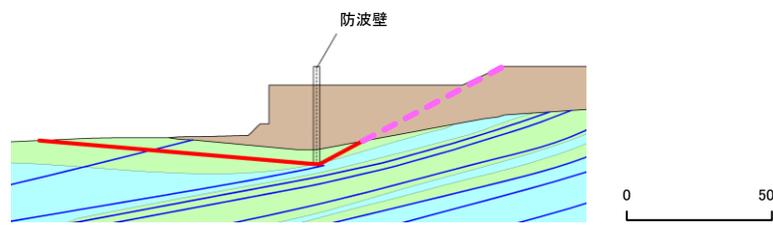


防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤
⑦—⑦' 断面

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤(⑦-⑦'断面 すべり面番号1)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
1	 <p>防波壁底面を通るすべり面 (岩盤部のみのすべりを検討)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.67 [7.55]	1.60 [7.55]

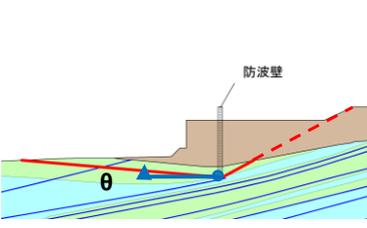
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※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(「本編3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

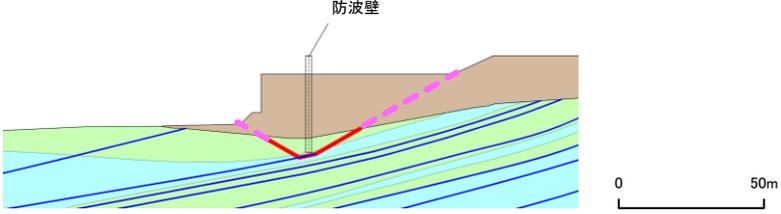
- : C_H級岩盤
- : C_M級岩盤
- : C_L級岩盤
- : D級岩盤
- : 埋戻土、盛土
- : MMR
- : シーム
- : すべり面 ※3

	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW		(+,+)		(+,-)			
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)			
5.14 [7.86]	1.67 [7.55]	10.52 [25.20]	4.06 [24.70]	2.88 [26.27]	3.53 [24.57]	2.30 [23.66]	2.03 [23.66]	2.51 [34.30]	1.86 [34.29]	13.79 [8.93]	3.24 [15.98]	

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤(⑦-⑦'断面 すべり面番号2)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2	 <p>防波壁</p> <p>0 50m</p> <p>防波壁右側からシームを通して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	1.77 [7.56]

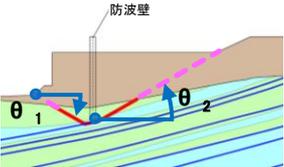
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※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(「本編3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

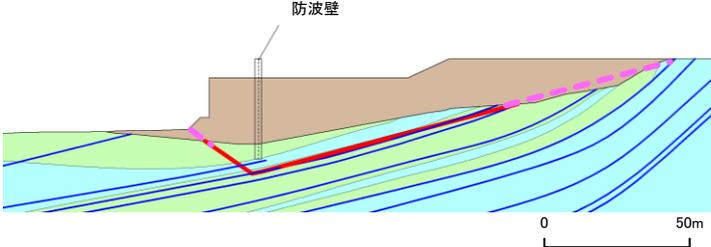
: C _H 級岩盤	: C _M 級岩盤	: C _L 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: MMR	: シーム	: すべり面 ※3

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
	(+,+)	(-,+)	水平NS		水平EW		(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
			4.26 [7.84]	1.77 [7.56]	7.80 [25.20]	5.68 [24.54]					4.68 [26.27]	6.23 [24.58]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤(⑦-⑦'断面 すべり面番号3)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

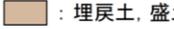
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
3	 <p>防波壁</p> <p>0 50m</p> <p>防波壁右側からシームを通して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-D (-, -)	2.38 [12.90]

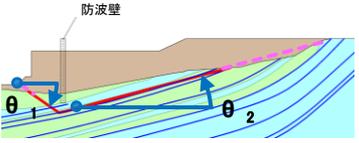
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※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(「本編3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

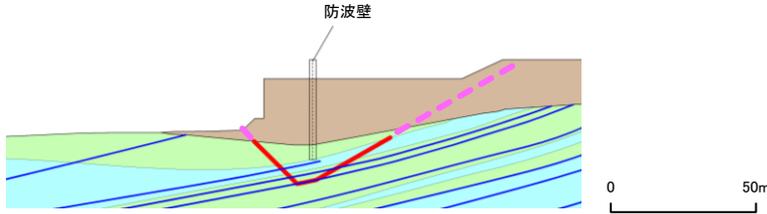
 : C1級岩盤	 : C2級岩盤	 : C3級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : MMR	 : シーム	 : すべり面 ※3

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)			
	7.02 [7.83]	3.06 [7.56]	8.66 [24.36]	8.00 [25.02]	8.79 [24.40]	8.58 [26.04]	3.24 [17.40]	5.31 [13.44]	6.41 [9.20]	2.38 [12.90]	10.71 [8.46]	9.99 [16.03]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)基礎地盤(⑦-⑦'断面 すべり面番号4)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

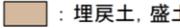
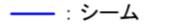
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
4	 <p>防波壁</p> <p>防波壁右側からシームを通して防波壁左側に抜けるすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.62 [7.57]

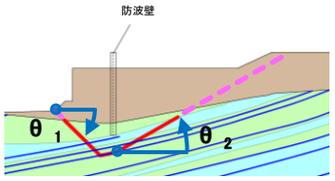
※1 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※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(「本編3.5 評価方法」を参照)

【凡例】

 : C1級岩盤	 : C2級岩盤	 : C3級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : MMR	 : シーム	 : すべり面 ※3

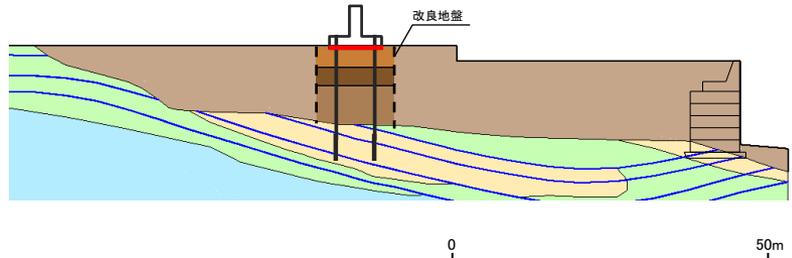
切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
	(+,+)	(-,+)	水平NS		水平EW		(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
			9.93 [7.39]	2.62 [7.57]	8.78 [24.36]	8.21 [25.08]					8.53 [26.28]	8.35 [24.97]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤
⑪—⑪' 断面

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪'断面 すべり面番号1)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
1	 <p>改良地盤</p> <p>逆T擁壁底面を通るすべり面</p>	Ss-N1 (+,+)	5.90 [7.77]

※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 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 ₊ 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		

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
5.90 [7.77]	7.14 [7.75]	9.48 [25.16]	9.75 [25.15]	9.54 [26.35]	9.00 [26.39]	7.14 [34.55]	6.45 [34.51]	7.20 [34.52]	6.54 [34.50]	7.59 [8.06]	6.09 [15.54]

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪)'断面 すべり面番号2)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2	<p>地盤改良部底面を通るすべり面</p>	Ss-D (+,+)	8.18 [13.15]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「本編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 ₄ 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		

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
13.09 [7.59]	19.04 [7.58]	12.44 [24.44]	8.72 [24.45]	15.66 [25.46]	14.99 [26.40]	8.18 [13.15]	9.01 [13.19]	10.60 [9.01]	9.10 [9.03]	17.07 [7.97]	18.78 [15.85]

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪)'断面 すべり面番号3)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
3	<p>B27シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,+)	2.23 [13.10]

※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(「本編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】

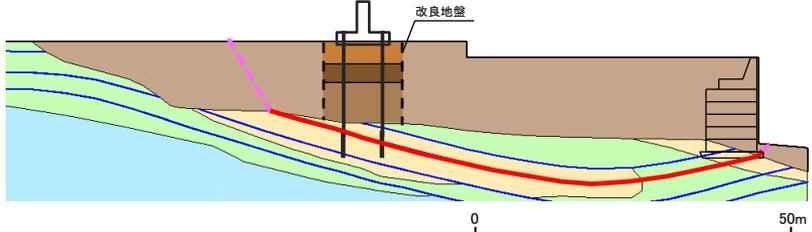
: C ₄ 級岩盤	: C _M 級岩盤	: C _L 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: 改良地盤①	: 改良地盤②	: 改良地盤③
: シーム	: すべり面※3		

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)			
	2.51 [7.68]	3.57 [7.39]	3.20 [25.04]	2.31 [24.37]	2.90 [26.04]	3.13 [24.41]	2.23 [13.10]	2.36 [13.16]	2.43 [17.47]	2.34 [8.99]	3.12 [8.00]	3.34 [16.50]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪)'断面 すべり面番号4)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
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。

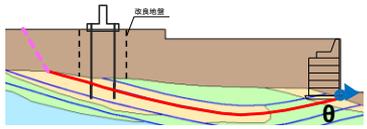
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「本編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 ₄ 級岩盤	: C ₃ 級岩盤	: C ₂ 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		

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)			
	2.16 [7.60]	2.53 [7.39]	2.36 [25.03]	2.08 [24.37]	2.12 [26.04]	2.29 [24.39]	1.92 [13.14]	2.13 [13.15]	2.00 [8.98]	1.88 [8.98]	2.45 [8.66]	2.39 [16.49]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

(参考) 対策工を考慮した場合のすべり安全率

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤

⑪—⑪' 断面

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪'断面 すべり面番号1)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
1		Ss-N1 (+,+)	5.90 [7.77]

※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 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 ₄ 級岩盤	: C _m 級岩盤	: C _t 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		

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
5.90 [7.77]	7.14 [7.75]	9.48 [25.16]	9.75 [25.15]	9.54 [26.35]	9.00 [26.39]	7.14 [34.55]	6.45 [34.51]	7.20 [34.52]	6.54 [34.50]	7.59 [8.06]	6.09 [15.54]

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪'断面 すべり面番号2)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2		Ss-N2 (NS) (-,+)	5.25 [24.45]

※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(「本編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₊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

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW		(+,+)		(+,-)			
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-, -)		
	7.39 [7.81]	9.52 [6.96]	7.59 [25.12]	5.25 [24.45]	7.87 [26.15]	7.12 [26.40]	5.33 [13.15]	5.64 [13.19]	6.27 [9.00]	5.98 [9.03]	7.75 [7.98]	9.14 [15.86]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪)'断面 すべり面番号3)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
3	<p>B27シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,+)	2.42 [13.11]

※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 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】

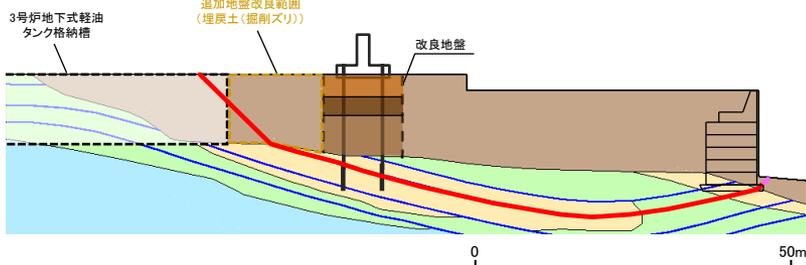
: C ₁ 級岩盤	: C _m 級岩盤	: C _t 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: 改良地盤①	: 改良地盤②	: 改良地盤③
: シーム	: すべり面※3		

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
	(+,+)	(-,+)	水平NS		水平EW		(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.69 [7.68]	3.84 [7.39]	3.37 [25.10]	2.47 [24.37]	3.09 [26.04]	3.26 [26.35]	2.42 [13.11]	2.50 [13.16]	2.50 [17.47]	2.51 [8.99]	3.29 [7.96]	3.45 [15.84]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤(⑪-⑪)'断面 すべり面番号4)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
4	 <p>B25・26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,+)	2.02 [13.14]	1.67 [13.14]

※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。

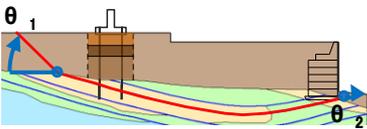
※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

※3 破線は液状化影響を考慮する範囲(「本編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

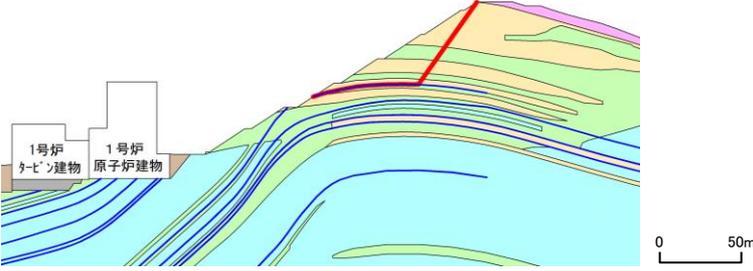
切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.31 [7.60]	2.72 [7.39]	2.60 [25.03]	2.13 [24.37]	2.31 [26.04]	2.44 [24.39]	2.02 [13.14]	2.24 [13.15]	2.11 [8.98]	2.03 [8.98]	2.67 [7.95]	2.60 [16.49]

※ θ_1, θ_2 をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

2号炉南侧切取斜面
①—①' 断面

2号炉南側切取斜面(①-①'断面 すべり面番号1)

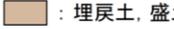
・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

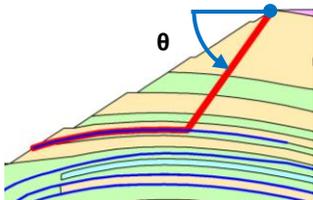
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
1	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して斜面中腹に抜けるすべり面)</p>	Ss-D (+,-)	1.62 [14.63]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

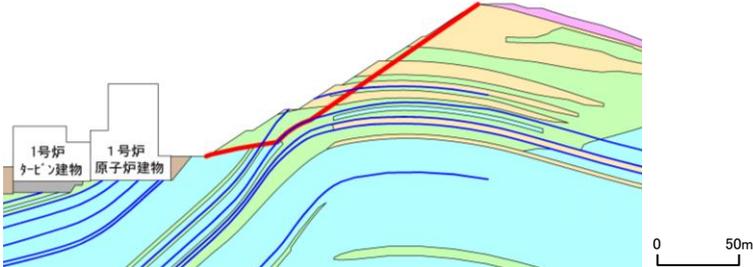
 : C1級岩盤	 : C2級岩盤	 : C3級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : MMR	 : シーム	 : すべり面

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW		(+,+)		(-,+)			
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	1.74 [7.53]	1.68 [7.66]	2.13 [24.40]	2.39 [25.08]	2.47 [24.82]	1.96 [26.12]	1.74 [14.62]	1.62 [14.63]	1.70 [30.66]	1.78 [19.35]	2.47 [8.11]	2.41 [15.05]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

2号炉南側切取斜面(①-①'断面 すべり面番号2)

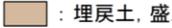
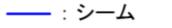
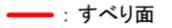
・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

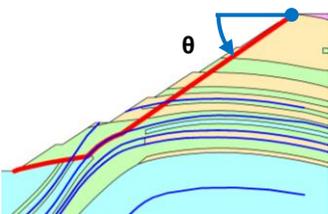
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して、法尻のC_M級とC_H級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通過して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.66 [7.45]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

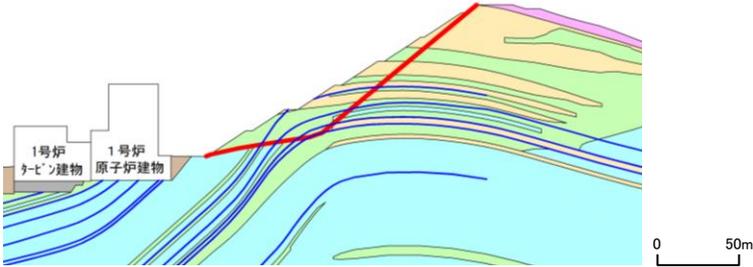
 : C _H 級岩盤	 : C _M 級岩盤	 : C _L 級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : MMR	 : シーム	 : すべり面

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.72 [7.42]	1.66 [7.45]	2.15 [25.11]	3.09 [25.07]	2.47 [26.02]	2.67 [26.11]	2.07 [27.89]	2.28 [9.00]	1.70 [28.10]	1.88 [9.04]	3.24 [8.96]	2.50 [15.78]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

2号炉南側切取斜面(①-①'断面 すべり面番号3)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

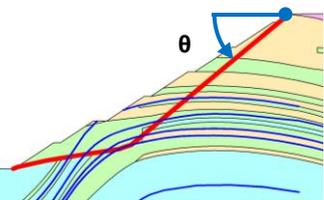
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
3	 <p>シーム沿いのすべり面(法肩からシームを通過して、法尻のC_M級とC_H級の岩級境界付近のC_M級岩盤内を通過して法尻に抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (-,+)	1.56 [7.45]	1.51 [7.45]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

: C _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

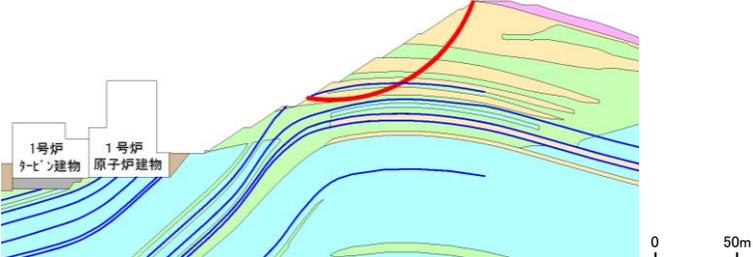
切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW							
θ	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.82 [7.42]	1.56 [7.45]	2.65 [25.11]	3.25 [25.07]	2.48 [26.02]	2.54 [24.45]	2.46 [9.00]	2.37 [9.00]	1.99 [9.05]	1.89 [9.04]	3.31 [8.95]	2.25 [16.28]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

7. すべり安全率一覧

2号炉南側切取斜面(①-①'断面 すべり面番号4)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
4	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	1.57 [19.15]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

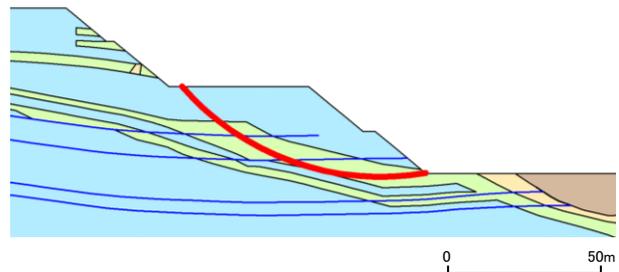
: C _H 級岩盤	: C _M 級岩盤	: C _L 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: MMR	: シーム	: すべり面

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
3.21 [7.32]	1.75 [7.45]	2.56 [25.10]	3.31 [25.07]	2.13 [26.03]	3.09 [24.45]	1.77 [27.90]	1.91 [14.64]	1.57 [19.15]	1.93 [9.04]	3.33 [8.96]	3.21 [16.28]

2号炉西側切取斜面
②—②' 断面

2号炉西側切取斜面(②-②'断面 すべり面番号1)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
1	 <p>簡便法により設定したすべり面</p>	Ss-D (-,+)	5.89 [8.55]	5.75 [8.55]

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

【凡例】

: C _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	

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)

Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
7.27 [7.52]	8.63 [7.31]	7.54 [24.96]	8.80 [24.36]	7.67 [25.93]	8.05 [24.39]	7.42 [34.29]	7.04 [19.14]	5.89 [8.55]	6.03 [8.55]	8.26 [7.88]	6.47 [15.57]

2号炉南侧盛土斜面
⑥—⑥' 断面

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面 すべり面番号1)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

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

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

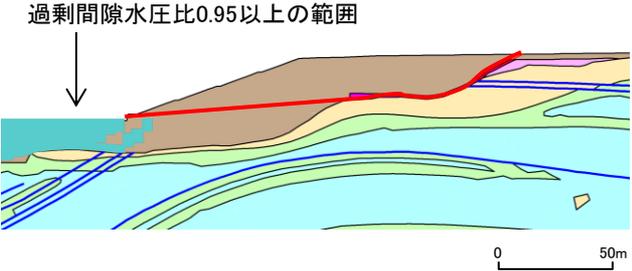
【凡例】

: C ₁ 級岩盤	: C ₂ 級岩盤	: C ₃ 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: シーム	: すべり面	: 旧表土

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
2.97 [8.67]	2.23 [7.81]	2.27 [24.45]	2.09 [25.10]	2.38 [24.46]	2.64 [25.04]	2.28 [9.04]	2.36 [9.05]	2.19 [13.17]	2.42 [34.43]	3.00 [11.16]	2.76 [14.77]

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面 すべり面番号2)

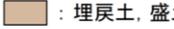
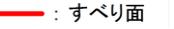
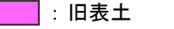
・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

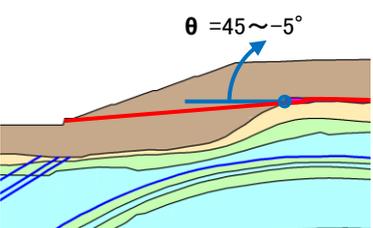
すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2	 <p>過剰間隙水圧比0.95以上の範囲</p> <p>弱層(旧表土)を通るすべり面</p>	<p>Ss-N2 (NS)</p> <p>(+,+)</p>	<p>1.94 [24.43]</p>

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

 : C1級岩盤	 : C2級岩盤	 : C3級岩盤	 : D級岩盤
 : 埋戻土、盛土	 : シーム	 : すべり面	 : 旧表土

切上り角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW		(+,+)		(+,-)			
 <p>$\theta = 45 \sim -5^\circ$</p>	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.60 [7.42]	1.98 [7.81]	1.94 [24.43]	1.97 [25.11]	2.19 [24.47]	2.38 [25.03]	2.06 [9.03]	2.15 [9.04]	1.98 [14.80]	2.14 [34.44]	2.81 [9.01]	2.41 [14.76]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

2号炉南側盛土斜面(⑥-⑥'断面 すべり面番号3)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
3		Ss-D (-,+)	1.61 [13.15]	1.56 [13.15]

※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(「本編6. 3 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	: MMR	: 旧表土	: シーム
			: すべり面 ※3

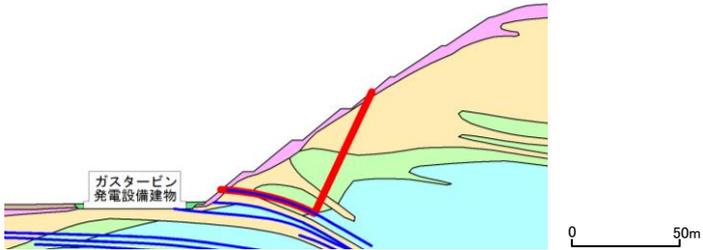
すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
2.08 [8.64]	1.62 [7.80]	1.76 [24.40]	1.62 [25.09]	1.81 [24.45]	2.02 [25.03]	1.75 [9.00]	1.74 [9.02]	1.61 [13.15]	1.86 [34.41]	2.33 [11.14]	2.32 [14.00]

ガスタービン発電機建物周辺斜面
⑦－⑦' 断面

7. すべり安全率一覧

ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦)断面 すべり面番号1)

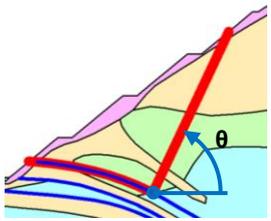
・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】※2
1	 <p>シーム沿いのすべり面(斜面中腹あるいは斜面上方からシームを通り斜面法尻付近へ抜けるすべり面)</p>	Ss-N1 (+,+)	2.07 [7.59]	1.68 [7.59]

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

【凡例】

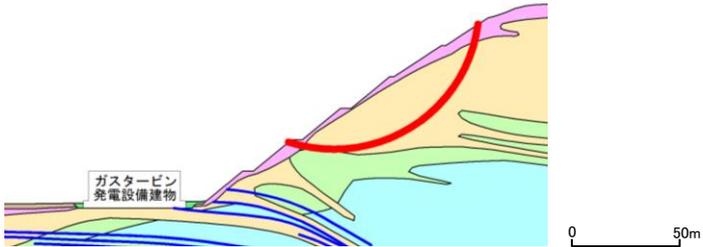
: C _H 級岩盤	: C _M 級岩盤	: C _L 級岩盤	: D級岩盤
: 埋戻土、盛土	: シーム	: すべり面	

切上がり角度(°)	すべり安全率(○ 最小すべり安全率)※											
	Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
			水平NS		水平EW		(+,+)		(-,+)			
	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
	2.07 [7.59]	3.99 [7.71]	4.49 [24.39]	5.23 [25.26]	5.29 [25.34]	4.06 [26.15]	3.93 [14.65]	3.81 [9.94]	4.09 [17.26]	4.08 [8.64]	4.91 [8.97]	5.18 [15.58]

※ θ をパラメトリックに設定した際の各地震動のすべり安全率の最小値を示す。

ガスタービン発電機建物周辺斜面(⑦-⑦)断面 すべり面番号2)

・各地震動のすべり安全率一覧を下表に示す。

すべり面番号	すべり面形状	基準地震動※1	すべり安全率【平均強度】※2
2	 <p>簡便法で設定したすべり面</p>	Ss-N1 (-,+)	2.25 [7.58]

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

※2 []は、発生時刻(秒)を示す。

【凡例】

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

すべり安全率(○ 最小すべり安全率)											
Ss-N1		Ss-N2				Ss-D				Ss-F1	Ss-F2
		水平NS		水平EW							
(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(-,+)	(+,+)	(+,-)	(-,+)	(-,-)		
3.14 [7.90]	2.25 [7.58]	2.66 [24.40]	3.10 [25.09]	3.07 [26.29]	2.91 [26.09]	2.48 [8.60]	2.48 [23.70]	2.44 [34.35]	2.55 [34.33]	2.93 [8.12]	3.09 [15.58]

余白

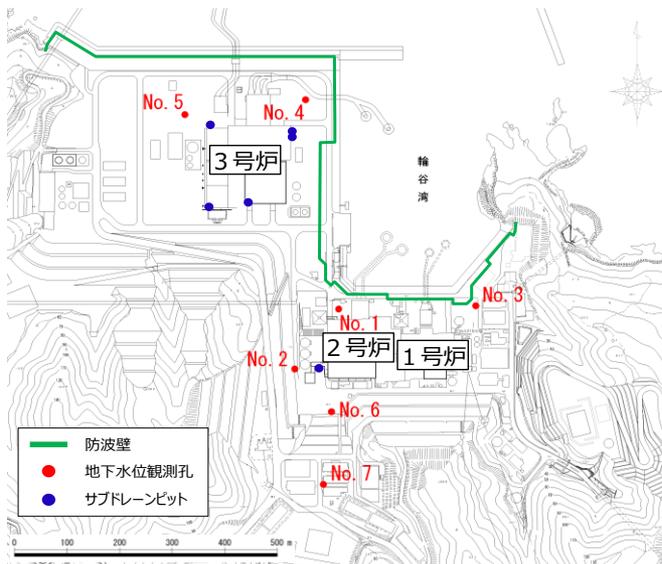
8. 液状化影響検討用地下水位に係るデータ一覧

地下水水位観測データ一覧

- ・島根原子力発電所にて、地下水水位に関連したデータの取得を行っている。観測期間として、ボーリング地下水水位は2014年以降、サブドレーン揚水量は2013年以降の観測データがある。
- ・盛土斜面の検討用地下水水位との比較に用いているNo.7観測孔の地下水水位のデータ欠測期間(2016.9.6～10.4)において、他の観測孔(No.1～6)では、いずれも最高地下水水位を記録していないことを確認した。このことから、No.7観測孔の欠測期間においても、観測期間最高地下水水位となる可能性は低い。
- ・ボーリング地下水水位の観測期間以前(2013.7～2014.10)のサブドレーンピットによる揚水量データによると、他の観測期間に比較し特異な揚水量の増減は認められなかったことから、当該期間において、地下水水位が上がりやすい状況にはなかったと考えられる。

ボーリング地下水水位及びサブドレーン揚水量

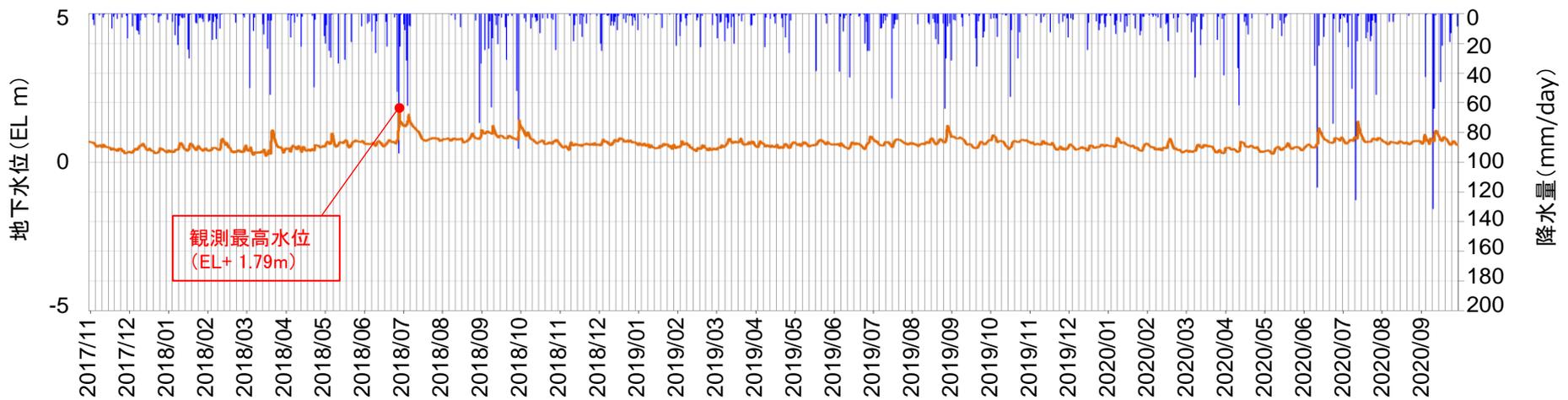
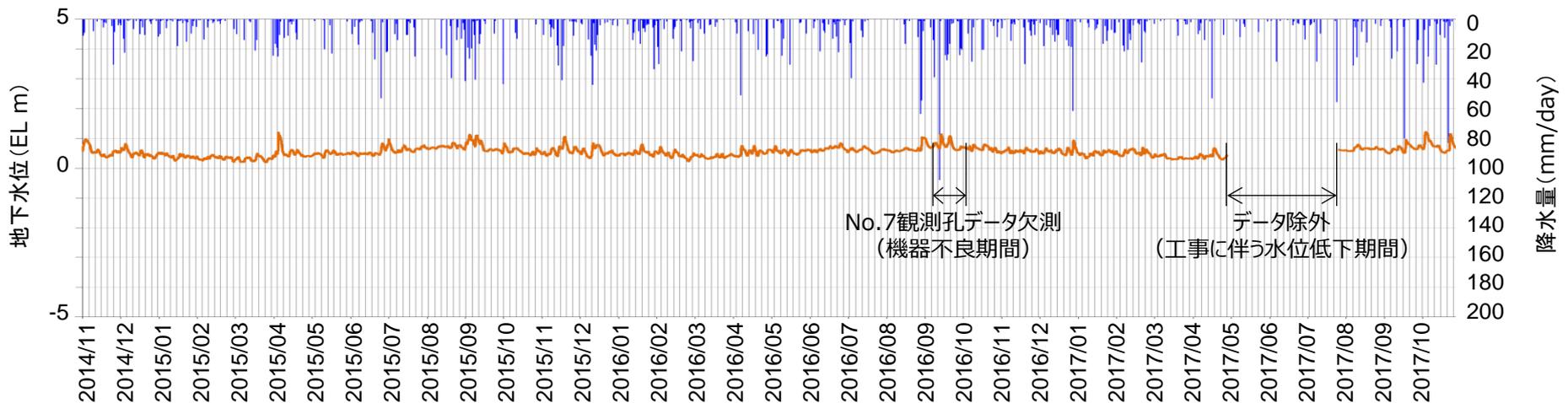
データ種別	項目	観測期間	備考
ボーリング 地下水水位	地下水観測記録No.1	2014.11～	P236参照
	地下水観測記録No.2	2014.11～	P237参照
	地下水観測記録No.3	2014.11～	P238参照
	地下水観測記録No.4	2014.11～	P239参照
	地下水観測記録No.5	2014.11～	P240参照
	地下水観測記録No.6	2014.11～	P241参照
	地下水観測記録No.7	2014.11～	P242参照
サブドレーン 揚水量	2号サブドレーン	2013.7～	P243参照



観測孔位置図

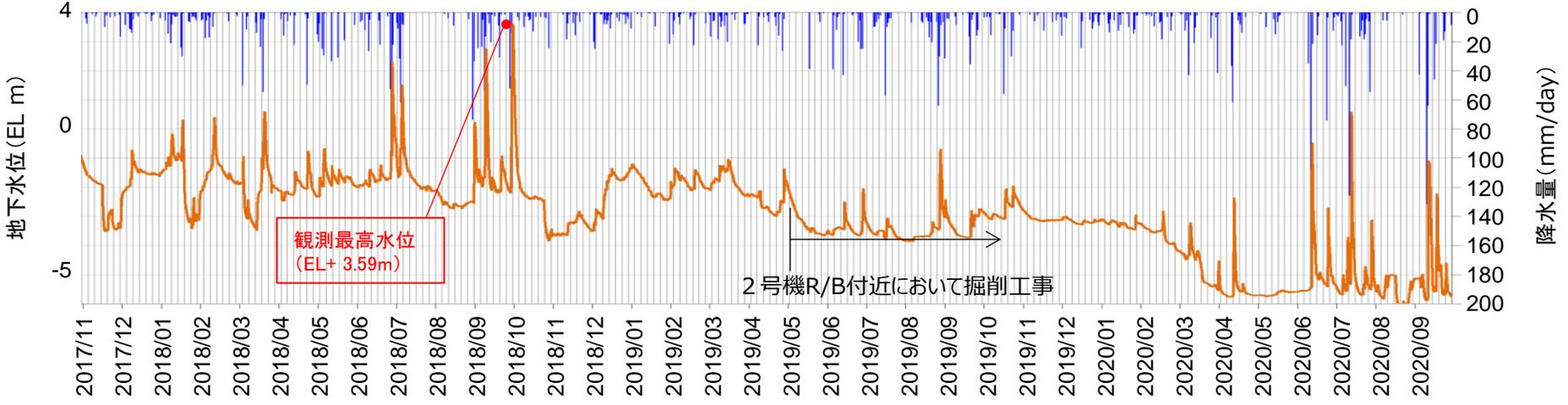
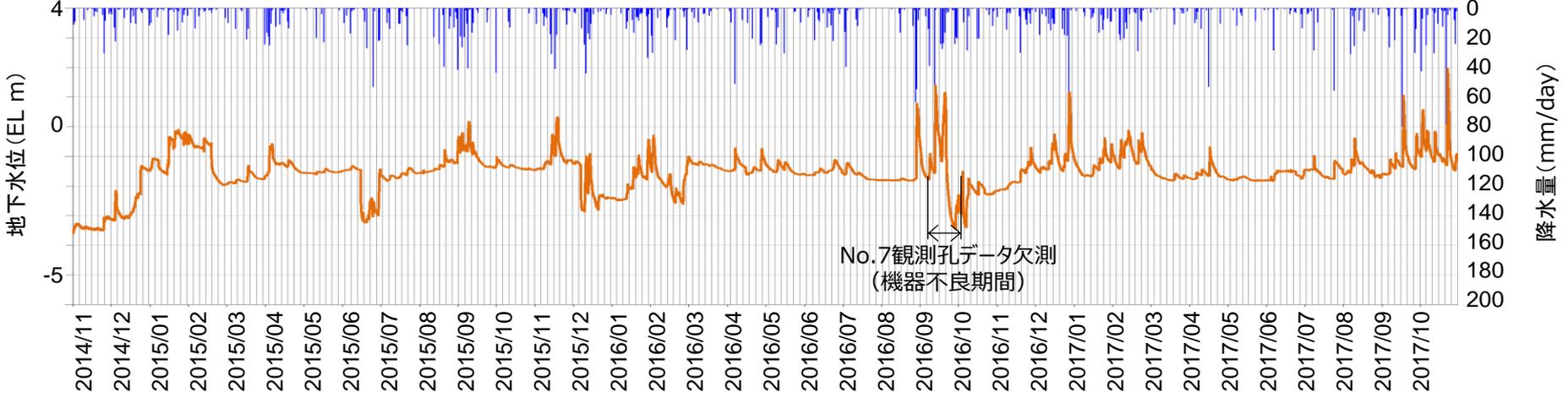
地下水位観測記録 No.1

- 2号炉取水槽西側観測孔 (No.1) の記録を示す。
- 降雨等に伴い、地下水位の上昇が認められるものの、大きな変動は確認されず、概ねEL0~+1mの間を推移している。
- 観測最高水位は、No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外の期間 (2018年6月) において記録している。



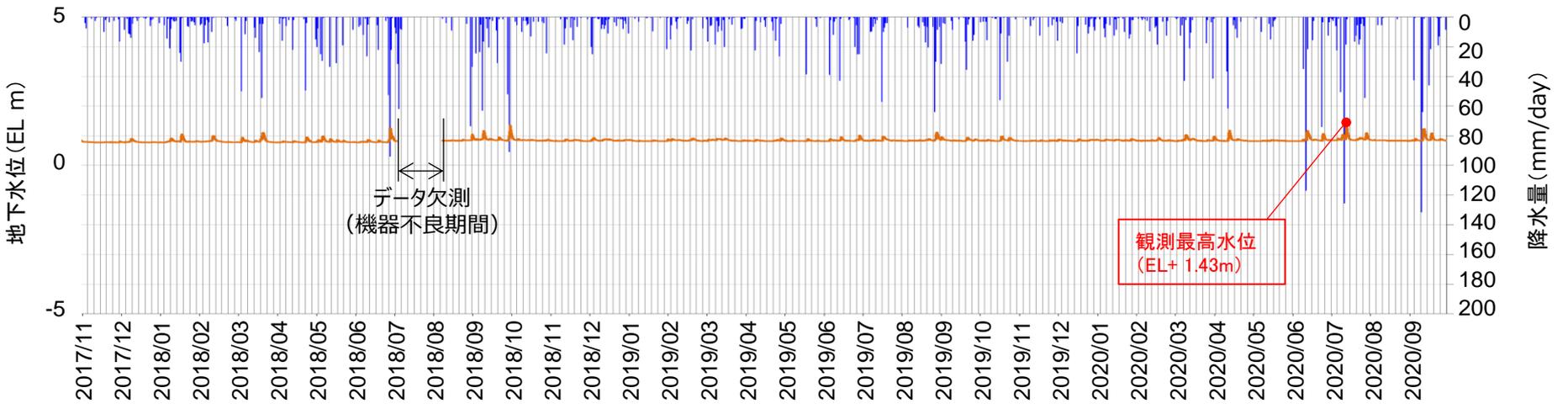
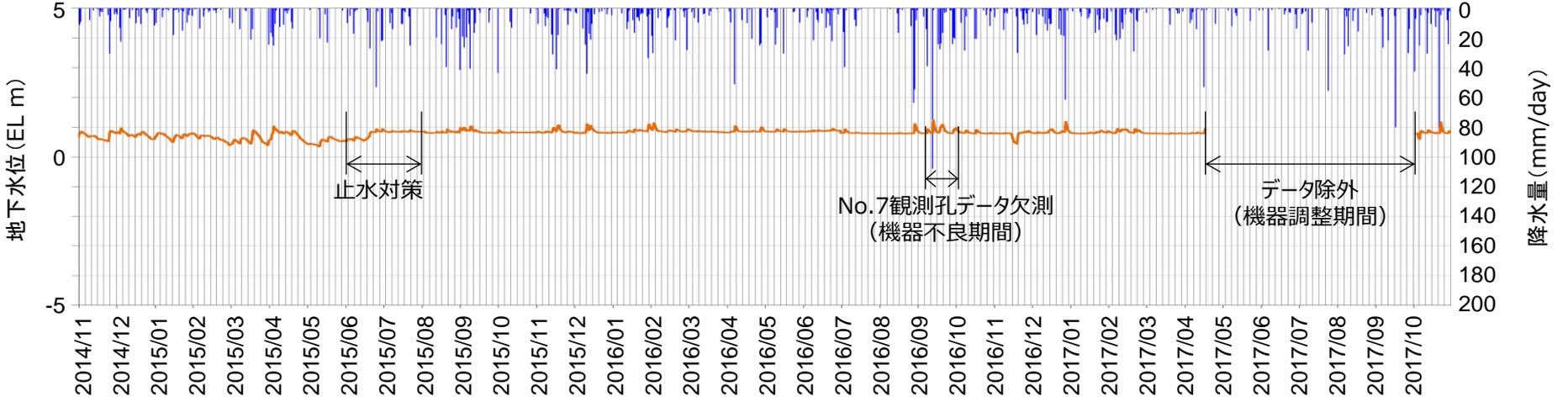
地下水位観測記録 No.2

- 2号炉原子炉建物西側観測孔 (No.2) の記録を示す。
- 観測孔近傍に設置されている地下水位低下設備 (既設) の機能により, 他の観測孔と比較して降雨等に伴う地下水位上昇後の低下が早い傾向がある。
- 一部の降雨時を除くと, 地下水位はEL0mを超えない範囲を推移している。
- 観測最高水位は, No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外 (2018年10月) において記録している。



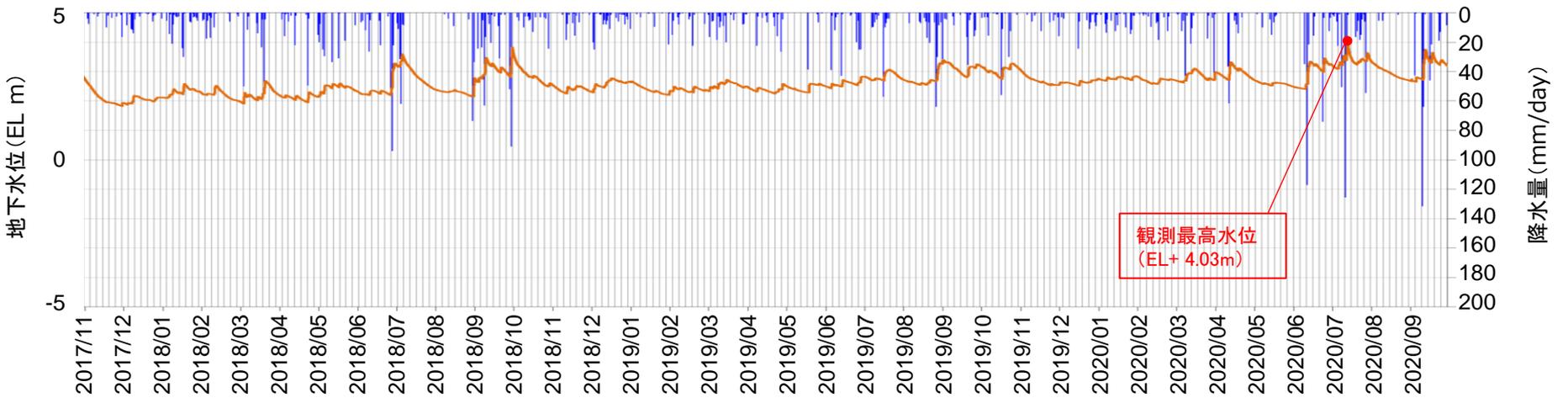
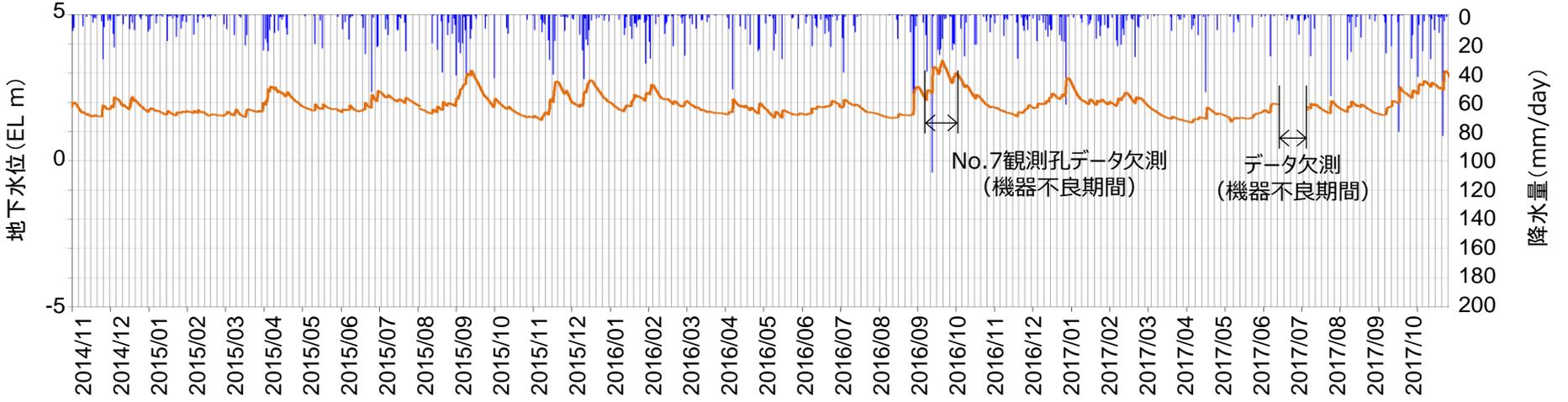
地下水位観測記録 No.3

- 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）南側観測孔（No.3）の記録を示す。
- 降雨等に伴い、地下水位の上昇が認められるものの、大きな変動は確認されず、概ねEL0~+1mの間を推移している。
- 2015.6~2015.8にかけて、防波壁周辺の止水対策を実施したことに伴い、地下水位の変動が落ち着いている。
- 観測最高水位は、No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外の期間（2020年7月）において記録している。



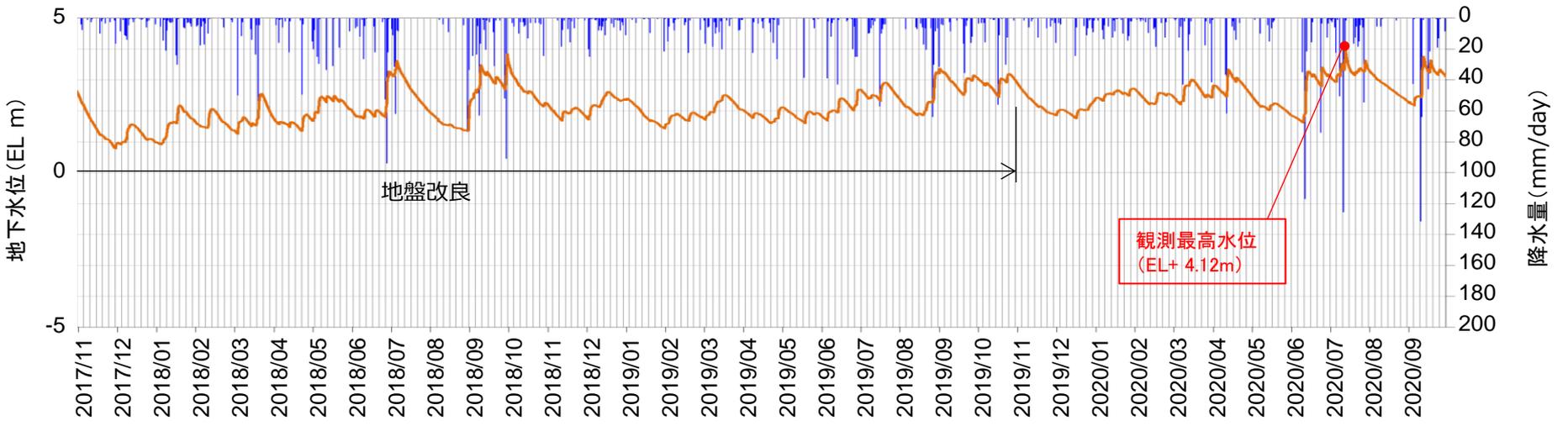
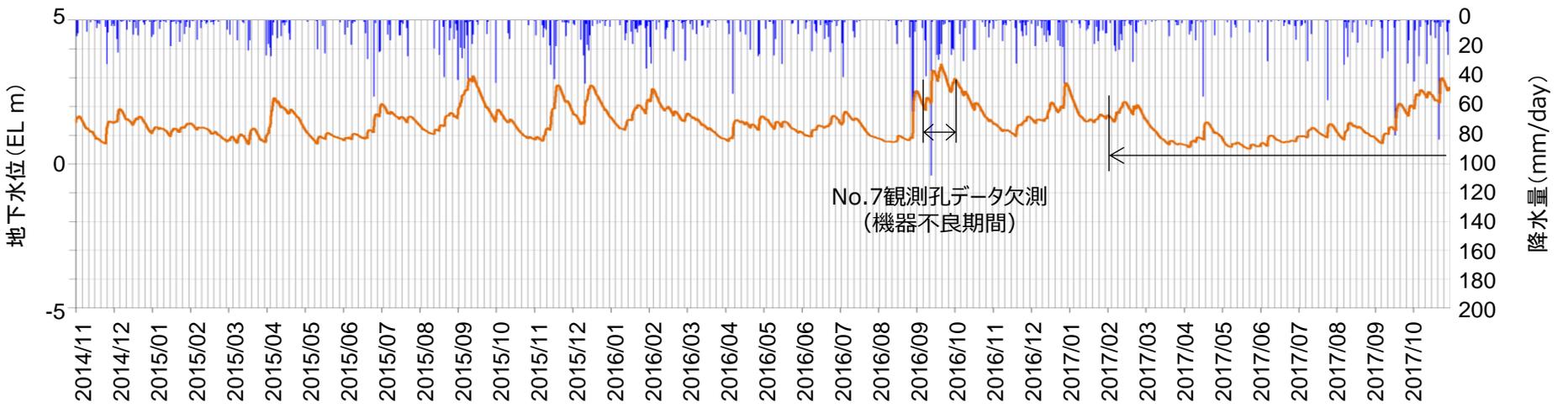
地下水位観測記録 No.4

- 3号炉タービン建物北東観測孔 (No.4) の記録を示す。
- 既設のサブドレーンピット近傍の観測孔 (No.2, No.6) と比較して, 降雨等による水位上昇後, 緩やかに低下する傾向がある。
- 観測最高水位は, No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外の期間 (2020年7月) において記録している。



