

島根原子力発電所2号炉 審査資料	
資料番号	EP(E)－068改01
提出年月	令和2年8月5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2年8月5日
中国電力株式会社

Energia

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	代表施設や評価対象断面以外の各施設・断面のすべり安定性評価について、代表施設や評価対象断面の評価に代表できる理由を詳細に記載すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	P23~76
2	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)における検討断面の設定の考え方について詳細に記載すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	P63~70
3	防波壁の構造の詳細を説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	補足説明 8章
4	各施設をモデル化する際の手順とパラメータ等の詳細を説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	補足説明 3章
5	周辺斜面の地下水位の設定方針及び液状化の考え方について説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	P108~111, 198, 215~235
6	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)における杭の支持力の設計方法及び計算プロセスを説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	P119,120
7	敷地に分布する埋戻土の物性設定について詳細を説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	補足説明 2.7章
8	局所安全係数分布図において、せん断強度に達した要素等を通るすべり面を設定しない理由を説明すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	補足説明 6章
9	すべり安全率一覧表において、各すべり安全率の時刻を記載すること。	令和2年6月19日 第868回審査会合	補足説明 7章

1. 評価概要	3
2. 地質の概要	9
3. 基礎地盤の安定性評価	
3.1 評価方針	20
3.2 代表施設の選定	
3.2.1 全体方針	23
3.2.2 選定結果	28
3.3 評価対象断面の選定	58
3.4 解析用物性値	89
3.5 評価方法	105
3.6 入力地震動	122
3.7 評価結果	127
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	141
4.2 評価結果	143
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	151
5.2 評価結果	157
6. 周辺斜面の安定性評価	
6.1 評価方針	161
6.2 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	167
6.3 評価対象斜面の選定	170
6.4 評価方法	197
6.5 評価結果	205
6.6 液状化影響検討	215
7. まとめ	236
【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
	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いることを確認する	・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。 ・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で深の埋戻土、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。 ・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	・施設を設置状況を踏まえ、地震発生に伴う不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等により、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する。	4章
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)

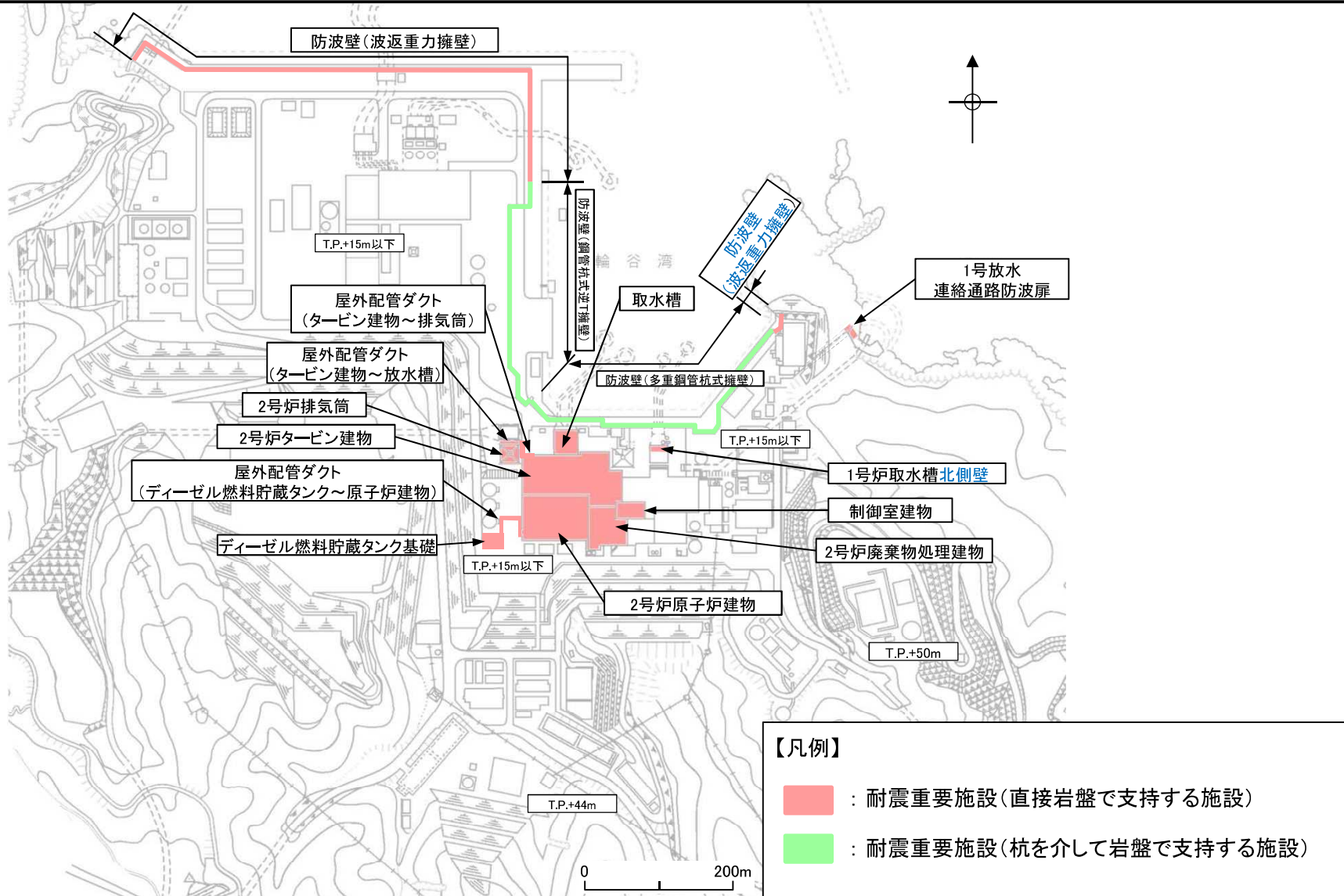
第868回審査会合
資料3-1 p6 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

・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。

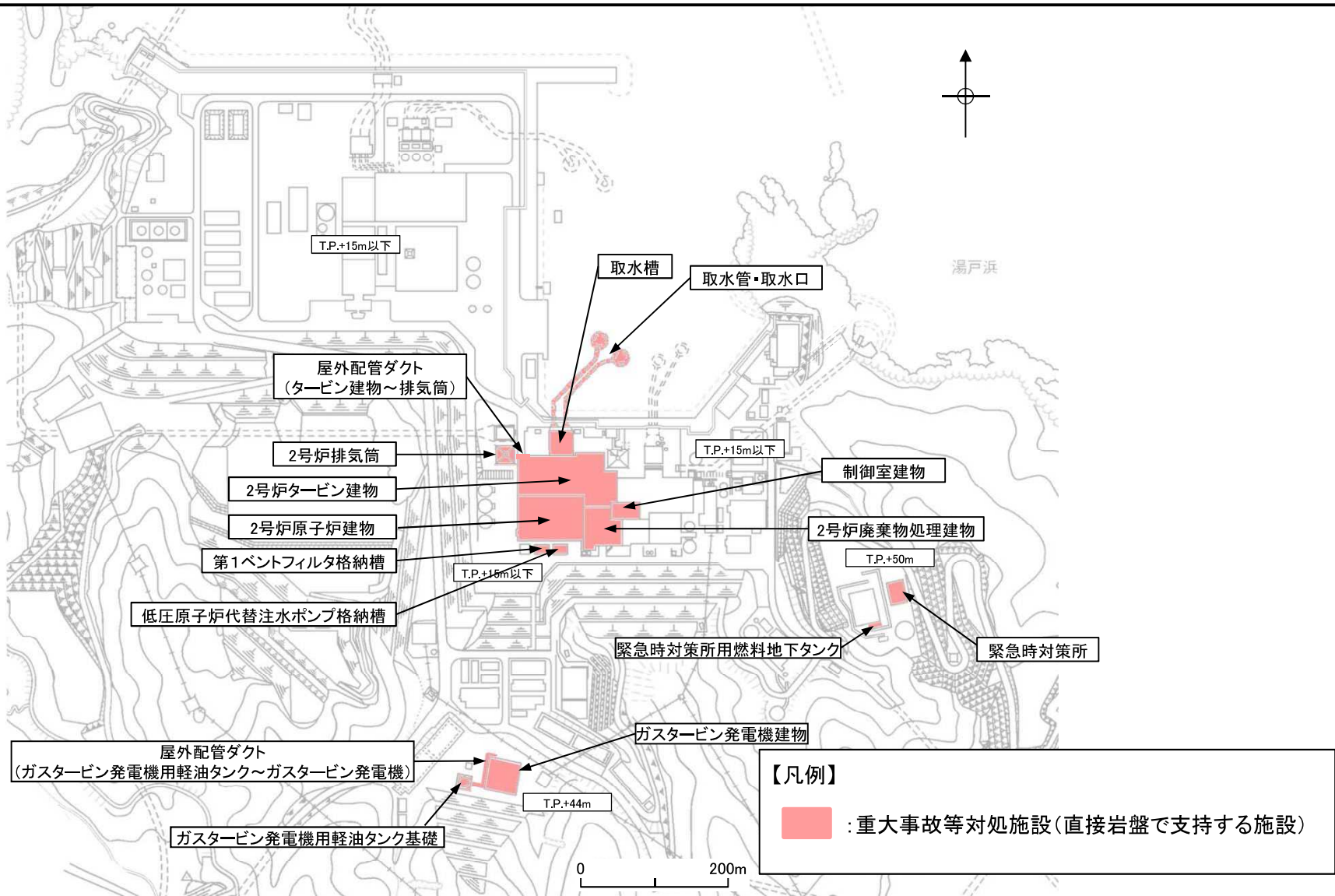
設置許可基準規則		確認内容	本資料の 対応
本文	別記		
<p>第4条第4項 第39条第2項 施設は斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪基準地震動による安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認する ▪崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去あるいは敷地内土木工作物による斜面の保持等の措置を講ずる ▪地質・地盤の構造、地盤等級区分、液状化の可能性及び地下水の影響等を考慮する 	<ul style="list-style-type: none"> ▪動的解析の結果に基づく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

評価対象施設(1/2)

・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。



・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。



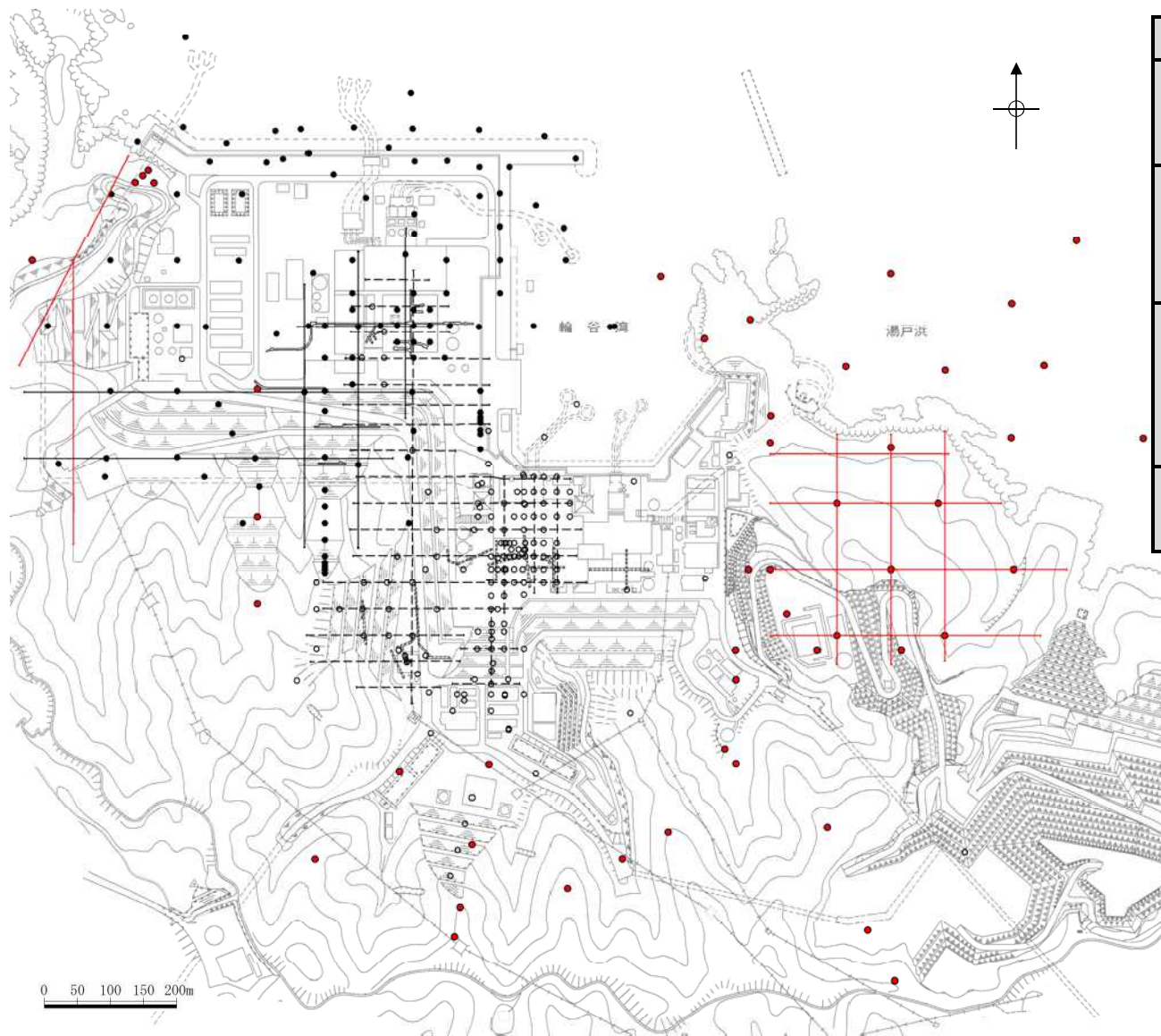
2. 地質の概要

2. 地質の概要

敷地内地質調査内容

第868回審査会合
資料3-1 p.10 再掲

10



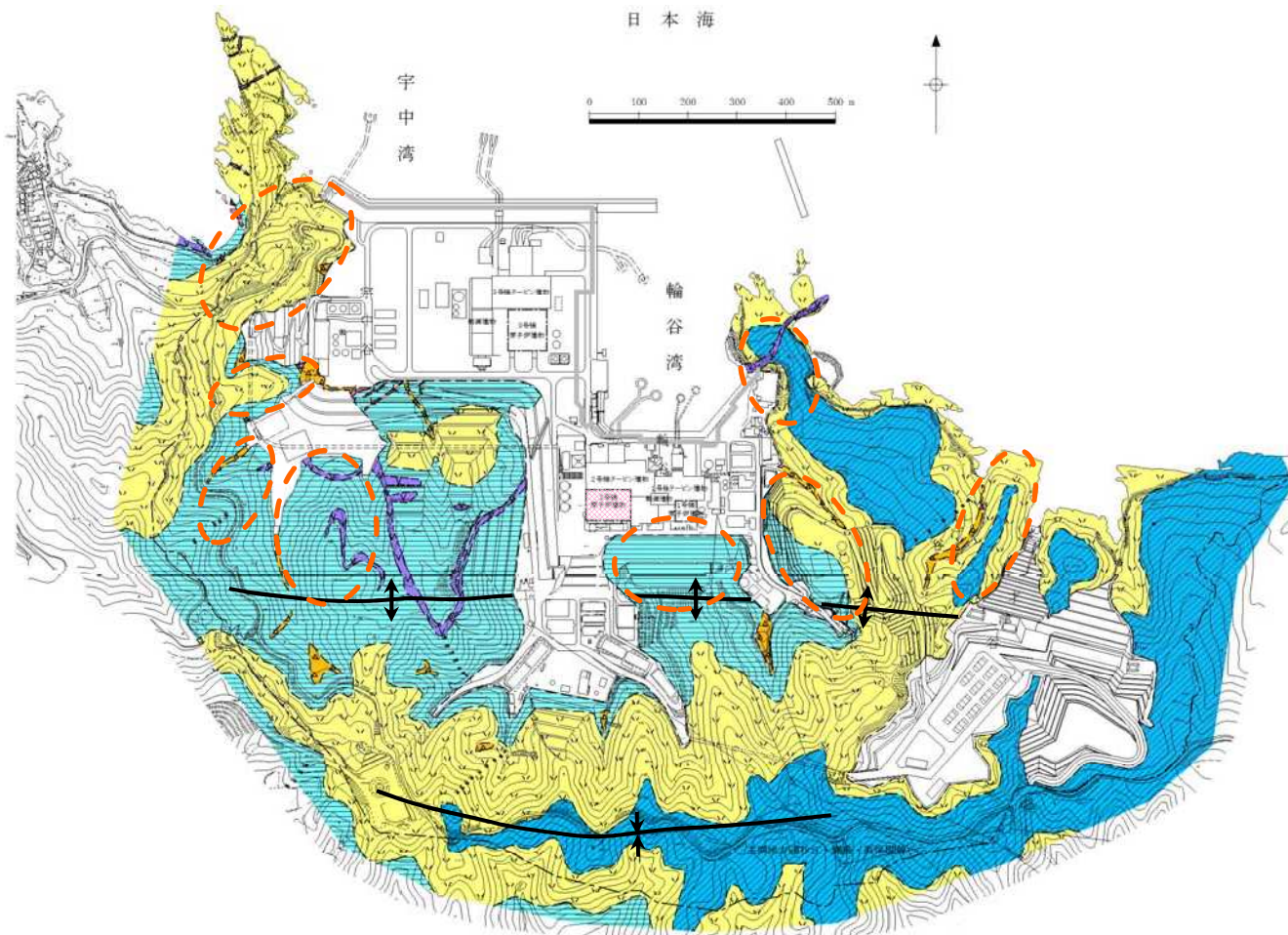
調査項目	1・2号炉調査他 1968～1982年度 2006～2008年度	3号炉調査 1995～2002年度	その他調査 1995年度 2007～2008年度 2011～2015年度 2019年度	合計
弾性波探査	5,600m (24測線)	2,520m (6測線)	3,320m (9測線)	11,440m (39測線)
	8,120m (30測線)			
ボーリング調査	155孔 (延9,230m)	113孔 (延12,293m)	49孔 (延4,963m)	317孔 (延26,486m)
	268孔 (延21,523m)			
試掘坑調査	840m	930m	—	1,770m
	1,770m			

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 完新世	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 新第三紀	貫入岩類	安山岩	V V V V	
		ドレライト	L L L L	
	成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩	■ ■ ■ ■
	火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩	▽▽ ▽▽	
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

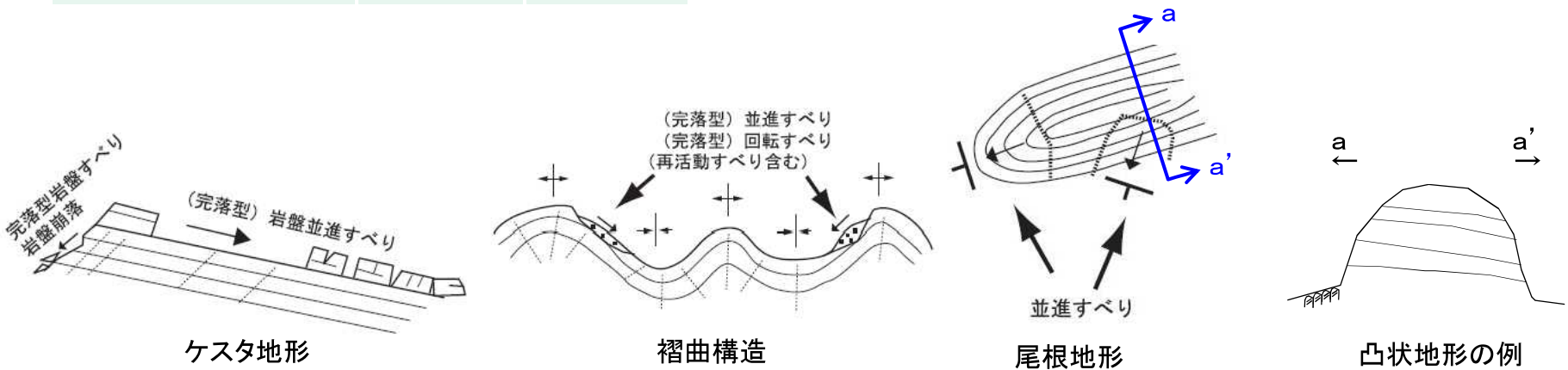
- ・敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四系の崖錐堆積物等から構成される。
- ・敷地の南方には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められる。
- ・敷地には、連続する破碎部や断層、耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持地盤を切る地滑り面は認められない。
- ・敷地には、北に傾斜する流れ盤構造を有する張り出し尾根地形が認められることから、斜面崩壊に影響する地形として、流れ盤構造を有する張り出し尾根地形に着目して、斜面の安定性評価を実施する。

【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】

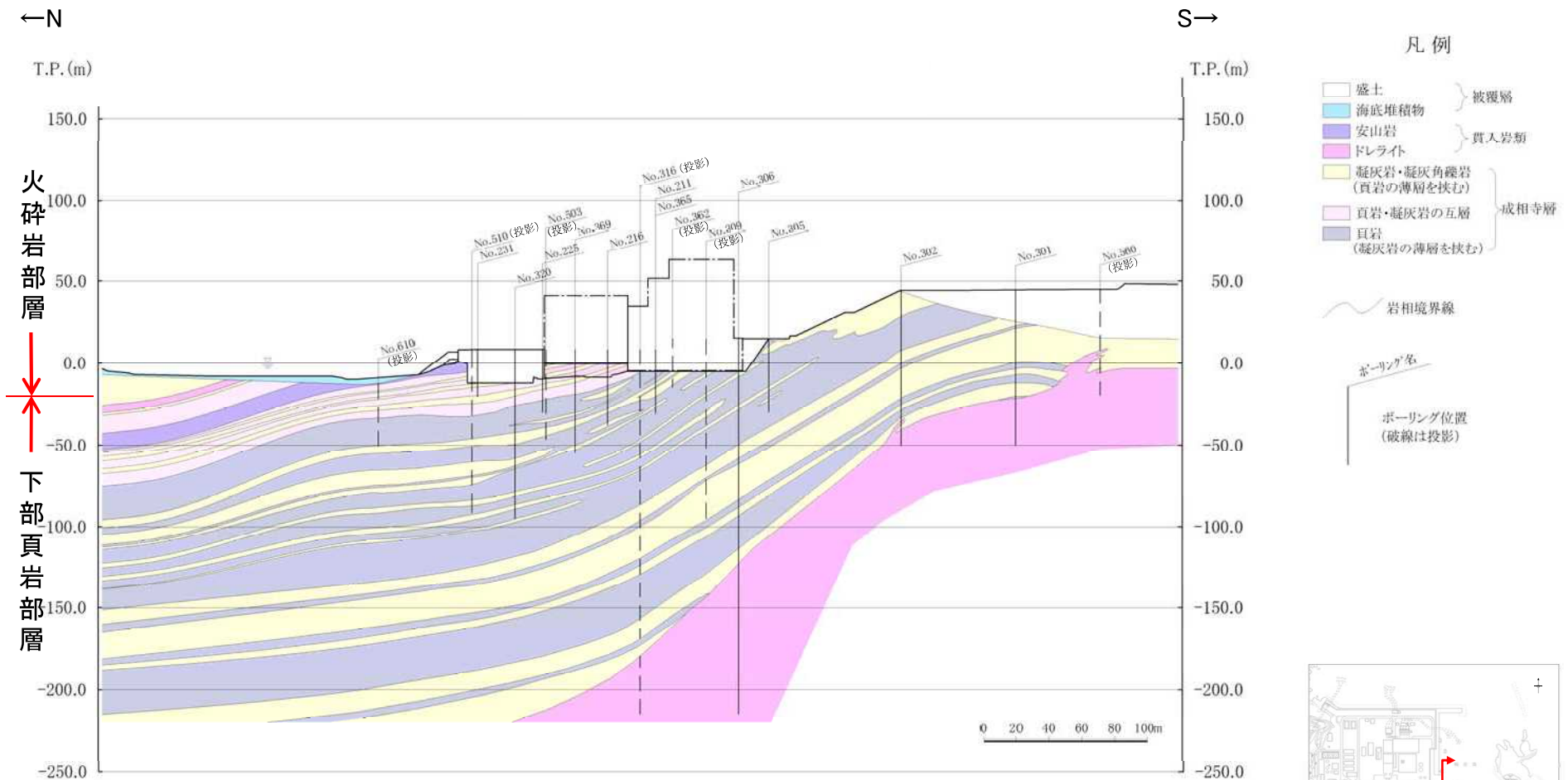
- ・中新世の礫岩・砂岩・泥岩の互層等の堆積地域では既存の層面断層及び砂岩層の層理面で発生している。
- ・鮮新世の泥岩・砂岩・シルト岩の互層等の堆積地域では岩盤並進すべりの発生が多い。これらの斜面崩壊は地層の不連続面としての層理面や層理面の一部をすべり面とし、地震動の増幅しやすいケスタや張り出し尾根など凸状地形で発生している。
- ・更新世の砂岩・泥岩等の堆積する栗原市荒砥沢ダム地点では湖成堆積層をすべり面とし、傾斜が緩やかである。



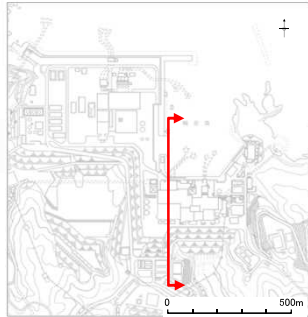
層理の発達する堆積岩分布域の斜面崩壊形状
(阿部・林(2011)より引用, 凸状地形の例及びその断面位置は加筆)

・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。



- ・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。

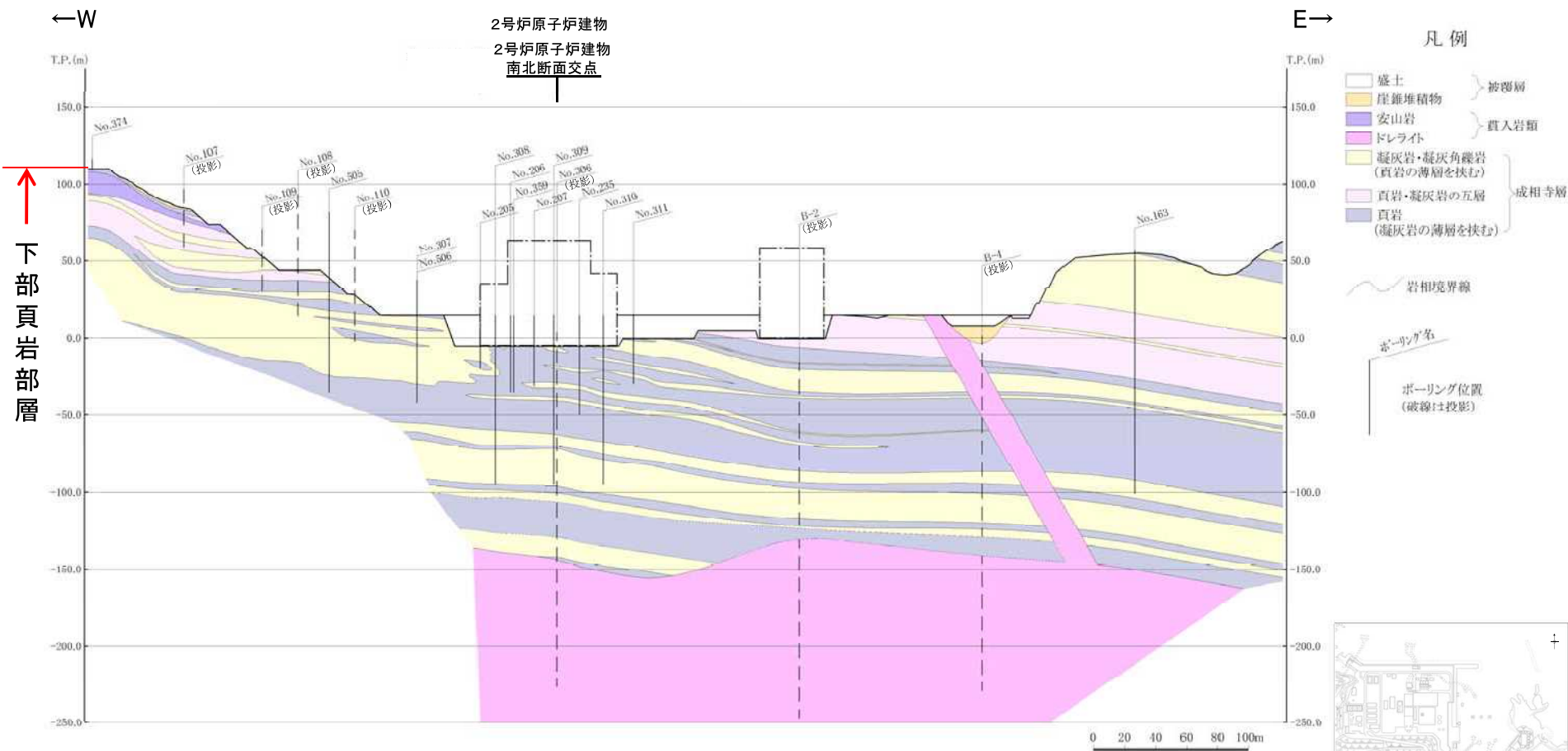


2. 地質の概要

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物東西断面)

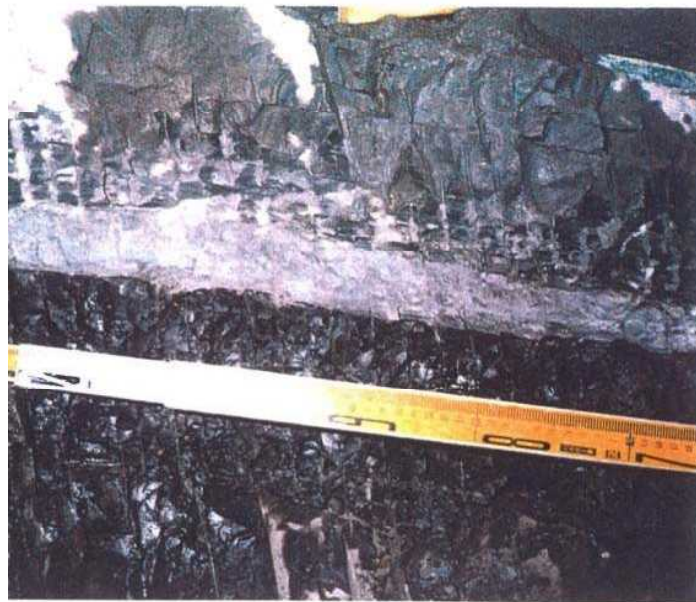
第868回審査会合
資料3-1 p.14 再掲

14

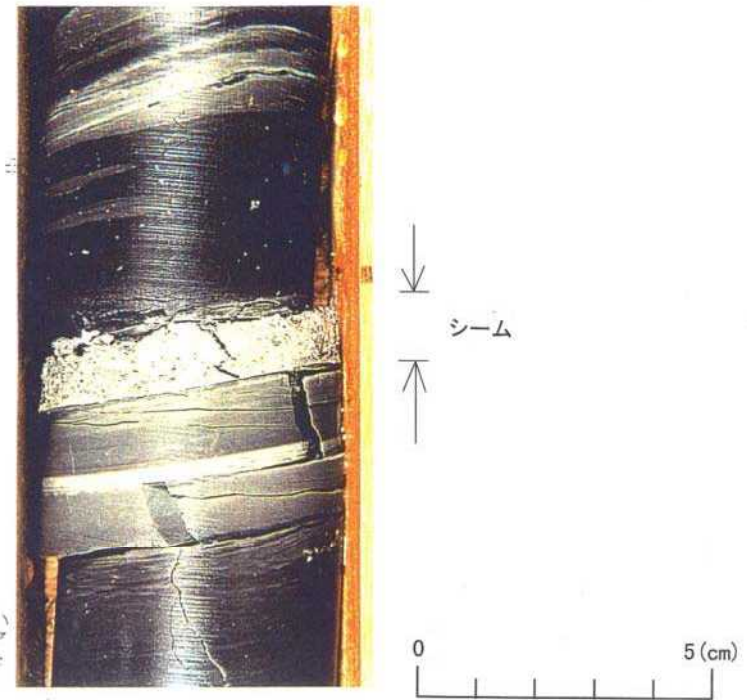


・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、東西方向の地層の傾斜は概ね水平である。

※ 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。



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。

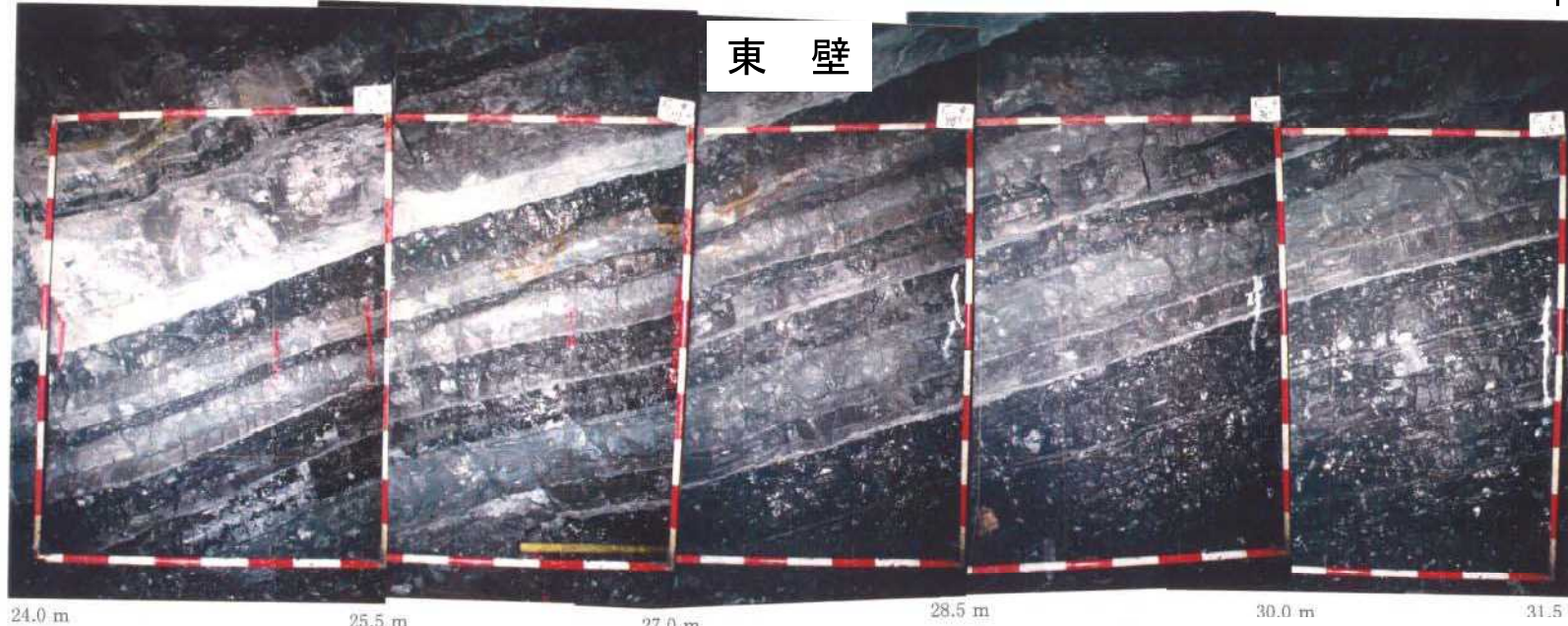
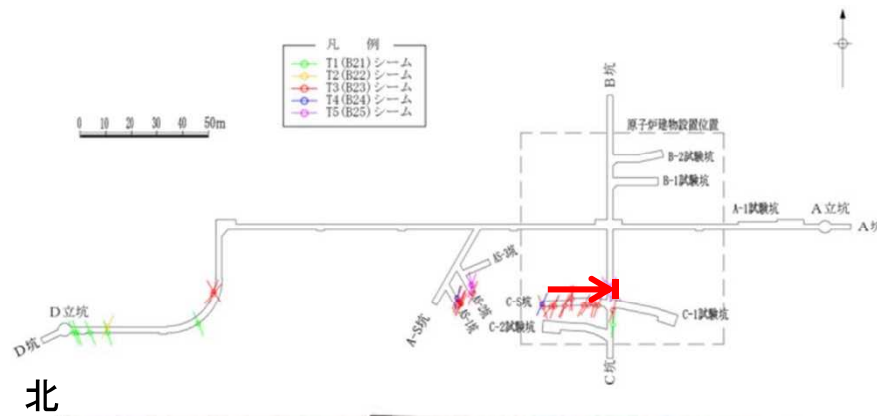
※ 敷地の地質・地質構造及びシームの活動性評価については、審査会合(平成28年1月15日)において、「概ね必要な検討がなされている」と評価されている。

2. 地質の概要

シームの性状(2/2)

