

本資料のうち、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。

## 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

地震時の液状化による地盤沈下及び斜面崩壊を  
考慮した津波評価条件について

平成28年11月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目次

1. はじめに
2. 護岸付近及び荒浜側防潮堤内の敷地の沈下量設定
  - 1) 液状化に伴う排水沈下
  - 2) 液状化に伴う側方流動による沈下
  - 3) 津波遡上解析における沈下量の設定
3. 中央土捨場斜面及び荒浜側防潮堤内敷地周辺斜面の崩壊形状の設定
4. 津波評価条件

※安田層下部層の MIS10～MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物については、  
本資料では〔古安田層〕と仮称する。

## 1. はじめに

基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイドの要求事項に基づき、以下の検討方針に従い、津波遡上経路への影響について検討する。

### 【規制基準における要求事項等】

次に示す可能性が考えられる場合は、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討すること。

- 地震に起因する変状による地形，河川流路の変化

### 【検討方針】

敷地への遡上及び流下経路上の地盤等について、地震による地形，標高変化を考慮した津波評価を実施し、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討する。

- 基準地震動  $S_s$  による損傷が想定される防潮堤及び防波堤については、それらがない状態での津波評価を実施する。
- 護岸付近及び荒浜側防潮堤内の敷地 (T. M. S. L. +5m) は、基準地震動  $S_s$  による沈下を想定し、沈下量を設定し地形に反映して、津波評価を実施する。
- 敷地の中央に位置する中央土捨場及び荒浜側防潮堤内敷地 (T. M. S. L. +5m) の周辺斜面は、基準地震動  $S_s$  による斜面崩壊を考慮し、土砂の堆積形状を設定し地形に反映して、津波評価を実施する。

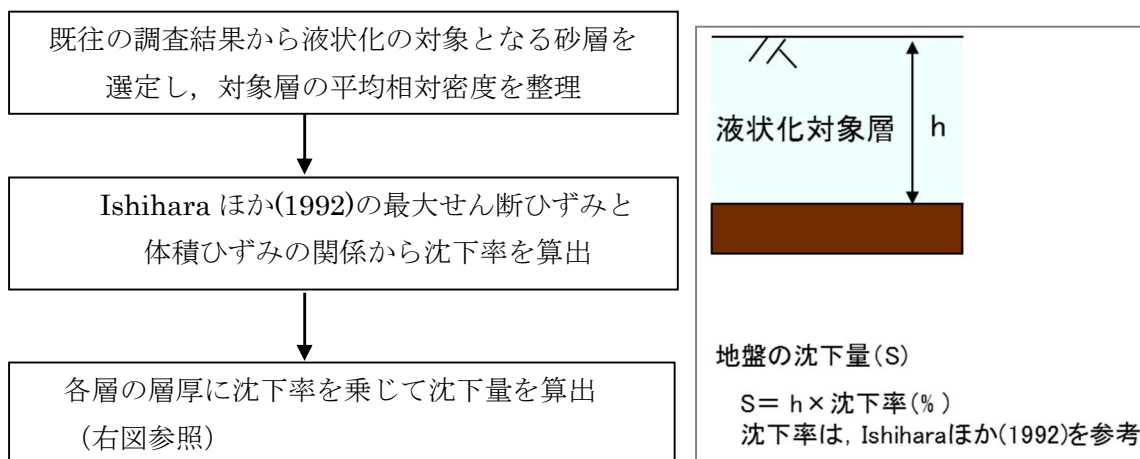
## 2. 護岸付近及び荒浜側防潮堤内の敷地の沈下量設定

遡上域である護岸付近の地盤及び荒浜側防潮堤内の敷地 (T. M. S. L. +5m) は、地震時の液状化に伴う地盤の沈下が想定されることから、沈下量を算定し、津波評価に用いる地形モデルに反映する沈下量を設定する。なお、液状化に伴う沈下量の算定は、排水による沈下と側方流動による沈下に分けて算定する。

## 1) 液状化に伴う排水沈下

### ① 検討概要

護岸付近及び荒浜側防潮堤内敷地の地盤は、西山層、古安田層、埋戻土層等から構成されている。沈下量は、添付第 2-1 図に示す流れに従って、地質断面図により算定した。



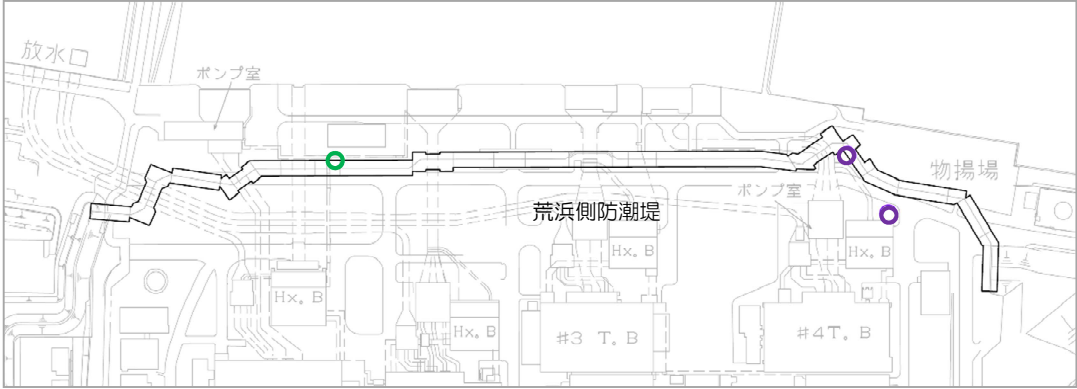
添付第 2-1 図 液状化に伴う排水沈下量の算定フロー

### ② 評価対象層の選定及び相対密度の設定

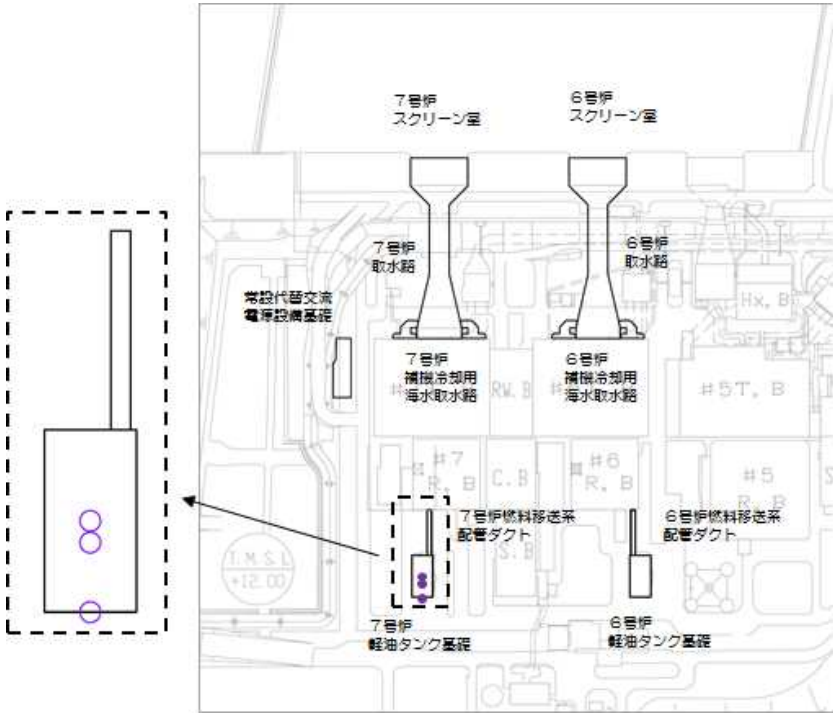
排水沈下量算定の対象層としては、砂層の分布状況等から、古安田層中の砂層、番神砂層・大湊砂層、新期砂層・沖積層及び埋戻土層を選定した。各層の沈下率は、Ishihara ほか(1992)の地盤の相対密度に応じた最大せん断ひずみと体積ひずみ（沈下率）の関係から設定した。相対密度の調査位置を添付第 2-2 図に、各層の相対密度を添付第 2-3 図に示す。

沈下率は、添付第 2-4 図に示すとおり、相対密度のばらつきを考慮して、保守的に埋戻土層 2.8%、番神砂層・大湊砂層及び新期砂層・沖積層 1.7%、古安田層中の砂層 2.1%と設定した。

