

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

令和3年4月30日
中国電力株式会社

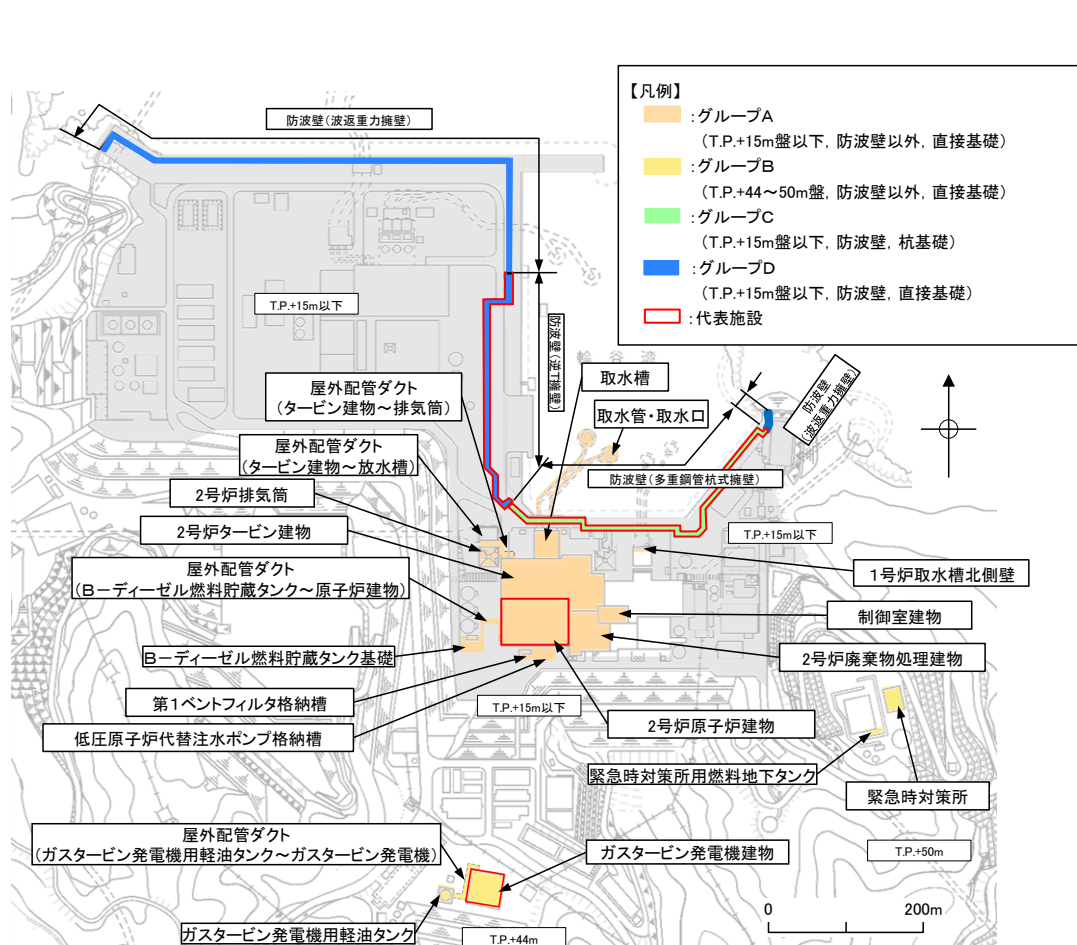
概要	2
申請時(H25.12.25)からの主な変更内容	6
第955回審査会合(R3.3.12)からの変更内容	9
1. 評価概要	10
2. 地質の概要	15
3. 基礎地盤の安定性評価	
3.1 評価方針	21
3.2 代表施設の選定	32
3.3 評価対象断面の選定	66
3.4 解析用物性値	96
3.5 評価方法	119
3.6 入力地震動	138
3.7 評価結果	144
3.8 液状化影響を考慮したすべり安定性評価の有効応力解析による妥当性確認	170
4. 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価	
4.1 評価方針	190
4.2 評価結果	192
5. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価	
5.1 評価方針	199
5.2 評価結果	206
6. 周辺斜面の安定性評価	
6.1 評価方針	217
6.2 評価対象斜面の選定	228
6.3 評価方法	253
6.4 2号炉南側盛土斜面における液状化範囲の検討	261
6.5 評価結果	289
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	300
7. まとめ	317
参考文献	
【別冊】 補足説明資料	

概要(基礎地盤の安定性評価)(1/2)

■ 耐震重要施設※¹及び常設重大事故等対処施設※²の基礎地盤の安定性評価について、設置許可基準規則第3条、第38条に基づき、以下に示す事項を確認する。

- 基礎地盤の安定性評価(①基礎地盤のすべり, ②基礎の支持力, ③基礎底面の傾斜)
- 周辺地盤の変状による重要施設への影響評価
- 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

■ 評価に当たっては、施設の設置標高、基礎形式及び施設区分を踏まえて4つにグループ分けを行い、影響要因及び簡便法によるすべり安全率を踏まえて各グループから代表施設及び評価対象断面の選定を行った。



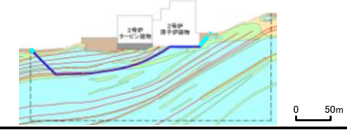
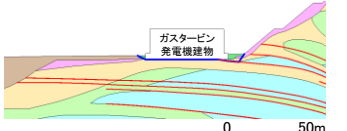
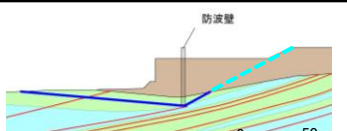
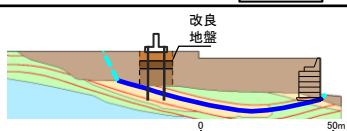
グループA (T.P.+15m盤以下, 防波壁以外, 直接基礎)		
2号炉原子炉建物	※ ¹ 耐震重要度分類Sクラスの機器・系統及びそれらを支持する建物・構築物, 津波防護施設等	
2号炉タービン建物		
2号炉廃棄物処理建物		
制御室建物		
取水槽		
2号炉排気筒		
屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)		
屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)		
第1ペントフィルタ格納槽		
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽		
取水管・取水口		
1号炉取水槽北側壁		
屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)		
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎		
グループB (T.P.+44~50m盤, 防波壁以外, 直接基礎)		
ガスタービン発電機建物	※ 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(特定重大事故等対処施設を除く)	
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)		

- ※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(特定重大事故等対処施設を除く)
- ※³ 常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備が設置される重大事故等対処施設は、全て※²の常設重大事故等対処施設を兼ねており、左図の評価対象施設以外に存在しない。
- ※⁴ T.P.は東京湾平均海面を示す。敷地における標高ELは東京湾平均海面T.P.±0mを基準としているため、T.P.=ELとなる。本資料では、T.P.表記を用いる。

代表施設の選定結果※⁴

概要(基礎地盤の安定性評価)(2/2)

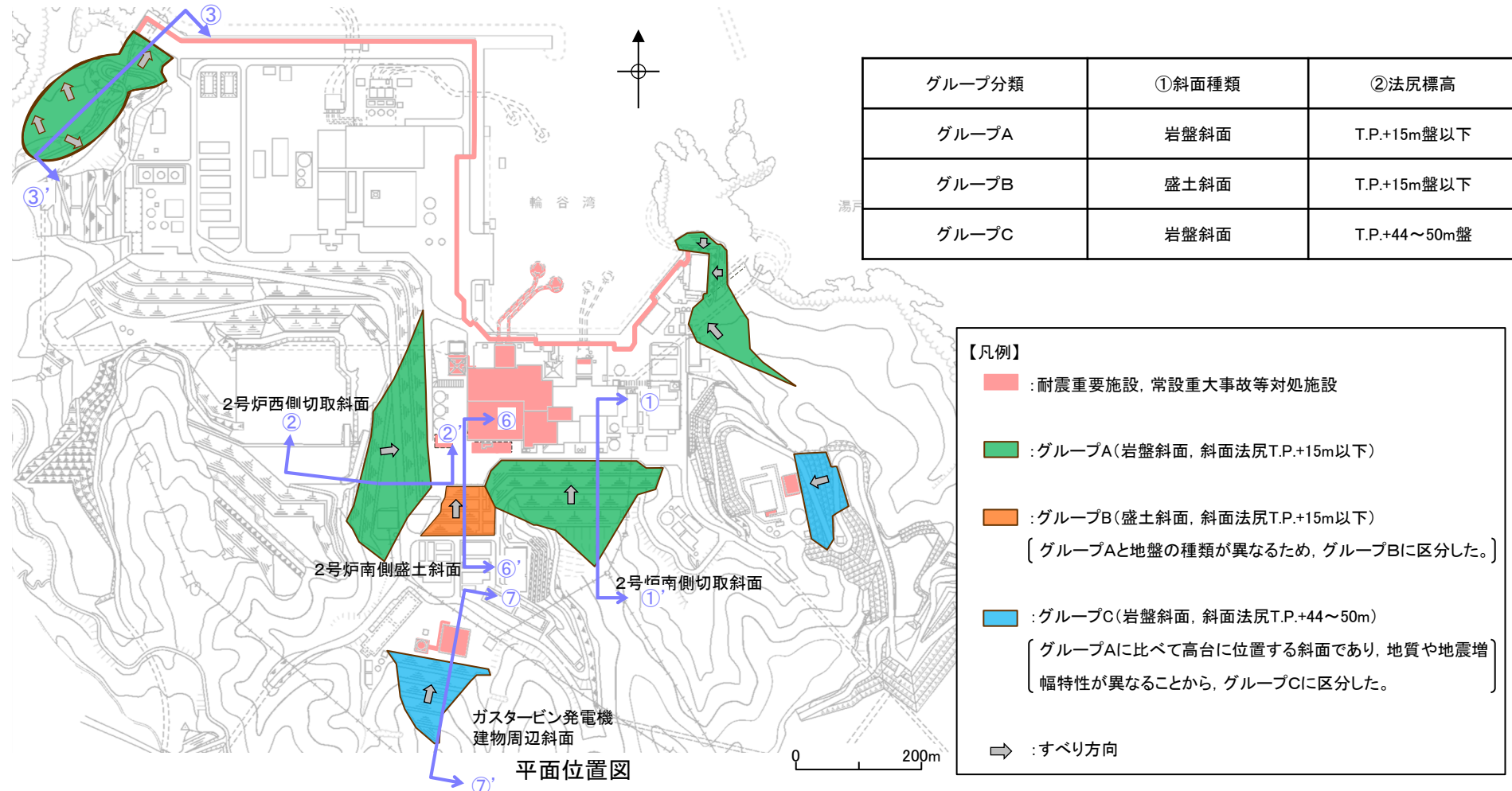
- 基礎地盤のすべりについては、全てのケースですべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。なお、強度のばらつき(平均値-1σ 強度)を考慮した評価を実施したケースに対しても、すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。
- 基礎の支持力については、全てのケースで地震時最大接地圧が支持力を下回ることを確認した。
- 地震動及び地殻変動を考慮した基礎底面の傾斜については、防波壁(逆T擁壁)以外の施設は、傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を上回らないことを確認した。
 一方、防波壁(逆T擁壁)については、PS検層等に基づく改良地盤の物性値を用いて動的解析を実施した結果、地震動及び地殻変動による最大傾斜は評価基準値の目安(1/2,000)を上回るが、基礎底面の傾斜を考慮しても構造成立性が確保される見通しを得たことから、改良地盤が施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であると判断した。
 防波壁(逆T擁壁)の基本設計方針としては、PS検層等に基づく改良地盤の物性値(管理目標値)が確保されていることを三軸圧縮試験等の室内試験及び原位置試験で確認するとともに、グラウンドアンカーによる変形抑制効果を踏まえた設計を行い、施設の安全機能に影響を及ぼさないように設計することとする。
- 評価対象施設は岩盤等で支持されていることから、地震発生に伴う不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状により施設の安全機能に影響を及ぼさないことを確認した。

代表施設	基礎地盤のすべり			基礎の支持力		基礎底面の傾斜		地殻変動
	基準地震動	すべり面形状	すべり安全率	基準地震動	地震時最大接地圧[N/mm ²]	基準地震動	地震時最大傾斜	地震時+地殻変動最大傾斜
2号炉原子炉建物	Ss-D (+,+)		2.13 (1.98)	Ss-D (-,-)	2.19 <9.8以上>	Ss-D (-,+)	1/22,000	1/9,000
ガスタービン発電機建物	Ss-N1 (-,+)		1.64 (1.63)	Ss-D (-,-)	1.01 <3.9以上>	Ss-D (+,-)	1/28,000	1/9,000
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	Ss-N1 (-,+)		1.67 (1.60)	Ss-D (-,-)	2.39 <9.8以上>	Ss-D (+,-)	1/39,000	1/14,000
防波壁 (逆T擁壁)	Ss-D (-,-)		1.88 (1.52)	Ss-F2	0.38 <1.4>	Ss-D (+,-)	1/158	1/156

※ 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。
 すべり安全率()内の数値は、強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。地震時最大接地圧<>内の数値は、基礎の支持力を示す。

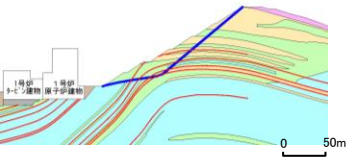
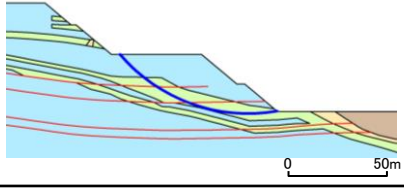
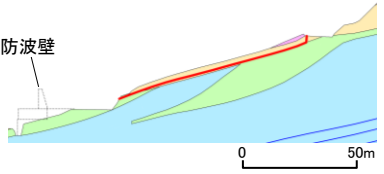
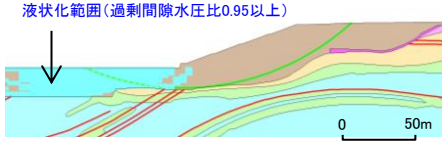
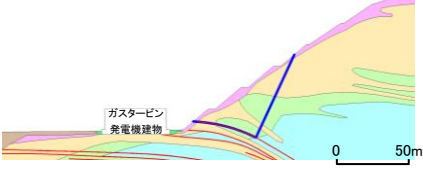
概要(周辺斜面の安定性評価)(1/2)

- 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安定性評価について、設置許可基準規則第4条、第39条に基づき、以下に示す事項を確認する。
 - ・周辺斜面のすべり
- 評価に当たっては、耐震重要施設等に影響するおそれのある斜面の種類及び法尻標高を踏まえて3つにグループ分けを行い、影響要因及び簡便法のすべり安全率を踏まえて各グループから評価対象斜面の選定を行った。2号炉西側切取斜面は、敷地造成工事に伴って頂部の切取を行ったことから、対策工の効果を確認するため、評価対象斜面に選定した。また、防波壁(西端部)周辺斜面は、調査の結果、礫質土・粘性土が確認されたため岩盤まで撤去することとしたことから、対策工の効果を確認するため、評価対象斜面に選定した。



概要(周辺斜面の安定性評価)(2/2)

- 周辺斜面のすべりについては、全てのケースですべり安全率が評価基準値1.2を上回ることを確認した。また、強度のばらつき(平均値-1 σ 強度)を考慮した評価を実施したケースに対しても、すべり安全率が評価基準値1.2を上回ることを確認した。

評価対象斜面	周辺斜面のすべり		
	基準地震動	すべり面形状	すべり安全率
2号炉南側切取斜面 (①-①'断面)	Ss-N1 (-,+)		1.56 (1.51)
2号炉西側切取斜面 (②-②'断面)	Ss-D (-,+)		5.89 (5.75)
防波壁(西端部)周辺斜面 (③-③'断面)	Ss-D (+,-)		2.31 (1.97)
2号炉南側盛土斜面 (⑥-⑥'断面)	Ss-D (-,+)		1.61 (1.56)
ガスタービン発電機 建物周辺斜面 (⑦-⑦'断面)	Ss-N1 (+,+)		2.07 (1.68)

※ 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。
すべり安全率()内の数値は、強度のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。

申請時(H25.12.25)からの主な変更内容

基礎地盤の安定性評価における代表施設及び評価対象断面の選定

申請時の評価(H25.12.25)	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤安定性評価の代表施設として2号炉原子炉建物を選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の評価対象施設について、『設置標高』及び『基礎形式』を踏まえて3つのグループに分類した上で、安定性評価への影響要因及び簡便法によるすべり安全率を踏まえ、各グループにおいて代表施設及び評価対象断面を選定した。 その後の審査の進捗により、防波壁については、施設背後に埋戻土が広く分布し、液状化の影響が大きいと考えられるため、グループ分けの項目として『施設区分』(防波壁とそれ以外)を追加し、4つのグループに分類を見直した。 防波壁(逆T擁壁)については、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、基礎形式を「杭基礎」から「改良地盤による直接基礎」に見直し、再分類した。 (詳細はP7参照) 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤安定性評価の代表施設として以下を選定した。 <ul style="list-style-type: none"> 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) 	3章

基礎地盤・周辺斜面の安定性評価における液状化範囲の影響検討

申請時の評価(H25.12.25)	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> 地下水位観測記録の地下水位が低いことから、基礎地盤・周辺斜面の安定性評価において、液状化のおそれはないと評価した。 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の安定性評価では、別途実施した3次元浸透流解析結果を参考に、地下水位が地表面付近まで上昇するT.P.+8.5~15m盤においては、液状化影響を考慮することを見直した。 斜面の安定性評価では、2次元浸透流解析により検討用地下水位を設定し、有効応力解析により液状化の発生の有無を確認し、液状化範囲を設定した。 すべり安全率算定において、液状化影響を考慮するため、簡便法及び動的解析において、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こととした。 上記手法の妥当性については、全応力解析と有効応力解析との比較により確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> 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、基礎地盤及び周辺斜面のすべり安全率は評価基準値を上回ることを確認した。 	3章, 6章

申請時(H25.12.25)からの主な変更内容

防波壁(逆T擁壁)の傾斜

申請時の評価(H25.12.25)	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> 防波壁(逆T擁壁)の傾斜については、2号炉原子炉建物の評価に代表させていた。 	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁(逆T擁壁)を代表施設に選定し、PS検層等に基づく改良地盤の物性値を用いて動的解析を実施し、地震動及び地殻変動による基礎底面の傾斜を確認した。 その結果、評価基準値の目安である1/2,000を上回ったことから、基礎底面の傾斜による防波壁(逆T擁壁)の構造成立性を確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁(逆T擁壁)において、基礎底面の傾斜を考慮しても構造成立性が確保される見通しを得たことから、改良地盤が施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であると判断した。 防波壁(逆T擁壁)の基本設計方針としては、PS検層等に基づく改良地盤の物性値(管理目標値)が確保されていることを三軸圧縮試験等の室内試験及び原位置試験で確認するとともに、グラウンドアンカーによる変形抑制効果を踏まえた設計を行い、施設の安全機能に影響を及ぼさないように設計することとする。 	3.7章、5.2章、補足説明11章

周辺斜面の安定性評価における評価対象斜面の選定

申請時の評価(H25.12.25)	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> 2号炉原子炉建物との離隔距離から、評価対象斜面として、2号炉南側盛土斜面及び西側切取斜面を選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 耐震重要施設等に影響するおそれのある複数の斜面の中から、すべり安定性が厳しくなると考えられる評価対象斜面を選定するため、斜面の種類及び法尻標高で3つのグループに分類した上で、安定性評価への影響要因及び簡便法によるすべり安全率を踏まえ、各グループにおいて評価対象斜面を選定した。 2号炉西側切取斜面は、敷地造成工事に伴って頂部の切取を行ったことから、対策工の効果を確認するため、評価対象斜面に選定した。 防波壁(西端部)周辺斜面は、下表のとおり、礫質土・粘性土を撤去したことから、対策工の効果を確認するため、評価対象斜面に選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 評価対象斜面として以下を選定した。 <ul style="list-style-type: none"> ・2号炉南側切取斜面 ・2号炉南側盛土斜面 ・ガスタービン発電機建物周辺斜面 ・2号炉西側切取斜面 ・防波壁(西端部)周辺斜面 	6章

防波壁周辺斜面の安定性評価

申請時の評価(H25.12.25)	申請後の検討・反映事項(審査会合での主な議論)	最終評価	該当頁
<ul style="list-style-type: none"> 防波壁西端部において、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図に地滑り地形が記載されていることから、自社調査を行った結果、地滑り地形が判読されないこと、地滑り地形に対応する地滑り面は認められないこと等から、安定性評価に反映する地滑り地形はないと判断していた。 	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁西端部において、開削面露頭の地質観察を実施した結果、礫質土及び粘性土が確認された。 礫質土及び粘性土は、簡易貫入試験結果等を踏まえ、D級岩盤相当と評価し、D級岩盤としてモデル化した安定解析の結果、十分な安定性を有しているとしていた。 追加の剥ぎ取り調査、ボーリング調査等の結果、礫質土及び粘性土については、過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから、防波壁周辺斜面の安定性確保のために岩盤まで撤去する対策工を実施し、対策工の効果を確認するため、評価対象斜面に選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 礫質土・粘性土の切取を反映したすべり安定性評価を実施した結果、防波壁周辺斜面のすべり安全率は評価基準値を上回ることを確認した。 	6章補足説明12章

申請時(H25.12.25)からの主な変更内容(評価対象施設のグループ分けの主な変更点)

【申請時(平成25年12月25日)】

○基礎地盤安定性評価の代表施設として2号炉原子炉建物を選定していた。

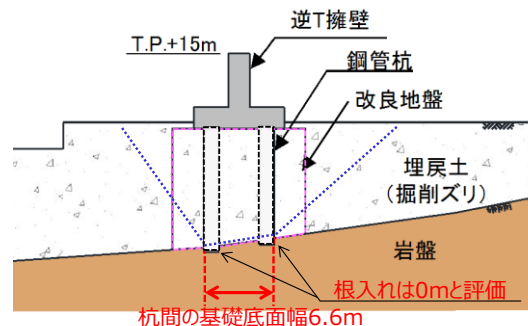
【第910回審査会合(令和2年10月16日)】

○複数の評価対象施設について、『設置標高』及び『基礎形式』を踏まえ、下表の3つのグループに分類し、各グループから代表施設を選定した。

グループ	①設置標高	②基礎形式	評価対象施設	代表施設
A	T.P.+15m盤以下	直接基礎	2号炉原子炉建物, 防波壁(波返重力擁壁)他 計15施設	2号炉原子炉建物
B	T.P.+44~50m盤	直接基礎	ガスタービン発電機建物, 緊急時対策所他 計5施設	ガスタービン発電機建物
C	T.P.+15m盤以下	杭基礎	防波壁(多重鋼管杭式擁壁), 防波壁(逆T擁壁) 計2施設	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)

○防波壁(逆T擁壁)の扱い

施設の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て杭幅を影響要因として考慮したことから、グループC(杭基礎)に分類した。



【第940回審査会合(令和3年1月29日)】

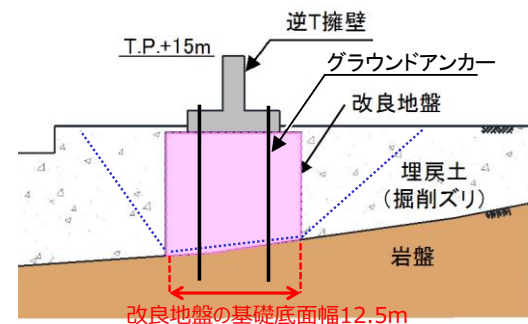
○防波壁については、施設背後に埋戻土が広く分布し、液状化の影響が大きいと考えられるため、グループ分けの項目として『施設区分』(防波壁とそれ以外)を追加し、下表の4つのグループに分類を見直した。(下表の下線は変更箇所)

追加

グループ	①設置標高	②基礎形式	③施設区分	評価対象施設	代表施設
A	T.P.+15m盤以下	直接基礎	防波壁以外	2号炉原子炉建物, 2号炉タービン建物他 計14施設	2号炉原子炉建物
B	T.P.+44~50m盤	直接基礎	防波壁以外	ガスタービン発電機建物, 緊急時対策所他 計5施設	ガスタービン発電機建物
C	T.P.+15m盤以下	杭基礎	防波壁	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
D	T.P.+15m盤以下	直接基礎	防波壁	防波壁(逆T擁壁), 防波壁(波返重力擁壁) 計2施設	防波壁(逆T擁壁)

○防波壁(逆T擁壁)の扱い

防波壁(逆T擁壁)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、鋼管杭のモデル化を取止めるとともに、基礎形式を「杭基礎」から「改良地盤による直接基礎」に見直し、グループD(直接基礎, 防波壁)に分類した。



追加

第955回審査会合(R3.3.12)からの変更内容

No.	第955回審査会合 (R3.3.12) からの変更内容	頁
1	改良地盤の解析用物性値をPS検層結果等に基づく物性値に変更した場合の最大傾斜(1/156及び1/158)について、防波壁の構造が成立する見通しがある旨を追記した。	P214, 補足説明 11章
2	設置許可段階における基本設計方針として、設置許可段階で用いた改良地盤の物性値の位置付けを追記した。	P216
3	1号放水連絡通路防波扉を耐震重要施設から除外したため、当該周辺斜面を評価対象から除外した。	P235
4	露頭調査24地点のD級岩盤について、葉理の認められるスケッチを追加し、強風化した凝灰岩であることを示した。	補足P284

1. 評価概要

1. 評価概要

評価概要(1/3)

・原子炉建物等の耐震重要施設^{※1}及び常設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、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(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(特定重大事故等対処施設を除く)

<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

・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 施設を十分に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「施設を十分に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	<ul style="list-style-type: none"> 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いることを確認する	<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1.5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上回らないことを確認する。評価基準値の目安を上回った場合は、基礎底面の傾斜を考慮しても、施設の構造成立性が確保される見通しを確認することにより、施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であることを確認する。 	3章 (及び耐震設計)
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	<ul style="list-style-type: none"> 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上回らないことを確認する。評価基準値の目安を上回った場合は、基礎底面の傾斜を考慮しても、施設の構造成立性が確保される見通しを確認することにより、施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であることを確認する。 	5章 (及び耐震設計)
	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	<ul style="list-style-type: none"> 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、施設の安全機能に影響を及ぼさないように設計する。 	4章 (及び耐震設計)

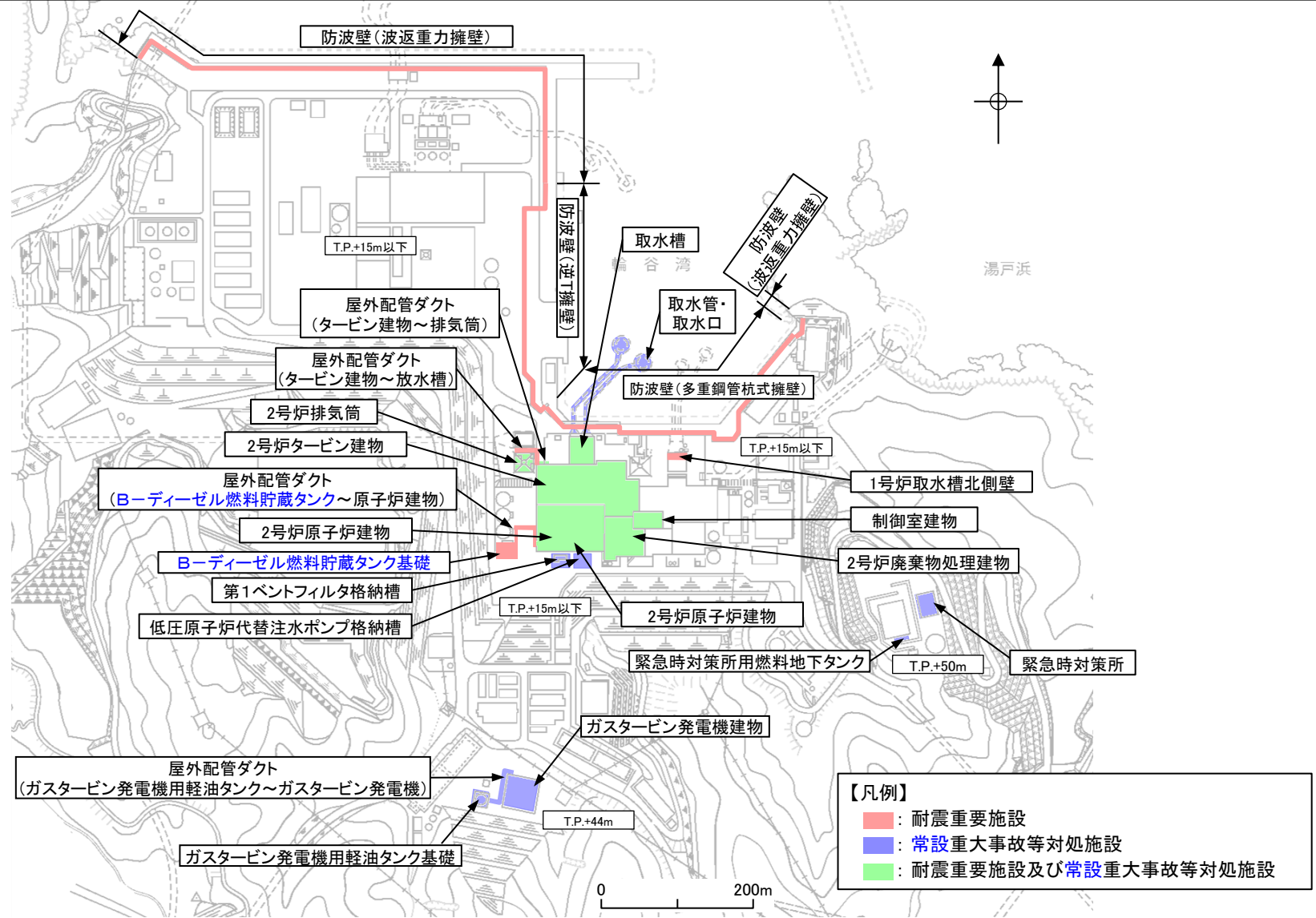
・評価対象施設における周辺斜面の安定性評価について、設置許可基準規則に基づき、以下の項目について確認する。

設置許可基準規則		確認内容	本資料の 対応
本文	別記		
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	<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、当該部分の除去及び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。 	6章

1. 評価概要

評価対象施設

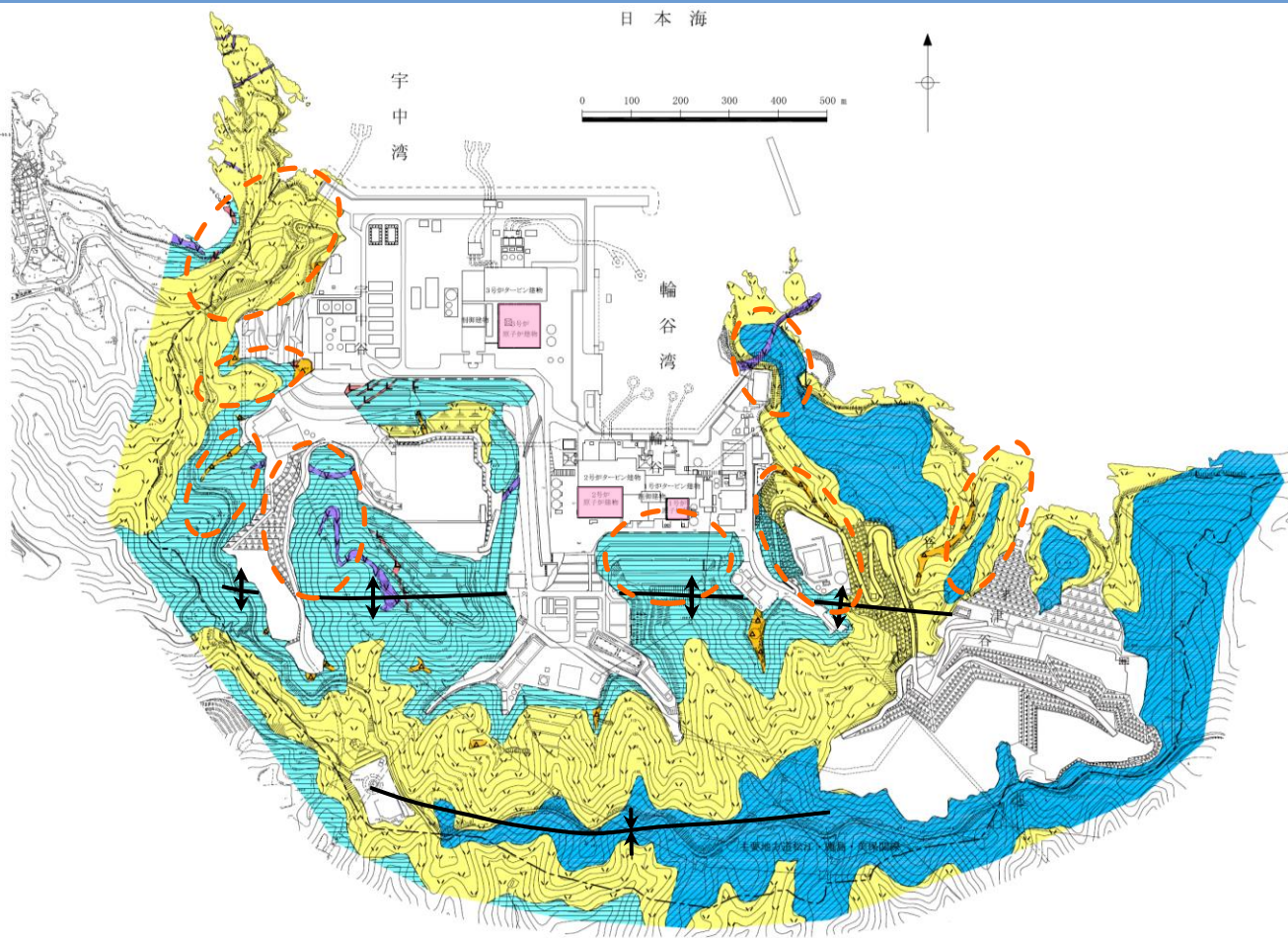
・設置許可基準規則3条及び4条の対象となる「耐震重要施設」、38条及び39条の対象となる「常設重大事故等対処施設」を以下に示す。



評価対象施設配置図

2. 地質の概要

敷地の地質平面図



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質	
新 生 代	第四紀 完 新 世	被覆層	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
			ドレライト
	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

〔 〕 北に傾斜する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

- ・敷地の南部には、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、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。

2. 地質の概要

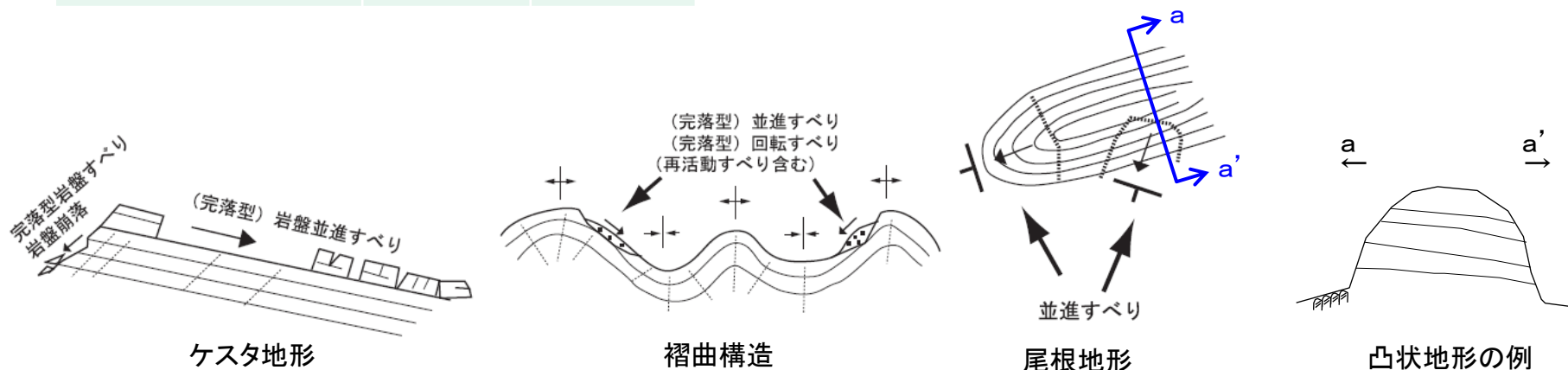
(参考) 流れ盤構造を有する張り出し尾根地形の定義

【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。

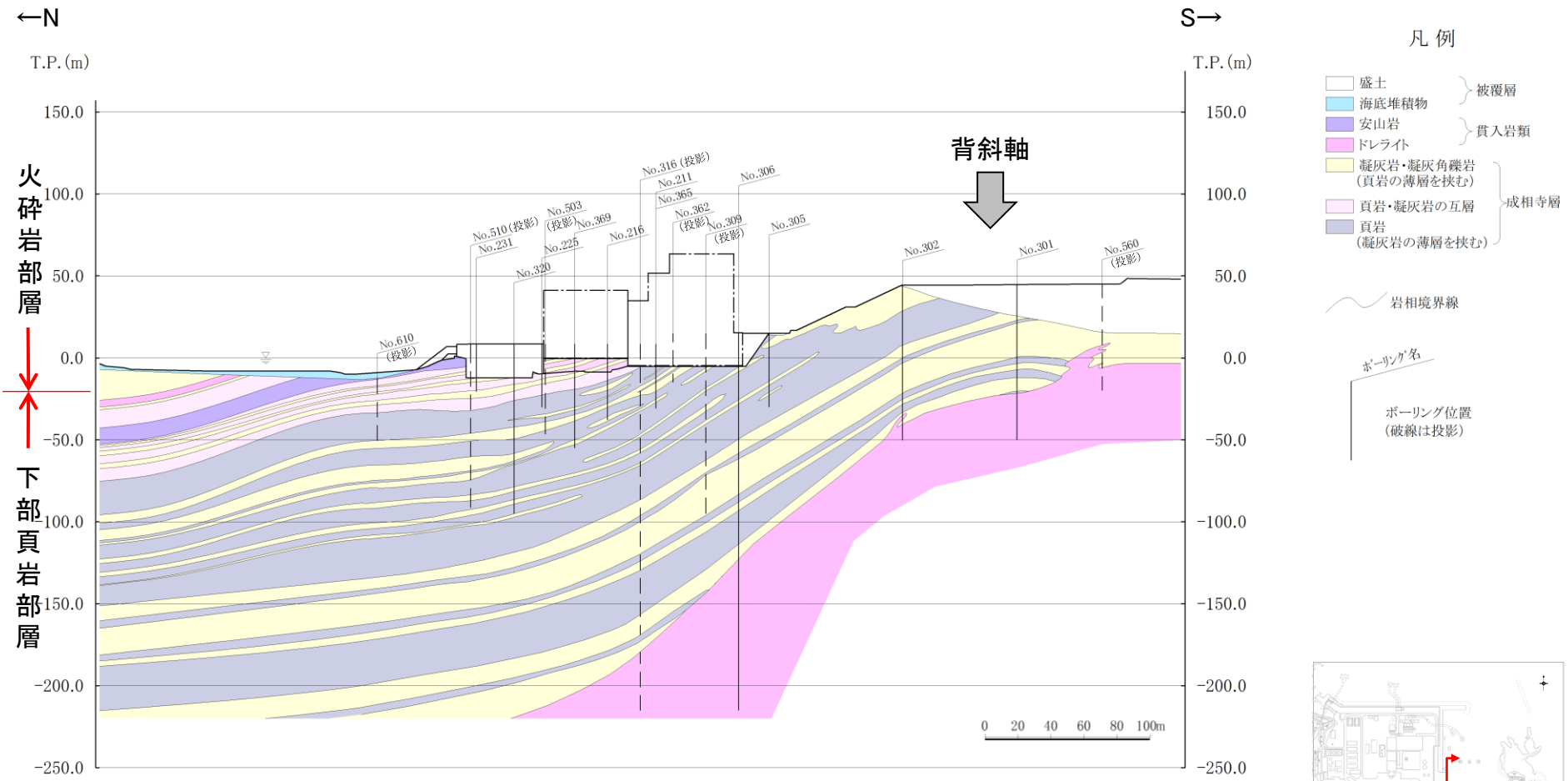


層理の発達する堆積岩分布域の斜面崩壊形状
(阿部・林(2011)⁽¹⁾より引用、凸状地形の例及びその断面位置は加筆)

・上記の文献に基づき、以下のとおり定義する。

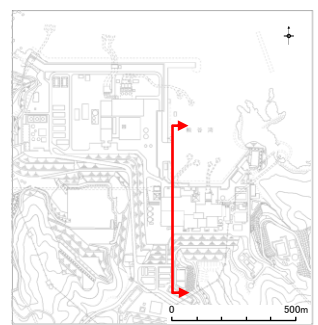
- ①流れ盤構造を有し、並進すべりが起こる可能性のある地質構造である。
- ②現地形が、張り出した尾根のように地震動の増幅しやすい凸状地形である。

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物南北断面)



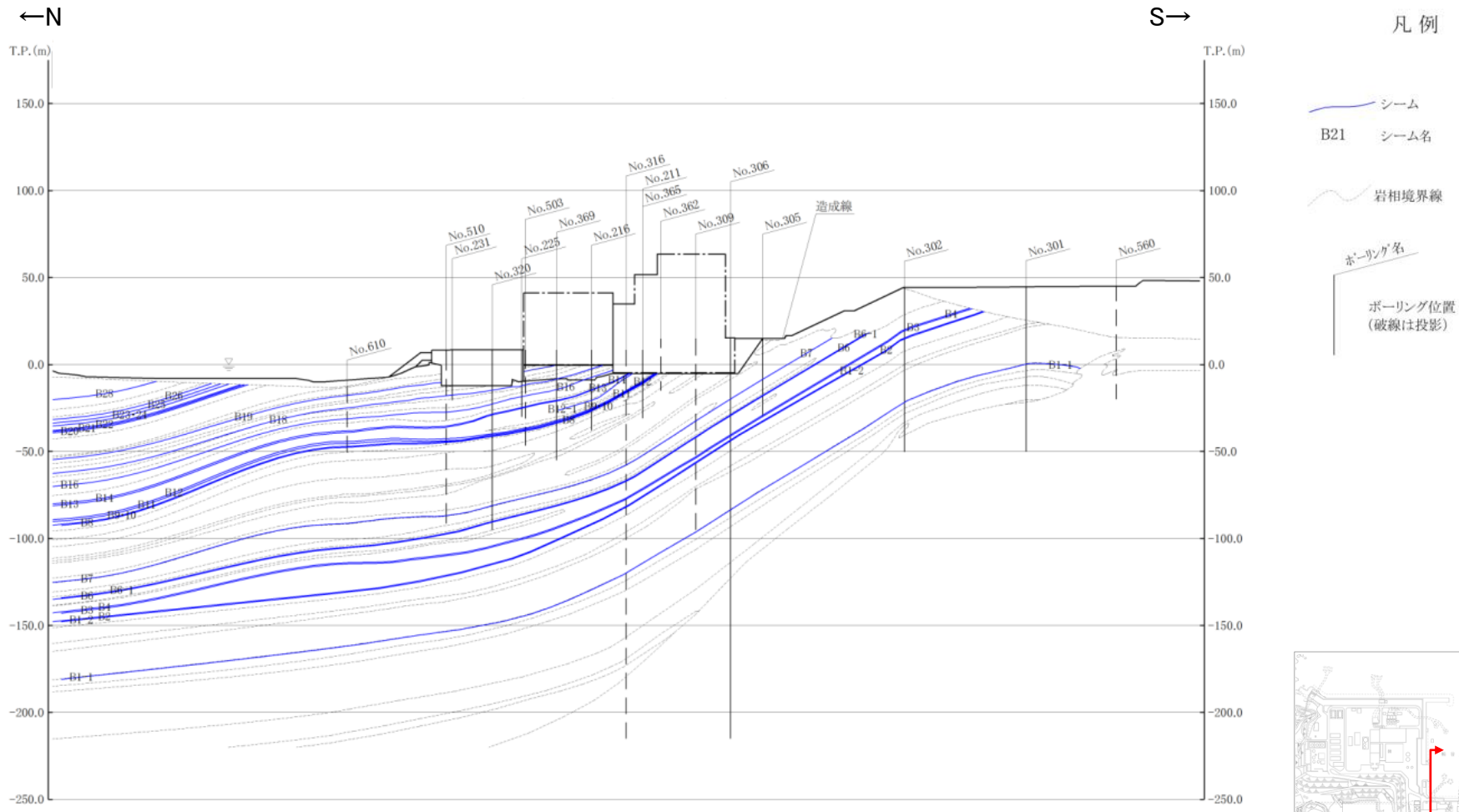
地質鉛直断面図 (2号炉原子炉建物南北断面)

・成相寺層の構造は、概ね西北西－東南東の走向を示し、背斜軸北側では約10°～30°傾斜している。



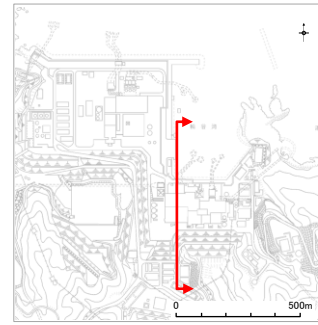
断面位置図

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)) 0 20 40 60 80 100m

・敷地には、地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが認められることから、シームすべりを想定した基礎地盤・周辺斜面の安定性評価を実施する。



断面位置図

地質の概要 まとめ

<敷地の地質・地質構造>

- ・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、地層の走向・傾斜と同一で連続性を有するシームが認められることから、シームすべりを想定した基礎地盤・周辺斜面の安定性評価を実施する。

3. 基礎地盤の安定性評価

3. 1 評価方針

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を評価基準値の目安として設定する。
- ・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。
- ・評価基準値の目安を上回った場合は、基礎底面の傾斜を考慮しても、施設の構造成立性が確保される見通しを確認することにより、施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であることを確認する。

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。

評価対象施設の抽出

液状化範囲の検討(P25参照)
〔 地下水位の分布状況を踏まえ、液状化範囲を検討する。 〕

評価対象施設のグループ分け(P27参照)
〔 評価対象施設に対し、設置標高、施設区分及び基礎形式によりグループ分けを行う。 〕

評価フロー(詳細)の範囲
(P29, 30参照)

代表施設の選定(3.2章)及び評価対象断面の選定(3.3章)
〔 各影響要因を勘案してグループ毎に代表施設及び評価対象断面を選定する。 〕

地震応答解析による基礎地盤の
すべり安定性評価
(平均強度)(3.5~3.8章)
〔 評価対象断面において、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する。 〕

地震応答解析による基礎地盤の
すべり安定性評価
(ばらつきを考慮した強度)(3.5~3.8章)
〔 平均強度に基づくすべり安全率最小ケースに対して、
ばらつきを考慮した強度を用いたすべり安全率が
1.5を上回ることを確認する。 〕

評価終了

地震応答解析による基礎地盤の支持力評価
(3.5~3.7章)
〔 代表施設において、基礎の接地圧が
評価基準値(極限支持力度)を超えないことを確認する。 〕

評価終了

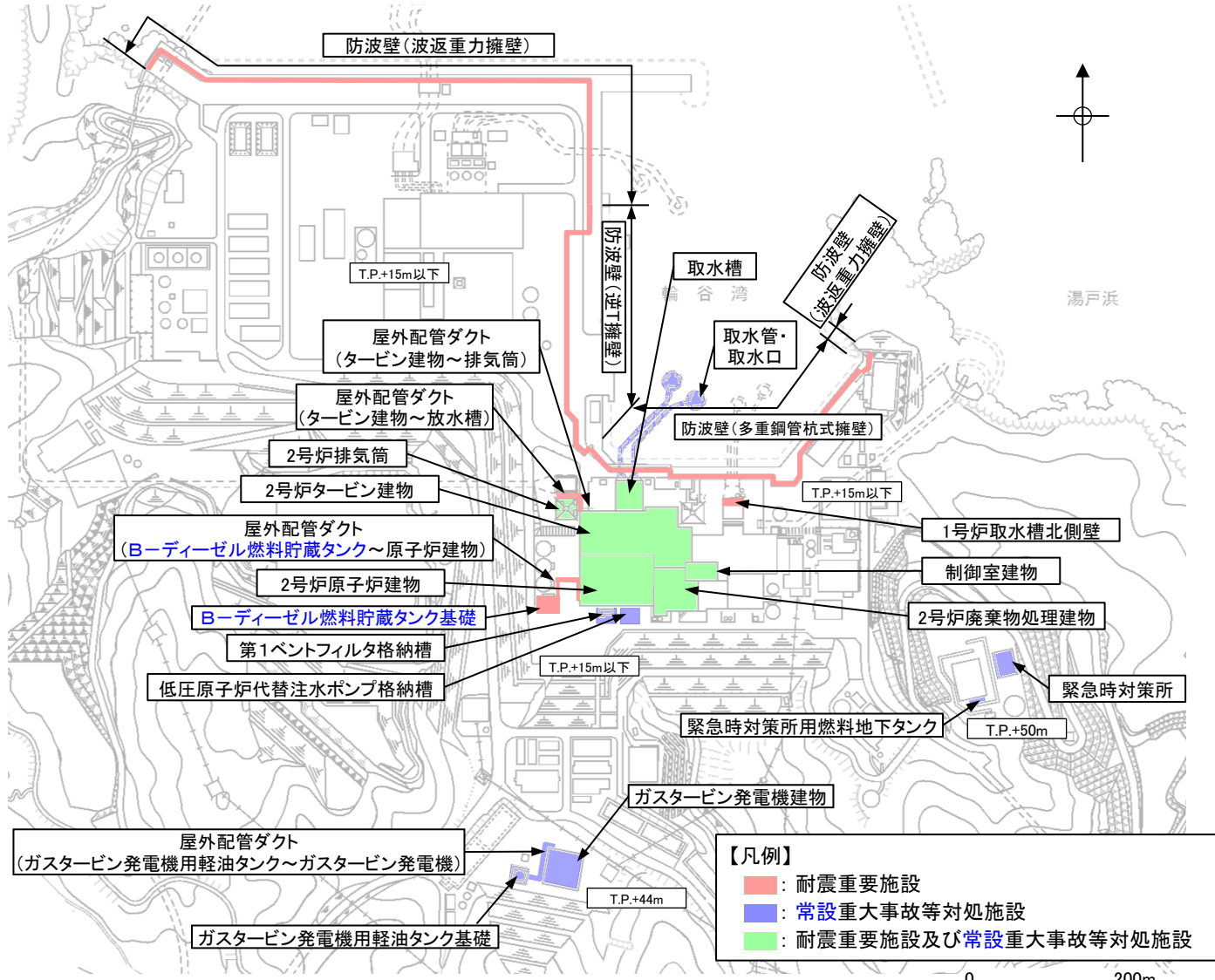
地震応答解析による基礎底面の傾斜の評価
(3.5~3.7章)
〔 代表施設において、基礎底面の傾斜が
評価基準値の目安を超えないことを確認する*。 〕

評価終了

* 評価基準値の目安を上回った場合は、
基礎底面の傾斜を考慮しても、施設の
構造成立性が確保される見通しを確認
することにより、施設の安全機能を損なう
おそれがない地盤であることを確認する。

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「常設重大事故等対処施設」)を以下に示す。

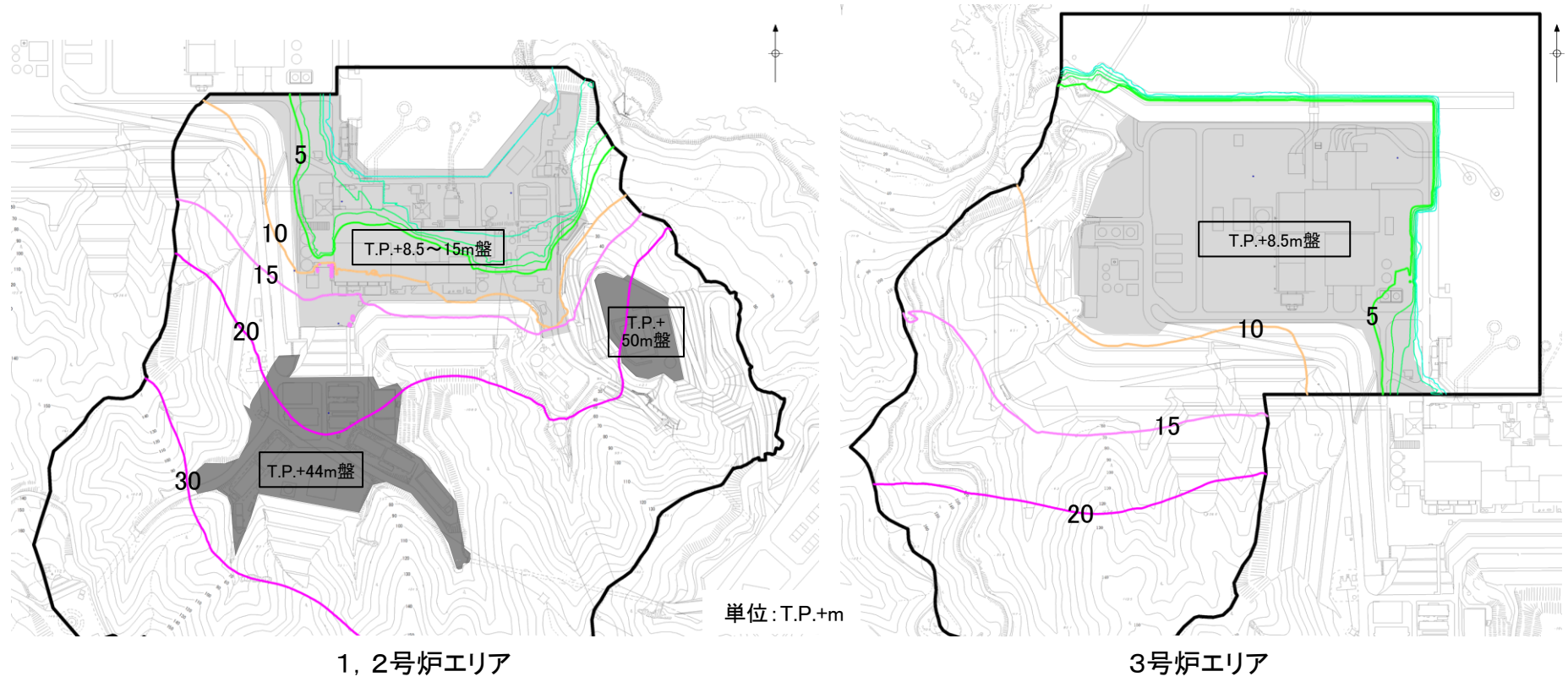


	評価対象施設
耐震重要施設及び 常設重大事故等対処施設	2号炉原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉廃棄物処理建物
	制御室建物
	取水槽
	2号炉排気筒
耐震重要施設	屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)
	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)
	防波壁(波返重力擁壁)
	防波壁(逆T擁壁)
	防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
	1号炉取水槽北側壁
常設重大事故等対処施設	屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
	2号炉原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉排気筒
	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)
屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)	
1号炉取水槽北側壁	
制御室建物	
2号炉廃棄物処理建物	
緊急時対策所	
緊急時対策所用燃料地下タンク	
ガスタービン発電機建物	
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)	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	
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	
緊急時対策所	
緊急時対策所用燃料地下タンク	

評価対象施設配置図

液状化範囲の検討

・地下水位以深の埋戻土等については、液状化範囲に設定し、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。

