

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-33_改0
提出年月日	2021年6月2日

補足-600-33【第1号機取水路の耐震性についての
計算書に関する補足説明資料】

追而

- ・ 「5. 評価結果」の更なる追加解析ケースを反映した結果については、別途示す。

目 次

1.	評価方法	1
2.	評価条件	2
2.1	評価対象断面の方向	2
2.2	評価対象断面の選定	7
2.3	使用材料及び材料の物性値	10
2.4	地盤の物性値	11
2.5	評価構造物の諸元	17
2.6	地下水位	18
2.7	耐震評価フロー	19
2.8	適用規格	20
3.	地震応答解析	21
3.1	地震応答解析手法	21
3.2	地震応答解析モデルの設定	24
3.2.1	解析モデル領域	24
3.2.2	境界条件	25
3.2.3	構造物のモデル化	28
3.2.4	隣接構造物のモデル化	29
3.2.5	ジョイント要素の設定	29
3.2.6	材料物性の設定	33
3.3	減衰定数	35
3.4	荷重の組合せ	36
3.4.1	外水圧	37
3.4.2	内水圧	37
3.4.3	積載荷重	38
3.5	地震応答解析の解析ケース	40
3.5.1	耐震評価における解析ケース	40
4.	評価条件	48
4.1	入力地震動の設定	48
4.1.1	A-A 断面	49
4.1.2	B-B 断面	63
4.2	許容限界の設定	77
4.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	77
4.2.2	せん断破壊に対する許容限界	79
4.2.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	86
5.	評価結果	87

5.1	地震応答解析結果	87
5.1.1	解析ケースと照査値	87
5.1.2	層間変形角時刻歴波形（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	109
5.1.3	断面力分布（せん断破壊に対する照査）	111
5.1.4	最大せん断ひずみ分布	116
5.1.5	過剰間隙水圧比分布	120
5.2	構造部材の健全性に対する評価結果	124
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	124
5.2.2	せん断破壊に対する評価結果	127
5.3	基礎地盤の支持性能に対する支持力評価	137
6.	まとめ	142

1. 評価方法

本資料は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、第1号機取水路が、上位クラス施設である防潮堤（鋼管式鉛直壁）の地中部に位置していることから、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

第1号機取水路は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響評価を行う。

波及的影響の評価は、上位クラス施設の機能が保持されることを確認するために、下位クラス施設である第1号機取水路を対象に、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計に適用する基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、第1号機取水路が十分な構造強度を有することを確認する。

ここで、第1号機取水路は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、波及的影響評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

なお、第1号機取水路の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮し、地盤沈下量を考慮した敷地高さや施設高さ等を記載する。

2. 評価条件

2.1 評価対象断面の方向

第1号機取水路の平面図を図2-1に、波及的影響評価の対象区間を図2-2に、断面図を図2-3に、概略配筋図を図2-4に示す。

第1号機取水路は、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、評価対象区間は図2-2に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の置換コンクリート及び改良地盤内部を横断する。

評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表2-1に示す。第1号機取水路の南北方向は加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震上見込むことができることから、強軸方向となる。一方、東西方向は、加振方向と平行に配置される構造部材がないことから、弱軸方向となる。また、上位クラスの防潮堤（鋼管式鉛直壁）についても、東西方向に斜面形状を有していることから、傾斜方向への変形が支配的な東西方向を弱軸方向として代表断面を選定している。

以上のことから、第1号機取水路の耐震評価では、構造の安定性に支配的な弱軸方向である東西方向を評価対象断面とする。

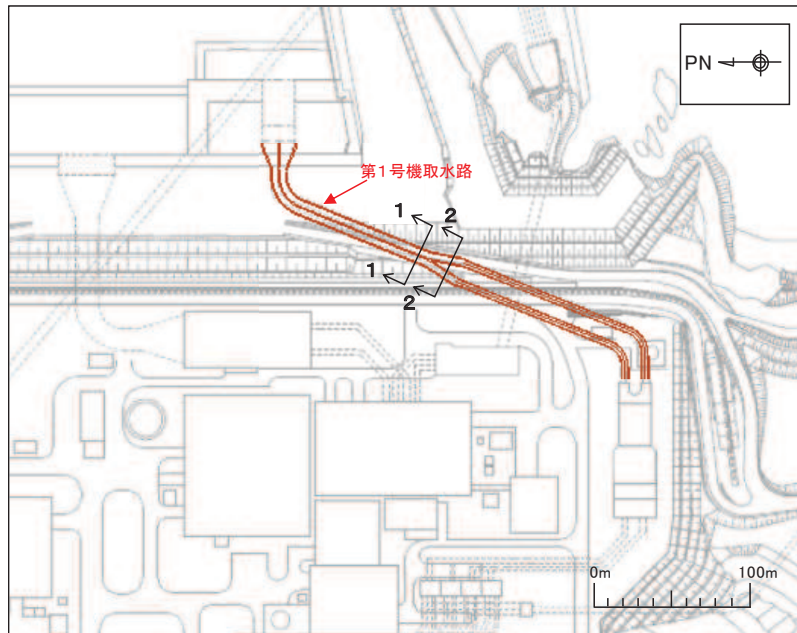


図 2-1 第 1 号機取水路の位置図

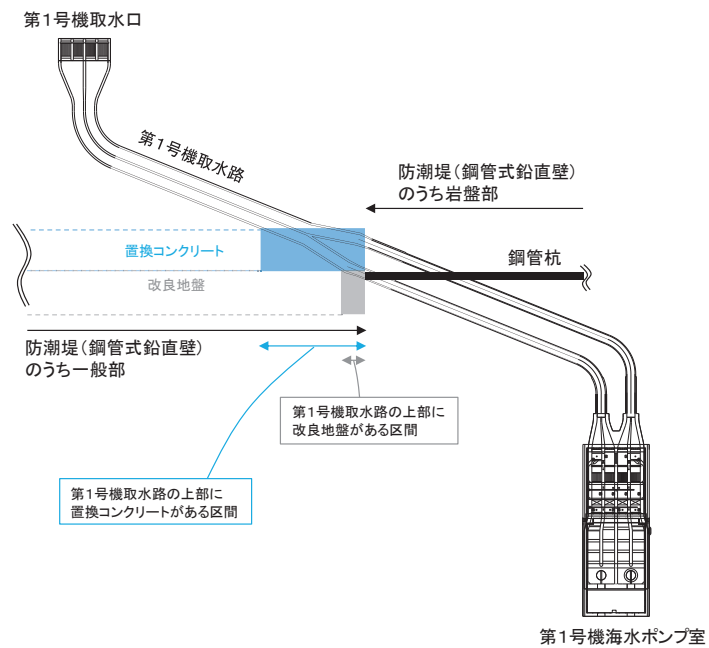


図 2-2 第 1 号機取水路の波及的影響評価の対象区間

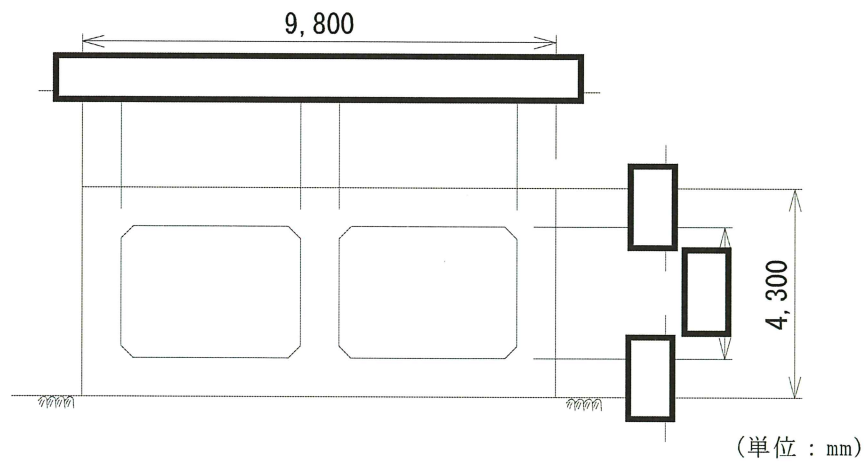
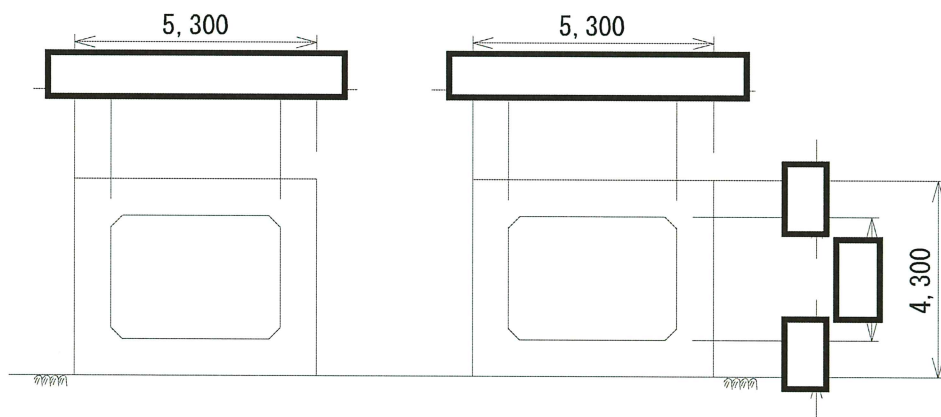


図 2-3(1) 第 1 号機取水路の構造図 (1-1 断面)



(左) (右)
図 2-3(2) 第 1 号機取水路の構造図 (2-2 断面)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

