 700 | | |
| | | | 東壁 (1 階) | 700 | | |

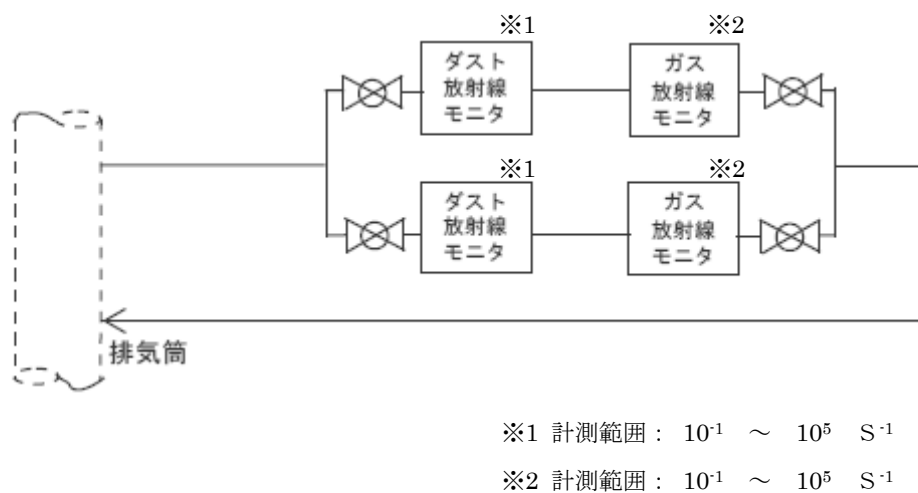
| 種類 | | 主要寸法 (mm) | 冷却方法 | 材料 | | |
|-----------|-----------|------------------|------------|-----|------|---|
| 補助 遮へい | 焼却 炉建屋 | 焼却設備排気機械室 | 北壁 (2階) | 300 | 自然冷却 | 普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上) |
| | | | 西壁 (2階) | 300 | | |
| | | | 南壁 (2階) | 300 | | |
| | | | 東壁 (2階) | 400 | | |
| | | | 天井 (2階) | 300 | | |
| | | 排ガス冷却水 タンクエリア | 北壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 西壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 東壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 天井 (3階) | 300 | | |
| | | 排気機械室 | 北壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 東壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 天井 (3階) | 300 | | |
| | | モニタ室 | 南壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 東壁 (3階) | 300 | | |
| | | | 天井 (3階) | 300 | | |

2.17.3 添付資料

- 添付資料－1 焼却設備概略系統図
- 添付資料－2 雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図
- 添付資料－3 焼却炉建屋平面図
- 添付資料－4 換気空調設備概略系統図
- 添付資料－5 排気中の放射性物質濃度に係る説明書
- 添付資料－6 設定根拠に関する説明書
- 添付資料－7 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面
- 添付資料－8 焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果
- 添付資料－9 安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面
- 添付資料－10 非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面
- 添付資料－11 火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面
- 添付資料－12 生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書
- 添付資料－13 補助遮へいに関する構造図
- 添付資料－14 固体廃棄物処理設備における放射性物質の散逸防止に関する説明書
- 添付資料－15 雑固体廃棄物焼却設備の設置について
- 添付資料－16 雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項
- 添付資料－17 雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書
- 添付資料－18 雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書
- 添付資料－19 雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図
- 添付資料－20 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書
- 添付資料－21 流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書



図－ 1 焼却設備概略系統図



図－ 2 モニタリング設備概略系統図

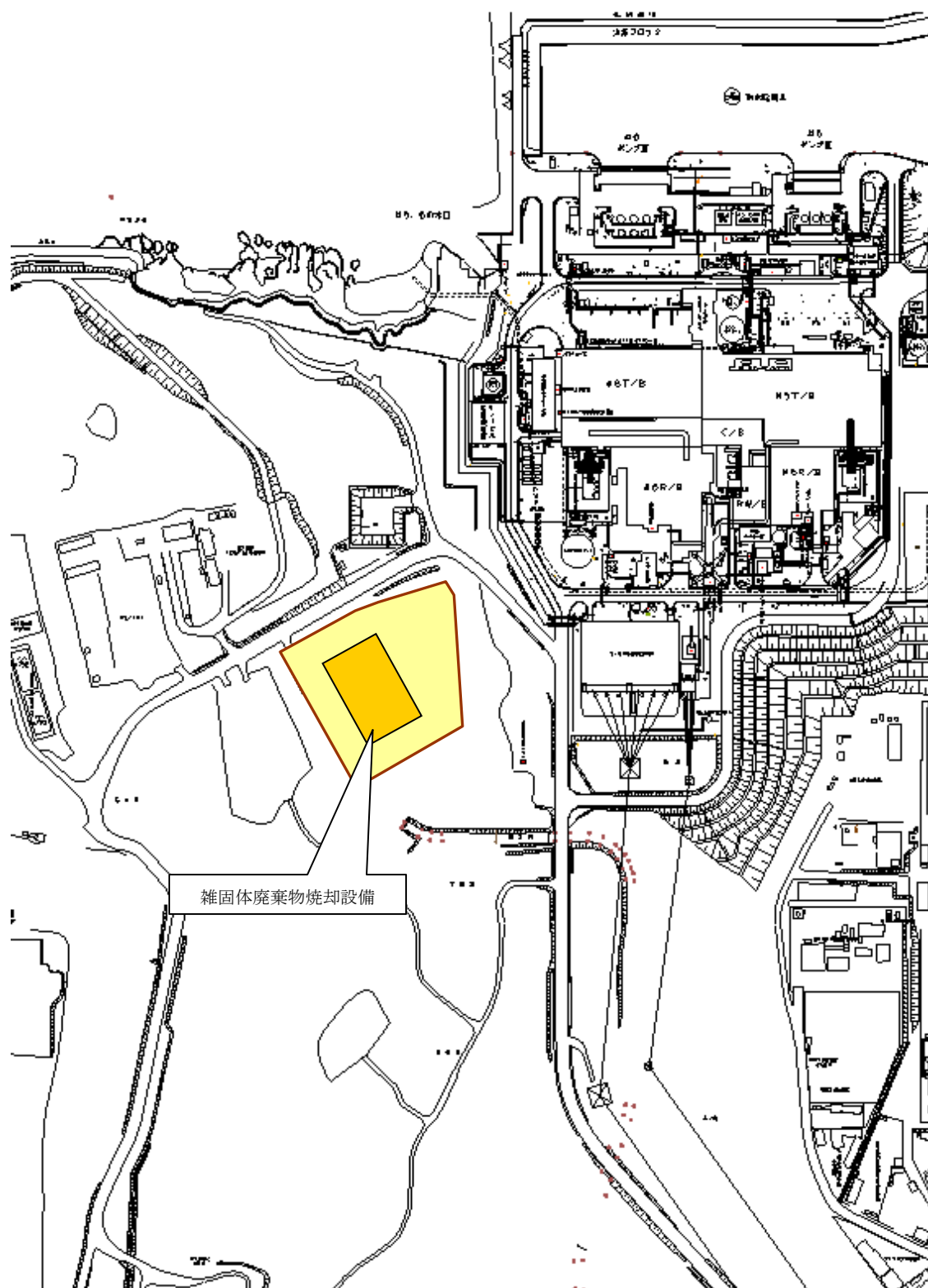
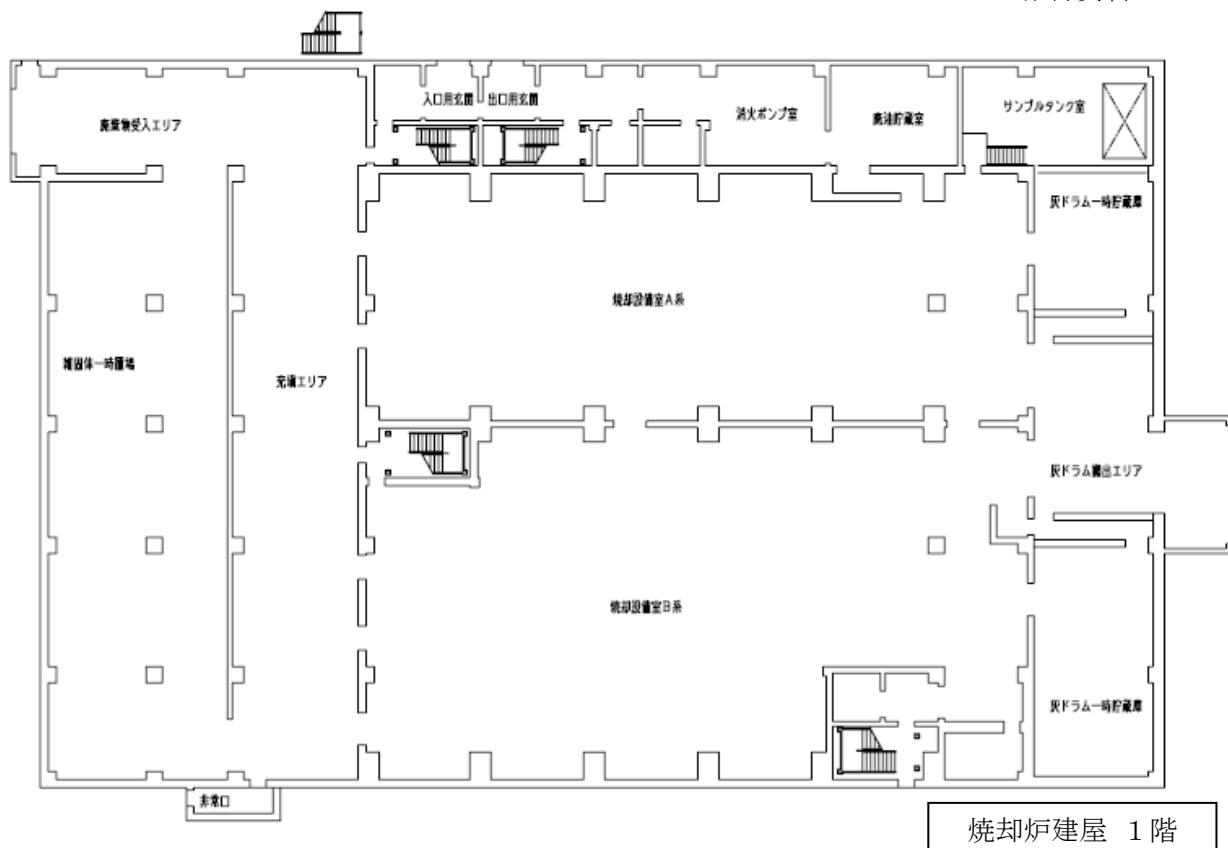
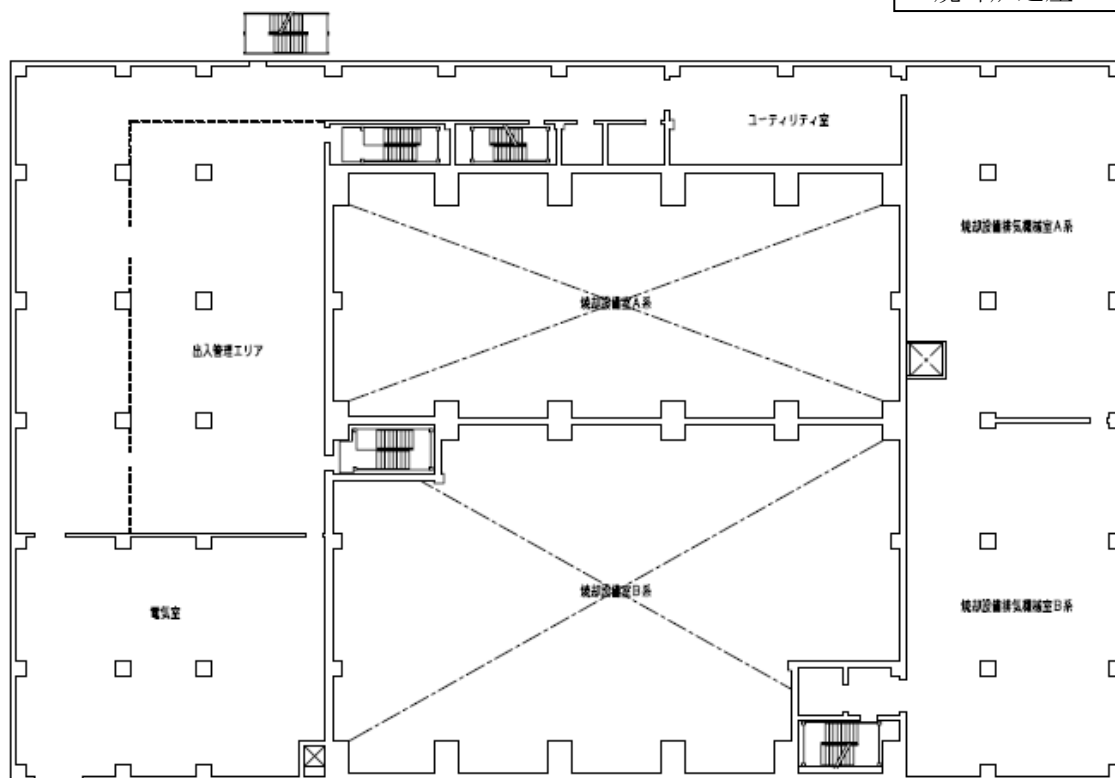


図-1 雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図

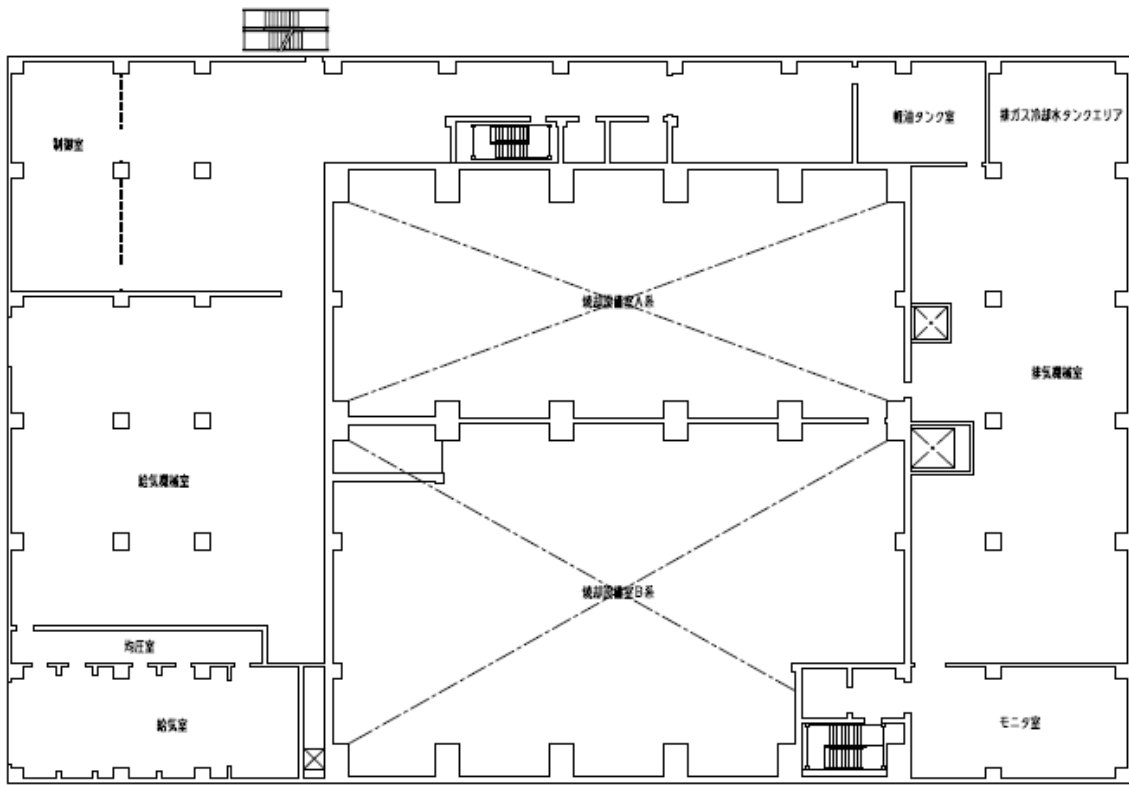


焼却炉建屋 1階

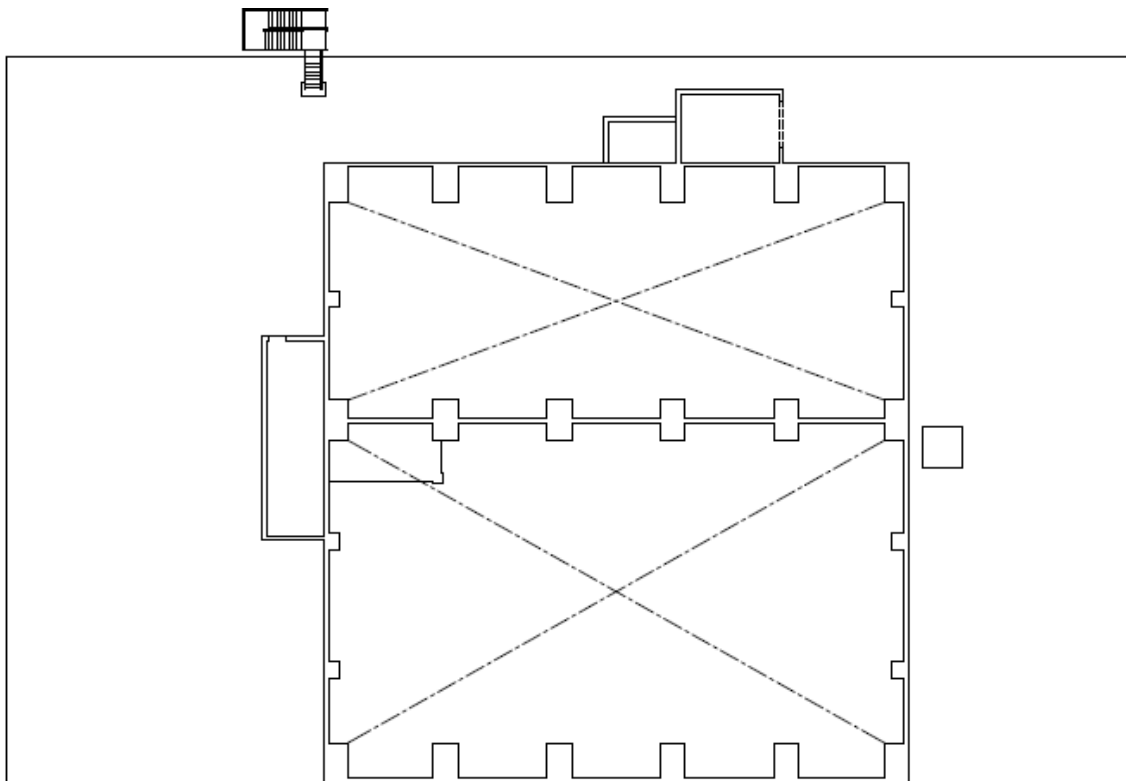


焼却炉建屋 2階

図-1 焼却炉建屋平面図 (1/2)

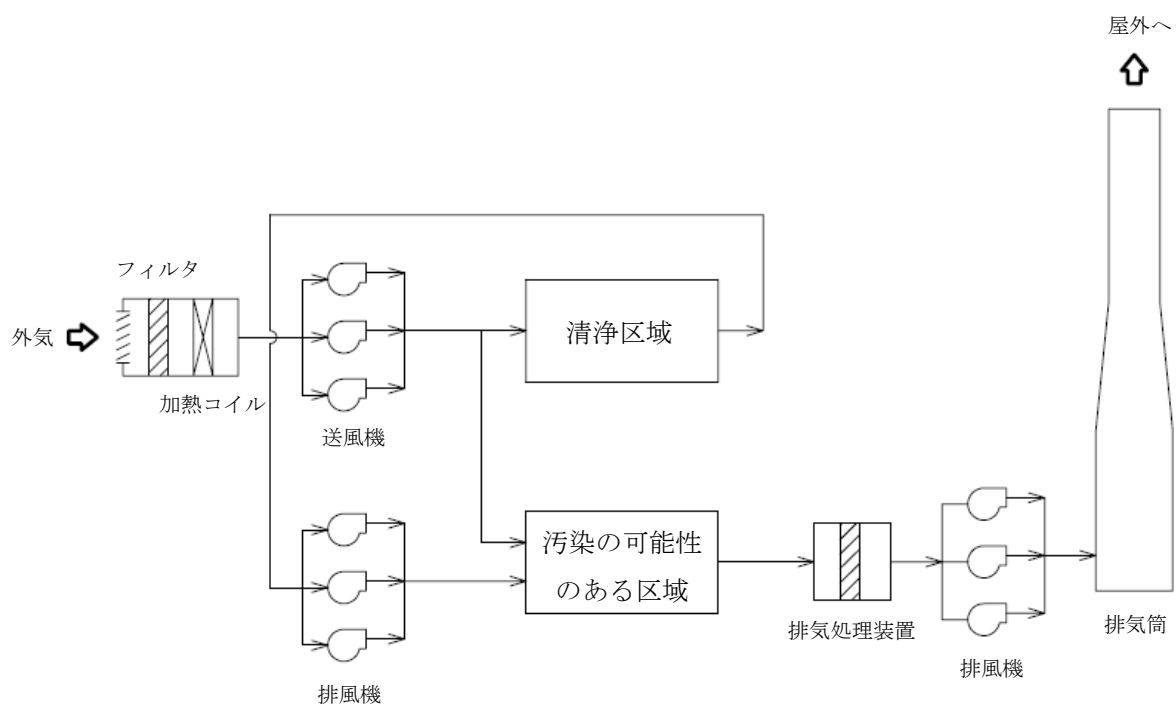


焼却炉建屋 3階



焼却炉建屋 屋上階

図-1 焼却炉建屋平面図 (2 / 2)



図－１ 換気空調設備概略系統図

排気中の放射性物質濃度に係る説明書

1. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度を表－1に示す。核種組成については、滞留水の核種組成実測値に2年後の減衰を見込んで設定している。

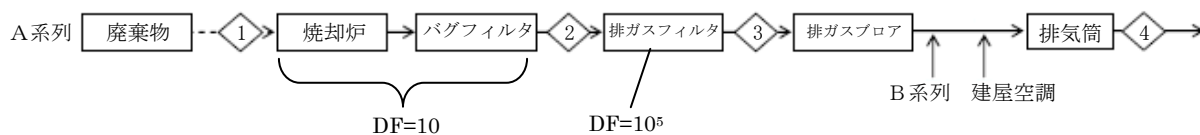
表－1 雑固体廃棄物の放射能濃度

| 核種 | 放射能濃度 (Bq/kg) |
|--------|------------------|
| Mn-54 | 4.0E+04 |
| Co-58 | 1.9E+02 |
| Co-60 | 1.1E+05 |
| Sr-89 | 1.6E+03 |
| Sr-90 | 9.9E+06 |
| Ru-103 | 1.4E+00 |
| Ru-106 | 3.7E+05 |
| Sb-124 | 2.1E+02 |
| Sb-125 | 3.5E+05 |
| I-131 | 3.8E-21 |
| Cs-134 | 3.4E+06 |
| Cs-136 | 2.5E-13 |
| Cs-137 | 9.4E+06 |
| Ba-140 | 1.6E-11 |
| α | 2.6E+02 |
| 合計 | 2.4E+07 |

2. 排気中の放射性物質濃度

焼却炉の処理能力300kg/h、系統全体の除染係数 10^6 (焼却炉からバグフィルタまでで 10 、排ガスフィルタで 10^5)、系統の流量を考慮すると、排気中の放射性物質濃度は図－1のようになり、排気筒出口の各核種の放射性物質濃度は、告示に定める周辺監視区域外の空気中の濃度限度を下回り、各核種の告示濃度限度に対する割合の和が1未満となっている。

さらに、排気筒からの大気拡散効果を考慮すると、周辺監視区域外においては、この濃度はさらに低下することから告示に定める濃度限度を十分に下回る。



| 流体 番号 | ◇1 (Bq/kg) | ◇2 (Bq/cm ³) | ◇3 (Bq/cm ³) | ◇4 (Bq/cm ³) | 告示濃度 限度 (Bq/cm ³) | 告示濃度限 度に対する 割合 |
|---------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 流量 (m ³ /h) | — | 20810 | 20810 | 176249 | — | — |
| Mn-54 | 4.0E+04 | 5.8E-05 | 5.8E-10 | 1.4E-10 | 8.0E-05 | 1.7E-06 < 1 |
| Co-58 | 1.9E+02 | 2.7E-07 | 2.7E-12 | 6.5E-13 | 6.0E-05 | 1.1E-08 < 1 |
| Co-60 | 1.1E+05 | 1.6E-04 | 1.6E-09 | 3.7E-10 | 4.0E-06 | 9.4E-05 < 1 |
| Sr-89 | 1.6E+03 | 2.3E-06 | 2.3E-11 | 5.4E-12 | 2.0E-05 | 2.7E-07 < 1 |
| Sr-90 | 9.9E+06 | 1.4E-02 | 1.4E-07 | 3.4E-08 | 8.0E-07 | 4.2E-02 < 1 |
| Ru-103 | 1.4E+00 | 2.0E-09 | 2.0E-14 | 4.8E-15 | 4.0E-05 | 1.2E-10 < 1 |
| Ru-106 | 3.7E+05 | 5.3E-04 | 5.3E-09 | 1.3E-09 | 2.0E-06 | 6.3E-04 < 1 |
| Sb-124 | 2.1E+02 | 3.0E-07 | 3.0E-12 | 7.1E-13 | 2.0E-05 | 3.6E-08 < 1 |
| Sb-125 | 3.5E+05 | 5.0E-04 | 5.0E-09 | 1.2E-09 | 3.0E-05 | 4.0E-05 < 1 |
| I-131 | 3.8E-21 | 5.5E-29 | 5.5E-29 | 1.3E-29 | 5.0E-06 | 2.6E-24 < 1 |
| Cs-134 | 3.4E+06 | 4.9E-03 | 4.9E-08 | 1.2E-08 | 2.0E-05 | 5.8E-04 < 1 |
| Cs-136 | 2.5E-13 | 3.6E-22 | 3.6E-27 | 8.5E-28 | 1.0E-04 | 8.5E-24 < 1 |
| Cs-137 | 9.4E+06 | 1.4E-02 | 1.4E-07 | 3.2E-08 | 3.0E-05 | 1.1E-03 < 1 |
| Ba-140 | 1.6E-11 | 2.3E-20 | 2.3E-25 | 5.4E-26 | 1.0E-04 | 5.4E-22 < 1 |
| α | 2.6E+02 | 3.7E-07 | 3.7E-12 | 8.9E-13 | 3.0E-09 | 3.0E-04 < 1 |
| 合計 | 2.4E+07 | 3.4E-02 | 3.4E-07 | 8.0E-08 | — | 4.5E-02 < 1 |

図－1 雑固体廃棄物焼却設備 排気中の放射性物質濃度

雑固体廃棄物焼却設備自動停止時の放出評価

1. 自動停止時の放出評価方法の考え方

雑固体廃棄物焼却設備は、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は自動停止する設計としているが、焼却設備が停止する際には、炉内に残存している未燃物（通常運転1時間分）の焼却が完了するまで、排ガスは発生し続ける。

本評価では自動停止に至る事象として、2系統同時に排ガスフィルタ5台中の1台が何らかの不具合により破損した場合で、雑固体廃棄物焼却設備が自動停止するものの、未燃物の焼却が完了するまでの期間に、破損した排ガスフィルタから漏出し続けたケースで評価する。なお、運用開始後に当該事象が発生した場合は、異常のある排ガスフィルタの前後ダンパを閉じる措置を講じて、フィルタを介して放出する状態に復帰させる。

2. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度は、添付資料－５ 表－1を参照。

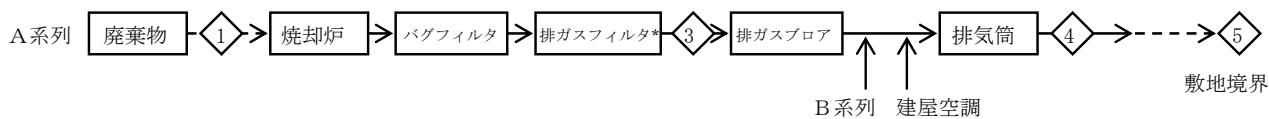
3. 排気中の放射性物質濃度

焼却炉の処理能力、除染係数の考え方は添付資料－５と同様とするが、排ガスフィルタについては5台中の1台が何らかの不具合により破損しており、除染性能が全く発揮できないとする。また、自動停止後の炉内に残存している未燃物は1時間で焼却完了するものとし、排ガス流量は不具合前後で変わらないと仮定する。

なお、周辺監視区域外の空気中の放射性物質濃度の評価においては、告示に定める濃度限度と比較するため、排ガスフィルタから漏出した状態で連続放出した場合を想定する。

計算地点は、1. 2号機共用排気筒を中心として16方位に分割した陸側9方位の敷地境界外について行う。

上記条件で計算した結果、周辺監視区域外における空気中の放射性物質濃度は、告示に定める濃度限度を下回り、各核種の告示濃度限度に対する割合の和が1未満となっている。



*排ガスフィルタは5台中1台破損している。

| 流体 番号 | ◇1 (Bq/kg) | ◇3 (Bq/cm ³) | ◇4 (Bq/cm ³) | ◇5 (Bq/cm ³) | 告示濃度 限度 (Bq/cm ³) | 告示濃度限 度に対する 割合 |
|---------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 流量 (m ³ /h) | — | 20810 | 176249 | — | — | — |
| Mn-54 | 4.0E+04 | 1.2E-05 | 2.7E-06 | 1.3E-10 | 8.0E-05 | 1.6E-06<1 |
| Co-58 | 1.9E+02 | 5.5E-08 | 1.3E-08 | 6.1E-13 | 6.0E-05 | 1.0E-08<1 |
| Co-60 | 1.1E+05 | 3.2E-05 | 7.5E-06 | 3.5E-10 | 4.0E-06 | 8.8E-05<1 |
| Sr-89 | 1.6E+03 | 4.6E-07 | 1.1E-07 | 5.1E-12 | 2.0E-05 | 2.5E-07<1 |
| Sr-90 | 9.9E+06 | 2.9E-03 | 6.7E-04 | 3.2E-08 | 8.0E-07 | 3.9E-02<1 |
| Ru-103 | 1.4E+00 | 4.0E-10 | 9.5E-11 | 4.5E-15 | 4.0E-05 | 1.1E-10<1 |
| Ru-106 | 3.7E+05 | 1.1E-04 | 2.5E-05 | 1.2E-09 | 2.0E-06 | 5.9E-04<1 |
| Sb-124 | 2.1E+02 | 6.1E-08 | 1.4E-08 | 6.7E-13 | 2.0E-05 | 3.3E-08<1 |
| Sb-125 | 3.5E+05 | 1.0E-04 | 2.4E-05 | 1.1E-09 | 3.0E-05 | 3.7E-05<1 |
| I-131 | 3.8E-21 | 5.5E-29 | 1.3E-29 | 6.1E-34 | 5.0E-06 | 1.2E-28<1 |
| Cs-134 | 3.4E+06 | 9.8E-04 | 2.3E-04 | 1.1E-08 | 2.0E-05 | 5.4E-04<1 |
| Cs-136 | 2.5E-13 | 7.2E-23 | 1.7E-23 | 8.0E-28 | 1.0E-04 | 8.0E-24<1 |
| Cs-137 | 9.4E+06 | 2.7E-03 | 6.4E-04 | 3.0E-08 | 3.0E-05 | 1.0E-03<1 |
| Ba-140 | 1.6E-11 | 4.6E-21 | 1.1E-21 | 5.1E-26 | 1.0E-04 | 5.1E-22<1 |
| α | 2.6E+02 | 7.5E-08 | 1.8E-08 | 8.3E-13 | 3.0E-09 | 2.8E-04<1 |
| 合計 | 2.4E+07 | 6.8E-03 | 1.6E-03 | 7.5E-08 | — | 4.2E-02<1 |

評価点◇2については、添付資料-5 図1と同様なので省略する。

図-1 自動停止時における排気中の放射性物質濃度

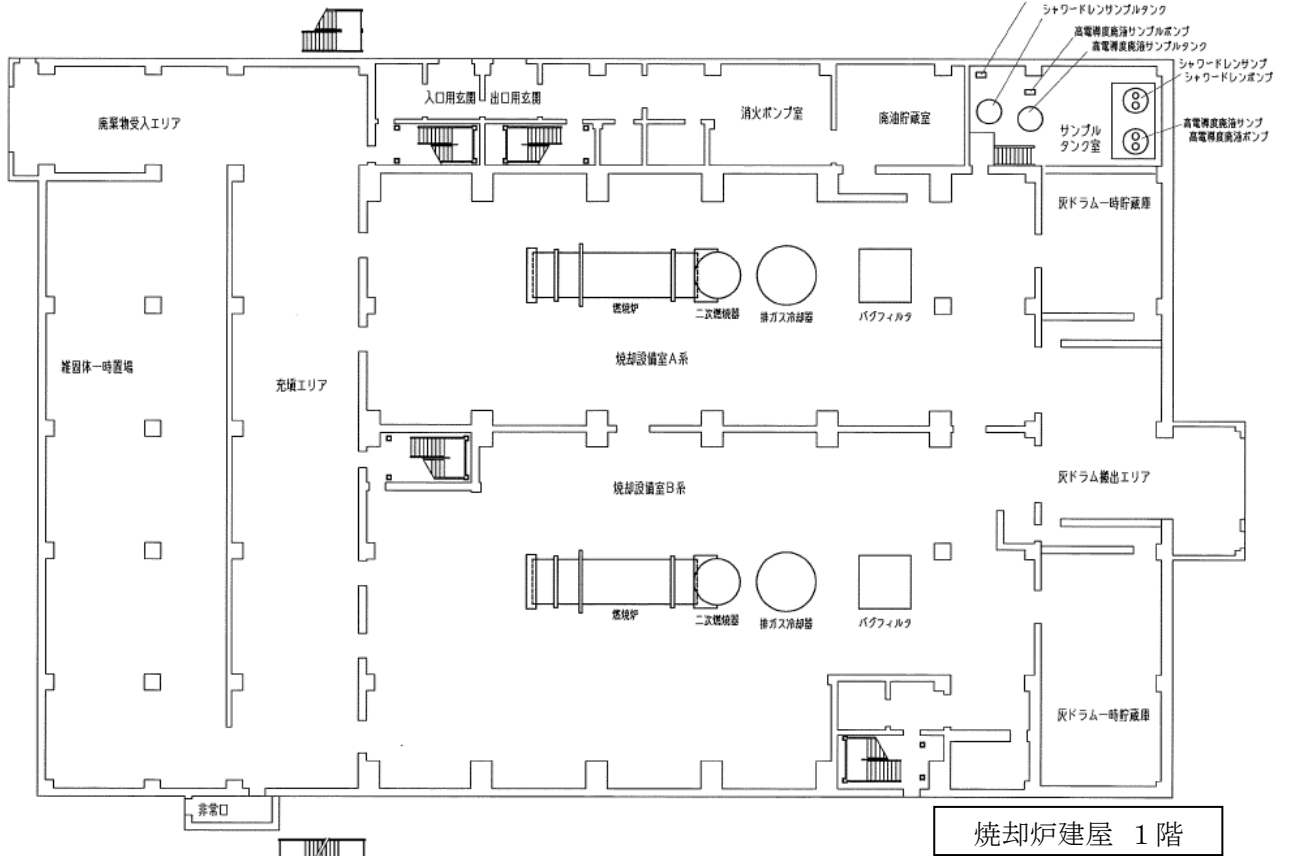
設定根拠に関する説明書

1. 焼却設備に関する設定根拠

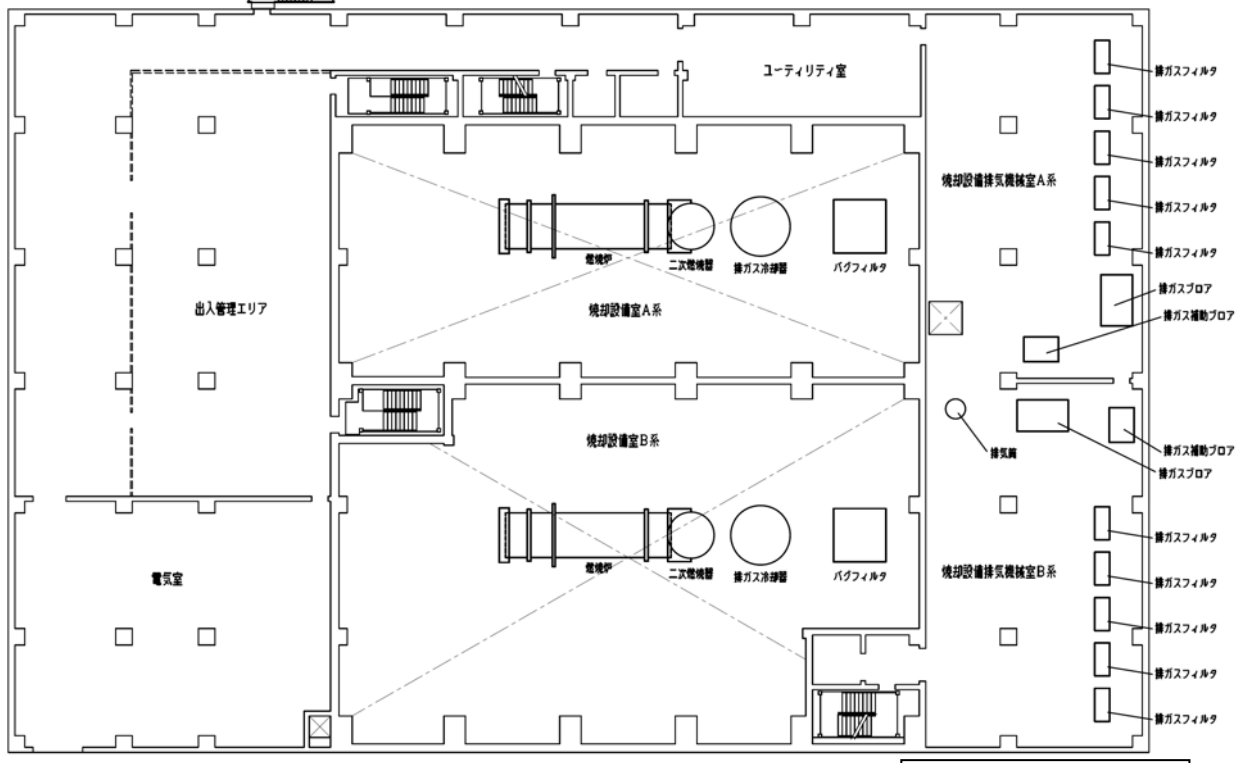
(1) 焼却炉

| 基 数 | — | 2 |
|---|----------|---------------------------------|
| 容 量 | kcal/h/基 | 約 2,500,000 (廃棄物 300kg/h 相当) |
| <p>1. 容量の設定根拠</p> <p>○福島第一原子力発電所では、至近の実績から約 140t/月の使用済保護衣等が発生する。</p> <p>・ 140t/月 = 194kg/h $< 300\text{kg/h} \times 2 \text{ 基}$ 発生量 < 容量 であることから、容量は妥当である。</p> <p>○廃棄物の発熱量を約 8330kcal/kg とすると、$8330 \times 300 = 2,499,000$ より、 約 2,500,000kcal/h/基とした。</p> | | |

添付資料-7

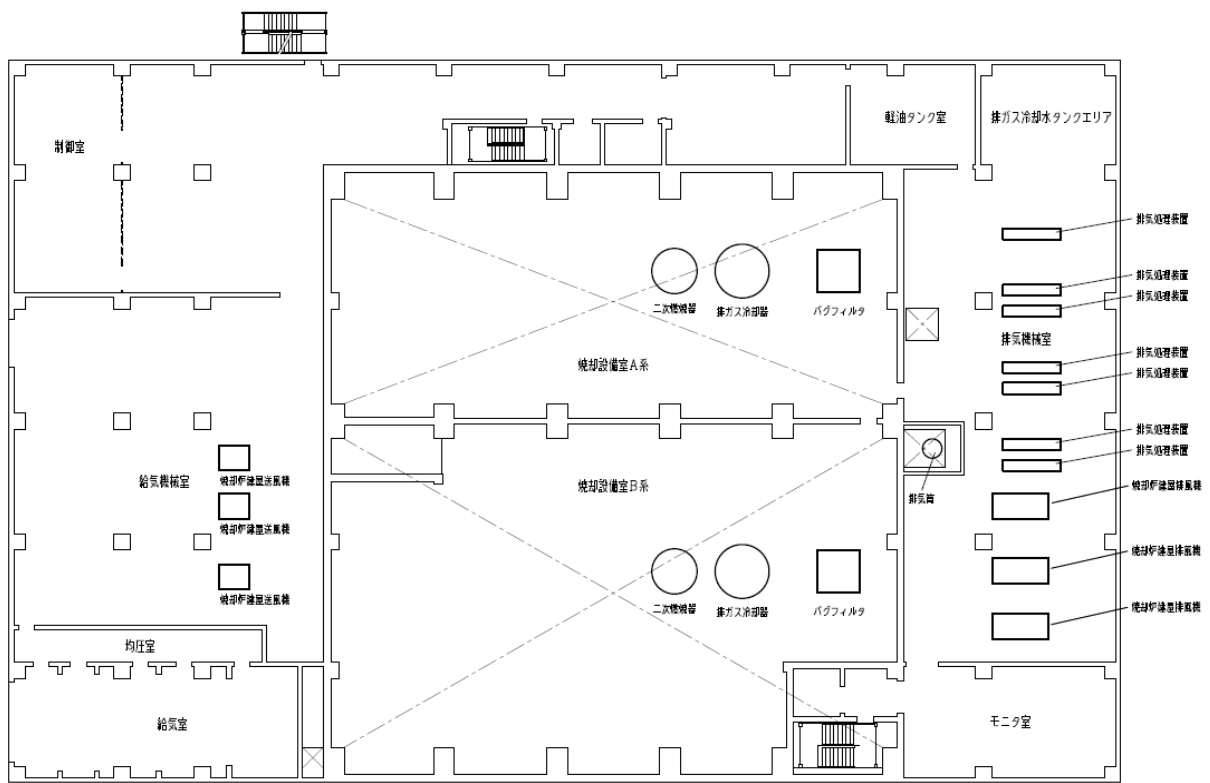


焼却炉建屋 1階

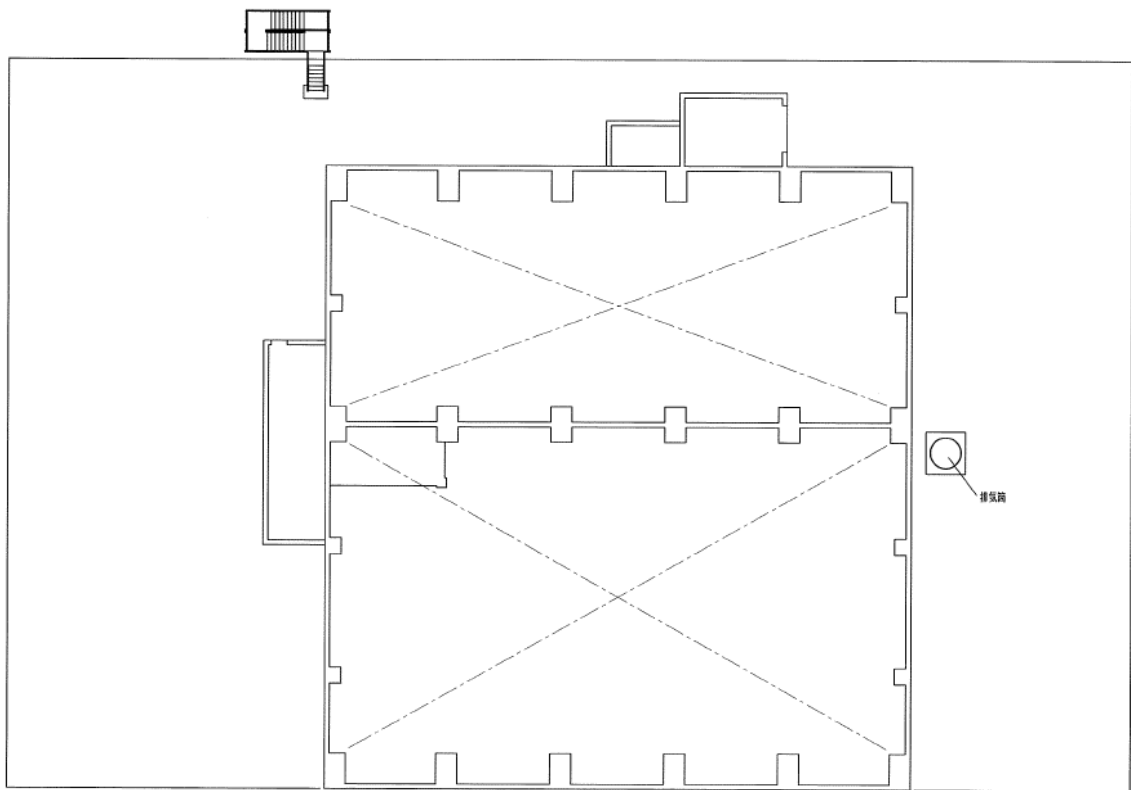


焼却炉建屋 2階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (1/2)



焼却炉建屋 3階



焼却炉建屋 屋上階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (2 / 2)

焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果

1. 評価方針

焼却炉建屋は、耐震設計審査指針上のBクラスの建物と位置づけられるため、耐震Bクラスとしての評価を実施する。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重及び風圧についても評価する。

焼却炉建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び一部鉄骨造）の地上3階で、平面が69m（EW方向）×45m（NS方向）の建物で、地上高さは26.5mである。基礎はべた基礎で、改良地盤を介して設置する。焼却炉建屋の平面図及び断面図を図-1～図-7に示す。

建屋に加わる地震時の水平力は、耐震壁及び柱とはりからなるラーメン構造で負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.5 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。焼却炉建屋の評価手順を図-8に示す。

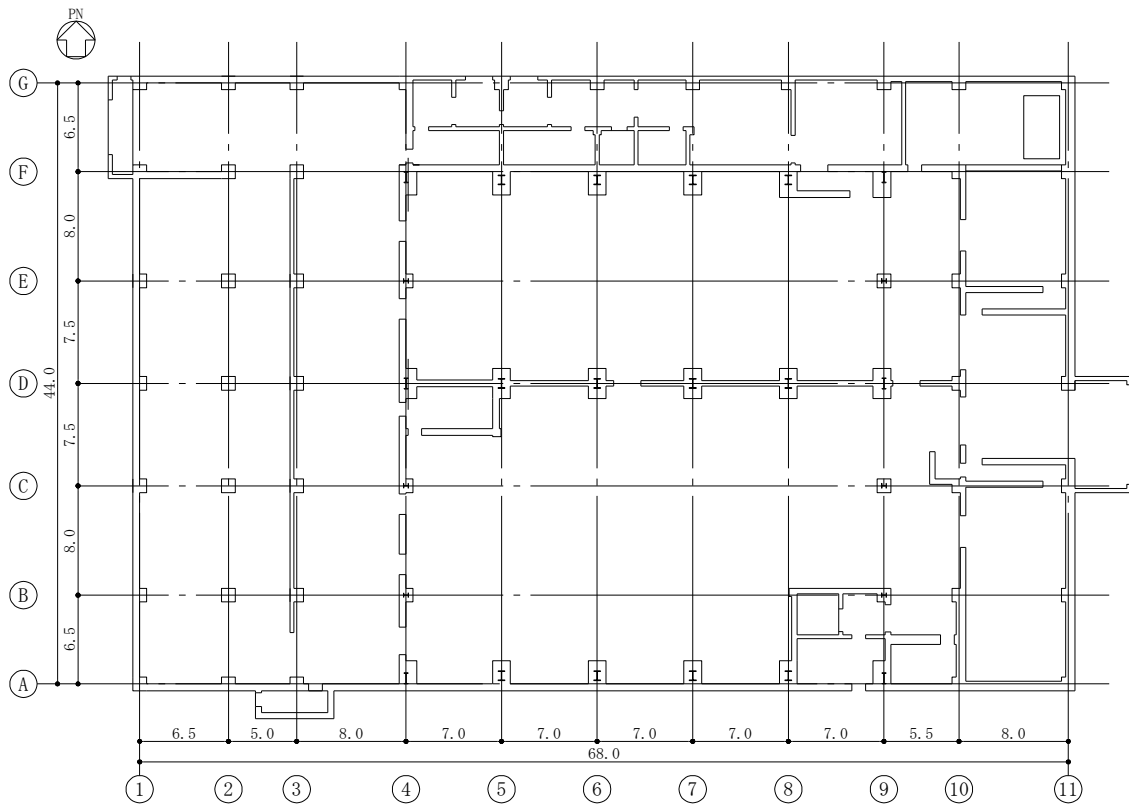


図-1 1階平面図 (G.L. +0.25) (単位 : m)

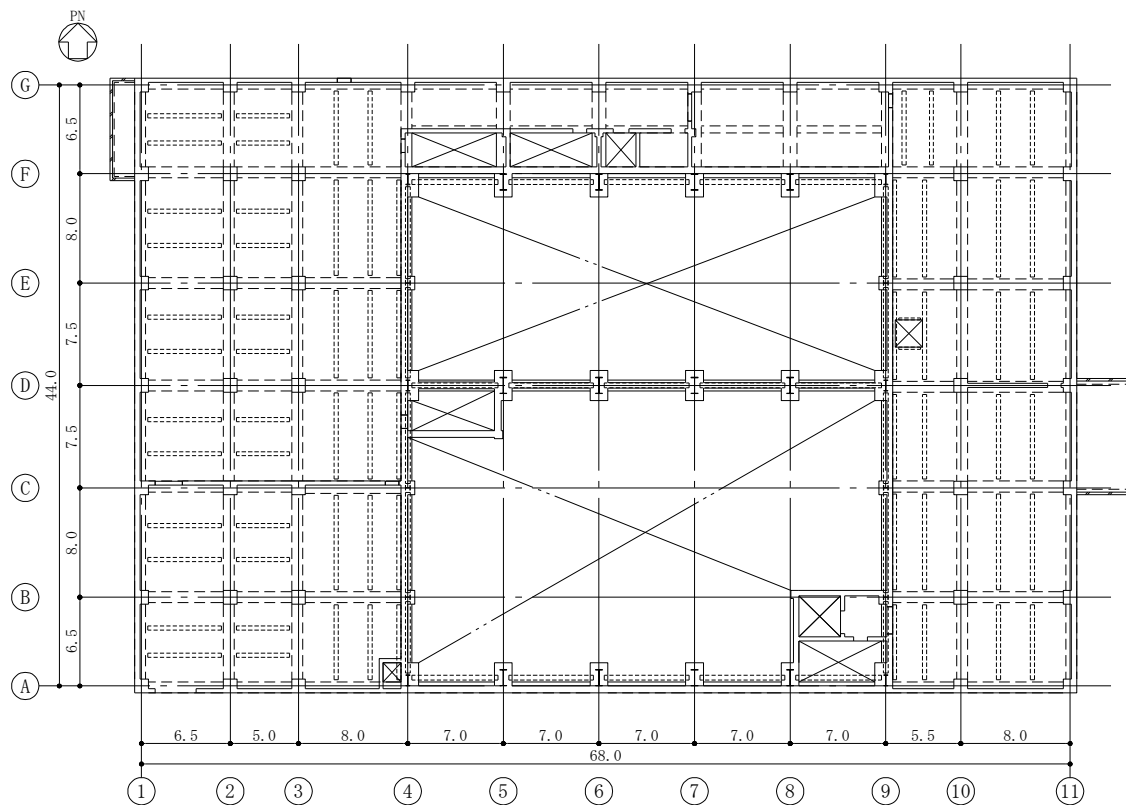


図-2 2階平面図 (G.L. +7.8) (単位 : m)

添付資料-8 では、G.L. ±0m = T.P. 22.2m^(※) とする。
 (※) 2012年6月に実施した測量結果による。

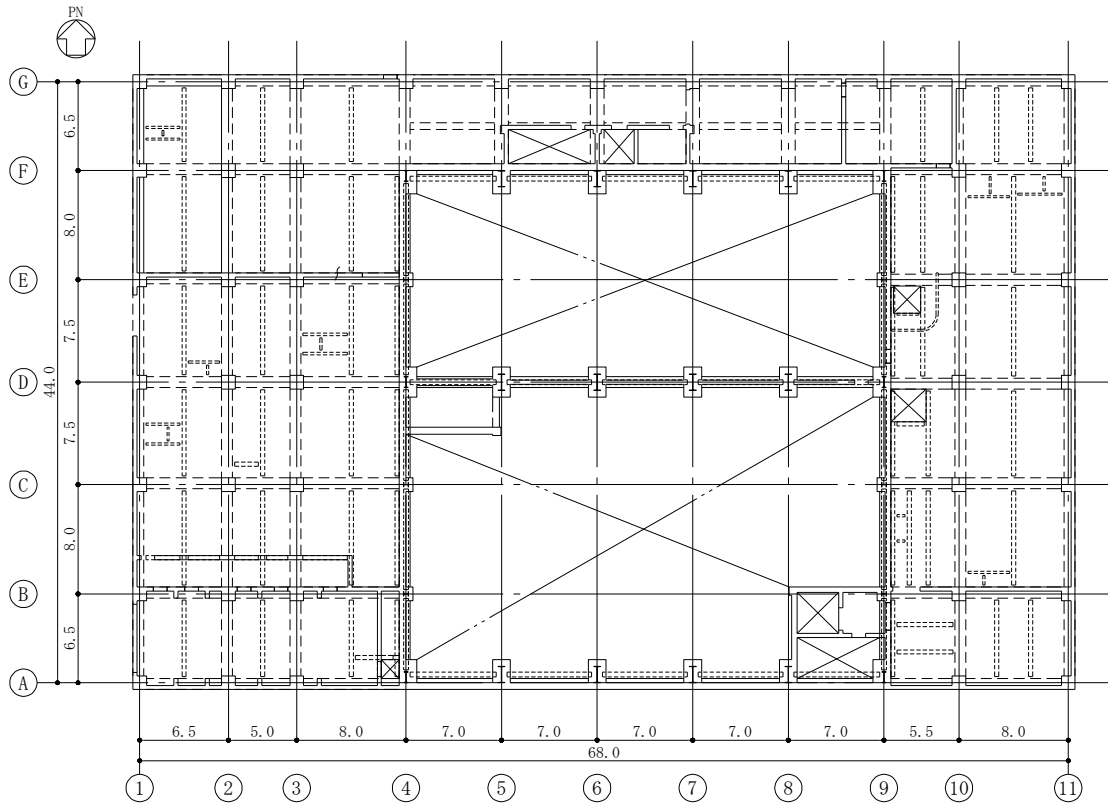


図-3 3階平面図 (G.L.+15.3) (単位:m)

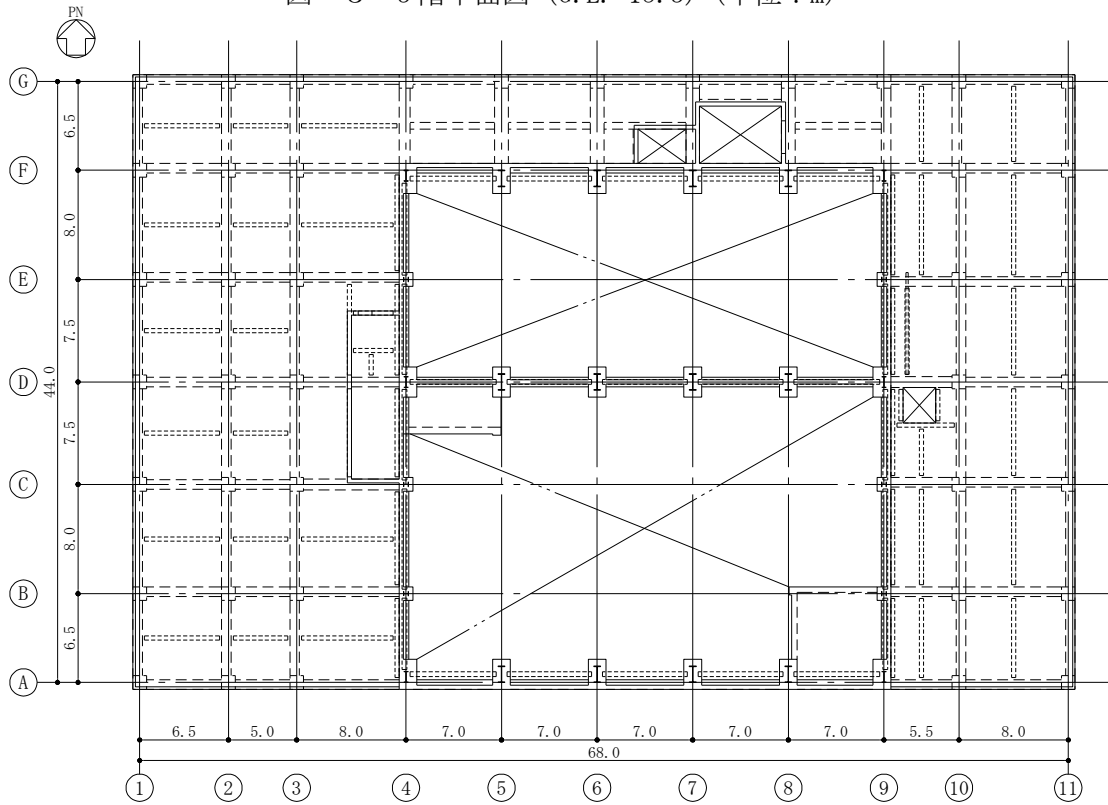


図-4 屋根平面図 (その1) (G.L.+21.3) (単位:m)

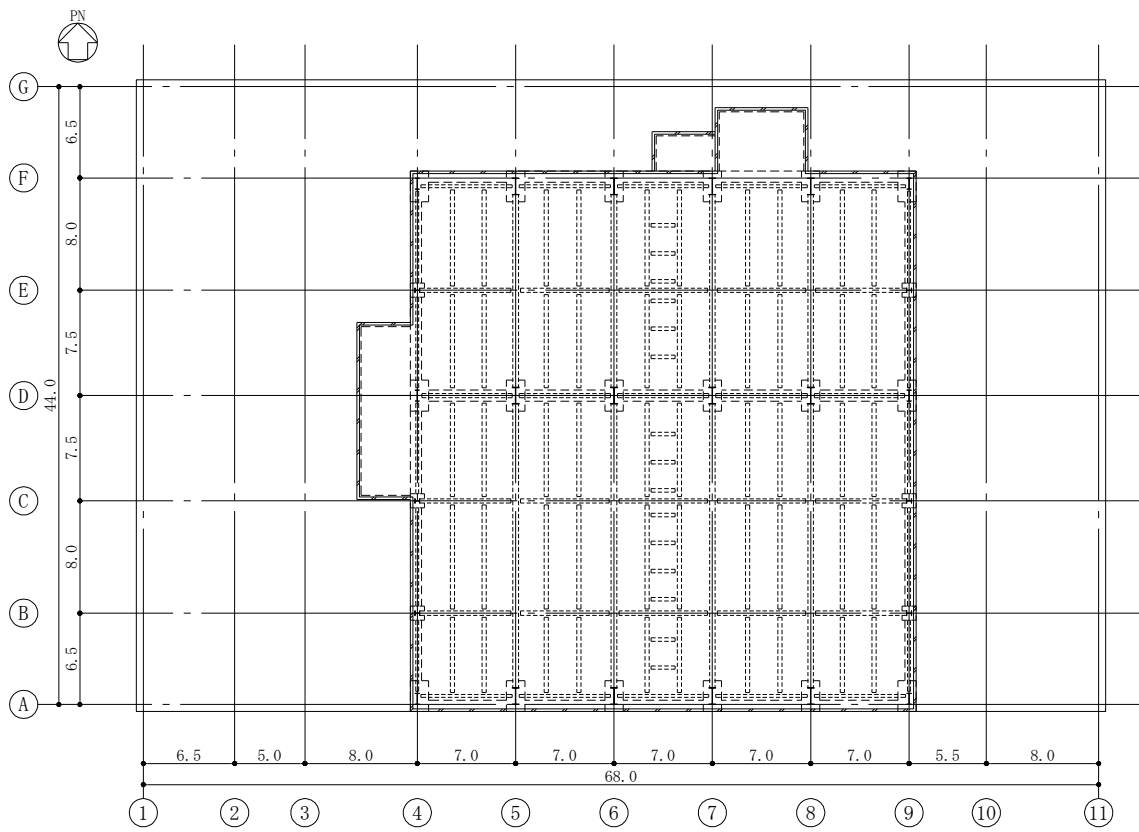


図-5 屋根平面図 (その2) (G. L. +25.8) (単位 : m)

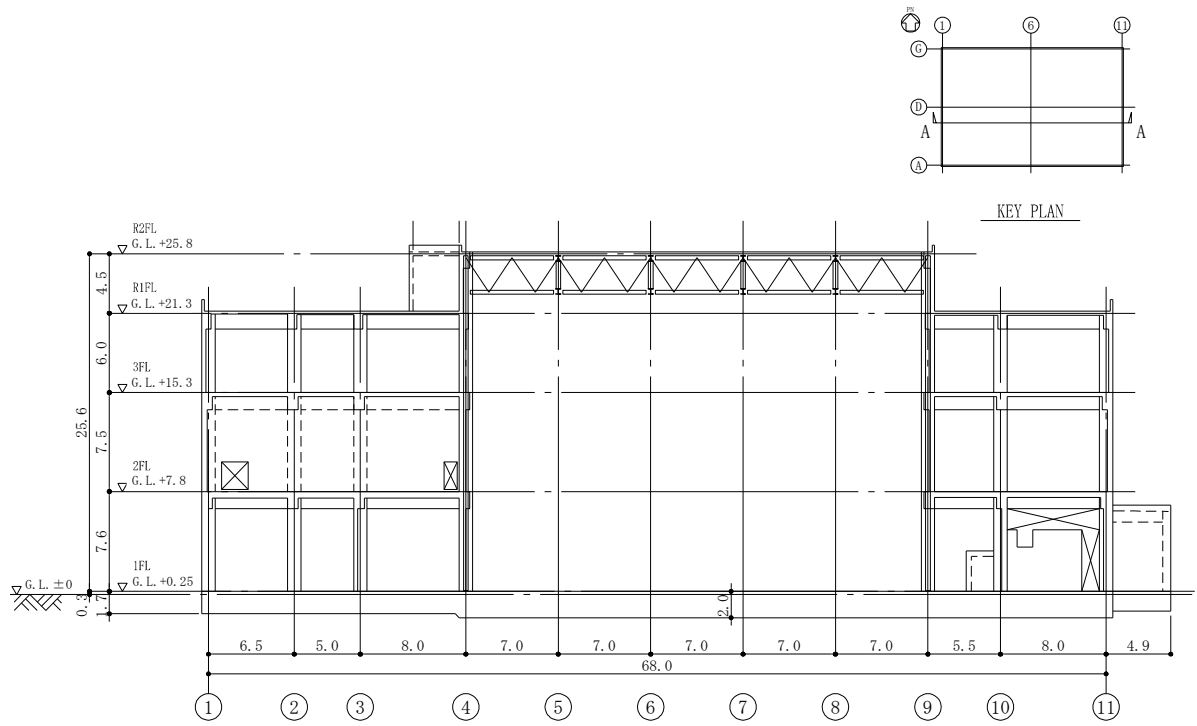


图-6 A-A 断面图 (EW 方向) (单位 : m)

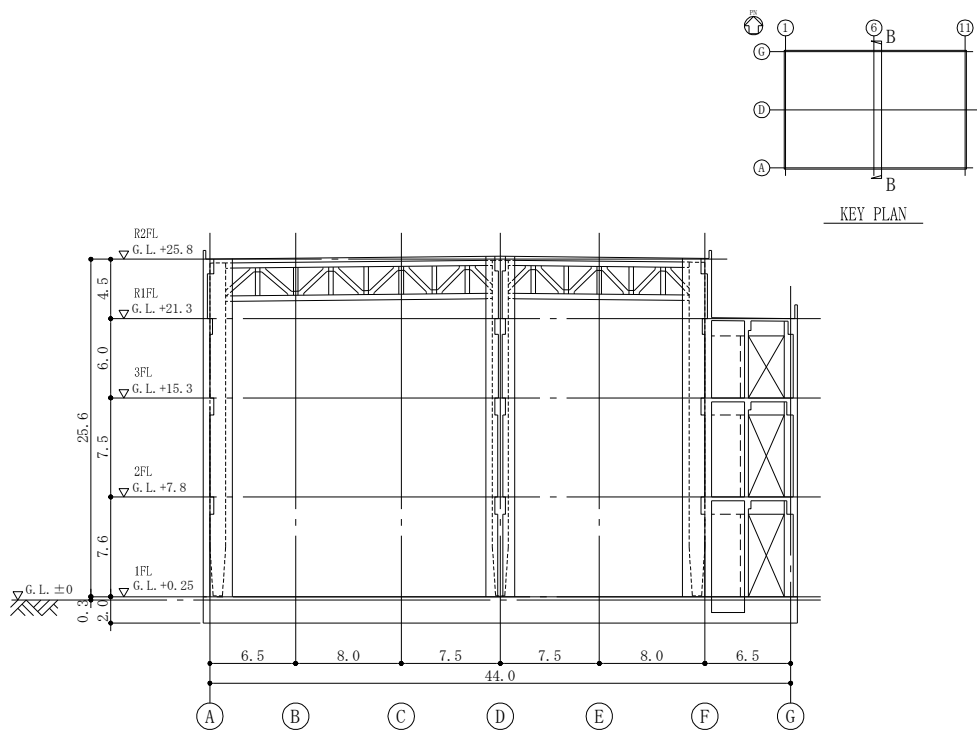
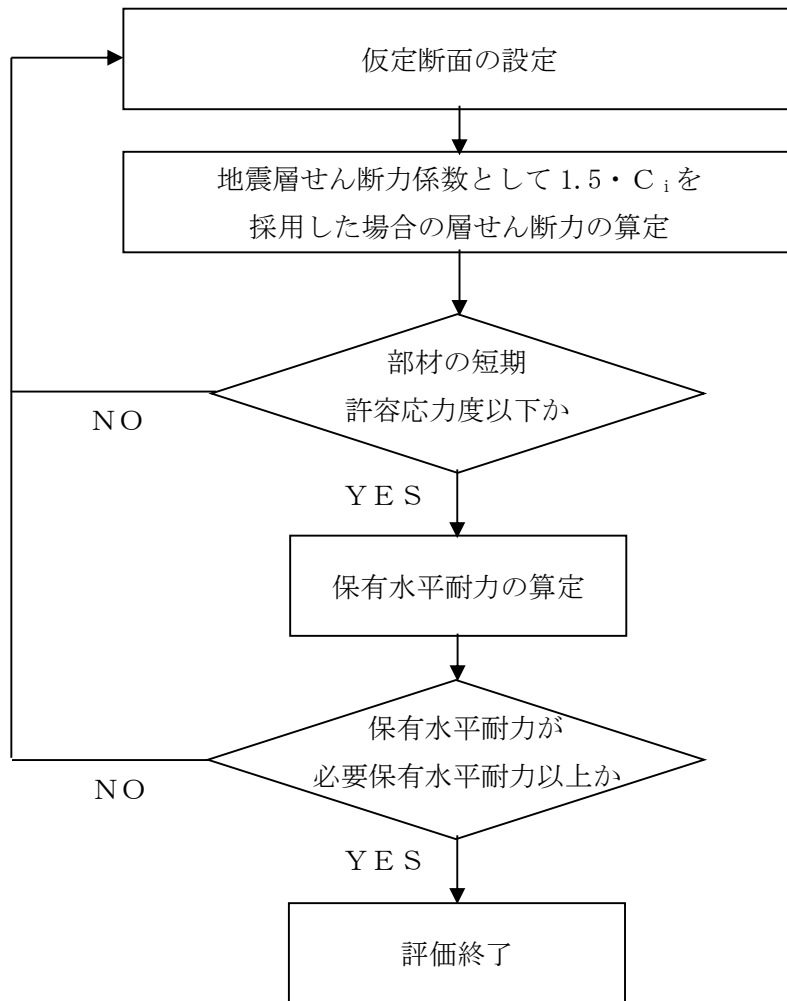


