

島根原子力発電所 2 号炉

津波による損傷の防止

令和 2 年 5 月
中国電力株式会社

第5条：津波による損傷の防止

<目 次>

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置, 構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等 (手順等含む)
2. 津波による損傷の防止
(別添資料1)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計方針について
3. 運用, 手順説明
(別添資料2)
津波による損傷の防止
4. 現場確認を要するプロセス
(別添資料3)
島根原子力発電所2号炉 耐津波設計における現場確認を要するプロセスについて

下線は, 今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉 耐津波設計方針について

目 次

I. はじめに

II. 耐津波設計方針

1. 基本事項

- 1.1 津波防護対象の選定
- 1.2 敷地及び敷地周辺における地形及び施設の配置等
- 1.3 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域
- 1.4 入力津波の設定
- 1.5 水位変動，地殻変動の考慮
- 1.6 設計または評価に用いる入力津波

2. 設計基準対象施設の津波防護方針

- 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 2.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
- 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
- 2.6 津波監視

3. 重大事故等対処施設の津波防護方針

- 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
- 3.2 敷地への浸水防止（外郭防護1）
- 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
（外郭防護2）
- 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
- 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な
機能への影響防止
- 3.6 津波監視

4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件

- 4.1 津波防護施設の設計
- 4.2 浸水防止設備の設計
- 4.3 津波監視設備の設計
- 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
2. 津波シミュレーションに用いる数値計算モデルについて
3. 地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について
4. 日本海東縁部に想定される地震による発電所敷地への影響について
5. 港湾内の局所的な海面の励起について
6. 管路計算の詳細について
7. 入力津波に用いる潮位条件について
8. 入力津波に対する水位分布について
9. 津波防護対策の設備の位置付けについて
10. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲，浸水量について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置，実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 島根原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
17. 燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係について
18. 漂流物の評価において考慮する津波の流速・流向について
19. 津波監視設備の監視に関する考え方
20. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
21. 基準類における衝突荷重算定式について
22. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
23. 防波壁通路防波扉，1号放水連絡通路防波扉及び水密扉の設計及び運用管理について
24. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）
25. 防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 防波壁及び防波扉の津波荷重の設定方針について
27. 海域活断層に想定される地震による津波及び日本海東縁部に想定される地震による津波に対する流入防止対策について
28. タービン建物及び取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について
29. 1号炉取水槽流路縮小工について
30. 取水槽除じん機エリア防水壁及び取水槽除じん機エリア水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて
31. 施設護岸の漂流物評価における遡上域の範囲及び流速
32. 海水ポンプの実機性能試験について
33. 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲について
34. 水位変動・流向ベクトルについて

35. 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価について
36. 津波の流況を踏まえた漂流物の取水口への到達可能性について
37. 津波時の運用対応について
38. 地震後の荷揚場の津波による影響評価について

(補足資料)

- ・津波防護上の地山範囲における地質調査 ルートマップ, 柱状図及びコア写真集

(参考資料)

- － 1 島根原子力発電所における津波評価について
- － 2 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について(別添資料 1 第 9 章)
- － 3 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について(別添資料 1 第 10 章)
- － 4 島根原子力発電所 2 号炉内部溢水の影響評価について (別添資料 1 補足説明資料 30)

下線は, 今回の提出資料を示す。

地震時の地形等の変化による津波遡上経路への影響について

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、津波遡上経路に及ぼす影響について検討する。

【規制基準における要求事項等】

次に示す可能性があるかについて検討し、可能性がある場合は、敷地への遡上経路に及ぼす影響を検討する。

- 地震に起因する変状による地形、河川流路の変化
- 繰り返し襲来する津波による洗掘・堆積による地形、河川流路の変化

入力津波は、基準津波の波源から各施設・設備等の設置位置において算定される時刻歴波形として設定する。具体的な入力津波の設定に当たっては、以下のとおりとする。

- 入力津波が各施設・設備の設計・評価に用いるものであることを念頭に、津波の高さ、津波の速度、衝撃力等、着目する荷重因子を選定した上で、各施設・設備の構造・機能損傷モードに対応する効果を安全側に評価する。

【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・津波による地形、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及び入力津波の設定において考慮すべき地形変化について検討する。

- 基準地震動 S_s 及び基準津波による斜面崩壊の有無を検討し、崩壊が想定される場合には入力津波を設定する際の影響要因として設定する。
- 基準地震動 S_s による地盤変状を想定して入力津波への影響の有無を検討し、入力津波の設定に影響を与える場合には、影響要因として設定する。
- 基準地震動 S_s による損傷が想定される防波堤について入力津波への影響の有無を検討し、入力津波の設定に影響を与える場合には、影響要因として設定する。

2. 敷地周辺斜面の崩壊に関する検討

検討に当たっては、防波壁（東端部）及び防波壁（西端部）は双方とも地山斜面（岩盤）に擦り付き、これらの地山が津波の敷地への地上部からの到達に対して障壁となっていることから、地山の耐震、耐津波設計上の位置付けも整理したうえで、基準地震動及び基準津波に対する健全性の確保について確認する。

（1）津波遡上高の分布を踏まえた津波防護上の地山範囲の特定について

敷地はEL+15.0mの防波壁に取り囲まれており、その両端部は地山に擦り付き、その地山は津波防護上の障壁となっている（図2-1）。

津波防護上の地山範囲は、設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建物が敷地EL+8.5m盤にあることを踏まえ、水位上昇側の基準津波の中で、防波壁（東端部）付近及び防波壁（西端部）付近において水位EL+8.5m以上が広範囲に分布する基準津波1（防波堤有り及び無し）の最大水位上昇量分布を基に検討する。水位上昇側の基準津波である基準津波1（防波堤有り及び無し）、基準津波2（防波堤有り）及び基準津波5（防波堤無し）の最大水位上昇量分布図を図2-2に示す。

設計基準対象施設の津波防護対象設備を内包する建物が敷地EL+8.5m盤にあることを踏まえ、防波壁（東端部）及び防波壁（西端部）における敷地への遡上の可能性のある水位EL+8.5m以上の最大水位上昇量分布を図2-3に示す。基準津波1（防波堤有り及び無し）の最大水位上昇量分布を踏まえ、津波防護上の地山範囲を図2-4に示すとおり特定した。

津波防護上の地山範囲における地形断面図を図2-5に示す。

防波壁（東端部）の地山は、南東側の標高が高く、幅が広がっている。A-A'断面（高さ：26m、幅：63m）は、B-B'断面（高さ：44m、幅：145m）及びC-C'断面（高さ：69m、幅：396m）と比較して標高が低く、幅が狭いことから、津波防護の観点で最も厳しい断面と考え、津波防護を担保する地山斜面の検討対象はA-A'断面付近の範囲とする。津波防護を担保する地山斜面の検討対象（A-A'断面付近）は、防波壁等に影響するおそれのある周辺斜面（赤枠）（「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）で審議済）に概ね対応する。

防波壁（西端部）の地山は、幅が広く、南西側の標高が高い。D-D'断面（高さ：27m、幅：139m）は、E-E'断面（高さ：56m、幅：208m）及びF-F'断面（高さ：77m、幅：185m）と比較して標高が低く、幅が狭いことから、津波防護の観点で最も厳しい断面と考え、津波防護を担保する地山斜面の検討対象はD-D'断面付近の範囲とする。津波防護を担保する地山斜面の検討対象（D-D'断面付近）は、防波壁等に影響するおそれのある斜面（赤枠）（「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）で審議済）に概ね対応する。なお、D-D'断面の西方の岬部分は、津波の敷地への到達に対して直接的な障壁となっていないことから、津波防護を担保する地

山斜面の検討対象外とし、岬の東側付根の入り江以東を検討対象とする。なお、「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）の審査において、この断面は、表層の一部を厚さ約2m撤去する方針を示しているため、撤去する範囲を考慮し、以降の検討を実施する。

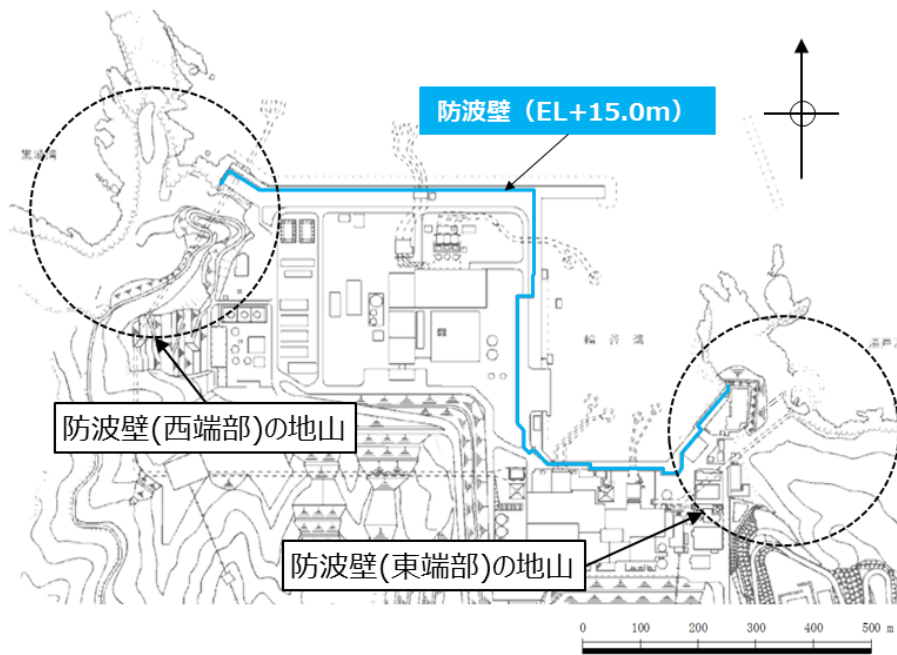


図 2 - 1 地山位置図

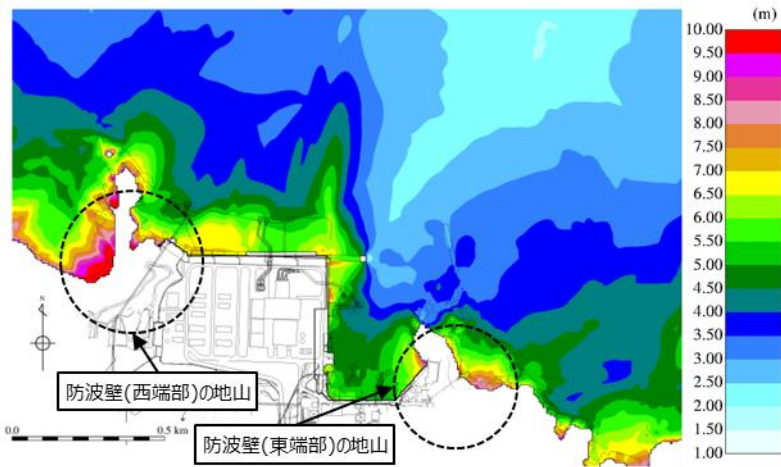


図 2 - 2 (1) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 1 : 防波堤有り)

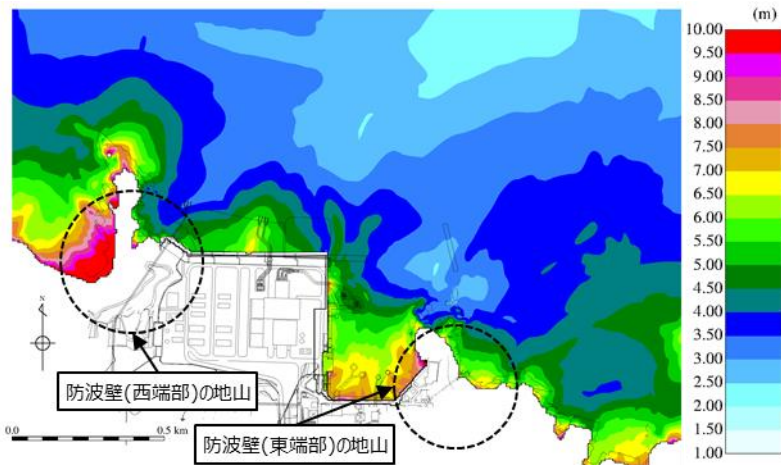


図 2 - 2 (2) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 1 : 防波堤無し)

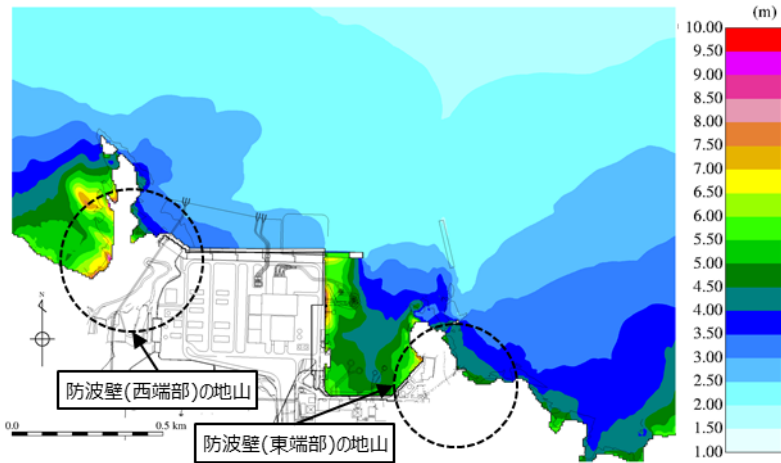


図 2 - 2 (3) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 2 : 防波堤有り)

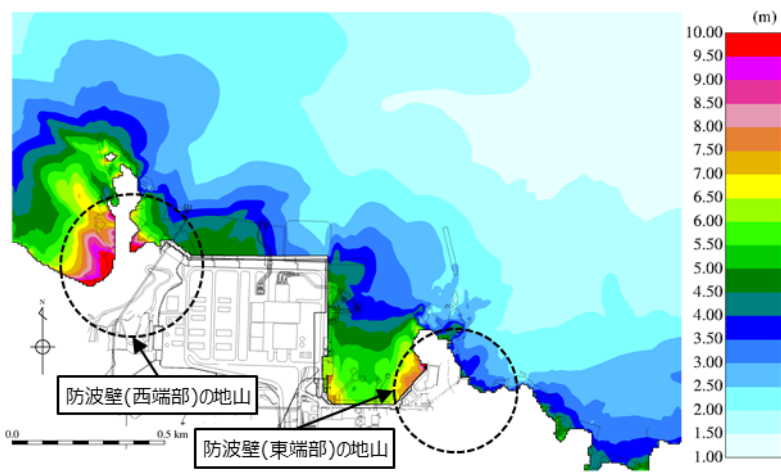


図 2 - 2 (4) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 5 : 防波堤無し)

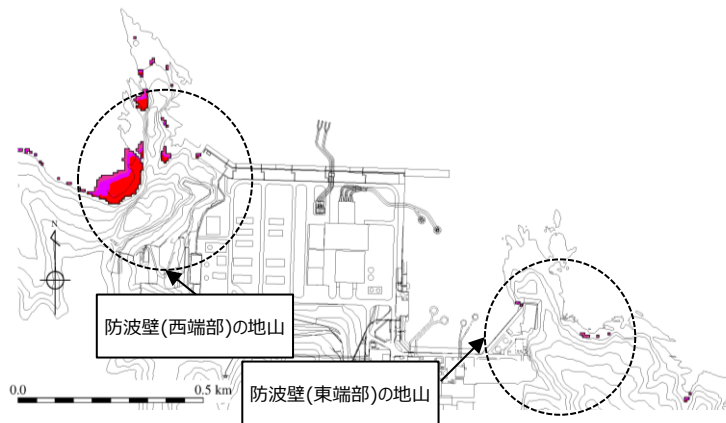


図 2 - 3 (1) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 1 : 防波堤有り)
(EL+8.5m以上表示)

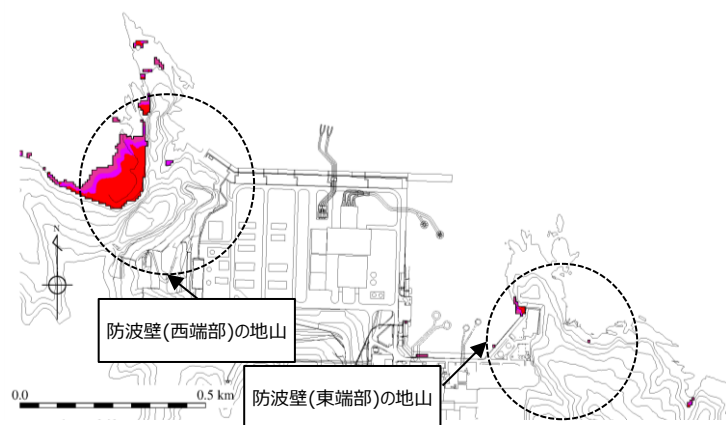


図 2 - 3 (2) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 1 : 防波堤無し)
(EL+8.5m以上表示)

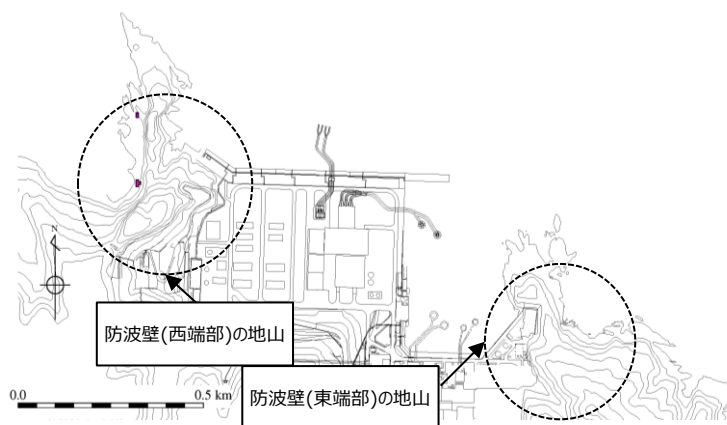


図 2 - 3 (3) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 2 : 防波堤有り)
(EL+8.5m以上表示)

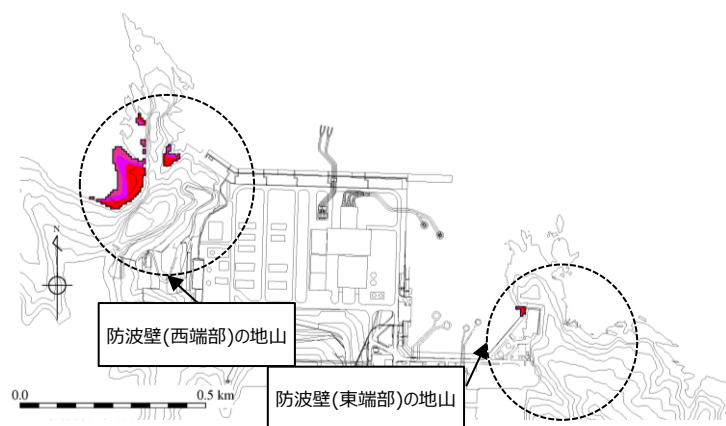
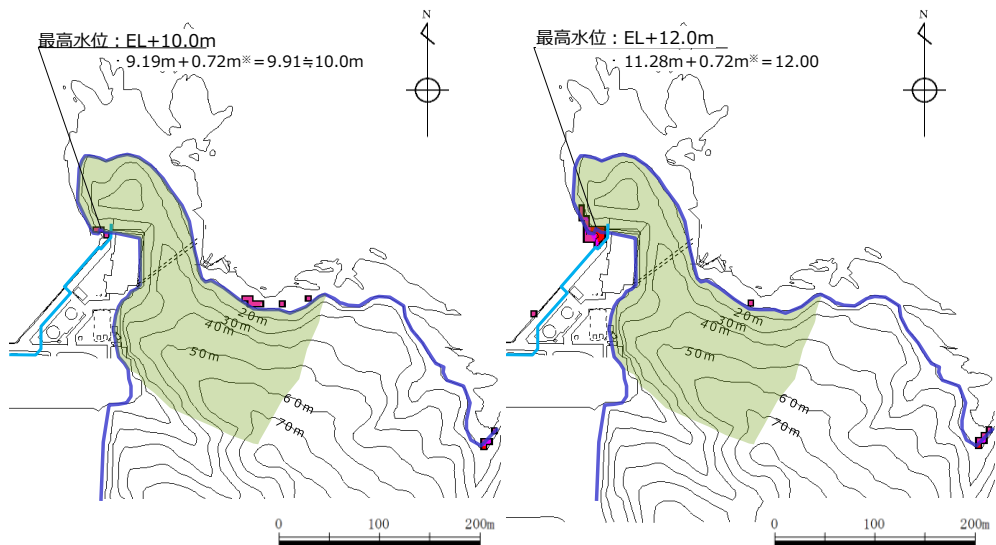
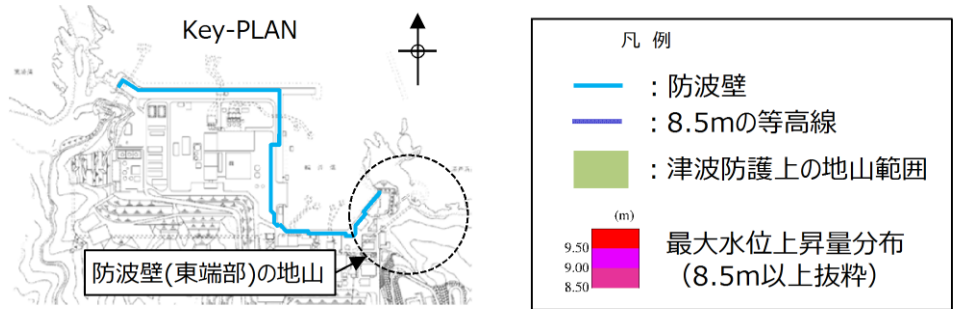


図 2 - 3 (4) 最大水位上昇量分布図 (基準津波 5 : 防波堤無し)
(EL+8.5m以上表示)

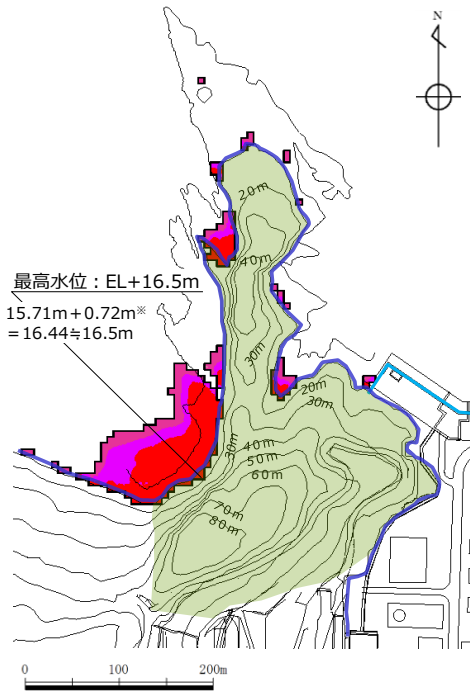
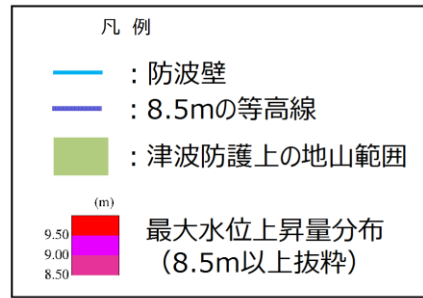
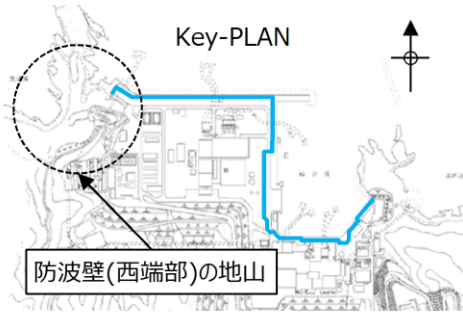


基準津波 1 (防波堤有り)

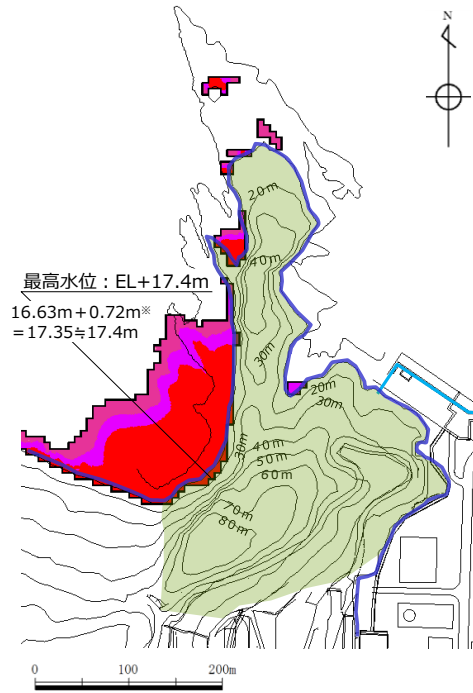
基準津波 1 (防波堤無し)

※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図 2-4 (1) 防波壁 (東端部) の地山：基準津波 1
 (左 防波堤有り, 右 防波堤無し)



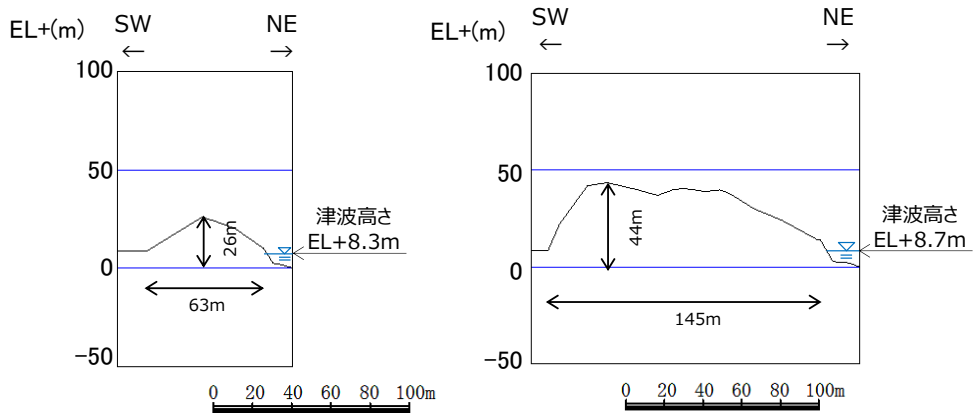
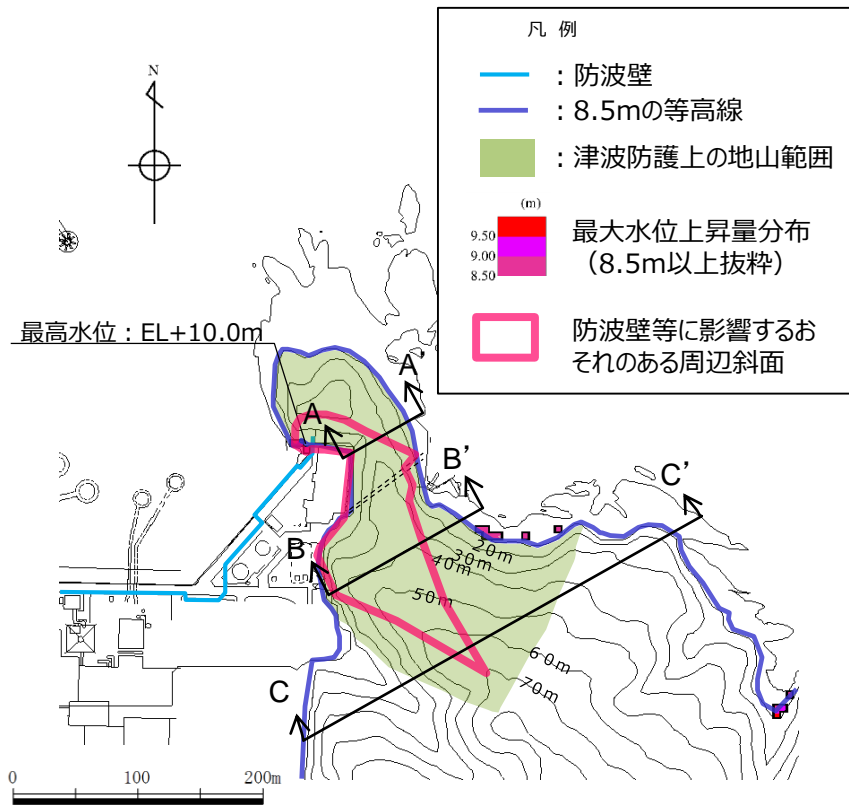
基準津波 1 (防波堤有り)



基準津波 1 (防波堤無し)

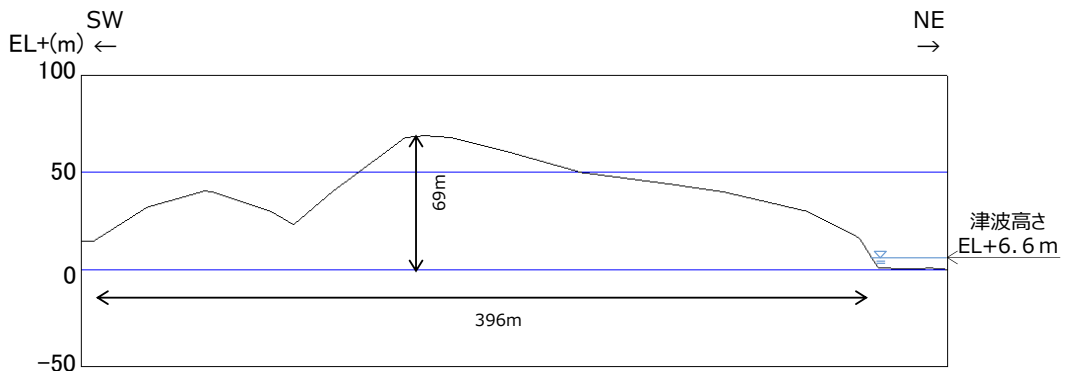
※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図 2 - 4 (2) 防波壁 (西端部) の地山 : 基準津波 1
(左 防波堤有り, 右 防波堤無し)



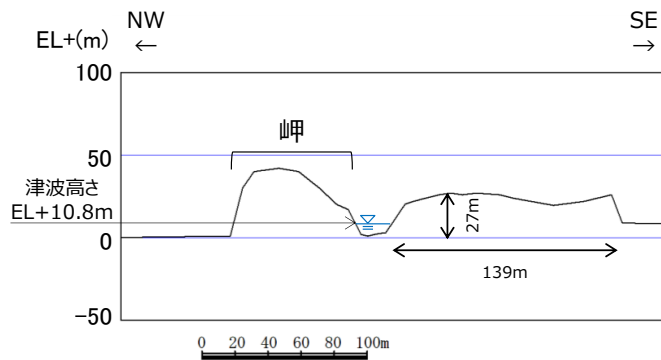
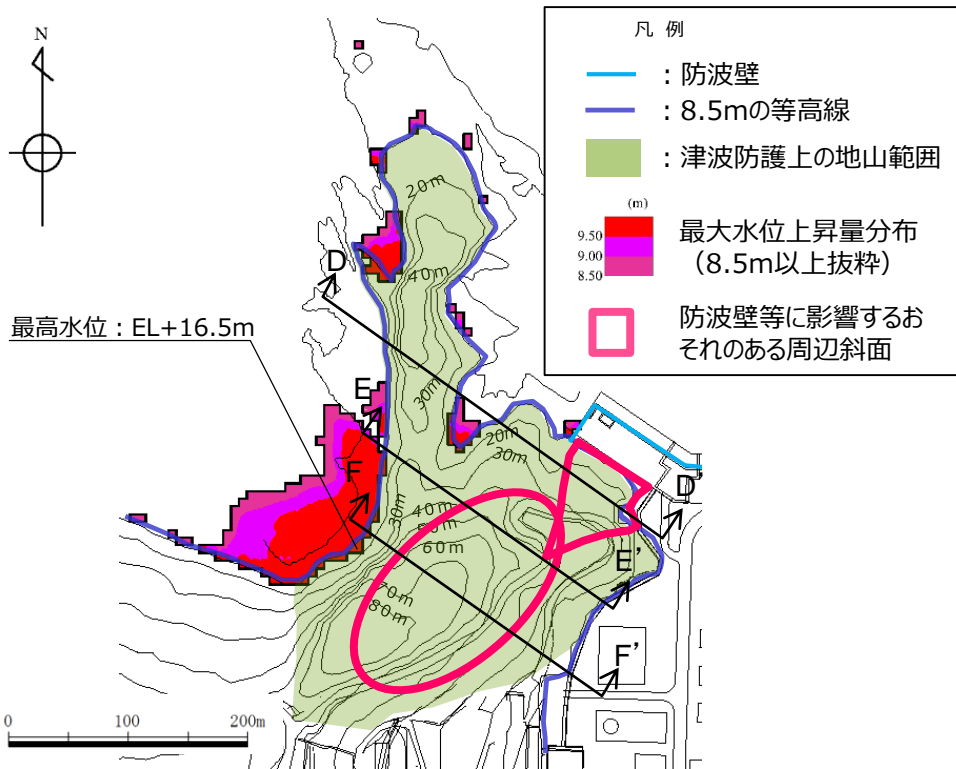
A-A'断面

B-B'断面

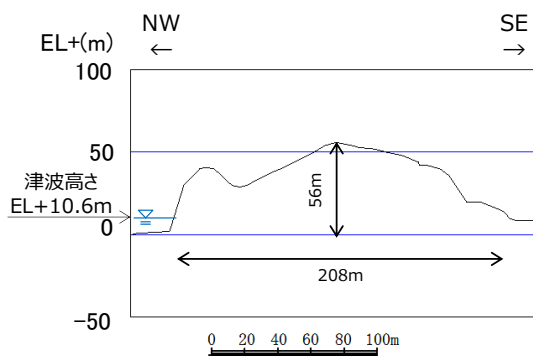


C-C'断面

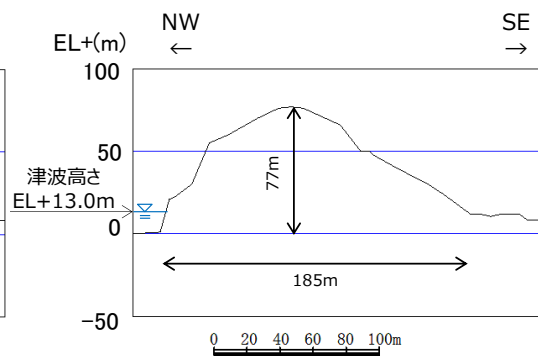
図2-5(1) 防波壁(東端部)の地形断面図



D-D'断面※



E-E'断面※



F-F'断面

※ 地形形状は、「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）の礫質土・粘性土を切り取る前の形状。

図2-5(2) 防波壁（西端部）の地形断面図

(2) 地山の地質構造、防波壁擦り付け部の構造・仕様

津波防護上の地山の地質構造について述べるとともに、防波壁端部の擦り付け部の構造及び防波壁の仕様について、以下に示す。

a. 敷地内の地質・地質構造

島根原子力発電所の敷地内の地質図を図2-6に示す。敷地内の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類からなる成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。敷地に分布する成相寺層は、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層、上部頁岩部層の3つの部層に区分される。

防波壁（東端部）の地山においては、主として凝灰岩、凝灰角礫岩よりなる「火砕岩部層」及び黒色頁岩よりなる「上部頁岩部層」が分布し、安山岩の貫入が認められる。防波壁（西端部）の地山においては、「火砕岩部層」が分布する。

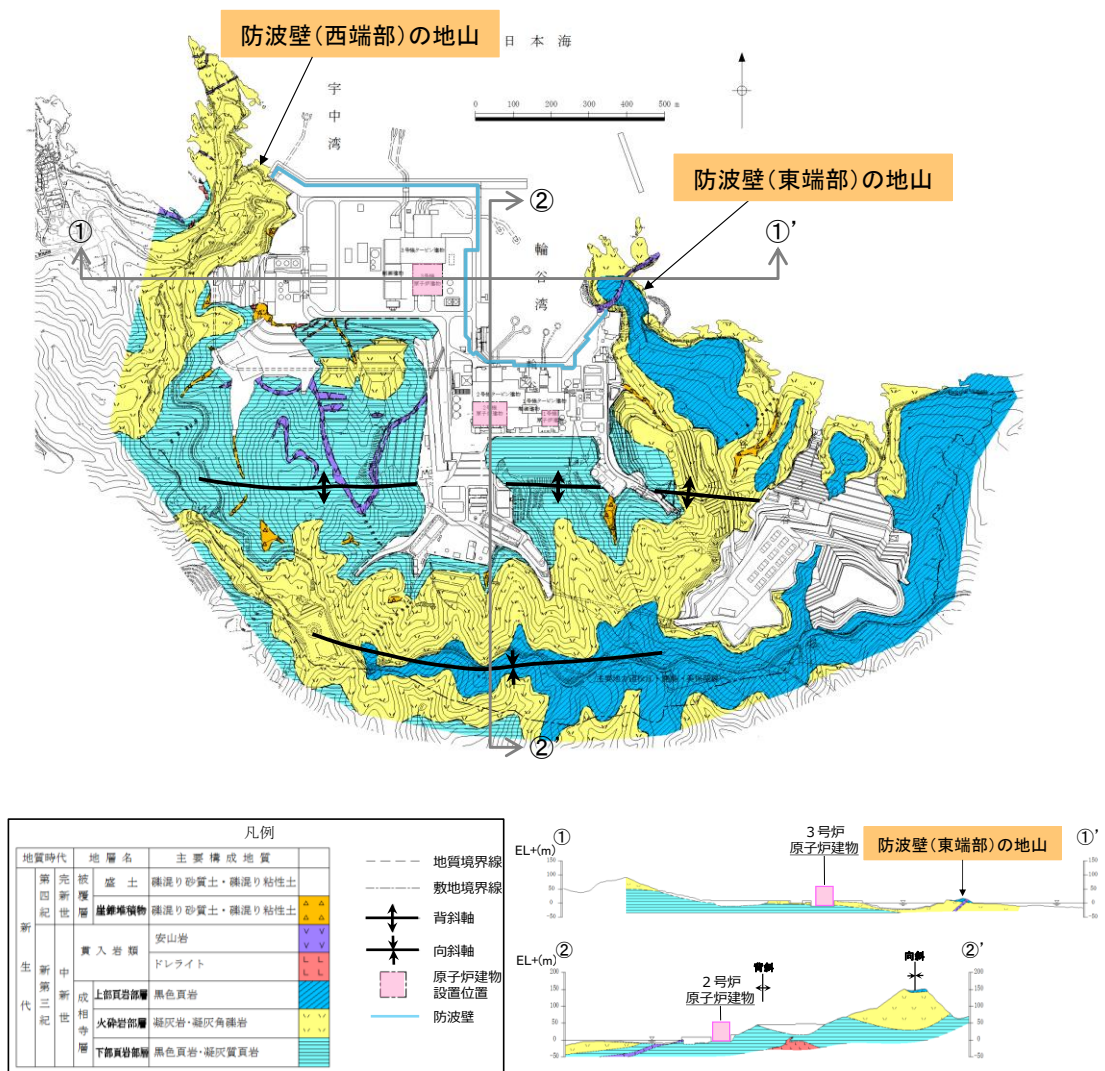


図2-6 島根原子力発電所敷地内地質図

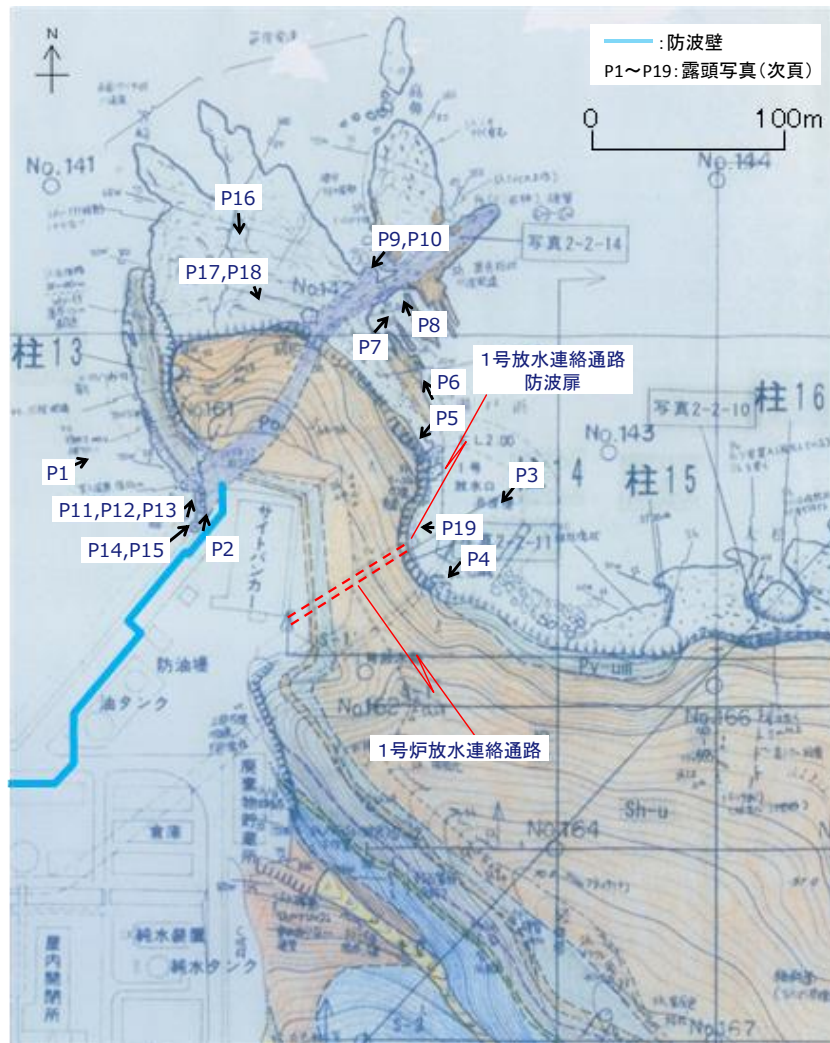
b. 防波壁（東端部）周辺の地質構造

防波壁（東端部）周辺のルートマップを図2-7に、露頭状況写真を図2-8に示す。なおルートマップは平成8年の調査で作成したものである。

防波壁（東端部）は、最高標高約35mの岬の一部を開削した法面に擦り付けられている。この岬の海岸線沿いは全面露頭となっており、輪谷湾に面して高さ15m程度のほぼ垂直な崖が形成されている。地山は西北西走向、緩く北東に傾斜する火山礫凝灰岩及び黒色頁岩の互層からなり、北東走向の安山岩岩脈が認められ、露頭において断層構造や顕著な割れ目は認められない。岩盤表面は変質により褐色を呈する。岩質は堅硬であり、 $C_M \sim C_H$ 級である。