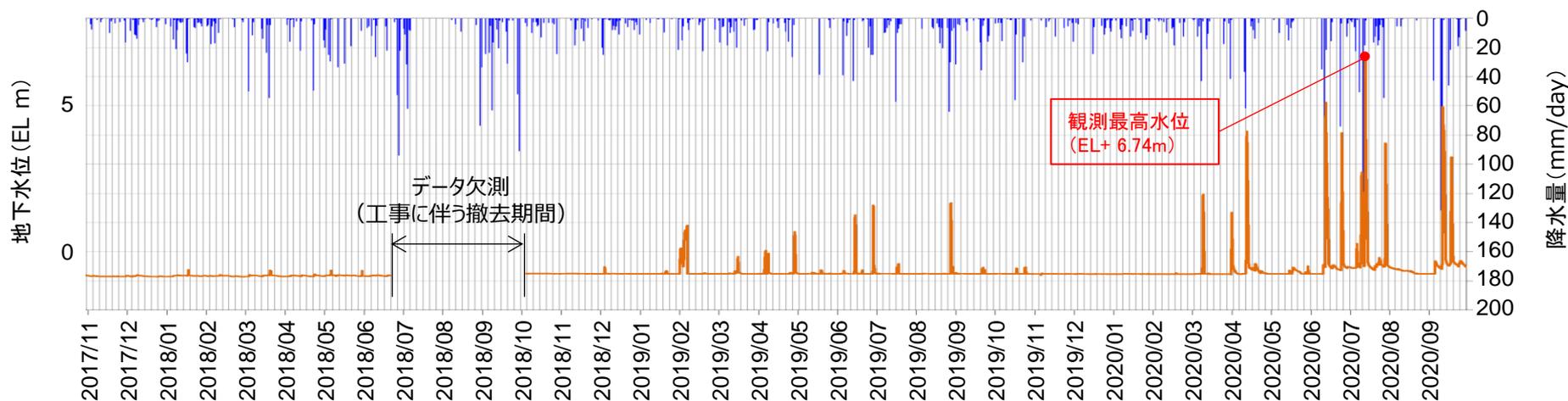
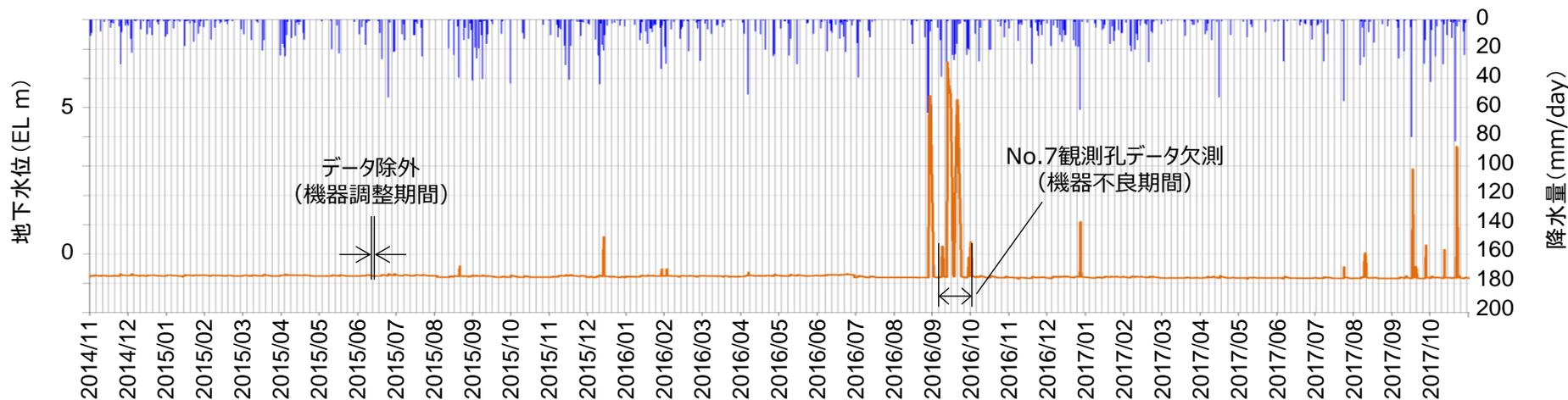
地下水位観測記録 No.5

- 3号炉廃棄物処理建物北西観測孔 (No.5) の記録を示す。
- 既設のサブドレーンピット近傍の観測孔 (No.2, No.6) と比較して, 降雨等による水位上昇後, 緩やかに低下する傾向がある。
- 観測最高水位は, No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外の期間 (2020年7月) において記録している。



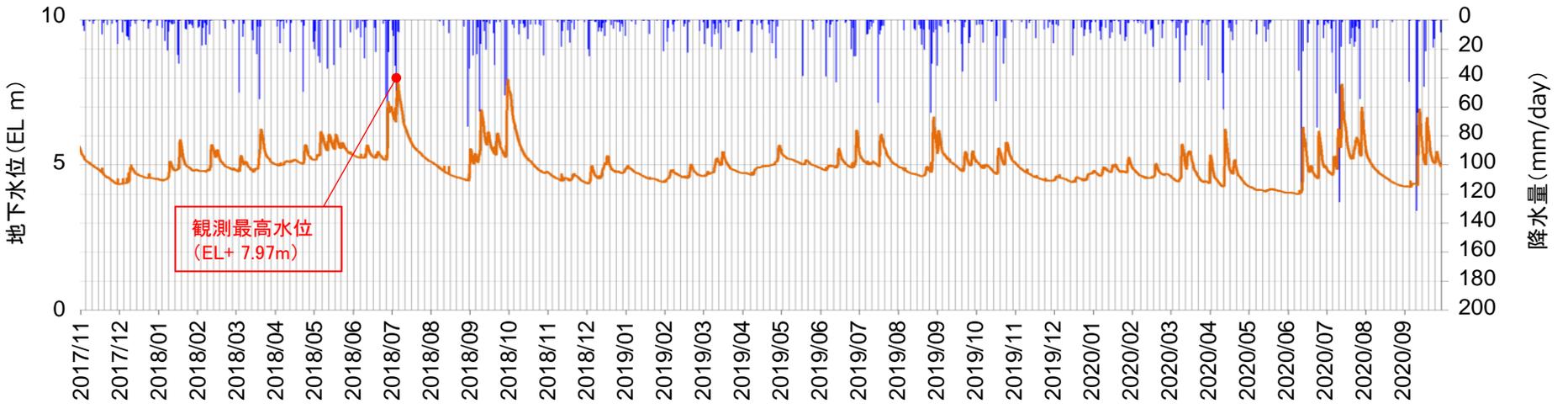
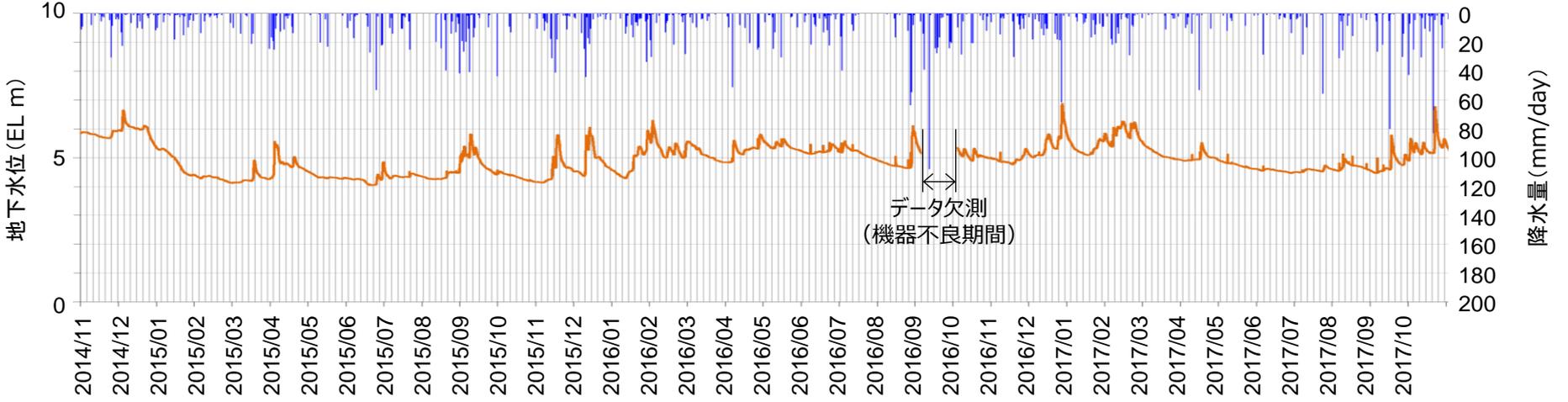
地下水位観測記録 No.6

- 2号炉原子炉建物南側観測孔（No.6）の記録を示す。
- 観測孔近傍に設置されている地下水位低下設備（既設）の機能により，他の観測孔と比較して降雨等に伴う地下水位上昇後の低下が早い傾向がある。
- 一部の降雨時を除くと，EL-1~0mの間を推移している。
- 観測最高水位は，No.7観測孔の地下水位データ欠測期間以外の期間（2020年7月）において記録している。



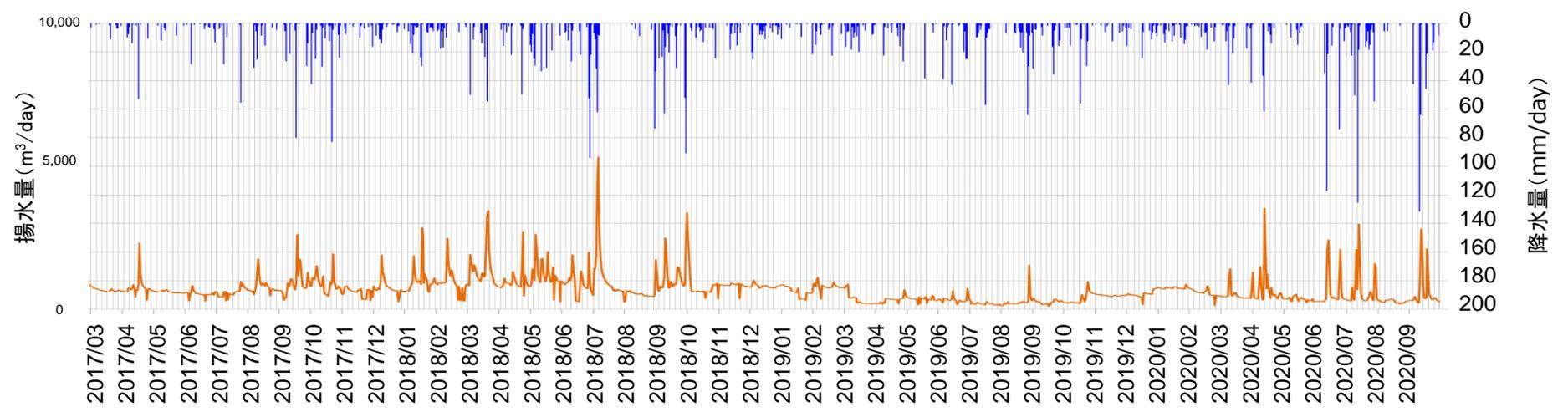
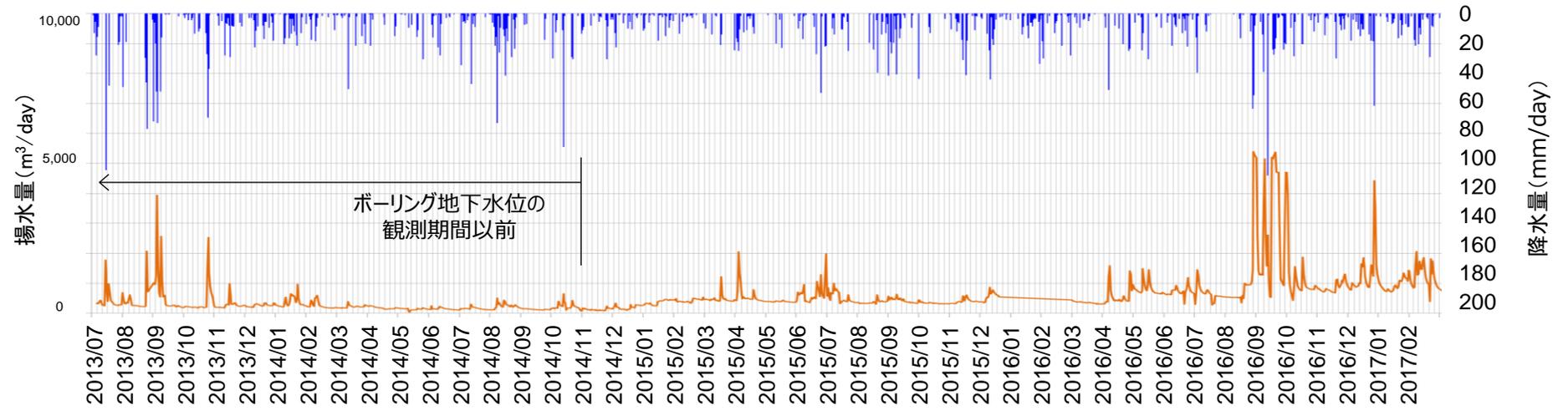
地下水位観測記録 No.7

- ガスタービン発電機建物北側観測孔 (No.7) の記録を示す。
- 既設のサブドレーンピット近傍の観測孔 (No.2, No.6) と比較して、降雨等による水位上昇後、緩やかに低下する傾向がある。



2号機サブドレーン

- 2号機サブドレーンの揚水量の記録を示す。
- 降雨等によるサブドレーンピットの水位上昇後、揚水ポンプを起動し、通常運転水位まで低下させる運用を行っている。
- ボーリング地下水位の観測期間以前（2013.7～2014.10）のサブドレーン揚水量を見ると、他の観測期間に比較し特異な揚水量の増減は認められなかったことから、当該期間において、地下水位が上がりやすい状況になかったと考えられる。



9. 防波壁の構造概要

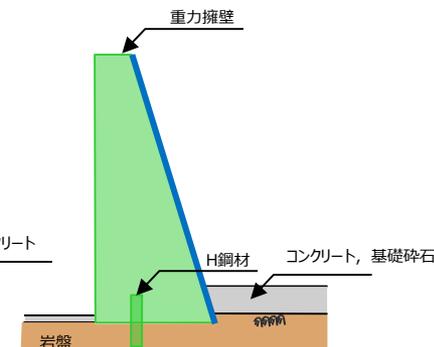
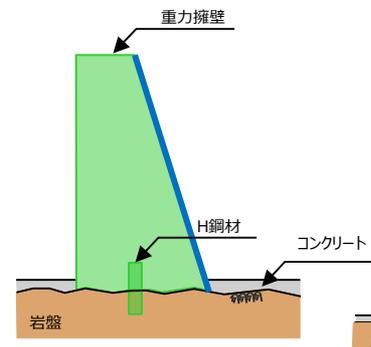
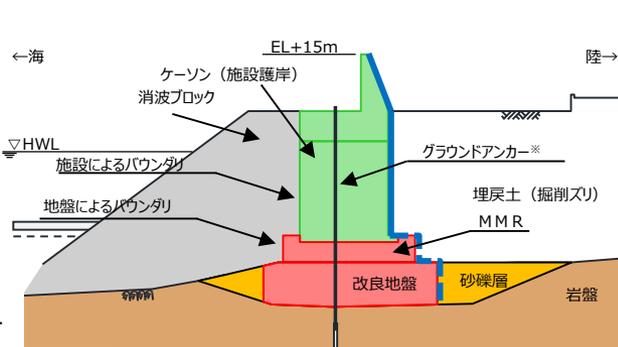
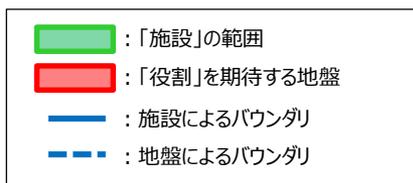
9. 1 防波壁の地盤安定性評価上の区分

地盤安定性評価において考慮する施設等 防波壁(波返重力擁壁)

・「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」(第909回審査会合)に係る審査における『耐震・耐津波評価上の各部位の役割』の資料(補足P269参照)を参考に、下表のとおり地盤安定性評価において考慮する施設等を整理した。

防波壁(波返重力擁壁)の各部位の役割, 地盤安定性評価において考慮する施設等

部位の名称	耐震・耐津波評価上の役割		地盤安定性評価において考慮する施設等	
	地震時の役割	津波時の役割		
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。	考慮する
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。	安定性評価に影響しないため考慮しない
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。	考慮する
	H鋼	・重力擁壁の滑動を抑制する。	・重力擁壁の滑動を抑制する。	保守的に考慮しない
	グラウンドアンカー	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。	考慮しない
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。	考慮する
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。	周辺岩盤相当として考慮する
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。	考慮する
	埋戻土(掘削ズリ), 砂礫層	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み, 防波壁への相互作用を考慮する)。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。	考慮する
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。	考慮しない

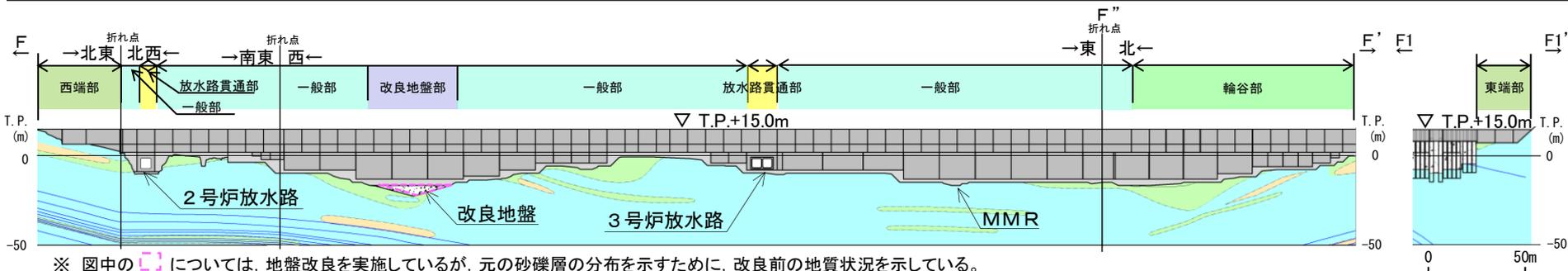


地盤改良部 西端部 東端部
耐震・耐津波評価において役割を期待する範囲

※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカー(自主設備)の効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

地盤安定性評価上の区分 防波壁(波返重力擁壁)(1/2)

- ・防波壁(波返重力擁壁)は、「防波壁の設計方針」(第888回審査会合)に係る審査において、施設の耐震・耐津波評価上の観点から、「一般部」、「改良地盤部」、「放水路貫通部」、「輪谷部」、「東端部」及び「西端部」の6つに区分されている。
- ・基礎地盤の安定性評価の観点から、これら6つの区分はいずれも同様の構造と評価できる。



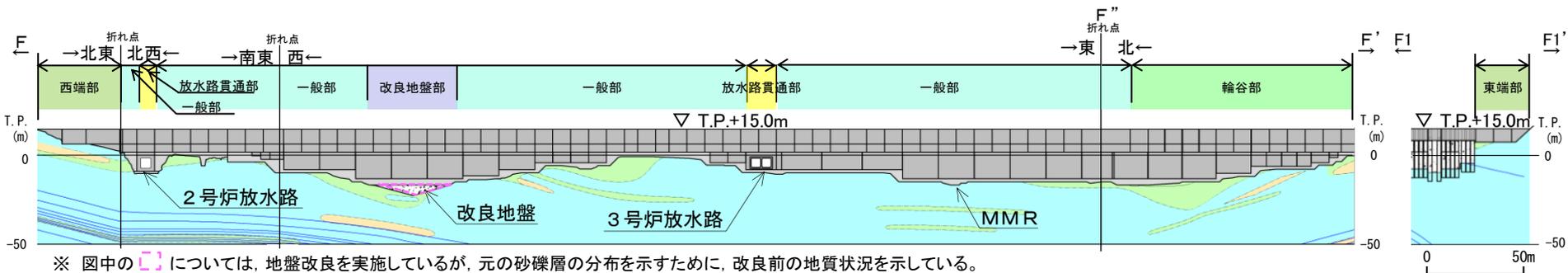
※ 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

防波壁縦断面図(波返重力擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

耐震・耐津波評価上の施設の区分※	一般部	改良地盤部	放水路貫通部
標準断面図			
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」とする	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する

※耐震・耐津波上の施設の区分、標準断面図、構造等の詳細は9.2.1章を参照

地盤安定性評価上の区分 防波壁(波返重力擁壁)(2/2)



防波壁縦断面図(波返重力擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

耐震・耐津波評価上の施設の区分※	輪谷部	東端部	西端部
標準断面図			
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する	「一般部」と比べ、小規模・軽量の施設のため、「一般部」に区分する	

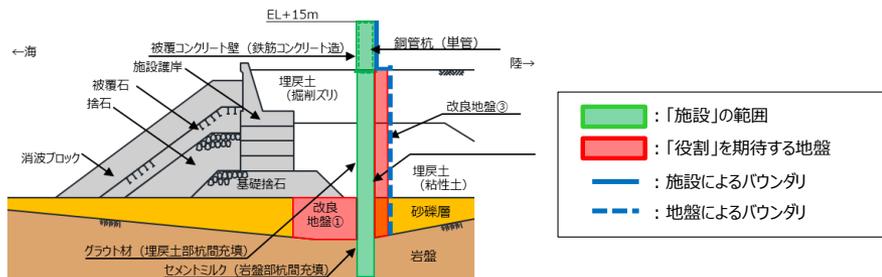
※耐震・耐津波上の施設の区分、標準断面図、構造等の詳細は9.2.1章を参照

地盤安定性評価において考慮する施設 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)

「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」(第909回審査会合)に係る審査における『耐震・耐津波評価上の各部位の役割』の資料(補足P286参照)を参考に、下表のとおり地盤安定性評価において考慮する施設等を整理した。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の役割, 地盤安定性評価において考慮する施設等

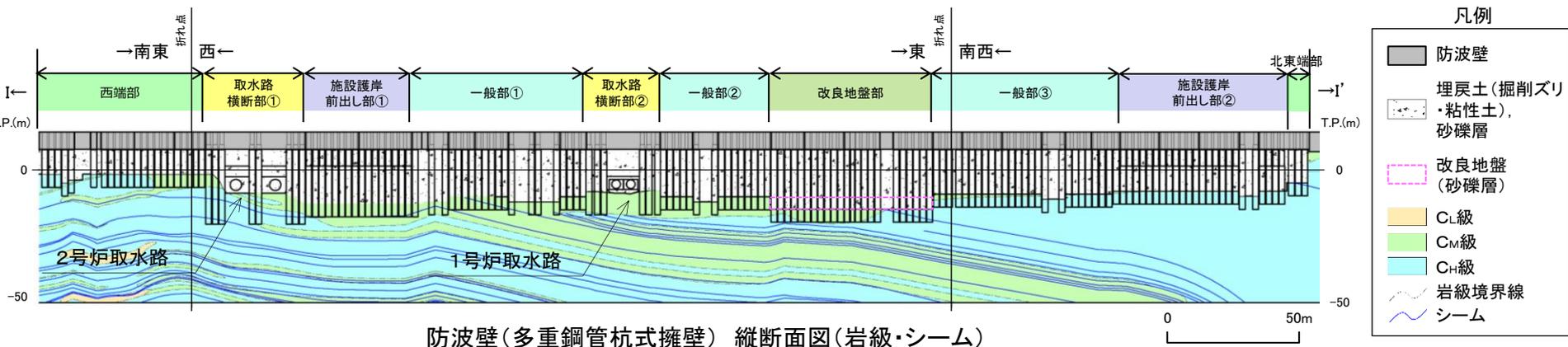
	部位の名称	耐震・耐津波評価上の役割		地盤安定性評価において考慮する施設等
		地震時の役割	津波時の役割	
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。	考慮する
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。	考慮する
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し、遮水性を保持する。	安定性評価に影響しないため考慮しない
地盤	セメントミルク(岩盤部杭間部充填)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。	周辺岩盤相当として考慮する
	改良地盤①(砂礫層)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。	保守的に埋戻土として考慮する
	改良地盤②(1号炉取水路上部等)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。	保守的に埋戻土として考慮する
	改良地盤③(防波壁背後)	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・難透水性を保持する。	保守的に埋戻土として考慮する
	岩盤	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	考慮する
	埋戻土(掘削ズリ),埋戻土(粘性土),砂礫層	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。	埋戻土として考慮する
	施設護岸,基礎捨石	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。	埋戻土として考慮する
	捨石,被覆石			考慮しない
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。	考慮しない
グラウト材(埋戻土部杭間部充填)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。	考慮しない	



耐震・耐津波評価において役割を期待する範囲

地盤安定性評価上の区分 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(1/2)

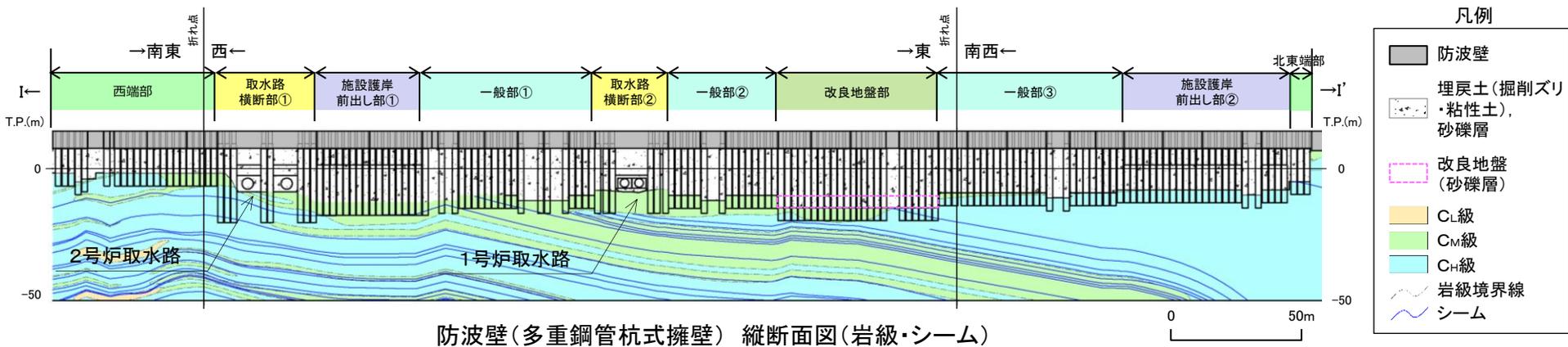
- ・防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、「防波壁の設計方針」(第888回審査会合)に係る審査において、施設の耐震・耐津波評価上の観点から、「一般部」, 「取水路横断部」, 「施設護岸前出し部」, 「輪谷部」, 「東端部」及び「西端部」の6つに区分されている。
- ・基礎地盤の安定性評価の観点から、これら6つの区分は「一般部」, 及び「取水路横断部」の2つに再区分できる。



耐震・耐津波評価上の施設の区分※	一般部	改良地盤部	西端部
標準断面図			
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」とする	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量, 杭底面幅及び根入れ長)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する	

※耐震・耐津波上の施設の区分, 標準断面図, 構造等の詳細は9. 2. 2章を参照

地盤安定性評価上の区分 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(2/2)



耐震・耐津波評価上の施設の区分※	取水路横断部	施設護岸前出し部	北東端部
標準断面図			
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)が異なるため、「取水路横断部」に区分する	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量, 杭底面幅及び根入れ長)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する	

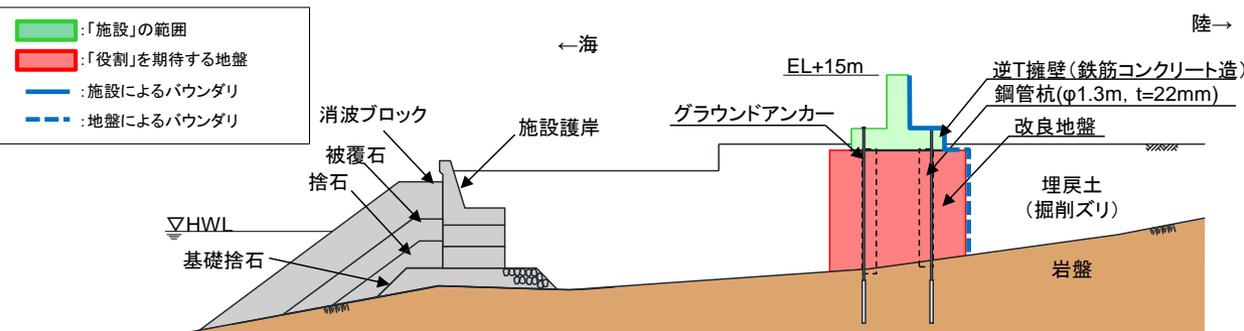
※耐震・耐津波上の施設の区分, 標準断面図, 構造等の詳細は9.2.2章を参照

地盤安定性評価において考慮する施設 防波壁(逆T擁壁)

・「防波壁の構造についての設計方針及び構造成立性」(第909回審査会合)に係る審査における『耐震・耐津波評価上の各部位の役割』の資料(補足P299参照)を参考に、下表のとおり地盤安定性評価において考慮する施設等を整理した。

防波壁(逆T擁壁)の各部位の役割, 地盤安定性評価において考慮する施設等

部位の名称	耐震・耐津波評価上の役割		地盤安定性評価において考慮する施設等	
	地震時の役割	津波時の役割		
鋼管杭	・役割に期待しない。※2	・役割に期待しない。※2	考慮しない(モデル化を行わず, 杭の支持力やせん断強度を見込まない)	
施設	逆T擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに, 遮水性を保持する。	考慮する
	止水目地	・逆T擁壁間の変形に追従する。	・逆T擁壁間の変形に追従し, 遮水性を保持する。	安定性評価に影響しないため考慮しない
	グラウンドアンカー	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	考慮する(モデル化は行わないが, 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)
地盤	改良地盤※1	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。	考慮する(保守的に埋戻土としてモデル化する)
	岩盤	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。	考慮する
	埋戻土(掘削ズリ)	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み, 防波壁への相互作用を考慮する)。	・防波壁より陸側については, 津波荷重に対して地盤反力として寄与する。	埋戻土として考慮する
	施設護岸, 基礎捨石	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み, 防波壁への波動的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。	埋戻土として考慮する
	被覆石, 捨石			考慮しない
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。	考慮しない

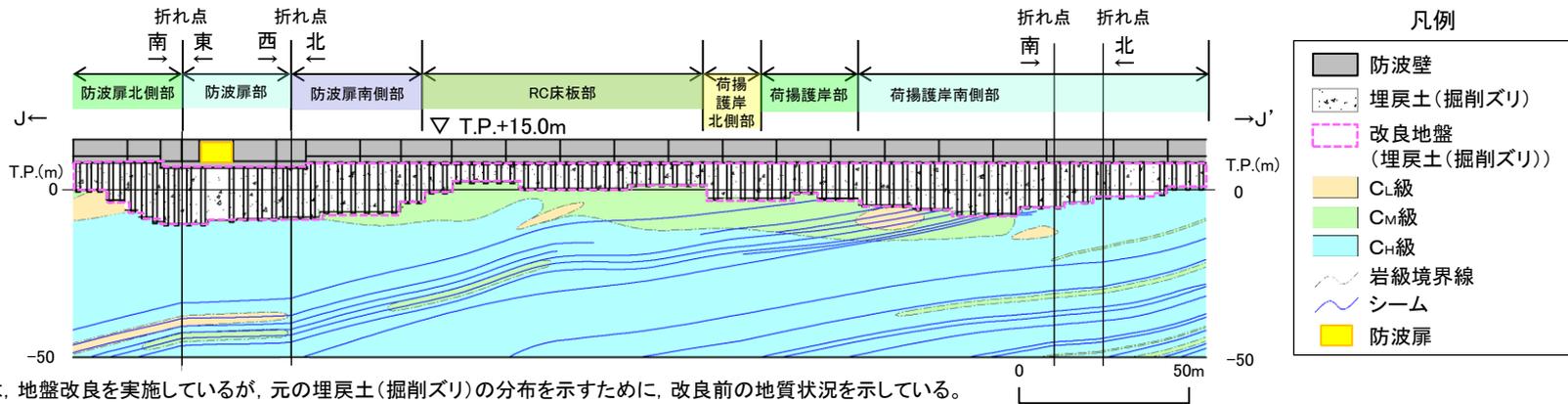


耐震・耐津波評価において役割を期待する範囲

※1 RC床板については, 保守的に改良地盤として扱う。
 ※2 鋼管杭は役割に期待しないため, 解析モデルに取り込まない。なお, 詳細設計段階においては, 鋼管杭が逆T擁壁に悪影響を与えない設計とする。

地盤安定性評価上の区分 防波壁(逆T擁壁)(1/3)

- ・防波壁(逆T擁壁)は、「防波壁の設計方針」(第888回審査会合)に係る審査において、施設の耐震・耐津波評価上の観点から、「防波扉北側部」、「防波扉部」、「防波扉南側部」、「RC床板部」、「荷揚護岸北側部」、「荷揚護岸部」及び「荷揚護岸南側部」の7つに区分されている。
- ・基礎地盤の安定性評価の観点から、これら7つの区分は「一般部」及び「防波扉部」の2つに再区分できる。



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

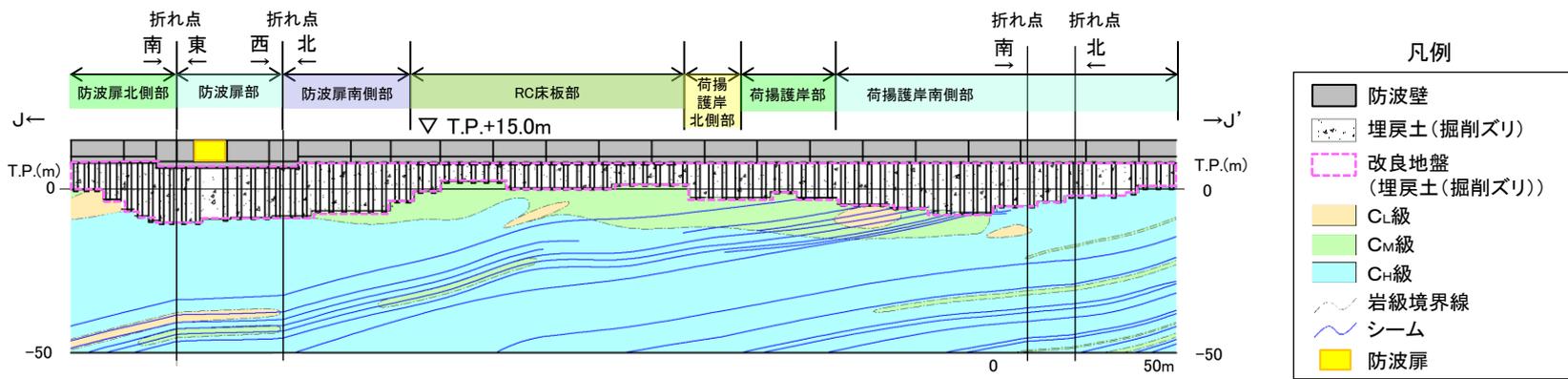
※2 図中の杭は投影している。

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

耐震・耐津波評価上の施設の区分※	防波扉北側部	防波扉部
標準断面図		
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」とする	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)が異なるため、「防波扉部」に区分する

※耐震・耐津波上の施設の区分、標準断面図、構造等の詳細は9. 2. 3章を参照

地盤安定性評価上の区分 防波壁(逆T擁壁)(2/3)



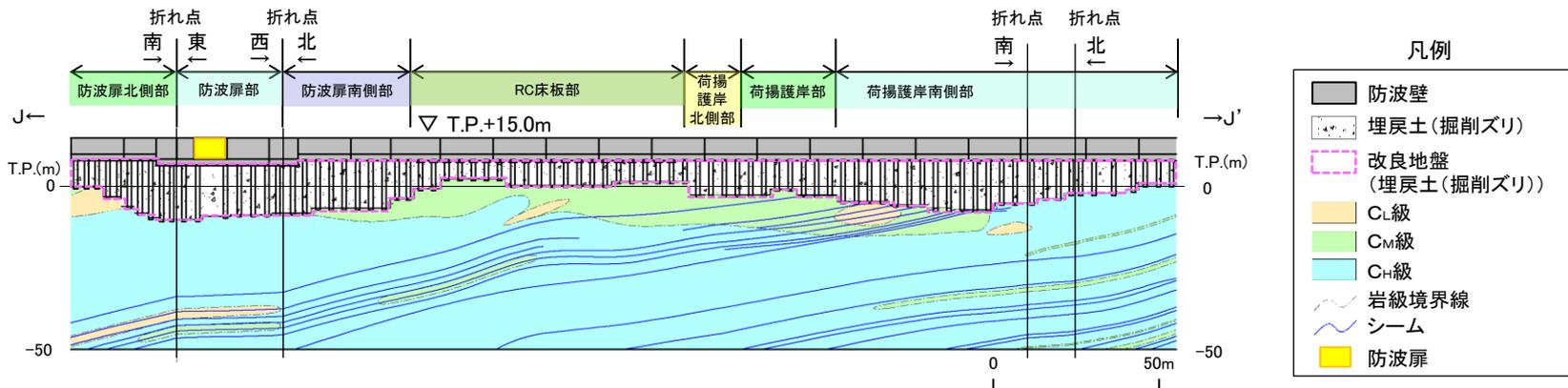
※1 図中の [] については、地盤改良を実施しているが、元の埋戻土(掘削ズリ)の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。 ※2 図中の杭は投影している。

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

耐震・耐津波評価上の施設の区分※	防波扉南側部	RC床版部
標準断面図		
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する	

※耐震・耐津波上の施設の区分、標準断面図、構造等の詳細は9.2.3章を参照

地盤安定性評価上の区分 防波壁(逆T擁壁)(3/3)



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

防波壁(逆T擁壁) 縦断面図(岩級・シーム)

耐震・耐津波評価上の施設の区分	荷揚護岸北側部	荷揚護岸部	荷揚護岸南側部
標準断面図			
基礎地盤安定性評価上の施設の区分	「一般部」と比べ、施設の構造(施設重量)は概ね同様であることから、「一般部」に区分する		

※耐震・耐津波上の施設の区分, 標準断面図, 構造等の詳細は9.2.3章を参照

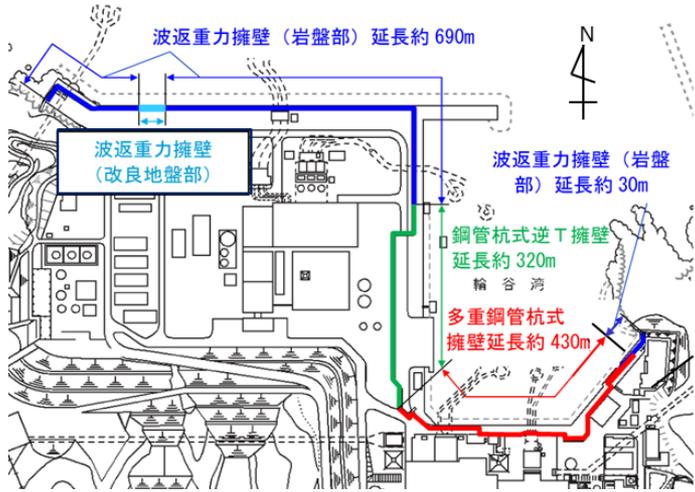
9. 防波壁の構造概要

9. 2 各防波壁の構造

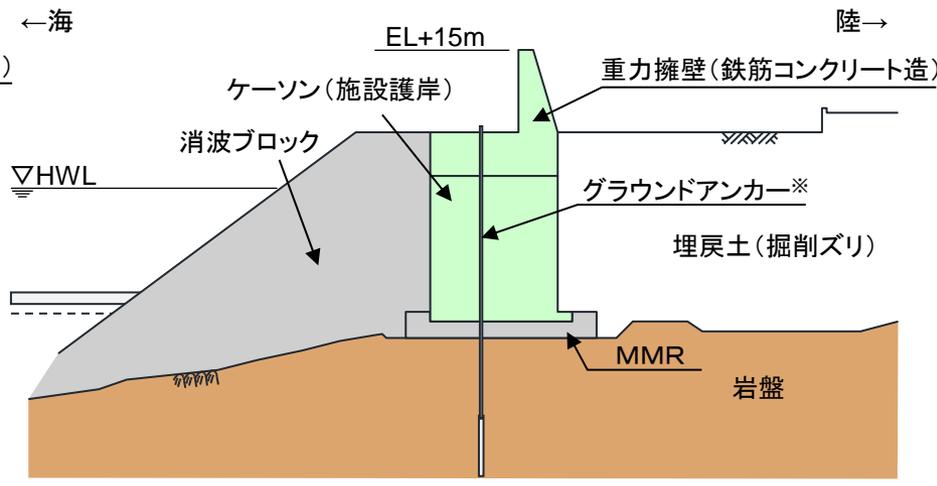
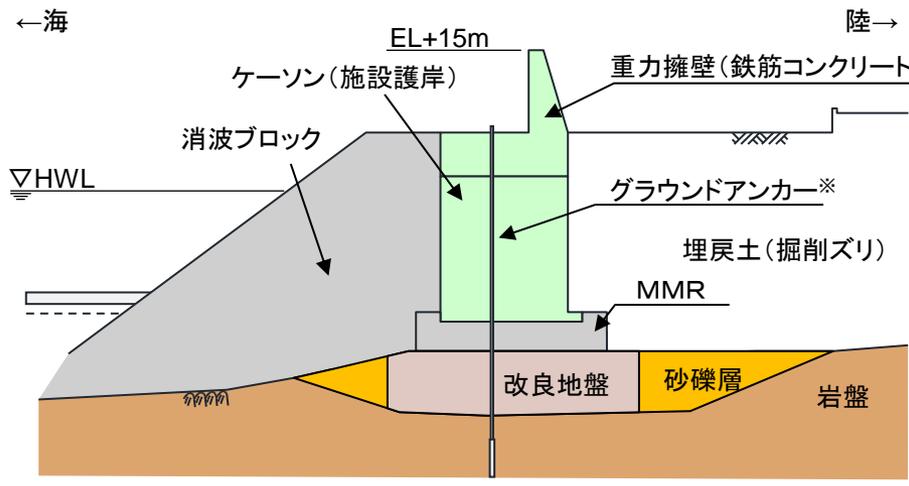
9. 2. 1 防波壁（波返重力擁壁）

- ・「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3 防波壁の設計方針について」（第888回審査会合 資料2-1, 2020年8月20日）の抜粋
- ・「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」（第909回審査会合 資料1-2, 2020年10月15日）の抜粋

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(1/12)



- 防波壁(波返重力擁壁)は、3号炉北側及び防波壁両端部に配置した。3号炉北側についてはケーソン及びMMR(マンメイドロック)を介して岩盤上に設置し、防波壁両端部については堅硬な地山に直接設置した。なお、砂礫層が分布する箇所については、地盤改良を実施した。
- 重力擁壁は、約10mを1ブロックとした壁体を連続して設置する。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。
- グラウンドアンカー(永久アンカー)を設置しているが、アンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波性を担保している。



※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果を期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁(波返重力擁壁)(改良地盤部)断面図

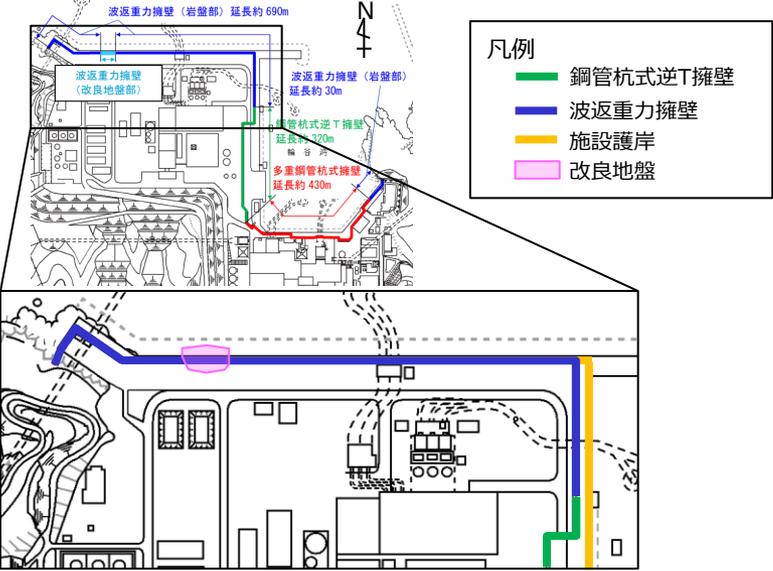
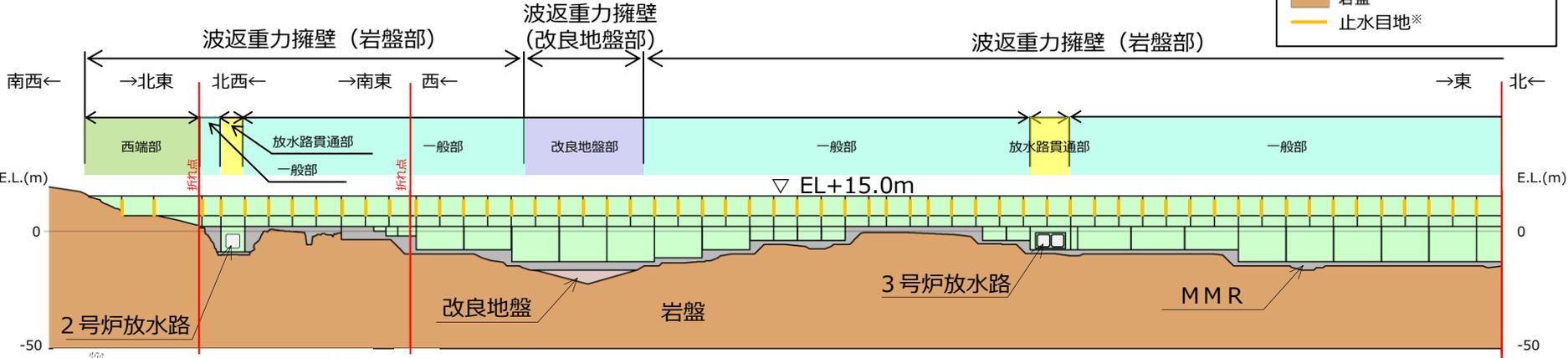
防波壁(波返重力擁壁)(岩盤部)断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(2/12)

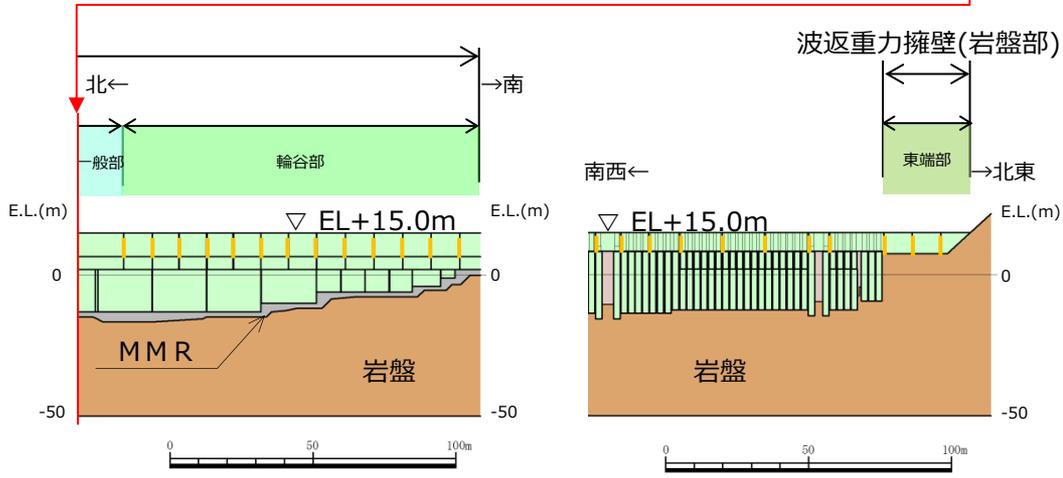
■ 防波壁(波返重力擁壁)については、3号炉北側の概ね全線にわたり岩盤に支持されているが、一部に砂礫層が介在する箇所に対して地盤改良を実施した。また、2、3号炉放水路がケーソンを貫通する箇所がある。

凡例

- 改良地盤
- 防波壁
- MMR・コンクリート構造物
- 岩盤
- 止水目地*



防波壁平面図(波返重力擁壁)

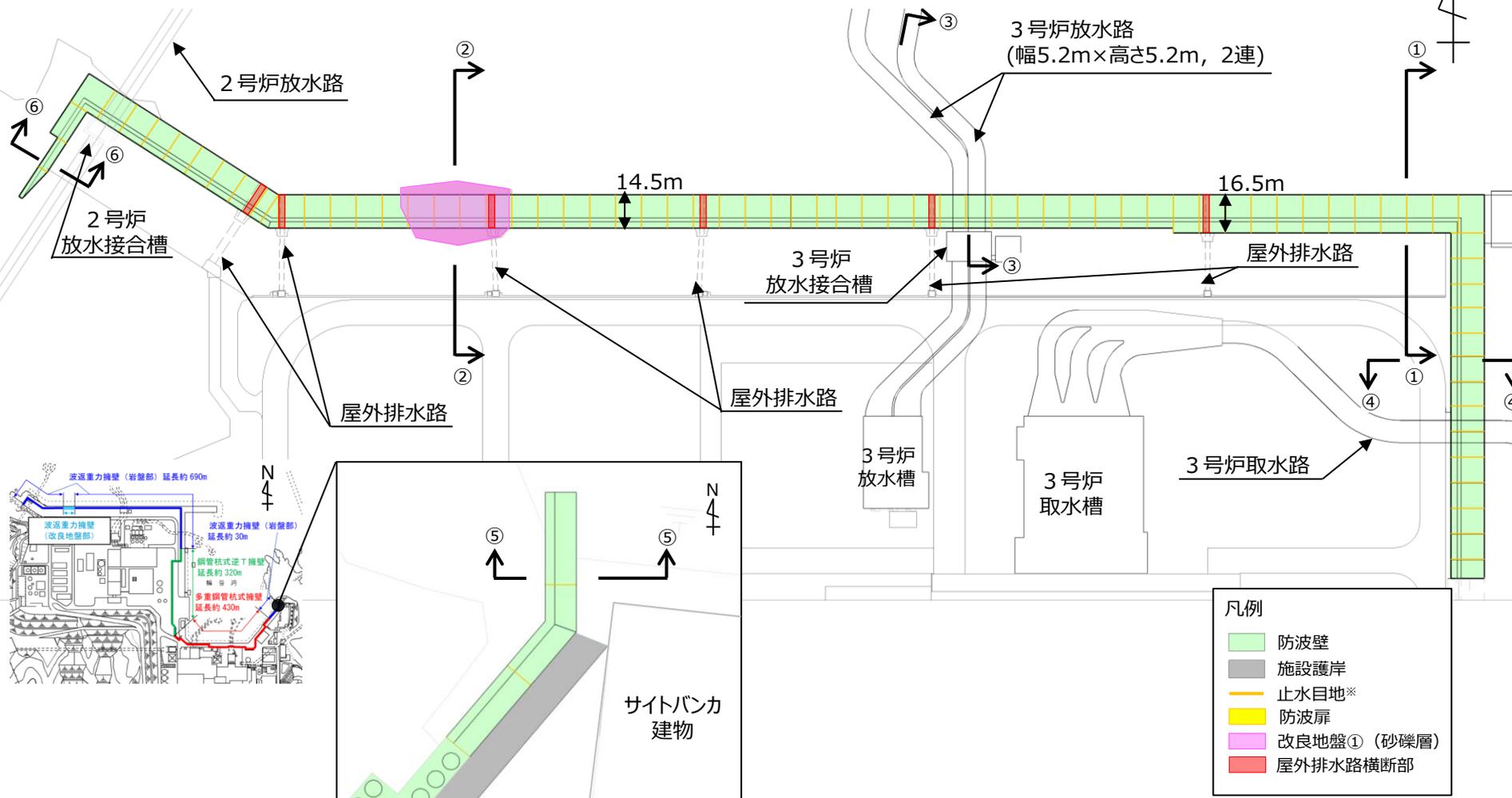


防波壁縦断図(波返重力擁壁)

