

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

確率論的リスク評価について
(外部事象 津波PRA)

平成26年9月

東京電力株式会社

目 次

1. 事故シーケンスグループ等の抽出における PRA の実施範囲と評価対象
2. 「PRA の説明における参照事項」に基づく構成について
3. レベル 1PRA
 - 3.1 内部事象 PRA
 - 3.1.1 出力運転時 PRA
 - 3.1.1.a 対象プラント
 - 3.1.1.b 起回事象
 - 3.1.1.c 成功基準
 - 3.1.1.d 事故シーケンス
 - 3.1.1.e システム信頼性
 - 3.1.1.f 信頼性パラメータ
 - 3.1.1.g 人的過誤
 - 3.1.1.h 炉心損傷頻度
 - 3.1.2 停止時 PRA
 - 3.1.2.a 対象プラント
 - 3.1.2.b 起回事象
 - 3.1.2.c 成功基準
 - 3.1.2.d 事故シーケンス
 - 3.1.2.e システム信頼性
 - 3.1.2.f 信頼性パラメータ
 - 3.1.2.g 人的過誤
 - 3.1.2.h 炉心損傷頻度
 - 3.2 外部事象 PRA
 - 3.2.1 地震 PRA

3.2.1.a 対象プラントと対象シナリオ

3.2.1.b 地震ハザード

3.2.1.c 建屋・機器の脆弱性

3.2.1.d 事故シーケンス

3.2.2 津波 PRA

3.2.2.a 対象プラントと事故シナリオ

3.2.2.b 確率論的津波ハザード

3.2.2.c 建屋・機器の脆弱性

3.2.2.d 事故シーケンス

 今回のご説明範囲

4. レベル 1.5PRA

4.1 内部事象 PRA

4.1.1 出力運転時 PRA

4.1.1.a プラントの構成・特性

4.1.1.b プラント損傷状態の分類及び発生頻度

4.1.1.c 格納容器破損モード

4.1.1.d 事故シーケンス

4.1.1.e 事故進展解析

4.1.1.f 格納容器破損頻度

4.1.1.g 不確かさ解析及び感度解析

4.2 外部事象 PRA

4.2.1 地震 PRA

添付資料目次

3. レベル 1PRA

3.1 内部事象 PRA

3.1.1 出力運転時 PRA

3.1.2 停止時 PRA

3.2 外部事象 PRA

3.2.2 津波 PRA

添付資料 3.2.2.a-1 プラント停止の手順について

添付資料 3.2.2.d-1 引き波の津波 PRA への寄与について

今回のご説明範囲

4. レベル 1.5PRA

4.1 内部事象 PRA

4.1.1 出力運転時 PRA

4.2 外部事象 PRA

4.2.1 地震 PRA

3.2.2 津波PRA

津波PRAは、一般社団法人 日本原子力学会が発行した「原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011（以下「津波PRA学会標準」という。）を参考に評価を実施し、各実施項目については「PRAの説明における参照事項」（原子力規制庁 平成25年9月）の記載事項への適合性を確認した。評価フローを第3.2.2-1図に示す。なお、今回の津波PRAでは、津波単独の影響のみを評価しており、地震随伴に伴う津波（重畳事象）等は対象としていない。

3.2.2.a. 対象プラントと事故シナリオ

① 対象とするプラントの説明

1) PRAにおいて考慮する緩和機能(系統)の概要

主要な機器・系統の配置及び形状・設備容量は3.1内部事象PRAでの記載と同様である。

なお本評価では、AM要請以降に整備したアクシデントマネジメント策には期待しないことを前提としている。このため、津波に対し有効と考えられる防潮堤、水密扉や貫通口止水等の止水対策についても考慮していない。

第3.2.2.a-1図に津波PRAの中で考慮する設備配置を記載したプラント概要図を示す。また、津波PRAに必要なプラント情報として、次の情報を収集、整理した。

- ・ 機器配置図
 - ✓ 原子炉建屋(R/B)
 - ✓ タービン建屋(T/B)
 - ✓ コントロール建屋(C/B)
 - ✓ 廃棄物処理建屋(Rw/B)

- ・ 建屋内外の開口部(貫通部)情報(以下の開口位置, 開口面積)
 - ✓ 扉, 機器ハッチ, 空調ダクト, ケーブルトレイ, ドレンファンネル, 配管, 電線管
- ・ 設備の設置情報(設置区画及び設置高さ)
- ・ 津波ハザード評価

2) プラントウォークダウン(PWD)の結果

a. PWDの実施手順

PWDは机上検討では確認が難しいプラント情報の取得及び検討したシナリオの妥当性確認のために実施する。このPWDにおいて評価対象とする機器の抽出の考え方や, 調査すべき要件をPWD要領書(チェックシート等を含む)にまとめた。この要領書に従ってPWDを実施し, 主に以下の観点について対象箇所の状況を確認した。

- ・ 津波影響
- ・ 間接的影響の有無
- ・ 津波伝播経路及び建屋開口部(貫通部)

b. プラントウォークダウン対象機器の選定

まず, 津波PRA対象となる機器及び建屋開口部(貫通部)を, 以下の手順で抽出した。

- ・ 機器の抽出
 - (a) 内部事象レベル1PRA 評価において, 当該系統・機器が機能喪失することで炉心損傷に至る恐れのある緩和系の系統・設備を抽出している。津波PRAにおいてもそれら全てを検討対象とした。
 - (b) (a)では対象外だったもののうち, 津波による損傷によって内部事象出力運転時レベル1の起因事象が発生するもの(給復水系, 屋外変圧器等)や津波特有の損傷状態に至る設備(電源盤, 取水構造物など)を機器配置図や構造図等の図面により抽出した。

・建屋開口部(貫通部)の抽出

本評価では、屋外の海水取水口のように開口面積が広い箇所を代表的な津波浸水口として抽出した。

このようにして抽出した津波PRA対象機器・開口部のうち、事故シーケンスモデルにおいて評価結果に大きな影響を及ぼすと想定される設備が設置されている溢水区画および当該溢水区画への溢水伝播経路を調査対象として選定した。

c. プラントウォークダウンの結果

PWD要領書のチェックシートに基づき、対象機器のチェックを行った。溢水伝播経路図、現場写真のサンプル及びチェックシートをそれぞれ第3.2.2.a-2図、第3.2.2.a-3図に示す。PWDの結果、抽出した対象機器及び開口部(貫通部)等について、図面との相違や過不足等が無いことを確認した。

② 津波により炉心損傷に至る事故シナリオと分析

評価においては、以下を前提条件とした。

- ✓ 地震発生前は出力運転状態とする。
- ✓ 地震によって安全上重要な建屋、系統(システム)、機器の機能喪失につながる損傷はない、即ち、地震によるプラントへの直接的影響は無いものとする。
- ✓ 地震後に津波が襲来するものとする。
- ✓ 地震発生から津波襲来までは一定の時間があり、その間にプラントを停止できることから、津波襲来時には原子炉が停止しているものとする。(添付資料3.2.2.a-1)

1) 事故シナリオの分析・選定

津波襲来時における事故シナリオの分析・選定を行った。津波 PRA 学会標準を参考に津波による影響を、直接的な被災による事故シナリオと間接的な被災による事故シナリオに区別し分析した。分析した内容を第 3.2.2.a-1 表に示す。

分析した結果、本評価では事故シナリオのうち「浸水による設備の没水、被水」を対象とした。また、引き波の影響については感度解析として評価した。

2) 起回事象の分析結果

第 3.2.2.a-4 図に示すフローを用いて津波により誘発される起回事象を分析し、選定した。起回事象として選定したのは以下の 5 事象である。

- ・ 外部電源喪失
- ・ 直流電源喪失
- ・ 全交流電源喪失
- ・ 最終ヒートシンク喪失(原子炉補機冷却系機能喪失)
- ・ 過渡事象(全給水機能喪失等)

3) 建屋・機器リストの作成

本評価では、下記の3つの前提条件を定め、考慮する建屋・機器のリストを作成した。

- a. 地震の影響による安全上重要な機器等の損傷はない。
- b. 建屋内の壁・床・扉等の止水対策は考慮しない。したがって、建屋外郭の開口部(貫通部)から津波が流入した場合には、同一建屋の同一フロア全体が同時に浸水する。
- c. 格納容器は密閉構造であることから、格納容器内には津波が流入しない。

また、津波による損傷によりプラントに影響を及ぼす機器のリスト(抜

粹)を第3.2.2.a-2表に示す。

4) 津波シナリオの作成

本評価では「起因事象の誘発又は緩和設備の損傷が生じる高さ」から、事故シナリオを以下の4区分に分類した。第3.2.2.a-3表、第3.2.2.a-4表にシナリオ区分を示すとともに、以下に各シナリオの特徴を記載する。なお、本評価での「水没」とは、海水が機器の設置高さに到達した時点とする。また、各種ポンプについては海水が電動機下端に到達した時点で「水没」とする。

a. 津波シナリオ区分1(T.M.S.L. +4.2m未満(7号炉), T.M.S.L. +4.4m未満(6号炉))

本シナリオ区分では、取水口からT/B地下1階に設置されているマンホール(T.M.S.L. +3.5m)を經由してT/Bに水が浸入する。原子炉補機冷却海水系B系(RSW(B))ポンプの電源盤がT/B地下1階(T.M.S.L. +3.5m)に設置されているため、当該ポンプが機能喪失する。また、T/B内での溢水伝播により、T/B設備の機能喪失による過渡事象(T/B地下2階(T.M.S.L. -4.8m)に設置された常用系の電源盤の機能喪失に伴う全給水機能喪失等)が発生する。なお、水の浸入口であるT/B地下1階のマンホール(T.M.S.L. +3.5m)と区分1の津波高さの上限(T.M.S.L. +4.2m(7号炉), T.M.S.L. +4.4m未満(6号炉))の差は0.7m(7号炉), 0.9m(6号炉)であり、津波シナリオ区分1の津波高さの上限に達しない程度の津波であれば、T/B以外の建屋にまで伝播し、当該エリアの機器に影響を及ぼす程の浸入量にはならないと考え、T/B以外までの浸水には至らないものとした。

b. 津波シナリオ区分2(T.M.S.L. +4.2m以上～T.M.S.L. +4.8m未満(7号炉), T.M.S.L. +4.4m以上～T.M.S.L. +4.8m未満(6号炉))

本シナリオ区分では、T/B地下1階(フロア高さT.M.S.L. +3.5m)の原

子炉補機冷却系A系(RCW(A))ポンプが電動機下端部(T.M.S.L. +4.2m(7号炉), T.M.S.L. +4.4m(6号炉))への水の到達によって機能喪失する。また、階段室を経由して地下2階に溢水伝播し、当該フロアに設置されているRCW(C)ポンプが電動機下端部への水の到達によって機能喪失に至り、最終ヒートシンク喪失が発生する。

c. 津波シナリオ区分3(T.M.S.L. +4.8m以上～T.M.S.L. +6.5m未満)

本シナリオ区分では、T/B地下1階(T.M.S.L.+3.5m)から浸入した水がT/B地下2階(T.M.S.L.-5.1m)等を経由してR/B地下1F(T.M.S.L. +4.8m)に伝播し、同フロアに設置されている非常用電源盤(メタルクラッドスイッチギア(メタクラ))が水没にすることで全交流電源喪失が発生する。

d. 津波シナリオ区分4(T.M.S.L. +6.5m以上)

本シナリオ区分では、T/B地下1階(T.M.S.L.+3.5m)から浸入した水がT/B地下2階(T.M.S.L.-5.1m)、Rw/B地下3階(T.M.S.L. -6.1m)等を経由してC/B地下1階(T.M.S.L. +6.5m)に伝播し、同フロアに設置されている直流電源盤が水没することで直流電源喪失が発生する。これにより、逃がし安全弁による原子炉減圧が不可能となる。

3.2.2.b. 確率論的津波ハザード

① 確率論的津波ハザード評価の方法

確率論的津波ハザードの検討にあたっては、地震による津波を検討対象とし、解析手順については津波PRA学会標準及び「確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)」に基づき評価した。

認識論的不確かさとして、地震規模、平均発生間隔、波源のモデル化等を考慮した。偶然的な不確かさとして、津波水位のばらつきの分布を対数正規分布として考慮した。ロジックツリー及び分岐の重みについては、2011年東北地方太平洋沖地震後の知見を反映して設定した。

評価の全体方針を付録-1に示す。

② 確率論的津波水位評価の概要

津波発生モデルとしては、以下の波源を想定し、検討を実施した。

- ・敷地周辺海域の活断層による津波
- ・日本海東縁部の地震による津波

津波伝播の数値シミュレーションは、基準津波の評価と同じ手法を用いて検討を実施した。

評価は平成25年9月27日設置変更許可申請書時のものであり、今後行われる基準津波の審議結果を踏まえ、必要に応じて見直しを行う。また、地震以外の要因による津波は、確率論的津波水位評価への影響が小さいと考えられることから、評価に含めていない。

評価の概要を付録-2～12に示す。

③ 津波ハザード曲線の評価結果

取水口前面、大湊側遡上域、基準津波の策定位置において算出した津波ハザード曲線の評価結果を付録-13～16に示す。

3.2.2.c. 建屋・機器の脆弱性

① 評価対象と損傷モードの設定

プラント情報の収集・分析で得られた建屋・機器脆弱性評価関連情報と事故シナリオの検討において抽出された建屋・機器リストに基づき、起因事象及び緩和系に着目して評価対象とする建屋・機器を設定する。次に、第3.2.2.a-1表の通り、対象とする建屋・機器が津波によって機能喪失に至る影響モードを検討した。その結果、動的・電氣的な機器の「被水・没水」による損傷を評価対象として抽出した。

② フラジリティ評価について

動的・電氣的な機器に対する「被水・没水」の損傷モードでは、海水が各機器の設置高さに到達した時点で、当該機器が確率1で損傷すると仮定した。機器フラジリティを第3.2.2.c-1図に示す。

津波の高さが、建屋の浸水口高さと同機器の設置高さのいずれよりも高い場合に「被水・没水」するとした。

3.2.2.d. 事故シーケンス

(1) 起因事象

① 評価対象とした起因事象のリスト，説明及び発生頻度

3.2.2.a.②.2)の通り，津波PRAでは以下の起因事象を抽出している。

- 外部電源喪失($12\text{m} \leq x$) (12m は低起動変圧器の設置高さ)
- 直流電源喪失($6.5\text{m} \leq x$)
- 全交流電源喪失($4.8\text{m} \leq x$)
- 最終ヒートシンク喪失(原子炉補機冷却系機能喪失)($4.2\text{m} \leq x$ (7号炉),
 $4.4\text{m} \leq x$ (6号炉))
- 過渡事象(全給水機能喪失等) ($3.5\text{m} \leq x$)

上記の起因事象を発生させる各機器は、各々の損傷高さまで浸水した時点で、確率1で機能喪失すると評価していることから、起因事象発生頻度は各機器の損傷が起因事象となる津波が発生する範囲の年超過頻度と同じとなる。

② 津波高さ別のイベントツリーとその説明

本評価では、津波高さに応じて発生する起因事象が変化することから、

津波高さの順に起因事象を並べたイベントツリーを作成した。第3.2.2.d-1(a)図、第3.2.2.d-1(b)図に津波PRAにおける起因事象の津波高さ別のイベントツリーを示す。

(2) 成功基準

① 成功基準の一覧

炉心損傷防止の成功基準は、内部事象PRAと津波PRAでの相違がないため、基本的に内部事象PRAで設定した成功基準(過渡事象・手動停止)を用いる。但し、津波の特徴を勘案し、以下の機能・系統は除外している。

- ・ 津波襲来までに原子炉の停止は達成されているものとしていることから、停止機能の成否は評価対象としない。
- ・ 評価結果に支配的な影響を及ぼす津波の浸入経路がT/B地下開口部であることから、津波が浸入する際にはT/Bが浸水することとなる。これを考慮し、給水・復水系には期待しない。
- ・ 津波高さがT.M.S.L. +3.5m以上から+4.2m未満(7号炉)、T.M.S.L. +3.5m以上から+4.4m未満(6号炉)の場合(津波シナリオ区分1)は、津波ハザードの年超過頻度は高くなるが、給水・復水系やRSW(B)と従属性のある系統(HPCF(B)及びRHR(B))以外の緩和設備に期待できる。このため、炉心損傷頻度(CDF)は津波ハザードの年超過頻度と使用可能な各緩和設備の失敗確率との積となる。これにより、津波シナリオ区分1のCDFは、津波ハザードの年超過頻度がそのままCDFとなる津波シナリオ区分2～4の場合に比べて非常に低い値となる。これを踏まえ、事故シーケンスの評価対象は7号炉でT.M.S.L. +4.2m以上、6号炉でT.M.S.L. +4.4m以上の場合とした。
- ・ 津波高さが7号炉でT.M.S.L. +4.2m以上、6号炉でT.M.S.L. +4.4m以上では原子炉補機冷却系の喪失に至るため、HPCF(高圧注水機能)及び

RHR(低圧注水・除熱機能)も喪失することとなる。このため、HPCF(高圧注水機能)及びRHR(低圧注水・除熱機能)については、成功基準を設定しない。

- ・ 電源については、津波で外部電源を喪失した際の復旧には期待しない他、複数プラントの被災が想定されることから、高圧電源融通には期待しない。

福島第一及び第二原子力発電所における被災直後の対応も踏まえて、使命時間は72時間とした。これは、被災直後はプラント周辺のアクセス性が悪化すること等を考慮し、外部支援等に期待可能となるまでの時間として設定したものである。但し本評価では、T/Bに津波の浸水があった場合、期待できる緩和設備がないと仮定としたことから、設定した使命時間を使用した箇所はない。

(3) 事故シーケンス

① イベントツリー

起因事象の発生要因は津波と内的事象では異なるが、起因事象発生後の緩和設備は内部事象と同様の設備に期待する。そのため、内部事象のイベントツリーを基に、前述の成功基準を考慮してイベントツリーを作成した。作成したイベントツリーを第3.2.2.d-2(a)～(c)図、第3.2.2.d-3(a)～(c)図に示す。

(4) システム信頼性

① 評価対象としたシステムとその説明

内部事象PRAに際してまとめた情報や、津波による機器ごとの損傷モードとプラントへの影響を整理して作成した建屋・機器リストを用い、評価対象範囲を明確にした。各系統の情報や依存性は内部事象PRAと同じであ

る。

② 機器損傷に関する機器間の相関の取扱い

機器間の相関について、系統間の従属性の取扱いは内部事象レベル1PRAと同様とした。また、津波の影響については、建物内に浸水した場合、フロア全体が一様な深さで浸水し当該フロアの機器は全て機能喪失するとした。

③ システム信頼性評価結果

システムの非信頼度は、内部事象レベル1PRAと同様の評価を用いた。

1) 主要なミニマルカットセット

本評価では、機器の機能喪失の原因の殆どが「被水・没水」である。仮にミニマルカットセット(MCS)を抽出しても、各機器の機能喪失の原因は建屋への浸水経路に依存することとなる。即ち、建屋への浸水経路に止水等の対策を施すことによって炉心損傷を防止できることが明らかである。このため、MCSは抽出しない。

④ システム信頼性評価を実施せずに設定した非信頼度とその根拠

最終ヒートシンク喪失時の高圧注水(RCIC)については、水没又はタービン排気圧高あるいは、直流電源の枯渇によるRCICタービントリップによって機能喪失に至るものと考え、当該ヘディングの失敗確率を1として評価した。

(5) 人的過誤

① 評価対象とした人的過誤及び評価結果

本評価においては、人的過誤の要素を考慮するヘディングが存在しない。

但し、感度解析として実施した引き波の影響評価では、補機冷却海水系(RSW)ポンプや循環水ポンプ(CWポンプ)の手動停止操作が必要となる。これについて人的過誤を考慮した。

(6) 炉心損傷頻度

① 炉心損傷頻度の算出に用いた方法

計算コードは、内部事象と同様のコード(Safety Watcher)を用いた。

② 炉心損傷頻度評価結果

1) 評価結果と事故シナリオ

a. 津波シナリオ区分毎の評価結果

津波シナリオ区分毎の評価結果を第3.2.2.d-1(a),(b)表に示す。7号炉の全CDFは 2.1×10^{-4} (/炉年)となり、津波シナリオ区分3(津波高さ4.8m以上～6.5m未満)が大きく占める。津波シナリオ区分毎の評価結果及び事故シナリオの概要を以下に示す。なお、6号炉の場合、RCWポンプ用電動機下端高が7号炉よりも高く津波高さによるLUHSの発生頻度の差からCDFは 1.8×10^{-4} (/炉年)となる。

(a) 津波シナリオ区分1(T.M.S.L. +4.2m未満(7号炉), T.M.S.L. +4.4m未満(6号炉))

津波シナリオ区分1で発生する起因事象には、過渡事象(T/B地下2階(T.M.S.L. -4.8m)に設置された常用系の電源盤の機能喪失に伴う全給水機能喪失等)があるが、当該事象発生時は、注水・減圧・除熱の各緩和機能に期待出来る状況である。このため、全ての緩和機能の喪失が生じた場合に炉心損傷に至ることとなるが、このCDFは津波ハザードの年超過頻度と使用可能な各緩和設備の失敗確率との積となり、緩和系に期待できない津波シナリオ区分2～4に比べて非常

に小さくなる。このことを考慮すると、津波シナリオ区分1は全CDFに対して無視できる。

津波シナリオ区分2以降に影響する機器の機能喪失として、津波高さ+3.5mでのT/B地下1階への浸水により、同フロアの電源盤が水没するため、RSW(B)ポンプの機能喪失が発生する。

(b)津波シナリオ区分2(T.M.S.L. +4.2m以上～4.8m未満(7号炉),

T.M.S.L. +4.4m以上～4.8m未満(6号炉))

津波シナリオ区分2のCDFは7号炉では 8.8×10^{-5} (/炉年)、6号炉では 5.4×10^{-5} (/炉年)である。本シナリオ区分では、RCW(A)ポンプが電動機下端部(+4.2m(7号炉), +4.4m(6号炉))への浸水によって機能喪失する。さらに、階段室を経由したT/B 地下2階への溢水伝播により、当該フロアのRCW(C)ポンプが電動機下端部への浸水によって機能喪失し、最終ヒートシンク喪失が発生する。

(c)津波シナリオ区分3(T.M.S.L. +4.8m以上～6.5m未満)

津波シナリオ区分3のCDFは 1.0×10^{-4} (/炉年)である。本シナリオ区分では、T/B地下1階(T.M.S.L. +3.5m)から浸入した水がT/B地下2階(T.M.S.L.-5.1m)等を経由してR/B地下1階(T.M.S.L. +4.8m)に伝播し、同フロアの非常用メタクラを水没させることにより、全交流電源喪失が発生する。同時にシナリオ区分2の通り、最終ヒートシンク喪失も発生する。

(d)津波シナリオ区分4(T.M.S.L. +6.5m以上)

津波シナリオ区分4のCDFは 2.5×10^{-5} (/炉年)である。本シナリオ区分では、T/B地下1階(T.M.S.L.+3.5m)から浸入した水がT/B地下2階(T.M.S.L.-5.1m)、Rw/B地下3階(T.M.S.L. -6.1m)等を経由してC/B地下1階(T.M.S.L. +6.5m)に伝播し、同フロアの直流電源盤を水没させることにより、直流電源喪失が発生する。これにより、逃がし安全

弁による原子炉減圧が不可能となる。同時にシナリオ区分2, 3の通り, 最終ヒートシンク喪失及び全交流電源喪失も発生する。

b. 津波PRAで抽出された事故シーケンス

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則の解釈」における必ず評価すべき事故シーケンスグループは以下に示す(a)~(g)の7つである。

- (a) 高圧・低圧注水機能喪失
- (b) 高圧注水・減圧機能喪失
- (c) 全交流動力電源喪失
- (d) 崩壊熱除去機能喪失
- (e) 原子炉停止機能喪失
- (f) LOCA時注水機能喪失
- (g) 格納容器バイパス(インターフェイスシステムLOCA)

津波PRAからは以上の7つ以外の事故シーケンスグループは抽出されなかった。なお, (b), (e), (g)についても本評価では抽出されなかった。

本評価の事故シナリオでは, LUHSを起因として高圧注水と低圧注水が同時に機能喪失するとしている。この場合, 原子炉減圧の成否は事故進展に影響せず, いずれにしても炉心損傷すること, また通常は運転操作上も高圧シーケンスよりも低圧シーケンスを選択するため, 成否いずれの場合も高圧・低圧注水機能喪失と整理し, (b)の高圧注水・減圧機能喪失は抽出していない。

(e)の原子炉停止機能喪失については, 本評価では津波の襲来前に原子炉は停止しているものとしているため抽出されない。

(g)の格納容器バイパスについては, 津波を起因として生じるものではないことから抽出していない。

a項で説明した事故シナリオを、上記の基準で整理した結果を第3.2.2.d-2(a),(b)表, 第3.2.2.d-3(a),(b)表に示す。また、事故シーケンスのCDF及び概要を以下に示す。