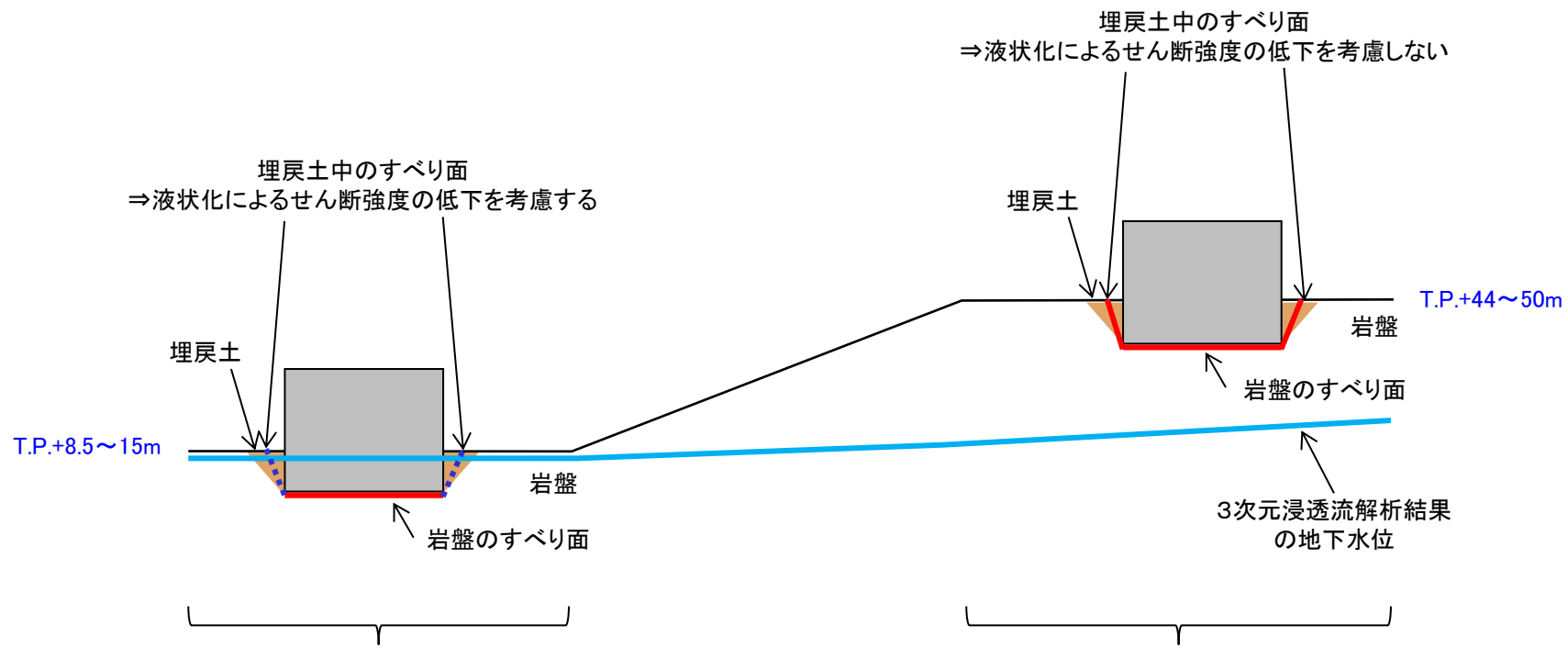


3次元浸透流解析結果(定常解析)の等水位線図
(解析条件は補足説明10章を参照)

- ・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。

液状化範囲の検討結果

・基礎地盤の安定性評価における、液状化範囲の検討結果を下図に示す。



【 T.P.+8.5~15m盤】
 地表面付近まで地下水位が上昇することから、液状化によるせん断強度の低下を考慮する。

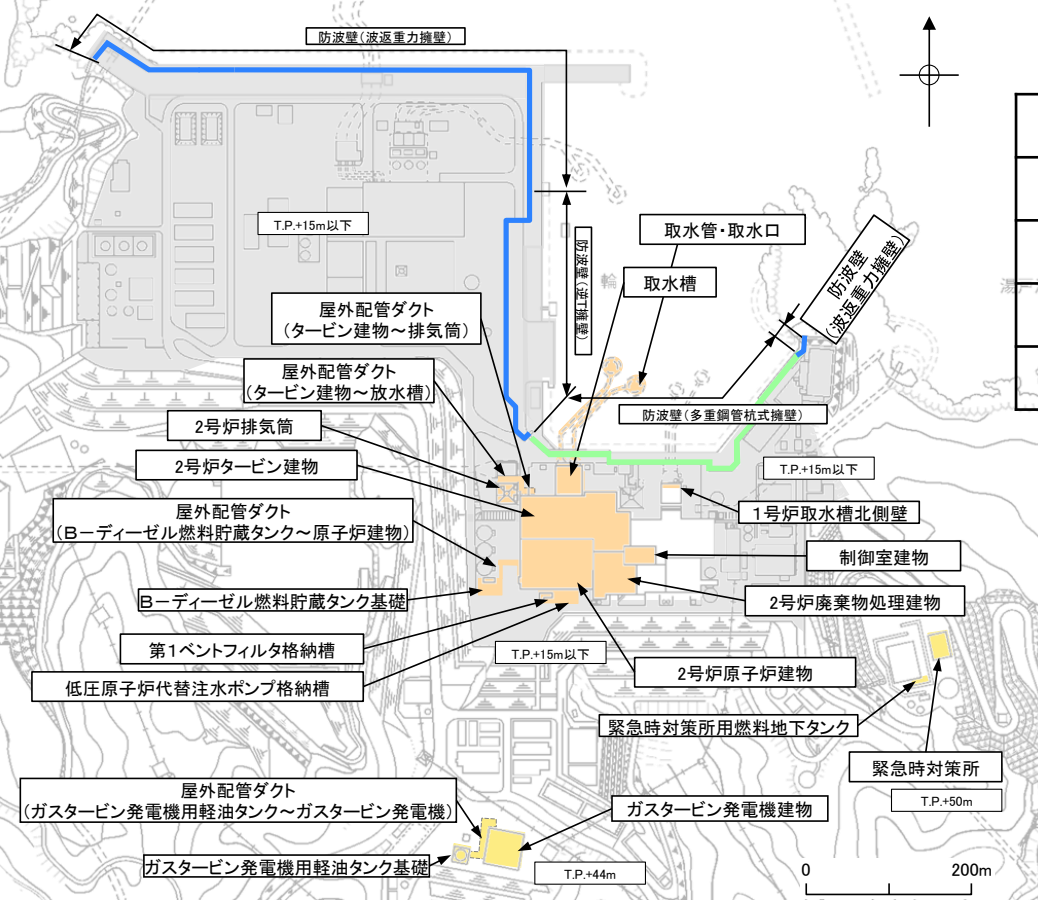
【 T.P.+44~50m盤】
 地下水位は地表面より20m程度深いことから、液状化によるせん断強度の低下を考慮しない。

設置盤毎の液状化範囲のイメージ(断面図)

3. 基礎地盤の安定性評価 3.1 評価方針

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基礎形式による基礎地盤への荷重伝達メカニズムの違いを踏まえ、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)、及びグループ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。
- ・なお、設置標高T.P.+15m盤以下のグループA、C、Dは液状化影響を考慮し、設置標高T.P.+44～50m盤のグループBは液状化影響を考慮しない。



グループ分類	①設置標高	②施設区分	③基礎形式	(参考)液状化影響の考慮
グループA	T.P.+15m盤以下	防波壁以外	直接基礎	考慮する
グループB	T.P.+44～50m盤	防波壁以外	直接基礎	考慮しない
グループC	T.P.+15m盤以下	防波壁	杭基礎	考慮する
グループD	T.P.+15m盤以下	防波壁	直接基礎	考慮する

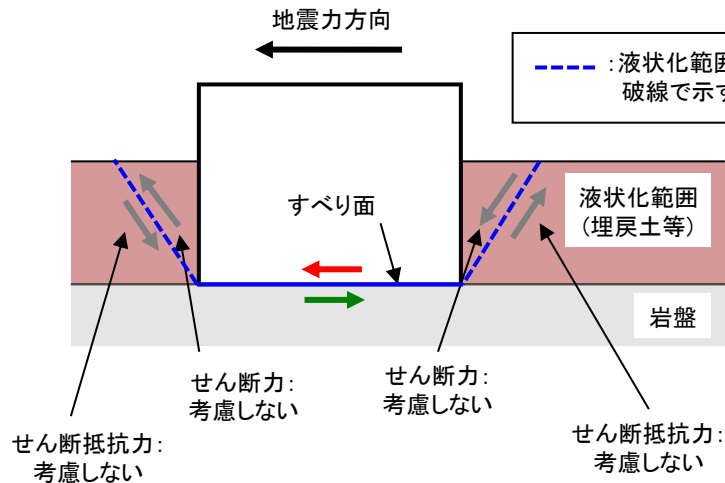
【凡例】

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

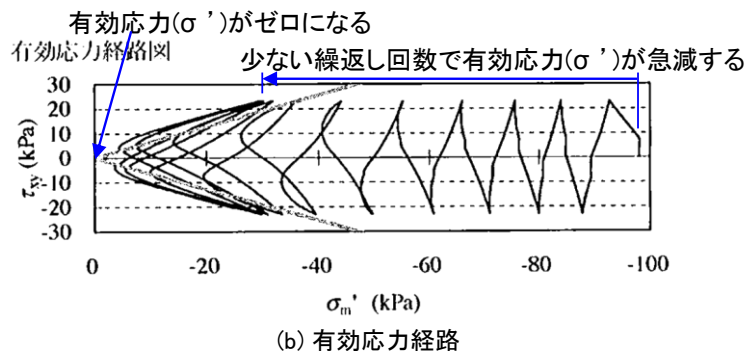
液状化影響を考慮したすべり安全率の算定方法(簡便法, 動的解析)

【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

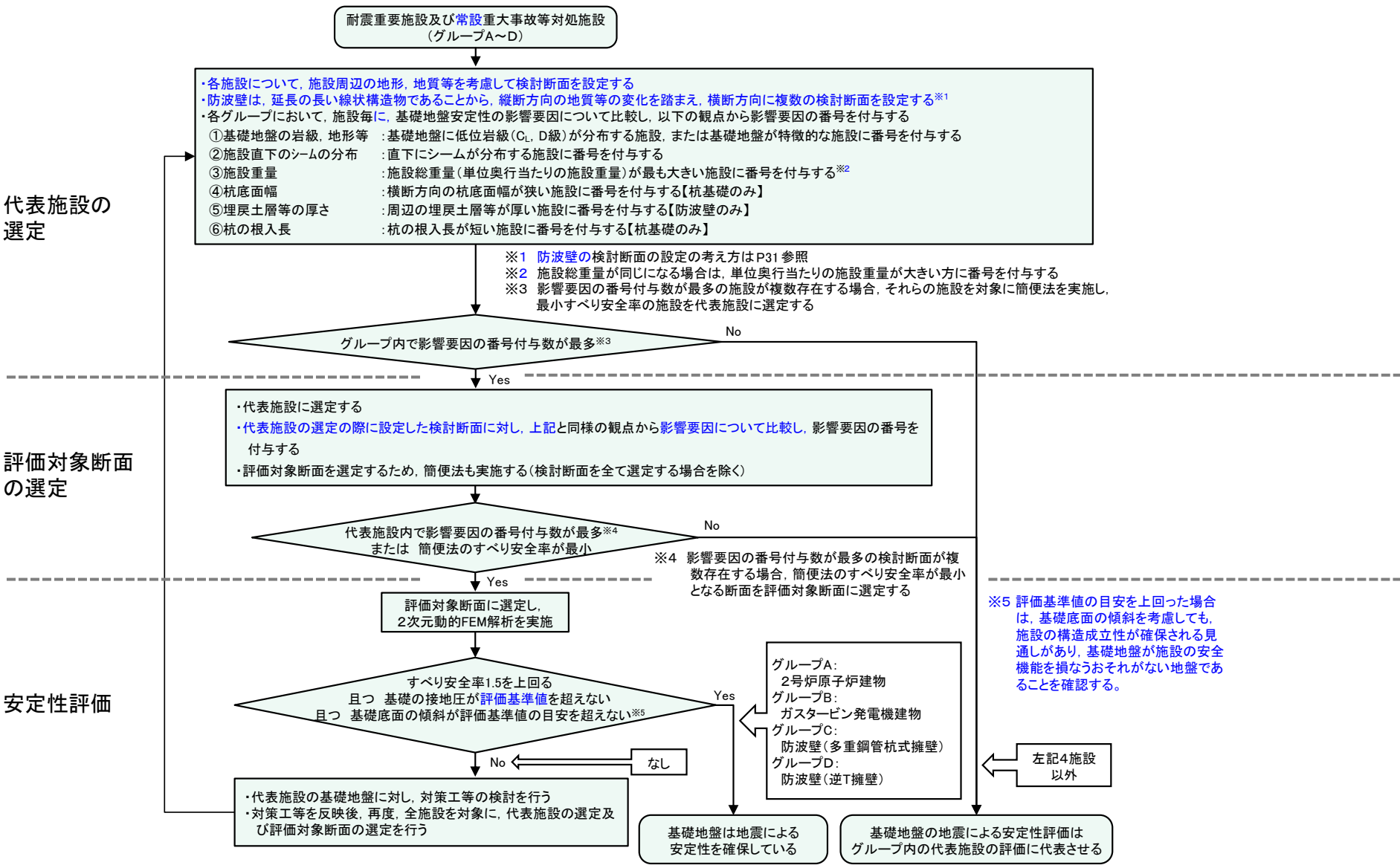
【液状化影響を考慮したすべり安全率の算定方法】

- ・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。
- ・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。



代表施設の選定

評価対象断面の選定

安定性評価

- グループA:
2号炉原子炉建物
- グループB:
ガスタービン発電機建物
- グループC:
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)
- グループD:
防波壁(逆T擁壁)

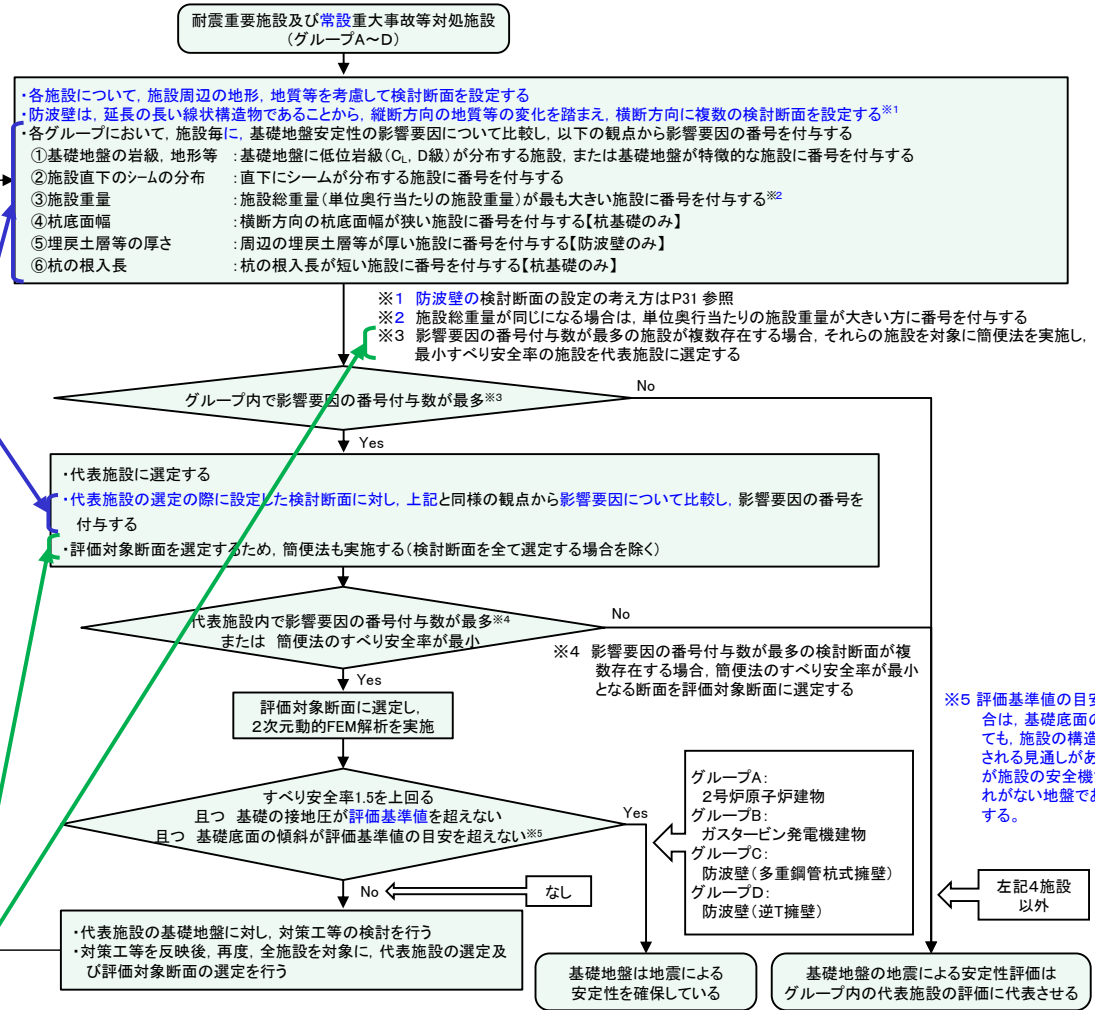
左記4施設以外

3. 基礎地盤の安定性評価 3.1 評価方針

評価方法

・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。

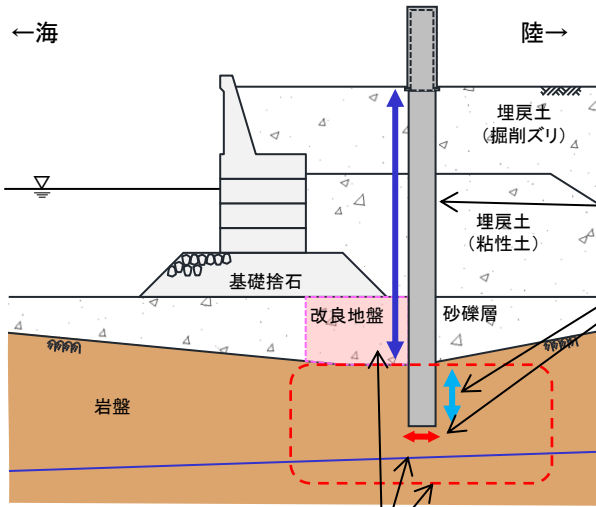
影響要因	内容
①基礎地盤の岩級、地形等	<ul style="list-style-type: none"> ・C_L級、D級の低位岩級は、C_H級、C_M級の高位岩級に比べてせん断強度が低い。 ・基礎地盤周辺の地形が急勾配、基礎地盤の改良強度がC_L級以下相当等、基礎地盤が特徴的である場合、せん断強度が低くなる可能性がある。
②施設直下のシームの分布	<ul style="list-style-type: none"> ・施設直下にシームが分布すると、シームによりすべり土塊が形成される可能性がある。
③施設重量(単位奥行当たりの施設重量)	<ul style="list-style-type: 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】
 ・JEA4601-2015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 3.1 評価方針

防波壁における検討断面の設定の考え方



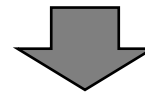
(例)防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の場合

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】

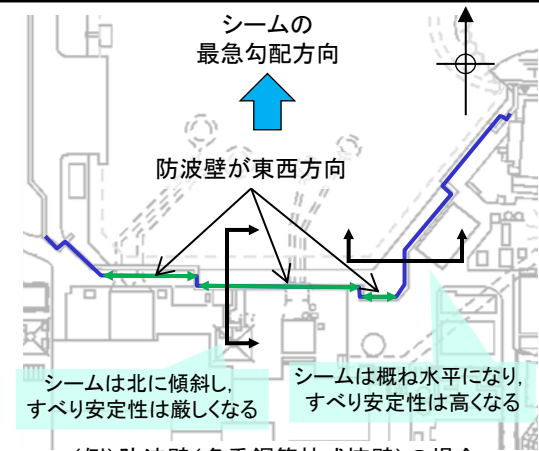


STEP2: 検討断面の設定

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, もしくは基礎地盤の改良強度がC_L級以下相当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

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)			
B-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(B-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(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。

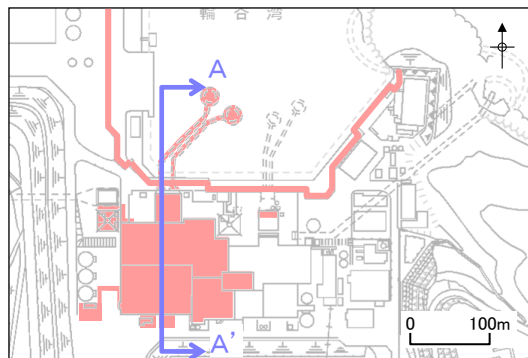
: 番号を付与する影響要因
 : 影響要因の番号付与が多い

※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

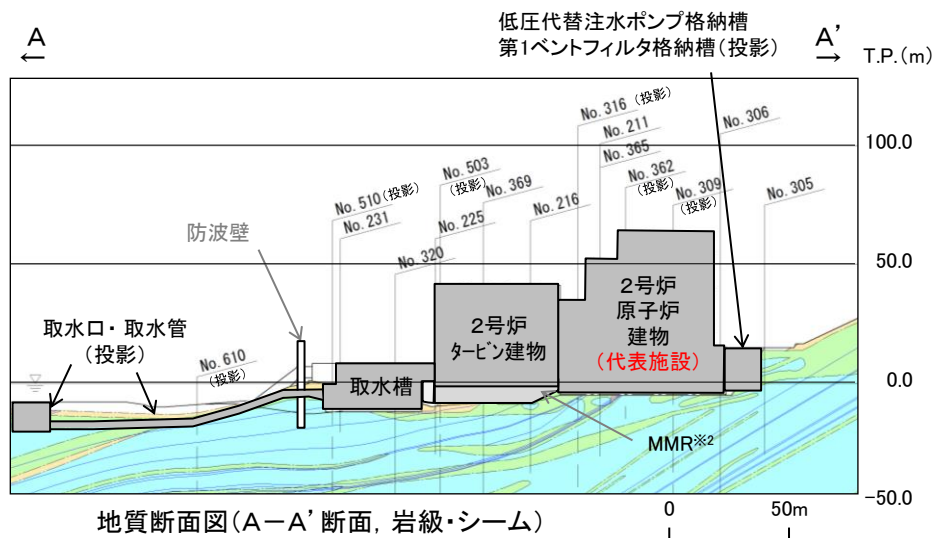
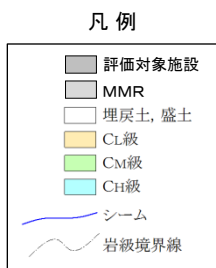
- ・2号炉原子炉建物及びその周辺施設については、施設重量が有意に大きい2号炉原子炉建物を通り、シームの最急勾配方向であり、すべり安定性が厳しくなると考えられる南北方向のA-A'断面を検討断面に設定する。
- ・2号炉原子炉建物は、 $C_M \sim C_H$ 級の岩盤(成相寺層)が主体であり、施設直下にシームが分布していること、施設総重量が最大であること、影響要因の番号付与数が同数である2号炉タービン建物、2号炉排気筒及び屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽、タービン建物～排気筒)に比べ、簡便法のすべり安全率が小さいことから、代表施設に選定した。(P39参照)
- ・2号炉タービン建物は、2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。



断面位置図

■ : 評価対象施設



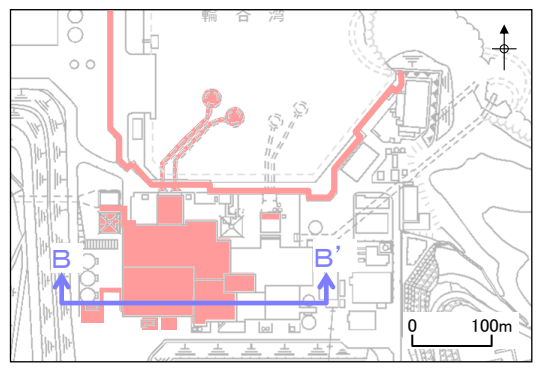
地質断面図(A-A'断面, 岩級・シーム)

※2 マンメイドロック(人工岩盤)の略称

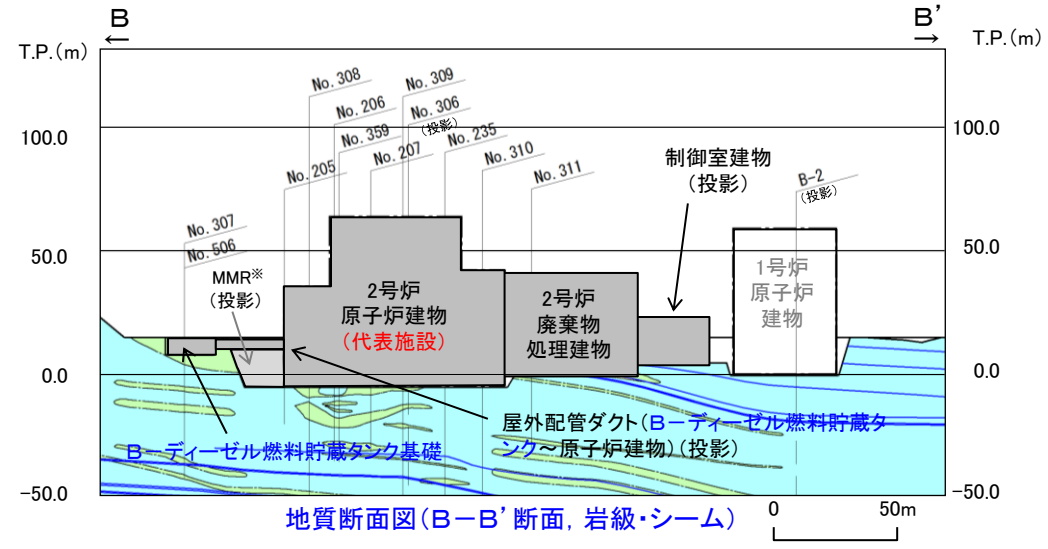
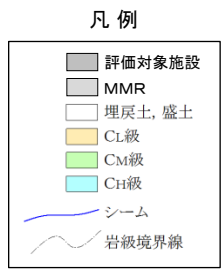
3. 基礎地盤の安定性評価 3. 2 代表施設の選定

2号炉廃棄物処理建物, B-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号炉原子炉建物及びその周辺施設の東西方向のシームの分布や地質状況が一様であることを確認するため、A-A'断面と直交するB-B'断面を検討断面に設定する。
- ・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。
- ・B-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(B-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、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。



断面位置図 ■ : 評価対象施設



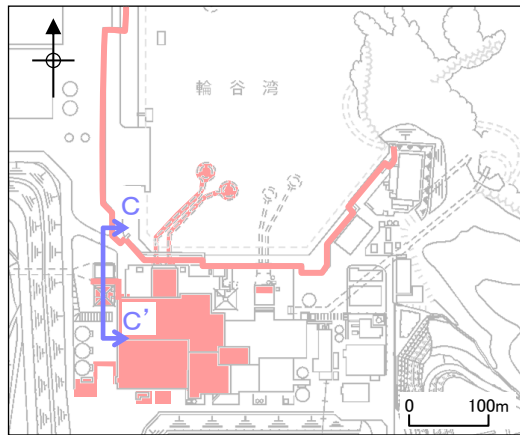
地質断面図(B-B'断面, 岩級・シーム)

※ 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)等の比較結果 グループA

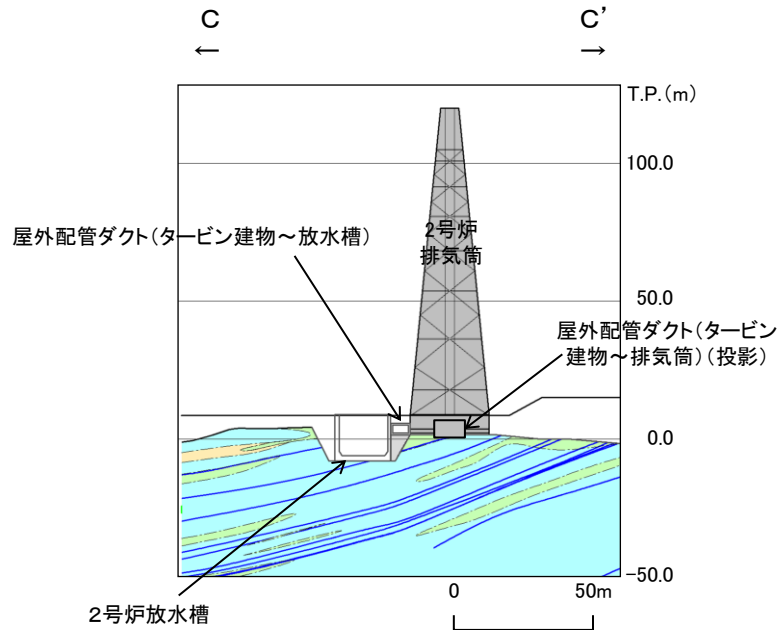
- ・2号炉排気筒及びその周辺施設については，施設北側の地形が急勾配になっていることから，2号炉排気筒を中心に，シームの最急勾配方向であり，すべり安定性が厳しくなると考えられる南北方向のC-C'断面を検討断面に設定する。
- ・2号炉排気筒，屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)及び屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)は，2号炉原子炉建物に比べ，基礎地盤が特徴的(基礎地盤周辺の地形形状が急勾配)であり，岩級及びシームの分布状況は同等であるが，施設総重量が小さい。
- ・影響要因の番号付与数が2号炉原子炉建物と同数で最多であるため，簡便法を実施した結果，すべり安全率は2号炉原子炉建物より大きい。(P39参照)

以上のことから，2号炉原子炉建物の評価に代表させる。

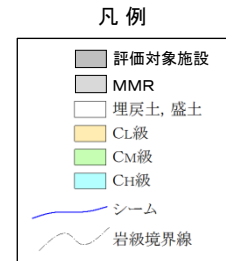


断面位置図

■: 評価対象施設



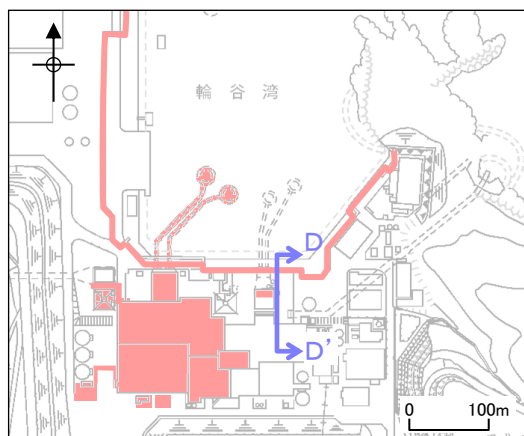
地質断面図(C-C'断面, 岩級・シーム)



3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

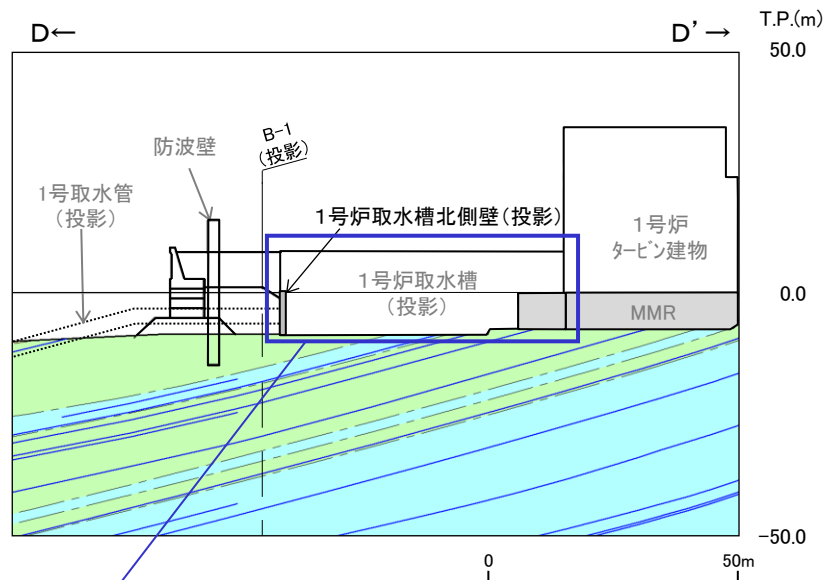
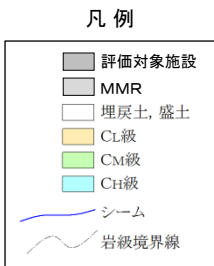
1号炉取水槽北側壁の比較結果 グループA

- ・1号炉取水槽北側壁については、シームの最急勾配方向かつ施設短軸方向であり、すべり安定性が厳しくなると考えられる南北方向のD-D'断面を検討断面に設定する。
- ・当該施設は、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。

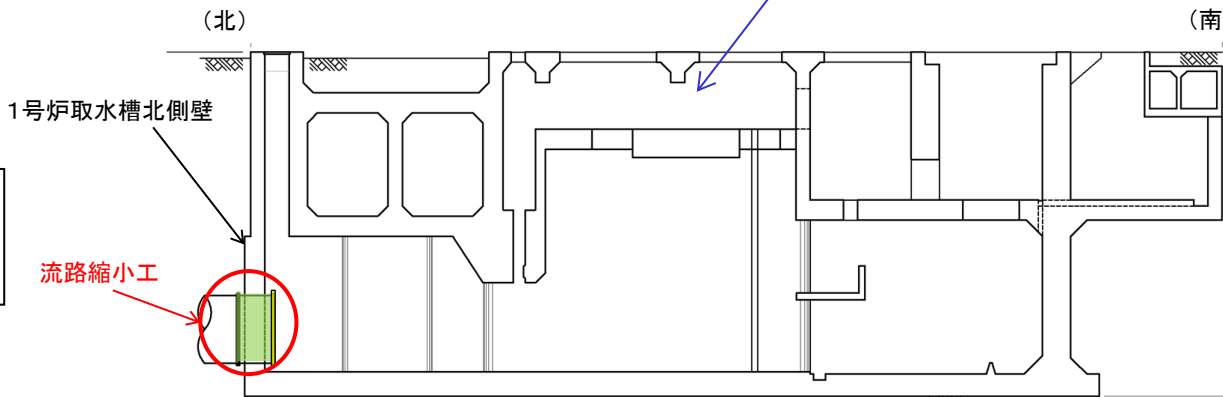


断面位置図

評価対象施設



地質断面図(D-D'断面, 岩級・シーム)



(1号取水槽断面図)

1号炉取水槽北側壁は、
取水管及び鋼製部材から成る流路縮小工の間
接支持構造物となる。

流路縮小工

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。

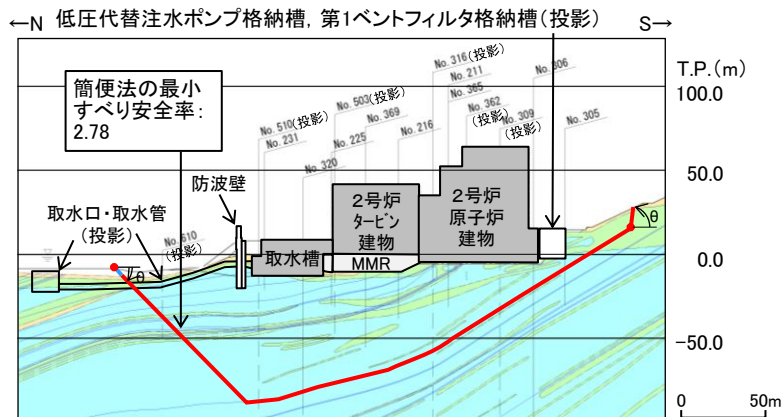
【検討方法】

- ・ 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。
- ・ 簡便法を実施する断面は、シームの最急勾配方向等を考慮し、すべり安定性の厳しくなると考えられる南北方向の検討断面とした。

【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。

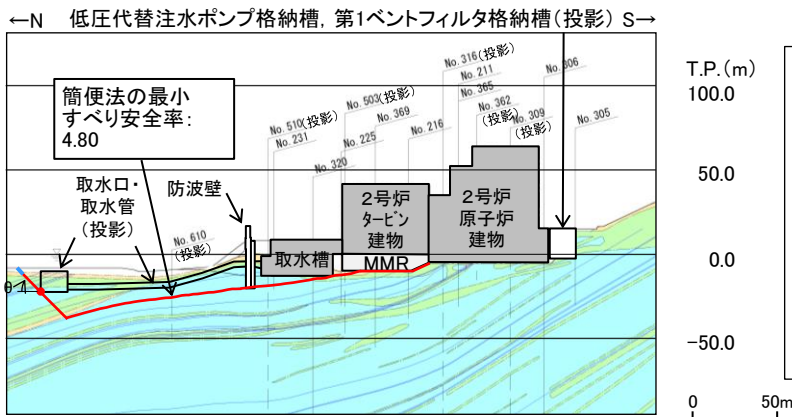
簡便法のすべり安全率



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)

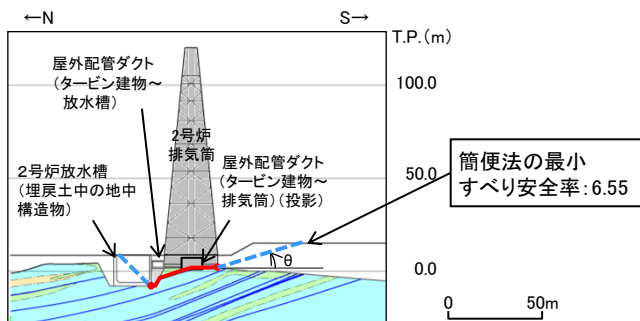


角度(°)	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	7.28	6.40	5.84	5.42	5.09	4.94	4.80

※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)

- 凡例
- 評価対象施設
 - MMR
 - 改良地盤
 - 埋戻土、盛土
 - CL級
 - CM級
 - CH級
 - シーム
 - 岩級境界線
 - すべり面
 - すべり面(液状化影響を考慮する範囲)



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)

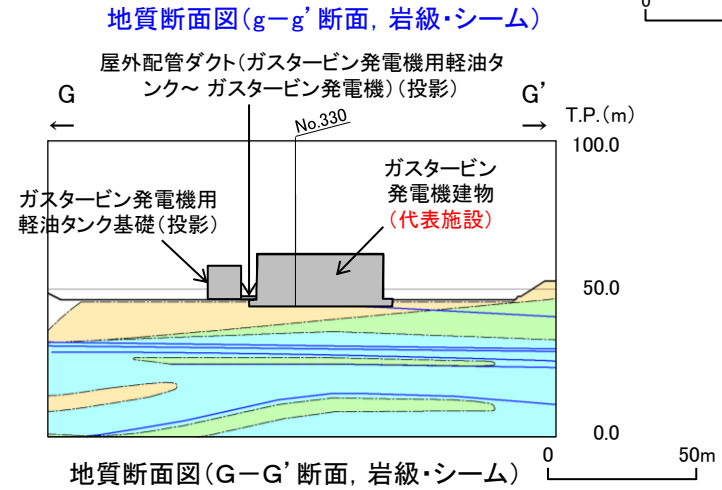
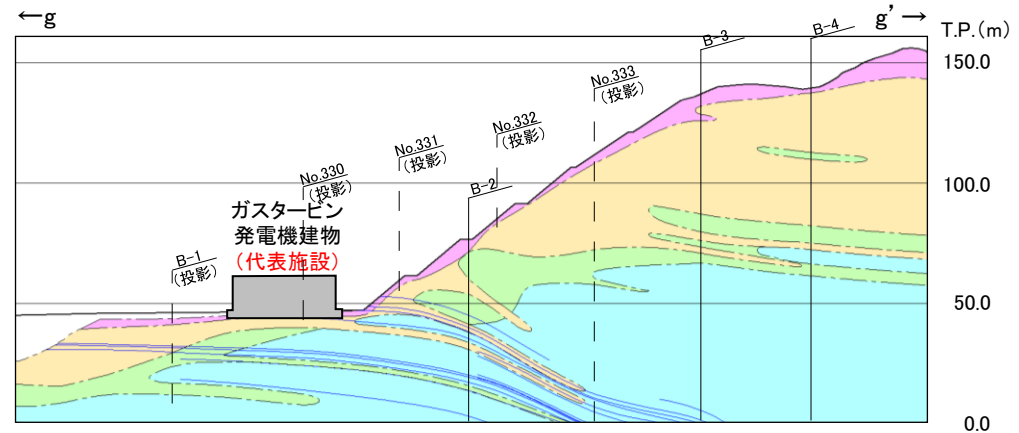
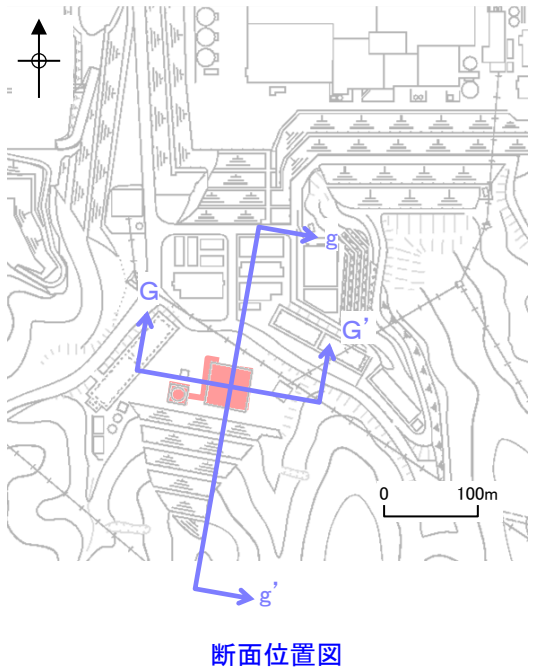
設置盤	評価対象施設	影響要因			該当する 影響要因	選定理由
		① 基礎地盤 の岩級, 地 形等	② 施設直下 のシームの 分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの 施設重量※1(MN/m))		
T.P.+44m盤	代表施設に選定 ガスタービン発電機建物	C _L 級	あり	411 (8.96)	①, ②, ③	・C _L 級の岩盤が主体であること, 施設直下にシームが分布していること, 及び施設総重量が最大であることから, 代表施設に選定する。
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	C _L 級	あり	19 (1.05)	①, ②	・ガスタービン発電機建物に比べ, 岩級及びシ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及びその周辺施設については、ガスタービン発電機建物を通り、背後斜面の影響を考慮でき、概ねシームの最急勾配方向であり、すべり安定性が厳しくなると考えられる南北方向のg-g'断面を検討断面に設定した。
- ・また、ガスタービン発電機建物及びその周辺施設の東西方向のシームの分布や地質状況が一様であることを確認するため、g-g'断面と直行するG-G'断面を検討断面に設定する。
- ・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。

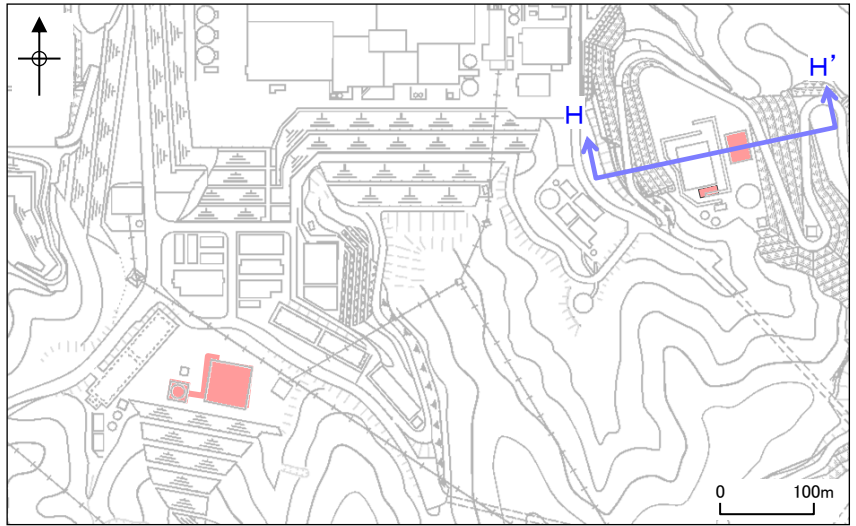


凡例

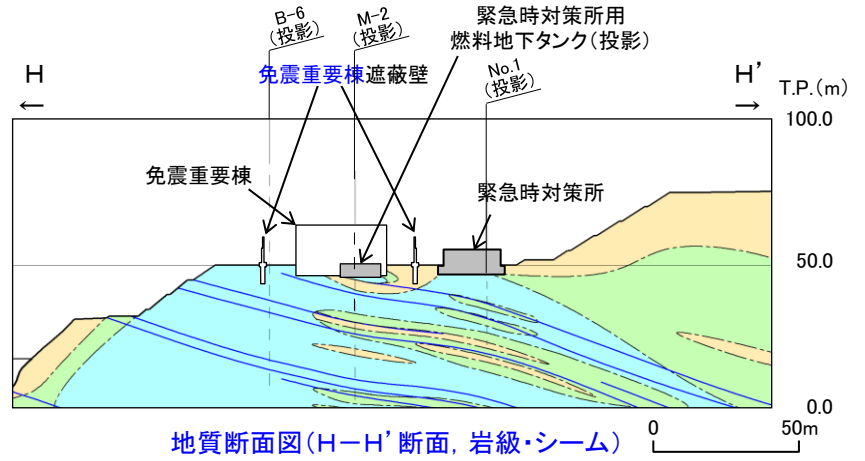
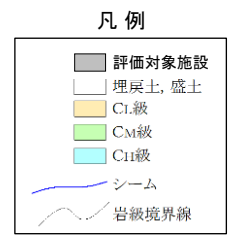
	評価対象施設
	埋戻土、盛土
	D級
	C _L 級
	C _M 級
	C _H 級
	シーム
	岩級境界線

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

- ・緊急時対策所及びその周辺施設については、緊急時対策所を中心に、施設西側の敷地下すべり及び背後斜面の影響を考慮できる方向であるH-H'断面を検討断面に設定する。
- ・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



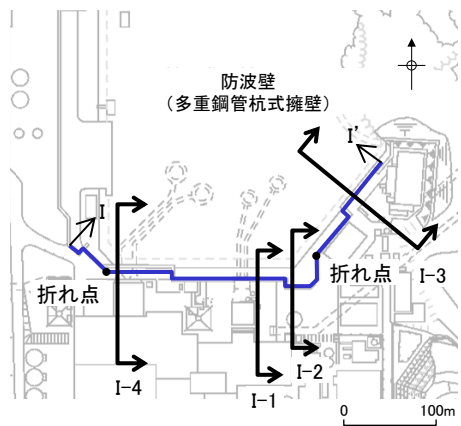
地質断面図(H-H'断面, 岩級・シーム)

余白

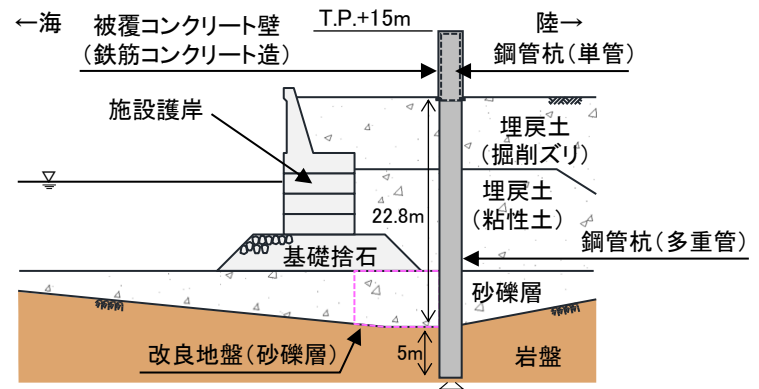
3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

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

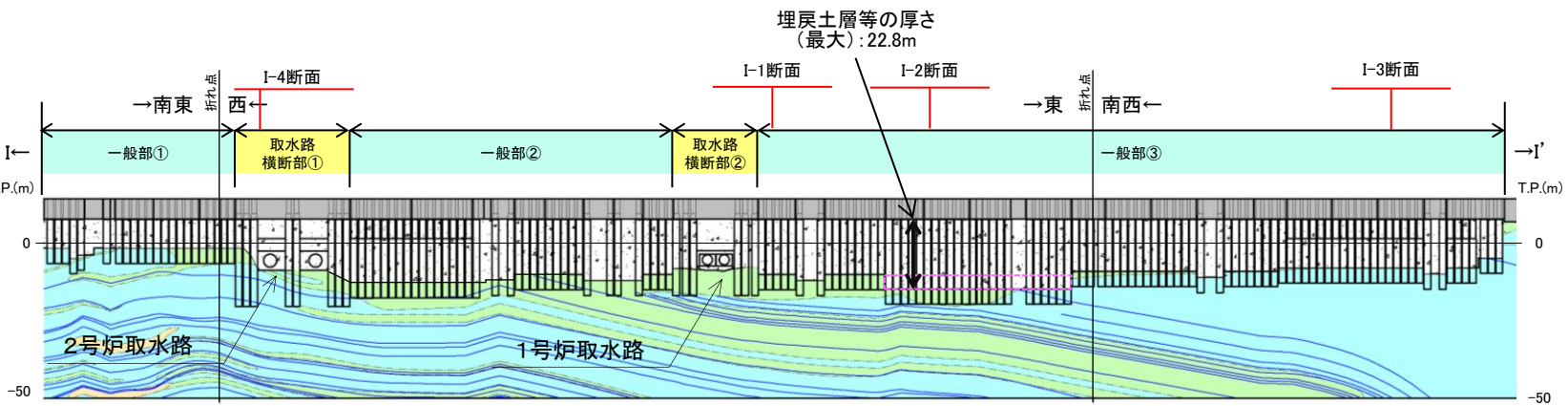
- ・グループCの施設である防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は, 基礎地盤の安定性評価の観点から, 「一般部」及び「取水路横断部」の2つに区分される。(次頁参照)
- ・すべり安全率が厳しい検討断面を設定する観点から, 「一般部」からI-1~3断面, 「取水路横断部」からI-4断面の計4断面を検討断面に設定した(設定理由の詳細はP47~49参照)。
- ・グループCの施設は, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)のみであることから, 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を代表施設に選定した。



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)

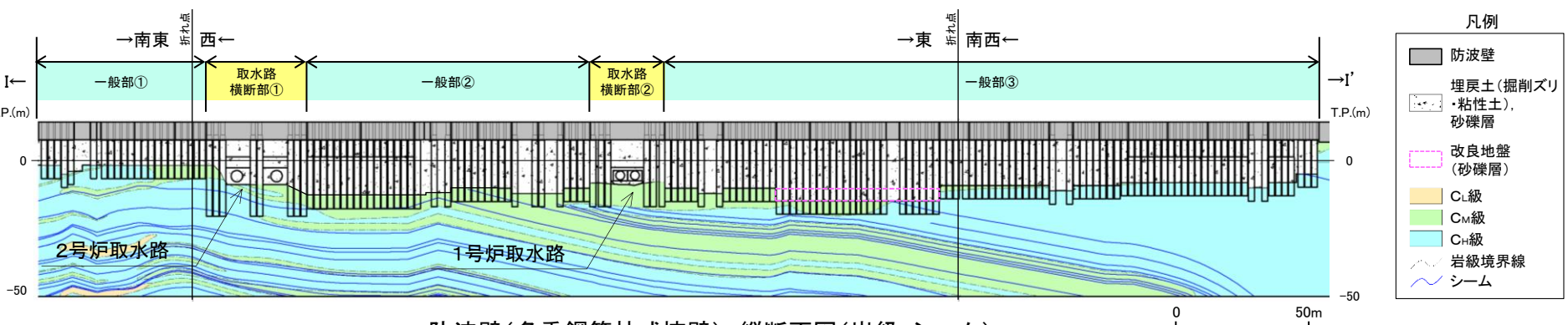
凡例

	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

※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「取水路横断面」に区分される。
(構造の詳細は補足説明資料7章を参照)。



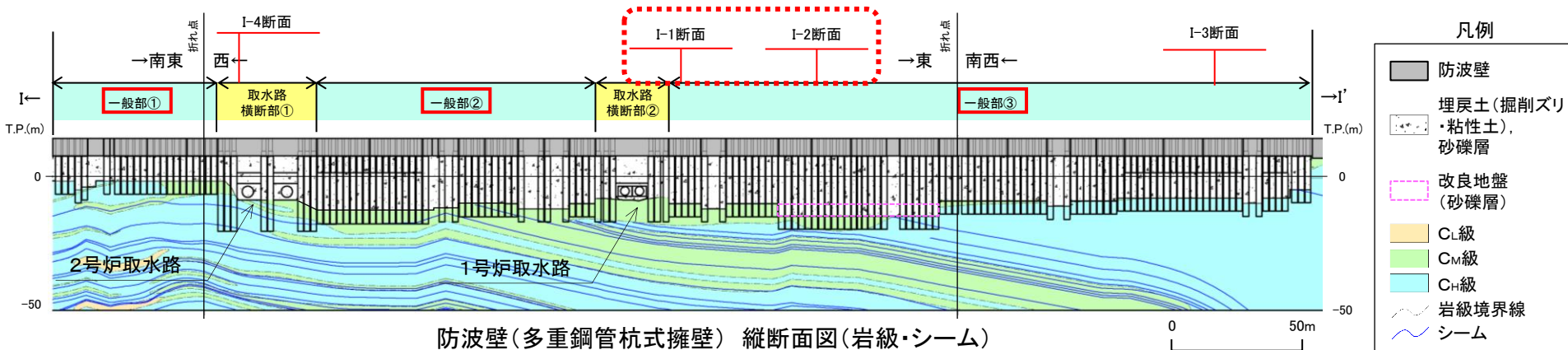
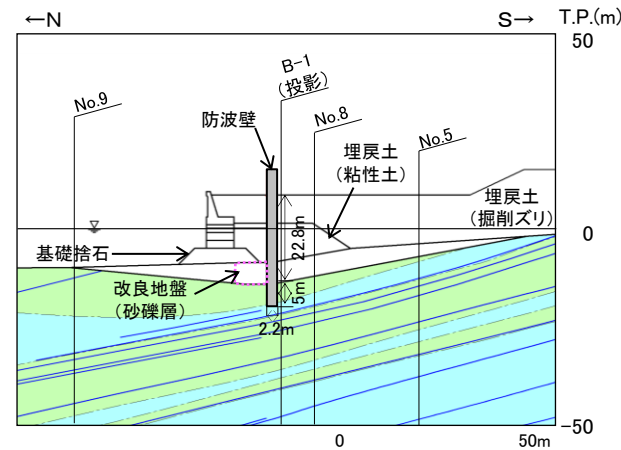
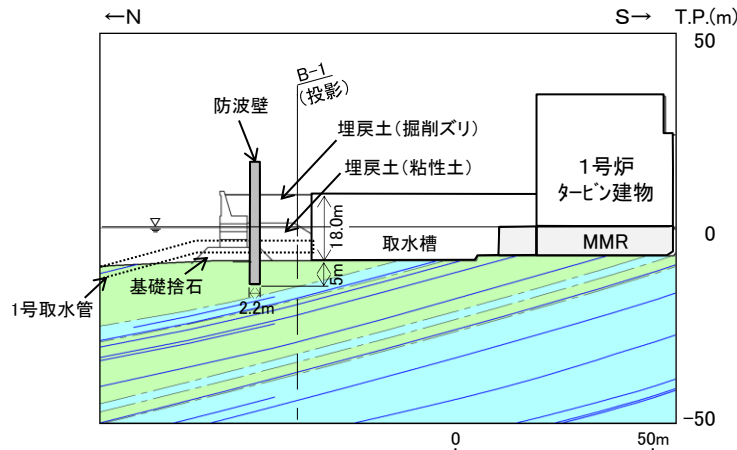
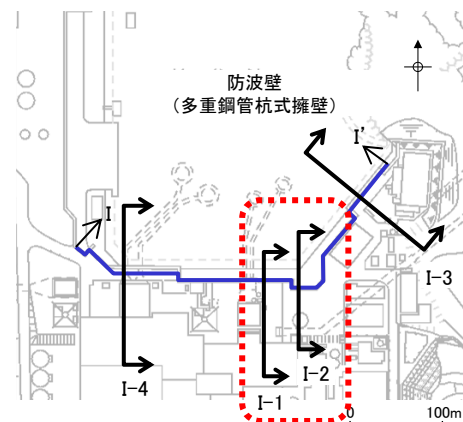
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