*止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(3/12)

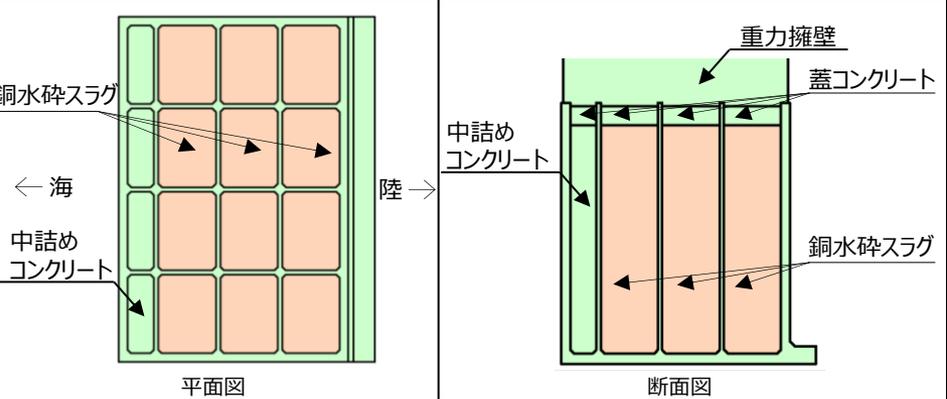
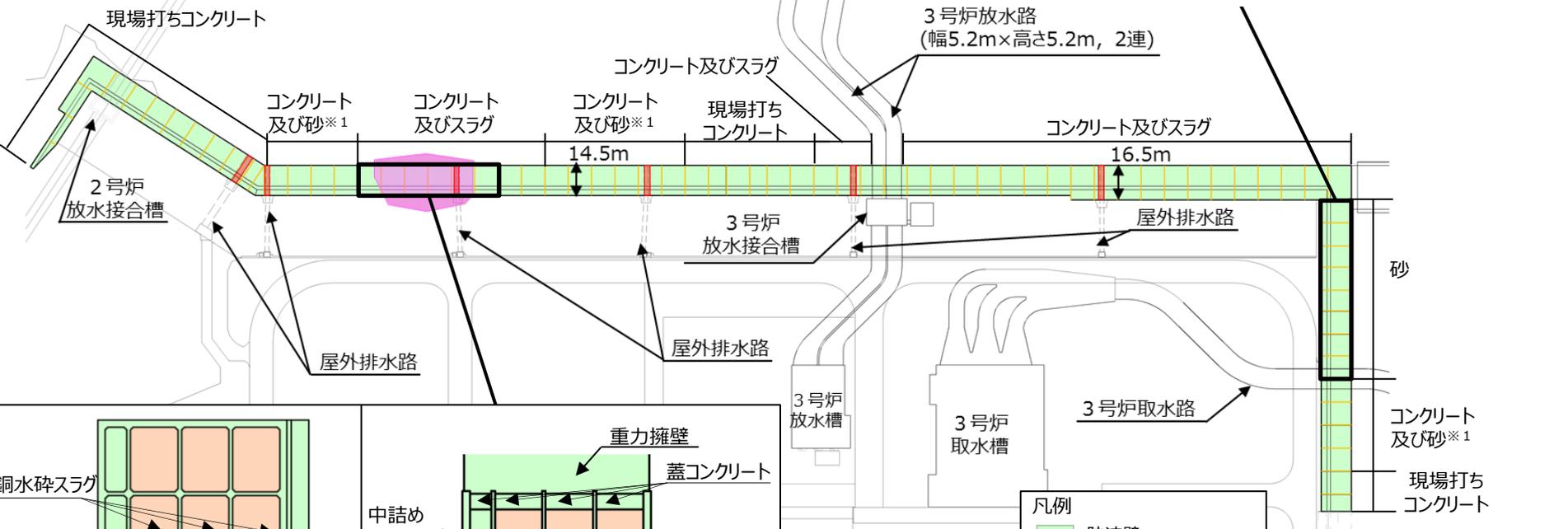
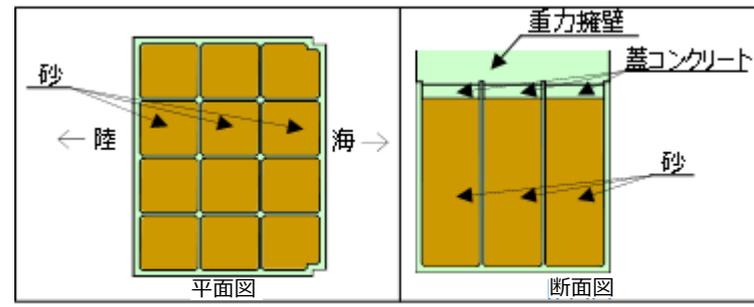
- 防波壁(波返重力擁壁)の平面図(止水目地位置含む)を以下に示す。
- 防波壁放水路横断部(③-③断面)には3号炉放水路(放水接合槽を含む), また, 東端部(⑤-⑤断面)東側にはサイトバンカ建物がそれぞれ隣接している。



※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(4/12)

- 防波壁(波返重力擁壁)のケーソン中詰材の施工状況を以下に示す。
- 中詰材の種類は、ケーソンの安定性確保の観点から以下の3種類を選定している。
- なお、一部の区間においては、現場打ちコンクリートとしており、ケーソンを使用しない構造としている。



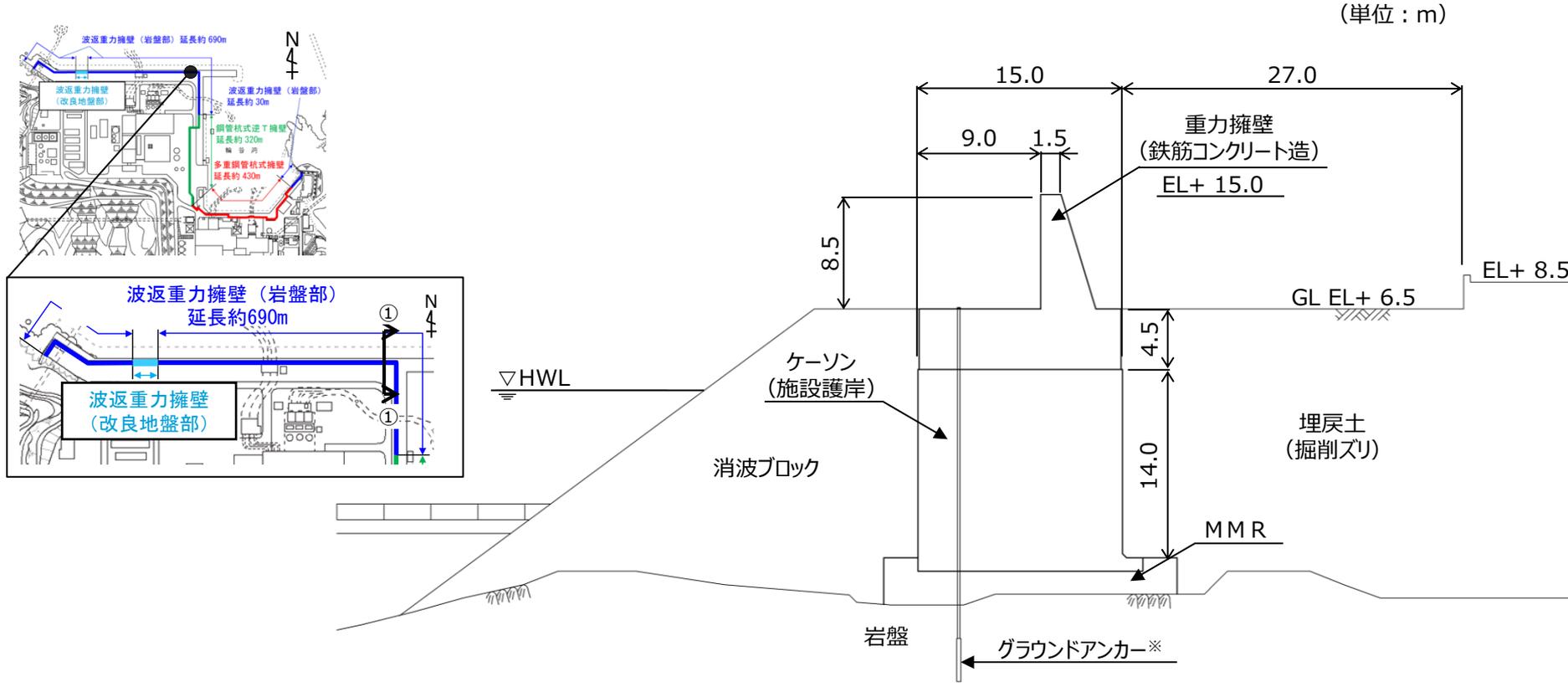
凡例

防波壁
施設護岸
止水目地*2
防波扉
改良地盤① (砂礫層)
屋外排水路横断部
銅水砕スラグ
砂

※1 コンクリート及び砂の場合、左図の中詰材である銅水砕スラグの代わりに砂を使用。
 ※2 止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(5/12)

- 防波壁(波返重力擁壁)一般部(①-①断面)については、MMRを介して岩盤に直接設置されたケーソン上に重力擁壁を設置した。

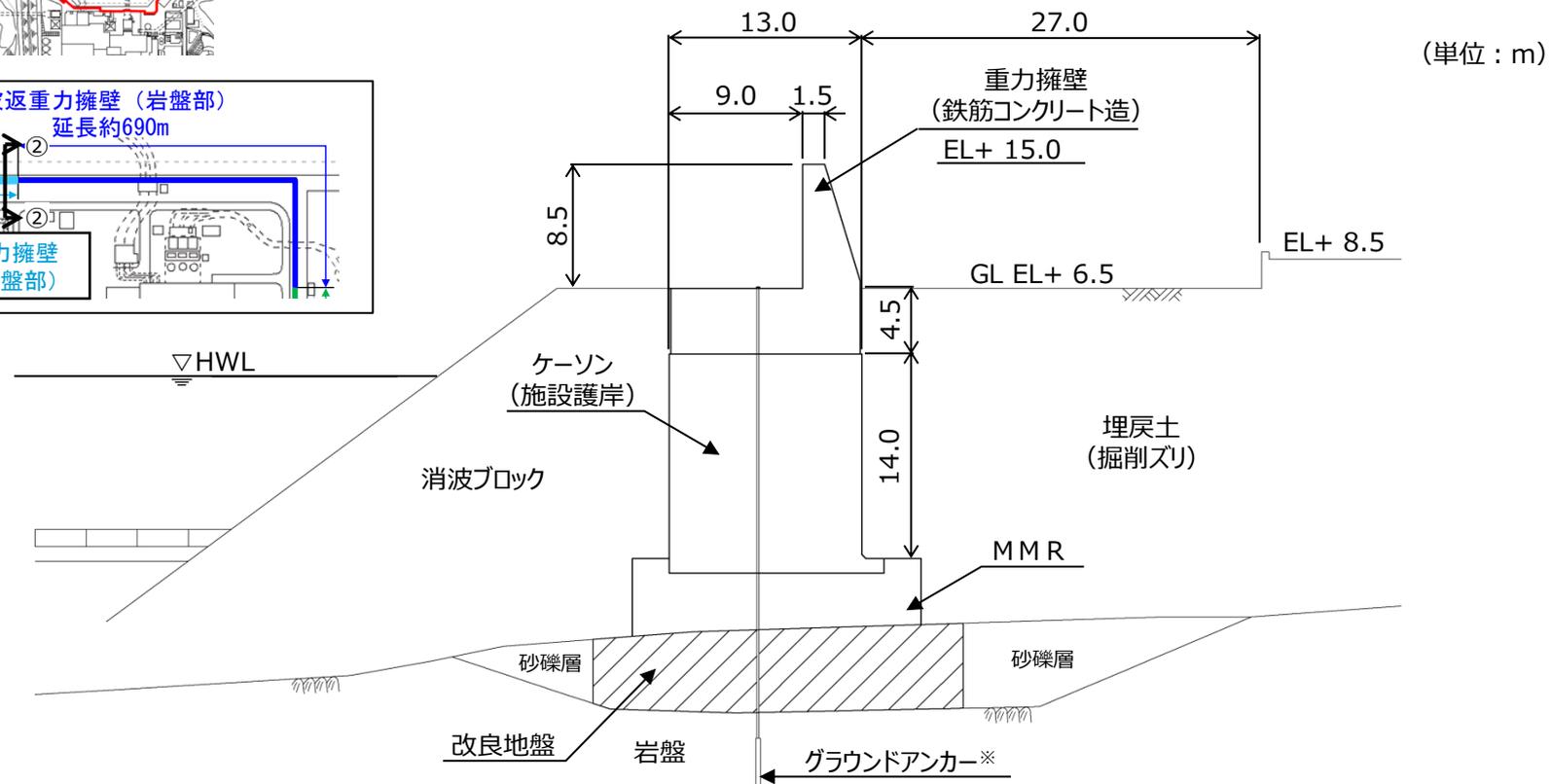
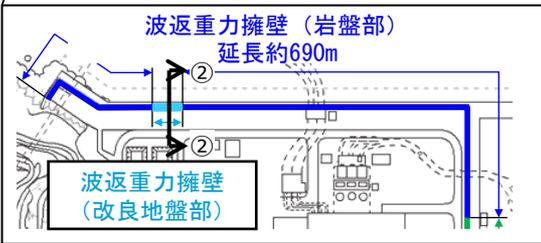
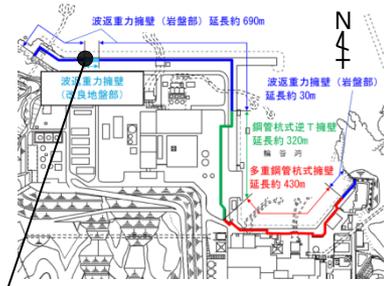


※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁(波返重力擁壁)一般部(①-①断面) 断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(6/12)

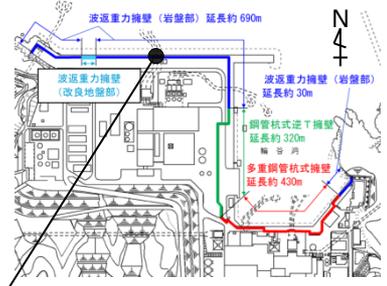
■ 防波壁(波返重力擁壁)改良地盤部(②-②断面)については、ケーソン下部に砂礫層を介在していたことから、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。



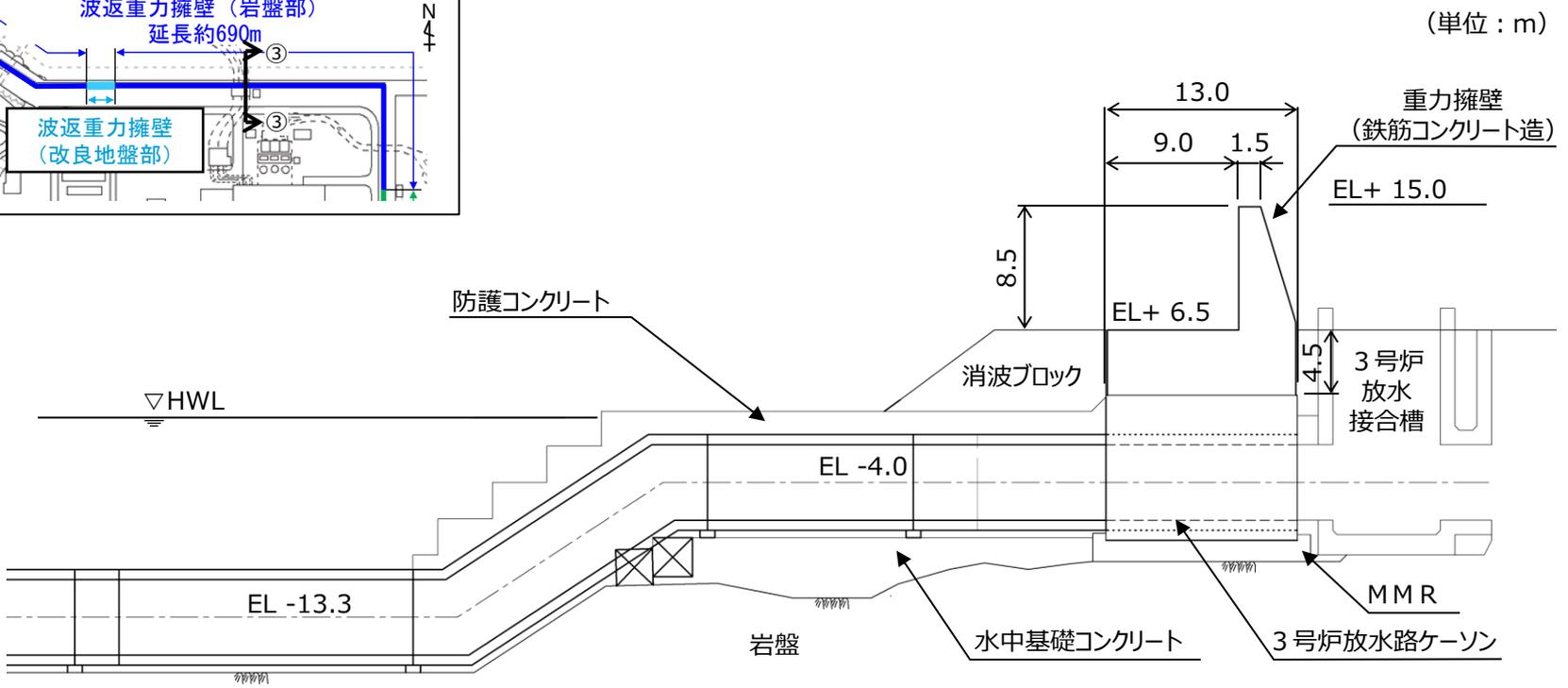
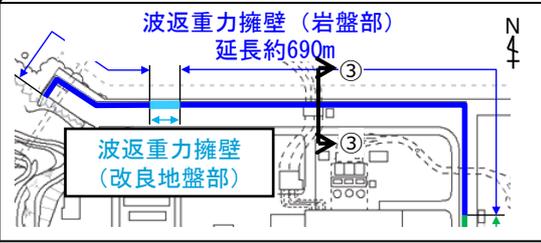
※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁(波返重力擁壁)改良地盤部(②-②断面)断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(7/12)



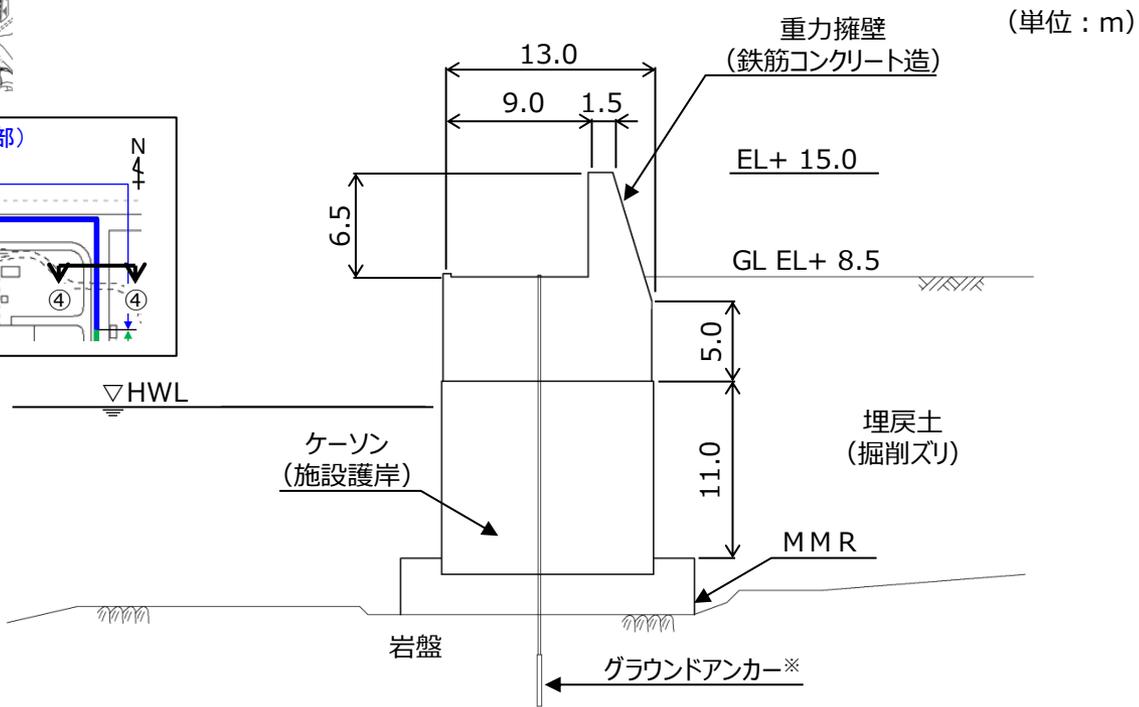
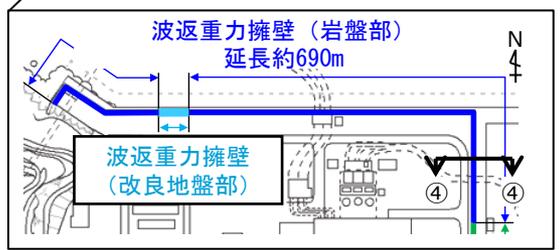
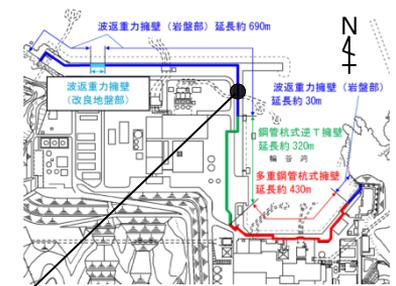
- 防波壁(波返重力擁壁)放水路貫通部(③-③断面)については, 3号炉放水路(幅5.2m×高さ5.2m, 2連)が貫通するケーソン上に重力擁壁を設置した。
- 3号炉放水路貫通部の放水路(ケーソン)は重力擁壁を間接支持する構造物とする。



防波壁(波返重力擁壁)放水路貫通部(③-③断面) 断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(8/12)

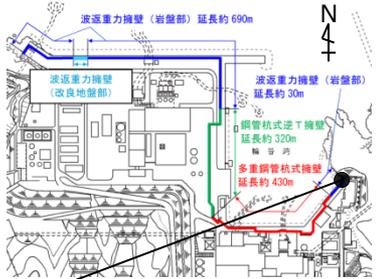
- 防波壁(波返重力擁壁)輪谷部(④-④断面)については、防波壁(波返重力式擁壁)の東側に位置し、輪谷湾に面しており、防波壁の海側に消波ブロックを設置していない断面である。



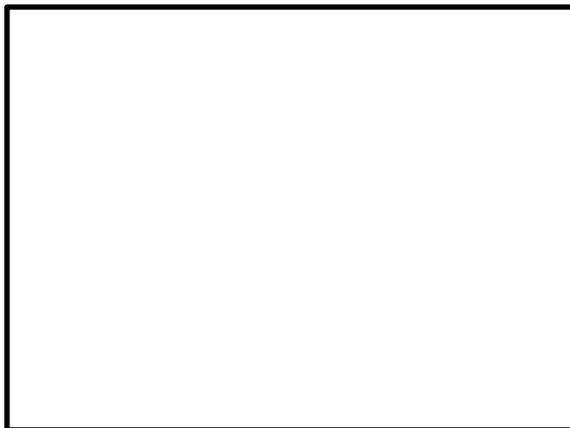
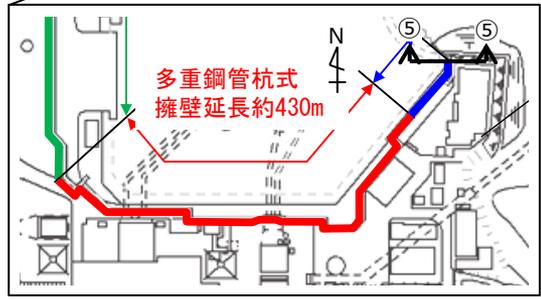
※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果も期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁(波返重力擁壁)輪谷部(④-④断面) 断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(9/12)



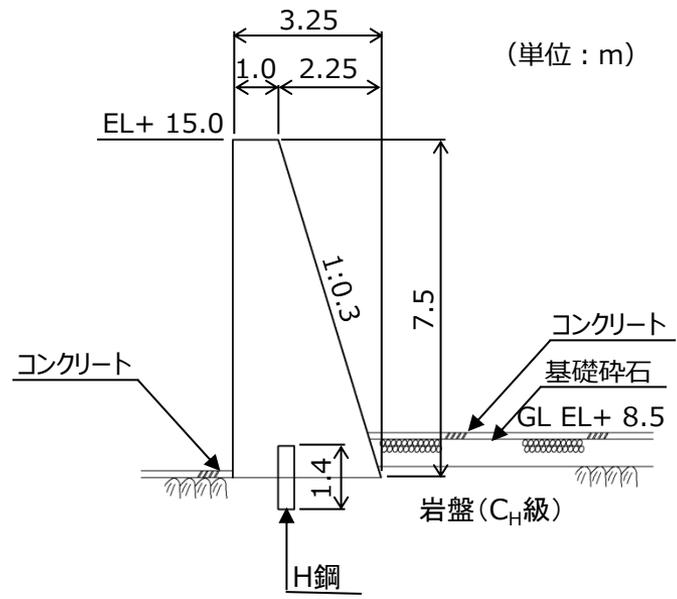
■ 防波壁(波返重力擁壁)東端部(⑤-⑤断面)については、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼(H-350×350×12×19)を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁東端部 外観写真



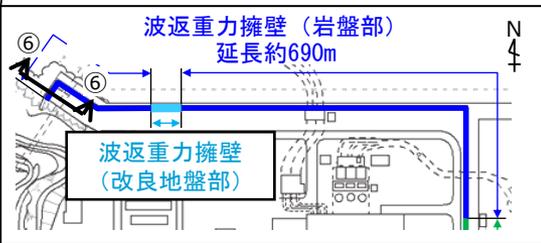
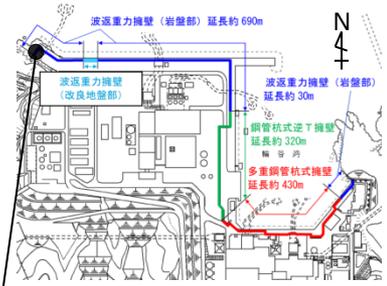
防波壁東端部 岩盤露出状況



防波壁(波返重力擁壁)東端部(⑤-⑤断面) 断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(10/12)

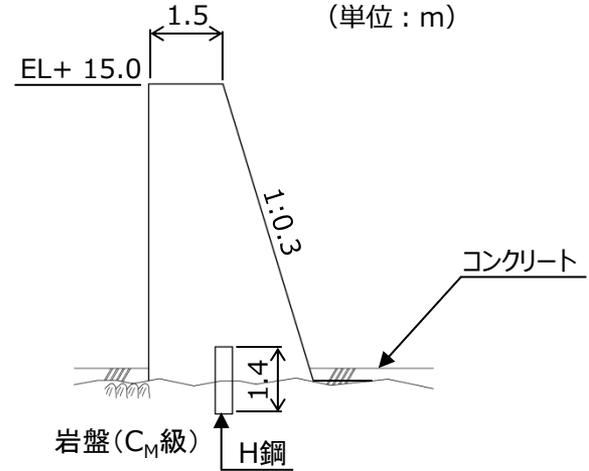
- 防波壁(波返重力擁壁)西端部(⑥-⑥断面)については、東端部同様、地震及び津波による沈下やずれを生じさせないため、岩盤を露出させ、H鋼(H-350×350×12×19)を1m間隔で打設し、重力擁壁を堅硬な地山に直接設置する設計とした。また、前面及び背面をコンクリートで被覆した。



防波壁西端部 状況写真



防波壁西端部 岩盤露出状況

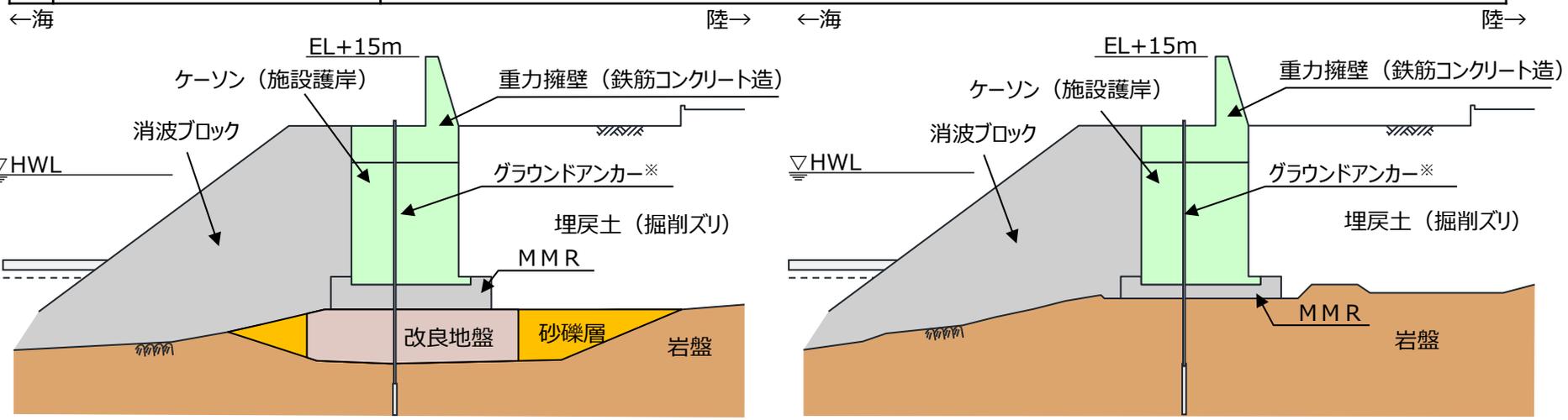


防波壁(波返重力擁壁)西端部(⑥-⑥断面) 断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(11/12)

■ 防波壁(波返重力擁壁)を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
重力擁壁	コンクリート : $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋 : SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント : クロコプレングム
ケーソン	プレキャストコンクリート
H鋼	H-350×350×12×19, SM490
【地盤】	
MMR	ケーソン架台に打設した基礎コンクリート, $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$
改良地盤	高圧噴射攪拌工法 (セメント系固化材)



※ 防波壁(波返重力擁壁)は、グラウンドアンカーの効果을期待しなくても、耐震・耐津波安全性を担保している。

防波壁(波返重力擁壁(改良地盤部))断面図

防波壁(波返重力擁壁(岩盤部))断面図

防波壁(波返重力擁壁)構造概要(12/12)

- 防波壁(波返重力擁壁)を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを下表に示す。
- 防波壁(波返重力擁壁)は重力擁壁, 止水目地, ケーソン, MMR及び地盤改良を構造上のバウンダリとする。
- なお, 設置許可基準規則を踏まえた評価対象部位の役割及び性能目標等について次頁以降で詳述する。

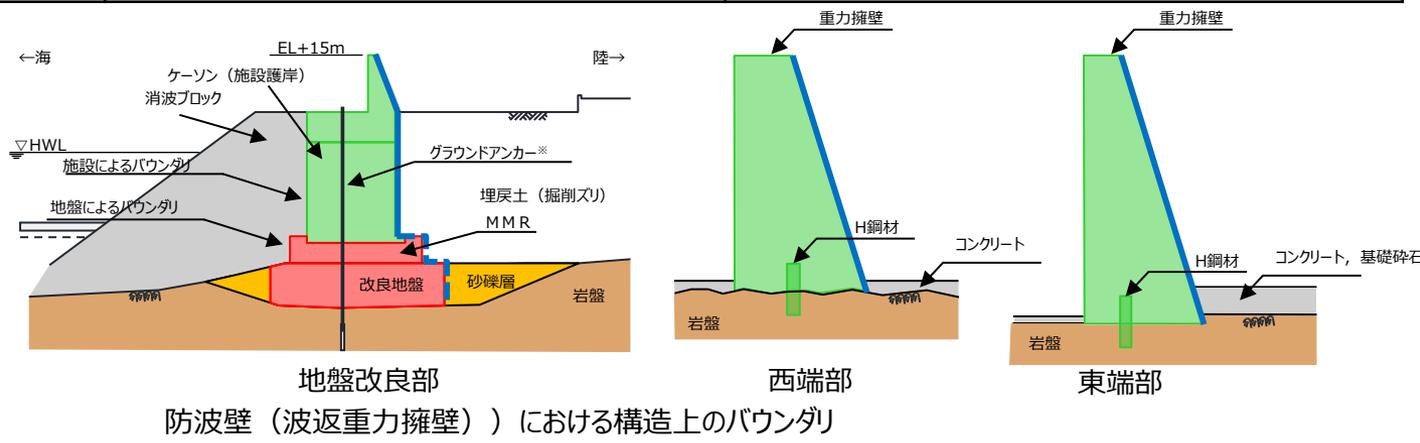
評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
重力擁壁	止水目地を支持, 遮水性の保持	
止水目地	重力擁壁間の遮水性の保持	
ケーソン	重力擁壁を支持, 遮水性の保持	
H鋼	重力擁壁の滑動を抑制	東端部, 西端部に設置
MMR	ケーソン及び重力擁壁を支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 難透水性の保持	基礎地盤, 24N/mm ²
改良地盤	ケーソン及び重力擁壁を支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 難透水性の保持	基礎地盤(ケーソン下面と岩盤上面の間に, 砂礫層が介在している区間のみ), 高圧噴射攪拌工法
岩盤	ケーソン及び重力擁壁を支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土(掘削ズリ), 砂礫層, 消波ブロック	役割に期待しない	

■ : 「施設」の範囲
 ■ : 「役割」を期待する地盤
 — : 施設によるバウンダリ
 - - - : 地盤によるバウンダリ

※ 防波壁(波返重力擁壁)は, グラウンドアンカーの効果も期待しなくても, 耐震・耐津波安全性を担保している。

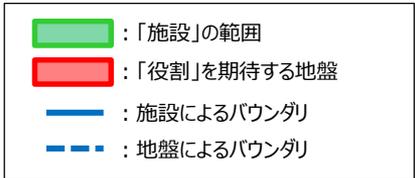


設置許可基準規則に対する確認事項(1/2)

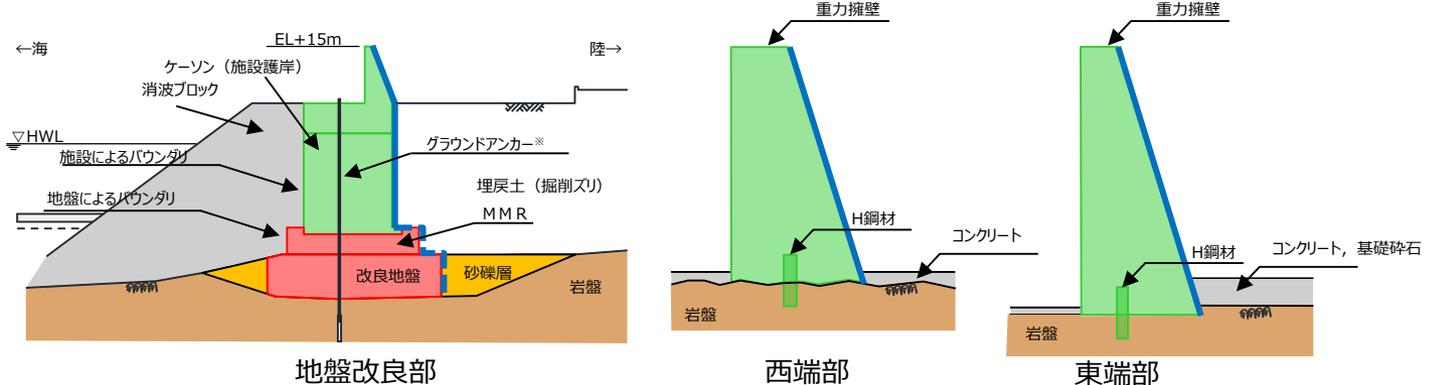
- 新規制基準への適合性において、防波壁（波返重力擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（波返重力擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（波返重力擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 施設（重力擁壁，ケーソン）を支持する地盤を対象とし，すべり，支持力，傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで，施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮したうえで，機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



※ 防波壁（波返重力擁壁）は，グラウンドアンカーの効果も期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。



波返重力擁壁（改良地盤部）の「施設」・「地盤」の範囲

設置許可基準規則に対する確認事項(2/2)

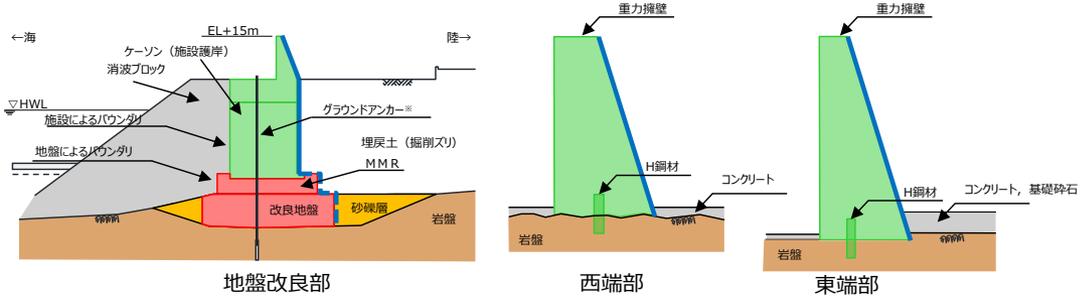
- 防波壁（波返重力擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし，これらを総称として『止水性』と整理する。
- 漂流物衝突荷重の影響により，防波壁の各部位の照査の結果，性能目標を維持できない場合は，防波壁（津波防護施設）の一部として漂流物対策工を追加設置する。なお，当該施設の設計方針については，「指摘6 漂流物衝突荷重の設定方針」において説明する。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに，遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し，遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに，遮水性を保持する。	・重力擁壁を支持するとともに，遮水性を保持する。
	H鋼	・重力擁壁の滑動を抑制する。	・重力擁壁の滑動を抑制する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削ズリ），砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への相互作用を考慮する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

: 「施設」の範囲
 : 「役割」を期待する地盤
 : 施設によるバウンダリ
 : 地盤によるバウンダリ

※ 防波壁（波返重力擁壁）は，グラウンドアンカーの効果も期待しなくても，耐震・耐津波安全性を担保している。



役割を期待する範囲

ケーソン構造成立性検討(1/2)

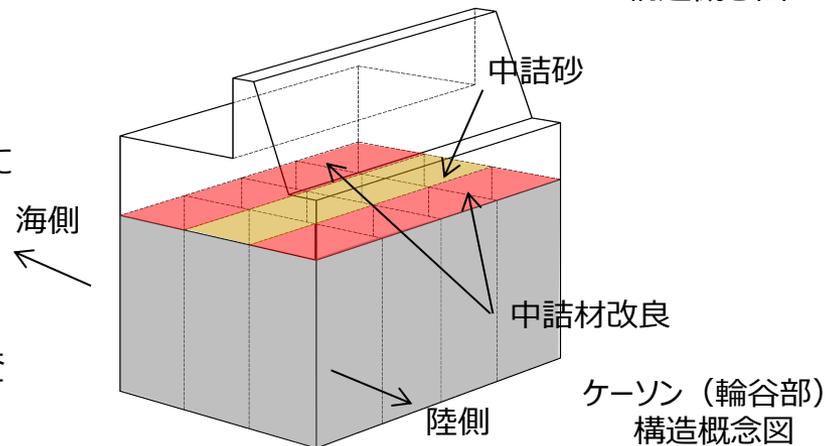
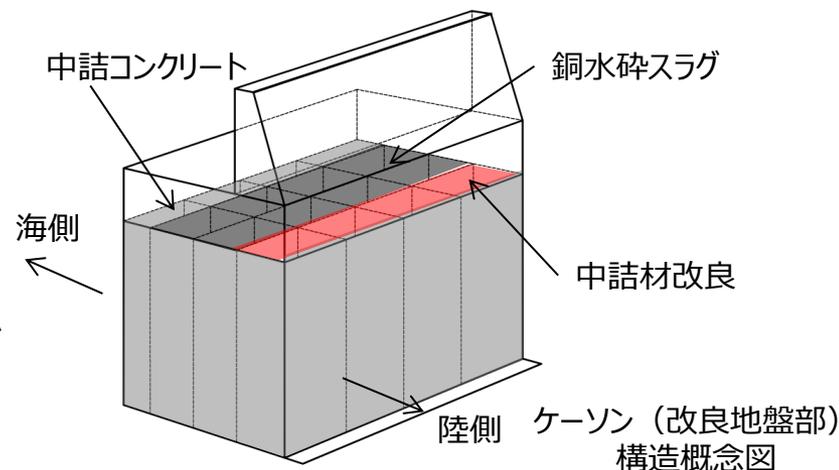
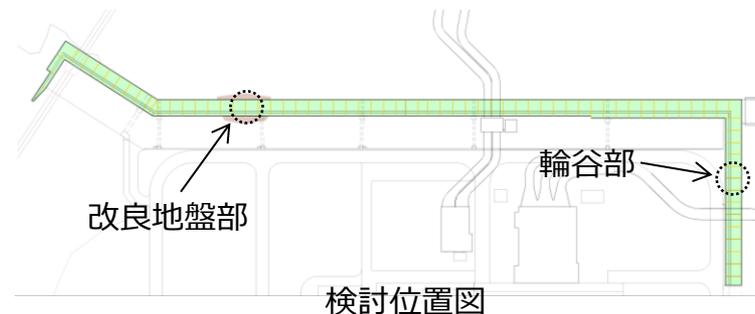
- 防波壁(波返重力擁壁)ケーソンの構造成立性を確認するため、3次元静的 F E M解析による検討を実施する。検討にあたっては、地震時のケーソン背後の地震時土圧及び慣性力によるケーソンへの影響が大きいことから、地震時による検討を実施する。
- ケーソンの評価について、2次元動的 F E M解析によりケーソン全体を評価する方針から、2次元動的 F E M解析から荷重等を抽出し、3次元静的 F E M解析によりケーソンの各部材を評価する方針に見直した。
- また、ケーソンの剛性について、港湾基準に基づきケーソン全体に対してコンクリートの剛性を設定する方針から、中詰材の剛性を期待しない方針に見直した。
- 上記の方針の見直しに伴い、地震時荷重を直接負担する部材等で構造成立性が見込めないことから、対策工として中詰材の一部を改良したものととして構造成立性を検討する。

【検討断面及び検討用地震動】

- 検討断面は、他の断面と比較してケーソン高さが高く、ケーソンの構造が異なる改良地盤部断面及び輪谷部断面を選定する。
- 地震荷重は基準地震動 S s - Dとする。

【解析条件】

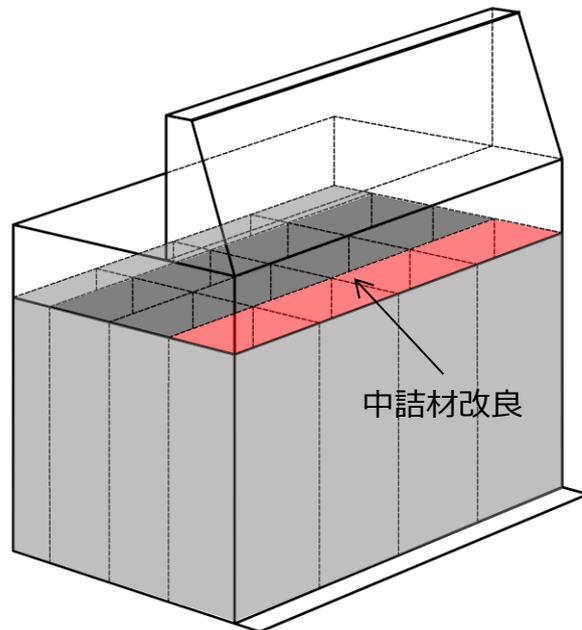
- 2次元動的 F E M解析(有効応力解析)を実施し、ケーソンの頂底板間の相対変形量が最大となる時刻における加速度及び荷重(地震時土圧、動水圧)を抽出し、3次元静的 F E Mモデルに作用させる。
- 2次元動的 F E M解析では、ケーソンの躯体のコンクリート強度と構造に応じた剛性を考慮した解析用物性値を設定する。
- 3次元静的 F E M解析では、2次元動的 F E M解析と同様に、中詰材の剛性を期待せず、重量のみ考慮する。
- 3次元静的 F E M結果を踏まえ、構造部材のうち、前壁、後壁、側壁、隔壁、底板及びフーチングを対象に、短期許容応力度による照査を実施する。



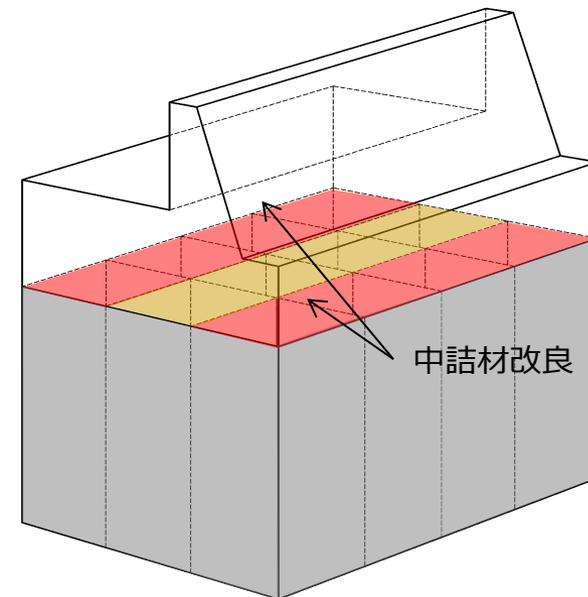
ケーソン構造成立性検討(2/2)

【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)

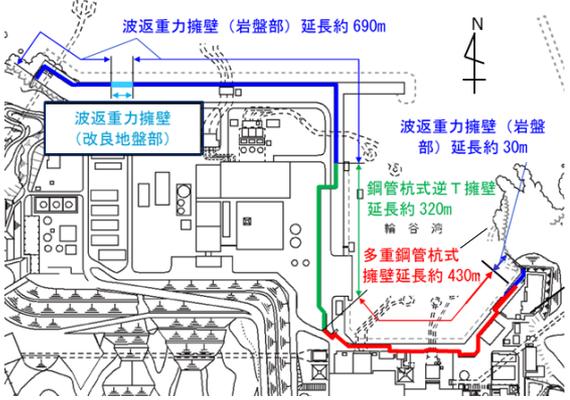
9. 防波壁の構造概要

9. 2 各防波壁の構造

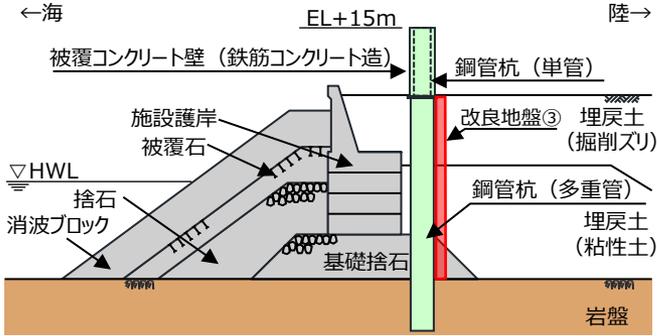
9. 2. 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

- ・「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3 防波壁の設計方針について」（第870回審査会合 資料1-2-1, 2020年6月30日）の抜粋に,
「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3 防波壁の設計方針について」（第888回審査会合 資料2-4, 2020年8月20日）の内容を反映
- ・「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」（第909回審査会合 資料1-2, 2020年10月15日）の抜粋

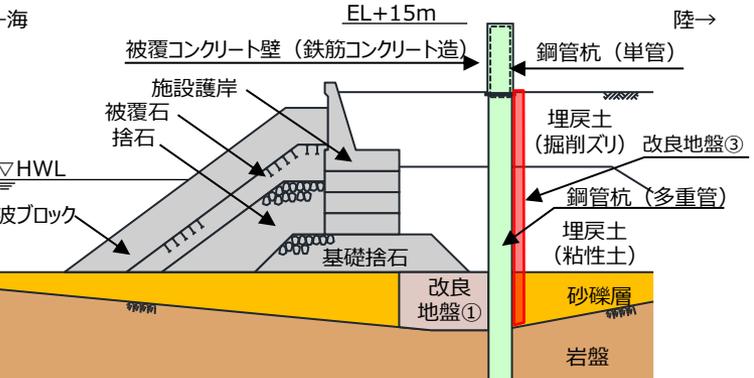
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(1/12)



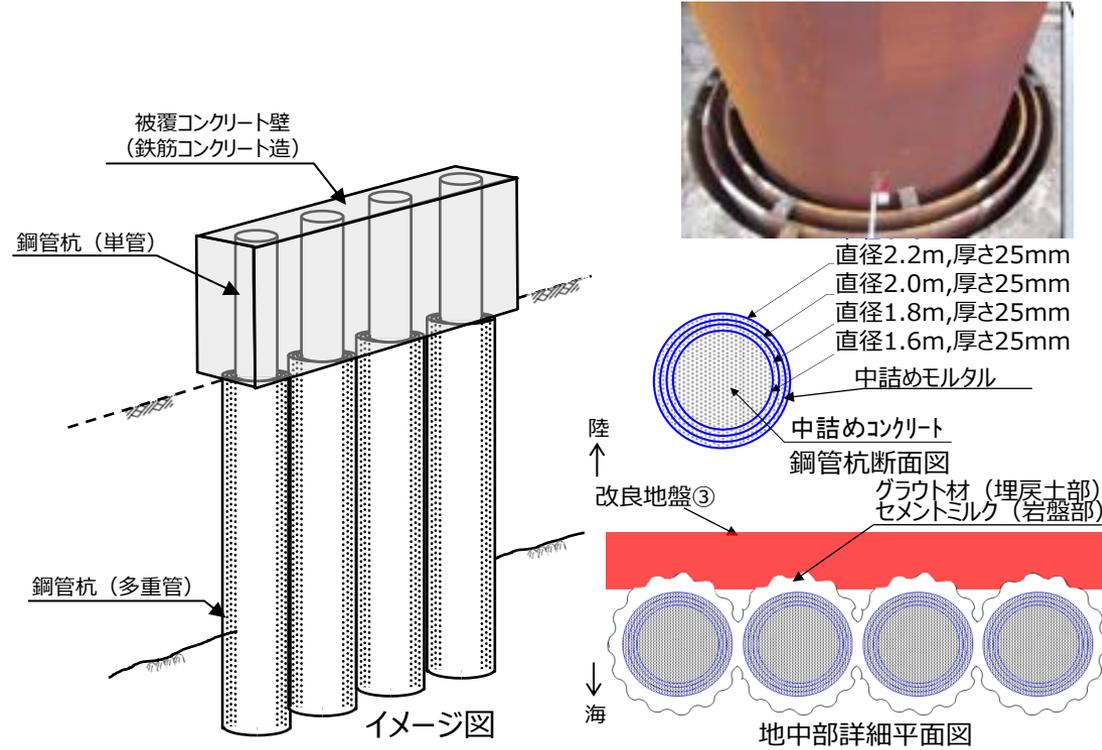
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の構造概要を示す。
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は、1, 2号炉北側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した(根入れ深さ: 5.0m程度)。
- 鋼管杭は、コンクリートで中詰めされた大口径管の多重構造を採用している。また、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間にセメントミルクを間詰めし、埋戻土部はグラウト材で間詰めた。
- 被覆コンクリート壁は、下部の鋼管杭から連続する鋼管杭を鉄筋コンクリートで被覆した部材で構成される。鋼管杭6本程度を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。
- 防波壁の背後に止水性を有する地盤改良を実施する対策を行う。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)断面図