(a)-1：最終ヒートシンク喪失+高圧・低圧注水機能喪失

当該事故シーケンスのCDFは、7号炉で 8.8×10^{-5} (/炉年)、6号炉で 5.4×10^{-5} (/炉年)であり、具体的には以下のシーケンスとなる。

- ・ 津波高さが7号炉で4.2m以上4.8m未満、6号炉で4.4m以上4.8m未満(津波シナリオ区分2)において、原子炉補機冷却系機能喪失に伴う最終ヒートシンクの喪失及び電動の高圧注水系、低圧注水系の喪失が発生し、S/R弁開放には成功するが、蒸気駆動の高圧注水系(RCIC)が機器の浸水等によりその機能を維持出来ず、高圧及び低圧の注水機能喪失によって炉心損傷に至るシーケンス(TQUV)。また、S/R弁開放後のS/R弁再閉鎖に失敗した場合もRCICに期待できないため、TQUVとなる。

(f)-1：最終ヒートシンク喪失+冷却材喪失

当該事故シーケンスのCDFは、7号炉で 8.8×10^{-25} (/炉年)、6号炉で 5.4×10^{-25} (/炉年)であり、具体的には以下のシーケンスとなる。

- ・ 津波高さが7号炉で4.2m以上4.8m未満、6号炉で4.4m以上4.8m未満(津波シナリオ区分2)において、原子炉補機冷却系の機能喪失に伴う最終ヒートシンクの喪失及び電動の高圧注水系、低圧注水系の喪失が発生し、さらにS/R弁開放に失敗することで原子炉圧力容器が過圧され、原子炉圧力バウンダリ機能を喪失し、これに伴い原子炉内の冷却材を喪失することで炉心損傷に至るシーケンス(LOCA)。しかし、実質的には無視しうるシーケンスである。

(a)-2：最終ヒートシンク喪失+全交流電源喪失+高圧・低圧注水機能喪失

当該事故シーケンスのCDFは 1.0×10^{-4} (/炉年)であり、具体的には

以下のシーケンスとなる。

- ・ 津波高さが4.8m以上～6.5m未満(津波シナリオ区分3)において、原子炉補機冷却系機能喪失に伴う最終ヒートシンクの喪失及び電動の高圧注水系、低圧注水系の機能喪失が発生、さらに、R/Bへの溢水伝播による非常用M/Cの水没により全交流電源喪失が発生する。S/R弁開放には成功するが、RCICが機器の浸水等によりその機能を維持出来ず、高圧及び低圧の注水機能喪失によって炉心損傷に至るシーケンス(TQUV)。また、S/R弁開放後のS/R弁再閉鎖に失敗した場合もRCICに期待できないため、TQUVとなる。

(f)-2：最終ヒートシンク喪失+全交流電源喪失+冷却材喪失

当該事故シーケンスのCDFは、 1.0×10^{-24} (/炉年)であり、具体的には以下のシーケンスとなる。

- ・ 津波高さが4.8m以上～6.5m未満(津波シナリオ区分3)において、原子炉補機冷却系機能喪失に伴う最終ヒートシンクの喪失及び電動の高圧注水系、低圧注水系の機能喪失が発生、さらに、R/Bへの溢水伝播による非常用M/Cの水没により全交流電源喪失し、その後S/R弁開放に失敗することで原子炉压力容器が過圧され、原子炉圧力バウンダリ機能を喪失し、これに伴い原子炉内の冷却材を喪失することで炉心損傷に至るシーケンス(LOCA)。しかし、実質的には無視しうるシーケンスである。

(c)：最終ヒートシンク喪失+全交流電源喪失+直流電源喪失

当該事故シーケンスのCDFは、 2.5×10^{-5} (/炉年)であり、具体的には以下のシーケンスとなる。

- ・ 津波高さが6.5m以上(津波シナリオ区分4)において、(a)-2シーケンスの通り最終ヒートシンク喪失及び全交流電源喪失による全注水機能の喪失に加え、C/B設置の直流電源盤の水没が発生するため直

流電源喪失が発生する。直流電源喪失によって炉心損傷に至るシーケンス(TBD)であり、津波高さ6.5m未満の場合との相違点は原子炉の減圧もできなくなるために、原子炉圧力容器内が高圧(7MPa程度)の状態での炉心損傷に至る点である。

以上を整理した事故シーケンスグループ別のCDFを以下に示す(第3.2.2.d-3(a),(b)表参照)。

(a) : 高圧・低圧注水機能喪失 1.9×10^{-4} (/炉年)(7号炉), 1.6×10^{-4} (/炉年)(6号炉)

(事故シーケンスグループ(a)は、前述の(a)-1, 2が該当し、上記の値はこれらの事故シーケンスを足し合わせたものである。)

津波高さT.M.S.L. +4.8m以上6.5m未満においては、最終ヒートシンク喪失に加えて、全交流電源喪失が同時に発生することとなる。しかしながら、T.M.S.L. +4.2m以上4.8m未満で発生した最終ヒートシンク喪失により、高圧・低圧注水機能を期待できない状態となっており、同時に全交流電源喪失が発生したとしても事象進展としては緩和系の状態は同じである。よって、(a)-1, 2は同一の事故シーケンスとして整理した。

(f) : LOCA時注水機能喪失 1.9×10^{-24} (/炉年)(7号炉), 1.6×10^{-24} (/炉年)(6号炉)

(事故シーケンスグループ(f)は、前述の(f)-1~2が該当し、上記の値はこれらの事故シーケンスを足し合わせたものである。)

S/R弁開放失敗及び注水機能喪失により炉心損傷に至る事象はLOCA時注水機能喪失として整理した。

(c) : 全交流動力電源喪失(直流電源喪失) 2.5×10^{-5} (/炉年)

(事故シーケンスグループ(c)は、前述の(c)が該当する。)

直流電源喪失時によって、原子炉圧力容器内が高圧の状態で炉心損傷に至るシーケンスは全交流動力電源喪失（直流電源喪失）と整理した。

c. 評価結果の分析

起回事象別及び事故シーケンスグループ別の全CDFへの寄与割合を示す円グラフを第3.2.2.d-4(a),(b)図、第3.2.2.d-5(a),(b)図に示す。

本津波PRAにおいて、全CDFは7号炉で 2.1×10^{-4} (/炉年)、6号炉で 1.8×10^{-4} (/炉年)となった。そのうち、高圧・低圧注水機能喪失の寄与割合が7号炉で約89%、6号炉で約86%と大きく、次いで全電源喪失となり、この2つの寄与割合でほぼ100%を占めた。

評価結果から7号炉でT.M.S.L. +4.2m以上、6号炉でT.M.S.L. +4.4m以上では、取水口から建屋への津波の浸入による原子炉補機冷却系の機能喪失が発生し、これにより他の高圧・注水機能等の緩和設備の有無に関わらず炉心損傷に至ることとなる。ただし、T.M.S.L. +6.5m以上においては、新たに直流電源喪失が発生することから、原子炉減圧が不可能となり、緩和系の状態が変化することから、炉心損傷シーケンスとしては、全交流動力電源喪失(直流電源喪失)とした。

③ 重要度解析、不確実さ解析及び感度解析

1) 重要度解析

本評価で期待した緩和系は津波による被水・没水によってその機能を喪失する。重要度解析は、各基事象のCDFやシステムの非信頼度への寄与を評価する手法であるが、上記の通り、緩和系の機能喪失の原因はT/Bのマンホールから津波が浸水することによる「被水・没水」であり、有効な対策はマンホールの止水対策となるため、機器の重要度に関係ないものとなる。そのため重要度解析は実施しない。

2) 不確定性解析

7号炉で津波高さ4.2m以上, 6号炉で津波高さ4.4m以上でのCDFの不確定性解析結果を第3.2.2.d-6(a)図, 第3.2.2.d-6(b)図に示す。本評価では津波高さが4.2m以上(7号炉)あるいは4.4m以上(6号炉)となった場合, 炉心損傷に至ることから, CDFの不確かさは津波ハザードのみで決まる。従って, 津波ハザードの4.2m(7号炉)あるいは4.4m(6号炉)での平均値及びEFをCDFの平均値及びEFとした。

3) 感度解析

津波による影響モードの検討で除外している引き波の影響について感度解析を実施した。その結果, 引き波のCDFへの寄与は, 押し波の約16%程度となる。評価の詳細を添付資料3.2.2.d-1に記載する。

第 3.2.2.a-1 表 考慮すべき津波による影響モード(1/2)

津波の影響	影響の種類	建物・構築物, 機器・配管系への影響	本評価における前提
直接的	浸水による設備の没水, 被水	設備の動的機能損傷, 電気設備の発電/送電機能損傷	安全上重要な機器が多く設置されている C/B, R/B, T/B, Rw/B の建屋外からの浸水を考慮した。電動ポンプ, 電動弁等の動的機能損傷, 電気設備の発電/送電機能損傷を考慮した。
	津波波力, 流体力, 浮力	建物・構築物, 機器・配管系の構造的損傷	屋外設備については波力や流体力, 浮力の影響を受ける以前に, 外部取水口から建屋内への浸水が主な経路となることから, 評価対象から除外した。 T/B からの浸水源となる T/B 地下 1 階マンホールについては, ボルトによる耐力を考慮せず, 津波高さがマンホール高さに到達した時点で浸水すると仮定した。
	海底砂移動	海水取水設備の機能損傷	海底砂移動に関して事故シナリオを検討するためには, 取水口が閉塞する津波高さの評価結果が必要となるが, 現状では定量的な評価をする手法が整備されていないことから, 対象から除外した。
	引き波による水位低下	海水取水設備の機能損傷	引き波の場合, 潮位の低下を検知し, 一時的に海水系ポンプを手動停止させることにより最終ヒートシンクの喪失を防止できる。但し, 津波到達までの時間余裕や手動停止操作の人的過誤確率の設定については, 不確実な要素が多いため, 引き波の影響については感度解析として評価し, 全体の評価には含めないこととした。

第 3.2.2.a-1 表 考慮すべき津波による影響モード(2/2)

津波の影響	影響の種類	建物・構築物，機器・配管系への影響	本評価における前提
	津波によって発電所内の施設から流出した漂流物の発電所施設への衝突や発電所周辺の漁港又は貯木場等から流出した漁船又は木材等の漂流物の発電所施設への衝突	建物・構築物，機器・配管系の構造的損傷	本評価では，大湊側敷地高さ未満の津波において浸水し，炉心損傷に至るという結果が支配的になるため，漂流物の影響については考慮対象外とした。
間接的	津波による高ストレスの条件下で引き起こされる操作失敗	運転員操作の失敗	高ストレスの条件下における操作失敗例として以下が挙げられる。 ・津波襲来後の注水系起動操作など中央制御室において津波後比較的短時間で求められる運転員操作 本評価においては，イベントツリーにおいて人的過誤を考慮するヘディングが無い場合，考慮の対象から除外した。但し，感度解析として実施した引き波の影響評価では，RSW ポンプの手動停止操作が必要となるため，これについては人的過誤を考慮した。
	作業環境に係る設備の支障，アクセス性の阻害	運転員の回復操作の遅延	津波がサイト敷地に到達すると瓦礫による運転員の回復操作の遅延，アクセス性の阻害が考えられ，時間を要する可能性がある。ただし，本評価では，大湊側敷地高さ未満の津波において浸水し，炉心損傷に至るという結果が支配的になるため，これらの影響については考慮対象外とした。

第 3.2.2.a-2 表 機器リスト(7号炉抜粋)(1/2)

系統・設備名称	対象設備			設置高さ T.P. (m)
	総称名	機器名称	機器設置位置 (フロアー)	
影響緩和機能(フロントライン系)に関する設備				
MS系	弁	SRV	PCV TP 15.6	15.6
HPCF(B)系	ポンプ	HPCFポンプ(B)	R/B B3F-H	-7.9
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-II	R/B B1F-O	4.8
	空調機	HPCFポンプ(B)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
HPCF(C)系	ポンプ	HPCFポンプ(C)	R/B B3F-H	-7.9
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-III	R/B B1F-O	4.8
	空調機	HPCFポンプ(C)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
GSP	タンク	復水貯蔵槽(上部ハッチ)	RW/B 1F	
RCIC系	ポンプ	RCICポンプ	R/B B3F-H	-7.3
		:	:	:
	タービン	RCIC駆動タービン	R/B B3F-H	-7.3
		:	:	:
	熱交換機	潤滑油冷却器 (タービン用)	R/B B3F	-8.2
		:	:	:
	タンク	油タンク	R/B B3F	-8.2
		:	:	:
	コンデンサ	RCICパロメトリックコンデンサ	R/B B3F	-8.2
	制御盤	RCICタービン制御盤 DIV-I	R/B B1F-O	4.8
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-I	R/B B1F-O	4.8
		:	:	:
	中継端子箱	E51-M0-F004中継端子箱	R/B B1F-O	4.8
	:	:	:	
MS系	弁	SRV(電磁弁含む)	PCV TP 15.6	15.6
	弁	SRV(電磁弁含む)	PCV TP 15.6	15.6
	弁	弁	PCV TP 18.1	18.1
	ラック	窒素ガスボンベラック(A)	R/B 4F	31.7
	:	:	:	:
RHR(A)系LPFL	ポンプ	RHRポンプ(A)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換機	RHR熱交換器(A)	R/B B3F	-8.2
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-I	R/B B1F-O	4.8
	空調機	RHRポンプ(A)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
RHR(B)系LPFL	ポンプ	RHRポンプ(B)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換機	RHR熱交換器(B)	R/B B3F	-8.2
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-II	R/B B1F-O	4.8
	空調機	RHRポンプ(B)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
RHR(C)系LPFL	ポンプ	RHRポンプ(C)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換機	RHR熱交換機(C)	R/B B3F	-8.2
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-III	R/B B1F-O	4.8
	空調機	RHRポンプ(C)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
RHR(A)系	ポンプ	RHRポンプ(A)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換機	RHR熱交換器	R/B B3F	-9.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-I	R/B B1F-O	4.8
		:	:	:
	空調機	RHRポンプ(A)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
RHR(B)系	ポンプ	RHRポンプ(B)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換機	RHR熱交換器	R/B B3F	-9.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-II	R/B B1F-O	4.8
		:	:	:
	空調機	RHRポンプ(B)室空調機	R/B B3F-H	-8.0
RHR(C)系	ポンプ	RHRポンプ(C)	R/B B3F-H	-7.9
	熱交換器	RHR熱交換器	R/B B3F	-9.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-III	R/B B1F-O	4.8
		:	:	:
	空調機	RHRポンプ(C)室空調機	R/B B3F-H	-8.0

第 3.2.2.a-2 表 機器リスト(7号炉抜粋)(2/2)

系統・設備名称	対象設備			設置高さ T.P. (m)
	機器・設備	機器名称	機器設置位置 (フロア)	
C/B				
直流電源設備	蓄電池	直流125V蓄電池 7A	C/B B1F	6.5
		直流125V蓄電池 7B	C/B B1F	6.5
		:	:	:
	充電器	直流125V充電器盤 7A	C/B B1F	6.5
		直流125V充電器盤 7B	C/B B1F	6.5
		:	:	:
	直流主母線盤	直流125V主母線盤 7A	C/B B1F	6.5
		直流125V主母線盤 7B	C/B B1F	6.5
	:	:	:	
MCC	直流MCC	MCC(DC)	R/B B1 F-0	4.8
C/B				
計装系	計装ラック	原子炉系(I)計装ラック	R/B B1 F-0	4.8
		原子炉系(II)計装ラック	R/B B1 F-0	4.8
		:	:	:
制御系	中央制御室制御盤	中央運転監視盤 1	C/B 2F	17.3
		中央運転監視盤 2	C/B 2F	17.3
		:	:	:
	中央制御室外原子炉停止制御	R/B B1 F-0	4.8	
		:	:	:
バイタル交流電源設備	バイタル交流電源設備	バイタル交流電源装置 7A	C/B B1F	6.5
		バイタル交流電源装置 7B	C/B B1F	6.5
		:	:	:
非常用取水路			Y/D	4.2
T/B				
RCW(A)系	ポンプ	RCWポンプ(A)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	熱交換器	RCW熱交換器(A)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	タンク	サージタンク	R/B 4F-0	31.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-I	R/B B1 F-0	4.8
弁	RCW系バルブ	T/B B1F	4.9	
		:	:	:
RCW(B)系	ポンプ	RCWポンプ(B)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	熱交換器	RCW熱交換器(B)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	タンク	サージタンク	R/B 4F-0	31.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-II	R/B B1 F-0	4.8
弁	RCW系バルブ	R/B B1F	4.8	
		:	4.9	:
RCW(C)系	ポンプ	RCWポンプ(C)	T/B B2F	-4.6
		:	:	:
	熱交換器	RCW熱交換器(C)	T/B B2F	-5.1
		:	:	:
	タンク	サージタンク	R/B 4F-0	31.7
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-III	R/B B1 F-0	4.8
弁	RCW系バルブ	T/B B2F	-5.1	
RSW(A)系	ポンプ	RSWポンプ(A)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-I	R/B B1 F-0	4.8
		RSW系バルブ	T/B B1F	4.9
RSW(B)系	ポンプ	RSWポンプ(B)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-II	R/B B1 F-0	4.8
		RSW系バルブ	T/B B1F	4.9
RSW(C)系	ポンプ	RSWポンプ(C)	T/B B1F	4.9
		:	:	:
	多重伝送盤	安全系多重伝送現場盤 DIV-III	R/B B1 F-0	4.8
M/O		M/O 7C	R/B B1 F-0	4.8
		:	:	:
P/C		7C-1	R/B B1 F-0	4.8
		7C-2	T/B 1F	12.3
		:	:	:
MCC		7C-1-1	R/B B1 F-0	4.8
		7C-1-2	R/B B1 F-0	4.8
		:	:	:
非常用ディーゼ	ディーゼル機関	ディーゼル機関	R/B 1F-0	12.3

第 3.2.2.a-3 表 重要事故シークエンス評価用の津波シナリオ区分 (7 号炉)

シナリオ区分	津波高さ (T.M.S.L. (+m))	津波によって損傷する主要な機器とその設置箇所(T.M.S.L.(m))		起回事象	事故シナリオの概要
1	$3.5 \leq x < 4.2$	原子炉補機冷却海水ポンプ B 系電源	T/B B1F +3.5m	・ <u>過渡事象(全給水機能喪失等)</u>	<ul style="list-style-type: none"> 取水口から当該エリアのマンホール (T.M.S.L. +3.5m) から T/B B1F に浸水。 T/B B1F に設置されている RSW(B)ポンプ用電源盤が機能喪失し、当該ポンプも機能喪失する。 溢水伝播により、給水・復水系及びタービン建屋設備の機能喪失に伴う過渡事象(全給水機能喪失等)が発生。
		タービン地下 2F 設置電源	T/B B2F -4.8m		
2	$4.2 \leq x < 4.8$	原子炉補機冷却系ポンプ	T/B B1F +4.2m(A, B 系) T/B B2F -4.1m(C 系)	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>最終ヒートシンク喪失</u> ・ <u>過渡事象(全給水機能喪失等)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+4.2m で RCW(A)ポンプの電動機下端部が被水し、RCW(A)ポンプが機能喪失。 階段室を經由して地下 2 階に溢水伝播し、地下 2 階に設置されている RCW(C)ポンプの電動機下端部が被水し、RCW(C)ポンプが機能喪失。 補機冷却系の機能喪失により電動駆動の高圧・低圧注水機能(HPCF, LPFL)を喪失、浸水等により RCIC を機能喪失し、炉心損傷に至る。
		タービン補機冷却系ポンプ	T/B B2F -4.0m		
		非常用炉心冷却系ポンプ	R/B B3F -8.2m		
		常用メタクラ	C/B B2F -2.7m		
		復水補給水系ポンプ	Rw/B B3F -6.1m		
3	$4.8 \leq x < 6.5$	タービン補機冷却海水系ポンプ	T/B B1F +5.7m	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>全交流電源喪失</u> ・ <u>最終ヒートシンク喪失</u> ・ <u>過渡事象(全給水機能喪失等)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+4.8m で非常用メタクラが水没し、全交流電源喪失が発生する。 シナリオ区分 2 と同様に全注水系の機能喪失によって、炉心損傷に至る。
		原子炉補機冷却海水系ポンプ	T/B B1F +5.5m		
		原子炉隔離時冷却系制御盤	R/B B1F +4.8m		
		非常用メタクラ	R/B B1F +4.8m		
4	$6.5 \leq x$	直流電源盤	C/B B1F +6.5m	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>直流電源喪失</u> ・ <u>全交流電源喪失</u> ・ <u>最終ヒートシンク喪失</u> ・ <u>過渡事象(全給水機能喪失等)</u> 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+6.5m で直流電源盤が水没し直流電源喪失が発生する。これにより逃がし安全弁による原子炉減圧が不可能となる。

第 3.2.2.a-4 表 重要事故シーケンス評価用の津波シナリオ区分 (6 号炉)

シナリオ区分	津波高さ (T.M.S.L. (+m))	津波によって損傷する主要な機器とその設置箇所(T.M.S.L.(m))		起回事象	事故シナリオの概要
1	$3.5 \leq x < 4.4$	原子炉補機冷却海水ポンプ B 系電源	T/B B1F +3.5m	・ 過渡事象(全給水機能喪失等)	<ul style="list-style-type: none"> 取水口から当該エリアのマンホール (T.M.S.L. +3.5m) から T/B B1F に浸水。 T/B B1F に設置されている RSW(B)ポンプ用電源盤が機能喪失し、当該ポンプも機能喪失する。 溢水伝播により、給水・復水系及びタービン建屋設備の機能喪失に伴う過渡事象(全給水機能喪失等)が発生。
		タービン地下 2F 設置電源	T/B B2F -4.8m		
2	$4.4 \leq x < 4.8$	原子炉補機冷却系ポンプ	T/B B1F +4.4m(A, B 系) T/B B2F -4.1m(C 系)	<ul style="list-style-type: none"> 最終ヒートシンク喪失 過渡事象(全給水機能喪失等) 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+4.4m で RCW(A)ポンプの電動機下端部が被水し、RCW(A)ポンプが機能喪失。 階段室を經由して地下 2 階に溢水伝播し、地下 2 階に設置されている RCW(C)ポンプの電動機下端部が被水し、RCW(C)ポンプが機能喪失。 補機冷却系の機能喪失により電動駆動の高圧・低圧注水機能(HPCF, LPFL)を喪失、浸水等により RCIC を機能喪失し、炉心損傷に至る。
		タービン補機冷却系ポンプ	T/B B2F -3.9m		
		非常用炉心冷却系ポンプ	R/B B3F -8.2m		
		常用メタクラ	C/B B2F -2.7m		
		復水補給水系ポンプ	Rw/B B3F -6.1m		
3	$4.8 \leq x < 6.5$	タービン補機冷却海水系ポンプ	T/B B1F +5.4m	<ul style="list-style-type: none"> 全交流電源喪失 最終ヒートシンク喪失 過渡事象(全給水機能喪失等) 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+4.8m で非常用メタクラが水没し、全交流電源喪失が発生する。 シナリオ区分 2 と同様に全注水系の機能喪失によって、炉心損傷に至る。
		原子炉補機冷却海水系ポンプ	T/B B1F +5.6m		
		原子炉隔離時冷却系制御盤	R/B B1F +4.8m		
		非常用メタクラ	R/B B1F +4.8m		
4	$6.5 \leq x$	直流電源盤	C/B B1F +6.5m	<ul style="list-style-type: none"> 直流電源喪失 全交流電源喪失 最終ヒートシンク喪失 過渡事象(全給水機能喪失等) 	<ul style="list-style-type: none"> 津波高さ T.M.S.L.+6.5m で直流電源盤が水没し直流電源喪失が発生する。これにより逃がし安全弁による原子炉減圧が不可能となる。

第 3.2.2.d-1(a)表 津波シナリオ区分毎の津波発生頻度及び炉心損傷頻度(7号炉)

シナリオ区分	津波高さ (T.M.S.L.)	炉心損傷頻度(/炉年)	寄与(%)
1,2	4.8m 未満	8.8×10^{-5}	41
3	4.8m~6.5m	1.0×10^{-4}	48
4	6.5m 以上	2.5×10^{-5}	11
全炉心損傷頻度		2.1×10^{-4}	100

第 3.2.2.d-1(b)表 津波シナリオ区分毎の津波発生頻度及び炉心損傷頻度(6号炉)

シナリオ区分	津波高さ (T.M.S.L.)	炉心損傷頻度(/炉年)	寄与(%)
1,2	4.8m 未満	5.4×10^{-5}	30
3	4.8m~6.5m	1.0×10^{-4}	56
4	6.5m 以上	2.5×10^{-5}	14
全炉心損傷頻度		1.8×10^{-4}	100

第 3.2.2.d-2(a)表 起因事象別の CDF 評価結果(7 号炉)