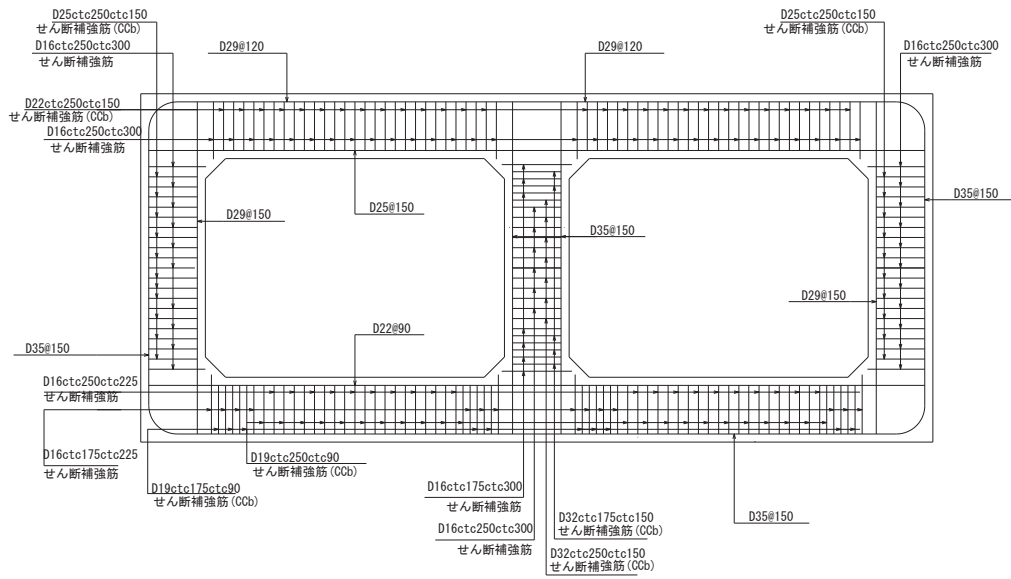


図 2-4(1) 第 1 号機取水路の概略配筋図 (1-1 断面)

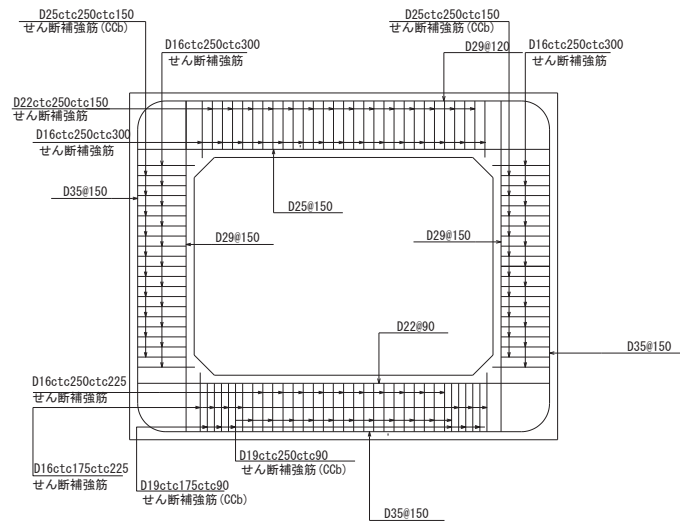
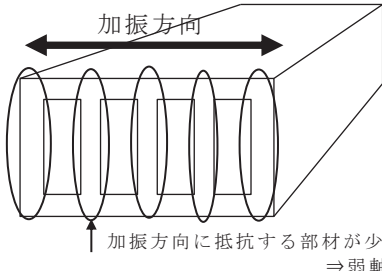
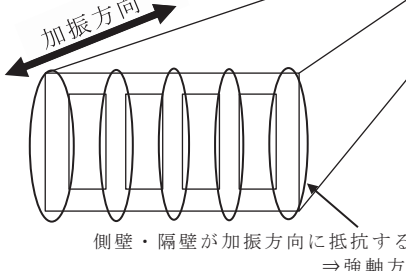


図 2-4(2) 第 1 号機取水路の概略配筋図 (2-2 断面)

表 2-1 第 1 号機取水路の評価対象断面の方向の選定

	東西方向の加振	南北方向の加振
第 1 号機取水路	 <p>加振方向に抵抗する部材が少ない => 弱軸方向</p>	 <p>側壁・隔壁が加振方向に抵抗する => 強軸方向</p>
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 東西方向は，加振方向に平行な壁部材がなく，弱軸方向にあたる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 南北方向は，加振方向に平行な部材及び隔壁を耐震設計上見込むことができ，強軸方向にあたる。
	上位クラスの防潮堤（鋼管式鉛直壁）の評価対象断面方向（東西方向）も考慮し，弱軸方向を評価対象断面とする。	

2.2 評価対象断面の選定

第1号機取水路は、第1号機取水口と第1号機海水ポンプ室を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長約151m、内空幅 []、内空高さ [] の一連又は二連ボックスカルバート部と、延長約126m～138m、内径 [] のトンネル部より構成され、延長方向に断面の変化が少ない線状構造物である。

また、第1号機取水路は、直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

上位クラスである防潮堤（鋼管式鉛直壁）は、第1号機取水路のうち、一連及び二連ボックスカルバート部を横断することから、それぞれの構造において耐震評価上厳しいと想定される断面を評価対象断面として選定する。

周辺状況として、図2-5に示すとおり、第1号機取水路は防潮堤（鋼管式鉛直壁）と斜交することから、断面位置によって、第1号機取水路周辺の置換コンクリート及び改良地盤の状況が異なる。また、上部に位置する置換コンクリート及び改良地盤の東西方向の幅及び上面高さは一定である。よって、第1号機取水路に対しては、岩盤表面が深くなることで、置換コンクリートの厚さが厚くなる又は改良地盤の厚さが厚くなる断面が、第1号機取水路へ与える荷重が大きくなり、耐震評価上厳しい断面と想定される。

なお、地下水位は O.P. +1.43m で一定である（防潮堤（鋼管式鉛直壁）の設計用地下水位と同様）ことから、断面選定の観点には含めない。

評価対象断面は、第1号機取水路の弱軸方向である、第1号機取水路の直交断面を基本として考えるが、地震時に防潮堤（鋼管式鉛直壁）が汀線直交方向に応答が大きくなる構造であることを踏まえ、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の汀線直交方向の断面を選定する。

第1号機取水路の評価対象断面位置図を図2-6、第1号機取水路付近の縦断図を図2-7に、評価対象断面図を図2-8及び図2-9に示す。上記観点を踏まえ、二連ボックスカルバート部から A-A 断面を、一連ボックスカルバート部から B-B 断面を評価対象断面として選定した。

A-A 断面：二連のボックスカルバート区間のうち、岩盤表面が深く、置換コンクリートが厚くなることで、置換コンクリートから第1号機取水路に与える荷重が大きくなることが想定される断面。

B-B 断面：一連のボックスカルバート区間のうち、置換コンクリート及び改良地盤直下を横断し、かつ岩盤表面が深く、置換コンクリート及び改良地盤が厚くなることで、置換コンクリート及び改良地盤から第1号機取水路に与える荷重が大きくなることが想定される断面。

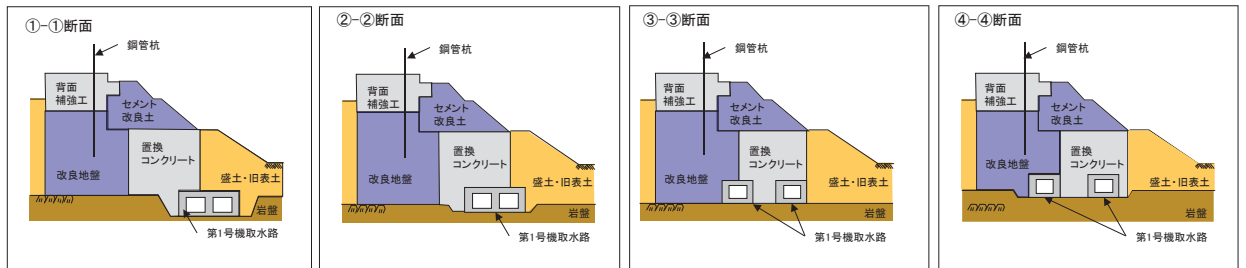
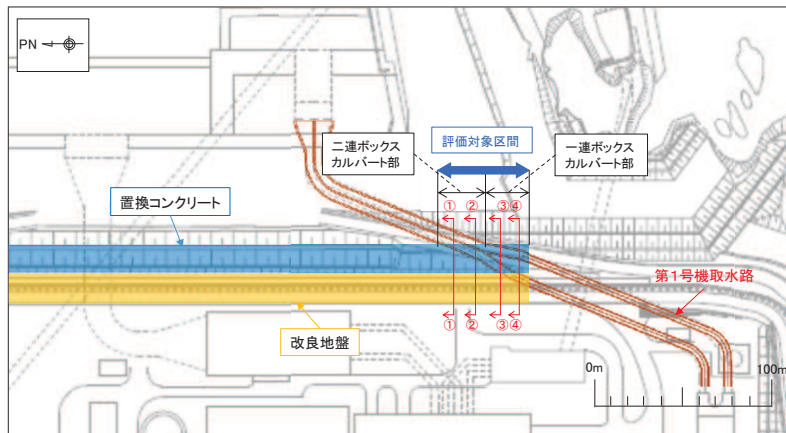


