

島根原子力発電所2号炉 審査資料	
資料番号	EP(E)-068改07
提出年月	令和3年1月8日

島根原子力発電所2号炉

耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価(コメント回答)

令和3年1月8日
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項

No.	コメント要旨	審査会合	頁
1	基礎地盤の安定性評価については、液状化影響を考慮したケースの位置付けを明確にしたうえで、液状化影響を考慮し、最も厳しいすべり面の網羅的な探索及び選定を行うこと。	令和2年10月16日 第910回審査会合	P7, 8, 23~28, 3.8章 204~210, 6.6章
2	2次元浸透流解析に用いた水頭固定境界の設定範囲の根拠及びその妥当性について、降雨及び地下水位の流れ等の影響を含めて説明すること。	令和2年10月16日 第910回審査会合	P246~254
3	盛土中の地下水位の長期的なトレンドを確認するため、ボーリング等の地下水位観測に関連するデータを拡充すること。	令和2年10月16日 第910回審査会合	P257~261 補足説明8章
4	2号炉南側盛土斜面の液状化影響検討について、すべり安定性評価におけるすべり面選定の考え方を説明すること。また、ばらつき強度の結果を示すこと。	令和2年10月16日 第910回審査会合	P269, 276
5	防波壁基礎地盤の安定性評価においては、「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」の審査を踏まえ、安定性評価に影響する重量等を考慮して評価すること。	令和2年10月16日 第910回審査会合	P34, 49, 62~68, 76~80, 82~85, 153~ 159, 3.8章 補足説明4章, 6章, 7章

基礎地盤の安定性評価の主な変更点(防波壁(逆T擁壁)の扱い)

〈津波による損傷の防止 防波壁の構造についての設計方針〉

【第888回審査会合(令和2年8月20日)】

- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)について、以下の設計方針見直しを示した。
 - ・鋼管杭の先端部の岩盤根入れが0.5m程度であり、せん断抵抗を見込めないことから「役割に期待しない」とし、杭支持から改良地盤支持とする。
 - ・鋼管杭は改良地盤との相互作用を考慮するため、解析モデルに取り込む。

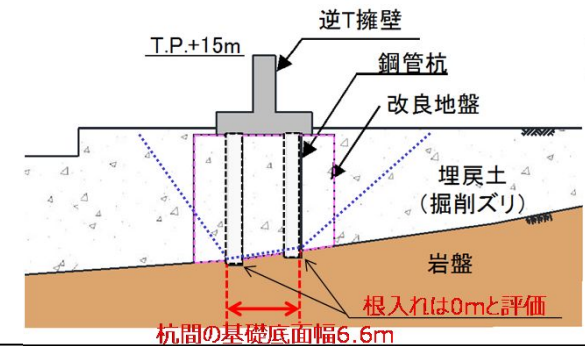
【第909回審査会合(令和2年10月15日)】

- 上記方針を踏まえた防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の構造成立性を示した。

〈基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価〉

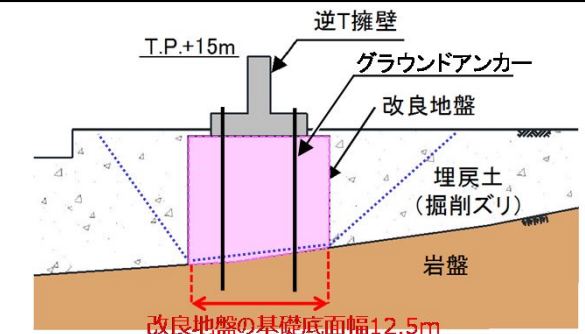
【第910回審査会合(令和2年10月16日)】

- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)基礎地盤の安定性評価においては、設計方針として鋼管杭を解析モデルに取り込むこと、及び基礎底面幅が狭い方がすべり安定上は保守的な評価になると考え、杭幅を影響要因として考慮したことから、これまでのとおり「杭を介して岩盤で支持する施設」のグループに整理した。
- 同一グループの中で防波壁(多重鋼管杭式擁壁)と比較した結果を踏まえ、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を代表施設として選定した。



【今回の説明(令和3年1月8日)】

- 防波壁の構造についての設計方針に係る審査との整合を図るため、杭基礎から改良地盤による直接基礎としてグループ分けの見直しを行い、鋼管杭は、モデル化を取止める。
- 杭基礎から直接基礎への変更に伴い、名称を「防波壁(逆T擁壁)」に見直す。



基礎地盤の安定性評価の主な変更点(液状化を考慮したすべり安定性評価)

3

【第910回審査会合(令和2年10月16日)】

- ・基礎地盤の安定性評価においては、簡便法・動的解析ともに液状化を考慮しない条件を基本ケースとして示し、すべり安全率の最も小さいケースにおいて液状化を考慮した影響検討を行っていた。

【今回の説明(令和3年1月8日)】

- ・簡便法・動的解析ともに液状化を考慮する条件を基本ケースとするよう見直す。
- ・なお、液状化影響を考慮したすべり安定性評価の方法(全応力解析)に関しては、有効応力解析との比較により、妥当性の確認を行う。

1. 評価概要	5
2. 地質の概要	11
3. 基礎地盤の安定性評価	
3.1 評価方針	22
3.2 代表施設の選定	32
3.3 評価対象断面の選定	70
3.4 解析用物性値	101
3.5 評価方法	117
3.6 入力地震動	134
3.7 評価結果	140
3.8 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認	164
4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価	
4.1 評価方針	178
4.2 評価結果	180
5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価	
5.1 評価方針	188
5.2 評価結果	196
6. 周辺斜面の安定性評価	
6.1 評価方針	203
6.2 評価対象斜面の選定	213
6.3 評価方法	235
6.4 2号炉南側盛土斜面における液状化範囲の検討	242
6.5 評価結果	270
6.6 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認	279
7. まとめ	296
参考文献	
【別冊】 補足説明資料	

1. 評価概要

・原子炉建物等の耐震重要施設^{※1}及び重大事故等対処施設^{※2}(以下、「評価対象施設」)の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、「实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(解釈含む)」(以下、「設置許可基準規則」)に適合していることを確認する。

※1 耐震重要度分類Sクラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物、津波防護施設等

※2 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設

<基礎地盤(設置許可基準規則3条, 38条)>

第3条

- 1 耐震重要施設は、次条第2項、第3項の規定により算定する地震力[※]が作用した場合においても当該耐震重要施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。
- 2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

第38条

- 1 重大事故等対処施設は、基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。
- 2 重大事故等対処施設は、変形した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 重大事故等対処施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

<周辺斜面(設置許可基準規則 第4条第4項, 第39条第2項)>

第4条

- 4 耐震重要施設は、前項の地震[※]の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

第39条

- 2 重大事故等対処施設は、第4条第3項の地震[※]の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

※ 地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定する地震力

1. 評価概要

評価概要(2/3)

・評価対象施設における基礎地盤の安定性評価について、設置許可基準規則に基づき、以下の項目について確認する。

設置許可基準規則		確認内容	本資料の対応
本文	別記		
第3条第1項 第38条第1項 施設を十分支持することができる地盤に設けなければならない	本文の「施設を十分支持することができる」＝地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計	・動的解析の結果に基づいて算定した基礎の接地圧が評価基準値を超えないことを確認する。	3章 (及び耐震設計)
	上記に加え、地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、地震力に対する支持性能が確保されてることを確認する	・動的解析の結果に基づく時刻歴のすべり安全率が1.5を上回ることを確認する。 ・ 簡便法・動的解析では、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。 ・なお、杭を介して岩盤で支持する施設は、周囲に分布する地下水位以深の埋戻土、盛土等の液状化特性を考慮した場合においても、杭本体が成立するように設計することから、基礎地盤のすべりとしては、杭体を貫通するようすべりは仮定せず、杭基礎先端以深の基礎地盤を通るすべり面を対象とした評価を実施する。 ・動的解析の結果に基づいて求められた基礎底面の傾斜が評価基準値の目安を超えないことを確認する。	3章
第3条第2項 第38条第2項 施設は変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない	本文の「変形」＝地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み	・地震発生に伴う地殻変動によって生じる地盤の傾斜を算出し、地震動による地盤の傾斜も考慮した最大傾斜が、評価基準値の目安を超えないことを確認する。	5章
	本文の「変形」＝地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状	・施設の設置状況を踏まえ、地震発生に伴う不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等を起因とする施設間の不等沈下が生じないことを確認する。 ・ 施設の詳細設計段階において、液状化、揺すり込み沈下等の変状を考慮した場合においても、施設の機能が損なわれる恐れがないように設計する。	4章 (及び耐震設計)
第3条第3項 第38条第3項 施設は変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない	本文の「変位が生ずるおそれがない地盤」＝震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面が生じるおそれがない地盤	・敷地には将来活動する可能性のある断層等が分布していないことを確認する。	2章

1. 評価概要

評価概要(3/3)

・評価対象施設における周辺斜面の安定性評価について、設置許可基準規則に基づき、以下の項目について確認する。

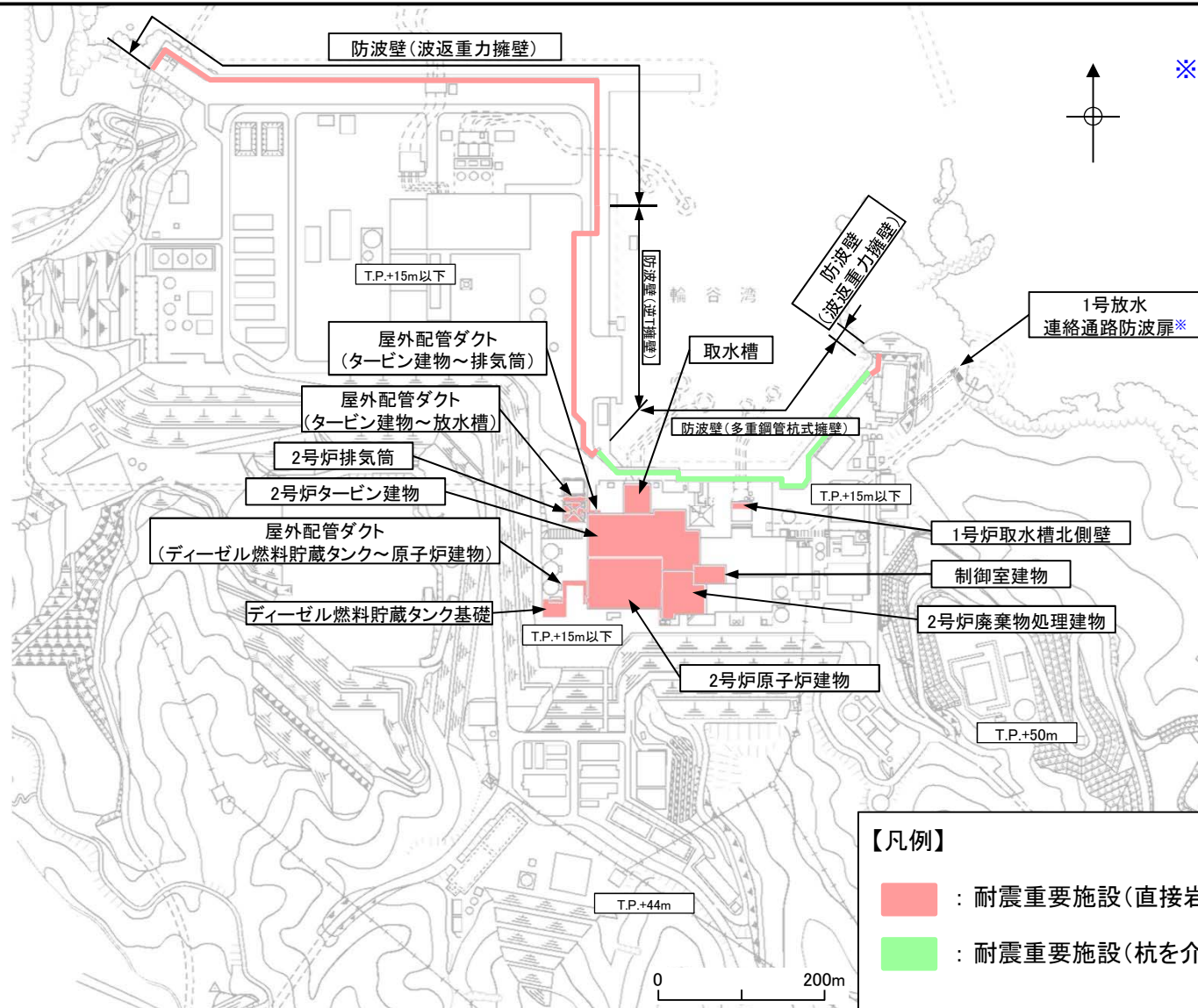
設置許可基準規則		確認内容	本資料の 対応
本文	別記		
<p>第4条第4項 第39条第2項 施設は斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動による安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認する ・崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去あるいは敷地内土木工作物による斜面の保持等の措置を講ずる ・地質・地盤の構造、地盤等級区分、液状化の可能性及び地下水の影響等を考慮する 	<ul style="list-style-type: none"> ・動的解析の結果に基づく時刻歴のすべり安全率が1.2を上回ることを確認する。 ・簡便法・動的解析では、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。 	<p>6章</p>

1. 評価概要

評価対象施設(1/2)

第910回審査会合
資料1-1 P7 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

・設置許可基準規則3条及び4条の対象となる「耐震重要施設」を以下に示す。



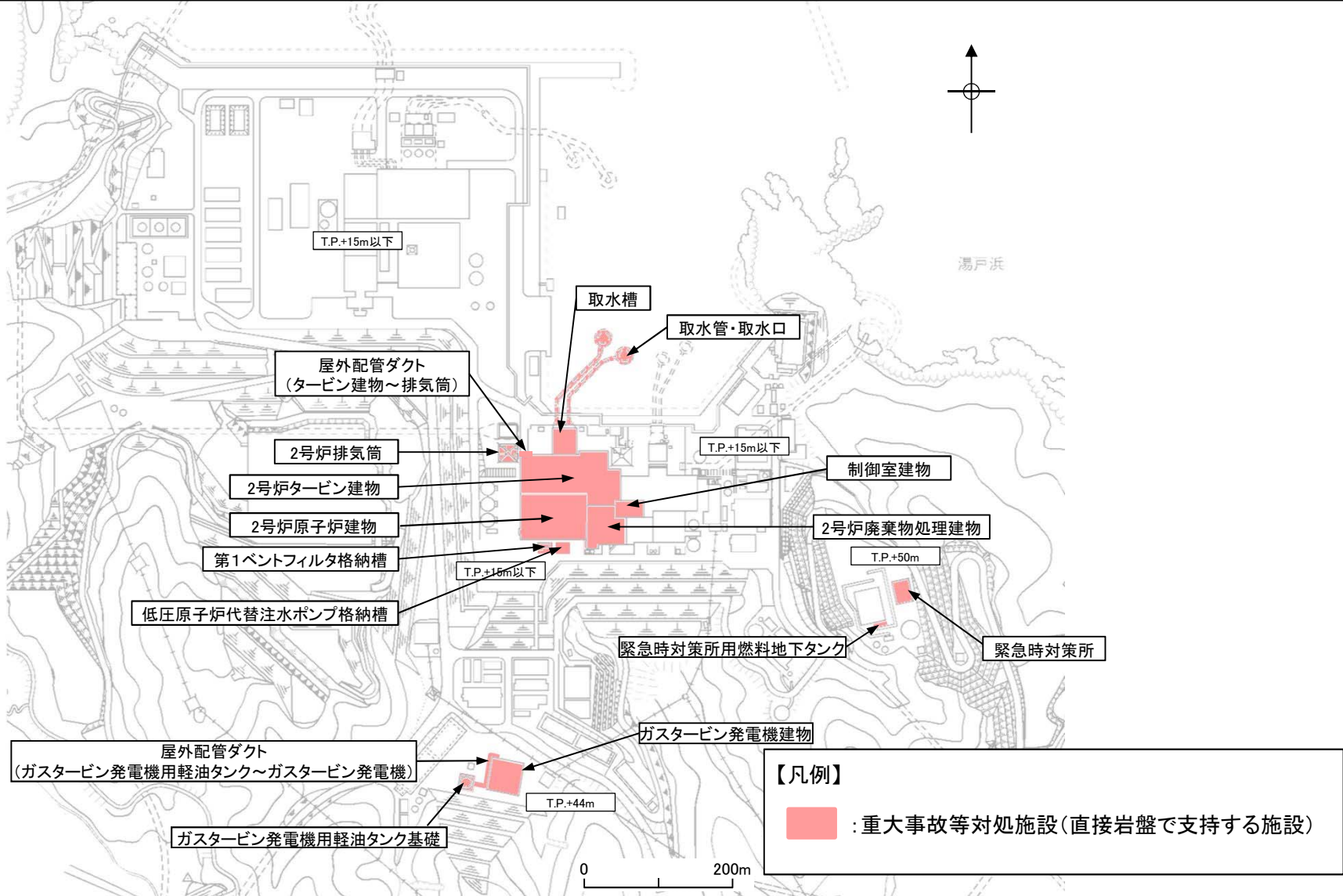
※ 「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査において、1号炉放水連絡通路を閉塞する方針とし、1号放水連絡通路防波扉は津波防護施設(耐震重要施設)から除外することとした。

評価対象施設配置図

1. 評価概要

評価対象施設(2/2)

・設置許可基準規則38条及び39条の対象となる「重大事故等対処施設」を以下に示す。



評価対象施設配置図

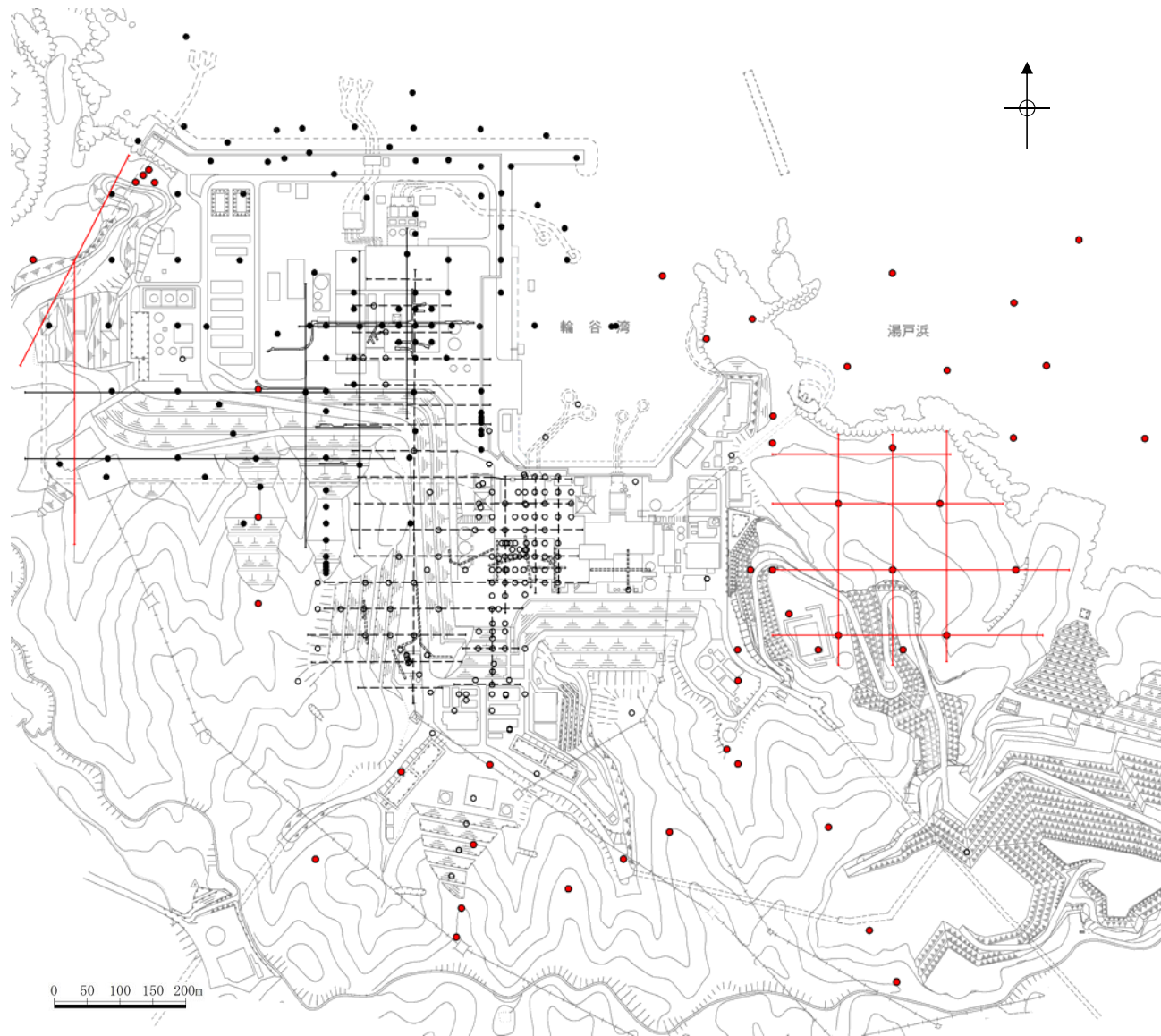
2. 地質の概要

2. 地質の概要

敷地内地質調査内容

第910回審査会合
資料1-1 P10 再掲

12



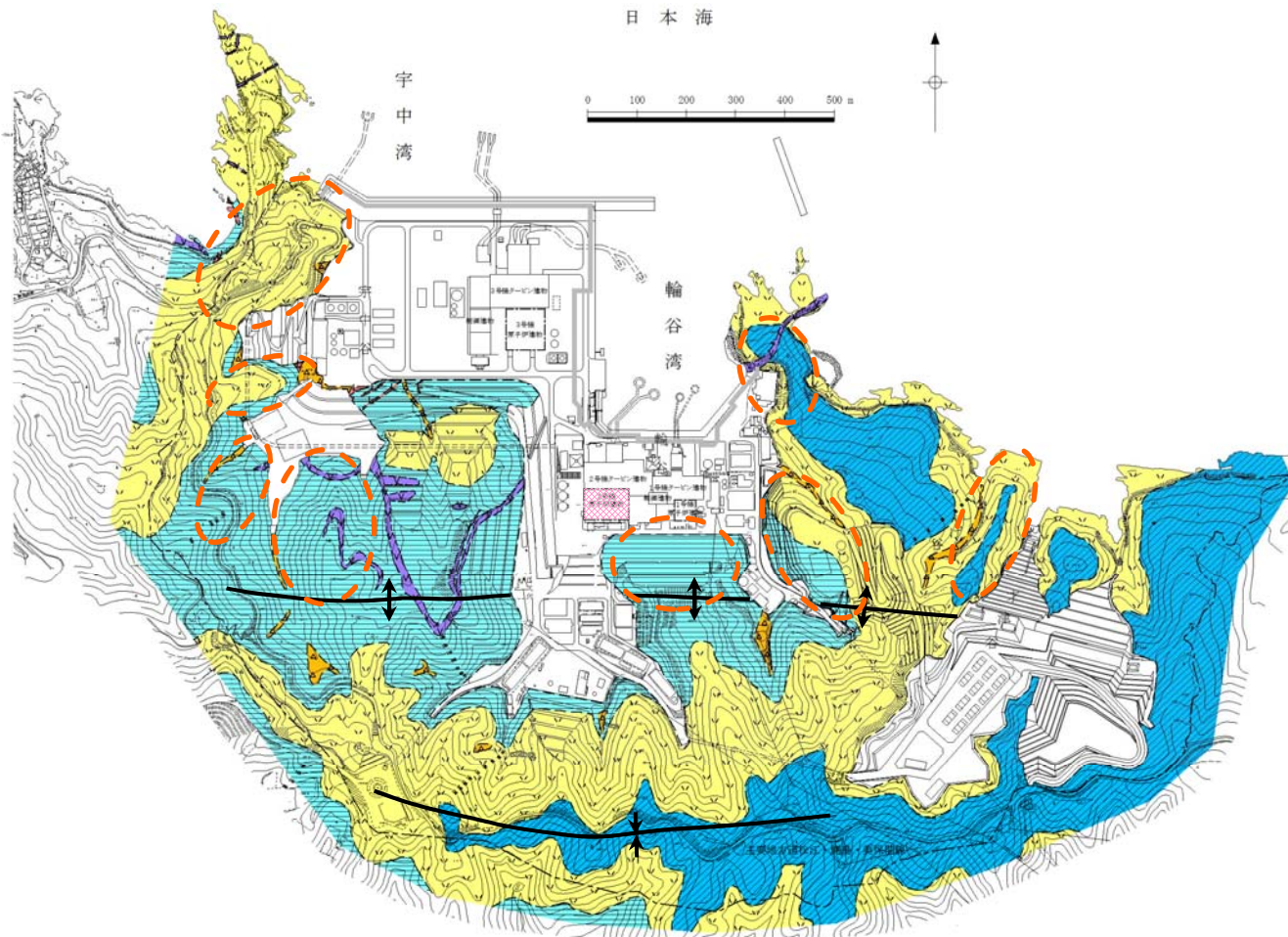
調査項目	1・2号炉調査他 1968～1982年度 2006～2008年度	3号炉調査 1995～2002年度	その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	3,320m (9測線)	11,440m (39測線)
	8,120m (30測線)			
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	49孔 (延4,963m)	317孔 (延26,486m)
	268孔 (延21,523m)			
試掘坑調査	840m	930m	—	1,770m
	1,770m			

凡例

- 1・2号炉調査他ボーリング位置
- 3号炉調査ボーリング位置
- その他調査ボーリング位置
- ┆┆┆┆ 1・2号炉調査他弾性波探査測線
- ┆┆┆┆ 3号炉調査弾性波探査測線
- ┆┆┆┆ その他調査弾性波探査測線
- ┆┆┆┆ 1・2号炉調査試掘坑・試験坑
- ┆┆┆┆ 3号炉調査試掘坑・試験坑

・敷地の地質・地質構造を把握するため、文献調査、地表地質踏査を行うとともに、地表からの弾性波探査、ボーリング調査、試掘坑調査を実施した。

敷地の地質平面図



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質	
第四紀 全新世	被覆層	盛土	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	崖錐堆積物	礫混り砂質土・礫混り粘性土	△△ △△
新生代 中新世	貫入岩類	安山岩	V V
		ドレライト	L L
	成相寺層 上部頁岩部層	黒色頁岩	■ ■
	成相寺層 火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	V V
成相寺層 下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩	■ ■	

- 地質境界線
 - 敷地境界線
 - ↑ ↓ 背斜軸
 - ↓ ↑ 向斜軸
 - 原子炉建物設置位置
 - 流れ盤構造を有する張り出し尾根地形の斜面※
- ※定義は次頁参照

・敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成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。

・敷地の南方には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められる。

・敷地には、連続する破碎部や断層、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。

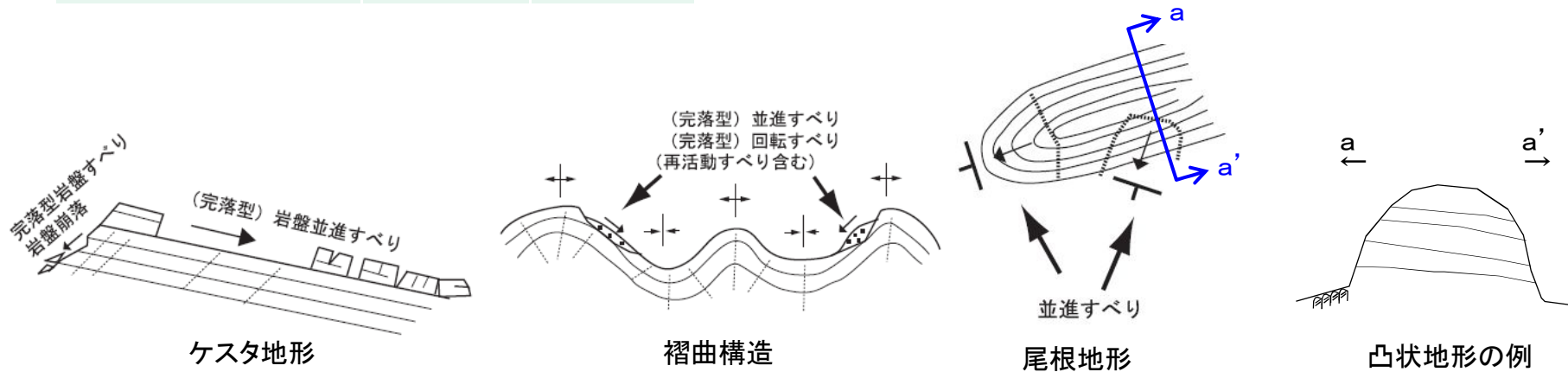
・敷地には、北に傾斜する流れ盤構造を有する張り出し尾根地形が認められることから、斜面崩壊に影響する地形として、流れ盤構造を有する張り出し尾根地形に着目して、斜面の安定性評価を実施する。

【主な地震】

地震名	発生年	マグニチュード
秋田仙北地震	1914	7.1
男鹿地震	1939	6.8
新潟県中越地震	2004	6.8
能登半島地震	2007	6.9
新潟県中越沖地震	2007	6.8
岩手・宮城内陸地震	2008	7.2

【斜面崩壊の特徴】

- ・中新世の礫岩・砂岩・泥岩の互層等の堆積地域では既存の層面断層及び砂岩層の層理面で発生している。
- ・鮮新世の泥岩・砂岩・シルト岩の互層等の堆積地域では岩盤並進すべりの発生が多い。これらの斜面崩壊は地層の不連続面としての層理面や層理面の一部をすべり面とし、地震動の増幅しやすいケスタや張り出し尾根など凸状地形で発生している。
- ・更新世の砂岩・泥岩等の堆積する栗原市荒砥沢ダム地点では湖成堆積層をすべり面とし、傾斜が緩やかである。



層理の発達する堆積岩分布域の斜面崩壊形状
(阿部・林(2011)⁽¹⁾より引用, 凸状地形の例及びその断面位置は加筆)

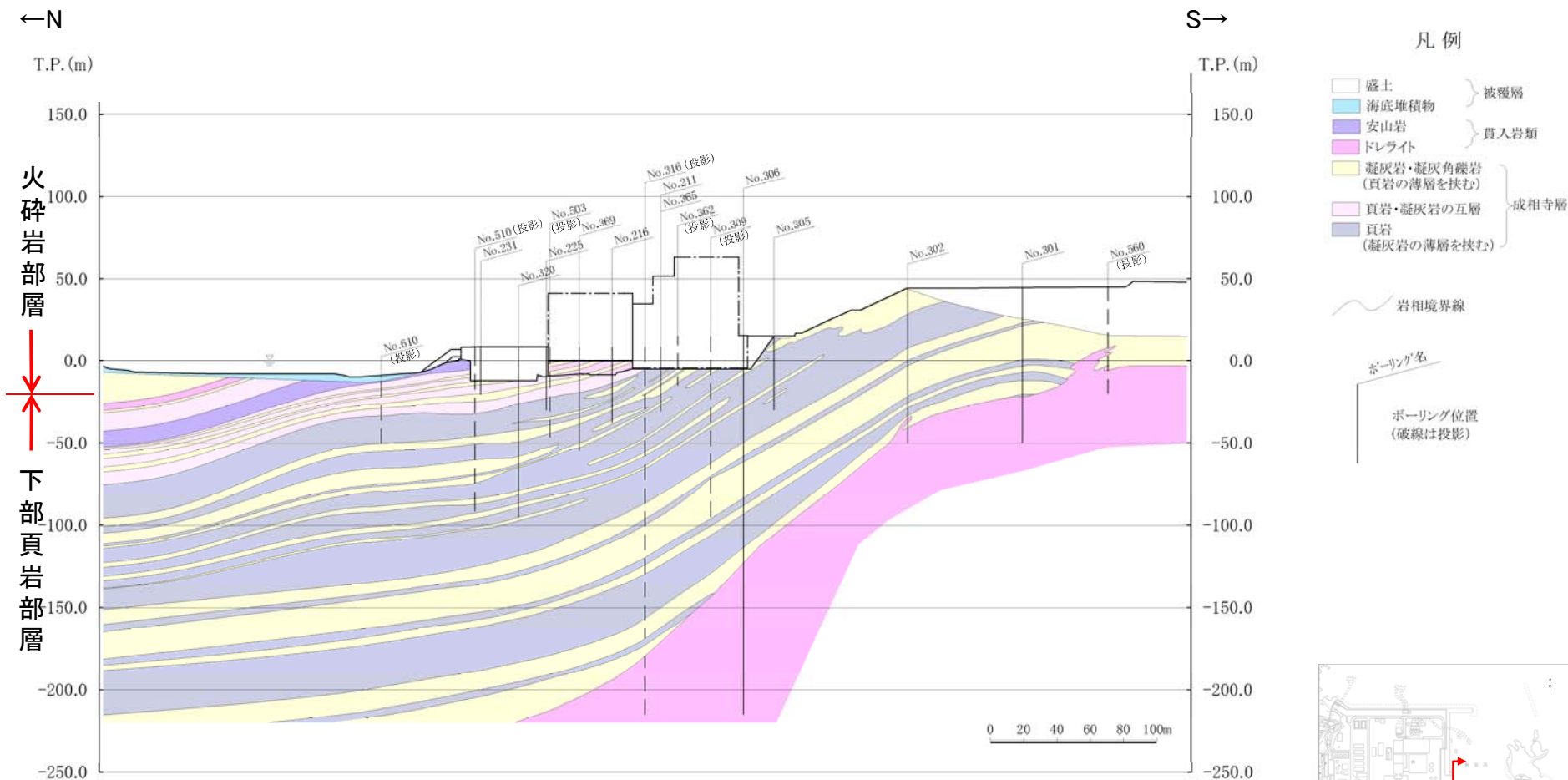
- ・上記の文献に基づき、以下のとおり定義する。
 - ①流れ盤構造を有し、並進すべりが起こる可能性のある地質構造である。
 - ②現地形が、張り出した尾根のように地震動の増幅しやすい凸状地形である。

2. 地質の概要

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物南北断面)

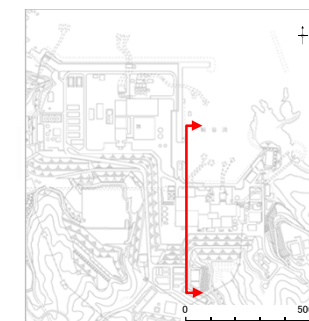
第910回審査会合
資料1-1 P13 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

15



地質鉛直断面図 (2号炉原子炉建物南北断面)

- ・島根サイトには、主として下部頁岩部層，貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は，頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし，凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は，概ね西北西－東南東の走向を示し，北へ向かって約 10° ～ 30° 傾斜している。

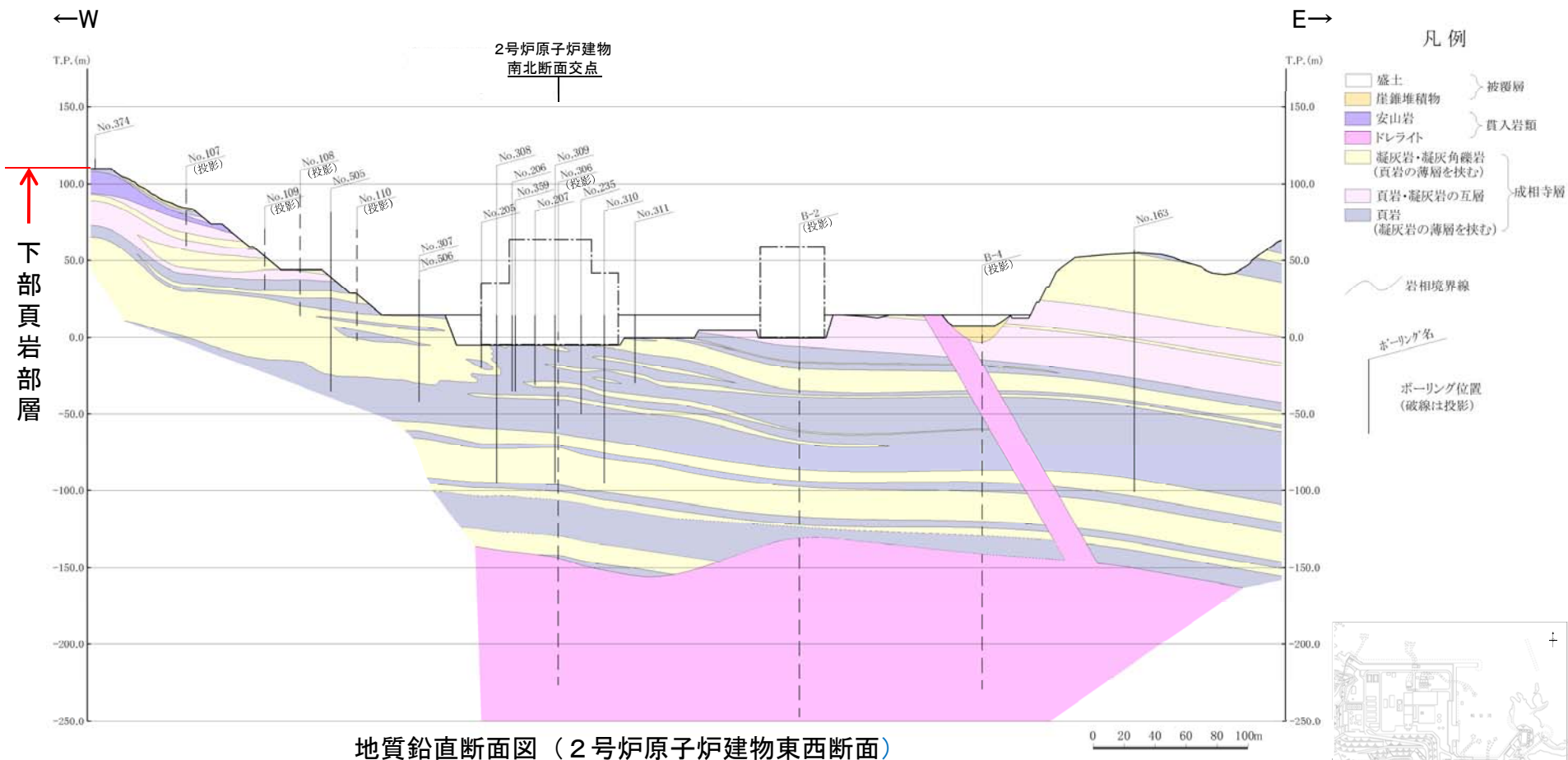


断面位置図

2. 地質の概要

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物東西断面)

第910回審査会合
資料1-1 P14 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、東西方向の地層の傾斜は概ね水平である。

※ その他の地質平面図及び断面図は補足説明資料の1章を参照。

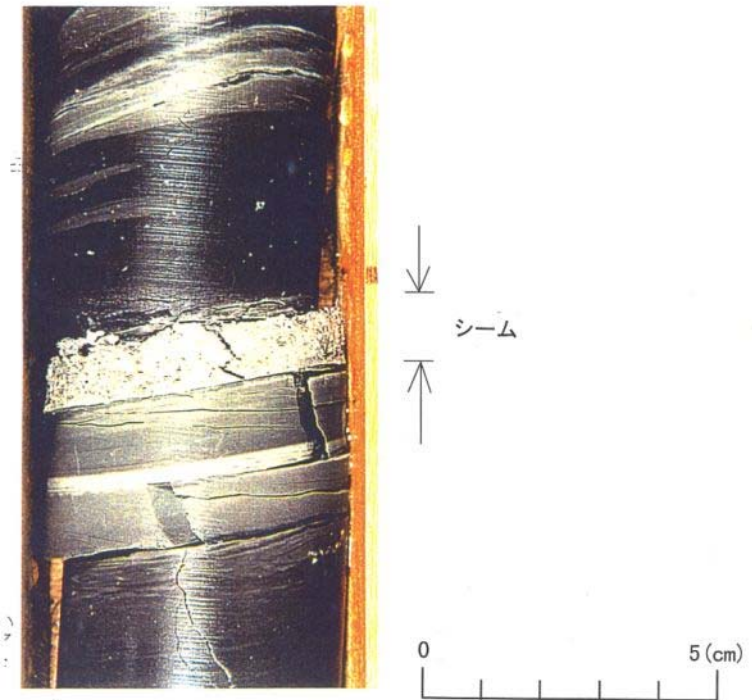
断面位置図

2. 地質の概要

シームの性状(1/2)



3号炉試掘坑 (C-S坑) におけるシーム



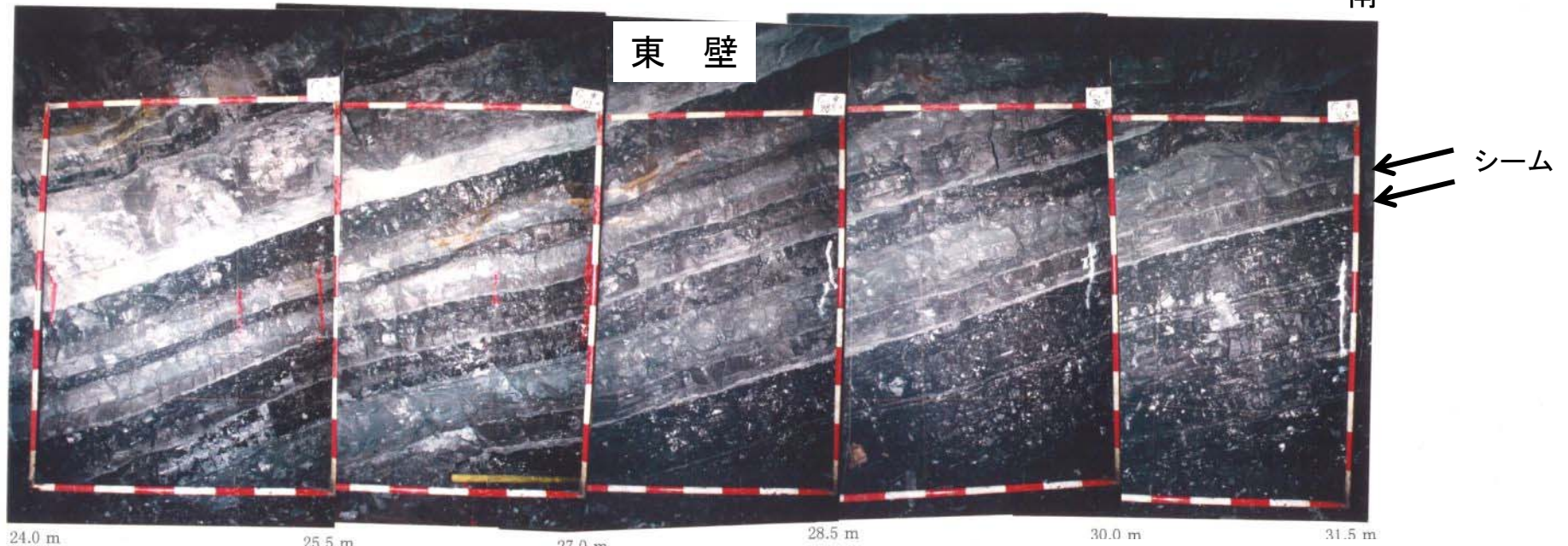
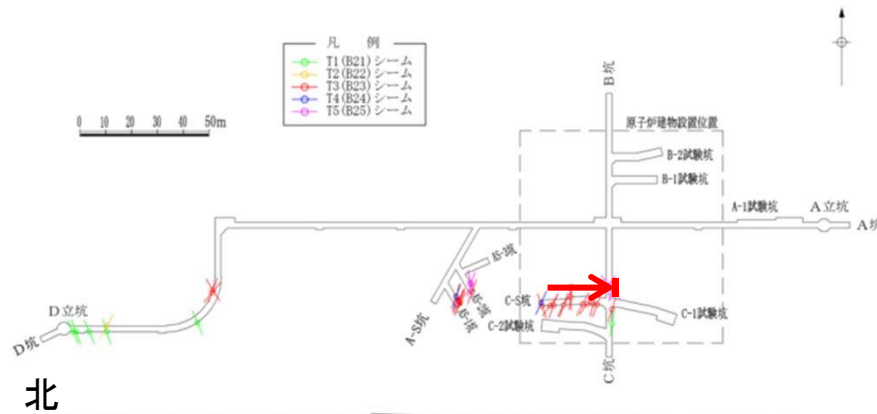
ボーリングコアにおけるシーム

- ・ 試掘坑調査及びボーリング調査の結果、敷地には粘土分を含み、平板状あるいは平面状の形態を持ち、この面に沿って変位している可能性がある薄い粘土層(シーム)が認められる。
- ・ これらのシームは、将来活動する可能性のある断層等には該当しないことを確認している。

※ 敷地の地質・地質構造及びシームの活動性評価については、第318回審査会合(平成28年1月15日)において、「概ね必要な検討がなされている」と評価されている。

2. 地質の概要

シームの性状(2/2)



3号炉試掘坑壁写真

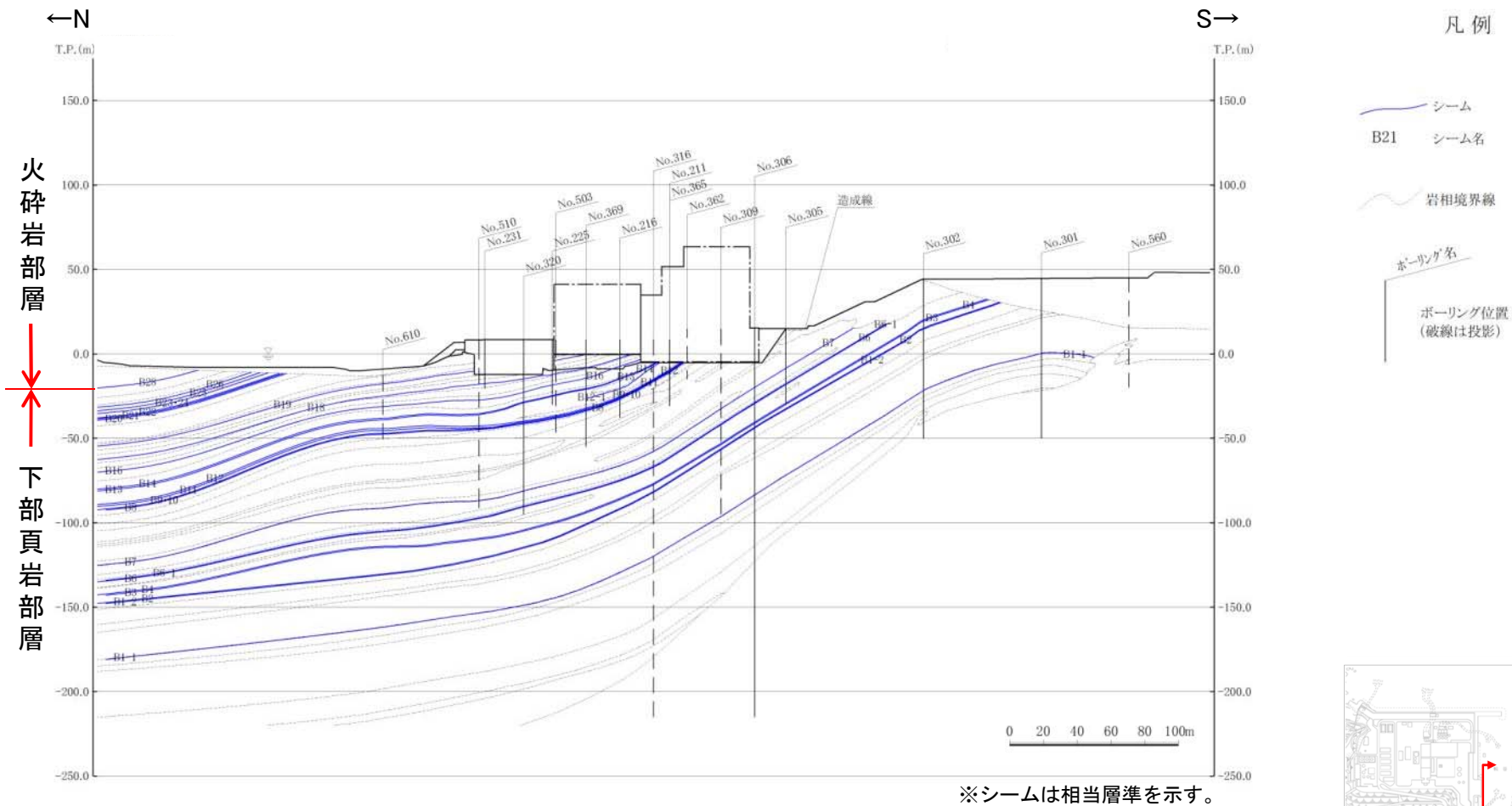
坑名	側壁方向	位置
C坑	東	24.0 m ~ 31.5 m

・シームは、地層を切ることなく、地層と同様の走向・傾斜で分布する。

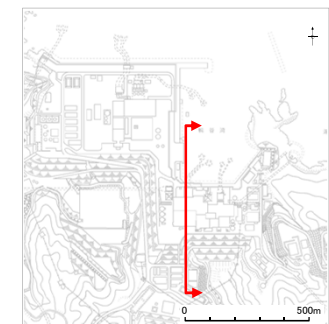
2. 地質の概要

シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物南北断面)

第910回審査会合
資料1-1 P17 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



シーム分布鉛直断面図 (2号炉原子炉建物基礎地盤 (南北))



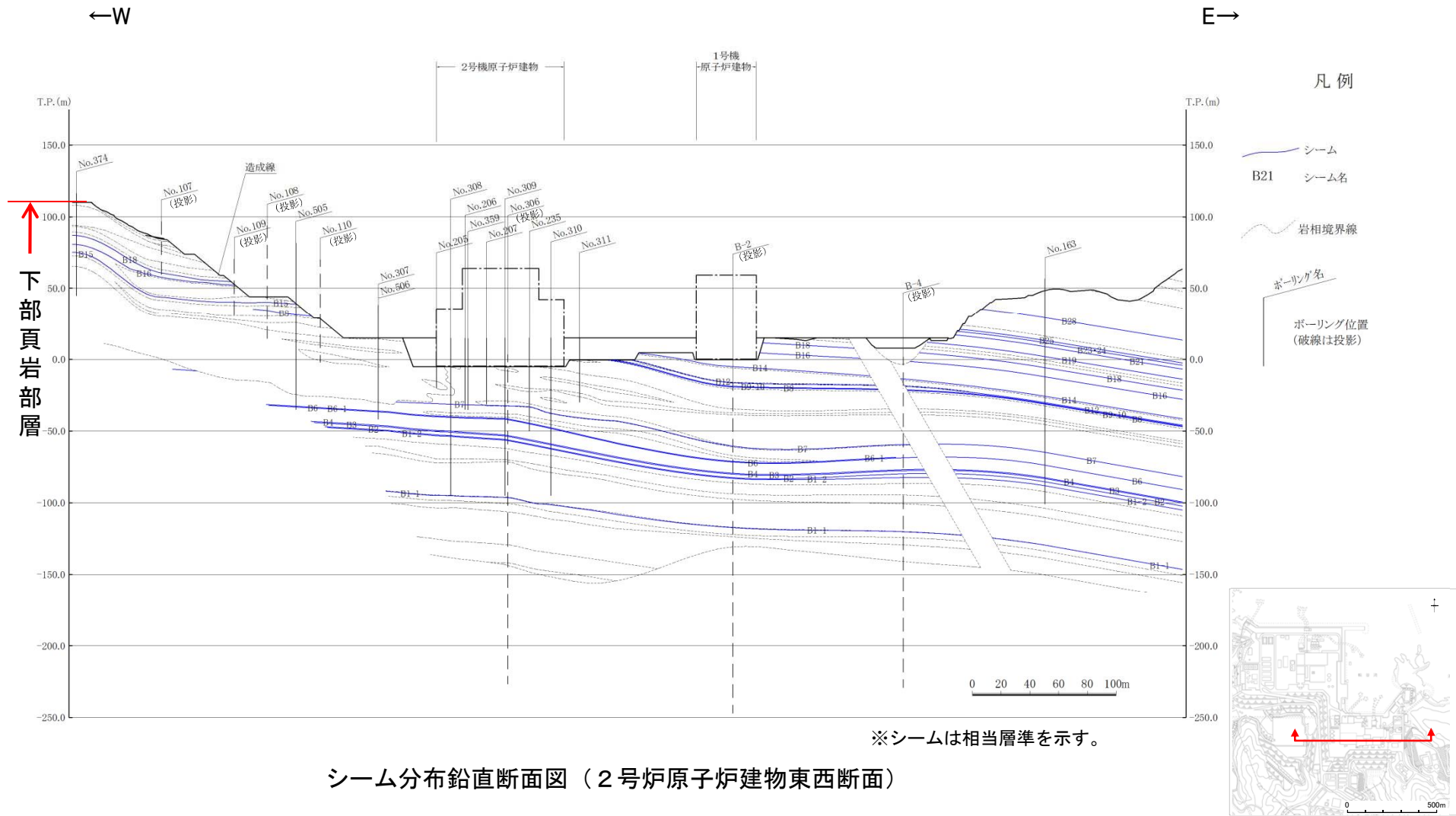
断面位置図

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、緩やかな北傾斜を示す。

2. 地質の概要

シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物東西断面)

第910回審査会合
資料1-1 P18 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



※シームは相当層準を示す。

シーム分布鉛直断面図 (2号炉原子炉建物東西断面)

断面位置図

・シームは、地層の走向・傾斜と同一で、ほぼ水平に分布する。

<敷地の地質・地質構造>

- ・敷地には、連続する破碎部や断層、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。
- ・敷地には、北に傾斜する流れ盤構造を有する張り出し尾根地形が認められることから、斜面崩壊に影響する地形として、当該地形に着目して斜面の安定性評価を実施する。
- ・敷地には、平板状あるいは平面状の形態を持ち、この面に沿って変位している可能性のある薄い粘土層(シーム)が認められるが、将来活動する可能性のある断層等には該当しないことを確認している。

3. 基礎地盤の安定性評価

3. 1 評価方針

評価方針

・評価対象施設における基礎地盤の安定性評価について、設置許可基準規則に基づき、以下の項目について確認する。

＜地震力に対する基礎地盤の安定性評価における評価項目＞

評価対象施設が設置される地盤について、基礎地盤のすべり、基礎の支持力及び基礎底面の傾斜の観点から確認する。

なお、基礎地盤の安定性評価においては、地下水位低下設備の機能に期待する建物・構築物の周辺地盤に関しても、保守的に液状化を考慮した評価を実施する。

1) 基礎地盤のすべり

- ・評価対象施設の選定、評価対象断面の選定及びすべり安定性評価における簡便法・動的解析では、地下水位以深の埋戻土等の液状化によるせん断強度の低下を考慮する。
- ・動的解析の結果に基づき、基礎地盤を通るすべり面を仮定し、そのすべり安全率を算定する。
- ・動的解析における時刻歴のすべり安全率が1.5を上回ることを確認する。
- ・なお、杭を介して岩盤で支持する施設は、周囲に分布する地下水位以深の埋戻土、盛土等の液状化特性を考慮した場合においても、杭本体が成立するように設計することから、基礎地盤のすべりとしては、杭体を貫通するようなすべりは仮定せず、杭基礎先端以深の基礎地盤を通るすべり面を対象とした評価を実施する。

2) 基礎の支持力

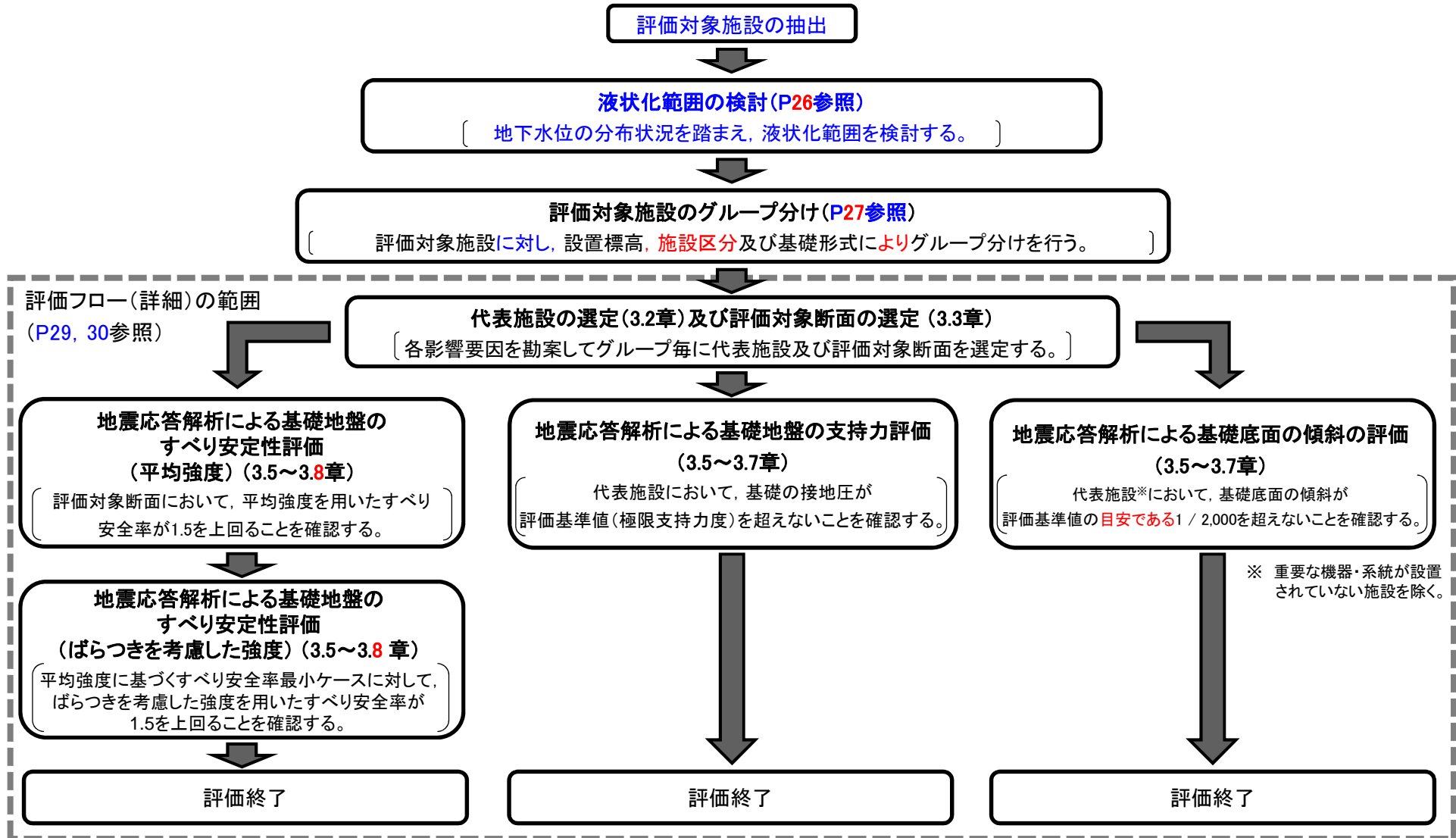
- ・原位置試験の結果等に基づいて基礎の支持力の評価基準値を設定する。
- ・動的解析の結果に基づいて算定した基礎の接地圧が評価基準値を超えないことを確認する。

3) 基礎底面の傾斜

- ・一般建築物の構造的な障害が発生する限界値の目安を参考に、基礎底面の傾斜1/2,000を評価基準値に設定する。
- ・動的解析の結果に基づいて求められた基礎底面の傾斜が評価基準値の目安を超えないことを確認する。

評価フロー(全体概要)

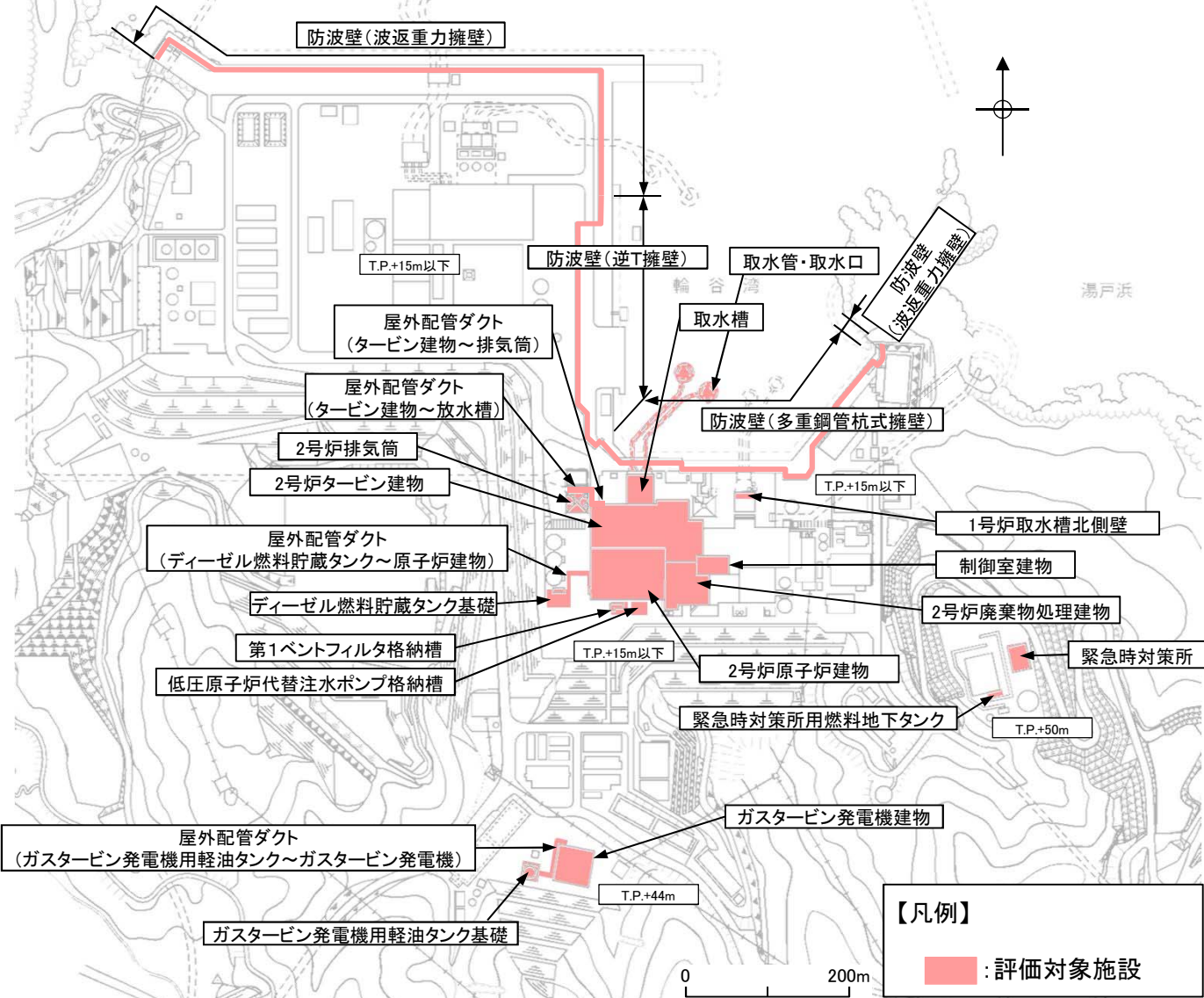
・基礎地盤の安定性評価の評価フロー(全体概要)を以下に示す。



評価フロー(全体概要)

評価対象施設の網羅的な抽出

・ 評価対象施設(「耐震重要施設」及び「重大事故等対処施設」)を以下に示す。



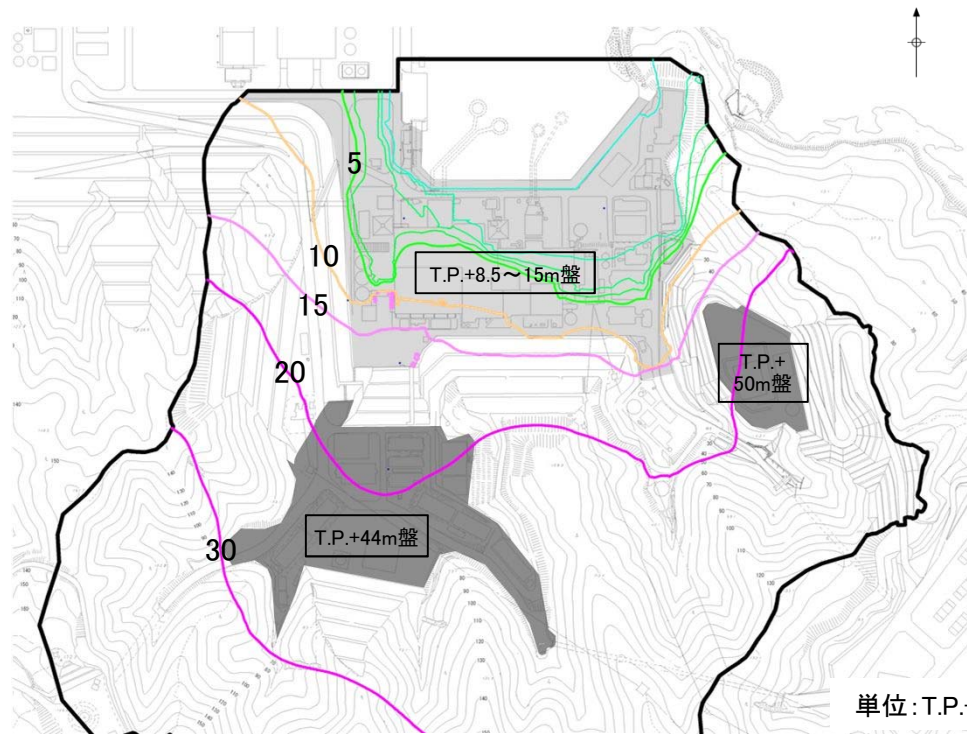
評価対象施設配置図

※耐震重要施設	2号炉原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉廃棄物処理建物
	制御室建物
	取水槽
	2号炉排気筒
	屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)
	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)
	防波壁(波返重力擁壁)
	防波壁(逆T擁壁)
評価対象施設	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
	1号炉取水槽北側壁
	屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
	第1ベントフィルタ格納槽
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽
	取水管・取水口
	ガスタービン発電機建物
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎
	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)
重大事故等対処施設	緊急時対策所
	緊急時対策所用燃料地下タンク

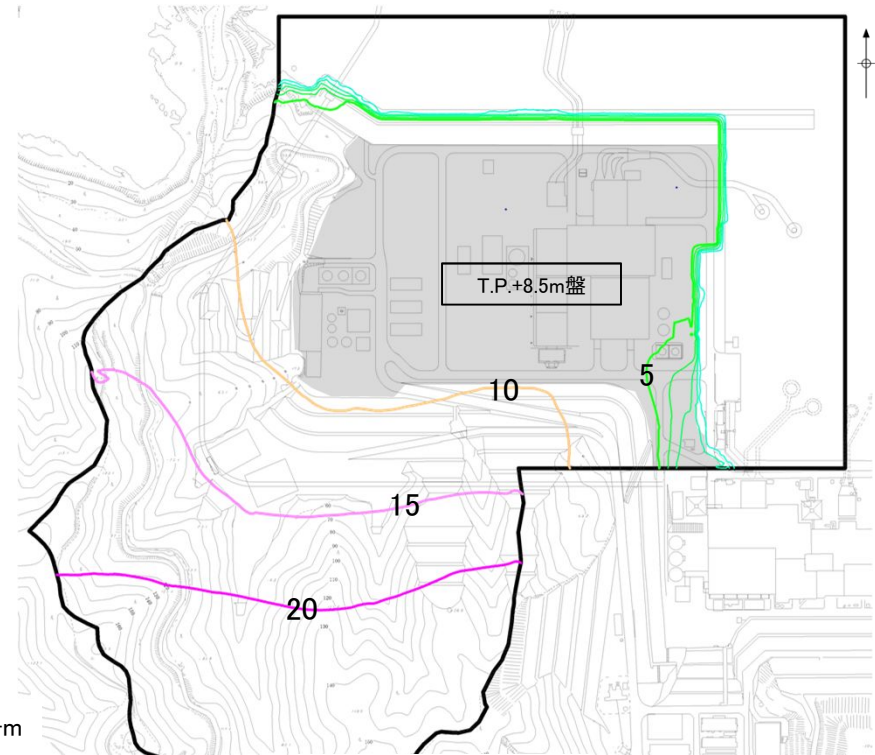
※ 重大事故等対処施設を兼ねる施設を含む。

液状化範囲の検討

- ・地下水位以深の埋戻土等については、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。
- ・液状化範囲の検討に当たっては、3次元浸透流解析結果の大局的な地下水位分布の傾向を参照し、保守的に地下水位を設定する。



1, 2号炉エリア



3号炉エリア

3次元浸透流解析結果(定常解析)の等水位線図

※「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止(コメント回答) [地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日)において説明済

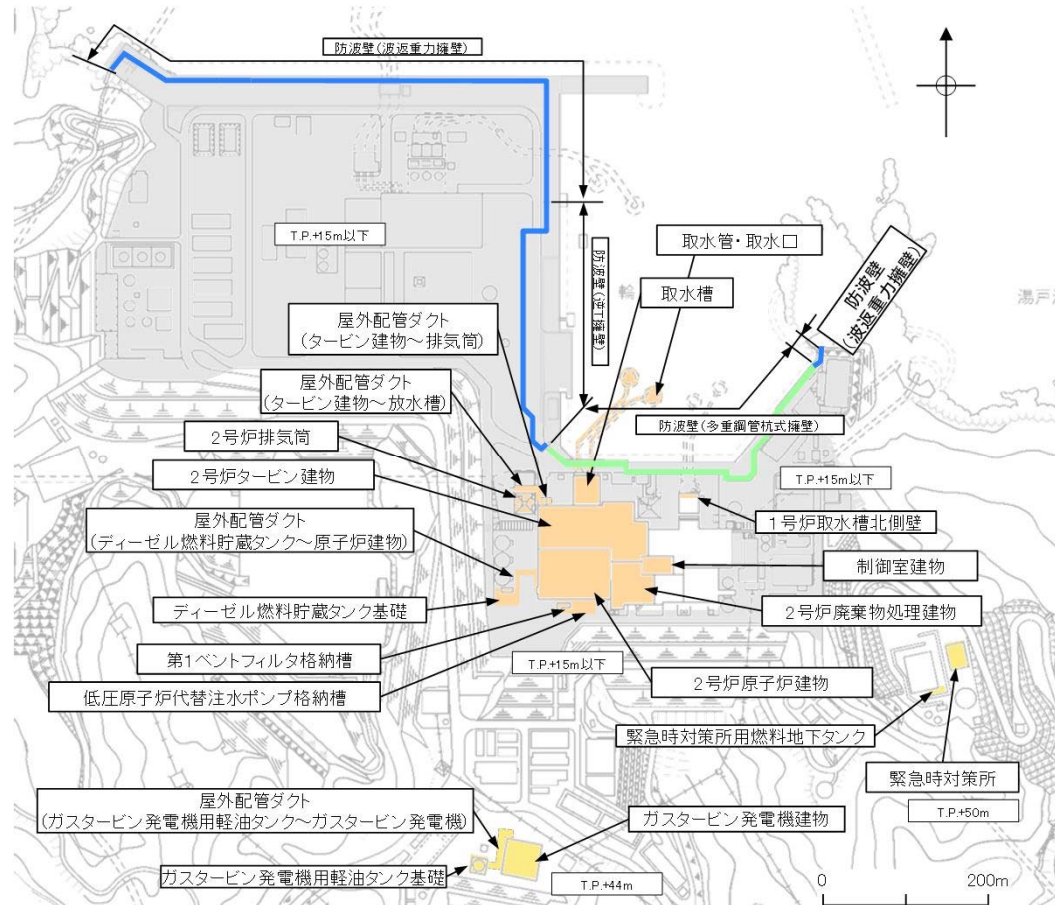
- ・T.P.+8.5~15m盤では、地表面付近まで地下水位が上昇することから、T.P.+8.5~15m盤に設置されている評価対象施設基礎地盤の安定性評価においては、地表面に地下水位を設定し、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。
- ・T.P.+44~50m盤では、地下水位は地表面より20m程度深いことから、T.P.+44~50m盤に設置されている評価対象施設基礎地盤の安定性評価においては、液状化によるせん断強度の低下を考慮しない。

評価対象施設のグループ分け

・評価対象施設は、以下の観点からグループ分けを行う。

- ①液状化範囲の検討結果及び地震増幅特性の違いを踏まえ、T.P.+8.5～15m盤に設置されている評価対象施設とT.P.+44～50m盤に設置されている評価対象施設に区分する。
- ②線状構造物の背後に埋戻土が広く分布する防波壁については、液状化の影響が大きいと考えられるため、防波壁とそれ以外に区分する。
- ③基礎形式に応じて、杭基礎と直接基礎に区分する。

・上記に従いグループ分けを行った結果、グループA(T.P.+15m盤以下、防波壁以外、直接基礎)、グループB(T.P.+44～50m盤、防波壁以外、直接基礎)、グループC(T.P.+15m盤以下、防波壁、杭基礎)、グループD(T.P.+15m盤以下、防波壁、直接基礎)の4つのグループに分類した。



グループ分類	①設置標高	②施設区分	③基礎形式
グループA	T.P.+15m盤以下	防波壁以外	直接基礎
グループB	T.P.+44～50m盤	防波壁以外	直接基礎
グループC	T.P.+15m盤以下	防波壁	杭基礎
グループD	T.P.+15m盤以下	防波壁	直接基礎

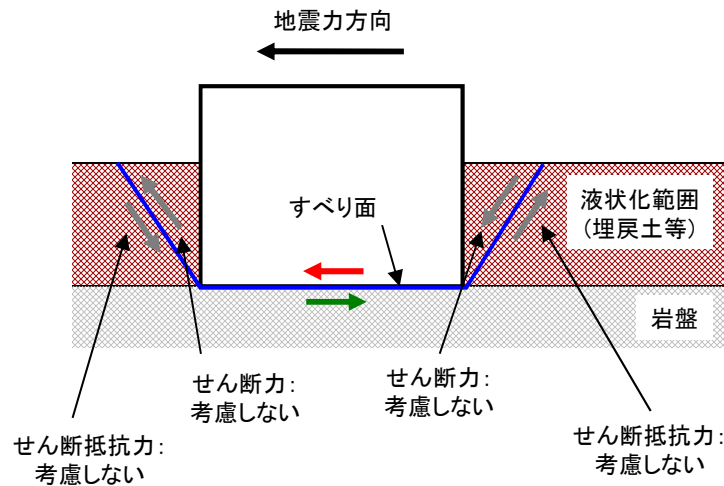
【凡例】

- :グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)
- :グループB(T.P.+44～50m盤, 防波壁以外, 直接基礎)
- :グループC(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 杭基礎)
- :グループD(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎)

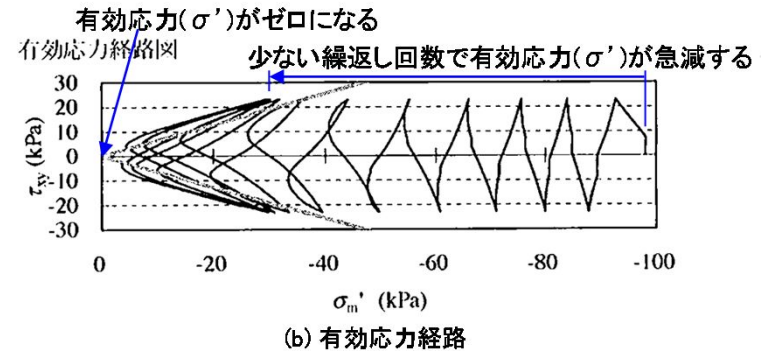
液状化影響を考慮したすべり安全率の算定方法(簡便法, 動的解析)

【液状化に伴う事象の想定】

- ・液状化が発生すると、地盤の有効応力がゼロまで低下して液体の挙動を示し、地盤が応力を受け持たずに流動化することから、液状化範囲の地盤応力は限りなく小さくなる。



すべり安全率の算定方法(簡便法, 動的解析) イメージ図



液状化試験の例(液状化する場合)
井合進: サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌, H20.10

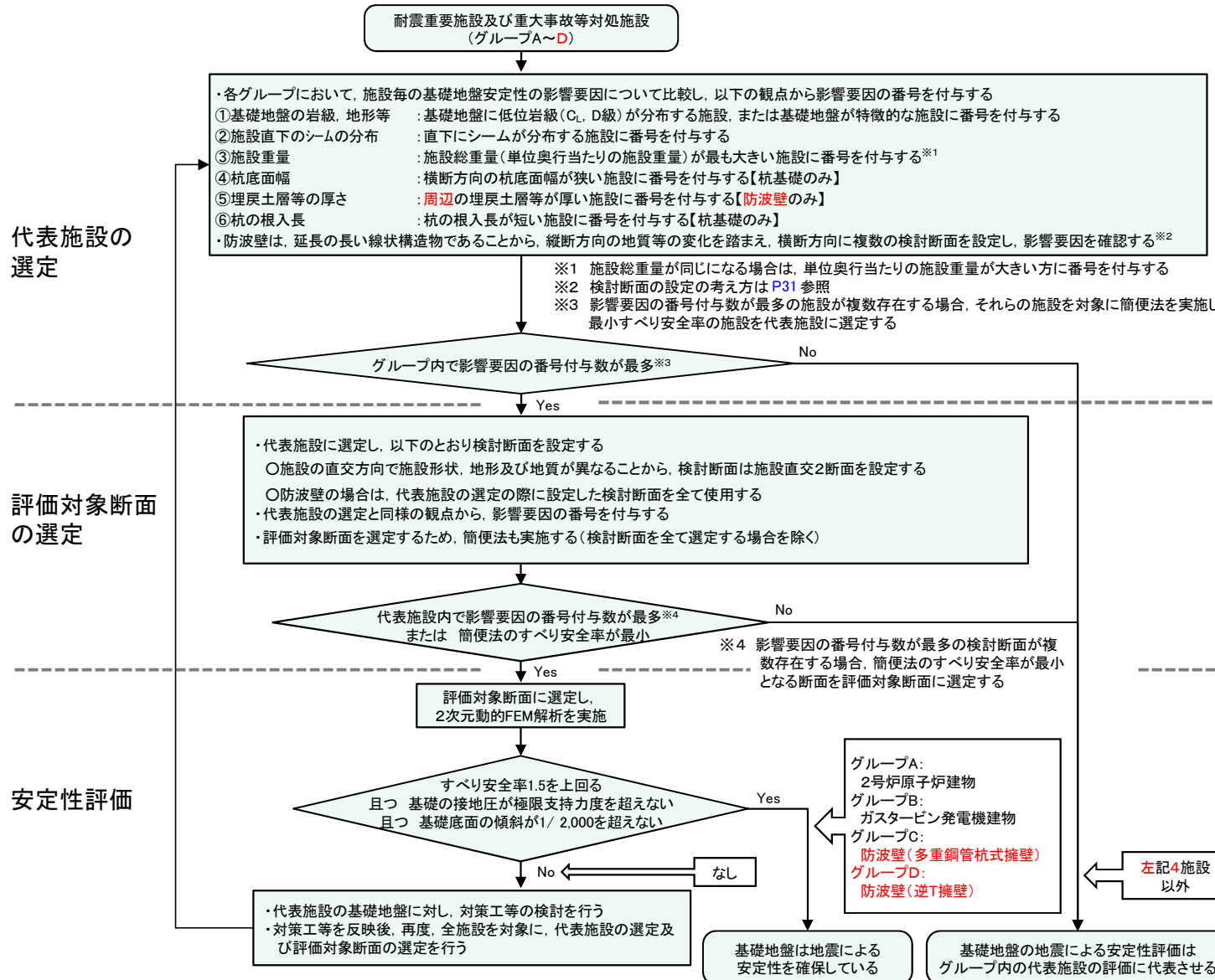
【液状化影響を考慮したすべり安全率の算定方法】

- ・上記の現象を踏まえ、簡便法及び動的解析(全応力解析)の液状化影響を考慮したすべり安全率について、液状化範囲におけるすべり面上のせん断力及びせん断抵抗力は考慮しない。
- ・液状化影響を考慮したすべり安定性評価は、岩盤のみのすべりを評価することと同義になるため、岩盤の安定性に着目した影響要因(①基礎地盤の岩級, 地形等, ②施設直下のシームの分布 等)を比較検討することで、定性的に評価できると考えられる。
- ・なお、液状化影響を考慮したすべり安定性評価の方法に関しては、3. 8章及び6. 6章において、液状化した場合の地盤応力の減少を考慮できる有効応力解析との比較により、妥当性の確認を行う。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.1 評価方針

評価フロー(詳細)

・評価対象施設について、以下に示すフローに基づき、基礎地盤の安定性評価を行う。



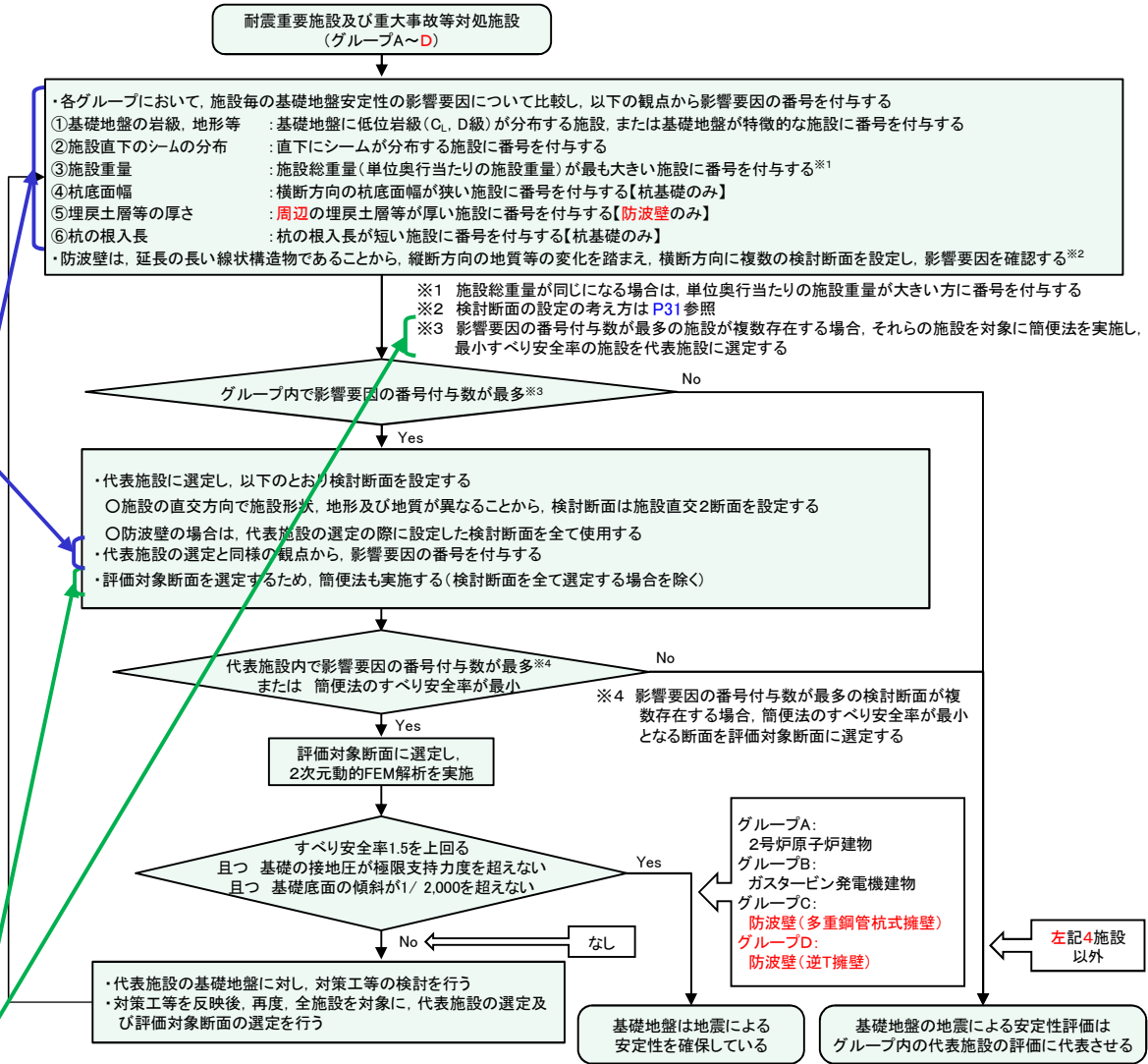
3. 基礎地盤の安定性評価 3.1 評価方針

評価方法

第910回審査会合
資料1-1 P26 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

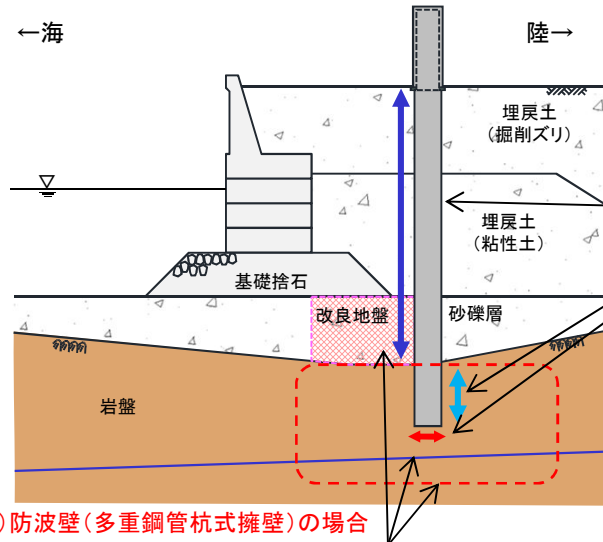
・代表施設及び評価対象断面の選定は、以下に示す影響要因及び簡便法のすべり安全率を踏まえて行う。

影響要因	内容
①基礎地盤の岩級、地形等	<ul style="list-style-type: none"> ・C_L級、D級の低位岩級は、C_H級、C_M級の高位岩級に比べてせん断強度が低い。 ・基礎地盤周辺の地形が急勾配等、基礎地盤が特徴的である場合、せん断強度が低くなる可能性がある。
②施設直下のシームの分布	<ul style="list-style-type: none"> ・施設直下にシームが分布すると、シームによりすべり土塊が形成される可能性がある。
③施設重量 (単位奥行当たりの施設重量)	<ul style="list-style-type: none"> ・施設重量(単位奥行当たりの施設重量)が大きいくほど、慣性力により基礎地盤に作用する起動力が大きくなる。
④杭底面幅 【杭基礎のみ】	<ul style="list-style-type: none"> ・底面すべりにおいて、横断方向の杭底面幅が狭いほど、せん断強度の大きい岩盤を通るすべり面が短くなり、せん断抵抗力が小さくなる。
⑤埋戻土層等の厚さ 【防波壁のみ】	<ul style="list-style-type: none"> ・埋戻土層等が厚いほど、すべり土塊の重量が大きくなり、基礎地盤に作用する起動力が大きくなる。
⑥根入れ長 【杭基礎のみ】	<ul style="list-style-type: none"> ・杭の根入れ長が短いほど、せん断強度の大きい岩盤を切り上げるすべり面が短くなり、せん断抵抗力が小さくなる。



【簡便法によるすべり安全率】
・JEAG4601-2015に基づく静的震度「 $K_H=0.2$, $K_V=0.1$ 」を用いた簡便法により、すべり安全率を算定する。

防波壁における検討断面の設定の考え方



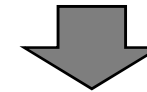
(例)防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の場合

STEP1: 施設の構造毎の区分

施設の構造により施設重量, 底面幅, 根入れ長等が変わることから, 縦断面図において, 基礎地盤の安定性評価の観点から施設の構造で区分する。

関連する影響要因:

- 影響要因③: 単位奥行当たりの施設重量
- 影響要因④: 杭底面幅【杭基礎のみ】
- 影響要因⑥: 根入れ長【杭基礎のみ】

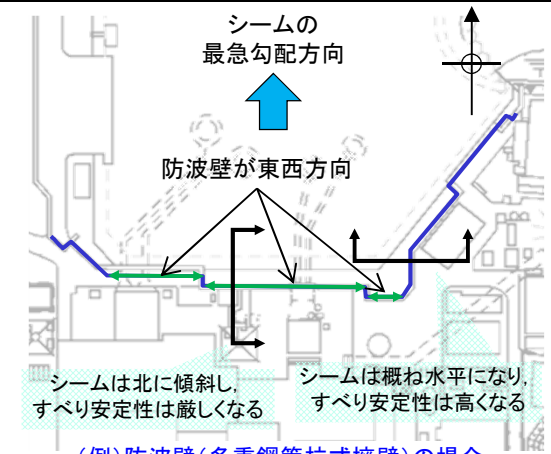


STEP2: 検討断面の設定

施設の区分毎に, 以下の観点からすべり安定性が厳しいと考えられる検討断面を設定する。

- ・縦断面図において, C_L級, D級岩盤が分布する等により, 相対的にせん断強度の低くなる箇所, もしくは基礎地盤が改良地盤等の特徴的である箇所
- ・施設直下のシームが浅い箇所, 多く分布する箇所
- ・埋戻土層等が厚く, すべり土塊の重量及び起動力が大きくなる箇所

〔島根サイトのシームは北方向に緩く傾斜しており, すべり安定性が厳しくなると考えられる断面方向は南北方向となることから, 防波壁が東西方向の範囲(検討断面は南北方向となる)において検討断面を設定する(右図参照)。〕



(例)防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の場合

関連する影響要因:

- 影響要因①: 基礎地盤の岩級, 地形等
- 影響要因②: 施設直下のシームの分布
- 影響要因⑤: 埋戻土層等の厚さ【防波壁のみ】

3. 基礎地盤の安定性評価

3. 2 代表施設の選定

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

第910回審査会合資料
1-1 P29 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)の選定結果 (1/2)

・グループAの施設について下表の比較を行った結果, 2号炉原子炉建物を代表施設に選定した。(詳細はP35~40参照)

評価対象施設	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
	① 基礎地盤の岩級, 地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの施設重量※1(MN/m))			
代表施設に選定 2号炉原子炉建物	C _M ~C _H 級	あり	3,278 (46.82)	②, ③	2.78	・施設直下にシームが分布していること及び施設総重量が最大である。 ・影響要因の番号付与数が最多であるため, 簡便法を実施した結果, すべり安全率は最小である。 以上のことから, 代表施設に選定する。
2号炉タービン建物	C _L ~C _H 級	あり	2,112 (41.08)	①, ②	4.80	・2号炉原子炉建物に比べ, 局所的にC _L 級岩盤が分布するが, C _H 級が主体であり, 施設総重量が小さい。 ・影響要因の番号付与数が2号炉原子炉建物と同数で最多であるため, 簡便法を実施した結果, すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。 以上のことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
2号炉廃棄物処理建物	C _M ~C _H 級	あり	1,167 (21.26)	②	—	・2号炉原子炉建物に比べ, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
取水槽			382 (11.76)			
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			97 (7.27)			
第1ベントフィルタ格納槽			95 (7.06)			
取水管			3 (0.68)			
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	C _M 級	あり	36 (1.88)	②	—	・2号炉原子炉建物に比べ, 岩級はC _M 級であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	C _H 級	あり	13 (4.79)	②	—	・2号炉原子炉建物に比べ, シームの分布状況は同等であるが, 岩級はC _H 級であること, 及び施設総重量も小さいことから, 2号炉原子炉建物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

■ : 選定した代表施設

※1 施設総重量を施設の短辺方向の延長で除した値を記載。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

第910回審査会合資料
1-1 P30 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)の選定結果 (2/2)

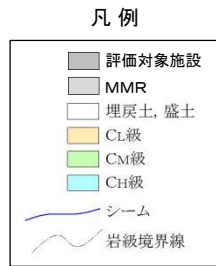
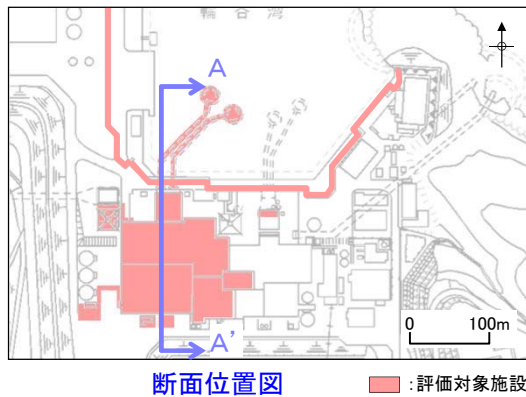
評価対象施設	影響要因			該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由
	① 基礎地盤の岩級, 地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの施設重量※1 (MN/m))			
制御室建物	C _H 級	あり	132 (6.00)	②	—	・2号炉原子炉建物に比べ, シームの分布状況は同等であるが, 岩級はC _H 級であること, 及び施設総重量も小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
取水口			2 (0.10)			
2号炉排気筒	C _M ~C _H 級 基礎地盤が特徴的	あり	119 (4.16)	①, ②	6.55	・2号炉原子炉建物に比べ, 基礎地盤が特徴的(基礎地盤周辺の地形形状が急勾配)であり, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さい。 ・影響要因の番号付与数が2号炉原子炉建物と同数で最多であるため, 簡便法を実施した結果, すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。 以上のことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)			18 (2.57)			
屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)			8 (1.24)			
1号炉取水槽北側壁	C _M ~C _H 級	あり	4 (4.08)	②	—	・2号炉原子炉建物に比べ, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物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

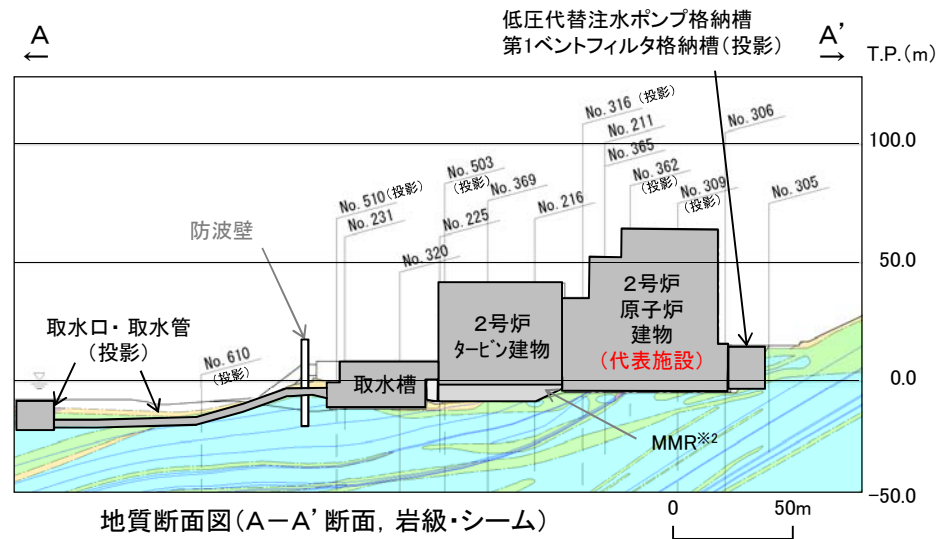
※1 施設総重量を施設の短辺方向の延長で除した値を記載。
※2 「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査において, 1号炉放水連絡通路を閉塞する方針とし, 1号放水連絡通路防波扉は津波防護施設(耐震重要施設)から除外することとしたため, 当該一覧表から削除した。

2号炉原子炉建物, 2号炉タービン建物等の比較結果 グループA

- ・2号炉原子炉建物は、 $C_M \sim C_H$ 級の岩盤(成相寺層)が主体であり、施設直下にシームが分布していること、施設総重量が最大であること、影響要因の番号付与数が同数である2号炉タービン建物、2号炉排気筒及び屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽、タービン建物～排気筒)に比べ、簡便法のすべり安全率が小さいことから、代表施設に選定した。(P39参照)
- ・タービン建物は、2号炉原子炉建物に比べ、局所的に C_L 級岩盤が分布するが、 C_H 級が主体であり、施設総重量が小さい。影響要因の番号付与数が最多で2号炉原子炉建物と同数であるため、簡便法を実施した結果、すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。(P39参照)
以上のことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
- ・取水槽等※1は、2号炉原子炉建物に比べ、岩級及びシームの分布状況は同等であるが、施設総重量が小さいことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
- ・取水口は、2号炉原子炉建物に比べ、シームの分布状況は同等であるが、岩級は C_H 級であること、及び施設総重量も小さいことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。

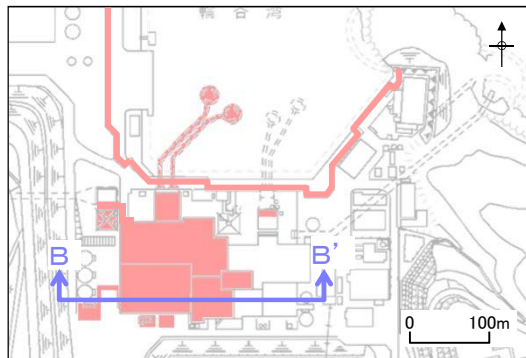


※1 取水槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ペントフィルタ格納槽及び取水管を示す。



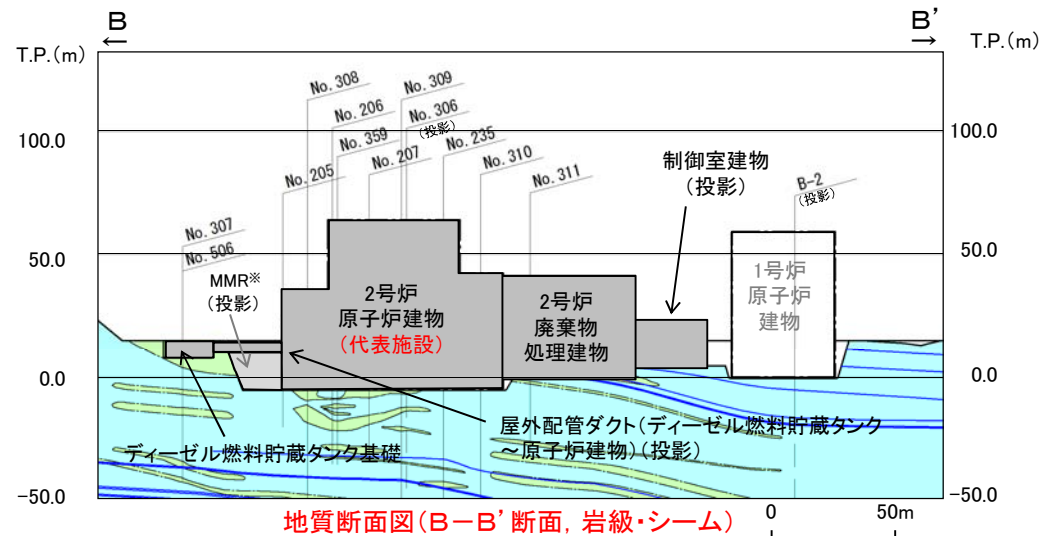
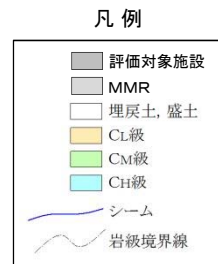
2号炉廃棄物処理建物, ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎等の比較結果 グループA

- ・2号炉廃棄物処理建物は, 2号炉原子炉建物に比べ, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
- ・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は, 2号炉原子炉建物に比べ, 岩級はC_M級であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
- ・屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)は, 2号炉原子炉建物に比べ, シームの分布状況は同等であるが, 岩級はC_H級であること, 及び施設総重量も小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
- ・制御室建物は, 2号炉原子炉建物に比べ, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さいことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。



断面位置図

■ : 評価対象施設

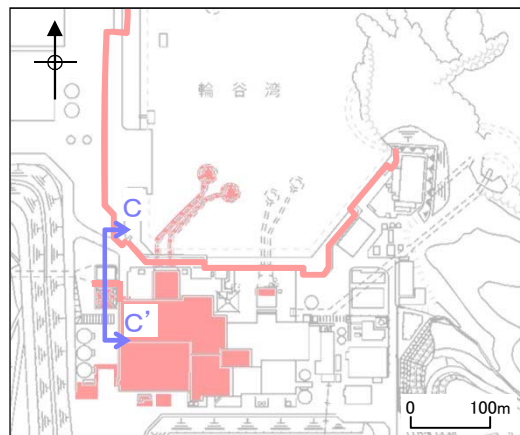


地質断面図(B-B'断面, 岩級・シーム)

※ マンメイドロック(人工岩盤)の略称

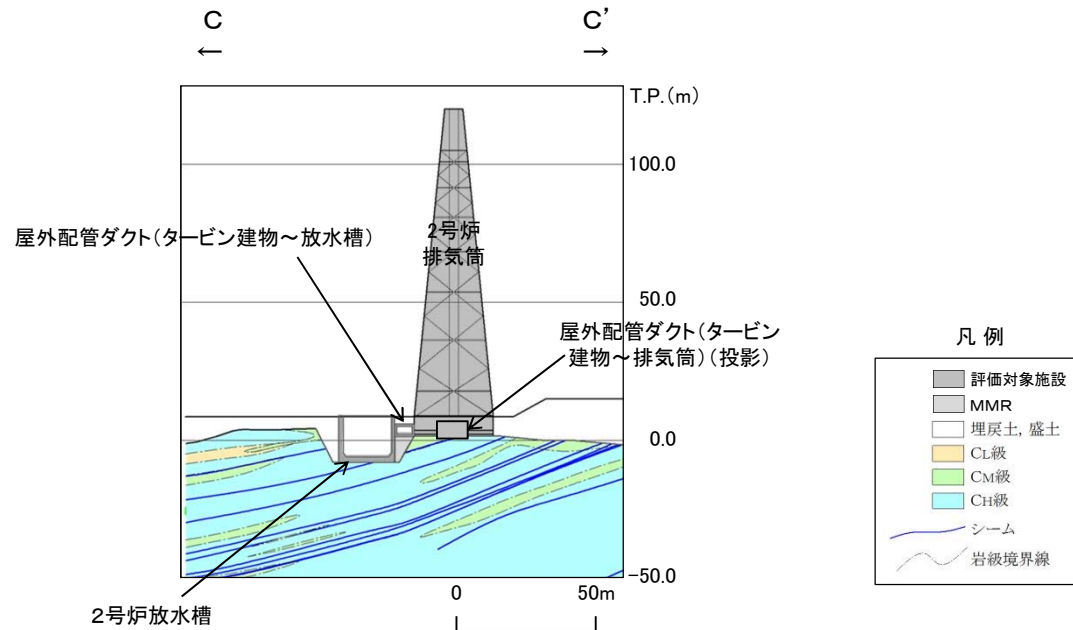
2号炉排気筒，屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)等の比較検討結果 グループA

- ・2号炉排気筒，屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)及び屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)は，2号炉原子炉建物に比べ，基礎地盤が特徴的(基礎地盤周辺の地形形状が急勾配)であり，岩級及びシームの分布状況は同等であるが，施設総重量が小さい。
 - ・影響要因の番号付与数が2号炉原子炉建物と同数で最多であるため，簡便法を実施した結果，すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。(P39参照)
- 以上のことから，2号炉原子炉建物の評価に代表させる。



断面位置図

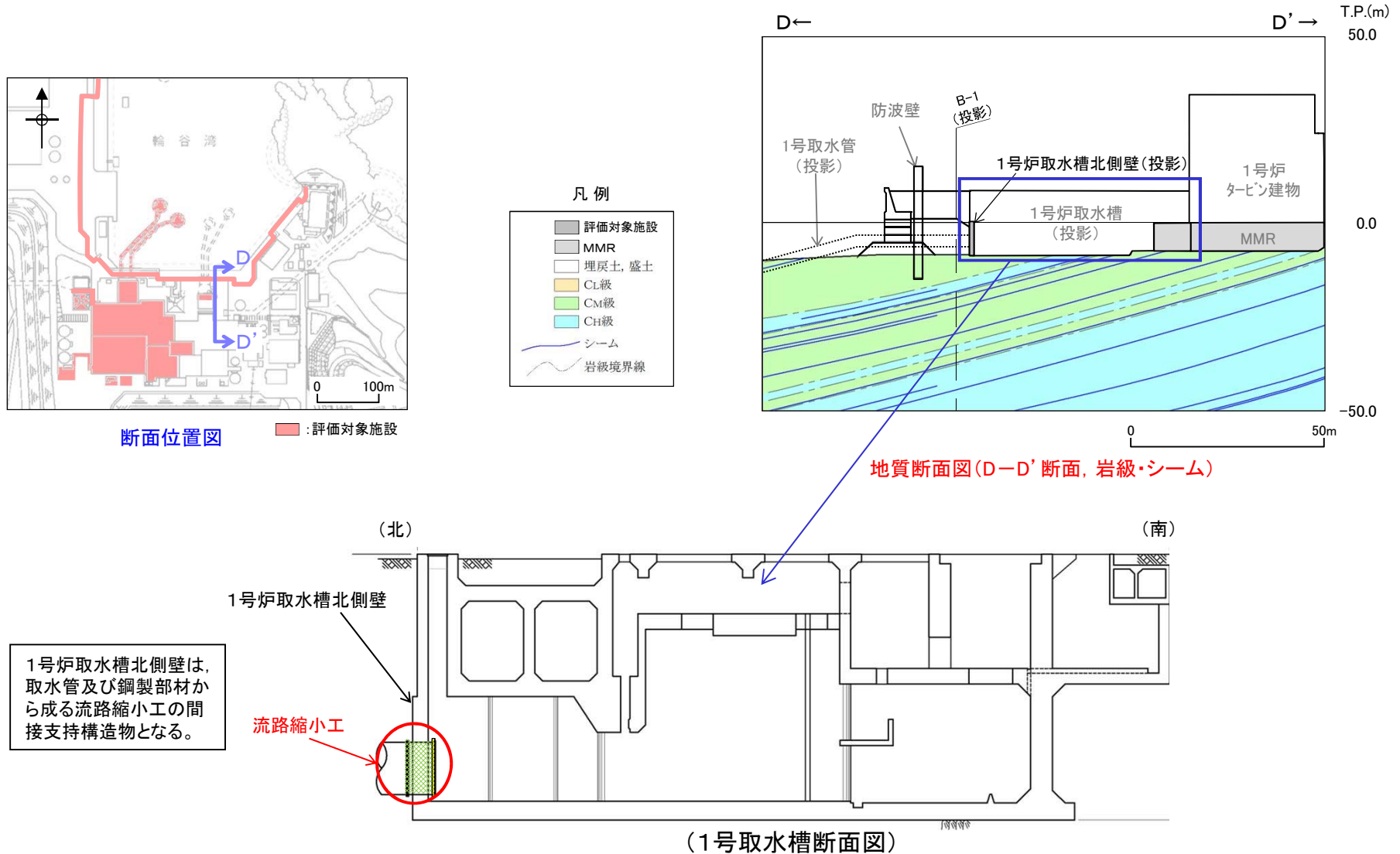
■ : 評価対象施設



地質断面図(C-C'断面，岩級・シーム)