起因事象	事故シーケンス	事故シーケンス別 CDF (炉年)	起因事象別 CDF(炉年)	
				割合
最終ヒートシンク喪失	最終ヒートシンク喪失 +高圧・低圧注水機能喪失	8.8×10^{-5}	8.8×10^{-5}	41%
	最終ヒートシンク喪失 +冷却材喪失 (S/R 弁開放(圧力制御)失敗に伴う LOCA)	8.8×10^{-25}		
最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失+高圧・低圧注水機能喪失	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	48%
	最終ヒートシンク喪失+全交流電源喪失 +冷却材喪失 (S/R 弁開放(圧力制御)失敗に伴う LOCA)	1.0×10^{-24}		
最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +直流電源喪失	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +直流電源喪失	2.5×10^{-5}	2.5×10^{-5}	11%
合計	—	—	2.1×10^{-4}	100%

第 3.2.2.d-2(b)表 起因事象別の CDF 評価結果(6 号炉)

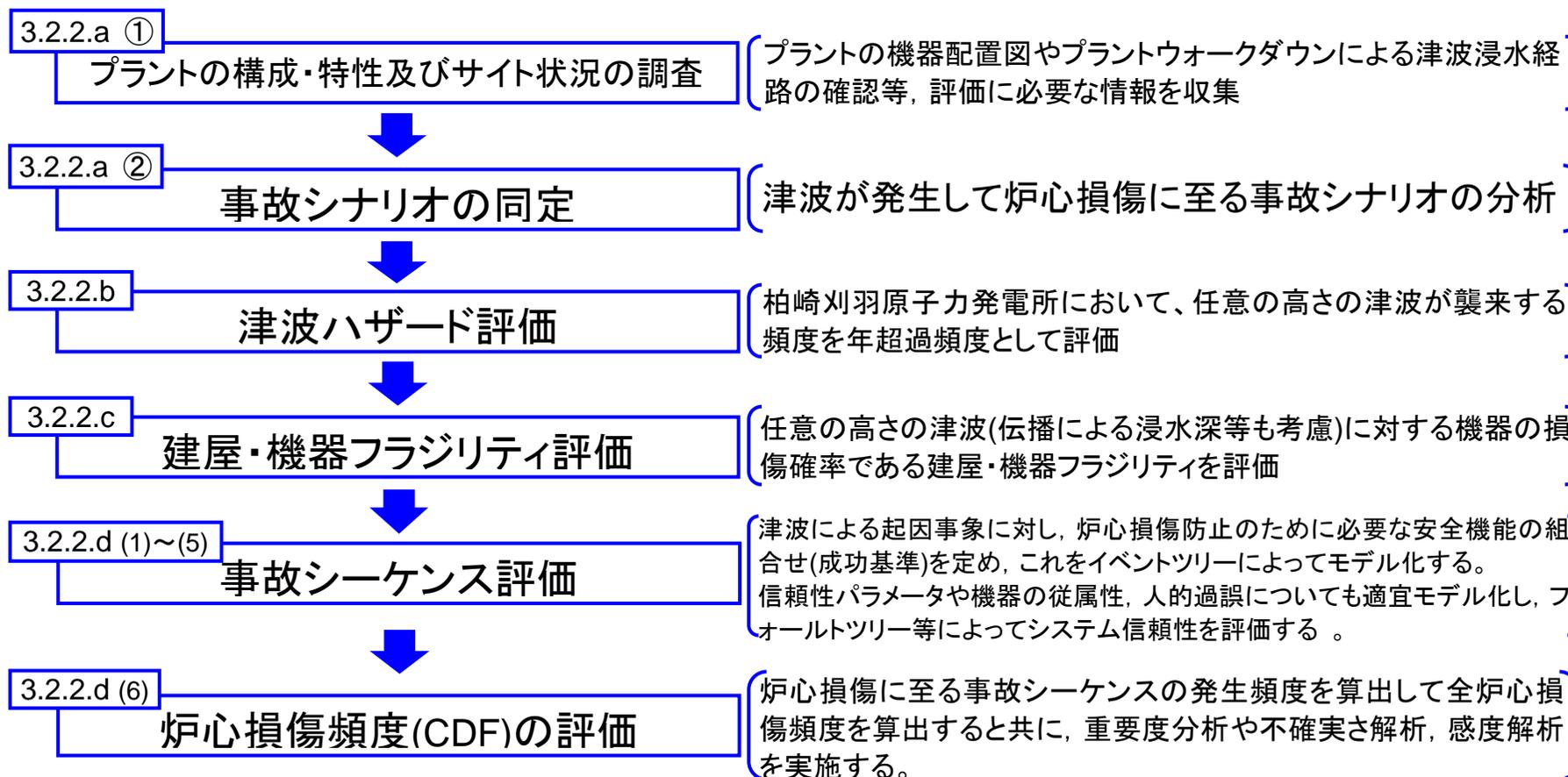
起因事象	事故シーケンス	事故シーケンス別 CDF (炉年)	起因事象別 CDF(炉年)	
				割合
最終ヒートシンク喪失	最終ヒートシンク喪失 +高圧・低圧注水機能喪失	5.4×10^{-5}	5.4×10^{-5}	30%
	最終ヒートシンク喪失 +冷却材喪失 (S/R 弁開放(圧力制御)失敗に伴う LOCA)	5.4×10^{-25}		
最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失+高圧・低圧注水機能喪失	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	56%
	最終ヒートシンク喪失+全交流電源喪失 +冷却材喪失 (S/R 弁開放(圧力制御)失敗に伴う LOCA)	1.0×10^{-24}		
最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +直流電源喪失	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +直流電源喪失	2.5×10^{-5}	2.5×10^{-5}	14%
合計	—	—	1.8×10^{-4}	100%

第 3.2.2.d-3(a)表 事故シーケンスグループ別の CDF 評価結果(7号炉)

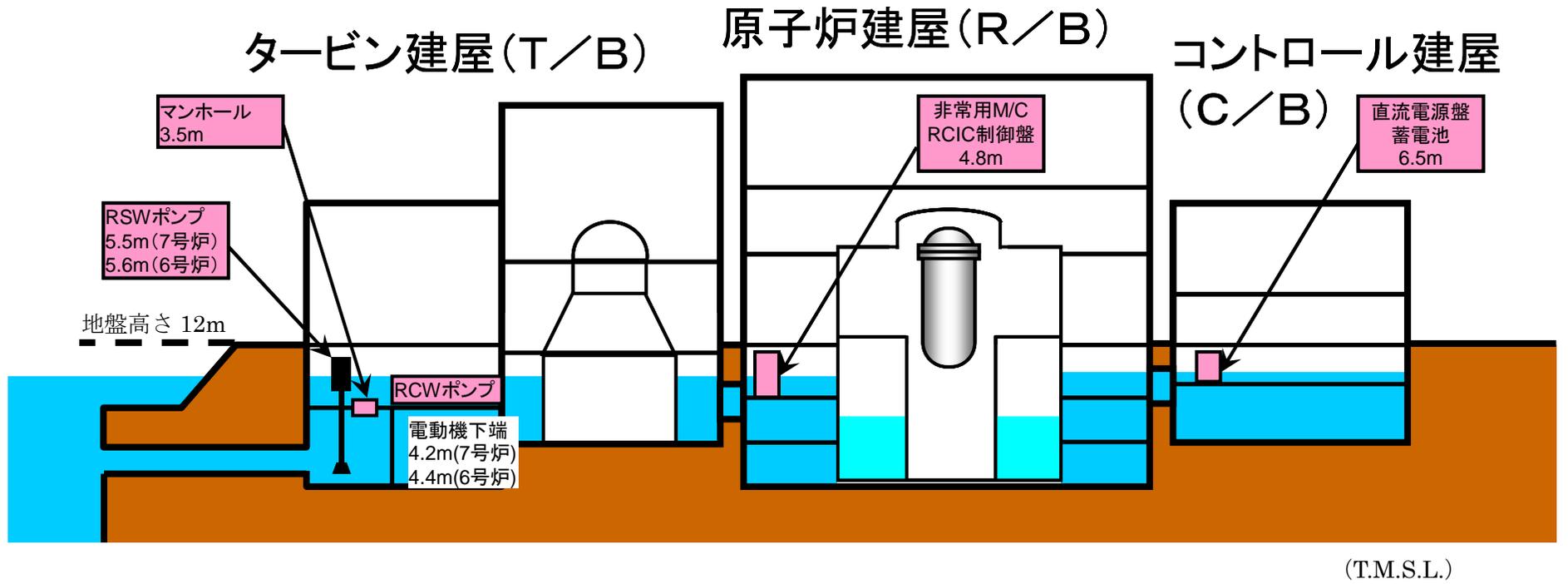
	事故シーケンス	事故シーケンス グループ	シーケン ス別 CDF (炉年)	事故シーケンス グループ別 CDF(炉年)	
					割合
(a)-1	最終ヒートシンク喪失 +高圧・低圧注水機能喪失	高圧・低圧注水機能喪失	8.8×10^{-5}	1.9×10^{-4}	89%
(a)-2	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +高圧・低圧注水機能喪失		1.0×10^{-4}		
(f)-1	最終ヒートシンク喪失 +冷却材喪失(S/R 弁開放 (圧力制御)失敗に伴う LOCA)	LOCA 時注水機能喪失	8.8×10^{-25}	1.9×10^{-24}	0%
(f)-2	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +冷却材喪失(S/R 弁開放 (圧力制御)失敗に伴う LOCA)		1.0×10^{-24}		
(c)	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +直流電源喪失	全交流動力電源喪失 (直流電源喪失)	2.5×10^{-5}	2.5×10^{-5}	11%
—	合計	—	—	2.1×10^{-4}	100%

第 3.2.2.d-3(b)表 事故シーケンスグループ別の CDF 評価結果(6 号炉)

	事故シーケンス	事故シーケンス グループ	シーケン ス別 CDF (炉年)	事故シーケンス グループ別 CDF(炉年)	
					割合
(a)-1	最終ヒートシンク喪失 +高圧・低圧注水機能喪失	高圧・低圧注水機能喪失	5.4×10^{-5}	1.6×10^{-4}	86%
(a)-2	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +高圧・低圧注水機能喪失		1.0×10^{-4}		
(f)-1	最終ヒートシンク喪失 +冷却材喪失(S/R 弁開放 (圧力制御)失敗に伴う LOCA)	LOCA 時注水機能喪失	5.4×10^{-25}	1.6×10^{-24}	0%
(f)-2	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 +冷却材喪失(S/R 弁開放 (圧力制御)失敗に伴う LOCA)		1.0×10^{-24}		
(c)	最終ヒートシンク喪失 +全交流電源喪失 直流電源喪失	全交流動力電源喪失 (直流電源喪失)	2.5×10^{-5}	2.5×10^{-5}	14%
—	合計	—	—	1.8×10^{-4}	100%



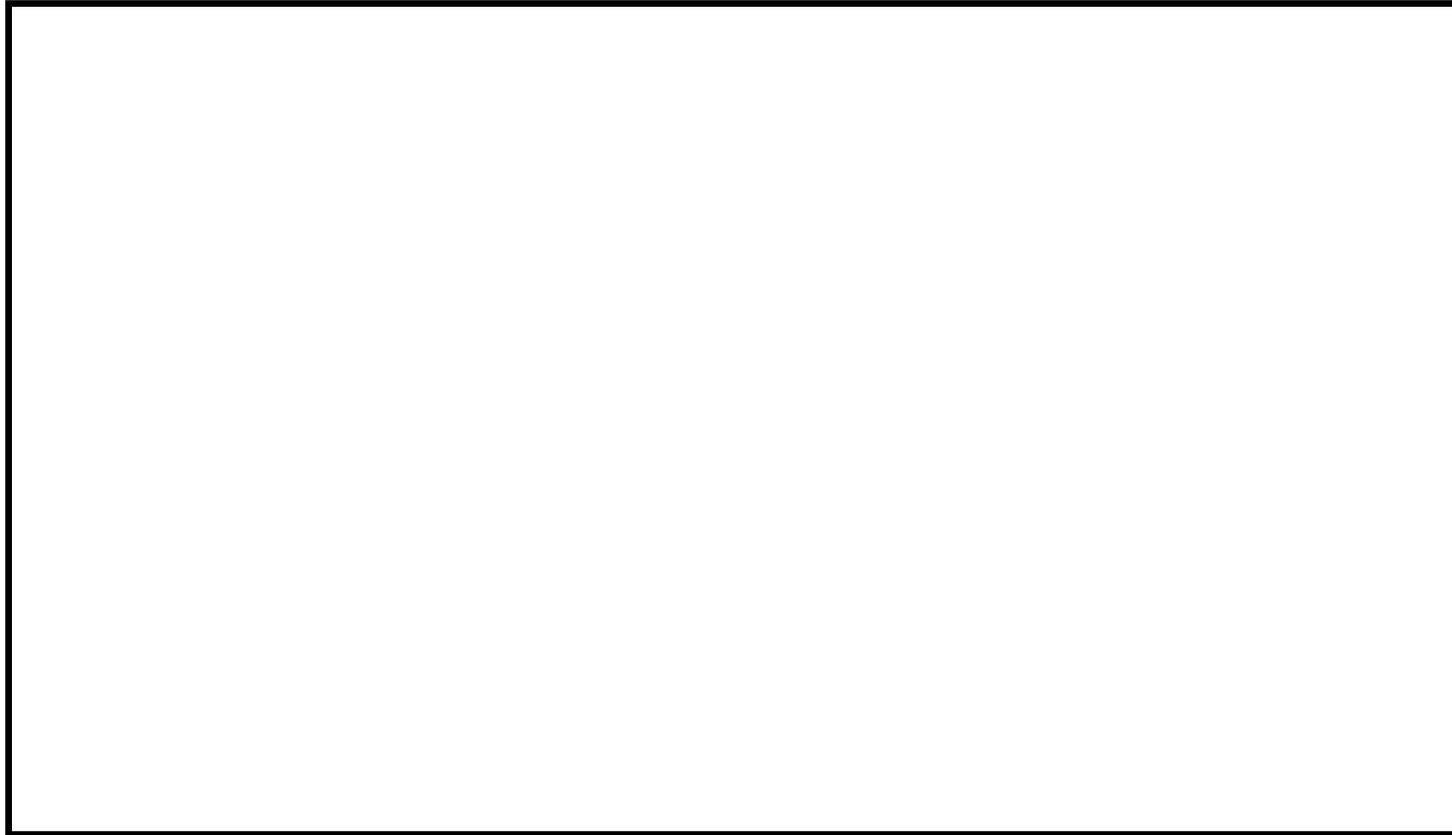
第 3.2.2-1 図 津波レベル 1PRA のフロー



第 3.2.2.a-1 図 プラント概要

【浸水経路調査(発電所外)】

津波襲来方向



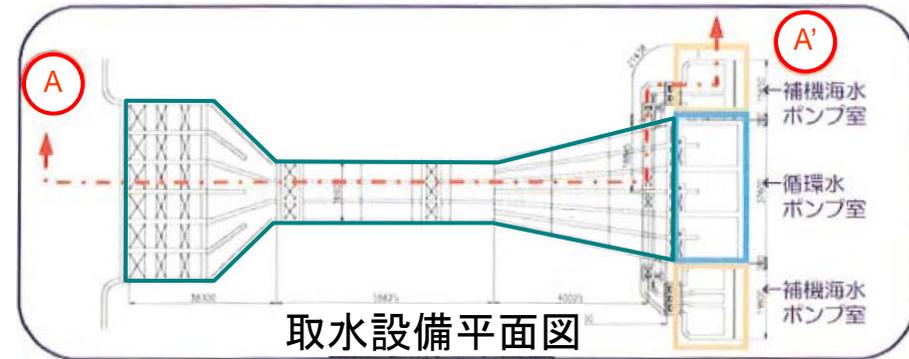
柏崎刈羽原子力発電所大湊側敷地平面図

黒枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

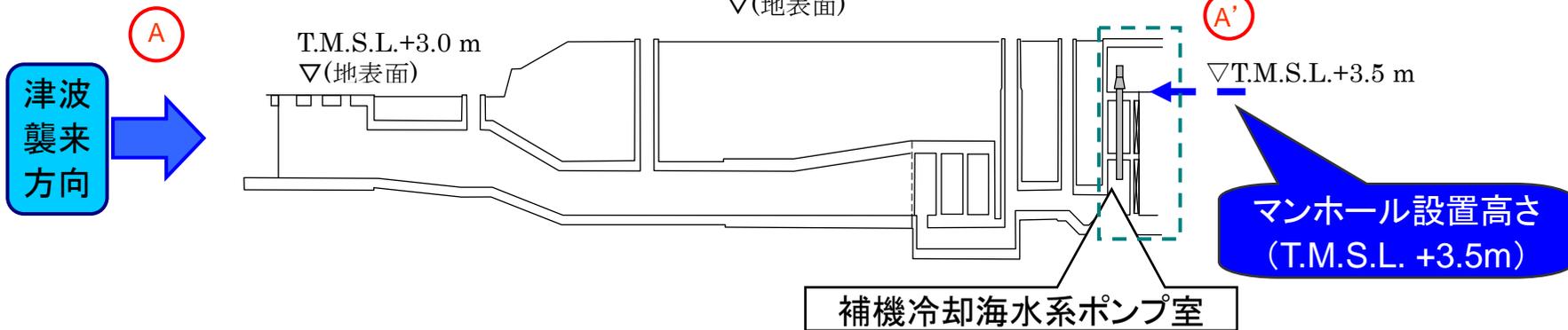
3.2.2-32

【浸水経路調査(取水口～T/B)】

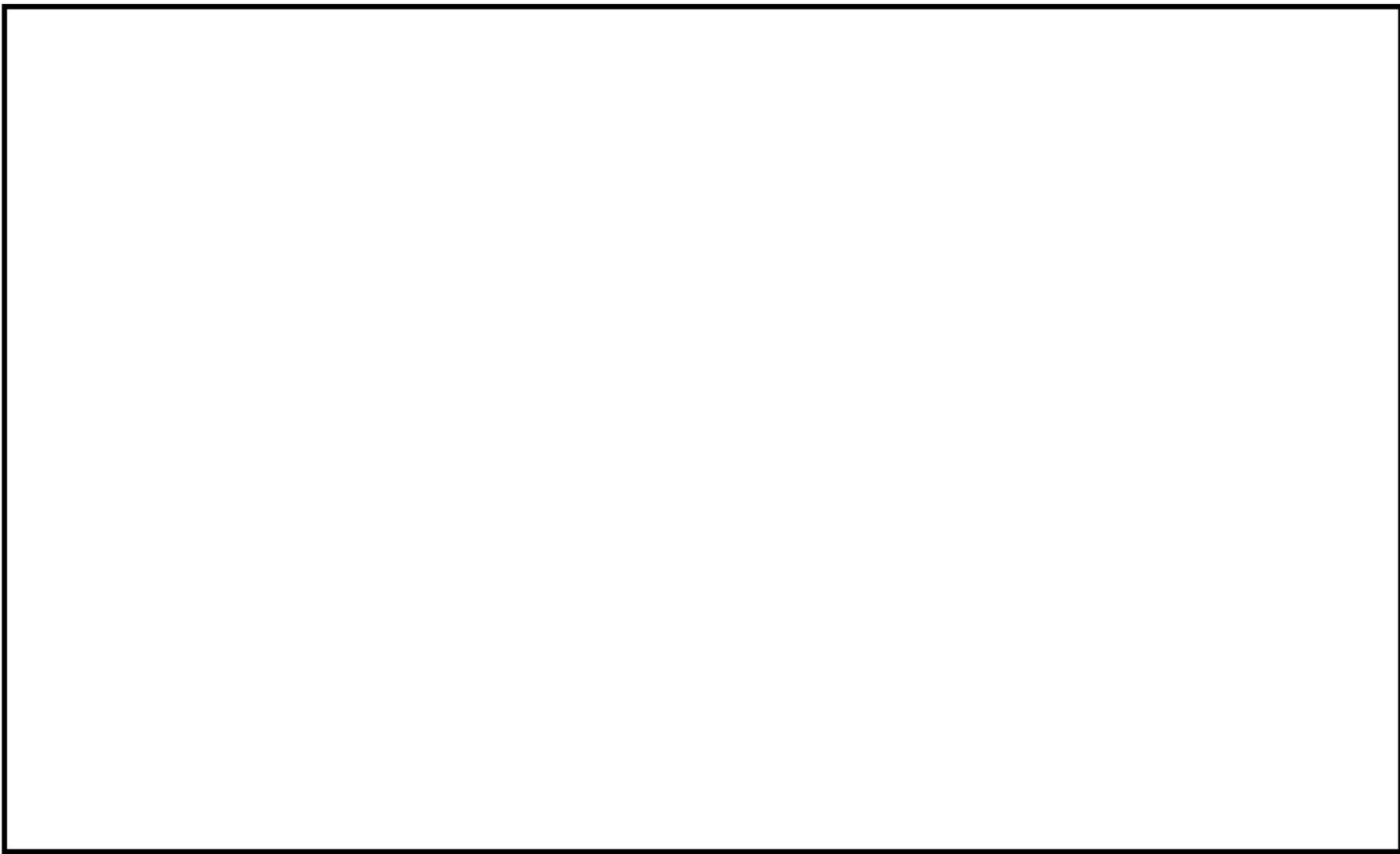
津波により取水口から進入した津波は、マンホール高さ3.5mにおいて浸水を開始。同高さ設置の電源盤水没により原子炉補機冷却系(B)系機能喪失。



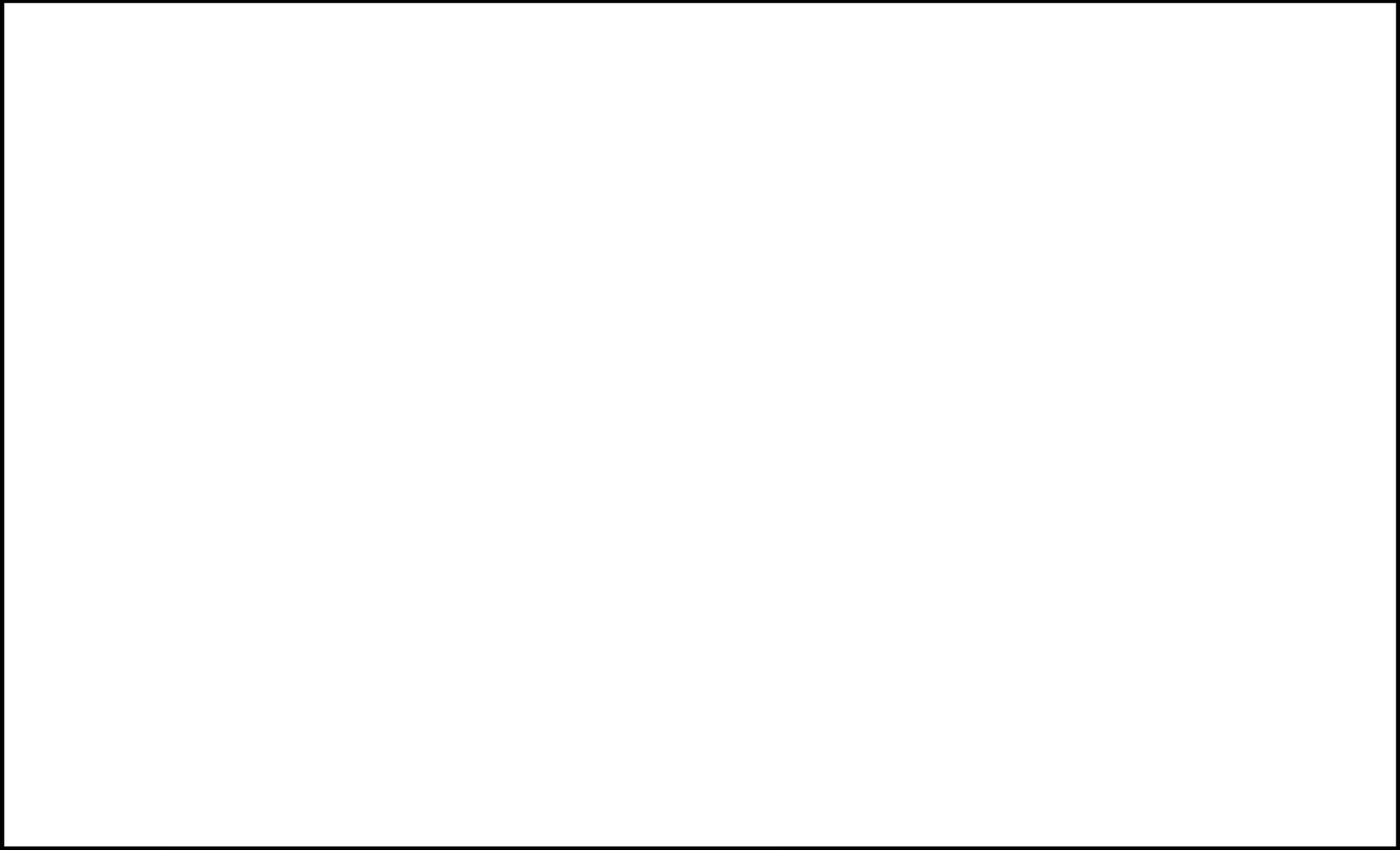
3.2.2-33



7号炉取水設備断面図
取水設備からT/Bへの浸水経路



黒枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



黒枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

黒枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

津波PRA現場調査 チェックシート (溢水伝播、その他)