图-7 B-B 断面图 (NS 方向) (单位 : m)



図ー 8 Bクラス施設としての建屋の耐震安全性評価手順

2. 評価条件

2.1 使用材料並びに材料の許容応力度及び材料強度

焼却炉建屋の上部構造及び基礎スラブに用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、コンクリートの設計基準強度 F_c は 27N/mm^2 とする。鉄筋は SD295A 及び SD345 とする。鋼材は SN400B とする。各使用材料の許容応力度及び材料強度を表-1～表-3に示す。

表-1 コンクリートの許容応力度

(単位： N/mm^2)

| | 長期 | | 短期 | |
|------------|----|------|----|------|
| | 圧縮 | せん断 | 圧縮 | せん断 |
| $F_c = 27$ | 9 | 0.76 | 18 | 1.14 |

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-2 鉄筋の許容応力度

(単位： N/mm^2)

| | | 長期 | | 短期 | |
|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| | | 引張及び圧縮 | せん断補強 | 引張及び圧縮 | せん断補強 |
| SD295A | D16 以下 | 195 | 195 | 295 | 295 |
| SD345 | D25 以下 | 215 | 195 | 345 | 345 |
| | D29 以上 | 195 | | | |

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-3 構造用鋼材の許容応力度

(単位： N/mm^2)

| | 材質 | 板厚 | 基準強度 F | 許容応力度 |
|-------|--------|--------------------|----------|--|
| 構造用鋼材 | SN400B | $\leq 40\text{mm}$ | 235 | 「建築基準法」及び「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。 |
| | | $> 40\text{mm}$ | 215 | |

注：日本建築学会「鋼構造設計規準・同解説」による。

2.2 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重 (VL)

鉛直荷重は、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。

2) 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重は、建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30 cm, 単位荷重：20 N/m²/cm

3) 風荷重 (WL)

建築基準法施行令第 87 条、建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：Ⅱ

4) 地震荷重 (SEL)

地震力を算定する際の基準面は、基礎スラブ上端として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。水平地震力は下式により算定し、算定結果を表-4に示す。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$
$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i ：水平地震力 (kN)
- n ：施設の重要度分類に応じた係数 ($n=1.5$)
- C_i ：地震層せん断力係数
- W_i ：当該層以上の重量 (kN)
- Z ：地震地域係数 ($Z=1.0$)
- R_t ：振動特性係数 ($R_t=1.0$)
- A_i ：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数
- C_0 ：標準せん断力係数 ($C_0=0.2$)

表-4 水平地震力の算定結果

| G. L. (m) | 当該層以上の重量 W_i (kN) | 地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$ | 設計用地震力 (kN) |
|--------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| 25.8 | 21552.7 | 0.704 | 15166.5 |
| 21.3 | 78223.2 | 0.480 | 37530.4 |
| 15.3 | 155335.9 | 0.380 | 58975.9 |
| 7.8 | 252179.6 | 0.300 | 75653.9 |
| 0.25 | | | |

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-5に示す。

表-5 荷重の組合せ

| 荷重状態 | 荷重ケース | 荷重の組合せ | 許容応力度 |
|------|-------|---------------|-------|
| 常時 | A | VL | 長期 |
| 積雪時 | B | VL+SNL | 短期 |
| 地震時 | C1 | VL+SEL(W→E方向) | |
| | C2 | VL+SEL(E→W方向) | |
| | C3 | VL+SEL(S→N方向) | |
| | C4 | VL+SEL(N→S方向) | |

注1：鉛直荷重（VL）は固定荷重（DL）、配管荷重（PL）、機器荷重（EL）及び積載荷重（LL）を加え合わせたものである。

注2：風荷重（WL）は地震荷重（設計用地震力 $1.5 \cdot C_i$ ）に比べて小さいため、荷重の組合せにおいては地震荷重によって代表させる。

3. 評価結果

上部構造の応力解析は、大ばり及び柱を線材置換したフレームで、耐震壁は壁エレメント置換した立体モデルにより行う。

3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁のせん断応力度を基に、地震時のせん断力をすべて鉄筋が負担するものとして求めた鉄筋の応力度を、鉄筋の短期許容応力度と比較して、検定比の最大となる部位について表-6に示す。耐震壁配筋図を図-9に示す。

これより、耐震壁のせん断による鉄筋の応力度は、短期許容応力度以下となっていることを確認した。

表-6 耐震壁の検討結果

| 部位 | 断面 | 荷重ケース | 鉄筋のせん断 応力度 (N/mm ²) | 鉄筋の短期許容 応力度 (N/mm ²) | 検定比 |
|-----------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------------|--|------------|
| 2階1通り D~E通り間 | 壁厚 400mm タテ,ヨコ共 2-D16@200 | 地震時 C3 | 268 | 295 | 0.91 ≤ 1.0 |

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

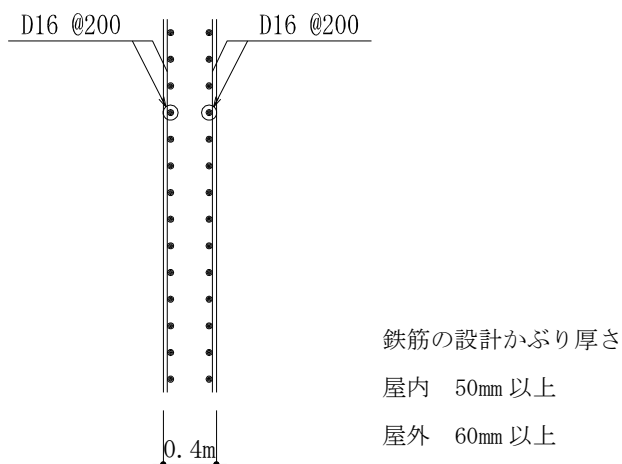


図-9 耐震壁の配筋図

3.2 ラーメン構造部の評価結果

検討により求められたフレーム部材の応力を許容応力と比較して、検定比の最大となる部位について表-7～表-9に示す。

これより、各部材の応力は、許容応力以下となっていることを確認した。

表-7 大ばり断面算定表（鉄筋コンクリート）

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|---------------------------|---|-----------|---------|-------------|-------------|------------|
| R1階 D通り 3～4 通り間 | B×D =800×1200 主筋上端 12-D32 主筋下端 12-D32 あばら筋 5-D13@200 | 常時 A | 曲げモーメント | 1353.8 kN・m | 1642.3 kN・m | 0.83 ≤ 1.0 |
| | | | せん断力 | 822.5 kN | 979.1 kN | 0.84 ≤ 1.0 |
| 2階 C通り 10～11 通り間 | B×D =800×1300 主筋上端 8-D32 主筋下端 8-D32 あばら筋 4-D13@200 | 地震時 C1 | 曲げモーメント | 607.5 kN・m | 2203.2 kN・m | 0.28 ≤ 1.0 |
| | | | せん断力 | 792.7 kN | 1056.3 kN | 0.76 ≤ 1.0 |

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表-8 柱断面算定表（鉄筋コンクリート）

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 応力 | 作用応力 | 許容応力 | 検定比 |
|-------------|--|-----------|---------|-------------|--------------------------------------|------------|
| 3階 4/C通り | B×D =1000×1000 主筋 20-D32 帯筋 4-4-D13@100 | 常時 A | 曲げモーメント | 520.3 kN・m | 965.3 kN・m (軸力 577.3 kN 作用時*) | 0.54 ≤ 1.0 |
| | | | せん断力 | 135.4 kN | 598.5 kN | 0.23 ≤ 1.0 |
| 1階 4/A通り | B×D =1300×2200 主筋 34-D35 帯筋 5-4-D16@200 | 地震時 C3 | 曲げモーメント | 3821.7 kN・m | 6130.0 kN・m (軸力-246.9 kN 作用時*) | 0.63 ≤ 1.0 |
| | | | せん断力 | 1542.2 kN | 3069.9 kN | 0.51 ≤ 1.0 |

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

注記*：圧縮を正とする。

表-9 トラス部材断面算定表 (鉄骨)

| 検討箇所 | 断面 | 荷重ケース | 圧縮応力度* (N/mm ²) | 許容圧縮応力度 (N/mm ²) | 検定比 |
|-------------------------|---------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------------|------------|
| 6通り, C~D通り間 D通り側(斜材) | H-350×350 ×12×19 | 常時 A | 77.30 | 134.45 | 0.58 ≤ 1.0 |
| 6通り, C~D通り間 C通り側(斜材) | H-300×300 ×10×15 | 地震時 C4 | 87.17 | 207.26 | 0.43 ≤ 1.0 |

注：日本建築学会「鋼構造設計規準・同解説」による。

注記*：圧縮を正とする。

3.3 基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは、四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

必要鉄筋比及び面外せん断力について、検定比が最大となる要素の断面検討結果を表-10及び表-11に示す。基礎スラブ配筋図を図-10に示す。

これより、設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り、また面外せん断力は短期許容せん断力以下となっていることを確認した。

表-10 軸力及び曲げモーメントに対する検討結果

| 荷重 ケース | 応 力 | | 必要鉄筋比 (%) | 設計鉄筋比 (%) | 検定比 |
|-----------|----------------|---------------------|--------------|--------------|-----------------|
| | 軸 力* (kN/m) | 曲げモーメント (kN・m/m) | | | |
| 常時 A | -1 | 2561 | 0.44 | 0.57 | $0.78 \leq 1.0$ |
| 地震時 C1 | -242 | 2008 | 0.30 | 0.50 | $0.60 \leq 1.0$ |

注記*：圧縮を正とする。

表-11 面外せん断力に対する検討結果

| 荷重 ケース | 応 力 面外せん断力 (kN/m) | 短期許容 せん断力 (kN/m) | 検定比 |
|-----------|----------------------|---------------------|-----------------|
| 常時 A | 605 | 904 | $0.67 \leq 1.0$ |
| 地震時 C2 | 858 | 1356 | $0.64 \leq 1.0$ |

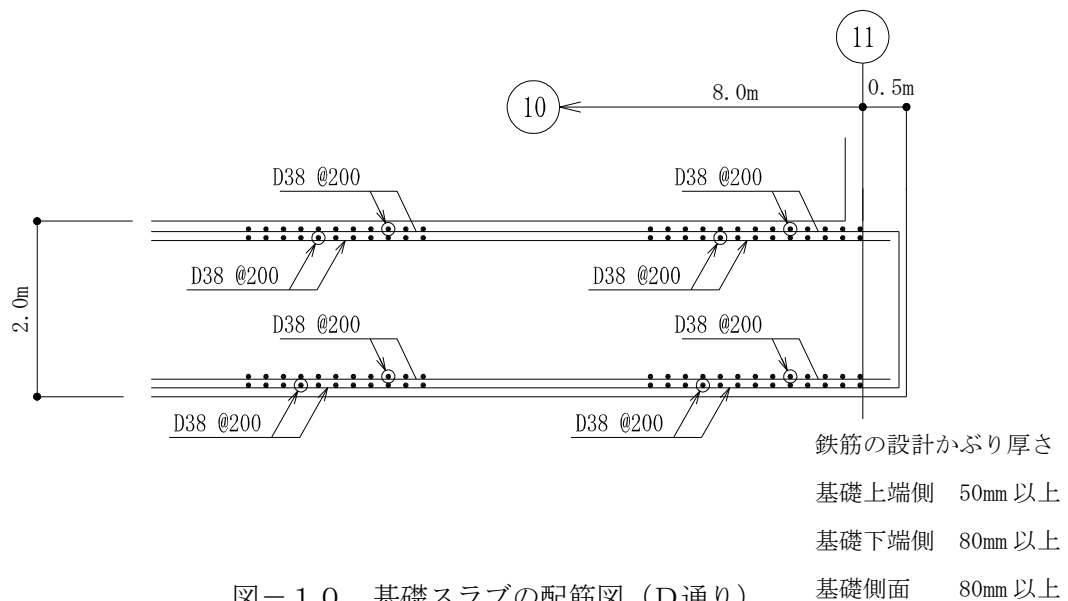


図-10 基礎スラブの配筋図 (D通り)

3.4 改良地盤の評価結果

(1) 設計方針

焼却炉建屋を支持する改良地盤は、基礎スラブ直下の地盤を南北方向に約 45m、東西方向に約 69m、改良体厚さ約 10m とし、G.L. -12m の泥岩に支持する。

検討は「改定版 建築物のための改良地盤設計及び品質管理指針 日本建築センター」に準拠し、改良地盤の支持力に対して、常時及び地震時の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。さらに、常時及び地震時の改良体に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認する。

(2) 常時における改良地盤の検討

常時における改良地盤に生じる最大応力と許容応力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-12及び表-13に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認した。

表-12 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

| 検討位置 | 接地圧 (kN/m ²) | 許容支持力度 (kN/m ²) | 検定比 |
|----------|-----------------------------|--------------------------------|------------|
| C / 4 通り | 196 | 322 | 0.61 ≤ 1.0 |

表-13 改良体の許容圧縮応力と鉛直応力の比較

| 検討位置 | 鉛直応力度 (kN/m ²) | 許容圧縮応力度 (kN/m ²) | 検定比 |
|----------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| C / 4 通り | 380 | 500 | 0.77 ≤ 1.0 |

(3) 地震時における改良地盤の検討

地震時における改良地盤に生じる最大応力と許容応力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-14～表-16に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容応力度以下であることを確認した。

表-14 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

| 検討位置 | 接地圧 (kN/m ²) | 許容支持力度 (kN/m ²) | 検定比 |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|------------|
| A/11通り | 610 | 963 | 0.64 ≤ 1.0 |

表-15 改良体の許容圧縮応力と鉛直応力の比較

| 検討位置 | 鉛直応力度 (kN/m ²) | 許容圧縮応力度 (kN/m ²) | 検定比 |
|--------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| A/11通り | 642 | 1000 | 0.65 ≤ 1.0 |

表-16 改良体の許容せん断応力度とせん断応力の比較

| 検討位置 | せん断応力 (kN/m ²) | 許容せん断応力度 (kN/m ²) | 検定比 |
|--------|-------------------------------|----------------------------------|------------|
| A/11通り | 336 | 351 | 0.96 ≤ 1.0 |

4. 保有水平耐力の検討

必要保有水平耐力 (Q_{un}) に対して、保有水平耐力 (Q_u) が上回っていることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法・同施行令及び平成 19 年国土交通省告示第 594 号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-17 に示す。

これより、焼却炉建屋は必要保有水平耐力の 1.644 倍以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-17 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1) EW 方向 (長辺)

| G. L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | $\frac{Q_u}{Q_{un}}^*$ |
|--------------|---------------------------|----------------------|------------------------|
| 21.3~25.8 | 27805.2 | 54894.9 | 1.974 |
| 15.3~21.3 | 68805.8 | 135840.8 | 1.974 |
| 7.8~15.3 | 108122.4 | 213462.2 | 1.974 |
| 0.25~7.8 | 138698.8 | 273828.1 | 1.974 |

(2) NS 方向 (短辺)

| G. L. (m) | 必要保有水平耐力 Q_{un} (kN) | 保有水平耐力 Q_u (kN) | $\frac{Q_u}{Q_{un}}^*$ |
|--------------|---------------------------|----------------------|------------------------|
| 21.3~25.8 | 27805.2 | 45715.7 | 1.644 |
| 15.3~21.3 | 68805.8 | 113126.4 | 1.644 |
| 7.8~15.3 | 108122.4 | 177768.5 | 1.644 |
| 0.25~7.8 | 138698.8 | 228040.4 | 1.644 |

注記* : 安全余裕

以上のことから、焼却炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面

1. 安全避難通路の設置方針

焼却炉建屋には、廃棄物の分別、焼却炉運転及び定期的な放射線測定、建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令並びに消防法及び関係法令に基づく安全避難通路を設定する。

避難経路を、図－ 1 に示す。

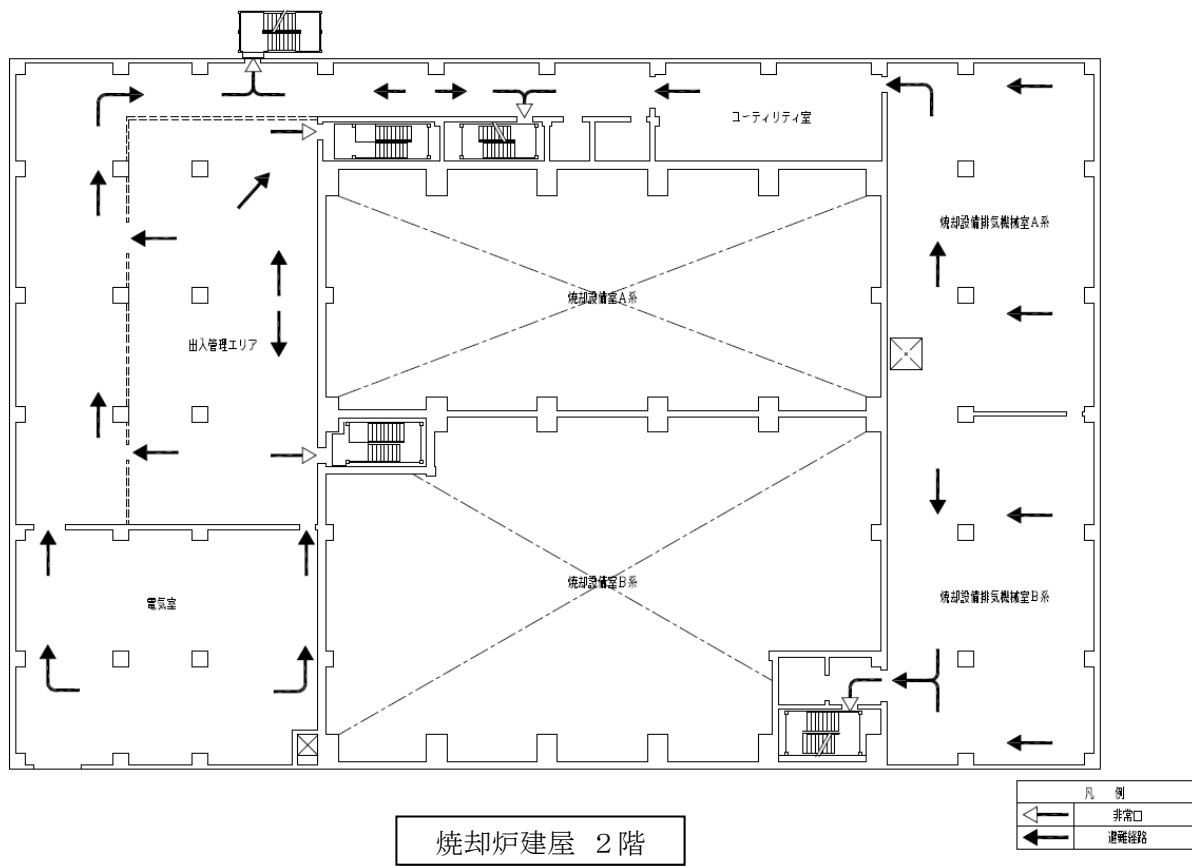
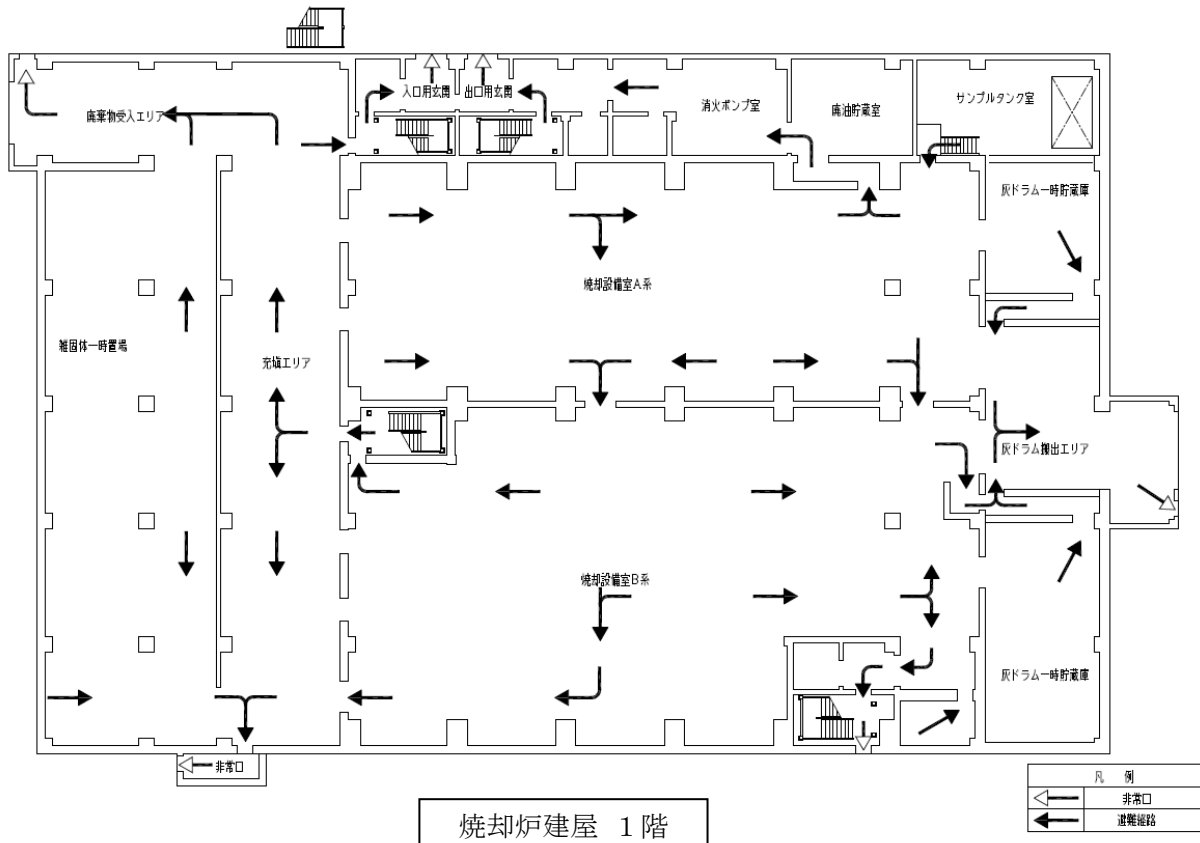
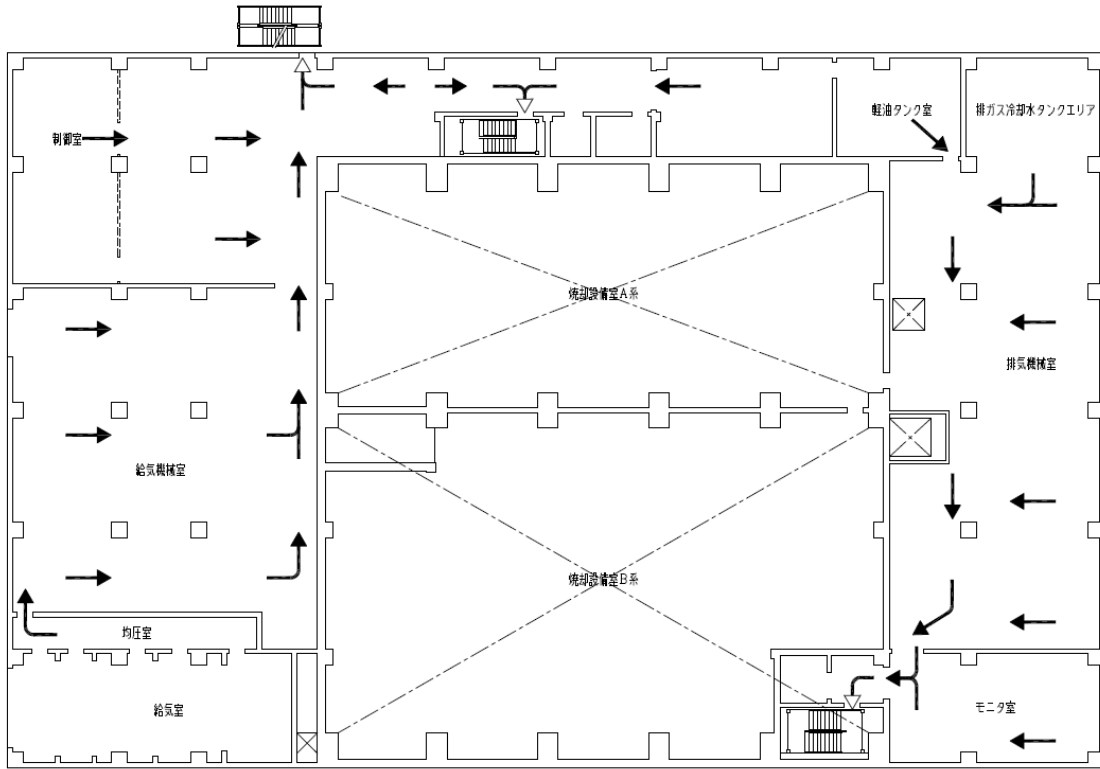
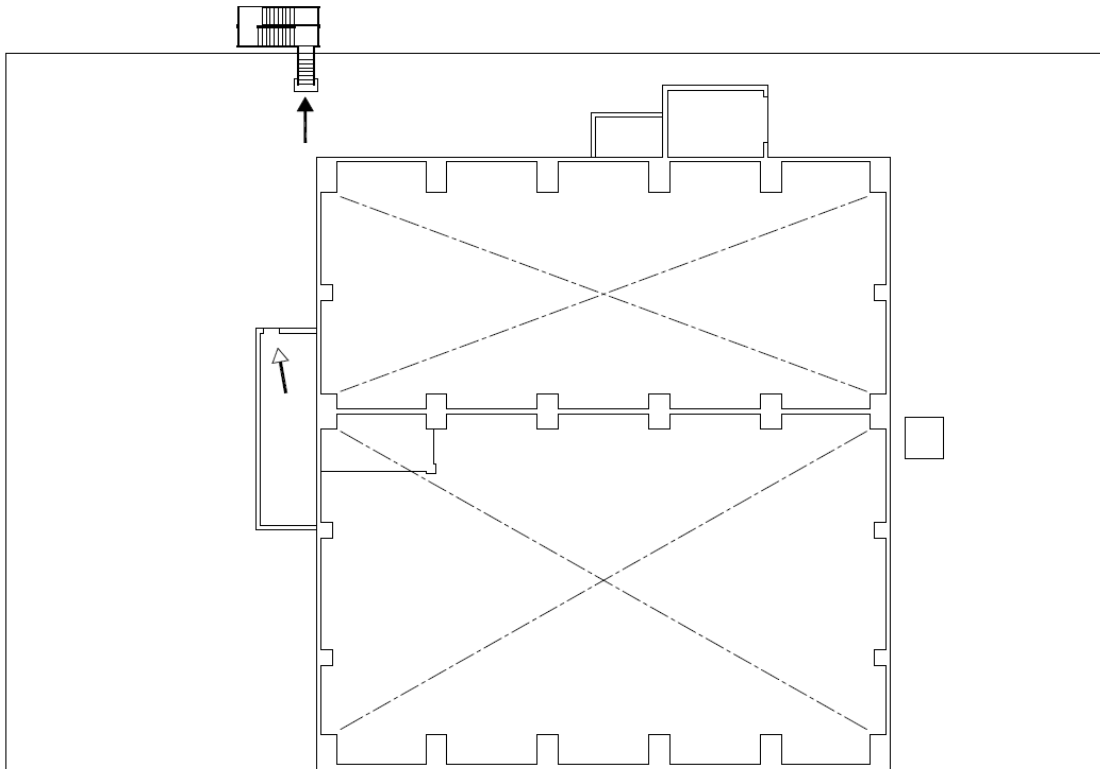


図-1 安全避難通路を明示した図面 (1 / 2)



焼却炉建屋 3階

| 凡 例 | |
|-----|------|
| ◀ | 非常口 |
| ➡ | 避難経路 |



焼却炉建屋 屋上階

| 凡 例 | |
|-----|------|
| ◀ | 非常口 |
| ➡ | 避難経路 |

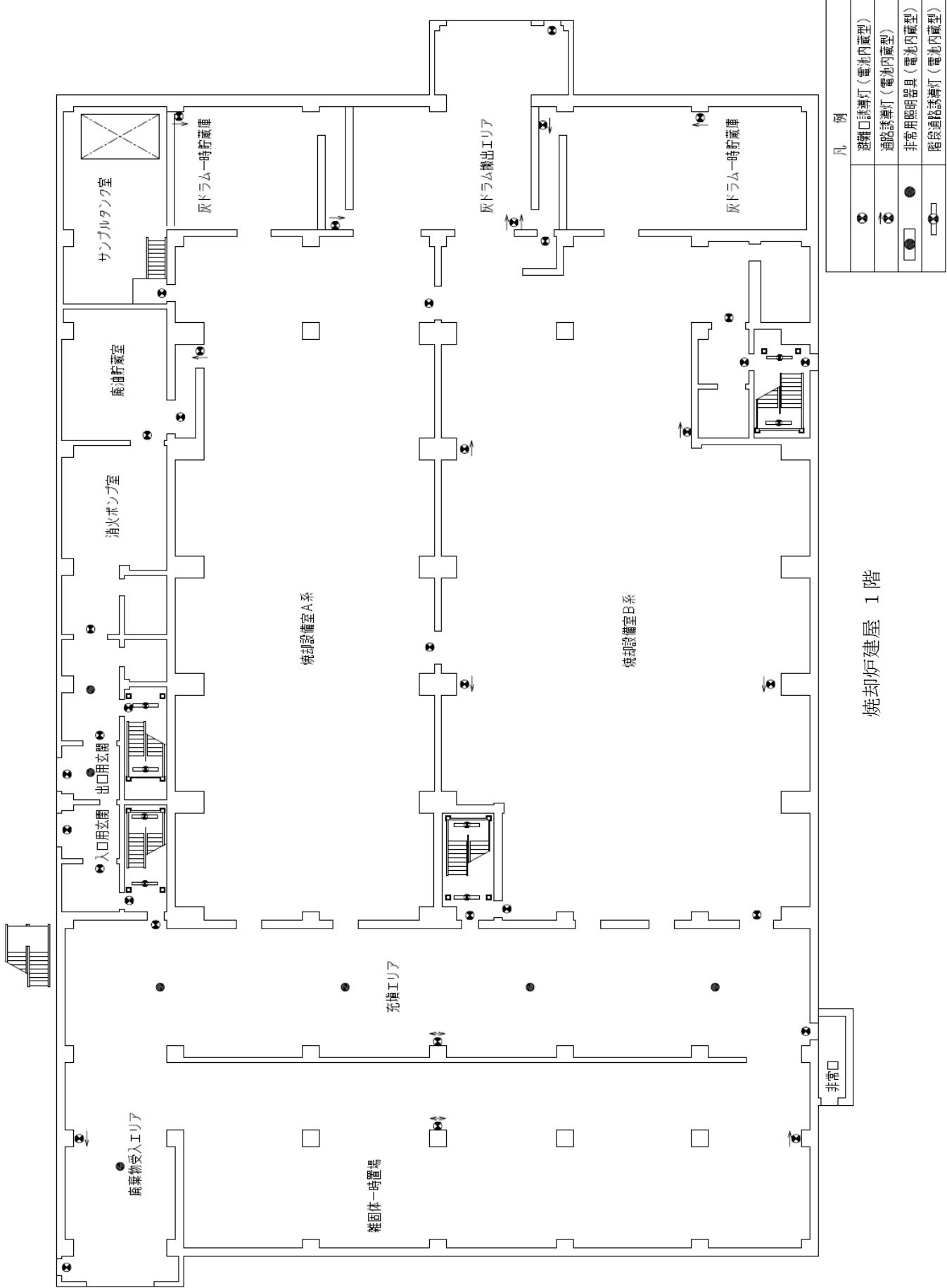
図-1 安全避難通路を明示した図面 (2 / 2)

非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面

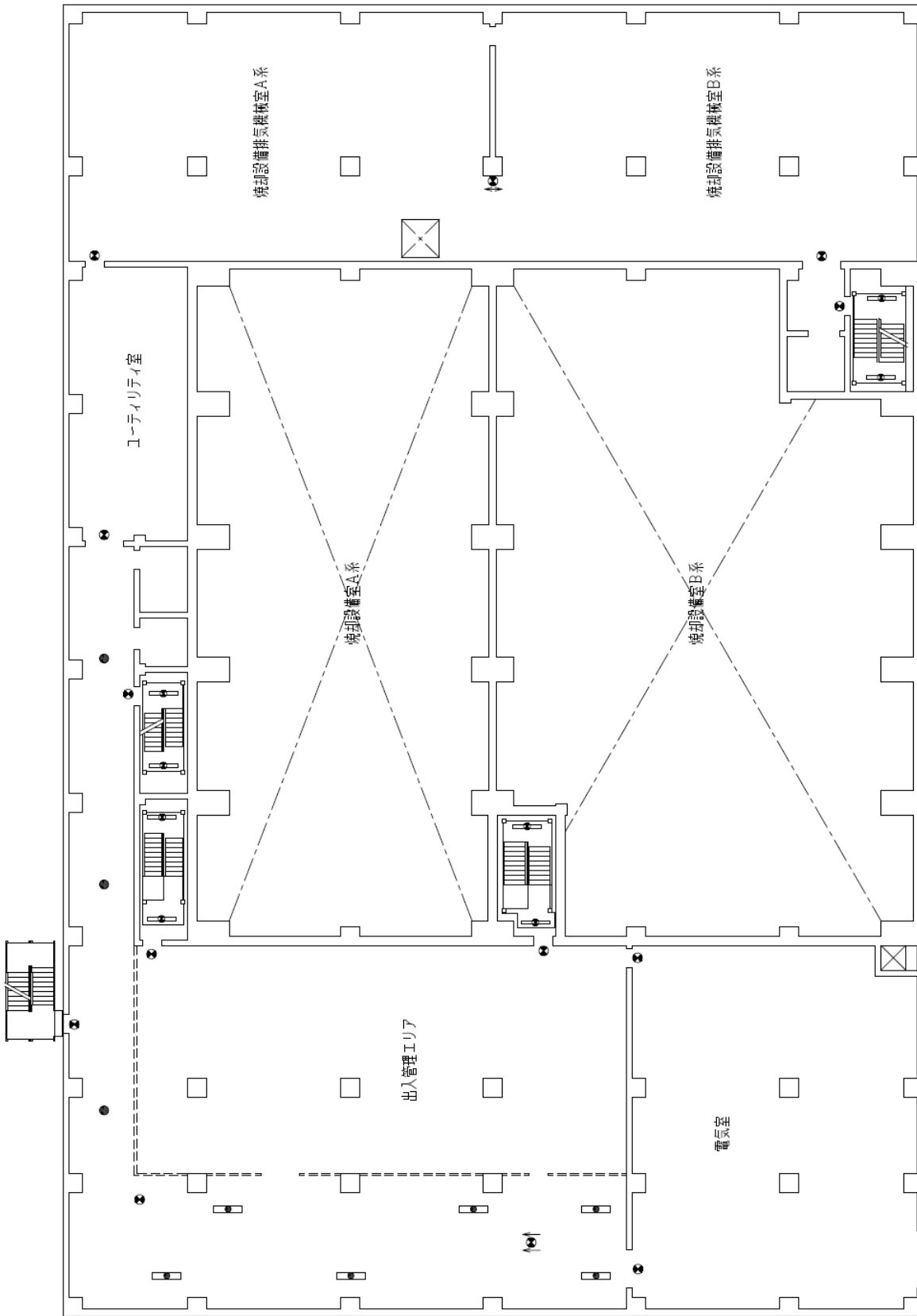
1. 非常用照明の設置方針

焼却炉建屋には、廃棄物の分別、焼却炉運転及び定期的な放射線測定、建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令に基づく非常用の照明装置、並びに消防法及び関係法令に基づく誘導灯を設置する。

非常用照明の取付箇所について、図－1に示す。



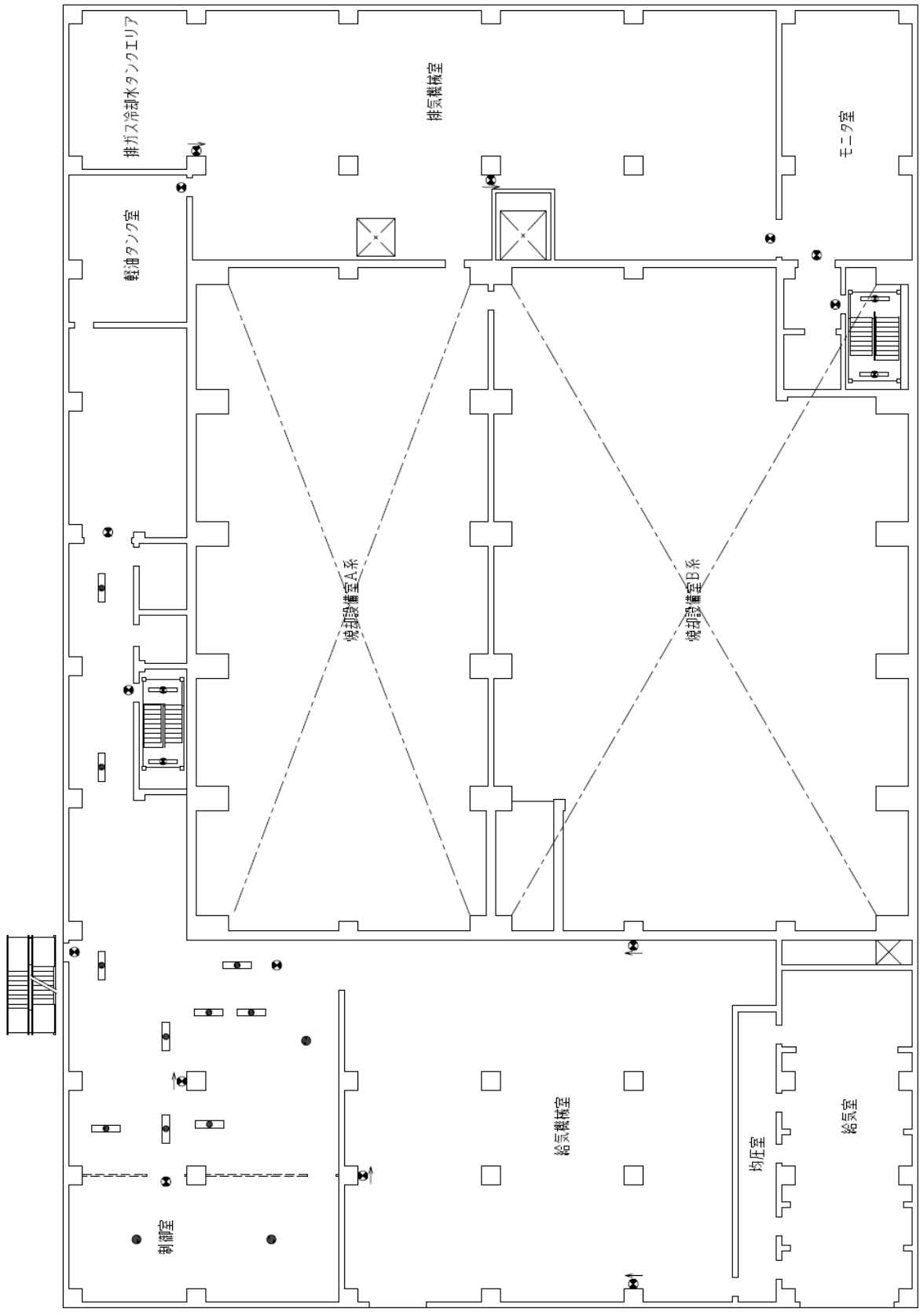
図一1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (1 / 4)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

焼却炉建屋 2階

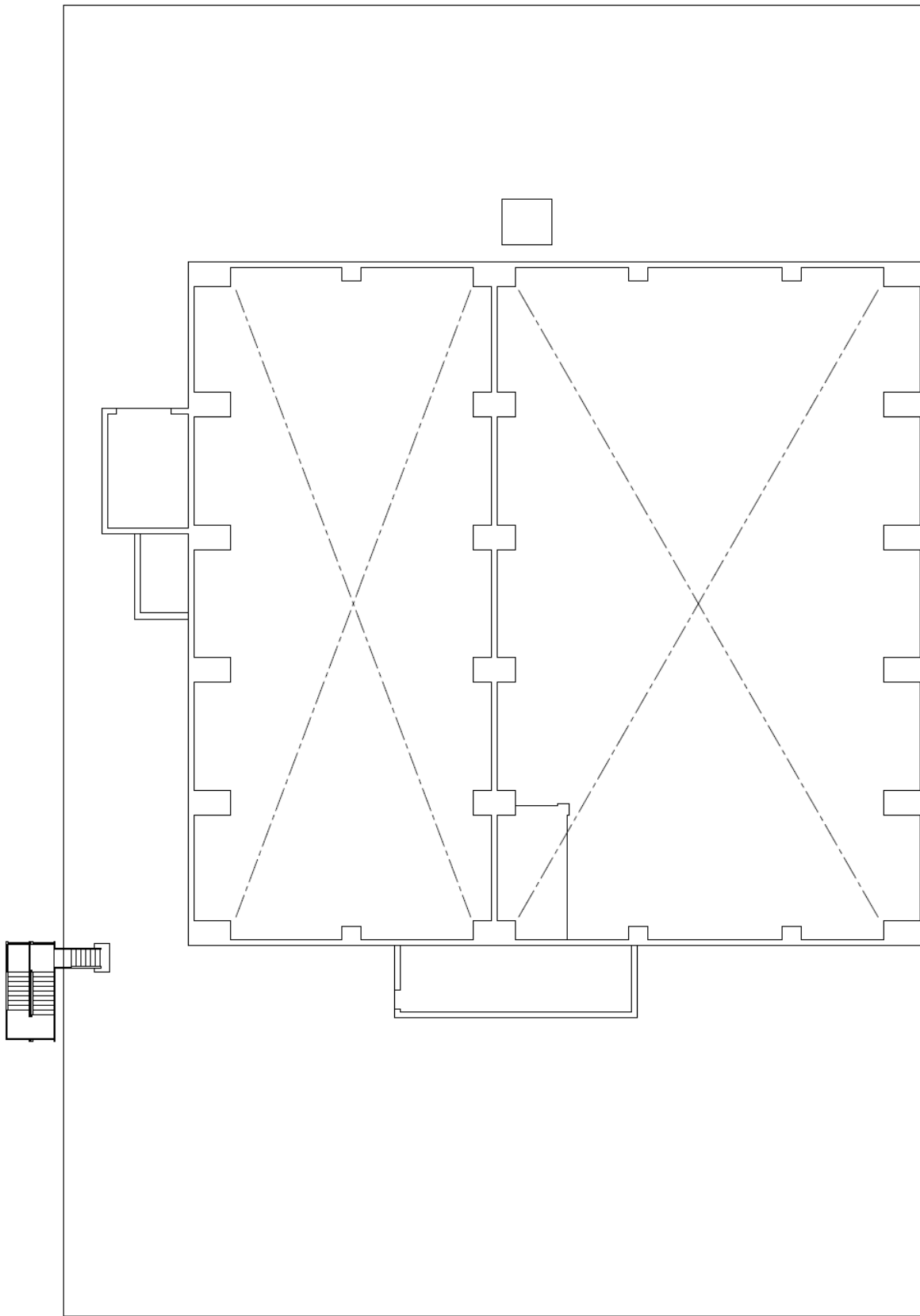
図一1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (2 / 4)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ● | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ○ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| □ | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| ○ | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

焼却炉建屋 3階

図一1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (3 / 4)



| 凡 例 | |
|-----|-----------------|
| ● | 避難口誘導灯 (電池内蔵型) |
| ○ | 通路誘導灯 (電池内蔵型) |
| □ | 非常用照明器具 (電池内蔵型) |
| □ | 階段通路誘導灯 (電池内蔵型) |

焼却炉建屋 屋上階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (4 / 4)

火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面

1. 火災防護に関する基本方針

雑固体廃棄物焼却設備（以下、「本設備」という。）は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の3方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

2. 火災の発生防止

2.1 不燃性材料，難燃性材料の使用

本設備では、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。

2.2 発火性，引火性材料の予防措置

通常運転時のもとより、異常状態においても火災の発生を防止するための予防措置を講じる。

発火性又は引火性液体を内包する設備については、溶接構造，シール構造等とし、液面監視等により、漏えいの早期発見を図る。また、その内蔵量を運転上の要求に見合う最低量に抑える設計とする。

2.3 自然現象による火災発生防止

本設備の構築物，系統及び機器は、落雷，地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とし、建築基準法に従い避雷設備を設置する。

本設備は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）（以下、「耐震設計審査指針」という。）に従い設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する設計とする。

3. 火災の検知及び消火

3.1 火災検出設備及び消火設備

火災検出設備及び消火設備は、本設備に対する火災の悪影響を限定し、早期消火を行える消防法に基づいた設計とする。

消火設備は、消火栓設備及び二酸化炭素消火設備並びに消火器で構成する。消火用水の専用水源として、本設備建屋内に貯水槽を設置する。

3.2 自然現象に対する消火装置の性能維持

火災検出設備及び消火設備は地震等の自然現象によっても、その性能が著しく阻害されることがないように措置を講じる。消火設備は、消防法に基づいた設計とし、耐震設計は耐震設計審査指針に基づき、耐震設計上の重要度分類をCクラスとして評価を行う。

4. 火災の影響の軽減

本設備は、隣接区域の火災による影響も含めた火災の影響を軽減するため、耐火壁、隔壁、間隔及び消火設備の組み合わせにより、防火区画を設定する。

5. 消火設備の取付箇所を明示した図面

消火設備の取付箇所について、図－1 に示す。

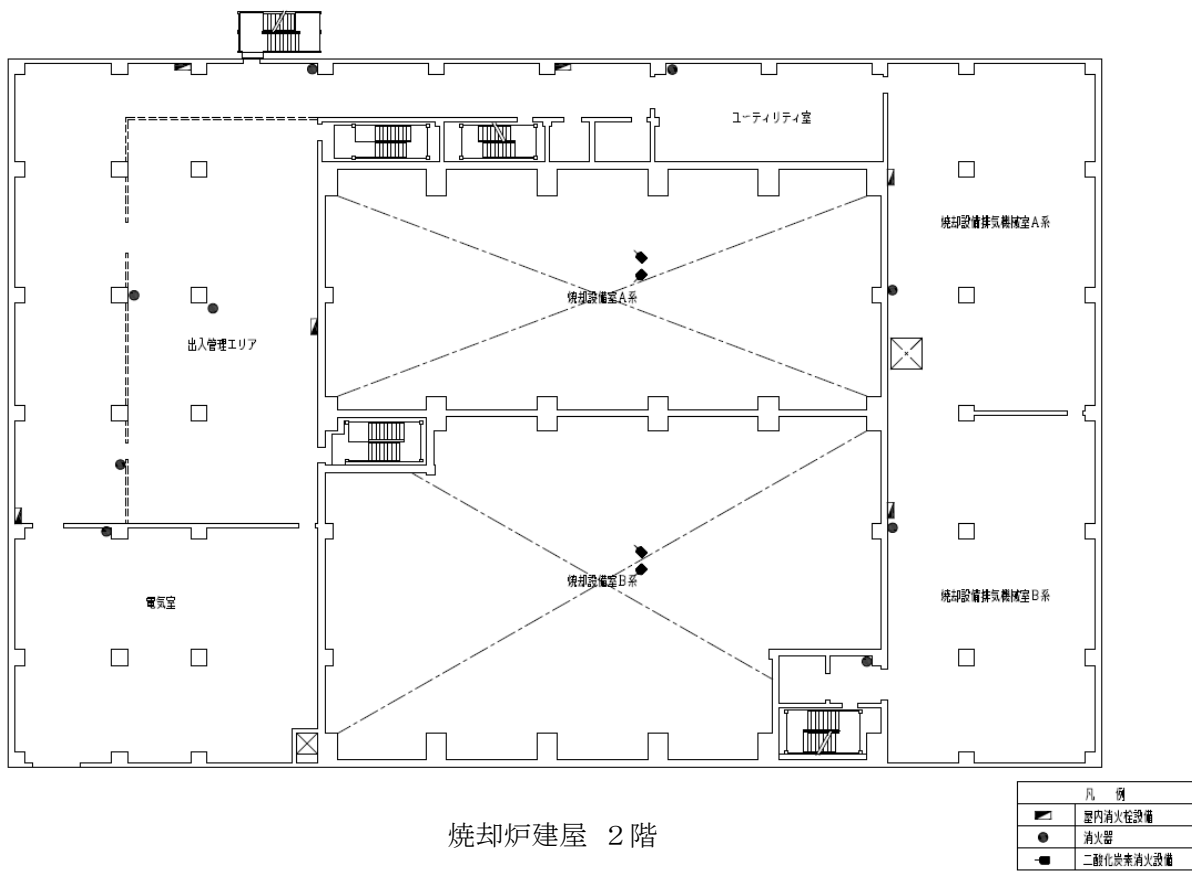
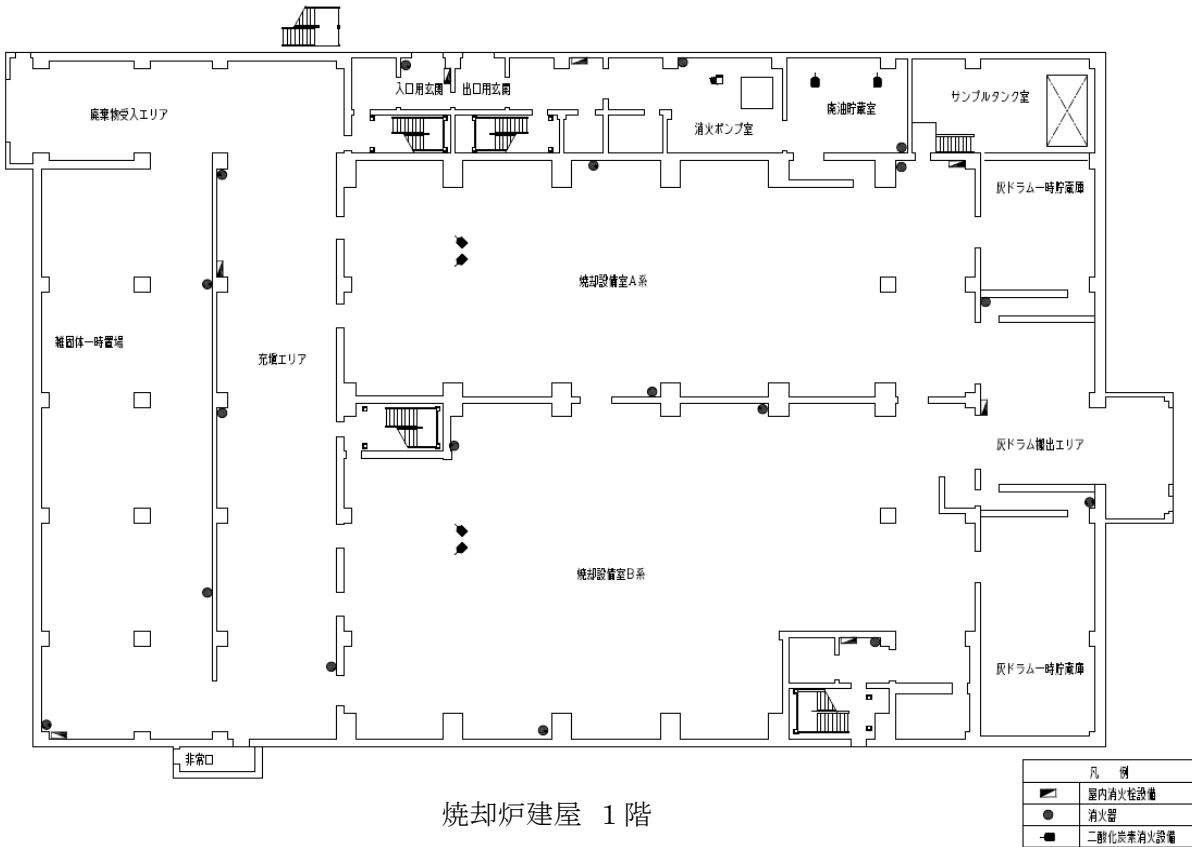
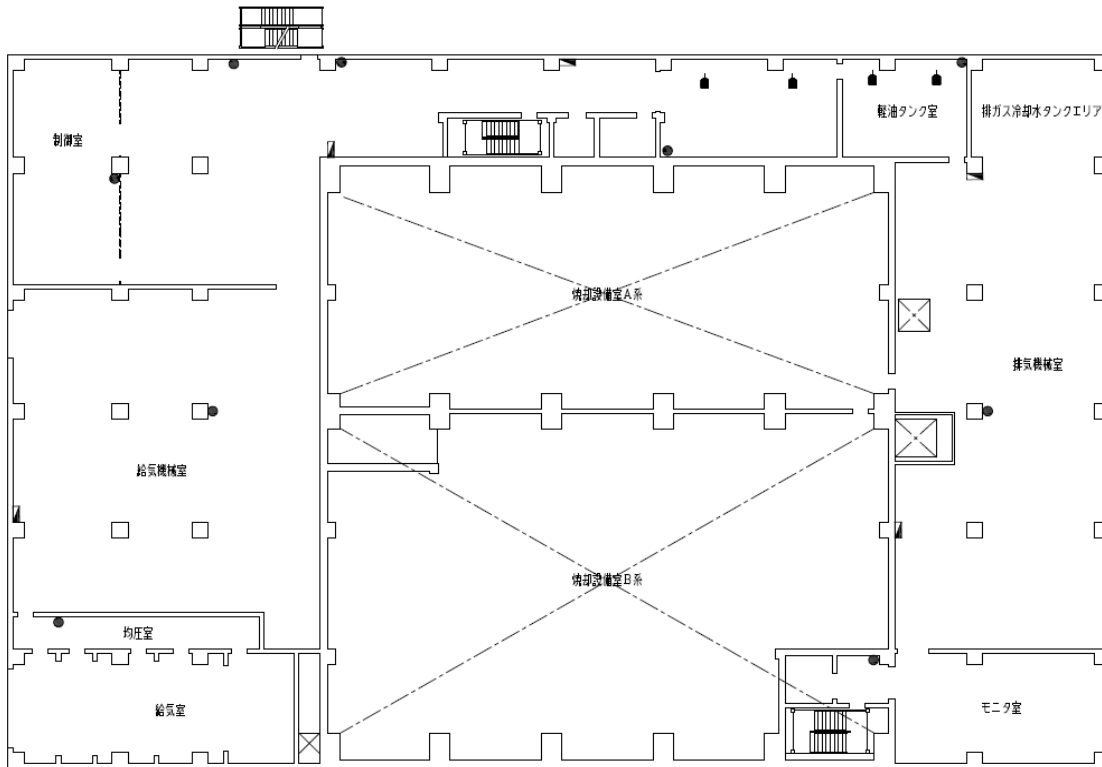
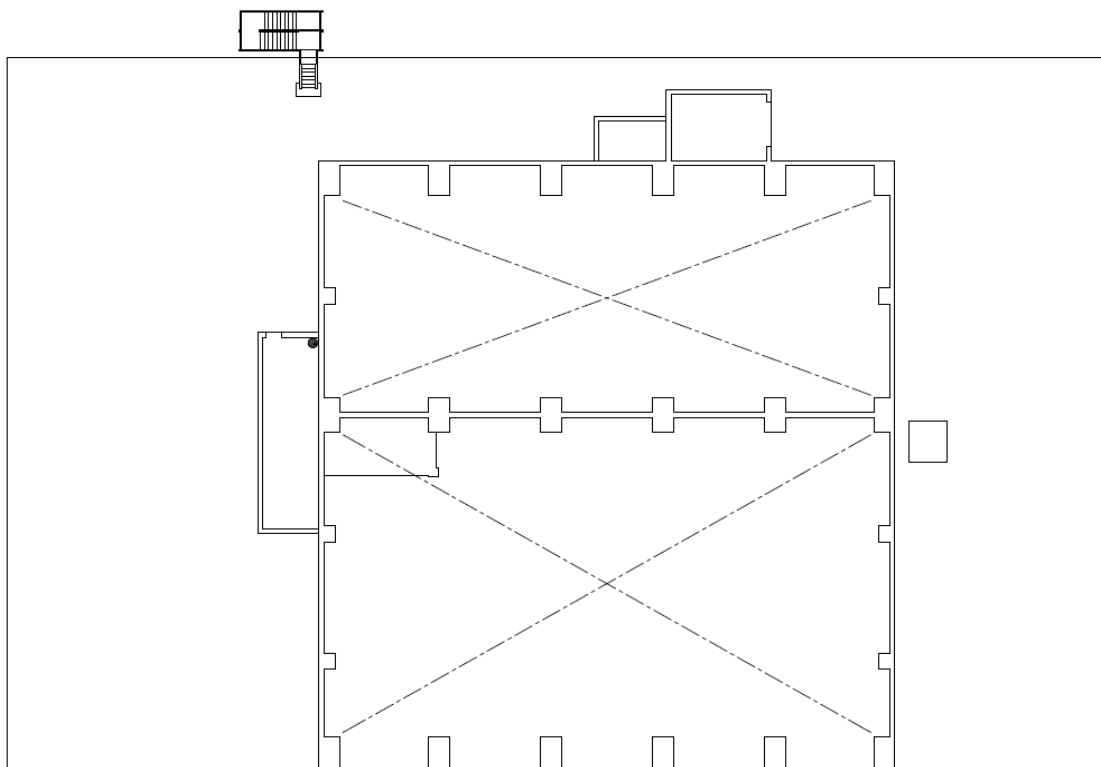


図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (1 / 2)



焼却炉建屋 3階

| 凡 例 | |
|-----|-----------|
| | 屋内消火栓設備 |
| | 消火器 |
| | 二酸化炭素消火設備 |



焼却炉建屋 屋上階

| 凡 例 | |
|-----|-----------|
| | 屋内消火栓設備 |
| | 消火器 |
| | 二酸化炭素消火設備 |

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (2 / 2)

生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書

1. 一般事項

本計算書は、焼却炉建屋における生体遮へい装置（以下、「補助遮へい」という。）の放射線の遮へい及び熱除去に関する評価について説明するものである。

1.1 遮へい設計評価の基本方針

雑固体廃棄物焼却設備は、建屋躯体を用いた補助遮へいで区画し、その補助遮へいの厚さに対し、雑固体廃棄物焼却設備の各線源からの線量率計算結果が、外部放射線に係る設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足していることを確認することにより、遮へい設計が十分であるものと評価する。

1.2 遮へい設計の設計基準線量率

通常運転時、放射線業務従事者の受ける線量が「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示」（経済産業省告示第187号）に定めた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮へい設計に際しては、焼却設備の各線源からの外部放射線に係る線量率が、設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足する設計とする。

1.3 遮へい設計の方法

焼却炉建屋の補助遮へいの設計方法は、以下のとおりである。

- (1) 線源となる雑固体廃棄物、焼却灰は、原則としてコンクリートの遮へい壁で囲まれた区画に収容する。
- (2) 焼却炉建屋の通常運転時に予想される線源強度で、実効線量率が最大となる時の線源強度を計算する。
- (3) 遮へい計算は、対象となる線源の線源強度および幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して補助遮へい外側表面の線量率を計算する。

1.4 遮へい設計の前提条件

補助遮へいの遮へい設計に用いる前提条件は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートの密度は $2.15\text{g}/\text{cm}^3$ とする。
- (2) 遮へい計算に用いる壁の厚さは、公称値からマイナス側許容差 (5mm) を引いた値を用いる。
- (3) 計算モデル化に際しては、保守的な評価となるようにする。

1.5 熱除去に関する設計

焼却炉建屋の補助遮へいは、取り扱われるものが雑固体廃棄物、焼却灰であることから、コンクリート壁に入射するガンマ線エネルギー束が低いので、コンクリート壁での発熱量は小さく、また建屋内は換気空調設備で熱除去される。

2. 補助遮へいの計算に用いる線源強度

焼却炉建屋における補助遮へいの対象となる線源は、雑固体廃棄物、焼却灰である。各線源は滞留水を汚染起源と仮定し、表-1に示す核種、放射能濃度を内包しているとする。なお、各線源のガンマ線源強度の計算は ORIGIN2 コードにより行う。

表-1 遮へい計算に用いる各線源の放射能濃度

| 核種 | 放射能濃度 (Bq/cm^3) | |
|--------|-----------------------------------|---------|
| | 雑固体廃棄物 | 焼却灰 |
| Mn-54 | 5.4E+00 | 4.0E+02 |
| Co-58 | 2.5E-02 | 1.9E+00 |
| Co-60 | 1.5E+01 | 1.1E+03 |
| Sr-89 | 2.1E-01 | 1.6E+01 |
| Sr-90 | 1.3E+03 | 9.9E+04 |
| Ru-103 | 1.9E-04 | 1.4E-02 |
| Ru-106 | 5.0E+01 | 3.7E+03 |
| Sb-124 | 2.8E-02 | 2.1E+00 |
| Sb-125 | 4.7E+01 | 3.5E+03 |
| I-131 | 5.1E-25 | 3.8E-23 |
| Cs-134 | 4.6E+02 | 3.4E+04 |
| Cs-136 | 3.4E-17 | 2.5E-15 |
| Cs-137 | 1.3E+03 | 9.4E+04 |
| Ba-140 | 2.1E-15 | 1.6E-13 |
| 合計 | 3.2E+03 | 2.4E+05 |

3. 補助遮へい計算

3.1 計算方法

焼却炉建屋の遮へい計算には、計算機コード「QAD」を用いる。計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

- ・線源の放射能濃度
- ・線源のエネルギースペクトル
- ・線源形状
- ・遮へい厚さ
- ・線源からの距離
- ・遮へい体の物質の指定

3.2 線量率計算

補助遮へい外側表面の線量率計算は、3.1に示した入力条件を計算機コードに入力して行う。

3.2.1 線量率計算モデル

線量率の評価位置は、線源強度および遮へい厚さが異なる代表的な壁および天井スラブの外側表面において線量率が最大になる箇所とする。

図-1～4の計算配置図に焼却炉建屋の線源配置と個数および評価点位置を示す。

(1) 雑固体一時置場の計算モデル

雑固体一時置場で取り扱う雑固体廃棄物コンテナの数量は最大で352個相当であるが、解析における線源形状・寸法は保守的に雑固体廃棄物コンテナが24行×4列×4段とし、各雑固体廃棄物コンテナ間の空間も全て線源とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

a. 雑固体一時置場の西壁（壁厚 500mm）

雑固体一時置場の西壁外側表面（評価点①）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-5に示す。

線源から壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として0mmとする。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。

b. 雑固体一時置場の天井スラブ（スラブ厚 500mm）

雑固体一時置場の天井スラブ外側表面（評価点②）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、スラブの厚さ、評価点の位置を図-6に示す。

線源から天井スラブまでの距離は、設計距離より短い安全側の条件として2000mmとす

る。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。

(2) 自動倉庫 A の計算モデル

焼却設備室 A 系に設置する自動倉庫 A に保管する雑固体廃棄物パレットの数量は最大で 152 個相当であるが、解析における線源形状・寸法は保守的に雑固体廃棄物パレットを 6 行×2 列×13 段とし、各雑固体廃棄物パレット間の空間も全て線源とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1 に示した放射能濃度とする。

なお、自動倉庫 B については、線源設定は同じものの、壁までの距離が同等以上であるため、自動倉庫 A の評価に包含される。

a. 自動倉庫 A 北壁 (壁厚 500mm)

自動倉庫 A の北壁外側表面 (評価点③) の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-7 に示す。

線源から壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として 3000mm とする。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。

b. 自動倉庫 A 西壁 (壁厚 500mm)

自動倉庫 A の西壁外側表面 (評価点④) の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-8 に示す。

線源から壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として 0mm とする。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。

c. 自動倉庫 A 西壁 (壁厚 300mm)

自動倉庫 A の西壁外側表面 (評価点⑤) の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-9 に示す。

線源から壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として 2500mm とする。評価点位置は、屋上階において線量率が最大となる位置とする。

(3) 灰ドラム一時貯蔵庫 (南) の計算モデル

灰ドラム一時貯蔵庫 (南) で取り扱う灰ドラム缶の数量は最大で 88 本相当であるが、解析における線源形状・寸法は保守的に灰ドラム缶を 16 行×6 列×1 段とし、各灰ドラム缶間の空間も全て線源とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1 に示した放射能濃度とする。

なお、灰ドラム一時貯蔵庫 (北) については、上述の灰ドラム一時貯蔵庫 (南) と比較すると、壁の厚さは同じものの、図-1 に示すように灰ドラム缶の仮置き数量が最大 52 本相当であり、灰ドラム一時貯蔵庫 (南) より 36 本ドラム缶本数が少ないので、灰ド

ラム一時貯蔵庫（南）の評価に包含される。

a. 灰ドラム一時貯蔵庫（南）東壁（壁厚 700mm）

灰ドラム一時貯蔵庫（南）の東壁外側表面（評価点⑥）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-10に示す。

線源から壁までの距離は，設計距離より短い安全側の条件として 500mm とする。評価点位置は，線量率が最大となる位置とする。

b. 灰ドラム一時貯蔵庫（南）の天井スラブ

（1階スラブ厚 450mm，屋上スラブ厚 300mm）

灰ドラム一時貯蔵庫（南）の天井スラブ外側表面（評価点⑦）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，スラブの厚さ，評価点の位置を図-11に示す。

線源から1階天井スラブまでの距離，1階天井スラブから屋上天井スラブまでの距離は，設計距離より短い安全側の条件としてそれぞれ 6000mm，13000mm とする。なお，2階天井スラブについては，遮へい要求はないため，保守的に遮へい効果を考慮しないものとする。評価点位置は，線量率が最大となる位置とする。

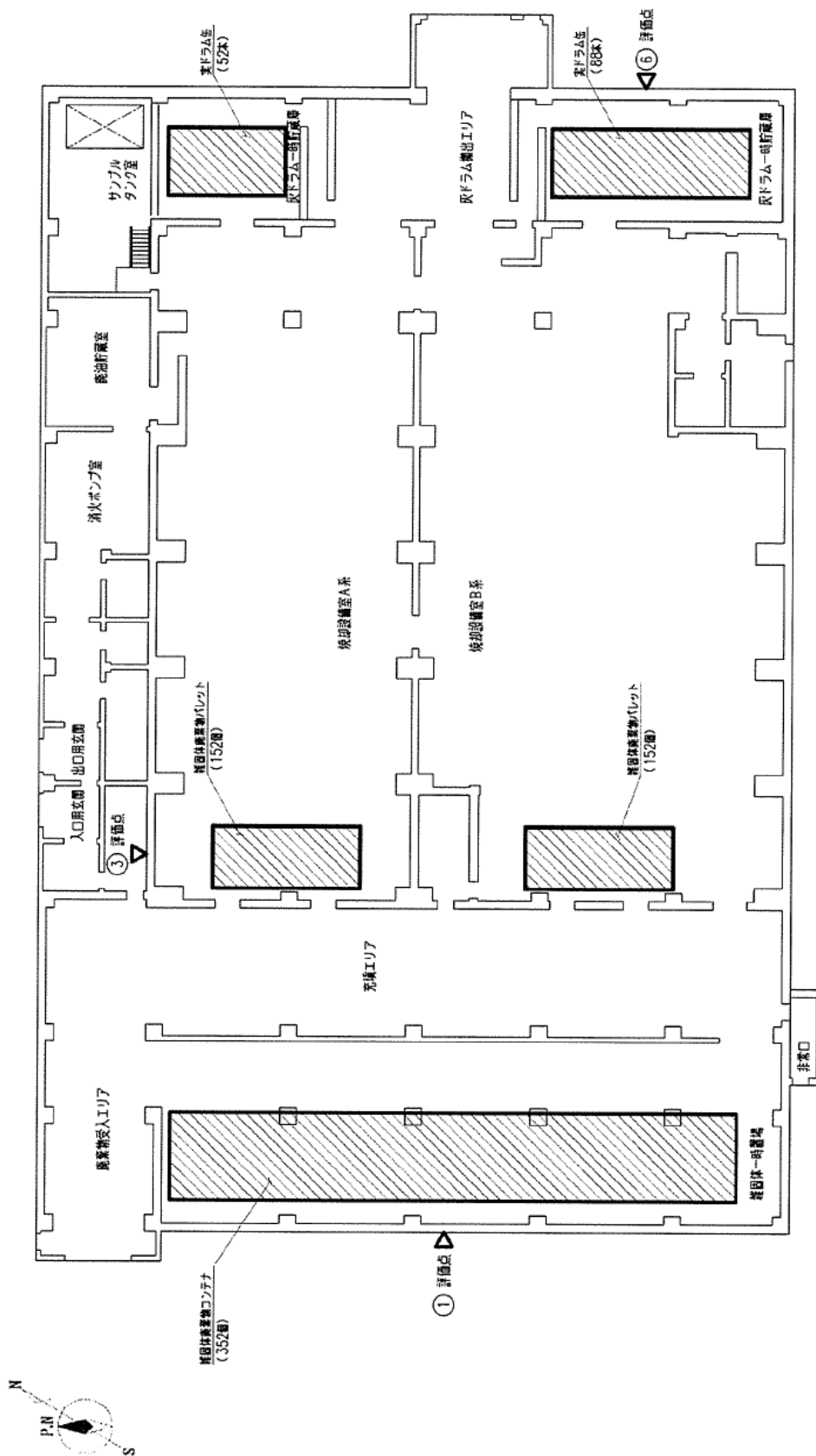
3.2.2 線量率計算結果

線量率の計算結果を表-2に示す。

補助遮へい外側表面の線量率は，いずれのエリアも設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足することを確認した。