第868回審査会合
資料3-1 p.16 再掲

16

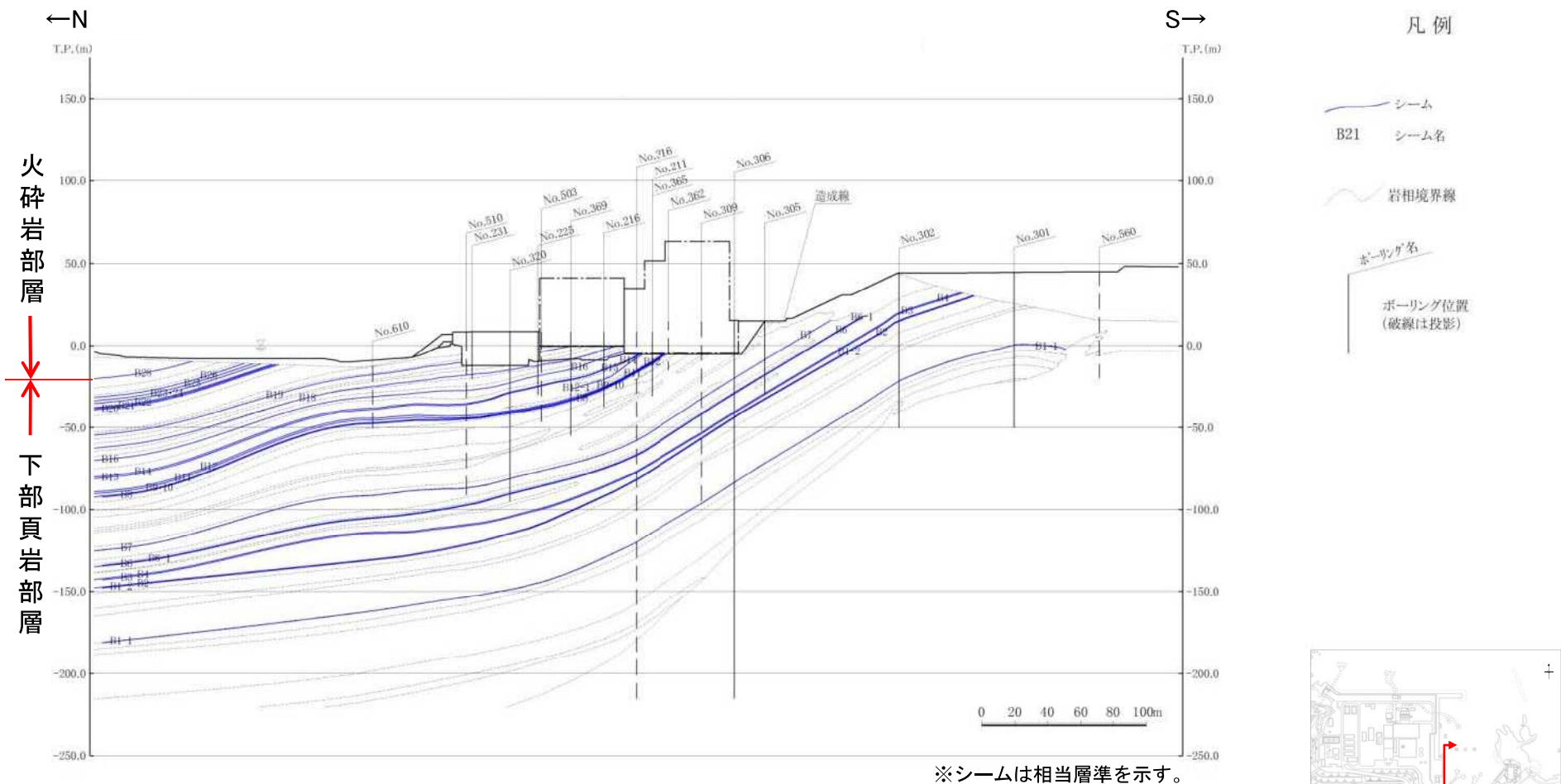


3号炉試験掘坑壁写真

坑名	側壁方向	位置
C坑	東	24.0 m ~ 31.5 m

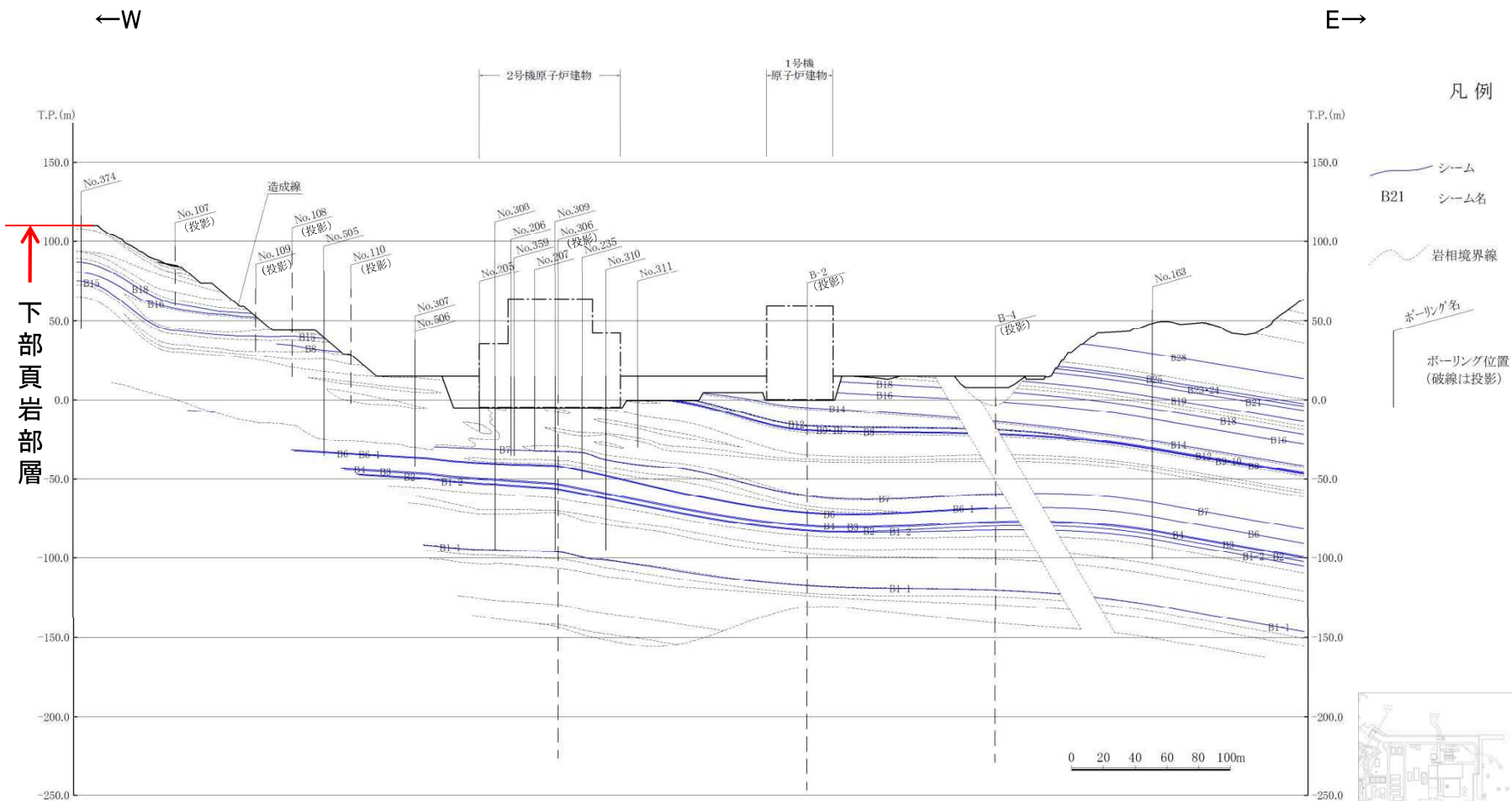
・シームは、地層を切ることなく、地層と同様の走向・傾斜で分布する。

シーム分布鉛直断面図(2号炉原子炉建物南北断面)



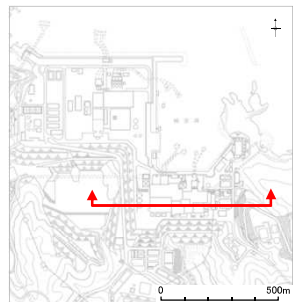
シーム分布鉛直断面図 (2号炉原子炉建物基礎地盤 (南北))

・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。



※シームは相当層準を示す。

・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

3.1 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。

1) 基礎地盤のすべり

- ・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

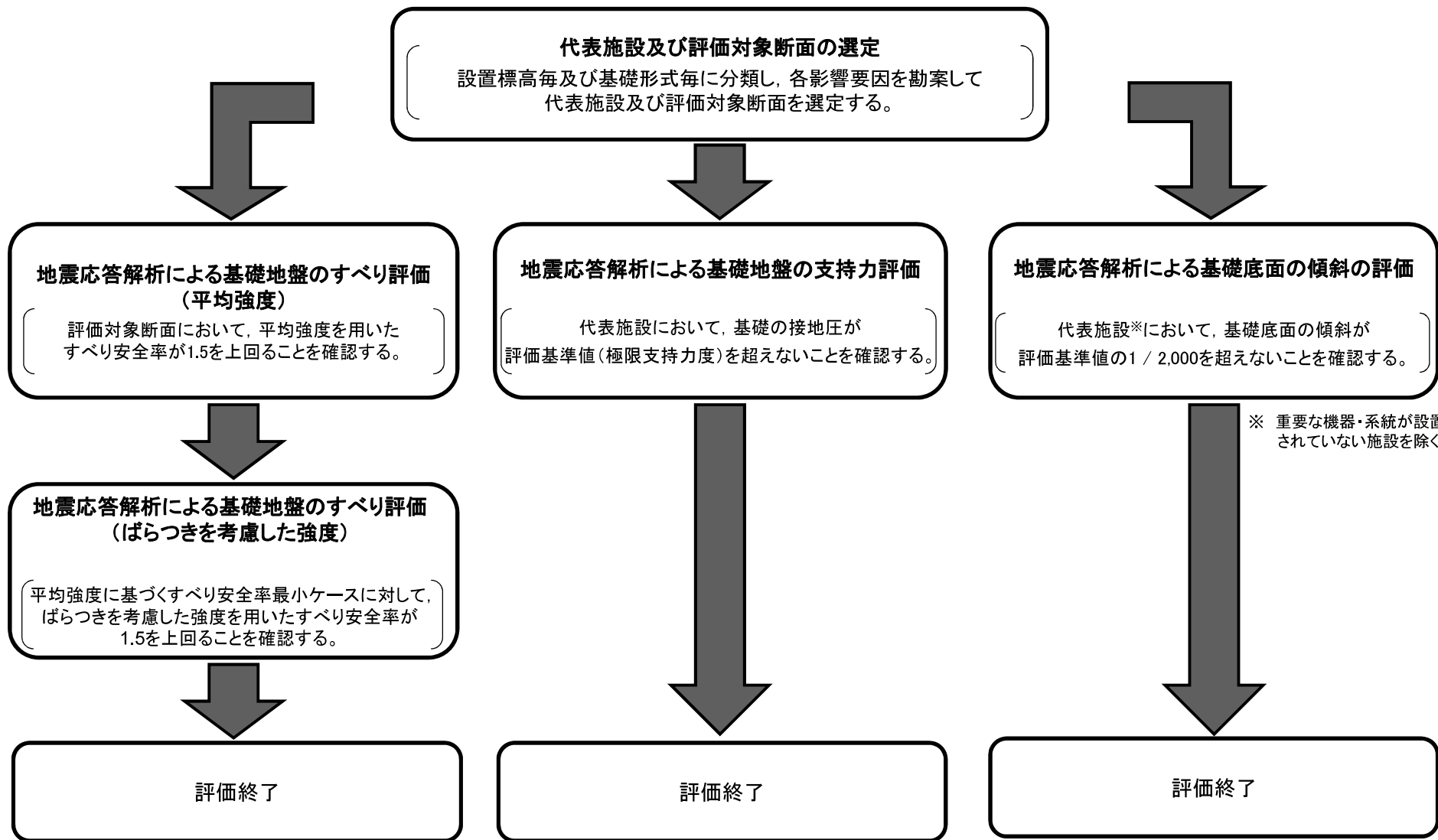
- ・原位置試験の結果等に基づいて基礎の支持力の評価基準値を設定する。
- ・動的解析の結果に基づいて算定した基礎の接地圧が評価基準値の目安を超えないことを確認する。

3) 基礎底面の傾斜

- ・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。
- ・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。

評価フロー

・基礎地盤の安定性評価の評価フローを以下に示す。



3. 基礎地盤の安定性評価

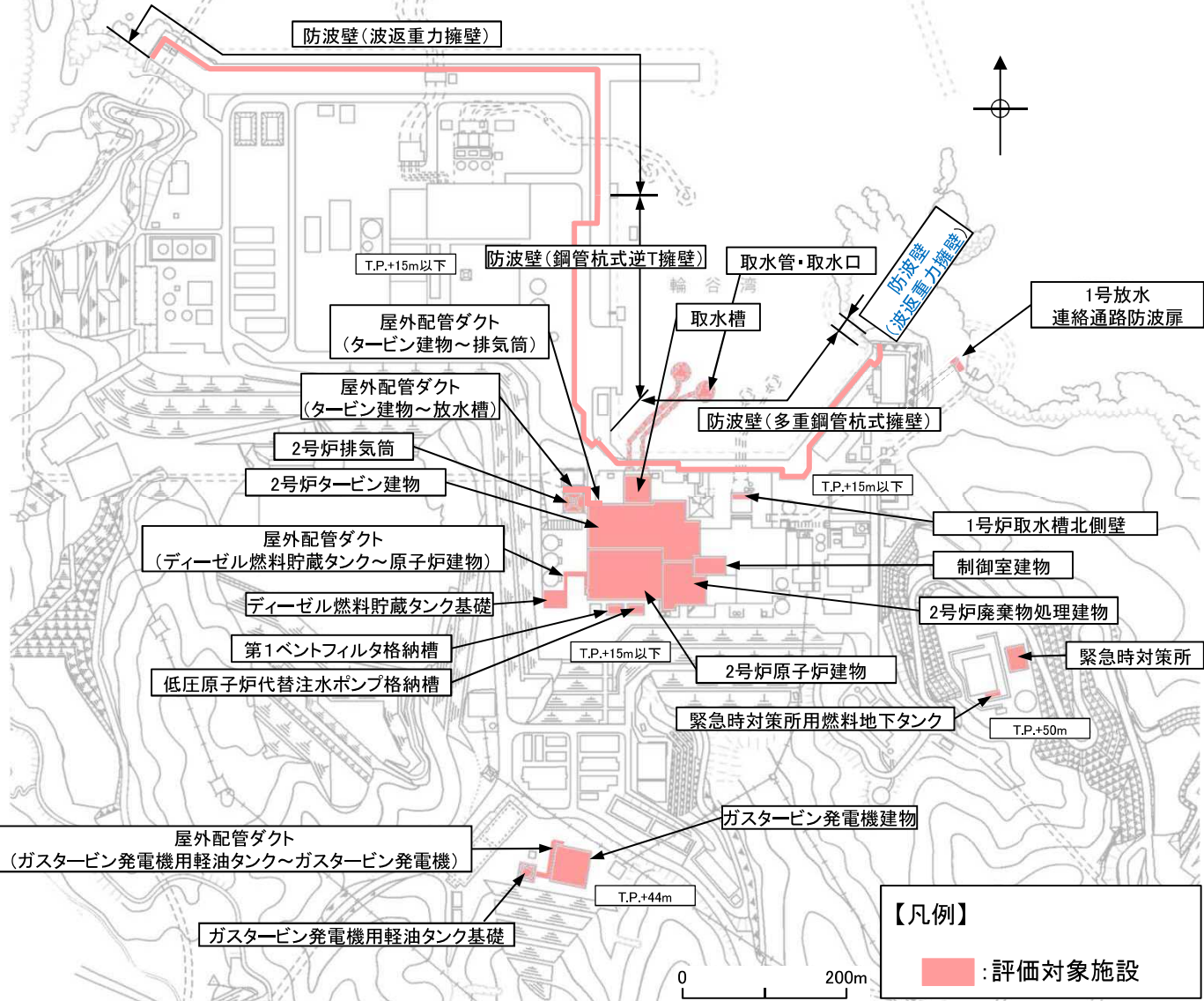
3. 2 代表施設の選定

3. 2. 1 全体方針

3. 2. 2 選定結果

全体方針

・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。



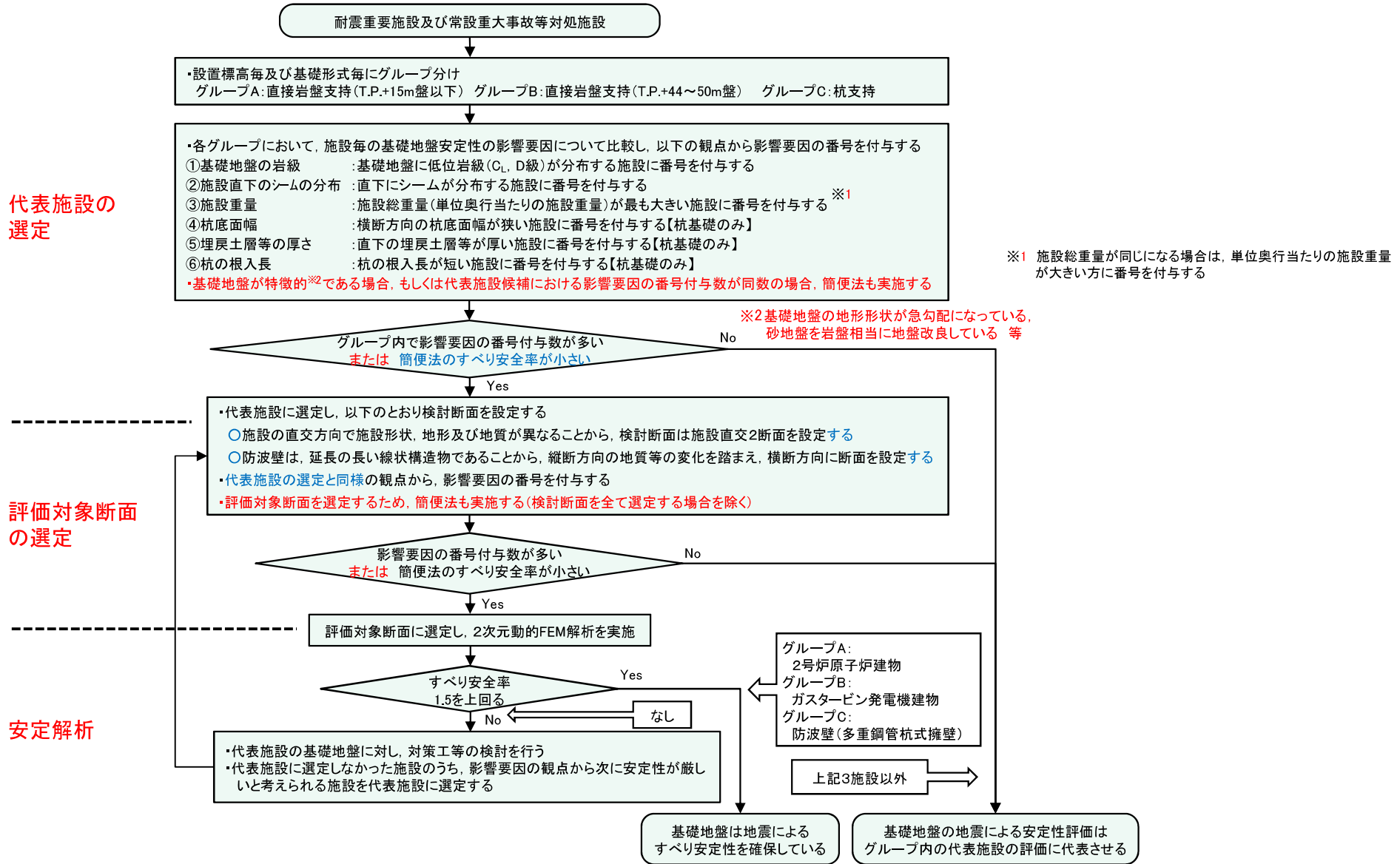
※耐震重要施設	2号炉原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉廃棄物処理建物
	制御室建物
	取水槽
	2号炉排気筒
	屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)
	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)
	1号放水連絡通路防波扉
	防波壁(波返重力擁壁)
評価対象施設	防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)
	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
	1号炉取水槽北側壁
	屋外配管ダクト(ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
	第1ベントフィルタ格納槽
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽
	取水槽・取水口
	ガスタービン発電機建物
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎
重大事故等対処施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

※ 重大事故等対処施設を兼ねる施設を含む。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価フロー

・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。



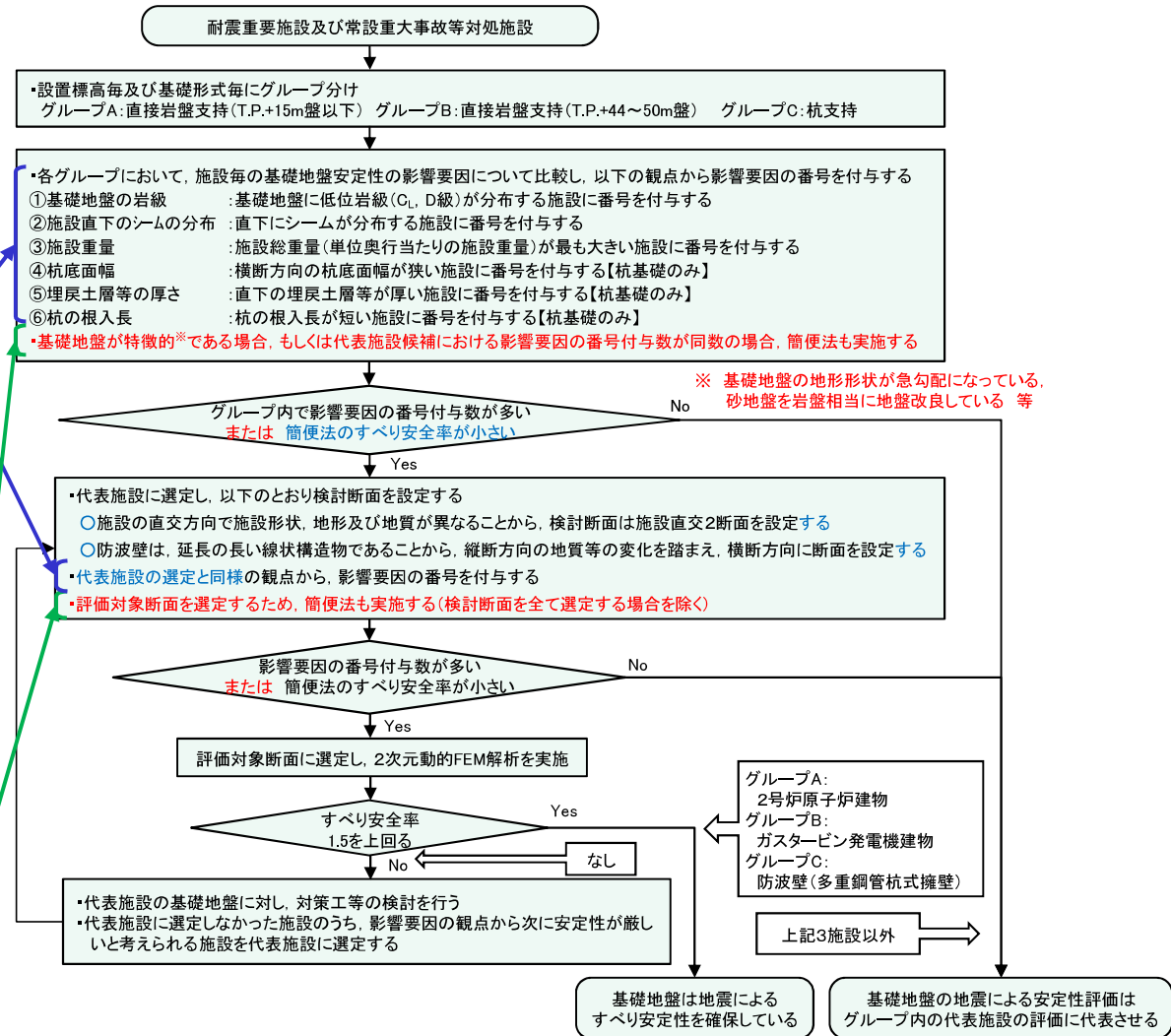
3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価方法

・代表施設及び解析断面の選定は、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	・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。
②施設直下のシームの分布	・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)	・施設重量 (単位奥行当たりの施設重量) が大きいほど, 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】	・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 【杭基礎のみ】	・埋戻土層等が厚いほど, 杭下端を通る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】	・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。



3. 基礎地盤の安定性評価

3. 2 代表施設の選定

3. 2. 1 全体方針

3. 2. 2 選定結果

グループA(直接岩盤で支持する施設, T.P.+15m盤以下)の選定結果 (1/2)

・直接岩盤で支持する施設のうち, T.P.+15m以下に設置された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p.31~44参照)

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	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	・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。
2号炉タービン建物	C _L ~C _H 級	あり	2,112 (41.08)	①, ②	・2号炉原子炉建物に比べ, 局部的に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。(p.35参照)以上のことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
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。

グループA(直接岩盤で支持する施設, T.P.+15m盤以下)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	選定理由
	① 基礎地盤の岩級	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	あり	119 (4.16)	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。 ・基礎地盤の地形形状が急勾配であるため、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。(p.32参照) 以上のことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。
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。
1号放水連絡通路防波扉	C _M ~C _H 級	なし	6 (0.98)	—	・2号炉原子炉建物に比べ、岩級は同等であるが、シームが分布しない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。
防波壁(波返重力擁壁)※4	C _M ~C _H 級	あり	145※2 (7.27※3)	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。 ・砂地盤部にケーソンを設置している区間については、砂地盤部を周辺岩盤相当に地盤改良している。(p.43参照) ・砂地盤を岩盤相当に改良している区間が存在するため、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。(p.44参照) 以上のことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。

■ : 番号を付与する影響要因

※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。

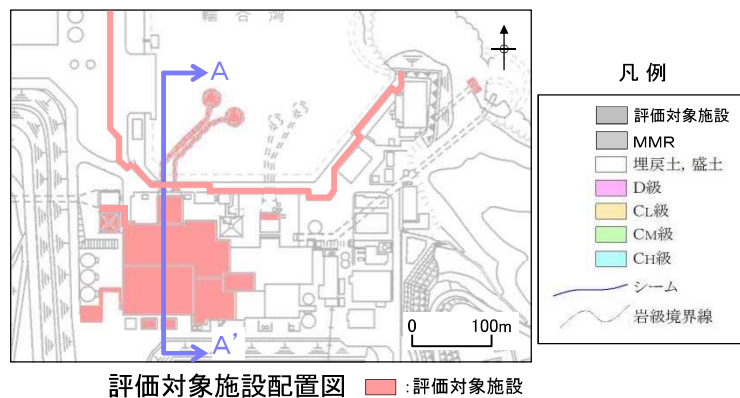
※2 1ブロック当たりの値を示す。

※3 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(20m)で除した値を記載。

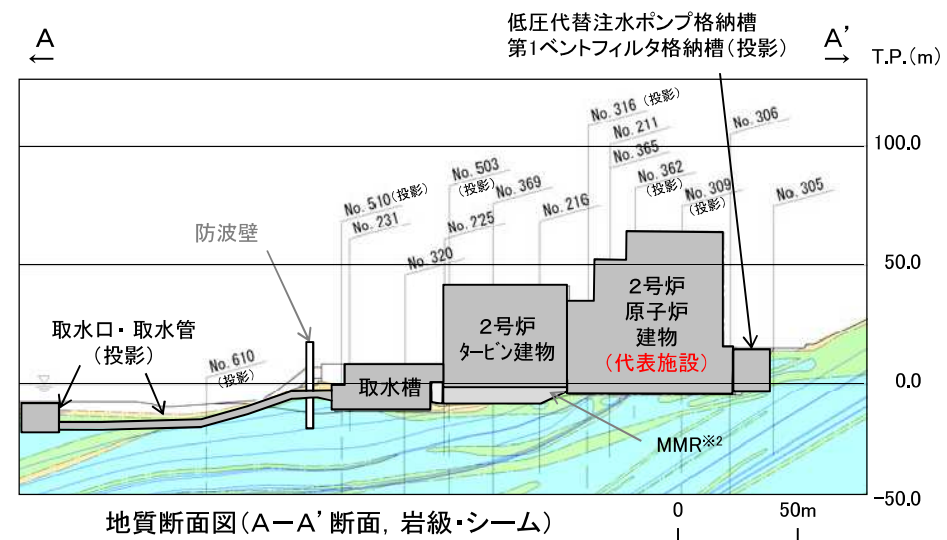
※4 防波壁(波返重力擁壁)は延長が長く、縦断方向に地質等が変化することから、影響要因②、③については、それぞれ最も厳しい諸元を記載。

評価対象施設の地質状況(グループA) (1/14)

- ・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から、代表施設に選定した。
- ・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。また、影響要因の番号付与数が2号炉原子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。(次頁参照)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。

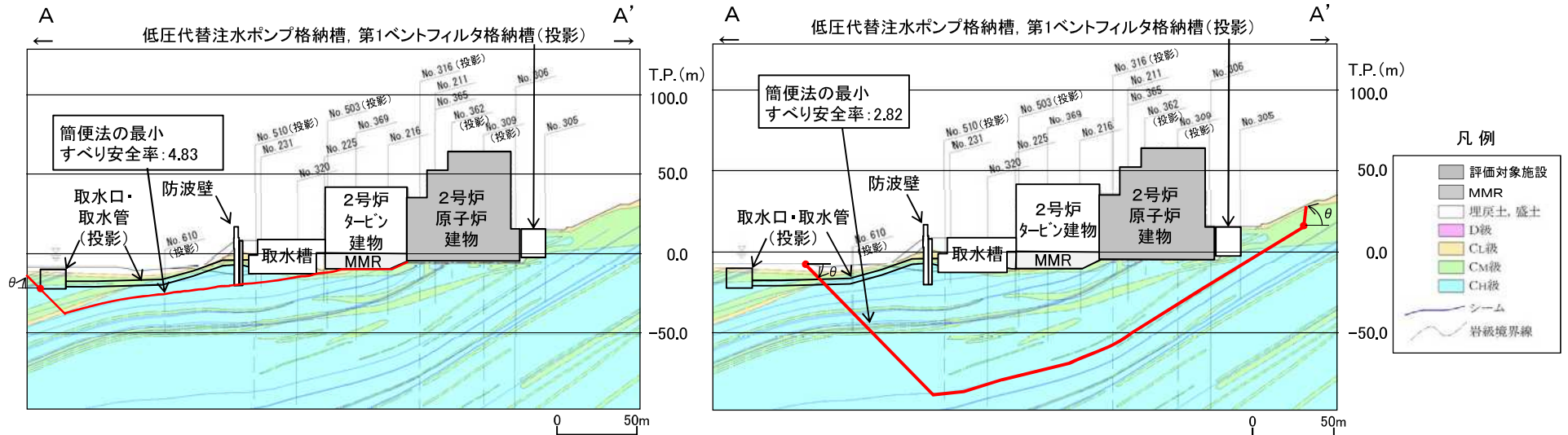


※1 取水槽、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ペントフィルタ格納槽及び取水口を示す。



3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価対象施設の地質状況(グループA) (2/14) 2号炉タービン建物基礎地盤の簡便法による比較検討



角度(°)	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	7.34	6.45	5.89	5.46	5.13	4.97	4.83

※最小すべり安全率を○で示す。

2号炉タービン建物 地質断面図(岩級・シーム)

角度(°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	80	80	80	80	80	80	80
すべり安全率		7.07	6.02	4.89	4.14	3.59	3.14	2.82

※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。

2号炉原子炉建物(南北) 地質断面図(岩級・シーム)

【検討方法】

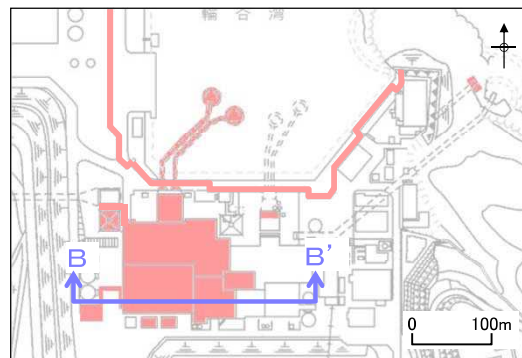
- ・2号炉タービン建物は、基礎地盤に局所的にC_L級が分布し、影響要因の番号付与数が2号炉原子炉建物と同数であることから、簡便法によりすべり安全率を算定し、2号炉原子炉建物との比較を行った。
- ・簡便法は、JEAG4601-2015に基づく静的震度「K_H=0.2, K_V=0.1」を用い、2次元動的FEM解析のすべり面の設定と同様の考え方によりパラメトリックに設定した。
- ・2号炉原子炉建物は、シームの最急勾配方向である南北方向の断面において検討した。

【検討結果】

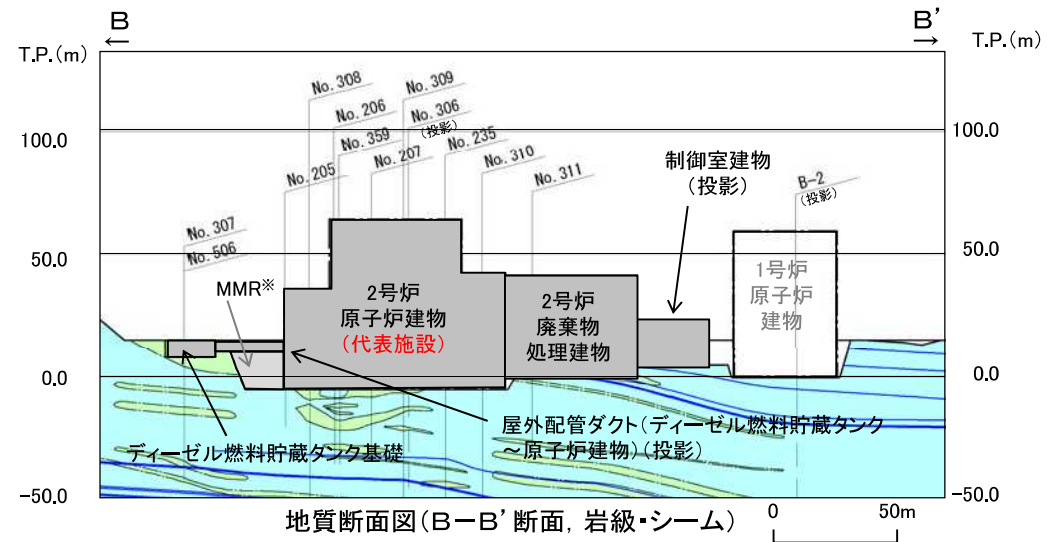
- ・簡便法の結果、すべり安全率は4.83となり、2号炉原子炉建物のすべり安全率2.82よりも有意に大きなすべり安全率となっていることを確認した。

評価対象施設の地質状況(グループA) (3/14)

- ・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。



評価対象施設配置図 ■ : 評価対象施設

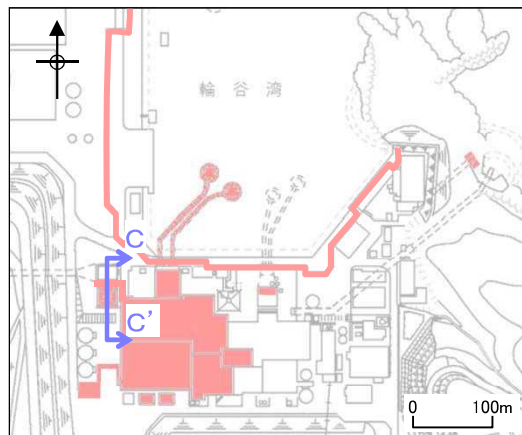


地質断面図(B-B'断面、岩級・シーム)

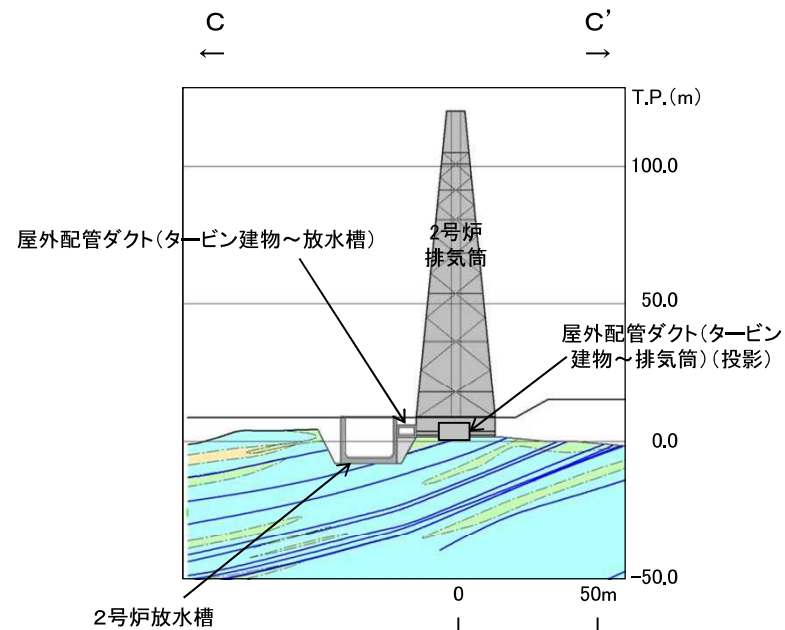
※ マンメイドロック(人工岩盤)の略称

評価対象施設の地質状況(グループA) (4/14)

・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, 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。また, 基礎地盤の地形形状が急勾配であるため, 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。(次頁参照)
 以上のことから, 2号炉原子炉建物の評価に代表させる。



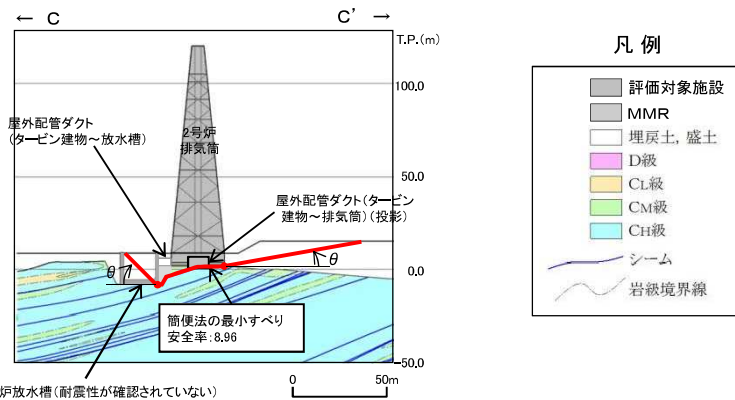
評価対象施設配置図 評価対象施設



地質断面図(C-C'断面, 岩級・シーム)

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価対象施設の地質状況(グループA) (5/14) 2号炉排気筒基礎地盤の簡便法による比較検討