担当会社名: []	
プラント名	柏崎刈羽原子力発電所第1号機 確認日時 2013年 2月 22日 (14:00)
建屋名	[]
フロア	[] 部屋名称 []

分類	確認項目	チェック
貫通部	対象エリア (床・壁部) の貫通部 止水条件に着目して確認	
	①配管貫通部は止水処理をしているか?	問題なし・要検討・適用外
	②トレイ貫通部は止水処理をしているか?	問題なし・要検討・適用外
	③電線管貫通部は止水処理をしているか?	問題なし・要検討・適用外
	④ダクト貫通部は止水処理をしているか?	問題なし・要検討・適用外
	⑤床ファンネルは止水処理をしているか?	問題なし・要検討・適用外
扉および建屋構築物	対象設備の境界部 止水条件に着目して確認	
	⑥浸水防止扉のシール部は健全となっているか? また扉の開口下端の境は止水対策を考慮しているか?	問題なし・要検討・適用外
	⑦建屋外壁部の止水状態は健全となっているか? 空調ルーバ等の開口部に関しては想定津波高さの以下は止水対策をとっているか?	問題なし・要検討・適用外
	⑧建屋内・外のブロックアウト壁は止水対策を考慮しているか?	問題なし・要検討・適用外
	⑨溢水経路上の建屋内の床ハッチ開口部および境について止水対策を考慮しているか?	問題なし・要検討・適用外
	⑩溢水経路上の階段・E/Vは境について止水対策を考慮しているか?	問題なし・要検討・適用外
その他	操作性等に着目して確認	
	⑪緊急時の操作に際し、障害となる事項はないか?	問題なし・要検討・適用外
	⑫	問題なし・要検討・適用外
	⑬	問題なし・要検討・適用外
	⑭	問題なし・要検討・適用外
		問題なし・要検討・適用外

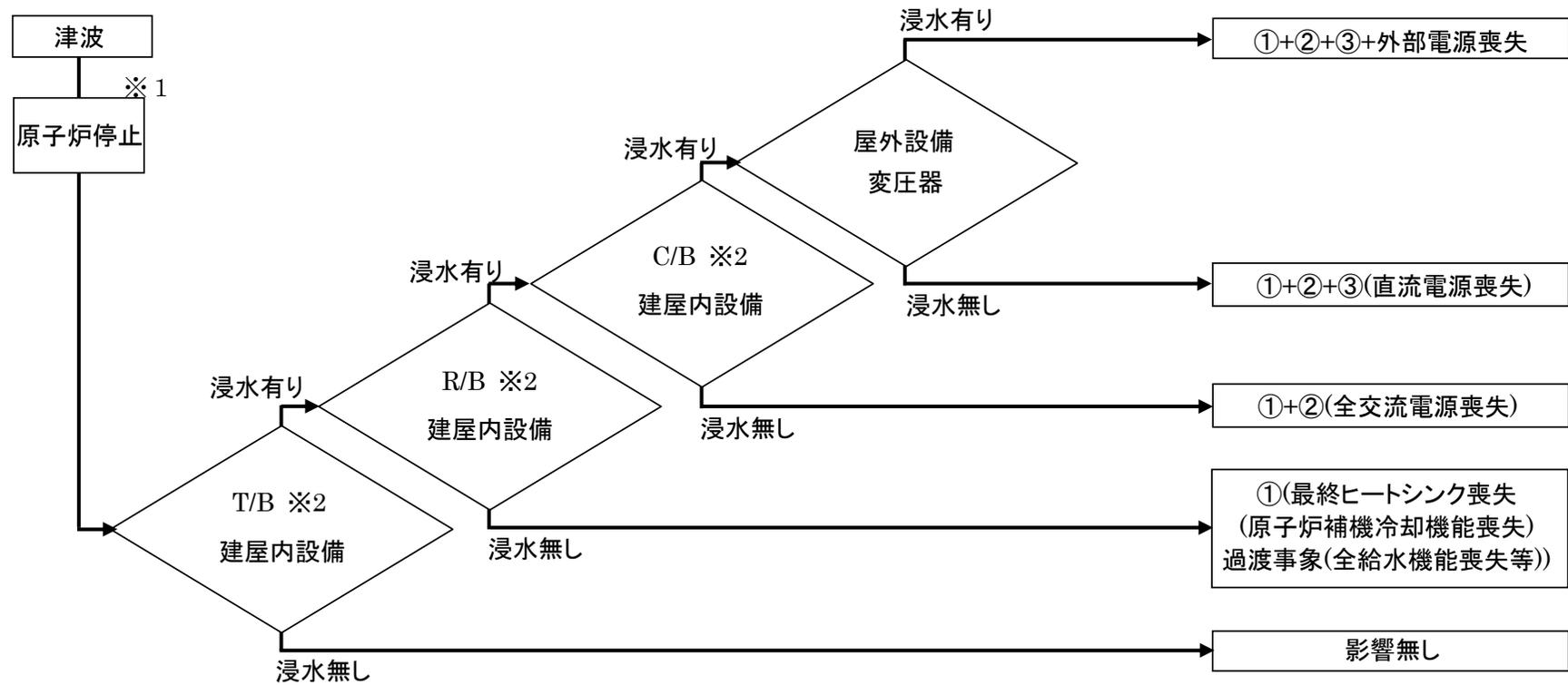
特記事項	【RCID室への貫通口の確認 (2/3)】
	<ul style="list-style-type: none"> ・貫通部止水済み (R-B3-4 (北側通路) 側: 現場写真A, C参照) ・オフセットダクト開口有り (R-B3-4 (北側通路) 側: 現場写真D参照) ・機器直上に開口部は無いが、機器搬出入用ハッチについては止水対策が必要 ・床ドレンファンネルについては、R-B3-5 (RHRポンプ (A) 室) 側からの独立防御として逆止弁の設置が必要 ・シリコンゴム・ラバーブーツに関してはメーカー推奨の耐用年数が10年 (PD-46-0015 床壁貫通部設計仕様書) となっていることから、電力殿にて施工時期及び、有効期限を確認願います。

現場写真等	[]
-------	-----

3.2.2-37

第3.2.2.a-3 図 プラントウォークダウンチェックシート

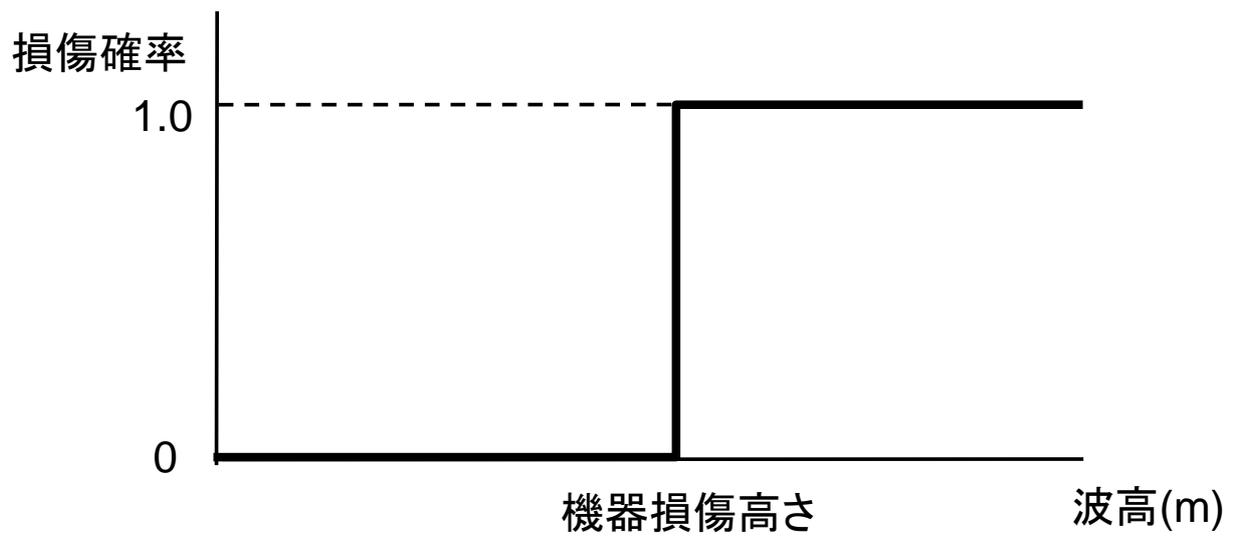
黒枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。



※1 津波襲来までに原子炉は停止しているものとする。

※2 本評価では防潮堤，津波防護施設，浸水防止施設は対象としない。

第 3.2.2.a-4 図 起因事象の抽出フロー



第 3.2.2.c-1 図 被水・没水に関するフラジリティ曲線

津波高さ	12m	6.5m	4.8m	4.2m	3.5m	発生する起因事象
以下→						起因となる事象発生無し
以上↓						①
						①+②
						①+②+③
						①+②+③+④
						①+②+③+④+⑤

①過渡事象, ②最終ヒートシンク喪失(LUHS), ③全交流動力電源喪失(SBO)
 ④直流電源喪失, ⑤外部電源喪失

第 3.2.2.d-1(a)図 津波 PRA における起因事象の津波高さ別イベントツリー(7 号炉)

津波高さ	12m	6.5m	4.8m	4.4m	3.5m	発生する起因事象
以下→						起因となる事象発生無し
以上↓						①
						①+②
						①+②+③
						①+②+③+④
						①+②+③+④+⑤

①過渡事象, ②最終ヒートシンク喪失(LUHS), ③全交流動力電源喪失(SBO)
 ④直流電源喪失, ⑤外部電源喪失

第 3.2.2.d-1(b)図 津波 PRA における起因事象の津波高さ別イベントツリー(6 号炉)

津波高さ 4.2m~4.8m (LUHS)	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高圧注水	原子炉 ^{※1} 減圧	低圧注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※2} (/炉年)
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	① ^{※3}
							TQUX	—
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
TQUV	② ^{※3}							
TQUX	—							
LOCA	8.8×10^{-25}							

※1 本イベントツリーでは、高圧注水及び低圧注水の失敗確率が 1 であり、これは原子炉減圧の成否に依らない。このため原子炉減圧の分岐は考慮せず、高圧注水失敗後は高圧・低圧注水機能喪失に整理している。

※2 本イベントツリーで発生頻度を“—”としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

※3 ①+② = 8.8×10^{-5} (/炉年)

第 3.2.2.d-2(a)図 最終ヒートシンク喪失(LUHS)のイベントツリー(7号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +4.2~4.8m)

津波高さ 4.8m~6.5m (LUHS+SBO ^{※1})	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高圧注水	原子炉 ^{※2} 減圧	低圧注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※3} (/炉年)
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	① ^{※4}
							TQUX	—
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
TQUV	② ^{※4}							
TQUX	—							
LOCA	1.0×10^{-24}							

※1 全交流電源喪失(SBO)が発生するため、一部の最終状態を TB シーケンスとして整理することもできるが、浸水経路の観点から、先に LUHS が発生することを考慮し、第 3.2.2-d-2(a)図と同様の最終状態として整理した。

※2 本イベントツリーでは、高圧注水及び低圧注水の失敗確率が 1 であり、これは原子炉減圧の成否に依らない。このため原子炉減圧の分岐は考慮せず、高圧注水失敗後は高圧・低圧注水機能喪失に整理している。

※3 本イベントツリーで発生頻度を“—”としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

※4 ①+② = 1.0×10^{-4} (/炉年)

第 3.2.2.d-2(b)図 LUHS 及び全交流電源喪失(SBO)のイベントツリー(7号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +4.8~6.5m)

津波高さ 6.5m以上 (LUHS+SBO ^{※1})	直流電源	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高圧注水	原子炉 減圧	低圧注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※2} (/炉年)
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	TW	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	TW	—	—	—	—	—	—	—	—
	TQUV	—	—	—	—	—	—	—	—
	TQUX	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	TW	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	TW	—	—	—	—	—	—	—	—
	TQUV	—	—	—	—	—	—	—	—
	TQUX	—	—	—	—	—	—	—	—
LOCA	—	—	—	—	—	—	—	—	
TBD	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5 × 10 ⁻⁵

※1 全交流電源喪失(SBO)が発生するため、一部の最終状態を TB シーケンスとして整理することもできるが、浸水経路の観点から、先に LUHS が発生することを考慮し、第 3.2.2-d-2(a) 図と同様の最終状態として整理した。

※2 本イベントツリーで発生頻度を “—” としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

第 3.2.2.d-2(c)図 LUHS, SBO 及び直流電源喪失のイベントツリー(7 号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +6.5m 以上)

津波高さ 4.4m~4.8m (LUHS)	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高压注水	原子炉 ^{※1} 減圧	低压注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※2} (/炉年)
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	① ^{※3}
							TQUX	—
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	② ^{※3}
							TQUX	—
							LOCA	5.4×10^{-25}

※1 本イベントツリーでは、高压注水及び低压注水の失敗確率が 1 であり、これは原子炉減圧の成否に依らない。このため原子炉減圧の分岐は考慮せず、高压注水失敗後は高压・低压注水機能喪失に整理している。

※2 本イベントツリーで発生頻度を“—”としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

※3 ①+② = 5.4×10^{-5} (/炉年)

第 3.2.2.d-3(a)図 最終ヒートシンク喪失(LUHS)のイベントツリー(6号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +4.4~4.8m)

津波高さ 4.8m~6.5m (LUHS+SBO ^{※1})	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高压注水	原子炉 ^{※2} 減圧	低压注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※3} (/炉年)
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	① ^{※4}
							TQUX	—
							—	—
							TW	—
							—	—
							TW	—
							TQUV	② ^{※4}
							TQUX	—
							LOCA	1.0×10^{-24}

※1 全交流電源喪失(SBO)が発生するため、一部の最終状態を TB シーケンスとして整理することもできるが、浸水経路の観点から、先に LUHS が発生することを考慮し、第 3.2.2-d-3(a)図と同様の最終状態として整理した。

※2 本イベントツリーでは、高压注水及び低压注水の失敗確率が 1 であり、これは原子炉減圧の成否に依らない。このため原子炉減圧の分岐は考慮せず、高压注水失敗後は高压・低压注水機能喪失に整理している。

※3 本イベントツリーで発生頻度を“—”としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

※4 ①+② = 1.0×10^{-4} (/炉年)

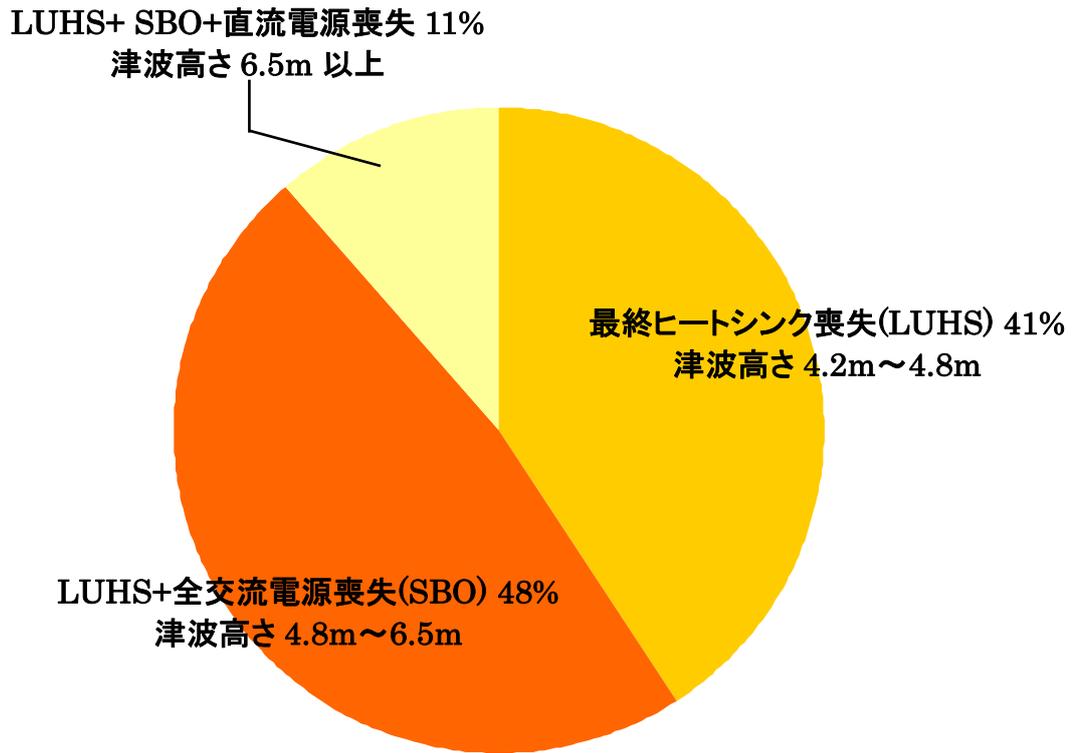
第 3.2.2.d-3(b)図 LUHS 及び全交流電源喪失(SBO)のイベントツリー(6号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +4.8~6.5m)

津波高さ 6.5m以上 (LUHS+SBO ^{※1})	直流電源	逃がし 安全弁 開放	逃がし 安全弁 再閉鎖	高圧注水	原子炉 減圧	低圧注水	格納容器 除熱	最終状態	発生頻度 ^{※2} (/炉年)
								—	—
								TW	—
								—	—
								TW	—
								TQUV	—
								TQUX	—
								—	—
								TW	—
								—	—
								TW	—
								TQUV	—
								TQUX	—
								LOCA	—
								TBD	2.5×10^{-5}

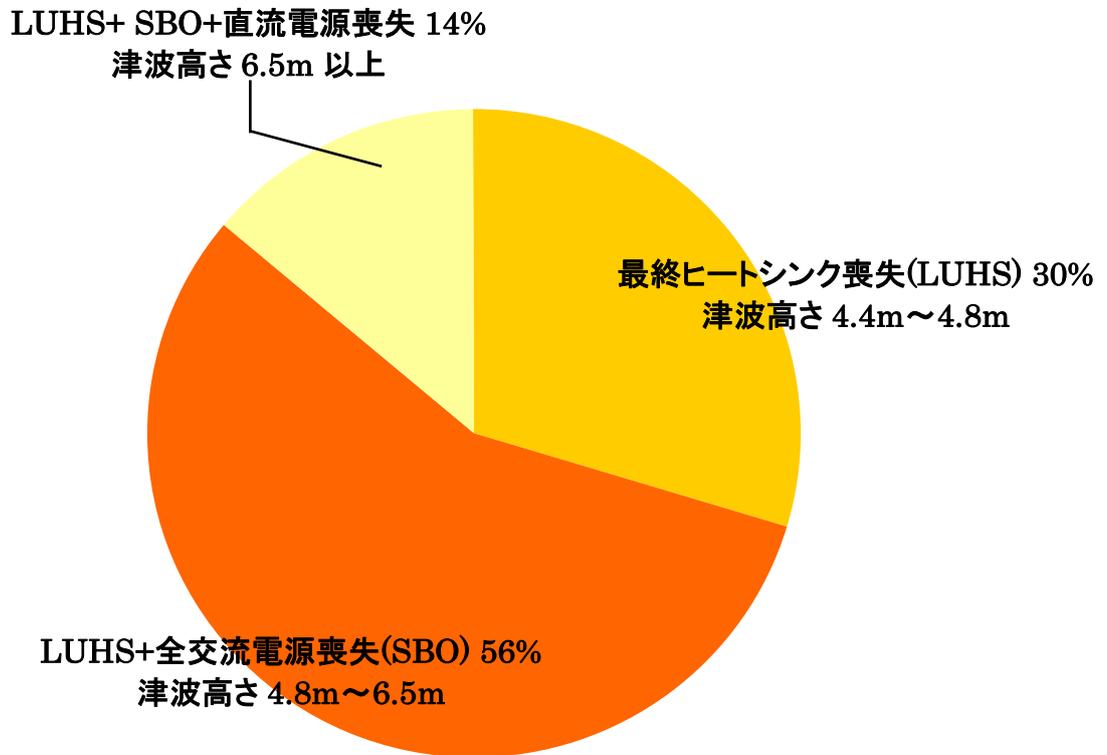
※1 全交流電源喪失(SBO)が発生するため、一部の最終状態を TB シーケンスとして整理することもできるが、浸水経路の観点から、先に LUHS が発生することを考慮し、第 3.2.2-d-3(a) 図と同様の最終状態として整理した。

※2 本イベントツリーで発生頻度を “—” としているシーケンスの発生頻度は 0 であり、発生しない。

第 3.2.2.d-3(c)図 LUHS, SBO 及び直流電源喪失のイベントツリー(6 号炉)
(津波高さ T.M.S.L. +6.5m 以上)

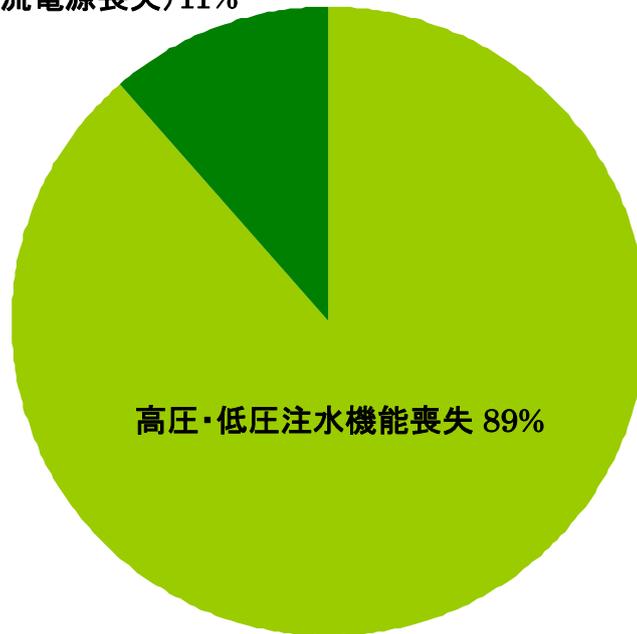


第 3.2.2.d-4(a)図 起因事象別の炉心損傷頻度寄与割合(7号炉)



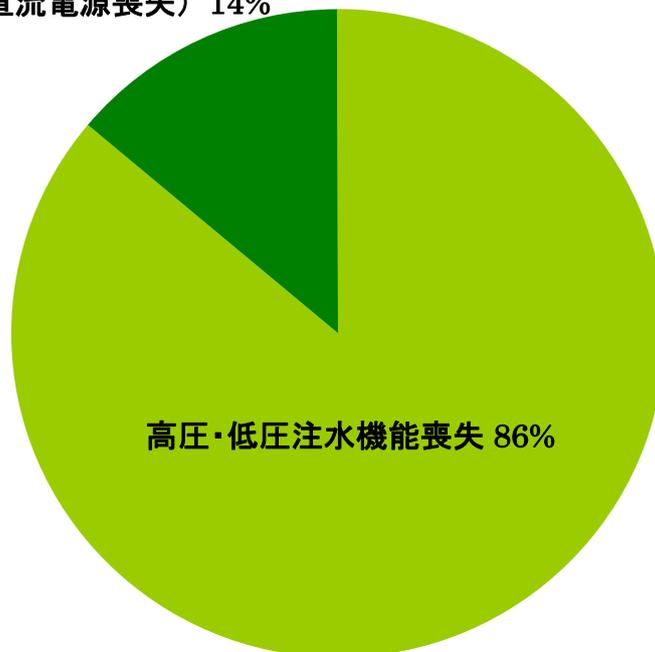
第 3.2.2.d-4(b)図 起因事象別の炉心損傷頻度寄与割合(6号炉)