表-2 線量率の計算結果

| 評価点 | 評価箇所 | 線量率計算結果 | 設計基準線量率 |
|-----|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ① | 雑固体一時置場の西壁 | $1.7 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ | $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下 |
| ② | 雑固体一時置場の天井スラブ | $1.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ | |
| ③ | 自動倉庫A北壁 | $1.3 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ | |
| ④ | 自動倉庫A西壁 | $1.7 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ | |
| ⑤ | 自動倉庫A西壁 | $2.1 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ | |
| ⑥ | 灰ドラム一時貯蔵庫（南）東壁 | $4.3 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$ | |
| ⑦ | 灰ドラム一時貯蔵庫（南）の天井スラブ | $6.7 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$ | |



図一1 雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図 (1階)

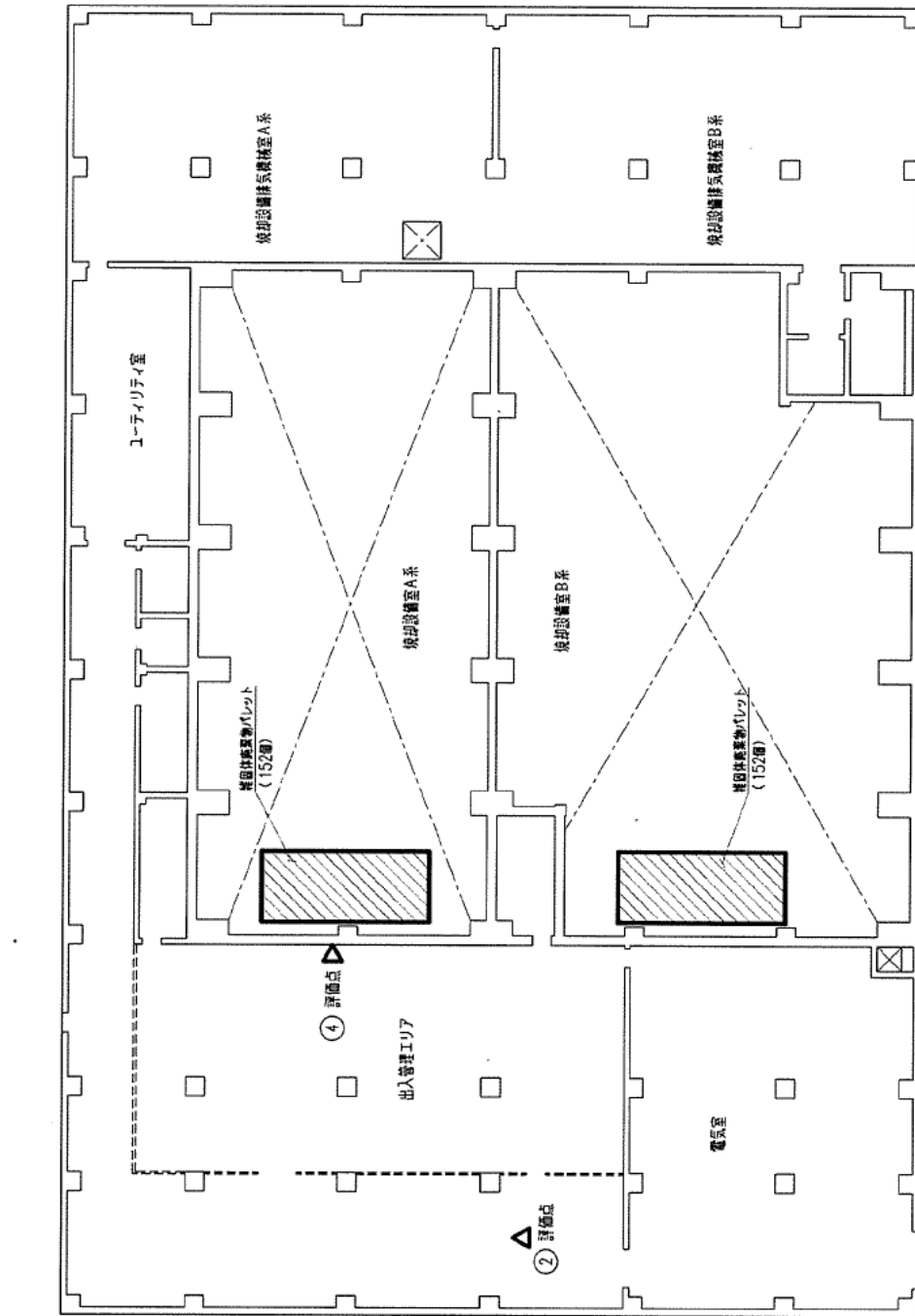


図-2 雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図 (2階)

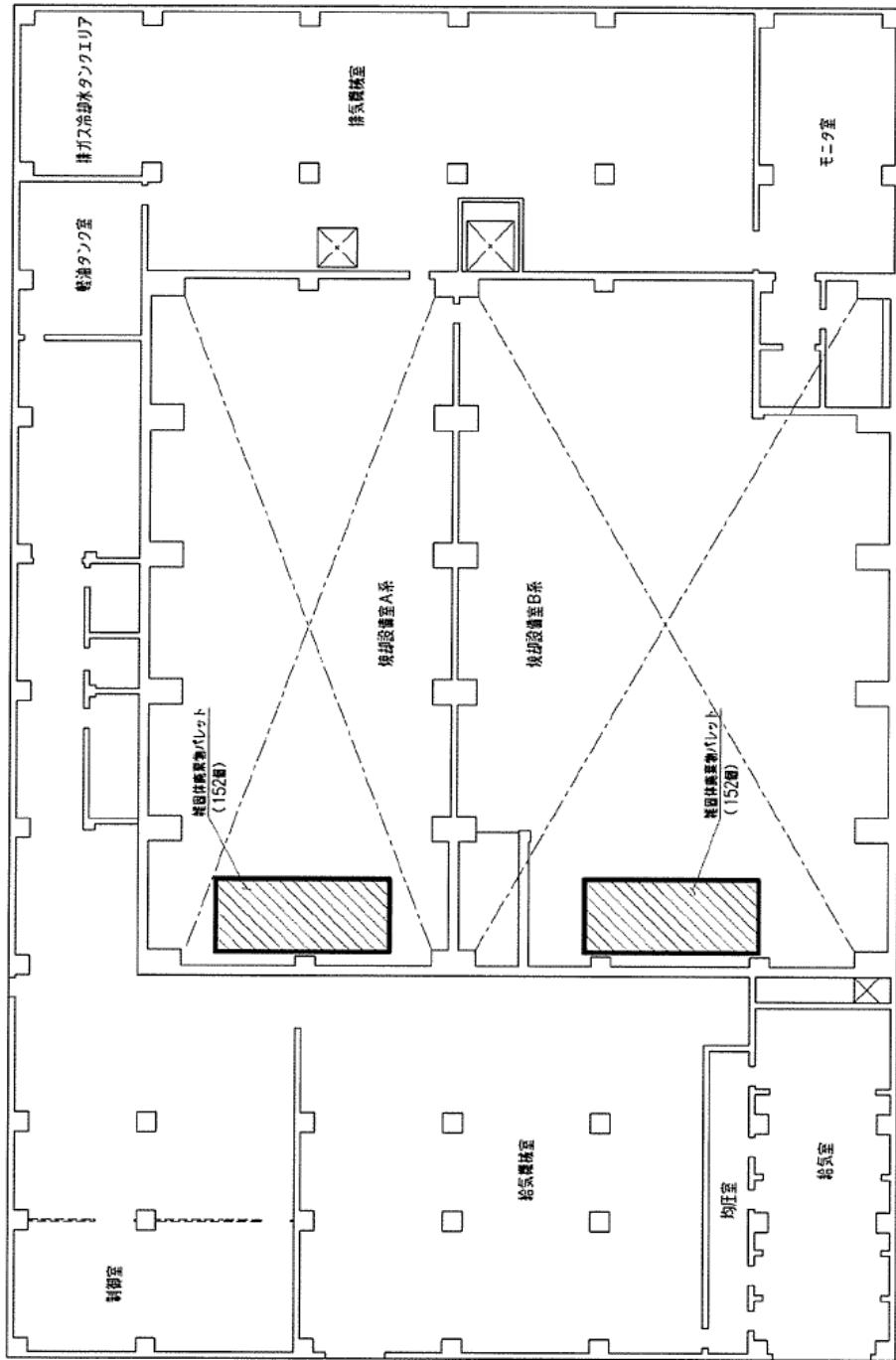
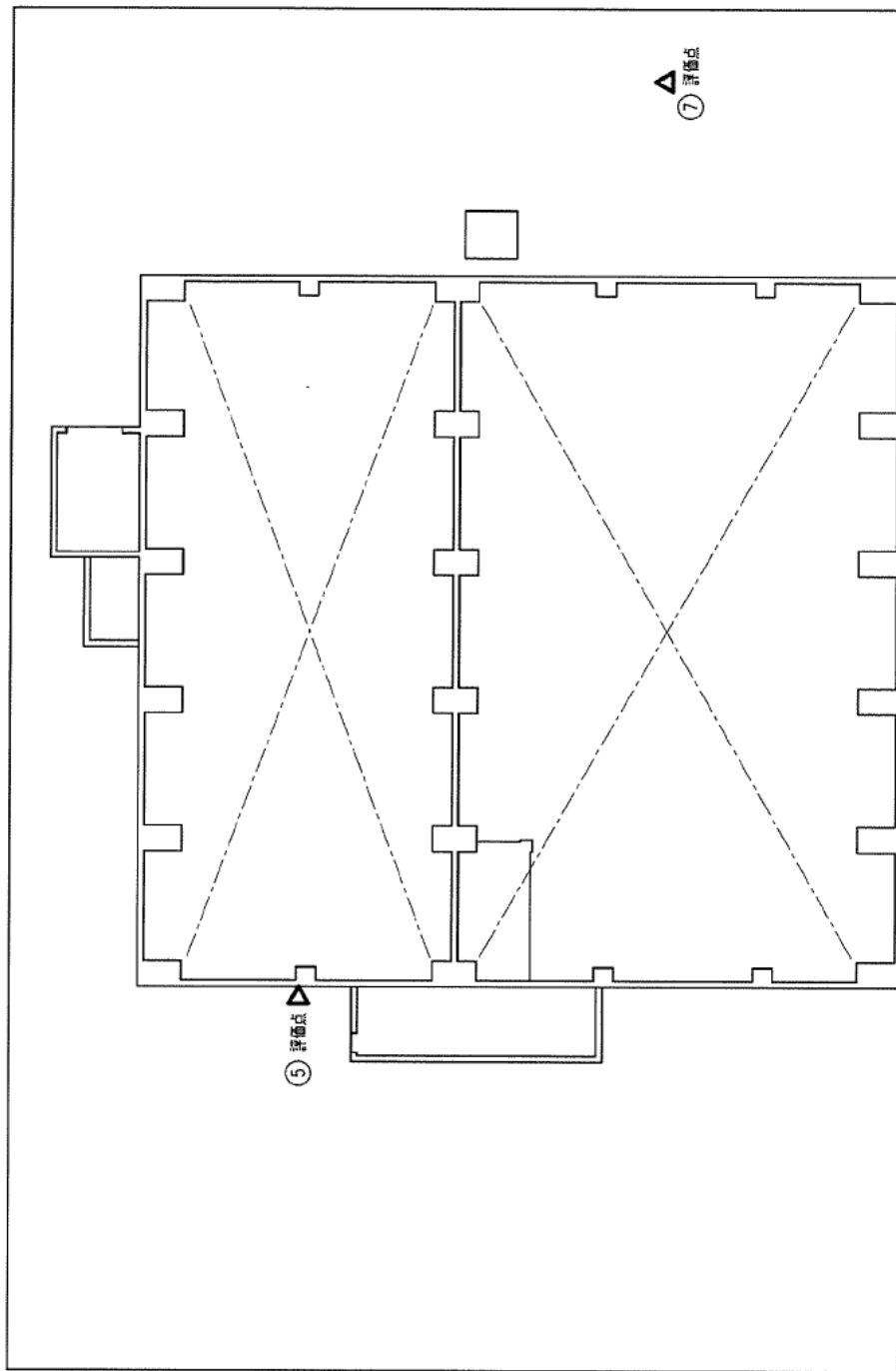
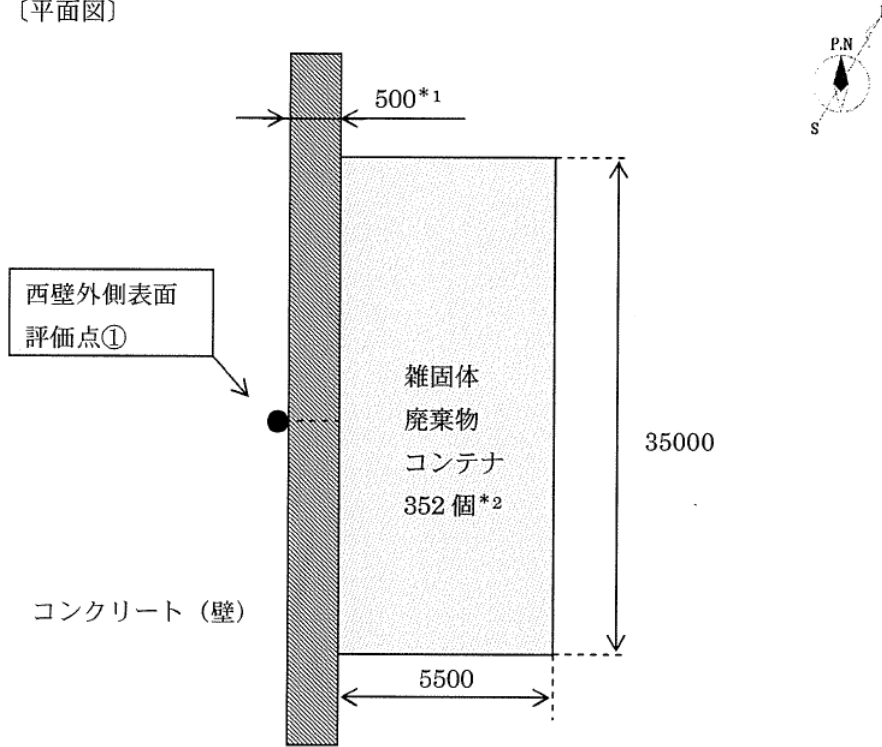


図-3 雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図 (3階)

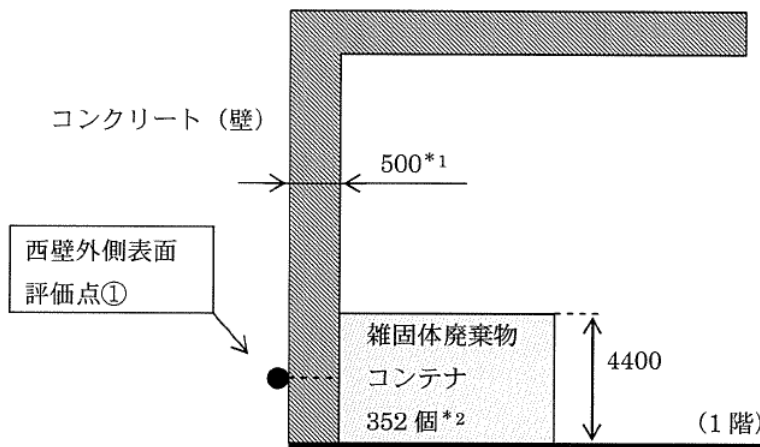


図一 4 雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（屋上階）

[平面図]



[立面図]



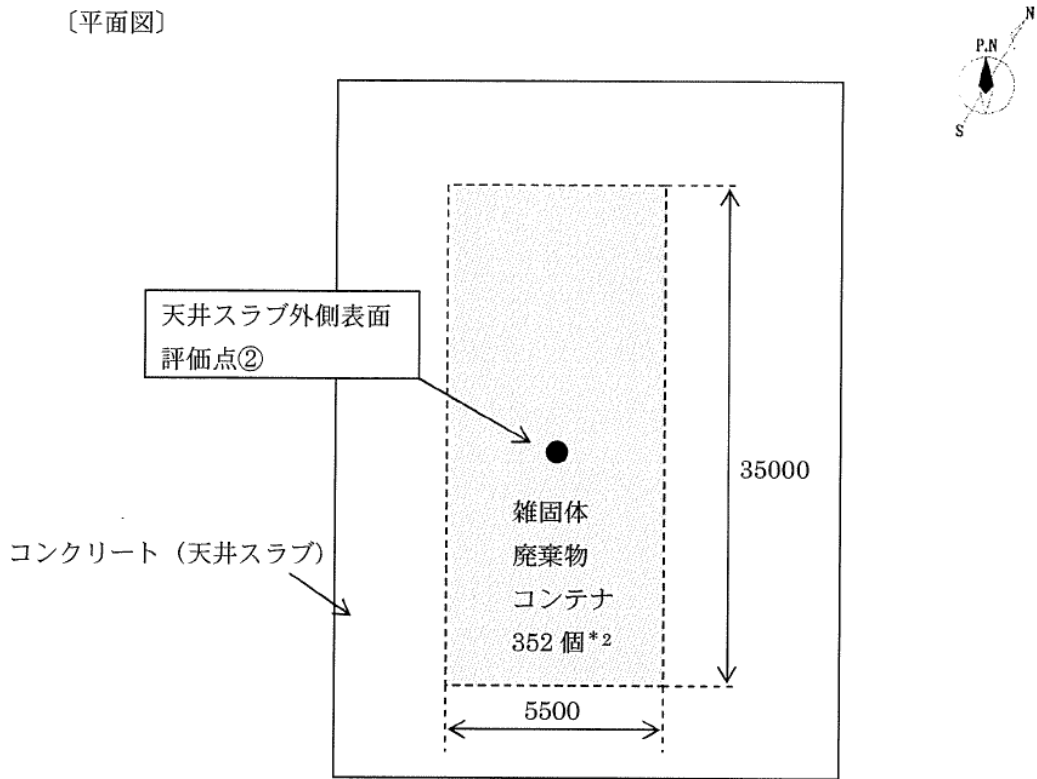
注記 *1 : 公称値を示す

*2 : コンテナ 24 行×4 列×4 段の配列を包含する直方体線源

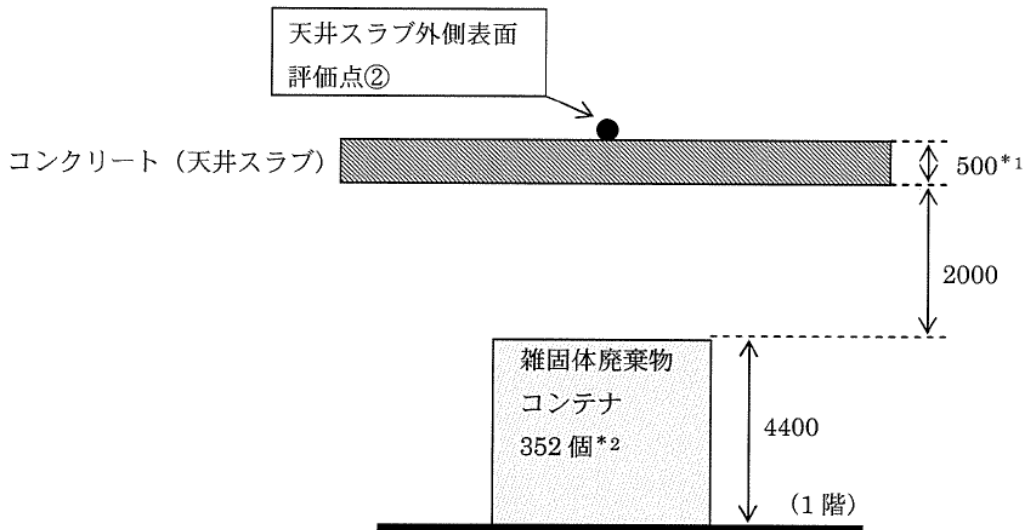
(単位:mm)

図-5 雑固体一時置場の西壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



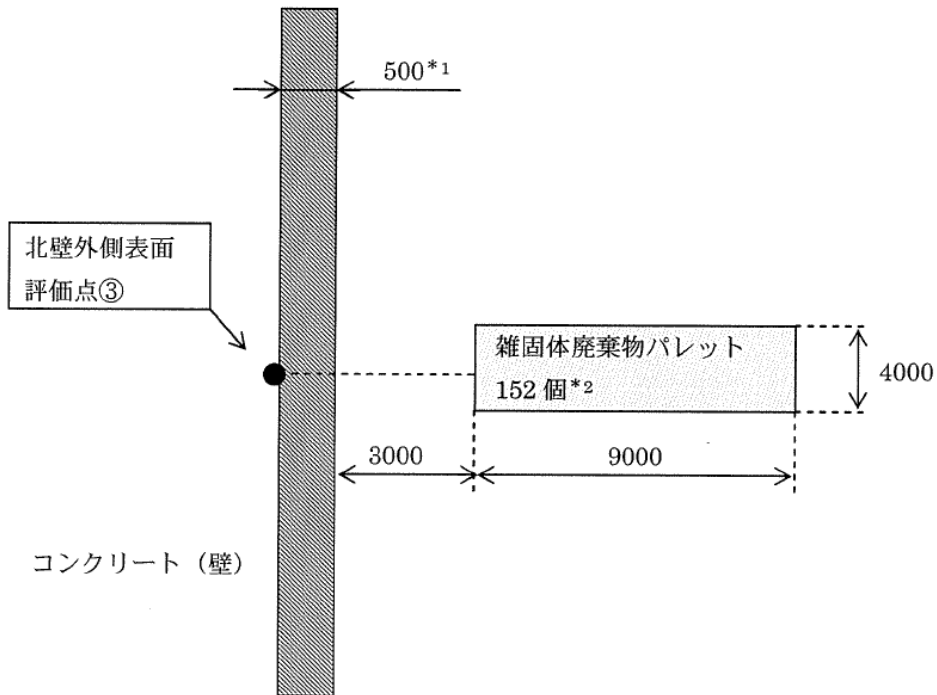
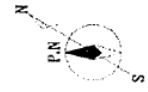
注記 *1: 公称値を示す

*2: コンテナ 24 行×4 列×4 段の配列を包含する直方体線源

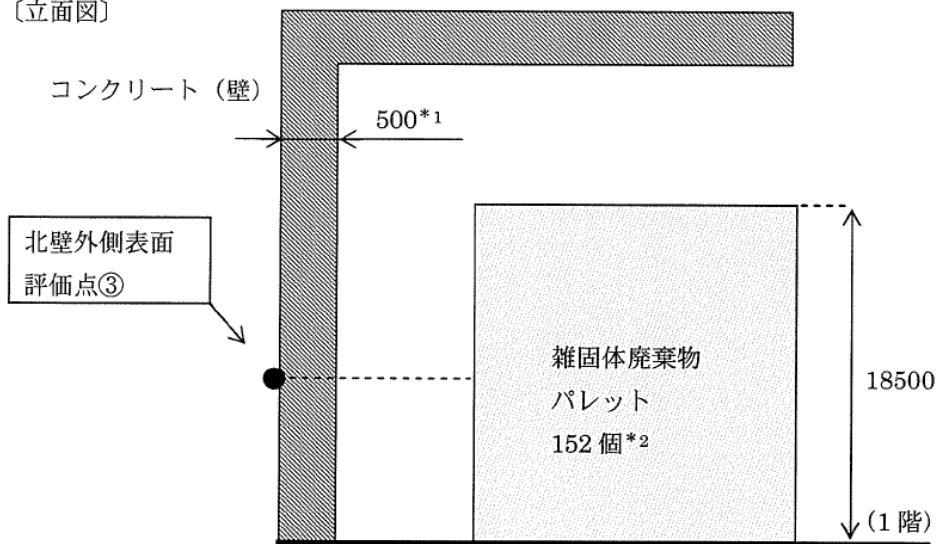
(単位: mm)

図-6 雑固体一時置場の天井スラブ外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



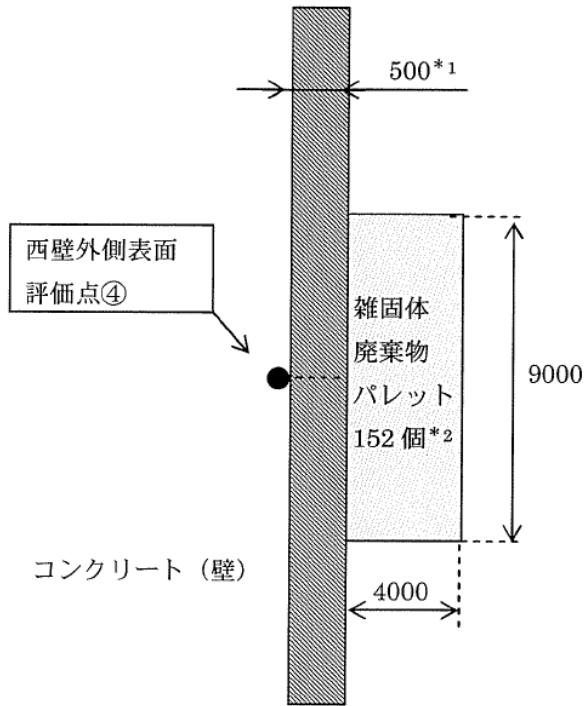
注記 *1: 公称値を示す

*2: パレット 6 行×2 列×13 段の配列を包含する直方体線源

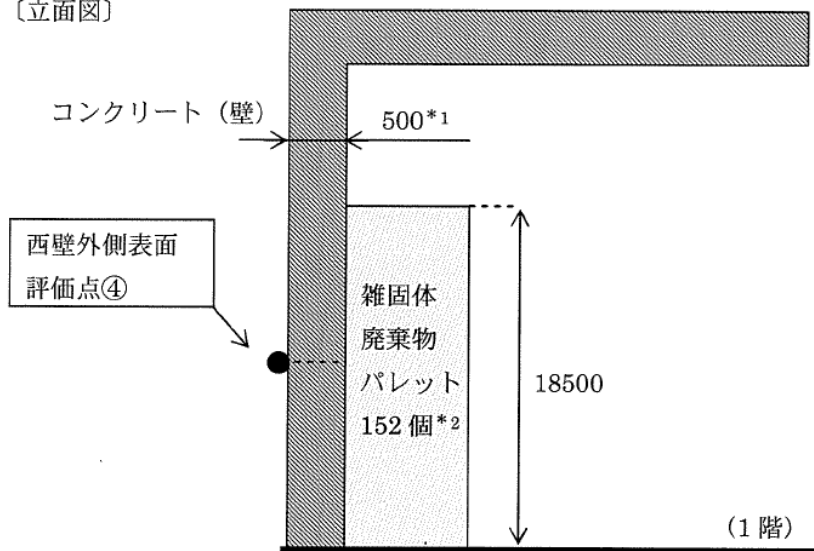
(単位: mm)

図-7 自動倉庫Aの北壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



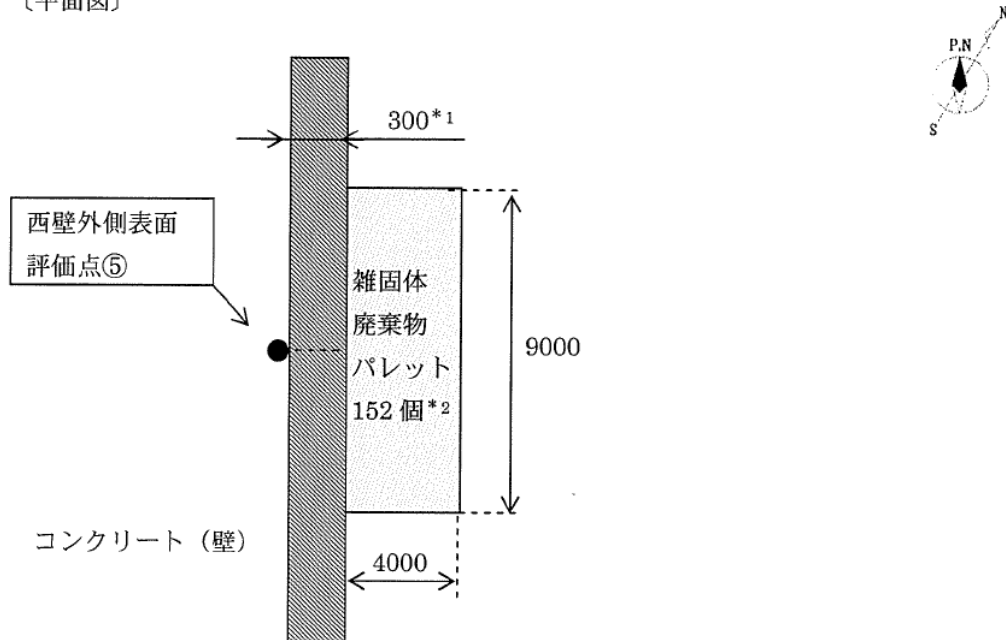
(単位: mm)

注記 *1: 公称値を示す

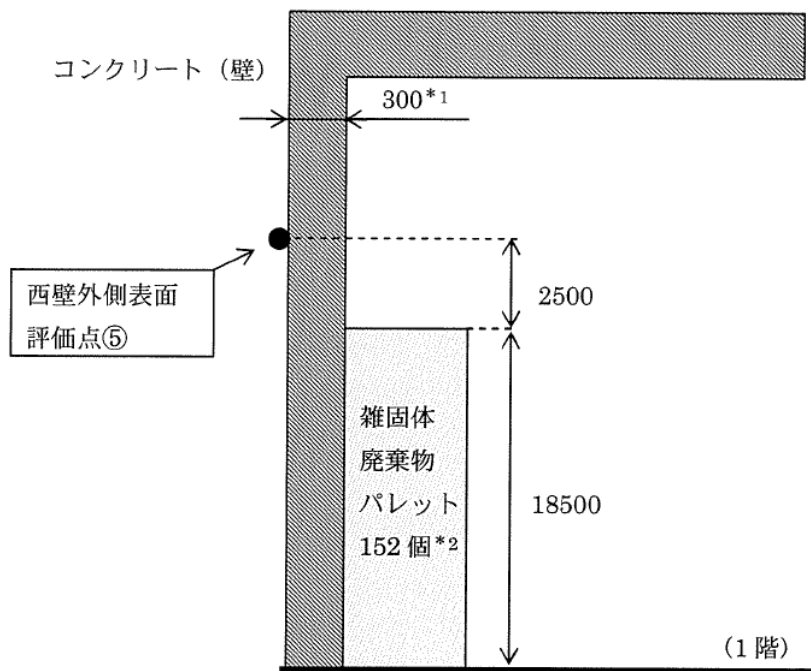
*2: パレット 6 行×2 列×13 段の配列を包含する直方体線源

図-8 自動倉庫Aの西壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



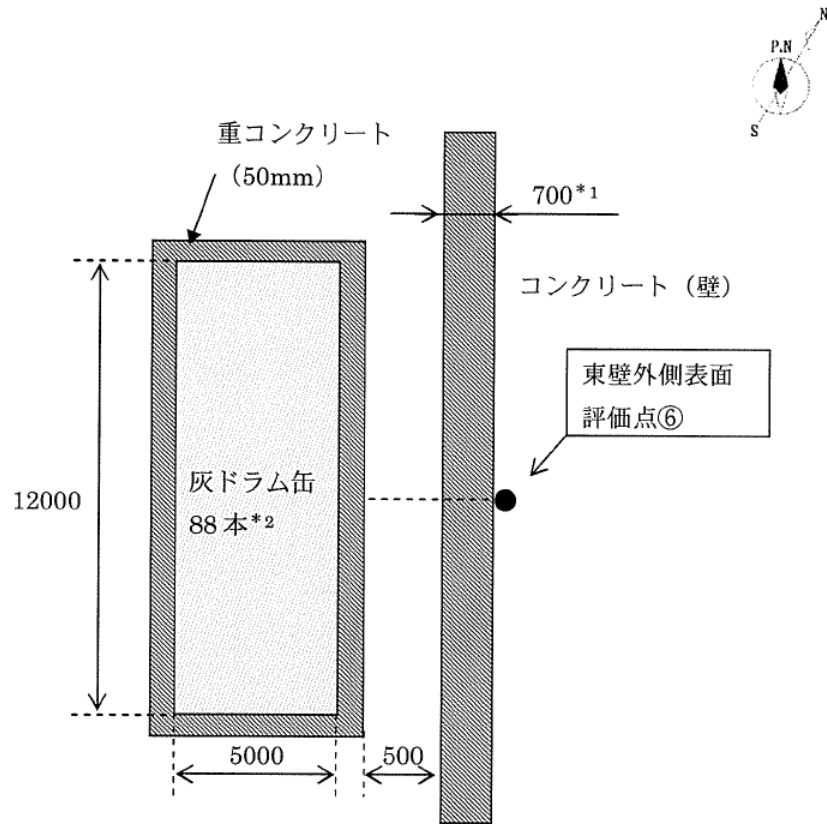
(単位: mm)

注記 *1: 公称値を示す

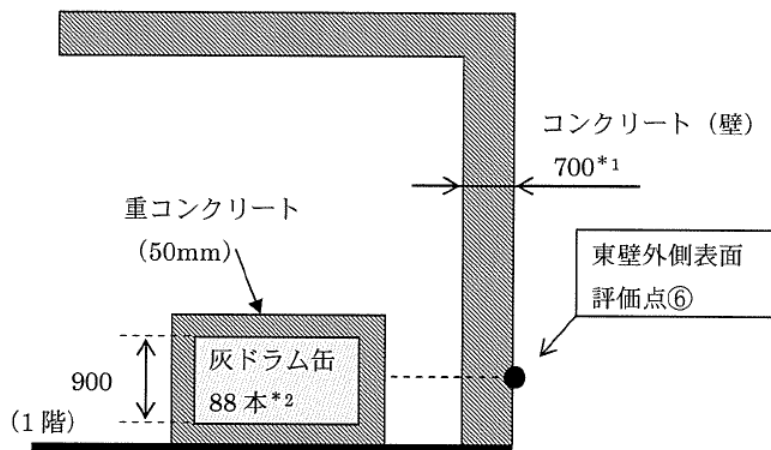
*2: パレット6行×2列×13段の配列を包含する直方体線源

図-9 自動倉庫Aの西壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



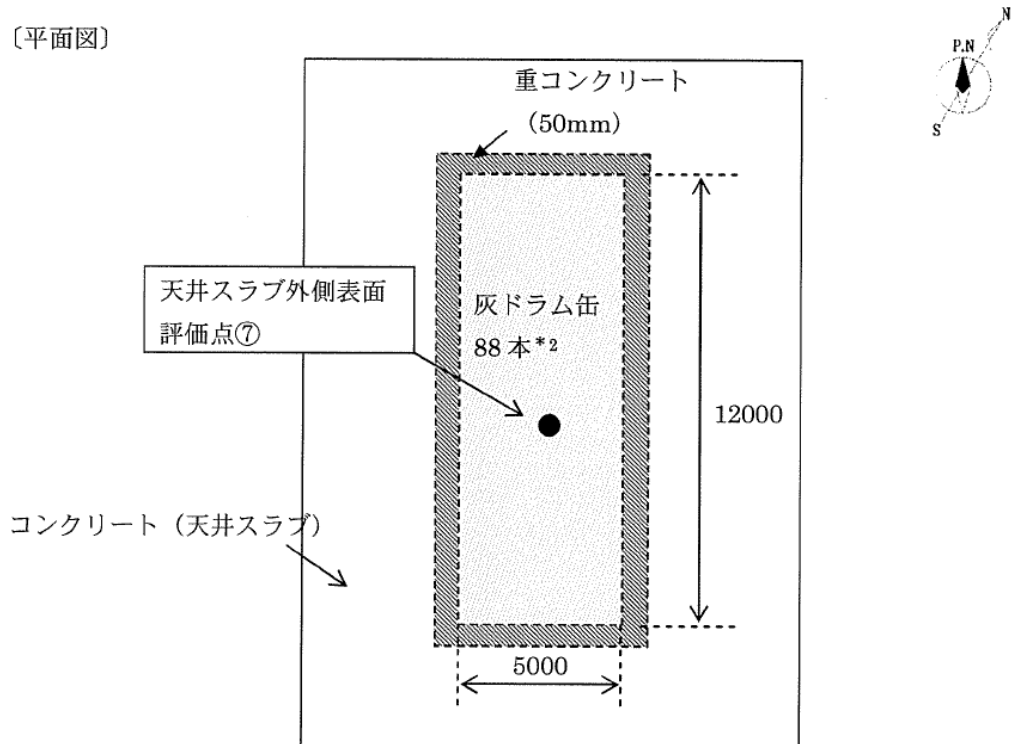
注記 *1: 公称値を示す

*2: 灰ドラム缶 16行×6列×1段の配列を包含する直方体線源

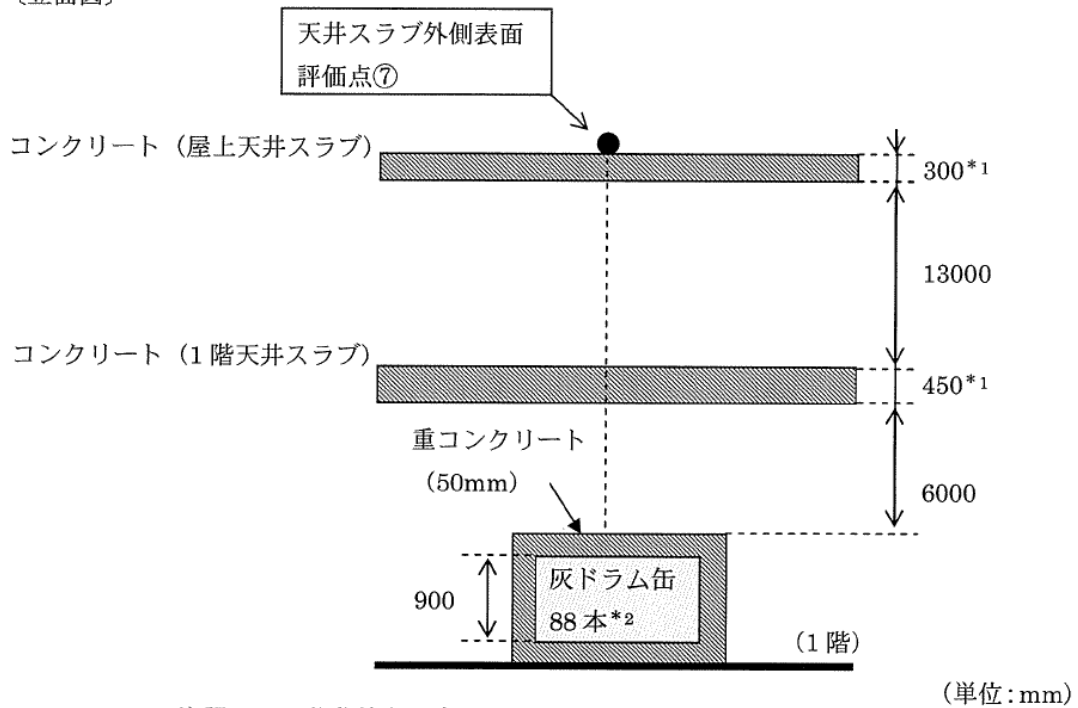
(単位: mm)

図-10 灰ドラム一時貯蔵庫(南)の東壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



注記 *1: 公称値を示す

*2: 灰ドラム缶 16行×6列×1段の配列を包含する直方体線源

図-1.1 灰ドラム一時貯蔵庫 (南) の天井スラブ外側表面の計算モデル

4. 補助遮へいの貫通部に対する考慮

焼却炉建屋の高線量率区域と低線量率区域の間の補助遮へい貫通部は、原則として放射線漏れが問題とならないようにその位置を決める。

ただし、放射線漏れが問題となる位置に設置せざるを得ない場合は、配管等の貫通部に遮へい補償材（鉛毛またはモルタル）を詰め、放射線漏れを防止する措置を講じることとする。

貫通部に対する放射線漏れ防止措置の例を図-12、13に示す。

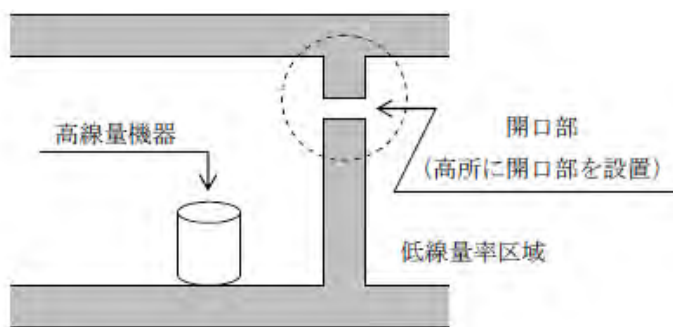


図-12 開口部の高所設置 (例)

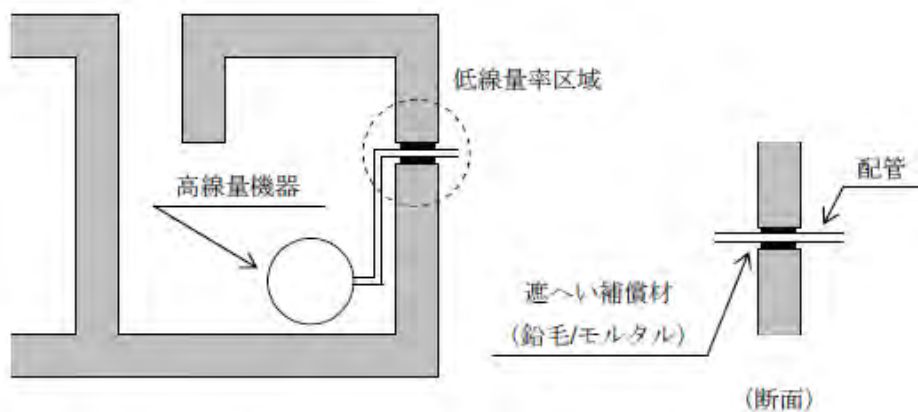


図-13 貫通孔の補償遮へい (例)

5. 補助遮へいの熱除去計算

5.1 補助遮へいの熱除去計算方法

補助遮へいであるコンクリート中のガンマ発熱密度はコンクリート中のガンマ線フラックスの減衰に応じて減少する。しかし、安全側にガンマ線の減衰を無視して入射面の最大のガンマ発熱密度でコンクリート全体が均一に発熱するものと仮定すると、コンクリート中の温度と表面温度の差の最大値 ΔT_{max} は、内部発熱が均一とした平板の温度分布の計算式 (6. 引用文献(1)参照) を引用した下式により求められる。

$$\Delta T_{max} = T_{max} - T_s = Q' \cdot L^2 / 2\lambda$$

ここで、 T_{max} : コンクリート厚さ中心での最高温度 (°C)

T_s : コンクリート表面温度 (°C)

Q' : コンクリートの発熱密度 (W/m³)

L : コンクリートの厚さの 1/2 (m)

λ : コンクリートの熱伝導率 (W/m・°C)

また、上記のコンクリートの発熱密度は、下式により求められる。

$$Q' = 10^6 \cdot \rho \cdot Q$$

ここで、 ρ : コンクリート密度 (g/cm³)

Q : ガンマ発熱密度 (W/g)

$$= K \cdot \phi$$

K : ガンマ発熱密度換算係数 (W・s・cm²/g)

$$= C \cdot E \cdot (\mu_{en}/\rho)$$

C : 換算係数 (W・s/MeV) (1.602×10⁻¹³)

E : ガンマ線エネルギー (MeV)

(μ_{en}/ρ) : コンクリートの質量エネルギー吸収係数 (cm²/g)

ϕ : ガンマ線フラックス (photons/cm²・s)

上記において、ガンマ発熱密度は補助遮へいの灰ドラム一時貯蔵庫東壁内側表面の最大となる点について計算機コード「QAD」にて計算を行う。

5.2 補助遮へいの熱除去計算結果

補助遮へい中のガンマ発熱による発熱密度は約 8×10^{-4} W/m³ となり、温度上昇は 0.1°C 未満であり、自然冷却で十分である。

6. 引用文献

- (1) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(2009)

人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における
線量率に関する説明書

1. 遮へい設計上の基準線量率

本説明書は、通常運転時に人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における外部放射線に係る線量率による区域区分を示すものである。各区域区分の外部放射線に係る設計基準線量率は、次の通り設定する。

| 区分 | | 外部放射線に係る設計基準線量率 |
|-------|---|-----------------|
| 管理区域外 | A | 0.0026mSv/h 以下 |
| 管理区域 | B | 0.01mSv/h 未満 |
| | C | 0.05mSv/h 未満 |
| | D | 0.25mSv/h 未満 |
| | E | 1 mSv/h 未満 |
| | F | 1 mSv/h 以上 |

上記の設計基準線量率を基にした焼却炉建屋の遮へい設計上の区域区分を次頁以降に示す。区域区分のうち、A-C、C-E、C-Fは、雑固体廃棄物等の線源の収納又は取扱い状態により、その範囲内で区域区分が変動することを示す。

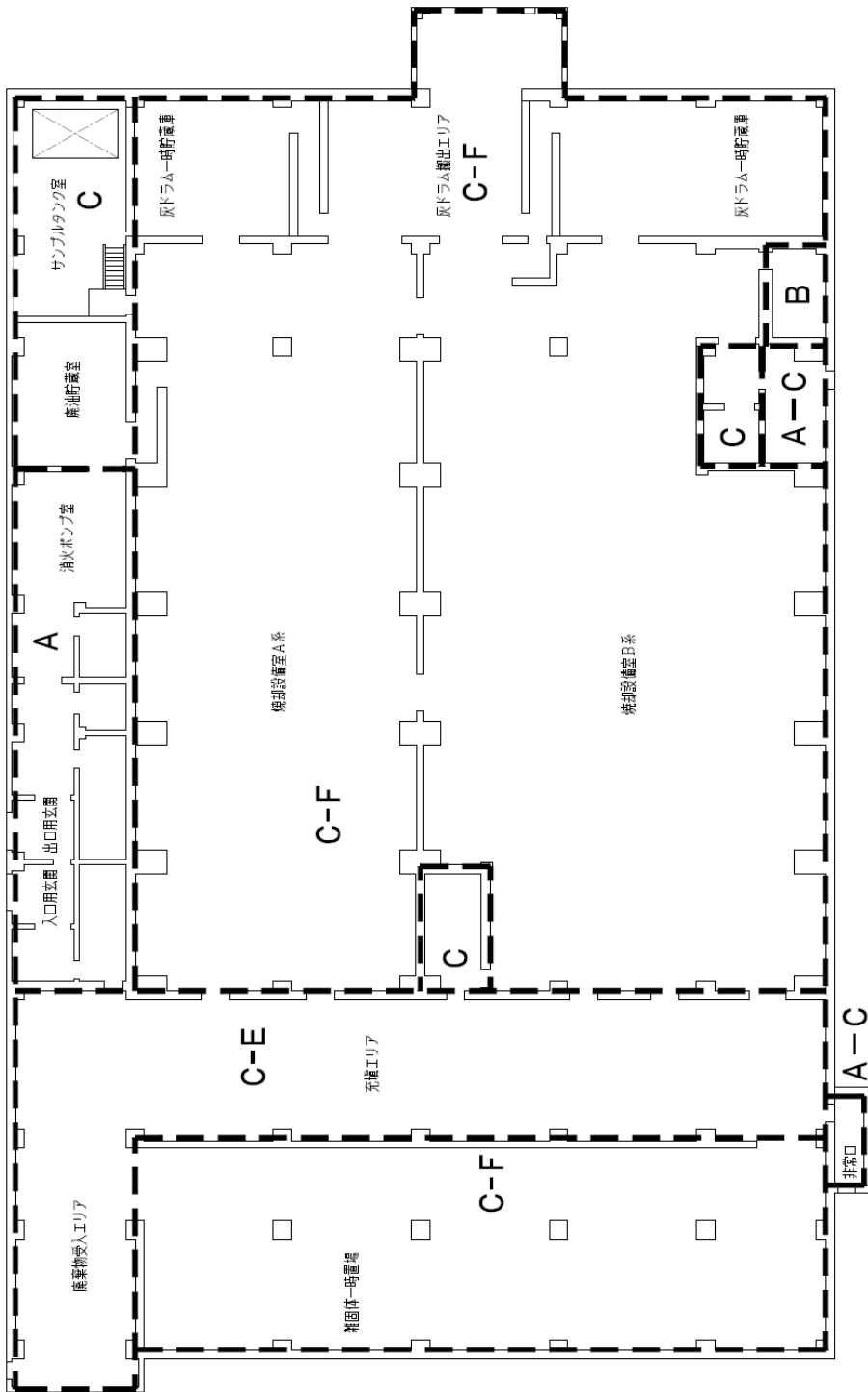


図-1 区域区分図 (焼却炉建屋 1 階)

| 区分 | 基準値 |
|-------|------------------|
| 管理区域外 | A 0.0026mSv/h 以下 |
| | B 0.01mSv/h 未満 |
| | C 0.05mSv/h 未満 |
| 管理区域内 | D 0.25mSv/h 未満 |
| | E 1mSv/h 未満 |
| | F 1mSv/h 以上 |

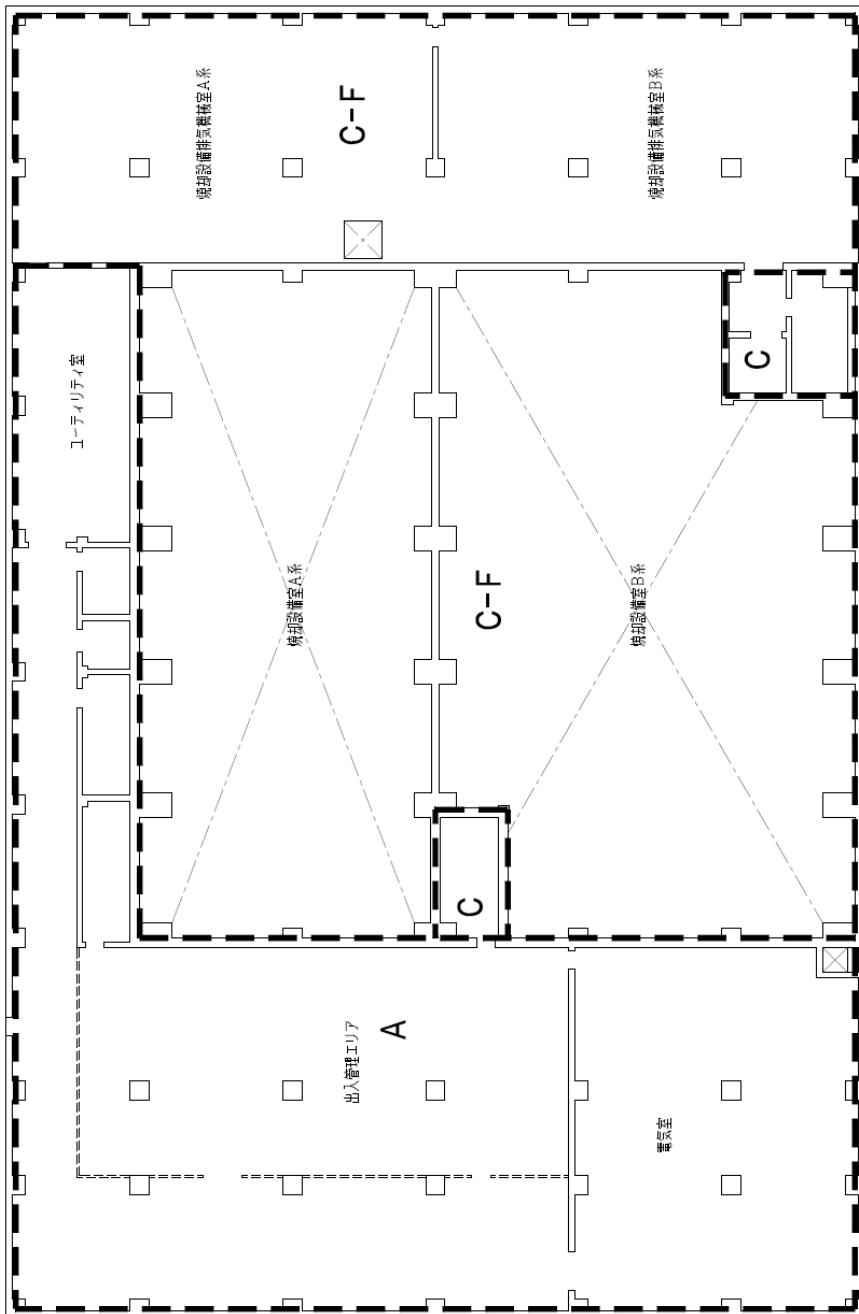


図-2 区域区分図（焼却炉建屋2階）

| 区分 | 基準値 |
|-------|-----------------|
| 管理区域外 | A 0.0026mSv/h以下 |
| | B 0.01mSv/h未満 |
| | C 0.05mSv/h未満 |
| 管理区域内 | D 0.25mSv/h未満 |
| | E 1mSv/h未満 |
| | F 1mSv/h以上 |

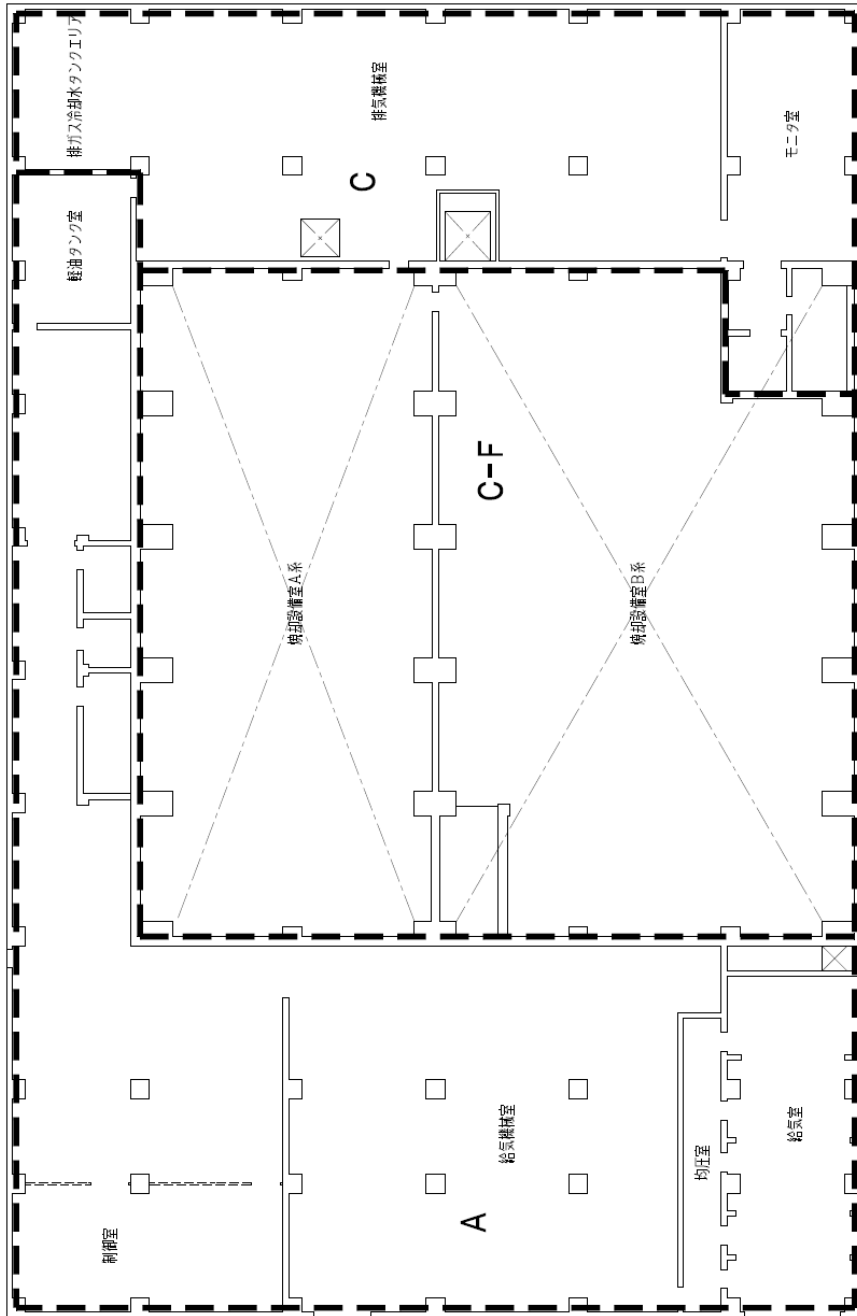


図-3 区域区分図 (焼却炉建屋3階)

| 区分 | 基準値 |
|-------|------------------|
| 管理区域外 | A 0.0026mSv/h 以下 |
| | B 0.01mSv/h 未満 |
| | C 0.05mSv/h 未満 |
| 管理区域内 | D 0.25mSv/h 未満 |
| | E 1mSv/h 未満 |
| | F 1mSv/h 以上 |

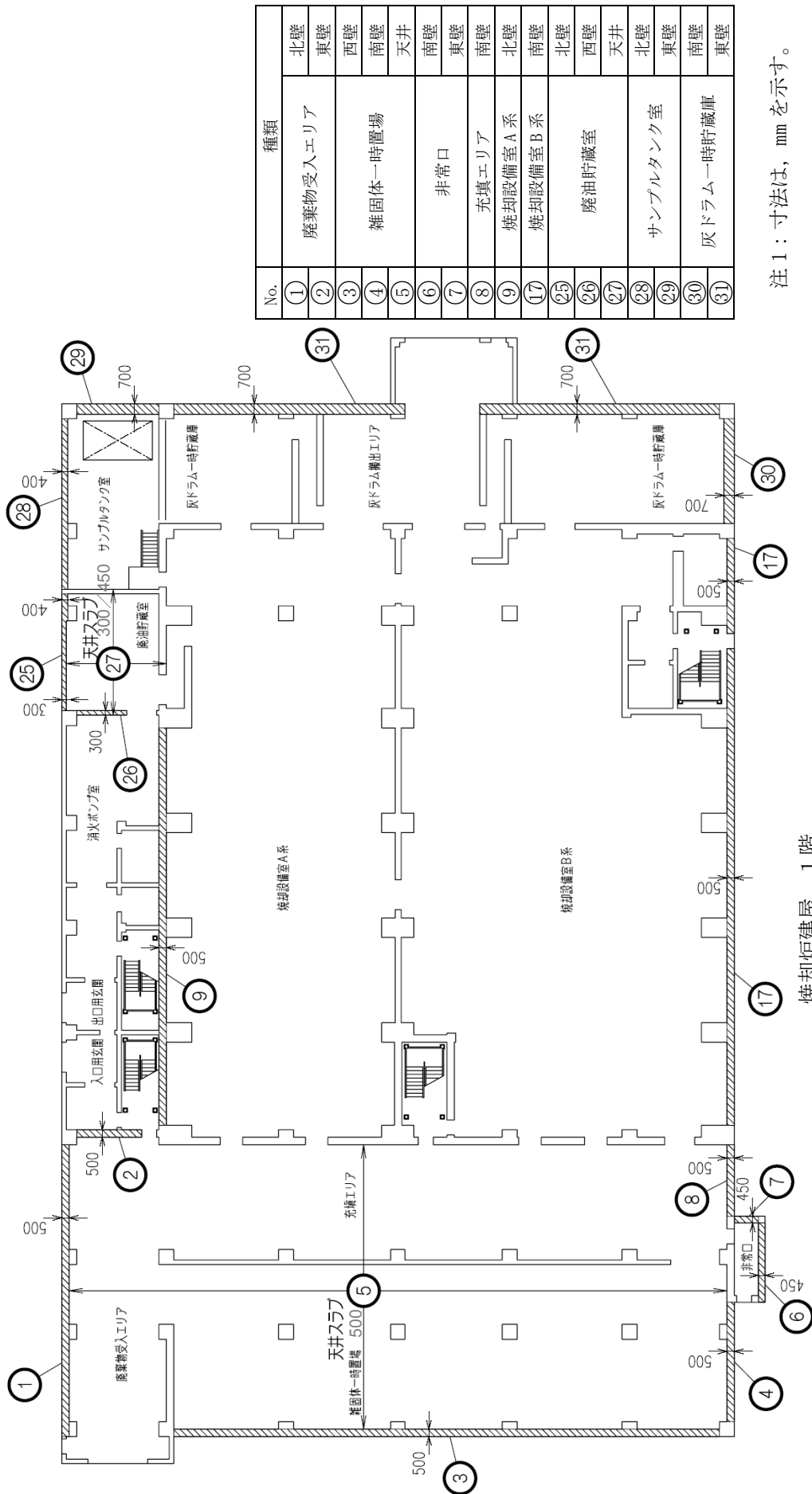
2. 作業エリアの区域区分

焼却炉建屋内で、設計上想定される、作業エリアの区域区分を以下に示す。

| エリア名称 | 区分 | 区分の設定根拠 |
|------------------------|-----|--|
| 廃棄物受入エリア 充填エリア | C-E | 通常時は C 区分となるが、高線量の廃棄物を取扱う時に限り D-E 区分となる。 |
| 焼却設備室 | C-F | 作業員が滞在するドラム缶蓋締めエリアは、高線量の焼却灰に対して機器遮へいを設置することで、高線量の廃棄物を焼却した場合でも D 区分以下となる。 |
| 灰ドラム一時貯蔵庫 灰ドラム搬出エリア | C-F | 灰ドラム一時貯蔵庫は基本的に人が立ち入らず、遠隔操作による作業を行う。 灰ドラム搬出エリアは、灰ドラム搬出時以外は C 区分となる。 |
| 制御室 | A | 焼却設備の運転については、焼却炉建屋の制御室より行うため、非管理区域を設定する。 |

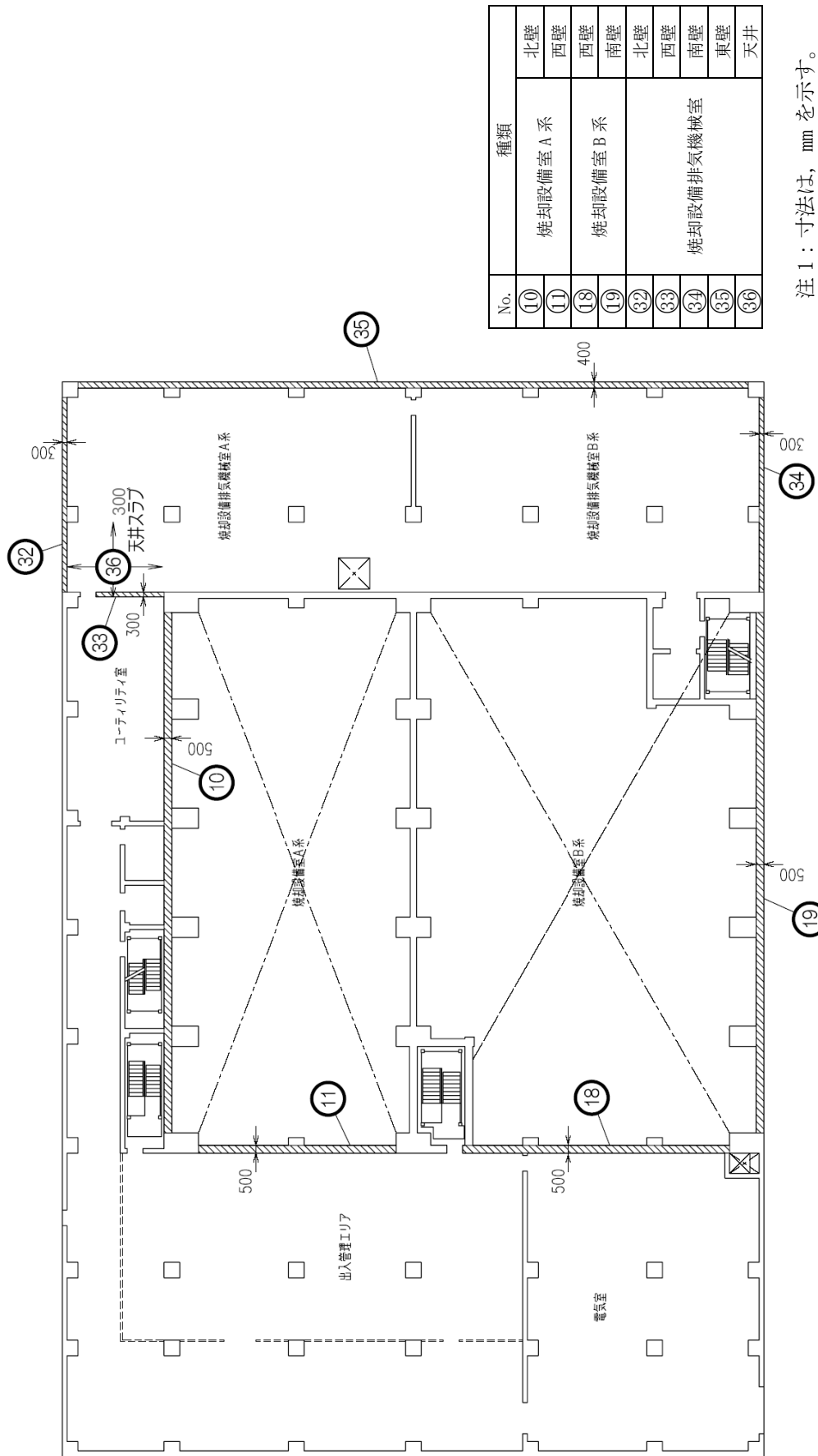
3. 実効線量の管理方針

運用開始後の実効線量の管理は、必要に応じ、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質の濃度を測定し、作業時間の制限等を実施することで、法令に定める線量限度を遵守することはもとより、作業員の線量を合理的に達成出来る限り低減する。