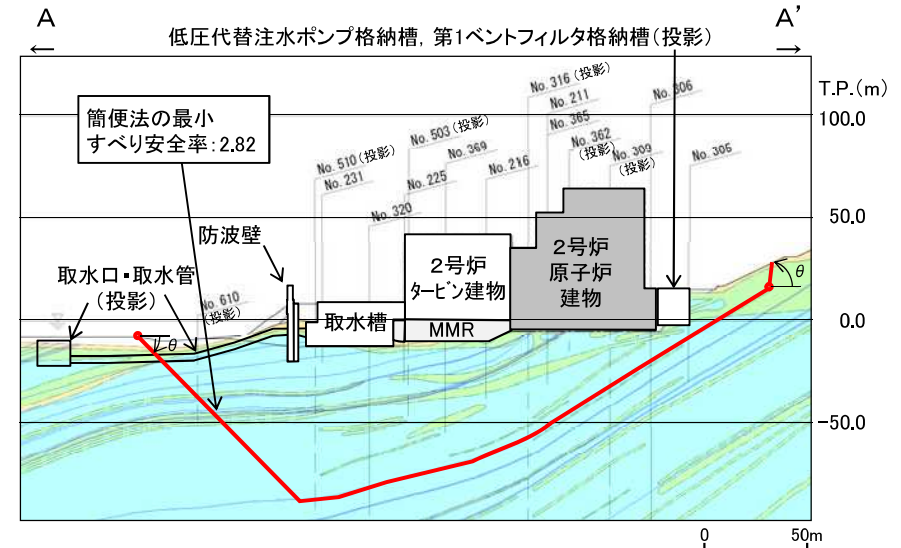


角度 (°)	左	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	右	5	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率		9.04	8.96	9.18	9.54	10.03	10.64	11.35	11.28	11.29

角度 (°)	左	45	45	45	45	45	45	45	
	右	50	55	60	65	70	75	80	85
すべり安全率		11.41	11.56	11.72	11.90	12.09	12.29	12.49	12.38

※最小すべり安全率を○で示す。左側は15~45°の最小値となる45°を記載。

2号炉排気筒等 地質断面図(岩級・シーム)



角度 (°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	80	80	80	80	80	80	80
すべり安全率		7.07	6.02	4.89	4.14	3.59	3.14	2.82

※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。

2号炉原子炉建物(南北) 地質断面図(岩級・シーム)

【検討方法】

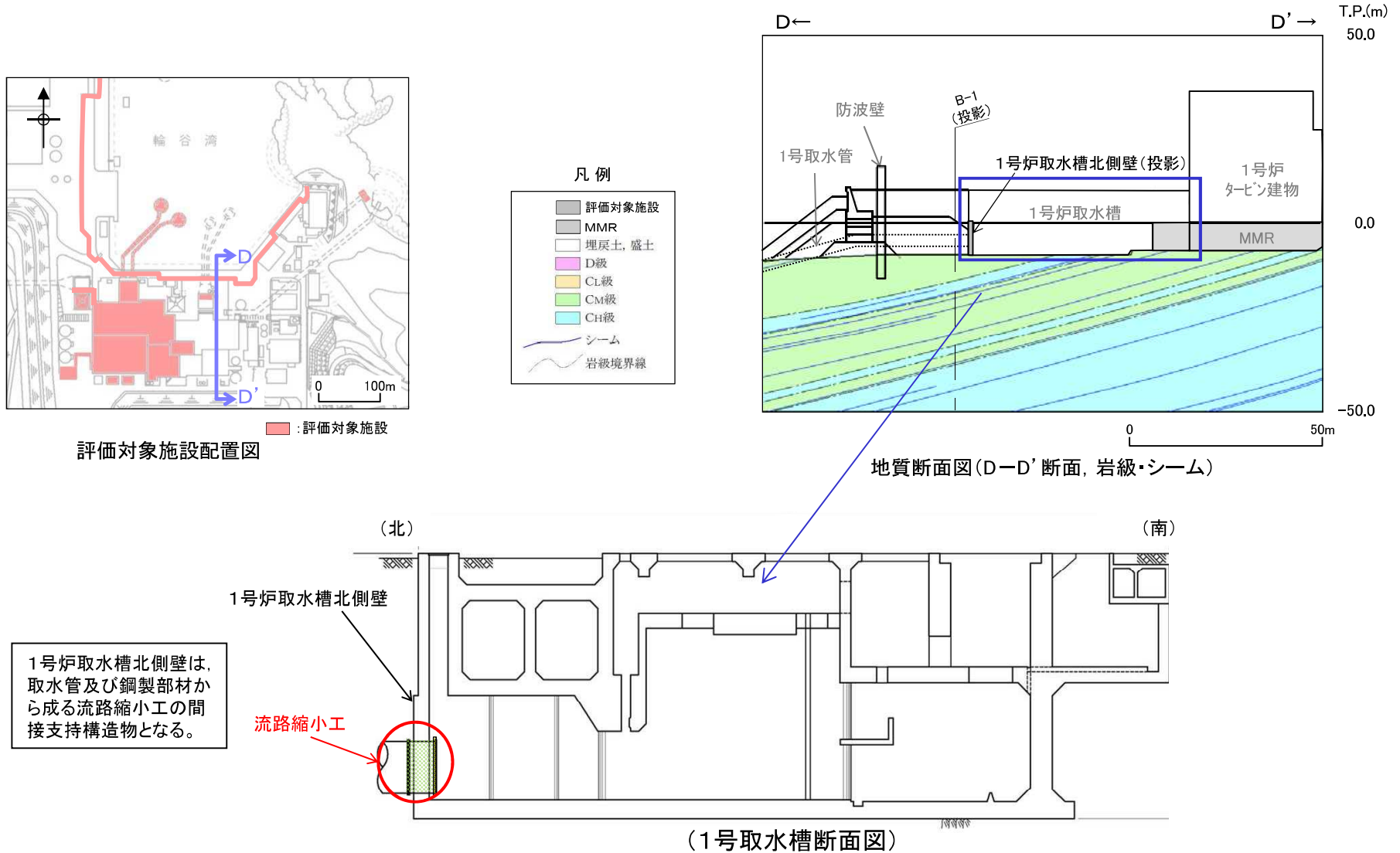
- ・2号炉排気筒, 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)及び屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)の北側は, 地形が急傾斜になっていることから, 簡便法によりすべり安全率を算定し, 影響要因番号付与数の多い2号炉原子炉建物との比較を行った。
- ・簡便法は, JEAG4601-2015に基づく静的震度「 $K_H=0.2$, $K_V=0.1$ 」を用い, 2次元動的FEM解析のすべり面の設定と同様の考え方によりパラメトリックに設定した。
- ・2号炉原子炉建物は, シームの最急勾配方向である南北方向の断面において検討した。
- ・2号炉排気筒等の断面では, 耐震性が確認されていない2号炉放水槽を埋戻土でモデル化し, 2号炉排気筒等の施設重量を考慮した。

【検討結果】

- ・簡便法の結果, すべり安全率は8.96となり, 2号炉原子炉建物のすべり安全率2.82よりも有意に大きなすべり安全率となっていることを確認した。

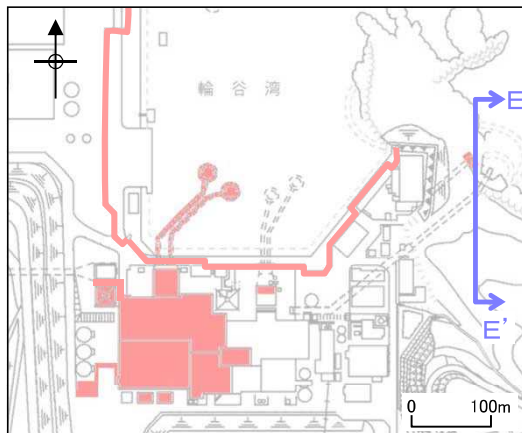
評価対象施設の地質状況(グループA) (6/14)

・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。



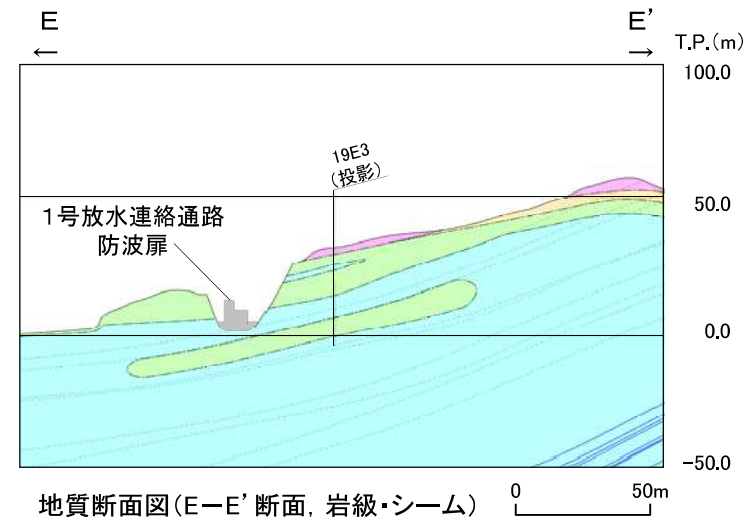
評価対象施設の地質状況(グループA) (7/14)

・1号放水連絡通路防波扉は、2号炉原子炉建物に比べ、岩級は同等であるが、シームが分布しない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。



評価対象施設配置図

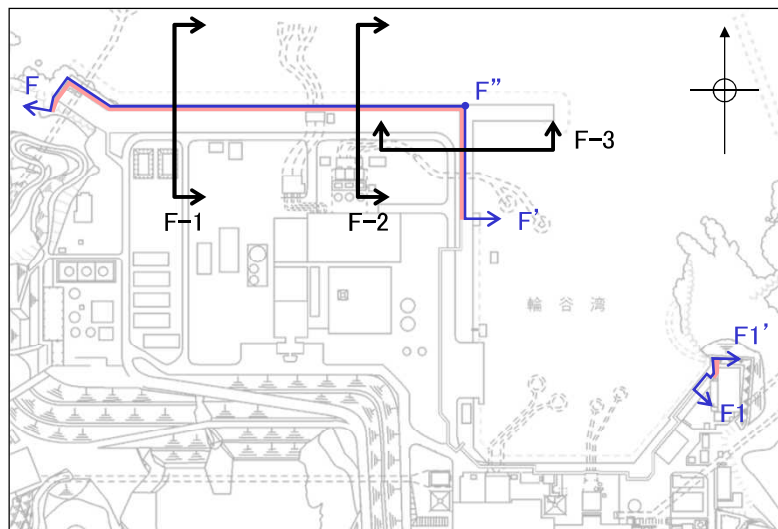
■ : 評価対象施設



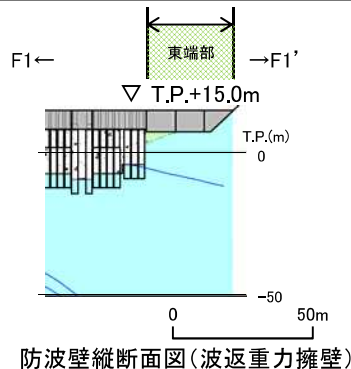
3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価対象施設の地質状況(グループA) (8/14)

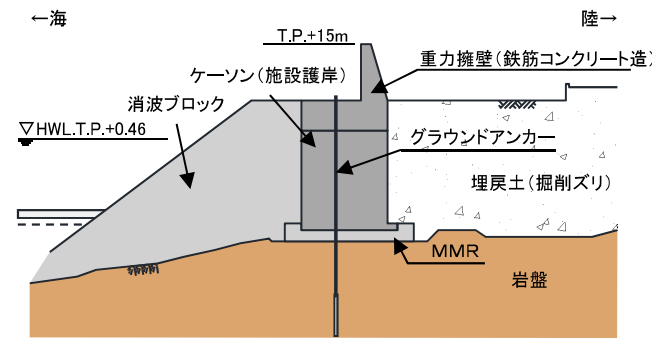
- ・防波壁(波返重力擁壁)は、施設の特徴から「一般部」、「改良地盤部」、「放水路貫通部」、「輪谷部」、「西端部」及び「東端部」の6つに区分される。(p.41, 42参照)
- ・縦断方向に施設の構造は概ね同様であることから、横断面図として、一般部のうち最も支持地盤が深いF-2断面、改良地盤に支持されるF-1断面、及びC_M級岩盤が最も厚いF-3断面を示す。
- ・防波壁(波返重力擁壁)は、2号炉原子炉建物に比べ、岩級及びシームの分布状況は同等であるが、施設総重量が小さい。



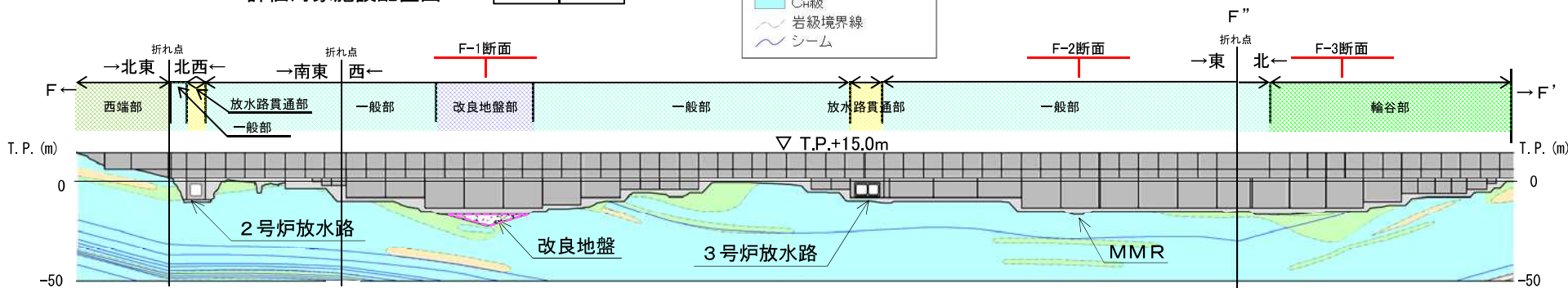
評価対象施設配置図



防波壁縦断面図(波返重力擁壁)



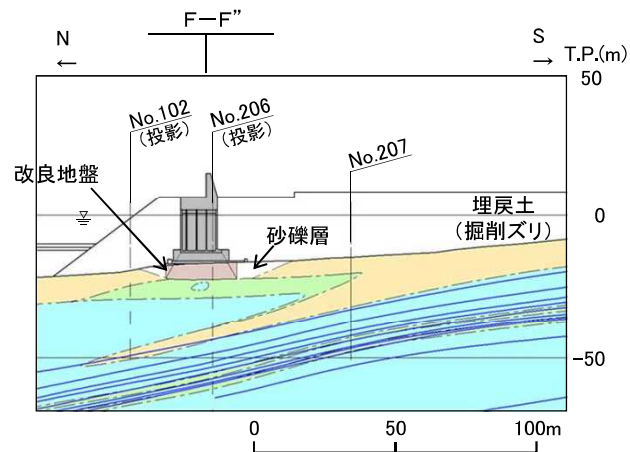
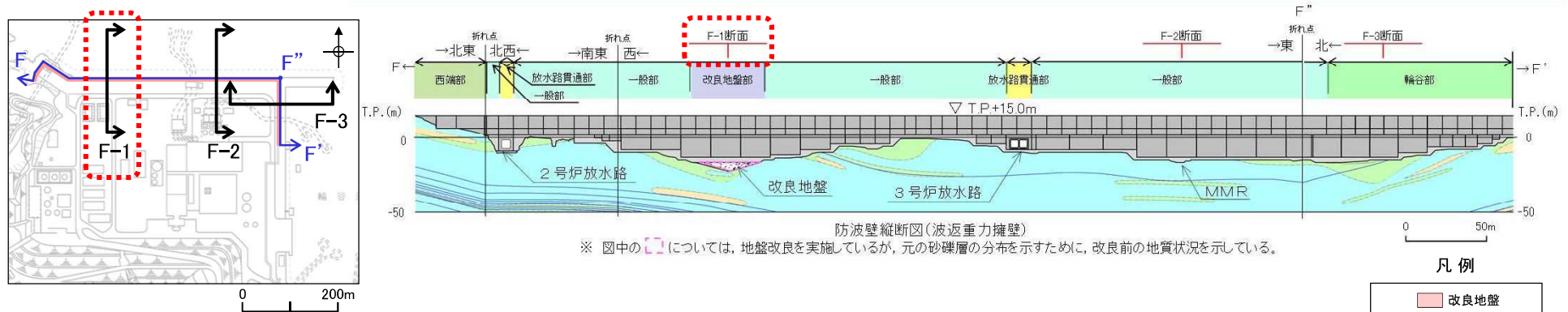
防波壁(波返重力擁壁(岩盤部))標準断面図



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。

評価対象施設の地質状況(グループA) (9/14)

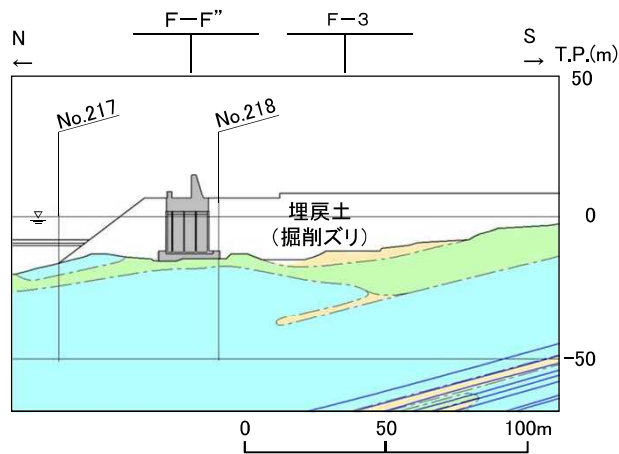
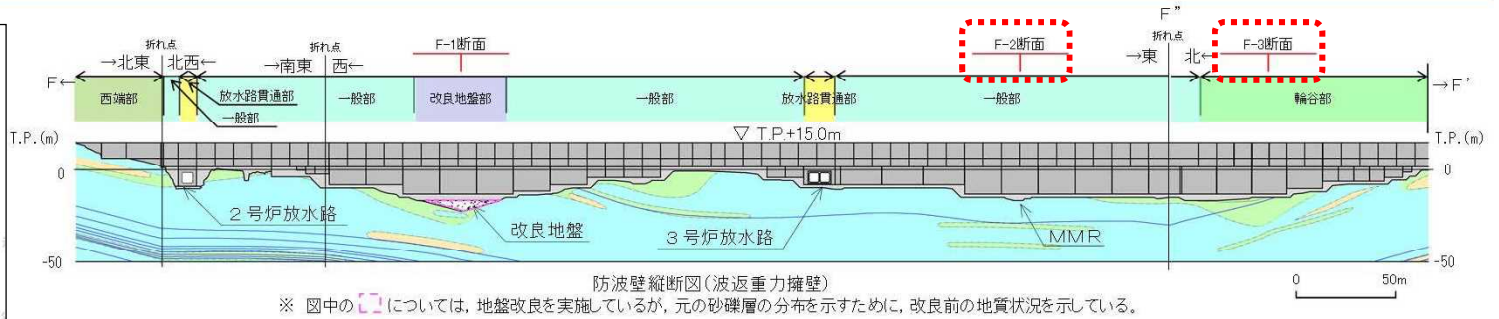
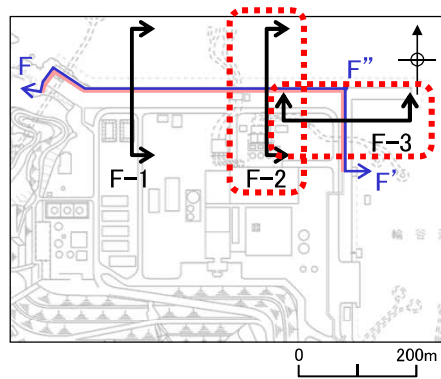


- ・砂地盤部にケーソンを設置している区間については、砂地盤部を周辺岩盤相当に地盤改良していることから、直接岩盤で支持する施設であるグループAに区分している。(p.43参照)
- ・砂地盤を岩盤相当に改良している区間が存在するため、簡便法を実施した結果、すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。(p.44参照)

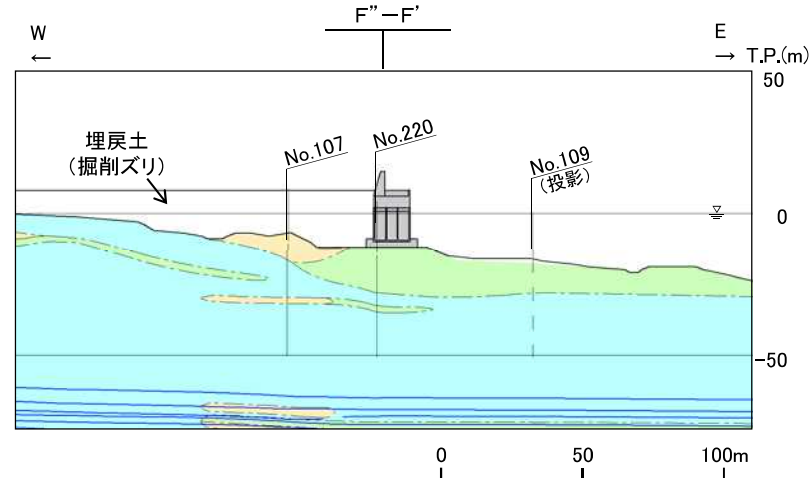
以上のことから、2号炉原子炉建物の評価に代表させる。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

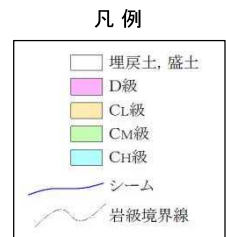
評価対象施設の地質状況(グループA) (10/14)



防波壁(波返重力擁壁) F-2 断面横断面図(岩級・シーム)

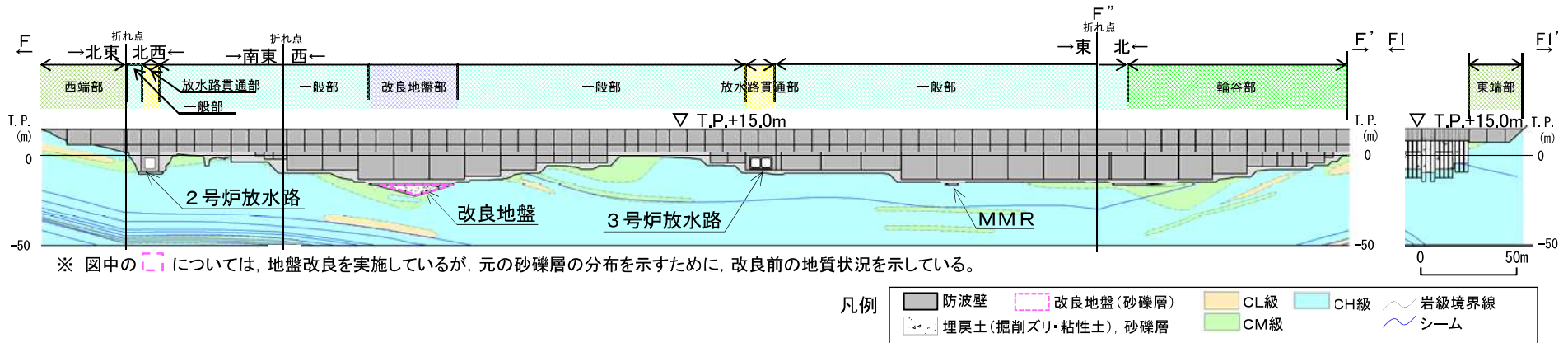


防波壁(波返重力擁壁) F-3 断面横断面図(岩級・シーム)



評価対象施設の地質状況(グループA) (11/14) 防波壁(波返重力擁壁)の構造概要①

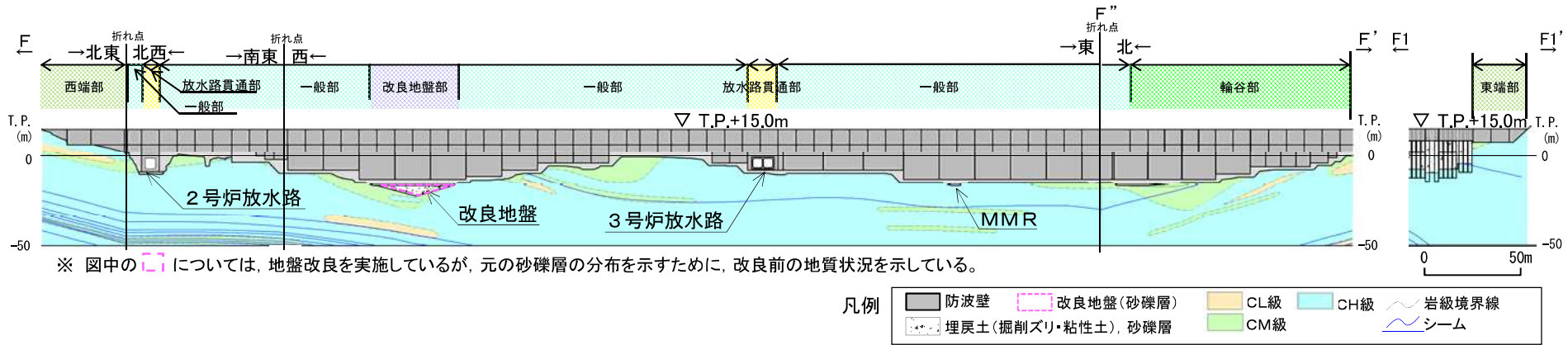
・防波壁(波返重力擁壁)について、構造により、「一般部」、「改良地盤部」、「放水路貫通部」、「輪谷部」、「東端部」及び「西端部」の6つに区分した。(構造の詳細は補足説明資料8章を参照)



防波壁縦断面図(波返重力擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	一般部	改良地盤部	放水路貫通部
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、MMRを介して岩盤に直接設置されたケーソン上に、重力擁壁を設置している。 ・グラウンドアンカーは自主設備である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の構造は一般部と同様である。 ・ケーソン下部に砂礫層を介在していたことから、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の構造は一般部と同様であるが、3号炉放水路がケーソンを貫通している。

評価対象施設の地質状況(グループA) (12/14) 防波壁(波返重力擁壁)の構造概要②



防波壁縦断面図(波返重力擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	輪谷部	東端部	西端部
標準断面図			
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は一般部と同様であるが、輪谷部に面し、防波壁の海側に消波ブロックが設置されていない。 	<ul style="list-style-type: none"> H鋼を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置しており、施設の前面及び背面をコンクリートで被覆している。 基礎岩盤の標高が高く、一般部より小規模・軽量の施設になっている。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は東端部と同様である。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

評価対象施設の地質状況(グループA) (13/14) 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。

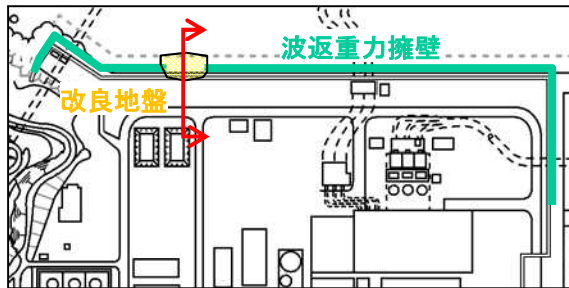
試験位置 深度(m)	No. 1			No. 2		
	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分
23	4,329	2,232	ケーソン底盤 (コンクリート)	3,831	1,290	ケーソン底盤 (コンクリート) 23.8
24	3,003	1,245	24.4	2,833	853	改良地盤
25	3,195	1,543	改良地盤	3,413	1,222	改良地盤
26	3,165	1,560	改良地盤	3,378	1,086	26.5
27	3,268	1,783	27.1	3,472	1,031	岩盤
28	-	-	岩盤	3,676	1,404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

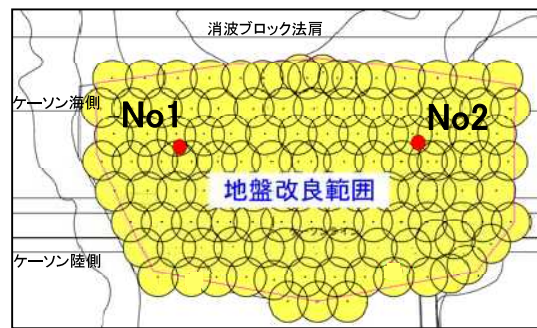
	P波速度 Vp (km/s)	S波速度 Vs (km/s)
改良地盤	3.2 (2.833~3.413)	1.3 (853~1.560)
岩盤	3.6 (3.472~3.676)	1.3 (1.031~1.404)

※ 改良地盤と岩盤の境界部の値は除く

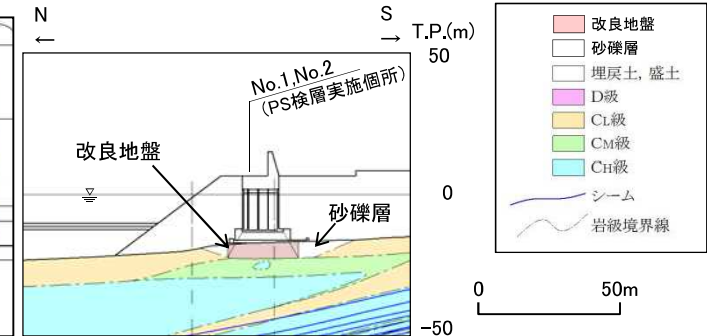
第2層 (C _L ~C _M 級岩盤)	2.1	0.9
第3層 (C _M ~C _H 級岩盤)	3.6	1.6



位置図



PS検層実施箇所



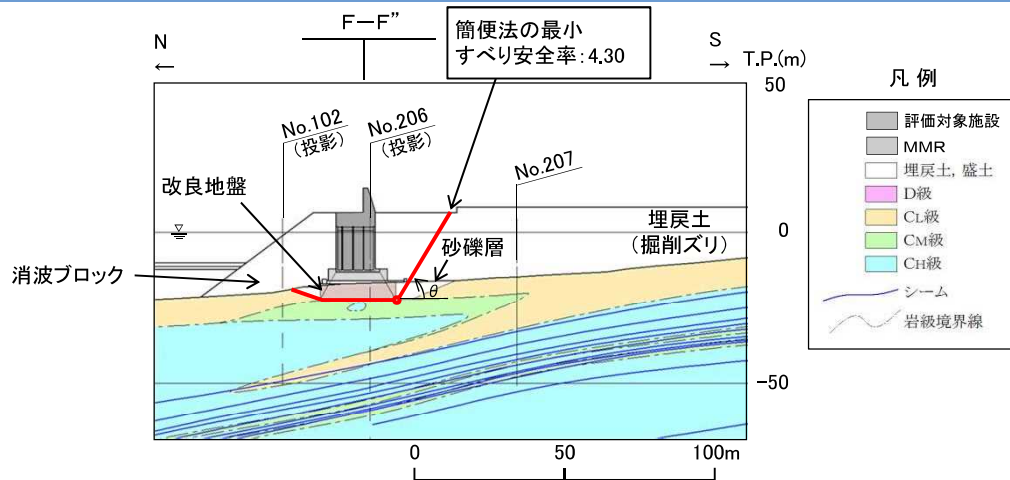
砂地盤改良部断面図(岩級・シーム)

凡例

- 改良地盤
- 砂礫層
- 埋戻土, 盛土
- D級
- C_L級
- C_M級
- C_H級
- シーム
- 岩級境界線

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

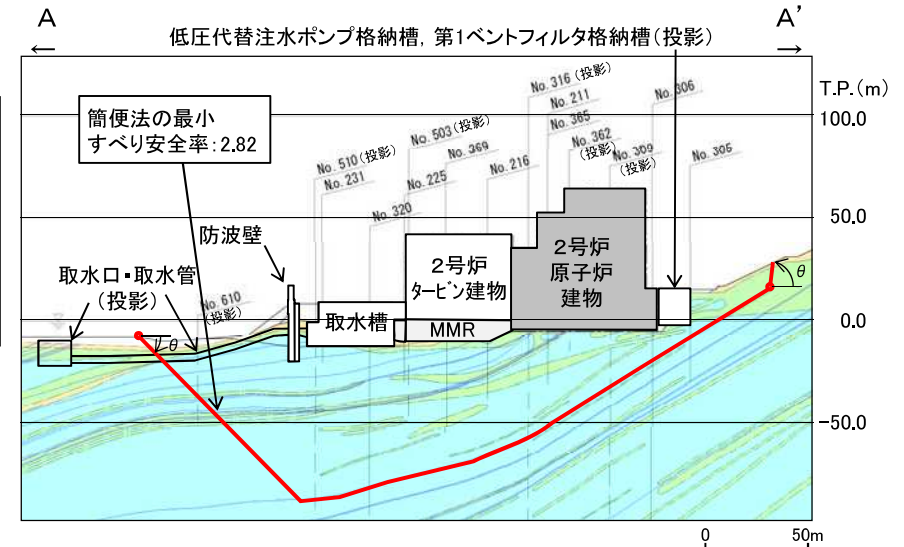
評価対象施設の地質状況(グループA) (14/14) 防波壁(波返重力擁壁)改良地盤部の簡便法による比較検討



角度(°)	15	20	25	30	35	40	45	50
すべり安全率	4.41	4.30	4.34	4.46	4.63	4.87	5.20	5.62
角度(°)	55	60	65	70	75	80	85	
すべり安全率	6.13	6.72	7.49	8.50	9.87	11.80	14.66	

※最小すべり安全率を○で示す。左側の切り上がりは砂礫層の境界部で固定。

防波壁(波返重力擁壁)F-1断面 地質断面図(岩級・シーム)



角度(°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	80	80	80	80	80	80	80
すべり安全率		7.07	6.02	4.89	4.14	3.59	3.14	2.82

※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。

2号炉原子炉建物(南北) 地質断面図(岩級・シーム)

【検討方法】

- ・砂地盤を岩盤相当に改良している区間が存在するため、簡便法によりすべり安全率を算定し、影響要因番号付与数の多い2号炉原子炉建物との比較を行った。
- ・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。
- ・2号炉原子炉建物は、シームの最急勾配方向である南北方向断面において検討した。
- ・防波壁(波返重力擁壁)の改良地盤部では、砂礫層は盛土でモデル化し、施設前面の消波ブロック等はモデル化しないこととした。

【検討結果】

- ・簡便法の結果、すべり安全率は4.30となり、2号炉原子炉建物のすべり安全率2.82よりも有意に大きなすべり安全率となっていることを確認した。

グループB(直接岩盤で支持する施設, T.P.+44~50m盤)の選定結果

・直接岩盤で支持する施設のうち, T.P.+44m~50mに設置された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p.46, 47参照)

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	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

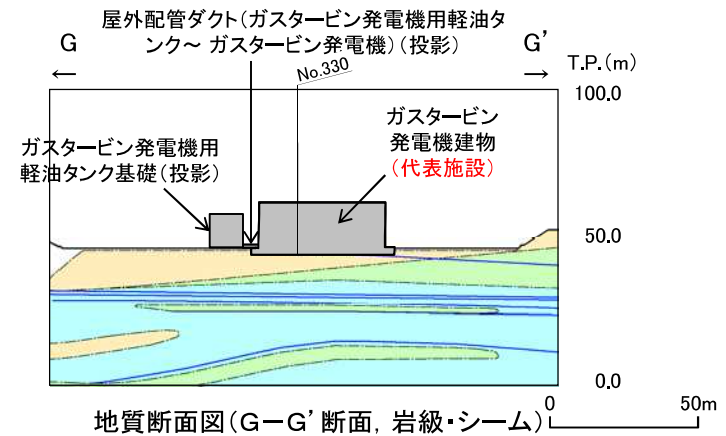
※1 施設総重量を施設の短辺方向の延長で除した値を記載。

評価対象施設の地質状況(グループB) (1/2)

- ・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。



評価対象施設配置図



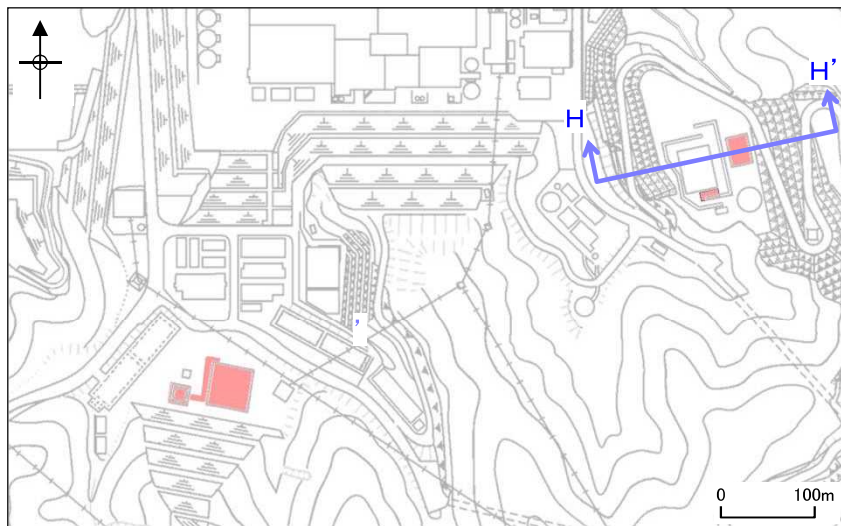
地質断面図(G-G'断面, 岩級・シーム)

凡例

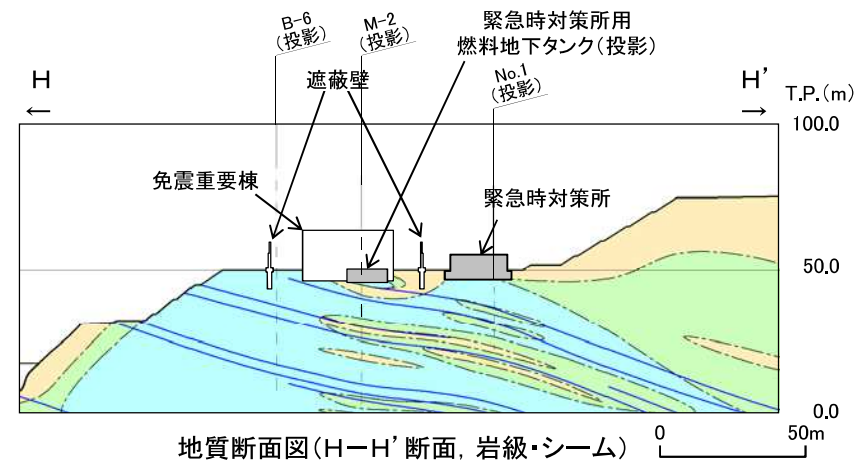


評価対象施設の地質状況(グループB) (2/2)