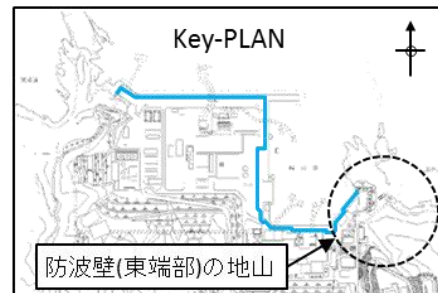
防波壁（東端部）周辺では、ボーリング調査を8本（No.142, 143, 161, 162, 164, 166, 602, 19E3）及び地表地質踏査を実施している。これらを踏まえて作成した防波壁（東端部）の全体的な地質・地質構造を示す地質断面図及び岩級断面図を図2-9に示す。

防波壁（東端部）の地山は、黒色頁岩及び凝灰岩が西北西走向、北東緩傾斜の互層をなす単斜構造からなり、ここに北西傾斜の安山岩が貫入する。尾根部では表層風化により $D \sim C_M$ 級を呈するが、地山のほとんどが C_H 級である。この斜面において、褶曲や断層といった地質構造は認められず、シームは認められない。また、地滑り地形も認められない。



地質区分及び凡例

地質時代		地質名	記号			
第四紀	完新世	盛土	bs	地質境界線		
		崖堆積物	tl			
新第三紀	新	真入岩類	ヒン岩	Po	層理面の走向・傾斜 ※(既往の調査)	
			粗粒玄武岩	Bo		節理面の走向・傾斜
	中	成	火砕流堆積物	上部黒色頁岩層	Sh-u	真入面の走向・傾斜
				最上部フローユニット	Py-um	断層面の走向・傾斜
				下部黒色頁岩層	Sh-l	
				上部フローユニット	Py-u	
				下部フローユニット	Py-l	
				黒色頁岩ブロック	Shb	
	新第三紀	古	層	粗粒凝灰岩	Tfg	測線名
				粗粒凝灰岩	Tfo	
黒色頁岩・凝灰岩互層				Sh/Tf	弾性波探査測線	
スランプ層				S&u		
第四紀	新	層	黒色頁岩・凝灰質頁岩互層	Sh/Tsh	断面図作成位置	
			流紋岩質火砕岩	Ry	背折軸	



ルートマップに用いた略号
 bk-Sh, Sh: 黒色頁岩
 c-ss: 粗粒砂岩
 msv: 塊状
 Po: 安山岩
 sdy-tf: 砂質凝灰岩
 ss-Cg: 砂質礫岩
 tf: 凝灰岩
 tf-Ss: 凝灰質砂岩
 vc: 火山礫凝灰岩

図2-7 防波壁(東端部)周辺のルートマップ



図 2 - 8 (1) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P1 防波壁 (東端部) 全景
 岩着部は尾根の先端を開削した法面に位置する。



図 2 - 8 (2) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P2 防波壁岩着部
 火山礫凝灰岩 (Lp) 及び安山岩 (An) , C_M ~ C_H 級岩盤からなる。

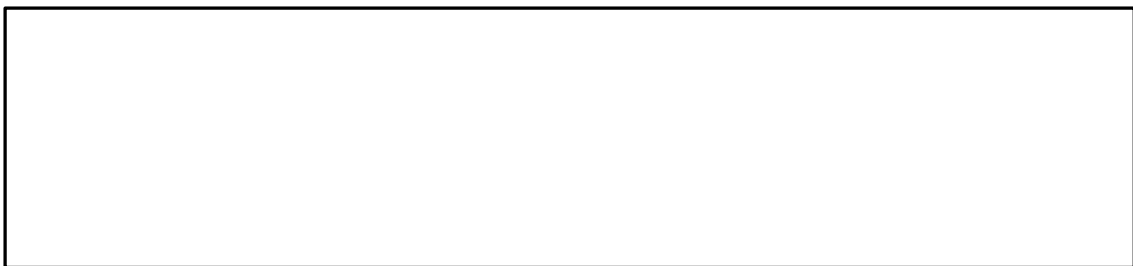


図 2 - 8 (3) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P3 防波壁 (東端部) 全景 (1 号炉放水口側)

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



図 2 - 8 (4) 防波壁 (東端部) 露頭状況
P4 斜面部

斜面部は黒色頁岩・凝灰岩の互層からなり、岩盤は直立し $C_M \sim C_H$ 級岩盤である。
凝灰岩の細粒部が選択的侵食を受け、凹凸組織を呈する。



図 2 - 8 (5) 防波壁 (東端部) 露頭状況
P5 斜面端部

斜面端部は黒色頁岩・凝灰岩の互層、 C_H 級である。



図 2 - 8 (6) 防波壁 (東端部) 露頭状況
P6 安山岩岩脈 (An)

安山岩は黒色頁岩 (Sh)・凝灰岩 (Tf) に比べ侵食に対する強抵抗性を示し、海面から突出した地形をなす。

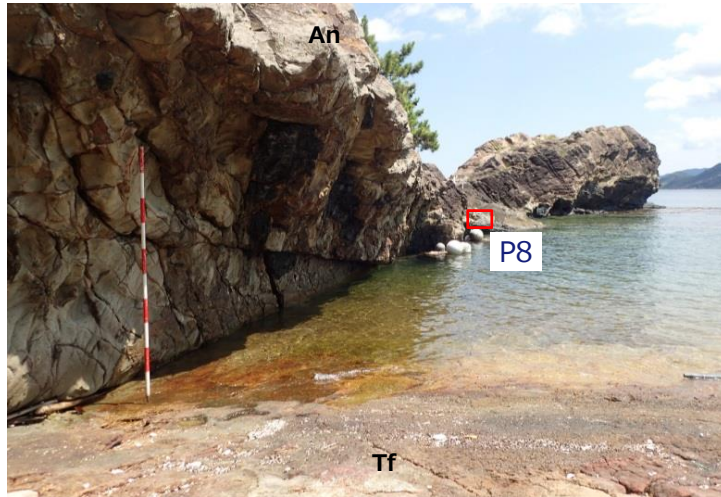


図 2 - 8 (7) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P7 安山岩岩脈下盤境界全景
 貫入境界下盤側の母岩 (黒色頁岩・凝灰岩) は侵食により削剥されている。

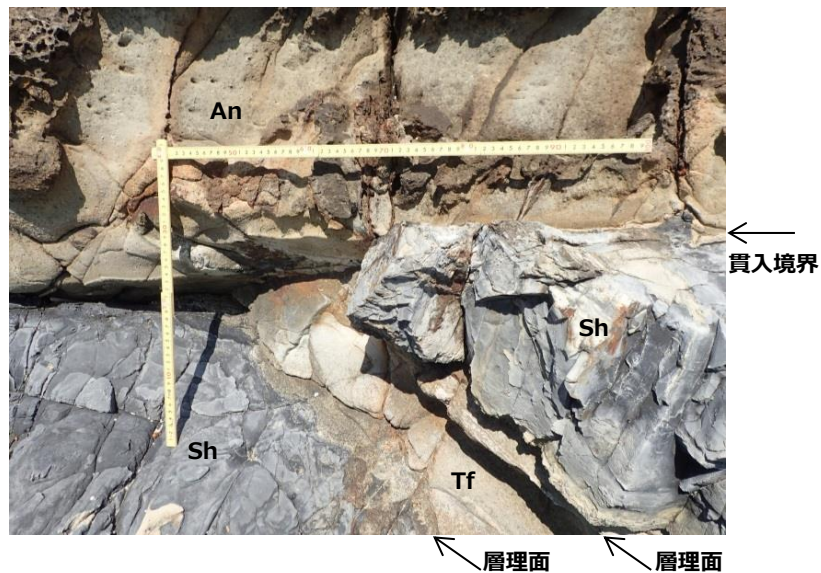


図 2 - 8 (8) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P8 安山岩岩脈下盤境界拡大
 貫入境界 (N40E 56N) は黒色頁岩・凝灰岩の層理面に斜交し，密着する。安山岩側
 に急冷縁あり。貫入境界付近に破碎構造は認められない。



図 2 - 8 (9) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P9 安山岩岩脈 (An) 上盤境界
 貫入境界 (N48E 42N) は火山礫凝灰岩 (Lp) に密着する。

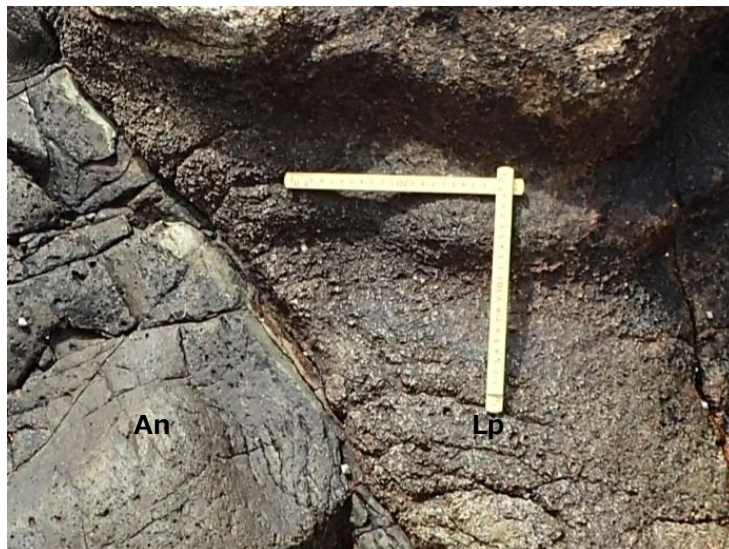


図 2 - 8 (1 0) 防波壁 (東端部) 露頭状況
 P10 貫入境界拡大 安山岩側に急冷縁あり。

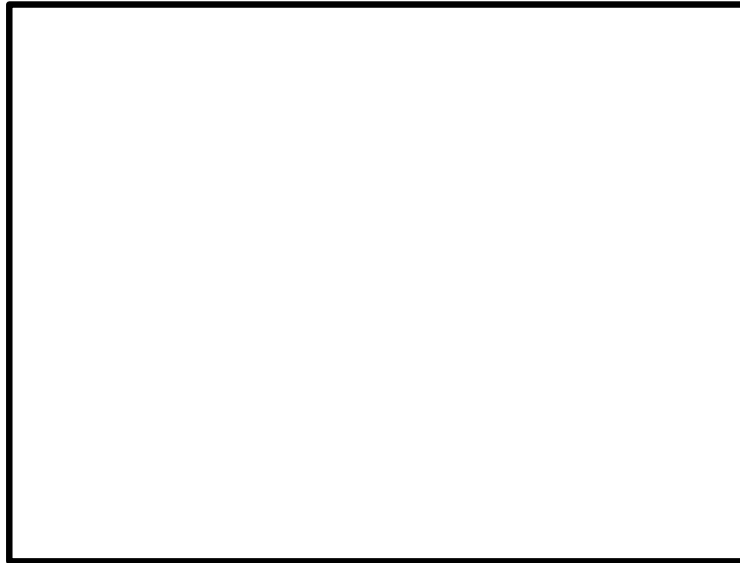


図 2 - 8 (1 1) 防波壁 (東端部) 露頭状況
P11 防波壁岩着部

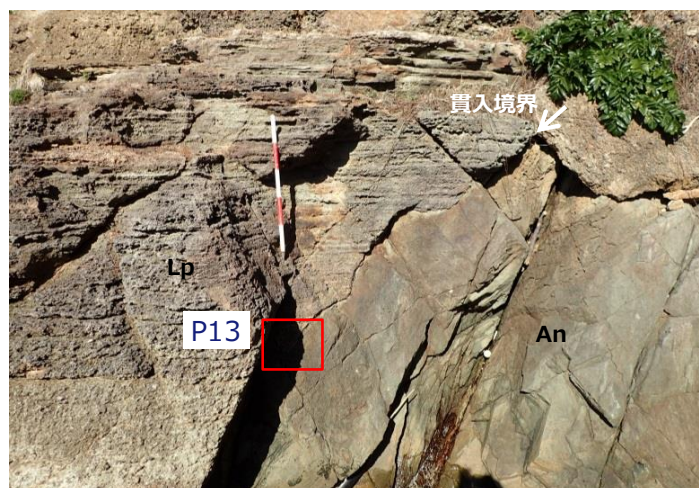


図 2 - 8 (1 2) 防波壁 (東端部) 露頭状況
P12 安山岩岩脈 (An) 上盤境界

みかけ水平な層理の明瞭な火山礫凝灰岩 (Lp) に貫入境界が斜交する。火山礫凝灰岩の層理は整然としており、境界付近に破碎構造は認められない。

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



図2-8 (13) 防波壁(東端部)露頭状況
 P13 安山岩岩脈上盤境界
 貫入境界は火山礫凝灰岩に密着し、安山岩側に急冷縁あり。



図2-8 (14) 防波壁(東端部)露頭状況
 P14 防波壁岩着部

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



図2-8 (15) 防波壁(東端部)露頭状況
 P15 安山岩岩脈(An)下盤境界
 貫入境界は火山礫凝灰岩(Lp)に密着する。



図2-8 (16) 防波壁(東端部)露頭状況
 P16 地山北端部
 堅硬な火山礫凝灰岩が広く露出する。



図2-8 (17) 防波壁(東端部)露頭状況
P17 地山北端部
火山礫凝灰岩 C_H級

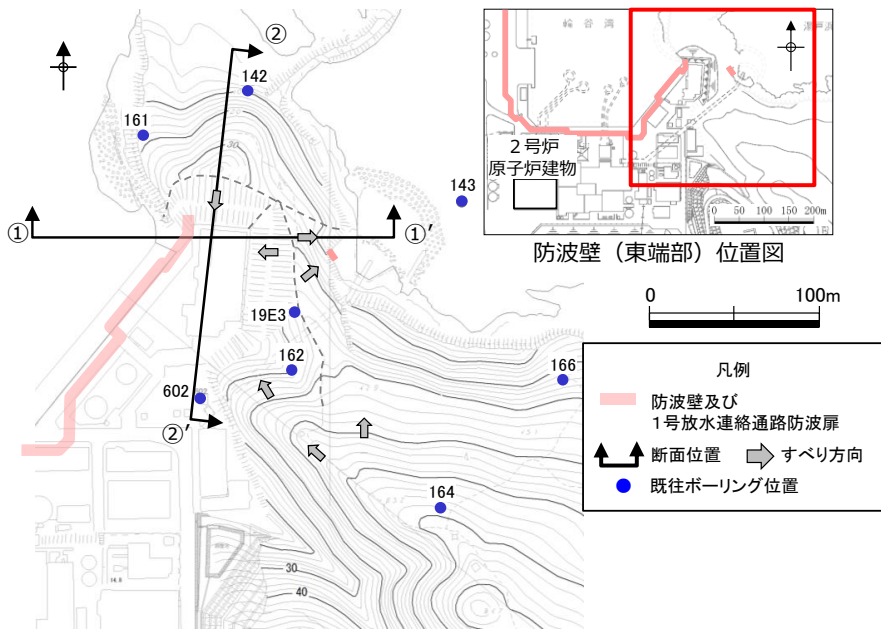


図2-8 (18) 防波壁(東端部)露頭状況
P18 火山礫凝灰岩 C_H級



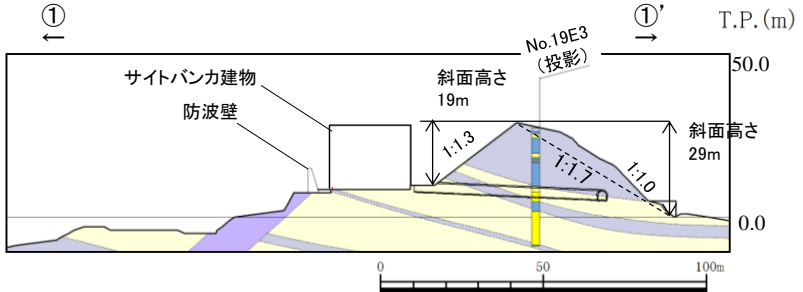
図2-8 (19) 防波壁(東端部)露頭状況
P19 防波扉北側岩着部拡大

岩盤に崩壊するような緩みや高角度亀裂等の顕著な変状は認められない。

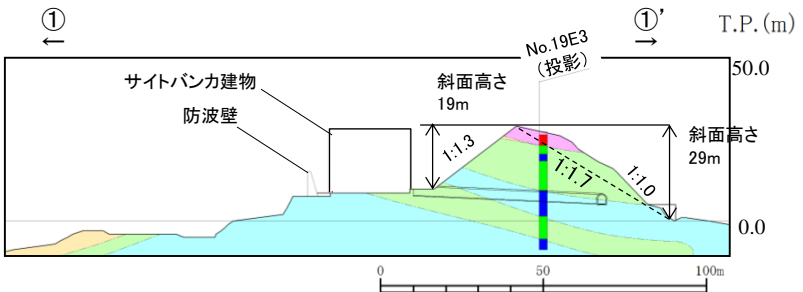


防波壁（東端部）位置図

- 凡例
- 防波壁及び1号放水連絡通路防波扉
 - 断面位置
 - すべり方向
 - 既往ボーリング位置



①-①'岩相断面図



①-①'岩級断面図

- | | | | |
|-----------|-----|-------------------------|------|
| 凡例(岩級断面図) | | 凡例(岩相断面図) | |
| 埋戻土、盛土 | 柱状図 | 埋戻土、盛土 | 被覆層 |
| D級 | 被覆層 | 安山岩 | 凝灰岩 |
| CL級 | D級 | 凝灰岩・凝灰角礫岩
(頁岩の薄層を挟む) | 黑色頁岩 |
| CM級 | CM級 | 頁岩・凝灰岩の互層 | 成相寺層 |
| CH級 | CH級 | 頁岩
(凝灰岩の薄層を挟む) | |
| 岩級境界線 | | 岩相境界線 | |

図2-9(1) 防波壁（東端部）地質断面図・岩級断面図
①-①'断面

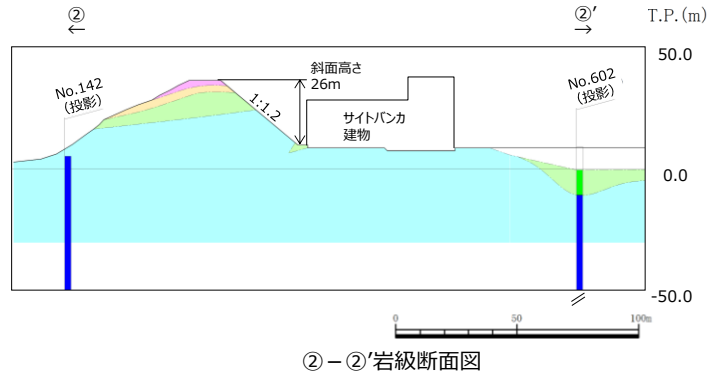
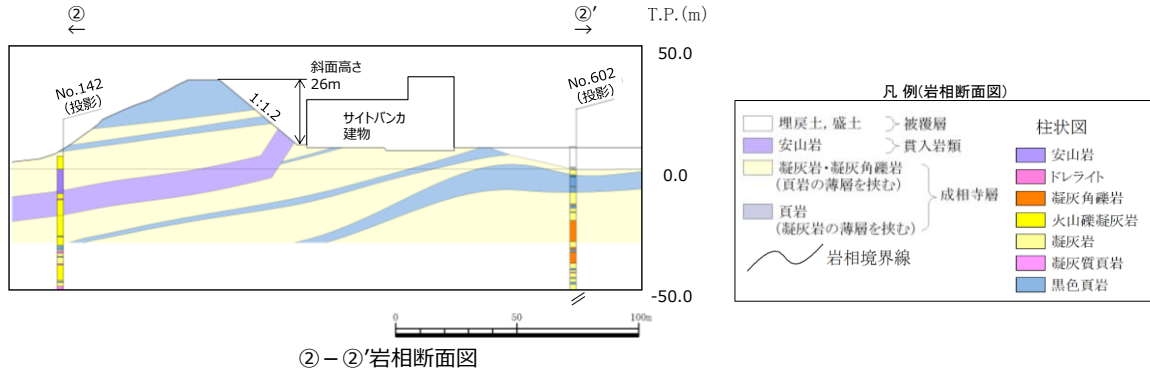


図 2 - 9 (2) 防波壁 (東端部) 地質断面図・岩級断面図
 ②-②' 断面

c. 防波壁（西端部）周辺の地質構造

防波壁（西端部）周辺のルートマップ（平成8年の調査により作成）を図2-10に示す。また、防波壁（西端部）周辺において、ボーリングコアや露頭の状況を整理し作成した詳細ルートマップ及び模式柱状図を図2-11に示す。

防波壁（西端部）周辺は、凝灰岩及び火山礫凝灰岩を主体とし、凝灰角礫岩や黒色頁岩、ドレライトを挟む。西北西～北西走向、北東緩傾斜であり、局所的なスランプ褶曲が認められる。詳細ルートマップでは、複数箇所を確認される特徴的な岩相として、火山礫凝灰岩からなるK1pと黒色頁岩を主体とするKshを鍵層として扱い標記した。露頭状況写真を図2-12に示す。

防波壁（西端部）は、緩く北東に傾斜する斜面の標高15m以下に擦り付けている。独立行政法人防災科学技術研究所（以下、「防災科研」）が作成した地すべり地形分布図（平成17年）では、防波壁（西端部）周辺に位置する地滑り地形が示されている（以下、「防災科研調査結果」）。地形判読の結果、独立行政法人防災科学技術研究所（以下、「防災科研」）の地滑り土塊とされる箇所に等高線の乱れが認められることから、表層すべりが想定される。

現地調査の結果、防災科研調査の地滑り土塊とされる箇所の側方崖末端部においては、おおむね新鮮堅硬な岩盤が認められ、そこに断層構造や顕著な割れ目は認められず、また地滑り末端部付近に生じる層理面の乱れや圧縮構造は確認されない。図2-13及び図2-14に示すとおり、周辺のボーリング調査結果（No. 201孔・No. 303孔）及び2号炉放水路トンネル切羽面観察結果においても滑り面は認められない。

また、防災科研調査の地滑り土塊とされる箇所の側面である開削面露頭では、凝灰岩を主体とし、最下部及び上部に黒色頁岩薄層、ほぼ中央に火山礫凝灰岩層が認められる。これらの岩相境界は明瞭で、ほぼ平滑な境界を有する。露頭最上部には粘性土及び礫質土が分布する。層理面は北へ緩く傾斜し、これに直交する高角度割れ目が認められる。露頭全体が弱変質により淡褐色を呈するが、堅硬な岩盤が認められ、シームや断層、褶曲、深層崩壊に伴う地滑り面は認められなかったが、開削面露頭上部で認められた礫質土及び粘性土（層厚：約2m）については、空中写真判読で認められた表層すべりに相当する可能性が考えられる。

深層崩壊に伴う地滑り面は認められないことから、地滑り地形ではないと判断されるが、防災科研調査の地滑り地形付近において確認された礫質土及び粘性土については、過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから、防波壁周辺斜面の安定性確保のため撤去する。また、標高40mより上方斜面においても礫質土が認められたことから、ルートマップ（平成8年調査）に記載された「崩積土」の範囲について、岩盤まで礫質土を全て撤去する。斜面对策工の概要について図2-15に示す。

防波壁（西端部）周辺では、ボーリング調査を14本（No. 101, 201, 202, 203, 204, 303, 304, 308, 19W1, 19W2, 19W3, 19W4, 19W5, 19W7）及び地表地質踏

査を実施している。これらを踏まえて作成した防波壁（西端部）の全体的な地質・地質構造を示す地質断面図及び岩級断面図を図2-16に示す。

防波壁（西端部）の地山は、黒色頁岩、凝灰質頁岩及び凝灰岩が西北西走向、北東緩傾斜の互層をなす単斜構造からなり、ここにシル状にドレライトと安山岩が貫入する。尾根部では表層風化によりD~C_{II}級を呈するが、地山のほとんどがC_{II}級である。この斜面において、褶曲や断層といった地質構造は認められず、シームは認められない。



地質区分及び凡例

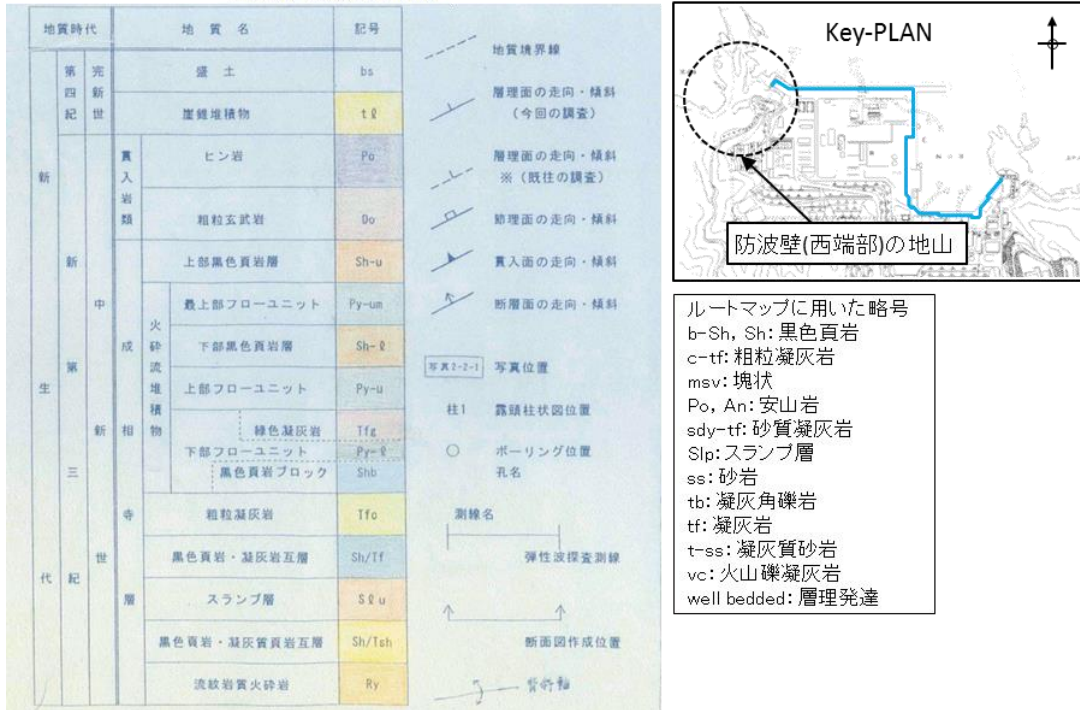


図2-10 防波壁(西端部)周辺のルートマップ

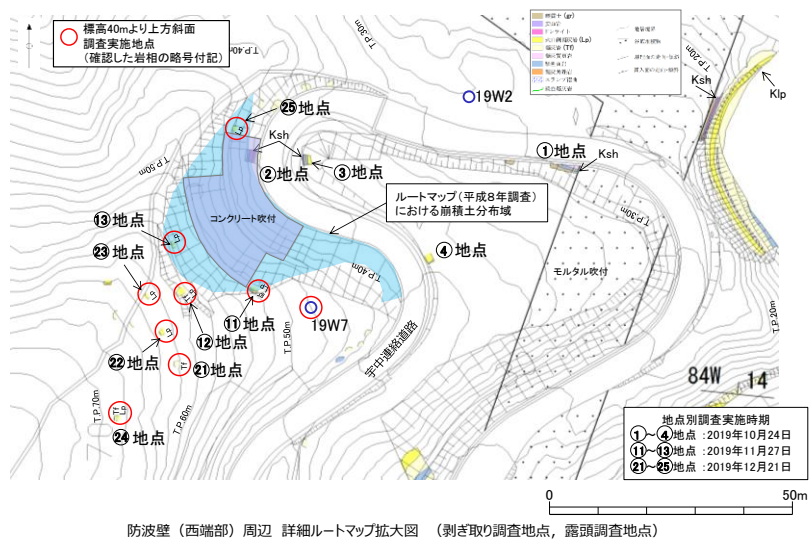
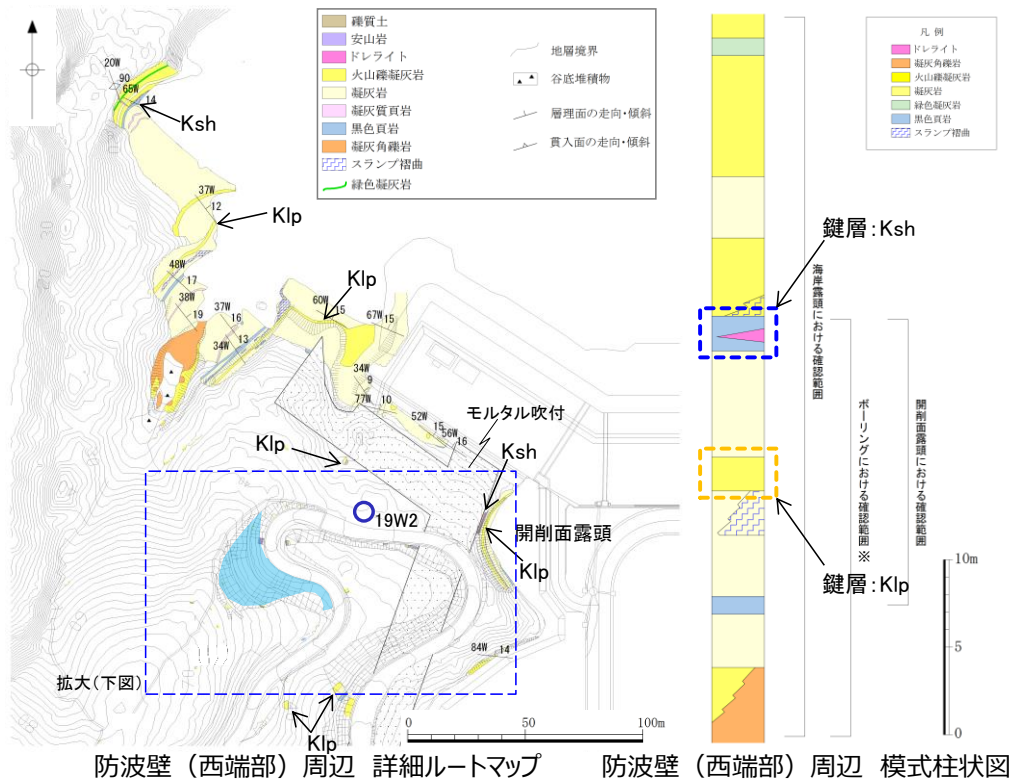
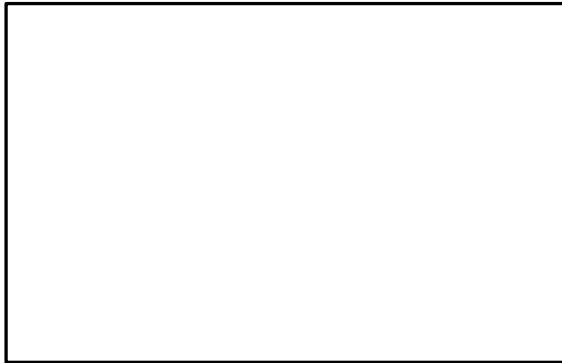
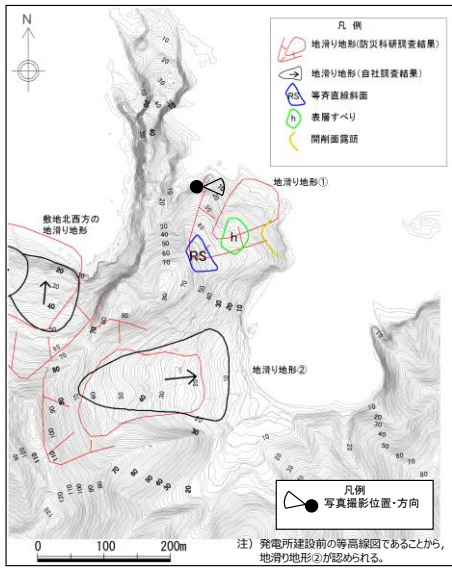


図2-11 防波壁（西端部）周辺の詳細ルートマップ及び模式柱状図

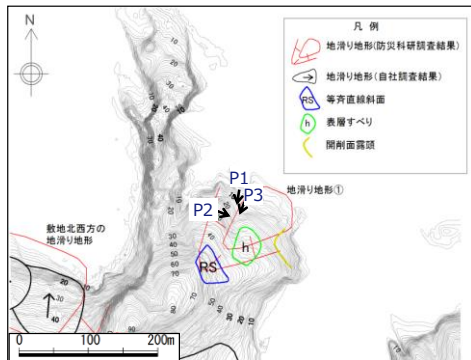


地滑り地形①の地滑り土塊の側方崖末端に相当する箇所



段差地形 拡大写真

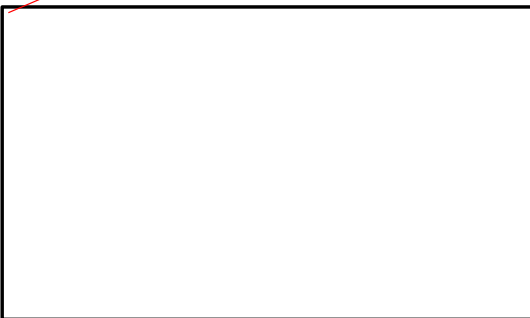
図 2-12 (1) 防波壁 (西端部) 露頭状況
地滑り地形①の地滑り土塊の側方崖末端に相当する箇所



P1 地滑り地形①の地滑り土塊の側方崖に相当する箇所 (2019年8月撮影)



P3 露頭拡大 (2019年8月撮影)



P2 露頭拡大 (2019年3月撮影)

図 2-12 (2) 防波壁 (西端部) 露頭状況
地滑り地形①の地滑り土塊の側方崖末端に相当する箇所

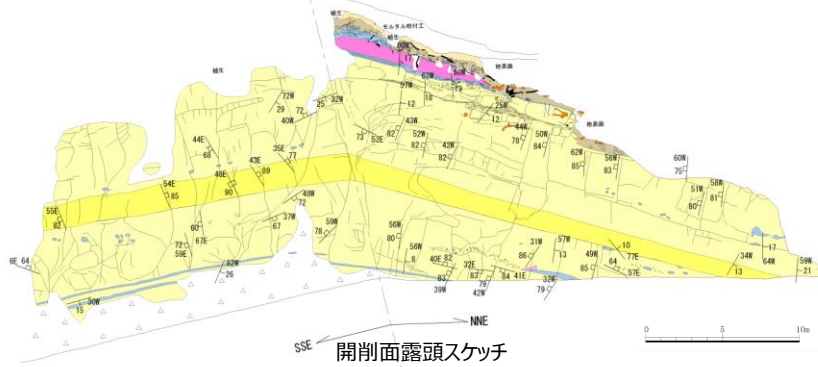
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



開削面露頭全景 (2019年11月6日撮影)

凡例

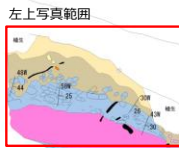
- △△ 土砂
- 粘性土
- 礫質土
- ドレライト
- 火山礫凝灰岩
- 凝灰岩
- 凝灰質頁岩
- 黑色頁岩



開削面露頭スケッチ

- 礫
- 〰 脱水分解途中の樹木・樹根
- 〰 生育中の樹木・樹根
- 〰 土質境界・岩相境界
- 〰 岩相境界(推定)
- 〰 割れ目
- 〰 層理面の走向・傾斜
- 〰 貫入面の走向・傾斜
- 〰 割れ目の走向・傾斜

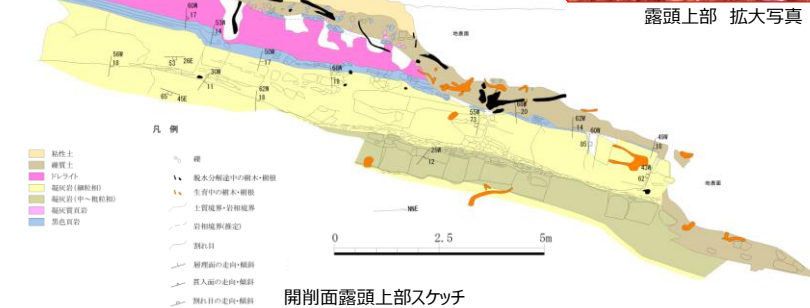
図2-12(3) 防波壁(西端部)露頭状況
開削面露頭全景



開削面露頭上部写真
(2019年7月18日撮影)