注1：寸法は、mmを示す。

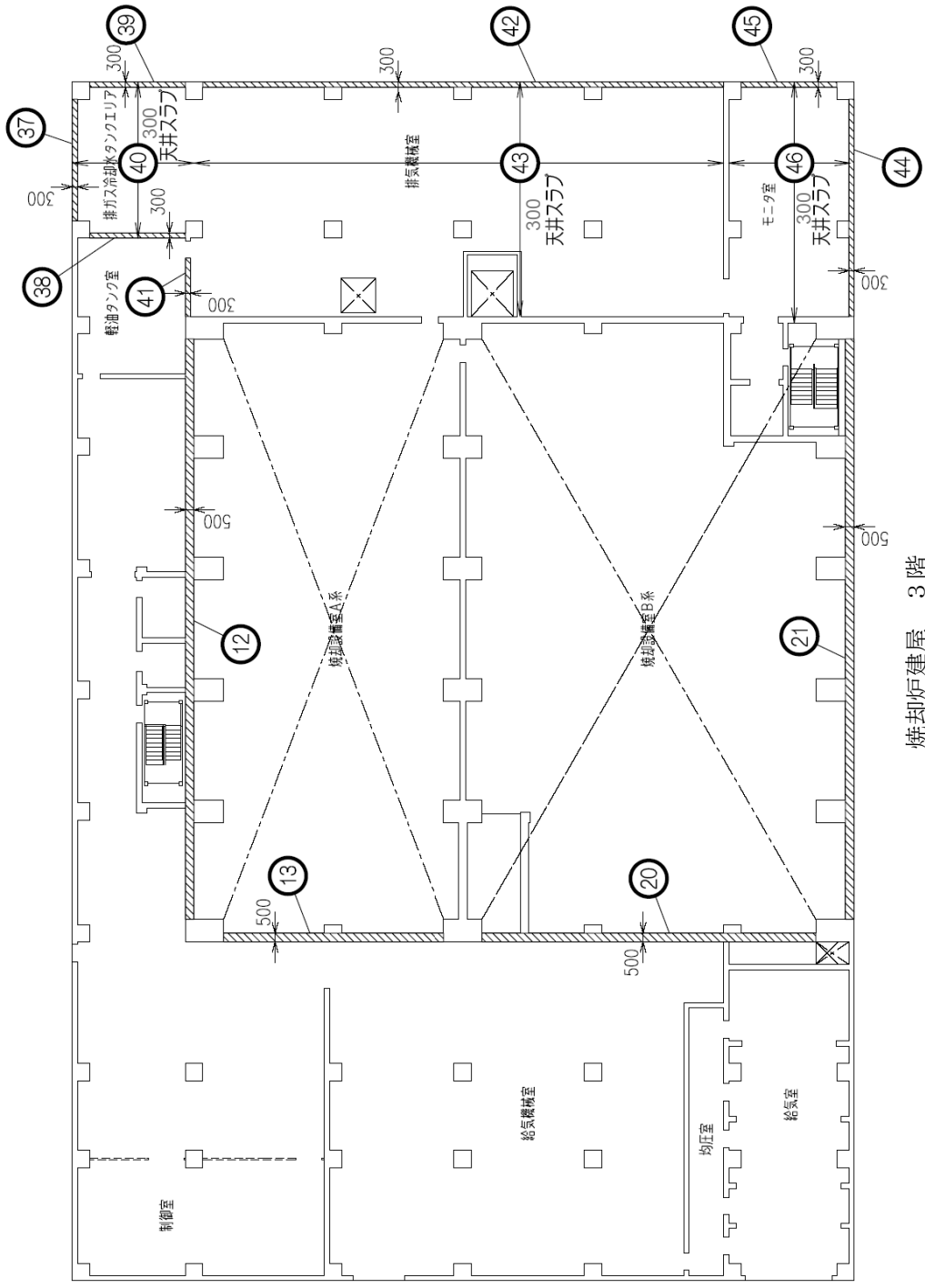
図-1 補助遮へいに関する構造図(1/4)



注1：寸法は，mm を示す。

焼却炉建屋 2階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (2/4)

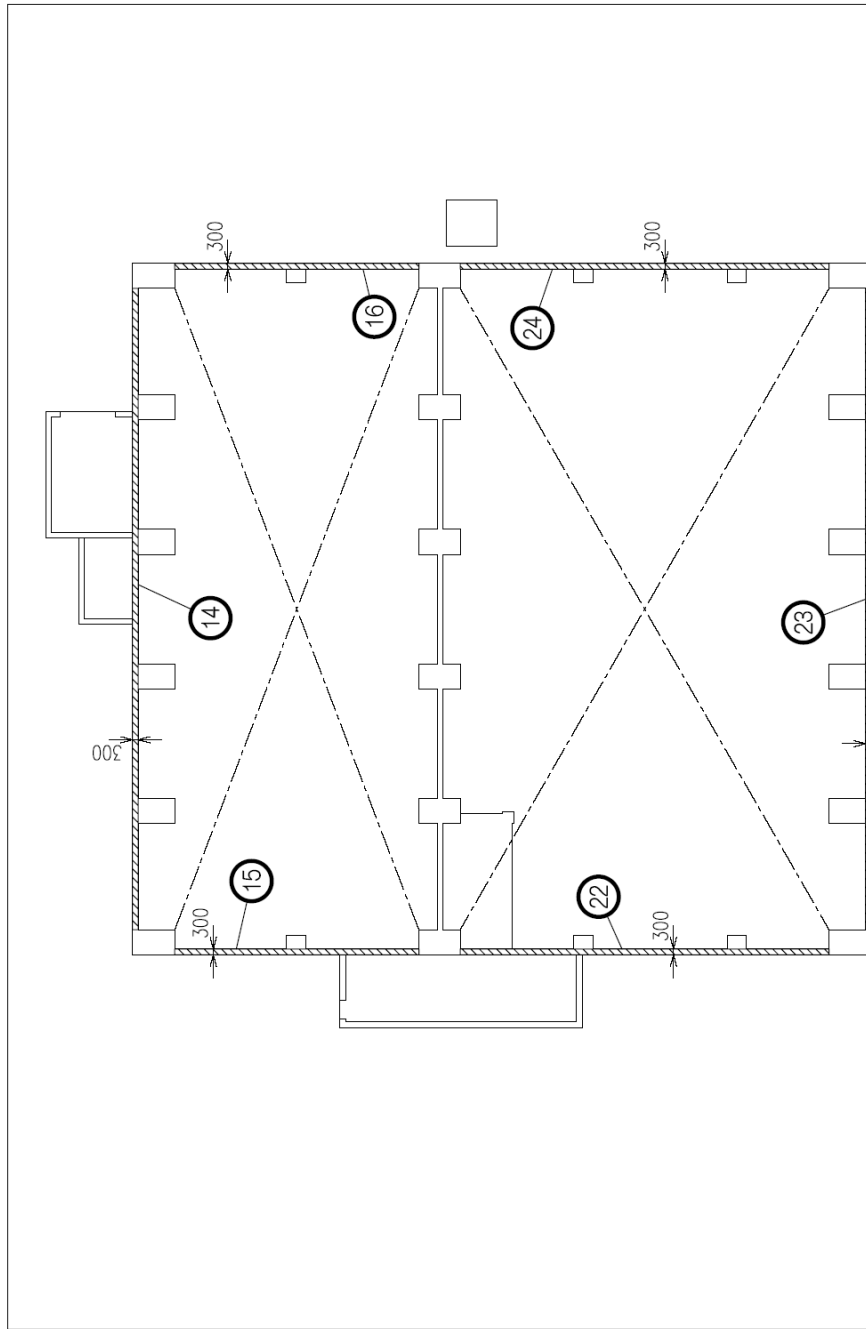


| No. | 種類 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
|-----|------------------|----|----|----|----|----|
| 12 | 焼却設備室 A 系 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 13 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 20 | 焼却設備室 B 系 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 21 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 37 | 排ガス冷却水タンク エリア | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 38 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 39 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 40 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 41 | 排気機室 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 42 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 43 | モニタ室 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 44 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 45 | モニタ室 | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |
| 46 | | 北壁 | 西壁 | 南壁 | 東壁 | 天井 |

注1：寸法は，mm を示す。

焼却炉建屋 3階

図-1 補助遮へいに関する構造図 (3/4)



焼却炉建屋 屋上階

| No. | 種類 | |
|-----|-----------|----|
| ⑭ | 焼却設備室 A 系 | 北壁 |
| ⑮ | | 西壁 |
| ⑰ | | 東壁 |
| ⑳ | 焼却設備室 B 系 | 西壁 |
| ㉑ | | 南壁 |
| ㉒ | | 東壁 |

注 1：寸法は，mm を示す。

図-1 補助遮へいに関する構造図 (4 / 4)

固体廃棄物処理設備における放射性物質の散逸防止に関する説明書

1. 焼却灰取扱設備

雑固体廃棄物焼却設備では、放射性固体廃棄物等の焼却処理を行う。

排ガスはフィルタを通し、放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、放射性物質の濃度を監視しながら本建屋専用の排気筒から放出し、焼却灰はドラム缶に密閉し保管する。

焼却灰取扱設備の概要は以下のとおりである。なお、焼却灰取扱設備の構成図を図-1に示す。

(1) 焼却炉及び二次燃焼器

焼却処理により発生する焼却灰は、二次燃焼器下部から排出され、灰搬送コンベアにて搬送される。

(2) 排ガス冷却器

排ガスに伴い排ガス冷却器へ持ち込まれた焼却灰の一部は、排ガス冷却器下部から排出され、二次燃焼器からの灰と合わせ、灰搬送コンベアにて搬送される。

(3) バグフィルタ

排ガス冷却器を通過した排ガス中の焼却灰は、バグフィルタで捕捉される。

フィルタ逆洗に伴い、焼却灰はバグフィルタ底部から排出され、二次燃焼器及び排ガス冷却器からの灰と合わせ、灰搬送コンベアにて灰投入ホッパに搬送される。

(4) 灰搬送コンベア及び灰投入ホッパ

灰搬送コンベアにて搬送された灰は、灰投入ホッパに一時貯留後、灰ドラム缶へ排出される。

2. 焼却灰の散逸防止

焼却灰取扱設備で取扱う焼却灰は固体状であり、流体状ではないため、万一散逸した場合でも拡大する恐れはない。

ただし、焼却灰は放射性物質の濃度が比較的高いことから、放射線業務従事者等の被ばくを合理的に達成できる限り低減する観点に立ち、以下のとおり、焼却灰の散逸防止を図る。

また、万一の焼却灰散逸時の対応に十分配慮するとともに、インターロック等により、異常時にも対応できるよう配慮する。

2.1 安全性を確保した設計

(1) 適用材料

焼却灰取扱設備は、運転状態における最高使用圧力及び最高使用温度を考慮し適正な材料を使用する。

灰投入ホッパは耐食性を考慮し、ステンレス鋼とし、接続部は溶接またはフランジ構造とし散逸を防止する。

(2) 焼却灰散逸防止

焼却炉（ロータリーキルン式）は、廃棄物投入側と二次燃焼器側へ本体が差し込まれた構造となっており、境界部の隙間は十分小さくなっているが、可能な限り隙間を閉止することを目的にシールプレートを二重構造にしている。このシールプレートは、熱伸びが吸収できるよう板ばね構造とし、円周に沿うように構成される（図-2）。境界部で漏れ難い構造としている他、排ガスブロアおよび排ガス補助ブロアにより焼却炉内を負圧に維持し焼却灰の散逸を防止する。

灰搬送コンベアは、二次燃焼器、排ガス冷却器及びバグフィルタから排出される焼却灰を搬送し、カバーで囲まれ焼却灰の散逸し難いものとする。

焼却灰が散逸し難いように、焼却灰のドラム缶への充填作業は、チャンバ内で行う。

(3) インターロックによる管理

灰投入ホッパには灰レベル高を検出するレベル計を設け、警報を発して運転員に知らせるとともに、インターロックにより廃棄物投入を停止する。停止後灰投入ホッパに供給される量に対し、レベル計検知後の灰ホッパへの投入可能容量に十分な余裕があり、灰投入ホッパからの焼却灰散逸を防止する。

焼却灰を充填する灰ドラム缶には、灰レベル高を検出するレベル計を設け、灰ホッパからの灰排出を停止し焼却灰散逸を防止する。

また、排ガスブロア停止等の異常時には警報を発して運転員に異常を知らせるとともに、負圧を維持する排ガス補助ブロアによりバックアップし、焼却炉の運転を自動停止する。

2.2 異常時への対応

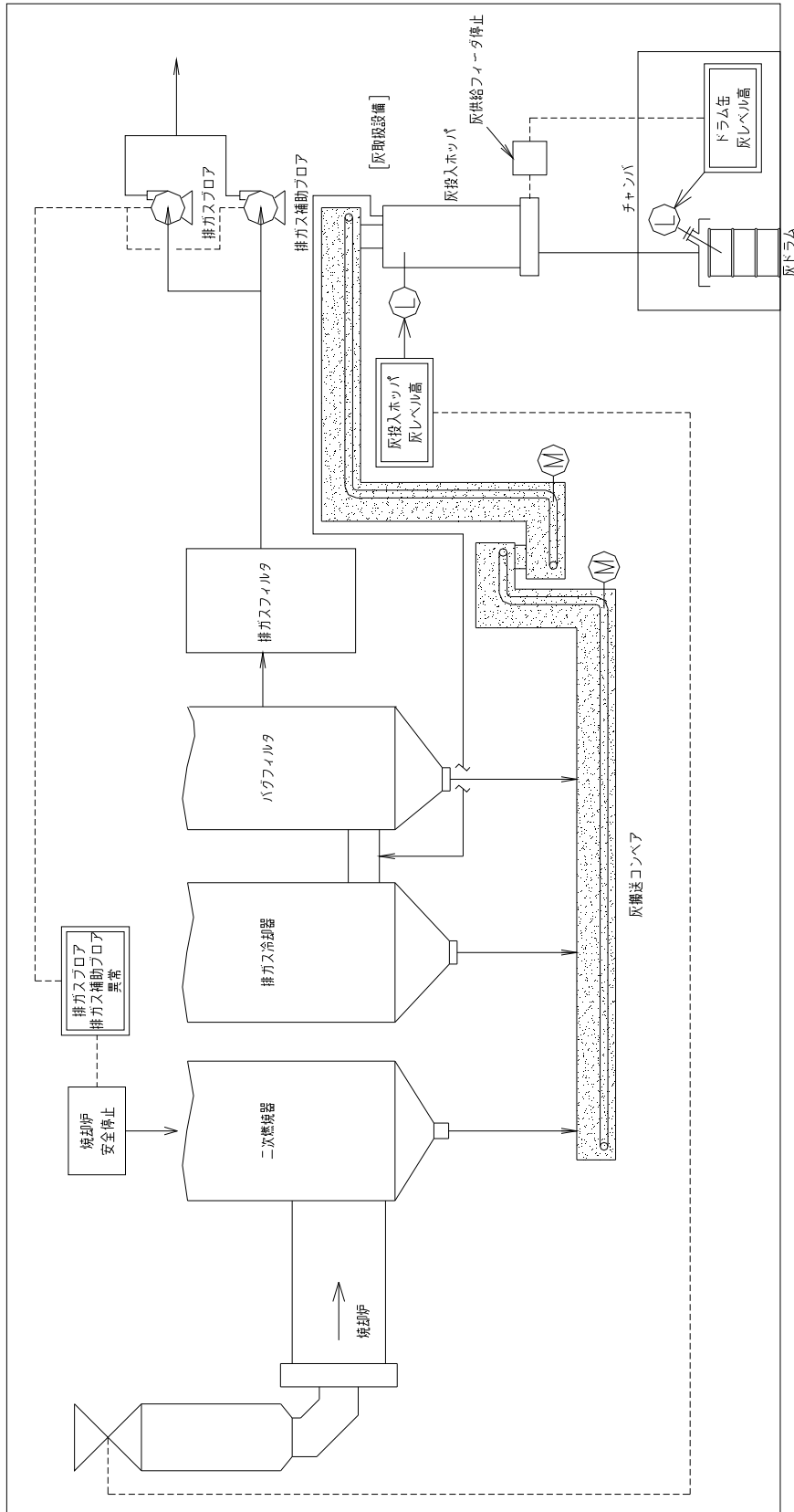
(1) 放射能閉じ込め

焼却炉，二次燃焼器，排ガス冷却器，バグフィルタ及び焼却灰取扱設備内は，排ガスブロアおよび排ガス補助ブロアにより負圧に維持し，万一損傷が生じた場合でも，焼却灰が飛散しないようにする。

(2) 焼却灰散逸時の対応

焼却灰のドラム缶への充填作業は，吸引されているチャンバ内で行うため，焼却灰がドラム缶充填時に散逸したとしても，焼却灰がチャンバ外へ散逸する可能性は少ない。

また，焼却灰取扱設備が破損し焼却灰が飛散しても，補助遮へい壁で囲まれた区画内に保持されているため，周辺公衆へ焼却灰が散逸することはほとんどない。



図一 1 焼却灰取扱設備の概要

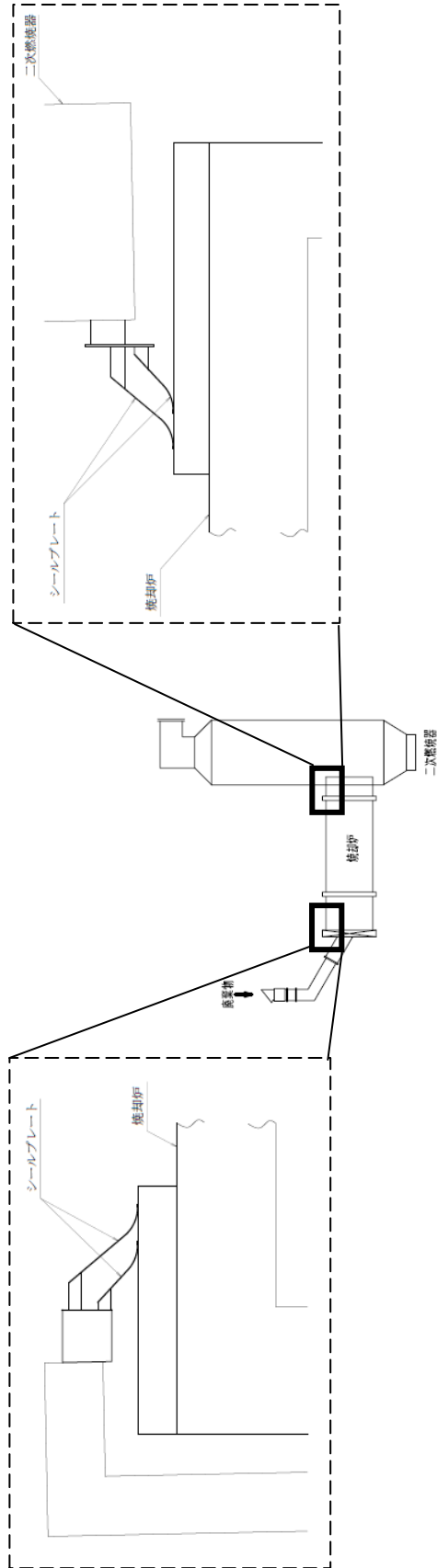


図-2 焼却炉境界部の構造

雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項

焼却炉建屋の工事に係る主要な確認項目を表-1に示す。

表-1 焼却炉建屋の工事に係る確認項目

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|-------|------|------------------------|--|
| 遮へい機能 | 材料確認 | コンクリートの乾燥単位容積質量を確認する。 | 2.15 g/cm ³ 以上であること。 |
| | 寸法確認 | 遮へい部材の断面寸法を確認する。 | 遮へい部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| 構造強度 | 材料確認 | 構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。 | 構造体コンクリート強度が、実施計画に記載されている設計基準強度に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| | | 鉄筋の材質、強度、化学成分を確認する。 | JIS G 3112に適合すること。 |
| | 寸法確認 | 構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。 | 構造体コンクリート部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。 |
| | 据付確認 | 鉄筋の径、間隔を確認する。 | 鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載しているピッチにほぼ均等に分布していること。 |

焼却設備の工事に係る主要な確認項目を表－２～１５に示す。

表－２ 確認事項（焼却炉，二次燃焼器，排ガス冷却器）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|--------------------------------------|--|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | 焼却運転を行い，定格容量の 廃棄物を焼却できるか確認 する。 | 実施計画に記載されている容量の 廃棄物を焼却できること。 また，著しい漏えいがないこと。 |

表－３ 確認事項（バグフィルタ，排ガスフィルタ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | ブローを運転し，定格容量で の装置の状態を確認する。 | 実施計画に記載されている容量に て著しい漏えいがないこと。 |

表－４ 確認事項（排気筒）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------|-------------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |

表－５ 確認事項（煙道）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------|-------------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 外径・厚さを確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |

表－6 確認事項（排ガスブローア，排ガス補助ブローア）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|--------|-----------------------|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| 性能 | 運転性能確認 | 運転状態にて風量を確認する。 | 実施計画に記載されている容量を満足すること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。 |

表－7 確認事項（高電導度廃液サンプ，シャワードレンサンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 試験圧力で保持した後，試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 | 試験圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |
| 機能 | 警報確認 | 設定値通りに警報が作動することを確認する。 | 許容範囲以内で警報が作動すること。 |

表－8 確認事項（高電導度廃液サンプルタンク，シャワードレンサンプルタンク）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|--------------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付され ていること。 |
| | 耐圧・ 漏えい確認 | 試験圧力で保持した後，試験 圧力に耐えていることを確 認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分か らの漏えいの有無も確認す る。 | 試験圧力に耐え，かつ構造物の変 形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいが ないこと。 |
| 機能 | 受入停止 確認 | 液位高の信号により受入が 自動停止すること，液位高 の信号により警報が作動す ることを確認する。 | 許容範囲以内で受入が自動停止す ること。 許容範囲以内で警報が作動するこ と。 |

表－9 確認事項（高電導度廃液ポンプ，シャワードレンポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|---------------------------|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | ポンプの運転確認を行う。 | 実施計画に記載の容量を満足する こと。また，異音，異臭，振動等の 異常がないこと。 |

表－１０ 確認事項（高電導度廃液サンプルポンプ、シャワードレンサンプルポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|-----------------------|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置、据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | ポンプの運転確認を行う。 | 実施計画に記載の容量を満足すること。また、異音、異臭、振動等の異常がないこと。 |

表－１１ 確認事項（主配管）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|--------------|--|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている外径・厚さを確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置、据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されていること。 |
| | 耐圧・ 漏えい確認 | 試験圧力で保持した後、試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 | 試験圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

表－１２ 確認事項（堰その他の設備）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------|--------------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 材料確認 | 実施計画に記載されている 主な材料について確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 堰その他の設備の据付位置、 据付状態について確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |

表－１３ 確認事項（漏えいの検出装置及び自動警報装置）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|-------------|---------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 装置の据付位置、据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 機能 | 漏えい 警報確認 | 設定値通りに警報が作動す ることを確認する。 | 許容範囲以内で警報が作動するこ と。 |

表－１４ 確認事項（焼却炉建屋送風機，焼却炉建屋排風機）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|---------------------------|---|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置、据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | 送風機、排風機の運転確認を 行う。 | 実施計画に記載されている容量を 満足すること。また、異音、異臭、 振動等の異常がないこと。 |

表－１５ 確認事項（排気処理装置）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------------|----------------------------|----------------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 寸法確認 | 実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付されて いること。 |
| 性能 | 運転性能 確認 | 定格容量での装置の状態を 確認する。 | 実施計画に記載されている容量に て変形等の異常がないこと。 |

表－１６ 確認事項（ダスト放射線モニタ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------|----------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付され ていること。 |

表－１７ 確認事項（ガス放射線モニタ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|------|----------------------------|---------------------------|
| 構造強度 ・耐震性 | 外観確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 据付確認 | 機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。 | 実施計画のとおり施工・据付され ていること。 |

雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書

1. 基本方針

1.1 耐震性評価の基本方針

雑固体廃棄物焼却設備に係る耐震設計は、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準用し、耐震性評価を行う。

1.1.1 設備の重要度による耐震クラス別分類

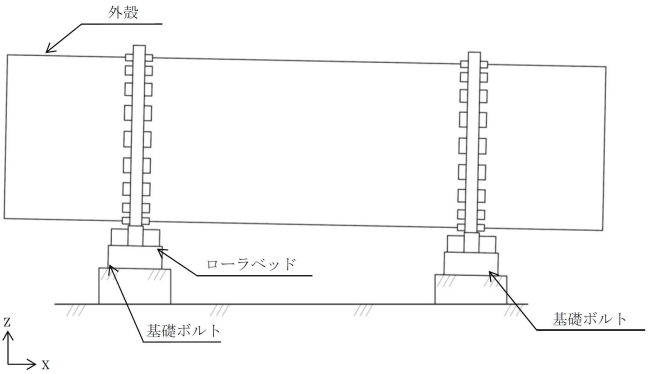
| 設備 | 耐震クラス別 | B | C |
|------------|--------|---|---|
| (1) 焼却設備 | | <ul style="list-style-type: none"> ○ 焼却炉 ○ 二次燃焼器 ○ 排ガス冷却器 ○ バグフィルタ ○ 排ガスフィルタ ○ 煙道*1 | 排ガスブロア 排ガス補助ブロア 煙道*2 排気筒 |
| (2) 廃液処理設備 | | — | 高電導度廃液サンブ 高電導度廃液ポンプ シャワードレンサンブ シャワードレンポンプ 高電導度廃液サンプルタンク 高電導度廃液サンプルポンプ シャワードレンサンプルタンク シャワードレンサンプルポンプ 主配管 |
| (3) 換気空調設備 | | — | 焼却炉建屋送風機 焼却炉建屋排風機 排気処理装置 |
| 備 考 | | ○印は評価結果を本資料にて示すもの | |

*1 焼却設備の煙道のうち、排ガス冷却器から排ガスフィルタの間にあるものを指す。

*2 焼却設備の煙道のうち、排ガスフィルタから排気筒の間にあるものを指す。

1.1.2 構造計画

(1) 機器

| 主要区分 | 構造計画の概要 | 概略構造図 | 摘要 |
|--------|--|---|--|
| a. 焼却炉 | <p>焼却炉（ロータリーキルン式）は横置きで，基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> |  | <ul style="list-style-type: none"> ・焼却炉 |

| 主要区分 | 構造計画の概要 | 概略構造図 | 摘要 |
|-------------------------|--|-------|---|
| <p>b. 二次燃焼器及び排ガス冷却器</p> | <p>二次燃焼器及び排ガス冷却器はたて置きで、胴を架台で支持し、架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> | | <ul style="list-style-type: none"> • 二次燃焼器 • 排ガス冷却器 |

| 主要区分 | 構造計画の概要 | 概略構造図 | 摘要 |
|-----------|---|-------|----------------|
| c. バグフィルタ | <p>バグフィルタはたて置きで，胴を架台で支持し，架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> | | <p>・バグフィルタ</p> |

| 主要区分 | 構造計画の概要 | 概略構造図 | 摘要 |
|------------|-------------------------------|-------|---|
| d. 排ガスフィルタ | 排ガスフィルタはたて置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。 | | <ul style="list-style-type: none"> 排ガスフィルタ |

e. 煙道

| 主要区分 | | 構造計画の概要 | 摘要 |
|------|---|--|-----|
| 架空 | B | 煙道は、サポートにより建屋等の構造物に支持する。 主要な煙道の構成を概略系統図*1に示す。 | ・煙道 |

注記 *1：主要な煙道の構成を示す概略系統図を以下に示す。

2.5 煙道 (図-14, 15)

1.1.3 設計用地震力

(1) 静的地震力

静的地震力は、以下の表に基づき算定する。

| 耐震クラス | 機器・配管系 | |
|-------|-----------------|------|
| | 水平震度* | 鉛直震度 |
| B | $1.8 \cdot C_i$ | — |
| C | $1.2 \cdot C_i$ | — |

注記 *：機器・配管系の C_i は、標準せん断応力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

(2) 動的地震力

Bクラス設備で建物・構築物と共振のおそれがあるものについては、弾性設計用地震動 S_d を 1/2 倍した地震波による動的地震力を考慮する。

| 項目 | 機器・配管系 | 備考 |
|--------|---|---|
| 設計用地震動 | $1/2 S_d-1$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 81 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 81 秒間 $1/2 S_d-2$: (水平)最大加速度振幅 150gal, 約 60 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 100gal, 約 60 秒間 $1/2 S_d-3$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 26 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 26 秒間 | T.P. 約-197m の基盤 ($V_s = \text{約 } 700\text{m/s}$) を解放基盤表面として定義する。 |

1.1.4 荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は、以下の通りとする。

記号の説明

- D : 死荷重
- P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_B : Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力
- C_S : Bクラスの設備の地震時の供用状態
- S_y : 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値
- S_u : 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値
- S : 許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5～7 に規定される値
- f_t : 許容引張応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131 により規定される値
- f_s : 許容せん断応力 同上
- f_c : 許容圧縮応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。
- f_b : 許容曲げ応力 同上
- f_p : 許容支圧応力 同上
- τ_b : ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

| 耐震 クラス | 荷重の組合せ | 供用状態 | 許容限界 | |
|-----------|-----------------------|-------|---|---|
| | | | 一次一般膜応力 | 一次応力 |
| B | $D + P_d + M_d + S_B$ | C_s | $\min [S_y, 0.6 \cdot S_u]$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。 | S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。 |

(2) 支持構造物（ボルト等以外）

| 応力分類 / 供用状態 | 許容限界（ボルト等以外） | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--|
| | 一次応力 | | | | | 一次＋二次応力範囲 | | | | |
| | 引張 | せん断 | 圧縮 | 曲げ | 支圧 | 引張 ⁽¹⁾ 圧縮 | せん断 ⁽¹⁾ | 曲げ ⁽¹⁾ | 支圧 | 座屈 |
| C_s | $1.5 \cdot f_t$ | $1.5 \cdot f_s$ | $1.5 \cdot f_c$ | $1.5 \cdot f_b$ | $1.5 \cdot f_p$ | $3 \cdot f_t$ | $3 \cdot f_s^{(2)}$ | $3 \cdot f_b$ | $1.5 \cdot f_p^{(3)}$ | $1.5 \cdot f_b^{(3)}$, $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$ |

注(1)：地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2)：すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5f_s$ 以下に制限する。

注(3)：自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(3) 支持構造物（ボルト等）

| 応力分類 供用状態 | 許容限界（ボルト等） | | |
|--------------|-----------------|-----------------|---|
| | 一次応力 | | |
| | 引張 | せん断 | 組合せ |
| C_s | $1.5 \cdot f_t$ | $1.5 \cdot f_s$ | $\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$ |

1.1.5 設計用床応答スペクトル

焼却炉建屋の機器の耐震計算に使用する設計用床応答スペクトルは、下記に示す条件に基づき設定した地震応答解析モデルによる応答解析から得られる加速度の時刻歴応答に基づき作成する。

焼却炉建屋の地震応答解析モデルは、地盤を等価な地盤ばねに置換したモデルとする。建屋は、その形状及び構造特性等を十分考慮して評価し、水平モデルは質点とより要素からなる集中質点系に置換し、鉛直モデルは軸断面積を考慮した解析モデルを設定する。地盤はその動的相互作用効果を考慮して評価して基礎底面ばねによって表現する。また、入力地震動は、自由地盤の一次元波動論による解析より求められる建屋底面位置での応答波とする。

1.1.5.1 設計用床応答スペクトル作成位置

焼却炉建屋については、図-1に示す解析モデルに基づき各質点について設計用床応答スペクトルを作成する。

1.1.5.2 建物・構築物等の設計用床応答スペクトル

焼却炉建屋の設計用床応答スペクトルの一覧表を表-1に、設計用床応答スペクトルを図2～9にそれぞれ示す。

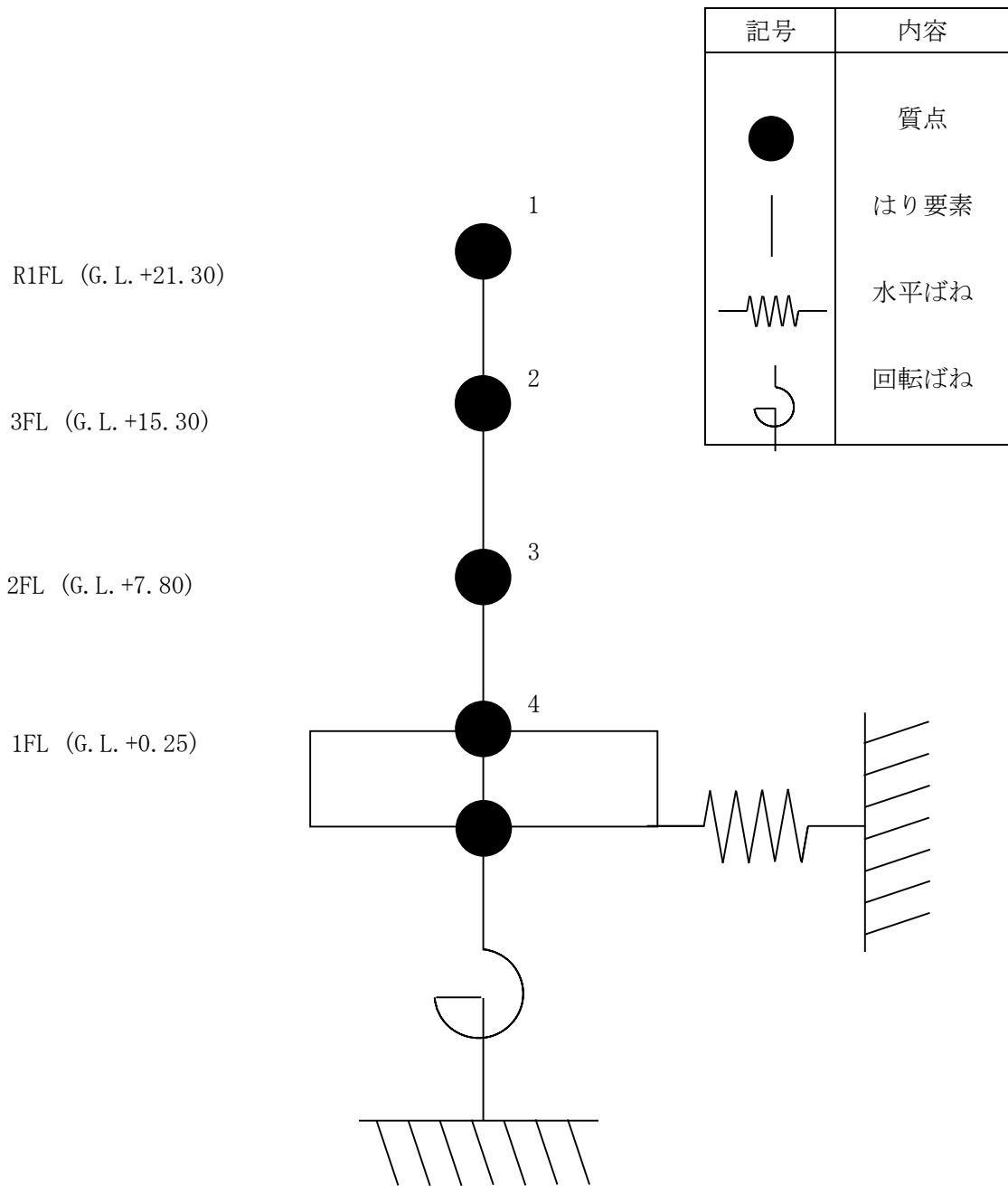


図-1 焼却炉建屋地震応答解析モデル (単位 : m)

添付資料-17 では、G.L. ±0m = T.P. 22.2m^(※) とする。
 (※) 2012年6月に実施した測量結果による。

表-1 設計用床応答スペクトル一覧表

| 構造物 | 質点番号 | G. L. + (m) | 減衰定数 (%) | 地震方向 | 図番 |
|-------|------|----------------|-------------|-------------|-----|
| 焼却炉建屋 | 1 | 21.30 | 0.5 | 鉛直 | 図-2 |
| | | | | NS 及び EW 方向 | 図-3 |
| | 3 | 7.80 | 1.0 | 鉛直 | 図-4 |
| | | | | NS 及び EW 方向 | 図-5 |
| | 4 | 0.25 | 1.0 | 鉛直 | 図-6 |
| | | | | NS 及び EW 方向 | 図-7 |
| | | | 2.0 | 鉛直 | 図-8 |
| | | | | NS 及び EW 方向 | 図-9 |

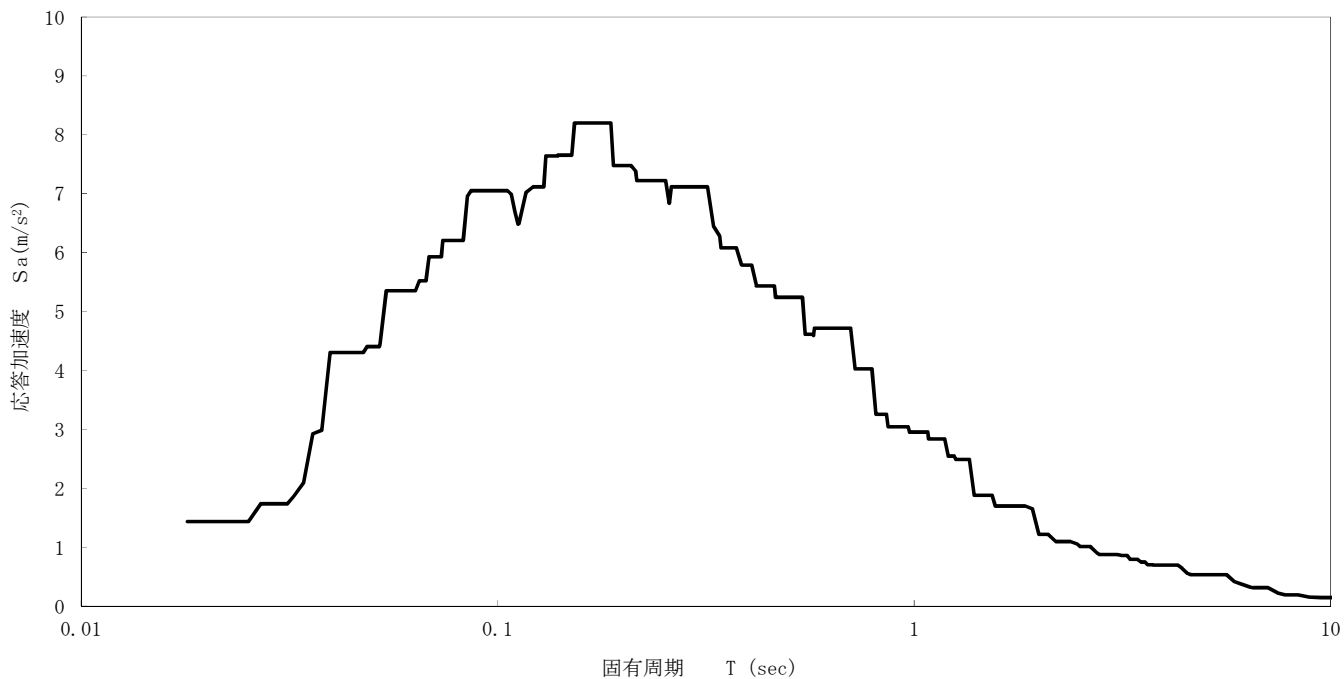


図-2 R1FL (G.L. +21.30) の設計用床応答スペクトル (鉛直, 0.5%減衰)

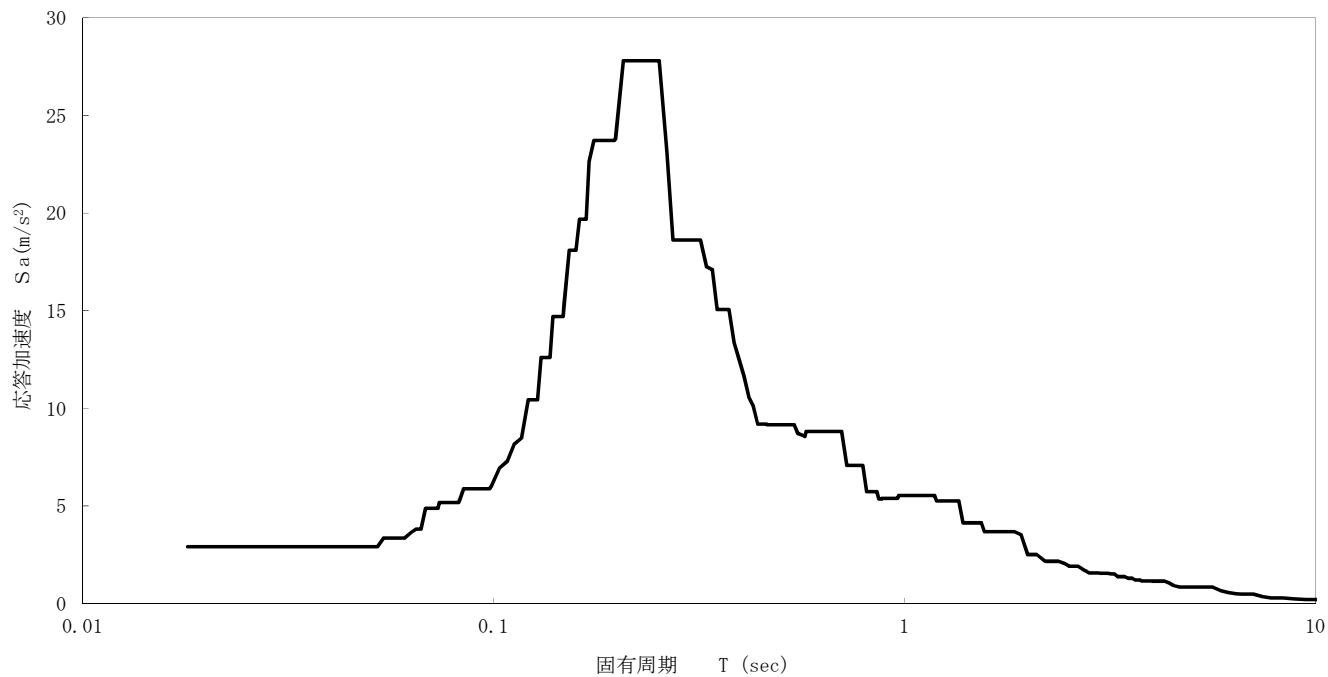


図-3 R1FL (G.L. +21.30) の設計用床応答スペクトル (NS 及び EW 方向, 0.5%減衰)

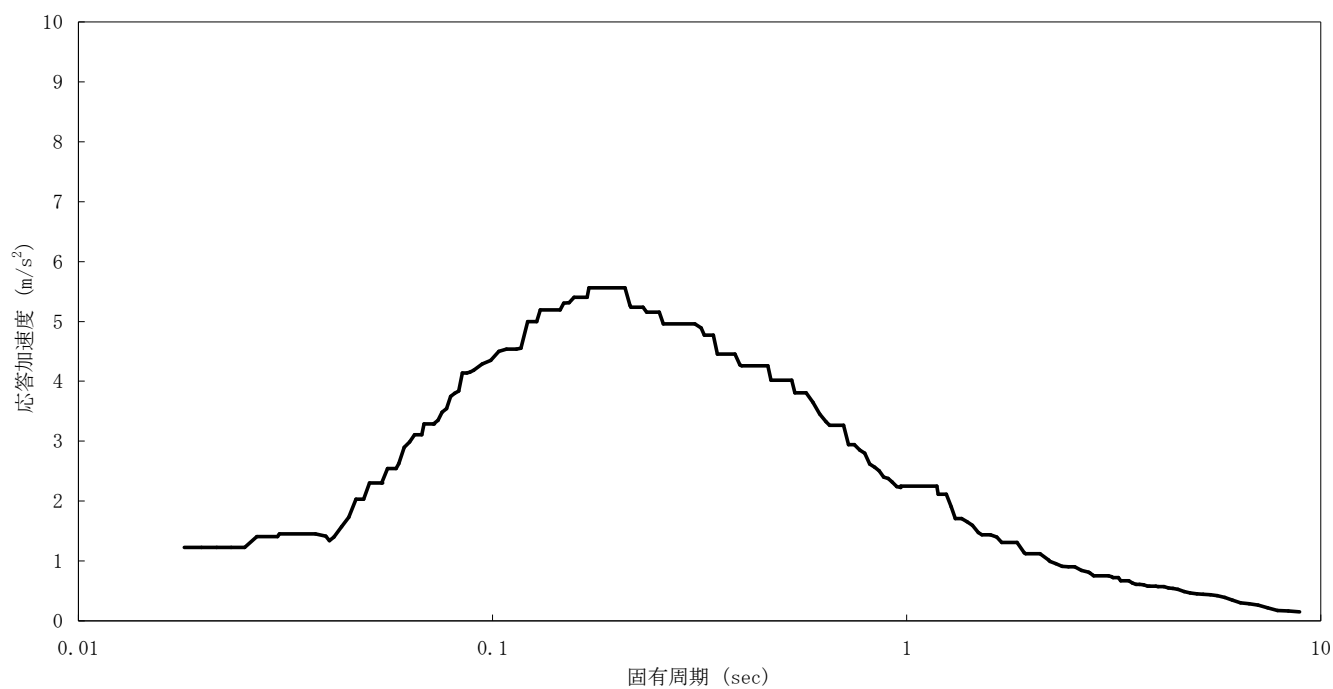


図-4 2FL (G.L. +7.80) の設計用床応答スペクトル (鉛直, 1.0%減衰)

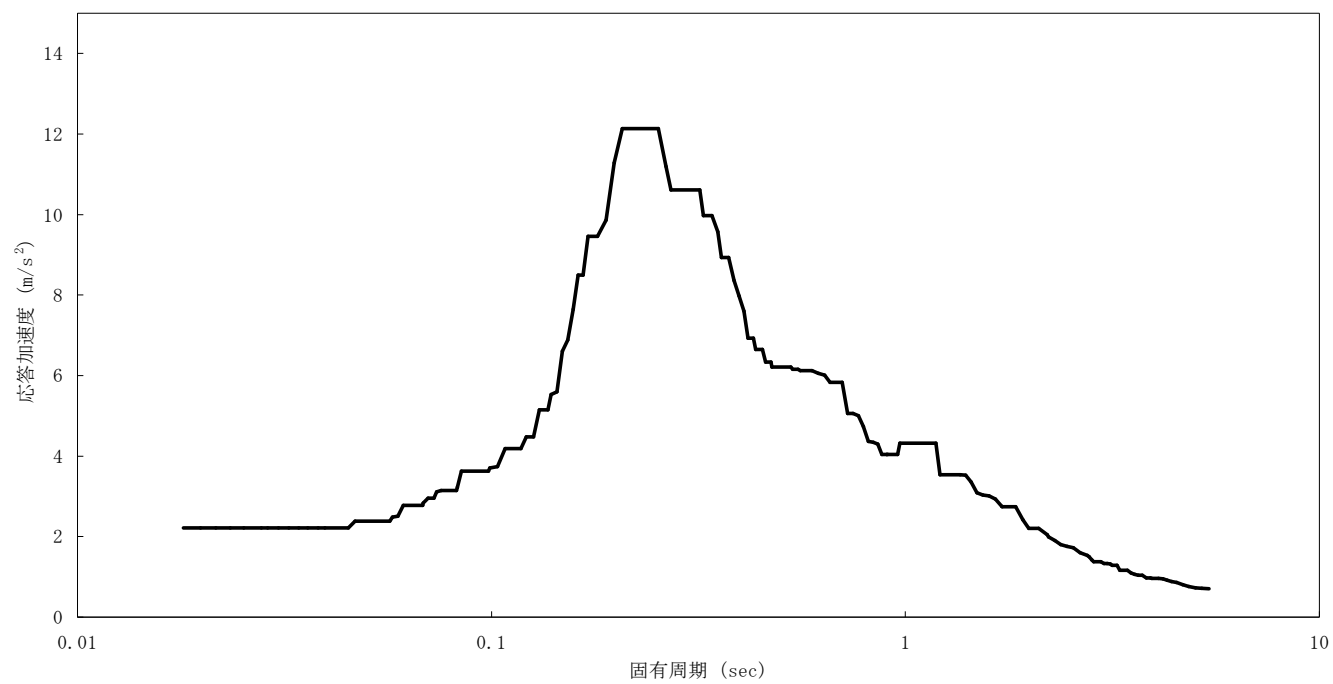


図-5 2FL (G.L. +7.80) の設計用床応答スペクトル (NS 及び EW 方向, 1.0%減衰)

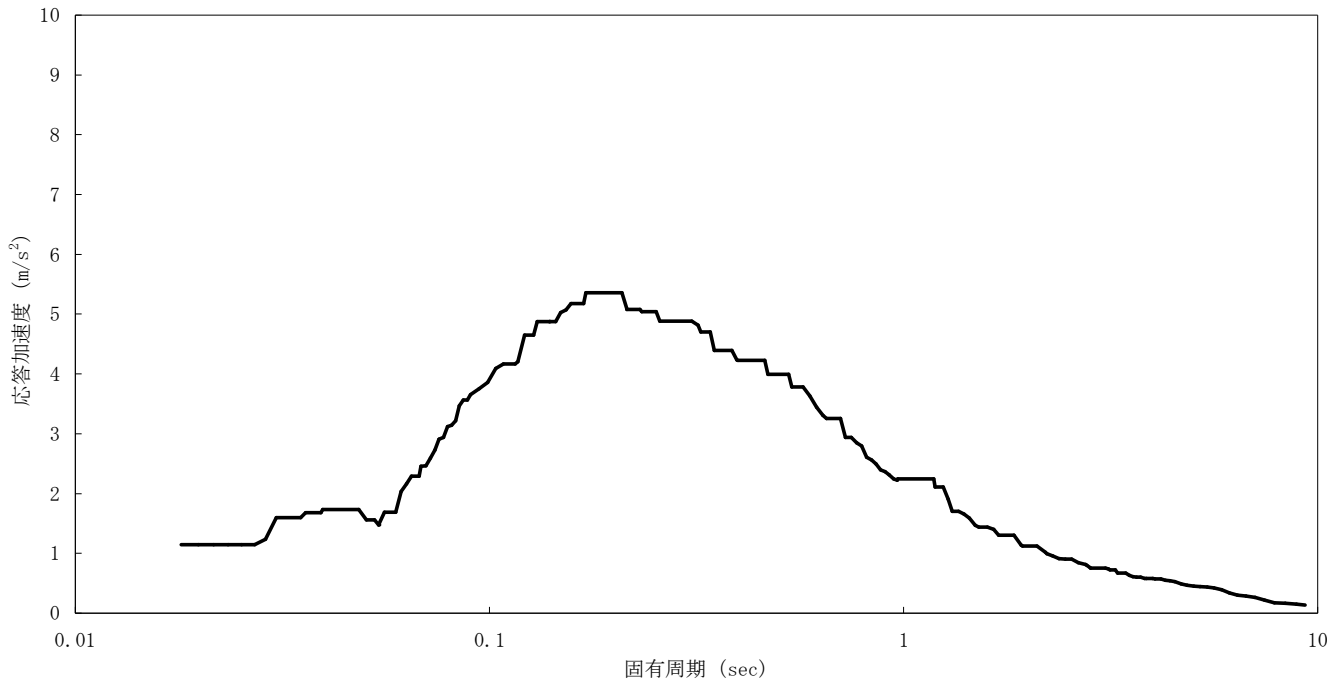


図-6 1FL (G.L. +0.25) の設計用床応答スペクトル (鉛直, 1.0%減衰)

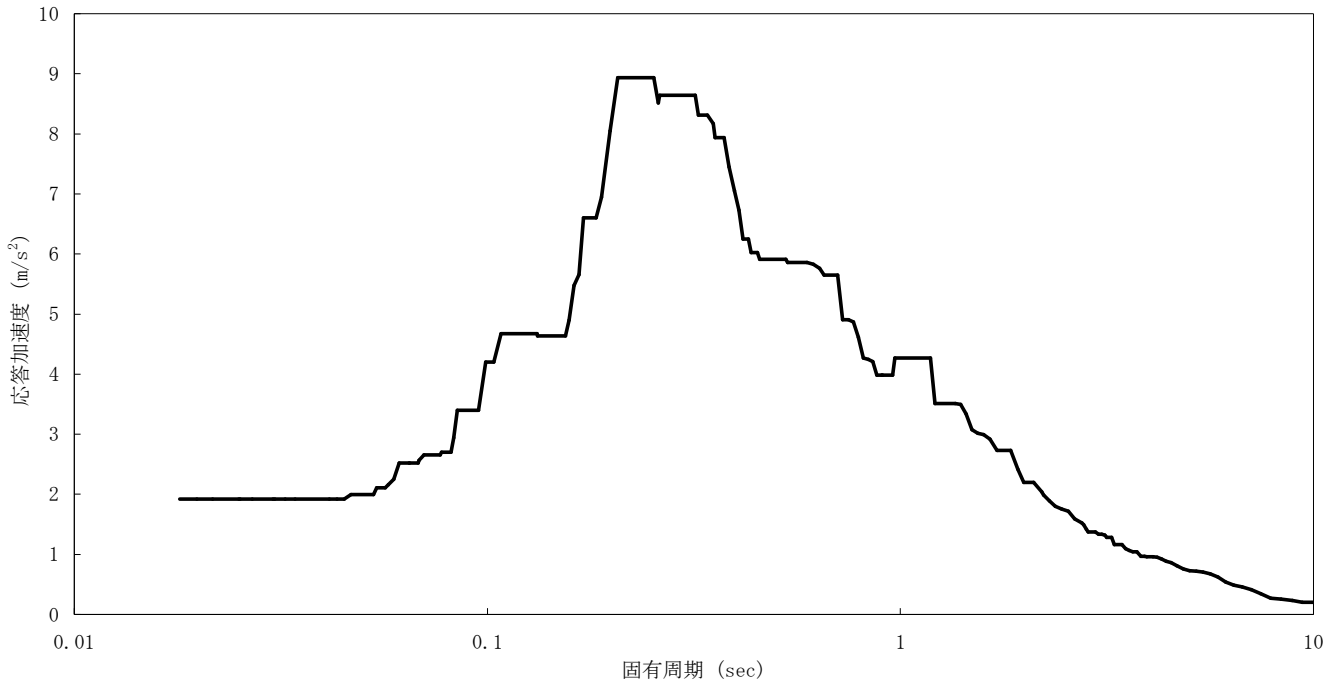


図-7 1FL (G.L. +0.25) の設計用床応答スペクトル (NS 及び EW 方向, 1.0%減衰)

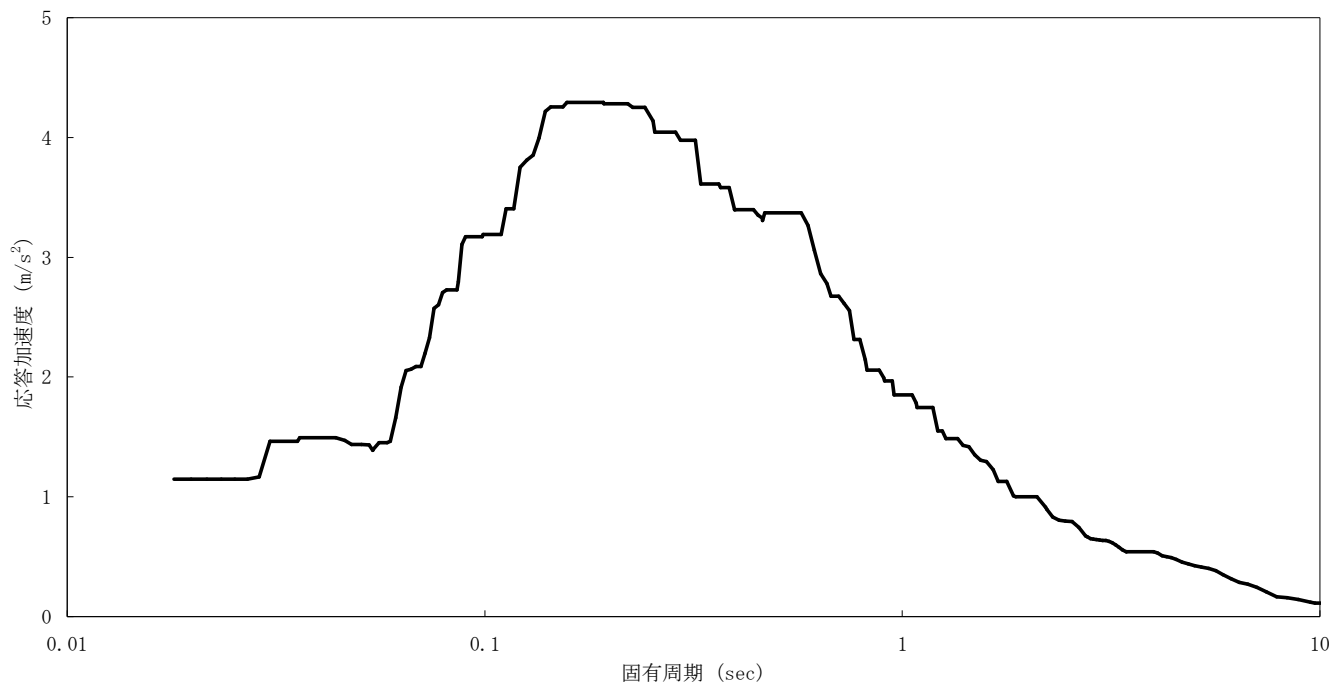


図-8 1FL (G.L. +0.25) の設計用床応答スペクトル (鉛直, 2.0%減衰)

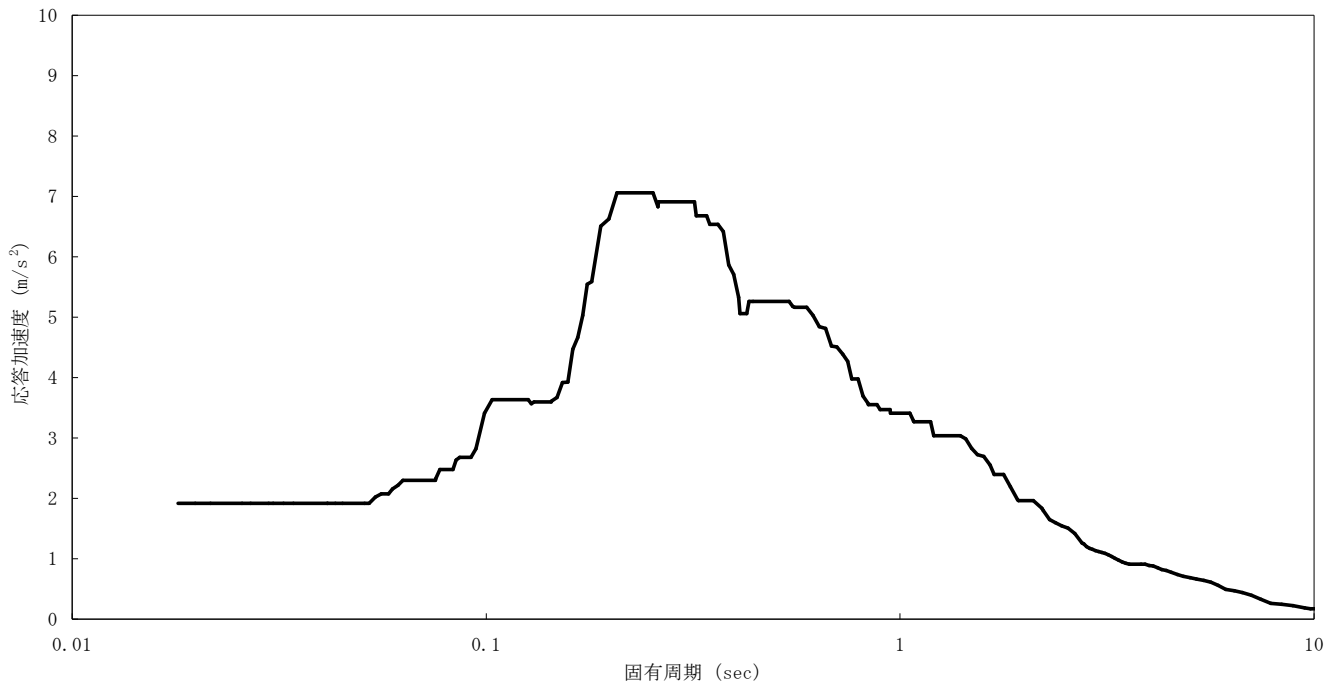


図-9 1FL (G.L. +0.25) の設計用床応答スペクトル (NS 及び EW 方向, 2.0%減衰)

2. 耐震性評価

2.1 焼却炉

2.1.1 計算条件

- (1) 焼却炉は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.1.2 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|--------------------|-----------------|
| C_{Hx} | 水平 x 方向設計震度 | — |
| C_{Hy} | 水平 y 方向設計震度 | — |
| σ_b | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ_b | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| F_b | ボルトに生じる引張力 | N |
| Q_b | ボルトに生じるせん断力 | N |
| n | ボルトの本数 | 本 |
| n_t | 水平方向の引張力を受けるボルトの本数 | 本 |
| A | ボルトの断面積 | mm ² |

2.1.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-10に示す。

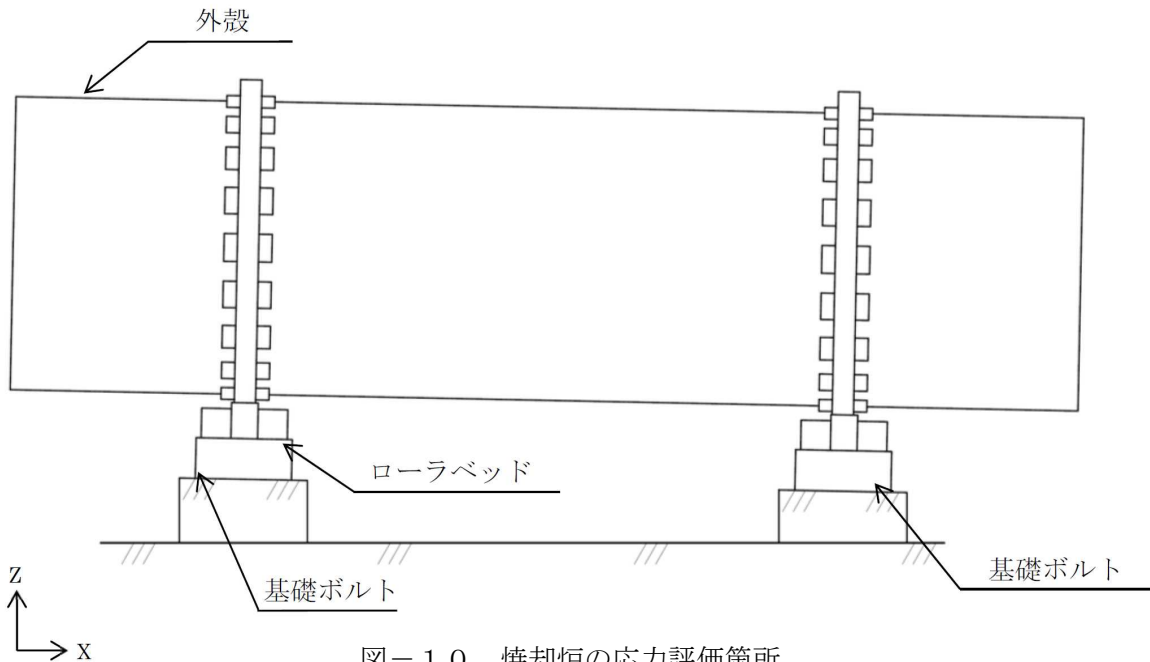


図-10 焼却炉の応力評価箇所

2.1.4 設計条件

| 据付場所 (m) | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 最高使用圧力 (MPa) |
|------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|
| 焼却設備室 (G. L. +0.25) | $C_{Hx}=0.48$ $C_{Hy}=0.48$ | — | -0.01 |

2.1.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-2)

表-2 焼却炉の応力評価結果

| 部材 | 材料 | 応力の種類 | 算出応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|--------|-------|-------------|---------------|---------------|
| 外殻 | SB410 | 一次一般膜 | 64 | 159 |
| | | 一次 | 79 | 159 |
| ローラベッド | SS400 | 一次 (組合せ) | 152 | 185 |
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 181 | 246 |
| | | せん断 | 147 | 265 |

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_t \cdot A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A}$$

2.2 二次燃焼器及び排ガス冷却器

2.2.1 計算条件

- (1) 二次燃焼器及び排ガス冷却器は、据付ボルトで架台に固定する。
- (2) 架台は、基礎ボルトで基礎に固定する。
- (3) 固有振動解析した結果、1次固有振動数が20Hz未満の場合、共振のおそれのあるものとして、弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.2.2 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|
| C_{Hx} | 水平 x 方向設計震度 | — |
| C_{Hy} | 水平 y 方向設計震度 | — |
| C_v | 鉛直方向設計震度 | — |
| σ_a, σ_b | 主応力 | MPa |
| σ_x, σ_y | 互いに直交する垂直応力 | MPa |
| τ_{xy} | σ_x, σ_y の作用する面内のせん断応力 | MPa |
| σ_0 | 二次燃焼器及び排ガス冷却器に生じる一次一般膜応力 | MPa |
| σ_1 | 二次燃焼器及び排ガス冷却器に生じる一次応力（内面） | MPa |
| σ_2 | 二次燃焼器及び排ガス冷却器に生じる一次応力（外面） | MPa |
| σ_{b2} | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ_b | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| F_b | ボルトに生じる引張力 | N |
| Q_b | ボルトに生じるせん断力 | N |
| n | ボルトの本数 | 本 |
| n_t | 水平方向の引張力を受けるボルトの本数 | 本 |
| A | ボルトの断面積 | mm ² |
| σ_c | 平均圧縮応力 | MPa |
| ${}_c\sigma_b$ | 圧縮側曲げ応力 | MPa |
| ${}_t\sigma_b$ | 引張側曲げ応力 | MPa |
| f_c | 圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力 | MPa |
| f_b | 曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力 | MPa |
| f_t | 引張力のみを受ける架台の許容引張応力 | MPa |

2.2.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-11に示す。

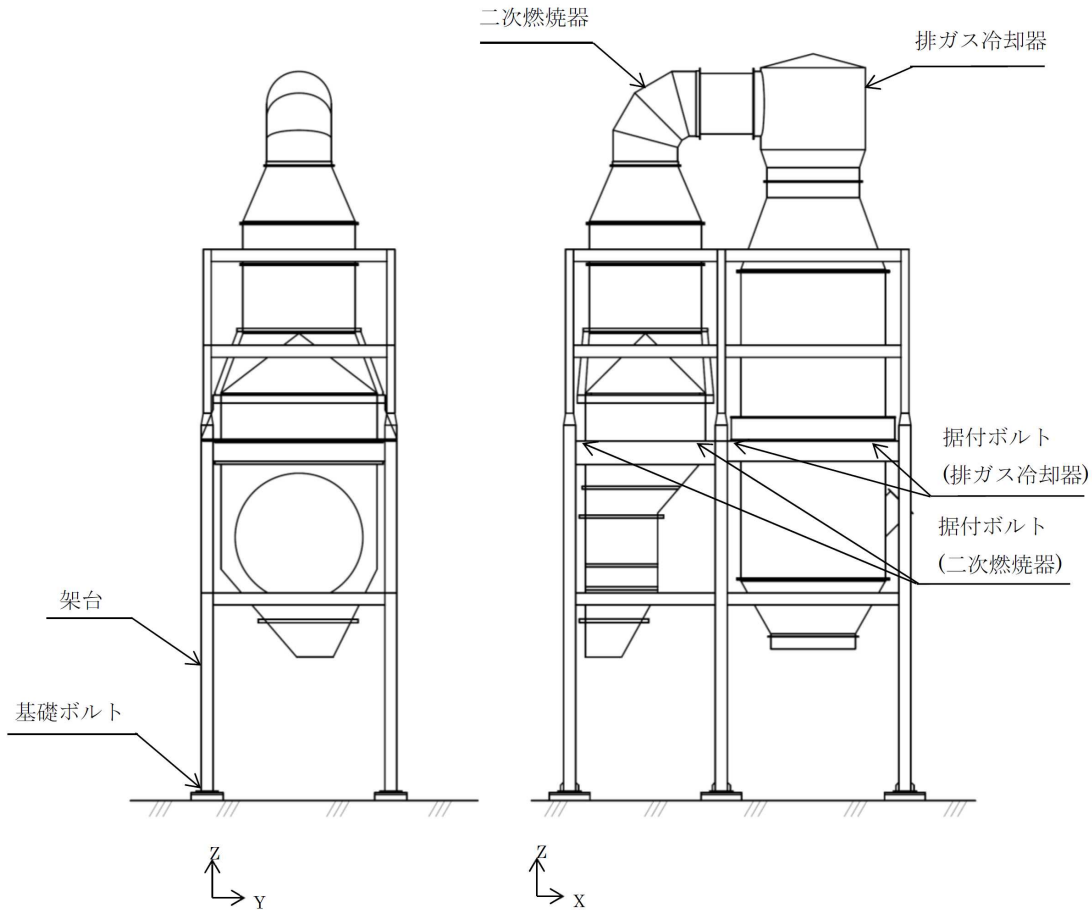


図-11 二次燃焼器／排ガス冷却器の応力評価箇所

2.2.4 設計条件

| 据付場所 (m) | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 最高使用圧力 (MPa) |
|------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------|
| 焼却設備室 (G. L. +0.25) | $C_{Hx} = 0.56$ $C_{Hy} = 0.59$ | $C_v = 0.19$ | -0.01 |