- : 埋戻土層調査位置
- : 新期砂層・沖積層調査位置



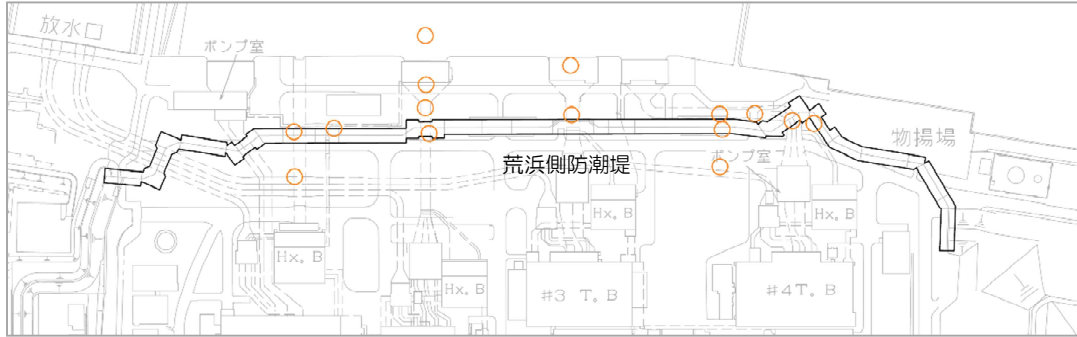
荒浜側



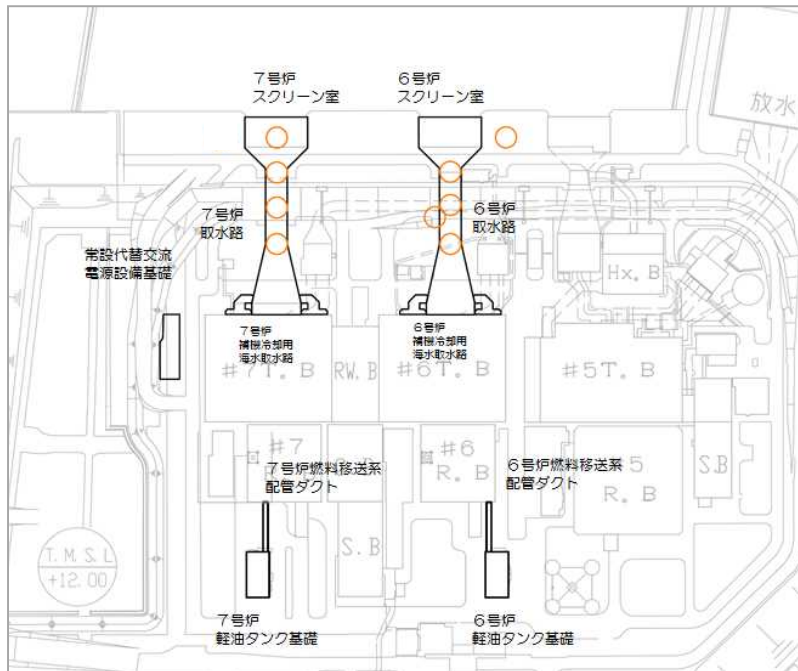
大湊側

添付第 2-2 図(1) 相対密度の調査位置〔埋戻土層及び新期砂層・沖積層〕

○ : 調査位置

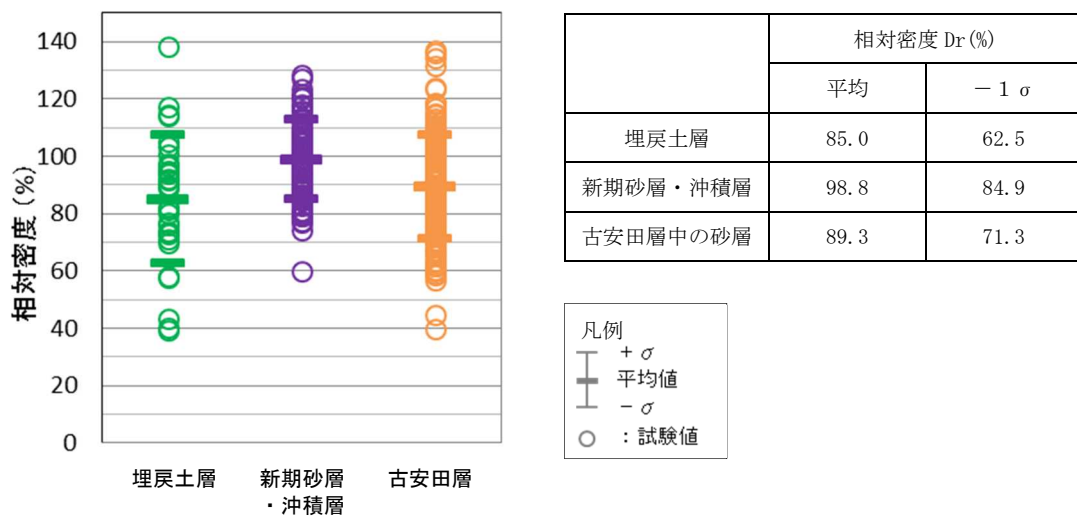


荒浜側

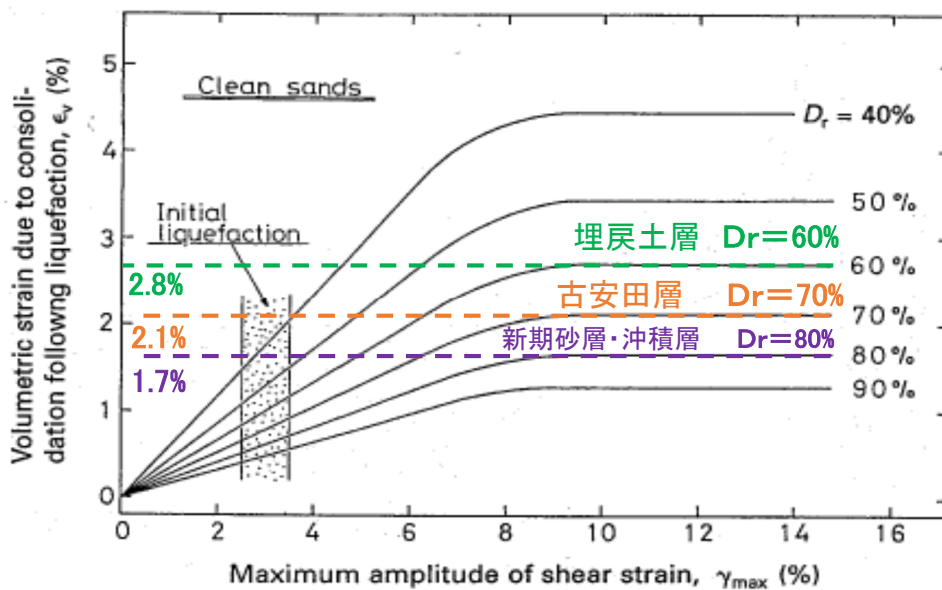


大湊側

添付第 2-2 図(2) 相対密度の調査位置〔古安田層内の砂層〕



添付第 2-3 図 地盤の相対密度

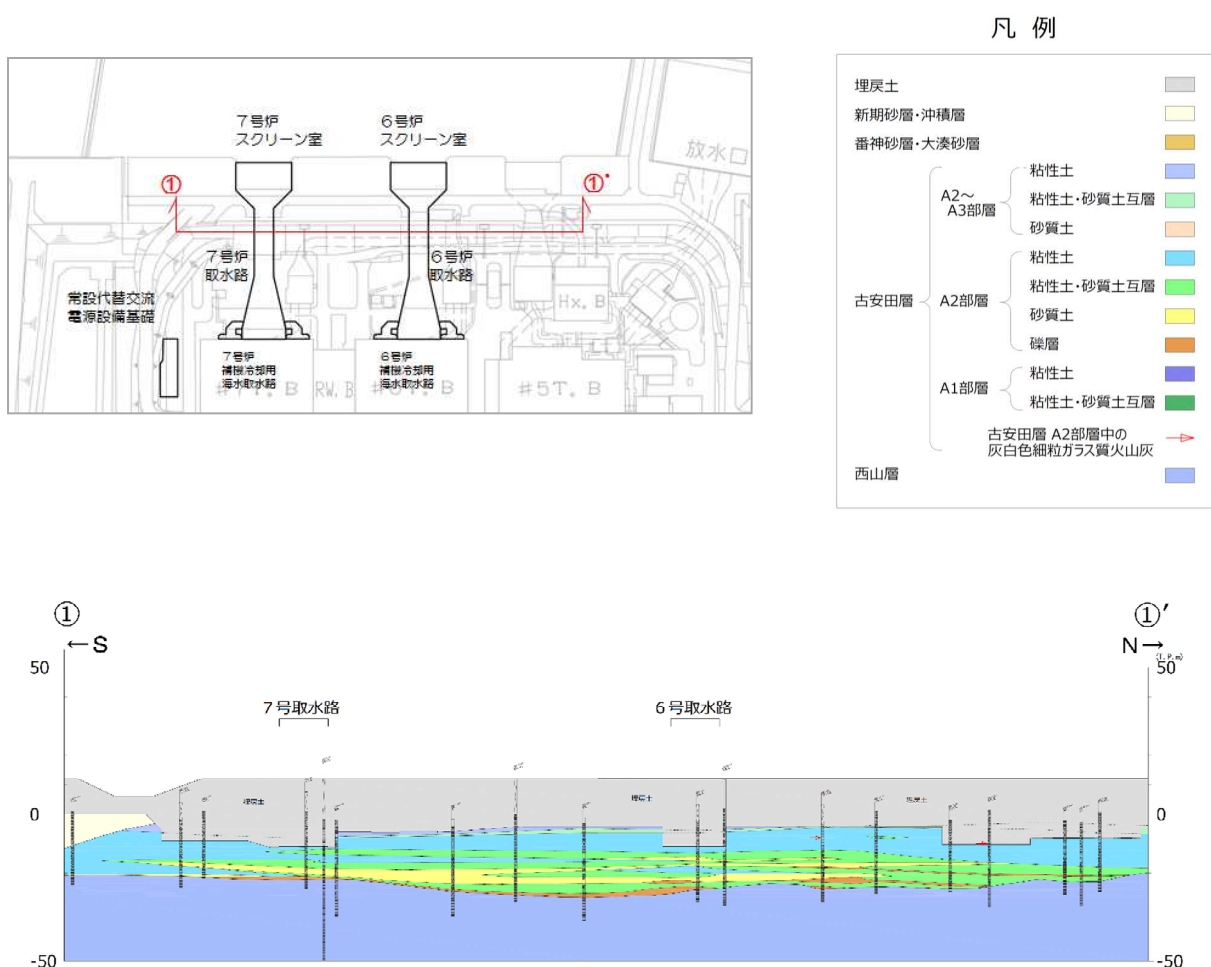


添付第 2-4 図 Ishihara ほか(1992)の地盤の最大せん断ひずみと体積ひずみの関係から設定した沈下率

② 護岸付近の排水沈下量

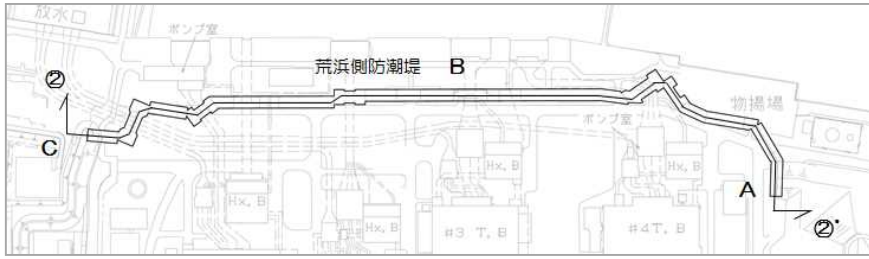
護岸付近の排水沈下量は、大湊側を6, 7号炉の取水路に直交する地質断面図、荒浜側を荒浜側防潮堤沿いの地質断面図に基づき算定した。平面図及び地質断面図を添付第2-5図に示す。

各砂層の層厚と沈下率から算出した沈下量の分布を添付第2-6図に示す。大湊側護岸付近の平均沈下量は0.55m, 最大沈下量は0.65m, 荒浜側護岸付近の平均沈下量は0.48m, 最大沈下量は0.71mとなった。

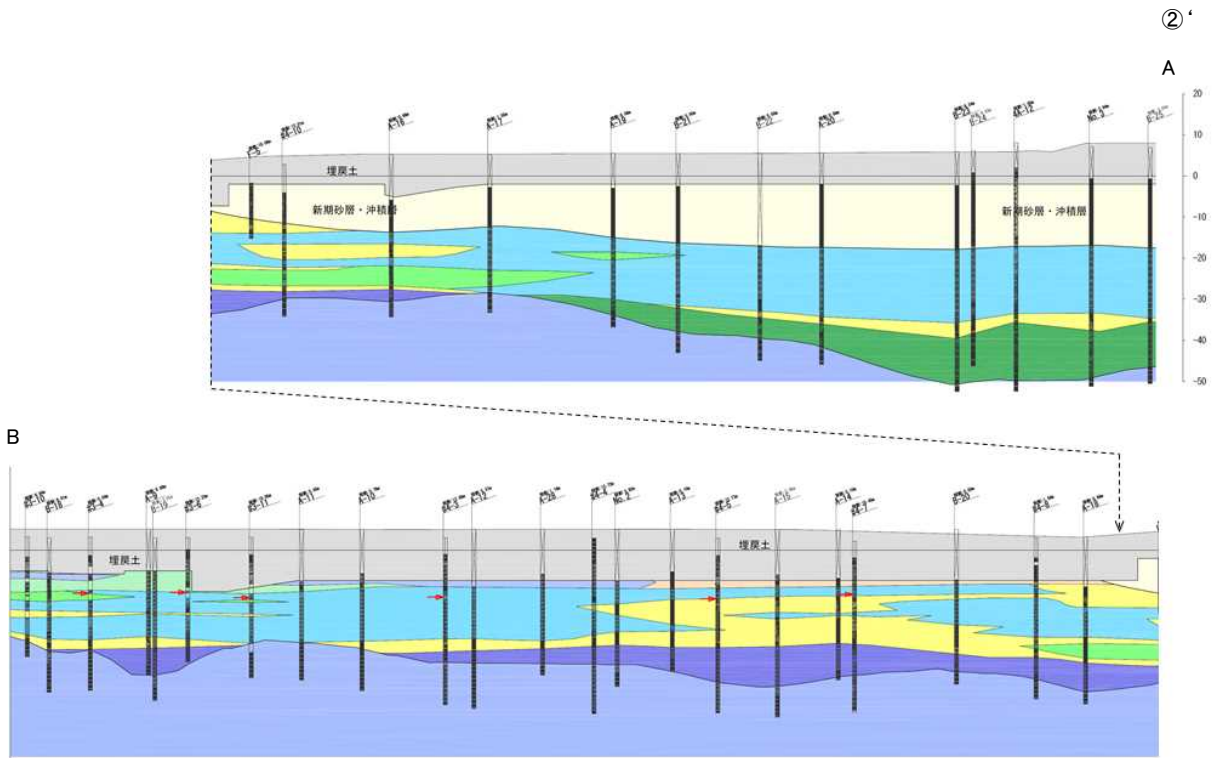


添付第2-5図(1) 地質断面図 (大湊側 ①-①' 断面)

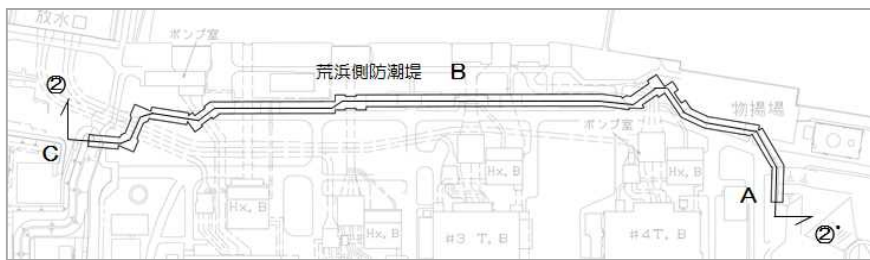




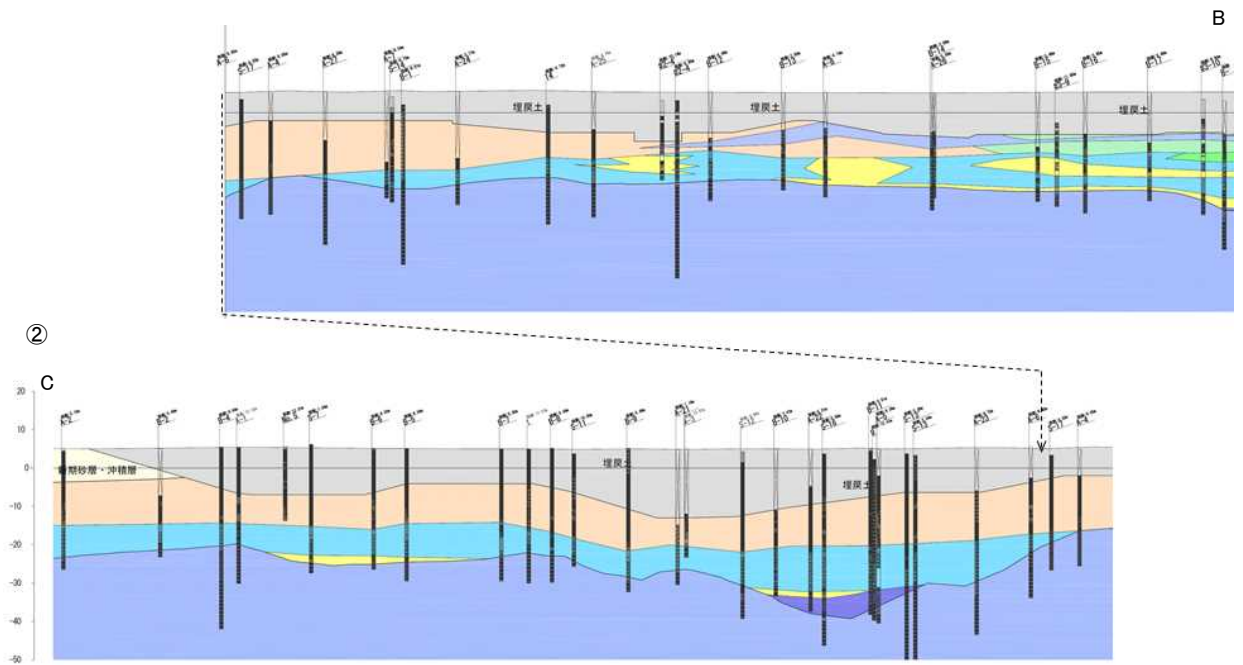
凡例



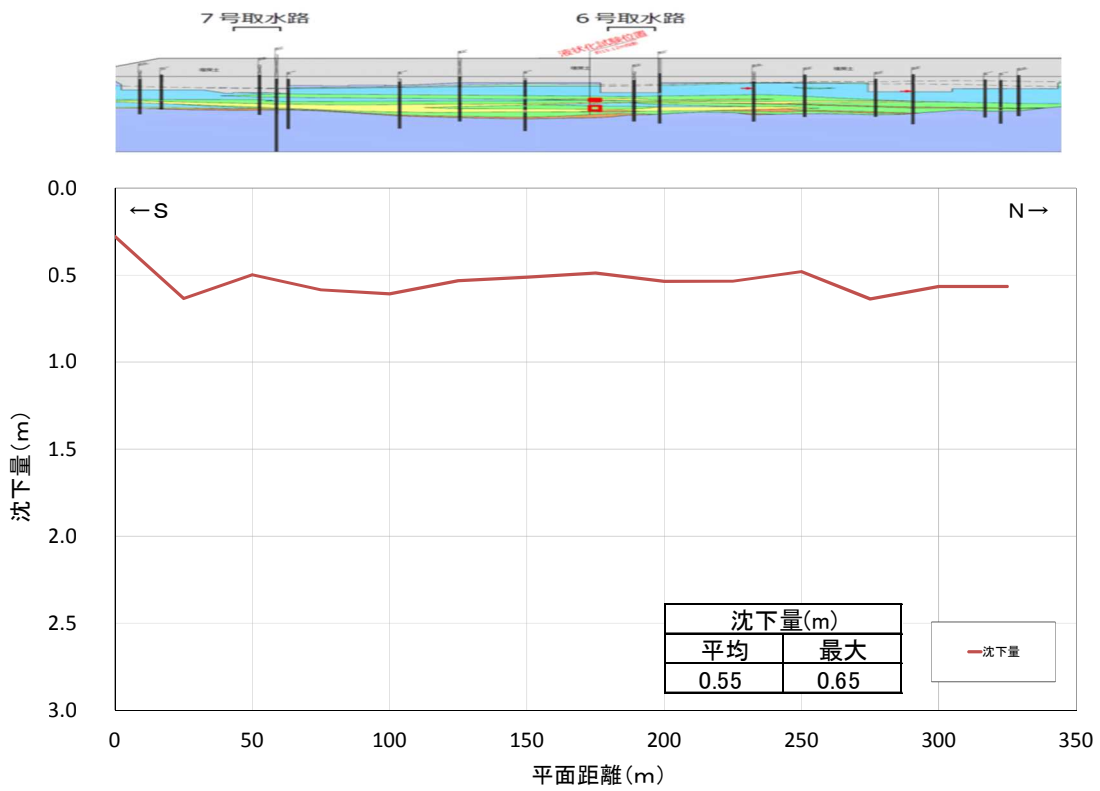
添付第 2-5 図(2) 地質断面図 (荒浜側 ②-②' (A-B) 断面)