	一般部	取水路横断面部
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。

一般部



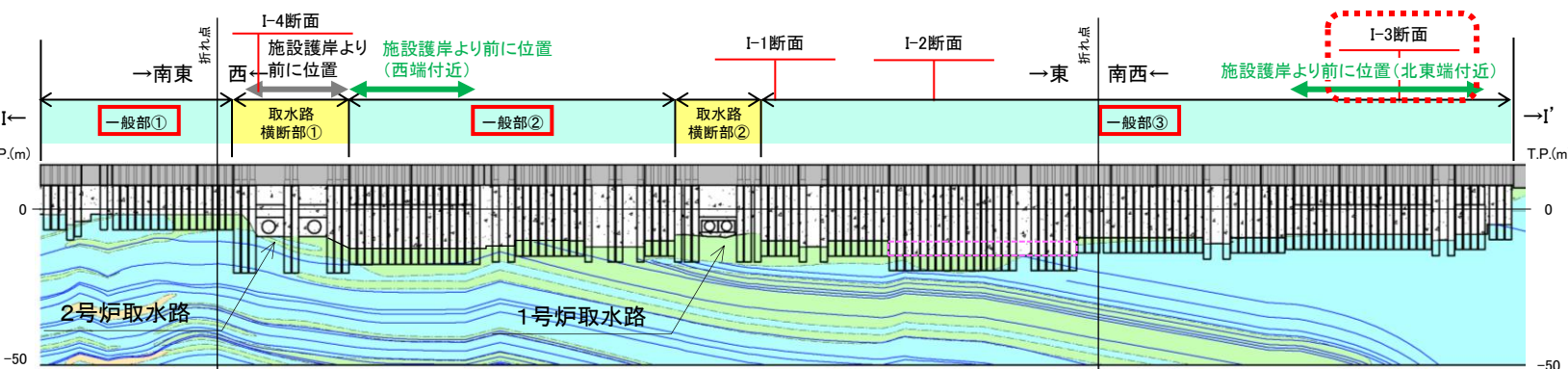
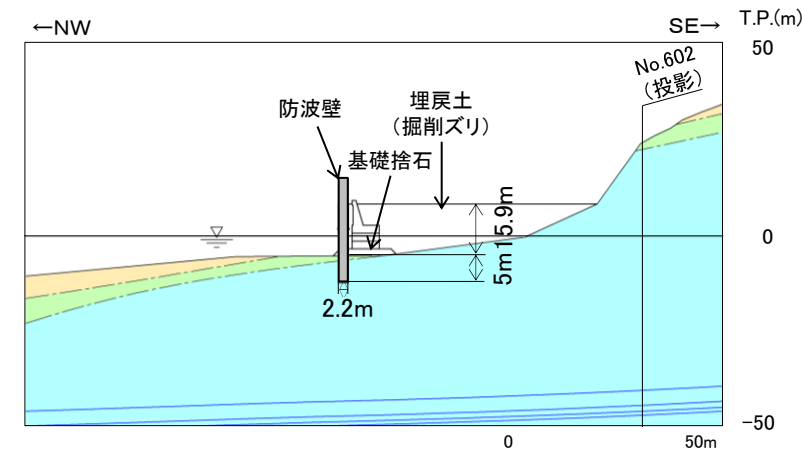
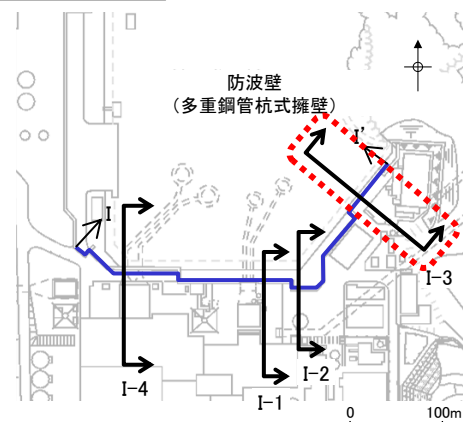
凡例

	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様であることから、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



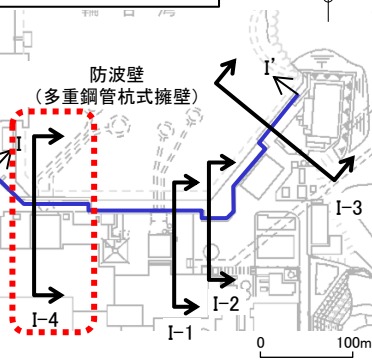
凡例	
	防波壁
	埋戻土(掘削ズリ) ・粘性土、 砂礫層
	改良地盤 (砂礫層)
	C _L 級
	C _M 級
	C _H 級
	岩級境界線
	シーム

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

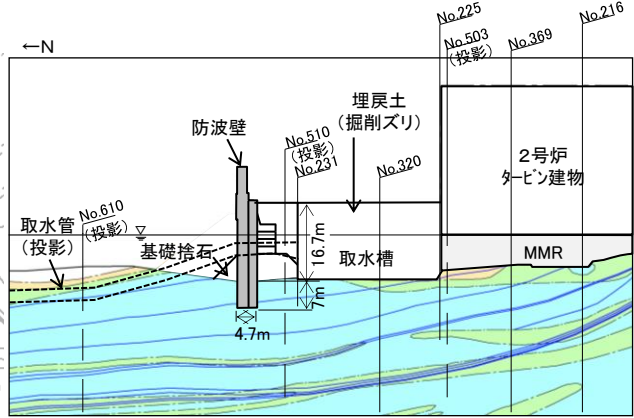
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループC(3/3)

- ・取水路横断面部(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面部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、取水路横断面部①を選択し、取水路横断面部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。

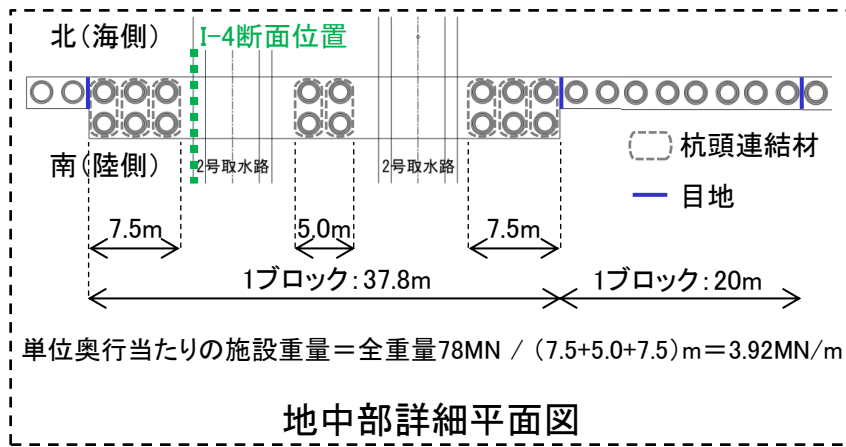
取水路横断面部



断面位置図

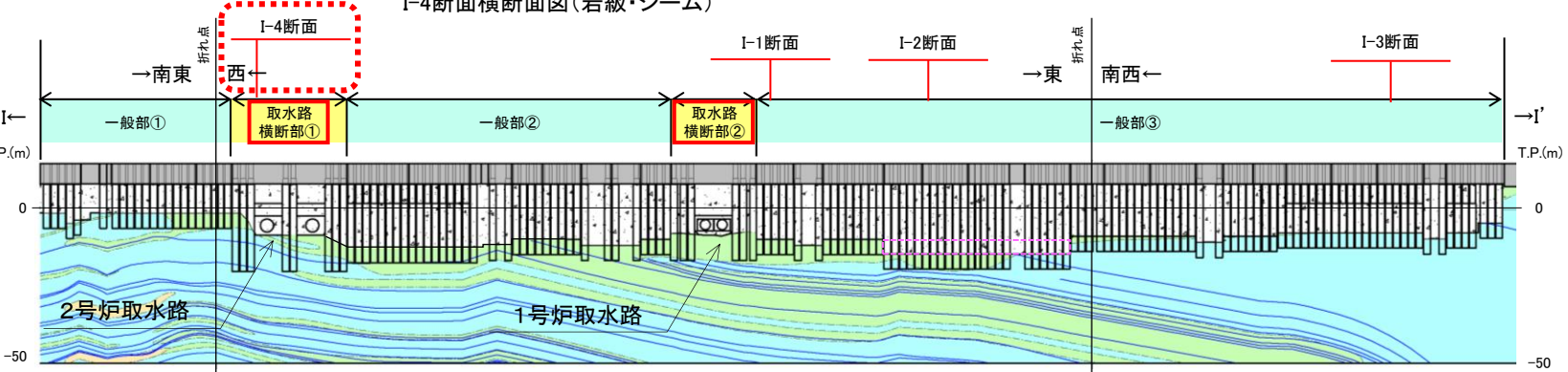


防波壁(多重鋼管杭式擁壁) I-4断面横断面図(岩級・シーム)



地中部詳細平面図

単位奥行当たりの施設重量 = 全重量78MN / (7.5+5.0+7.5)m = 3.92MN/m



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

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P52~64参照)

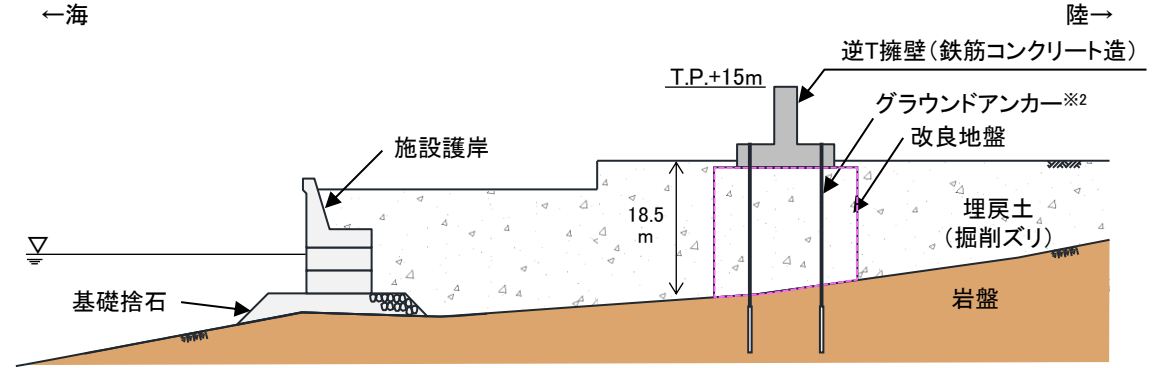
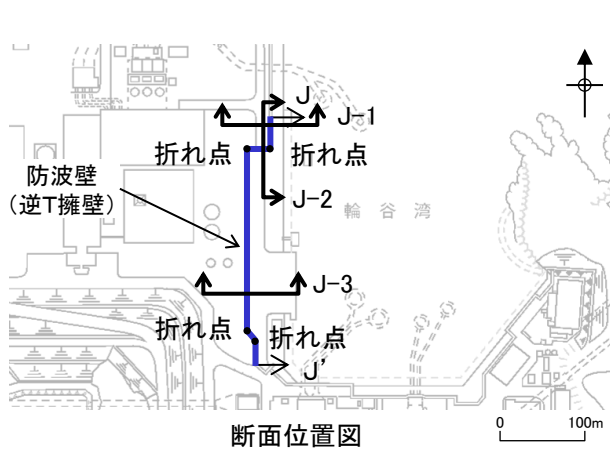
評価対象施設	影響要因				該当する影響要因	簡便法の最小すべり安全率	選定理由
	① 基礎地盤の岩級, 地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量 ^{※1.4} (MN) (単位奥行当たりの施設重量 ^{※2.4} (MN/m))	⑤ 埋戻土層等の厚さ(m)			
代表施設に選定 防波壁(逆T擁壁)	C _L ~C _H 級 基礎地盤が特徴的 (基礎地盤の改良強度がC _L 級以下相当)	あり	15 (0.65)	18.5	①, ②	2.99	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁(波返重力擁壁)に比べ, 単位奥行当たりの施設総重量が小さく, 埋戻土層等が薄い^が, 基礎地盤が特徴的(基礎地盤の改良強度がC_L級以下相当)であり, 改良地盤底面の一部にC_L級の岩盤が分布し, 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	なし	154 (8.10)	29.0	③, ⑤	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, 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。 一部, 改良地盤に支持される区間があるものの, 当該区間は周辺岩盤(C_M級)相当に改良されている(P107, 108参照)。 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P52~55参照。
 防波壁(波返重力擁壁)の諸元の根拠はP56,57参照。
 ※4 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。(P63,64参照)

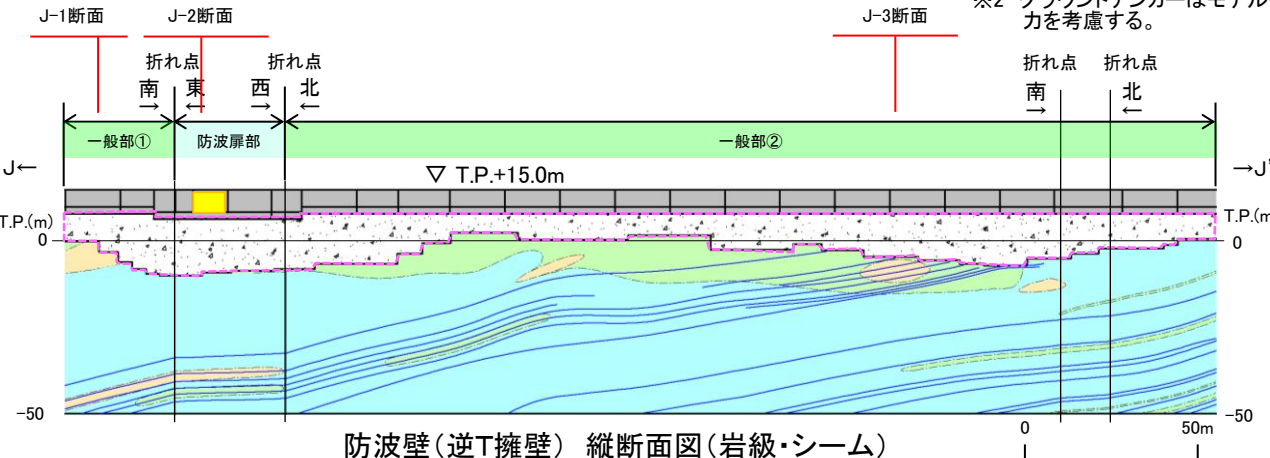
防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定及び選定結果 グループD

- ・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、基礎地盤が特徴的(基礎地盤の改良強度がC_L級以下相当)であり、改良地盤底面の一部にC_L級の岩盤が分布し、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。(P58参照)
- 以上のことから、防波壁(逆T擁壁)を代表施設に選定する。



防波壁(逆T擁壁)鉛直断面図※1

- ※1 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。
- ※2 グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。



防波壁(逆T擁壁)縦断面図(岩級・シーム)

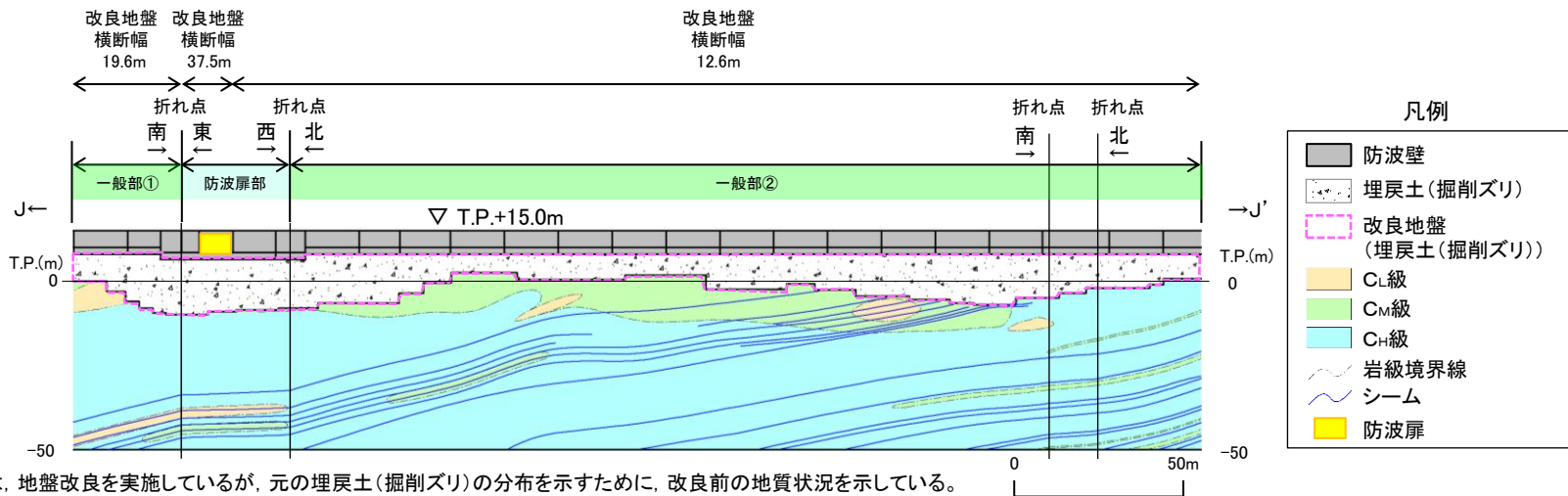
凡例

	防波壁		C _L 級
	埋戻土(掘削ズリ)		C _M 級
	改良地盤 (埋戻土(掘削ズリ))		C _H 級
	岩級境界線		
	シーム		
	防波扉		

※ 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

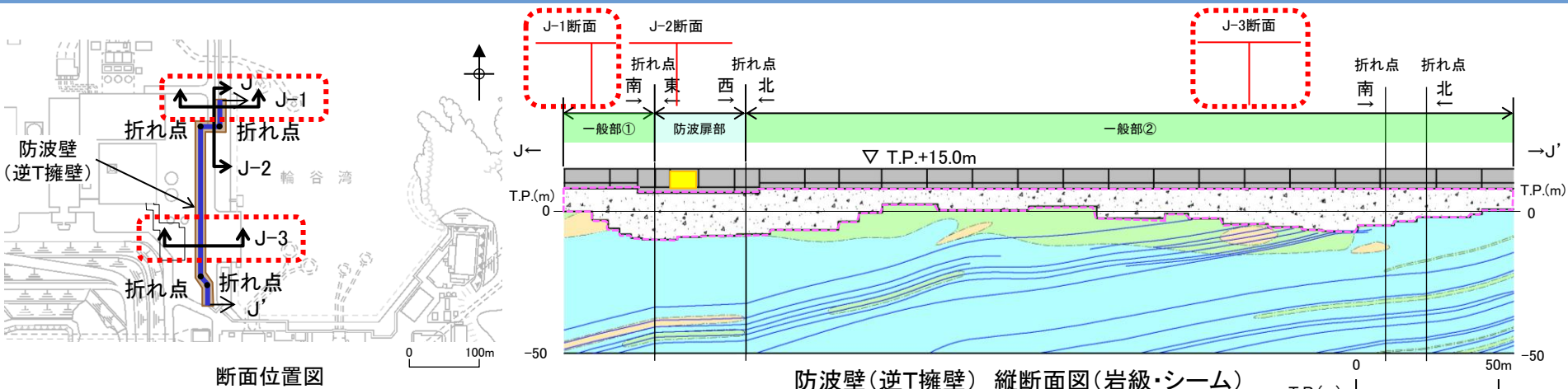
・防波壁(逆T擁壁)は、底面幅は縦断方向に同様であるが、施設の構造(施設重量)が異なることから、「一般部」及び「防波扉部」の2つに区分される(構造の詳細は補足説明資料7章を参照)。



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。

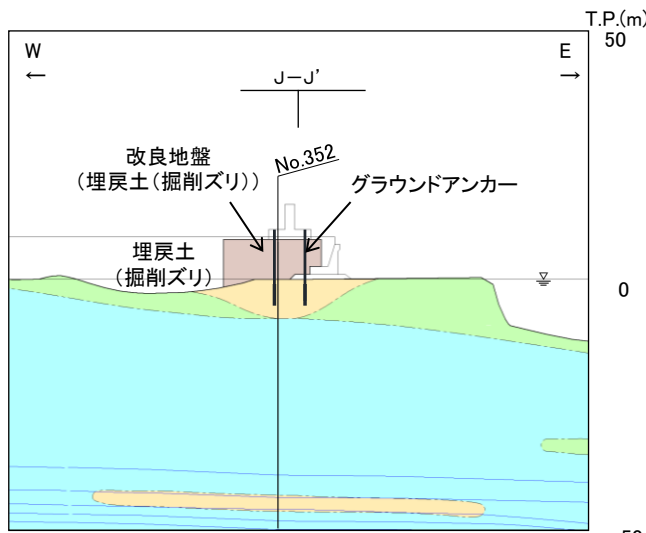
防波壁(逆T擁壁)の検討断面の設定(詳細) グループD(1/2)



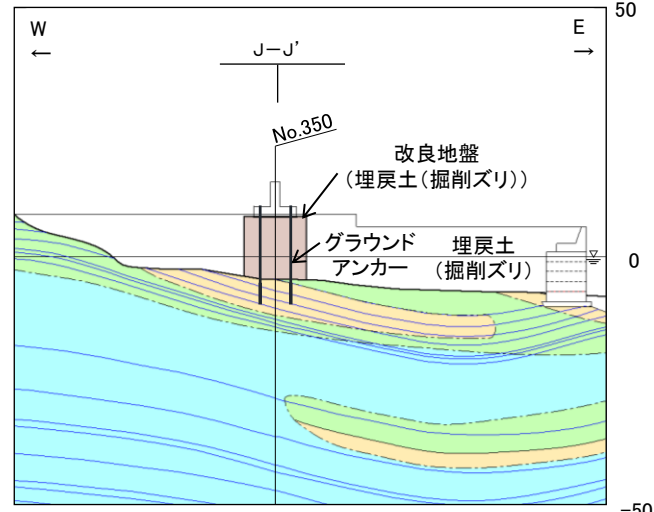
断面位置図

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)



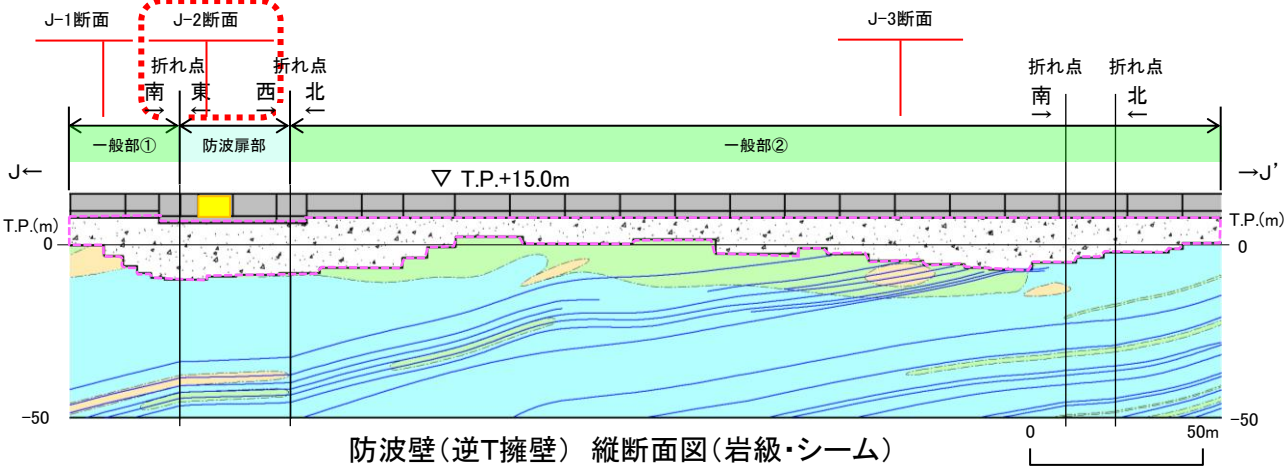
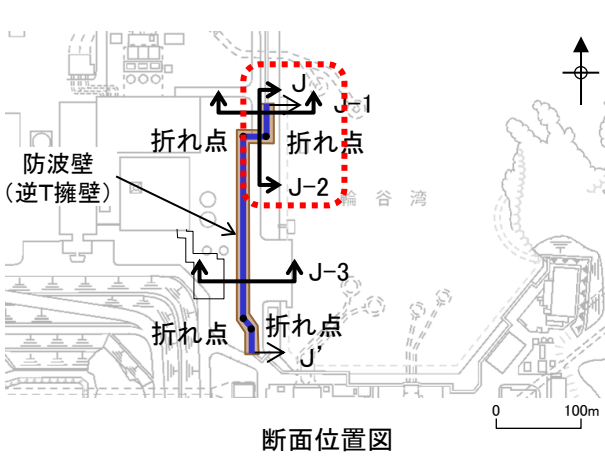
防波壁(逆T擁壁) J-3断面 横断面図(岩級・シーム)



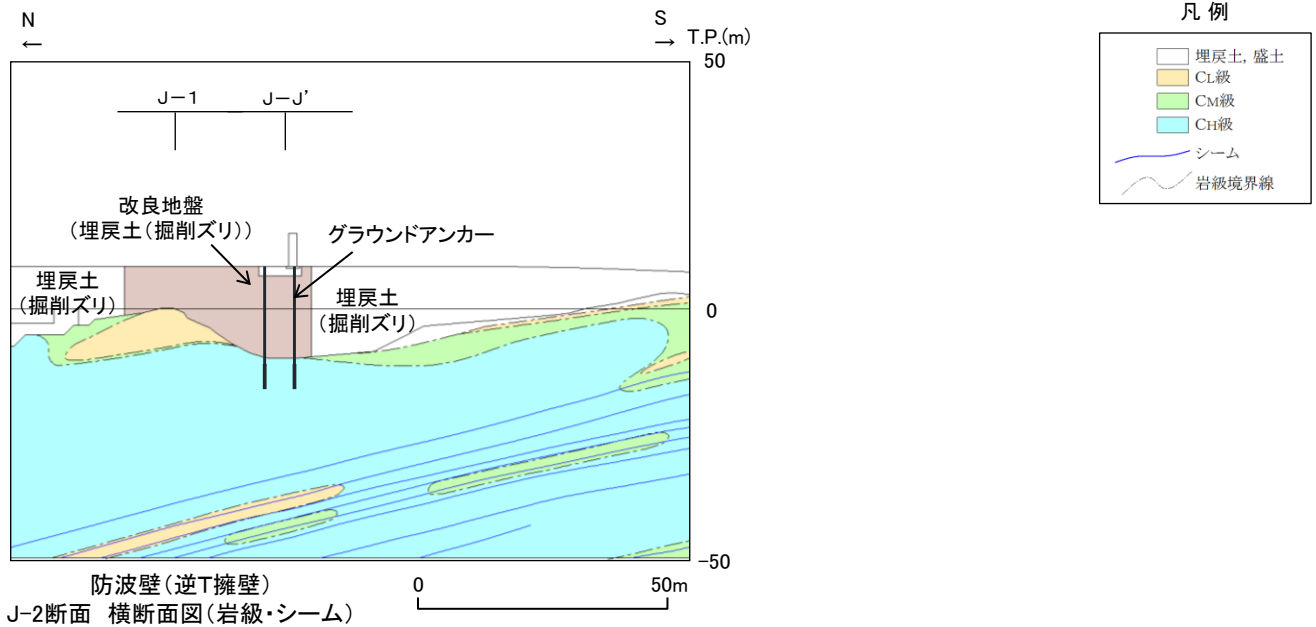
- ・一般部(①及び②)は、施設直下にC_L級岩盤が分布している箇所がある。一般部のC_L級分布範囲において、埋戻土層等の厚さは概ね同様である。改良地盤横断幅は一般部①が19.6m、一般部②が12.6mである。
- ・一般部①は、改良地盤底面にC_L級岩盤が分布するJ-1断面を検討断面に設定する。
- ・一般部②については、改良地盤底面にC_L級岩盤及びシームが分布するJ-3断面を検討断面に設定する。

※ 地盤改良の詳細はP109に示す

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

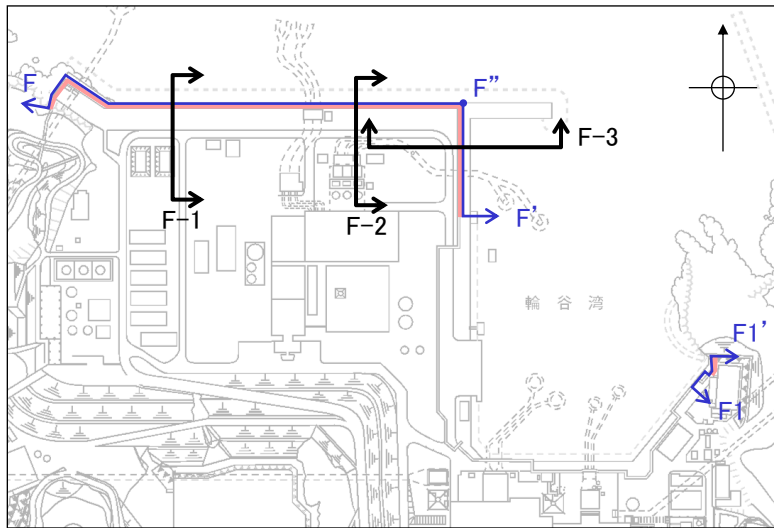


- ・防波扉部は、改良地盤底面の岩級は同等であり、シームは分布していない。改良地盤横断幅は12.6mまたは37.5mである。
- ・防波扉部のうち、支持地盤が最も深いJ-2断面を検討断面に設定する。

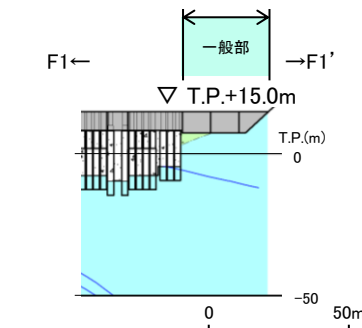
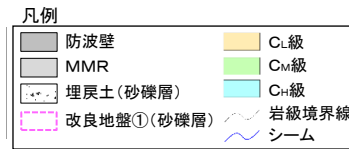
3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

防波壁(波返重力擁壁)の検討断面の設定 グループD

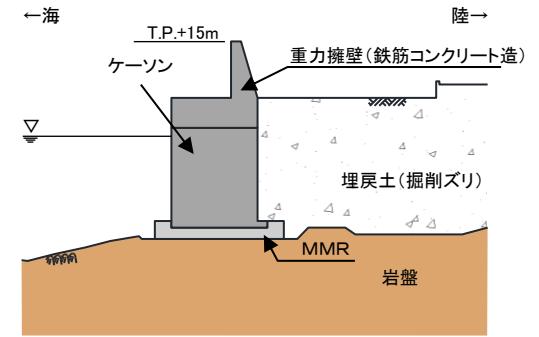
- ・防波壁(波返重力擁壁)は、基礎地盤の安定性評価の観点から、縦断方向に施設の構造は同様である。(補足説明資料7章を参照)
- ・すべり安全率が厳しい検討断面を設定する観点から、基礎地盤に着目し、埋戻土層等が最も厚いF-2断面、改良地盤に支持されるF-1断面、及びC_M級岩盤が最も厚いF-3断面の計3断面を検討断面に設定した。(設定理由の詳細は次頁参照)



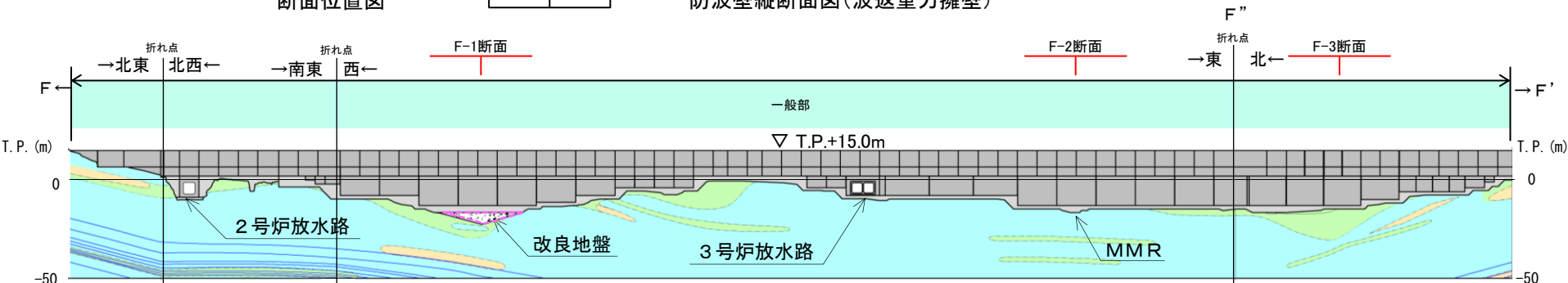
断面位置図



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

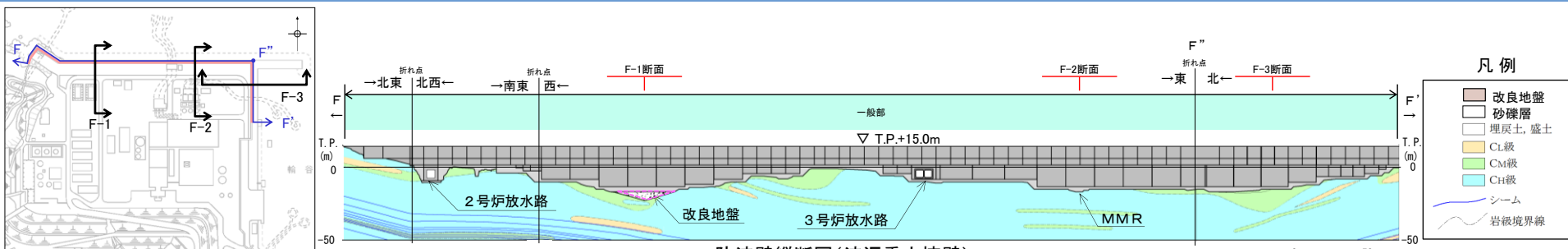


防波壁縦断面図(波返重力擁壁)

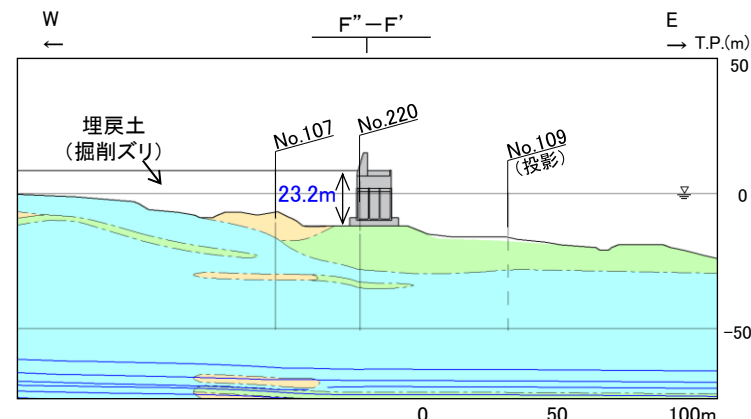
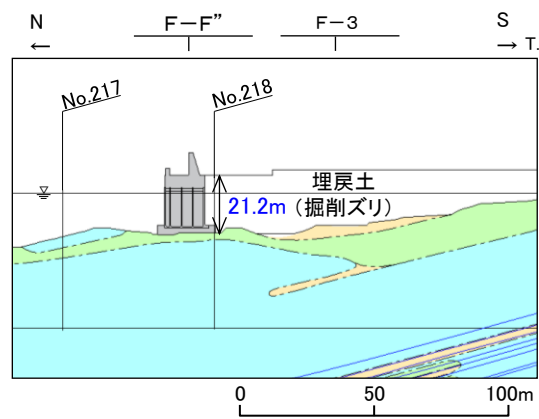
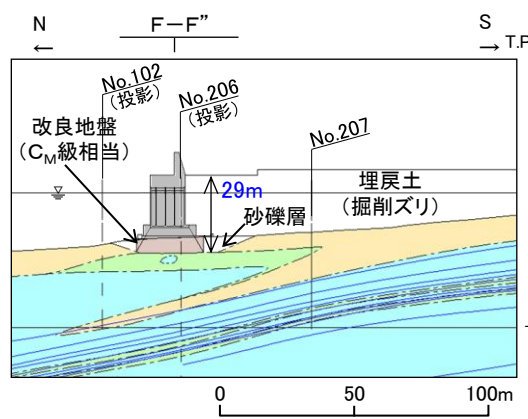
※ 図中の については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

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、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。
- ・一部、改良地盤に支持される区間があるものの、当該区間は周辺岩盤(C_M級)相当に改良されている。(P107, 108参照)
- ・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。(次頁参照)

以上のことから、防波壁(逆T擁壁)の評価に代表させる。

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※2.3 (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 (基礎地盤の改良強度が C _L 級以下相当)	なし	14 (0.85)	11.5	①, ②	17.89
	J-2断面	C _H 級 基礎地盤が特徴的 (基礎地盤の改良強度が C _L 級以下相当)	なし	15 (0.65)	18.5		13.02
	J-3断面	C _L ~C _M 級 基礎地盤が特徴的 (基礎地盤の改良強度が C _L 級以下相当)	あり	14 (0.85)	13.0		2.99
防波壁 (波返重力擁壁)	F-1断面	C _M 級	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。(P63.64参照)

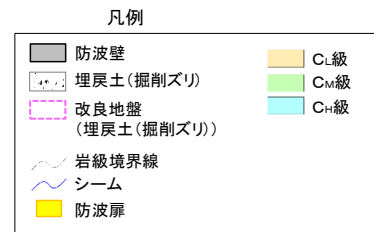
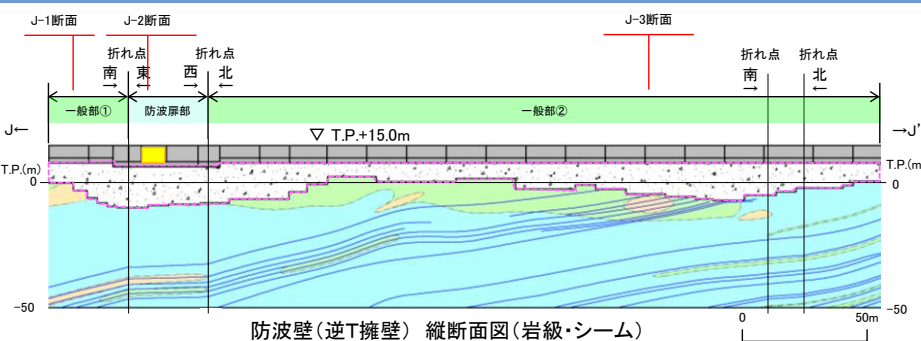
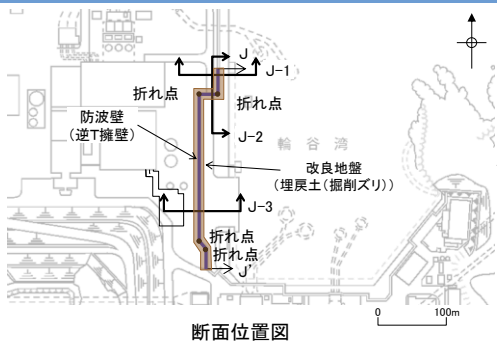
【検討方法】

・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。

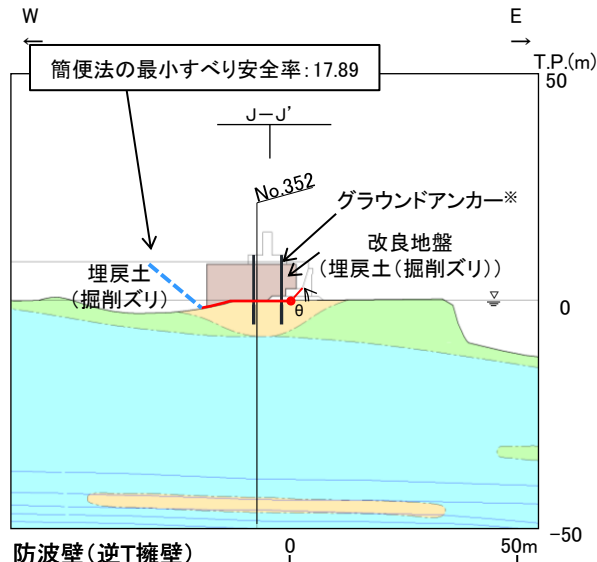
【検討結果】

・簡便法の結果、防波壁(逆T擁壁)のすべり安全率が2.99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。

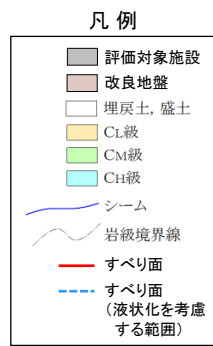
簡便法のすべり安全率 防波壁(逆T擁壁)(1/2)



※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。



防波壁(逆T擁壁) J-1断面 横断面図(岩級・シーム)



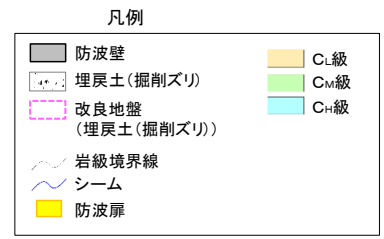
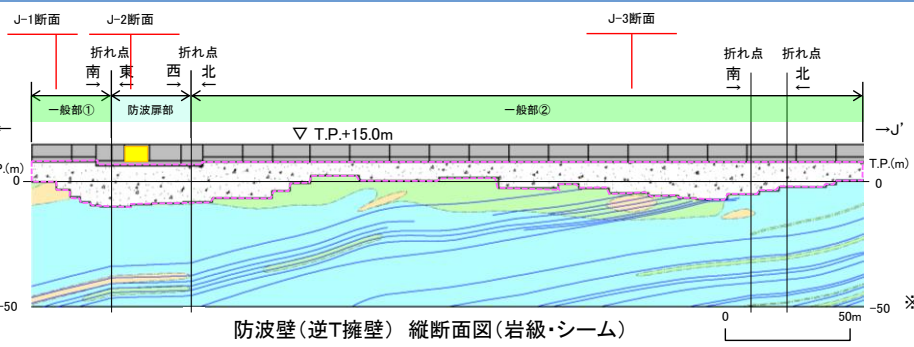
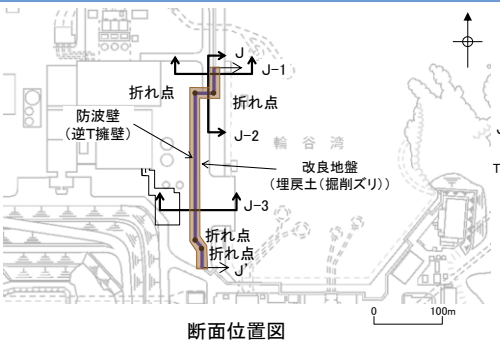
※ グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

J-1断面 簡便法の結果

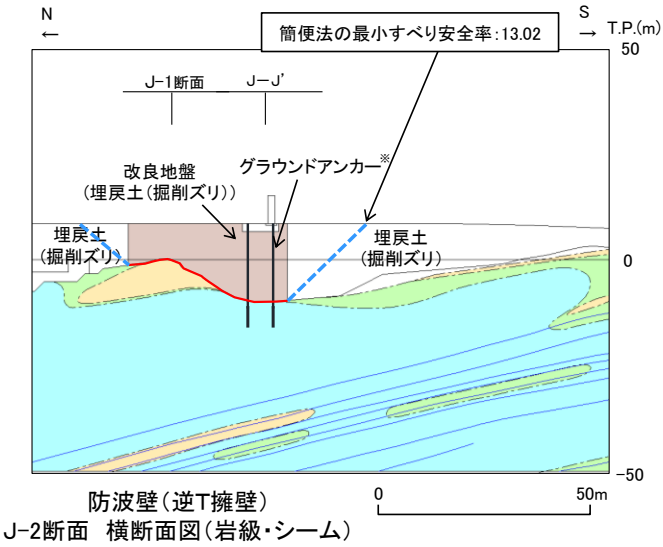
角度(°)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
すべり安全率	20.80	20.20	19.68	19.22	18.82	18.49	18.23	18.04	17.93	17.89	17.97	18.17	18.58	20.47	21.04	21.64	22.29

※最小すべり安全率を 17.89 で示す。

簡便法のすべり安全率 防波壁(逆T擁壁)(2/2)



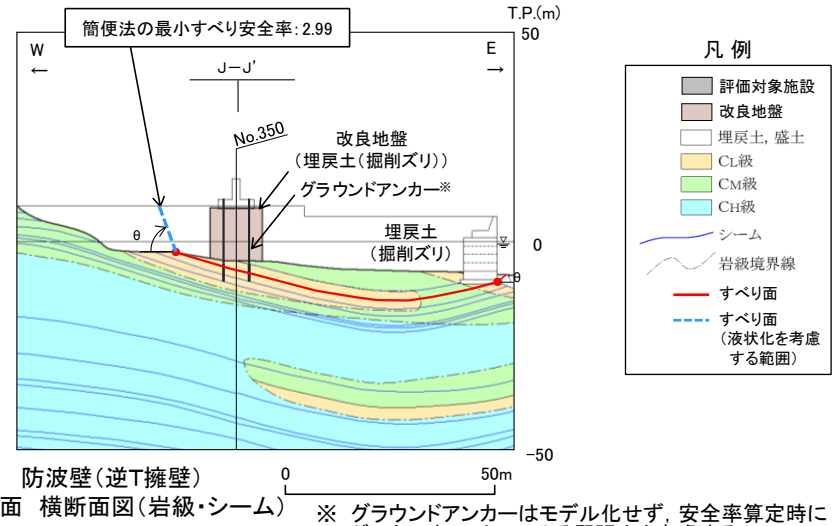
※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。



J-2断面 簡便法の結果

すべり安全率	13.02
--------	-------

※最小すべり安全率を 13.02 で示す。



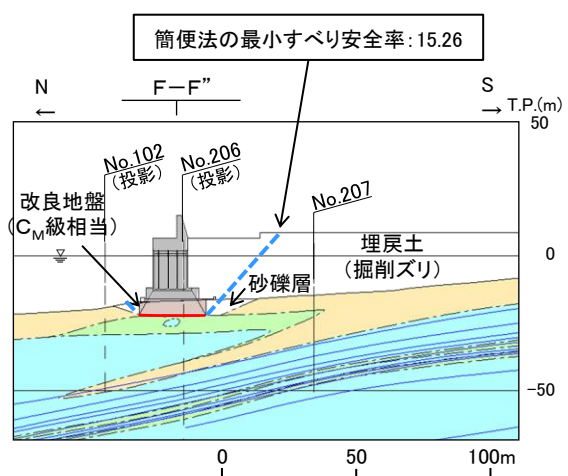
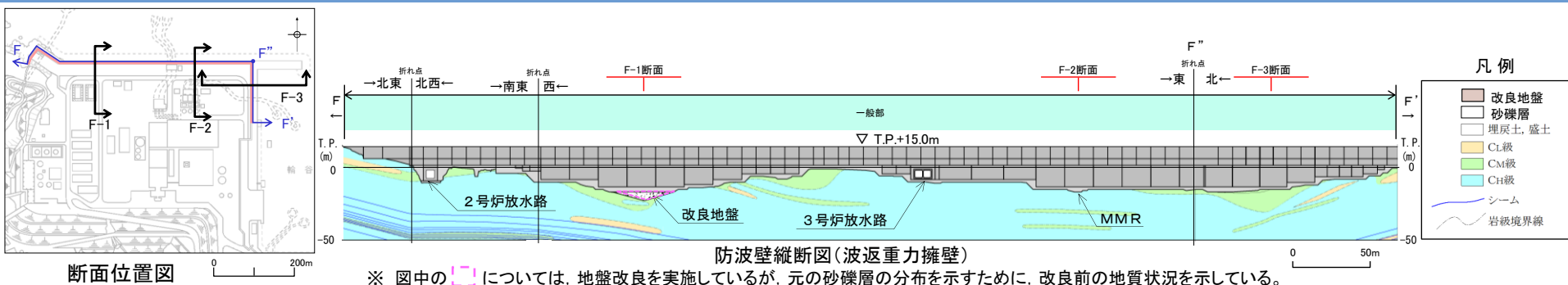
J-3断面 簡便法の結果

すべり安全率	2.99
--------	------

※最小すべり安全率を 2.99 で示す。

※ グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

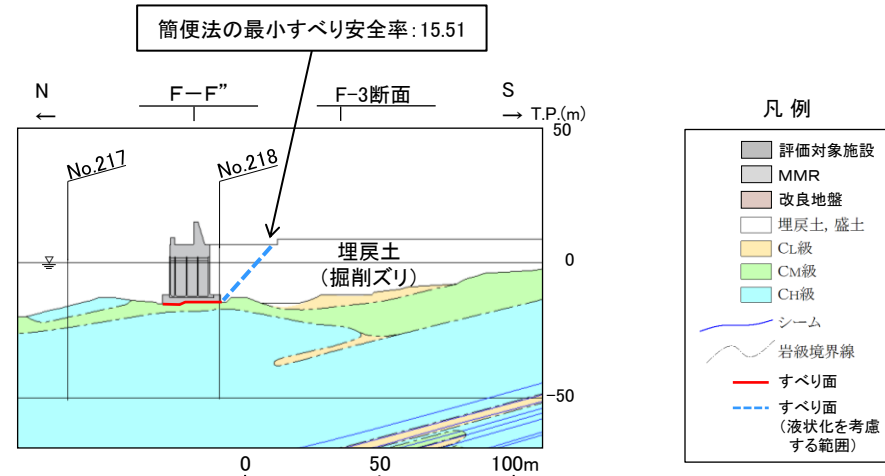
簡便法のすべり安全率 防波壁(波返重力擁壁)(1/2)



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。

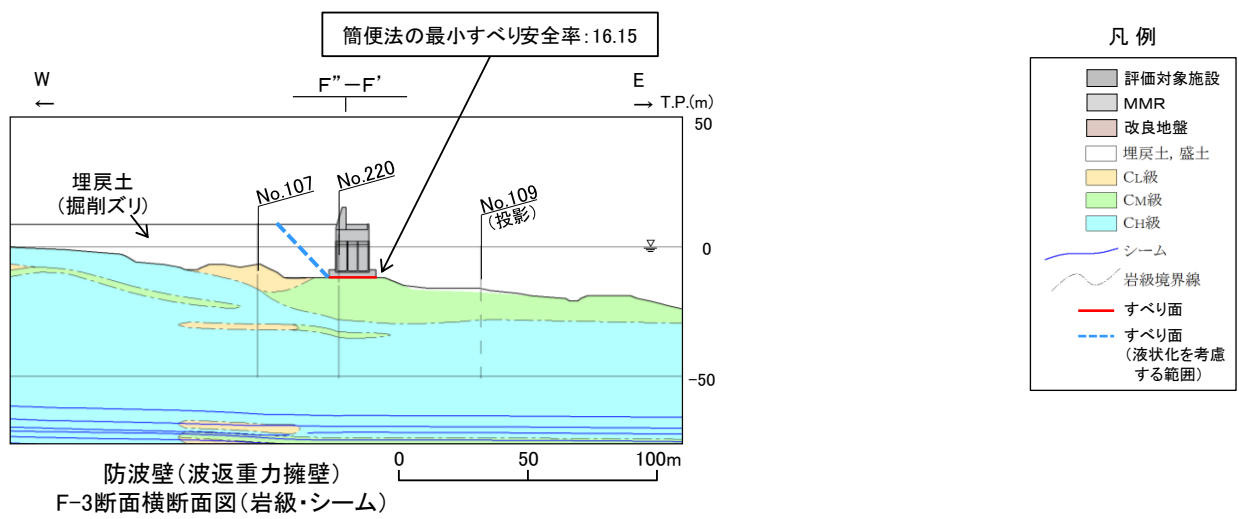
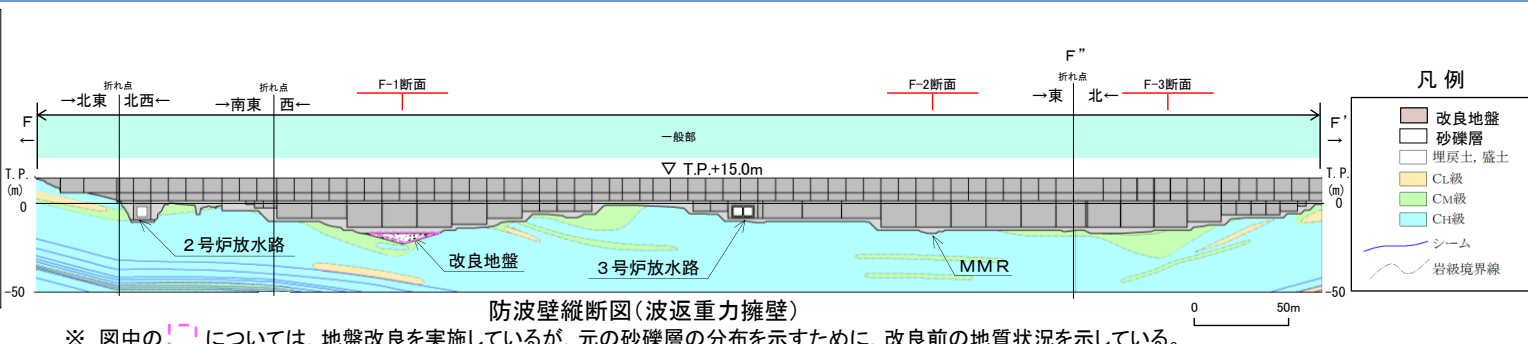
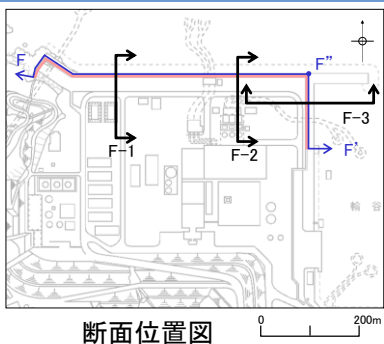


F-2断面 簡便法の結果

すべり安全率	15.51
--------	-------

※最小すべり安全率を 15.51 で示す。

簡便法のすべり安全率 防波壁(波返重力擁壁)(2/2)



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 〇 で示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

(参考)防波壁への反映(漂流物対策工)

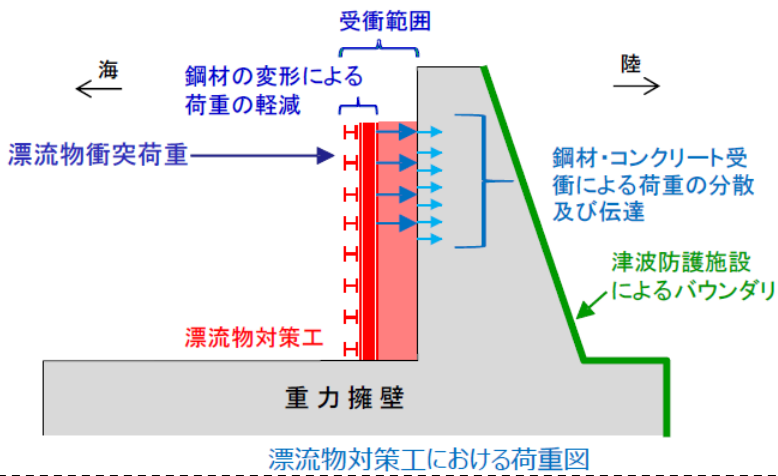
・防波壁の影響要因の比較及び簡便法において、漂流物対策工の重量を保守的に考慮する。

漂流物対策工 = 鋼材重量 + コンクリート重量 = 0.02 + 0.14 = 0.16MN/m ⇒ 0.2MN/m とする

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



漂流物対策工における荷重図

3. 基礎地盤の安定性評価 3.2 代表施設の選定

(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

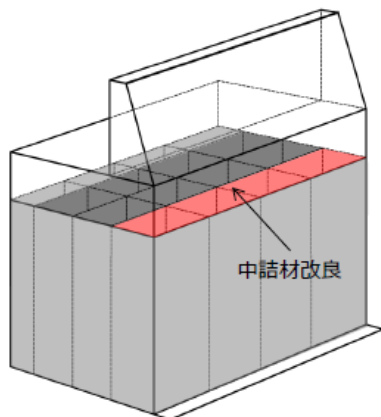
【F-3断面】中詰材の改良による重量増分 = (コンクリート単位体積重量※1 - 砂の単位体積重量) × 体積※2 / 防波壁延長
= (24.0 - 20.0)kN/m³ × 3,025.28m³ / 19m ≒ 0.64MN/m ⇒ 0.7MN/m とする

※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

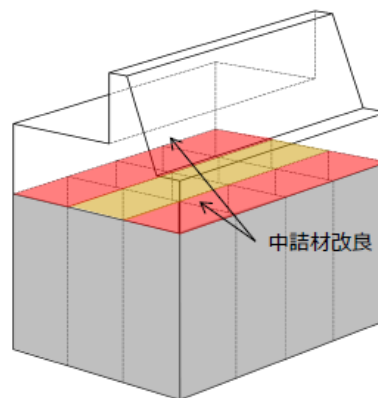
資料「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」より抜粋