図 2-5 第1号機取水路の断面イメージ

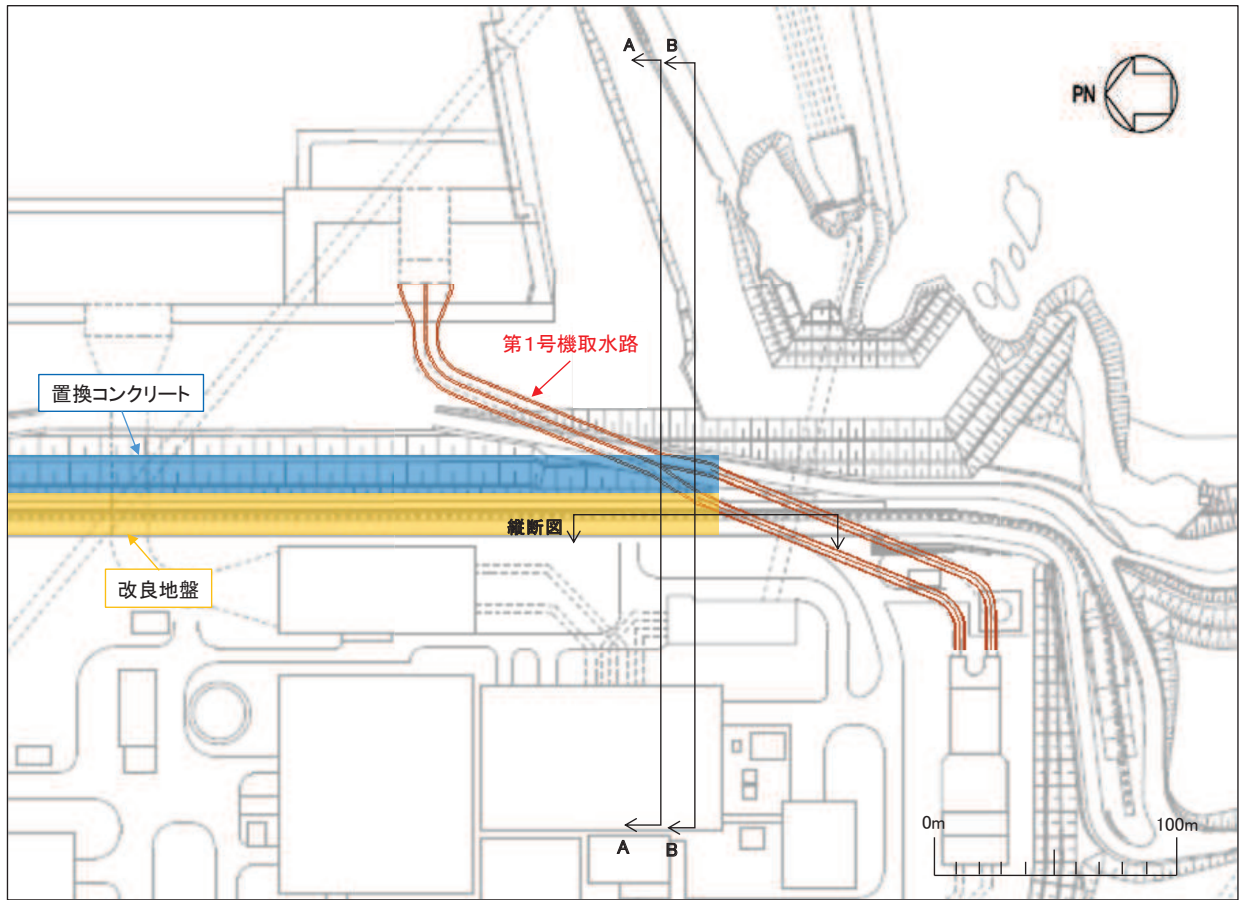


図 2-6 第 1 号機取水路の評価対象断面位置図

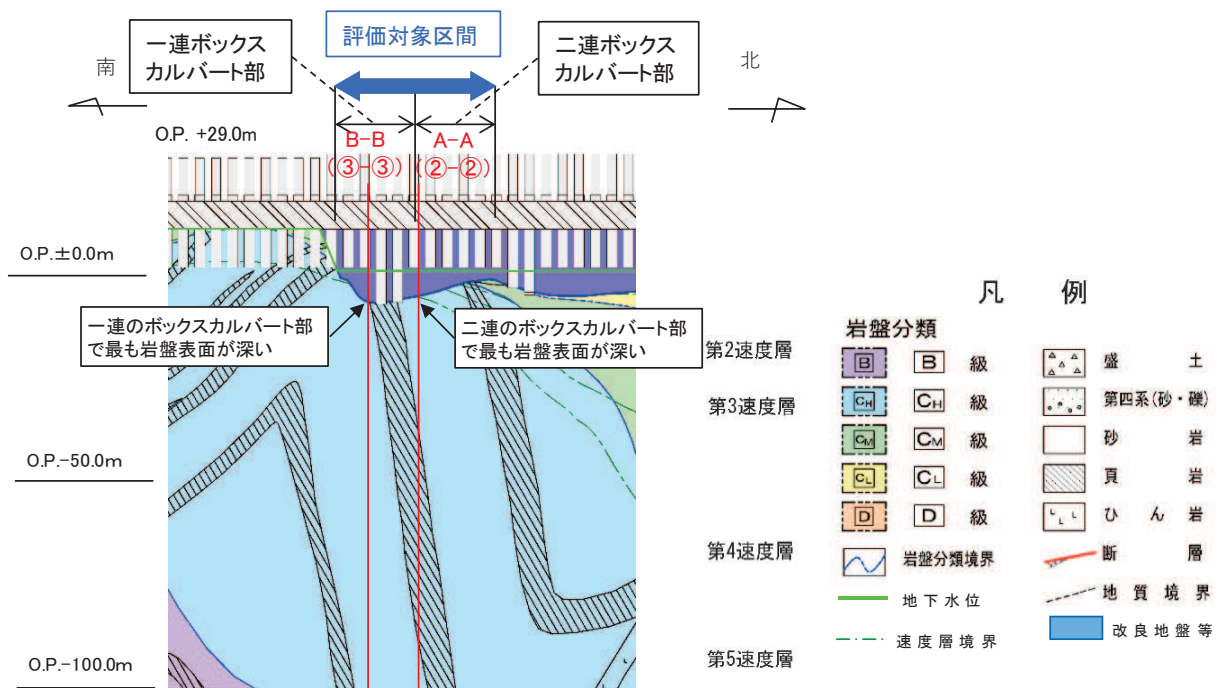


図 2-7 第 1 号機取水路付近の縦断面図

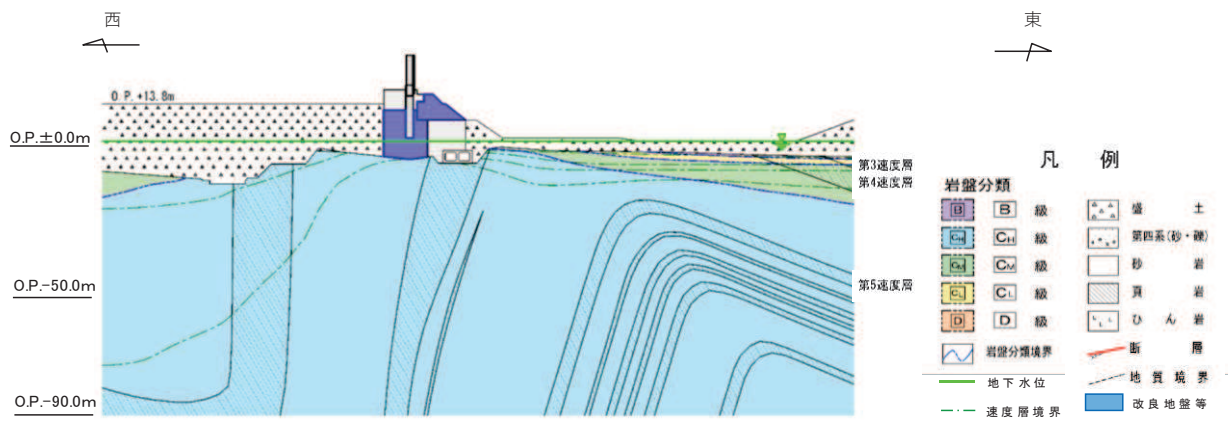


図 2-8 評価対象断面図 (A-A 断面)

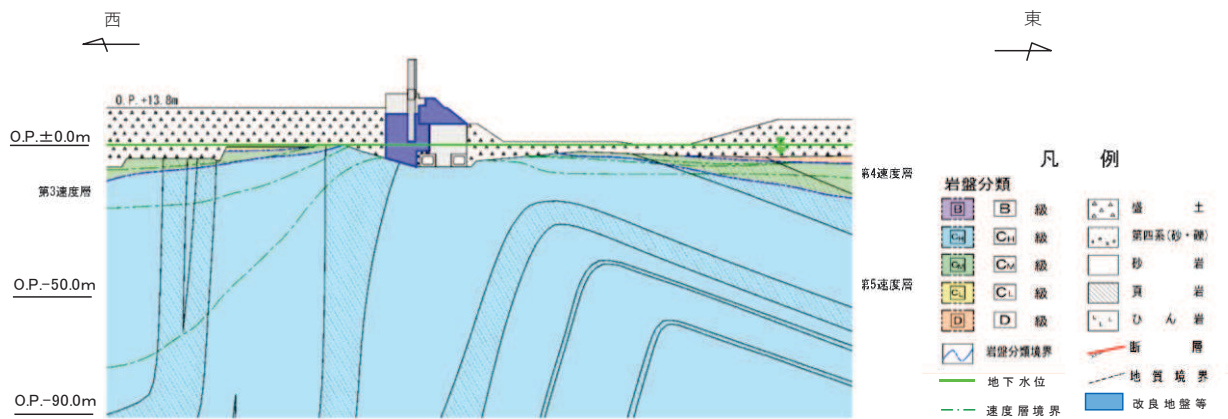


図 2-9 評価対象断面図 (B-B 断面)

2.3 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 2-2 に、材料の物性値を表 2-3 に示す。

表 2-2 使用材料

材料	諸元
鉄筋	SD345
コンクリート (構造部材)	設計基準強度 20.5N/mm ²
コンクリート (背面補強工)	設計基準強度 30N/mm ²
コンクリート (置換コンクリート)	設計基準強度 30N/mm ²
鋼管杭	SM570, SKK490

表 2-3 材料の物性値

材料	項目		材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0	
鉄筋	ヤング係数 (N/mm ²)		2.00×10 ⁵	
コンクリート (構造部材)	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*	3.43×10 ⁴	解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴	解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比		0.2	
コンクリート (背面補強工)	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0	
	ヤング係数 (N/mm ²)		2.80×10 ⁴	
	ポアソン比		0.2	
コンクリート (置換コンクリート)	単位体積重量 (kN/m ³)		22.5	
	ヤング係数 (N/mm ²)		2.80×10 ⁴	
	ポアソン比		0.2	
鋼管杭 (SM570, SKK490)	単位体積重量 (kN/m ³)		77.0	
	ヤング係数 (N/mm ²)		2.00×10 ⁵	
	ポアソン比		0.3	

