

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-001-03
提出年月日	2021年10月22日

VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針

2021年10月

中国電力株式会社

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 地盤の解析用物性値	3
3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	3
3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値	11
3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値	11
3.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値	11
3.2.3 その他の解析用物性値	11
4. 極限支持力	18
4.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度	18
4.2 直接基礎の支持力算定式	23
4.3 杭基礎の支持力算定式	24
5. 耐震評価における地下水位設定方針	25
5.1 基本方針	25
5.2 浸透流解析	26
5.2.1 浸透流解析を用いた設計揚圧力及び設計地下水位の設定方法	26
5.2.2 モデル化方針の設定	30
5.2.3 再現解析	36
5.2.4 予測解析	44
5.3 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定	52
5.4 屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位設定	55
5.5 設計揚圧力及び設計地下水位の保守性・妥当性の検証	57
5.5.1 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の保守性の検証	57
5.5.2 水位が低い場合の影響確認	60
5.5.3 建物・構築物における設計揚圧力の妥当性の検証	60
6. 地質断面図	61
7. 地盤の速度構造	65
7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル	65
7.2 地震応答解析に用いる解析モデル	67
8. 地盤の液状化強度特性の代表性、網羅性及び保守性	68
8.1 液状化試験試料採取位置の代表性及び網羅性	68
8.2 地盤の液状化強度特性における保守性	73

## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、設計基準対象施設並びに常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）（以下「常設重大事故等対処施設」という。）及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震安全性評価を実施するにあたり、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の地盤物性値の設定及び支持性能評価で用いる地盤諸元の基本的な考え方を示したものである。

## 2. 基本方針

設計基準対象施設，常設重大事故等対処施設及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設において，これらの対象施設を設置する地盤の物理特性，強度特性，変形特性等の解析用物性値については，各種試験に基づき設定する。また，全応力解析及び有効応力解析等に用いる解析用物性値をそれぞれ設定する。全応力解析に用いる解析用物性値は，設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した調査・試験結果に基づき設定することを基本とする。有効応力解析に用いる解析用物性値は，設計及び工事の計画の認可申請において設定する。

対象施設を設置する地盤の地震時における支持性能評価については，設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の耐震重要度分類又は施設区分に応じた地震力により地盤に作用する接地圧が，地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認することによって行う。

極限支持力度は，道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）の支持力度算定式に基づき，対象施設の支持地盤の平板載荷試験又は室内試験の結果により設定する。

杭基礎の押込み力及び引抜き力に対する支持力度評価において，液状化検討対象層である地下水位以深の埋戻土及び砂礫層の杭周面摩擦力を支持力度として考慮せず，支持力度評価を行うことを基本とする。ただし，杭周面地盤に地下水位以浅の埋戻土及び砂礫層，改良地盤，非液状化層及び岩盤がある場合は，その杭周面摩擦力を支持力度として考慮する。

耐震評価における地下水位は，地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲においては，その機能を考慮した設計地下水位を設定し，地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては，自然水位より保守的に高く設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定する。

### 3. 地盤の解析用物性値

#### 3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値

全応力解析に用いる解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を表 3-1～表 3-3 に、設定根拠を表 3-4 及び表 3-5 に示す。動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性を図 3-1～図 3-7 に示す。設置変更許可申請書に記載された解析用物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

表 3-1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値  
(岩盤)

	物理特性		強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰特性
	密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	せん断強度 $\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	残留強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 E ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	静ポアソン比 $\nu_s$	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	動ポアソン比 $\nu_d$	減衰定数 h
岩盤 (成相寺層)	頁岩	C <sub>H</sub> 級	1.14	54	1.48 $\sigma^{0.72}$	3.74	0.19	表 3-2 参照	0.03
		C <sub>M</sub> 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.95	0.20		
		C <sub>L</sub> 級	0.28	45	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.54	0.20		
	頁岩と凝灰岩 の互層	C <sub>H</sub> 級	1.14	54	1.28 $\sigma^{0.72}$	3.74	0.19		
		C <sub>M</sub> 級	0.92	54	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.95	0.20		
		C <sub>L</sub> 級	0.28	28	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.20		
	凝灰岩・ 凝灰角礫岩	C <sub>H</sub> 級	1.54	55	1.28 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.19		
		C <sub>M</sub> 級	1.14	47	0.34 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.20		
		C <sub>L</sub> 級	0.60	28	0.34 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25		
	ドレライト	C <sub>H</sub> 級	2.14	52	1.56 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.22		
		C <sub>M</sub> 級	1.58	52	0.36 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.25		
		C <sub>L</sub> 級	0.83	43	0.36 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25		
C <sub>H</sub> 級		2.14	52	1.56 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.25			
C <sub>M</sub> 級		1.58	52	0.36 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
C <sub>L</sub> 級		0.83	43	0.36 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
岩盤 (貫入岩)	安山岩	C <sub>H</sub> 級	2.68	52	1.56 $\sigma^{0.72}$	7.78	0.25		
		C <sub>M</sub> 級	1.58	52	0.36 $\sigma^{0.54}$	1.47	0.25		
		C <sub>L</sub> 級	0.83	43	0.36 $\sigma^{0.54}$	0.43	0.25		

表 3-2 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値  
(岩盤)

	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )						動ポアソン比 $\nu_d$					
	第1 速度層	第2 速度層	第3 速度層	第4 速度層	第5 速度層	第6 速度層	第1 速度層	第2 速度層	第3 速度層	第4 速度層	第5 速度層	第6 速度層
頁岩	C <sub>II</sub> 級	0.16	2.08	6.58	9.77	10.28	14.19					
	C <sub>III</sub> 級	0.16	2.04	6.45	9.58	10.08	13.92					
	C <sub>I</sub> 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47					
	C <sub>II</sub> 級	0.16	2.07	6.55	9.73	10.24	14.14					
	C <sub>III</sub> 級	0.16	2.02	6.37	9.47	9.96	13.75					
	C <sub>I</sub> 級	0.15	1.89	5.96	8.86	9.32	12.87					
岩盤 (成相寺層)	C <sub>II</sub> 級	0.16	2.03	6.43	9.54	10.04	13.86					
	C <sub>III</sub> 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47	0.45	0.39	0.38	0.34	0.35
	C <sub>I</sub> 級	0.14	1.86	5.89	8.75	9.20	12.70					
	C <sub>II</sub> 級	0.17	2.25	7.12	10.57	11.12	15.35					
	C <sub>III</sub> 級	0.16	2.11	6.66	9.89	10.40	14.36					
	C <sub>I</sub> 級	0.16	2.05	6.48	9.62	10.12	13.97					
ドレイイト	C <sub>II</sub> 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C <sub>III</sub> 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C <sub>I</sub> 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					
岩盤 (貫入岩)	C <sub>II</sub> 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C <sub>III</sub> 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C <sub>I</sub> 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					

表 3-3 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値  
(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR・改良地盤)

	物理特性		強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰特性			
	密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	せん断 強度 $\tau_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	内部 摩擦角 $\phi$ (°)	残留強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	動せん断 弾性係数 $G_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	動ポアソン 比 $\nu_d$	減衰定数 h				
D級岩盤	2.28	0.11	6	$0.11 + \sigma \tan 6^\circ$	$141 \sigma^{0.39}$	$G_0 = 148 \sigma^{0.49}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00062)$	0.45	$\gamma \leq 1 \times 10^{-4} : h = 0.023$ $\gamma > 1 \times 10^{-4} : h = 0.023 + 0.071 \cdot \log(\gamma / 0.0001)$				
シーム	2.23	0.19	18	$0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$G_{0.5} = 44 \sigma^{0.34}$	$G_0 = 225 \sigma^{0.31}$ $G/G_0 = 1 / [1 + (\gamma / 0.00149)^{0.959}]$	0.45	$h = \gamma / (2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$				
埋戻土、盛土	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	$G_0 = 749 \sigma^{0.66}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$				
埋戻土 (購入土)	2.01	0.04	21	$0.04 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 227 \sigma^{0.75}$	$G_0 = 275 \sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00048)$	0.45	$h = 0.2179 \gamma / (\gamma + 0.00085)$				
旧表土	2.00	0.03	21	$0.03 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 37 \sigma^{0.79}$	$G_0 = 240 \sigma^{0.61}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0011)$	0.45	$h = 0.20 \gamma / (\gamma + 0.000413)$				
MMR	2.35	—	—	—	23,500	9,792	0.20	0.05				
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)	2.44	1.14	47	$0.34 \sigma^{0.54}$	1,470	6,250	0.38	0.03				
改良地盤 I (薬液注入工法)	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	$G_0 = 749 \sigma^{0.66}$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$				
改良地盤 II (薬液注入工法)	2.11	0.63	38	$0.63 + \sigma \tan 38^\circ$	1,087	$G_0 = 409$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33					
									0.49	898	0.33	$G_0 = 338$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$
改良地盤 ③	2.11	1.14	41	$1.14 + \sigma \tan 41^\circ$	2,088		0.33					





表 3-5 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠  
(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR・改良地盤)

	物理特性	強度特性		変形特性				減衰特性
		ピーク強度	残留強度	静的特性		動的特性		
				静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数	動ポアソン比	減衰定数
D 級岩盤		中型三軸圧縮試験		中型三軸圧縮試験		動的中型三軸圧縮試験	慣用値*2	動的中型三軸圧縮試験
シーム		単純せん断試験		単純せん断試験		動的単純せん断試験		動的単純せん断試験
埋戻土, 盛土	密度試験 (飽和)	大型三軸圧縮試験	ピーク強度と同じ値	大型三軸圧縮試験	慣用値*2	動的大型三軸圧縮試験	慣用値*3	動的大型三軸圧縮試験
埋戻土 (購入土)		三軸圧縮試験		三軸圧縮試験		繰返し中空ねじりせん断試験		繰返し中空ねじりせん断試験
旧表土						動的三軸圧縮試験		動的三軸圧縮試験
MMR		—	—	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)								
改良地盤 I (薬液注入工法)								
改良地盤 II (薬液注入工法)	密度試験 (飽和) (埋戻土, 盛土を流用)	せん断強度は PS 検層に基づく換算値 内部摩擦角は簡易設定法に用いた N 値に基づく換算値	ピーク強度と同じ値	PS 検層に基づく換算値	慣用値*4	Go は PS 検層ひずみ依存特性は動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土, 盛土を流用)	慣用値*4	動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土, 盛土を流用)

注記 \*1: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (社団法人土木学会, 1992 年・2005 年) を参考に設定  
 \*2: 設計用地盤定数の決め方・岩盤編一 (社団法人地盤工学会, 2007 年) を参考に設定  
 \*3: 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) (社団法人土木学会, 2009 年) を参考に設定  
 \*4: 港湾の施設技術上の基準・同解説 (公益社団法人日本港湾協会, 2018 年) を参考に設定

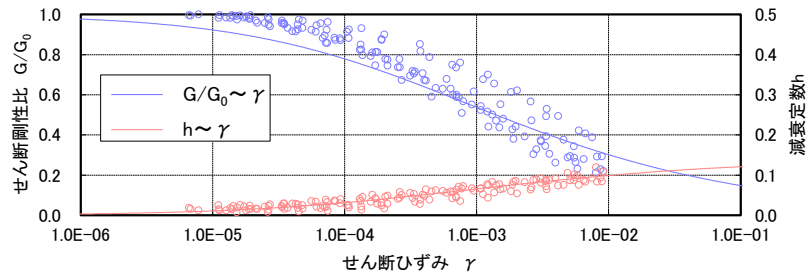


図 3-1 D級岩盤（頁岩，頁岩・凝灰岩の互層）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

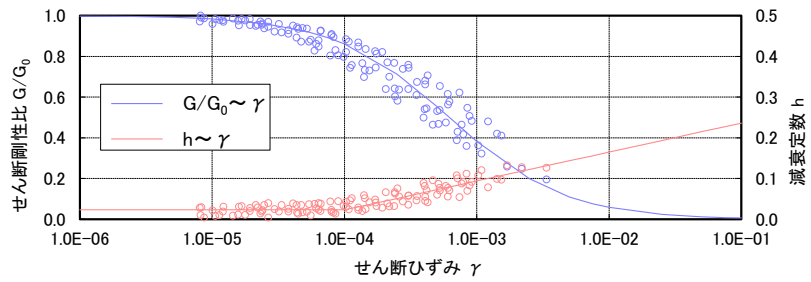


図 3-2 D級岩盤（凝灰岩・凝灰角礫岩）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

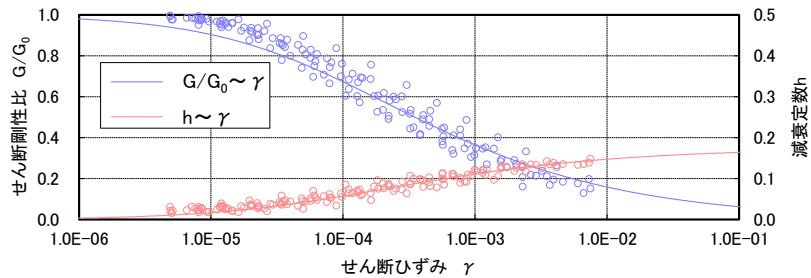


図 3-3 D級岩盤（ドレライト・安山岩）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

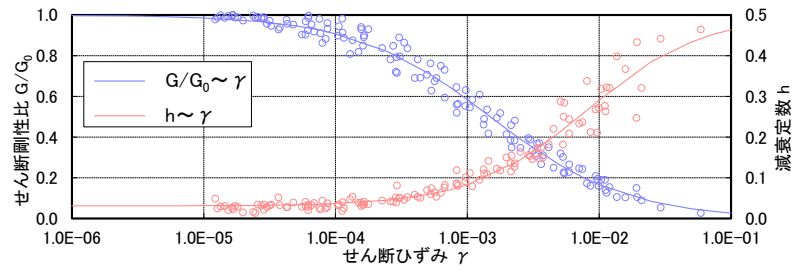


図 3-4 シームの動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

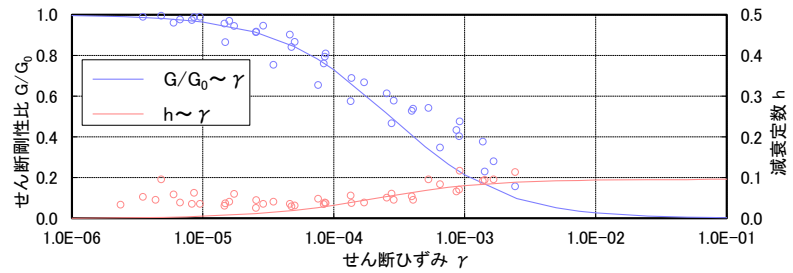


図 3-5 埋戻土・盛土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

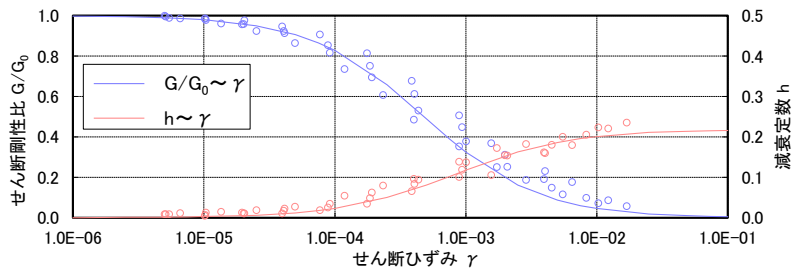


図 3-6 埋戻土（購入土）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

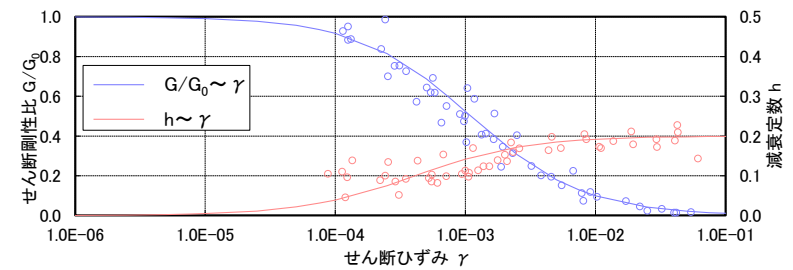


図 3-7 旧表土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

### 3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値を表 3-6～表 3-10 に、その設定根拠を表 3-11～表 3-15 に示す。

#### 3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値

建物・構築物及び土木構造物の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する必要がある場合は、有効応力解析を実施する。

地盤の液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法により決定される液状化強度を用いて設定する。

設置変更許可申請書における解析用物性値は全応力解析用に設定しているため、液状化検討対象層の物理的及び力学的特性から、表 3-6、表 3-7、表 3-11 及び表 3-12 のとおり、各層の有効応力解析に必要な物性値を設定する。

なお、地盤の物理的及び力学的特性は、日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）等の基準に基づいた試験の結果及び文献等を踏まえ設定することとした。

#### 3.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値

改良地盤については、対象設備別、工法別に、原位置試験、室内試験及び文献等を踏まえ設定することとし、表 3-8 及び表 3-13 のとおり、解析用物性値を設定する。

#### 3.2.3 その他の解析用物性値

##### (1) 防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）における岩盤

防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）における岩盤については、表 3-9 及び表 3-14 のとおり、解析用物性値を設定する。