【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。



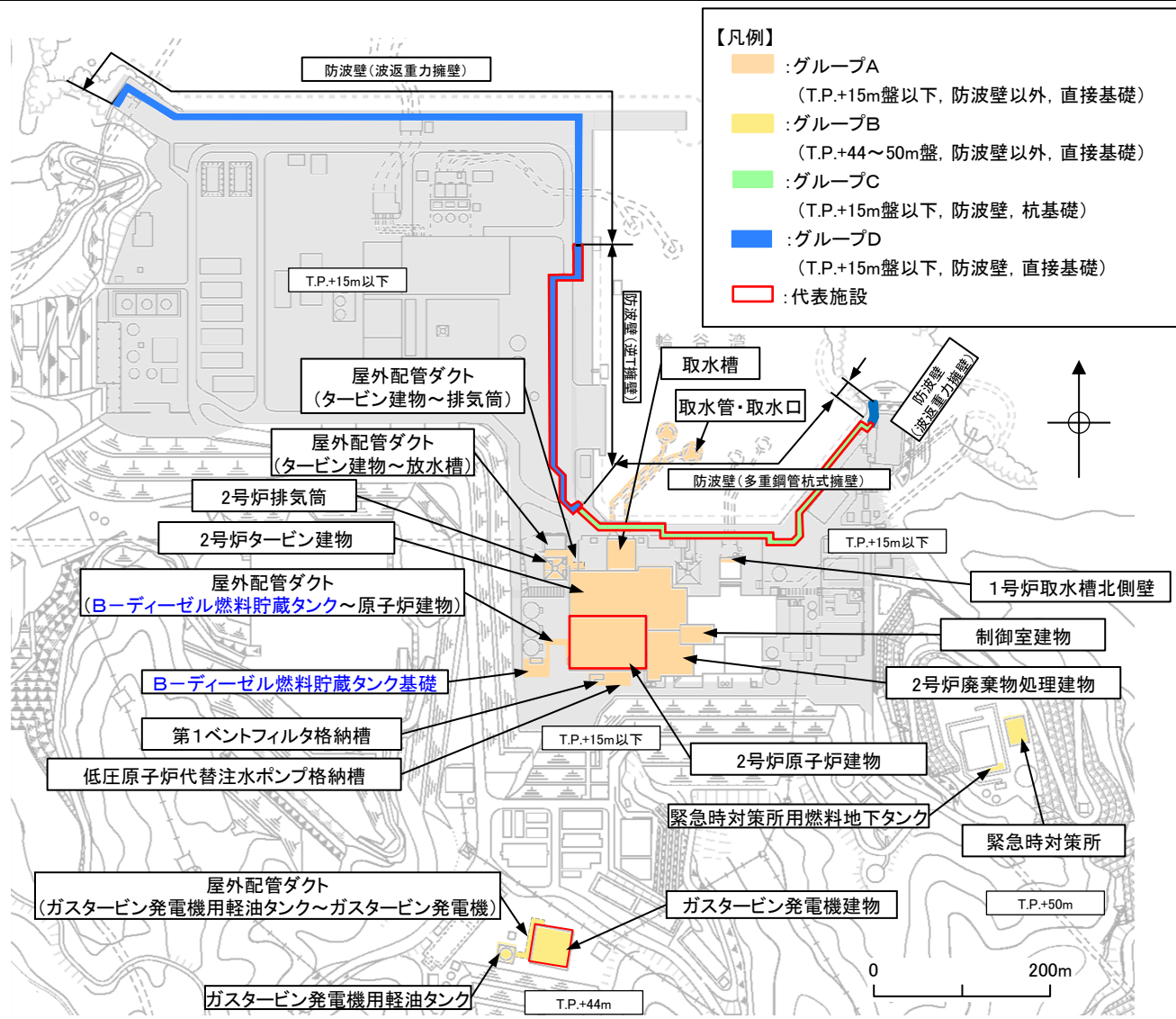
ケーソン(改良地盤部)耐震補強対策工(例)



ケーソン(輪谷部)耐震補強対策工(例)

選定結果

・各グループから選定した代表施設を以下に示す。



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ペ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(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)
B-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)

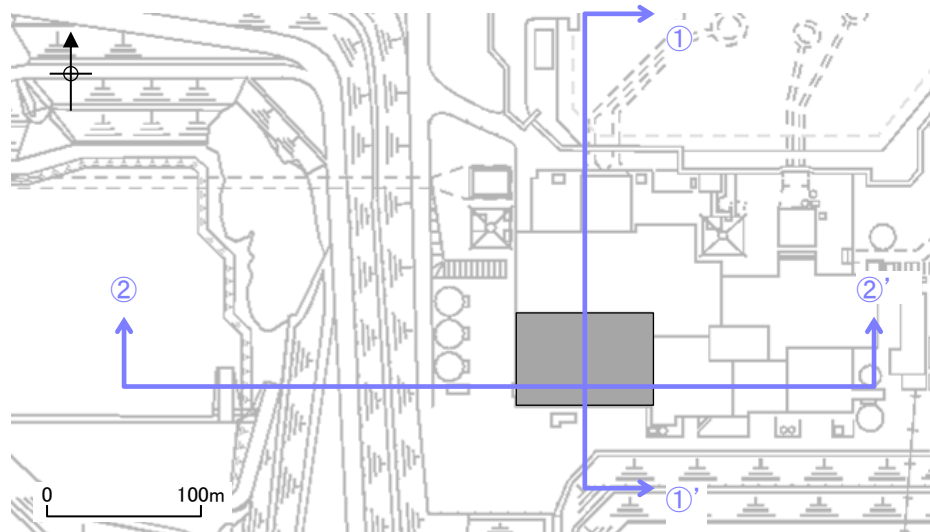
代表施設の選定結果

3. 基礎地盤の安定性評価

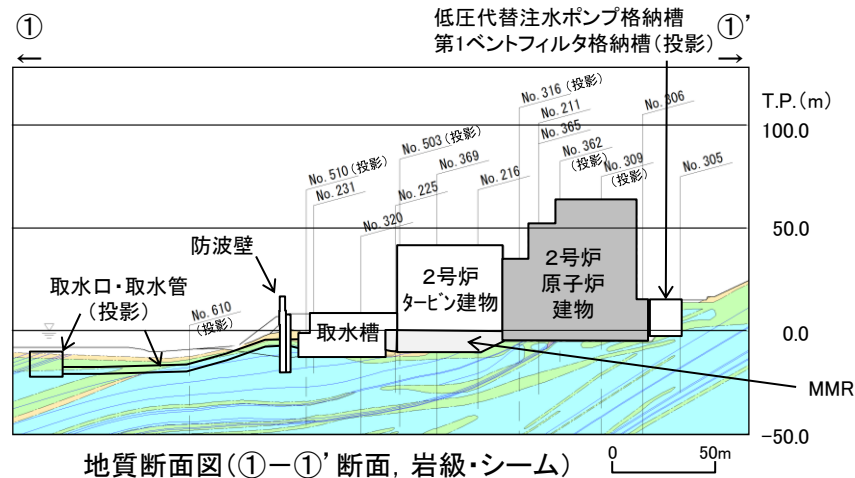
3. 3 評価対象断面の選定

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

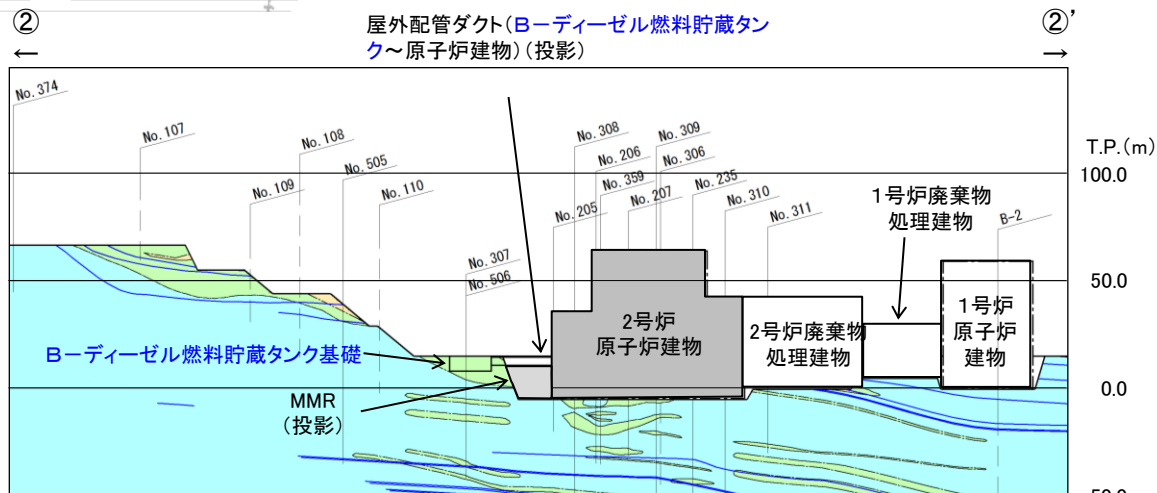
評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物) (1/2)



断面位置図



地質断面図(①-①'断面, 岩級・シーム)



地質断面図(②-②'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

- ・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。

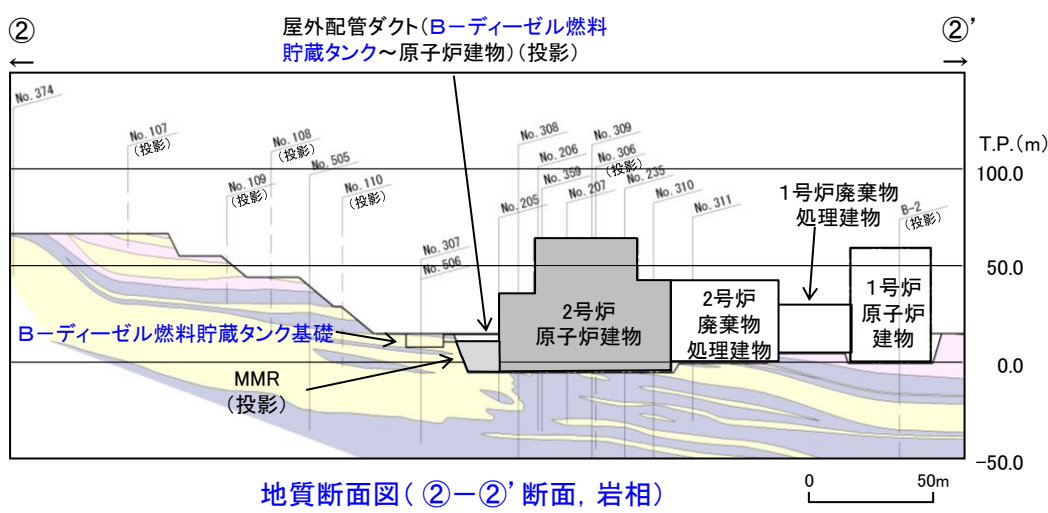
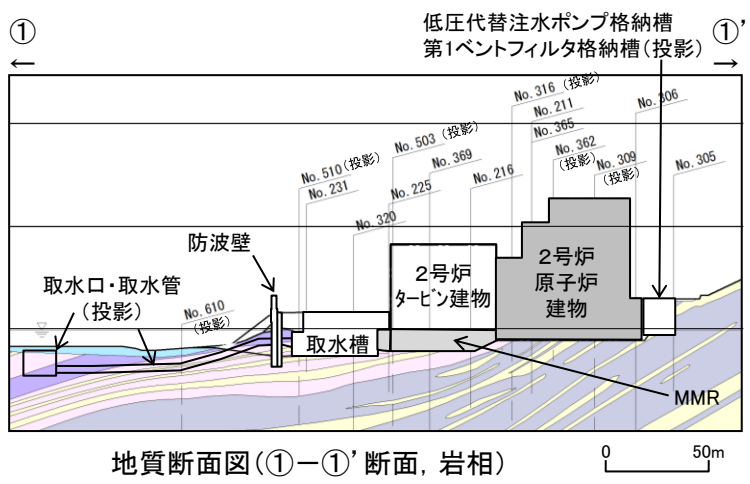
評価対象断面の選定(2号炉原子炉建物)(2/2)

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) (単位奥行き当たりの施設重量※1 (MN/m))		
①-①'	C _M ~C _H 級	あり	3,278 (36.66)	5,772	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	

凡例

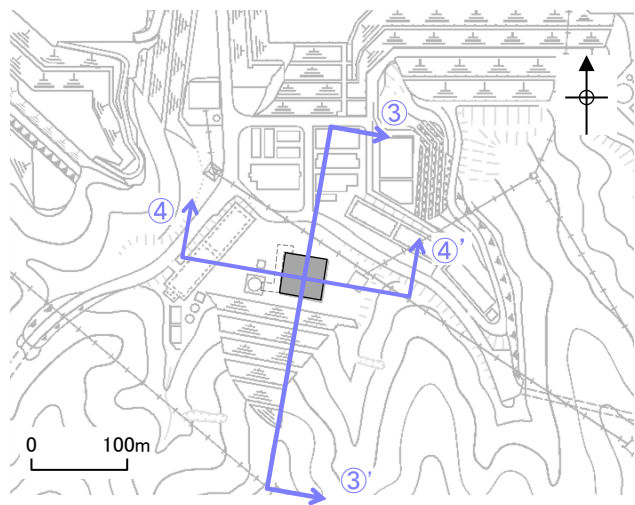
- 代表施設
- MMR
- 埋戻土、盛土
- 海底堆積物
- 崖錐堆積物
- 安山岩
- ドレライト
- 凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
- 頁岩・凝灰岩の互層
- 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
- 岩相境界線

※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3章を参照。

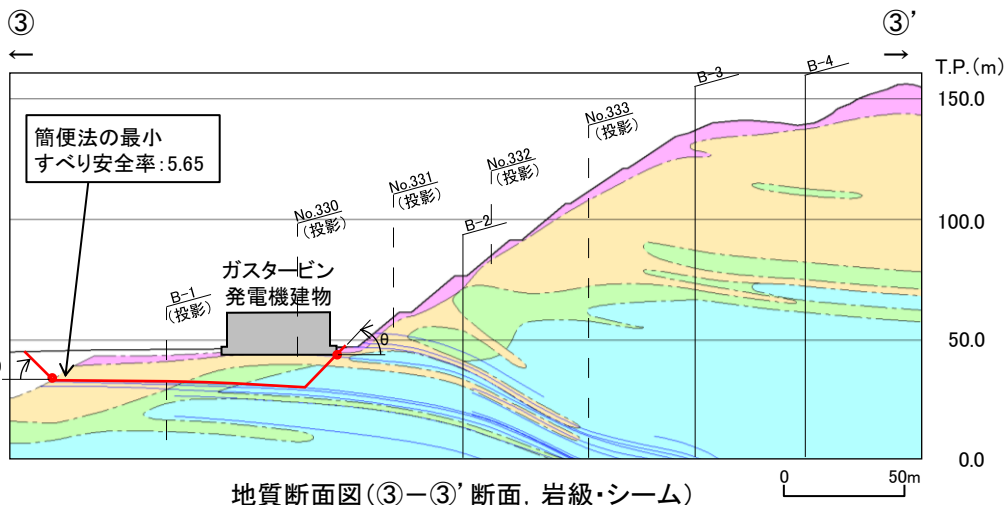


評価対象断面の選定(ガスタービン発電機建物) (1/2)

- ・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)

③-③'断面 簡便法の結果

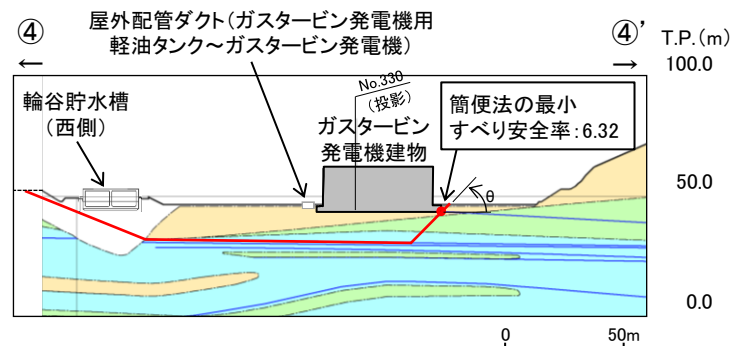
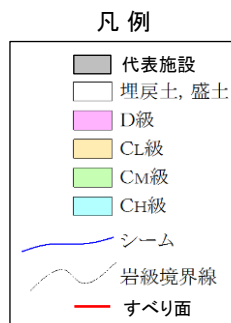
角度(°)	左	15	20	25	30	35	40	45
	右	45	45	45	45	45	45	45
すべり安全率	6.12	6.00	5.91	5.84	5.77	5.71	5.65	5.65

※最小すべり安全率を○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

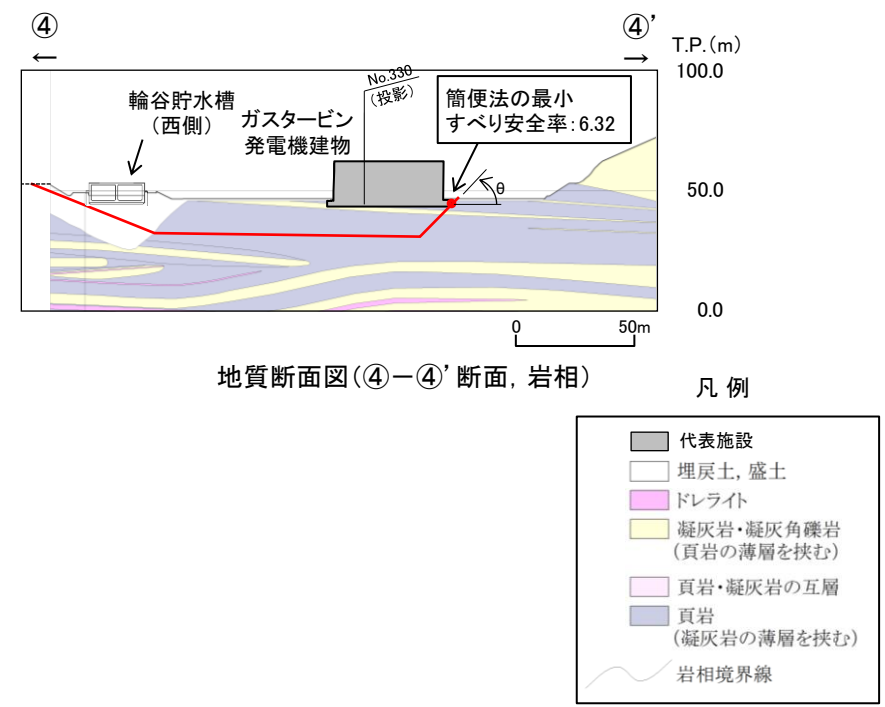
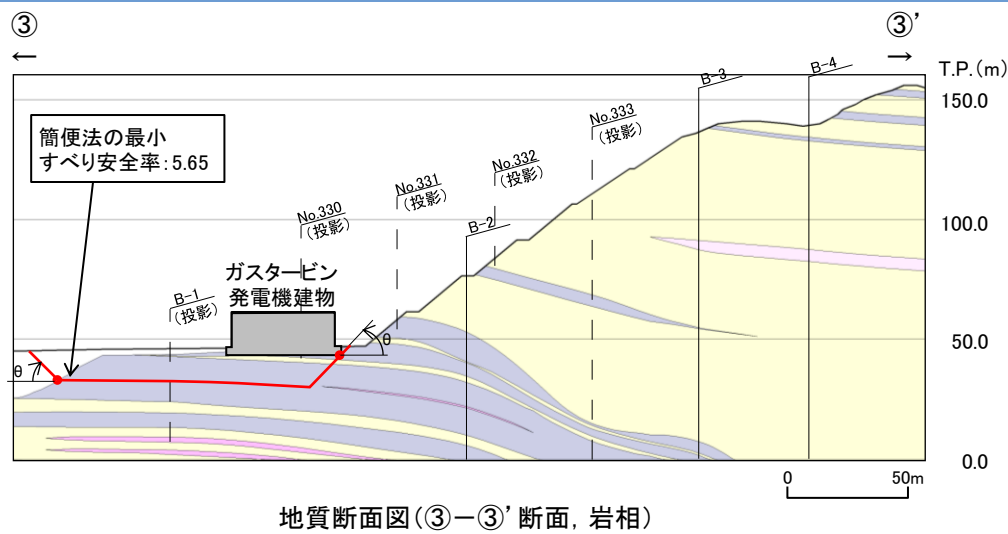
角度(°)	10	15	20	25	30	35	40	45
すべり安全率	11.75	10.62	9.28	8.34	7.66	7.12	6.71	6.32

※最小すべり安全率を○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)

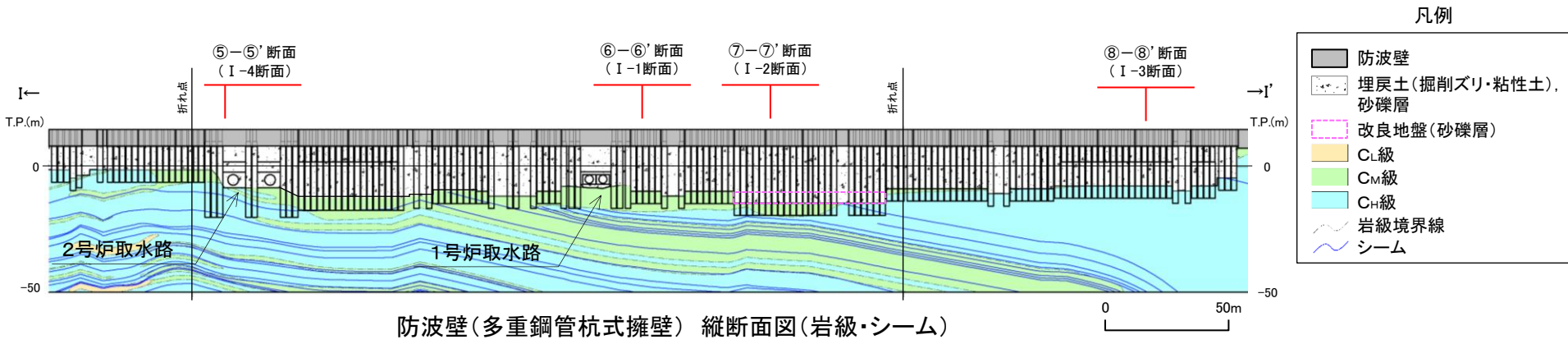


検討断面	影響要因			該当する影響要因	簡便法のすべり安全率	選定理由
	① 基礎地盤の岩級、地形等	② 施設直下のシームの分布	③ 施設総重量(MN) (単位奥行当たりの施設重量*1(MN/m))			
③-③'	C _L 級	あり	411 (8.96)	①, ②, ③	5.65	・施設直下にシームが分布していること、シームの最急勾配方向であること、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、表層にD級岩盤が分布すること、及び簡便法のすべり安全率が小さいことから、評価対象断面に選定する。
④-④'	C _L 級	あり	411 (8.57)	①, ②	6.32	・③-③'断面に比べ、単位奥行当たり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

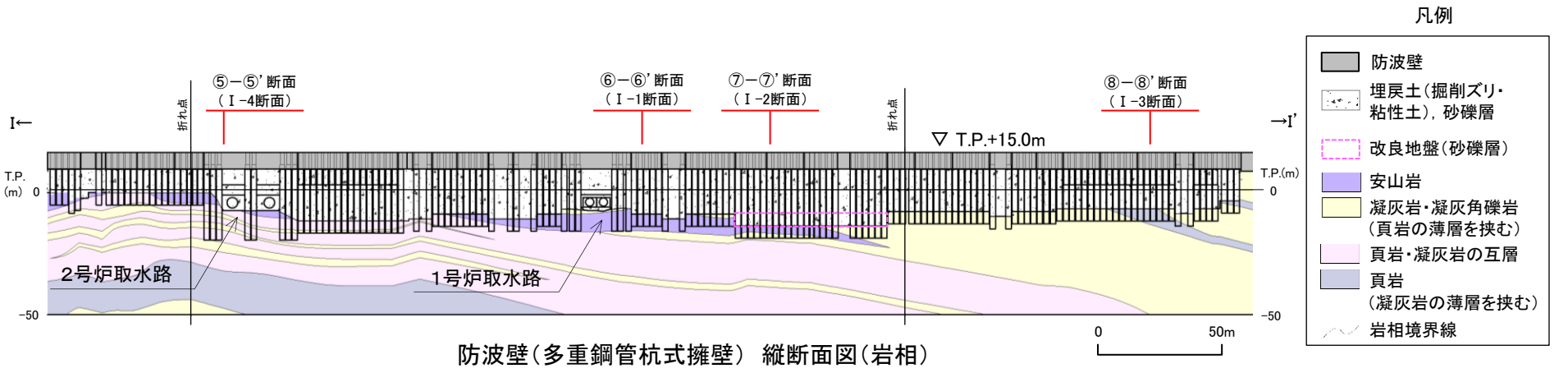
*1 施設総重量を施設の断面直交方向の延長で除した値を記載。

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。



- 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



- 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)
 - 安山岩
 - 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

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)

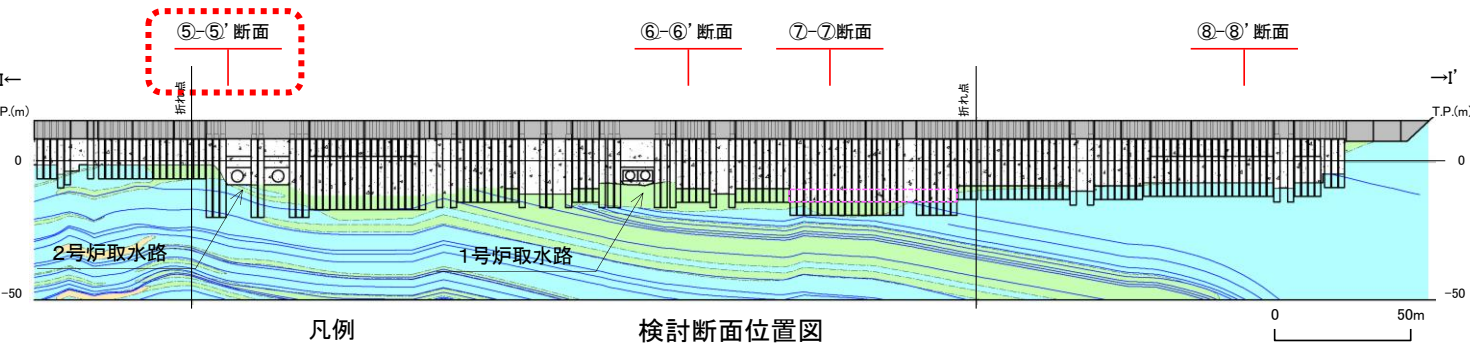
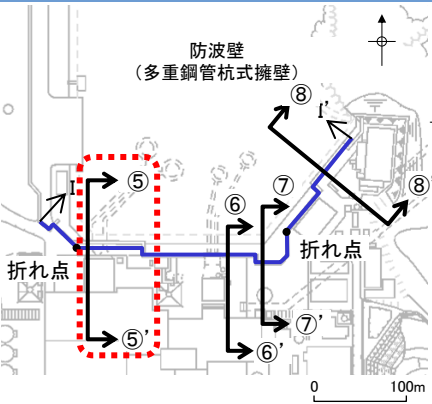
検討断面	影響要因						該当する 影響要因	簡便法 における 最小すべり 安全率	選定理由
	① 基礎地盤 の岩級、 地形等	② 施設 直下の シームの 分布	③ 施設総重量※1,3 (MN) (単位奥行当たりの 施設重量※2,3 (MN/m))	④ 底面幅 (m)	⑤ 埋戻土層 等の厚さ (m)	⑥ 根入れ長 (m)			
⑤-⑤'断面	C _H 級 基礎地盤 が特徴的	あり	78 (3.92)	4.7	16.7	7	①, ②, ③	9.90	・⑦-⑦'断面に比べ、基礎地盤が特徴的(施設護岸よりも前(海側)に位置している)であり、単位奥行当たりの施設重量が大きいこと、基礎地盤はC _H 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、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 漂流物対策工による重量増を保守的に考慮した。(P63参照)

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(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑤-⑤' 断面)



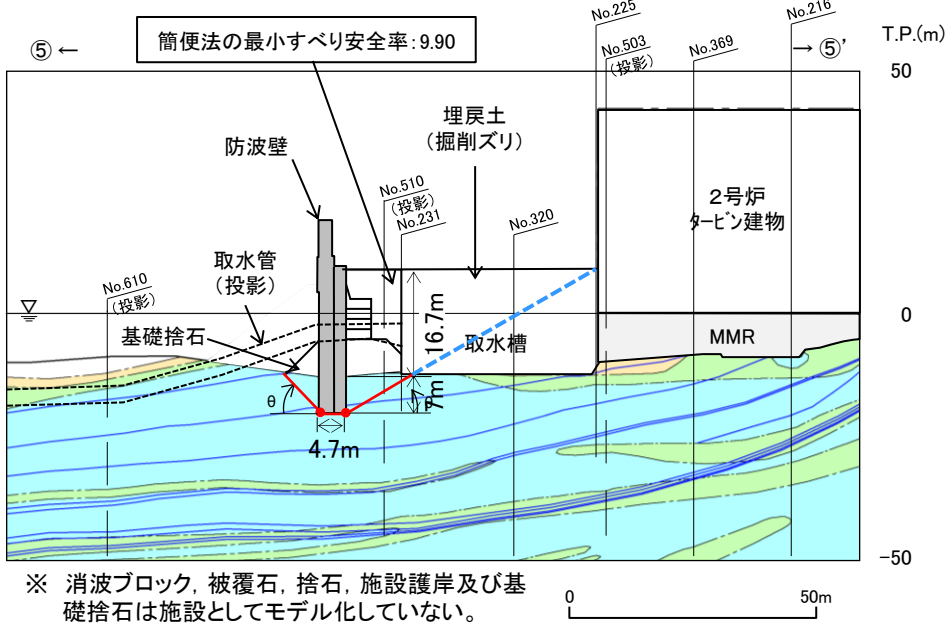
凡例

- 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
- すべり面
- すべり面 (液状化影響を考慮する範囲)

⑤-⑤' 断面 簡便法の結果

角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	45
	右	29	30	35	40	45	50	55	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○で示す。左側は5~45°の最小値となる45°を記載。



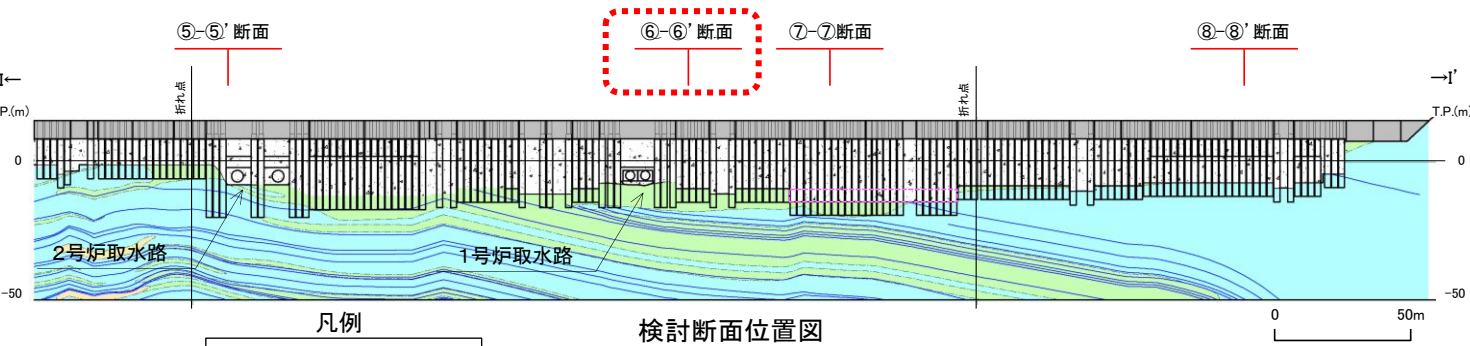
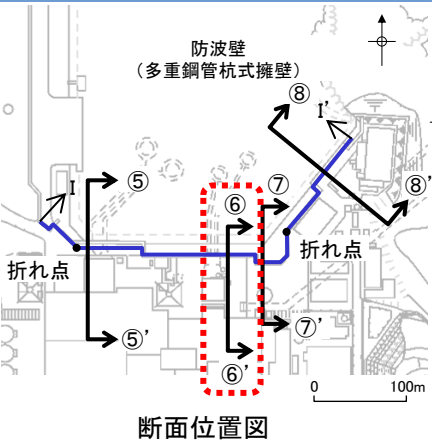
※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。

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

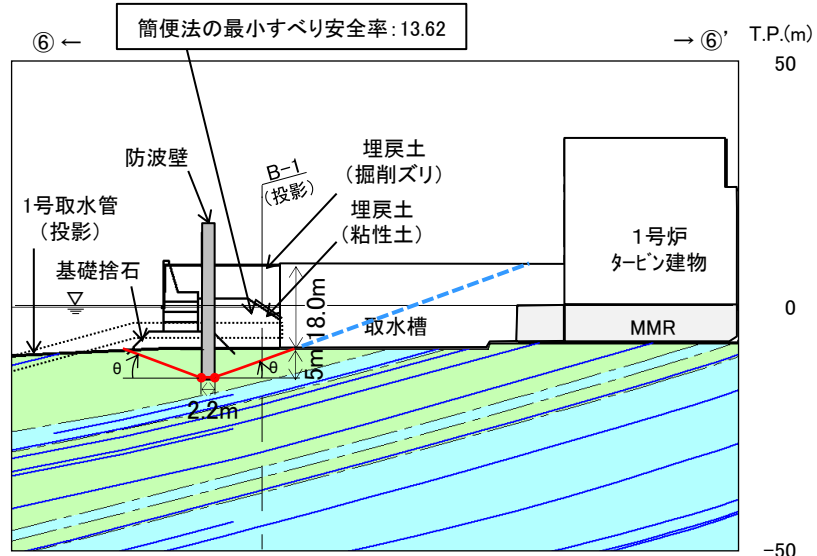
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑥-⑥'断面)



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	
すべり安全率		20.11	22.90	26.65	32.26	40.88	56.17	89.99	



※ 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。

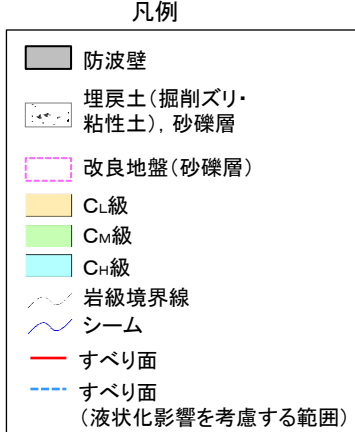
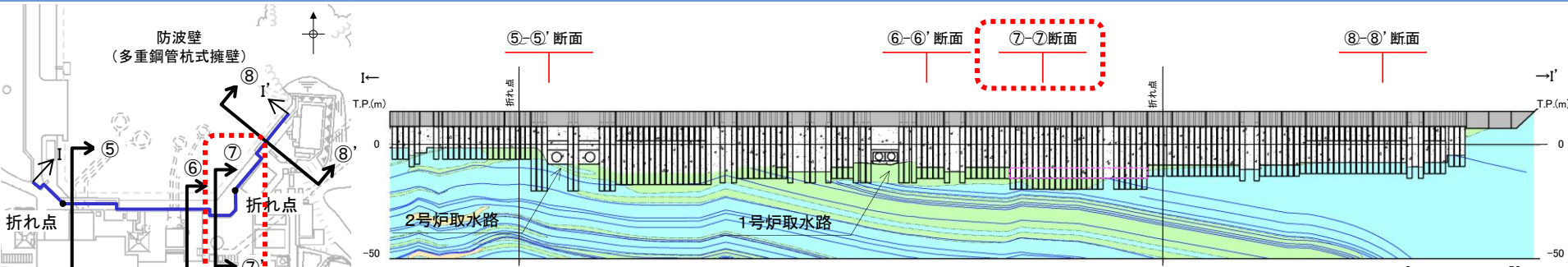
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑥-⑥'断面横断面図(岩級・シーム)

※最小すべり安全率を○で示す。左側は5~45°の最小値となる20°を記載。

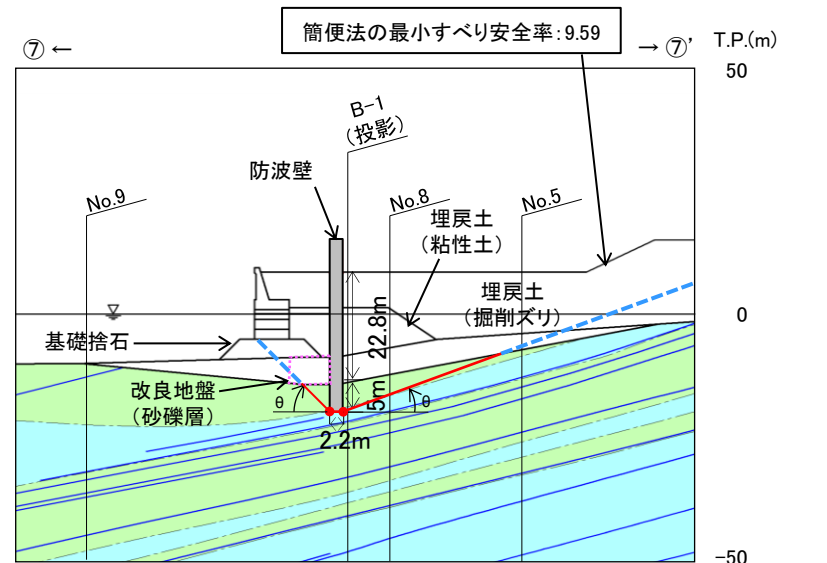
・⑥-⑥'断面は、⑦-⑦'断面に比べ、単位奥行当たりの施設重量が小さいこと、埋戻土層等が18.0mと薄いこと、及び最小すべり安全率が13.62と大きいことから、⑦-⑦'断面の評価に代表させる。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦'断面)



凡例 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) ⑦-⑦'断面横断面図(岩級・シーム)

⑦-⑦'断面 簡便法の結果

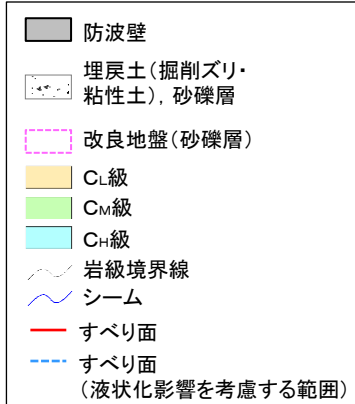
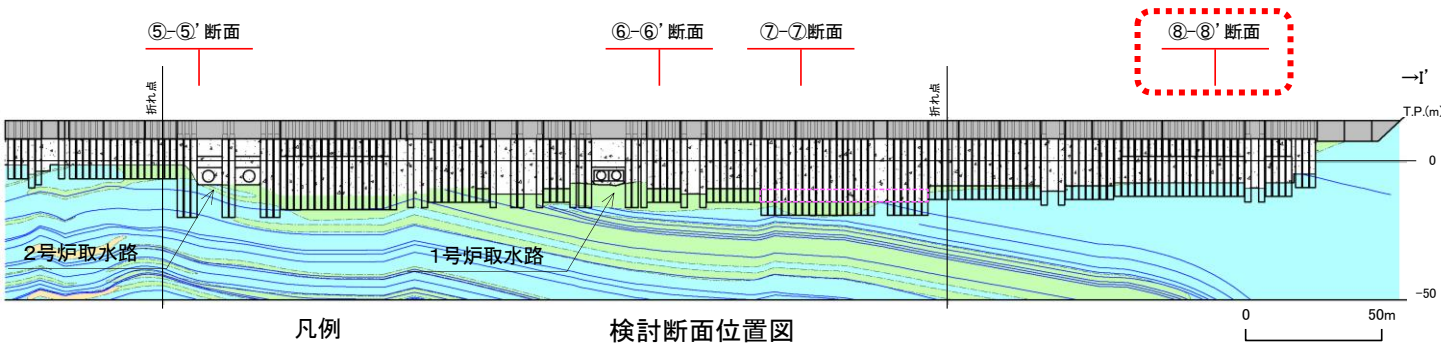
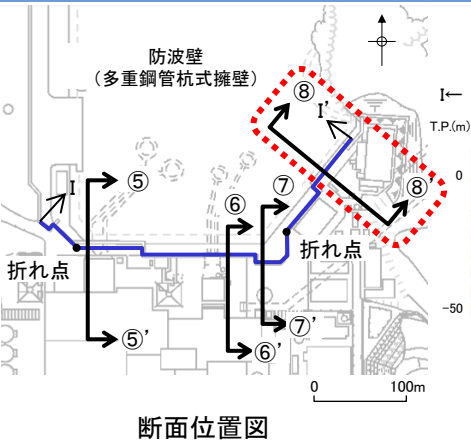
角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	45
	右	15	20	25	30	35	40	45	50
すべり安全率		10.95	9.59	9.79	10.31	11.14	12.35	14.11	16.76
角度(°)	左	45	45	45	45	45	45	45	45
	右	55	60	65	70	75	80	85	
すべり安全率		20.60	27.08	40.30	79.24	2425.46	-	-	

※最小すべり安全率を○で示す。左側は5~45°の最小値となる45°を記載。

・ 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9.59と小さいことから、評価対象断面に選定する。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.3 評価対象断面の選定

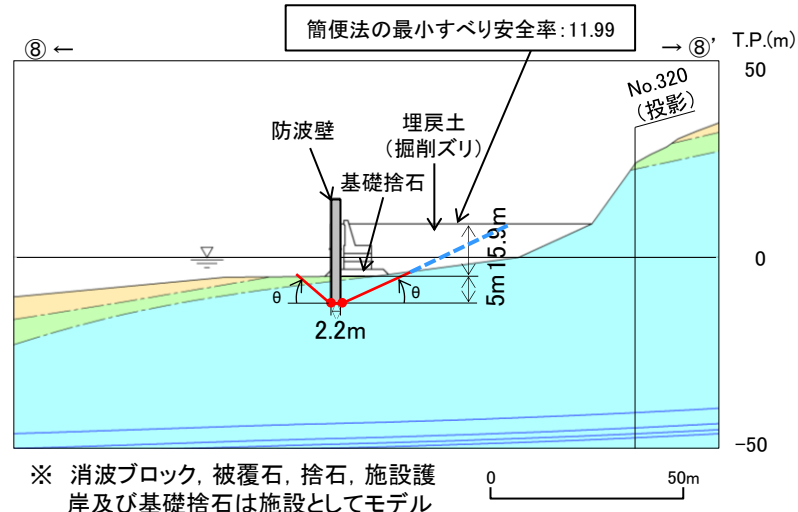
評価対象断面の選定(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑧-⑧'断面)



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 **○** で示す。左側は5~45°の最小値となる40°を記載。

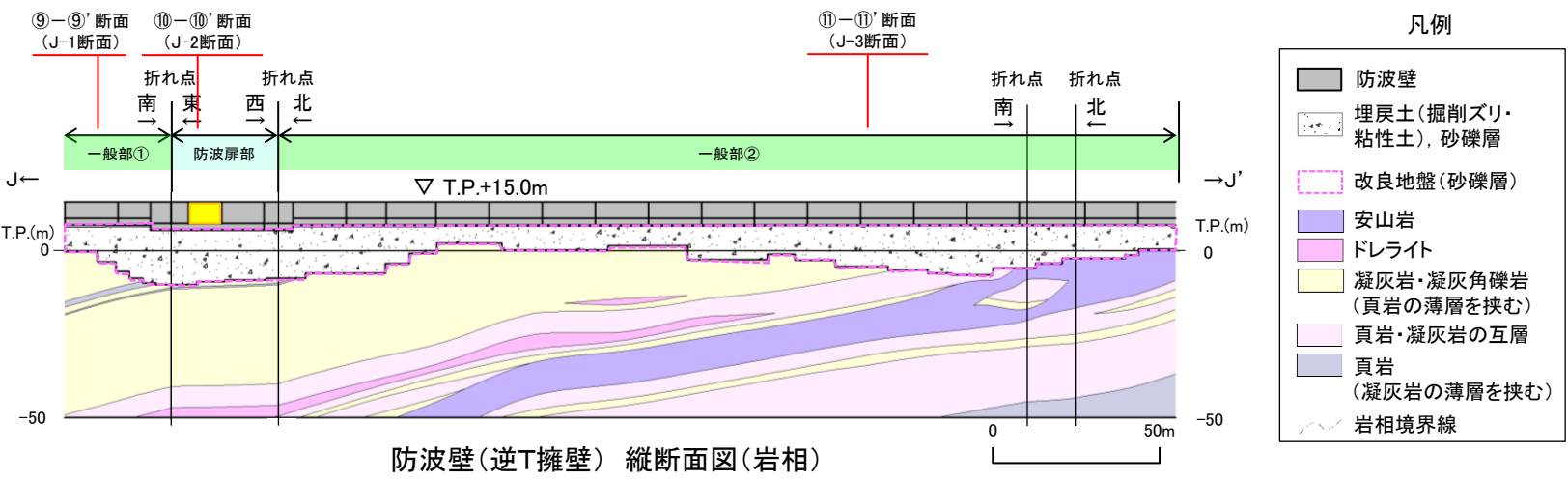
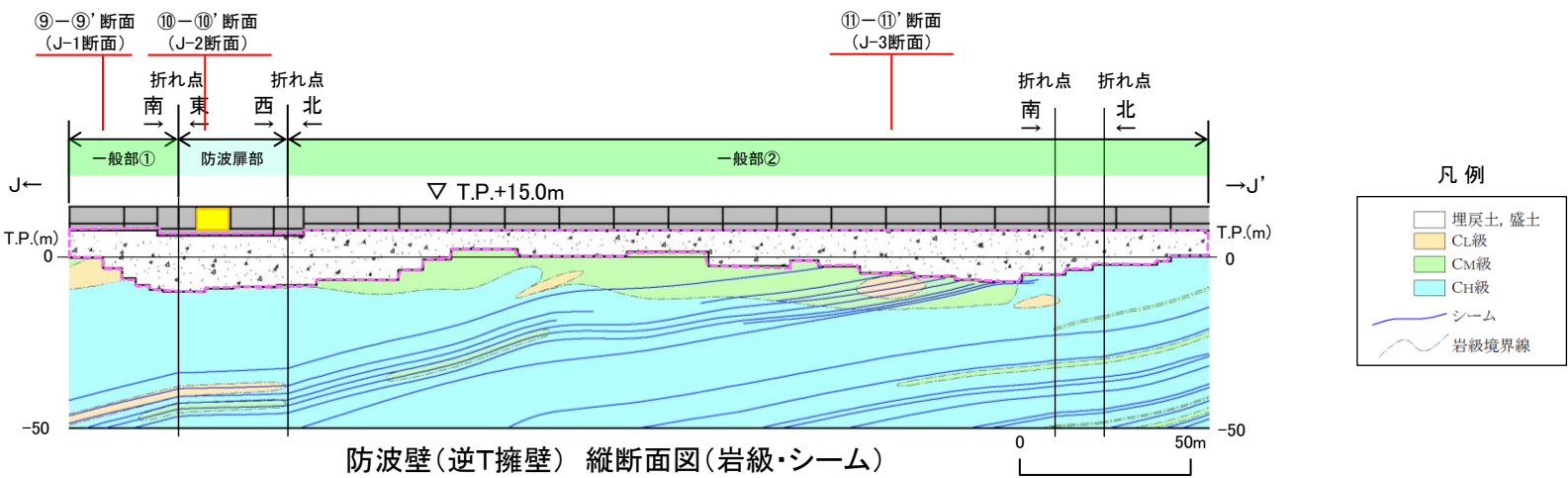


※ 消波ブロック, 被覆石, 捨石, 施設護岸及び基礎捨石は施設としてモデル化していない。
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑧-⑧'断面横断面図(岩級・シーム)

・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。



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(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、⑩-⑩'断面を評価対象断面に選定した。(詳細は次頁以降参照)

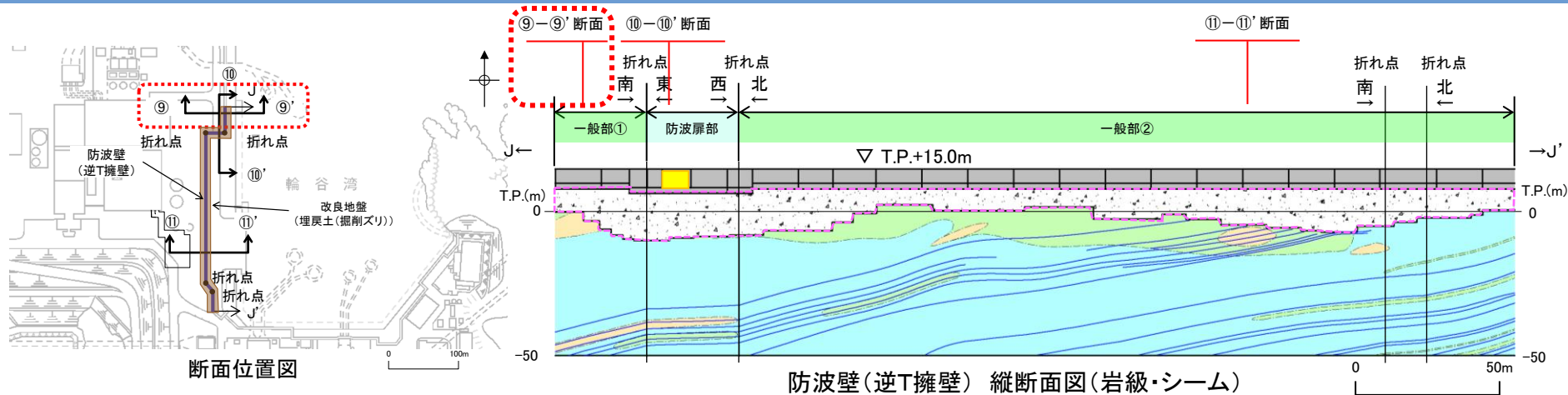
検討断面	影響要因				該当する 影響要因	簡便法 における 最小すべり 安全率	選定理由
	① 基礎地盤 の岩級, 地 形等	② 施設 直下の シームの 分布	③ 施設総重量※ ^{1,3} (MN) (単位奥行当たりの 施設重量※ ^{2,3} (MN/m))	⑤ 埋戻土層 等の厚さ (m)			
⑨-⑨'断面	C _L 級 基礎地盤が 特徴的 (基礎地盤の 改良強度がC _L 級以下相当)	なし	14 (0.85)	11.5	①, ③	17.89	・⑩-⑩'断面に比べ、改良地盤直下にシームが分布しないこと、埋戻土層等が薄いこと、及び最小すべり安全率が大きいことから、⑩-⑩'断面の評価に代表させる。
⑩-⑩'断面	C _H 級 基礎地盤が 特徴的 (基礎地盤の 改良強度がC _L 級以下相当)	なし	15 (0.65)	18.5	①, ③, ⑤	13.02	・⑩-⑩'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、⑩-⑩'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 (基礎地盤の 改良強度がC _L 級以下相当)	あり	14 (0.85)	13.0	①, ②, ③	2.99	・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

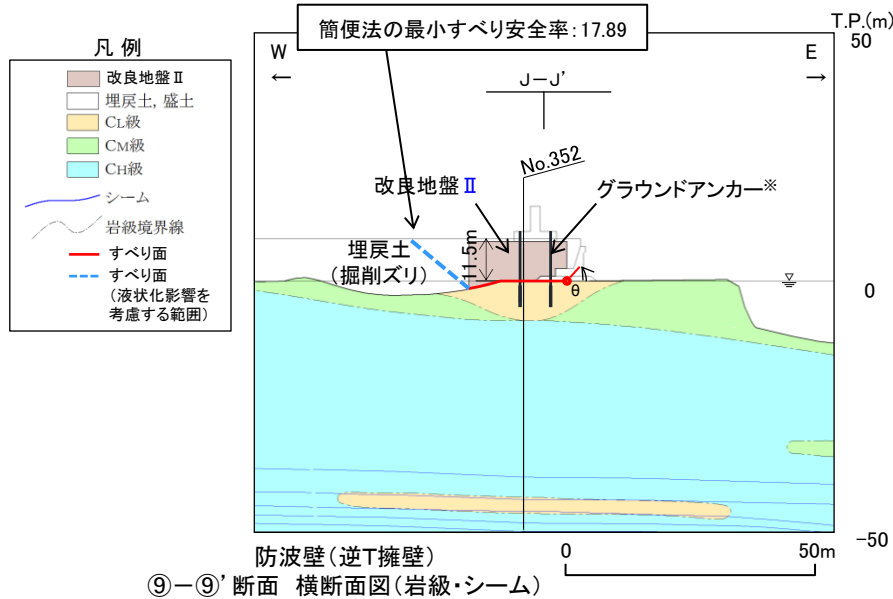
※1 1ブロック当たりの値(延長16.0m~23.8m/ブロック)を示す。
 ※2 1ブロック当たりの施設重量を縦断方向の延長(16.0m~23.8m)で除した値を記載。
 ※3 漂流物対策工による重量増を保守的に考慮した。(P63参照)

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(防波壁(逆T擁壁) ⑨-⑨'断面)



防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)



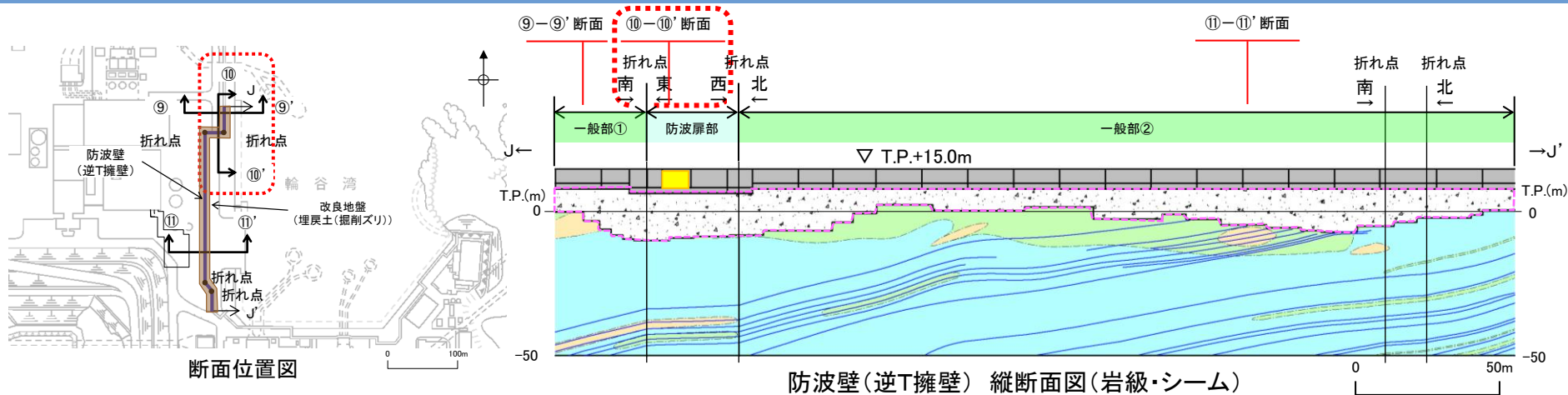
防波壁(逆T擁壁) ⑨-⑨'断面 横断面図(岩級・シーム)

※ グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

・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17.89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

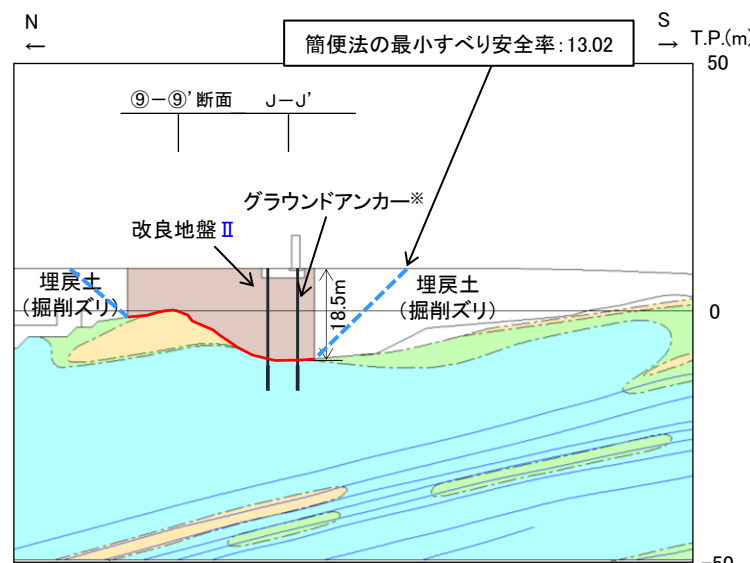
評価対象断面の選定(防波壁(逆T擁壁) ⑩-⑩'断面)



断面位置図

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

- 凡例
- 改良地盤Ⅱ
 - 埋戻土、盛土
 - C_L級
 - C_M級
 - C_H級
 - シーム
 - 岩級境界線
 - すべり面
 - すべり面 (液化化影響を考慮する範囲)



防波壁(逆T擁壁) ⑩-⑩'断面 横断面図(岩級・シーム)