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

2.4 地盤の物性値

地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の物性値を表 2-4～表 2-7 に示す。

表 2-4(1) 地盤の解析用物性値 (狐崎部層)

岩種・岩級	物理特性		強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	静的・動的特性			静的特性		動的特性		減衰定数 h	
		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_s (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		
B級	26.4	1.72	43.0	$1.30\sigma^{0.73}$	1,770	0.25	表 2-4(2) 参照	0.03		
C _H 級	26.2	1.72	43.0	$1.30\sigma^{0.73}$	1,770	0.24		0.03		
C _M 級	25.2	0.49	47.0	$1.16\sigma^{0.62}$	980	0.26		0.03		
C _L 級	24.1	0.46	44.0	$0.73\sigma^{0.76}$	400	0.31		0.03		
D級	20.2	0.10	24.0	$0.41\sigma^{0.49}$	78	0.38		h = $0.085\gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$		

表 2-4(2) 地盤の解析用物性値 (狐崎部層)

岩種・岩級		速度層	動的変形特性	
			動せん断弾性係数 $G_d(N/mm^2)$	動ポアソン比 ν_d
B級 及び C _H 級	砂岩	第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.9×10^3	0.40
		第4速度層	13.2×10^3	0.36
		第5速度層	16.5×10^3	0.35
C _M 級		第1速度層	0.2×10^3	0.48
		第2速度層	1.5×10^3	0.44
		第3速度層	5.7×10^3	0.40
		第4速度層	12.7×10^3	0.36
		第5速度層	15.8×10^3	0.35
C _L 級	第1速度層	0.2×10^3	0.48	
	第2速度層	1.4×10^3	0.44	
	第3速度層	5.5×10^3	0.40	
D級	第1速度層	表 2-4(1) 参照	0.48	
	第2速度層		0.44	

表 2-5 地盤の解析用物性値 (盛土他)

岩種・岩級	物理特性		強度特性				変形特性			
	単位体積重量 γ (kN/m ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	静的・動的特性		静的特性		動的特性		減衰定数 h	
			内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	せん断弾性係数 E_s (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
盛土	20.6	0.06	30.0	—	$0.06 + \sigma \tan 30.0^\circ$	$198 \sigma^{0.60}$	0.40	$G_0 = 382 \sigma^{0.71}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00036) * 1$	0.48	$h = 0.183 \gamma / (\gamma + 0.000261)$
旧表土	19.0	0.08	26.2	—	$0.08 + \sigma \tan 26.2^\circ$	$302 \sigma^{0.80}$	0.40	$G_0 = 211 \sigma^{0.42}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00087)$	0.46	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.0201 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.0911 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断面 及びビーム**2	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.30}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.30}$	0.40	$G_0 = 192.3 \sigma^{0.74}$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0012) * 1$	0.46	$\gamma < 1 \times 10^{-4}$ $h = 0.024$ $1 \times 10^{-4} \leq \gamma < 1.6 \times 10^{-2}$ $h = 0.024 + 0.089 (\log \gamma + 4)$ $1.6 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
セメント改良土	21.6	0.65	44.3	0.46	$0.21 + \sigma \tan 40.9^\circ$	690	0.26	$G_0 = 1670$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00085)$	0.36	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.0311 \log \gamma$
改良地盤	20.6	1.39	22.1	0.65	$0.51 + \sigma \tan 34.6^\circ$	4,480	0.19	$G_0 = 1940$ $G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00136)$	0.35	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.0501 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$

*1: 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

$$G_0 = E_s / 2 (1 + \nu_s), \quad G_d/G_0 = 1 / (1 + \gamma / \gamma_m), \quad \gamma_m = \tau / G_0$$

*2: 断面及びビームの存在物は、「粘土状」, 「砂状」, 「鱗片上」等の性状が確認されているが, そのうち最も強度の小さい粘土状物質にて試験を行い解析用物性値を設定している

表 2-6 地盤の解析用物性値（有効応力解析，液状化検討対象層）

		旧表土	盛土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94 (1.88) *	2.10 (1.90) *	
	間隙率 n	0.437	0.363	
変形特性	動せん断 弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	2.110×10^5	7.071×10^4	
	基準平均 有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	0.40	0.40	
	減衰定数 の上限値 h_{max}	0.220	0.183	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)	0.08 (0.00) *	0.06 (0.10) *	
	内部摩擦角 ϕ (°)	26.2 (38.7) *	30.0 (33.9) *	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28.0	28.0	
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005
		w_1	1.3	14.0
		p_1	1.2	1.0
		p_2	0.8	0.6
		c_1	2.75	2.8

注記 * : 括弧内の数値は，地下水位以浅の値を表す。

表 2-7 地盤の解析用物性値（有効応力解析，非液化化検討対象層）

			D 級岩盤	改良地盤	セメント改良土	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		2.06 (1.95)*	2.10 (2.00)*	2.20	
	間隙率 n		0.349	0.00	0.00	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)		2.000×10^5	1.94×10^6 (1.84×10^6)*	1.67×10^6	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)		1.0×10^3	1.0×10^3	1.0×10^3	
	ポアソン比 ν	第 1 速度層		0.48	0.35	0.36
		第 2 速度層		0.44 (狐崎部層) 0.45 (牧の浜部層)		
減衰定数の上限値 h_{max}			0.113	0.113	0.080	
強度特性	粘着力 c (N/mm ²)		0.10	1.39	0.65	
	内部摩擦角 ϕ (°)		24.0	22.1	44.3	

注記 *：括弧内の数値は，地下水位以浅の値を表す。

2.5 評価構造物の諸元

照査を行う第1号機取水路の躯体に関する諸元を表2-8に示す。評価部位を図2-10に示す。

表2-8 構造物の評価部位とその仕様

部位	仕様		材料	
	部材幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート f'_{ck} (N/mm ²)	鉄筋
頂版	1.000	0.800	20.5	SD345
側壁	1.000	0.800	20.5	SD345
隔壁	1.000	0.800	20.5	SD345
底版	1.000	0.800	20.5	SD345

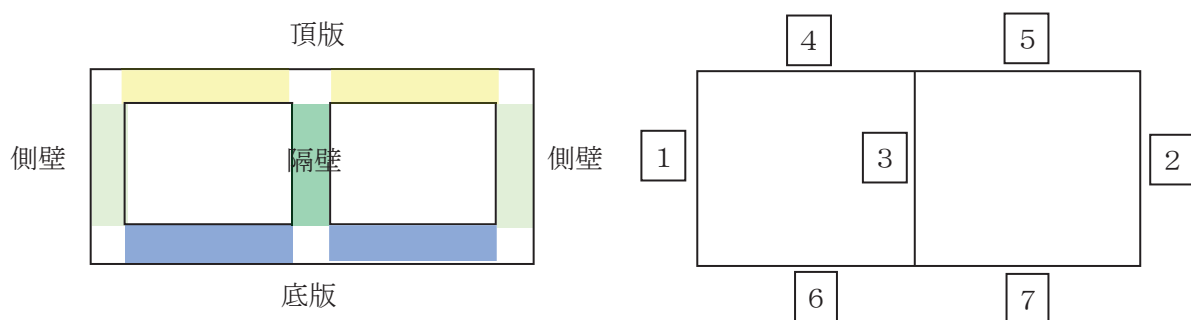


図2-10(1) 評価部位 (A-A断面)

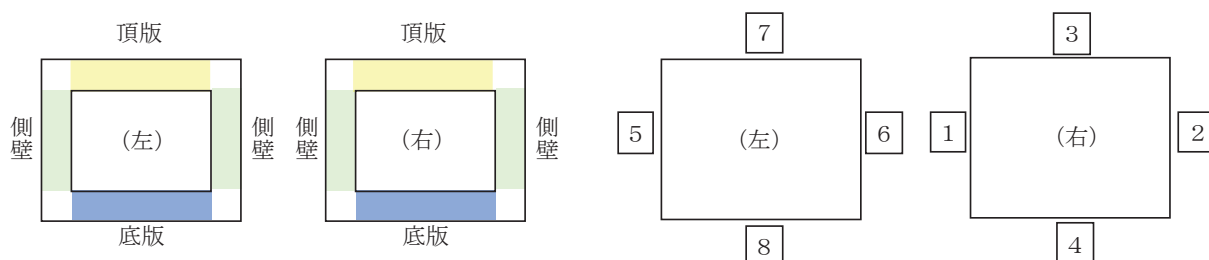


図2-10(2) 評価部位 (B-B断面)

2.6 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定することとし、表 2-9 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部と同様の設計用地下水位とする。

また、設計用地下水位の分布を図 2-11 に示す。

表 2-9 評価対象断面の設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
第 1 号機取水路 (A-A 断面及び B-B 断面)	O. P. +1.43m (防潮堤（鋼管式鉛直壁） 一般部と同様)