1号炉取水槽北側壁の比較結果 グループA

・1号炉取水槽北側壁は、2号炉原子炉建物に比べ、岩級及びシームの分布状況は同等であるが、施設総重量が小さいことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。



簡便法の比較検討結果 **グループA**

簡便法の比較検討結果

評価対象施設	影響要因			該当する 影響要因	簡便法の 最小すべり安全率
	① 基礎地盤 の岩級, 地形等	② 施設直下 のシームの分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの施設重量※1(MN/m))		
2号炉原子炉建物	C _M ~C _H 級	あり	3,278 (46.82)	②, ③	2.78
2号炉タービン建物	C _L ~C _H 級	あり	2,112 (41.08)	①, ②	4.80
2号炉排気筒	C _M ~C _H 級 基礎地盤が特徴的	あり	119 (4.16)	①, ②	6.55
屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)			18 (2.57)		
屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)			8 (1.24)		

※1 施設総重量を施設の短辺方向の延長で除した値を記載。

【検討方法】

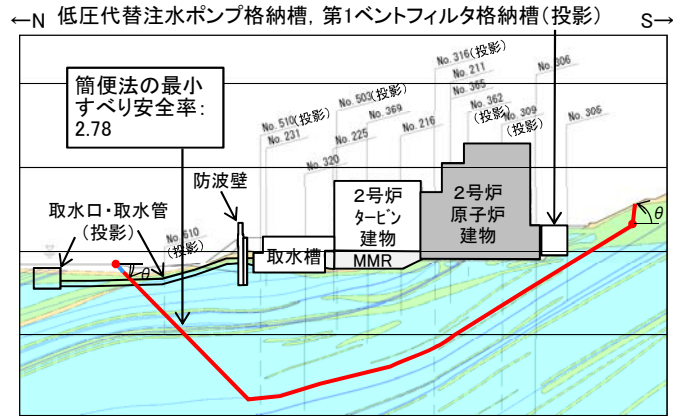
- ・ 影響要因の番号付与数が最多の施設が複数存在することから, 簡便法によりすべり安全率を算定し, 比較検討を行った。
- ・ 簡便法は, JEAG4601-2015に基づく静的震度「 $K_H=0.2$, $K_V=0.1$ 」を用い, 2次元動的FEM解析のすべり面の設定と同様の考え方によりパラメトリックに設定した。
- ・ 施設重量は, 断面図上の耐震重要施設等を考慮し, 耐震性の確認されていない施設は考慮しないこととした。

【検討結果】

- ・ 簡便法の結果, 2号炉原子炉建物のすべり安全率が**2.78**となり, 2号炉タービン建物, 2号炉排気筒等よりも小さいことを確認した。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

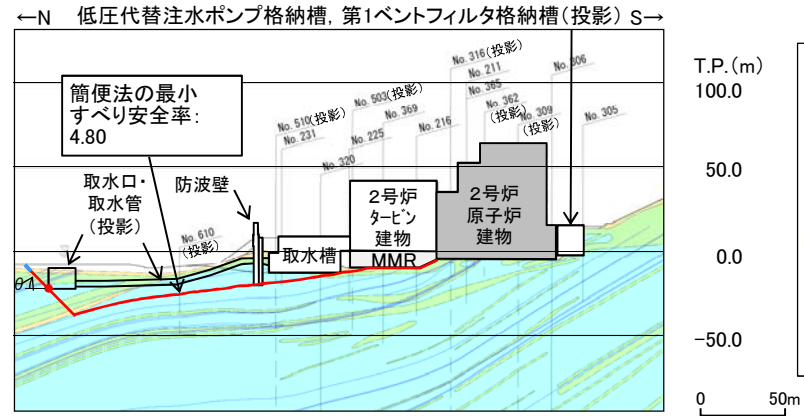
簡便法のすべり安全率



角度 (°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	80	80	80	80	80	80	80
すべり安全率		6.90	5.89	4.79	4.07	3.54	3.09	2.78

※最小すべり安全率を **○** で示す。右側は30~85° の最小値となる80° を記載。
 ※評価対象施設である2号炉タービン建物, 2号炉原子炉建物, 取水槽等の施設重量を考慮した。

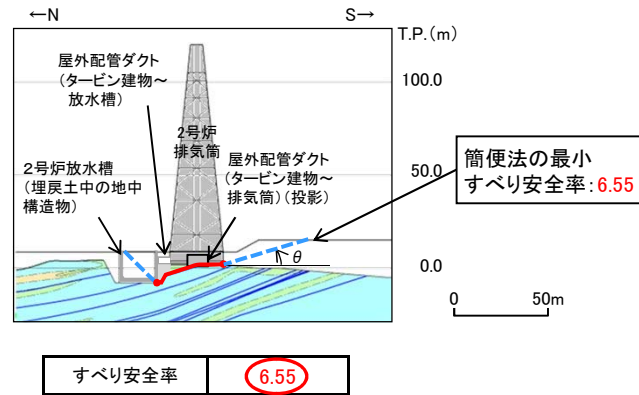
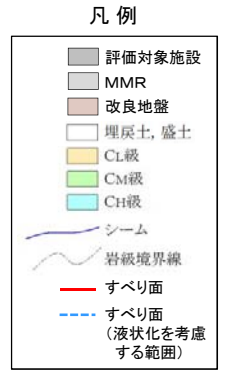
2号炉原子炉建物(南北) 地質断面図(岩級・シーム)



角度 (°)	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	7.28	6.40	5.84	5.42	5.09	4.94	4.80

※最小すべり安全率を **○** で示す。
 ※評価対象施設である2号炉タービン建物, 2号炉原子炉建物, 取水槽等の施設重量を考慮した。

2号炉タービン建物 地質断面図(岩級・シーム)



すべり安全率	6.55
--------	-------------

※最小すべり安全率を **○** で示す。
 ※埋戻土中の地中構造物である2号炉放水槽を埋戻土でモデル化し, 2号炉排気筒及び屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)の施設重量を考慮した。

2号炉排気筒等 地質断面図(岩級・シーム)

グループB (T.P.+44~50m盤, 防波壁以外, 直接基礎) の選定結果

・グループBの施設について下表の比較を行った結果, ガスタービン発電機建物を代表施設に選定した。(詳細はP42, 43参照)

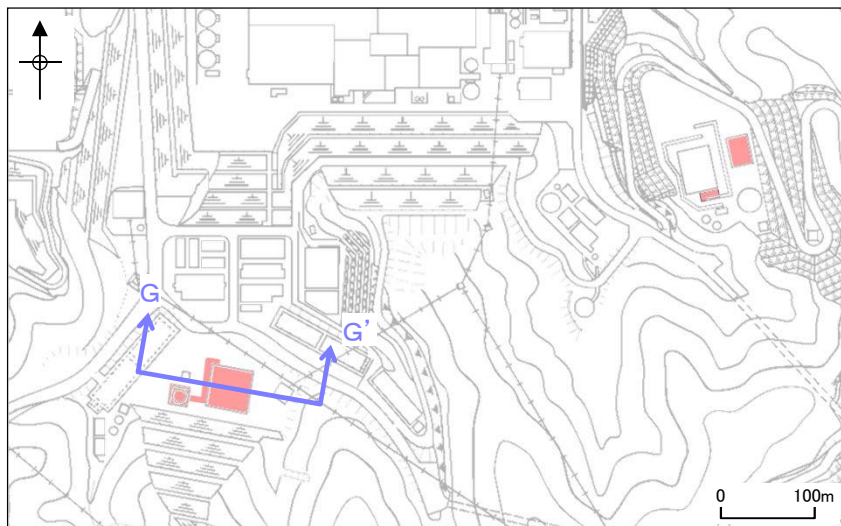
設置盤	評価対象施設	影響要因			該当する 影響要因	選定理由
		① 基礎地盤 の岩級, 地 形等	② 施設直下 のシームの 分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの 施設重量※1(MN/m))		
T.P.+44m盤	代表施設に選定 ガスタービン発電機建物	C _L 級	あり	411 (8.96)	①, ②, ③	・C _L 級の岩盤が主体であること, 施設直下にシームが分布していること, 及び施設総重量が最大であることから, 代表施設に選定する。
	ガスタービン発電機用軽油タンク 基礎	C _L 級	あり	19 (1.05)	①, ②	・ガスタービン発電機建物に比べ, 岩級及びシームの分布状況は同等であるが, 施設総重量が小さいことから, ガスタービン発電機建物の評価に代表させる。
	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)			4 (1.60)		
T.P.+50m盤	緊急時対策所用燃料地下タンク	C _L ~C _H 級	あり	4 (1.02)	①, ②	・ガスタービン発電機建物に比べ, シームの分布状況は同等であるが, 岩級はC _H 級が主体であること, 及び施設総重量も小さいことから, ガスタービン発電機建物の評価に代表させる。
	緊急時対策所	C _M ~C _H 級	あり	93 (3.72)	②	・ガスタービン発電機建物に比べ, シームの分布状況は同等であるが, 岩級はC _M ~C _H 級であること, 及び施設総重量も小さいことから, ガスタービン発電機建物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
 : 選定した代表施設

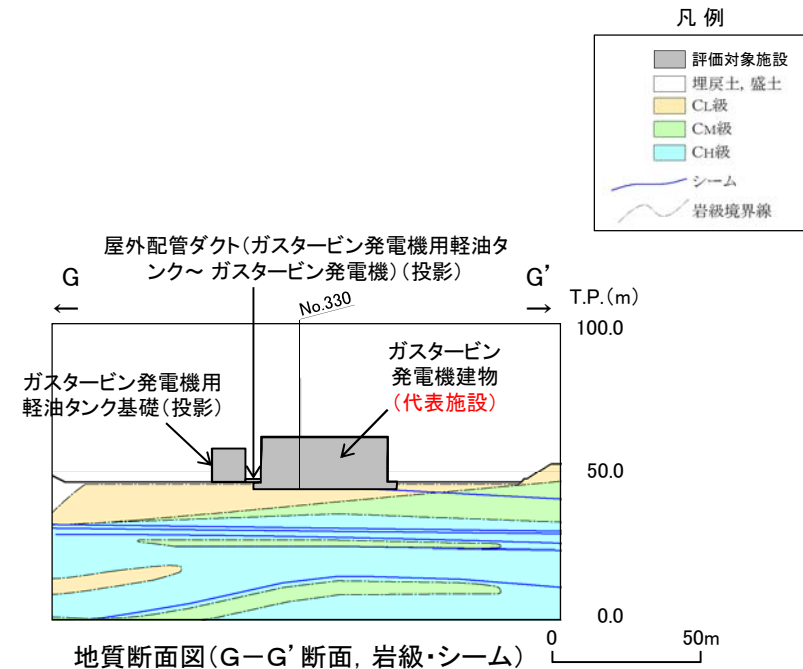
※1 施設総重量を施設の短辺方向の延長で除した値を記載。

ガスタービン発電機建物等の比較結果 グループB

- ・ガスタービン発電機建物は、C_L級の岩盤が主体であること、施設直下にシームが分布していること、及び施設総重量が最大であることから、代表施設に選定する。
- ・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)は、ガスタービン発電機建物に比べ、岩級及びシームの分布状況は同等であるが、施設総重量が小さいことから、ガスタービン発電機建物の評価に代表させる。

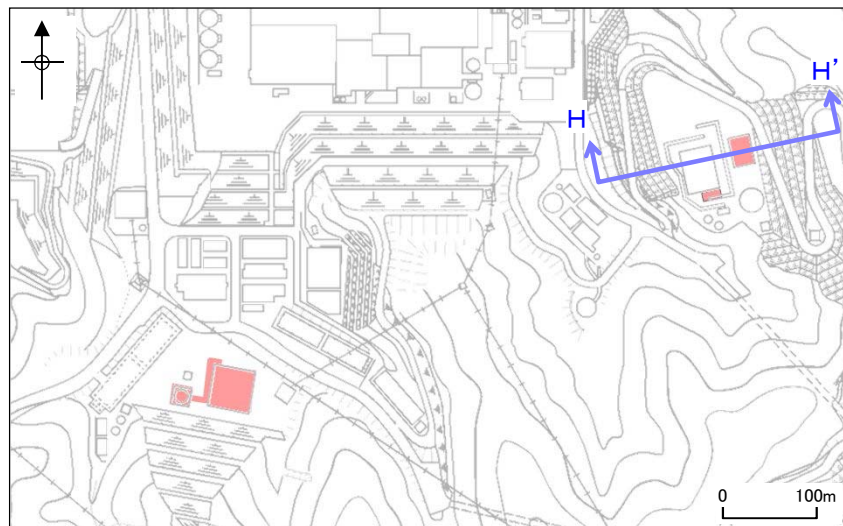


断面位置図

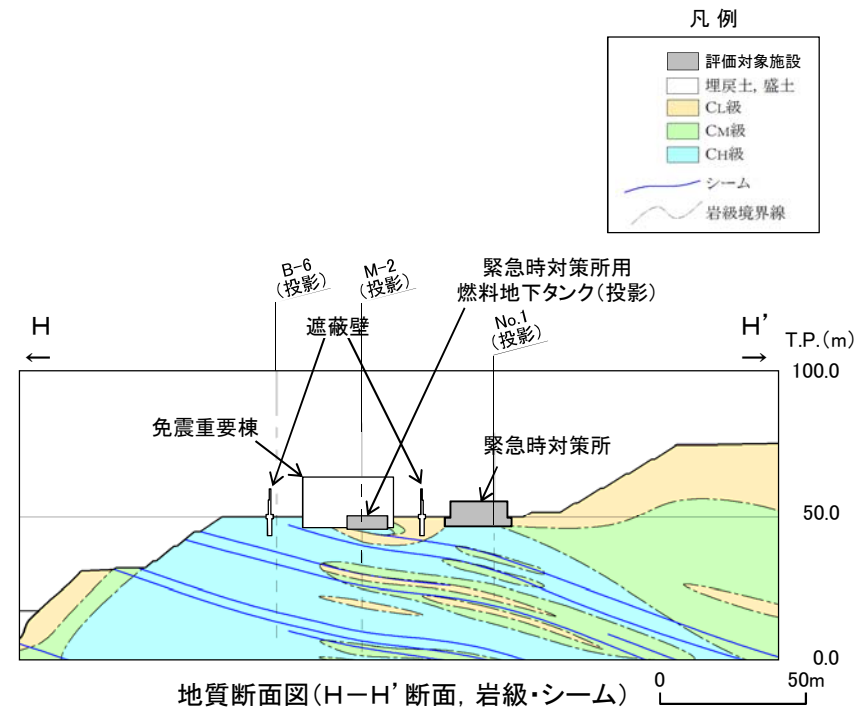


緊急時対策所及び緊急時対策所用燃料地下タンクの比較結果 グループB

- ・緊急時対策所用燃料地下タンクは、ガスタービン発電機建物に比べ、シームの分布状況は同等であるが、岩級はC_H級が主体であること、及び施設総重量も小さいことから、ガスタービン発電機建物の評価に代表させる。
- ・緊急時対策所は、ガスタービン発電機建物に比べ、シームの分布状況は同等であるが、岩級はC_M～C_H級であること、施設総重量も小さいことから、ガスタービン発電機建物の評価に代表させる。



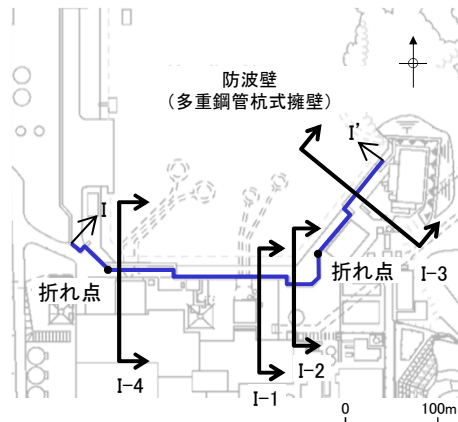
断面位置図



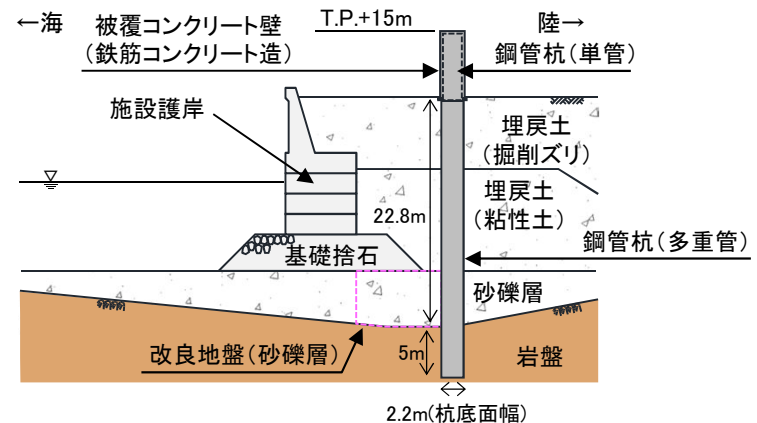
余白

グループC (T.P.+15m盤以下, 防波壁, 杭基礎) の検討断面の設定及び選定結果

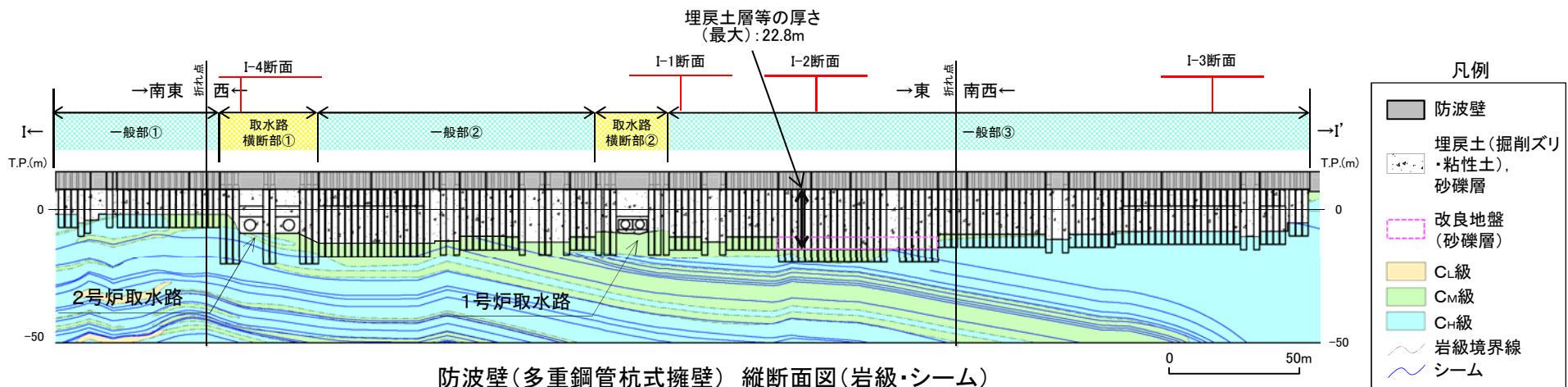
- ・グループCの施設である防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は, 基礎地盤の安定性評価の観点から, 「一般部」及び「取水路横断部」の2つに区別される。(次頁参照)
- ・すべり安全率が厳しい検討断面を設定する観点から, 「一般部」からI-1~3断面, 「取水路横断部」からI-4断面の計4断面を検討断面に設定した(設定理由の詳細はP46~48参照)。
- ・グループCの施設は, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)のみであることから, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を代表施設に選定した。



断面位置図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)鉛直断面図



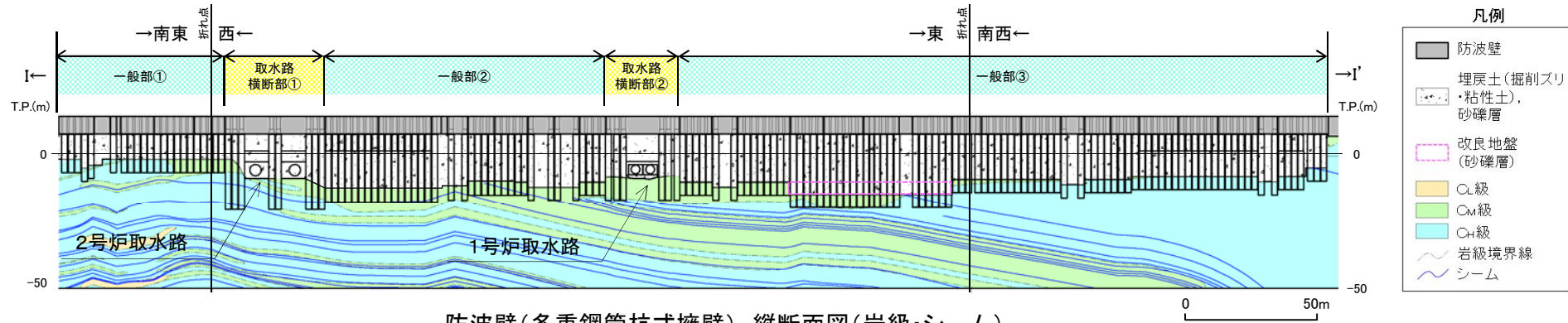
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)縦断面図(岩級・シーム)

※1 図中の杭部については, 杭が位置しているが, 埋戻土の形状を示すために, 周辺地盤の地質状況を示している。

※2 図中の については, 地盤改良を実施しているが, 元の砂礫層の分布を示すために, 改良前の地質状況を示している。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の構造毎の区分 グループC

・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、施設の構造(施設重量、杭底面幅及び杭根入れ長)が異なることから、「一般部」及び「取水路横断部」に区分される。(構造の詳細は補足説明資料9章を参照)。

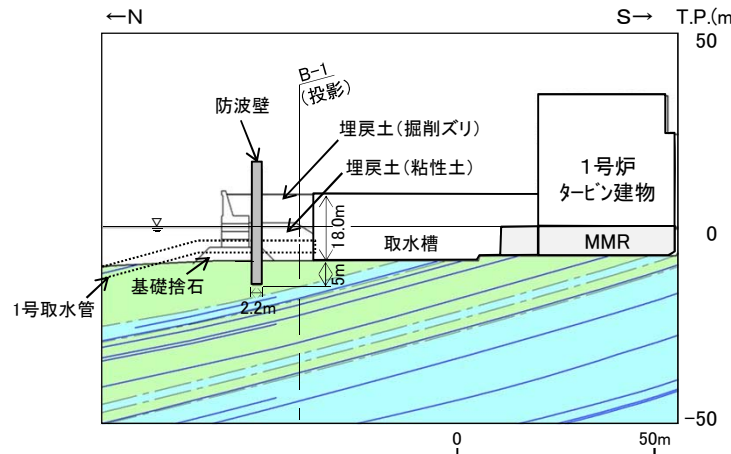
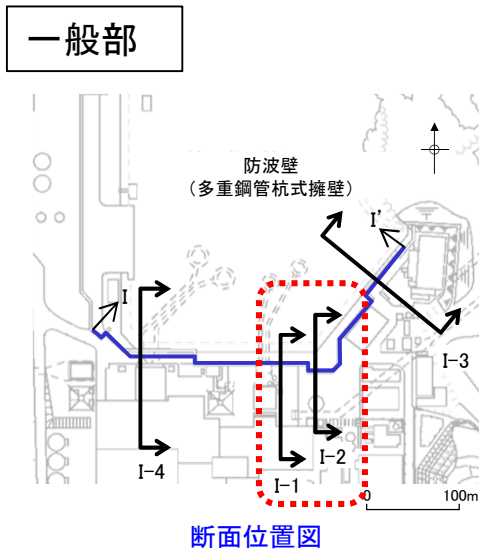


防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

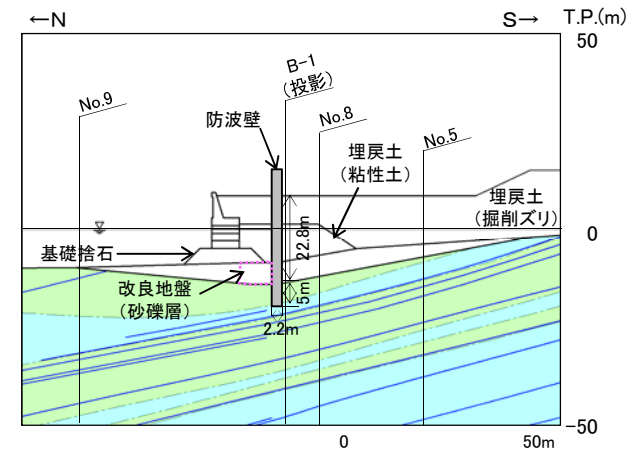
	一般部	取水路横断部
標準断面図		
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の一般的な構造であり、杭底面幅2.2m、根入れ長5mの4重管鋼管杭で支持される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・取水路が防波壁下部を横断するため、一般部に比べてブロック(目地間)の延長が長くなり、杭を介して岩盤に作用する施設重量は大きくなっている。 ・南北方向に杭を2列配置しているため、杭底面幅は4.7m、根入れ長7mの4重管鋼管杭で支持される。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループC(1/3)

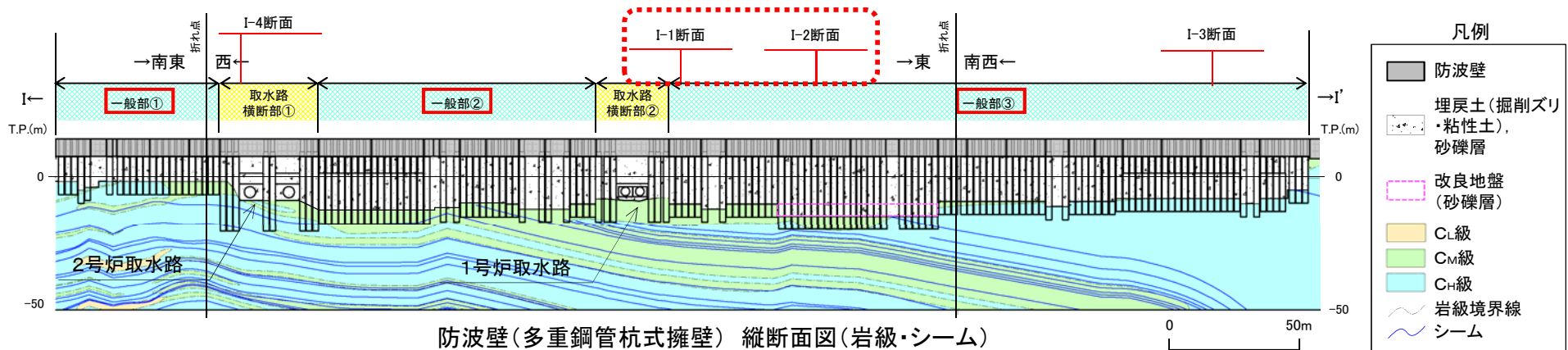
- ・一般部(①~③)のうち、施設直下がC_M級岩盤となっている範囲で、シームが多く、浅くなっているI-1断面を検討断面に設定する。
- ・一般部(①~③)のうち、埋戻土層等が最も厚くなっている範囲で、施設直下のシームが北方向に緩く傾斜し、その分布が多く、浅くなっているI-2断面を検討断面に設定する。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
I-1断面横断面図(岩級・シーム)



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
I-2断面横断面図(岩級・シーム)



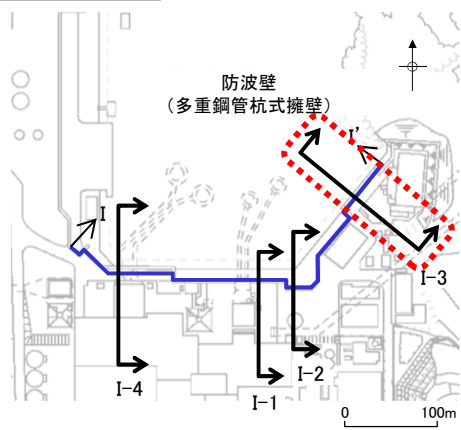
凡例

	防波壁
	埋戻土(掘削ズリ・粘性土), 砂礫層
	改良地盤(砂礫層)
	C _L 級
	C _M 級
	C _H 級
	岩級境界線
	シーム

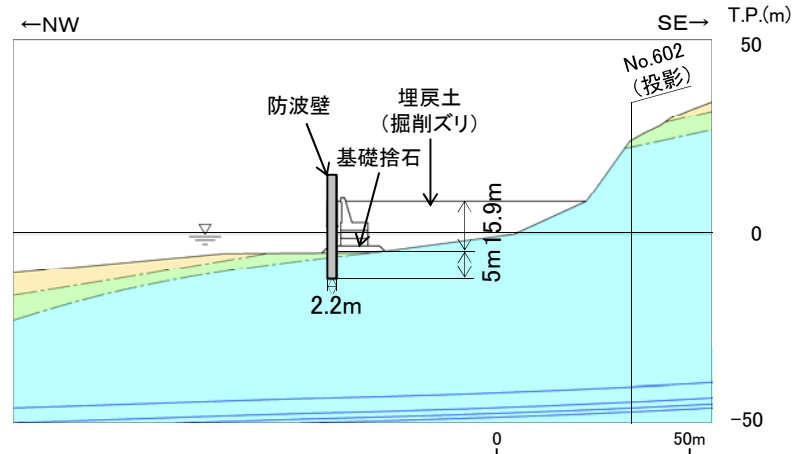
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループC(2/3)

- ・一般部(①~③)のうち、防波壁が施設護岸よりも前(海側)に位置しており、防波壁前面のせん断抵抗力が低くなると考えられる区間は西端付近と北東端付近の2区間ある。
- ・このうち、北東端付近の区間を採用し、同区間の地質状況が一樣であることから、区間中央付近のI-3断面を検討断面に設定する。
- ・なお、西端付近の区間は、施設護岸よりも前に位置し地質状況が同様かつ施設重量が大きい取水路横断部①の評価に含まれる。

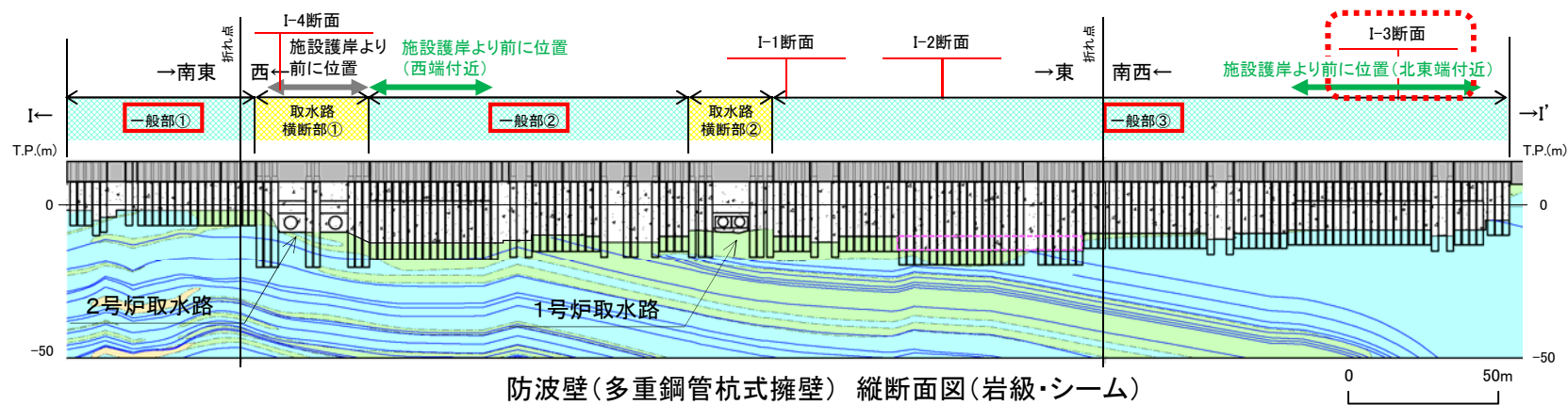
一般部



断面位置図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) I-3断面横断面図(岩級・シーム)

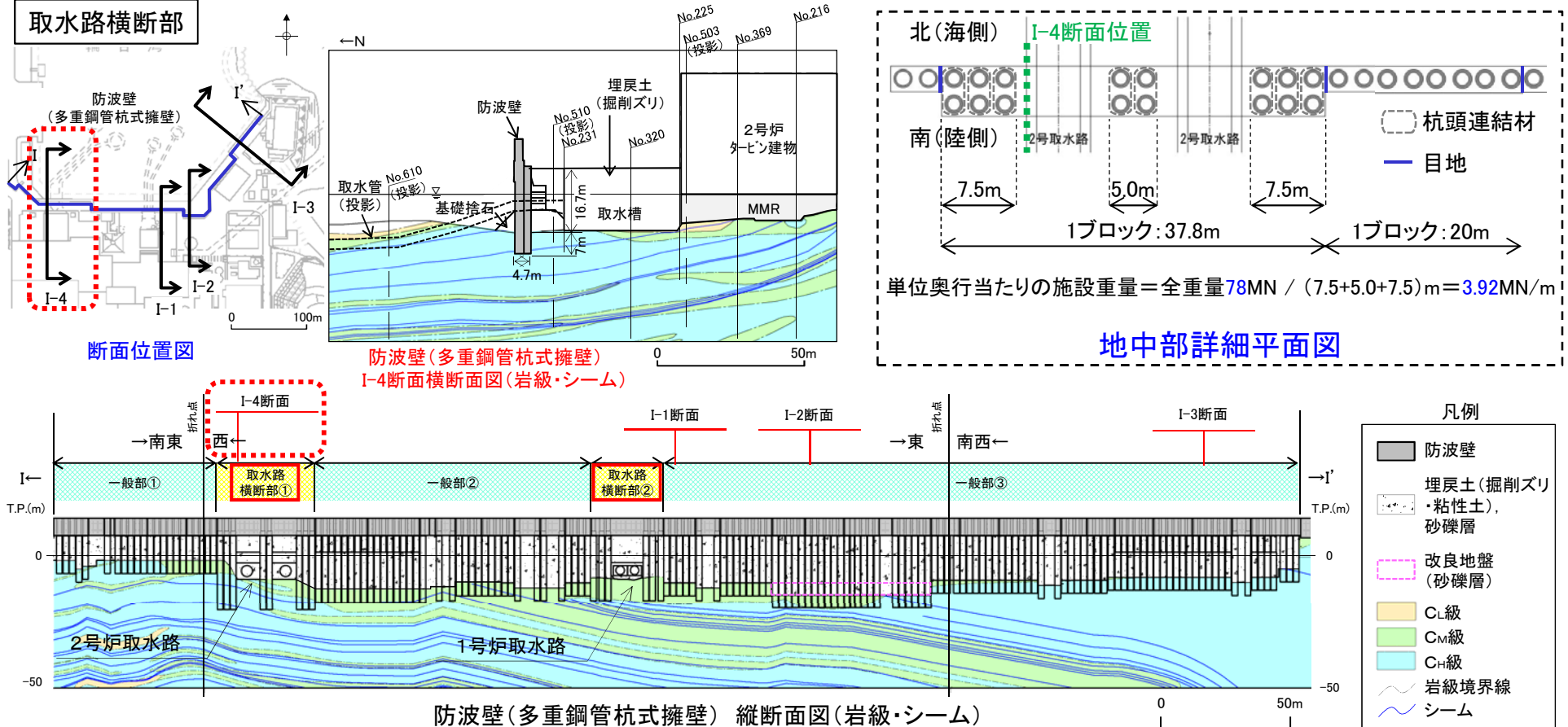


防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

凡例	
	防波壁
	埋戻土(掘削ズリ) ・粘性土, 砂礫層
	改良地盤 (砂礫層)
	CL級
	CM級
	CH級
	岩級境界線
	シーム

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループC(3/3)

- ・取水路横断部(①及び②)は、一般部に比べてブロック(目地間)の延長が長くなり、杭を介して岩盤に作用する施設重量は大きくなっている(下図参照)。そのため、側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、杭頭連結材を設置するとともに、根入れを2m深くしている。
- ・シーム深さは取水路横断部①及び②で同程度であるが、上部工のブロックの延長が長く、その重量が重くなること、及び防波壁が施設護岸よりも前(海側)に位置しており、防波壁前面のせん断抵抗力が低くなると考えられることから、取水路横断部①を選択し、取水路横断部①の中で施設直下のシームが北方向に緩く傾斜し、その分布が浅いI-4断面を検討断面に設定する。
- ・I-4断面は、鋼管杭が配置されていない範囲であることからI-4断面に杭を投影し、杭を介して岩盤に作用する施設重量(3.92MN/m)を保守的に考慮する。
- ・なお、一般部等にも杭間隔が空いている箇所があるが、南北方向に2列配置していることから、杭を介して岩盤に作用する施設重量は等しいため、一般部の杭間隔が空いていない箇所と同様の構造と評価する。



余白

グループD(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎)の選定結果

・グループDの防波壁である, 防波壁(逆T擁壁)及び防波壁(波返重力擁壁)について下表の比較を行った結果, 防波壁(逆T擁壁)を代表施設に選定した。(詳細はP52~68参照)

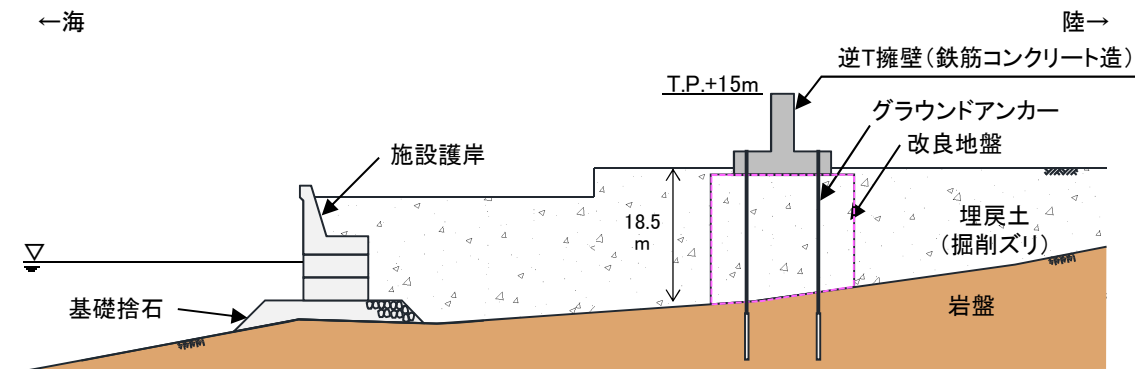
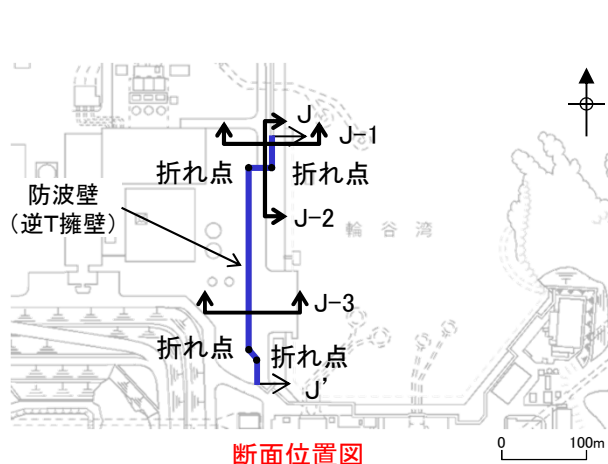
評価対象施設	影響要因				該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由
	① 基礎地盤の岩級, 地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量 ^{※1.4} (MN) (単位奥行当たりの施設重量 ^{※2.4} (MN/m))	⑤ 埋戻土層等の厚さ(m)			
防波壁 (逆T擁壁)	C _L ~C _H 級 基礎地盤が特徴的	あり	15 (0.65)	18.5	①, ②	3.05	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁(波返重力擁壁)に比べ, 単位奥行当たりの施設総重量が小さく, 埋戻土層等が薄い, 改良地盤底面の一部にC_L級の岩盤が分布しており, 改良地盤直下にシームが分布している。 ・影響要因の番号付与数が防波壁(波返重力擁壁)と同数であるため, 簡便法を実施した結果, すべり安全率は防波壁(波返重力擁壁)より小さい。 以上のことから, 代表施設に選定する。
防波壁 (波返重力擁壁)	C _M ~C _H 級 基礎地盤が特徴的	なし	154 (8.10)	29.0	③, ④	15.26	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁(逆T擁壁)に比べ, 単位奥行当たりの施設総重量が大きく, 埋戻土層等が厚いが, 改良地盤は周辺岩盤相当に改良されており(P61参照), 基礎地盤はC_M級~C_H級の岩盤が主体で, 施設直下にはシームが分布していない。 ・影響要因の番号付与数が防波壁(逆T擁壁)と同数であるため, 簡便法を実施した結果, すべり安全率は防波壁(逆T擁壁)より大きい。 以上のことから, 防波壁(逆T擁壁)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
 : 選定した代表施設

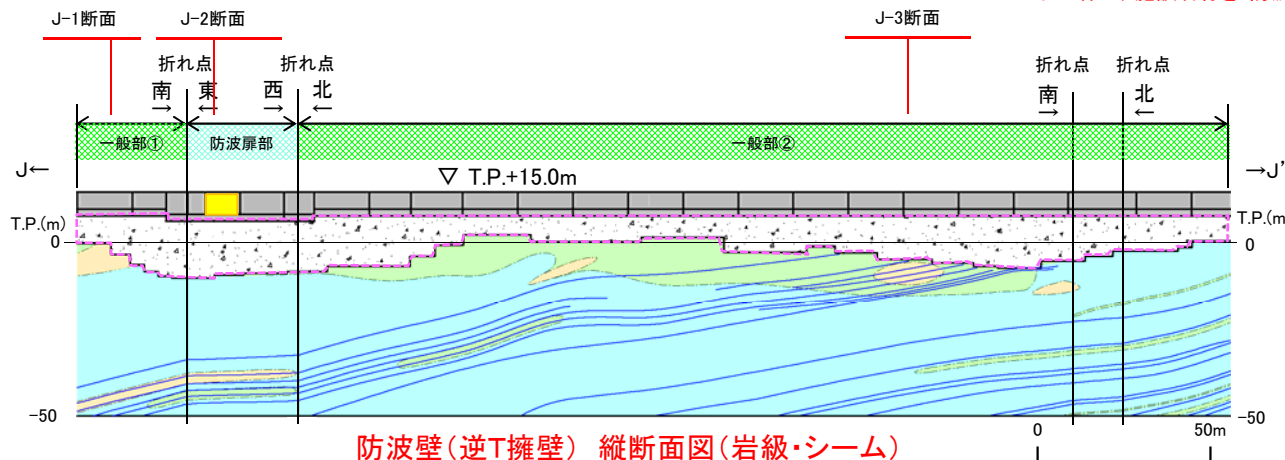
- ※1 1ブロック当たりの値を示す。
- ※2 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(逆T擁壁:23.8m, 波返重力擁壁:19m)で除した値を記載。
- ※3 両施設とも延長が長く, 縦断方向に地質等が変化することから, 影響要因②~⑤については, それぞれ最も厳しい諸元を記載。
 防波壁(逆T擁壁)の諸元の根拠はP52~58参照。構造の詳細は補足説明資料9.2.3参照
 防波壁(波返重力擁壁)の諸元の根拠はP59~61参照。構造の詳細は補足説明資料9.2.1参照
- ※4 「漂流物衝突荷重の設定方針」及び「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」の審査状況を反映し, 漂流物対策工及び中詰材の改良による重量増を保守的に考慮した。(P67,68参照)

防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定及び選定結果 グループD

- ・防波壁(逆T擁壁)は、基礎地盤の安定性評価の観点から、「一般部」及び「防波扉部」の2つに区分される(次頁参照)。
 - ・すべり安全率が厳しい検討断面を設定する観点から、「一般部」のうち改良地盤底面にC_L級岩盤が分布するJ-1断面及びJ-3断面、「防波扉部」のうち埋戻土層等が最も厚いJ-2断面の計3断面を検討断面に設定した。(設定理由の詳細はP54, 55参照)
 - ・検討断面J-1~3の地質状況等を確認した結果、防波壁(逆T擁壁)は、防波壁(波返重力擁壁)に比べ、単位奥行当たりの施設総重量が小さく、埋戻土層等が18.5mと薄い、改良地盤底面の一部にC_L級の岩盤が分布しており、改良地盤直下にシームが分布している。
 - ・影響要因の番号付与数が防波壁(波返重力擁壁)と同数であるため、J-1~3断面において簡便法を実施した結果、すべり安全率は防波壁(波返重力擁壁)より小さい。(P62参照)
- 以上のことから、代表施設に選定する。



※ 施設側の評価に合わせ、鋼管杭には期待しないものとして地盤安定性評価を行う。これに伴い、施設名称を「防波壁(逆T擁壁)」に改める。



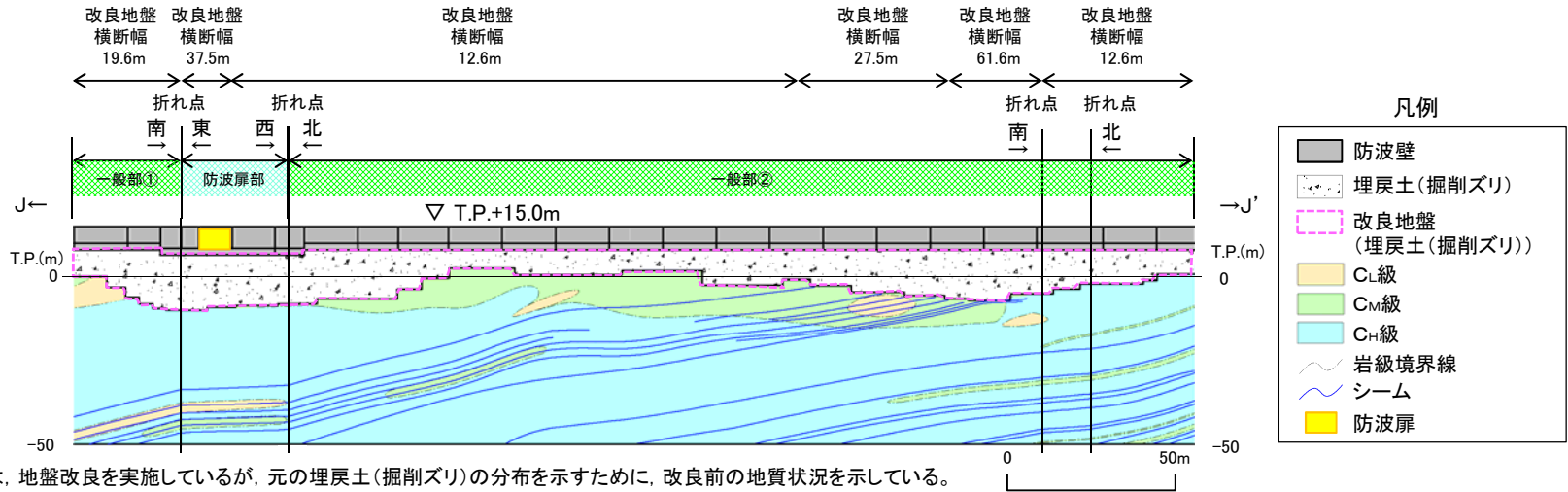
凡例

<ul style="list-style-type: none"> 防波壁 埋戻土(掘削ズリ) 改良地盤(埋戻土(掘削ズリ)) 岩級境界線 シーム 防波扉 	<ul style="list-style-type: none"> C_L級 C_M級 C_H級
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

※1 図中の については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

防波壁(逆T擁壁)の構造毎の区分 グループD

・防波壁(逆T擁壁)は、底面幅は縦断方向に同様であるが、施設の構造(施設重量)が異なることから、「一般部」及び「防波扉部」の2つに区分される(構造の詳細は補足説明資料9章を参照)。

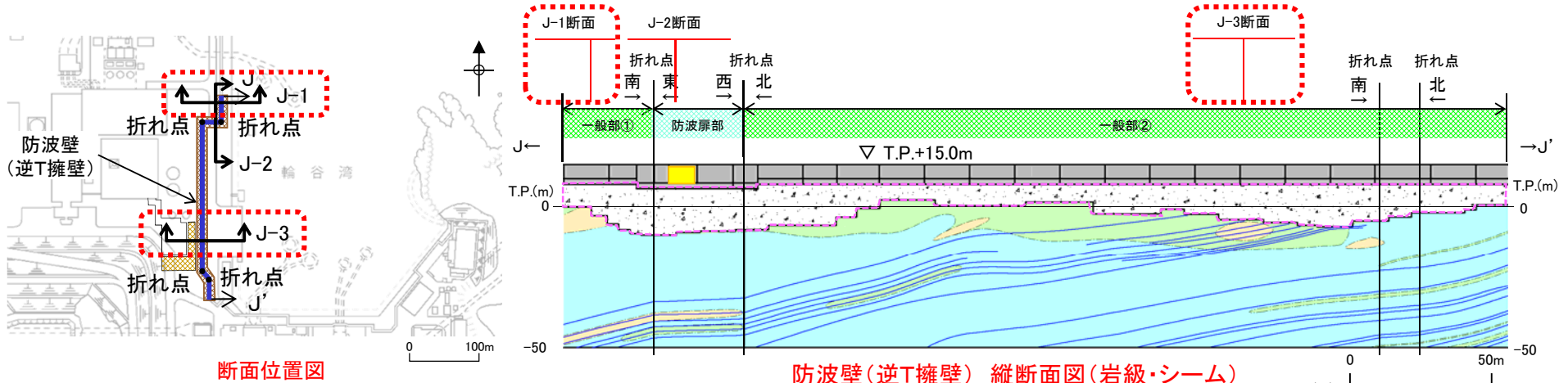


※1 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。
 ※2 図中の杭は投影している。

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	一般部	防波扉部
標準断面図		
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の一般的な構造であり、底面幅8.5mである。 ・改良地盤横断幅は一般部①が19.6m、一般部②が12.6m～61.6mである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・荷揚護岸へのアクセスのため、防波扉が設置されており、基礎は地中埋設となっている。 ・底面幅8.5mである。 ・改良地盤横断幅は12.6mまたは37.5mである。

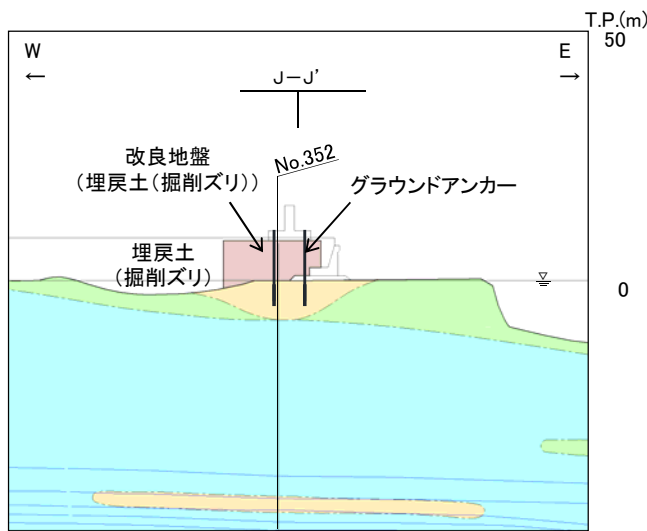
防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループD(1/2)



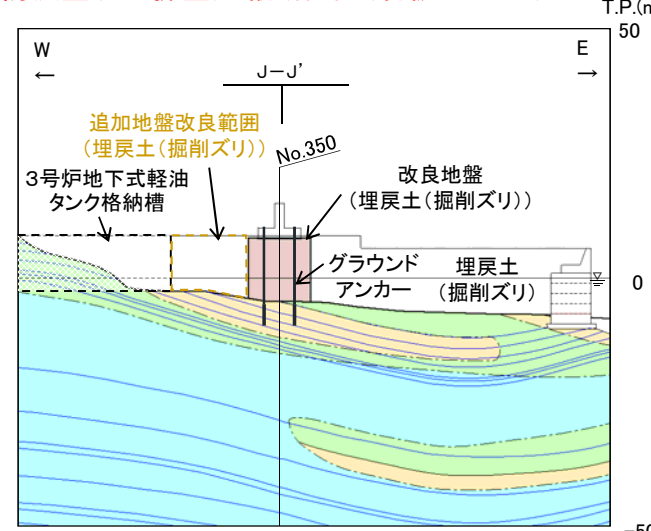
断面位置図

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

一般部

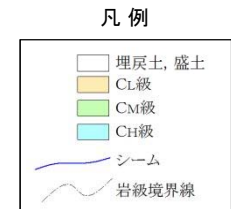


防波壁(逆T擁壁) J-1断面 横断面図(岩級・シーム)



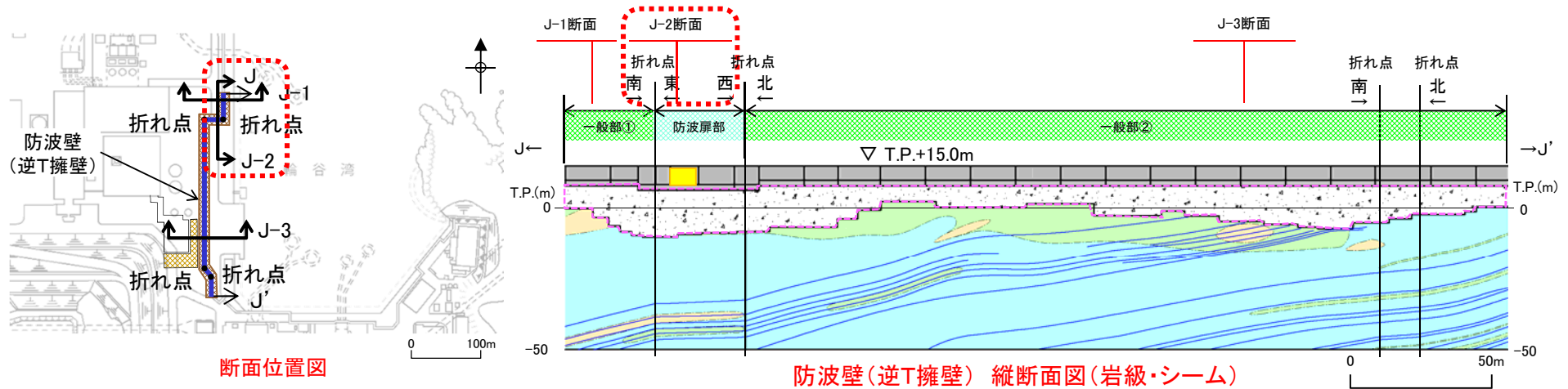
防波壁(逆T擁壁) J-3断面 横断面図(岩級・シーム)

※ 地盤改良の詳細はP56Iに示す

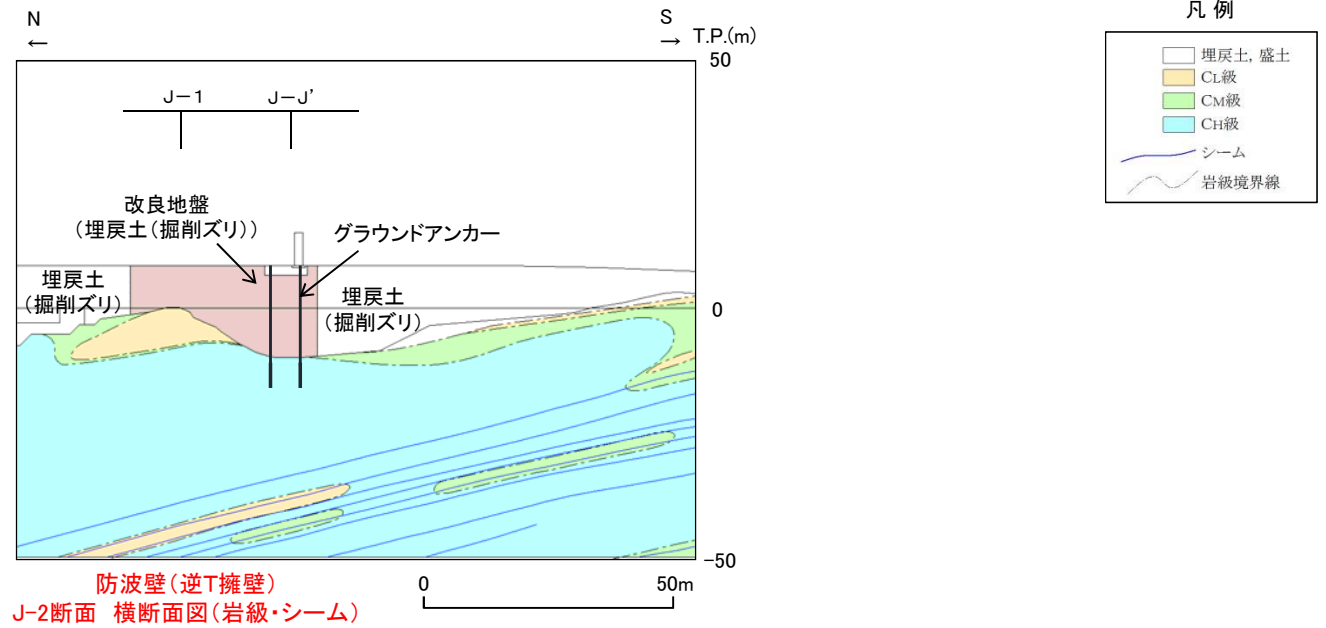


- ・一般部(①及び②)は、施設直下にC_L級岩盤が分布している箇所がある。一般部のC_L級分布範囲において、埋戻土層等の厚さは概ね同様である。改良地盤横断幅は一般部①が19.6m、一般部②が12.6m~61.6mである。
- ・一般部(①及び②)のうち、改良地盤底面にC_L級岩盤が分布するJ-1断面、及び改良地盤底面にC_L級岩盤及びシームが分布するJ-3断面を検討断面に設定する。

防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループD(2/2)



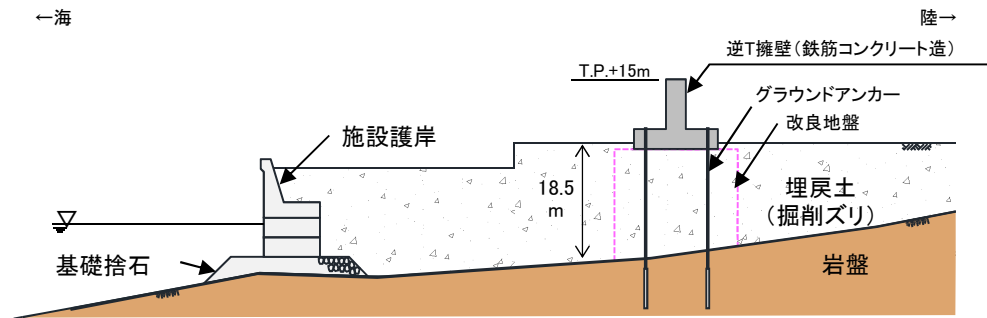
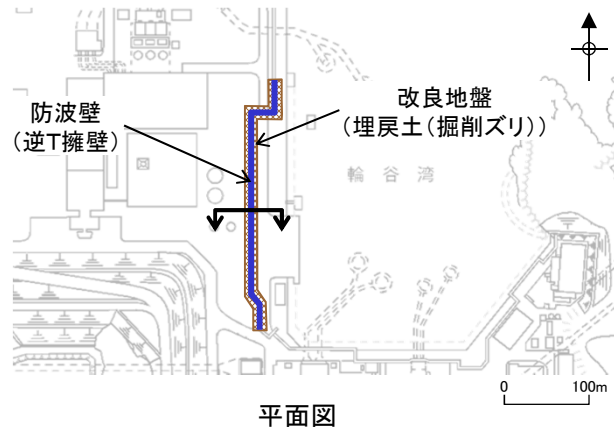
防波扉部



- ・防波扉部は、改良地盤底面の岩級は同等であり、シームは分布していない。改良地盤横断幅は12.6mまたは37.5mである。
- ・防波扉部のうち、支持地盤が最も深いJ-2断面を検討断面に設定する。

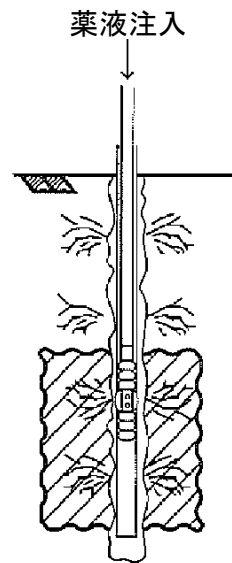
防波壁(逆T擁壁)の改良地盤について

- ・防波壁(逆T擁壁)直下の地盤について、液状化を抑制するため、薬液注入工法により地盤改良を実施している。
- ・強度特性、変形特性等の解析用物性値については、保守的に埋戻土(掘削ズリ)とする。



防波壁(逆T擁壁)鉛直断面図

※ 施設側の評価に合わせ、鋼管杭には期待しないものとして地盤安定性評価を行う。



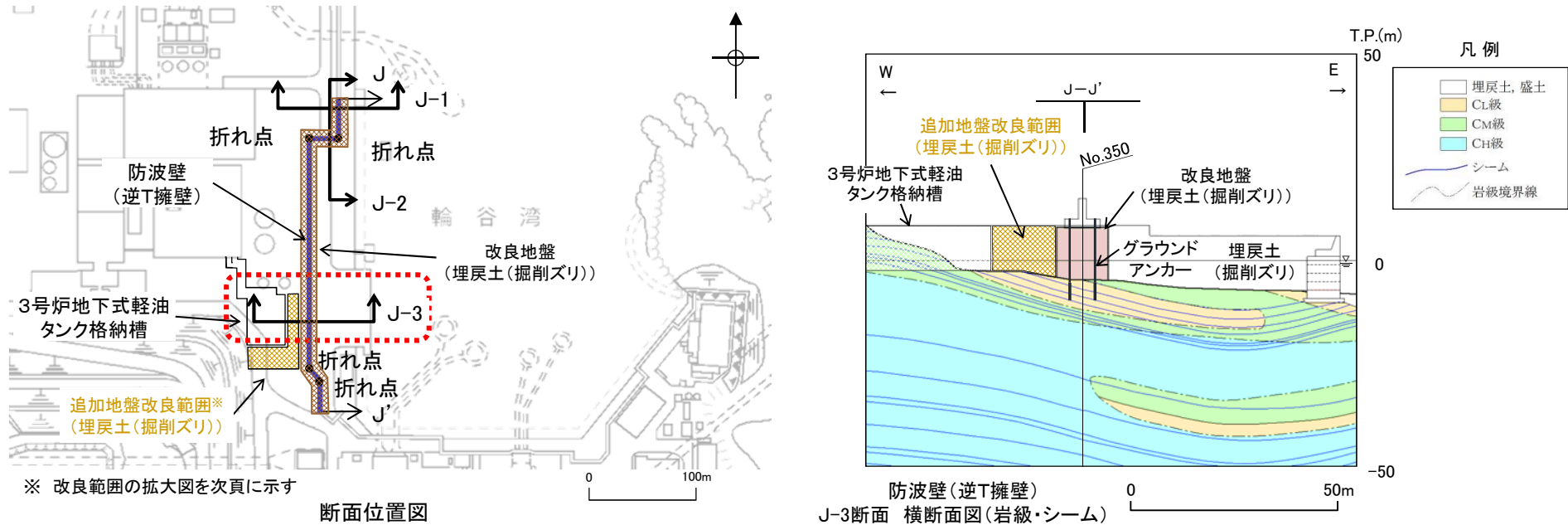
薬液注入工 概要図



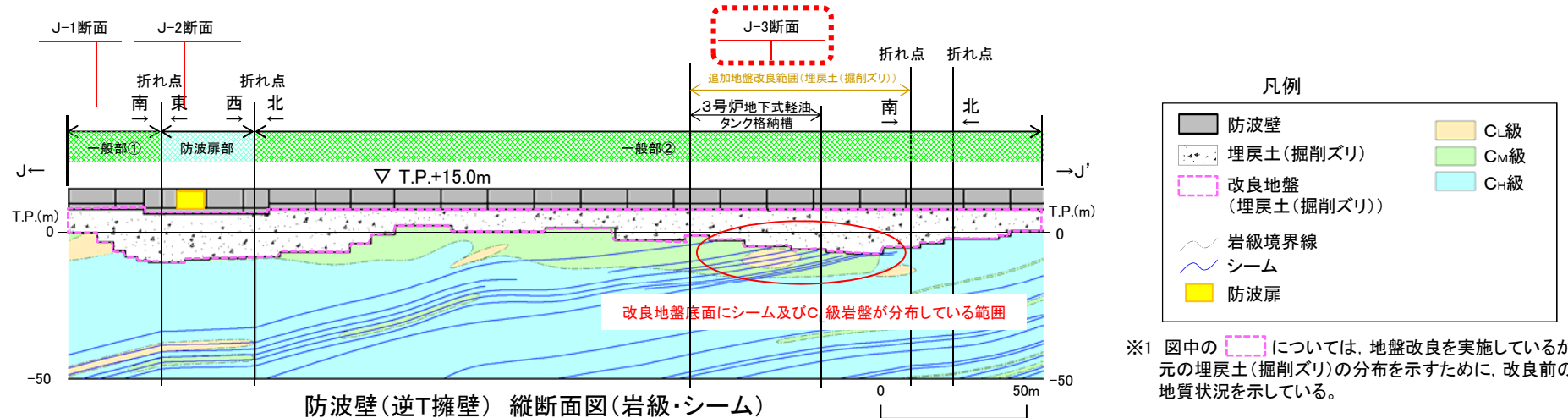
薬液注入工 状況写真(2011年撮影)

防波壁(逆T擁壁)のJ-3断面における対策工の計画(1/2)

・防波壁(逆T擁壁)の改良地盤底面にシーム及びC_L級岩盤が分布している範囲においては、J-3断面で動的解析を実施した結果(P157, 158)を踏まえ、更なる裕度向上の観点から、3号炉地下式軽油タンク格納槽の建設に合わせ、地盤改良による対策工を行う。

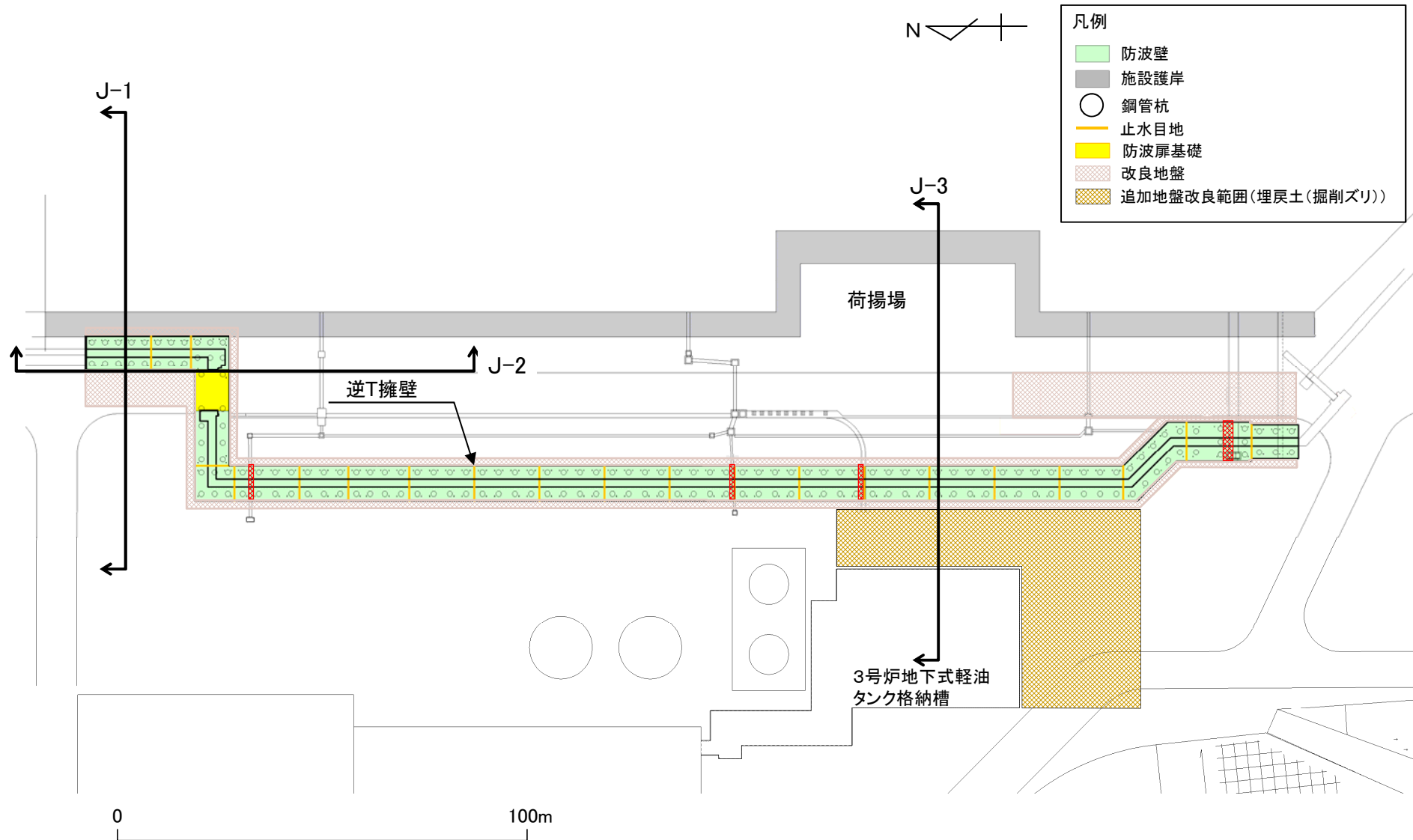


※ 改良範囲の拡大図を次頁に示す



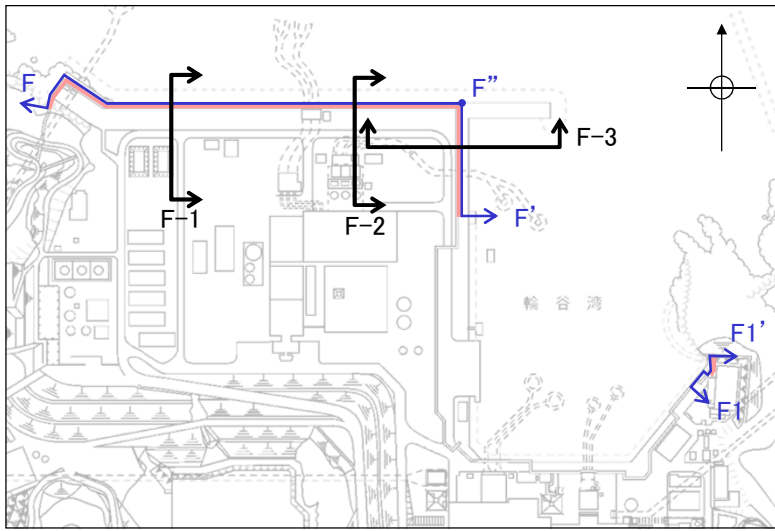
※1 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

防波壁(逆T擁壁)のJ-3断面における対策工の計画(2/2)

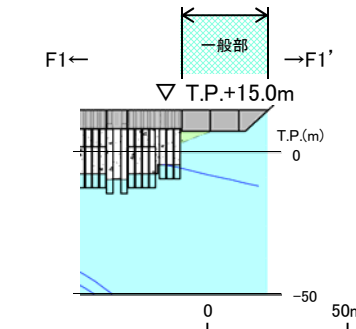
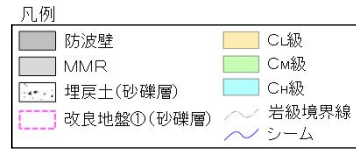


防波壁(波返重力擁壁)の検討断面の設定 グループD

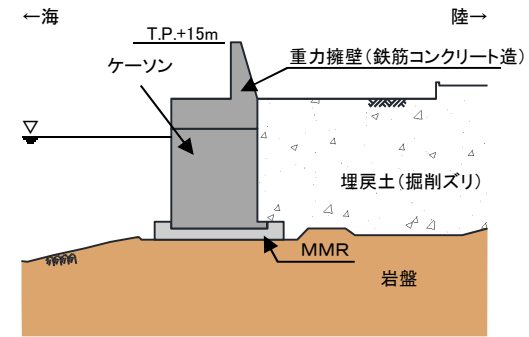
・防波壁(波返重力擁壁)は、基礎地盤の安定性評価の観点から、縦断方向に施設の構造は同様である(補足説明資料9章を参照)。
 ・すべり安全率が厳しい検討断面を設定する観点から、基礎地盤に着目し、埋戻土層等が最も厚いF-2断面、改良地盤に支持されるF-1断面、及びC_M級岩盤が最も厚いF-3断面の計3断面を検討断面に設定した。(設定理由の詳細は次頁参照)



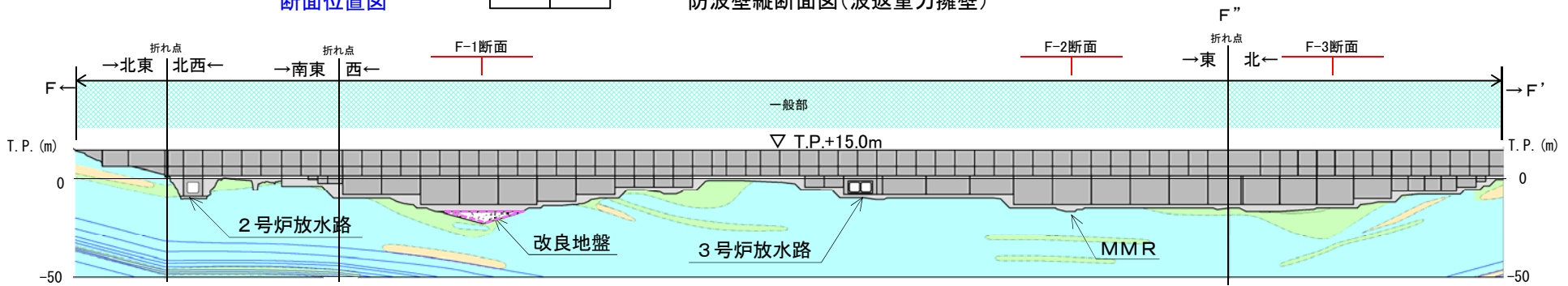
断面位置図



防波壁縦断面図(波返重力擁壁)



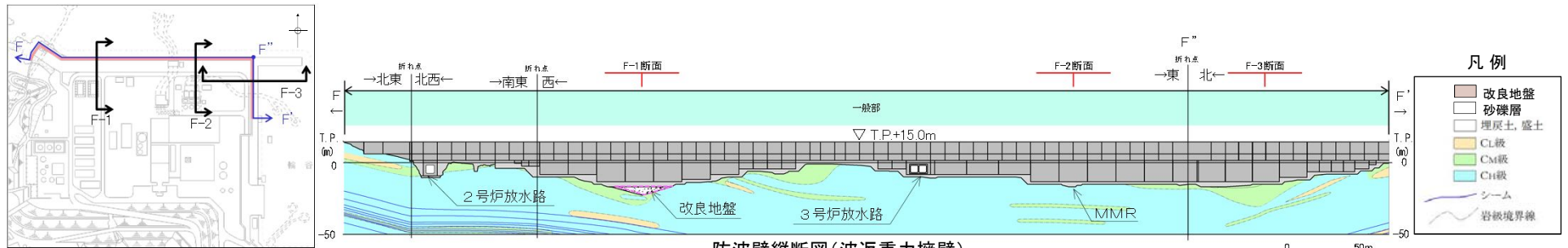
防波壁(波返重力擁壁(岩盤部))標準断面図



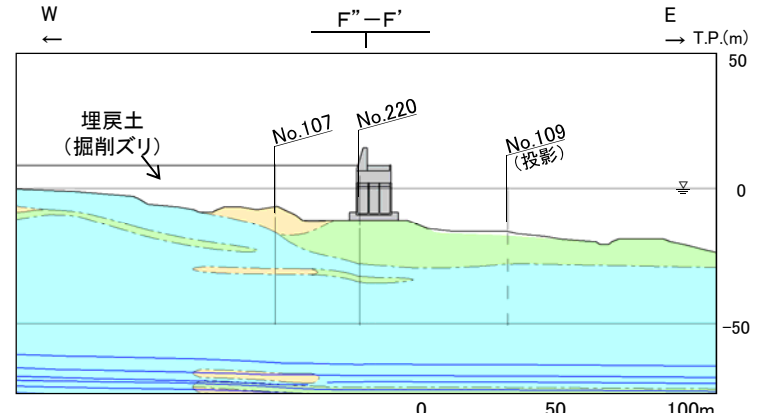
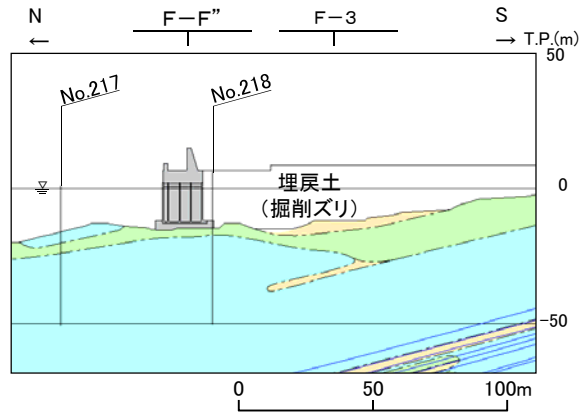
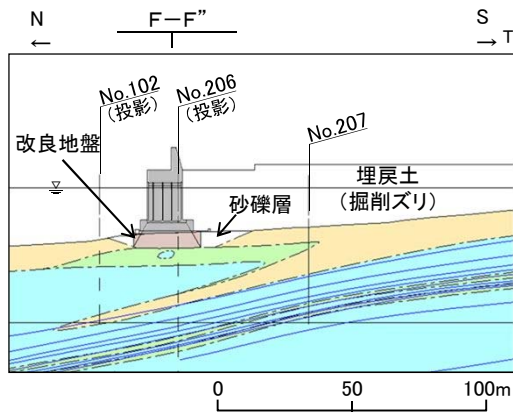
防波壁縦断面図(波返重力擁壁)

※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

防波壁(波返重力擁壁)の検討断面の設定(詳細)及び比較結果 グループD



※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。



- ・防波壁(波返重力擁壁)のうち、砂地盤改良部にケーソンを設置している区間において、埋戻土層等が最も厚いF-1断面を検討断面に設定する。
 - ・防波壁(波返重力擁壁)のうち、埋戻土層等が最も厚いF-2断面を検討断面に設定する。
 - ・防波壁(波返重力擁壁)のうち、基礎地盤にC_M級が分布し、その層厚が最も厚いF-3断面を検討断面に設定する。
 - ・検討断面F-1～3断面の地質状況等を確認した結果、防波壁(波返重力擁壁)は、防波壁(逆T擁壁)に比べ、単位奥行当たりの施設総重量が大きく、埋戻土層等が厚いが、改良地盤は周辺岩盤相当に改良されており(次頁参照)、基礎地盤はC_M級～C_H級の岩盤が主体で、施設直下にはシームが分布していない。
 - ・影響要因の番号付与数が防波壁(逆T擁壁)と同数であるため、F-1～3断面において簡便法を実施した結果、すべり安全率は防波壁(逆T擁壁)より大きい。(P62参照)
- 以上のことから、防波壁(逆T擁壁)の評価に代表させる。

防波壁(波返重力擁壁)の改良地盤について

- ・改良地盤部で実施したPS検層(サスペンション)により、岩盤部(支持地盤)と概ね同等の速度層に改良されていることを確認した。
- ・改良地盤部のP波速度, S波速度は、概ね岩盤部(C_M級岩盤)と同程度の値であり、速度層区分と比較すると、第2層から第3層程度の値である。

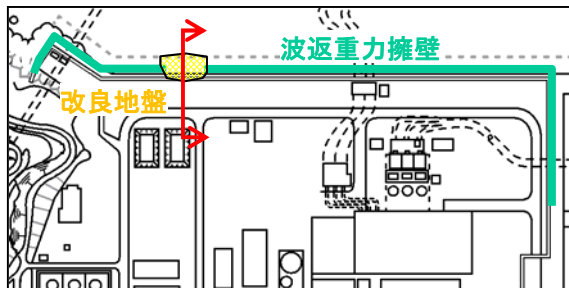
試験位置 深度(m)	No. 1			No. 2		
	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分
23	4,329	2,232	ケーソン底盤 (コンクリート)	3,831	1,290	ケーソン底盤 (コンクリート) 23.8
24	3,003	1,245	24.4	2,833	853	改良地盤
25	3,195	1,543	改良地盤	3,413	1,222	改良地盤
26	3,165	1,560	改良地盤	3,378	1,086	26.5
27	3,268	1,783	27.1	3,472	1,031	岩盤
28	-	-	岩盤	3,676	1,404	岩盤
29	-	-	岩盤	3,676	1,326	岩盤
30	-	-	岩盤	3,663	1,368	岩盤

改良地盤と岩盤のPS検討結果の比較
(平均値, 括弧内は上下限值)

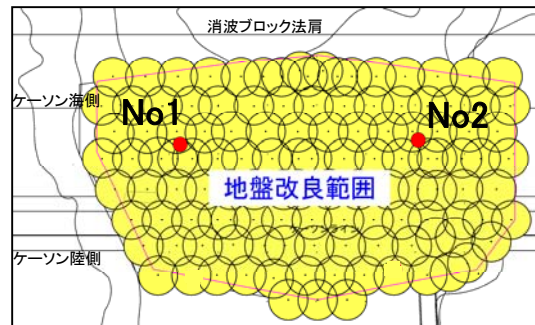
	P波速度 Vp (km/s)	S波速度 Vs (km/s)
改良地盤	3.2 (2.833~3.413)	1.3 (853~1.560)
岩盤	3.6 (3.472~3.676)	1.3 (1.031~1.404)

※ 改良地盤と岩盤の境界部の値は除く

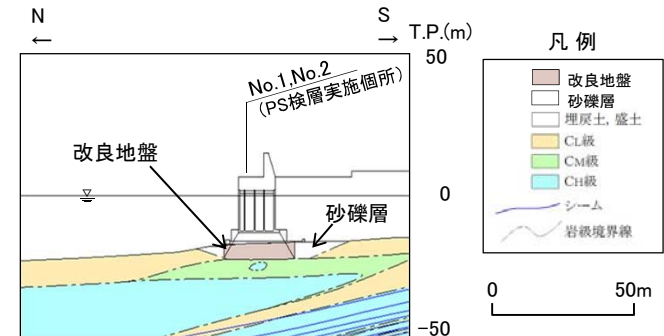
第2層 (C _L ~C _M 級岩盤)	2.1	0.9
第3層 (C _M ~C _H 級岩盤)	3.6	1.6



位置図



PS検層実施箇所



砂地盤改良部断面図(岩級・シーム)

簡便法の比較検討結果 グループD

簡便法の比較検討結果

評価対象施設		影響要因				該当する 影響要因	簡便法の 最小すべり安全率
		① 基礎地盤 の岩級、地形等	② 施設直下 のシームの分布	③ 施設総重量※1.3(MN) (単位奥行当たりの施設重量※1.3 (MN/m))	⑤ 埋戻土層 等の厚さ (m)		
防波壁 (逆T擁壁)	J-1断面	C _L 級 基礎地盤が特徴的	なし	14 (0.85)	11.5	①, ②	4.81
	J-2断面	C _H 級 基礎地盤が特徴的	なし	15 (0.65)	18.5		3.13
	J-3断面	C _L ~C _M 級 基礎地盤が特徴的	あり	14 (0.85)	13.0		3.05
防波壁 (波返重力擁壁)	F-1断面	C _M 級 基礎地盤が特徴的	なし	135 (6.75)	29.0	③, ⑤	15.26
	F-2断面	C _M ~C _H 級	なし	153 (7.67)	21.2		15.51
	F-3断面	C _M 級	なし	154 (8.10)	23.2		16.15

※1 1ブロック当たりの値を示す。

※2 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(逆T擁壁:16.0m~23.8m, 波返重力擁壁:19m~20m)で除した値を記載。

※3 「漂流物衝突荷重の設定方針」及び「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」の審査状況を反映し、漂流物対策工及び中詰材の改良による重量増を保守的に考慮した。(P67,68参照)

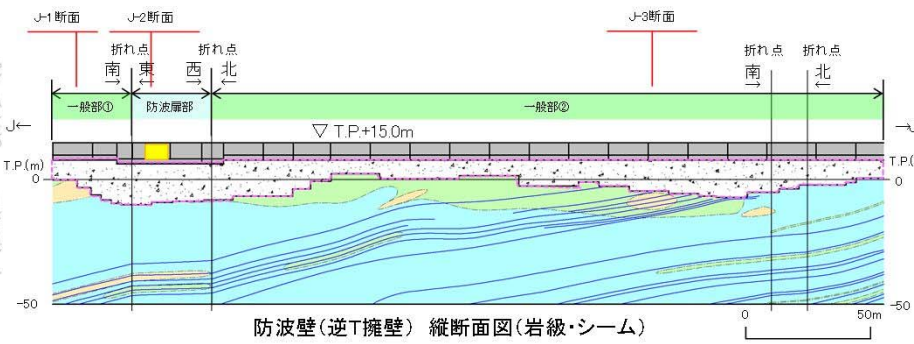
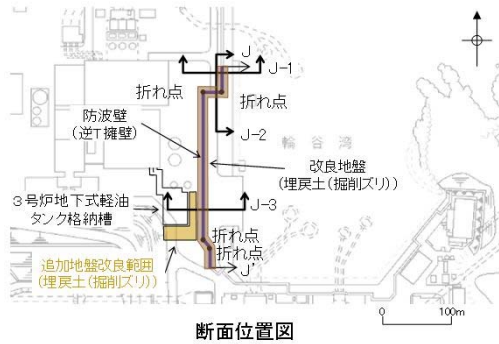
【検討方法】

・影響要因の番号付与数が最多の施設が複数存在することから、簡便法によりすべり安全率を算定し、比較検討を行った。

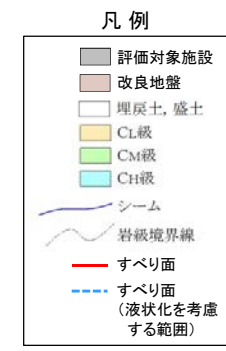
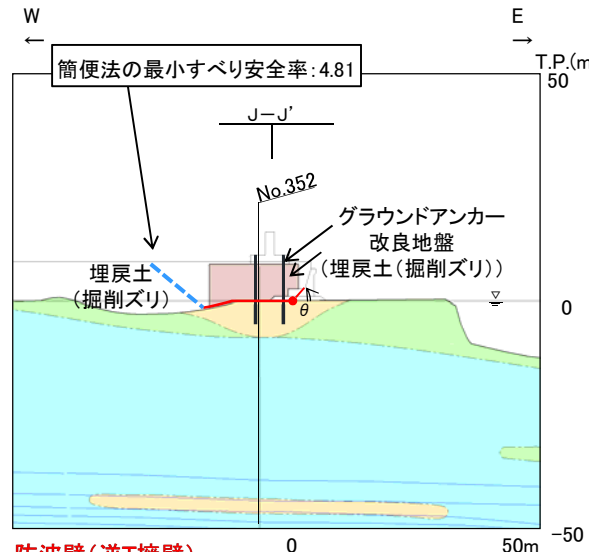
【検討結果】

・簡便法の結果、防波壁(逆T擁壁)のすべり安全率が3.05となり、防波壁(波返重力擁壁)よりも小さいことを確認した。

簡便法のすべり安全率 防波壁(逆T擁壁)



※1 図中の [] (については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。



防波壁(逆T擁壁) J-1断面 横断面図(岩級・シーム)

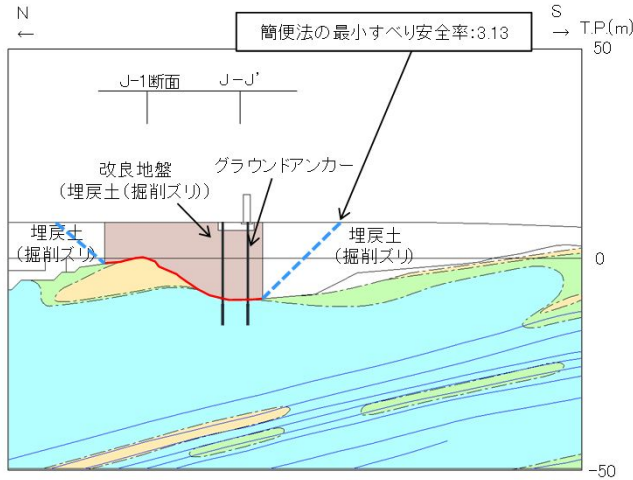
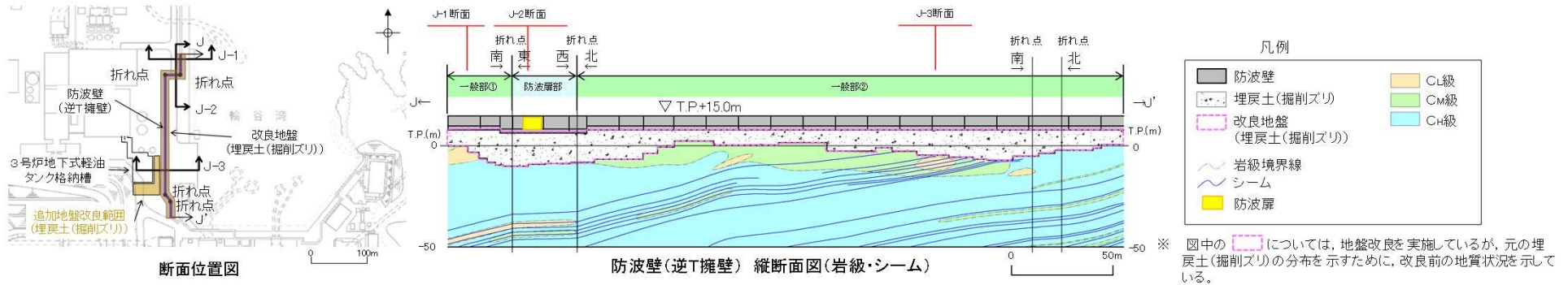
J-1断面 簡便法の結果

角度(°)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
すべり安全率	5.51	5.35	5.21	5.09	4.99	4.91	4.86	4.82	4.81	4.84	4.90	5.02	5.22	5.32	5.45	5.60	5.76

※最小すべり安全率を 4.81 で示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

簡便法のすべり安全率 防波壁(逆T擁壁)

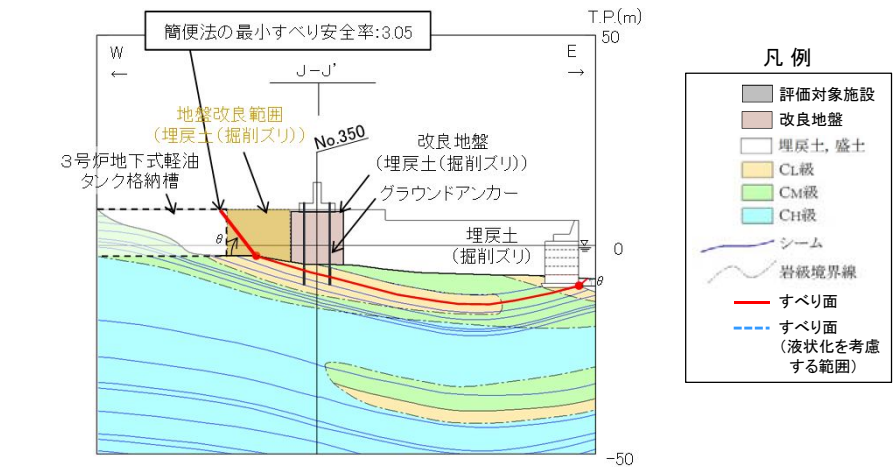


防波壁(逆T擁壁) J-2断面 横断面図(岩級・シーム)

J-2断面 簡便法の結果

すべり安全率	3.13
--------	------

※最小すべり安全率を○で示す。



防波壁(逆T擁壁) J-3断面 横断面図(岩級・シーム)

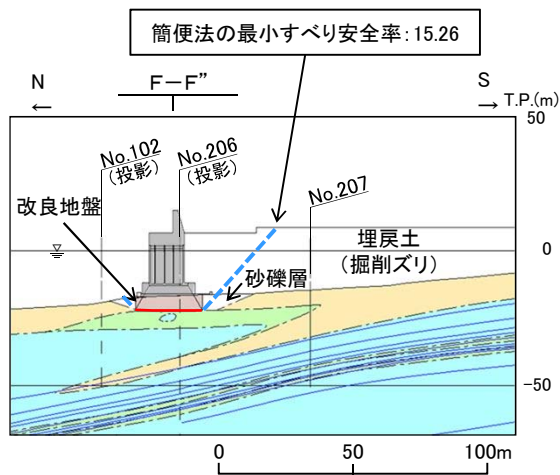
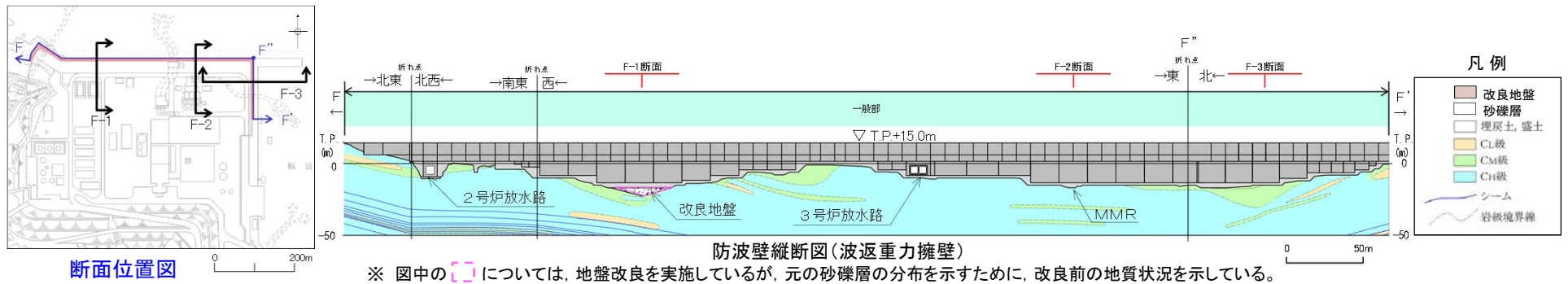
J-3断面 簡便法の結果

角度(°)	左	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
	右	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
すべり安全率		3.83	3.27	3.17	3.11	3.08	3.06	3.05	3.06	3.07	3.09	3.12	3.15	3.19	3.22	3.26

※最小すべり安全率を○で示す。右側は5~45°の最小値となる45°を記載。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

簡便法のすべり安全率 防波壁(波返重力擁壁)

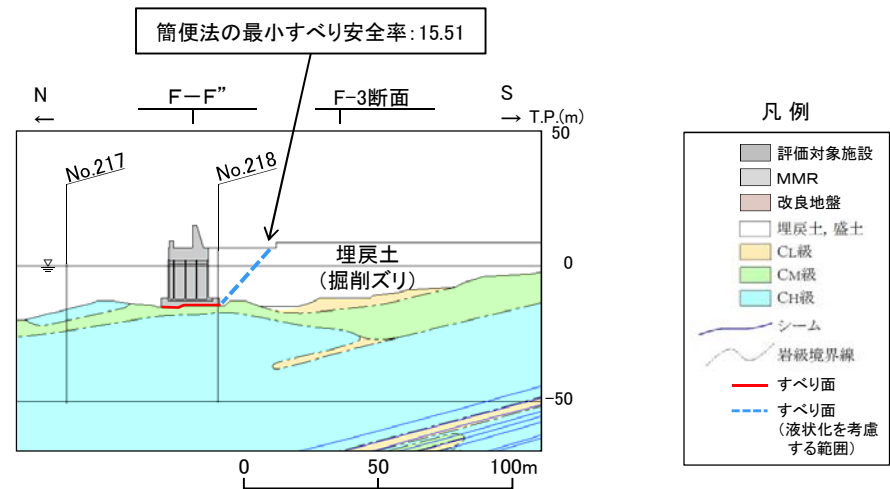


防波壁(波返重力擁壁)
F-1断面横断面図(岩級・シーム)

F-1断面 簡便法の結果

すべり安全率	15.26
--------	-------

※最小すべり安全率を 15.26 で示す。



防波壁(波返重力擁壁)
F-2断面横断面図(岩級・シーム)

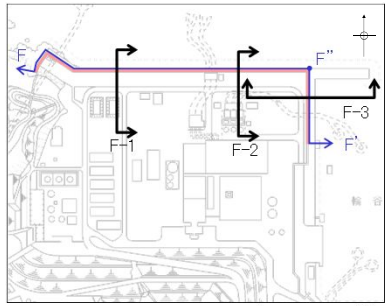
F-2断面 簡便法の結果

すべり安全率	15.51
--------	-------

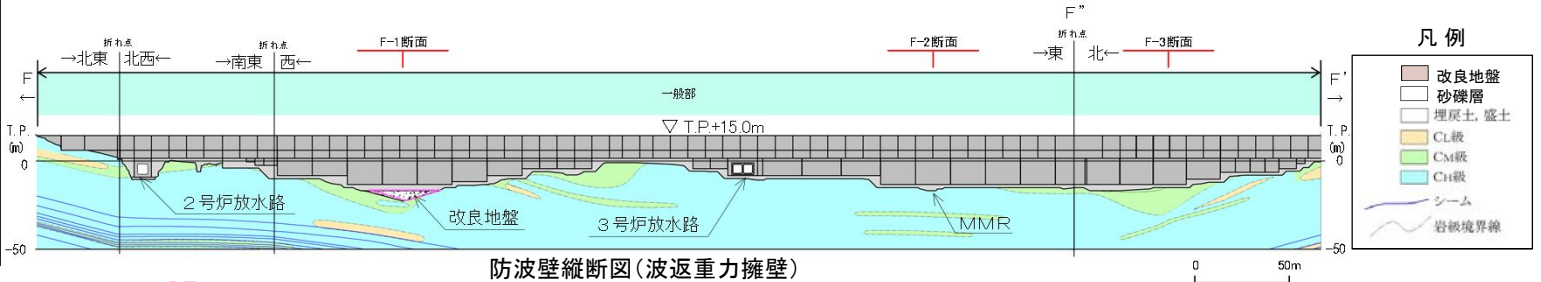
※最小すべり安全率を 15.51 で示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

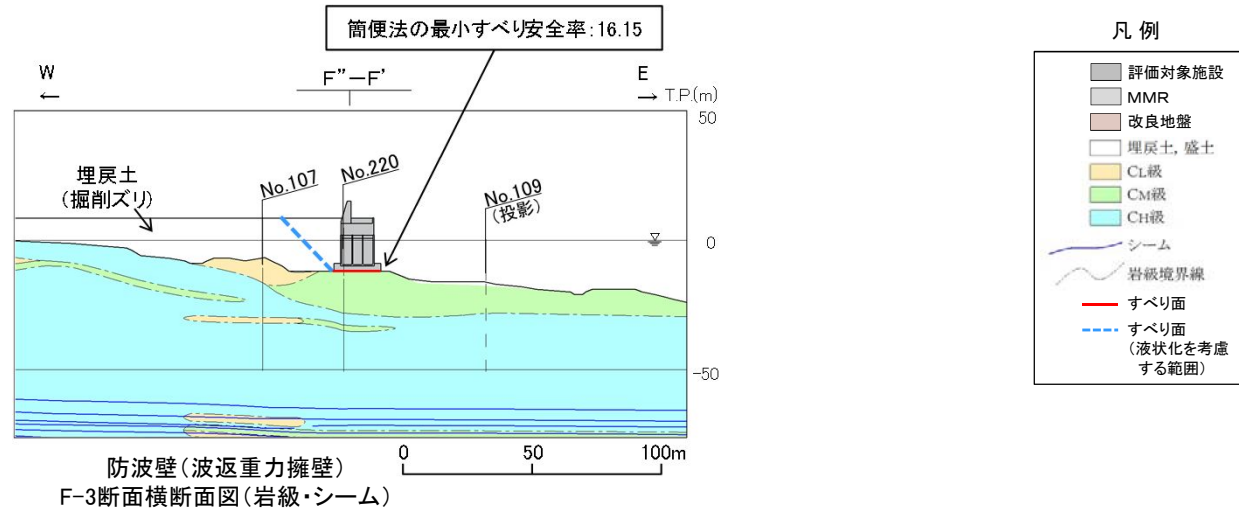
簡便法のすべり安全率 防波壁(波返重力擁壁)



断面位置図



※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。



F-3断面 簡便法の結果

すべり安全率	16.15
--------	-------

※最小すべり安全率を 16.15 で示す。

(参考)防波壁への反映(漂流物対策工)

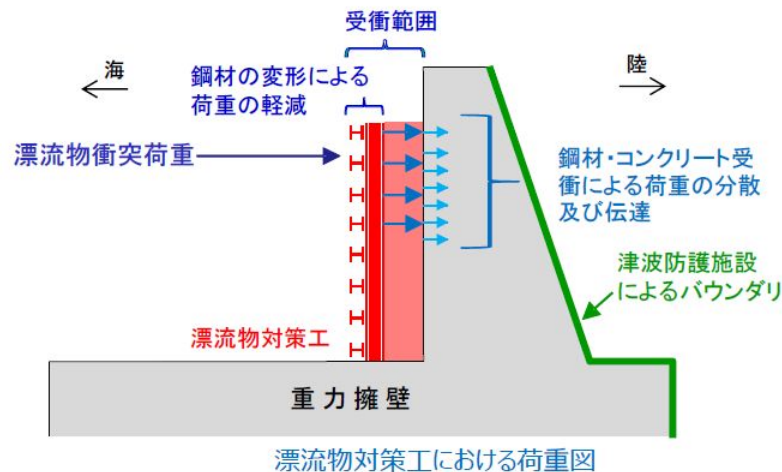
・防波壁の影響要因の比較及び簡便法において、漂流物対策工の重量を保守的に考慮する。

$$\text{漂流物対策工} = \text{鋼材重量} + \text{コンクリート重量} = 0.02 + 0.14 = 0.16\text{MN/m} \Rightarrow 0.2\text{MN/m} \text{ とする}$$

第925回審査会合(2020年12月1日)資料「漂流物衝突荷重の設定方針」より抜粋

- 漂流物対策工を設置する場合は、漂流物衝突荷重を受け持つこと、又は漂流物衝突荷重を軽減・分散させること等が可能な構造とする。
- 漂流物対策工に期待する効果及び効果を発揮するためのメカニズムを以下に示しており、漂流物対策工は、漂流物衝突荷重を踏まえて、各部材を適切に組み合わせて漂流物対策工の仕様を決定する。

期待する効果	効果を発揮するためのメカニズム	部材(材質)
・漂流物の衝突荷重を軽減する。	・漂流物が衝突した際に、変形することにより衝突エネルギーを吸収する。	鋼材
・漂流物衝突荷重を受け持つ、又は分散して伝達する。	・漂流物対策工を構成する部材が、漂流物の衝突荷重を受衝することで、漂流物対策工のみで衝突荷重を受け持つ、又は漂流物対策工の構成部材により分散した荷重を背後の津波防護施設本体に伝達する。	鋼材 コンクリート
・漂流物衝突による津波防護施設の局所的な損傷を防止する。	・漂流物を漂流物対策工が受衝することで、津波防護施設まで到達・貫入しない。	鋼材 コンクリート



(参考)防波壁(波返重力擁壁)への反映(中詰材の改良)

・防波壁(波返重力擁壁)の影響要因の比較及び簡便法において、中詰材の改良による重量増を保守的に考慮する。

【F-1断面】中詰材の改良による重量増分 = (コンクリート単位体積重量※1 - 銅水砕スラグ単位体積重量) × 体積※2 / 防波壁延長
 = (24.0 - 22.6)kN/m³ × 2,302.15m³ / 20m ≒ 0.17MN/m ⇒ 0.2MN/m とする

【F-2断面】中詰材の改良による重量増分 = (コンクリート単位体積重量※1 - 銅水砕スラグ単位体積重量) × 体積※2 / 防波壁延長
 = (24.0 - 22.6)kN/m³ × 2,756.13m³ / 20m ≒ 0.19MN/m ⇒ 0.2MN/m とする

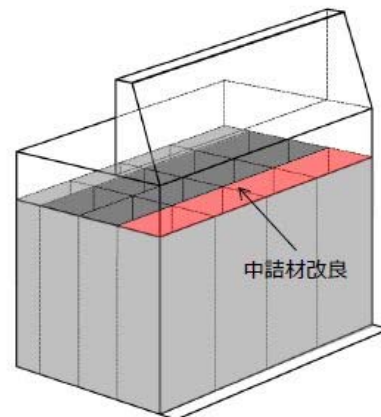
【F-3断面】中詰材の改良による重量増分 = (コンクリート単位体積重量※1 - 砂の単位体積重量) × 体積※2 / 防波壁延長
 = (24.0 - 20.0)kN/m³ × 3,025.28m³ / 19m ≒ 0.64MN/m ⇒ 0.7MN/m とする

※1 保守的に中詰材が普通コンクリートに置き換わったものとする ※2 保守的に前壁、中壁及び後壁の全ての体積とする

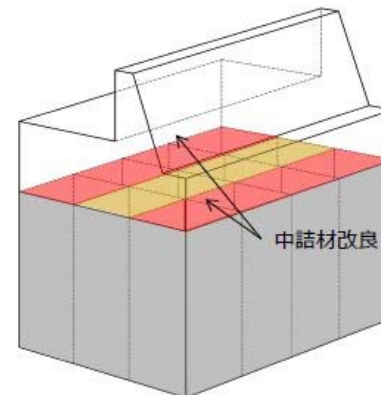
第909回審査会合(2020年10月15日)資料「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」より抜粋