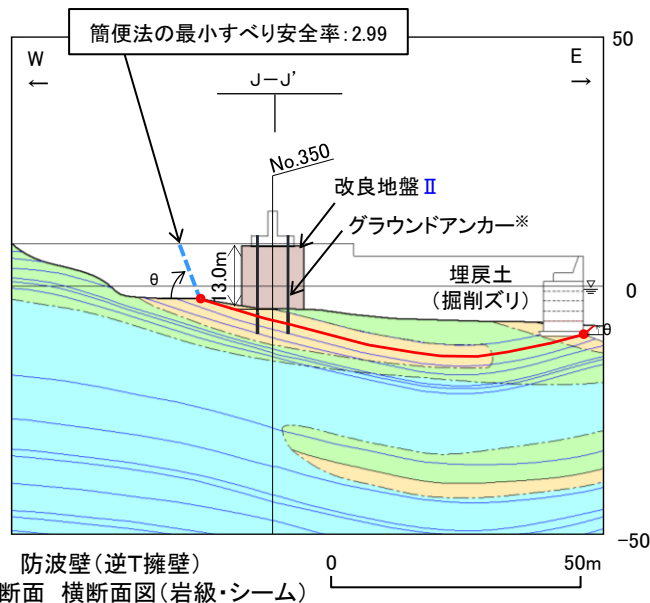
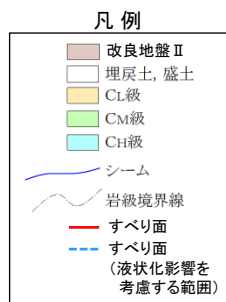
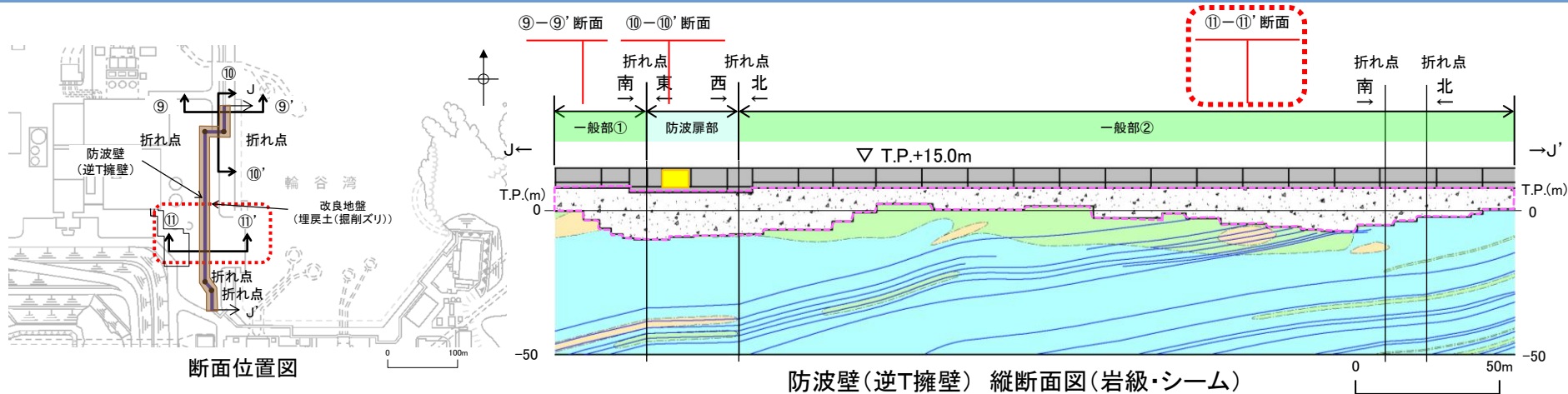
※ グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

・ 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13.02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

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(防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪'断面)

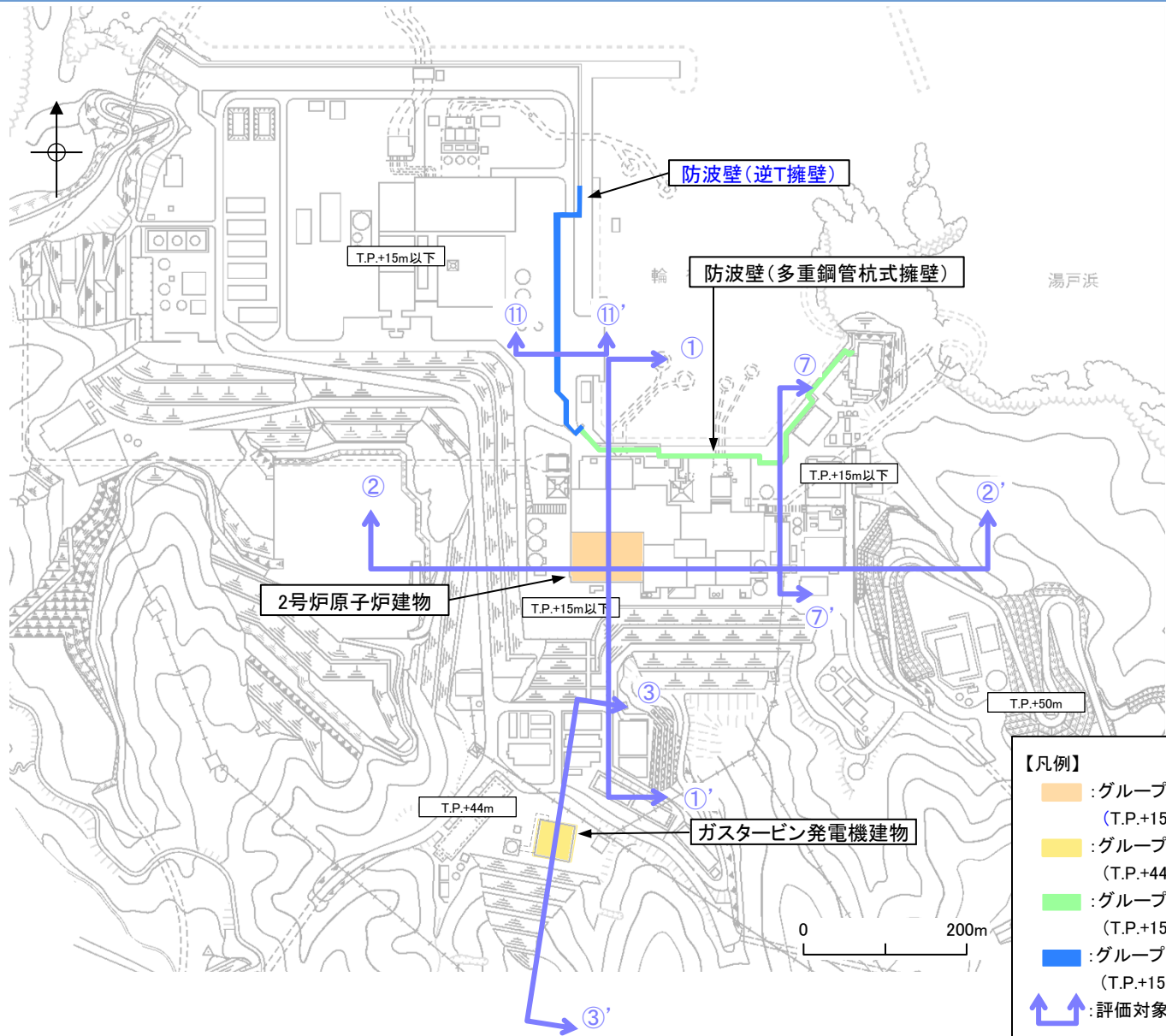


※ グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

・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2.99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

選定結果



【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)
- :評価対象断面

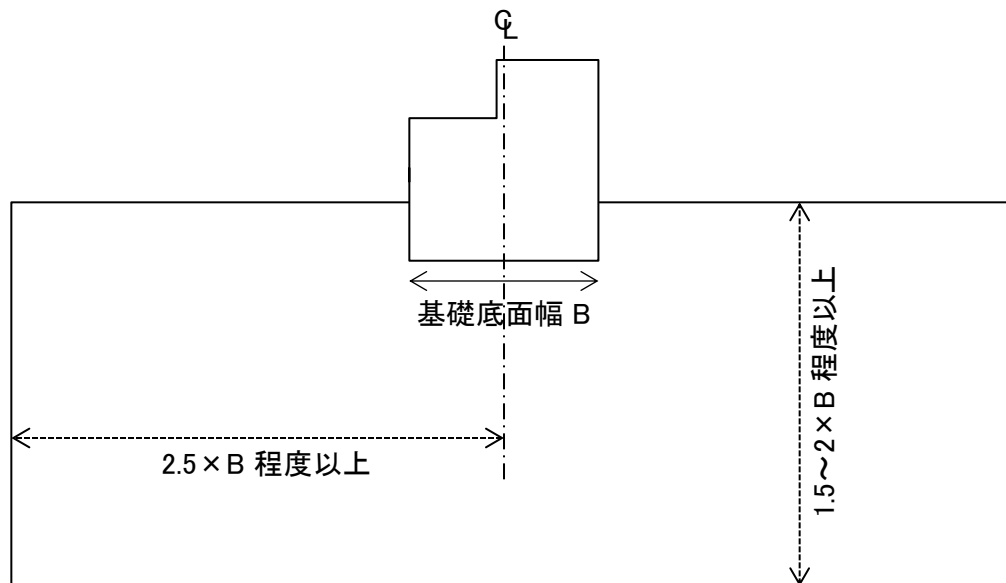
評価対象断面の選定結果

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。^{※1,2,3}

(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)

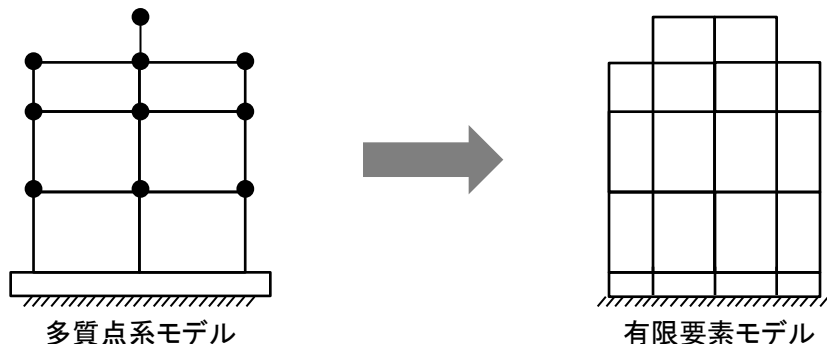
(2) 規模の大きい施設 : 1, 2号炉タービン建物, 1, 2号炉廃棄物処理建物, 1号炉原子炉建物

・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。

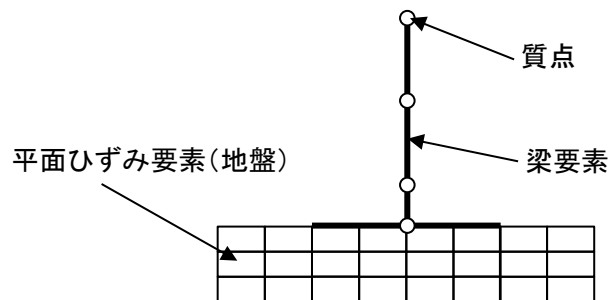
【原子炉建物, タービン建物, 廃棄物処理建物】

・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。



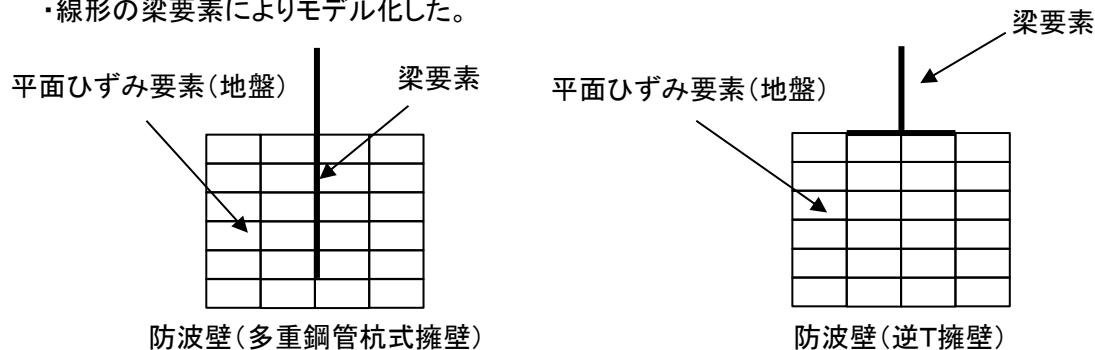
【ガスタービン発電機建物】

・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。



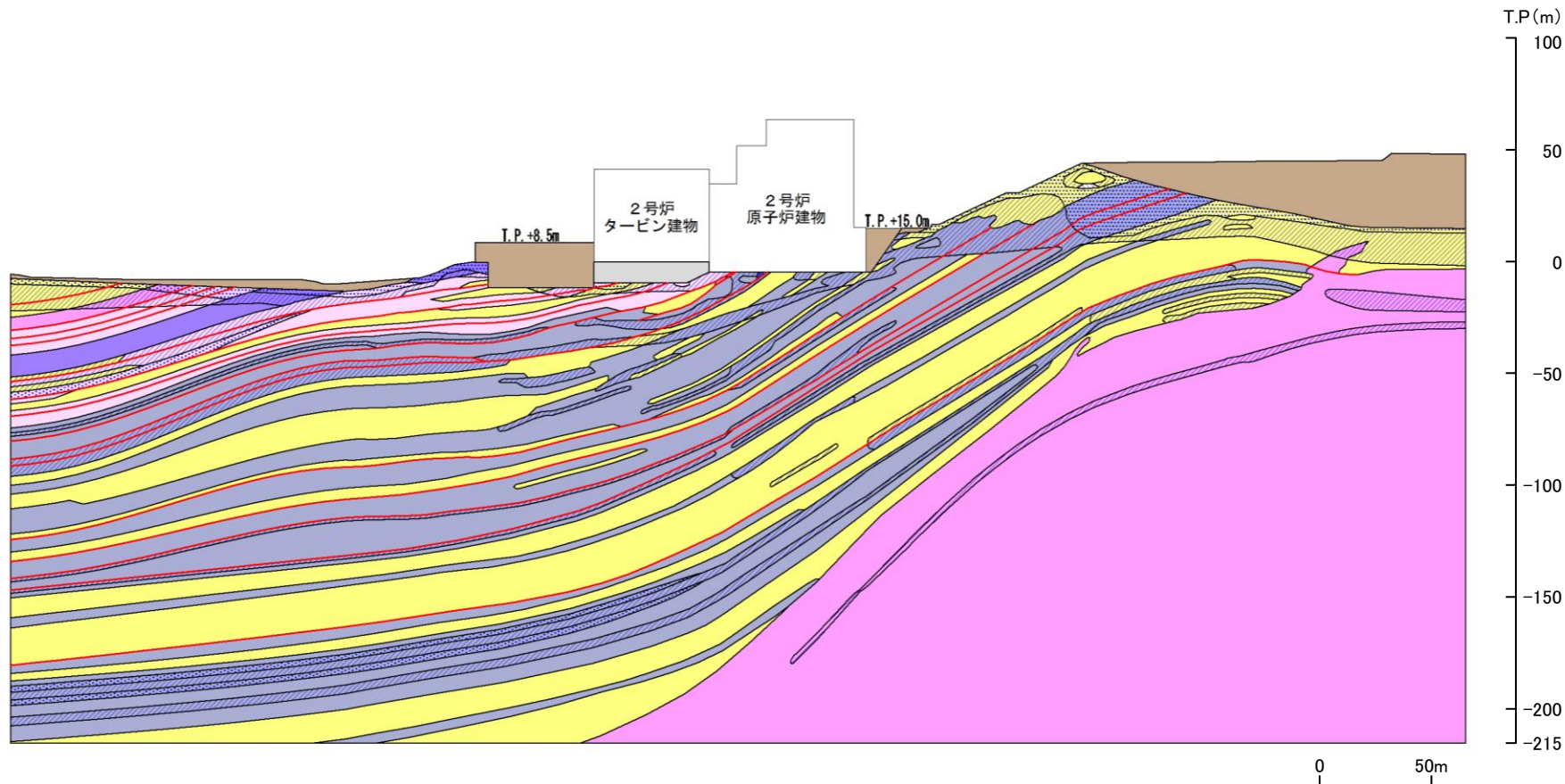
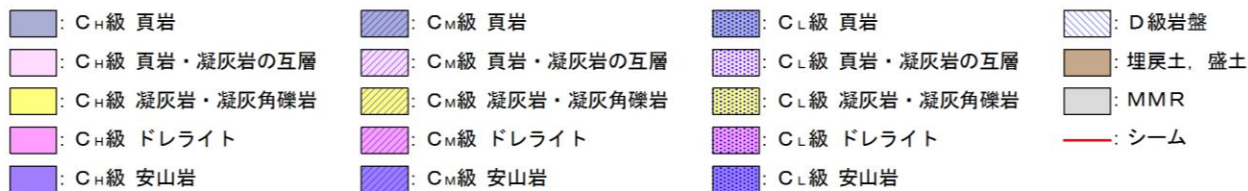
【防波壁(多重鋼管杭式擁壁), 防波壁(逆T擁壁)】

・線形の梁要素によりモデル化した。



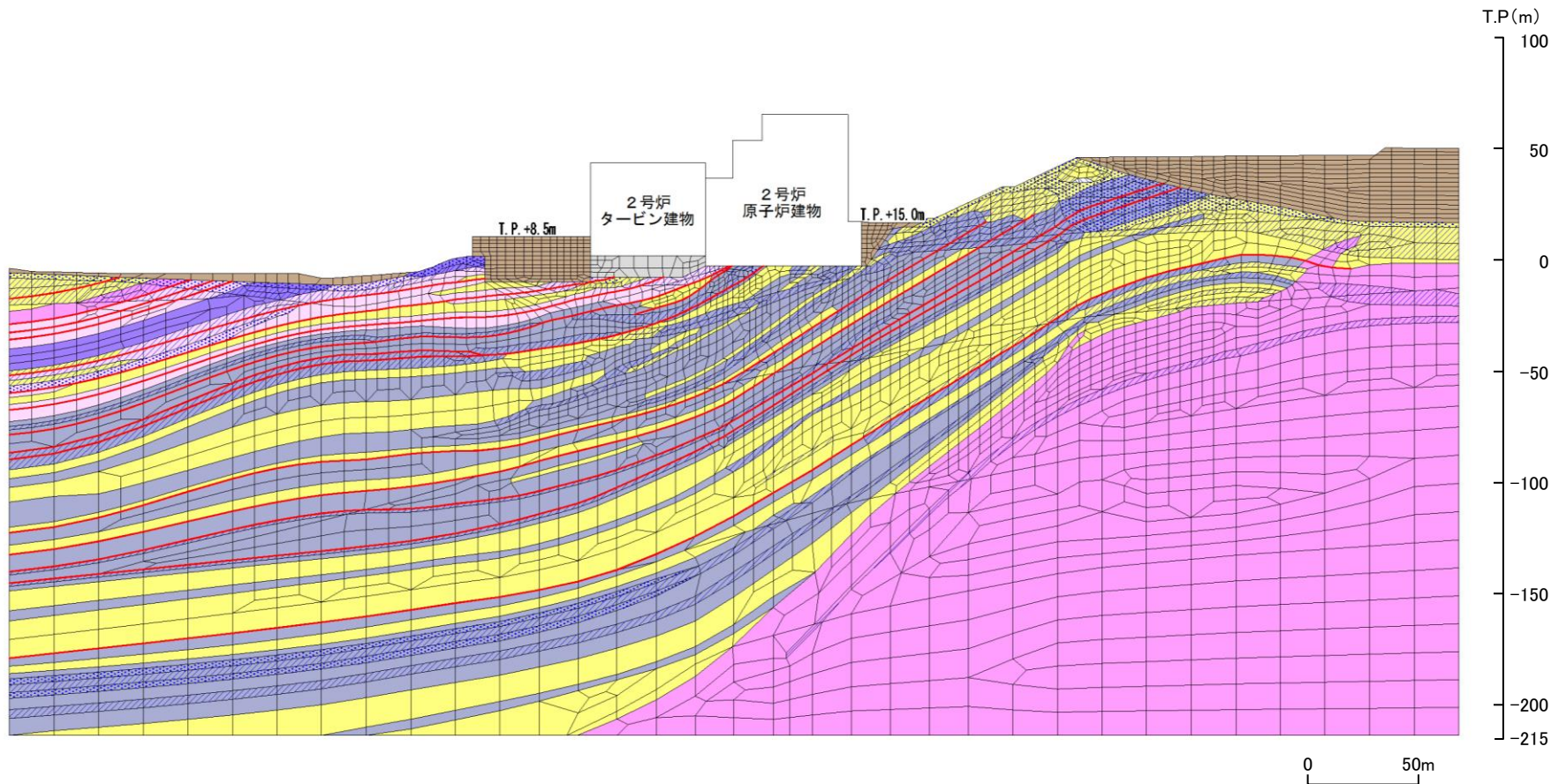
- ※1 建物のモデル化方法の詳細は補足資料「2. 建物のモデル化方法」に示す。
- ※2 規模の大きい施設の設定方法については補足資料「3. 隣接施設のモデル化」に示す。
- ※3 消波ブロック等、防波壁の周辺施設の地盤安定性評価における取扱いについては、補足資料「7 防波壁の構造概要」に示す。

解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①' 断面)



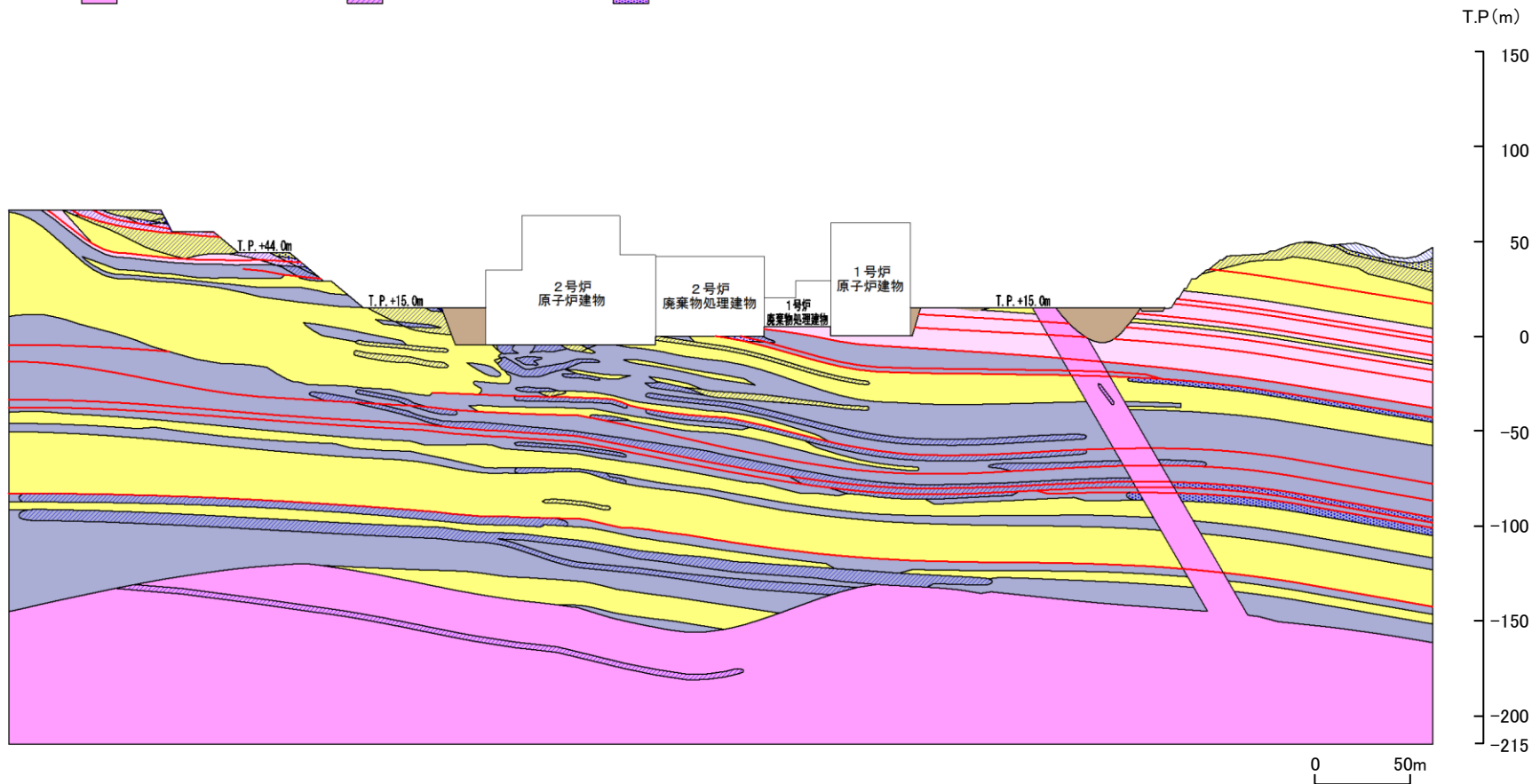
解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(南北) ①-①'断面)

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


















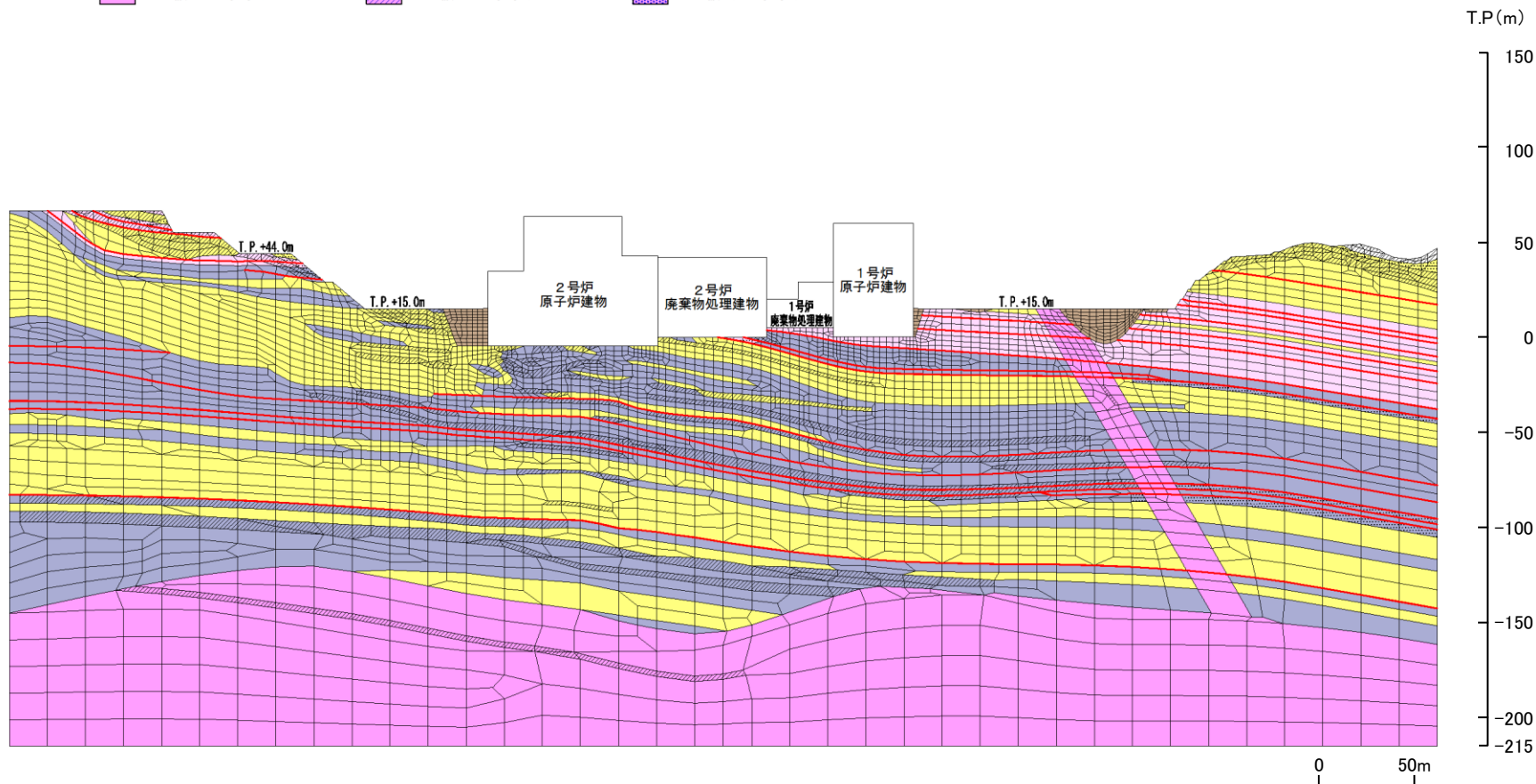
解析用岩盤分類図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②'断面)

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



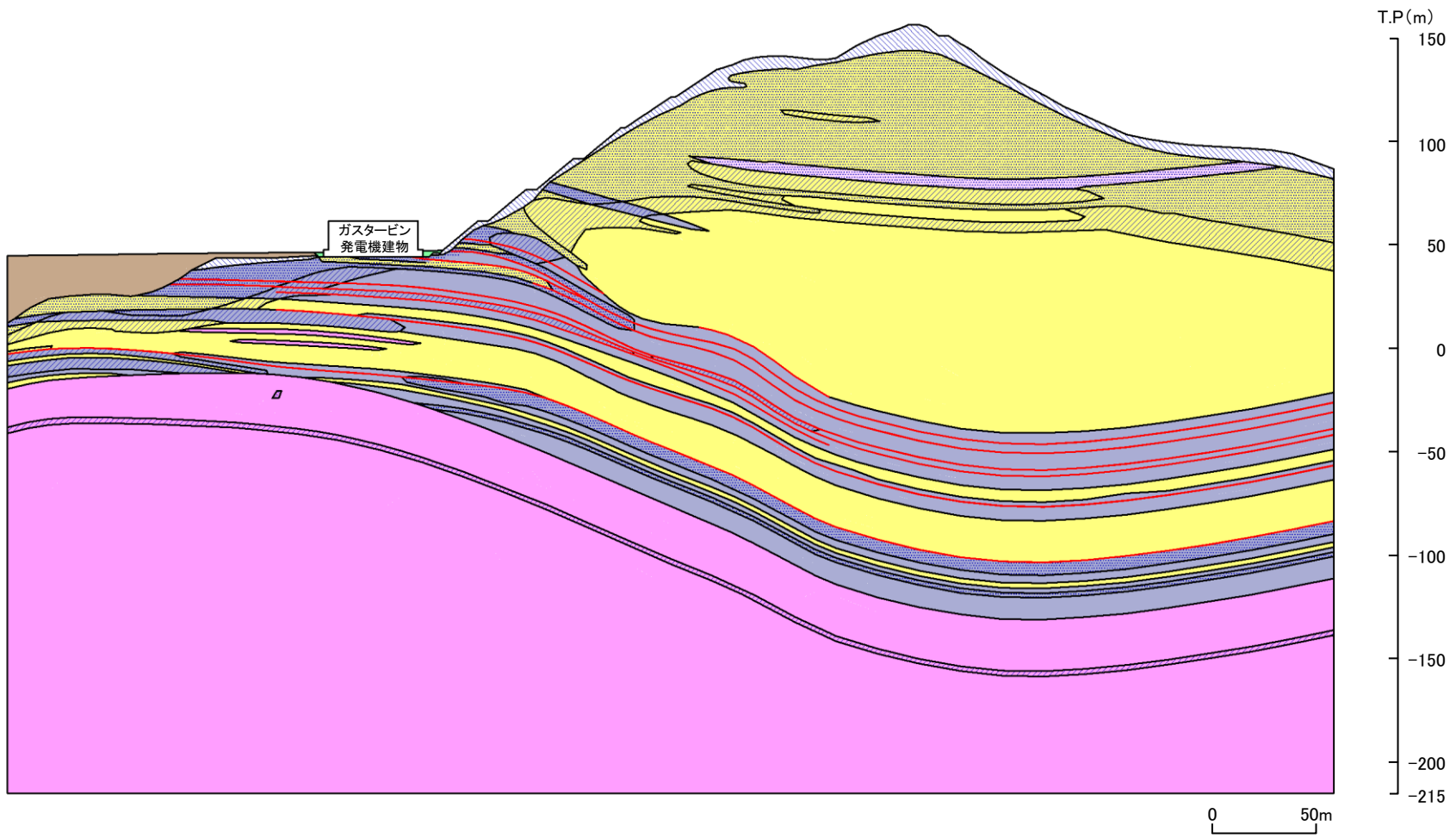
解析用要素分割図(2号炉原子炉建物(東西) ②-②'断面)

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



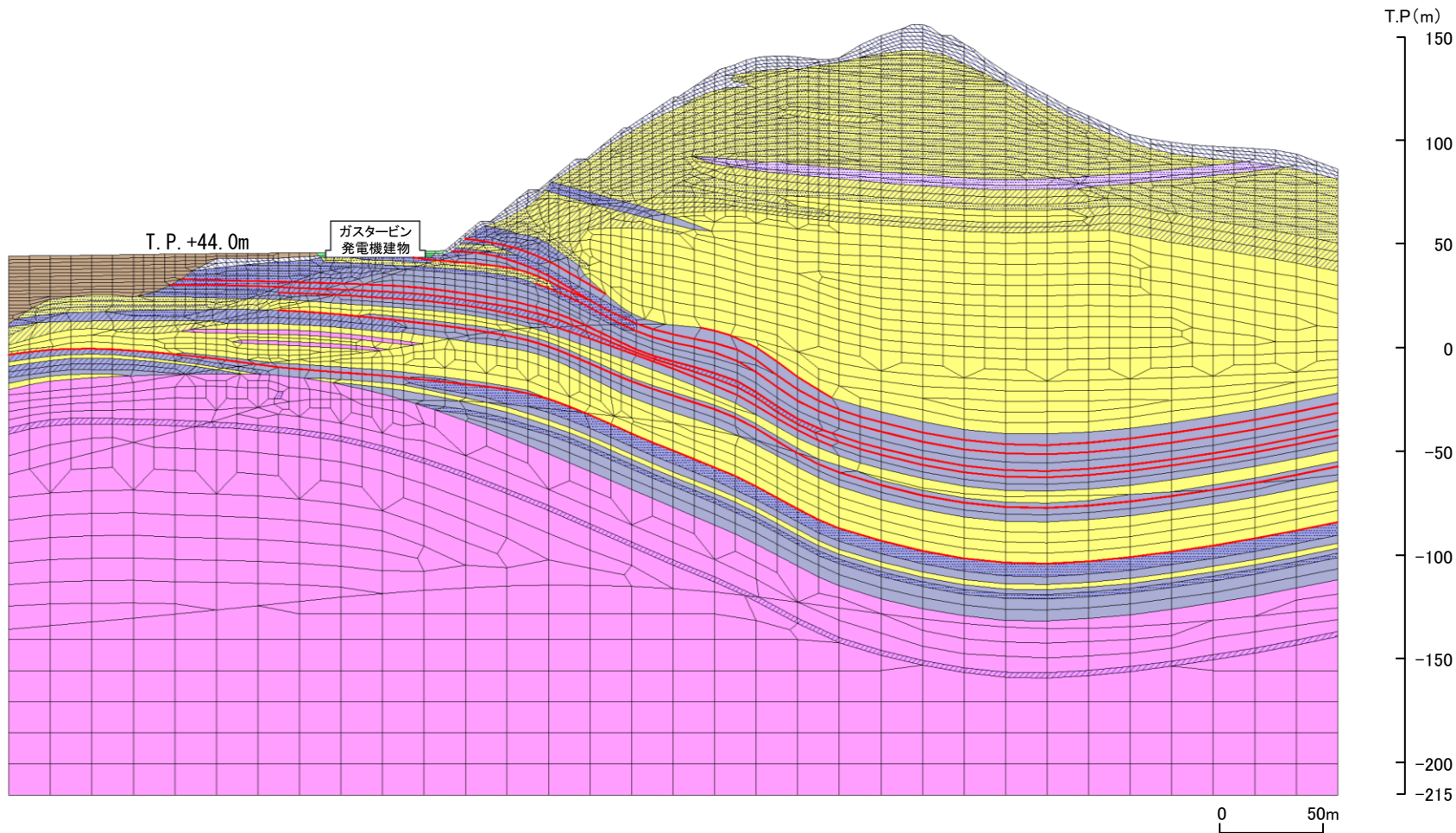
解析用岩盤分類図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

- CH級 頁岩
- CM級 頁岩
- CL級 頁岩
- D級岩盤
- CH級 頁岩・凝灰岩の互層
- CM級 頁岩・凝灰岩の互層
- CL級 頁岩・凝灰岩の互層
- 埋戻土、盛土
- CH級 凝灰岩・凝灰角礫岩
- CM級 凝灰岩・凝灰角礫岩
- CL級 凝灰岩・凝灰角礫岩
- 埋戻土(購入土)
- CH級 ドレライト
- CM級 ドレライト
- CL級 ドレライト
- シーム



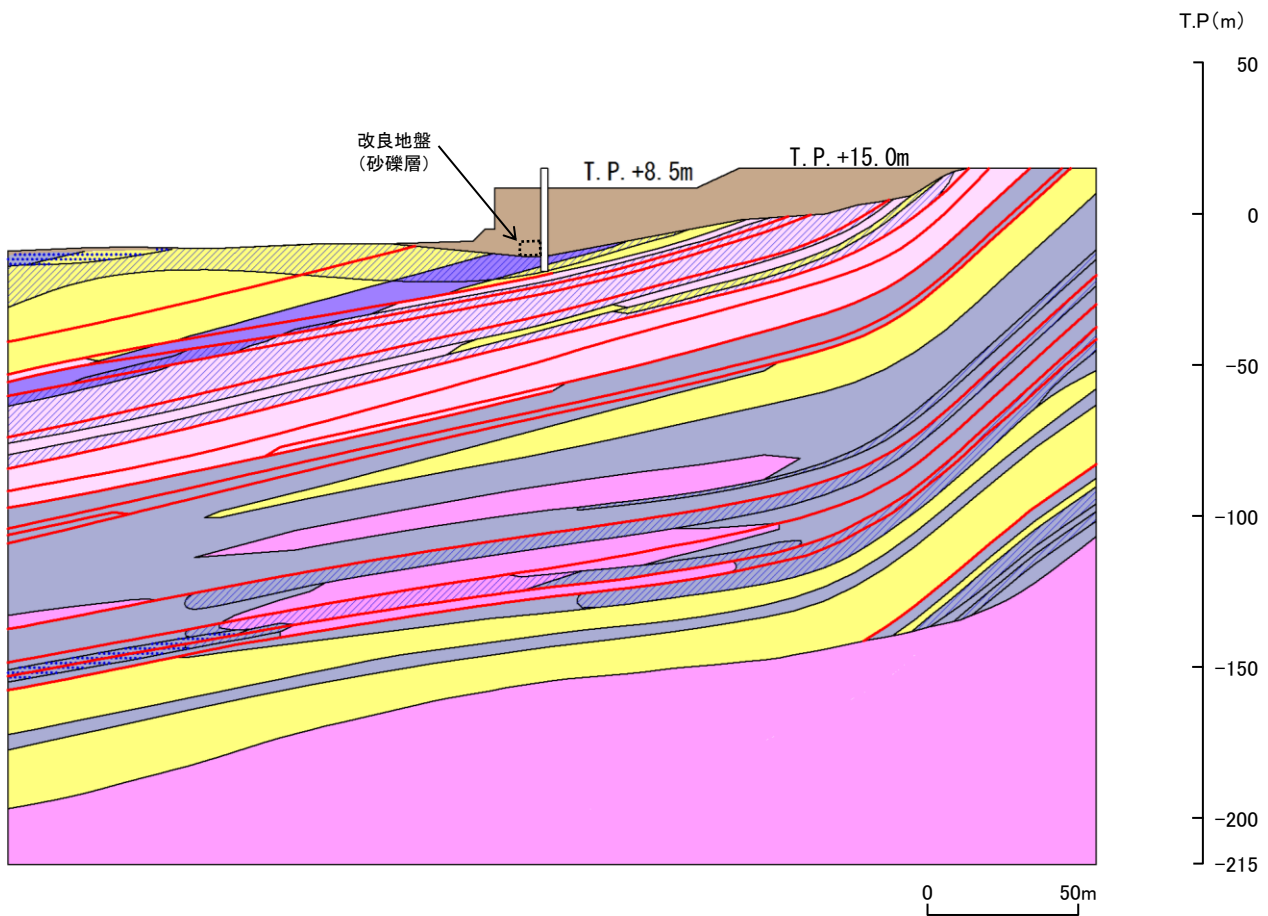
解析用要素分割図(ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面)

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





















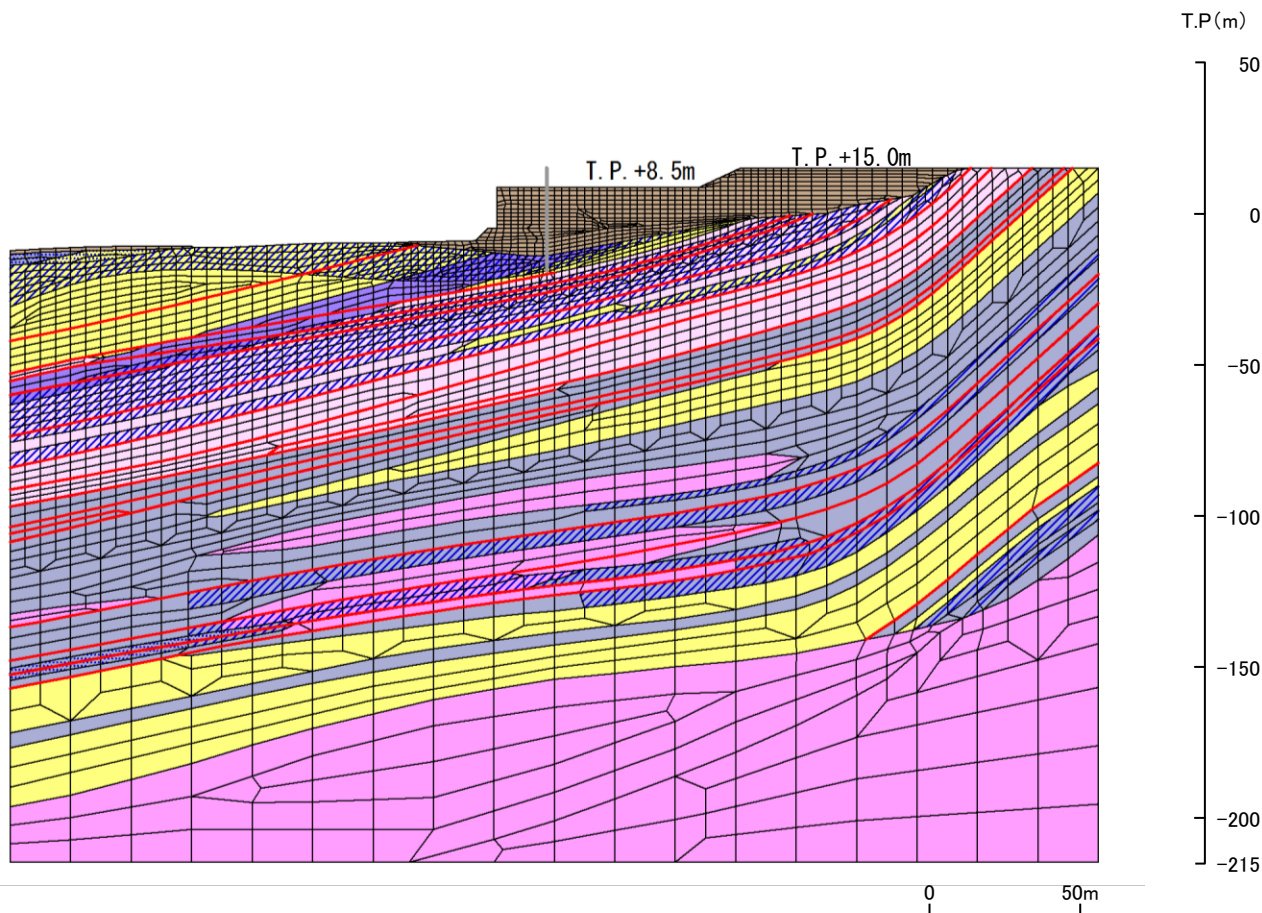
解析用岩盤分類図(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面)

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



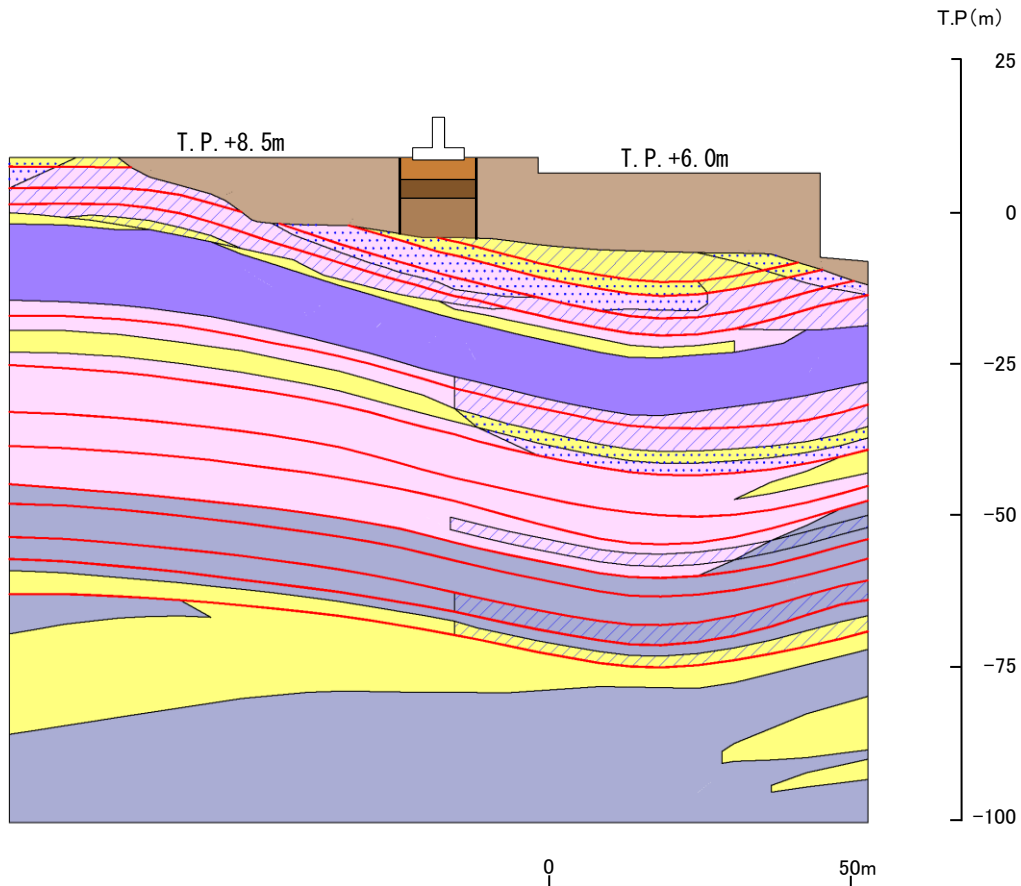
解析用要素分割図(防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面)

- | | | | |
|--|--|--|--|
|  : 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 |  : シーム |
|  : 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 |  : 防波壁 |
|  : 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 | |



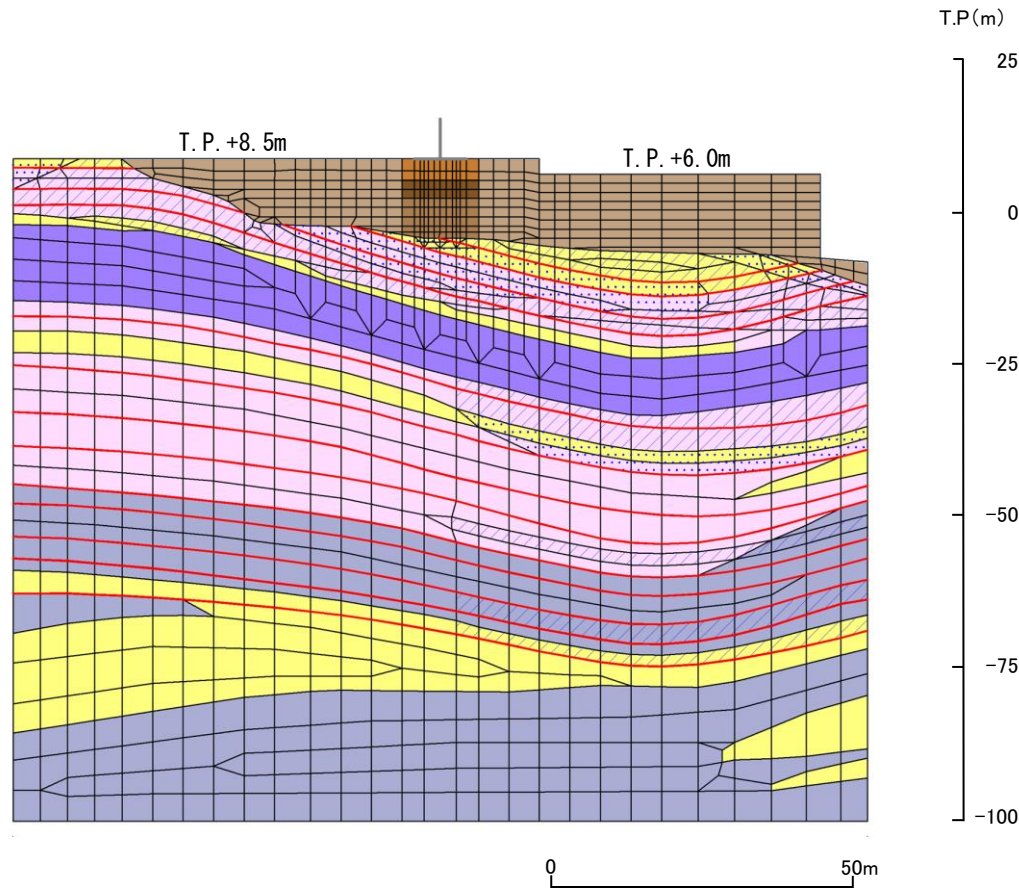
解析用岩盤分類図(防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪' 断面)

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| : 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 | : 改良地盤① } 改良地盤Ⅱ
: 改良地盤② } (薬液注入工法)
: 改良地盤③ } |
| : 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(逆T擁壁) ⑪-⑪' 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 | : 防波壁 |
| : 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 | : 改良地盤①
: 改良地盤②
: 改良地盤③
改良地盤Ⅱ
(薬液注入工法) |



3. 基礎地盤の安定性評価

3.4 解析用物性値

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	
III	α	C _M	C _M	C _M	C _L	
	β	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。^{※1}
- ・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。
- ・減衰特性については、慣用値を解析用物性値として設定した。

岩種		岩級	物理特性	強度特性		変形特性				減衰特性
				ピーク強度	残留強度	静的特性		動的特性		減衰定数
						静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数	動ポアソン比	
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C _H 級	密度試験 (飽和) ^{※2}	ブロックせん断 試験 ^{※2}	摩擦抵抗 試験 ^{※2}	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS検層	慣用値 ^{※3}	
		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						
		C _M 級								
		C _L 級								
	安山岩	C _H 級								
		C _M 級								
		C _L 級								

※1 詳細な設定方法については補足説明資料「1. 解析物性値の設定方法」に示す。

※2 一部、3号炉の試験値を用いて設定している。

※3 JEAG4601-2015を参考に設定。

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・改良地盤)

・解析用物性値は、各種試験により設定した。※12
・MMR等については、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				減衰特性	
		ピーク強度	残留強度	静的特性		動的特性		減衰定数	
				静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数	動ポアソン比		
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	慣用値※9	動的中型三軸圧縮試験	慣用値※9	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		慣用値※10	動的単純 せん断試験
埋戻土、盛土※1		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			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			繰返し中空ねじり せん断試験
旧表土※3						動的三軸圧縮試験			動的三軸圧縮試験
MMR※4	慣用値※8	—	—	慣用値※8	慣用値※8	慣用値※8	慣用値※8	慣用値※8	
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)※5	凝灰岩・凝灰角礫岩(C _M 級)を流用								
改良地盤Ⅰ (薬液注入工法)※6	埋戻土、盛土を流用								
改良地盤Ⅱ (薬液注入工法)※7	密度試験 (飽和)(埋 戻土、盛土 を流用)	せん断強度はPS検層に 基づく換算値 内部摩擦角は簡易設定 法に用いたN値に基づく 換算値	ピーク強度 と同じ値	PS検層に基づく 換算値	慣用値※11	G ₀ はPS検層 ひずみ依存特性は 動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土、盛土を流用)	慣用値※11	動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土、盛土を流用)	

※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(波返重力擁壁)における改良地盤を指す。
 ※6 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)施設直下の改良地盤及び防波壁(逆T擁壁)周辺の追加改良地盤(補足説明13章参照)を指す。

※7 防波壁(逆T擁壁)の支持地盤となる改良地盤を指す。詳細はP59, 60参照。
 ※8 「MMR」の慣用値は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(土木学会, 1992年・2005年)を参考に設定。
 ※9 設計用地盤定数の決め方-岩盤編-(地盤工学会, 2007年)を参考に設定。
 ※10 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年)を参考に設定。
 ※11 港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H30.5, P1927)を参考に設定。
 ※12 当該物性は基礎地盤及び周辺斜面の簡便法または動的解析に用いる。詳細な設定方法については補足説明資料「1. 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 ($\times 10^3$ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^3$ 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			

解析用物性値②

			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					
			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						

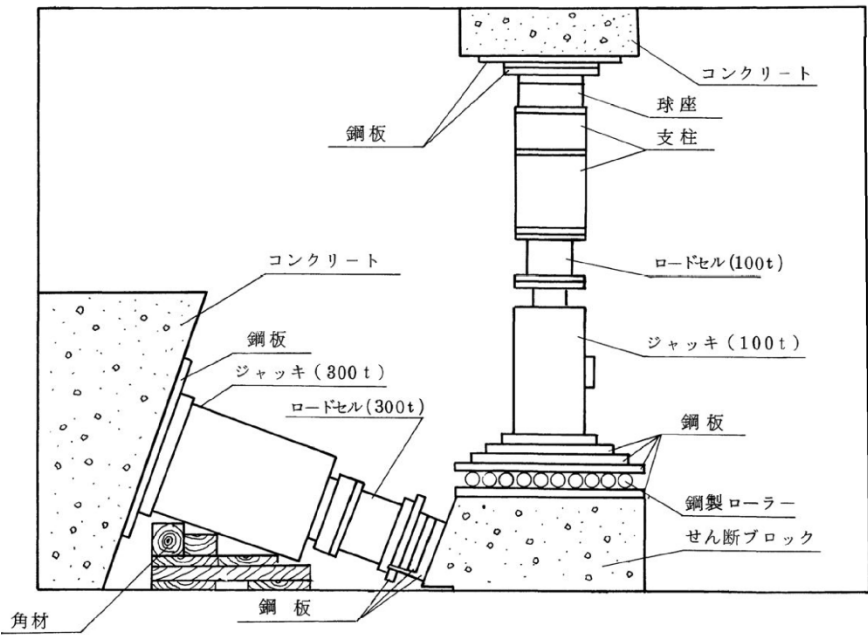
解析用物性値③

・D級岩盤, シーム, 埋戻土, 旧表土, MMR及び改良地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		動的変形特性		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※5 τ (N/mm ²)	静弾性係数※5 E (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数※5 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数※5 h	
D級岩盤	2.28	0.11	6	$0.11 + \sigma \tan 6^\circ$	$141\sigma^{0.39}$	0.30	$G_0 = 148\sigma^{0.49}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00062)$	0.45	$\gamma \leq 1 \times 10^{-4}: h = 0.023$ $\gamma > 1 \times 10^{-4}: h = 0.023 + 0.071 \cdot \log(\gamma / 0.0001)$	
シーム	2.23	0.19	18	$0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$G_{0.5} = 44\sigma^{0.34}$	0.40	$G_0 = 225\sigma^{0.31}$ $G/G_0 = 1 / [1 + (\gamma / 0.00149)^{0.849}]$	0.45	$h = \gamma / (2.14\gamma + 0.017) + 0.031$	
埋戻土, 盛土※1	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115\sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749\sigma^{0.66}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	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	$G_0 = 275\sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00048)$	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	$G_0 = 240\sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0011)$	0.45	$h = 0.20\gamma / (\gamma + 0.000413)$	
MMR※4	2.35	—	—	—	23,500	0.20	9,792	0.20	0.05	
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)	2.44	1.14	47	$0.34\sigma^{0.54}$	1,470	0.20	6,250	0.38	0.03	
改良地盤 I (薬液注入工法)	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115\sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749\sigma^{0.66}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958\gamma / (\gamma + 0.00020)$	
改良地盤 II (薬液注入工法)	改良地盤①	2.11	0.63	38	$0.63 + \sigma \tan 38^\circ$	1,087	0.33	$G_0 = 409$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33	$h = 0.0958\gamma / (\gamma + 0.00020)$
	改良地盤②	2.11	0.49	41	$0.49 + \sigma \tan 41^\circ$	898	0.33	$G_0 = 338$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33	
	改良地盤③	2.11	1.14	41	$1.14 + \sigma \tan 41^\circ$	2,088	0.33	$G_0 = 785$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33	