露頭上部 拡大写真 (2019年9月20日撮影)



開削面露頭上部スケッチ

- 凡例
- 粘性土
 - 礫質土
 - ドレライト
 - 凝灰岩(凝灰質)
 - 凝灰岩(中〜粗粒部)
 - 凝灰質頁岩
 - 黑色頁岩
 - 礫
 - 〰 脱水分解途中の樹木・樹根
 - 〰 生育中の樹木・樹根
 - 〰 土質境界・岩相境界
 - 〰 岩相境界(推定)
 - 〰 割れ目
 - 〰 層理面の走向・傾斜
 - 〰 貫入面の走向・傾斜
 - 〰 割れ目の走向・傾斜

図2-12(4) 防波壁(西端部)露頭状況
開削面露頭上部

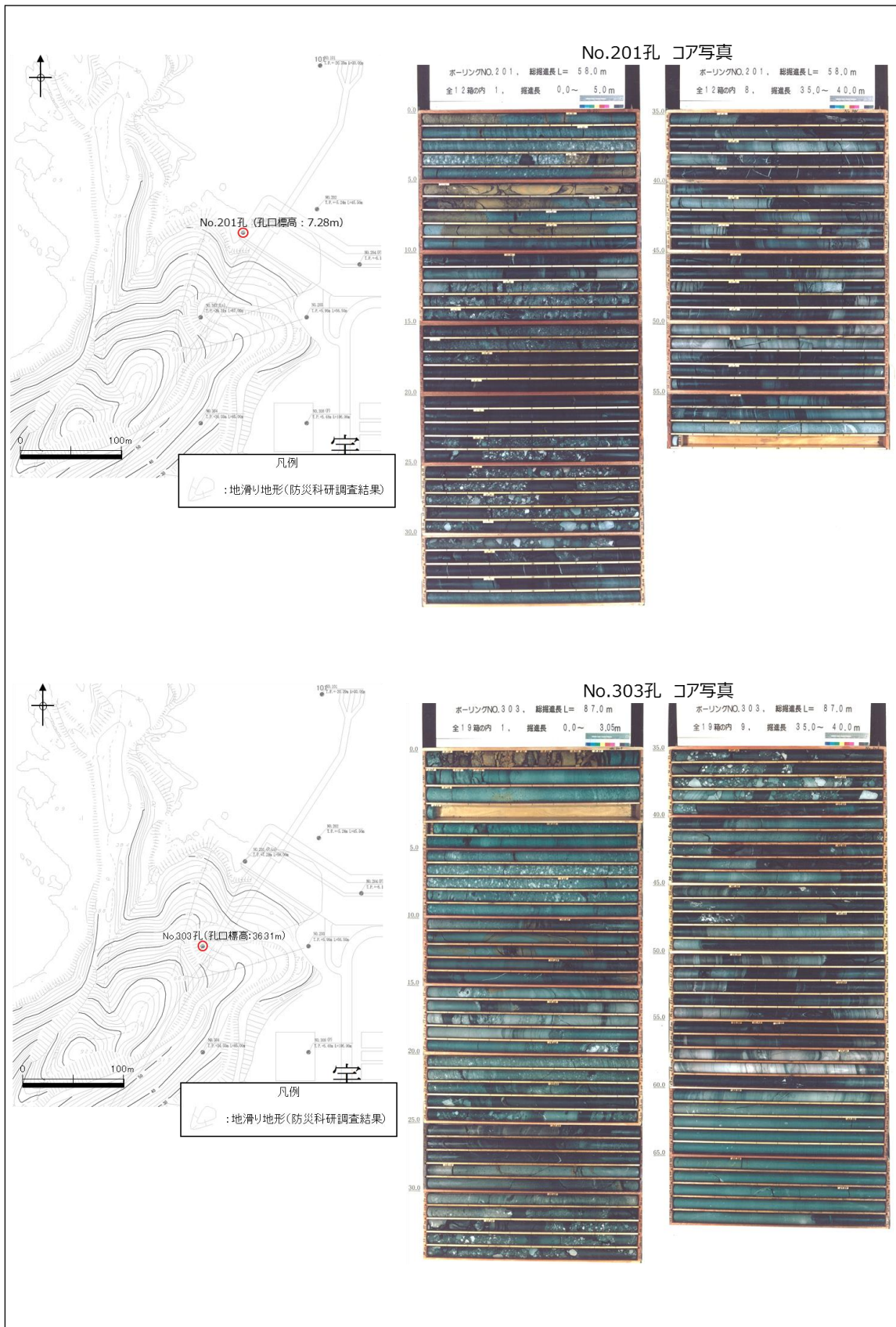


図2-13 地滑り地形①近傍で掘削されたボーリングコア写真

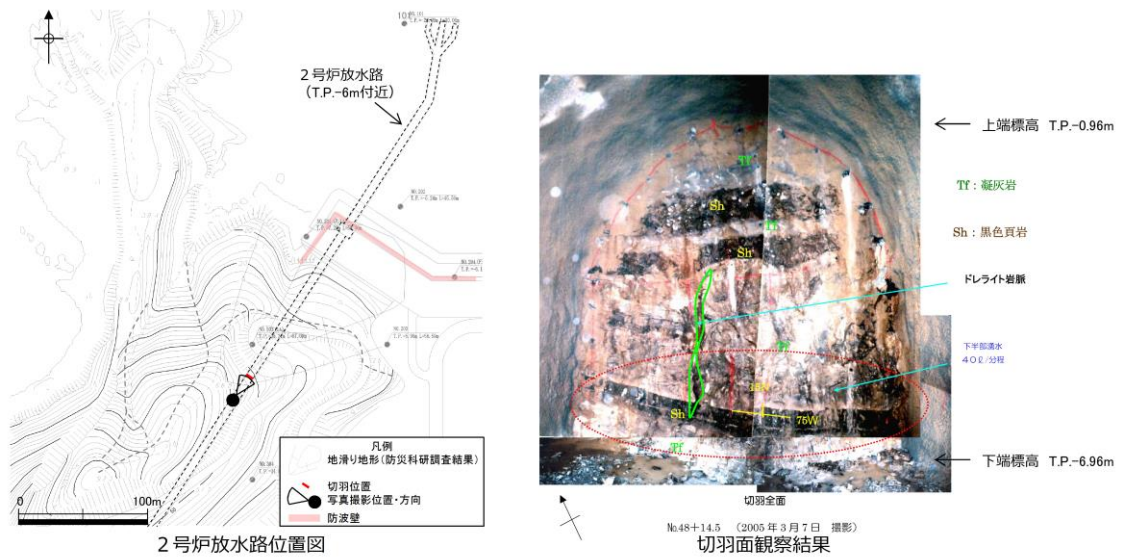


図 2-14 2号炉放水路 (直径約 6m) の切羽面観察結果

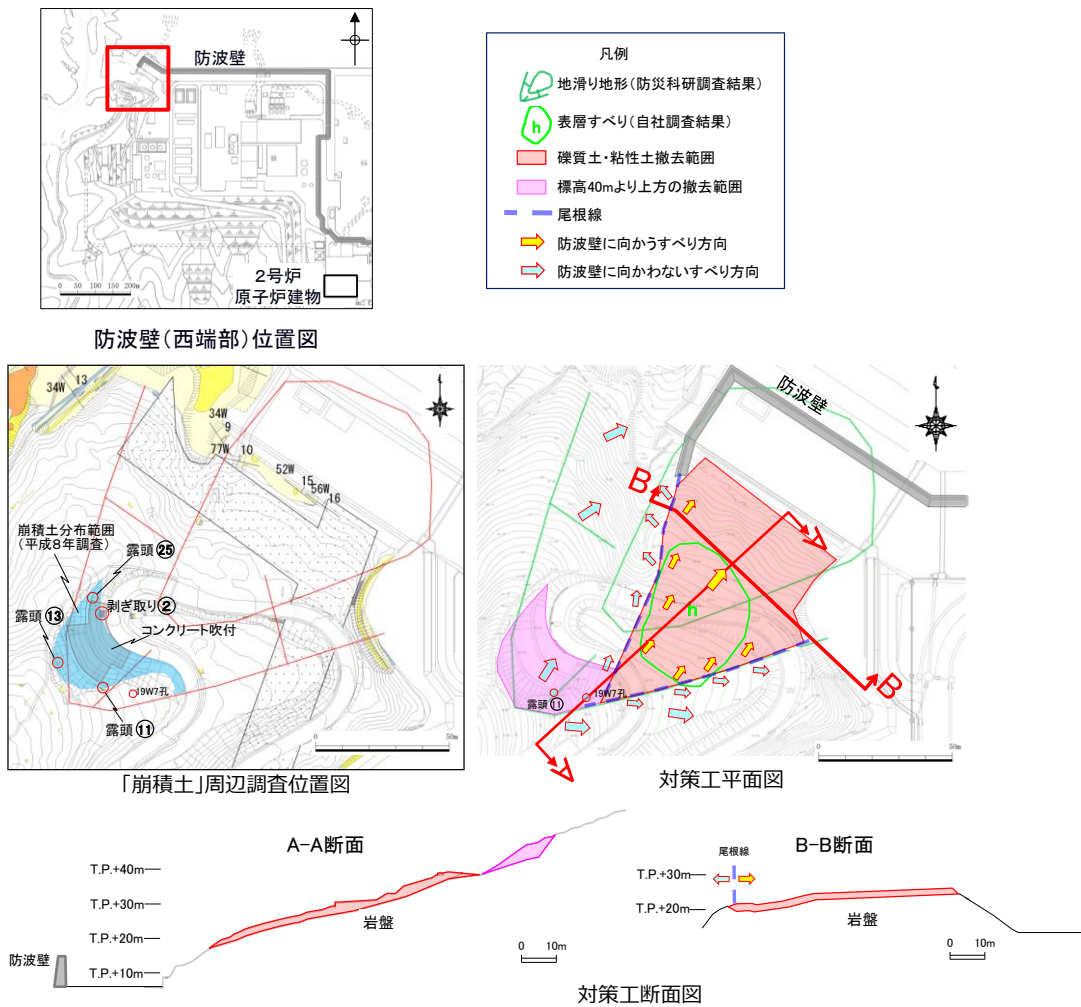


図 2-15 防波壁 (西端部) 斜面对策工

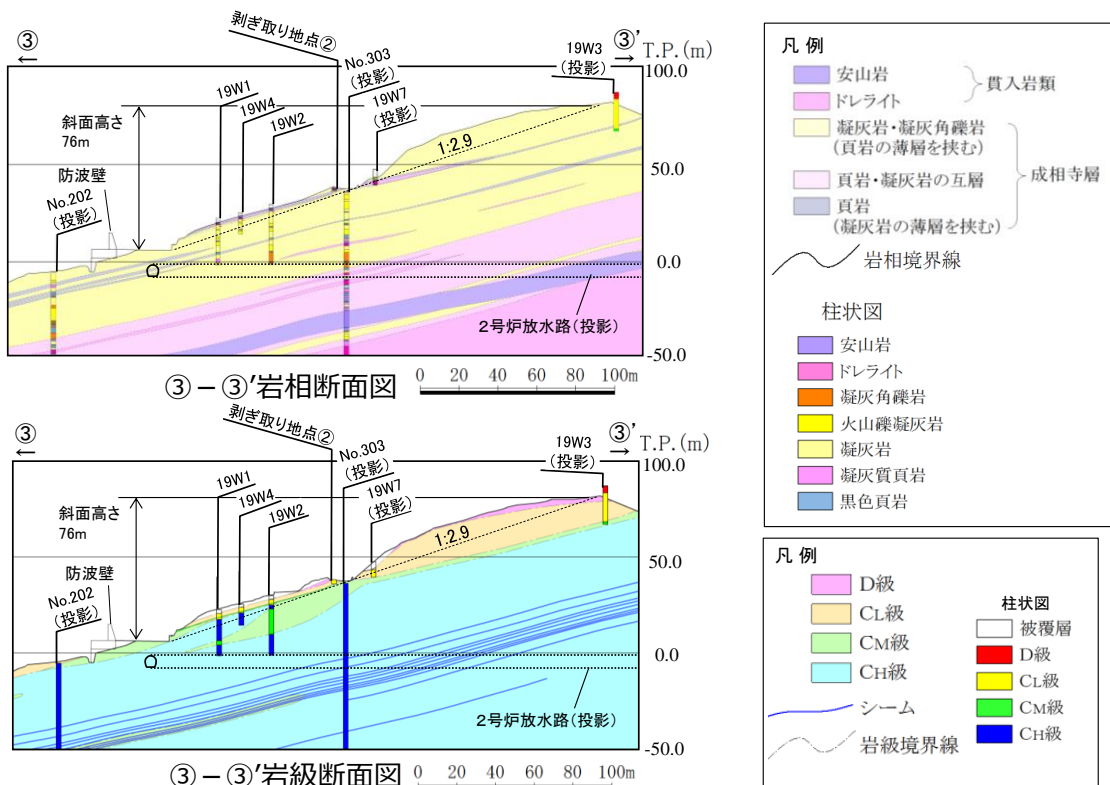
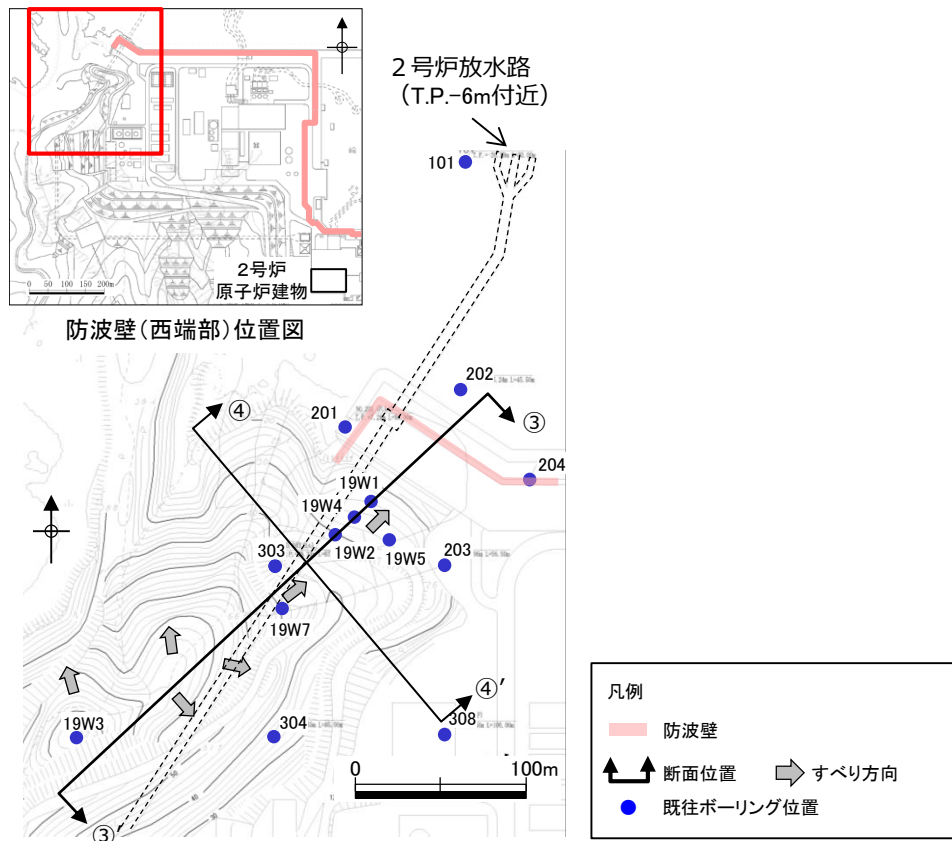
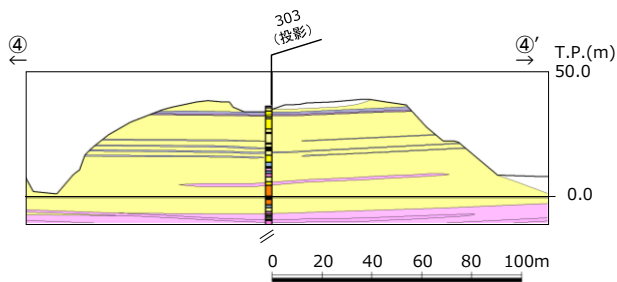
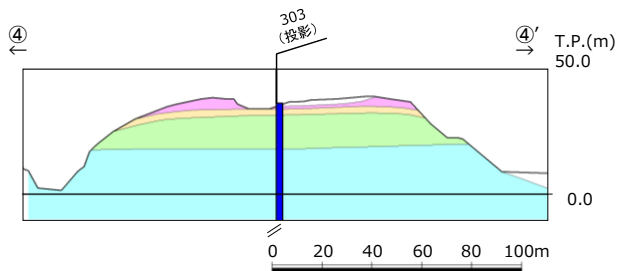
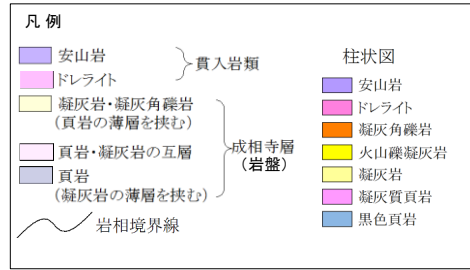


図 2-16 (1) 防波壁 (西端部) 地質断面図・岩級断面図
③-③' 断面



④-④'岩相断面



④-④'岩級断面

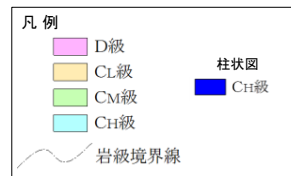


図 2-16 (2) 防波壁 (西端部) 地質断面図・岩級断面図
④-④' 断面

d. 防波壁端部の擦り付け部の構造及び防波壁の仕様

防波壁（東端部）及び防波壁（西端部）の擦り付け部の構造図及び状況写真を図 2-17～22 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）東端部（a-a 断面）については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H 鋼（H-350×350×12×19）を 1m 間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、防波壁の前面及び背面において、露出した岩盤を保護する目的でコンクリートで被覆した。

防波壁（波返重力擁壁）西端部（b-b 断面）については、東端部同様、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H 鋼（H-350×350×12×19）を 1m 間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、防波壁の前面及び背面において、露出した岩盤を保護する目的でコンクリートで被覆した。

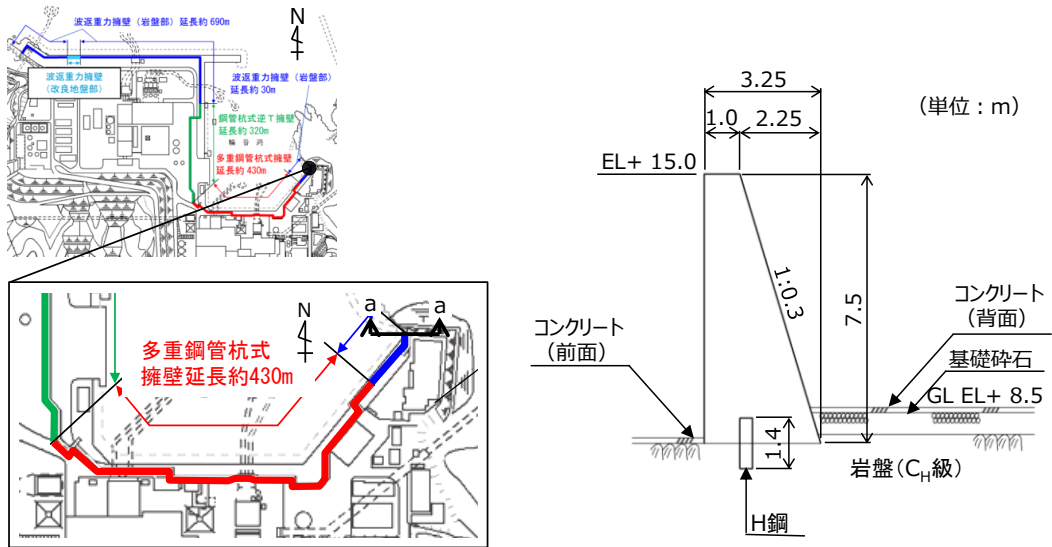


図 2-17 防波壁 (波返重力擁壁) 東端部 (a-a 断面) 断面図



図 2-18 防波壁東端部 状況写真



図 2-19 防波壁東端部 岩盤露出状況

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

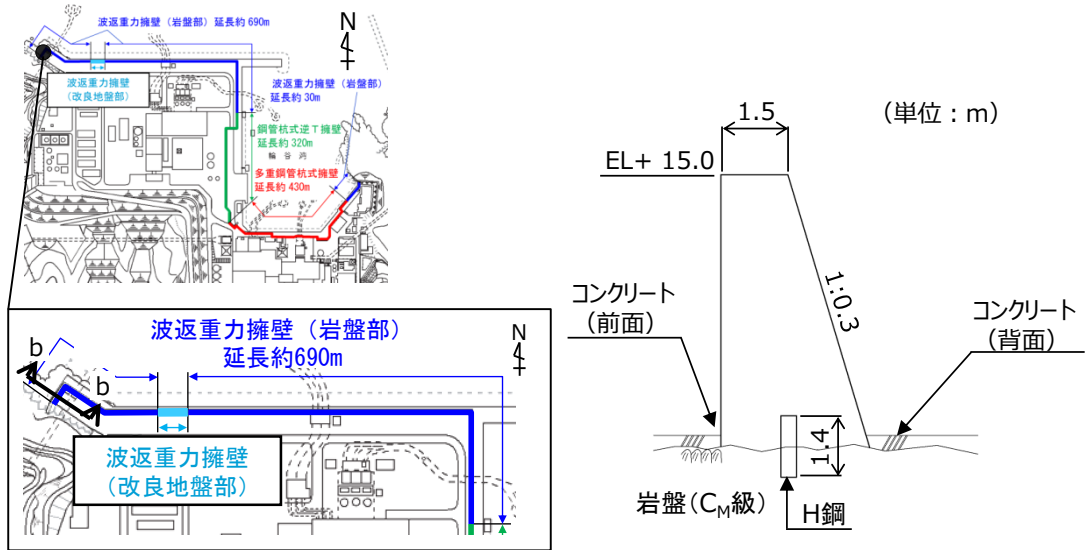


図 2 - 20 防波壁 (波返重力擁壁) 西端部 (b-b 断面) 断面図



図 2 - 21 防波壁西端部 状況写真



図 2 - 22 防波壁西端部 岩盤露出状況

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

(3) 地山の耐震，耐津波設計上の位置付け

防波壁両端部の地山について，耐震，耐津波設計上の位置付けを表 2 - 1 に整理した。これを踏まえ，以下の検討を行う。

- 検討 1：津波防護施設と同等の機能を有する斜面において，基準地震動 S_s による地山のすべり安定性評価を行い，基準地震動に対する健全性を確保していることを説明する。
- 検討 2：津波防護施設同等の機能を有する斜面において，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性の確認及び基準津波による地山の安定性評価を行い，基準津波に対する健全性を確保していることを説明する。

このほかに，当該地山については，防波壁の支持地盤としての地山及び防波壁及び 1 号放水連絡通路防波扉の周辺斜面としての役割もあるため，耐震，耐津波設計上の位置付けを整理した。

表 2 - 1 防波壁両端部の地山の耐震，耐津波設計上の位置付け

設計上の役割	耐震設計上の位置付け	耐津波設計上の位置付け
①津波防護を担保する地山斜面 (5 条)	<ul style="list-style-type: none"> 津波防護施設と同等の機能を有する地山斜面は，基準地震動による地震力に対して，要求される津波防護機能を保持できるようにする。【検討 1】 	<ul style="list-style-type: none"> 津波防護施設と同等の機能を有する地山斜面は，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し，入力津波に対する津波防護機能が保持できるようにする。【検討 2】
②防波壁の支持地盤としての地山 (3 条)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁と地山との擦り付け部は，液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮しても，施設の安全機能が損なわれるおそれがないようにする。 ⇒「(2) d. 防波壁端部の擦り付け部の構造及び防波壁の仕様」に示すとおり，堅硬な岩盤に支持されていることから，液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状は発生しない。 	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁と地山との擦り付け部は，構造不連続による相対変位，ずれ等が構造健全性，安定性，止水性や水密性に影響を及ぼさないようにする。 ⇒「(2) d. 防波壁端部の擦り付け部の構造及び防波壁の仕様」に示すとおり，岩盤を露出させ，H 鋼を打設し，重力擁壁を堅硬な岩盤に直接設置していることから，構造不連続による相対変位，ずれ等は発生しない。
③防波壁及び 1 号放水連絡通路防波扉の周辺斜面 (4 条)	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁及び 1 号放水連絡通路防波扉の周辺斜面（「(1) 津波遡上高の分布を踏まえた津波防護上の地山範囲の特定について」参照）は，想定される地震動の地震力により崩壊し，当該施設の安全機能が重大な影響を受けないようにする。 ⇒「防波壁及び 1 号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和 2 年 2 年 28 日審査会合）において説明。 	—

(4) 基準地震動に対する健全性確保の見通し

a. 評価方針

検討1の基準地震動に対する健全性確保として、津波防護を担保する地山の安定性評価を実施する。地山の地震による安定性評価については、「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）の審査結果を踏まえ、基準地震動に対する健全性確保の見通しを説明する。

検討に当たっては、図2-23の検討フローに基づいて実施する。

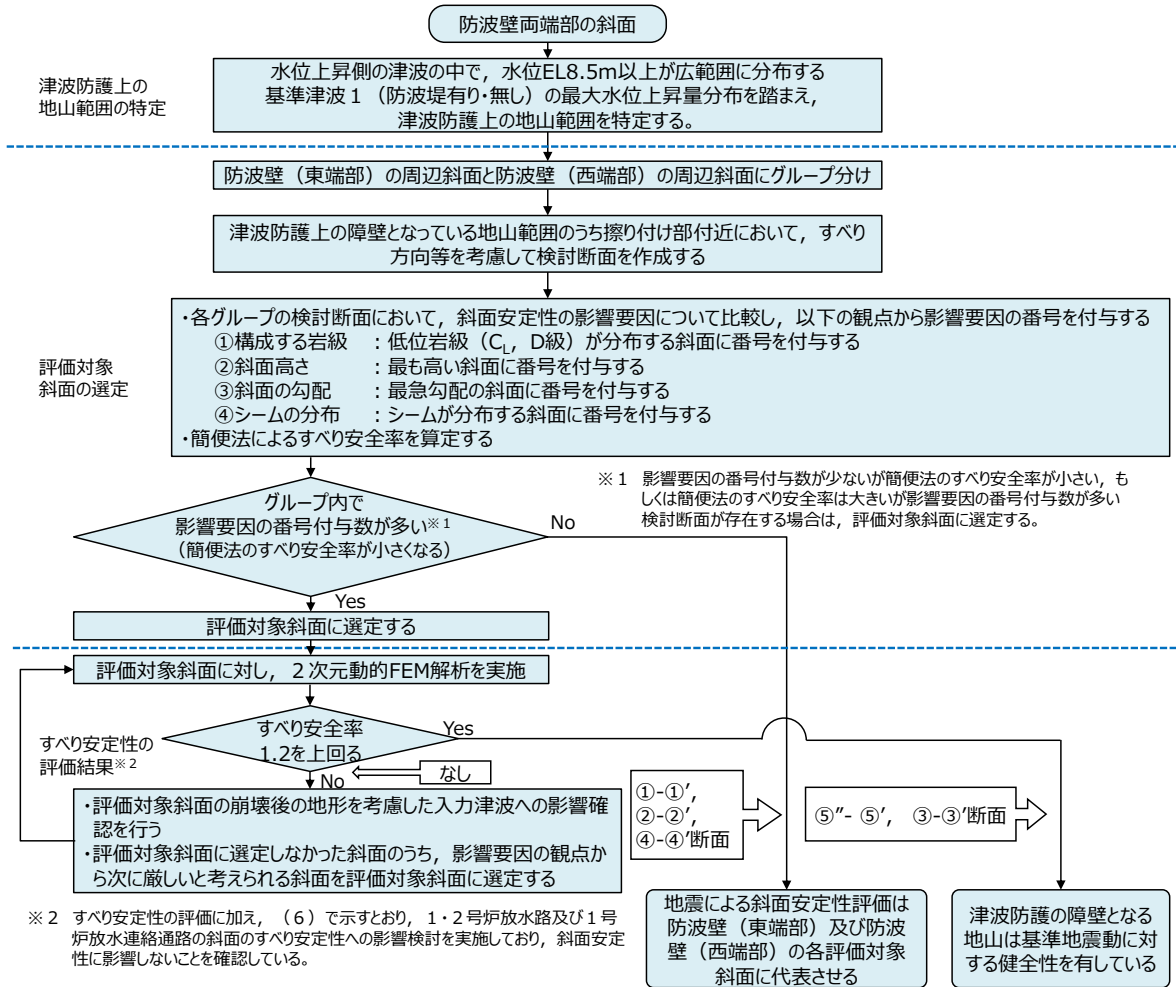


図2-23 検討フロー

b. 防波壁端部地山のグループ分け

津波防護上の地山範囲について、図2-24のとおり防波壁（東端部）と防波壁（西端部）にグループ分けし、それぞれで評価対象斜面を選定する。

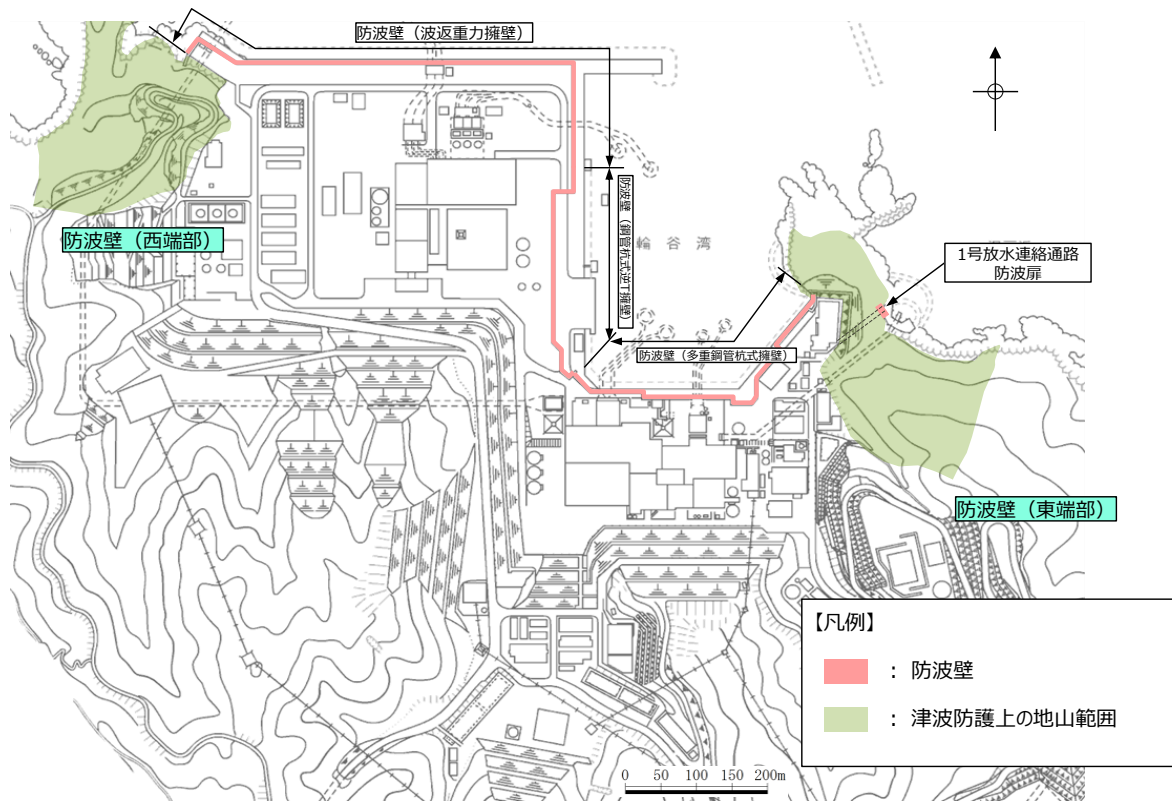


図 2-24 防波壁端部地山のグループ分け

c. 評価方法

評価対象斜面の選定は、図 2-25に示す影響要因及び簡便法のすべり安全率を踏まえて行う。

簡便法及び 2 次元動的 FEM 解析に用いる解析用物性値及び解析手法は、「島根原子力発電所 2 号炉 防波壁及び 1 号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和 2 年 2 月 28 日審査会合）で使用したものを採用する。

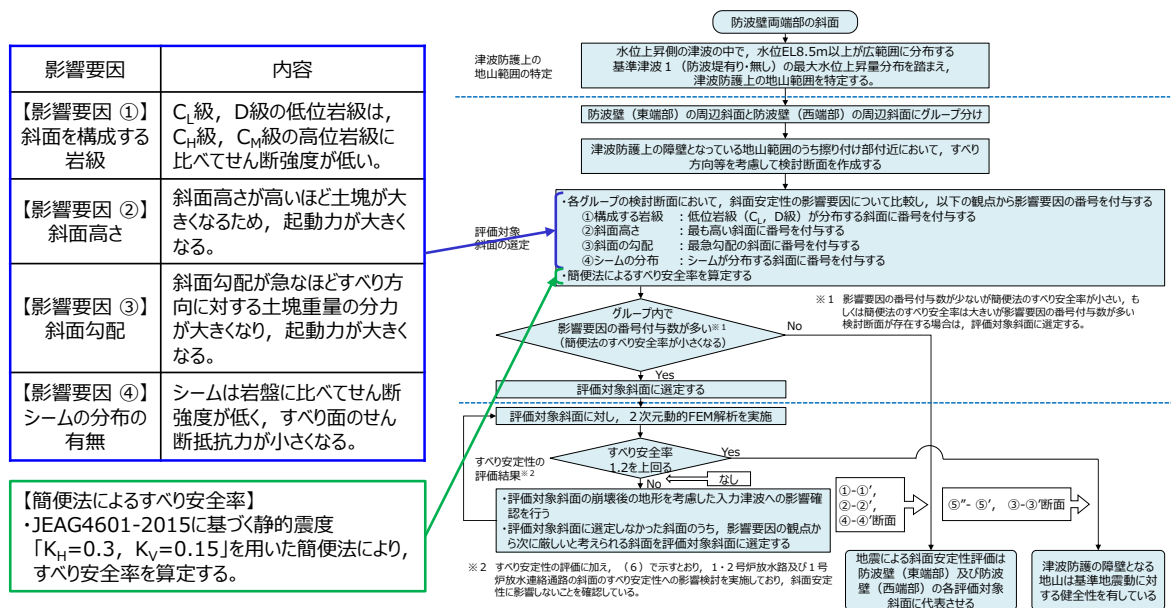


図 2-25 評価対象斜面の選定に用いる影響要因等

d. 評価対象斜面の選定

(a) 防波壁（東端部）の評価対象斜面の選定

防波壁（東端部）の津波防護上の地山範囲のうち擦り付け部付近において、すべり方向等を考慮して以下のとおり①-①' 断面、②-②' 断面及び⑤-⑤' 断面の検討断面を作成し、この中から評価対象斜面を選定する。

- ・①-①' 断面は、防波壁東側斜面の斜面幅が最も狭い箇所を通り、地形が急勾配となる方向に設定した。
- ・②-②' 断面は、防波壁北側斜面の頂部を通り、風化層が厚くなる尾根部を通るように設定した。
- ・⑤-⑤' 断面は、防波壁東側斜面の斜面幅が狭い箇所を通り、尾根を境に海側・陸側にそれぞれ地形が最急勾配となる方向に設定した。

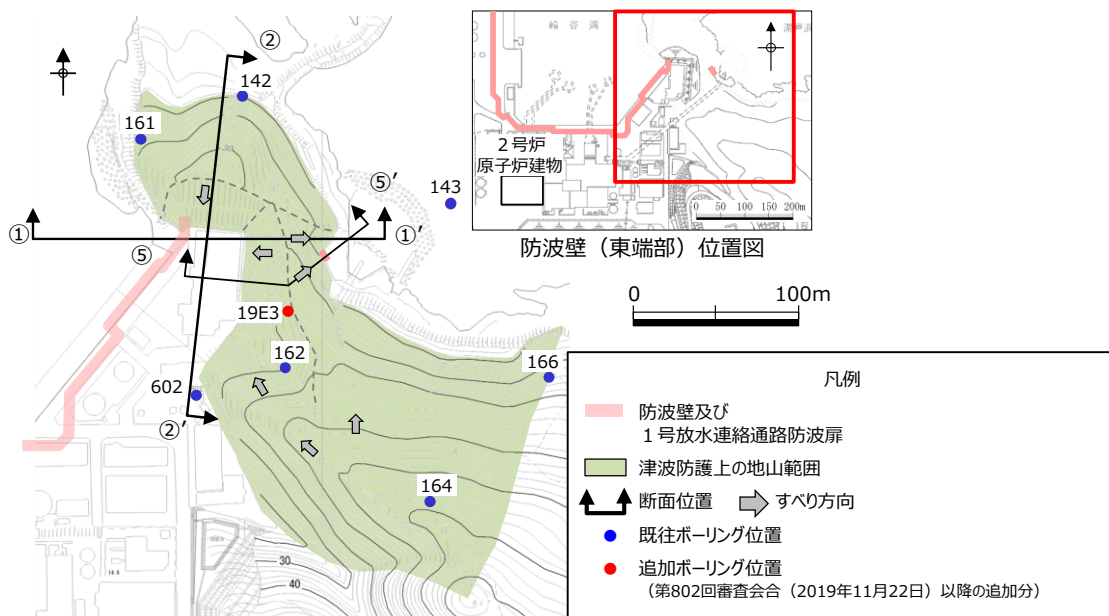


図2-26 評価対象断面の選定 検討断面位置図

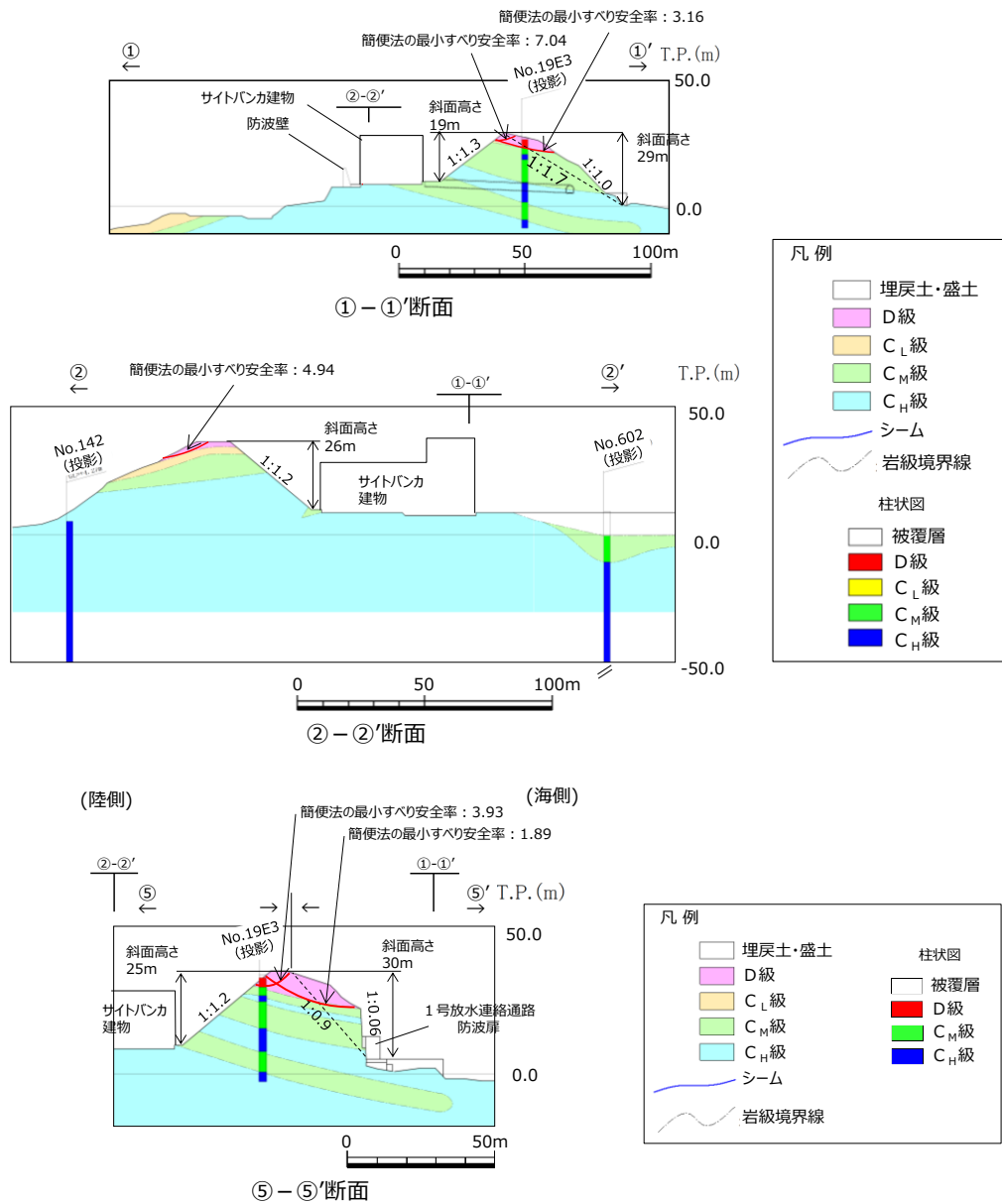


図 2-27 評価対象断面の選定 検討断面 地質鉛直断面図 (岩級, シーム)