全交流動力電源喪失
(直流電源喪失) 11%



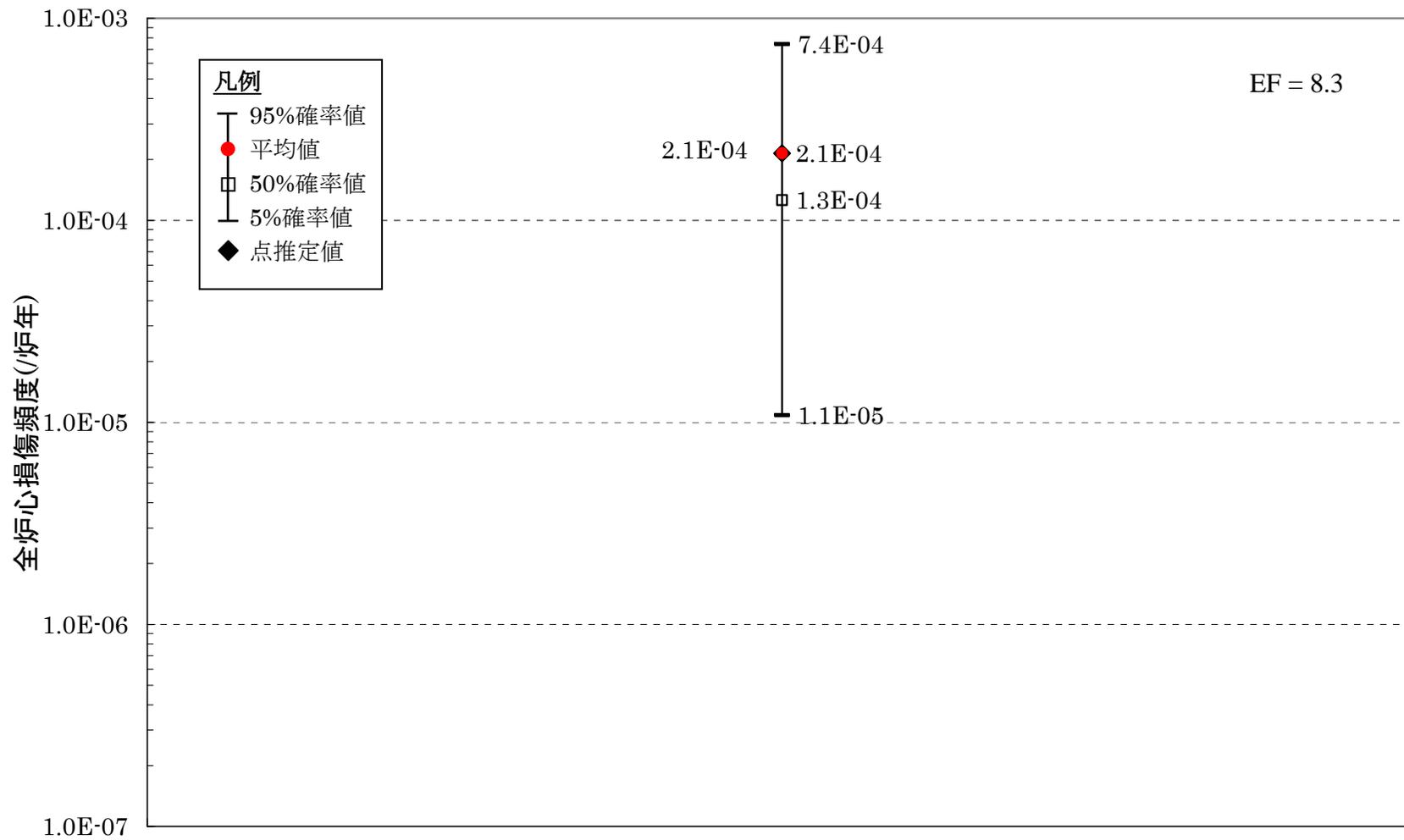
第 3.2.2.d-5(a)図 事故シナリオグループ別の炉心損傷頻度寄与割合(7号炉)

全交流動力電源喪失
(直流電源喪失) 14%

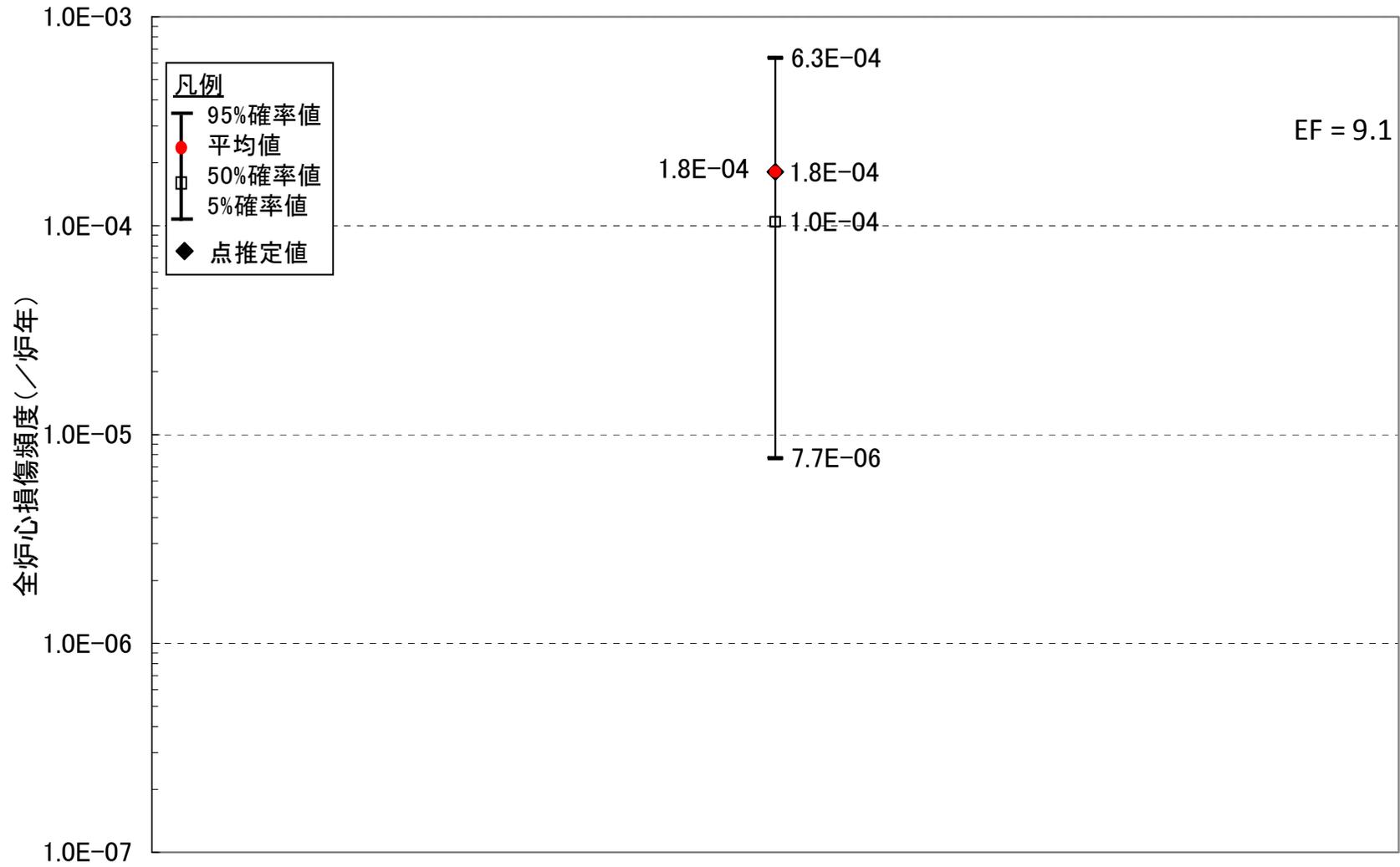


第 3.2.2.d-5(b)図 事故シナリオグループ別の炉心損傷頻度寄与割合(6号炉)

3.2.2-47



第 3.2.2.d-6(a)図 不確かさ解析の結果 (7号炉)



第 3.2.2.d-6(b)図 不確かさ解析の結果 (6号炉)

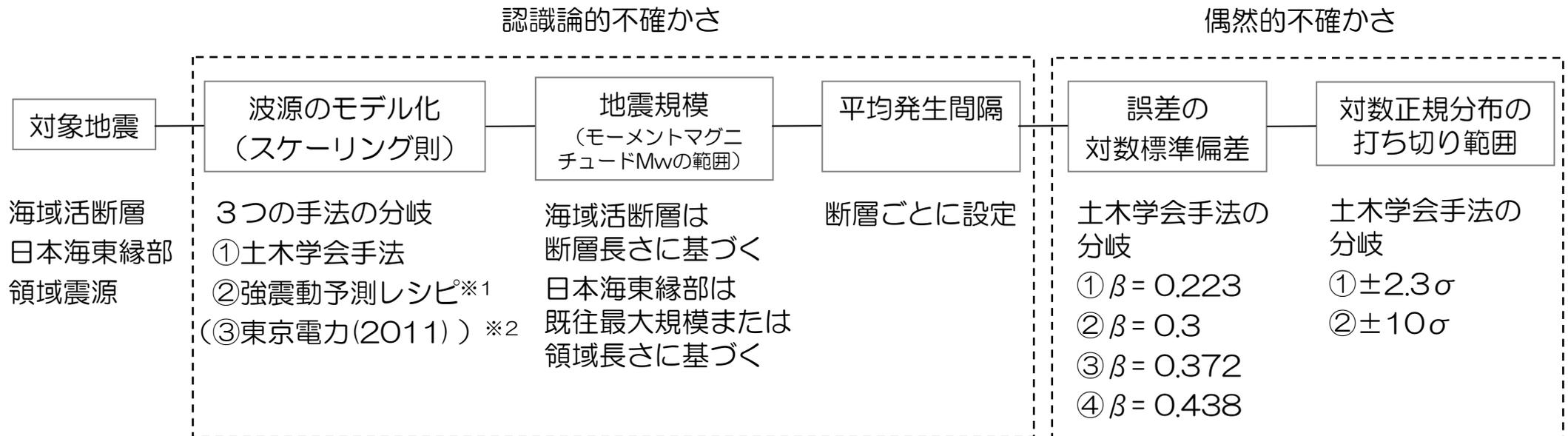
付録. 確率論的津波ハザード評価に関する検討

目次

1. 確率論的津波ハザード評価の全体方針 : 付録－1
2. 敷地周辺海域の活断層による津波 : 付録－2～6
3. 日本海東縁部の地震による津波 : 付録－7～11
4. 潮位の考慮 : 付録－12
5. 津波ハザード曲線の評価結果 : 付録－13
6. フラクタイルハザード曲線の評価結果 : 付録－14～16

1. 確率論的津波ハザード評価の全体方針

- 確率論的津波ハザードの検討にあたっては、地震による津波を検討対象とし、解析手順は日本原子力学会(2012)・土木学会(2011)（以下、「土木学会手法」という。）に基づき実施した。
- 検討対象の地震は、敷地周辺海域の活断層に想定される地震と、日本海東縁部に想定される地震とした。
- 認識論的不確かさとして、地震規模、平均発生間隔、波源のモデル化等を考慮した。
- 偶然的不確かさとして、津波水位のばらつきの分布を対数正規分布として考慮した。
- ロジックツリーは、日本原子力学会(2012)・土木学会手法を参考とし、2011年東北地方太平洋沖地震後の知見を反映して設定した。
- 評価は、平成25年9月27日設置変更許可申請時のものであり、今後行われる基準津波の審議結果を踏まえ、必要に応じて見直しを行う。



※1 地震調査研究推進本部（2009）

※2 日本海東縁部のみ

2. 敷地周辺海域の活断層による津波

- 基準津波の検討において考慮した、敷地周辺海域における活断層調査結果に基づく地震及び連動の不確かさを考慮した地震について検討対象とした。
- 確率論の方がより広汎なモデルを考慮することとし、連動の不確かさで考慮する断層を長くするとともに、四省庁*の想定D断層を検討対象に加えた。

断層調査結果に基づく地震

- ・ F-D断層～高田沖断層
- ・ F-B断層
- ・ 米山沖断層
- ・ 佐渡島南方断層
- ・ 佐渡島棚東縁断層
- ・ 長岡平野西縁断層帯（角田・弥彦断層～気比ノ宮断層～片貝断層）

連動の不確かさ

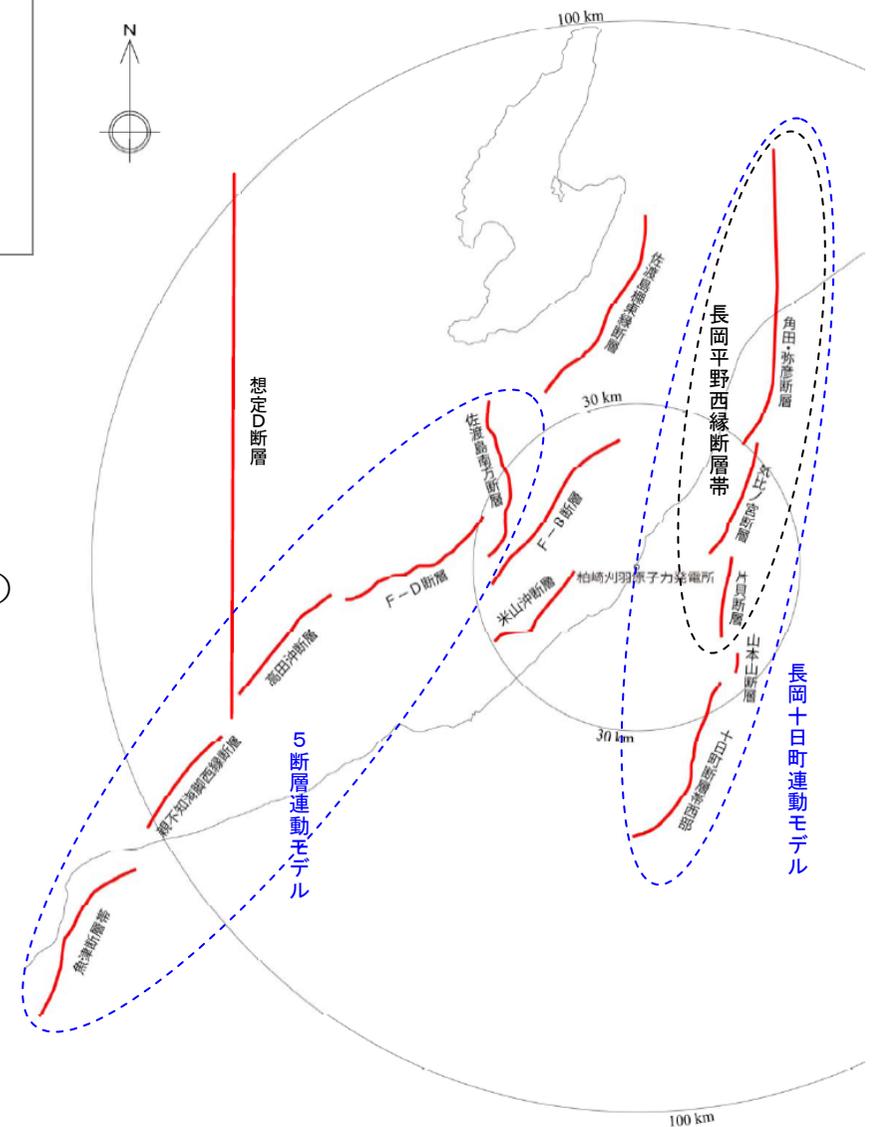
- ・ 長岡十日町連動モデル
 - 長岡平野西縁断層帯～山本山断層～十日町断層帯西部
- ・ 5断層連動モデル
 - 佐渡島南方断層～F-D断層～高田沖断層
 - ～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯

連動の不確かさ（確率論のみ）

- ・ 6断層連動モデル
 - 佐渡島南方断層～F-B断層
 - ～F-D断層～高田沖断層
 - ～親不知海脚西縁断層～魚津断層帯

既往モデル（確率論のみ）

- ・ 四省庁*想定D断層



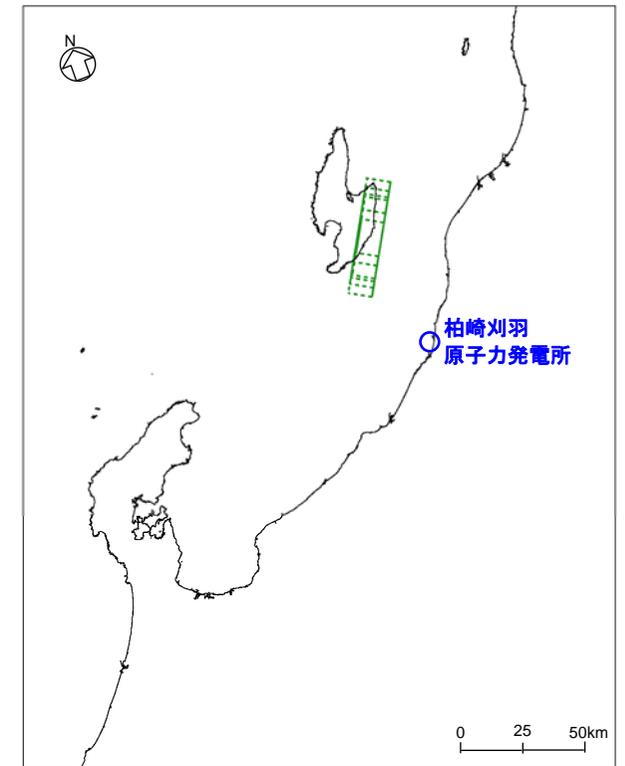
敷地周辺海域の活断層分布図

* 四省庁：農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局（1996）

2. 1 断層調査結果に基づく地震（1）

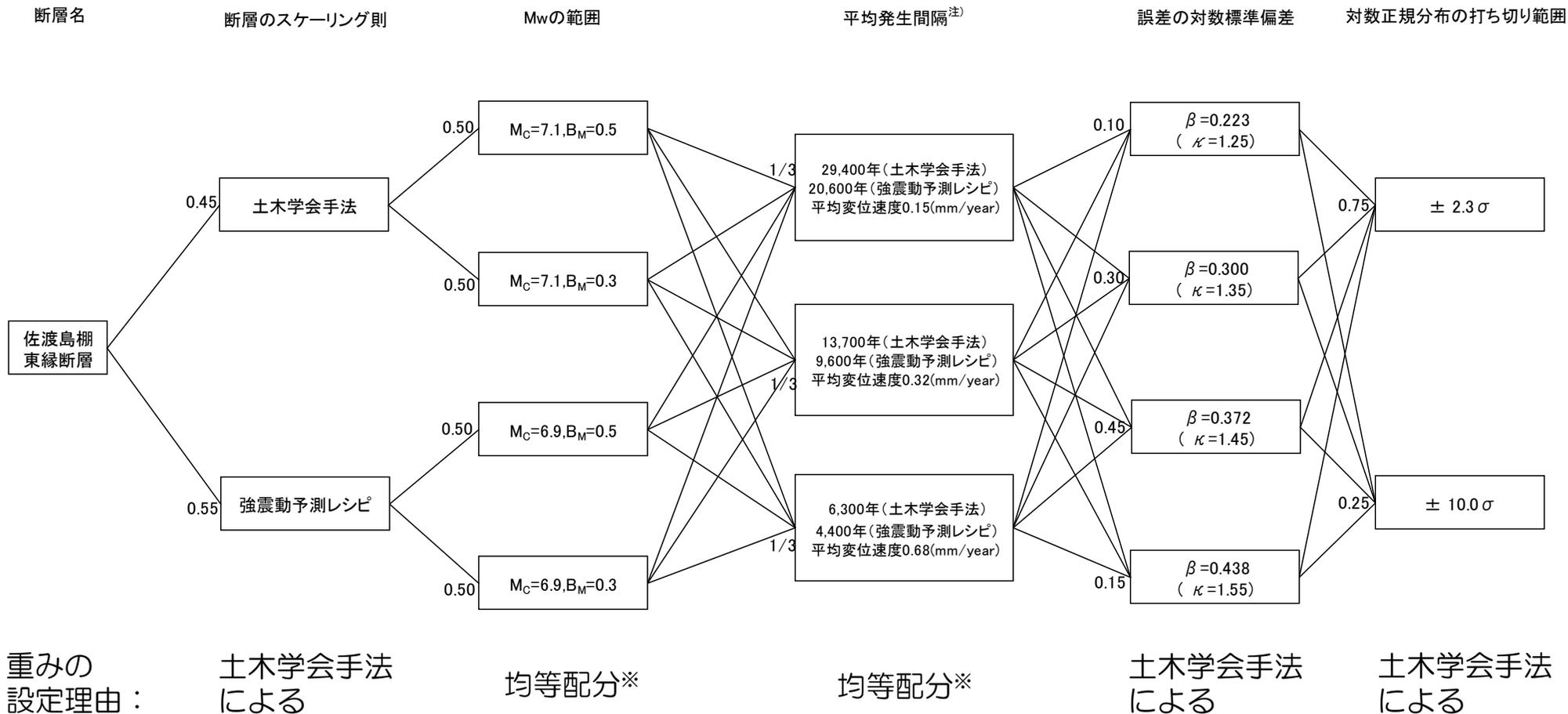
■敷地周辺海域における活断層調査結果に基づく地震（連動を考慮しないケース）について，佐渡島棚東縁断層の例を示す。

- 日本原子力学会（2012）・土木学会手法に基づき検討した。
- ロジックツリーを次ページに示す。



断層モデルの位置
（佐渡島棚東縁断層）

2. 1 断層調査結果に基づく地震 (2)



注) 平均発生間隔は, Mw範囲が0.3の場合の値

※ 重みの判断が困難な場合は, 日本原子力学会 (2012) を踏まえ均等配分
 枠の添数字は分岐の重み

M_C : モーメントマグニチュードの中央値

B_M : マグニチュードの不確かさの幅

佐渡島棚東縁断層のロジックツリー

2. 2 連動の不確かさ：長岡十日町連動モデル

■ 連動を考慮するケースのうち，長岡平野西縁部断層帯（角田・弥彦断層，気比ノ宮断層，片貝断層）及び十日町断層帯西部の連動モデルの検討内容を示す。

➤ 断層連動に関するロジックツリーの他は，日本原子力学会（2012）・土木学会手法に基づき検討した。

➤ 断層連動に関するロジックツリーを以下に示す。

<分岐①の断層モデル>

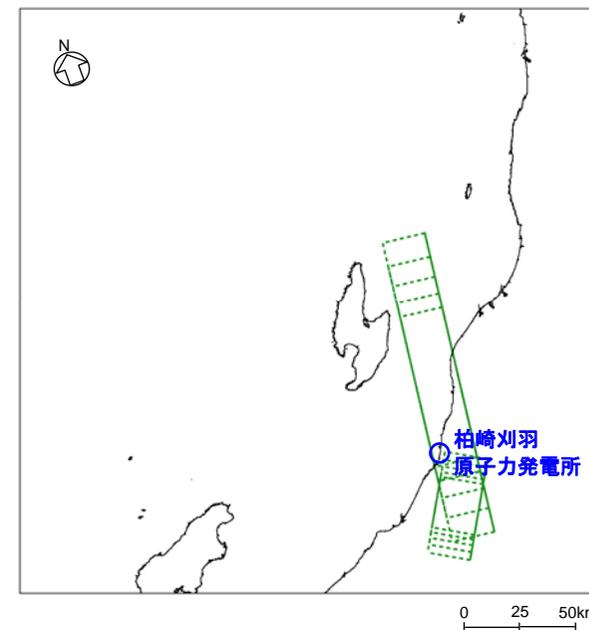
「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮断層」，
「片貝断層」

<分岐③の断層モデル>

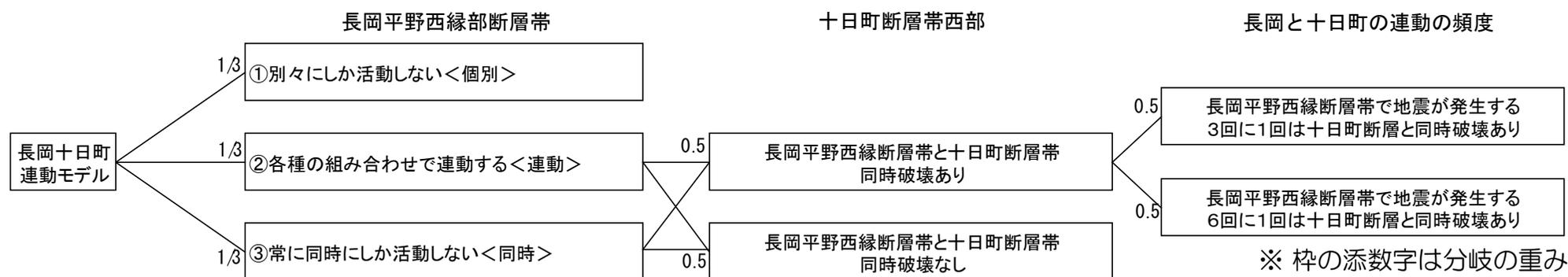
「角田・弥彦+気比ノ宮+片貝断層」

<分岐②の断層モデル>

- (1) 「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮断層」，「片貝断層」
- (2) 「角田・弥彦+気比ノ宮断層」，「片貝断層」
- (3) 「角田・弥彦断層」，「気比ノ宮+片貝断層」
- (4) 「角田・弥彦+気比ノ宮+片貝断層」