【中詰材の改良範囲及び仕様】

- ケーソンの中詰材の一部を改良(固化処理等)することで、基準地震動S_s-Dに対し、改良地盤部及び輪谷部のケーソンにおける各構造部材において構造成立性が確保されることを確認する。
- 詳細設計段階において、他の断面も適切に検討したうえで、地震時及び津波時の荷重の不確かさ及び物性値のばらつきを考慮しても、ケーソンの各構造部材が津波防護施設としての性能を保持させる設計とし、中詰材の改良範囲及び仕様を決定する。
- 中詰材の改良範囲として、地震時、津波時荷重等が直接作用するケーソン前壁及び後壁の背面の中詰材を改良することを基本とし、ケーソンの照査結果を踏まえ、必要に応じて改良範囲の追加を検討する。また、中詰材改良の仕様として、ケーソンの照査結果を踏まえ、中詰材及びケーソン隔壁内に実施する中詰材改良の解析用物性値(剛性)を設定し、解析用物性値(剛性)の妥当性を試験等により確認する。



ケーソン(改地盤部)耐震補強対策工(例)



ケーソン(輪谷部)耐震補強対策工(例)

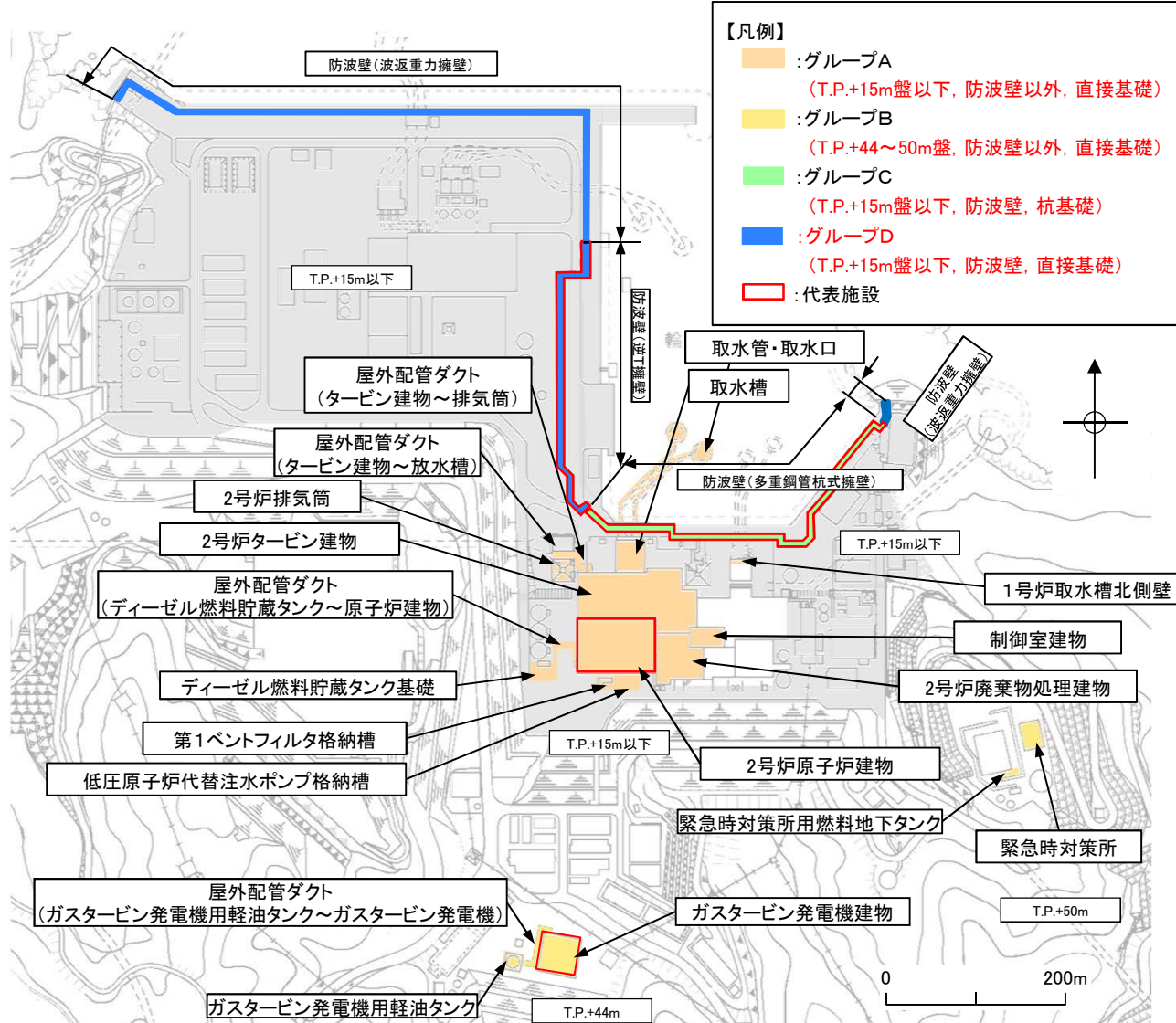
3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

選定結果

第910回審査会合
資料1-1 P57 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

69

・各グループから選定した代表施設を以下に示す。



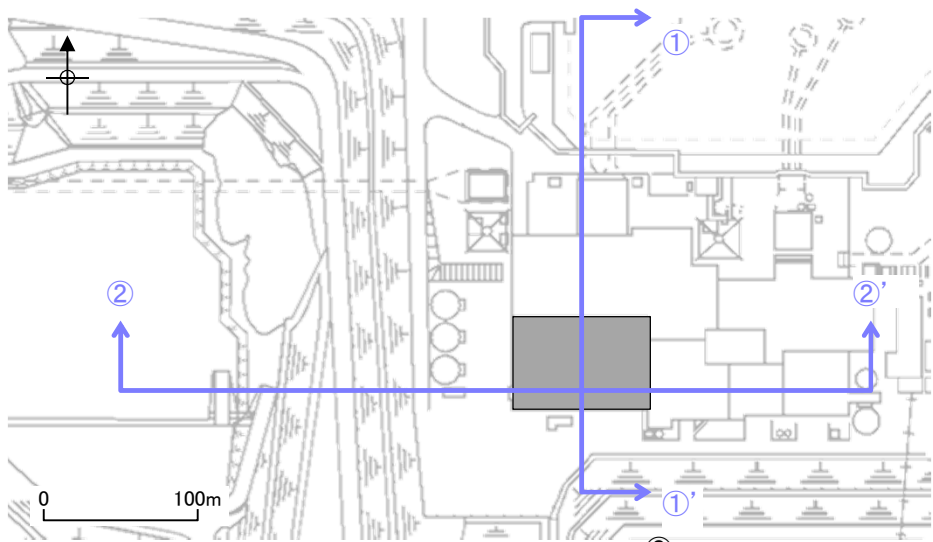
代表施設の選定結果

グループA (T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)	
2号炉原子炉建物	
2号炉タービン建物	
2号炉廃棄物処理建物	
制御室建物	
取水槽	
2号炉排気筒	
屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)	
屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)	
第1ベントフィルタ格納槽	
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	
取水管・取水口	
1号炉取水槽北側壁	
屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	
グループB (T.P.+44~50m盤, 防波壁以外, 直接基礎)	
ガスタービン発電機建物	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	
屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	
緊急時対策所	
緊急時対策所用燃料地下タンク	
グループC (T.P.+15m盤以下, 防波壁, 杭基礎)	
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	
グループD (T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎)	
防波壁(逆T擁壁)	
防波壁(波返重力擁壁)	

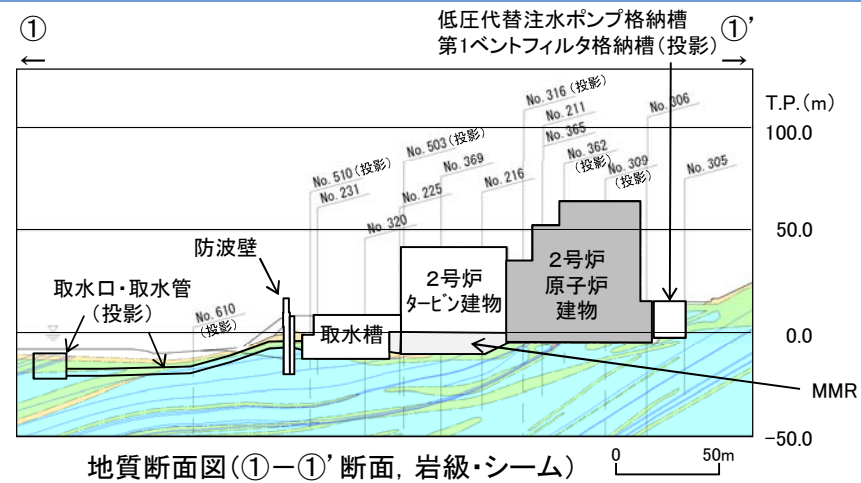
3. 基礎地盤の安定性評価

3. 3 評価対象断面の選定

評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物) (1/2)



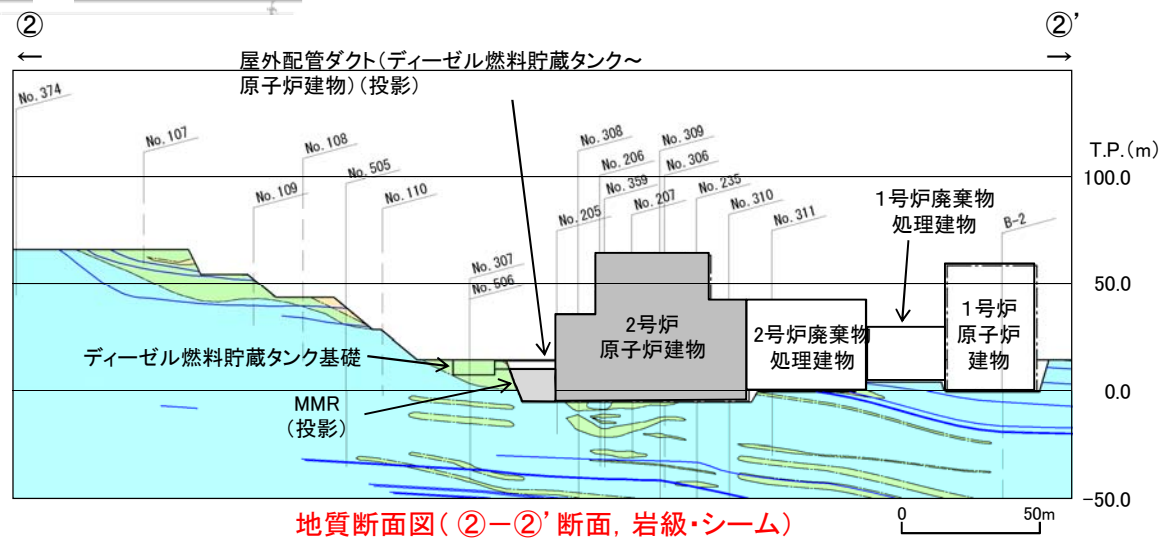
断面位置図



地質断面図(①-①'断面, 岩級・シーム)

凡例

	代表施設
	MMR
	埋戻土、盛土
	D級
	CL級
	CM級
	CH級
	シーム
	岩級境界線



地質断面図(②-②'断面, 岩級・シーム)

- ・2号炉原子炉建物の検討断面について、以下のとおり施設に直交する①-①'断面及び②-②'断面を設定した。
- ・2号炉原子炉建物周辺は、施設重量の大きい建物が密集することから、影響要因のうち施設重量を比較する際は、両断面上の建物の総重量も併せて比較した。
- ・①-①'断面及び②-②'断面の比較の結果、影響要因の諸元が同程度であることを踏まえ、両断面とも評価対象断面に選定した。

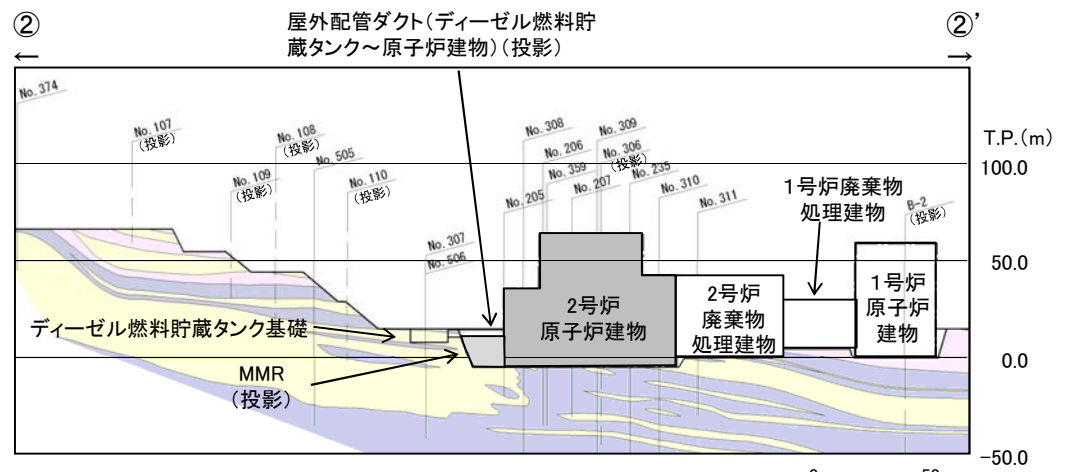
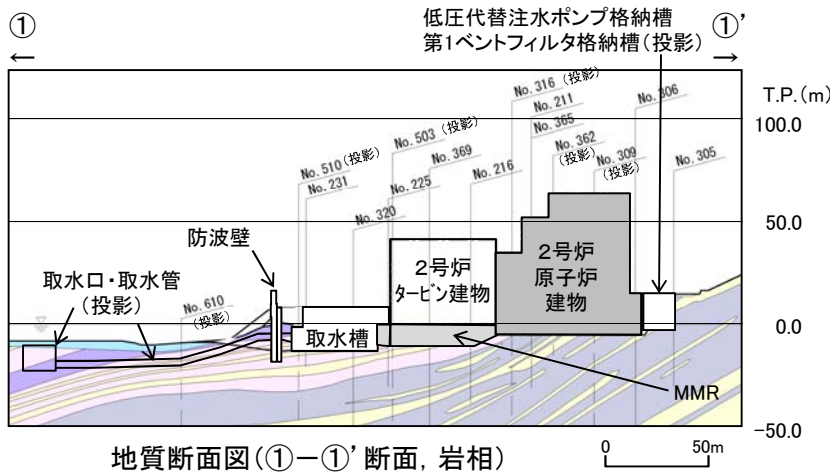
評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物)(2/2)

検討断面	影響要因				該当する影響要因	選定理由
	① 基礎地盤の岩級、地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの施設重量※1 (MN/m))	【参考】 隣接施設も含めた施設重量※2 (MN)		
①-①'	C _M ~C _H 級	あり	3,278 (36.66)	5,772	②, ③	両断面の影響要因の諸元が同程度であることを踏まえ、両断面とも評価対象断面に選定する。
②-②'		あり	3,278 (46.82)	5,481		



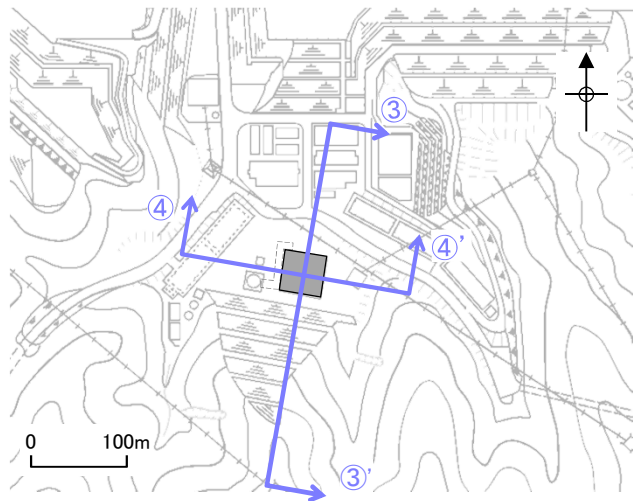
※1 施設総重量を施設の断面直交方向の延長で除した値を記載。

※2 ①-①'断面は、2号炉原子炉建物、2号炉タービン建物及び2号炉取水槽の施設総重量の和を記載。②-②'断面は、2号炉原子炉建物、2号炉廃棄物処理建物、1号炉原子炉建物及び1号炉廃棄物処理建物の施設総重量の和を記載。詳細は補足説明資料の4章を参照。

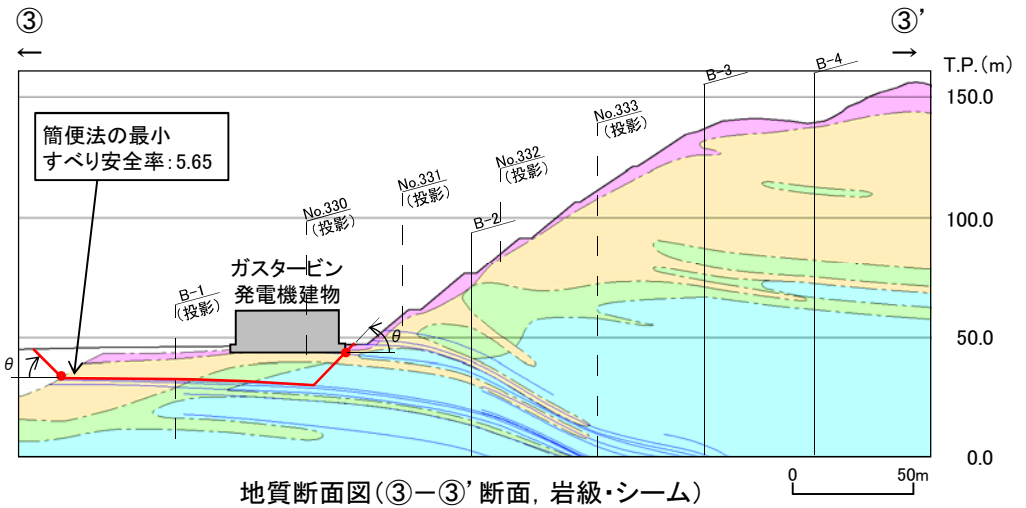


評価対象断面の選定(ガスタービン発電機建物) (1/2)

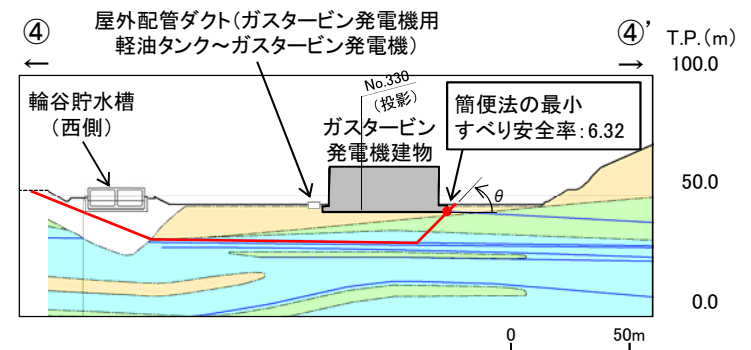
- ・ガスタービン発電機建物について、施設に直交する③-③'断面及び④-④'断面を検討断面に設定した。
- ・④-④'断面では、ガスタービン発電機建物及び輪谷貯水槽(西側)の施設重量を考慮した。
- ・検討断面において影響要因及び簡便法のすべり安全率の比較を行った結果、③-③'断面を評価対象断面に選定した。(比較結果は次頁参照)



断面位置図



地質断面図(③-③'断面, 岩級・シーム)



地質断面図(④-④'断面, 岩級・シーム)

③-③'断面 簡便法の結果

角度 (°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	45	45	45	45	45	45	45
すべり安全率		6.12	6.00	5.91	5.84	5.77	5.71	5.65

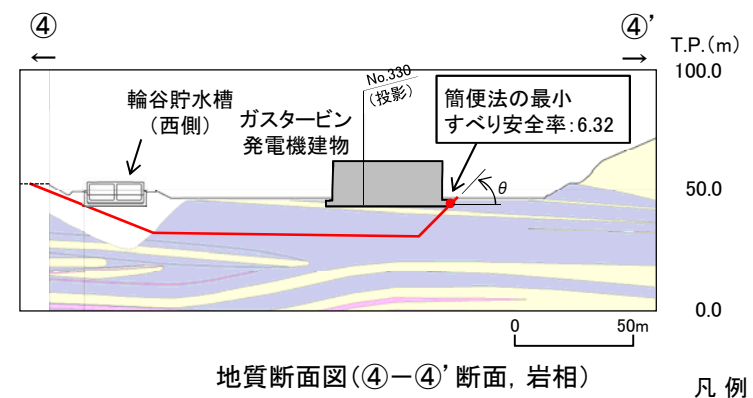
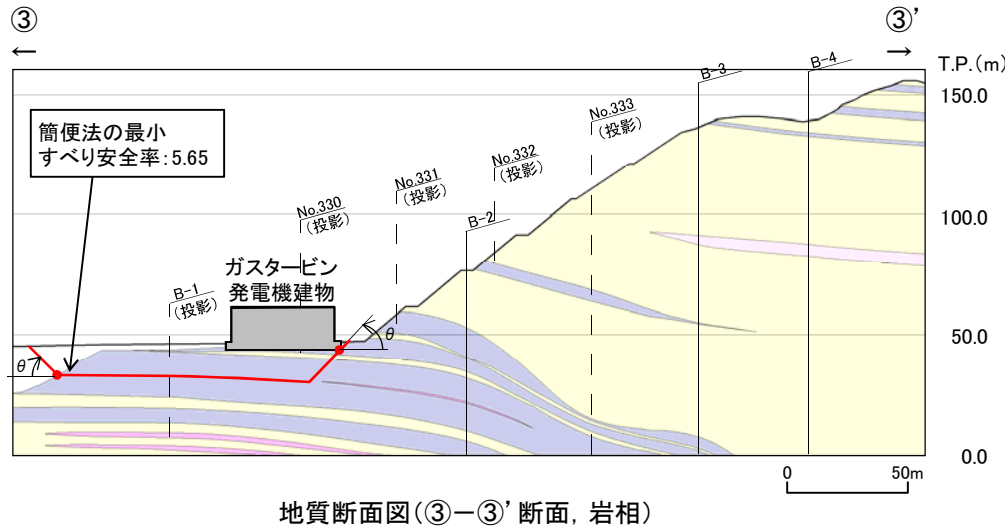
※最小すべり安全率を **5.65** で示す。右側は20~80°の最小値となる45°を記載。

④-④'断面 簡便法の結果

角度 (°)	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	11.75	10.62	9.28	8.34	7.66	7.12	6.71	6.32

※最小すべり安全率を **6.32** で示す。左側の切り上がりは輪谷貯水槽(西側)の隅角部で固定。

評価対象断面の選定(ガスタービン発電機建物) (2/2)



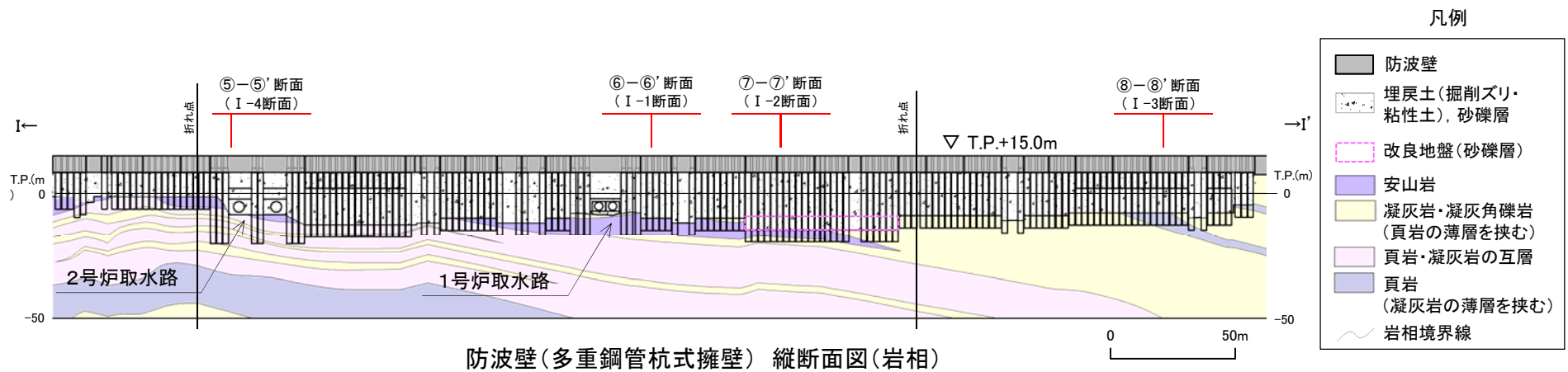
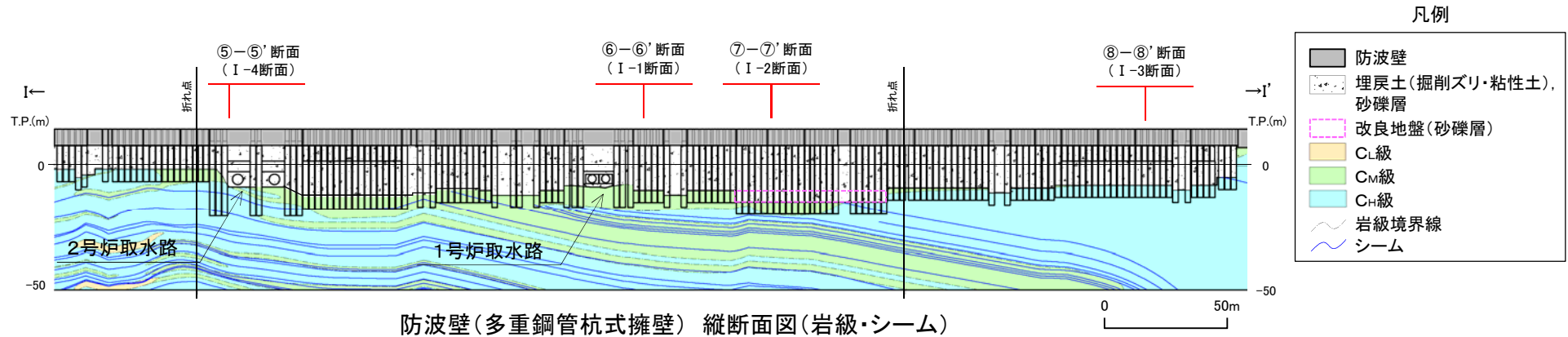
- 凡例
- 代表施設
 - 埋戻土、盛土
 - ドレライト
 - 凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
 - 頁岩・凝灰岩の互層
 - 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
 - 〰 岩相境界線

検討断面	影響要因			該当する 影響要因	簡便法の すべり 安全率	選定理由
	① 基礎地盤 の岩級、地形 等	② 施設直下 のシームの 分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの 施設重量※1(MN/m))			
③-③'	C _L 級	あり	411 (8.96)	①, ②, ③	5.65	・施設直下にシームが分布していること、シームの最急勾配方向であること、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、表層にD級岩盤が分布すること、及び簡便法のすべり安全率が小さいことから、評価対象断面に選定する。
④-④'	C _L 級	あり	411 (8.57)	①, ②	6.32	・③-③'断面に比べ、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、及び簡便法の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。

※1 施設総重量を施設の断面直交方向の延長で除した値を記載。

グループC 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面の設定

・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)では、代表施設の選定の際に設定した検討断面 I-1~4断面(⑤-⑤'~⑧-⑧'断面)の4断面全てを評価対象断面の選定に用いる検討断面に設定した。



3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

第910回審査会合
資料1-1 P64 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁))

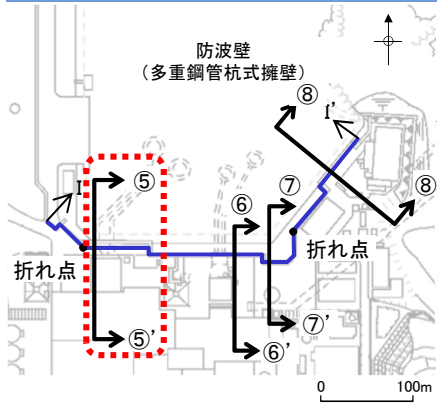
・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面4断面について、下表の比較を行った結果、⑦-⑦'断面を評価対象断面に選定した。(詳細は次頁以降参照)

検討断面	影響要因						該当する影響要因	簡便法における最小すべり安全率	選定理由
	① 基礎地盤の岩級、地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量※1.3 (MN) (単位奥行当たりの施設重量※2.3 (MN/m))	④ 底面幅 (m)	⑤ 埋戻土層等の厚さ (m)	⑥ 根入れ長 (m)			
⑤-⑤' 断面	C _H 級 基礎地盤が特徴的	あり	78 (3.92)	4.7	16.7	7	①, ②, ③	9.90	・⑦-⑦'断面に比べ、基礎地盤が特徴的(施設護岸よりも前(海側)に位置している)であり、単位奥行当たりの施設重量が大きいが、基礎地盤はC _H 級の岩盤が主体であること、杭底面幅が大きいこと、埋戻土層等が薄いこと、根入れ長が長いこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。
⑥-⑥' 断面	C _M ~C _H 級	あり	19 (1.53)	2.2	18.0	5	②, ④, ⑥	13.62	・⑦-⑦'断面に比べ、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、埋戻土層等が薄いこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。
⑦-⑦' 断面	C _M ~C _H 級	あり	26 (1.76)	2.2	22.8	5	②, ④, ⑤, ⑥	9.59	・改良地盤直下にシームが分布していること、杭底面幅が小さいこと、埋戻土層等が厚いこと、根入れ長が短いこと、及び最小すべり安全率が小さいことから、評価対象断面に選定する。
⑧-⑧' 断面	C _H 級 基礎地盤が特徴的	なし	24 (1.58)	2.2	15.9	5	①, ④, ⑥	11.99	・⑦-⑦'断面に比べ、基礎地盤が特徴的(施設護岸よりも前(海側)に位置している)であるが、C _H 級の岩盤が主体であること、施設直下にシームが分布しないこと、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、埋戻土層等が薄いこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

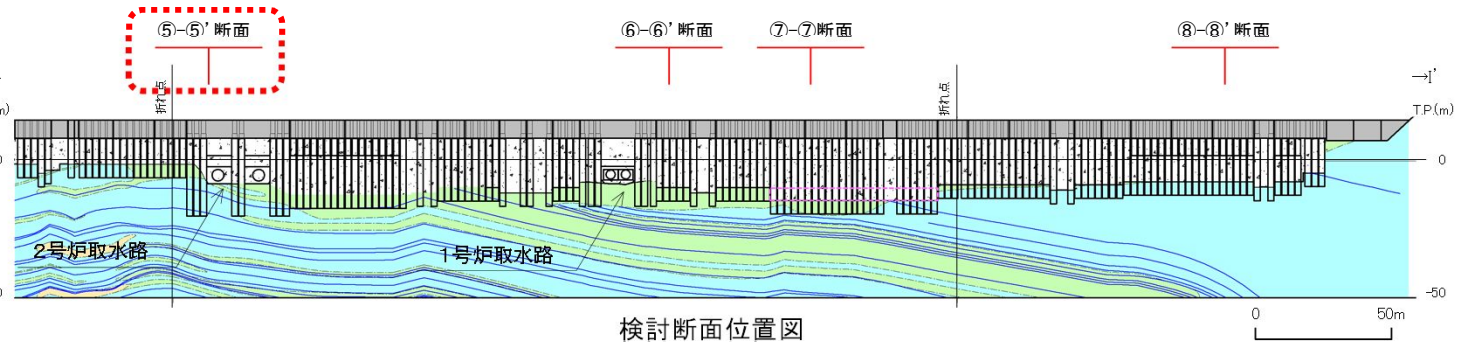
■ : 番号を付与する影響要因 ■ : 影響要因の番号付与が多い □ : 選定した代表施設

※1 1ブロック当たりの値(延長12.5m~37.8m/ブロック)を示す。
 ※2 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(12.5m~37.8m)で除した値を記載。
 ※3 「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査状況を反映し、漂流物対策工による重量増を保守的に考慮した。(P67参照)

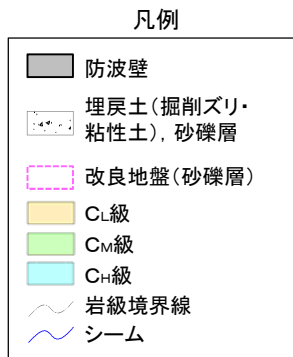
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑤-⑤'断面)



断面位置図



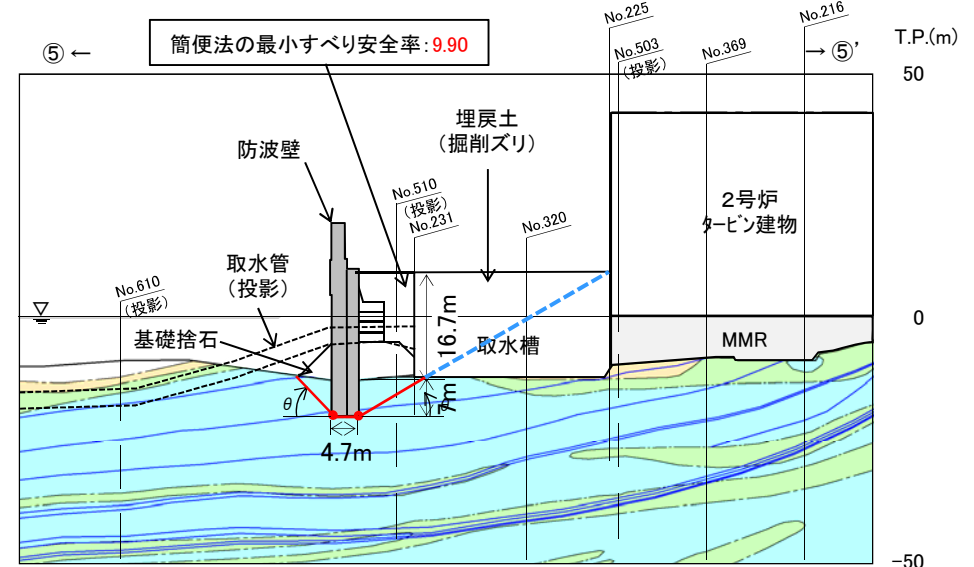
検討断面位置図



⑤-⑤'断面 簡便法の結果

角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	
	右	29	30	35	40	45	50	60	
すべり安全率		9.91	9.90	10.00	10.28	10.76	11.51	12.58	14.05
角度(°)	左	45	45	45	45	45			
	右	65	70	75	80	85			
すべり安全率		16.12	19.03	23.54	30.91	44.72			

※最小すべり安全率を **9.90** で示す。左側は5~45°の最小値となる45°を記載。



※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。

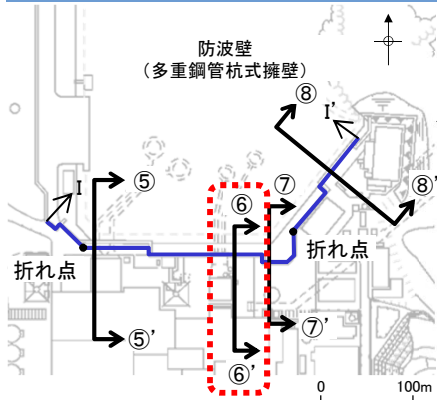
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑤-⑤'断面横断面図(岩級・シーム)

・⑤-⑤'断面は, ⑦-⑦'断面に比べ, 基礎地盤が特徴的(施設護岸よりも前(海側)に位置している)であり, 単位奥行当たりの施設重量が大きい, 基礎地盤はC_H級の岩盤(成相寺層)が主体であること, 杭底面幅が4.7mと大きいこと, 埋戻土層等が16.7mと薄いこと, 根入れ長が7mと長いこと, 及び最小すべり安全率が**9.90**と大きいことから, ⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

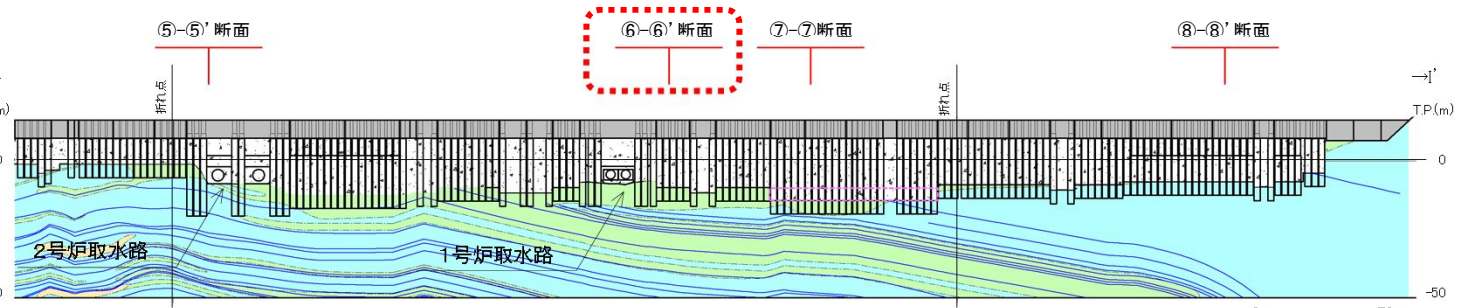
3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

第910回審査会合
資料1-1 P66 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

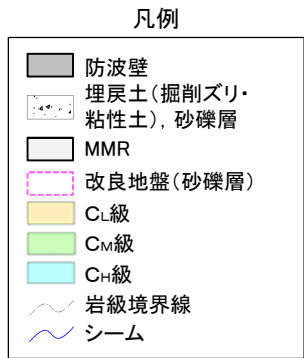
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑥-⑥'断面)



断面位置図



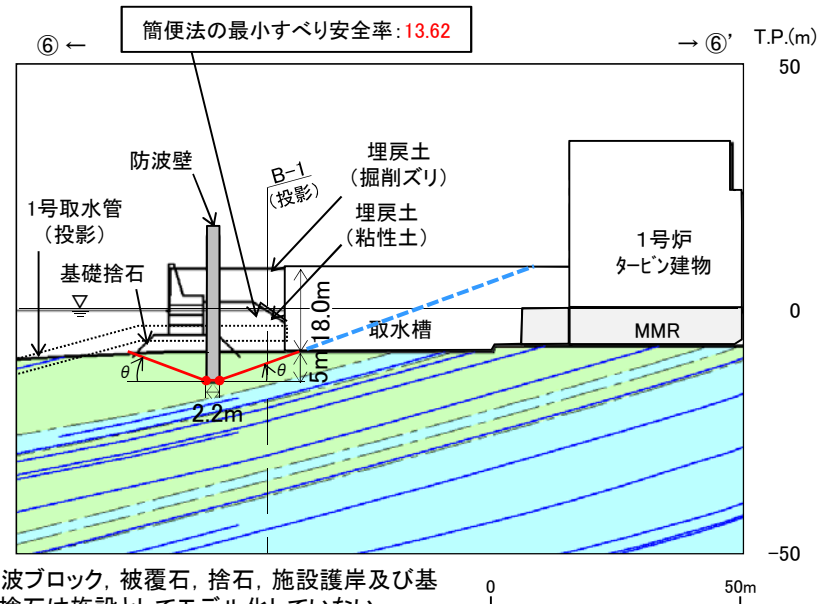
検討断面位置図



⑥-⑥'断面 簡便法の結果

角度(°)	左	20	20	20	20	20	20	20	20
	右	18	20	25	30	35	40	45	50
すべり安全率		13.70	13.62	13.68	13.97	14.50	15.31	16.43	17.99
角度(°)	左	20	20	20	20	20	20	20	20
	右	55	60	65	70	75	80	85	85
すべり安全率		20.11	22.90	26.65	32.26	40.88	56.17	89.99	

※最小すべり安全率を 13.62 で示す。左側は5~45°の最小値となる20°を記載。



※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。

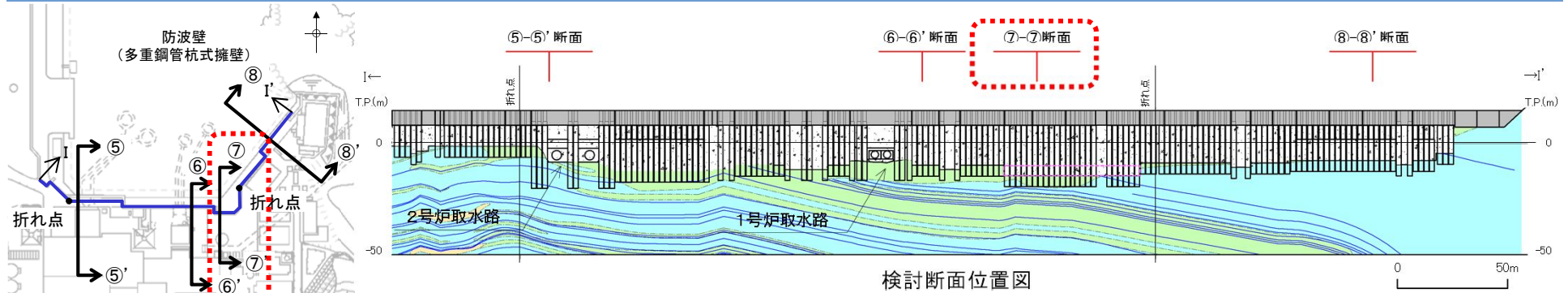
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑥-⑥'断面横断面図(岩級・シーム)

・⑥-⑥'断面は, ⑦-⑦'断面に比べ, 単位奥行当たりの施設重量が小さいこと, 埋戻土層等が18.0mと薄いこと, 及び最小すべり安全率が13.62と大きいことから, ⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

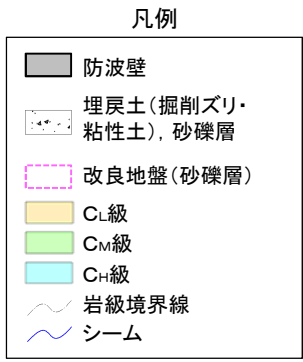
第910回審査会合
資料1-1 P67 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦'断面)



断面位置図

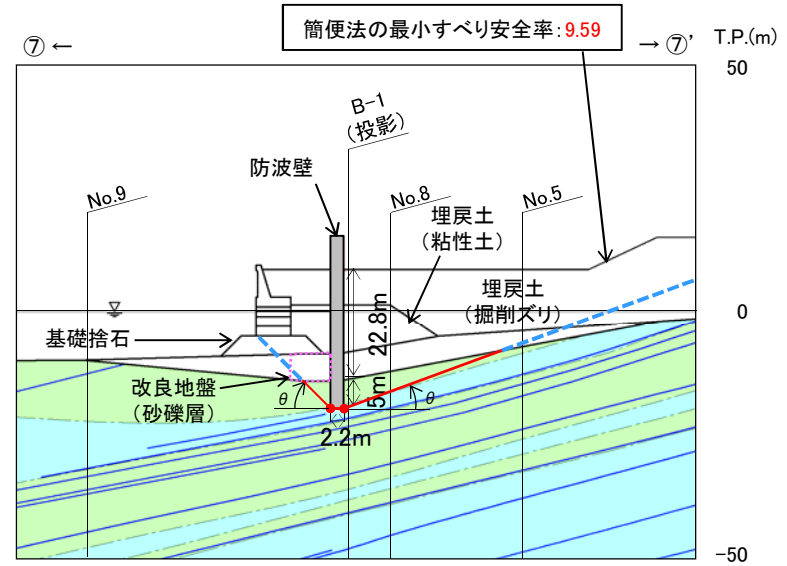
検討断面位置図



⑦-⑦'断面 簡便法の結果

角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	45
	右	15	20	25	30	35	40	45	50
すべり安全率		10.95	9.59	9.79	10.31	11.14	12.35	14.11	16.76
角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	
	右	55	60	65	70	75	80	85	
すべり安全率		20.60	27.08	40.30	79.24	2425.46	-	-	

※最小すべり安全率を 9.59 で示す。左側は5~45°の最小値となる45°を記載。

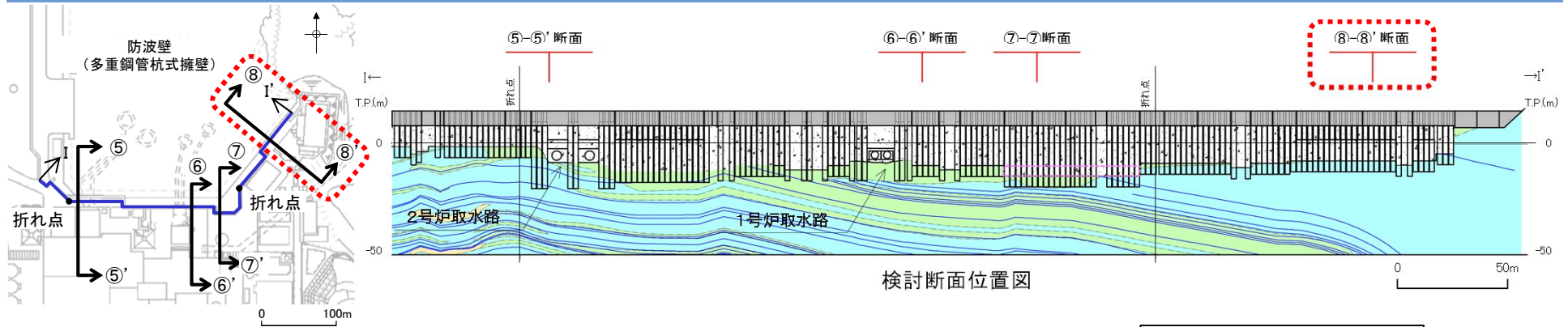


※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦'断面横断面図(岩級・シーム)

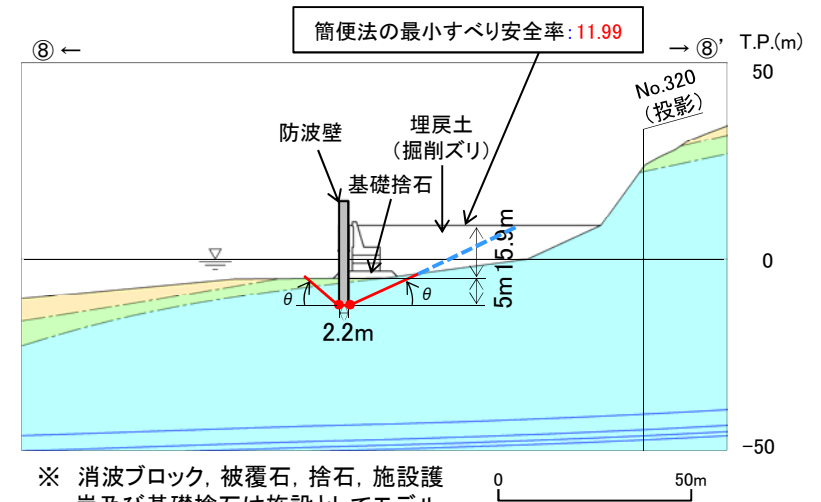
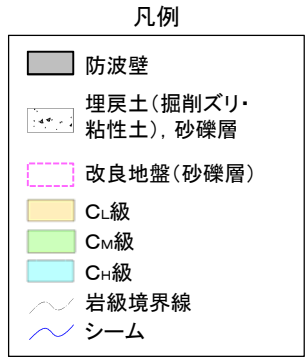
・ ⑦-⑦'断面は, 基礎地盤が $C_M \sim C_H$ 級の岩盤(成相寺層)が主体であり, 施設直下にシームが分布していること, 杭底面幅が2.2mと小さいこと, 埋戻土層等が22.8mと厚いこと, 根入れ長が5mと短いこと, 及び最小すべり安全率が9.59と小さいことから, 評価対象断面に選定する。

評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑧-⑧'断面)



断面位置図

検討断面位置図



※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑧-⑧'断面横断面図(岩級・シーム)

⑧-⑧'断面 簡便法の結果

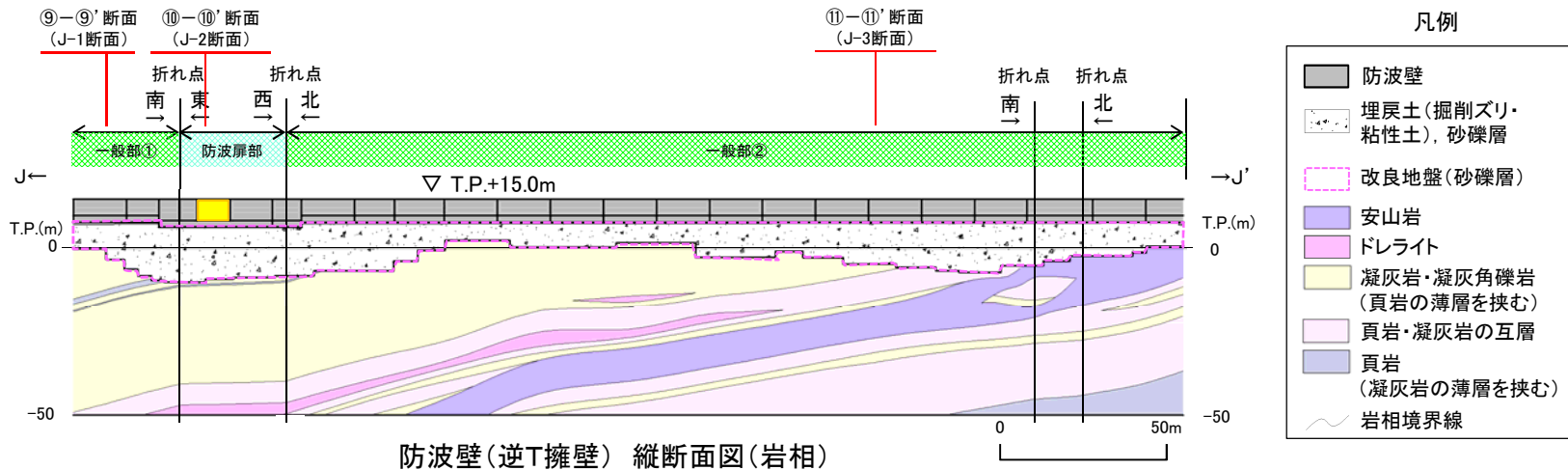
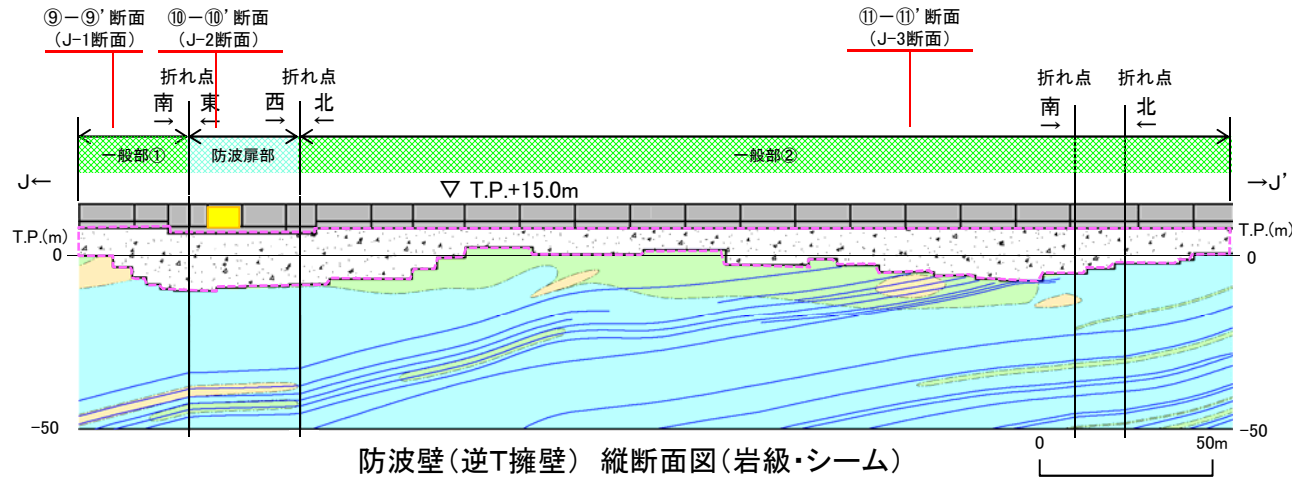
角度(°)	左	40	40	40	40	40	40	40	40
	右	20	25	30	35	40	45	50	55
すべり安全率		12.33	11.99	12.05	12.42	13.09	13.97	15.29	17.27
角度(°)	左	40	40	40	40	40	40		
	右	60	65	70	75	80	85		
すべり安全率		20.19	24.86	33.12	50.12	104.38	269.19		

※最小すべり安全率を 11.99 で示す。左側は5~45°の最小値となる40°を記載。

・⑧-⑧'断面は、⑦-⑦'断面に比べ、基礎地盤が特徴的(施設護岸よりも前(海側)に位置している)であるが、C_H級の岩盤が主体であること、施設直下にシームが分布しないこと、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、埋戻土層等が15.9mと薄いこと、及び最小すべり安全率が11.99と大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

グループD 防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定

・防波壁(逆T擁壁)では、代表施設の選定の際に設定した検討断面J-1~3断面(⑨-⑨'~⑪-⑪'断面)の3断面全てを評価対象断面の選定に用いる検討断面に設定した。



評価対象断面の選定(防波壁(逆T擁壁))

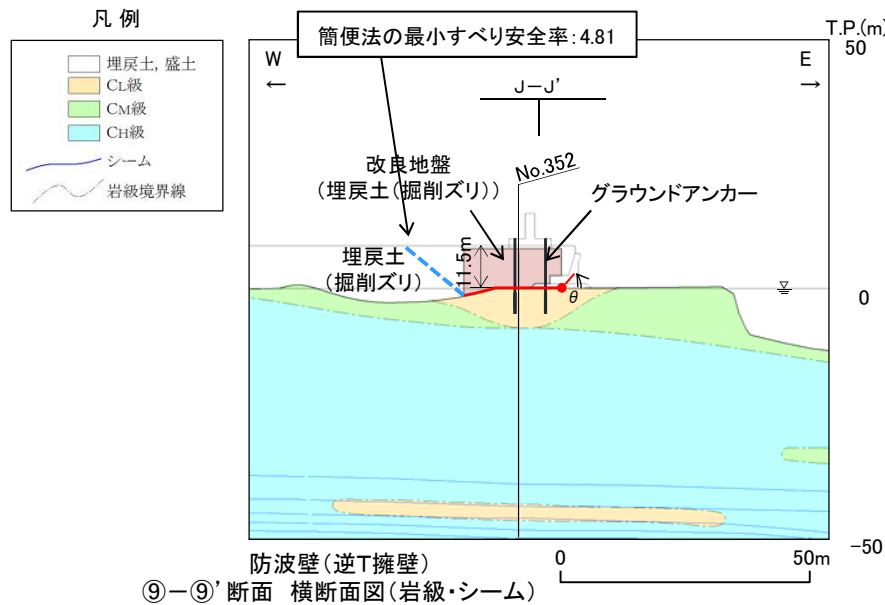
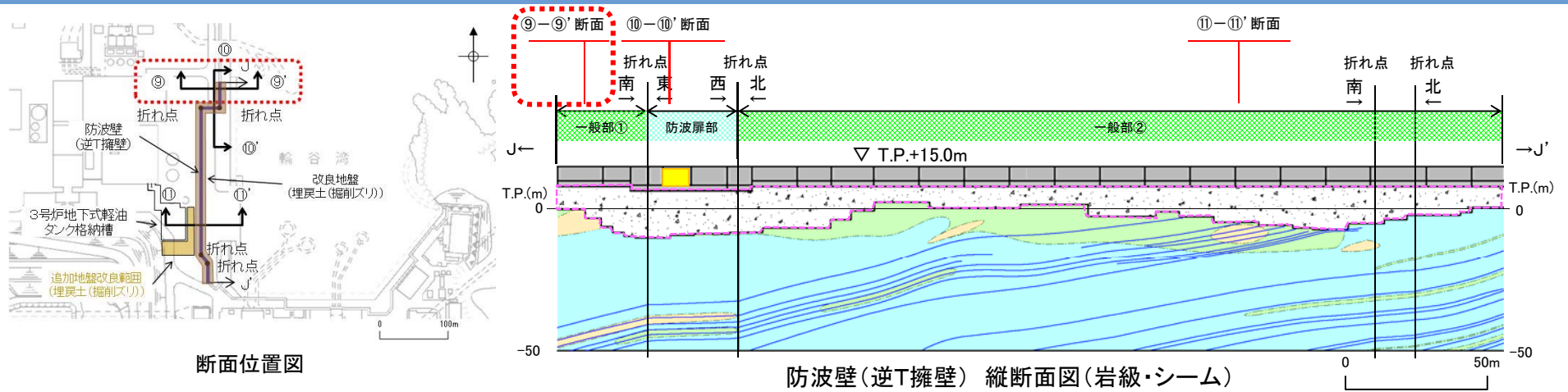
・防波壁(逆T擁壁)の検討断面3断面について、下表の比較を行った結果、⑪-⑪'断面を評価対象断面に選定した。(詳細は次頁以降参照)

検討断面	影響要因				該当する 影響要因	簡便法 における 最小すべり 安全率	選定理由
	① 基礎地盤 の岩級、地 形等	② 施設 直下の シームの 分布	③ 施設総重量※ ¹ (MN) (単位奥行当たりの 施設重量※ ² (MN/m))	⑤ 埋戻土層 等の厚さ (m)			
⑨-⑨'断面	C _L 級 基礎地盤が 特徴的	なし	14 (0.85)	11.5	①, ③	4.81	・⑪-⑪'断面に比べ、改良地盤直下にシームが分布しないこと、埋戻土層等が薄いこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑪-⑪'断面の評価に代表させる。
⑩-⑩'断面	C _H 級 基礎地盤が 特徴的	なし	15 (0.65)	18.5	③, ⑤	3.13	・⑪-⑪'断面に比べ、施設総重量が大きく、埋戻土層等が厚いが、改良地盤底面はC _H 級の岩盤が主体であること、改良地盤直下にシームが分布しないこと、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑪-⑪'断面の評価に代表させる。
⑪-⑪'断面	C _L ~C _M 級 基礎地盤が 特徴的	あり	14 (0.85)	13.0	①, ②, ③	3.05	・改良地盤底面はC _L 級の岩盤が主体であること、改良地盤直下にシームが分布していること、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、及び最小すべり安全率が小さいことから、評価対象断面に選定する。

: 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与が多い
 : 選定した代表施設

※1 1ブロック当たりの値(延長16.0m~23.8m/ブロック)を示す。
 ※2 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(16.0m~23.8m)で除した値を記載。
 ※3 「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査状況を反映し、漂流物対策工による重量増を保守的に考慮した。(P67参照)

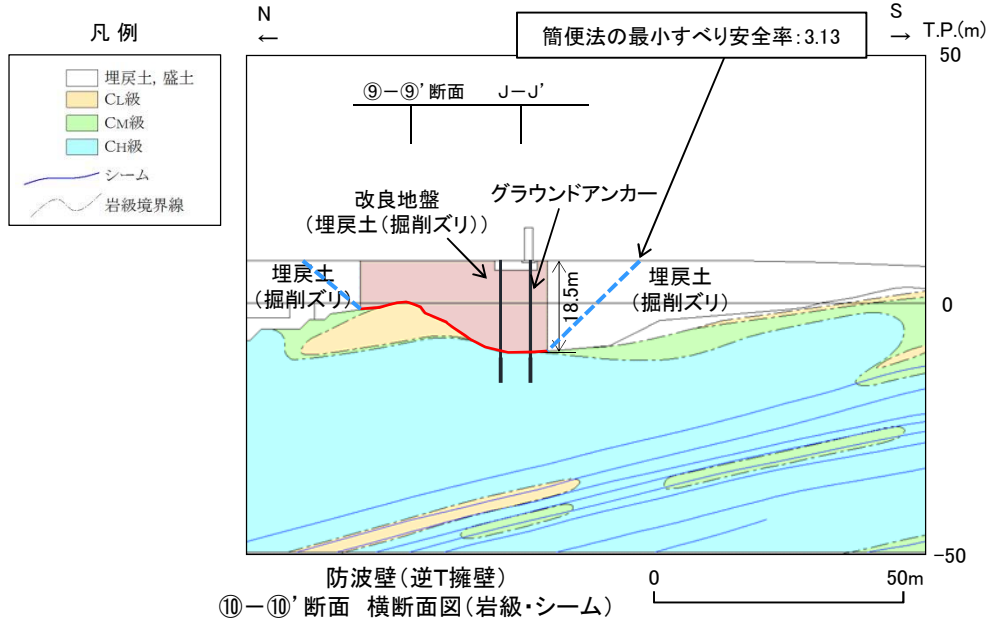
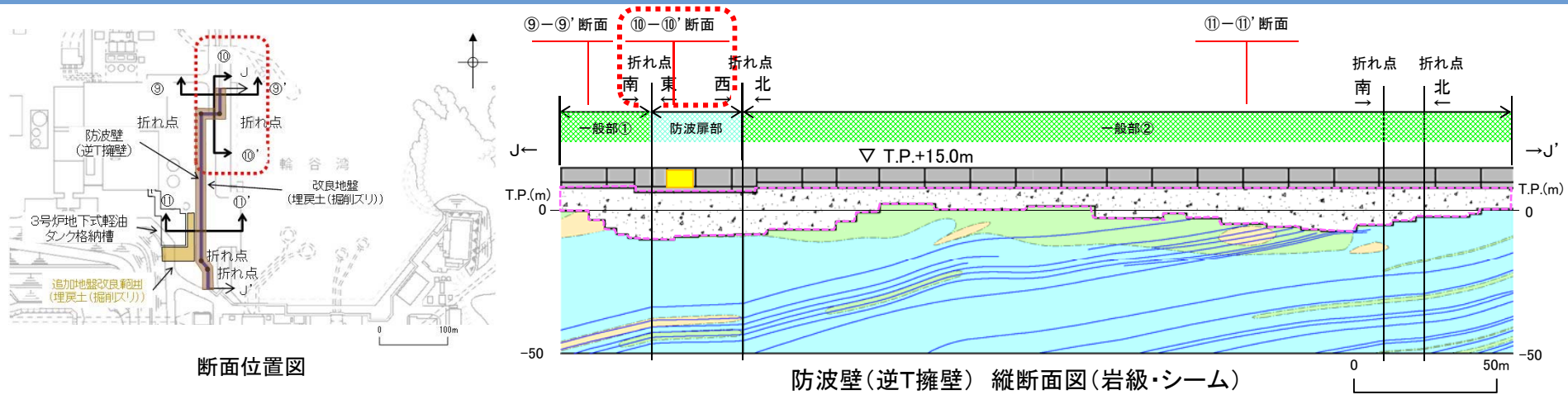
評価対象断面の選定(防波壁(逆T擁壁) ⑨-⑨' 断面)



・⑨-⑨' 断面は, ⑪-⑪' 断面に比べ, 改良地盤直下にシームが分布しないこと, 埋戻土層等が薄いこと, 及び最小すべり安全率が4.81と大きいことから, ⑪-⑪' 断面の評価に代表させる。

※ 簡便法の詳細は3.2章参照

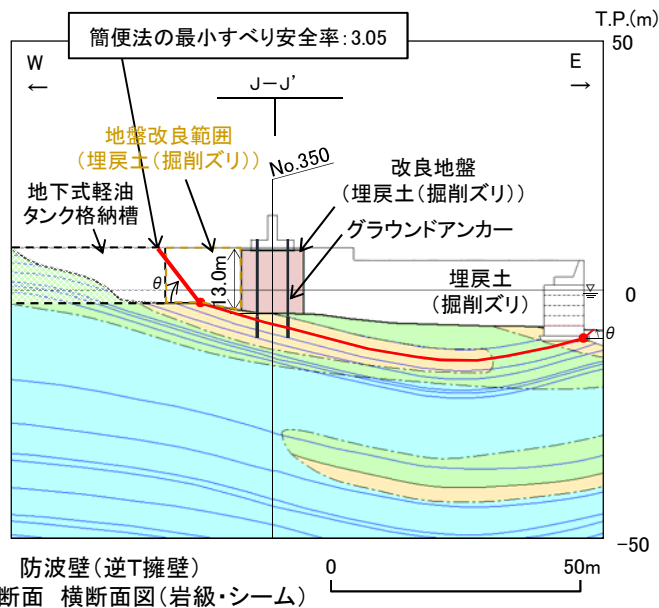
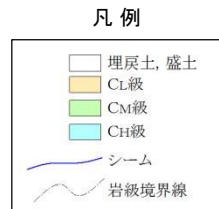
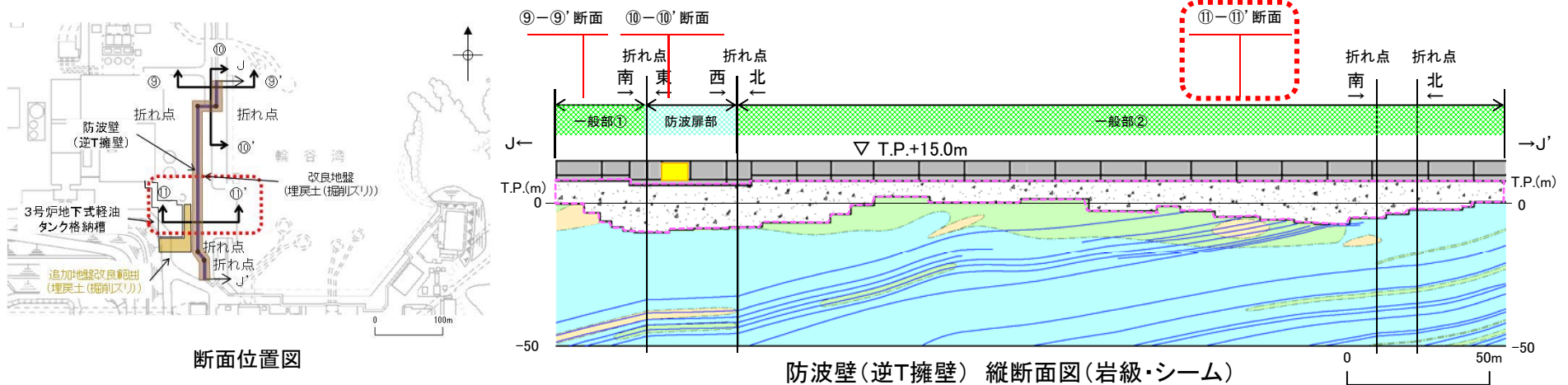
評価対象断面の選定(防波壁(逆T擁壁) ⑩-⑩'断面)



・ ⑩-⑩'断面は、⑪-⑪'断面に比べ、施設総重量が大きく、埋戻土層等が厚いが、改良地盤底面はC_H級の岩盤が主体であること、改良地盤直下にシームが分布しないこと、及び最小すべり安全率が3.13と大きいことから、⑪-⑪'断面の評価に代表させる。

※ 簡便法の詳細は3.2章参照

評価対象断面の選定(防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪'断面)



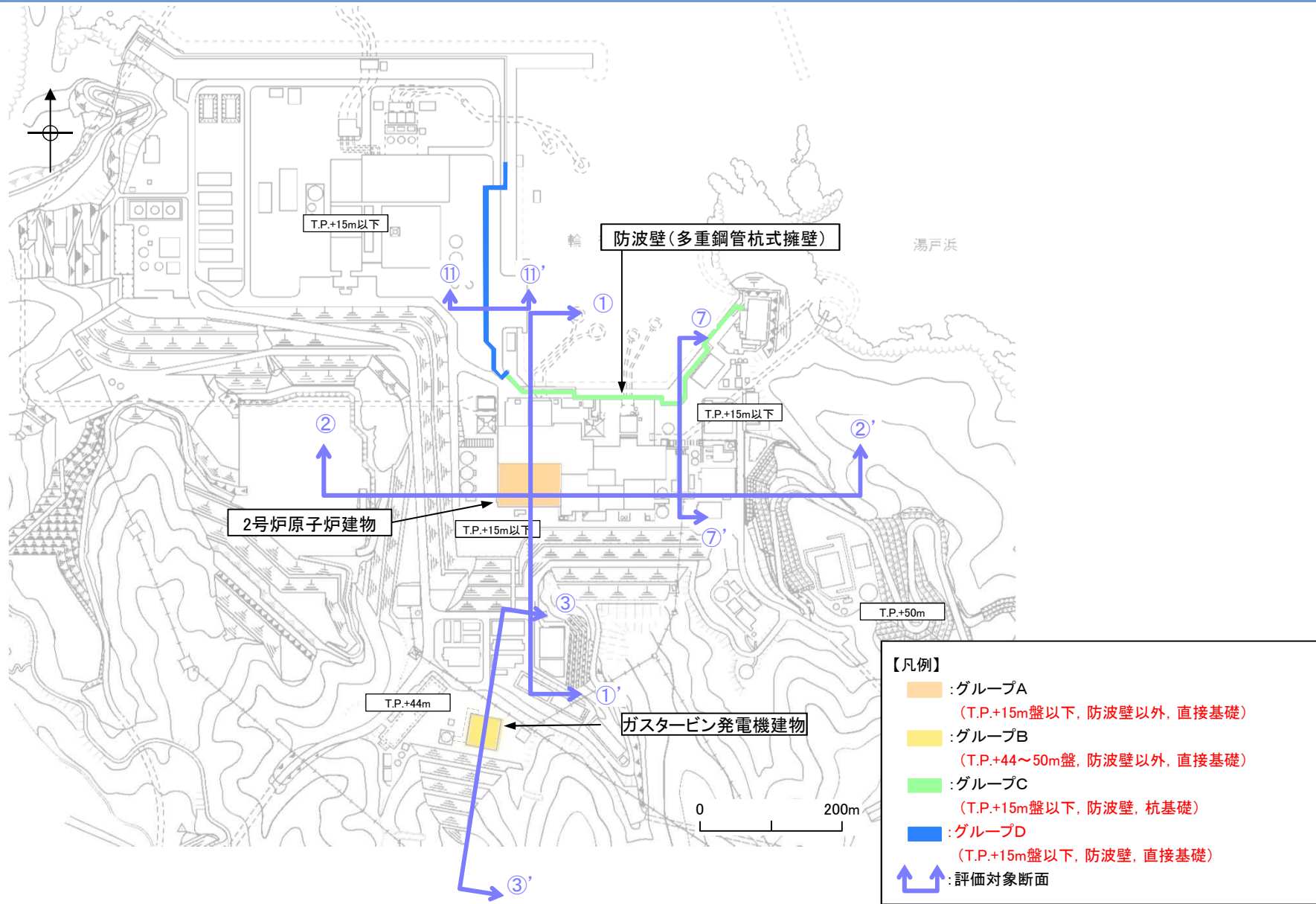
・⑪-⑪'断面は、改良地盤底面がC_L級の岩盤が主体であること、改良地盤直下にシームが分布していること、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、及び最小すべり安全率が3.05と小さいことから、評価対象断面に選定する。

※ 簡便法の詳細は3.2章参照

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

選定結果

第910回審査会合
資料1-1 P69 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



評価対象断面の選定結果

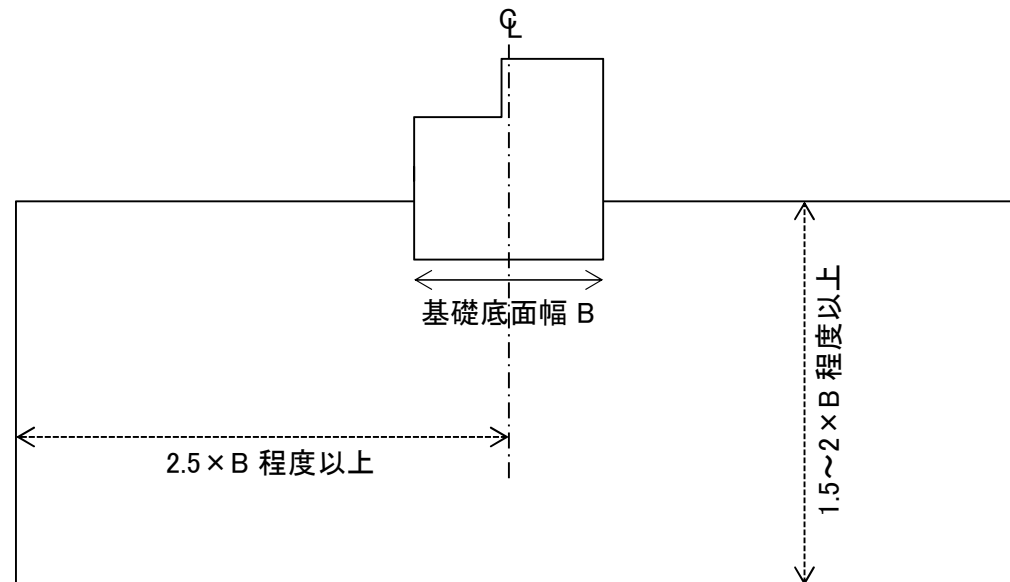
3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

モデル化領域

- ・原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2015(日本電気協会)に基づき、モデル片幅を基礎底面幅の2.5倍以上、モデル化深さを基礎底面幅の1.5~2倍以上確保するように設定した。

原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2015(日本電気協会)

- ・動的解析用モデル下端の深さは、地形による影響や建屋から生じる逸散波動が、入射波動に比して十分に無視しうる深さであればよい。逸散エネルギーを吸収するように考慮された境界条件を用いる場合にはモデル下端をより浅くしてもよく、一般に基礎底面幅の1.5~2倍とする。
- ・動的解析用モデルの側方境界はそれぞれ基礎底面幅の2.5倍以上離れた点に設ければよいことが多い。また、側方にエネルギー伝達境界を設けることにより解析範囲を縮小することができる。



モデル化領域設定の考え方

地盤及びシームのモデル化

- ・地盤は、平面ひずみ要素でモデル化し、要素の最大高さ H_{\max} は、地震波の伝播を十分に考慮できるように下式により算定した。
- ・シームはジョイント要素でモデル化し、せん断ばね定数 k_s 及び垂直ばね定数 k_n を下式により設定した。

地盤要素のモデル化

$$H_{\max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda_s = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{\max}}$$

λ_s : せん断波の波長(m)

V_s : せん断波の速度(m/s)

f_{\max} : 考慮する地震動の最大周波数(20Hz)

m : 分割係数(=5)

シームのモデル化

$$k_s = \frac{G}{t}$$

G : せん断弾性係数(N/mm²)

t : シームの平均層厚(mm)

$$k_n = \frac{2(1 - \nu_d)}{1 - 2\nu_d} \cdot \frac{G}{t}$$

ν_d : 動ポアソン比

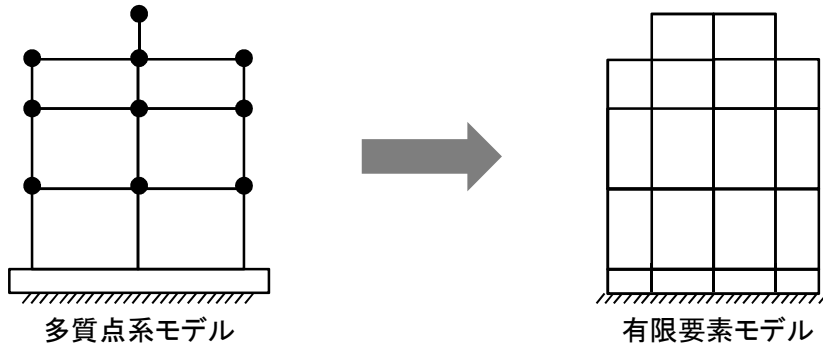
3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

建物のモデル化

- ・評価対象断面上の代表施設及び規模の大きい施設を対象にモデル化を行った。
 - (1)代表施設 : 2号炉原子炉建物, ガスタービン発電機建物, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁), 防波壁(逆T擁壁)
 - (2)規模の大きい施設 : 1, 2号炉タービン建物, 1, 2号炉廃棄物処理建物, 1号炉原子炉建物
- ・建物の構造を考慮してモデル化した。また, 水平動及び鉛直動の同時入力に対応したモデルを用いた。
- ・防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 及び防波壁(逆T擁壁) においては, 線形の梁要素でモデル化した。

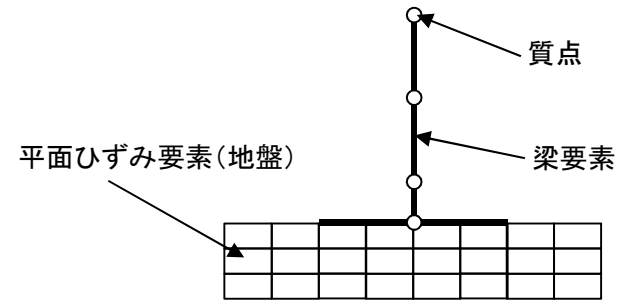
【原子炉建物, タービン建物, 廃棄物処理建物】

・複雑な構造であることから, 土木学会(2009)⁽²⁾を参考に, 多質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H , 鉛直剛性 K_V , 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて, せん断剛性, ばね定数及びポアソン比を求め, 等価な有限要素モデルとした。



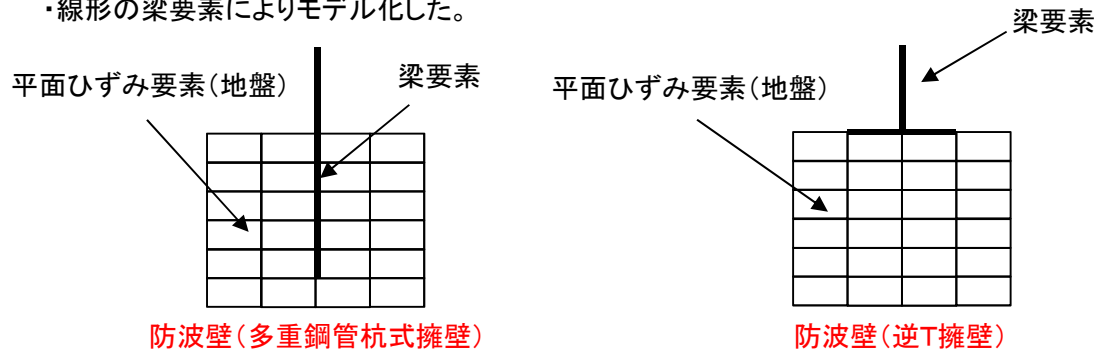
【ガスタービン発電機建物】

・比較的単純な構造であることから, 多質点系モデルでモデル化した。



【防波壁(多重鋼管杭式擁壁), 防波壁(逆T擁壁)】

・線形の梁要素によりモデル化した。

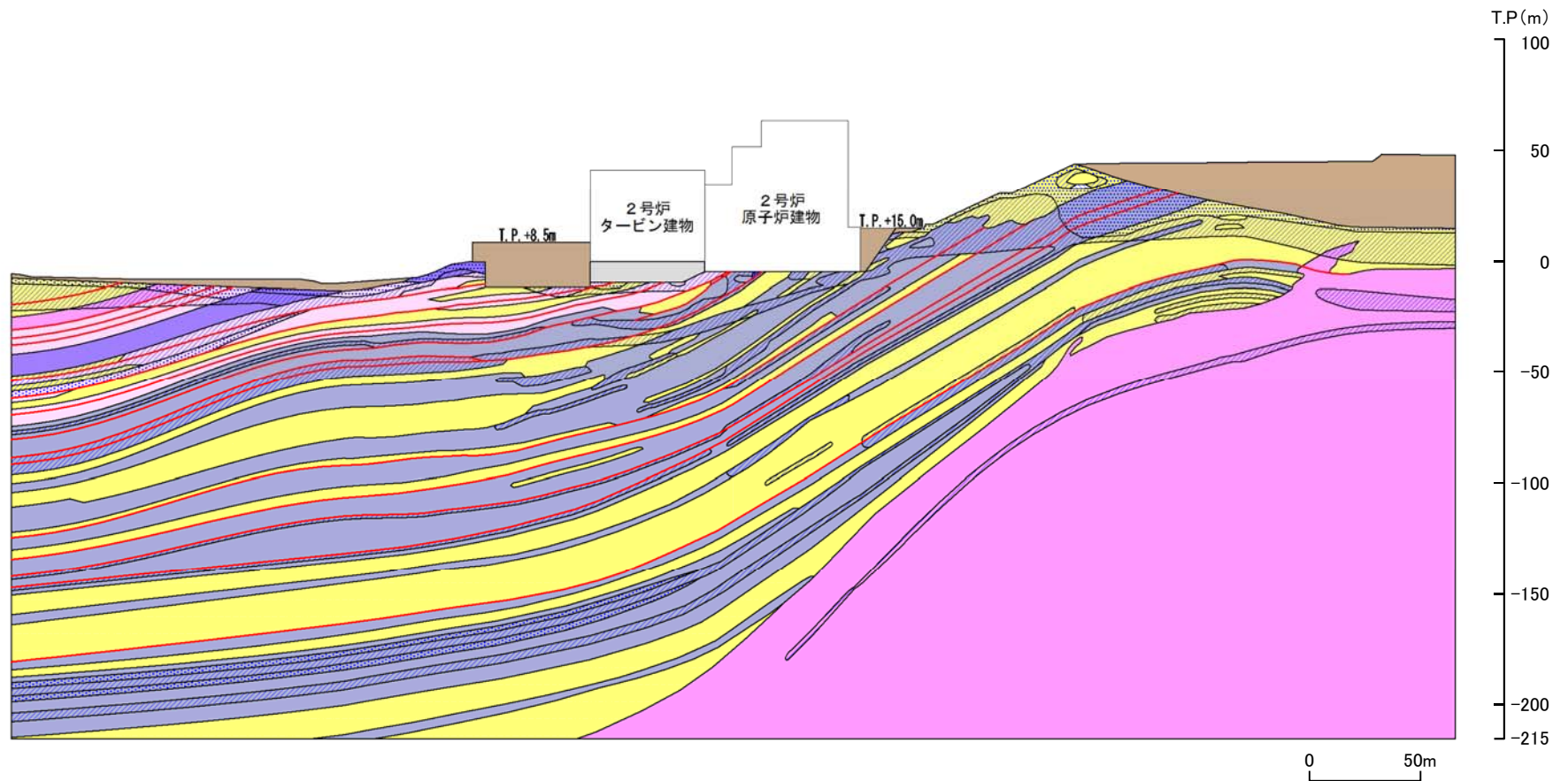


- ※1 建物のモデル化方法の詳細は補足資料「3. 建物のモデル化方法」に示す。
- ※2 規模の大きい施設の設定方法については補足資料「4. 隣接施設のモデル化について」に示す。
- ※3 消波ブロック等, 防波壁の周辺施設の地盤安定性評価における取扱いについては, 補足資料「9. 1 防波壁の地盤安定性評価上の区分」に示す。









余白

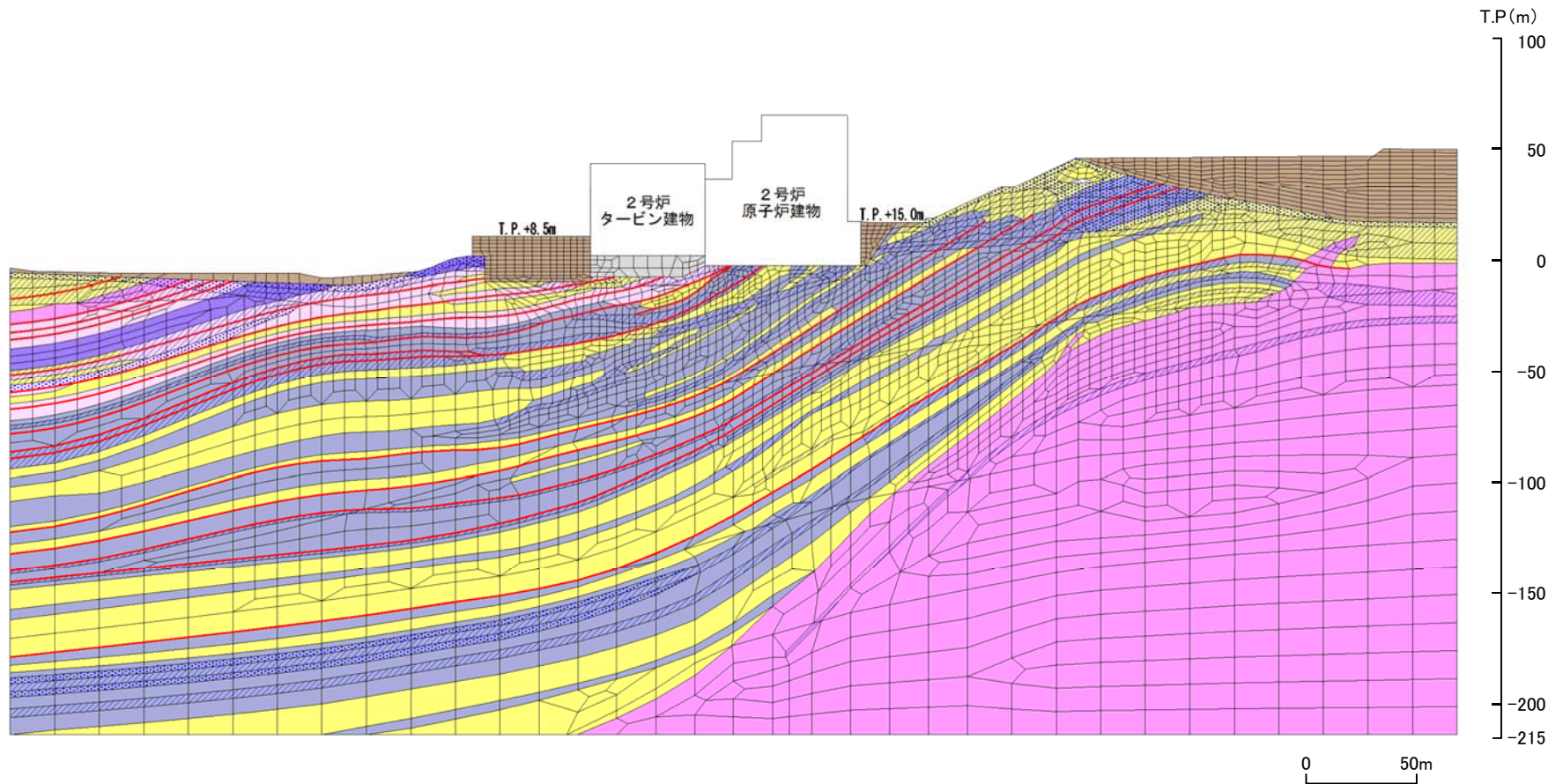
解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①' 断面)

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : D級岩盤 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 埋戻土、盛土 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : MMR |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | : C _L 級 ドレライト | : シーム |
| : C _H 級 安山岩 | : C _M 級 安山岩 | : C _L 級 安山岩 | |

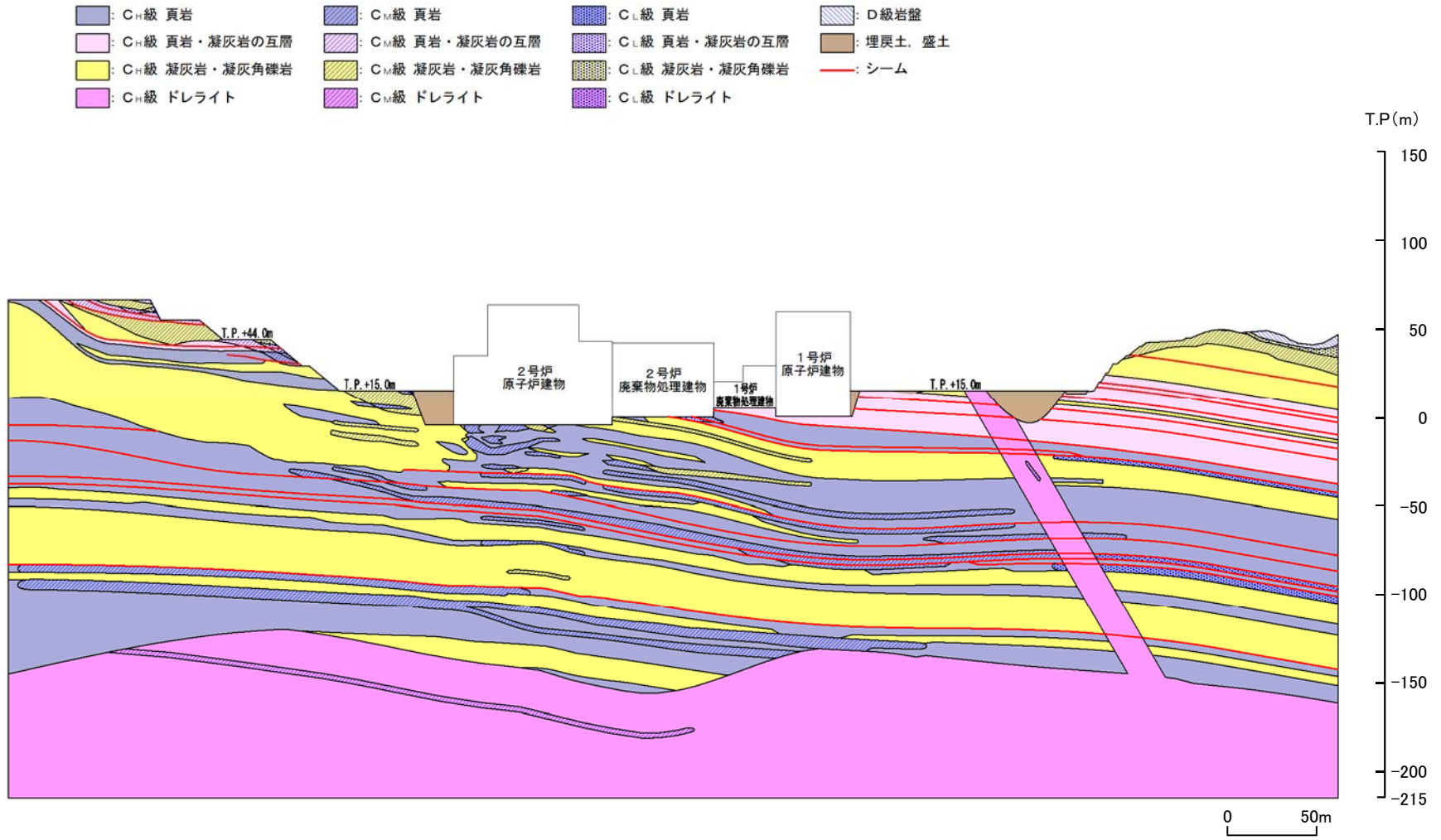


解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①' 断面)
















- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : D級岩盤 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 埋戻土、盛土 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : MMR |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト |  : シーム |
|  : C _H 級 安山岩 |  : C _M 級 安山岩 |  : C _L 級 安山岩 | |

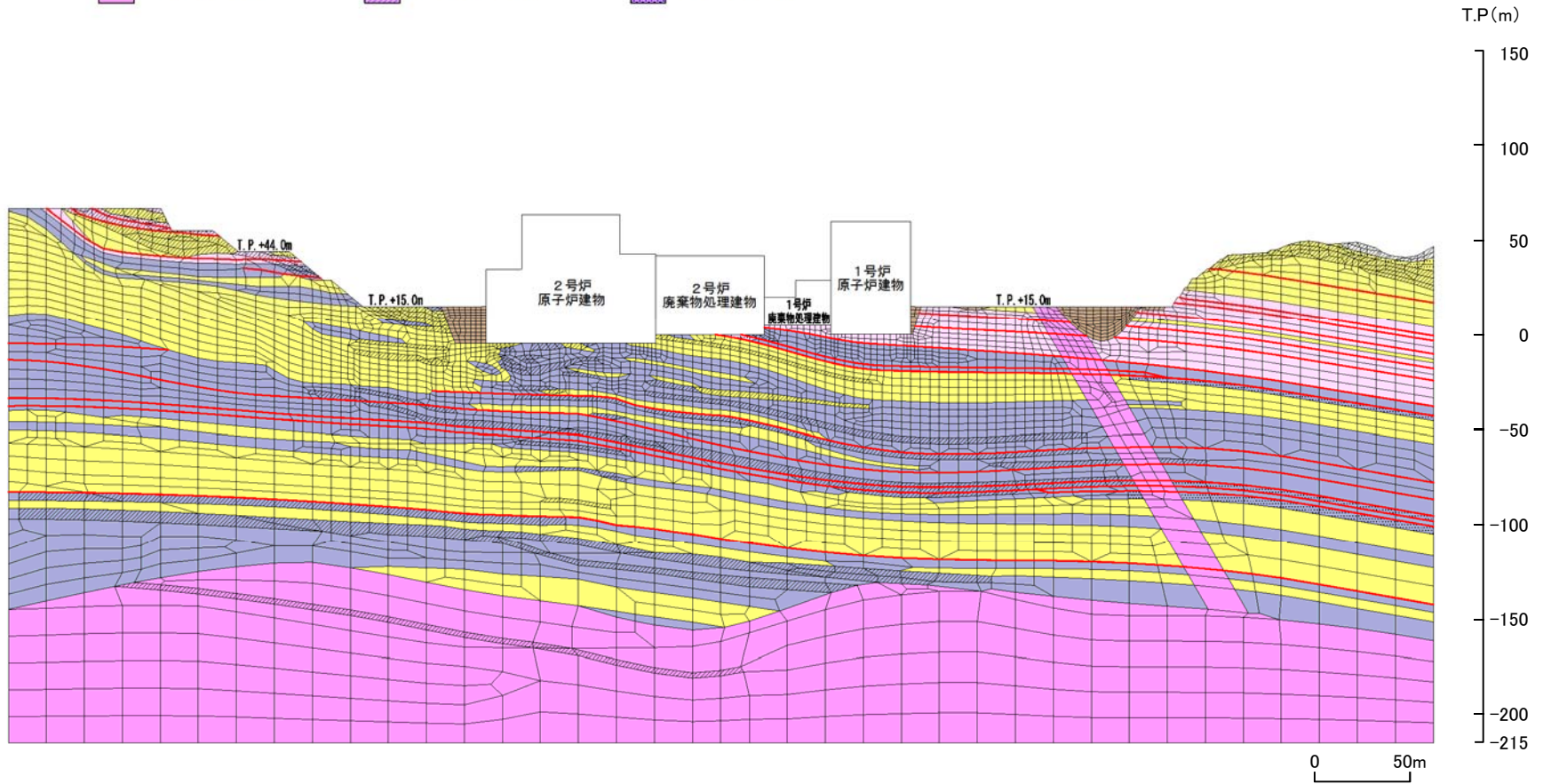


解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②' 断面)



















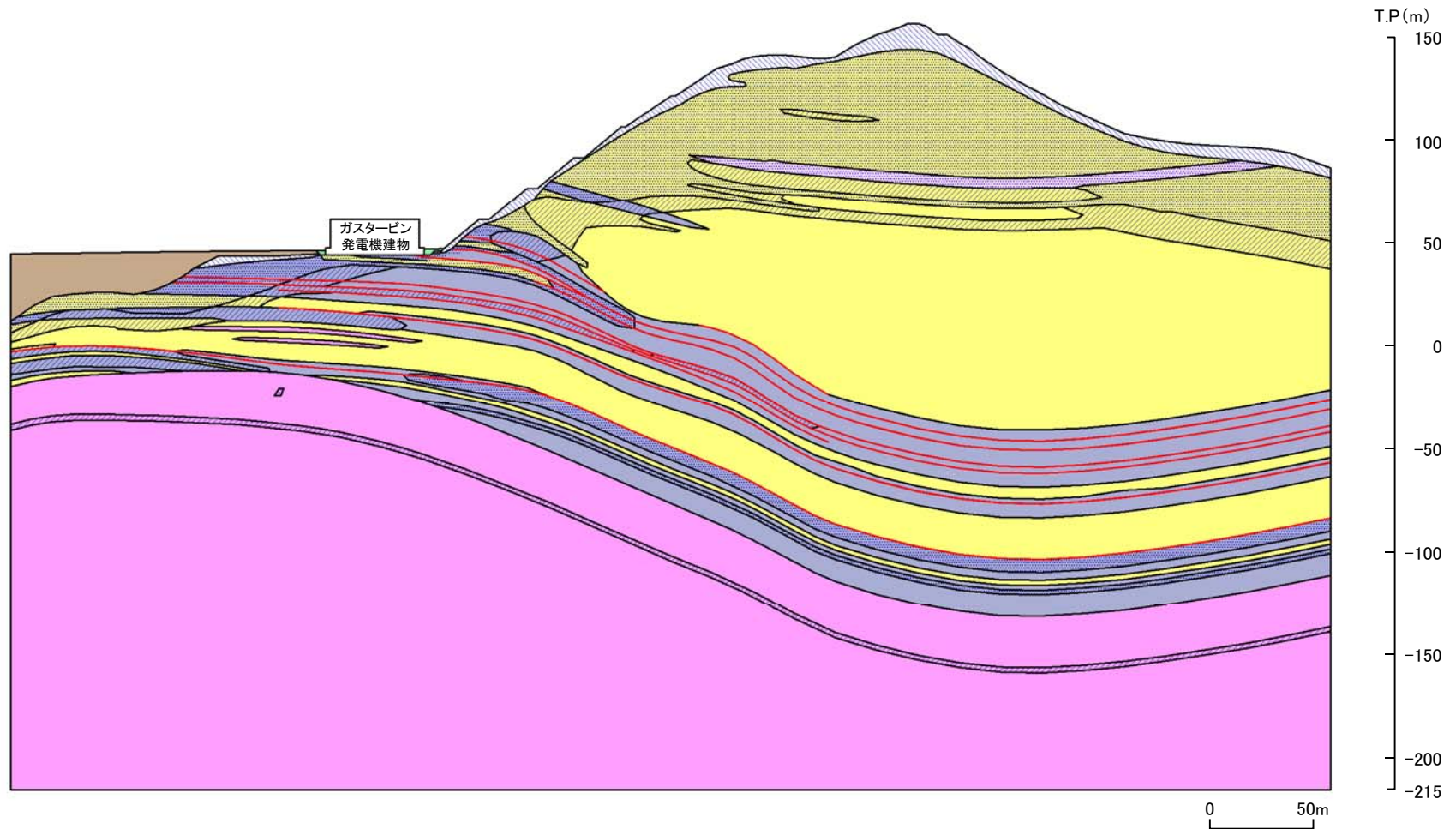
解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②' 断面)

- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : D級岩盤 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 埋戻土、盛土 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : シーム |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト | |



















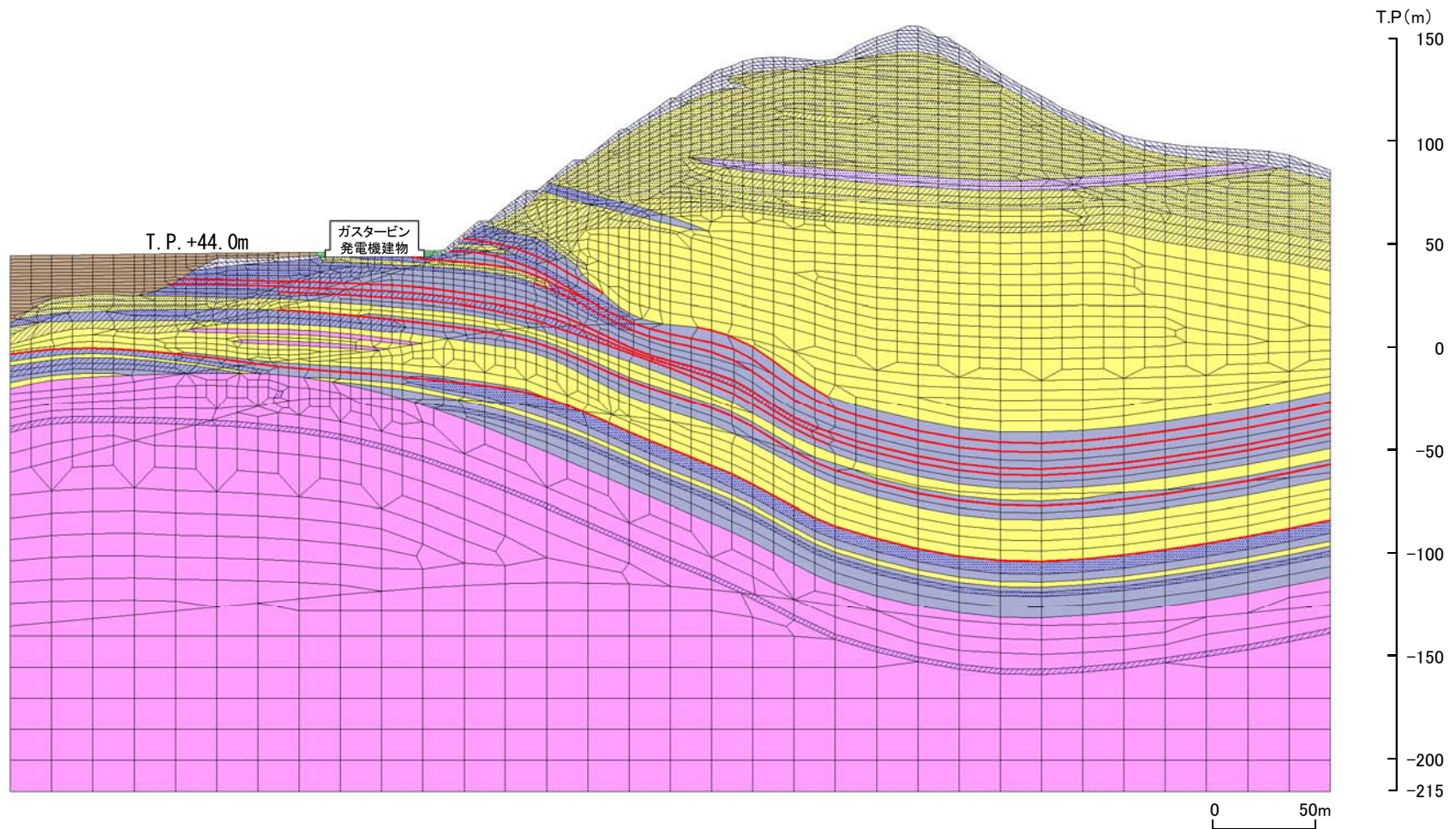
解析用岩盤分類図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : D級岩盤 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 埋戻土、盛土 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : 埋戻土 (購入土) |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト |  : シーム |



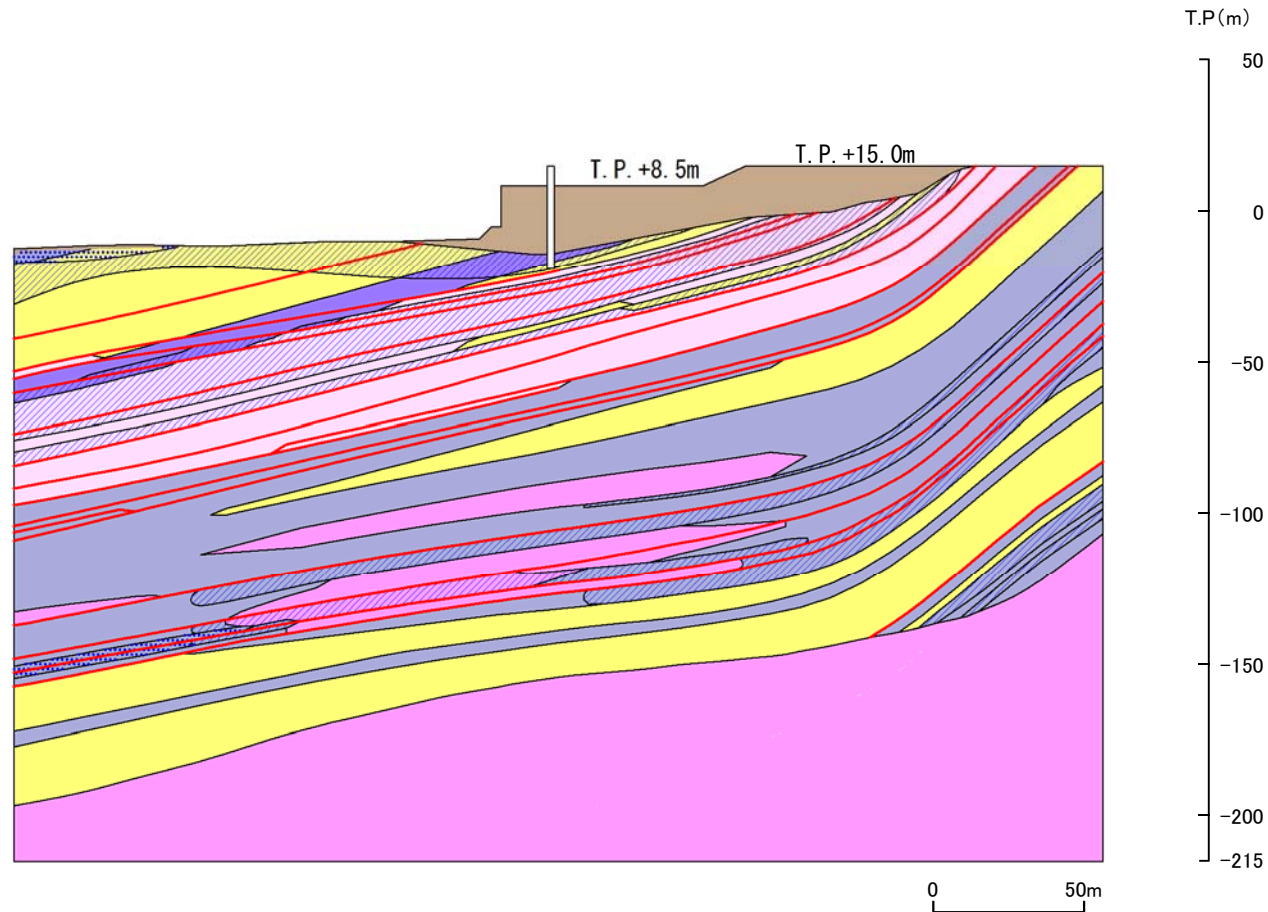
解析用要素分割図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : D級岩盤 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 埋戻土、盛土 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : 埋戻土 (購入土) |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト |  : シーム |




