①-①' 断面, ②-②' 断面及び⑤-⑤' 断面について表 2-2 のとおり比較を行った結果, ⑤-⑤' 断面のうち海側の斜面を 2次元動的 FEM解析の評価対象斜面に選定した。

表 2-2 防波壁 (東端部) 評価対象斜面の選定結果

防波壁 東端部斜面		影響要因				該当する 影響要因	簡便法の 最小すべり 安全率*	選定理由
		【影響要因①】 構成する岩級	【影響要因②】 斜面高さ	【影響要因③】 斜面の勾配	【影響要因④】 シームの分布の有無			
①-①'	陸側すべり	C _{Hr} , C _{Mr} , C _L , D 級	19m	1 : 1.3	なし	①	7.04	⑤-⑤'断面 (海側すべり) に比べ, 平均勾配は緩いこと, 表層の D級岩盤は薄いこと, 斜面高さが低いこと, 及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから, ⑤-⑤'断面 (海側すべり) の評価に代表させる。
	海側すべり	C _{Hr} , C _{Mr} , C _L , D 級	29m	1 : 1.7 (一部, 1 : 1.0 の急勾配部あり)	なし	①	3.16	
②-②'		C _{Hr} , C _{Mr} , C _L , D 級	26m	1 : 1.2	なし	①	4.94	
⑤-⑤'	陸側すべり	C _{Hr} , C _{Mr} , D 級	25m	1 : 1.2	なし	①	3.93	
	海側すべり	C _{Hr} , C _{Mr} , D 級	30m	1 : 0.9 (一部, 1 : 0.06 の急勾配部あり)	なし	①, ②, ③	1.89	斜面全体は C _M ~C _L 級主体の堅硬な岩盤で構成されるが, 表層に D 級が厚く分布すること, 1 号放水連絡通路防波扉付近ではほぼ直立した斜面が存在すること, 1 号放水連絡通路防波扉の方向に流れ盤であること, 及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから, 評価対象斜面に選定する。

: 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与が多い (簡便法のすべり安全率が小さい)
 : 選定した評価対象斜面

【①-①' 断面の比較結果】

⑤-⑤' 断面に比べ, 平均勾配は緩いこと, 表層の D 級岩盤は薄いこと, 斜面高さが 19m・29m と低いこと, 及び簡便法の最小すべり安全率が 3.16・7.04 と大きいことから, ⑤-⑤' 断面の評価に代表させる。

当該斜面には 1 号炉放水連絡通路が存在するが, (6) で示すとおり, 斜面安定性に影響がないことを確認している。

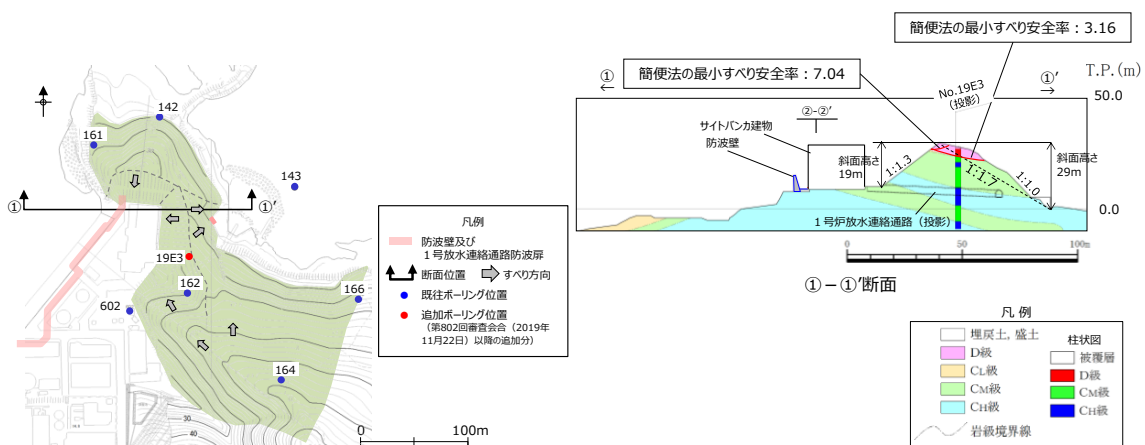


図 2-28 ①-①' 断面の比較結果

【②-②' 断面の比較結果】

⑤-⑤' 断面に比べ、平均勾配は緩いこと、表層のD級岩盤は薄いこと、斜面高さが26mと低いこと、及び簡便法の最小すべり安全率が4.94と大きいことから、⑤-⑤' 断面の評価に代表させる。

②''-②' 断面については、海側斜面の勾配が②-②' 断面と同等であることから、②-②' 断面に代表させた。

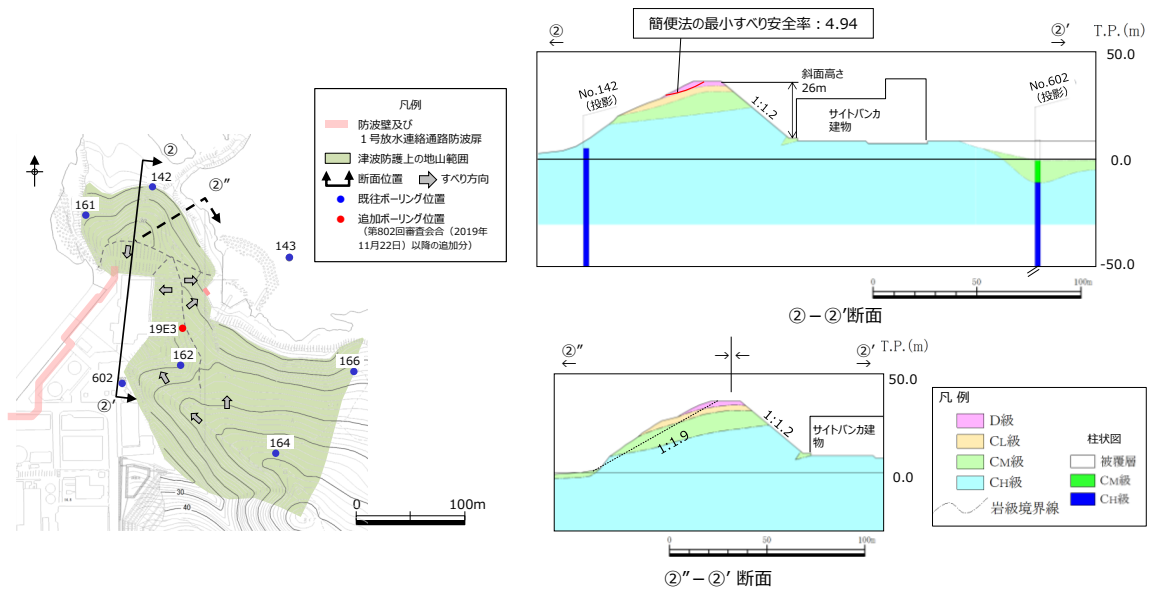


図 2-29 ②-②' 断面の比較結果

【⑤-⑤' 断面の比較結果】

陸側すべりの斜面は、当該断面の海側すべりに比べ、平均勾配は緩く、表層のD級岩盤は薄いこと、斜面高さが25mと低いこと、及び簡便法の最小すべり安全率が3.93と大きいことから、当該断面の海側すべりの評価に代表させる。

海側すべりの斜面は、斜面全体は $C_M \sim C_H$ 級主体の堅硬な岩盤で構成されるが、表層にD級が厚く分布すること、1号放水連絡通路防波扉付近で1:0.06の勾配のほぼ直立した斜面が存在すること、1号放水連絡通路防波扉の方向に流れ盤となっていること、及び簡便法の最小すべり安全率が1.89と小さいことから、評価対象斜面に選定する。

当該斜面には1号炉放水連絡通路が存在するが、(6)で示すとおり、斜面安定性に影響がないことを確認している。

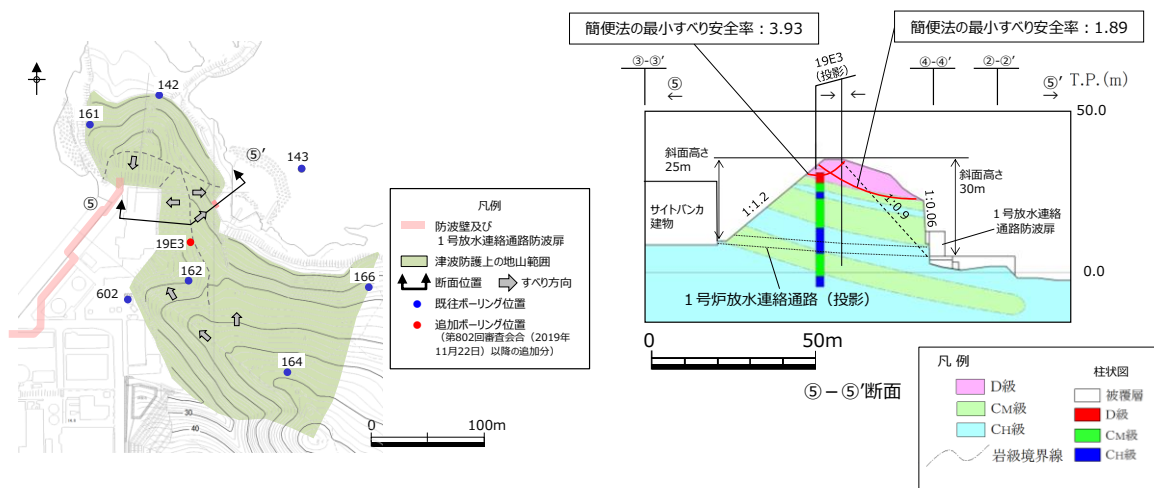


図 2 - 30 ⑤-⑤' 断面の比較結果

【⑤-⑤' 断面の解析断面位置】

動的FEM解析の実施に当たり、山体の地震時の挙動を適切に解析に反映するため、⑤-⑤' 断面について、直線状の断面となるように、北東-南西方向に⑤''-⑤' 断面の地質断面図及び解析モデルを作成し、安定性評価を行うこととした。

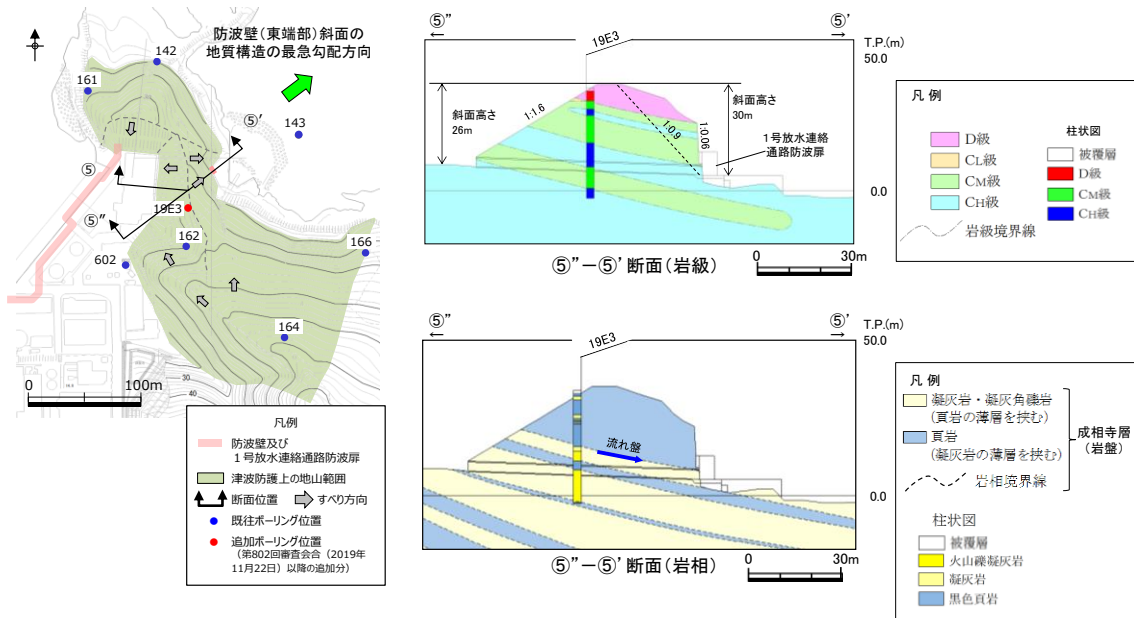


図 2-31 ⑤-⑤' 断面の解析断面位置

【⑤-⑤' 断面のモデル化】

防波壁（東端部）の⑤''-⑤' 断面の解析モデルについては、地質断面図を踏まえて作成する。

表層にはD級岩盤（頁岩）及びD級岩盤（凝灰岩）が分布するが、保守的にせん断強度の低いD級岩盤（凝灰岩）でモデル化する。

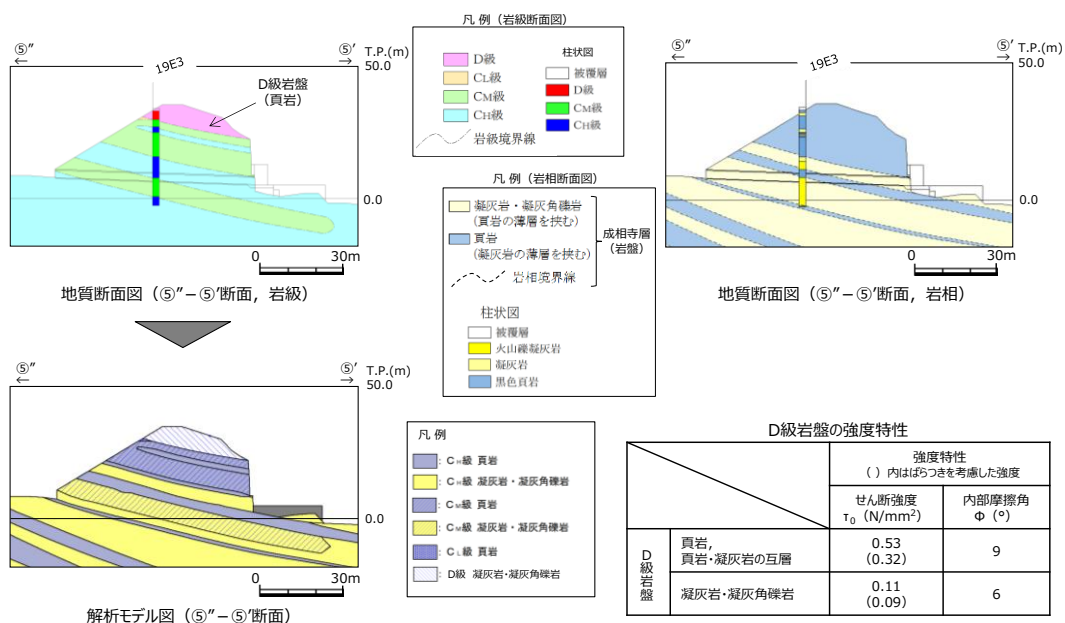


図 2-32 ⑤-⑤' 断面のモデル化

(b) 防波壁（西端部）の評価対象斜面の選定

防波壁（西端部）の津波防護上の地山範囲のうち擦り付け部付近において、すべり方向等を考慮し、以下のとおり③-③'断面及び④-④'断面の検討断面を作成し、この中から評価対象斜面を選定する。

- ・③-③'断面は、防波壁南側斜面の頂部付近を通り、地形及び地層の最急勾配方向に流れ盤になるように設定した。
- ・④-④'断面は、防波壁南側の斜面幅が最も狭い箇所を通り、地形が急勾配となる方向に設定した。

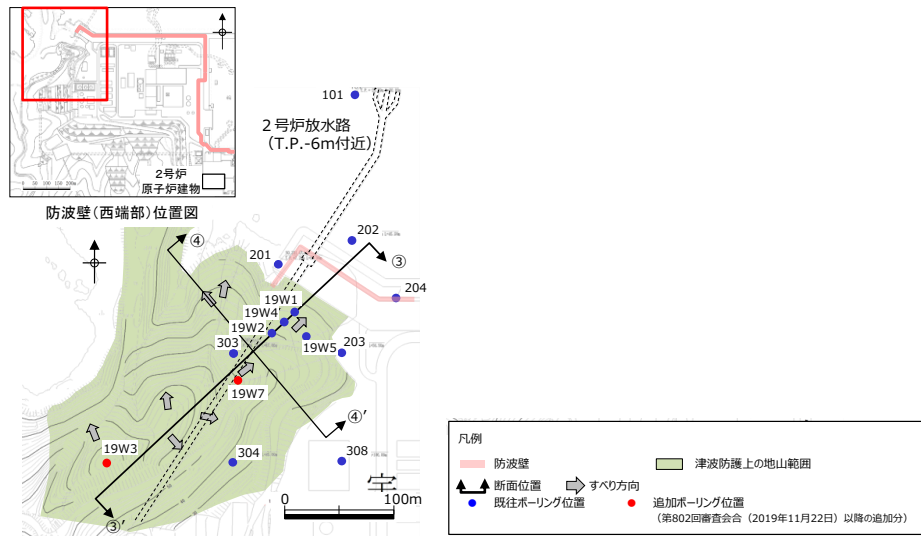
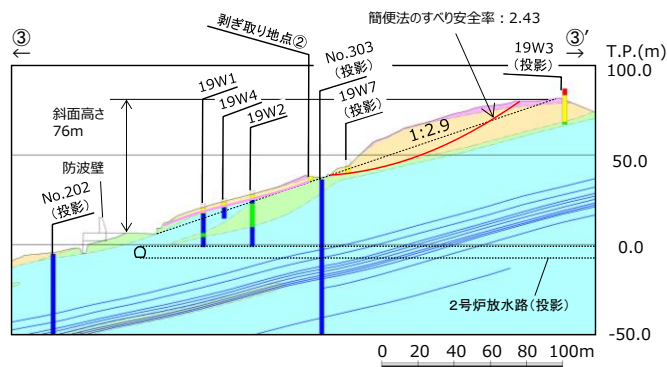
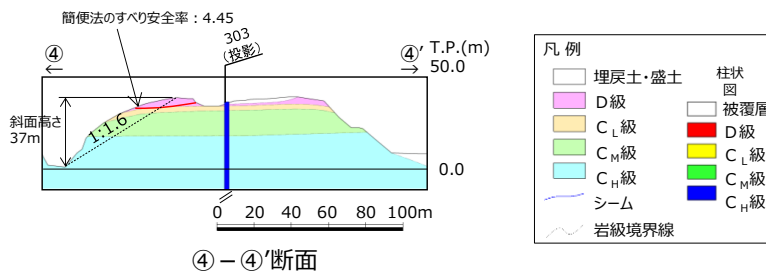


図 2-33 防波壁（西端部）の評価対象斜面の選定 検討断面位置図



③-③'断面（岩級断面図）※

※「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」で説明した礫質土・粘性土の切取を反映済



④-④'断面

図 2-34 評価対象断面の選定 検討断面 地質鉛直断面図（岩級，シーム）

③-③' 断面及び④-④' 断面について表 2-3 のとおり比較を行った結果、③-③' 断面を 2 次元動的 FEM 解析の評価対象斜面に選定した。

表 2-3 防波壁 (西端部) 評価対象斜面の選定結果

防波壁 東端部斜面	影響要因				該当する 影響要因	簡便法の 最小すべり 安全率*	選定理由
	【影響要因①】 構成する岩級	【影響要因②】 斜面高さ	【影響要因③】 斜面の勾配	【影響要因④】 シームの分布 の有無			
評価対象斜面に選定 ③-③'	C_{Hr} , C_{Mr} , C_{Lr} , D 級	76m	1:2.9	なし	①, ②	2.43	・表層に C_{Lr} , D 級が分布すること、斜面高さが高いこと、標高40m付近にD級岩盤の薄層が分布すること、流れ盤であること、及び簡便法の最小すべり安全率が小さいことから、評価対象斜面に選定する。
④-④'	C_{Hr} , C_{Mr} , C_{Lr} , D 級	37m	1:1.6	なし	①, ③	4.45	・③-③'断面に比べ、平均勾配は急だが、 C_{Mr} ~ C_{Lr} 級岩盤が主体であり、斜面高さが低く、簡便法の最小すべり安全率が大きいことから、③-③'断面の評価に代表させる。

□ : 番号を付与する影響要因 □ : 影響要因の番号付与が多い (簡便法のすべり安全率が小さい) □ : 選定した評価対象斜面

【③-③' 断面の比較結果】

当該斜面は、表層に C_{Lr} , D 級が分布すること、斜面高さが76mと高いこと、標高40m付近にD級岩盤の薄層が分布すること、流れ盤であること、及び簡便法の最小すべり安全率が2.43と小さいことから、評価対象斜面に選定する。

当該斜面には 2 号炉放水路が存在するが、(6) で示すとおり、斜面安定性に影響がないことを確認している。

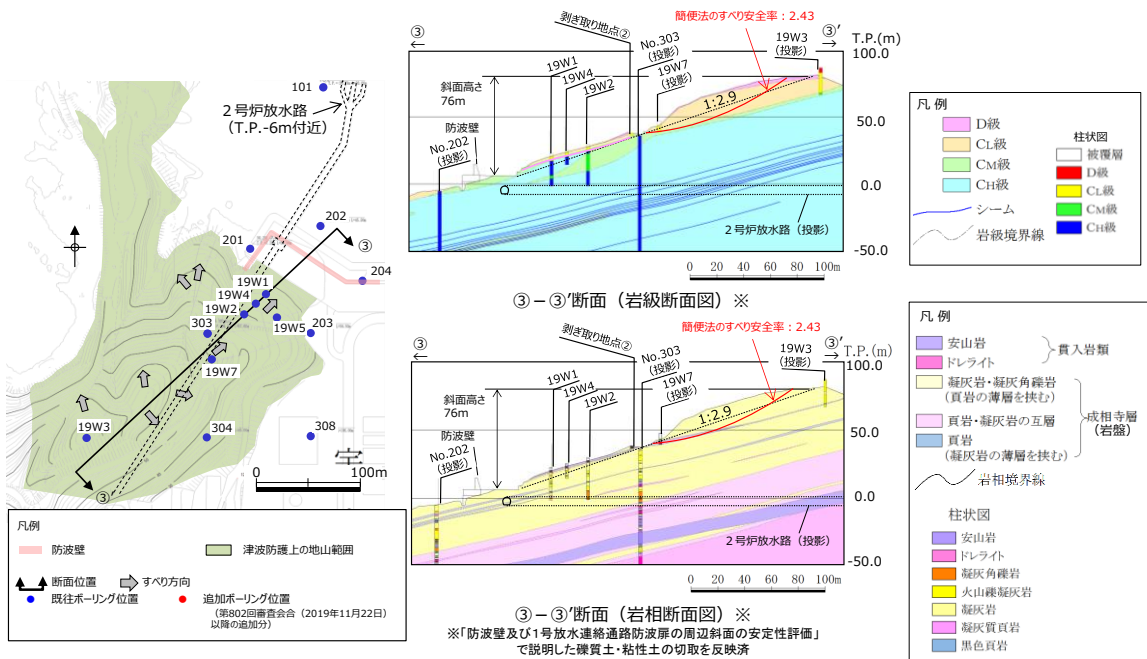


図 2-35 ③-③' 断面の比較結果

【③-③' 断面のモデル化】

防波壁（東端部）の③-③' 断面の解析モデルについては、地質断面図を踏まえて作成する。

凝灰岩の割れ目密集帯については、地質調査結果を踏まえ、層厚20cmの凝灰岩（D級）として解析モデルに反映する。

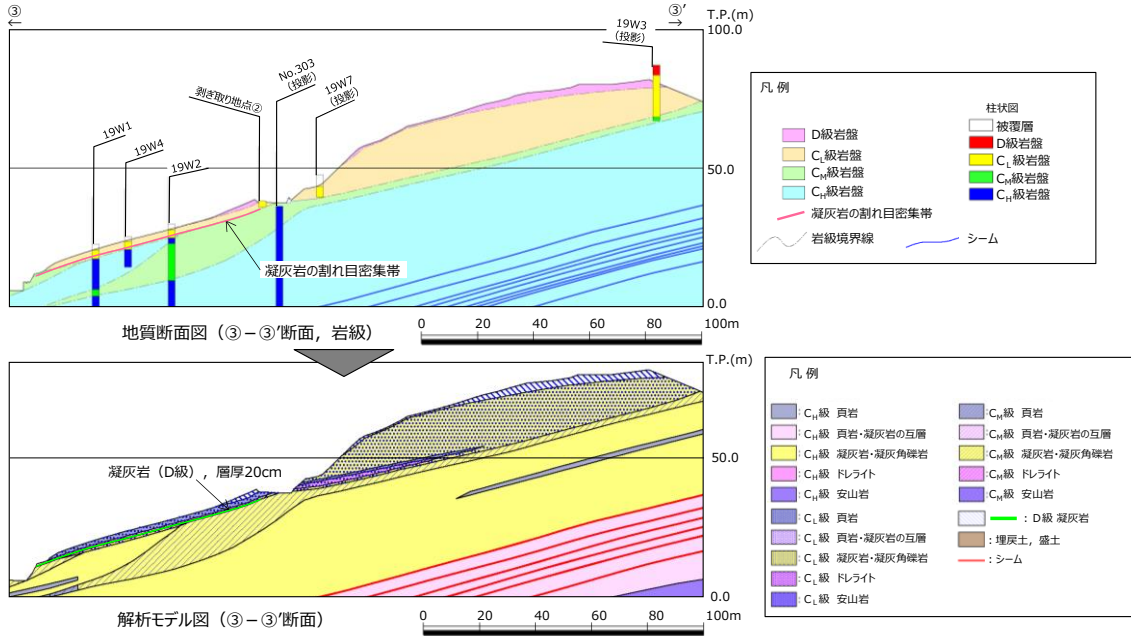


図 2 - 36 ③-③' 断面のモデル化

【④-④' 断面の比較結果】

当該斜面は、③-③' 断面に比べ、平均勾配は1:1.6と急だが、 $C_M \sim C_H$ 級岩盤が主体であり、斜面高さが37mと低く、簡便法の最小すべり安全率が4.45と大きいことから、③-③' 断面の評価に代表させる。

当該斜面には2号炉放水路が存在するが、(6)で示すとおり、斜面安定性に影響がないことを確認している。

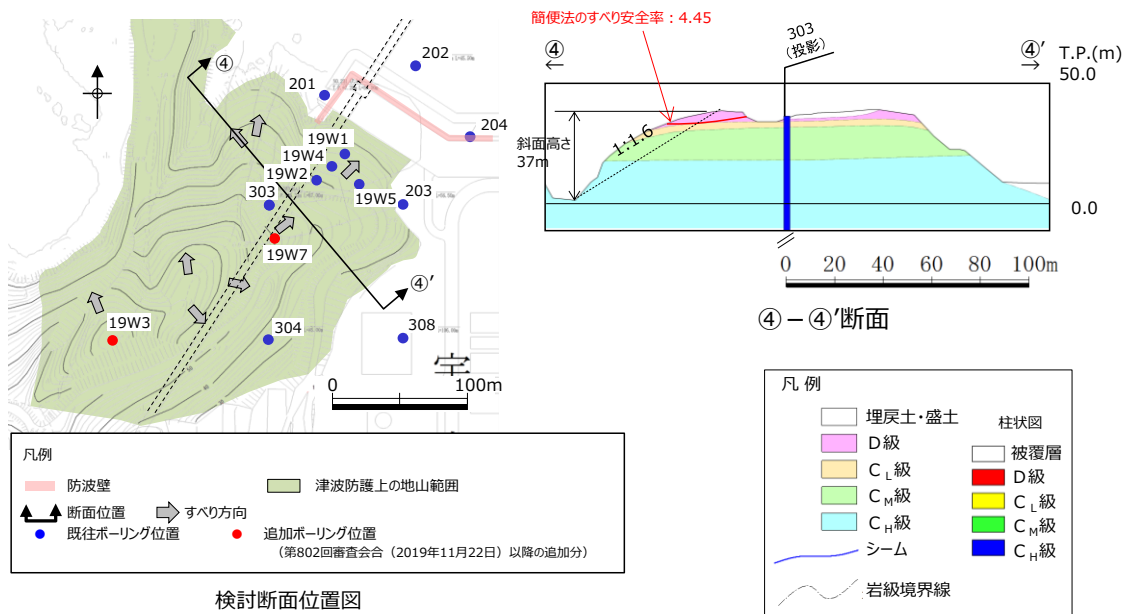
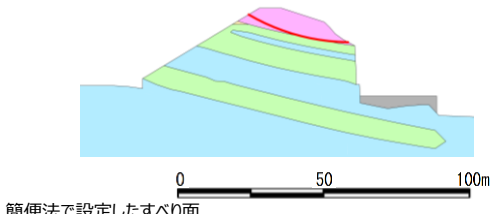


図 2-37 ④-④' 断面の比較結果

e. 評価結果

防波壁（東端部）の評価対象斜面である⑤”－⑤’断面を対象に，基準地震動に対する2次元動的FEM解析を実施した結果，すべり安全率は1.2を上回ることから，津波防護の障壁となる地山について，基準地震動に対する健全性確保の見通しを確認できた。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
1		Ss-D (+,-)	1.55 [13.24]	1.30 [13.24]

すべり面番号	すべり安全率											
	Ss-D				Ss-N1		Ss-N2				Ss-F1	Ss-F2
	(+,+)	(-,+)	(+,-)	(-,-)	(+,+)	(-,+)	水平NS		水平EW			
(+,+)	(-,+)	(+,-)	(-,-)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)			
1	1.59	1.60	1.55	1.70	1.56	1.93	2.11	1.61	1.84	1.59	1.84	1.99

※1 基準地震動(+,+)は反転なし，(-,+)は水平反転，(+,-)は鉛直反転，(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は，発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

■ : C_v級岩盤
 ■ : C_w級岩盤
 ■ : C_s級岩盤
 ■ : D級岩盤
■ : MMR
 — : すべり面

図2-38 防波壁（東端部）の基準地震動に対する2次元動的FEM解析結果

防波壁（西端部）の評価対象斜面である③－③’断面を対象に，基準地震動に対する2次元動的FEM解析を実施した結果，すべり安全率は1.2を上回ることから，津波防護の障壁となる地山について，基準地震動に対する健全性確保の見通しを確認できた。

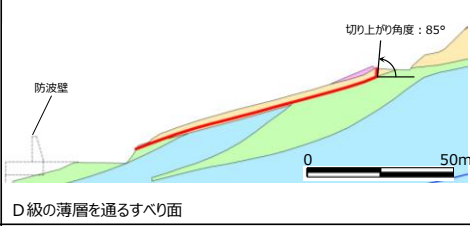
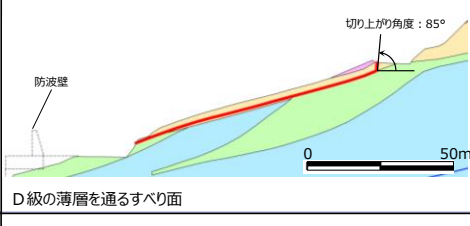
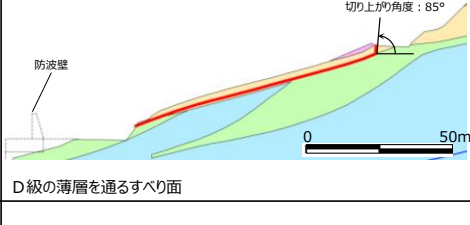
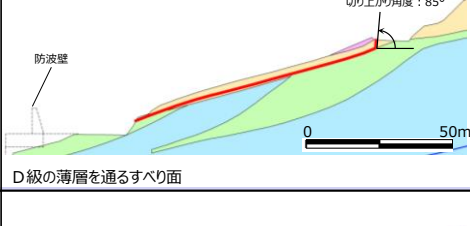
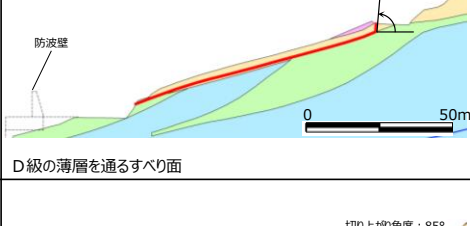
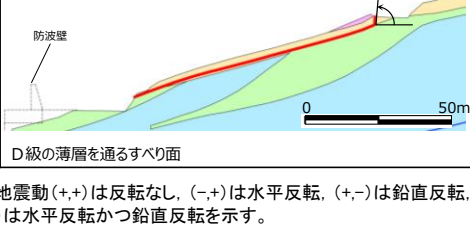
すべり面 番号	すべり面形状	基準※1 地震動	切り上がり角度毎の 最小すべり安全率※2 【平均強度】		最小 すべり安全率※2 【平均強度】	最小 すべり安全率※2 【ばらつきを考慮した強度】
			切り上がり 角度	すべり安全率		
1		Ss-D (+,+)	25°	3.06	2.43 (8.58)	—
			30°	2.90		
			35°	2.79		
			40°	2.72		
			45°	2.67		
			50°	2.63		
			55°	2.60		
			60°	2.57		
			65°	2.54		
			70°	2.51		
			75°	2.48		
80°	2.46					
85°	2.43					
1		Ss-D (-,+)	25°	3.32	2.58 (34.32)	—
			30°	3.15		
			35°	3.03		
			40°	2.95		
			45°	2.89		
			50°	2.84		
			55°	2.80		
			60°	2.76		
			65°	2.72		
			70°	2.69		
			75°	2.65		
80°	2.62					
85°	2.58					
すべり安全率の最小ケース						
1		Ss-D (+,-)	25°	2.97	2.31 (8.95)	1.97 (8.95)
			30°	2.82		
			35°	2.72		
			40°	2.65		
			45°	2.60		
			50°	2.55		
			55°	2.51		
			60°	2.48		
			65°	2.44		
			70°	2.41		
			75°	2.37		
80°	2.34					
85°	2.31					
1		Ss-D (-,-)	25°	3.45	2.62 (14.74)	—
			30°	3.27		
			35°	3.15		
			40°	3.06		
			45°	3.00		
			50°	2.94		
			55°	2.89		
			60°	2.84		
			65°	2.80		
			70°	2.75		
			75°	2.71		
80°	2.67					
85°	2.62					
1		Ss-N1 (+,+)	25°	4.05	2.97 (7.39)	—
			30°	3.83		
			35°	3.67		
			40°	3.57		
			45°	3.48		
			50°	3.41		
			55°	3.34		
			60°	3.27		
			65°	3.21		
			70°	3.14		
			75°	3.08		
80°	3.03					
85°	2.97					
1		Ss-N1 (-,+)	25°	3.54	2.67 (7.62)	—
			30°	3.35		
			35°	3.22		
			40°	3.13		
			45°	3.06		
			50°	3.00		
			55°	2.95		
			60°	2.90		
			65°	2.85		
			70°	2.81		
			75°	2.76		
80°	2.72					
85°	2.67					

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,
(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】	
	C ₁ 級岩壁
	C ₂ 級岩壁
	C ₃ 級岩壁
	D級岩壁
	シーム
	すべり面

図2-39(1) 防波壁(西端部)の基準地震動に対する2次元動的FEM解析結果

すべり面 番号	すべり面形状	基準※1 地震動	切り上がり角度毎の 最小すべり安全率※2 【平均強度】		最小 すべり安全率※2 【平均強度】	最小 すべり安全率※2 【ばらつきを考慮した強度】
			切り上がり 角度	すべり安全率		
1		Ss-N2 水平NS (+,+)	25°	3.88	2.86 (24.39)	—
			30°	3.67		
			35°	3.52		
			40°	3.42		
			45°	3.34		
			50°	3.27		
			55°	3.20		
			60°	3.14		
			65°	3.08		
			70°	3.03		
			75°	2.97		
			80°	2.92		
			85°	2.86		
1		Ss-N2 水平NS (-,+)	25°	3.86	2.97 (24.99)	—
			30°	3.65		
			35°	3.51		
			40°	3.42		
			45°	3.35		
			50°	3.29		
			55°	3.23		
			60°	3.19		
			65°	3.14		
			70°	3.09		
			75°	3.05		
			80°	3.01		
			85°	2.97		
1		Ss-N2 水平EW (+,+)	25°	3.48	2.66 (24.43)	—
			30°	3.29		
			35°	3.16		
			40°	3.08		
			45°	3.02		
			50°	2.96		
			55°	2.91		
			60°	2.87		
			65°	2.82		
			70°	2.78		
			75°	2.74		
			80°	2.70		
			85°	2.66		
1		Ss-N2 水平EW (-,+)	25°	3.52	2.69 (26.07)	—
			30°	3.33		
			35°	3.20		
			40°	3.12		
			45°	3.05		
			50°	2.99		
			55°	2.94		
			60°	2.90		
			65°	2.85		
			70°	2.81		
			75°	2.77		
			80°	2.73		
			85°	2.69		
1		Ss-F1	25°	3.34	2.67 (8.10)	—
			30°	3.16		
			35°	3.04		
			40°	2.97		
			45°	2.91		
			50°	2.87		
			55°	2.83		
			60°	2.80		
			65°	2.77		
			70°	2.74		
			75°	2.72		
			80°	2.70		
			85°	2.67		
1		Ss-F2	25°	3.80	2.98 (16.52)	—
			30°	3.59		
			35°	3.45		
			40°	3.36		
			45°	3.30		
			50°	3.24		
			55°	3.20		
			60°	3.15		
			65°	3.11		
			70°	3.08		
			75°	3.04		
			80°	3.01		
			85°	2.98		