断層モデルの位置



重みの設定理由：

均等配分

均等配分

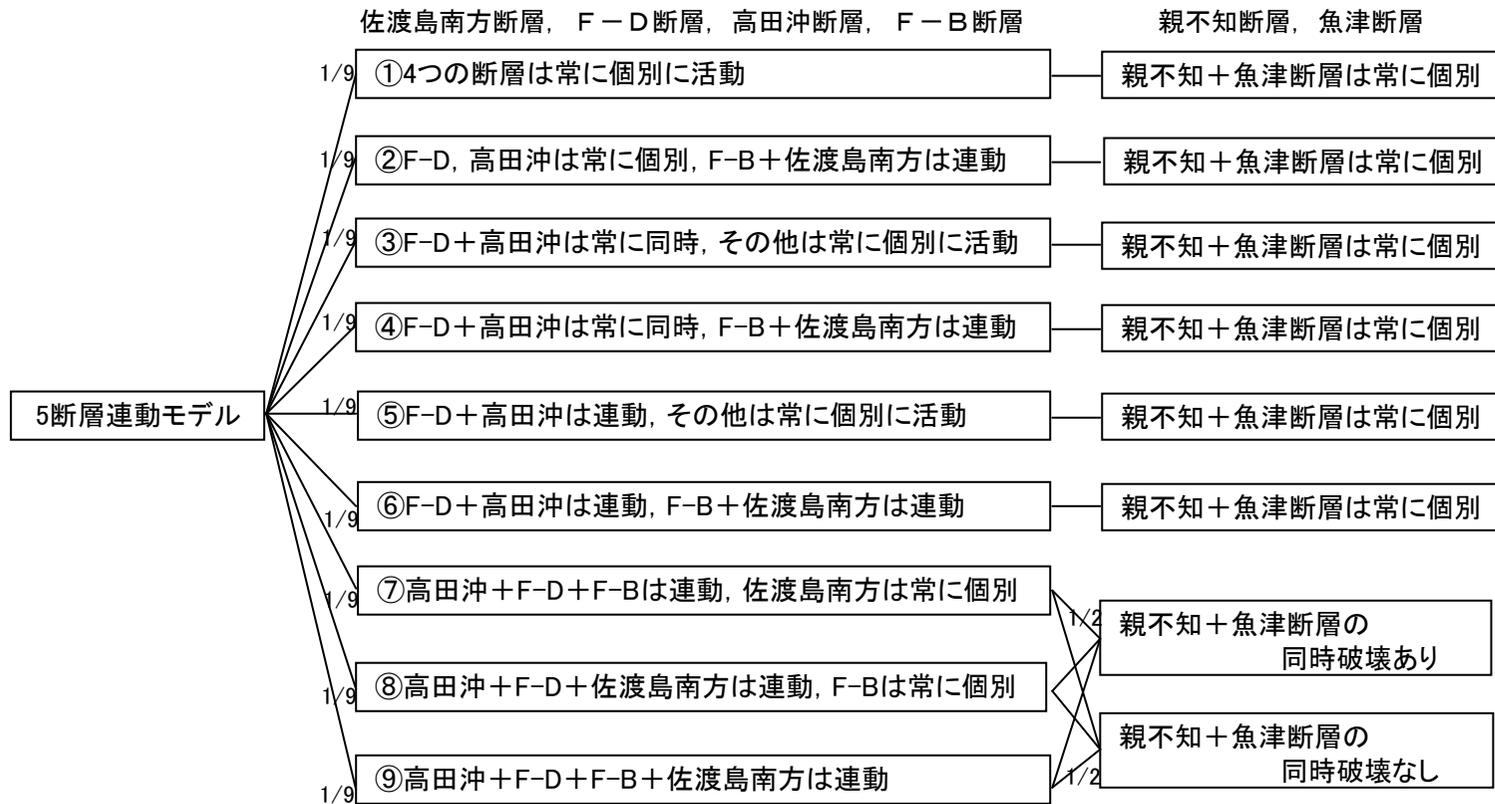
均等配分

断層連動に関するロジックツリー（長岡十日町連動モデル）

2. 3 連動の不確かさ：5断層連動モデル

■ 連動を考慮するケースのうち、5断層連動モデル（佐渡島南方断層・F-D断層・高田沖断層・親不知海脚西縁断層・魚津断層）の検討内容を示す。

- 断層連動に関するロジックツリーの他は、日本原子力学会（2012）・土木学会手法に基づき検討した。
- 断層連動に関するロジックツリーを以下に示す。



重みの設定理由：

均等配分

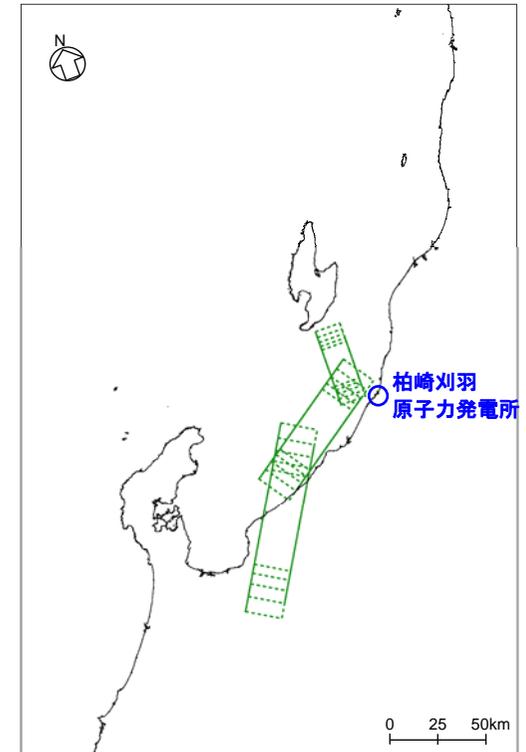
均等配分

※ 枠の添数字は分岐の重み

「連動」は個別活動と同時活動の組合せ

断層連動に関するロジックツリー（5断層連動モデル）

付録-6



断層モデルの位置
(5断層連動モデル)

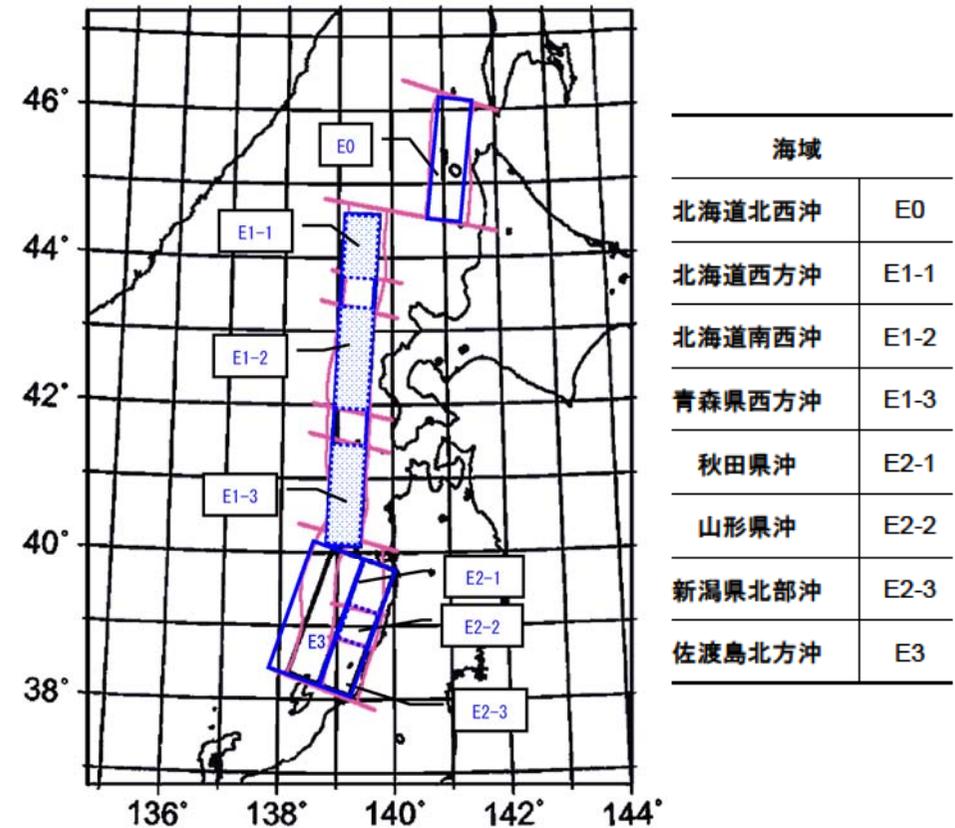
3. 日本海東縁部の地震による津波（1）

■ 日本海東縁部に想定される地震は，地震調査研究推進本部（2003），土木学会手法等の知見に基づき，活動域区分を設定する。

日本海東縁部の大地震活動域の既往最大Mw

海域	発生年	津波モデルのMw	既往最大Mw (=Mmax)	「地震本部」による 地震規模(信頼度)
北海道北西沖 (E0)	なし	—	—	M7.8程度(D)
北海道西方沖 (E1-1)	1940	7.7	7.7	M7.5前後(B)
北海道南西沖 (E1-2)	1993	7.8	7.8	M7.8前後(B)
青森県西方沖 (E1-3)	1983	7.7	7.7	M7.7前後(B)
秋田県沖 (E2-1)	なし	—	—	M7.5程度(C)
山形県沖 (E2-2)	1833	7.8	7.8	M7.7前後(B)
新潟県北部沖 (E2-3)	1964	7.5	7.5	M7.5前後(B)
佐渡島北方沖 (E3)	なし	—	—	M7.8程度(D)

土木学会（2011）を編集



土木学会（2011）

日本海東縁部海域の大地震活動域区分

3. 日本海東縁部の地震による津波（2）

- 日本海東縁部に想定される地震の平均発生間隔分布の考え方は、地震調査研究推進本部（2003）に基づき設定された、土木学会手法を用いる。

地震調査研究推進本部（2003）による平均発生間隔と本検討における平均発生間隔分布の考え方

海域	平均発生間隔(推本)	根拠	分布の考え方
北海道北西沖	3900 年程度	約 2100 年前と約 6000 年前に 2 個のイベント	発生間隔データ 1 個
北海道西方沖	1400 ~ 3900 年程度	(連続性)	一様分布 (1400-3900)
北海道南西沖	500 ~ 1400 年程度	6 個のイベントの平均が約 1400 年	一様分布 (500-1400)
青森県西方沖	500 ~ 1400 年程度	3 個のイベントの平均が約 500 年	一様分布 (500-1400)
秋田県沖	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
山形県沖	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
新潟県北部沖	1000 年程度以上	(2列への配分)	一様分布 (1000-1500)
佐渡島北方沖	500 ~ 1000 年程度	中嶋 (2003)	一様分布 (500-1000)

土木学会 (2011)

3. 日本海東縁部の地震による津波（3）

- 日本海東縁部に想定される地震の規模は、土木学会手法を基本とした。
- 基準津波の検討において考慮した、地震調査研究推進本部（2003）の評価対象領域の区分における、1領域モデル（基本モデル）及び2領域モデル（地震規模の不確かさ考慮モデル）による地震を検討対象とした。
- 確率論の方がより広汎なモデルを考慮することとし、連動の不確かさで考慮する断層を長くした地震を検討対象に加えた※。

既往最大規模

■ 土木学会手法のモデル

→ 確率論 E2領域全体同時破壊なし

連動の不確かさ

■ 基準津波の基本モデル（1領域モデル）

→ 確率論 E2領域全体同時破壊モデル

■ 基準津波の不確かさ考慮モデル（2領域モデル）

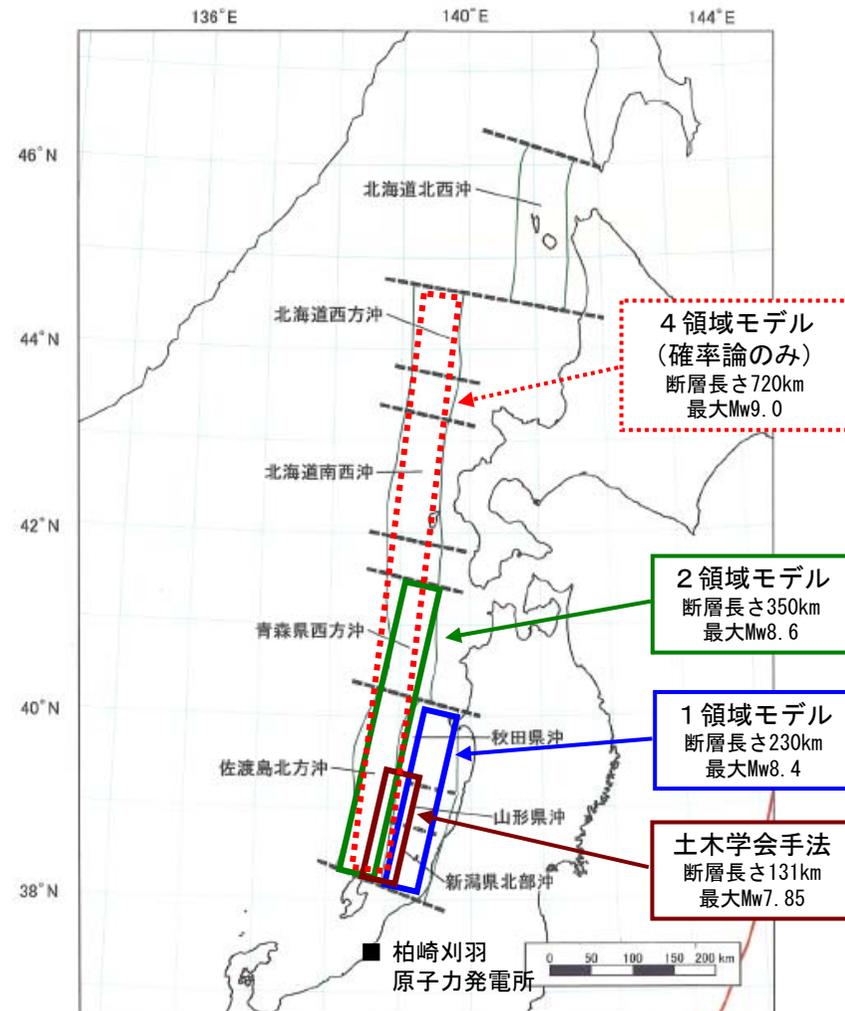
→ 確率論 E3+E1-3領域全体同時破壊モデル

→ 確率論 E1-1+E1-2領域全体同時破壊モデル

連動の不確かさ
（確率論のみ）

■ さらなる不確かさ考慮モデル（4領域モデル）※

→ 確率論 E3+E1領域全体同時破壊モデル



地震調査研究推進本部（2003）に加筆

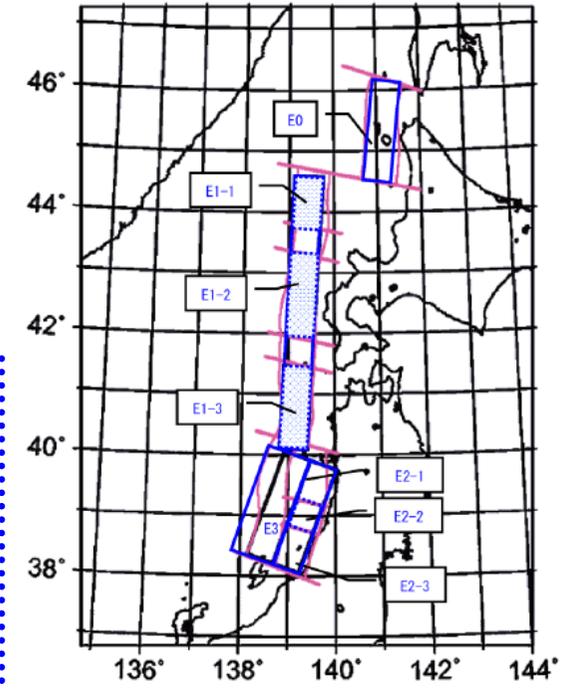
日本海東縁部の波源モデル

※確率論においては、領域の連動（地震規模）についてさらなる不確かさを考慮したモデルを加えることとし、佐渡島北方沖～青森県西方沖～北海道南西沖～北海道西方沖の4領域が一度の地震で活動するものとして断層長さを設定したモデルを検討対象に加えた。

3. 1 日本海東縁部：E2領域

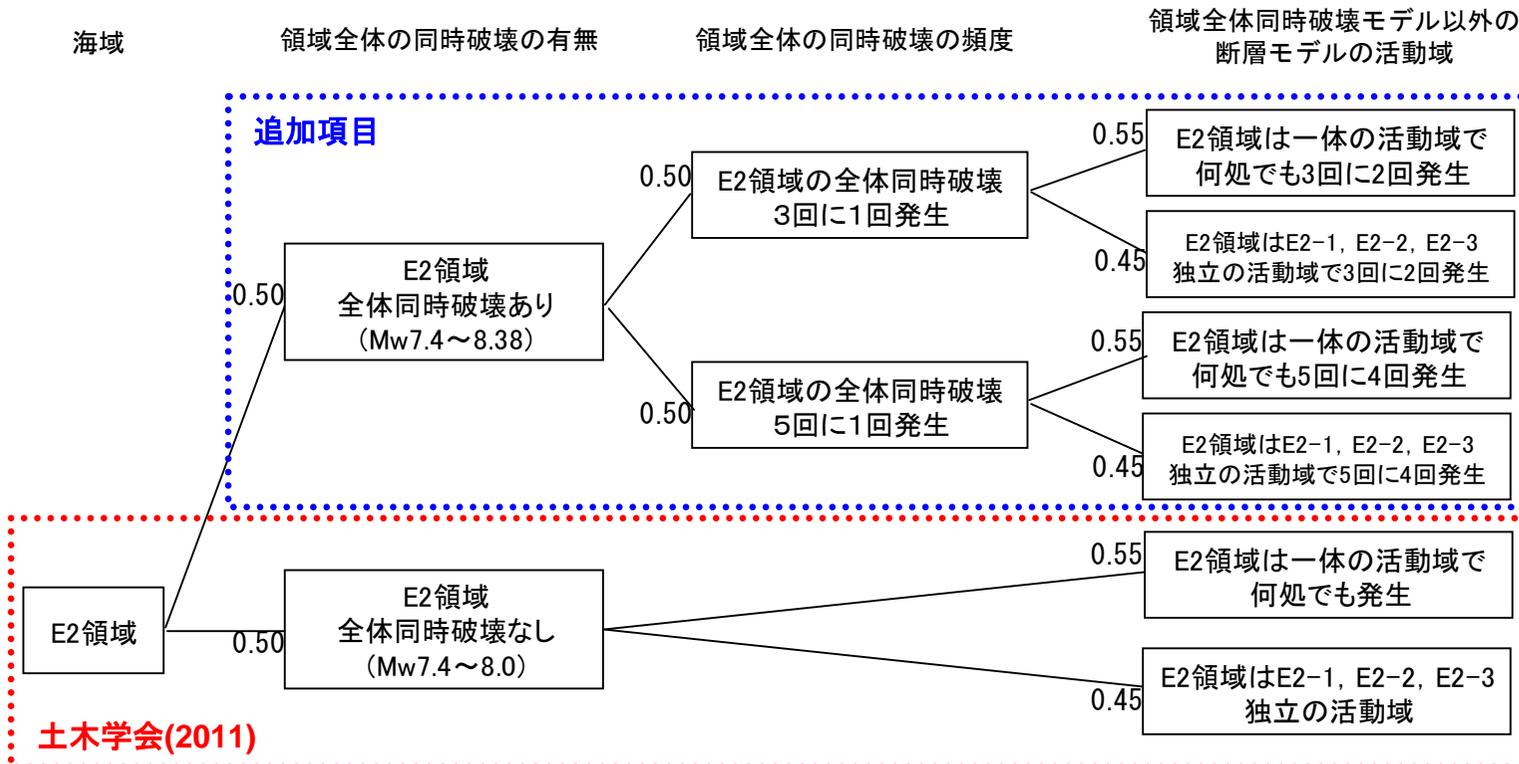
■ 日本海東縁部に想定される地震による津波のうち、E2領域の検討内容を示す。

- ▶ 土木学会手法（最大Mw8.0）に、「E2領域全体同時破壊（最大Mw8.38）」を考慮する分岐を追加した。
- ▶ この他の設定は、日本原子力学会（2012）・土木学会手法に基づき検討した。
- ▶ 同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリーを以下に示す。



領域の位置

※枠の添数字は分岐の重み



重みの
設定理由：

均等配分

均等配分

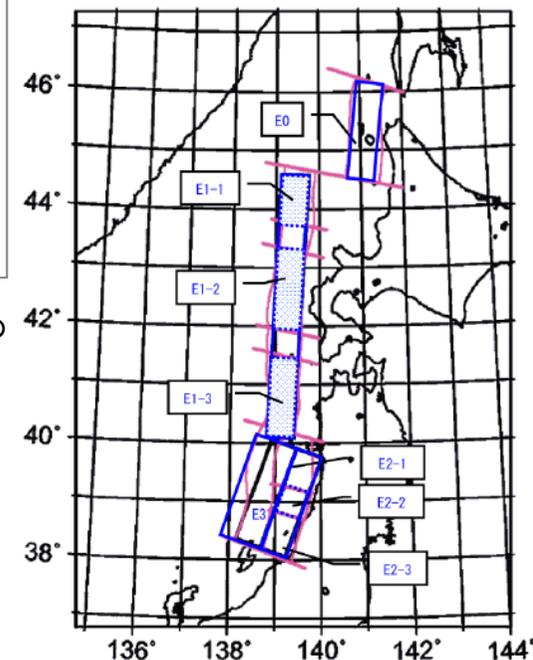
土木学会手法による

同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリー (日本海東縁部：E2領域)

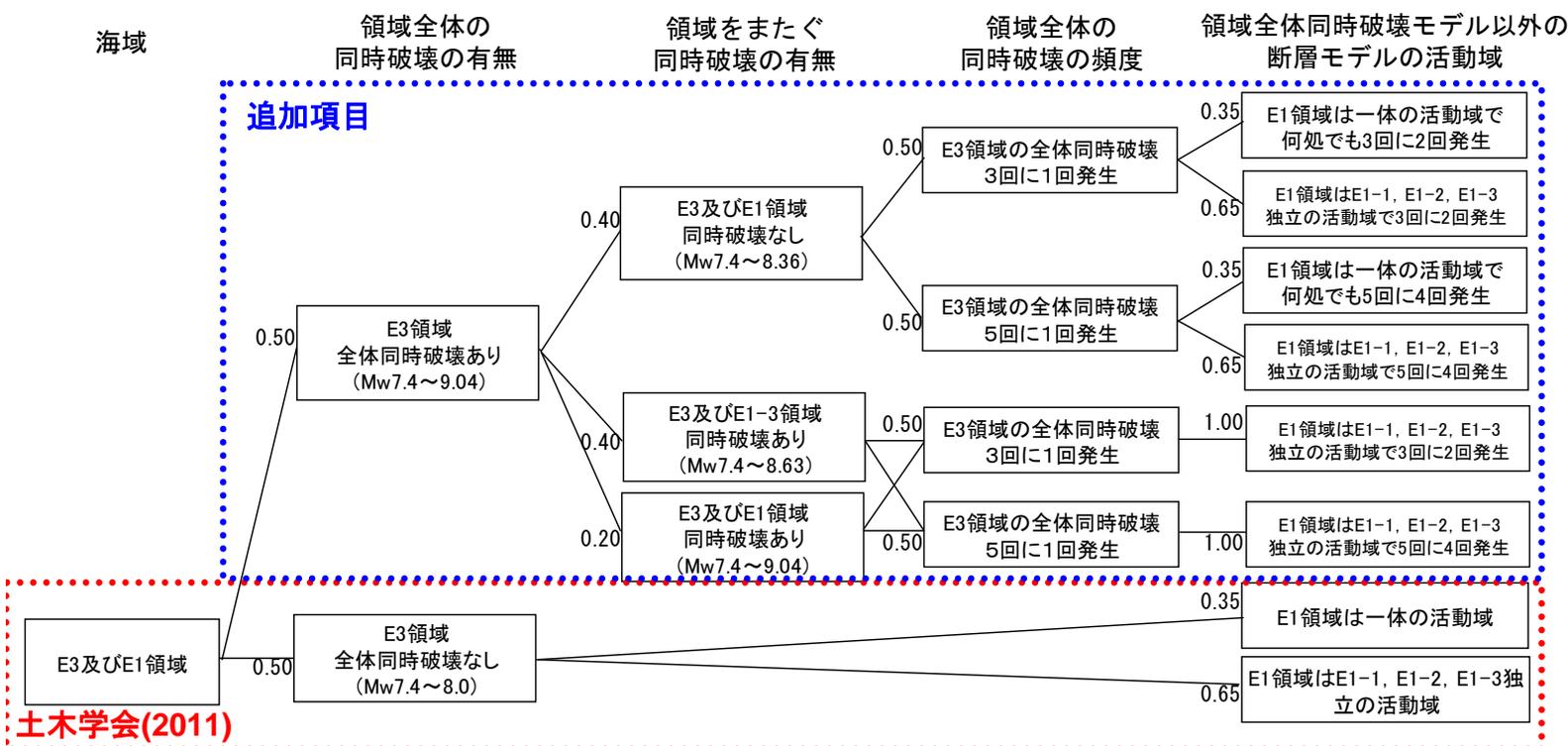
3. 2 日本海東縁部：E 1 及びE 3 領域

■ 日本海東縁部に想定される地震による津波のうち、E 1 及びE 3 領域の検討内容を示す。

- ▶ 土木学会手法（最大Mw8.0）に、「E 3 領域全体同時破壊（最大Mw8.36）」、「E 3 領域とE 1 - 3 領域の全体同時破壊（最大Mw8.64）」及び「E 3 領域とE 1 領域の全体同時破壊（最大Mw9.04）」を考慮する分岐を追加した。
- ▶ この他の設定は、日本原子力学会（2012）・土木学会手法に基づき検討した。
- ▶ 同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリーを以下に示す。