- ・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。

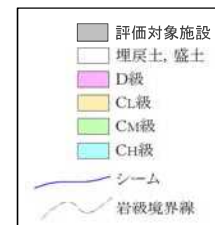


評価対象施設配置図



地質断面図(H-H'断面, 岩級・シーム)

凡例



余白

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設)の選定結果

・杭を介して岩盤で支持する施設である防波壁(多重鋼管杭式擁壁)及び防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)について下表の比較を行った結果、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を代表施設に選定した。(詳細はp.50~56参照)

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	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))	④ 杭底面幅(m)	⑤ 埋戻土層等の厚さ(m)	⑥ 根入れ長(m)		
T.P.+15m 以下	代表施設に選定 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	C _M ~C _H 級	あり	74 (1.97)	2.2	22.8	5.00	②, ③, ④, ⑤	・施設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、杭底面幅が小さいこと、及び埋戻土層等が厚いことから、代表施設に選定する。
	防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	C _L ~C _H 級	あり	10 (1.00)	6.6	18.5	0.00※ ⁴	①, ②, ⑥	・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)に比べ、基礎地盤の一部にC _L 級の岩盤が分布しており、根入れ長が短い、単位奥行当たりの施設総重量が小さいこと、杭底面幅が大きいこと、及び埋戻土層等が薄いことから、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)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(多重鋼管杭式擁壁:37.8m, 鋼管杭式逆T擁壁:9.8m)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②~⑥については、それぞれ最も厳しい諸元を記載。

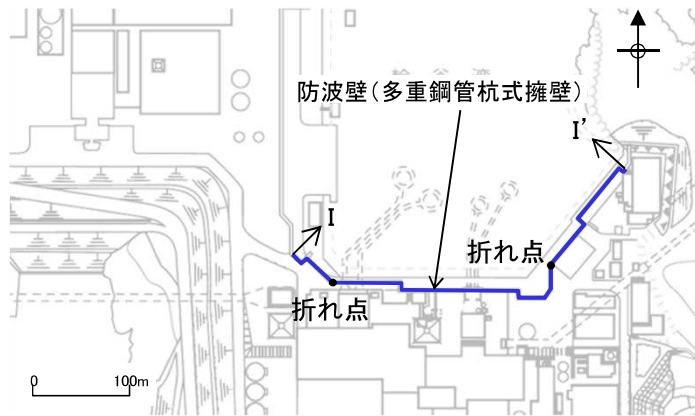
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の諸元の根拠はp.71~75参照。構造の詳細は補足説明資料8.2参照

防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の諸元の根拠はp.51~53参照。構造の詳細は補足説明資料8.3参照

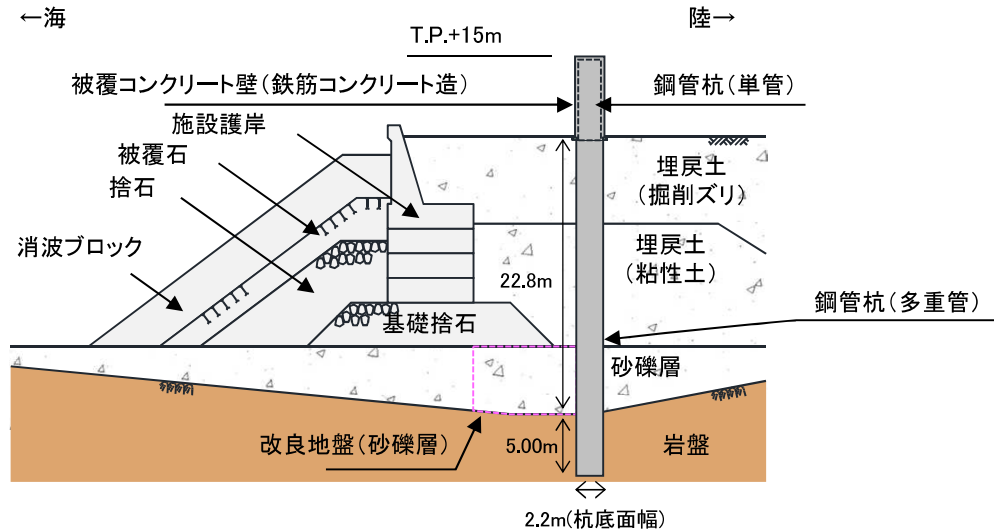
※4 杭の根入れ長は、 $D/2=0.65m$ (D:杭の直径=1.3m)であり、1D以下であることから、代表施設の選定においては根入れ長0mと評価する。

代表施設に選定した防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の地質状況

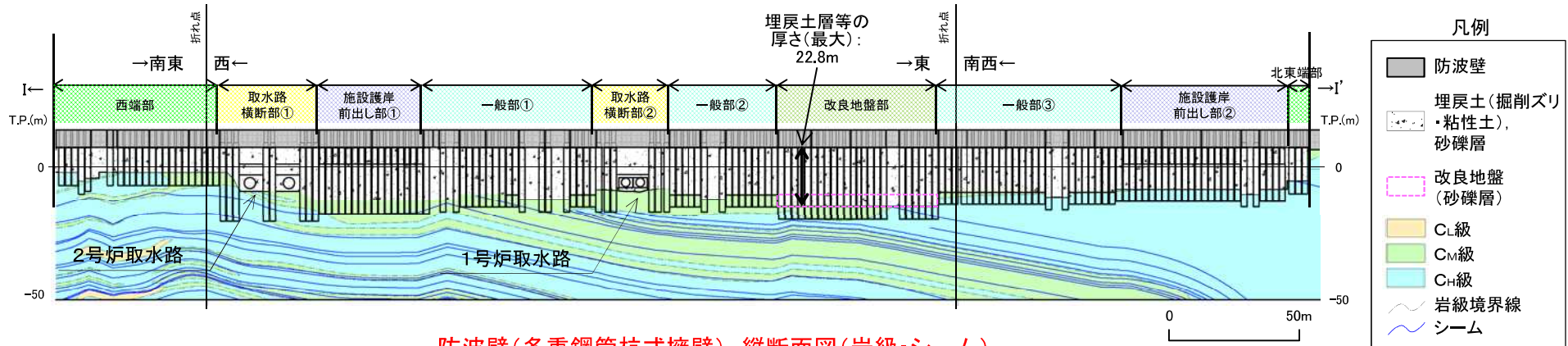
・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は杭の根入れ長は5.00mと長い、施設直下にシームが分布していること、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、杭底面幅が2.2mと小さいこと、及び埋戻土層等が22.8mと厚いことから、代表施設に選定した。



検討断面平面位置図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)鉛直断面図



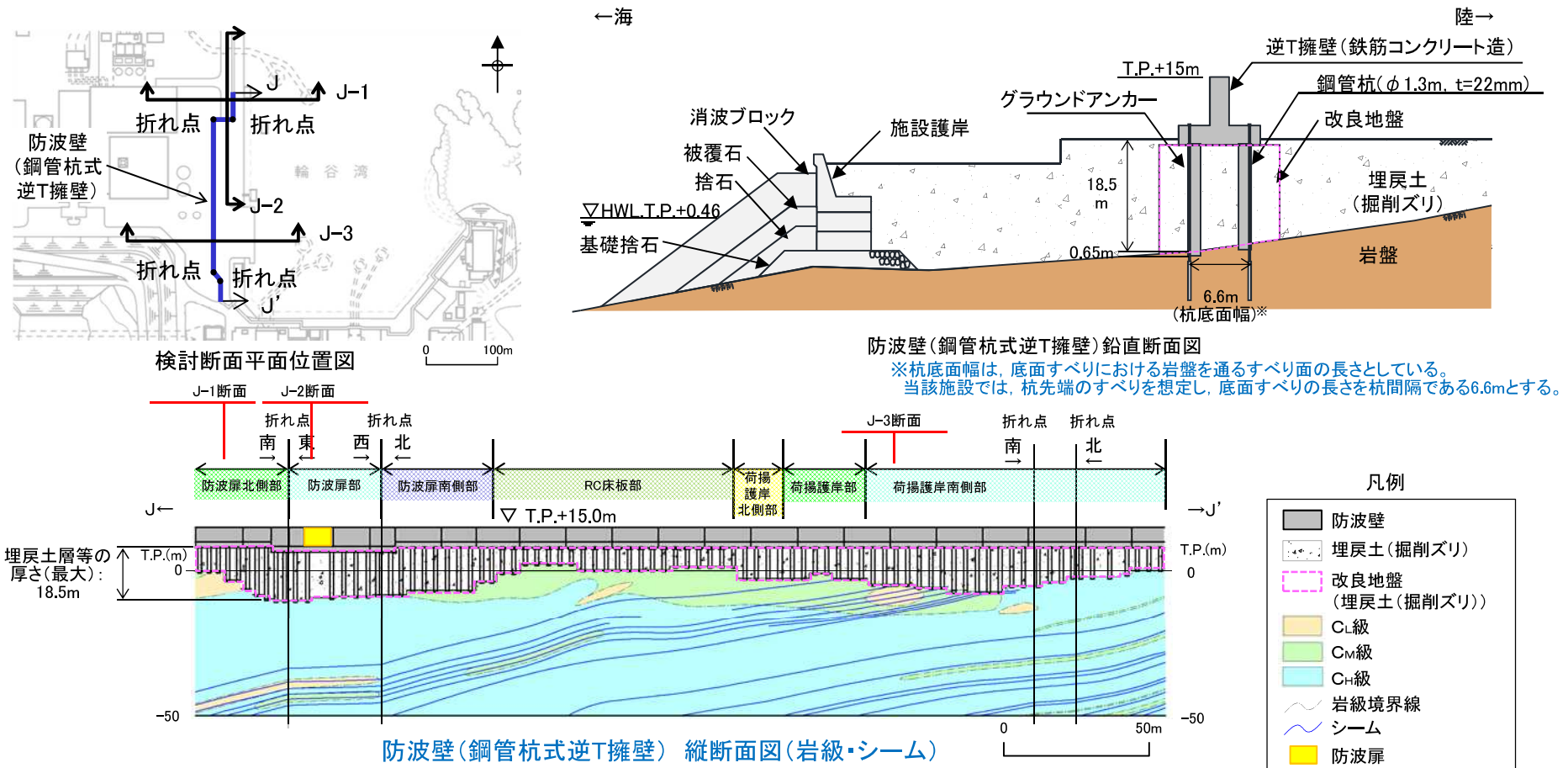
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)縦断面図(岩級・シーム)

※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(鋼管杭式逆T擁壁)の地質状況(1/6)

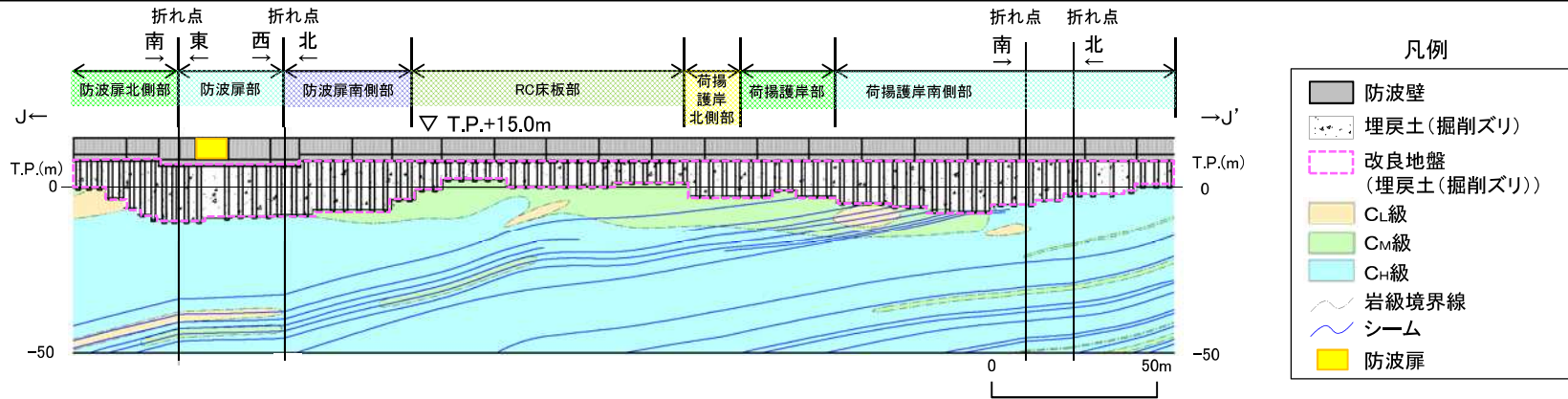
- ・防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)は、施設の特徴から「防波扉北側部」、「防波扉部」、「防波扉南側部」、「RC床板部」、「荷揚護岸北側部」、「荷揚護岸部」及び「荷揚護岸南側部」の7つに区分されるが、「防波扉部」を除き、縦断方向に施設の構造は概ね同様である。
- ・横断面図として、最も支持地盤が深く、他と構造の異なるJ-2断面、施設直下にC_L級岩盤が分布するJ-1断面及びJ-3断面を示す。
- ・防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)は、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)に比べ、基礎地盤の一部にC_L級の岩盤が分布しており、根入れ長が短い、単位奥行当たりの施設総重量が小さいこと、杭底面幅が大きいこと、及び埋戻土層等が薄いことから、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の評価に代表させる。



※1 図中の [改良地盤] 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(鋼管杭式逆T擁壁)の地質状況(4/6) 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の構造概要①

・防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)について、構造により、「防波扉南側部」、「防波扉部」、「防波扉北側部」、「RC床板部」、「荷揚護岸北側部」、「荷揚護岸部」及び「荷揚護岸南側部」の7つに区分した。(構造の詳細は補足説明資料8章を参照)

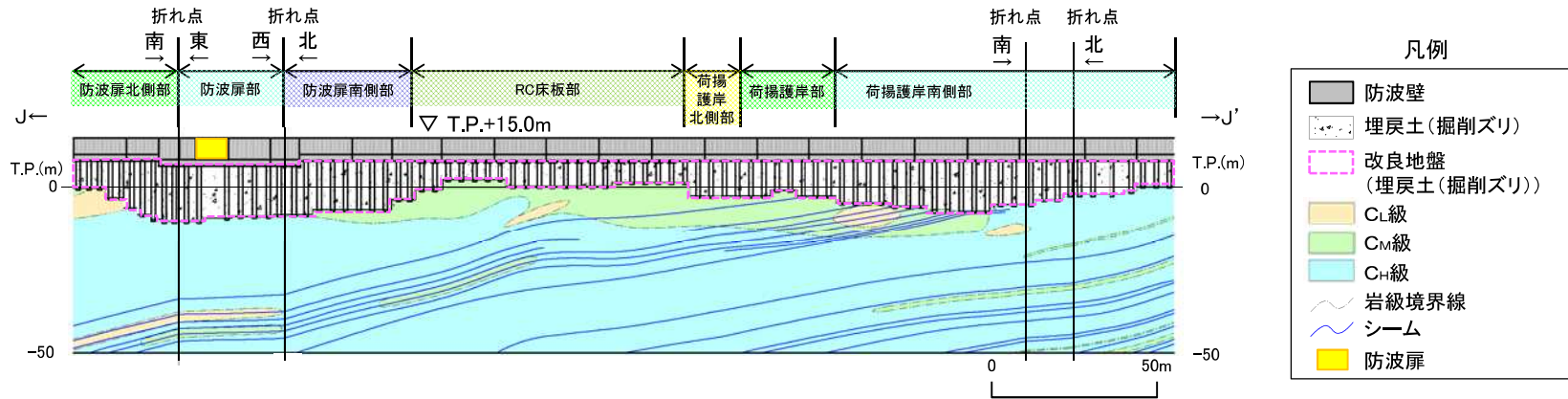


※1 図中の [改良地盤] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。 ※2 図中の杭は投影している。

防波壁(鋼管杭式逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	防波扉北側部	防波扉部	防波扉南側部
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、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。 ・グラウンドアンカーは、逆T擁壁及び改良地盤の安定性に期待する設備である。 	<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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉の南側に位置し、施設の構造は防波扉北側部と同様である。

防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の地質状況(5/6) 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の構造概要②

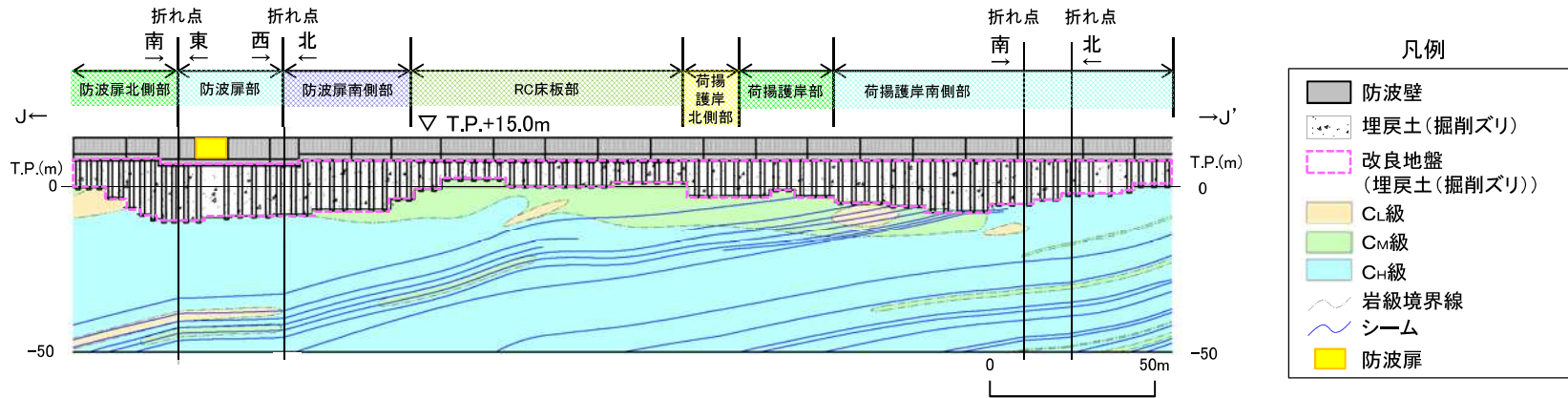


※1 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。 ※2 図中の杭は投影している。

防波壁(鋼管杭式逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	RC床版部
標準断面図	
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は防波扉北側部と同様である。 3号炉建設時において、地盤改良の上部にRC床版を設置している。 他の断面同様、逆T擁壁下部全幅にわたり、埋戻土(掘削ズリ)の地盤改良を追加実施する。

防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の地質状況(6/6) 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の構造概要③



※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。

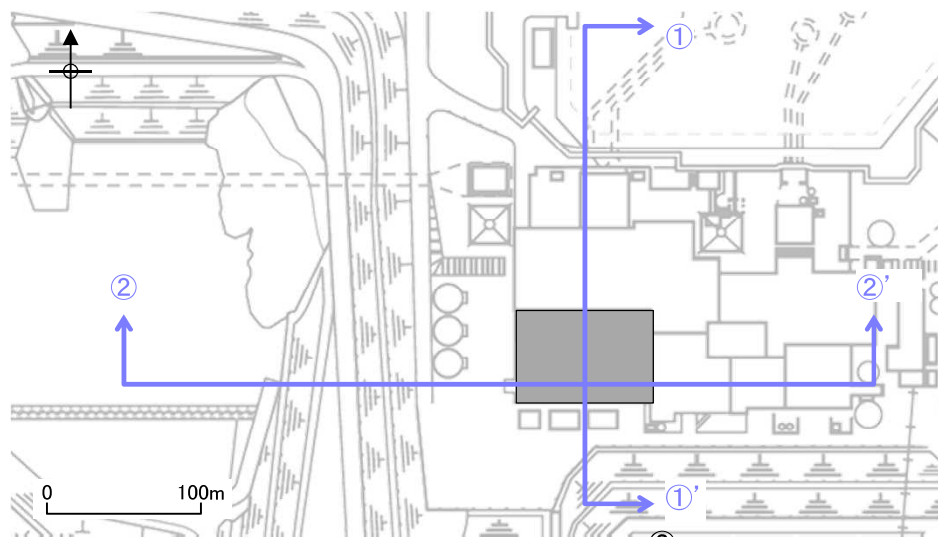
防波壁(鋼管杭式逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	荷揚護岸北側部	荷揚護岸部	荷揚護岸南側部
標準断面図			
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> 荷揚護岸の北側に位置し、施設の構造は防波扉北側部と同様である。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は防波扉北側部と同様であるが、荷揚護岸より海側には消波ブロックを設置していない。 	<ul style="list-style-type: none"> 荷揚護岸の南側に位置し、施設の構造は防波扉北側部と同様である。

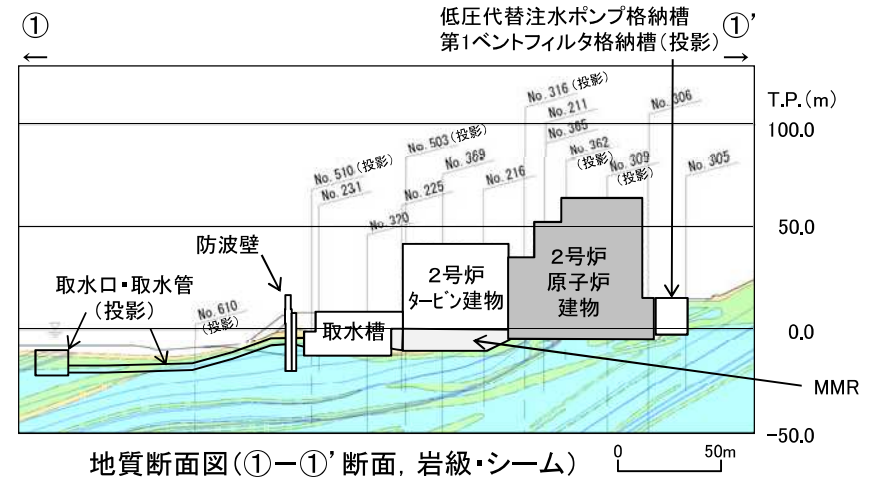
3. 基礎地盤の安定性評価

3. 3 評価対象断面の選定

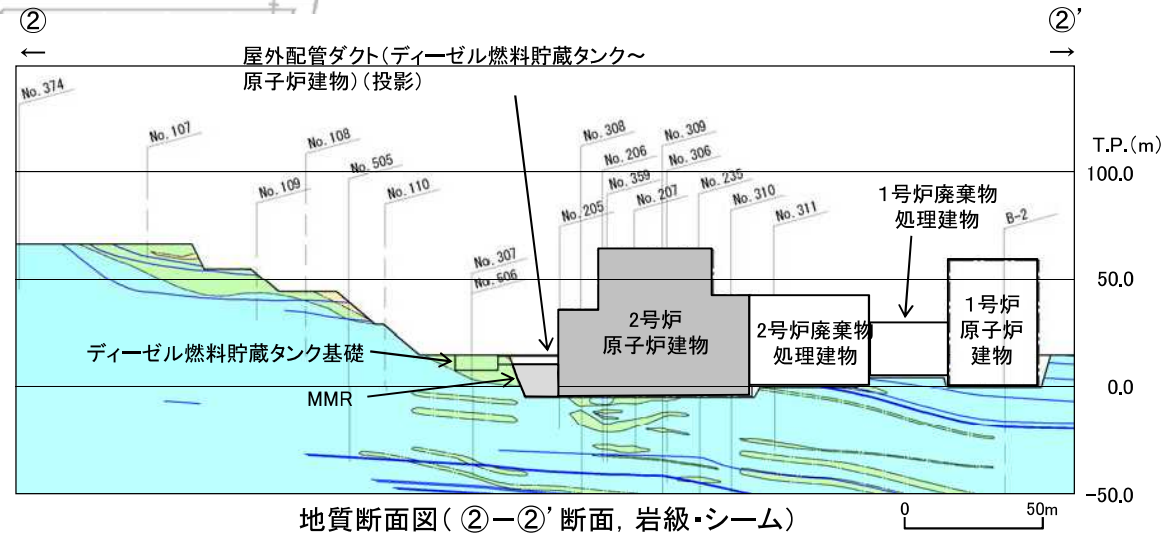
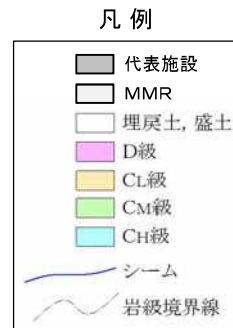
評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物) (1/2)



評価対象施設配置図



地質断面図(①-①'断面, 岩級・シーム)



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。

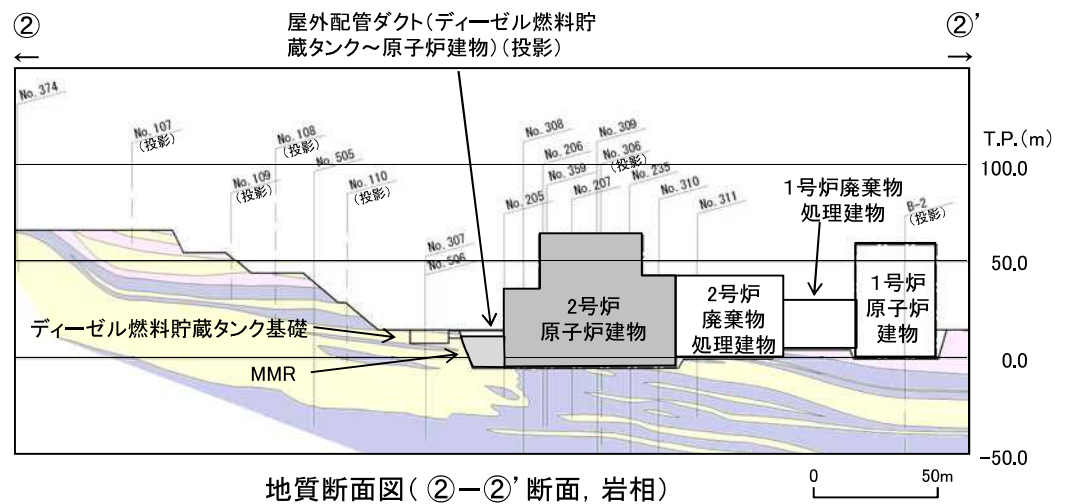
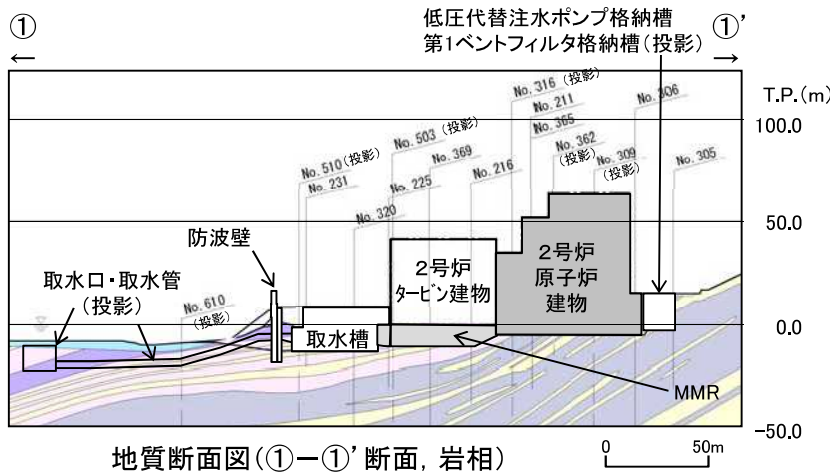
評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物) (2/2)

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	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		



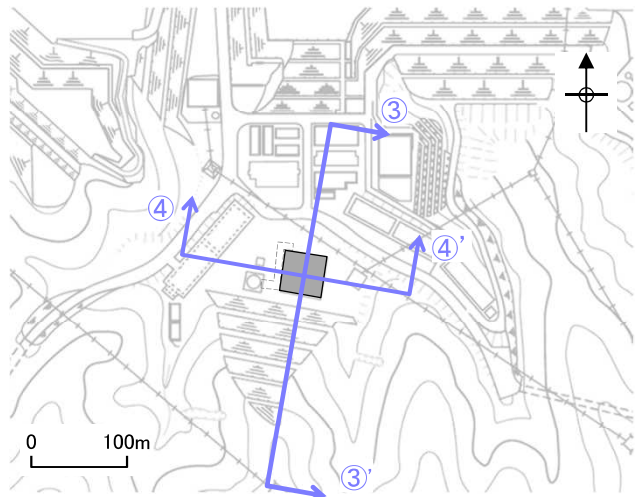
※1 施設総重量を施設の断面直交方向の延長で除した値を記載。

※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。

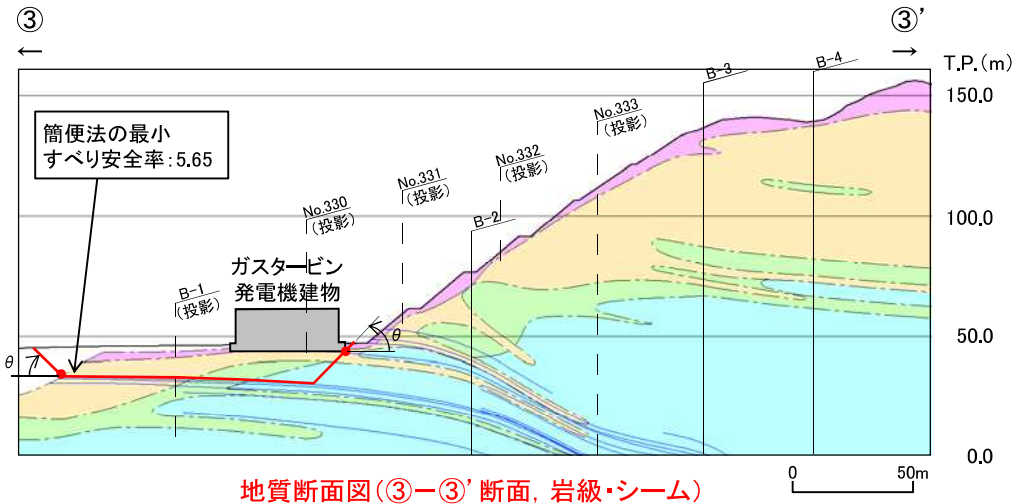


評価対象断面の選定(ガスタービン発電機建物) (1/2)

- ・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。
- ・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)



評価対象施設配置図



地質断面図(③-③'断面, 岩級・シーム)

③-③'断面 簡便法の結果

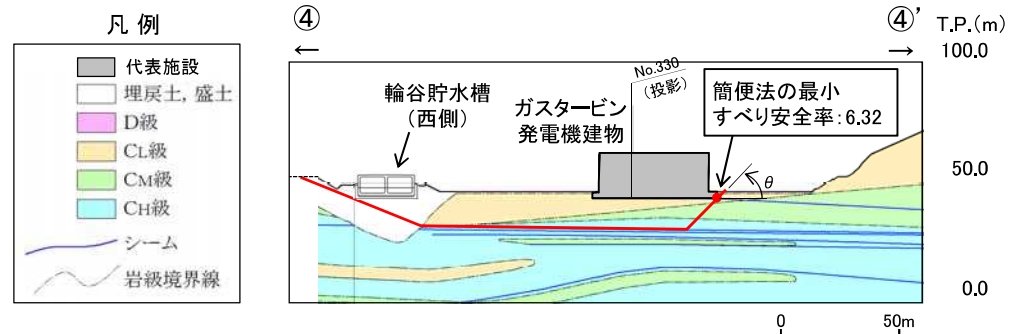
角度 (°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	45	45	45	45	45	45	45
すべり安全率		6.12	6.00	5.91	5.84	5.77	5.71	5.65

※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

※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。

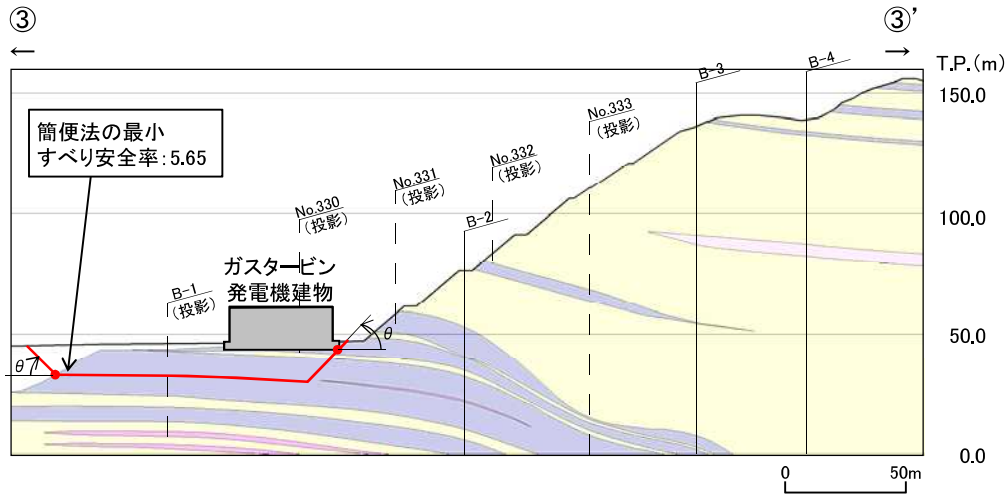


地質断面図(④-④'断面, 岩級・シーム)

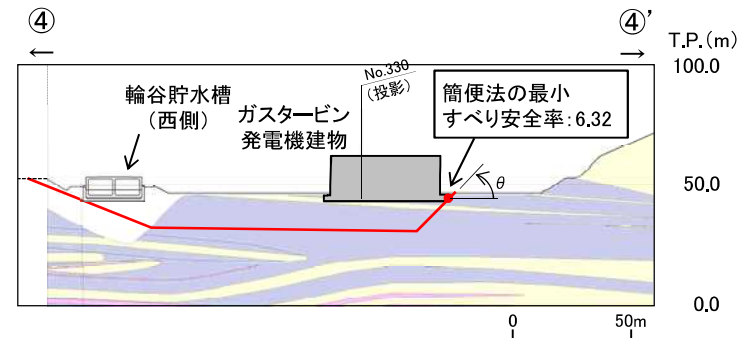


評価対象断面の選定(ガスタービン発電機建物) (2/2)

第868回審査会合
資料3-1 p46 加筆・修正
※修正箇所を青字で示す



地質断面図(③-③'断面, 岩相)



地質断面図(④-④'断面, 岩相)

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	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(杭を介して岩盤で支持する施設)の評価対象断面の選定方法

・グループCの防波壁(多重鋼管杭式擁壁)及び防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)については、延長の長い線状構造物であることから、以下のとおり地質の分布状況及び構造物の形状を踏まえた評価対象断面の選定を行う。

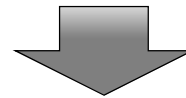
1. 検討断面の設定(p.64~70参照)

・施設の構造変化及び地質の分布状況を踏まえ、検討断面を設定する。

【検討断面の設定の考え方】

STEP1: 施設の構造毎に区分する。

STEP2: 施設の区分毎に、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。

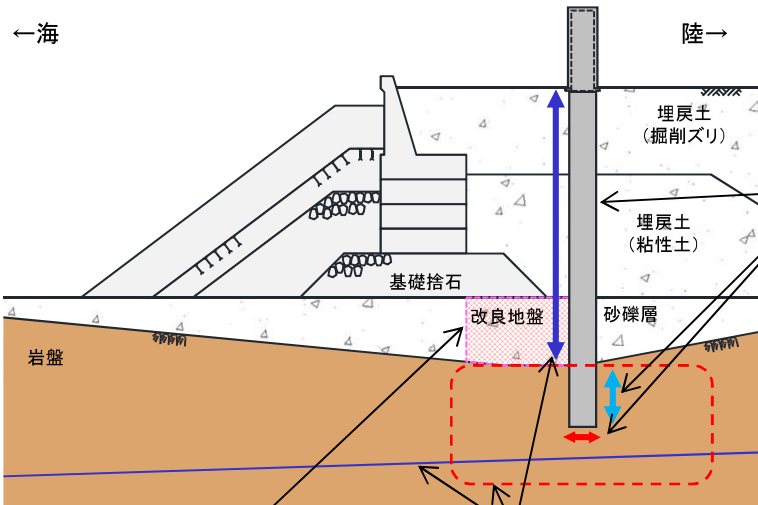


2. 評価対象断面の選定(p.71~75参照)

・各検討断面について、影響要因①~⑥の観点から比較検討を行う。

・簡便法のすべり安全率も踏まえ、評価対象断面を選定する。

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 検討断面の設定の考え方



STEP1: 施設の構造毎の区分

施設の構造により施設重量, 杭底面幅, 根入れ長等が変わることから, 縦断面図において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
 影響要因⑥: 根入れ長

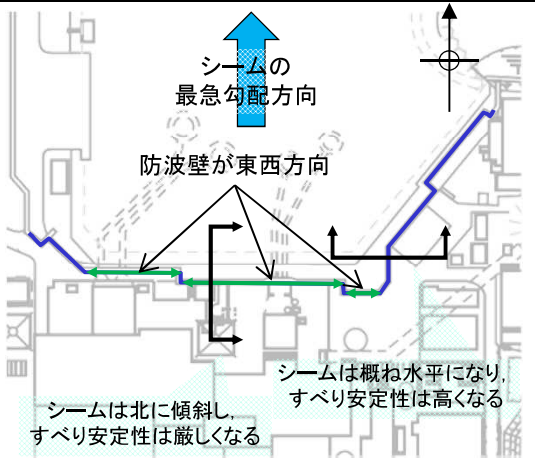


STEP2: 検討断面の設定

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, 相対的にせん断強度の低いC_L級, D級岩盤が分布する箇所
- ・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
- ・施設直下にシームの浅い箇所, 多く分布する箇所