※1 基準地震動(+,+)は反転なし、(-,+)は水平反転、(+,-)は鉛直反転、(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 ※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

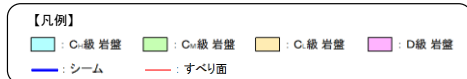
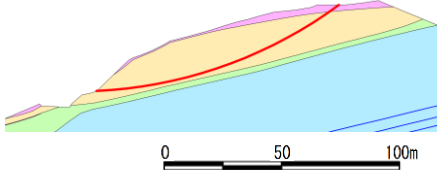


図2-39(2) 防波壁(西端部)の基準地震動に対する2次元動的FEM解析結果

すべり面 番号	すべり面形状	基準 地震動※1	すべり安全率 【平均強度】※2	すべり安全率 【ばらつきを考慮した 強度】※2
2	 簡便法で設定したすべり面	Ss-D (+,-)	2.935 [8.61]	2.931 [8.61]

すべり面番号	すべり安全率											
	Ss-D				Ss-N1		Ss-N2				Ss-F1	Ss-F2
	(+,+)	(-,+)	(+,-)	(-,-)	(+,+)	(-,+)	水平NS		水平EW			
(+,+)							(-,+)	(+,+)	(-,+)			
2	2.97	3.18	2.93	3.21	3.99	3.37	3.64	3.42	3.49	3.68	4.17	3.93

※1 基準地震動 (+,-) は鉛直反転を示す。
 ※2 ()は, 発生時刻 (秒) を示す。

【凡例】







	C-級岩盤		C-級岩盤		C-級岩盤		D-級岩盤
	シーム		すべり面				

図 2-39(3) 防波壁 (西端部) の基準地震動に対する 2次元動的 FEM 解析結果

(5) 基準津波に対する健全性確保の見通し

検討2の基準津波に対する健全性確保として、(1)波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性の確認及び(2)基準津波による地山の安定性評価を行った。

a. 波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性の確認

津波防護上の地山は、図2-40及び図2-41に示すとおり岩盤から構成され一部はコンクリートに覆われていることから、波力による侵食及び洗掘による地形変化は生じない。

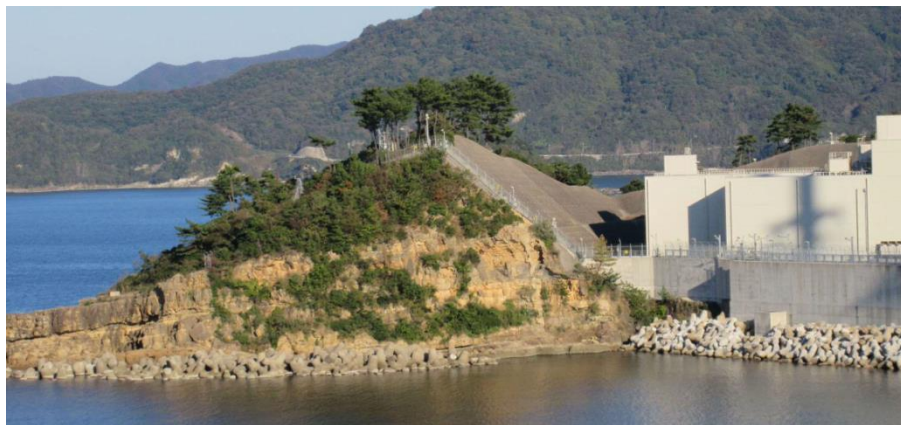


図2-40 防波壁（東端部）地山状況



図2-41 防波壁（西端部）地山状況

b. 基準津波に対する地山の安定性評価

基準津波に対する地山の安定性評価は、地山を津波防護施設と考え、直立の構造物に作用する力を保守的に津波波力として設定し、地山のせん断抵抗力と比較することで、基準津波に対する健全性確保の見通しを確認する。

津波波力を算出するにあたり、防波壁（東端部）は擦り付け部で水位が最大となる基準津波 1（防波堤無し）、防波壁（西端部）は擦り付け部で水位が最大となる基準津波 1（防波堤有り）を対象とする。

津波高さは、防波壁（東端部）については図 2-42右に示すEL+12.0m、防波壁（西端部）については図 2-42左に示すEL+10.7mと設定した。

地山のせん断断面は、防波壁の擦り付け部から断面長さが最小となる位置を設定した。防波壁（東端部）については図 2-42右に示す地山のEL+8.5m位置における最小幅である約95m、防波壁（西端部）については図 2-42左に示す地山のEL+8.5m位置における最小幅である約80mと設定した。

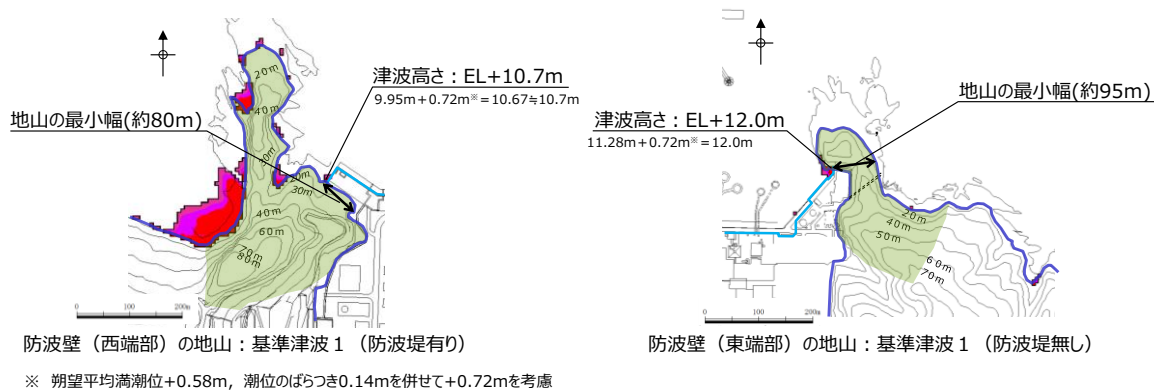


図 2-42 津波高さ及び地山のせん断断面検討位置

基準津波の波力は、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成27年12月一部改訂）」に示される谷本式に基づき、波力を算定する。

谷本式は式2-1，式2-2と示される。ここでは、地山に作用する波力を等変分布荷重とし、これを式2-3と表す。

$$\eta^* = 3.0a_I \quad \text{式2-1}$$

$$P_1 = 2.2\rho_0ga_I \quad \text{式2-2}$$

$$P = P_1 \times \eta^* \times (1/2) \quad \text{式2-3}$$

ここで、

- η^* : 静水面上の波圧作用高さ
- a_I : 入射津波の静水面上の高さ(振幅)
- ρ_0g : 海水の単位体積重量(10.1kN/m³)
- P_1 : 静水面における波圧強度
- P : 地山に作用する波力

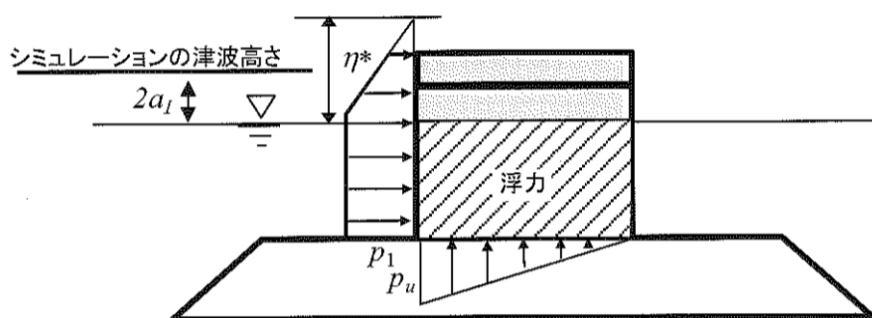


図2-43 地山に作用する波力等の分布図

基準津波による波力の計算を以下に示す。計算に用いた津波高さを表2-4に示す。

・防波壁

$$\eta^* = 3.0a_I = 3.0 \times 6.5\text{m} = 19.5\text{m}$$

$$P_1 = 2.2\rho_0ga_I = 2.2 \times 10.1\text{kN/m}^3 \times 6.5\text{m} = 144.43\text{kN/m}^2 \approx 145\text{kN/m}^2$$

$$P = P_1 \times \eta^* \times (1/2) = 145\text{kN/m}^2 \times 19.5\text{m} \times (1/2) = 1,501.5\text{kN/m} \approx 1,502\text{kN/m}$$

地山のせん断強度は、防波壁端部の地山の大部分を構成するC₁₀級岩盤を対象にブロックせん断試験より求めた値（地山のせん断強度：1,140kN/m²，詳細は「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）参照）を設定した。

地山のせん断抵抗力は下記計算で算出される。

- ・防波壁（東端部）の地山のせん断抵抗力
 $1,140\text{kN/m}^2$ （地山のせん断強度） \times 95m（地山の最小幅） $=108,300\text{kN/m}$
- ・防波壁（西端部）の地山のせん断抵抗力
 $1,140\text{kN/m}^2$ （地山のせん断強度） \times 80m（地山の最小幅） $=91,200\text{kN/m}$

算出した結果を表2-4に示す。地山に作用する波力は、防波壁で1,502kN/mとなった。また、地山のせん断抵抗力は防波壁（東端部）で108,300kN/m，防波壁（西端部）で91,200kN/mとなり，地山のせん断抵抗力は波力と比較して十分に大きい（図2-44），基準津波に対する健全性を確認した。

表2-4 地山に作用する波力及び地山のせん断抵抗力

	シミュレーションによる津波高さ※ (2a ₁)	振幅 (a ₁)	地山に作用する波力	地山のせん断抵抗力
防波壁 (東端部)	13m[12.64m]	6.5m	1,502kN/m	108,300kN/m
防波壁 (西端部)				91,200kN/m

※防波壁擦り付け部の最高水位12.0mに，参照する裕度0.64mを考慮し，保守的に設定

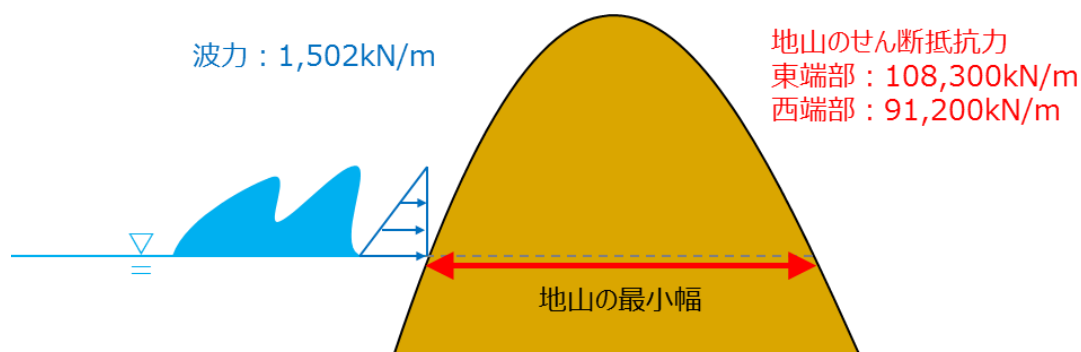


図2-44 波力と地山のせん断抵抗力の比較計算に関するイメージ

(6) 1号炉放水連絡通路の存在による影響

防波壁（東端部）及び防波壁（西端部）には、1号炉放水連絡通路の他に、1・2号炉放水路も存在することから、両者の斜面のすべり安定性への影響について、下表の観点から確認した。

表2-5 トンネルの斜面すべり安定性への影響

項目	確認方法
1・2号炉放水路及び1号炉放水連絡通路の有無による想定すべり面への影響	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁（東端部）及び防波壁（西端部）の斜面のすべり方向を考慮して選定した各断面に左記施設の断面を投影し、想定すべり面との位置関係を確認する。 掘削前後において、「簡便法によるトンネルを通るすべり面のすべり安全率」及び「掘削解析によるすべり面上のひずみ増分」を確認する。 静的震度については、JEAG4601-2015に基づき、斜面位置における基準地震動S_sに対する一次元地震応答解析により設定する。なお、水平震度と鉛直震度については、保守的に全時刻を通しての最大値を組み合わせる。 想定すべり面及びトンネルを通るすべり面については、すべり面の形状を円弧と仮定し、中心と半径を変化させ、すべり安全率が最小となるすべり面を網羅的に探索している。

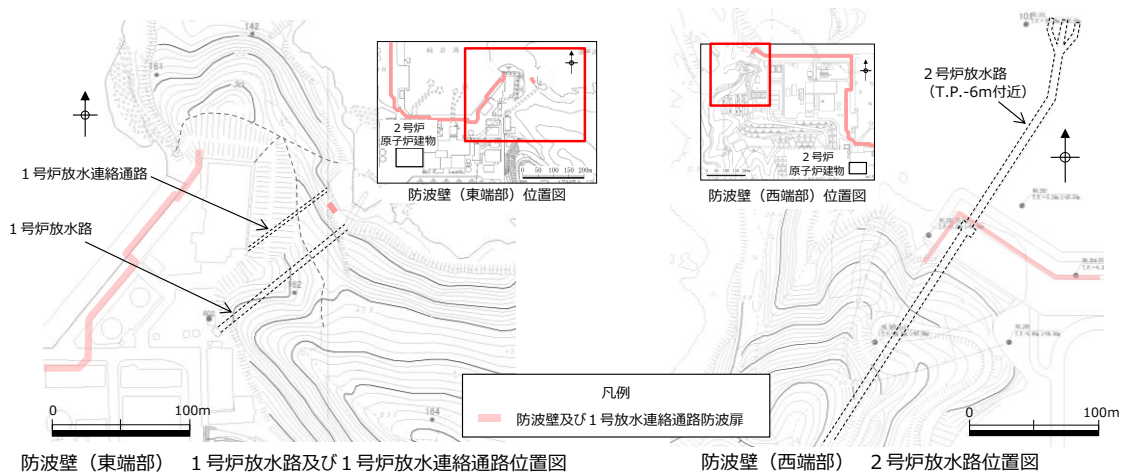


図2-45 トンネル平面位置図

a. 防波壁（東端部）

⑥-⑥' 断面に1号炉放水路を投影した結果、①-①' 断面に投影した1号炉放水連絡通路に比べ、斜面に占めるトンネル面積の割合が小さいこと、及び土被り厚が大きいことから、斜面のすべり安定性への影響は連絡通路より小さいと考えられるため、1号炉放水連絡通路の影響検討に代表させる。

①-①' 断面と⑤''-⑤' 断面は地形・地質が同様であるため、1号炉放水連絡通路の影響検討は①-①' 断面及び⑤''-⑤' 断面において実施する。

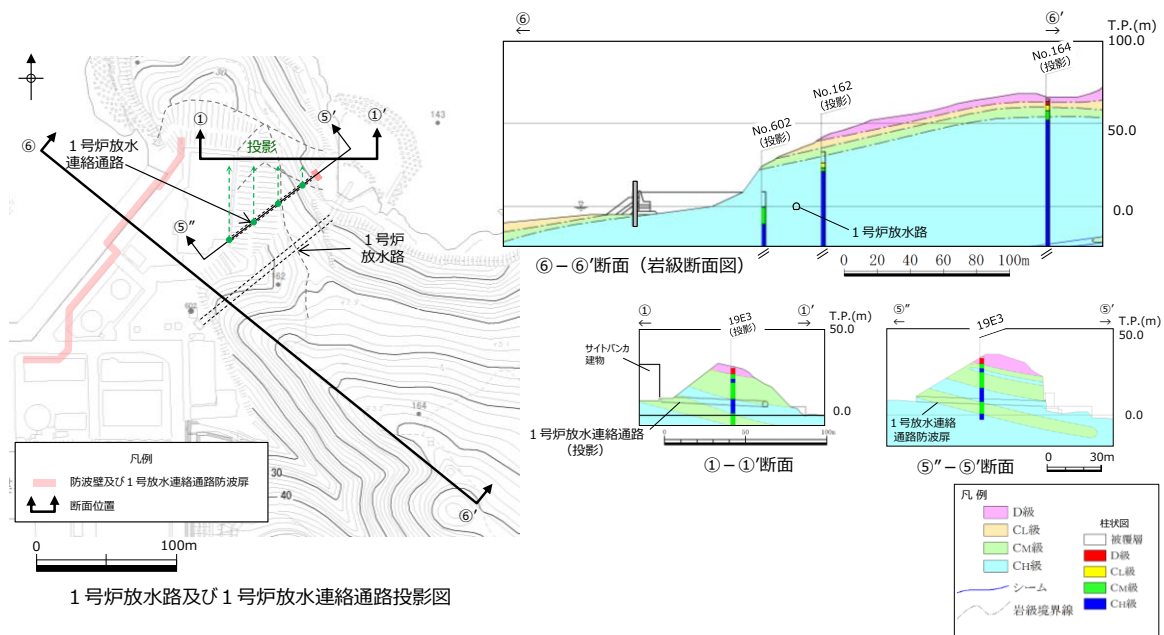


図 2-46 防波壁（東端部）のトンネルの代表性

(a) ①-①' 断面

①-①' 断面に1号炉放水連絡通路を投影した結果、想定すべり面（最小すべり安全率を示すすべり面）は、連絡通路に重ならないことを確認した。

連絡通路を通るすべり面を仮定し、連絡通路掘削前のすべり安全率を算定した結果、掘削前の安全率は3.93であった。連絡通路掘削後のすべり安全率を算定した結果、掘削後のすべり安全率は3.69（▲0.24）であり、影響は軽微であることを確認した。

掘削解析により、連絡通路の有無における想定すべり面上のひずみ増分を計算した結果、最大で0.0046%であり、影響は軽微であることを確認した。

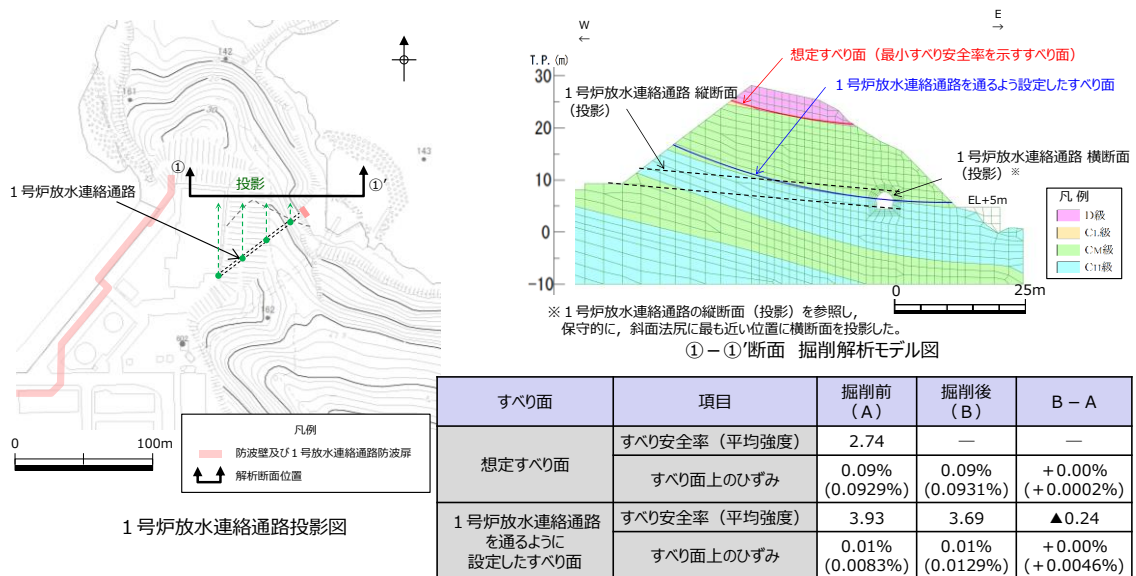


図 2-47 ①-①' 断面における1号炉放水連絡通路の影響検討結果

(b) ⑤”－⑤’ 断面（トンネル横断面）

⑤”－⑤’ 断面に1号炉放水連絡通路を投影した結果、想定すべり面（最小すべり安全率を示すすべり面）は、連絡通路に重ならないことを確認した。

連絡通路を通るすべり面を仮定し、連絡通路掘削前のすべり安全率を算定した結果、掘削前の安全率は3.85であった。連絡通路掘削後のすべり安全率を算定した結果、掘削後のすべり安全率は3.53（▲0.32）であり、影響は軽微であることを確認した。

掘削解析により、連絡通路の有無における想定すべり面上のひずみ増分を計算した結果、最大で0.0042%であり、影響は軽微であることを確認した。

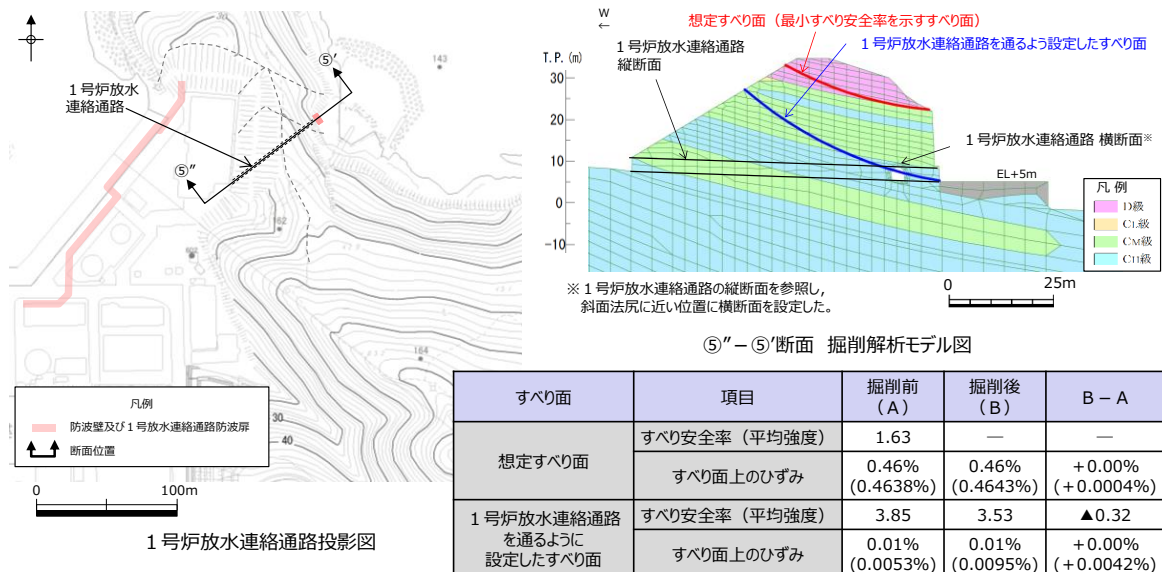


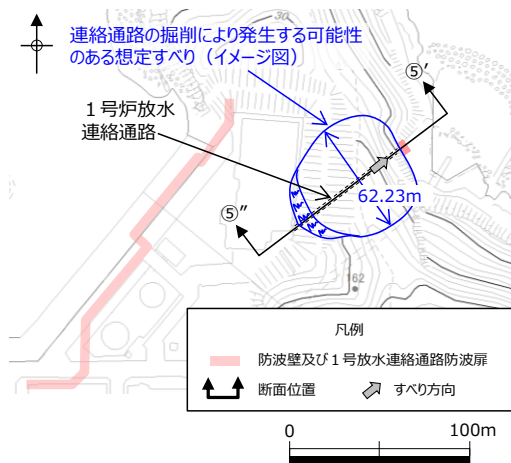
図 2 - 48 ⑤”－⑤’ 断面における1号炉放水連絡通路の影響検討結果

(c) ⑤”－⑤’ 断面（トンネル縦断面）

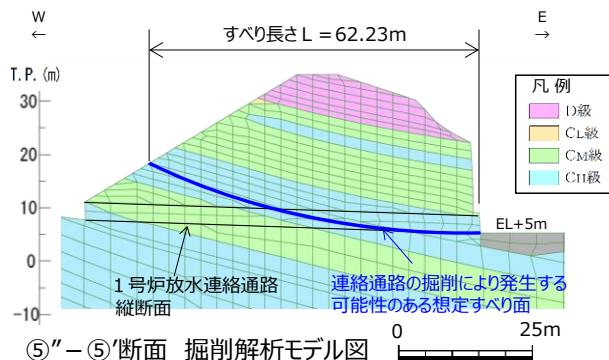
⑤”－⑤’ 断面は1号炉放水連絡通路を縦断方向に通過する断面であることから、連絡通路掘削後のFEM解析において、連絡通路の縦断面部のせん断強度等を低減してモデル化した検討も実施した。

⑤”－⑤’ 断面に1号炉放水連絡通路をモデル化する際は、断面奥行方向の斜面に対する連絡通路の占める割合を考慮し、岩盤の単位体積重量、せん断強度及び静弾性係数を低減することとした。モデル化の手順は以下のとおり。

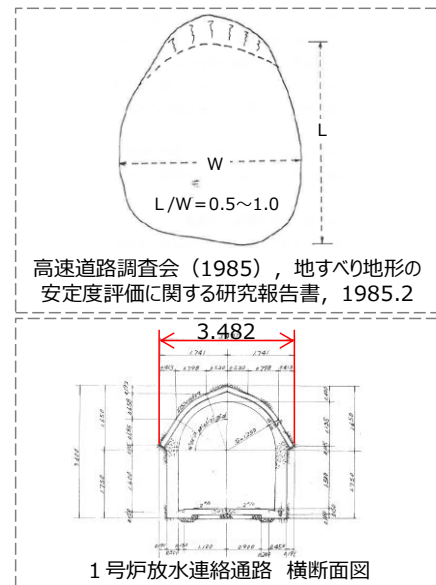
- (1) 連絡通路の掘削により発生する可能性のある想定すべりを検討する。
連絡通路を通過すべり安全率が最小となるすべり面を網羅的に探索する。
- (2) 上記により設定した連絡通路を通る想定すべり面からすべり長さを求め、高速道路調査会（1985）に基づき、すべり長さからすべり幅を求める。
- (3) すべり幅に対する連絡通路の外形幅の割合を求め、トンネル縦断面における岩盤の単位体積重量、せん断強度及び静弾性係数を低減する。



1号炉放水連絡通路投影図



⑤”－⑤’断面 掘削解析モデル図



高速道路調査会（1985），地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書，1985.2

1号炉放水連絡通路 横断面図

【せん断強度等の低減率の算定】

- ・高速道路調査会（1985）によると、すべり長さLとすべり幅Wには $L/W = 0.5 \sim 1.0$ の関係があるとされている。
- ・すべり幅Wが小さい方が、Wに占める連絡通路の外形幅の割合が大きくなることから、上記文献を踏まえて保守的に $L/W = 1.0$ とする。
すべり幅 $W =$ すべり長さ $L = 62.23\text{m}$
- ・すべり幅に対する連絡通路の外形幅の割合 = $3.48/62.23 \times 100 = 5.6\%$

保守的に岩盤の単位体積重量、せん断強度及び静弾性係数を10%低減する。

図2-49 連絡通路の縦断面部のせん断強度等を低減するモデル化方法

連絡通路を通るすべり面を仮定し、連絡通路掘削前のすべり安全率を算定した結果、掘削前の安全率は3.63であった。連絡通路掘削後のすべり安全率を算定した結果、掘削後のすべり安全率は3.54（▲0.09）であり、影響は軽微であることを確認した。

掘削解析により、連絡通路の有無における想定すべり面上のひずみ増分を計算した結果、最大で0.0010%であり、影響は軽微であることを確認した。

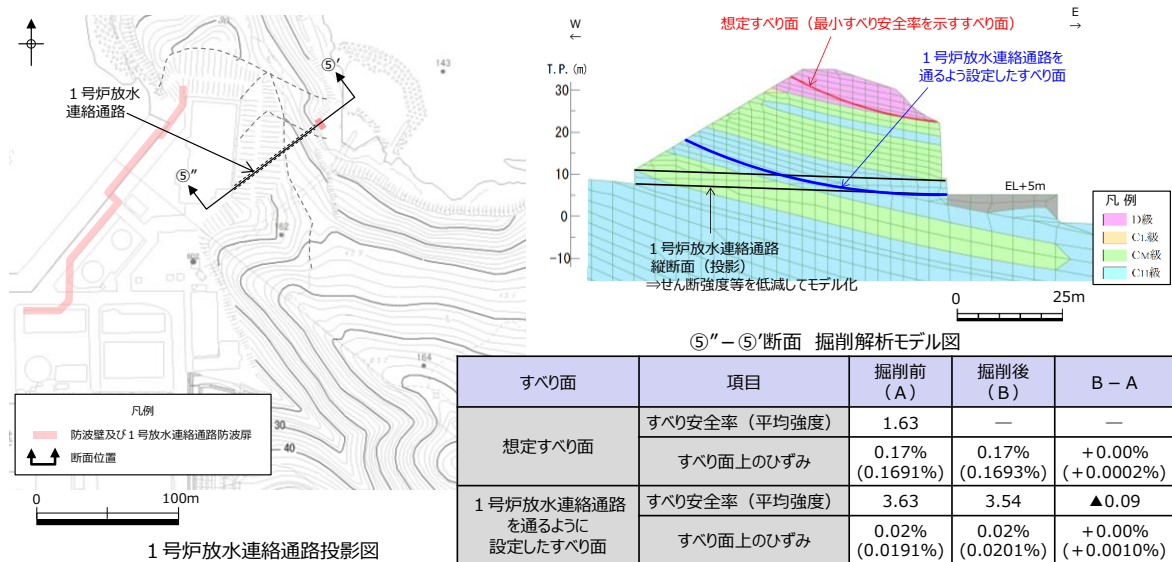


図 2-50 ⑤''-⑤'断面における1号炉放水連絡通路の影響検討結果

b. 防波壁（西端部）

③-③' 断面に2号炉放水路を投影した結果、想定すべり面（最小すべり安全率を示すすべり面）は、放水路に重ならないことを確認した。

放水路を通るすべり面を仮定し、放水路掘削前のすべり安全率を算定した結果、掘削前の安全率は2.44であった。放水路掘削後のすべり安全率を算定した結果、掘削後のすべり安全率は2.38（▲0.06）であり、影響は軽微であることを確認した。

掘削解析により、放水路の有無における想定すべり面上のひずみ増分を計算した結果、最大で0.0054%であり、影響は軽微であることを確認した。

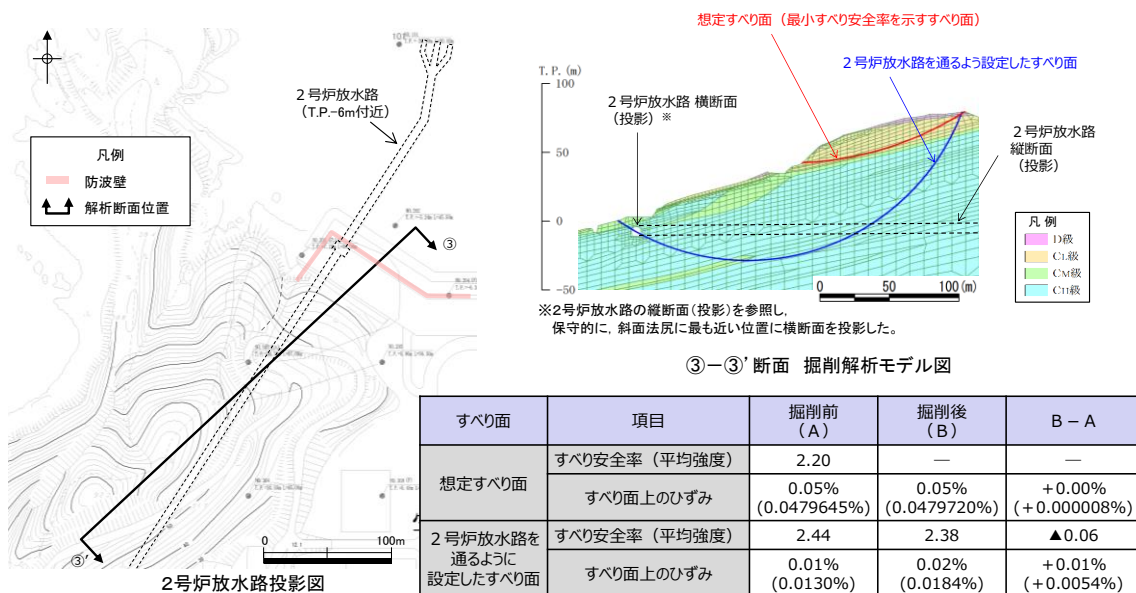


図 2-51 ③-③' 断面における2号炉放水路の影響検討結果

(7) まとめ

防波壁両端部の津波防護上の障壁となっている地山に対して、「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」（令和2年2月28日審査会合）の審査結果を踏まえ、基準地震動及び基準津波に対する健全性を確保していることを確認した。

以上のことから、防波壁両端部の地山斜面の崩壊は、入力津波を設定する際の影響要因として設定しない。

(8) 敷地周辺斜面の崩壊に関する検討

防波壁両端部の地山以外に、入力津波の設定に影響する地形変化を生じさせる敷地周辺斜面として、地すべり地形が判読されている地山の斜面崩壊についても検討する。（地すべり地形の評価については「第6条：外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象の考慮について）」により審査中）

検討に当たっては、地すべり土塊が海側に突入する可能性が考えられる「敷地北西方の地すべり地形(Ls23)」、 「⑤北西の地すべり地形(Ls24)」、 「地すべり地形⑤(Ls25)」の斜面を対象にする。（図2-52、図2-53参照）

敷地周辺の地形のうち、地すべりLs23、Ls24及びLs25の地すべり地形の概略の土塊量を表2-6に示す。（第575回審査会合資料「基準津波の策定」より抜粋）

地すべりの土塊量はLs25の地すべりが大きいことから、Ls25の地すべりを対象に検討する。検討にあたっては、Ls25の近くにLs24が位置することから、これらの地すべりが同時崩壊することを仮定し、保守的にLs24+25の地すべりが崩壊した後の地形を対象に津波評価を実施する。

地すべりが崩壊した後の地形については、津波評価の陸上地すべりの検討で実施した二層流モデルを用いて決定する。

地すべり発生前後の地形断面図を図2-54に示す。

検討ケースの評価水位を表2-7に、検討ケースの最大水位上昇量分布図又は最大水位下降量分布図を図2-55に示す。

津波解析の結果、斜面崩壊させた場合、水位上昇側の施設護岸又は防波壁の水位は、どのケースについても基本ケースと同じもしくは基本ケースの方が大きい。一方、水位下降側の2号炉取水口の水位については、一部、基準津波3で斜面崩壊有りの方が水位が低下しているが、この差は僅か（-0.03m）であり、大半は、基本ケースの方が斜面崩壊有りのケースに対して水位が低下している。

以上より、地震による地形変化（斜面崩壊）は入力津波を設定する際の影響要因として考慮しない。

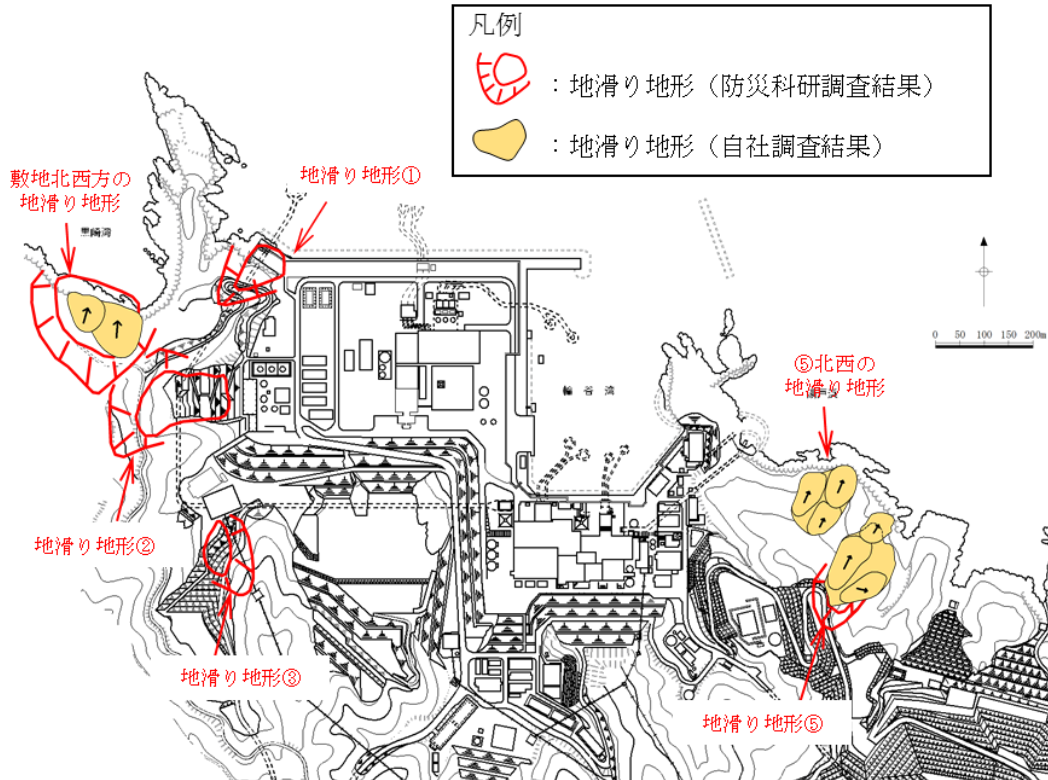
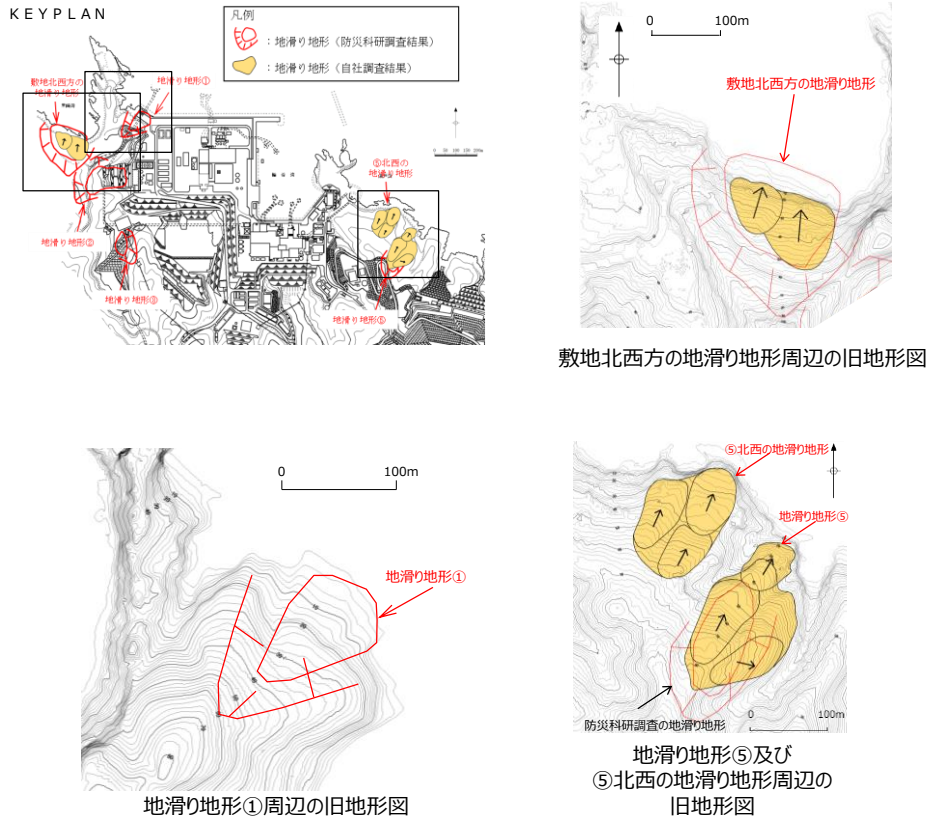