防波壁(多重鋼管杭式擁壁(改良地盤部))断面図



直径2.2m,厚さ25mm
直径2.0m,厚さ25mm
直径1.8m,厚さ25mm
直径1.6m,厚さ25mm

中詰めモルタル

中詰めコンクリート

鋼管杭断面図

グラウト材(埋戻土部)
セメントミルク(岩盤部)

陸 ↑

改良地盤③

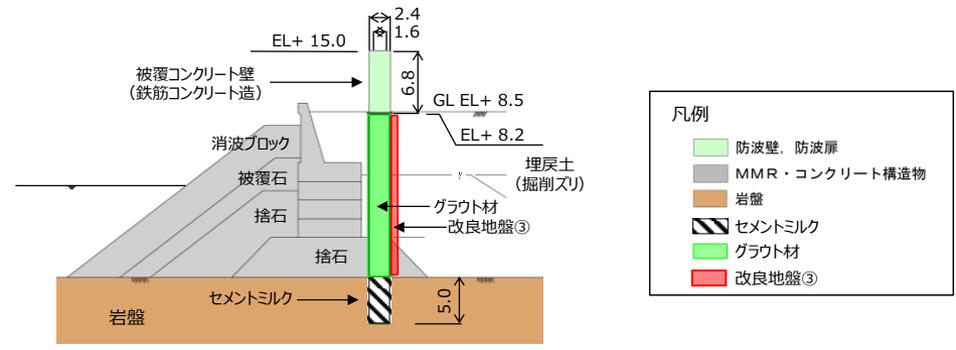
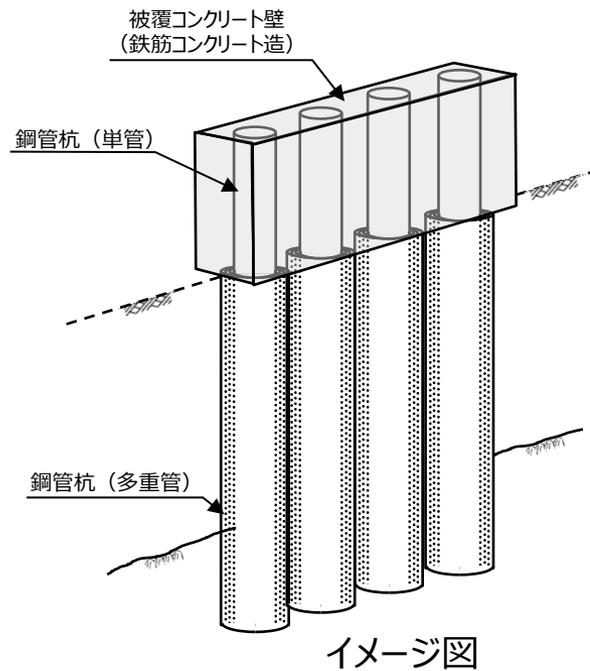
↓ 海

地中部詳細平面図

イメージ図

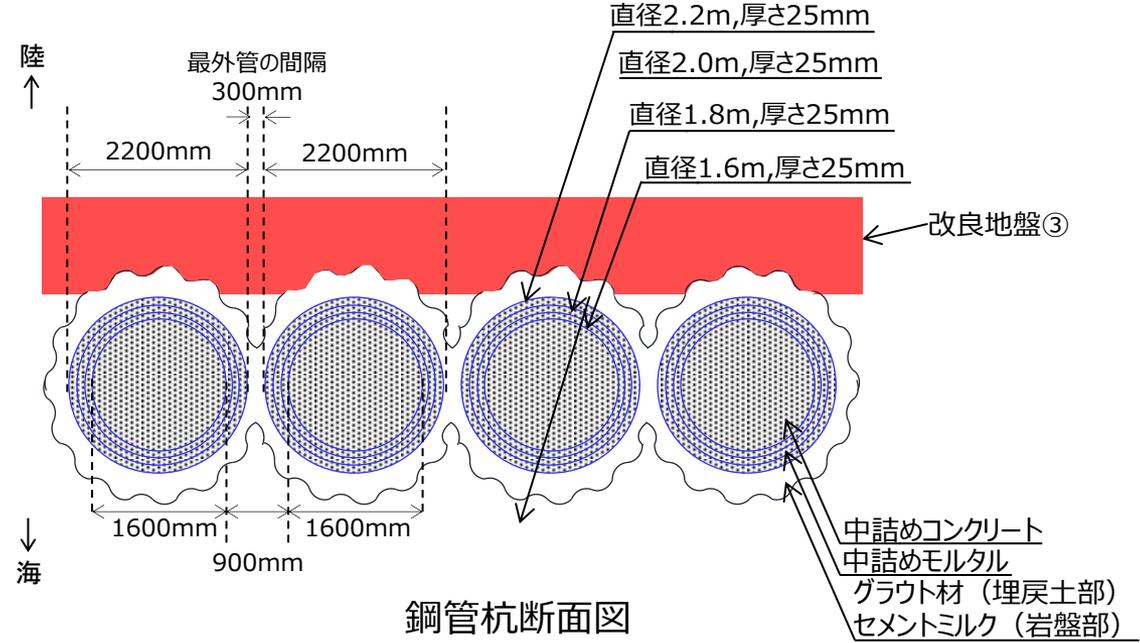
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(2/12)

■ 地中部の鋼管杭の最外管の間隔は約30cmであり、隣り合う多重鋼管杭間はセメントミルク(岩盤部)又はグラウト材(埋戻土部)で充填されている。



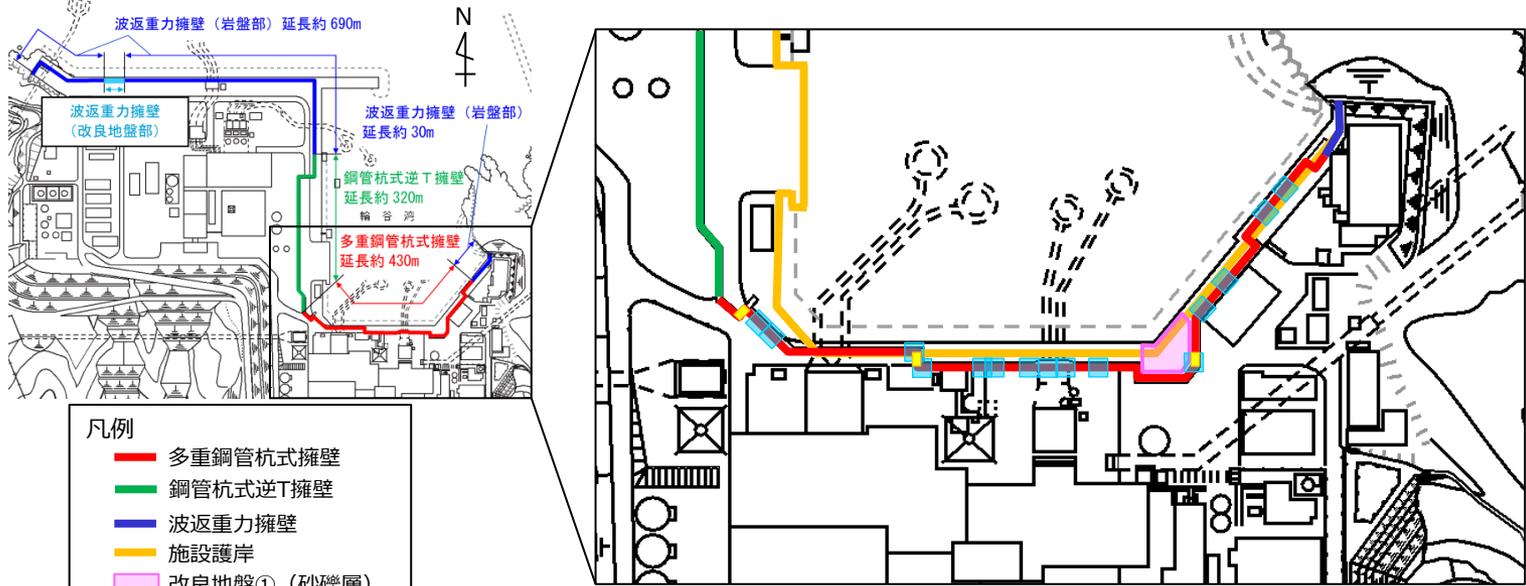
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 杭間部 断面図

【地中部】

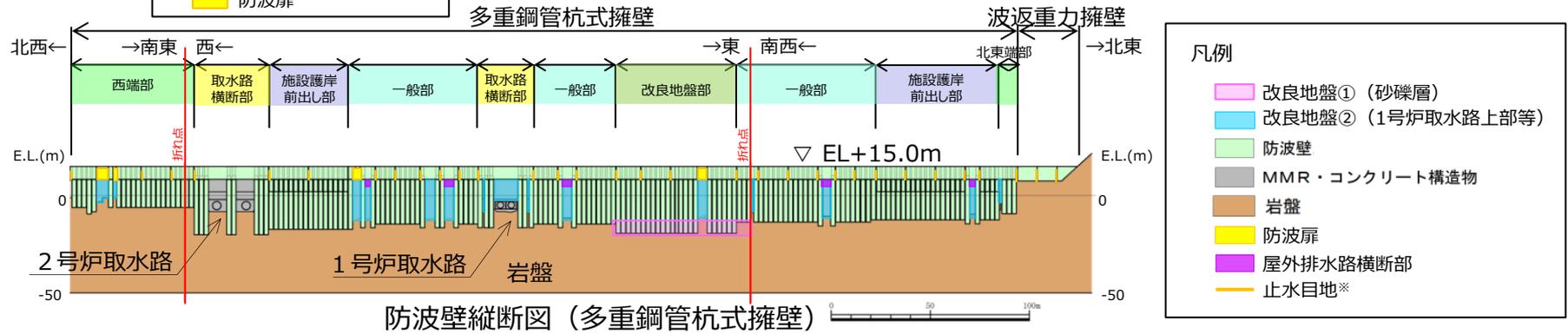


防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(3/12)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)については, 1, 2号炉北側全線にわたり多重鋼管杭を連続的に設置した。
- 岩盤上に砂礫層が堆積している範囲において防波壁前面で薬液注入工法(特殊スラグ系固化材)により地盤改良を実施した(改良地盤①)。
- また, 取水路及び屋外排水路設置箇所等で杭間隔が大きい区間については, 側方の鋼管杭に支持された上部工が横断する構造としており, 横断部の地中については, 止水性を保持する観点から薬液注入工法(セメント系固化材)により地盤改良を実施した(改良地盤②)。



防波壁平面図 (多重鋼管杭式擁壁)

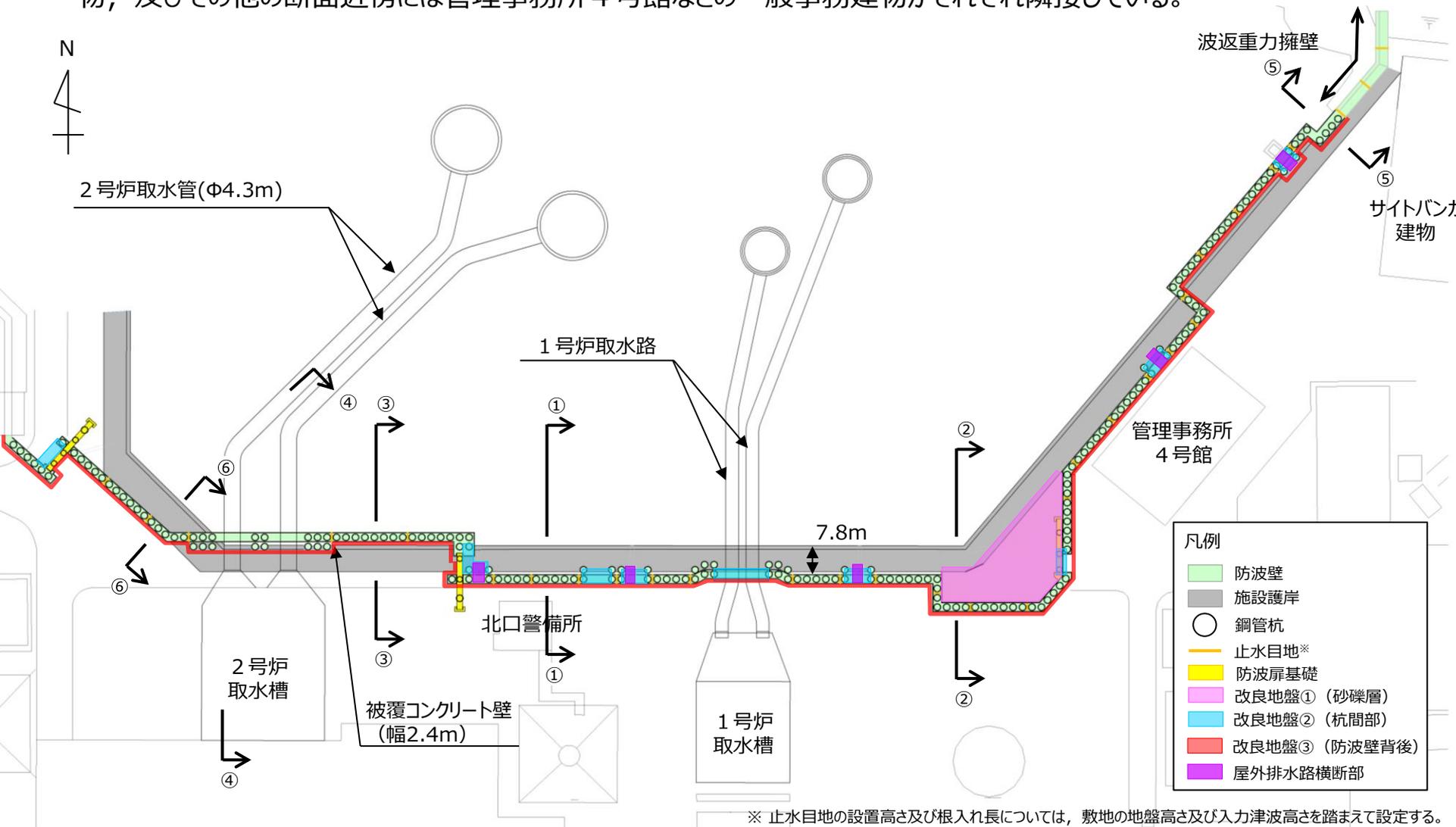


防波壁縦断図 (多重鋼管杭式擁壁)

※止水目地の設置高さ及び根入れ長については, 敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

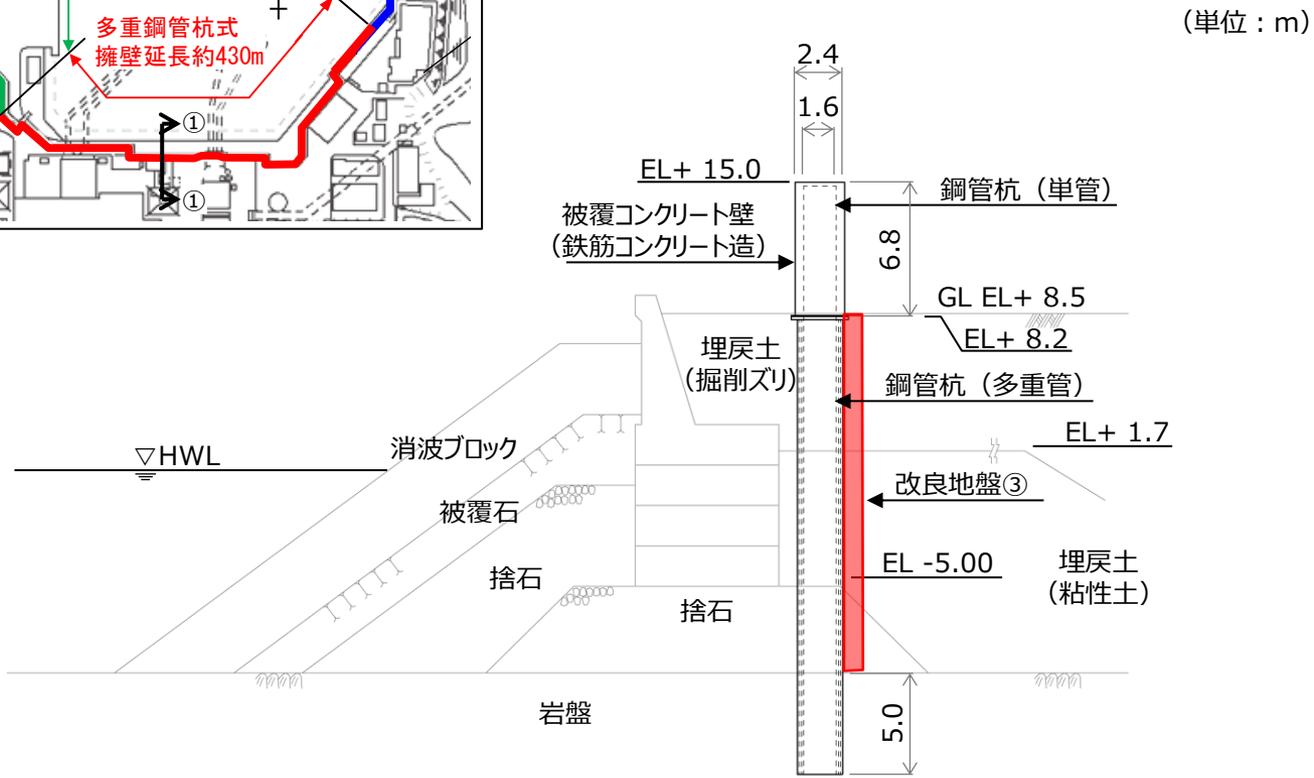
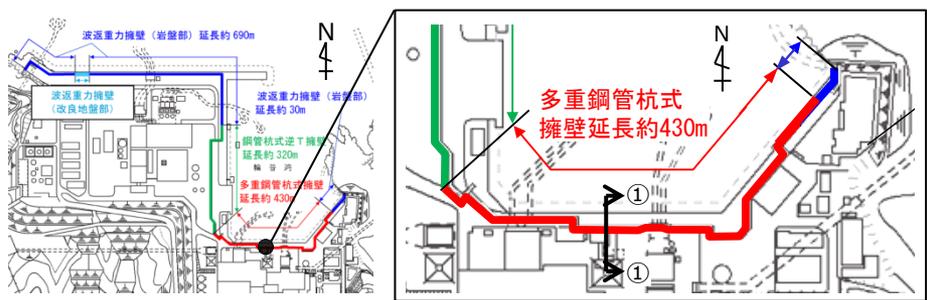
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(4/12)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)平面図(止水目地位置含む)を以下に示す。
- 防波壁取水路横断部(④-④断面)南側には2号炉取水槽, 北東端部(⑤-⑤断面)東側にはサイトバンカ建物, 及びその他の断面近傍には管理事務所4号館などの一般事務建物がそれぞれ隣接している。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(5/12)

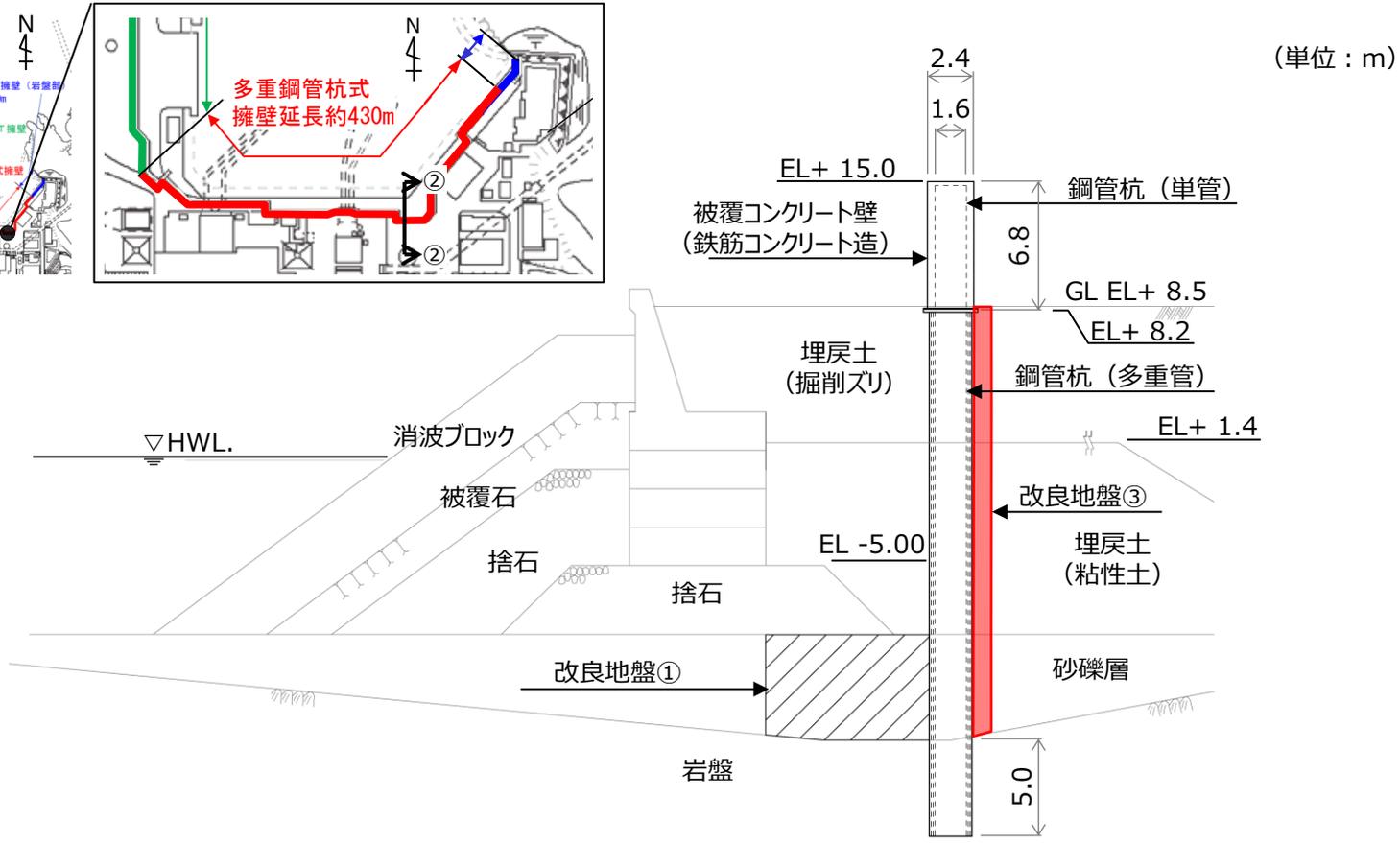
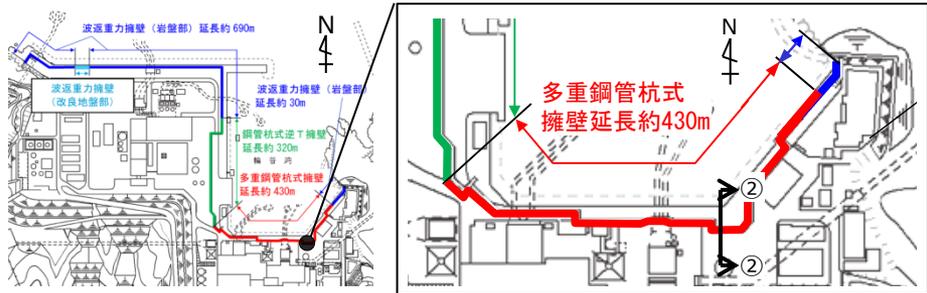
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)一般部(①-①断面)については、施設護岸の南側(陸側)に防波壁(多重鋼管杭式擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)一般部(①-①断面)断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(6/12)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)改良地盤部(②-②断面)については、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の南東角部に位置し、支持地盤が深く、杭長が最も長い箇所である。周辺の砂礫層(海側)に対しては、薬液注入工法により地盤改良を実施した。

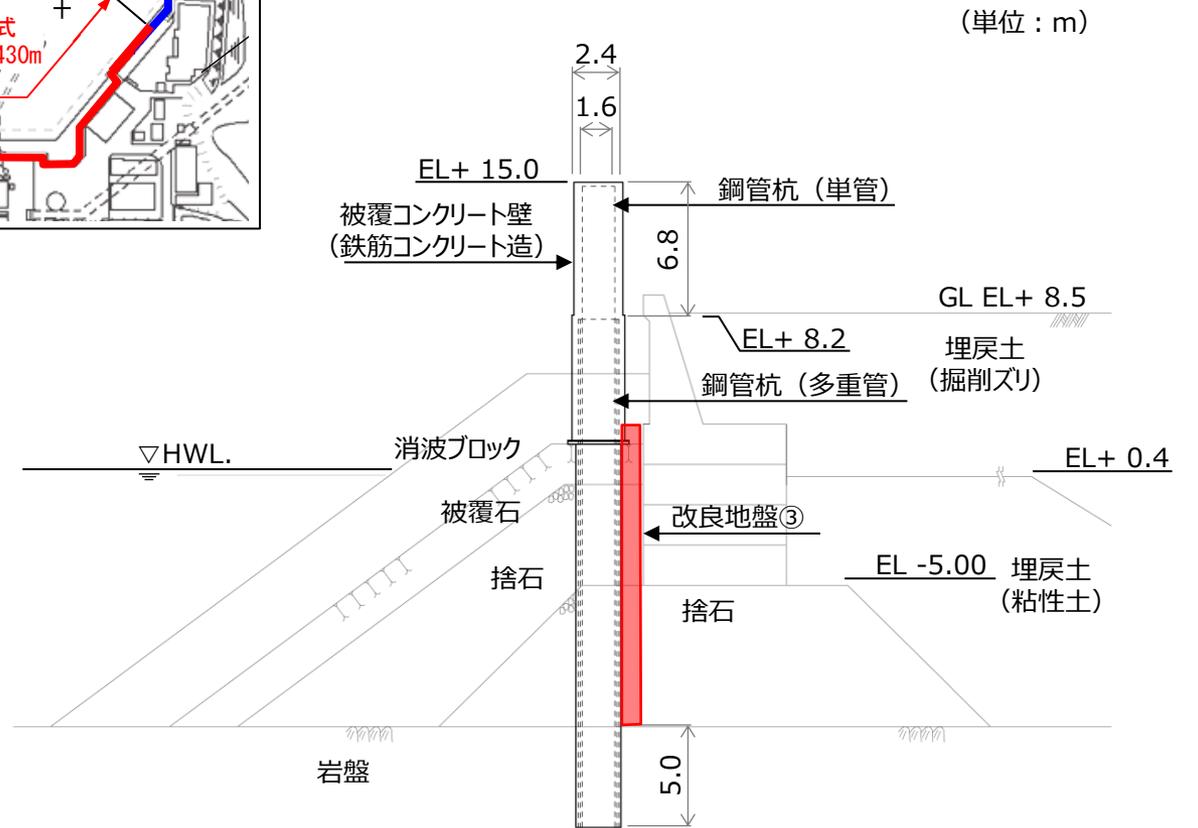
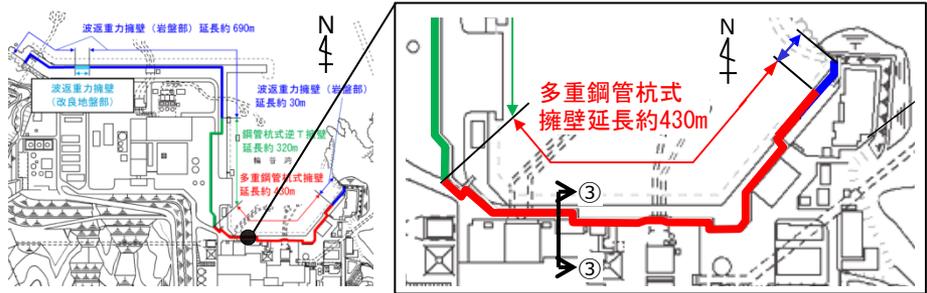


(単位: m)

防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 改良地盤部(②-②断面) 断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(7/12)

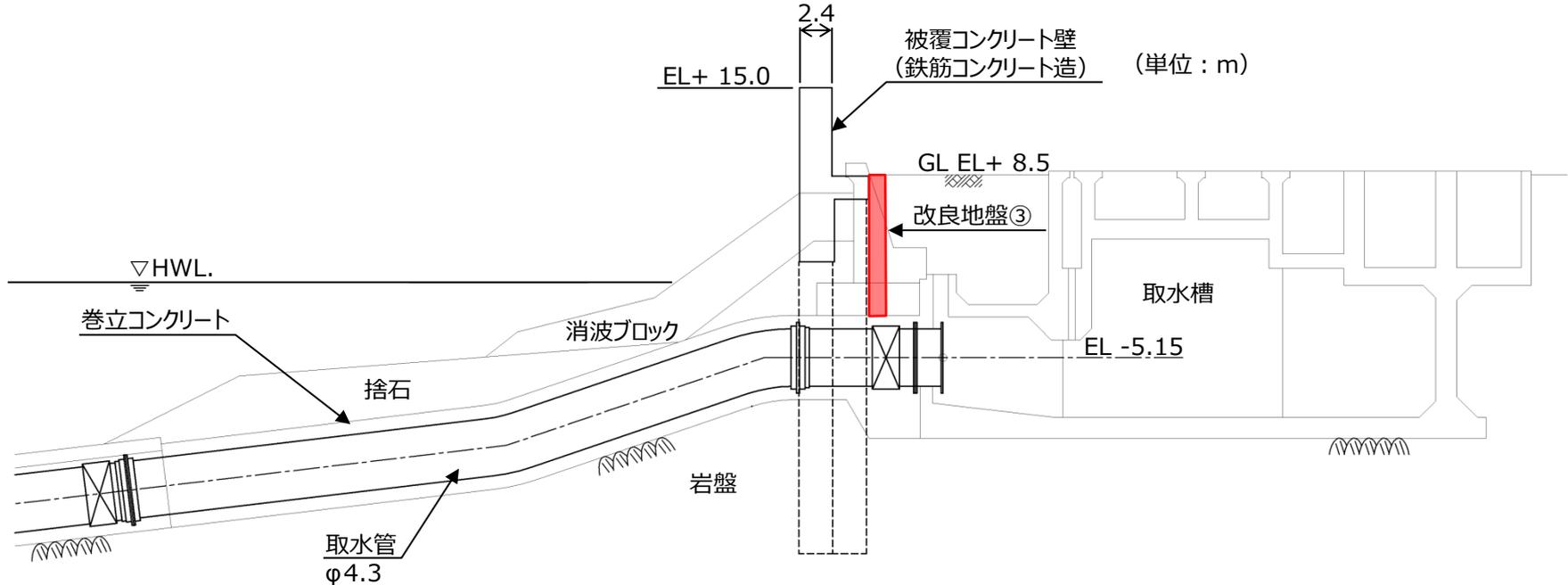
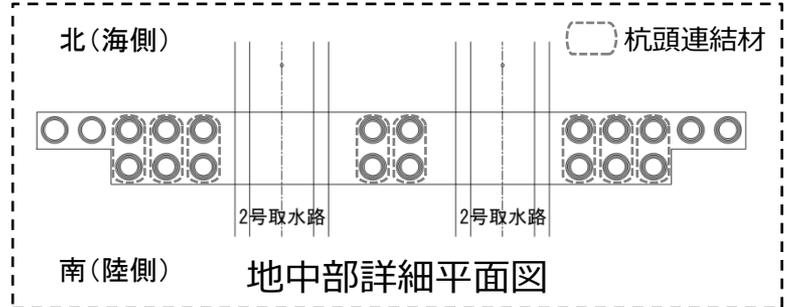
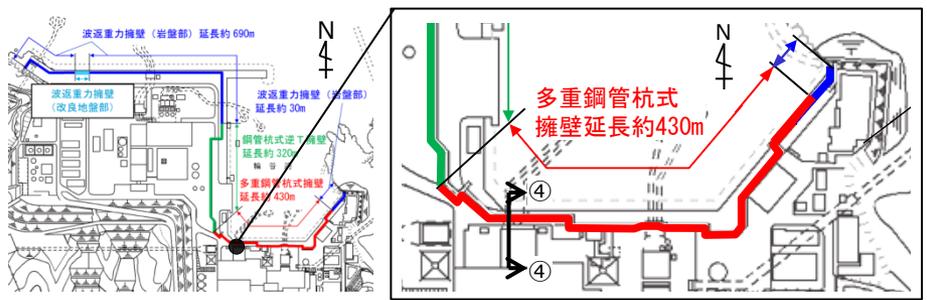
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)施設護岸前出し部(③-③断面)については、施設護岸の北側(海側)に防波壁(多重鋼管杭式擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 施設護岸前出し部(③-③断面) 断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(8/12)

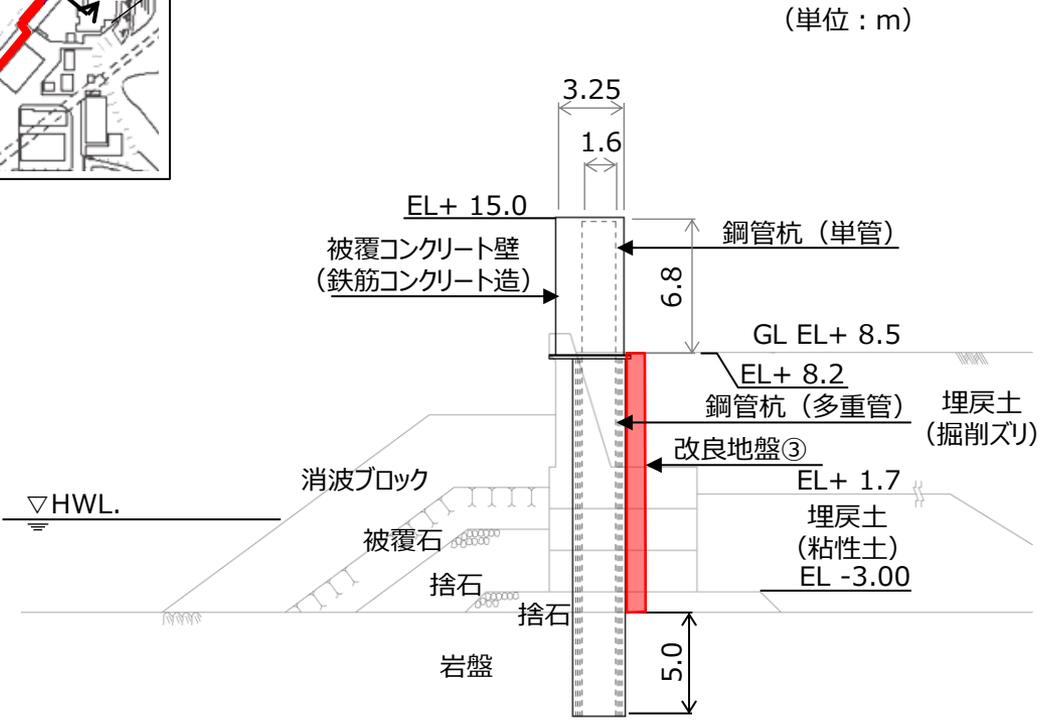
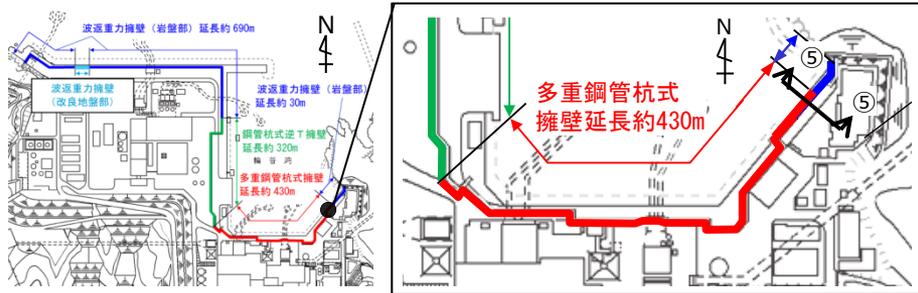
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 取水路横断部(④-④断面)については, 2号炉取水管(φ4.3m)を横断するため, 側方の多重鋼管杭を南北方向に2列配置し, 杭頭連結材を設置した。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 取水路横断部(④-④断面) 断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(9/12)

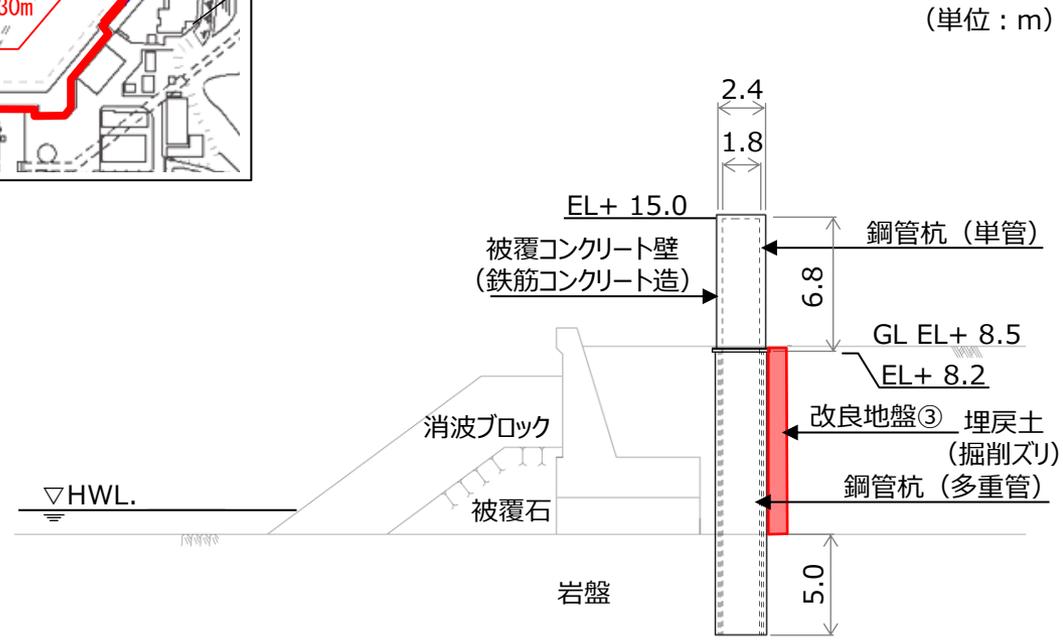
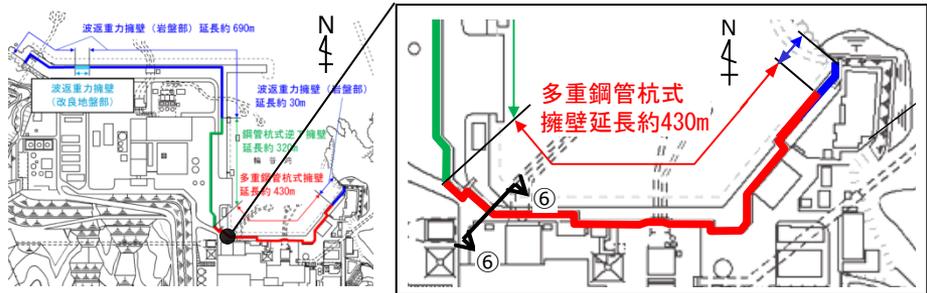
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)北東端部(⑤-⑤断面)については、施設護岸上に防波壁(多重鋼管杭式擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 北東端部(⑤-⑤断面) 断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(10/12)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)西端部(⑥-⑥断面)については, 施設護岸の南西側(陸側)に防波壁(多重鋼管杭式擁壁)が配置される構造となっている。



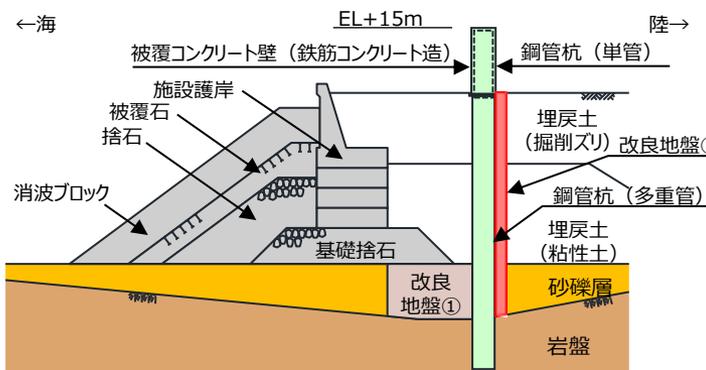
防波壁(多重鋼管杭式擁壁) 西端部(⑥-⑥断面) 断面図

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(11/12)

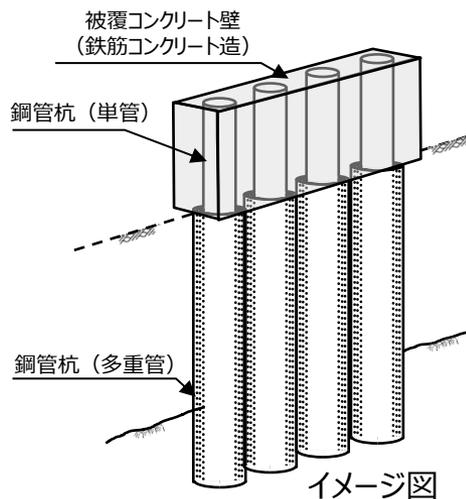
■ 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	最内管：φ1600mm,t=25mm,SKK490 最内から2番目の管：φ1800mm,t=25mm,SKK490 最内から3番目の管：φ2000mm,t=25mm,SKK490 最外管：φ2200mm,t=25mm,SKK490又はSM490Y 中詰コンクリート (f'ck=18N/mm ²)
被覆コンクリート壁	コンクリート：f'ck=24N/mm ² 鉄筋：SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント：クロロプレンゴム
【地盤】※	
セメントミルク	q _u =9.8N/mm ² 以上
改良地盤①(砂礫層)	薬液注入工法(セメント系固化材, 特殊スラグ系固化材)

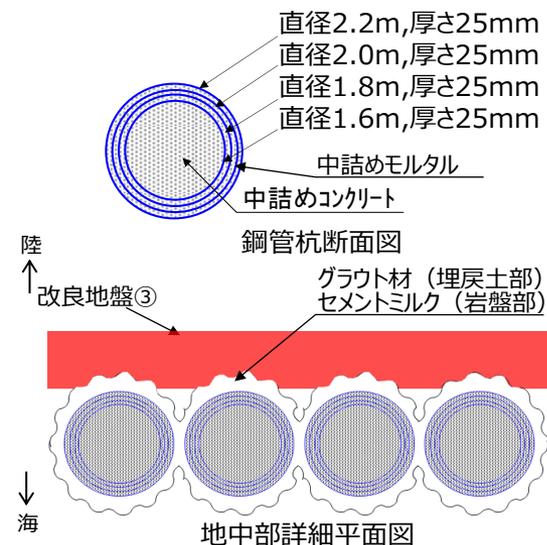
※防波壁の背後に実施する地盤改良(改良地盤③)の仕様は詳細設計段階において説明する。



防波壁(多重鋼管杭式擁壁)



イメージ図



地中部詳細平面図

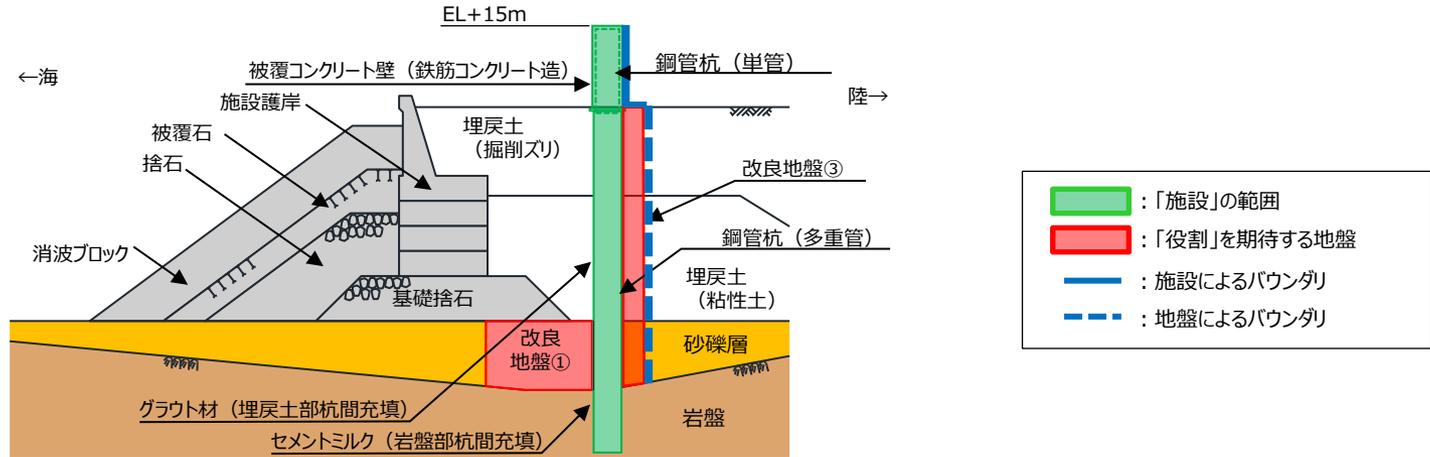
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)構造概要(12/12)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを示す。
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)は被覆コンクリート壁及び止水目地を構造上のバウンダリとする。また、地中部の改良地盤③についても構造上のバウンダリとする。

評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	被覆コンクリート壁を支持	
被覆コンクリート壁	止水目地を支持, 遮水性の保持	
止水目地	被覆コンクリート壁間の遮水性の保持	
セメントミルク	鋼管杭の変形を抑制, 難透水性の保持	
改良地盤①(砂礫層)	鋼管杭の変形を抑制, 難透水性の保持	薬液注入工法
改良地盤③(防波壁背後)	難透水性の保持	薬液注入工法(計画)
岩盤	鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持, 基礎地盤のすべり安定性に寄与, 鋼管杭の変形を抑制	基礎地盤
改良地盤②(1号炉取水路上部等), 埋戻土(掘削ズリ), 埋戻土(粘性土), 砂礫層, 施設護岸, 被覆石, 捨石, 基礎捨石, 消波ブロック, グラウト材	役割に期待しない	



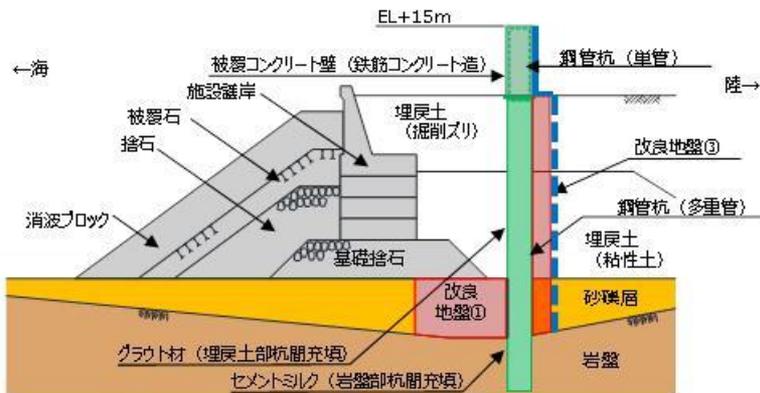
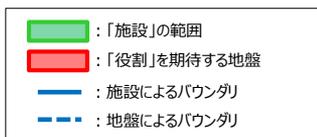
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)(改良地盤部)における構造上のバウンダリ

設置許可基準規則に対する確認事項(1/2)

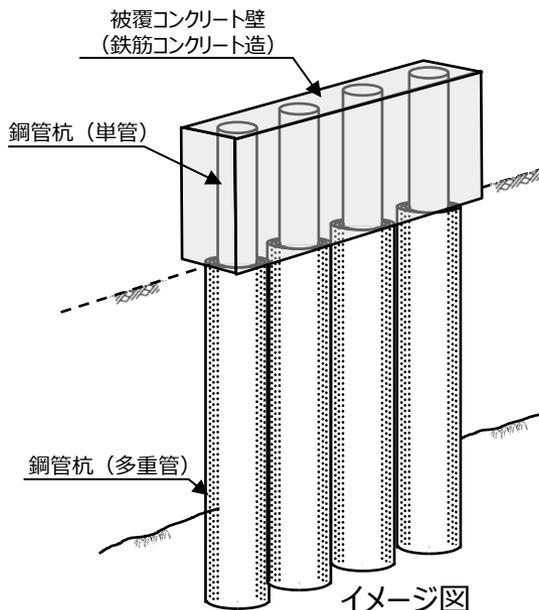
- 新規性基準への適合性において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における検討要旨

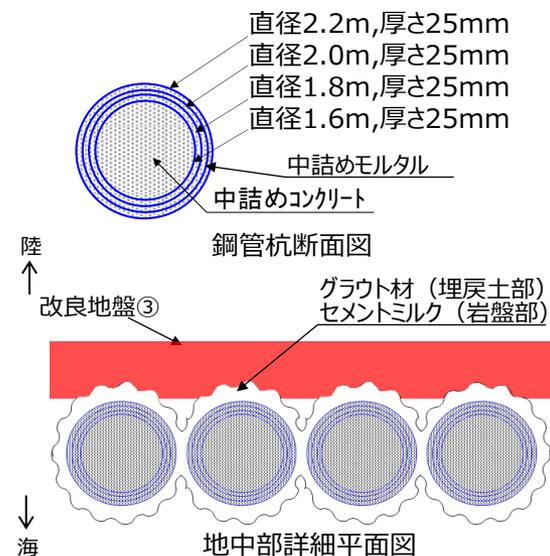
規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	<ul style="list-style-type: none"> 施設（鋼管杭）を支持する地盤を対象とし、すべり、支持力、傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	<ul style="list-style-type: none"> 地震（本震及び余震）による影響を考慮したうえで、機能を保持できることを確認する。 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



多重鋼管杭式擁壁の「施設」・「地盤」の範囲



イメージ図



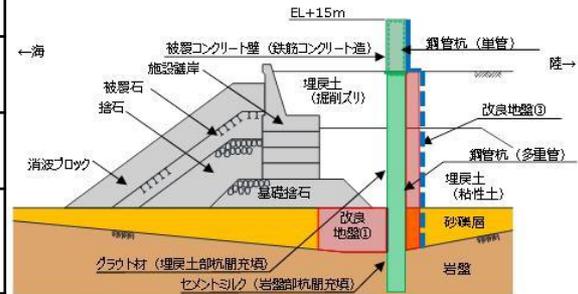
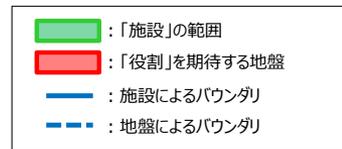
地中部詳細平面図

設置許可基準規則に対する確認事項(2/2)

- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』, 材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし、これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の周辺地盤及び施設護岸については、設置状況に応じて解析モデルに取り込むが、防波壁の前面に位置している施設護岸については、その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため、それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する。
- 鋼管杭間を間詰めしているグラウト材及び改良地盤②は難透水性の地盤ではあるが、地震により施設護岸が損傷し、杭間に直接津波波圧が作用した場合には、止水性を担保することが困難であることから、津波の地盤中からの回り込みに対して万全を期すため、防波壁の背後に地盤改良(改良地盤③)を実施する。