〔 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)。 〕

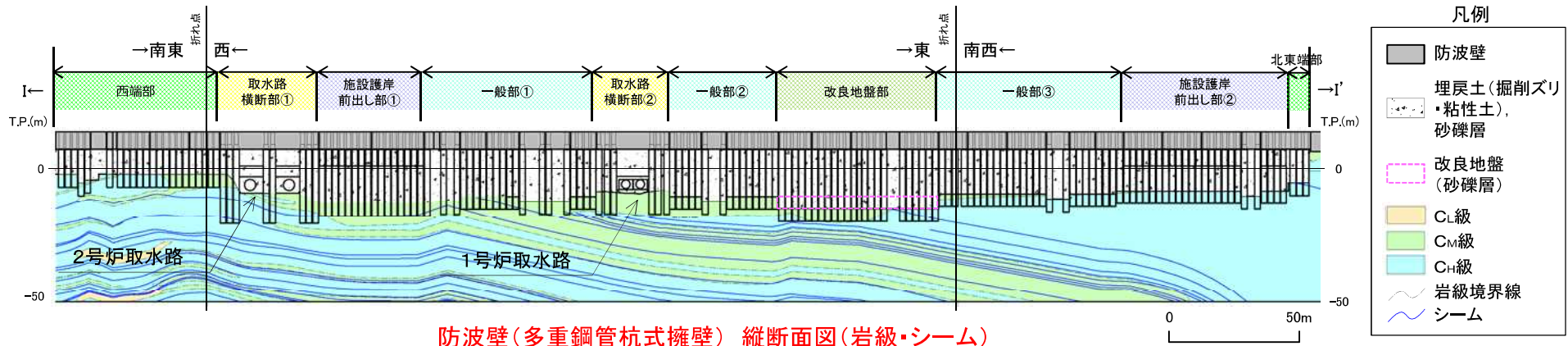


改良地盤は, 施設の変形抑制等に寄与する設計であるため, すべり安定性評価においては保守的に改良前の「埋戻土・盛土」として評価する。

関連する影響要因:
 影響要因①: 基礎地盤の岩級
 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

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) STEP1:施設毎の区分

・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)について、構造により、「一般部(西端部含む)」、「改良地盤部」、「取水路横断部」及び「施設護岸前出し部(北東端部含む)」の4つに区分した。(構造の詳細は補足説明資料8章を参照)



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

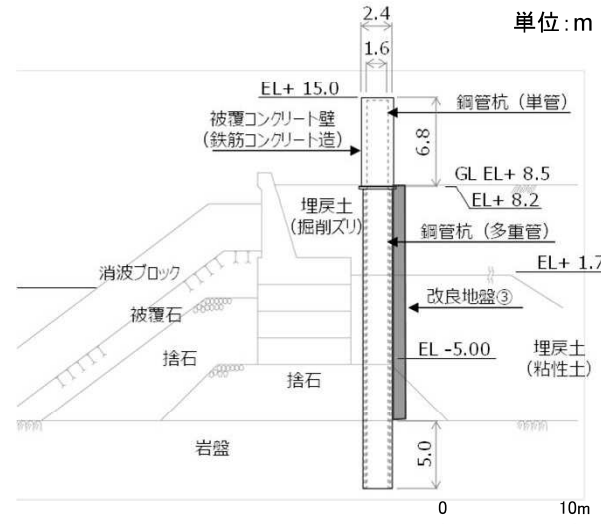
	一般部(西端部含む)	改良地盤部	取水路横断部	施設護岸前出し部(北東端部含む)
標準断面図				
区分した理由	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設の一般的な構造であり、杭底面幅2.2m、根入れ長5mの4重管鋼管杭で支持される。 施設護岸より陸側に防波壁が設置されている。 西端部の構造は一般部と同様であるため、一般部に区分した。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は一般部と同様であるが、深部に砂礫層が分布し、海側を薬液注入工法により地盤改良している点が一般部とは異なる。 埋戻土層等が厚く、杭長が最も長い。 	<ul style="list-style-type: none"> 取水路が防波壁下部を横断するため、杭が分担する上部工は縦断方向に長い。 側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し、根入れを2m深くしている。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の構造は一般部と同様であるが、施設護岸より海側に設置されている。 北東端部の構造は施設護岸前出し部と同様であるため、施設護岸前出し部に区分した。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

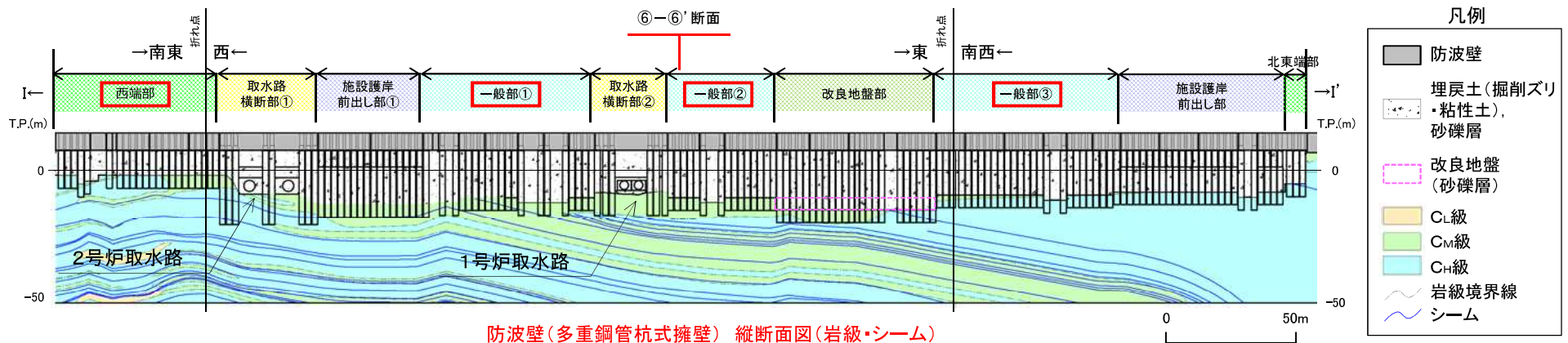
グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) STEP2: 検討断面の設定(1/4)

- ・一般部は①～③及び西端部の4箇所は、いずれも**施設重量及び埋戻土層等の厚さは同等である。**
- ・施設直下がC_M級岩盤である一般部①及び②の中で、シームが多く、浅くなっている⑥-⑥'断面を検討断面に設定する。

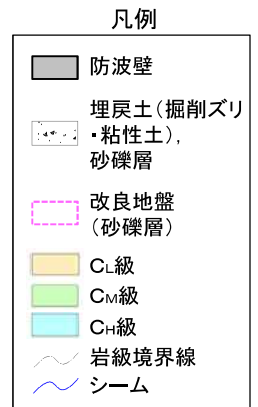
一般部(西端部含む)



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 一般部 断面図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

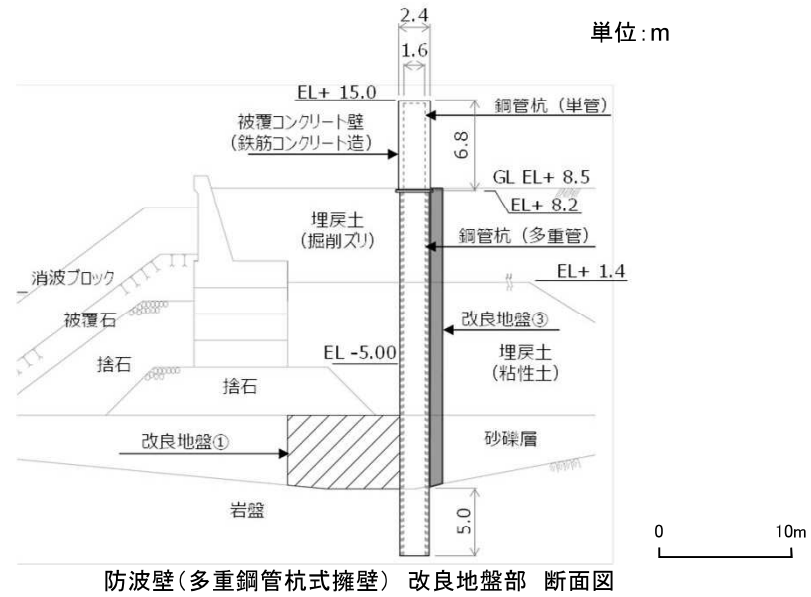


3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

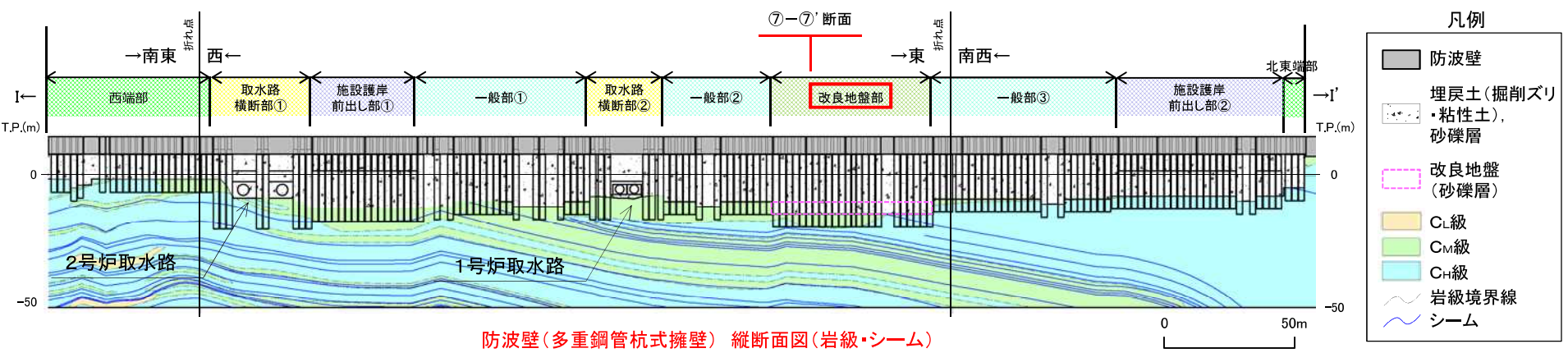
グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) STEP2: 検討断面の設定(2/4)

- ・改良地盤部は1箇所あり、施設の構造は一般部と同じであるが、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の中で埋戻土層等が最も厚い箇所である。周辺の砂礫層(海側)に対しては、薬液注入工法により地盤改良されている点が一般部とは異なる。
- ・改良地盤部の中で、施設直下のシームが多く、浅くなっている⑦-⑦'断面を検討断面を設定する。

改良地盤部



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 改良地盤部 断面図

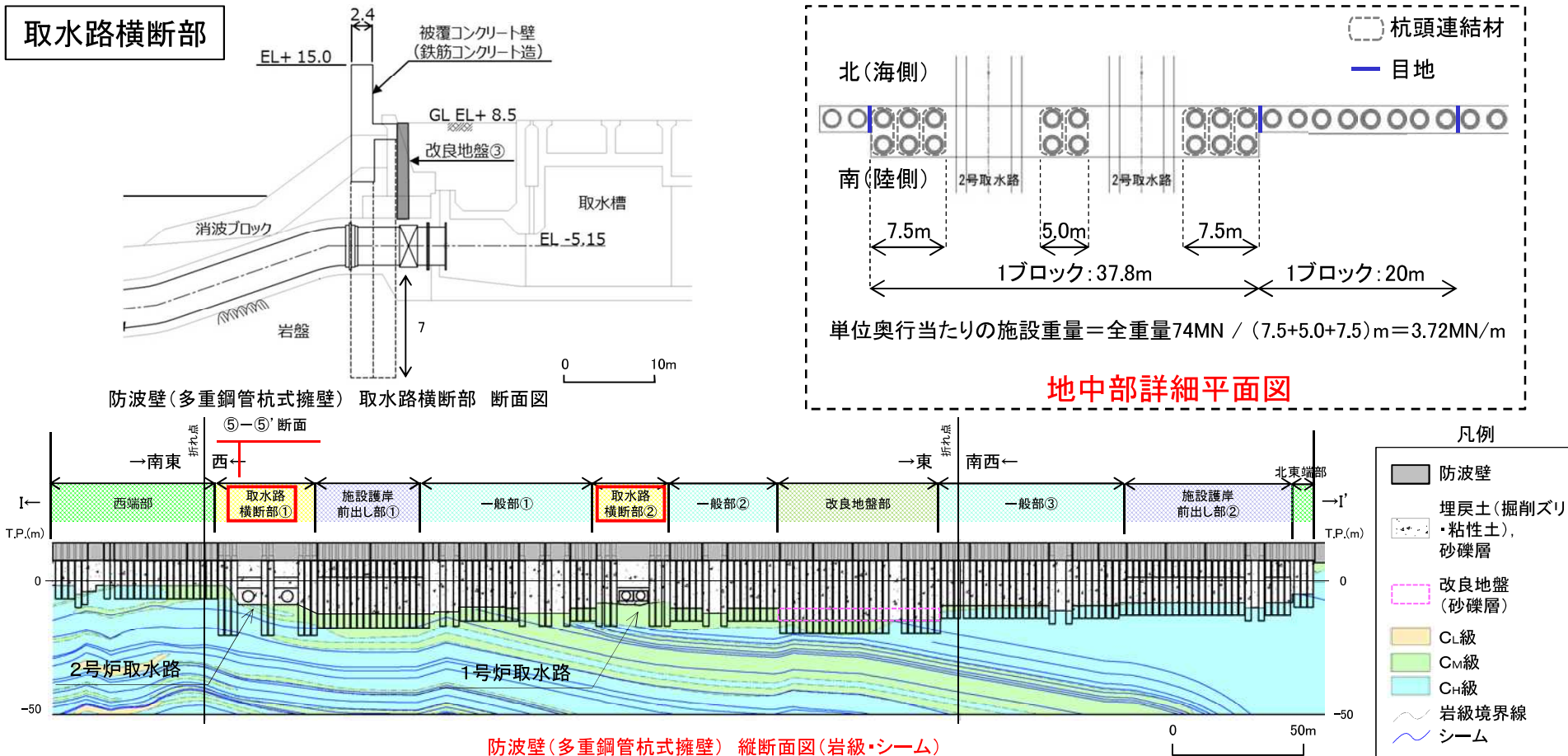


防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) STEP2: 検討断面の設定(3/4)

- ・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浅い⑤-⑤'断面を検討断面に設定する。
- ・検討断面の設定では、杭が配置されていない範囲においても、杭を介して岩盤に作用する施設重量(3.72MN/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。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 取水路横断部 断面図

地中部詳細平面図

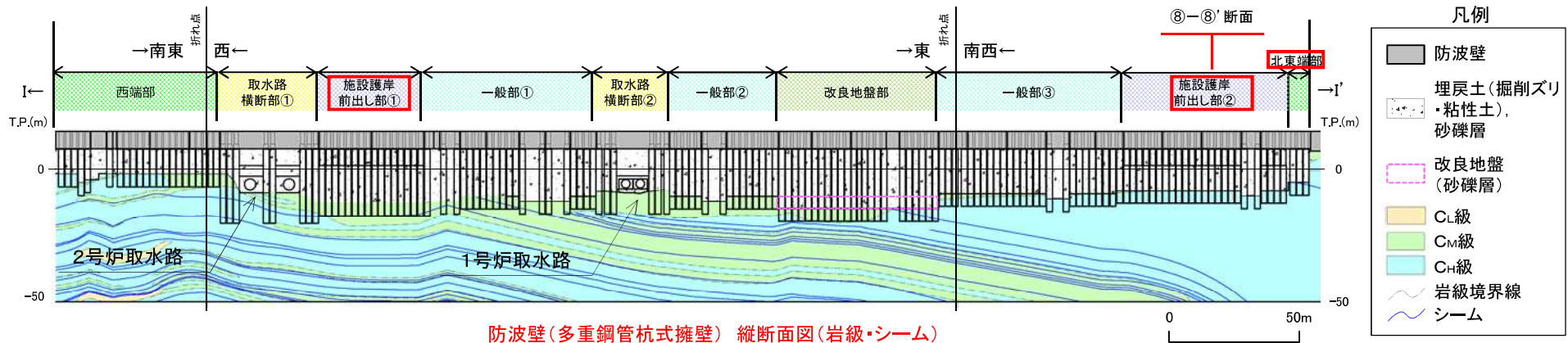
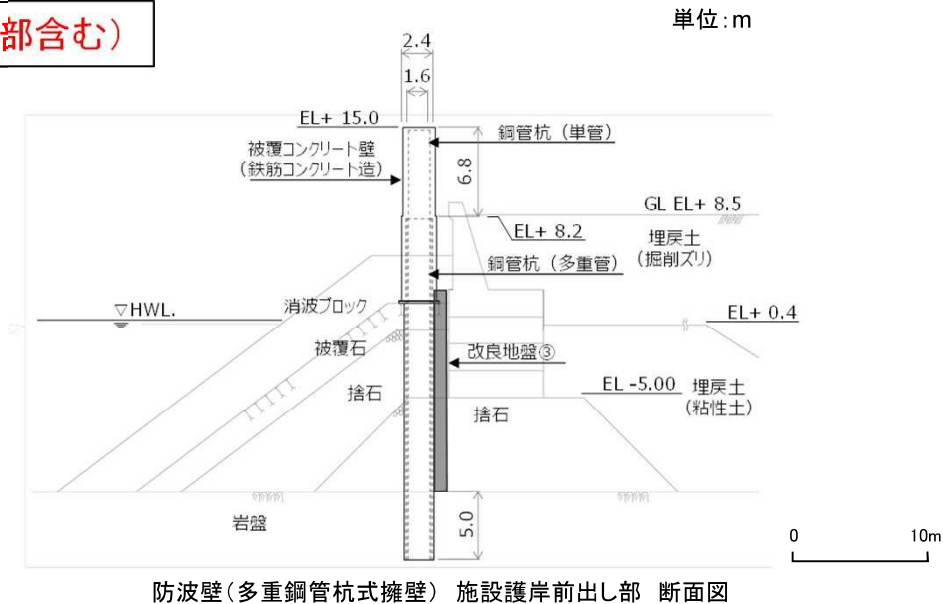
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) STEP2: 検討断面の設定(4/4)

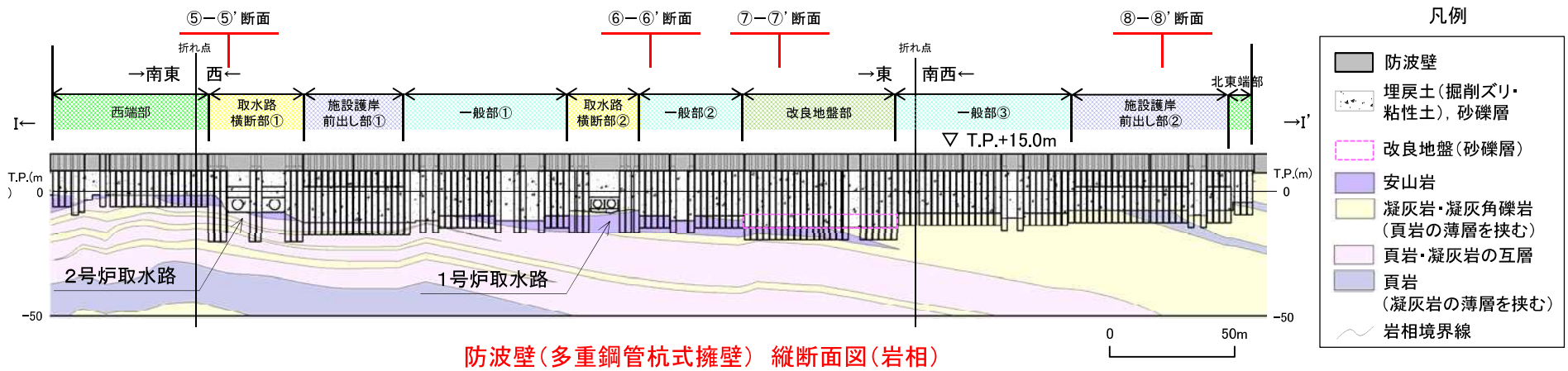
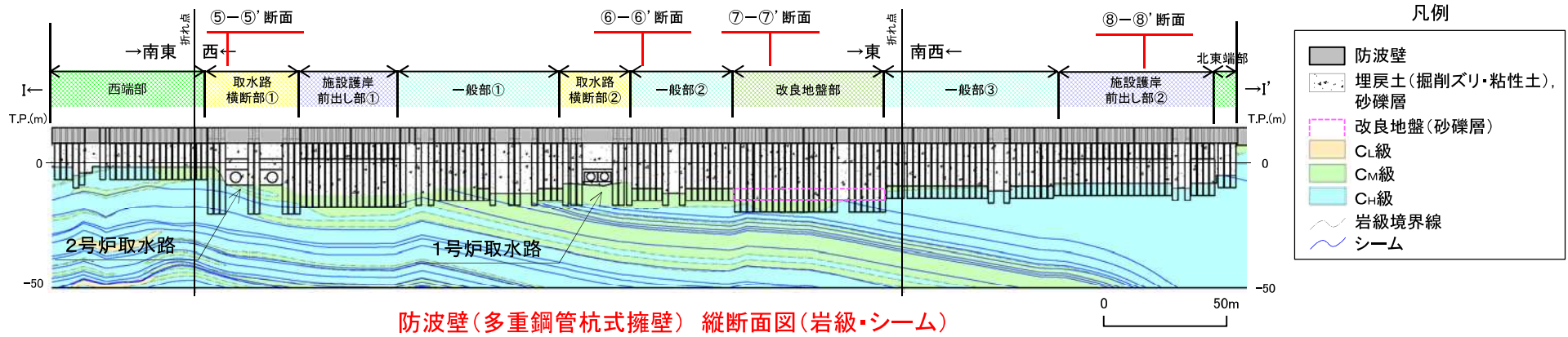
- ・施設護岸前出し部①, ②及び北東端部の3箇所は, 構造は一般部及び改良地盤部と同じであるが, 施設護岸よりも前(海側)に防波壁が位置している点が一般部とは異なる。
- ・施設護岸前出し部①及び②は, 施設重量, 埋戻土層等の厚さ, 岩級, 直下のシームの分布状況が概ね同様であることから, ⑧-⑧' 断面を検討断面に設定した。

施設護岸前出し部(北東端部含む)



3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

グループC(杭を介して岩盤で支持する施設) 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 検討断面の設定結果



評価対象断面の選定結果

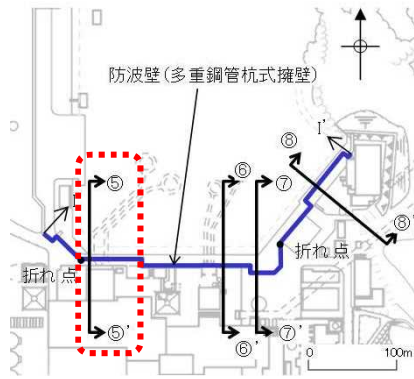
・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を構造毎に区分し、施設の4つの区分毎に、⑤-⑤' ~ ⑧-⑧' 断面の4断面を検討断面に設定した。
 ・これら4断面について下表の比較を行った結果、⑦-⑦' 断面を評価対象断面に選定した。(詳細はp.72~75参照)

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	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))	④ 杭底面幅 (m)	⑤ 埋戻土層 等の厚さ (m)	⑥ 根入れ長 (m)			
⑤-⑤' 断面 (取水路横断 部)	C _H 級	あり	74 (3.72)	4.7	16.7	7.00	②, ③	10.40	・改良地盤部⑦-⑦' 断面に比べ、単位奥行当たりの施設重量 が大きいこと、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、改良地盤部⑦- ⑦' 断面の評価に代表させる。
⑥-⑥' 断面 (一般部)	C _M ~C _H 級	あり	17 (1.33)	2.2	18.0	5.00	②, ④, ⑥	11.14	・改良地盤部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、改良地盤部⑦-⑦' 断面の評価に代表させ る。
⑦-⑦' 断面 (改良地盤部)	C _M ~C _H 級	あり	23 (1.56)	2.2	22.8	5.00	②, ④, ⑤, ⑥	8.25	・施設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 (施設護岸 前出し部)	C _H 級	なし	21 (1.38)	2.2	15.9	5.00	④, ⑥	8.69	・改良地盤部⑦-⑦' 断面に比べ、基礎地盤は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、改良地盤部⑦-⑦' 断面 の評価に代表させる。

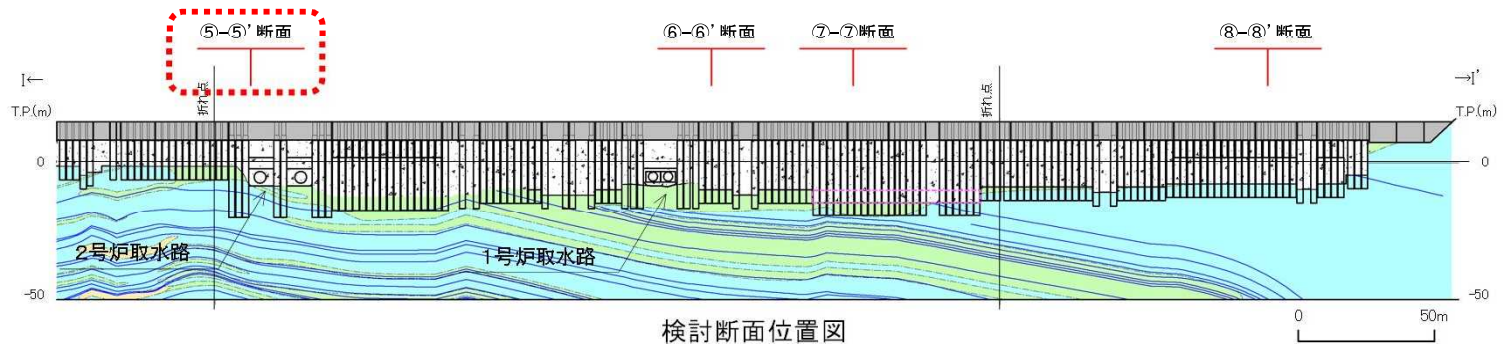
: 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与が多い
 : 選定した代表施設

※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。

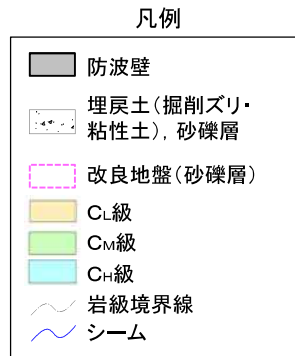
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 取水路横断面部 ⑤-⑤'断面)



検討断面平面位置図



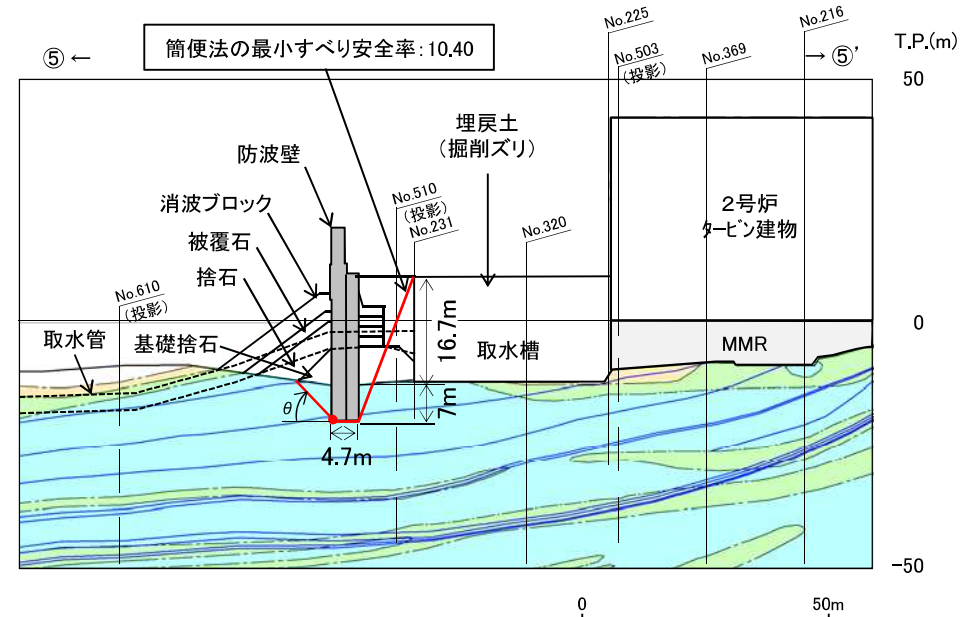
検討断面位置図



⑤-⑤'断面 簡便法の結果

角度(°)	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	17.57	16.55	15.25	13.84	12.47	11.54	10.88	10.40

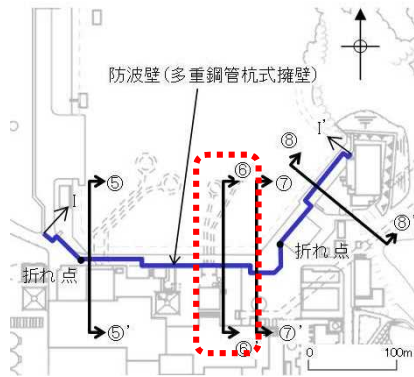
※最小すべり安全率を○で示す。右側の切り下りは取水槽北側端部で固定。



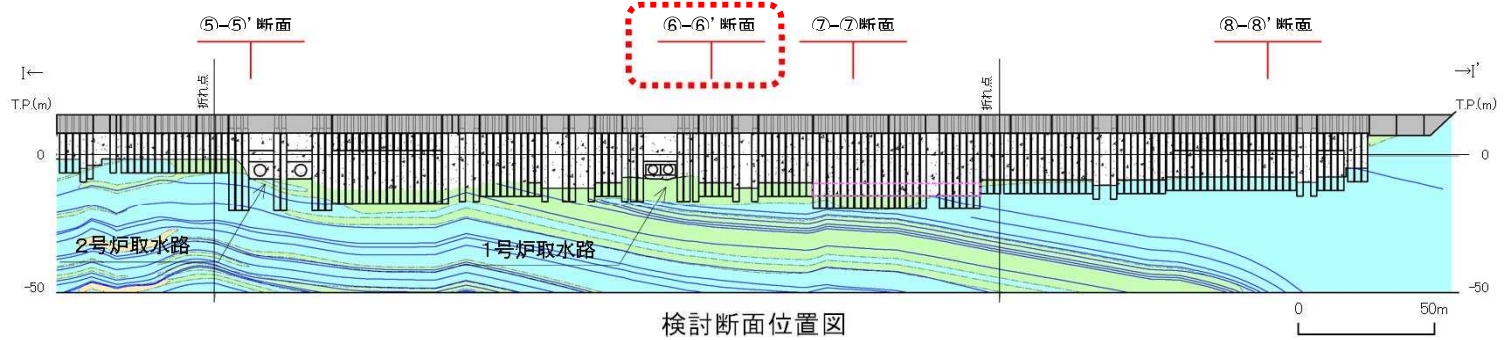
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑤-⑤'断面横断面図(岩級・シーム)

・取水路横断面部⑤-⑤'断面は、改良地盤部⑦-⑦'断面に比べ、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10.40と大きいことから、改良地盤部⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

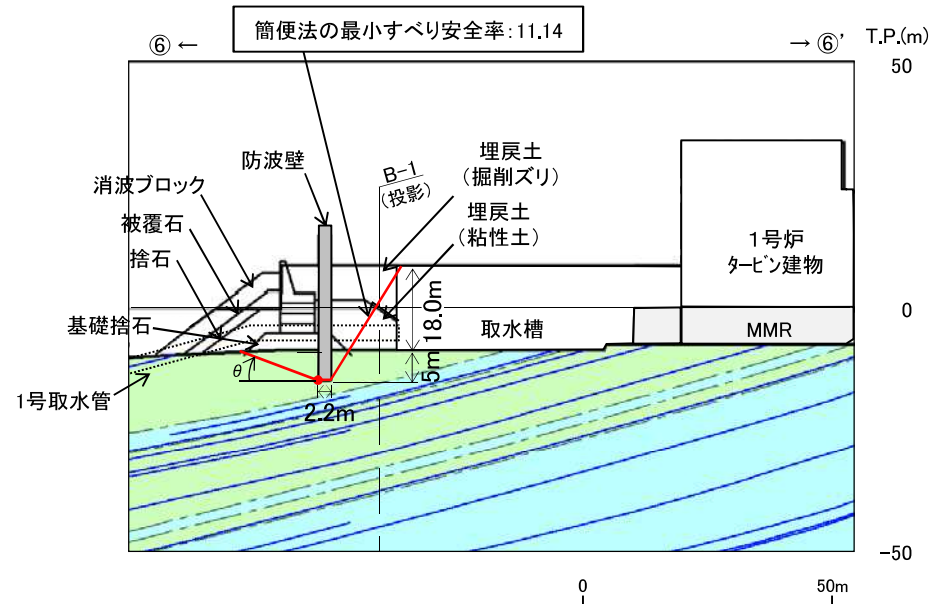
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁)一般部 ⑥-⑥'断面)



検討断面平面位置図



検討断面位置図



⑥-⑥'断面 簡便法の結果

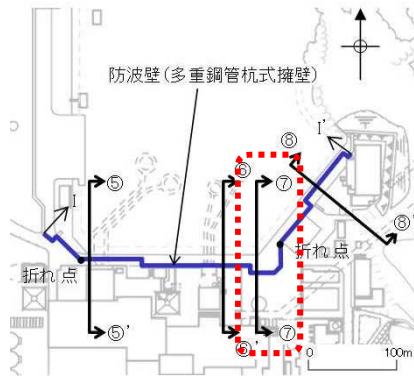
角度(°)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	13.93	12.24	11.39	11.14	11.25	11.56	11.89	12.22	12.42

※最小すべり安全率を○で示す。右側の切り下がりは取水槽北側端部で固定。

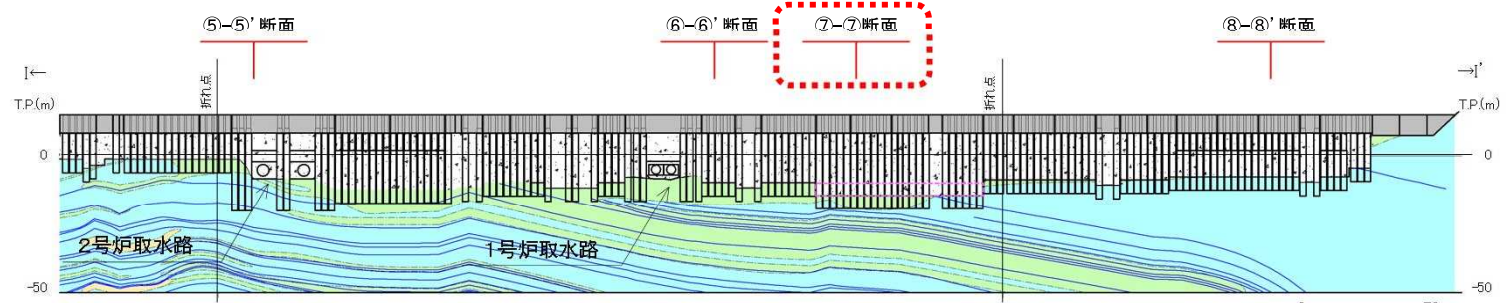
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑥-⑥'断面横断面図(岩級・シーム)

・一般部⑥-⑥'断面は、改良地盤部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11.14と大きいことから、改良地盤部⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

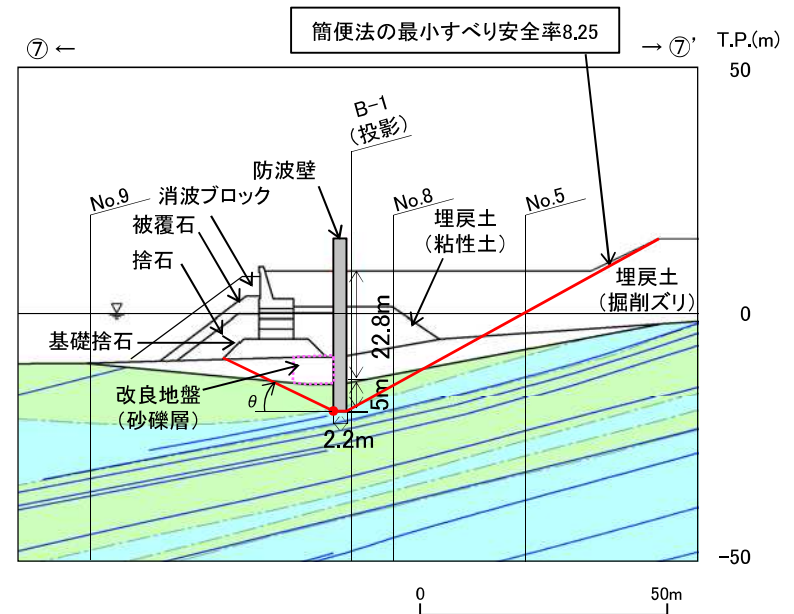
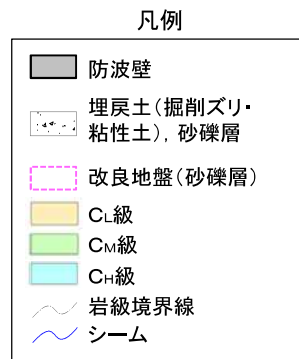
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁)改良地盤部) ⑦-⑦'断面



検討断面平面位置図



検討断面位置図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦'断面横断面図(岩級・シーム)

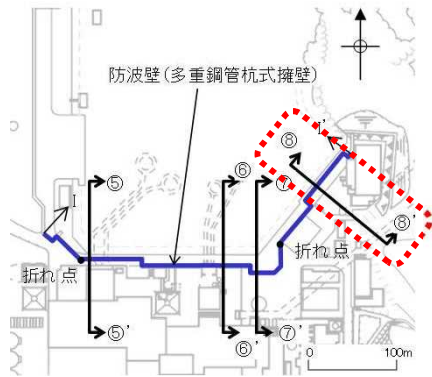
⑦-⑦'断面 簡便法の結果

角度(°)	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	10.25	8.77	8.37	8.25	8.34	8.48	8.58	8.70