##### (2) 砕石

取水管における砕石については、文献に基づき、表 3-10 及び表 3-15 のとおり解析用物性値を設定する。

表 3-6 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）  
（液状化検討対象層）

		埋戻土	砂礫層	
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.11 【2.00】	2.05	
	間隙率 $n$	0.45	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{sa}$ (kN/m <sup>2</sup> )	154,600	225,400	
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{sa}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98	98	
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33	
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.095	0.095	
強度特性	粘着力 $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	0	0	
	内部摩擦角 $\phi'$ (°)	40.17	38.74	
液状化特性	変相角 $\phi_p$ (°)	28	28	
	液状化パラメータ	S1	0.005	0.005
		w1	4.080	4.020
		P1	0.5	0.5
		P2	0.990	1.100
C1		2.006	1.916	

注：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。  
動せん断弾性係数、内部摩擦角及び液状化パラメータは代表的な数値を示す。

表 3-7 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）  
（非液状化層）

		埋戻土（粘性土）	基礎捨石及び被覆石
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.07 【2.03】	2.04 【1.84】
	間隙率 $n$	0.55	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{sa}$ (kN/m <sup>2</sup> )	186,300	180,000
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{sa}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	151.7	98
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.095	0.24
強度特性	粘着力 $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	0	20
	内部摩擦角 $\phi'$ (°)	30	35

注：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。  
動せん断弾性係数及び基準平均有効拘束圧は代表的な数値を示す。

表 3-8 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）  
（改良地盤）

対象施設		防波壁				
		多重鋼管杭式擁壁		逆T擁壁		波返重力擁壁
種別（工法，地盤種別）		改良地盤① （薬液注入）	改良地盤② （高压喷射）	改良地盤① （薬液注入，浅層）	改良地盤② （薬液注入，深層）	改良地盤 （高压喷射）
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.05	2.11	2.11	2.11	2.05
	間隙率 $n$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )	886,300	368,100	357,400	799,800	360,500
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98	98	98	98	98
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
強度特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	230	1,250	490	570	1,250
	内部摩擦角 $\phi'$	38.74	—	40.57	40.57	—

注：動せん断弾性係数，粘着力及び内部摩擦角は代表的な数値を示す。

表 3-9 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）  
（防波壁（逆T擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）における岩盤）

		岩盤②速度層	岩盤④速度層	岩盤⑤速度層	岩盤⑥速度層	岩盤⑦速度層
P波速度	$V_p$ (m/s)	1710	3240	3860	4150	3800
S波速度	$V_s$ (m/s)	620	1520	1900	2100	1770
単位体積重量	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	23.3	24.5	25.2	24.4	25.1
動ポアソン比	$\nu_d$	0.42	0.36	0.34	0.33	0.36
減衰定数	$h$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

表 3-10 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）  
（碎石）

対象施設		取水管
種別（地盤種別）		碎石
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.57
変形特性	動せん断弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	19,000
	ポアソン比 $\nu$	0.45
	基準ひずみ $\gamma_{0.5}$	$6.511 \times 10^{-3}$
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.1938

注： $\gamma$  はせん断ひずみ（%）を示す。



表 3-11 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(有効応力解析)(液状化検討対象層)

		埋戻土	砂礫層	
物理特性	密度 $\rho$	物理試験		
	間隙率 $n$	慣用値 <sup>*1</sup>		
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{sm}$	動的変形特性に基づき設定	PS検層によるS波速度、密度に基づき設定	
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{sm}'$	慣用値 <sup>*1</sup>		
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*1</sup>		
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	動的変形特性に基づき設定		
強度特性	粘着力 $c'$	慣用値 <sup>*1</sup>		
	内部摩擦角 $\phi'$	文献 <sup>*1</sup> からN値(原位置試験)と有効上載圧により設定		
液状化特性	変相角 $\phi_D$	文献 <sup>*1,*2</sup> からN値(原位置試験), 有効上載圧及び細粒分含有率(物理試験)により設定		
	液状化パラメータ			S1
				w1
				P1
				P2
	C1			

注記\*1: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法(港湾技研資料No.869, 平成9年6月)

\*2: FLIPの解析における解析精度向上に関する諸検討成果報告書(付録)(第2期FLIP研究会解析精度向上作業部会, 2004.6)

表 3-12 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(有効応力解析)(非液状化層)

		埋戻土(粘性土)	基礎捨石及び被覆石
物理特性	密度 $\rho$	物理試験	慣用値 <sup>*1</sup>
	間隙率 $n$	慣用値 <sup>*1</sup>	
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{sm}$	PS検層によるS波速度、密度に基づき設定	
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{sm}'$	$G_{sm}$ に対応する値	
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*1</sup>	
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	動的変形特性に基づき設定	
強度特性	粘着力 $c'$	慣用値 <sup>*1</sup>	
	内部摩擦角 $\phi'$	慣用値 <sup>*1</sup>	

注記\*1: 港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター, 平成19年3月)

表 3-13 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(有効応力解析) (改良地盤)

対象施設		防波壁			
		多重鋼管杭式擁壁		逆T擁壁	波返重力擁壁
種別 (地盤種別)		改良地盤① (薬液注入)	改良地盤② (高圧噴射)	改良地盤①, ② (薬液注入)	改良地盤 (高圧噴射)
物理特性	密度 $\rho$	原地盤の物性値を設定			
	間隙率 $n$	原地盤の物性値を設定			
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	設計S波速度, 密度に基づき設定	設計S波速度, 密度に基づき設定	設計S波速度, 密度に基づき設定
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$	原地盤の物性値を設定			
	ポアソン比 $\nu$	原地盤の物性値を設定			
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	原地盤の物性値を設定			
強度特性	粘着力 $c$	強度試験結果, 文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	設計強度, 文献 <sup>*2</sup> に基づき設定	設計強度, 文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	設計強度, 文献 <sup>*2</sup> に基づき設定
	内部摩擦角 $\phi$	原地盤の物性値を設定	—	原地盤の物性値を設定	—

注記\*1: 浸透固化処理工法技術マニュアル2010年版, 沿岸開発技術研究センター

\*2: 地盤工学会用語辞典 (地盤工学会, 2006.3)

表 3-14 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(有効応力解析) (防波壁 (逆T擁壁) 及び防波壁 (波返重力擁壁) における岩盤)

		岩盤②速度層	岩盤④速度層	岩盤⑤速度層	岩盤⑥速度層	岩盤⑦速度層
P波速度	$V_p$ (m/s)	PS検層				
S波速度	$V_s$ (m/s)	PS検層				
単位体積重量	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	密度試験				
動ポアソン比	$\nu_d$	PS検層				
減衰定数	$h$	慣用値				

表 3-15 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(全応力解析) (碎石)

対象施設		取水管
種別 (地盤種別)		碎石
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	文献*1
変形特性	動せん断弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	文献*1
	ポアソン比 $\nu$	慣用値*2
	基準ひずみ $\gamma_{0.5}$	文献*1の動的変形特性に基づき設定
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献*1の動的変形特性に基づき設定

注記\*1 : 大型せん断リング土槽振動実験によるレキ材の動的変形特性 (港湾技研資料No. 663, 1990年3月)

\*2 : 埋立地の液状化対策ハンドブック (改訂版) (財団法人沿岸開発技術研究センター, 平成9年)

#### 4. 極限支持力

極限支持力度は、平板載荷試験結果又は道路橋示方書の支持力算定式に基づき設定することを基本とする。

##### 4.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度

基礎地盤（岩盤）の極限支持力度を表 4-1 に示す。

基礎地盤（岩盤）の極限支持力度は、設置変更許可申請書（添付資料六）に示した平板載荷試験結果を基に設定する。設置許可変更申請書（添付資料六）に示した平板載荷試験実施位置を図 4-1、平板載荷試験結果を図 4-2～図 4-4 に示す。なお、基礎地盤の短期許容支持力度は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）に基づき、極限支持力度の 2/3 として設定する。

表 4-1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度

岩級	極限支持力度* (N/mm <sup>2</sup> )
C <sub>H</sub> 級	11.7
C <sub>M</sub> 級	
C <sub>L</sub> 級	3.9

注記\*: C<sub>H</sub>級及びC<sub>M</sub>級の岩盤は 120kg/cm<sup>2</sup> (11.7N/mm<sup>2</sup>) を載荷しても破壊しないことから、極限支持力度を 11.7N/mm<sup>2</sup> とした。なお、設置変更許可申請書（添付資料六）では、評価基準値として 100 kg/cm<sup>2</sup> (9.8N/mm<sup>2</sup>) 以上としている。C<sub>L</sub>級の岩盤は 40kg/cm<sup>2</sup> (3.9N/mm<sup>2</sup>) を載荷しても破壊しないことから、極限支持力度を 3.9N/mm<sup>2</sup> とした。なお、設置変更許可申請書（添付資料六）では、評価基準値として 40 kg/cm<sup>2</sup> (3.9N/mm<sup>2</sup>) 以上としている。

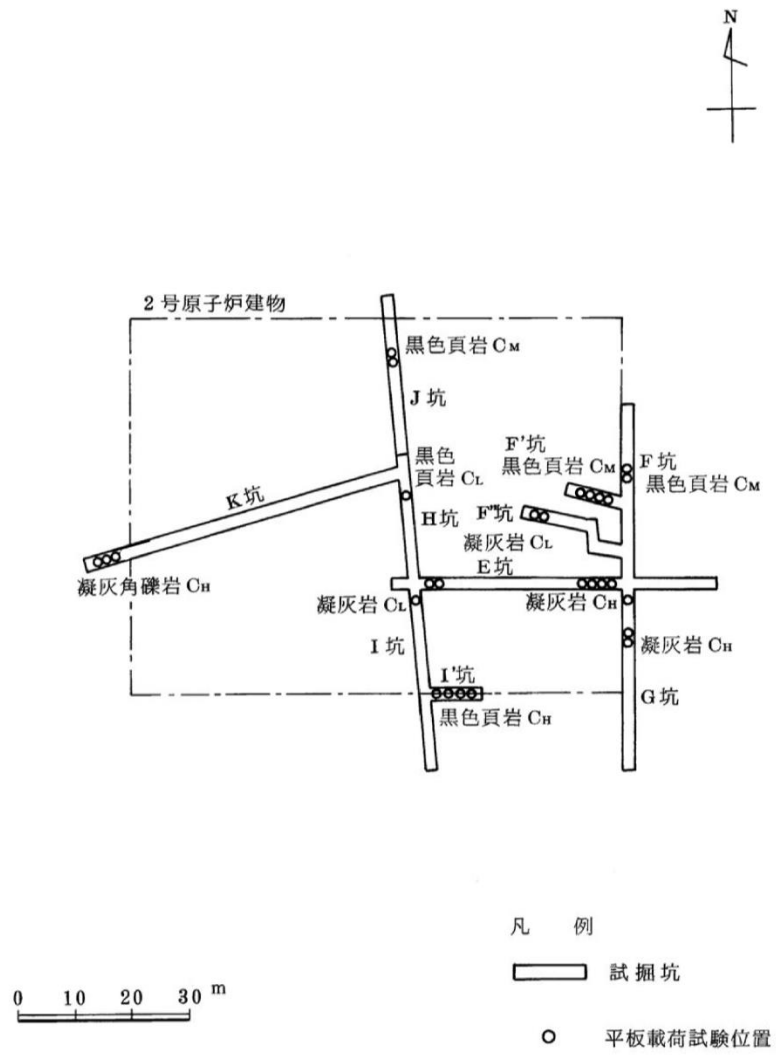


图 4-1 平板載荷試驗實施位置

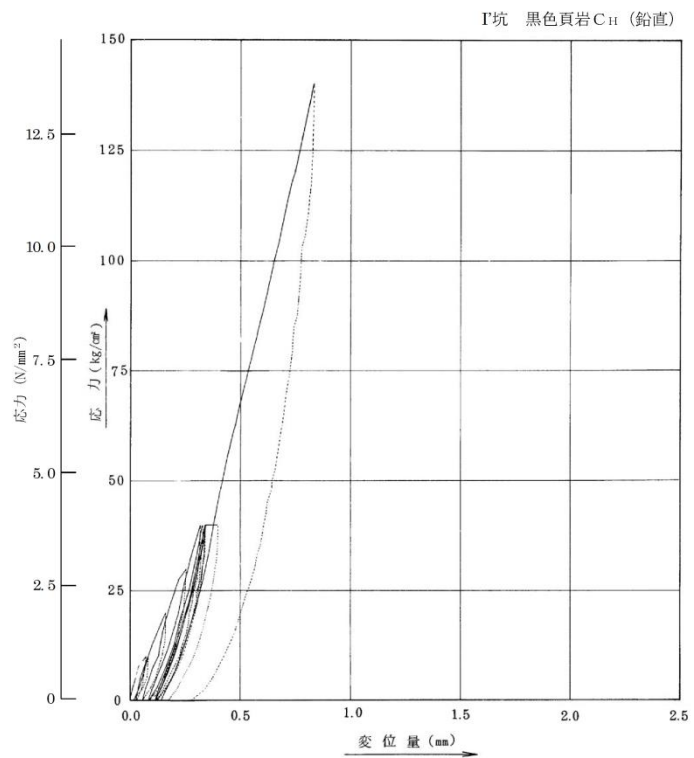
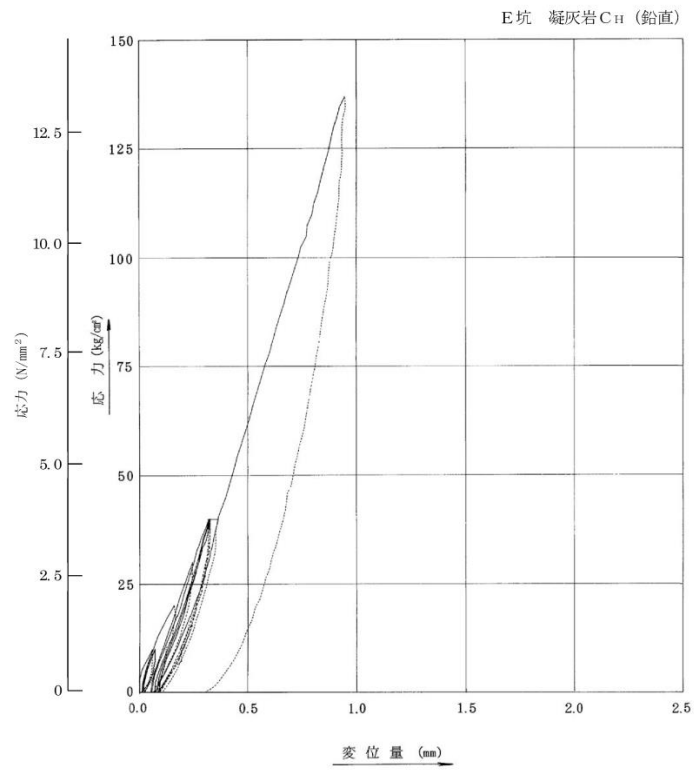


図 4-2 平板載荷試験結果 (C<sub>H</sub>級)

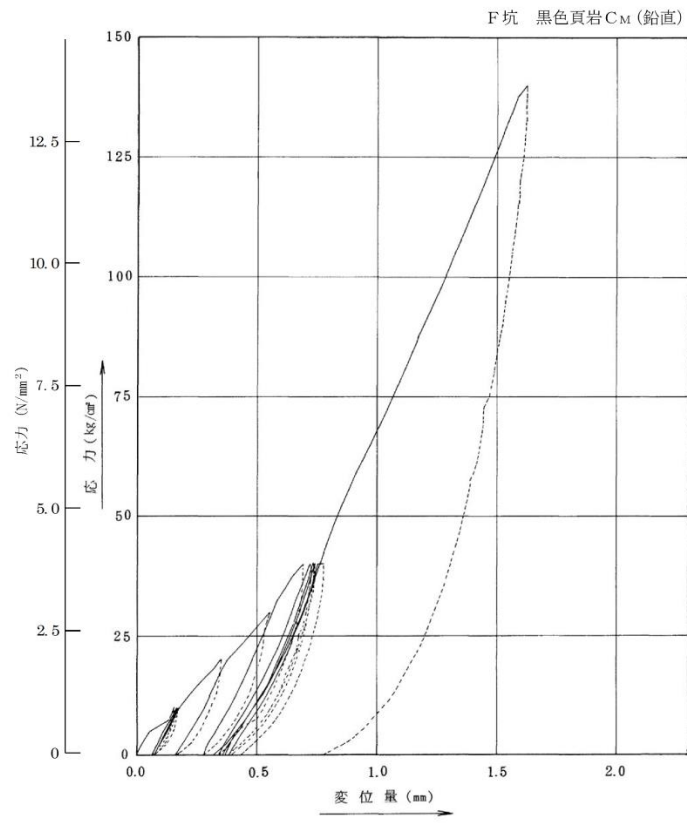


图 4-3 平板載荷試驗結果 (C<sub>M</sub>級)