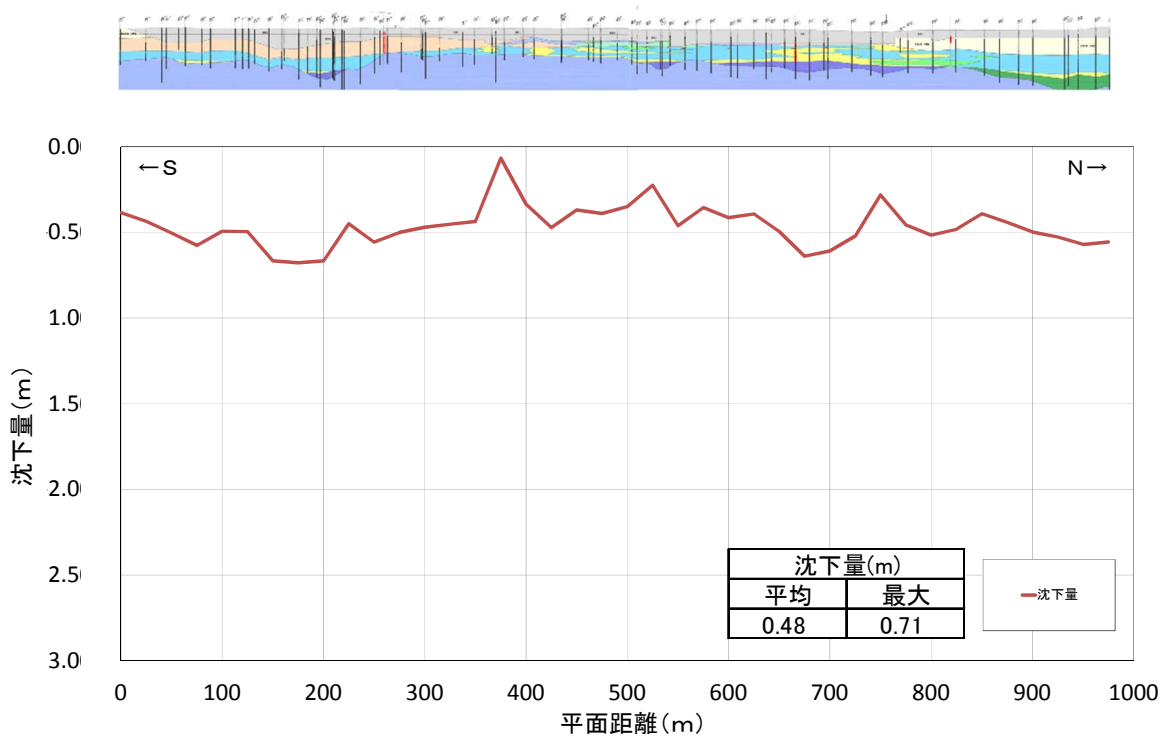
凡例



添付第 2-5 図(3) 地質断面図 (荒浜側 ②-②' (B-C) 断面)



添付第 2-6 図(1) 排水沈下量 (大湊側護岸付近)

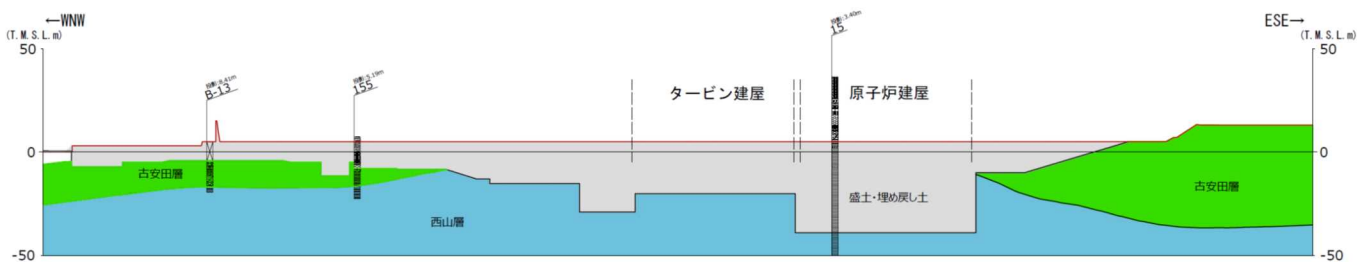
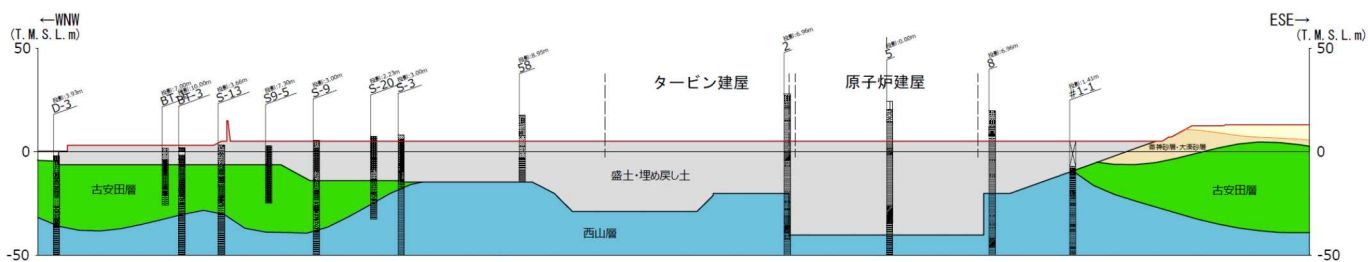
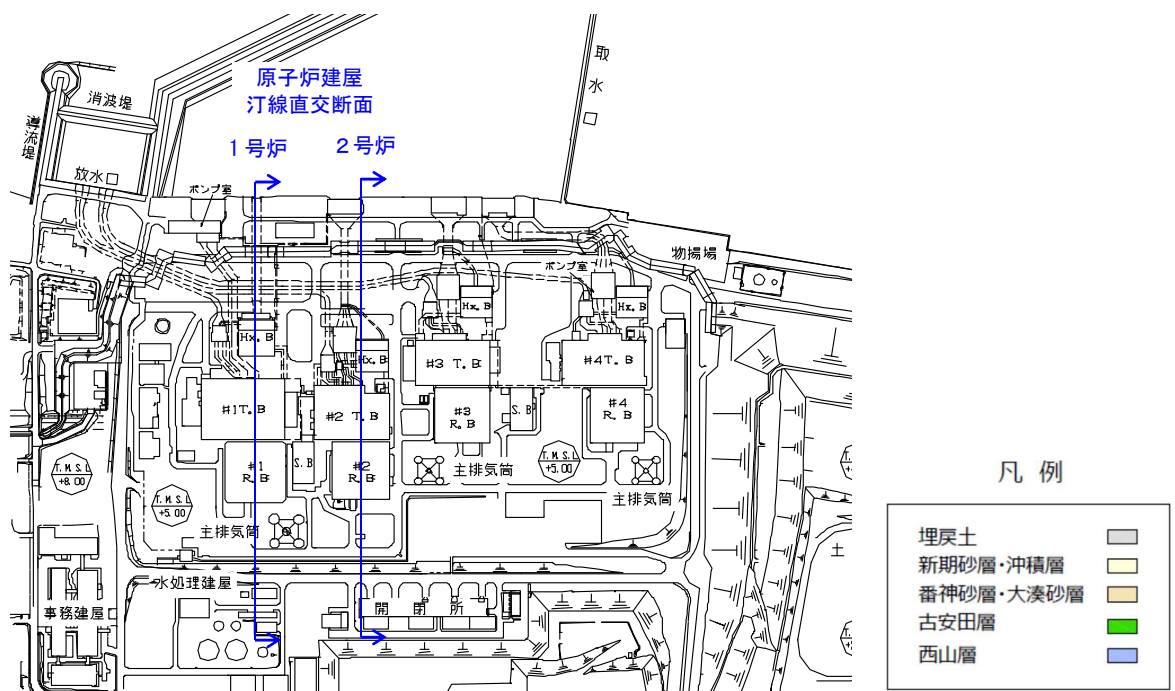


添付第 2-6 図(2) 排水沈下量 (荒浜側護岸付近)

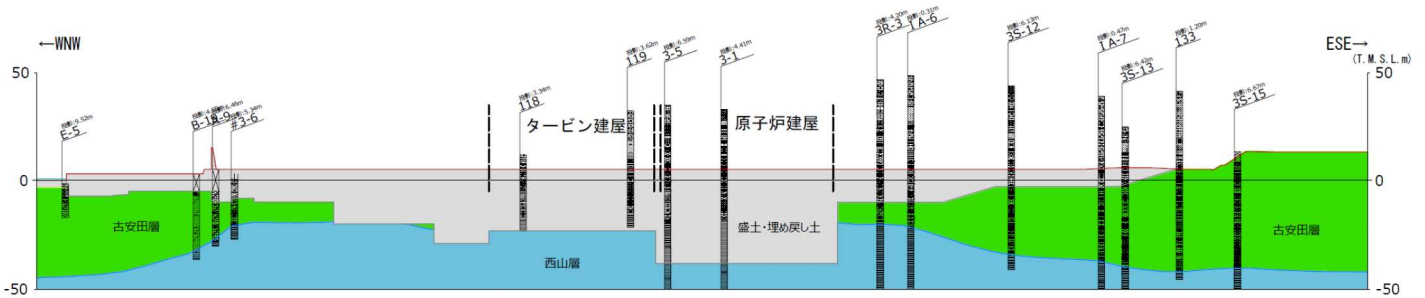
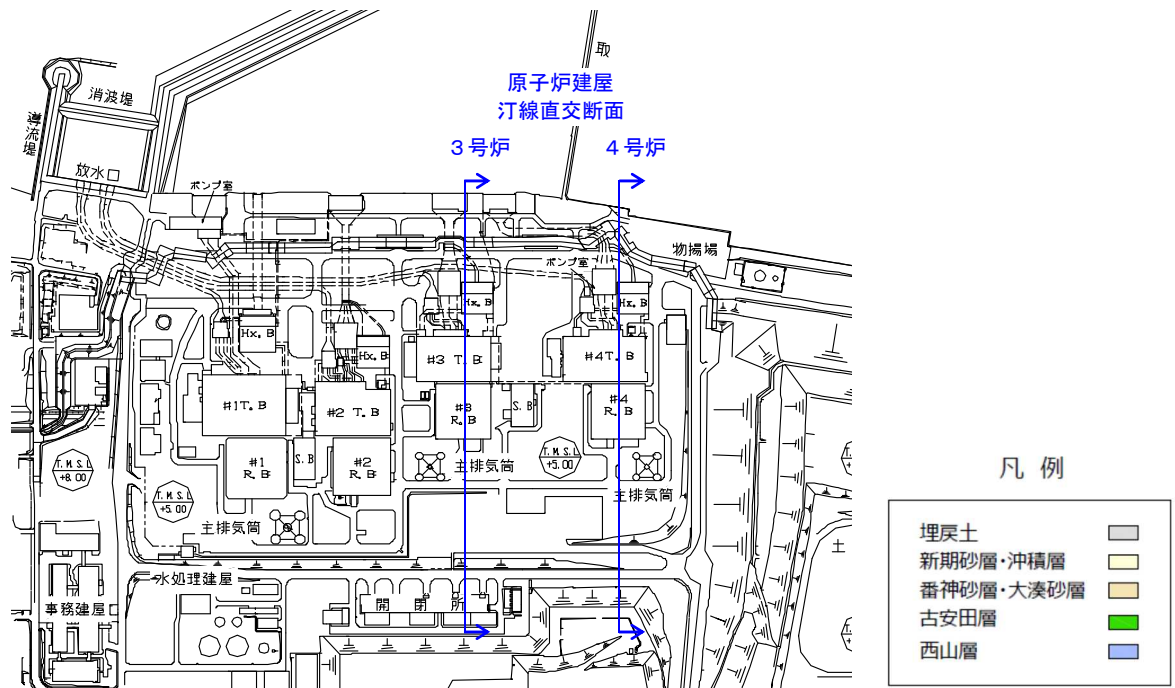
③ 荒浜側防潮堤内敷地の排水沈下量

荒浜側防潮堤内の敷地 (T. M. S. L. +5m) の沈下量は、護岸付近と同様な考え方で、1～4号炉の原子炉建屋に直交する地質断面図に基づき算定した。平面図及び地質断面図を添付第2-7図に示す。なお、1～4号炉の原子炉建屋に直交する地質断面図における古安田層については、液状化しない粘性土も広く分布しているが、ここでは全層を液状化評価対象層として保守的に沈下量を算定した。

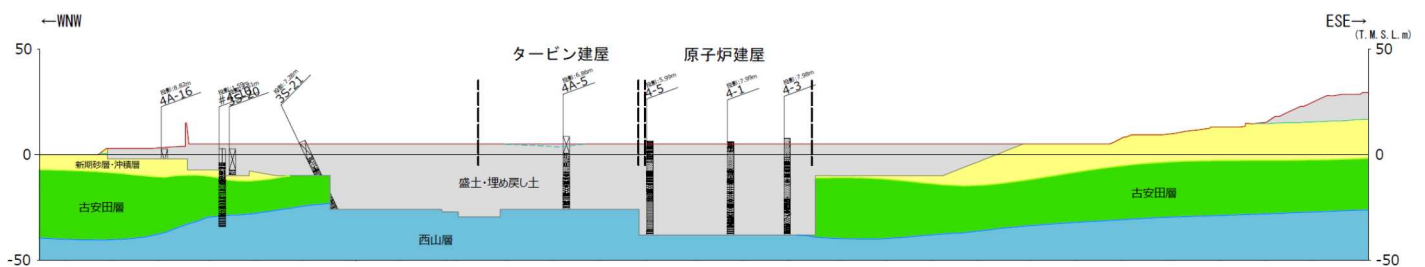
各砂層の層厚と沈下率から算出した沈下量の分布を添付第2-8図に示す。1号炉汀線直交断面の沈下量は、海側で平均0.77m、最大1.03m、山側で平均0.77m、最大1.06mとなった。2号炉汀線直交断面の沈下量は、海側で平均0.53m、最大0.58m、山側で平均0.83m、最大1.05mとなった。3号炉汀線直交断面の沈下量は、海側で平均0.72m、最大0.95m、山側で平均0.93m、最大1.15mとなった。4号炉汀線直交断面の沈下量は、海側で平均0.83m、最大0.97m、山側で平均0.88m、最大1.07mとなった。