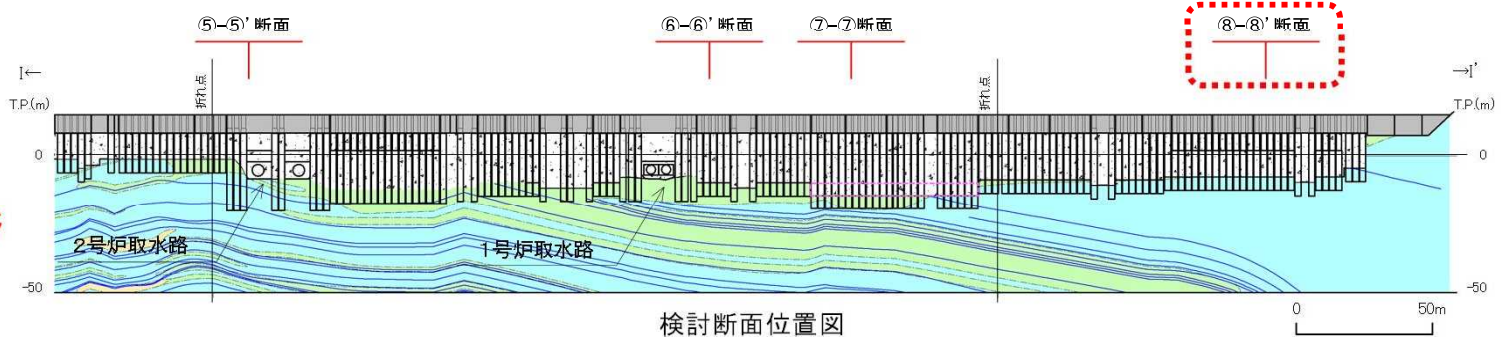
※最小すべり安全率を 8.25 で示す。右側の切り下がり地形変化点で固定。

- 改良地盤部⑦-⑦'断面は、基礎地盤がC_M~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8.25と小さいことから、評価対象断面に選定する。

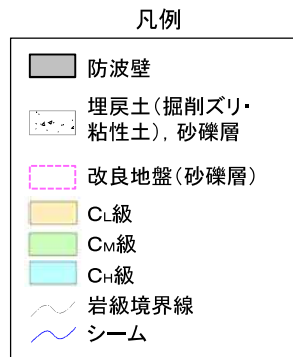
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁)施設護岸前出し部 ⑧-⑧'断面)



検討断面平面位置図



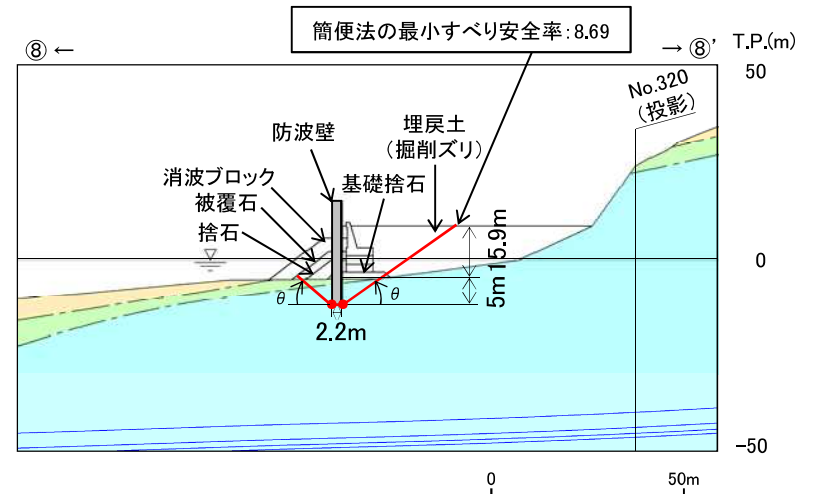
検討断面位置図



⑧-⑧'断面 簡便法の結果

角度 (°)	左	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	右	20	25	30	35	40	45	55	65	75	85
すべり安全率		10.21	9.25	8.81	8.69	8.84	9.30	11.15	15.46	28.51	191.33

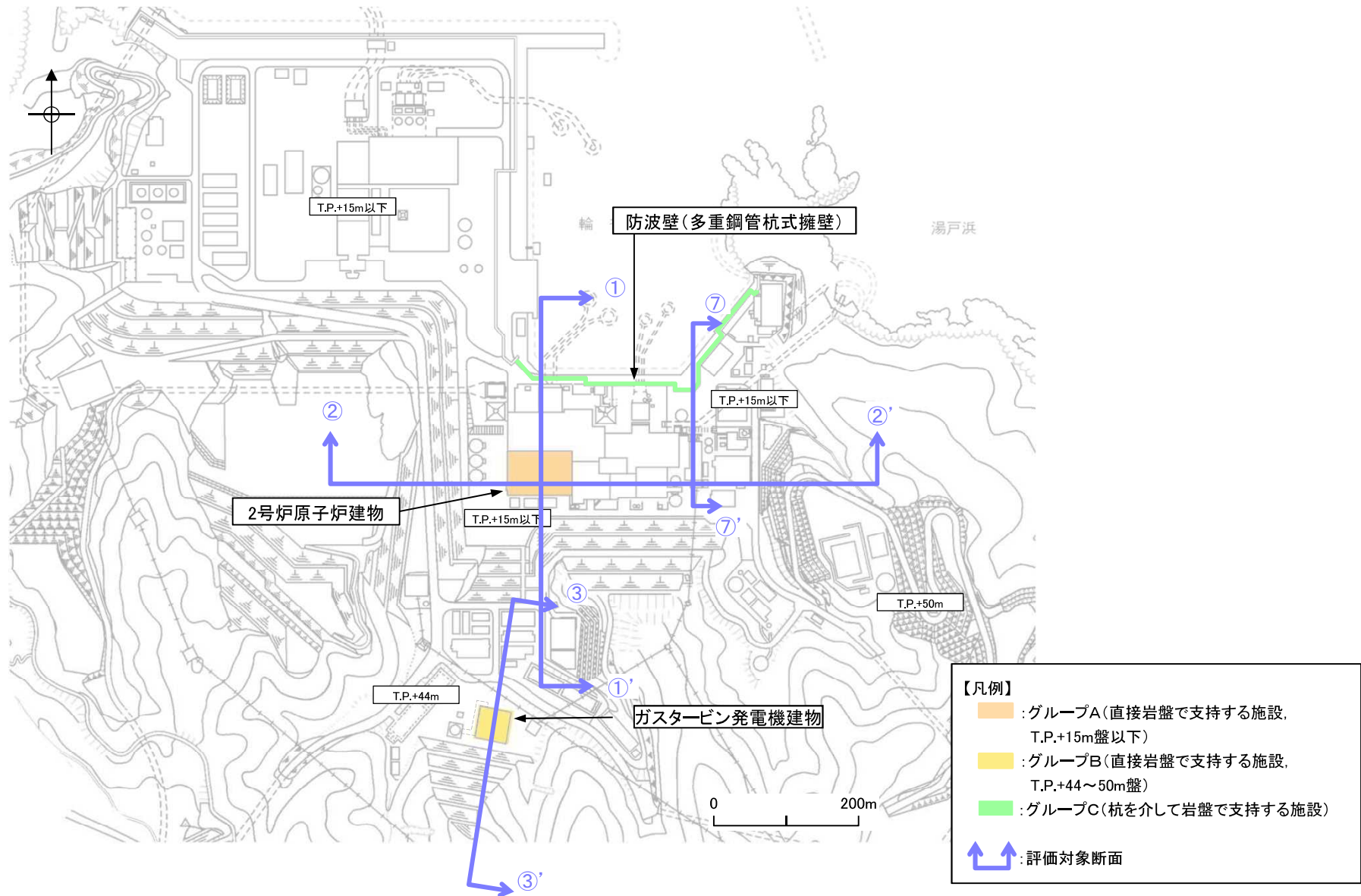
※最小すべり安全率を **8.69** で示す。左側は5~45°の最小値となる40°を記載。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑧-⑧'断面横断面図(岩級・シーム)

・施設護岸前出し部⑧-⑧'断面は、改良地盤部⑦-⑦'断面に比べ、基礎地盤は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8.69と大きいことから、改良地盤部⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

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

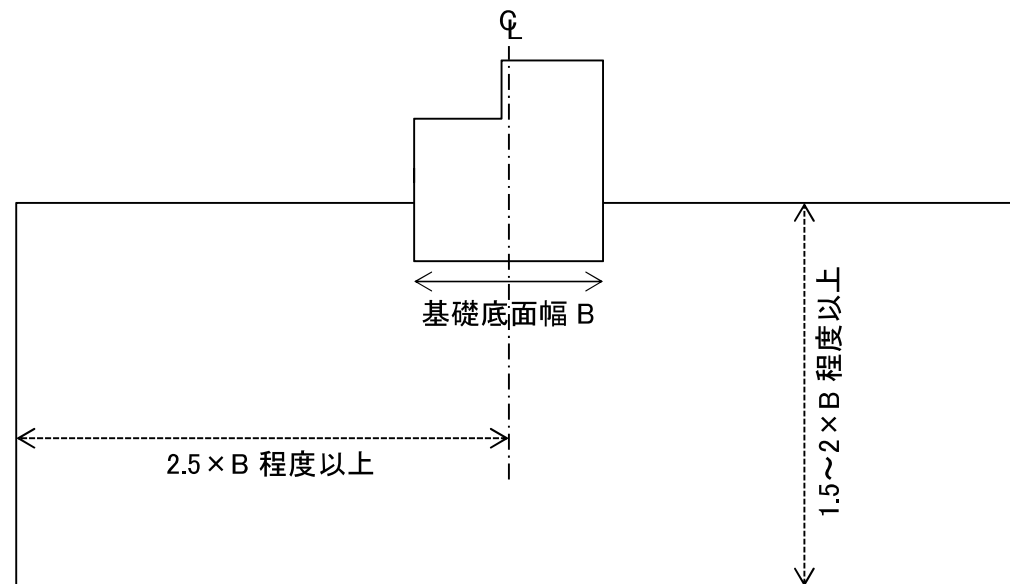
第868回審査会合
資料3-1 p55 再掲

77

- 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)

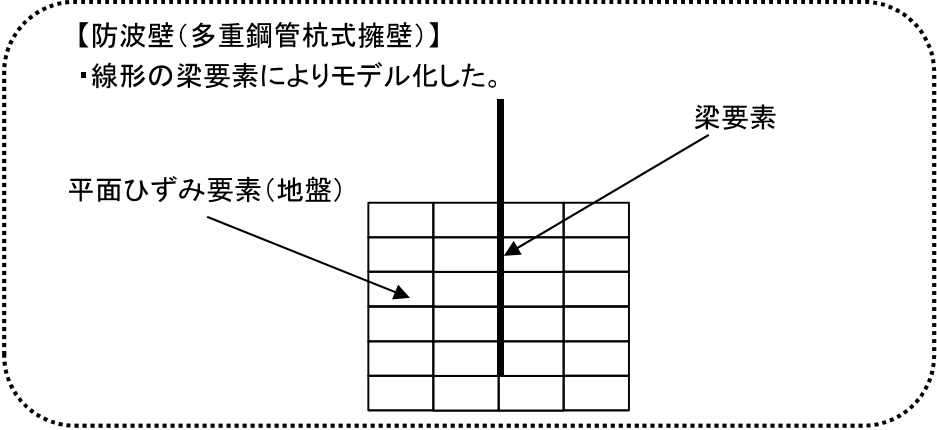
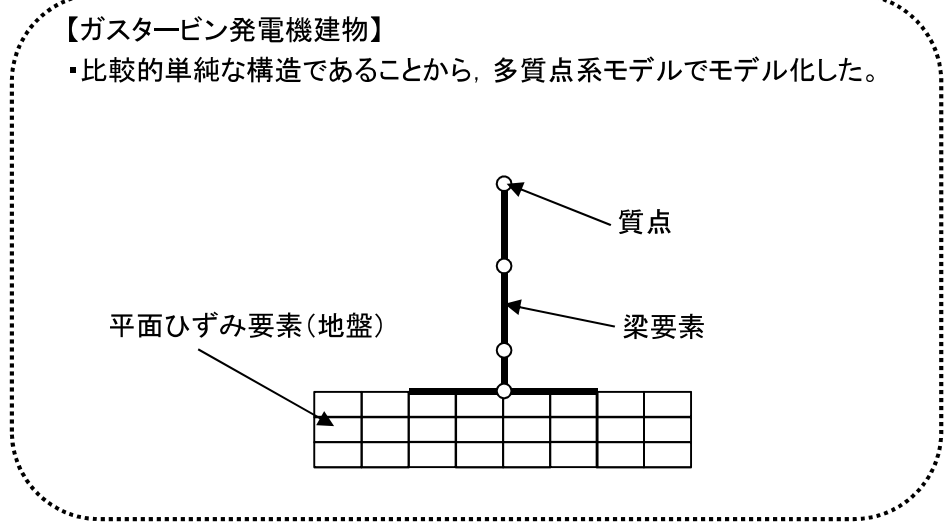
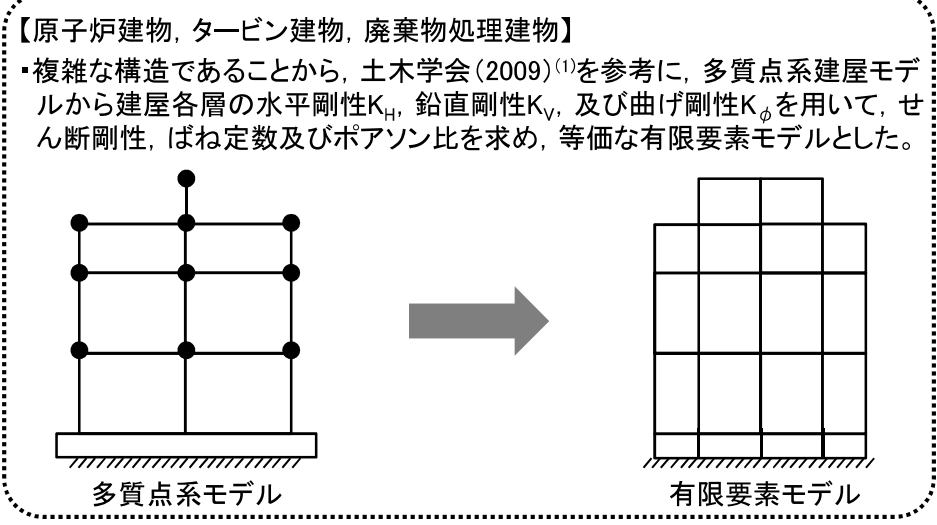
t : シームの平均層厚(mm)

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

ν_d : 動ポアソン比

建物のモデル化

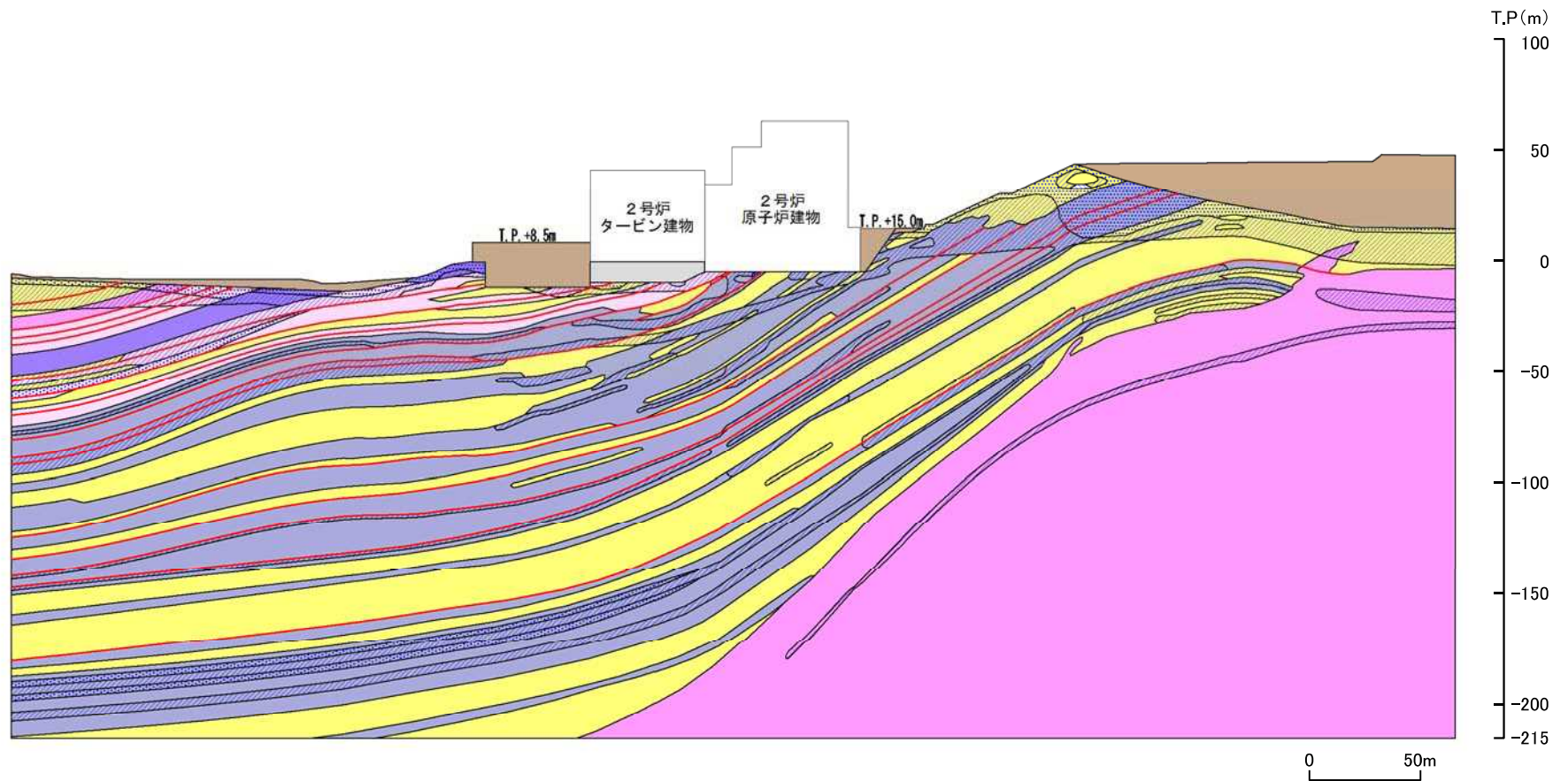
- ・評価対象断面上の代表施設及び規模の大きい施設を対象にモデル化を行った。
 - (1)代表施設 : 2号炉原子炉建物, ガスタービン発電機建物, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
 - (2)規模の大きい施設 : 1, 2号炉タービン建物, 1, 2号炉廃棄物処理建物, 1号炉原子炉建物
- ・建物の構造を考慮してモデル化した。また, 水平動及び鉛直動の同時入力に対応したモデルを用いた。
- ・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)においては, 杭構造物であるので, 線形の梁要素でモデル化した。



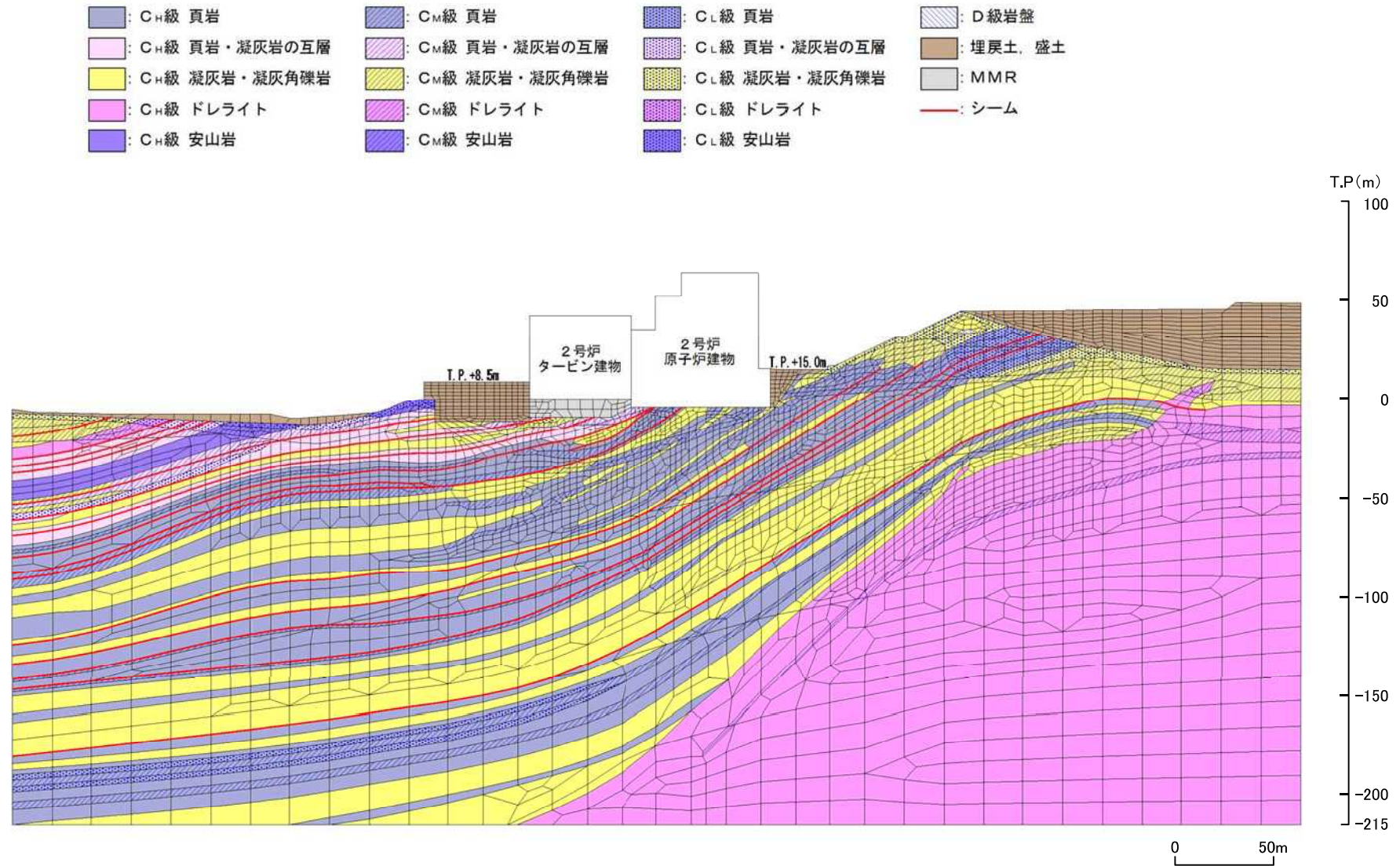
※1 建物のモデル化方法の詳細は補足資料「3. 建物のモデル化方法」に示す。
 ※2 規模の大きい施設の設定方法については補足資料「4. 隣接施設のモデル化について」に示す。

余白

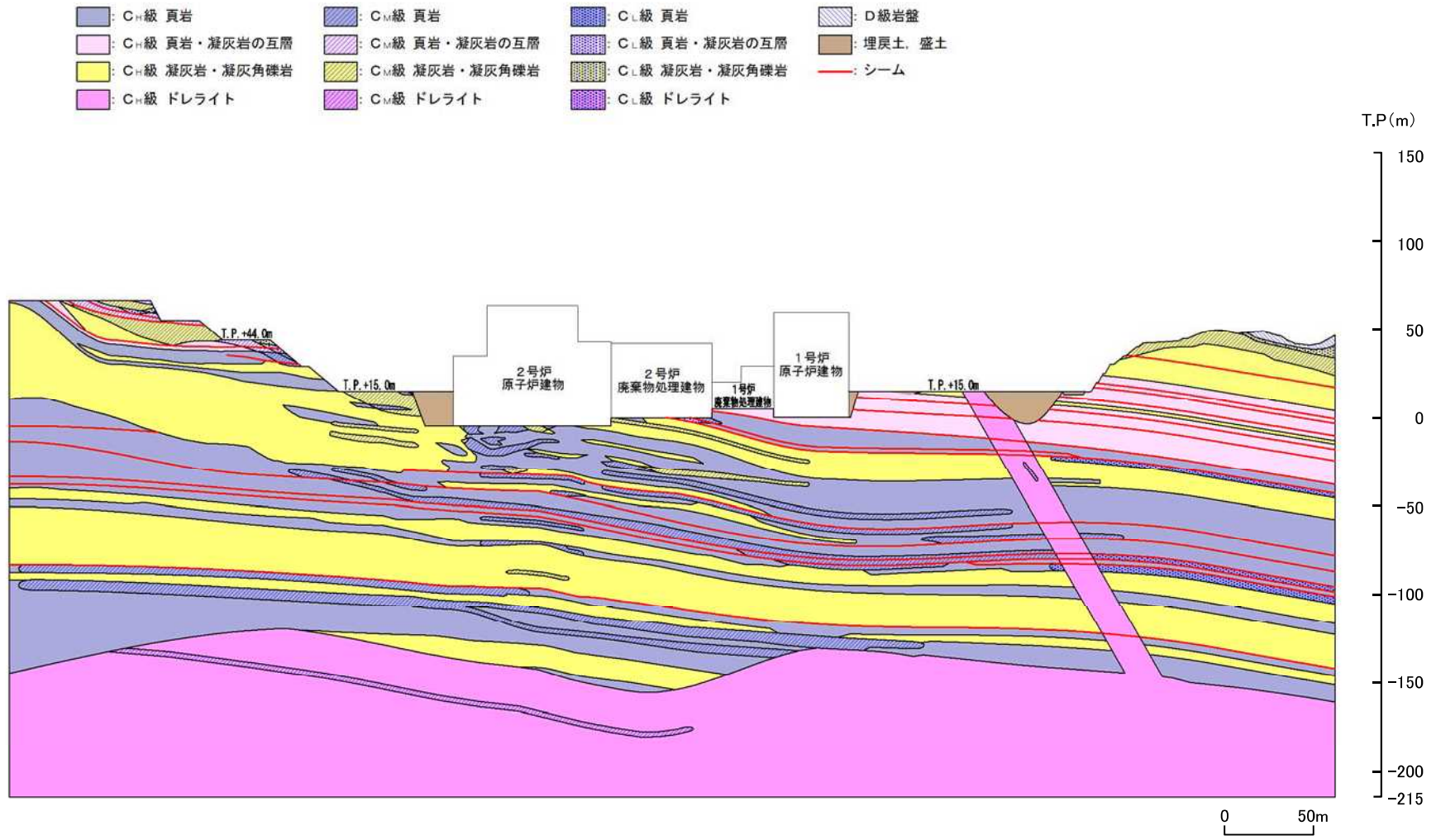
解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①'断面)



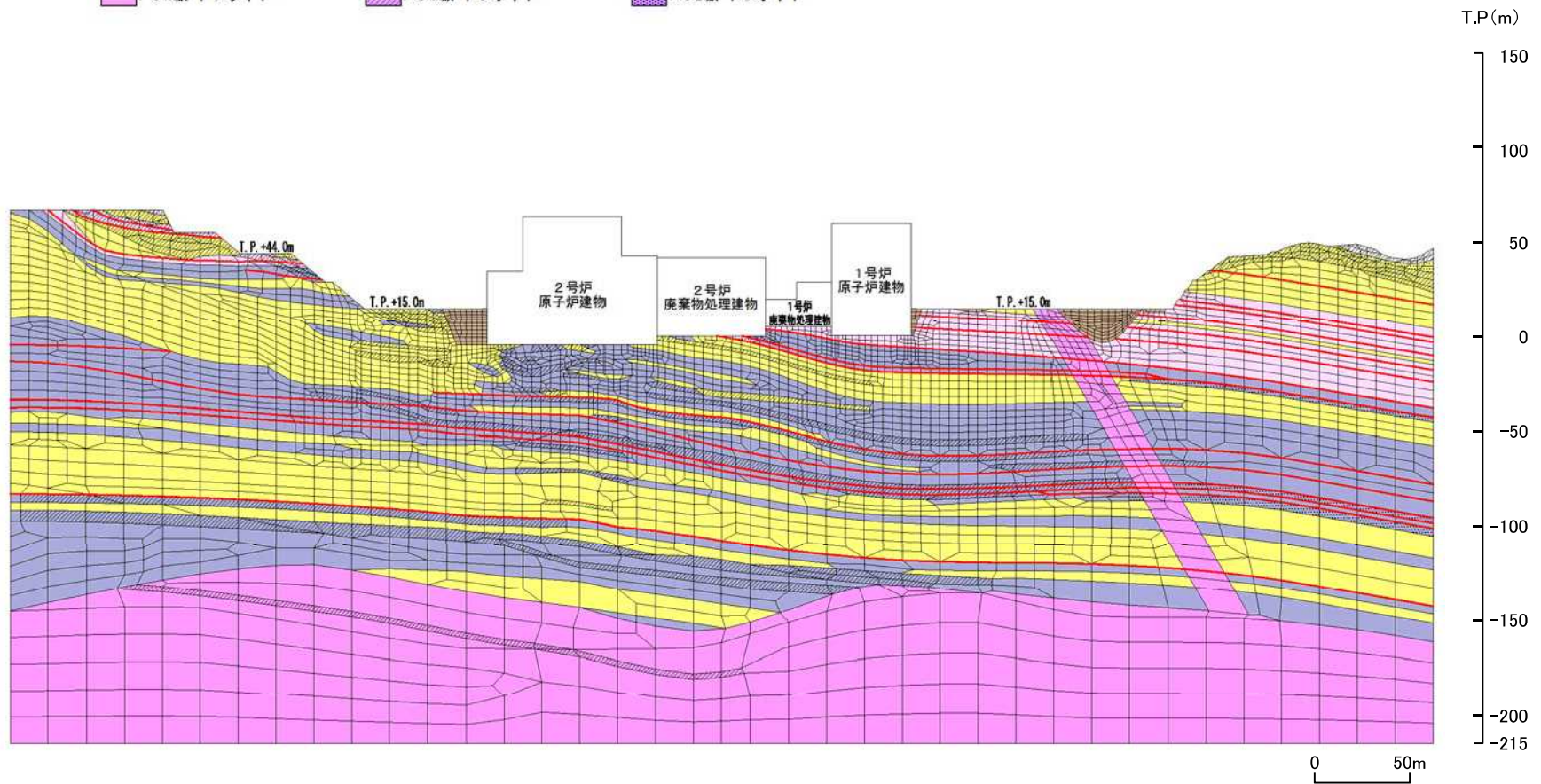
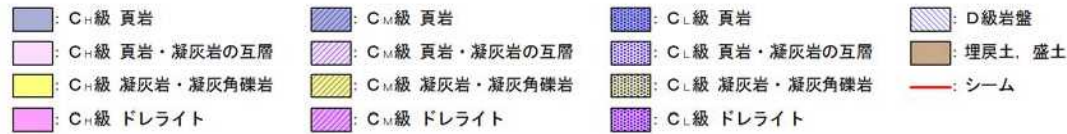
解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①'断面)



解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②' 断面)

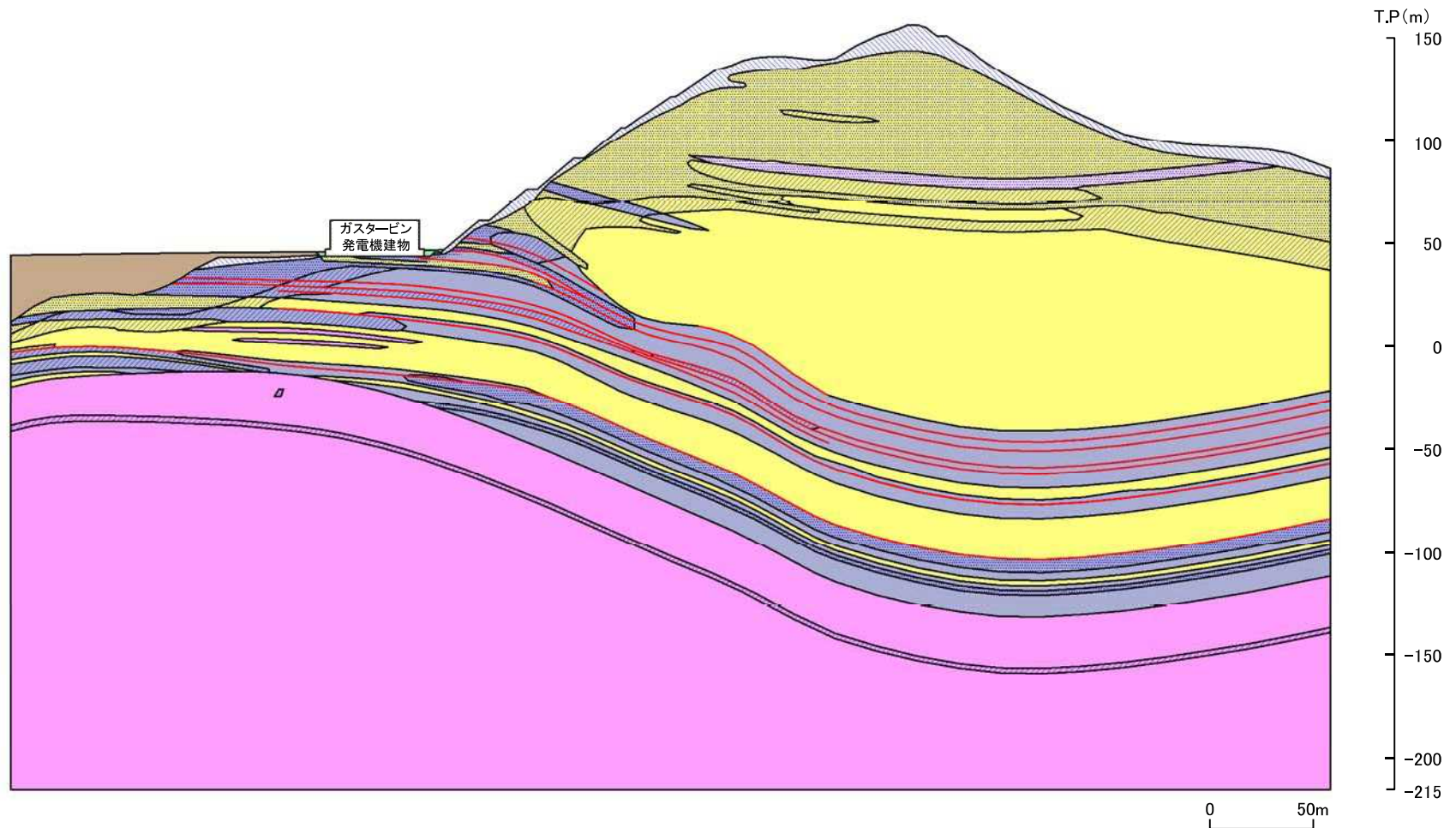


解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②'断面)



















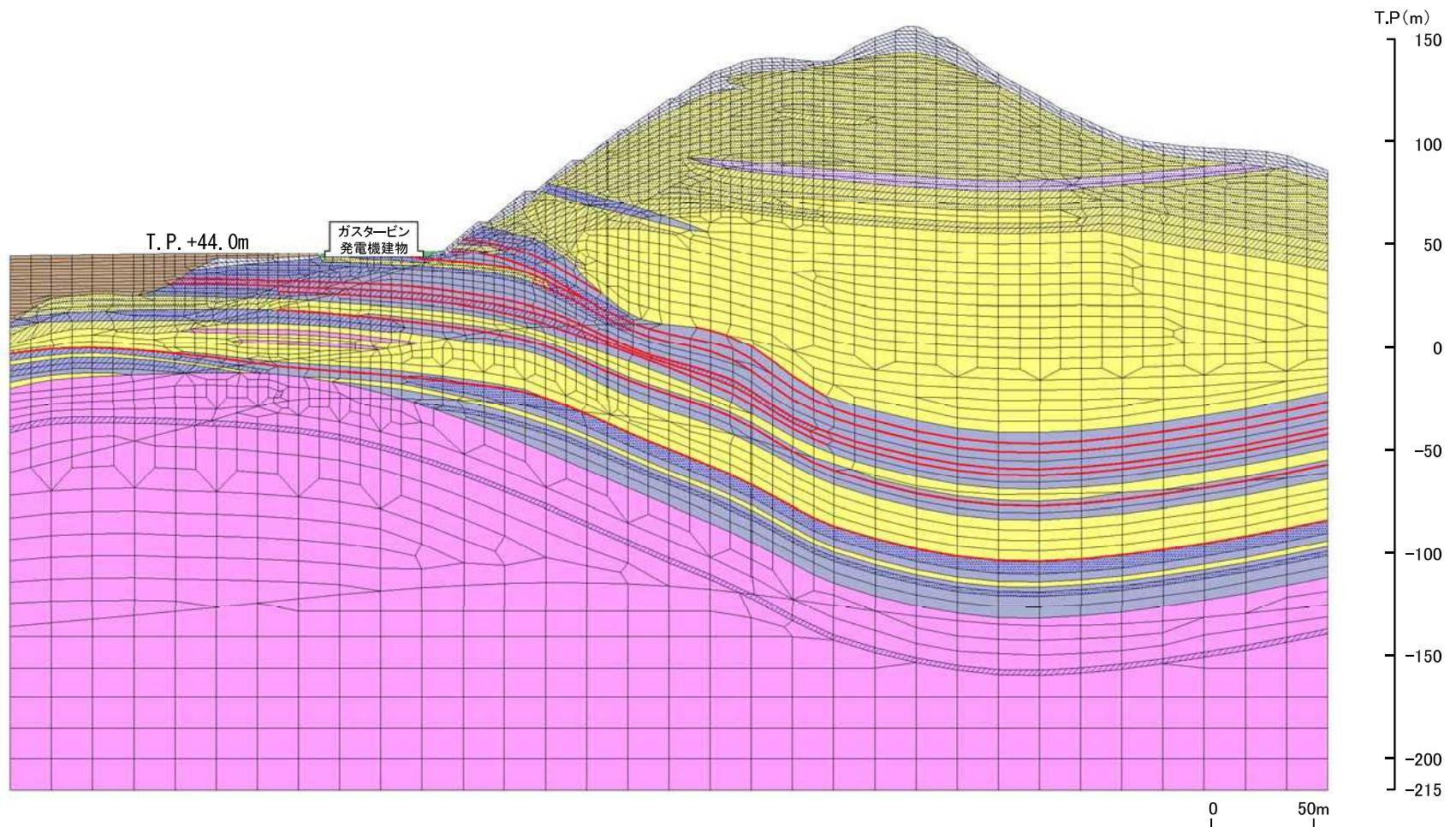
解析用岩盤分類図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------|
| : 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 |