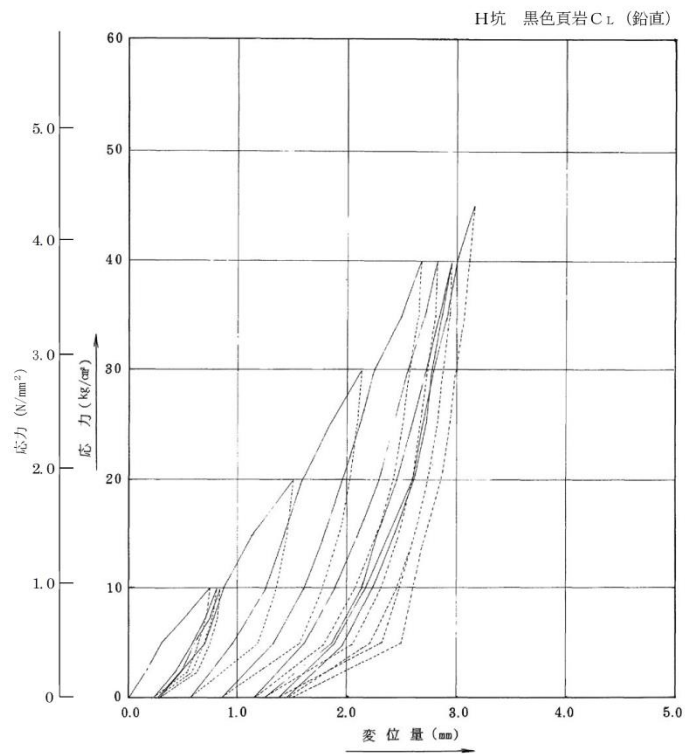
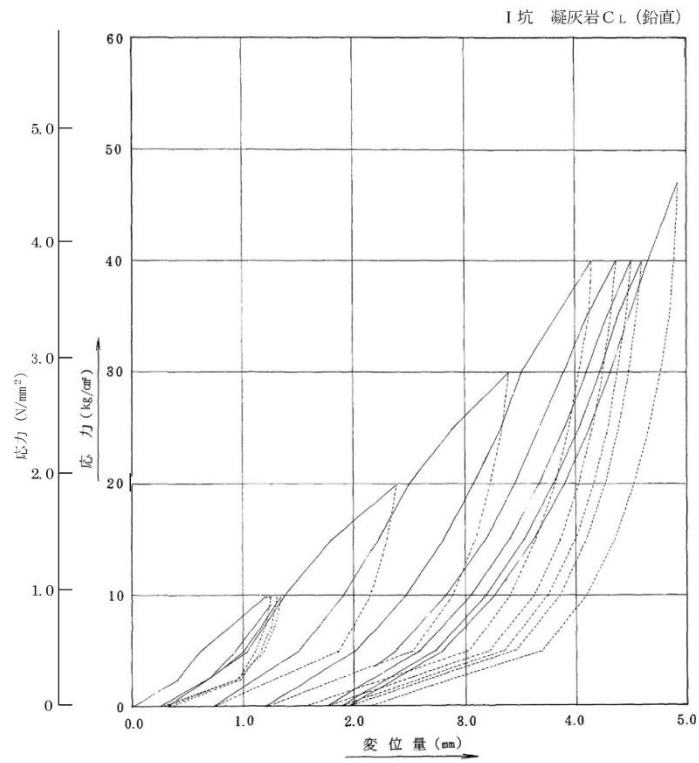


図 4-4 平板載荷試験結果 (C<sub>L</sub>級)



## 4.2 直接基礎の支持力算定式

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

- ・道路橋示方書による極限支持力算定式（直接基礎）

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

ここで、

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

$c$  : 地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$q$  : 上載荷重 (kN/m<sup>2</sup>) で，  $q = \gamma_2 \cdot D_f$

$A_e$  : 有効載荷面積 (m<sup>2</sup>)

$\gamma_1, \gamma_2$  : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

ただし，地下水位以下では水中単位体積重量とする。

$B_e$  : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 \cdot e_B$$

$B$  : 基礎幅 (m)

$e_B$  : 荷重の偏心量 (m)

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)

$\alpha, \beta$  : 基礎の形状係数

$\kappa$  : 根入れ効果に対する割増し係数

$N_c, N_q, N_\gamma$  : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

$S_c, S_q, S_\gamma$  : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

#### 4.3 杭基礎の支持力算定式

杭基礎の押し込み力及び引抜き力に対する支持力評価において、液状化検討対象層である地下水位以深の埋戻土及び砂礫層の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭周面地盤に地下水位以浅の埋戻土及び砂礫層、改良地盤、非液状化層及び岩盤がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

##### ・道路橋示方書による極限支持力算定式（杭基礎〔中掘り工法〕）

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

ここで、

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

$q_d$  : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

$q_u$  : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$A$  : 杭先端面積 (m<sup>2</sup>)

$U$  : 杭の周長 (m)

$L_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

$f_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

## 5. 耐震評価における地下水位設定方針

### 5.1 基本方針

防波壁の設置及び地盤改良により山から海に向かう地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が上昇するおそれがあることを踏まえ、原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力及び液状化影響の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するための地下水位低下設備を設置する。

耐震評価において、地下水位の影響を受ける施設（以下「評価対象施設\*1」という。）について、この地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）においては、その機能を考慮した設計揚圧力及び設計地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。また、地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては、自然水位\*2より保守的に高く設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。

注記\*1：評価対象施設は、EL 8.5m 盤，EL 15.0m 盤，EL 44.0m 盤及び EL 50.0m 盤エリアに設置される設計基準対象施設及び常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）。

\*2：自然水位とは、地下水位低下設備等の人為的な措置の影響が含まれない地下水位を指す。浸透流解析結果により地下水位を設定する際には、地下水位低下設備の機能を考慮しない。

## 5.2 浸透流解析

### 5.2.1 浸透流解析を用いた設計揚圧力及び設計地下水位の設定方法

5.1 に示す設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針を踏まえ、本章では地下水位低下設備の機能を考慮し浸透流解析により設計揚圧力及び設計地下水位を設定する手順について説明する。

#### (1) 浸透流解析の目的

設置変更許可時の方針を踏まえ、妥当な解析モデルを用いて、将来的な施設配置を考慮した設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く設定することを目的とする。

#### (2) 解析手順の設定における考慮事項

地下水位低下設備の機能を考慮した設計揚圧力及び設計地下水位の設定において参照する浸透流解析については、以下の事項に考慮し解析フローを定めた。

- ・地下水流動場を表現するための情報が入手できることを確認する。
- ・地下水流動の特徴を表現できる解析コードを選択する。
- ・地下水流動場を表現できる解析領域を設定する。
- ・地下水流動に影響を与える要素（地形・地質構造，造成形状，水理特性，ドレーン及び地中構造物等）を適切にモデルに反映する。
- ・水理的挙動に影響を与えるパラメータを適切に設定する。
- ・地下水位の観測値と解析値の比較等によりモデルの妥当性を確認する。

#### (3) 解析手順の設定

(1) に示した解析の目的及び(2) に示した考慮事項を踏まえ、水収支が閉じる領域として、敷地周辺の分水嶺までの範囲を対象とした再現解析モデル（1，2号機エリア及び3号機エリア）を作成し、観測降雨を付与した再現解析（定常解析）を行い、地下水位の観測値と解析値の比較を行うことでモデルの妥当性を確認する。

この上で、解析目的を達成するため、以下を考慮した予測解析（定常解析）を行い、評価対象施設の耐震設計において参照する解析水位を算定する。

- ・将来的な造成形状，ドレーン及び地中構造物等を反映する。
- ・保守的に地下水位の高い解析結果を得られるよう，ドレーンは信頼性の確保状況に応じて有効範囲を設定し，水理的挙動に影響を与えるパラメータを保守的に設定する。

上記により得られた解析水位を保守的に高く包絡するように，設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。

設定した設計揚圧力及び設計地下水位が有する保守性について，観測水位との比較を行い，検証する。

また，設計地下水位より十分に低い地下水位を設定し，耐震性への影響検討を実施する。

(4) 設計揚圧力及び設計地下水位の設定フロー

(1)～(3)の整理を踏まえ，設計揚圧力及び設計地下水位の設定フローを図 5-1 に示す。

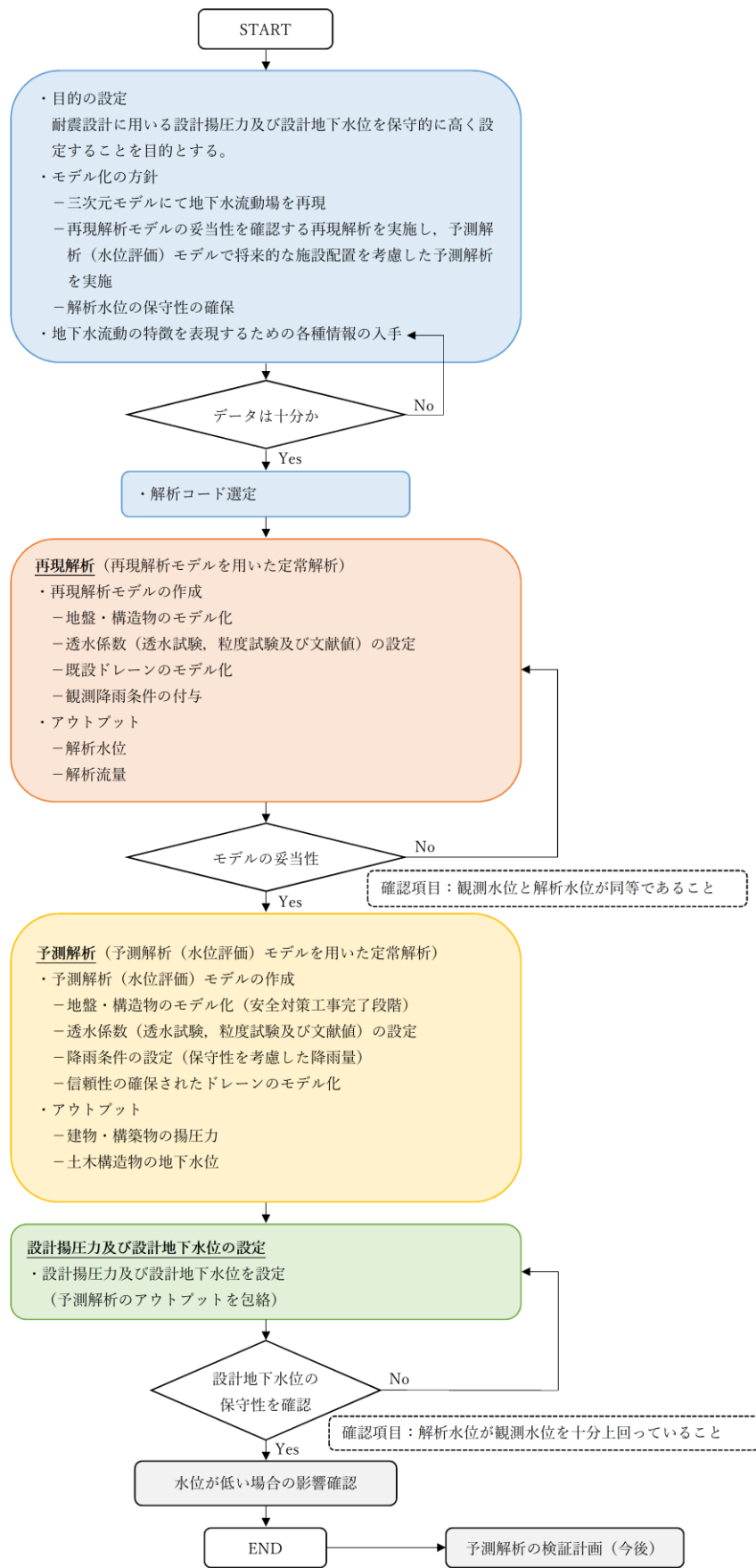


図 5-1 設計揚圧力及び設計地下水水位の設定フロー

(5) 参考文献

- 地下水流動解析のガイドラインに関する調査（長谷川琢磨，地下水学会誌第 48 巻第 2 号 75～86（2006））
- 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方（社団法人土木学会（2008））
- 流域スケールにおける反応性窒素移動過程のモデル化と実流域への適用性検討（森康二ほか，地下水学会誌第 58 巻第 1 号 63～86（2016））
- 水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告-福島県大野盆地における事例-（西村宗倫ほか，地下水学会誌第 59 巻第 2 号 125～158（2017））
- 流域モデリングの水循環解析への適用とその実際（田原ほか，日本地下水学会 2014 年度秋季講演会講演予稿，158-163（2014））
- Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents (Mori Koji et al, Environmental Modelling & Software, 72, 126-146 (2015) )

## 5.2.2 モデル化方針の設定

### (1) モデル化の方針

島根原子力発電所においては、建設時の工事計画認可時に実施した浸透流解析（2次元浸透流解析）により建物・構築物の設計揚圧力を設定している。

防波壁の設置及び地盤改良並びに地下水位低下設備の新設により、敷地内の地下水の流動場は従前の山から海に向かう1方向の流れから将来的に変化すると考えられることを踏まえ、3次元に拡張した浸透流解析により、定常的な地下水位分布を算定する。

モデルの妥当性は、分水嶺までの範囲を模擬した再現解析モデル（1，2号機エリア及び3号機エリア）を用いて地下水位観測孔（図5-2）における観測水位（表5-1）の再現性を確認することにより行うが、敷地の改変（安全対策工事に伴う造成等）時期を考慮し、再現性の確認を行う時期に対応したモデル化を行う。この際に用いる透水係数は、透水試験，粒度試験及び文献値に基づき設定する。

この上で、予測解析においては揚圧力及び地下水位が保守的に高く算出されるよう、降雨条件を保守的に設定した定常解析を行う。造成形状や構造物は安全対策工事完了段階に対応したモデル化を行い、地下水位低下設備は信頼性が確保された範囲に限定する。



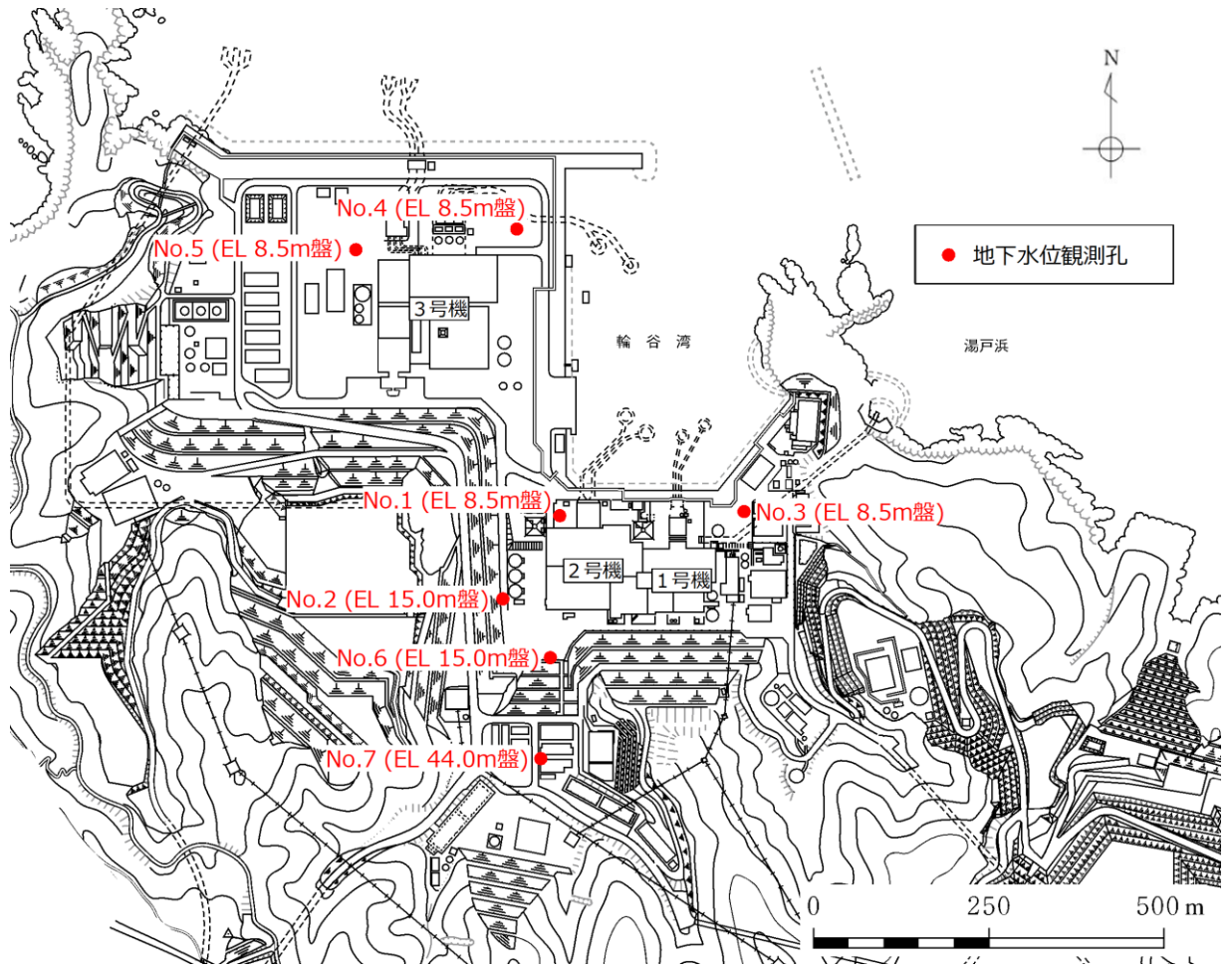


図 5-2 地下水観測孔位置図

表 5-1 觀測水位一覽表

觀測孔	觀測期間	觀測水位 (EL m)		觀測最高 地下水位 計測時期	備考
		最高	平均		
No. 1	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	1. 79	2018. 6. 29	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 58		
No. 2	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	3. 59	2018. 10. 1	EL 15. 0m 盤
		平均	-2. 26		
No. 3	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	1. 43	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 82		
No. 4	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	4. 03	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	2. 27		
No. 5	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	4. 12	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	1. 85		
No. 6	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	6. 74	2020. 7. 14	EL 15. 0m 盤
		平均	-0. 69		
No. 7	2014. 11. 1～ 2020. 9. 30	最高	7. 97	2018. 7. 7	EL 44. 0m 盤
		平均	4. 96		