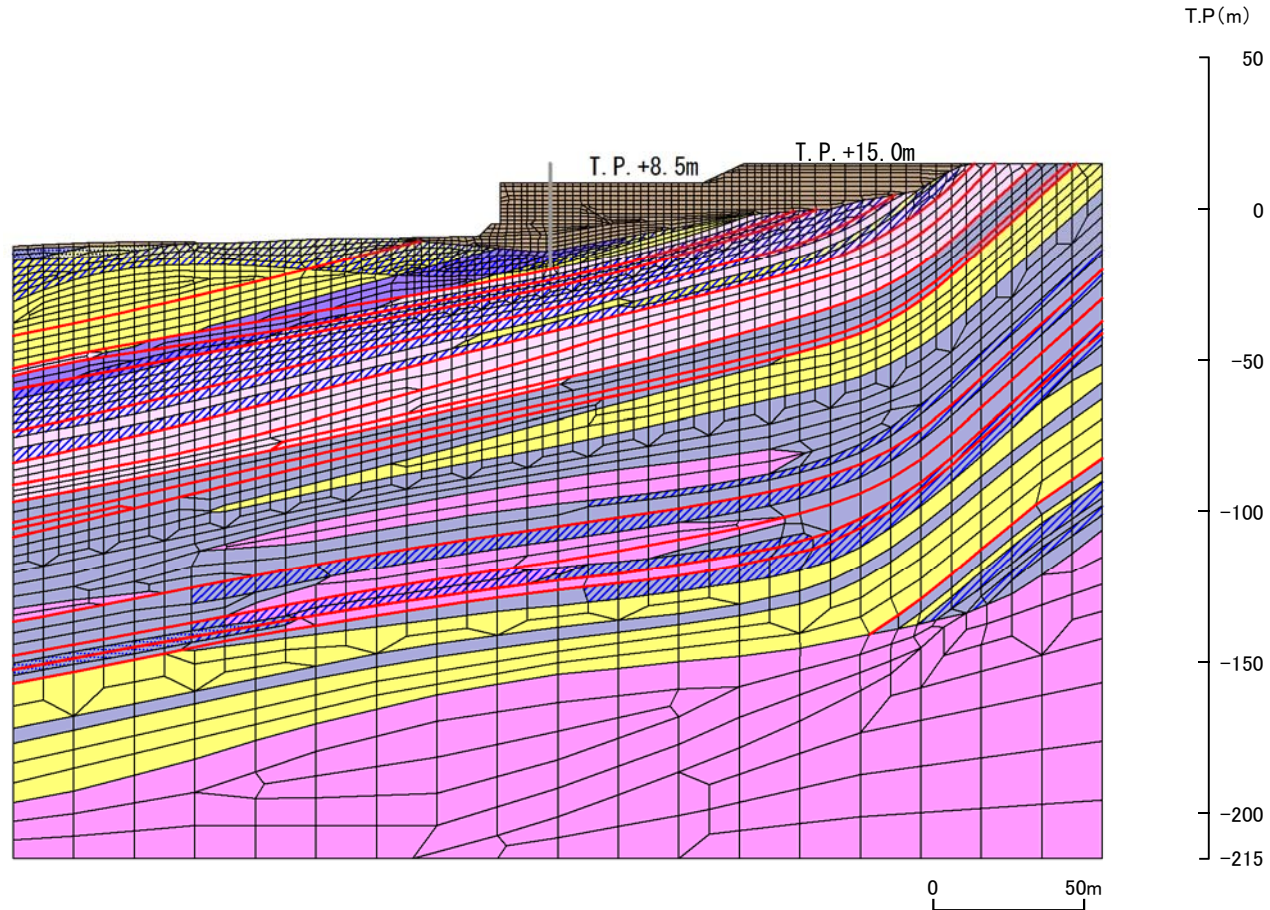
解析用岩盤分類図(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面)

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : 埋戻土, 盛土 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 防波壁 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : シーム |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | : C _L 級 ドレライト | |
| : C _H 級 安山岩 | : C _M 級 安山岩 | : C _L 級 安山岩 | |

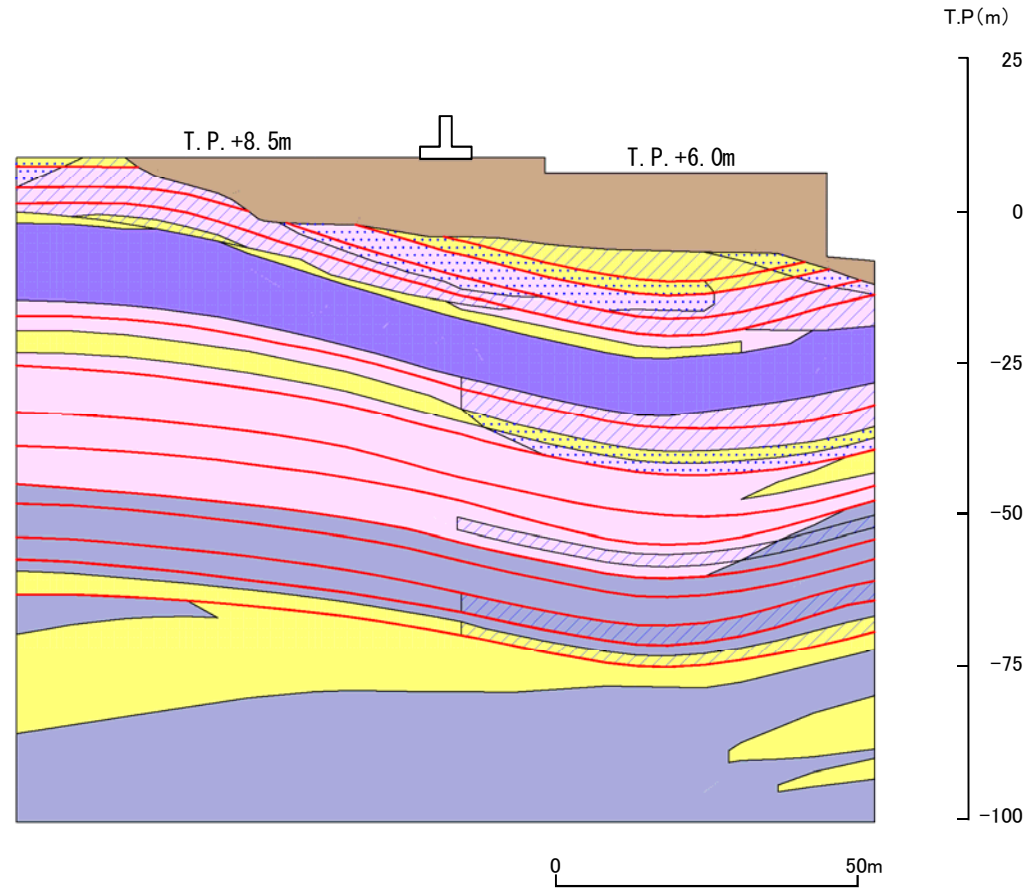
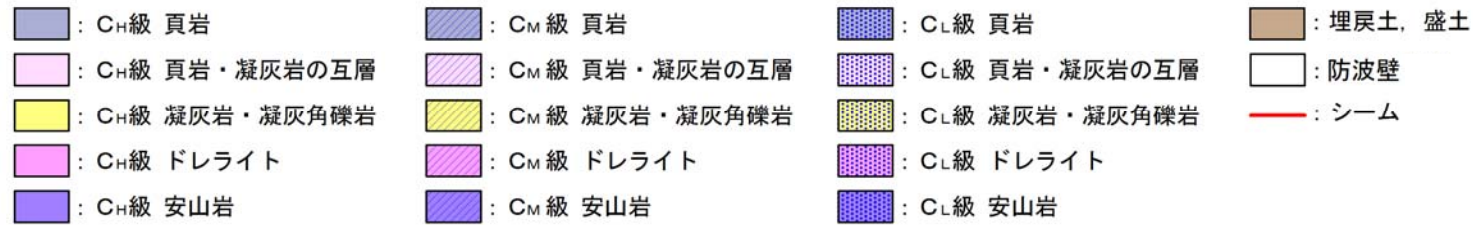


解析用要素分割図(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面)

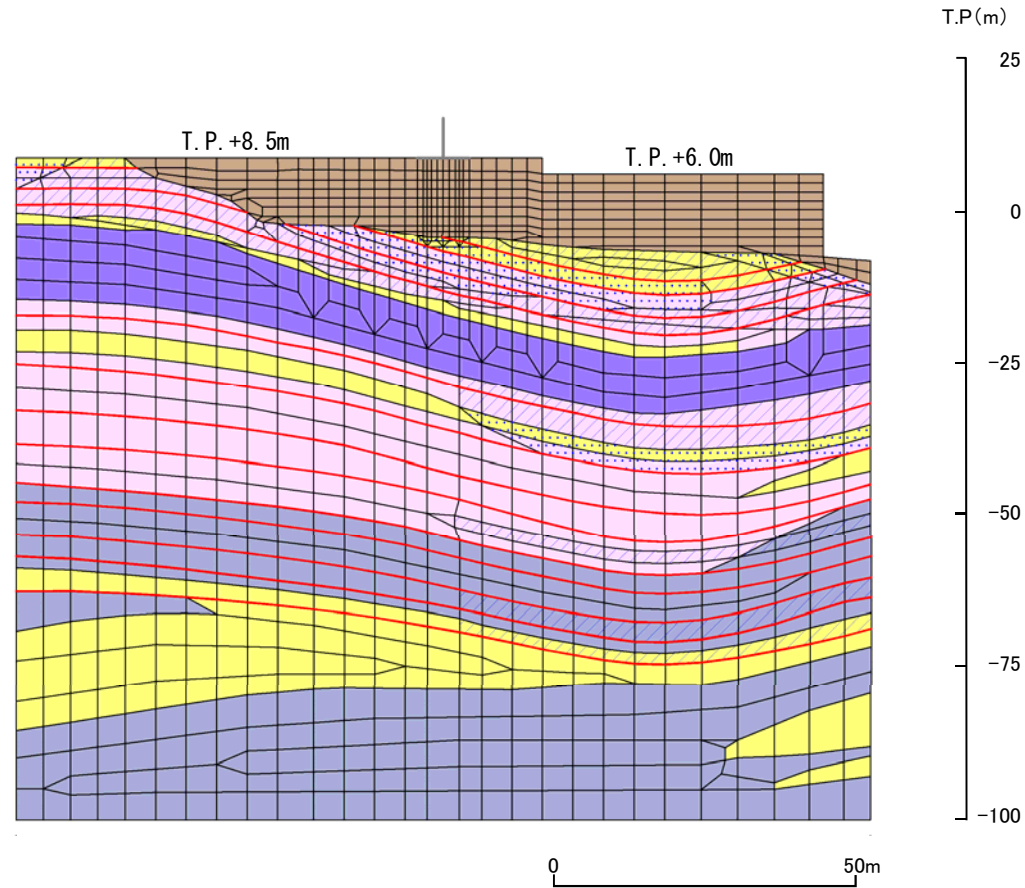
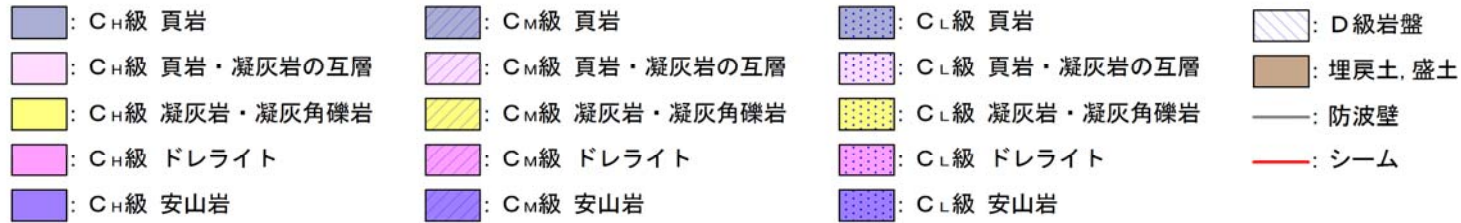
- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : 埋戻土, 盛土 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 防波壁 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : シーム |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト | |
|  : C _H 級 安山岩 |  : C _M 級 安山岩 |  : C _L 級 安山岩 | |



解析用岩盤分類図(防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪' 断面)



解析用要素分割図(防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪'断面)



3. 基礎地盤の安定性評価

3.4 解析用物性値

岩盤分類方法

・岩盤分類は、電研式岩盤分類を基本とし、「風化程度」、「割れ目間隔」、「割れ目状態」を分類の指標として、岩種毎に C_H級、C_M級、C_L級、D級に分類した。

【岩盤分類】

風化程度	
1	新鮮である。ハンマーの軽打で澄んだ金属音を発する。
2	概ね新鮮であるが、部分的に褐色の風化汚染が認められる。ハンマーの軽打で一部低い金属音を発する。
3	全体的にやや風化変質している。ハンマーの軽打でやや濁った金属音を発する。
4	岩芯まで風化変質している。ハンマーの軽打で容易に岩片状となる。
5	強風化を受け、砂～粘土状を呈する。

割れ目間隔	
I	30cm以上(コア形状は長柱状)
II	10cm～30cm(コア形状は柱状)
III	5cm～10cm(コア形状は短柱状)
IV	3cm～5cm(コア形状は岩片状(柱状に復元可能))
V	3cm以下(コア形状に短片状(柱状に復元不可能))
VI	割れ目として認識できない土砂状の岩盤(コア形状は土砂状)

割れ目状態	
α	新鮮
β	割れ目が汚染され、岩石組織が若干変質
γ	粘土、風化物質、外来物資を介在する

【岩級区分】

割れ目間隔	風化程度 割れ目状態	風化程度				
		1	2	3	4	5
I	α	C _H	C _H			
	β	C _H	C _H	C _M		
	γ	C _H	C _H	C _M	C _L	
II	α	C _H	C _H	C _M		
	β	C _H	C _M	C _M	C _L	
	γ	C _M	C _M	C _L	C _L	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	C _M	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _M	C _L	C _L	C _L	
IV	α	C _L	C _L	C _L		
	β	C _L	C _L	C _L	C _L	
	γ	C _L	C _L	C _L	C _L	
V	α	C _L	C _L	C _L	D	
	β	C _L	D	D	D	
	γ			D	D	D
VI	α					
	β					
	γ				D	D

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値 設定方法(岩盤)

・各種試験により解析用物性値を設定した。
 ・分布範囲が小さいため試験を実施していない物性値については、他岩種の試験値を基に換算等を行い解析用物性値を設定した。

岩種	岩級	物理特性	強度特性		変形特性		
			ピーク強度	残留強度	静的特性		動的特性
					静弾性係数	静ポアソン比	
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C _H 級	密度試験 (飽和) ^{※1}	ブロックせん断試験 ^{※1}	摩擦抵抗試験 ^{※1}	平板載荷試験	PS検層 より算出
		C _M 級					
		C _L 級					
	頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級					
		C _M 級					
		C _L 級					
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級					
		C _M 級					
		C _L 級					
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	換算値	換算値	一軸圧縮 試験		
		C _M 級					
		C _L 級					
	安山岩	C _H 級					
		C _M 級					
		C _L 級					

※1 一部、3号炉の試験値を用いて設定している。
 ※2 詳細な設定方法については補足説明資料「2. 解析物性値の設定方法」に示す。

設定方法(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR)

・解析用物性値は、各種試験により設定した。
・MMRについては、慣用値を解析用物性値として設定した。

	物理特性	強度特性		変形特性	
		ピーク強度	残留強度	静的特性	動的特性
D級岩盤	密度試験 (飽和)	中型三軸圧縮試験	ピーク強度と同じ値	中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験
シーム		単純せん断試験		単純せん断試験	動的単純せん断試験
埋戻土, 盛土 ^{※1,5}		大型三軸圧縮試験		大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験
埋戻土(購入土) ^{※2}		三軸圧縮試験		三軸圧縮試験	繰返し中空ねじり せん断試験
旧表土 ^{※3}					
MMR ^{※4}	慣用値	—	—	慣用値	慣用値

※1 「海底堆積物, 崖錐堆積物」は、主要構成地質(礫混り砂質土・礫混り粘性土)が盛土と同じであること、及び評価対象の基礎地盤及び周辺斜面に対して地震時安定性への影響が軽微であることから、「埋戻土・盛土」の値を流用。

※2 「埋戻土(購入土)」は、加工砂(主に花崗岩の砕砂)であり、ガスタービン発電機建物周りの埋戻土のみに使用。

※3 「旧表土」は、2号炉南側盛土斜面のみに使用。

※4 「MMR」は、1・2号炉タービン建物直下のみに使用。

※5 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の「改良地盤(砂礫層)」は、施設の変形抑制等に寄与する設計であるため、すべり安定性評価においては保守的に改良前の「埋戻土・盛土」の値を流用。

※6 詳細な設定方法については補足説明資料「2. 解析用物性値の設定方法」に示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
 解析用物性値①

・岩盤の解析用物性値を以下に示す。

		物理特性		強度特性			静的変形特性		動の変形特性		減衰特性
		密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	せん断強度 $\tau_0(\text{N/mm}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	残留強度 $\tau(\text{N/mm}^2)$	静弾性係数 $E(\times 10^3 \text{ N/mm}^2)$	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 $G_d(\times 10^3 \text{ N/mm}^2)$	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h	
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C _H 級	2.57	1.14	54	$1.48 \sigma^{0.72}$	3.74	0.19	解析用物性値② 参照	0.03	
		C _M 級	2.52	0.92	54	$0.34 \sigma^{0.54}$	1.95	0.20			
		C _L 級	2.44	0.28	45	$0.34 \sigma^{0.54}$	0.54	0.20			
	頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	2.56	1.14	54	$1.28 \sigma^{0.72}$	3.74	0.19			
		C _M 級	2.49	0.92	54	$0.34 \sigma^{0.54}$	1.95	0.20			
		C _L 級	2.33	0.28	28	$0.34 \sigma^{0.54}$	0.43	0.20			
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	2.51	1.54	55	$1.28 \sigma^{0.72}$	7.78	0.19			
		C _M 級	2.44	1.14	47	$0.34 \sigma^{0.54}$	1.47	0.20			
		C _L 級	2.30	0.60	28	$0.34 \sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	2.78	2.14	52	$1.56 \sigma^{0.72}$	7.78	0.22			
		C _M 級	2.60	1.58	52	$0.36 \sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
		C _L 級	2.53	0.83	43	$0.36 \sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
	安山岩	C _H 級	2.68	2.14	52	$1.56 \sigma^{0.72}$	7.78	0.25			
		C _M 級	2.68	1.58	52	$0.36 \sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
		C _L 級	2.59	0.83	43	$0.36 \sigma^{0.54}$	0.43	0.25			

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
 解析用物性値②

			動せん断弾性係数 G _d (×10 ³ N/mm ²)						動ポアソン比 ν _d					
			第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層	第①速度層	第②速度層	第③速度層	第④速度層	第⑤速度層	第⑥速度層
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C _H 級	0.16	2.08	6.58	9.77	10.28	14.19	0.45	0.39	0.38	0.34	0.34	0.35
		C _M 級	0.16	2.04	6.45	9.58	10.08	13.92						
		C _L 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47						
	頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	0.16	2.07	6.55	9.73	10.24	14.14						
		C _M 級	0.16	2.02	6.37	9.47	9.96	13.75						
		C _L 級	0.15	1.89	5.96	8.86	9.32	12.87						
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	0.16	2.03	6.43	9.54	10.04	13.86						
		C _M 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47						
		C _L 級	0.14	1.86	5.89	8.75	9.20	12.70						
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	0.17	2.25	7.12	10.57	11.12	15.35						
		C _M 級	0.16	2.11	6.66	9.89	10.40	14.36						
		C _L 級	0.16	2.05	6.48	9.62	10.12	13.97						
	安山岩	C _H 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80						
		C _M 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80						
		C _L 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30						

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
 解析用物性値③

・D級岩盤，シーム，埋戻土，旧表土及びMMRの解析用物性値を以下に示す。

		物理特性	強度特性			静的変形特性		動の変形特性		減衰特性
		密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	せん断強度 $\tau_0(\text{N/mm}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	残留強度 $\tau(\text{N/mm}^2)$	静弾性係数 $E(\text{N/mm}^2)$	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 $G_d(\text{N/mm}^2)$	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
D級岩盤	頁岩，頁岩・凝灰岩の互層	2.28	0.53	9	$0.53 + \sigma \tan 9^{\circ}$	$206 \sigma^{0.28}$	0.30	$G_0 = 106 \sigma^{0.38} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.0014) \times (G/G_0)^{0.574}))$	0.45	$h = 0.142 \times (1 - (G/G_0))$
	ドレライト，安山岩		0.51	33	$0.51 + \sigma \tan 33^{\circ}$	$256 \sigma^{0.48}$		$G_0 = 797 \sigma^{0.54} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + (2 \times (\gamma / 0.00035) \times (G/G_0)^{0.758}))$		$h = 0.175 \times (1 - (G/G_0))$
	凝灰岩・凝灰角礫岩		0.11	6	$0.11 + \sigma \tan 6^{\circ}$	$141 \sigma^{0.39}$		$G_0 = 148 \sigma^{0.49} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + (\gamma / 0.00062))$		$\gamma \leq 1 \times 10^{-4}: h = 0.023$ $\gamma > 1 \times 10^{-4}: h = 0.023 + 0.071 \cdot \log(\gamma / 0.0001)$
シーム		2.23	0.19	18	$0.19 + \sigma \tan 18^{\circ}$	$G_{0.5} = 44 \sigma^{0.34}$	0.40	$G_0 = 225 \sigma^{0.31} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / [1 + (\gamma / 0.00149)^{0.849}]$	0.45	$h = \gamma / (2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$
埋戻土，盛土 ※1.5		2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^{\circ}$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749 \sigma^{0.66} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$
埋戻土(購入土) ※2		2.01	0.04	21	$0.04 + \sigma \tan 21^{\circ}$	$E_{0.5} = 227 \sigma^{0.75}$	0.40	$G_0 = 275 \sigma^{0.61} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00048)$	0.45	$h = 0.2179 \gamma / (\gamma + 0.00085)$
旧表土 ※3		2.00	0.03	21	$0.03 + \sigma \tan 21^{\circ}$	$E_{0.5} = 37 \sigma^{0.79}$	0.40	$G_0 = 240 \sigma^{0.61} (\text{N/mm}^2)$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0011)$	0.45	$h = 0.20 \gamma / (\gamma + 0.000413)$
MMR ※4		2.35	—	—	—	23,500	0.20	9,792	0.20	0.05

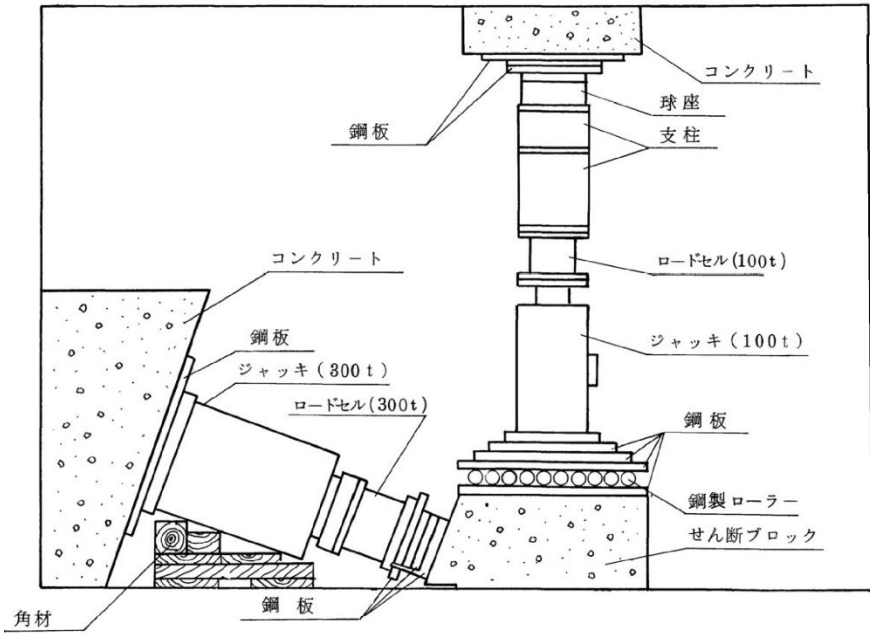
※1 「海底堆積物，崖錐堆積物」は，主要構成地質(礫混り砂質土・礫混り粘性土)が盛土と同じであること，及び評価対象の基礎地盤及び周辺斜面に対して地震時安定性への影響が軽微であることから，「埋戻土・盛土」の値を流用。

※2 「埋戻土(購入土)」は，加工砂(主に花崗岩の砕砂)であり，ガスタービン発電機建物周りの埋戻土のみに使用。

※3 「旧表土」は，2号炉南側盛土斜面のみに使用。

※4 「MMR」は，1・2号炉タービン建物直下のみに使用。

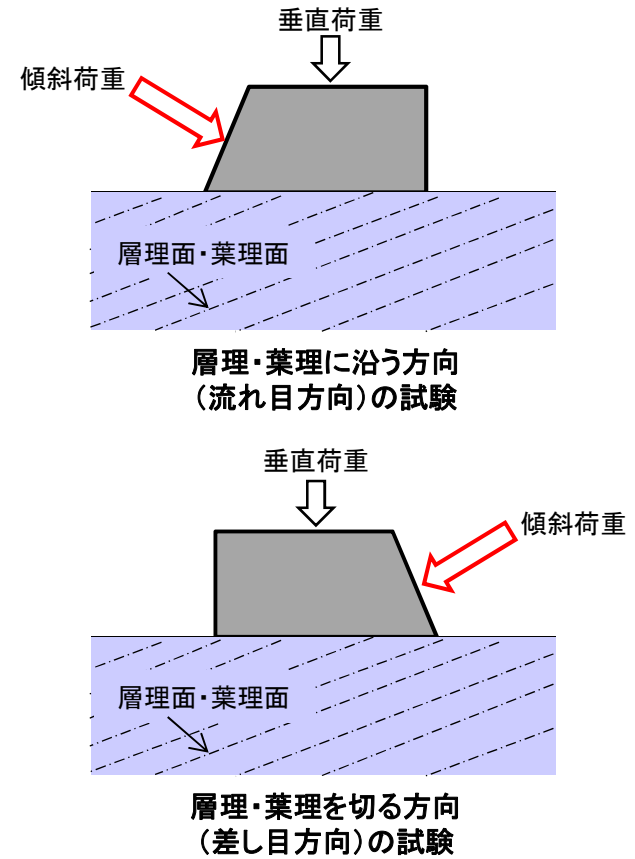
※5 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の「改良地盤(砂礫層)」は，施設の変形抑制等に寄与する設計であるため，すべり安定性評価においては保守的に改良前の「埋戻土・盛土」の値を流用。



ブロックせん断試験装置概要図

【凡例】

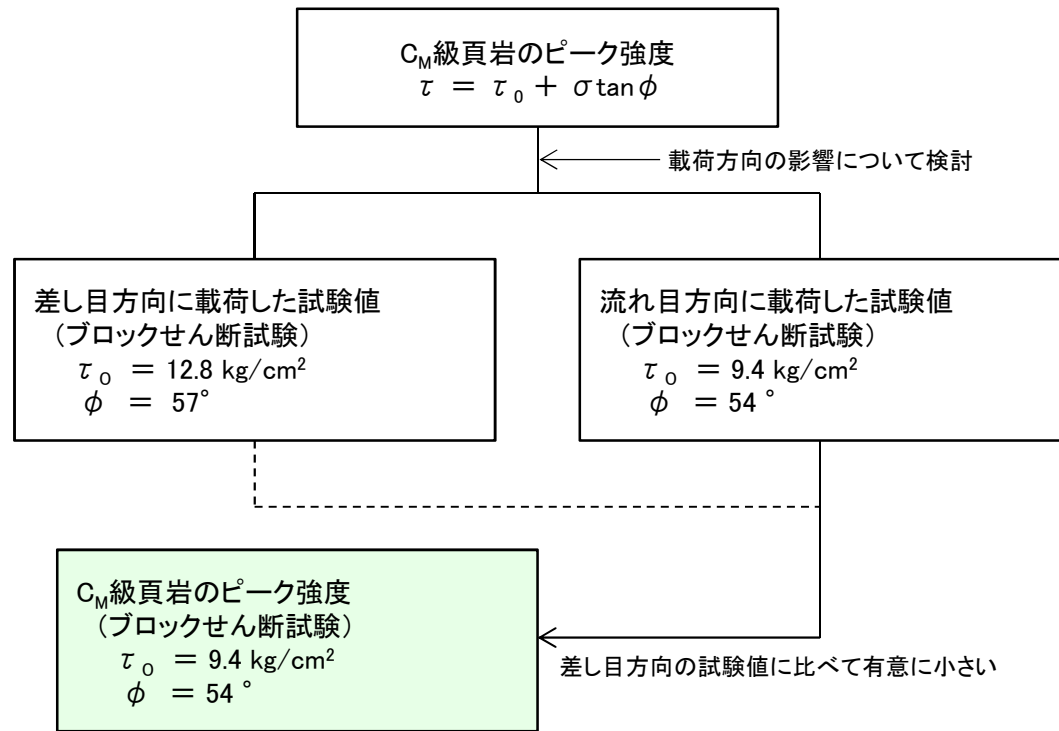
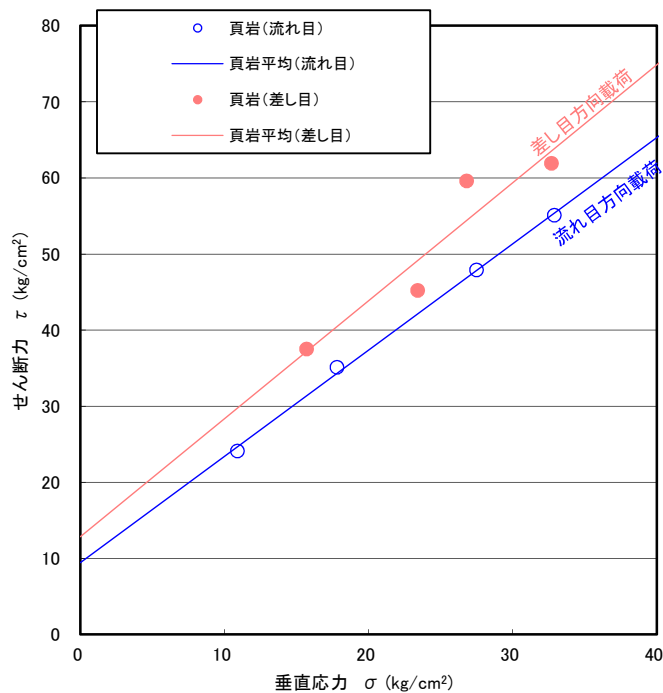
■ : 頁岩



- ・岩盤の強度特性を把握するため、岩種毎にブロックせん断試験及び摩擦抵抗試験を実施した。
- ・頁岩は層理・葉理が発達することから、その異方性を考慮して、層理・葉理に沿う方向(流れ目方向)及び層理・葉理を切る方向(差し目方向)に載荷した。
- ・ブロックせん断試験終了後、破壊した試験ブロックを用いて摩擦抵抗試験を行い、残留強度を求めた。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
 原位置試験結果 (例: ブロックせん断試験)

・ブロックせん断試験結果 (C_M級頁岩)

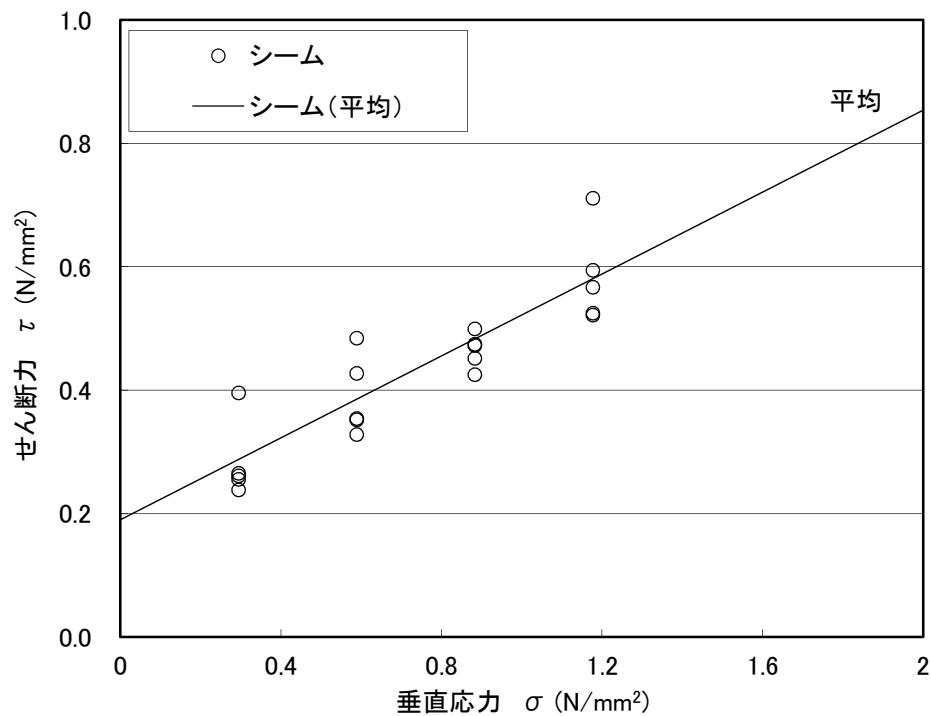


・流れ目方向に荷した試験値は、差し目方向に荷した試験値に比べて有意に小さい。
 ・流れ目方向に荷した試験値をC_M級頁岩のピーク強度として採用する。

単純せん断試験結果(シーム)

・単純せん断試験結果(シーム)

	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
シーム	0.19	18



・シームの平均強度は、単純せん断試験値を用いて設定した。

- ・土木学会(2009)他によると、すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、強度特性が支配的であるとされていることから、地盤物性のうち強度特性に関するばらつきについて考慮する。
- ・ばらつきを考慮した強度特性については、平均強度から1 σ による低減を実施した。
- ・なお、頁岩、その他一部の岩盤については、平均強度が既に安全側にばらつきを考慮したものになっているため、異なるばらつきの考慮は実施しない。

原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料> 土木学会(2009)

地盤物性値のばらつき評価法について確率論的な検討を行い、以下の結論が得られている。

- ・地盤物性値を $\pm 10\%$ して算定したすべり安全率の差を算定した結果、すべり安全率に関しては、せん断強度等の抵抗力に係る地盤物性値の影響が非常に強く、剛性等の影響は比較的小さいことを確認した。
- ・「代表値 \pm 係数 \times 標準偏差」を用いた確率論的手法による地盤物性値のばらつき評価の結果、確率論的手法によって評価したすべり安全率が、確定論的に地盤物性値を「代表値 $-1.0 \times$ 標準偏差」に設定して評価したすべり安全率を下回る確率は小さいことを明らかにした。

原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2015(日本電気協会)

- ・すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、一般に強度特性が支配的であり、変形特性の影響は小さい。したがって、一般に強度特性のばらつきのみ考慮しておけばよい。

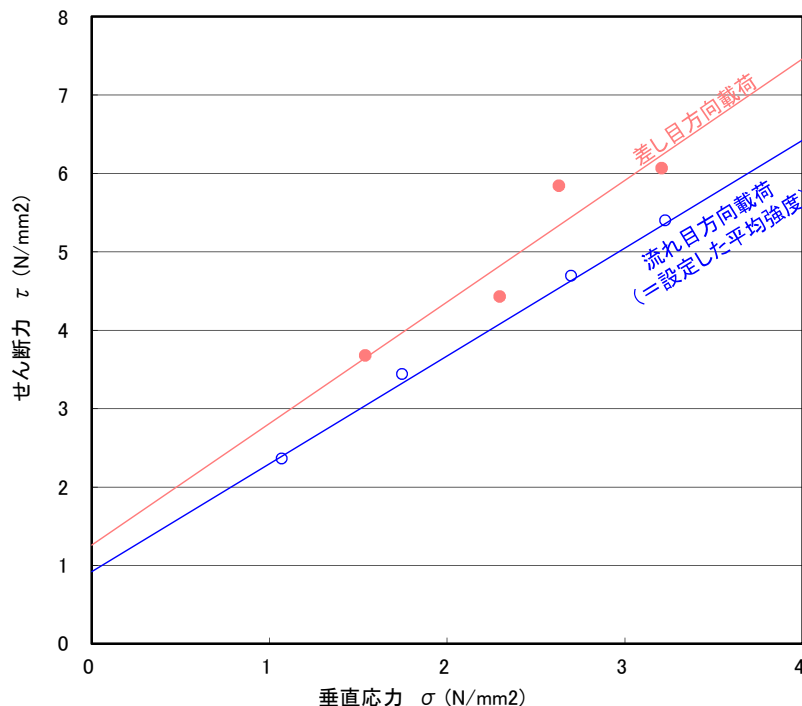
【「頁岩」のピーク強度】

- ・頁岩は、層理・葉理の発達する強度異方性の顕著な層状岩盤である。
- ・その平均強度は、原位置試験結果のうち、強度の下限を示すと考えられる「層理・葉理に沿う方向(流れ目方向)」に載荷した試験値に基づいて設定している。

以上のことから、平均強度は既に安全側に強度のばらつきを考慮したものになっているため、更なるばらつきの考慮は実施しない。

頁岩・凝灰岩の互層についても、凝灰岩よりせん断強度の低い頁岩の試験値に基づいて設定していることから、更なるばらつきの考慮は実施しない。

頁岩(C_M級)



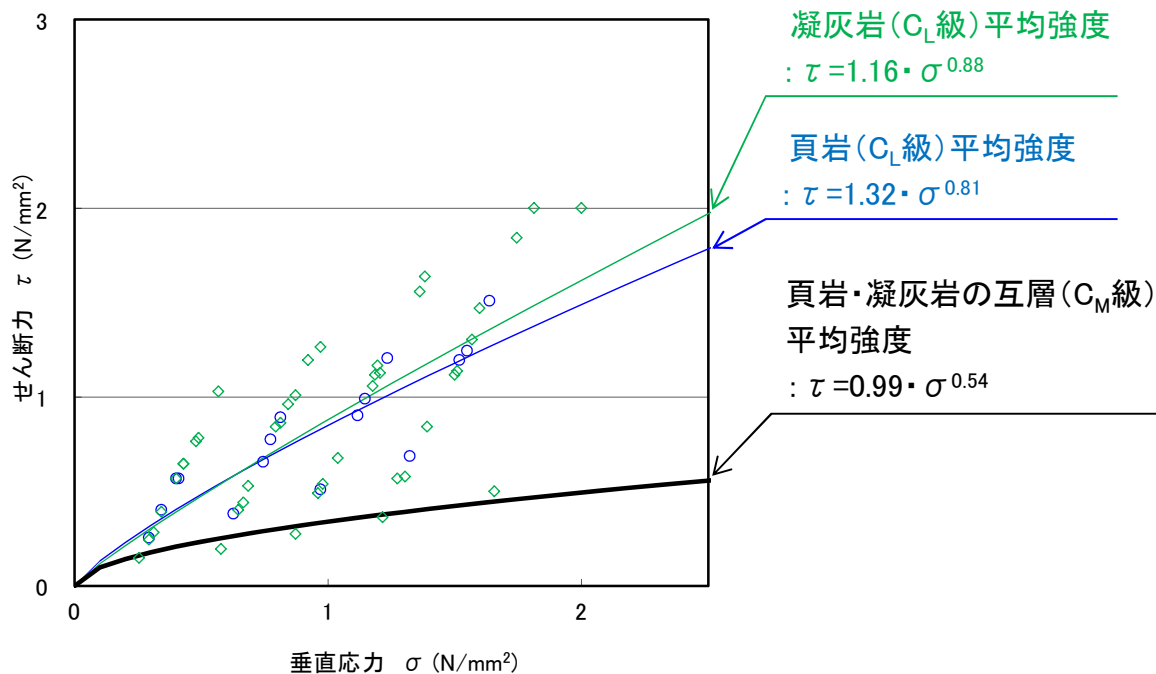
※ 詳細な設定方法については補足説明資料「2.2 強度特性」に示す。

【「頁岩と凝灰岩の互層(C_M級, C_L級)」及び「凝灰岩・凝灰角礫岩(C_M級, C_L級)」】

- ・試験値が上位岩級(C_H級, C_M級, C_L級の順)を超えるため, 上位岩級と同値にする等, 保守的な方法で平均強度を補正して設定している。
- ・当該方法により設定した平均強度は, 試験値の概ね下限を示す。

以上のことから, 平均強度は既に安全側に強度のばらつきを考慮したものになっているため, 更なるばらつきの考慮は実施しない。

例) 頁岩と凝灰岩の互層(C_L級)(上位岩級と同値に設定)



【平均強度・ばらつきを考慮した強度の設定の流れ】

頁岩(C_L級), 凝灰岩(C_L級)のいずれも頁岩・凝灰岩の互層(C_M級)の平均強度を上回る。

▼

頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)の平均強度は, 保守的にC_M級と同値に補正する。

頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)平均強度
: $\tau = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$

▼

頁岩・凝灰岩の互層(C_L級)は試験値の概ね下限を示す。

▼

既に安全側に強度のばらつきを考慮したものになっているため, 更なるばらつきの考慮は実施しない。

※ 詳細な設定方法については補足説明資料「2.2 強度特性」に示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値 ばらつきを考慮した強度特性

			強度特性		
			ばらつきを考慮した強度		
			せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C _H 級	1.14	54	1.34 $\sigma^{0.72}$
		C _M 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$
		C _L 級	0.28	45	0.34 $\sigma^{0.54}$
	頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	1.14	54	1.12 $\sigma^{0.72}$
		C _M 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$
		C _L 級	0.28	28	0.34 $\sigma^{0.54}$
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	1.35	55	1.12 $\sigma^{0.72}$
		C _M 級	0.70	47	0.34 $\sigma^{0.54}$
		C _L 級	0.60	28	0.34 $\sigma^{0.54}$
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	1.65	52	1.36 $\sigma^{0.72}$
		C _M 級	0.84	52	0.34 $\sigma^{0.54}$
		C _L 級	0.73	43	0.34 $\sigma^{0.54}$
	安山岩	C _H 級	1.65	52	1.36 $\sigma^{0.72}$
		C _M 級	0.84	52	0.34 $\sigma^{0.54}$
		C _L 級	0.73	43	0.34 $\sigma^{0.54}$

※ 詳細な設定方法については、補足説明資料「2.2 強度特性」に示す。

		強度特性		
		ばらつきを考慮した強度		
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)
D級岩盤	頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層	0.32	9	0.32+ $\sigma \tan 9^\circ$
	ドレライト, 安山岩	0.30	33	0.30+ $\sigma \tan 33^\circ$
	凝灰岩・凝灰角礫岩	0.09	6	0.09+ $\sigma \tan 6^\circ$
シーム		0.13	18	0.13+ $\sigma \tan 18^\circ$
埋戻土・盛土		0.21	22	0.21+ $\sigma \tan 22^\circ$
埋戻土(購入土)		0.04	21	0.04+ $\sigma \tan 21^\circ$
旧表土		0.00	21	$\sigma \tan 21^\circ$

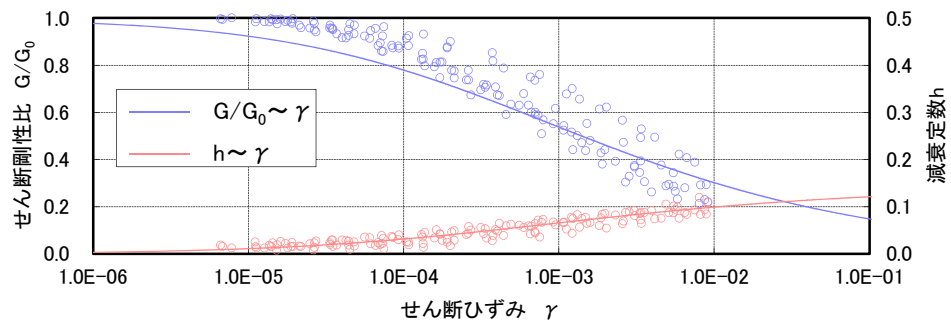
【凡例】

 :ばらつきを考慮し、平均強度から1 σ による低減を行う。

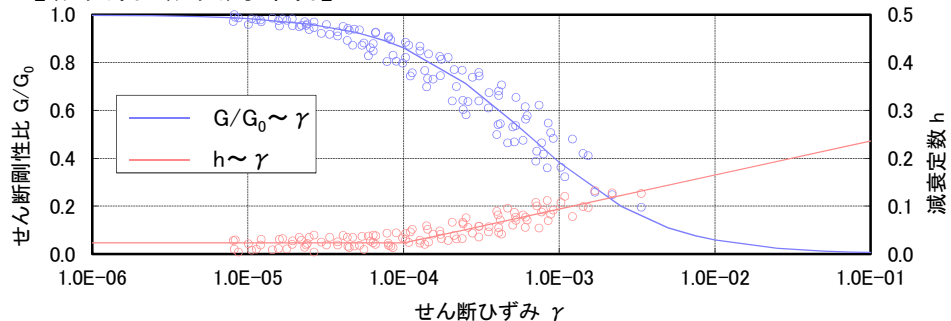
 :既に安全側にばらつきが考慮されているため、更なるばらつきの考慮を実施しない。

・ D級岩盤のひずみ依存特性については、各土質材料における動的変形試験の試験結果より設定した。

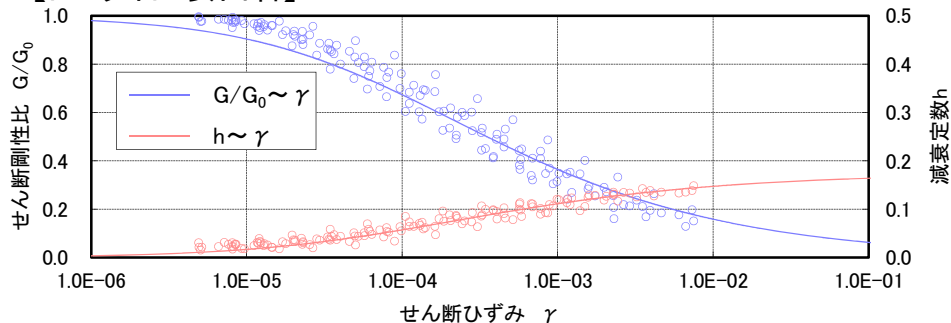
【頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層】



【凝灰岩・凝灰角礫岩】

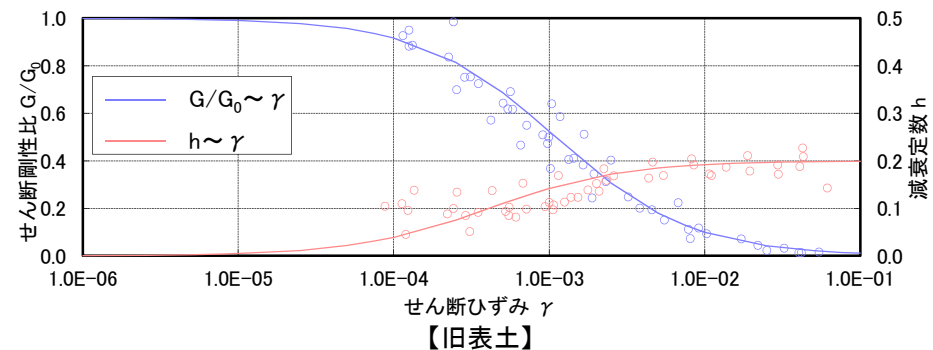
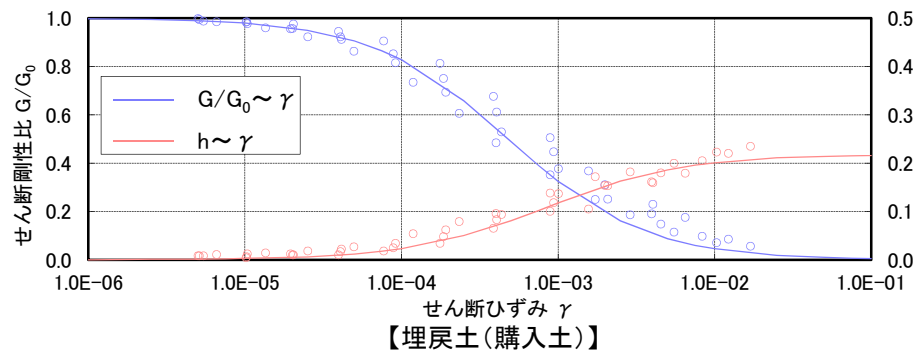
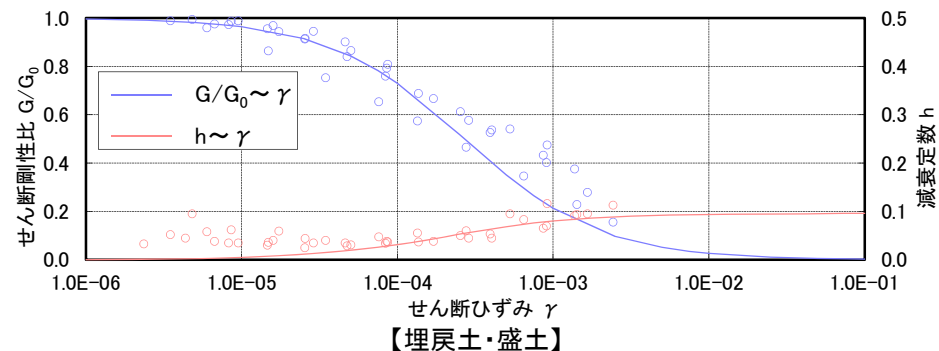
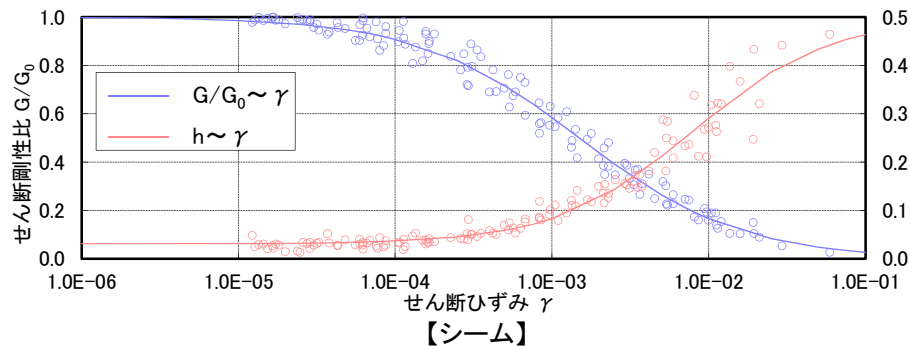


【ドレライト・安山岩】



動的変形特性(ひずみ依存特性について)

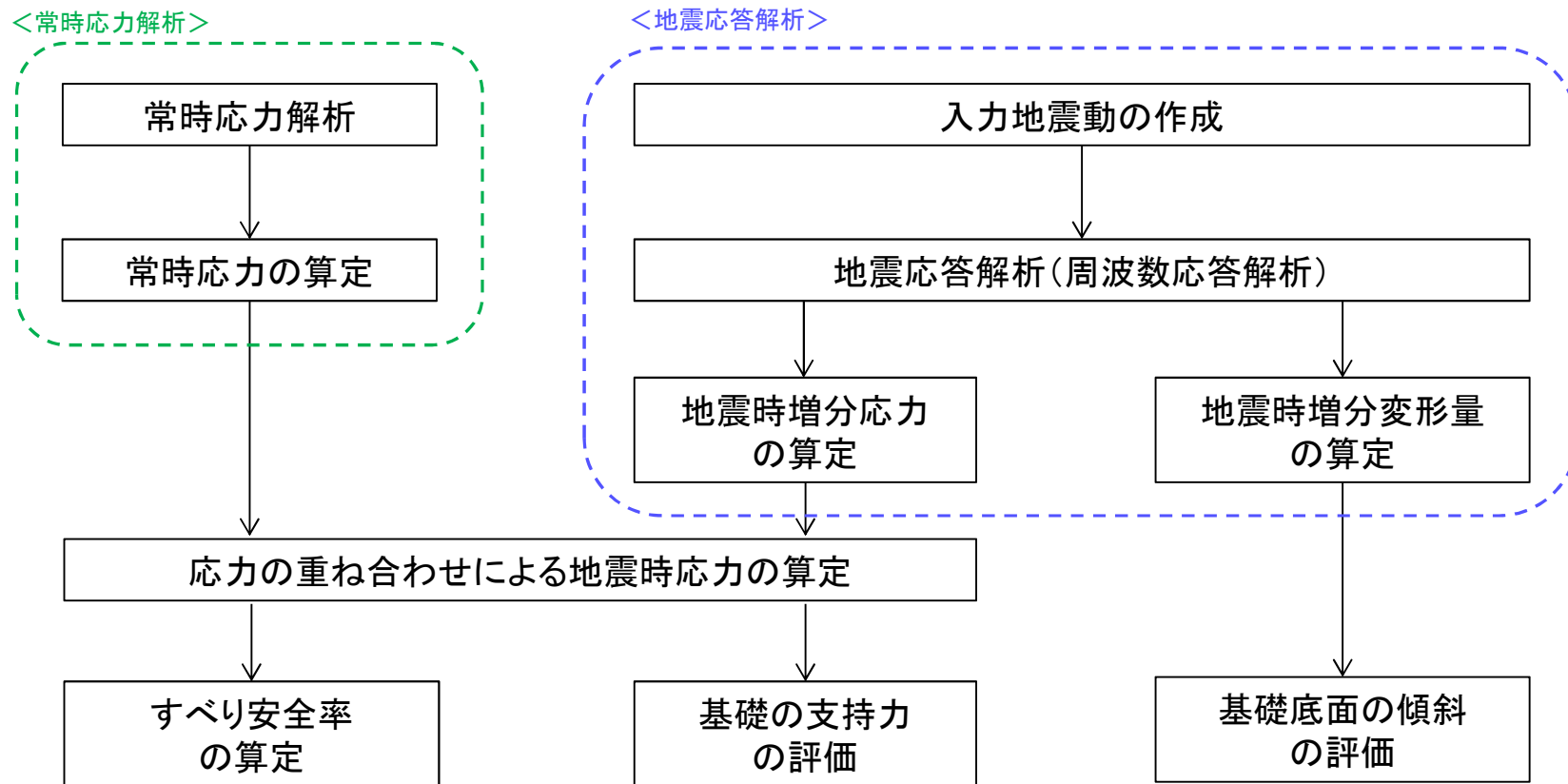
・ シーム, 埋戻土・盛土, 埋戻土(購入土), 旧表土のひずみ依存特性については, 各土質材料における動的変形試験の試験結果より設定した。



3. 基礎地盤の安定性評価

3.5 評価方法

安定性評価フロー

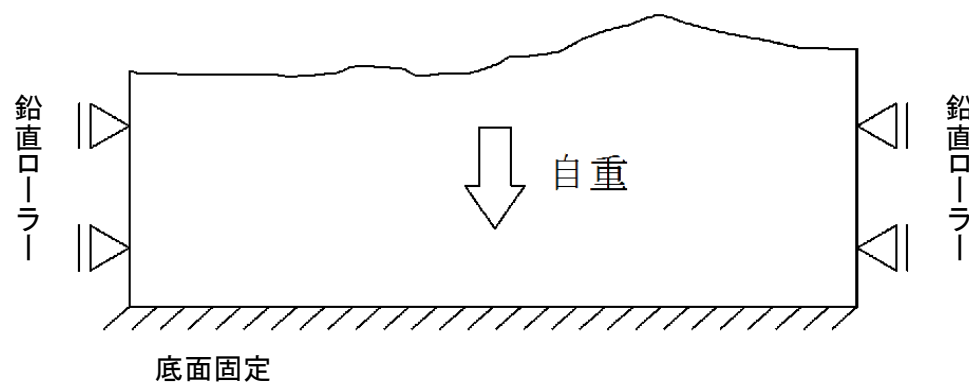


基礎地盤の安定性評価フロー

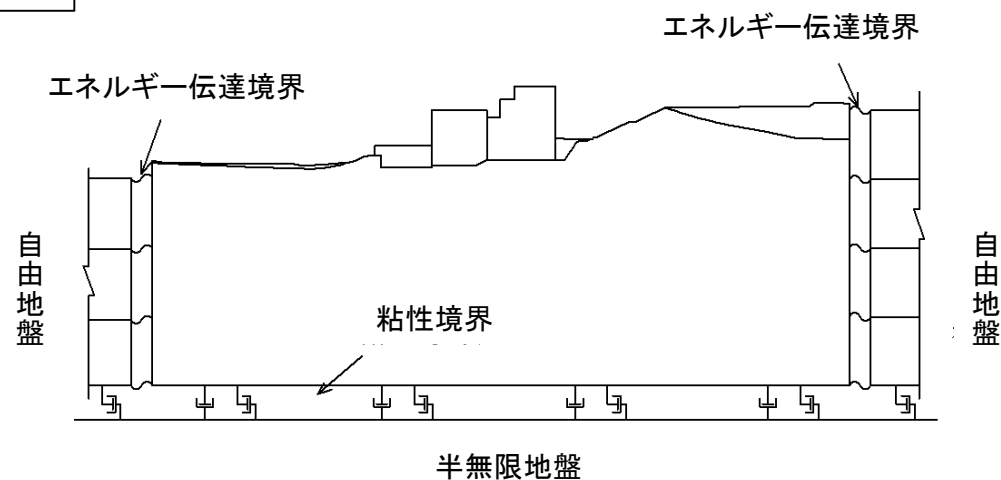
- ・基礎地盤の安定性は、二次元有限要素法に基づく常時応力解析及び地震応答解析(周波数応答解析)により評価した。
- ・地震応答解析については、水平及び鉛直地震動を同時入力した。
- ・D級岩盤、シーム、埋戻土・盛土、埋戻土(購入土)、旧表土は、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した。

- ・常時応力解析の境界条件は、底面を固定境界、側方を鉛直ローラー境界として設定した。
- ・地震応答解析時の境界条件は、底面を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とし、エネルギー逸散を考慮した。

常時応力解析(静的解析)



地震応答解析



2次元動的FEM解析における地下水位の設定方針

[建物・構築物の地下水位設定]

・基礎地盤の2次元動的FEM解析における建物・構築物の地下水位の設定に当たっては、**詳細設計段階における建物・構築物の設計方針を踏まえた保守的な設定とする**ため、地下水位低下設備の機能に期待する建物・構築物の地下水位より**保守的な建物基礎上面とし**、地下水位低下設備の機能に期待しない建物・構築物の地下水位は地表面とする。

⇒ 原子炉建物, タービン建物, 廃棄物処理建物, 制御室建物及び排気筒の地下水位 : 建物基礎上面

上記以外の建物・構築物の地下水位 : 地表面

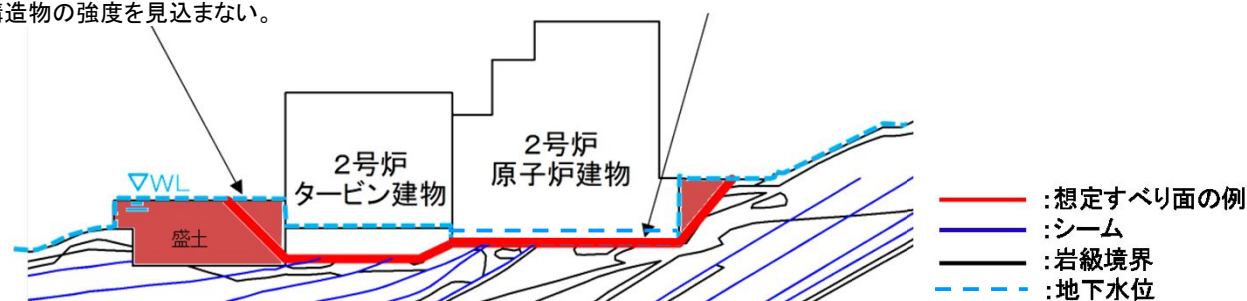
[建物・構築物の周辺地盤の地下水位設定]

・建物・構築物の周辺地盤の地下水位は、先行サイトでの審査実績を踏まえ、保守的に地表面に設定した荷重条件で安定解析を実施する。

※「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止(コメント回答)[地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日)において説明済

周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定する。
取水槽等は盛土としてモデル化し、構造物の強度を見込まない。

原子炉建物及びタービン建物の地下水位は、建物基礎上面とする。



基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージ

2次元動的FEM解析における地下水の扱い

[原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2015(日本電気協会)]

- ・解析手法については、間隙水圧の取り扱いの考え方の違いにより全応力解析と有効応力解析に区別されるが、全応力解析による安定性評価を行う。

[原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>(土木学会, 2009)]

- ・全応力による安定性評価を選択するのであれば、自重計算を行い、初期(常時)応力を算定する。つぎにこれを初期条件として動的応答解析を全応力解析で行い、応力分布(全応力分布)を求める。強度特性値は破壊規準も全応力のもとで設定して、これらに照らして安定性の評価を行う。
- ・基礎地盤の安定性評価においては、統一的な応力解析を実施する立場から、常時応力解析により算出し、地震時応力も全応力解析とする。また、力学特性値も全応力表示によるものを用いることとする。



- ・上記文献及び先行サイトでの審査実績を踏まえ、**2次元動的FEM解析**については、全応力静的有限要素解析により常時応力を、全応力動的有限要素解析(等価線形化法)により地震時増分応力を求め、全応力表示の強度に対して評価を行う。

[設定地下水位による評価への影響]

- ・**2次元動的FEM解析は**、常時応力及び地震時応力は全応力表示の物性値を用いた全応力解析により評価することから、基礎地盤の地下水位を地表面に設定することは、地盤の単位体積重量を飽和重量とすることと同義になる。

<すべり安全率>

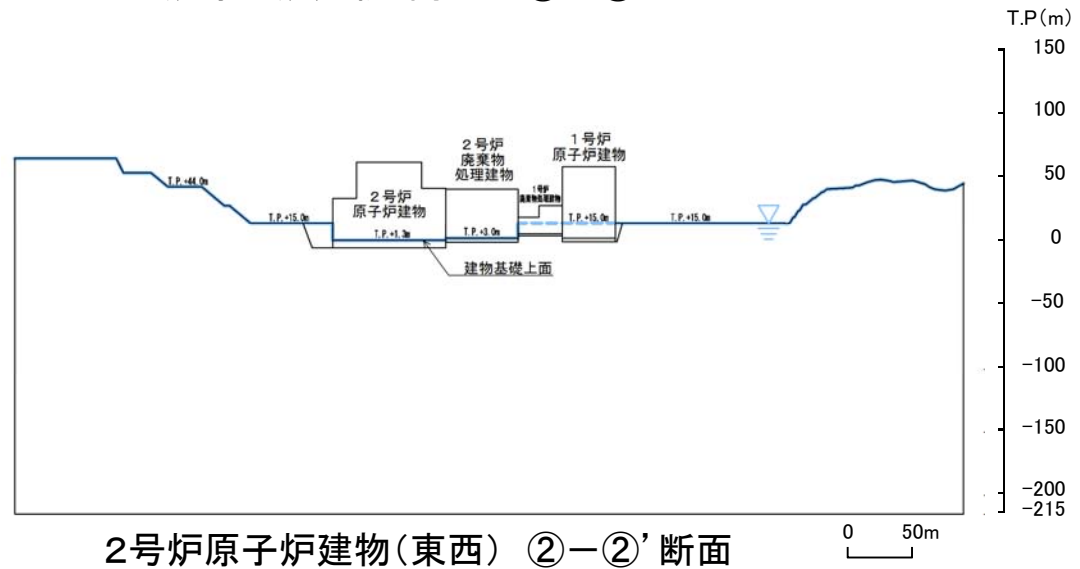
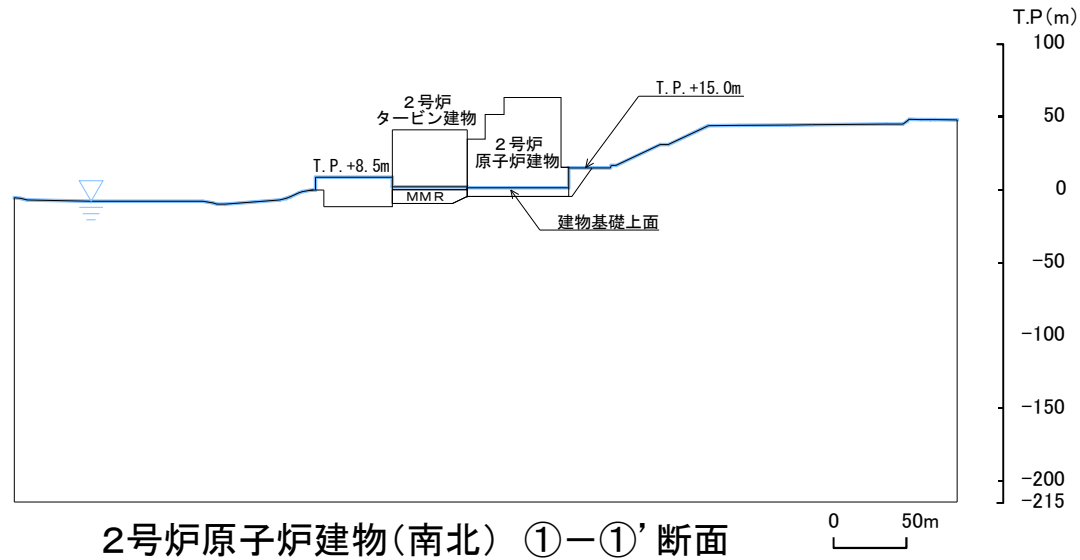
- ・単位体積重量が大きくなると、すべり安全率評価上は、起動力、抵抗力の両方に影響があるが、シーム、埋戻土、低位岩級等、すべり安定上厳しいすべり面を想定する場合、相対的に起動力の方が大きくなるため、単位体積重量を飽和重量として考慮する場合、すべり安全率評価上、保守的な評価となる。

<基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜>

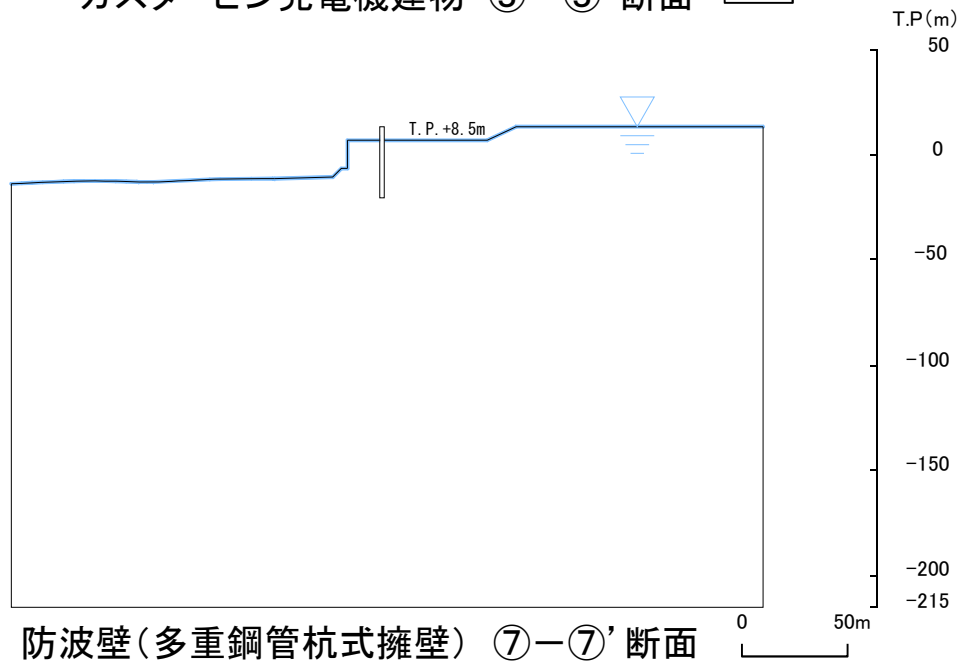
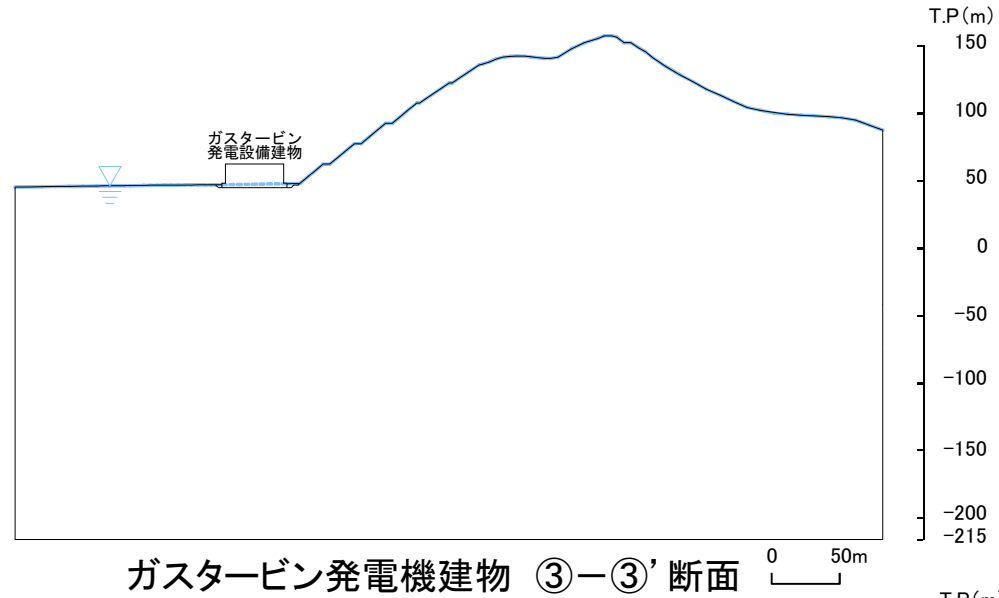
- ・地下水位は影響しない。

2次元動的FEM解析における地下水位の設定(1/3)

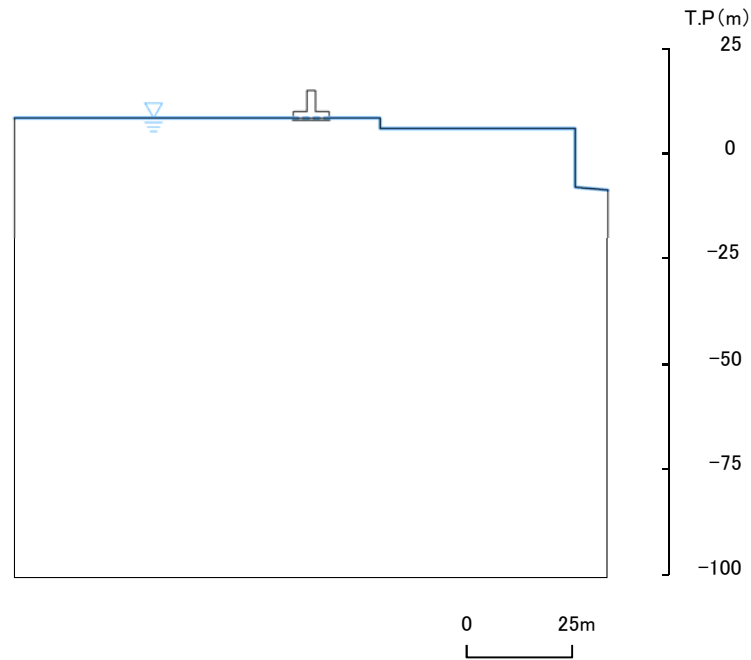
・ 2次元動的FEM解析における地下水位は、地表面あるいは建物基礎上面に設定した。



2次元動的FEM解析における地下水位の設定(2/3)



2次元動的FEM解析における地下水位の設定(3/3)



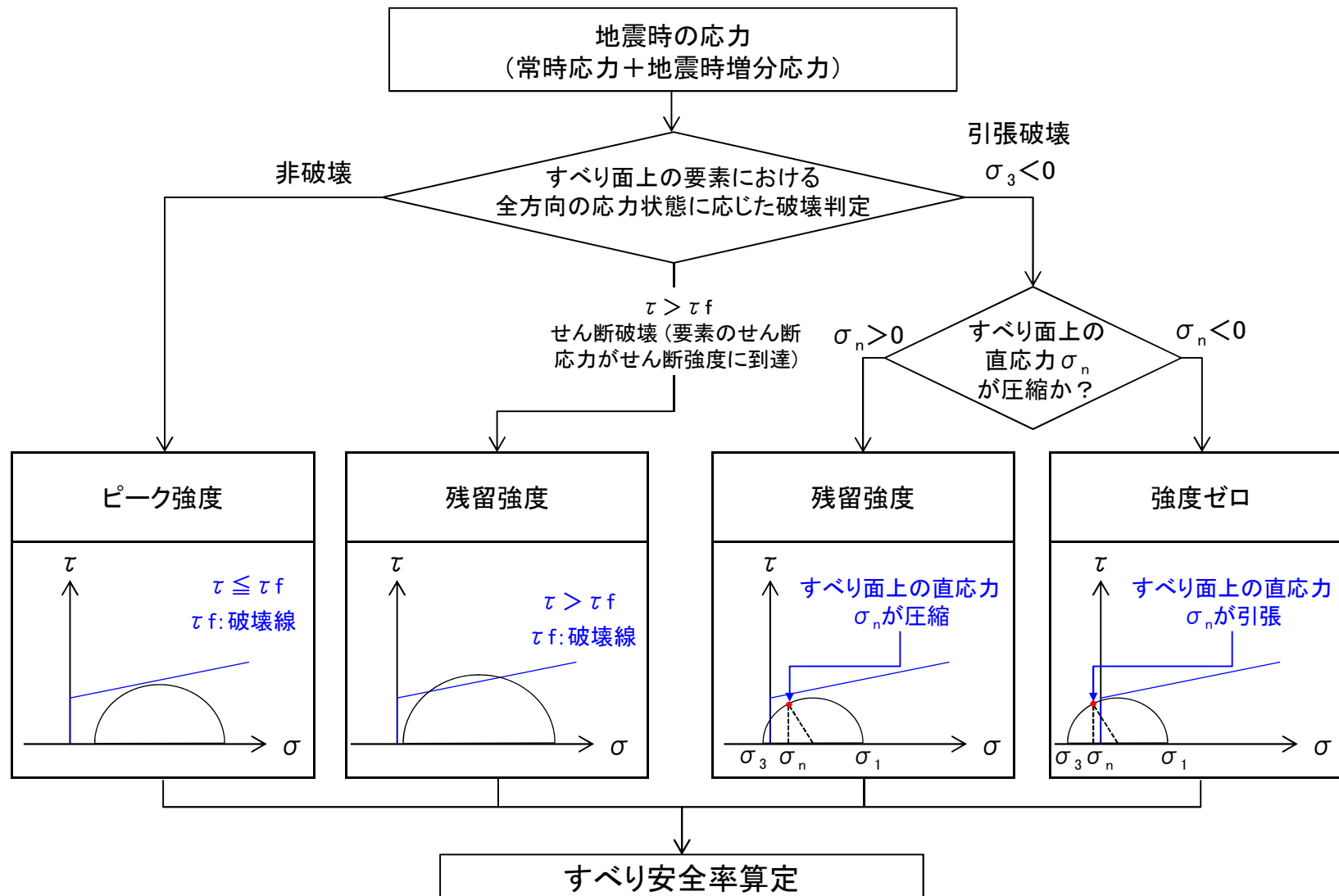
防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪' 断面

すべり安全率の算定

- ・想定したすべり面におけるすべり安全率により評価する。
- ・すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。
- ・すべり安全率が評価基準値の1.5を上回ることを確認する。
- ・液状化範囲では、すべり面上のせん断力及びせん断抵抗力は考慮しないこととする。

$$\text{すべり安全率} = \frac{\sum (\text{すべり面上のせん断抵抗力})}{\sum (\text{すべり面上のせん断力})} > 1.5 \quad \text{を確認する。}$$

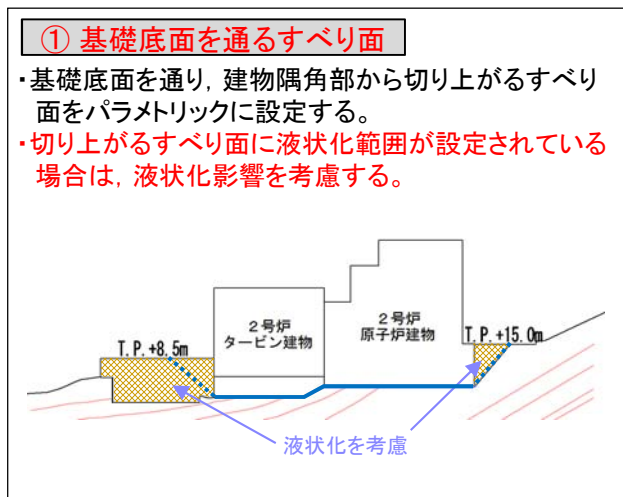
すべり安全率算定時の強度の考え方



・地盤の強度特性については、すべり面上の要素の応力状態に基づいて設定する。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法 すべり面の設定(1/2)

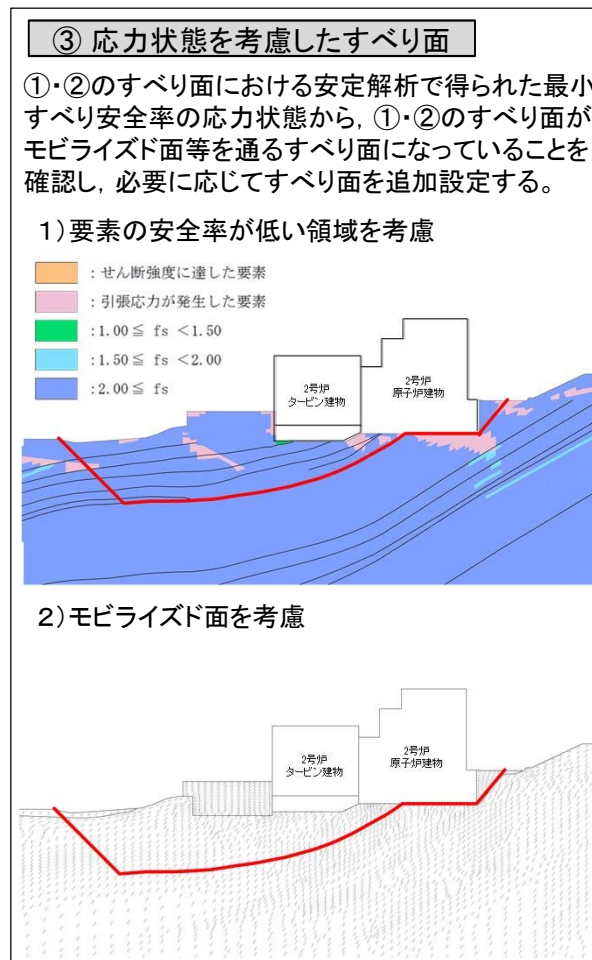
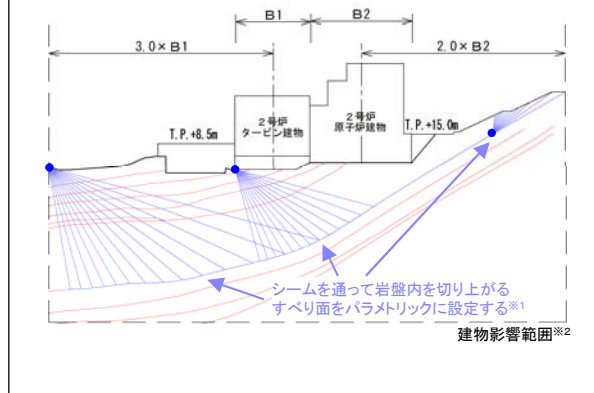
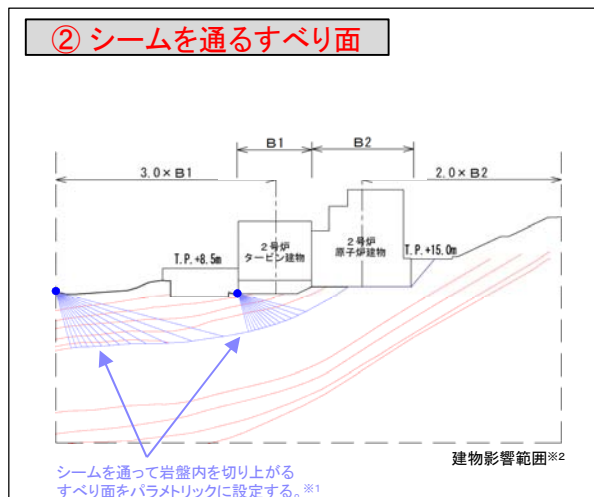
- ・基礎底面を通るすべり面は、建物隅角部から切り上がるすべり面を設定する。
- ・シームを通るすべり面は、シームを通過して岩盤内を切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。(詳細は次頁参照)
- ・基礎底面を通るすべり面及びシームを通るすべり面における応力状態を踏まえ、必要に応じてすべり面を追加設定する。



※1 5° ~ 85° の範囲をパラメトリックに設定(5° 間隔)
 ※2 建物影響範囲については、補足資料「5. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

凡例

- : シーム
- : すべり面
- : 切上がりの固定点



3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法 すべり面の設定(2/2)

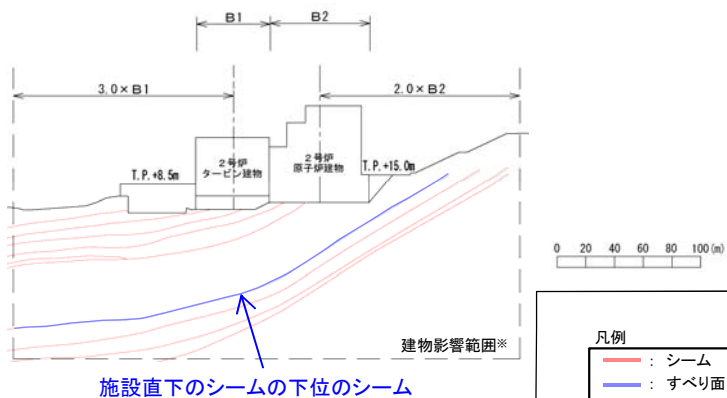
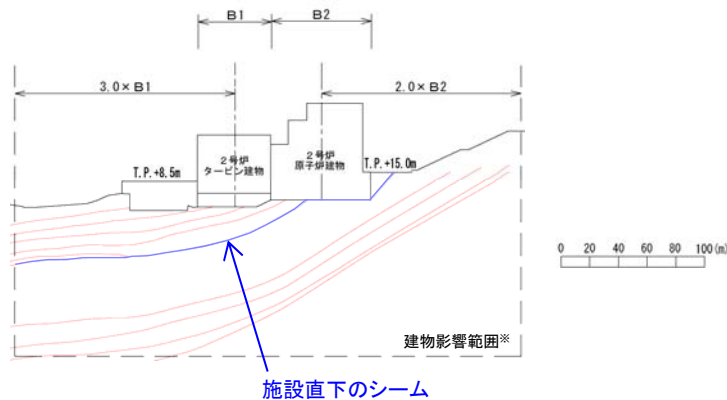
第910回審査会合
資料1-1 P109 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

128

- ・シームを通るすべり面は、検討対象のシームを設定した後、岩盤を通るすべり面を固定点を設けてパラメトリックに設定する。
- ①岩盤はせん断強度が大きいので、岩盤を通るすべり面が短くなるように、施設直下のシーム、及びその下位のシームを設定する。
- ②応力が集中する建物隅角部や建物影響範囲、シーム端部を固定点とし、パラメトリックに設定する。

①検討対象のシームの設定

岩盤を切り上げるすべり面が短くなる施設直下のシーム、及びその下位のシームを設定する。



- 凡例
- : シーム
 - : すべり面
 - : 切りがりの固定点

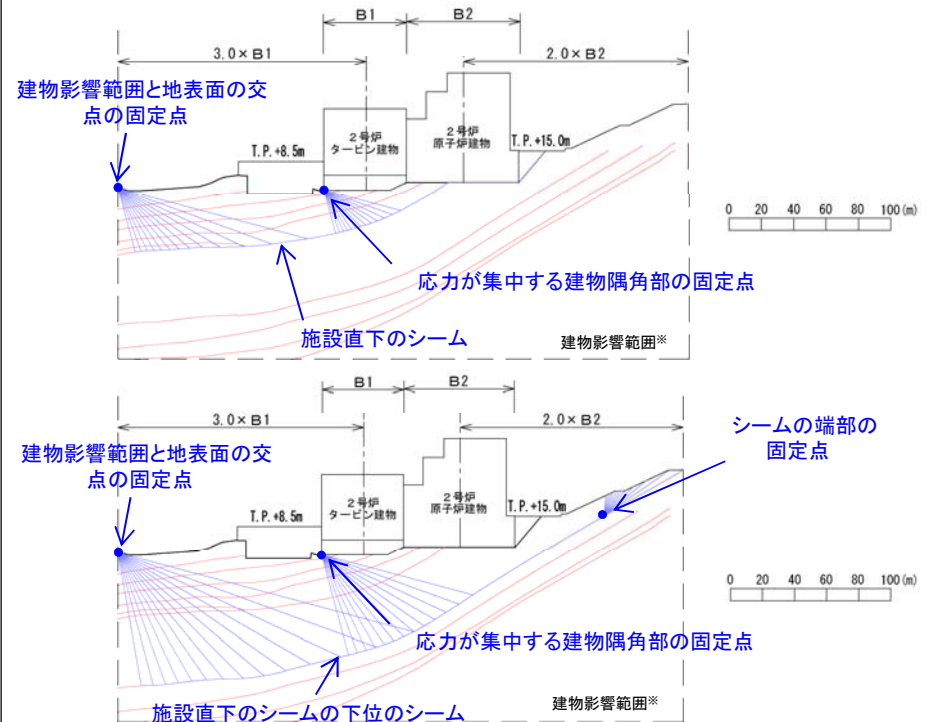
※ 建物影響範囲については、補足資料「5. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

②岩盤を切り上げるすべり面の設定(固定点の設定)

以下の考え方で固定点を設け、切り上がるすべり面は5~45°の範囲を、切り下がるすべり面は5°~85°の範囲を5°間隔にパラメトリックに設定する。

【固定点の設定の考え方】

- ・応力が集中する建物隅角部に固定点を設定する。
- ・すべり土塊が大きくなると起動力が大きくなることから、建物影響範囲と地表面の交点を固定点に設定する。
- ・シームが連続しない場合は、シームの端部を固定点に設定する。



3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

基礎の支持力

第910回審査会合
資料1-1 P110 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

129

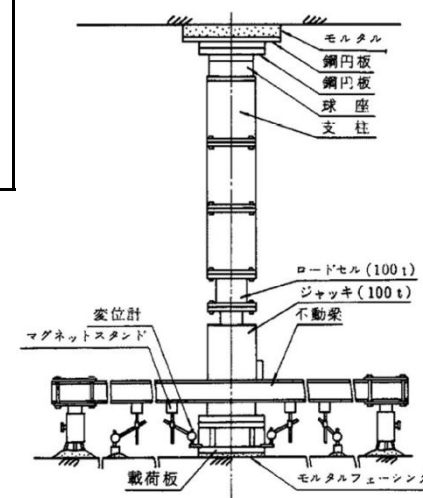
・平板載荷試験結果に基づき、基礎地盤支持力の評価基準値を設定し、2次元有限要素法に基づく地震応答解析(周波数応答解析)により求められる基礎の最大接地圧(鉛直応力)が評価基準値を超えていないことを確認する。

対象施設	接地地盤	基礎地盤支持力の評価基準値※1 (N / mm ²)	備考
2号炉原子炉建物	C _H 級	9.8以上 ※2	平板載荷試験により設定した。
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	C _M 級	9.8以上 ※2	
ガスタービン発電機建物	C _L 級	3.9	
防波壁(逆T擁壁)	改良地盤 (埋戻土 (掘削ズリ))	1.2 ※3	

※1 詳細な設定方法については、補足説明資料「2.6 地盤の支持力」に示す。

※2 100kg/cm² (=9.8N/mm²) を載荷しても破壊しないことから、評価基準値として9.8N/mm²以上とした。

※3 埋戻土(掘削ズリ)を対象とした平板載荷試験の結果、1.2N/mm²を載荷しても破壊しないことから、評価基準値として1.2N/mm²とした。

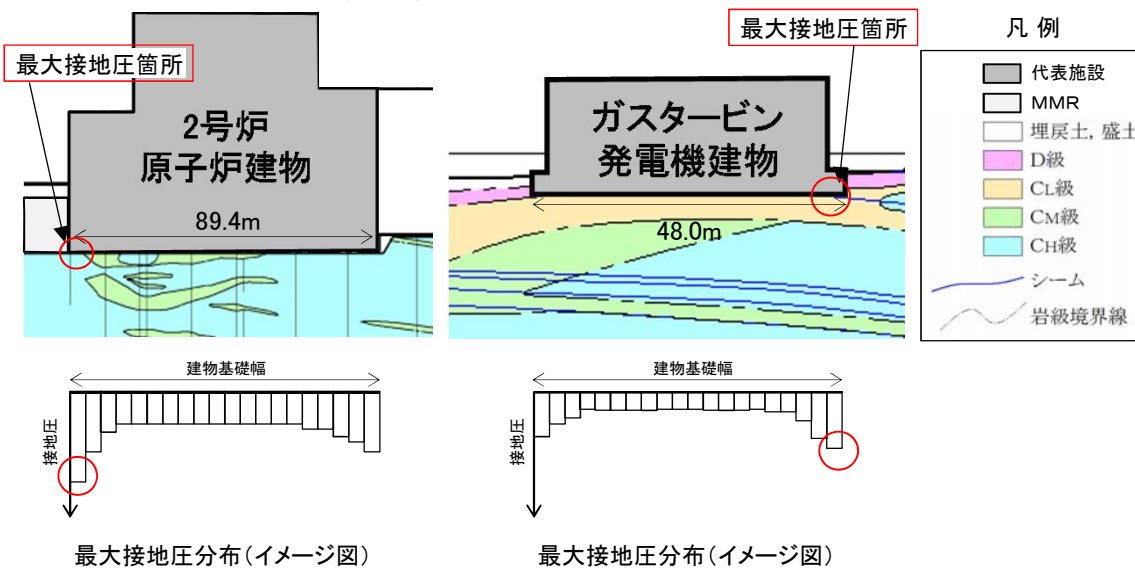


平板載荷試験

支持力に対する評価方針(2号炉原子炉建物, ガスタービン発電機建物)

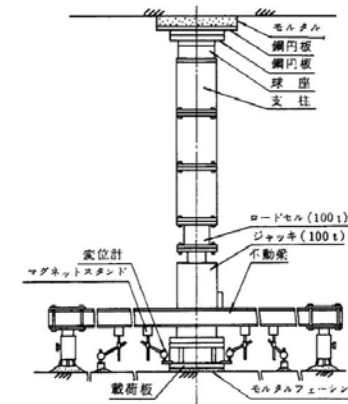
- ・直接岩盤で支持する施設の基礎地盤の支持力は, 平板載荷試験結果による評価基準値と, 2次元有限要素法に基づく地震応答解析(周波数応答解析)により求められる基礎の最大接地圧(鉛直応力)を比較することにより確認する。
- ・地震時の最大接地圧は, 常時応力と地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせて算出する。

- ①常時接地圧 : 常時応力解析による接地圧を算出する。
- ②地震時接地圧 : 地震応答解析による基礎底面の最大鉛直応力を算出する。



- ③基礎地盤支持力の評価基準値

- ・平板載荷試験結果に基づいて岩級毎に設定する。
- 2号炉原子炉建物(C_H級) : 9.8N/mm²以上
- ガスタービン発電機建物(C_L級) : 3.9N/mm²

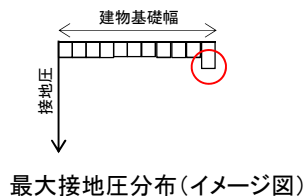
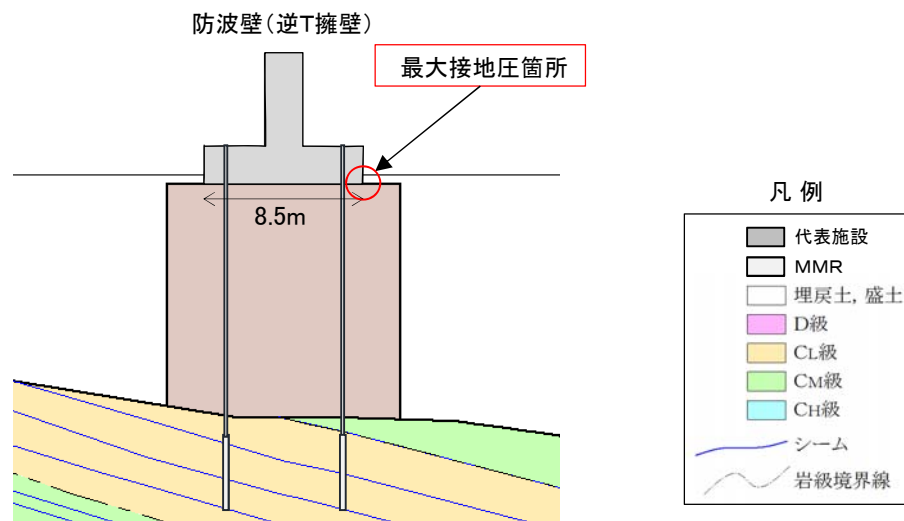


十分な支持性能を有することを確認
地震時最大接地圧(①+②) < 基礎地盤支持力の評価基準値(③)

支持力に対する評価方針(防波壁(逆T擁壁))

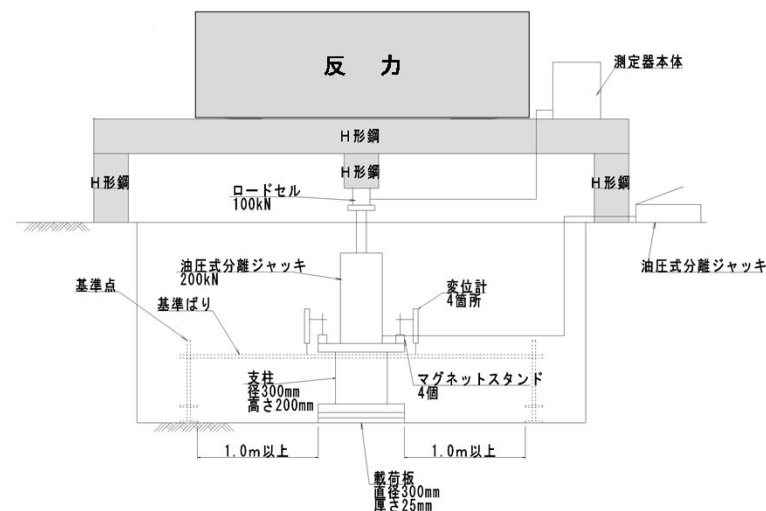
- ・直接改良地盤で支持する施設の基礎地盤の支持力は、平板載荷試験結果による評価基準値と、2次元有限要素法に基づく地震応答解析(周波数応答解析)により求められる基礎の最大接地圧(鉛直応力)を比較することにより確認する。
- ・地震時の最大接地圧は、常時応力と地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせて算出する。

- ①常時接地圧 : 常時応力解析による接地圧を算出する。
- ②地震時接地圧 : 地震応答解析による基礎底面の最大鉛直応力を算出する。
- ③アンカー緊張力: アンカー緊張力を地震時の最大接地圧(①+②)に加算する。



- ④基礎地盤支持力の評価基準値
・平板載荷試験結果に基づいて設定する。

防波壁(逆T擁壁)(改良地盤(埋戻土(掘削ズリ))): 1.2N/mm²※



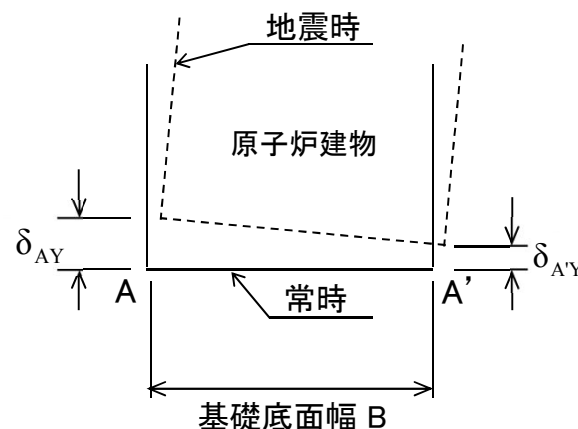
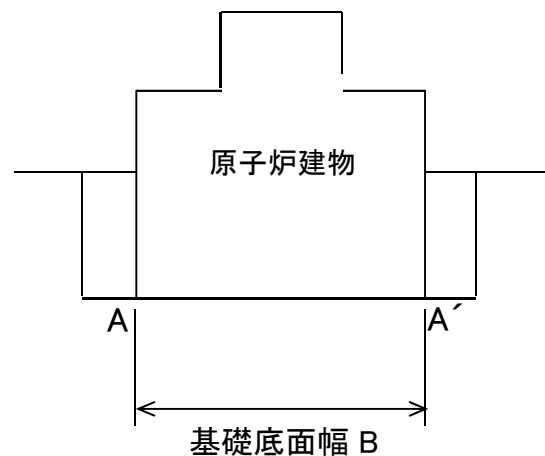
※ 埋戻土(掘削ズリ)を対象とした平板載荷試験の結果、1.2N/mm²を載荷しても破壊しないことから、評価基準値として1.2N/mm²とした。

十分な支持性能を有することを確認
地震時最大接地圧(①+②+③) < 基礎地盤支持力の評価基準値(④)

基礎底面の傾斜

・二次元有限要素法に基づく地震応答解析(周波数応答解析)の鉛直変位量から求められる基礎の傾斜が、評価基準値の目安の1/2,000を超えないことを確認する。

対象施設	評価基準値の目安	備考
2号炉原子炉建物	1/2,000	審査ガイドの目安値(基本設計段階の目安値): 一般建築物の構造的な障害が発生する限界(亀裂の発生率, 発生区間により判断)
ガスタービン発電機建物		
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	—	重要な機器・系統がないことから, 傾斜の評価を省略する。
防波壁(逆T擁壁)		



・原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値

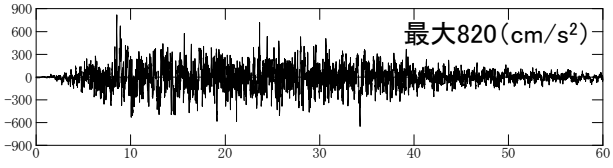
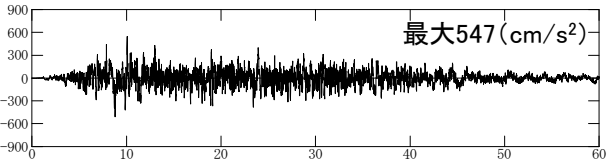
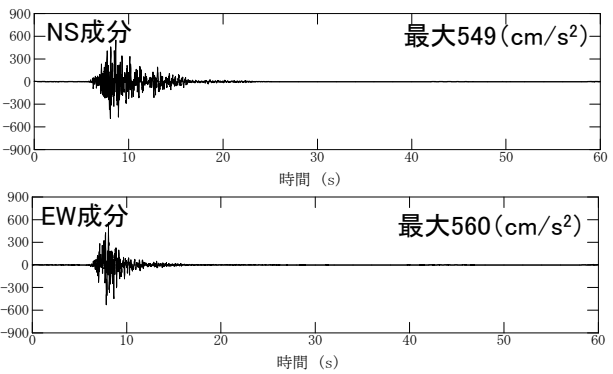
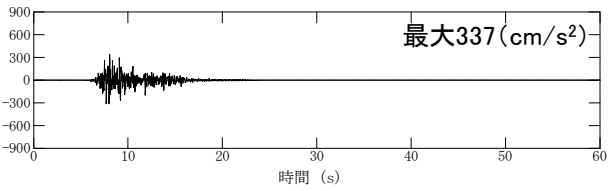
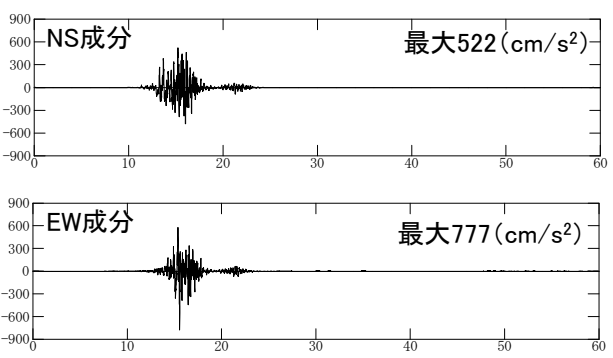
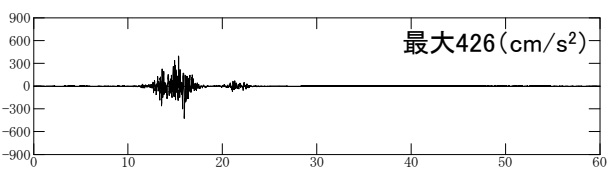
$$\frac{|\delta_{AY} - \delta_{A'Y}|}{B}$$

3. 基礎地盤の安定性評価

3.6 入力地震動

3. 基礎地盤の安定性評価 3.6 入力地震動
 概要(1/2)

基準地震動の最大加速度値

基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-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		
Ss-F1	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 突道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点5		
Ss-F2	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 突道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点6		

※ 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)]
 ※ Ss-Dは水平動及び鉛直動の反転を考慮する。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.6 入力地震動
 概要(2/2)

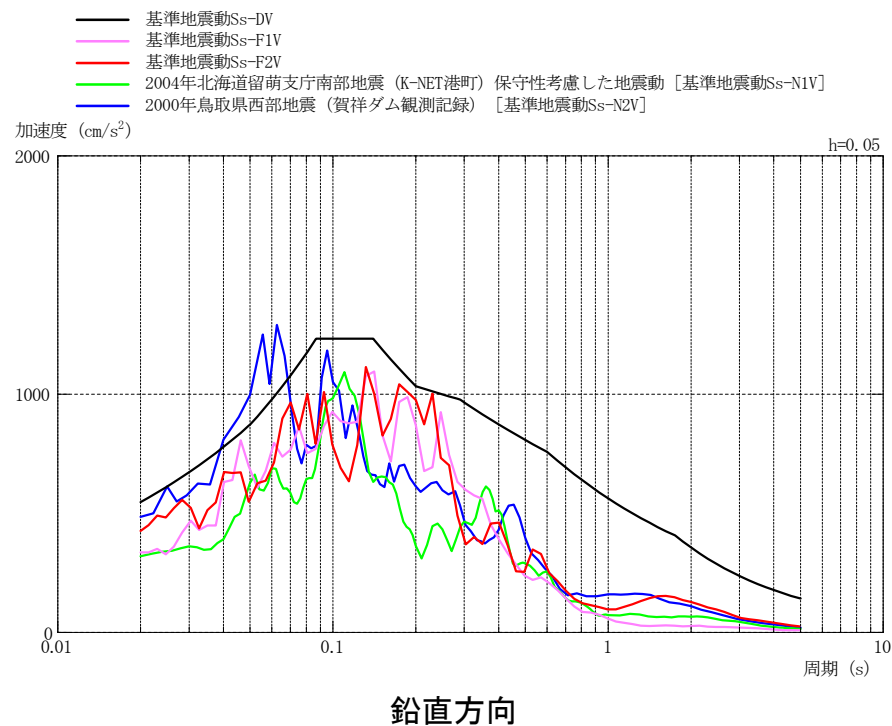
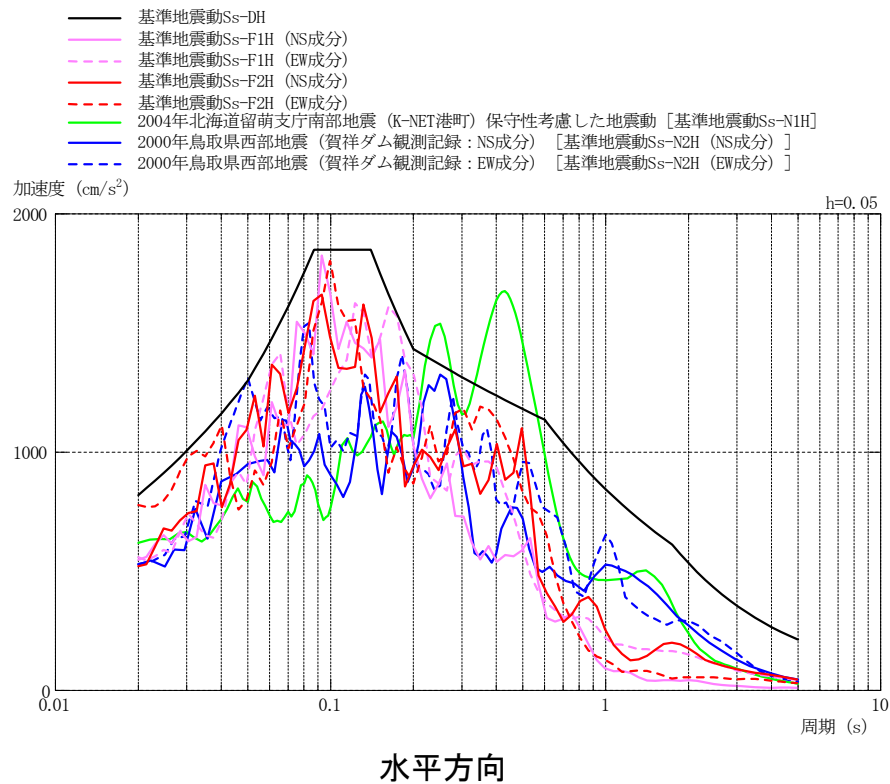
基準地震動の最大加速度値

基準地震動		水平方向	鉛直方向
Ss-N1	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]	<p>最大620 (cm/s²)</p>	<p>最大320 (cm/s²)</p>
Ss-N2	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賀祥ダム(監査廊)の観測記録]	<p>NS成分 最大528 (cm/s²)</p> <p>EW成分 最大531 (cm/s²)</p>	<p>最大485 (cm/s²)</p>

※ 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)]