図 2 - 52 敷地周辺地すべり位置図



※ 地すべり地形の評価については「第6条：外部からの衝撃による損傷の防止（外部事象の考慮について）」（現在、審議中）の審査結果を適宜反映する。

図 2 - 53 敷地周辺地すべり拡大図

表 2 - 6 敷地周辺地すべりの規模の比較

地すべり	長さ L(m)	幅 b(m)	厚さ t(m)	土塊量 Vs(m ³)
Ls23	125	170	25	531,250
Ls24	172	80	16	220,160
Ls25	265	140	20	742,000

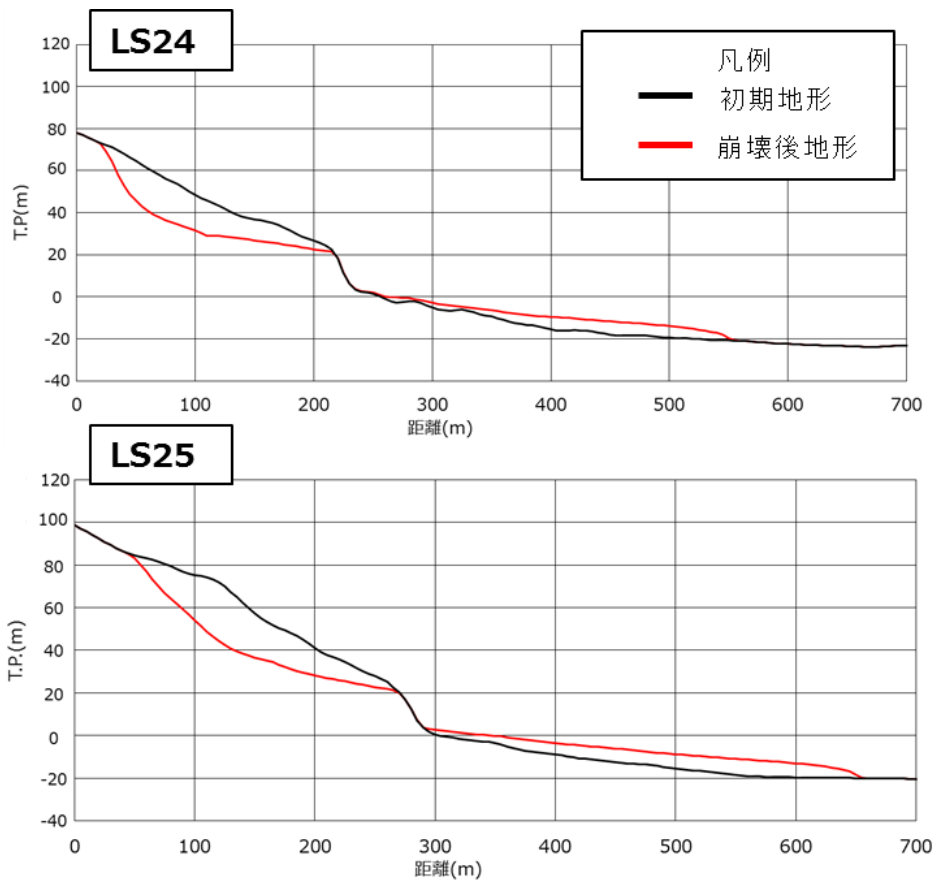
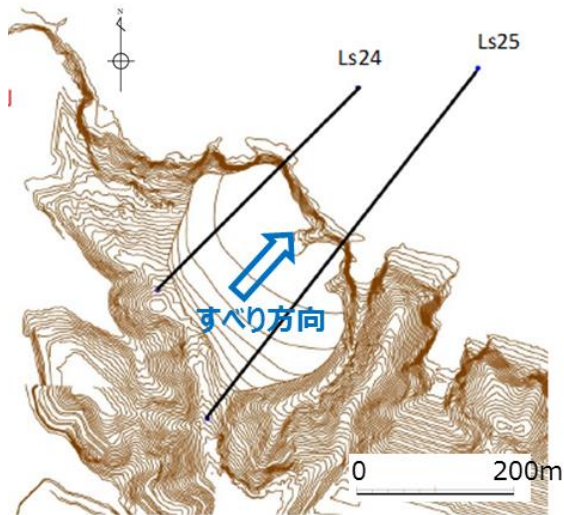
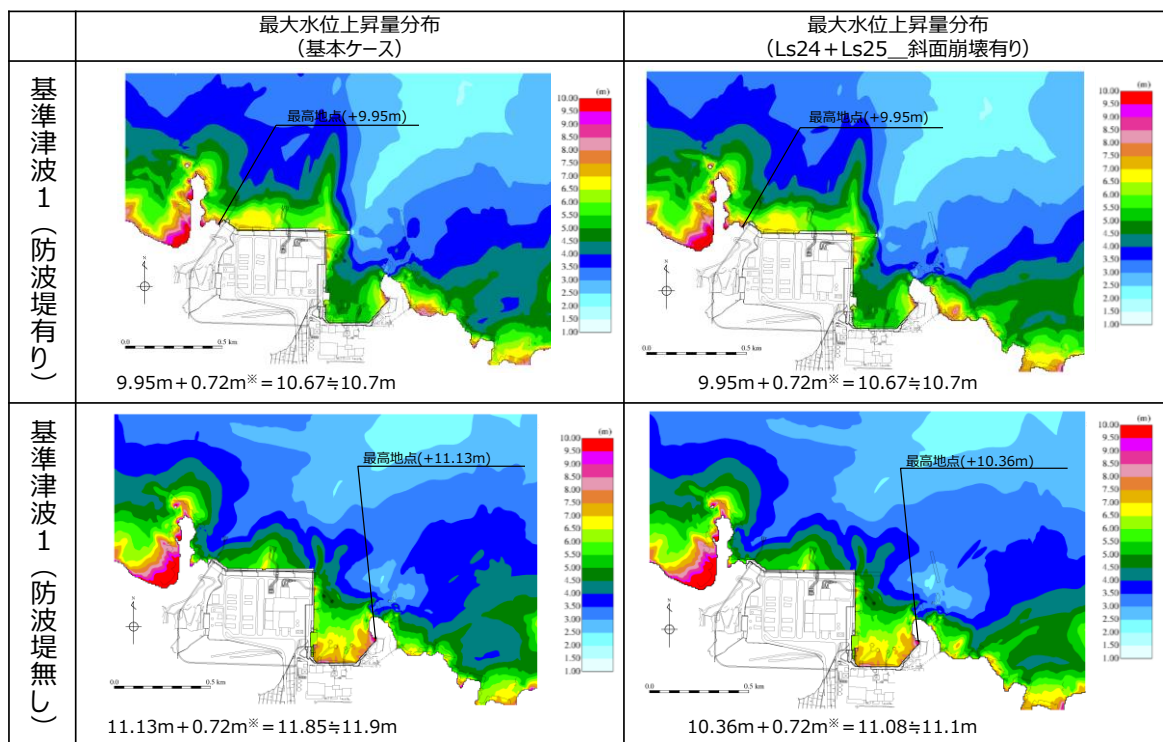


図 2 - 54 Ls24・Ls25の断面図

表 2-7 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による水位比較

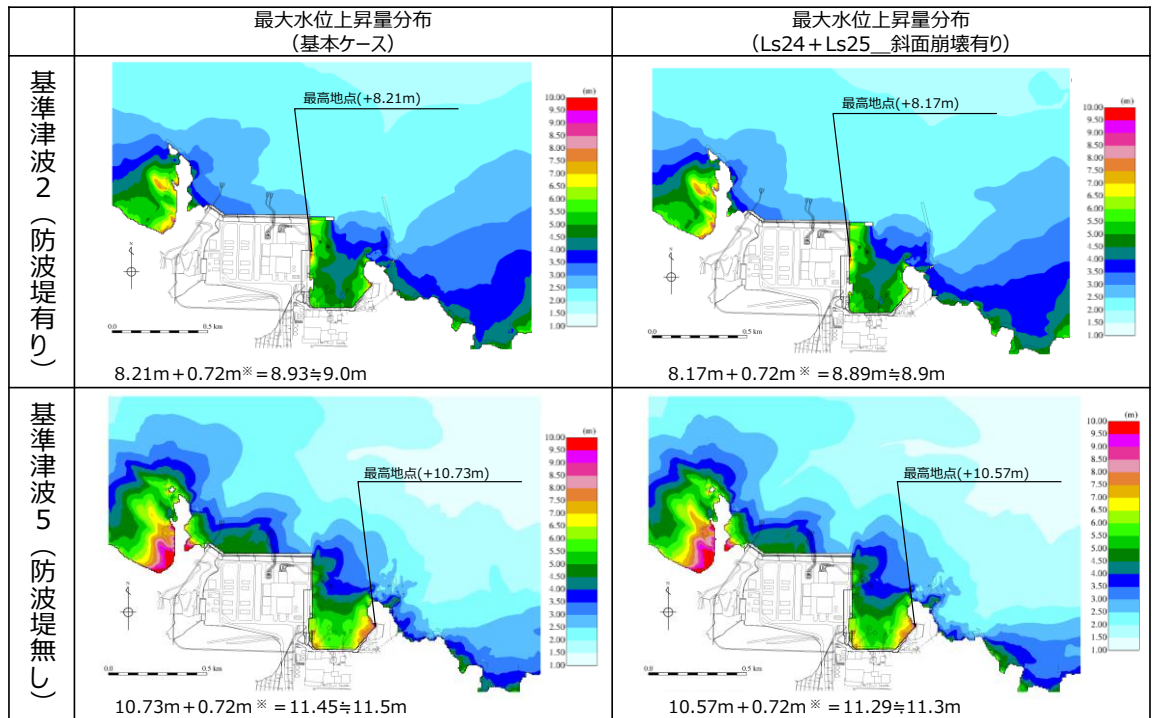
	【水位上昇側】施設護岸又は防波壁※1			【水位下降側】2号炉取水口 (東) ※2		
	基本ケース (A)	斜面崩壊有り (B)	差異 (B-A)	基本ケース (A)	斜面崩壊有り (B)	差異 (B-A)
基準津波 1 (防波堤有り)	+10.7m (+10.67m)	+10.7m (+10.67m)	0.0m (0.00m)	-5.2m (-5.13m)	-5.0m (-4.98m)	+0.2m (+0.15m)
基準津波 1 (防波堤無し)	+11.9m (+11.85m)	+11.1m (+11.08m)	-0.8m (-0.77m)	-6.1m (-6.01m)	-5.8m (-5.79m)	+0.3m (+0.22m)
基準津波 2 (防波堤有り)	+9.0m (+8.93m)	+8.9m (+8.89m)	-0.1m (-0.04m)			
基準津波 3 (防波堤有り)				-4.7m (-4.63m)	-4.7m (-4.66m)	0m (-0.03m)
基準津波 4 (防波堤有り)				-4.1m (-4.04m)	-4.1m (-4.04m)	0m (0.00m)
基準津波 4 (防波堤無し)				-4.3m (-4.25m)	-4.3m (-4.24m)	0m (+0.01m)
基準津波 5 (防波堤無し)	+11.5m (+11.45m)	+11.3m (+11.29m)	-0.2m (-0.16m)			
基準津波 6 (防波堤無し)				-6.1m (-6.08m)	-6.0m (-5.99m)	+0.1m (+0.09m)

※1 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮 ※2 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮



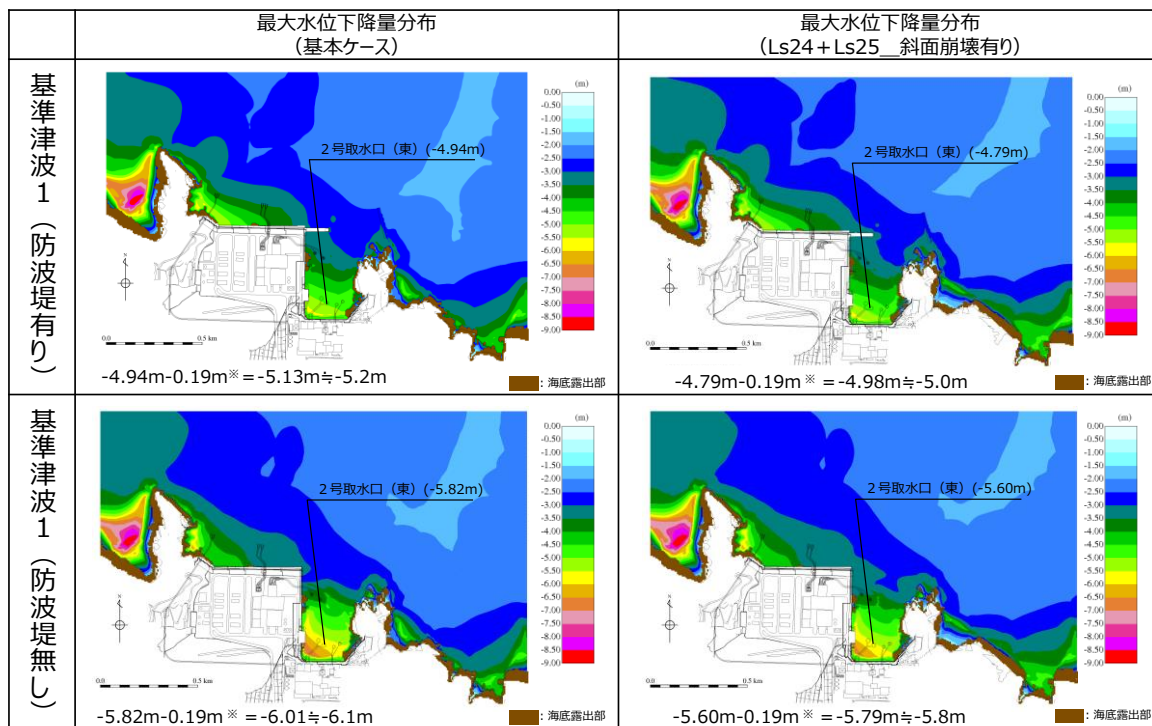
※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図 2-55 (1) 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による最大水位上昇量分布の比較 (基準津波 1 (防波堤有り) 及び基準津波 1 (防波堤無し))



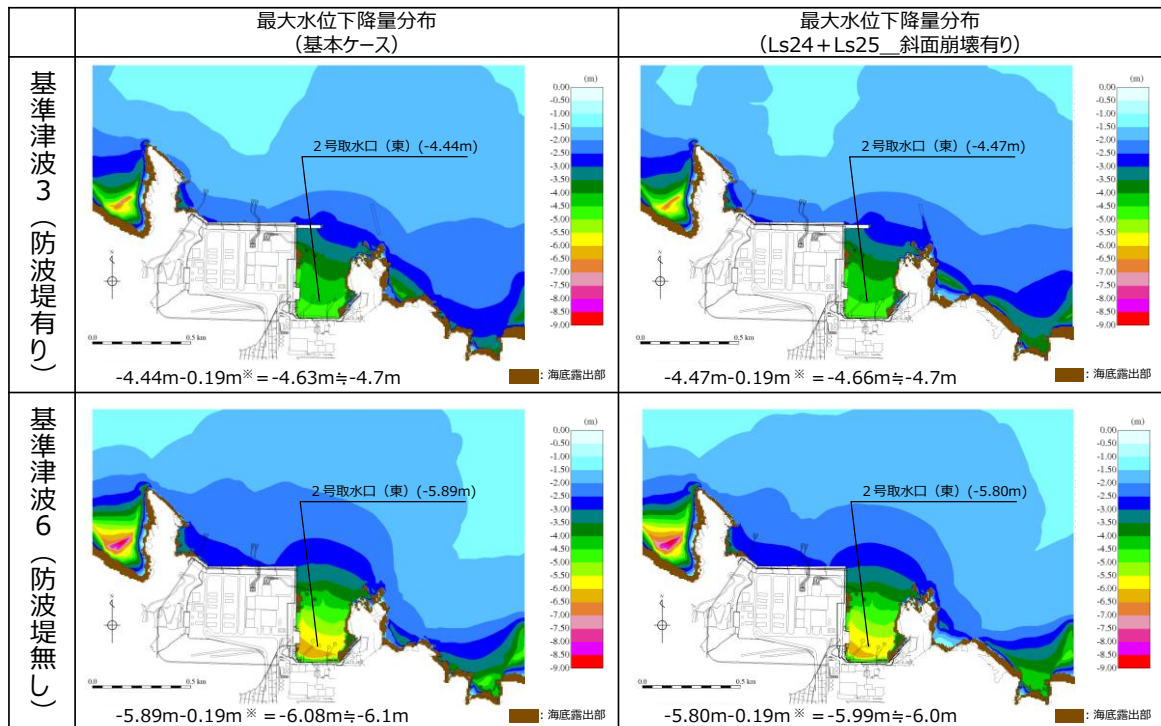
※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図2-55 (2) 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による最大水位上昇量分布の比較 (基準津波2 (防波堤有り) 及び基準津波5 (防波堤無し))



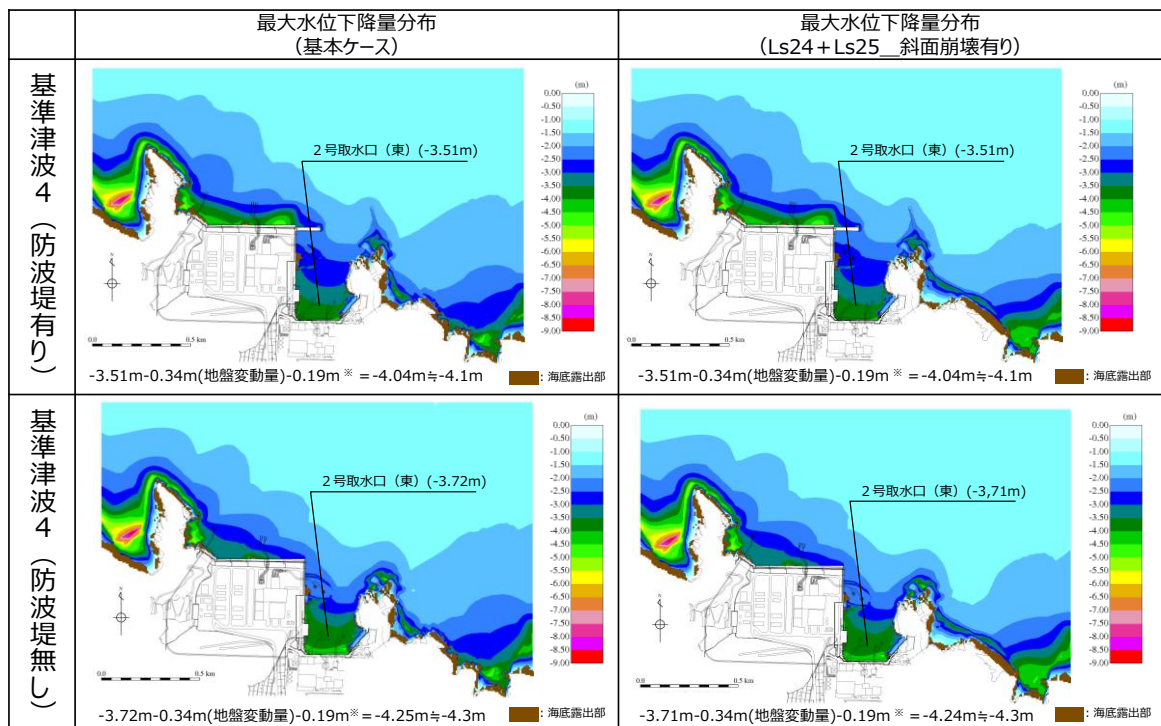
※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図2-55 (3) 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による最大水位下降量分布の比較 (基準津波1 (防波堤有り) 及び基準津波1 (防波堤無し))



※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図2-55 (4) 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による最大水位下降量分布の比較 (基準津波3 (防波堤有り) 及び基準津波6 (防波堤無し))



※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図2-55 (5) 斜面崩壊 (Ls24+Ls25) の有無による最大水位下降量分布の比較 (基準津波4 (防波堤有り) 及び基準津波4 (防波堤無し))

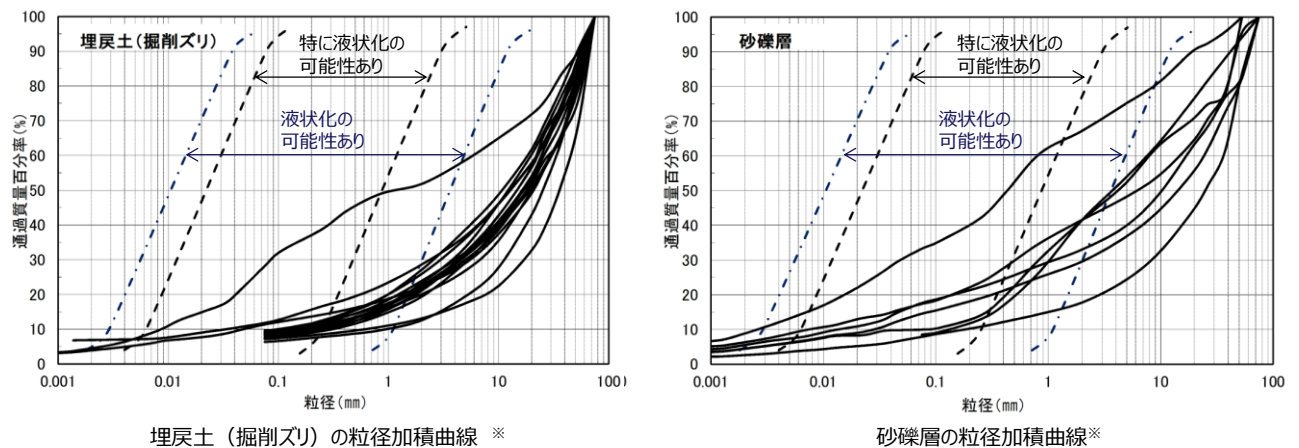
3. 敷地の地盤変状に関する検討

防波壁は、堅固な岩盤（一部、改良地盤）に支持されていることから、地震に伴う沈下は発生しない。一方、防波壁前面に存在する埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は、地震時の液状化による沈下及び揺すり込みによる沈下が発生する可能性があるため、防波壁前面の沈下量算定の対象層とする。

埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の土質区分を図3-1に示す。埋戻土（掘削ズリ）は、粒径10mm以上の礫が主体であるが、粒径2mm未満の砂も含む土層である。砂礫層は、50%粒径が10mm以下、かつ10%粒径が1mm以下であり、細粒分含有率が35%以下の土層である。

また、護岸に使用している基礎捨石及び埋戻土（粘性土）については液状化評価対象層ではないが、入力津波の設定における影響要因の検討の際には保守的に沈下量算定の対象層とする。

津波解析にあたっては、沈下量を算定し、地形モデルに反映する。なお、沈下量は、液状化及び揺すり込みに伴う沈下並びに液状化に伴う側方流動による沈下に分けて算出し、これらを合わせて設定する。



※ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）（（社）日本港湾協会，H19）の「粒度による液状化判定」に粒径加積曲線を追記

地層名	50%粒径 (平均) (mm)	10%粒径 (平均) (mm)	細粒分含有率 (平均) (%)
埋戻土 (掘削ズリ)	16.5	-	-
砂礫層	9.1	0.0651	15.6

図3-1 埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の土質区分

(1) 液状化及び揺すり込みに伴う沈下

① 検討概要

敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類からなる成相寺層及び貫入岩類、並びにそれらを覆う被覆層から構成される。成相寺層は海成層で、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層及び上部頁岩部層に区分される。被覆層は、崖錐・海底堆積物及び盛土からなる。崖錐・海底堆積物は主に礫混じり砂質土及び礫混じり粘性土からなる。敷地の被覆層である盛土は、埋戻土（掘削ズリ）と埋戻土（粘性土）に分類している。敷地の被覆層である崖錐・海底堆積物は、砂礫層として分類している。

液状化及び揺すり込みに伴う沈下量は、図3-2に示す流れに従って、地質断面図により算定した。相対密度は、図3-3のとおり、港湾基準に基づき、マイヤホフにより提案されたN値と相対密度の関係式を用いて算出する。

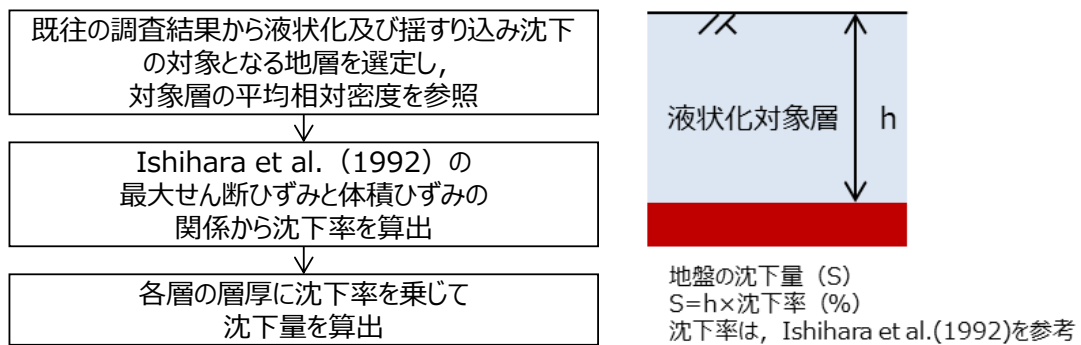


図3-2 液状化及び揺すり込みに伴う沈下量の算定フロー

$$Dr = 21 \cdot \left(\frac{100 \cdot N}{\sigma'_{v0} + 70} \right)$$

Dr: 相対密度 (%)
 N: 標準貫入試験値
 σ'_{v0} : 標準貫入試験値を測定した深度における有効土被り圧 (= $\gamma \times h$) (kN/m²)
 γ : 単位体積重量 (kN/m³)
 h: 標準貫入試験値を測定した深度

図3-3 マイヤホフにより提案されたN値と相対密度の関係式

②評価対象層の選定及び相対密度の設定

沈下量算定の対象層としては、埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）及び砂礫層を選定した。なお、埋戻土（粘性土）は、粘性土のため液状化しないが、保守的に埋戻土（掘削ズリ）に置き換えて沈下量を算出する。砂礫層は、粒径加積曲線が埋戻土（掘削ズリ）と同様な傾向を示すことから、埋戻土（掘削ズリ）に置き換えて沈下量を算出する。埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）及び砂礫層の分布を図3-4に示す。沈下率は、Ishihara et al. (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。相対密度は、図3-5に示す位置において調査を実施し、図3-6に示すとおり平均で71.3%となり、ばらつきを考慮すると54.1%となる。

Ishihara et al. (1992) の関係については、細粒分及び粗粒分が少なく粒径が比較的揃った液状化し易いきれいな砂による沈下率を示しており、埋戻土（掘削ズリ）と比較すると沈下率が大きくなると判断できるため、埋戻土（掘削ズリ）の沈下率をIshihara et al. の関係より算定することにより保守的な評価を実施する。

沈下率は図3-7に示すとおり、保守的に地震時の最大せん断ひずみを考慮せず、相対密度の平均値71.3%をもとに2.5%となるが、ばらつきを考慮し算出した相対密度54.1%をもとに、保守的に3.5%と評価する。

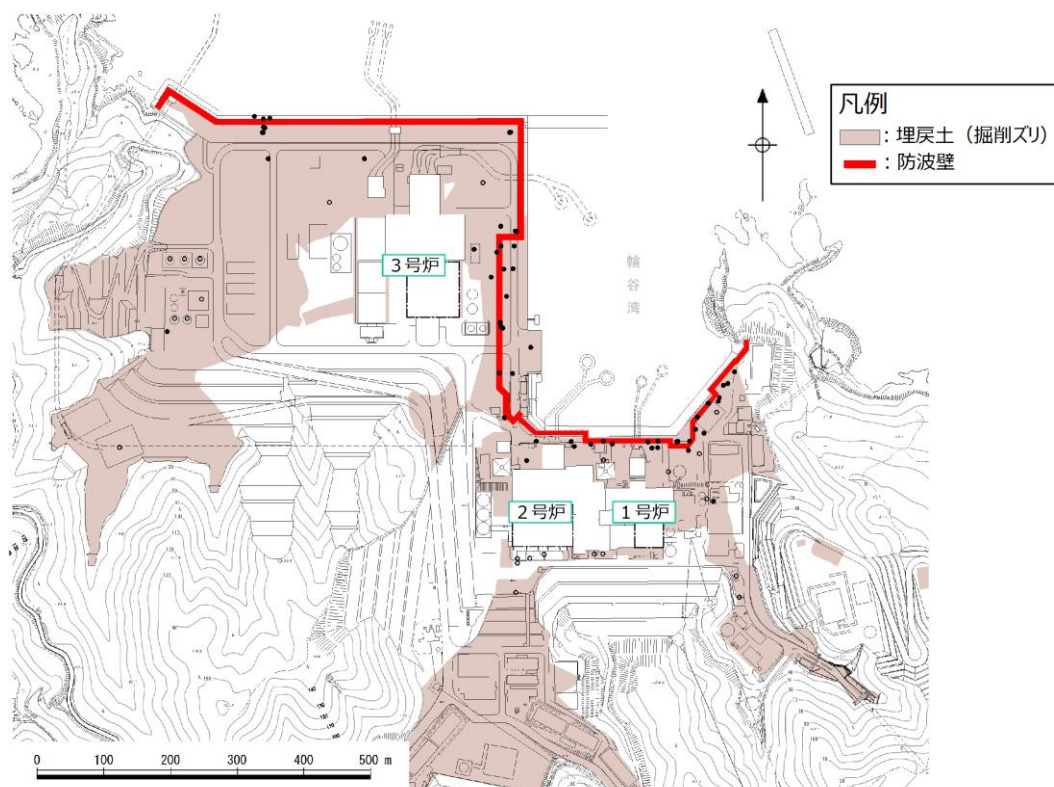


図3-4 (1) 埋戻土（掘削ズリ）分布図

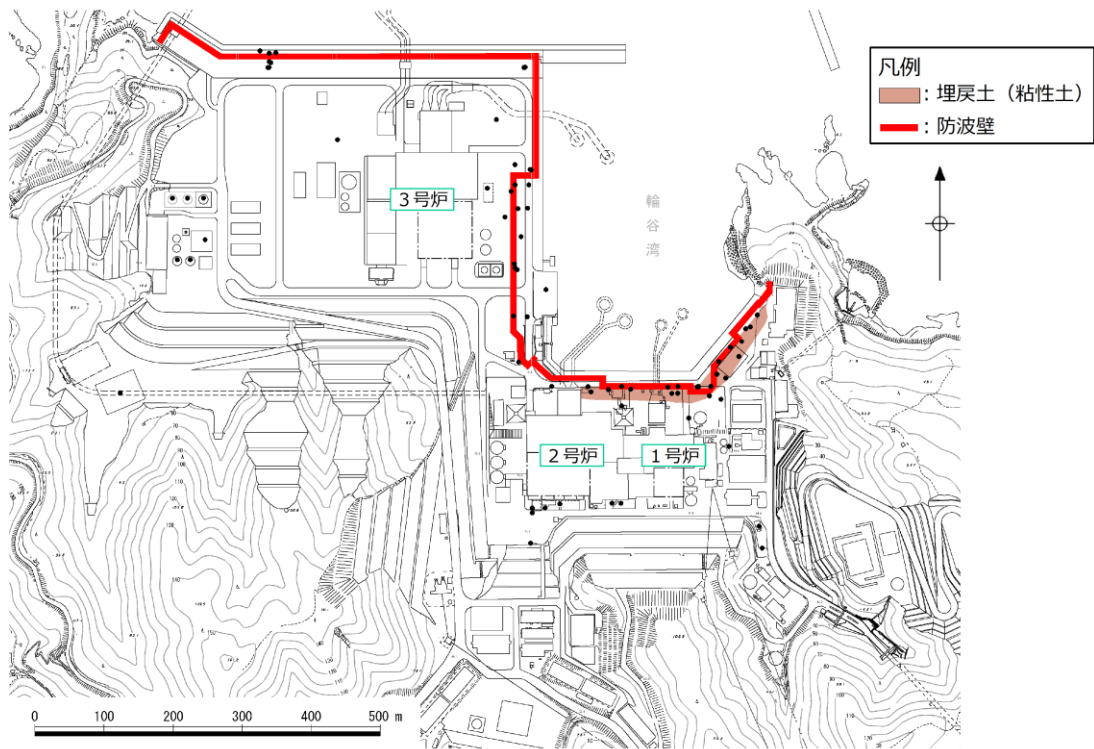


图 3-4 (2) 埋戻土（粘性土）分布图

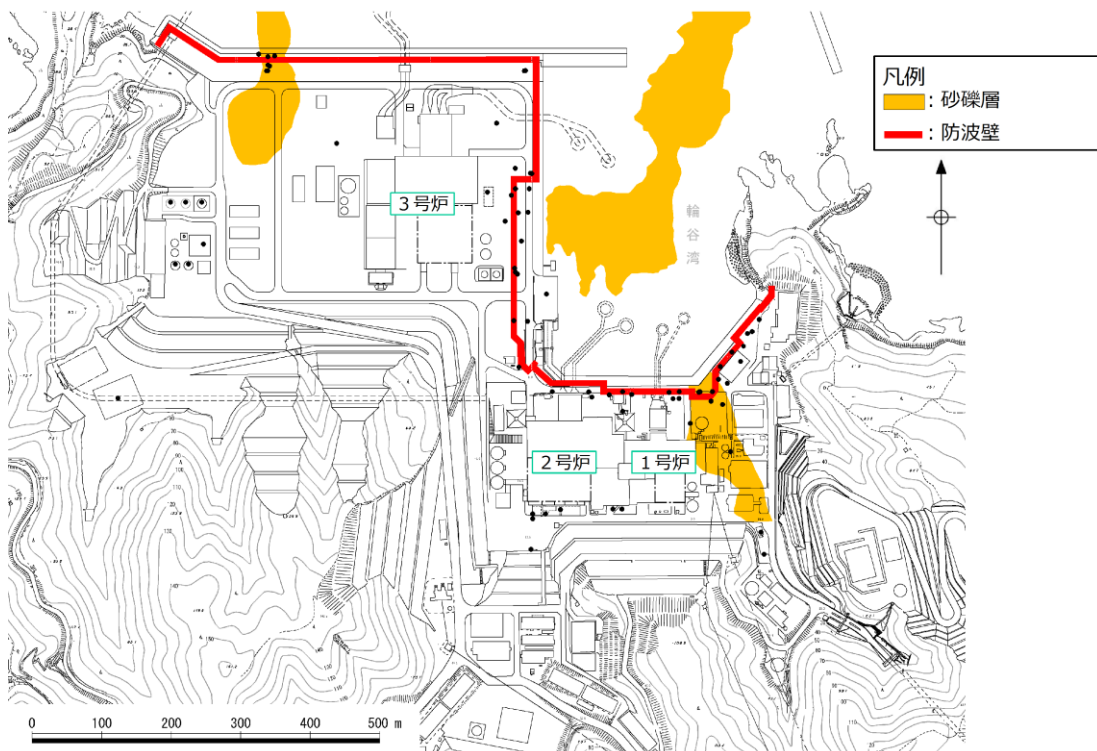


图 3-4 (3) 砂礫層分布图

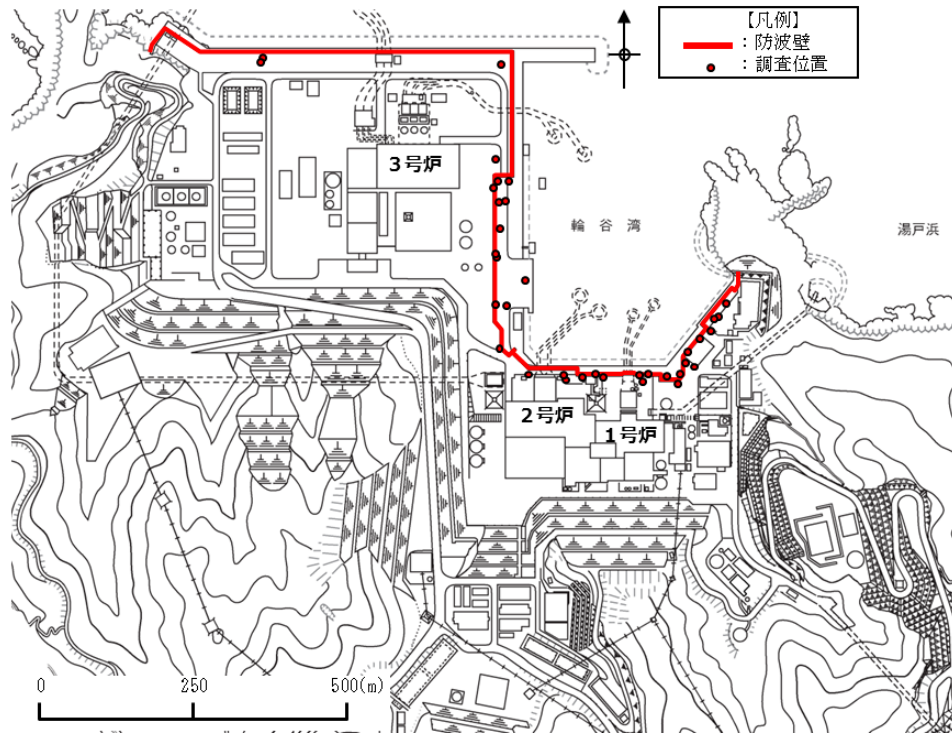
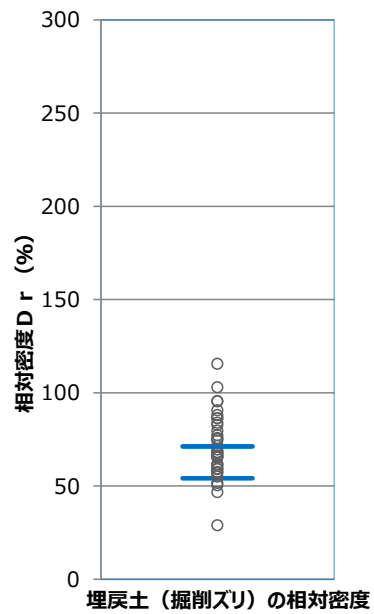