(2) モデル化に用いるデータの収集

(1)に示すモデル化の方針を具体化するにあたり，地下水流動場を表現するために参照するデータを表5-2に示す。

表5-2 解析において参照するデータ

種類	内容	参照するデータ
地盤	・地形の情報（図面，数値標高モデル（DEM）等）	・DEM（数値標高モデル，国土地理院） ・工事記録による造成履歴 ・安全対策工事計画（工事完了時の状態）
	・敷地の地質・地質構造の情報（敷地造成を含む）	・地質調査に基づく敷地の地質・地質構造 ・敷地造成に係る図面等
気象	・降水量	・構内観測所データ ・気象庁データ
水理	・水理特性 ・検証において参照する地下水位観測記録	・原位置透水試験結果等 ・地下水位観測記録
構造物	・地中構造物	・工事記録 ・設計計算書等
排水設備等	・地下水位低下設備，構内排水設備	・工事記録 ・設計計算書等
その他	・既往の地下水位設定方法	・建設時の工事計画認可時において実施した2次元浸透流解析

(3) データの十分性

(2)の整理から、浸透流解析モデルの構築にあたり必要なデータを収集していることを確認した。

また、モデルの妥当性の確認に用いる観測記録については、主要な評価対象施設が配置される EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤並びに施設や敷地造成が地下水位に与える影響が相対的に小さいと考えられる EL 44.0m 盤の高台を含めて偏りなく複数設定しており、これらのデータを活用し地下水流動場の検証を行うことが可能であることを確認した。

(4) 解析コードの選定

地下水の挙動を取扱うことができる解析コード「Dtransu-3D・EL ver.2af90MP」を使用する。

(5) 対象施設の抽出

評価対象施設の配置を図 5-3 に示す。

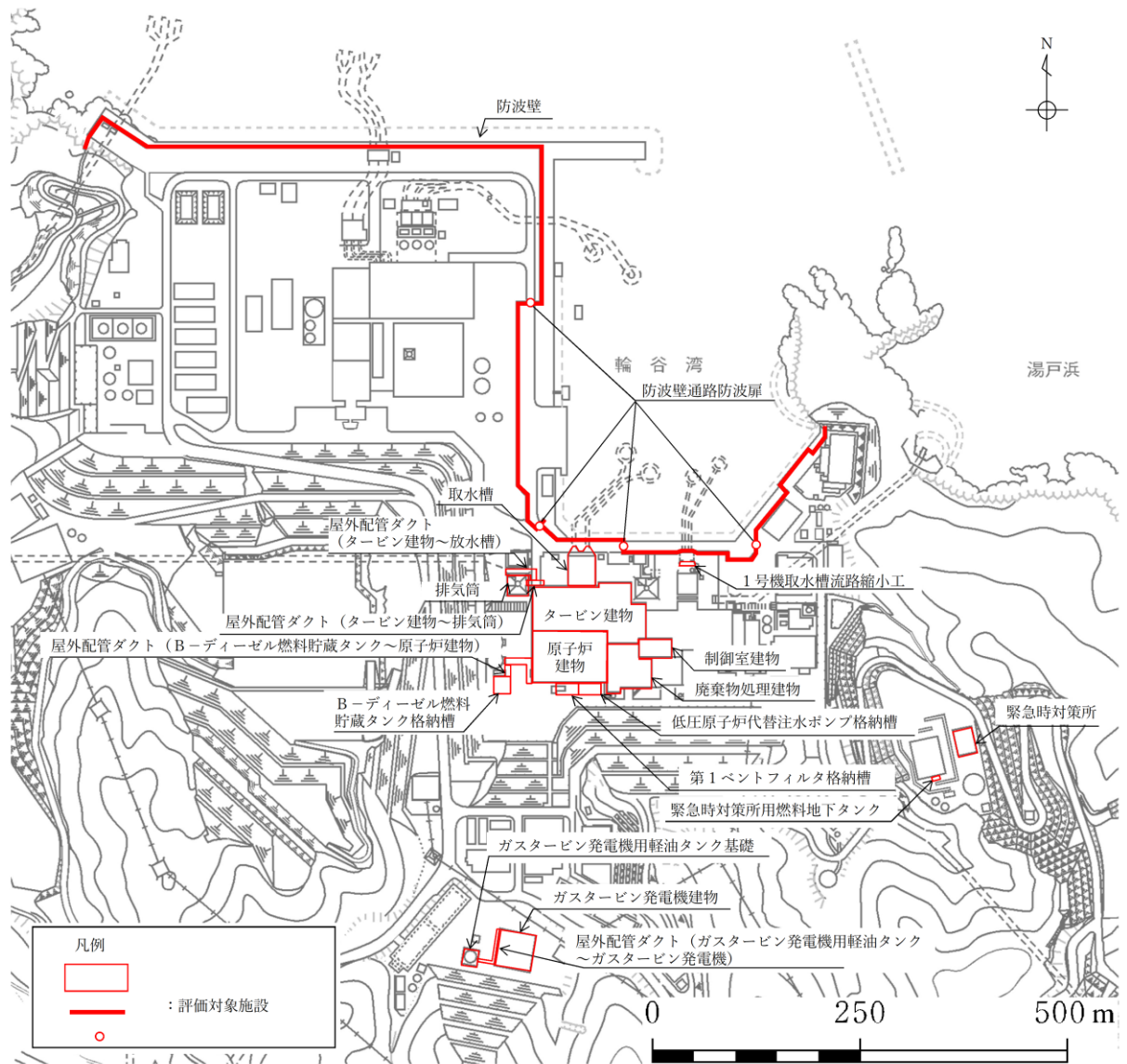


図 5-3 評価対象施設の配置図

### 5.2.3 再現解析

#### (1) 再現解析モデルの作成

##### a. モデル化範囲の設定

再現解析モデルは，評価対象施設を含む分水嶺までの範囲をモデル化する。

モデル作成の際に参照した敷地内の分水嶺を図 5-4 に，再現解析モデルの鳥瞰図を図 5-5 及び図 5-6 に示す。

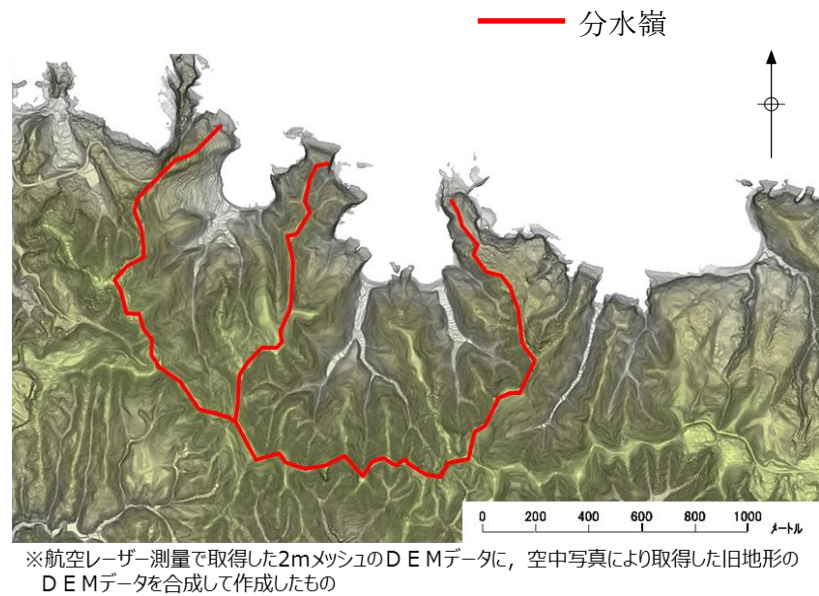


図 5-4 敷地内の分水嶺

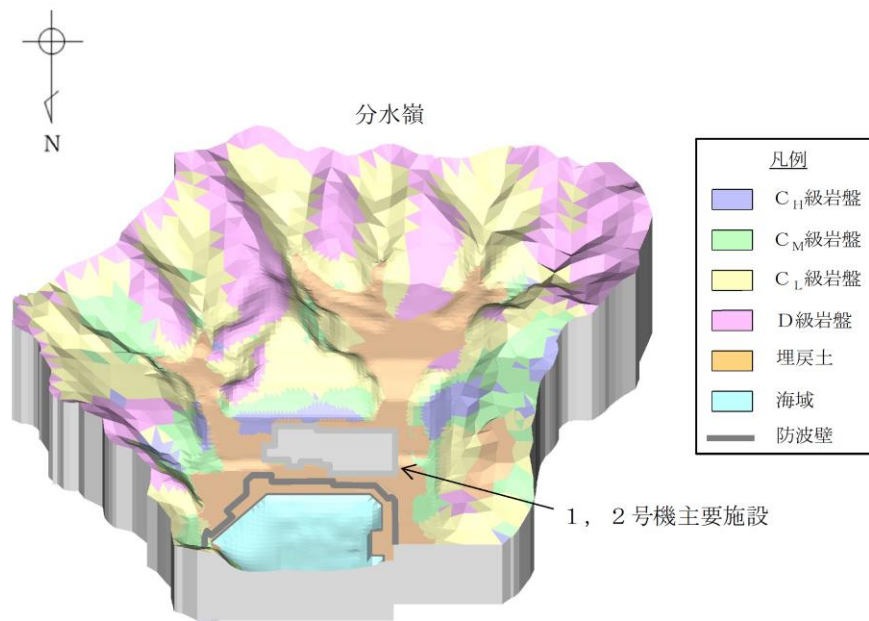


図 5-5 再現解析モデル鳥瞰図（1，2号機エリア）

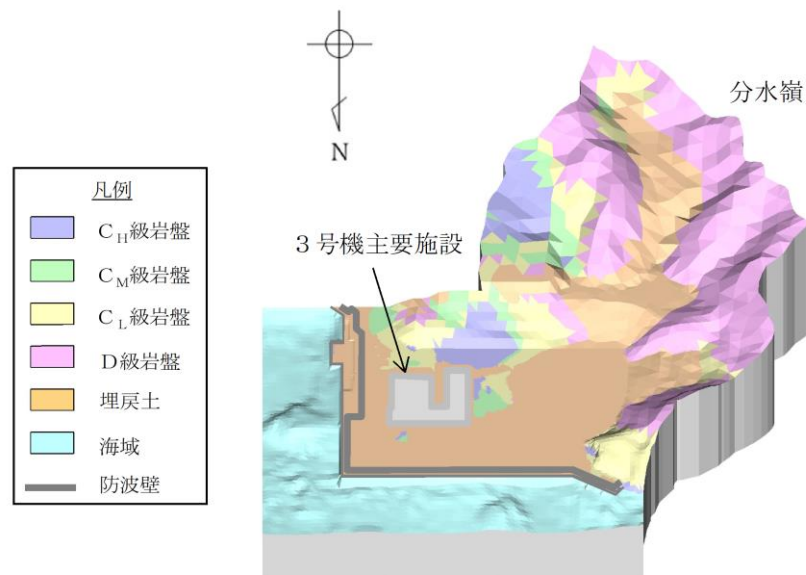


図 5-6 再現解析モデル鳥瞰図（3号機エリア）

b. 格子サイズ

モデルの格子サイズについて、3次元浸透流解析により得られた解析水位に基づき設定される設計地下水位が評価対象施設の耐震設計における解析断面上に反映される（2次元動的有限要素法を用いる場合など）ことを考慮し、格子寸法を1～40m程度に設定した（構造物近傍は最小1m程度、山側領域は40m程度）。

c. 検証期間の設定

検証対象とする観測水位は，地下水位観測開始以降で，一定期間の連続観測水位データが取得されている 2016 年 4 月～2018 年 8 月とする。



d. 地盤・構造物のモデル化

(a) 地形

地形（造成形状）は，検証期間における状態を考慮し設定した。

(b) 地盤

敷地の地質構造や発電所建設時の敷地造成形状を考慮し設定した。シームについてはモデル化していない。

(c) 構造物

- ・ 検証期間における設置状況を踏まえてモデル化した（検証期間において完成していない構造物等は考慮しない）。
- ・ 非岩着で基礎の浅い構造物等は，地下水流動への影響が軽微でありモデル化しない。
- ・ 舗装部への降雨は，構内排水路を介して海へと排水されることから考慮しない。
- ・ 建物の屋根排水は構内排水路に集水されるため考慮しない。

e. 透水係数の設定

地盤及び施設の透水係数は，透水試験，粒度試験及び文献値に基づき設定する。

透水係数の設定値と設定根拠を表 5-3 に示す。

表 5-3 透水係数の設定値と設定根拠（再現解析モデルによる定常解析）

区分		設定値 (cm/s)	設定根拠
構造物，改良地盤		$1 \times 10^{-5}$	管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版) <sup>*1</sup> に基づき設定
岩盤	C <sub>H</sub> 級	$5 \times 10^{-5}$	試験結果の平均値に基づき設定
	C <sub>M</sub> 級	$6 \times 10^{-4}$	
	C <sub>L</sub> 級	$1 \times 10^{-3}$	
	D級	$2 \times 10^{-3}$	粒度試験結果を踏まえ，土質試験の方法と解説 <sup>*2</sup> に基づきクレーガーの方法 <sup>*3</sup> により設定
砂礫層		$4 \times 10^{-3}$	試験結果の平均値に基づき設定
埋戻土		$2 \times 10^{-1}$	

注記\*1：H20.8（財）港湾空間高度化環境研究センター

\*2：H12.3（社）地盤工学会

\*3：粒径加積曲線から求まる 20%粒径 $D_{20}$ を用いて透水係数の概略値を推定する方法

f. ドレーンのモデル化

ドレーンは，検証期間における供用状態に対応し，1～3号機のドレーン（既設）を考慮する（ドレーン（新設）は考慮しない）。ドレーン（既設）の配置図を図5-7に示す。

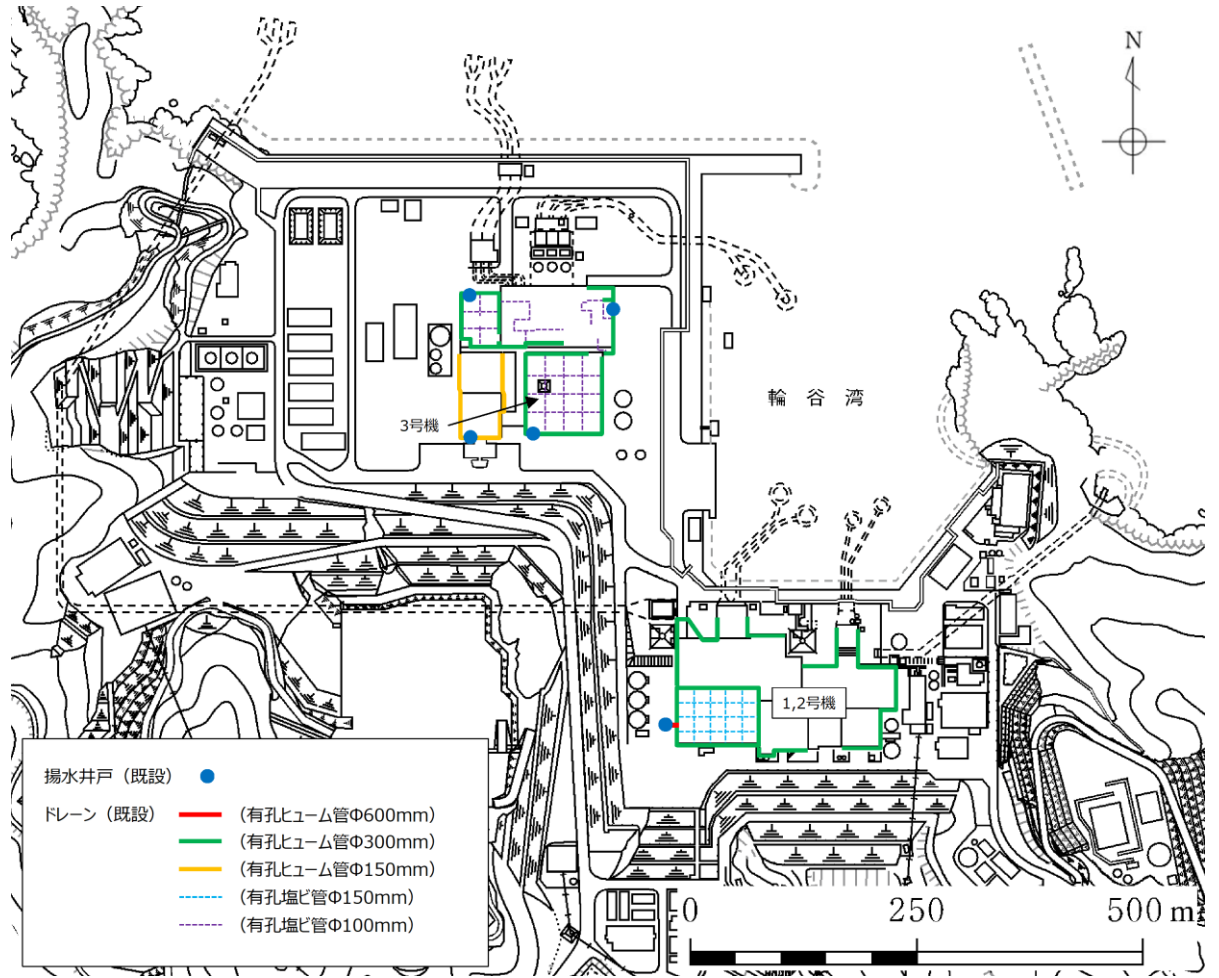
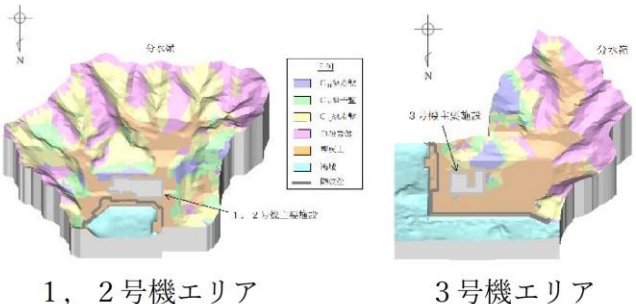