※ Ss-N1及びSs-N2は水平動の反転を考慮する。

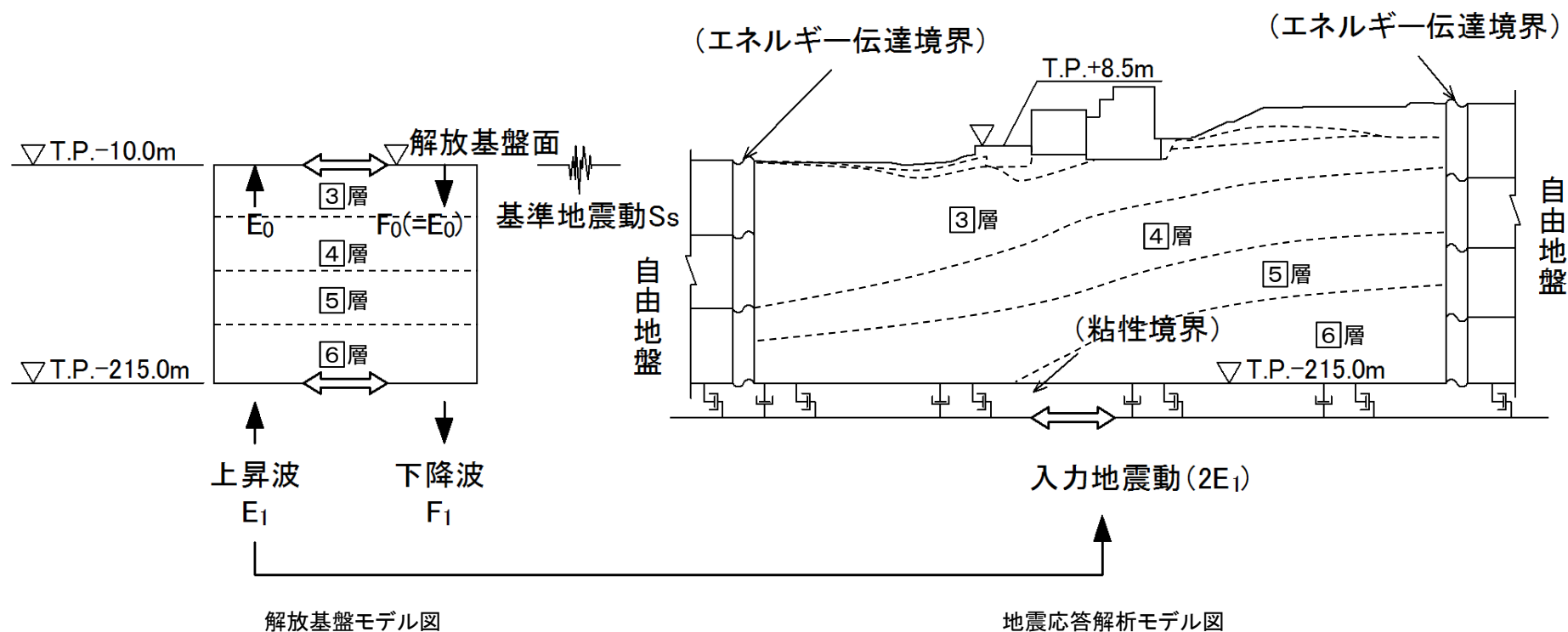
3. 基礎地盤の安定性評価 3.6 入力地震動 加速度応答スペクトル



基準地震動の加速度応答スペクトル

入力地震動の作成方法

- ・入力地震動については、基準地震動を解放基盤面 (T.P.-10.0m) からモデル下端まで引き戻した地震波を作成した。
- ・敷地ごとに震源を特定して策定する地震動である基準地震動 S_s-F1 及び S_s-F2 については、NS方向及びEW方向の地震動として方向性を有して策定されていることから、評価対象断面の方向に応じて方位変換を行って入力地震動を作成した。
- ・地震動を入力する際は、解放基盤モデルの下端における地震動取り出し側の速度層と、地震応答解析モデルの下端における地震動入力側の速度層が整合することを確認している。



解放基盤モデル図

地震応答解析モデル図

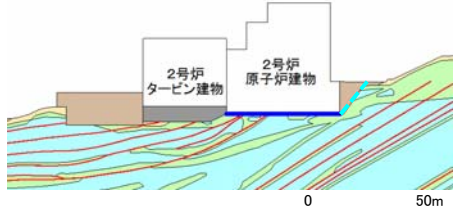
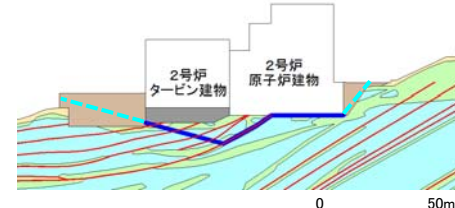
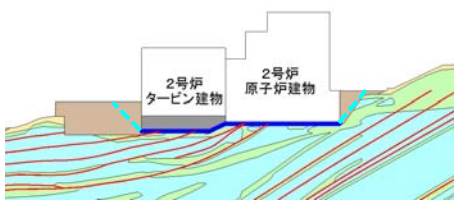
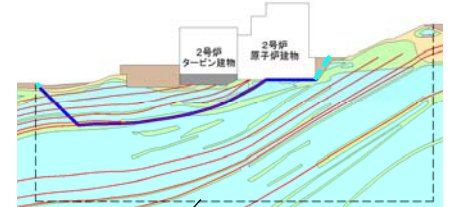
余白

3. 基礎地盤の安定性評価

3.7 評価結果

2号炉原子炉建物基礎地盤(南北) ①-①' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>基礎底面のすべり面(原子炉建物のみを通る切上がりを考慮しないすべり面)</p>	Ss-D (+,-)	2.18 [8.55]	3	 <p>シーム沿いのすべり面(原子炉建物からシームを通りタービン建物下MMR左端へ抜けるすべり面)</p>	Ss-D (-,+)	3.29 [8.92]
2	 <p>基礎及びMMR底面のすべり面(原子炉建物及びタービン建物下MMR底面を通るすべり面)</p>	Ss-D (+,+)	2.64 [8.93]	4	 <p>シーム沿いのすべり面(原子炉建物からシームを通り建物影響範囲地表面の左端へ抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,+)	2.13 [8.56]

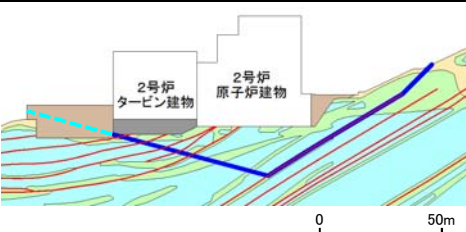
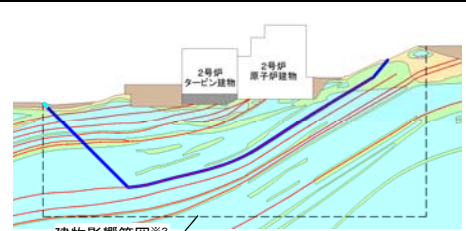
【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土 — : シーム
- : すべり面^{※4} □ : 最小すべり安全率

- ※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。
- ※3 建物影響範囲については, 補足資料「5. 建物影響範囲の設定方法」に示す。
- ※4 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

2号炉原子炉建物基礎地盤(南北) ①-①' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
5	 <p>シーム沿いのすべり面(シーム右端からシームを 通ってタービン建物下MMR左端へ抜けるすべり 面)</p>	Ss-N1 (-,+)	4.30 [7.55]
6	 <p>建物影響範囲^{※3}</p> <p>シーム沿いのすべり面(シーム右端からシームを 通って建物影響範囲左端へ抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,-)	3.20 [8.97]

【凡例】

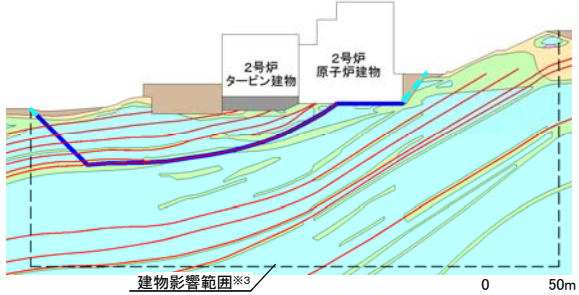
- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面^{※4}
- : 最小すべり安全率

- ※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。
- ※3 建物影響範囲については, 補足資料「5. 建物影響範囲の設定方法」に示す。
- ※4 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

2号炉原子炉建物基礎地盤(南北) ①-①' 断面

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	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
4	 <p>シーム沿いのすべり面(原子炉建物からシームを通り建物影響範囲地表面の左端へ抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,+)	2.13 [8.56]	1.98 [8.56]

※1 基準地震動(+,+)は反転なしを示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 建物影響範囲については、補足資料「5. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

※4 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

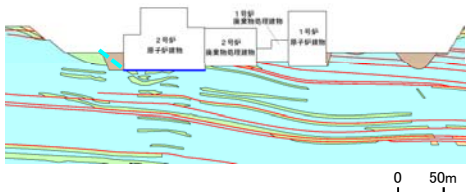
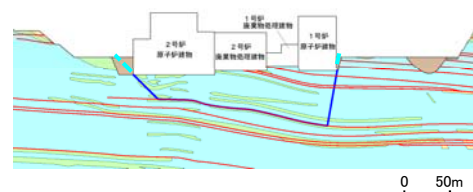
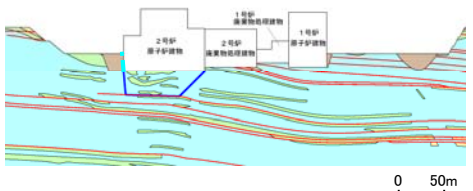
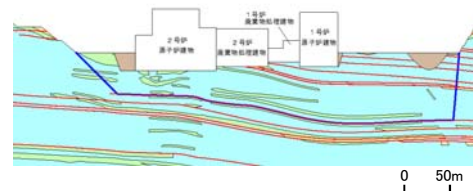
- : C₁級岩盤
- : C₂級岩盤
- : C₃級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面※4

・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

余白

2号炉原子炉建物基礎地盤(東西) ②-②' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2		すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2
1	 <p>基礎底面のすべり面(2号炉原子炉建物のみを通る切上がりを考慮しないすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	6.03 [7.53]	3	 <p>2号炉原子炉建物左端からシームを通過して1号炉原子炉建物右端に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	4.15 [7.39]
2	 <p>2号炉原子炉建物左端からシームを通過して2号炉原子炉建物右端に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	7.40 [7.40]	4	 <p>左側斜面法尻からシームを通過して右側斜面法尻に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	2.57 [7.39]

【凡例】

- : C_H級 岩盤
 : C_M級 岩盤
 : C_L級 岩盤
 : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
 : シーム
- : すべり面※3
 : 最小すべり安全率

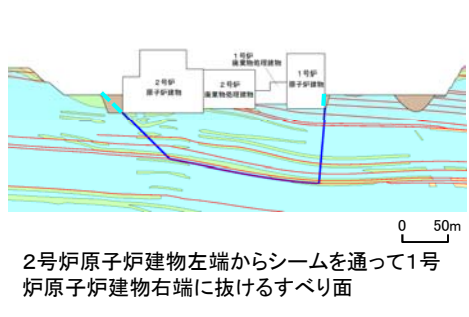
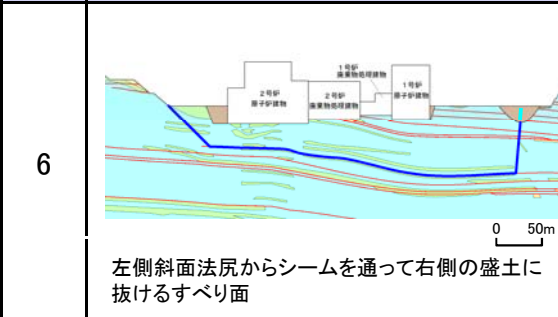
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

2号炉原子炉建物基礎地盤(東西) ②-②' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり 安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準 ^{※1} 地震動	最小すべり 安全率 ^{※2}
5	 <p>2号炉原子炉建物左端からシームを 通って1号炉原子炉建物右端に 抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	5.36 [7.42]	6	 <p>左側斜面法尻からシームを 通って右側の盛土に 抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	2.67 [7.39]

※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。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

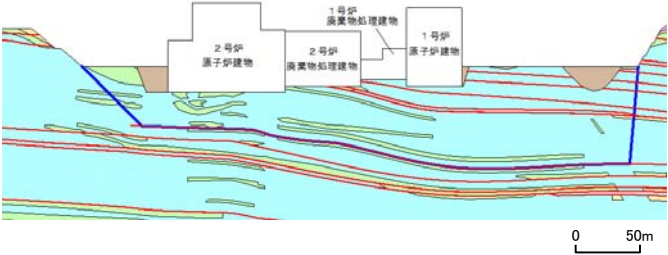
【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土 — : シーム
- : すべり面^{※3} □ : 最小すべり安全率

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

2号炉原子炉建物基礎地盤(東西) ②-②' 断面

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準 ※1 地震動	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
4	 <p>左側斜面法尻からシームを通して右側斜面法尻に 抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	2.57 [7.39]	2.43 [7.39]

※1 基準地震動(+,+)は反転なしを示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

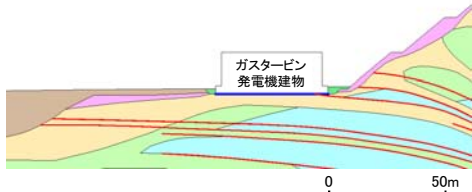
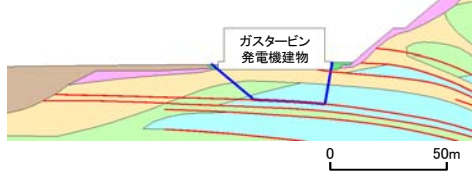
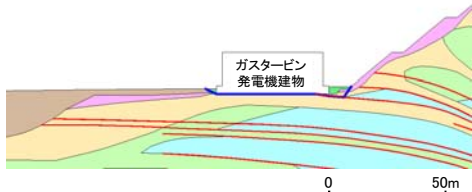
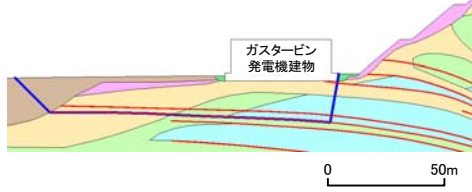
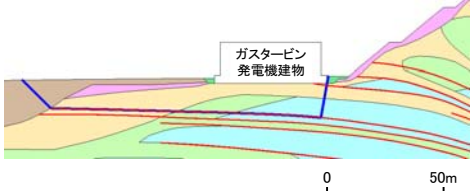
- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土 — : シーム
- : すべり面

・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

余白

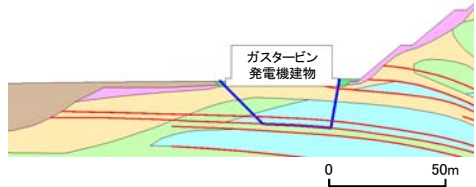
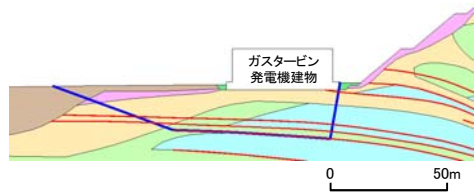
ガスタービン発電機建物基礎地盤 ③-③' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2		すべり面形状	基準地震動※1	最小すべり安全率※2
1	 <p>基礎底面のすべり面(ガスタービン発電機建物のみを通る切上がりを考慮しないすべり面)</p>	Ss-D (+,+)	2.90 [8.57]	4	 <p>シーム沿いのすべり面(ガスタービン発電機建物右端からシームを通過してガスタービン発電機建物左端に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	3.12 [7.45]
2	 <p>シーム沿いのすべり面(斜面法尻からシームを通過してガスタービン発電機建物左端に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.64 [7.70]	5	 <p>シーム沿いのすべり面(ガスタービン発電機建物右端からシームを通過して埋戻土部に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	2.02 [7.75]
3	 <p>シーム沿いのすべり面(ガスタービン発電機建物右端からシームを通過して埋戻土部に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.98 [7.74]	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>【凡例】</p> <p> : C_H級 岩盤 : C_M級 岩盤 : C_L級 岩盤 : D級 岩盤 : 埋戻土, 盛土 : 埋戻土(購入土) : シーム : すべり面 : 最小すべり安全率 </p> </div> <p>※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。</p>			

ガスタービン発電機建物基礎地盤 ③-③' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ※1	最小すべり安全率 ※2
6	 <p>シーム沿いのすべり面(ガスタービン発電機建物右端からシームを通過してガスタービン発電機建物左端に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	3.63 [7.46]
7	 <p>シーム沿いのすべり面(ガスタービン発電機建物右端からシームを通過して地表に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	2.54 [7.75]

【凡例】

- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : 埋戻土(購入土)
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

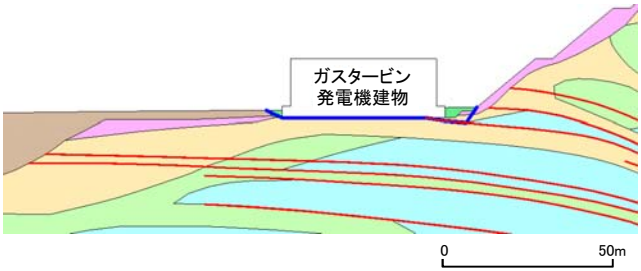
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

ガスタービン発電機建物基礎地盤 ③-③' 断面

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	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	 <p>シーム沿いのすべり面(斜面法尻からシームを 通ってガスタービン発電機建物左端に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.64 [7.70]	1.63 [7.70]

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

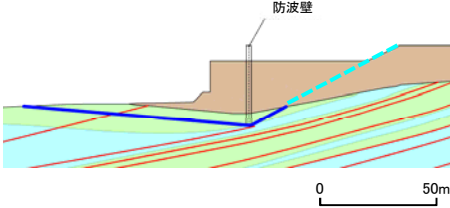
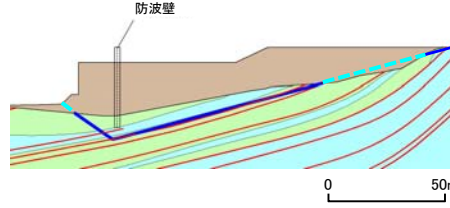
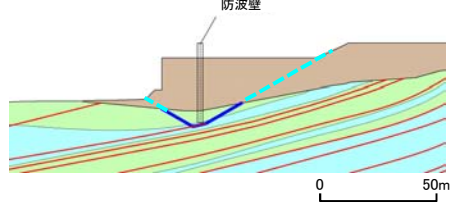
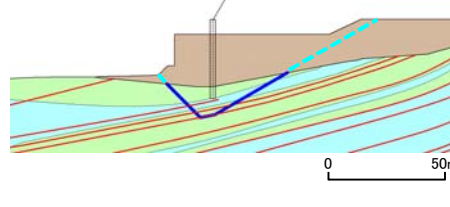
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : 埋戻土(購入土)
- : シーム
- : すべり面

・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

余白

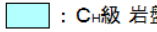
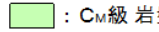
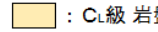
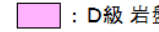
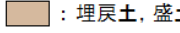
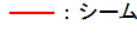
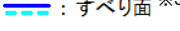
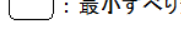
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 ⑦-⑦' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>防波壁底面を通るすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.67 [7.55]		 <p>防波壁右側からシームを通過して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-D (-,-)	2.38 [12.90]
2	 <p>防波壁右側からシームを通過して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.77 [7.56]		 <p>防波壁右側からシームを通過して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.62 [7.57]

- ※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)^{※1}は水平反転, (+,-)^{※1}は鉛直反転, (-,-)^{※1}は水平反転かつ鉛直反転を示す。
- ※2 []は、発生時刻(秒)を示す。
- ※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)
- ※4 有効応力解析による妥当性確認結果を「3.8 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認」に示す。

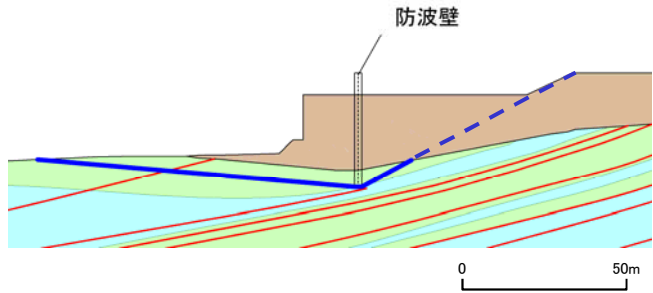
【凡例】

-  : C_H級 岩盤
-  : C_M級 岩盤
-  : C_L級 岩盤
-  : D級 岩盤
-  : 埋戻土、盛土
-  : シーム
-  : すべり面^{※3}
-  : 最小すべり安全率

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤 ⑦-⑦'断面

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	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	 <p>防波壁底面を通るすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.67 [7.55]	1.60 [7.55]

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

※4 有効応力解析による妥当性確認結果を「3.8 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認」に示す。

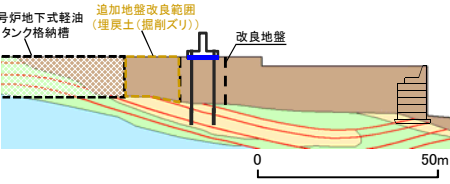
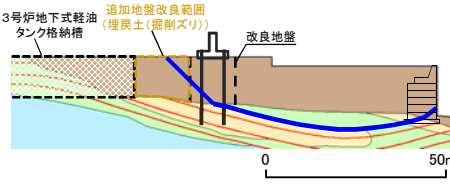
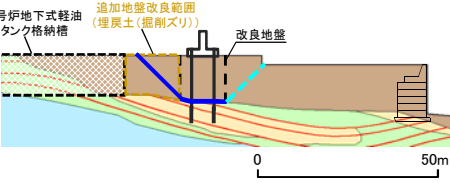
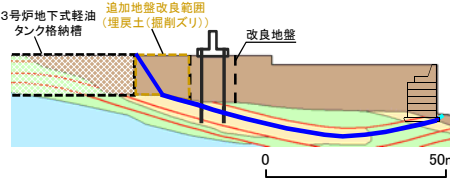
【凡例】

- : C_H級岩盤 ■ : C_M級岩盤 ■ : C_L級岩盤 ■ : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土 — : シーム
- : すべり面^{※3}

・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤 ⑪-⑪' 断面

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率
1	 <p>逆T擁壁底面を通るすべり面</p>	Ss-N2 (NS) (+,+)	7.09 [25.39]	3	 <p>B27シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	2.25 [8.98]
2	 <p>地盤改良部底面を通るすべり面</p>	Ss-D (-,+)	3.32 [9.02]	4	 <p>B25+26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	2.03 [8.98]

※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。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土 — : シーム
- : すべり面^{※3} □ : 最小すべり安全率

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤 ⑪-⑪'断面

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ※1	すべり安全率【平均強度】※2, 3	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2, 3
4	<p>B25・26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	2.03 [8.98]	1.66 [8.98]

※1 基準地震動(+,+)は反転なしを示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

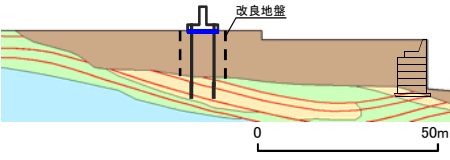
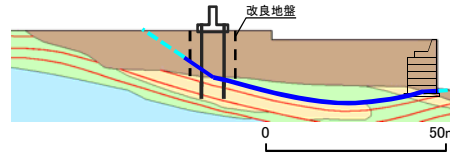
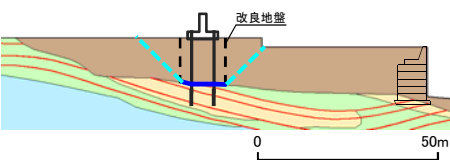
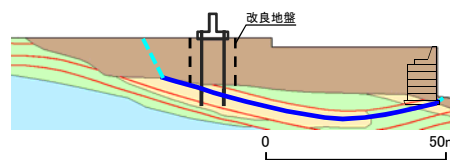
【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面 ※3

・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

(参考) 対策工を考慮しない場合の安定性評価結果(1/2)

・すべり安全率(平均強度)

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率
1	 <p>逆T擁壁底面を通るすべり面</p>	Ss-N2 (NS) (+,+)	7.09 [25.39]	3	 <p>B27シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	2.06 [8.98]
2	 <p>地盤改良部底面を通るすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	2.95 [7.59]	4	 <p>B25・26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	1.87 [8.92]

※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。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

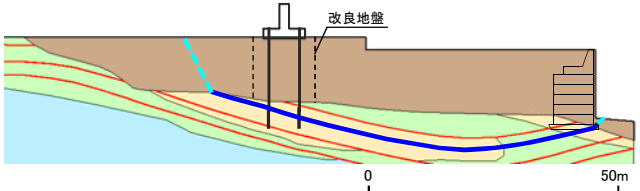
【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土 — : シーム
- : すべり面^{※3} □ : 最小すべり安全率

・防波壁(逆T擁壁)⑪-⑪'断面については, 対策工を考慮しない場合の動的解析の結果においても, 平均強度を用いたすべり安全率が1.5を上回ることを確認した。

(参考) 対策工を考慮しない場合の安定性評価結果(2/2)

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準 ※1 地震動	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
4	 <p>B25・26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	1.87 [8.92]	1.51 [8.92]

※1 基準地震動(+,+)は反転なしを示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土 — : シーム
- : すべり面

・防波壁(逆T擁壁)⑪-⑪'断面については、対策工を考慮しない場合の動的解析の結果においても、ばらつきを考慮した強度を用いたすべり安全率が1.5を上回るが、更なる裕度向上策として、3号炉地下式軽油タンク格納槽の建設に合わせて地盤改良を追加実施する。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果
支持力

第910回審査会合
 資料1-1 P131 加筆・修正
 ※修正箇所を青字で示す

・いずれの施設においても、地震時最大接地圧は評価基準値を下回っていることから、施設の基礎地盤は十分な支持力を有している。

対象施設	基準地震動 [※]	地震時最大接地圧 (N/mm ²) 〔発生時刻(秒)〕	基礎地盤支持力の評価基準値 (N/mm ²)
2号炉原子炉建物	Ss-D (-, -)	2.19 〔14.58〕	9.8以上
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	Ss-D (-, -)	2.39 〔8.80〕	9.8以上
ガスタービン発電機建物	Ss-D (-, -)	1.01 〔9.03〕	3.9
防波壁(逆T擁壁)	Ss-F2	0.32 〔15.44〕	1.2

※ 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。

基礎底面の傾斜 2号炉原子炉建物(南北)(①-①'断面)

・各地震動による基礎底面の傾斜の一覧を下表に示す。

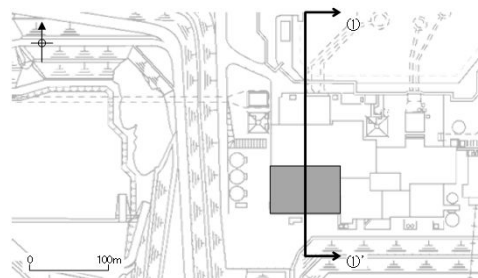
基礎底面の傾斜

	2号炉原子炉建物(①-①'断面)※1, 2											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
相対変位	-0.24	0.29	0.17	-0.17	0.17	-0.17	0.29	-0.31	0.31	-0.29	-0.12	0.18
傾斜	1/28,000	1/23,000	1/40,000	1/40,000	1/40,000	1/40,000	1/24,000	1/22,000	1/22,000	1/24,000	1/59,000	1/38,000

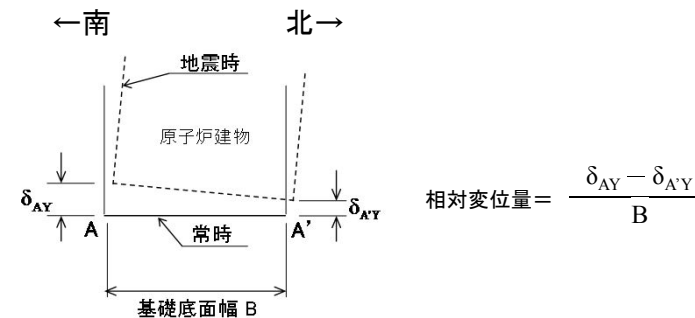
■: 最大傾斜

※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 相対変位がプラスの場合は北傾斜, マイナスの場合は南傾斜を示す。



断面位置図



相対変位イメージ図

基礎底面の傾斜 2号炉原子炉建物(東西)(②-②'断面)

・各地震動による基礎底面の傾斜の一覧を下表に示す。

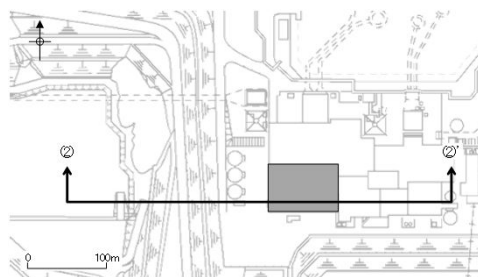
基礎底面の傾斜

	2号炉原子炉建物(②-②'断面)※1, 2											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(-,-)	(+,+)	(+,-)		
相対変位	-0.22	0.22	0.19	0.16	-0.16	0.15	-0.23	0.20	-0.20	0.23	-0.22	-0.17
傾斜	1/41,000	1/41,000	1/47,000	1/56,000	1/55,000	1/58,000	1/38,000	1/43,000	1/43,000	1/38,000	1/40,000	1/53,000

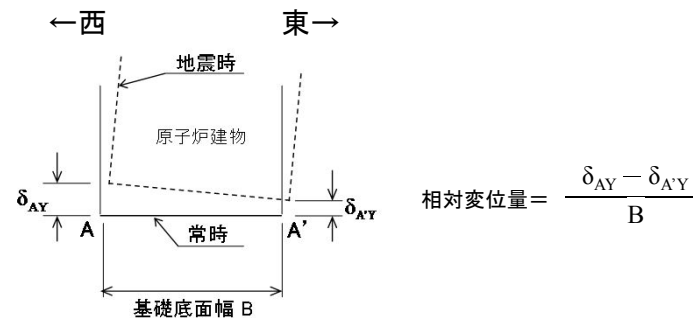
■: 最大傾斜

※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 相対変位がプラスの場合は東傾斜, マイナスの場合は西傾斜を示す。



断面位置図



相対変位イメージ図

$$\text{相対変位量} = \frac{\delta_{AY} - \delta_{A'Y}}{B}$$

基礎底面の傾斜 ガスタービン発電機建物(③-③'断面)

・各地震動による基礎底面の傾斜の一覧を下表に示す。

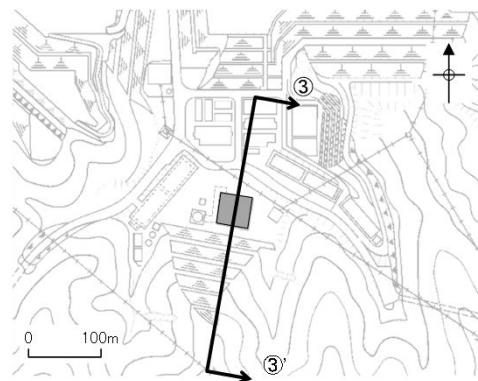
基礎底面の傾斜

	ガスタービン発電機建物(③-③'断面) ^{※1, 2}											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
相対変位	-0.12	-0.10	0.13	-0.10	-0.09	-0.14	-0.15	0.17	-0.17	0.15	0.13	0.13
傾斜	1/38,000	1/45,000	1/37,000	1/49,000	1/51,000	1/35,000	1/31,000	1/28,000	1/28,000	1/31,000	1/36,000	1/36,000

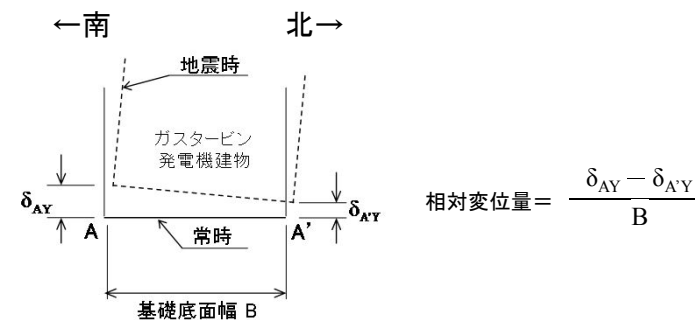
■: 最大傾斜

※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 相対変位がプラスの場合は北傾斜, マイナスの場合は南傾斜を示す。



断面位置図



相対変位イメージ図

$$\text{相対変位量} = \frac{\delta_{AY} - \delta_{A'Y}}{B}$$

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果
基礎底面の傾斜 まとめ

各施設における基礎底面の最大傾斜

対象施設	検討断面	基準地震動※	最大相対鉛直変位 (cm) [発生時刻(秒)]	最大傾斜	評価基準値 の目安
2号炉原子炉建物	①-①' 断面 (南北)	Ss-D (-,+)	0.31 [8.60]	1/22,000	1/2,000
ガスタービン発電機建物	③-③' 断面 (南北)	Ss-D (+,-)	0.17 [10.09]	1/28,000	

※ 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。

・いずれの施設においても評価基準値の目安である1/2,000を下回っていることから、重要な機器・系統の安全機能に支障を与えるものではない。

3. 基礎地盤の安定性評価

3. 8 液状化影響を考慮したすべり安定性評価 の有効応力解析による妥当性確認

有効応力解析による妥当性確認 検証方法(1/2)

・全応力解析による液状化影響を考慮したすべり安定性評価(以下, 全応力解析の採用手法)について, 有効応力解析により妥当性を検証するため, 以下のとおり確認を行う。

【全応力解析の採用手法の妥当性確認 検証方法】

- ・液状化範囲の過剰間隙水圧比分布や応力状態を確認するため, 有効応力解析を実施する。
- ・有効応力解析の過剰間隙水圧比分布等を確認し, 全応力解析の採用手法における, 液状化範囲の設定及び起動力・抵抗力の設定が妥当であることを確認する。
- ・全応力解析の採用手法の妥当性を確認するため, 有効応力解析を用いたすべり安全率を算定し, 全応力解析の採用手法によるすべり安全率との比較を行い, 採用手法の妥当性を確認する。

全応力解析の採用手法の概要

項目	全応力解析の採用手法 (全応力を用いて液状化影響を考慮)
液状化範囲の設定	地下水位以深の埋戻土等を全て「液状化範囲」とする
液状化範囲の起動力	考慮しない(ゼロとする)
液状化範囲の抵抗力	考慮しない(ゼロとする)

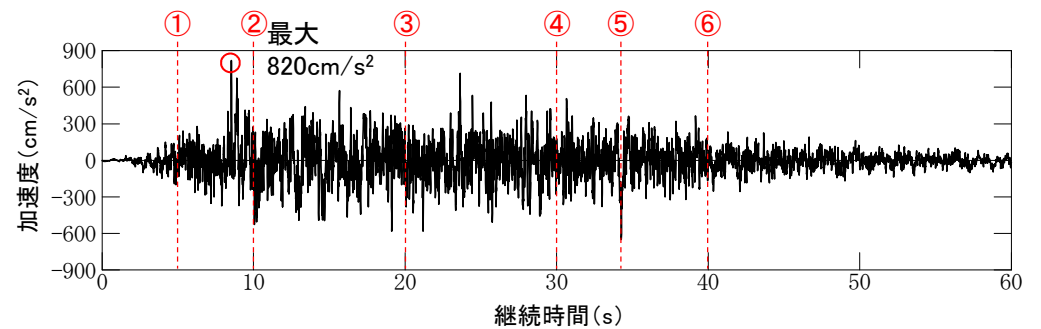
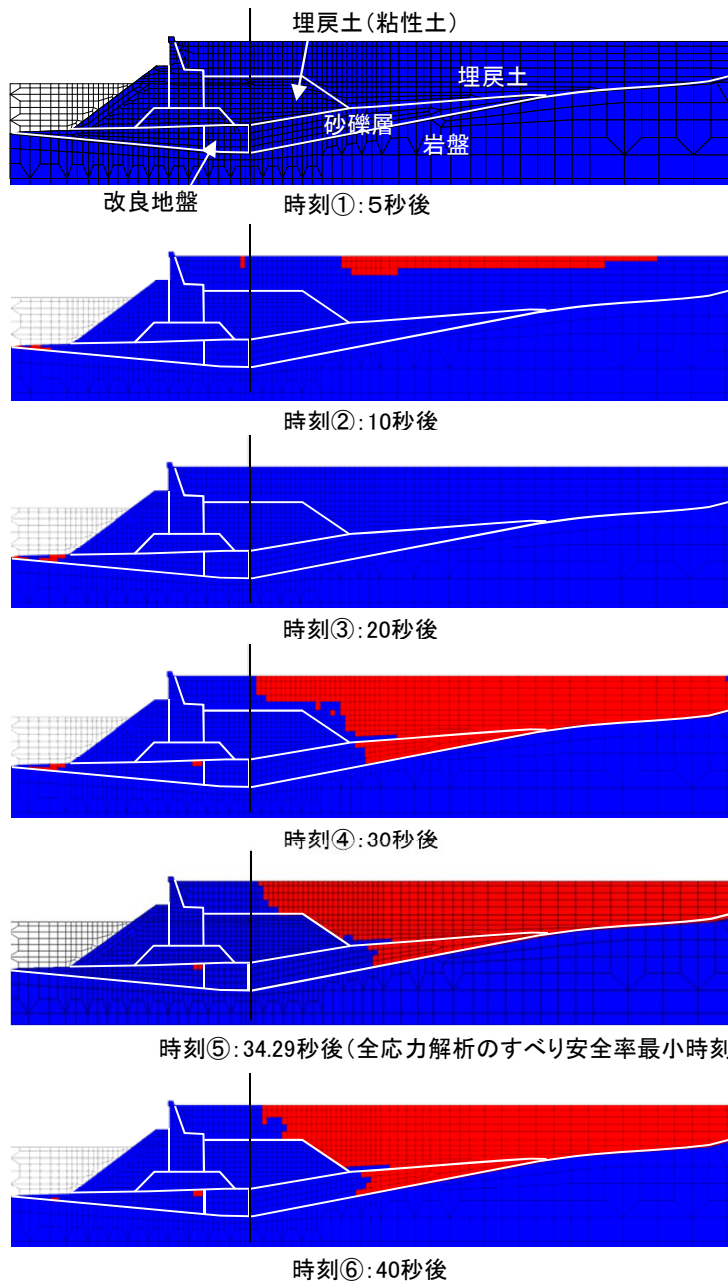
有効応力解析による妥当性確認 検証方法(2/2)

・検証に用いる有効応力解析の解析条件は以下のとおりとする。

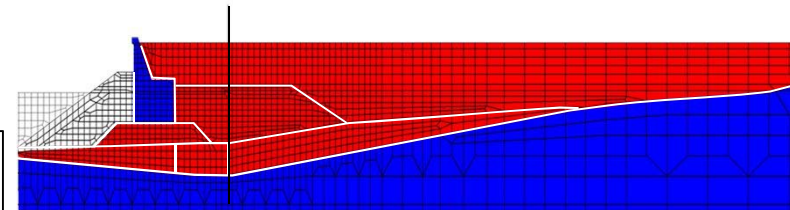
全応力解析の採用手法の妥当性確認 検証に用いる有効応力解析の解析条件

項目	検証の条件
基準地震動	継続時間が最も長い S_s-D の中で、すべり安全率の最小となるケースとする。
対象断面	評価対象断面(全応力解析を実施した断面)のうち、埋戻土が最も厚い「防波壁(多重鋼管杭式擁壁)⑦-⑦'断面」を選定する。
検証に用いる有効応力	<ul style="list-style-type: none"> ・『島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性』(2020年10月15日)で示している有効応力解析結果(FLIP)を用いる。 ・ただし、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の地下水位は、地表面に設定して再解析を行う。

液状化範囲の設定の確認($S_s-D(-,-)$)



基準地震動 S_s-D の時刻歴波形(水平)



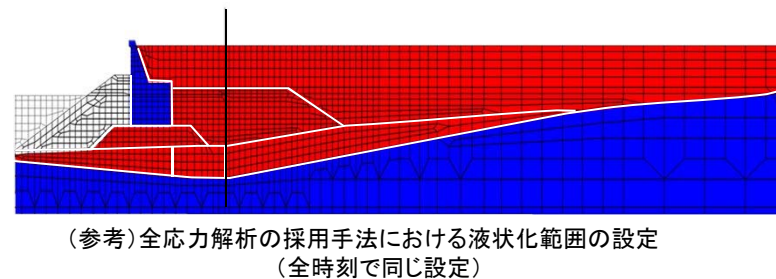
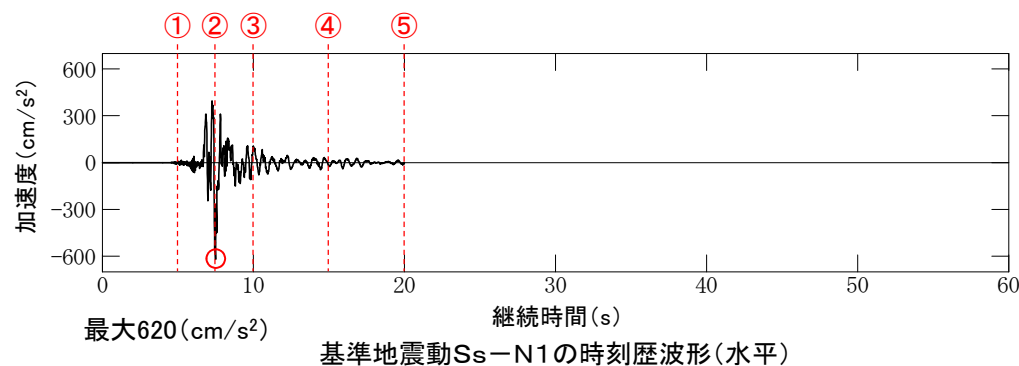
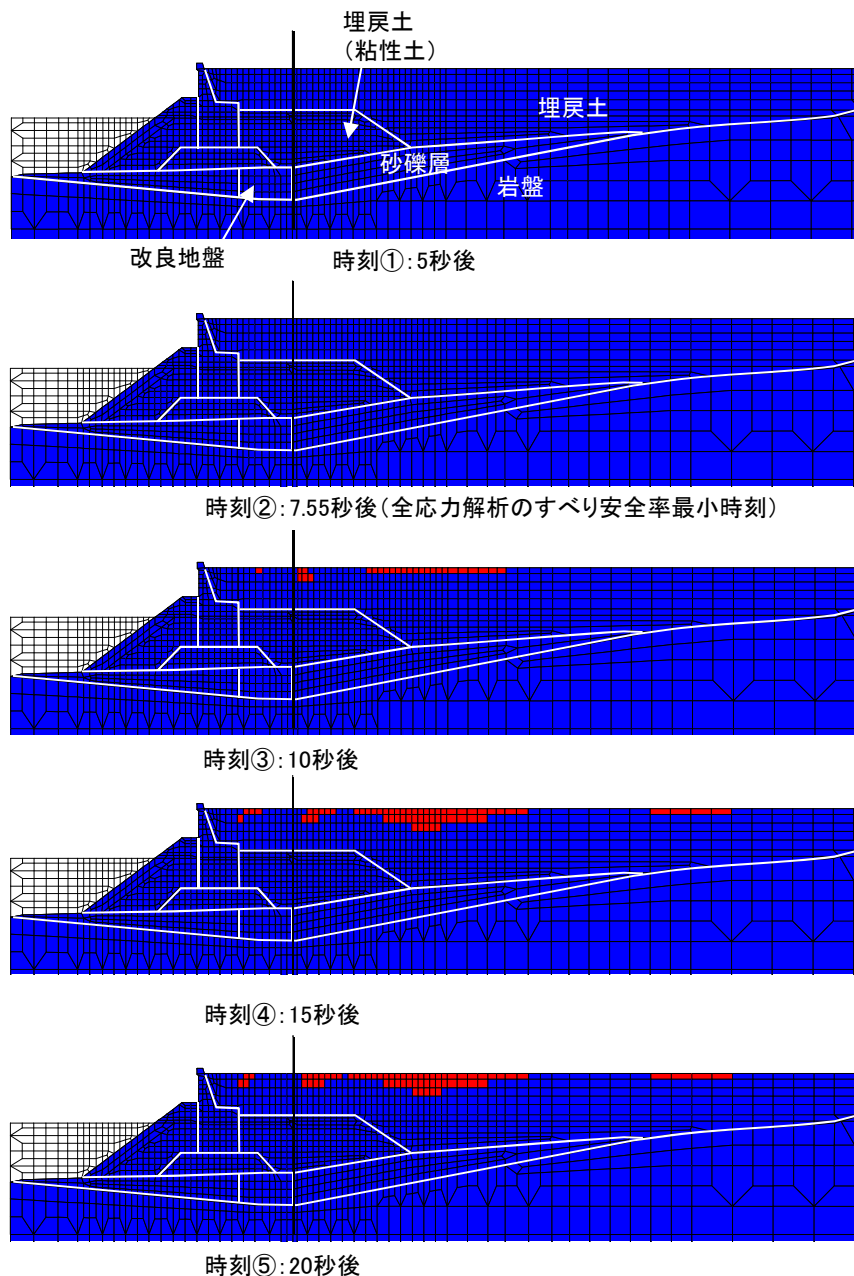
全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定
(全時刻で同じ設定)

凡例
 ■: 過剰間隙水圧比0.95以上
 ■: " 未満

- ・継続時間が最も長い S_s-D の中で、全応力解析の採用手法によるすべり安全率が最小となる $S_s-D(-,-)$ において、過剰間隙水圧比分布を確認した。
- ・10秒後から、過剰間隙水圧比0.95以上となる範囲が局所的に発生し、30秒からは、繰返しせん断に伴う過剰間隙水圧の上昇により、0.95以上の範囲が埋戻土全体に発生する。
- ・防波壁周辺の砂礫層(地盤安定性評価では埋戻土とし、液状化範囲に設定している)には、0.95以上の範囲は進展しない。
- ・全応力解析の採用手法における液状化範囲は、全時刻で全ての埋戻土を対象に設定している。(上図参照)

以上のことから、全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定は保守的になっていることを確認した。

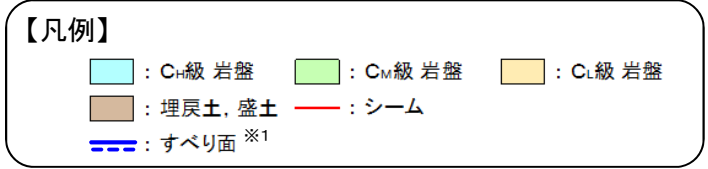
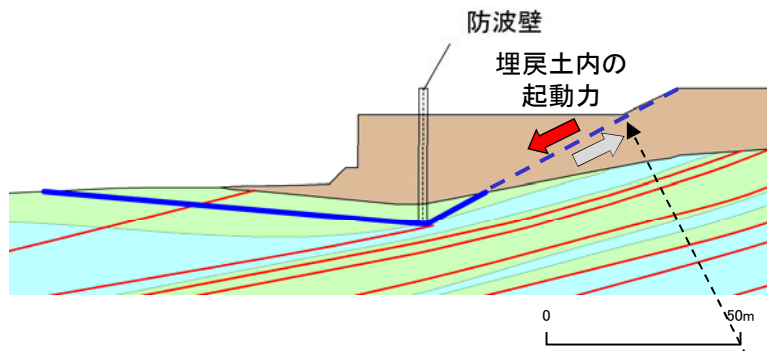
(参考)液状化範囲の設定の確認($S_s-N1(-,+)$)



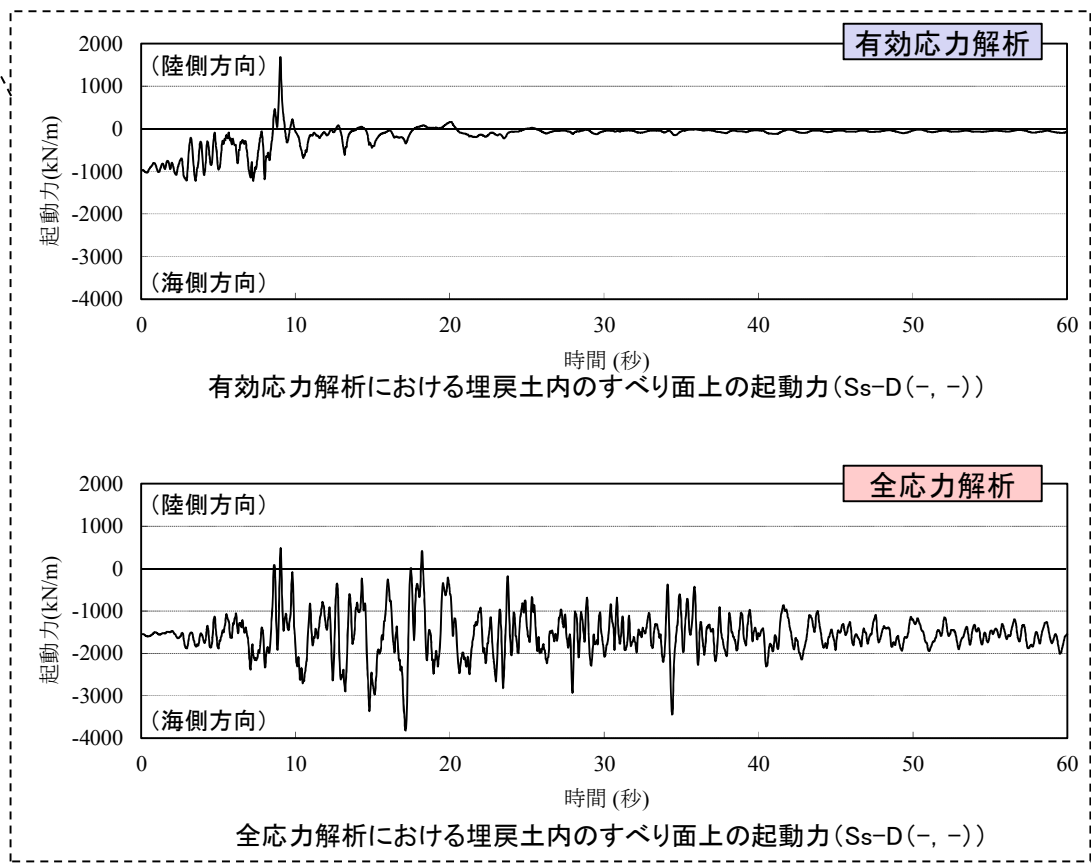
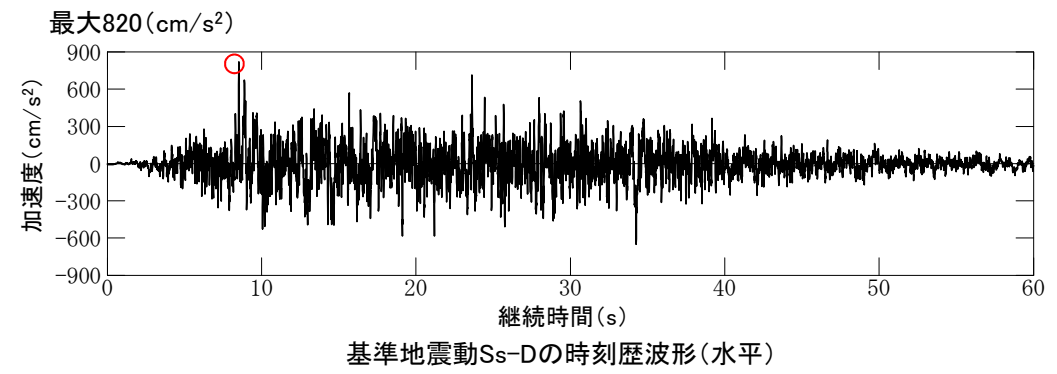
凡例
 ■: 過剰間隙水圧比0.95以上
 ■: // 未滿

- ・全応力解析の採用手法によるすべり安全率が最小となる $S_s-N1(-,+)$ において、過剰間隙水圧比分布を確認した。
 - ・全時刻を通して、過剰間隙水圧比0.95以上となる範囲は局所的である。繰返しせん断に伴う過剰間隙水圧の上昇により、地震動のピークである7秒以降から、0.95以上の範囲が表層部分にのみ発生する。
- 以上のことから、液状化範囲が広範囲に分布する S_s-D により、液状化影響を考慮したすべり安定性評価の妥当性確認を行う。

液状化範囲における起動力の設定の確認

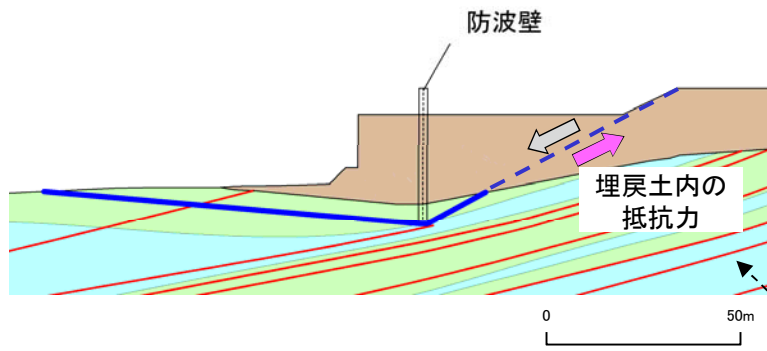


防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図
 ※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3. 5 評価方法」を参照)

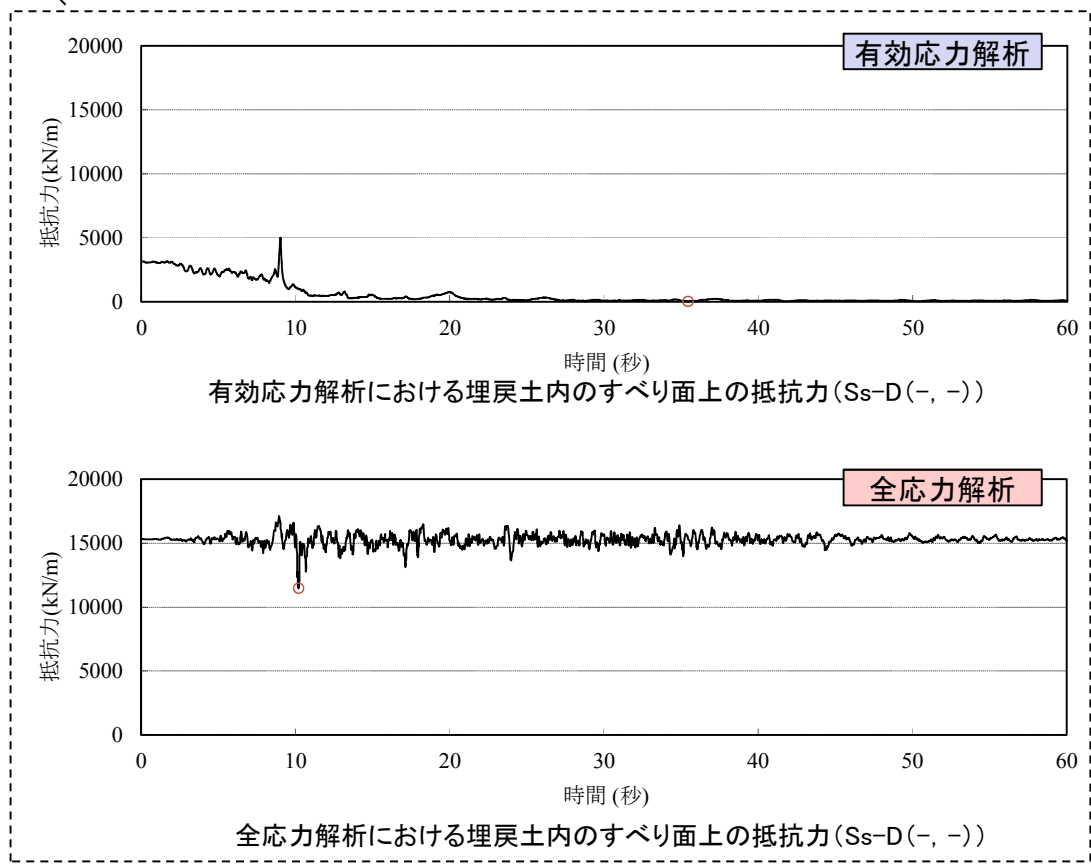
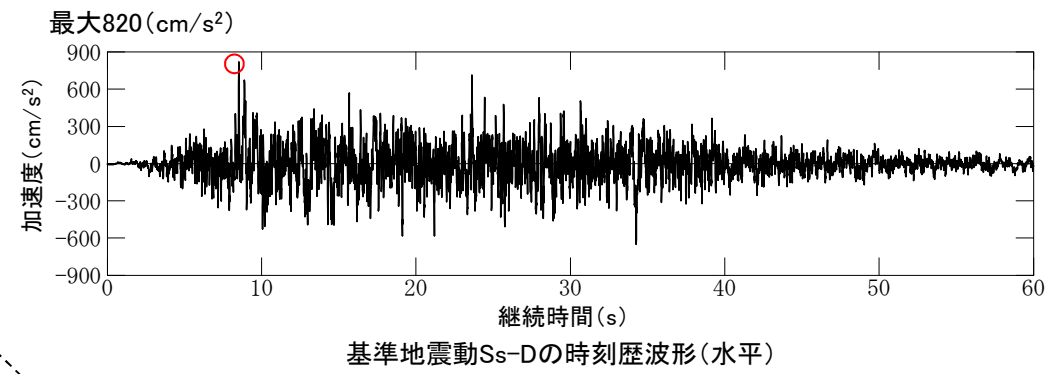


- ・有効応力解析及び全応力解析において、埋戻土内のすべり面上の起動力を比較した。
- ・有効応力解析では、約10秒から過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、徐々に減少して概ねゼロとなる。
- ・全応力解析では、地震動の時刻歴波形に対応した起動力が発生しており、概ね1,500kN/mの比較的大きな起動力で推移する。

液状化範囲における抵抗力の設定の確認



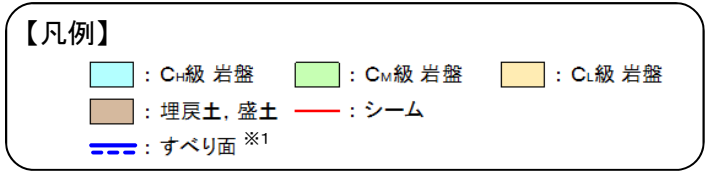
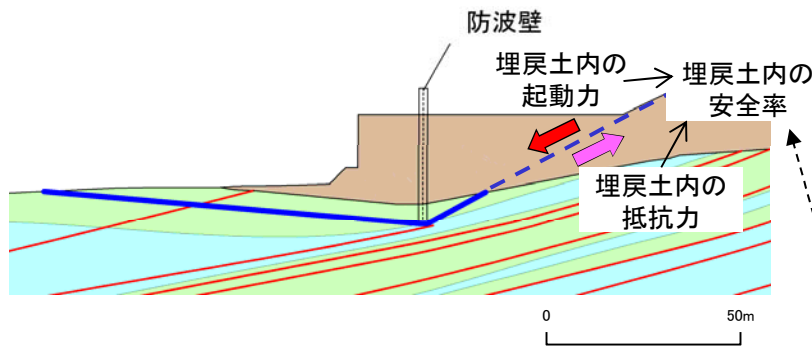
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図
 ※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3. 5 評価方法」を参照)



- ・有効応力解析及び全応力解析において、埋戻土内のすべり面上の抵抗力を比較した。
- ・有効応力解析では、約10秒から過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、徐々に減少して概ねゼロとなる。
- ・全応力解析では、地震動の時刻歴波形に対応した抵抗力が発生しており、約16,000kN/mの比較的大きな抵抗力で推移する。

以上より、有効応力解析結果を確認した結果、液状化範囲の起動力及び抵抗力はゼロに設定することが、妥当な評価になると考えられる。

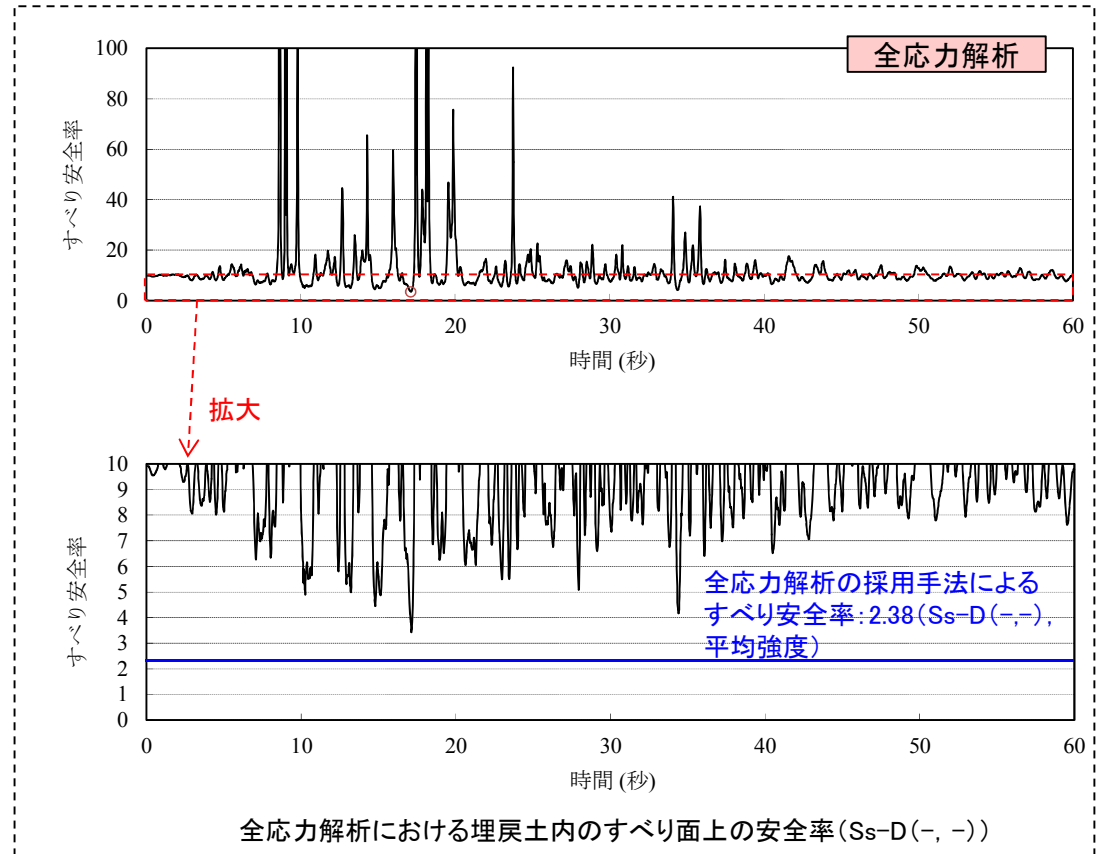
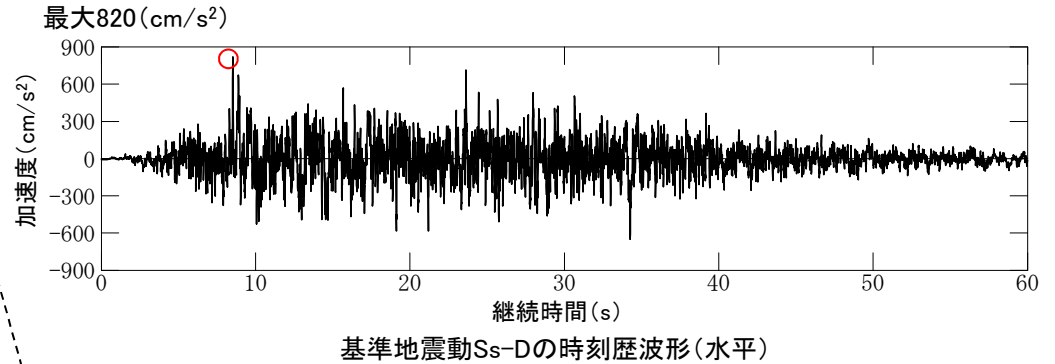
液状化範囲におけるすべり安全率の確認(保守性の確認)



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3. 5 評価方法」を参照)

・全応力解析の液状化範囲内のすべり安全率は、全時刻において、全応力解析の採用手法による最小すべり安全率(=岩盤のみのすべり安全率)より大きくなっていることから、起動力及び抵抗力をゼロとすることは保守的な評価になっていることを確認した。



有効応力解析を用いたすべり安全率の算定

- ・全応力解析の採用手法の妥当性を確認するため、有効応力解析を用いたすべり安全率を算定し、全応力解析の採用手法によるすべり安全率との比較を行い、採用手法の妥当性を確認する。
- ・基準地震動は、継続時間が長く、液状化の影響が大きいと考えられるSs-Dのうち、全応力解析の採用手法において、最小すべり安全率を示す「Ss-D(-,-)」とする。(その他の条件は次頁参照)

	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2					
			全応力解析の採用手法 F _{S1}			(参考) 有効応力解析を用いた すべり安全率 F _{S2}		
1	<p>防波壁底面を通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	1.75 [34.29]			1.66		
				起動力	抵抗力		起動力	抵抗力
			岩盤	全応力	全応力	岩盤	全応力	全応力
			埋戻土	ゼロ	ゼロ	埋戻土	有効応力	ゼロ

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

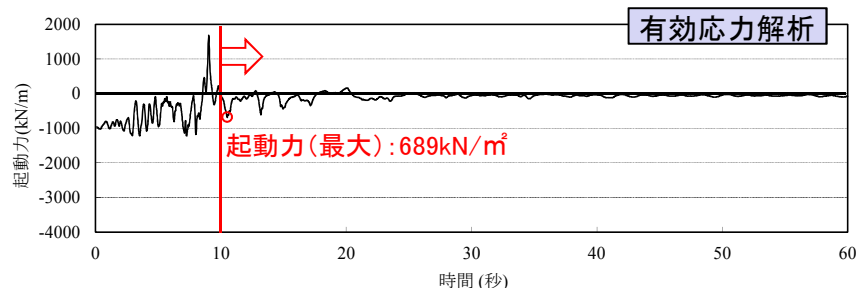
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面 ※3

- ・全応力解析の採用手法によるすべり安全率F_{S1}及び有効応力解析によるすべり安全率F_{S2}は、いずれも1.5を上回っている。
- ・両者のすべり安全率は概ね同等になることから、全応力解析の採用手法が妥当であることを確認した。

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法

・有効応力解析を用いたすべり安全率は下表のとおり算定する。

項目		全応力解析の採用手法 (全応力を用いて液状化影響を考慮)	(参考) 有効応力解析を用いた すべり安全率の算定
すべり安全率の算定フロー		「3. 5 評価方法」に記載の方法	「3. 5 評価方法」に記載の方法
岩盤	応力状態を求める 解析コード	全応力解析結果(FLUSH)	全応力解析結果(FLUSH, 次頁参照)
	せん断強度	全応力表示の強度 (「3. 4 解析用物性値」に記載)	全応力表示の強度 (「3. 4 解析用物性値」に記載)
埋戻土 等	応力状態を求める 解析コード	全応力解析結果(FLUSH)	有効応力解析結果(FLIP)
	液状化範囲の設定	地下水位以深を全て 「液状化範囲」とする	地下水位以深を全て 「液状化範囲」とする
	液状化範囲の起動力	考慮しない(ゼロとする)	考慮する(10秒以降の最大値※1)
	液状化範囲の抵抗力	考慮しない(ゼロとする)	考慮しない(ゼロとする)



※1 液状化範囲内の起動力は、液状化後の有効応力の最大値を用いる。
P167, 169, 170より、10秒後から過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の減少が顕著に
現れ始めることから、左図のとおり10秒以降の起動力の最大値を採用する。

有効応力解析における埋戻土内のすべり面上の起動力($S_s-D(-, -)$)

(参考) 文献調査結果(岩盤中の起動力・抵抗力の算定方法)

・土木学会(2009)によると、岩石/岩盤試験において、排水条件等の変形挙動と間隙水圧挙動の連成作用を考慮することが困難であることから、岩石/岩盤の安定計算では、全応力解析が一般的な安定性評価手法であるとされている。

以上のことから、岩盤中の起動力・抵抗力は、全応力解析結果(FLUSH)の応力状態を用いることとし、最小すべり安全率を示す時刻の起動力・抵抗力を採用する。

(2) 有効応力式および有効応力係数について

土質力学では、有効応力 σ' を(1.4.1)式のように表すことが一般的である。

$$\sigma' = \sigma - p \quad \dots\dots\dots (1.4.1)$$

ここに、 σ は全応力、 p は間隙水圧である。この有効応力の定義は、Terzaghi によって導かれたものであり、土質材料の構造骨格の変形に寄与する実効的な応力として、変形や強度を記述する場合に有効であることが認められている。有効応力による議論により軟弱地盤の圧密現象を合理的に評価することが出来るなど有用な概念である。

一方、Biot-Willis¹⁾、Skempton²⁾、Nur and Byerlee³⁾などは体積変形に関する有効応力として、(1.4.2)式を提案している。

$$\sigma' = \sigma - \alpha p \quad \dots\dots\dots (1.4.2)$$

ここに、 α は有効応力係数あるいはBiot-Willis 係数と呼ばれる値であり、排水条件における圧縮率 C と(あるいは体積弾性率 K) 固体部分の圧縮率 C_s を(あるいは体積弾性率 K_s) 用いて(1.4.3)式のように表される(体積弾性率は圧縮率の逆数)。

$$\alpha = 1 - \frac{C_s}{C} = 1 - \frac{K}{K_s} \quad \dots\dots\dots (1.4.3)$$

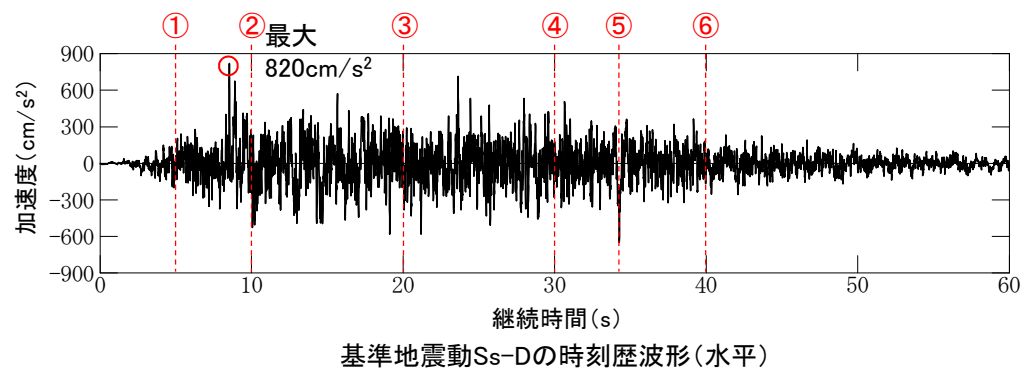
岩盤等級と有効応力係数(α)の関係の対応を試みた結果を表1.4.2に示す。この結果から、A~B 級岩盤と CL 級岩盤との有効応力係数の差は0.1程度であり、岩盤毎の有効応力係数に大差が無いという結果となった。したがって、有効応力概念の適用性についてはどの岩盤等級に対してもほぼ同等であると結論できる。

ただし、岩盤等級と、物理特性との関係については、既往文献の提案に基づき仮定しているものであり、厳密に変形挙動と間隙水圧挙動の連成作用を考慮して論じられたものではない(たとえば土質試験における排水条件を考慮したものではない)。

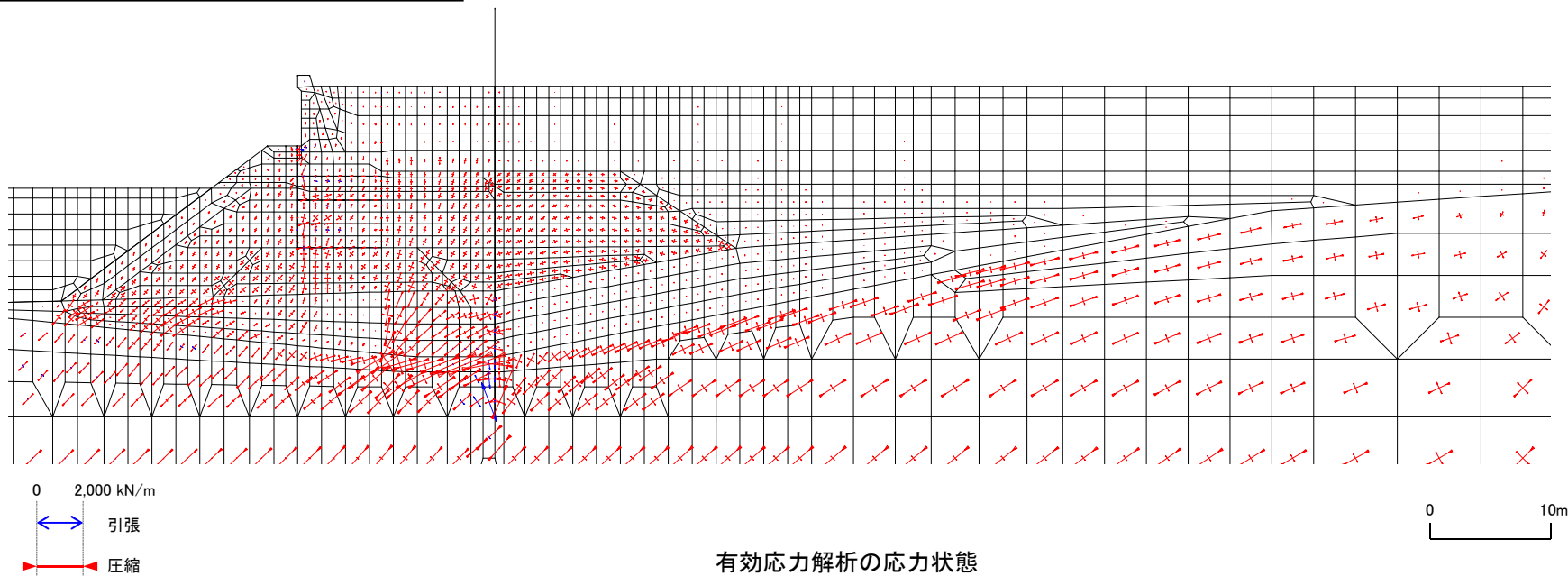
岩石/岩盤試験においてこのような条件を考慮することの方が困難であることから、岩石/岩盤の安定計算では全応力解析が一般的な安定評価方法であるといえる。

(参考)全応力解析及び有効応力解析の応力状態(1/2)

有効応力解析



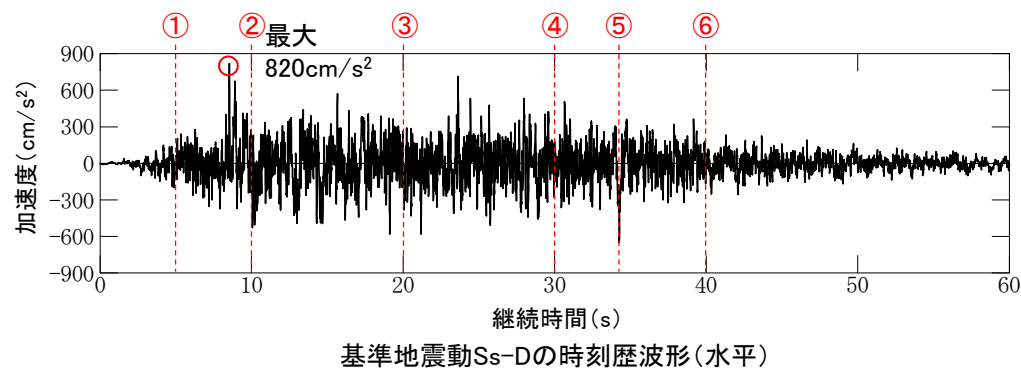
時刻④:継続時間34.29秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



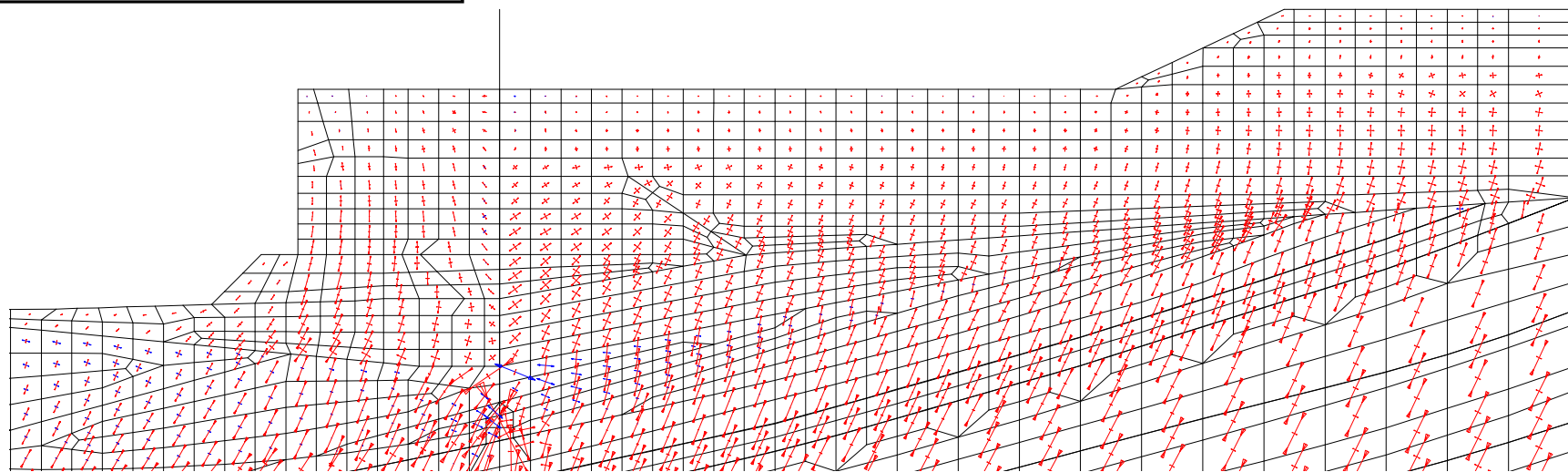
・有効応力解析では、過剰間隙水圧の上昇に伴う応力の減少により、埋戻土内の応力は概ねゼロとなっている。

(参考) 全応力解析及び有効応力解析の応力状態 (2/2)

全応力解析



時刻④: 継続時間34.29秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



0 2,000 kN/m
引張
圧縮

0 10m

全応力解析の応力状態

・全応力解析では、過剰間隙水圧の上昇に伴う応力の減少が表現できないことから、埋戻土の応力低下は発生しておらず、有効応力解析に比べて大きな応力が発生している。

まとめ

・有効応力解析の過剰間隙水圧比の分布や応力状態を確認し、全応力解析の採用手法における、液状化範囲の設定及び起動力・抵抗力の設定が妥当であることを以下のとおり確認した。

【過剰間隙水圧比分布】

- 10秒後から、過剰間隙水圧比0.95以上となる範囲が局所的に発生し、30秒からは、繰返しせん断に伴う過剰間隙水圧の蓄積により、0.95以上の範囲が埋戻土全体に発生する。
- 防波壁周辺の砂礫層(地盤安定性評価では埋戻土とし、液状化範囲に設定している)には、0.95以上の範囲は進展しない。
- 全応力解析の採用手法における液状化範囲は、全時刻で全ての埋戻土を対象に設定している。

以上のことから、全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定が保守的になっていることを確認した。

【応力状態】

- 有効応力解析では、埋戻土内の起動力及び抵抗力は、約10秒から過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、概ねゼロとなる。
- 全応力解析では、埋戻土内の起動力及び抵抗力は、地震動の時刻歴波形に対応した抵抗力が発生しており、比較的大きな値で推移する。
- 全応力解析の液状化範囲内のすべり安全率は、全時刻において、全応力解析の採用手法による最小すべり安全率(=岩盤のみのすべり安全率)より大きくなっていることから、起動力及び抵抗力をゼロとすることは保守的な評価になっていることを確認した。

以上より、有効応力解析結果を確認した結果、液状化範囲の起動力及び抵抗力はゼロに設定することが、妥当な評価になると考えられる。

【有効応力解析を用いたすべり安全率】

- 有効応力解析を用いたすべり安全率は、全応力解析の採用手法と概ね同等になることから、全応力解析の採用手法が妥当であることを確認した。

4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

4.1 評価方針

4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価 4. 1 評価方針

評価方針

第910回審査会合
資料1-1 P134 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

179

・周辺地盤の変状による重要施設への影響評価について、設置許可基準規則に基づき、以下に示す事項を確認する。

<周辺地盤の変状による重要施設への影響評価>

地震発生に伴う周辺地盤の変状による建物・構築物の液状化、揺すり込み沈下を起因とする施設間の不等沈下が生じないことを確認する。

耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設については、施設の詳細設計段階において、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、施設の機能が損なわれる恐れがないように設計する。

4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

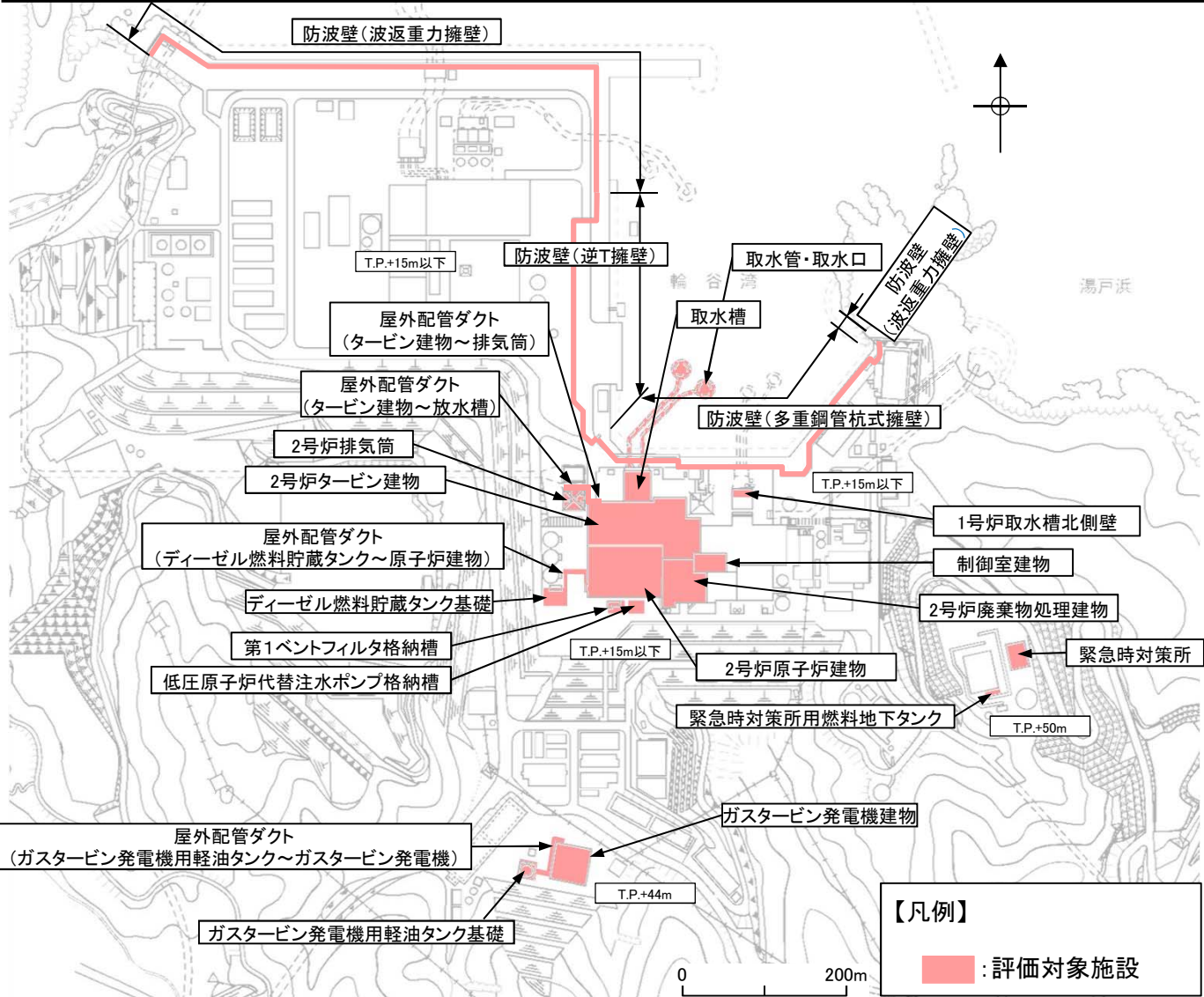
4.2 評価結果

4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価 4.2 評価結果

評価対象施設

第910回審査会合
資料1-1 P136 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

・以下に示す評価対象施設(「耐震重要施設」及び「重大事故等対処施設」)の地質状況を確認する。



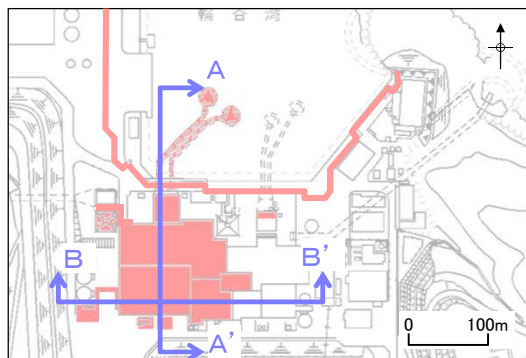
評価対象施設配置図

※耐震重要施設	2号炉原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉廃棄物処理建物
	制御室建物
	取水槽
	2号炉排気筒
	屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)
	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)
	防波壁(波返重力擁壁)
	防波壁(逆T擁壁)
評価対象施設	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
	1号炉取水槽北側壁
	屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
	第1ベントフィルタ格納槽
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽
	2号炉原子炉建物
	緊急時対策所
	緊急時対策所用燃料地下タンク
	緊急時対策所用燃料地下タンク
重大事故等対処施設	取水槽
	ガスタービン発電機建物
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎
	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)
	緊急時対策所
	緊急時対策所用燃料地下タンク
	緊急時対策所用燃料地下タンク
	緊急時対策所用燃料地下タンク
	緊急時対策所用燃料地下タンク
	緊急時対策所用燃料地下タンク

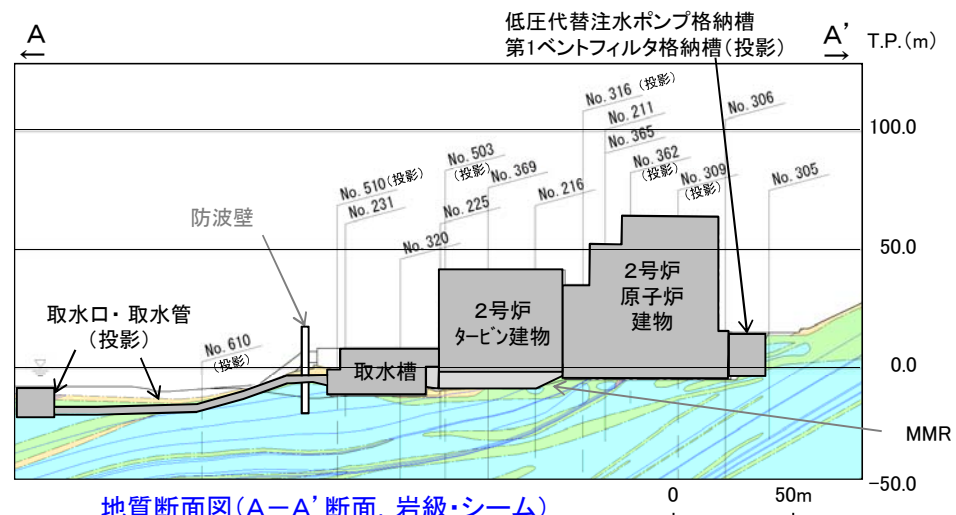
※ 重大事故等対処施設を兼ねる施設を含む。

評価対象施設の地質状況(グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)) 1/2

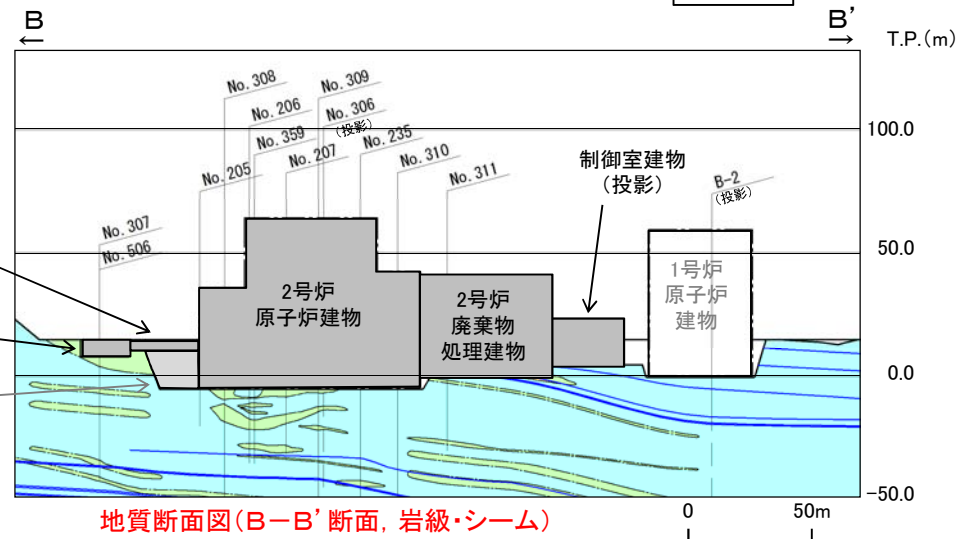
・基礎地盤 T.P.+15m以下に設置された評価対象施設は、岩盤(成相寺層)で支持されていることから、液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。



評価対象施設配置図 評価対象施設



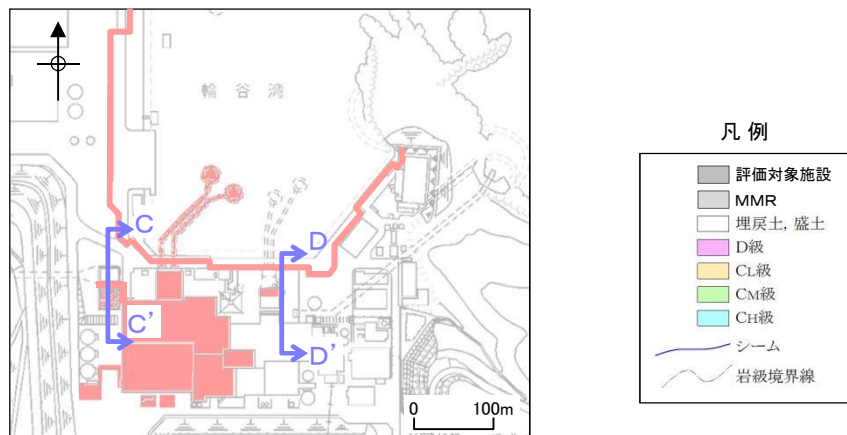
地質断面図(A-A'断面, 岩級・シーム)



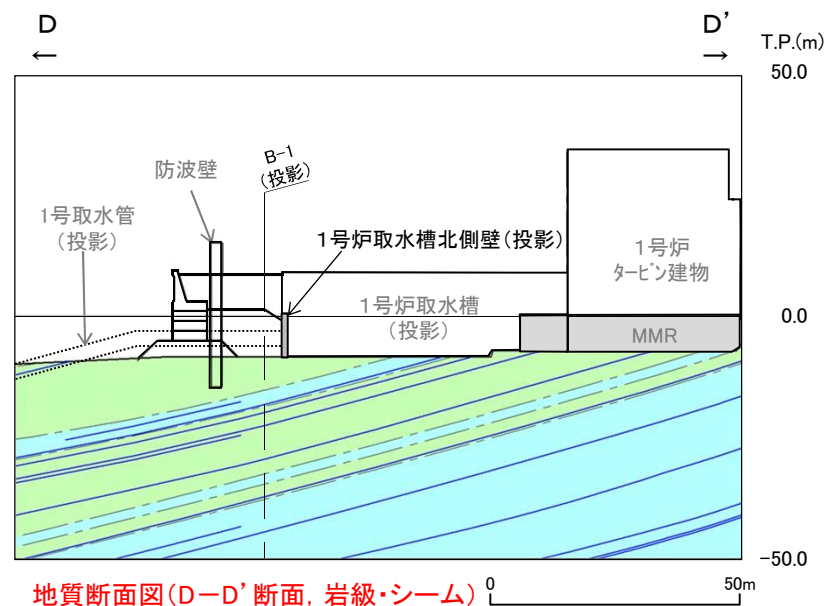
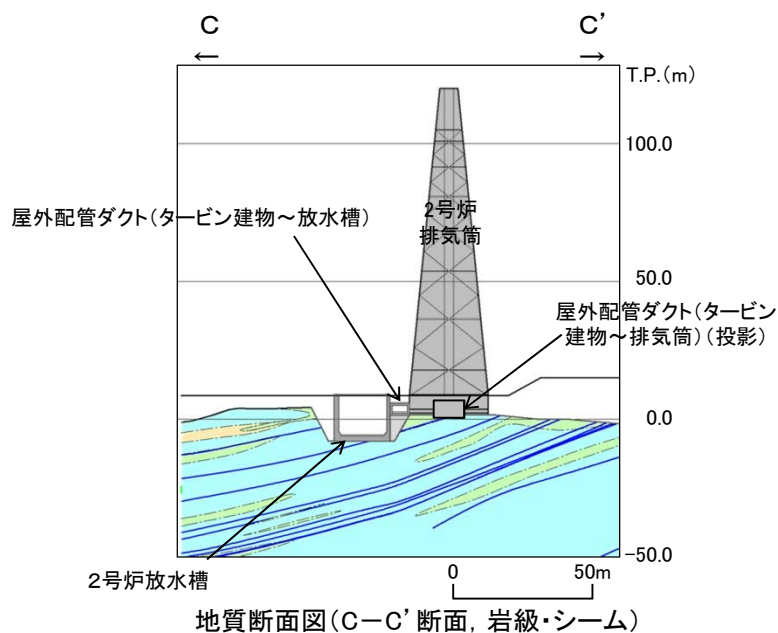
地質断面図(B-B'断面, 岩級・シーム)

評価対象施設の地質状況(グループA(T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)) 2/2

・基礎地盤 T.P.+15m以下に設置された評価対象施設は、岩盤(成相寺層)で支持されていることから、液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。

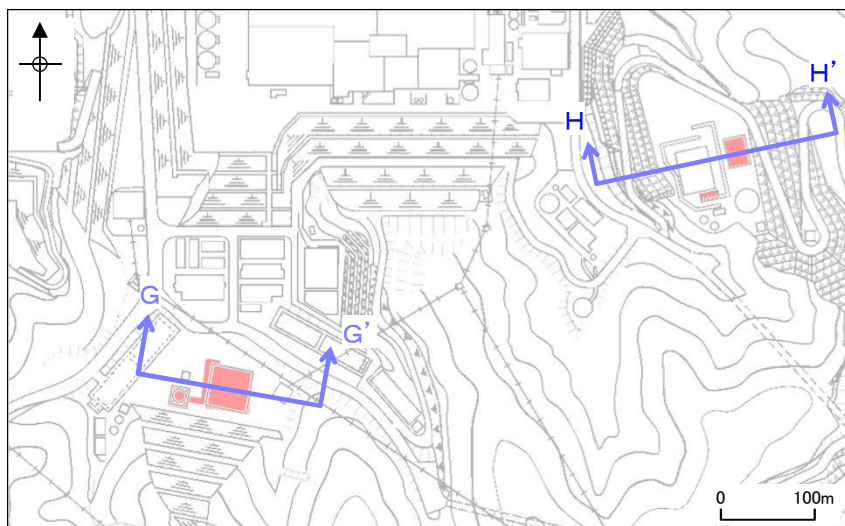


評価対象施設配置図 赤色: 評価対象施設

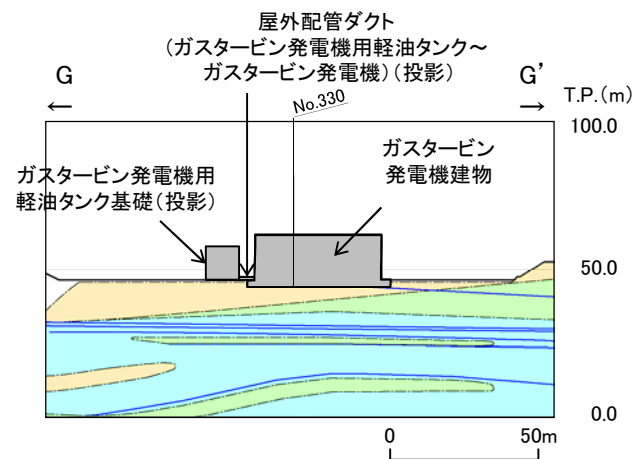


評価対象施設の地質状況(グループB(T.P.+44~50m盤, 防波壁以外, 直接基礎))

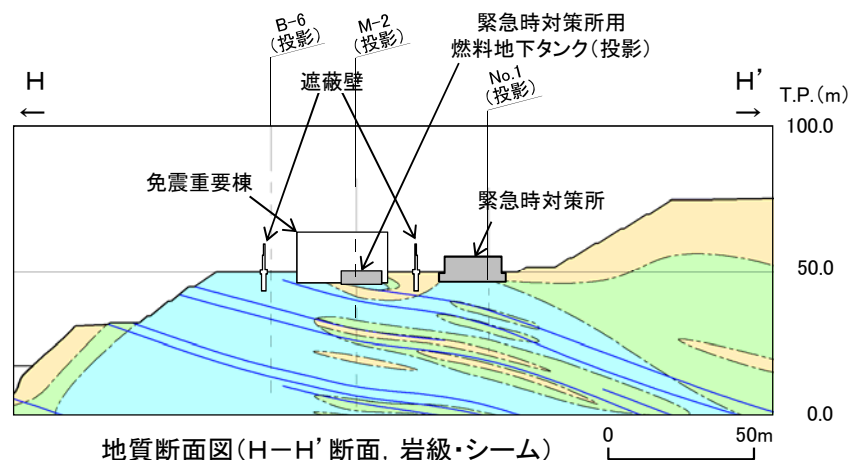
・基礎地盤 T.P.+44m~50mに設置された評価対象施設は、岩盤(成相寺層)で支持されていることから、液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。



評価対象施設配置図



地質断面図(G-G'断面, 岩級・シーム)



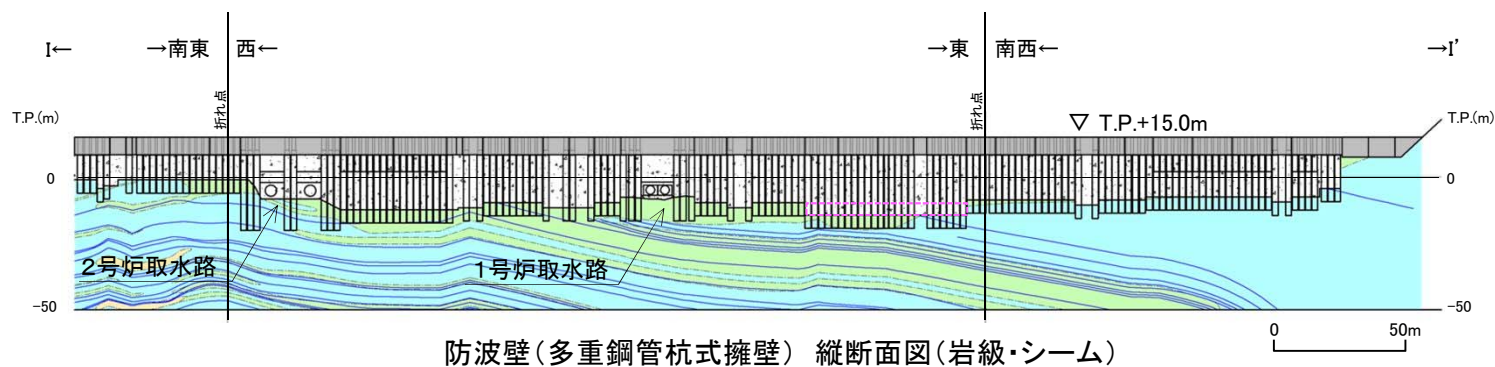
地質断面図(H-H'断面, 岩級・シーム)

評価対象施設の地質状況(グループC(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 杭基礎))

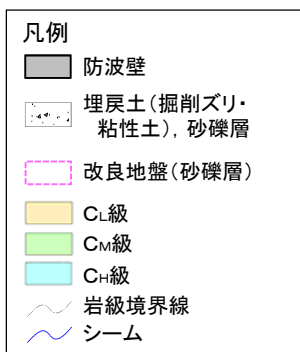
・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は, 杭を介して岩盤(成相寺層)で支持されていることから, 液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。



評価対象施設配置図

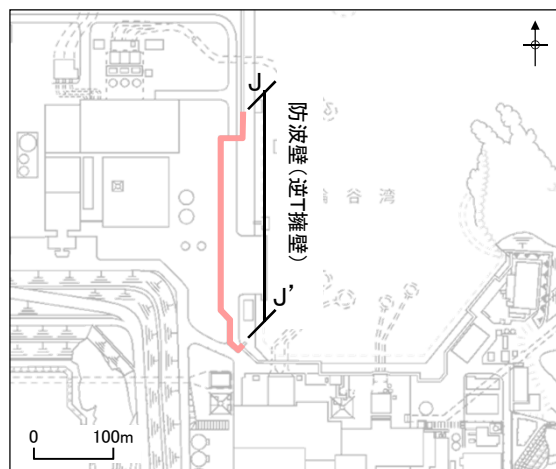


防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

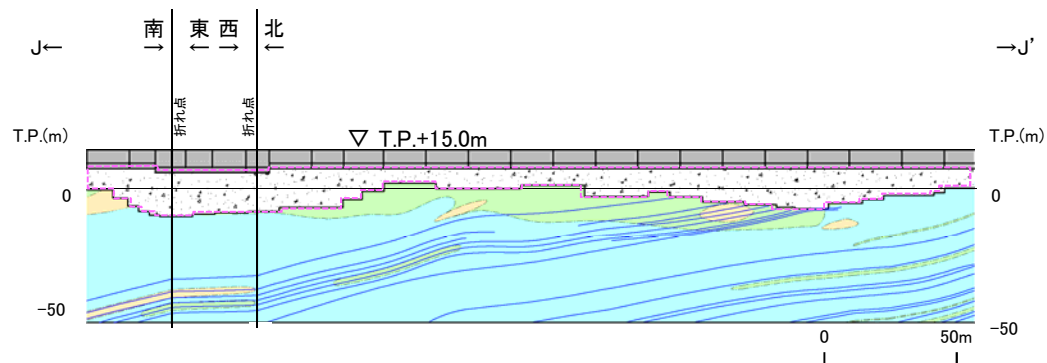


評価対象施設の地質状況(グループD(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎))

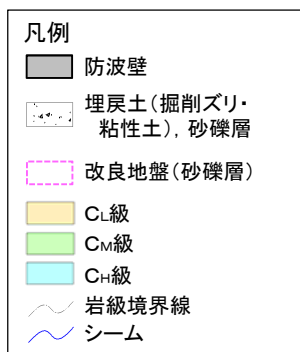
・防波壁(逆T擁壁)は, 改良地盤で支持されていることから, 液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。



評価対象施設配置図

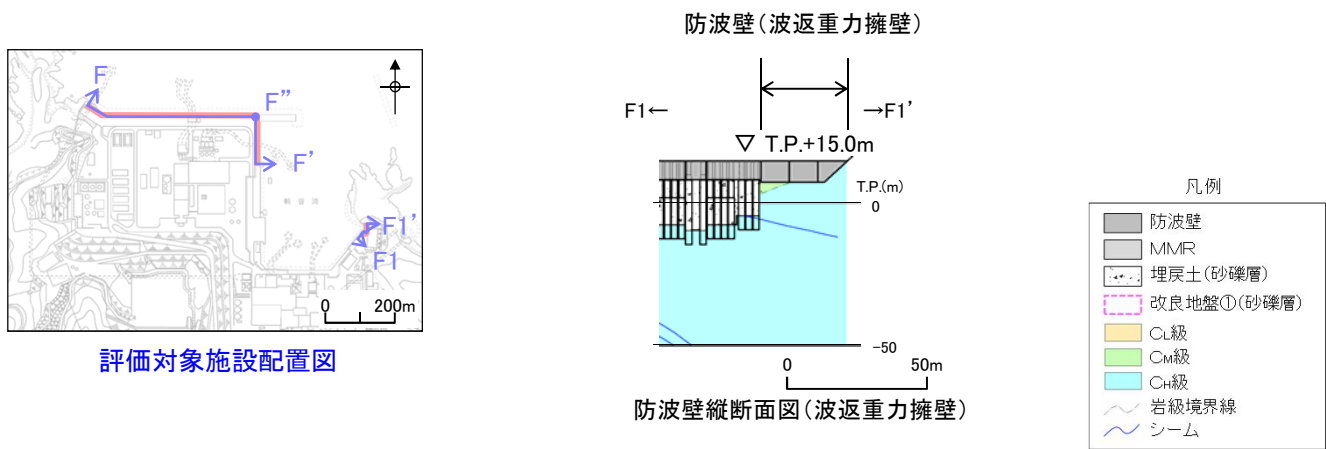


防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)



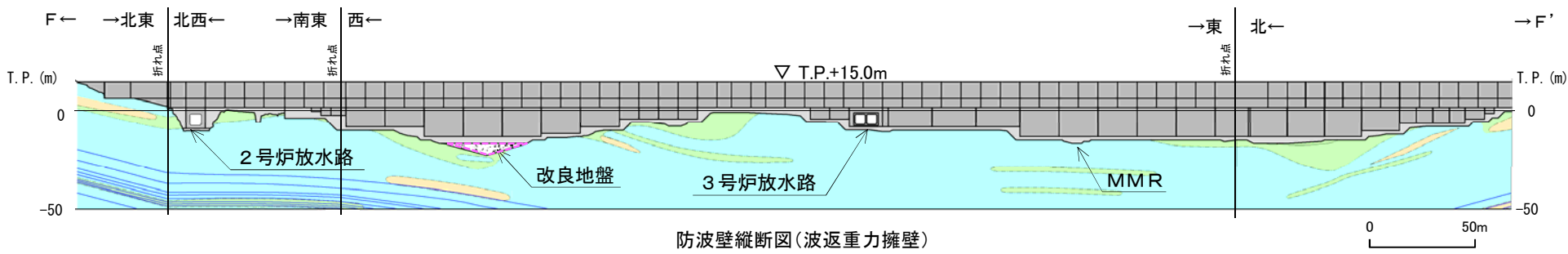
評価対象施設の地質状況(グループD(T.P.+15m盤以下, 防波壁, 直接基礎)