領域の位置



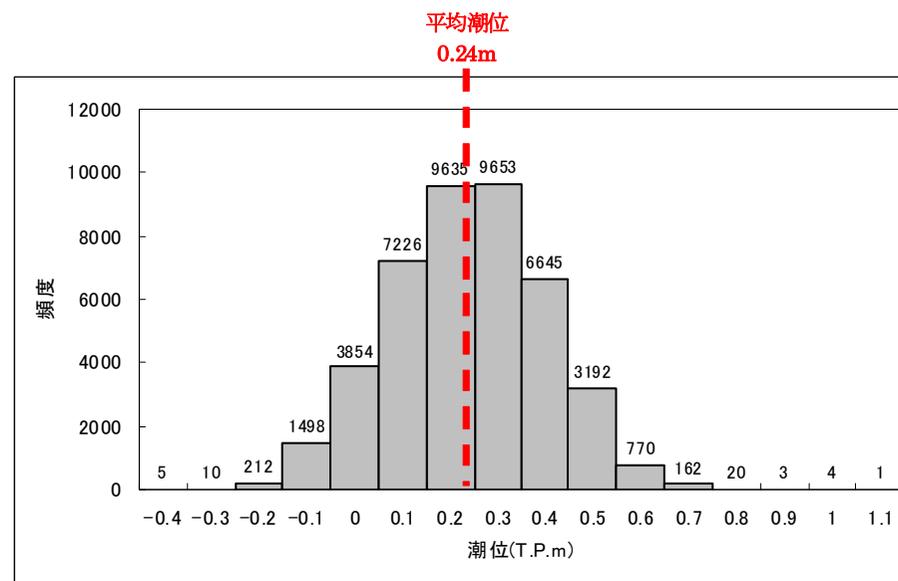
※枠の添数字は分岐の重み

重みの設定理由：
 均等配分 「E3及びE1海域」の重みを他の分岐の半分とした 均等配分 土木学会手法による

同時破壊の考え方及び地震規模に関するロジックツリー (日本海東縁部：E 3 及びE 1 領域)

4. 潮位の考慮

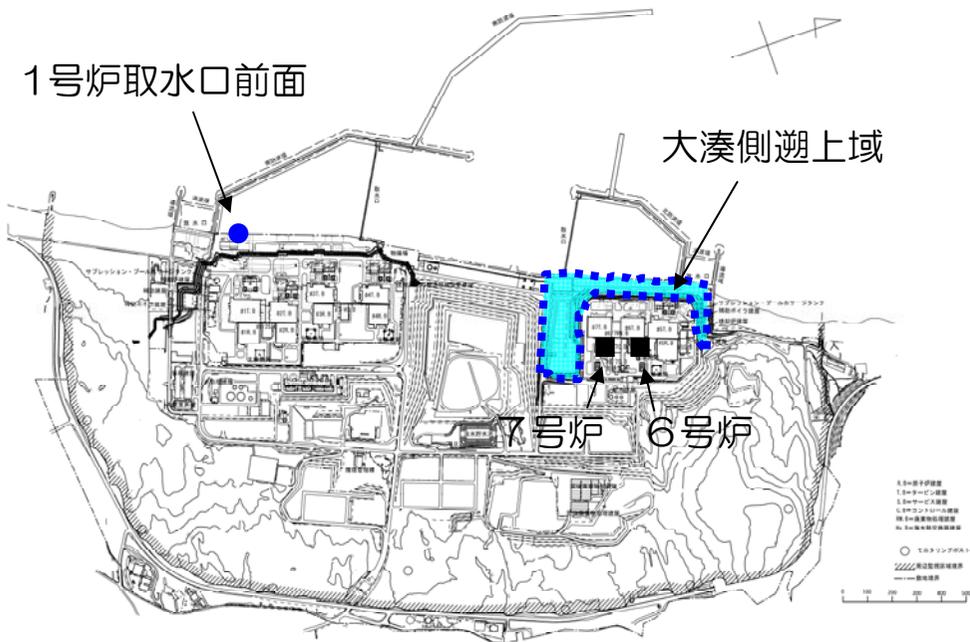
- 潮位分布は、土木学会手法に基づき、津波ハザード解析結果に潮位の相対頻度（全体が1となる分布）の畳み込みを行うことで評価した。
- 潮位分布の検討では、国土交通省国土地理院柏崎検潮所における2003年4月から2008年4月の観測記録を用いた。



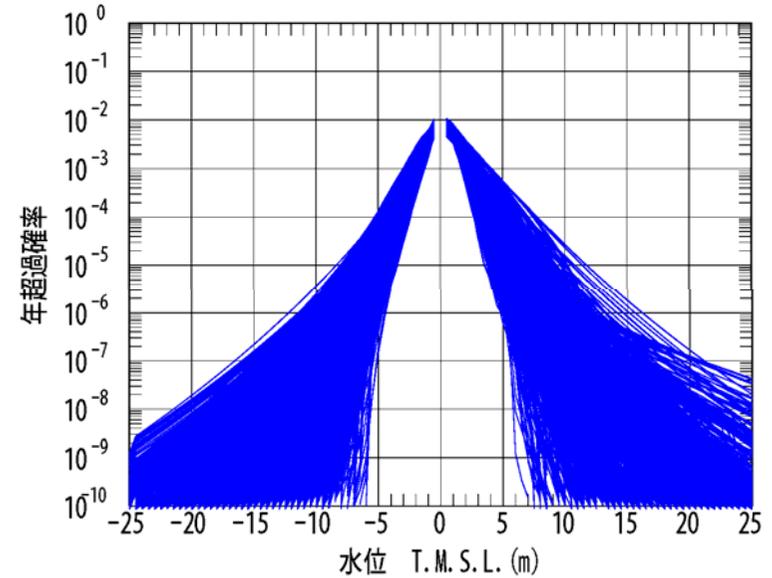
潮位分布（柏崎検潮所）

5. 津波ハザード曲線の評価結果

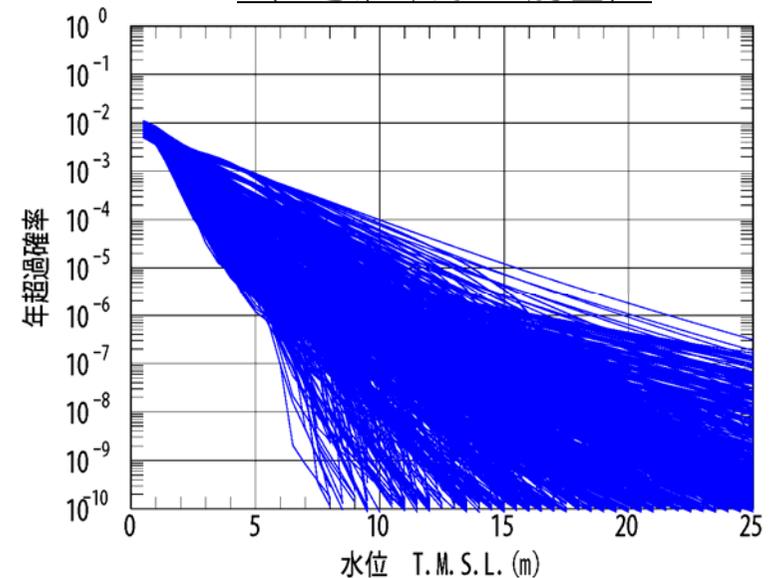
- 取水口前面における津波ハザード曲線の評価は、1号炉前面において算定した。
- 遡上域の評価は、防潮堤前面部の領域内の最大値で評価した。
- フラクタイル曲線は、津波ハザード曲線の総本数から、2,000本を抽出して算出した。



評価位置



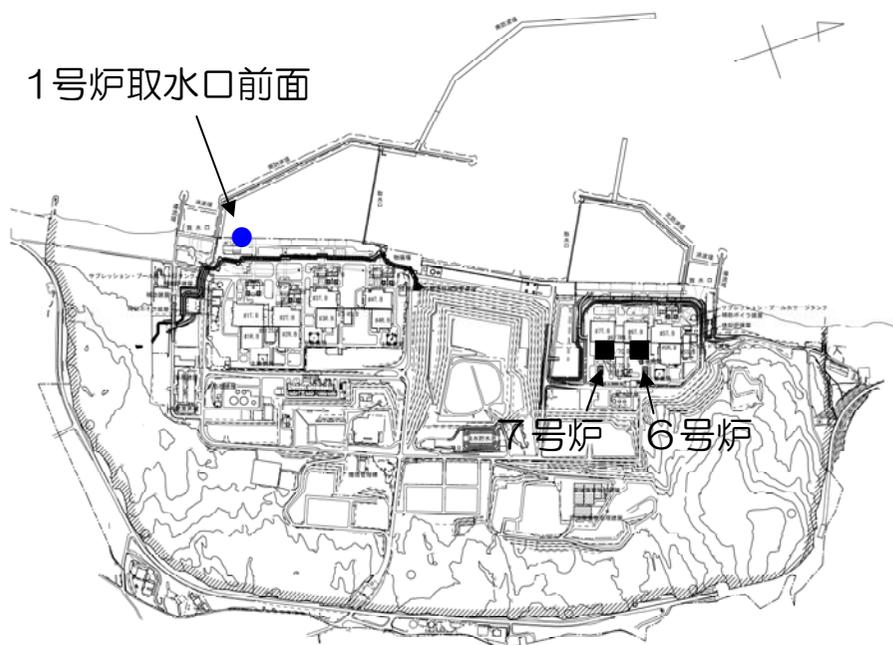
2000本のハザード曲線
(1号炉取水口前面)



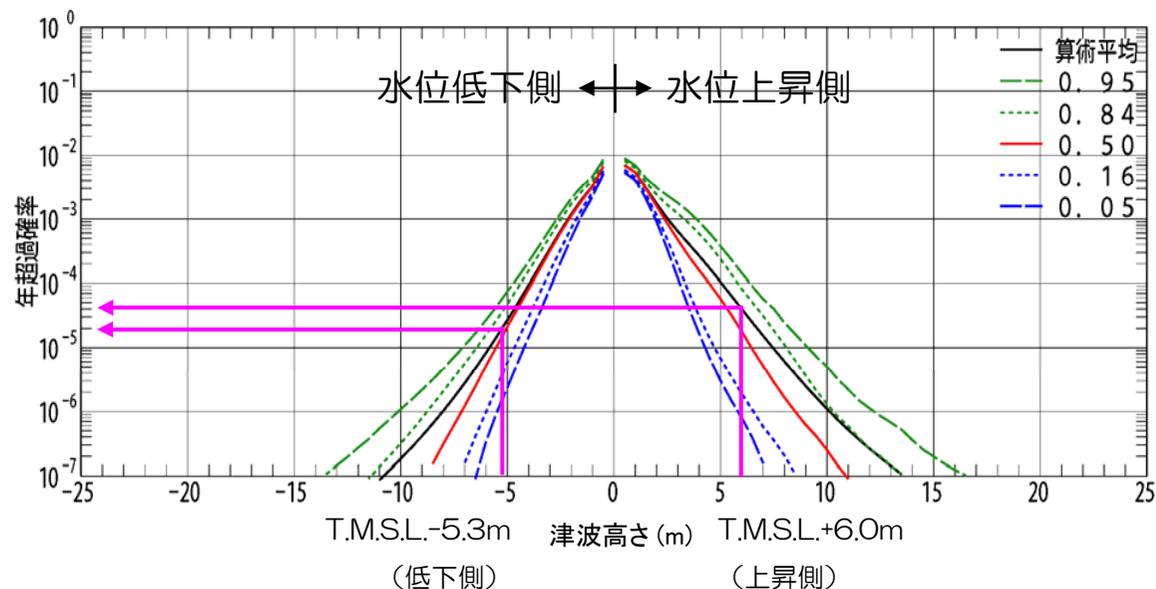
2000本のハザード曲線
(大湊側遡上域)

6. フラクタイルハザード曲線の評価結果：（1）取水口前面

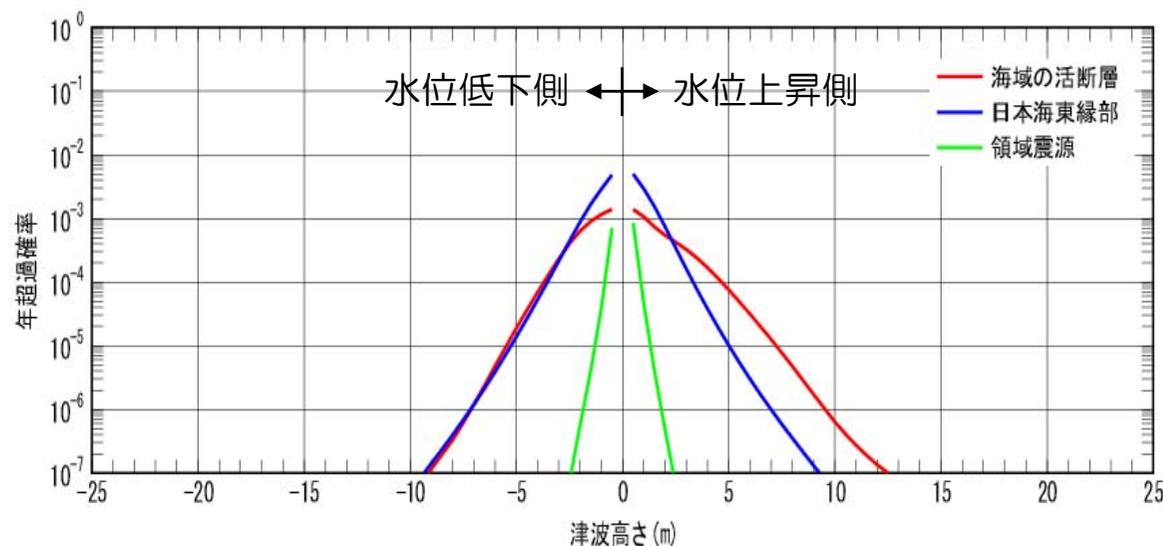
- 取水口前面（1号炉）における津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率はいずれも $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。



評価位置



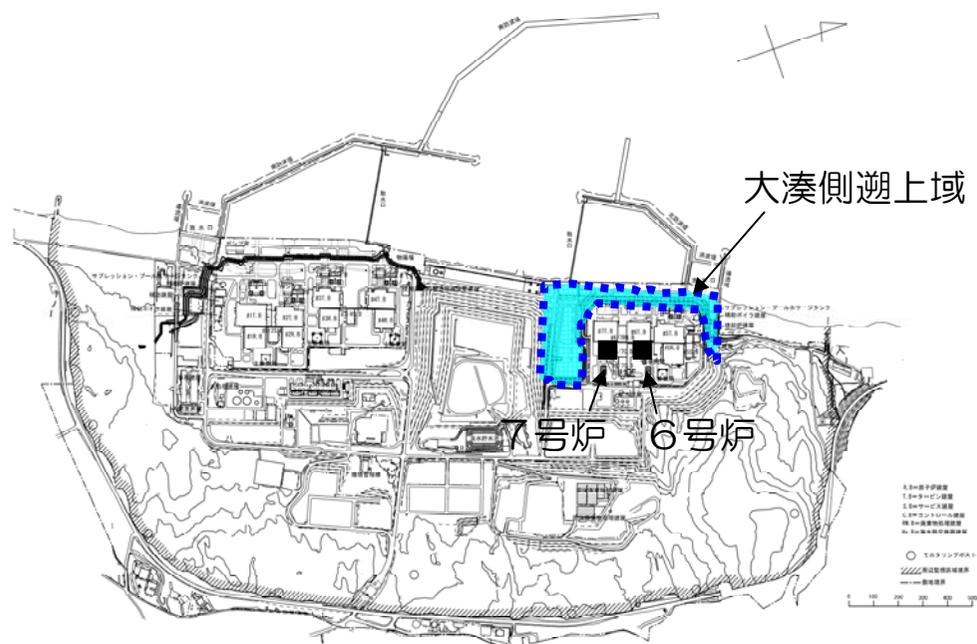
フラクタイルハザード曲線（1号炉取水口前面）



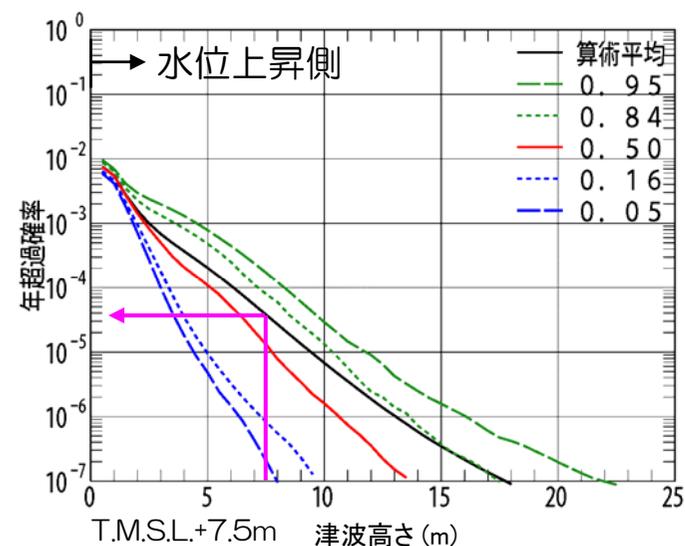
波源ごとの平均ハザード曲線

6. フラクタイルハザード曲線の評価結果：（2）遡上域

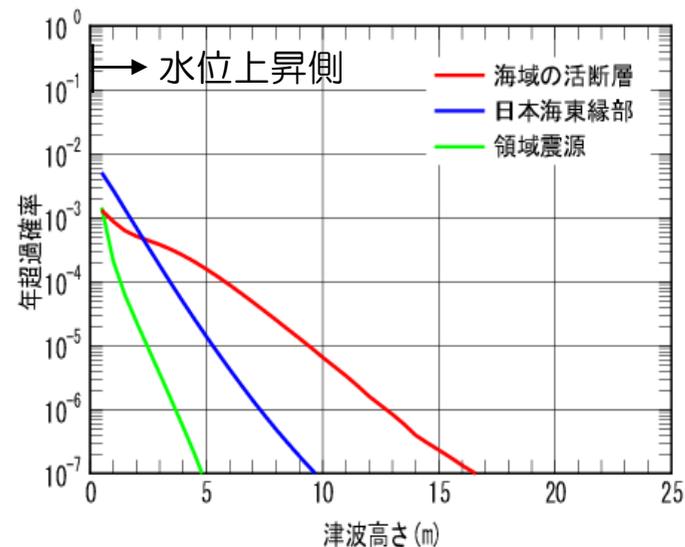
- 遡上域（大湊側）における津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 遡上域の津波ハザード曲線は、防潮堤前面部の領域内の最大値で算定した。
- 最高水位・最低水位の年超過確率は 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度である。



評価位置



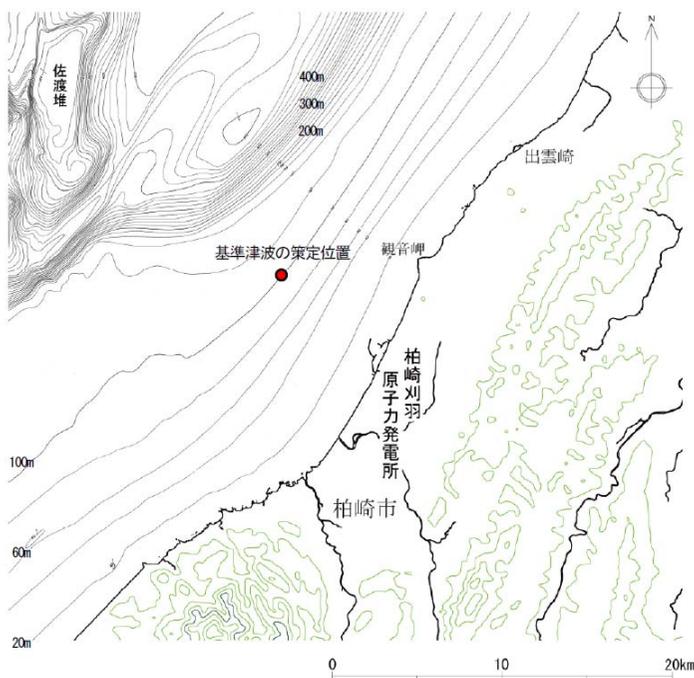
フラクタイルハザード曲線（大湊側遡上域）



波源ごとの平均ハザード曲線

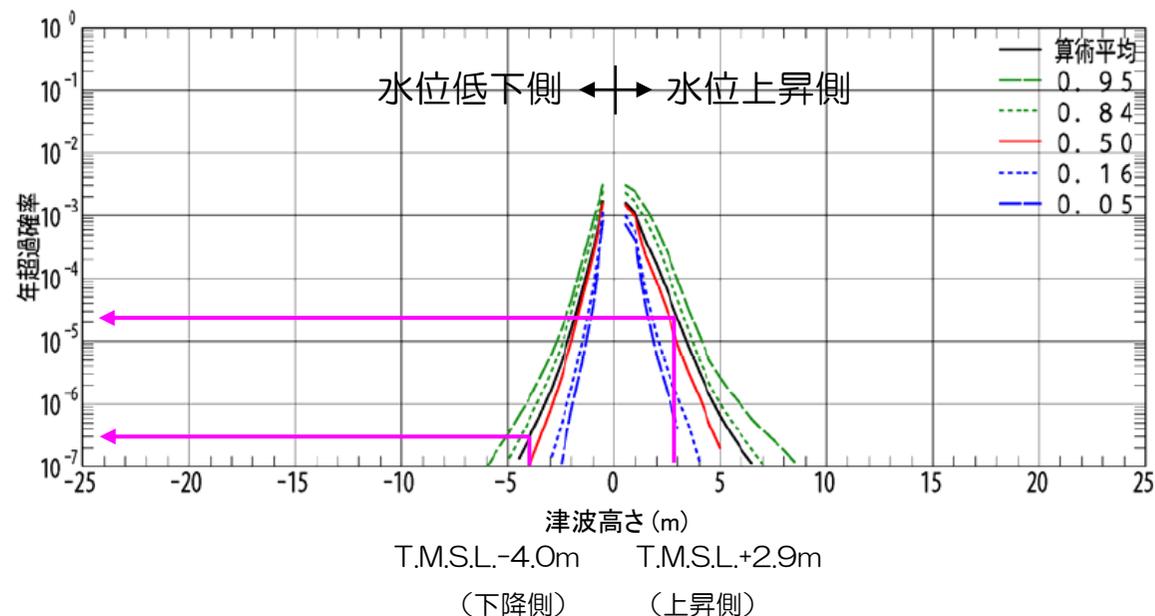
6. フラクタイルハザード曲線の評価結果（3）基準津波の策定位置

- 基準津波の策定位置（水深100m，敷地の沖合約7km）における津波ハザード曲線（フラクタイルハザード曲線）を算定した。
- 最高水位の年超過確率は 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度，最低水位の年超過確率は 10^{-6} ～ 10^{-7} 程度である。

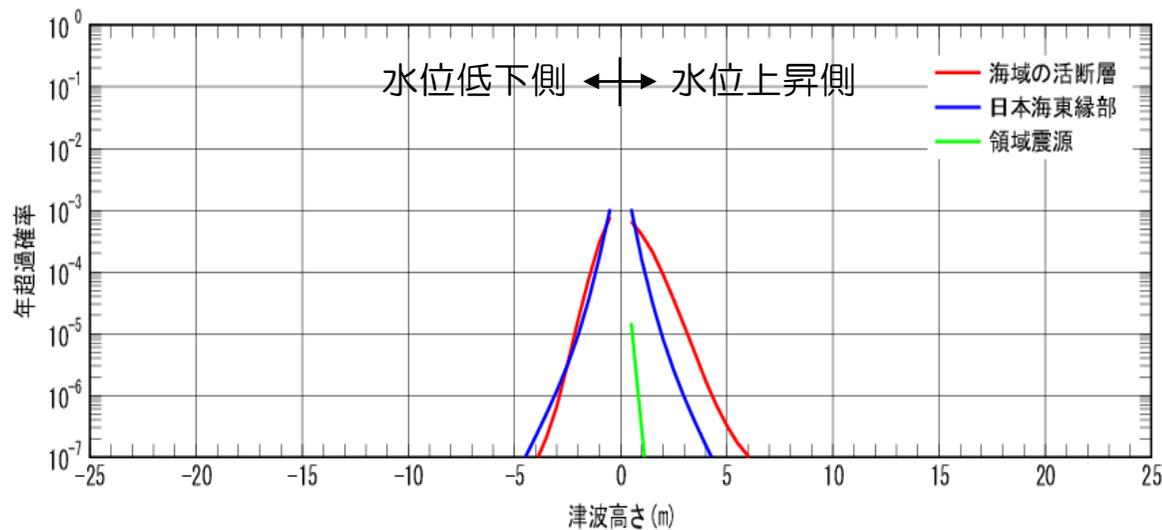


評価位置

（水深100m，敷地の沖合約7km）



フラクタイルハザード曲線（基準津波策定位置）



波源ごとの平均ハザード曲線

【参考文献】

- 日本原子力学会（2012）：原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011，日本原子力学会標準。
- 土木学会（2011）：確率論的津波ハザード解析の方法。
- 東京電力（2011）：福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所における東北地方太平洋沖地震により発生した津波の調査結果に係わる報告，第26回地震、地質・地盤に関する小委員会，地小委26-2号。
- 地震調査研究推進本部（2009）：震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）。
- 農林水産省構造改善局・農林水産省水産庁・運輸省港湾局・建設省河川局（1996）：日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査報告書。
- 地震調査研究推進本部（2003）：日本海東縁部の地震活動の長期評価。