添付第 2-7 図(1) 地質断面図 (1, 2号炉汀線直交断面図)

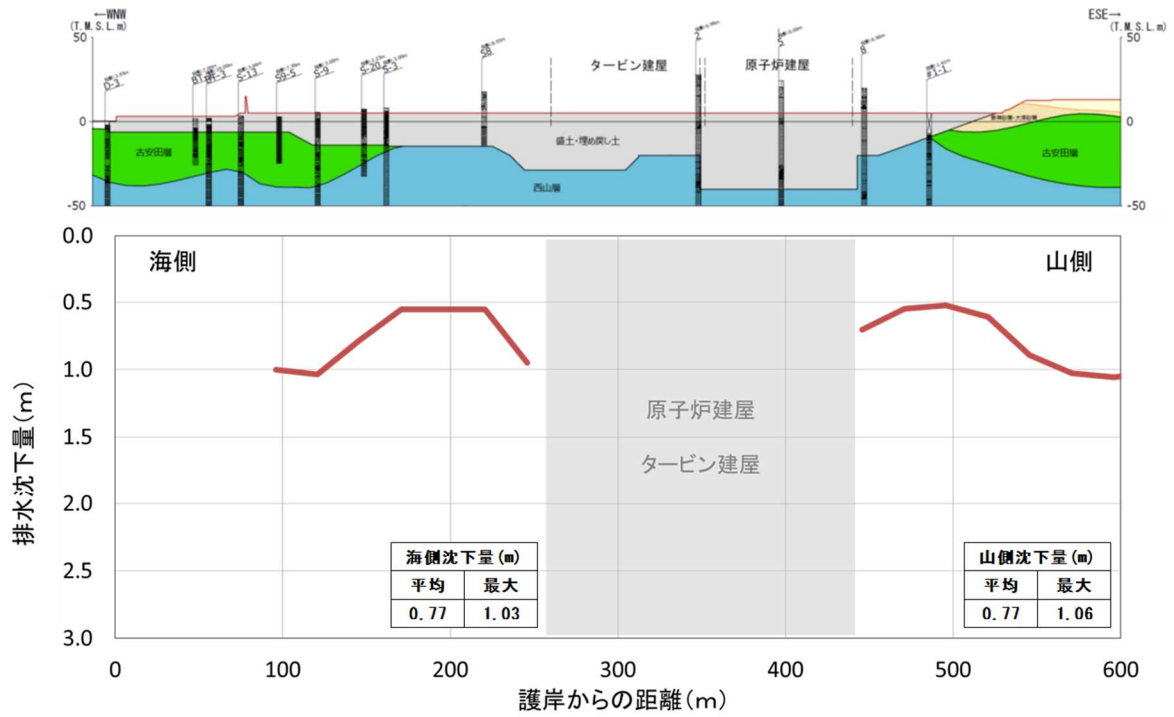


3号炉汀線直交断面

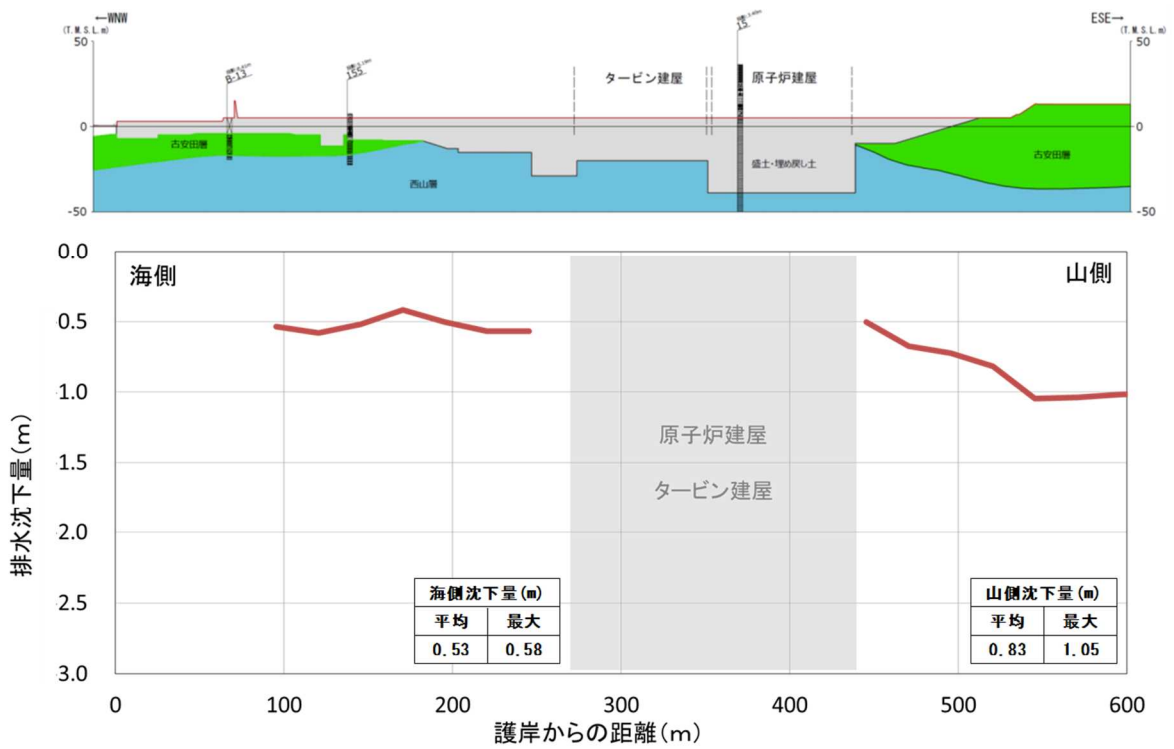


4号炉汀線直交断面

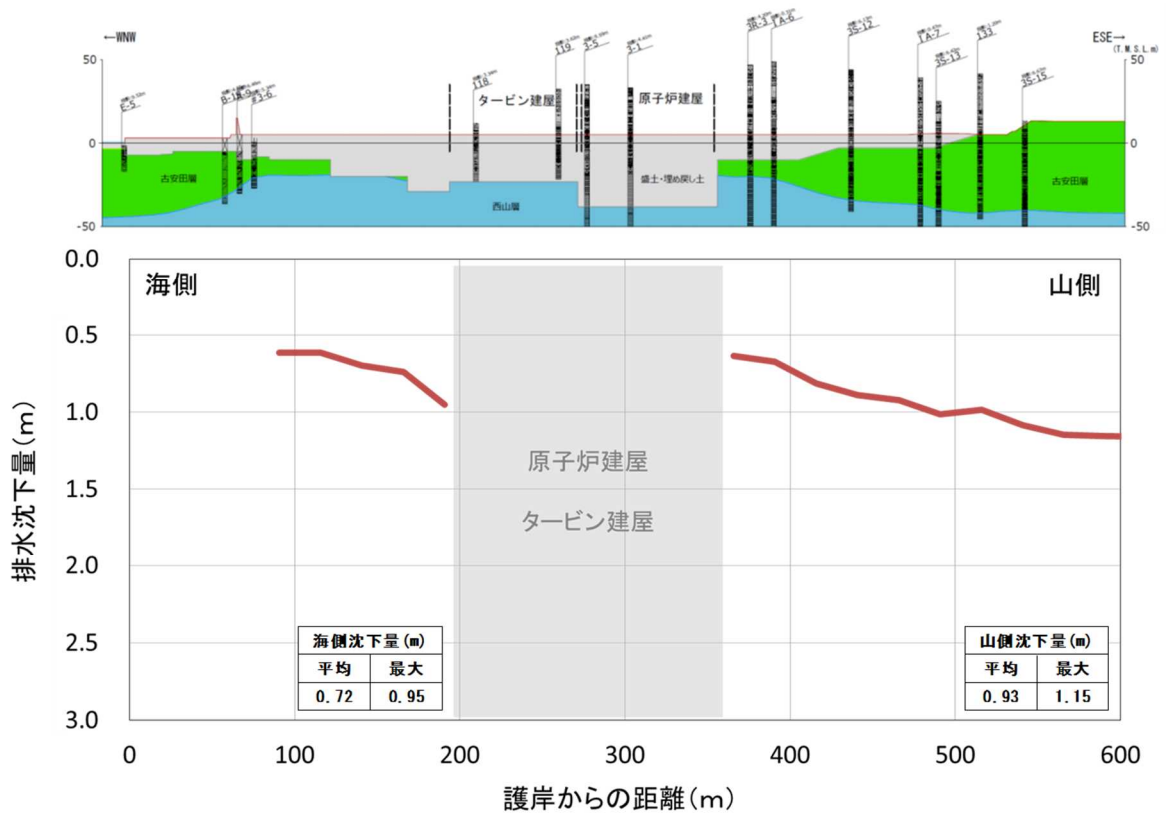
添付第 2-7 図(2) 地質断面図 (3, 4号炉汀線直交断面図)



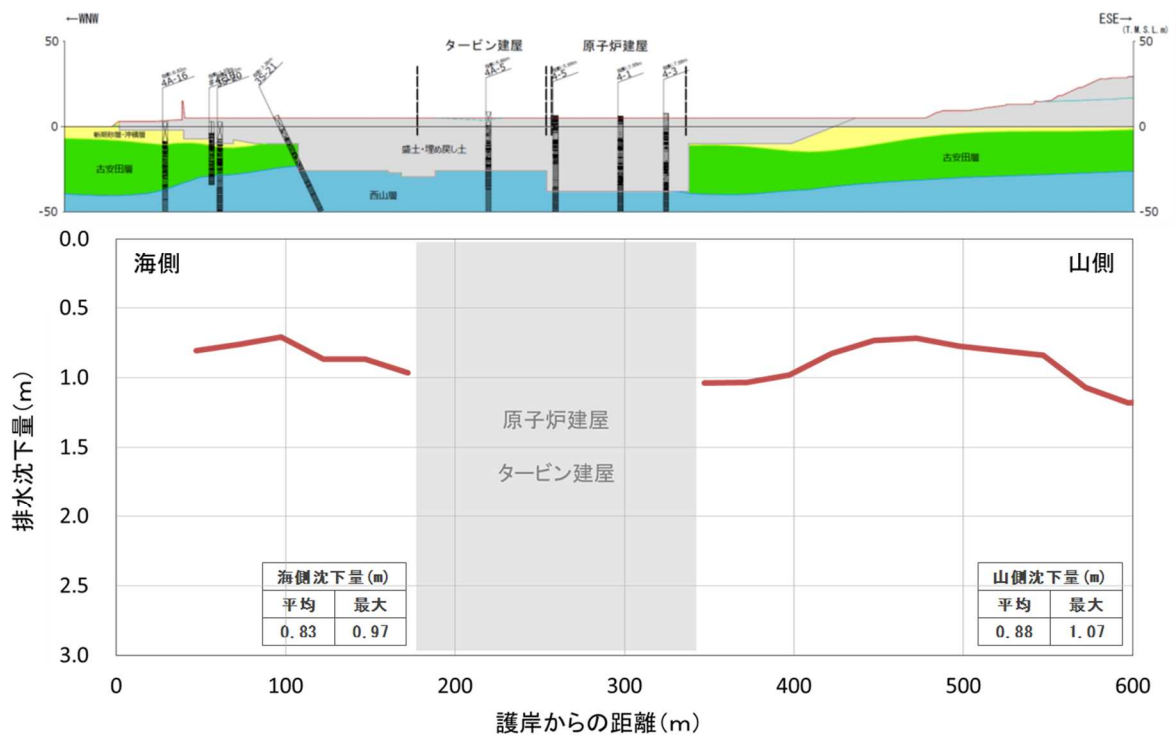
添付第 2-8 図(1) 排水沈下量 (1号炉汀線直交断面)



添付第 2-8 図(2) 沈下量 (2号炉汀線直交断面)



添付第 2-8 図(3) 排水沈下量 (3号炉汀線直交断面)



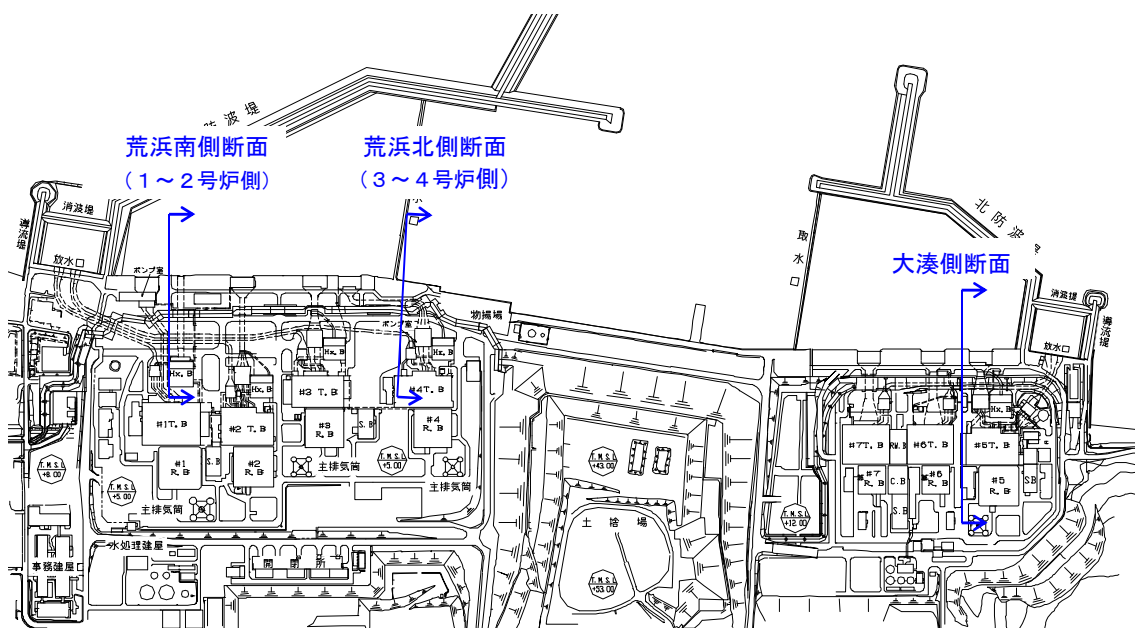
添付第 2-8 図(4) 排水沈下量 (4号炉汀線直交断面)