- ・防波壁(波返重力擁壁)は, 岩盤(成相寺層)で支持されていることから, 液状化や揺すり込み沈下を起因とする不等沈下が生じることはない。
- ・なお, 防波壁(波返重力擁壁)の直下には局所的に砂礫層が存在するが, 周辺岩盤相当に改良している。



評価対象施設配置図

防波壁縦断面図(波返重力擁壁)



※ 図中の [] については, 地盤改良を実施しているが, 元の砂礫層の分布を示すために, 改良前の地質状況を示している。

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

5.1 評価方針

・評価対象施設における地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価について、設置許可基準規則に基づき、以下に示す事項を確認する。

＜地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価＞

地震発生に伴う地殻変動解析による基礎地盤の傾斜及び撓みにより、評価対象施設が重大な影響を受けないことを確認する。

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.1 評価方針

評価方針

第910回審査会合
資料1-1 P145 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

【評価方針】

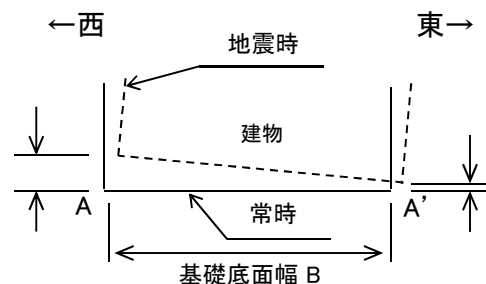
- ・地殻変動解析の鉛直変位量から求められる基礎の傾斜について、傾斜方向を東西方向及び南北方向で確認し、傾斜が最大となる方向により評価を実施する。
- ・地震による傾斜と上記の傾斜を足し合わせることで、最大傾斜を算出する。それぞれの傾斜方向が異なる場合も、保守的にそれらを足し合わせる。

【評価基準値】

- ・地殻変動解析の鉛直変位量から求められる基礎の最大傾斜に、地震応答解析から求められる基礎の最大傾斜（3.7章 評価結果 を参照）を加えた傾斜が、評価基準値の目安の1/2,000を超えないことを確認する。

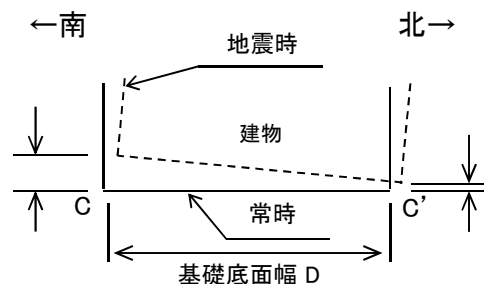
対象施設	評価基準値の目安	備考
2号炉原子炉建物	1/2,000	審査ガイドの目安値(基本設計段階の目安値): 一般建築物の構造的な障害が発生する限界(亀裂の発生率, 発生区間により判断)
ガスタービン発電機建物		
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	—	重要な機器・系統がない施設であることから、傾斜の評価を省略する。
防波壁(逆T擁壁)		

地殻変動解析による最大傾斜
(東西方向において最大傾斜)



$$\text{傾斜} = \frac{|\delta_{AY} - \delta_{A'Y}|}{B_1}$$

二次元有限要素法による最大傾斜
(南北方向において最大傾斜)



$$\text{傾斜} = \frac{|\delta_{CY} - \delta_{C'Y}|}{D}$$

地震による傾斜の重ね合わせによる最大傾斜
(傾斜方向が異なる場合も、保守的に傾斜を足し合わせる)

$$\text{最大傾斜} = \frac{|\delta_{AY} - \delta_{A'Y}|}{B_1} + \frac{|\delta_{CY} - \delta_{C'Y}|}{D}$$

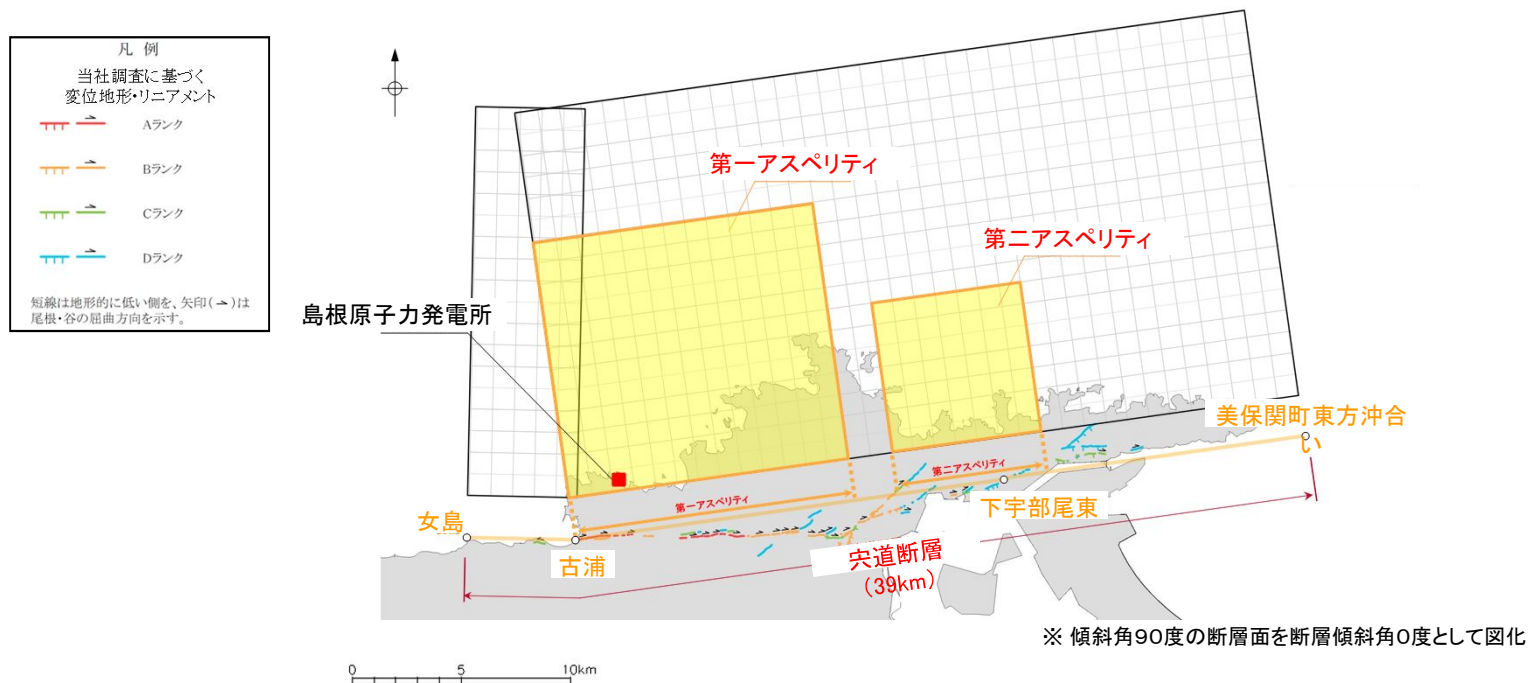
地震による傾斜の重ね合わせのイメージ

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.1 評価方針

評価方法(1/2)

第910回審査会合
資料1-1 P146 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- ・敷地内には震源として考慮する活断層が分布していないことを確認していることから、敷地において地殻の広域的な変形による著しい地盤の傾斜が生じることはない。
- ・敷地に比較的近く、基準地震動の策定において検討用地震に選定した宍道断層及び海域活断層(F-Ⅲ～F-Ⅴ断層)の活動に伴い生じる地盤の傾斜について、多層モデルにより地盤の非一様性を考慮できるWang et al.(2003)⁽³⁾の食い違い弾性論に基づき、評価する。
- ・宍道断層については、陸域の断層であることから、地震動評価モデルを基本とするが、断層上縁深さについては、津波評価モデルによる検討結果を踏まえ、地殻変動量の観点から保守的な評価となるよう、0kmと設定した(P193参照)。



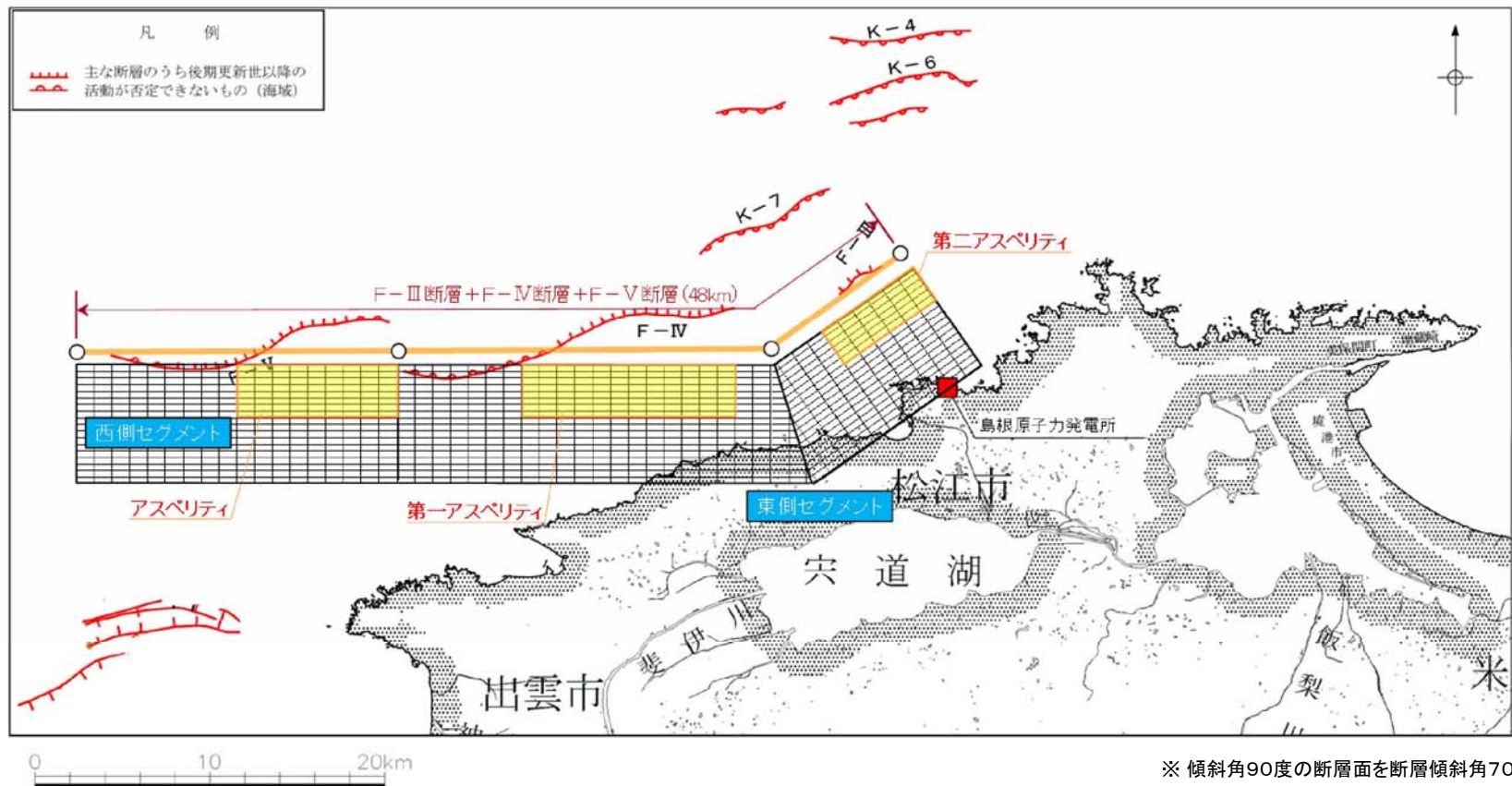
ケース名	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	断層傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)	上端深さ d1 (km)	すべり量 (cm)		
						第一アスペリティ	第二アスペリティ	背景領域
基本ケース	39.0	18.00	90	180	0	251.9	154.3	66.8
不確かさケース(断層傾斜角)	39.0	19.17	70(北傾斜)	180	0	263.9	161.6	67.8
不確かさケース(すべり角)	39.0	18.00	90	150	0	251.9	154.3	66.8

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.1 評価方針

評価方法(2/2)

第910回審査会合
資料1-1 P147 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

・F-Ⅲ～F-V断層については、地震動評価モデルと津波評価モデルがあるため、両者の断層パラメータを比較し、保守的な評価となる津波評価モデルを採用した(P194参照)。



ケース	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)		上端深さ d1 (km)	すべり量 (cm)
				F-Ⅲ	F-Ⅳ F-V		
上昇最大ケース	48.0	15.0	90	130	180	0	401
下降最大ケース	48.0	15.0	90	115	180	0	401

(参考) 上縁深さの違いによる地殻変動量への影響確認

・断層上縁深さの違いによる地殻変動量への影響を確認するため、津波評価モデルにおいて上縁深さの違いによる地殻変動量を比較した。

海域活断層 津波評価モデルにおける断層上縁深さの違いによる地殻変動量の比較結果
(第771回審査会合(2019年9月13日)資料より数値を引用)

断層	傾斜角 (°)	すべり量 (m)	主応力軸 (°)	すべり角 (°)	上縁深さ (km)	地殻変動量 (m)		(参考) 津波水位 (T.P. m)		備考
						2号炉取水口 (東)	2号炉取水口 (西)	2号炉取水口 (東)	2号炉取水口 (西)	
F-Ⅲ～ F-V断層	90	4.01	120	115, 180	0	+0.34	+0.34	-3.9	-3.9	基準津波 4
	90	4.01	120	115, 180	2	+0.34	+0.34	-1.9	-1.9	
	90	4.01	120	115, 180	5	+0.30	+0.31	-0.8	-0.8	

・上縁深さの違う断層モデルによる地殻変動量を比較した結果、上縁深さが0km及び2kmの場合に、上縁深さ5kmよりも地殻変動量が大きくなっており、上縁深さが浅い方が地殻変動量が大きくなると考えられるため、食い違い弾性論に用いる上縁深さについては、0kmに設定する。

(参考)津波評価モデルと地震動評価モデルの比較

F-Ⅲ～F-V断層 津波評価モデル及び地震動評価モデルの比較結果

モデル	ケース	断層長さ L (km)	断層幅 W (km)	傾斜角 δ (°)	すべり角 λ (°)		上端深さ d1 (km)	すべり量 (cm)
					F-Ⅲ	F-Ⅳ F-V		
津波評価モデル	上昇最大ケース	48.0	15.0	90	130	180	0	401
	下降最大ケース	48.0	15.0	90	115	180	0	401
地震動評価モデル	基本震源モデル	48.0	19.17	70	180		2	155.7
	断層傾斜角の不確かさを考慮したケース	48.0	31.5	35	150	180	2	288.5
	すべり角の不確かさを考慮したケース	48.0	19.17	70	150		2	155.7
	断層位置の不確かさを考慮したケース	53.0	19.17	70	180		2	176.7

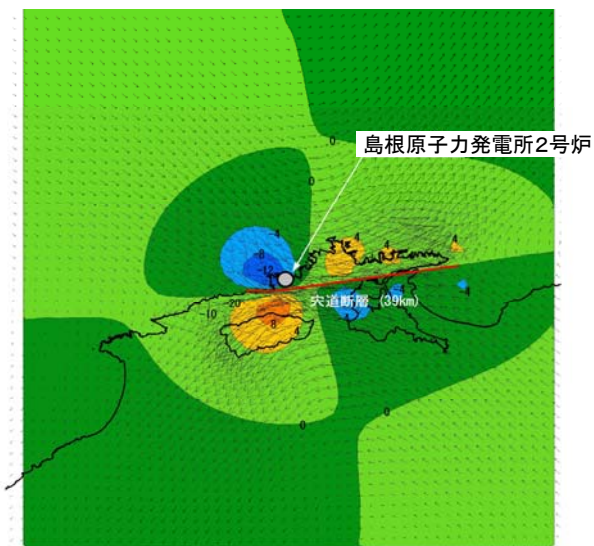
・F-Ⅲ～F-V断層については、上表のとおり地震動評価モデルと津波評価モデルを比較した結果、上端深さが浅いこと、及びすべり量が大きいことから、地殻変動量の観点から保守的と考えられる津波評価モデルを採用した。

余白

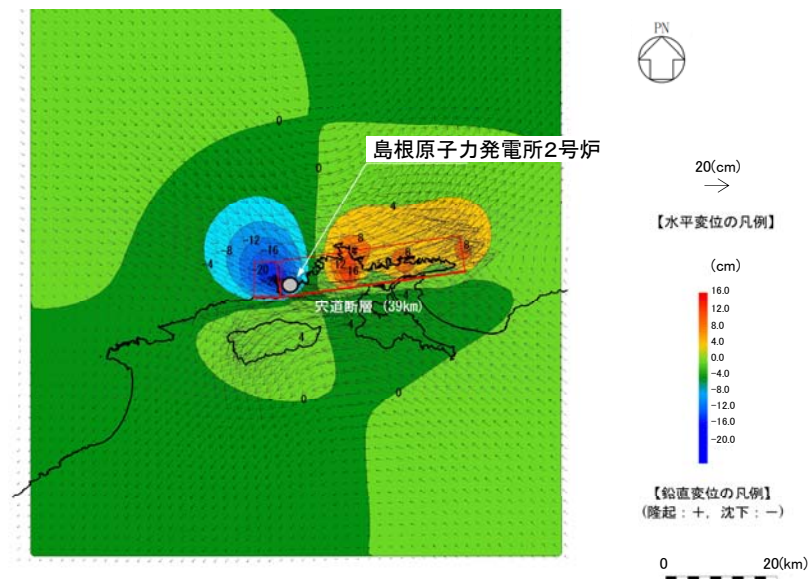
5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

5.2 評価結果

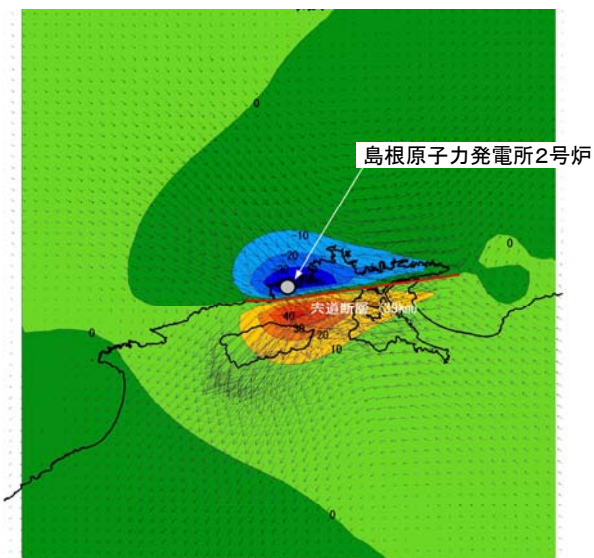
5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.2 評価結果
 評価結果(宍道断層)



地殻変動解析結果(宍道断層 基本ケース)



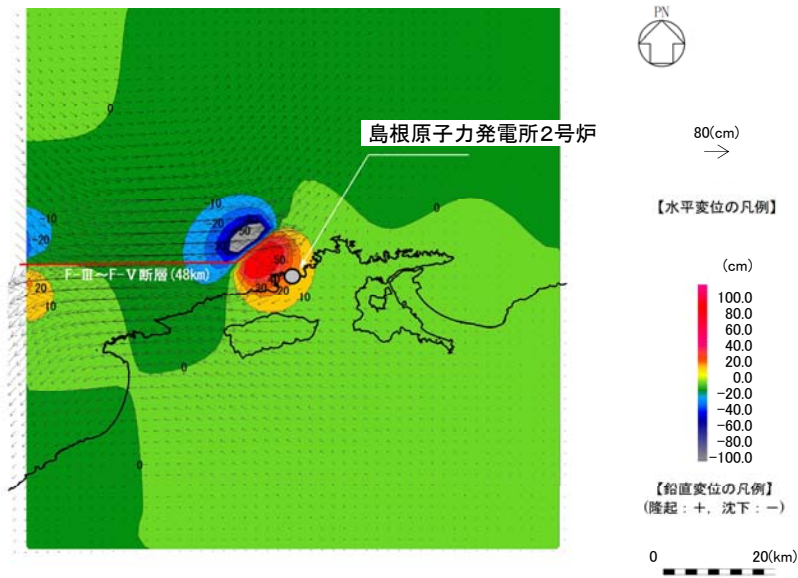
地殻変動解析結果(宍道断層 不確かさケース(断層傾斜角))



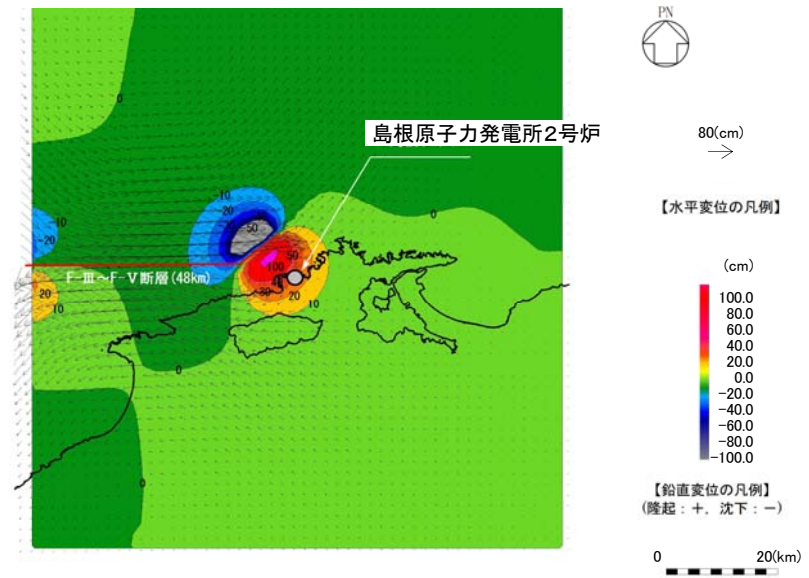
地殻変動解析結果(宍道断層 不確かさケース(すべり角))

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.2 評価結果
 評価結果(F-Ⅲ~F-V断層)

第910回審査会合
 資料1-1 P151 加筆・修正
 ※修正箇所を青字で示す



地殻変動解析結果(F-Ⅲ~F-V断層 上昇最大ケース)

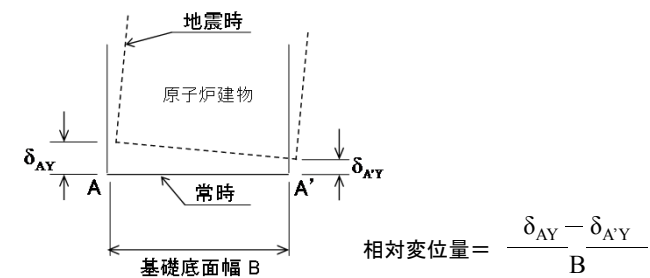
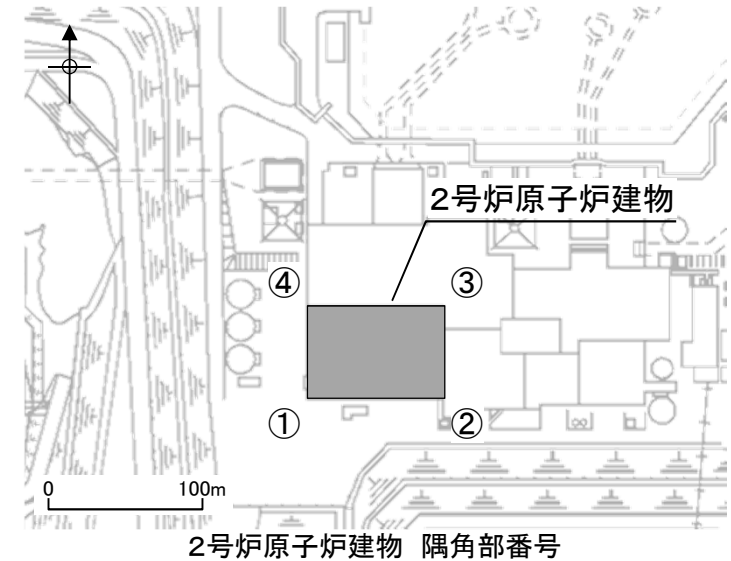


地殻変動解析結果(F-Ⅲ~F-V断層 下降最大ケース)

評価結果(地殻変動解析による傾斜(2号炉原子炉建物))

地殻変動解析による各施設の最大傾斜(2号炉原子炉建物)

対象断層	検討ケース	変位算定位置	相対変位(mm)※	傾斜
陸域活断層 (宍道断層)	基本ケース	①, ②(東西)	2.65	1/33,000
		③, ④(東西)	2.59	1/34,000
		①, ④(南北)	-0.85	1/82,000
		②, ③(南北)	-0.91	1/76,000
	不確かさケース (すべり角)	①, ②(東西)	-0.80	1/110,000
		③, ④(東西)	-0.90	1/99,000
		①, ④(南北)	3.10	1/22,000
		②, ③(南北)	3.00	1/23,000
	不確かさケース (断層傾斜角)	①, ②(東西)	5.00	1/17,000
		③, ④(東西)	4.90	1/18,000
		①, ④(南北)	-1.70	1/41,000
		②, ③(南北)	-1.80	1/38,000
海域活断層 (F-Ⅲ~F-V断層)	上昇最大ケース	①, ②(東西)	-4.10	1/21,000
		③, ④(東西)	-4.10	1/21,000
		①, ④(南北)	2.10	1/33,000
		②, ③(南北)	2.10	1/33,000
	下降最大ケース	①, ②(東西)	-4.50	1/19,000
		③, ④(東西)	-4.60	1/19,000
		①, ④(南北)	2.90	1/24,000
		②, ③(南北)	2.80	1/25,000



相対変位イメージ図

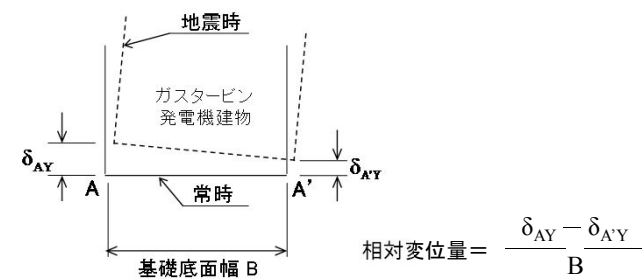
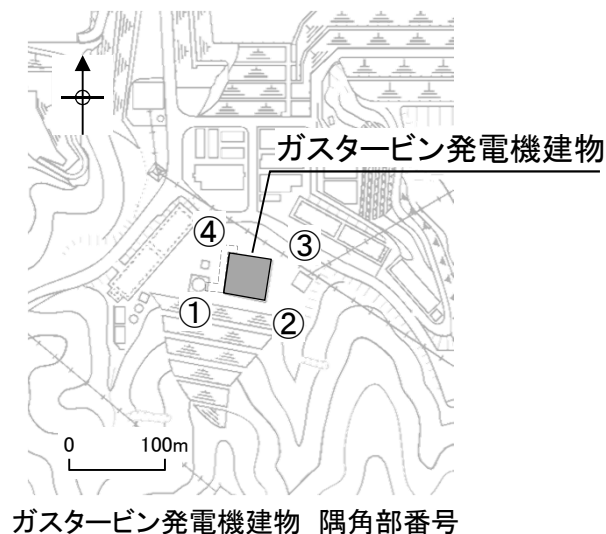
■: 断層毎の最大傾斜

※ 東西方向については、相対変位がプラスの場合に東傾斜、相対変位がマイナスの場合に西傾斜となる
南北方向については、相対変位がプラスの場合に南傾斜、相対変位がマイナスの場合に北傾斜となる

評価結果(地殻変動解析による傾斜(ガスタービン発電機建物))

地殻変動解析による各施設の最大傾斜(ガスタービン発電機建物)

対象断層	検討ケース	変位算定位置	相対変位(mm)※	傾斜
陸域活断層 (宍道断層)	基本ケース	①, ②(東西)	1.37	1/33,000
		③, ④(東西)	1.43	1/32,000
		①, ④(南北)	-0.06	1/800,000
		②, ③(南北)	0.00	-
	不確かさケース (すべり角)	①, ②(東西)	-0.30	1/150,000
		③, ④(東西)	-0.30	1/150,000
		①, ④(南北)	0.20	1/240,000
		②, ③(南北)	0.20	1/240,000
	不確かさケース (断層傾斜角)	①, ②(東西)	2.90	1/15,000
		③, ④(東西)	2.90	1/15,000
		①, ④(南北)	-1.10	1/43,000
		②, ③(南北)	-1.10	1/43,000
海域活断層 (F-Ⅲ~F-V断層)	上昇最大ケース	①, ②(東西)	-2.20	1/20,000
		③, ④(東西)	-2.20	1/20,000
		①, ④(南北)	1.10	1/43,000
		②, ③(南北)	1.10	1/43,000
	下降最大ケース	①, ②(東西)	-2.50	1/18,000
		③, ④(東西)	-2.50	1/18,000
		①, ④(南北)	1.60	1/30,000
		②, ③(南北)	1.60	1/30,000



相対変位イメージ図

■: 断層毎の最大傾斜

※ 東西方向については、相対変位がプラスの場合に東傾斜、相対変位がマイナスの場合に西傾斜となる
南北方向については、相対変位がプラスの場合に南傾斜、相対変位がマイナスの場合に北傾斜となる

5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 5.2 評価結果
 評価結果(地震動による最大傾斜の重ね合わせ)

地殻変動解析による最大傾斜及び地震動による最大傾斜の重ね合わせ結果

対象断層	評価施設	①地殻変動による傾斜		②地震動による最大傾斜		①+② 地殻変動及び地震動を 考慮した最大傾斜※
		最大傾斜	傾斜方向	最大傾斜	傾斜方向	
陸域活断層 (中央断層)	2号炉原子炉建物	1/17,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	西方向	1/22,000 (S _s -D)	北方向	1/9,000
	ガスタービン発電機建物	1/15,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	西方向	1/28,000 (S _s -D)	北方向	1/9,000
海域活断層 (F-Ⅲ～F-V断層)	2号炉原子炉建物	1/19,000 (下降最大ケース)	東方向	1/22,000 (S _s -D)	北方向	1/10,000
	ガスタービン発電機建物	1/18,000 (下降最大ケース)	東方向	1/28,000 (S _s -D)	北方向	1/10,000

※ ①と②の傾斜方向が異なる場合も、保守的に①と②の傾斜を足し合わせるにより評価を実施する。

・基礎底面に生じる傾斜は、評価基準値の目安である1/2,000を下回っていることから、評価対象施設が重大な影響を受けないことを確認した。

余白

6. 周辺斜面の安定性評価

6. 1 評価方針

6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針

評価方針

第910回審査会合
資料1-1 P154 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

204

・耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設における周辺斜面の安定性評価について、設置許可基準規則に基づき、以下に示す事項を確認する。

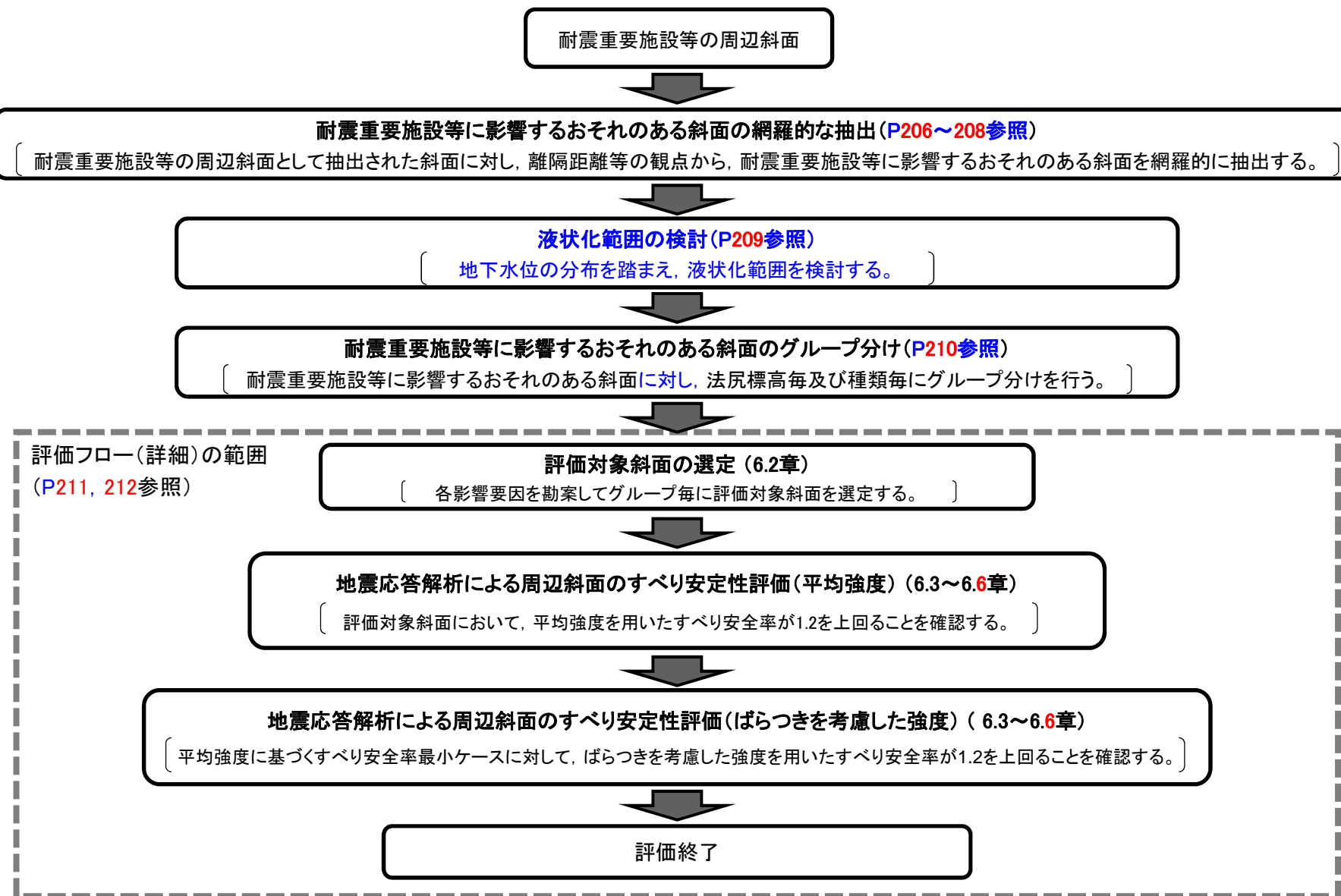
<地震力に対する周辺斜面の安定性評価における評価項目と評価内容>

- ・周辺斜面のすべり面における地盤安定性(斜面崩壊に対する安全性)について、動的解析における時刻歴のすべり安全率が1.2を上回ることを確認する。
- ・評価対象斜面の選定及びすべり安定性評価における簡便法・動的解析では、地下水位以深の埋戻土等の液状化によるせん断強度の低下を考慮する。

6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針 評価フロー(全体概要)

第910回審査会合
資料1-1 P155 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

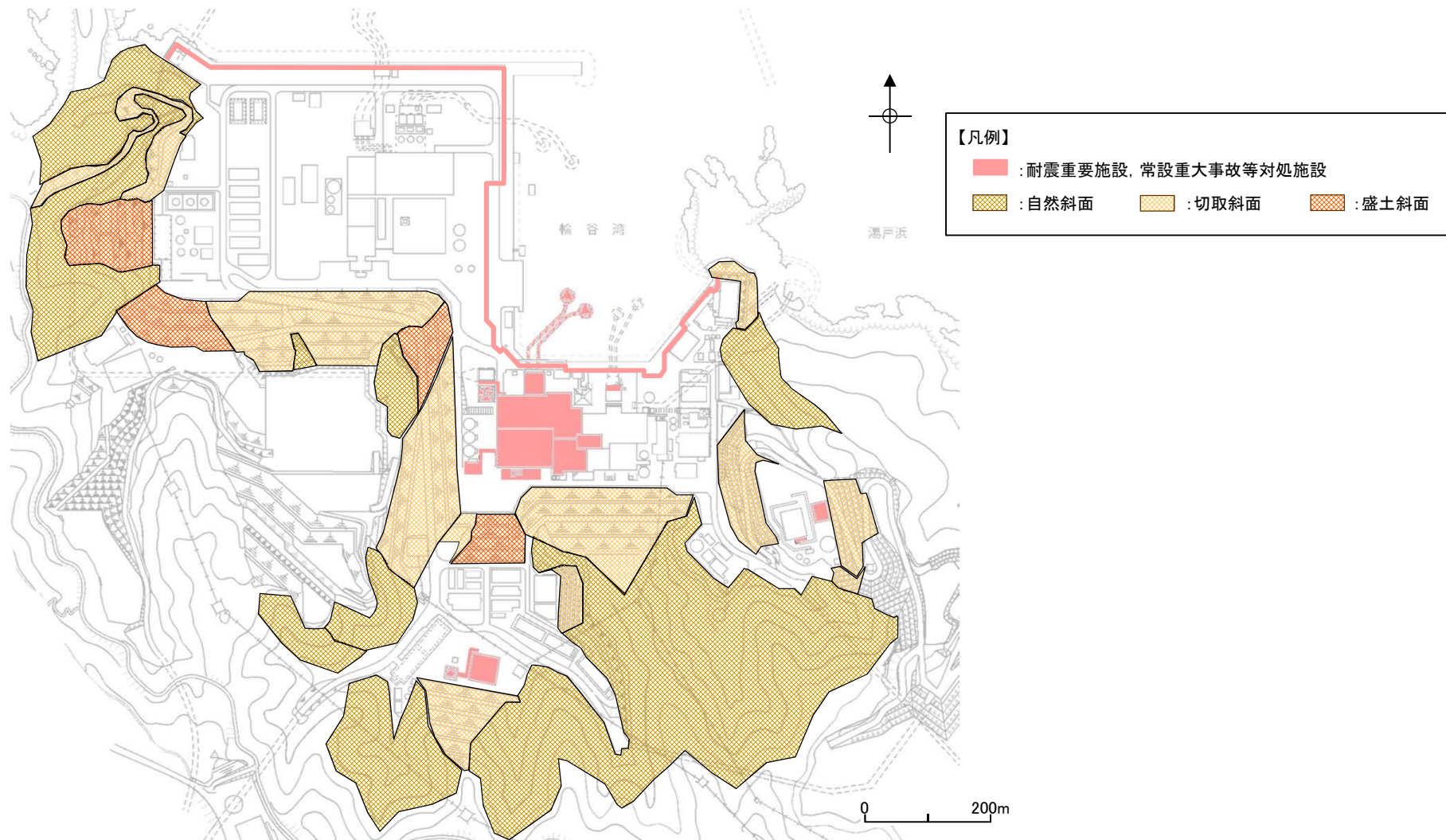
205



評価フロー(全体概要)

耐震重要施設等の周辺斜面の網羅的な抽出

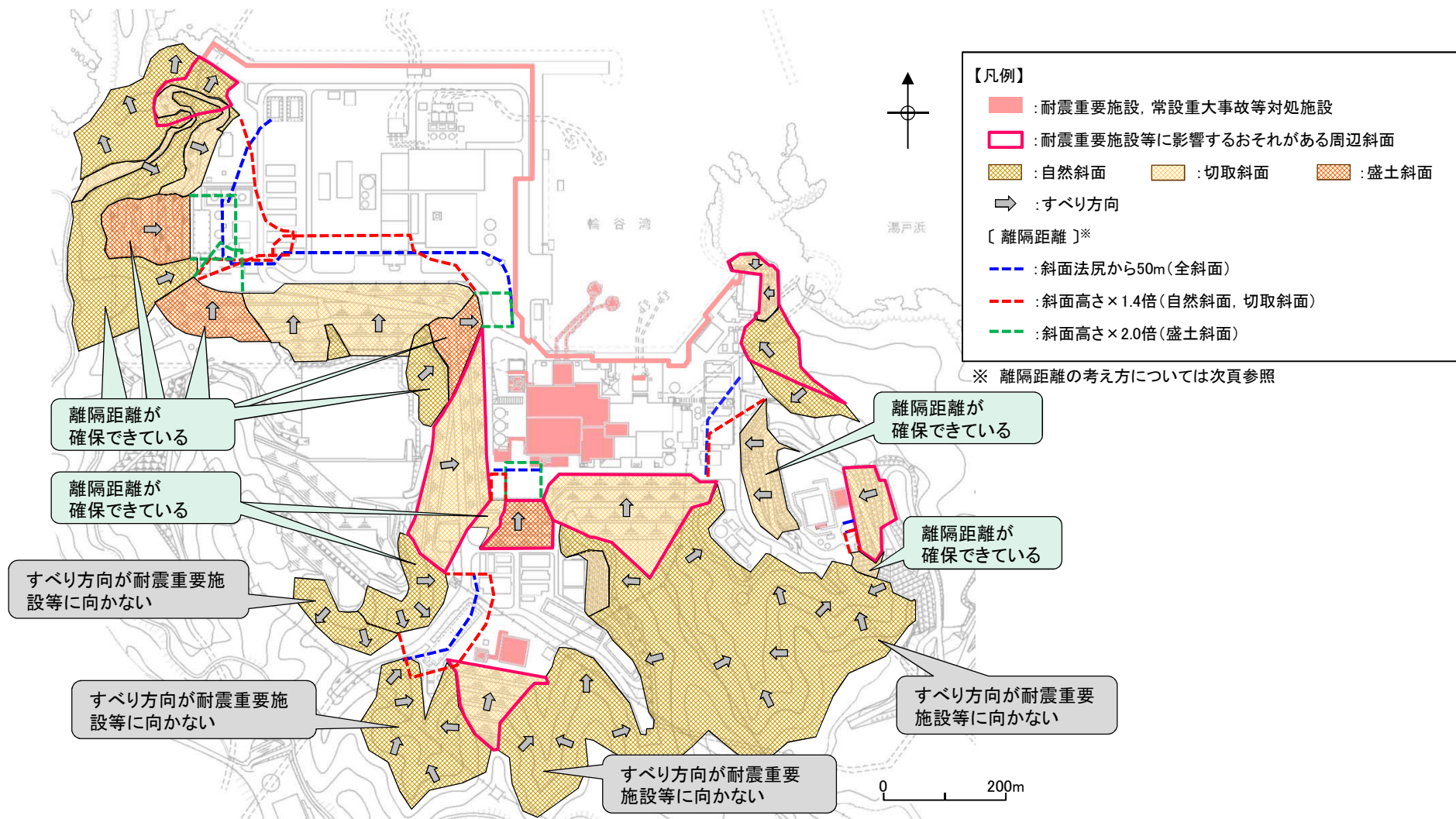
・耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の周辺斜面を下図のとおり網羅的に抽出した。



耐震重要施設等の周辺斜面 平面位置図

耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面の網羅的な抽出

・耐震重要施設等の周辺斜面の中で、すべり方向が耐震重要施設等に向いており、耐震重要施設等からの離隔距離がない斜面を尾根線・谷線で区切り、耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面として抽出した。



平面位置図

6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針

離隔距離の考え方

離隔距離については、文献に基づいて以下のとおり設定した。

- ・岩盤斜面(自然斜面, 切取斜面): 斜面高さ×1.4倍 あるいは 50m
- ・盛土斜面: 斜面高さ2.0倍 あるいは 50m

参考文献	記載内容	対象地盤
土木学会(2009) JEAG4601-2015	地盤安定性評価の対象とする斜面を、「斜面法尻と原子炉建屋との離隔距離が約50m以内の斜面, あるいは斜面の高さの約1.4倍以内の斜面」と規定しており, これに該当する斜面について評価を実施する。	岩盤斜面 盛土斜面
宅地防災マニュアルの解説 ⁽⁴⁾	斜面上部又は下部とは, 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。	急傾斜地 (土砂)

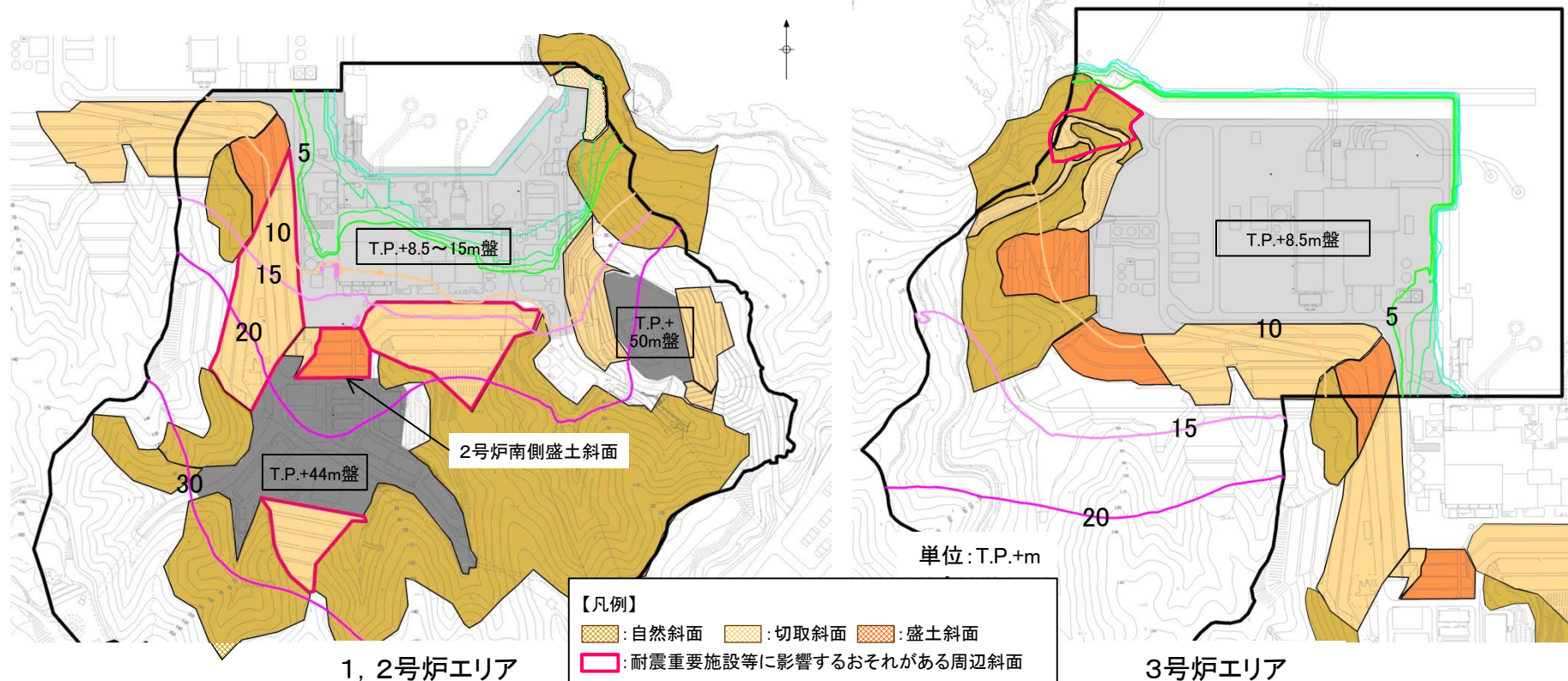
6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針

液状化範囲の検討

第910回審査会合
資料1-1 P189 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

209

- ・地下水位以深の埋戻土等については、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。
- ・液状化範囲の検討に当たっては、3次元浸透流解析結果の大局的な地下水位の傾向を参照し、保守的に地下水位を設定する。



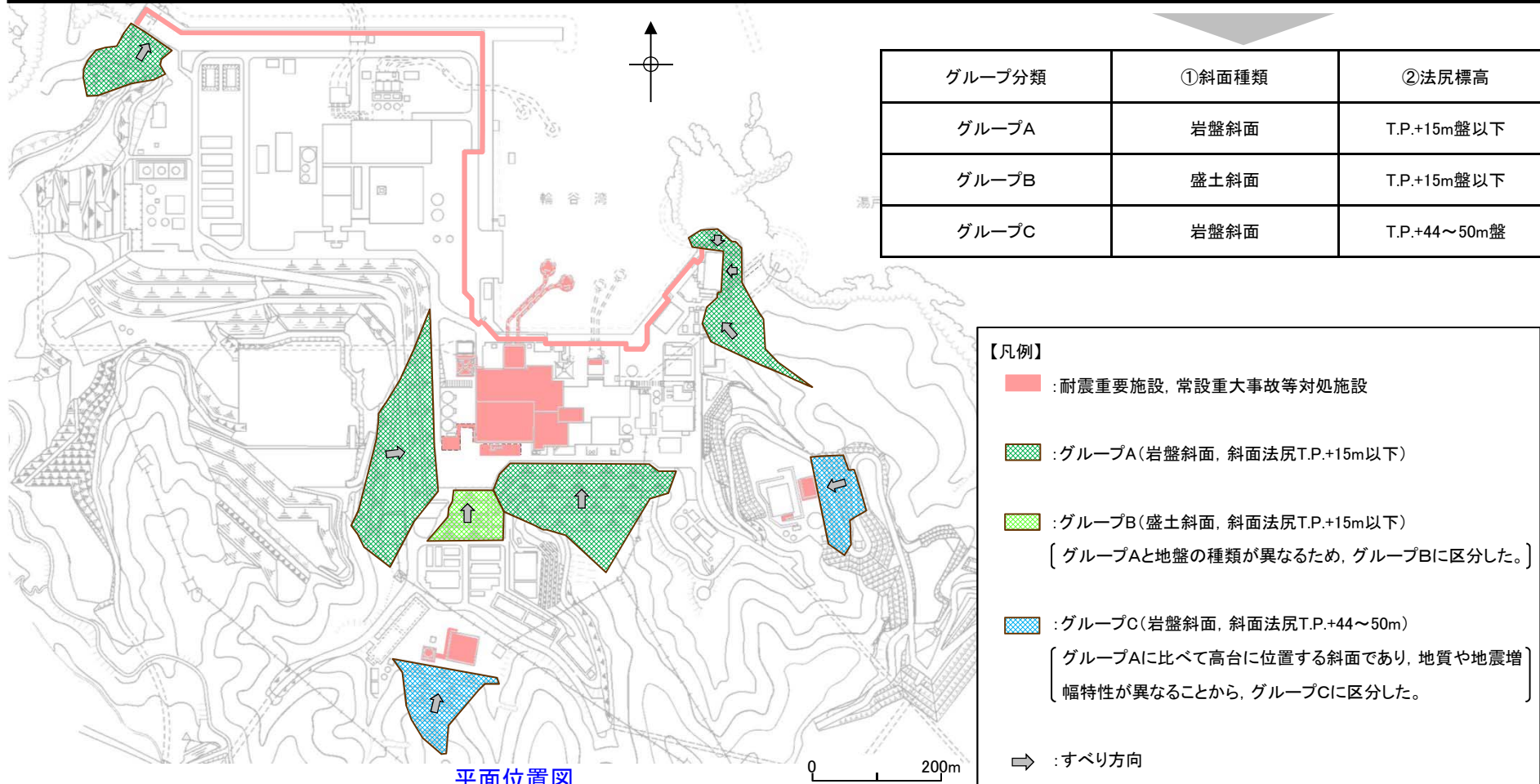
3次元浸透流解析結果(定常解析)の等水位線図

※「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止(コメント回答) [地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日)において説明済

- ・2号炉南側盛土斜面の地下水位は法尻付近までの上昇に留まっているが、地下水位の分布をより詳細に検討し、液状化範囲を設定する。(6.4章を参照)

耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面のグループ分け

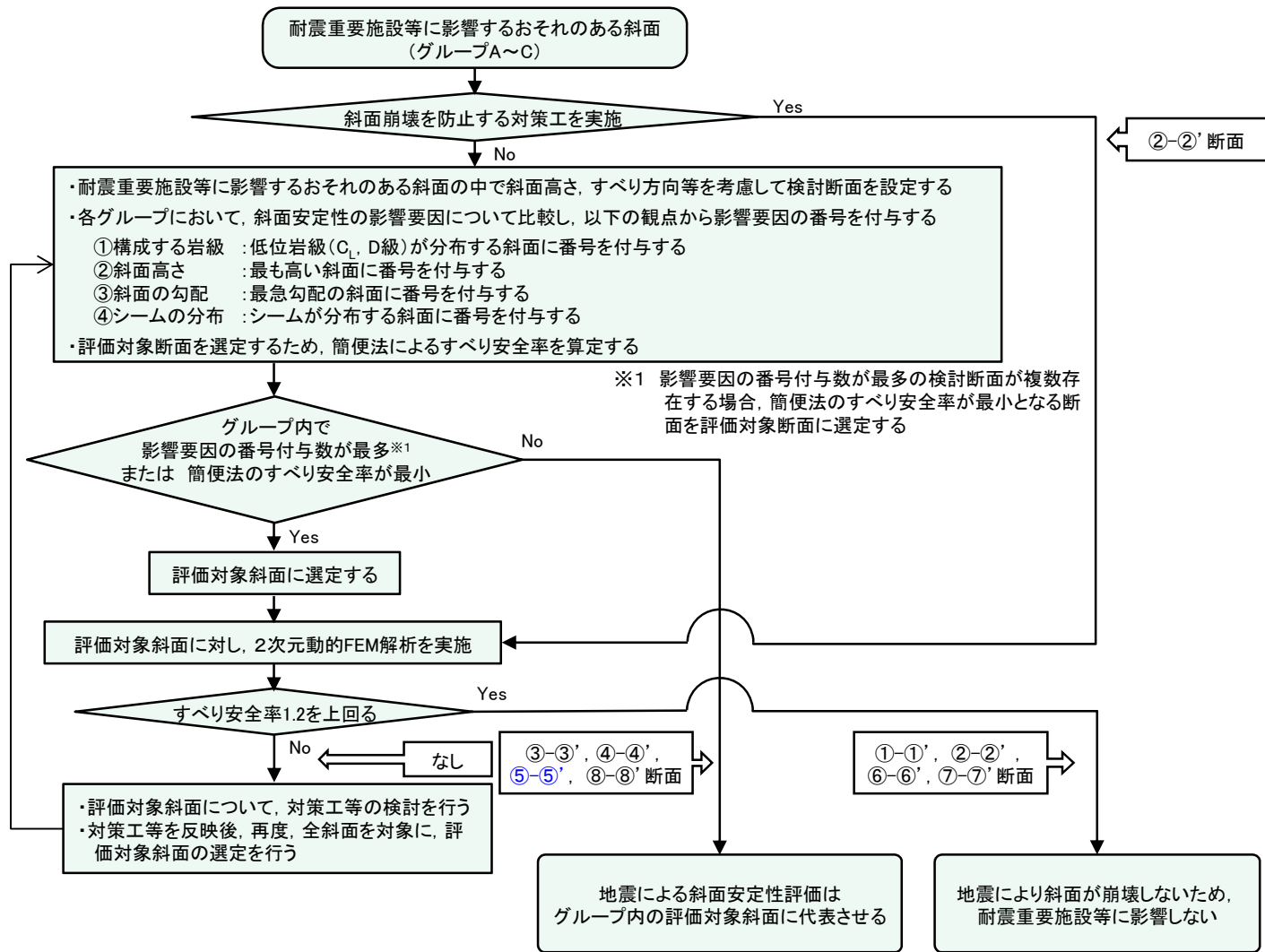
- ・評価対象斜面のグループ分けは、以下の観点から分類する。
 - ①地盤の種類が異なることから、岩盤斜面と盛土斜面に区分する。
 - ②地質や地震増幅特性が異なることから、法尻標高T.P.+15m盤以下に位置する評価対象斜面と法尻標高T.P.+44～50m盤に位置する評価対象斜面に区分する。
- ・上記に従いグループ分けを行った結果、耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面として抽出された斜面について、斜面の法尻標高每及び種類毎にグループA(岩盤斜面, 法尻標高T.P.+15m以下), グループB(盛土斜面, 法尻標高T.P.+15m以下), 及びグループC(岩盤斜面, 法尻標高T.P.+44～50m)の3つのグループに分類した。



6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針

評価フロー(詳細)

・耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の周辺斜面の地震時安定性評価は、下図に示すフローに基づき行う。



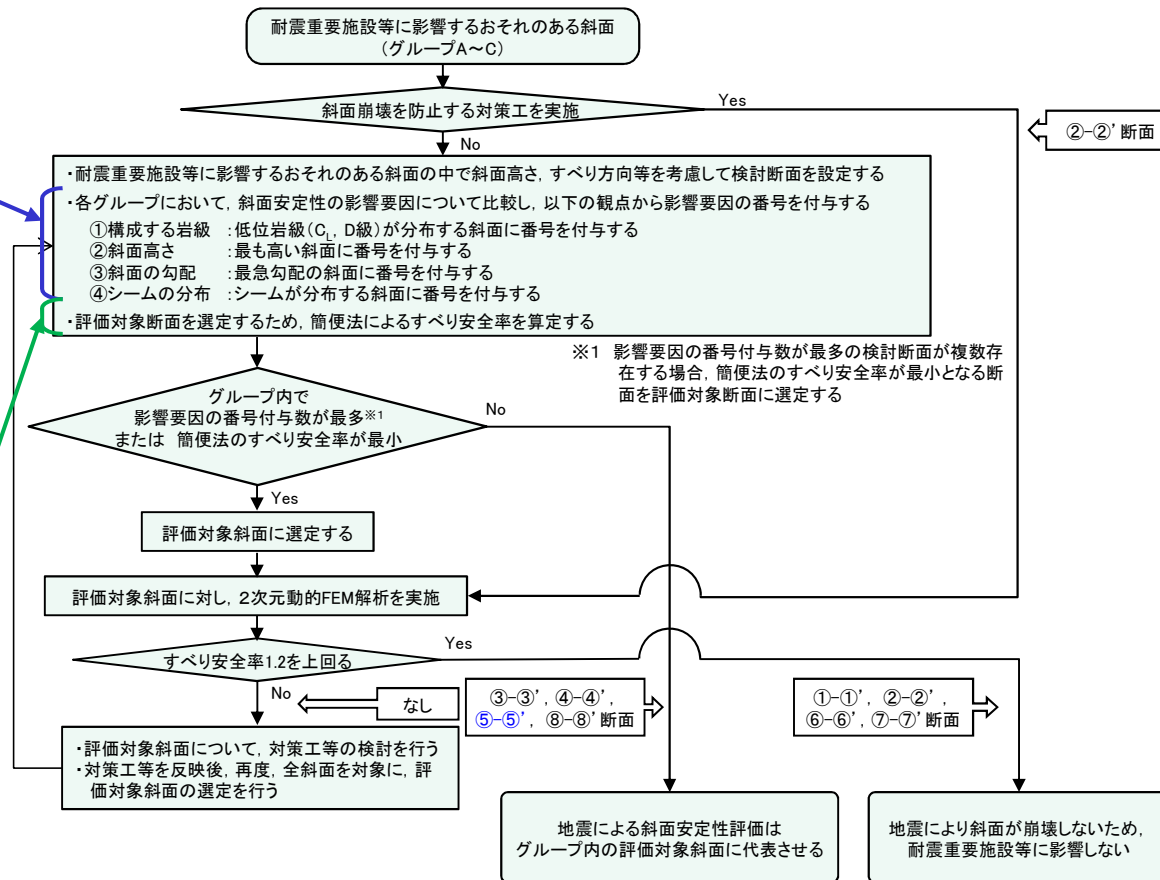
評価フロー(詳細)

6. 周辺斜面の安定性評価 6.1 評価方針 選定方針

・評価対象斜面の選定は、以下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。

影響要因	内容
【影響要因 ①】 斜面を構成する 岩級	C _L 級, D級の低位岩級は, C _H 級, C _M 級の高位岩級に比 べてせん断強度が低い。
【影響要因 ②】 斜面高さ	斜面高さが高いほど土塊が 大きくなるため, 起動力が大 きくなる。
【影響要因 ③】 斜面勾配	斜面勾配が急なほどすべり 方向に対する土塊重量の分 力が大きくなり, 起動力が大 きくなる。
【影響要因 ④】 シームの分布の 有無	シームは岩盤に比べてせん 断強度が低く, すべり面の せん断抵抗力が小さくなる。

【簡便法によるすべり安全率】
・JEAG4601-2015に基づく静的震度「 $K_H=0.3$,
 $K_V=0.15$ 」を用いた簡便法により, すべり安全
率を算定する。

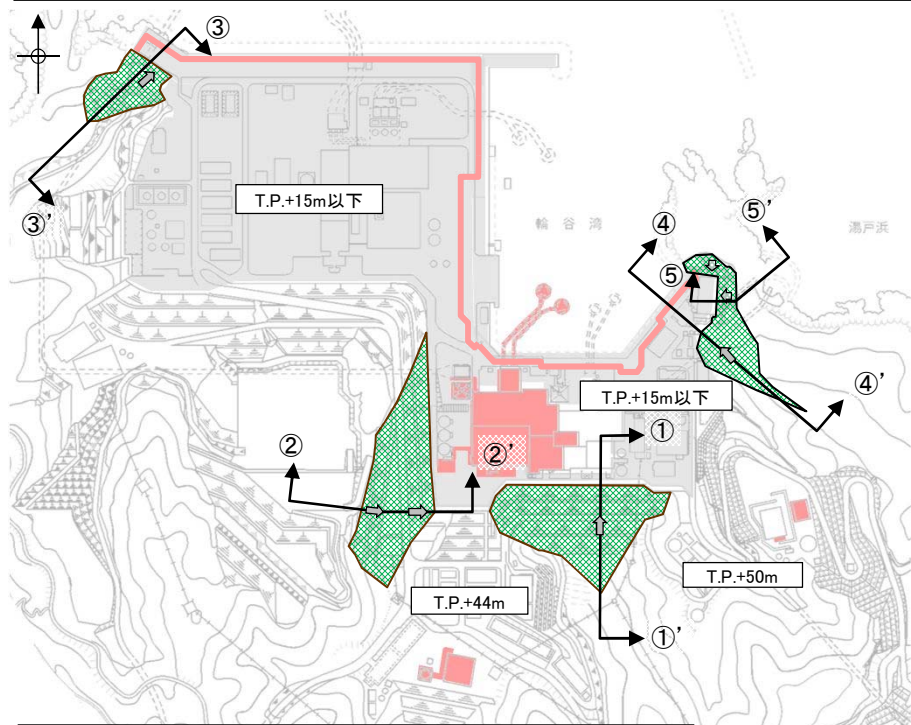


6. 周辺斜面の安定性評価

6. 2 評価対象斜面の選定

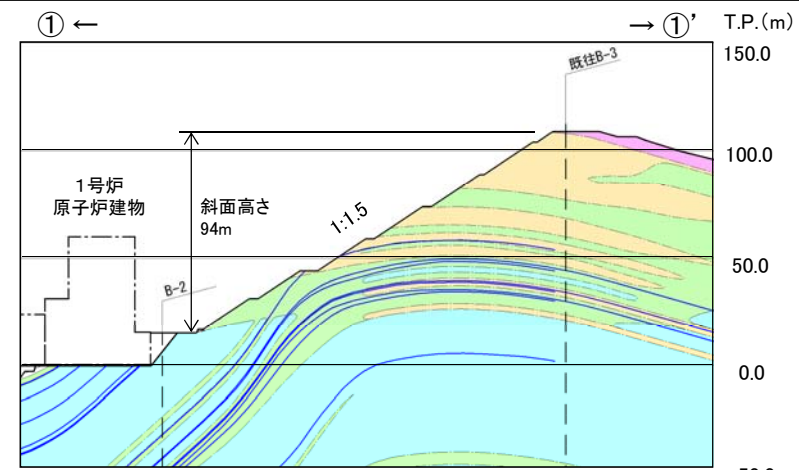
評価対象斜面の選定方法 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)(1/2)

- ・グループAの斜面の中で、斜面高さが高くなり、最急勾配方向となるすべり方向に①-①' ~ ⑤-⑤' の5断面を検討断面に設定し、この中から評価対象斜面を選定した。
- ・②-②' 断面は、敷地造成工事に伴って頂部の切取を行ったことから、切取後の斜面で安定性評価を行うこととした。
- ・なお、③-③' 断面は、「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)で説明した礫質土・粘性土の切取を反映済みである。

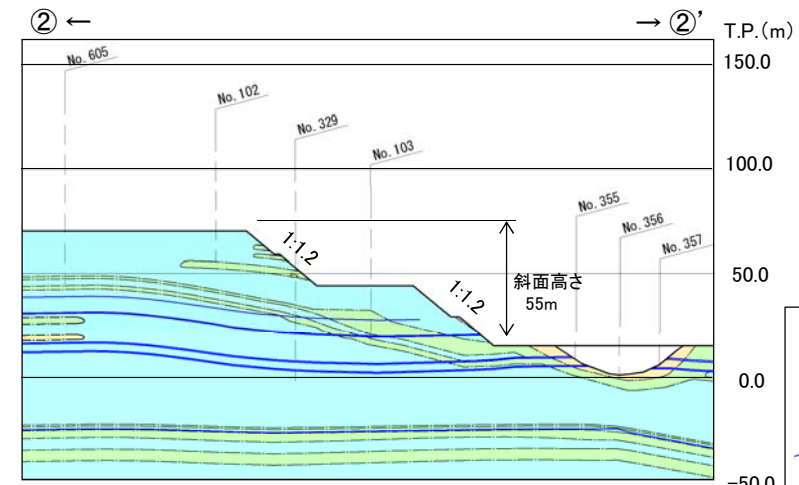


- 【凡例】**
- : 耐震重要施設, 常設重大事故等対処施設
 - : 岩盤斜面(グループA, 法尻標高T.P.+15m以下)
 - ↕ : 斜面の断面位置
 - ➡ : すべり方向

断面位置図



2号炉南側切取斜面(①-①'断面, 岩級・シーム)

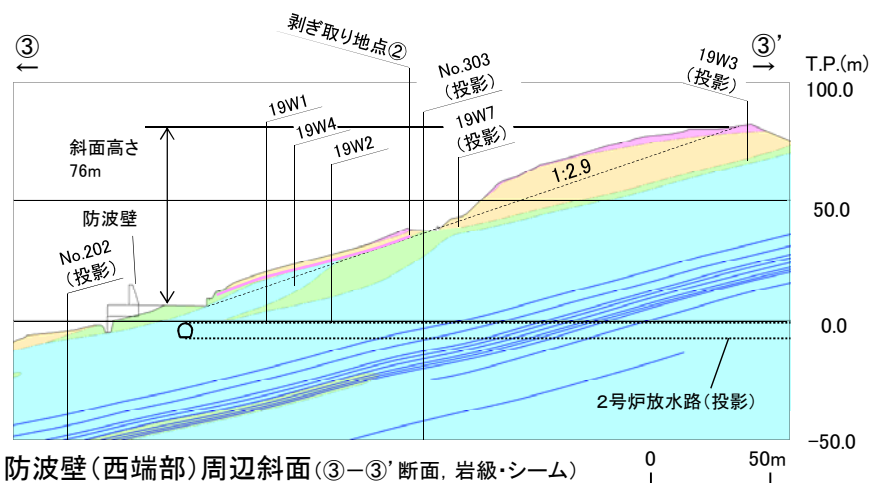


2号炉西側切取斜面(②-②'断面, 岩級・シーム)
※斜面頂部を対策工により切取済み

- 凡例**
- : 埋戻土, 盛土
 - : D級
 - : CL級
 - : CM級
 - : CH級
 - : シーム
 - : 岩級境界線

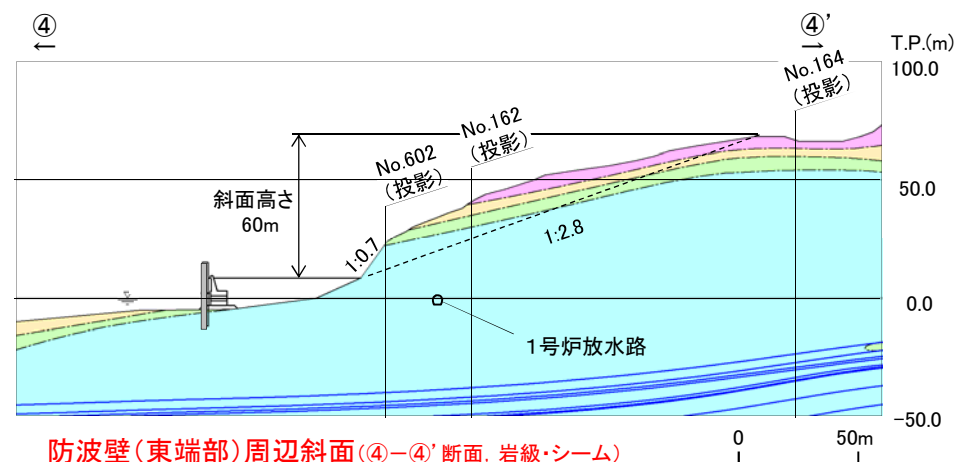
6. 周辺斜面の安定性評価 6.2 評価対象斜面の選定 第910回審査会合資料1-1 P163 加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

評価対象斜面の選定方法 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)(2/2)

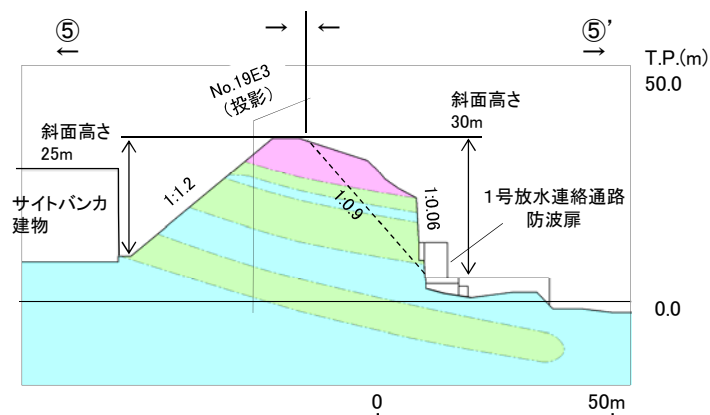


防波壁(西端部)周辺斜面(③-③'断面, 岩級・シーム)

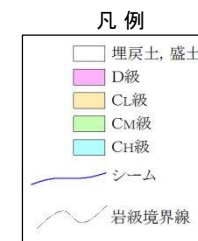
※「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」
(令和2年2月28日審査会合)で説明した礫質土・粘性土の切取を反映済



防波壁(東端部)周辺斜面(④-④'断面, 岩級・シーム)



防波壁(東端部)周辺斜面(⑤-⑤'断面, 岩級・シーム)



評価対象斜面の選定結果 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

- ・グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)の斜面について, 下表の比較を行った結果, ①-①' 断面及び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。(詳細をP217~220に記載)
- ・対策工を実施した②-②' 断面は, 評価フローに基づき, 安定解析により対策後のすべり安定性を確認する。

耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面 グループA (T.P.+15m以下)	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
	① 構成する岩級	② 斜面高さ	③ 斜面の勾配	④ シームの 分布の有無			
評価対象斜面に選定 2号炉南側切取斜面 (①-①' 断面)	C _H , C _M , C _L 級	94m	1:1.5	あり	①, ②, ④	2.41	・C _L 級岩盤が分布すること, 斜面高さが最も高いこと, シームが分布すること, 及び簡便法のすべり安全率が低いことから, 評価対象斜面に選定する。
防波壁(西端部)周辺斜面 (③-③' 断面)	C _H , C _M , C _L , D級	76m	1:2.9	なし	①	2.43	・⑤-⑤' 断面に比べ, 斜面高さが高いため, ⑤-⑤' 断面に代表させず, ①-①' 断面との比較を行う。 ・①-①' 断面に比べ, 表層にD級岩盤が分布するが, 斜面高さが低いこと, 平均勾配が緩いこと, シームが分布しないこと, 及び簡便法のすべり安全率が大きいことから, ①-①' 断面の評価に代表させる。 (※1)
防波壁(東端部)周辺斜面 (④-④' 断面)	C _H , C _M , C _L , D級	60m	1:2.8 (一部, 1:0.7の急勾配部あり)	なし	①	2.82	
防波壁(東端部)周辺斜面※2 (⑤-⑤' 断面)	C _H , C _M , D級	25m	1:1.2	なし	①	3.93	・①-①' 断面に比べ, 表層にD級岩盤が厚く分布し, 平均勾配が急であるが, 斜面高さが低いこと, シームが分布しないこと, 及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから, ①-①' 断面の評価に代表させる。

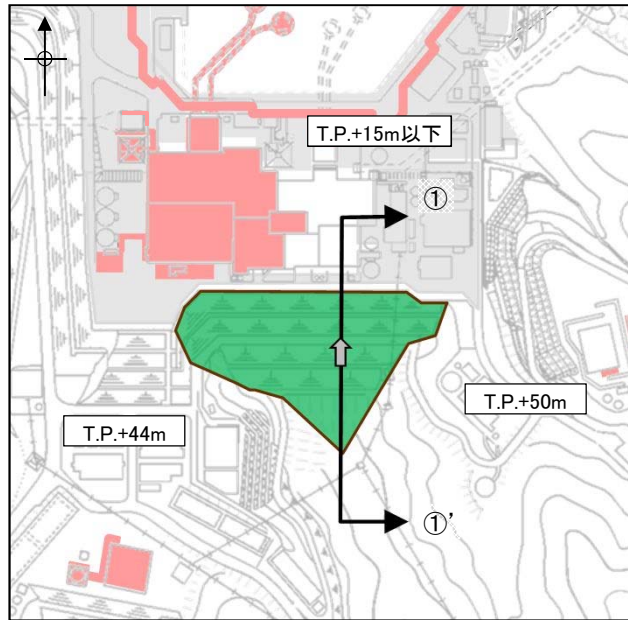
: 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与が多い(簡便法のすべり安全率が小さい)
 : 選定した評価対象斜面

※1 当該断面は, 津波防護の障壁となっている地山斜面を兼ねることから, 「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)において, 別途, 評価対象斜面に選定し, 安定解析結果を説明済みである。

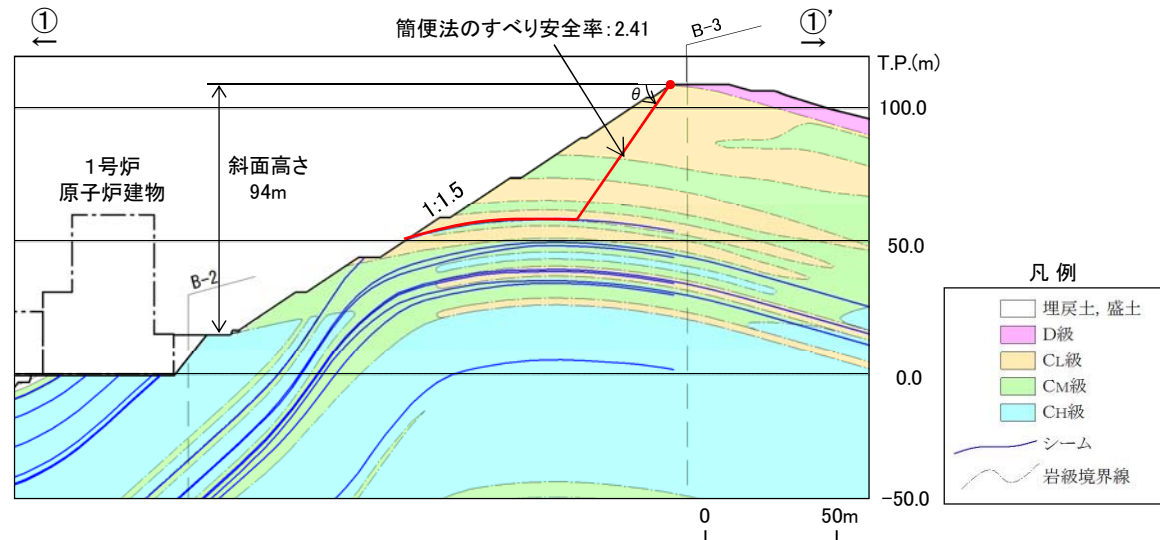
※2 「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査において, 1号炉放水連絡通路を閉塞する方針とし, 1号放水連絡通路防波扉は津波防護施設(耐震重要施設)から除外することとしたため, ⑤-⑤' 断面のうち海側すべりを当該一覧表から削除した。

2号炉南側切取斜面(①-①'断面)の比較結果 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

・C_L級岩盤が分布すること, 斜面高さが94mと最も高いこと, シームが分布すること, 及び簡便法のすべり安全率が2.41と低いことから, 評価対象斜面に選定する。



断面位置図 0 200m



角度(°)	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
すべり安全率	3.96	3.04	2.63	2.47	2.41	2.45	2.59	2.84	3.23	3.70

※最小すべり安全率を○で示す。

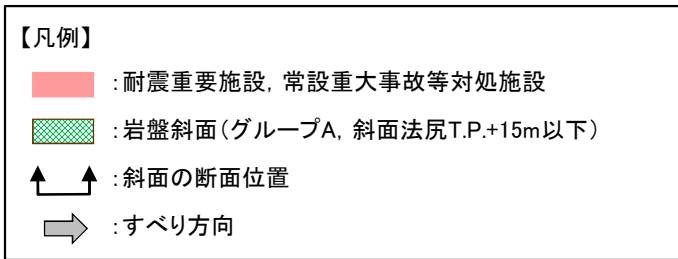
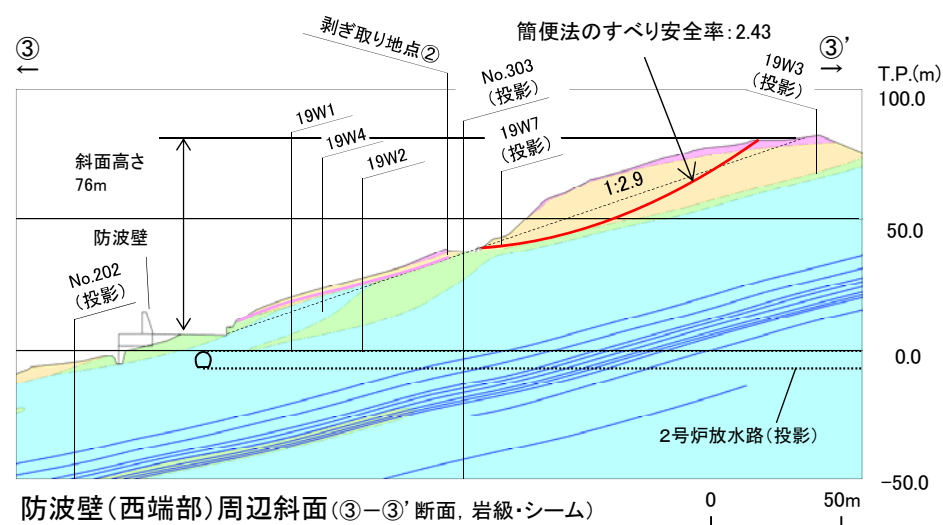
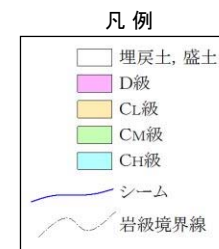
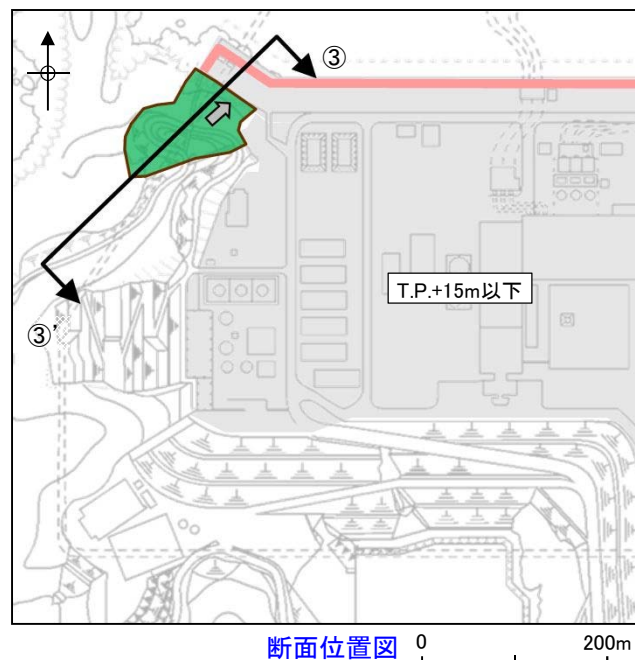
2号炉南側切取斜面(①-①'断面, 岩級・シーム)

【凡例】

- : 耐震重要施設, 常設重大事故等対処施設
- : 岩盤斜面(グループA, 斜面法尻T.P.+15m以下)
- : 斜面の断面位置
- : すべり方向

防波壁(西端部)周辺斜面(③-③'断面)の比較結果 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

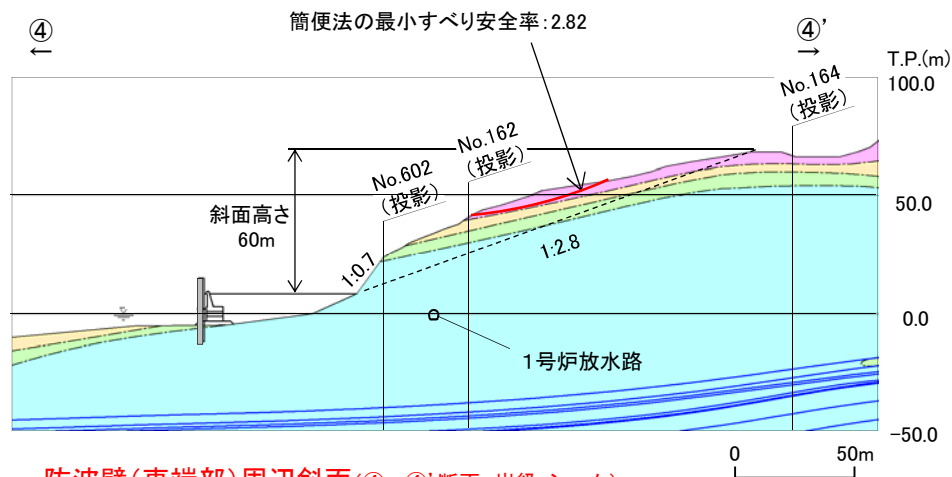
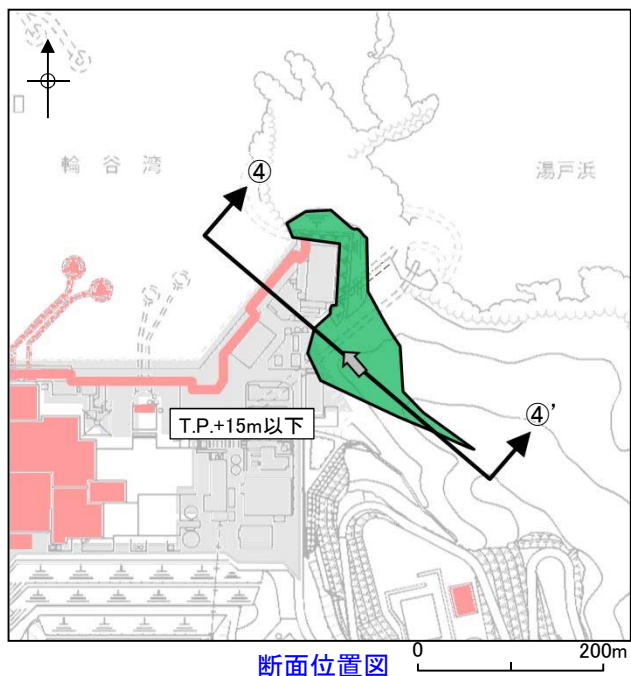
- ・⑤-⑤'断面に比べ、斜面高さが高いため、⑤-⑤'断面に代表させず、①-①'断面との比較を行う。
- ・①-①'断面に比べ、表層にD級岩盤が分布するが、斜面高さが76mと低いこと、平均勾配が1:2.9と緩いこと、シームが分布しないこと、及び簡便法のすべり安全率が2.43と大きいことから、①-①'断面の評価に代表させる。
- ・なお、当該断面は、津波防護の障壁となっている地山斜面を兼ねることから、「防波壁及び1号放水連絡通路防波扉の周辺斜面の安定性評価」(令和2年2月28日審査会合)において、別途、評価対象斜面に選定し、安定解析結果を説明済みである。



※「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月28日審査会合)で説明した礫質土・粘性土の切取を反映済

防波壁(西端部)周辺斜面(④-④'断面)の比較結果 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

- ・⑤-⑤'断面に比べ、斜面高さが高いため、⑤-⑤'断面に代表させず、①-①'断面との比較を行う。
- ・①-①'断面に比べ、表層にD級岩盤が分布するが、斜面高さが60mと低いこと、平均勾配が1:2.8と緩いこと、シームが分布しないこと、及び簡便法のすべり安全率が2.82と大きいことから、①-①'断面の評価に代表させる。
- ・なお、当該断面は、津波防護の障壁となっている地山斜面を兼ねることから、「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)において、別途、評価対象斜面に選定し、安定解析結果を説明済みである。

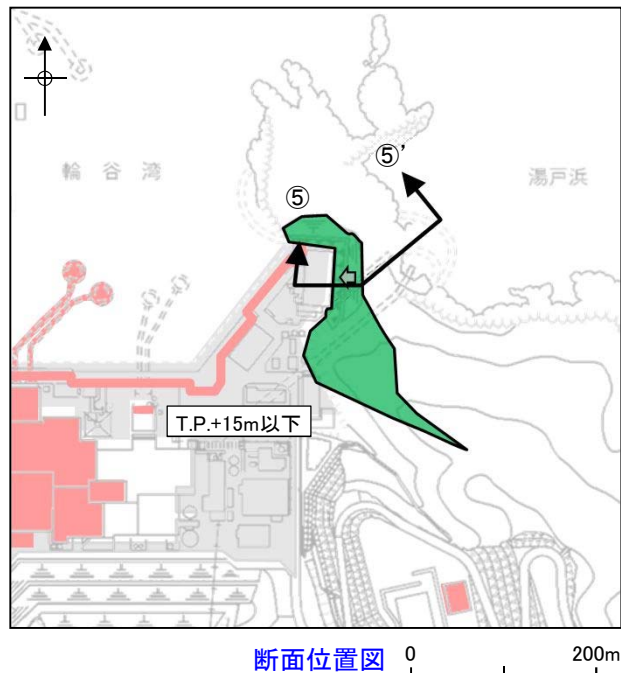


- 【凡例】
- : 耐震重要施設, 常設重大事故等対処施設
 - : 岩盤斜面(グループA, 斜面法尻T.P.+15m以下)
 - ↑↑ : 斜面の断面位置
 - ➡ : すべり方向

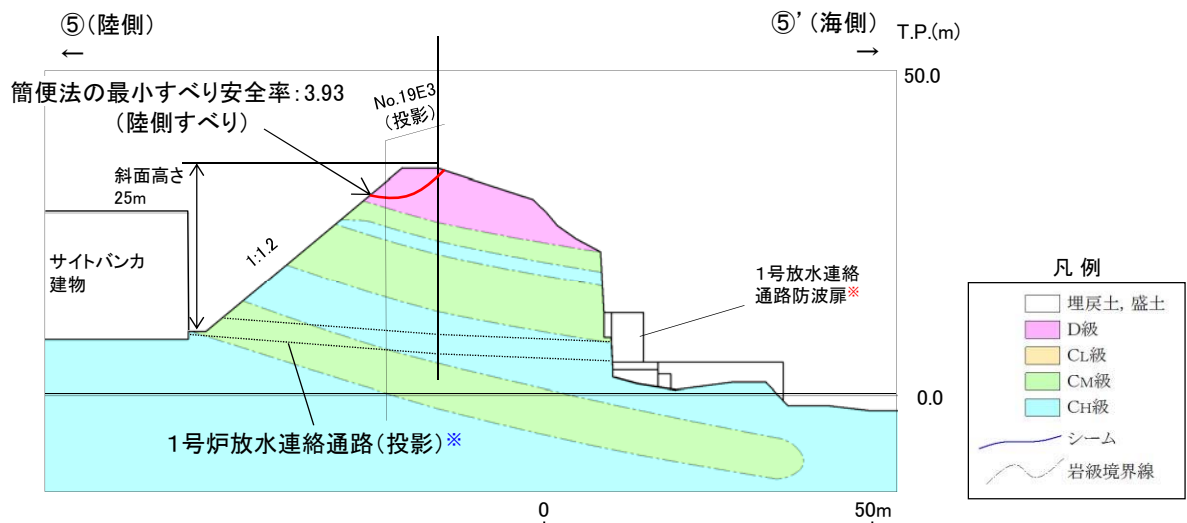
- 凡例
- : 埋戻土, 盛土
 - : D級
 - : CL級
 - : CM級
 - : Ch級
 - : シーム
 - : 岩級境界線

1号放水連絡通路防波扉等周辺斜面(⑤-⑤'断面, 陸側すべり)の比較結果 グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

・①-①'断面に比べ, 表層にD級岩盤が厚く分布し, 平均勾配が急であるが, 斜面高さが低いこと, シームが分布しないこと, 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, ①-①'断面の評価に代表させる。



- 【凡例】
- : 耐震重要施設, 常設重大事故等対処施設
 - : 岩盤斜面(グループA, 斜面法尻T.P.+15m以下)
 - ↑↑ : 斜面の断面位置
 - ➡ : すべり方向



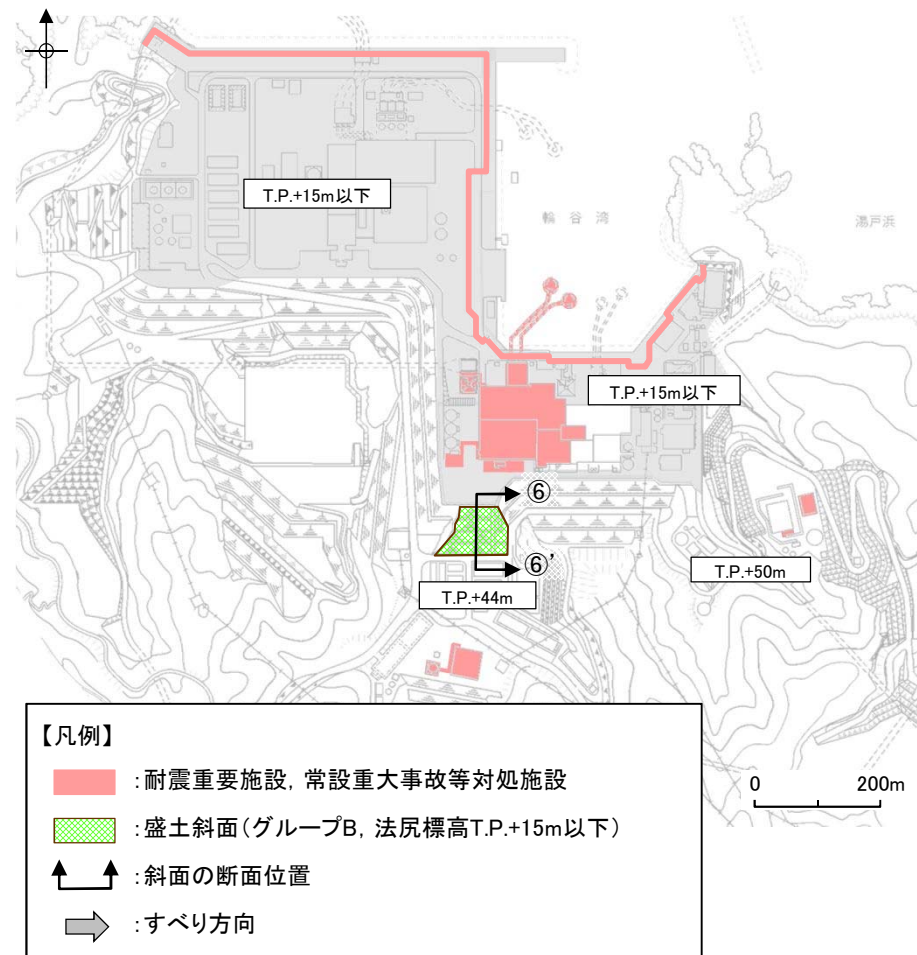
防波壁(東端部)周辺斜面(⑤-⑤'断面, 岩級・シーム)

※「漂流物衝突荷重の設定方針」の審査において, 1号炉放水連絡通路を閉塞する方針とし, 1号放水連絡通路防波扉は津波防護施設(耐震重要施設)から除外することとした。

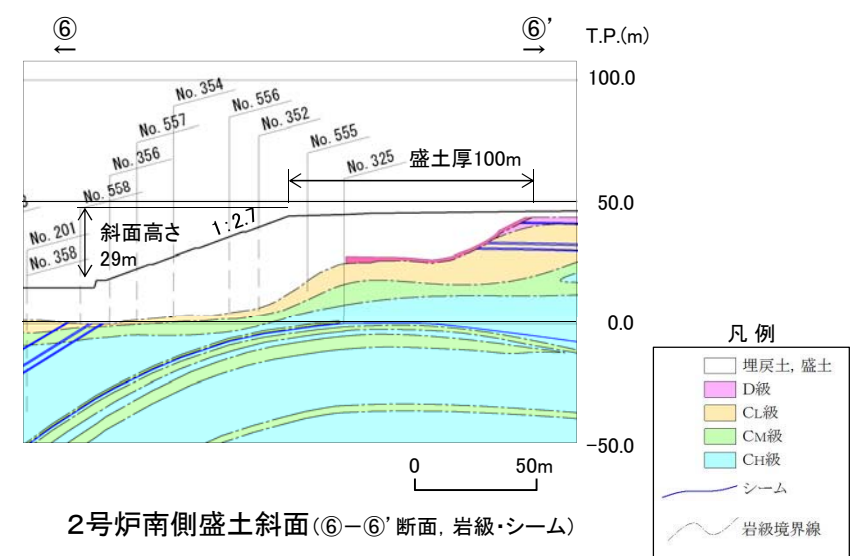
評価対象斜面の選定方法及び選定結果 グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下)

・グループBの斜面は、法尻標高T.P.+15m以下の盛土斜面が1箇所のみであることから、当該斜面において、盛土厚が最大となり、最急勾配方向となるすべり方向に⑥-⑥'断面を設定し、評価対象斜面に選定した。

・なお、液状化評価対象層である盛土で構成される当該斜面については、地下水位分布の状況を踏まえて液状化範囲を検討し、液状化を考慮したすべり安定性評価を実施する。(「6.4章 2号炉南側盛土斜面における液状化範囲の検討」を参照)

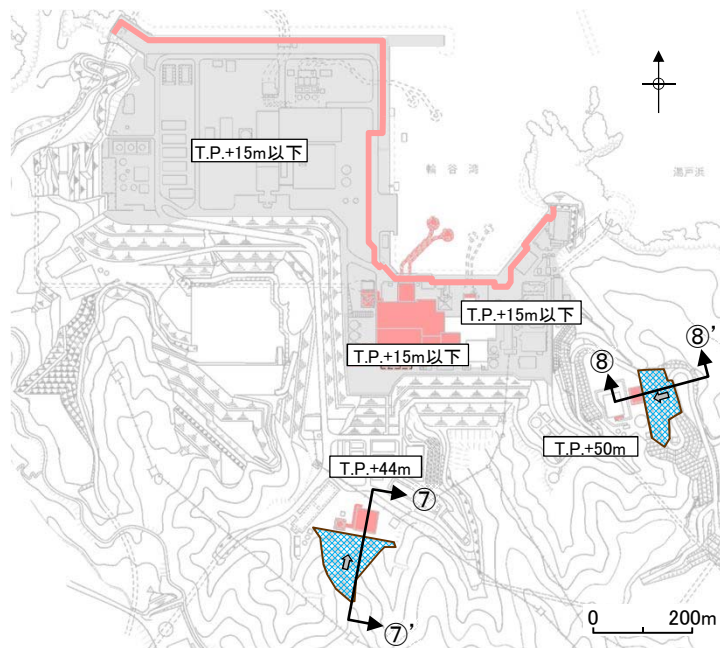


断面位置図



評価対象斜面の選定方法 グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m)

・耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面の中で、斜面高さが高くなり、最急勾配方向となるすべり方向に⑦-⑦'断面及び⑧-⑧'断面の2断面を検討断面に設定し、この中から評価対象斜面を選定した。



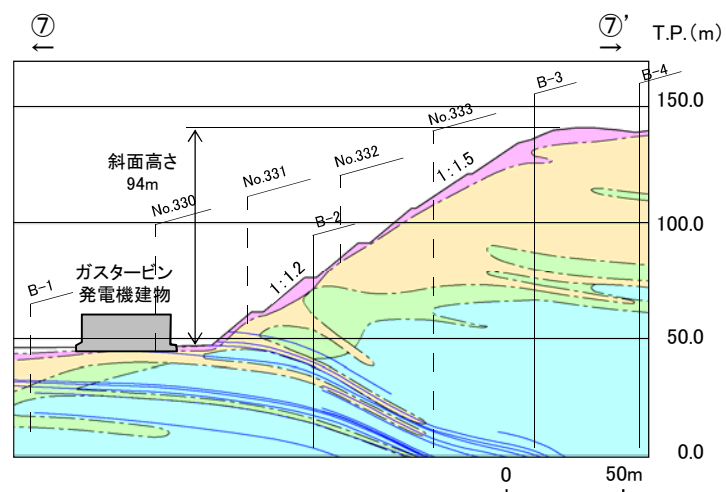
【凡例】

- :耐震重要施設, 常設重大事故等対処施設
- :岩盤斜面(グループC, 法尻標高T.P.+44m~50m)
- ↑↑ :斜面の断面位置
- :すべり方向

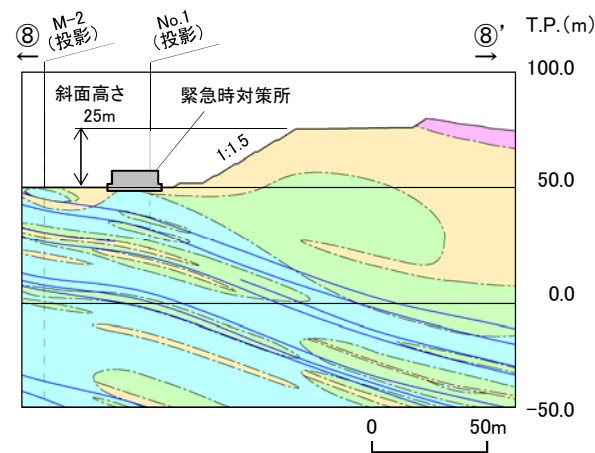
断面位置図

凡例

- 埋戻土, 盛土
- D級
- CL級
- CM級
- CH級
- シーム
- ~ 岩級境界線



ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面, 岩級・シーム)



緊急時対策所周辺斜面(⑧-⑧'断面, 岩級・シーム)

評価対象斜面の選定結果 グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m)

・グループC(岩盤斜面, T.P.+44m~50m)の斜面について下表の比較を行った結果, ⑦-⑦'断面を評価対象斜面に選定した。(詳細をP224, 225に記載)

上位クラス施設に影響するおそれのある斜面 グループB(T.P.+44m~50m)	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 ガスタービン発電機建物 周辺斜面 (⑦-⑦'断面)	C _H , C _M , C _L , D級	94	1:1.2, 1:1.5	あり	①, ②, ③, ④	1.51	・⑧-⑧'断面に比べ, D級岩盤が斜面表層に分布すること, 斜面高さが高いこと, 斜面勾配が急なこと, 法尻付近にシームが分布すること, 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。
緊急時対策所周辺斜面 (⑧-⑧'断面)	C _M , C _L 級	25	1:1.5	なし	①	2.90	・⑦-⑦'断面に比べ, D級岩盤が分布しないこと, 斜面高さが低いこと, 斜面勾配が緩いこと, シームが分布していないこと, 及び簡便法の最小すべり安全率が大きいことから, ⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

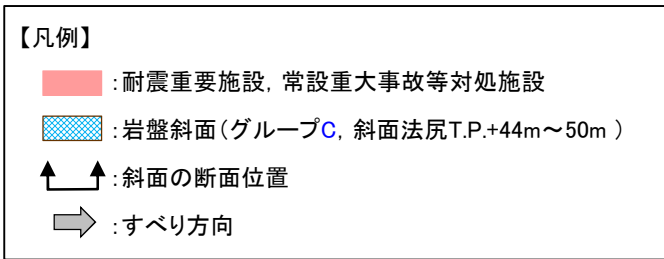
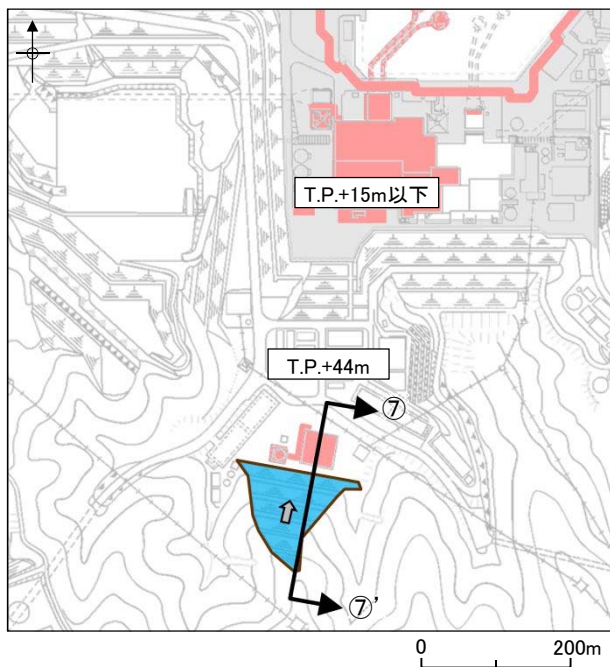
□ : 番号を付与する影響要因

□ : 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)

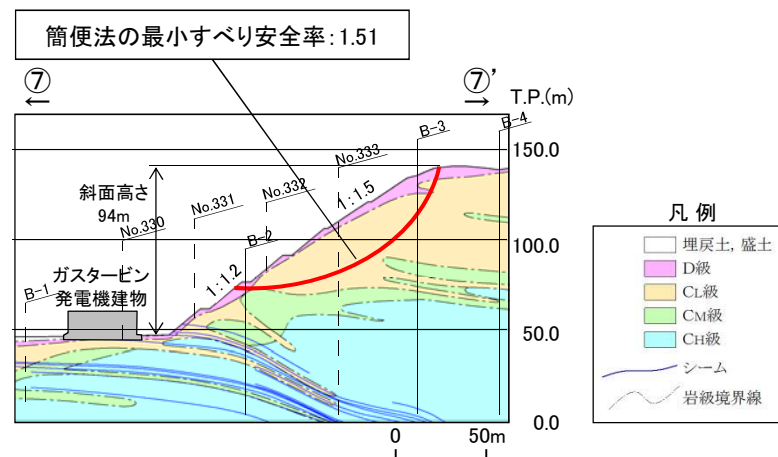
□ : 選定した評価対象斜面

ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面)の比較結果 グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m)

・当該斜面は、⑧-⑧'断面に比べ、D級岩盤が斜面表層に分布すること、斜面高さが94mと高いこと、斜面勾配が1:1.2及び1:1.5と急なこと、法尻付近にシームが分布すること、及び岩盤・シームすべりを対象とした簡便法のすべり安全率が1.51と小さいことから、評価対象斜面に選定した。



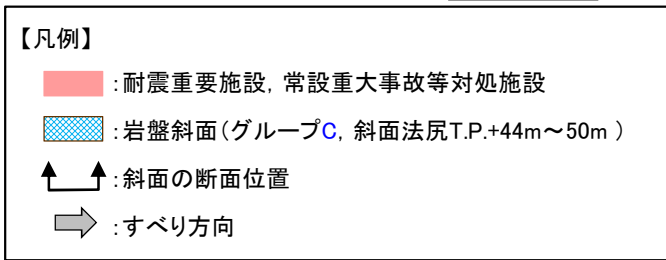
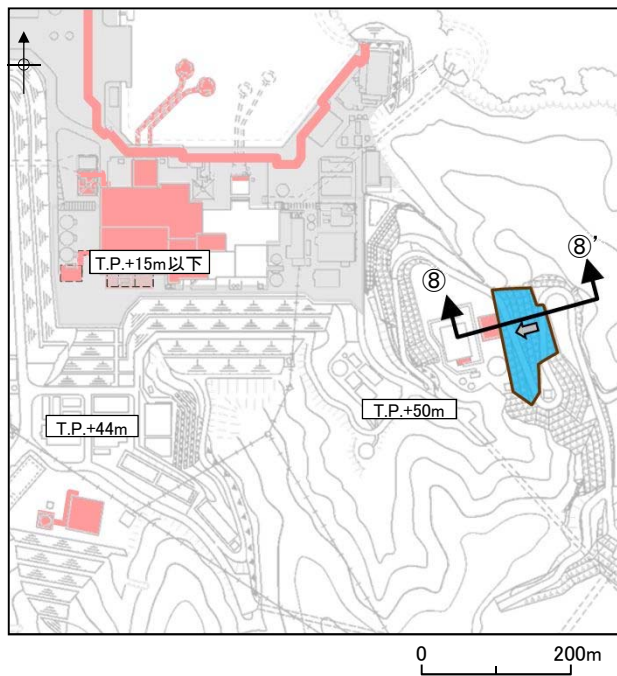
断面位置図