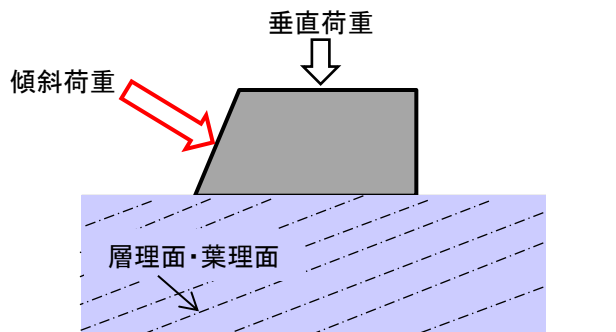
※1 「海底堆積物, 崖錐堆積物」は, 主要構成地質(礫混り砂質土・礫混り粘性土)が盛土と同じであること, 及び評価対象の基礎地盤及び周辺斜面に対して地震時安定性への影響が軽微であることから, 「埋戻土・盛土」の値を流用。
 ※2 「埋戻土(購入土)」は, 加工砂(主に花崗岩の砕砂)であり, ガスタービン発電機建物周りの埋戻土のみに使用。
 ※3 「旧表土」は, 2号炉南側盛土斜面のみに使用。
 ※4 「MMR」は, 1・2号炉タービン建物直下のみに使用。
 ※5 σ は直応力(N/mm²), γ はせん断ひずみ

原位置試験 (例: ブロックせん断試験・摩擦抵抗試験)

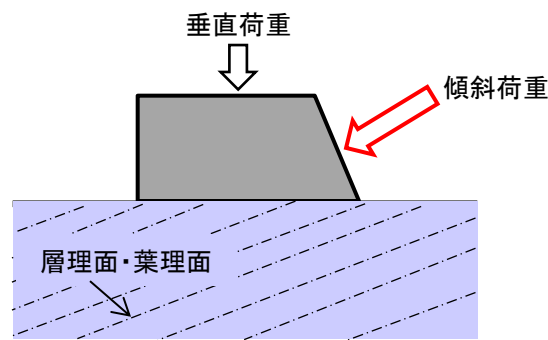


ブロックせん断試験装置概要図

【凡例】
 : 頁岩



層理・葉理に沿う方向
(流れ目方向)の試験

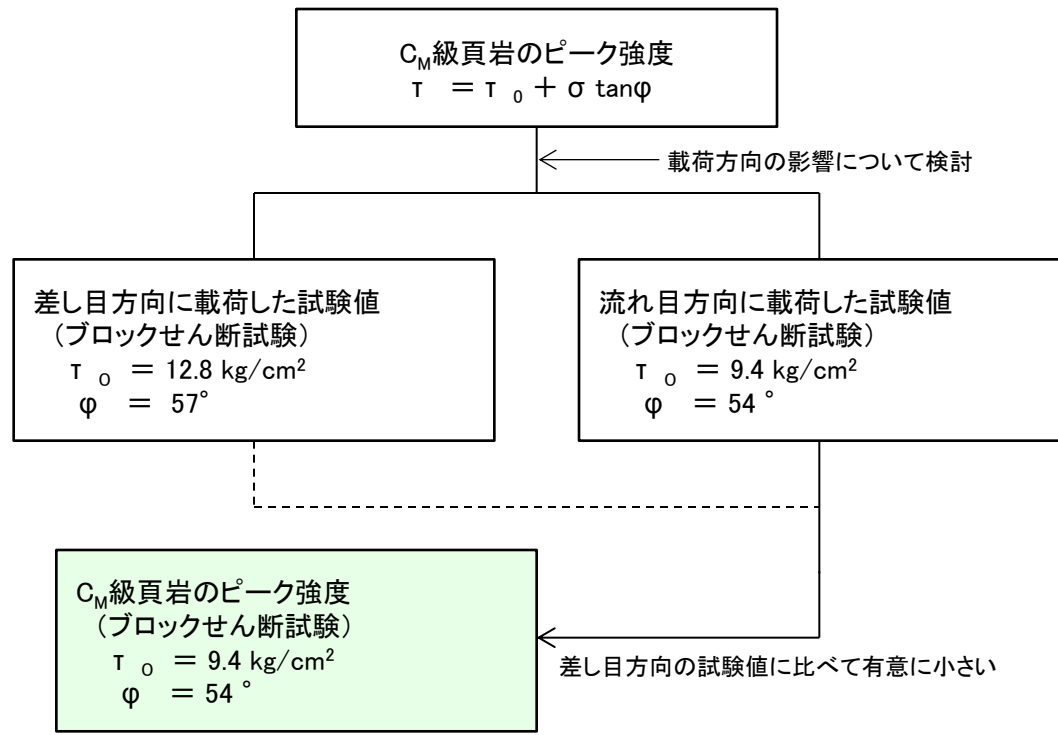
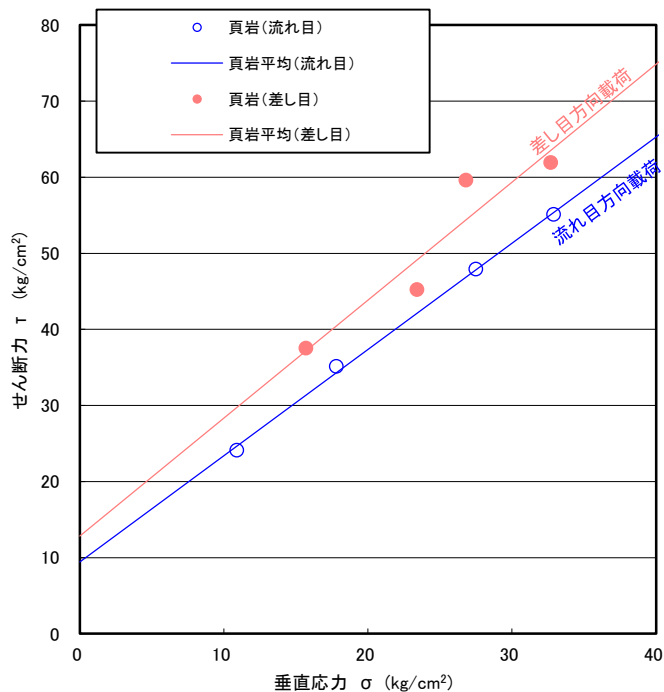


層理・葉理を切る方向
(差し目方向)の試験

- ・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)

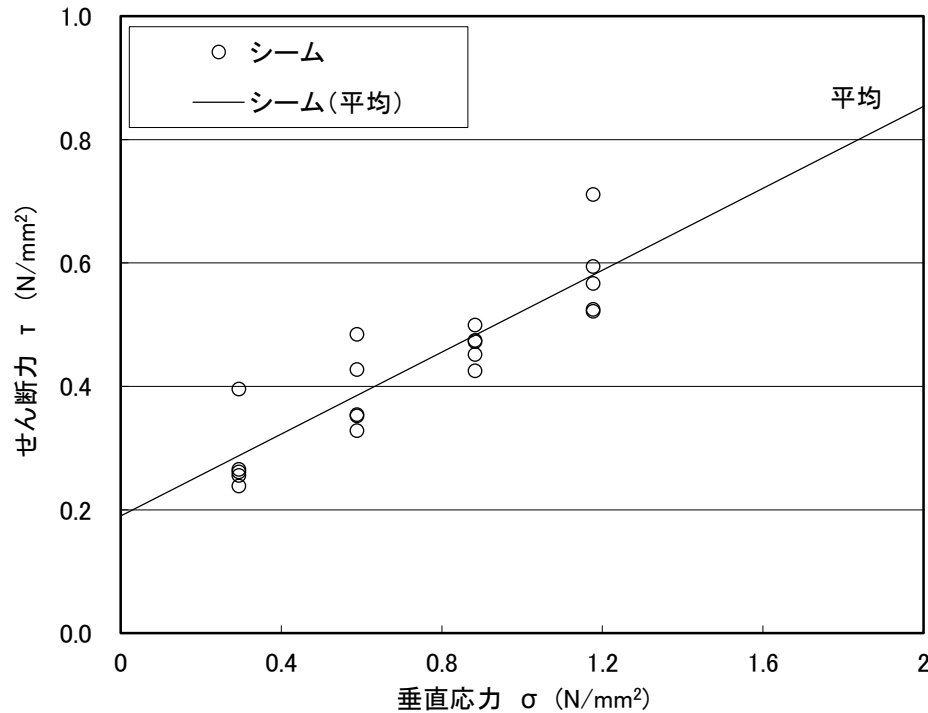


・流れ目方向に荷重した試験値は、差し目方向に荷重した試験値に比べて有意に小さい。
・流れ目方向に荷重した試験値をC_M級頁岩のピーク強度として採用する。

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

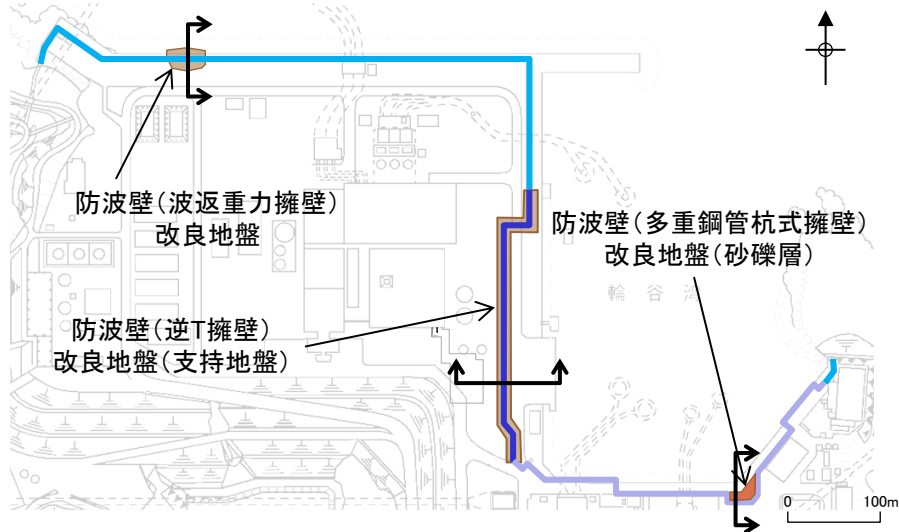


・シームの平均強度は、単純せん断試験値を用いて設定した。

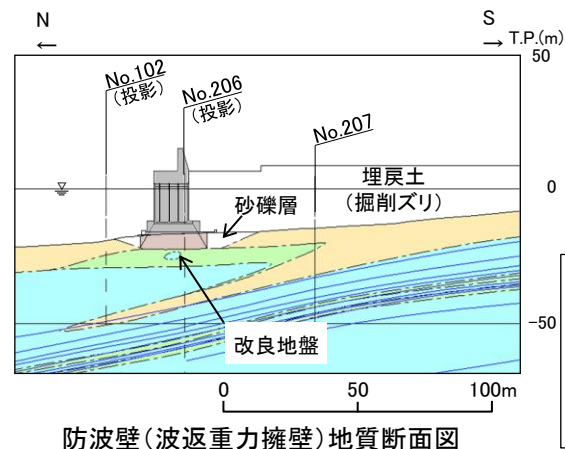
3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値

改良地盤の解析用物性値の設定方法について

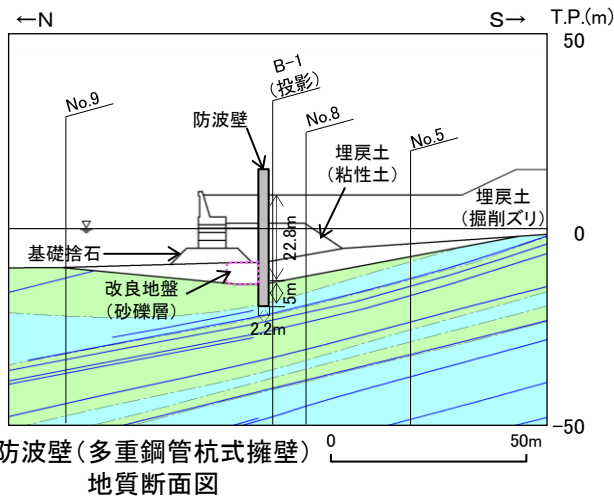
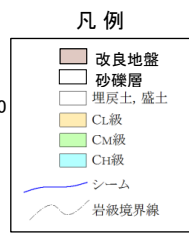
- ・地盤改良は、防波壁の周辺地盤もしくは支持地盤において、変形抑制等を目的に下図のとおり実施されている。
- ・各改良地盤の解析用物性値は下表のとおり設定する。



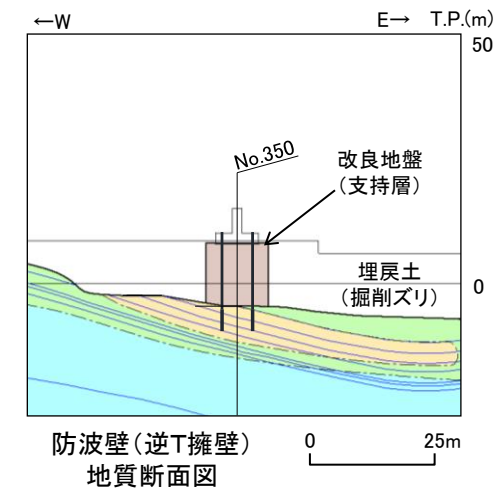
改良地盤位置平面図



防波壁(波返重力擁壁)地質断面図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図



防波壁(逆T擁壁)地質断面図

改良地盤の解析用物性値の設定方法及び根拠

	設定方法及び根拠	物性値一覧表の項目
防波壁(波返重力擁壁)改良地盤	高圧噴射攪拌工法により周辺岩盤相当に改良されていることを確認していることから(3.2章参照), 周辺岩盤の物性値を流用する。	「改良地盤(高圧噴射攪拌工法)」
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)改良地盤(砂礫層)	薬液注入工法により改良されているが, 改良範囲は局所的であり, すべり安定性への影響は軽微であることから, 保守的に改良前の埋戻土を流用する。	「改良地盤Ⅰ(薬液注入工法)」
防波壁(逆T擁壁)改良地盤(支持地盤)	薬液注入工法により改良されており, すべり安定性, 支持力及び傾斜に与える影響が大きいことから, PS検層結果等に基づき改良地盤の物性を設定する。	「改良地盤Ⅱ(薬液注入工法)」

防波壁(波返重力擁壁)の改良地盤について(変形特性)

- 改良地盤部は、高圧噴射攪拌工法で改良を行っており、配合、改良径等を同一のものとし、未改良部が生じないように平面的に重複させて施工している。施工後の品質確認試験としては、PS検層を実施している。また、一軸圧縮試験を実施し、強度を確認している。
- 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。

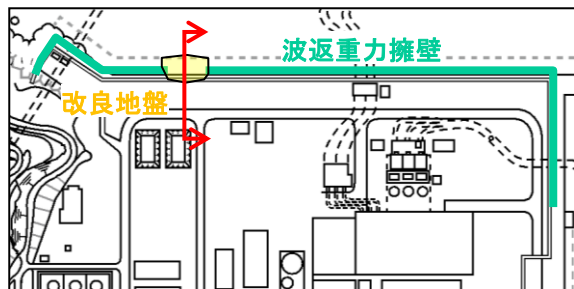
試験位置 深度 (m)	No. 1			No. 2		
	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分
23	4,329	2,232	ケーソン底盤 (コンクリート)	3,831	1,290	ケーソン底盤 (コンクリート)
24	3,003	1,245	24.4	2,833	853	23.8
25	3,195	1,543	改良地盤	3,413	1,222	改良地盤
26	3,165	1,560		3,378	1,086	
27	3,268	1,783	27.1	3,472	1,031	26.5
28	-	-	岩盤 (C _M 級、 凝灰岩・ 凝灰角礫岩)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

改良地盤と岩盤のPS検層結果の比較
(平均値, 括弧内は上下限值)

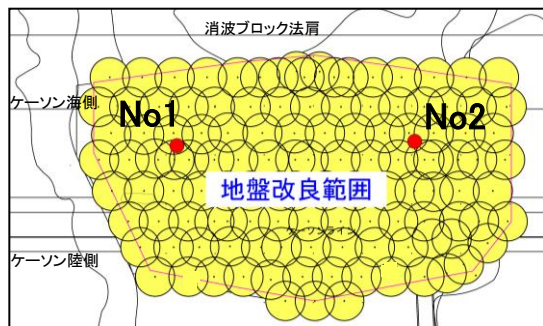
	P波速度 Vp (km/s)	S波速度 Vs (km/s)
改良地盤	3.2 (2.833~3.413)	1.3 (0.853~1.560)
岩盤(C _M 級, 凝灰岩・凝灰角礫岩)	3.6 (3.472~3.676)	1.3 (1.031~1.404)

※ 改良地盤と岩盤の境界部の値は除く

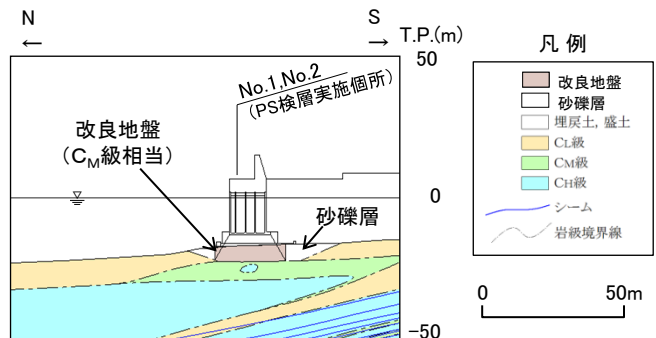
第2層 (C _L ~C _M 級岩盤)	2.1	0.9
第3層 (C _M ~C _H 級岩盤)	3.6	1.6



位置図



PS検層実施箇所



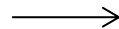
砂地盤改良部断面図(岩級・シーム)

防波壁(波返重力擁壁)の改良地盤について(強度特性)

・改良地盤部で実施した一軸圧縮強度試験結果により、設計基準強度以上に改良されていることを確認した。
 ・改良地盤部の設計基準強度に基づくせん断強度は、概ねC_M級岩盤と同程度の値である。

改良地盤における試験位置の一軸圧縮強度試験結果

深度(m)	一軸圧縮強度 qu(N/mm ²)	設計基準強度 qu(N/mm ²)
23.70	3.09	2.50
24.20	3.66	
25.00	9.02	

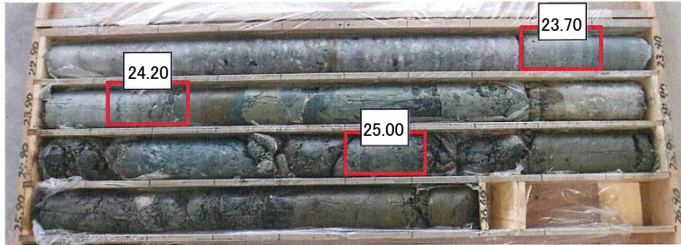


改良地盤と岩盤部のせん断強度結果の比較

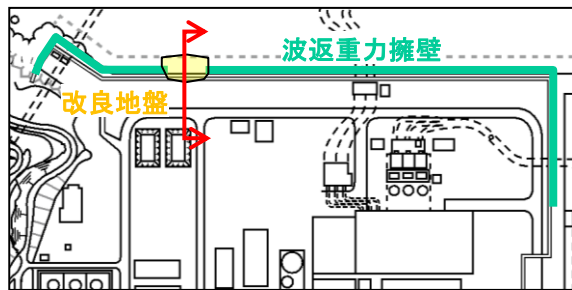
	せん断強度 τ ₀ (N/mm ²)	備考
改良地盤	1.25	改良地盤の設計基準強度である2.50N/mm ² より設定※
岩盤(C _M 級, 凝灰岩・凝灰角礫岩)	1.14	岩盤部(C _M 級, 凝灰岩・凝灰角礫岩)のせん断強度

※ 改良地盤のせん断強度については、地盤工学会(2006)⁽⁵⁾より、一軸圧縮試験の結果より求まる非排水せん断強度を設定する。

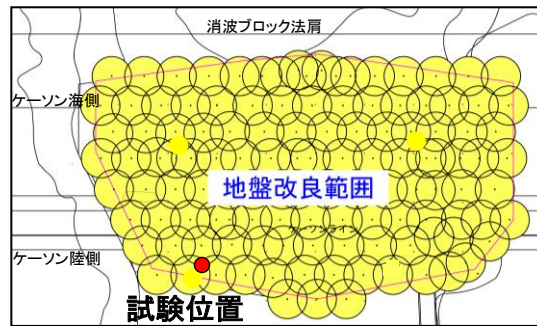
$\tau_0 = qu/2$ τ₀:せん断強度, qu:一軸圧縮強度



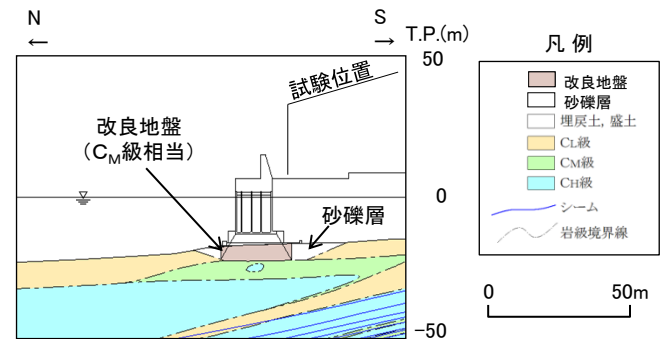
改良地盤における試験位置のボーリングコア



位置図



一軸圧縮試験実施箇所

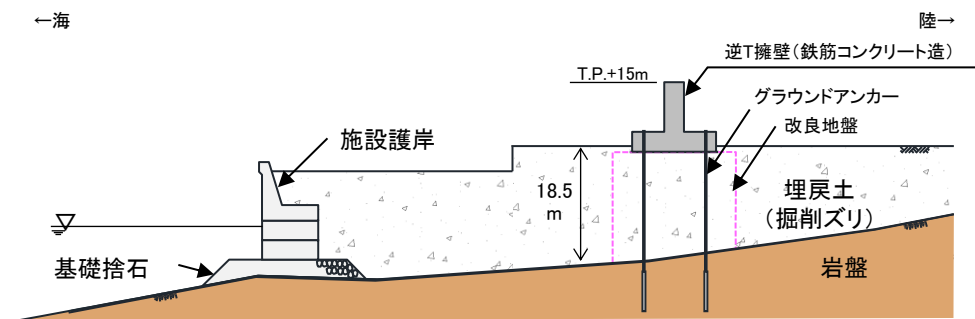
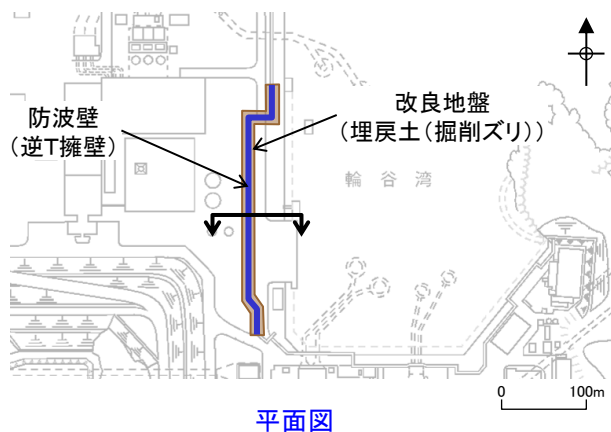


砂地盤改良部断面図(岩級・シーム)

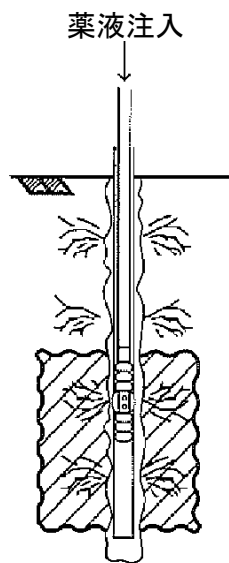
3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値

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(セメント系固化材)により地盤改良を実施している。
- ・液状化抑制を目的としているため、簡便法及び動的解析のすべり安全率の算定において、液状化影響は考慮しないこととする。また、解析用物性値については、PS検層結果等に基づき設定する。



※ 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。



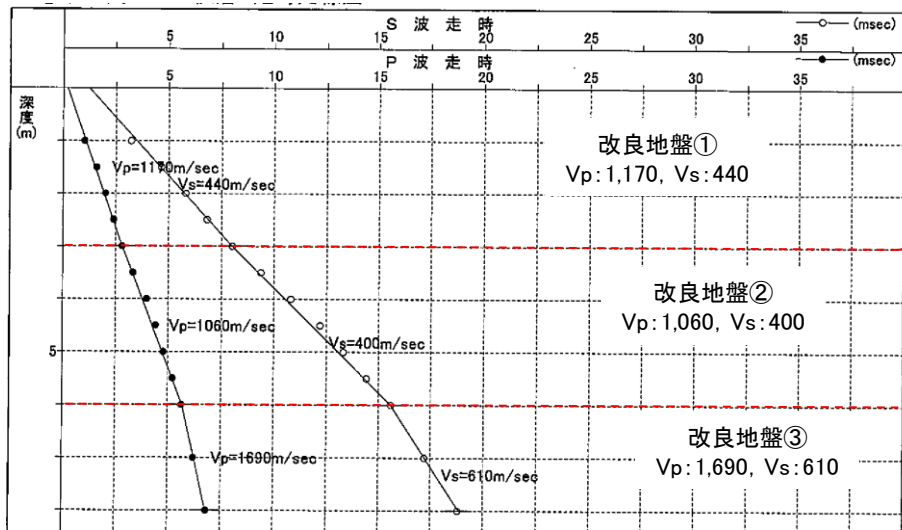
薬液注入工 概要図



薬液注入工 状況写真(2011年撮影)

防波壁(逆T擁壁)直下の改良地盤の変形特性について

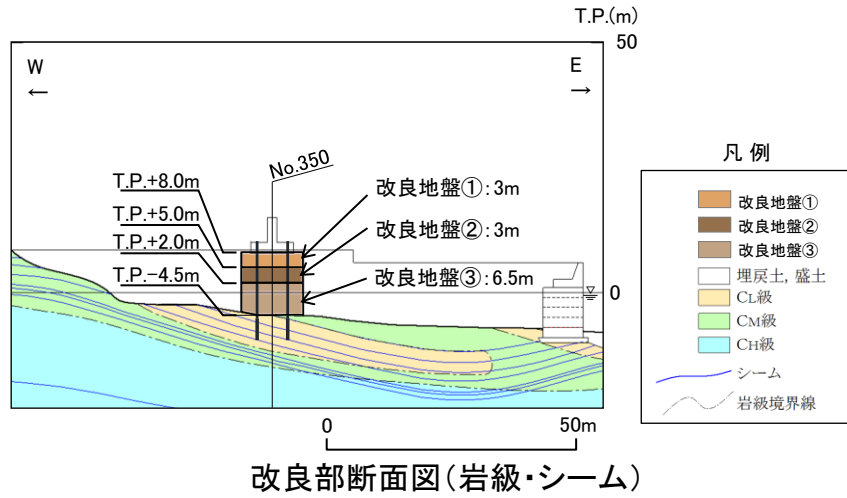
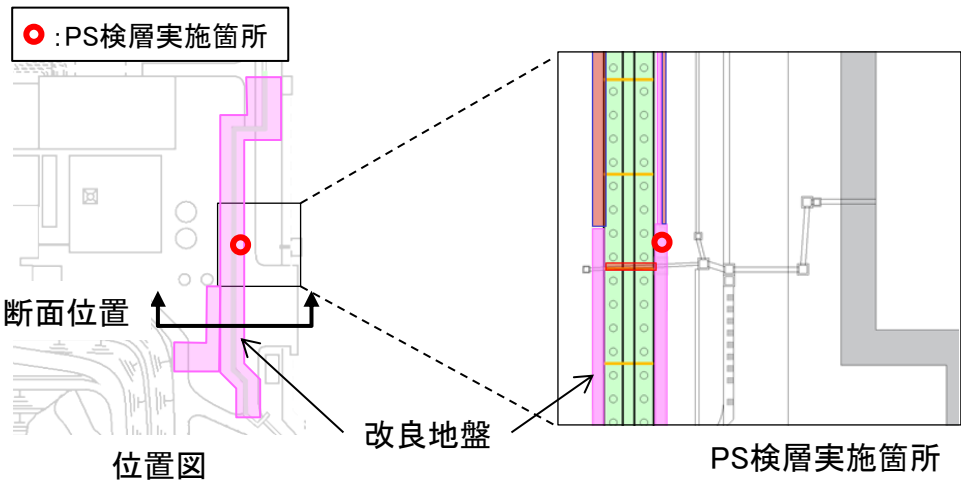
- ・防波壁(逆T擁壁)直下の改良地盤は、薬液注入工法で改良を行っており、施工後の品質確認試験として、PS検層を実施している。
- ・改良地盤の解析用物性値のうち動的変形特性等は、PS検層結果に基づき、3層に区分して設定している。



PS検層結果一覧表

深度 (m)	標高 T.P.(m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	層区分
1	7.0	1,170	440	改良地盤①
2	6.0			
3	5.0			
4	4.0	1,060	400	改良地盤②
5	3.0			
6	2.0			
7	1.0	1,690	610	改良地盤③
8	0.0			

PS検層結果(走時曲線)



3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値

改良地盤Ⅱの解析用物性値の設定について

・改良地盤Ⅱの解析用物性値は、以下の考え方に基づき設定した。

		設定の考え方
物理特性	密度(飽和)	・改良前の埋戻土(掘削ズリ)は、十分に締固められており、間隙比が小さいため(補足説明1.7章)、改良による密度への影響は軽微と考え、埋戻土の密度を流用した。
強度特性	せん断強度 T_0	<p>・PS検層結果のせん断波速度V_sより下式を用いて算定した。</p> $C = qu/2 \tan(45^\circ + \phi/2)$ <p>∴ 一軸圧縮強度 $qu = E_{50}/100$ ∴ ∴ 溶液型薬液注入工法の液状化対策への適用, 港湾空港技術研究所 報告 041-02-05(山崎他, 2002年6月)</p> <p>変形係数 $E_{50} = E/\alpha = E/4$ ∴ ∴ 同上</p> <p>静弾性係数 $E = 2(1+\nu_d) \cdot G$ ∴ ∴ 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編((社)日本道路協会, H14.3, P255, 表-解9.5.1)</p> <p>動せん断弾性係数 $G = \rho V_s^2$ ∴ ∴ 港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H19.7, P326)</p> <p>ϕ: 内部摩擦角, ν_d: 動ポアソン比, ρ: 密度, V_s: せん断波速度</p>
	内部摩擦角 ϕ	<p>・N値より下式により相対密度D_rを求め、既往の三軸試験結果を参照した相対密度D_rとせん断抵抗角ϕの関係図を用いて算定した。</p> $D_r = [N/(\sigma'_{v'} + 0.7)]^{0.5}$ <p>相対密度D_rとせん断抵抗角ϕの関係図</p> <p>∴ ∴ 森田他, 『港湾技研資料 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPIにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法』, 1997年, P14</p>
	残留強度	<p>・改良前の埋戻土(掘削ズリ)は、三軸圧縮試験の結果、ひずみ軟化傾向が認めれないことから、残留強度をせん断強度と同値で設定している(補足説明1.2章)。</p> <p>・薬液注入工法であるため、改良後でも埋戻土の骨格を維持していると考え、改良前と同様に、せん断強度と同値に設定した。</p>
静的変形特性	静弾性係数 E	<p>・動せん断弾性係数及びポアソン比により下式を用いて算定した。</p> $E = 2(1+\nu_d) \cdot G$ <p>∴ ∴ 動せん断弾性係数 $G = \rho V_s^2$ ∴ ∴ 港湾施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H19.7, P326)</p> <p>ν_d: 動ポアソン比 ρ: 密度, V_s: せん断波速度</p>
	静ポアソン比 ν_s	・動ポアソン比と同値に設定した。
動的変形特性	動せん断弾性係数 G_0	<p>・PS検層結果のせん断波速度V_sより下式を用いて算定した。</p> $G = \rho V_s^2$ <p>∴ ∴ 港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H19.7, P326), ρ: 密度, V_s: せん断波速度</p>
	$G/G_0 \sim \gamma$	・薬液注入工法であるため、改良後でも埋戻土の骨格を維持していると考え、改良前と同じ式で設定した。
	動ポアソン比 ν_d	・慣用値 ∴ ∴ 港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H30.5, P1927)
減衰特性	$h \sim \gamma$	・薬液注入工法であるため、改良後でも埋戻土の骨格を維持していると考え、改良前と同じ式で設定した。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値

(参考)防波壁の構造成立性に係る有効応力解析における防波壁(逆T擁壁)改良地盤の物性値

- 改良地盤Ⅱの解析用物性値は、防波壁の構造成立性に係る、有効応力解析における防波壁(逆T擁壁)改良地盤の物性値の設定の考え方に整合している。
- なお、下表の改良地盤④(T.P.0m以深)については、PS検層の結果(測定範囲T.P.0~+8.0m, P110参照)を踏まえ、改良地盤③(T.P.0~+2m)のVsと同じ値を用いて設定されている。

材料種別	物理特性				強度特性			変形特性			設定根拠
	単位体積重量		飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)	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} (ヤング率 E) ^{*5} (kN/m ²)	ポアソン比 ν	最大 減衰定数 h _{max}	
	飽和, 湿潤 γ _{sat} , γ _t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)									
地盤	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+6.0m盤	気中	19.6	-	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24	防波壁の 構造成立性に係る 設計値 (単位体積重量) ・埋戻土(掘削スリ), 砂礫層, 改良地盤は現地調査結果により設定 (粘着力) ・埋戻土(掘削スリ)は『設計事例集』に準拠し設定 ・改良地盤は『浸透固化処理工法技術マニュアル』に準拠し設定 (せん断抵抗角) ・埋戻土(掘削スリ)は液状化パラメータ設定支援環境 FLIPSIM(Ver.3.0.1)により算定 ・地盤改良は原地盤相当(埋戻土(掘削スリ)の値を設定 (せん断強度) ・『FLIP取扱説明書』に示された定義式に基づき設定 (せん断弾性係数) ・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) ・『設計事例集』に準拠し設定 (最大減衰定数) ・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』に準拠し設定
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
	埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	-	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
		水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤① T.P.+5.0 (水中) ~+8.0m		20.7	10.6	628	38.00	628 cos38.00° +σ' _m sin38.00°	404600(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤② T.P.+2.0 (水中) ~+5.0m		20.7	10.6	490	40.54	490 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	327900(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤③ T.P.0 (水中) ~+2.0m		20.7	10.6	1140	38.71	1140 cos40.54° +σ' _m sin40.54°	742900(σ' _m /98) ^{0.5}			
	改良地盤④ T.P.0m (水中) 以深		20.7	10.6	1253	38.71	1253 cos38.71° +σ' _m sin38.71°	777300(σ' _m /98) ^{0.5}			
護岸 構成材	施設護岸 (パラペット)		24.0	-	-	-	-	(E=2.330×10 ⁷)	0.20	-	(単位体積重量) ・施設護岸は『港湾基準』及び『コンクリート標準示方書』に準拠し設定 (せん断弾性係数) ・地盤と同様 (ポアソン比) ・護岸は『コンクリート標準示方書』に準拠し設定
	施設護岸 (上部コンクリート)		22.6	-	-	-	-	(E=2.040×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (コンクリート詰)	気中	23.0	-	-	-	-	(E=2.330×10 ⁷)			
		水中	23.0	12.9	-	-	-	(E=2.330×10 ⁷)			
	施設護岸 (セルラーブロック) (栗石詰)		22.0	11.9	-	-	-	(E=2.330×10 ⁷)			

※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τ_f=σ'_m sinφ_f + C cos φ_f

※3 せん断弾性係数の式はG=G_{ma}(σ'_m/σ'_{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。

※5 線形材料については、変形特性としてヤング率を設定する。

地盤物性のばらつきについて(1/3)

- ・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、更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)

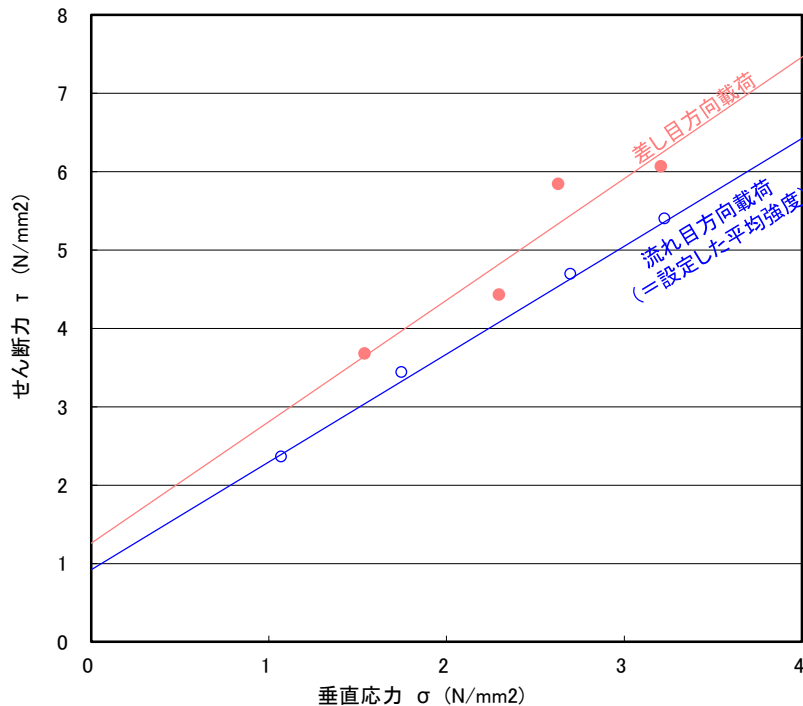
【「頁岩」のピーク強度】

- ・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「1.2 強度特性」に示す。

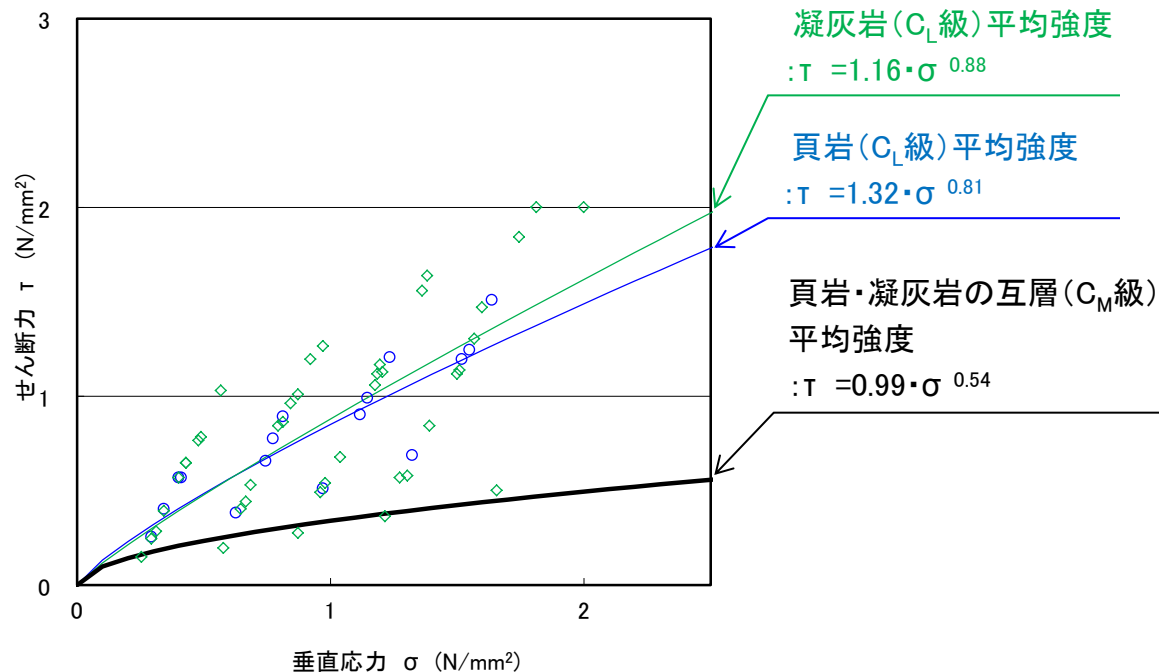
3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値 地盤物性のばらつきについて(3/3)

【「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
: $T = 0.99 \cdot \sigma^{0.54}$

▼
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「1.2 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 σ ^{0.72}
		C _M 級	0.92	54	0.34 σ ^{0.54}
		C _L 級	0.28	45	0.34 σ ^{0.54}
	頁岩と凝灰岩 の互層	C _H 級	1.14	54	1.12 σ ^{0.72}
		C _M 級	0.92	54	0.34 σ ^{0.54}
		C _L 級	0.28	28	0.34 σ ^{0.54}
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C _H 級	1.35	55	1.12 σ ^{0.72}
		C _M 級	0.70	47	0.34 σ ^{0.54}
		C _L 級	0.60	28	0.34 σ ^{0.54}
岩盤 (貫入岩)	ドレライト	C _H 級	1.65	52	1.36 σ ^{0.72}
		C _M 級	0.84	52	0.34 σ ^{0.54}
		C _L 級	0.73	43	0.34 σ ^{0.54}
	安山岩	C _H 級	1.65	52	1.36 σ ^{0.72}
		C _M 級	0.84	52	0.34 σ ^{0.54}
		C _L 級	0.73	43	0.34 σ ^{0.54}

※ 詳細な設定方法については、補足説明資料「1. 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+ σ tan9°
	ドレライト, 安山岩	0.30	33	0.30+ σ tan33°
	凝灰岩・凝灰角礫岩	0.09	6	0.09+ σ tan6°
シーム		0.13	18	0.13+ σ tan18°
埋戻土・盛土		0.21	22	0.21+ σ tan22°
埋戻土(購入土)		0.04	21	0.04+ σ tan21°
旧表土		0.00	21	σ tan21°

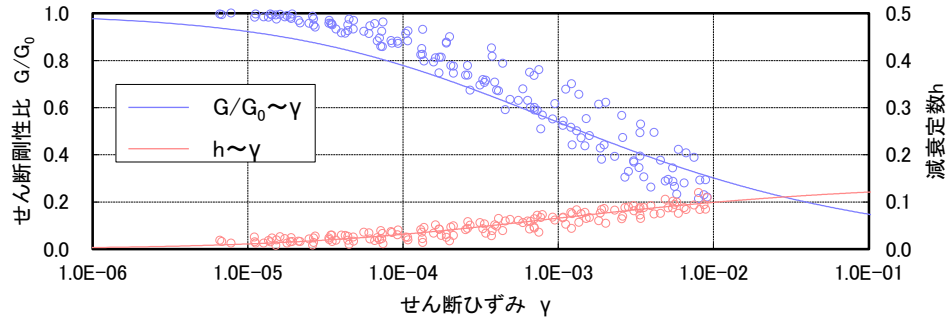
【凡例】

- :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。

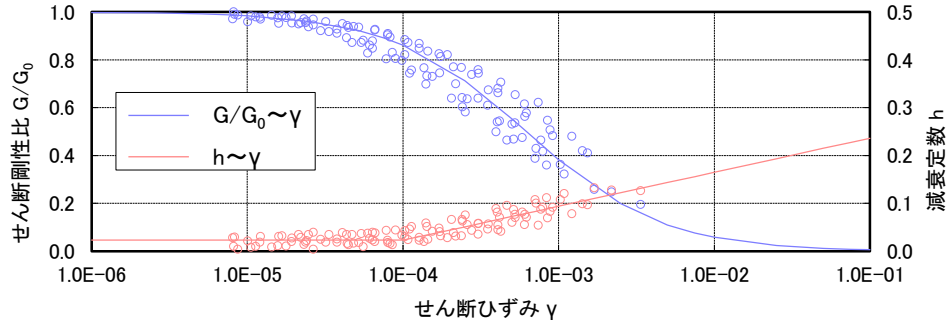
動的変形特性(ひずみ依存特性について)

・ 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。

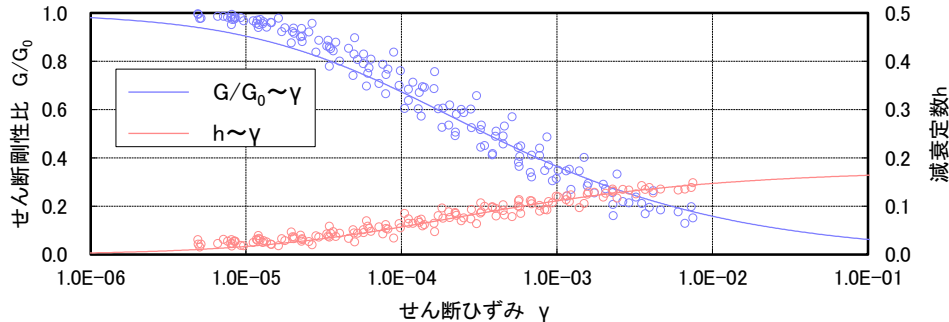
【頁岩, 頁岩・凝灰岩の互層】



【凝灰岩・凝灰角礫岩】

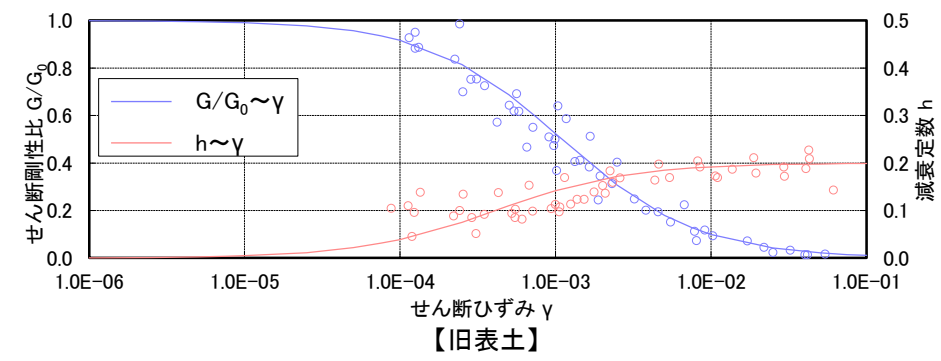
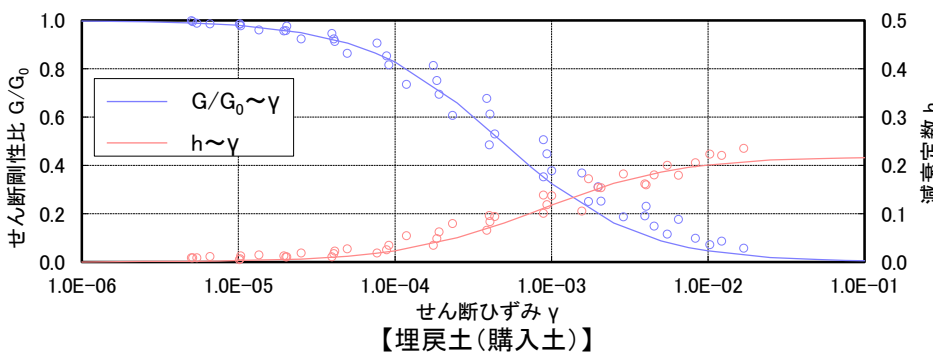
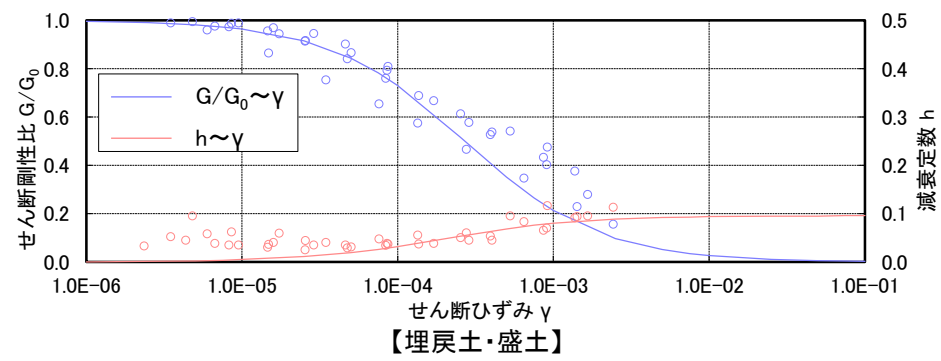
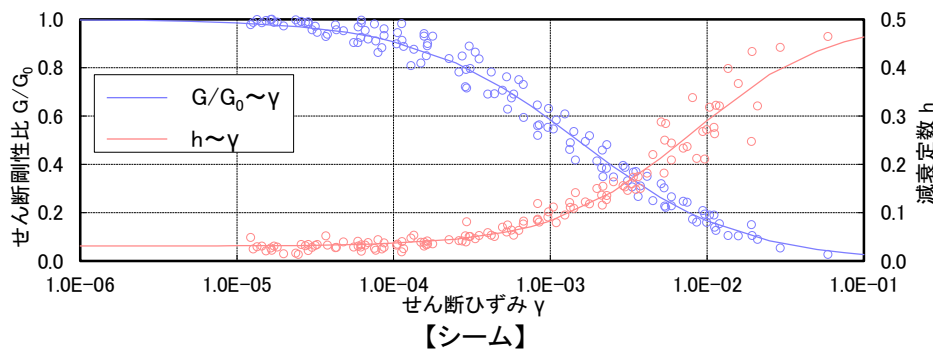


【ドレライト・安山岩】



3. 基礎地盤の安定性評価 3.4 解析用物性値
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。



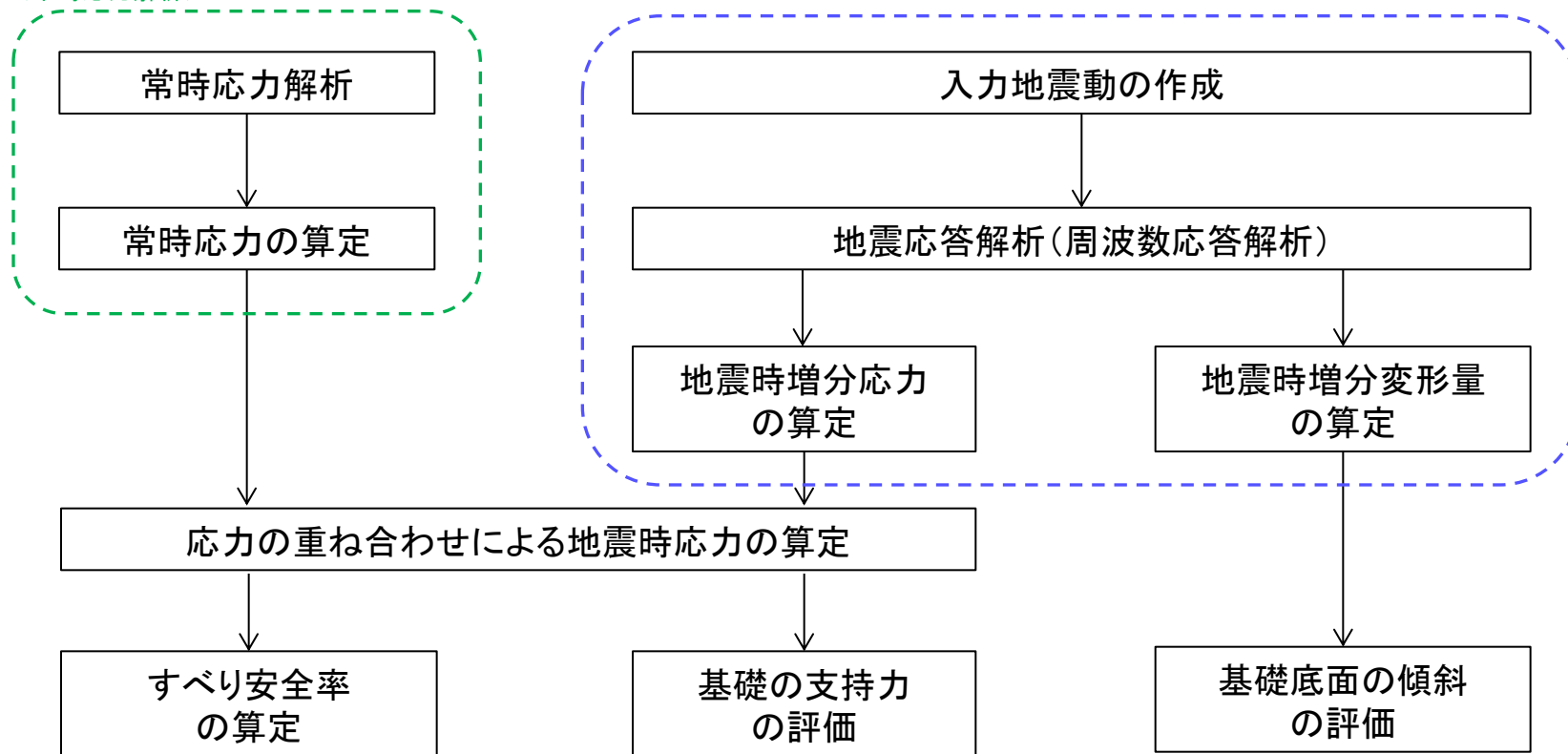
3. 基礎地盤の安定性評価

3.5 評価方法

安定性評価フロー

<常時応力解析>

<地震応答解析>

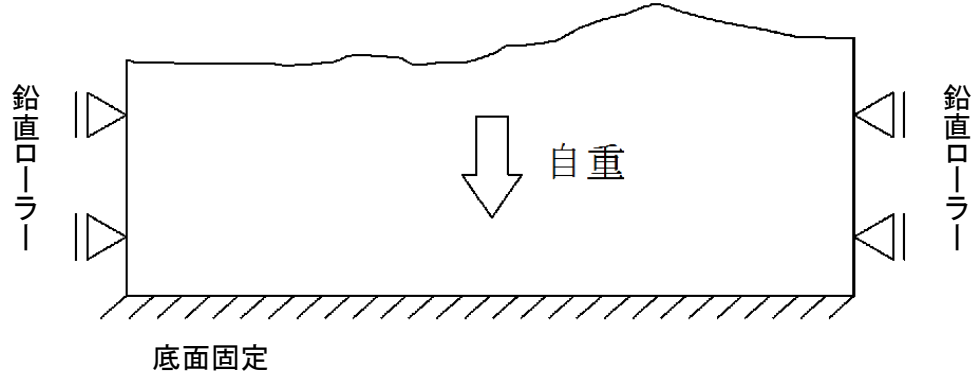


基礎地盤の安定性評価フロー

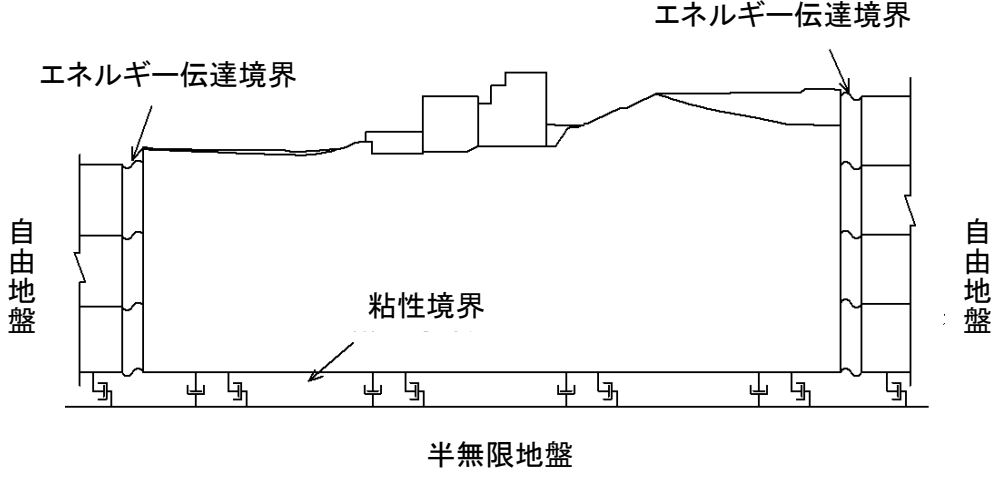
- ・基礎地盤の安定性は、二次元有限要素法に基づく常時応力解析及び地震応答解析(周波数応答解析)により評価した。
- ・地震応答解析については、水平及び鉛直地震動を同時入力した。
- ・D級岩盤、シーム、埋戻土・盛土、埋戻土(購入土)、旧表土は、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した。