## 2) 液状化に伴う側方流動による沈下

### ① 評価方針

護岸付近の地盤については、地震時の地盤の液状化に伴う側方流動が想定されることから、二次元有効応力解析（解析コード「FLIP Ver. 7. 2. 3\_5」）により側方流動による沈下量を算定した。評価を行う解析断面には、添付第 2-9 図に示すとおり、荒浜側 2 断面，大湊側 1 断面を選定した。

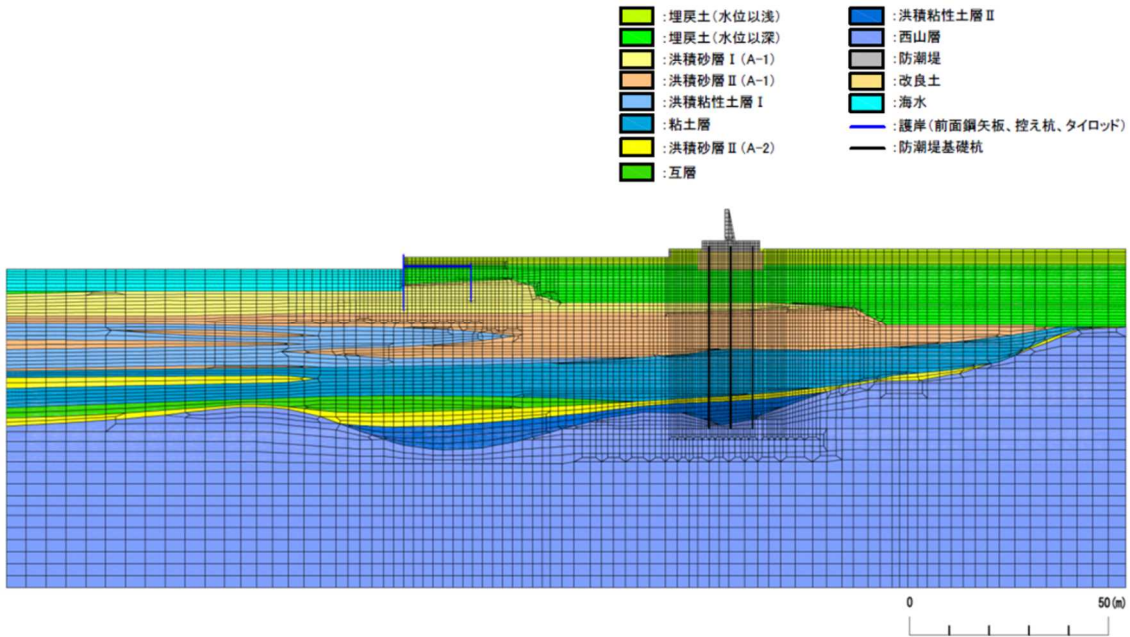


添付第 2-9 図 評価断面位置

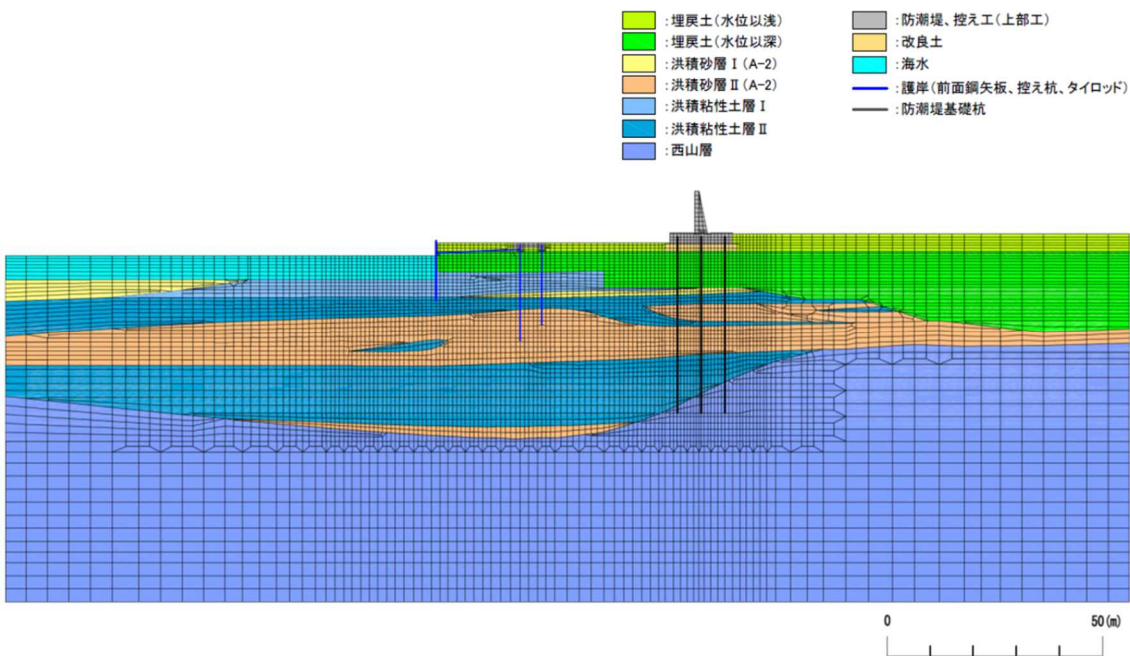
### ② 解析条件

荒浜南側（1～2号炉側），荒浜北側（3～4号炉側）及び大湊側の解析モデル図を添付第 2-10 図に示す。地盤は、地質区分に基づき平面ひずみ要素でモデル化し、護岸矢板，タイロッド及び控え杭は、非線形はり要素でモデル化した。

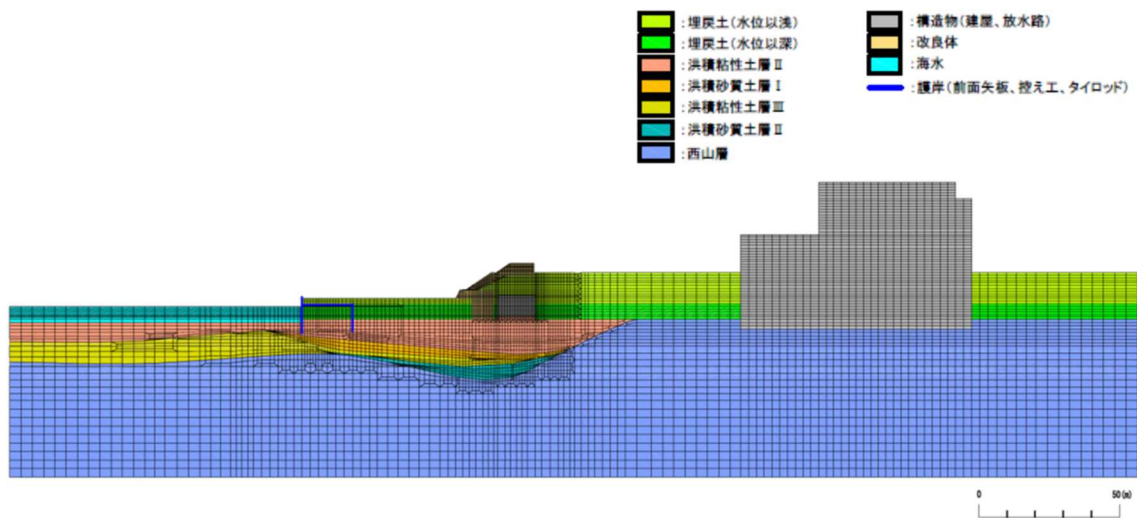
地下水位は、地震荷重に伴う液状化による変形を保守的に考慮するために、朔望平均満潮位（T. M. S. L. +0. 49m）に余裕を考慮した T. M. S. L. +1. 00m とした。



添付第 2-10 図(1) 解析モデル図〔荒浜南側 (1～2号炉側)〕



添付第 2-10 図(2) 解析モデル図〔荒浜北側 (3～4号炉側)〕



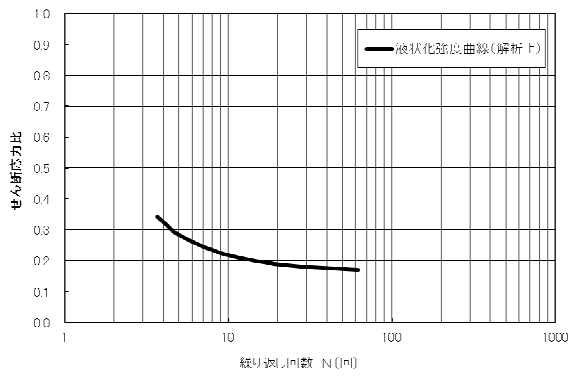
添付第 2-10 図(3) 解析モデル図〔大湊側〕

地盤の物性値は、「柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉 液状化影響の検討方針について (H28.9.8 第 398 回審査会合, 資料 1-1)」の検討方針に基づき設定した。

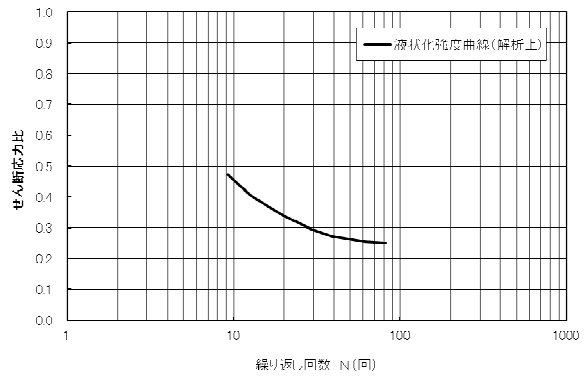
液状化の評価対象として取り扱う埋戻土層, 洪積砂層 I (A-1), 洪積砂層 II (A-1), 洪積砂層 I (A-2), 洪積砂層 II (A-2), 及び洪積砂質土層 I, II (0-1)の有効応力解析に用いる液状化パラメータは, 液状化試験結果 (繰返しねじりせん断試験結果) に基づき, 地盤のバラツキ等を考慮し, 保守的に設定した。

荒浜側及び大湊側の試験結果等から設定した解析上の液状化強度曲線を, それぞれ添付第 2-11 図, 添付第 2-12 図に示す。

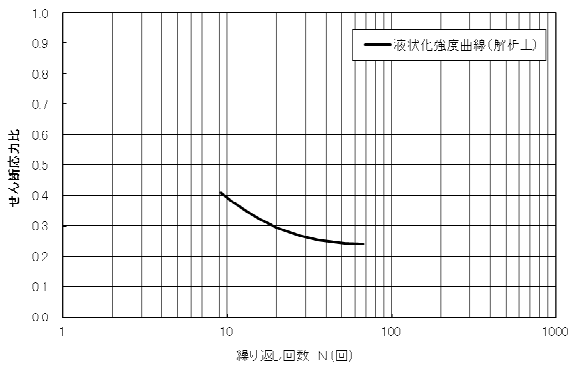
上記の液状化強度特性を設定する土層の液状化強度特性以外の物性及び液状化評価の対象とならない土層の物性値については, 既工認物性を適用した。



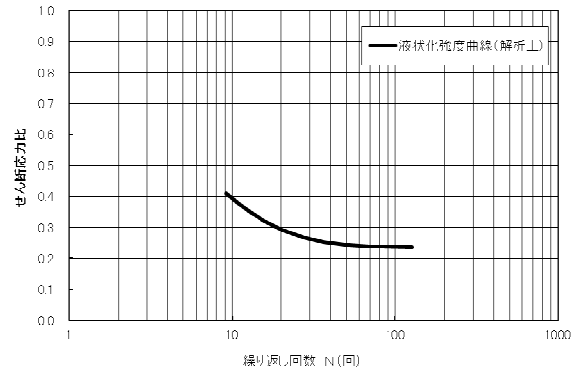
(1) 埋戻土層



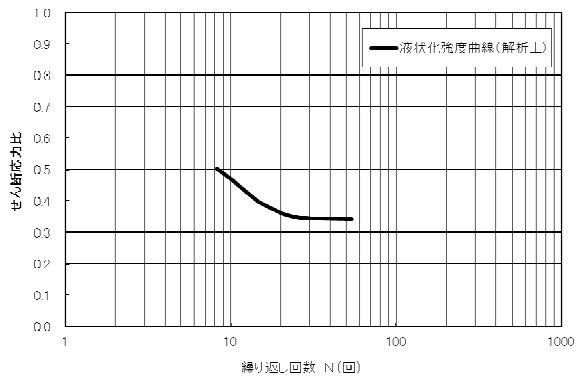
(2) 洪積砂層 I (A-1)



(3) 洪積砂層 II (A-1)

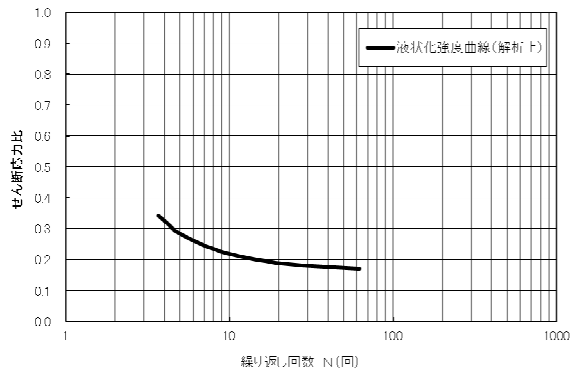


(4) 洪積砂層 I (A-2)

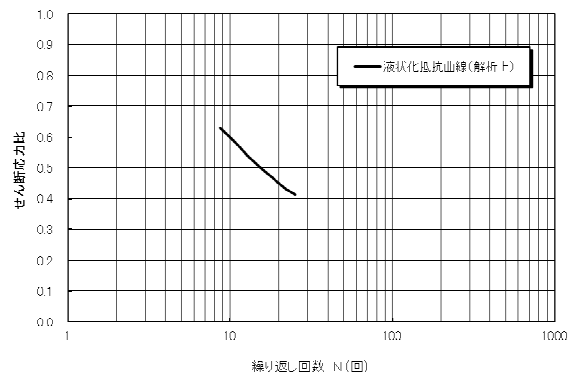


(5) 洪積砂層 II (A-2)