図 5-7 ドレーン (既設) 配置図

g. 浸透流解析条件まとめ (再現解析モデル)

表 5-4 に、再現解析モデルの解析条件一覧を示す。

表 5-4 再現解析モデルの概要

項目	再現解析モデル
目的	モデル化の妥当性を確認（観測記録の再現性を確保）
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 
格子数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万</li> <li>・総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万</li> <li>・格子寸法：1~40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度，山側領域は 40m 程度）</li> </ul>
解析種別	定常解析
検証期間	2016 年 4 月～2018 年 8 月
気象条件	降水量：構内観測所データ
モデル（地形）	検証期間に対応した状態
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮
境界条件	実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> <li>・山側：閉境界</li> <li>・海側：H.W.L.に水位固定</li> <li>・ドレーン：管路としてモデル化</li> </ul>
透水係数	透水試験，粒度試験* <sup>1</sup> 及び文献値* <sup>2</sup>
有効間隙率	物理試験及び文献値* <sup>3</sup>

注記\*1：土質試験の方法と解説に基づき設定

\*2：管理型廃棄物物理立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

\*3：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

## (2) モデルの妥当性に係る検証

再現解析モデルとして、検証期間に対応した地盤・構造物の配置をモデル化に反映し、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき水理特性を設定した。この再現解析モデルに観測降雨を付与した定常解析結果から、検証期間中の各観測孔における平均水位と解析水位の比較を行った（図 5-8）。この結果、検証を行った期間において、解析水位は観測水位と整合的であることを確認した。

以上から、設定した再現解析モデルの妥当性を確認した。

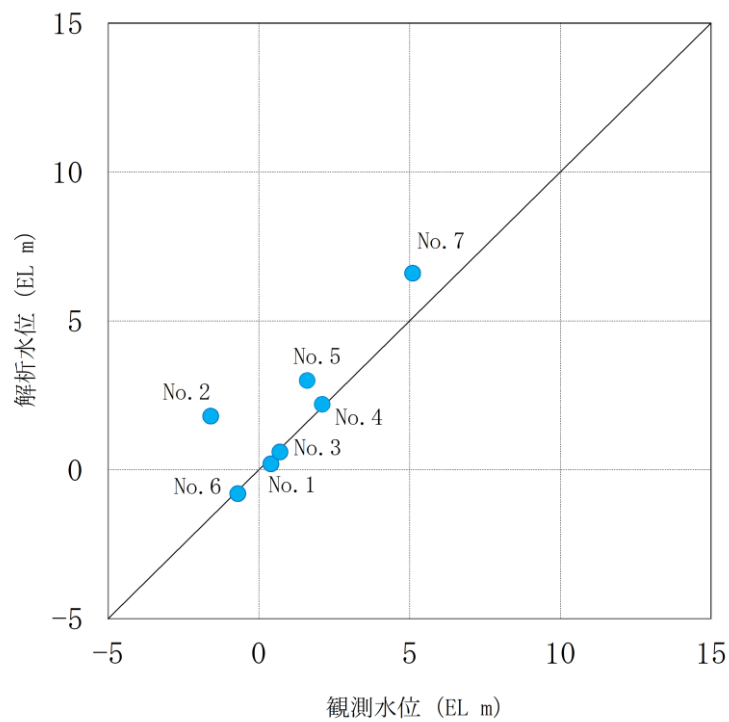


図 5-8 観測水位と解析水位の比較

#### 5.2.4 予測解析

##### (1) 予測解析（水位評価）モデルの概要

###### a. モデル化範囲の設定

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の範囲をモデル化する。

###### b. 格子サイズ

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

###### c. 地盤・構造物のモデル化

###### (a) 地形

地形（造成形状）については，安全対策工事完了段階における状態を考慮し設定した。

###### (b) 地盤

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに，安全対策工事完了段階における防波壁周辺の改良地盤等を図 5-9 のとおり考慮した。

なお，シームについてはモデル化していない。

###### (c) 構造物

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに，安全対策工事完了段階における構造物等の配置を表現するため，図 5-9 に示す構造物等についてモデル化を行った。

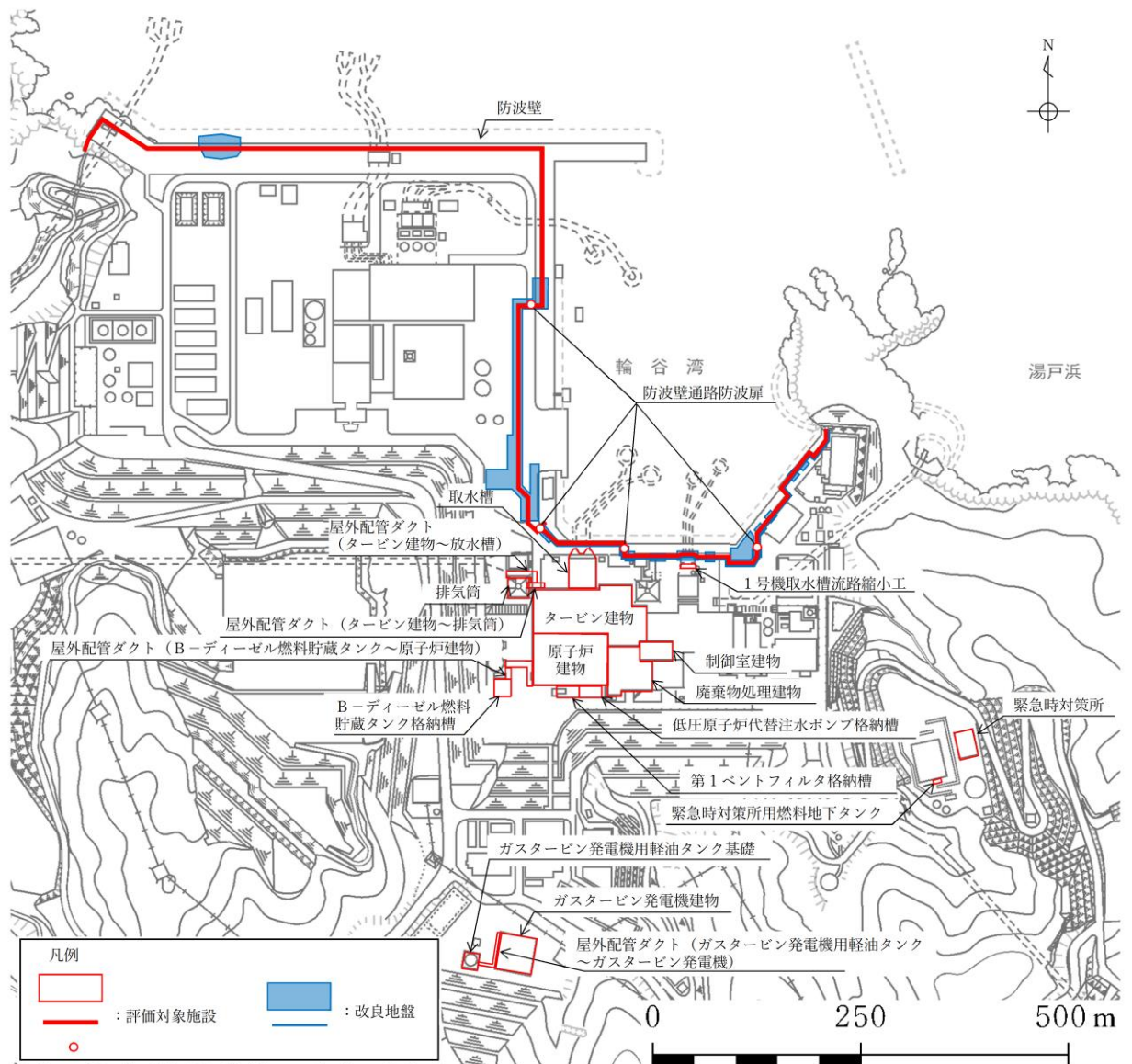


図 5-9 評価対象施設及び改良地盤の位置図

d. 透水係数及び降雨条件の設定

(a) 透水係数

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

(b) 降雨条件

降雨条件の設定は揚圧力、地下水位いずれも保守的に高く算出されるよう、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 $\sigma$ ）に、今後の気候変動予測による降水量の変化\*を加味し、2,400mm/年を設定する。

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

e. ドレーンのモデル化

集水機能に寄与するドレーンの有効範囲について、ドレーン（新設）に限定することで保守性を確保する。

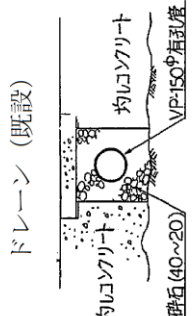
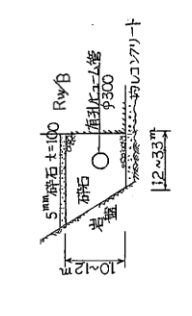
なお、評価対象施設のうち、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒を除く屋外重要土木構造物等の設計地下水位を設定する際には、地下水位が保守的に高く算定されるよう、ドレーン（新設）についても考慮しない。

ドレーンの種類と各観点に対する評価、並びに浸透流解析上の取扱いについて表 5-5 に示す。

また、予測解析において参照する地下水位低下設備の配置を図 5-10 に示す。



表 5-5 ドレーンの種類と評価、並びに浸透流解析上の取扱い

ドレーンの種類	各観点に対する評価			浸透流解析上の取扱い
	耐久性	耐震性	保守管理性	
<p>ドレーン (既設)</p> 	○	△	×	<p>○ : 土砂 ● : 砕石 (40~20mm)</p> <p>岩盤や構造物に囲まれており、周囲を砕石で埋め戻しているため、機能に期待しない場合においても、砕石相当の透水性を有するが、万が一、経年的に周囲の埋戻土からの土砂流入により通水面積の減少が発生した場合、確実に土砂を除去できないため、砕石の間に土砂が流入した状態を仮定した透水係数 (<math>2 \times 10^{-1} \text{ cm/s}</math>) を設定した。</p>
<p>ドレーン (新設)</p> 	○	○	○	<p>管の耐久性・耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧解放状態とする。</p>

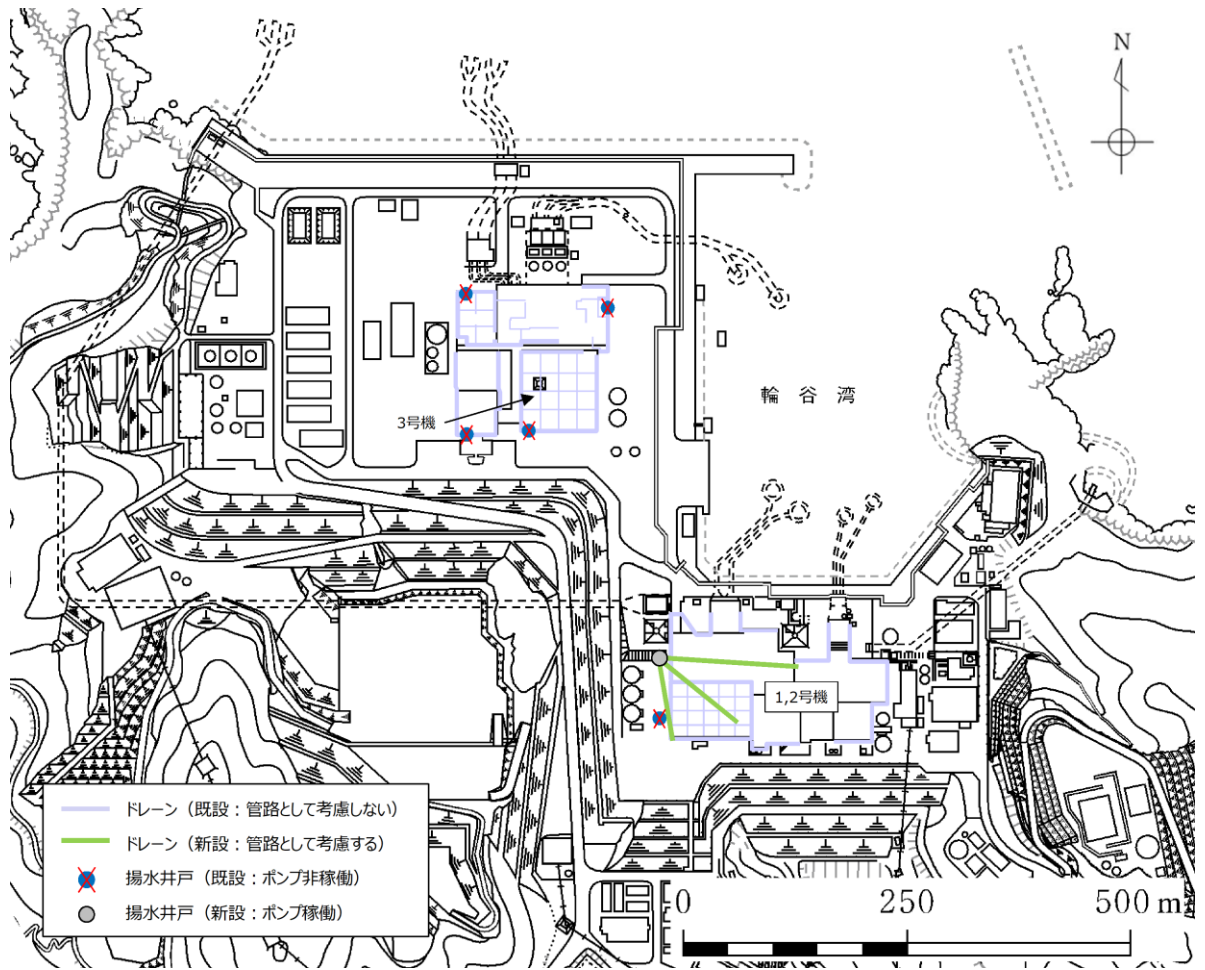


図 5-10 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

f. 浸透流解析条件まとめ (予測解析 (水位評価) モデル)

表 5-6 に、再現解析モデルと予測解析 (水位評価) モデルの解析条件一覧を示す。

表 5-6 予測解析（水位評価）モデルの概要

項目	【参考】再現解析モデル	予測解析（水位評価）モデル	
目的	モデル化の妥当性を確認 （観測記録の再現性を確保）	建物・構築物における保守的な設計揚圧力を設定	屋外重要土木構造物等における保守的な設計地下水位を設定
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP		
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする   1, 2号機エリア                      3号機エリア		
格子数	<ul style="list-style-type: none"> <li>平面格子数：1, 2号機エリア：約2.1万 3号機エリア：約2.4万</li> <li>総格子数：1, 2号機エリア：約121万 3号機エリア：約138万</li> <li>格子寸法：1～40m程度（構造物近傍は最小1m程度，山側領域は40m程度）</li> </ul>		
解析種別	定常解析		
検証期間	2016年4月～2018年8月	—	
気象条件	降水量：構内観測所データ	保守的な降水量として，2,400mm/年を考慮	
モデル（地形）	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態	
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態（防波壁周辺の改良地盤等を考慮）	
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態	安全対策工事完了段階に対応した状態	
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮しない
境界条件	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.に水位固定 ・ドレーン：管路としてモデル化	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.に水位固定 ・ドレーン：新設のみ計画高に水位固定	更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.に水位固定
透水係数	透水試験，粒度試験*1及び文献値*2		
有効間隙率	物理試験及び文献値*3		

注記\*1：土質試験の方法と解説に基づき設定

\*2：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

\*3：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

(2) アウトプット

a. 建物・構築物の設計揚圧力の設定に参照する地下水位分布

地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）に位置する建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する地下水位分布を図 5-11 に示す。