防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し、遮水性を保持する。
地盤	セメントミルク(岩盤部杭間部充填)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭の変形を抑制する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤①(砂礫層)	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤②(1号炉取水路上部等)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。
	改良地盤③(防波壁背後)	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・難透水性を保持する。
	岩盤	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。
	埋戻土(掘削ズリ), 埋戻土(粘性土), 砂礫層	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸, 基礎捨石, 捨石, 被覆石	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材(埋戻土部杭間部充填)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。



役割を期待する範囲

9. 防波壁の構造概要

9. 2 各防波壁の構造

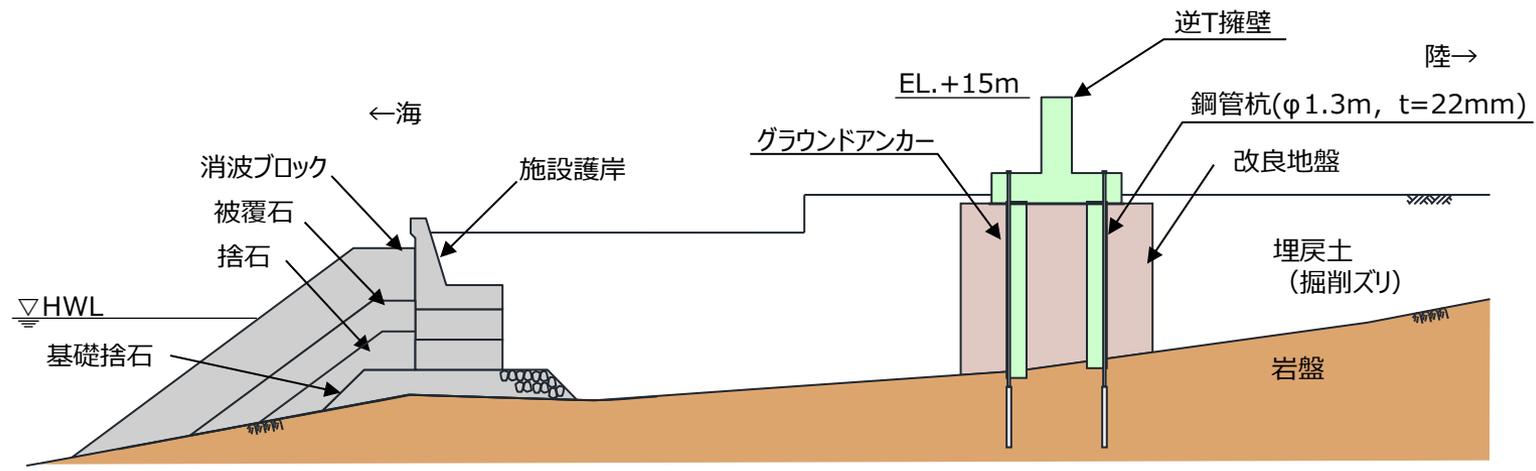
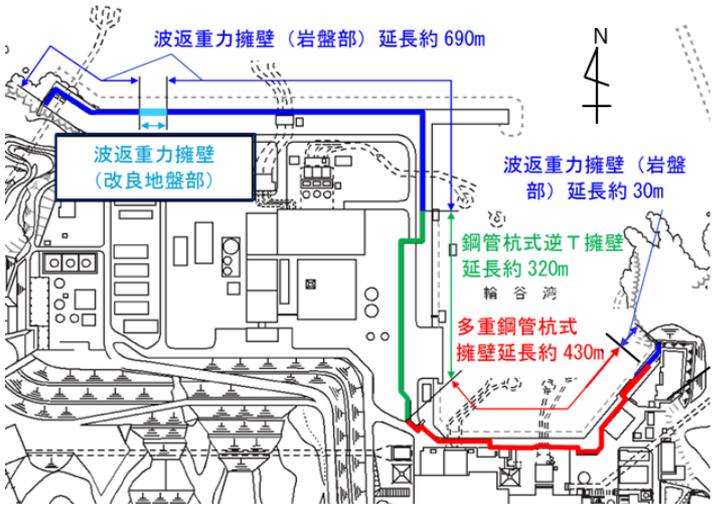
9. 2. 3 防波壁(逆T擁壁)

- ・「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 論点3 防波壁の設計方針について」(第888回審査会合 資料2-1, 2020年8月20日)の抜粋
- ・「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」(第909回審査会合 資料1-2, 2020年10月15日)の抜粋

※資料中の「防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)」については、名称を「防波壁(逆T擁壁)」に変更予定

防波壁(逆T擁壁)構造概要(1/10)

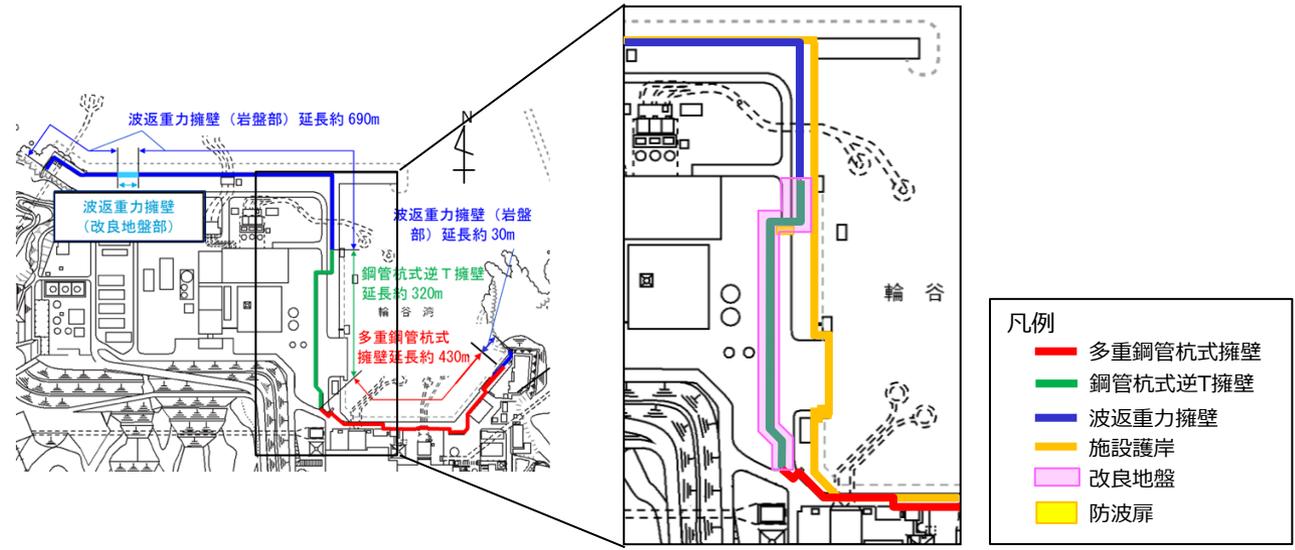
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)は、3号炉東側に配置し、鋼管杭を岩盤に打設した。
- 逆T擁壁は、鋼管杭8本程度(横断方向に2列、縦断方向に4列)を1ブロックの標準とした壁体を連続して設置した。このブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。
- 逆T擁壁上に、標準的な1ブロックにおいて海側では8本、陸側では4本を基本にグラウンドアンカーを設置している。



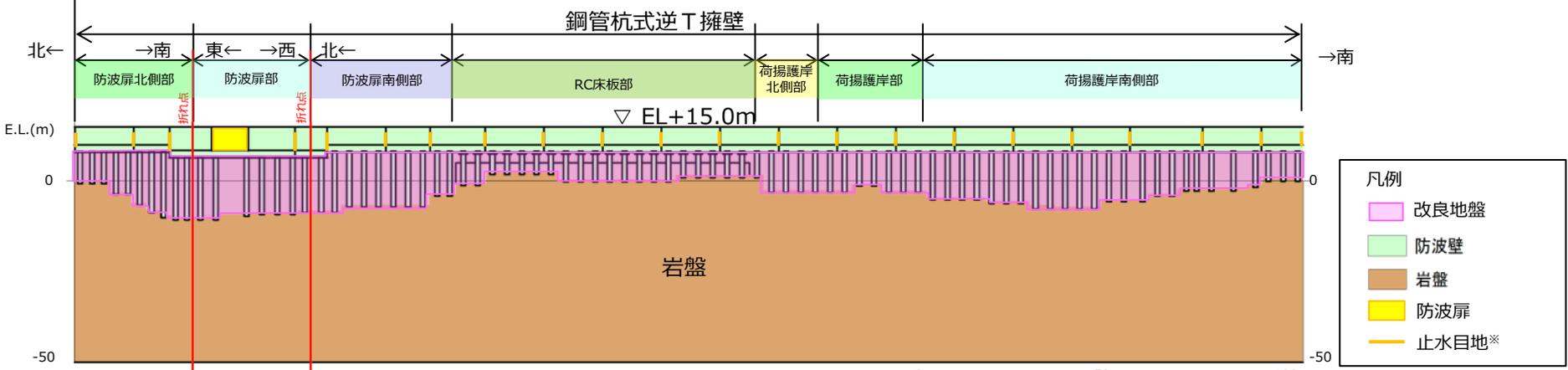
防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(2/10)

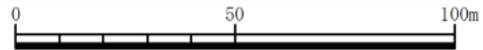
■ 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)については、3号炉東側全線にわたり鋼管杭を約4m間隔で配置し、逆T擁壁の支持及び止水性の保持の観点から杭間の埋戻土(掘削スリ)に対して地盤改良を実施した。



防波壁平面図(鋼管杭式逆T擁壁)



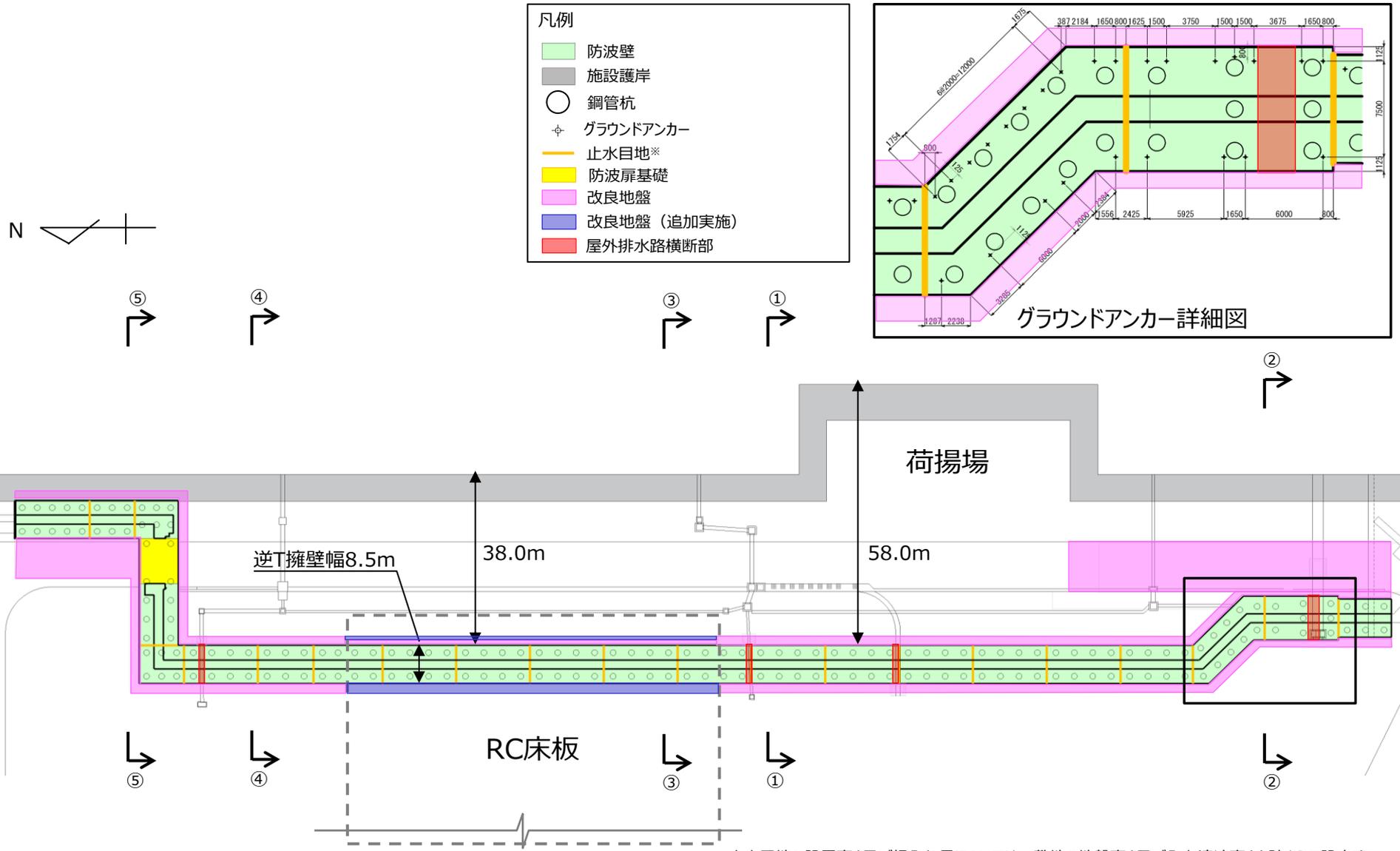
防波壁縦断図(鋼管杭式逆T擁壁)



※止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁(逆T擁壁)構造概要(3/10)

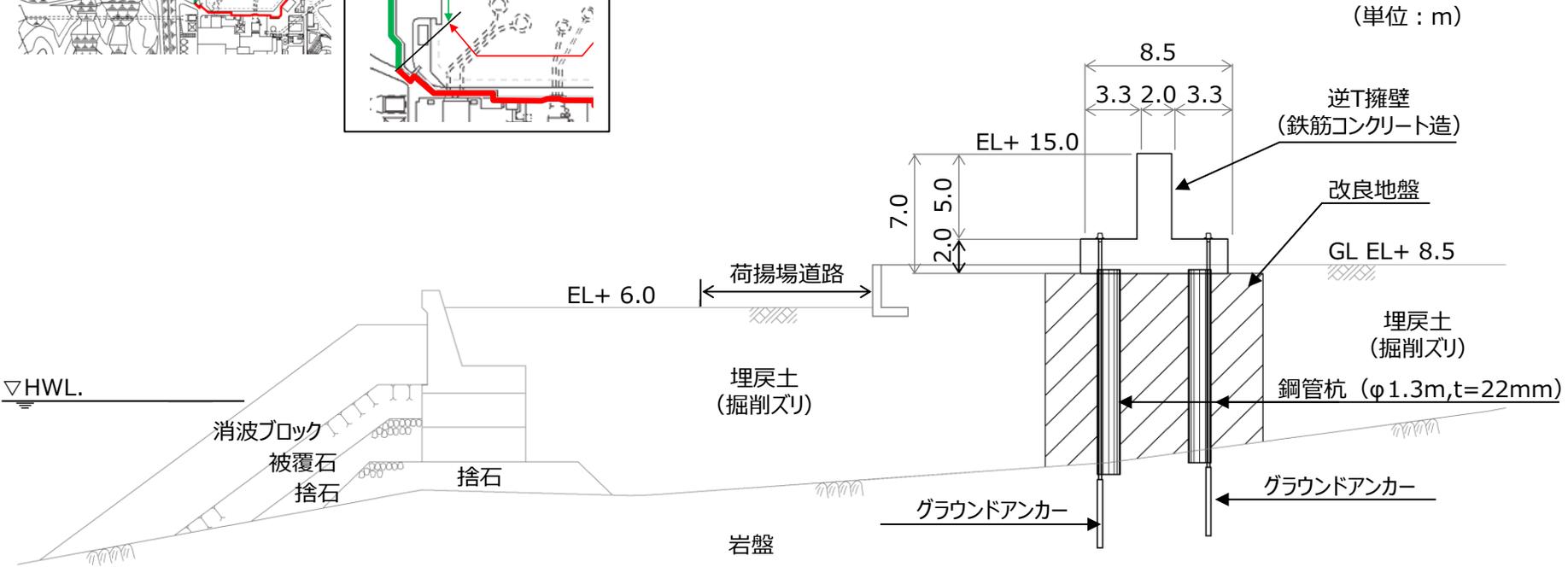
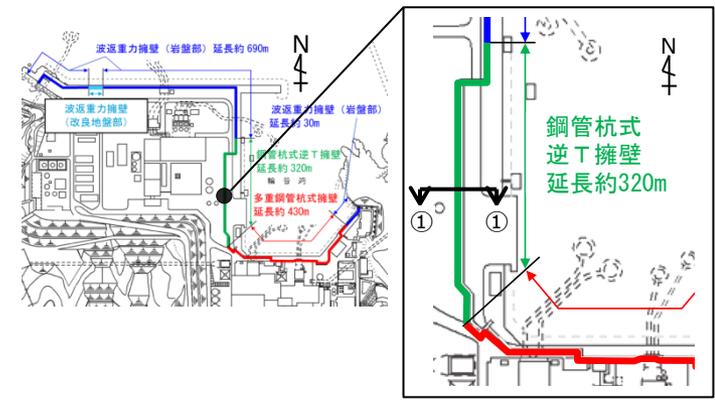
■ 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)の平面図(止水目地位置含む)を以下に示す。



*止水目地の設置高さ及び根入れ長については、敷地の地盤高さ及び入力津波高さを踏まえて設定する。

防波壁(逆T擁壁)構造概要(4/10)

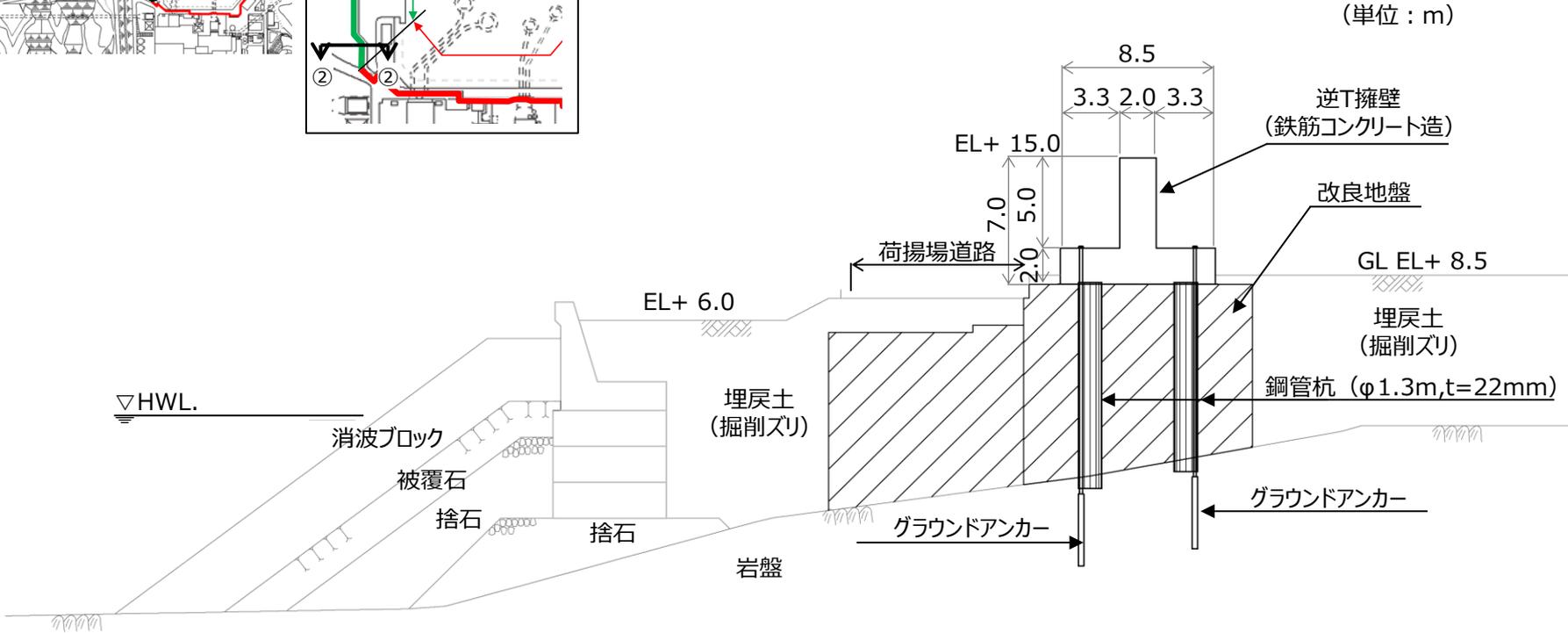
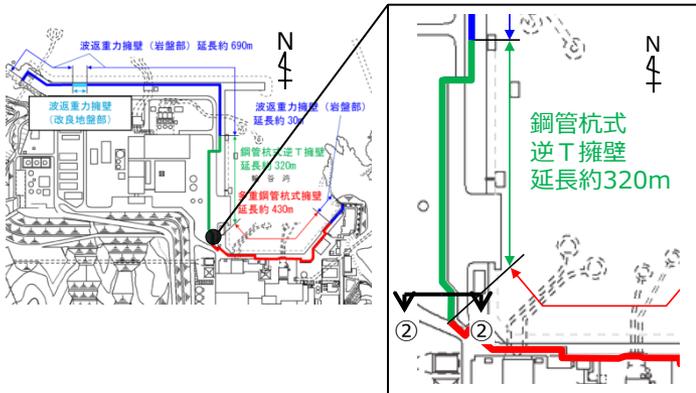
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)荷揚護岸北側部(①-①断面)については、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)荷揚護岸北側部(①-①断面) 断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(5/10)

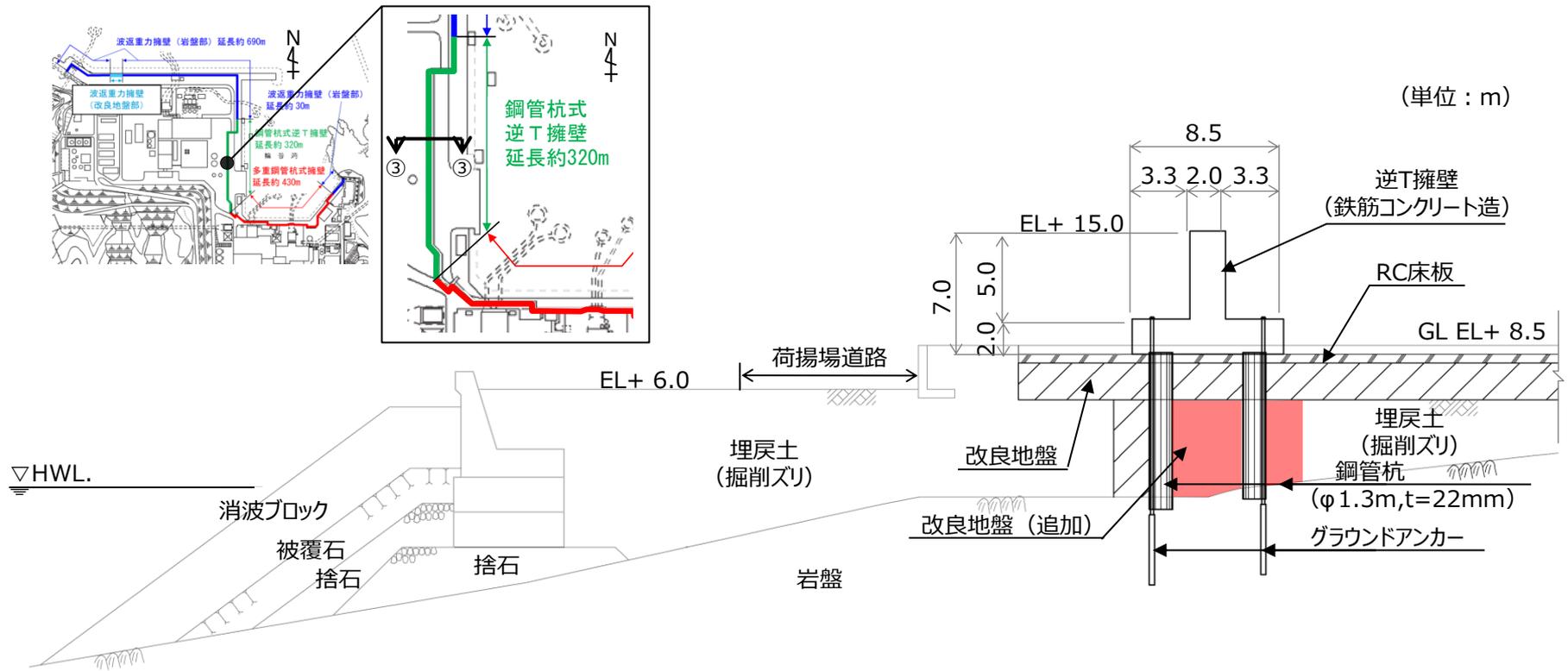
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)荷揚護岸南側部(②-②断面)については、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)荷揚護岸南側部(②-②断面) 断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(6/10)

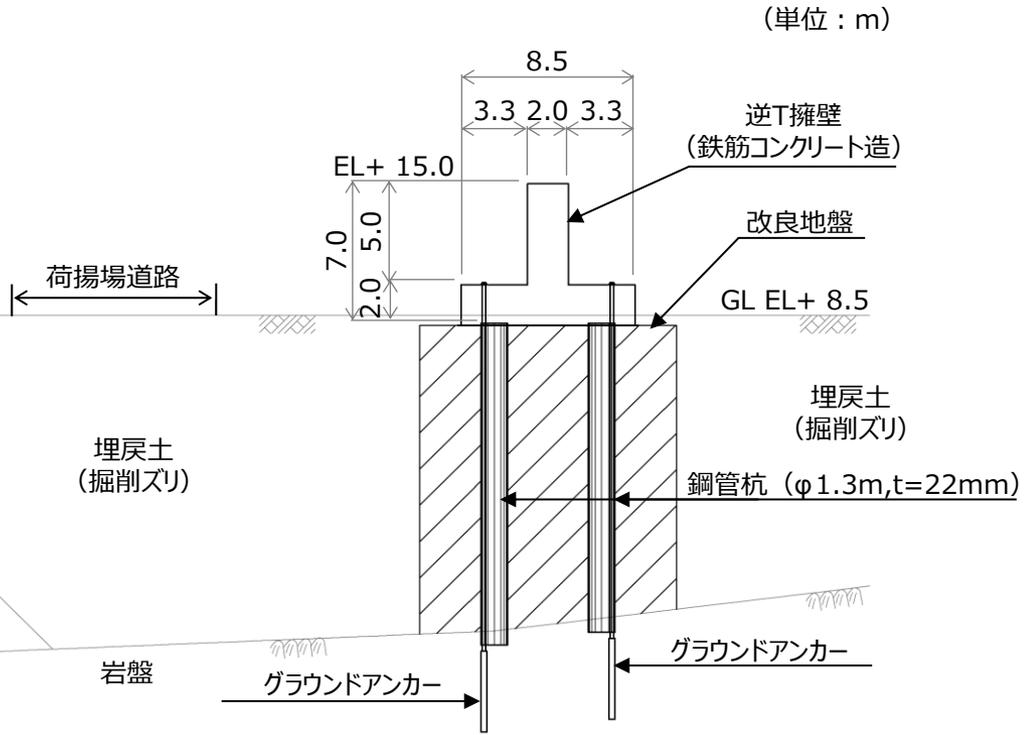
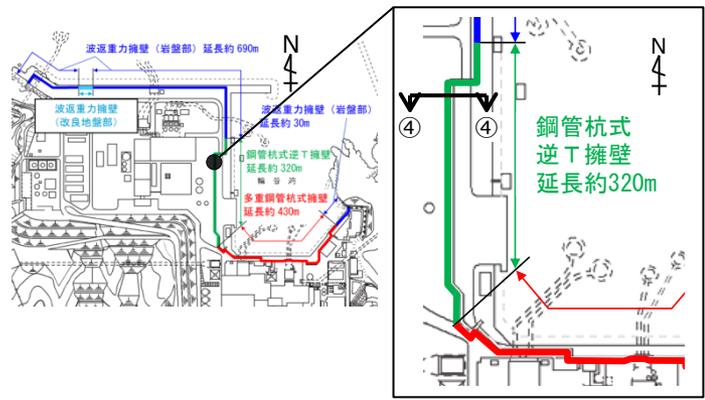
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)RC床版部(③-③断面)については、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。
- 3号炉建設時において、地盤改良を実施し、その上部にRC床版を設置している。
- 当該区間は岩盤が浅く、鋼管杭が短いことから、地震時及び津波時の鋼管杭の変形量が小さいため津波による地盤中からの回り込みを防止することを目的として、鋼管杭の海側に幅の狭い地盤改良を実施していたが、他の断面同様、逆T擁壁下部全幅にわたり、埋戻土(掘削ズリ)の地盤改良を追加実施する。



防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)RC床版部(③-③断面) 断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(7/10)

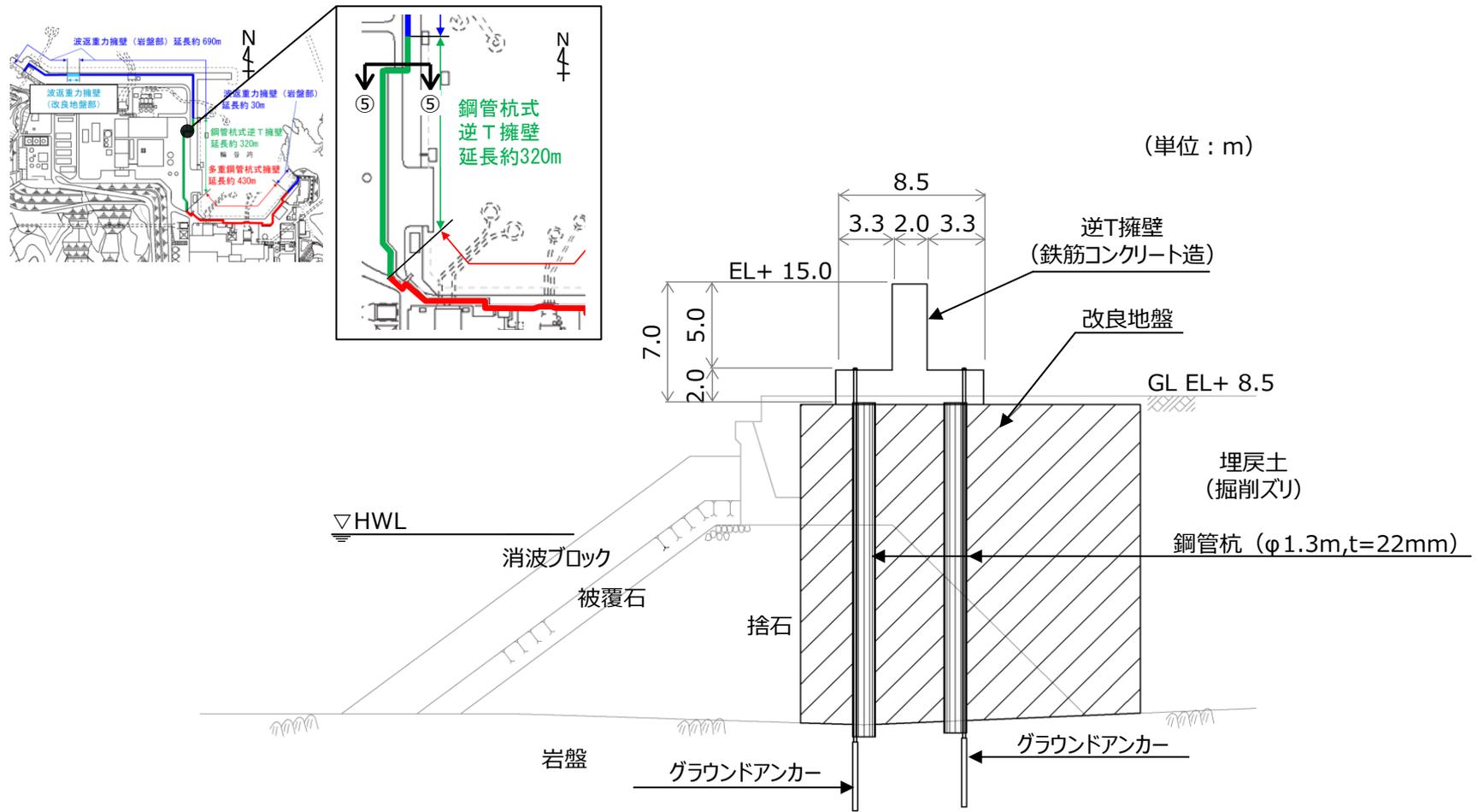
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)防波扉南側部(④-④断面)については、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。



防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)防波扉南側部(④-④断面) 断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(8/10)

- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)防波扉北側部(⑤-⑤断面)については、施設護岸の西側(陸側)に防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)が配置される構造となっている。



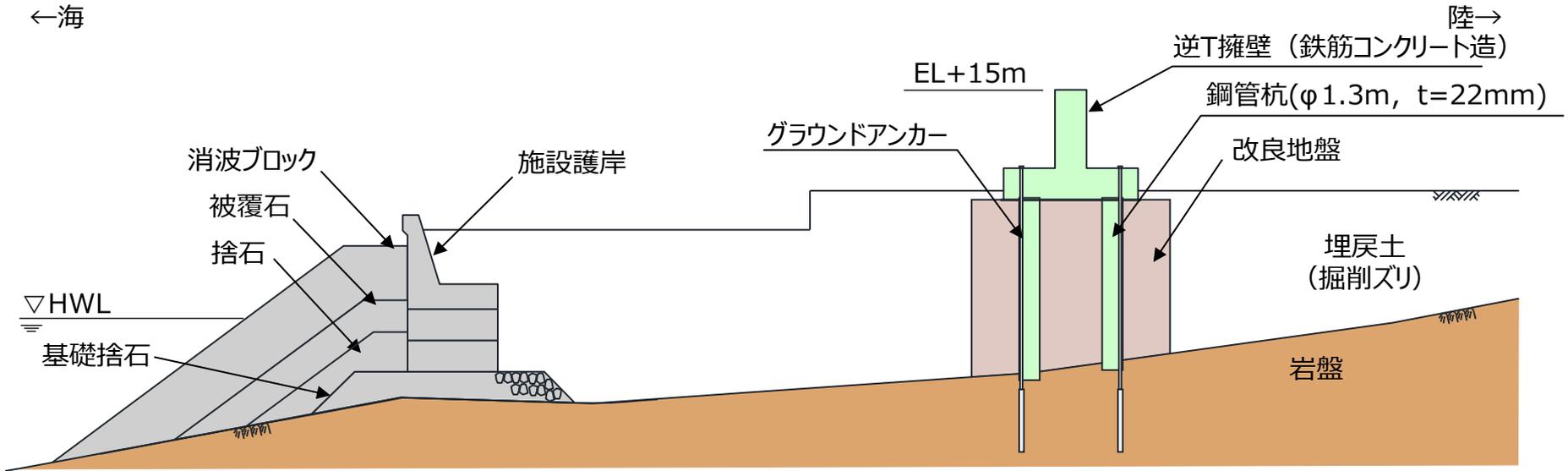
防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)防波扉北側部(⑤-⑤断面)断面図

防波壁(逆T擁壁)構造概要(9/10)

■ 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)を構成する各部位は以下の仕様とした。

部位	仕様
【施設】	
鋼管杭	φ1300mm,t=22mm,SKK490
逆T擁壁	コンクリート : $f'_{ck}=24N/mm^2$ 鉄筋 : SD345
止水目地	ゴムジョイント, シートジョイント : クロロプレンゴム
グラウンドアンカー	永久アンカー※ (PC鋼より線)
【地盤】	
改良地盤	薬液注入工法 (セメント系固化材, 特殊スラグ系固化材), 表層改良工法 (セメント系固化材)

※永久アンカーとは、アンカーによって安定を図る永久構造物あるいは斜面などに用いるもので、腐食の恐れがある使用材料に対しては確実な防食・防錆を行ったものをいう。
(グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説 (平成24年5月) より抜粋)



防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)

防波壁(逆T擁壁)構造概要(10/10)

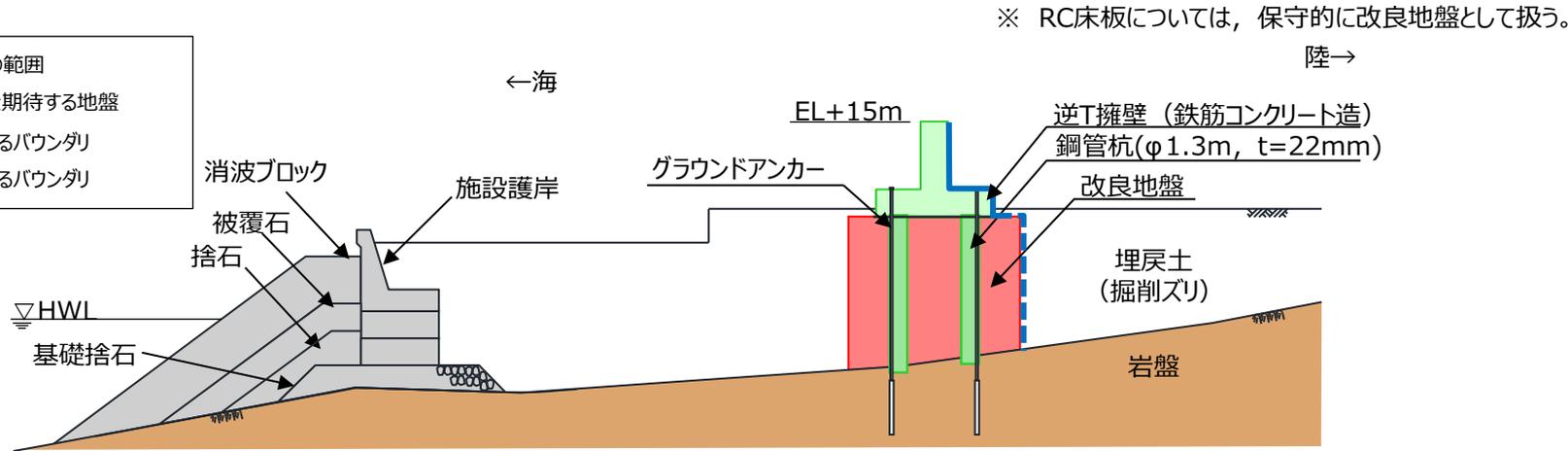
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)を構成する評価対象部位及び構造上のバウンダリを示す。
- 防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)は逆T擁壁及び止水目地を構造上のバウンダリとする。また、地中部の改良地盤についても構造上のバウンダリとする。
- なお、設置許可基準規則を踏まえた評価対象部位の役割及び性能目標等について次頁以降で詳述する。

評価対象部位の役割

■ 施設の範囲 ■ 「役割」を期待する地盤

評価対象部位	役割	備考
鋼管杭	役割に期待しない(解析モデルに取り込み、改良地盤との相互作用を考慮する)	
逆T擁壁	止水目地を支持、遮水性の保持	
止水目地	逆T擁壁間の遮水性の保持	
グラウンドアンカー	逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒の抑止	
改良地盤※	逆T擁壁の支持、難透水性の保持	薬液注入工法、表層改良工法
岩盤	逆T擁壁を支持、基礎地盤のすべり安定性に寄与	基礎地盤
埋戻土(掘削ズリ)、施設護岸、被覆石、捨石、基礎捨石、消波ブロック	役割に期待しない	

■ : 「施設」の範囲
 ■ : 「役割」を期待する地盤
 — : 施設によるバウンダリ
 - - - : 地盤によるバウンダリ



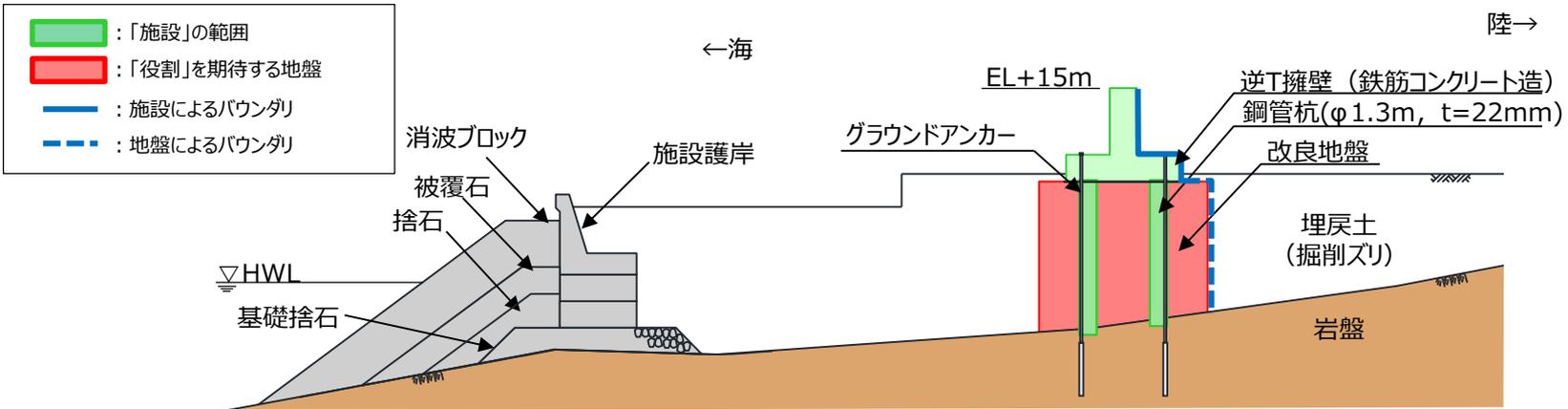
防波壁(鋼管杭式逆T擁壁) (荷揚護岸北側部)における構造上のバウンダリ

設置許可基準規則に対する確認事項(1/2)

- 新規制基準への適合性において、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における設置許可基準規則の各条文に対する検討要旨を下表のとおり整理した。
- 以下の条文を確認することにより、防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各条文への適合性を確認する。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における検討要旨

規則	検討要旨
第3条（設計基準対象施設の地盤）	・ 施設を支持する地盤を対象とし、すべり、支持力、傾斜等に対する安定性を確認する。
第4条（地震による損傷の防止）	・ 施設と地盤との動的相互作用や液状化検討対象層の地震時の挙動を考慮したうえで、施設の耐震安全性を確認する。
第5条（津波による損傷の防止）	・ 地震（本震及び余震）による影響を考慮したうえで、機能を保持できることを確認する。 ・ 液状化検討対象層の地震時の挙動の考慮を含む。



鋼管杭式逆T擁壁の「施設」・「地盤」の範囲

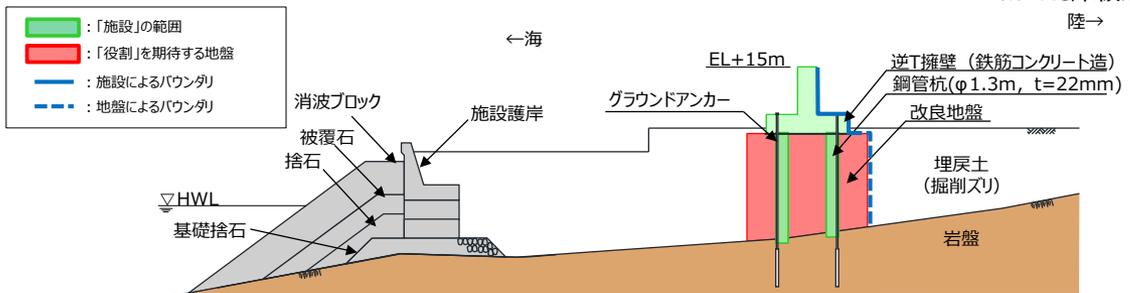
設置許可基準規則に対する確認事項(2/2)

- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）における条文に対応する各部位の役割を以下のとおり整理した。なお、以下では、津波を遮断する役割を『遮水性』，材料として津波を通しにくい役割を『難透水性』とし，これらを総称として『止水性』と整理する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の周辺地盤及び施設護岸については，設置状況に応じて解析モデルに取り込むが，防波壁の前面に位置している施設護岸については，その損傷による防波壁への影響が大きいと考えられるため，それが損傷した場合の防波壁の耐震性への影響を確認する。
- 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は，改良地盤が逆T擁壁を支持しているが，鋼管杭は改良地盤との相互作用を考慮するため，解析にあたっては鋼管杭を解析モデルに取り込む。なお，詳細設計段階においては，鋼管杭が逆T擁壁に悪影響を与えない設計とする。
- 鋼管杭については，地震時及び津波時において杭先端の岩盤根入れが0.5m程度であることを踏まえ，岩盤からのせん断抵抗を考慮しない設計とする。また，グラウンドアンカーのアンカー力により，逆T擁壁を改良地盤に，改良地盤を岩盤に押し付ける構造としているため，逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止の役割に期待する設計とする。

防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・役割に期待しない。（解析モデルに取り込み，改良地盤との相互作用を考慮する）	・役割に期待しない。（解析モデルに取り込み，改良地盤との相互作用を考慮する）
	逆T擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに，遮水性を保持する。
	止水目地	・逆T擁壁間の変形に追従する。	・逆T擁壁間の変形に追従し，遮水性を保持する。
	グラウンドアンカー	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
地盤	改良地盤※	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。
	埋戻土（掘削スリ）	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については，津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸，基礎捨石 被覆石，捨石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

※ RC床板については，保守的に改良地盤として扱う。
陸→

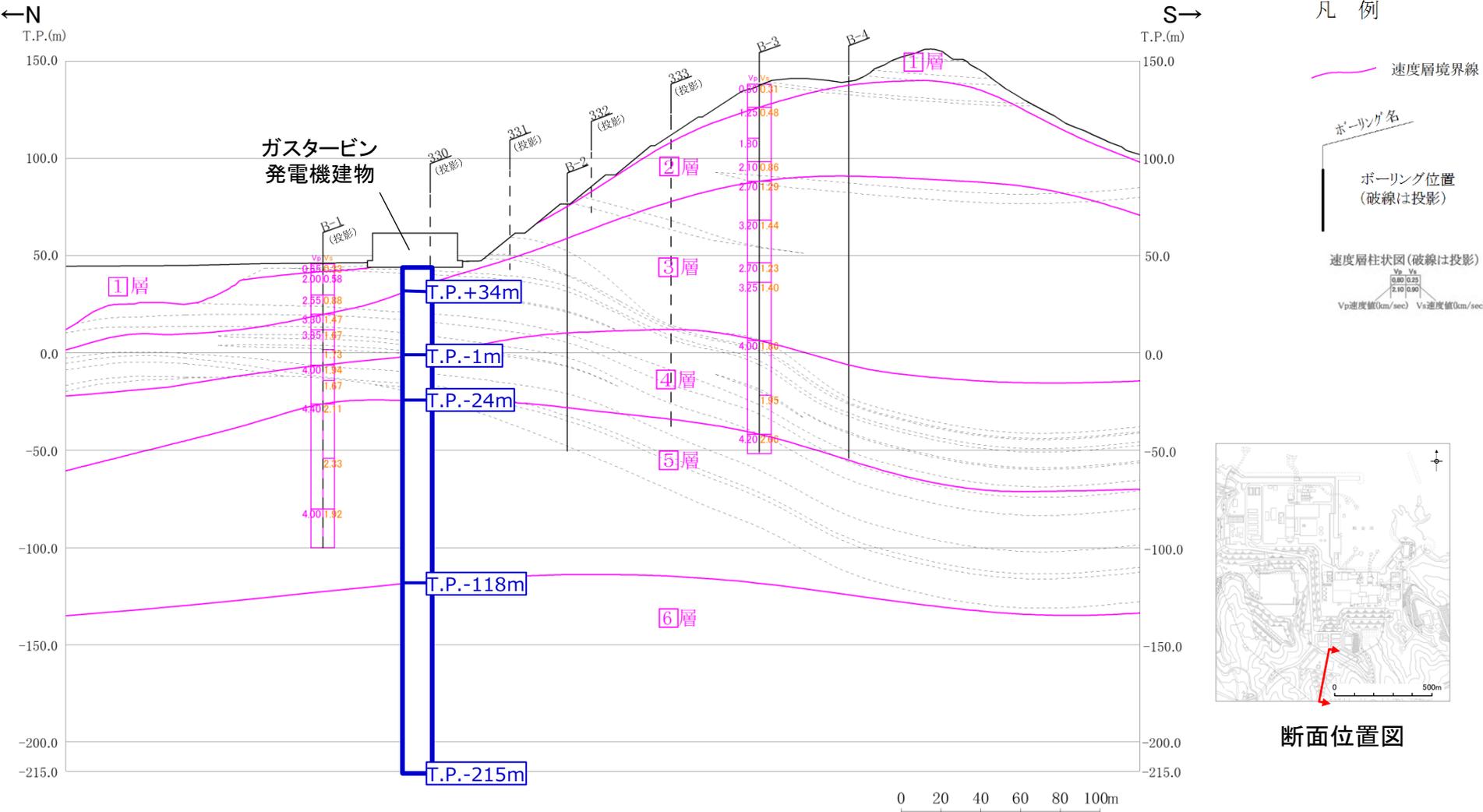


役割を期待する範囲（地震時・津波時）

10. 建物・構築物の地震応答解析における 入力地震動評価

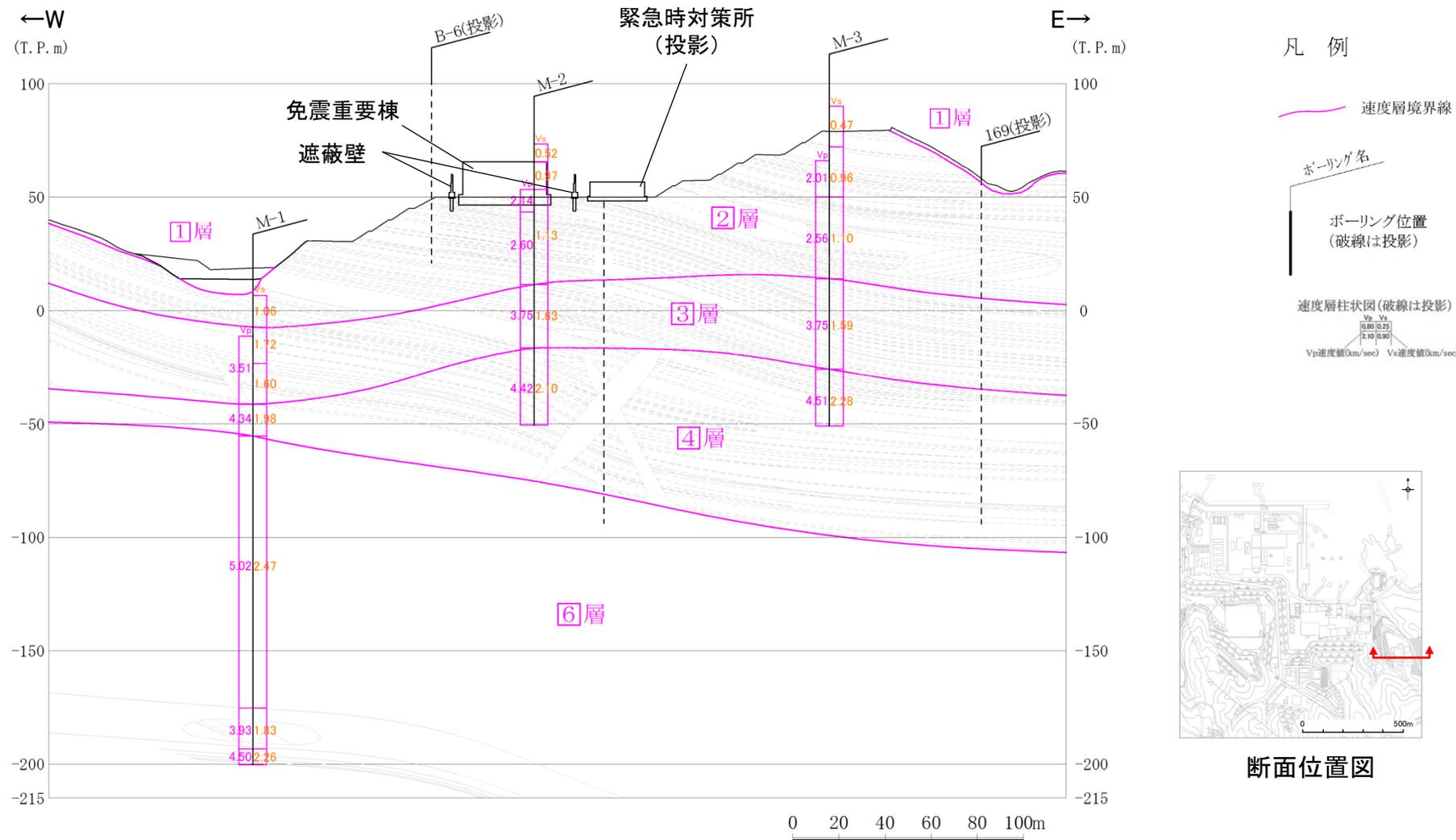
ガスタービン発電機建物エリアの地盤モデル

- ・建物・構築物の入力地震動評価に用いる地盤モデルは、建物・構築物位置の速度層の層厚、物性値に基づき一次元地盤モデルにモデル化する。
- ・ガスタービン発電機建物を設置している高台エリアの一次元地盤モデルを以下に示す。