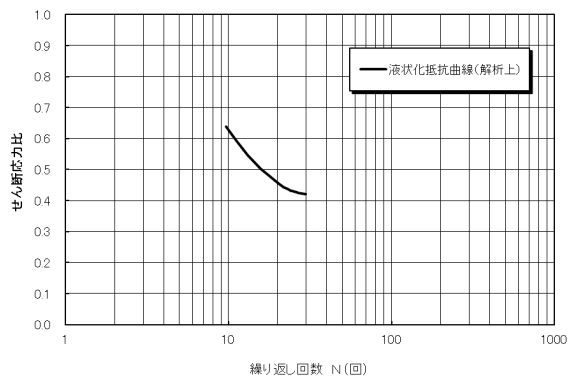
添付第 2-11 図 液状化強度曲線 (荒浜側)



(1) 埋戻土層



(2) 洪積砂質土層 I (0-1)



(3) 洪積砂質土層 II (0-1)

添付第 2-12 図 液状化強度曲線 (大湊側)

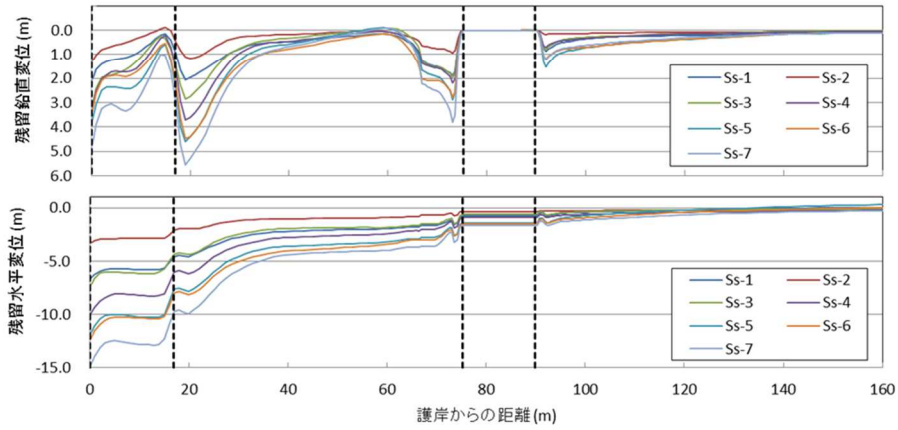
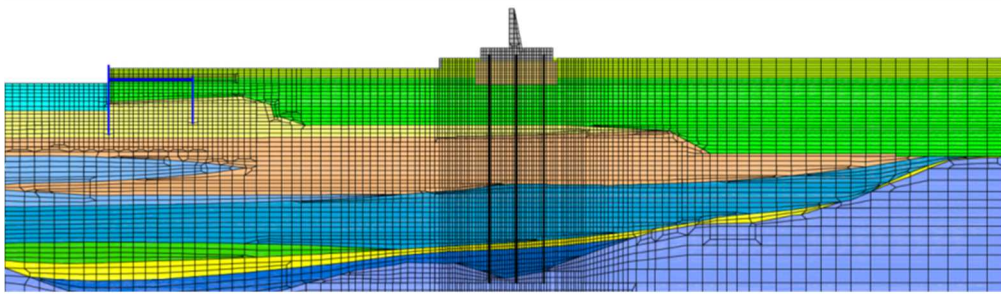
### ③ 評価結果

荒浜南側（1～2号炉側）、荒浜北側（3～4号炉側）及び大湊側の地表面の残留変形量を、それぞれ添付第2-13図、添付第2-14図、添付第2-15図に示す。

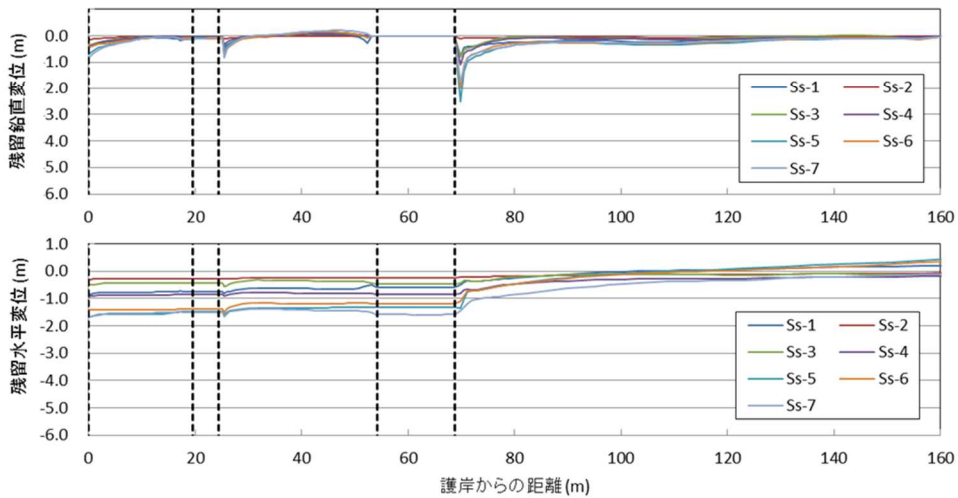
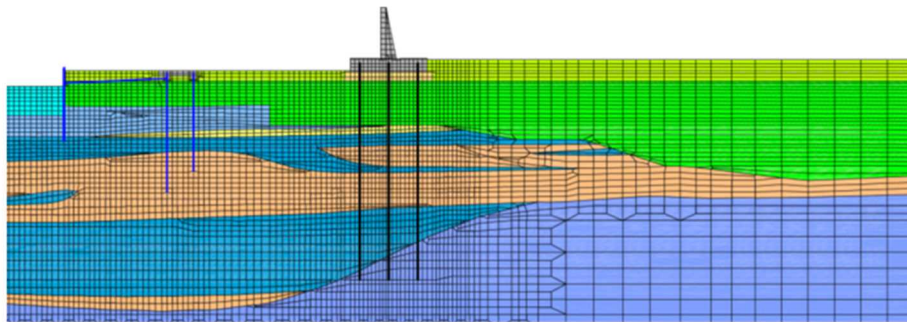
荒浜南側（1～2号炉側）の護岸付近については、護岸から30m程度の範囲や防潮堤前面では護岸矢板や控え杭、防潮堤の海側への変位に伴い、局所的に1～6m程度の沈下が生じているものの、護岸から30m～60mの範囲では概ね1m以下の沈下である。また、防潮堤山側については、防潮堤背面の局所的な最大1.5m程度の沈下を除き概ね50cm以下の沈下であり、側方流動による沈下への影響は小さい。

荒浜北側（3～4号炉側）の護岸付近については、護岸から30m程度の範囲や防潮堤前面では護岸矢板や控え杭、防潮堤の海側への変位に伴い、局所的に1m程度の沈下が生じているものの、それ以外の範囲では概ね50cm以下であり側方流動による沈下への影響は小さい。また、防潮堤山側については、防潮堤背面の局所的な最大2m程度の沈下を除き概ね50cm以下の沈下であり、側方流動による沈下への影響は小さい。

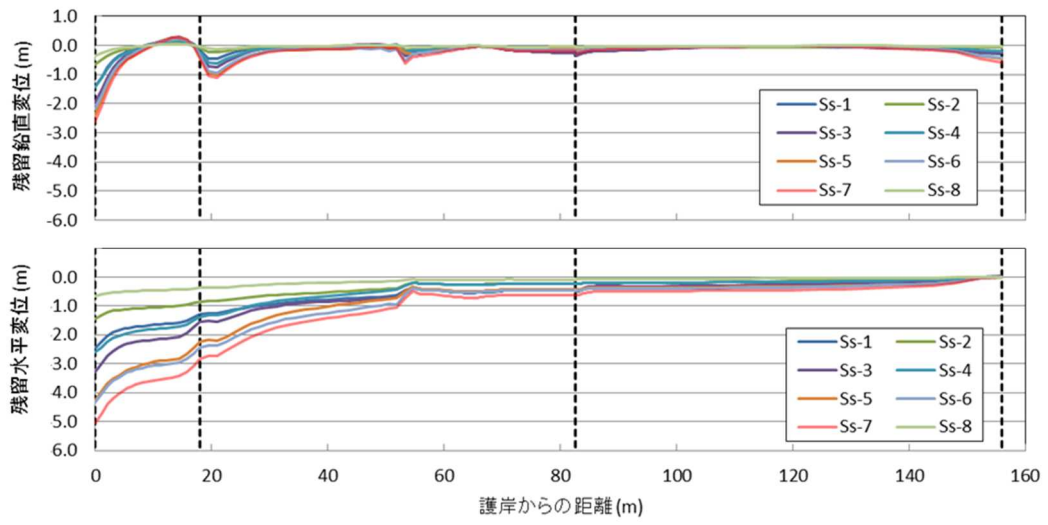
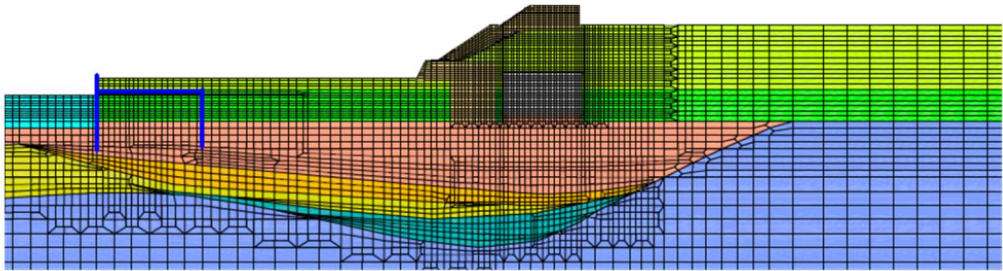
大湊側の護岸付近については、護岸から30m程度の範囲や防潮堤前面では護岸矢板や控え杭、防潮堤の海側への変位に伴い、局所的に3m程度の沈下が生じているものの、それ以外の範囲では概ね50cm以下であり側方流動による沈下への影響は小さい。また、防潮堤山側については、概ね50cm以下の沈下であり、側方流動による沈下への影響は小さい。



添付第 2-13 図 地表面残留変形量〔荒浜南側（1～2号炉側）〕



添付第 2-14 図 地表面残留変形量〔荒浜北側（3～4号炉側）〕



添付第 2-15 図 地表面残留変形量 [大湊側]



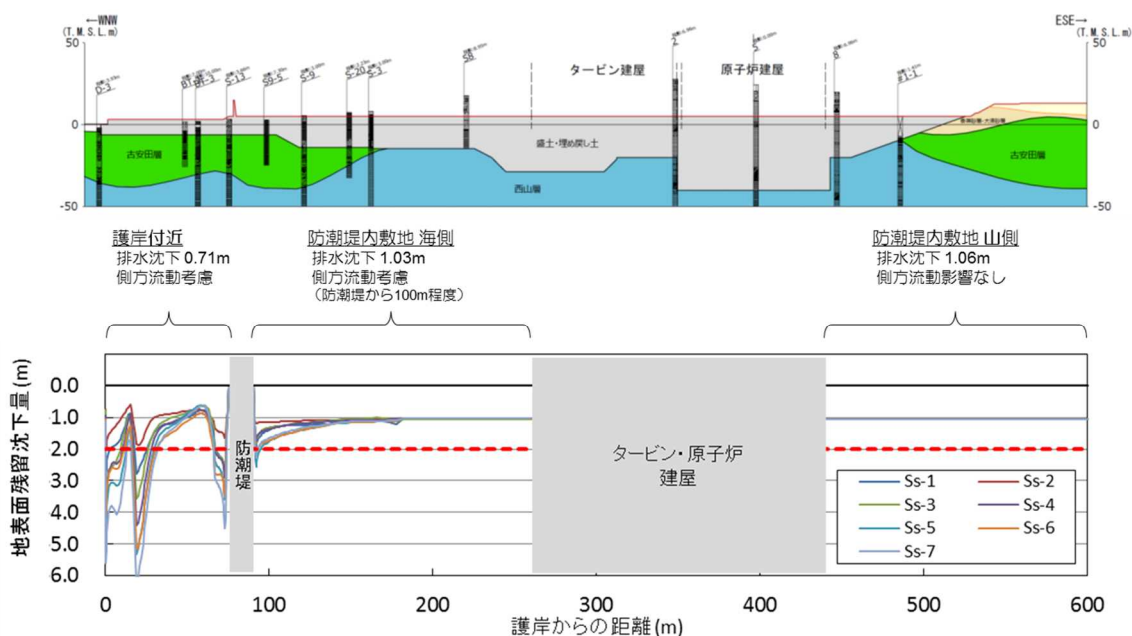
### 3) 津波評価における沈下量の設定

荒浜南側（1～2号炉側），荒浜北側（3～4号炉側）及び大湊側の側方流動による沈下に，排水沈下を加えた液状化による地表面沈下量を，それぞれ添付第2-16図，添付第2-17図，添付第2-18図に示す。なお，排水沈下については，保守的に「1）液状化に伴う排水沈下」で算出した沈下分布の最大値を採用し，各断面に加えた。

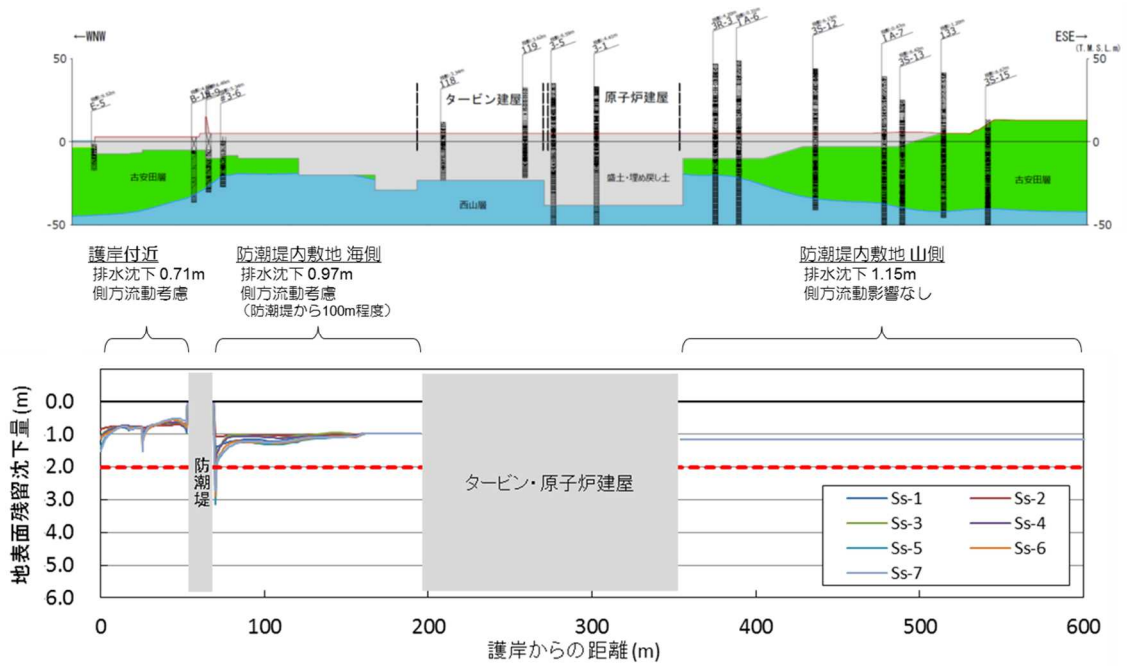
荒浜側は，南側（1～2号側）の護岸付近の一部で局所的に側方流動による大きな沈下が生じているものの，護岸付近及び荒浜側防潮堤内敷地（T. M. S. L. +5m）における沈下量は概ね2m以内である。