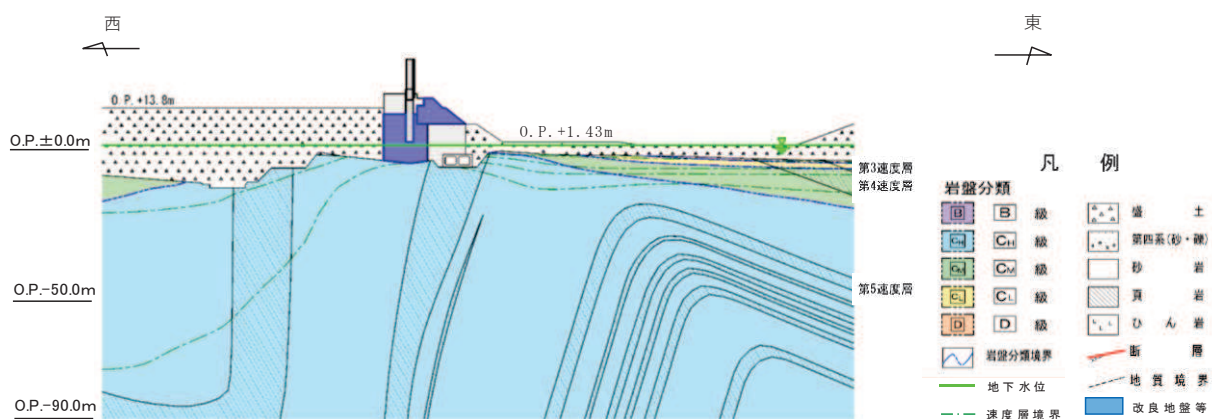


図 2-11(1) 第 1 号機取水路（A-A 断面）の設計用地下水位

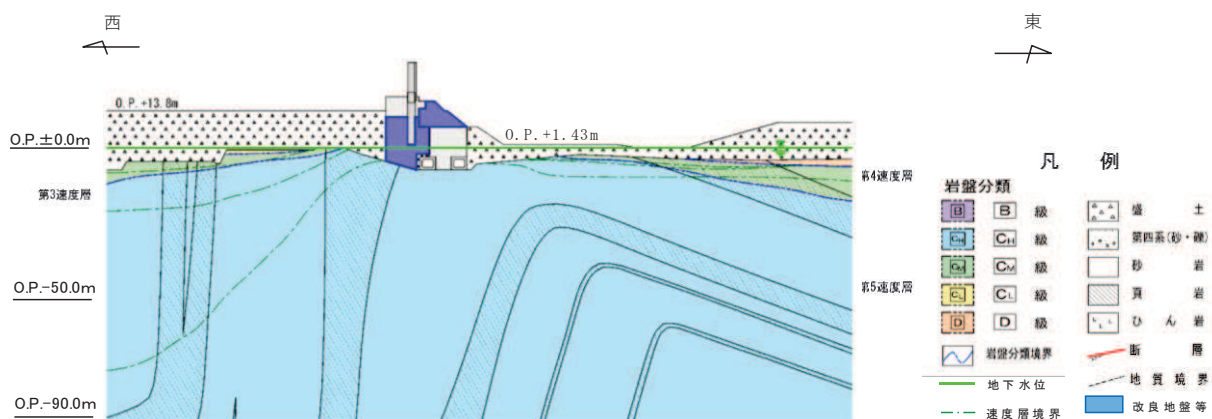


図 2-11(2) 第 1 号機取水路（B-B 断面）の設計用地下水位

2.7 耐震評価フロー

図 2-12 に第 1 号機取水路の耐震評価フローを示す。

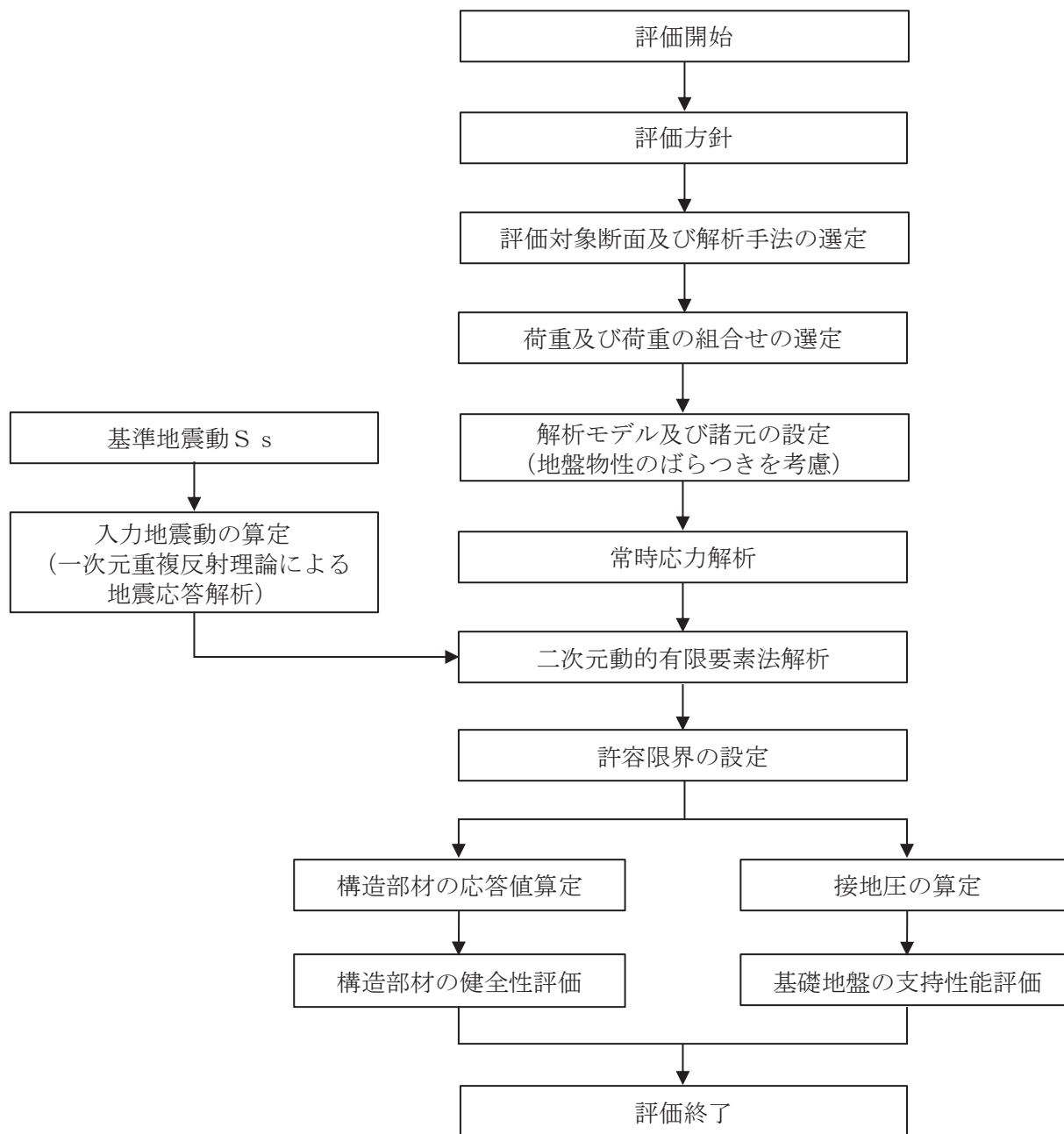


図 2-12 第 1 号機取水路の耐震評価フロー

2.8 適用規格

第 1 号機取水路の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会 2002 年制定）（以下「コンクリート標準示方書」という。）、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界の一部については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（2005 年 6 月 土木学会 原子力土木委員会）（以下「土木学会マニュアル」という。）を適用する。

表 2-10 に適用する規格，基準等を示す。

表 2-10 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	備考
使用材料及び材料の物性値	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会 2002 年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の材料諸元 (γ, E, ν) ・コンクリートの材料諸元 (γ, E, ν)
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会 2002 年制定） 	<ul style="list-style-type: none"> ・永久荷重，偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> ・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（2005 年 6 月 土木学会 原子力土木委員会） 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ・軸力系の破壊に対する照査は， ・曲げ・軸力系の破壊に対する照査は，限界層間変形角を設定した上で，発生層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認* ・せん断に対する照査は，発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認*
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会） 	<ul style="list-style-type: none"> ・有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析手法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととし、解析手法については、補足-610-20「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「資料1 4.3 解析手法選定の方針」に基づき設定する。解析手法の選定フローを図 3-1 に示す。

第1号機取水路は、防潮堤（鋼管式鉛直壁）内部を横断していることから、防潮堤と同様の有効応力解析により耐震評価を行う。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形特性については、鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。

地盤については、平面ひずみ要素でモデル化することとし、岩盤（D級岩盤以外）は線形でモデル化する。盛土、旧表土、改良地盤、セメント改良土及び D級岩盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようマルチスプリングモデルを用いることとし、ばね特性は双曲線モデル（H-D モデル）を用いて非線形性を考慮する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図 3-2 に示す。