2.2.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-3)

表-3 二次燃焼器及び排ガス冷却器の応力評価結果

| 部材 | 材料 | 応力の種類 | 算出応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|-------------------|-------|---------------|---|---------------|
| 二次燃焼器 | SS400 | 一次一般膜 | 85 | 218 |
| | | 一次 | 115 | 209 |
| 排ガス冷却器 | SS400 | 一次一般膜 | 58 | 218 |
| | | 一次 | 196 | 209 |
| 架台 | SS400 | 一次(組合せ) | 203 | 218 |
| | | 圧縮と曲げの 組合せ | $\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ c\sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ t\sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$ | |
| | | | 0.93 (無次元) | |
| 据付ボルト (二次燃焼器) | SNB7 | 引張 | — | 398 |
| | | せん断 | 216 | 306 |
| | S45C | 引張 | 22 | 331 |
| | | せん断 | 115 | 255 |
| 据付ボルト (排ガス冷却器) | S45C | 引張 | 311 | 331 |
| | | せん断 | 128 | 255 |
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 97 | 156 |
| | | せん断 | 27 | 120 |

二次燃焼器及び排ガス冷却器の一次一般膜応力及び一次応力は、解析によって得られた応力成分から、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} + \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2\right)}, \quad \sigma_b = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} - \sqrt{\left(\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2\right)}$$

$$\sigma_0 = \sigma_1 = \sigma_2 = \max(|\sigma_a - \sigma_b|, |\sigma_a|, |\sigma_b|)$$

また、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_t \cdot A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A}$$

2.3 バグフィルタ

2.3.1 計算条件

- (1) バグフィルタは，据付ボルトで架台に固定する。
- (2) 架台は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.3.2 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------------|--------------------|-----------------|
| C_{Hx} | 水平 x 方向設計震度 | — |
| C_{Hy} | 水平 y 方向設計震度 | — |
| C_v | 鉛直方向設計震度 | — |
| σ_b | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ_b | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| F_b | ボルトに生じる引張力 | N |
| Q_b | ボルトに生じるせん断力 | N |
| n | ボルトの本数 | 本 |
| n_t | 水平方向の引張力を受けるボルトの本数 | 本 |
| A | ボルトの断面積 | mm ² |
| σ_c | 平均圧縮応力 | MPa |
| ${}_c\sigma_b$ | 圧縮側曲げ応力 | MPa |
| ${}_t\sigma_b$ | 引張側曲げ応力 | MPa |
| f_c | 圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力 | MPa |
| f_b | 曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力 | MPa |
| f_t | 引張力のみを受ける架台の許容引張応力 | MPa |

2.3.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-12に示す。

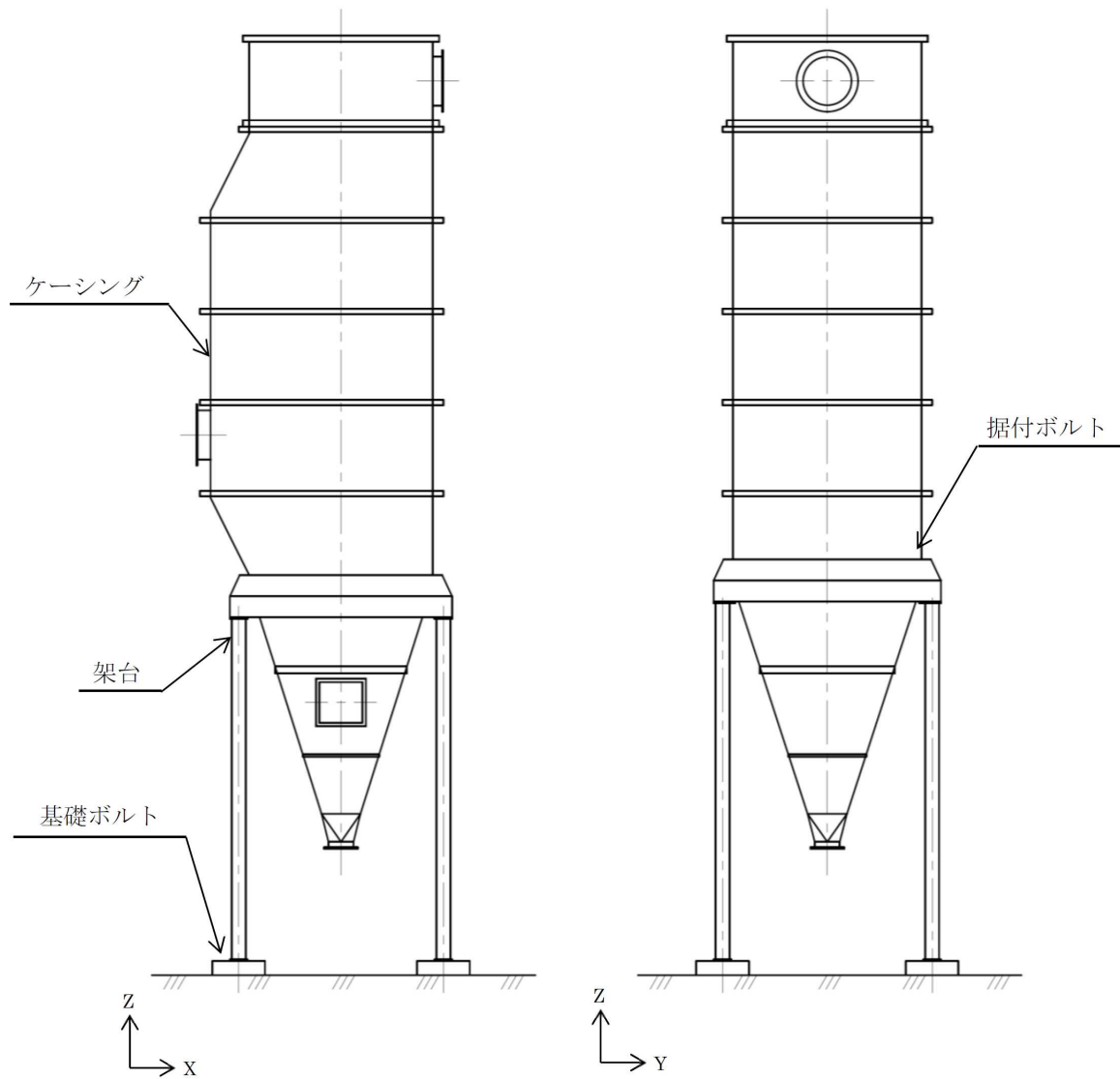


図-12 バグフィルタの応力評価箇所

2.3.4 設計条件

| 据付場所 (m) | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 最高使用圧力 (MPa) |
|------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------|
| 焼却設備室 (G. L. +0.25) | $C_{Hx}=0.73$ $C_{Hy}=0.73$ | $C_v=0.20$ | -0.01 |

2.3.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-4)

表-4 バグフィルタの応力評価結果

| 部材 | 材料 | 応力の種類 | 算出応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|-------|-------|----------------|---|---------------|
| ケーシング | SS400 | 一次一般膜 | 137 | 193 |
| | | 一次 | 149 | 193 |
| 架台 | SS400 | 一次+二次 (組合せ) | 97 | 193 |
| | | 圧縮と曲げの 組合せ | $\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ \sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ \sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$ | |
| | | | 0.48 (無次元) | |
| 据付ボルト | SS400 | 引張 | 81 | 138 |
| | | せん断 | 63 | 106 |
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 115 | 170 |
| | | せん断 | 24 | 131 |

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_t \cdot A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A}$$

2.4 排ガスフィルタ

2.4.1 計算条件

- (1) 排ガスフィルタは、基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果、1次固有振動数が20Hz未満の場合、共振のおそれのあるものとして、弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.4.2 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|--------------------|-----------------|
| C_H | 水平方向設計震度 | — |
| σ_b | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ_b | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| F_b | ボルトに生じる引張力 | N |
| Q_b | ボルトに生じるせん断力 | N |
| n | ボルトの本数 | 本 |
| n_t | 水平方向の引張力を受けるボルトの本数 | 本 |
| A | ボルトの断面積 | mm ² |

2.4.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-13に示す。

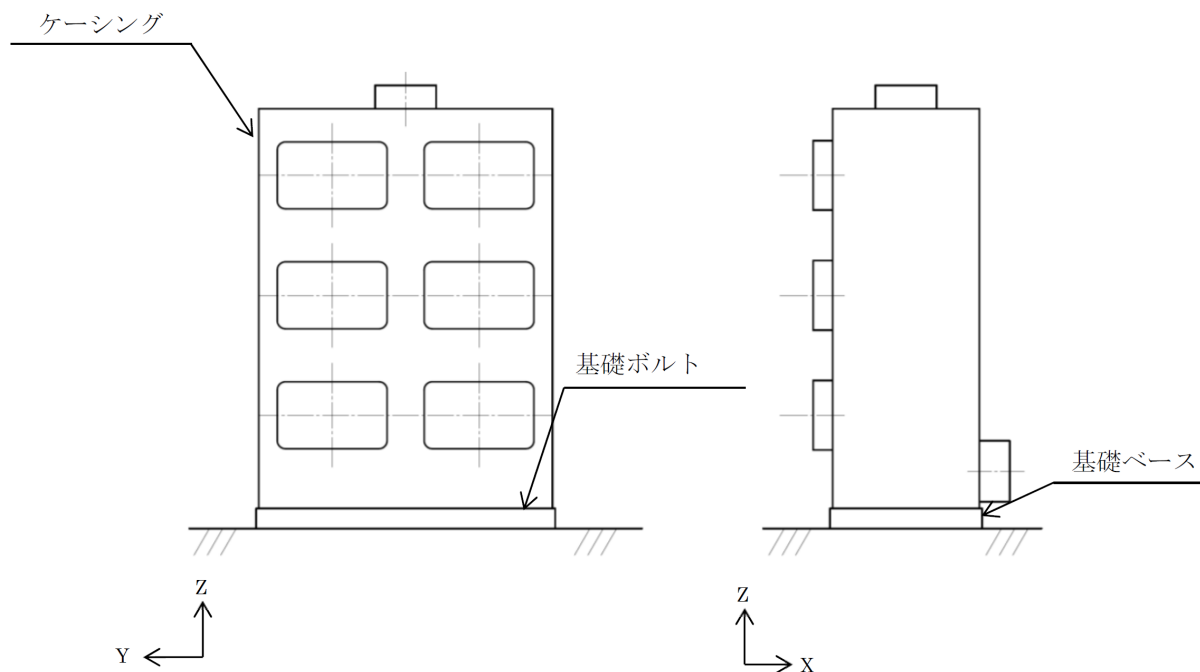


図-13 排ガスフィルタの応力評価箇所

2.4.4 設計条件

| 据付場所 (m) | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 最高使用圧力 (MPa) |
|----------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| 焼却設備排気機械室 (G. L. +7.80) | $C_H=0.46$ | — | -0.01 |

2.4.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-5)

表-5 排ガスフィルタの応力評価結果

| 部材 | 材料 | 応力の種類 | 算出応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|------------------|-------|-------|---------------|---------------|
| ケーシング及び 基礎ベース | SS400 | 一次一般膜 | 80 | 193 |
| | | 一次 | 109 | 193 |
| 基礎ボルト | SS400 | 引張 | 11 | 170 |
| | | せん断 | 19 | 131 |



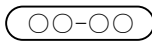

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

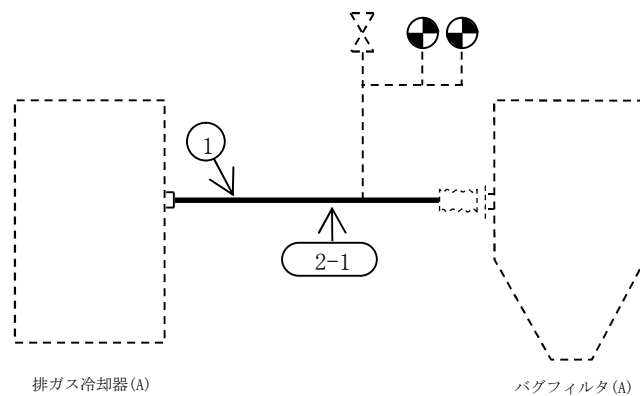
$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_t \cdot A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A}$$

2.5 煙道

煙道における解析範囲は、排ガス冷却器出口から排ガスフィルタ入口までの煙道である。解析範囲の概略系統図を図－14、15に示す。

概略系統図記号凡例

| 記号 | 内容 |
|--|---------|
|  (太線) | 評価対象範囲 |
|  (点線) | 評価対象範囲外 |
|  | 鳥瞰図記号 |
|  | アンカ |



注記 A系とB系は同一である

図－14 概略系統図（排ガス冷却器出口からバグフィルタ入口までの煙道）

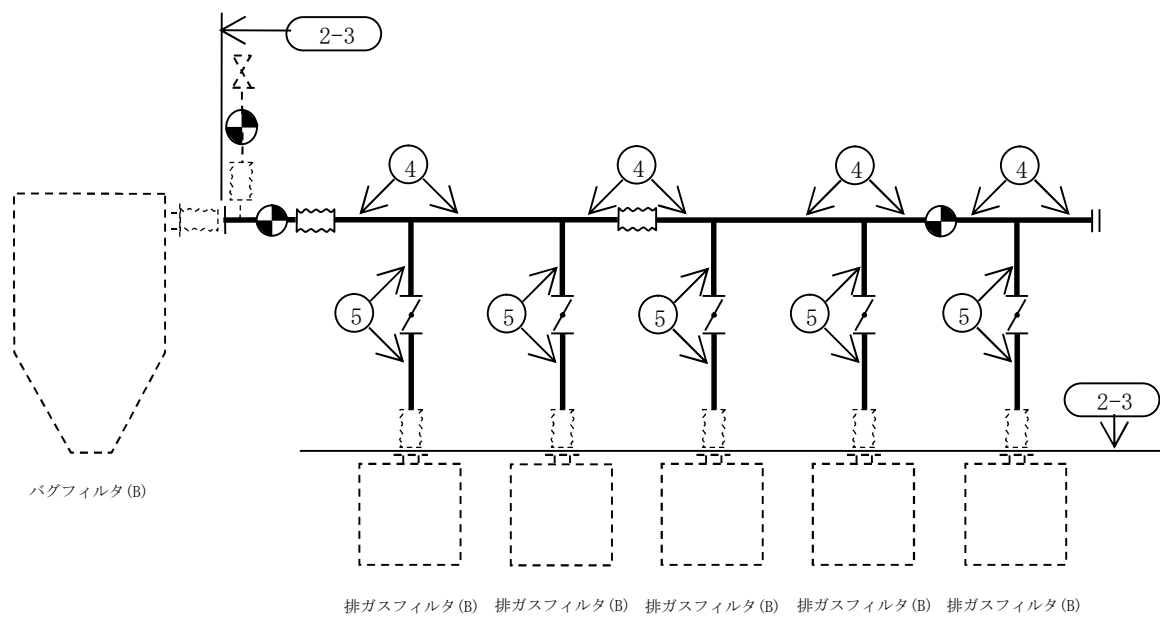
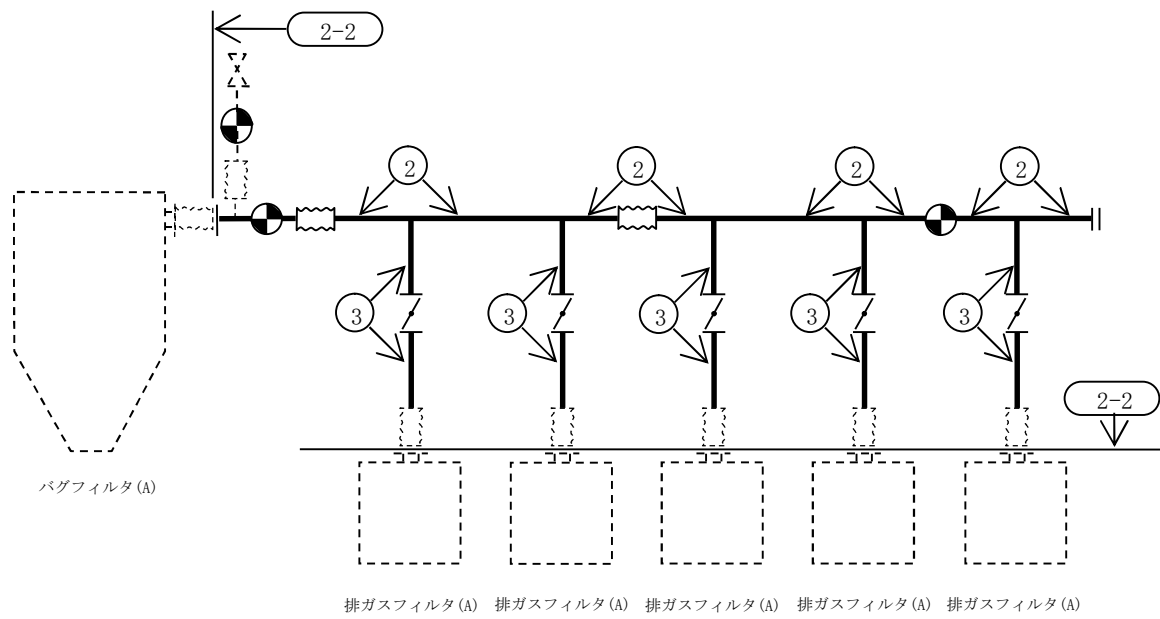


図-15 概略系統図 (バグフィルタ出口から排ガスフィルタ入口までの煙道)

2.5.1 計算条件

- (1) 煙道は、アンカ及びレストレイントにより支持される。
- (2) 固有振動解析した結果、1次固有振動数が20Hz未満の場合、共振のおそれのあるものとして、弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.5.2 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|------------------------------------|-----------------|
| S_{prmi} | 一次応力 応力係数 | MPa — |
| M_a | 管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント | N・mm |
| M_b | 管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント | N・mm |
| Z | 断面係数 | mm ³ |

2.5.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、計算機コードAutoPIPEを用いる。解析範囲における設計条件を表-6に示す。

表-6 設計条件

| 解析範囲 | 排ガス冷却器出口から 排ガスフィルタ入口までの煙道 | | |
|------|------------------------------|------------|------------|
| | No. | 外径 (mm) | 厚さ (mm) |
| ① | 718.0 | 9.0 | SS400 |
| ② | 711.2 | 6.4 | STPY400 |
| ③ | 457.2 | 7.9 | SGP |
| ④ | 711.2 | 6.4 | STPY400 |
| ⑤ | 457.2 | 7.9 | SGP |

2.5.4 設計震度

| 鳥瞰図 | 方向 | 水 平 | | 鉛 直 |
|-----|----|------|------|------|
| | | X | Z | Y |
| 2-1 | | 0.85 | 0.85 | — |
| 2-2 | | 0.87 | 0.87 | 0.72 |
| 2-3 | | 0.85 | 0.85 | 0.72 |

2.5.5 評価結果

解析によりモーメントを算出し、次式より求めた応力が許容応力以下であることを確認した。(表-7)

$$S_{pr m} = \frac{0.75 \cdot i (M_a + M_b)}{Z}$$

表-7 煙道の応力評価結果

| 鳥瞰図 | 最大応力 評価点 | 一次応力 (MPa) | |
|-----|-------------|------------|------|
| | | 算出応力 | 許容応力 |
| 2-1 | 2 | 10 | 193 |
| 2-2 | A11 | 27 | 126 |
| 2-3 | A04 | 56 | 126 |

耐震安全解析に用いるコード(ABAQUS)について

1. 概要

ABAQUS コードは米国 Hibbitt, Karlsson&Sorensen, Inc (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく応力・座屈解析等の汎用解析コードであり，輸送キャスク，圧力容器及び機械構造物の応力解析等に広く利用されている。

2. 機能

ABAQUS コードは，応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① 定常・非定常の弾性・弾塑性のいずれの解も得ることができる。
- ② 材料特性として時間依存，歪の履歴依存並びに等方性・異方性等を考慮することができる。
- ③ モデルの形状は一次元～三次元，また連続体についても取り扱うことができる。
- ④ 伝熱解析結果をそのまま境界条件として熱応力解析に用いることが可能である。
- ⑤ 荷重条件として，集中荷重，分布荷重，モーメント，加速度力(慣性力)，圧力，遠心力，コリオリ力等が取り扱える。また，これら条件の時間依存，線形変化に対しても対応可能である。

3. 解析フロー

ABAQUS コードの解析フローを図-1 に示す。

4. 使用実績

ABAQUS コードは，これまで多くの固有振動解析及び応力解析に対し使用実績がある。

5. 検証方法

- ① 理論値との比較による検証が実施されていることを確認した。
- ② 別計算機コード NASTRAN の計算値との比較による検証が実施されていることを確認した。

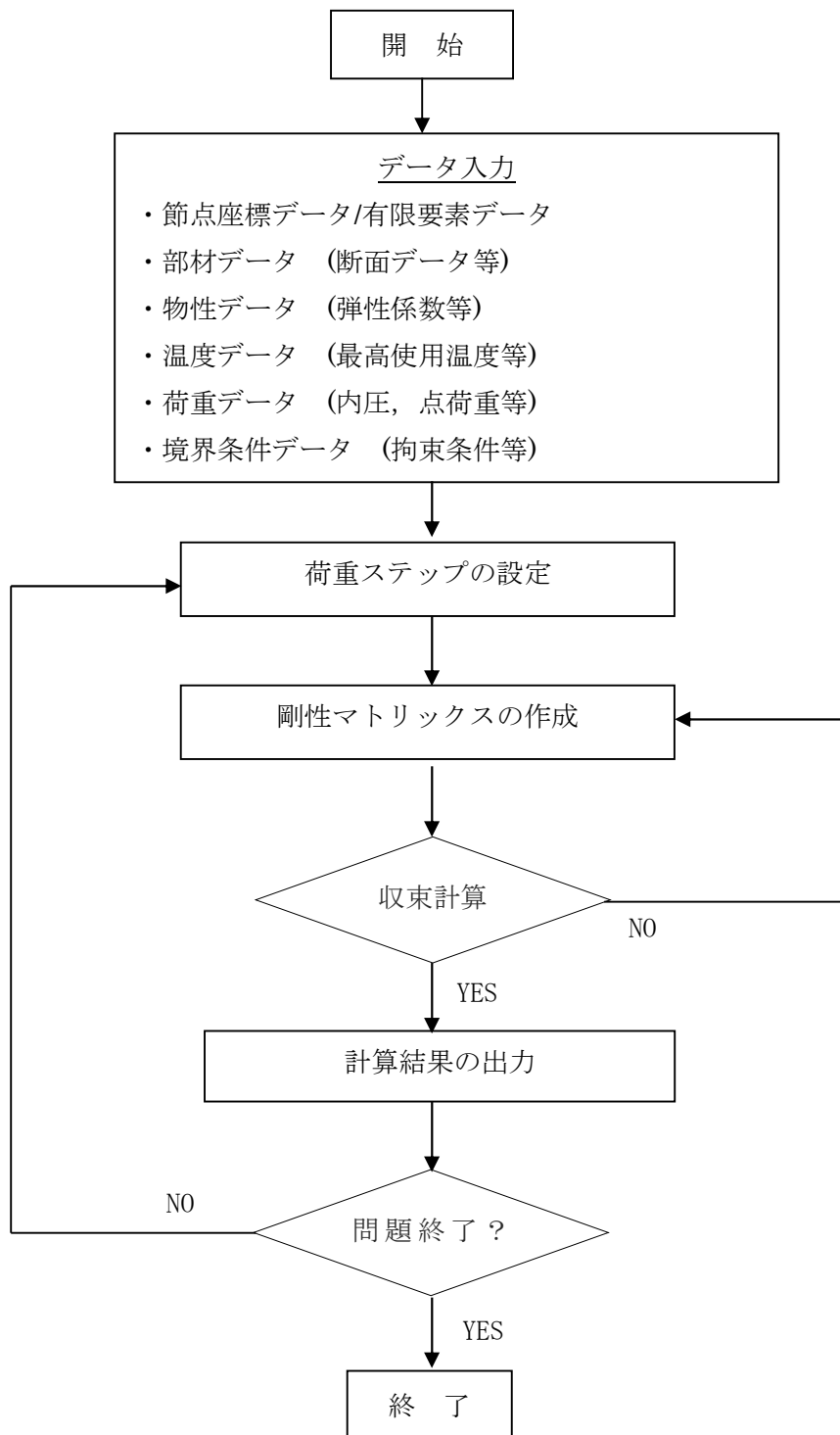


図-1 ABAQUS コードの解析フロー図

耐震安全解析に用いるコード (AutoPIPE) について

1. 概要

AutoPIPE コードは米国 Bentley Systems 社で開発された静的及び動的荷重に対する配管の応力解析等が可能な汎用解析コードであり、工業界を中心に配管系の解析に広く利用されている。

2. 機能

AutoPIPE コードは、固有値解析、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① 必要固有値個数を設定すれば、個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ② 各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③ 応力解析では、静的地震解析、応答スペクトル解析、熱応力解析等が可能である。
- ④ サポート支持点では、サポートタイプに応じた変位・回転拘束の設定が可能である。
- ⑤ 荷重条件として、圧力、集中荷重、分布荷重、モーメント等を取り扱える。

3. 解析フロー

AutoPIPE コードの解析フローを図-1に示す。

4. 使用実績

AutoPIPE コードは、これまで多くの固有振動解析及び応力解析に対し使用実績がある。

5. 検証方法

別計算機コード SAP-4, Hi-SAP の計算値との比較による検証が実施されていることを確認した。

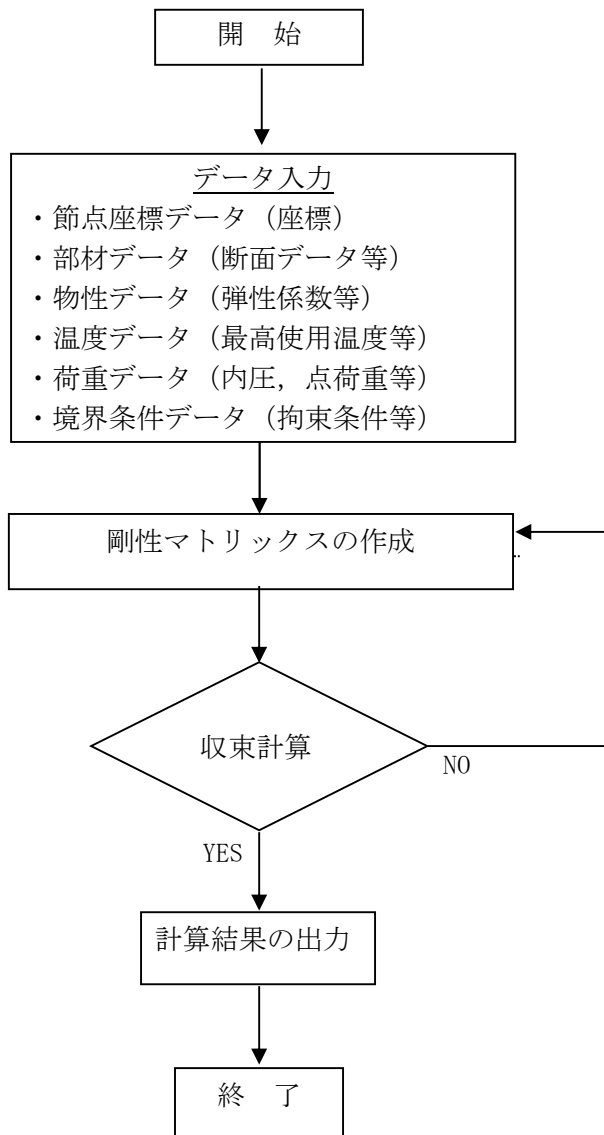


図-1 AutoPIPE コードの解析フロー図

雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書

1. 基本方針

1.1 強度評価の基本方針

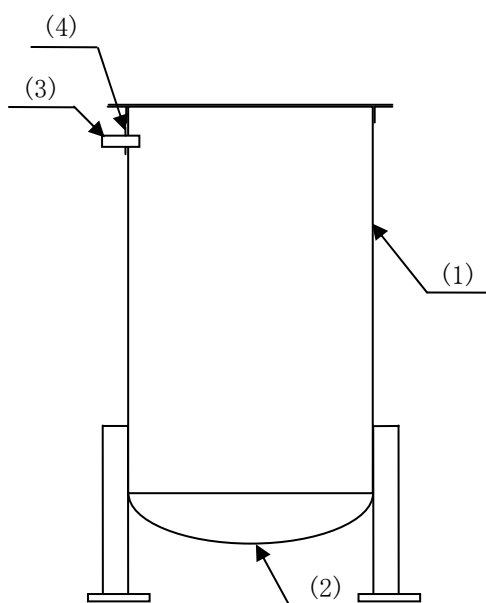
雑固体廃棄物焼却設備を構成する機器のうち、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、クラス3に位置付けられる機器は、「設計・建設規格」に準拠した評価を行う。

2. 強度評価

2.1 高電導度廃液サンプ

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図-1に示す。



図中の番号は、2.1.2の番号に対応する。

図-1 高電導度廃液サンプ概要図

2.1.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm, その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

| | |
|--------|----------------|
| D_i | : 胴の内径 (m) |
| H | : 水頭 (m) |
| ρ | : 液体の比重 (-) |
| S | : 許容引張応力 (MPa) |
| η | : 継手効率 (-) |

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

| | |
|--------|----------------|
| P | : 最高使用圧力 (MPa) |
| D_i | : 胴の内径 (mm) |
| S | : 許容引張応力 (MPa) |
| η | : 継手効率 (-) |

b. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

| | |
|-----|------------------------|
| R | : 鏡板の中央部における内面の半径 (mm) |
| W | : さら形鏡板の形状による係数 (-) |
| r | : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm) |

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 管台の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

| | |
|--------|----------------|
| D_i | : 管台の内径 (m) |
| H | : 水頭 (m) |
| ρ | : 液体の比重 (—) |
| S | : 許容引張応力 (MPa) |
| η | : 継手効率 (—) |

- b. 管台の規格上必要な最小厚さ： t_2

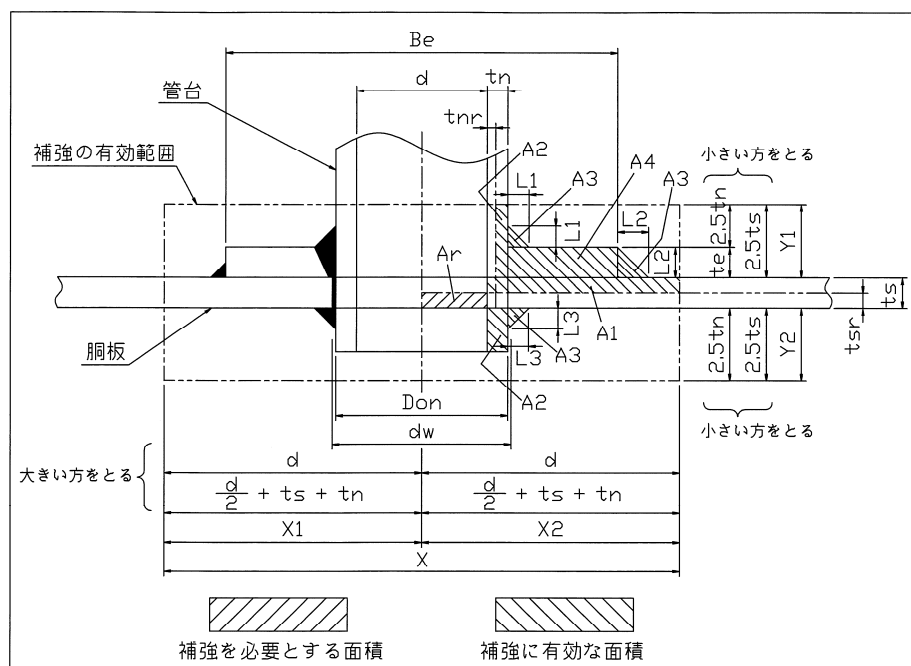
管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの胴板の穴が 85mm を超えるので、穴の補強計算を実施する。

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な総面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-2 参照)
- b. 内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1 (500mm を超える場合は、500mm) 以下及び内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1 (1000mm を超える場合は、1000mm) 以下の場合は、大きい穴の補強計算は必要ない。
- c. 溶接部の強度として、予想される破断箇所の強さが、溶接部の負うべき荷重以上であること。

補強の有効範囲



- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm) t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
 d_w : 管台が取り付け穴の径 (mm) t_e : 強め板の最小厚さ (mm)
 D_{on} : 管台の外径 (mm) X, X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
 t_s : 胴の最小厚さ (mm) L_1, L_2, L_3 : 溶接の脚長 (mm)
 t_{sr} : 胴の計算上必要な最小厚さ (mm) A_r : 穴の補強に必要な面積 (mm²)
 t_n : 管台の最小厚さ (mm) A_1, A_2, A_3, A_4 : 補強に有効な面積 (mm²)
 B_e : 強め板の外径 (mm)

図-2 補強計算概念図

2.1.3 評価結果

評価結果を表-1, 2に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

表-1 高電導度廃液サンプの評価結果 (板厚)

| 機器名称 | 評価部位 | 必要厚さ (mm) | 最小厚さ (mm) |
|-----------|-------|-----------|-----------|
| 高電導度廃液サンプ | 胴の厚さ | 1.50 | 6.50 |
| | 底板の厚さ | 0.28 | 6.50 |
| | 管台の厚さ | 3.50 | 4.81 |

表-2 高電導度廃液サンプの評価結果 (穴の補強)

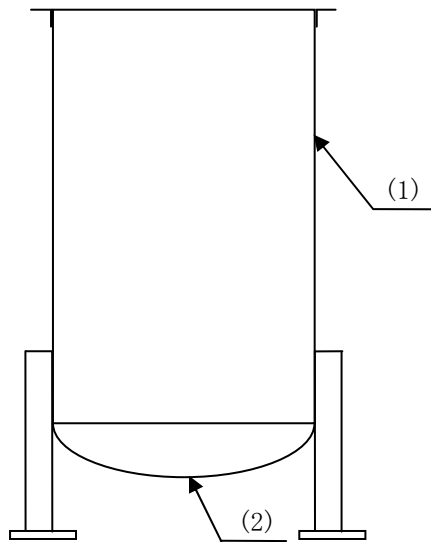
| 機器名称 | 評価部位 | 評価結果 | |
|-----------|------|-------------------------------|------------------------------|
| | | 穴の補強に必要な面積 (mm ²) | 補強に有効な総面積 (mm ²) |
| 高電導度廃液サンプ | 胴板の穴 | 14.3 | 1364.0 |
| | | 補強を要する穴の限界径 (mm) | 胴の断面に現れる穴の径 (mm) |
| | | 500 | 79.48 |
| | | 溶接部の負うべき荷重 (N) | 予想される破断箇所の強さ (N) |
| | | -6.162×10^4 | —* |

※ 溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.2 シャワードレンサンプ

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-3に示す。



図中の番号は、2.2.2の番号に対応する。

図-3 シャワードレンサンプ概要図

2.2.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm, その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

| | |
|--------|----------------|
| D_i | : 胴の内径 (m) |
| H | : 水頭 (m) |
| ρ | : 液体の比重 (—) |
| S | : 許容引張応力 (MPa) |
| η | : 継手効率 (—) |

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

| | |
|--------|----------------|
| P | : 最高使用圧力 (MPa) |
| D_i | : 胴の内径 (mm) |
| S | : 許容引張応力 (MPa) |
| η | : 継手効率 (—) |

b. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

| | |
|-----|------------------------|
| R | : 鏡板の中央部における内面の半径 (mm) |
| W | : さら形鏡板の形状による係数 (—) |
| r | : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm) |

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

2.2.3 評価結果

評価結果を表-3に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

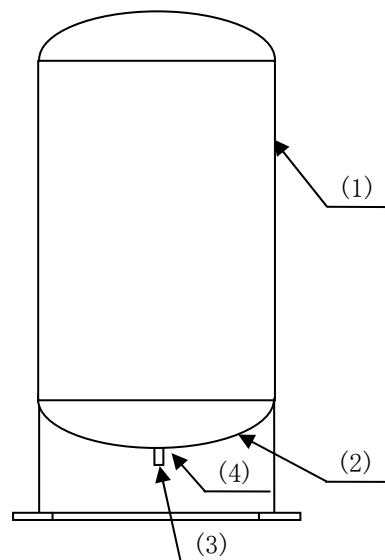
表-3 シャワードレンサンプの評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 必要厚さ (mm) | 最小厚さ (mm) |
|------------|-------|-----------|-----------|
| シャワードレンサンプ | 胴の厚さ | 1.50 | 6.50 |
| | 底板の厚さ | 0.28 | 6.50 |

2.3 高電導度廃液サンプルタンク及びシャワードレンサンプタンク

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。



図中の番号は、2.3.2の番号に対応する。

図-4 高電導度廃液サンプルタンク／シャワードレンサンプタンク概要図

2.3.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm、その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 胴の内径 (m)
 H : 水頭 (m)
 ρ : 液体の比重 (—)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (—)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_i : 胴の内径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (—)

b. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

R : 鏡板の中央部における内面の半径 (mm)
 W : さら形鏡板の形状による係数 (—)
 r : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 管台の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 管台の内径 (m)
 H : 水頭 (m)
 ρ : 液体の比重 (—)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (—)

b. 管台の規格上必要な最小厚さ： t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 底板の穴の補強計算

開放タンクの底板の穴が 85mm 以下なので、穴の補強計算は不要である。

2.3.3 評価結果

評価結果を表-4に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

表-4 高電導度廃液サンプルタンク及びシャワードレンサンプルタンクの評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 必要厚さ (mm) | 最小厚さ (mm) |
|---------------------------------|-------|-----------|-----------|
| 高電導度廃液サンプルタンク シャワードレンサンプルタンク | 胴の厚さ | 1.50 | 6.50 |
| | 底板の厚さ | 0.28 | 6.50 |
| | 管台の厚さ | 2.40 | 3.40 |

2.4 主配管

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図-5に示す。

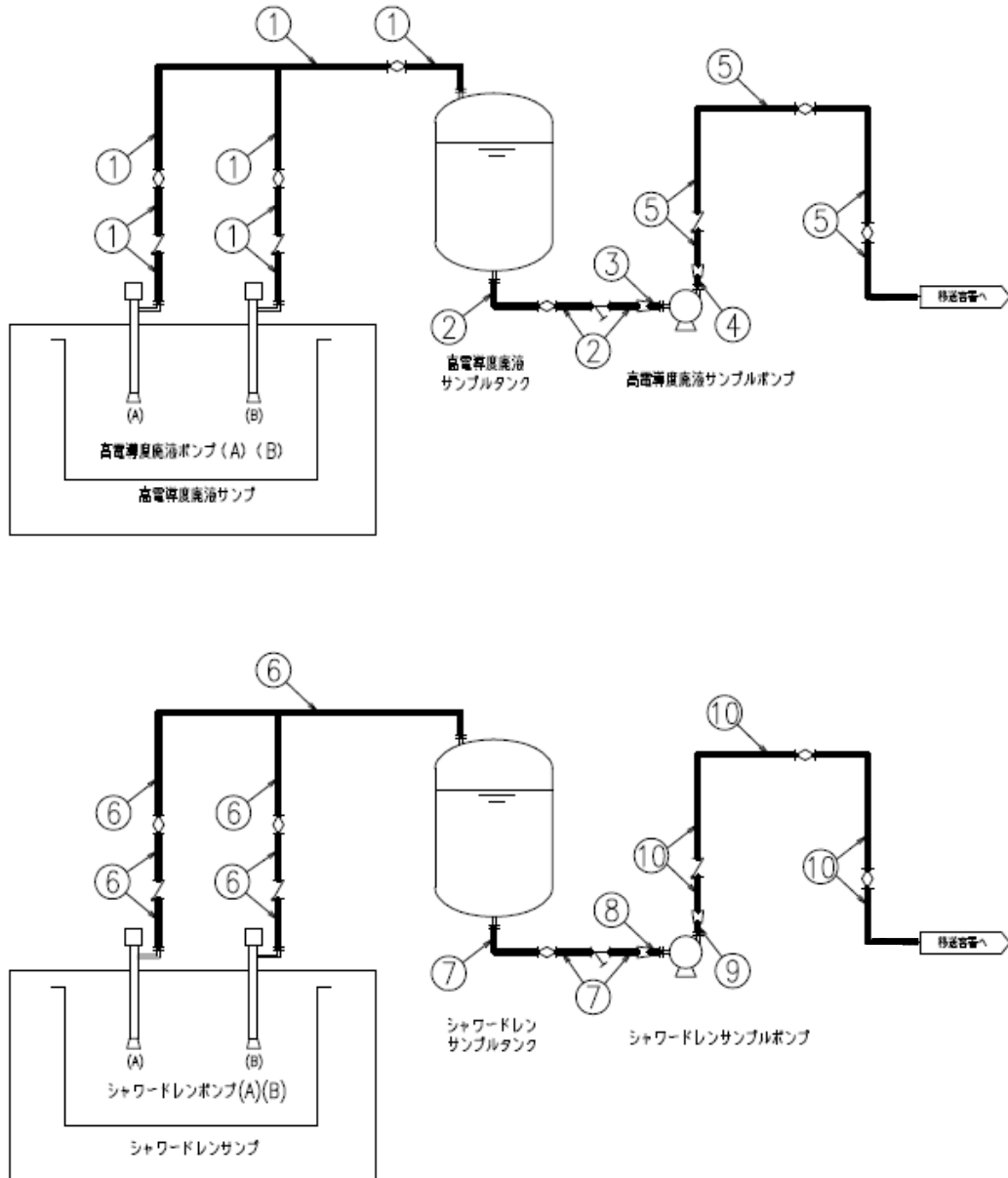


図-5 廃液処理設備 系統図

2.4.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値以上とする。

a. 内面に圧力を受ける管の計算上必要な厚さ：t

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_o : 管の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

2.4.3 評価結果

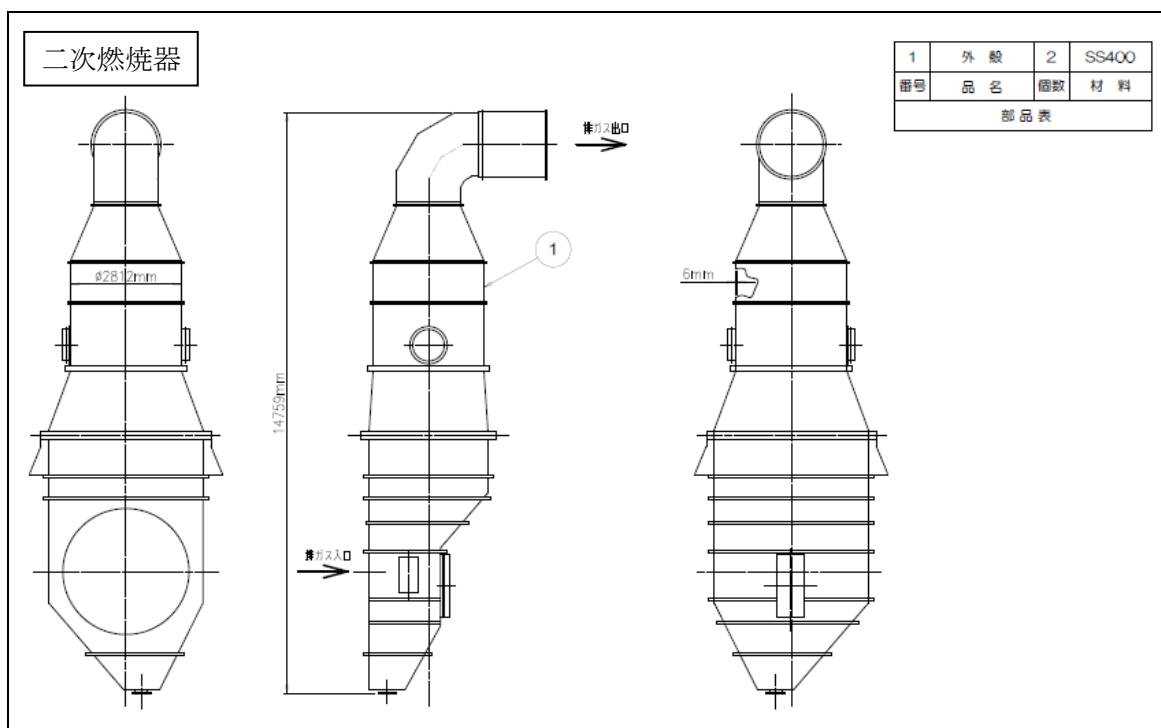
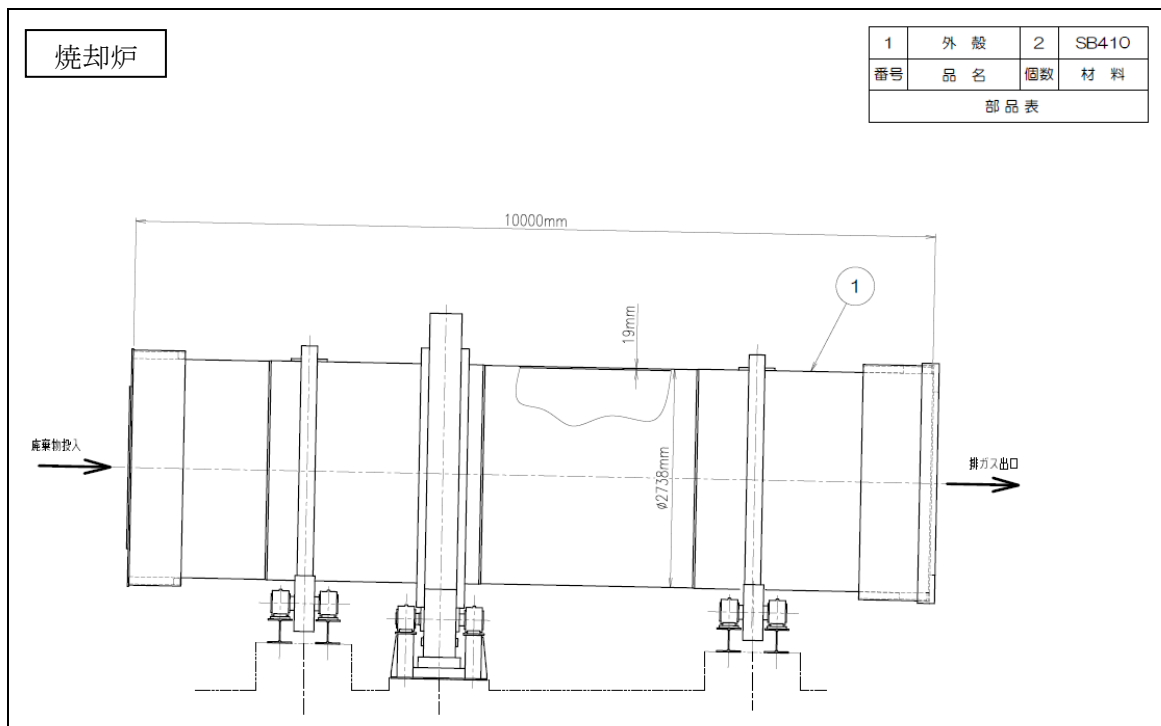
評価結果を表-5に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。

表-5 主配管の評価結果

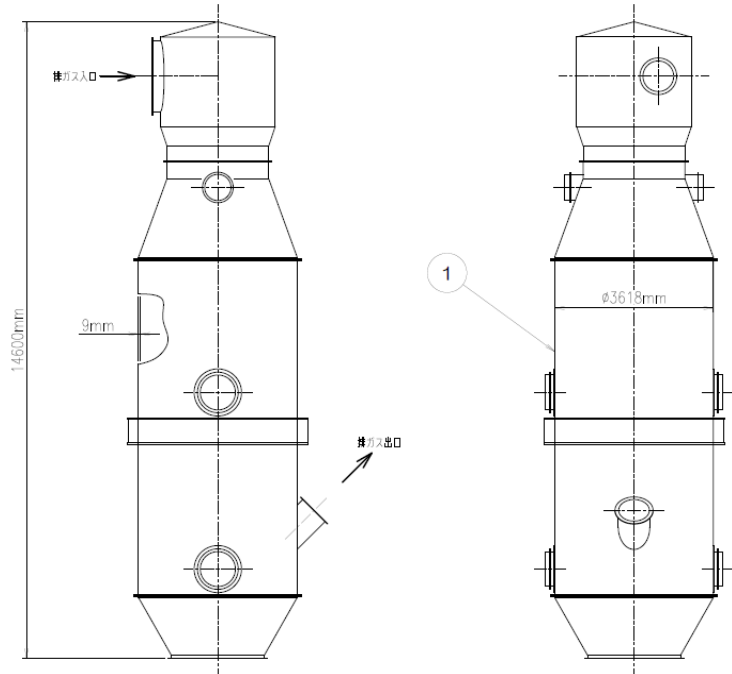
| No. | 外径 D _o (mm) | 公称 厚さ (mm) | 材 料 | 最高使用圧力 P (MPa) | 最高使用 温 度 (°C) | 必要厚さ (mm) | 最小厚さ (mm) |
|-----|------------------------------|------------------|--------|----------------------|---------------------|--------------|--------------|
| ① | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 0.40 | 60 | 0.08 | 2.60 |
| ② | 60.5 | 3.50 | SUS304 | 静水頭 | 60 | — | 3.00 |
| ③ | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 静水頭 | 60 | — | 2.60 |
| ④ | 34.0 | 3.00 | SUS304 | 0.40 | 60 | 0.06 | 2.50 |
| ⑤ | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 0.40 | 60 | 0.08 | 2.60 |
| ⑥ | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 0.30 | 60 | 0.06 | 2.60 |
| ⑦ | 60.5 | 3.50 | SUS304 | 静水頭 | 60 | — | 3.00 |
| ⑧ | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 静水頭 | 60 | — | 2.60 |
| ⑨ | 34.0 | 3.00 | SUS304 | 0.40 | 60 | 0.06 | 2.50 |
| ⑩ | 48.6 | 3.00 | SUS304 | 0.40 | 60 | 0.08 | 2.60 |

雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図

雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図を、以下に示す。

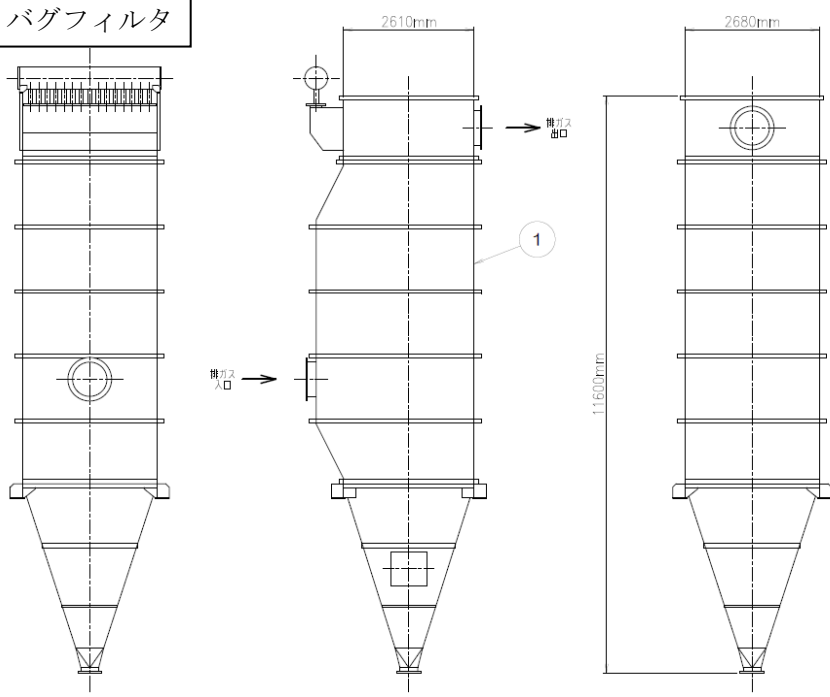


排ガス冷却器



| | | | |
|-------|-----|----|-------|
| 1 | 外 殻 | 2 | SS400 |
| 番号 | 品 名 | 個数 | 材 料 |
| 部 品 表 | | | |

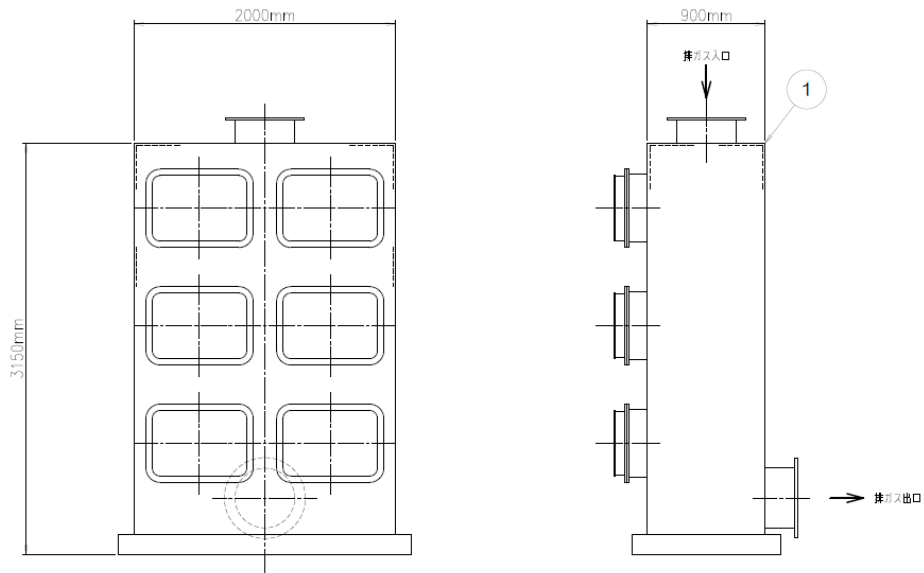
バグフィルタ



| | | | |
|-------|-------|----|-------|
| 1 | ケーシング | 2 | SS400 |
| 番号 | 品 名 | 個数 | 材 料 |
| 部 品 表 | | | |

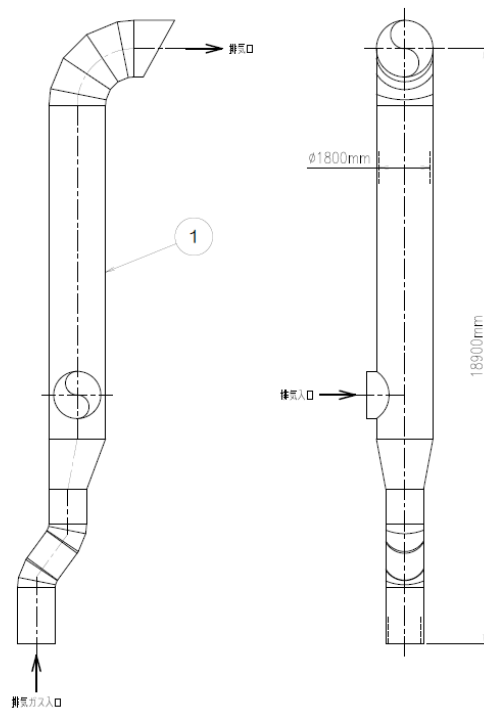
排ガスフィルタ

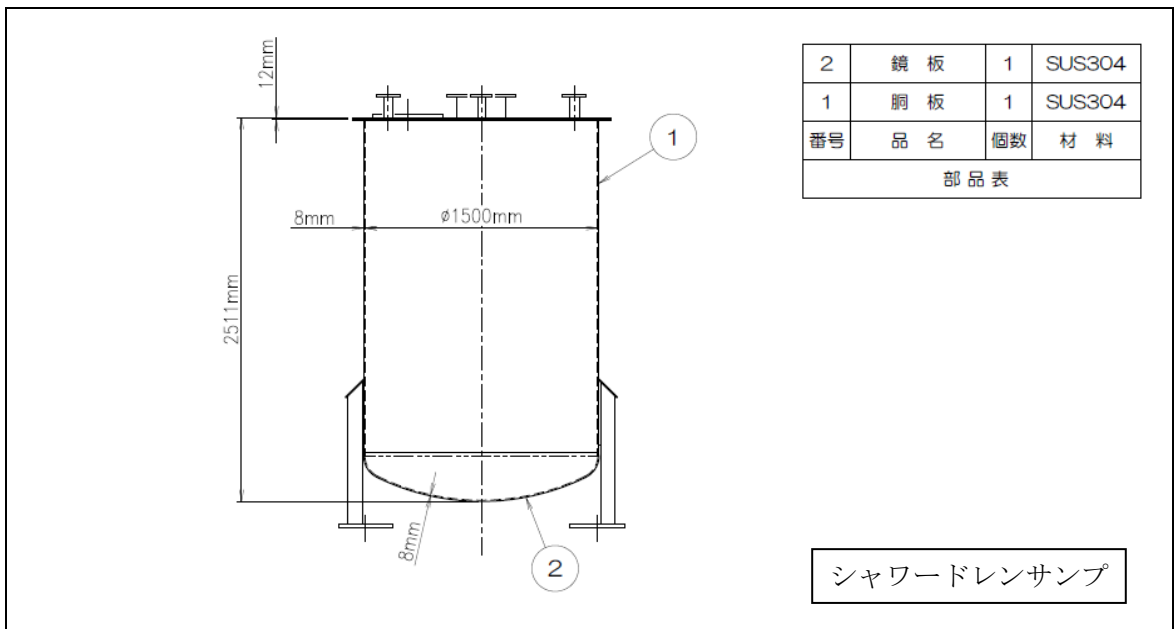
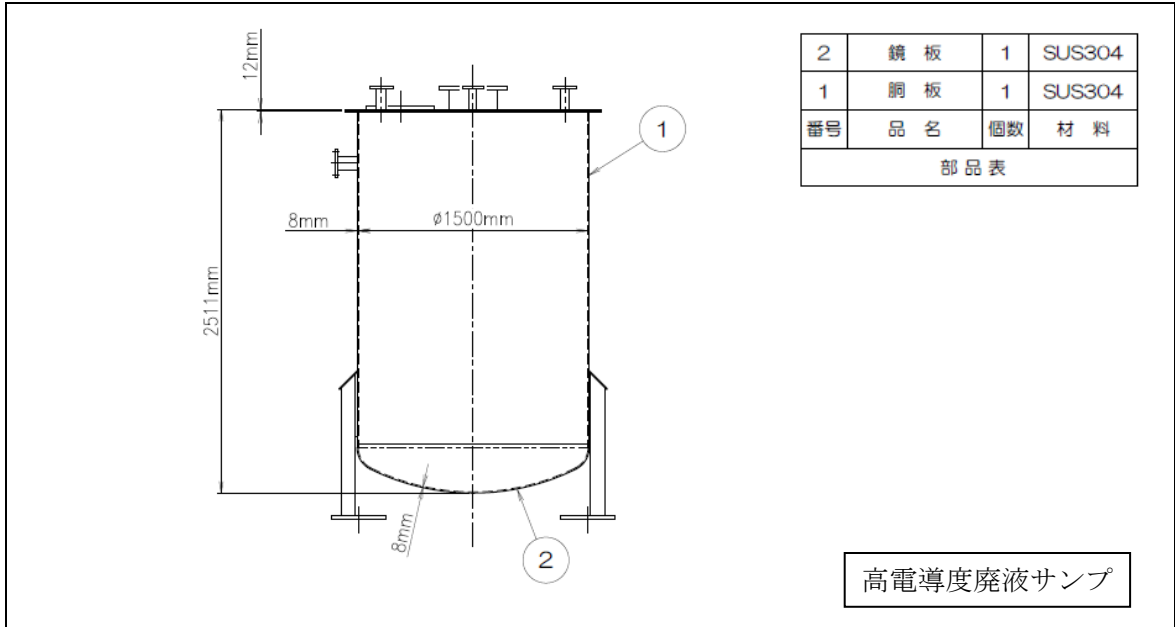
| 1 | ケーシング | 10 | SS400 |
|-----|-------|----|-------|
| 番号 | 品名 | 個数 | 材料 |
| 部品表 | | | |

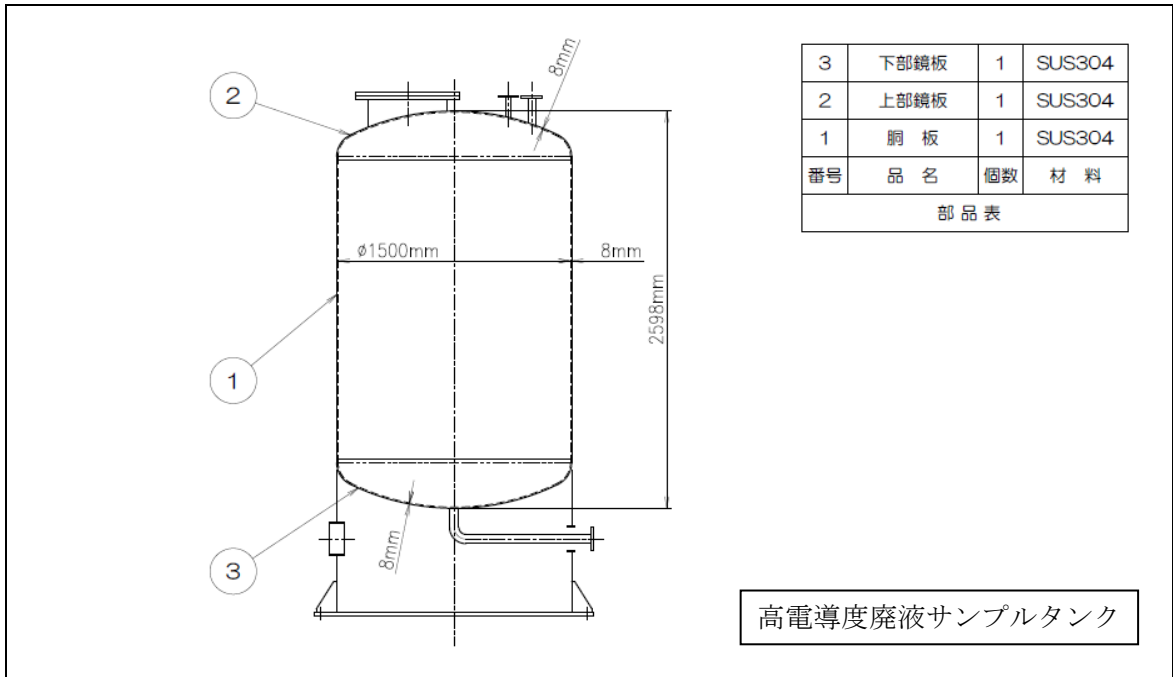


排気筒

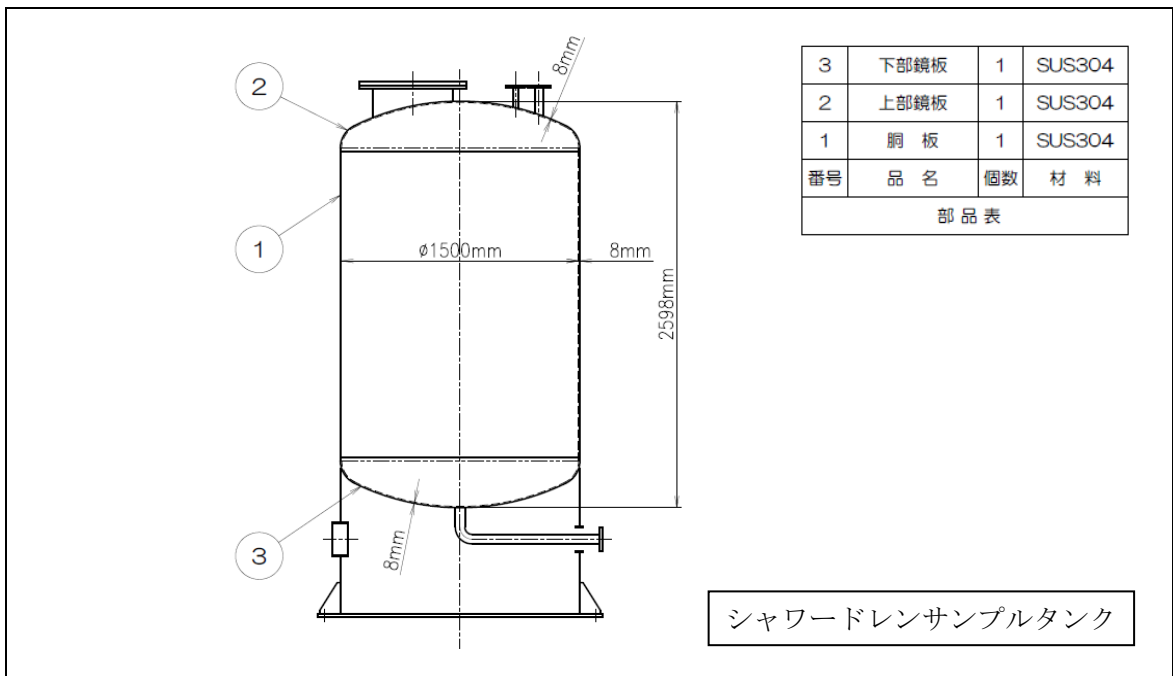
| 1 | 胴板 | 1 | SS400 |
|-----|----|----|-------|
| 番号 | 品名 | 個数 | 材料 |
| 部品表 | | | |