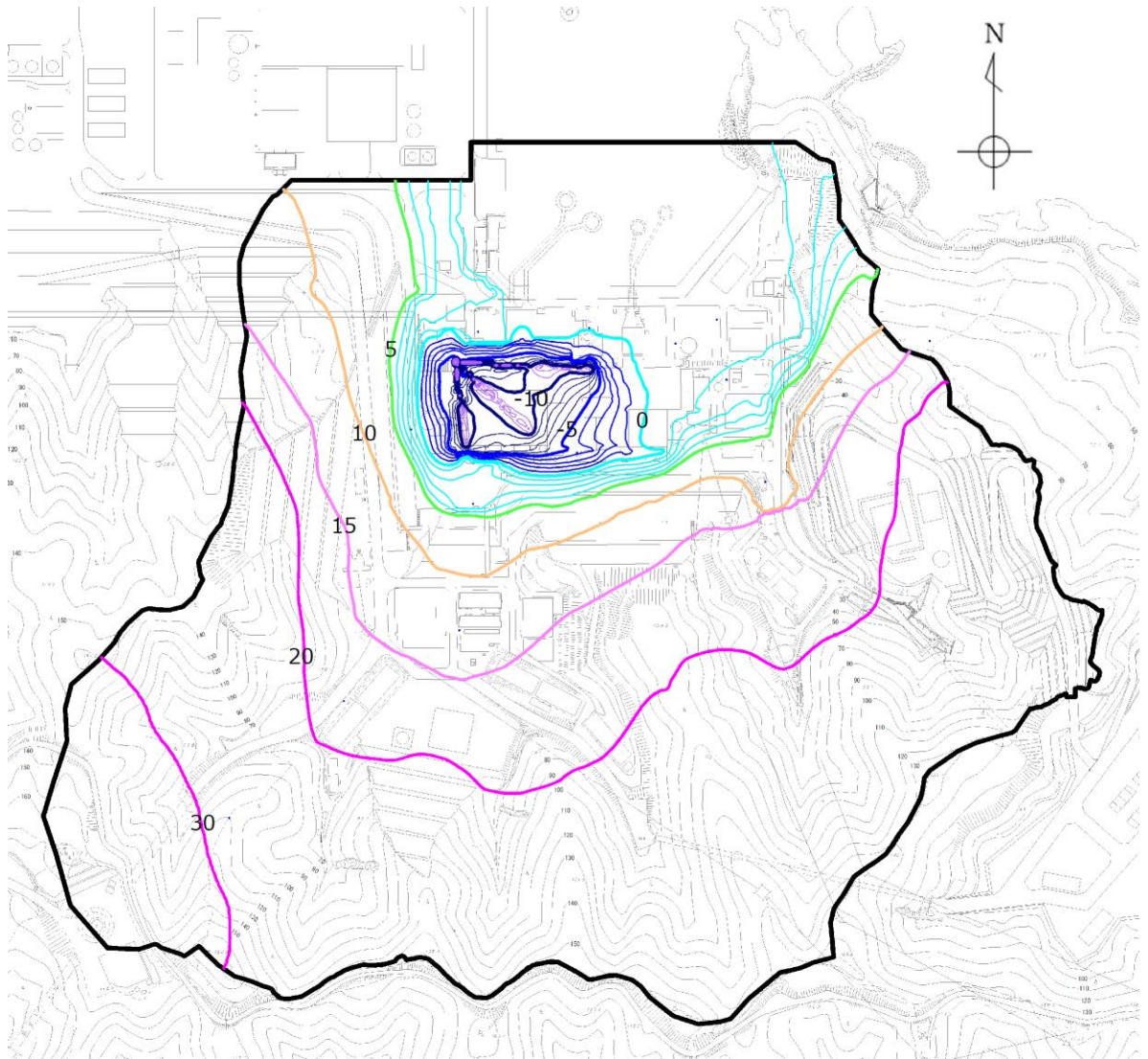
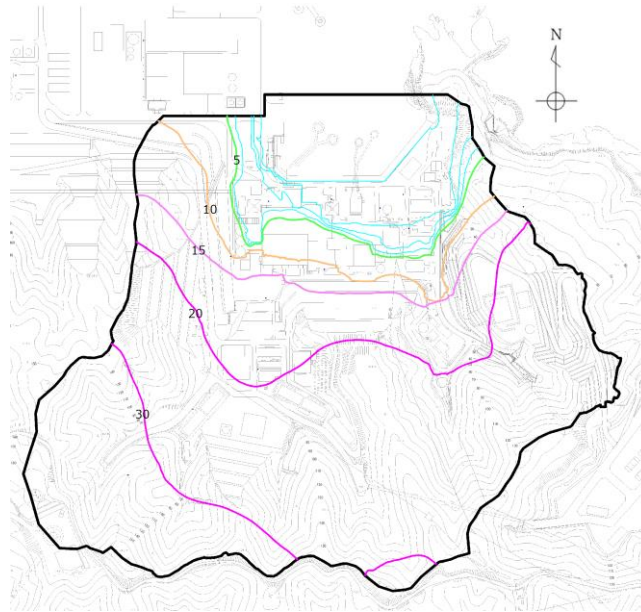


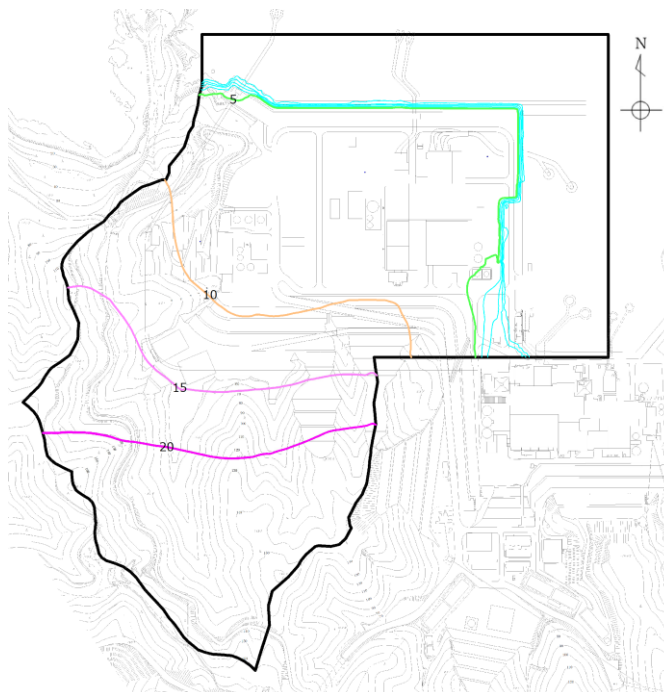
図 5-11 建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する敷地の地下水位分布（EL m）



- b. 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に参照する地下水位分布  
 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定において参照する地下水位（自然水位）分布を図 5-12 に示す。



1, 2号機エリア



3号機エリア

図 5-12 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に参照する  
 地下水位（自然水位）分布（EL m）

### 5.3 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定

地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）に位置する建物・構築物について、予測解析により得られた地下水位・揚圧力並びにこれを参照した設計揚圧力を表 5-7 に示す。また、周辺の地下水位分布を図 5-13～図 5-15 に示す。

表 5-7 建物・構築物における設計揚圧力の設定一覧

施設名称 (基礎底面高さ)	建設時工事 計画認可時の 設計揚圧力	予測解析結果*		設計揚圧力	備考
		上段：揚圧力	下段：地下水位		
原子炉建物 (EL-4.7m)	0.8t/m <sup>2</sup>	0.0t/m <sup>2</sup>		0.8t/m <sup>2</sup> (7.8kN/m <sup>2</sup> )	建設時の工 事計画認可 時からの変 更なし
			EL-9.9m		
タービン建物 (EL 0.0m)	2.0t/m <sup>2</sup>	0.0t/m <sup>2</sup>		2.0t/m <sup>2</sup> (19.6kN/m <sup>2</sup> )	
			EL-7.0m		
廃棄物処理建物 (EL 0.0m)	2.0t/m <sup>2</sup>	0.0t/m <sup>2</sup>		2.0t/m <sup>2</sup> (19.6kN/m <sup>2</sup> )	
			EL-5.5m		
制御室建物 (EL 0.1m)	0.0t/m <sup>2</sup>	0.0t/m <sup>2</sup>		0.0t/m <sup>2</sup> (0.0kN/m <sup>2</sup> )	
			EL-3.9m		
排気筒 (EL 2.0m)	0.0t/m <sup>2</sup>	0.0t/m <sup>2</sup>		0.0t/m <sup>2</sup> (0.0kN/m <sup>2</sup> )	
			EL-1.0m		

注記\*：建物底面に作用する平均揚圧力又は平均地下水位

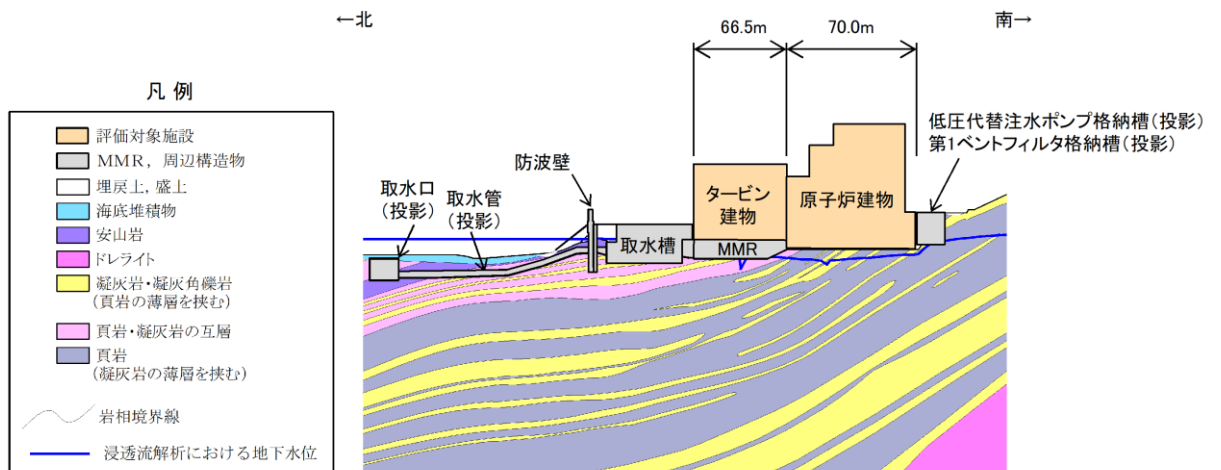


図 5-13 原子炉建物及びタービン建物の地下水位分布 (南北)

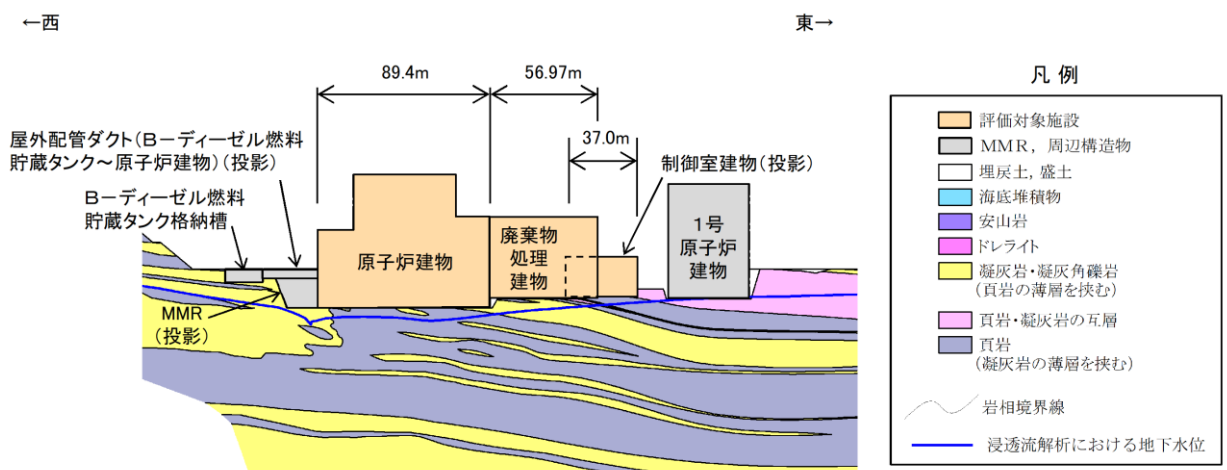


図 5-14 原子炉建物, 廃棄物処理建物及び制御室建物の地下水位分布 (東西)

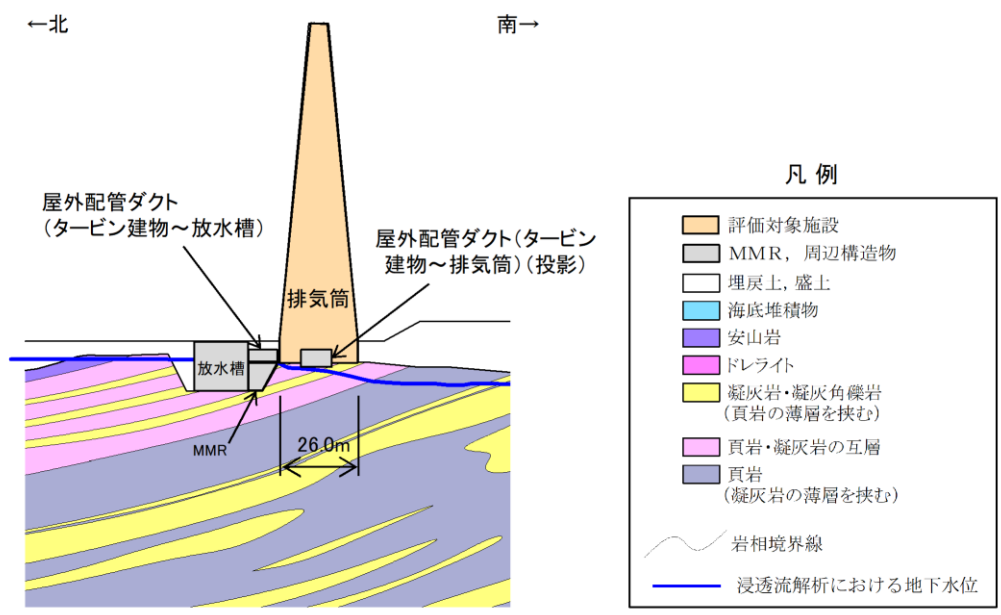


図 5-15 排気筒の地下水位分布 (南北)



#### 5.4 屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位設定

屋外重要土木構造物等について、予測解析により得られた解析水位（自然水位）並びにこれを参照した設計地下水位及び建設時の工事計画認可時の設計地下水位（建設時の工事計画認可申請対象外の施設を除く）を表 5-8 に示す。

設計地下水位の設定にあたっては、耐震評価における設計地下水位の設定方針に基づき、観測水位の不確かさ等を考慮して、解析水位（自然水位）に対して余裕を考慮し設定している。

表 5-8 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の設定一覧

施設名称	建設時の工事 計画認可時の 設計地下水位 (EL m)	予測解析による 地下水位 (自然水位) (EL m)	設計 地下水位 (EL m)	備考
取水槽	0.3	0.58～3.8	4.5	
屋外配管ダクト（タービン建物～ 排気筒）	0.3	2.7～3.6	4.9	
屋外配管ダクト（タービン建物～ 放水槽）	— *1	2.9～3.8	5.2	
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格 納槽	— *1	3.9～15.0	15.0	地表面
屋外配管ダクト（B-ディーゼル 燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	— *1	5.8～14.9	15.0	地表面
防波壁（多重鋼管杭式擁壁） *2	— *1	0.58～4.5	5.5	
防波壁（逆T擁壁） *2	— *1	0.58～6.3	8.5	地表面
防波壁（波返重力擁壁） *2	— *1	0.58～7.2	8.5	地表面
1号機取水槽流路縮小工	— *1	0.58～1.6	3.0	
防波壁通路防波扉 *3	— *1	0.7～6.0	8.5	地表面
第1ベントフィルタ格納槽	— *1	9.4～15.0	15.0	地表面
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	— *1	9.4～15.0	15.0	地表面
緊急時対策所	— *1	22.4～23.8	— *4	
緊急時対策所用燃料地下タンク	— *1	22.1～22.6	— *4	
ガスタービン発電機建物	— *1	22.0～24.9	— *5	
ガスタービン発電機用軽油タンク 基礎	— *1	23.6～24.7	— *5	
屋外配管ダクト（ガスタービン発 電機用軽油タンク～ガスタービン 発電機）	— *1	22.1～24.2	— *5	

注記 \*1：建設時の工事計画認可申請対象外

\*2：代表断面の設計地下水位を掲載

\*3：代表として防波壁通路防波扉（3号機東側）の設計地下水位を掲載

\*4：地下水位が施設設置地盤（EL 50.0m 盤）より十分低い

\*5：地下水位が施設設置地盤（EL 44.0m 盤）より十分低い

## 5.5 設計揚圧力及び設計地下水位の保守性・妥当性の検証

### 5.5.1 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の保守性の検証

#### (1) 検討の目的

屋外重要土木構造物等に適用する設計地下水位は、安全対策工事を考慮した予測解析結果を参照し設定することから、工事完了前の段階で観測水位を用いた直接的な検証を行うことができない。

設計地下水位は保守性を確保する方針としているが、仮に敷地の地下水位が施設の設計地下水位を超過する場合は、耐震安全性へ影響が生じる可能性があることを踏まえ、観測水位と解析水位（自然水位）の比較から、設計地下水位の保守性を検証する。