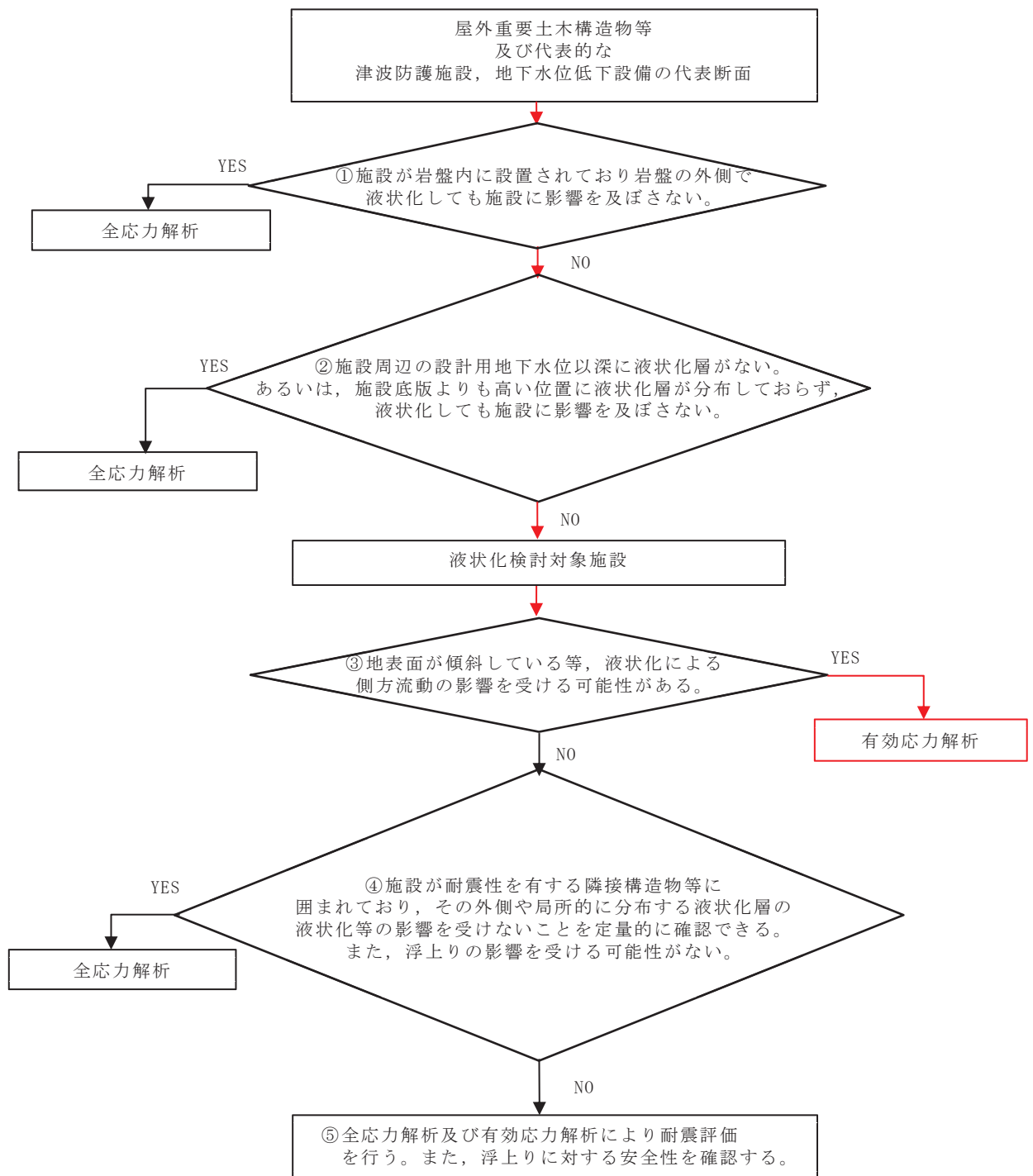


図 3-1 解析手法の選定フロー

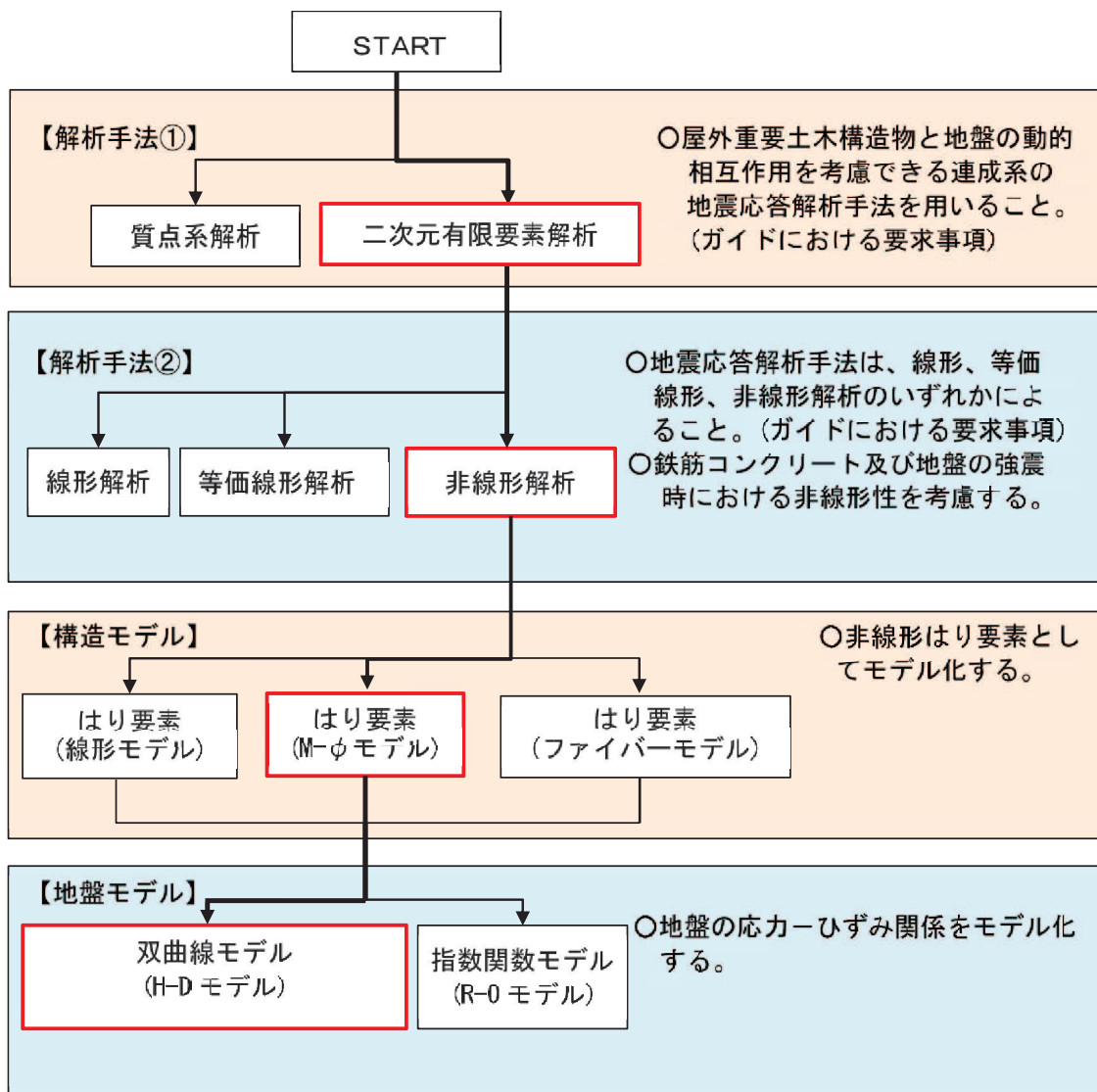


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

3.2 地震応答解析モデルの設定

3.2.1 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）を参考に、図 3-3 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度以上、モデル高さを構造物基礎幅の 2 倍程度以上とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面および底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに従い、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度まで細分割して設定する。

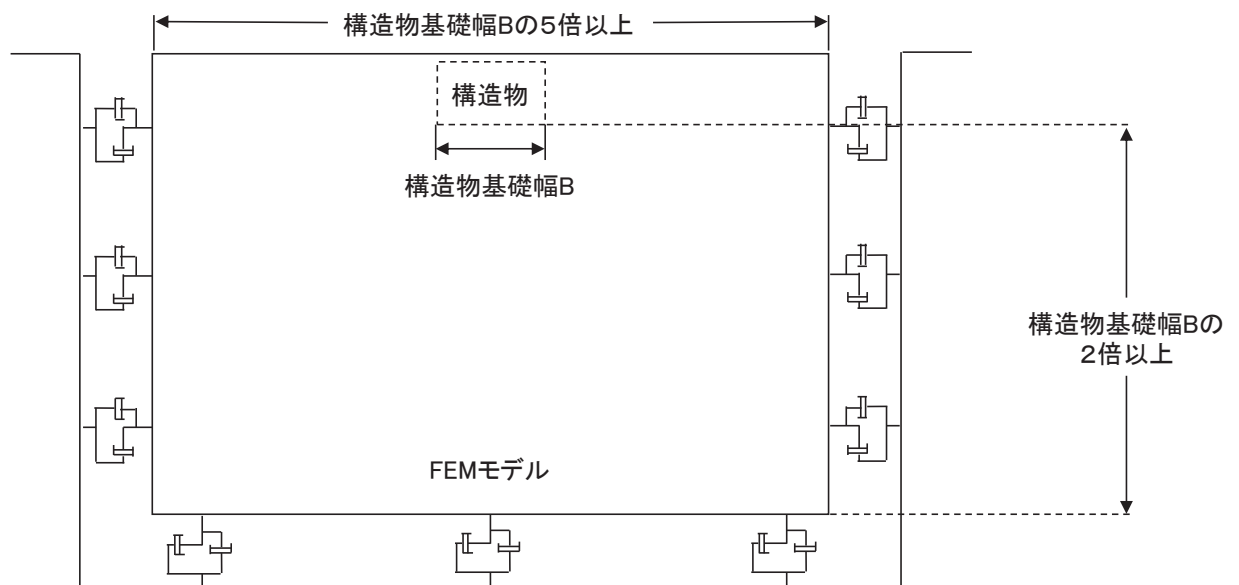


図 3-3 モデル化範囲の考え方

二次元地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。二次元地震応答解析における自由地盤の常時応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3-4 に示す。