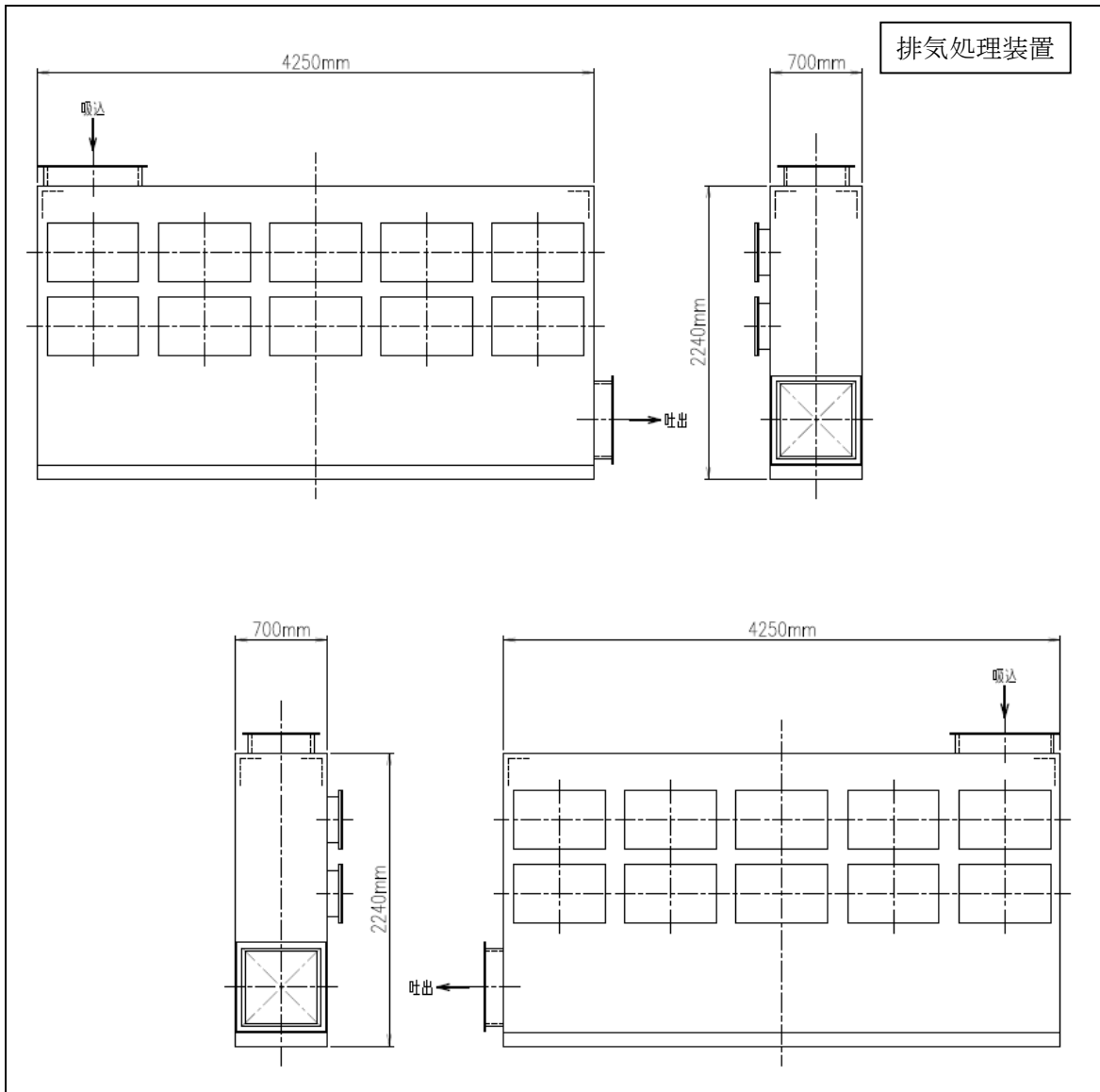




高電導度廃液サンプルタンク



シャワードレンサンプルタンク



流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書

1. 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は床ドレン受口よりサンプに回収される。

廃液漏えい時にはサンプの水位高の警報等により廃液の異常な漏えいが検知され、対処が可能である。

ここでは、放射性廃液を内包する容器に対し、廃液全量の漏えいを想定しても、施設内に留めることが可能であることを確認した。

容器設置区画に廃液が全量流出した場合の評価を表-1に示し、容器設置区画以外の箇所における当該容器のポンプ移送配管から廃液が全量流出した場合の評価を表-2に示す。

表-1 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価（容器設置区画における漏えい）

| 容器名称 | 設置場所 | | 容器容量 (m ³) | 漏えい想定区 画内床面積*1 (m ²) | 基礎・機器 断面積*2 (m ²) | 漏えい廃液全量を 貯留するために必 要な堰の高さ (cm) | 拡大防止 堰の高さ (cm) | 評価 |
|---|-------|---------------|---------------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------|--|
| | 建屋名 | 据付床レベル (m) | ① | ② | ③ | ④=①/ (②-③) ×100 | ⑤ | |
| 高電導度廃液ポンプ | 焼却炉建屋 | G.L. -4.75 | 3.6 | (ポンプピット) 12.1 | 1.8 | 35.0 | 200以上 | 容器設置区画の拡大防止堰の高さは、漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており、漏えいの拡大を防止できる。 |
| シャワー ^レ ンサンプ | 同上 | G.L. -4.75 | 3.6 | | | 35.0 | 200以上 | 同上 |
| 高電導度廃液ポンプ ^ル タンク | 同上 | G.L. -1.70 | 3.6 | (ポンプ ^ル タンク室) 70.5 | 9.4 | 5.9 | 150以上 | 同上 |
| シャワー ^レ ンサンプ ^ル タンク | 同上 | G.L. -1.70 | 3.6 | | | 5.9 | 150以上 | 同上 |

注記*1：漏えい想定区画内の内り面積

*2：当該容器設置区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

添付資料-20 では、G.L. ±0m = T.P. 22.2m^(※) とする。
(※) 2012年6月に実施した測量結果による。

表-2 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価（容器設置区画以外の箇所における漏えい）

| 容器名称 | 設置場所 | | 容器容量 (m ³) | 漏えい想定区画内 床面積*1 (m ²) | 基礎・機器 断面積*2 (m ²) | 漏えい廃液全量 を貯留するた めに必要な堰の高 さ (cm) | 拡大防止堰 の高さ (cm) | 評価 | |
|--------------------------------|-----------|---------------|---------------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------|---|----|
| | 建屋名 | 据付床 レベル(m) | ① | ② | ③ | ④=①/ (②-③) ×100 | ⑤ | | |
| 高電導度廃液ポンプ ³ ルタンク*3 | 焼却炉 建屋 | G. L. -1.70 | 3.6 | (1階焼却設備エリア) 2624.2 | 216.1 | 0.15 | 2.0以上*4 | 漏えい想定区画の 拡大防止堰の高さ は、漏えい廃液全 量を貯留するた めに必要な堰の高 さを満足しており、 漏えいの拡大を防 止できる。 | |
| シャワードレンサンプ ³ ルタンク*3 | 同上 | G. L. -1.70 | 3.6 | | | 0.15 | 2.0以上*4 | | 同上 |
| 排ガス冷却水タンク*3 | 同上 | G. L. +15.30 | 22 | | | 0.91 | 2.0以上*4 | | 同上 |
| 排ガス冷却水タンク*3 | 同上 | G. L. +15.30 | 22 | (2階焼却設備排気 機械室) 563.1 | 93.3 | 4.68 | 10以上 | 同上 | |
| 排ガス冷却水タンク*3 | 同上 | G. L. +15.30 | 22 | (3階排気機械室) 462.3 | 45.6 | 5.28 | 10以上 | 同上 | |

注記*1：漏えい想定区画内の内のり面積

*2：漏えい想定区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

*3：ここでは当該容器のポンプ移送配管からの漏えいを想定。

*4：堰としての高さが最も低くなる廃棄物受け入れエリアスロープ最高位（1階床仕上げ面基準）。

2. 床及び壁の塗装

2.1. 塗装の耐水性

床、壁及びサンプピットは耐水性エポキシ樹脂を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

2.2 塗装の範囲

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の堰内に留めることが可能な場合の塗装範囲は図-1に示すように、当該容器設置区画の床、堰及び床面から堰の高さ以上までの壁面とする。

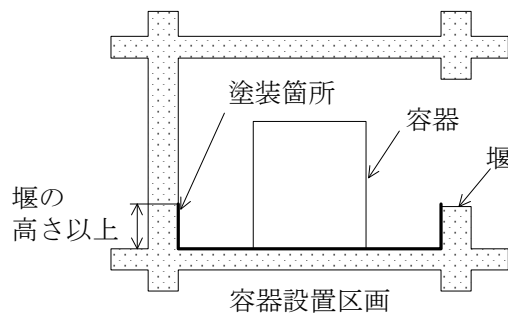


図-1 漏えい廃液を当該容器設置区画内に留めることが可能な場合の塗装範囲

本施設の施設外への漏えいを防止するための堰の配置及び建屋内の塗装範囲を図-2～4に示す。

3. 配管、電気配線及び空調ダクトの貫通部

3.1. 配管

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については堰の高さ以上までスリーブを立ち上げる。やむを得ず堰の高さ未滿となる場合には図-5に示すように防水処置を施す。

上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については基準床面より10cm以上の高さまでスリーブを立ち上げる。やむを得ずこれ未滿となる場合には防水処置を施す。

3.2. 電気配線

(1) ケーブルトレイ

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図-6に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については貫通部の廻りに基準床面より10cm以上の高さのカーブを設ける。

(2) 電線管

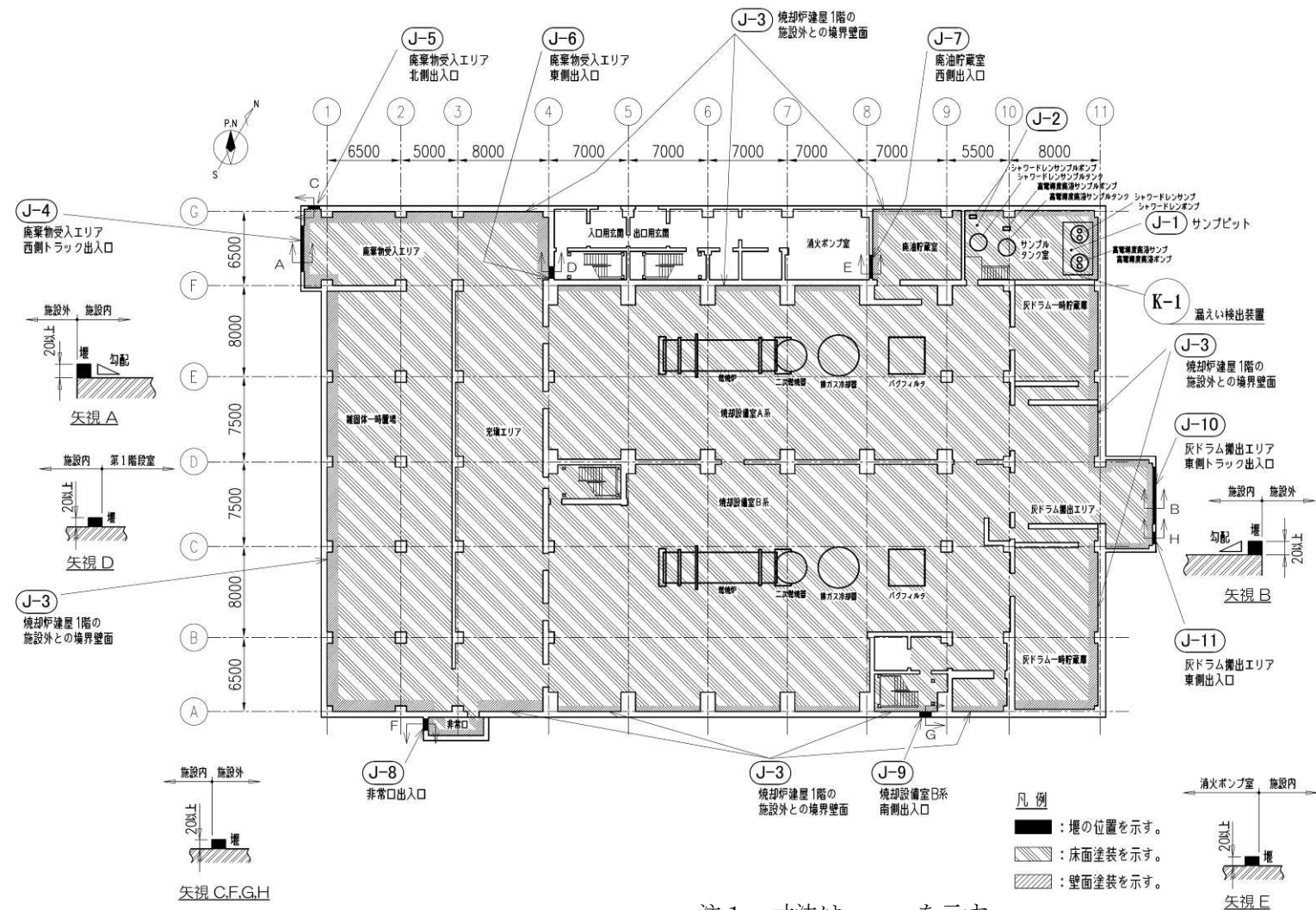
放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図－6に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については電線管の接続部が基準床面より10cm以上の高さにする。

3.3 空調ダクト

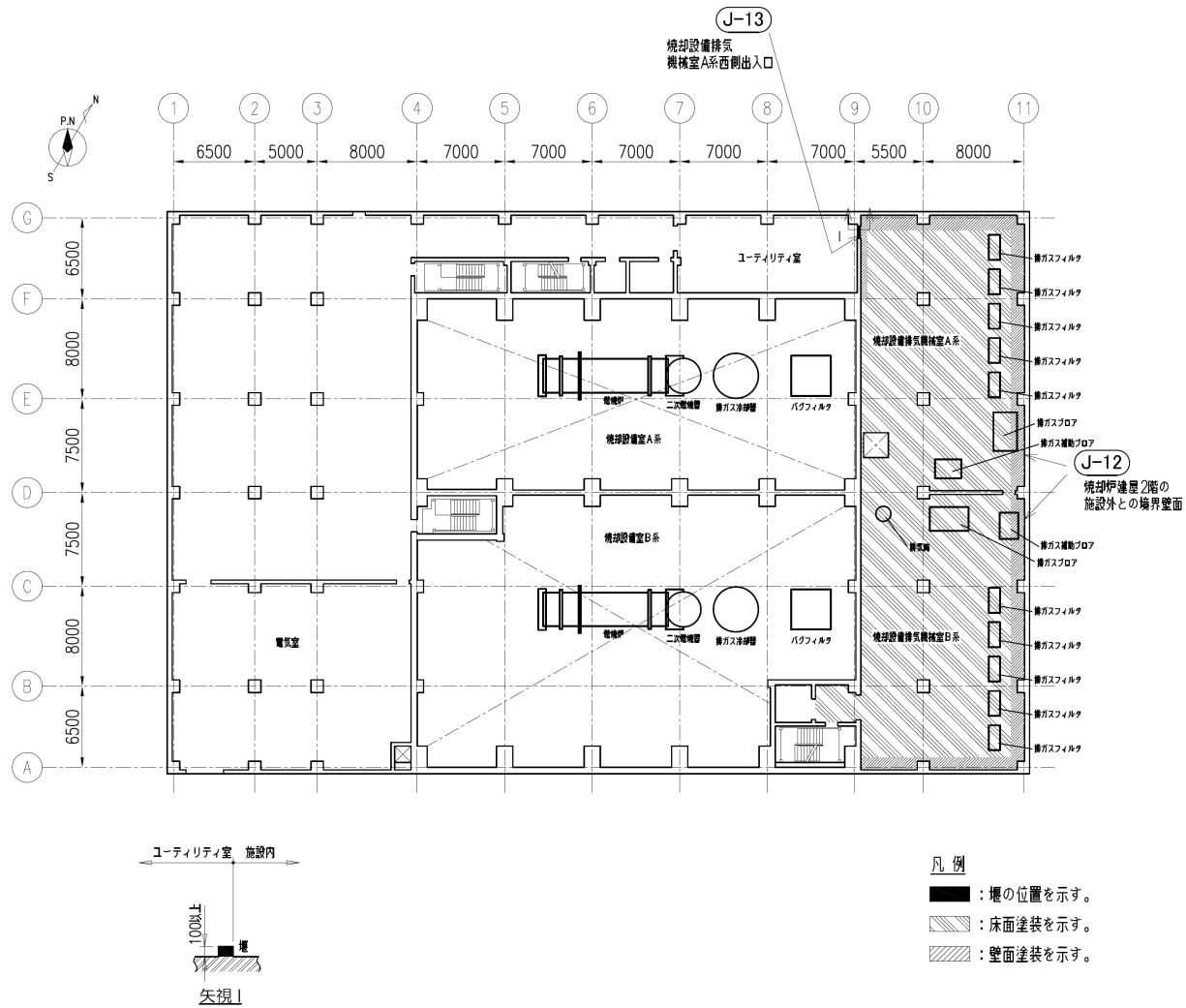
放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部の廻りに堰の高さ以上のカーブを設ける。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には図－7に示すように防水処置を施す。

上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については基準床面より10cm以上の高さのカーブを設ける。やむを得ず基準床面より10cm未満の高さとなる場合には防水処置を施す。



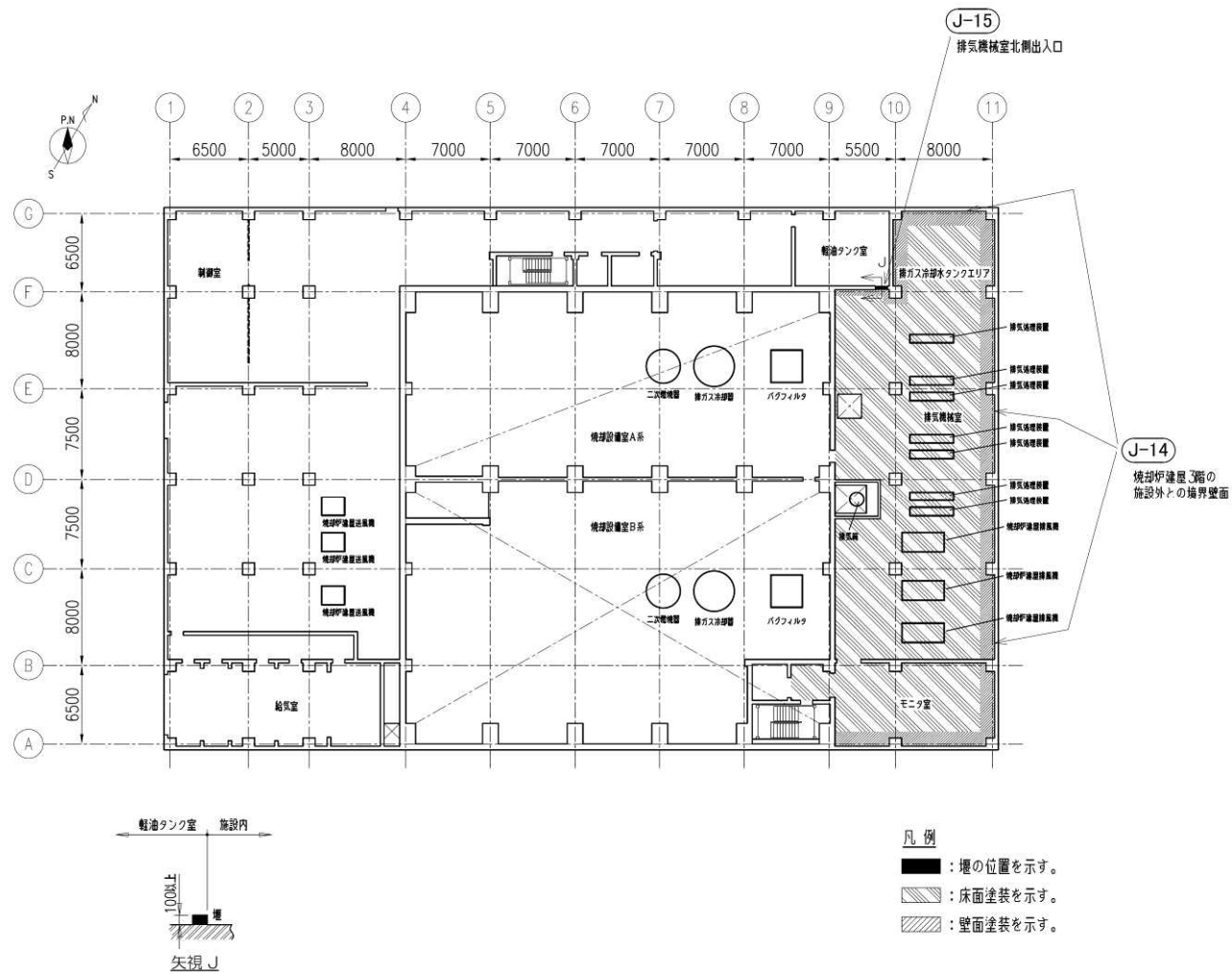
注1: 寸法は, mm を示す。

図-2 堰その他設備の構造の概要を明示した図面 (1階)



注1: 寸法は, mm を示す。

図-3 堰その他設備の構造の概要を明示した図面 (2階)



注1：寸法は、mmを示す。

図-4 堰その他設備の構造の概要を明示した図面（3階）

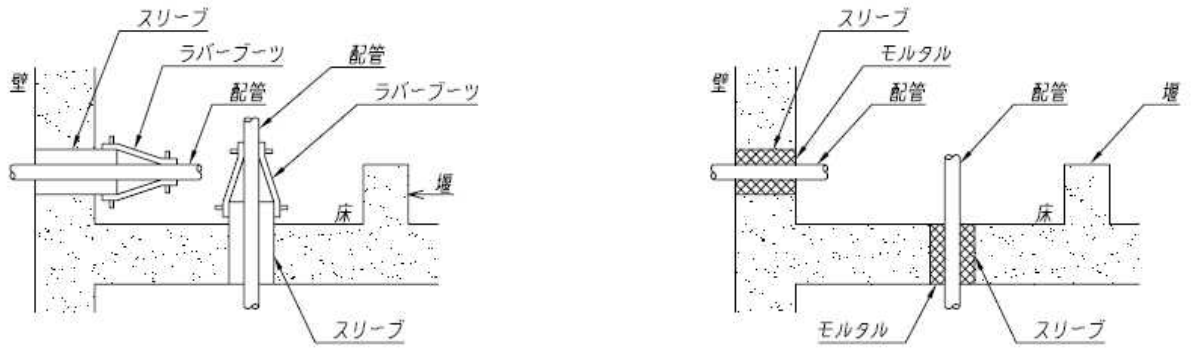


図-5 配管貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

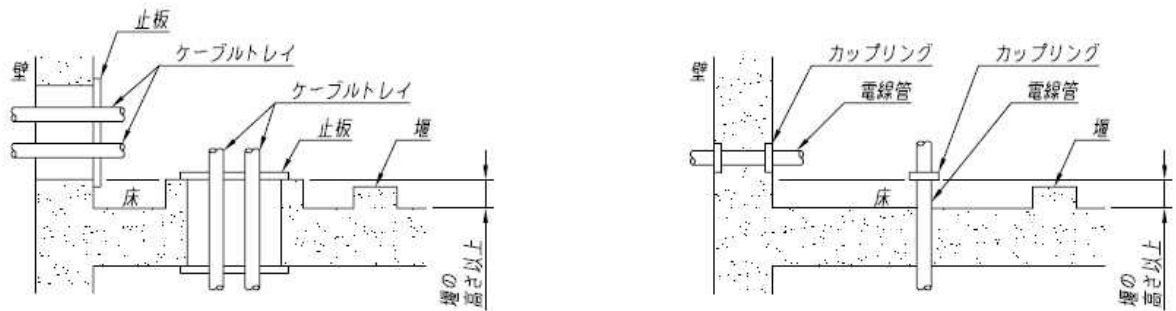


図-6 電気配線貫通部構造図例（ケーブルトレイ及び電線管）

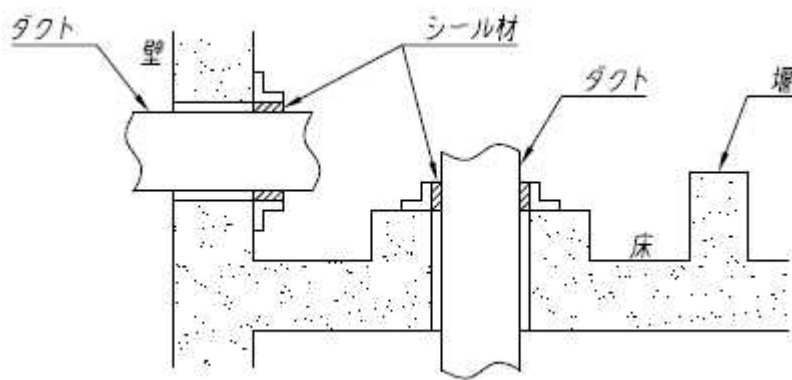


図-7 空調ダクト貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書

1. 流体状の放射性廃棄物の漏えい検出について

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は漏えい防止堰内に留められ、床ドレン受口よりサンプルに回収される。

このため、以下に示す漏えい検出器によって放射性廃液が著しく漏えいする恐れを確実に検出する。

1.1 サンプルピットの漏えい検出器について

サンプルの漏えいを検出するために、サンプルピット内に電極式レベルスイッチを設置する。電極式レベルスイッチは、導電性の液体が電極に接触すると電流が流れることにより、水位を検知するものである。サンプルピットの液位が上昇すると検出用電極間に電流が流れ、これをリレーで検出し、警報表示を行う。

漏えい検出器はサンプルピット底面より 20mm 以上で作動する。なお、作動液位以上の液位においては警報状態を継続する。

警報設定値をサンプルピット底面より 20mm に設定した場合には約 0.24m³ の漏えいで検出可能である。

サンプルピットの漏えい検出器の概念を図-1 に示す。

1.2 サンプル液位検出について

放射性廃液を内包する容器から漏えいが生じた場合、漏えい廃液は床ドレン受口よりサンプルへ導かれる。

サンプルには液位検出器を設置し、焼却炉建屋の制御室で監視可能である。

サンプルの液位が、設定液位を超えて異常上昇する場合は警報表示を行う。なお、作動液位以上の液位では動作状態を継続する。

サンプル液位検出器の概念を図-2 に示す。

2. 警報について

サンプルピットの漏えい検出及びサンプル液位検出による警報表示は、焼却炉建屋制御室に個別警報表示を行うとともに、5号中央制御室においても一括警報表示を行う。

なお、警報表示は点滅表示及び音によって行い、原因解除後の警報リセット操作にて復帰を行う。

警報表示内容及び警報表示場所を表-1 に示す。

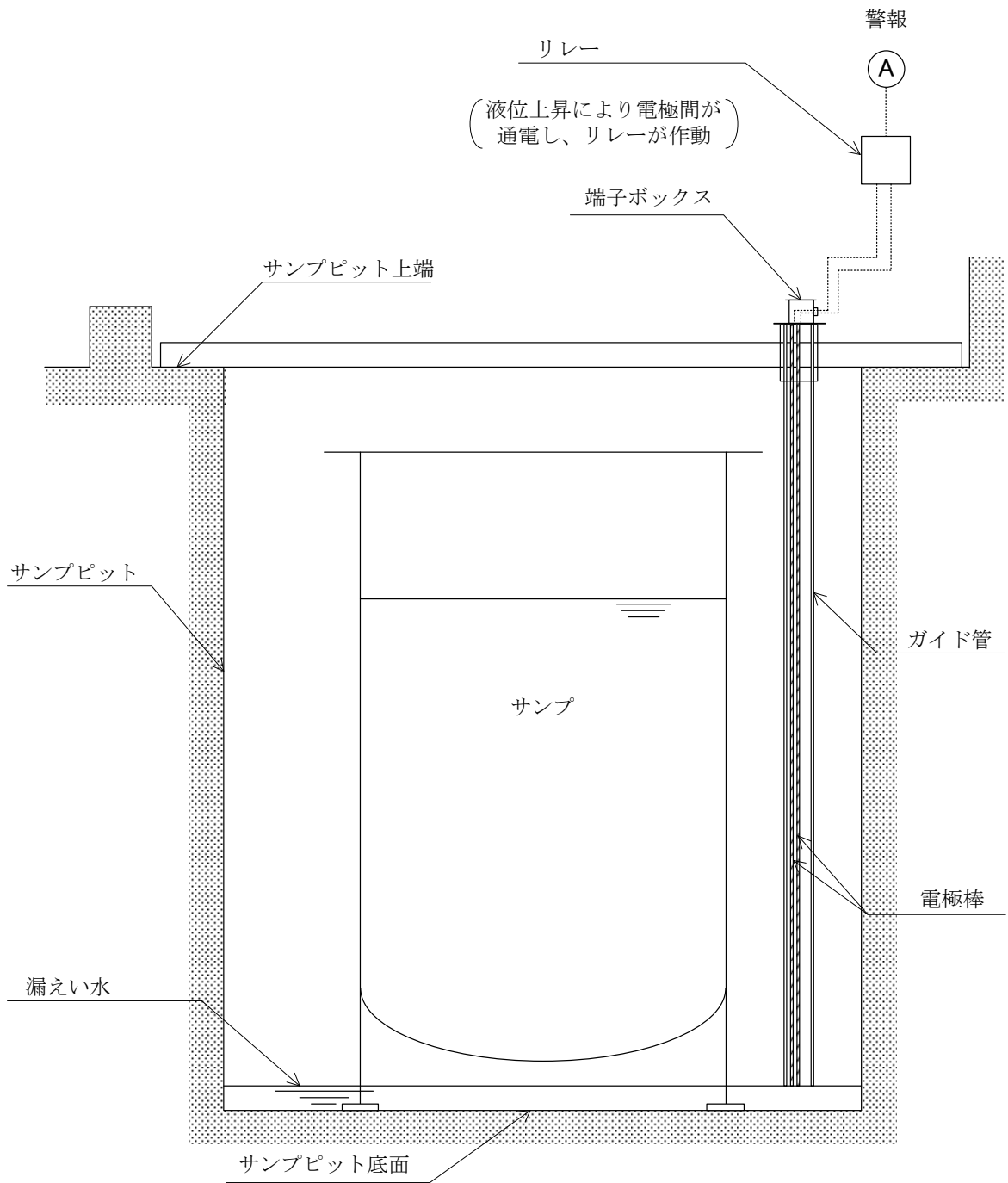


図-1 サンプピットの漏えい検出器の概念図
(電極式レベルスイッチ)

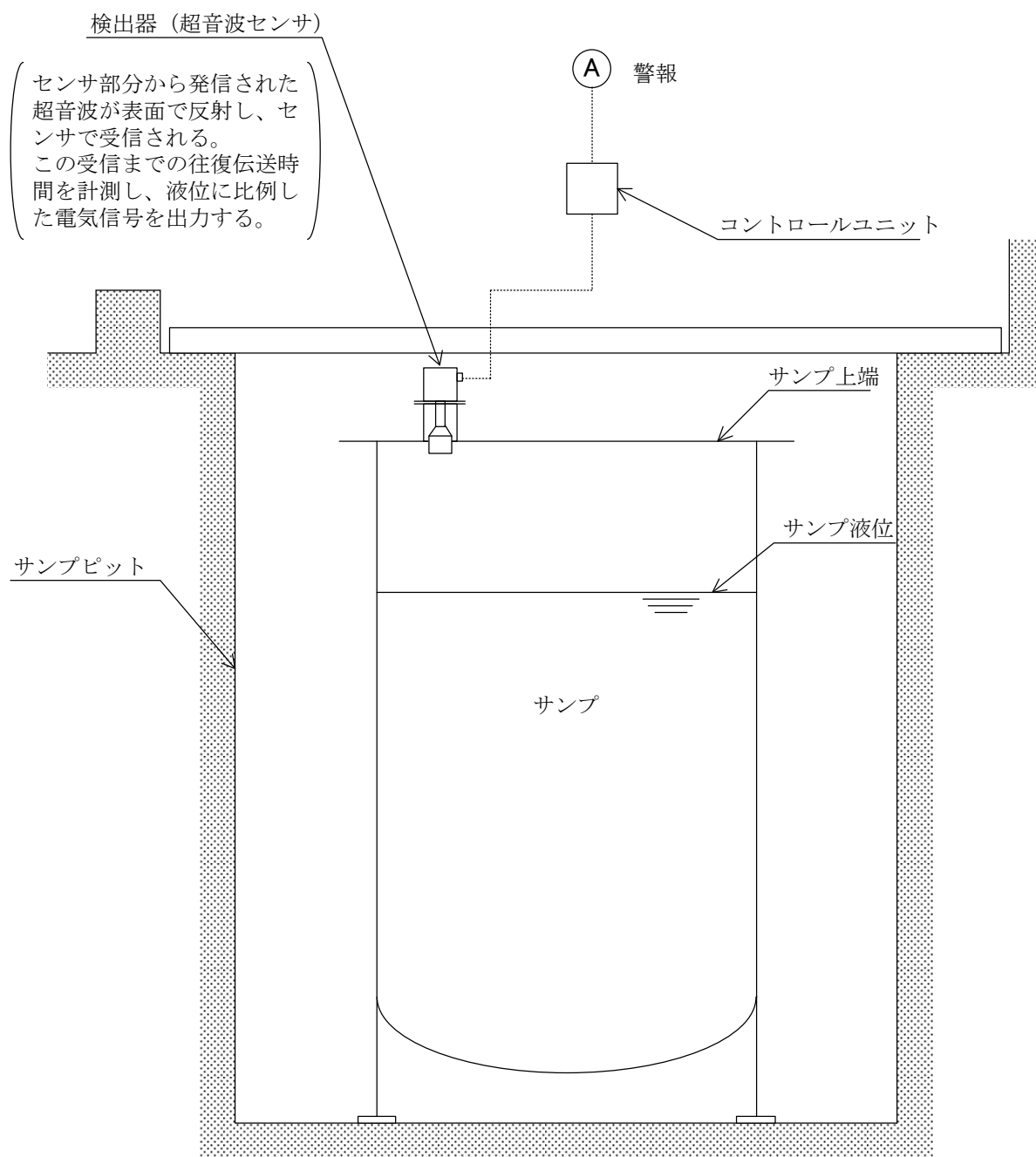


図-2 サンプ液位検出器の概念図
(超音波式液位計)

表-1 警報表示内容及び警報表示箇所

| | 警報表示内容 | 警報表示場所 |
|------|------------------|----------|
| 個別表示 | 高電導度廃液サンプルピット漏えい | 焼却炉建屋制御室 |
| | 高電導度廃液サンプル液位高 | |
| 一括表示 | 雑固体廃棄物焼却設備異常 | 5号中央制御室 |

2.18 5・6号機に関する共通事項

2.18.1 設備の維持・管理について

5・6号機は、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により被災したものの、その被害の大半は津波による海水系設備の損傷であった。

その後、海水系設備の復旧ならびに冷温停止維持に関する設備の健全性確認を進め、現在では、震災前と同等の設備により安定的な冷温停止を維持している状況である。また、冷温停止維持に関する設備と比較し緊急性は少ないものの、冷温停止維持に属さない設備については、状態確認を進めていく予定である。

したがって、5・6号機の設備に関しては、本実施計画「Ⅲ 特定原子力施設の保安」を遵守しつつ、福島第一原子力発電所第5号機保全計画及び福島第一原子力発電所第6号機保全計画に基づく計画的な機器の保全活動を実施していくと共に、設置変更許可等の許認可の内容に従って、設備を維持・管理していくこととする。

2.18.2 要求される機能について

本実施計画に記載のある5・6号機の設備に要求される機能とは、工程(I.1.2 参照)に示す冷温停止において維持・管理する機能である。

2.18.3 異常時の対応

自然災害（津波）により、冷温停止維持に必要な設備（全交流電源及び海水系設備）のすべてが機能喪失した場合、その状態が継続すると燃料損傷に至る可能性があるため、復旧余裕時間*¹である2.7日以内（平成24年10月1日時点の崩壊熱）に電源車による既設設備の復旧（電源復旧対応）、消防車による原子炉及び使用済燃料プールへの機動的な注水対応（代替設備対応）を行い、燃料損傷を回避する。（図-1 参照）なお、全ての燃料を使用済燃料プールへ移動し使用済燃料プールゲートを閉じた後は使用済燃料プールのみ注水となる。

*¹：崩壊熱により、冷却材の温度が上昇し100℃（使用済燃料プールの水は65℃）に到達する時間。

復旧余裕時間は平成24年10月1日時点の崩壊熱にて算出し、最も短いのは5号機の原子炉である。

詳細については以下の通り。

【原子炉及び使用済燃料プールに燃料を保管している場合（平成24年10月1日時点の崩壊熱）】

<原子炉>

5号機原子炉（初期温度40℃）の崩壊熱より算出した復旧余裕時間は2.7日であり、同様に6号機の復旧余裕時間は3.8日である。

<使用済燃料プール>

5号機使用済燃料プール（初期温度30℃）の崩壊熱より算出した復旧余裕時間は4.6日であり、同様に6号機の復旧余裕時間は4.6日である。

【使用済燃料プールに全ての燃料を保管している場合（平成26年4月1日時点の崩壊熱）】

<使用済燃料プール>

5号機使用済燃料プール（初期温度 30℃）の崩壊熱より算出した復旧余裕時間は4.2日であり、同様に6号機の復旧余裕時間は3.9日である。

電源車（5・6号機用として2台以上）はT.P.約28m以上の場所に配備されており、5号機タービン建屋2階に設置されている所内低圧母線へ供給可能なケーブルが接続済である。

復旧時に必要な消防車^{*2)}（5・6号機用として2台以上、消防車のホースも原子炉建屋内に配備済）はT.P.約28m以上の場所に配備されているが、震災の場合は移動し注水可能な位置に消防車を配置する。消防車の規格放水圧は0.55MPa以上あり（流量は30m³/h以上）、原子炉建屋最上階（オペレーティングフロア）の高さは、消防車の位置からそれぞれ5号機が約30m、6号機が約39mである。圧力損失を考慮しても、原子炉及び使用済燃料プールに注水するのに十分な能力を有している。（添付資料-2 別添-1 参照）

また、電源車及び消防車の運転訓練等を実施しており、手順書（体制含む）の整備もされているため復旧余裕時間内に十分対応できるものであると評価している。（注水開始までの所要時間：約42時間（1.8日程度））

*2) 消防車：【原子炉及び使用済燃料プールに燃料を保管している場合】

消防車による5号機原子炉及び使用済燃料プールへ注水に必要な水量は、平成24年10月1日の崩壊熱より9t/hと評価されている。6号機についても同様に9t/hと評価されており、注水の水源となる純水タンクの最低限の保有水量は263tであることから、5・6号機それぞれ注水可能時間は14時間程度である。なお、上記に加え電源車により既設設備が復旧されれば既設のポンプを用いた注水や、消防車を用いた海水による注水が可能である。

【使用済燃料プールに全ての燃料を保管している場合（使用済燃料プールゲートは閉）】

消防車による使用済燃料プールへ注水に必要な水量（全ての燃料を使用済燃料プールへ移動し使用済燃料プールゲートを閉じた場合）は、平成26年4月1日時点の崩壊熱より5号機で10t/hであり、6号機についても同様に10t/hと評価される。5・6号機あわせた注水可能時間は13時間程度であり既設のポンプを用いた注水や、消防車を用いた海水による注水が可能である。

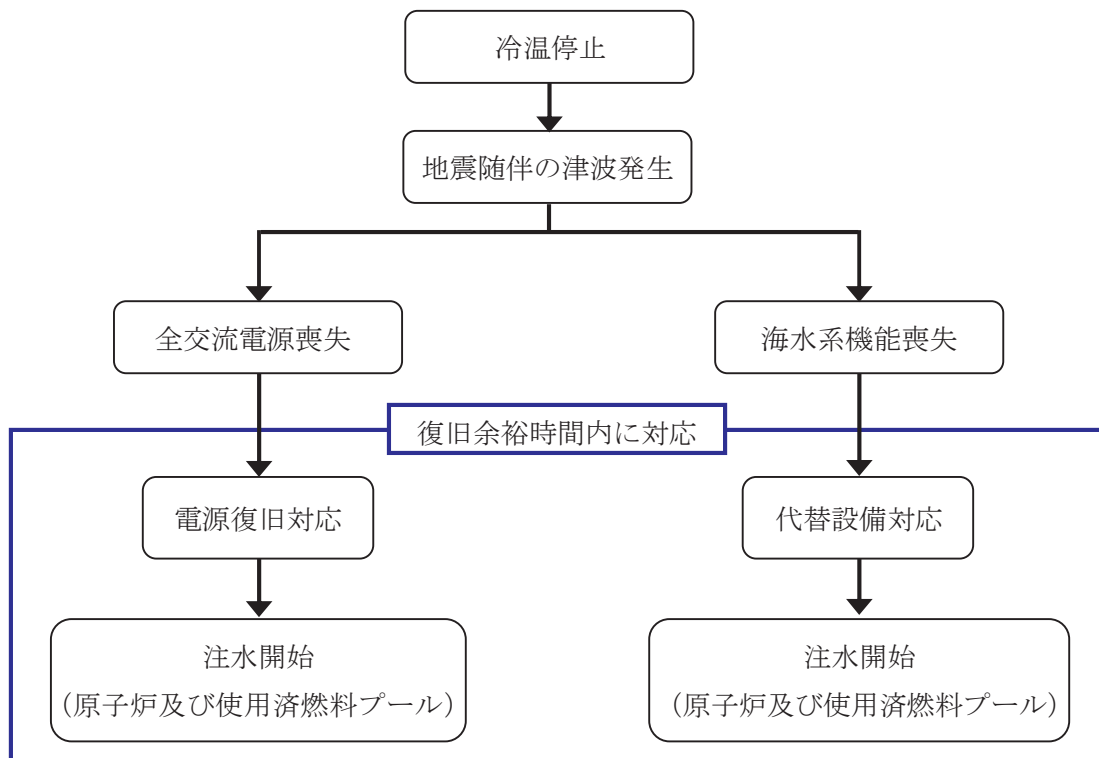


図-1 注水開始までのフローチャート

2.18.4 添付資料

添付資料-1 5・6号機 冷温停止維持に関する設備の復旧状況等について

添付資料-2 5・6号機の耐震性について

表-1 5・6号機 冷温停止維持に関する設備の復旧状況等について

| 号機 | 設備 | 分類 (注1) | ウォークダウン* の結果(被害状況) | 復旧プロセス | 復旧状況 | 使用環境 (注2) | 備考 |
|------|-------------------------|------------|-----------------------|----------------------|----------|----------------------|---|
| 2.19 | 原子炉圧力容器 (冷却材圧力バウンダリ) | ③ | 異常なし | - | 一部未復旧*1) | ○ | ※1) 主蒸気隔離弁及び主蒸気流速が安全弁等の動作確認が未実施。 (上記各弁は全閉状態であり、冷却材圧力バウンダリは維持されている) |
| | 原子炉圧力容器 (冷却材圧力バウンダリ) | ③ | 異常なし | - | 一部未復旧*1) | ○ | ※1) 主蒸気隔離弁及び主蒸気流速が安全弁等の動作確認が未実施。 (上記各弁は全閉状態であり、冷却材圧力バウンダリは維持されている) |
| 2.20 | 原子炉 格納施設 | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | ● 復旧済の定義 以下の復旧(健全性確認)プロセスを経て、機器が使用中(または 使用可能)となっている状態のこと。 ・震災にて損傷した機器の修理が完了している。 ・ウォークダウンにて健全性を確認している。 ・(主に、静的機器) ・ウォークダウンの健全性確認に加え、復旧プロセス記載の健全性 確認を基盤し問題ないことを確認している。 (主に、動的機器、電気品) |
| | | ① | 大物搬入口が津波に より損傷 | 修理 | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 大物搬入口が津波に より損傷 | 修理 | 復旧済 | ○ | |
| 2.21 | 制御棒及び制御棒駆動系 | ③ | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 一部未復旧*2) | ○ | ※2) 水圧制御ユニット及び制御棒駆動機構の動作確認が未実施。 (燃料移動時に復旧する) |
| | | ③ | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 一部未復旧*2) | ○ | ※2) 水圧制御ユニット及び制御棒駆動機構の動作確認が未実施。 (燃料移動時に復旧する) |
| 2.22 | 残留熱除去系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ② | 全てのポンプが津波に より損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 | △ (配管が一部 没水*3) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的 には設備に支障をきたす可能性は否定できないことから、没水配管における健全 性評価及び補えが漏えいが発生した場合に備えた諸方策の検討を実施している。 |
| | | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ② | 全てのポンプが津波に より損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 | △ (配管が一部 没水*3) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的 には設備に支障をきたす可能性は否定できないことから、没水配管における健全 性評価及び補えが漏えいが発生した場合に備えた諸方策の検討を実施している。 |
| 2.23 | 非常用 炉心冷却系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.23 | 高圧炉心スプレイス | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ③ | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング | 未復旧*4) | ○ | ※4) 制御棒が全挿入、かつ燃料の冷却が維持されていることから、原子炉圧力 容器の圧力は安定していることに加え、他の非常用炉心冷却系及び復旧補給水系 にて原子炉圧力容器への注水は十分可能であるため、高圧炉心スプレイス系を復 旧していない。今後は必要に応じて動作可能である状態に復旧する。 |

*) ウォークダウン:
設備に触れずにありのままを観察し、
被害当初の状態を確認すること。
注1) ①:既設設備を復旧し設計上想定内の環境で使用
②:既設設備を復旧しているが設計上想定外の環境で使用
③:未復旧(復旧中)の既設設備
④:仮設設備
注2) ○:設計上想定内の環境で使用
△:設計上想定外の環境で使用

表-2 5・6号機 冷温停止維持に関する設備の復旧状況等について

| 号機 | 設備 | 分類 (注1) | ウォークダウン* の結果(被害状況) | 復旧プロセス | 復旧状況 | 使用環境 (注2) | 備考 |
|------|-----------------------|------------|-----------------------|---------------------------------|----------|------------------------------------|--|
| 2.24 | 5 復水補給水系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | 6 復水補給水系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.25 | 5 原子炉冷却材浄化系 | ③ | 異常なし | ポンプ:分解点検 | 一部未復旧※5) | ○ | ※5) 循環ポンプ2台のうち1台が未復旧であり、未復旧のポンプについては点検を行った後、運転状態を確認し復旧する。 |
| | 6 原子炉冷却材浄化系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.26 | 5 原子炉建屋常用換気系 | ① | 異常なし | 送排風機、排気ファン; ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | 6 原子炉建屋常用換気系 | ① | 異常なし | 送排風機、排気ファン; ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 5 | 燃料プールの冷却浄化系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.27 | 燃料プールの冷却浄化系 | ② | 全てのポンプが津波により損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 | △ (配管が一部 浸水 ^{※3)}) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的には設備に劣化をきたす可能性は否定できないことから、浸水配管における健全性評価及び補修が実施された場合に備えた諸方策の検討を実施している。 |
| | | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 6 | 原子炉補機冷却系 | ① | 異常なし | ポンプ:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | | ② | 全てのポンプが津波により損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 | △ (配管が一部 浸水 ^{※3)}) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的には設備に劣化をきたす可能性は否定できないことから、浸水配管における健全性評価及び補修が実施された場合に備えた諸方策の検討を実施している。 |
| 2.28 | 燃料取扱系 及び 燃料貯蔵設備 | ① | 燃料交換機 | 修理 | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 原子炉建屋天井クレーン | 修理 | 復旧済 | ○ | |
| | 使用済燃料プール | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |

注1) ①:既設設備を復旧し設計上想定内の環境で使用
 ②:既設設備を復旧しているが設計上想定外の環境で使用
 ③:未復旧(復旧中)の既設設備
 ④:仮設設備

*) ウォークダウン:
 設備に触れずにあののままを觀察し、
 被害当初の状態を確認すること。

注2) ○:設計上想定内の環境で使用
 △:設計上想定外の環境で使用

表-3 5・6号機 冷温停止維持に関する設備の復旧状況等について

| 号機 | 設備 | 分類 (注1) | ウォークダウン [*] の結果(被害状況) | 復旧プロセス | 復旧状況 | 使用環境 (注2) | 備 考 |
|------|-----------------------|------------|--|-----------------------|---|--------------------------------------|---|
| 2.28 | 燃料取扱系 及び 燃料貯蔵設備 | ① | オペフロの高温度環境 により電気設備の絶縁 低下や機械設備の腐蝕 に至る(震災時の燃 料ノール冷却機能喪 失により、ノール水温 度が上昇し水蒸気が 発生) | 修理 | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |
| | | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |
| 2.29 | 非常用ガス処理系 | ① | 異常なし | 排風機:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | 非常用ガス処理系 | ① | 異常なし | 排風機:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.30 | 中央制御室換気系 | ① | 異常なし | 送排風機:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | 中央制御室換気系 | ① | 異常なし | 送排風機:ハンドターニング 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| 2.32 | 外部電源 | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |
| | 非常用ディーゼル発電機 | ① | 異常なし | 運転確認 | 復旧済 | ○ | |
| | 非常用ディーゼル発電機 冷却海水系 | ② | 全てのポンプが津波に より損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 | △ (配管が一部 没水 ^{**3}) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的 には設備に支障をきたす可能性は否定できないことから、没水配管における健全 性評価及び補修が実施された場合、予備のケーブルを敷設し信頼性を向上させている。 |
| | 直流電源装置 | ① | 異常なし | 蓄電池:比重・電圧測定 | 復旧済 | ○ | |
| | 電源ケーブル | ② | ケーブルが一部没水 (その他は異常なし) | 絶縁抵抗測定 | 復旧済 | △ (ケーブルが一 部没水 ^{**3}) | ※7) 海水系ポンプ(残留熱除去海水系、補機冷却海水系、非常用ディーゼル発電機 冷却海水系)に電力を供給しているケーブルが一部没水、時間の経過により絶縁性能 の低下が懸念されるため、予備のケーブルを敷設し信頼性を向上を図っている。 |
| | 外部電源 | ① | 異常なし | → | 復旧済 | ○ | |
| | 非常用ディーゼル発電機 | ③ | 異常なし | 運転確認 | 復旧済 (高圧炉心スプレイス は未復旧 ^{**6}) | ○ | ※8) 復旧されている5・6号機全ての非常用ディーゼル発電機を含めて考えれ ば、非常用高圧母線に接続する動作可能な非常用ディーゼル発電機は十分確 保されている。今後は必要に応じて動作可能である状態に復旧する。 |
| | 非常用ディーゼル発電機 冷却海水系 | ③ | 全てのポンプが津波に より損傷 | ポンプ:分解点検 | 復旧済 (高圧炉心スプレイス は未復旧 ^{**9}) | △ (配管が一部 没水 ^{**3}) | ※3) 設備の健全性は各パラメータを監視することにより確認できるものの、長期的 には設備に支障をきたす可能性は否定できないことから、没水配管における健全 性評価及び補修が実施された場合、予備のケーブルを敷設し信頼性を向上させている。 ※6) 高圧炉心スプレイス系の女性冷却水を供給するものであり、今後は必要に応じ て動作可能である状態に復旧する。 |
| | 直流電源装置 | ③ | 異常なし | 蓄電池:比重・電圧測定 | 復旧済 (高圧炉心スプレイス は未復旧 ^{**10}) | ○ | ※10) 高圧炉心スプレイス系の制御電源のみに電力を供給するものであり、今後は 必要に応じて動作可能である状態に復旧する。 |
| | 電源ケーブル | ② | ケーブルが一部没水 (その他は異常なし) | 絶縁抵抗測定 | 復旧済 | △ (ケーブルが一 部没水 ^{**3}) | ※7) 海水系ポンプ(残留熱除去海水系、補機冷却海水系、非常用ディーゼル発電機 冷却海水系)に電力を供給しているケーブルが一部没水、時間の経過により絶縁性能 の低下が懸念されるため、予備のケーブルを敷設し信頼性を向上を図っている。 |

*)ウォークダウン:
設備に触れずにありのままを観察し、
被害当初の状態を確認すること。
注1) ①:既設設備を復旧し設計上想定内の環境で使用
②:既設設備を復旧しているが設計上想定外の環境で使用
③:未復旧(復旧中)の既設設備
④:仮設設備
注2) ○:設計上想定内の環境で使用
△:設計上想定外の環境で使用

表-4 5・6号機 冷温停止維持に関する設備の復旧状況等について

| 号機 | 設備 | 分類 (注1) | ウォークダウン* の結果(被害状況) | 復旧プロセス | 復旧状況 | 使用環境 (注2) | 備考 |
|------|------------------|------------|--------------------------|----------------------|------------|------------------------|---|
| 2.33 | 5 放射性液体廃棄物処理系 | ③ | 異常なし | ポンプ・ハンドターニング 運転確認 | 一部未復旧**11) | ○ | ※1)未復旧機器は、添付資料-4 系統概要図に記載。(II.2.33 参照) 設備の一部が未復旧であるが、発生する廃液は、機器ドレン系にて処理可能。 |
| | 6 放射性液体廃棄物処理系 | ③ | 設備が一部没水 (その他は異常なし) | — | 未復旧**12) | △ (設備が一部 没水**12) | ※12)未復旧機器及び没水機器は、添付資料-4 系統概要図に記載。 発生する廃液は、5号機の機器ドレン系にて処理可能。 |
| 5・6 | 仮設備(滞留水貯留設備) | ④ | 仮設備を設置し、建屋内滞留水の処理を行っている。 | | | ○ | |
| 2.34 | 5 計測制御設備 | ① | 異常なし | 計器:点検・校正 | 復旧済 | ○ | |
| | 6 計測制御設備 | ① | 異常なし | 計器:点検・校正 | 復旧済 | ○ | |

*)ウォークダウン:
設備に触れずにありのままを観察し、
被害当初の状態を確認すること。

注1) ①:既設備を復旧し設計上想定内の環境で使用
②:既設備を復旧しているが設計上想定外の環境で使用
③:未復旧(復旧中)の既設備
④:仮設備

注2) ○:設計上想定内の環境で使用
△:設計上想定外の環境で使用

5・6号機の耐震性について

1. はじめに

5・6号機の使用済燃料については、使用済燃料共用プールへ搬出する計画であるが、燃料管理の一元化を図り5・6号機全体の安全性を高めることを目的として、準備（燃料交換機等の復旧）が整い次第、炉内の燃料を使用済燃料プールに移動させることとする。（別添－1 参照）

燃料移動にあたっては、使用する設備の本震[＊]後点検評価ならびに必要な応じた補修を実施し、健全性確認を行うものとする。また、消防車による機動的対応と併せることで、自然災害（津波）に対する安全性確保を図る。

＊）本震：平成23年3月11日に発生した三陸沖を震源とする東北地方太平洋沖地震を示す。

2. 耐震性評価について

使用済燃料共用プールへの燃料搬出においては、1～4号機の燃料搬出に影響を与えない範囲で燃料搬出を行うため、使用済燃料プールでの燃料保管が一定期間継続することが想定される。そのため、燃料貯蔵に必要な部分の耐震性評価を行っていく。表－1に対象範囲及び評価項目を示す。（I.1.2 参照）

なお、冷温停止維持に必要な設備の安全性については、これまでの各設備の耐震性評価結果ならびに点検結果等を踏まえて総合的に確認していく。

表－1 耐震性評価の対象範囲と評価項目

| 対象範囲 | 評価項目 | 備考 |
|-----------------|--|---------------------|
| 原子炉建屋 天井クレーン | ・ 地震を受けても落下しないことの確認 | 燃料移動作業開始前に点検・補修を行う。 |
| 燃料交換機 | ・ 地震を受けても落下しないことの確認 | 燃料移動作業開始前に点検・補修を行う。 |
| 燃料貯蔵設備 | ・ 使用済燃料プールの構造強度評価 ・ 使用済燃料ラックの構造強度評価に基づく貯蔵燃料の未臨界評価 | |

3. 現状の耐震性について

以下に、これまでの5・6号機の耐震性評価状況を示す。これらを総合的に勘案し、現状、基準地震動レベルの地震を受けたとしても、5・6号機の安全機能が直ちに損なわれることはないと判断している。（別添－2 参照）

(1) 平成18年耐震設計審査指針改訂への対応状況

5・6号機については、主要な7施設の基準地震動 S_s に対する耐震性評価を行い、「止める」「冷やす」「閉じこめる」に係る耐震安全性を確認した。それらは、取りまとめて中間報告書として原子力安全・保安院へ提出し、その内、5号機の中間報告書は、原子力安全・保安院および原子力安全委員会の審査が完了した。

(2) 本震の影響評価

5号機については、耐震Sクラス設備全般について、本震観測記録を用いた地震応答解析を実施し、評価対象設備の機能維持を確認した。6号機については、「止める」「冷やす」「閉じこめる」に係る主要な設備について本震観測記録を用いた地震応答解析を実施し、評価対象設備の機能維持を確認した。また、5・6号機そのものは、現在に至るまで、安定的に冷温停止を維持しており、耐震安全性を確保できているものと判断する。

(3) 設計条件

5・6号機は、既往地震波（エルセントロ等）の最大加速度振幅を180Galに基準化した地震動を建設時建屋モデルに直接入力することで耐震設計が行われていた。この耐震設計条件は、今回の本震や基準地震動と比較しても、同等以上の条件である。それに加え、建設時設計当時は、配管の減衰定数に関するデータが少なかったことから、設計に用いる減衰定数を保守的に一律0.5%に設定しており、建設時の設定の方が保守的であった。（現在は、サポートや保温材の施工状況に応じて0.5%～3.0%が用いられている）

4. 別添

別添ー1 使用済燃料プールでの燃料集中管理の安全性について

別添ー2 5・6号機 現状設備の耐震安全性について

使用済燃料プールでの燃料集中管理の安全性について

5・6号機において燃料を使用済燃料プールに集中管理することに対する安全性について、原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能喪失を想定し、炉内燃料を現状のまま保管継続した場合と使用済燃料プールに移動した場合における有効燃料頂部に至るまでの時間的余裕の比較に基づき説明する。

1. 条件

- ・初期温度：原子炉 40℃，使用済燃料プール 30℃。
- ・崩壊熱：原子炉は炉内燃料分，使用済燃料プールは炉内燃料を全て使用済燃料プールに移動した後の状態である炉内燃料分＋使用済燃料分の崩壊熱を考慮する。
- ・使用済燃料プールゲートは閉。

2. 原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能喪失時の有効燃料頂部に至るまでの時間的余裕

原子炉及び使用済燃料プールの冷却機能喪失時の有効燃料頂部に至るまでの時間的余裕は表－1のとおり。

表－1 原子炉及び使用済燃料プールの水位が有効燃料頂部
に至るまでの時間的余裕

【平成24年10月1日時点の崩壊熱による評価】

| | 5号機 | 6号機 |
|----------|-------|-------|
| 原子炉 | 13日程度 | 16日程度 |
| 使用済燃料プール | 35日程度 | 34日程度 |

【平成26年4月1日時点の崩壊熱による評価】

| | 5号機 | 6号機 |
|----------|-------|-------|
| 使用済燃料プール | 54日程度 | 52日程度 |

3. まとめ

冷却機能喪失時の有効燃料頂部に至るまでの時間的余裕は、炉内燃料を全て使用済燃料プールに移動したとしても、使用済燃料プールの方が長いため、使用済燃料プールでの集中管理は安全性向上に資するものである。

また、万が一、自然災害（津波）を受け冷却機能が喪失した場合は、消防車による機動的な対応を行うこととなるが、使用済燃料プールへの注水は、使用済燃料プールが大気開放されていることから、原子炉建屋最上階（オペレーティングフロア）に消防車用のホースを引き回すことにより、容易に注水することが可能である。

この注水の容易性からみても、使用済燃料プールでの集中管理は安全性向上に資するものといえる。

５・６号機 現状設備の耐震安全性について

1. 5号機

耐震設計審査指針改訂に伴う耐震安全性評価の一環で、「止める」「冷やす」「閉じこめる」に係る主要な7施設に関して基準地震動 S_s に対して耐震安全性を確保していることを確認した*¹。また、本震の観測記録が基準地震動 S_s をわずかに上回ったことに鑑み、耐震 S クラス設備全般について、本震の観測記録を用いた耐震性評価を行い、本震に対する耐震安全性を確認した*²。さらに、本震後の設備状態把握を目的としたウォークダウンを実施した結果、地震に起因すると考えられる損傷事例は認められなかった。

機器の固有周期帯（概ね0.05～0.20秒程度）の範囲では、建設時の耐震設計に用いられた応答スペクトル、または、本震の応答スペクトルが、現在の技術水準による減衰定数を設定すれば、基準地震動 S_s のスペクトルを上回っている。

なお、0.07～0.08秒近辺で基準地震動 S_s のスペクトルが、建設時の耐震設計に用いられた応答スペクトル及び本震の応答スペクトルをわずかに上回る*³が、建設時の耐震裕度や本震後のウォークダウンで確認した健全な設備の状態を考慮すると、プラントの耐震安全性に影響がないものとする。以上のことから、現状の5号機の冷温停止に関する設備は、基準地震動 S_s に対しても耐震安全性を確保できるものと判断する。（図－1 参照）

*¹：「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う耐震安全性評価に関する原子力事業者等からの報告等について（原子力安全・保安院 平成20年3月31日 別添2 東京電力株式会社福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所 中間報告概要）

*²：平成23年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の評価及び福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価に関する中間取りまとめについて 添付2（原子力安全・保安院 平成24年2月16日）

*³：基準地震動 S_s が設計条件もしくは本震を上回るのは10%程度であるが、概ね、設計の際には許容応力が計算応力に対して20～30%の余裕を持っているため、安全上の問題とはならないと判断する。

2. 6号機

5号機と同様、耐震設計審査指針改訂に伴う耐震性評価の一環で、「止める」「冷やす」「閉じこめる」に係る主要な7施設に関して基準地震動 S_s に対して耐震安全性を確保していることを確認した*⁴。

*⁴：「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に伴う耐震安全性評価に関する原子力事業者からの報告について（原子力安全・保安院 平成21年6月19日）

福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所 耐震安全性評価結果中間報告書（改訂版）等の一部
修正の概要（東京電力株式会社 平成 22 年 4 月 19 日）

さらに、本震の観測記録が得られたことに鑑み、同じく主要な 7 施設の本震の観測記録を用いた耐震性評価を行い、本震に対する安全性を確認した*⁵。また、本震後の設備状態把握を目的としたプラントウォークダウンを実施した結果、地震に起因すると考えられる損傷事例は認められなかった。

機器の固有周期帯（概ね 0.05～0.20 秒程度）の範囲では、建設時の耐震設計に用いられた応答スペクトルが、現在の技術水準による減衰定数を設定すれば、基準地震動 S_s のスペクトルを上回っており、6 号機については、個別に設備の評価を行わなくても、現状の冷温停止に関連する設備は、基準地震動 S_s に対して耐震安全性を確保できるものと判断する。（図-1 参照）

* 5 : 平成 23 年東北地方太平洋沖地震の知見を考慮した原子力発電所の地震・津波の評価及び福島第一及び福島第二原子力発電所の原子炉建屋等への影響・評価に関する中間取りまとめについて 添付 2（原子力安全・保安院 平成 24 年 2 月 16 日）

本資料に記載の標高は、震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への読替値(-727mm)を用いて、下式に基づき換算している。
 <換算式> T.P.=旧 O.P.-1,436mm

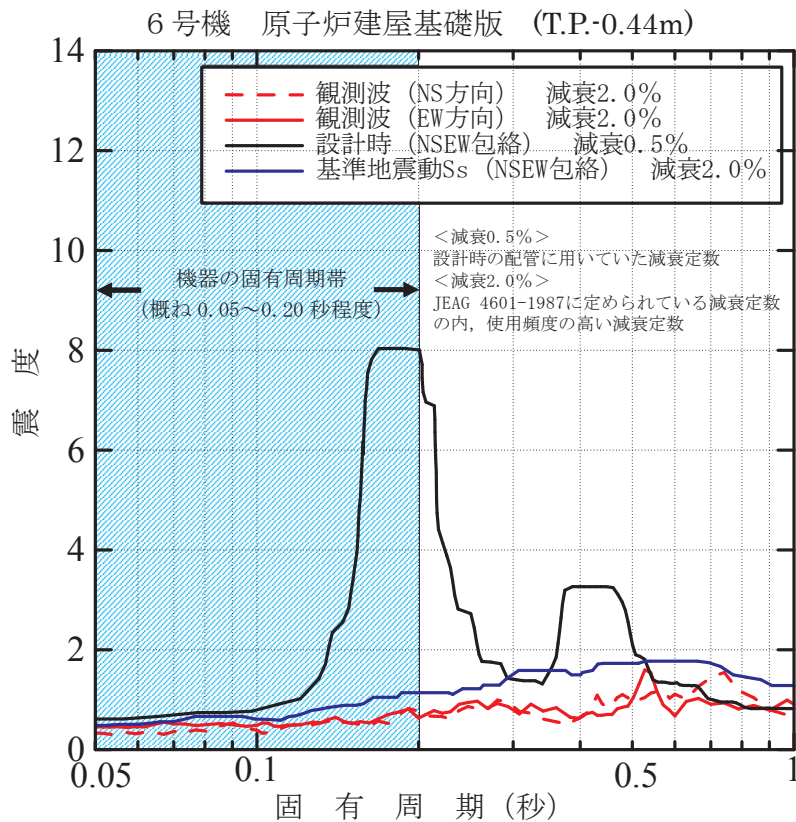
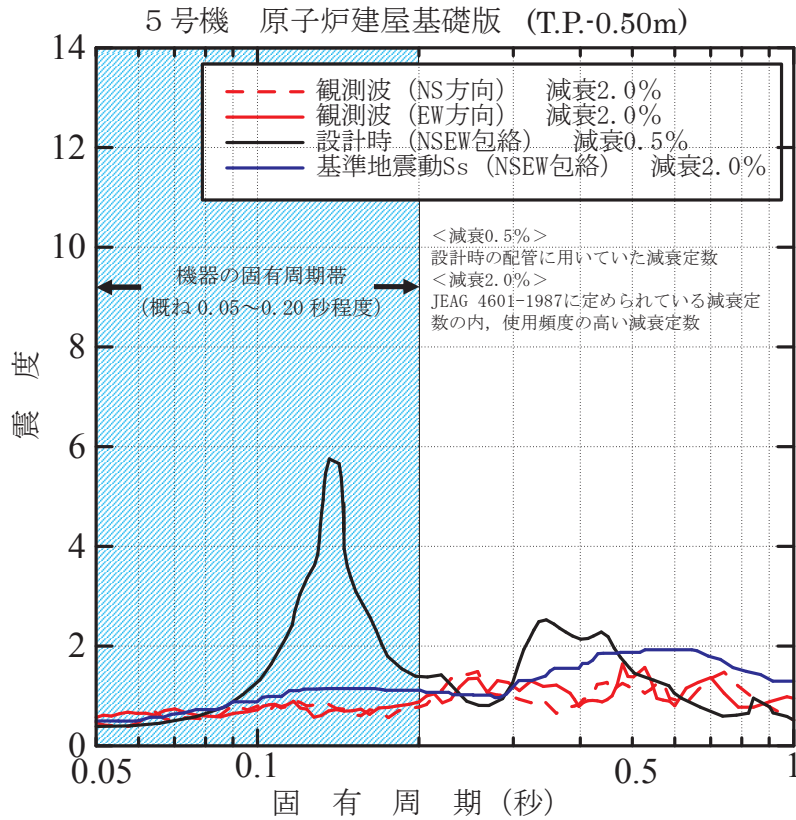


図-1 床応答スペクトルの比較及び機器の固有周期帯について

2.37 モバイル型ストロンチウム除去装置等

2.37.1 基本設計

2.37.1.1 設置の目的

汚染水処理設備の処理済水を貯留する設備（タンク）のうち、逆浸透膜装置の廃液を貯留する R0 濃縮水貯槽は、高濃度の放射性ストロンチウムを含むため、モバイル型ストロンチウム除去装置により放射性ストロンチウム濃度を低減する。平成 26 年 11 月現在、既に運転を開始しているモバイル型ストロンチウム除去装置（A 系統）に加え、新たに 1 系統（B 系統）を増設して 2 系統とする。2 系統設置するモバイル型ストロンチウム除去装置のうち、A 系統は、G4 南エリア及び G6 南エリアの R0 濃縮水貯槽を処理し、B 系統は、H5 北エリアの R0 濃縮水貯槽の R0 濃縮水を処理することとする。他エリアのタンクを処理する場合には、別途実施計画を申請するものとする。

なお、モバイル型ストロンチウム除去装置により放射性ストロンチウム濃度を低減した水は、多核種除去設備等により、放射性物質（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去する。

平成 28 年 3 月現在、A 系統及び B 系統による G4 南エリア及び G6 南エリア並びに H5 北エリアの R0 濃縮水の放射性ストロンチウム濃度低減を終了しており、モバイル型ストロンチウム除去装置は運用を停止している。処理終了エリアの移送配管を撤去する。

2.37.1.2 要求される機能

- (1) R0 濃縮水貯槽に貯留される汚染水に内包される放射性核種のうち、ストロンチウムについて、濃度を低減する能力を有すること。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。また、放射性液体廃棄物が、万一、機器・配管等から漏えいした場合においても、早期に検知し、施設からの漏えい拡大を防止できること。
- (3) 装置内で発生する可燃性ガスの管理が行える機能を有すること。

2.37.1.3 設計方針

(1) 処理能力

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、R0 濃縮水貯槽に貯留している汚染水に含まれる放射性ストロンチウムの濃度を低減する能力を有する設計とする。なお、放射性ストロンチウムの除染係数の目標値を 10 から 1000 とする。

(2) 材料

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、処理対象水の性状を考慮した材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

モバイル型ストロンチウム除去装置等の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、万が一漏えいが発生した場合には停止するインターロックを設ける。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えいした液体の除去を行えるようにする。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、シールド中央制御室に表示し、監視できるようにする。
- d. モバイル型ストロンチウム除去装置の機器等は、可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け、漏えいの拡大を防止する。

(4) 被ばく低減

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、遮へい、機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。また、モバイル型ストロンチウム除去装置の運転監視員は、放射性物質を内包しない機器を収容するコンテナ及びシールド中央制御室に配置する設計とする。

(5) 崩壊熱除去に対する考慮

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、崩壊熱を除去できる設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき、排出できる設計とする。