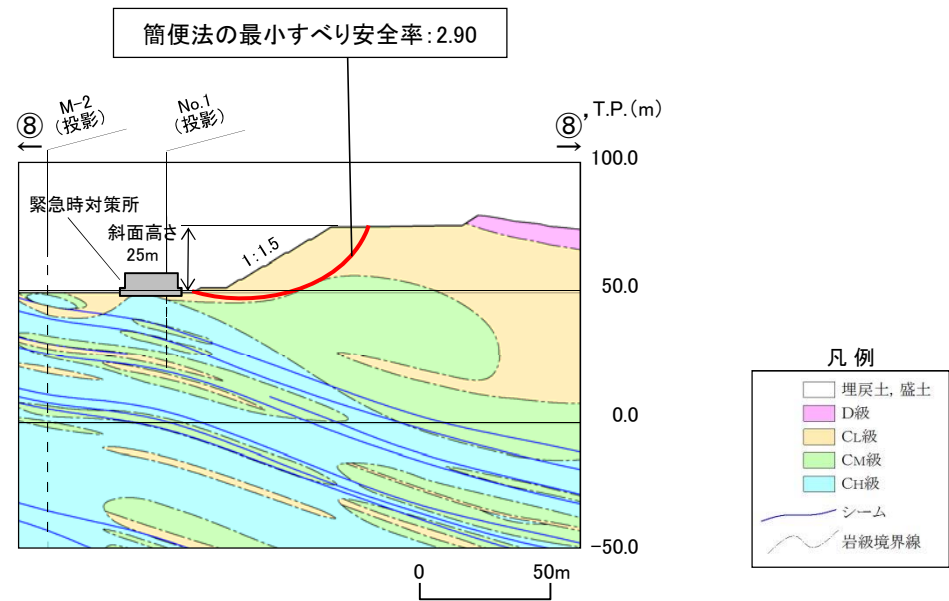
ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面, 岩級・シーム)

緊急時対策所周辺斜面(⑧-⑧'断面)の比較結果 グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m)

・当該斜面は、⑦-⑦'断面に比べ、D級岩盤が分布しないこと、斜面高さが25mと低いこと、斜面勾配が1:1.5と緩いこと、斜面にシームが分布していないこと、及び岩盤すべりを対象とした簡便法のすべり安全率が2.90と大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。



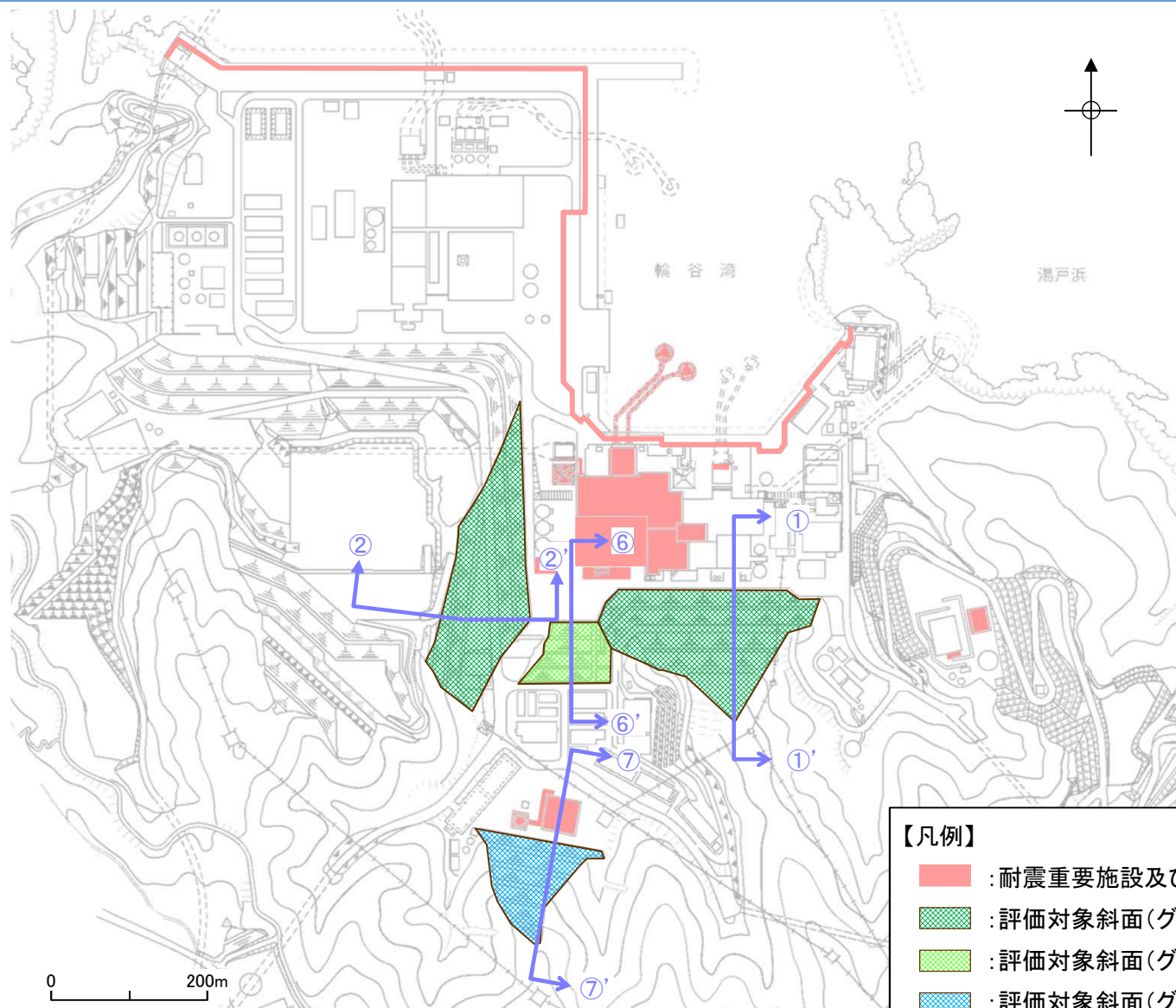
断面位置図



緊急時対策所周辺斜面(⑧-⑧'断面, 岩級・シーム)

6. 周辺斜面の安定性評価 6.2 評価対象斜面の選定
 評価対象斜面の選定結果

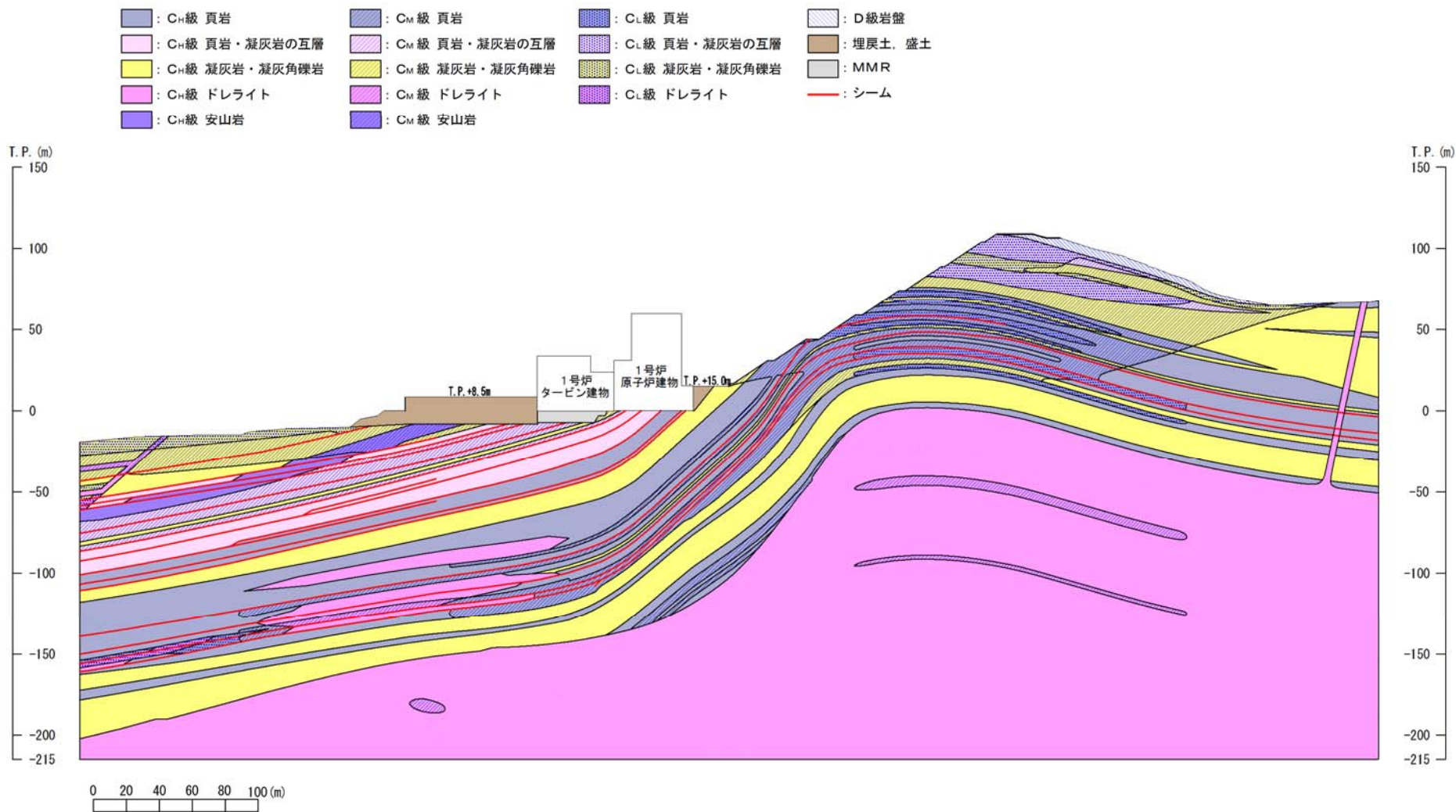
第910回審査会合
 資料1-1 P176 加筆・修正
 ※修正箇所を青字で示す










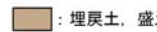

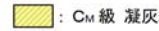
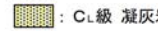




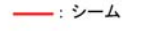

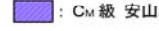
評価対象斜面の選定結果

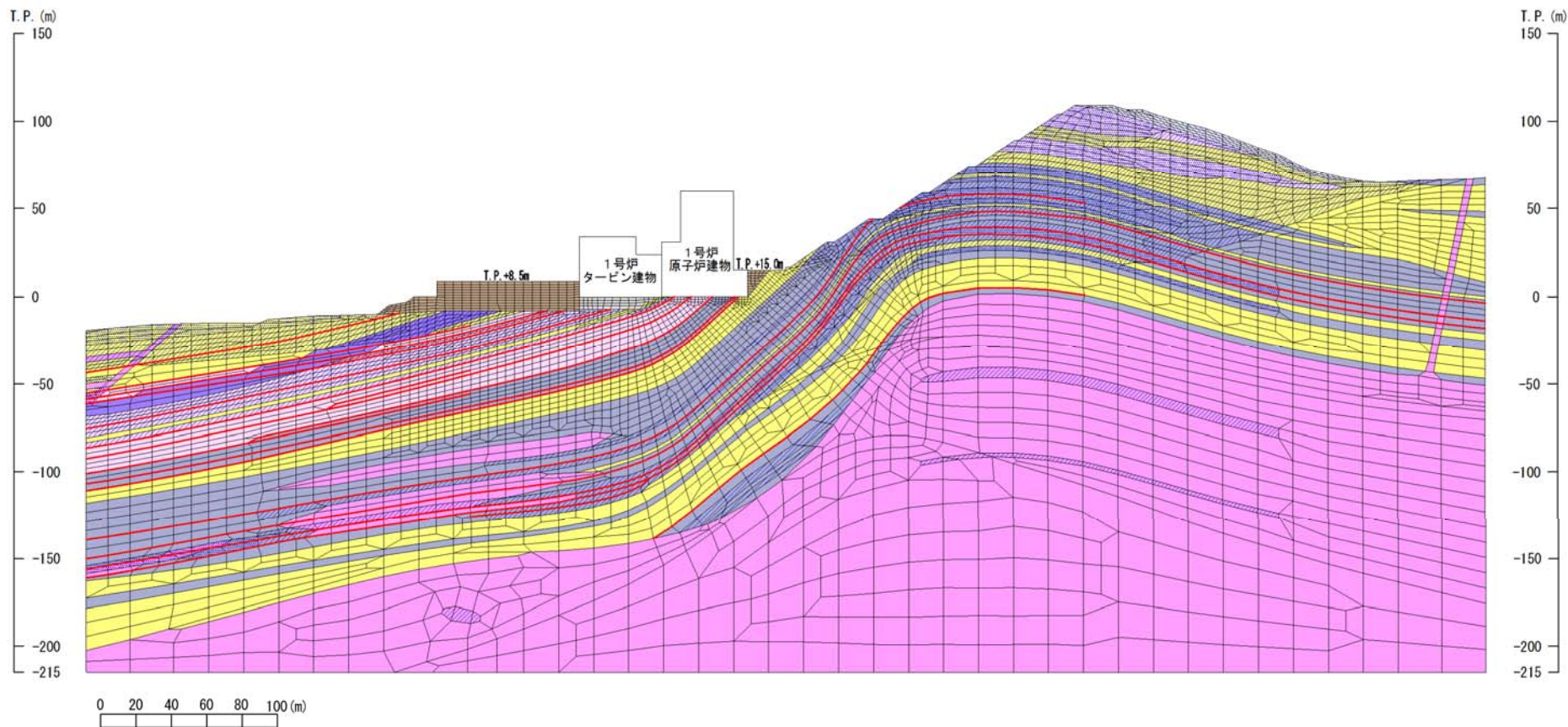
- 【凡例】
- : 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設
 - : 評価対象斜面(グループA)
 - : 評価対象斜面(グループB)
 - : 評価対象斜面(グループC)
 - : 評価対象断面位置

解析用岩盤分類図 2号炉南側切取斜面 ①-①'断面(グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下))

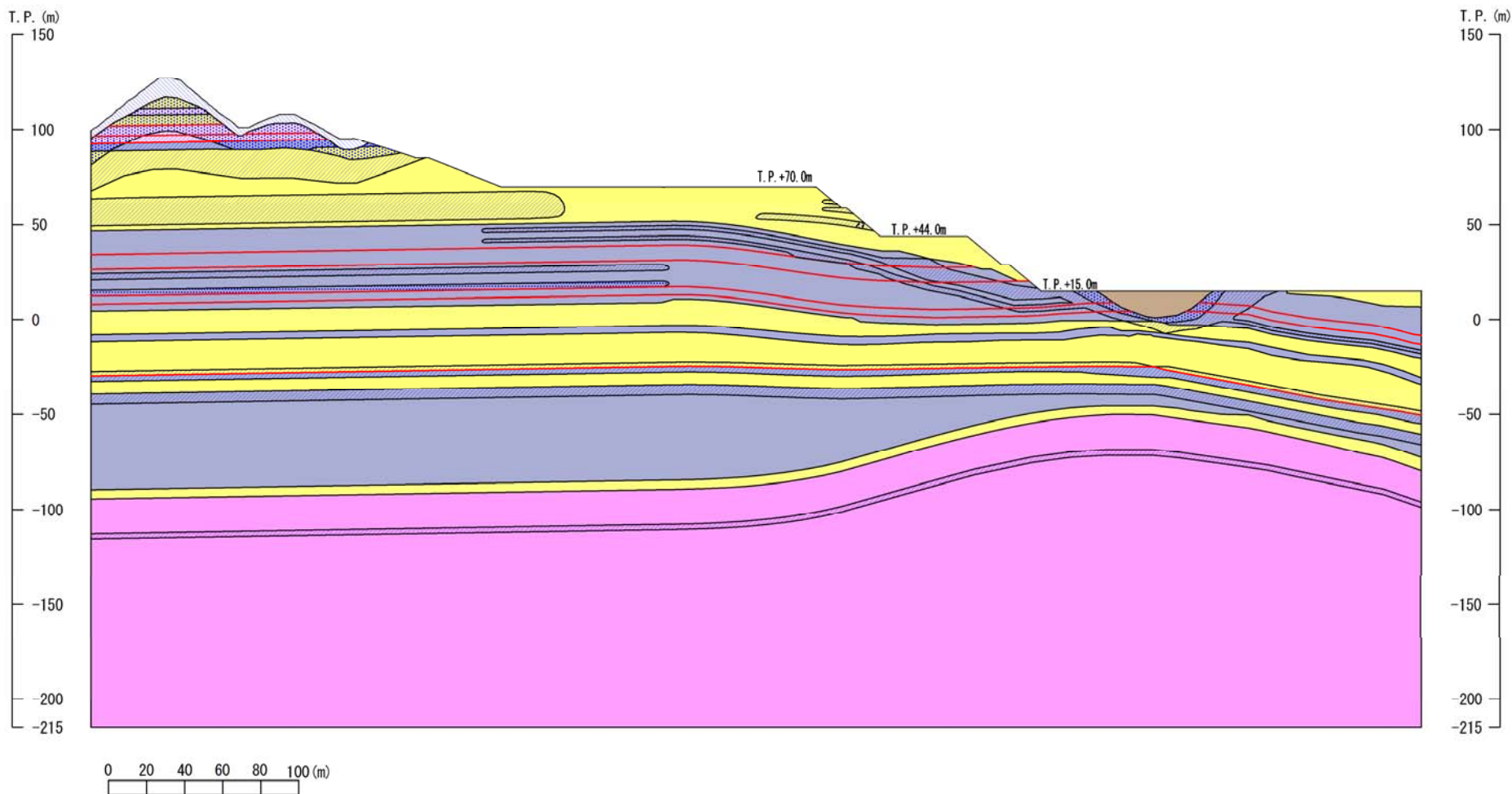
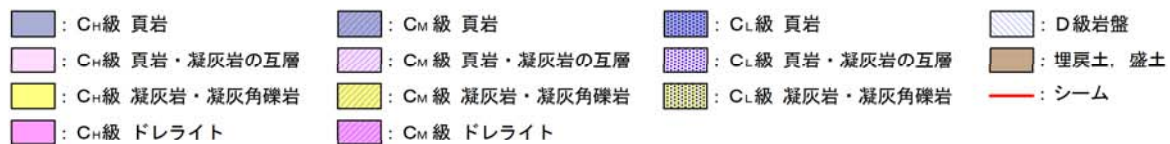


解析用要素分割図 2号炉南側切取斜面 ①-①'断面(グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下))

- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|  : C _H 級 頁岩 |  : C _M 級 頁岩 |  : C _L 級 頁岩 |  : D級岩盤 |
|  : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  : 埋戻土, 盛土 |
|  : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  : MMR |
|  : C _H 級 ドレライト |  : C _M 級 ドレライト |  : C _L 級 ドレライト |  : シーム |
|  : C _H 級 安山岩 |  : C _M 級 安山岩 | | |

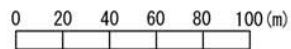
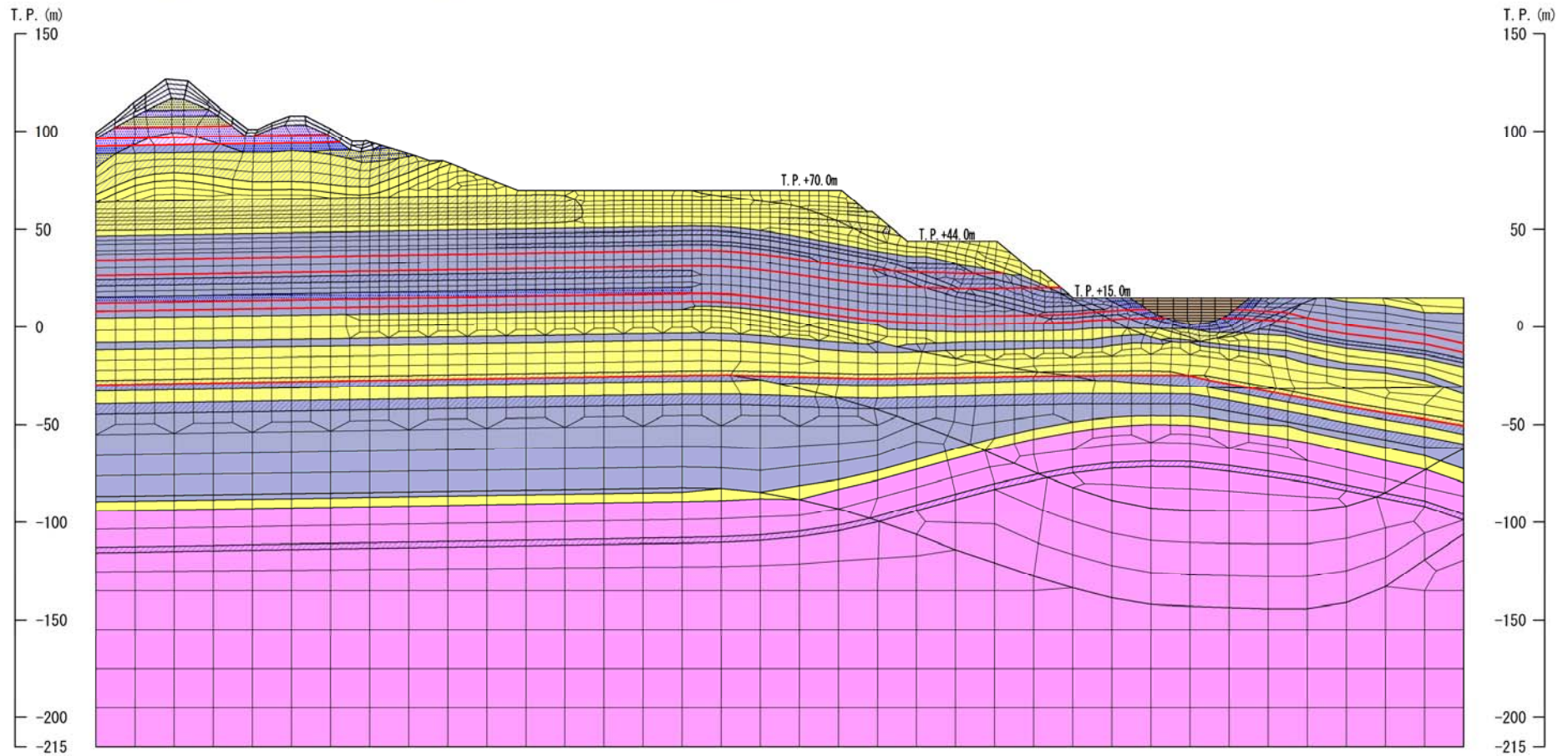


解析用岩盤分類図 2号炉西側切取斜面 ②-②' 断面(グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下))



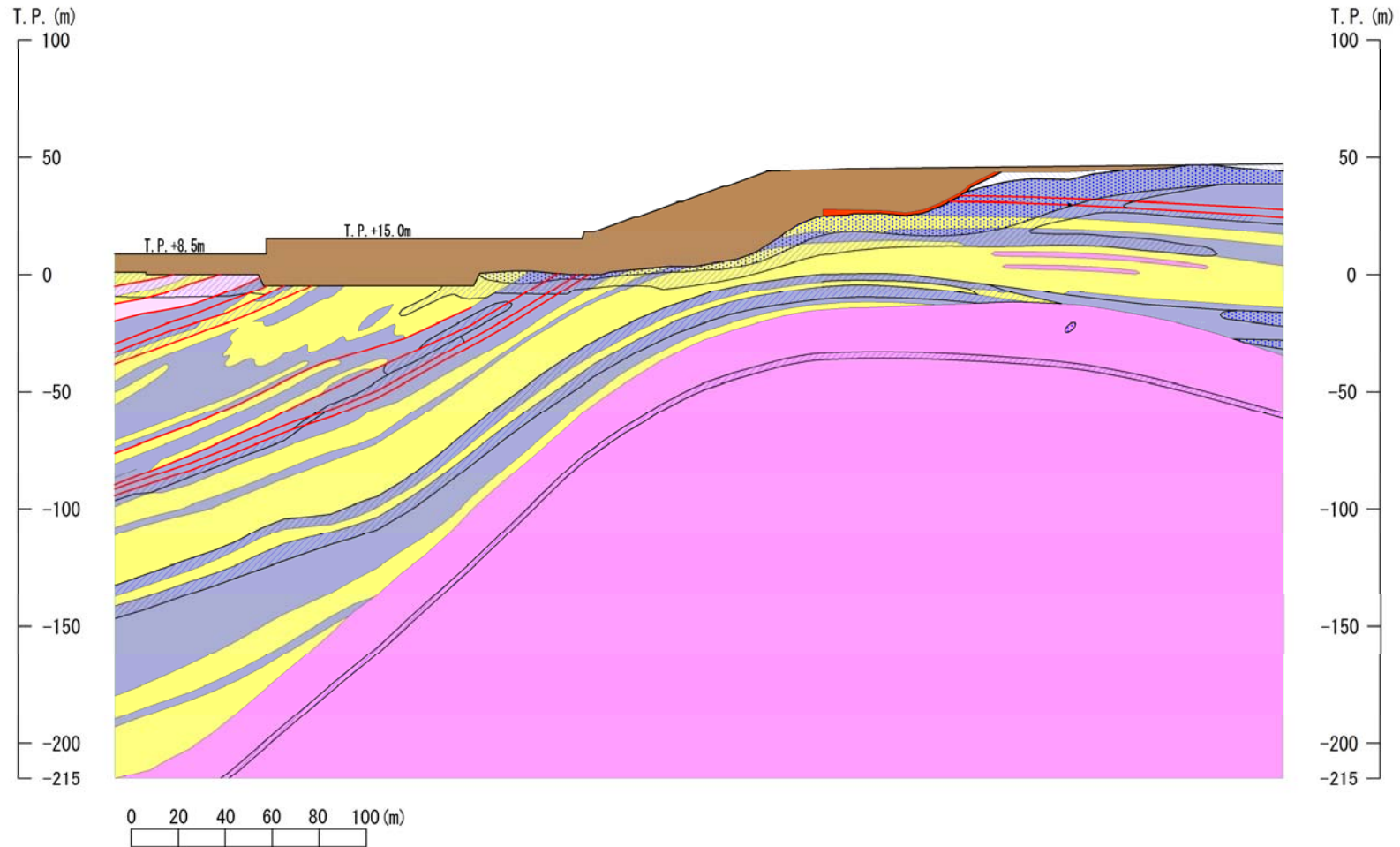
解析用要素分割図 2号炉西側切取斜面 ②-②'断面(グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下))

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : D級岩盤 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 埋戻土、盛土 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : MMR |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | : C _L 級 ドレライト | : シーム |
| : C _H 級 安山岩 | : C _M 級 安山岩 | : C _L 級 安山岩 | |


















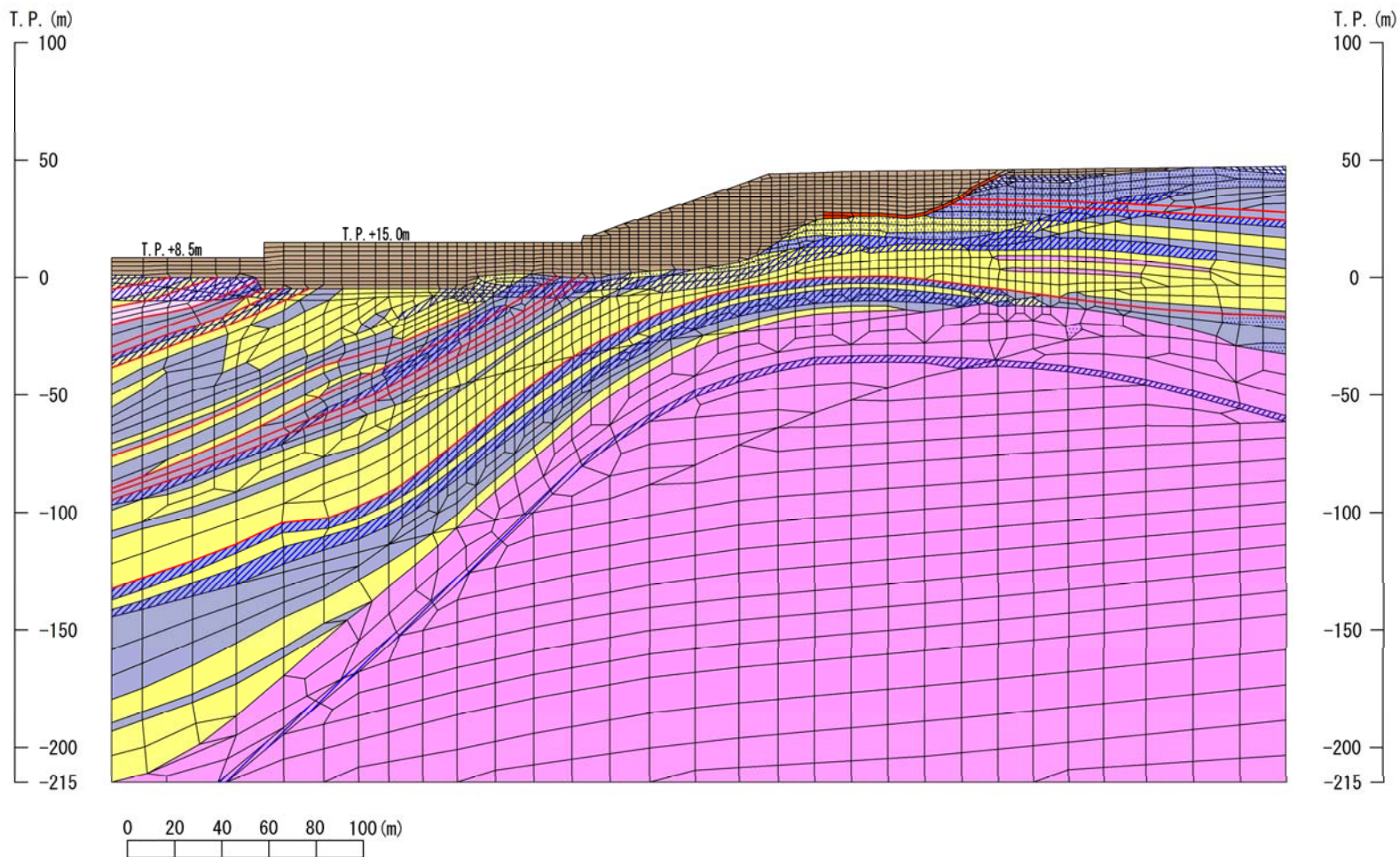
解析用岩盤分類図 2号炉南側盛土斜面 ⑥-⑥'断面(グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下))

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : D級 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 埋戻土, 盛土 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : 旧表土 |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | | : シーム |



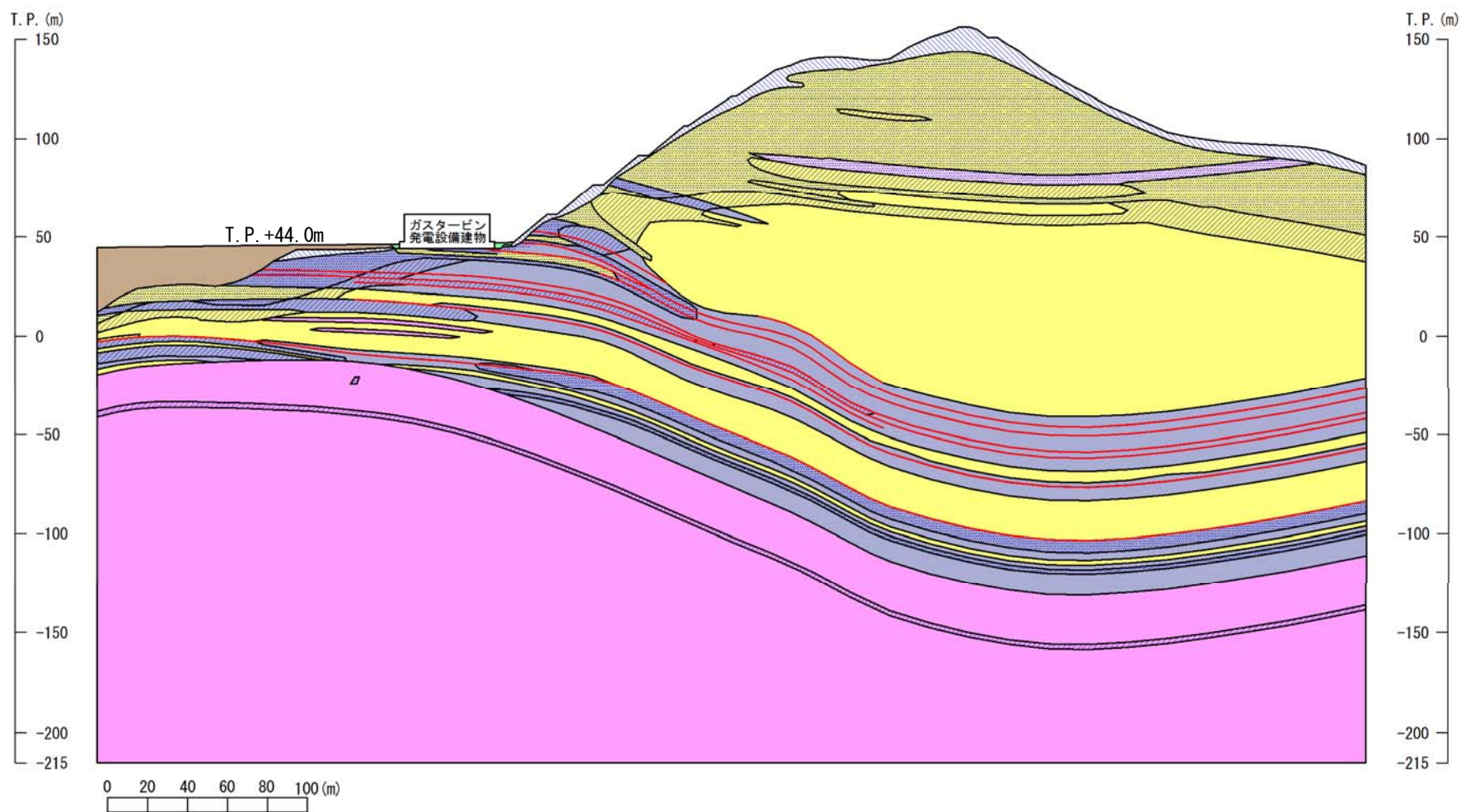
解析用要素分割図 2号炉南側盛土斜面 ⑥-⑥'断面(グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下))

- | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  | : C _H 級 頁岩 |  | : C _M 級 頁岩 |  | : C _L 級 頁岩 |  | : D級 |
|  | : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 |  | : 埋戻土, 盛土 |
|  | : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 |  | : 旧表土 |
|  | : C _H 級 ドレライト |  | : C _M 級 ドレライト | | |  | : シーム |



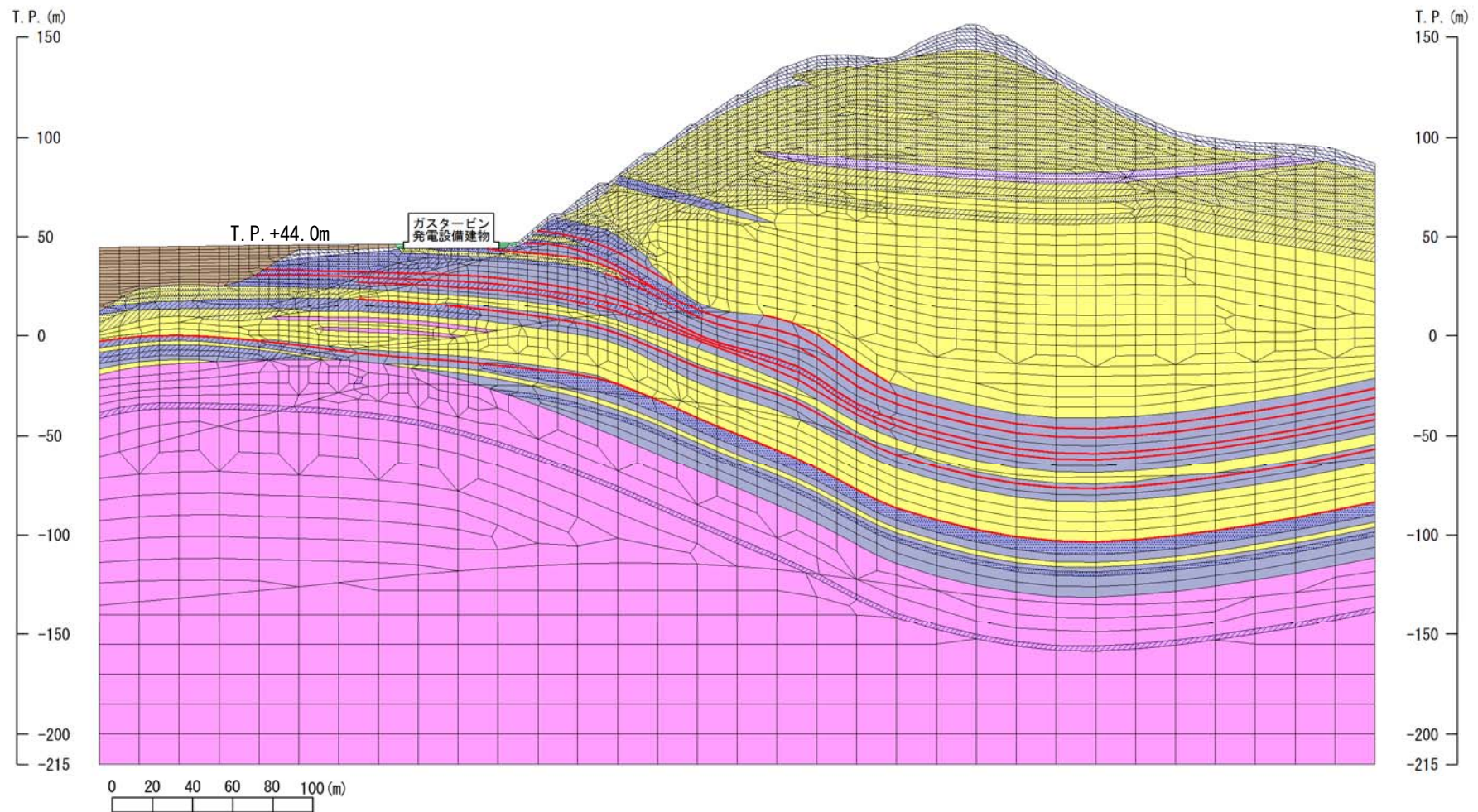
解析用岩盤分類図 ガスタービン発電機建物周辺斜面 ⑦-⑦' 断面(グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m))

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : D級岩盤 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 埋戻土、盛土 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : 埋戻土(購入土) |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | : C _L 級 ドレライト | : シーム |



解析用岩盤分類図 ガスタービン発電機建物周辺斜面 ⑦-⑦'断面(グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m))

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|
| : C _H 級 頁岩 | : C _M 級 頁岩 | : C _L 級 頁岩 | : D級岩盤 |
| : C _H 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _M 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : C _L 級 頁岩・凝灰岩の互層 | : 埋戻土、盛土 |
| : C _H 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _M 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : C _L 級 凝灰岩・凝灰角礫岩 | : 埋戻土(購入土) |
| : C _H 級 ドレライト | : C _M 級 ドレライト | : C _L 級 ドレライト | : シーム |



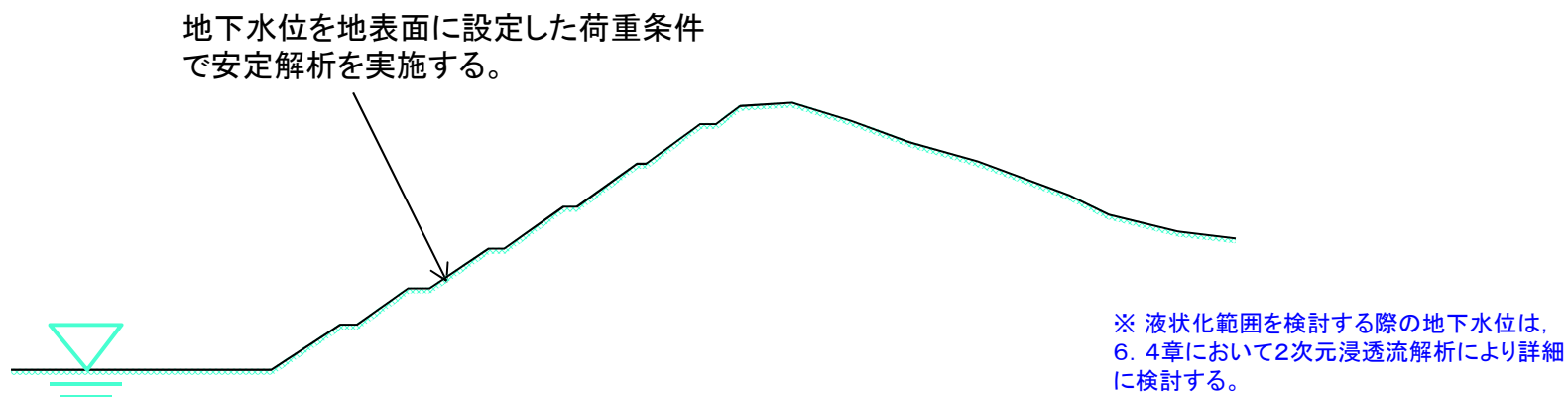
6. 周辺斜面の安定性評価

6. 3 評価方法

2次元動的FEM解析における地下水位の設定方針

[周辺斜面の地下水位設定]

- ・周辺斜面の2次元動的FEM解析では、保守的な評価となるよう、地下水位を地表面に設定した荷重条件(飽和重量)で安定解析を実施する。

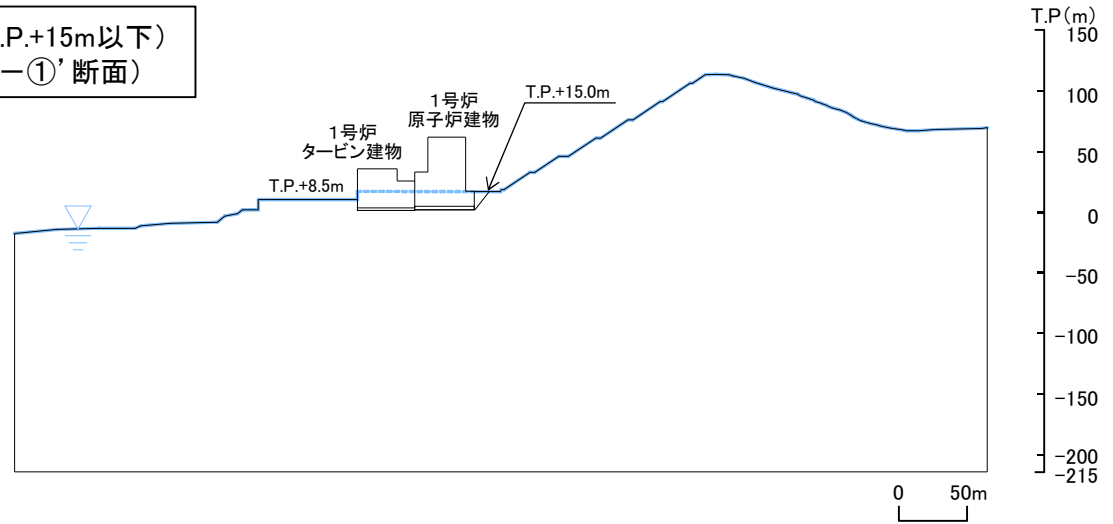


周辺斜面の2次元動的FEM解析における地下水位設定イメージ

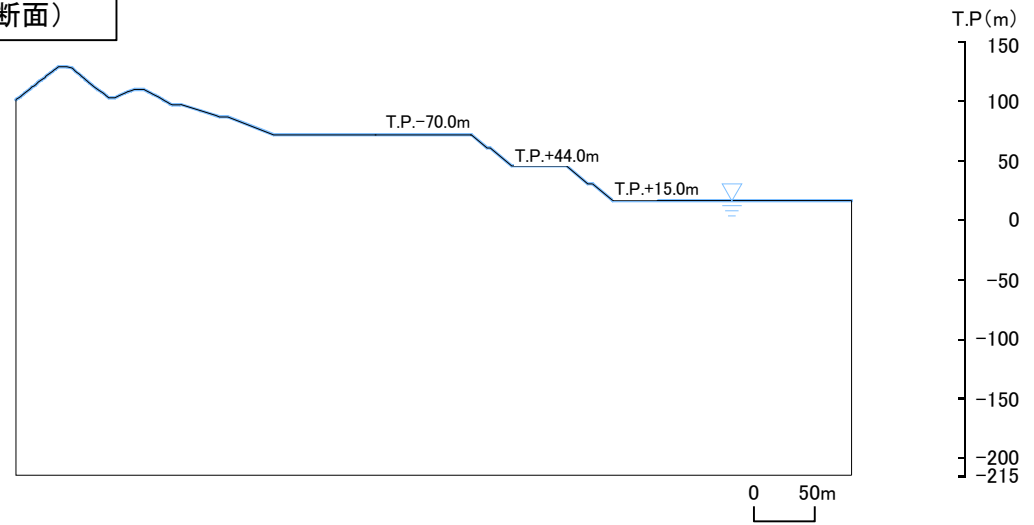
2次元動的FEM解析における地下水位の設定方法 (1/2)

・2次元動的FEM解析における周辺斜面の地下水位は、保守的に地表面に設定した荷重条件で安定解析を実施する。

グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)
2号炉南側切取斜面(①-①'断面)

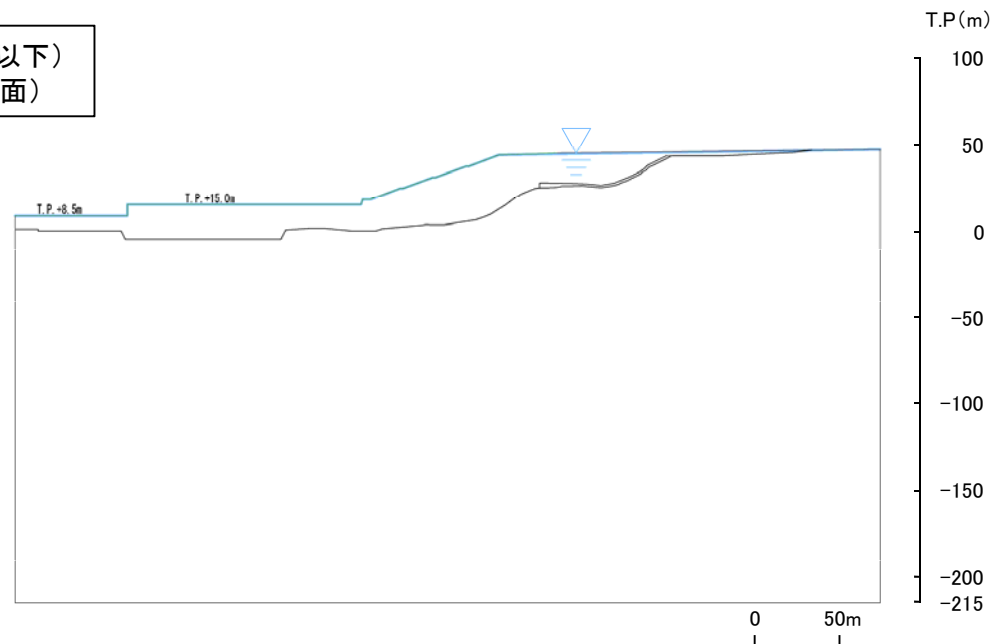


グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)
2号炉西側切取斜面(②-②'断面)

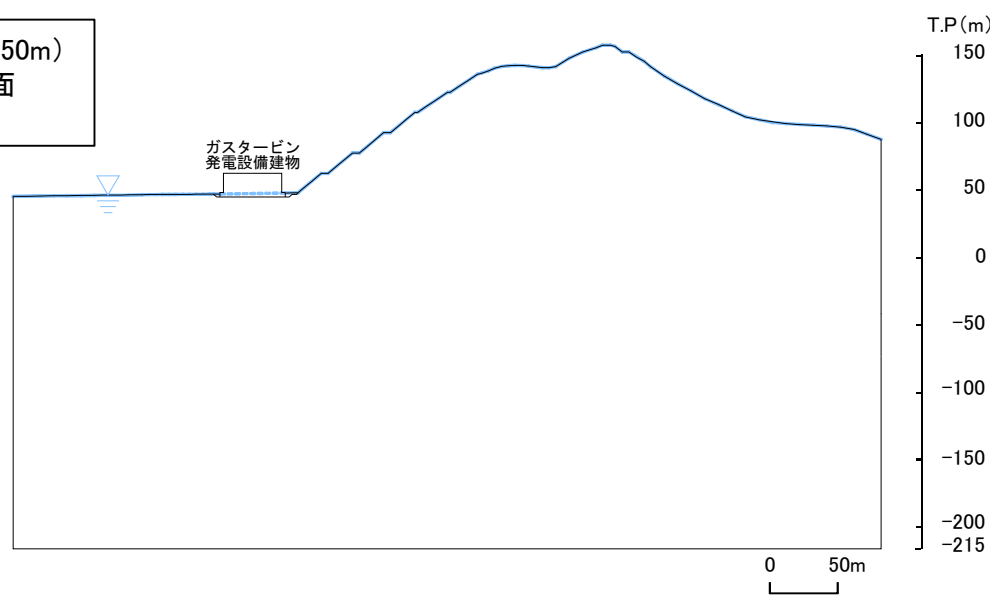


2次元動的FEM解析における地下水位の設定方法 (2/2)

グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下)
2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面)



グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m)
ガスタービン発電機建物周辺斜面
(⑦-⑦'断面)



6. 周辺斜面の安定性評価 6.3 評価方法
すべり安全率の算定

第868回審査会合
資料1-1 P193 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

239

- ・想定したすべり面におけるすべり安全率により評価する。
- ・すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。
- ・すべり安全率が評価基準値の1.2を上回ることを確認する。
- ・液状化範囲では、すべり面上のせん断力及びせん断抵抗力は考慮しないこととする。

$$\text{すべり安全率} = \frac{\Sigma(\text{すべり面上のせん断抵抗力})}{\Sigma(\text{すべり面上のせん断力})} > 1.2 \quad \text{を確認する。}$$

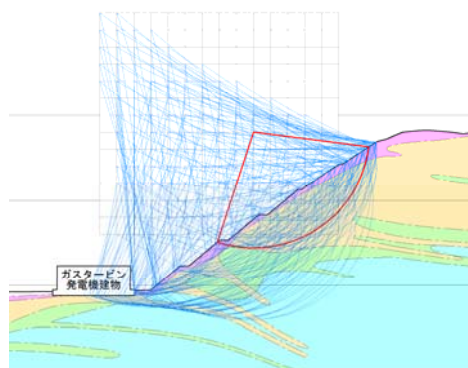
6. 周辺斜面の安定性評価 6.3 評価方法

すべり面の設定 (1/2)

- ・すべり安全率を算定するすべり面については、簡便法によるすべり面及びシーム等の弱層を通るすべり面を設定し、応力状態を踏まえて必要に応じてすべり面を追加設定する。
- ・シーム等の弱層を通るすべり面は、基礎地盤で設定したものと同様に角度をパラメトリックに設定する。(詳細は次頁参照)

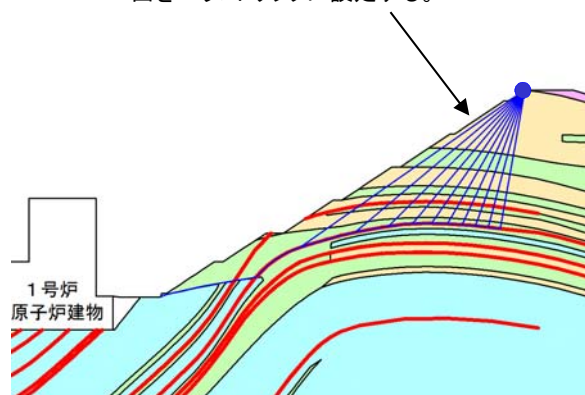
① 簡便法によるすべり面

- ・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抽出する。
- ・作用させる静的地震力は原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-2015)に基づき、 $K_H=0.3$, $K_V=0.15$ とする。



② シーム等の弱層を通るすべり面

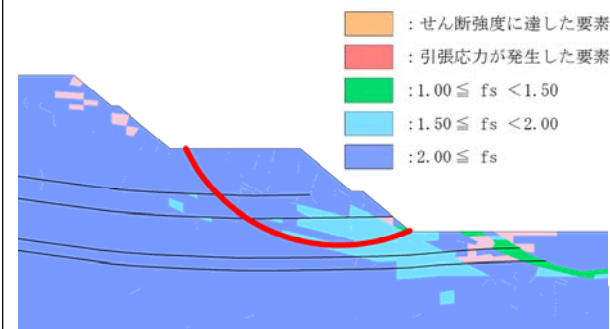
シームから岩盤を切り上げるすべり面をパラメトリックに設定する。



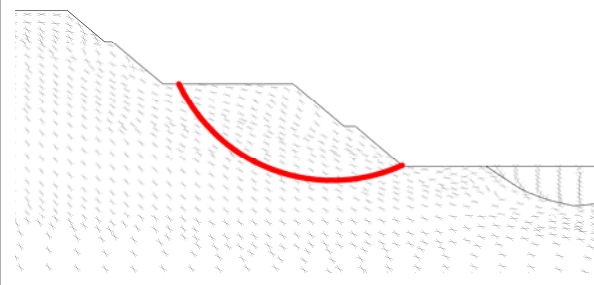
③ 応力状態を考慮したすべり面

①・②のすべり面における安定解析で得られた最小すべり安全率の応力状態から、①・②のすべり面がモビライズド面等を通るすべり面になっていることを確認し、必要に応じてすべり面を追加設定する。

1) 要素の安全率が低い領域を考慮



2) モビライズド面を考慮



6. 周辺斜面の安定性評価 6.3 評価方法 すべり面の設定 (2/2)

第910回審査会合
資料1-1 P195 再掲

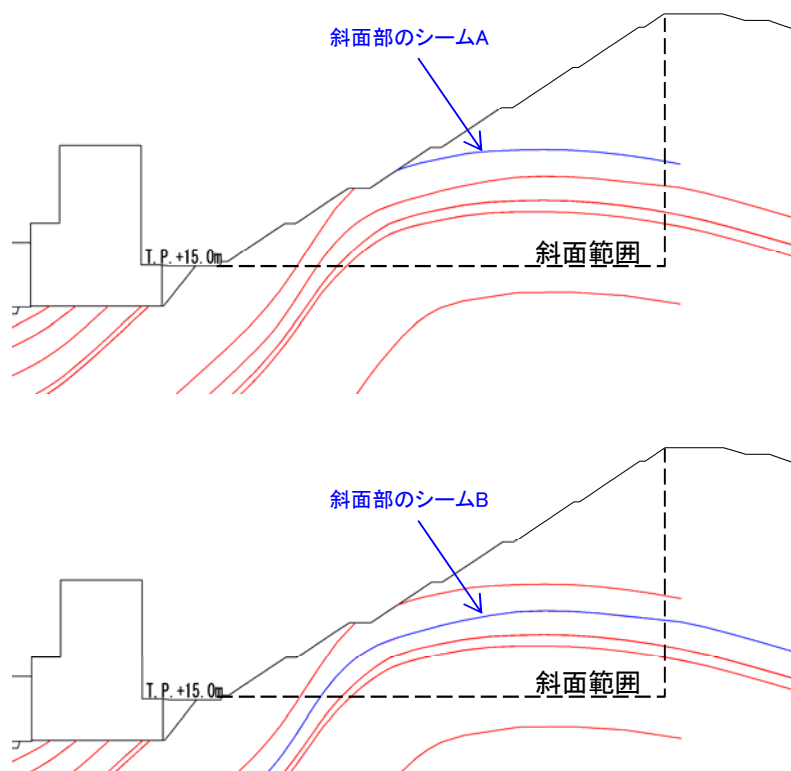
241

・シームを通るすべり面は、検討対象のシームを設定した後、岩盤を切り下がるすべり面を固定点を設けてパラメトリックに設定した。

- ①斜面部に分布するシームを複数設定する。
- ②斜面法肩を固定点とし、 $5^{\circ} \sim 85^{\circ}$ の範囲を 5° 間隔にパラメトリックに設定する。

①検討対象のシームの設定

斜面部に分布するシームを複数設定する。

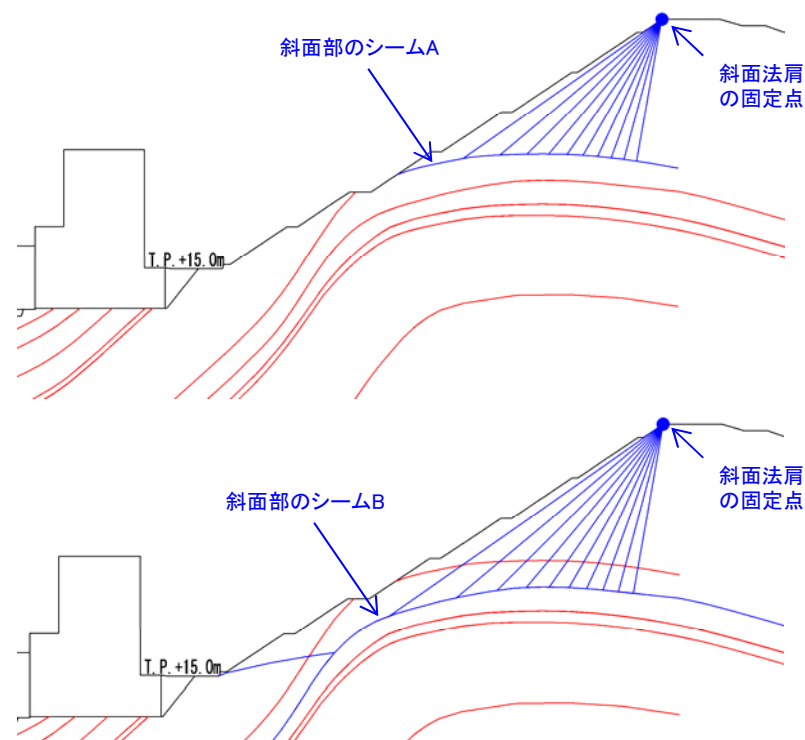


②岩盤を切り下がるすべり面の設定(固定点の設定)

以下の考え方で固定点を設け、岩盤を切り下がるすべり面を $5^{\circ} \sim 85^{\circ}$ の範囲で 5° 間隔にパラメトリックに設定する。

【固定点の設定の考え方】

- ・斜面法肩に固定点を設ける。



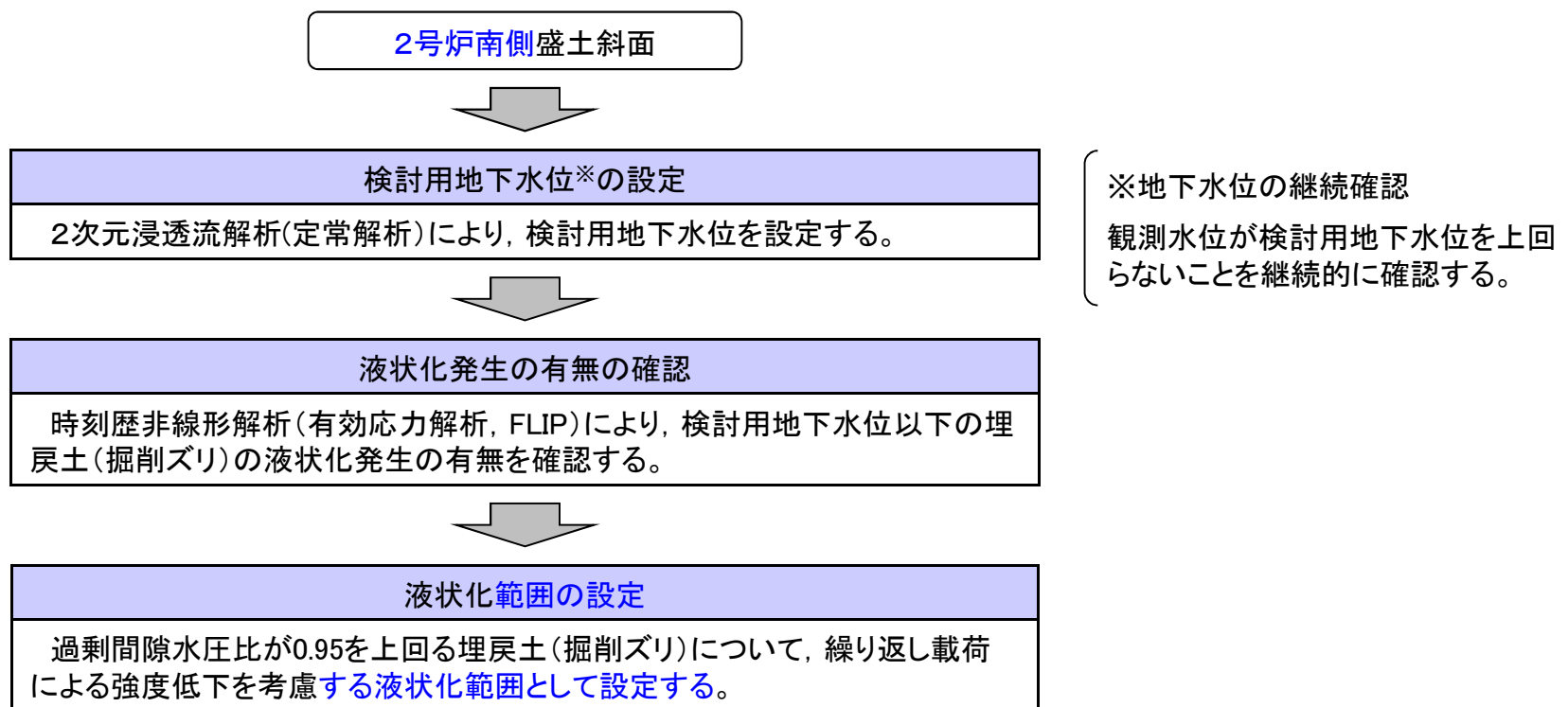
6. 周辺斜面の安定性評価

6. 4 2号炉南側盛土斜面における 液状化範囲の検討

液状化範囲の検討フロー

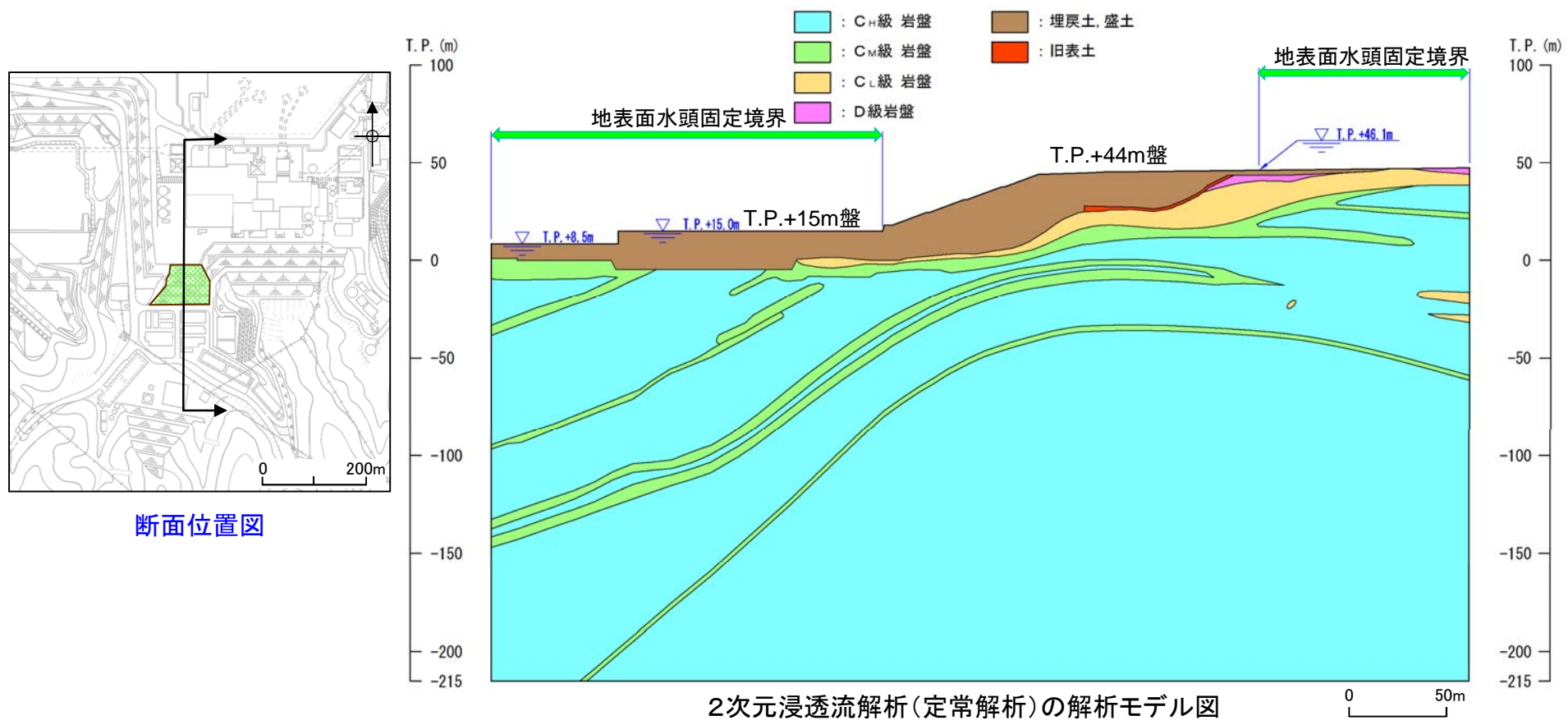
第910回審査会合 資料1-1 P207 加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

- ・本章では、評価対象斜面に選定された2号炉南側盛土斜面において、すべり安定性評価を実施する際に考慮する液状化範囲について検討する。
- ・2次元浸透流解析により設定した地下水位分布状況を踏まえ、有効応力解析により液状化の発生の有無を確認し、繰り返し載荷による強度低下を考慮する液状化範囲を設定する。



2次元浸透流解析モデル及び物性値の設定(1/2)

- ・液状化影響検討用地下水位を設定するため、2次元浸透流解析(定常解析)を実施した。
- ・解析モデルは下図のとおりとし、地下水位低下設備の機能に期待しない場合の地下水位(3次元浸透流解析結果)等を踏まえ、より保守的な条件となるよう、T.P.+8.5m盤、T.P.+15m盤及びT.P.+44m盤の一部において、地表面に水頭固定境界を設定した。(設定方法はP246,247参照)
- ・透水係数は、「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止[地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日, P211参照)と同様に埋戻土及び岩級毎に設定した。



2次元浸透流解析モデル及び物性値の設定(2/2)

第910回審査会合資料1-1 P211 再掲

・透水係数は、「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止[地下水位の設定]」(第872回審査会合, 2020年7月7日)と同様とした。なお, 旧表土については, 粘性土であることから, 不透水性地層相当の透水係数を設定した。

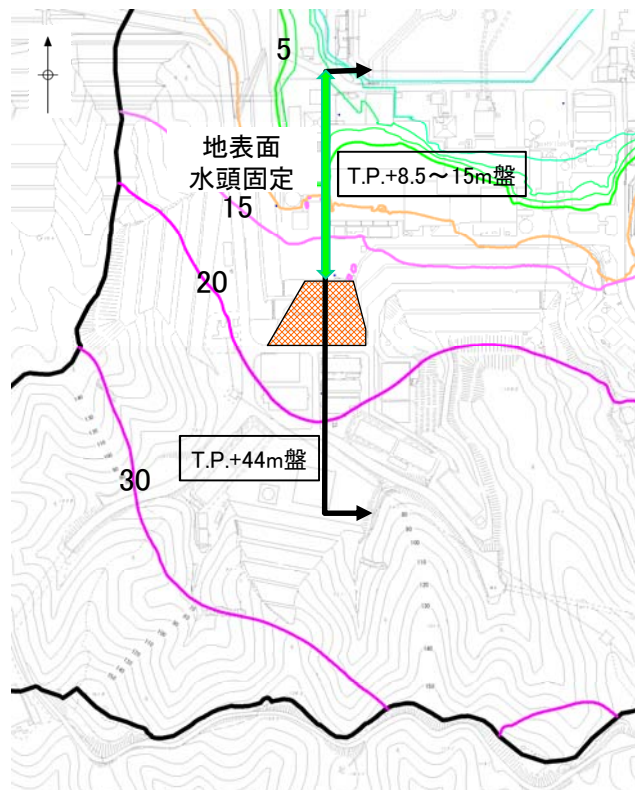
2次元浸透流解析(定常解析)における透水係数

区分	解析用 透水係数 (cm/s)	設定方法	【参考】 試験結果 (cm/s)
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}	『管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版)※』に基づき, 不透水性地層相当(難透水性層)として設定した。不透水材料として透水係数が 1×10^{-5} cm/s以下であり, 適切な厚さを持つことで不透水性地層と同等以上の遮水の効力を発揮できるとされていることから, 構造物の透水係数を不透水性地層とした。	-
C _H 級	5×10^{-5}	建設時工認の岩盤の透水係数は頁岩・凝灰岩(上層部)及び(下層部)の2種類を設定していたが, 今回, 3次元浸透流解析を行うに当たり, 解析の精度向上を目的として, 敷地の岩級に合わせて透水係数を設定する。	4.5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}		5.6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}		1.0×10^{-3}
D級	2×10^{-3}	D級岩盤の大部分は地表付近に分布する強風化した土砂状の岩盤であり, その粒度特性を踏まえ, クレーガーの方法により 2.8×10^{-4} cm/s ($\approx 3 \times 10^{-4}$ cm/s)を設定していた。しかし, D級岩盤は割れ目の発達した岩盤と風化の進行した岩盤に大別されるが, 粒度試験1, 2試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩は1試料のみであったため, その特性を透水係数に反映できていないと考える。黒色頁岩の粒度試験結果から設定した透水係数により, 揚水量が低減する傾向が認められることから, 地下水位が高く算定されると判断し, 割れ目が発達したD級岩盤の影響を考慮した透水係数 2×10^{-3} cm/sを採用する。	1.75×10^{-3}
砂礫層	4×10^{-3}	建設時工認では設定されていなかったが, 今回, 3次元浸透流解析を行うに当たり, 解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し, 透水係数を設定した。	3.6×10^{-3}
埋戻土 (掘削スリ)	2×10^{-1}	建設時工認の埋戻し土の透水係数は, 工学的な観点から岩盤の透水係数より1オーダー大きな値とすることで地下水位を保守的に評価することに重点を置き, 現場透水試験によらず透水係数を設定していた。今回, 3次元浸透流解析を行うに当たり, 解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し, 透水係数を設定した。	1.7×10^{-1}
旧表土	1×10^{-5}	粘性土であることから, 不透水性地層相当の透水係数を設定した。	-

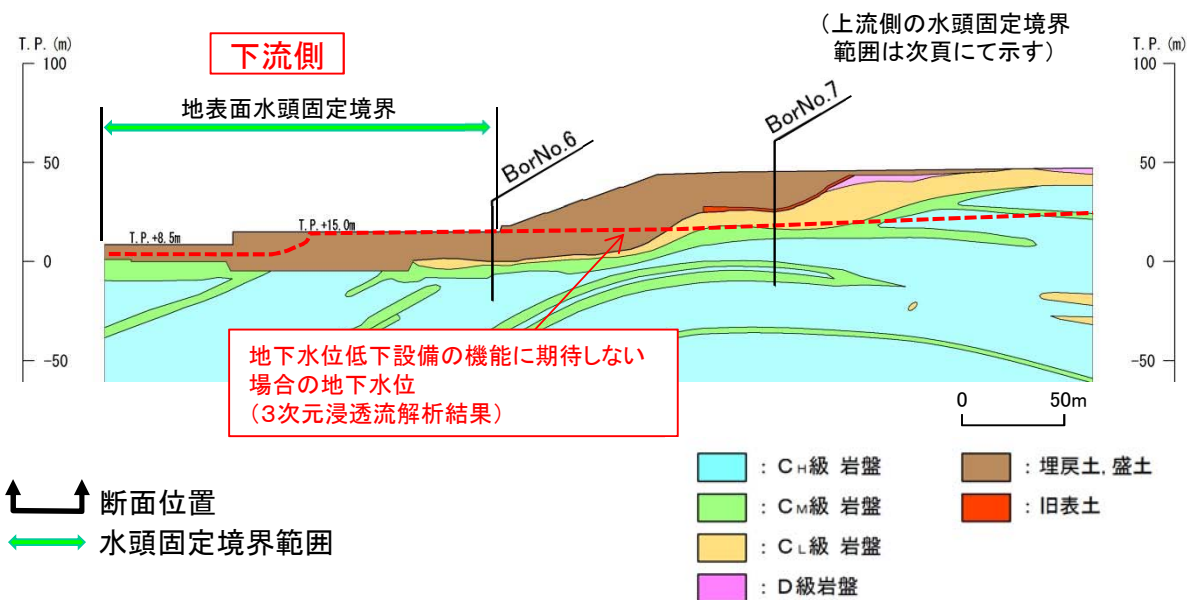
下流側水頭固定境界の範囲

・下流側T.P.+8.5m盤及びT.P.+15m盤では、防波壁の設置及び地盤改良を考慮した3次元浸透流解析の結果※，地下水位が地表面まで到達していないが，下流側T.P.+8.5m盤及びT.P.+15m盤では，水頭固定境界を保守的に地表面に設定する。

※地下水位低下設備の機能に期待しない場合の地下水位，右図の赤破線



2号炉南側盛土斜面周辺の地形図
(3次元浸透流解析結果)

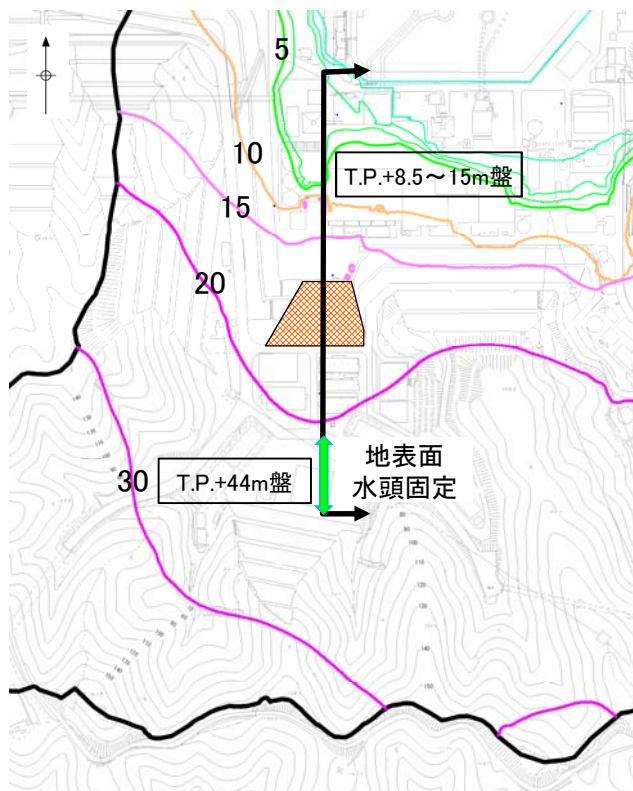


上流側水頭固定境界の範囲

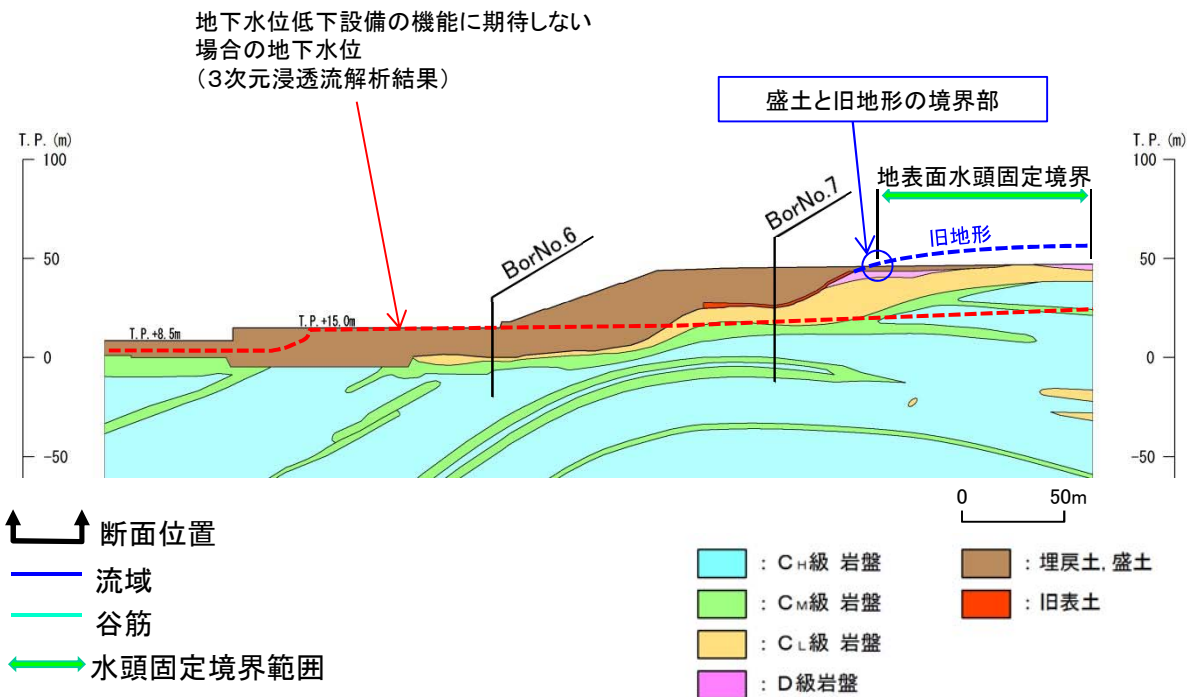
第910回審査会合資料1-1 P210 加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

- ・T.P.+44m盤では、3次元浸透流解析結果※を踏まえると地下水位が地表面まで上昇することはないと考えられるが、盛土内部の地下水位を把握するため、盛土と旧地形の境界部において、水頭固定境界を地表面に設定した。
- ・なお、水頭固定境界の範囲設定に当たっては、谷筋における沢及び河川等の状況、構内排水路の設置状況及び法面保護工の施工状況も踏まえて総合的に検討した。(P249～252を参照)

※右図の赤破線

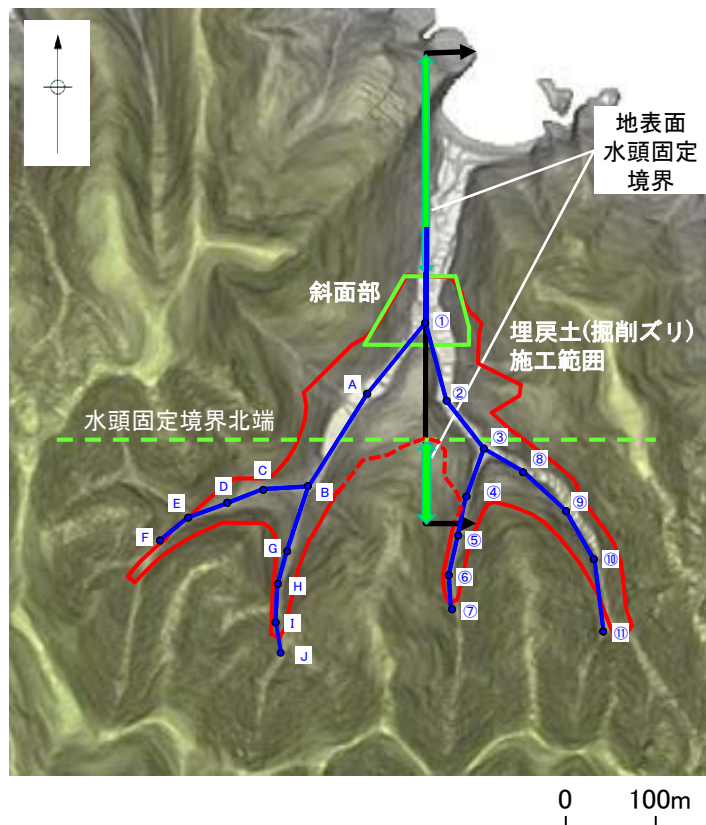


2号炉南側盛土斜面周辺の地形図
(3次元浸透流解析結果)



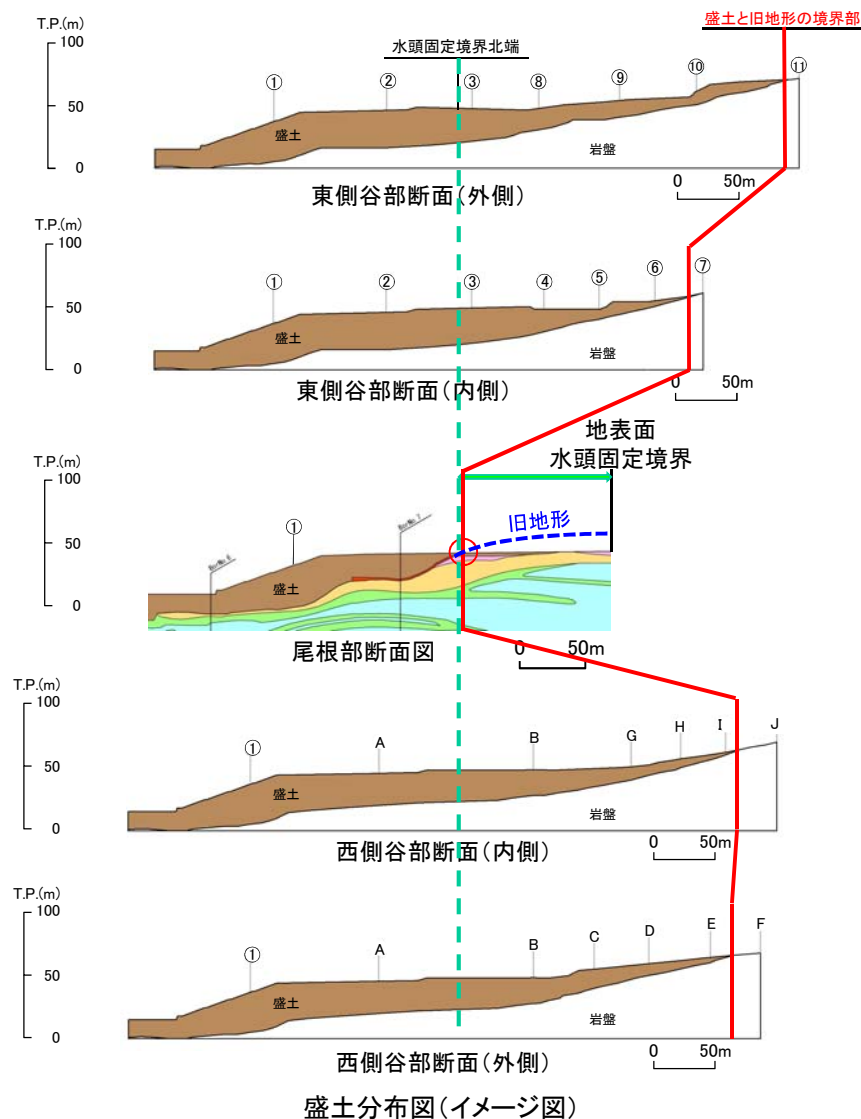
上流側水頭固定境界の範囲(盛土斜面背後の盛土施工範囲)

・上流側の水頭固定境界は、盛土内の地下水位を解析により求める目的から、地表面における盛土／旧地形の境界部に設定した。
 ・旧地形における谷部を通る断面を4断面作成し、2号炉南側盛土斜面断面における盛土／旧地形の境界部の位置と比較した結果、2号炉南側盛土斜面断面における盛土／旧地形の境界部が最も北側に位置しており、上流側水頭固定境界の設定範囲が保守的であることを確認した。



発電所建設前の地形立体図※

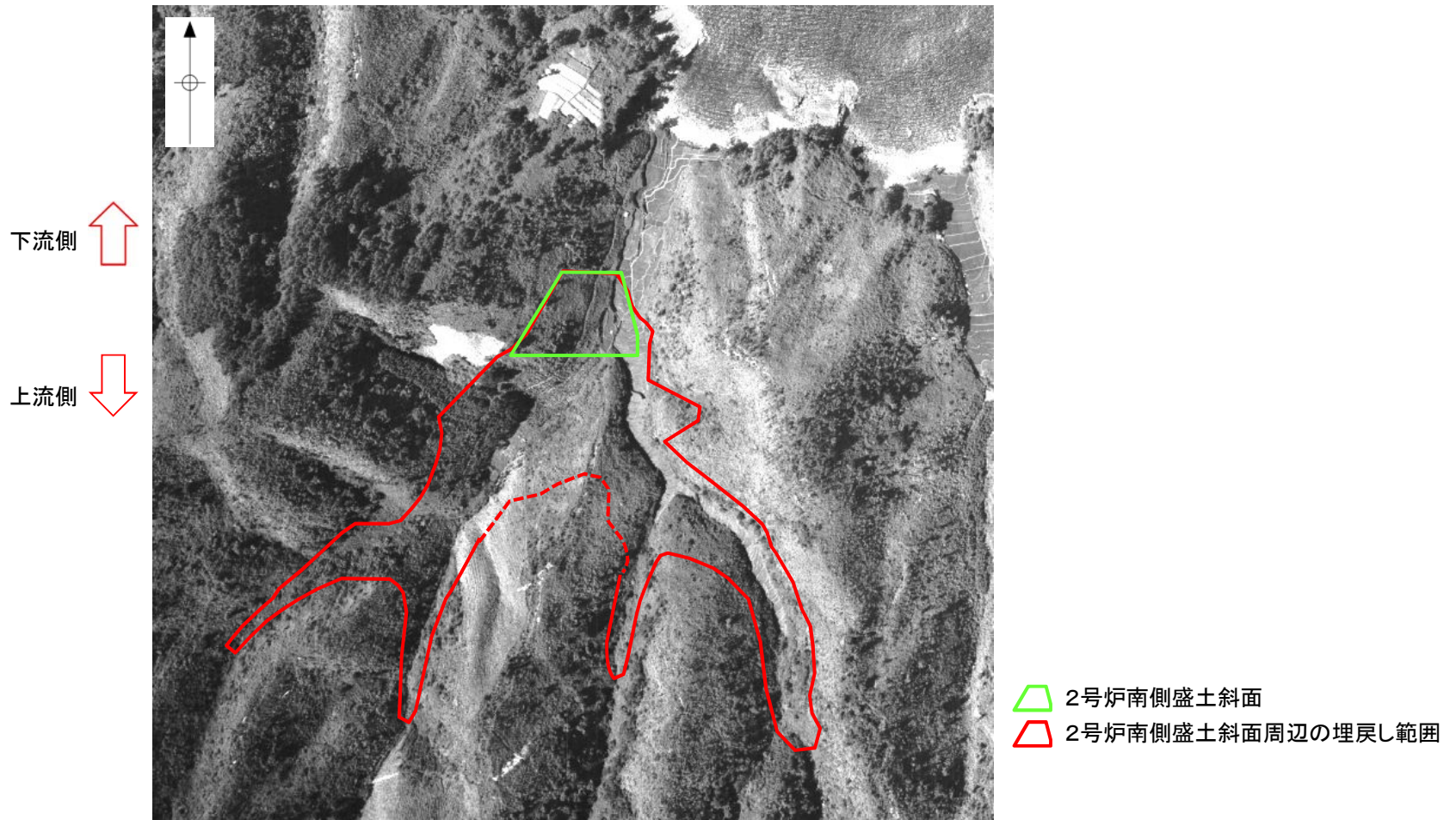
※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの。
 赤破線部は、旧地形を掘削し、表層を埋め戻した範囲。



盛土分布図(イメージ図)

(参考)上流側水頭固定境界の範囲 谷筋の確認(1/2)

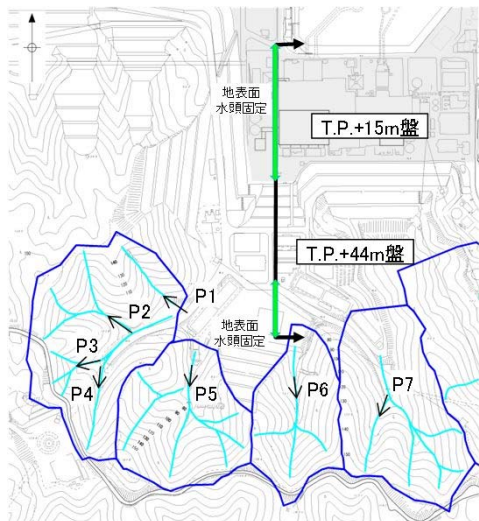
・現在、盛土を施工して旧地形が確認できない箇所について、盛土施工前に撮影した空中写真を確認した結果、2号炉南側盛土斜面及びその周辺の埋戻し範囲において、大きな沢や河川は認められない。



モノクロ空中写真(撮影縮尺:1万分の1, 1962年撮影) 整理番号:MCG622, コース番号:C7A, 写真番号:5, 国土地理院より引用・加筆

(参考)上流側水頭固定境界の範囲 谷筋の確認(2/2)

・現在の2号炉南側盛土斜面背後の溪流の状況を確認した結果、湧水は確認されたものの、その水量はわずかであり、大きな沢や河川ではないことを確認した。
・また、渓流水は、構内排水路を通して輪谷湾に排水されるようになっており、2号炉南側盛土斜面には流入しない。



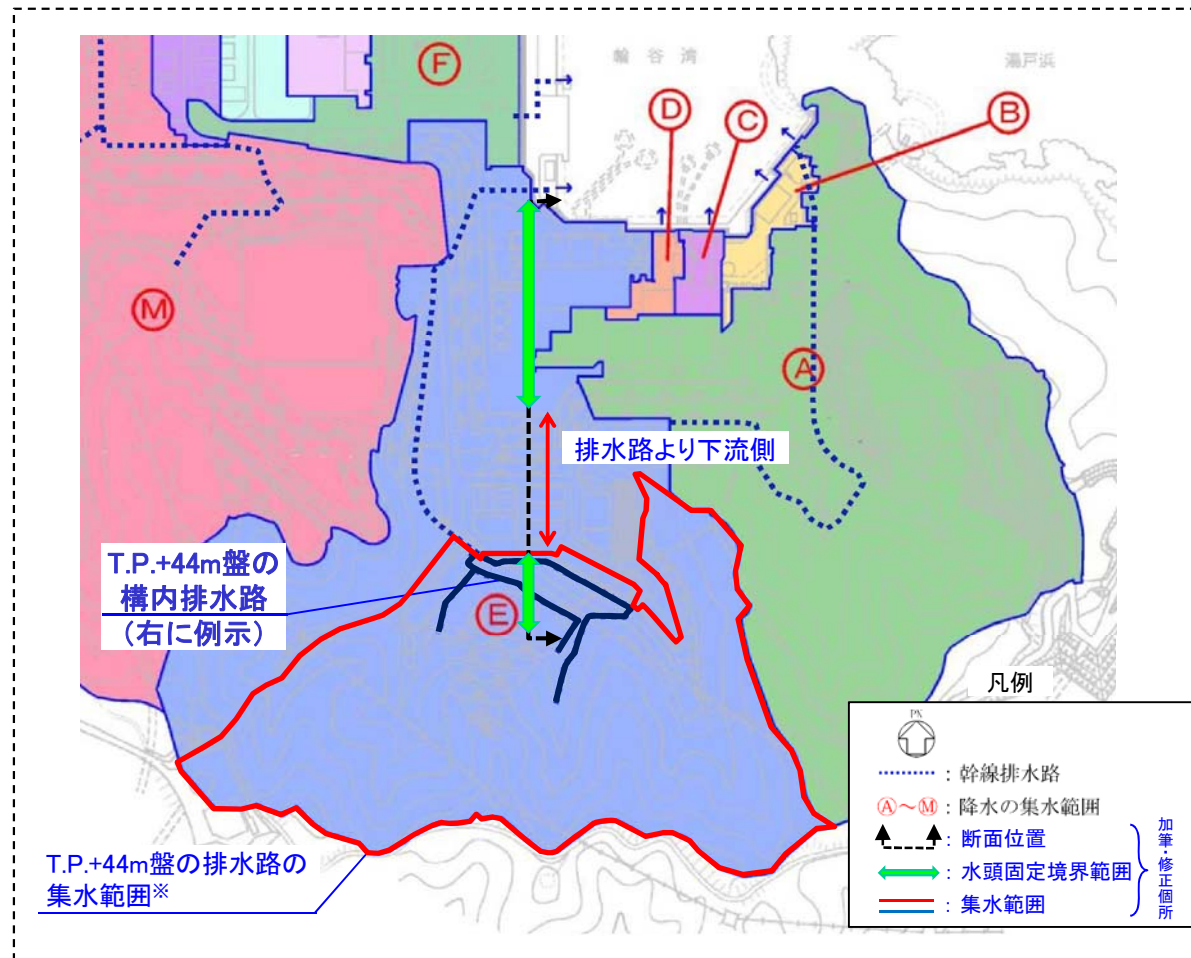
2号炉南側盛土斜面周辺の地形図



(参考) 上流側水頭固定境界の範囲・降雨条件の設定(構内排水路)

・T.P.+44m盤では、構内排水路が整備されており、排水路より上流の流域からの地表水は排水路により集水する設計としているため、排水路より下流側は上流からの地表水の影響は軽微である。

第861回審査会合(2020年5月18日)資料2-3 P352を加筆・修正(修正箇所を青字で示す)



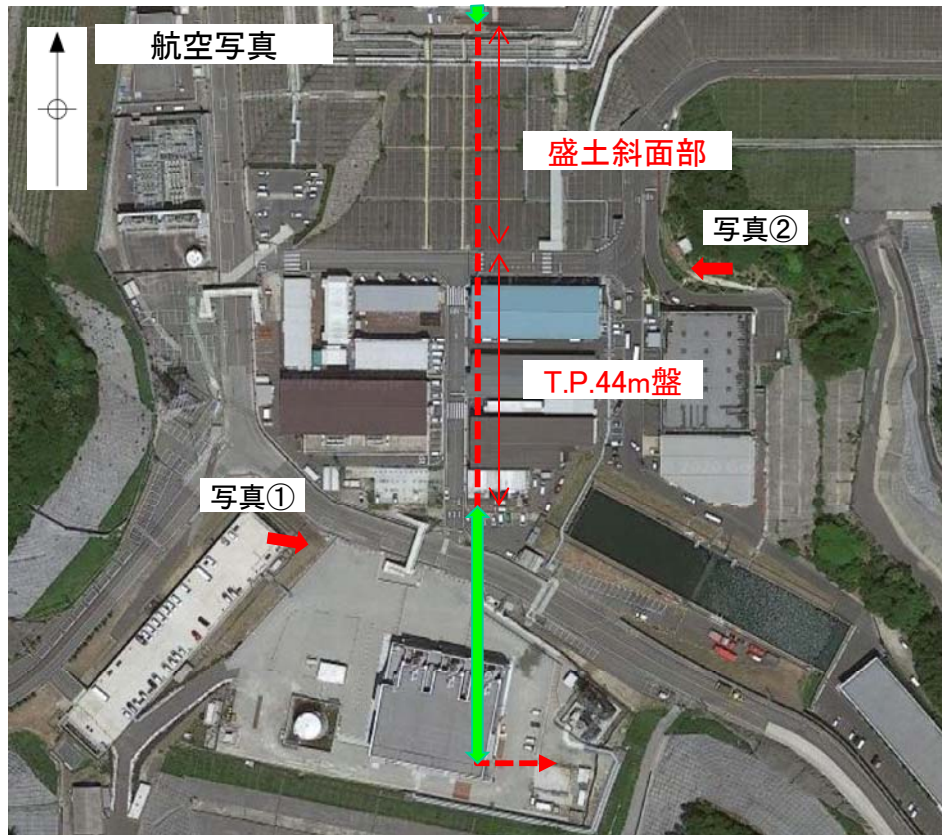
構内排水路写真(例示)

※T.P.+44m盤の排水路の集水範囲は林地開発行為変更届より抜粋

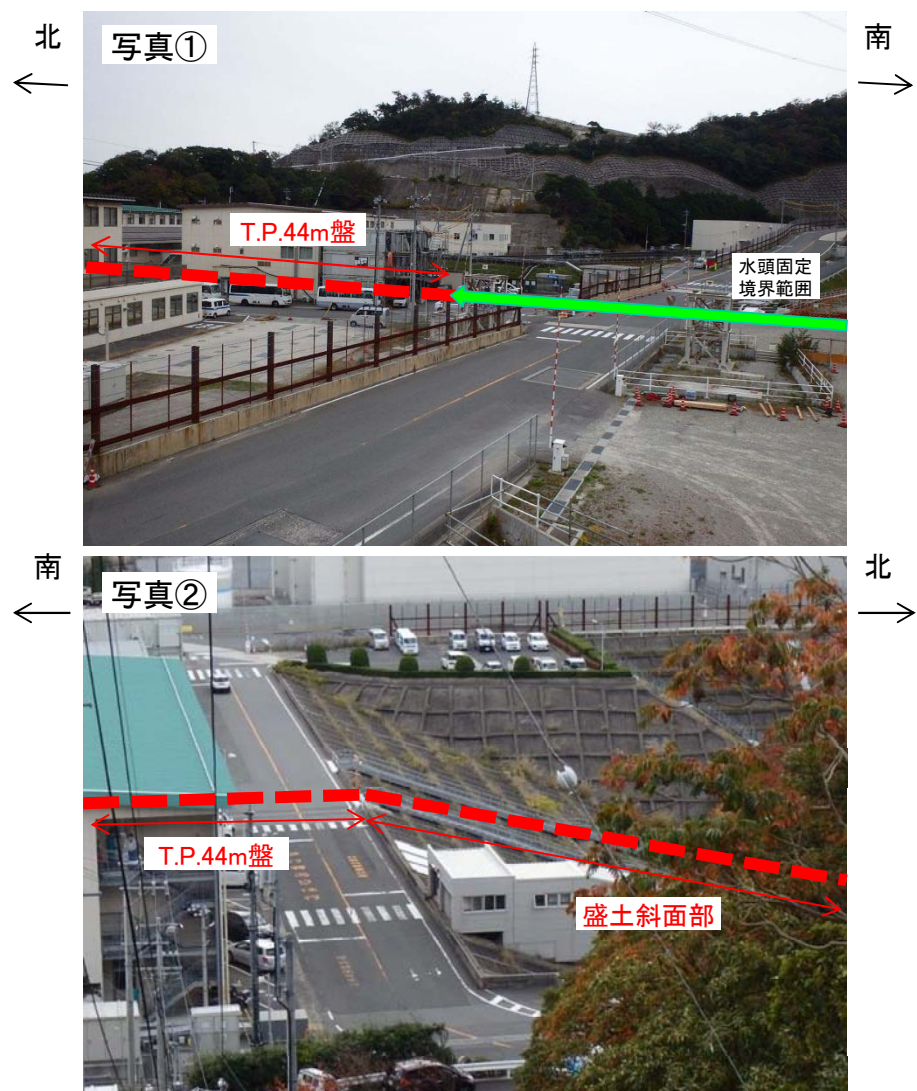
構内排水路位置図

(参考) 上流側水頭固定境界の範囲・降雨条件の設定(法面保護工)

・T.P.+44m盤及び盛土斜面部は、道路部においてアスファルト、盛土斜面部においてコンクリートにより法面保護工が施工されており、降雨等の地表面からの浸透の影響は軽微である。

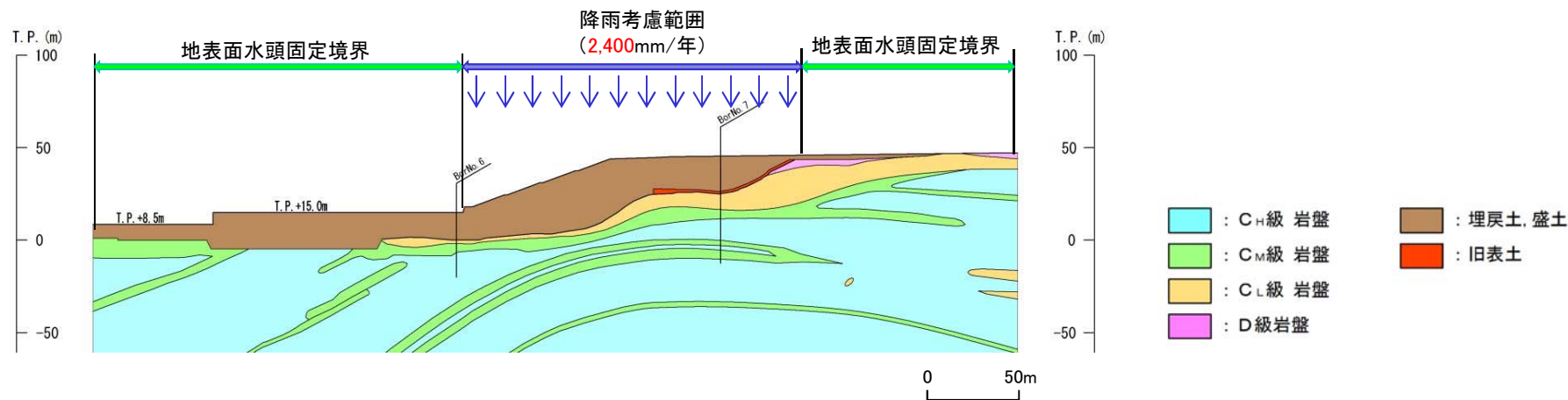


Google Mapより引用
<https://www.google.co.jp/maps/>



降雨条件の設定

・盛土斜面部には**法面保護工**等が施工されていること、及び後背地から流下する地表面の降水は排水路により集水されること(P251, 252を参照)から、盛土斜面部において地表面から降水が浸透する可能性は低いが、2次元浸透流解析による検討用地下水位の解析条件として、地表面水頭固定境界に加え、**松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値に、今後の気候変動予測による降水量の変化を加味し、降雨条件2,400mm/年(補足説明資料12章 3次元浸透流解析の解析条件参照)**を考慮する。



2次元浸透流解析(定常解析)の解析条件

下流側・上流側水頭固定境界の範囲 まとめ

【下流側水頭固定境界の範囲】

・下流側T.P.+8.5m盤及びT.P.+15m盤では、防波壁の設置及び地盤改良を考慮した3次元浸透流解析の結果、地下水位が地表面まで到達していないが、下流側T.P.+8.5m盤及びT.P.+15m盤では、水頭固定境界を保守的に地表面に設定する。

【上流側水頭固定境界の範囲】

・T.P.+44m盤では、3次元浸透流解析結果を踏まえると地下水位が地表面まで上昇することはないと考えられるが、盛土内の地下水位を解析により求める目的から、2号南側盛土斜面背後において、盛土と旧地形の境界を確認し、最も下流側に位置する尾根部の盛土境界部に上流側水頭固定境界を設定した。

・なお、水頭固定境界の範囲設定に当たっては、以下の状況を確認した。

- ①2号炉南側盛土斜面施工前に撮影した空中写真を確認した結果、2号炉南側盛土斜面及びその周辺の埋戻し範囲において、大きな沢や河川は認められない。
- ②現在の2号炉南側盛土斜面背後の溪流の状況を確認した結果、湧水は確認されたものの、その水量はわずかであり、大きな沢や河川ではないことを確認した。
- ③T.P.+44m盤では、構内排水路が整備されており、排水路より上流の流域からの地表水は排水路により集水する設計としているため、排水路より下流側は上流からの地表水の影響は軽微である。
- ④T.P.+44m盤及び盛土斜面部は、道路部においてアスファルト、盛土斜面部においてコンクリートにより法面保護工が施工されており、降雨等の地表面からの浸透の影響は軽微である。

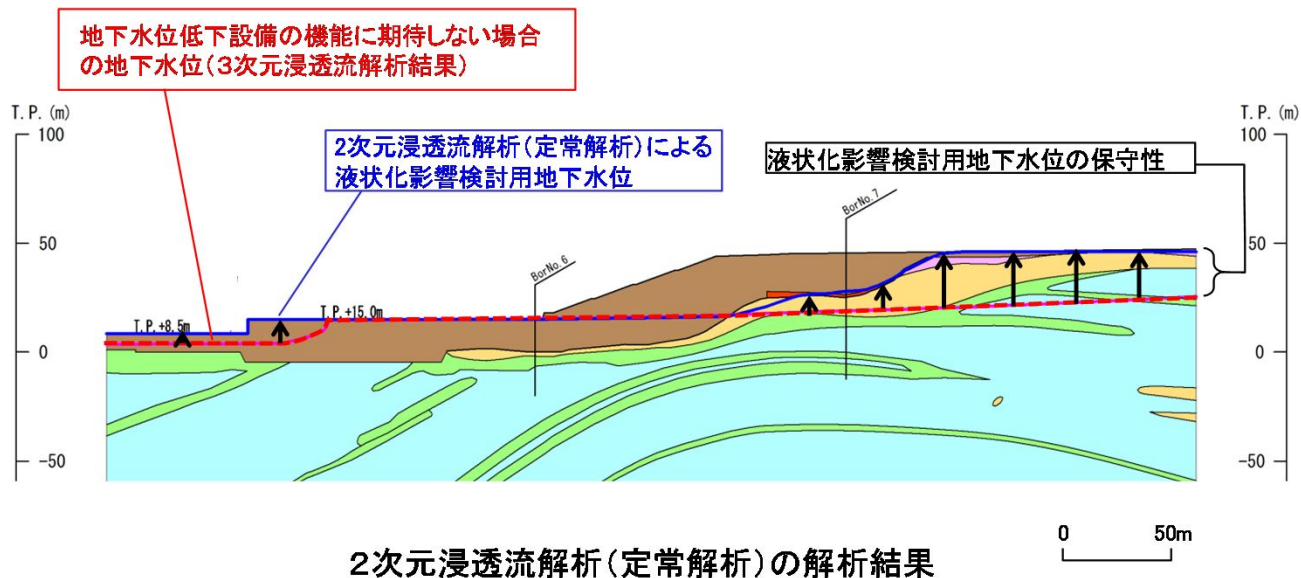
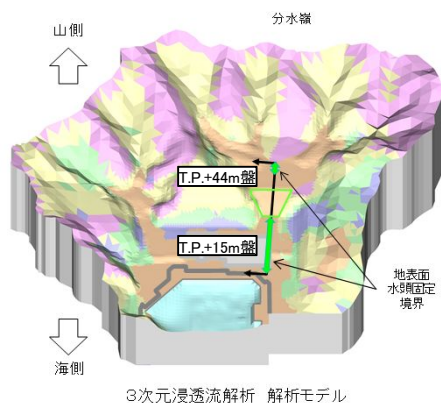
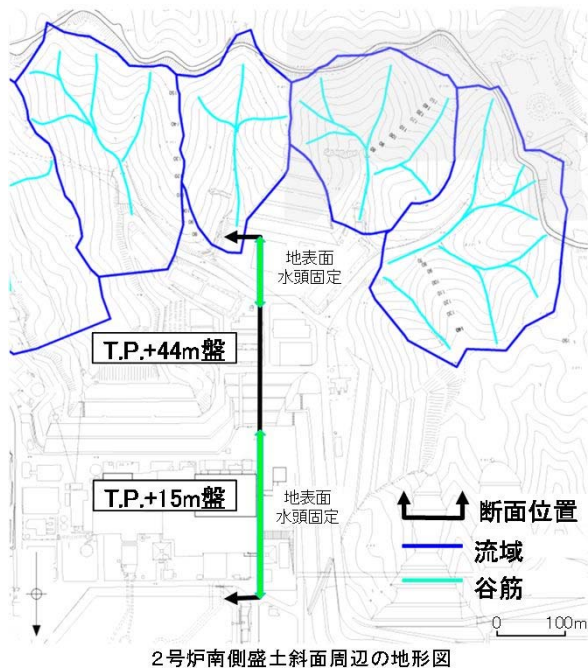
【降雨条件の設定】