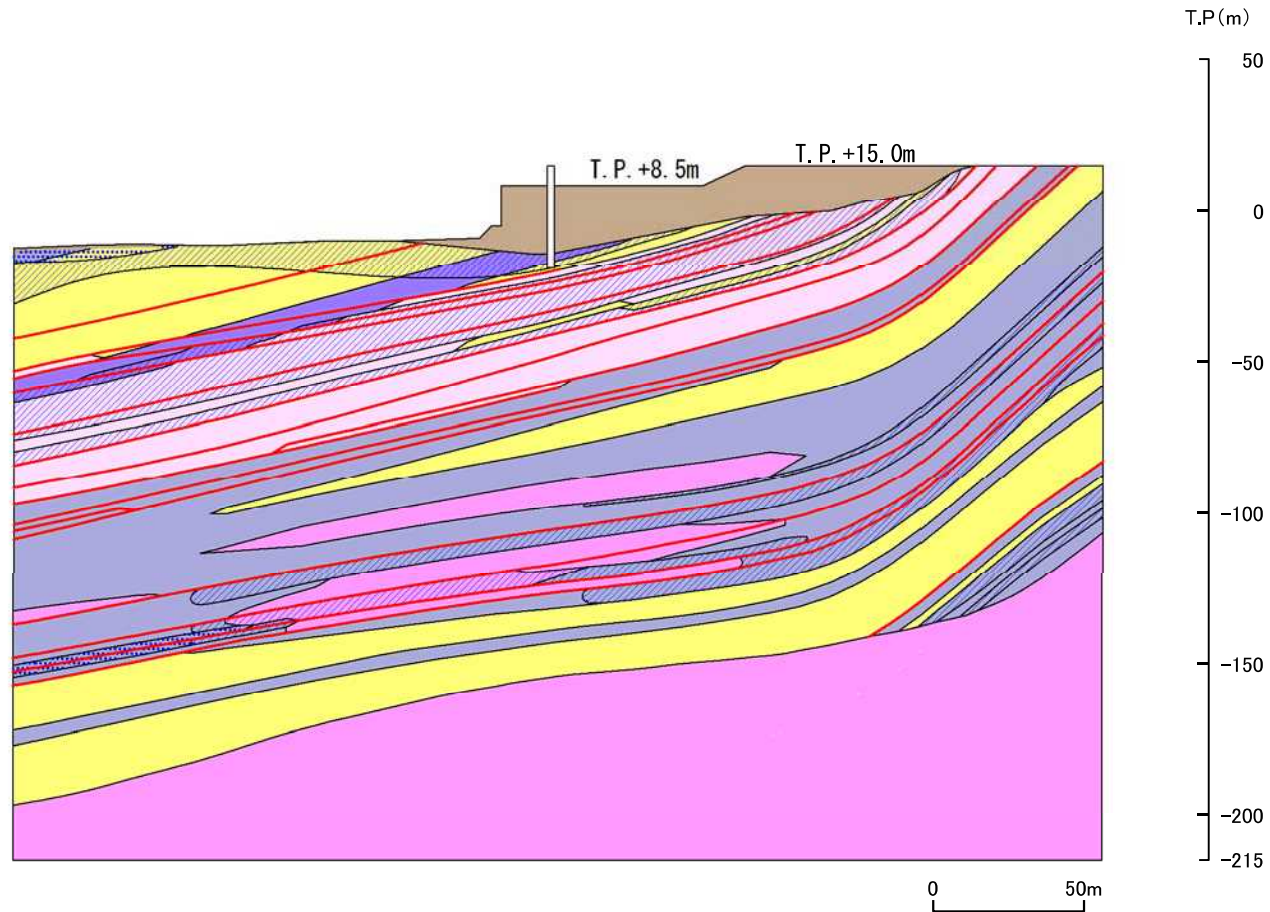


解析用要素分割図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

- | | | | |
|--|--|--|--|
|  : 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 |

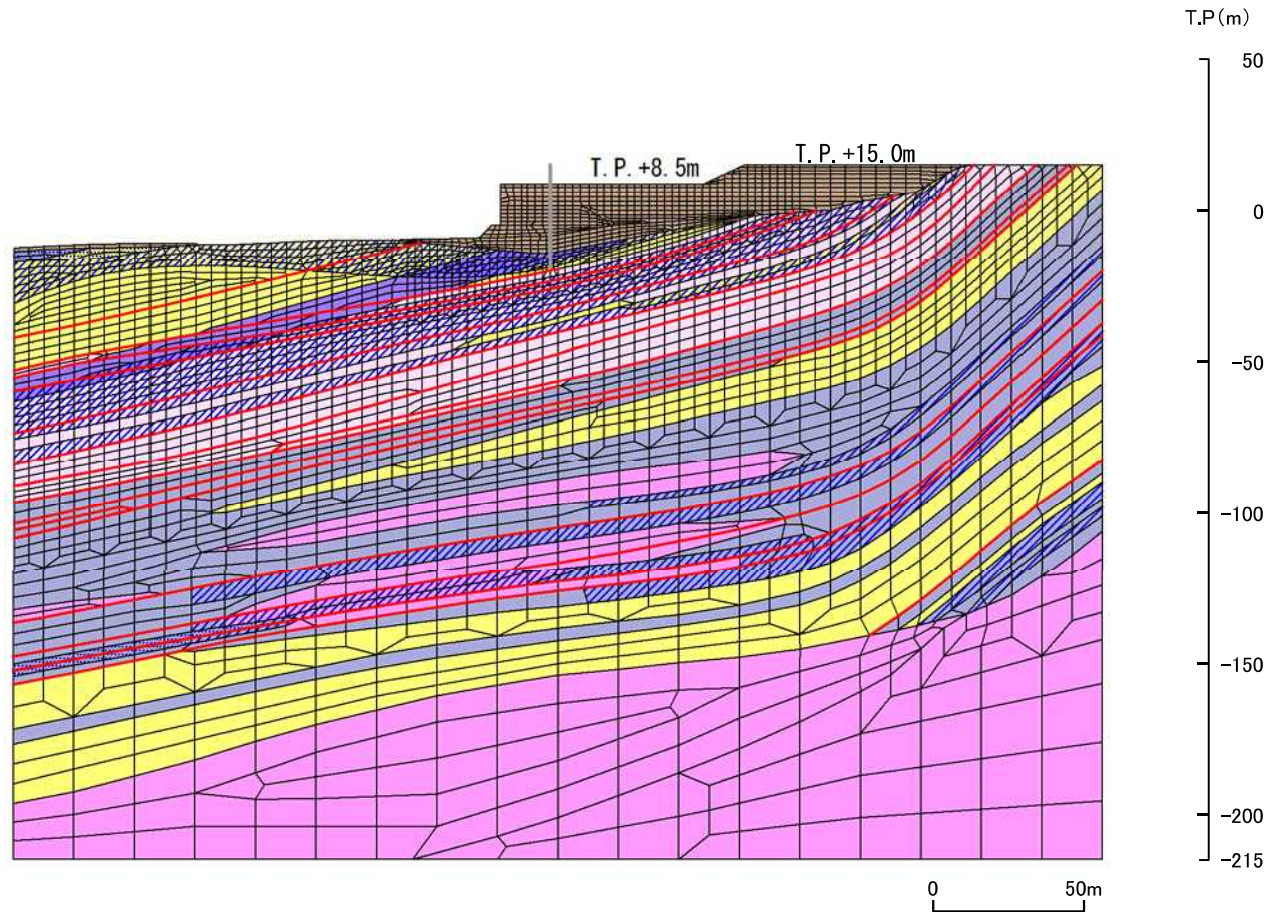


解析用岩盤分類図(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面)



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 | |



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。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
設定方法(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR)

第868回審査会合
 資料3-1 p70 加筆・修正
 ※修正箇所を青字で示す

・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 ρ_s (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E (×10 ³ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (×10 ³ 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		動的変形特性		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	$0.19 + \sigma \tan 18^{\circ}$	$G_{0.5} = 44 \sigma^{0.24}$	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

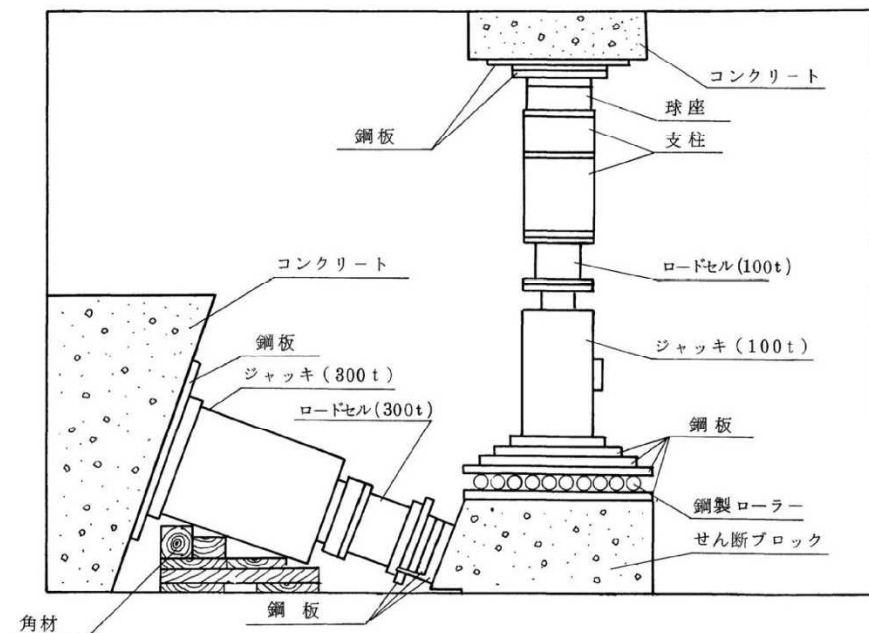
※1 「海底堆積物，崖錐堆積物」は，主要構成地質（礫混り砂質土・礫混り粘性土）が盛土と同じであること，及び評価対象の基礎地盤及び周辺斜面に対して地震時安定性への影響が軽微であることから，「埋戻土・盛土」の値を流用。

※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。

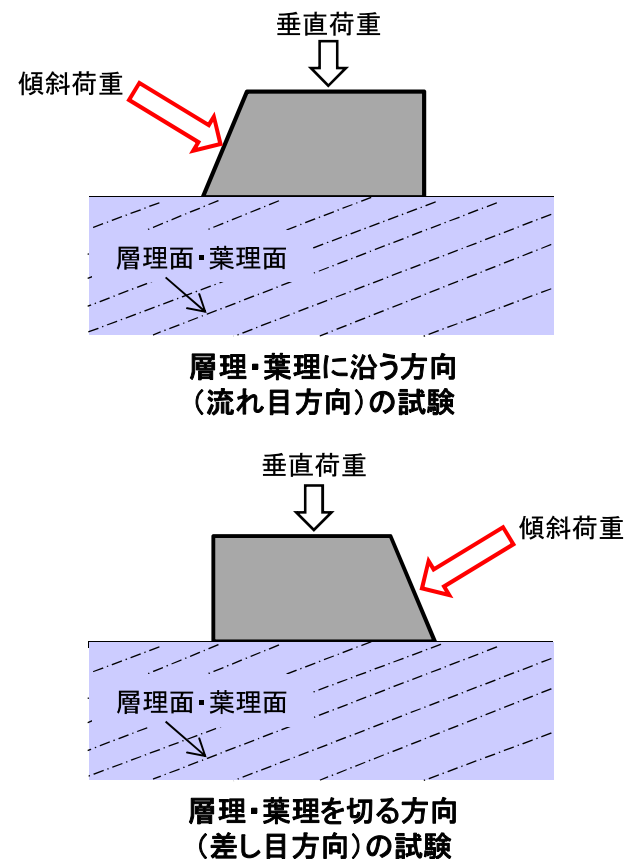
※5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の「改良地盤（砂礫層）」は，施設の変形抑制等に寄与する設計であるため，すべり安定性評価においては保守的に改良前の「埋戻土・盛土」の値を流用。



ブロックせん断試験装置概要図

【凡例】

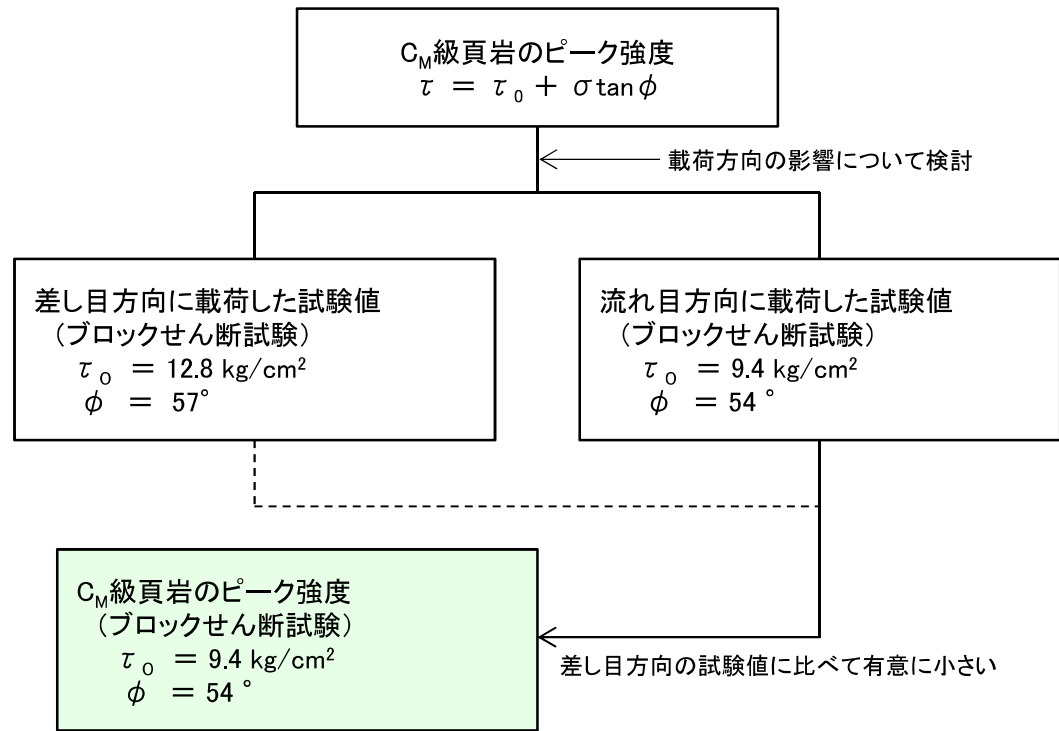
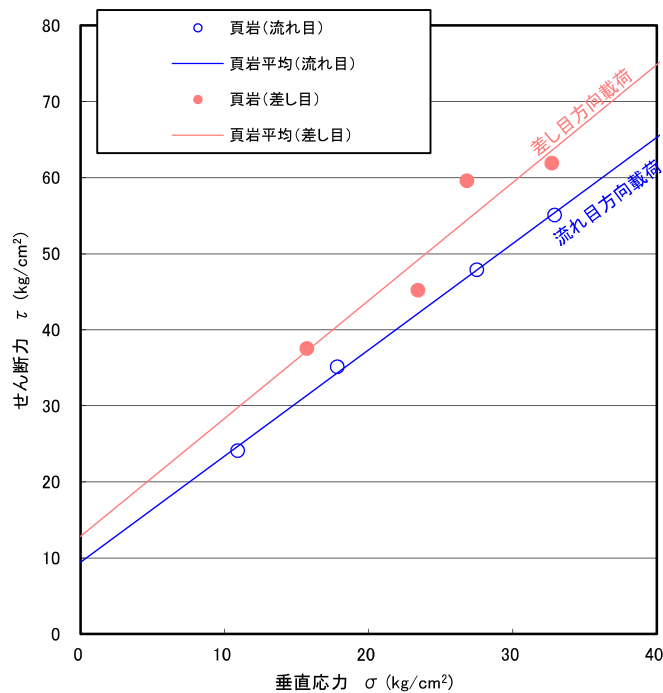
■ : 頁岩



- ・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)

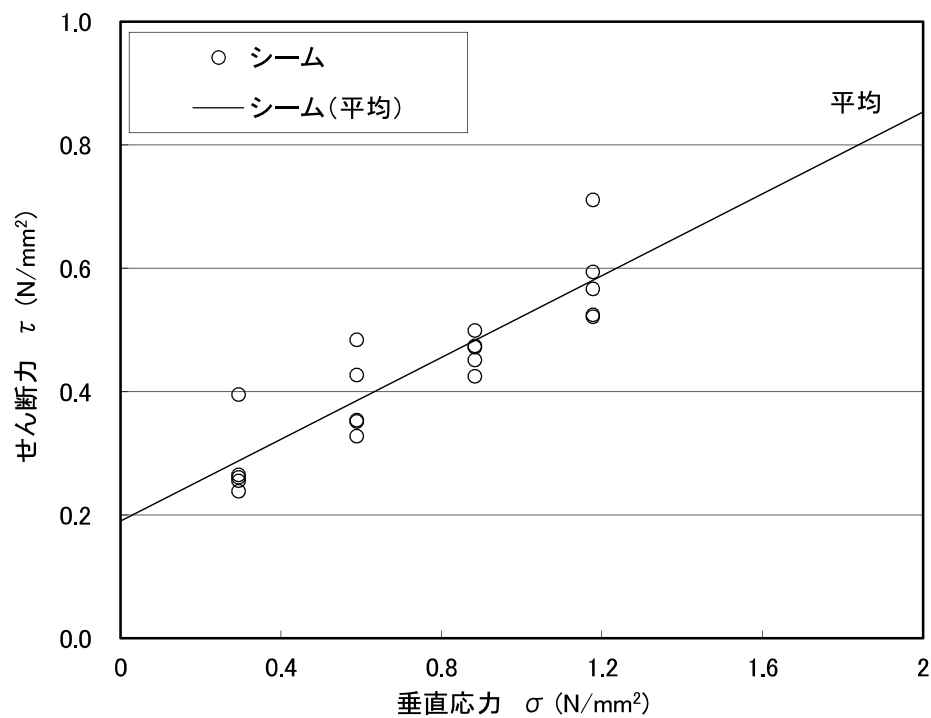


- ・流れ目方向に荷した試験値は、差し目方向に荷した試験値に比べて有意に小さい。
- ・流れ目方向に荷した試験値をC_M級頁岩のピーク強度として採用する。

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)⁽¹⁾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。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値 地盤物性のばらつきについて(2/3)

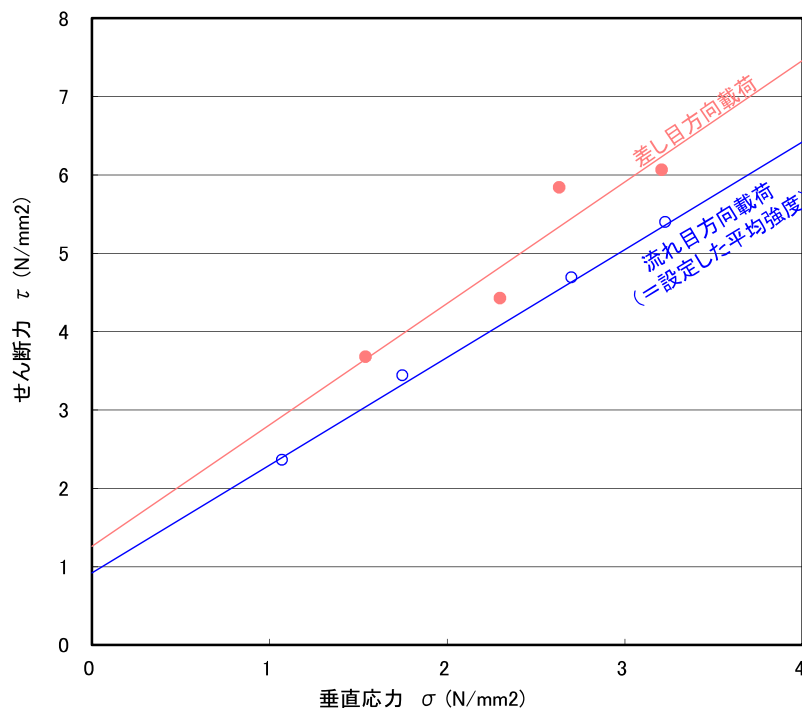
【「頁岩」のピーク強度】

- ・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)



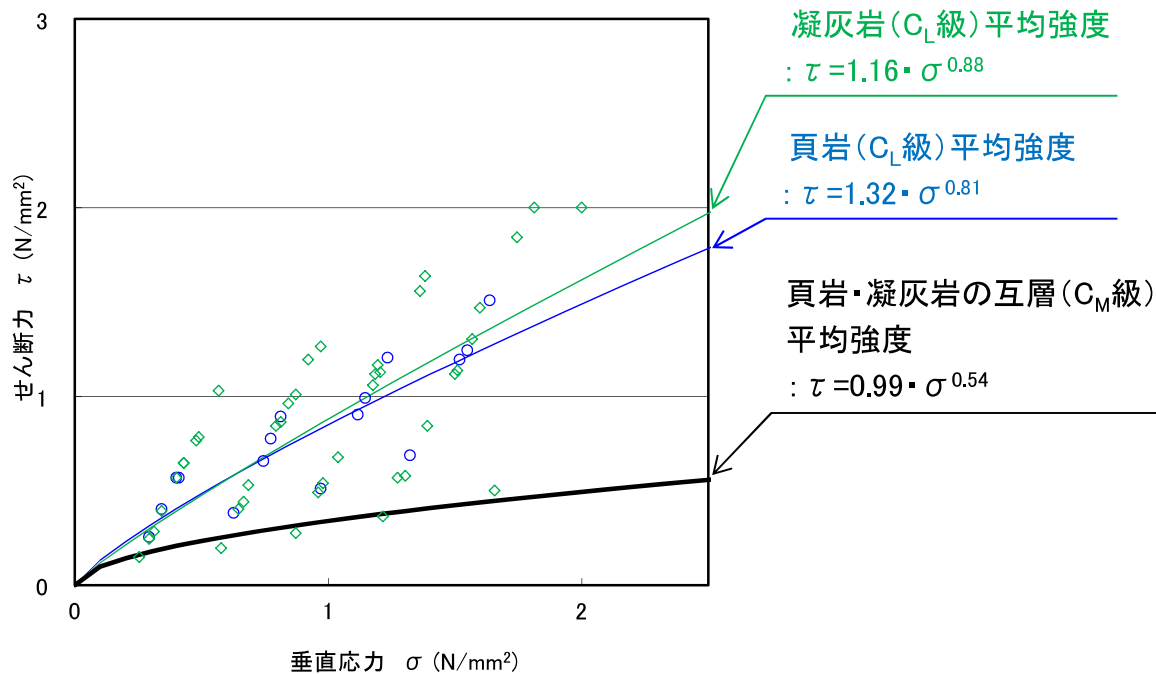
※ 詳細な設定方法については補足説明資料「2.2 強度特性」に示す。

【「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。

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	$\sigma \tan 21^\circ$

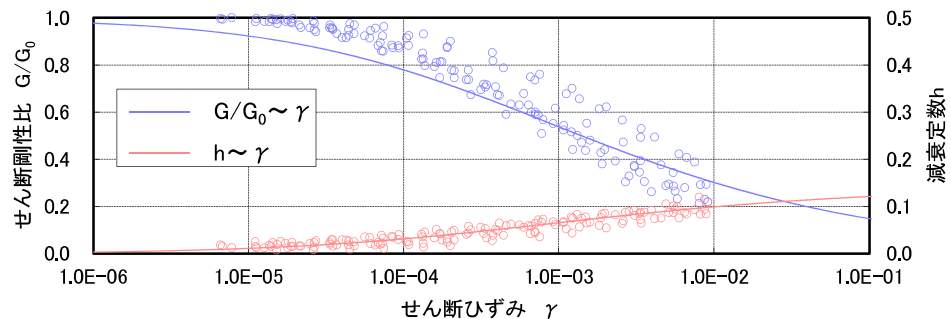
【凡例】

- :ばらつきを考慮し、平均強度から1σ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。

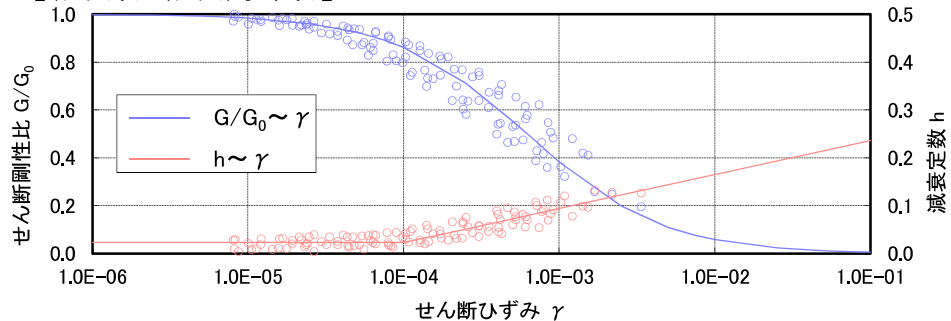
動的変形特性(ひずみ依存特性について)

・ 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。

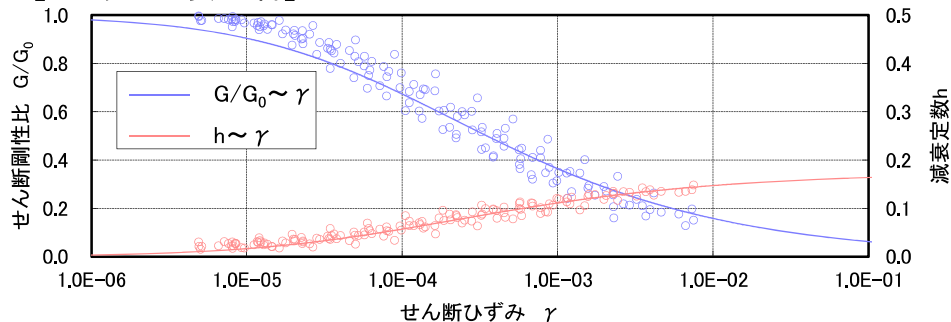
【頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層】



【凝灰岩・凝灰角礫岩】

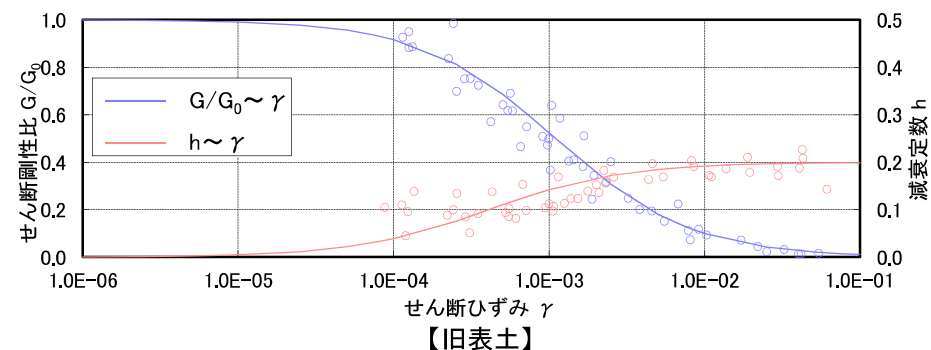
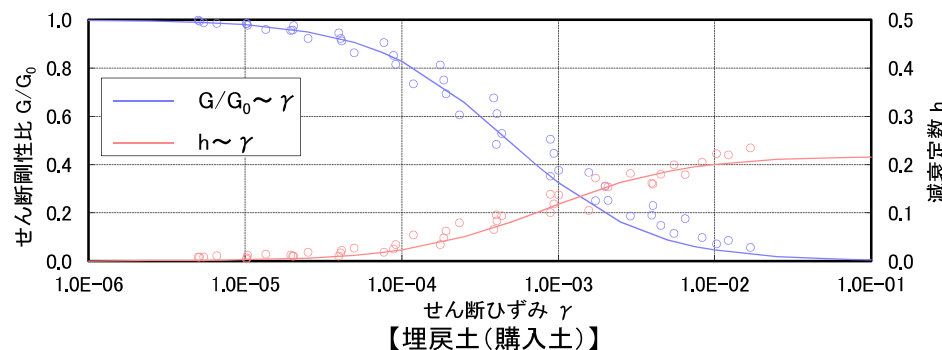
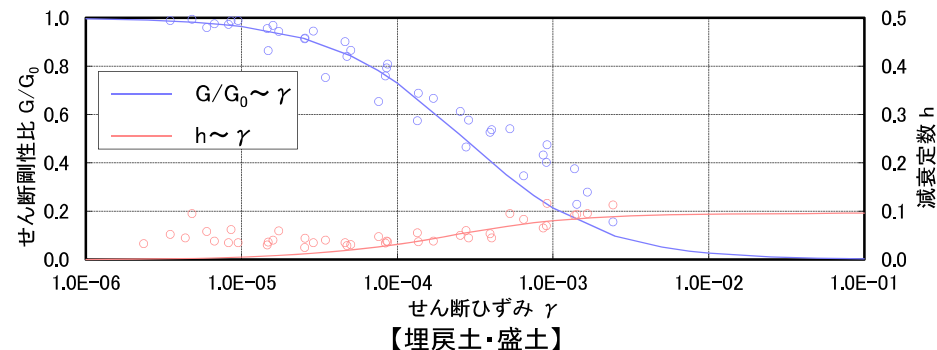
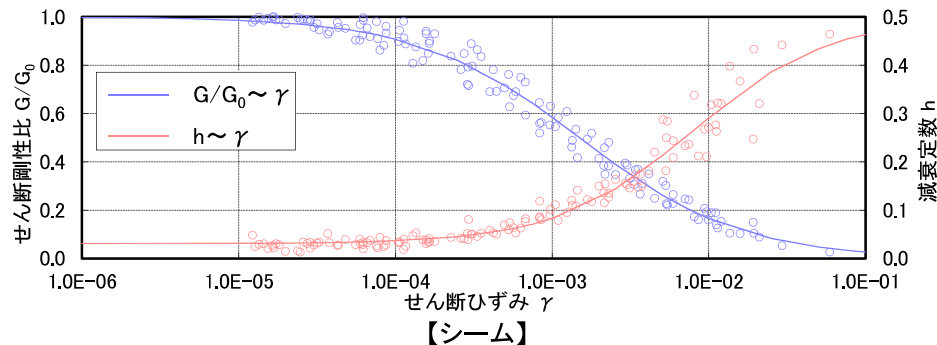


【ドレライト・安山岩】



動的変形特性(ひずみ依存特性について)

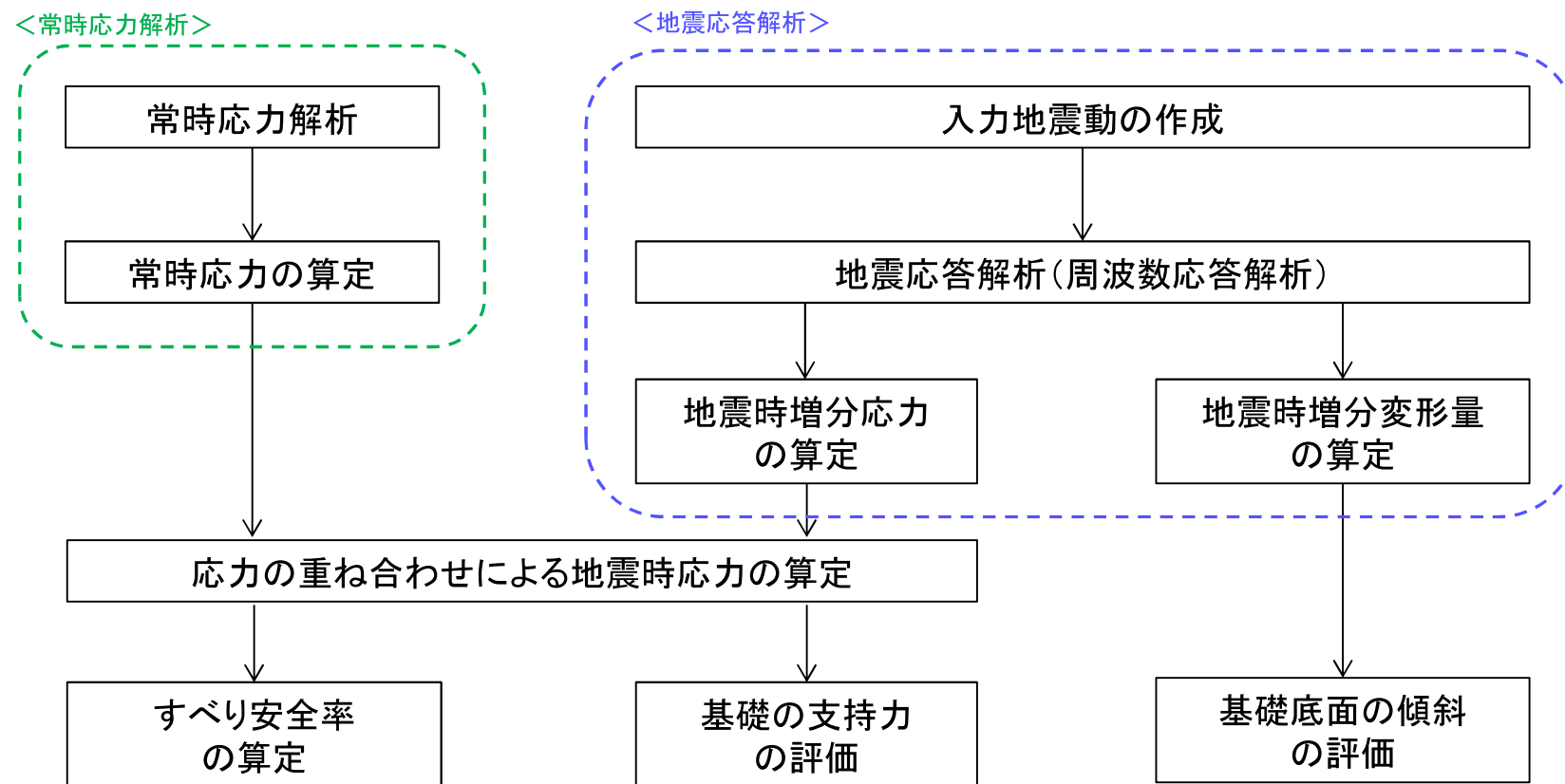
・ シーム, 埋戻土・盛土, 埋戻土(購入土), 旧表土のひずみ依存特性については, 各土質材料における動的変形試験の試験結果より設定した。



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



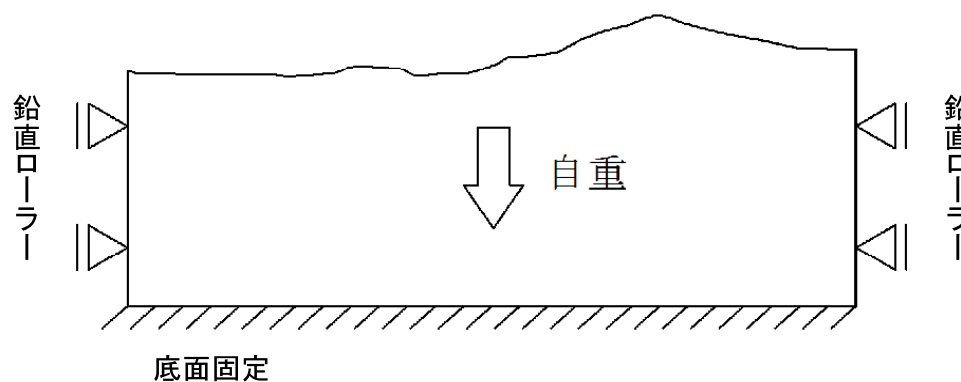
基礎地盤の安定性評価フロー

- ・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。

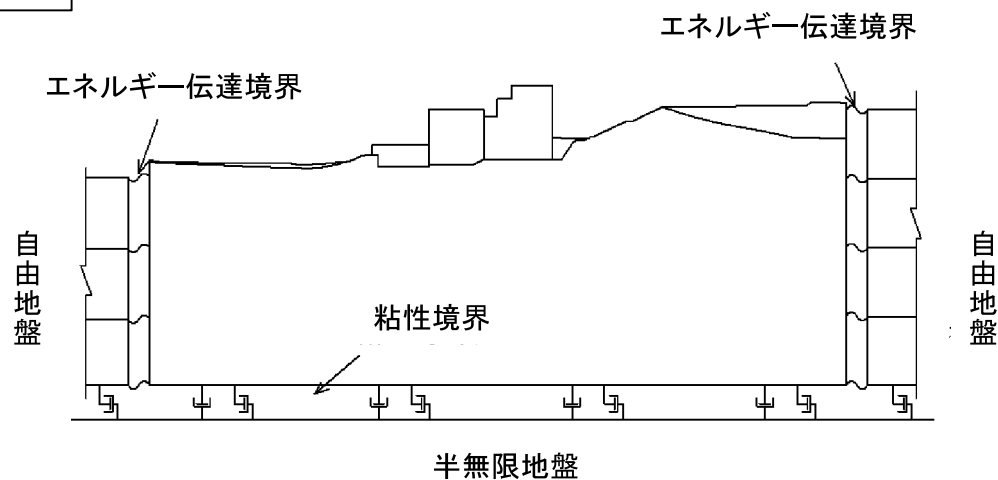
境界条件

- ・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



地下水位の設定方針

[建物・構築物の地下水位設定]

・基礎地盤の安定性評価における建物・構築物の地下水位の設定に当たっては、建物・構築物の設計方針との整合を図るため、地下水位低下設備の機能に期待する建物の地下水位は建物基礎上面とし、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]