解析水位（自然水位）は、解析条件設定において保守性を持たせた解析結果であり、設計地下水位はその解析水位（自然水位）を更に上側に包絡するよう設定している。

このため、観測水位に対して解析水位（自然水位）の余裕が確認された場合、設計地下水位は保守性を有していると判断する。

#### (2) 観測水位と解析水位（自然水位）の比較結果

解析水位（自然水位）について、地下水位観測記録との比較による検証結果を示す。

検証に用いた観測孔位置の平面図を図 5-16 に、観測水位と解析水位（自然水位）の関係を表 5-9 に示す。

この結果、解析水位（自然水位）は観測最高地下水位を上回っており、設計地下水位は十分な保守性を有していると判断した。

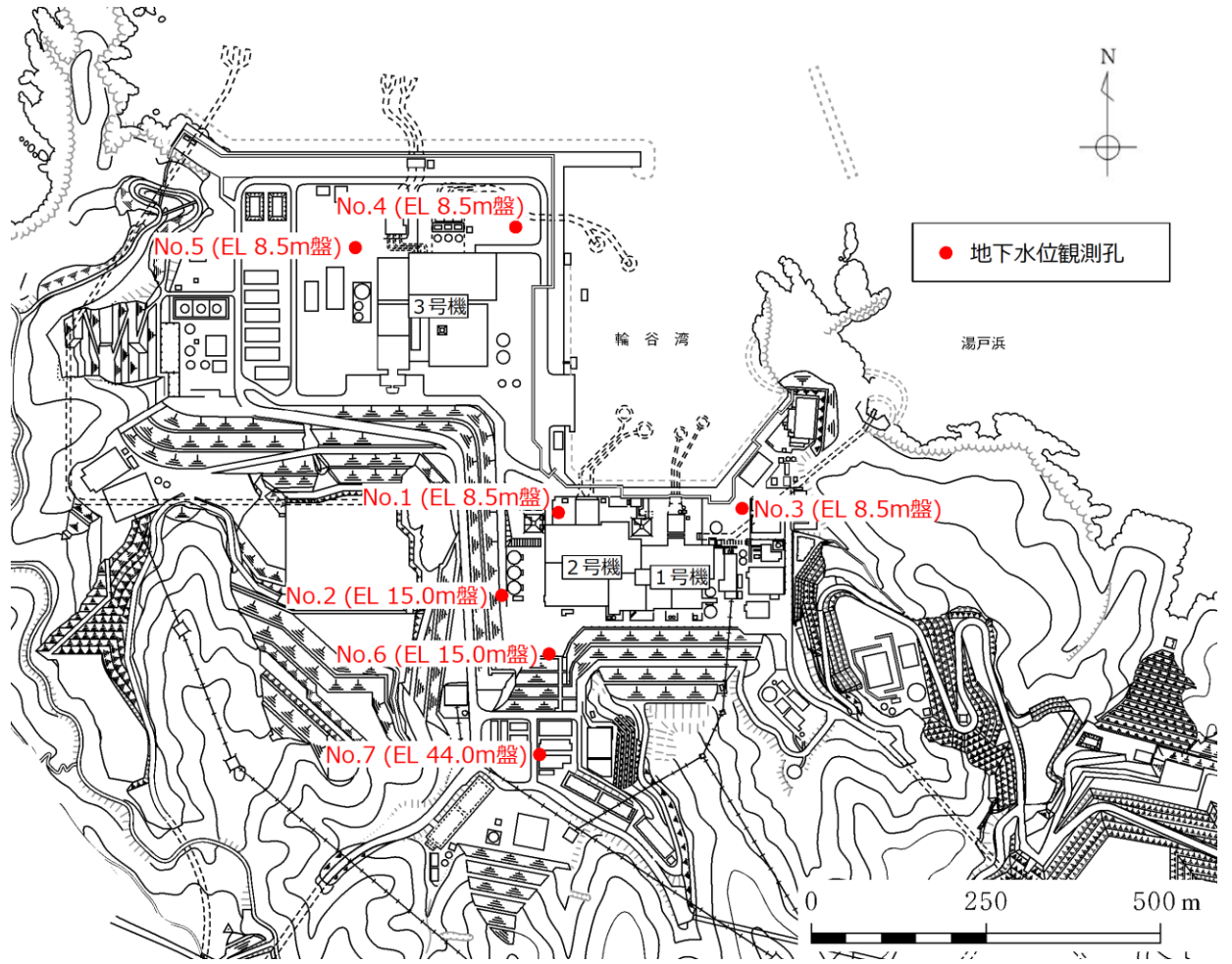


図 5-16 観測水位と解析水位（自然水位）の比較において参照する観測孔位置図

表 5-9 観測水位と解析水位（自然水位）関係

観測孔	(A)観測水位 (EL m)		(B)解析水位 (自然水位) (EL m)	差分* (m) (B) - (A)
	最高	平均		
No. 1	最高	1.79	3.41	1.62 (2.83)
	平均	0.58		
No. 2	最高	3.59	10.65	7.06 (12.91)
	平均	-2.26		
No. 3	最高	1.43	1.51	0.08 (0.69)
	平均	0.82		
No. 4	最高	4.03	5.97	1.94 (3.70)
	平均	2.27		
No. 5	最高	4.12	6.75	2.63 (4.90)
	平均	1.85		
No. 6	最高	6.74	15.00	8.26 (15.69)
	平均	-0.69		
No. 7	最高	7.97	19.00	11.03 (14.04)
	平均	4.96		

注記\* : 上段は最高水位との差分を, 下段の ( ) 内は平均水位との差分を示す

#### 5.5.2 水位が低い場合の影響確認

設計地下水位は、保守的な条件のもと実施する予測解析を参照して設定することから、新設する地下水位低下設備が稼働した場合の平常時の地下水位は、設計地下水位よりもさらに低くなると想定される。

平常時の地下水位における耐震安全性への影響を確認するため、その影響の有無や程度に応じて、設計地下水位より十分に低い地下水位を設定した耐震安全性評価に影響検討として実施する。

#### 5.5.3 建物・構築物における設計揚圧力の妥当性の検証

予測解析結果のうち、地下水位低下設備を考慮した解析結果は、将来的な地下水位低下設備稼働時の状況等を考慮したものであることから、今後、運転段階において地下水位の観測記録を取得し、設計揚圧力と比較することにより、予測解析の妥当性を確認する方針とする。

## 6. 地質断面図

地震応答解析に用いる地質断面図は、評価対象地点近傍のボーリング調査等の結果に基づき、岩盤、盛土及び旧表土の分布を確認し作成する。図 6-1 に敷地内で実施したボーリング調査位置図を示す。

代表例として、図 6-1 に示す断面位置の地質断面図を図 6-2 及び図 6-3 に示す。



図 6-1 ボーリング調査位置図



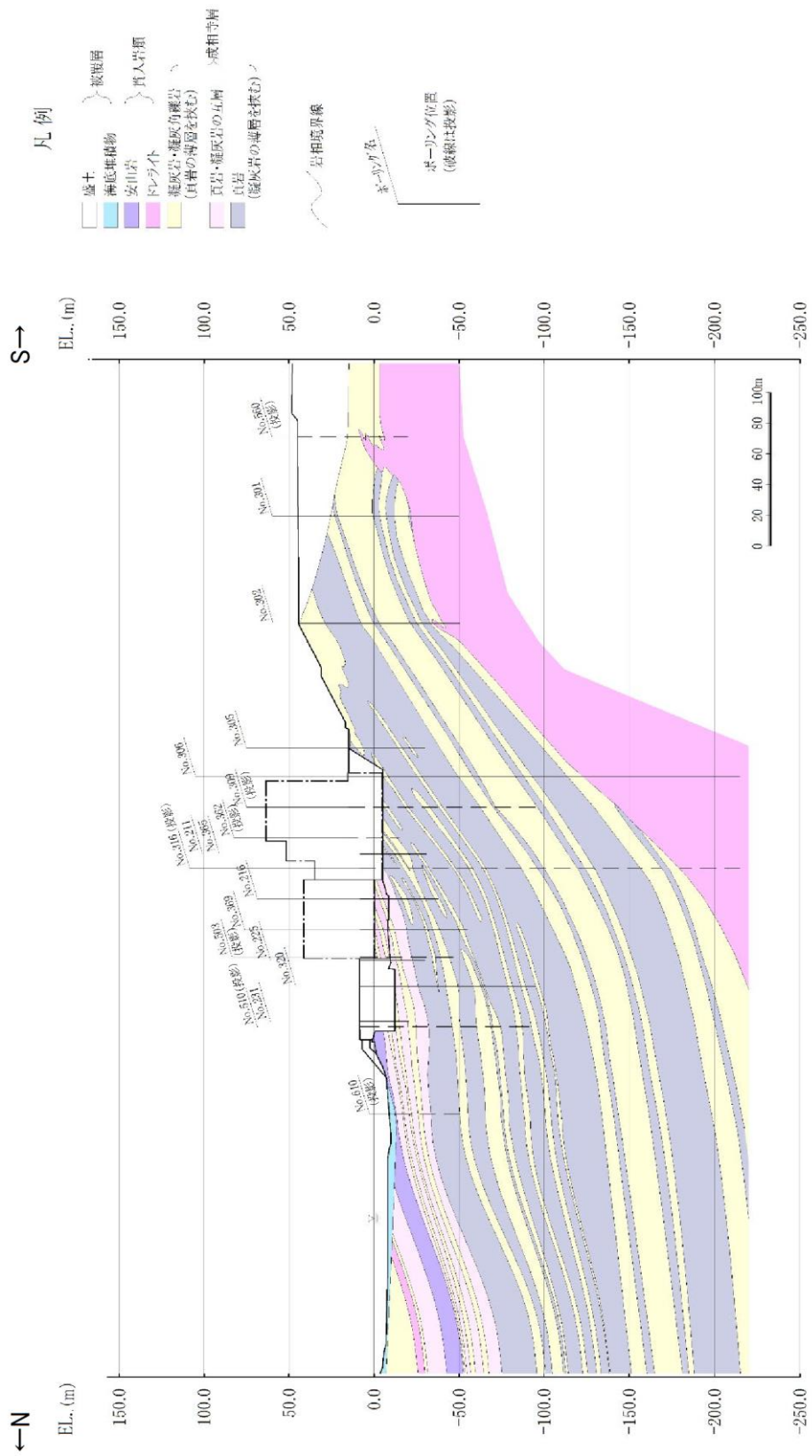


図 6-2 地質断面図 (2号機原子炉建物, 南北方向)  
(A-A' 断面)

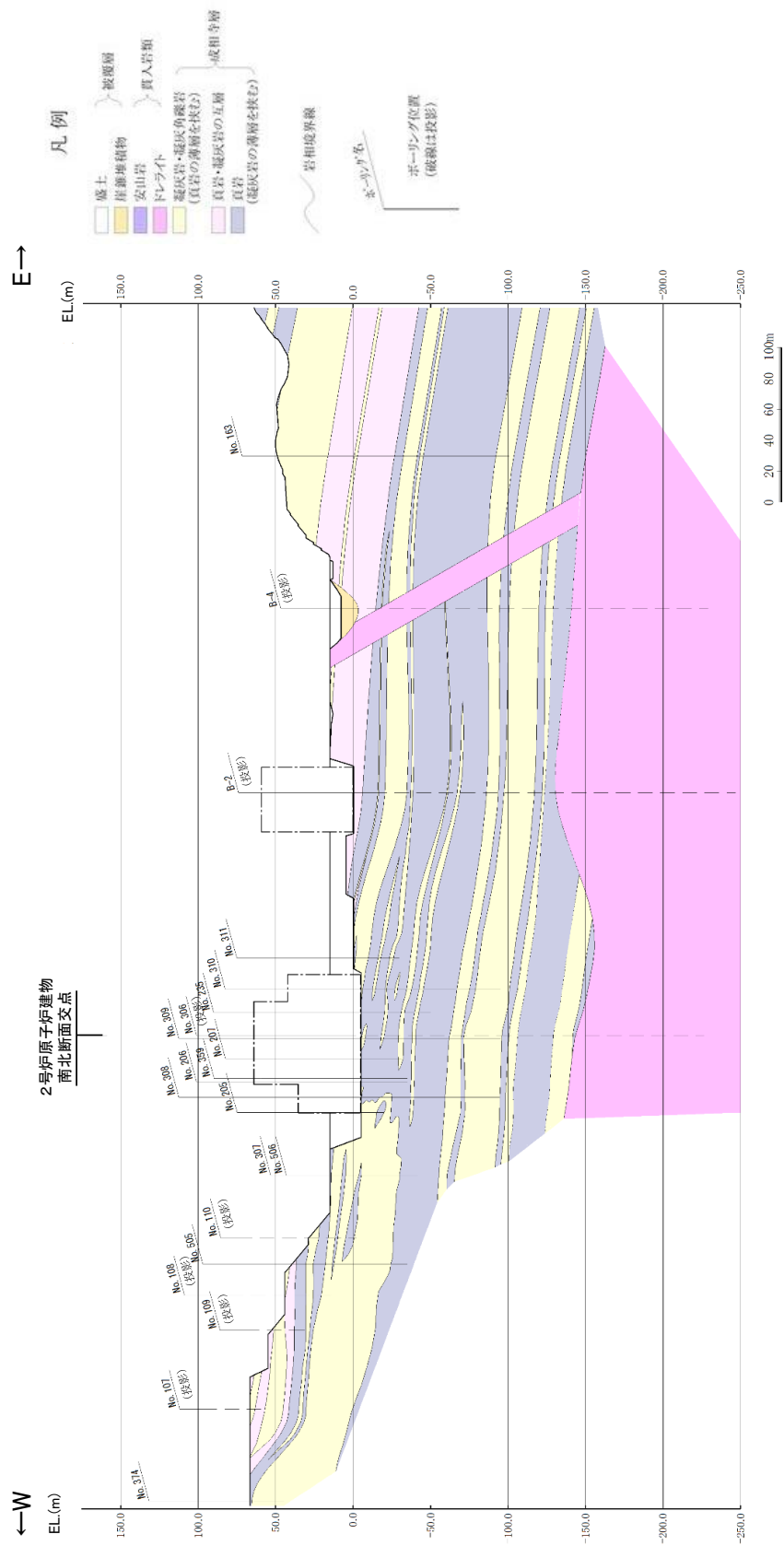


図 6-3 地質断面図 (2号機原子炉建物, 東西方向)  
(B-B' 断面)

## 7. 地盤の速度構造

### 7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル

入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面（EL-10m）から EL-215m までの地盤をモデル化する。地下構造モデルの概要を表 7-1 及び表 7-2 に示す。入力地震動算定の概念図を図 7-1 及び図 7-2 に示す。

表 7-1 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
①層	0.80	0.25	20.6	0.446
②層	2.10	0.90	23.0	0.388
③層	3.60	1.60	24.5	0.377
④層	4.00	1.95	24.5	0.344
⑤層	4.05	2.00	26.0	0.339
⑥層	4.95	2.35	27.9	0.355

表 7-2 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル  
(防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁（波返重力擁壁）)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比
①層	0.52	0.27	22.4	0.45
②層	1.71	0.62	23.3	0.42
③層	2.27	0.96	23.4	0.39
④層	3.24	1.52	24.5	0.36
⑤層	3.86	1.90	25.2	0.34
⑥層	4.15	2.10	24.4	0.33
⑦層	3.80	1.77	25.1	0.36

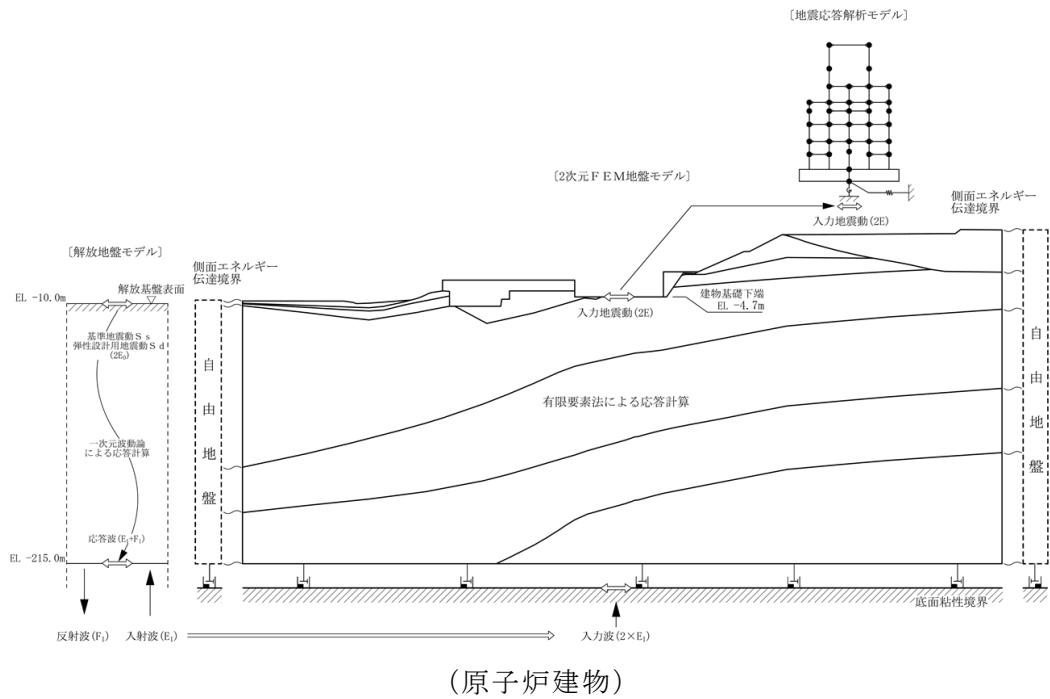


図 7-1 入力地震動算定の概念図 (建物・構築物)

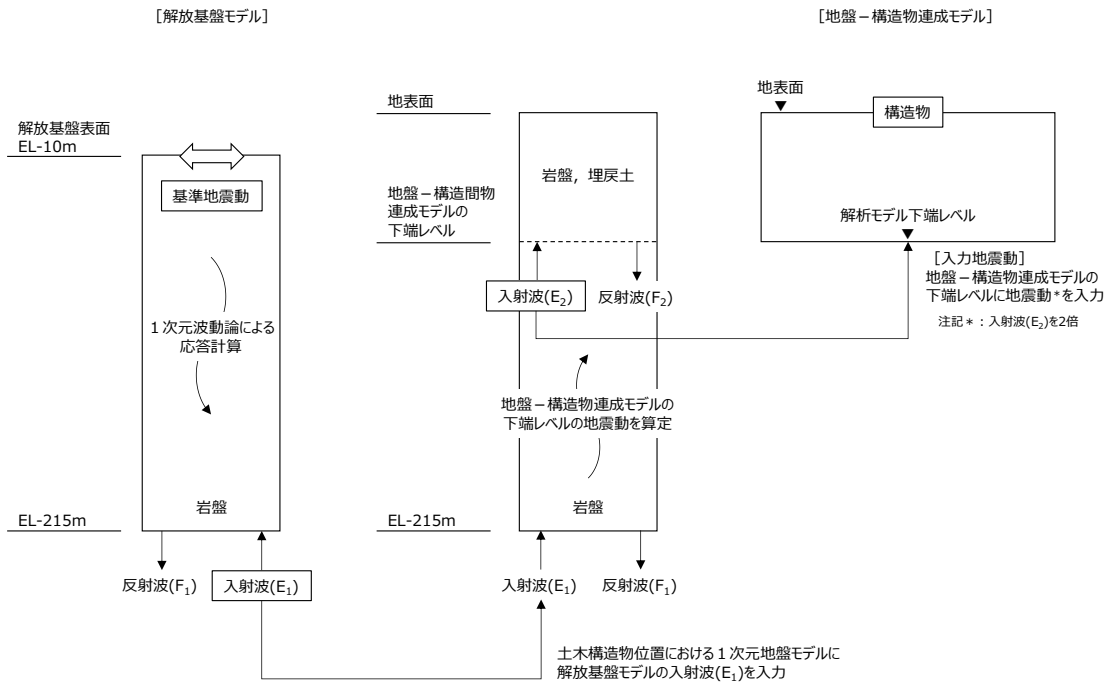


図 7-2 入力地震動算定の概念図 (土木構築物)