図3-5 相対密度の調査位置



	相対密度 D_r (%)	
	平均	平均- 1σ
埋戻土 (掘削ズリ)	71.3	54.1

図3-6 埋戻土（掘削ズリ）の相対密度

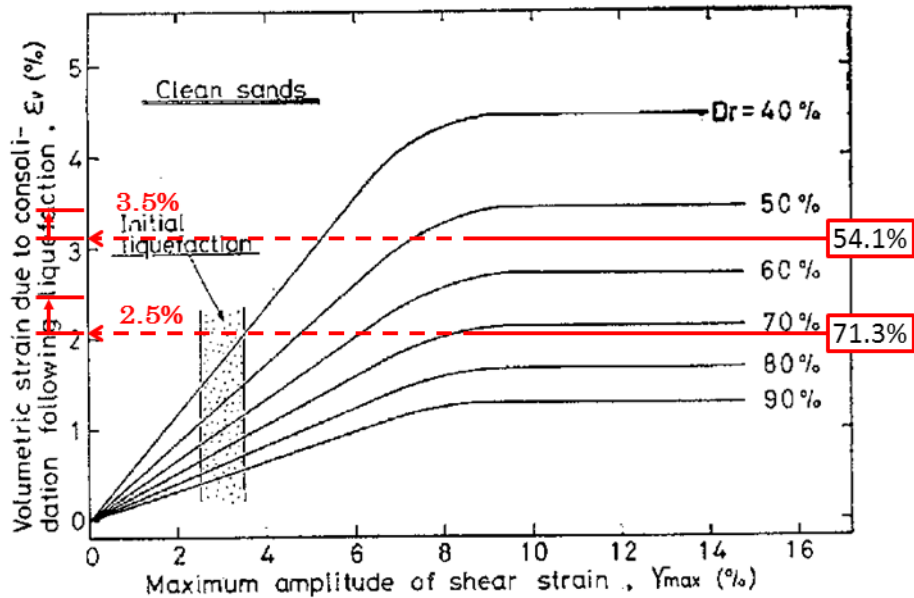


図3-7 Ishihara et al. (1992) の地盤の最大せん断ひずみと体積ひずみの関係から設定した沈下率

③沈下量

防波壁前面の沈下量は、防波壁前面に沈下量算定の対象層が存在する3号炉東側エリア及び1, 2号炉北側エリアの地質断面図に基づき算定した。敷地平面図を図3-8に、沈下量算定の対象層が防波壁前面に分布する3号炉東側エリア及び1, 2号炉北側エリアの地質断面図を図3-9に示す。

図3-9に示すとおり、3号炉東側エリアには、沈下量算定の対象層である埋戻土（掘削ズリ）がEL+8.5mからEL-9.6mに存在する。1, 2号炉北側エリアには、沈下量算定の対象層がEL+8.5mからEL-14.1mに存在する。なお、1, 2号炉北側エリアの防波壁前面の砂礫層地盤改良範囲を考慮した液状化層厚は、地盤改良部において17.1m、施設護岸部において14.4mとなる。

1, 2号炉北側エリアの断面図を図3-10に示す。1, 2号炉北側エリアに存在する砂礫層は地盤改良（①地盤改良部）されているが、防波壁前面において一部地盤改良されていない範囲（②施設護岸部）があるため、沈下量を算定する層厚を算定した。その結果、1, 2号炉北側エリアにおける防波壁前面の沈下量を算定する層厚は地盤改良部において17.1m、施設護岸部において14.4mとなり、3号炉東側エリアにおける層厚18.1mを上回らないことを確認した。

以上より、層厚が最大となるようEL+8.5mからEL-9.6mを考慮し、沈下量を算定するための層厚は18.1mとした。

沈下量は、上記層厚及びIshihara et al. (1992) の関係を用いて相対密度の平均値にばらつきを考慮して保守的に設定した沈下率3.5%より0.65m^{*}を保守的に考慮する。

※ 層厚18.1m×沈下率3.5%≒沈下量0.65m

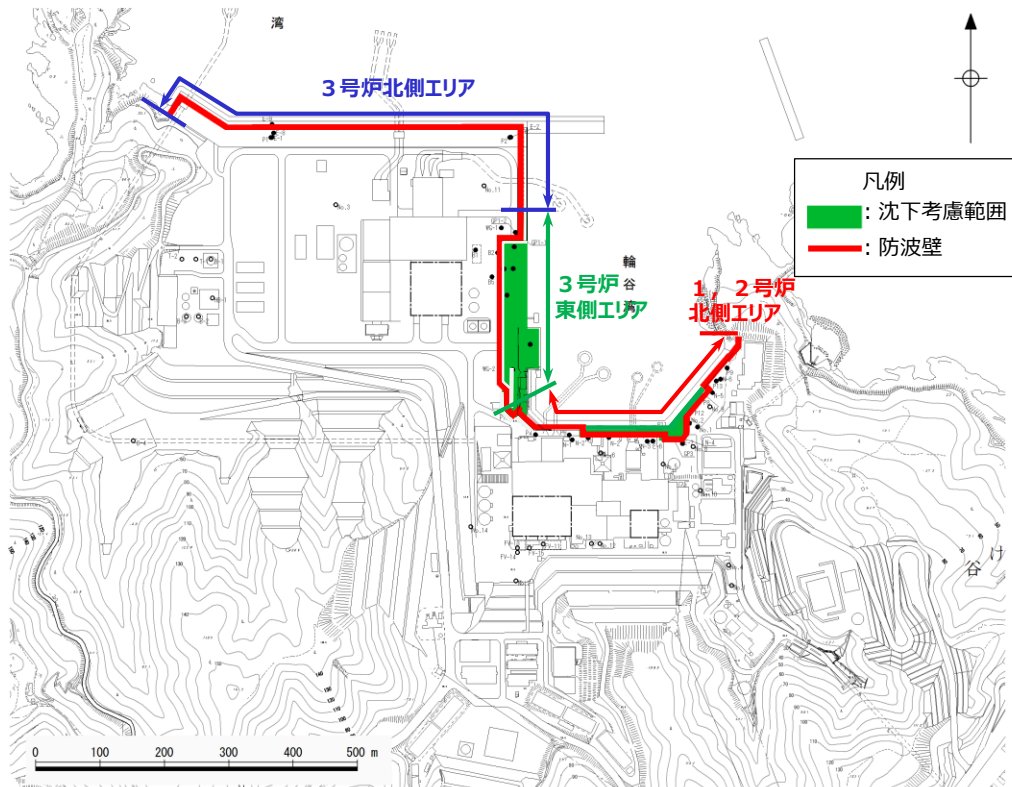


図3-8 敷地平面図

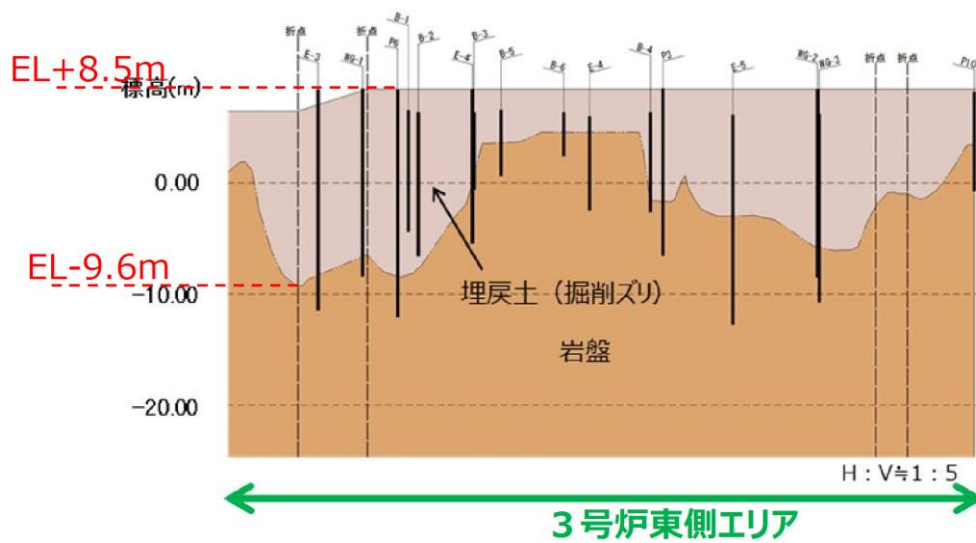


図3-9 (1) 地質断面図 (3号炉東側エリア)

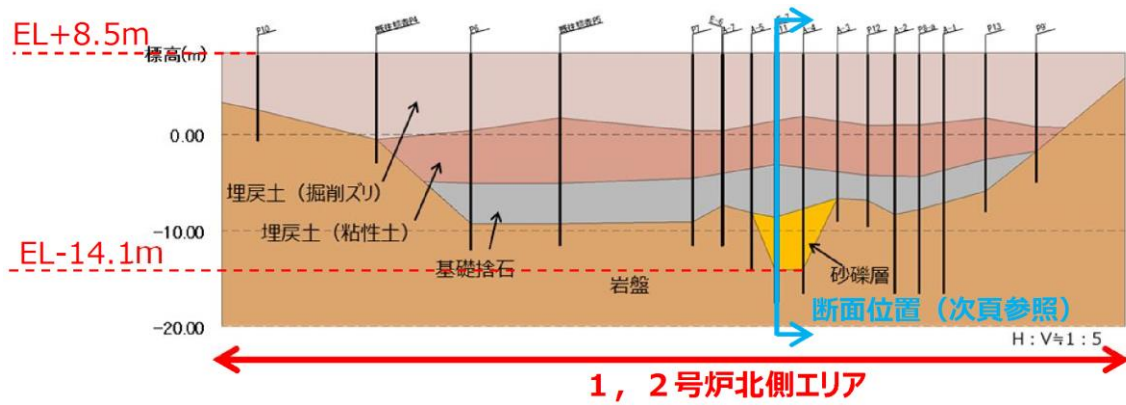


図3-9 (2) 地質断面図 (1, 2号炉北側エリア)

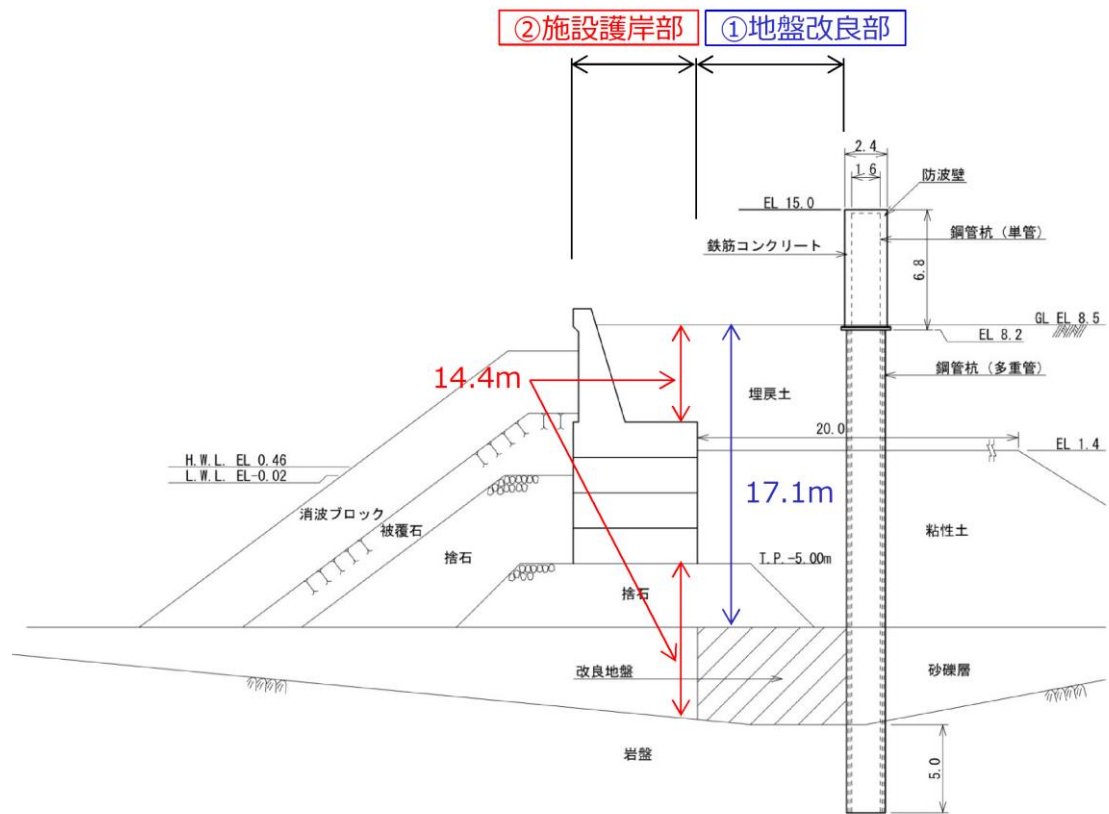


図3-10 断面図 (1, 2号炉北側エリア)

(2) 液状化に伴う側方流動による沈下

①評価方針

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. 7.1.9」）により側方流動による沈下量を算定する。評価を行う解析断面は、以下の観点から3号炉東側エリアの沈下による遡上の影響が大きいと判断し、3号炉東側エリアを対象として、有効応力解析を実施する。

- ・ 1, 2号炉北側エリアと比較して埋戻土（掘削ズリ）の分布が広範囲かつ層厚が厚いこと
 - ・ 1, 2号炉北側エリアと比較して基準津波遡上範囲が広いこと
- 3号炉東側の解析断面位置図を図3-11に示す。

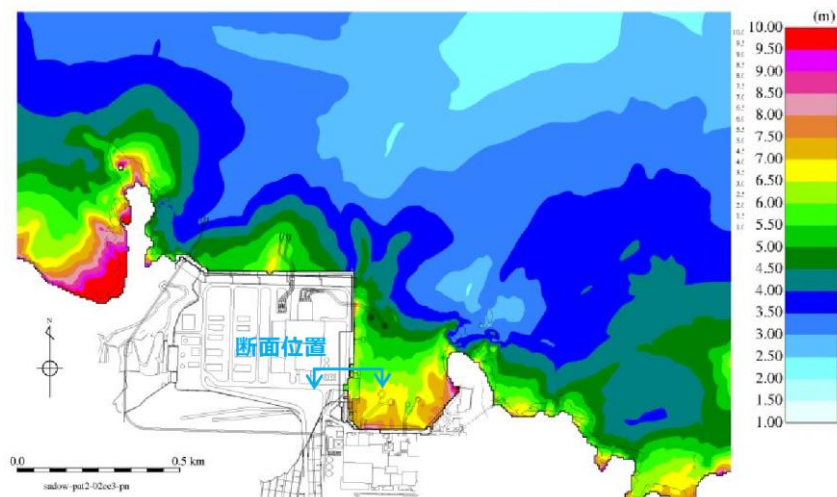


図3-11 解析断面位置図

②解析条件

3号炉東側断面の解析モデル図を図3-12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、防波壁は、線形はり要素でモデル化した。

地下水位は、防波壁周辺の朔望平均満潮位（EL+0.46m）前後であることから、港湾基準に準じてEL+0.14m[※]とする。

入力地震動は、表3-1に示すとおり、基準地震動のうち、繰返し応力及び繰返し回数に着目し、水平加速度が大きく、継続時間が長い地震動が液状化評価において最も厳しいと考えられることから、Ss-Dを選定する。したがって、基準地震動Ss-Dを、一次元波動論によって解析モデル下端位置で評価した波形を用いた。

※ $L. W. L. EL-0.02m + 1/3 \times (H. W. L. EL+0.46m - L. W. L. EL-0.02m) = EL+0.14m$

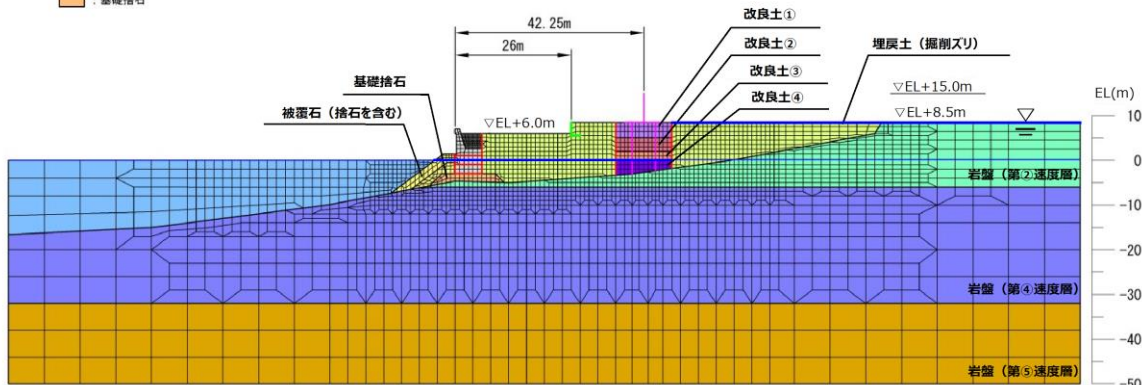


図 3-12 解析モデル図 (3号炉東側断面)

表 3-1 基準地震動の加速度時刻歴波形

基準地震動		水平方向 (NS成分)		水平方向 (EW成分)		鉛直方向	
S s - D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 応答スペクトル手法による基準地震動						
S s - F 1	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越冲地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点5						
S s - F 2	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 断層モデル手法による基準地震動 穴道断層による地震の中越冲地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点6						
S s - N 1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET) 港町の検討結果に保守性を考慮した地震動						
S s - N 2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 2000年鳥取県西部地震の質祥ダム (監査廊) の観測記録						

※ 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度 (cm/s²), 横軸: 時間 (s)]

地盤の物性値は、「島根原子力発電所 2 号炉設計基準対象施設について 第 4 条: 地震による損傷の防止 別紙-11 液状化影響の検討方針について」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 (掘削スリ) 及び砂礫層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 (繰返し非排水せん断試験結果) に基づき、地盤のばらつき等を考慮し、保守的に簡易設定法により設定した。

試験結果等から設定した解析上の液状化強度曲線を図 3-13 に示す。

解析用地盤物性値を表 3-2 に示す。

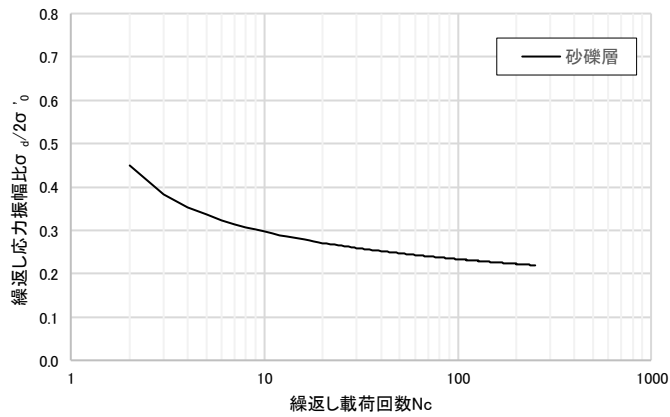
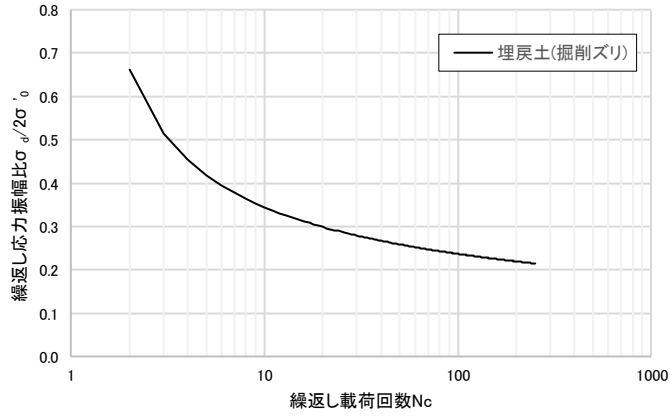


図 3-13 液状化強度曲線

表 3-2 解析用地盤物性値

材料種別	単位体積重量		英測N値 N (平均値)	せん断 波速度 Vs (m/s)	せん断 抵抗角 φ f (°)	粘着力 C (kN/m ²)	基準有効 拘束圧 ema (kN/m ²)	基準初期 せん断 弾性係数 Ema(kN/m ²)	emaの 指数定数 m _c	ポアソン比 ν	基準体積 弾性係数 kma (kN/m ²)	kmaの 指数定数 m _k	間隙率 n	水の体積 弾性係数 kw (kN/m ²)	最大 減衰定数 hmax	細粒分 含有率 Fc (%)	変相角 φ p (°)	液状化特性				
	飽和湿潤 γ sat, γ t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)																液状化パラメータ				
																		s1	w1	p1	p2	c1
岩盤(第②速度層)	23.3 (2.38)	13.2 (1.35)	-	620	-	-	-	E=2.601×10 ⁷	-	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
岩盤(第④速度層)	24.5 (2.50)	14.4 (1.47)	-	1520	-	-	-	E=1.569×10 ⁷	-	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
岩盤(第⑤速度層)	25.2 (2.57)	15.1 (1.54)	-	1900	-	-	-	E=2.486×10 ⁷	-	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
埋戻土 (気中)	19.6 (2.00)	-	15	-	39.35	0	98.0	76570	0.5	0.33	199700	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	-	-	-	-	-	-	
埋戻土 (水中)	20.7 (2.11)	10.6 (1.08)	15	-	39.35	0	98.0	76570	0.5	0.33	199700	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	15	28	0.005	6.270	0.500	0.925	2.960
改良土①-1(気中)	19.6 (2.00)	-	-	-	38.00	628	98.0	404600	0.5	0.33	1055200	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	-	-	-	-	-	-	-
改良土①-2(気中)	19.6 (2.00)	-	-	-	40.54	490	98.0	327900	0.5	0.33	855000	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	-	-	-	-	-	-	-
改良土①-3(気中)	19.6 (2.00)	-	-	-	40.54	1140	98.0	742900	0.5	0.33	1937500	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	-	-	-	-	-	-	-
改良土②-1(水中)	20.7 (2.11)	10.6 (1.08)	-	-	38.71	1253	98.0	777300	0.5	0.33	2027000	0.5	0.45	2.2×10 ⁶	0.24	-	-	-	-	-	-	-

③評価結果

基準地震動Ss-Dによる3号炉東側の最終変形量を図3-14に示す。防波壁より海側では、L型擁壁までのEL+8.5m盤において、防波壁直下の改良地盤と埋戻土（掘削ズリ）の境界部を中心とした比較的大きな沈下が確認される。

これは、地震によるL型擁壁の海側への傾きに伴い、埋戻土（掘削ズリ）が自立する改良地盤から海側へ側方流動したことに起因するものである。

なお、解析条件については、以下のとおり保守的に設定する。

- ・敷地内の地下水位については、防波壁より海側の地下水位を海水位に、防波壁より陸側の地下水位を地表面に設定する。
- ・埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度特性は敷地全体のN値に基づく簡易設定法※により設定する。

津波が浸水するEL+6.0m盤における沈下量は0.04m程度であるが、海岸線から離れたEL+8.5m盤では改良地盤近傍で局所的に1~2m程度の沈下が生じている。このため、側方流動によるEL+6.0m盤からEL+8.5m盤全体の沈下量としては、EL+6.0m盤からEL+8.5m盤の埋戻土（掘削ズリ）の各節点における沈下量を節点数で割った平均沈下量（0.33m程度）を考慮し、保守的に0.35mとする。

※簡易設定法による液状化強度特性は、埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果（ロータリー式三重管サンプラー及び表層試料採取）による液状化強度特性よりも十分保守的である。

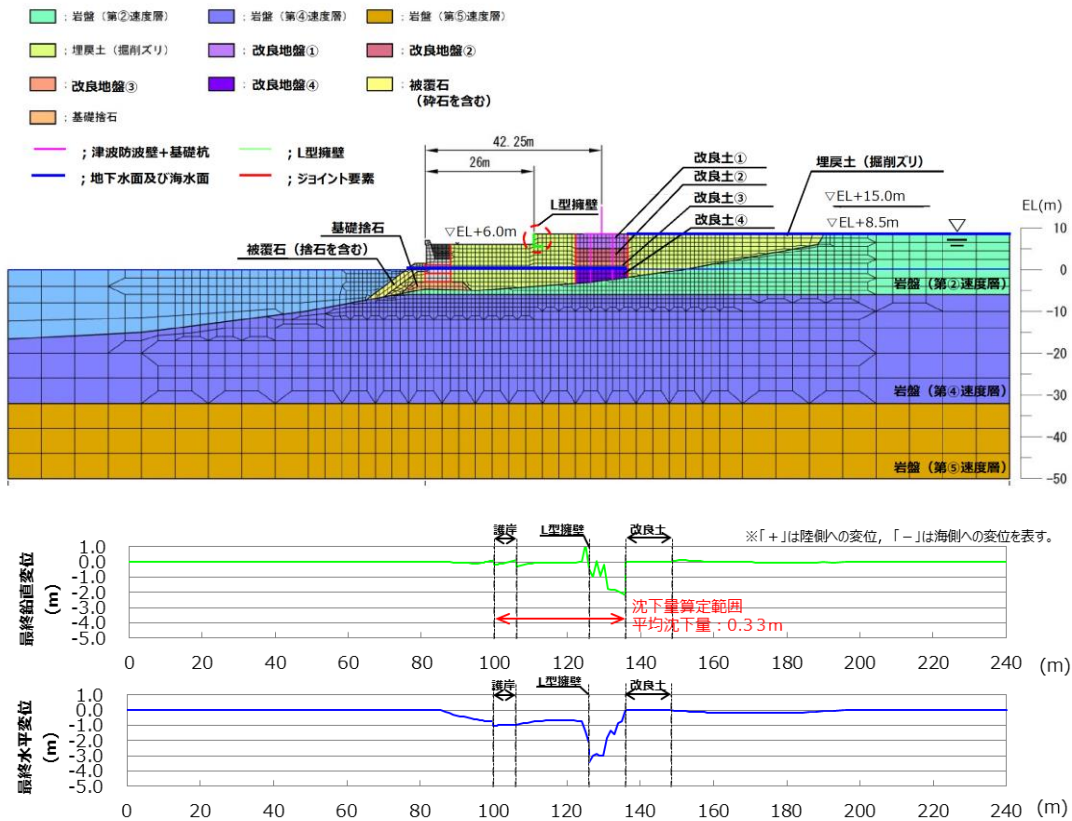


図3-14 基準地震動のSs-Dによる地表面最終変形量（3号炉東側断面）

(3) 津波解析における沈下量の設定

津波解析における沈下は、沈下考慮範囲を対象とする(図3-15)。また、荷揚場は一部岩着し、沈下しない範囲もあるが、本検討では、保守的に荷揚場全体が沈下する前提で検討を行い、護岸のパラペットについてもモデル化を行わないこととする。なお、防波壁周辺については、地盤改良を実施していることから、沈下しないこととする。

液状化及び揺すり込みに伴う沈下量を相対密度の平均値から求まる沈下率(2.5%)による0.5mとしていたが、保守的にばらつきを考慮した相対密度から求まる沈下率(3.5%)による0.65mを採用し、側方流動による沈下量0.35mを加え、1mとした。

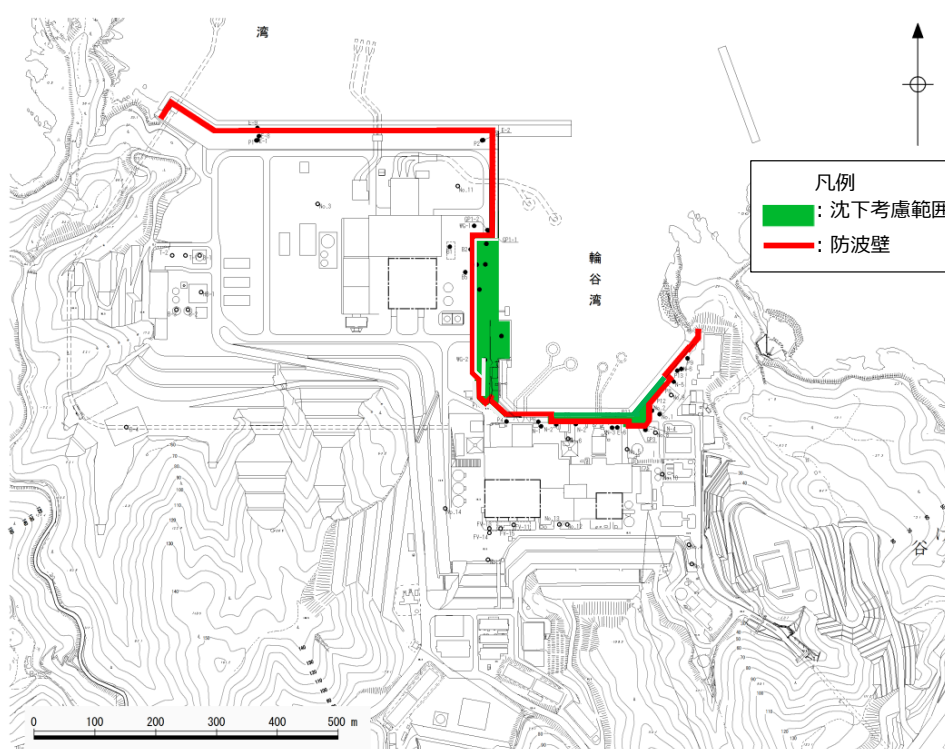


図3-15 津波評価において沈下を考慮する範囲

(4) 地盤変状を考慮した津波解析

(1)～(3)を踏まえ、沈下量を保守的に1mと設定し、津波解析を実施した。

基準津波1～6のケースを対象に基本ケース及び1m沈下させたケースを比較し、その差異を表3-3に示す。また、最大水位上昇量分布を図3-16に示す。

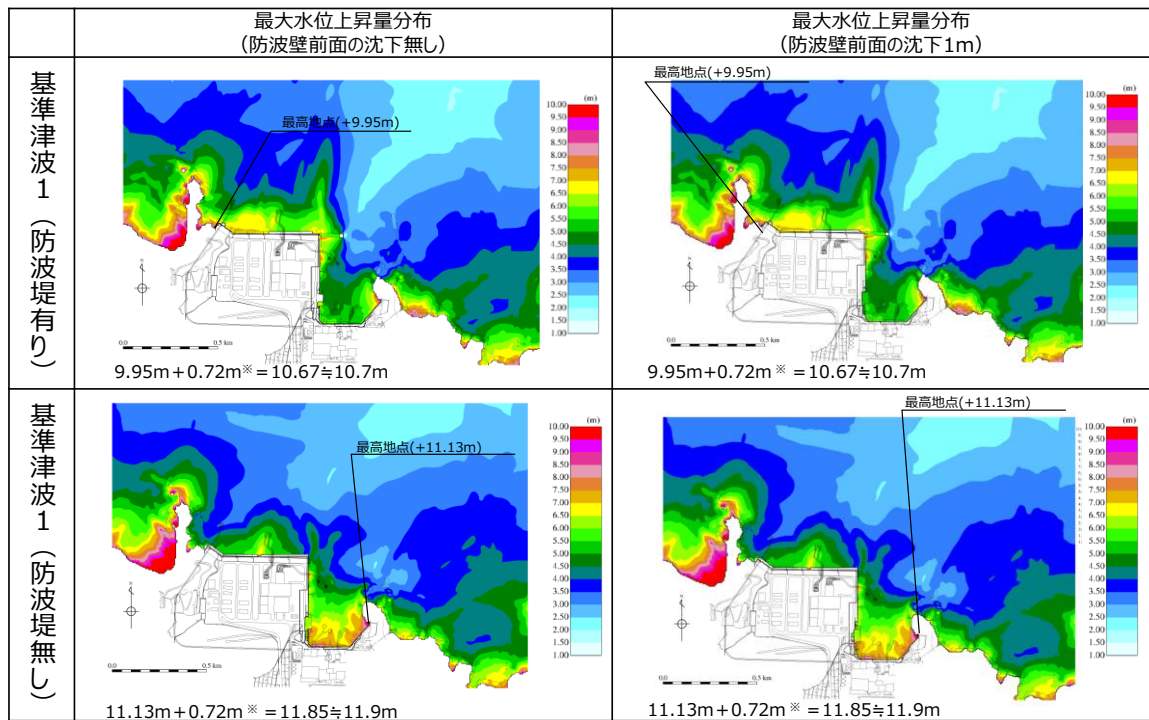
津波解析の結果、1m沈下させた場合、水位上昇側の施設護岸又は防波壁の水位は、どのケースについても基本ケースと同じもしくは基本ケースの方が大きい。また、水位下降側の2号炉取水口の水位については全ケースで同じ水位となった。

以上より、地震による地形変化（地盤変状）は、入力津波を設定する際の影響要因として考慮しない。

表 3-3 基本ケースと地盤変状を考慮したケースの水位比較

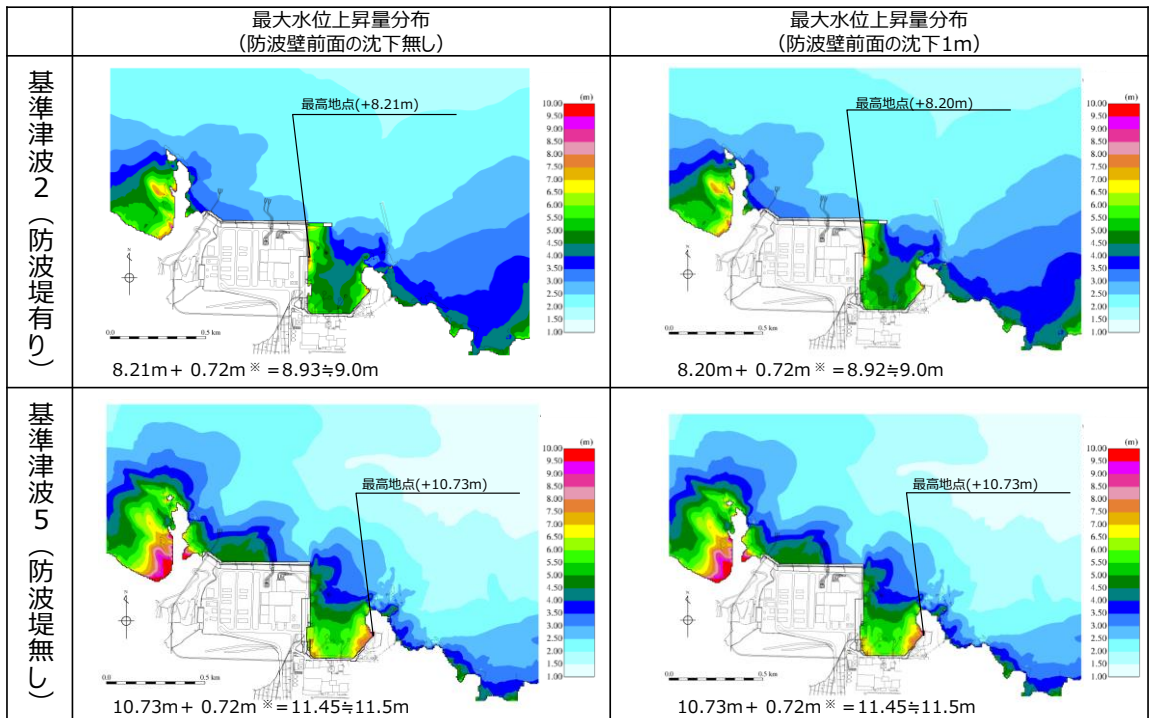
	【水位上昇側】施設護岸又は防波壁※1			【水位下降側】2号炉取水口（東）※2		
	基本ケース (沈下無し)(A)	沈下有り1m (B)	差異 (B-A)	基本ケース (沈下無し)(A)	沈下有り1m (B)	差異 (B-A)
基準津波 1 (防波堤有り)	+10.7m (+10.67m)	+10.7m (+10.67m)	0.0m (0.00m)	-5.2m (-5.13m)	-5.2m (-5.13m)	0.0m (0.00m)
基準津波 1 (防波堤無し)	+11.9m (+11.85m)	+11.9m (+11.85m)	0.0m (0.00m)	-6.1m (-6.01m)	-6.1m (-6.01m)	0.0m (0.00m)
基準津波 2 (防波堤有り)	+9.0m (+8.93m)	+9.0m (+8.92m)	0.0m (-0.01m)			
基準津波 3 (防波堤有り)				-4.7m (-4.63m)	-4.7m (-4.63m)	0.0m (0.00m)
基準津波 4 (防波堤有り)				-4.1m (-4.04m)	-4.1m (-4.04m)	0.0m (0.00m)
基準津波 4 (防波堤無し)				-4.3m (-4.25m)	-4.3m (-4.25m)	0.0m (0.00m)
基準津波 5 (防波堤無し)	11.5m (+11.45m)	11.5m (+11.45m)	0.0m (0.00m)			
基準津波 6 (防波堤無し)				-6.1m (-6.08m)	-6.1m (-6.08m)	0.0m (0.00m)

※1 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮 ※2 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮



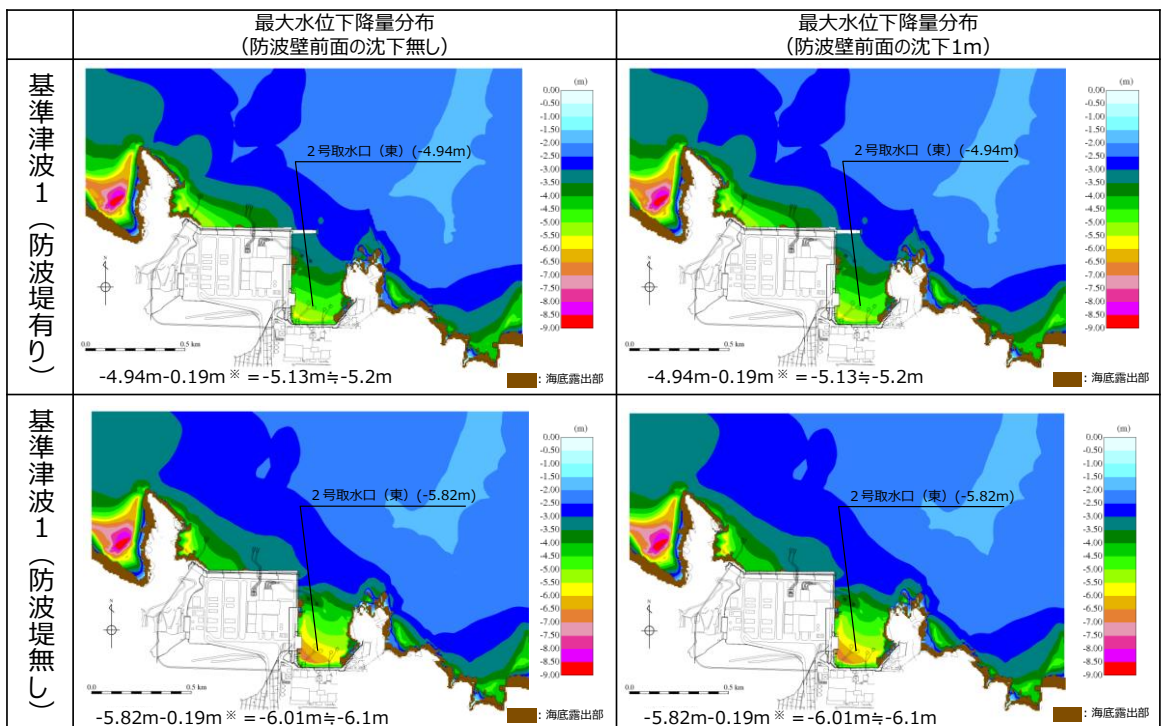
※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図 3-16 (1) 地盤変状の有無による最大水位上昇量分布の比較
(基準津波 1 (防波堤有り) 及び基準津波 1 (防波堤無し))