- ・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



余白

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 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

[建物・構築物の地下水位設定]

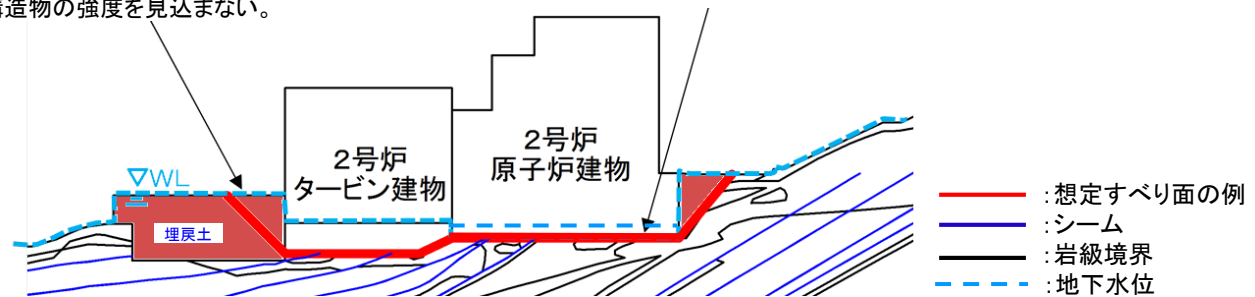
- ・基礎地盤の2次元動的FEM解析における建物・構築物の地下水位の設定に当たっては、地下水位低下設備の機能に期待する建物・構築物の地下水位より保守的な建物基礎上面とし、地下水位低下設備の機能に期待しない建物・構築物の地下水位は地表面とする。
- ⇒ 2号炉原子炉建物, 2号炉タービン建物, 2号炉廃棄物処理建物, 制御室建物及び2号炉排気筒の地下水位 : 建物基礎上面
- 上記以外の建物・構築物の地下水位 : 地表面

[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。

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。

2号炉原子炉建物及び2号炉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>

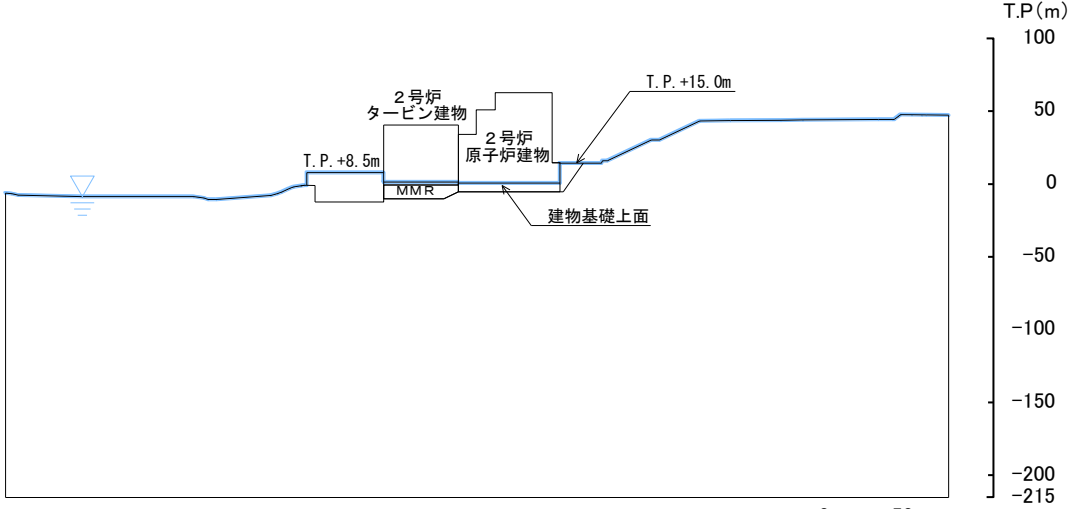
- ・単位体積量が**大きくなる**と、すべり安全率評価上は、起動力、抵抗力の両方に影響があるが、シーム、埋戻土、低位岩級等、すべり安定上厳しいすべり面を想定する場合、相対的に起動力の方が大きくなるため、単位体積重量を飽和重量として考慮する場合、すべり安全率評価上、保守的な評価となる。

<基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜>

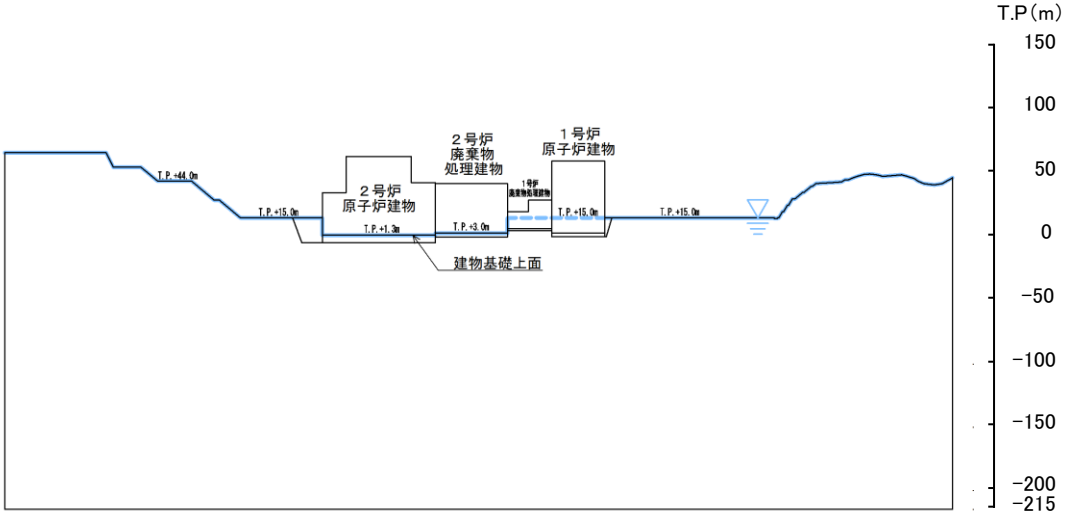
- ・地下水位は影響しない。

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。

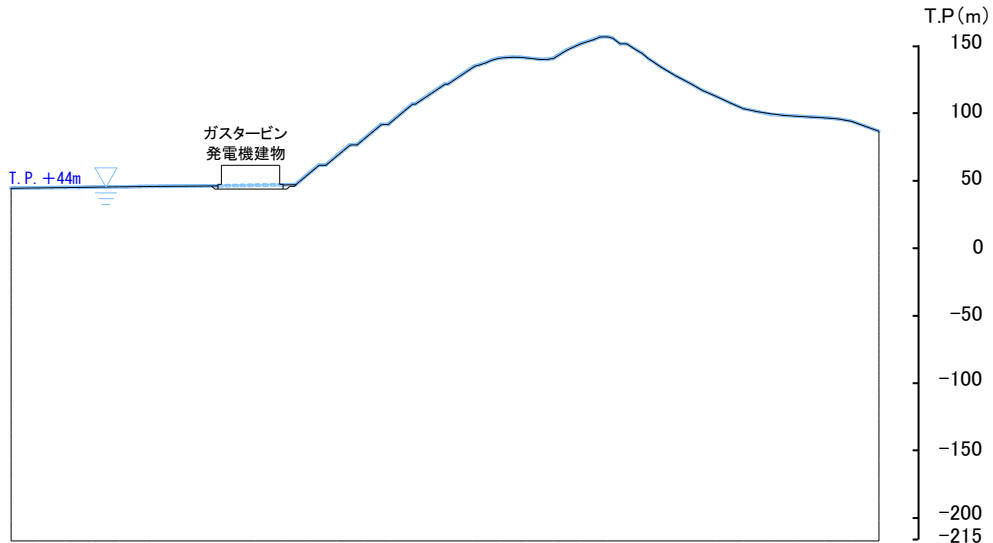


2号炉原子炉建物(南北) ①-①' 断面

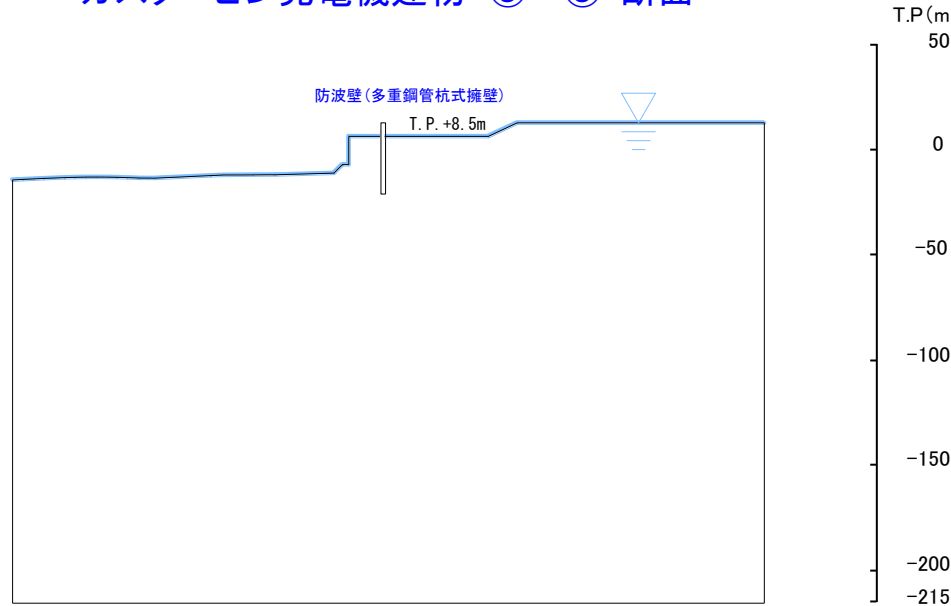


2号炉原子炉建物(東西) ②-②' 断面

2次元動的FEM解析における地下水位の設定(2/3)

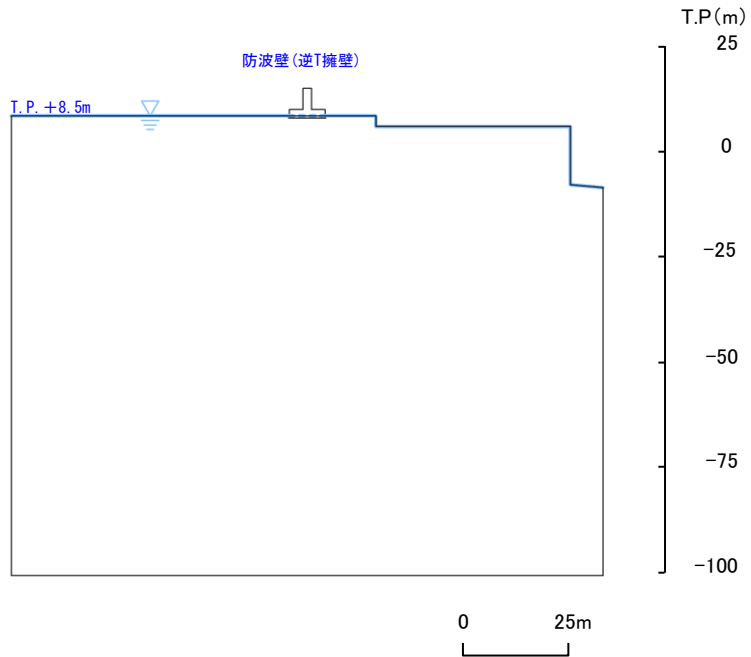


ガスタービン発電機建物 ③-③' 断面



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) ⑦-⑦' 断面

2次元動的FEM解析における地下水位の設定(3/3)



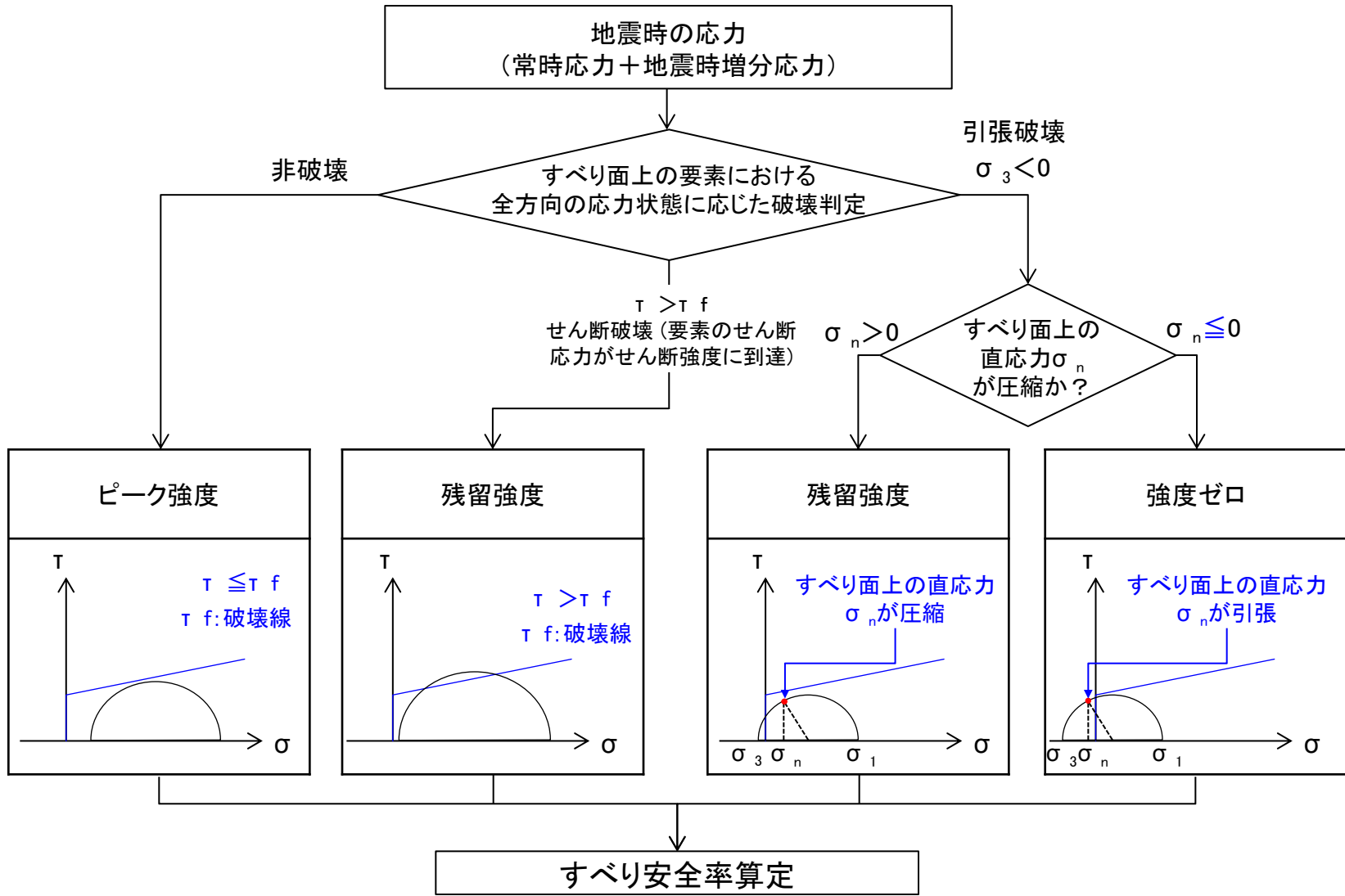
防波壁(逆T擁壁) ⑪-⑪' 断面

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。

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

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。

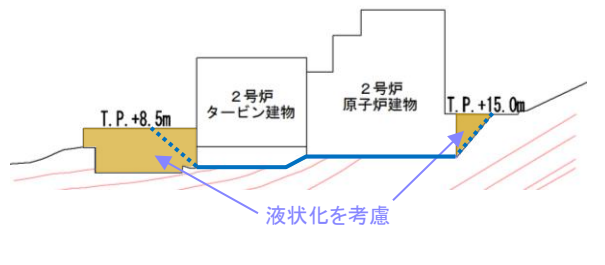
3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

すべり面の設定(1/2)

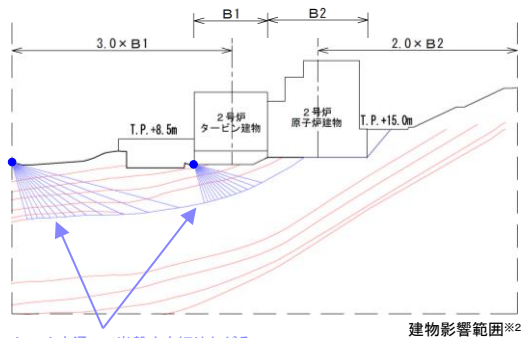
- ・基礎底面を通るすべり面は、建物隅角部から切り上がるすべり面を設定する。
- ・シームを通るすべり面は、シームを通過して岩盤内を切り上がるすべり面をパラメトリックに設定する。(詳細は次頁参照)
- ・基礎底面を通るすべり面及びシームを通るすべり面における応力状態を踏まえ、必要に応じてすべり面を追加設定する。

① 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。
- ・切り上がるすべり面に液状化範囲が設定されている場合は、液状化影響を考慮する。



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

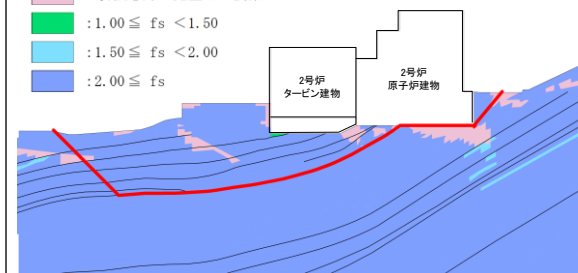
建物影響範囲*2

③ 応力状態を考慮したすべり面

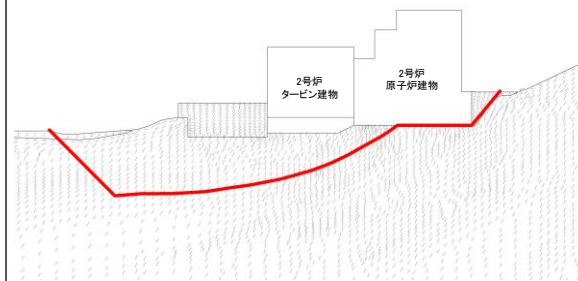
①・②のすべり面における安定解析で得られた最小すべり安全率の応力状態から、①・②のすべり面がモビライズド面等を通るすべり面になっていることを確認し、必要に応じてすべり面を追加設定する。

1) 要素の安全率が低い領域を考慮

- オレンジ : せん断強度に達した要素
- ピンク : 引張応力が発生した要素
- 緑 : $1.00 \leq f_s < 1.50$
- 青 : $1.50 \leq f_s < 2.00$
- 紫 : $2.00 \leq f_s$



2) モビライズド面を考慮



*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「4. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

凡例

- : シーム
- : すべり面
- : 切り上がりの固定点

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

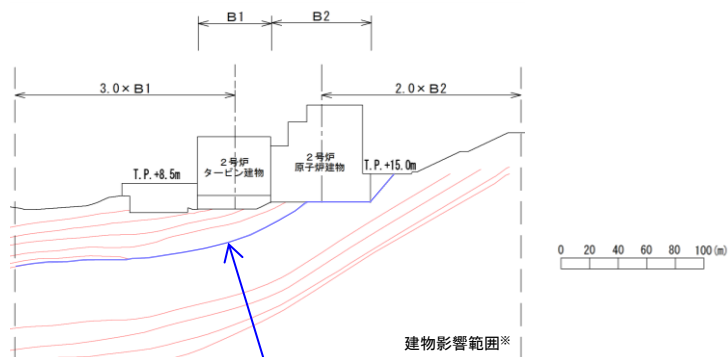
すべり面の設定(2/2)

・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。

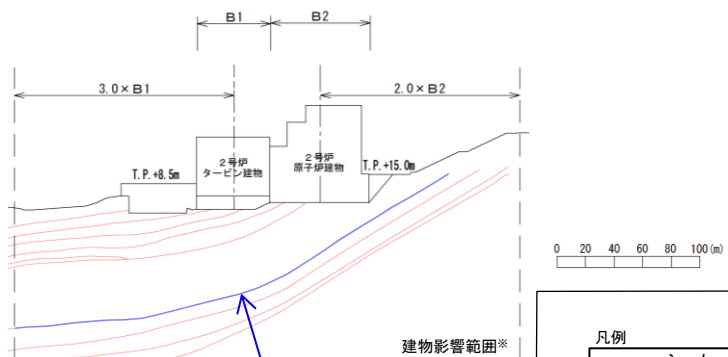
- ①岩盤はせん断強度が大きいので、岩盤を通るすべり面が短くなるように、施設直下のシーム、及びその下位のシームを設定する。
- ②応力が集中する建物隅角部や建物影響範囲、シーム端部を固定点とし、パラメトリックに設定する。

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

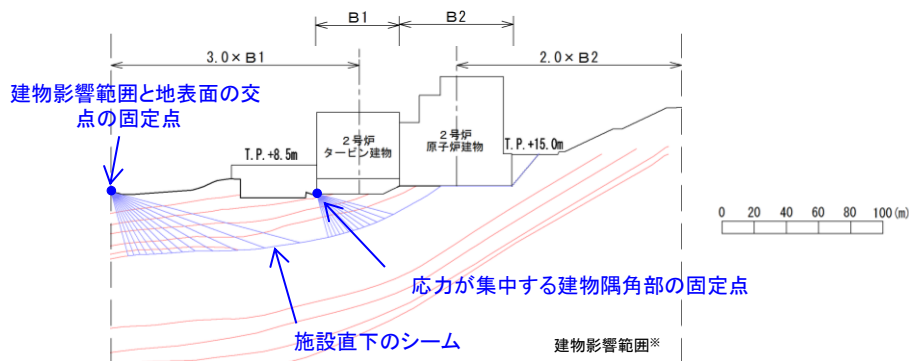
— (red)	: シーム
— (blue)	: すべり面
● (blue)	: 切り上りの固定点

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】

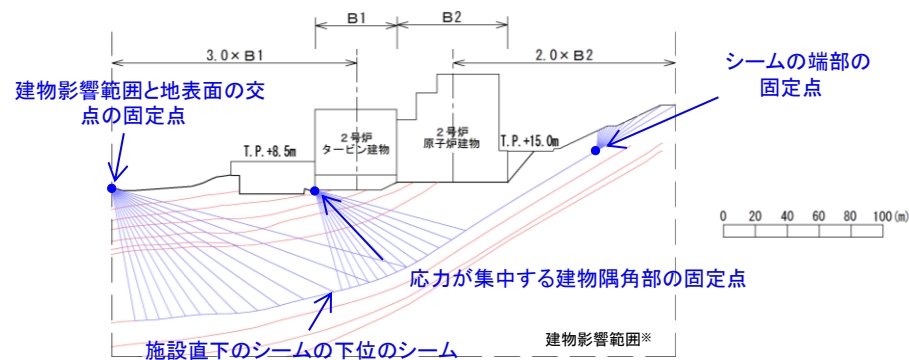
- ・応力が集中する建物隅角部に固定点を設定する。
- ・すべり土塊が大きくなると起動力が大きくなることから、建物影響範囲と地表面の交点を固定点に設定する。
- ・シームが連続しない場合は、シームの端部を固定点に設定する。



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

シームの端部の固定点

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

建物影響範囲

※ 建物影響範囲については、補足資料「4. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

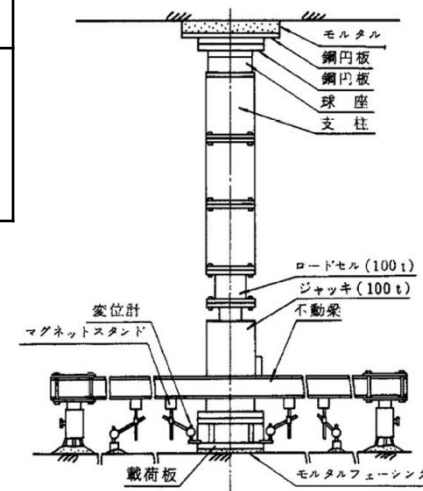
3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

基礎の支持力

・平板載荷試験結果または支持力式に基づき、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以上※3	
防波壁(逆T擁壁)	改良地盤Ⅱ (薬液注入工法)	1.4	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)((社)日本道路協会,平成14年3月)」に示される式により設定した。

- ※1 詳細な設定方法については、補足説明資料「1.6 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 40kg/cm²(=3.9N/mm²)を載荷しても破壊しないことから、評価基準値として3.9N/mm²以上とした。



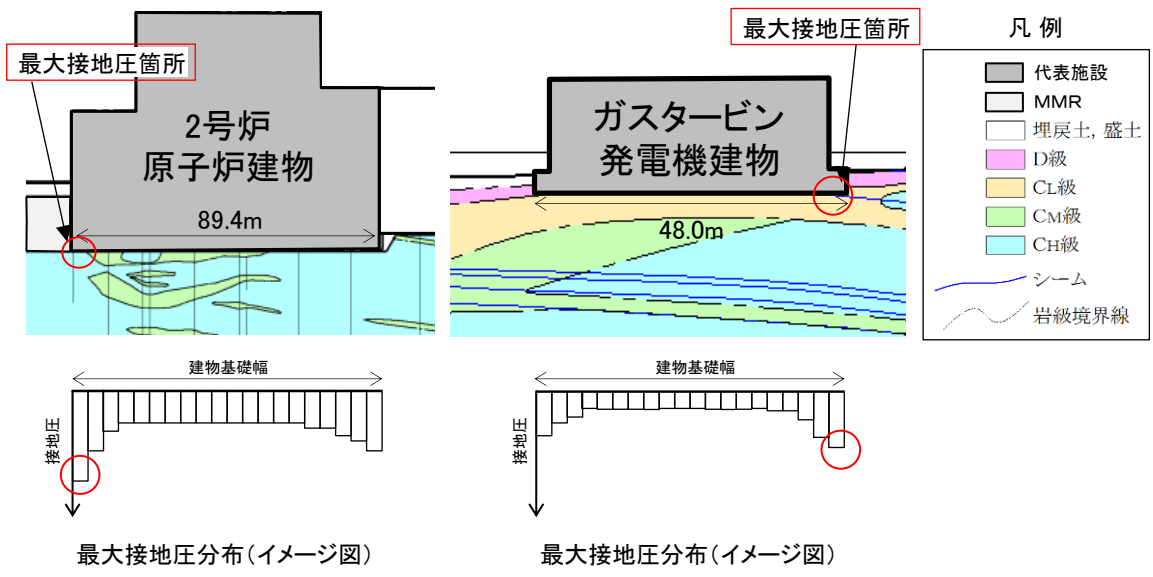
平板載荷試験

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

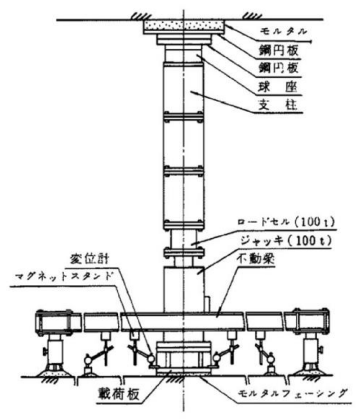
支持力に対する評価方針(2号炉原子炉建物, ガスタービン発電機建物)

- ・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



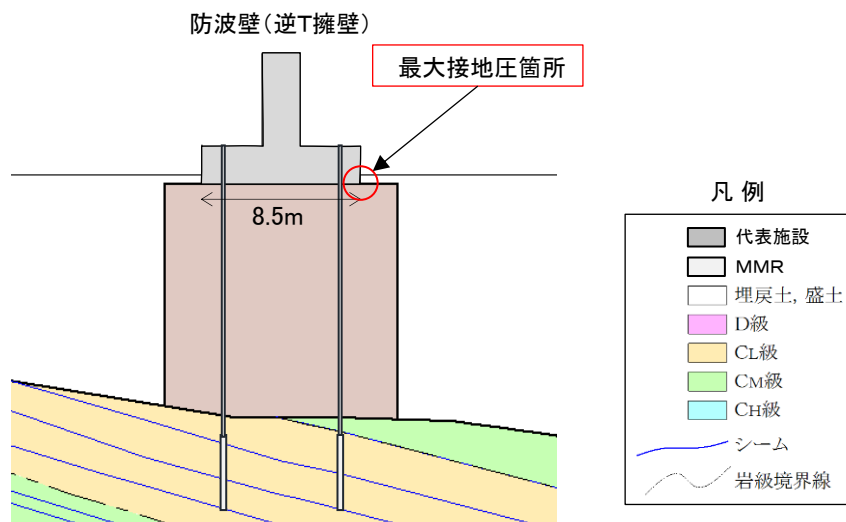
十分な支持性能を有することを確認
 地震時最大接地圧(①+②) < 基礎地盤支持力の評価基準値(③)

3. 基礎地盤の安定性評価 3.5 評価方法

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、支持力式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。



最大接地圧分布(イメージ図)

④基礎地盤支持力の評価基準値

・「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)((社)日本道路協会、平成14年3月)」に示される式により算定(直接基礎として評価)

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

Q_u : 荷重の偏心傾斜、支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力(kN)

c : 地盤の粘着力(kN/m²)

q : 上載荷重(kN/m²)で、 $q = \gamma_2 D_f$

A_e : 有効載荷面積(m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量(kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量を用いる。

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅(m)

$B_e = B - 2e_B$

B : 基礎幅(m)

e_B : 荷重の偏心量(m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ(m)

α, β : 基礎の形状係数

κ : 根入れ効果に対する割増係数

N_c, N_q, N_γ : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

【入力パラメータについての補足】

c : 基礎底面の改良地盤①の粘着力

γ_1 : 基礎底面の改良地盤①の単位体積重量

D_f : 保守的に0mとして設定

α, β : 帯状基礎として設定

N_c, N_q, N_γ : 保守的にせん断抵抗角 $\phi = 0$ として設定

・防波壁(逆T擁壁)(改良地盤Ⅱ(薬液注入工法)) : 1.4N/mm²

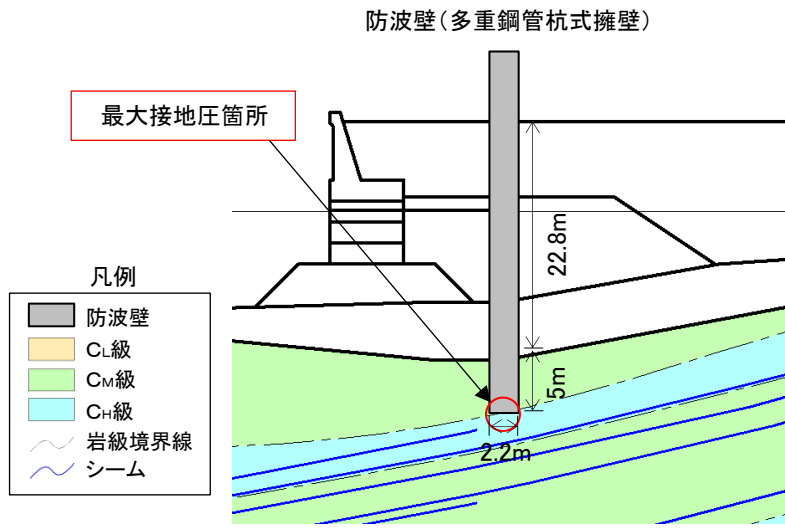
十分な支持性能を有することを確認
地震時最大接地圧(①+②+③) < 基礎地盤支持力の評価基準値(④)

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。

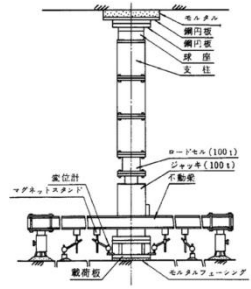
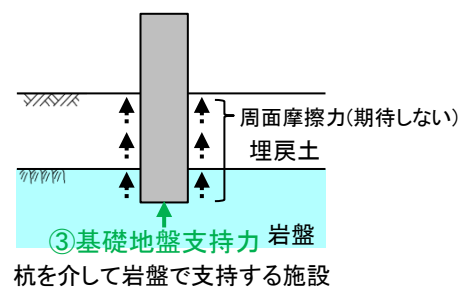
《「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編(平成14年3月)」に示される極限支持力の推定式》

$$R_u = q_d A + \underbrace{U \sum L_i f_i}_{\text{周面摩擦力}}$$

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

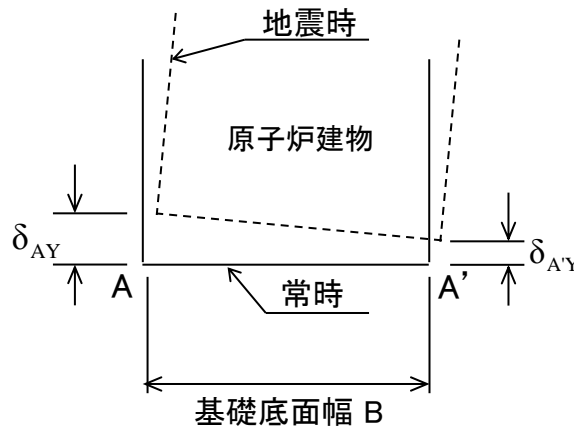
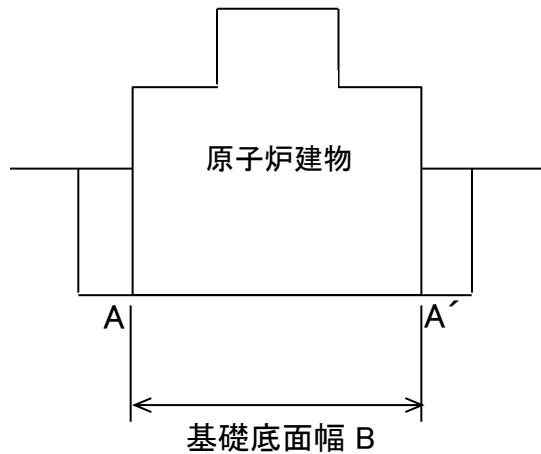


十分な支持性能を有することを確認
 地震時最大接地圧(①+②) < 基礎地盤支持力の評価基準値(③)

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底面の傾斜が, 評価基準値の目安の1/2,000を上回らないことを確認する。
- ・評価基準値の目安を上回った場合は, 基礎底面の傾斜を考慮しても, 施設の構造成立性が確保される見通しを確認することにより, 施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であることを確認する。

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, 発生区間等)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)		
防波壁(逆T擁壁)		



・原子炉建屋基礎底面の傾斜の最大値

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

余白

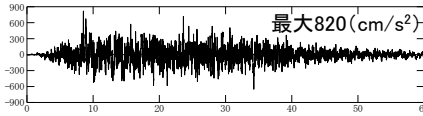
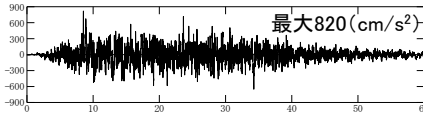
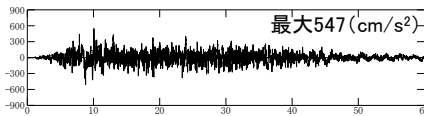
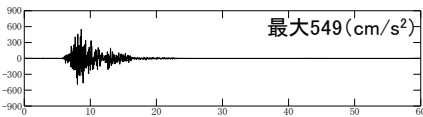
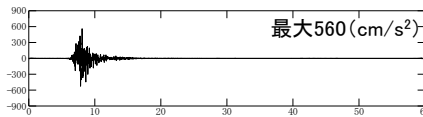
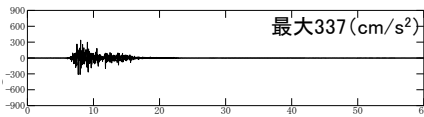
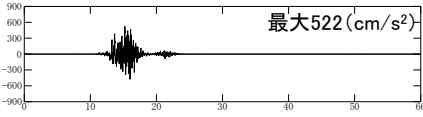
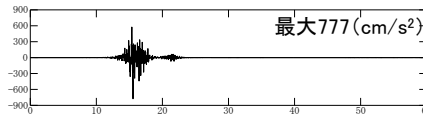
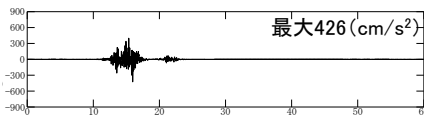
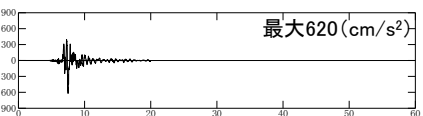
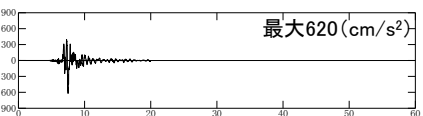

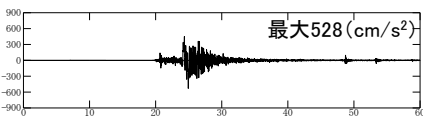
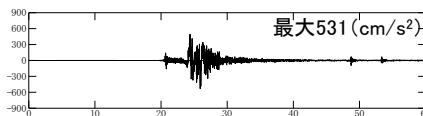
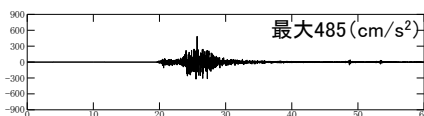
3. 基礎地盤の安定性評価

3.6 入力地震動

余白

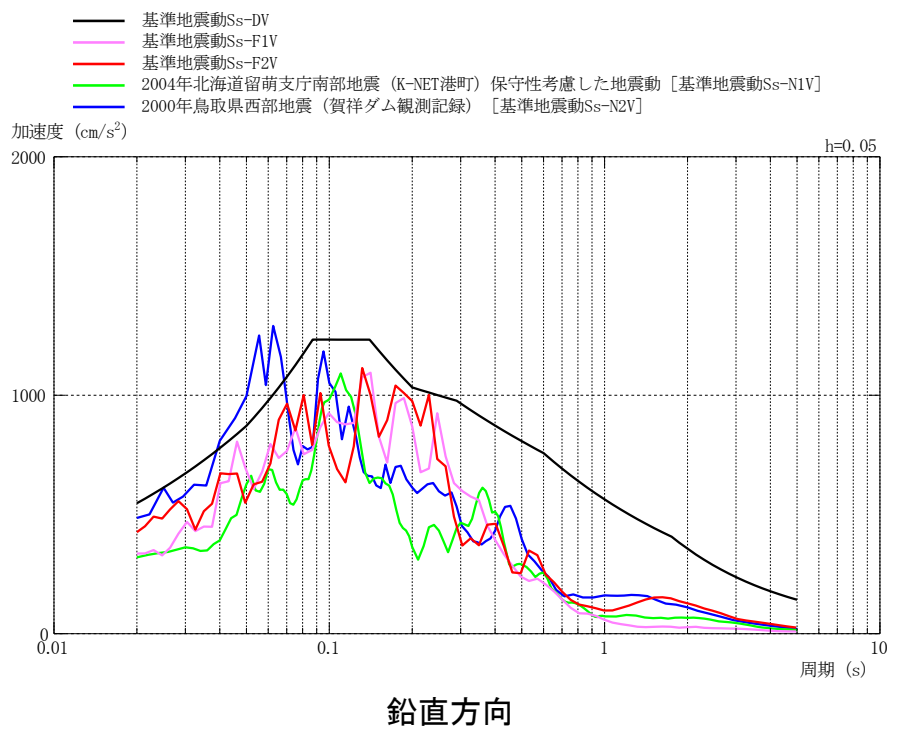
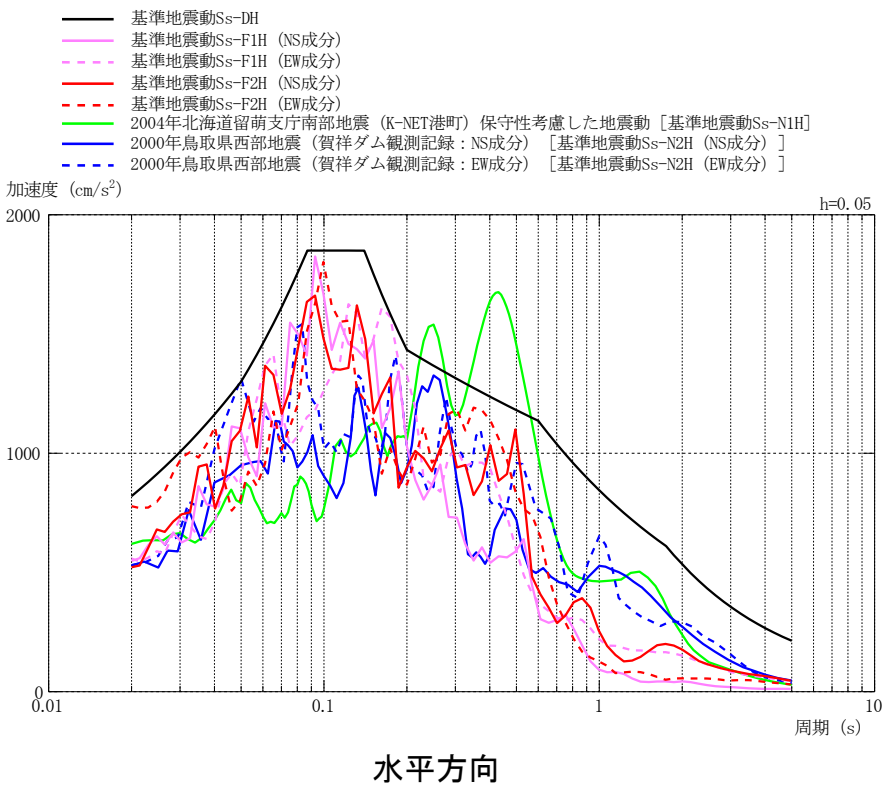
概要

基準地震動の最大加速度値

基準地震動		水平方向(NS成分)	水平方向(EW成分)	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〕			
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〕			
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〕			

※ 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)]

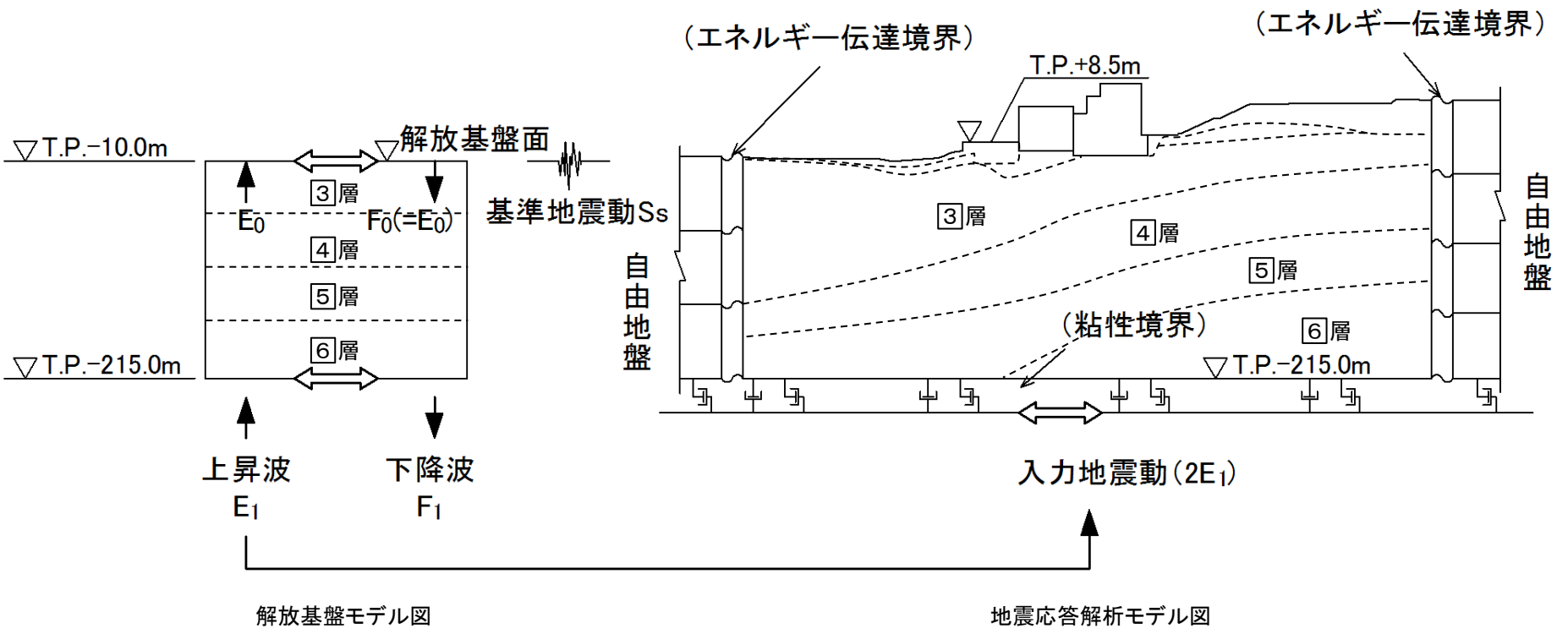
加速度応答スペクトル



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

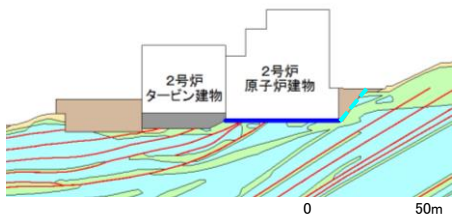
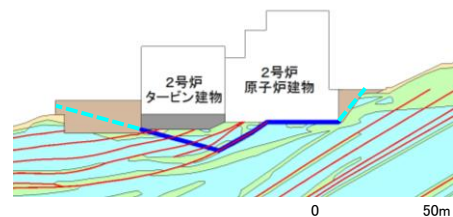
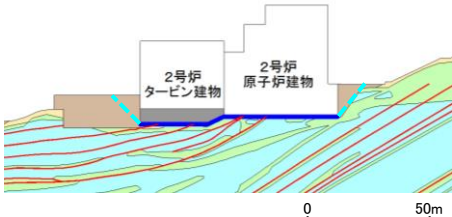
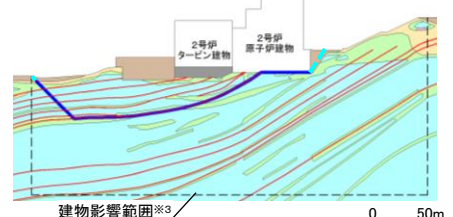
余白

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】

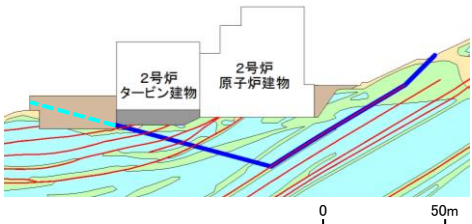
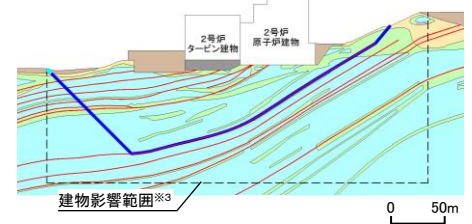
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面 ※4
- : 最小すべり安全率

※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「4. 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)

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}
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}

※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。

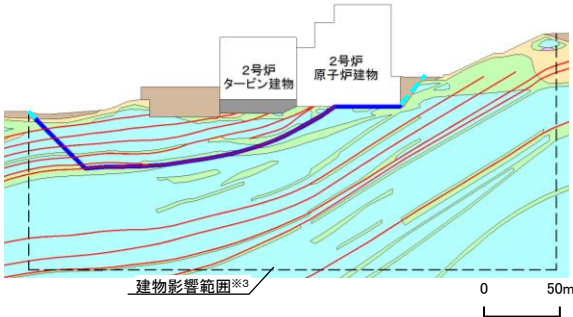
※3 建物影響範囲については、補足資料「4. 建物影響範囲の設定方法」に示す。

※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「4. 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】

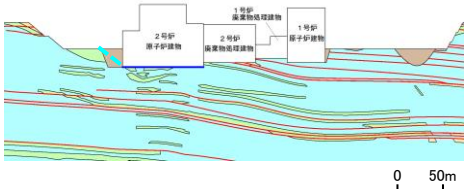
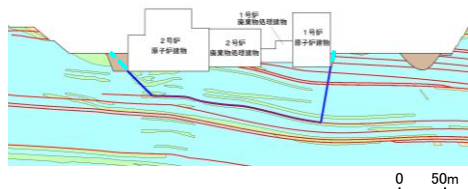
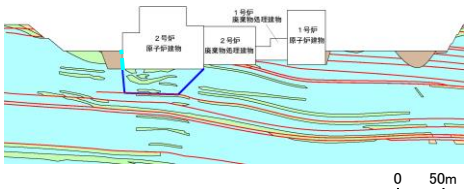
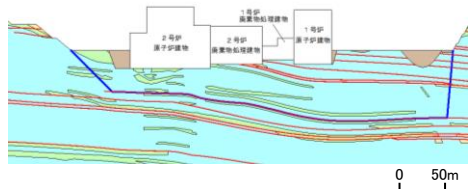
 : C ₊ 級岩盤	 : C _M 級岩盤	 : C _L 級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : MMR	 : シーム	
 : すべり面 ※4			

・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※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
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
- 破線 ※3
- 最小すべり安全率

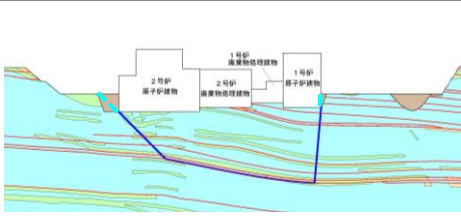
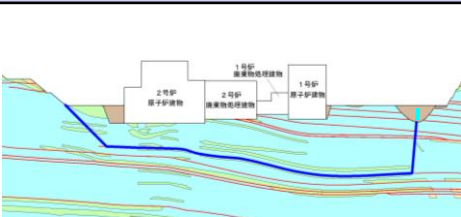
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※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}
5	 <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> <p>0 50m</p>	Ss-N1 (+,+)	5.36 [7.42]	6	 <p>左側斜面法尻からシームを通過して右側の盛土に抜けるすべり面</p> <p>0 50m</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】

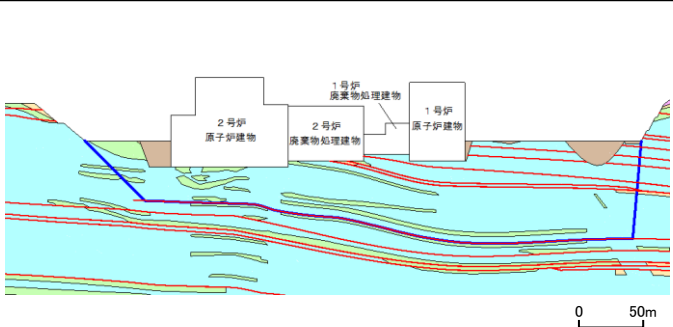
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : D級 岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面^{※3}
- : 最小すべり安全率

・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。

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(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

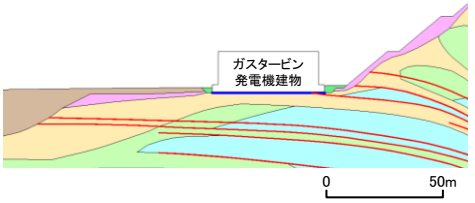
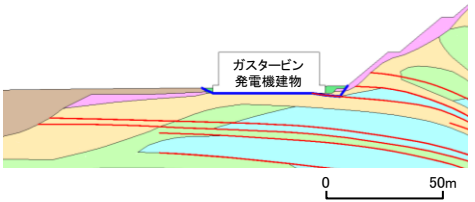
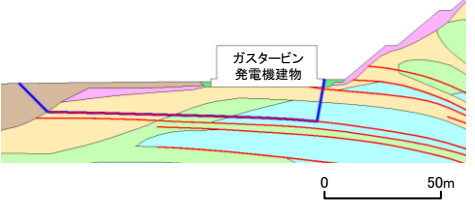
・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

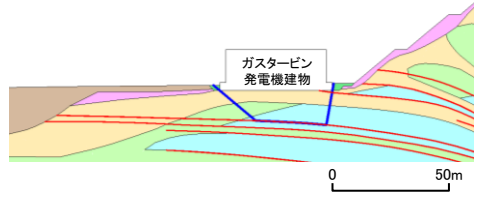
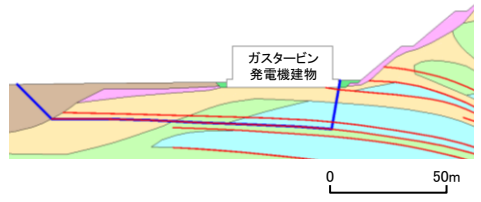
余白

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

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}
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りを考慮しないすべり面)</p>	Ss-D (+,+)	2.90 [8.57]
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]
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 通って埋戻土部に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.98 [7.74]

	すべり面形状	基準地震動 ^{※1}	最小すべり安全率 ^{※2}
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 (+,+)	3.12 [7.45]
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 通って埋戻土部に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	2.02 [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

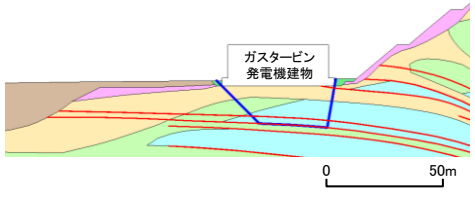
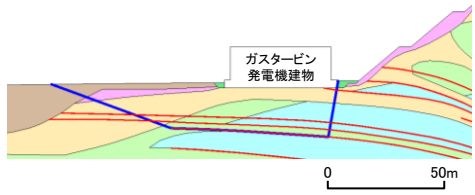
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

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]	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

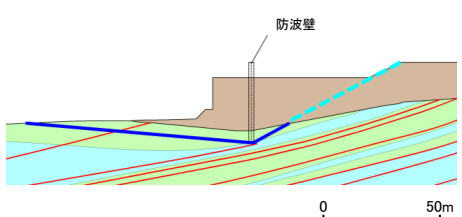
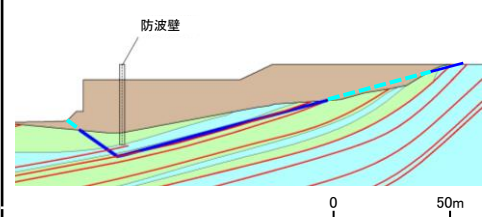
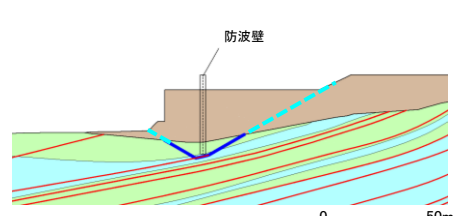
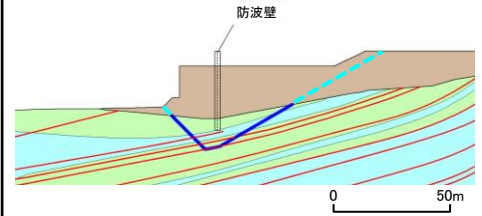
・平均強度を用いたすべり安全率のうち最小ケースに対して、強度のばらつきを考慮して評価を行った結果、すべり安全率は1.5を上回ることを確認した。

余白

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

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, (-,+)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)

※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】

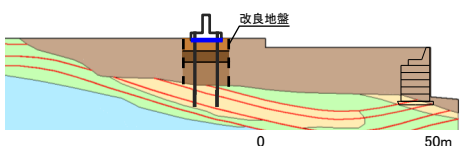
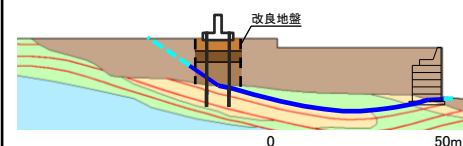
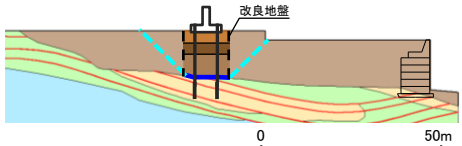
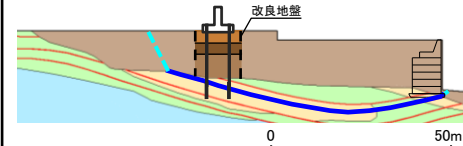
- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : シーム
- : すべり面^{※3}