大湊側護岸付近は，一部で局所的に側方流動による大きな沈下が生じているものの，沈下量は概ね2m以内である。

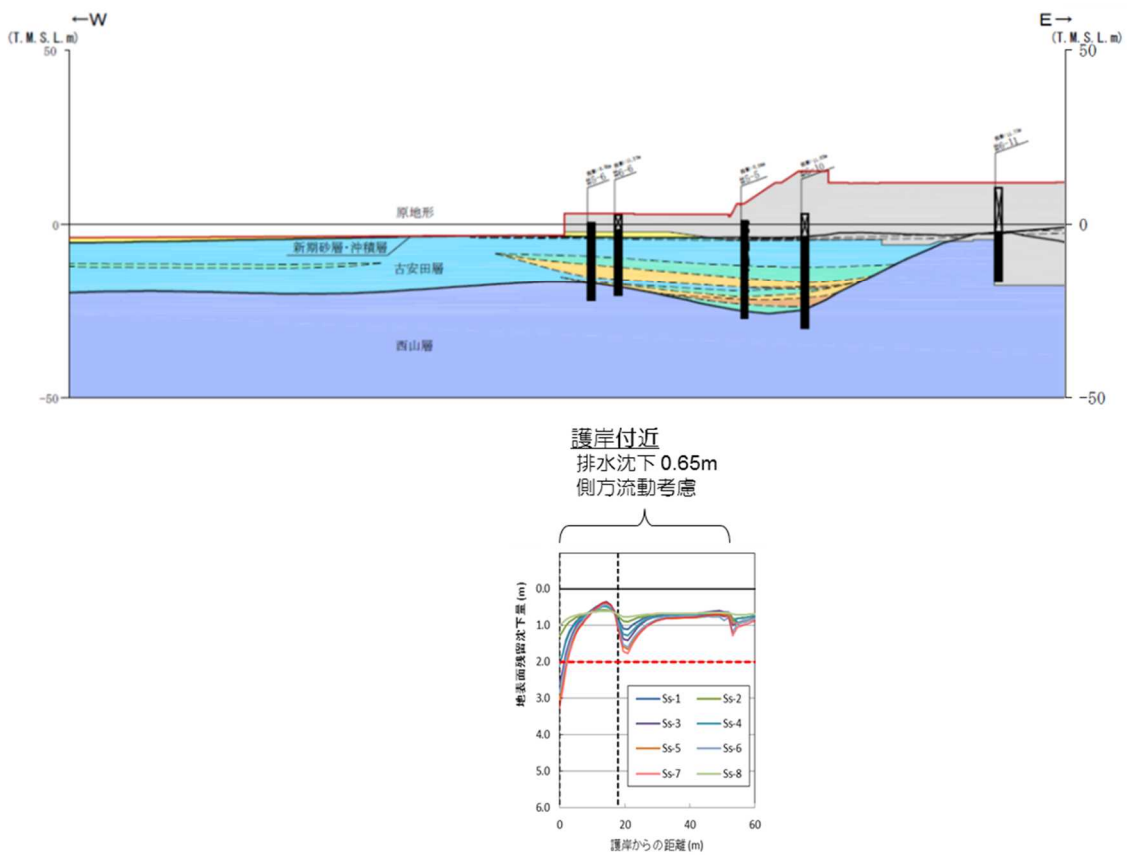
上記より，津波評価における荒浜側の護岸付近，荒浜側防潮堤内敷地（T. M. S. L. +5m）及び大湊側の護岸付近の沈下量を，保守的にすべての範囲2mと設定し，地形モデルに反映する。沈下を考慮する範囲を添付第2-19図に示す。なお，荒浜南側（1～2号炉側）護岸付近の局所的な沈下の影響については，2mの沈下に加え，護岸から30m程度の範囲をなくした地形モデルにより影響検討を実施する。



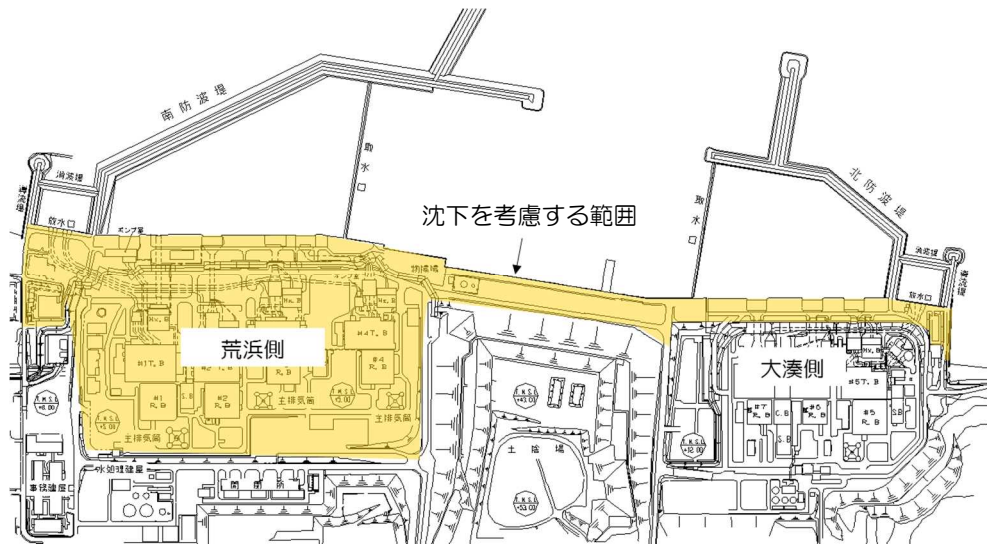
添付第2-16図 液状化による地表面沈下量〔荒浜南側（1～2号炉側）〕



添付第 2-17 図 液状化による地表面沈下量〔荒浜北側（3～4号炉側）〕



添付第 2-18 図 液状化による地表面沈下量〔大湊側〕



添付第 2-19 図 津波評価において沈下を考慮する範囲

### 3. 荒浜側防潮堤内敷地周辺斜面及び中央土捨場斜面の崩壊形状の設定

敷地の中央に位置する中央土捨場斜面及び荒浜側防潮堤内敷地周辺斜面は、基準地震動  $S_s$  にり斜面が崩壊する可能性があることから、斜面崩壊を考慮した地形モデルを作成した。

斜面の崩壊角度については、添付第 2-20 図に示すとおり、安息角と内部摩擦角の関係及び土砂の移動時の内部摩擦角の下限値を考慮し、崩壊土砂の堆積時の角度を 15 度に設定した。崩壊形状については、添付第 2-21 図に示す斜面の崩壊範囲に応じた崩壊形状の設定方法から、保守的に崩壊前の土砂形状の法肩を基点に堆積角度が  $15^\circ$  となるように設定した。なお、中央土捨場の海側斜面については、さらに保守的に崩壊土砂が海域まで到達する場合を想定し、「宅地防災マニュアルの解説」(添付第 2-22 図)を参考に法尻から法肩までの高さの 2 倍として崩壊形状を設定した。

上記の崩壊形状の設定に基づき、各斜面の崩壊形状を設定した。崩壊を考慮する斜面範囲を添付第 2-23 図に、代表的な位置における斜面の崩壊形状として、荒浜側防潮堤内敷地における周辺斜面の断面図を添付第 2-24 図に、中央土捨場海側斜面の断面図を添付第 2-25 図に示す。

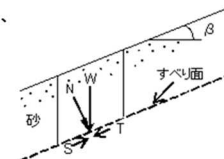
- 安息角とは、自然にとりうる土の最大傾斜角で、乾燥した粗粒土の場合は高さに関係しないが、粘性土の場合は高さに影響されるので、安息角は一定の値にならないと説明されている。(地盤工学会：土質工学用語集)

■ 砂の安息角と内部摩擦角  
図の応力状態時の斜面が安定するには、すべり力  $T$  と抵抗力  $S$  の間に、 $T \leq S$  の条件が成り立つ必要がある。これを展開すると、以下ようになる。

$$W \cdot \sin \beta \leq W \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi$$

$$\tan \beta \leq \tan \phi$$

$$\phi \geq \beta$$



$\beta$  : 斜面勾配  
 $W$  : 砂の重量  
 $N$  : 垂直応力  
 $T$  : すべり力  
 $S$  : 抵抗力

すなわち、内部摩擦角  $\phi$  は斜面勾配  $\beta$  以上の値であり、安全率 1.0 の極限状態では内部摩擦角  $\phi$  は斜面勾配  $\beta$  と等しくなる。

■ 土砂の移動時の内部摩擦角

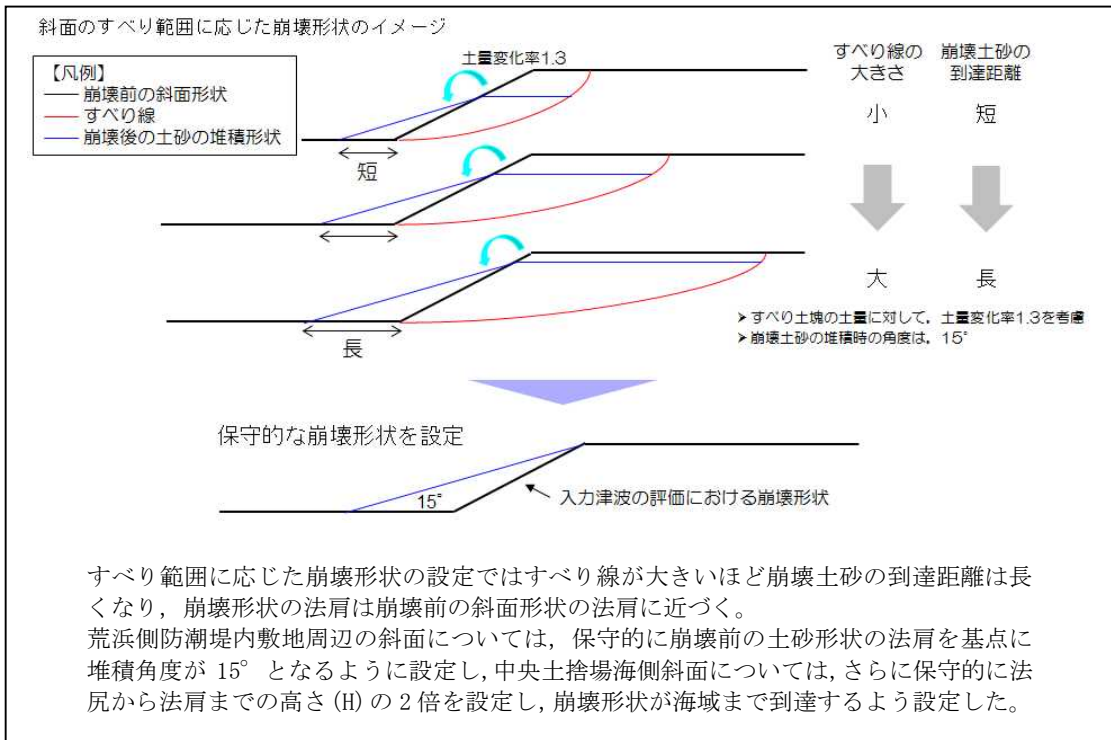
【土砂災害防止に関する基礎調査の手引き：(財)砂防フロンティア整備推進機構、H13.6】  
急傾斜値の崩壊に伴う土石等の内部摩擦角  $\phi$

- >  $15^\circ \sim 40^\circ$

【砂防設計公式集(マニュアル)：(社)全国治水砂防協会、S59.11】  
土石流の力や高さの検討に用いる土砂の内部摩擦角  $\phi$

- > 普通土(固いもの) :  $25^\circ \sim 35^\circ$
- > 普通土(やや軟らかいもの) :  $20^\circ \sim 30^\circ$
- > 普通土(軟らかいもの) :  $15^\circ \sim 25^\circ$

添付第 2-20 図 崩壊土砂の堆積角度



添付第 2-21 斜面崩壊形状の設定イメージ

土砂災害に係る危険箇所のうち、宅地造成に伴う災害に最も関連の深い急傾斜地崩壊危険箇所の考え方を以下に示す。

【危険箇所としての要件】

- ① 水平面となす角度が30度以上であること。
- ② 斜面の高さが5m以上であること。
- ③ 斜面上部又は下部に人家が5戸以上あること（官公署、学校、病院、旅館等がある場合は5戸未満でも可）。

斜面上部又は下部とは、下図に示すように急傾斜地（傾斜30度以上のがけ）の下端及び上端から当該急傾斜地の高さの、それぞれ2倍及び1倍程度の範囲（概ね50mを限度とする）をいう。