## 7.2 地震応答解析に用いる解析モデル

建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤モデルは、地盤調査結果に基づいて設定する。建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値は「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」を基本として設定する。

また、土木構造物の地震応答解析に用いる地盤モデルは、構造物周辺の地盤調査結果に基づいて設定する。土木構造物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値は、「3.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」及び「3.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値」を基本として設定する。

## 8. 地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性

本章では，「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」に記載した地盤の液状化強度特性の代表性，網羅性及び保守性についての確認結果を記載する。

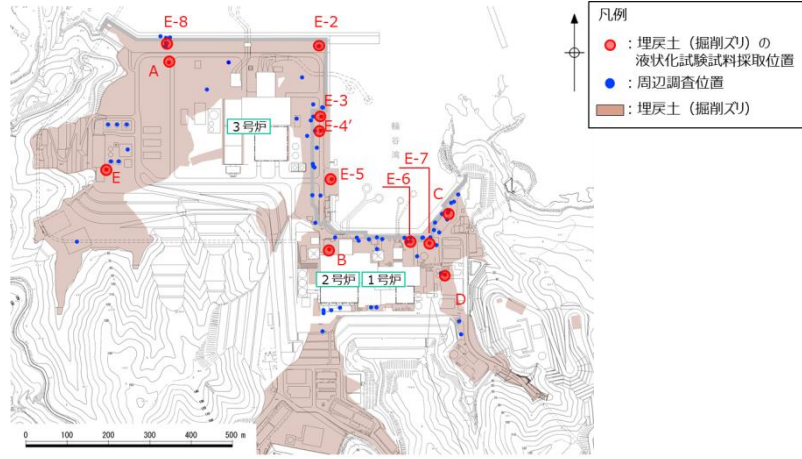
### 8.1 液状化試験試料採取位置の代表性及び網羅性

「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」のうち液状化対象層である埋戻土及び砂礫層の液状化強度特性について，敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法により決定される液状化強度を用いて設定する。設計及び工事の計画の認可申請に当たって，設置許可段階で実施した埋戻土及び砂礫層の液状化試験試料採取位置の代表性，網羅性及び液状化強度特性の設定方針の妥当性について確認する。設置変更許可段階での液状化試験試料採取位置を図 8-1 に示す。

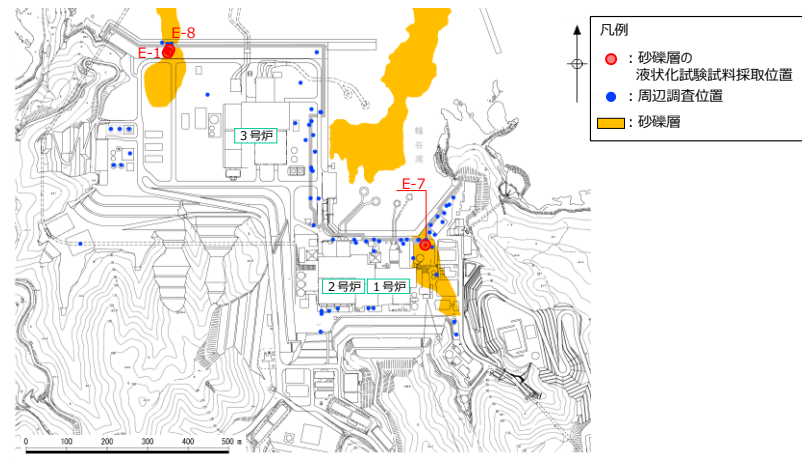
液状化試験試料採取位置の代表性及び網羅性については，埋戻土及び砂礫層に対して，N 値と細粒分含有率を指標に，液状化試験試料採取位置と敷地全体を比較することにより確認している。

埋戻土の N 値と細粒分含有率を図 8-2 に示す。埋戻土は，敷地全体と比べて，N 値及び細粒分含有率ともに，液状化試験試料採取位置の平均値及び  $-1\sigma$  値が，敷地全体のばらつき ( $\pm 1\sigma$ ) の範囲内であることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。また，埋戻土は敷地全体に分布するため，場所によって埋戻土の性状が異なる懸念があることから，敷地の広範囲にわたって設置された防波壁に着目して，液状化試験試料採取位置と 3 つの構造形式の防波壁近傍の基本物性 (図 8-3) を比較したところ，N 値及び細粒分含有率ともに，液状化試験試料採取位置の平均値が，防波壁近傍のばらつき ( $\pm 1\sigma$ ) の範囲内であることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。

砂礫層の N 値と細粒分含有率を図 8-4 に示す。砂礫層の細粒分含有率は，液状化試験試料採取位置の平均値及び  $-1\sigma$  値が，敷地全体のばらつき ( $\pm 1\sigma$ ) の範囲内であった。また，N 値は，液状化試験試料採取位置の平均値は敷地全体のばらつき ( $\pm 1\sigma$ ) の範囲内であり，液状化試験試料採取位置の  $-1\sigma$  値は敷地全体のばらつき ( $\pm 1\sigma$ ) の範囲からわずかに外れているもののおおむね一致していることから，液状化試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。なお，砂礫層は敷地の局所的な範囲で確認されており，液状化試験試料採取位置と敷地全体の調査位置とは近接している。



埋戻土



砂礫層

図 8-1 液状化試験試料採取位置の平面配置

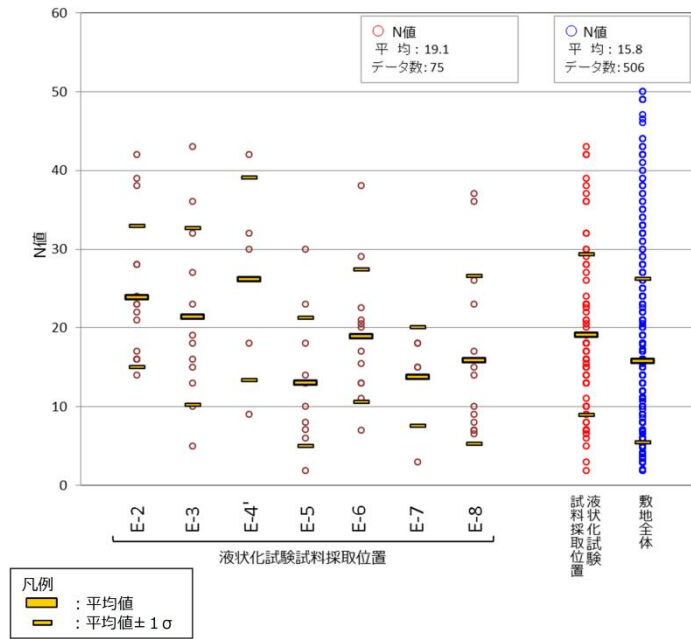


図 8-2(1) 埋戻土の液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (N 値)

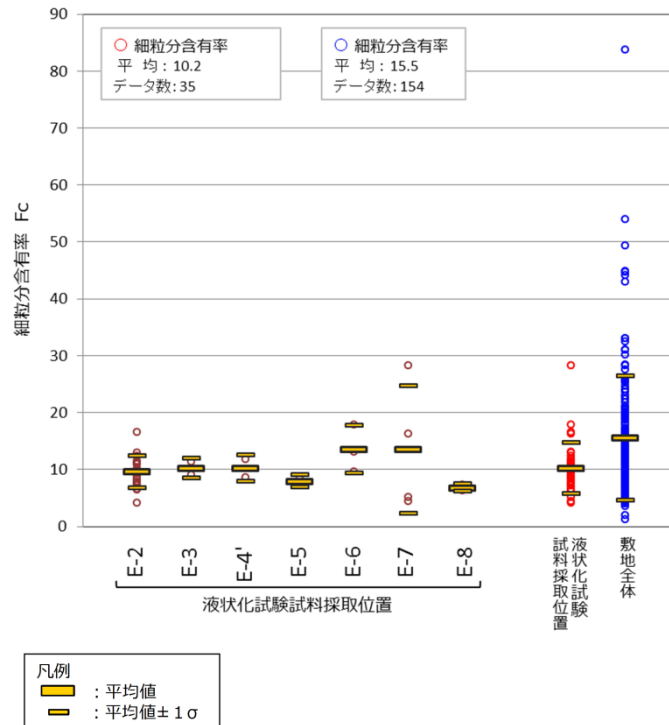


図 8-2(2) 埋戻土の液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (細粒分含有率)



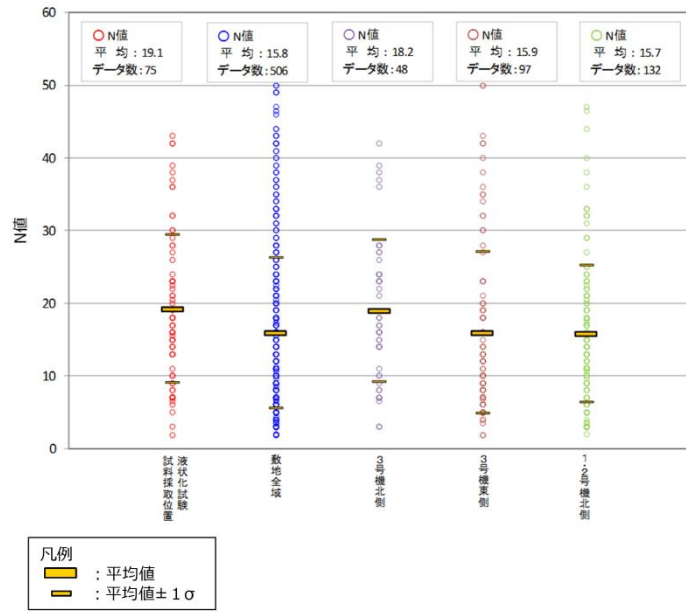


図 8-3(1) 埋戻土の液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (N 値)

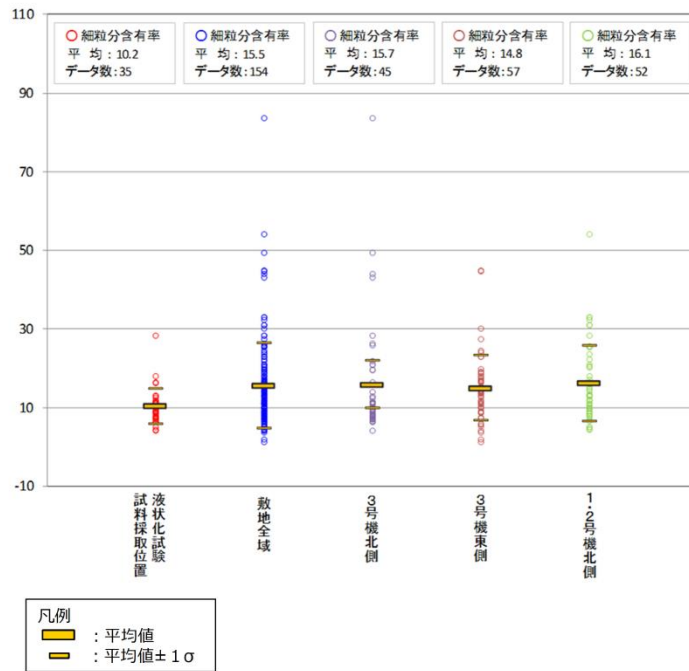


図 8-3(2) 埋戻土の液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (細粒分含有率)

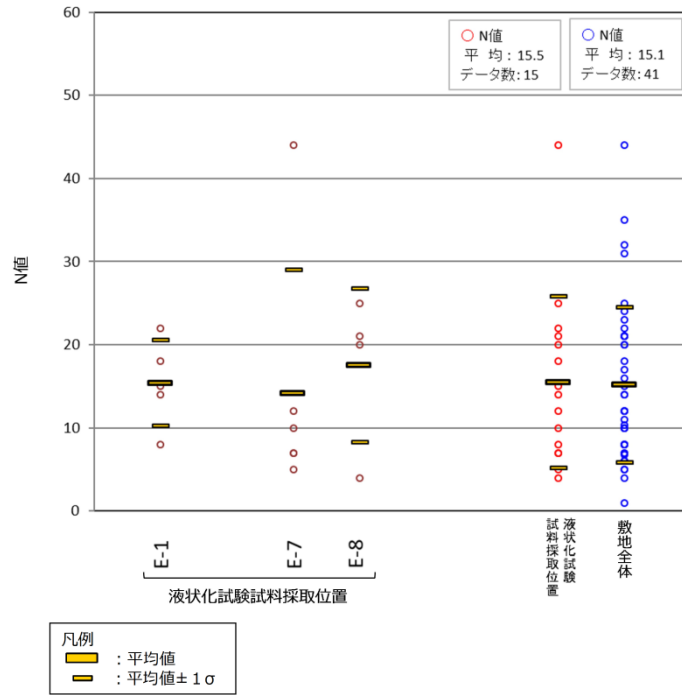


図 8-4(1) 砂礫層の液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (N 値)

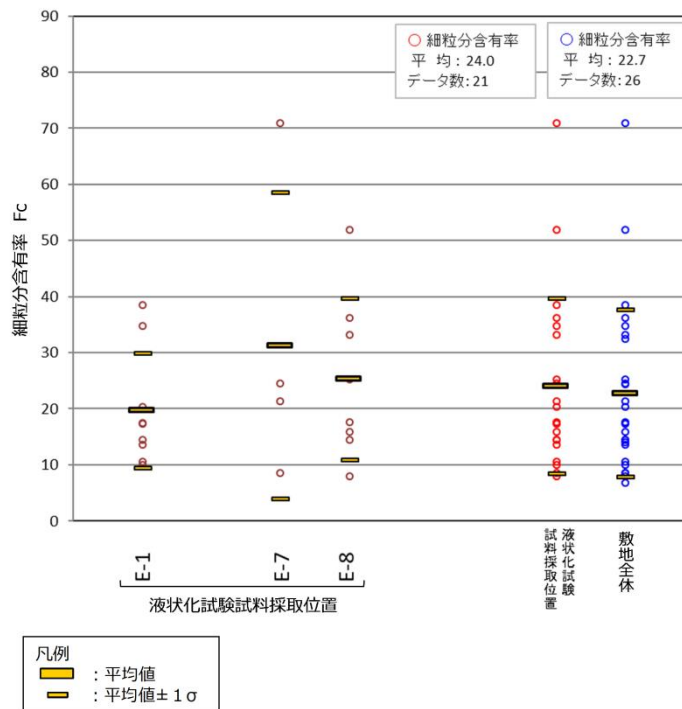


図 8-4(2) 砂礫層の液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (細粒分含有率)

## 8.2 地盤の液状化強度特性における保守性

設置変更許可段階で示した方針のとおり、「3.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値」に記載した地盤の液状化強度特性は、液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法を用いて設定していることから、地盤の液状化強度特性における保守性を確認した。

地盤の液状化強度特性における保守性の確認結果を図 8-5 に示す。

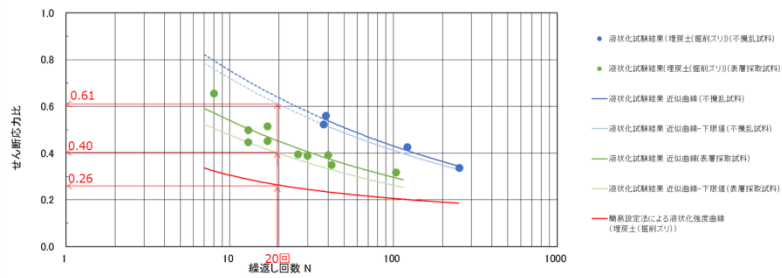


図 8-5(1) 液状化強度特性の代表性及び保守性確認結果  
(埋戻土)

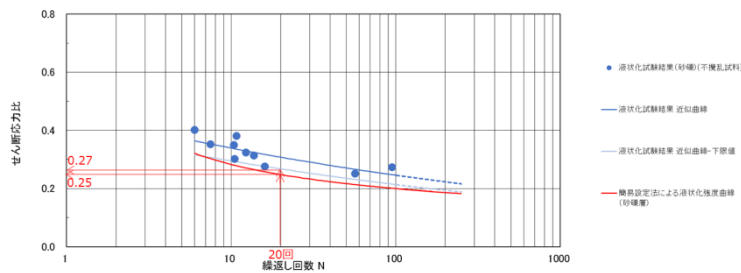


図 8-5(2) 液状化強度特性の代表性及び保守性確認結果  
(砂礫層)