・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。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

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※ 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
1	 逆T擁壁底面を通るすべり面	Ss-N1 (+,+)	5.90 [7.77]		 B27シームを通るすべり面	Ss-D (+,+)	2.23 [13.10]
2	 地盤改良部底面を通るすべり面	Ss-D (+,+)	8.18 [13.15]		 B25・26シームを通るすべり面	Ss-D (-,-)	1.88 [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)
- ※4 グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

【凡例】

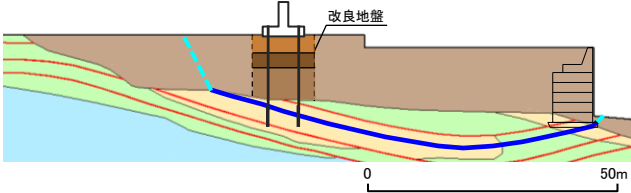
-  : C₄級 岩盤
-  : C₃級 岩盤
-  : C₂級 岩盤
-  : D級 岩盤
-  : 埋戻土、盛土
-  : 改良地盤①
-  : 改良地盤②
-  : 改良地盤③
-  : シーム
-  : すべり面※³
-  : 最小すべり安全率

・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。

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

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 ※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 (-, -)	1.88 [8.98]	1.52 [8.98]

※1 基準地震動(-,-)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 グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

【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
- : 改良地盤①
- : 改良地盤②
- : 改良地盤③
- : 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。

・しかしながら、自主的な裕度向上対策として、防波壁背後の地盤改良を実施する(補足説明13章参照)。

支持力

・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以上
防波壁(逆T擁壁)	Ss-F2	0.38 〔15.43〕	1.4

※ 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。

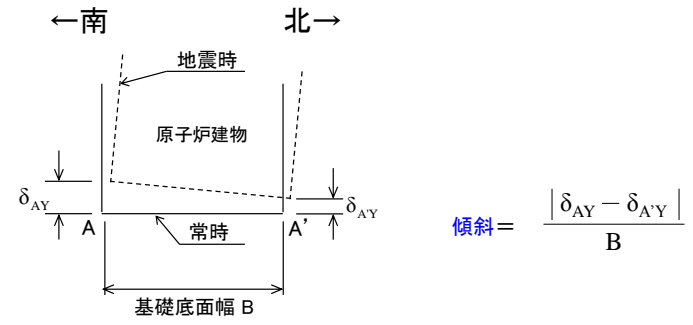
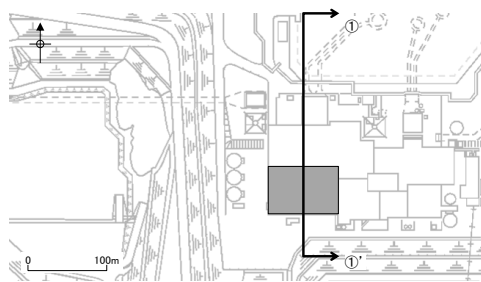
基礎底面の傾斜

	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 (cm)	-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南傾斜, マイナスの場合は北傾斜を示す。



断面位置図

傾斜イメージ図

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

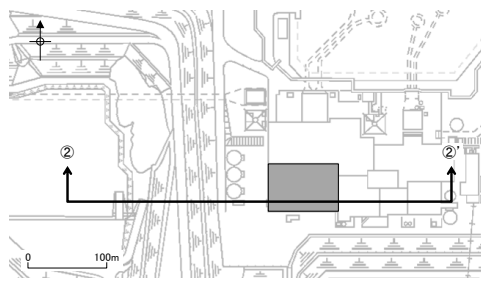
2号炉原子炉建物(②-②'断面)※1. 2

	S _s -N1		S _s -N2				S _s -D				S _s -F1	S _s -F2
			水平NS		水平EW							
	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(-,-)	(+,+)	(+,-)		
相対変位 (cm)	-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

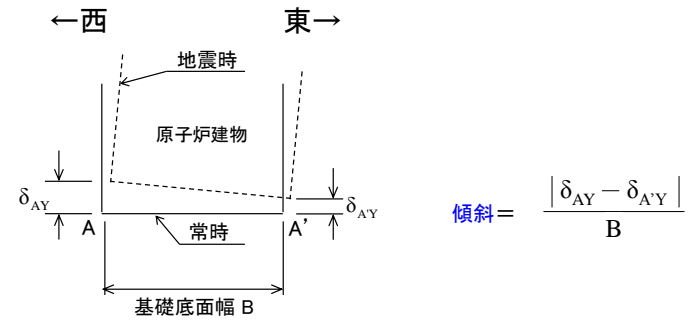
■ : 最大傾斜

※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



傾斜イメージ図

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。

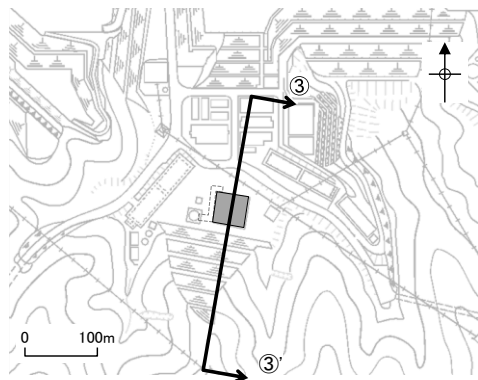
基礎底面の傾斜

	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 (cm)	-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

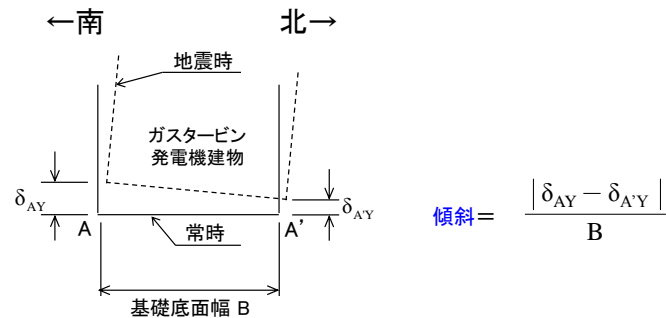
■ : 最大傾斜

※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南傾斜, マイナスの場合は北傾斜を示す。



断面位置図



傾斜イメージ図

3. 基礎地盤の安定性評価 3.7 評価結果

基礎底面の傾斜 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(⑦-⑦'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

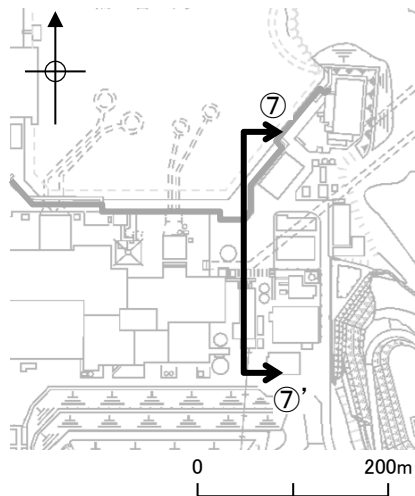
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(⑦-⑦'断面)※1, 2

	S _s -N1		S _s -N2				S _s -D				S _s -F1	S _s -F2
			水平NS		水平EW							
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
相対変位 (cm)	0.0037	-0.0038	-0.0027	-0.0038	0.0026	-0.0024	-0.0049	0.0056	-0.0056	0.0049	-0.0027	0.0037
傾斜	1/59,000	1/57,000	1/81,000	1/57,000	1/85,000	1/90,000	1/44,000	1/39,000	1/39,000	1/44,000	1/80,000	1/58,000

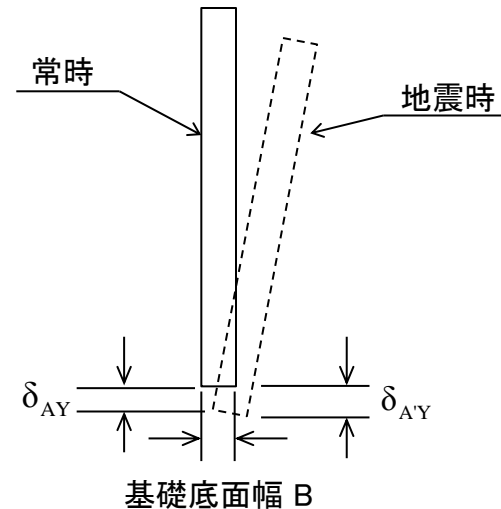
 : 最大傾斜

※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南傾斜, マイナスの場合は北傾斜を示す。



断面位置図



$$\text{傾斜} = \frac{|\delta_{AY} - \delta_{AY}|}{B}$$

傾斜イメージ図

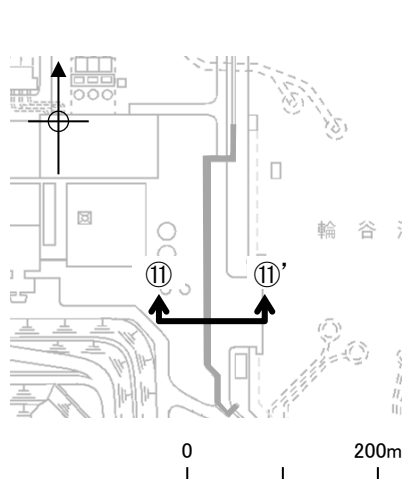
基礎底面の傾斜 防波壁(逆T擁壁)(⑪-⑪'断面)

・各地震動による基礎底面の傾斜の一覧を下表に示す。

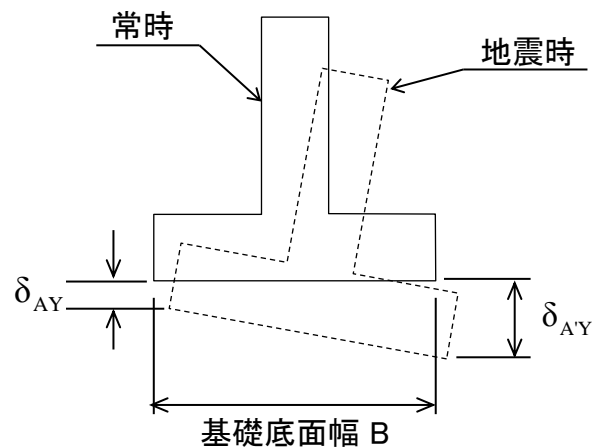
	基礎底面の傾斜											
	防波壁(逆T擁壁)(⑪-⑪'断面)※1, 2											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)			
相対変位 (cm)	4.87	-4.58	1.51	-1.39	-1.33	-1.59	4.59	5.38	-5.38	-4.59	1.92	-2.41
傾斜	1/174	1/186	1/562	1/613	1/638	1/534	1/185	1/158	1/158	1/185	1/443	1/353

■ : 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



$$\text{傾斜} = \frac{|\delta_{AY} - \delta_{AY}|}{B}$$

傾斜イメージ図

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を下回っていることを確認した。

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(2/2)

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
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	⑦-⑦'断面 (南北)	Ss-D (+,-)	0.0056 [10.08]	1/39,000	1/2,000
防波壁(逆T擁壁)	⑪-⑪'断面 (東西)	Ss-D (+,-)	5.38 [34.51]	1/158	1/2,000

※ 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。

- ・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)については、最大傾斜が評価基準値の目安を下回っていることを確認した。
- ・防波壁(逆T擁壁)については、PS検層等に基づく改良地盤の物性値を用いて動的解析を実施した結果、地震動による最大傾斜は1/158となり、評価基準値の目安を上回るが、基礎底面の傾斜1/158を考慮しても構造成立性が確保される見通しを得たことから、改良地盤が施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であると判断した。(P215参照)
- ・防波壁(逆T擁壁)の基本設計方針としては、PS検層等に基づく改良地盤の物性値(管理目標値)が確保されていることを三軸圧縮試験等の室内試験及び原位置試験で確認するとともに、グラウンドアンカーによる変形抑制効果を踏まえた設計を行い、施設の安全機能に影響を及ぼさないように設計することとする。(P216参照)

余白

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。
- ・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)

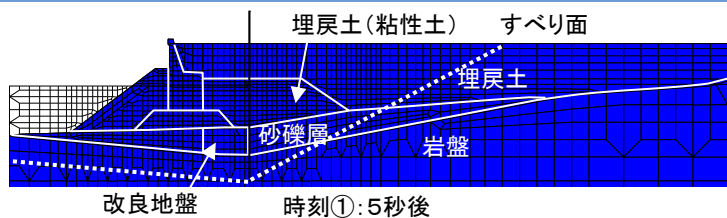
有効応力解析による妥当性確認 検証方法(2/2)

・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。

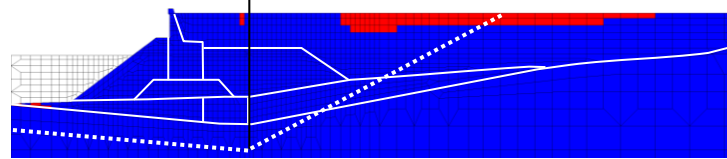
全応力解析の採用手法の妥当性確認 検証に用いる有効応力解析の解析条件

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、埋戻土が最も厚く、液状化による影響が大きいと考えられる「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』と同一の有効応力解析(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、地表面に設定して解析を行う。

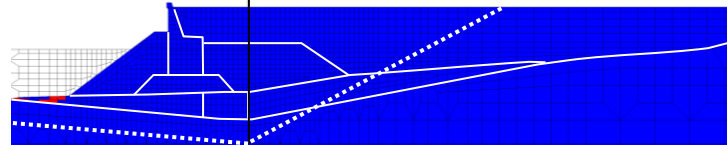
液状化範囲の設定の確認(Ss-D(-,-))



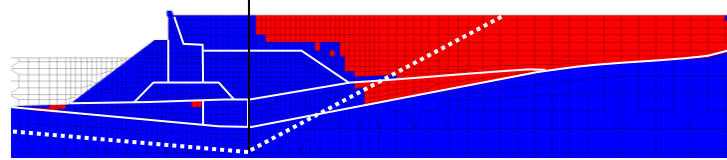
時刻①: 5秒後



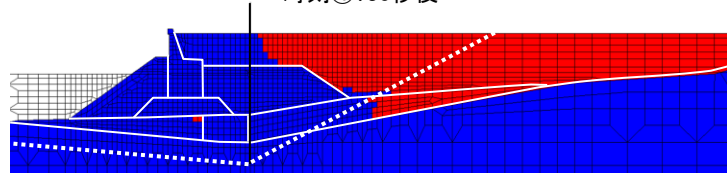
時刻②: 10秒後



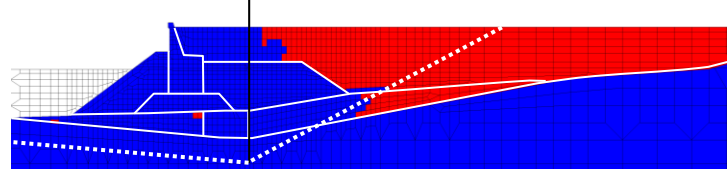
時刻③: 20秒後



時刻④: 30秒後

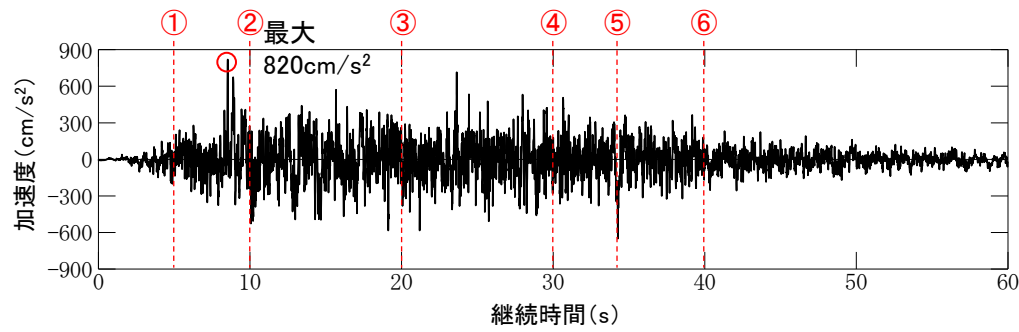


時刻⑤: 34.29秒後(全応力解析のすべり安全率最小時刻)

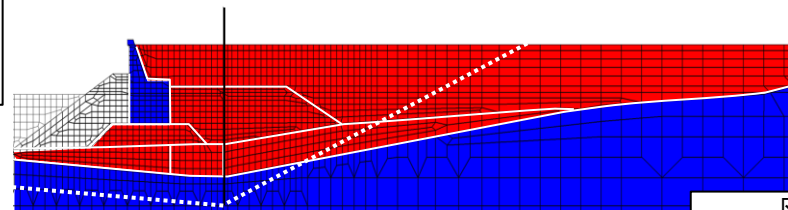


時刻⑥: 40秒後

凡例
■: 過剰間隙水圧比0.95以上
■: " 未滿



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

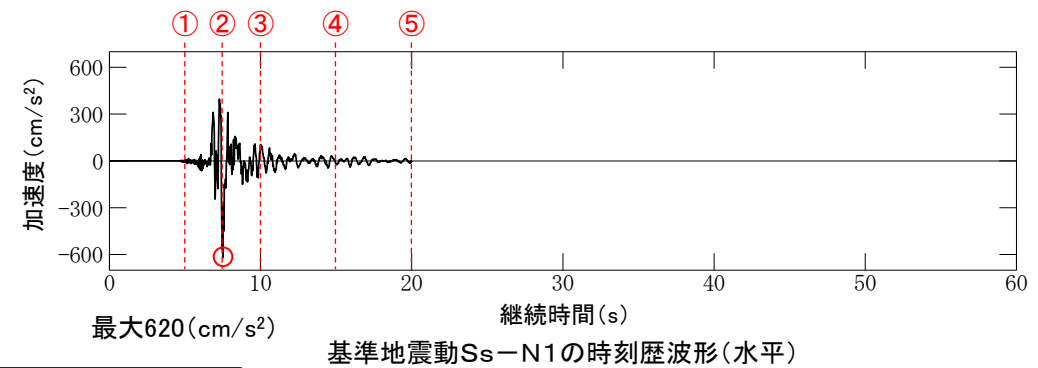
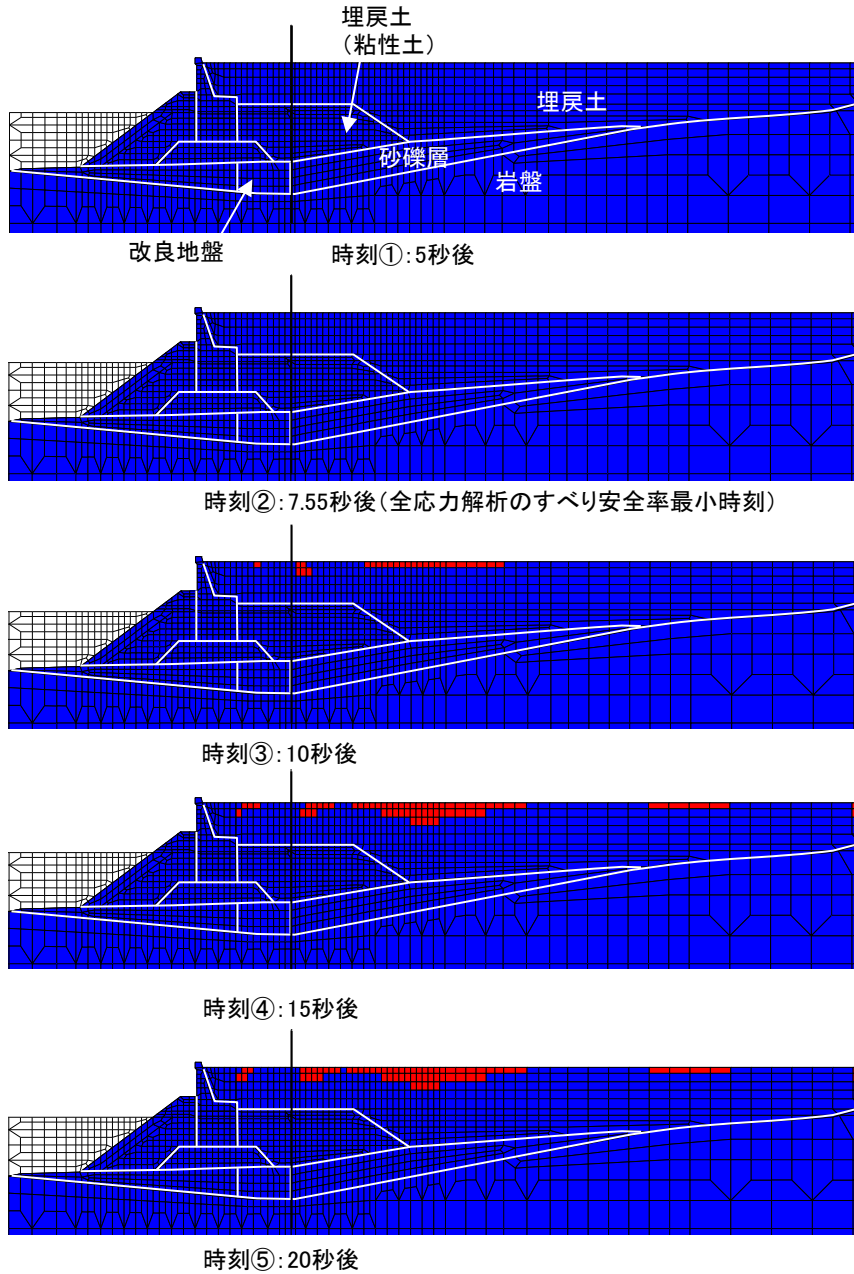


全応力解析の採用手法における液状化範囲の設定(全時刻で同じ設定)

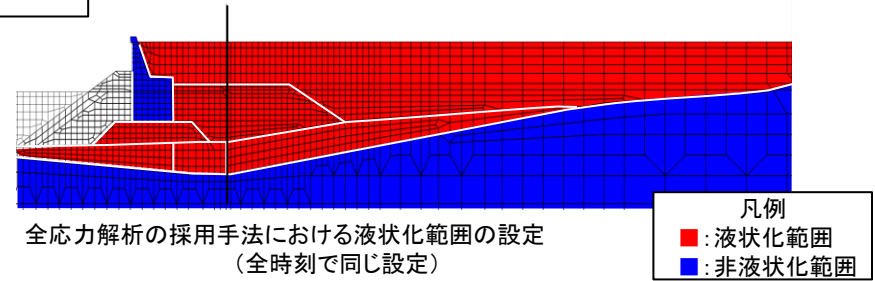
凡例
■: 液状化範囲
■: 非液状化範囲

- ・継続時間が最も長いSs-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Ss-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(Ss-N1(-,+))



凡例
■: 過剰間隙水圧比 0.95以上
■: // 未満

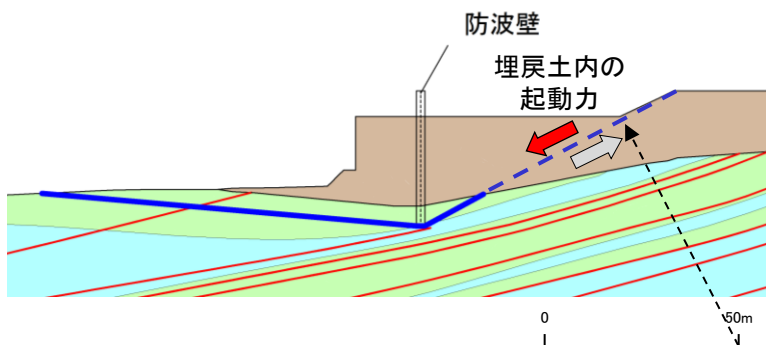


・全応力解析の採用手法によるすべり安全率が最小となるSs-N1(-,+)において、過剰間隙水圧比分布を確認した。

・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7.55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、0.95以上の範囲が広範囲に分布するSs-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



【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

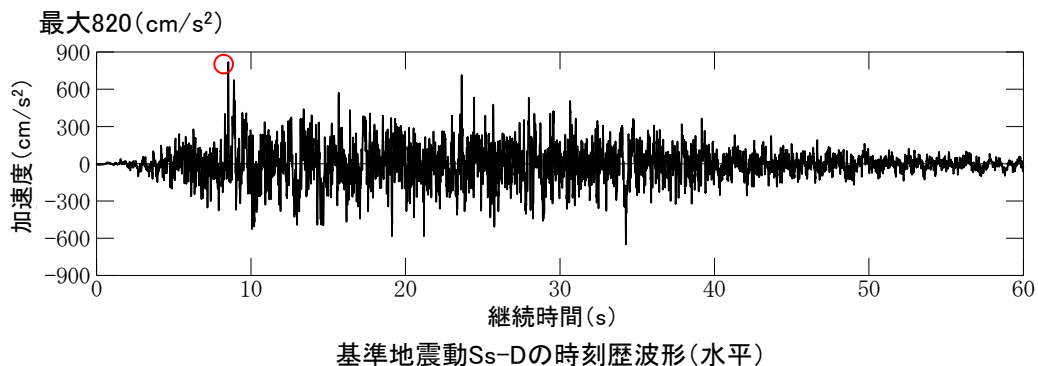
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

※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)

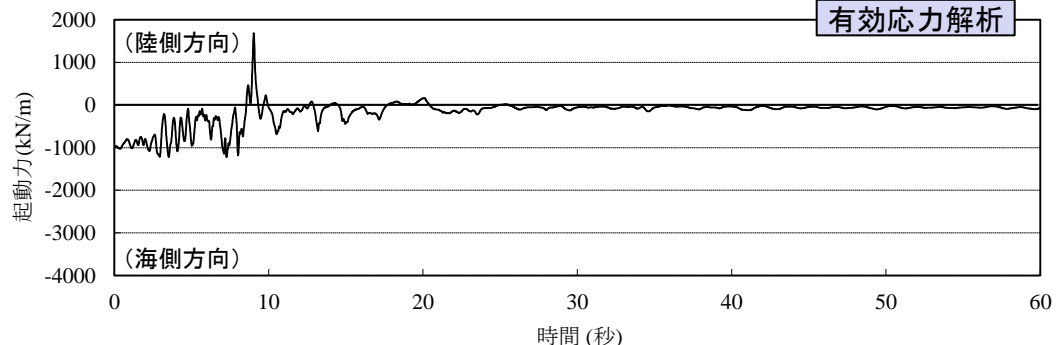
・有効応力解析及び全応力解析において、埋戻土内のすべり面上の起動力を比較した。

・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。

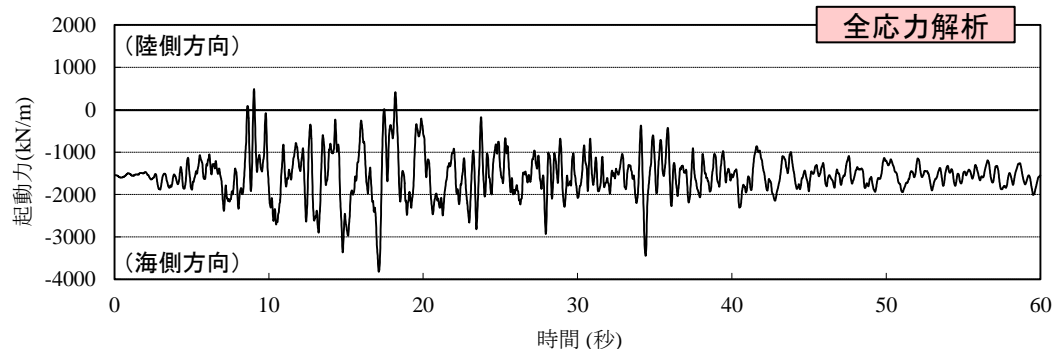
・全応力解析では、地震動の時刻歴波形に対応した起動力が発生しており、概ね1,500kN/mの比較的大きな起動力で推移する。



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

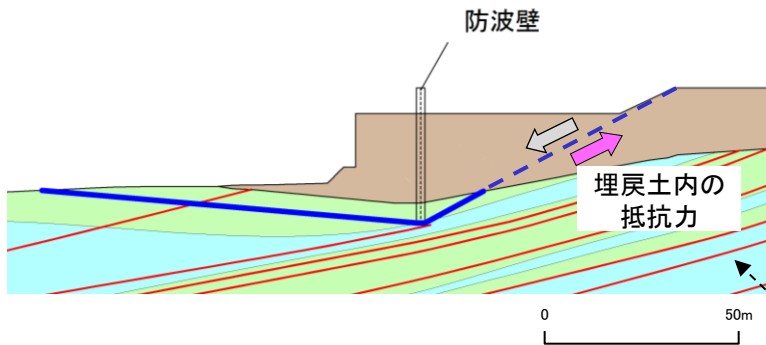


有効応力解析における埋戻土内のすべり面上の起動力(Ss-D(-, -))



全応力解析における埋戻土内のすべり面上の起動力(Ss-D(-, -))

液状化範囲における抵抗力の設定の確認



【凡例】

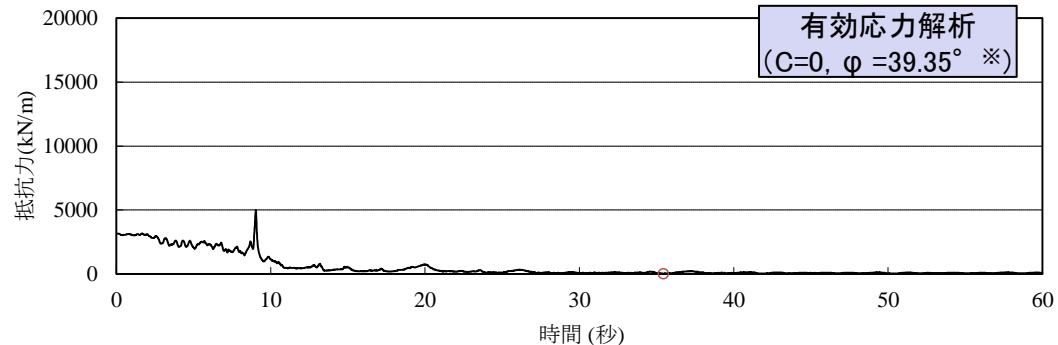
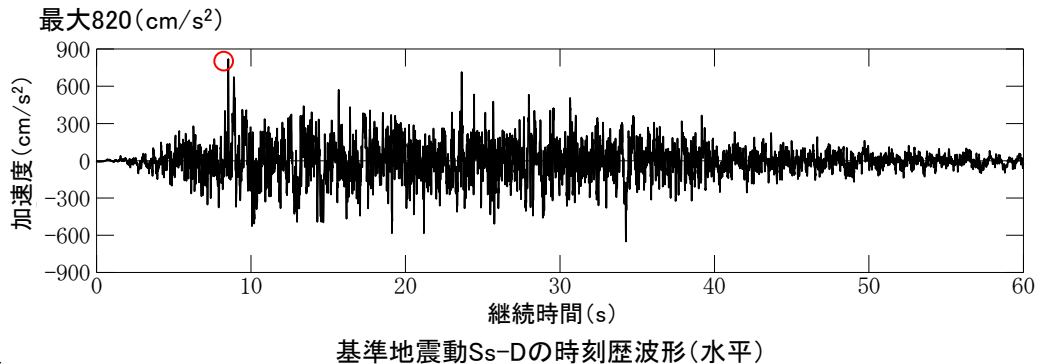
- : C_H級 岩盤
- : C_M級 岩盤
- : C_L級 岩盤
- : 埋戻土, 盛土
- : シーム
- : すべり面 ※1

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)地質断面図

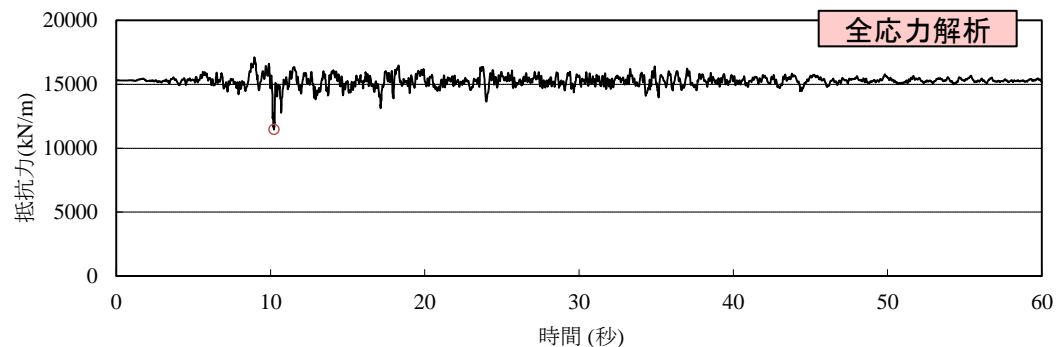
※1 破線は液状化影響を考慮する範囲(「3.5 評価方法」を参照)

- ・有効応力解析及び全応力解析において、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、妥当であると判断した。



有効応力解析における埋戻土内のすべり面上の抵抗力 (Ss-D(-, -))
※FLIPのせん断強度、「防波壁の構造成立性」の審査において設定した値(P183参照)



全応力解析における埋戻土内のすべり面上の抵抗力 (Ss-D(-, -))

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定

- ・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【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}			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> F_{S1}・・・起動力:ゼロ, 抵抗力:ゼロ F_{S2}・・・起動力:有効応力, 抵抗力:ゼロ </div> <p>防波壁底面を通るすべり面</p>	S_s-D (-, -)	1.75 [34.29]		1.66 [—※4]			
		岩盤	埋戻土	起動力	抵抗力	起動力	抵抗力
		全応力	ゼロ	全応力	ゼロ	全応力	ゼロ

※1 基準地震動(-,+)
 ※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 等時刻性を考慮しない(P179参照)

【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			

・保守的な条件により算定した有効応力解析によるすべり安全率 F_{S2} が1.5を上回ること、及び全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 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と判断した。(有効応力解析によるすべり安全率 F_{S2} の算定方法及び保守性については、次頁以降を参照)

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法の保守性(1/4)

・全応力解析の採用手法と有効応力解析を用いたすべり安全率の算定手法の比較並びに有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法が有する保守性について、下表に示す。

項目		①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)	②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 (FLUSH)	全応力解析 (FLUSH, P186参照)
	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(FLUSH)	有効応力解析(FLIP)
	液状化範囲の設定	地下水位以深を全て 「液状化範囲」に設定する	地下水位以深を全て 「液状化範囲」に設定する
	液状化範囲の起動力	考慮しない(ゼロとする)	保守性1:起動力の時刻 考慮する (10秒以降の最大値, 次頁参照)
	液状化範囲の抵抗力	考慮しない(ゼロとする)	保守性2:抵抗力の設定 考慮しない(ゼロとする)

保守性1:起動力の時刻

・岩盤部が最小すべり安全率を示す時刻(34.29秒)では、液状化の進展により有効応力の起動力は小さくなっているが、保守的に10秒以降の最大値を採用している。

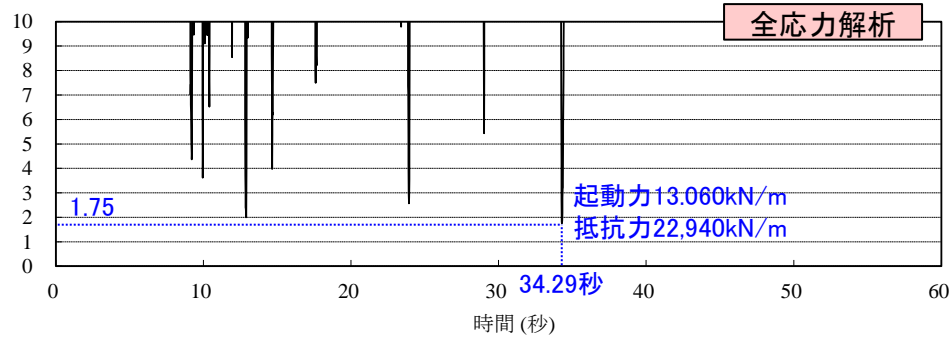
保守性2:抵抗力の設定

・残存する有効応力に対応した抵抗力が考慮できるが、保守的にゼロとしている。

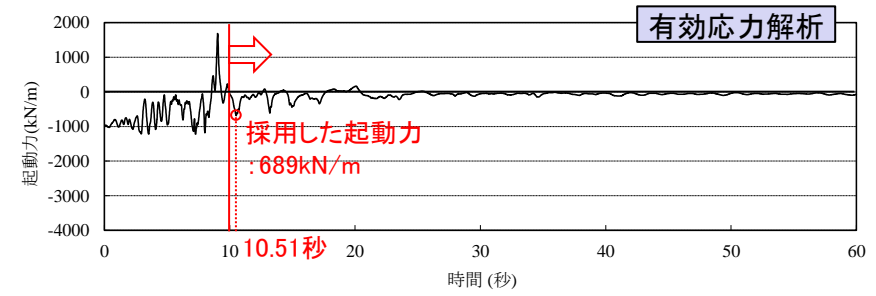
有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法の保守性(2/4)

【算定方法】

- ・液状化範囲外(=岩盤部)については、岩盤部の最小すべり安全率を示す時刻の起動力及び抵抗力を用いる。
- ・液状化範囲内(=埋戻土)については、約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、左下図のとおり10秒以降の起動力の最大値である689kN/mを採用している。
- ・液状化範囲内の抵抗力については、ゼロに設定している。



全応力解析における岩盤部のすべり安全率($S_s-D(-, -)$)



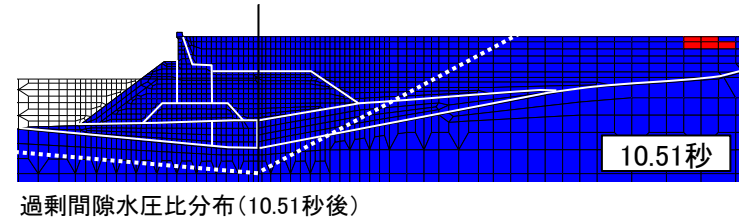
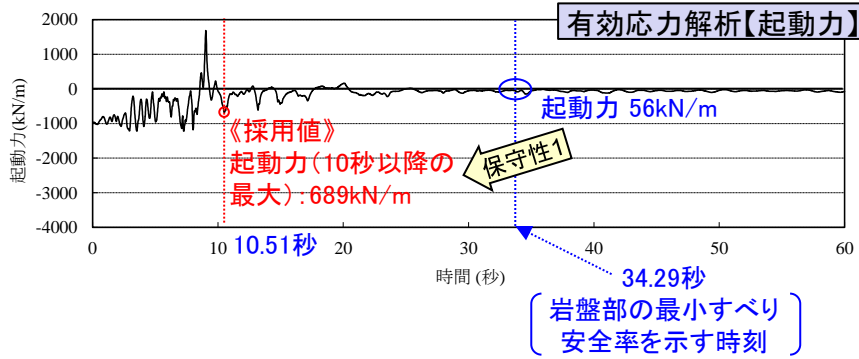
有効応力解析における埋戻土内のすべり面上の起動力($S_s-D(-, -)$)

有効応力を用いたすべり安全率の算定表

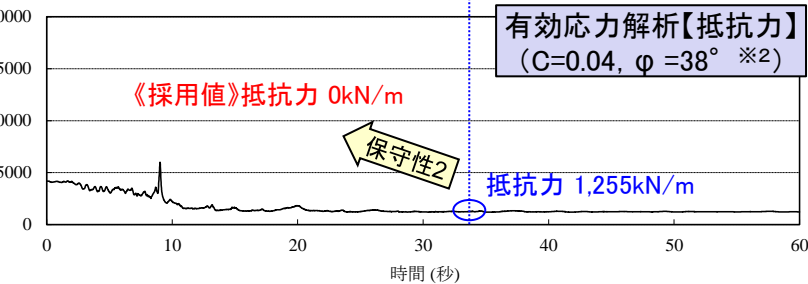
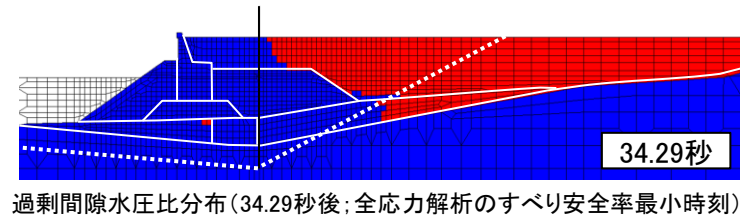
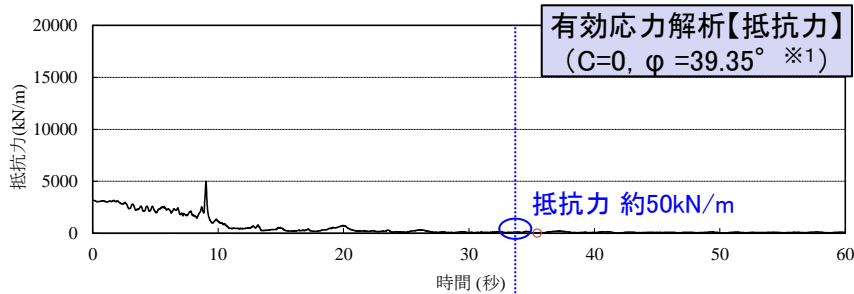
	応力状態 算定方法	①起動力 (kN/m)	②抵抗力 (kN/m)	安全率 (=②/①)	時刻 (秒)	備考
岩盤	全応力 解析	13,060	22,940	1.75	34.29	全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 岩盤部の安全率最小時刻
埋戻土等 (=液状化範囲)	有効応力 解析	689	0	—	10.51	保守性1 10秒以降の起動力最大値 保守性2 抵抗力ゼロ
有効応力解析を用いた すべり安全率 F_{S2} (上記の合計)	—	13,749	22,940	1.66	—	有効応力解析を用いたすべり安全率 F_{S2}

余白

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法の保守性(3/4)



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



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

※1 FLIPで用いているせん断強度(P183参照)

※2 大型三軸圧縮試験結果のせん断強度(P183参照)

保守性1: 起動力の時刻

・岩盤部の最小すべり安全率を示す時刻(34.29秒)では、過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の減少により、起動力は56kN/mと小さくなっているが、保守的に10秒以降の最大値689kN/m(10.51秒)を採用している。

保守性2: 抵抗力の設定

・34.29秒においても、すべり面上には残存する有効応力に伴う抵抗力が作用するが、保守的にゼロにしている。

・残存する有効応力に伴う抵抗力は、FLIPで液状化に対して保守的な評価になるように設定しているせん断強度($C=0, \phi=39.35^\circ$)では約50kN/mだが、埋戻土を対象とした大型三軸圧縮試験(CU試験)によるせん断強度($C=0.04\text{N/mm}^2, \phi=38^\circ$)では1,255kN/mの抵抗力が考慮できる。

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

有効応力解析を用いたすべり安全率の算定方法の保守性(4/4)

・前頁の保守性1及び保守性2を加味しない、より現実的な条件で有効応力解析を用いたすべり安全率 F_{S2}' を算定した結果、すべり安全率 F_{S2}' は1.84となり、全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} の1.75を上回ることを確認した。以上のことから、すべり安定性評価において、保守的な評価となる全応力解析の採用手法を用いることは妥当であると判断した。

有効応力を用いたすべり安全率の算定表

	応力状態 算定方法	①起動力 (kN/m)	②抵抗力 (kN/m)	安全率 (=②/①)	時刻 (秒)	備考
岩盤	全応力 解析	13,060	22,940	1.75	34.29	全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 岩盤部の安全率最小時刻
埋戻土等 (=液状化範囲)	有効応力 解析	689	0	—	10.51	保守性1 10秒以降の起動力最大値 保守性2 抵抗力ゼロ
有効応力解析を用いた すべり安全率 F_{S2} (上記の合計)	—	13,749	22,940	1.66	—	有効応力解析を用いたすべり安全率 F_{S2}



	応力状態 算定方法	①起動力 (kN/m)	②抵抗力 (kN/m)	安全率 (=②/①)	時刻 (秒)	備考
岩盤	全応力 解析	13,060	22,940	1.75	34.29	全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 岩盤部の安全率最小時刻
埋戻土等 (=液状化範囲)	有効応力 解析	56	1,255	22.41	34.29	岩盤部の安全率最小時刻 抵抗力も考慮、埋戻土のせん断強度は三軸圧縮試験値
より現実的な条件での 有効応力解析を用いた すべり安全率 F_{S2}' (上記の合計)	—	13,116	24,195	1.84	—	より現実的な条件での有効応力解析を用いたすべり安全率 F_{S2}'

(参考)FLIPのせん断強度の設定方法及び保守性

【せん断強度の設定方法】

・『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』で示されているFLIPのせん断強度は、以下のとおり設定されており、液状化に対する保守性が考慮された設定になっている。

$C = 0$; 液状化評価対象層として、保守的にゼロと設定。※

$\phi = 39.35^\circ$; 液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法で用いたN値より設定。

※ 『港湾構造物設計事例集 第2編 第1章 p.1-69』に準拠して設定

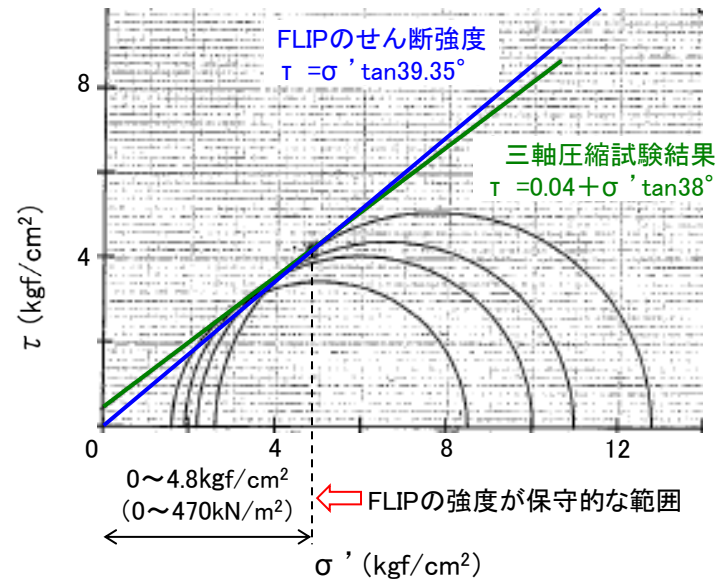
【せん断強度の保守性】

・ 大型三軸圧縮試験(CU)の結果、間隙水圧を除いた有効応力表示のせん断強度は $C=0.04$ (N/mm²), $\phi = 38^\circ$ である。
(同試験の全応力表示の強度は、補足1.2章に示すとおり、 $C=0.22$ (N/mm²), $\phi = 22^\circ$ である)

・ FLIPで用いているせん断強度($C=0$, $\phi = 39.35^\circ$)は、0~470kN/m²の拘束圧下(概ね22mの土被り相当)において大型三軸圧縮試験結果によるせん断強度($C=0.04$ N/mm², $\phi = 38^\circ$)を下回ることから、0~470kN/m²の拘束圧下において保守的な設定となっていることを確認した。

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

(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』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 γ _{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	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}	0.33	0.24
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _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	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
		埋戻土 (掘削スリ) T.P.+8.5m盤	気中	19.6	—	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _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	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _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	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _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	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _m /98) ^{0.5}		
			水中	20.7	10.6	0	39.35	σ' _m sin39.35°	76570(σ' _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τ_f=σ'_m sinφ_f + C cos φ_f

※3 せん断弾性係数の式はG=G_{ma}(σ'_m/σ'_{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』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	飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)
	水中 γ' (kN/m ³)	<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): $q_u / (2 \times \tan(45^\circ + \phi/2))$ 『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
	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
変形特性	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) 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。

(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-Willis³⁾、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)。

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

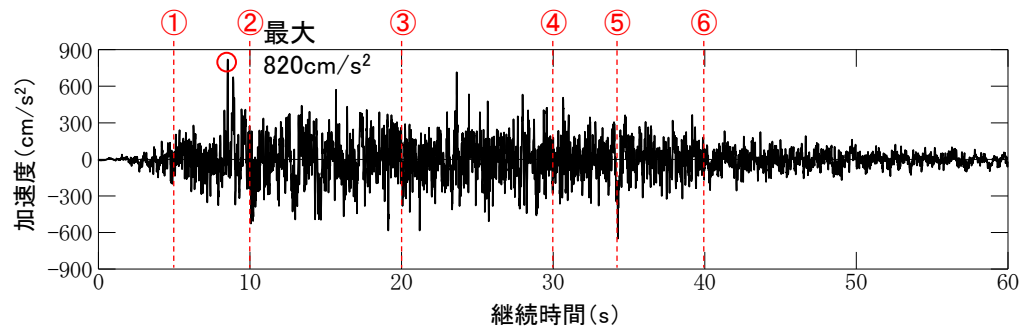
岩盤等級と有効応力係数(α)の関係の対応を試みた結果を表1.4.2に示す。この結果から、A~B級岩盤とCL級岩盤との有効応力係数の差は0.1程度であり、岩盤毎の有効応力係数に大差が無いという結果となった。したがって、有効応力概念の適用性についてはどの岩盤等級に対してもほぼ同等であると結論できる。

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。

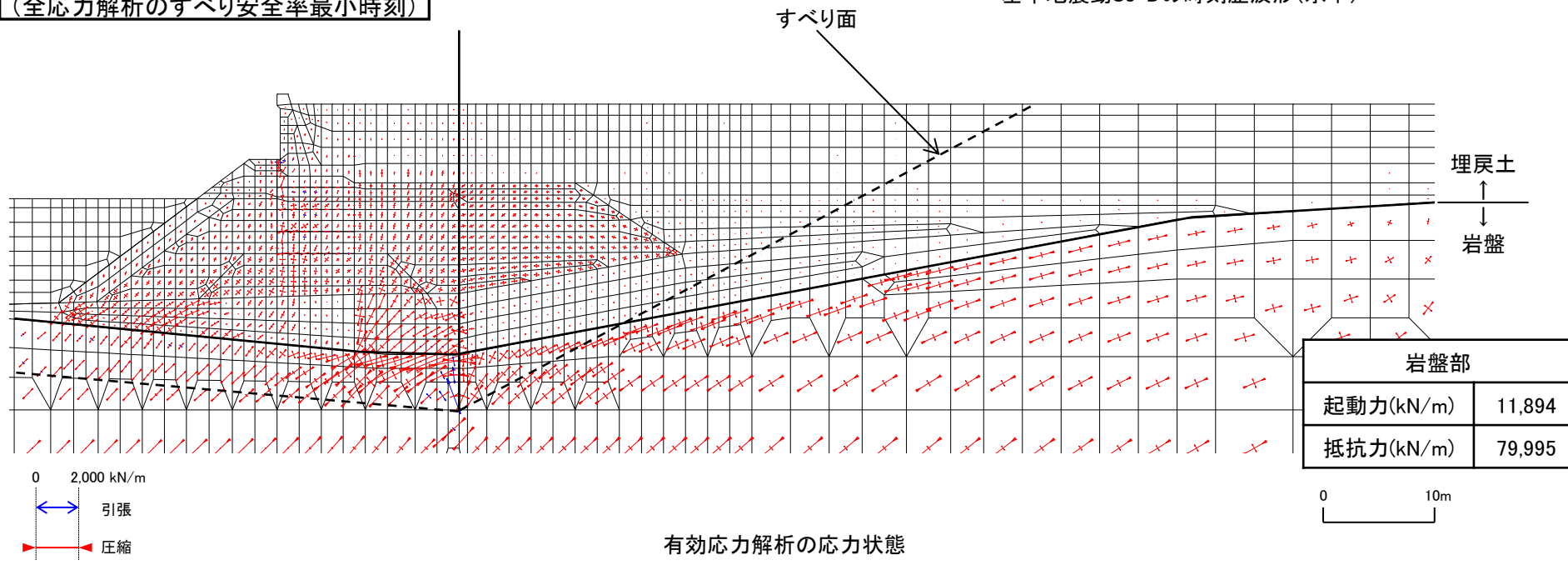
(参考)全応力解析及び有効応力解析の応力状態(1/2)

有効応力解析



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

時刻⑤: 継続時間34.29秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)

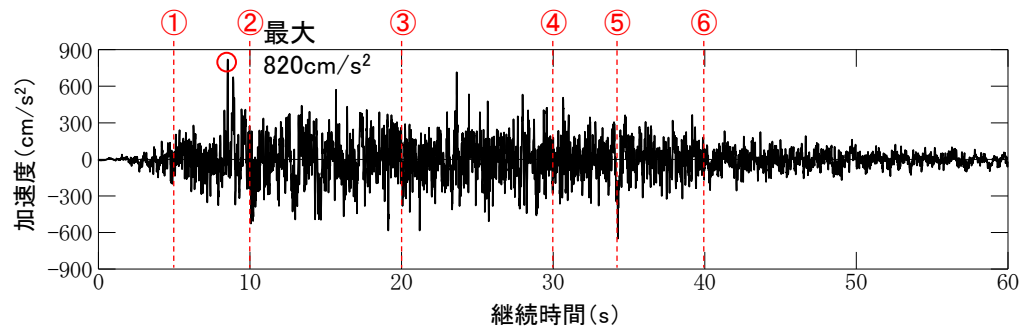


有効応力解析の応力状態

・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。

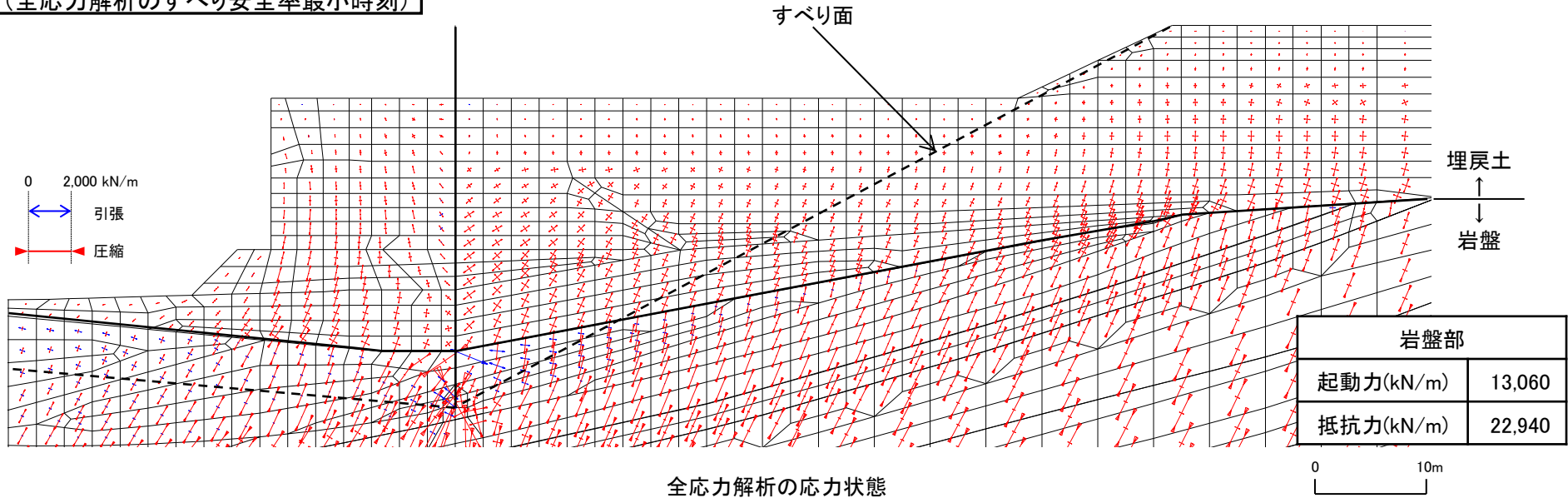
(参考)全応力解析及び有効応力解析の応力状態(2/2)

全応力解析



基準地震動Ss-Dの時刻歴波形(水平)

時刻⑤: 継続時間34.29秒
(全応力解析のすべり安全率最小時刻)



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。

・岩盤部の起動力は有効応力解析の起動力と比較して同程度の値となっており、岩盤部の抵抗力はすべり面が引張領域を通ることから有効応力解析の抵抗力と比較して小さい値となっている。

・よって、すべり安全率の算定において、岩盤部では全応力解析の起動力・抵抗力を用いることは、P186の文献調査結果及び起動力・抵抗力の保守性の観点から妥当であると判断した。

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、妥当であると判断した。

【有効応力解析を用いたすべり安全率】

- 保守的な条件により算定した有効応力解析によるすべり安全率 F_{S2} が1.5を上回ること、及び全応力解析の採用手法によるすべり安全率 F_{S1} 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と判断した。
- より現実的な条件で有効応力解析を用いたすべり安全率 F_{S2}' を算定した結果、すべり安全率 F_{S2}' は採用手法によるすべり安全率 F_{S1} を上回ることを確認した。