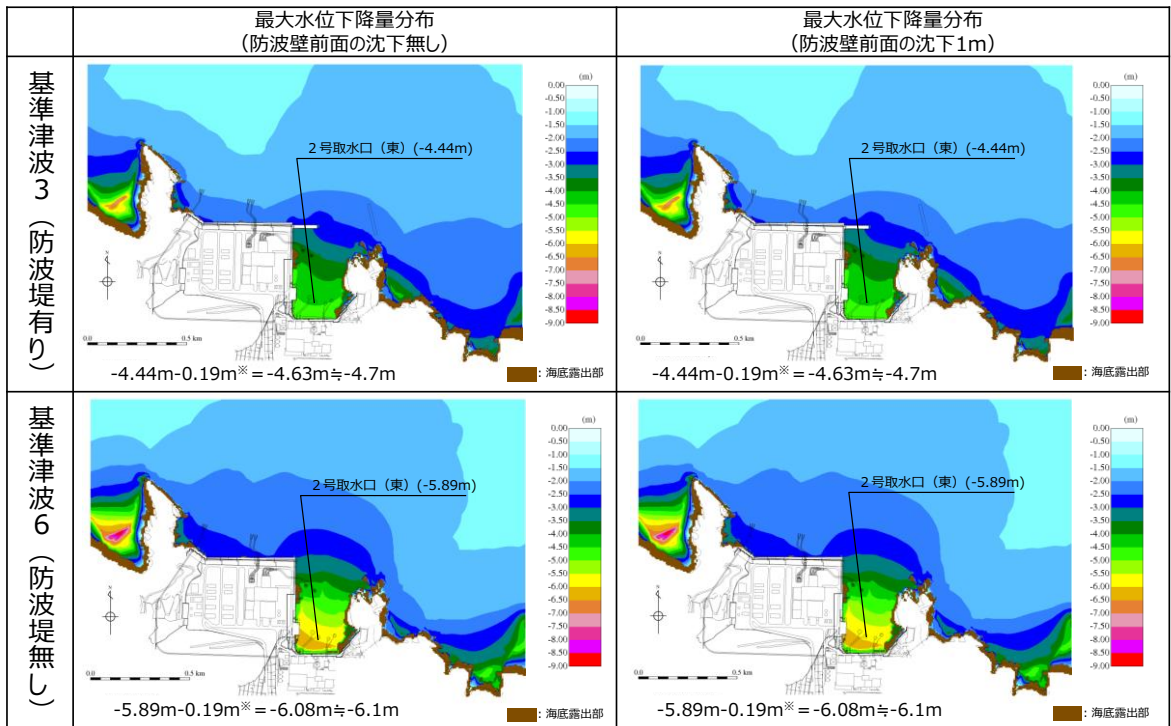
※ 朔望平均満潮位+0.58m, 潮位のばらつき0.14mを併せて+0.72mを考慮

図3-16(2) 地盤変状の有無による最大水位上昇量分布の比較
(基準津波2(防波堤有り)及び基準津波5(防波堤無し))



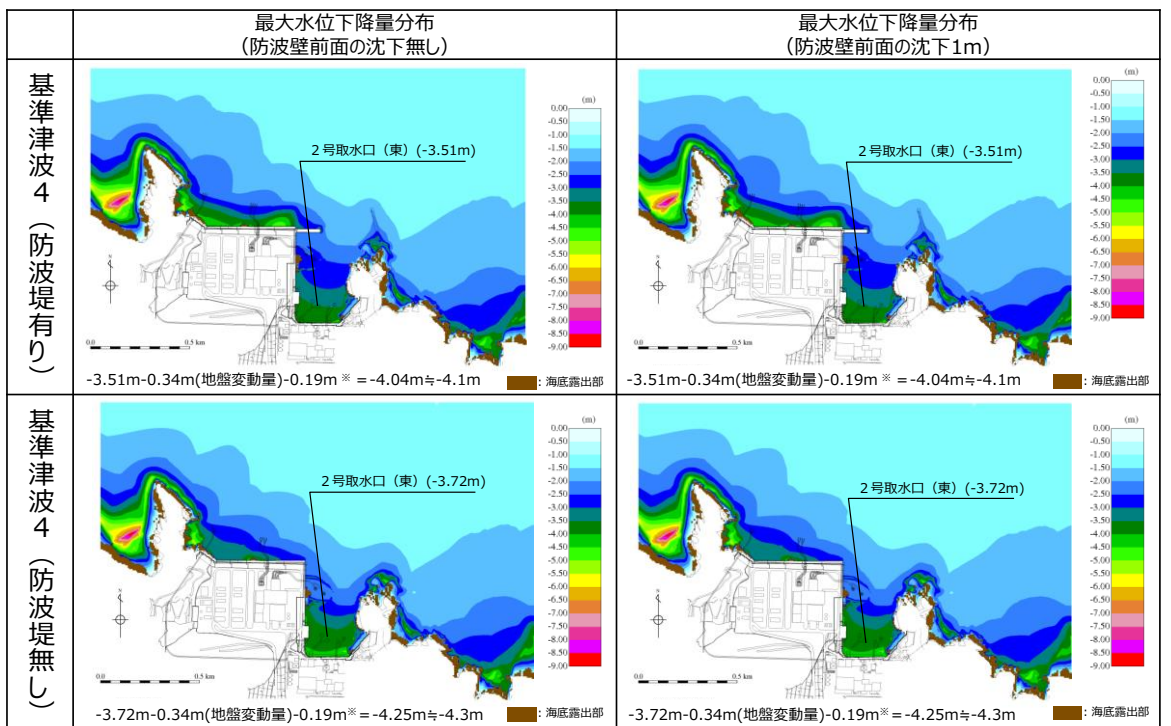
※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図3-16(3) 地盤変状の有無による最大水位下降量分布の比較
(基準津波1(防波堤有り)及び基準津波1(防波堤無し))



※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図3-16(4) 地盤変状の有無による最大水位下降量分布の比較
(基準津波3(防波堤有り)及び基準津波6(防波堤無し))



※ 朔望平均干潮位-0.02m, 潮位のばらつき0.17mを併せて-0.19mを考慮

図3-16(5) 地盤変状の有無による最大水位下降量分布の比較
(基準津波4(防波堤有り)及び基準津波4(防波堤無し))

4. 防波堤損傷に関する検討

島根原子力発電所では、輪谷湾に防波堤及び東防波堤を設置しており、これら防波堤は、敷地周辺の地震により損傷する可能性は否定できないことから、防波堤の状態による入力津波への影響の有無を検討する。検討にあたっては、津波高さと津波高さ以外に区分して、実施する。

(1) 検討結果

①津波高さ

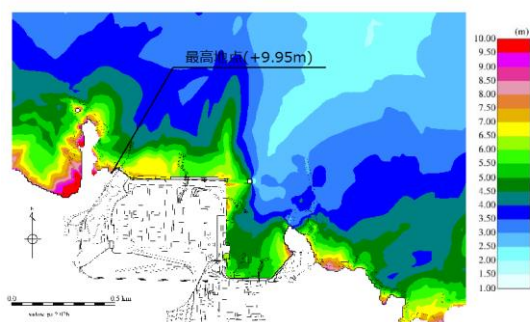
基準津波策定の際に、防波堤の有無により津波高さに有意な差を与えることを確認した（表4-1、図4-1）。

②津波高さ以外（流況等）

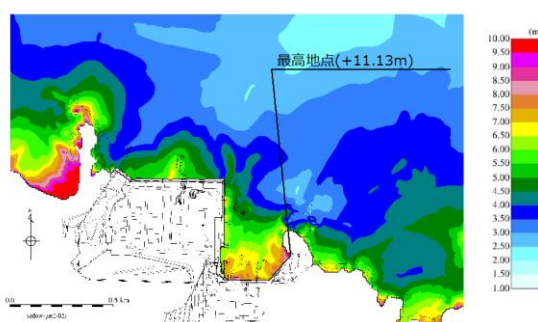
発電所沖合については、防波堤の有無により流況の変化が認められない（図4-2）。また、港湾内及び港湾外については、防波堤の有無により流況の変化が認められる。（図4-3）

表4-1 防波堤の有無による最大水位上昇量の比較

検討対象 基準津波	防波堤	最大水位上昇量(m)
		施設護岸又は防波壁
基準津波1	有り	+10.0
	無し	+11.2



最大水位上昇量分布図
(防波堤有り最大ケース:基準津波1)



最大水位上昇量分布図
(防波堤無し最大ケース)

図4-1 防波堤の有無による最大水位上昇量分布の比較

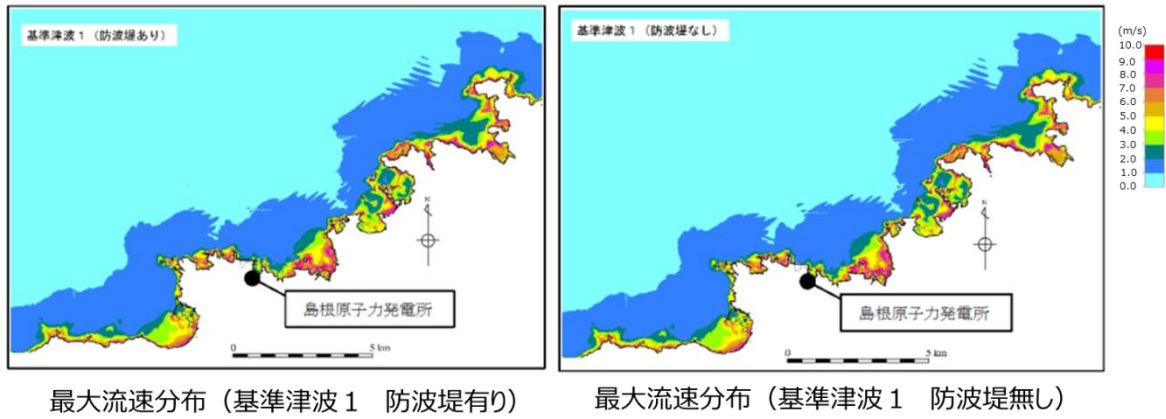


図4-2 発電所沖合の流況

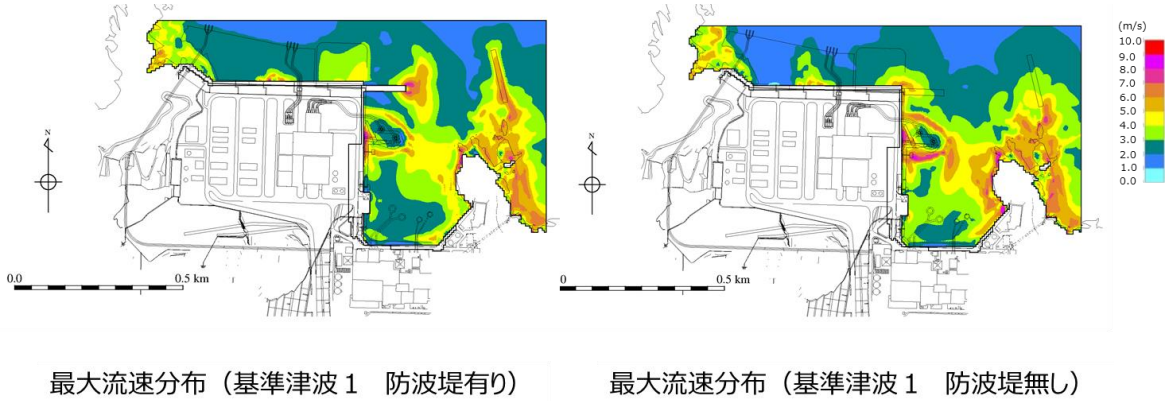


図4-3 港湾内及び港湾外の流況

5. 津波評価条件

地震による地形変化の影響の検討結果及びその結果を踏まえた入力津波設定における地形の条件は以下のとおり。

- 敷地周辺斜面の崩壊形状については、防波壁両端部の地山を対象に基準地震動 S_s により津波が敷地に遡上するような崩壊は起こらないことを確認した。また、地すべり地形が判読されている地山の斜面崩壊についても検討し、敷地に与える影響がほとんどないことから、斜面崩壊の影響要因として考慮せず評価を行う。
- 防波壁は、堅固な岩盤（一部、地盤改良）に支持されていることから、地震時の液状化に伴う沈下は発生しない。一方、防波壁前面に存在する埋戻土は、地震時の液状化により沈下する可能性があるため、基準地震動 S_s による防波壁前面の沈下を考慮した津波解析を実施した結果、入力津波高さが変わらないこと等を確認したことから、地盤変状を影響要因として考慮せず評価を行う。
- 防波堤損傷に関する検討の結果、津波高さについては、防波堤の有無による差異が認められることから、影響要因として考慮する。また、津波高さ以外については、発電所沖合は防波堤の有無による最大流速分布に差異が認められないことから影響要因として考慮しない。一方、港湾内及び港湾外は最大流速分布に差異が認められることから、影響要因として考慮する。

[参考]防波堤の位置付け・モデル化

(1) 防波堤の位置付け

島根原子力発電所では、輪谷湾に防波堤及び東防波堤を設置している（図5-1）。これら防波堤は、敷地周辺の地震により損傷する可能性は否定できないことから、津波影響軽減施設とせず、自主設備とする。基準津波5、6は自主設備である防波堤の有無が基準津波の選定に影響が有ることから選定した。

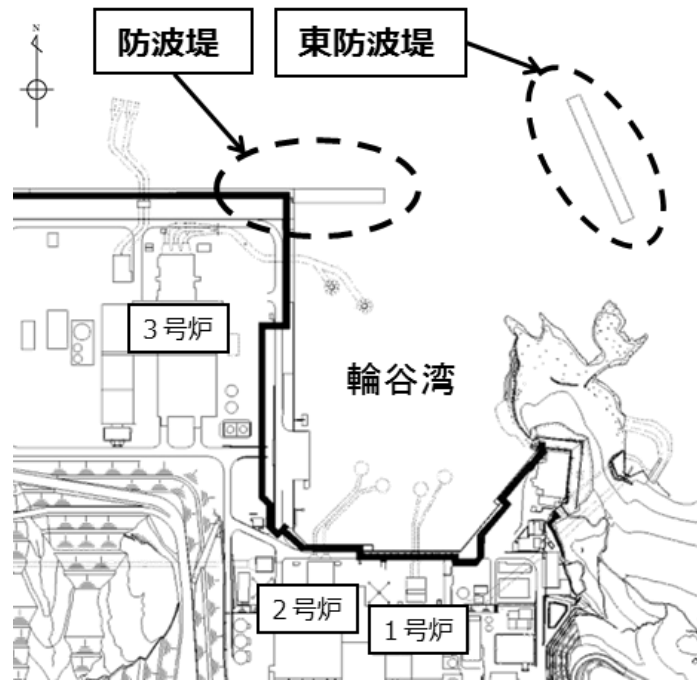


図5-1 防波堤位置

(2) 防波堤のモデル化

防波堤の有無によるモデル化については、防波堤有りのケースでは、防波堤ケーソン、捨石マウンドをモデル化しており、防波堤無しケースでは、防波堤ケーソン、捨石マウンドを全て取り除いた状態で実施している（図5-2）。なお、消波ブロック[※]は、透過性を有するため、防波堤有りケースにおいては、安全側の評価となるよう消波ブロックをモデル化しないものとしている。

また、消波ブロックをモデル化した場合の津波への影響を検討するため、東防波堤のEL-4.9m～EL+1.8m区間の消波ブロックをモデル化し、消波ブロックの透過率を施工実績より算出し50%と設定し、防波堤有りケースのうち、施設護岸又は防波壁で最大水位上昇量を示した基準津波1を対象に実施した。

その結果、消波ブロックをモデル化した場合、消波ブロックをモデル化しない場合と比較し、津波の敷地への影響は小さいことから、消波ブロックをモデル化しない津波解析は安全側の評価となることを確認した。水位の影響については、表5-1及び図5-3に示す。また、流向・流速の影響については、図5-4に

示す。

※ 一般に消波ブロックは短周期の波浪に対する軽減効果を持つとされており、土木学会(2016)においても構造物(消波ブロック)が無いものとして取り扱うことが多いと記載されている。

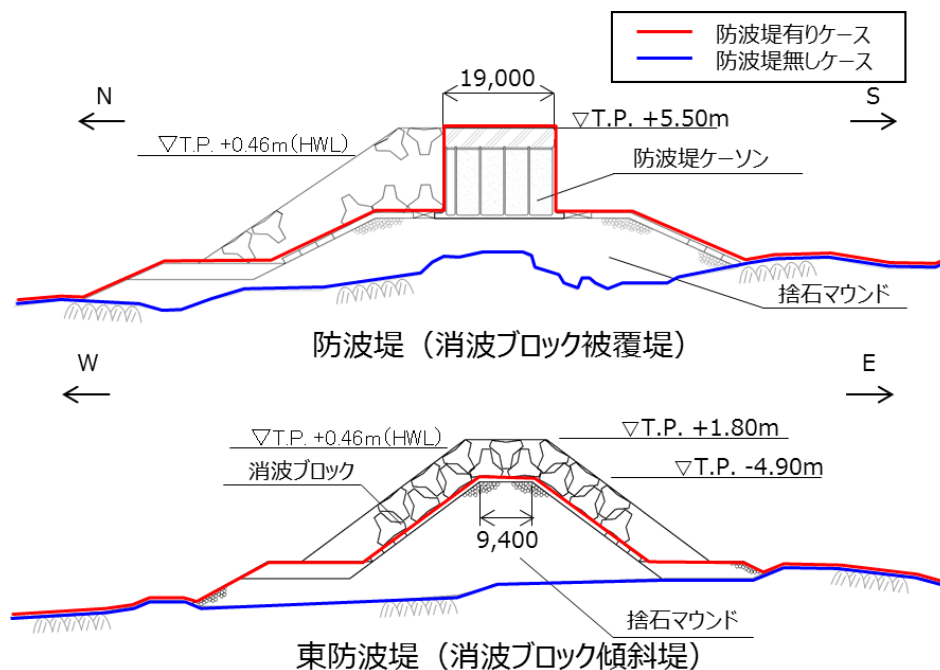
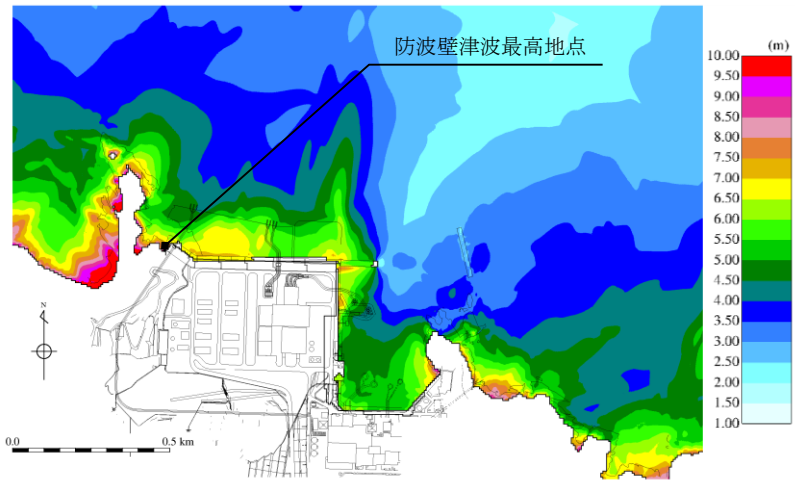


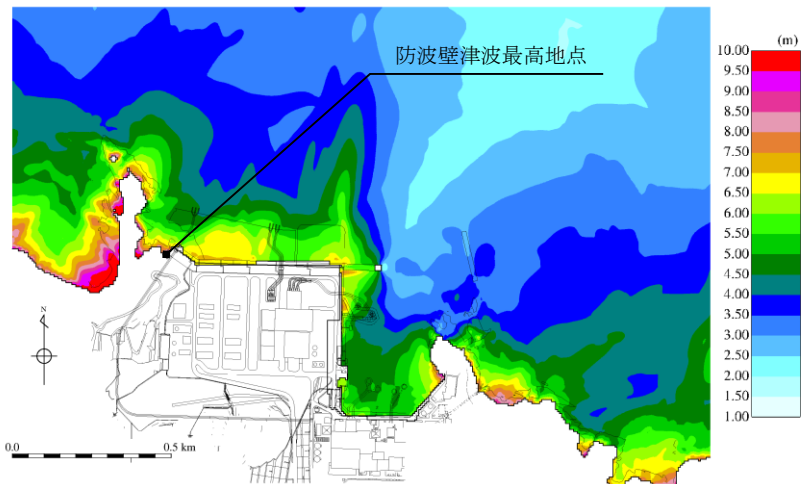
図 5 - 2 防波堤断面図

表 5 - 1 消波ブロックのモデル化検討結果

検討ケース	消波ブロックのモデル化	評価水位 (EL m)			備考
		上昇側 施設護岸又は 防波壁	下降側		
			2号炉 取水口 (東)	2号炉 取水口 (西)	
基準津波 1 (鳥取県(2012))	消波ブロックを モデル化	+10.4	-4.8	-4.8	
	消波ブロックを モデル化しない	+10.5	-5.0	-5.0	防波堤有りケース

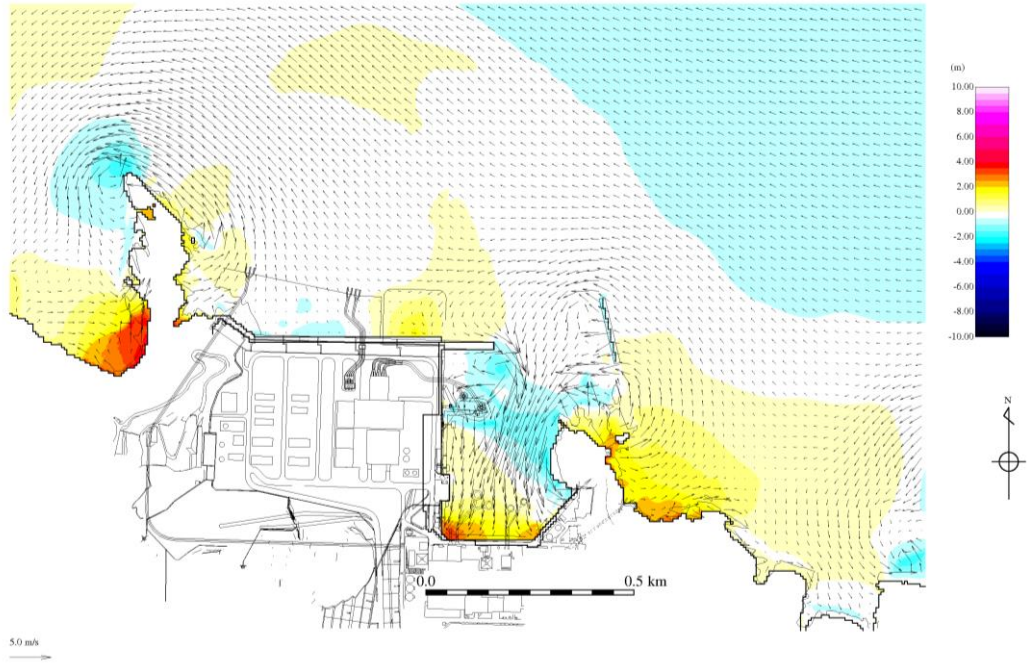


最大水位上昇量分布図
 (消波ブロックをモデル化)

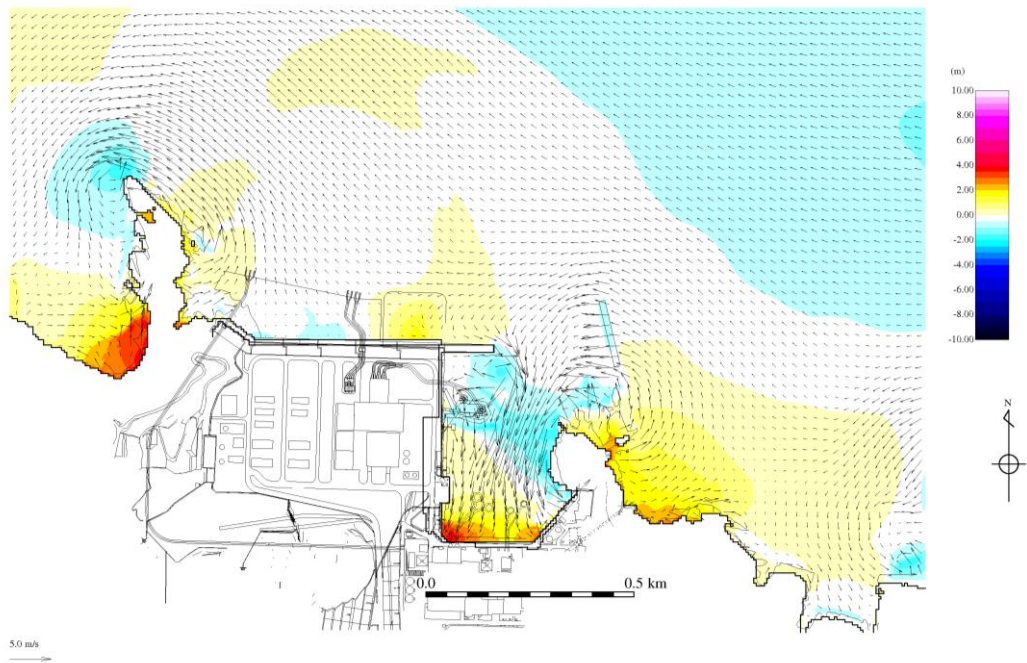


最大水位上昇量分布図
 (消波ブロックをモデル化しない: 基準津波1)

図5-3 最大水位上昇量分布図比較

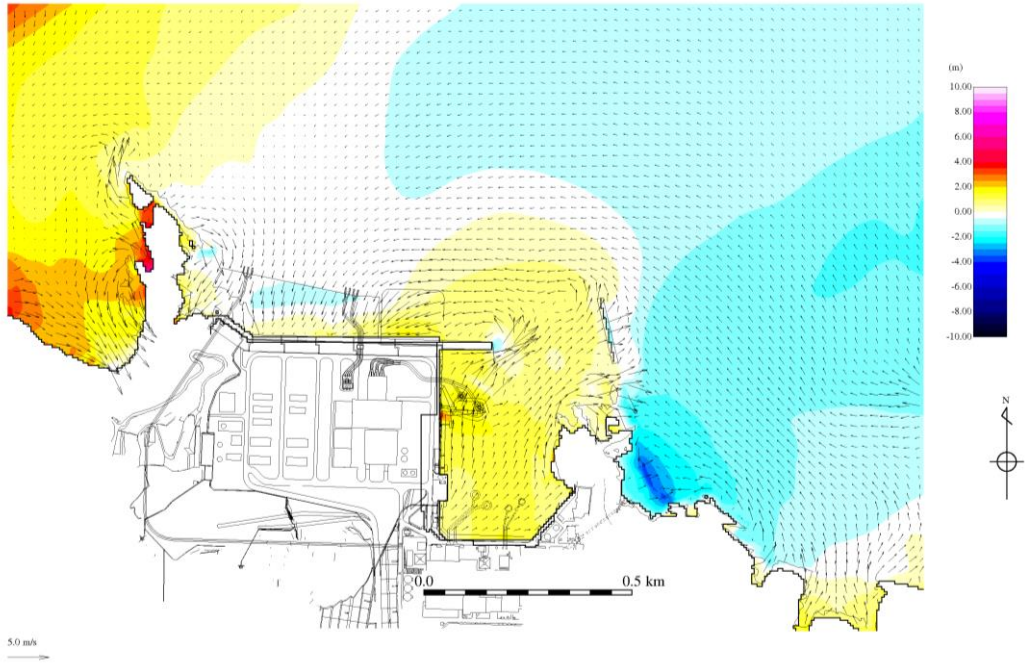


地震発生後190分（消波ブロックをモデル化）

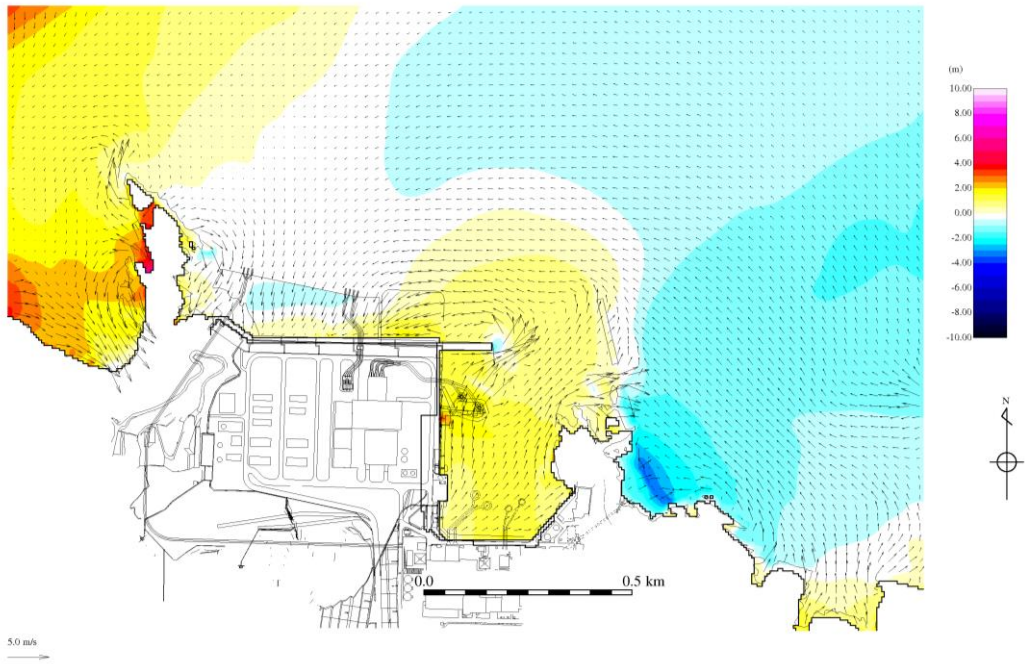


地震発生後190分（消波ブロックをモデル化しない）

図5-4(1) 流向・流速分布図比較

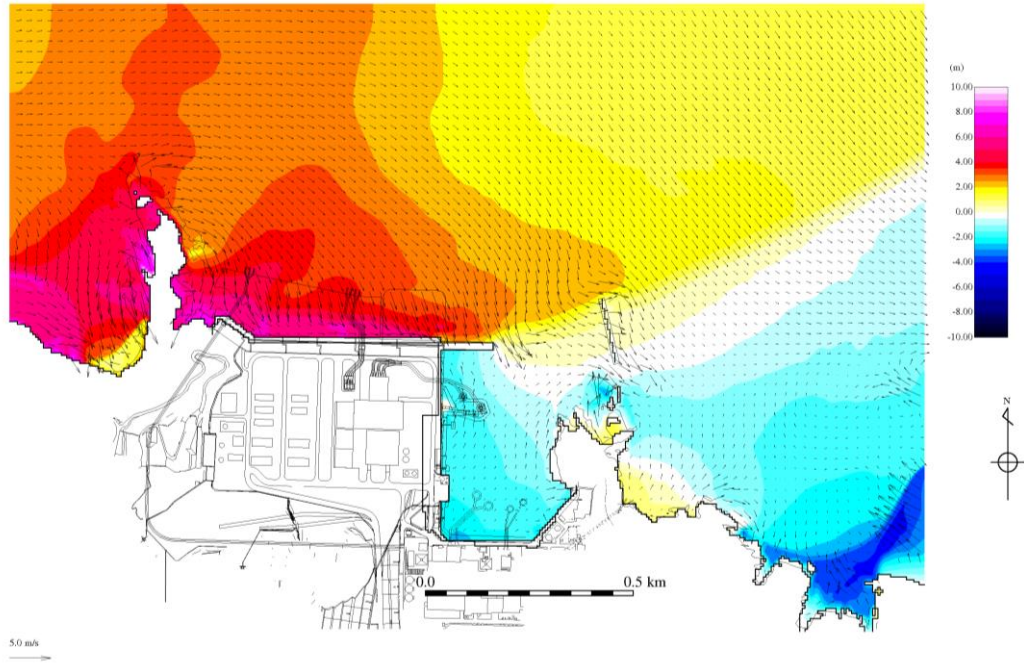


地震発生後191分（消波ブロックをモデル化）

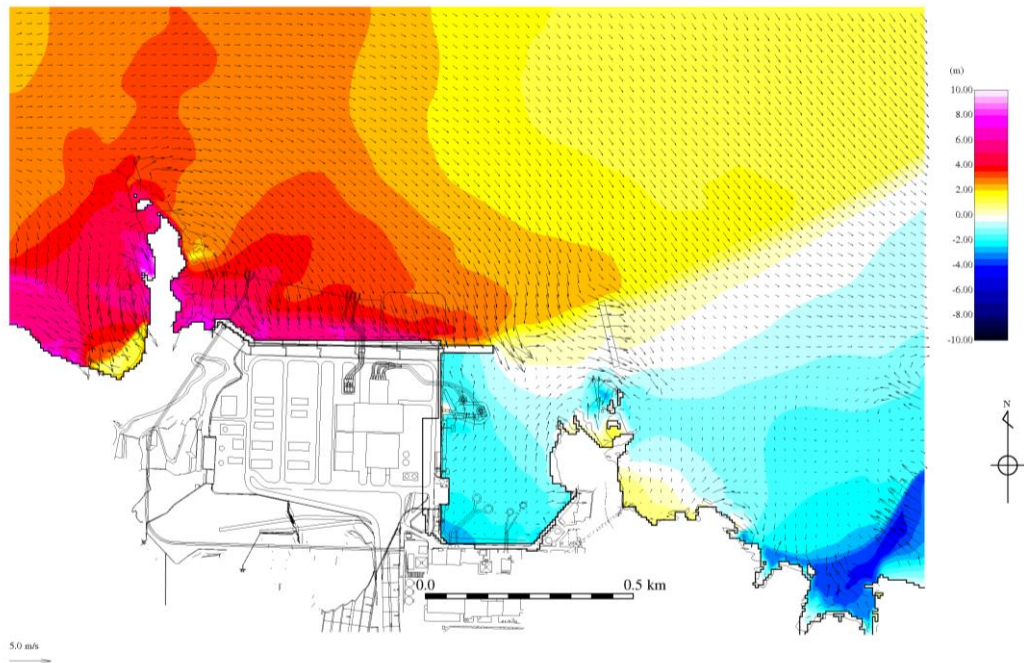


地震発生後191分（消波ブロックをモデル化しない）

図5-4(2) 流向・流速分布図比較

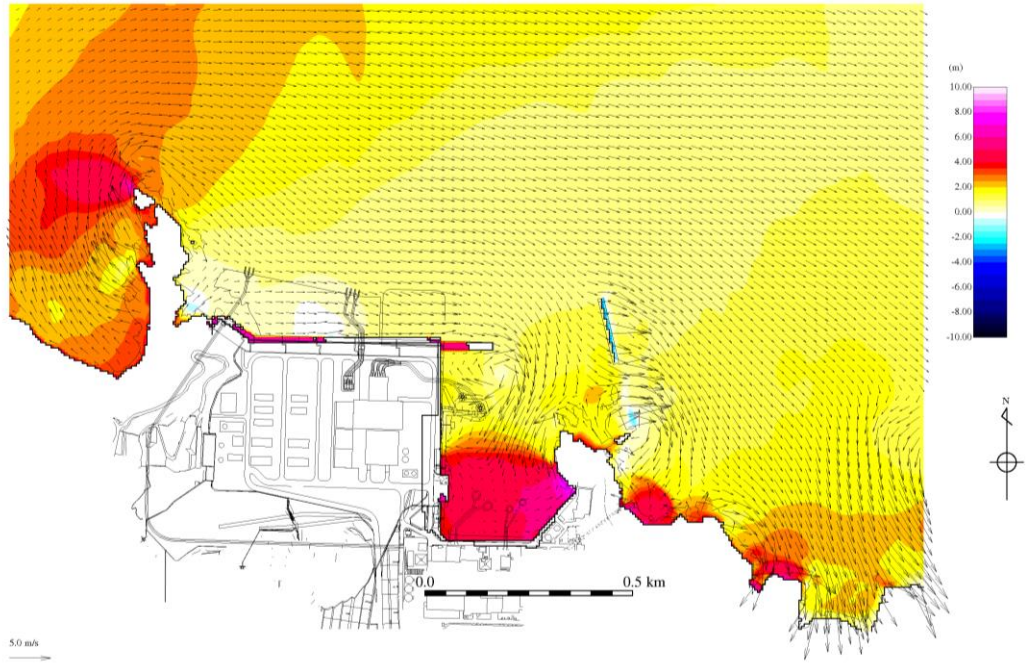


地震発生後192分（消波ブロックをモデル化）

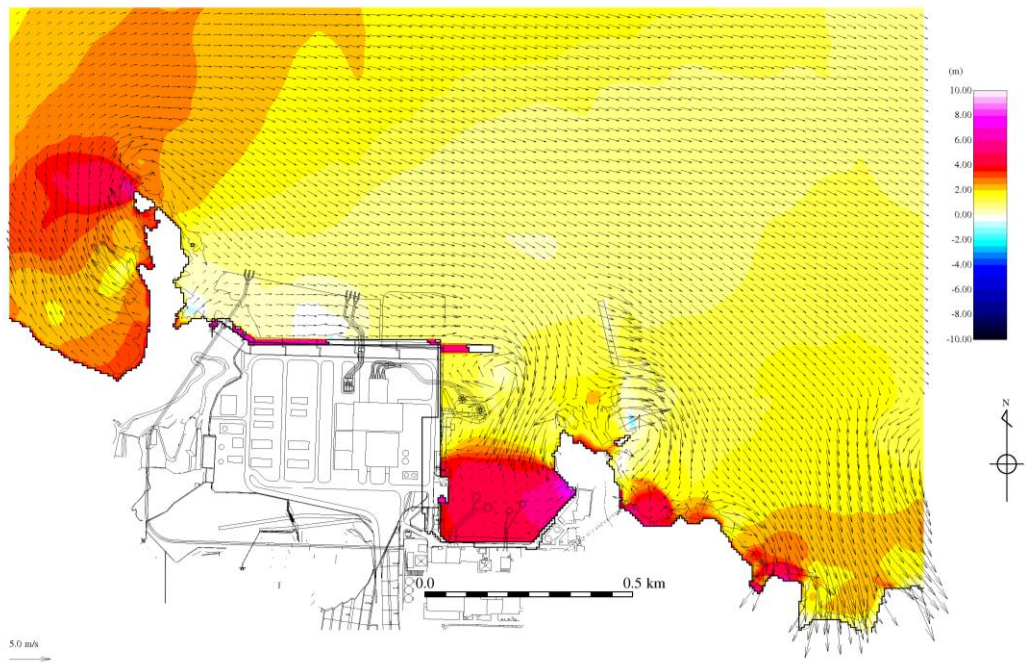


地震発生後192分（消波ブロックをモデル化しない）

図5-4(3) 流向・流速分布図比較



地震発生後193分（消波ブロックをモデル化）



地震発生後193分（消波ブロックをモデル化しない）

図5-4(4) 流向・流速分布図比較