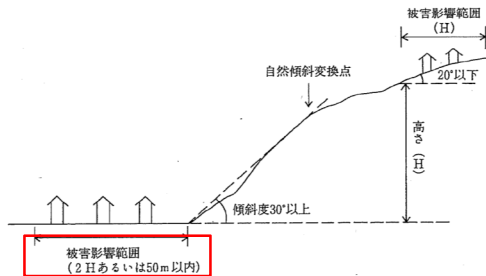
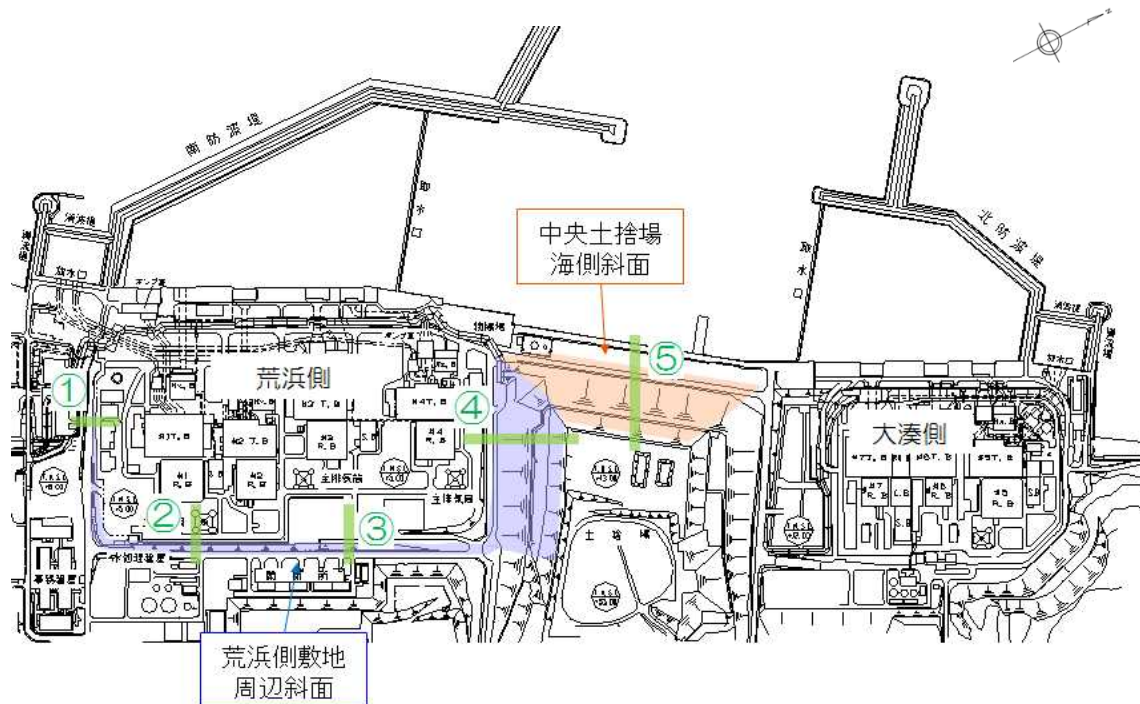
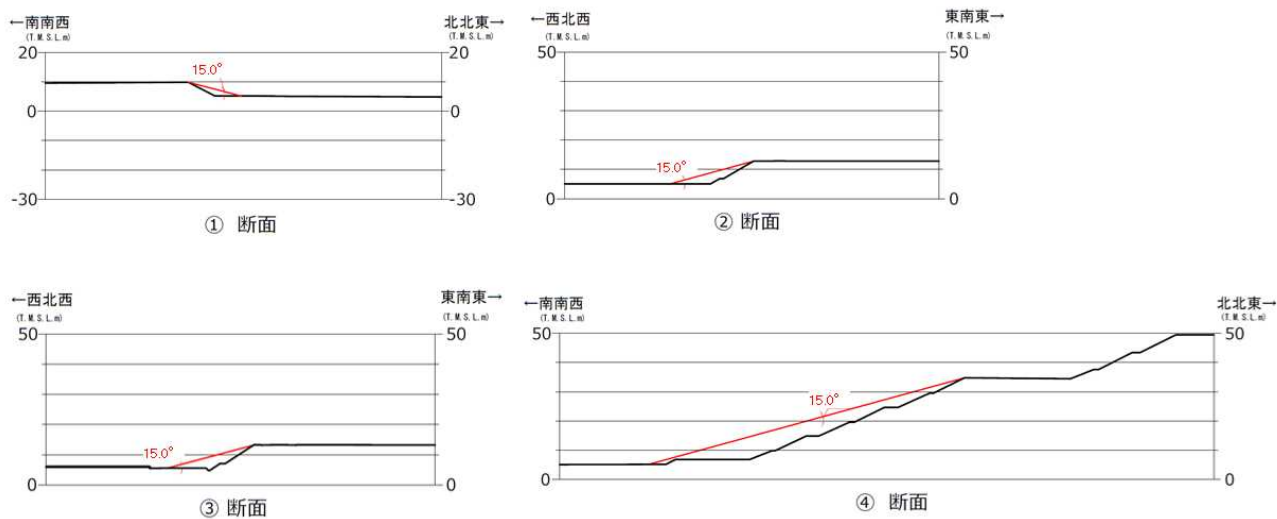


図 X.1 急傾斜地崩壊危険箇所の要件

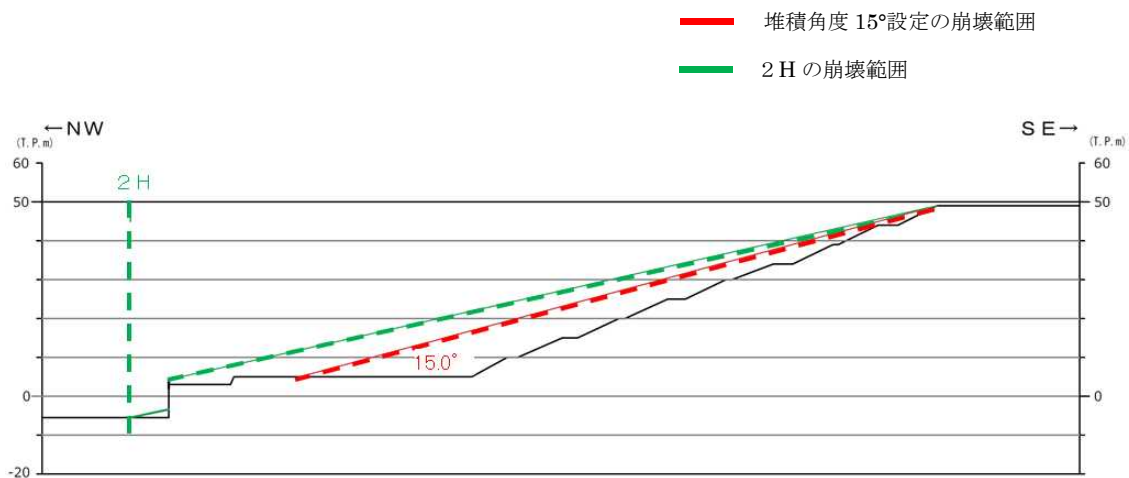
添付第 2-22 図 「宅地防災マニュアルの解説」における急傾斜地崩壊危機箇所の要件



添付第 2-23 図 崩壊を考慮する斜面範囲



添付第 2-24 図 荒浜側防潮堤内敷地の周辺斜面断面図



添付第 2-25 図 中央土捨場海側崩壊後の地形モデル図 (⑤ 断面)

#### 4. 津波評価条件

敷地への遡上及び流下経路上の地盤等について、「2. 護岸付近の及び荒浜側防潮堤内敷地の沈下量の設定」及び「3. 中央土捨場斜面及び荒浜側敷地周辺斜面の崩壊形状の設定」を踏まえ、以下に示す地震による地形等の変化を考慮した津波評価を実施し、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討する。

- 基準地震動  $S_s$  による損傷が想定される防潮堤及び防波堤については、それらがいない状態での津波評価を実施する。
- 護岸付近及び荒浜側防潮堤内の敷地 (T.M.S.L. +5m) は、基準地震動  $S_s$  による沈下を想定し、保守的に設定した沈下量 2m を地形に反映して、津波評価を実施する。
- 敷地の中央に位置する中央土捨場及び荒浜側防潮堤内敷地 (T.M.S.L. +5m) の周辺斜面は、基準地震動  $S_s$  による斜面崩壊を考慮し、保守的に設定した土砂の堆積形状を地形に反映して、津波評価を実施する。

# 荒浜側防潮堤を自主設備とすることによる基準津波及び入力津波への影響について【概要】

## 1. 津波防護対象の変更

- 荒浜側防潮堤の位置づけを自主設備とすることに伴い、荒浜側の3号炉原子炉建屋内に計画していた緊急時対策所を大湊側の5号炉原子炉建屋内に変更。これに伴い、緊急時対策所に至るアクセスルートも見直し。
- この結果、荒浜側に設置・設定される、6,7号炉に関わる津波から防護すべき施設・設備は次のとおり。

- ✓ 重大事故等対処設備のうち可搬型設備 (T. M. S. L. +37mの荒浜側高台保管場所に保管)
- ✓ 上記の運用等に必要なアクセスルート (T. M. S. L. +13m以上の高さに設定)

※ 他に、地震、津波時に機能を期待しない設備として、T. M. S. L. +13mの免震重要棟内に免震重要棟内緊急時対策所、T. M. S. L. +21.5mの高台に第二ガスタービン発電機を設置

## 2. 荒浜側防潮堤の損傷を考慮した場合の基準津波、耐津波設計への影響検討方針

- 以下に示すフローに従って、荒浜側防潮堤を自主設備とすることによる基準津波及び耐津波設計への影響について検討する。
- 基本設計に相当する基準津波評価においては、荒浜側敷地への流入量が最も多くなると想定されるケースとして、防潮堤がない場合の基準津波水位への影響を確認する。また、アクセスルートや高台保管場所に対して十分な余裕があることを確認する。
- 耐津波設計（入力津波）においては、耐津波設計ガイドに基づき、さらに地震による地形変化（敷地の沈下、斜面崩壊）や潮位のばらつきも考慮して入力津波水位や耐津波設計への影響を確認する。

3条, 38条

### STEP1：基準津波への影響検討

- 基準津波の波源に対して、防潮堤がない場合の津波遡上解析を実施
- 基準津波波源選定への影響を確認
- 大湊側取水口前面水位への影響を確認
- 荒浜側遡上域（最高水位）への影響を確認



5条, 40条

### STEP2：入力津波水位への影響検討

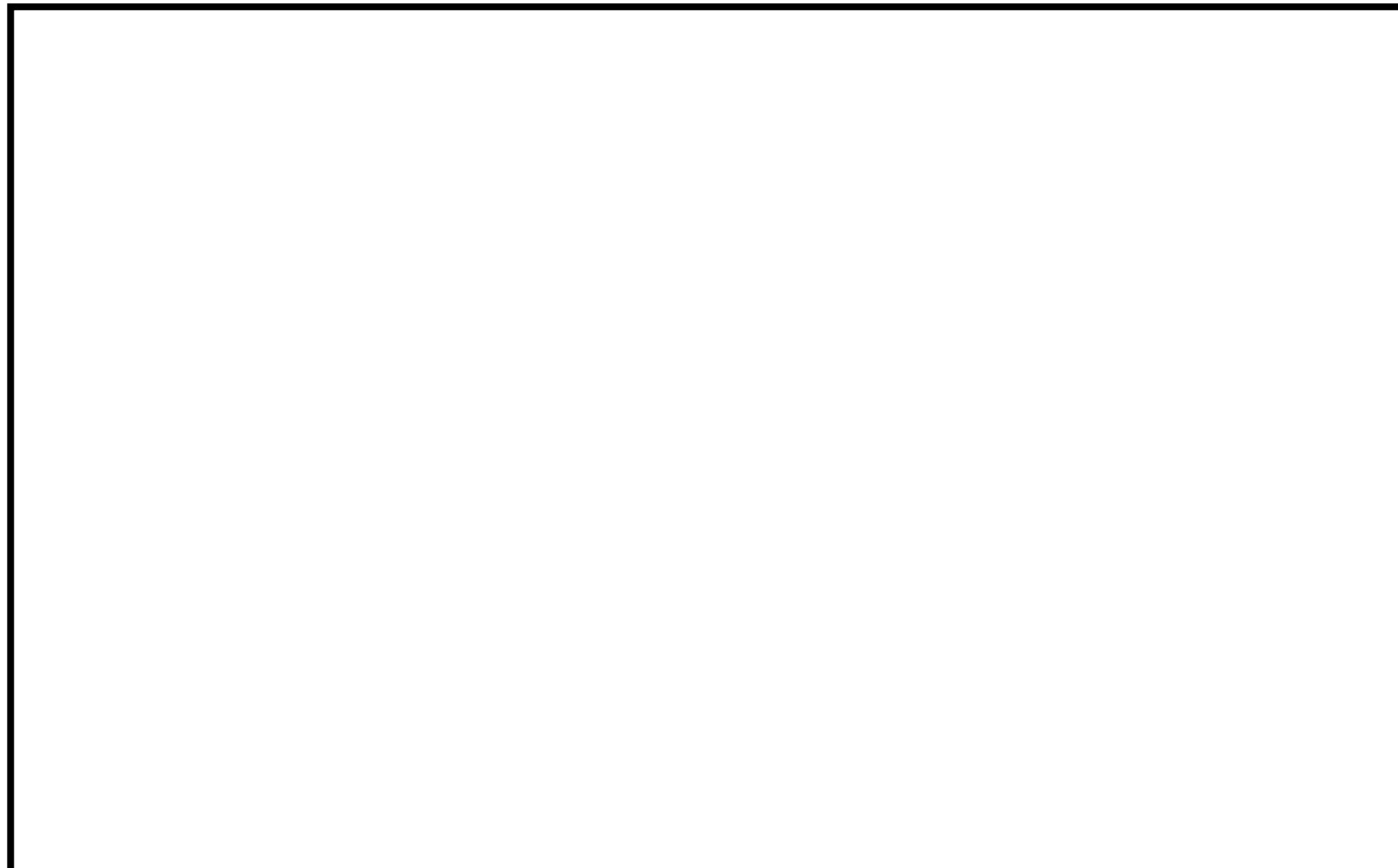
- 基準津波の波源に対して、防潮堤がない場合の津波遡上解析を実施 本日の説明範囲
- 護岸及び荒浜側敷地の沈下を考慮
- 中央土捨場及び荒浜側敷地周辺斜面の崩壊を考慮
- 潮位のばらつきや保守的な地殻変動の考慮
- 大湊側取水口前面水位への影響を確認
- 荒浜側敷地への遡上水位を確認
- 荒浜側敷地から大湊側への流入の可能性を確認



5条, 40条

### STEP3：耐津波設計の影響検討

- 地上部、取水路等からの遡上経路への影響を確認
- 水位低下時の取水性確保への影響を確認
- 取水口付近の砂の堆積への影響を確認
- 漂流物による波及影響への影響を確認
- 波力、衝突力等の津波荷重への影響を確認



本資料のうち、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。

- : 津波遡上解析条件
- : 影響を確認する項目