プラント停止の手順について

震源の近い地震によって津波が引き起こされる場合、地震加速度大のインターロックによりスクラムしプラントは自動停止すると考えられる。震源が遠い地震などプラントでの地震加速度が小さく、自動スクラムに至らない場合に原子炉を手動停止する手順について以下に示す。

事故時運転操作手順書（事象ベース）では、津波発生時の手順を次のように定めている。津波注意報／警報／大津波警報が発令された場合、**RSW** 取水槽の液位監視や **CW** ポンプ、**RSW** ポンプのパラメータ監視を強化する。**RSW** 取水槽の液位が低下、あるいは **RSW** ポンプの吐出圧力がハンチングした場合には、**RSW** ポンプの水位確保のため、**CWP** を 1 台停止する。停止後も、**RSW** 取水槽の液位や **RSW** ポンプの吐出圧力が回復しない場合、さらに残り 2 台の **CWP** を停止させ、同時に手動スクラム操作を行う。その結果プラントは停止状態となる。（図 1 参照）

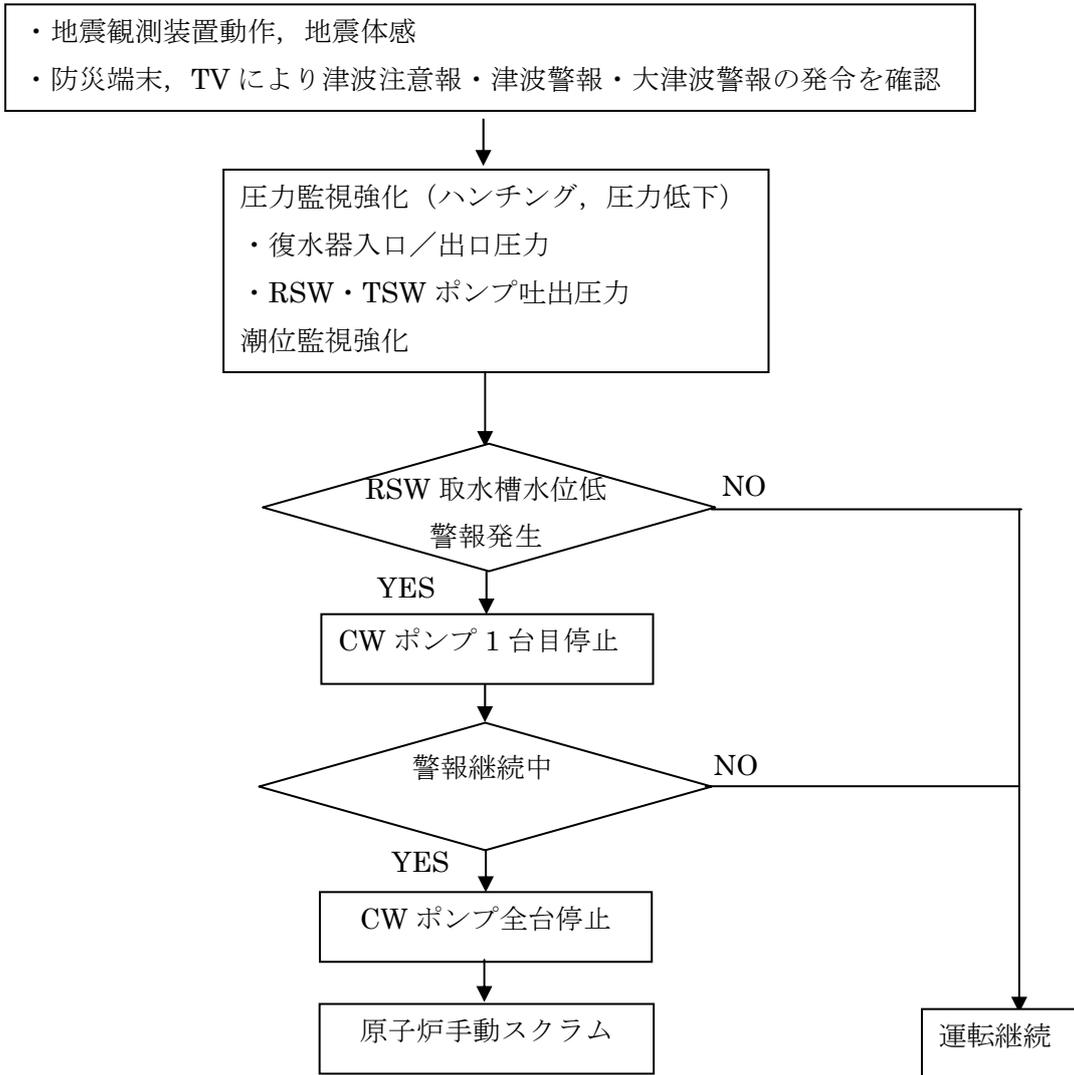


図 1 津波発生時の原子炉手動停止手順

引き波の津波PRAへの寄与について

(1) 引き波による水位低下の海水系への影響について

引き波による水位低下が発生すると、非常用海水ポンプ(RSWポンプ)が取水継続できない可能性がある。これは、循環水ポンプ(CWポンプ)やRSWポンプを適切に停止することで回避することができる。この場合、水位回復後に各種緩和系に期待できることから、浸水に伴ってほとんどの緩和系が失われる押し波に比べ、引き波のリスクへの寄与は小さいと考え、津波PRAで評価する起因事象からは引き波を除外している。今回、この引き波の影響について感度解析を行った。

(2) 事故シナリオの同定

引き波の水位に応じた事故シナリオの分析及び、誘発される起因事象を表1に整理した。また、図1、図2に取水路の概要図を示す。

(3) 解析条件

①起因事象については、事故シナリオの分析結果から以下のように設定した。

(a) 津波水位(T.M.S.L. -2.7m～T.M.S.L. -4.1m)

CWポンプ停止操作に成功した場合、RSWポンプは運転可能な水位であり、全てのECCS系は使用可能であることから、隔離事象を想定した。また、CWポンプ停止操作に失敗した場合、RSWポンプが取水継続できなくなると仮定し、起因事象としてLUHSを設定した。

(b) 津波水位(T.M.S.L -4.1m以下)

津波水位T.M.S.L. -4.1m以下では、RSWポンプ運転限界水位に到達するため、

起因事象としてLUHSを設定した。

②敷地周辺海域の活断層の地震による津波(近地津波)と日本海東縁部に想定される地震による津波(遠地津波)では, 想定波源が異なるため津波の到達時間には差があると考えられる。即ち, ポンプ停止操作に対する時間余裕が異なると考えられることから, 表2の通り近地津波・遠地津波の発生頻度に分けて評価した。

③引き波によるポンプの停止操作に対する運転員の人的過誤確率は内的事象PRAと同様にTHERP手法にて評価した。CWポンプ, RSWポンプの停止操作の人的過誤確率の算出にあたっては, 設置許可の入力津波(図3, 図4)に基づき近地津波では15分, 遠地津波では60分の時間余裕を使用した。

④日本海では地理的な特性から, 津波が繰り返し襲来する可能性がある。津波が連なる場合, 停止操作・復旧操作を複数回実施することが考えられるため, 2ケースの評価を実施した。ケース1では繰り返しを考慮しない人的過誤確率を設定した評価を, ケース2では10回の繰り返しを考慮しCWポンプ, RSWポンプの停止・復旧操作の人的過誤確率を10倍に設定した評価を実施した。

(4) イベントツリーの作成

イベントツリーを図5及び図6に示す。イベントツリー作成にあたって, 安全機能に関して, 冷却水系が機能喪失していない場合にはHPCFやLPFLといった系統に期待できるものの, 引き波では, 潮位が回復するまでRCICによる継続的な炉心冷却を考慮していることから, 保守的にRCICのみに期待するとしている。

(5) 評価結果

引き波による全炉心損傷頻度(CDF)の評価結果を, 表3に示す。

津波の繰り返しを考慮しないケース1では, 近地津波, 遠地津波の合計のCDFは 3.4×10^{-5} (/炉年)となり, 押し波のCDF(2.1×10^{-4} (/炉年))の16%程度である。起因事象を発生させる-2.7m以下の引き波の発生頻度(5.1×10^{-4} (/年))は, 4.2m以上

の押し波の発生頻度(2.1×10^{-4} (/年))に比べ大きい。しかし、引き波の場合、CWポンプやRSWポンプの停止操作に成功すれば各種緩和機能に期待でき、CDFは引き波の発生頻度と使用可能な各緩和設備の失敗確率の積となるが、押し波の場合ではCDFは押し波の発生頻度と等しくなる。このため、押し波に比べ、引き波のCDFは小さい値となる。

引き波の繰り返しを考慮したケース2では、CDFは 6.7×10^{-5} (/炉年)であり、ケース1に比べ約2倍となった。ケース1に比べ増加しているが、これは繰り返しを考慮した人的過誤確率をRSWポンプの停止操作や復旧操作に採用しているためである。押し波に対する割合は32%程度となる。

本評価では、引き波と押し波は独立として評価している。しかし、引き波と押し波が同一の波源で発生する場合、全体のCDFは各CDFの単純な和とはならないと考えられ、引き波の寄与は、本評価よりも小さいものとなると考えられる。

次に、引き波と押し波を合わせた炉心損傷クラス毎のCDFを表4に、その寄与割合を示す円グラフを図7、図8に示す。押し波のみの結果より割合が小さくなるものの、TQUVの寄与割合がケース1の場合で約78%と大きい結果となる。これに続き、引き波の主要な炉心損傷クラスであるTWが約12%となる。

表 1 津波水位と引き波による CDF の評価ケース

: 評価対象

津波水位	評価ケース	津波により誘発される起回事象	備考
T.M.S.L. -1.7m 以上	—	起回事象は発生しない	津波による起回事象は発生しないため、評価対象外とする。
T.M.S.L. -1.7m ~ -2.7m	—	隔離事象(水位回復後には復水器による除熱も使用可能)	CW ポンプの運転限界水位であり、給復水系や PCS は使用できないものの安全系は使用可能な水位。T.M.S.L. -2.7m 以下の事故シナリオに比べ、最終ヒートシンク喪失は発生しないことから、プラントへの影響は小さいものと考えられるため、評価対象外とする。
T.M.S.L. -2.7m ~ -4.1m	CW ポンプ停止 <input checked="" type="checkbox"/> 成功 対応ケース	隔離事象(水位回復後には復水器による除熱も使用可能)	CW ポンプ停止操作に成功した場合、給復水系や PCS は使用できないものの安全系は使用可能である。T.M.S.L. -1.7m ~ -2.7m の事故シナリオと同様に、最終ヒートシンク喪失は発生しないことから、プラントへの影響は小さいものと考えられ、評価対象外とする。
	CW ポンプ停止 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗 対応ケース		CW ポンプ停止操作に失敗した場合、取水路射流の発生により大規模な渦と取水槽の水位低下を引き起こし、RSW ポンプが取水継続できなくなることを仮定する。
T.M.S.L. -4.1m 以下	CW ポンプ, RSW ポンプ停止 <input checked="" type="checkbox"/> 成功 対応ケース	最終ヒートシンク喪失	CW ポンプ停止操作及び RSW ポンプ停止操作に成功した場合、RCIC を手動起動し、潮位が安定した後、海水系ポンプの復旧操作(再起動)に成功すれば RSW に期待できるものとする。
	CW ポンプ, RSW ポンプ停止 <input checked="" type="checkbox"/> 失敗 対応ケース		CW ポンプ停止操作に失敗した場合、RSW 系取水槽水位が回復しないことを想定し、RSW ポンプ停止操作についても必ず失敗するものとする。

表2 津波水位に対する発生頻度

水位	波源モデル	発生頻度
T.M.S.L. -2.7m～T.M.S.L. -4.1m	海域活断層 (近地津波)	2.2×10^{-4}
	日本海東縁部 (遠地津波)	2.1×10^{-4}
T.M.S.L. -4.1m 以下	海域活断層 (近地津波)	4.5×10^{-5}
	日本海東縁部 (遠地津波)	3.8×10^{-5}

単位(／年)

表3 引き波による炉心損傷頻度(7号炉)

ケース	近地津波	遠地津波	引き波による CDF	引き波／ 押し波
	CDF	CDF		
ケース1(繰り返しなし)	3.2×10^{-5}	1.6×10^{-6}	3.4×10^{-5}	16%
ケース2(繰り返しあり)	6.5×10^{-5}	2.5×10^{-6}	6.7×10^{-5}	32%

単位(／炉年)

表 4 引き波と押し波による炉心損傷クラス毎の炉心損傷頻度(7号炉)

ケース	TQUV		TW	TBD	LOCA		合計
	押し波	引き波	引き波	押し波	押し波	引き波	
ケース 1 (繰り返し なし)	1.9×10^{-4}	3.2×10^{-6}	3.0×10^{-5}	2.5×10^{-5}	1.9×10^{-24}	1.0×10^{-24}	2.5×10^{-4}
	77%	1%	12%	10%	0%	0%	100%
ケース 2 (繰り返し あり)	1.9×10^{-4}	3.2×10^{-6}	6.4×10^{-5}	2.5×10^{-5}	1.9×10^{-24}	1.0×10^{-24}	2.8×10^{-4}
	67%	1%	23%	9%	0%	0%	100%

単位(／炉年)

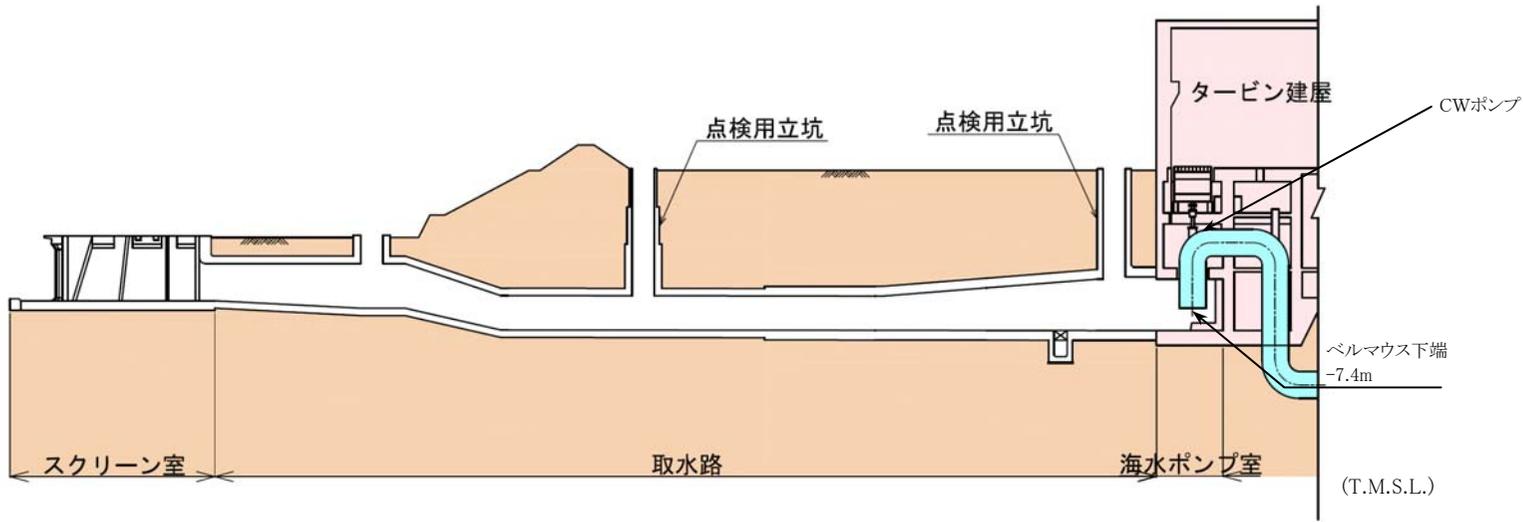


図1 取水路概要図(常用系断面図)

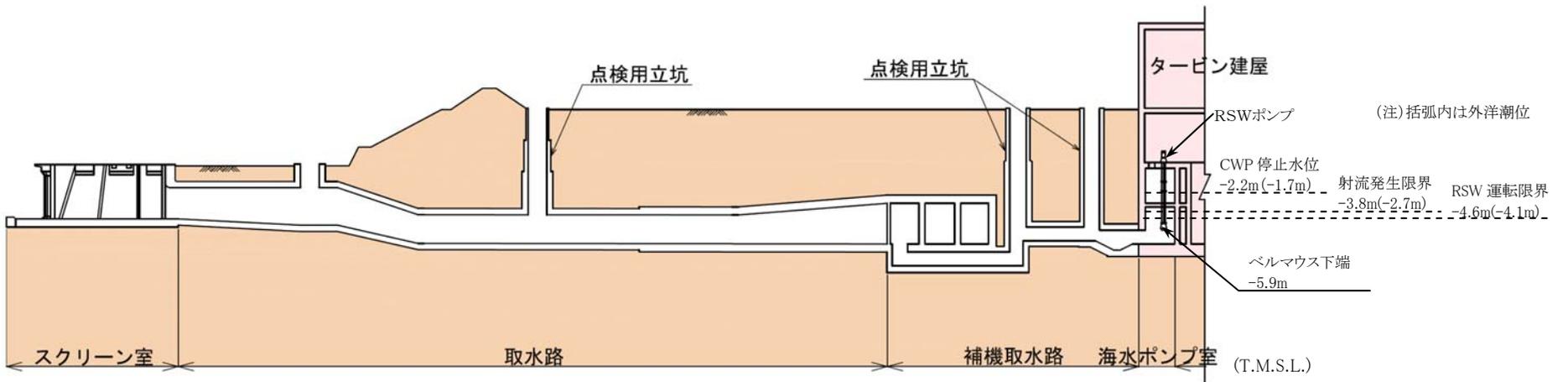


図2 取水路概要図(非常用系断面図)

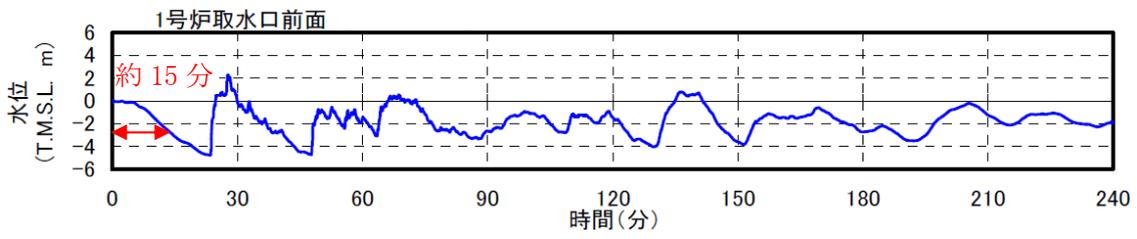


図 3 入力津波の時刻歴波形(近地津波)

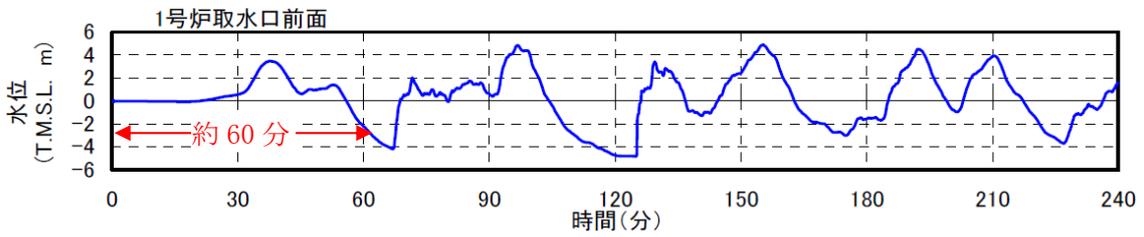


図 4 入力津波の時刻歴波形(遠地津波)

津波 T.M.S.L. -2.7m ～ -4.1m	CWポンプ 停止操作	S/R弁開放	S/R弁再閉鎖	RCIC	RHR-A系	RHR-B系	RHR-C系	No.	最終状態
								1	過渡事象へ
								2	-
								3	-
								4	-
								5	TW
								6	TQUV
								7	TQUV
								8	LOCA

図5 津波水位 T.M.S.L. -2.7m～T.M.S.L. -4.1m のイベントツリー(7号炉)

津波 T.M.S.L. -4.1m 以下	CWポンプ 停止操作	RSWポンプ 停止操作	S/R弁開放	S/R弁再閉鎖	RCIC	RSWポンプ 復旧操作	RHR-A系	RHR-B系	RHR-C系	No.	最終状態
										1	-
										2	-
										3	-
										4	TW
										5	TW
										6	TQUV
										7	TQUV
										8	LOCA
										9	-
										10	-
										11	-
										12	TW
										13	TW
										14	TQUV
										15	TQUV
										16	LOCA
										17	-
										18	-
										19	-
										20	-
										21	TW
										22	TW
										23	TQUV
										24	TQUV
										25	LOCA

図6 津波水位 T.M.S.L. -4.1m 以下のイベントツリー(7号炉)

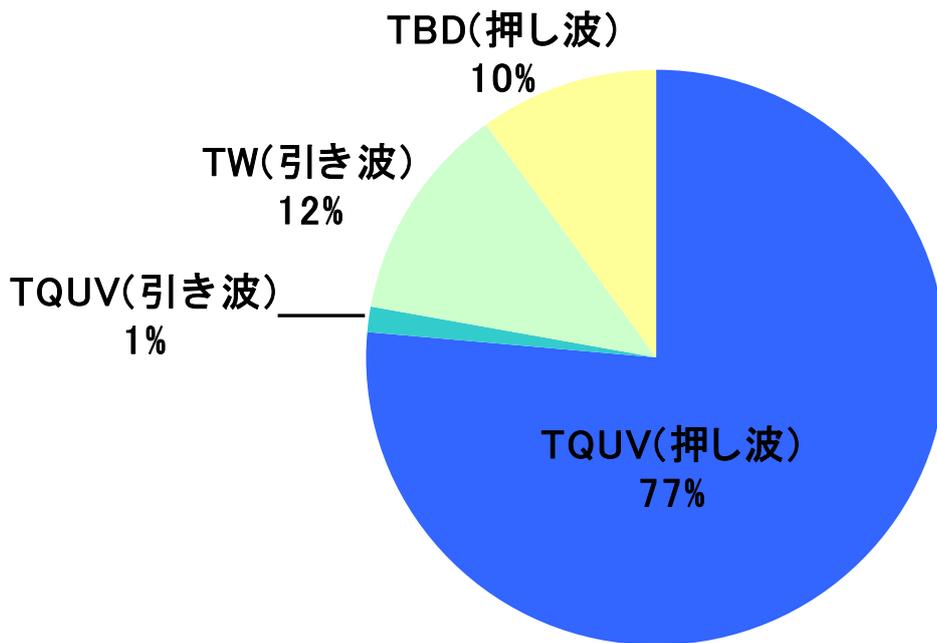


図 7 炉心損傷クラス毎の炉心損傷頻度寄与割合
(押し波+引き波(ケース 1:繰り返しなし))(7号炉)

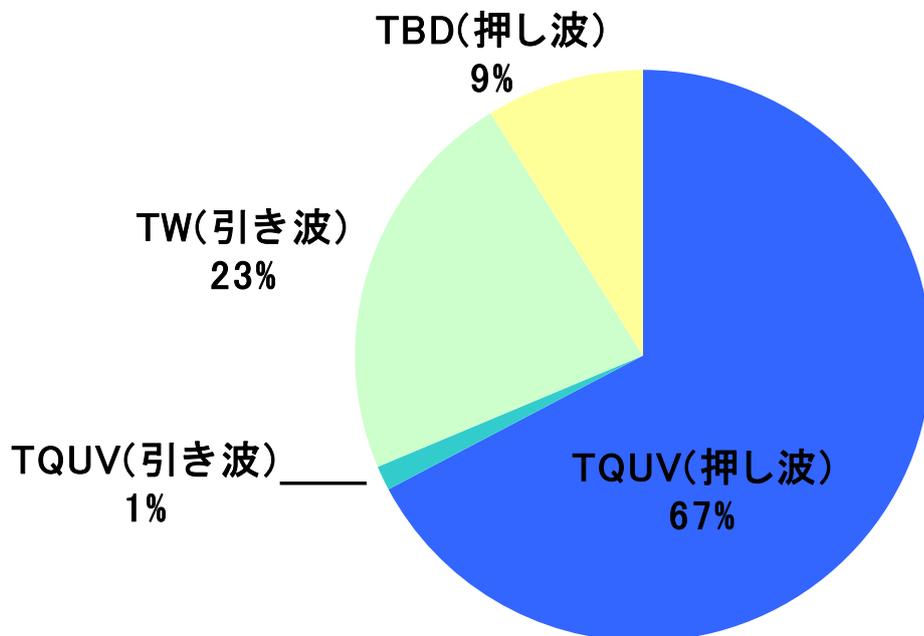


図 8 炉心損傷クラス毎の炉心損傷頻度寄与割合
(押し波+引き波(ケース 2:繰り返しあり))(7号炉)