(7) 誤操作の防止に対する考慮

モバイル型ストロンチウム除去装置は、運転操作手順書を整備し、教育を実施すると共に、特に重要な運転操作については、ダブルアクションを要する等の設計とする。

(8) 健全性に対する考慮

モバイル型ストロンチウム除去装置は、機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2. 37. 1. 4 主要な機器

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、モバイル型ストロンチウム除去装置および移送設備（配管等）で構成する。

(1) モバイル型ストロンチウム除去装置

モバイル型ストロンチウム除去装置は、供給／混合スキッド、浮遊物質（以下、SS という）フィルタスキッド、ウルトラフィルタスキッド、吸着塔スキッド、計装制御スキッドで構成する。

供給／混合スキッドは、汚染水を受け入れたタンクに吸着材粒子を添加し、混合することによって、イオン状ストロンチウムを吸着材粒子に吸着させる。SS フィルタスキッドは、供給／混合スキッドにおいてイオン状ストロンチウムを吸着した吸着材粒子及び汚染水に含まれる粒子状ストロンチウムを除去する。ウルトラフィルタスキッドは、SS フィルタで除去されなかった微粒子状ストロンチウムを除去する。吸着塔スキッドは、吸着材を充填した多段の吸着塔に通水することにより、イオン状ストロンチウムを除去する。

モバイル型ストロンチウム除去装置の主要な機器は、シールド中央制御室により運転状況の監視を行う。

モバイル型ストロンチウム除去装置で使用する SS フィルタ及びウルトラフィルタは、ステンレス鋼製のフィルタハウジングに収容し、さらにフィルタハウジングを炭素鋼製のライナーに収容して、その外側に炭素鋼製の遮へい容器を設ける。

また、吸着塔は、ゼオライト等の吸着材を充填したステンレス鋼製の容器の外側に炭素鋼製の遮へい容器を設ける。使用済フィルタ及び使用済吸着塔は内部を淡水で置換し、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを行い、使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設のコンクリート製ボックスカルバート内で貯蔵する。なお、水抜きした水は、高温焼却炉建屋地下に排水する。

(2) 移送設備

R0 濃縮水貯槽に貯留した汚染水は、移送設備によりモバイル型ストロンチウム除去装置に移送され、ストロンチウムを除去した後、移送設備により R0 濃縮水貯槽に移送する。移送配管は、ポリエチレン管等により構成される。

2. 37. 1. 5 自然災害対策等

(1) 津波

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるタンクエリア近傍の T.P. 約 28m 以上の場所に設置する。（Ⅲ. 3. 1. 3 参照）

(2) 火災

火災発生を防止するため、可能な限り不燃性または難燃性材料を使用する。また、初期消火のためにモバイル型ストロンチウム除去装置近傍に消火器を設置する。万一の火災に対する対応については、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(3) 豪雨及び強風

モバイル型ストロンチウム除去装置は、雨水の浸入を防止し、強風に耐えうる構造とするため、鋼製のコンテナ内に設置する。また、コンテナは、30m/sの風荷重においても転倒しない設計とする。

万一、大雨警報等の予報、特別警報により、大量の雨水が浸入し、処理の停止に至る等の可能性がある場合は、装置を停止することで、装置の計画外停止に備える。また、暴風警報、竜巻警報等の予報、特別警報により、計器類・監視カメラが故障する等、運転継続に支障を来す可能性がある場合には、汚染水の漏えい防止を図るため、装置を停止する。豪雨及び強風に対する対応は、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

2.37.1.6 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

モバイル型ストロンチウム除去装置を構成する主要な機器は、「ASME Boiler and Pressure Vessel Code」または「ASME B31 Code」に準拠する。「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」においては、廃棄物処理設備に相当するクラス3機器と位置付けられることから、供給／混合タンク、SSフィルタ、ウルトラフィルタ、吸着塔及び鋼管については、「JSME S NC1-2005 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、「設計・建設規格」）」のクラス3機器相当の板厚評価を行い、適合性を確認する。また、ポリエチレン管は、JWWA規格に準拠する。その他の非金属材料については、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

(2) 耐震性

モバイル型ストロンチウム除去装置を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置付けられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して耐震評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせてものを採用する。ポリエチレン管及び耐圧ホースは、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.37.2 基本仕様

2.37.2.1 系統仕様

(1) モバイル型ストロンチウム除去装置

処理方式 ろ過+吸着材方式

系統数 2 (A系統, B系統)

処理量 300m³/日/系統

2.37.2.2 機器仕様

(1) 供給/混合タンク (1系統あたり)

| 名 称 | | 供給/混合タンク | |
|------------------|-------------------|------------|---------------------------|
| 種 類 | — | 底部円錐縦置き円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /個 | 4.16 | |
| 最高使用圧力 | MPa | 0.10 | |
| 最高使用温度 | ℃ | 40 | |
| 主 要 寸 法 | 上部胴外径 | mm | 1971.7 |
| | 上部胴板厚さ | mm | 7.9 |
| | 下部胴外径 | mm | 609.6 |
| | 下部胴板厚さ | mm | 7.9 |
| | 上部平板厚さ | mm | 50.8 |
| | 底部鏡板厚さ | mm | 6.4 |
| | 高さ | mm | 2792.4 |
| 材 料 | 胴板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| | 上部平板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| | 底部鏡板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| 個 数 | 個 | 2 | |

(2) 浮遊物質 (SS) フィルタ (1 系統あたり)

| 名 称 | | 浮遊物質 (SS) フィルタ | |
|-------------|----------------------|-----------------|-----------------------|
| 種 類 | — | 縦置き円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/系列 | 12.5 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 0.48 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 40 | |
| 主 要 寸 法 | 胴外径 | mm | 558.8 |
| | 胴板厚さ | mm | 6.4 |
| | 上部鏡板厚さ | mm | 6.4 |
| | 下部鏡板厚さ | mm | 6.4 |
| | 高さ | mm | 1260.5 |
| 材 料 | 胴板 | — | ASME SA-312 TP316L |
| | 鏡板 | — | ASME SA-240 TYPE 316L |
| 個 数 | 個/系列 | 4 | |
| 系 列 数 | 系列 | 2 (運転時は 1 系列使用) | |

(3) ウルトラフィルタ (1 系統あたり)

| 名 称 | | ウルトラフィルタ | |
|-------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| 種 類 | — | 縦置き円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/系列 | 12.5 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 1.03 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 40 | |
| 主 要 寸 法 | 胴外径 | mm | 219.1 |
| | 胴板厚さ | mm | 3.8 |
| | 上部鏡板厚さ | mm | 3.8 |
| | 下部鏡板厚さ | mm | 3.8 |
| | 高さ | mm | 1219.2 |
| 材 料 | 胴板 | — | ASME SA-312 TP316L |
| | 鏡板 | — | ASME SA-403 WP316L |
| 個 数 | 個/系列 | 32 | |
| 系 列 数 | 系列 | 2 (運転時は 1 系列使用) | |

(4) 吸着塔（1系統あたり）

| 名 称 | | 吸着塔 | |
|------------------|---------------------|-------------|---------------------------|
| 種 類 | — | 縦置き円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/個 | 12.5 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 0.90 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 40 | |
| 主 要 寸 法 | 胴外径 | mm | 914.4 |
| | 胴板厚さ | mm | 9.5 |
| | 上部平板厚さ | mm | 50.8 |
| | 下部平板厚さ | mm | 50.8 |
| | 胴高さ | mm | 2119.3 |
| 材 料 | 胴板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| | 上部平板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| | 下部平板 | — | ASME SA-240 TYPE 316/316L |
| 個 数 | 個 | 4（運転時は3個使用） | |

(5) 配管

主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|--------|---|
| 供給／混合スキッド入口ホースから 吸着塔スキッド出口ホースまで (鋼管) | 呼び径 | 25A／Sch. 40S 50A／Sch. 40S, Sch. 80S 100A／Sch. 40S |
| | 材質 | ASME SA-312 TP316L |
| | 最高使用圧力 | 1.03 MPa |
| | 最高使用温度 | 40 ℃ |
| (耐圧ホース) | 呼び径 | 50A 相当 |
| | 材質 | EPDM 合成ゴム |
| | 最高使用圧力 | 1.03 MPa |
| | 最高使用温度 | 40 ℃ |

(6) ポンプ（1系統あたり）

a. 供給／混合スキッド入口ポンプ（完成品）

| | |
|----|------------------------|
| 台数 | 1台 |
| 容量 | 12.5 m ³ /h |

b. 供給／混合スキッド出口ポンプ（完成品）

| | |
|----|------------------------|
| 台数 | 1台 |
| 容量 | 12.5 m ³ /h |

c. SSフィルタスキッドポンプ（完成品）

| | |
|----|------------------------|
| 台数 | 1台 |
| 容量 | 12.5 m ³ /h |

d. ウルトラフィルタスキッドポンプ（完成品）

| | |
|----|------------------------|
| 台数 | 1台 |
| 容量 | 12.5 m ³ /h |

e. 吸着塔スキッドポンプ（完成品）

| | |
|----|------------------------|
| 台数 | 1台 |
| 容量 | 12.5 m ³ /h |

なお、機器仕様に記載の寸法は公称値である。

2.37.3 添付資料

添付資料－1： 配置概要，系統構成図等

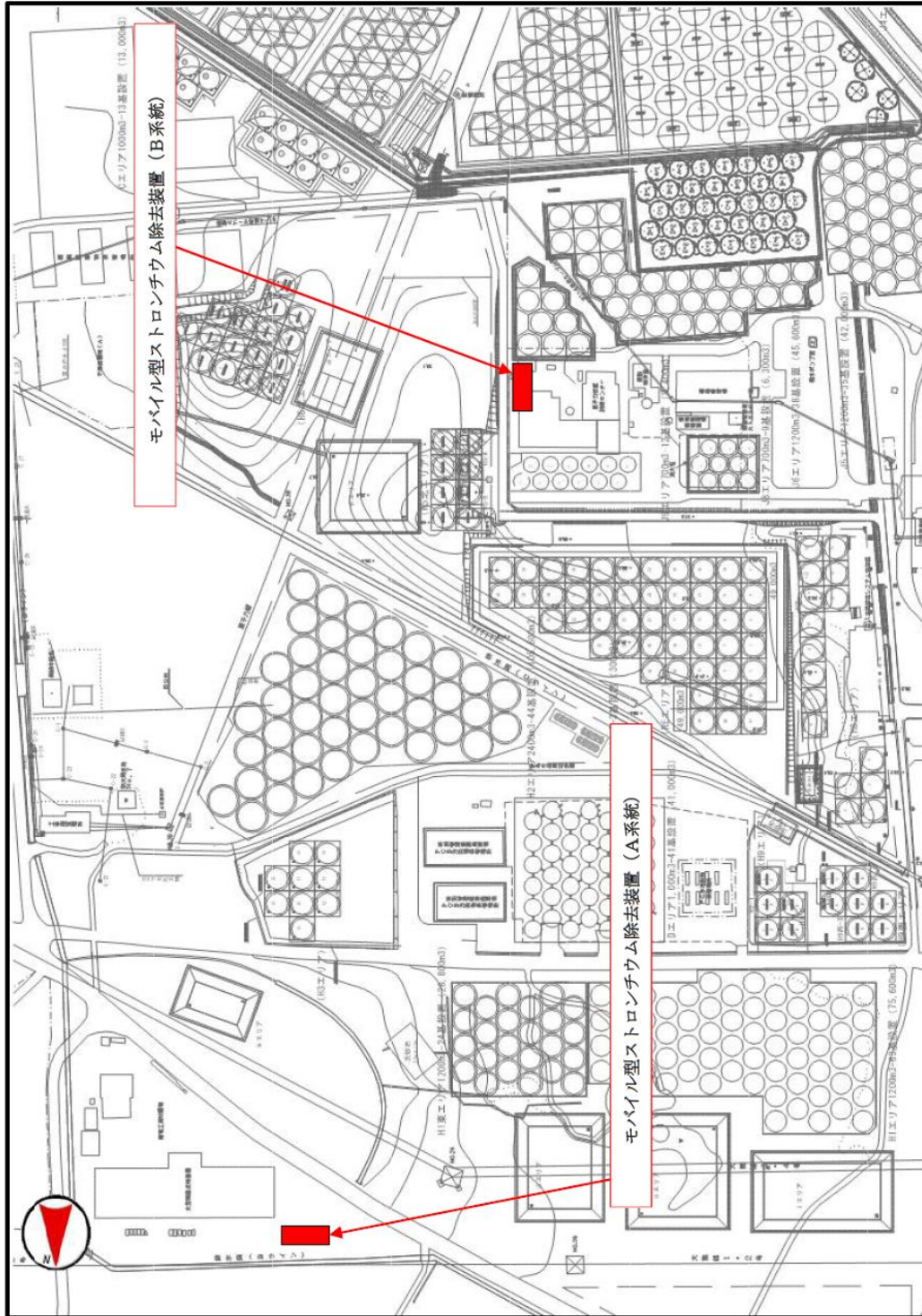
添付資料－2： モバイル型ストロンチウム除去装置の強度に関する説明書

添付資料－3： モバイル型ストロンチウム除去装置の耐震性に関する説明書

添付資料－4： モバイル型ストロンチウム除去装置等の具体的な安全確保策等

添付資料－5： モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る確認事項

添付資料－6： 工事工程表



図一1 モバイル型ストロンチウム除去装置 (A/B系統) 配置概要

表－ 1 G4 南エリア, G6 南エリア及び G6 北エリアの
水質分析結果 (平成 26 年 2 月 19 日採取)

| | 放射能濃度 (Bq/cc) | | | | | | | 性状 | |
|-----|---------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | Cs-134 | Cs-137 | Co-60 | Mn-54 | Sb-125 | Ru-106 | Sr-90 | Cl (ppm) | Ca (ppm) |
| G4南 | <2.1+0 | 2.5+0 | <1.1+0 | <1.2E+0 | 2.1E+1 | 1.2E+1 | 3.9E+4 | 610 | 80 |
| G6南 | <2.3+0 | 2.1+0 | <1.9+0 | <1.2E+0 | 1.5E+1 | 2.0E+1 | 5.8E+4 | 600 | 88 |
| G6北 | <6.7E-1 | 8.5E-1 | <2.7-1 | <4.0E-1 | 4.0E+0 | - | 1.0E+4 | 230 | 30 |

平成 26 年 11 月現在, H5 北エリアの R0 濃縮水は, 増設多核種除去設備で処理した後, 新たに R0 濃縮水を受け入れる予定となっている。モバイル型ストロンチウム除去装置 (B 系統) で処理を実施する際には, 平成 26 年 11 月現在貯留している R0 濃縮水 (表－ 2) の残水と, 新たに受け入れる R0 濃縮水を混合した水質となるが, 新たに受け入れる R0 濃縮水は, 平成 26 年 11 月現在 H5 北エリアのタンクに貯留する R0 濃縮水と比較して, Sr-90 濃度, 塩化物イオン濃度等は低いため, これらの濃度は低下すると考えられる。

表－ 2 H5 北エリアの水質分析結果 (平成 H24 年 12 月 6 日採取)

| | 放射能濃度 (Bq/cc) | | | | | | | 性状 | |
|------|---------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | Cs-134 | Cs-137 | Co-60 | Mn-54 | Sb-125 | Ru-106 | Sr-90 | Cl (ppm) | Ca (ppm) |
| H5北A | 9.2E+0 | 1.6E+1 | <1.8E+0 | 9.0E+0 | 7.7E+1 | 4.2E+1 | 1.5E+5 | 5,700 | 273 |
| H5北B | <5.8E+0 | 8.8E+0 | 3.5E+0 | 3.9E+0 | 8.5E+1 | 9.1E+1 | 1.6E+5 | 3,400 | 205 |

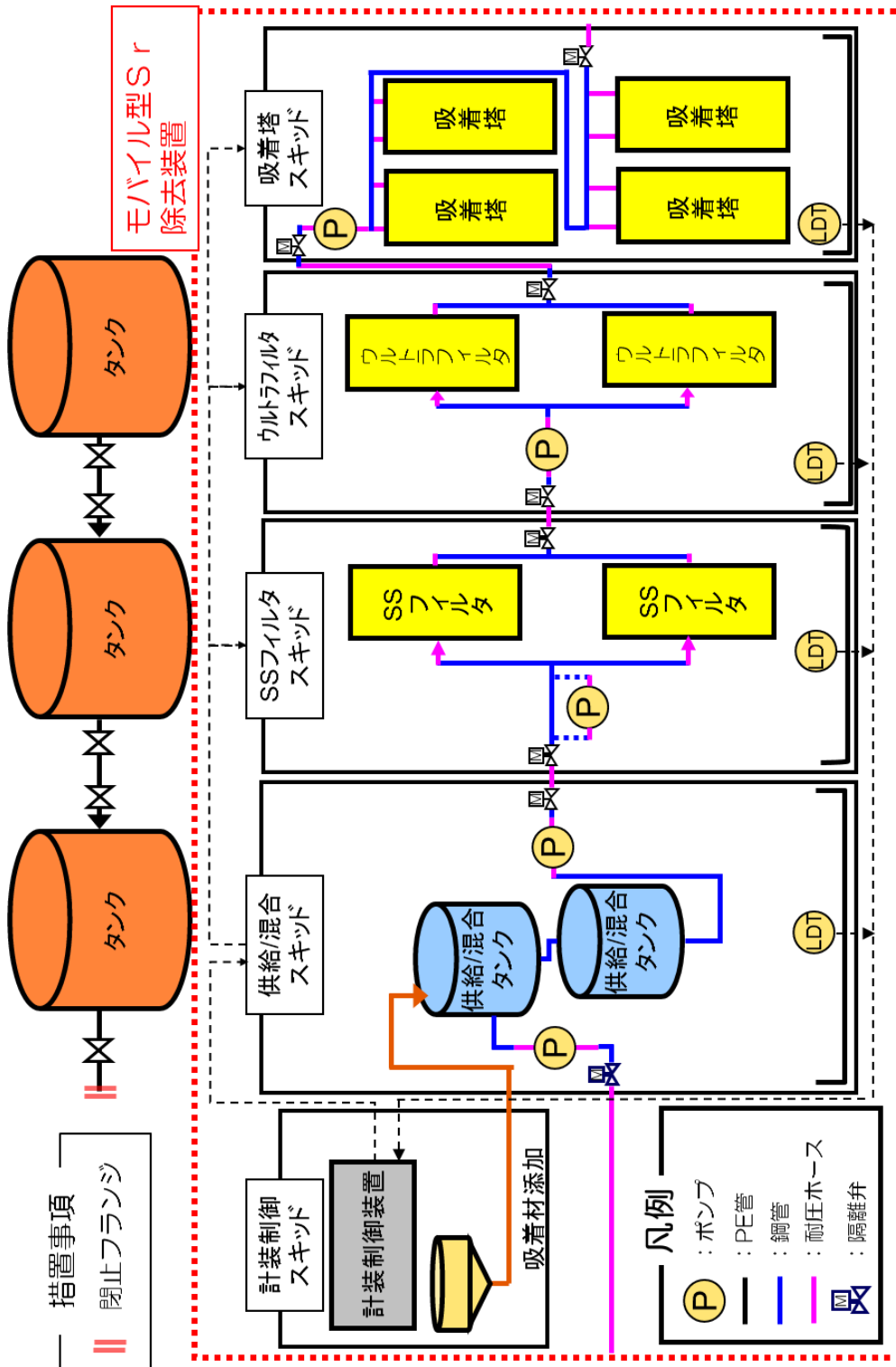


図-2 モバイル型ストロンチウム除去装置系統構成図

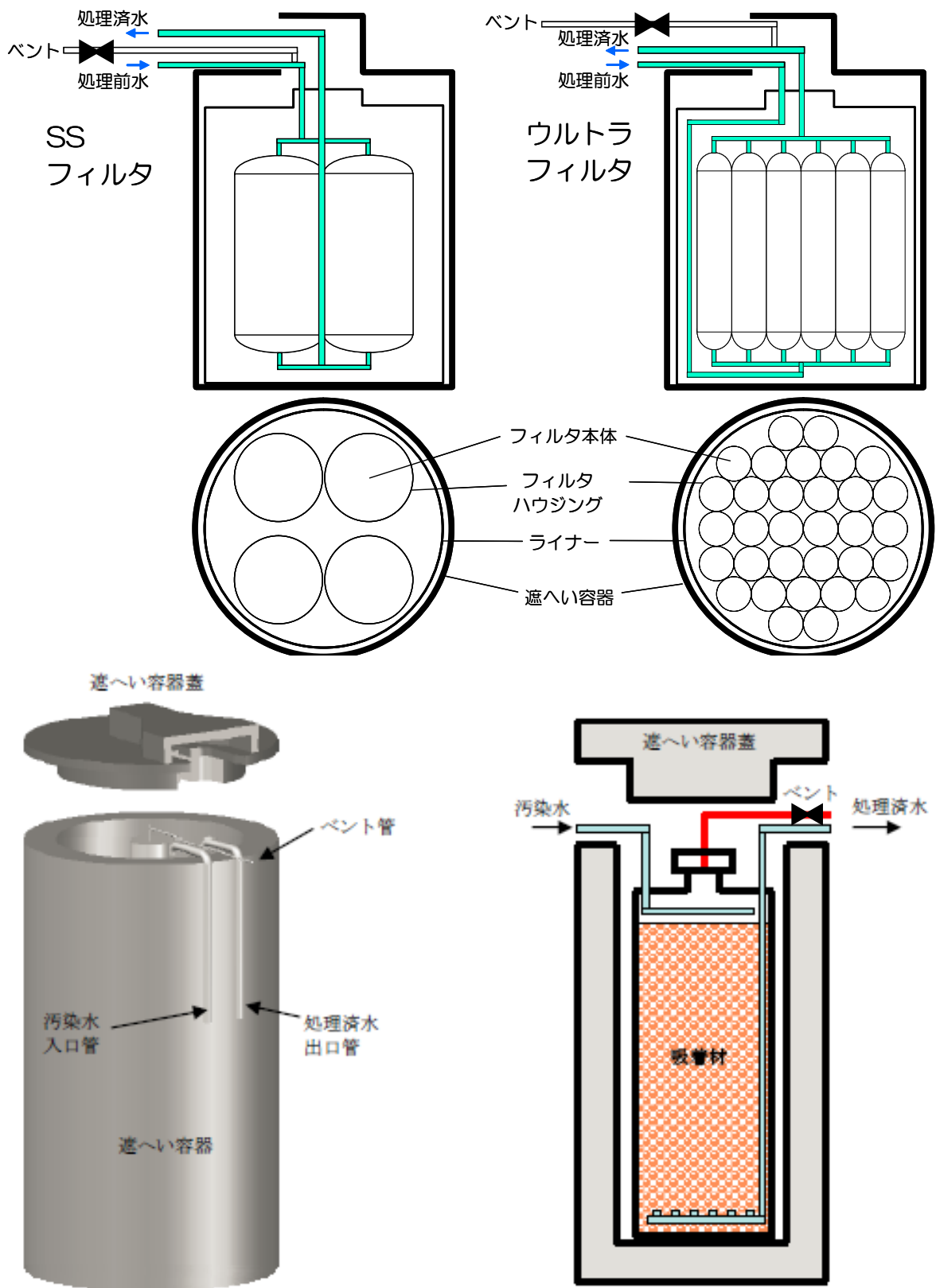


図-3 モバイル型ストロンチウム除去装置のフィルタ・吸着塔の概念図
(フィルタは上図, 吸着塔は下図)

モバイル型ストロンチウム除去装置の強度に関する説明書

1. 供給／混合タンク，SS フィルタ，ウルトラフィルタ及び吸着塔の強度評価

設計・建設規格に準拠し，板厚評価を行った。評価の結果最高使用圧力に対して十分な厚さを有することを確認した（表－1）。

(a) 胴について，以下の計算式により必要な厚さを計算した。

(SS フィルタ，ウルトラフィルタの場合)

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

ここで，

t：管の計算上必要な厚さ（mm）

P：最高使用圧力（MPa）

Do：管の外径（mm）

S：最高使用温度における材料の許容引張応力（111 MPa）

η：長手継手の効率（0.6）

(供給／混合タンク，吸着塔の場合)

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

ここで，

t：胴の計算上必要な厚さ（mm）

P：最高使用圧力（MPa）

Di：胴の内径（mm）

S：最高使用温度における材料の許容引張応力（129 MPa）

η：長手継手の効率（0.6）

(b) 平板について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

(吸着塔の場合)

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

ここで、

t : 平板の計算上必要な厚さ (mm)

d : 平板の径, または最小内のり (895.4 mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (129 MPa)

K : 平板の取付け方法による係数 (0.33)

(c) 鏡板について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

(供給/混合タンクの場合)

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

ここで、

t : 鏡板の計算上必要な厚さ (mm)

D : 鏡板の内面における長径 (596.9 mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数で、以下の式により計算した値

$$K = \frac{1}{6} \left(2 + \sqrt{\frac{D}{2h}} \right)$$

h : 鏡板の内面における短径の 1/2 (149.2 mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (129 MPa)

η : 継手効率 (0.6)

(SS フィルタ, ウルトラフィルタの場合)

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

ここで,

t : 鏡板の計算上必要な厚さ (mm)

R : 鏡板の中央部の内半径 (SS フィルタ : 559mm, ウルトラフィルタ : 191 mm)

W : さら形鏡板の形状による係数で, 以下の式により計算した値

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

r : さら形鏡板のすみの丸みの半径 (SS フィルタ : 33.5 mm, ウルトラフィルタ : 36.1 mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (111 MPa)

η : 継手効率 (0.6)

P : 最高使用圧力 (MPa)

表-1 供給/混合タンク, SS フィルタ, ウルトラフィルタ, 吸着塔の強度評価

| 機器名称 | 評価部位 | 必要厚み [mm] | 厚み [mm] |
|----------|------|--------------|------------|
| 供給/混合タンク | 上部胴板 | 1.3 | 7.9 |
| | 下部胴板 | 0.4 | 7.9 |
| | 底部鏡板 | 0.3 | 6.4 |
| SS フィルタ | 胴板 | 2.1 | 6.4 |
| | 鏡板 | 3.6 | 6.4 |
| ウルトラフィルタ | 胴板 | 1.7 | 3.8 |
| | 鏡板 | 2.0 | 3.8 |
| 吸着塔 | 胴板 | 5.3 | 9.5 |
| | 平板 | 43.0 | 50.8 |

2. 配管の強度評価

設計・建設規格に準拠し、板厚評価を行った。評価の結果最高使用圧力に対して十分な厚さを有することを確認した。(表-2)

内面に圧力を受ける配管について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

ここで、

t : 管の計算上必要な厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_o : 管の外径 (mm)

S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 (111 MPa)

η : 長手継手の効率 (0.6)

表-2 配管の板厚評価結果

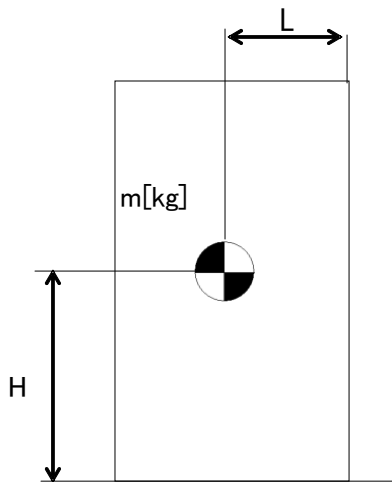
| 機器名称 | 必要板厚 [mm] | 設計板厚 [mm] |
|------------------------|--------------|--------------|
| 配管 (100A/ Sch. 40S) | 0.9 | 6.0 |
| 配管 (50A/ Sch. 40S) | 0.5 | 3.9 |
| 配管 (25A/ Sch. 40S) | 0.3 | 3.4 |
| 配管 (50A/ Sch. 80S) | 0.5 | 5.5 |

モバイル型ストロンチウム除去装置の耐震性に関する説明書

1. 供給／混合タンク，SS フィルタ， ウルトラフィルタ及び吸着塔

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを下記式にて算出し，それらと比較することにより転倒評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

m : 機器質量

(供給／混合タンク : 8,176 kg, SS フィルタ : 13,570 kg, ウルトラフィルタ : 13,571 kg, 吸着塔 : 5,412 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離

(供給／混合タンク : 2.465 m, SS フィルタ : 1.343 m, ウルトラフィルタ : 1.351 m, 吸着塔 : 1.517 m)

L : 転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 評価結果

評価結果を表－1に示す。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した。

表－1 供給／混合タンク耐震評価結果

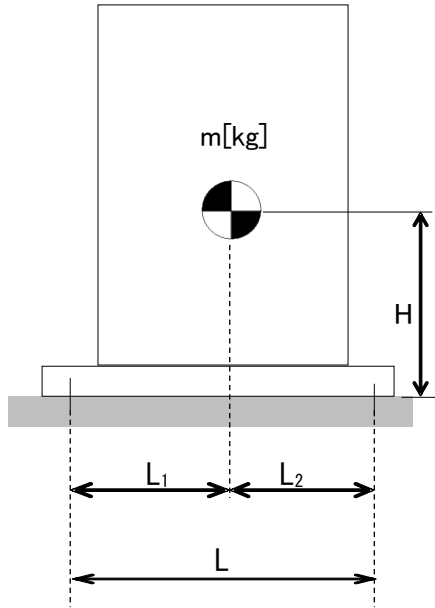
| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|----------|------|------|------|-----|-----|------|
| 供給／混合タンク | 本体 | 転倒 | 0.36 | 72 | 79 | kN・m |
| SS フィルタ | 本体 | 転倒 | 0.36 | 65 | 101 | kN・m |
| ウルトラフィルタ | 本体 | 転倒 | 0.36 | 65 | 101 | kN・m |
| 吸着塔 | 本体 | 転倒 | 0.36 | 29 | 30 | kN・m |

2. ポンプ

2.1 供給／混合スキッド入口ポンプ，ウルトラフィルタスキッドポンプ及び吸着塔スキッドポンプ

a. ポンプ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し，下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- L : 取付けボルト間の水平方向距離 (130.2 mm)
- m : 機器質量 (84.4 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 据付面からの重心までの距離 (498.5 mm)
- L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (65.1 mm)
- L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (65.1 mm)
- n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)
- n : 取付けボルトの本数 (4本)
- A_b : 取付けボルトの軸断面積 (1/2-16 UNC 126.7mm²)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- C_p : ポンプ振動による震度 (1)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times (C_H + C_p) \times H - m \times g \times L_1)$$

$$= 3895.1 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 15.3 \text{ MPa} \rightarrow 16 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times (C_H + C_p)}{n \times A_b} = 2.2 \text{ MPa} \rightarrow 3 \text{ MPa}$$

また，許容応力は，以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで，FはASTM A193 GR B8，Class 2材料の設計降伏点 Sy および設計引張強さ Su を用いて，下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$$S_y : 100\text{ksi} \rightarrow 689 \text{ MPa}$$

$$S_u : 125\text{ksi} \rightarrow 861 \text{ MPa}$$

$$\text{従って, } F = \min[689, 0.7 \times 861] = 603 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容引張応力: } f_{t_o} = 1.5 \times F / 2 = 452.3 \text{ MPa} \rightarrow 452 \text{ MPa}$$

$$f_{t_s} = \min(1.4 \times 452 - 1.6 \times 1, 452) \rightarrow 452 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力: } f_{s_b} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 348.1 \text{ MPa} \rightarrow 348$$

MPa

b. 評価結果

評価結果を表-2-1示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

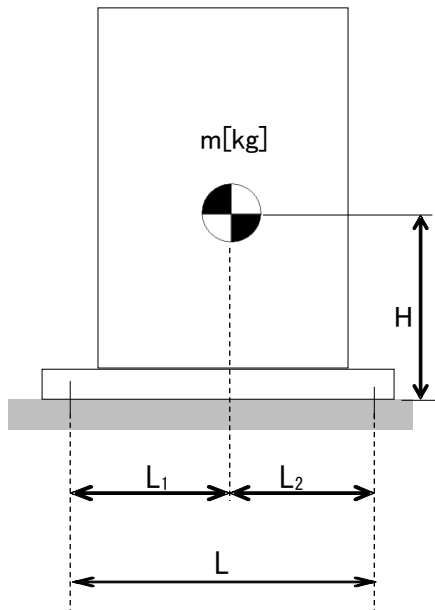
表-2-1 ポンプ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|--|--------|------|------|-----|-----|-----|
| 供給／混合スキッド入口ポンプ、ウルトラフィルタスキッドポンプ及び吸着塔スキッドポンプ | 取付けボルト | 引張 | 0.36 | 16 | 452 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 3 | 348 | MPa |

2.2 供給／混合スキッド出口ポンプ，SS フィルタスキッドポンプ

a. ポンプ取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し，下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- L : 取付けボルト間の水平方向距離 (130.2 mm)
- m : 機器質量 (58.5 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 kg)
- H : 据付面からの重心までの距離 (362.0 mm)
- L_1 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (65.1 mm)
- L_2 : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (65.1 mm)
- n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (2本)
- n : 取付けボルトの本数 (4本)
- A_b : 取付けボルトの軸断面積 (1/2-16 UNC 126.7mm²)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- C_p : ポンプ振動による震度 (1)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times (C_H + C_p) \times H - m \times g \times L_1)$$

$$= 1883.0 \text{ N}$$

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 7.4 \text{ MPa} \rightarrow 8 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times (C_H + C_p)}{n \times A_b} = 1.5 \text{ MPa} \rightarrow 2 \text{ MPa}$$

また，許容応力は，以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで， F はASTM A193 GR B8，Class 2材料の設計降伏点 S_y および設計引張強さ S_u を用いて，下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$$S_y : 100\text{ksi} \rightarrow 689 \text{ MPa}$$

$$S_u : 125\text{ksi} \rightarrow 861 \text{ MPa}$$

$$\text{従って, } F = \min[689, 0.7 \times 861] = 603 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容引張応力: } f_{t0} = 1.5 \times F / 2 = 452.3 \text{ MPa} \rightarrow 452 \text{ MPa}$$

$$f_{ts} = \min(1.4 \times 452 - 1.6 \times 1, 452) \rightarrow 452 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力: } f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 348.1 \text{ MPa} \rightarrow 348$$

MPa

b. 評価結果

評価結果を表-2-2示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

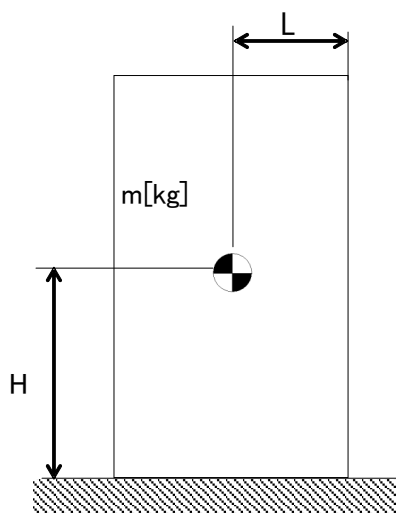
表-2-2 ポンプ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|-------------------------------|--------|------|------|-----|-----|-----|
| 供給／混合スキッド出口ポンプ、SS フィルタスキッドポンプ | 取付けボルト | 引張 | 0.36 | 8 | 452 | MPa |
| | | せん断 | 0.36 | 2 | 348 | MPa |

3. スキッドを搭載するコンテナの安定性

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを下記式にて算出し、それらと比較することにより転倒評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

m : コンテナの合計質量

(供給/混合スキッド: 25,068 kg, SS フィルタスキッド: 35,412 kg, UF スキッド: 35,693 kg, 吸着塔スキッド: 31,990 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 地面からコンテナまでの距離

(供給/混合スキッド: 2.016 m, SS フィルタスキッド: 1.312 m, UF スキッド: 1.335, 吸着塔スキッド: 1.484 m)

L : 転倒支点から重心までの距離

(供給/混合スキッド: 1.230 m, SS フィルタスキッド: 1.366 m, UF スキッド: 1.049 m, 吸着塔スキッド: 1.241

地震による転倒モーメント: $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント: $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 評価結果

評価結果を表-3に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-3 コンテナ耐震評価結果

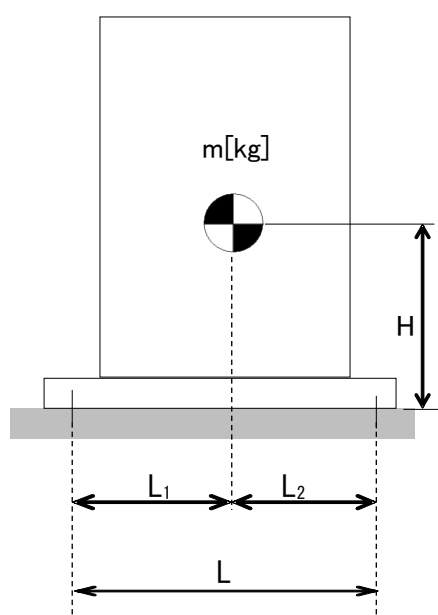
| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|--------------|------|------|------|-----|-----|------|
| 供給/混合スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.36 | 179 | 302 | kN・m |
| SS フィルタスキッド | コンテナ | 転倒 | 0.36 | 165 | 474 | kN・m |
| ウルトラフィルタスキッド | コンテナ | 転倒 | 0.36 | 169 | 367 | kN・m |
| 吸着塔スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.36 | 168 | 389 | kN・m |

モバイル型ストロンチウム除去装置の主要な機器について、参考評価として、耐震 S クラス相当の水平震度に対して、耐震性を評価し、転倒しないことを確認した。

1. 供給／混合タンク

a. タンク取付けボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



L : 取付けボルト間の水平方向距離 (1.211 m)

m : 機器質量 (8,176 kg)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)

H : 据付面からの重心までの距離 (2.468 m)

L₁ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (0.606 m)

L₂ : 重心と取付けボルト間の水平方向距離 (0.606 m)

n_f : 引張力の作用する取付けボルトの評価本数 (8 本)

n : 取付けボルトの本数 (16 本)

A_b : 取付けボルトの軸断面積 (63.6 mm²)

C_H : 水平方向設計震度 (0.6)

$$\text{取付けボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times L_1) =$$

57,798 N

$$\text{取付けボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b} = 113.57 \rightarrow 114 \text{ MPa}$$

$$\text{取付けボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b} = 47.2 \text{ MPa} \rightarrow 48 \text{ MPa}$$

また、許容応力は、以下の式で設定した。

$$\text{取付けボルトの許容引張応力} : f_{ts} = \min(1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b, f_{t0})$$

$$\text{取付けボルトの許容せん断応力} : f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3})$$

ここで、FはASTM A193 GR B7 材料の設計降伏点 S_y および設計引張強さ S_u を用いて、下記式にて設定した。

$$F = \min [S_y, 0.7S_u]$$

$$S_y : 105\text{ksi} \rightarrow 723 \text{ MPa}$$

$$S_u : 125\text{ksi} \rightarrow 861 \text{ MPa}$$

従って、 $F = \min[723, 0.7 \times 861] = 602 \text{ MPa}$

取付けボルトの許容引張応力： $f_{t0} = 1.5 \times F/2 = 452.3 \text{ MPa} \rightarrow 452 \text{ MPa}$

$$f_{ts} = \min(1.4 \times 452 - 1.6 \times 63) = 532.0 \text{ MPa} \rightarrow 532 \text{ MPa}$$

取付けボルトの許容せん断応力： $f_{sb} = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) = 348.1 \text{ MPa} \rightarrow 348$

MPa

b. 評価結果

評価結果を表－1示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

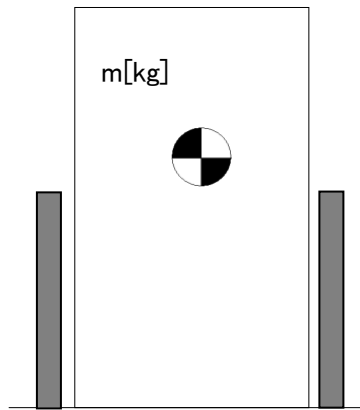
表－1 タンク耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|--------------|---------------|------|------|-----|-----|-----|
| 供給／混合 タンク | タンク取付け ボルト | 引張 | 0.6 | 114 | 452 | MPa |
| | | せん断 | 0.6 | 48 | 348 | MPa |

2. SS フィルタ， ウルトラフィルタ及び吸着塔

a. 耐震ラグ溶接部評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し，下記式にて評価を実施した。評価に用いた数値を括弧内に示す。



- C_H : 水平方向設計震度 (0.6)
- m : 機器質量 (SS フィルタ : 13,570 kg, UF : 13,571 kg, 吸着塔 : 5,412 kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- L_w : 耐震ラグ溶接脚長 (SS フィルタ : 7.93 mm, UF : 7.93 mm, 吸着塔 : 4.76 mm)
- T : 溶接のど厚 (SS フィルタ : 5.61 mm, UF : 5.61 mm, 吸着塔 3.36 mm)
- D_w : 耐震ラグ溶接線長さ (SS フィルタ : 609 mm, UF : 609 mm, 吸着塔 : 609 mm)
- η : 溶接低減係数 (0.45)

耐震ラグに加わる水平荷重 P :

$$P = m \times g \times C_H$$

| | |
|----------|--|
| SS フィルタ | $P = 79,845 \text{ N} \rightarrow 80 \text{ kN}$ |
| ウルトラフィルタ | $P = 79,851 \text{ N} \rightarrow 80 \text{ kN}$ |
| 吸着塔 | $P = 31,844 \text{ N} \rightarrow 32 \text{ kN}$ |

溶接部せん断応力 τ_w :

$$\tau_w = P / (D_w \times T)$$

| | |
|----------|--|
| SS フィルタ | $\tau_w = 23.3 \text{ MPa} \rightarrow 24 \text{ MPa}$ |
| ウルトラフィルタ | $\tau_w = 23.3 \text{ MPa} \rightarrow 24 \text{ MPa}$ |
| 吸着塔 | $\tau_w = 15.5 \text{ MPa} \rightarrow 16 \text{ MPa}$ |

許容せん断応力 f_s :

$$f_s = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) \times \text{低減係数}$$

$$F = \min (S_y, 0.7S_u)$$

F は設計・建設規格 付属図表 Part 5 表 8 及び表 9 より，最高使用温度 40℃における S_y 値， S_u 値を用い，下記式にて設定した。

S_y : 表 8 より 40℃ : 175MPa
 S_u : 表 9 より 40℃ : 480MPa

従って、 $F = \min (S_y, 0.7S_u) = \min (175, 0.7 \times 480) = 175 \text{ MPa}$
 溶接部について液体浸透探傷検査、磁粉探傷検査、放射線探傷検査のいずれも行わない
 場合、設計・建設規格の規定より許容応力の低減係数 0.45 を適用する。

許容せん断応力 f_s は下記の通り算出される。
 $f_s = 1.5 \times F / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 0.45 = 45 [\text{MPa}]$

b. 評価結果

評価結果を表-2に示す。評価の結果、Sクラス相当評価で、耐震ラグが健全である
 ことを確認した。

表-2 耐震ラグ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|----------|------|------|------|-----|-----|-----|
| SS フィルタ | 耐震ラグ | 溶接部 | 0.6 | 24 | 45 | MPa |
| ウルトラフィルタ | 耐震ラグ | 溶接部 | 0.6 | 24 | 45 | MPa |
| 吸着塔 | 耐震ラグ | 溶接部 | 0.6 | 16 | 45 | MPa |

3. ポンプ

a. 転倒評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠し、添付資料-3の2項と同様に、水平震度0.6にて評価を実施した。

b. 評価結果

評価結果を表-3示す。評価の結果、取付けボルトの強度が確保されていることを確認した。

表-3 ポンプ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|--|--------|------|------|-----|-----|-----|
| 供給／混合スキッド入口ポンプ、ウルトラフィルタスキッドポンプ及び吸着塔スキッドポンプ | 取付けボルト | 引張 | 0.6 | 19 | 452 | MPa |
| | | せん断 | 0.6 | 3 | 348 | MPa |
| 供給／混合スキッド出口ポンプ、SSフィルタスキッドポンプ | 取付けボルト | 引張 | 0.6 | 9 | 452 | MPa |
| | | せん断 | 0.6 | 2 | 348 | MPa |

4. スキッドを搭載するコンテナの安定性

a. ポンプ取付けボルトの強度評価

添付資料-3の3項と同様に、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し水平震度0.6にて評価を実施した

b. 評価結果

評価結果を表-4に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-4 コンテナ耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|------------------|------|------|------|-----|-----|------|
| 供給／混合 スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.6 | 298 | 302 | kN・m |
| SS フィルタ スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.6 | 274 | 474 | kN・m |
| ウルトラフィルタ スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.6 | 281 | 367 | kN・m |
| 吸着塔スキッド | コンテナ | 転倒 | 0.6 | 280 | 389 | kN・m |

モバイル型ストロンチウム除去装置等の具体的な安全確保策等

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、高レベルの放射性物質を扱うため、漏えい防止、放射線遮へい、崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止、環境条件を踏まえた対応、使用済フィルタ及び使用済吸着塔の貯蔵について具体的な安全確保策を以下の通り定め、実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

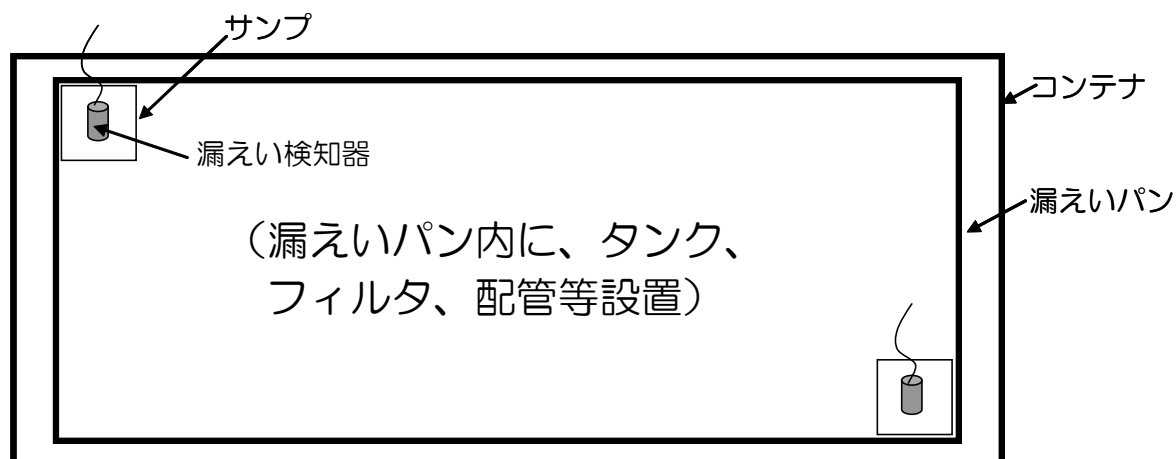
- a. 処理対象水及び処理済水の移送配管は、耐食性を有するポリエチレン管を基本とする。また、モバイル型ストロンチウム除去装置内の配管は、耐食性を有する ASME SA-312 TP316L 材を基本とし、タンク、各フィルタ及び吸着塔等は、耐食性を有するよう ASME SA-240 TYPE 316/316L 材または ASME SA-312 TP316L 材等とする。モバイル型ストロンチウム除去装置内の配管のうち可撓性を要する部分は、耐食性を有する EPDM 製耐圧ホースとする。なお、福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホースと継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み、耐圧ホースと継手金属の結合部（カシメ部）は外れを防止する設計とする。
- b. 屋外の配管のうち、可撓性を要する配管は、EPDM 製耐圧ホース（二重管構造）とする。
- c. モバイル型ストロンチウム除去装置のタンクには水位検知器を設け、オーバーフローを防止するため、インターロックの作動によりポンプを停止できる設計とする。
- d. モバイル型ストロンチウム除去装置で処理中のタンクは、常時水位監視し、急激な水位低下や水位上昇等の異常があれば、装置停止等の必要な措置を講じる。
- e. 処理終了後の各タンクエリアとモバイル型ストロンチウム除去装置との間の移送配管は、処理後に水を抜くことにより、漏えいを防止する。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 漏えいの早期検知として、スキッド毎に漏えいパンを設けるとともに、漏えい検知器を設ける（図－1）。各スキッドの機器及びスキッド間の耐圧ホースの取り合い点は、漏えいパン内に設置し、漏えい水は漏えいパンに受ける設計とする。また、スキッド間の耐圧ホースは二重管構造とし、万が一漏えいが発生しても漏えい水は外部に漏えいせず、スキッド内に流入する設計としている。
- b. 上記漏えいを検知した場合には、シールド中央制御室に警報を発するとともに、モバイル型ストロンチウム除去装置のポンプが自動停止し、装置内の隔離弁が自動閉止する。運転操作員は、移送ポンプの停止確認や漏えい拡大防止等の必要な措置を講ずる。
- c. モバイル型ストロンチウム除去装置は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工

不良，装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，モバイル型ストロンチウム除去装置は，内包水が漏えいした場合でもスキッド内の漏えいパン内に収まることから，系外へ漏えいが拡大することはない。（表－1）

- d. 移送配管は，運転開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良，装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，移送配管は，可能な限り堰内に配置し，運転中は定期的なパトロールを実施して，漏えい検知，漏えい拡大防止を図る。堰内に設置が困難な場所においては，移送配管を堰外に設置するが，堰外の接合部は融着構造とすることで，漏えい発生を防止する。タンクとの接合部，装置との接合部は，フランジ接合とするが，フランジ接合部は養生を行うとともにタンク堰内，または漏えい検知器を備えた漏えい拡大防止箱内に設置することで，漏えい拡大を防止する。移送配管は，サポートにより地表面から離すことにより，漏えい検知を容易にする。ただし，道路横断部については，ポリエチレン管の外部をエフレックス管等で覆った二重管構造とし，外管の端部をタンク堰内に設けることで，漏えい拡大防止を図る。
- e. 運転中のモバイル型ストロンチウム除去装置の流量，圧力等及びタンク水位は，常時監視する。異常の場合は速やかに現場の状況を確認し，タンク止め弁の閉操作等適切な対応を取る。
- f. 堰外の移送配管の更なる漏えい拡大防止対策については，速やかに検討し，RO 濃縮水処理によるリスク低減効果，漏えい拡大防止対策の有効性や工期等を踏まえ，可能なものから実施する。



図－1 漏えいパンの概念図

表－1 モバイル型ストロンチウム除去装置各スキッドの漏えいパン仕様

| 対象設備 | | 縦幅 (m) | 横幅 (m) | 高さ (m) | 容積 (m ³) | 容器単体の 最大容量 (m ³) |
|--------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|------------------------------------|
| モバイル型 ストロンチウム 除去装置 | 供給／混合 スキッド | 5.63 | 2.11 | 0.53 | 6.30 | 4.93 |
| | SS フィルタ スキッド | 5.63 | 2.11 | 0.13 | 1.54 | 1.02 |
| | ウルトラフ ィルタ スキッド | 5.63 | 2.11 | 0.13 | 1.54 | 1.38 |
| | 吸着塔 スキッド | 5.63 | 2.11 | 0.13 | 1.54 | 1.27 |

計装制御スキッドは処理対象水を扱わない。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

- a. モバイル型ストロンチウム除去装置は、通常運転時は、シールド中央制御室から遠隔での監視を可能とする。
- b. フィルタ、吸着塔には適切な遮へいを設け、被ばく低減を図る。フィルタ、吸着塔の表面線量当量率を表-2に示す。
- c. 使用済フィルタ及び吸着塔の交換時は、可能な限り遠隔作業とする。また、交換作業の待機時間は、作業エリアの中の低線量箇所に退避することなどにより、無用な被ばくを防止する。
- d. 使用済フィルタ及び吸着塔の輸送時は、表面線量当量率に応じて鋼製の容器等で遮へいし、放射線業務従事者の被ばくを低減する。
- e. モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響は、当初設置位置において、モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）から敷地境界に最も近い地点で年間約 0.08mSv、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）から敷地境界に最も近い地点で年間約 0.001mSv、平成 26 年 9 月 29 日時点での敷地境界線量の合算値が最大となる地点で年間約 0.05mSv、RO 濃縮水貯槽に貯蔵された汚染水の影響を除く敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点で約 0.00005mSv となる。また、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響は、当初設置予定位置において、モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）から敷地境界に最も近い地点で年間約 0.0006mSv、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）から敷地境界に最も近い地点で年間約 0.05mSv、平成 26 年 9 月 29 日時点での敷地境界線量の合算

値が最大となる地点で年間約 0.004mSv, R0 濃縮水貯槽に貯蔵された汚染水の影響を除く敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点で約 0.00005mSv となり, いずれの地点においても, タンクの影響を除く敷地境界線量評価値は年間 1 mSv を超えない。
(別添-1)

(2) 崩壊熱除去

- a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は, 通水により熱除去する。
- b. 使用済フィルタ及び吸着塔の貯蔵時においては, 使用済セシウム吸着塔一時保管施設のボックスカルバート内に貯蔵した場合, SS フィルタ, ウルトラフィルタ及び吸着塔の最高温度は, それぞれ 112℃, 120℃, 143℃と想定される (別添-2)。一方, SS フィルタ, ウルトラフィルタ, 及び吸着塔内のフィルタ材料, 吸着材の耐熱温度は, それぞれ, 121℃, 200℃, 及び 200℃であることから, 材料の健全性に影響を与えるものではない (表-2)。

表-2 モバイル型ストロンチウム除去装置のフィルタ・吸着塔の
吸着量, 最大表面線量率および最高温度

| 機器名称 | 捕捉・吸着 主要核種 | 捕捉・吸着量 (Bq/体) ※1 | 最大表面 線量率 (mSv/h) ※2 | 最大表面 線量率 (mSv/h) ※3 | 最高温度 (℃) ※4 | 耐熱 温度 (℃) |
|--------------|---------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|
| SS フィルタ | Sr-90 | 2.4×10^{14} | 2.0 | 5.0 | 112 | 121 |
| ウルトラ フィルタ | Sr-90 | 5.2×10^{14} | 5.0 | 10.1 | 120 | 200 |
| 吸着塔 | Cs-134 | 5.2×10^9 | 5.0 | 7.4 | 143 | 200 |
| | Cs-137 | 9.1×10^9 | | | | |
| | Sr-90 | 1.7×10^{14} | | | | |

※1 捕捉・吸着する主要核種の放射能濃度 (処理対象水中の放射能濃度を高めに設定し, 主要核種が各フィルタ・吸着塔に偏って捕捉・吸着された場合を想定した保守的な設定値)

※2 水抜き前の表面線量率

※3 貯蔵時を想定した水抜き後の表面線量率

※4 貯蔵時を想定したコンクリート製ボックスカルバート内での夏場の最高温度

(3) 交換作業時の考慮

- a. 使用済フィルタ・吸着塔の交換時には, 使用済フィルタ・吸着塔は, 平成 23 年 6 月から実施している実績のあるセシウム吸着装置の吸着塔と同様の要領により, クレーンとトレーラを用いて, 使用済セシウム吸着塔仮保管施設等に搬入される。フィルタ及び吸着塔は鋼製であり, 鋼製の遮へい容器と一体で搬入・貯蔵されるため, 万一の落

下時等にも損傷し難い構造となっているが、落下等の発生防止の観点で、クレーン操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。

- b. 使用済フィルタ・吸着塔は、運搬時に落下することを防止するため、トレーラに固縛した専用容器にて輸送する。なお、運搬にあたっては、先導車等と共に低速で走行することで安全性を確保する。

3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. モバイル型ストロンチウム除去装置では、フィルタ・吸着塔で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時に処理水とともに排出される。通水停止時には、ベント弁を開放してコンテナ外に排出する運用とする。
- b. 使用済フィルタ・吸着塔は、エアブロー等により水抜きして貯蔵する。使用済フィルタは、処理水の入口及び出口からの排気と給気により、発生する可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えない設計とする（別添－3）。また、使用済吸着塔は、処理水の入口、出口及びベント弁を開放し、発生する可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えない設計とする。なお、エアブロー等により水抜きした水は、高温焼却炉建屋地下に排水する。

4. 環境条件対策

(1) 腐食

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、汚染水処理設備の処理済水を処理するため塩化物イオン濃度が高いことから、耐食性を有する材料を選定する（別添－4）。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管及び耐圧ホースについては、処理対象水の温度がほぼ常温であることから、劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

処理対象水を移送している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念されるため、保温材等を取り付ける。

コンテナ内については、空調機による温度調整により凍結防止を図る。

(4) 耐放射線性

移送配管等に使用されるポリエチレンは、集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示す。しかしながら、ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h （タービン建屋滞留水と同等）と仮定しても、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は2

×10⁵ 時間 (22.8 年) と評価されるため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を考慮する必要はないと考えられる。なお、モバイル型ストロンチウム除去装置等において、系統バウンダリを構成するその他の部品には、耐圧ホース、ガスケット、グランドパッキンが挙げられるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料 (EPDM 等) を使用しており、運転実績により、数年程度の使用は問題ないと考えられる。

(5) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管には、紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。

5. 長期停止中の措置

G4 南エリア及び G6 南エリアタンクの処理を終了した後、処理の計画がない場合等、モバイル型ストロンチウム除去装置を長期停止する場合は、必要に応じて装置をフラッシングすると共に、内部の水抜きを実施することで、被ばく線量の低減、腐食及び凍結を防止する。また、必要に応じて、SS フィルタ、ウルトラフィルタ、吸着塔の搬出、所定の場所への移動を行う。

長期に使用する予定のない移送配管は、水抜きを実施し必要に応じて撤去を実施する。モバイル型ストロンチウム除去装置等の長期停止中は巡視により状態を確認する。(別添-5)

6. 使用済フィルタ・吸着塔の発生量

モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済フィルタ・吸着塔は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第一施設、第四施設) のコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵する。モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済フィルタ・吸着塔の月間発生量は、1 系統あたり、SS フィルタ 9 体、ウルトラフィルタ 2 体、吸着塔 6 体、計 17 体程度と想定され、ボックスカルバートを 11 基使用すると想定される。モバイル型ストロンチウム除去装置のフィルタ・吸着塔は、セシウム吸着装置からの使用済吸着塔の発生量が貯蔵先の保管容量を逼迫させない範囲で、使用する。

平成 27 年 3 月末までに、モバイル型ストロンチウム除去装置から発生する使用済フィルタ・吸着塔により、ボックスカルバートを 77 基使用すると想定される。平成 26 年 11 月現在、使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第一施設、第四施設) のボックスカルバートの空き容量は 350 基程度であり、他設備からの廃棄物発生量 (セシウム吸着装置吸着塔: ボックスカルバート 3 基/月程度 (平成 27 年 3 月末までに 12 基程度)、高性能多核種除去設備検証試験装置: 1 年の供用期間でボックスカルバート 18 基程度 (平成 27 年 3 月末までに 6 基程度)) を考慮しても当面貯蔵に支障をきたすことはない。また、平成 27 年 4 月以降は、セシウム吸着装置を除く設備からの廃棄物発生量の低減が見込まれるが、必要に応じてセシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

使用済フィルタ・吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）に貯蔵される他の廃棄物に比べて小さく、使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

モバイル型ストロンチウム除去装置の敷地境界線量評価

モバイル型ストロンチウム除去装置から近傍の敷地境界に対する直接線・スカイシャイン線の寄与を評価する。

1. 評価概要

○ 評価手法：

- ・ 解析コード MCNP を用いて評価

○ 評価条件：

- ・ モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響は、モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No. 5, 距離約 275m）、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No. 14, 距離約 650m）、敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点（敷地境界評価地点 No. 7, 距離約 300m）、及び RO 濃縮水貯槽に貯蔵された汚染水の影響を除く敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点（敷地境界評価地点 No. 71, 距離約 1,650m）を評価した。また、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界線量への影響は、モバイル型ストロンチウム除去装置（A系統）から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No. 5, 距離約 760m）、モバイル型ストロンチウム除去装置（B系統）から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No. 14, 距離約 310m）、敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点（敷地境界線量地点 No. 7, 距離約 540m）、及び RO 濃縮水貯槽に貯蔵された汚染水の影響を除く敷地境界線量の合算値が最大となる評価地点（敷地境界評価地点 No. 71, 距離約 1,100m）を評価した。（図-1）
- ・ 評価上考慮する機器は、SS フィルタ、ウルトラフィルタ及び吸着塔を1基ずつとした。
- ・ SS フィルタ、ウルトラフィルタ、及び吸着塔は、処理に伴い吸着量が増大し、交換する際に最大値に達する。したがって、SS フィルタ及びウルトラフィルタの線源強度は、それぞれの最大吸着量の半分となるように線源を設定した。また、吸着塔は、メリーゴーラウンド運用を考慮すると、最大吸着量の概ね 10%～100%の間で推移し、平均的には最大吸着量の 55%となることから、最大吸着量の 55%を線源条件とした。なお、吸着塔については、主要な核種である Sr-90 のみ考慮した。
- ・ 評価点における直接線・スカイシャイン線の評価値は、SS フィルタ、ウルトラフィルタ及び吸着塔 1 基あたりの評価値を合算して算出した。

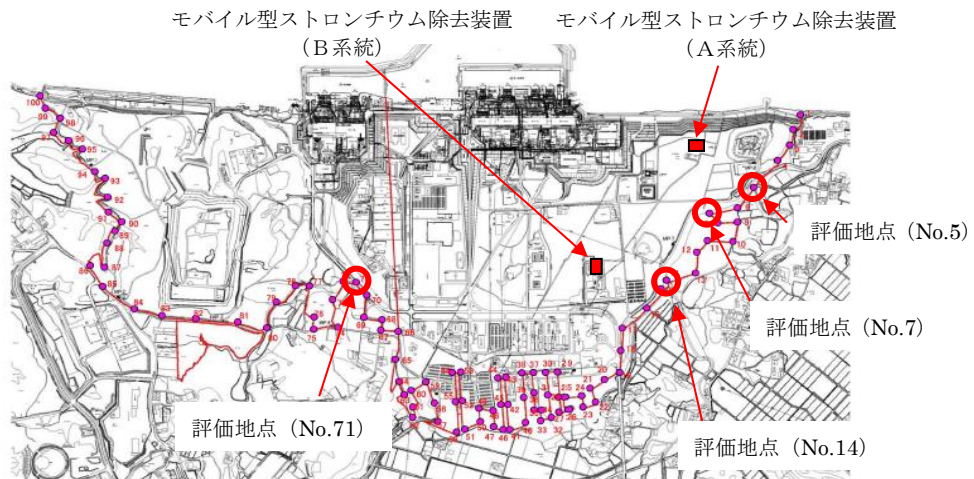


図1 モバイル型ストロンチウム除去装置と評価点の位置関係

表-1 SS フィルタ、ウルトラフィルタ及び吸着塔の線源条件

| 機器名称 | 核種 | 線源強度 (Bq/体) |
|--------------|-----------------|----------------------|
| SS フィルタ | Sr-90 (Y-90) | 1.2×10^{14} |
| ウルトラ フィルタ | Sr-90 (Y-90) | 2.6×10^{14} |
| 吸着塔 | Sr-90 (Y-90) | 9.6×10^{13} |

2. 評価結果

上記条件により、評価を行った結果、各評価地点における直接線・スカイシャイン線の寄与は表-2の通りとなった。

表-2 モバイル型ストロンチウム除去装置の敷地境界線量評価結果

| 評価地点 | A系統の評価値 (mSv/年) | B系統の評価値 (mSv/年) |
|--------|--------------------|--------------------|
| No. 5 | 約 0.08 | 約 0.0006 |
| No. 7 | 約 0.05 | 約 0.004 |
| No. 14 | 約 0.001 | 約 0.05 |
| No. 71 | 約 0.00005 | 約 0.00005 |

平成 26 年 9 月 29 日現在、評価地点 No. 5, No. 7, No14 及び No. 71 において、RO 濃縮水貯槽に貯蔵された汚染水の影響を除く実効線量は、それぞれ約 0.64mSv/年, 約 0.87mSv/年, 約 0.45mSv/年及び約 0.92mSv/年となっており、モバイル型ストロンチウム除去装置による寄与を加えても、1mSv/年は下回る。

なお、本装置で処理の対象となるタンクについては、敷地境界線量に寄与する線源として考慮しており、本装置から発生する使用済フィルタ・吸着塔についても、使用済セシウム吸着塔一時保管施設において線源として考慮している。

使用済フィルタ・吸着塔の温度評価について

温度評価は、使用済フィルタ及び吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし、一次元の定常温度評価により使用済フィルタ及び吸着塔の最高温度を評価した。

1. 概要

使用済フィルタ・吸着塔を対象に、コンクリート製ボックスカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合の温度評価を行った。各フィルタ・吸着塔に捕捉・吸着した放射性物質による発熱を入熱条件とし、1次元の定常温度評価を行い、太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合の各フィルタ・吸着塔の温度が許容温度以下となることを確認した。

2. SSフィルタの温度評価

2. 1 評価方法

○評価手法：1次元定常温度評価（評価体系については図-1を参照，考慮した伝熱機構および使用した熱伝導率等は表-1を参照）

○温度条件：

- ・外気温度：40℃（福島県の過去最高気温 39.1℃（1942年8月15日）を切上げ）
- ・太陽光による温度上昇：13℃

○入熱条件：

- ・SSフィルタ1体と吸着塔1体をボックスカルバート内に設置
- ・SSフィルタ発熱量：42.6W/体
- ・吸着塔発熱量：31.6W/体

○放熱条件：

- ・ボックスカルバートの側面のうち1面からの放熱を考慮し，他のボックスカルバートに面する3面からの放熱は考慮しない。
- ・上蓋および床からの放熱は考慮しない。
- ・通気孔からの放熱は考慮しない。
- ・熱輻射による放熱は考慮しない。

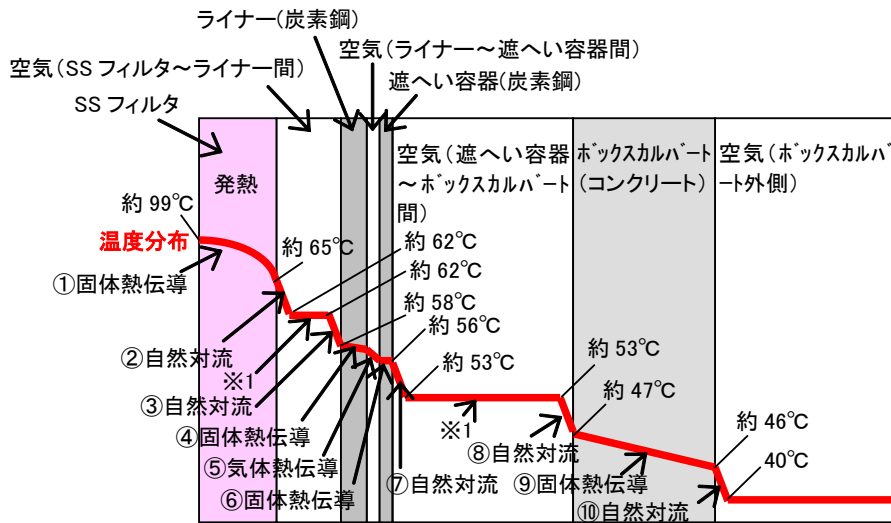


図-1 評価体系の概念図（1次元定常温度評価モデル）及び温度分布（SSフィルタ）
 ※1：自然対流により混合され温度勾配はないものと仮定する。

表-1 考慮した伝熱機構および温度評価に用いた熱伝導率等（SSフィルタ）

| 番号 | 伝熱箇所 | 伝熱機構 | 伝熱距離 | 熱伝導率等 |
|----|-----------------------------|-------|-----------------------|---|
| ① | SSフィルタ | 固体熱伝導 | 約 279mm ^{※1} | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] (安全側に空気の熱伝導率と仮定) |
| ② | SSフィルタから空気(SSフィルタ～ライナー間) | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.9[W/(m ² ・K)] |
| ③ | 空気(SSフィルタ～ライナー間)からライナー | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.6[W/(m ² ・K)] |
| ④ | ライナー(炭素鋼) | 固体熱伝導 | 約 6mm | 熱伝導率 43[W/(m・K)] |
| ⑤ | 空気(ライナー～遮へい容器間) | 気体熱伝導 | 約 13mm | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] |
| ⑥ | 遮へい容器(炭素鋼) | 固体熱伝導 | 約 53mm | 熱伝導率 43[W/(m・K)] |
| ⑦ | 遮へい容器から空気(遮へい容器～ボックスカルバート間) | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.6[W/(m ² ・K)] |
| ⑧ | 空気(遮へい容器～ボックスカルバート間)からボッ | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.5[W/(m ² ・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考 |

| | | | | |
|---|-----------------------------|-------|---------|---|
| | クスカルバート | | | 慮) |
| ⑨ | ボックスカルバート (コンクリート) | 固体熱伝導 | 約 203mm | 熱伝導率 1.3[W/(m・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考慮) |
| ⑩ | ボックスカルバートから空気 (ボックスカルバート外側) | 自然対流 | —※2 | 熱伝達率 約 1.5[W/(m ² ・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考慮) |