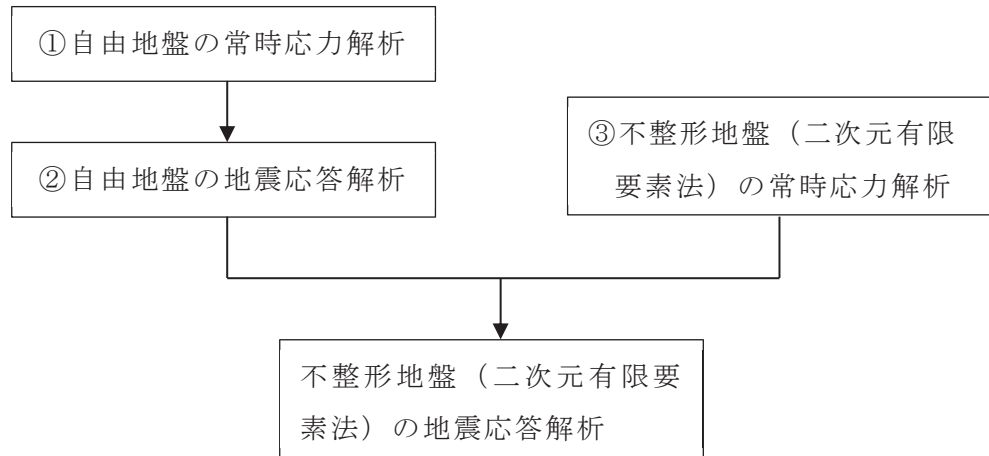


図 3-4 自由地盤の常時応力解析から不整形地盤（二次元有限要素法）の地震応答解析までのフロー

3.2.2 境界条件

(1) 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3-5 に示す。

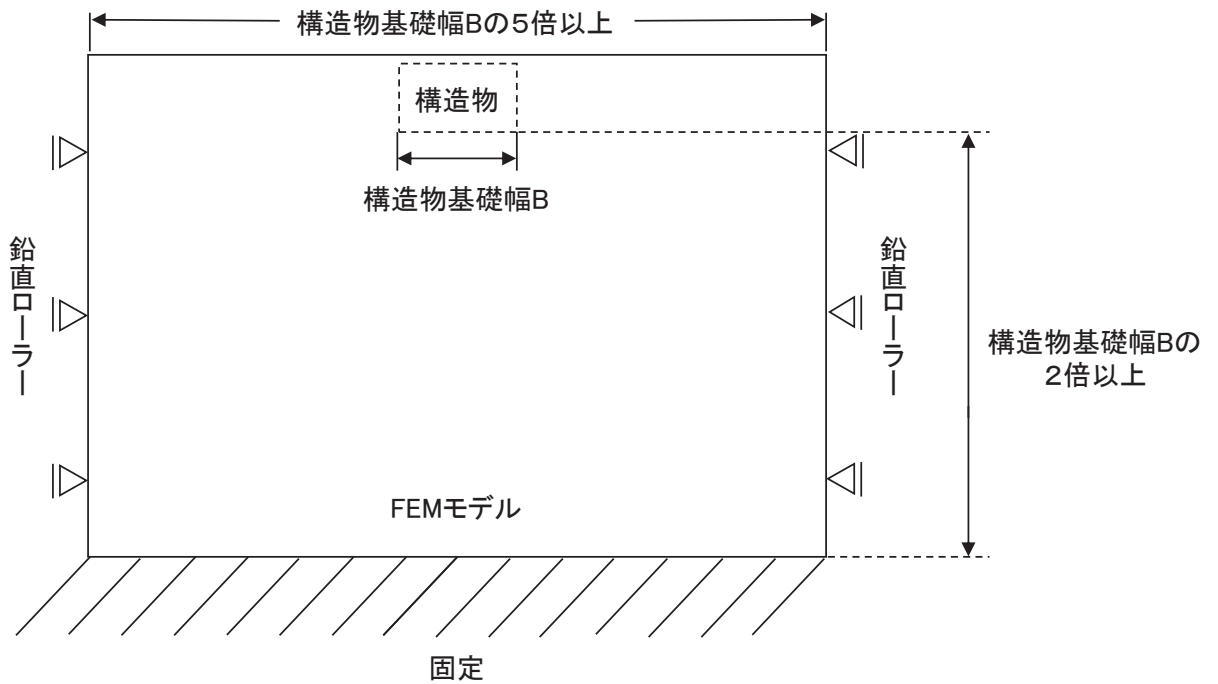
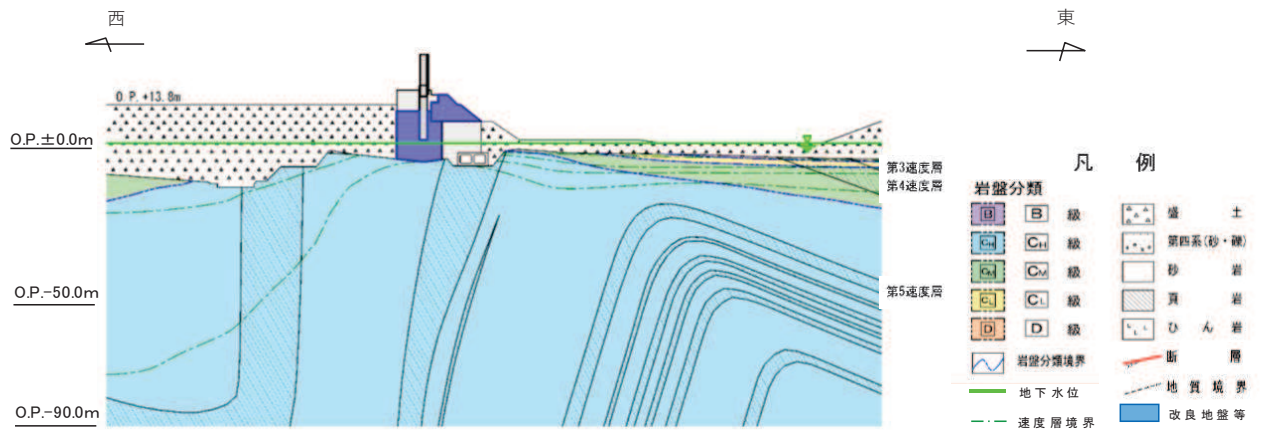


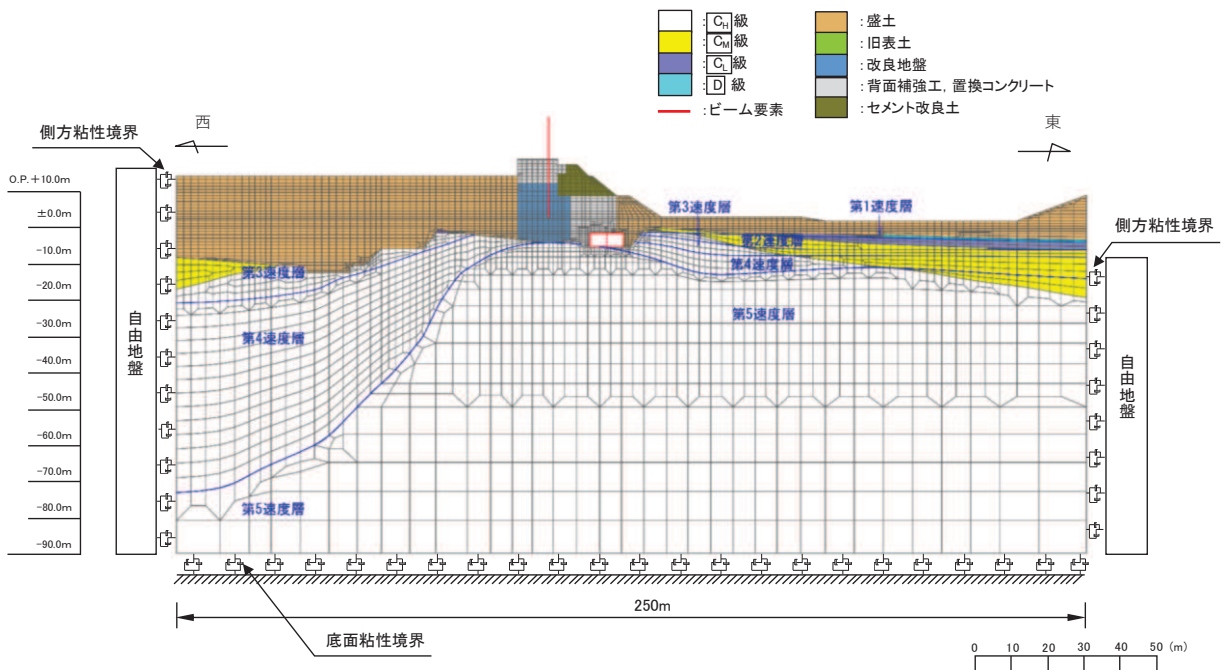
図 3-5 常時応力解析における境界条件の概念図

(2) 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不形成地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。評価対象断面及び地震応答解析モデル図を図 3-6 及び図 3-7 に示す。