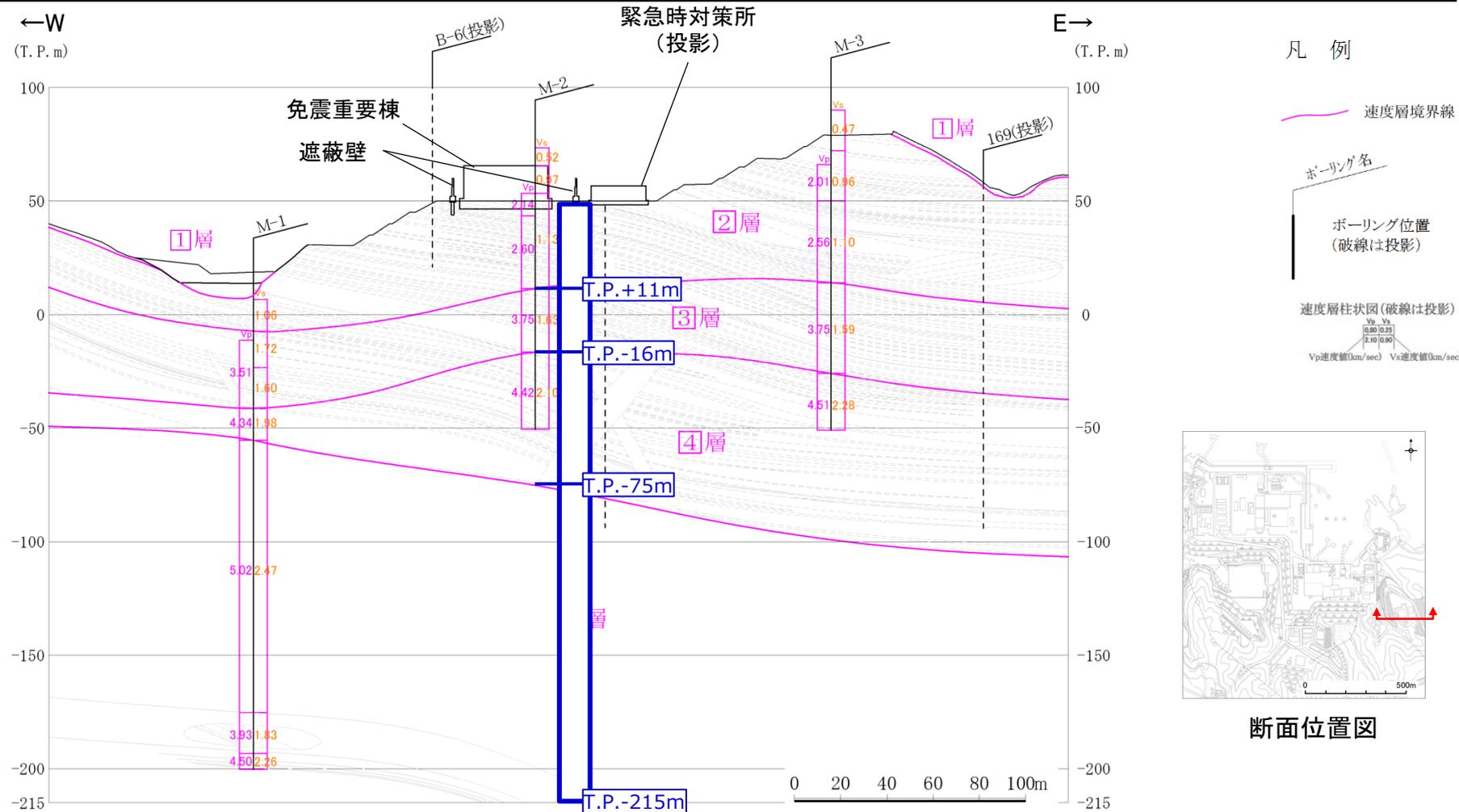
緊急時対策所エリアの地盤モデル(1/2)

- ・緊急時対策所エリアの速度層鉛直断面図は、No.M-1～M-3のPS検層結果及び地質・地質構造に基づき作成した。
- ・速度層構造はPS検層結果に基づいて6層に区分され、地質構造と同様に緩やかな傾斜を示す。



緊急時対策所エリアの地盤モデル(2/2)

- ・緊急時対策所を設置している高台エリアは中央付近のPS検層において直接的な試験結果が得られており、概ね水平成層構造であることから、No.M-2のPS検層結果に基づいて層厚を設定する。
- ・建物・構築物の入力地震動評価に用いる地盤モデルは、建物・構築物位置の速度層の層厚、物性値に基づき一次元地盤モデルにモデル化する。
- ・緊急時対策所を設置している高台エリアの一次元地盤モデルを以下に示す。



11. 地震による盛土斜面崩落事例との比較

11. 地震による盛土斜面崩落事例との比較

地震による斜面崩落事例の抽出

・原子力施設情報公開ライブラリ(NUCIA)から、同公開ライブラリに登録された以下の地震を対象に、原子力発電所における斜面の崩落事例を抽出した。

【対象とした情報】

- ・宮城県沖地震(女川原子力発電所:平成17年8月)
 - ・能登半島地震(志賀原子力発電所:平成19年3月)
 - ・新潟県中越沖地震(柏崎刈羽原子力発電所:平成19年7月)
 - ・駿河湾地震(浜岡原子力発電所:平成21年8月)
 - ・東北地方太平洋沖地震(福島第二, 女川原子力発電所, 東海第二発電所*:平成23年3月)
- ・抽出された柏崎刈羽原子力発電所の土捨場斜面について、情報収集を行い、2号炉南側盛土斜面との比較を行った。

※ NUCIA最終報告となっているものを対象とした。

原子力発電所における斜面の崩落事例

対象地震 (発電所)	件名	地震被害事象及び発生要因の概要
中越沖(柏崎)	【中越沖地震】土捨て場一部崩落(北側斜面)等	地震の震動による土捨場北側斜面の一部崩落。

11. 地震による盛土斜面崩落事例との比較

新潟県中越沖地震時に観測された最大加速度

・新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原子力発電所において、5号機観測小屋にて964、1223galの最大加速度値が観測された。

表 3.2-1 中越沖地震本震時に観測された主な観測点での最大加速度値

観測点		最大加速度値 (単位: Gal)		
		NS 成分	EW 成分	UD 成分
1号機	地下5階	311 (274) ※1	680 (273) ※1	408
2号機	地下5階	304 (167) ※1	606 (167) ※1	282
3号機	地下5階	308 (192) ※1	384 (193) ※1	311
4号機	地下5階	310 (193) ※1	492 (194) ※1	337
5号機	地下4階	277 (249) ※1	442 (254) ※1	205
6号機	地下3階	271 (263) ※1	322 (263) ※1	488
7号機	地下3階	267 (263) ※1	356 (263) ※1	355
1号機観測小屋		890	890	715
5号機観測小屋		964	1223	539
サービスホール	SG1 (T. M. S. L. +65.1m) ※2	347	437	590
	SG2 (T. M. S. L. +16.7m) ※2	340	411	179
	SG3 (T. M. S. L. -31.9m) ※2	403	647	174
	SG4 (T. M. S. L. -182.3m) ※2	430	728	160

※1 ()内は設計時の基準地震動 S2 (1号機については EL CENTRO 等) による応答値。

動的設計を行っている原子炉建屋の水平方向を記載。

※2 T. M. S. L. : 東京湾平均海面

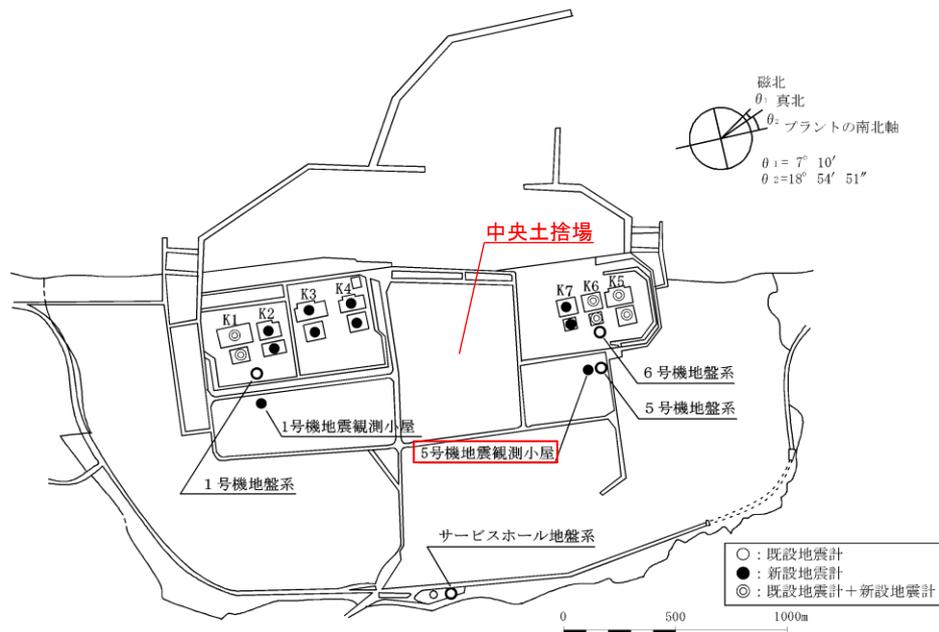
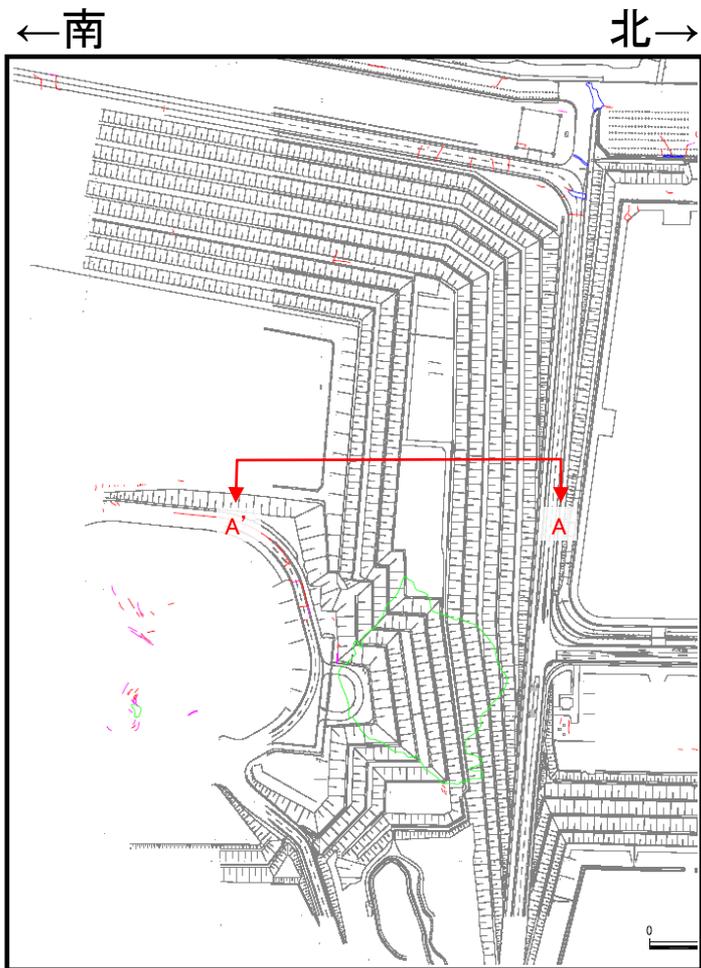


図 3.1-1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

※ 東京電力(株)「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」(2008年9月22日)より引用。
赤字: 弊社にて加筆・修正。

柏崎刈羽原子力発電所 中央土捨場 一般部(1/2)

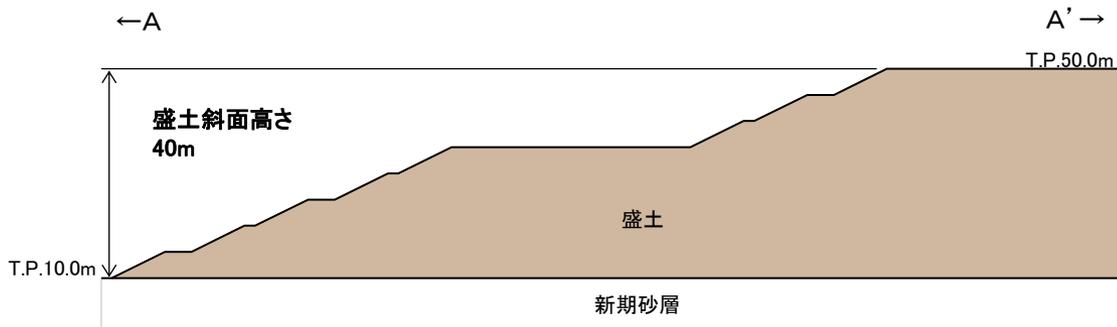
・柏崎刈羽原子力発電所の中央土捨場は盛土斜面であり、新潟県中越沖地震時において、斜面崩落は生じなかった。



平面図



位置図



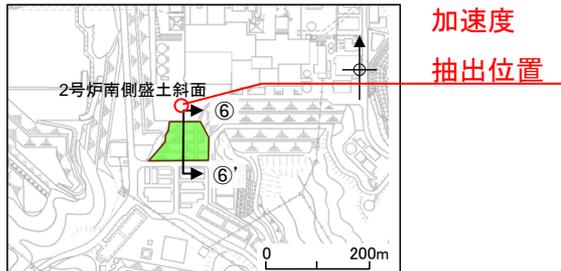
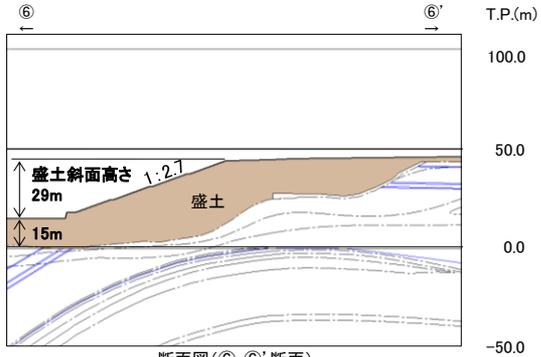
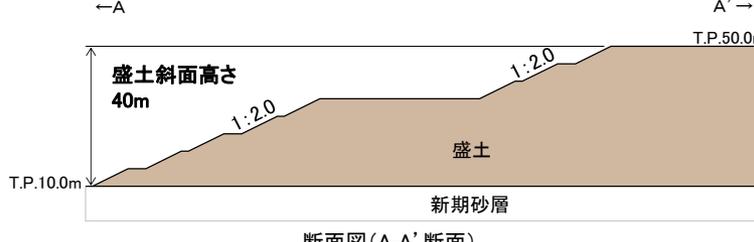
断面図(A-A'断面)

※ 記載内容については、東京電力ホールディングス株式会社からの聞き取り・情報提供をもとに弊社の責任において独自に解釈し、資料化した。

11. 地震による盛土斜面崩落事例との比較

柏崎刈羽原子力発電所 中央土捨場 一般部(2/2)

- ・柏崎刈羽原子力発電所の中央土捨場では、5号機観測小屋にて964, 1223galの最大加速度値が観測された場合でも、斜面崩落は生じなかった。
- ・島根原子力発電所の2号炉南側盛土斜面は、柏崎刈羽原子力発電所の中央土捨場と比較し、斜面高さが低いこと、斜面勾配が緩いこと、密度等の地盤物性値が大きいこと、また、新潟県中越沖地震時における地表面付近の最大加速度が、島根原子力発電所の基準地震動SsIによる2号南側盛土斜面の応答加速度よりも大きいことを確認した。
- ・以上のことから、島根原子力発電所の2号炉南側盛土斜面は、柏崎刈羽原子力発電所の中央土捨場の事例と比較し、同規模の地震が起きた場合、斜面崩落が生じる可能性は低いと考えられる。

		島根原子力発電所 2号炉南側盛土斜面	柏崎刈羽原子力発電所 中央土捨場※1
斜面高さ(m)		<p>・耐震重要施設等の周辺斜面に位置する。</p>  <p>加速度抽出位置</p>	<p>・耐震重要施設等の周辺斜面ではない。</p> 
斜面勾配		 <p>断面図(⑥-⑥'断面)</p>	 <p>断面図(A-A'断面)</p>
地盤物性	密度(g/cm ³)	2.11	1.86
	せん断強さτ(N/mm ²)	$\tau = 0.22 + \sigma \cdot \tan 22^\circ$	$\tau = 0.0554 + 0.316 \cdot P$
地震動の大きさ		【基準地震動Ss-Dによる最大加速度応答値(2号炉南側盛土斜面法尻部)】 水平方向 699ガル	【新潟県中越沖地震時 最大加速度(5号機観測小屋)】 水平方向 (NS) 964ガル, (EW) 1223ガル

※1 斜面の諸元に係る記載内容については、東京電力ホールディングス株式会社からの聞き取り・情報提供をもとに弊社の責任において独自に解釈し、資料化した。

なお、埋戻土の物性値は、工事計画に係る説明資料(2020年10月12日)における荒浜側高台保管場所の埋戻土の物性を使用した。

※2 σは、垂直応力(N/mm²)、Pは、平均有効拘束圧(N/mm²)を示す。

11. 地震による盛土斜面崩落事例との比較

(参考) 柏崎刈羽原子力発電所 中央土捨場 張り出し部

- ・新潟県中越沖地震時に斜面本体は崩落しなかったが、展望台付近において法尻まで到達しない小規模な表層崩壊が発生した。
- ・表層崩壊は、見学者用の展望台となっている張り出し部付近で発生した局所的な事象であった。なお、島根原子力発電所の2号炉南側盛土斜面では、類似した張り出し地形はない。



平面図

新潟県中越沖地震時に中央土捨場の展望台付近で表層崩壊が発生。崩壊土砂は法尻までは到達せず、斜面部に留まっていた。

※ 記載内容については、東京電力ホールディングス株式会社からの聞き取り・情報提供をもとに弊社の責任において独自に解釈し、資料化した。

12. 3次元浸透流解析の解析条件

12. 3次元浸透流解析の解析条件 解析モデル作成(1/2)

- 地下水位の評価においては、敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とした三次元地形モデルを作成することから、計算機能力を踏まえて適切に地下水位を評価するため、それぞれのエリアで解析モデルを作成した(下表, 下図)(解析ソフト: Dtransu-3D・EL,バージョン: ver.2af90MP)。
- なお、両モデルの境界において、重なる部分における地下水位は概ね一致することを確認している。

表 解析モデルの概要

項目	内容
モデル化範囲等	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地を取り囲む分水嶺までを対象範囲とする。 ・対象領域内の構造物※をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。

※耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、難透水層としてモデル化する。

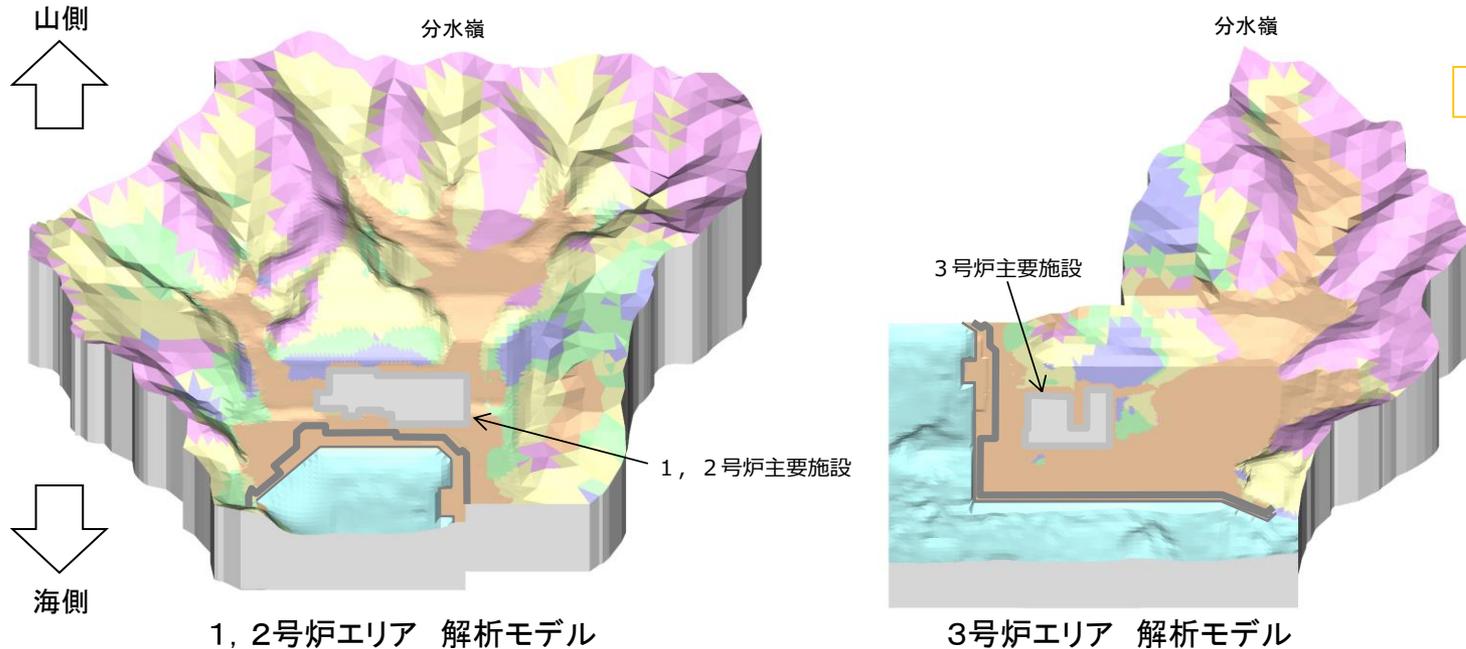
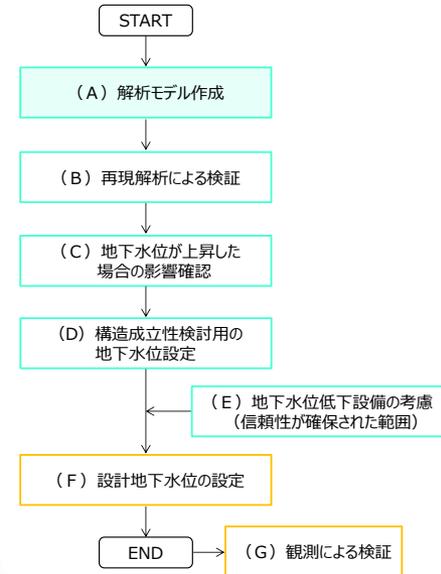
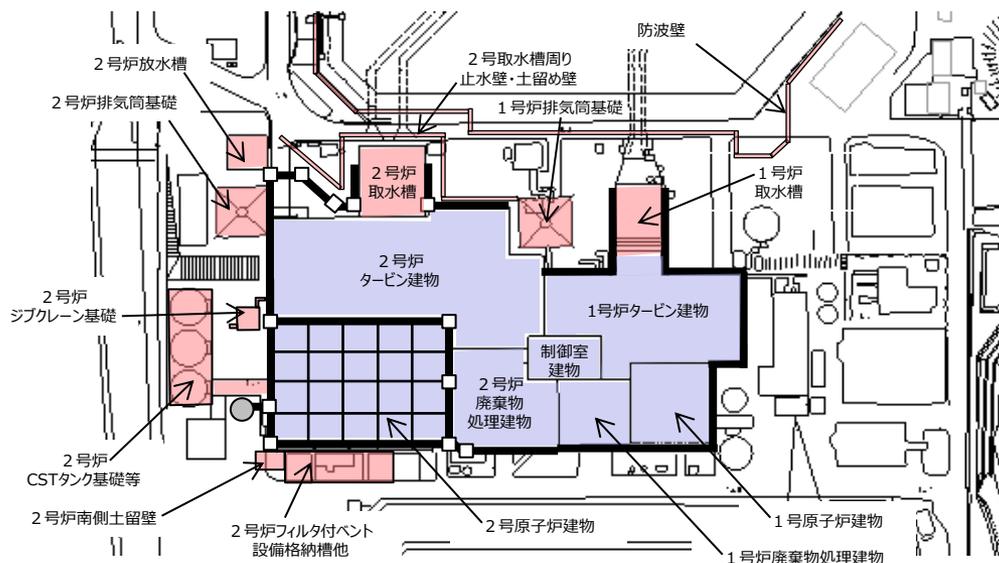


図 解析モデルの概要

12. 3次元浸透流解析の解析条件 解析モデル作成(2/2)

- 1, 2号炉主要建物周辺における構造物等のモデル化方針について、下図に示す。
- 原子炉建物等の主要建物については、揚圧力影響を検証するために不透水層として設定する。
- 主要建物周辺の地下水流に影響を及ぼすと考えられる長大な構造物等については、実際の地下水流を模擬するため、難透水層 ($1.0 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$) として設定した。



凡例	
	集水管・接続枡
	サブドレーン
	サブドレーンピット
	不透水層としてモデル化した範囲
	難透水層としてモデル化した範囲

	名称
不透水層としてモデル化	2号原子炉建物
	2号炉タービン建物
	2号炉廃棄物処理建物
	制御室建物
	1号原子炉建物
難透水層としてモデル化	1号炉タービン建物
	1号炉廃棄物処理建物
	2号炉排気筒基礎
	2号炉取水槽
	2号炉放水槽
	2号炉CSTタンク基礎等
	2号炉フィルタ付バント設備格納槽他
	1号炉排気筒基礎
	1号炉取水槽
	防波壁
2号炉ジブクレーン基礎※	
2号炉取水槽周り止水壁・土留壁※	
2号炉南側土留壁※	

※ 2号炉建設時の工所用仮設構造物

図 主要建物周辺における構造物等のモデル化方針

12. 3次元浸透流解析の解析条件

降雨条件の設定及び地下水位低下設備(既設)の機能

- 設置許可段階の構造成立性の確認を行うに当たり、地下水位低下設備(既設)が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測する浸透流解析を実施する。
- 構造成立性確認のための予測解析では、再現解析で妥当性を確認した解析モデルに対して、以下に示す保守性を確保する方針とする。なお、これらの保守性については、詳細設計段階における予測解析においても考慮する方針とする。

・降雨条件→年間降水量として2,400mmを設定(詳細については、敷地の水文環境参照)

島根原子力発電所での地下水位観測期間における平均年間降水量は約1,540mmであり、気象庁松江地方気象台における年間降水量(1941~2018年)の平均値は約1,880mmである。

浸透流解析における降水量の設定条件として、上記松江地方気象台における年間降水量にばらつきを考慮した値(平均値+1 σ)に、今後の気候変動予測による降水量の変化*を加味し、降水量を設定する。3-8図に解析用降雨条件と観測降雨条件によるモデル境界地点での水位分布を示す。

・地下水位低下設備(既設)の機能に期待しない

ドレーンは碎石及び土砂が流入して集水機能が低下した状態、揚水ポンプは稼働しない状態とし、揚水経路としない。

* 気象庁・環境省「日本国内における気候変動の不確実性を考慮した結果について」より

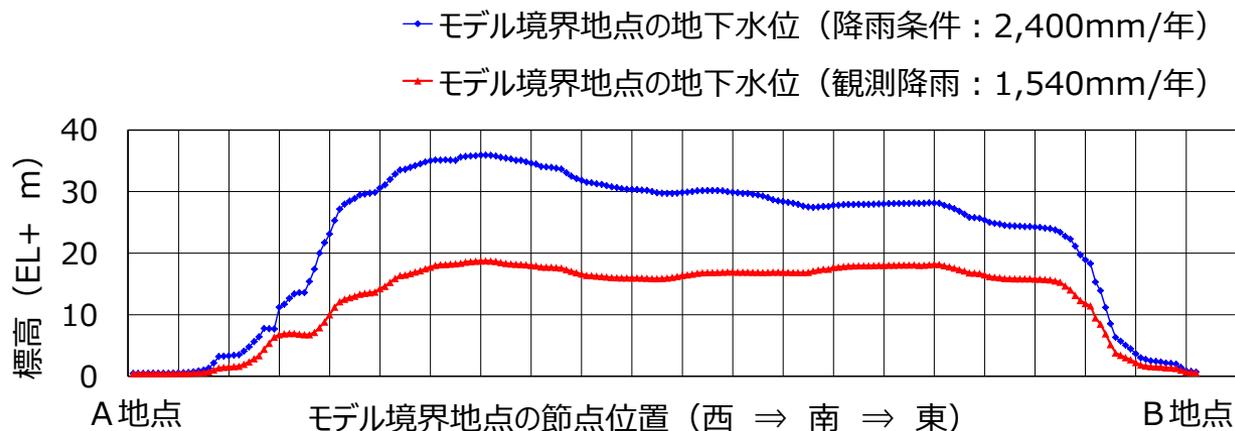
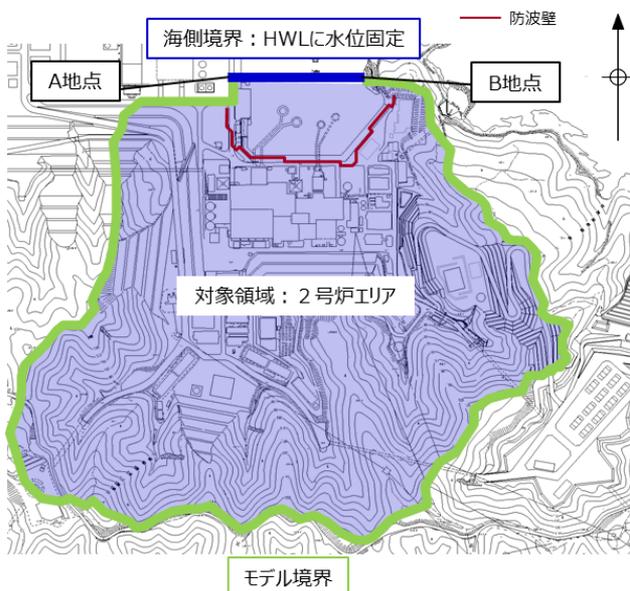
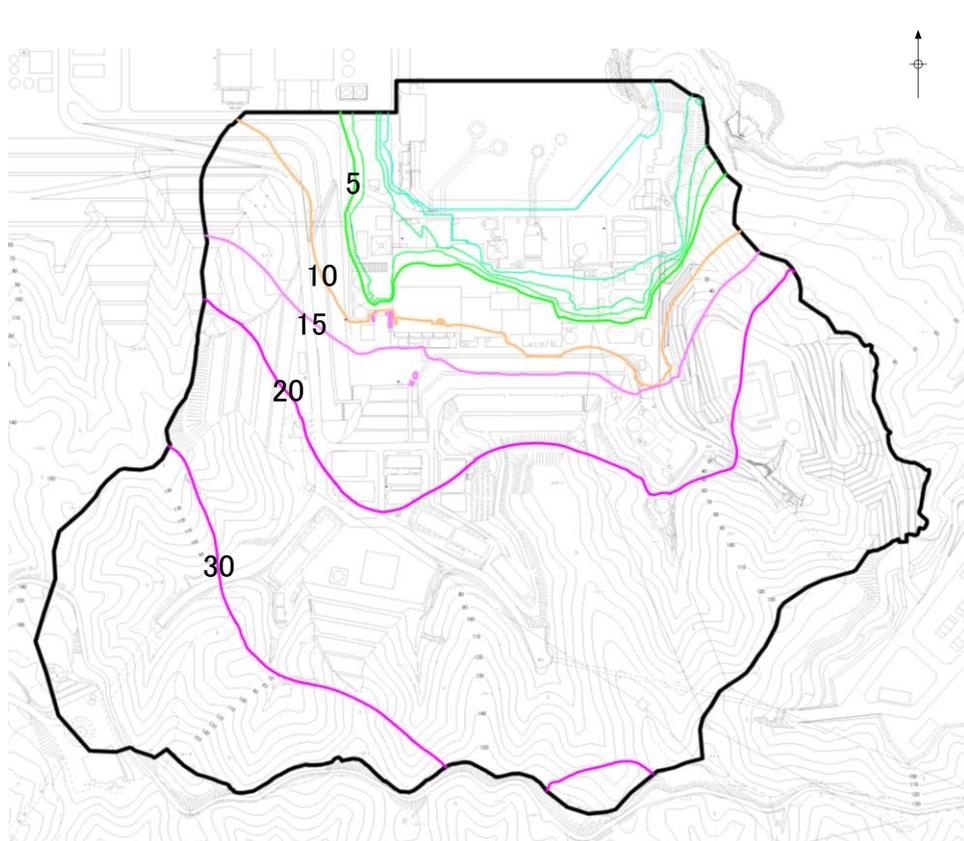


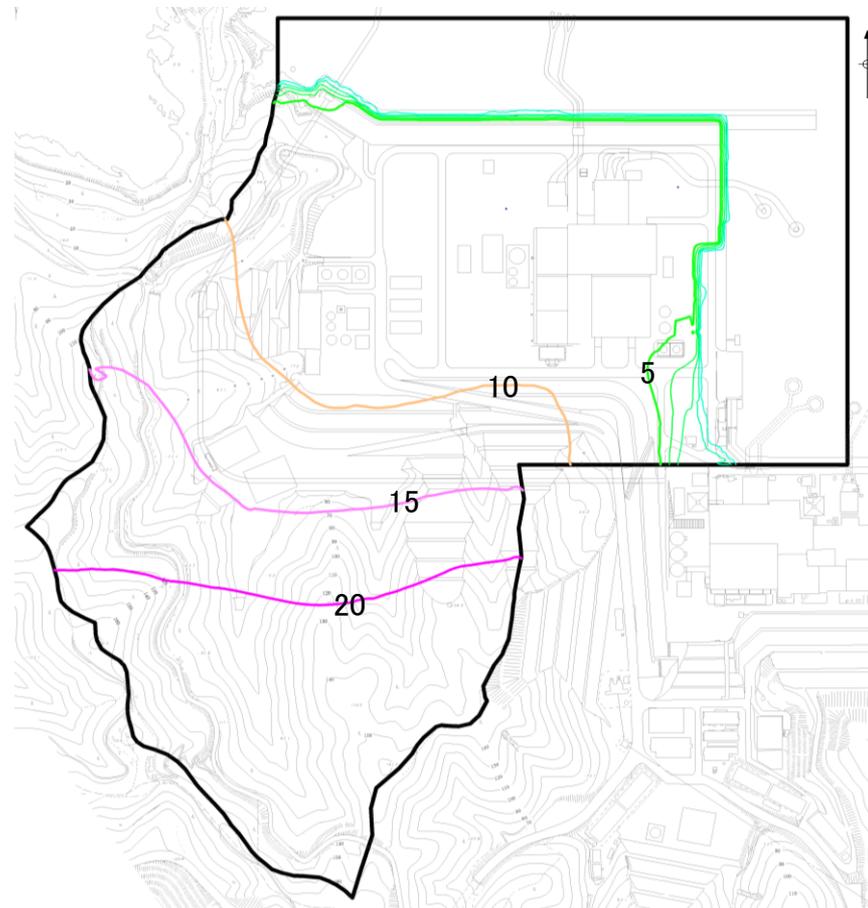
図 保守的な降雨条件の設定例

12. 3次元浸透流解析の解析条件 地下水位分布算定結果

- 地下水位低下設備（既設）が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した浸透流解析の結果を下図に示す。
- 防波壁周辺の地盤改良により敷地内から海側への排水経路が遮断されることから、敷地内に流入した地下水が滞留し、この結果、地下水位が上昇する。



1, 2号炉エリア

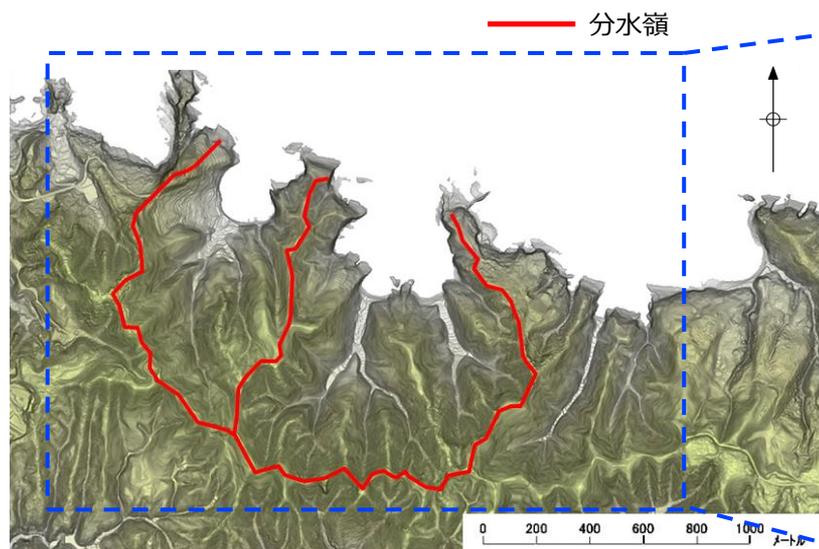


3号炉エリア

図 地下水位低下設備（既設）が機能しない場合の地下水位分布算定結果

12. 3次元浸透流解析の解析条件 敷地の水文環境(1/2)

- 敷地は、北側が海に面し、その他は山地に囲まれている。敷地の地形は、左下図及び右下図に示すとおり、沿岸低山地と後背山地に大別され、沿岸低山地は標高約80m以下の山地で、緩慢な山頂面から海に急傾斜している。また、後背山地は標高約80～160mの山地で、開折谷が発達しており、中央が扇状に大きく広がっている。
- 山側に降った雨は、蒸発散分を除き、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。
- 表面水は排水路を通じて海へ排水される。
- また、地下水は主要建物周辺に設置した地下水位低下設備（既設）により集水後、排水路へ排水される。



※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

図 発電所周辺の分水嶺等の分布状況



.....➡ 主な地表水の流れ

島根原子力発電所周辺の空中写真
出典：国土地理院（2009年撮影）

図 発電所周辺の主な地表水の流れ

12. 3次元浸透流解析の解析条件 敷地の水文環境(2/2)

- 地下水位の設定に係る浸透流解析における、敷地の地下水位に影響を与える降雨条件について、保守的な評価となるよう検討する。
- 降雨条件については、島根原子力発電所が位置する島根県松江市の気象庁松江地方気象台の過去78年間（1941～2018年）の年間降水量の記録に基づき、年間降水量の平均値及びばらつきを考慮する。
- この期間における年間降水量の平均値は、1,880mm/年であり、ばらつきを考慮した値（平均値+1σ）は2,163mm/年である。
- また、気象庁・環境省における今後の気候変動予測に関する分析によると、西日本日本海側において、地球温暖化が深刻に進展したシナリオでは、将来的に（2080～2100年）年間降水量が約130mm/年増加する可能性があることが報告されている。
- 上記を踏まえ、地下水位の設定に係る浸透流解析を実施するに当たっては、降雨条件として、2,400mm/年を用い、定常的に与えることとする。

表 浸透流解析に用いる降雨条件の考え方

	降水量 (mm/年)
(参考)島根原子力発電所における年間降水量	1,540
松江地方気象台における年間降水量の平均値	1,880
標準偏差	283
平均値+1σ	2,163
将来的な増加量	130
気候変動予測における降水量の増加量を加味した解析用降水量	2,400

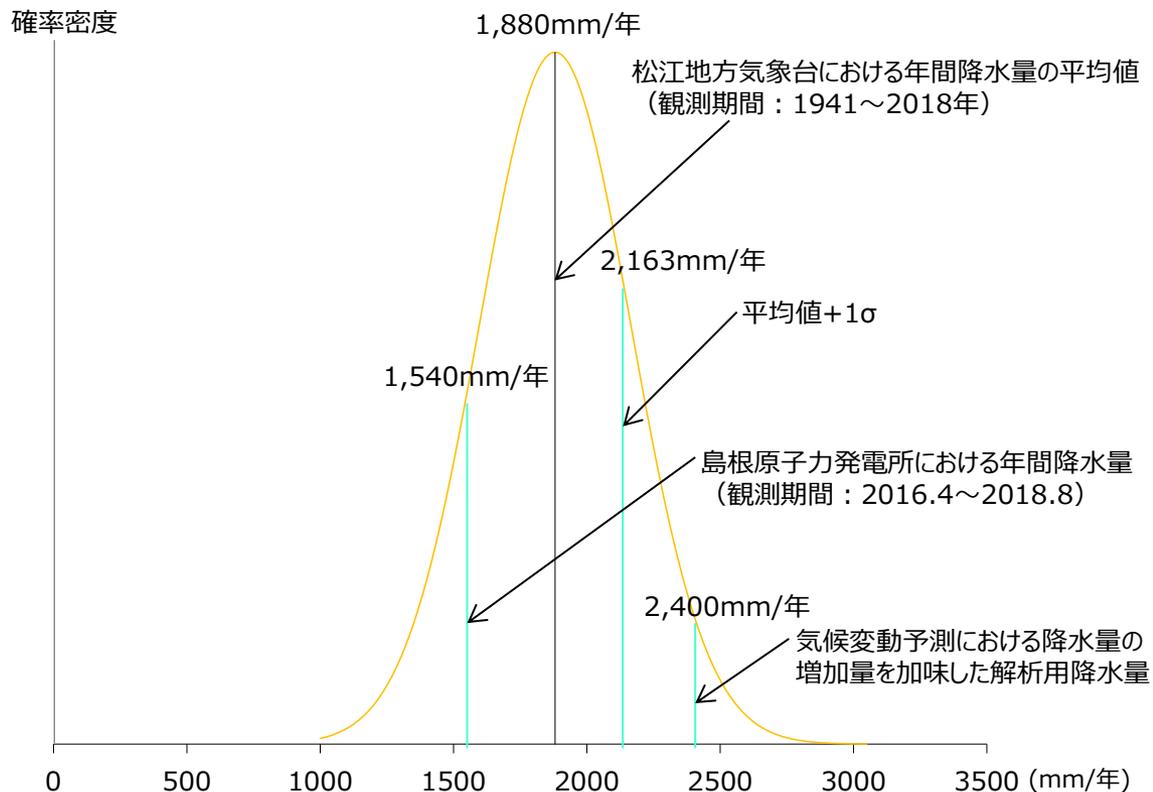


図 松江市の年間降水量の正規分布

12. 3次元浸透流解析の解析条件

解析条件(透水係数)

- 今回、浸透流解析を実施するにあたり、透水試験等に基づき地盤の透水係数を設定している。
- 再現解析結果から、透水係数を含めた解析モデル全体の妥当性を確認した。

表 建設時工認の透水係数

材質	透水係数 (cm/s)
護岸・止水壁	1.0×10^{-8}
頁岩・凝灰岩(下層部)	2.0×10^{-4}
頁岩・凝灰岩(上層部)	5.0×10^{-4}
埋戻し土	5.0×10^{-3}

表 地下水位の設定に係る透水係数

区分	解析用 透水係数 (cm/s)	設定方法	【参考】 試験結果 (cm/s)
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}	『管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版)※』に基づき、不透水性地層相当(難透水層)として設定した。不透水材料として透水係数が 1×10^{-5} cm/s以下であり、適切な厚さを持つことで不透水性地層と同等以上の遮水の効力を発揮できるとされていることから、構造物の透水係数を不透水性地層とした。	-
C _H 級	5×10^{-5}	建設時工認の岩盤の透水係数は頁岩・凝灰岩(上層部)及び(下層部)の2種類を設定していたが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として、敷地の岩級に合わせて透水係数を設定する。	4.5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}		5.6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}		1.0×10^{-3}
D級	2×10^{-3}	D級岩盤の大部分は地表付近に分布する強風化した土砂状の岩盤であり、その粒度特性を踏まえ、クレーガーの方法により 2.8×10^{-4} cm/s(≒ 3×10^{-4} cm/s)を設定していた。しかし、D級岩盤は割れ目の発達した岩盤と風化の進行した岩盤に大別されるが、粒度試験12試料のうち割れ目が発達した黒色頁岩は1試料のみであったため、その特性を透水係数に反映できていないと考える。黒色頁岩の粒度試験結果から設定した透水係数により、揚水量が低減する傾向が認められることから、地下水位が高く算定されると判断し、割れ目が発達したD級岩盤の影響を考慮した透水係数 2×10^{-3} cm/sを採用する。	1.75×10^{-3}
砂礫層	4×10^{-3}	建設時工認では設定されていなかったが、今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	3.6×10^{-3}
埋戻し土 (掘削ズリ)	2×10^{-1}	建設時工認の埋戻し土の透水係数は、工学的な観点から岩盤の透水係数より1オーダー大きな値とすることで地下水位を保守的に評価することに重点を置き、現場透水試験によらず透水係数を設定していた。今回、3次元浸透流解析を行うに当たり、解析の精度向上を目的として現場透水試験を実施し、透水係数を設定した。	1.7×10^{-1}

1 3 . 防波壁（逆T擁壁）の基礎底面の傾斜に対する構造成立性

- 1 3 . 1 改良地盤の物性値を埋戻土とした全応力解析の最大傾斜（1/59）
- 1 3 . 2 最大傾斜（1/59）に対する構造成立性
及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の
最大傾斜（1/446）に対する構造成立性
- 1 3 . 3 改良地盤の物性値をPS検層等により設定した全応力解析の最大傾斜
（1/158）に対する構造成立性

防波壁(逆T擁壁)の傾斜に関する検討の流れ

〈基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価〉

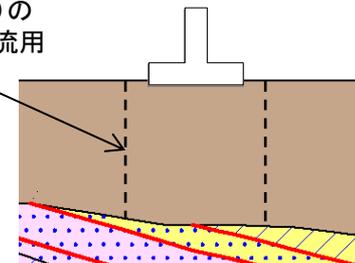
【第940回審査会合(令和3年1月29日)】

○評価対象施設のうち、支持地盤が改良地盤である防波壁(逆T擁壁)のすべり安定性評価において、保守的な評価の観点から、地盤改良による強度増加は見込まないこととし、解析用物性値は埋戻土(掘削ズリ)を流用して設定していた。

○動的解析に基づいて防波壁(逆T擁壁)基礎底面の傾斜を算定した結果、傾斜は1/59※となり、評価基準値の目安である1/2,000を上回った。

※地震動による最大傾斜: 1/59, 地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜: 1/58

改良地盤
⇒埋戻土(掘削ズリ)の
解析用物性値を流用



13.1章

〈津波による損傷の防止 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性〉

【第948回審査会合(令和3年2月18日)】

○全応力解析(傾斜1/59)及び有効応力解析(傾斜1/446)の結果を用いて照査した結果、これらの傾斜を考慮しても、防波壁(逆T擁壁)は構造成立する見通しがあることを確認した。

○全応力解析と有効応力解析の解析結果を比較すると、改良地盤の解析用物性値に埋戻土(掘削ズリ)を流用する等、解析条件に保守性がある全応力解析の特徴により、基礎底面の傾斜が大きくなっていると判断した。

13.2章

○改良地盤に埋戻土(掘削ズリ)の解析用物性値を流用した場合の変形モードを確認した結果、逆T擁壁に作用した地震慣性力の作用により、基礎地盤に浮き上がりが生じ、現実的ではない現象となっていることから、基礎底面の傾斜が適切に評価できていないと判断した。

○改良地盤の物性をPS検層等により設定し、動的解析に基づいて防波壁(逆T擁壁)基礎底面の傾斜を算定した結果、傾斜は1/158となり、評価基準値の目安である1/2,000を上回った。

○全応力解析の結果を用いて照査した結果、1/158の傾斜を考慮しても、防波壁(逆T擁壁)は構造成立する見通しがあることを確認した。

13.3章

1 3 . 防波壁（逆T擁壁）の基礎底面の傾斜に対する構造成立性

1 3 . 1 改良地盤の物性値を埋戻土とした全応力解析の最大傾斜（1/59）

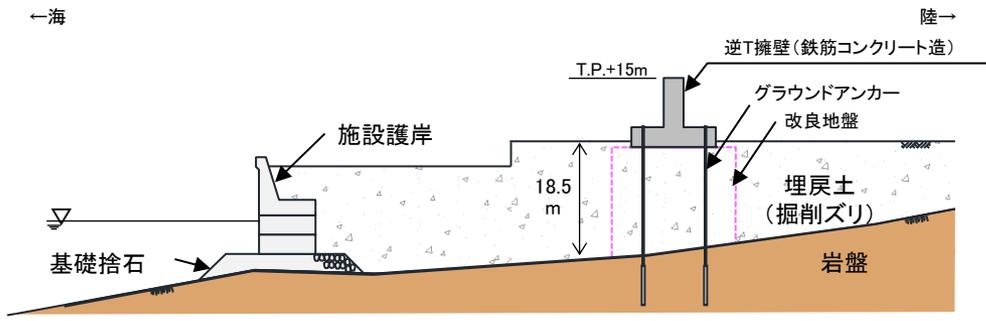
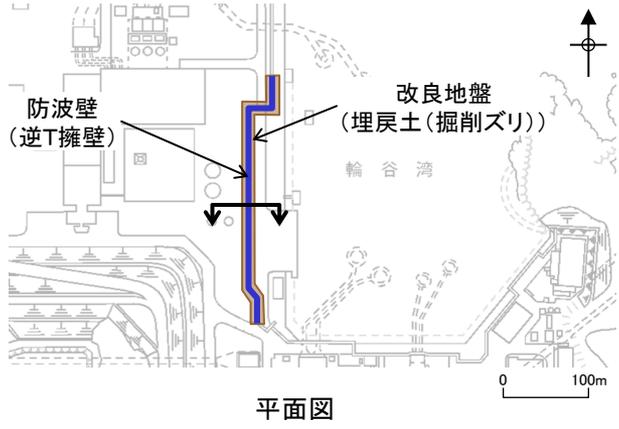
1 3 . 2 最大傾斜（1/59）に対する構造成立性
及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の
最大傾斜（1/446）に対する構造成立性