※1：SS フィルタを収納している 4 体の円筒形のハウジングのうち 1 体の半径とした。

※2：自然対流による伝熱のため距離に依存しない。

2. 2 評価結果

評価の結果、コンクリート製ボックスカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合、SS フィルタの発熱により SS フィルタの温度は約 99℃となった。また、太陽光からの入熱による温度上昇を考慮すると、約 112℃となり、フィルタ材料の耐熱温度 121℃より低いことから安全上の問題はないと判断する。

3. ウルトラフィルタの温度評価

3. 1 評価方法

○評価手法：1次元定常温度評価（評価体系については図2を参照，考慮した伝熱機構および使用した熱伝導率等は表-2を参照）

○温度条件：

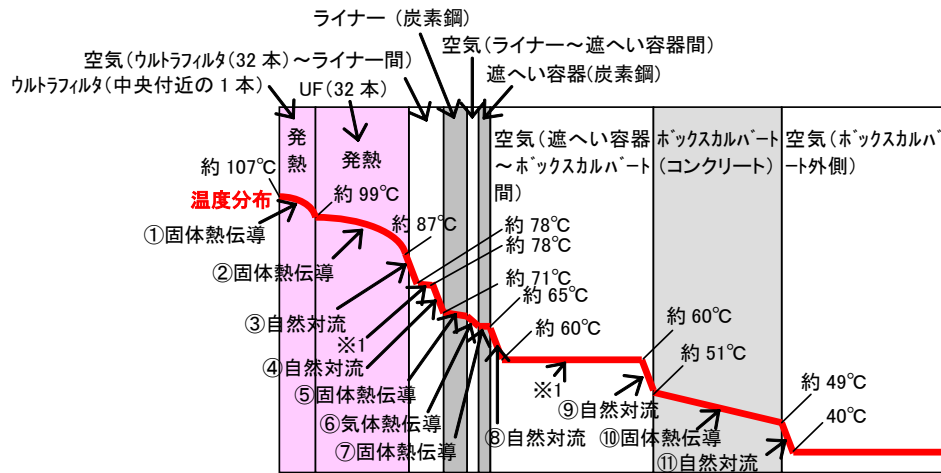
- ・外気温度：40℃（福島県の過去最高気温 39.1℃（1942年8月15日）を切上げ）
- ・太陽光による温度上昇：13℃

○入熱条件：

- ・ウルトラフィルタ 1 体と吸着塔 1 体をボックスカルバート内に設置
- ・ウルトラフィルタ発熱量：94.7W/体
- ・吸着塔発熱量：31.6W/体

○放熱条件：

- ・ボックスカルバートの側面のうち 1 面からの放熱を考慮し，他のボックスカルバートに面する 3 面からの放熱は考慮しない。
- ・上蓋および床からの放熱は考慮しない。
- ・通気孔からの放熱は考慮しない。
- ・熱輻射による放熱は考慮しない。



図ー２ 評価体系の概念図（1次元定常温度評価モデル）及び温度分布（ウルトラフィルタ）

※1：自然対流により混合され温度勾配はないものと仮定する。

表ー２ 考慮した伝熱機構および温度評価に用いた熱伝導率等（ウルトラフィルタ）

| 番号 | 伝熱箇所 | 伝熱機構 | 伝熱距離 | 熱伝導率等 |
|----|--|-------|-----------------------|---|
| ① | ウルトラフィルタ（中央付近の1本） | 固体熱伝導 | 約 110mm | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] (安全側に空気の熱伝導率と仮定) |
| ② | ウルトラフィルタ（32本） | 固体熱伝導 | 約 657mm ^{※1} | 熱伝導率 約 0.7[W/(m・K)] (主にステンレス製のハウジングの伝熱を考慮) |
| ③ | ウルトラフィルタ（32本）から空気（ウルトラフィルタ（32本）～ライナー間） | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 2.4[W/(m ² ・K)] |
| ④ | 空気（ウルトラフィルタ（32本）～ライナー間）からライナー | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.9[W/(m ² ・K)] |
| ⑤ | ライナー（炭素鋼） | 固体熱伝導 | 約 6mm | 熱伝導率 43[W/(m・K)] |
| ⑥ | 空気（ライナー～遮へい容器間） | 気体熱伝導 | 約 13mm | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] |
| ⑦ | 遮へい容器（炭素鋼） | 固体熱伝導 | 約 53mm | 熱伝導率 43[W/(m・K)] |
| ⑧ | 遮へい体から空気（遮へい | 自然対流 | — ^{※2} | 熱伝達率 約 1.9[W/(m ² ・K)] |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|-------|---------|---|
| | 容器～ボックスカルバート間) | | | |
| ⑨ | 空気 (遮へい容器～ボックスカルバート間) からボックスカルバート | 自然対流 | —※2 | 熱伝達率 約 1.7[W/(m ² ・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考慮) |
| ⑩ | ボックスカルバート (コンクリート) | 固体熱伝導 | 約 203mm | 熱伝導率 1.3[W/(m・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考慮) |
| ⑪ | ボックスカルバートから空気 (ボックスカルバート外側) | 自然対流 | —※2 | 熱伝達率 約 1.7[W/(m ² ・K)] (吸着塔の発熱分の熱流束も考慮) |

※1：32本のウルトラフィルタを1本の太いフィルタとした場合の半径。

※2：自然対流による伝熱のため距離に依存しない。

3. 2 評価結果

評価の結果、コンクリート製ボックスカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合、ウルトラフィルタの発熱によりウルトラフィルタの温度は約107℃となった。また、太陽光からの入熱による温度上昇を考慮すると、約120℃となり、フィルタ材料の耐熱温度200℃より低いことから安全上の問題はないと判断する。

4. 吸着塔の温度評価

4. 1 評価方法

○評価手法：1次元定常温度評価（評価体系については図3を参照，考慮した伝熱機構および使用した熱伝導率等は表-3を参照）

○温度条件：

- ・外気温度：40℃（福島県の過去最高気温39.1℃（1942年8月15日）を切上げ）
- ・太陽光による温度上昇：13℃

○入熱条件：

- ・ウルトラフィルタ1体と吸着塔1体をボックスカルバート内に設置
- ・ウルトラフィルタ発熱量：94.7W/体
- ・吸着塔発熱量：31.6W/体

○放熱条件：

- ・ボックスカルバートの側面のうち1面からの放熱を考慮し，他のボックスカルバートに面する3面からの放熱は考慮しない。
- ・上蓋および床からの放熱は考慮しない。
- ・通気孔からの放熱は考慮しない。

- ・熱輻射による放熱は考慮しない。

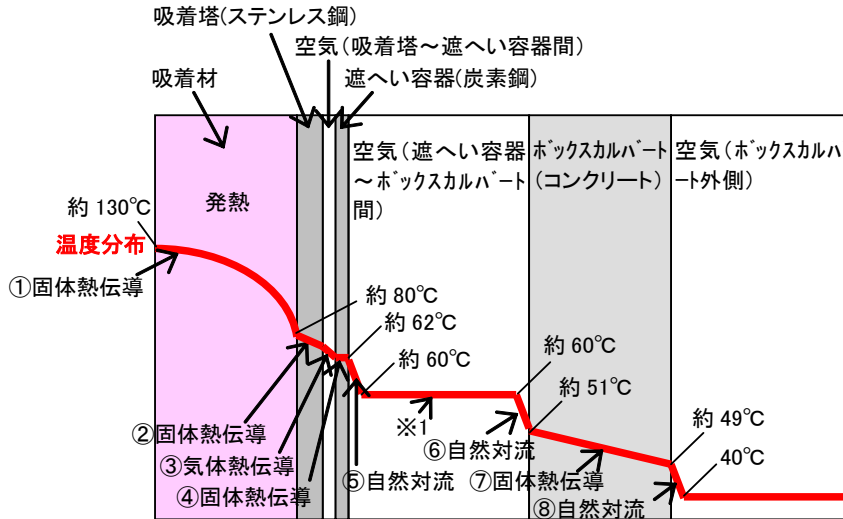


図-3 評価体系の概念図（1次元定常温度評価モデル）及び温度分布（吸着塔）

※1：自然対流により混合され温度勾配はないものと仮定する。

表-3 考慮した伝熱機構および温度評価に用いた熱伝導率等（吸着塔）

| 番号 | 伝熱箇所 | 伝熱機構 | 伝熱距離 | 熱伝導率等 |
|----|---------------------------------|-------|---------|--|
| ① | 吸着材 | 固体熱伝導 | 約 448mm | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] (安全側に空気の熱伝導率と仮定) |
| ② | 吸着塔（ステンレス鋼） | 固体熱伝導 | 約 10mm | 熱伝導率 16[W/(m・K)] |
| ③ | 空気（吸着塔～遮へい容器間） | 気体熱伝導 | 約 89mm | 熱伝導率 0.024[W/(m・K)] |
| ④ | 遮へい容器（炭素鋼） | 固体熱伝導 | 約 28mm | 熱伝導率 43[W/(m・K)] |
| ⑤ | 遮へい容器から空気（遮へい容器～ボックスカルバート間） | 自然対流 | —※1 | 熱伝達率 約 1.5[W/(m ² ・K)] |
| ⑥ | 空気（遮へい容器～ボックスカルバート間）からボックスカルバート | 自然対流 | —※1 | 熱伝達率 約 1.7[W/(m ² ・K)] (ウルトラフィルタの発熱分の熱流束も考慮) |
| ⑦ | ボックスカルバート（コンクリート） | 固体熱伝導 | 約 203mm | 熱伝導率 1.3[W/(m・K)] (ウルトラフィルタの発熱分の |

| | | | | |
|---|-------------------------------------|------|-----|--|
| | | | | 熱流束も考慮) |
| ⑧ | ボックスカルバートから 空気 (ボックスカルバート 外側) | 自然対流 | —※1 | 熱伝達率 約 1.7[W/(m ² ・K)] (ウルトラフィルタの発熱分の 熱流束も考慮) |

※1：自然対流による伝熱のため距離に依存しない。

4. 2 評価結果

評価の結果、コンクリートカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合、吸着塔の発熱により吸着塔の温度は約 130℃となった。また、太陽光からの入熱による温度上昇を考慮すると、約 143℃となり、吸着材の耐熱温度 200℃より低いことから安全上の問題はないと判断する。

使用済フィルタ・吸着塔の水素到達濃度評価

1. 概要

使用済フィルタ・吸着塔のうち、捕捉・吸着される放射能濃度が最大で、水素濃度が最大となるウルトラフィルタを対象に、コンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵される場合の水素濃度評価を行った。ウルトラフィルタの水素濃度は約 1.9%となり、水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

2. ウルトラフィルタの水素濃度評価

2. 1 評価方法

○評価手法：

- ・ウルトラフィルタにおいて、捕捉・吸着される放射能濃度が最大となる条件での水素発生量を計算する。
- ・給気側配管と排気側配管の温度差および水素濃度差による気体密度差および流動抵抗に基づき、評価式により自然対流により流入する空気量を計算する。
- ・流入空気量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。
- ・拡散による水素排出は保守的に考慮しない。

○水素発生条件：

- ・水素の発生量：0.015[L/h/個]（発熱量 94.7[W/体]，水素分子の G 値 0.0045[/eV] より計算。ウルトラフィルタ容器 1 体中にフィルタは 32 本あり，1 本あたりの水素発生量。）

○温度条件：

- ・給気側配管温度：約 75℃（温度評価結果に基づき，給気側温度を保守的に高めに設定。）
- ・排気側配管温度：約 97℃（温度評価結果に基づき，フィルタの平均温度を設定。）

○煙突長さ：フィルタ発熱部長さ 30 インチ（安全側）

○流動抵抗：

- ・フィルタの流動抵抗：2.7[MPa/(m³・s)]（フィルタの流動試験結果に基づく。なお，フィルタの流動抵抗が極めて大きいため，他の流動抵抗は無視した。）

○流入空気量：

- ・流入する空気量：0.80[L/h/個]（給気側配管と排気側配管の温度差及び水素濃度差及び流動抵抗により計算。）

○水素濃度

- ・空気により希釈された水素濃度：1.9%（流入空気量と水素の発生量の割合から計算。）

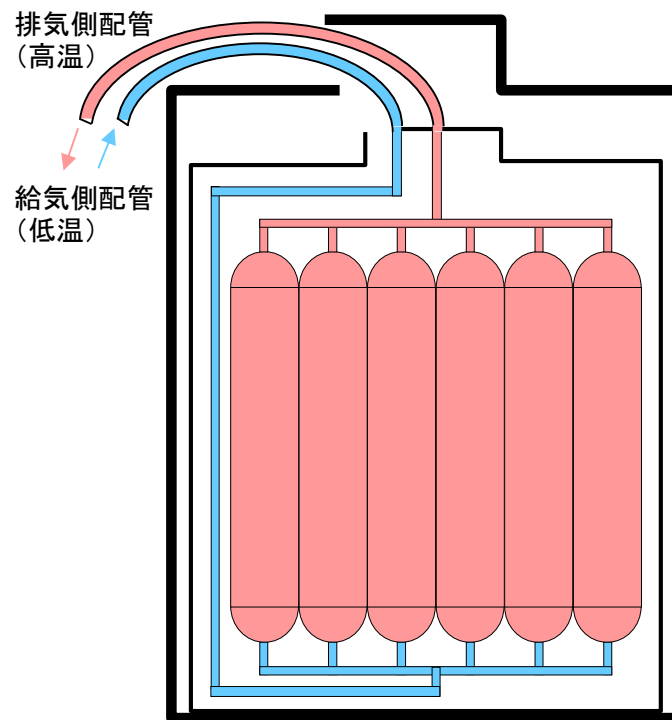


図1 評価体系の概念図

3. 評価結果

評価の結果、ウルトラフィルタ内の水素濃度は約 1.9%となり、水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

モバイル型ストロンチウム除去装置等に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

モバイル型ストロンチウム除去装置等は、RO 濃縮水等処理するため、系統内の塩化物イオン濃度が高いことから、使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

モバイル型ストロンチウム除去装置等を構成する主な機器の材料選定理由を表－１に示す。表－１の材料のうち、SUS316Lの耐食性について評価を行った。

表－１ モバイル型ストロンチウム除去装置等を構成する主な機器の使用材料と選定理由

| 機器 | 材料 | 選定理由 |
|------------------|----------------|---|
| 供給／混合タンク | Alloy 316/316L | 処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる Alloy 316/316L (耐食性は SUS316L と同等) を使用する。 |
| SS フィルタ・ウルトラフィルタ | SUS316L 相当 | 処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる SUS316L 相当材を使用する。 |
| 吸着塔 | Alloy 316/316L | 処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる Alloy 316/316L (耐食性は SUS316L と同等) を使用する。 |
| 配管 (鋼管) | SUS316L 相当 | 処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから、耐食性に優れる SUS316L 相当材を使用する。 |
| 配管 (ポリエチレン管) | ポリエチレン | 耐食性に優れることから、屋外配管に使用する。 |
| 配管 (耐圧ホース) | EPDM | 可撓性のある配管を使用する必要がある箇所(スキッド間、フィルタ・吸着塔接続部等)において、耐食性のある EPDM を使用する。 |

ステンレス鋼 (SUS316L) の主たる腐食モードは局部腐食である。その主要因は塩化物イオン (Cl⁻) による攻撃であり、Cl⁻濃度が高いほど局部腐食が起こりやすい。局部腐食 (すきま腐食、孔食、SCC) のうち、最も穏和な環境で発生するのはすきま腐食であるため、すきま腐食の発生限界が材料の耐食限界に相当する。

淡水や海水などの通常の中性塩化物溶液中において、316系ステンレス鋼にすきま腐食が

発生する下限界の Cl⁻濃度は、30℃で約 16,000 ppm 程度¹⁾との報告例がある。また、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置の主配管、吸着塔等に使用されており、1万数千 ppm～数百 ppm の塩化物イオン濃度での使用実績があるが、次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては、腐食事象は見られていない。

モバイル型ストロンチウム除去装置では、特に吸着材注入する供給／混合タンク～SS フィルタ間において、局部腐食促進因子であるすきま環境が形成されやすい環境となる。しかしながら、RO 濃縮水の Cl⁻濃度は最大 6,000ppm 程度であり、すきま腐食の発生下限界の Cl⁻濃度を下回っているため、隙間腐食発生の可能性は低い。また、第二セシウム吸着装置、多核種除去設備で見られた SUS316L の腐食事象においては、次亜塩素酸注入や低 pH 条件、活性炭の使用により腐食が加速される要因となっていたが、本装置においてはこれらの腐食加速要因はないことから、腐食発生の可能性は低いと考えられる。

1) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36 (1968).

モバイル型ストロンチウム除去装置等の長期停止に係る措置事項

1. G4 南エリア, G6 南エリア及び H5 北エリア処理終了後の長期停止時の措置事項

(1) 移送配管の撤去

以下の移送配管について水抜き実施後, 撤去する。※1

- ・ A系統の装置から R0 濃縮水貯槽への移送配管
- ・ B系統の R0 濃縮水貯槽から装置への移送配管
- ・ B系統の装置から R0 濃縮水貯槽への移送配管

※1 A系統の R0 濃縮水貯槽から装置への移送配管については, 「2.37 モバイル型ストロンチウム除去装置等」においては廃止とするが, 「2.5 汚染水処理装置等」の中低濃度タンクから R0 濃縮水移送ポンプ/R0濃縮水貯槽移送ポンプ配管分岐部までの配管として使用するため, 撤去しない。

(2) モバイル型ストロンチウム除去装置 (A系統) の移動

モバイル型ストロンチウム除去装置 (A系統) については, 添付資料—1 図—1 で示す場所に移動する。

a. 波及的影響

モバイル型ストロンチウム除去装置 (A系統) は耐震Bクラスにおいて転倒及び滑動が生じず, 周辺機器から十分な離隔距離を確保するため, 地震時における波及的影響を受ける可能性のある施設はない。

b. 敷地境界線量

モバイル型ストロンチウム除去装置 (A系統) からの最寄りの敷地境界線量評価地点(No.70)及び2017年1月現在で実効線量が最大となる敷地境界線量評価地点(No.7)における評価結果は以下の通りであり, 影響のないことを確認した。

表—1 敷地境界線量評価結果

| 敷地境界評価地点 | 実効線量[mSv/年] |
|----------|------------------------|
| No.70 | 約 2.0×10^{-4} |
| No.7 | 約 6.5×10^{-6} |

(3) 廃棄物発生量

移送配管の撤去作業に伴い, 以下の廃棄物が発生する。

発生する廃棄物は, 瓦礫類として表面線量率に応じて定められた屋外の一時保管エリアに保管する。

表－2 廃棄物発生予定量

| 項目 | 発生量 | 表面線量率 |
|-----|--------------------|------------|
| 配管類 | 約 28m ³ | 30mSv/h 以下 |

(4) 移送配管撤去に係る確認事項について

移送配管撤去後の配管の端部への構造強度，機能に関する確認事項を表－3に示す。

表－3 構造強度及び機能の確認事項（移送配管）

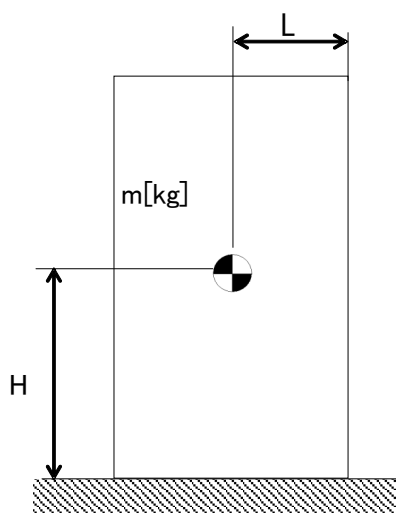
| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|---------|-----------------------------|---------------|
| 構造強度 | 外観・据付確認 | 配管端部の外観・据付状態について確認する。 | 実施計画の通りであること。 |
| 機能 | 機能確認 | 配管端部が実施計画の通り施工されていることを確認する。 | 実施計画の通りであること。 |

2. 長期停止時の耐震性について

モバイル型ストロンチウム除去装置について，長期停止時の装置内の水抜き，SS フィルタ，ウルトラフィルタ，吸着塔の搬出後における耐震Bクラスでの転倒評価を示す。

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを下記式にて算出し，それらと比較することにより転倒評価を実施した。



m： コンテナの合計質量

(供給／混合スキッド 16,600kg, SS フィルタスキッド 8,280kg, ウルトラフィルタスキッド 8,560kg, 吸着塔スキッド 10,400kg)

g： 重力加速度 (9.80665m/s²)

H： 地面からコンテナ重心までの距離

(供給／混合スキッド 1.89m, SS フィルタスキッド 1.30m, ウルトラフィルタスキッド 1.28m, 吸着塔スキッド 1.45m)

L： 転倒支点からコンテナ重心までの距離

(供給／混合スキッド 1.23m, SS フィルタスキッド 1.17m, ウルトラフィルタスキッド 1.25m, 吸着塔スキッド 1.11m)

C_H： 水平方向設計震度 (0.36)

$$\text{地震による転倒モーメント} : M_1 [\text{N} \cdot \text{m}] = m \times g \times C_H \times H$$

$$\text{自重による安定モーメント} : M_2 [\text{N} \cdot \text{m}] = m \times g \times L$$

評価結果を表-4に示す。評価の結果、転倒しないことを確認した。

表-4 コンテナ転倒評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|------------------|------|------|-----|-----|----------|
| 供給／混合 スキッド | コンテナ | 0.36 | 111 | 200 | kN・ m |
| SS フィルタ スキッド | コンテナ | 0.36 | 39 | 95 | kN・ m |
| ウルトラフィルタ スキッド | コンテナ | 0.36 | 39 | 104 | kN・ m |
| 吸着塔スキッド | コンテナ | 0.36 | 54 | 113 | kN・ m |

モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る確認事項

モバイル型ストロンチウム除去装置等に係る主要な確認事項を表－ 1 ～ 7 に示す。また、海外製品の溶接検査に関する確認事項を表－ 8 に示す。

なお、寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上、確認前に定める。

表－ 1 確認事項 (SS フィルタ, ウルトラフィルタ, 吸着塔)

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|----------|--|---|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※ 1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※ 1 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※ 1 : 現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－２ 確認事項（供給／混合タンク）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|----------|--|---|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。 | 寸法が許容範囲内であること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※ 1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※ 1 | 確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※ 1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－３ 確認事項（供給／混合スキッド入口ポンプ，供給／混合スキッド出口ポンプ，SSフィルタスキッドポンプ，ウルトラフィルタスキッドポンプ，吸着塔スキッドポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|---------|--|--------------|
| 構造強度・耐震性 | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※ 1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 漏えい確認 | 運転圧力で漏えいの有無を確認する。 | 著しい漏えいがないこと。 |

※ 1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表-4-1 確認事項（主配管（鋼管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|----------|--|--|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 外径, 厚さについて記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また, 据付状態について確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後, 漏えいの有無を確認する。 ※1 | 確認圧力に耐え, 構造物の変形がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1 : 現地では実施可能な範囲とし, 必要に応じて記録を確認する。

表-4-2 確認事項（主配管（ポリエチレン管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|----------|---------------------------------------|--|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 主要寸法について記録を確認する。 | 製造メーカー寸法許容範囲内であること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※1 | 確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表-4-3 確認事項（主配管（耐圧ホース））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|----------|----------|---------------------------------------|----------------|
| 構造強度・耐震性 | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※1 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力により漏えい有無を確認する。 ※1 | 著しい漏えいがないこと。 |

※1：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－５ 確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 構造強度 | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※１ | 有意な欠陥がないこと。 |
| 機能 | 漏えい警報確認 | 設定通りに警報が作動することを確認する。 ※１ | 許容範囲以内で警報が作動すること。 |
| | インターロック検査 | インターロック通り作動することを確認する。 ※１ | インターロックにより、ポンプ停止、弁が閉動作すること。 |

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－６ 確認事項（漏えいパン）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|---------|---------|---------------------------------------|--|
| 構造強度・機能 | 寸法確認 | パン寸法よりパン容量を確認する。 ※１ | パン寸法により求めたパン容量が実施計画に記載の容器単体の最大容量以上であること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 ※１ | 有意な欠陥がないこと。 |

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－７ 確認事項（モバイル型ストロンチウム除去装置等）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|--------|------------------|----------------------------------|
| 性能 | 運転性能確認 | 定格容量を通水する。 ※１ | 実施計画に記載した容量にて運転し、異音、異臭等の異常がないこと。 |

※１：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－8 確認事項（海外製品溶接検査）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 ^(※1) | 判定基準 |
|------|----------|--|---|
| 溶接検査 | 材料確認 | 溶接に使用する材料が、ASME 規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。 | 使用する材料が、ASME 規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。 |
| | 開先検査 | 開先形状等が ASME 規格等に適合するものであることを記録で確認する。 | 開先形状等が ASME 規格等に適合するものであること。 |
| | 溶接作業検査 | ASME 規格等に定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。 | ASME 規格等で確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。 |
| | 耐圧・漏えい検査 | 検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。 | 検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。 |
| | 外観検査 | 各部の外観を確認する。 ※2 | 外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。 |

※1：確認範囲は、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第26条第4号に規定する範囲とする。なお、適用する規格等で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は、適用する規格等の条件に適合していることについて行う。

※2：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

工事工程表

| | 平成 26年 | | | | | | 平成 27年 |
|---------------------------|-----------|----|----------------------|-----|-----|-----|----------------------|
| | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 |
| モバイル型ストロンチウム 除去装置（A系統） | | □ | △ ① △ ③ | | | | |
| モバイル型ストロンチウム 除去装置（B系統） | | | | | | □ | △ ① △ ③ |

□ : 現地据付組立

① : 構造, 強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ : 原子力施設の工事の計画に係る工事が完了した時

2.40 放水路浄化設備

2.40.1 基本設計

2.40.1.1 設置の目的

1～3号放水路について、放水路内の溜まり水に汚染が確認されており、溜まり水の浄化を行う必要がある。海水配管トレンチ浄化に用いたモバイル式処理装置（2.5.1.5(10)モバイル式処理設備のうち、3号機海水配管トレンチ（以下、「トレンチ」という。）の汚染水処理に使用している装置（以下、「3号機モバイル式処理装置」という。）を使用し、1号放水路と装置間に新たにPE管及び汲み上げ用水中ポンプを移送ポンプとして設置し放水路移送設備とし、1号用の放水路浄化設備を構成する。

放水路の上流側立坑から移送ポンプにて汲み上げた後、放水路浄化装置の吸着塔によりセシウム等の放射性核種を除去し放水路下流側立坑に移送する。

吸着塔及び吸着材は、これまでモバイル式処理設備（2.5.1.5.1(10)モバイル式処理設備）、第二モバイル型ストロンチウム除去装置（2.39 第二モバイル型ストロンチウム除去装置）と同一のものを使用する。

2.40.1.2 要求される機能

- (1) 放水路の滞留水に内包される放射性核種のうち、セシウムについて濃度を低減する能力を有すること。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。また、放射性液体廃棄物が、万一、機器・配管等から漏えいした場合においても、検知し、設備からの漏えい拡大を防止できること。
- (3) 装置内で発生する可燃性ガスの管理が行える機能を有すること。

2.40.1.3 設計方針

(1) 処理能力

放水路浄化設備は、放水路滞留水に含まれる放射性セシウムの濃度を低減する能力を有する設計とする。

(2) 材料

放水路浄化設備は、処理対象水の性状を考慮した材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質の漏えい防止

放水路浄化設備の機器等は、液体状の放射性物質の漏えい防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、万が一装

置内に漏えいが発生した場合には検知する。

b. 漏えい検知の警報については、水処理中央制御室にて監視できるようにする。

(4) 被ばく低減

放水路浄化設備は、遮へい、機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。
また、放水路浄化設備の運転監視員は、水処理中央制御室に配置する設計とする。

(5) 崩壊熱除去に対する考慮

放水路浄化設備は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、崩壊熱を除去できる設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

放水路浄化設備は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき、排出できる設計とする。

(7) 誤操作の防止に対する考慮

誤操作を防止するために、放水路浄化設備の運転操作手順書を整備し、教育を実施すると共に、特に重要なスイッチには、注意表示をする。また、弁には、銘板を取り付ける。
運転操作については、操作スイッチを制御スイッチ(C S式;Control Switch)、切り替えスイッチ(C O S式;Change over Switch)とし、タッチパネル特有の問題(ボタン間隔が狭い、反応が鈍い)を回避する。

(8) 健全性に対する考慮

放水路浄化設備は、機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2.40.1.4 主要な機器

放水路浄化設備は、放水路浄化装置(「2.5.1.5(1)モバイル式処理設備のうち3号機モバイル式処理装置(既設)」を使用)および移送設備(配管等)で構成する。

(1) 放水路浄化装置

放水路浄化装置は、吸着塔を装荷する吸着塔ユニット(車載)及び流量調整等の機能を有する弁ユニット(車載)から構成する。吸着塔ユニットは、1塔の吸着塔により、滞留水に含まれるセシウムの放射性核種を除去し、吸着塔出入口差圧、吸着性能、吸着塔表面線量により吸着塔を交換する。吸着材は、除去する核種や滞留水の水質に応じて変更する場合がある。(表-1)

表－1 放水路浄化装置の吸着材について

| 除去核種 | 吸着材 | 表面線量率 (mSv/h) | 吸着量 (Bq/塔) | 温度評価 | |
|-------|------|------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | | | | 最高温度 (℃) | 耐熱温度 (℃) |
| Cs | 吸着材1 | <1.0 | 約 1.3×10^{15} | 約 215 | 600 |
| Cs/Sr | 吸着材2 | <1.0 | 約 2.0×10^{15} | 約 350 | 600 |

放水路浄化装置で使用する吸着塔は、円筒形容器で、内部に吸着材を充填したステンレス製の容器とし、外側に炭素鋼製の遮へい容器からなる構造とする。遮へい容器は二重筒構造とし、内部の鉛等により、表面で1 mSv/h以下となるよう十分な遮へい能力を有するものとする。

放水路浄化装置の主要な機器は、水処理中央制御室により運転状況の監視を行う。

吸着塔は、『2.5 汚染水処理設備等 添付資料－11 2号機及び3号機の海水配管トレンチにおける高濃度汚染水の処理設備』（以下、「モバイル式処理装置」という。）及び『2.39 第二モバイル型ストロンチウム除去装置等』の吸着塔と同仕様である。

また、吸着塔は、吸着材を充填したステンレス鋼製の容器の外側に鉛等の遮へいを設ける。使用済吸着塔は内部を淡水で置換し、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを行なう。使用済吸着塔は使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設のコンクリート製ボックスカルバート内で貯蔵する。

なお、水抜きした水は、高温焼却炉建屋地下に排水する。

(2) 移送設備

放水路滞留水は、移送設備により放水路浄化装置に移送され、セシウム等を除去した後、移送設備により放水路に移送する。移送配管は、ポリエチレン管等により構成される。

2.40.1.5 自然災害対策等

(1) 津波

放水路浄化設備は、仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は、T.P.33.5m盤にある電源盤の操作により移送ポンプの電源を停止し、隔離弁を閉止することで、滞留水の流出を防止する。なお、津波による配管損傷があった場合でも、移送ポンプを停止することで、滞留水の漏えいは限定的なものとなる。

(2) 火災

火災発生を防止するため、基本不燃性または難燃性材料を使用する。また、初期消火

のために放水路浄化装置近傍に消火器を設置する。また、放水路浄化装置は独立した車両上の鋼製の箱内にあり、装置周辺から可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼し難い。なお、火災発生は、巡視点検、監視カメラにより確認できる。

万一の火災に対する対応については、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(3) 豪雨

放水路浄化装置の吸着塔は、鋼製の箱内に収納されると共に防水シートで養生され、雨水の浸入を防止する構造とする。

万一、大雨警報等の予報、特別警報により、大量の雨水が浸入し、処理の停止に至る等の可能性がある場合は、装置を停止することで、装置の計画外停止に備える。豪雨に対する対応は、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(4) 強風（台風・竜巻）

放水路浄化装置(吸着塔ユニット及び弁ユニット)は、鋼製の箱内に収納されており、強風に耐えうる構造としている。万一、暴風警報、竜巻警報等の予報、特別警報により、計器類・監視カメラが故障する等、運転継続に支障を来す可能性がある場合には、汚染水の漏えい防止を図るため、装置を停止する。強風に対する対応は、予め定めたマニュアル等に従い実施する。

2.40.1.6 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

放水路浄化設備を構成する主要な機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」においては、廃棄物処理設備に相当するクラス3機器と位置付けられることから、吸着塔及び鋼管については、「JSME S NC1-2005 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、「設計・建設規格）」のクラス3機器の規定を適用することを基本とし、日本工業規格（JIS）等の国内外の民間規格も適用する。また、日本工業規格（JIS）、国内外の民間規格に適合した工業用品を採用し、ポリエチレン管については、日本水道協会（JWWA）規格に準拠する。

(2) 耐震性

放水路浄化設備を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して耐震評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせたものを採用する。ポリエチレン管及び耐圧ホースは、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.40.2 基本仕様

2.40.2.1 系統仕様

(1) 放水路浄化装置

| | |
|------|-------------------------|
| 処理方式 | 吸着材方式 |
| 系列数 | 1 |
| 処理量 | 360m ³ /日/系列 |

2.40.2.2 機器仕様

(1) 吸着塔

| 名 称 | | 吸着塔 | |
|------------------|----------------------|--------|---------|
| 種 類 | — | 縦置き円筒形 | |
| 容 量 | m ³ /h/系列 | 15.0 | |
| 最 高 使 用 圧 力 | MPa | 0.98 | |
| 最 高 使 用 温 度 | ℃ | 40 | |
| 主 要 寸 法 | 胴外径 | mm | 1020.0 |
| | 胴板厚さ | mm | 10.0 |
| | 上部鏡板厚さ | mm | 10.0 |
| | 下部鏡板厚さ | mm | 10.0 |
| | 高さ | mm | 1806.0 |
| 材 料 | 胴板 | — | SUS316L |
| | 鏡板 | — | SUS316L |
| 個 数 | 個/系列 | 1 | |
| 系 列 数 | 系列 | 1 | |

(2)配管等

主要配管仕様

| 名 称 | 仕 様 | |
|--|-------------------------------|---------------------------------------|
| 放水路水移送ポンプより 放水路上流側立坑出口まで (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98 MPa 40 ℃ |
| 放水路上流側立坑出口から 放水路浄化装置入口まで (ポリエチレン管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃ |

| | | |
|--|----------------------------------|--|
| 放水路浄化装置入口取合から 放水路浄化装置出口取合まで (鋼管) | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch.80 STPG370 0.98 MPa 40 °C |
| | 呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A／Sch.40 SUS316L 0.98 MPa 40 °C |
| (耐圧ホース) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98 MPa 40 °C |
| 放水路浄化装置出口取合から 放水路まで (ポリエチレン管) | 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度 | 50A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 °C |

(3) ポンプ

a. 移送ポンプ (完成品)

| | |
|-----|------------------------|
| 台 数 | 1 台 |
| 容 量 | 15.0 m ³ /h |

なお、機器仕様に記載の寸法は公称値である。

2.40.3 添付資料

- 添付資料－1： 配置概要，系統構成図等
- 添付資料－2： 放水路浄化装置の強度に関する説明書
- 添付資料－3： 放水路浄化装置の耐震性に関する説明書
- 添付資料－4： 放水路浄化装置等に使用する配管の耐震に関する計算書
- 添付資料－5： 放水路浄化装置等の具体的な安全確保策等
- 添付資料－6： 放水路浄化装置の敷地境界線量率への影響
- 添付資料－7： 使用済吸着塔の水素到達濃度評価
- 添付資料－8： 使用済吸着塔の温度評価
- 添付資料－9： 放水路浄化装置等に係る確認事項

配置概要, 系統構成図等

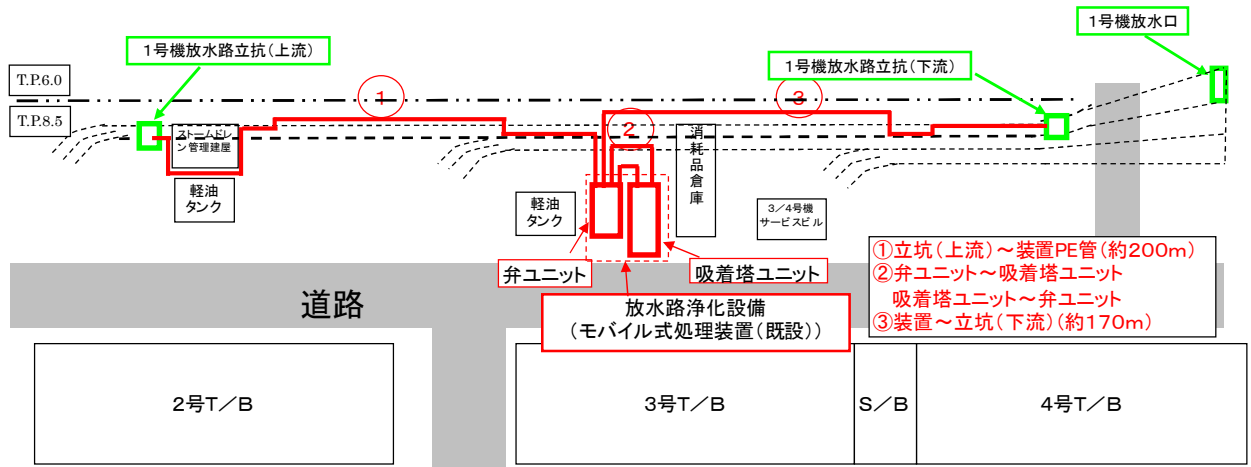


図 - 1 - 1 概略配置図

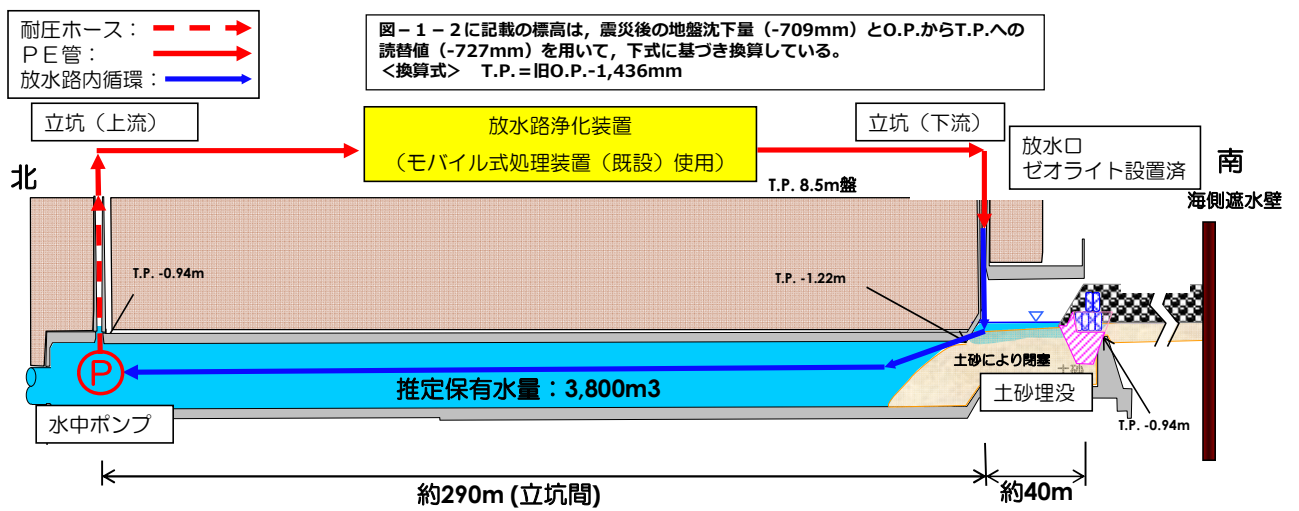


図 - 1 - 2 概略系統図

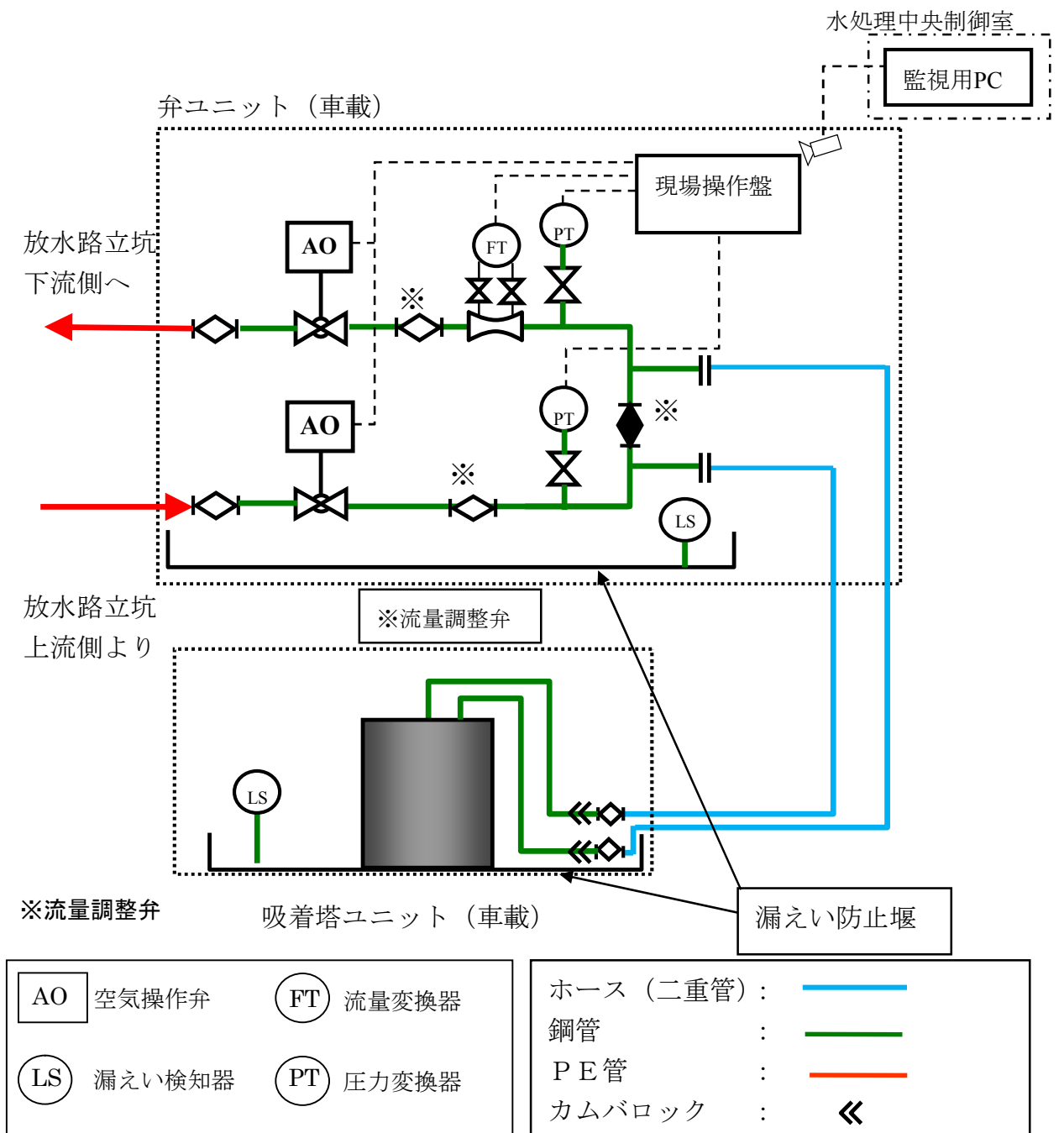


図-1-3 放水路浄化装置概略図

放水路浄化装置の強度に関する説明書

構造強度評価結果 (2.5.1.5.1(10)モバイル式処理装置と同一)

設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認する。

また、吸着塔の円筒形容器については、設計・建設規格に準拠し、板厚評価を実施した。評価の結果、内圧に耐えられることを確認した (表－２)。

a. 胴について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

$$t = \frac{PDi}{2S\eta - 1.2P}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ

Di : 胴の内径

P : 最高使用圧力

S : 最高使用温度における

材料の許容引張応力(111 MPa)

η : 長手継手の効率 (0.7)

b. 鏡板について、以下の計算式により必要な厚さを計算した。

$$t = \frac{PRW}{2S\eta - 0.2P}$$

t : 鏡板の計算上必要な厚さ

P : 最高使用圧力

R : 鏡板の中央部の内半径

W : さら形鏡板の形状による係数 (1.54)

S : 最高使用温度における

材料の許容引張応力 (111 MPa)

η : 長手継手の効率 (1.0)

ただし、t の値は炭素鋼、低合金鋼の場合は t=3[mm]以上、その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。

表－２ 放水路浄化装置構造強度結果

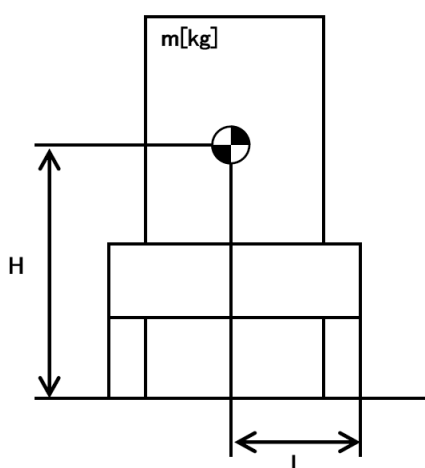
| 機器名称 | 評価部位 | 必要肉厚[mm] | 実厚[mm] |
|-------------|------|----------|--------|
| 放水路浄化装置 吸着塔 | 板厚 | 6.4 | 10.0 |
| | 鏡板 | 6.8 | 10.0 |

放水路浄化装置の耐震性に関する説明書

耐震性評価結果

a. 放水路浄化装置（吸着塔，トレーラー）の転倒評価

放水路浄化装置およびそれを搭載しているトレーラーの転倒評価については、モバイル式処理装置と同一であり、モバイル式処理装置の結果を以下に示す。地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した（表－3）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m]=m \times g \times C_H \times H$

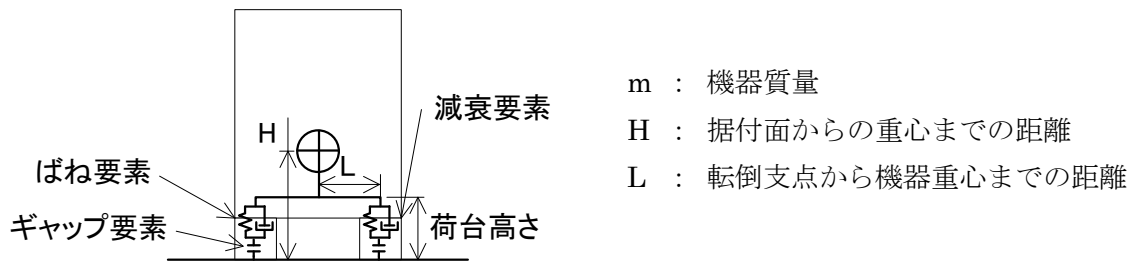
自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m]=m \times g \times L$

表－3 モバイル処理装置耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 算出値 | 許容値 | 単位 |
|--------------------------|------|------|------|-----|-----|------|
| モバイル式処理装置 (吸着塔，トレーラー) | 本体 | 転倒 | 0.36 | 251 | 624 | kN・m |

また、モバイル式処理装置の時刻歴解析による耐震性確認について、過去に電源車（モバイル式処理装置と同様に車両上に機器を設置）で実施した評価と比較した。

電源車の解析モデルは、コンテナと車両を一体とし、評価は、ばね要素、減衰要素およびギャップ要素を地表面と荷台高さとの間に配置している。実車両を模擬し、本車両転倒解析モデルを構築する場合、転倒評価に用いる重心位置最大応答角は、重心位置と荷台を結ぶ剛体要素の角度差より求まることから、荷台高さを回転中心とした。



電源車の耐震評価結果とモバイル式処理装置形状比較は以下のとおり。

表-4 電源車の耐震評価結果

| 機器名称 | 評価部位 | 評価項目 | 水平震度 | 重心位置 最大応答 回転角 (deg) | 最大安定 傾斜角 (deg) | 裕度 |
|------|------|------|------|---------------------------|----------------------|------|
| 電源車 | 本体 | 転倒 | 1.00 | 11.0 | 30 | 2.72 |

- ・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表-5 モバイル式処理装置（吸着塔，トレーラー）と電源車の形状比較

| 機器名称 | H (m) | L (m) | H/L |
|-----------|-------|-------|-------|
| モバイル式処理装置 | 1.630 | 1.465 | 1.113 |
| 電源車 | 1.181 | 0.923 | 1.280 |

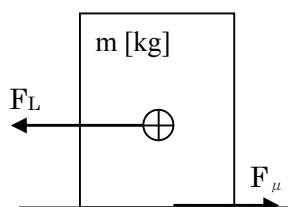
- ・モバイル式処理装置と電源車の形状は、モバイル式処理装置の方が安定している。
m : 機器質量
H : 据付面からの重心までの距離
L : 転倒支点から機器重心までの距離

電源車の耐震性評価においては支配的な基準地震動を選定しており、その水平方向の最大応答加速度（重心位置）は約 800gal である。これに対して、福島第一原子力発電所の水平方向の最大応答加速度（T.P.約 8.5m）は約 500gal と小さい。

以上のことから、過去に実施した電源車の転倒評価には十分な裕度があること、形状はモバイル式処理装置の方が安定していること、水平方向の加速度は電源車評価時に比べ小さいことから、モバイル式処理装置の耐震性は十分に確保されているものと考えられる。

b. 放水路浄化装置（吸着塔，トレーラー）の滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力の大きさを比較することにより吸着塔とトレーラー間の滑動評価を行った。表-6に示すように，すべり力より接地面の摩擦力が大きいことから，吸着塔とトレーラー間の滑動はないことを確認した。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- C_H : 水平震度 (0.36)
- μ : 摩擦係数 (ゴム/鋼:0.9)

地震時の滑り力： $F_L = m \times g \times C_H$

接地面の摩擦力： $F_{\mu} = m \times g \times \mu$

表-6 放水路浄化装置の滑動評価

| 働く力 | 算出式 | 算出値[kN] |
|-------------------|-------------------------|---------|
| 地震時のすべり力 F_L | $m \times g \times C_H$ | 56 |
| 接地面の摩擦力 F_{μ} | $m \times g \times \mu$ | 141 |

放水路浄化装置等に使用する配管の強度に関する計算書

(1)構造強度評価結果（配管等）

a. 配管（鋼製）

設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことにより、必要な構造強度を有していることを確認する。

また、配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果、最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－7）。

$$t = \frac{P D_o}{2S \eta + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
 D_o : 管の外径
 P : 最高使用圧力
 S : 最高使用温度における材料の許容引張応力
 (①:111 MPa, ②:93 MPa)
 η : 長手継手の効率 (1.0)

表－7 配管構造強度評価結果

| 評価機器 | 口径 | Sch. | 材質 | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 必要肉厚 (mm) | 肉厚 (mm) |
|------|-----|------|---------|--------------|-------------|-----------|---------|
| 配管① | 50A | 80 | STPG370 | 0.98 | 40 | 0.32 | 5.5 |
| 配管② | 50A | 40 | SUS316L | 0.98 | 40 | 0.27 | 3.9 |

b. 配管（ポリエチレン管）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に関する規格にはない材料であるが、系統の温度、圧力を考慮して仕様を選定している。また、ポリエチレン管は、一般に耐食性、電気特性（耐電気腐食）、耐薬品性を有しているとともに以下により信頼性を確保している。

- ・ 日本水道協会規格等に適合したポリエチレン管を採用する。
- ・ 継手は可能な限り融着構造とする。
- ・ 敷設時に漏えい試験等を行い、運転状態に異常がないことを確認する。

以上のことから、ポリエチレン管は、必要な構造強度を有するものと評価した。

c. 配管（耐圧ホース）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に関する規格にはない材料であるが，系統の温度・圧力を考慮して仕様を選定すると共に，以下により信頼性を確保する。

- ・ チガヤによる耐圧ホースの貫通を防止するため，チガヤが生息する箇所においては地面に耐圧ホースを直接敷設しない等の対策を施す。
- ・ 通水等による漏えい確認を行う。

放水路浄化装置等の具体的な安全確保策等

放水路浄化設備は、放射性物質を扱うため、漏えい防止対策、放射線遮へい・崩壊熱除去、可燃性ガス滞留防止、環境条件対策について具体的に安全確保策を以下の通り定め、実施する。

1 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止

- a. 移送装置は、耐食性を有するポリエチレン管の使用を基本とする。また、可撓性を要する放水路浄化装置（車載間）との接続部は、耐圧ホースとする。ここで、耐圧ホースの継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。また、屋外敷設箇所のうち重機による作業や車両の通行がある箇所は、水移送装置を損傷させないための措置を実施する。
- b. 放水路浄化装置吸着塔の容器は、腐食による漏えい発生を防止するために、耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材の使用を基本とする。
- c. 放水路浄化装置を移設する場合には設備の取り合い部における閉止(隔離弁の閉止、フランジ開口部の養生等)を実施し、系統のバウンダリとして適切に管理する。また、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は1号放水路へ排出する。
- d. 装置を海水配管トレンチから移設する際に、装置内の残水の放射性物質濃度により放水路の系統水濃度を上昇させないようにする。
- e. 装置の運転開始前後に、放水路上流側及び下流側立坑の水位がほぼ同等であることを確認することで、立坑からの溢水を防止する。

(2)漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 屋外配管は二重管構造とし、漏えい水の拡大を防止する。耐圧ホースについては、二重管構造とすることで、漏えいの拡大を防止する。
- b. 放水路浄化装置に漏えい拡大防止用の堰等を設けると共に、堰内には漏えい検知器を設置する。漏えいが発生し、漏えい検知器が作動した場合には、水処理中央制御室に警報が発生するとともに、移送ポンプが停止し、移送を停止する。運転員は移送ポンプの停止確認や漏えい拡大防止等の必要な措置を講ずる。
- c. 屋外敷設箇所等については、念のため巡視点検等により漏えいの有無等を確認する。
- d. 放水路浄化装置内の漏えい検知器が作動した場合は、放水路浄化装置の空気作動式出入口自動隔離弁が閉止し、運転が停止する。

- e. 放水路浄化設備は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良、装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防止する。放水路浄化装置においては、装置内部に内包する滞留水が漏えいした場合でも堰内に収まることから、堰外へ漏えいすることはない。
- f. 移送装置の配管部については、放水路浄化装置周辺部は、同装置内に漏えい水が流れ込むような勾配とし、その他の配管部は、放水路立坑に漏えい水が流れ込むような勾配とする。
- g. 放水路浄化装置内（弁ユニットと吸着塔ユニット間）の耐圧ホースについては、浄化運転を終了し、再度浄化を再開するまでの間、ろ過水による水置換・通水後、水抜きを行い保管する。再度浄化を開始する際に、ろ過水にて水張りを実施し、漏えいがないことを確認する。なお、耐圧ホースは必要に応じて交換する。
- h. 放水路浄化装置内部に内包する滞留水と堰容量
吸着塔ユニットが内包する滞留水：約 0.7m³、吸着塔ユニット堰容積：約 1.0m³

表－8 放水路浄化装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

| 対象設備 | | 縦幅(m) | 横幅(m) | 高さ(m) | 容積(m ³) | 備考 |
|---------|---------|-------|-------|-------|---------------------|----|
| 放水路浄化装置 | 吸着塔ユニット | 3.25 | 2.04 | 0.19 | 0.996 | ※ |
| | 弁ユニット | 4.02 | 1.24 | 0.14 | 0.698 | |

※吸着塔ユニット容積から吸着塔体積を差し引いた容積

(3)放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 移送装置は、遠隔監視カメラにより、装置の状態や運転監視に必要なパラメータの確認をする。また、放射線業務従事者が接近する必要がある箇所（放水路浄化装置近傍）は、鉛等による遮へいを設置する。
- b. 放水路浄化装置は、放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は、鋼製の容器等で遮へいする。

(4)崩壊熱除去

- a. 放水路浄化装置吸着塔吸着材に吸着した放射性物質の崩壊熱は、処理水を通水することにより除熱する。なお、通水がない状態でも崩壊熱による温度上昇は1時間当たり1℃未満である。
なお、吸着塔内部の温度は、最も高温となる水を抜いた状態であっても、ベント弁を開放して貯蔵することで、発熱と排熱が釣り合うため、吸着材及び構造材料に影響しない範囲で収束する。

(5)可燃性ガスの滞留防止

- a. 放水路浄化装置の吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その吸着塔により処理を行う場合には、可燃性ガスが滞留する可能性があるため、吸着塔のベント弁を手動で開操作して通気により排出する。なお、水の放射線分解により発生する可燃性ガスはわずかであり、ベント弁を開操作するまでに時間的余裕があることから、手動で実施する。また、吸着塔を収納する鋼製の箱は、通気性を有しており、可燃性ガスが内部に滞留することはない。
- b. 放水路浄化装置にて発生する使用済みの吸着塔は、可燃性ガスの発生抑制のため、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを実施する。なお、吸着塔の内部水は、滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階に排出する。

(6)交換作業時の考慮

- a. 吸着塔の交換時には、使用済み吸着塔はトレーラーに車載された状態で輸送され、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等にクレーンにて搬入される。
吸着塔は鋼製であり、衝撃の緩和効果が期待できる遮へい容器と一体で搬入・貯蔵されるため、万一の落下時等にも損傷し難い構造となっているが、落下等の発生防止の観点で、クレーン操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。
- b. 使用済み吸着塔は、運搬時に落下することを防止するため、レバブロック等によりトレーラーに固定する。
なお、運搬にあたっては、低速で走行することで安全性を確保する。

2 環境条件対策

(1)腐食

海水による炭素鋼の腐食速度は、「材料環境学入門」（腐食防食協会編，丸善株式会社）より、0.1mm/年程度と評価される。一方、炭素鋼の配管の必要肉厚は 0.5mm 以下である。系統を構成する配管（炭素鋼）のうち、板厚が最も薄い配管(50A Sch40)は、3.9mm（公称値）である。放水路の滞留水の塩化物イオン濃度は、50ppm～2,000ppm であり 1～2m/s 程度の流速がある場合の炭素鋼の腐食は、最大 1.1mm/年以下であるため、数年程度の使用に対しては、耐えられる板厚を有していると考えられるが、計画的に保全を計画・実施する。

放水路浄化装置吸着塔は、耐腐食、耐応力腐食割れを有する SUS316L 材を用いている。

(2)熱による劣化

滞留水の温度は、ほぼ常温のため、金属材料の劣化の懸念はない。

(3)凍結

滞留水を移送している過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の移送を停止した場合、屋外に敷設されているポリエチレン管等は、凍結による破損が懸念される。そのため、滞留水を移送している屋外敷設のポリエチレン管等に保温材等を取り付ける。

(4)生物汚染

移送ポンプはストレーナーが設けてあり、大きな藻等がポンプ内に浸入して機器を損傷させるようなことはない。

また、滞留水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。

(5)耐放射線性

耐圧ホースの構造部材であるポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は、 10^5 ～ 10^6 Gy の集積線量において、破断時の伸びの減少等が確認されている。過去の測定において、2号機タービン建屋の滞留水表面上の線量当量率が1Sv/hであったことから、耐圧ホースの照射線量率を1Gy/hと仮定すると、集積線量が 10^5 Gyに到達する時間は 10^5 時間(11.4年)と評価される。そのため、耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはないと考えられる。

ポリエチレンは、集積線量が 2×10^5 Gyに達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示すが、上記と同様にポリエチレン管の照射線量率を1Gy/hと仮定すると、 2×10^5 Gyに到達する時間は 2×10^5 時間(22.8年)と評価される。放水路滞留水に含まれる放射能濃度は2号機タービン建屋滞留水の放射能濃度と比較し著しく低いため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

なお、トレンチ滞留水移送装置のうち、系統バウンダリを構成するその他の部品には、ガスケット、グランドパッキンが挙げられるが、他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料(EPDM、黒鉛)を使用しており、運転実績により、数年程度の使用は問題ないと考えられる。

(6)紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管・耐圧ホースには、紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。また、運用期間中、保温材等の劣化を確認した場合には、必要に応じて取替えを計画する。

(7)長期停止中の措置

放水路浄化装置を長期停止する場合は、必要に応じて装置をフラッシングすると共に、内部の水抜きを実施することで、腐食及び凍結を防止する。

(8)使用済み吸着塔長期保管時の考慮

前述の通り、吸着塔は耐腐食性を有する材料選定※、漏えい防止措置（水抜き状態での保管）、安全評価（崩壊熱・可燃性ガス・遮へいに係わる解析評価）等により、長期保管を考慮した設計としている。また、以下の環境条件については、長期保管に影響しないことを確認している。

※吸着塔は、耐腐食性を有する材料（SUS316L）であるが、腐食リスク低減という観点で、吸着塔内部の滞留水をろ過水で置換し、水抜きした状態で貯蔵する。なお、新たな知見が確認された場合には、点検等の必要性について検討する。

a.熱による劣化

吸着塔は SUS316L 材を用いており、温度評価の結果(吸着塔の耐熱温度が 600℃ に対し、評価結果が 350℃を踏まえると、熱による影響は考えにくい。

b.凍結

長期保管中は、水抜きされた状態で保管されることから、凍結に対する配慮は必要ない。

c.生物汚染

長期保管中は、水抜きされた状態で保管されることから、生物汚染に対する配慮は必要ない。

d.耐放射線性

吸着塔は、SUS316L 材を用いており、樹脂系のような放射線による劣化は考えにくい。

e.紫外線

吸着塔は SUS316L 材を用いており、樹脂系のような紫外線劣化は考えにくい。

3 使用済み吸着塔発生量

放水路浄化設備から発生する使用済み吸着塔は、『2.5.1.5.2 使用済みセシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設』に従い貯蔵する。放水路浄化設備を運転し、環境への影響の少ないレベルとなった後は停止する。放水路におけるセシウム等の放射性濃度に変動が見られた場合に必要に応じて運転を再開する計画としている。1号放水路において一回の運転で4塔程度の吸着塔が必要になる見込みであり、これまでの実績から年に2回程度運転する見通しとなり、予備を含めて12塔程度の吸着塔の発生が想定される。

使用済セシウム吸着塔一時保管施設(第一施設または, 第四施設)の空き保管容量は113体(平成 27 年 8 月 6 日時点)であり, 本装置の吸着塔発生量の他, セシウム吸着装置の吸着塔, モバイル式処理装置の吸着塔, サブドレン他浄化設備の吸着塔を考慮しても, 平成 H28 年 7 月末の発生量は 105 塔程度であり, 当面支障をきたすことはない。

放水路浄化設備の敷地境界線量率への影響

放水路浄化設備の設置により、敷地境界線量に与える影響を評価する。評価条件および装置と評価点の関係を表— 1 および図— 1 に示す。

放水路浄化設備の設置場所は敷地境界から遠いこと、また吸着塔は遮へい容器により覆われており、表面で 1 mSv/h 以下であることから、敷地境界線量率への影響は 10^{-6} mSv/年オーダーとなり極めて軽微であるため、影響は無視できると判断する。

表— 1 評価条件

| 評価手法 | 評価地点 | 表面線量 |
|----------|-------------------|---------|
| MCNP コード | 敷地境界線量が最大となる No.7 | 1 mSv/h |



図— 1 放水路浄化装置(設置位置)と評価地点の位置関係

使用済吸着塔の水素到達濃度評価

1.概要

使用済吸着塔をコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵する場合の水素濃度評価を行った。吸着塔の水素濃度は最大で約 1.7%となり、水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上問題はないと判断する。

2.吸着塔の水素濃度評価

2.1 評価手法

- ・吸着塔において、補足・吸着される放射能濃度が最大となる条件での水素発生量を計算する。
- ・吸着材領域が水で満たされている状態での水素発生量を計算する。
- ・給気側配管と排気側配管の温度差及び水素濃度差による気体密度差および流動抵抗に基づき、自然対流により流入する空気量を計算する。
- ・流入空気量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。
- ・拡散による水素排出は保守的に考慮しない。

2.2 水素発生条件

- ・水素の発生量：0.74[L/h/塔]（発生量 360[W/塔]，水素分子の G 値 0.45[100eV]より計算，吸着塔 1 体あたりの水素発生量）

2.3 温度条件

- ・給気側配管温度：約 40℃
- ・排気側配管温度：約 40℃

2.4 流入空気量

- ・流入する空気量：43.5[L/h/塔]（給気側配管と排気側配管の温度差および水素濃度差及び流動抵抗により計算。）

2.5 水素濃度

- ・空気により希釈された水素濃度：1.7%（流入空気量と水素の発生量の割合から計算）

3.評価結果

評価の結果、吸着塔内の水素濃度は最大で約 1.7%となり、水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

使用済吸着塔の温度評価

1.概要

吸着塔に補足・吸着した放射性物質による発熱量を入熱条件に温度評価を実施した。Cs 吸着塔および Cs/Sr 吸着塔の評価結果はそれぞれ 215℃, 350℃となり, 共に耐熱温度の 600℃を下回ったことから安全上問題はないと判断する。

2.吸着塔の温度評価

2.1 評価手法

・吸着塔に補足・吸着した放射性物質による発熱量を入熱条件に, 1次元定常温度評価の手法を使用する。

2.2 入力条件

・発熱量 : 235 [W/体](Cs 吸着塔), 360[W/体](Cs/Sr 吸着塔), 外気温度 : 40℃

3.評価結果

評価の結果, 吸着塔内の濃度は最大で約 350℃となり, 耐熱温度の 600℃を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

放水路浄化設備に係る確認事項

放水路浄化設備に係る主要な確認事項を表— 1～4に示す。放水路浄化装置は 3 号機モバイル式処理装置で使用了したものを使用する。

なお、寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上、確認前に定める。

表— 1 確認事項（移送ポンプ）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|---------|-------------|-------------|
| 構造強度 | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |

表-2-1 確認事項（主配管（ポリエチレン管））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---------------------------------|--|
| 構造強度・ 漏えい | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 主要寸法について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 確認圧力で保持した後、漏えいの有無を確認する。 ※1 | 確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。 |

※1：耐圧・漏えい確認を行うことが困難な箇所については、代替検査としてトルク・運転圧で確認する。

表-2-2 確認事項（主配管（耐圧ホース））

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|--------------|----------|---------------------------------|----------------|
| 構造強度・ 漏えい | 材料確認 | 主な材料について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 寸法確認 | 主要寸法について記録を確認する。 | 実施計画のとおりであること。 |
| | 外観・据付確認 | 各部の外観を確認する。 また、据付状態について確認する。 | 有意な欠陥がないこと。 |
| | 耐圧・漏えい確認 | 定格容量にて運転し、漏えいの有無を確認する。 | 著しい漏えいがないこと。 |

表－3 確認事項（インターロック）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|-----------|----------------------------------|----------------------------|
| 機能 | インターロック確認 | 漏えい検知器を作動させた際、移送ポンプが停止することを確認する。 | 漏えい検知器が作動した際、移送ポンプが停止すること。 |

表－4 確認事項（運転性能）

| 確認事項 | 確認項目 | 確認内容 | 判定基準 |
|------|--------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 性能 | 運転性能確認 | 定格容量にて運転できることを確認し、漏えい等の異常がないことを確認する。 | 定格容量にて通水できること及び、著しい漏えい等の異常がないこと。 |

以上