・盛土斜面部には法面保護工等が施工されていること、及び後背地から流下する地表面の降水は排水路により集水されることから、盛土斜面部において地表面から降水が浸透する可能性は低いが、2次元浸透流解析による検討用地下水位の解析条件として、地表面水頭固定境界に加え、**松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値に、今後の気候変動予測による降水量の変化を加味した降雨条件**を考慮する。

以上のことから、2次元浸透流解析(定常解析)の入力条件である水頭固定境界の範囲及び降雨条件は、保守性があり妥当である。

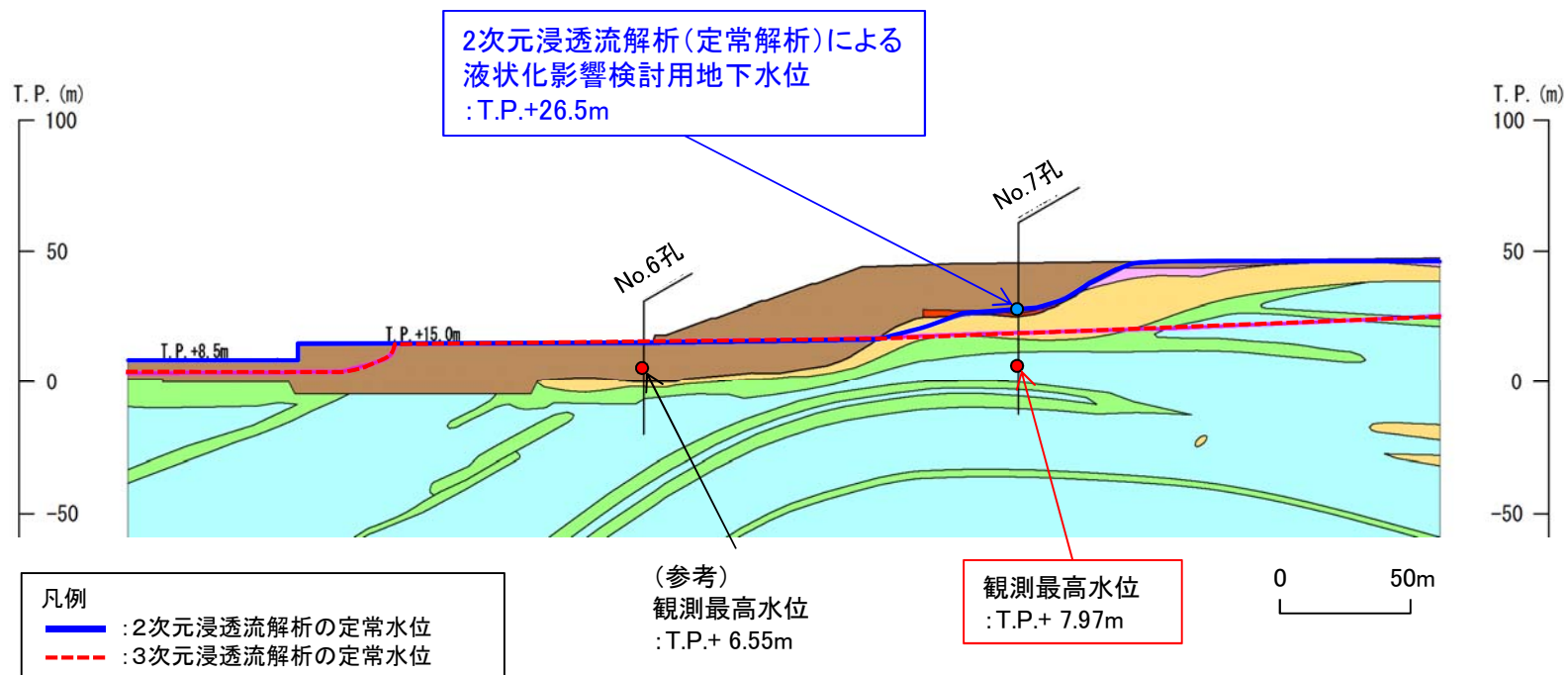
解析結果の検証 流域からの集水及び谷筋からの流入による影響

・2次元浸透流解析による検討用地下水位は、3次元浸透流解析による地下水位を上回っていることから、検討用地下水位は、3次元浸透流解析において考慮されている流域からの集水、谷筋からの流入の影響を踏まえても、保守的な地下水位である。



解析結果の検証 観測地下水位との比較

- ・2次元浸透流解析による検討用地下水位について、島根原子力発電所の地下水位の観測記録との比較を行った。
- ・比較する観測孔は、盛土斜面に位置するNo.7孔とした。
- ・比較の結果、2次元浸透流解析による検討用地下水位は、地下水位の観測最高水位を大きく上回ることを確認した。



2次元浸透流解析による定常水位と島根原子力発電所の地下水位の観測記録との比較結果

解析結果の検証 既往最大降水量との比較(1/5)

- ・気象庁観測地点「松江」における既往最大降水量は、日最大1時間降水量(77.9mm/h)が1944年、日最大24時間降水量(306.9mm/24h)が1964年に観測されている。一方、島根原子力発電所の地下水位観測は2014年から実施していることから、気象庁観測地点「松江」における既往最大降水量(日最大1時間及び日最大24時間)に対応した地下水位観測データは得られていない。
- ・このため、島根原子力発電所で観測した降水記録及び地下水位観測記録(No.6孔及びNo.7孔)を用い、既往最大降水量に対する地下水位との比較を行った。

島根原子力発電所及び気象庁観測地点「松江」の降水観測記録

降水量の観測地点	日最大1時間		日最大24時間	
	降水量 (mm/h)	観測 年月	降水量 (mm/24h)	観測 年月
気象庁観測地点「松江」	77.9	1944.8	306.9	1964.7
島根原子力発電所	71.5	2020.9	157.5	2020.9

島根原子力発電所における地下水位観測記録

地下水位の 観測地点	観測期間	観測最高水位	
		水位 (T.P. m)	観測年月
No.6孔	2014.11～	+6.74	2020.7
No.7孔	2014.11～	+7.97	2018.7

【日最大1時間降水量】

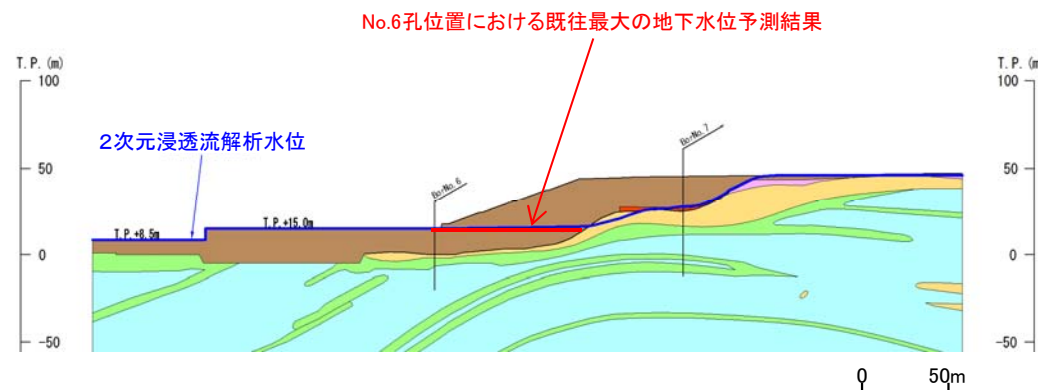
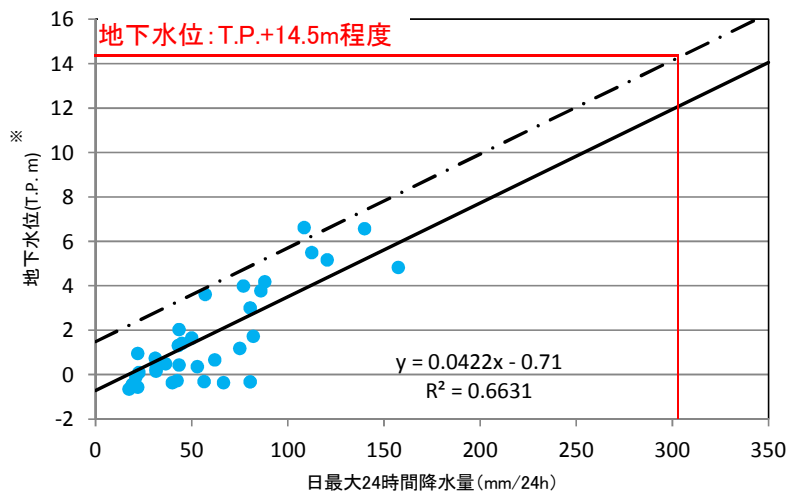
- ・島根原子力発電所において、地下水位観測期間中に気象庁観測地点「松江」の既往最大(77.9mm/h)と同程度の降水量(71.5mm/h)が観測されているが、地下水位観測期間中の最高水位はNo.6孔でT.P.+6.74m、No.7孔でT.P.+7.97mであることから、既往最大の日最大1時間降水が発生した場合の地下水位は、2次元浸透流解析による検討用地下水位(No.6孔:T.P.+15.0m、No.7孔:T.P.+26.5m)に比べ十分低いと考えられる。

【日最大24時間降水量】

- ・気象庁観測地点「松江」の既往最大の日最大24時間降水量に対応する地下水位観測記録が得られていないため、次頁で降水量と地下水位の相関を整理し、既往最大の日最大24時間降水量を想定した場合の地下水位との比較を行った。

解析結果の検証 既往最大降水量との比較(2/5) No.6孔(1/2)

- ・降水量と盛土斜面の法尻に位置するNo.6観測孔における地下水位の相関を整理し、気象庁観測地点「松江」の既往最大の日最大24時間降水量(306.9mm/24h)を想定した場合の地下水位との比較を行った。
- ・その結果、降水量と地下水位の関係は下図のとおり1次関数式で近似でき、決定係数 R^2 値が0.66程度と相関が低いことを確認した。評価に当たっては、保守的にばらつき(1 σ)を考慮した1次関数式を設定した。
- ・保守的にばらつき(1 σ)を考慮した1次関数式を用い、既往最大の日最大24時間降水量(306.9mm/24h)を想定した地下水位を予測した結果、下図のとおり、地下水位はT.P.+14.5m程度となり、当該地点における2次元浸透流解析の境界条件(T.P.+15.0m)及び盛土法肩付近までの検討用地下水位よりも低いことを確認した。



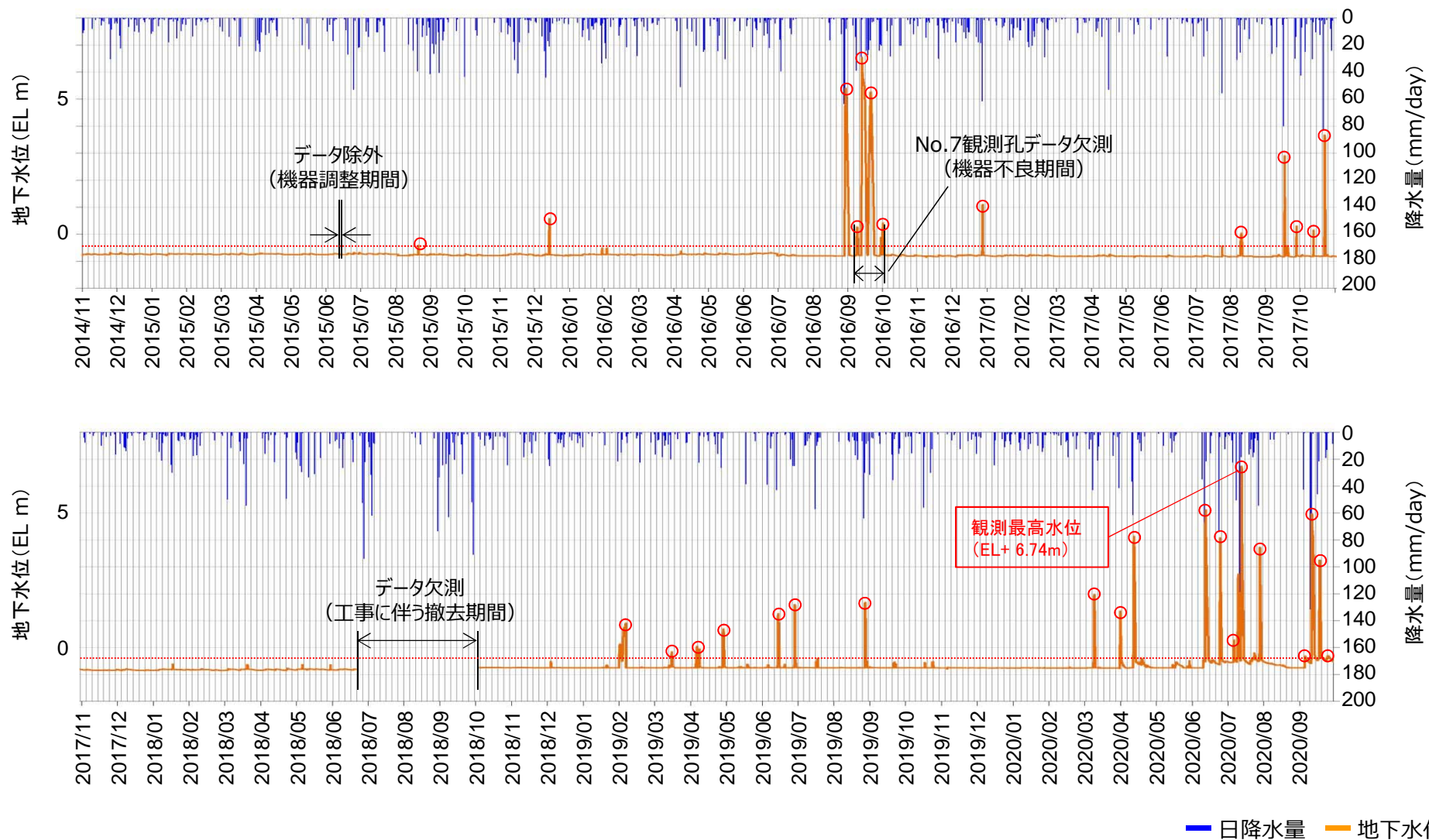
凡例	
—	: 2次元浸透流解析水位
—	: No.6孔における既往最大の日最大24時間降水量を想定した地下水位

※ 観測平均地下水位 (T.P.-0.71m) に、水位上昇量(詳細は次頁参照)を考慮

降水量と地下水位の関係及び既往最大の地下水位予測結果

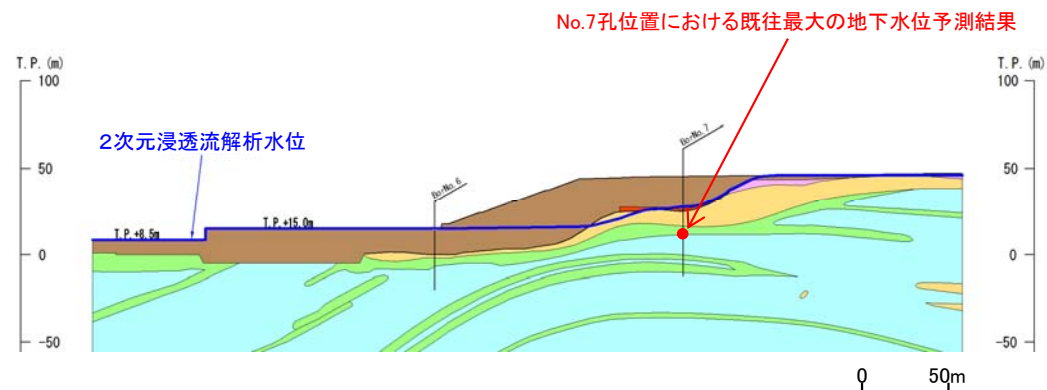
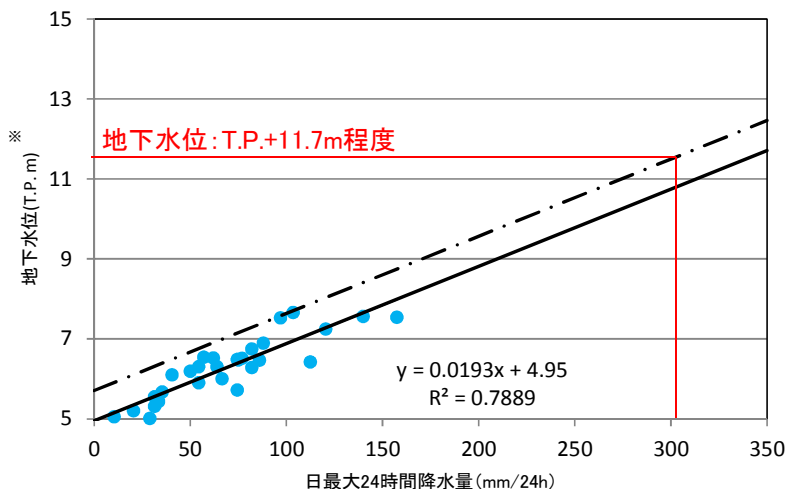
解析結果の検証 既往最大降水量との比較(3/5) No.6孔(2/2)

- 2号炉原子炉建物南側観測孔 (No.6) の記録を示す。
- ボーリング観測孔 (No.6) において、T.P.-0.5m以上の観測記録を対象として、雨の降り始めの水位を起点とした水位上昇量 (下図の赤丸) と、雨の降り始めからの日最大24時間降水量の相関を求めた。



解析結果の検証 既往最大降水量との比較(4/5) No.7孔(1/2)

- ・降水量と盛土斜面に位置するNo.7観測孔における地下水位の相関を整理し、気象庁観測地点「松江」の既往最大の日最大24時間降水量(306.9mm/24h)を想定した場合の地下水位との比較を行った。
- ・その結果、降水量と地下水位の関係は下図のとおり1次関数式で近似でき、決定係数 R^2 値が0.78程度と、高い相関関係を示すことを確認したが、評価に当たっては、保守的にばらつき(1 σ)を考慮した1次関数式を設定した。
- ・保守的にばらつき(1 σ)を考慮した1次関数式を用い、既往最大の日最大24時間降水量(306.9mm/24h)を想定した地下水位を予測した結果、下図のとおり、地下水位はT.P.+11.7m程度となり、2次元浸透流解析による検討用地下水位(T.P.+26.5m)よりも十分に低いことを確認した。



- 凡例
- : 2次元浸透流解析水位
 - : No.7孔における既往最大の日最大24時間降水量を想定した地下水位

※ 観測平均下水位(T.P.+4.95m)に、水位上昇量(詳細は次頁参照)を考慮

降水量と地下水位の関係及び既往最大の地下水位予測結果

第910回審査会合 資料1-1 P215 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

解析結果の検証 既往最大降水量との比較(5/5) No.7孔(2/2)

- 水位上昇量として、盛土斜面部におけるボーリング観測孔 (No.7) の記録を用いた。
- 既設のサブドレーンピット近傍の観測孔 (No.2, No.6) と比較して、降雨等による水位上昇後、緩やかに低下する傾向がある。
- ボーリング観測孔 (No.7) において、T.P.+6m以上の観測記録を対象として、雨の降り始めの水位を起点とした水位上昇量 (下図の赤丸) と、雨の降り始めからの日最大24時間降水量の相関を求めた。



解析結果の検証 まとめ

【流域からの集水及び谷筋からの流入による影響】

・2次元浸透流解析による検討用地下水位は、地下水位低下設備の機能に期待しない場合の3次元浸透流解析による地下水位を上回っていることから、検討用地下水位は、3次元浸透流解析において考慮されている流域からの集水、谷筋からの流入の影響を踏まえても、保守的な地下水位である。

【観測地下水位との比較】

・2次元浸透流解析の検討用地下水位は、地下水位の観測最高水位を大きく上回ることを確認した。

【既往最大日最大1時間降水量に対する地下水位との比較】

・気象庁観測地点「松江」の既往最大の日最大1時間降水量に対しては、島根原子力発電所でも同程度の降水量が観測されていることから、既往最大の日最大1時間降水量を想定した場合も、盛土斜面の法尻に位置するNo.6観測孔及び盛土斜面に位置するNo.7観測孔の地下水位は観測最高水位（No.6孔：T.P.+6.74m，No.7孔：T.P.+7.97m）と同程度と推測されるため、2次元浸透流解析による検討用地下水位（No.6孔：T.P.+15.0m，No.7孔：T.P.+26.5m）に比べ十分低いと考えられる。

【既往最大日最大24時間降水量に対する地下水位との比較】

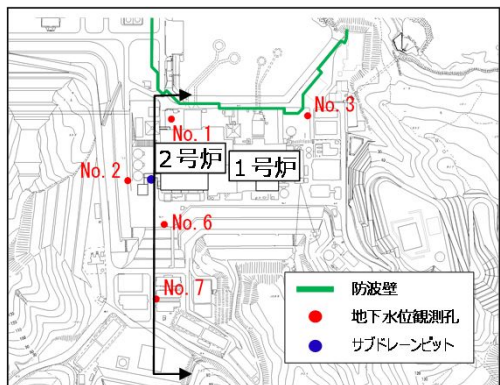
・保守的にばらつき（ 1σ ）を考慮した1次関数式を用い、日最大24時間降水量が降った場合の地下水位との比較を行った結果、地下水位はNo.6孔でT.P.+14.5m程度、No.7孔でT.P.+11.7m程度となり、2次元浸透流解析による検討用地下水位（No.6孔：T.P.+15.0m，No.7孔：T.P.+26.5m）よりも低いことを確認した。

以上のことから、2次元浸透流解析（定常解析）の入力条件である水頭固定境界の範囲及び降雨条件は、保守性があり妥当である。

地下水位観測孔の諸元

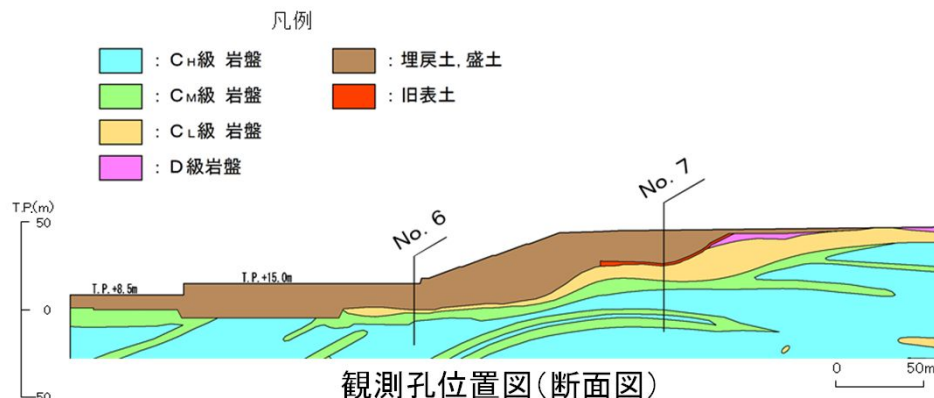
第910回審査会合 資料1-1 P213 加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

- ・No.6観測孔は、盛土内の地下水位を観測するため、盛土中の塩ビ管をストレナ加工している。
- ・No.7観測孔は、岩盤内の地下水位を観測するため、岩盤中の塩ビ管をストレナ加工している。

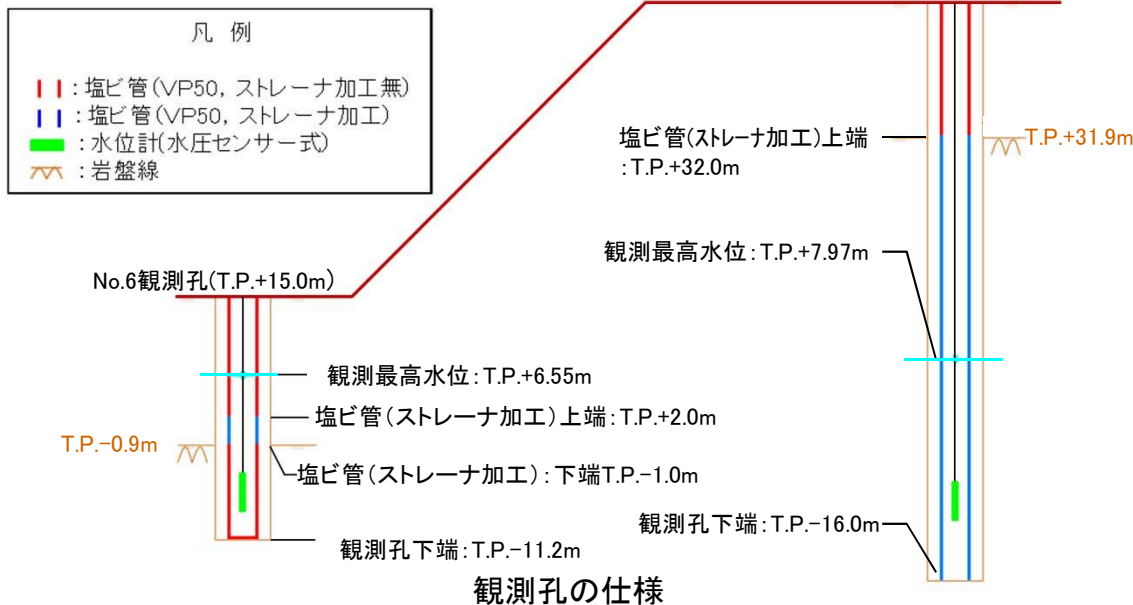


観測孔位置図(平面図)

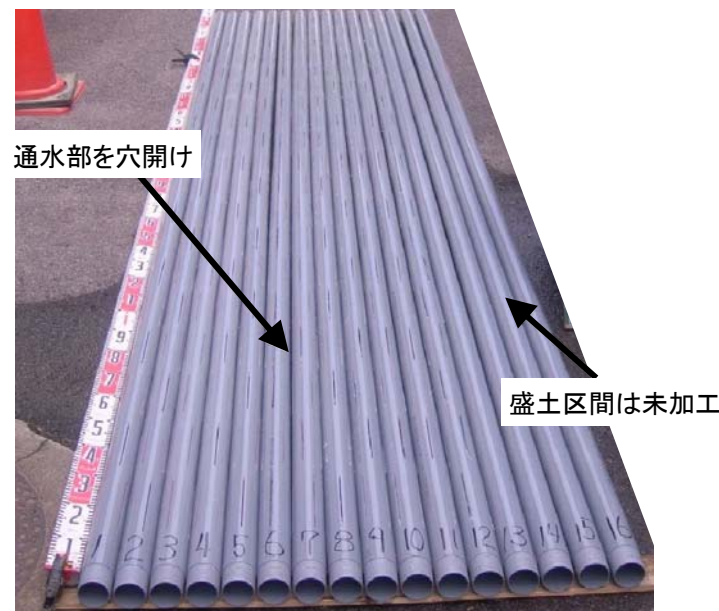
(観測地下水位は、次頁のとおり追加観測孔を設けて継続確認する)



観測孔位置図(断面図)



観測孔の仕様

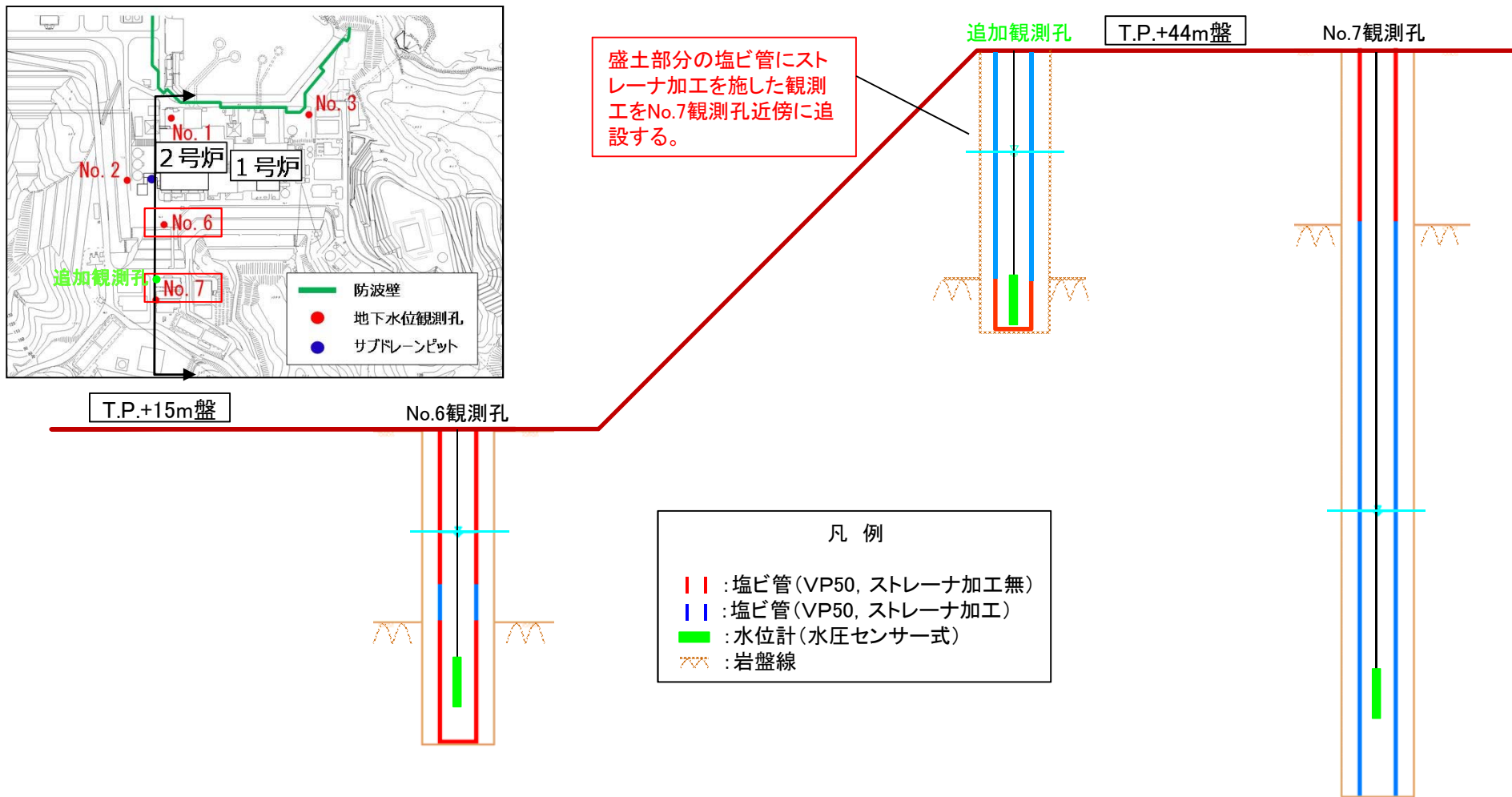


塩ビ管のストレナ加工状況例(No.7観測孔)

第910回審査会合 資料1-1 P216加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

追加観測孔

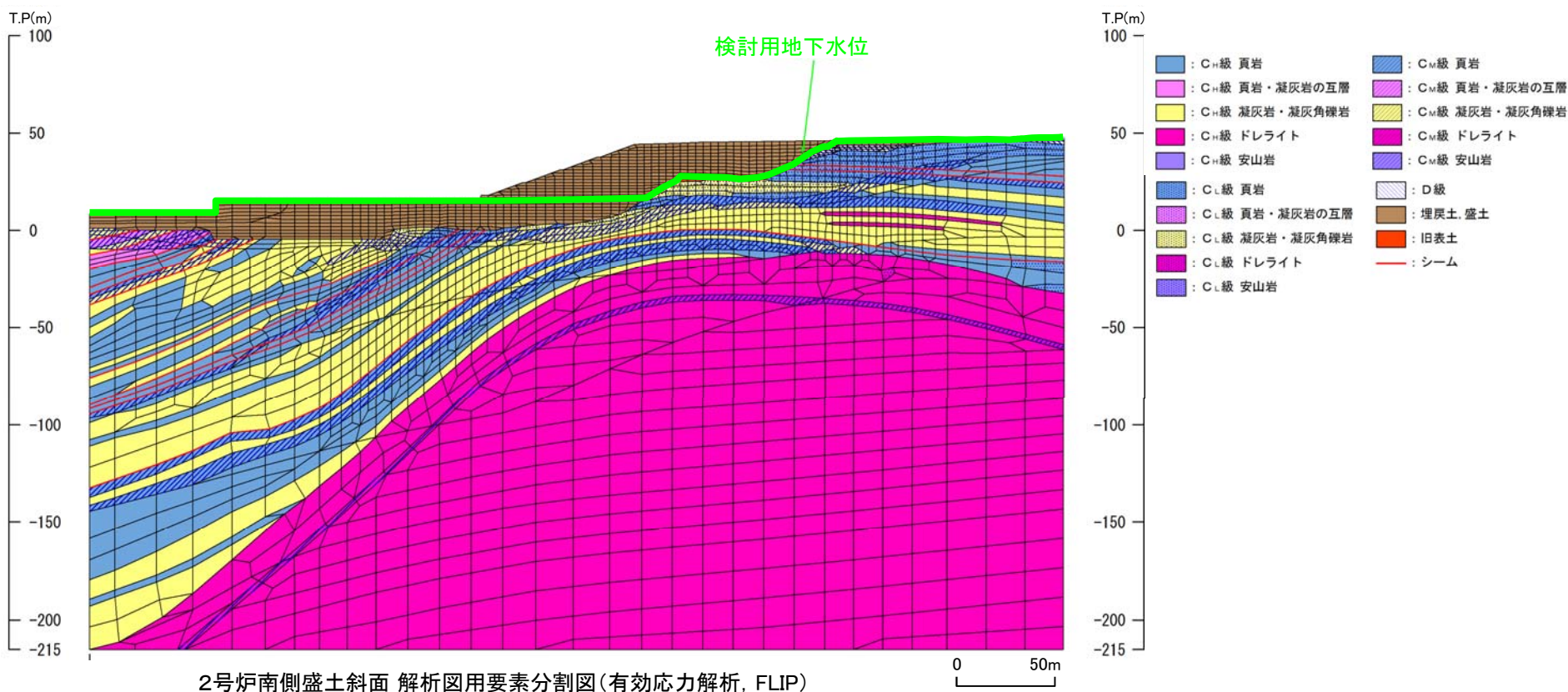
- ・液状化影響検討用地下水水位は、十分に保守的な設定としていることから、これ以上地下水水位が上昇するおそれはないと考えるが、水位観測を継続実施し、観測水位が検討用地下水水位を上回らないことを確認する。
- ・水位観測に当たっては、No.7観測孔近傍に**自主設備として**観測孔を追設し、T.P.+44m盤において盛土部分の水位を、より確実に観測できるようにする。



有効応力解析の解析条件

第910回審査会合資料1-1 P217加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

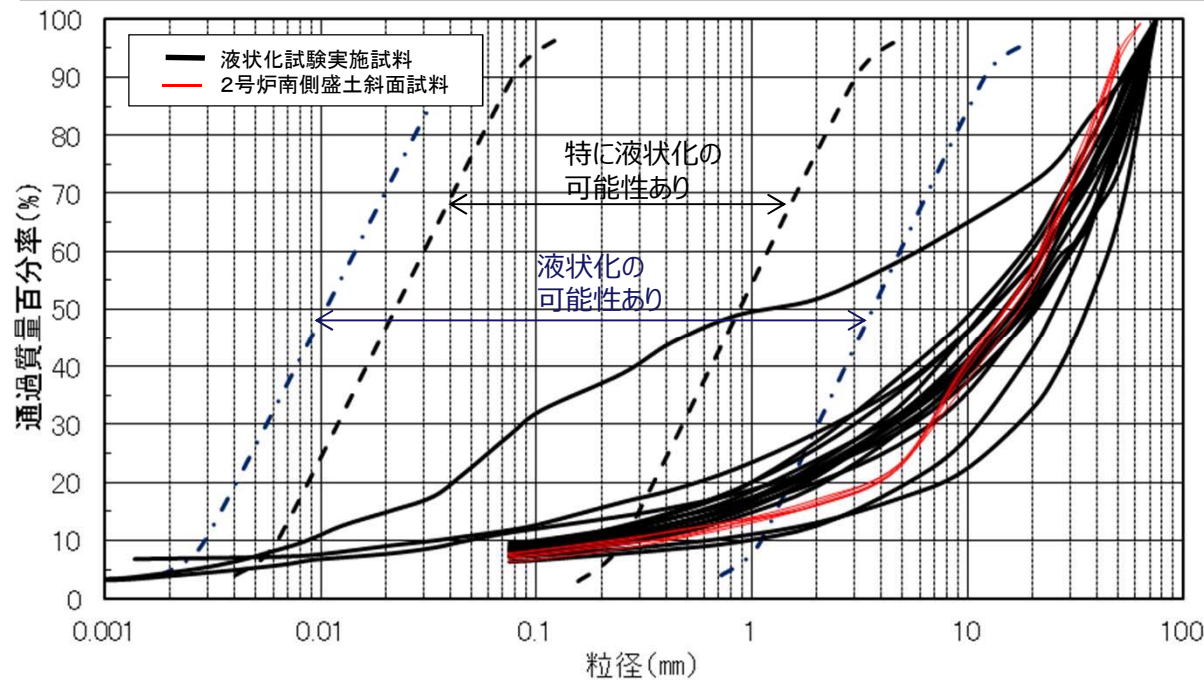
- ・有効応力解析(時刻歴非線形解析, FLIP)により, 液状化の発生の有無を確認した。
- ・液状化検討範囲は, 2次元浸透流解析(定常解析)結果に基づく検討用地下水位以下の埋戻土とした。
- ・解析用要素分割図は以下のとおり, 岩級, 岩相, 埋戻土, 旧表土及びシームをモデル化した。
- ・埋戻土以外の要素の解析用物性値は, 全応力解析(等価線形解析, FLUSH)と同様とした。ただし, 地下水位以浅の要素の単位体積重量は, 湿潤重量とした。
- ・地震動は, 継続時間が最も長い基準地震動 S_s-D とした。(「3.6 入力地震動」参照)



有効応力解析における液状化特性(1)

第910回審査会合資料1-1 P218 再掲

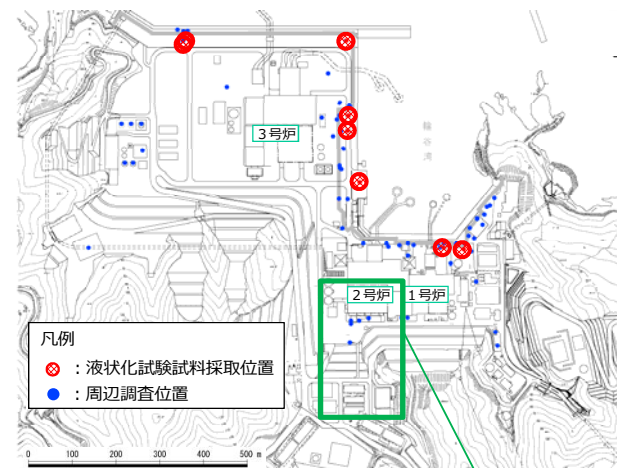
・液状化試験を実施した防波壁周辺の埋戻土と2号炉南側盛土斜面から採取した埋戻土について、粒度分布及び細粒分含有率を比較した結果、両者の粒度特性は同等であることを確認した。



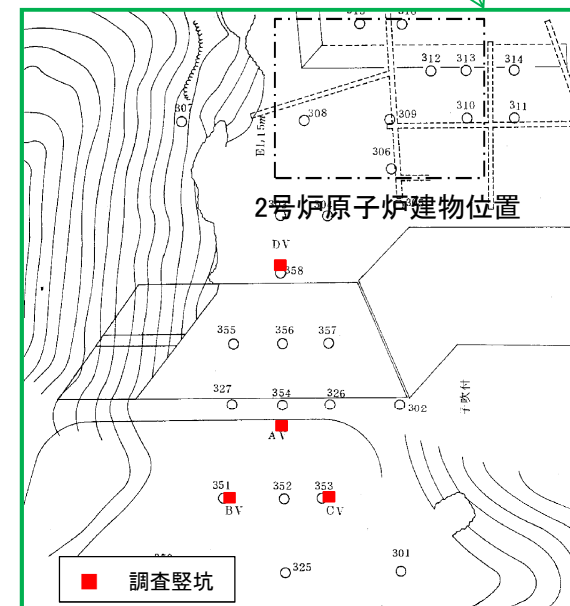
粒径加積曲線の比較
(第850回審査会合資料1-2 P30「埋戻土(掘削ズリ)の粒度による液状化判定」に加筆)

細粒分含有率の比較

	細粒分含有率	試料数
液状化試験実施試料	10.2%	35試料
2号炉南側盛土斜面試料	7.2%	5試料



液状化試験位置図



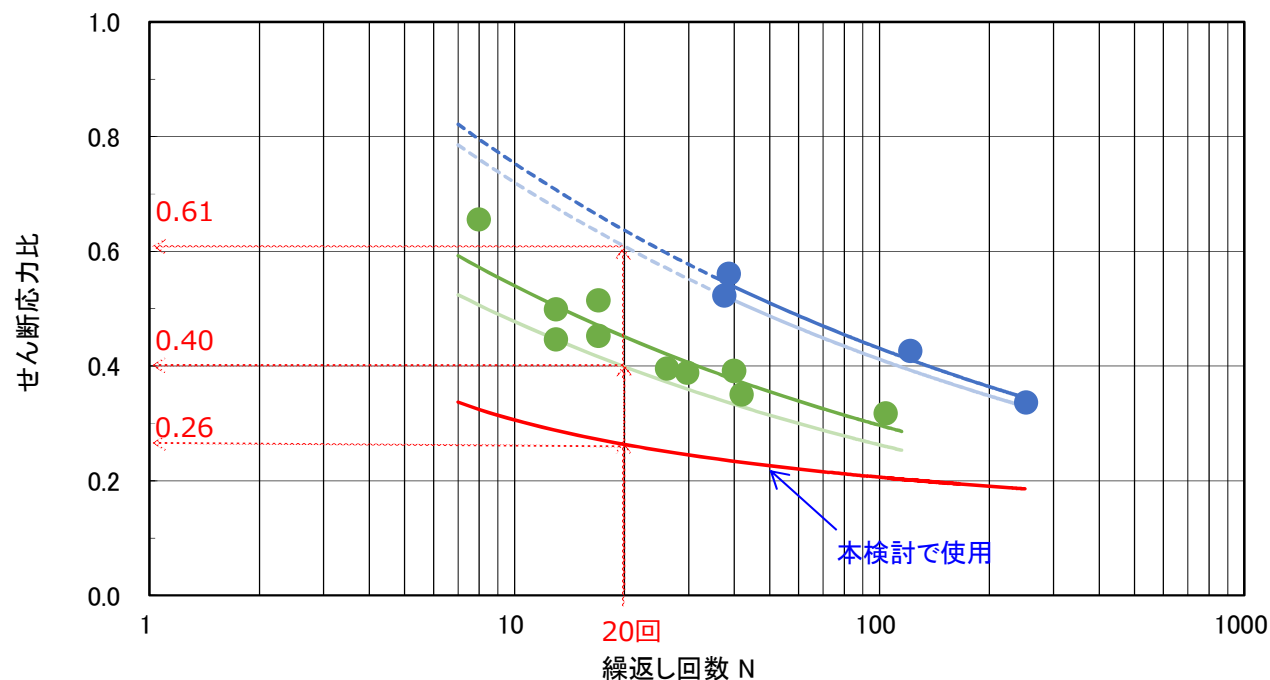
2号炉南側盛土斜面 試料採取位置

有効応力解析における液状化特性(2) 第910回審査会合 資料1-1 P219 加筆・修正 ※修正箇所を青字で示す

・盛土の液状化特性については、防波壁周辺の埋戻土と2号炉南側盛土斜面の盛土の粒度特性が同等であることを踏まえ、簡易設定法に基づく液状化強度曲線(「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止[地盤の液状化強度特性]」(第850回審査会合, 2020年3月17日))と同一の液状化強度曲線を用いることとした。

解析に使用した液状化パラメータ

Φ_p	S1	w1	p1	p2	c1
28	0.005	6.27	0.5	0.925	2.96

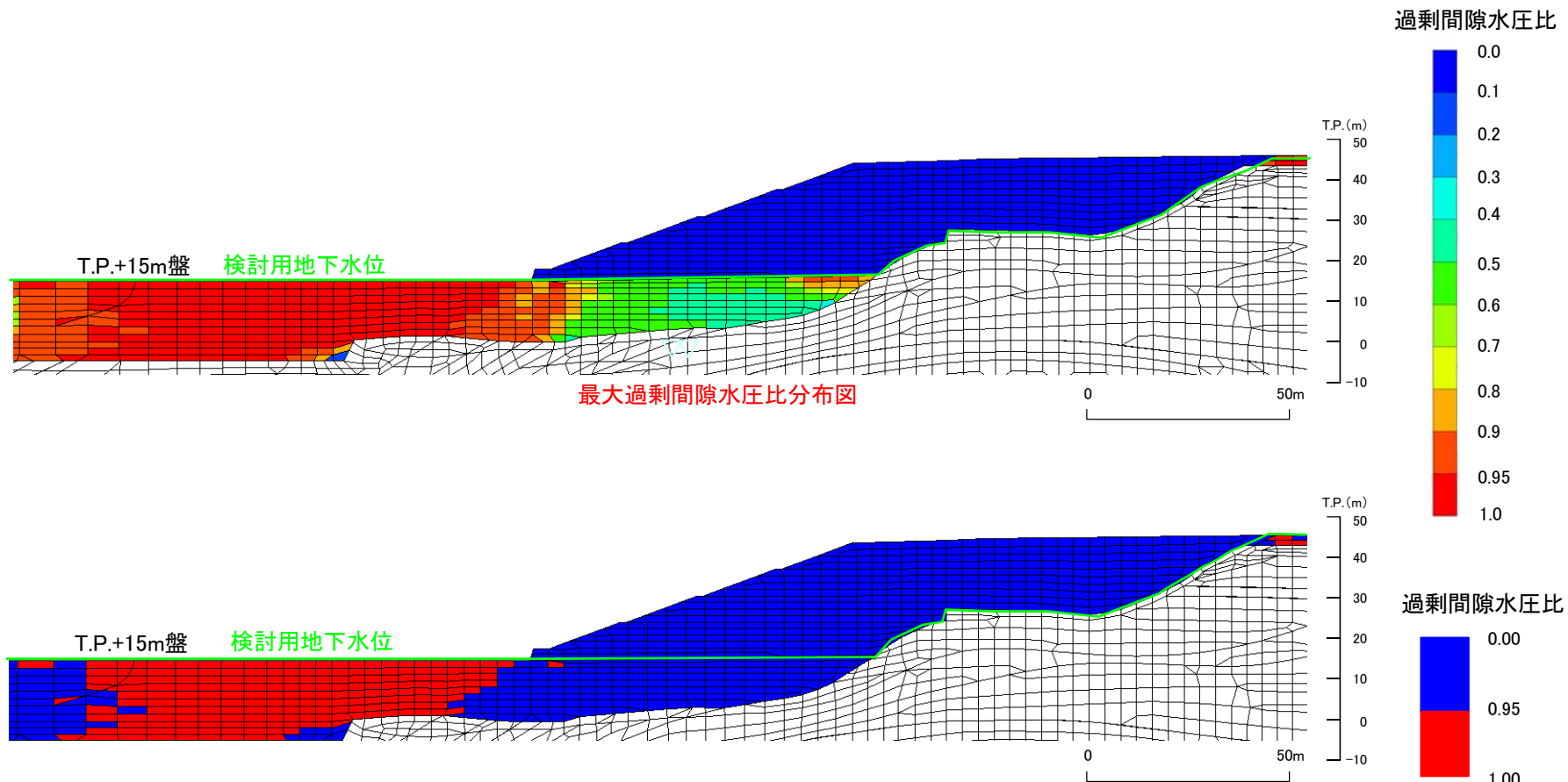


- 液状化試験結果(埋戻土(掘削スリ))(不攪乱試料)
- 液状化試験結果(埋戻土(掘削スリ))(表層採取試料)
- 液状化試験結果 近似曲線(不攪乱試料)
- 液状化試験結果 近似曲線-下限値(不攪乱試料)
- 液状化試験結果 近似曲線(表層採取試料)
- 液状化試験結果 近似曲線-下限値(表層採取試料)
- 簡易設定法による液状化強度曲線(埋戻土(掘削スリ))

解析に使用した液状化強度曲線

有効応力解析結果(最大過剰間隙水圧比)

- ・時刻歴非線形解析(有効応力解析, FLIP)の結果, 法尻よりも斜面奥側の要素の過剰間隙水圧比は, 概ね0.5程度であるため, 盛土斜面部は深部も含めて液状化の可能性は低いと評価できる。
- ・過剰間隙水圧比が0.95を超えた要素は, 法尻より北側のT.P.+15m盤に多数認められる。



最大過剰間隙水圧比分布図(過剰間隙水圧比0.95を閾値として再整理)

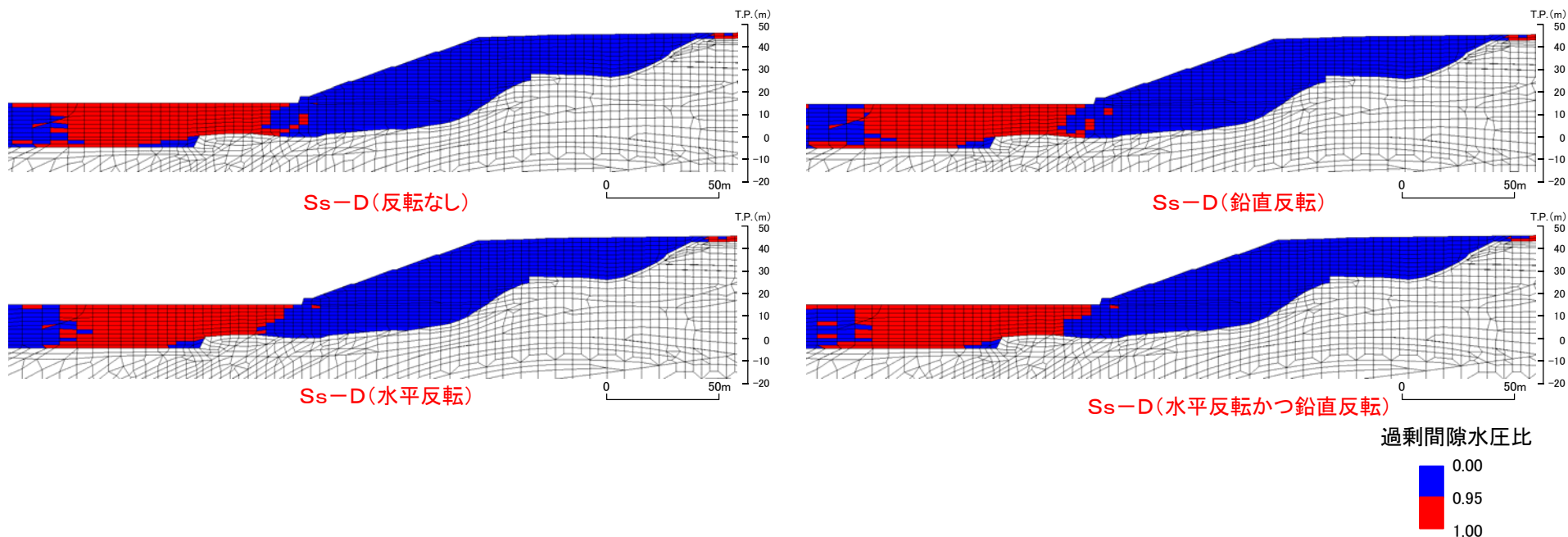
※各要素ごとの過剰間隙水圧比の時刻歴最大値を表示
すべり安全率が最小となるSs-D(水平反転)

液状化範囲の設定

・有効応力解析の結果，斜面法尻付近において過剰間隙水圧比が0.95以上となる地盤要素について，**繰り返し载荷による強度低下を考慮する液状範囲として設定する。**

【検討条件】

- ・有効応力解析の結果，一度でも過剰間隙水圧比が0.95を超えた要素については，繰り返し载荷により強度低下が生じたものとみなし，**2次元動的FEM解析においてすべり面上のせん断力及び抵抗力をゼロとする。**
- ・**液状化影響を考慮する範囲**については，基準地震動の反転を考慮して実施した有効応力解析結果それぞれにおいて，過剰間隙水圧が0.95を超えた全要素を包絡するように設定する。
- ・すべり面の設定は，「6. 3 評価方法」に示すとおり，簡便法により網羅的に探索する。**液状化影響を考慮する範囲は，2次元動的FEM解析と同様，すべり面上のせん断力及び抵抗力をゼロとする。**



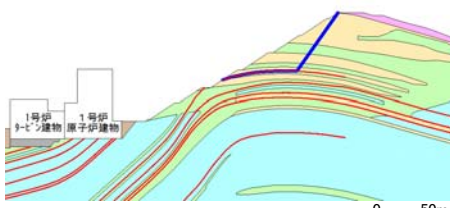
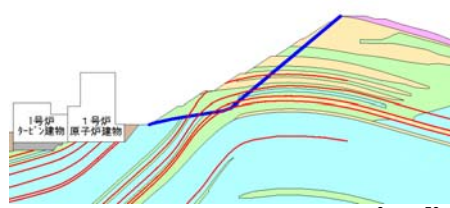
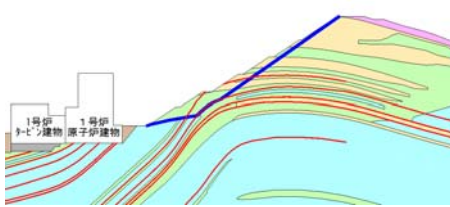
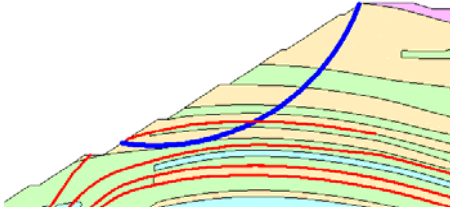
各地震動方向にける最大過剰間隙水圧比分布図

6. 周辺斜面の安定性評価

6.5 評価結果

2号炉南側切取斜面(①-①'断面) グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下) (1/2)

・平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}		すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
1	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,-)	1.62 [14.63]	3	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して、法尻のC_M級とC_H級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通過して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.56 [7.45]
2	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して、法尻のC_M級とC_H級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通過して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.66 [7.45]	4	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	1.57 [19.15]

※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)^{※2}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。

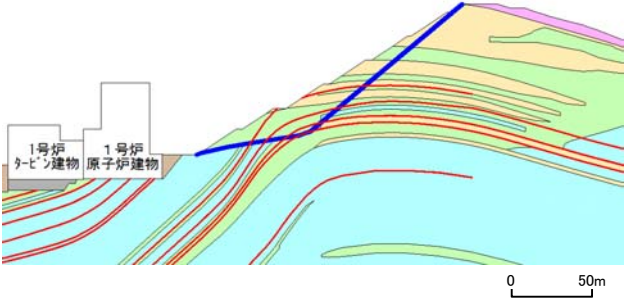
【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面
- : 最小すべり安全率

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

2号炉南側切取斜面(①-①'断面) グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下) (2/2)

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準 ※1 地震動	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
3	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通して、法尻のC_M級とC_H級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通過して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.56 [7.45]	1.51 [7.45]

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

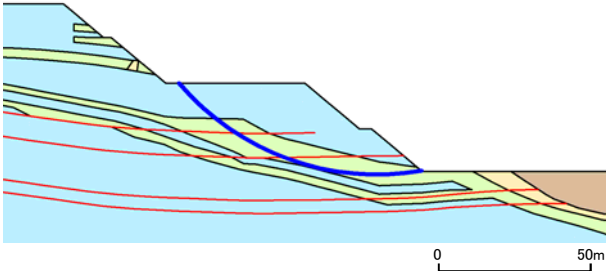
【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面

・平均強度を用いたすべり安全率最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

2号炉西側切取斜面(②-②'断面) グループA(岩盤斜面, T.P.+15m以下)

・平均強度及び強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準 ※1 地震動	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	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	5.89 [8.55]	5.75 [8.55]

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

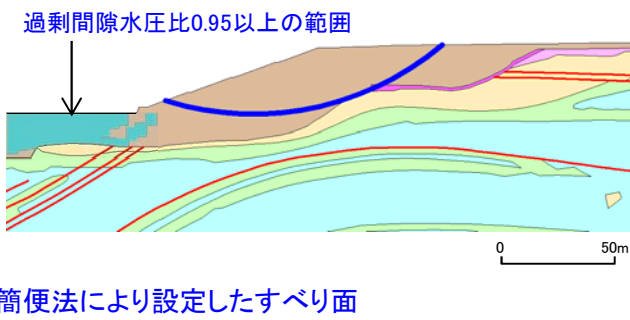
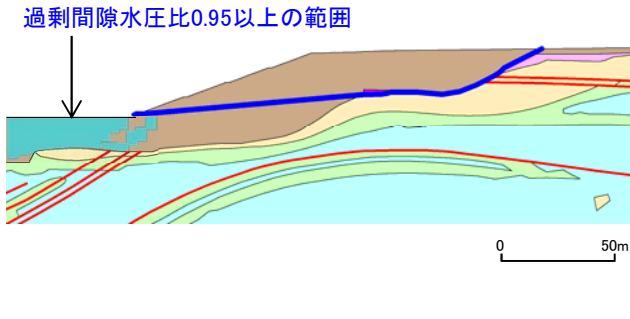
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面

- ・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.2を上回ることを確認した。
- ・平均強度を用いたすべり安全率最小ケースに対して, 強度のばらつきを考慮して評価を行った結果, すべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

6. 周辺斜面の安定性評価 6.5 評価結果

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面) グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下)(1/3)

・平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	すべり安全率【平均強度】 ^{※2}
1	 <p>過剰間隙水圧比0.95以上の範囲</p> <p>簡便法により設定したすべり面</p>	<p>Ss-N2 (NS)</p> <p>(-,+)</p>	<p>2.09 [25.10]</p>
2	 <p>過剰間隙水圧比0.95以上の範囲</p> <p>弱層(旧表土)を通るすべり面</p>	<p>Ss-N2 (NS)</p> <p>(+,+)</p>	<p>1.94 [24.43]</p>

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : MMR
- : 旧表土
- : シーム
- : すべり面

・動的解析の結果、平均強度を用いたすべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

6. 周辺斜面の安定性評価 6.5 評価結果

第910回審査会合
資料1-1 P232 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面) グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下) (2/3)

・平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
3		Ss-D (-,+)	1.61 [13.15]

※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。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「6.4 評価方法」を参照)

※4 有効応力解析による妥当性確認結果を「6.6 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認」に示す。

【凡例】

: C _H 級 岩盤	: C _M 級 岩盤	: C _L 級 岩盤	: D級 岩盤
: 埋戻土, 盛土	: MMR	: 旧表土	: シーム
			: すべり面※3

・動的解析(全応力解析)の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面) グループB(盛土斜面, T.P.+15m以下)(3/3)

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	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
3		Ss-D (-,+)	1.61 [13.15]	1.56 [13.15]

【凡例】

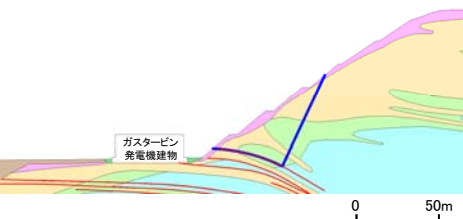
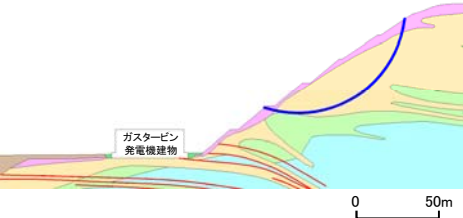
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : MMR
- : 旧表土
- : シーム
- : すべり面 ※3

- ※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。
- ※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「6.4 評価方法」を参照)
- ※4 有効応力解析による妥当性確認結果を「6.6 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認」に示す。

・平均強度を用いたすべり安全率最小ケースに対して, 強度のばらつきを考慮して評価を行った結果, すべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面) グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m) (1/2)

・平均強度でのすべり安全率

	すべり面形状	基準※1 地震動	最小すべり 安全率※2
1	 <p>シーム沿いのすべり面(斜面中腹あるいは斜面上方からシームを通り斜面法尻付近へ抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	2.07 [7.59]
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.25 [7.58]

【凡例】

-
 : C_H級 岩盤
 : C_M級 岩盤
 : C_L級 岩盤
 : D級 岩盤

-
 : 埋戻土, 盛土
 : MMR
 : シーム

-
 : すべり面

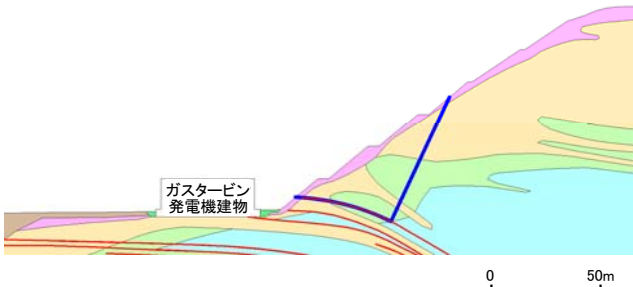
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は, 発生時刻(秒)を示す。

・動的解析の結果, 平均強度を用いたすべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦'断面) グループC(岩盤斜面, T.P.+44~50m) (2/2)

・強度のばらつきを考慮したすべり安全率

	すべり面形状	基準 ※1 地震動	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	 <p>シーム沿いのすべり面(斜面中腹あるいは斜面上方からシームを通り斜面法尻付近へ抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	2.07 [7.59]	1.68 [7.59]

※1 基準地震動(+,+)は反転なしを示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

- : C_H級 岩盤 ■ : C_M級 岩盤 ■ : C_L級 岩盤 ■ : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土 ■ : 埋戻土(購入土) — : シーム
- : すべり面

・平均強度を用いたすべり安全率最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.2を上回ることを確認した。

6. 周辺斜面の安定性評価

6. 6 液状化影響を考慮したすべり安定性評価 の有効応力解析による妥当性確認

有効応力解析による妥当性確認 検証方法(1/2)

・全応力解析による液状化影響を考慮したすべり安定性評価(以下, 全応力解析の採用手法)について, 有効応力解析により妥当性を検証するため, 以下のとおり確認を行う。

【全応力解析の採用手法の妥当性検証】

- ・液状化範囲の過剰間隙水圧比分布や応力状態を確認するため, 有効応力解析を実施する。
- ・有効応力解析の過剰間隙水圧比分布等を確認し, 全応力解析の採用手法における, 液状化範囲の設定及び起動力・抵抗力の設定が妥当であることを確認する。
- ・全応力解析の採用手法の妥当性を確認するため, 有効応力解析を用いたすべり安全率を算定し, 全応力解析の採用手法によるすべり安全率との比較を行い, 採用手法の妥当性を確認する。

全応力解析の採用手法の概要

項目	全応力解析の採用手法 (全応力を用いて液状化影響を考慮)
液状化範囲の設定	有効応力解析における過剰間隙水圧比0.95以上の範囲(S_s-D の波形反転の重ね合わせ・履歴考慮, 6. 4章を参照)を「液状化範囲」とする
液状化範囲の起動力	考慮しない(ゼロとする)
液状化範囲の抵抗力	考慮しない(ゼロとする)

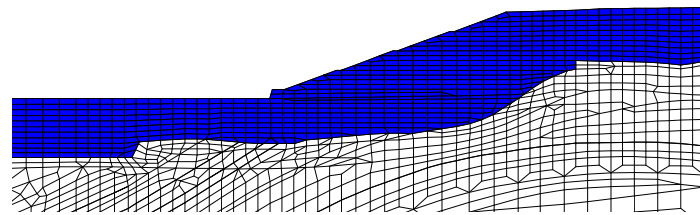
有効応力解析による妥当性確認 検証方法(2/2)

・検証に用いる地震動及び有効応力は以下のとおりとする。

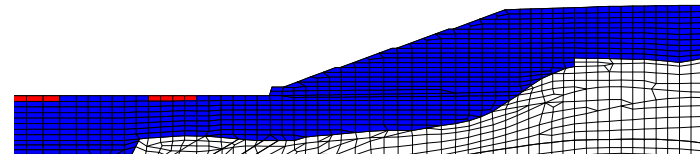
全応力解析の採用手法における検証の条件

項目	検証の条件
基準地震動	継続時間が最も長いS _s -Dの中で、すべり安全率の厳しいケースとする。
対象断面	評価対象断面(全応力解析を実施した断面)のうち、盛土で構成される「2号炉南側盛土斜面」を選定する。
検証に用いる有効応力	6. 4章で示している有効応力解析結果(FLIP)を用いる。

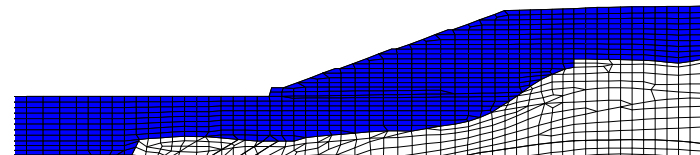
液状化範囲の設定の確認($S_s-D(-,+)$)



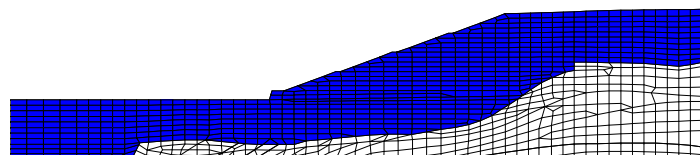
時刻①: 5秒後



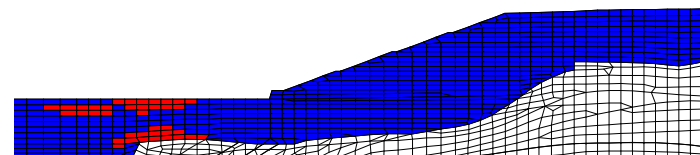
時刻②: 10秒後



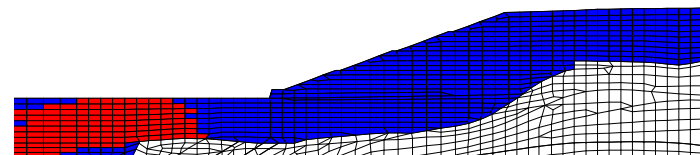
時刻③: 13.15秒後(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



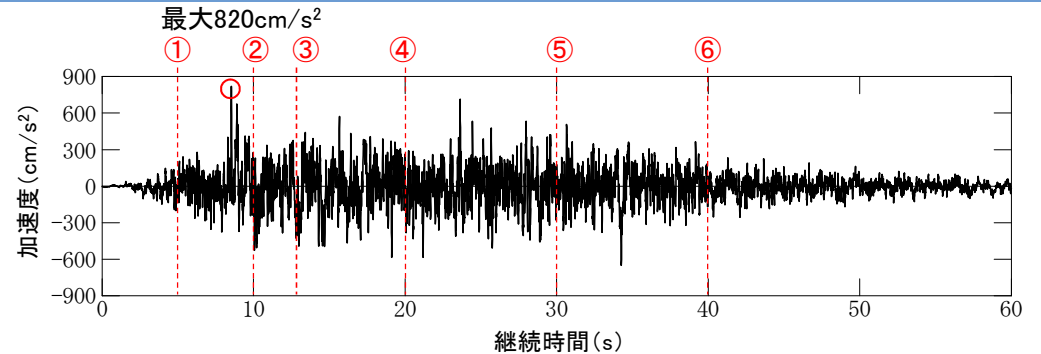
時刻④: 20秒後



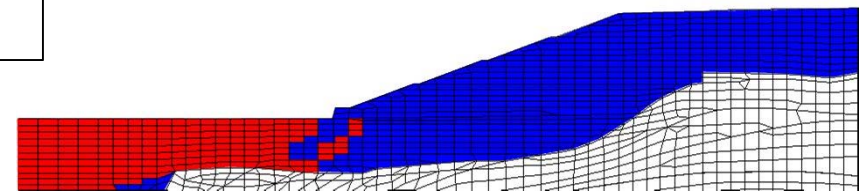
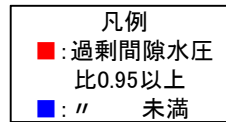
時刻⑤: 30秒後



時刻⑥: 40秒後



基準地震動 S_s-D の時刻歴波形(水平)

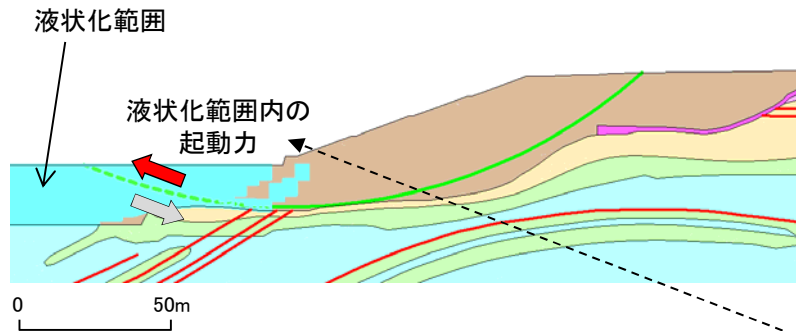


(参考)全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定
(全時刻で同じ設定)

- ・継続時間が最も長い S_s-D の中で、全応力解析の採用手法によるすべり安全率が最小となる $S_s-D(-,+)$ において、過剰間隙水圧比分布を確認した。
- ・10秒後から、過剰間隙水圧比0.95以上となる範囲が局所的に発生し、30秒からは、繰返しせん断に伴う過剰間隙水圧の上昇により、0.95以上の範囲が法尻付近に発生する。
- ・法尻よりも斜面奥側は、0.95以上の範囲は進展しない。
- ・全応力解析の採用手法における液状化範囲は、過剰間隙水圧比0.95以上の範囲(S_s-D の波形反転の重ね合わせ・履歴考慮)を対象に設定している。(右図参照)

以上のことから、全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定が保守的になっていることを確認した。

液状化範囲の起動力の設定の確認

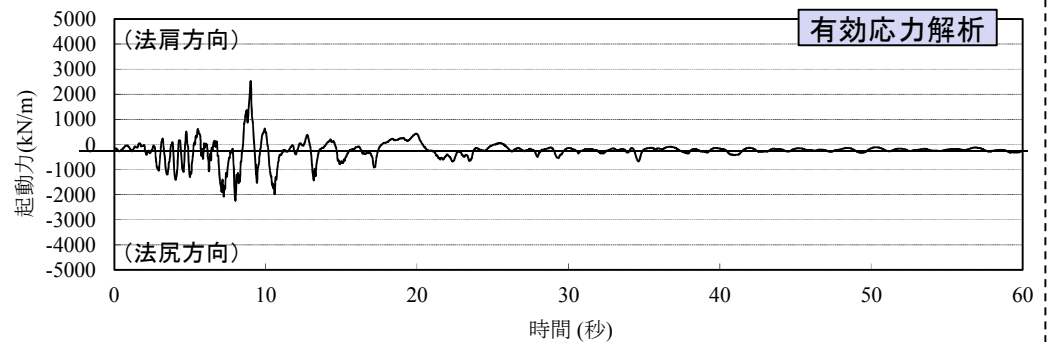
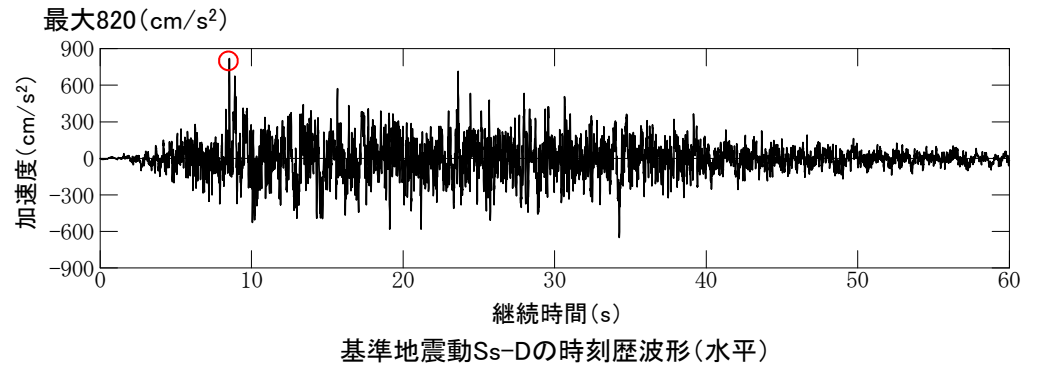


【凡例】

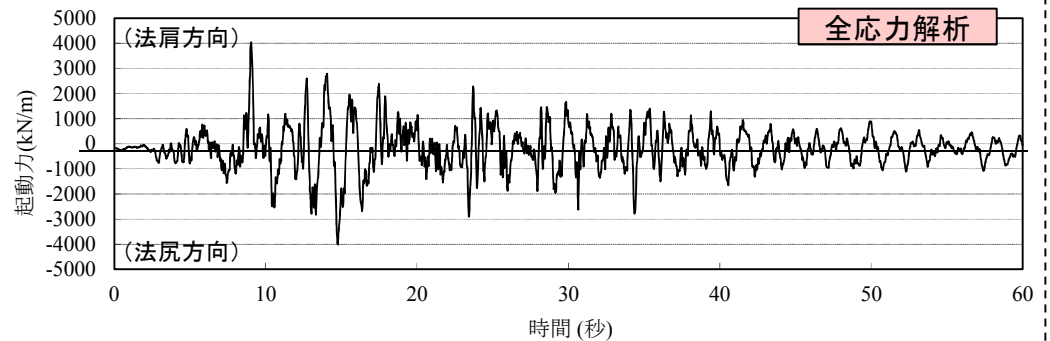
- : C₁級岩盤
- : C₂級岩盤
- : C₃級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面 ※1

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)



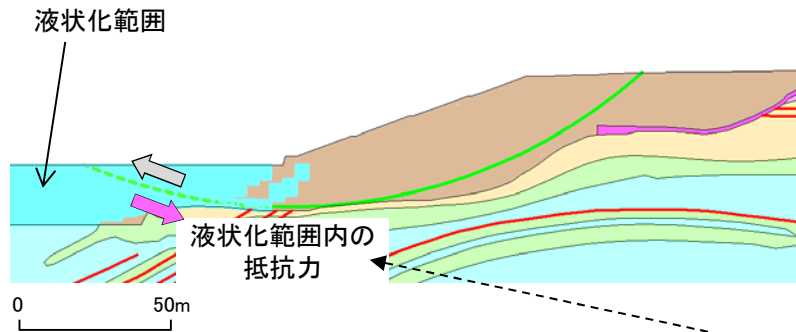
有効応力解析における液状化範囲内のすべり面上の起動力(Ss-D(-, +))



全応力解析における液状化範囲内のすべり面上の起動力(Ss-D(-, +))

- ・有効応力解析及び全応力解析において、液状化範囲内のすべり面上の起動力を比較した。
- ・有効応力解析では、約10秒から過剰間隙水圧に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、徐々に減少して概ねゼロとなる。
- ・全応力解析では、地震動の時刻歴波形に対応した起動力が発生しており、概ね1,000kN/mの比較的大きな起動力で推移する。

液状化範囲の抵抗力の設定の確認



【凡例】

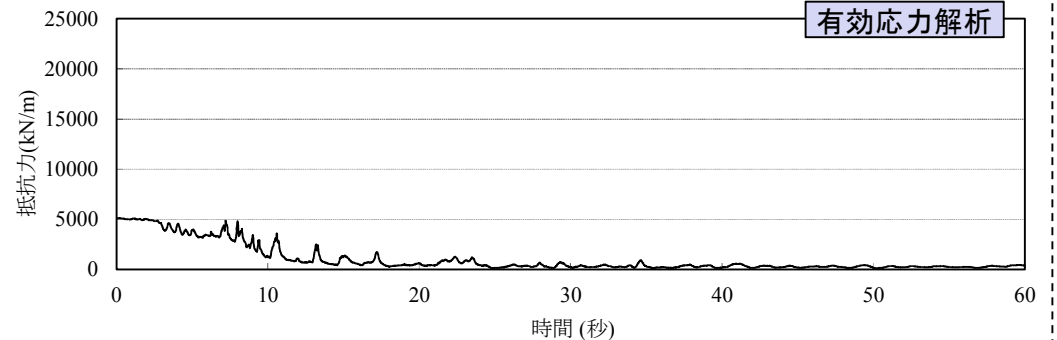
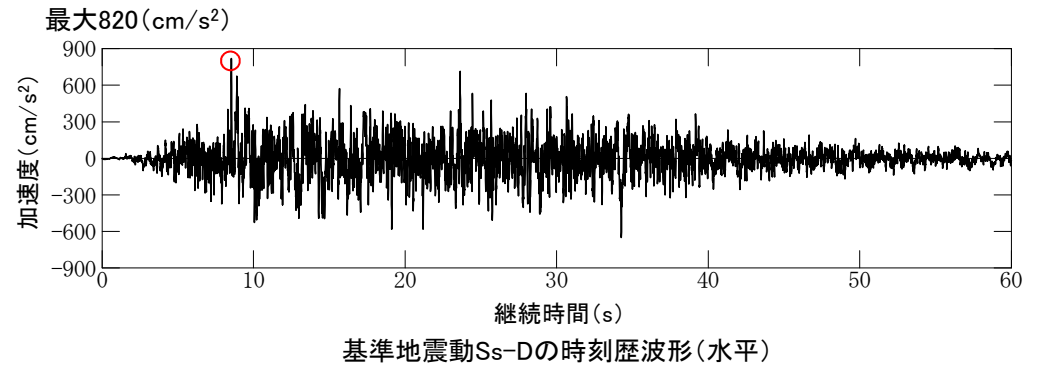
- : C₁級岩盤
- : C₂級岩盤
- : C₃級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面 ※1

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

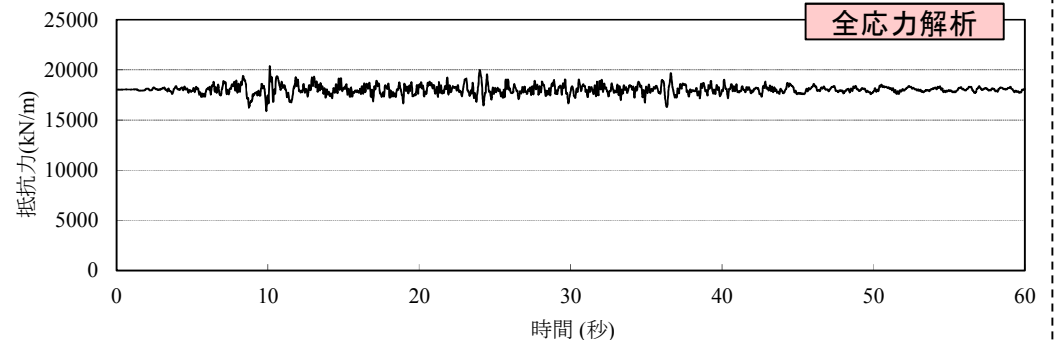
※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3. 5 評価方法」を参照)

- ・有効応力解析及び全応力解析において、液状化範囲内のすべり面上の抵抗力を比較した。
- ・有効応力解析では、約10秒から過剰間隙水圧に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、徐々に減少して概ねゼロとなる。
- ・全応力解析では、地震動の時刻歴波形に対応した抵抗力が発生しており、約16,000kN/mの比較的大きな抵抗力で推移する。

以上より、有効応力解析結果を確認した結果、液状化範囲の起動力及び抵抗力はゼロに設定することが、妥当な評価になると考えられる。

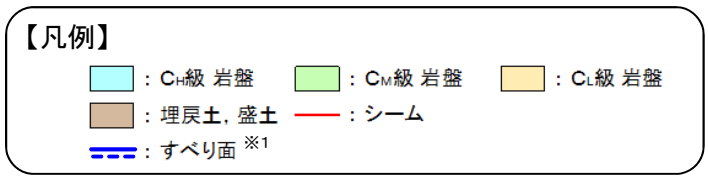
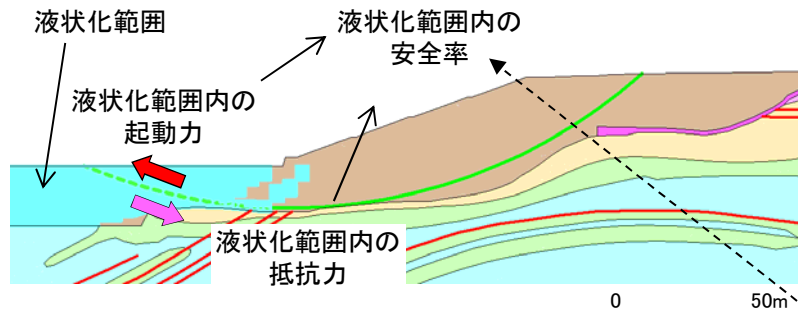


有効応力解析における液状化範囲内のすべり面上の抵抗力(Ss-D(-, +))



全応力解析における液状化範囲内のすべり面上の抵抗力(Ss-D(-, +))

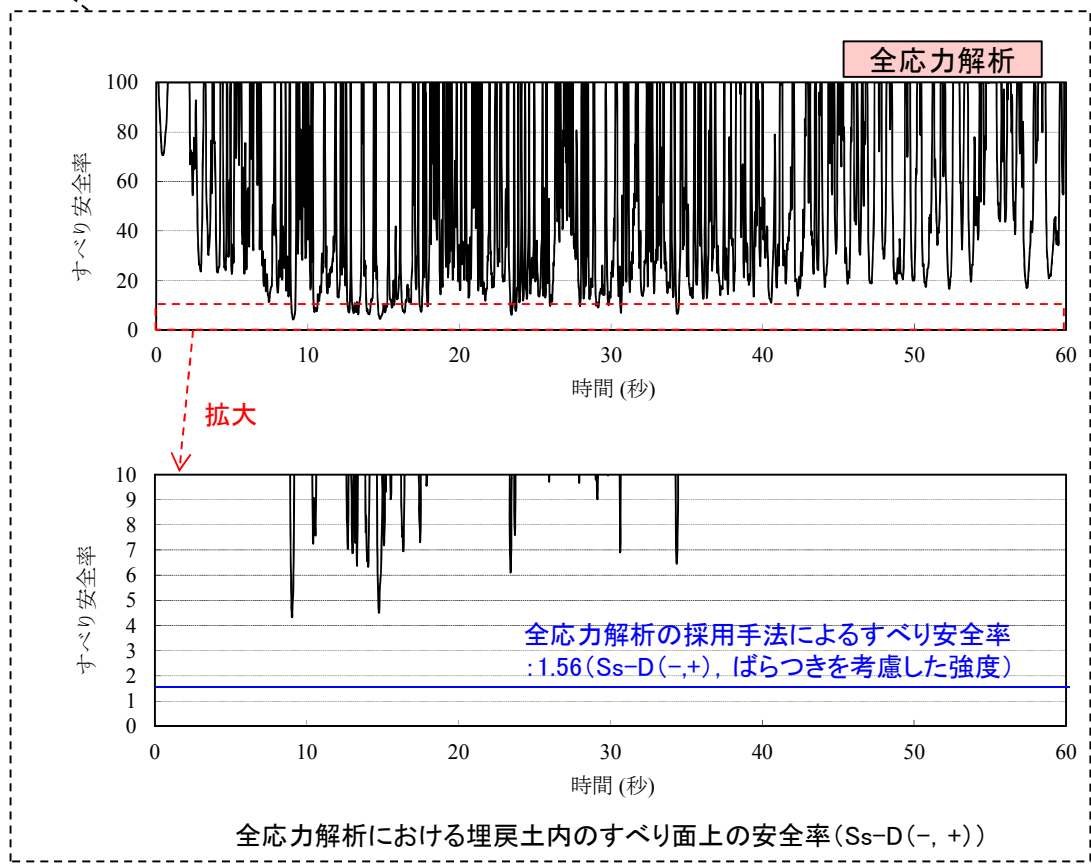
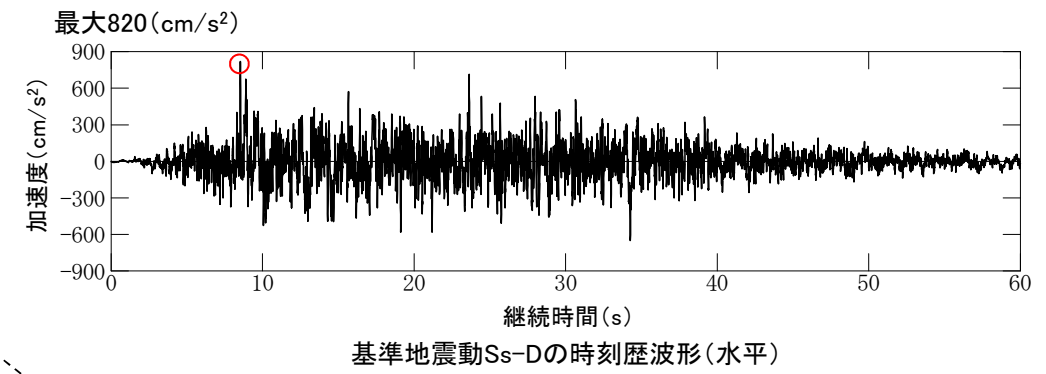
液状化範囲におけるすべり安全率の確認(保守性の確認)



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

・全応力解析の液状化範囲内のすべり安全率は、全時刻において、全応力解析の採用手法による最小すべり安全率より大きくなっていることから、起動力及び抵抗力をゼロとすることは保守的な評価になっていることを確認した。

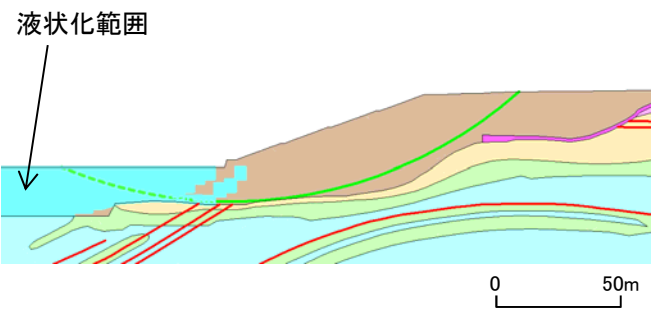


全応力解析における埋戻土内のすべり面上の安全率(Ss-D(-,+))

余白

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定

- ・全応力解析の採用手法の妥当性を確認するため、有効応力解析を用いたすべり安全率を算定し、全応力解析の採用手法によるすべり安全率との比較を行い、採用手法の妥当性を確認する。
- ・基準地震動は、継続時間が長く、液状化の影響が大きいと考えられる S_s-D のうち、全応力解析の採用手法において、最小すべり安全率を示す「 $S_s-D(-,+)$ 」とする。(その他の条件は次頁参照)

	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	
			全応力解析の採用手法 F_{S1}	(参考) 有効応力解析を用いた すべり安全率 F_{S2}
1	 <p>防波壁底面を通るすべり面</p>	S_s-D (-,+)	1.61 [13.15]	1.43 [14.78]

※1 基準地震動(-,+)は水平反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3. 5 評価方法」を参照)

【凡例】

- : C_H 級 岩盤
- : C_M 級 岩盤
- : C_L 級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面 ※3

- ・全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 及び有効応力解析によるすべり安全率 F_{S2} は、いずれも1.2を上回っている。
- ・両者のすべり安全率は概ね同等になることから、全応力解析の採用手法が妥当であることを確認した。

有効応力を用いたすべり安全率の算定方法

・有効応力を用いたすべり安全率は下表のとおり算定する。

項目		全応力解析の採用手法 (全応力を用いて液状化影響を考慮)	(参考) 有効応力解析を用いた すべり安全率の算定
すべり安全率の算定フロー		「3. 5 評価方法」に記載の方法	「3. 5 評価方法」に記載の方法
埋戻土	応力状態を求める 解析コード	<u>全応力解析結果(FLUSH)</u>	<u>有効応力解析結果(FLIP)</u>
	液状化範囲の設定	過剰間隙水圧比0.95以上の範囲(<u>S_s-Dの 波形反転の重ね合わせ・履歴考慮, 6. 4 章を参照</u>)を「液状化範囲」とする	過剰間隙水圧比0.95以上の範囲(<u>$S_s-D(-, +)$の時刻性考慮</u>)を「液状化範囲」とする
	液状化範囲の起動力	<u>考慮しない(ゼロとする)</u>	<u>考慮する(時刻性を考慮※)</u>
	液状化範囲の抵抗力	考慮しない(ゼロとする)	考慮しない(ゼロとする)
	せん断強度 (液状化範囲外)	<u>全応力表示の強度 $C=0.22(N/mm^2)$, $\phi = 22^\circ$</u>	<u>有効応力表示の強度(次頁参照) $C=0(N/mm^2)$, $\phi = 39.35^\circ$</u>

※ 埋戻土の有効応力によりすべり安全率を算出することから、時刻性を考慮した有効応力を用いる。

(参考)有効応力表示のせん断強度

・すべり安全率への影響が支配的な有効応力表示のせん断強度は、『島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」(2020年10月15日)で示されている下表のものを用いる。

埋戻土・盛土の物性値として採用

材料種別			物理特性		強度特性			変形特性			
			単位体積重量		粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ_f (°)	せん断強度 $T_f^{*1,2}$ (kN/m ²)	せん断弾性係数 $G^{*1,3,4}$ (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大減衰定数 h_{max}	
			飽和, 湿潤 $\gamma_{sat, yt}$ (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)							
地盤	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	埋戻土 (掘削スリ)	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$	0.33	0.24
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	防波壁 (逆T擁壁)	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+6.0m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
	防波壁 (波返重力擁壁)	埋戻土 (掘削スリ) (輪谷部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+6.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
		埋戻土 (掘削スリ) (地盤改良部) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	$\sigma'_m \sin 39.35^\circ$	$76570(\sigma'_m/98)^{0.5}$		

※1 σ'_m は各要素における平均有効拘束圧

※2 せん断強度式は $T_f = \sigma'_m \sin \phi_f + C \cos \phi_f$

※3 せん断弾性係数の式は $G = G_{ma} (\sigma'_m / \sigma'_{ma})^{mG}$ 。ここに G_{ma} は基準平均有効拘束圧における基準せん断弾性係数, σ'_{ma} は基準平均有効拘束圧, mG は拘束圧依存性のパラメータ(標準値=0.5)。

※4 せん断弾性係数を求める際の基準平均有効拘束圧については, 粘性土は層中央部における平均有効拘束圧を設定し, 粘性土以外については一律98kN/m²(標準値)とする。

(参考)有効応力表示のせん断強度の準拠基準

・有効応力表示のせん断強度は、『島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」(2020年10月15日)で示されている下表の基準に準拠して設定している。

解析用物性値		準拠基準
物理特性	単位体積重量	<ul style="list-style-type: none"> 飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m³) 水中 γ' (kN/m³)
		<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土(掘削ズリ), 砂礫層, 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 逆T擁壁): 現地調査結果により設定 埋戻土(粘性土), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ), 砂礫層(波返重力擁壁), 改良地盤(波返重力擁壁): 『港湾基準』に準拠し設定 構造物: 『港湾基準, p.415』及び『コンクリート標準示方書(土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定
強度特性	粘着力 C (kN/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-69』に準拠し, 埋戻土(掘削ズリ, 粘性土): 0 (kN/m²), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 20 (kN/m²) 『浸透固化処理工法技術マニュアル, p.26』に準拠し, 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁): $qu / (2 \times \tan(45^\circ + \phi/2))$ 『ジェットグラウト工法 技術資料(第23版), p.21』に準拠し, 改良地盤(波返重力擁壁): 500kN/m²
	せん断抵抗角 Φ_f (°)	<ul style="list-style-type: none"> 埋戻土(掘削ズリ): 液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1)により算定 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 35° 改良地盤(多重鋼管杭式擁壁, 鋼管杭式逆擁壁): 原地盤(埋戻土(掘削ズリ))相当の値を設定 改良地盤(波返重力擁壁): 攪拌系の改良である高圧噴射攪拌工法による改良のため, 安全側である0°に設定 埋戻土(粘性土): 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-65』に準拠し設定 30°
	せん断強度 T_f (kN/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> 『FLIP取扱説明書, p.8-1』に示された定義式 ($\tau = \sigma_m \sin \Phi_f + C \cos \Phi_f$) に基づき設定
変形特性	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	<ul style="list-style-type: none"> 液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1)により基準せん断弾性係数G_{ma}を算出し, 『FLIP取扱説明書, p.8-2』に示された定義式に基づき設定
	ポアソン比 ν	<ul style="list-style-type: none"> 地盤: 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章, p.1-61』に準拠し設定 0.33 構造物: 『コンクリート標準示方書(土木学会, 2002), p.29』に準拠し設定 0.20
	最大減衰定数 H_{max}	<ul style="list-style-type: none"> 国土技術政策総合研究所HP公開の『一次元FLIP入力データ作成プログラム1D-MAKER 操作マニュアル, p.14,19』に準拠し設定 埋戻土(掘削ズリ), 石材(基礎捨石, 被覆石, 人工リーフ): 0.24, 埋戻土(粘性土): 0.20

(参考)有効応力表示のせん断強度の妥当性**【妥当性確認方法】**

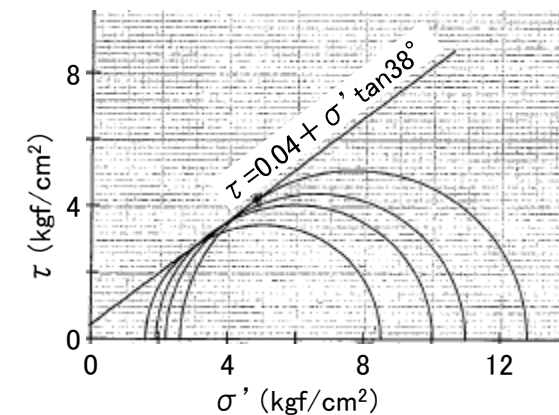
・『島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性』(2020年10月15日)で示されている物性値の妥当性を確認するため、島根原子力発電所3号炉で実施した大型三軸圧縮試験(CU)(補足説明2.7章で示した試験)のせん断強度との比較を行った。

【確認結果】

・『島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性』(2020年10月15日)で示されている物性値は、大型三軸圧縮試験(CU)のせん断強度と概ね整合しており、妥当であることを確認した。

せん断強度の比較

	有効応力解析に用いた せん断強度	大型三軸圧縮試験 (CU)の試験値
C:粘着力 (N/mm ²)	0	0.04
φ:内部摩擦角 (°)	39.35	38

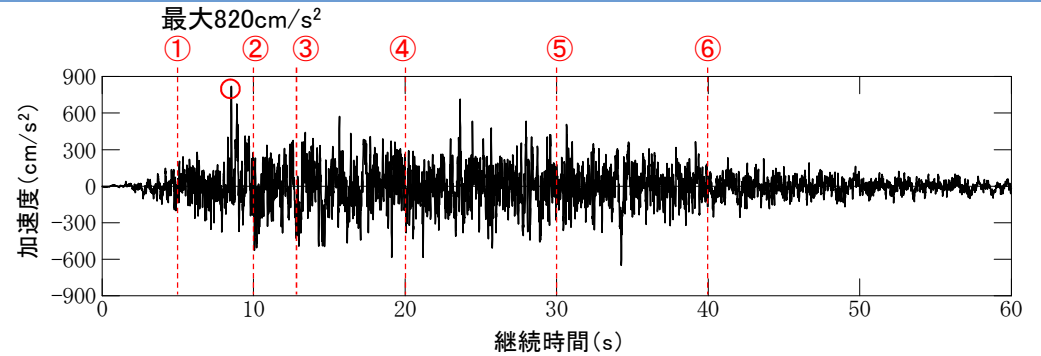


大型三軸圧縮試験(CU)の結果

余白

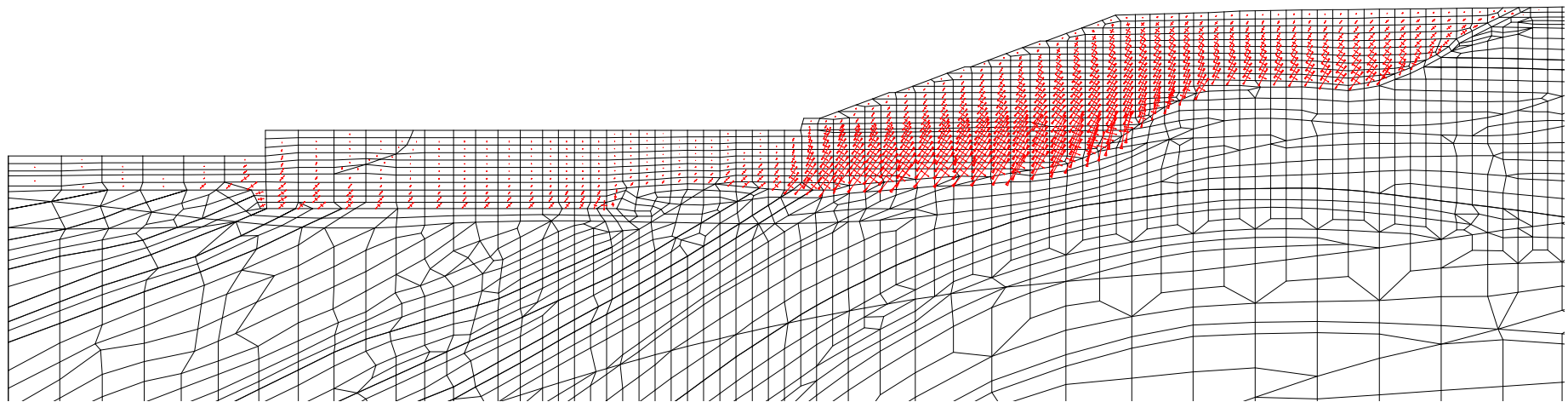
(参考) 全応力解析及び有効応力解析の応力状態(1/2)

有効応力解析



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

時刻③: 継続時間13.15秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



0 2,000 kN/m
引張
圧縮

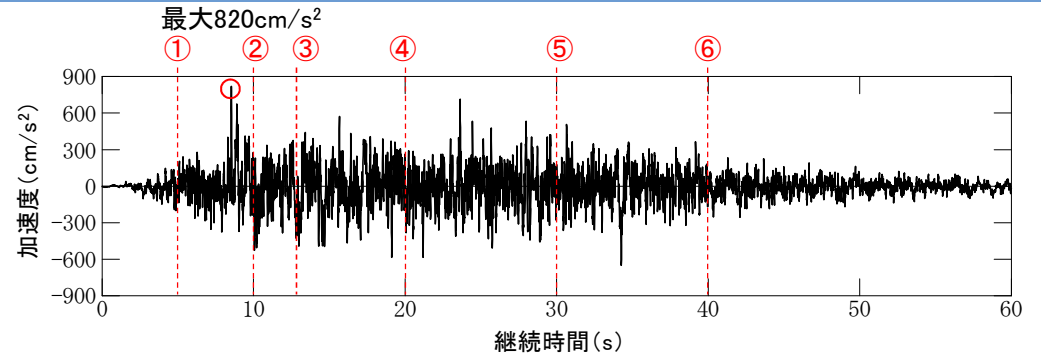
有効応力解析の応力状態

0 10m

・有効応力解析では、過剰間隙水圧の上昇に伴う応力の減少により、法尻付近の埋戻土の応力は概ねゼロとなっている。

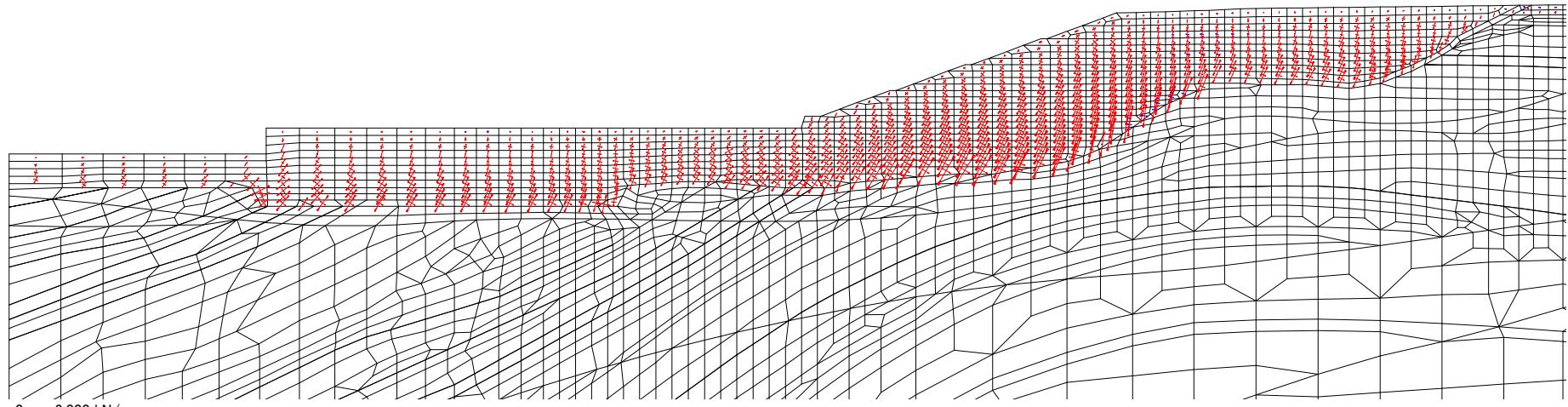
(参考)全応力解析及び有効応力解析の応力状態(2/2)

全応力解析



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

時刻③:継続時間13.15秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



0 2,000 kN/m
引張
圧縮

全応力解析の応力状態

・全応力解析では、過剰間隙水圧の上昇に伴う応力の減少が表現できないことから、法尻付近の埋戻土の応力低下は発生しておらず、有効応力解析に比べて大きな応力が発生している。

まとめ

・有効応力解析の過剰間隙水圧比の分布や応力状態を確認し、全応力解析の採用手法における、液状化範囲の設定及び起動力・抵抗力の設定が妥当であることを以下のとおり確認した。

【過剰間隙水圧比分布】

- 10秒後から、過剰間隙水圧比0.95以上となる範囲が局所的に発生し、30秒からは、繰返しせん断に伴う過剰間隙水圧の上昇により、0.95以上の範囲が法尻付近に発生する。
- 法尻よりも斜面奥側は、0.95以上の範囲は進展しない。
- 全応力解析の採用手法における液状化範囲は、過剰間隙水圧比0.95以上の範囲(S_s - D の波形反転の重ね合わせ・履歴考慮)を対象に設定している。

以上のことから、全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定が保守的になっていることを確認した。

【応力状態】

- 有効応力解析では、液状化範囲内の起動力及び抵抗力は、約10秒から過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下が顕著に現れ始め、概ねゼロとなる。
- 全応力解析では、液状化範囲内の起動力及び抵抗力は、地震動の時刻歴波形に対応した抵抗力が発生しており、比較的大きな値で推移する。

以上より、有効応力解析結果を確認した結果、液状化範囲の起動力及び抵抗力はゼロに設定することが、現実的な評価になると考えられる。

【有効応力解析を用いたすべり安全率】

- 有効応力解析を用いたすべり安全率は、全応力解析の採用手法と概ね同等になることから、全応力解析の採用手法が妥当であることを確認した。

7. まとめ

7. まとめ

<基礎地盤>

1. 将来活動する可能性のある断層等の有無

評価対象施設が設置される地盤には、将来も活動する可能性のある断層等が露頭していないことを確認した。

2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

地下水位の分布を踏まえ、液状化影響を考慮した基礎地盤のすべり安定性評価を実施した結果、想定される地震動に対して、評価対象施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。

3. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価

地震発生に伴う周辺地盤の変状による建物・構築物の液状化、揺すり込み沈下を起因とする施設間の不等沈下が生じないことを確認した。

4. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

地震発生に伴う地殻変動解析による基礎地盤の傾斜及び撓みにより、評価対象施設が重大な影響を受けないことを確認した。

<周辺斜面>

1. 地震力に対する周辺斜面の安定性評価

地下水位の分布を踏まえ、液状化影響を考慮したすべり安定性評価を実施した結果、想定される地震動の地震力により崩壊しないことから、当該施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認した。

・以上のことから、島根原子力発電所2号炉の評価対象施設の基礎地盤及び周辺斜面は、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を有しており、設置許可基準則第3条、4条、38条、及び39条に適合していることを確認した。

参考文献

- (1) 阿部真郎・林一成(2011): 近年の大規模地震に伴う地すべりの運動形態と地形・地質的発生の場合, 日本地すべり学会誌, 48巻, p.52-61
- (2) 土木学会(2009): 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>, 土木学会原子力土木研究委員会, 2009
- (3) Rongjiang Wang, Francisco Lorenzo Martin and Frank Roth (2003): Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust – FORTRAN programs EDGRN/EDCMP, Computers and Geosciences, Vol.29, pp.195-207
- (4) 宅地防災マニュアルの解説: 宅地防災マニュアルの解説[第二次改訂版][Ⅱ], [編集]宅地防災研究会, 2007
- (5) 土木学会,H15: 過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響, 土木学会地震工学委員会レベル2 地震動による液状化研究小委員会 レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp397-400, H15.6
- (6) 地盤工学会,H18: 地盤工学用語辞典, pp219-220, H18.3
- (7) 井合進,H20: サイクリックモビリティCyclic Mobility, 地盤工学会誌, 56-8, H20.3
- (8) 吉見吉昭,H3: 砂地盤の液状化(第二版), 技報堂出版, H3.5
- (9) 安田,H3: 液状化の調査から対策工まで, 安田進, 鹿島出版会, H3.5