1 3 . 3 改良地盤の物性値をPS検層等により設定した全応力解析の最大傾斜
（1/158）に対する構造成立性

改良地盤の物性値を埋戻土とした場合の防波壁(逆T擁壁)の傾斜について

- ・防波壁(逆T擁壁)直下の地盤について、液状化を抑制するため、薬液注入工法により地盤改良を実施している。
- ・すべり安定性評価に対する保守的な評価の観点から、設定強度特性及び変形特性の増加は見込まないこととし、解析用物性値については、保守的に埋戻土(掘削ズリ)とし(下表参照)、全応力解析により防波壁(逆T擁壁)の基礎底面における傾斜を算定した。

	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 (N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d (N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
埋戻土、盛土	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	$h = 0.0958\gamma / (\gamma + 0.00020)$

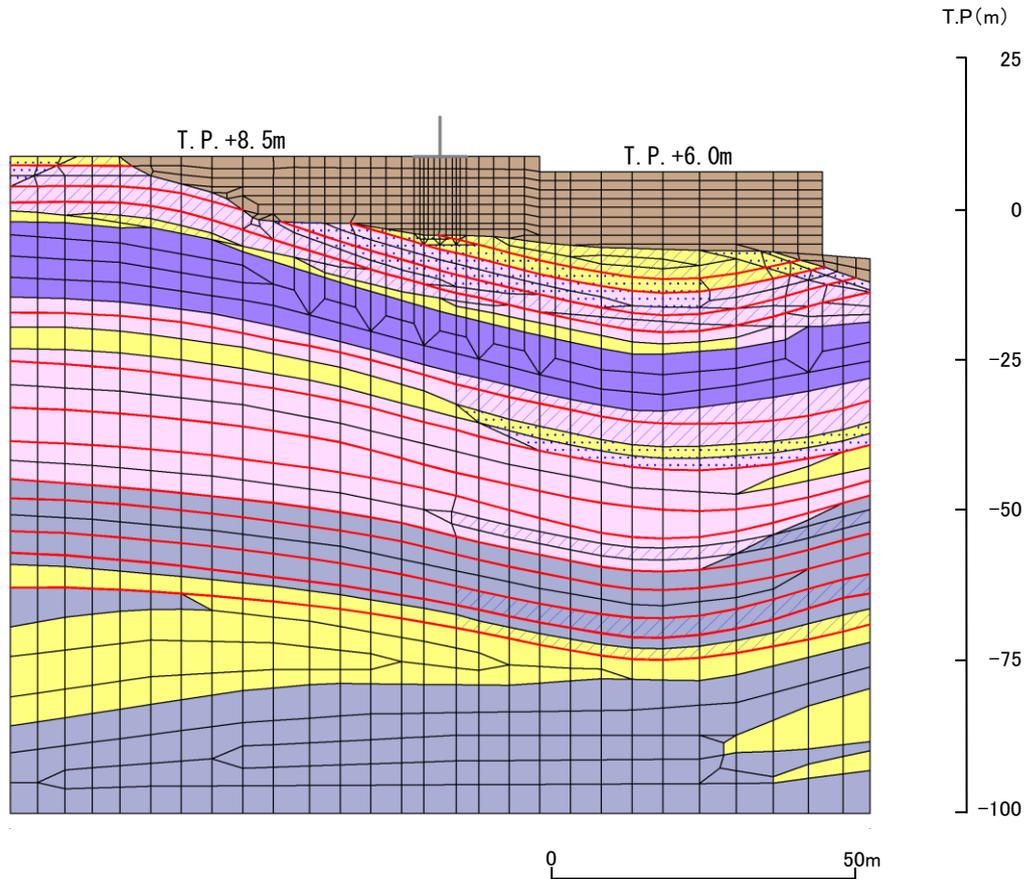


防波壁(逆T擁壁)鉛直断面図

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

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 | |



基礎底面の傾斜 防波壁(逆T擁壁)(⑪-⑪'断面)

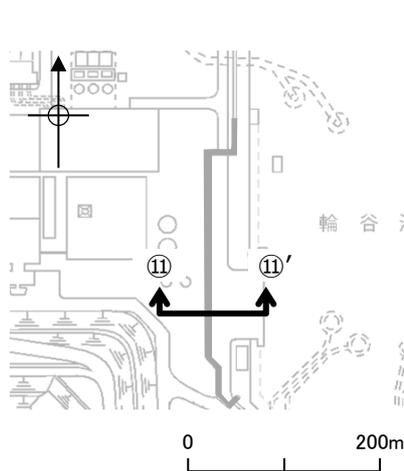
・改良地盤の解析用物性値について、保守的に埋戻土(掘削ズリ)とした場合における、各地震動による基礎底面の傾斜の一覧を下表に示す。

	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)	6.16	-7.33	4.06	2.38	3.17	-2.41	-9.59	-14.35	14.35	9.59	-1.71	2.53
傾斜	1/138	1/116	1/209	1/358	1/268	1/352	1/89	1/59	1/59	1/89	1/496	1/336

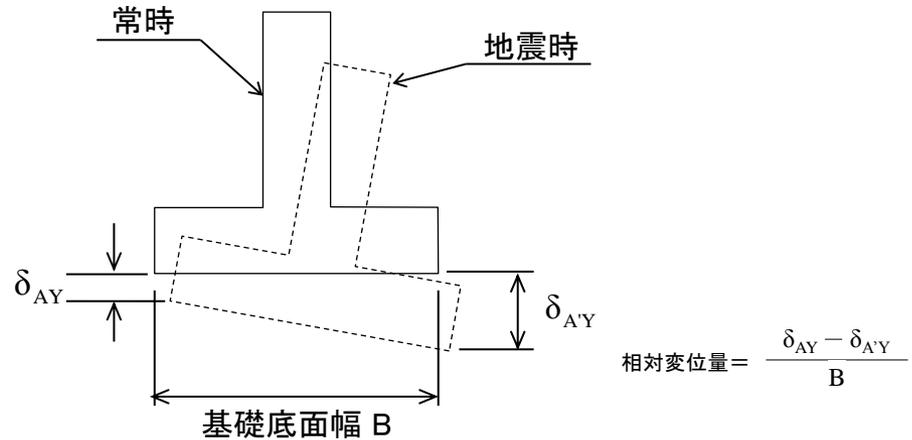
■ : 最大傾斜

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

※2 相対変位がプラスの場合は東傾斜, マイナスの場合は西傾斜を示す。



断面位置図



相対変位イメージ図

1 3 . 防波壁（逆T擁壁）の基礎底面の傾斜に対する構造成立性

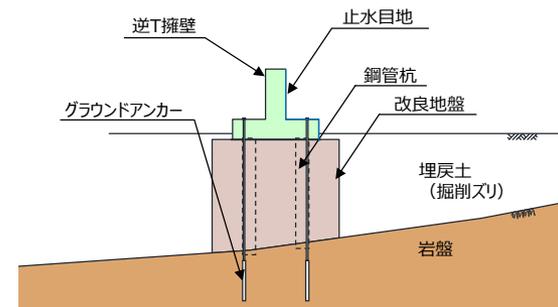
1 3 . 1 改良地盤の物性値を埋戻土とした全応力解析の最大傾斜（1/59）

1 3 . 2 最大傾斜（1/59）に対する構造成立性
及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の
最大傾斜（1/446）に対する構造成立性

1 3 . 3 改良地盤の物性値をPS検層等により設定した全応力解析の最大傾斜
（1/158）に対する構造成立性

防波壁（逆T擁壁）の傾斜に対する性能目標と設計評価方針

- 防波壁（逆T擁壁）について、改良地盤の物性値を埋戻土とした全応力解析の最大傾斜（1/59），及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の最大傾斜（1/446）に対する構造成立性の検討を実施した。
- 構造成立性の検討に当っては、防波壁の要求機能を担保するため、防波壁（逆T擁壁）の各部位に対する性能目標及び設計方針（損傷モード，許容限界等）を以下のとおり整理し、逆T擁壁，止水目地及びグラウンドアンカーの構造成立性について確認する。



防波壁（逆T擁壁）

 : 本資料において、構造成立性を確認する部位

要求機能	評価対象部位	傾斜による性能目標 (第3条)	応力等の状態	損傷モード	設計に用いる許容限界		
・防波壁は、地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して、津波による漏水及び浸水を防止することが要求される。 ・防波壁（逆T擁壁）は、基準地震動 Ss に対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	防波壁（逆T擁壁）	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁が概ね弾性状態に留まること。	曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書，構造性能照査編，2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。	
		止水目地	止水目地	逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。
			止水目地の鋼製部材		曲げ・せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。
		グラウンドアンカー	逆T擁壁及び改良地盤の転倒抑止のために、グラウンドアンカーが概ね弾性状態に留まること。	変位	グラウンドアンカーが伸張し、逆T擁壁が転倒	「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（平成24年5月）」を踏まえた弾性変位量とする。	
地盤	改良地盤	逆T擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。 基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。		
			すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。		
	岩盤	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。			

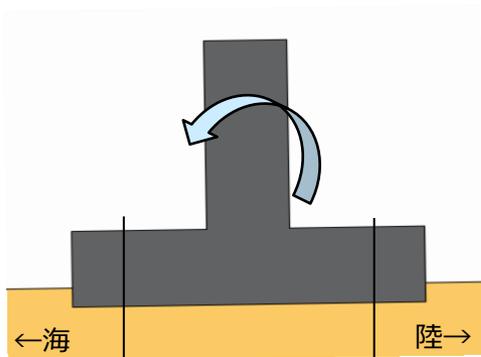
防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出（1 / 2）

- 防波壁（逆T擁壁）の各部位が、損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について整理した。

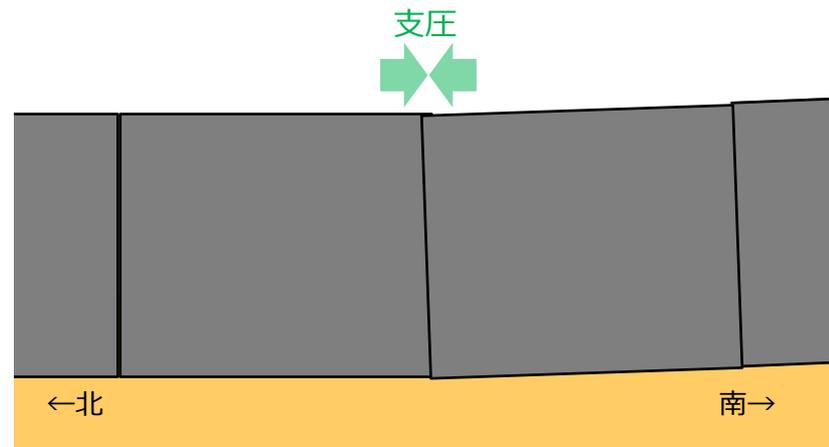
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※	設計・施工上の配慮	照査
逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	①	<ul style="list-style-type: none"> 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○
	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。 	②	<ul style="list-style-type: none"> 隣接する躯体同士が衝突しないことを確認する。 隣接する躯体同士が衝突する場合、逆T擁壁の支圧応力度が、許容応力度以下であることを確認する。 	○

※ 喪失する事象の想定ケース

①逆T擁壁の損傷



②隣接する躯体同士の支圧による損傷

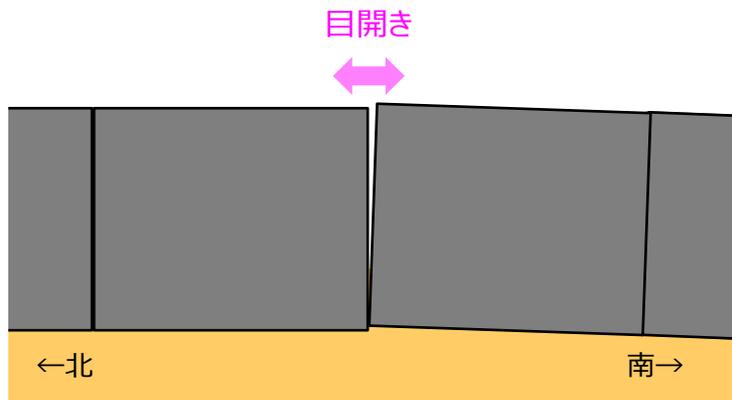


防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出（2 / 2）

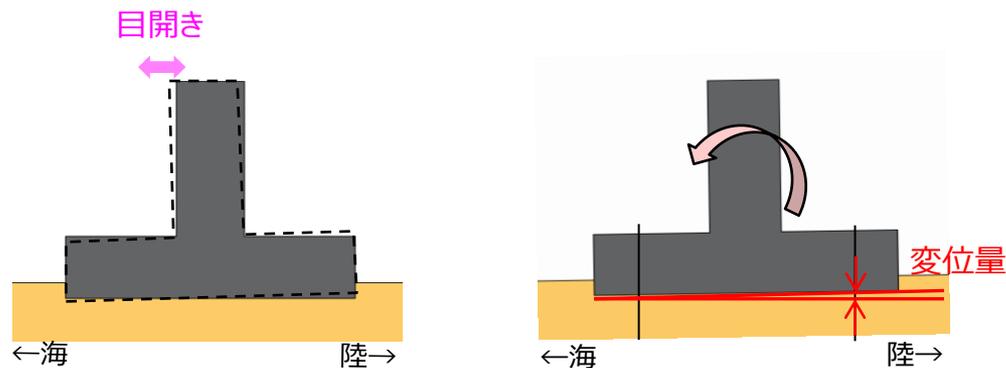
部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※	設計・施工上の配慮	照査
止水目地 （支持部含む）	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	③	<ul style="list-style-type: none"> メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下であることを確認する。 	○
グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁が転倒する。 	④	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。 	○

※ 喪失する事象の想定ケース

③防波壁間の変形による止水目地の損傷



④グラウンドアンカーの破損



設計方針及び検討概要

第955回審査会合 資料1 P57 再掲

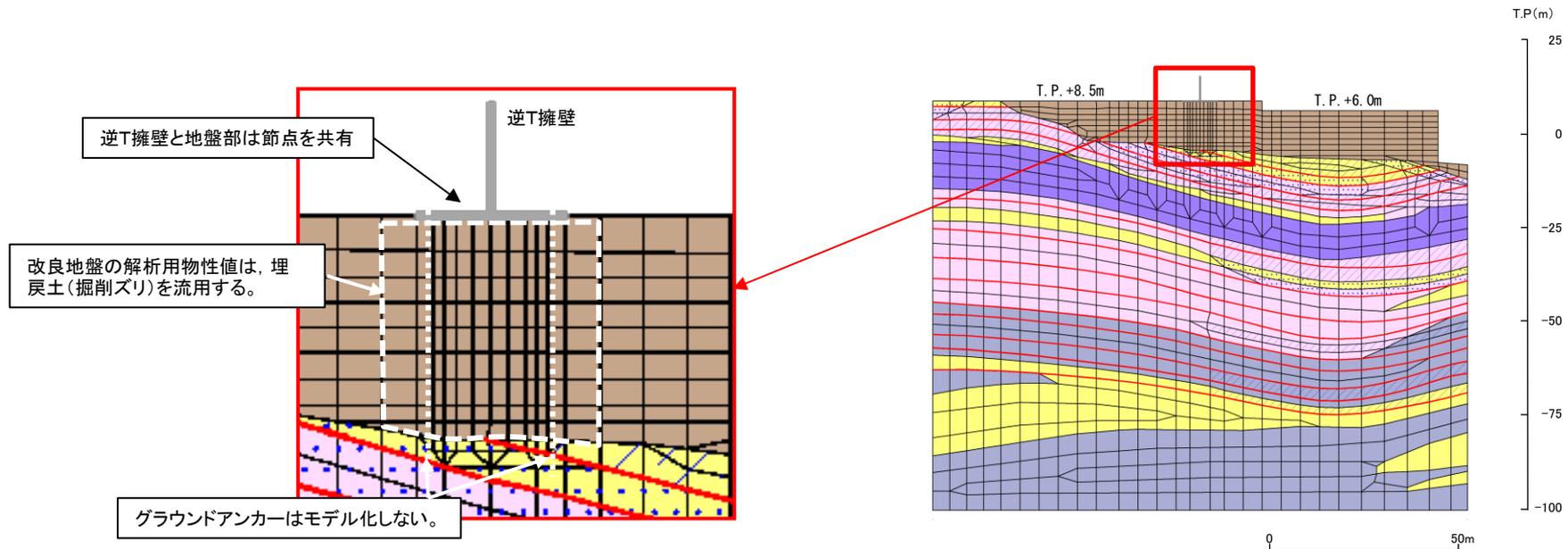
- 防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象に対する設計方針を下表に示す。
- 設置許可段階においては、下表の設計方針による構造成立性の見込みについて確認する。
- 構造成立性の確認に当たっては、地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）に加え、防波壁の耐震性及び耐津波性に関する構造成立性の確認に用いた動的FEM解析（有効応力解析）を用いる。

施設	部位の名称	設計方針	照査項目	設置許可段階での検討方針
防波壁 (逆T擁壁)	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	<ul style="list-style-type: none"> • 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下となる設計とする。 	曲げせん断	<ul style="list-style-type: none"> • 逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。
		<ul style="list-style-type: none"> • 隣接する躯体同士が衝突しないように離隔を設ける等の設計とする。 • 上記設計が困難な場合、逆T擁壁の支圧応力度が、許容応力度以下となる設計とする。 	曲げせん断	<ul style="list-style-type: none"> • 隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。
	止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> • 隣接する躯体間の相対変位量が、止水目地のメーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下となる設計とする。 	変形	<ul style="list-style-type: none"> • 隣接する躯体間の相対変位量を算定し、その相対変位量が止水目地の許容変形量以下であることを確認する。
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> • 地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下となる設計とする。 	変位	<ul style="list-style-type: none"> • 基礎底面の傾斜による変位量を算定し、その変位量がグラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。

動的FEM解析（全応力解析）

第955回審査会合 資料1 P58 再掲

- 防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の安定解析における動的FEM解析（全応力解析）では、以下のとおり解析条件を設定していることから、基礎底面の傾斜が大きくなり易い条件となっている。
- 逆T擁壁直下の改良地盤の解析用物性値については、すべり安定性に大きく寄与する強度特性の増加を見込まないようするため、保守的に埋戻土（掘削ズリ）の解析用物性値を流用していることから、有効応力解析における剛性の1/2以下となっている。
 - 逆T擁壁と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させているため、改良地盤は地震時慣性力による逆T擁壁の変形の影響を受け易い。
 - 逆T擁壁及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していないため、逆T擁壁及び改良地盤が変形し易い。



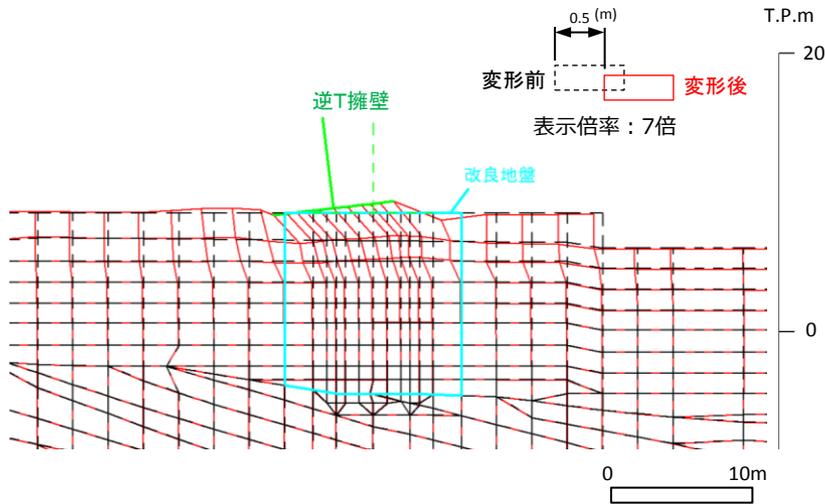
動的FEM解析（全応力解析）解析モデル図

動的FEM解析（全応力解析）における最大傾斜発生時の変形モード

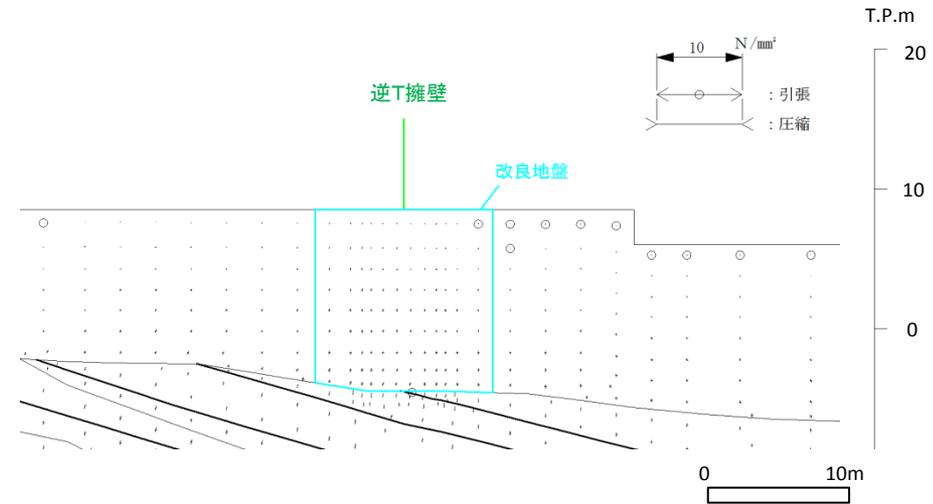
- 防波壁（逆T擁壁）基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻（Ss-D, 12.09秒）における変形図及び主応力図を下図に示す。
- 最大傾斜発生時には、逆T擁壁及びその直下の改良地盤部は、大きく変形しているが、その周辺の地盤には、その影響は及んでいない。
- このことから、基礎底面に生じた傾斜は、逆T擁壁に作用した地震時慣性力の作用による影響が大きいと考えられる。

地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/59



最大傾斜発生時の変形図（Ss-D,12.09秒）

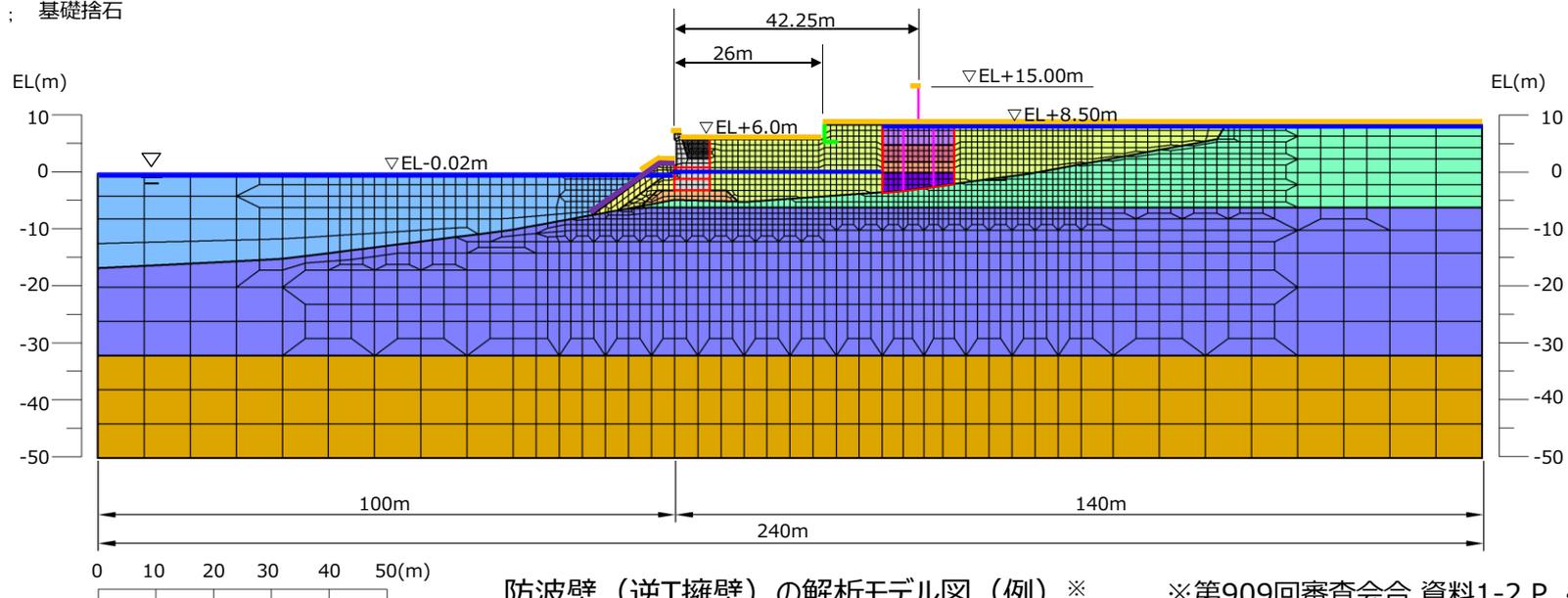
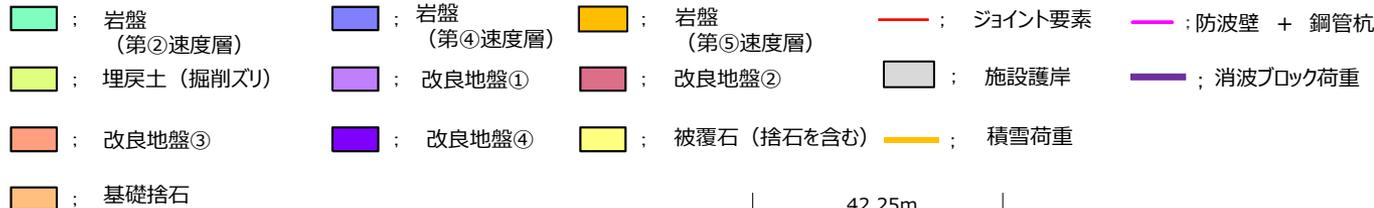


最大傾斜発生時の主応力図（Ss-D,12.09秒）

動的FEM解析（有効応力解析）

➤ 防波壁（逆T擁壁）の構造成立性を確認した動的 F E M解析（有効応力解析）の条件は以下の特徴を有しており、より現実的な応答を示すモデルとなっている。

- 逆T擁壁直下の改良地盤については、PS検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定している。
- 防波壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化している。
- 逆T擁壁の変形抑制機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していない。なお、グラウンドアンカーは実態に合ったモデル化を実施し、詳細設計段階において説明する。



防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（例）※

1.3. 防波壁（逆T擁壁）の基礎底面の傾斜に対する構造成立性

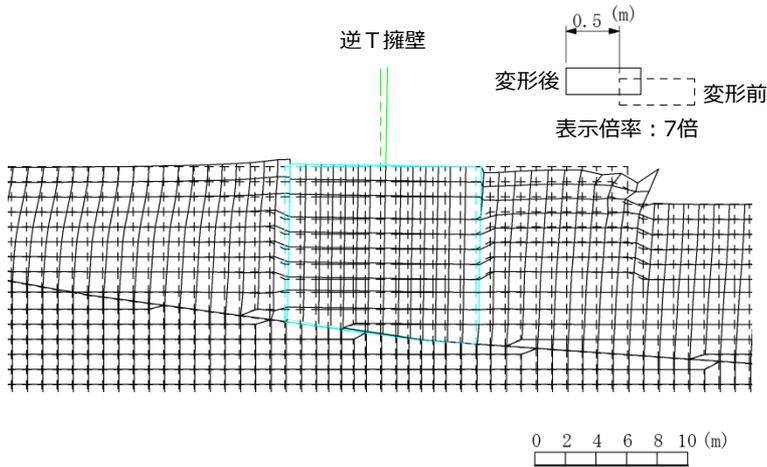
1.3. 2 最大傾斜（1/59）に対する構造成立性及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の最大傾斜（1/446）に対する構造成立性

動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜発生時の変形モード

- 動的FEM解析（有効応力解析）の最大傾斜発生時の変形図及び主応力図を下図に示す。
- 最大傾斜発生時には、逆T擁壁の直下の改良地盤部及び周辺地盤に大きな変形は生じておらず、防波壁（逆T擁壁）の基礎地盤の傾斜については、動的FEM解析（全応力解析）と比較して小さい。

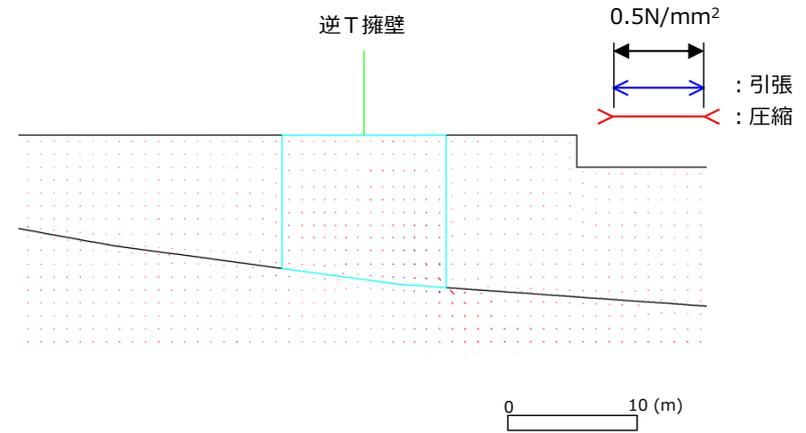
地震動による最大傾斜

	有効応力解析
地震動による傾斜	1/446



※動的FEM解析（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

動的FEM解析（有効応力解析）
最大傾斜発生時の変形図



※動的FEM解析（全応力解析）の主応力図に合わせ、左右反転している。

動的FEM解析（有効応力解析）
最大傾斜発生時の主応力図

動的 F E M解析結果による考察及び構造成立性検討方針

- 地盤の安定解析で用いた動的 F E M解析（全応力解析）と防波壁の構造成立性で用いた動的 F E M解析（有効応力解析）の結果を比較すると、改良地盤の解析用物性値に埋戻土（掘削ズリ）を流用する等、解析条件に保守性がある動的 F E M解析（全応力解析）の特徴により、基礎底面の傾斜が大きくなっていると判断した。
- また、防波壁基礎底面の傾斜は躯体の地震時加速度による影響が大きいと判断した。
- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、地殻変動による傾斜が地震動による最大傾斜と比較して十分小さいことを踏まえ、地震時の地盤の安定解析で用いた動的 F E M解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性で用いた動的 F E M解析（有効応力解析）の結果を確認する。
- 詳細設計段階においては、現実的な応答を示す動的 F E M解析（有効応力解析）を用いて傾斜の影響を確認する。

① 逆T擁壁の損傷（動的FEM解析（全応力解析））

第955回審査会合 資料1 P63 再掲

構造成立性検討方法

➤ 動的 F E M解析における逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。

構造成立性検討結果

- 動的FEM解析（全応力解析）による結果を以下に示す。
- 逆T擁壁基礎底面に最大傾斜が発生した時刻における部材照査の結果、当該時刻において逆T擁壁に作用する曲げ・せん断は短期許容応力度以下であることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（全応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
縦壁	曲げ・軸力	S s - D	曲げ圧縮応力度 σ_c	0.9	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	20.00	OK
			引張応力度 σ_s	30	許容引張応力度 σ_{sa}	323	10.76	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.04	許容せん断応力度 τ_a	0.9	22.50	OK
底版	曲げ・軸力		曲げ圧縮応力度 σ_c	3.2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	5.62	OK
			引張応力度 σ_s	124	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.60	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.24	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.75	OK

①逆T擁壁の損傷（動的FEM解析（有効応力解析））

構造成立性検討結果

- 防波壁の構造成立性で確認した動的FEM解析（有効応力解析）による結果を以下に示す。
- 逆T擁壁の部材照査（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）の結果，逆T擁壁に作用する曲げ・せん断は短期許容応力度以下であることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（最小安全率時）

評価部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		最小安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
縦壁	曲げ・軸力	S s - D	9.17	曲げ圧縮応力度 σ_c	5.6	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	3.21	OK
			9.17	引張応力度 σ_s	242.3	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.33	OK
	23.91		せん断応力度 τ	0.32	許容せん断応力度 τ_a	0.9	2.81	OK	
底版	曲げ・軸力		9.17	曲げ圧縮応力度 σ_c	5.4	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	3.33	OK
			9.17	引張応力度 σ_s	262.8	許容引張応力度 σ_{sa}	323	1.22	OK
	23.91		せん断応力度 τ	0.46	許容せん断応力度 τ_a	0.9	1.95	OK	

②隣接する躯体同士の支圧による損傷

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、動的 F E M 解析（全応力解析）の躯体加速度から躯体間に作用する支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。また、動的 F E M 解析（有効応力解析）においても同様の確認を行う。

構造成立性検討結果

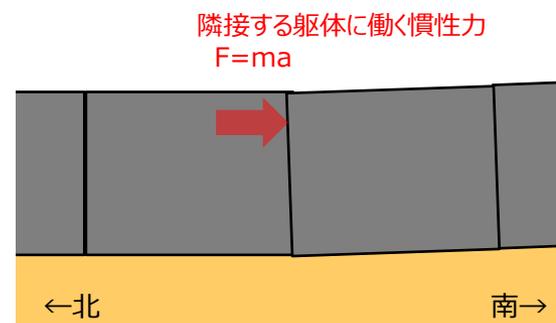
- 地盤の安定解析に用いた動的 FEM 解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的 FEM 解析（有効応力解析）における逆 T 擁壁に作用する支圧応力度は許容応力度以下であることを確認した。

○逆T擁壁に働く慣性力 F

$$F = ma \quad m : \text{逆 T 擁壁の質量} \\ a : \text{地震時加速度}$$

○逆 T 擁壁側の支圧応力度 σ_{cv}

$$\sigma_{cv} = F \div \sum b_i \cdot h_i \leq \sigma_{ca} \quad b_i : \text{防波壁の幅} \\ h_i : \text{防波壁の高さ} \\ \sigma_{ca} : \text{支圧応力度の許容応力度}$$



逆 T 擁壁の相互の支圧イメージ図

評価部位	照査項目	地震動	支圧応力度 (N/mm ²)		支圧応力度の許容応力度 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	圧縮応力度 σ_{ca}	圧縮応力度 σ_{ca}		
逆T擁壁	支圧	S s - D	全応力解析	0.51	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	21.1	OK
			有効応力解析	0.81	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	13.3	OK

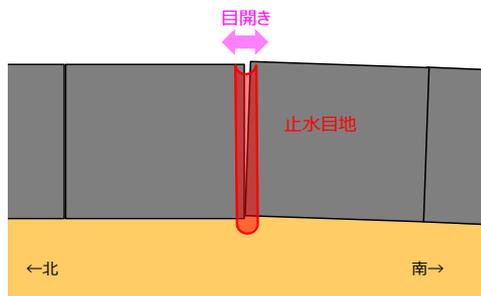
③防波壁間の変形による止水目地の損傷

構造成立性検討方法

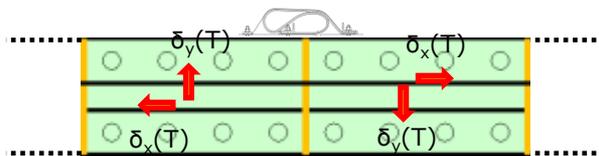
- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討にあたっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、保守的に逆位相になった場合の変形量を算定し、先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認する。
- 止水目地の変形量は、法線直交方向の動的FEM解析（全応力解析，有効応力解析）における最大傾斜から算出された防波壁（逆T擁壁）天端の相対変位と、保守的に法線方向においても同傾斜とした場合の相対変位を基に合成変形量を算出した。
- 止水目地の仕様については、現時点では、先行炉で審査実績を有する止水目地（2000mm）に余裕を考慮して1000mmとする。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における止水目地の変形量は先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認した。



逆T擁壁の目開き（法線方向）
イメージ図



逆T擁壁の変形量 概念図

【同一構造形式間での合成変形量の算出方法】

X方向の相対変位 δ_x ： $\delta_x = \text{abs}\{\delta_x(T) \times 2\}$

y方向の相対変位 δ_y ： $\delta_y = \text{abs}\{\delta_y(T) \times 2\}$

z方向の相対変位 δ_z ： $\delta_z = \text{abs}\{\delta_z(T) \times 2\}$

$\delta_x(T)$ ：X方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$ ：y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$ ：z方向の最大相対変位

合成方向変位（3方向合成） $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

評価部位	照査項目	地震動	変形量 (mm)		止水目地の仕様 (mm)		安全率 (止水目地/変形)	判定 (> 1.0)
止水目地	変形	S s - D	全応力解析	640	変形量	1000	1.56	OK
			有効応力解析	90	変形量	1000	11.11	OK

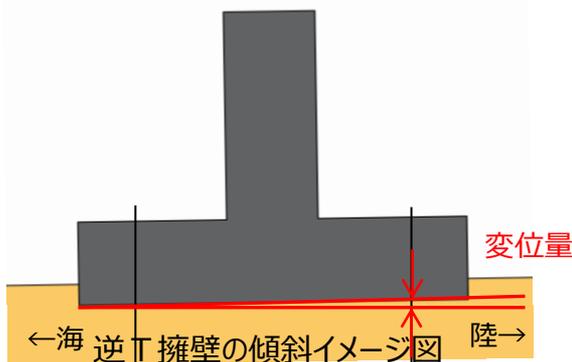
④グラウンドアンカーの破損

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）はグラウンドアンカーを設置するため、基礎底面の傾斜による顕著な変位は生じないと考えているが、動的FEM解析では、グラウンドアンカーを考慮していないことから、基礎底面の傾斜によるグラウンドアンカーの変位量は、動的FEM解析（全応力解析、有効応力解析）における初期位置からの変位量を算出し、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。
- グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）により算出したグラウンドアンカーの弾性変位量 u は、グラウンドアンカーの仕様から u ＝約133mmとなる。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜時の変位量は弾性変位量以下であることを確認した。



グラウンドアンカー弾性変位量 u

グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）

$$u = \frac{T \cdot l_{sf}}{A_s \cdot E_s}$$

項目	記号	備考
計画最大荷重	T	2,400kN（ tendon降伏荷重）
tendon自由長	l_{sf}	16,220mm
tendon弾性係数	E_s	191kN/mm ²
tendon断面積	A_s	1,525.7mm ²
弾性変位量	u	133mm

評価部位	照査項目	地震動	変位量 (mm)		弾性変位量 (mm)		安全率 (弾性変位/ 最大変位)	判定 (> 1.0)
			全応力解析		弾性変位量			
グラウンドアンカー	変位	S s -D	全応力解析	102	弾性変位量	133	1.30	OK
			有効応力解析	18	弾性変位量	133	7.38	OK

詳細設計段階での検討方針

第955回審査会合 資料1 P68 再掲

➤ 防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象における詳細設計段階での検討方針を下表に示す。

施設	部位の名称	要求機能を喪失する事象	照査項目	詳細設計段階での検討方針
防波壁（逆T擁壁）	逆T擁壁 （鉄筋コンクリート造）	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。 	曲げ せん断	<ul style="list-style-type: none"> 動的FEM解析（有効応力解析）を行い、逆T擁壁が損傷しないことを確認する。
		<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。 	曲げ せん断	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁（逆T擁壁）の法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、隣接する躯体の挙動を把握し、防波壁が損傷しないことを確認する。 逆T擁壁の支圧応力度が許容応力度を上回る場合、許容限界を満足する対策を講じる。
	止水目地 （支持部含む）	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。 	変形 水圧	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁の法線直交方向及び法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、止水目地の変形量が許容変形量以下であることを確認する。 また、止水目地にかかる水圧が許容水圧以下であることを確認する。
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁が転倒する。 	引張	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドアンカーをモデル化した動的FEM解析（有効応力解析）を行い、設計アンカー力により逆T擁壁が転倒しないことを確認する。 余裕が確保できなくなった場合には、グラウンドアンカーを追加設置する。

まとめ

- 基礎底面の傾斜に対して防波壁に要求される安全機能，及び防波壁（逆T擁壁）の設計方針（損傷モード，許容限界等）を整理した。
- 防波壁（逆T擁壁）の逆T擁壁，止水目地及びグラウンドアンカーが基礎底面の傾斜により損傷し，要求機能を喪失する事象を抽出した。
- 要求機能を喪失する事象に対し，動的 F E M解析（全応力解析）及び動的 F E M解析（有効応力解析）を用いた照査の結果，防波壁（逆T擁壁）の各部位は許容限界を満足することから，基礎底面の傾斜を考慮しても防波壁は構造成立することを確認した。

1 3 . 防波壁（逆T擁壁）の基礎底面の傾斜に対する構造成立性

- 1 3 . 1 改良地盤の物性値を埋戻土とした全応力解析の最大傾斜（1/59）
- 1 3 . 2 最大傾斜（1/59）に対する構造成立性
及び改良地盤の物性値をPS検層等により設定した有効応力解析の
最大傾斜（1/446）に対する構造成立性
- 1 3 . 3 改良地盤の物性値をPS検層等により設定した全応力解析の最大傾斜
（1/158）に対する構造成立性

動的 F E M解析結果（全応力解析）による構造成立性検討方針

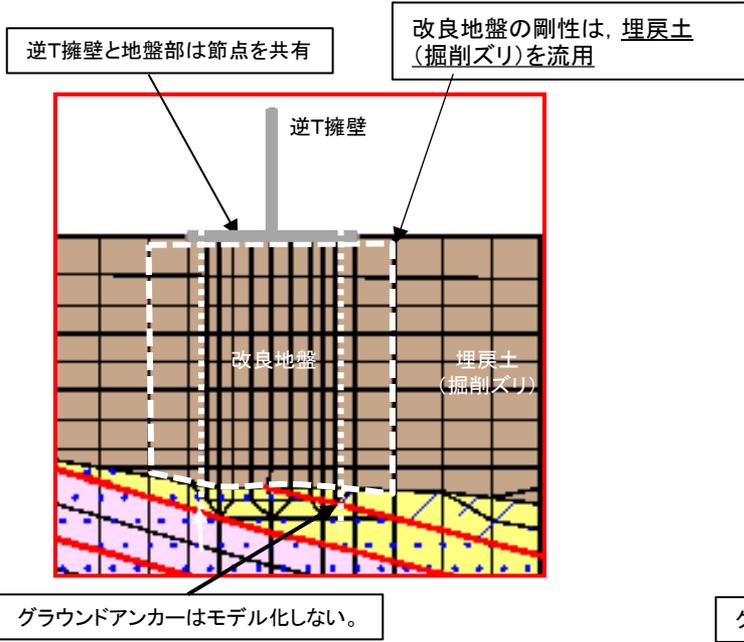
第955回審査会合 資料1 P71 加筆・修正

- 防波壁（逆T擁壁）については、基礎底面において地震時に発生する最大傾斜（1/59）を考慮しても、構造成立することを、「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性」（第948回審査会合，2021年2月18日）により確認している。
- しかし、最大傾斜（1/59）発生時の変形モードを確認した結果、逆T擁壁に作用した地震慣性力の作用により、基礎底面に現実的ではない浮き上がりが生じていることから、適切な基礎底面の評価を行うため、改良地盤の解析用物性値をP S検層結果等に基づく物性値に変更し、再検討を行った。
- 再検討の結果、地震時に発生する最大傾斜が1/158となったことから、当該傾斜に対する構造成立性検討を追加実施した。
- 実施に当たっては、「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性」（第948回審査会合，2021年2月18日）で実施した方法と同様の条件により、動的解析（全応力解析）の結果を用い、①逆T擁壁の損傷、②隣接する躯体同士の支圧による損傷、③防波壁間の変形による止水目地の損傷、④グラウンドアンカーの損傷 について評価を行った。

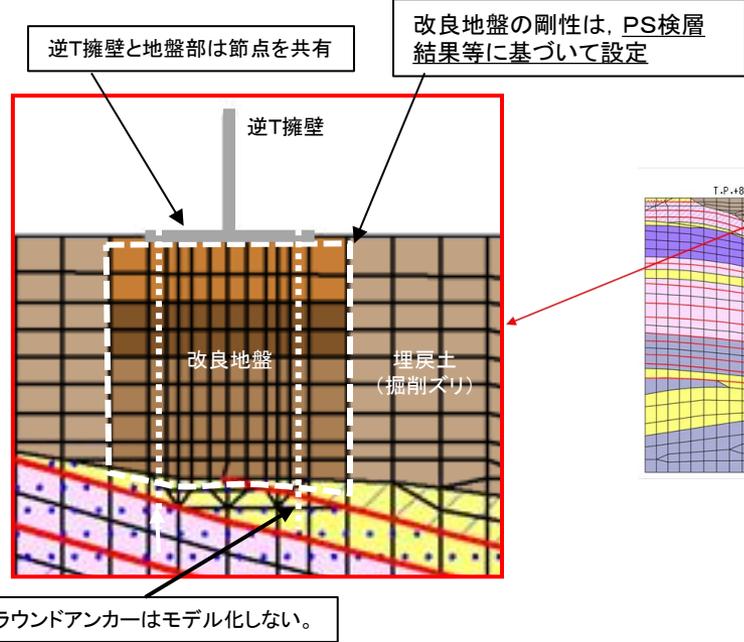
動的FEM解析（全応力解析）の解析モデルの変更

第95回審査会合
資料1 P72 再掲

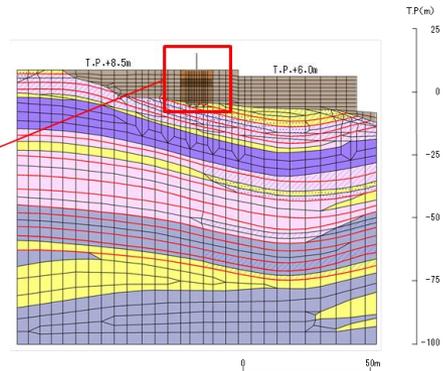
- 変更前の解析モデルでは、改良地盤は、周辺の埋戻土（掘削ズリ）と同一の剛性を設定していたが、PS検層結果等に基づく高い剛性に見直しを行った。なお、解析手法の制約により、以下については、前回解析と同様の条件とした。
 - 逆T擁壁と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させる。
 - 逆T擁壁及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカーをモデル化しない。



【変更前】



【変更後】



動的 F E M解析（全応力解析）解析モデル図

最大傾斜発生時の変形モード（変更前）

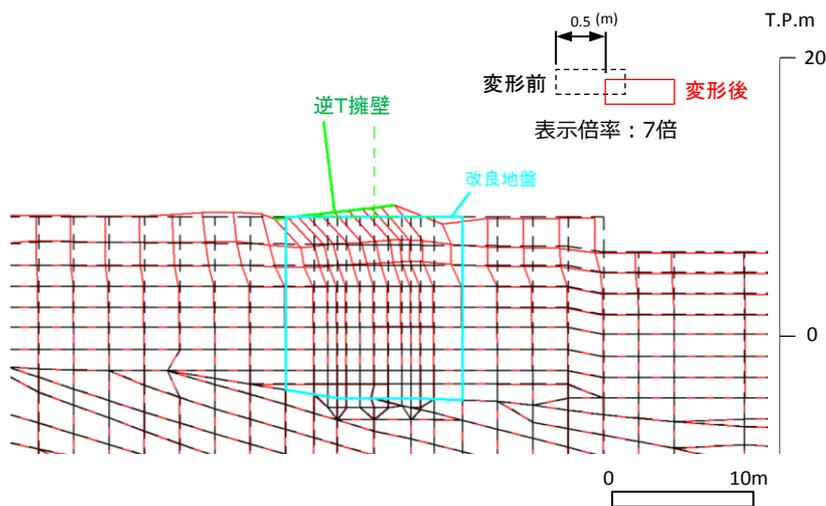
第955回審査会合
資料1 P73 再掲

【改良地盤の解析用物性値：埋戻土（掘削ズリ）を流用した物性値】

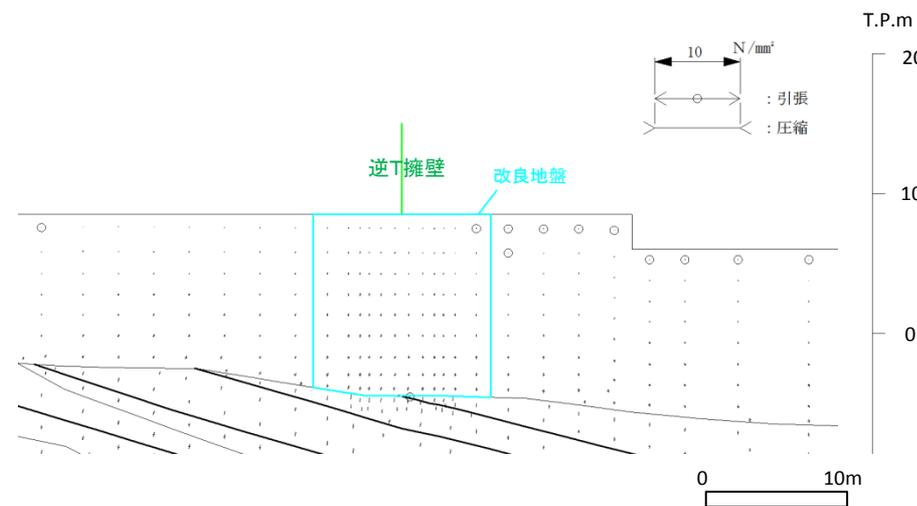
- 防波壁（逆T擁壁）基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻（Ss-D, 12.09秒）における変形図及び主応力図を下図に示す。
- 逆T擁壁直下の改良地盤部は大きく変形しているが、その周辺の地盤には、その影響は及んでいない。
- このことから、改良地盤の解析用物性値に埋戻土（掘削ズリ）を流用したため、逆T擁壁に作用した地震慣性力の作用により、基礎地盤に現実的ではない浮き上がりが生じていると考えられる。