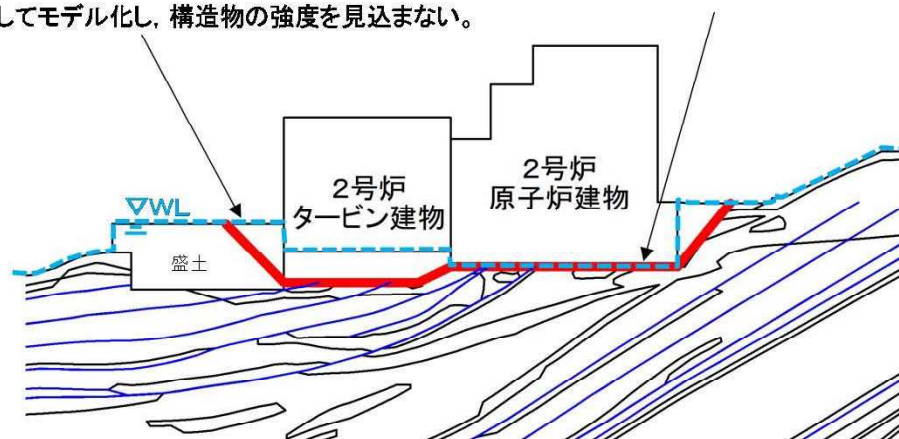
・建物・構築物の周辺地盤の地下水位は、先行サイトでの審査実績を踏まえ、保守的に地表面に設定した荷重条件で安定解析を実施する。

・地下水位低下設備の機能に期待しない状態が継続した場合の地下水位分布を予測した浸透流解析の結果※、原子炉建物基礎地盤等の主要建物が設置される地盤レベルでは、地下水位が地表付近まで上昇する結果となったことから、地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討も実施する。(詳細はp.111参照)

※「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。

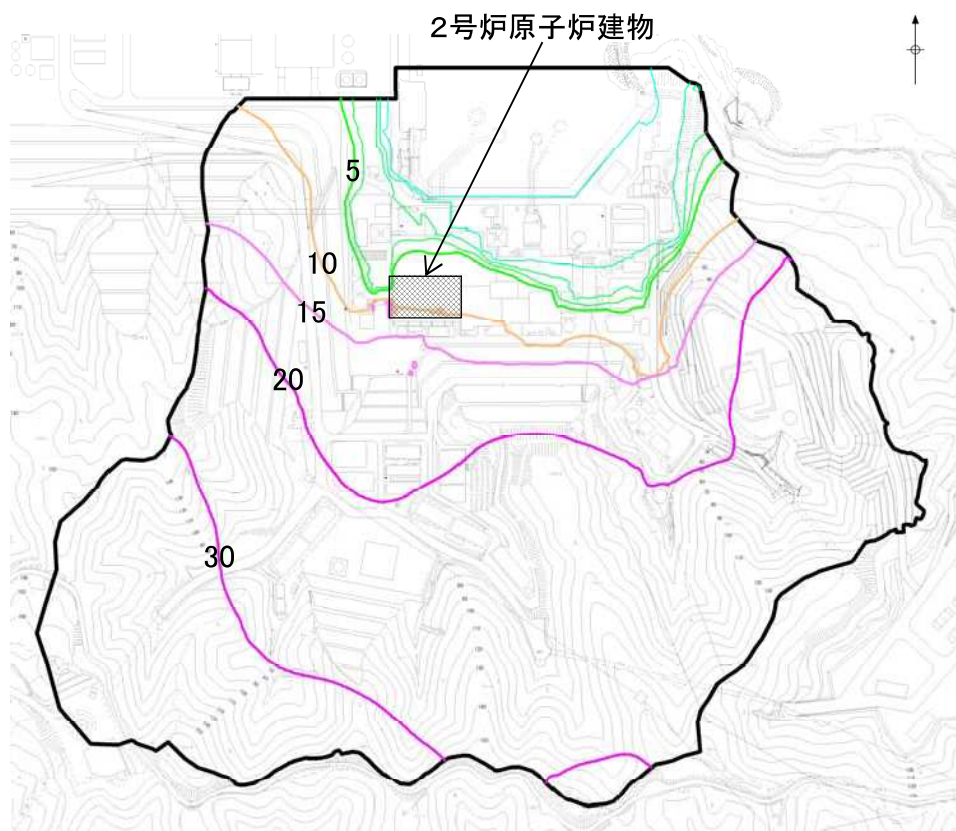
原子炉建物及びタービン建物の地下水位は、建物基礎上面とする。



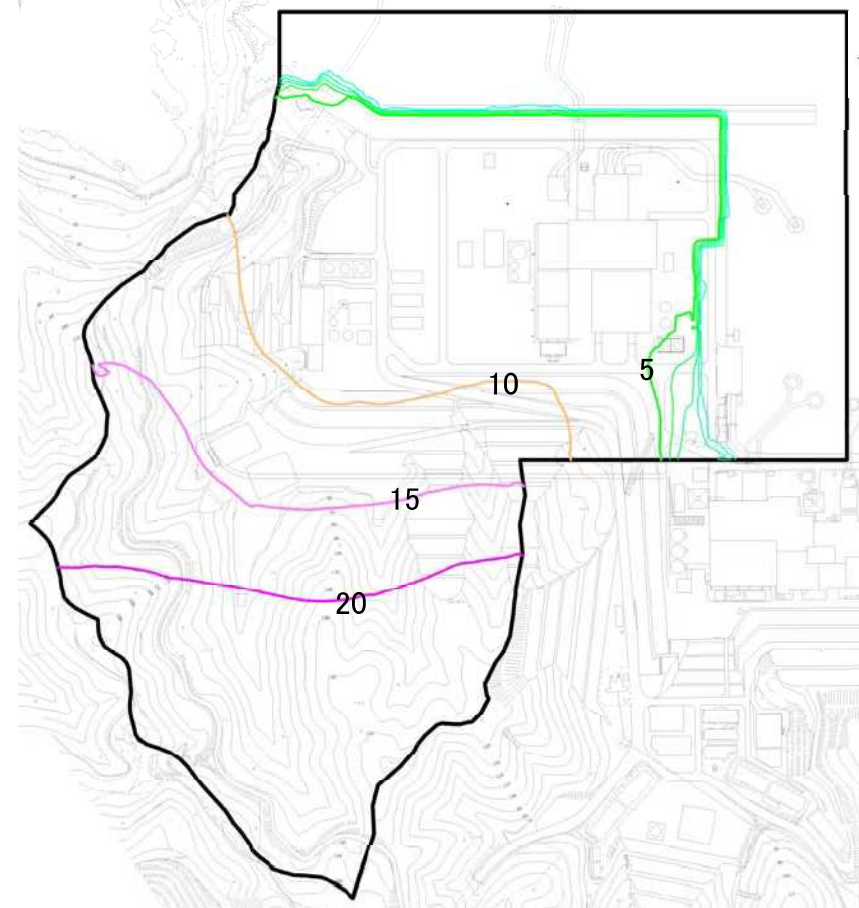
— : 想定すべり面の例
 — : シーム
 — : 岩級境界
 WL : 地下水位

基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージ

地下水位が上昇した場合の影響確認



1, 2号炉エリア



3号炉エリア

浸透流解析結果(定常解析)

※「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

・地下水位低下設備(既設)が機能しない状態が継続した場合の浸透流解析(定常解析)の結果, 原子炉建物周辺の地下水位は地表面付近まで上昇する。

地盤安定性評価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、地盤の安定性評価については、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]

- ・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。

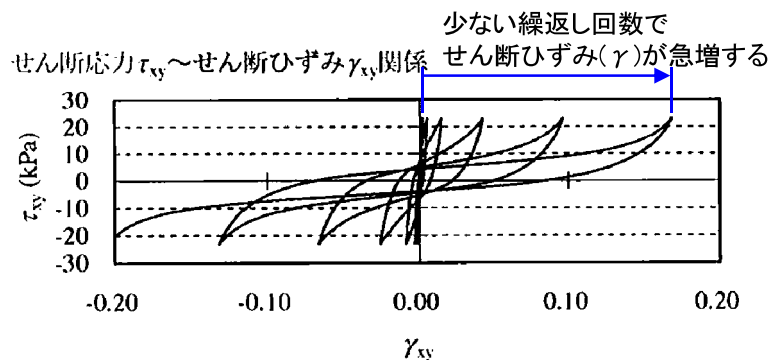
<基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜>

- ・地下水位は影響しない。

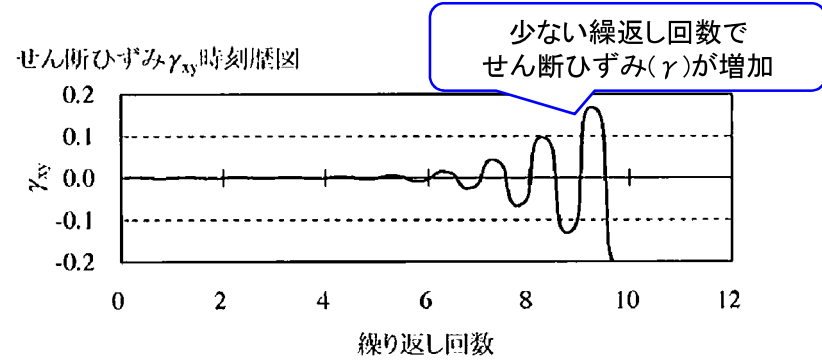
液状化影響を考慮したすべり安全率の算定方法

・液状化影響を考慮したすべり安全率は以下のとおり算定する。

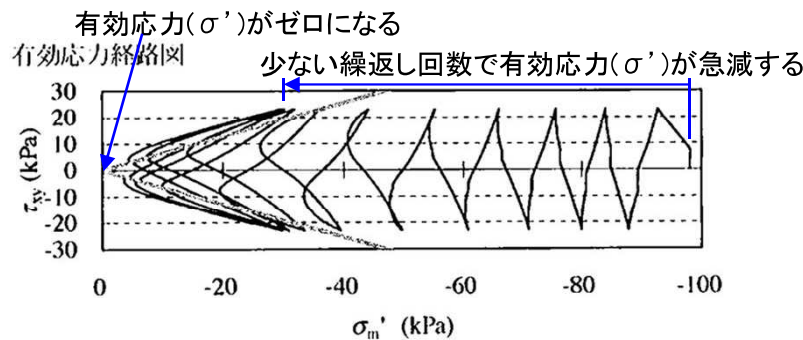
- ①液状化影響を考慮する対象は、地下水位以深の液状化評価対象層である埋戻土・盛土とする。
- ②すべり安全率の算定は、前頁のとおりに、全応力動的有限要素解析(等価線形化法)により行い、評価基準値を上回るか確認する。
- ③液状化により強度が低下する可能性を考慮し、液状化範囲のせん断強度をゼロとする。
- ④液状化が発生すると、地盤の有効応力がゼロまで低下して液体の挙動を示し、地盤が応力を受け持たずに流動化することから、液状化範囲の地盤応力は限りなく小さくなる。よって、これらの応力状態を表現できない全応力動的有限要素解析(等価線形化法)では、液状化範囲の起動力もないものとして取り扱う。



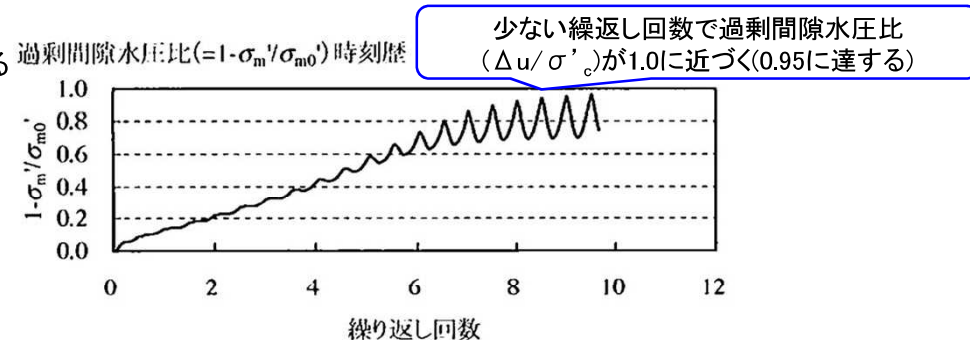
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係



(c) せん断ひずみ



(b) 有効応力経路



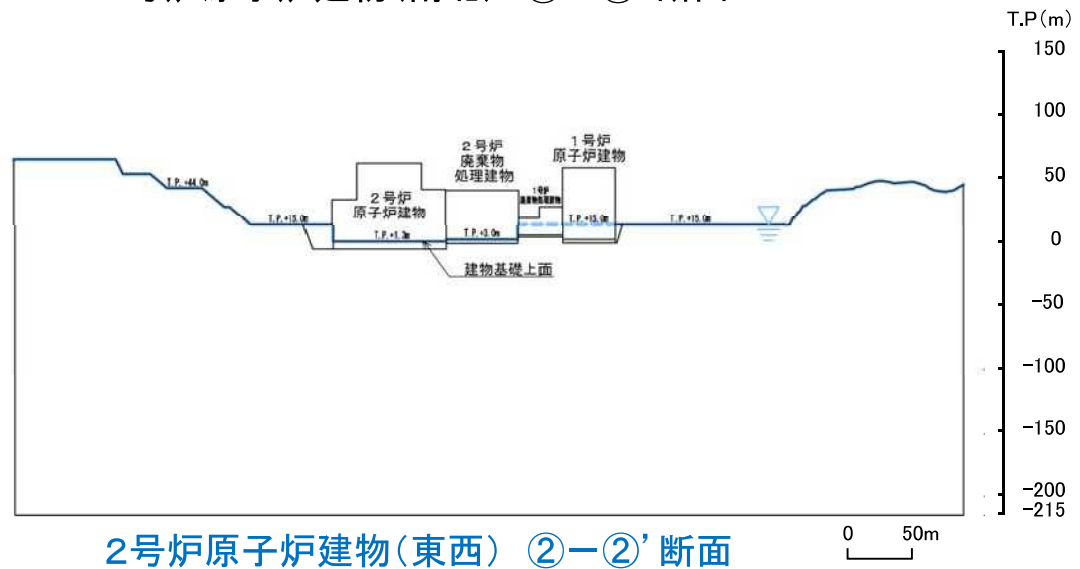
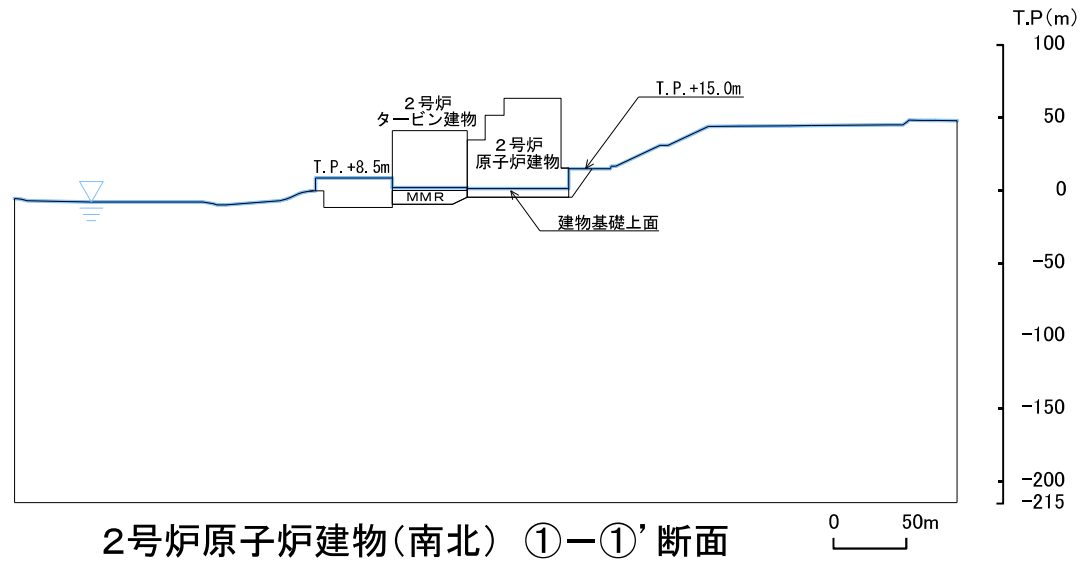
(d) 過剰間隙水圧比

液状化試験の例(液状化する場合)

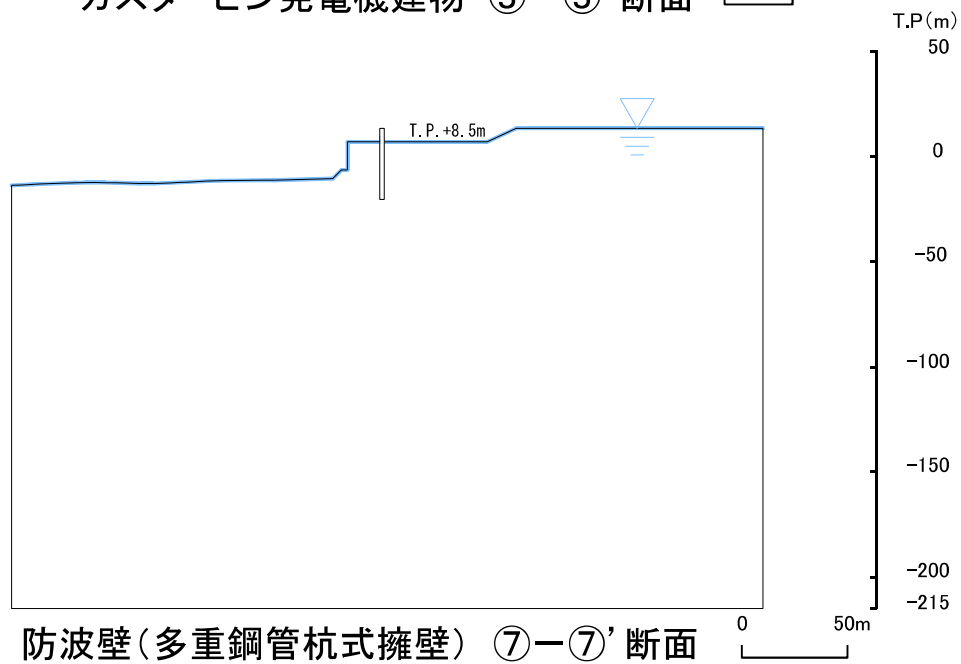
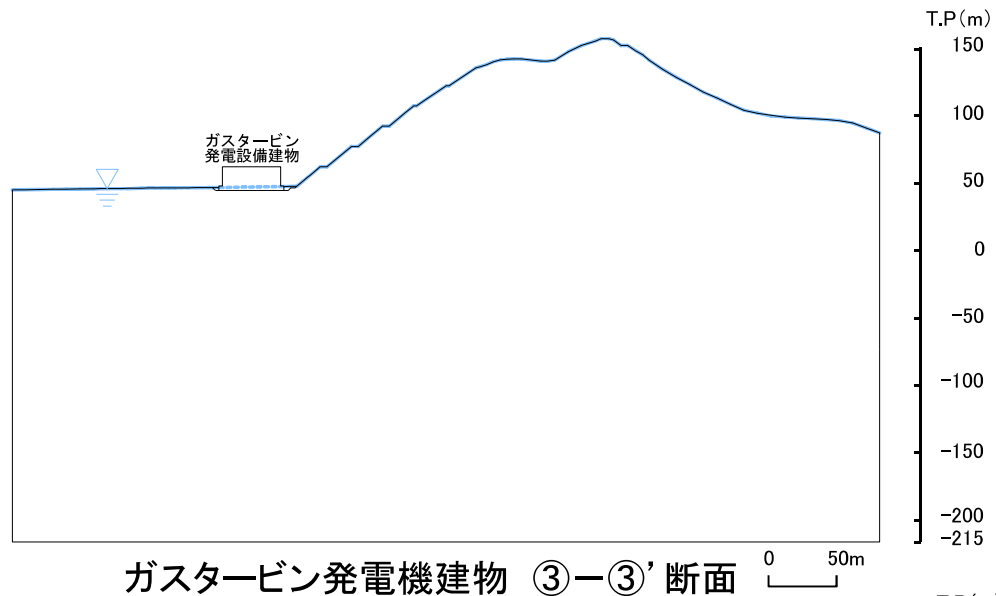
井合進: サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌, H20.10

地下水位の設定(1/2)

・地下水位は、地表面あるいは建物基礎上面に設定した。



3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法
地下水位の設定(2/2)

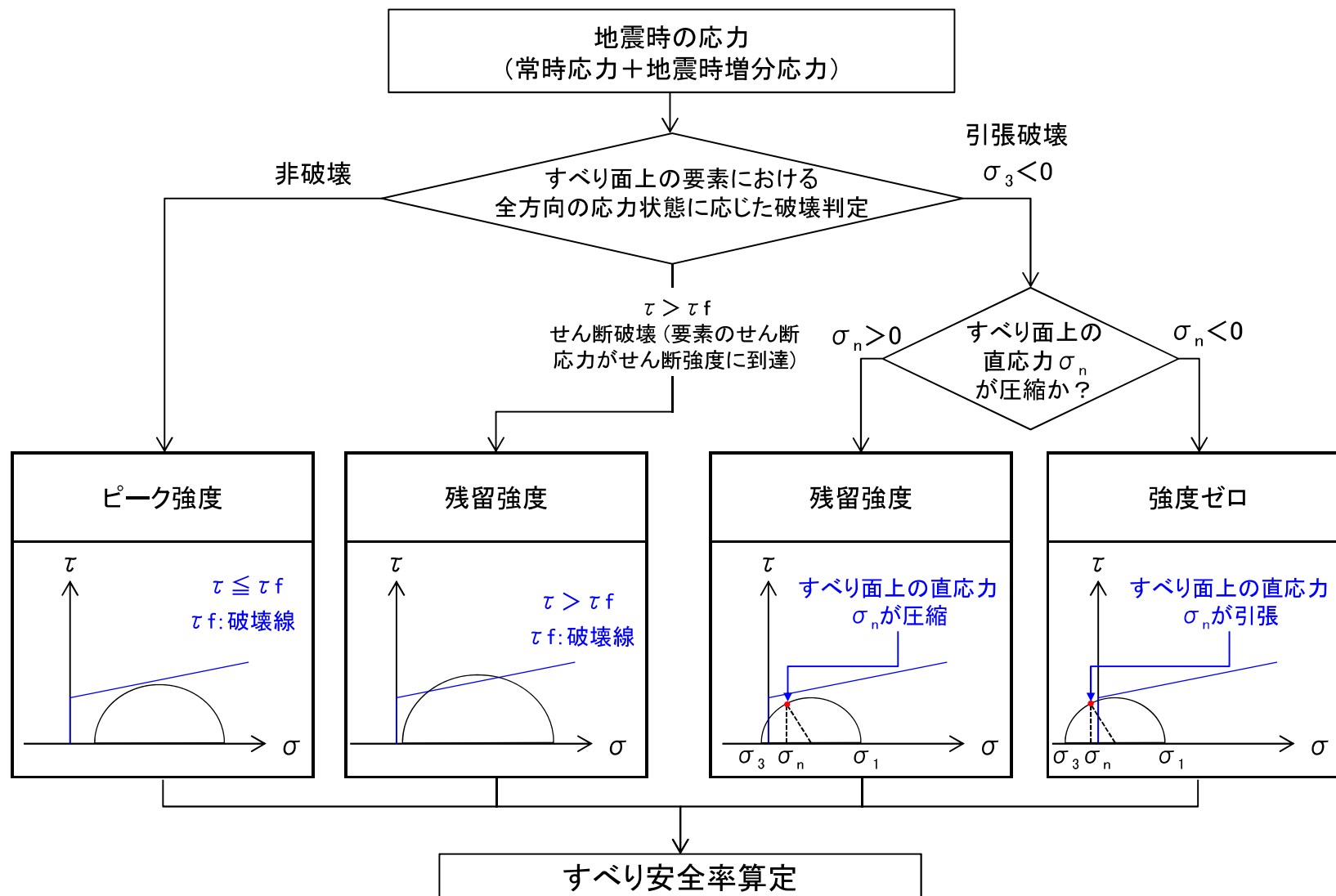


すべり安全率の算定

- ・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。

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

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の他に、地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討も実施する。
- ・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線を追加設定する。

① 基礎底面を通るすべり面

- ・基礎底面を通り、建物隅角部から切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。

基礎隅角部から切り上がるすべり面

- ・地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により強度が低下する可能性を考慮し、岩盤部のみのすべりに対する検討も実施する。

液状化により強度が低下する可能性を考慮

※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

② シームを通るすべり面

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。*1

建物影響範囲*2

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*1

建物影響範囲*2

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のすべり線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

	: せん断強度に達した要素
	: 引張応力が発生した要素
	: $1.00 \leq fs < 1.50$
	: $1.50 \leq fs < 2.00$
	: $2.00 \leq fs$

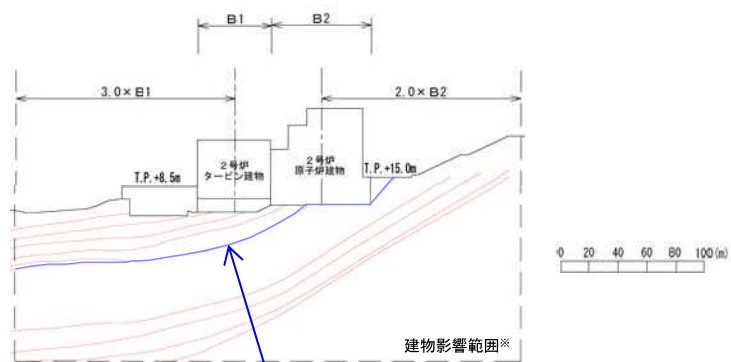
2) モビライズド面を考慮

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)

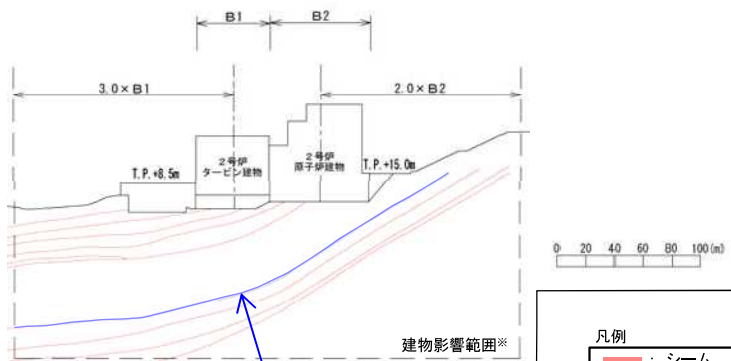
- ・シームを通るすべり面は、検討対象のシームを設定した後、岩盤を通るすべり面を固定点を設けてパラメトリックに設定する。
- ①岩盤はせん断強度が大きいので、岩盤を通るすべり面が短くなるように、施設直下のシーム、及びその下位のシームを設定する。
- ②応力が集中する建物隅角部や建物影響範囲、シーム端部を固定点とし、パラメトリックに設定する。

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。



施設直下のシーム



施設直下のシームの下位のシーム

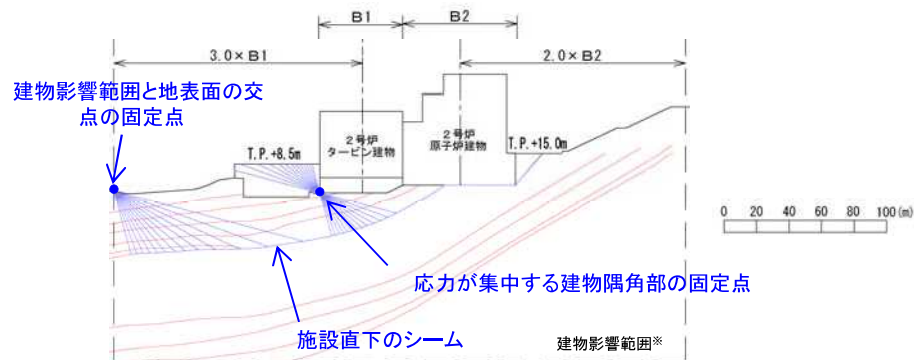
- 凡例
- : シーム
 - : すべり面
 - : 切り上がりの固定点

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】

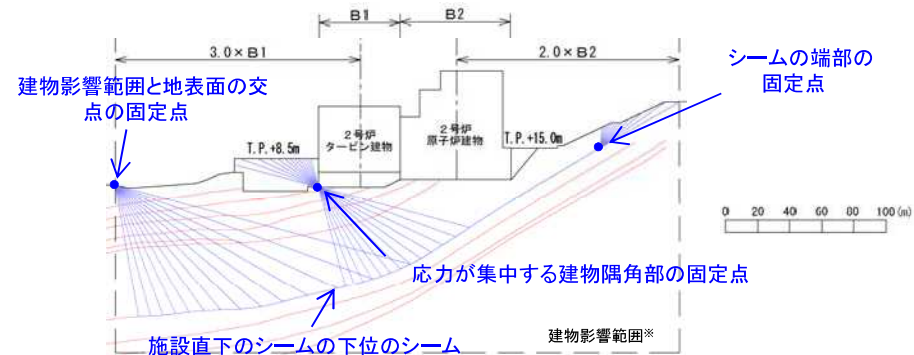
- ・応力が集中する建物隅角部に固定点を設定する。
- ・すべり土塊が大きくなると起動力が大きくなることから、建物影響範囲と地表面の交点を固定点に設定する。
- ・シームが連続しない場合は、シームの端部を固定点に設定する。



建物影響範囲と地表面の交点の固定点

応力が集中する建物隅角部の固定点

施設直下のシーム



建物影響範囲と地表面の交点の固定点

応力が集中する建物隅角部の固定点

施設直下のシームの下位のシーム

シームの端部の固定点

※ 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。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

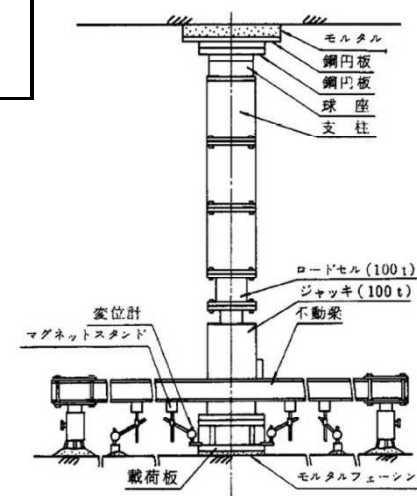
基礎の支持力

・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、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)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	

※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。

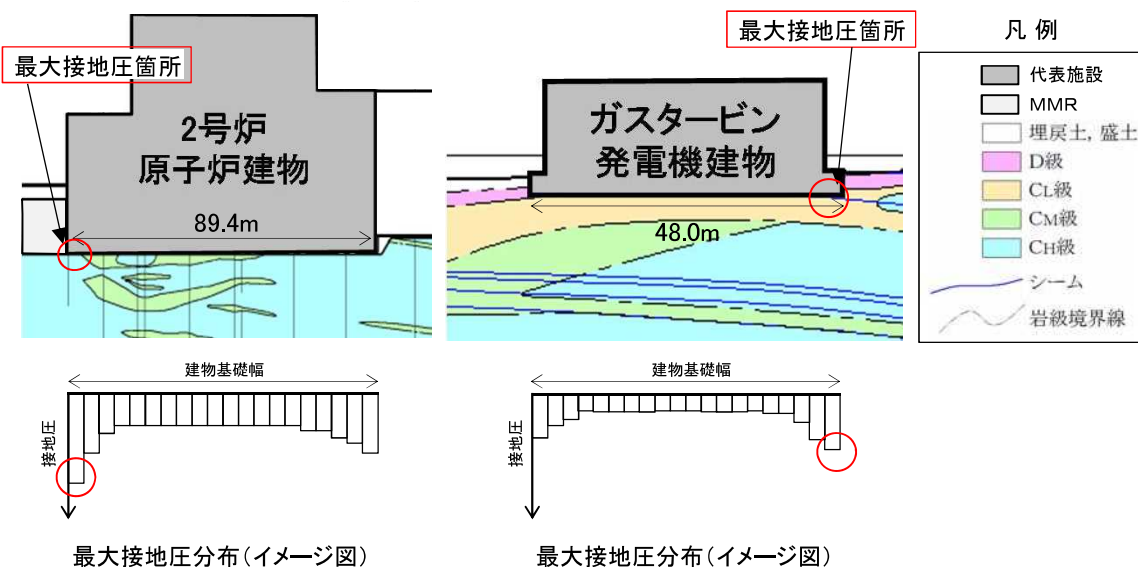


平板載荷試験

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)

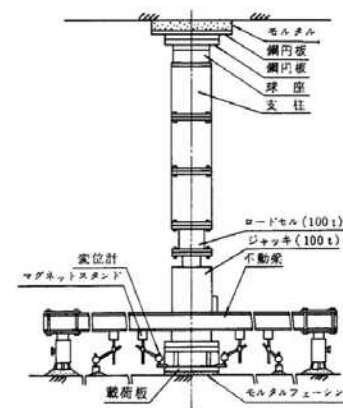
- ・直接岩盤で支持する施設の基礎地盤の支持力は, 平板載荷試験結果による評価基準値と, 二次元有限要素法に基づく地震応答解析(周波数応答解析)により求められる基礎の最大接地圧(鉛直応力)を比較することにより確認する。
- ・地震時の最大接地圧は, 常時応力と地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせて算出する。

- 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

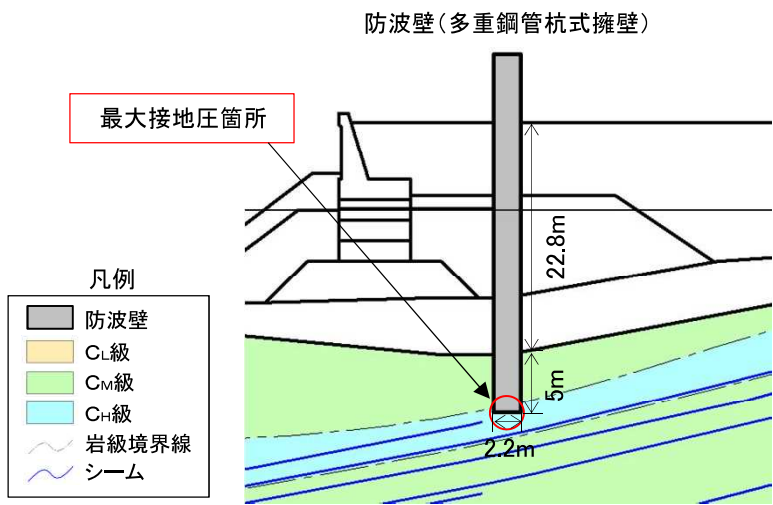


十分な支持性能を有することを確認
 地震時最大接地圧(①+②) < 基礎地盤支持力の評価基準値(③)

支持力に対する評価方針(防波壁(多重鋼管杭式擁壁))

- ・杭を介して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、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)により求められる杭先端の最大接地圧(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
- ・「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」によると、杭支持構造物の極限支持力の推定式について以下の記載がされている。

《「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」に示される極限支持力の推定式》

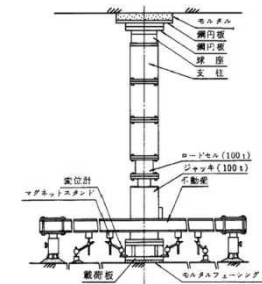
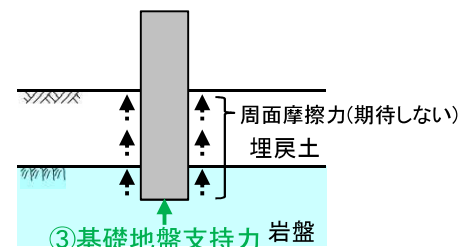
$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

周面摩擦力

q_d : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度(N/mm²)
 A : 杭先端面積(m²)

- ・杭を介して岩盤で支持する施設では、支持杭の軸方向支持力は杭先端支持力と周面摩擦力の和として表されるが、保守的に周面摩擦力による抵抗に期待しない設計とする。

- ・基礎地盤支持力の評価基準値は、平板載荷試験結果に基づいて岩級毎に設定する。
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(C_M級): $q_d = 9.8\text{N/mm}^2$ 以上

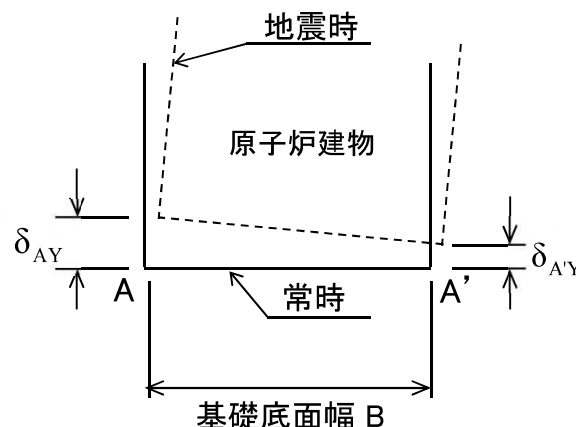
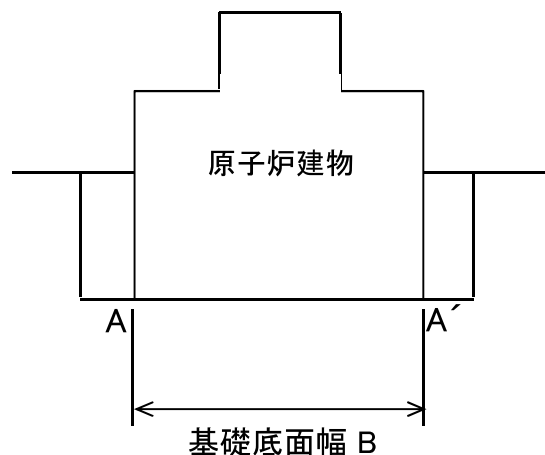


十分な支持性能を有することを確認
 地震時最大接地圧(①+②) < 基礎地盤支持力の評価基準値(③)

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1/2,000を超えないことを確認する。

対象施設	評価基準値	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・システムがないことから, 傾斜の評価を省略する。



・原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値

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