地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/59



最大傾斜発生時の変形図（Ss-D,12.09秒）



最大傾斜発生時の主応力図（Ss-D,12.09秒）

最大傾斜発生時の変形モード（変更後）

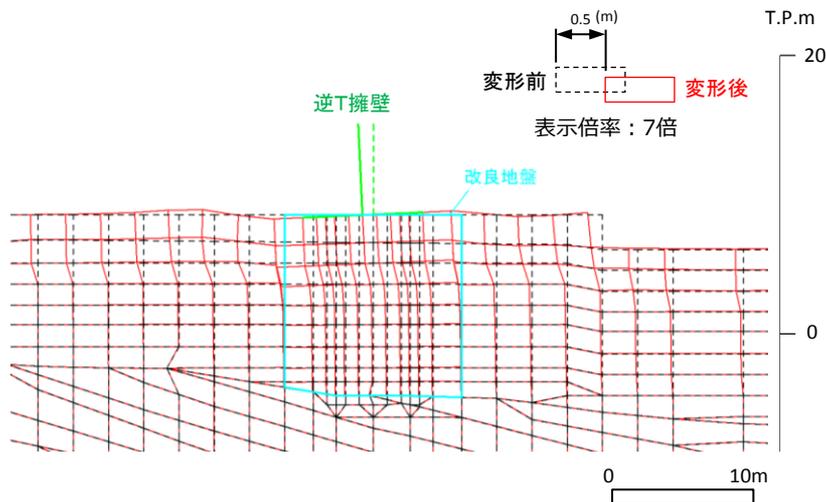
第955回審査会合
資料1 P74 再掲

【改良地盤の解析用物性値：PS検層結果等に基づく物性値】

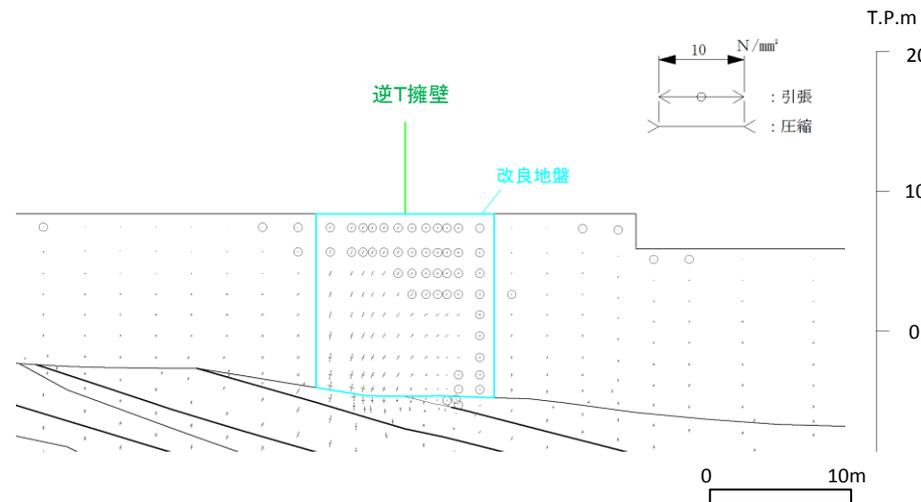
- 防波壁（逆T擁壁）基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻（Ss-D, 34.51秒）における変形図及び主応力図を下図に示す。
- 逆T擁壁直下の改良地盤部では、防波壁と接点を共有しているため、引張応力の発生は認められるが、逆T擁壁に作用した地震時慣性力の作用による基礎地盤の浮き上がりは生じていない。
- このことから、変更後の解析モデルは、基礎底面の傾斜について適切な評価が可能なモデルであることを確認した。
- 解析手法の制約により、グラウンドアンカーがモデル化できない影響もあり、最大傾斜は1/158となった。

地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/158



最大傾斜発生時の変形図（Ss-D,34.51秒）



最大傾斜発生時の主応力図（Ss-D,34.51秒）

①逆T擁壁の損傷（動的FEM解析（全応力解析））

第955回審査会合
資料1 P75 再掲

【改良地盤の解析用物性値：PS検層結果等に基づく物性値】

構造成立性検討方法

➤ 動的FEM解析における逆T擁壁の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。

構造成立性検討結果

- 動的FEM解析（全応力解析）による結果を以下に示す。
- 逆T擁壁基礎底面に最大傾斜が発生した時刻における部材照査の結果、当該時刻において逆T擁壁に作用する曲げ・せん断は短期許容応力度以下であることを確認した。

■ 短期許容応力に対する照査（全応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	発生応力 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
豎壁	曲げ・軸力	S s -D	曲げ圧縮応力度 σ_c	2.4	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	7.5	OK
			引張応力度 σ_s	117	許容引張応力度 σ_{sa}	323	2.76	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.11	許容せん断応力度 τ_a	0.9	8.18	OK
底板	曲げ・軸力		曲げ圧縮応力度 σ_c	2.7	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	18	6.67	OK
			引張応力度 σ_s	95	許容引張応力度 σ_{sa}	323	3.4	OK
	せん断		せん断応力度 τ	0.27	許容せん断応力度 τ_a	0.9	3.33	OK

②隣接する躯体同士の支圧による損傷

【改良地盤の解析用物性値：PS検層結果等に基づく物性値】

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、動的FEM解析（全応力解析）の躯体加速度から躯体間に作用する支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。また、動的FEM解析（有効応力解析）においても同様の確認を行う。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における逆T擁壁に作用する支圧応力度は許容応力度以下であることを確認した。

○逆T擁壁に働く慣性力F

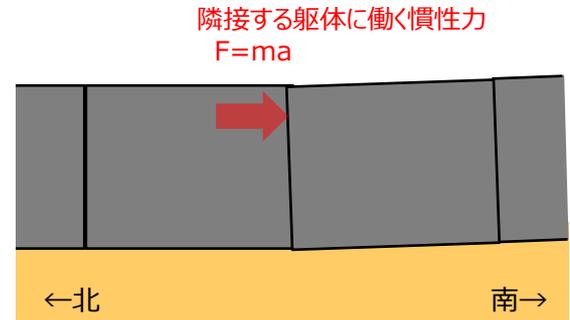
$$F = ma$$

m ：逆T擁壁の質量
 a ：地震時加速度

○逆T擁壁側の支圧応力度 σ_{cv}

$$\sigma_{cv} = F \div \sum b_i \cdot h_i \leq \sigma_{ca}$$

b_i ：防波壁の幅
 h_i ：防波壁の高さ
 σ_{ca} ：支圧応力度の許容応力度



逆T擁壁の相互の支圧イメージ図

評価部位	照査項目	地震動	支圧応力度 (N/mm ²)		支圧応力度の許容応力度 (N/mm ²)		安全率 (許容応力 / 発生応力)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	圧縮応力度 σ_{ca}	圧縮応力度 σ_{ca}		
逆T擁壁	支圧	S s - D	全応力解析	0.81	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	13.3	OK
			有効応力解析	0.81	圧縮応力度 σ_{ca}	10.8	13.3	OK

③防波壁間の変形による止水目地の損傷

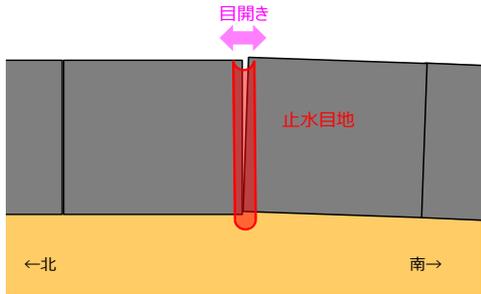
【改良地盤の解析用物性値：PS検層結果等に基づく物性値】

構造成立性検討方法

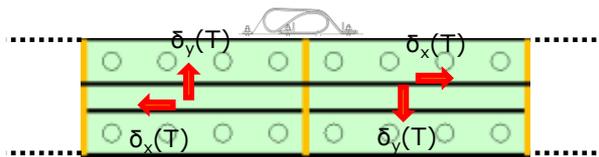
- 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討にあたっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、保守的に逆位相になった場合の変形量を算定し、先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認する。
- 止水目地の変形量は、法線直交方向の動的FEM解析（全応力解析，有効応力解析）における最大傾斜から算出された防波壁（逆T擁壁）天端の相対変位と、保守的に法線方向においても同傾斜とした場合の相対変位を基に合成変形量を算出した。
- 止水目地の仕様については、現時点では、先行炉で審査実績を有する止水目地（2000mm）に余裕を考慮して1000mmとする。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における止水目地の変形量は先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認した。



逆T擁壁の目開き（法線方向）
イメージ図



逆T擁壁の変形量 概念図

【同一構造形式間の合成変形量の算出方法】

X方向の相対変位 δ_x ： $\delta_x = \text{abs}\{\delta_x(T) \times 2\}$

y方向の相対変位 δ_y ： $\delta_y = \text{abs}\{\delta_y(T) \times 2\}$

z方向の相対変位 δ_z ： $\delta_z = \text{abs}\{\delta_z(T) \times 2\}$

$\delta_x(T)$ ：X方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$ ：y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$ ：z方向の最大相対変位

合成方向変位（3方向合成） $\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$

評価部位	照査項目	地震動	変形量 (mm)		止水目地の仕様 (mm)		安全率 (止水目地/変形)	判定 (> 1.0)
止水目地	変形	S s - D	全応力解析	240	変形量	1000	4.17	OK
			有効応力解析	90	変形量	1000	11.11	OK

④グラウンドアンカーの破損

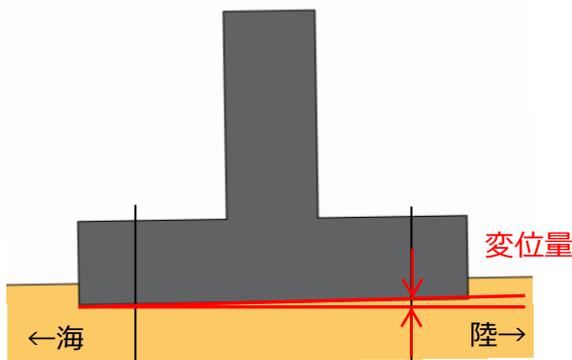
【改良地盤の解析用物性値：PS検層結果等に基づく物性値】

構造成立性検討方法

- 防波壁（逆T擁壁）はグラウンドアンカーを設置するため、基礎底面の傾斜による顕著な変位は生じないと考えているが、動的FEM解析では、グラウンドアンカーを考慮していないことから、基礎底面の傾斜によるグラウンドアンカーの変位量は、動的FEM解析（全応力解析、有効応力解析）における初期位置からの変位量を算出し、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。
- グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）により算出したグラウンドアンカーの弾性変位量 u は、グラウンドアンカーの仕様から $u = \text{約}133\text{mm}$ となる。

構造成立性検討結果

- 地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜時の変位量は弾性変位量以下であることを確認した。



逆T擁壁の傾斜イメージ図

グラウンドアンカー弾性変位量 u グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）

$$u = \frac{T \cdot l_{sf}}{A_s \cdot E_s}$$

項目	記号	備考
計画最大荷重	T	2,400kN（テンドン降伏荷重）
テンドン自由長	l_{sf}	16,220mm
テンドン弾性係数	E_s	191kN/mm ²
テンドン断面積	A_s	1,525.7mm ²
弾性変位量	u	133mm

評価部位	照査項目	地震動	変位量 (mm)		弾性変位量 (mm)		安全率 (弾性変位/ 最大変位)	判定 (> 1.0)
			全応力解析		弾性変位量			
グラウンドアンカー	変位	S s -D	全応力解析	23	弾性変位量	133	5.78	OK
			有効応力解析	18	弾性変位量	133	7.38	OK

まとめ

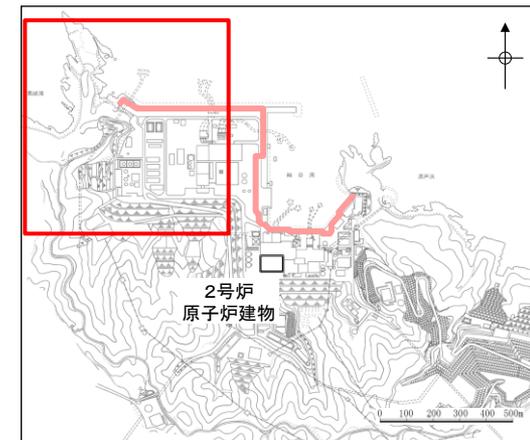
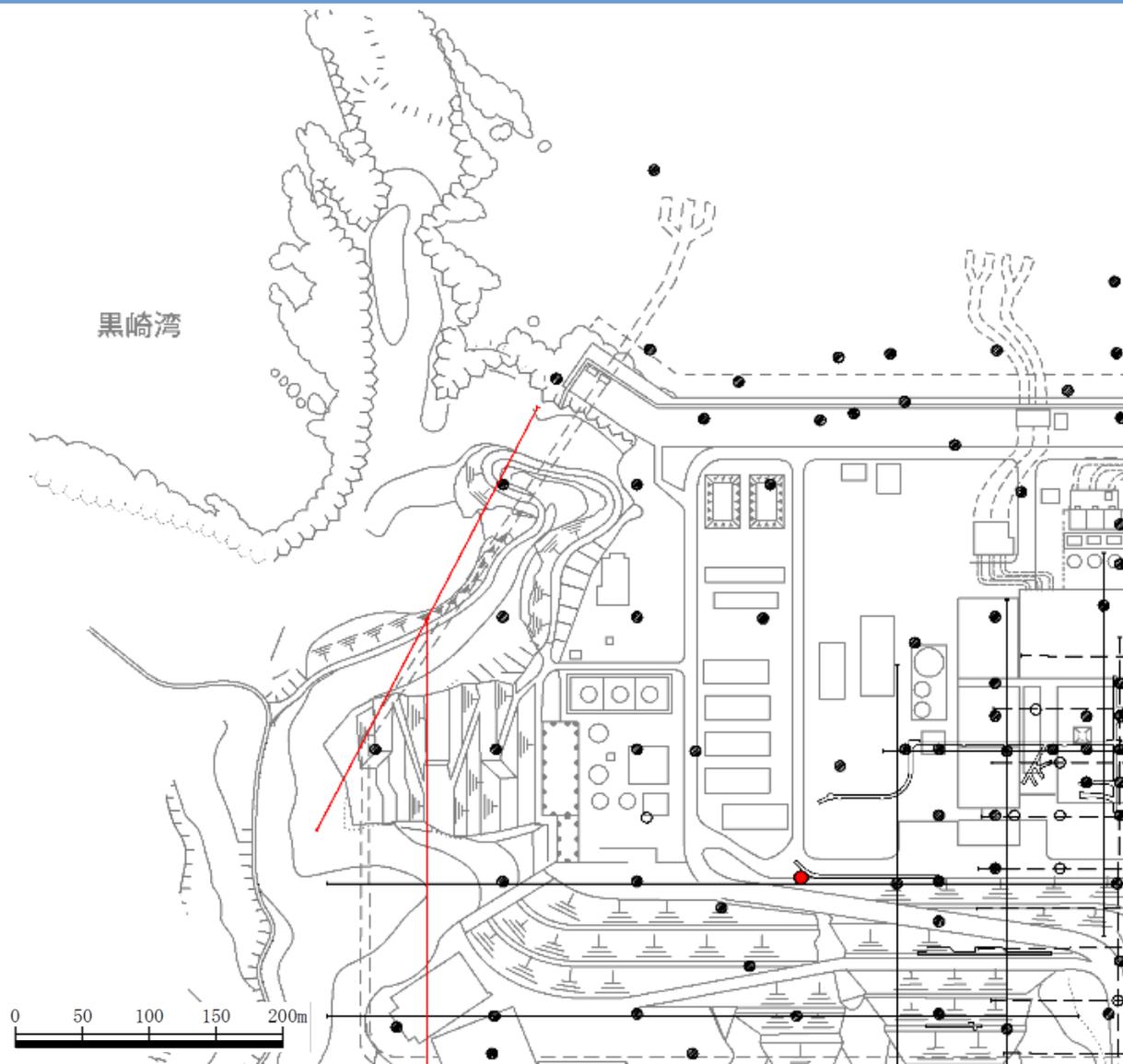
第955回審査会合 資料1 P79 加筆・修正

- 改良地盤の解析用物性値をP S 検層結果等に基づく物性値に変更し、動的F E M解析（全応力解析）を行った結果、逆T擁壁直下の改良地盤部では、逆T擁壁に作用した地震時慣性力の作用による基礎地盤の浮き上がりは生じていないことから、変更後の解析モデルは、基礎底面の傾斜について適切な評価が可能なモデルであると考えられる。
- 地震時に発生する最大傾斜は、1/158となり、設置許可段階における評価基準値の目安を上回るが、「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性」（第948回審査会合，2021年2月18日）において実施した方法と同様の条件により、動的解析（全応力解析）の結果を用いて評価を行った結果、防波壁の構造が成立する見通しを確認した。

14. 防波壁西端部の地質・地質構造

14. 防波壁西端部の地質・地質構造

防波壁(西端部)の地質調査位置図



防波壁西端部位置図

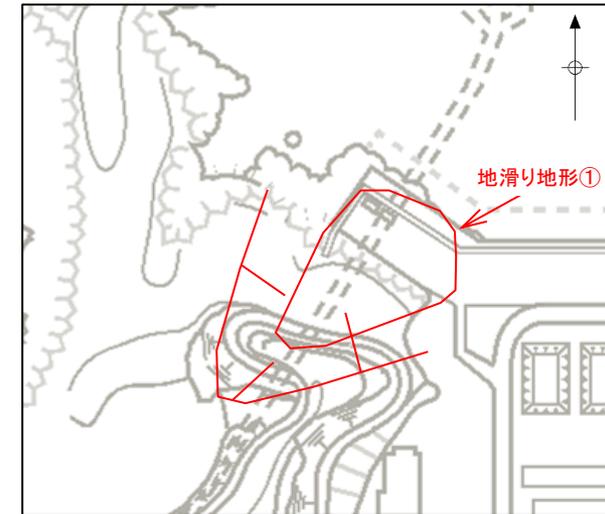
凡例

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

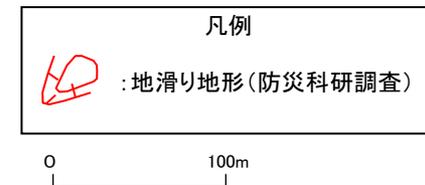
・防波壁(西端部)の地質・地質構造を把握するため、文献調査、地表地質踏査を行うとともに、地表からの弾性波探査、ボーリング調査を実施した。

防波壁(西端部)周辺の地形に関する文献調査

- ・防災科研は、地形判読に基づき地すべり地形分布図を作成しており、その中で、防波壁(西端部)の地山に地滑り地形が存在するとしている。^{※1}地すべり地形分布図の解説と読図の手引きである清水ほか(2006)⁽²⁸⁾によると、地滑り地形の定義について、地すべり地形を地すべりの変動によって生じた、もしくは生じつつある地形の総称として用いており、そこに表層すべりは含まれないとされている。
- ・国土交通省によれば、地すべりは一般的には深層崩壊にともなって発生する現象で動きが緩慢なものが多いとされている。ここで深層崩壊は、すべり面が表層崩壊よりも深部で発生し、表土層だけでなく深層の地盤までもが崩壊土塊となる比較的規模の大きな崩壊現象としている。また表層崩壊は、斜面崩壊のうち、厚さ0.5~2.0m程度の表層土が、表層土と基盤層の境界に沿って滑落する比較的規模の小さな崩壊としている。^{※2}
- ・本資料では、厚さ2m程度より深い規模を「地滑り」とし、それより浅い表層土と基盤層の境界に沿って滑落する規模の現象を「表層すべり」と区別して評価する。
- ・防災科研は地すべり地形分布図の利活用における留意点の一つとして、利用者の責任による現地調査が必要としている。そのため、同地点について当社で空中写真判読及び現地踏査を実施した。



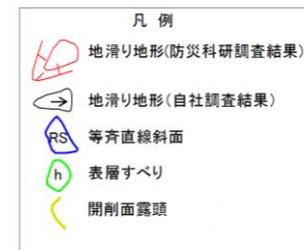
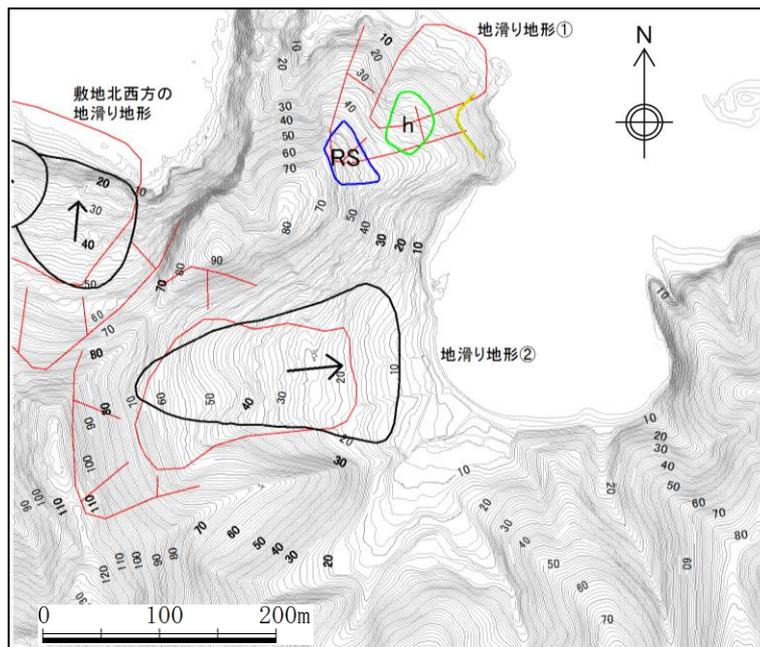
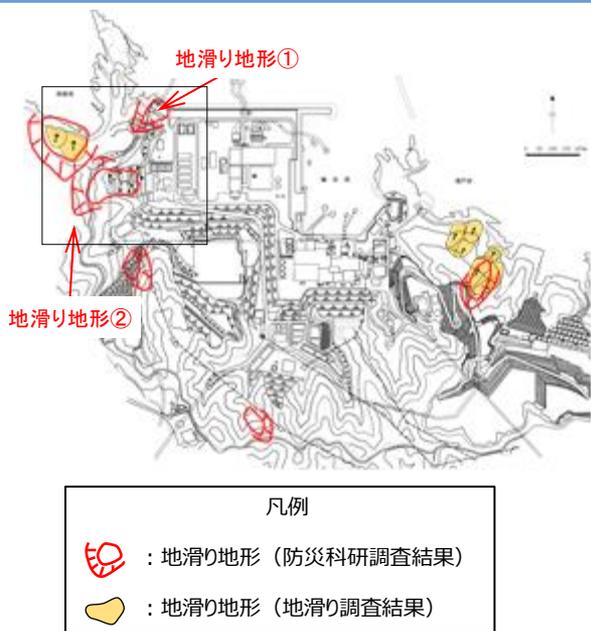
防災科学技術研究所の地滑り地形調査結果
(敷地の地形図に地滑り地形を投影)



※1 防災科学技術研究所 地すべり地形GISデータ 地すべり地形分布図 HPを参照
https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/gis.html

※2 国土交通省 砂防:深層崩壊についてよくあるご質問 HPを参照
http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/deep_landslide_FAQ.html

防波壁(西端部)周辺の地形判読 判読結果

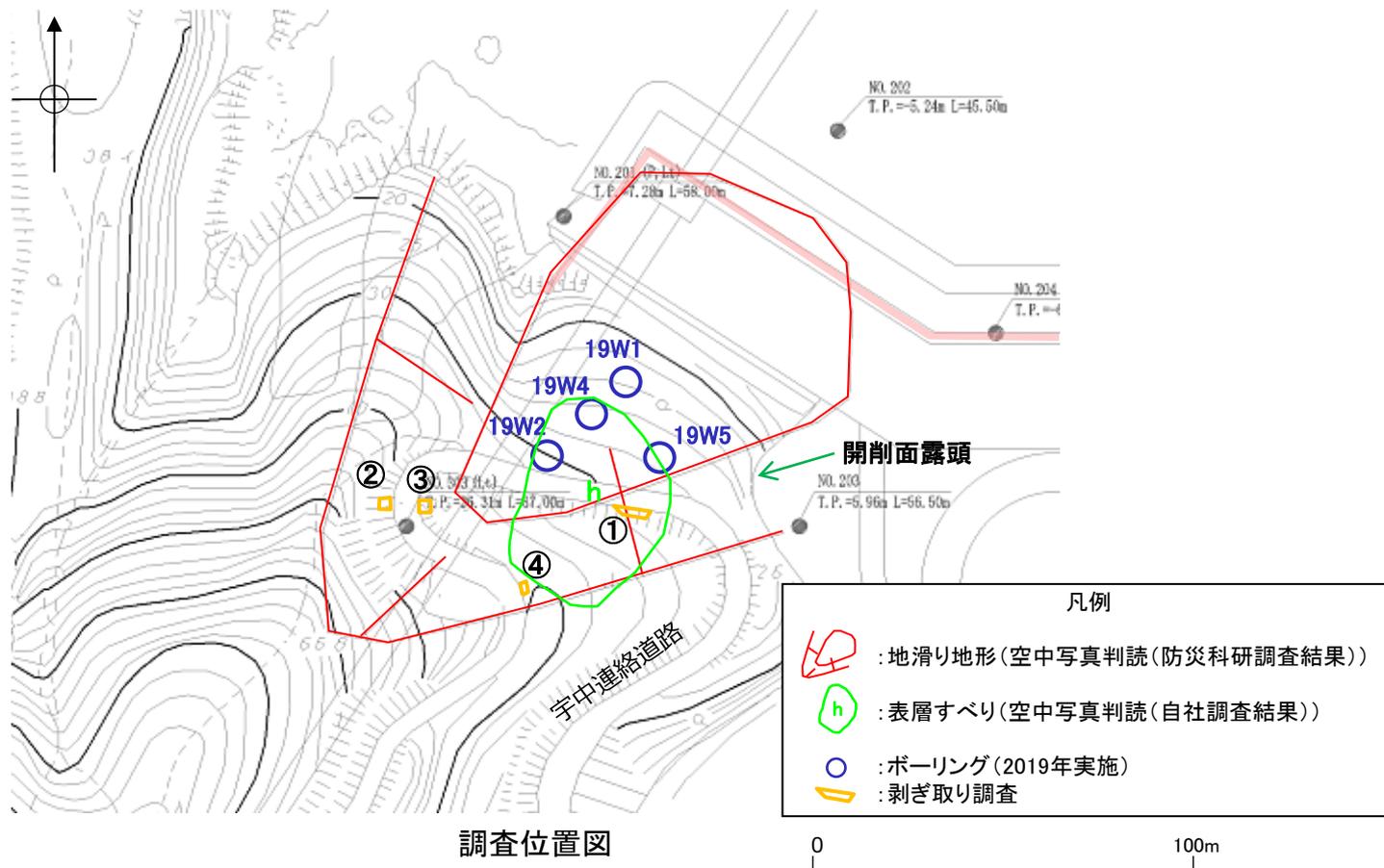


防波壁(西端部)周辺の旧地形の等高線図

(モノクロ空中写真(撮影縮尺:1万分の1, 1962年撮影)より1mDEMを取得し作成)

- ・空中写真図化により作成した1mDEMを使用し, 1mコンターの等高線図を作成した。
- ・防波壁(西端部)周辺では, 防災科研調査結果の地滑り地形①の地滑り土塊とされる箇所のうち標高25~45mに緩斜面が分布し, 等高線の乱れが認められることから, 表層すべり(h)が想定される。当該箇所は, 浅い谷部に位置することから, 厚さ数mの土砂が堆積していると考えられる。また, 地滑り地形①の滑落崖とされる箇所に概ね対応する地形として, 標高45~65mに相対的に急な斜面が存在するが, その斜面は等斉直線斜面(RS, 鈴木(2000)⁽²⁹⁾)で傾斜方向が東北東方向を示す。地滑り地形①の崩落方向は北北東方向を示し, 斜面(RS)とは方向が異なる。仮に斜面(RS)を滑落崖とした場合, 半円形の凹形谷型斜面が想定される(鈴木(2000))が, そのような地形は確認されない。
- ・一方, 地滑り地形②は, 3次元地形モデルの検討結果と同様に, 馬蹄形の滑落崖を伴い, 滑落崖の中に緩斜面が認められ, 不規則な凹凸が確認される。緩斜面は, 土砂が堆積して形成された斜面と推定され, 地滑り地形の特徴(渡・小橋(1987)⁽³⁰⁾)の凹状緩斜面地形)を有する。

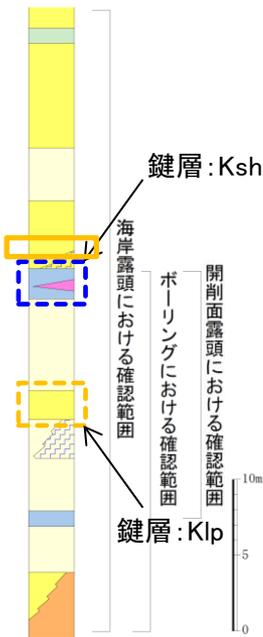
宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査



防波壁(西端部)周辺に位置する宇中連絡道路付近において剥ぎ取り調査を複数箇所を実施し、空中写真判読に基づく防災科研調査結果(清水ほか(2005))の地滑り地形及び表層すべり(h)の範囲における層準の連続性、開削面露頭で確認した粘性土・礫質土の分布範囲を確認した。

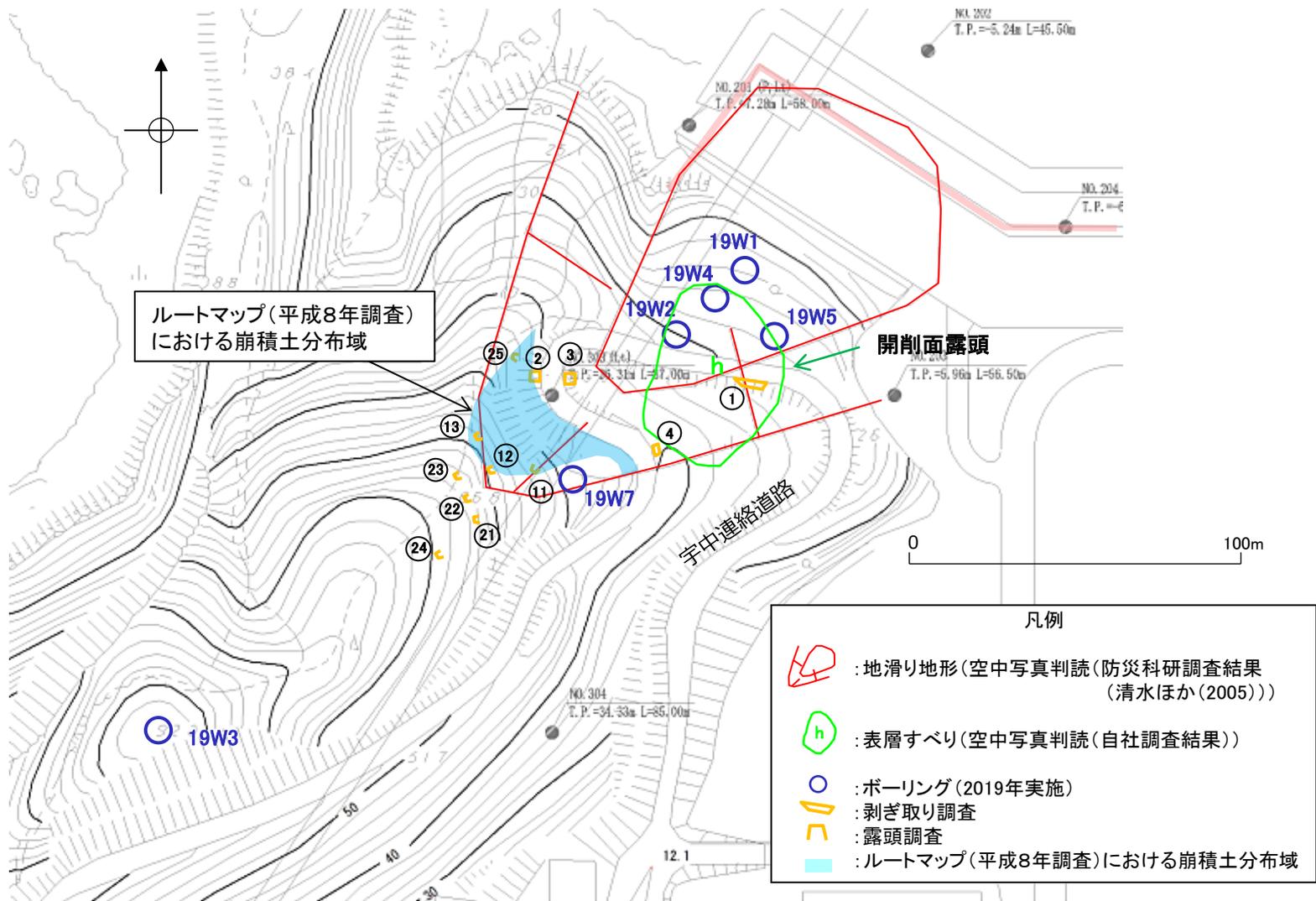
14. 防波壁西端部の地質・地質構造

宇中連絡道路付近における剥ぎ取り調査 ④地点



- ・剥ぎ取り調査④地点では、下位から火山礫凝灰岩、礫質土が認められる。
- ・礫質土は締りがよく、その層厚は40cmから15cmであり、標高が高くなるにつれて層厚が薄くなる。
- ・火山礫凝灰岩は、剥ぎ取り調査③地点で確認した鍵層Kshの上位層の火山礫凝灰岩に相当する。
- ・この地点において火山礫凝灰岩と礫質土の境界は不明瞭で漸移的であり、下位の火山礫凝灰岩が強風化したものと考えられる。また、開削面露頭で確認された礫質土の性状とは異なる。

標高40mより上方斜面調査実施地点



調査位置図

ルートマップ(平成8年調査)の標高40m付近より上方の斜面に記載された『崩積土』の分布状況を確認するために、露頭調査(⑪～⑬地点, ⑳～㉔地点)及びボーリング調査(19W3孔, 19W7孔)を追加実施した。

14. 防波壁西端部の地質・地質構造 露頭調査 ⑳ 地点



露頭調査位置図 ← 撮影方向



露頭全景(2019年12月21日撮影)



露頭写真(解釈線無, 2019年12月21日撮影)



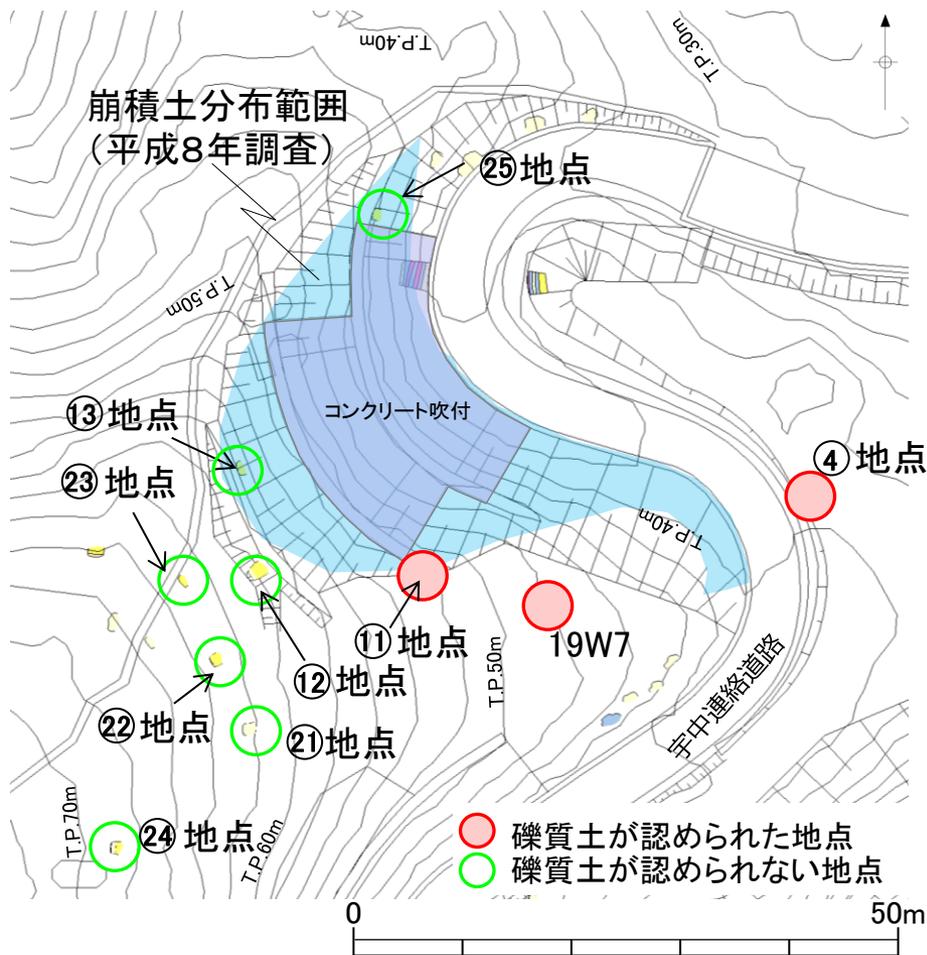
露頭写真(解釈線有, 2019年12月21日撮影)

・露頭調査⑳地点は、標高69mにあり、防災科研地滑り地形の滑落崖の外に位置する。この地点は、防波壁(西端部)の位置する地山の中腹部に位置する。
 ・露頭は下位から火山礫凝灰岩、凝灰岩、表土が認められ、礫質土や粘性土が認められない。凝灰岩は強風化によりD級、火山礫凝灰岩は風化によりCL級を呈する。
 ・ルートマップ(平成8年調査)の『崩積土』に対応する地層は認められない。



詳細スケッチ

14. 防波壁西端部の地質・地質構造 『崩積土』の確認調査結果



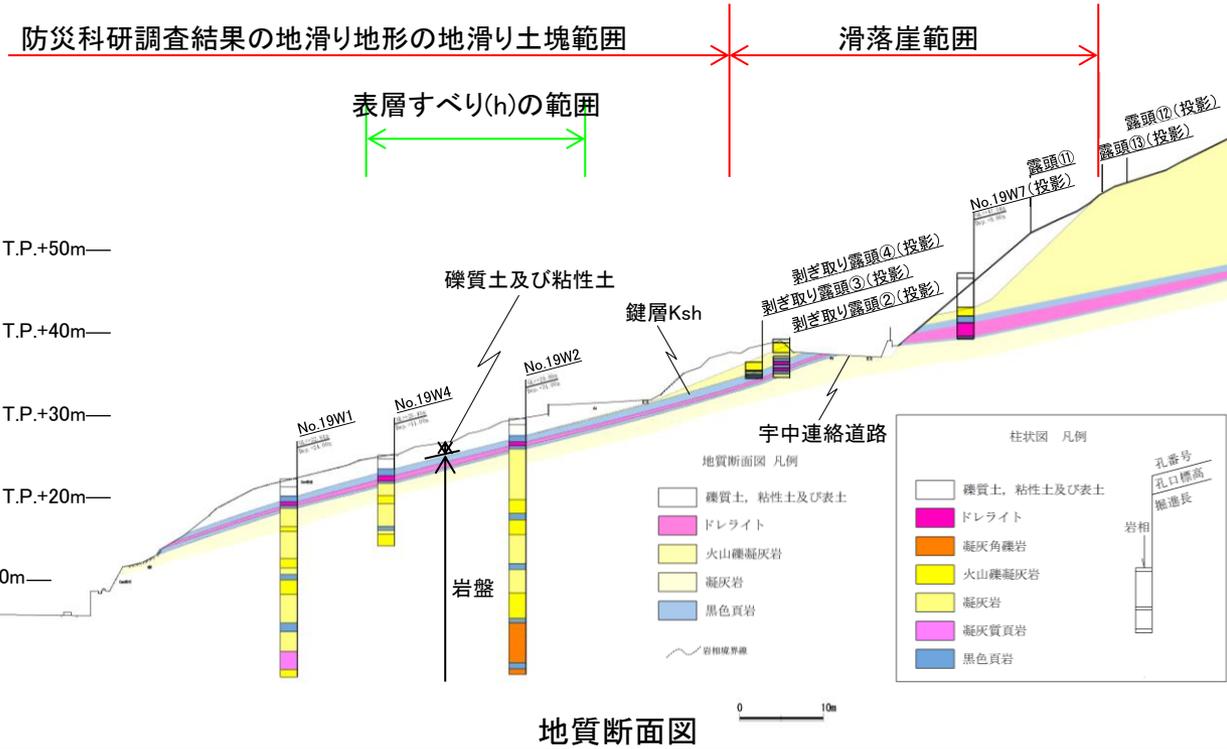
調査結果概要

調査地点	調査結果
④地点	礫質土あり (15~40cm程度) (下位の火山礫凝灰岩が強風化)
⑪地点	礫質土あり (50cm程度) (崩積土に類似した特徴を有する)
⑫地点	礫質土は認められない
⑬地点	礫質土は認められない
⑲地点	礫質土は認められない
⑳地点	礫質土は認められない
㉑地点	礫質土は認められない
㉒地点	礫質土は認められない
㉓地点	礫質土は認められない
㉔地点	礫質土は認められない
㉕地点	礫質土は認められない
19W7	礫質土あり (3.55m) (下位の火山礫凝灰岩が強風化)

ルートマップ(平成8年調査)に記載された『崩積土』の範囲について、標高40mより上方斜面において崩積土及び岩盤の分布状況について検討した結果、以下の特徴が認められた。

- ・崩積土分布範囲周辺の露頭(⑫地点, ⑬地点, ⑲~㉕地点)において礫質土は認められなかった。
- ・④地点及び19W7孔において、下位の火山礫凝灰岩が強風化したと考えられる礫質土が認められ、⑪地点において崩積土に類似した特徴を有する礫質土が認められた。

防波壁(西端部)周辺の地質断面図(標高40mより下方)



防波壁(西端部)周辺において整理したより詳細なルートマップ及び標高40mより上方で実施した露頭調査及びボーリング調査結果を反映した防波壁(西端部)周辺斜面の地質断面を作成した*。

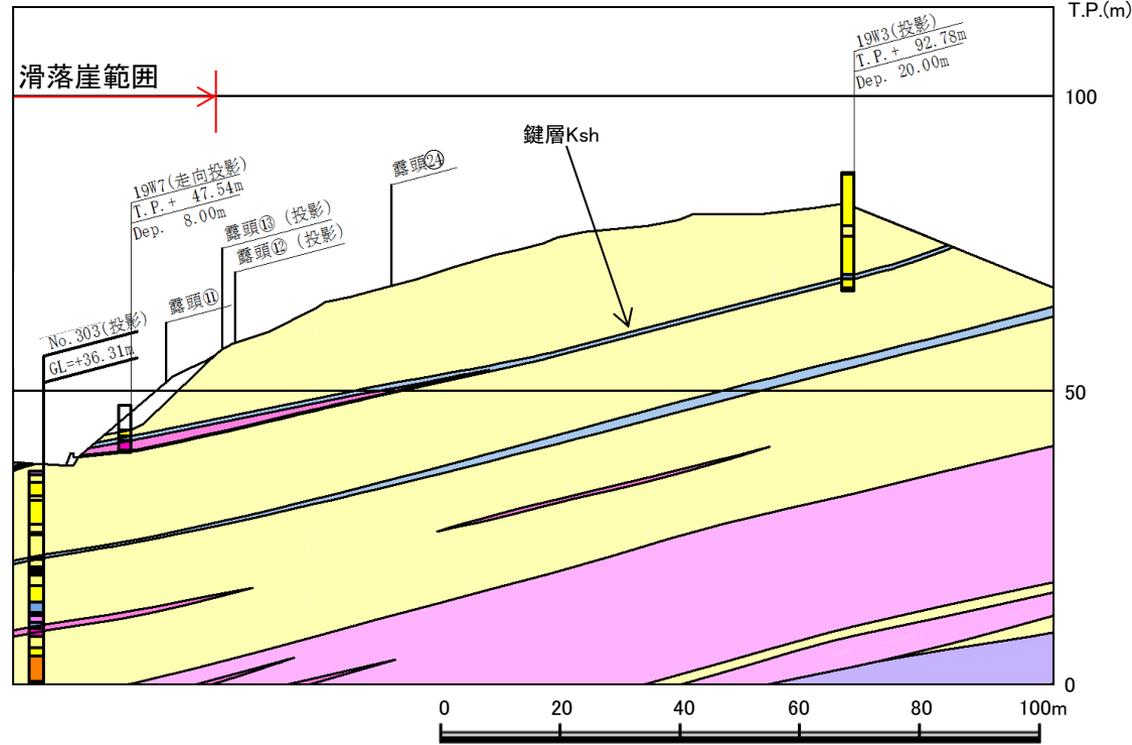
- 標高40mより下方
- ・防災科研調査結果の地滑り地形の範囲において、ボーリングコア及び開削面露頭上部に認められる層準が連続することが確認された。
 - ・表層すべりの可能性が考えられる礫質土及び粘性土についても、宇中連絡道路直前(剥ぎ取り調査地点④)まで連続し、その範囲は防災科研調査結果の地滑り地形の地滑り土塊及び表層すべり(h)に概ね対応する。また、礫質土及び粘性土の層厚は約2mである。

*標高40m付近に分布する礫質土及び粘性土については、切取後の地形を解析モデルに反映する。本編資料6.2章参照。

防波壁(西端部)周辺の地質断面図(標高40mより上方)



調査位置図

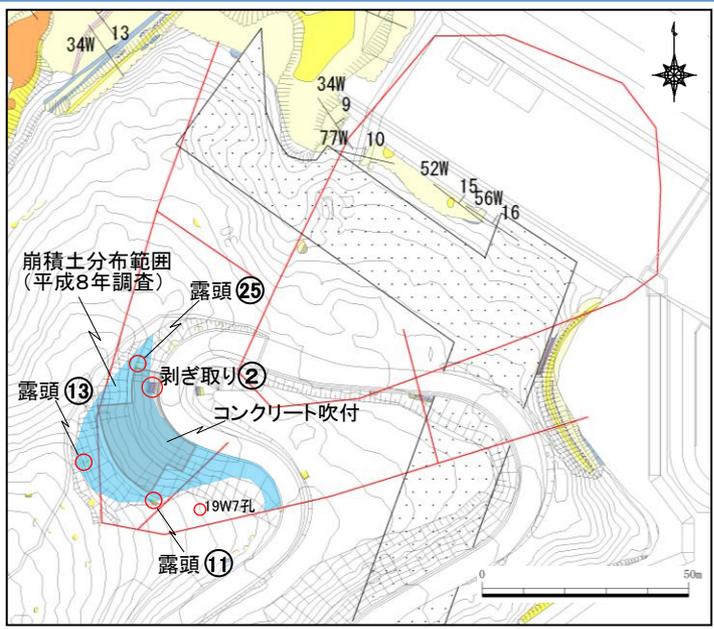


地質断面図

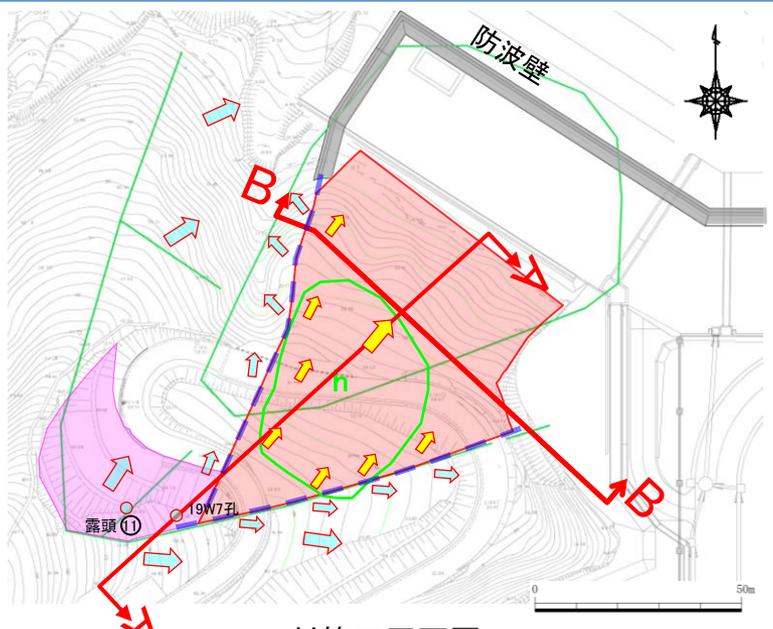
○標高40mより上方

- ・19W3孔において鍵層Kshが認められたことから、標高40mより下方で認められた地質構造が、斜面上部にも連続すると考えられる。
- ・19W7孔においてG.L.-4.17m以浅に認められた礫質土は、締まりが良く、下位の火山礫凝灰岩との境界も不明瞭で漸移的であることから、下位の火山礫凝灰岩が強風化したものと考えられる。
- ・露頭⑬より上部では、礫質土は認められず、岩盤が表土の直下に分布している。また斜面上部の19W3孔も同様に、礫質土は認められない。

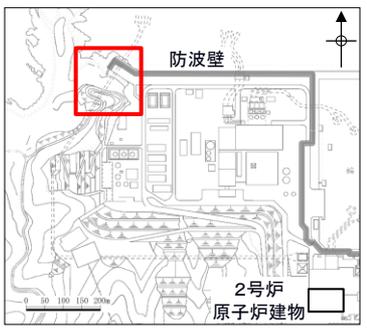
14. 防波壁西端部の地質・地質構造 調査結果を踏まえた対策工の検討



「崩積土」周辺調査位置図

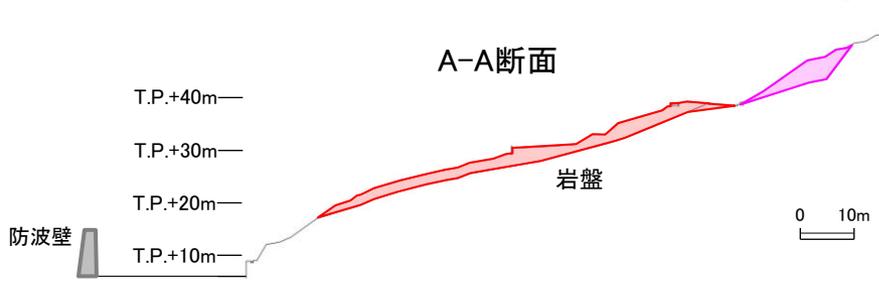


対策工平面図

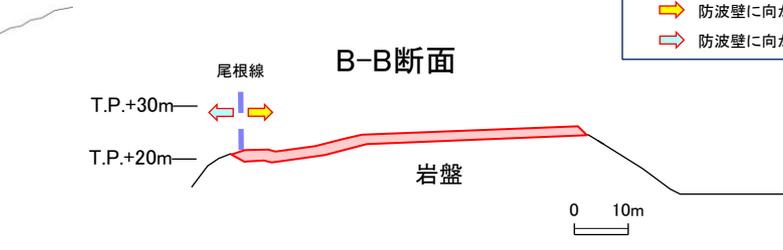


防波壁(西端部)位置図

- 凡例
- 地滑り地形(防災科研調査結果)
 - 表層すべり(自社調査結果)
 - 礫質土・粘性土撤去範囲
 - 標高40mより上方の撤去範囲
 - 尾根線
 - 防波壁に向かうすべり方向
 - 防波壁に向かわないすべり方向



A-A断面



B-B断面

対策工断面図

・防災科研調査結果の地滑り地形付近において確認された礫質土及び粘性土については、過去の表層すべりの可能性が完全に否定できないことから、防波壁周辺斜面の安定性確保のため、撤去することとする。撤去範囲は、防波壁に与える影響を考慮し、尾根線に囲まれた内側の範囲について、岩盤部までの礫質土及び粘性土を全て撤去する。

・標高40mより上方斜面では、露頭⑩、19W7孔にて礫質土が認められたことから、ルートマップ(平成8年調査)に記載された『崩積土』の範囲について、岩盤まで礫質土を全て撤去する。

参考文献

- (1) 土木学会(2009): 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>, 土木学会原子力土木研究委員会
- (2) 足立紀尚, 林田師照, 安川郁夫, 中野毅, 森本浩行(1997): 土質力学, 実教出版
- (3) 中島康介, 小高猛司, 板橋一雄, 李圭太(2009): 締固め度が礫混じり砂の力学特性に及ぼす影響, 第64回土木学会年次学術講演会
- (4) ロックフィル材料の試験と設計強度編集委員会(1982): ロックフィル材料の試験と設計強度, 土質工学会
- (5) 上本雄也, 澁谷啓, 橋元洋典, 川尻峻三(2011): 砂礫盛土材の締固め特性および変形・強度特性に及ぼす粒度特性の影響, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.2, P181-190