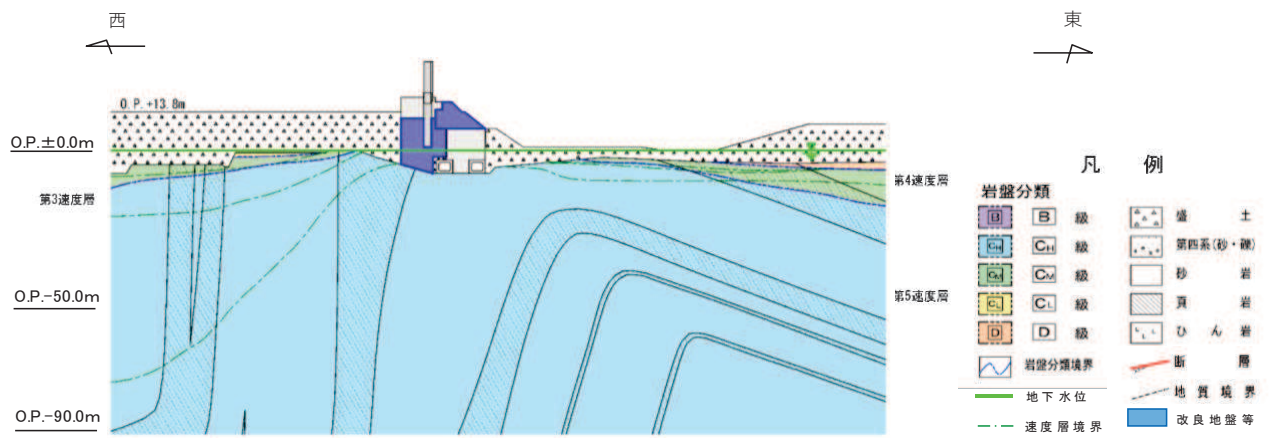


(a) 評価対象断面図

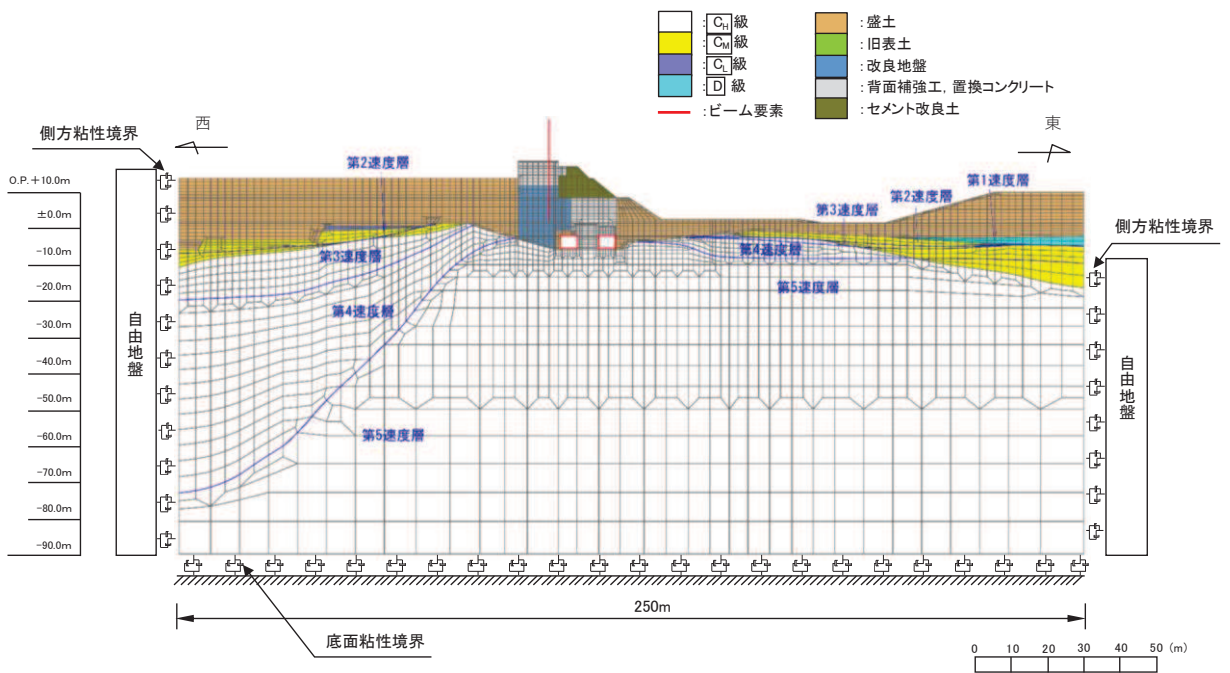


(b) 地震応答解析モデル図

図 3-6 第 1 号機取水路の評価対象断面図及び地震応答解析モデル図 (A-A 断面)



(a) 評価対象断面



(b) 地震応答解析モデル図

図 3-7 第 1 号機取水路の評価対象断面図及び地震応答解析モデル図 (B-B 断面)

3.2.3 構造物のモデル化

第1号機取水路では、構造部材を非線形はり要素でモデル化する。鉄筋コンクリート部材のはり要素の交点には、コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。

第1号機取水路の解析モデルにおける構造物部分の拡大図を図3-8及び図3-9に示す。

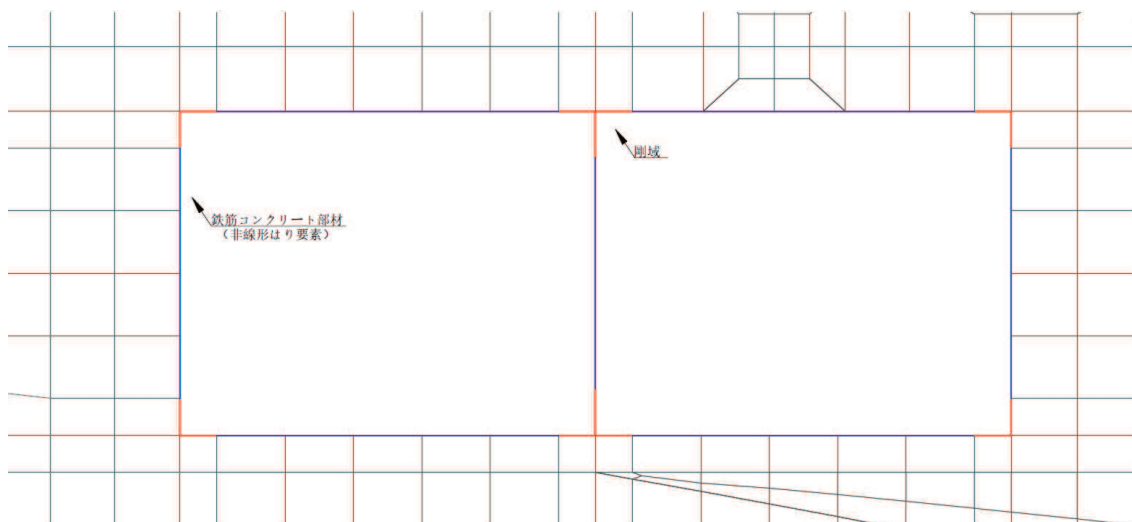


図3-8 第1号機取水路の地震応答解析モデル図（構造物部分拡大部，A-A断面）

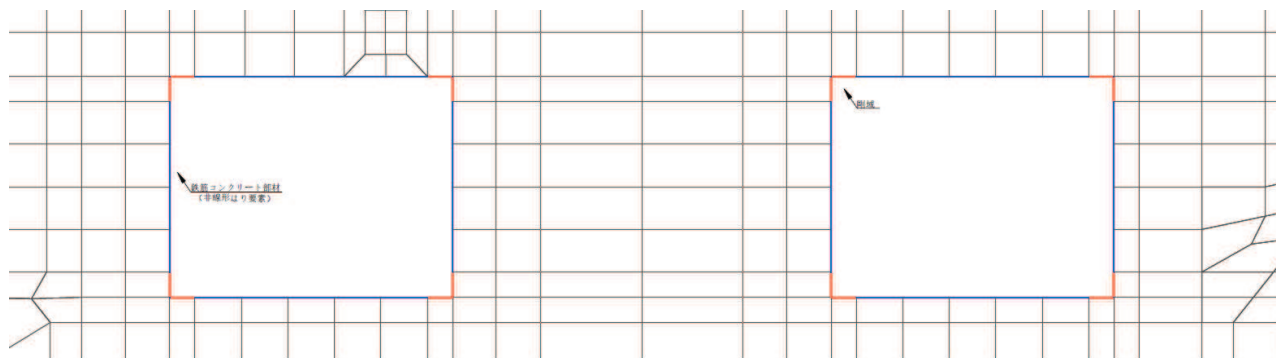


図3-9 第1号機取水路の地震応答解析モデル図（構造物部分拡大部，B-B断面）

3.2.4 隣接構造物のモデル化

隣接構造物として防潮堤（鋼管式鉛直壁）をモデル化する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）について、鋼管杭は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。背面補強工及び置換コンクリートは線形の平面ひずみ要素（ソリッド要素）でモデル化する。

3.2.5 ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ただし、表面を露出させて打継処理が可能である箇所については、ジョイント要素を設定しない。具体的には、背面補強工（コンクリート）と改良地盤の水平境界及びセメント改良土とコンクリートの水平境界については、双方の材料がセメント系の材料であって一体化しやすいこと及び打継処理が可能であることから、ジョイント要素を設定しない。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 3-10 にジョイント要素の力学特性、図 3-11 及び図 3-12 にジョイント要素の配置図を示す。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c 、 ϕ とし、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3-1～表 3-2 のとおりとする。また、要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、接合面に設定するジョイント要素のせん断強度は隣り合う地盤又は構造物の各せん断強度のうち小さい値を採用することとし、表 3-3 のとおり設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性（狐崎部層）

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
C _M 級*	0.49	47.0
C _H 級*	1.72	43.0

注記*：砂岩

表 3-2 周辺地盤との境界に用いる強度特性（共通）

地盤	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
盛土* ¹	0.10	33.9
盛土* ²	0.00	33.9
旧表土	0.00	38.7
セメント改良土	0.65	44.3
改良地盤	1.39	22.1
D級	0.10	24.0
C _L 級	0.46	44.0

注記 * 1：地下水位以浅

* 2：地下水位以深

表 3-3 要素間の粘着力と内部摩擦角

条件	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
背面補強工-盛土	盛土の c	盛土の ϕ
構造物-盛土	盛土の c	盛土の ϕ
改良地盤-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-岩盤	岩盤の c	岩盤の ϕ
置換コンクリート-盛土・旧表土	盛土・旧表土の c	盛土・旧表土の ϕ
改良地盤-セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
背面補強工-セメント改良土	セメント改良土の c	セメント改良土の ϕ
改良地盤-置換コンクリート	改良地盤の c	改良地盤の ϕ

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp10612070，2009）に従い，表 3-4 のとおり設定する。

表 3-4 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土・旧表土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤・セメント改良土・改良地盤	1.0×10^7	1.0×10^7

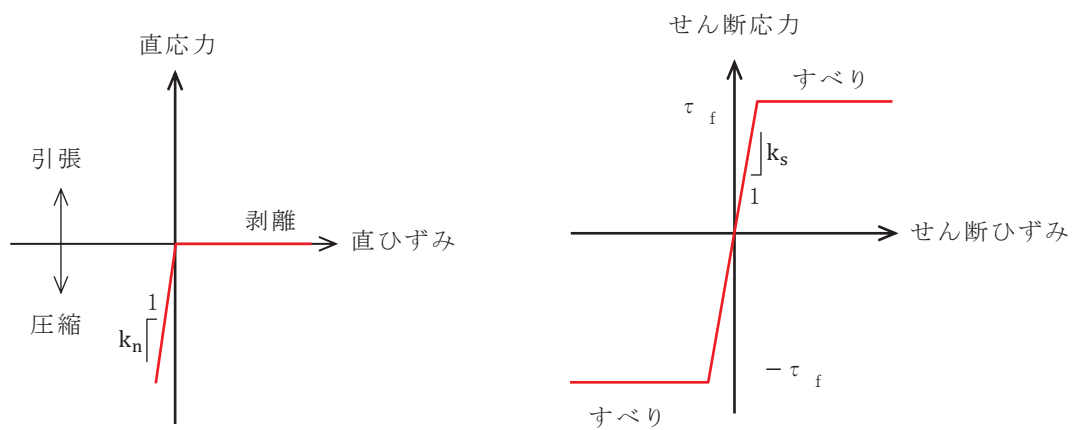


図 3-10 ジョイント要素の力学特性

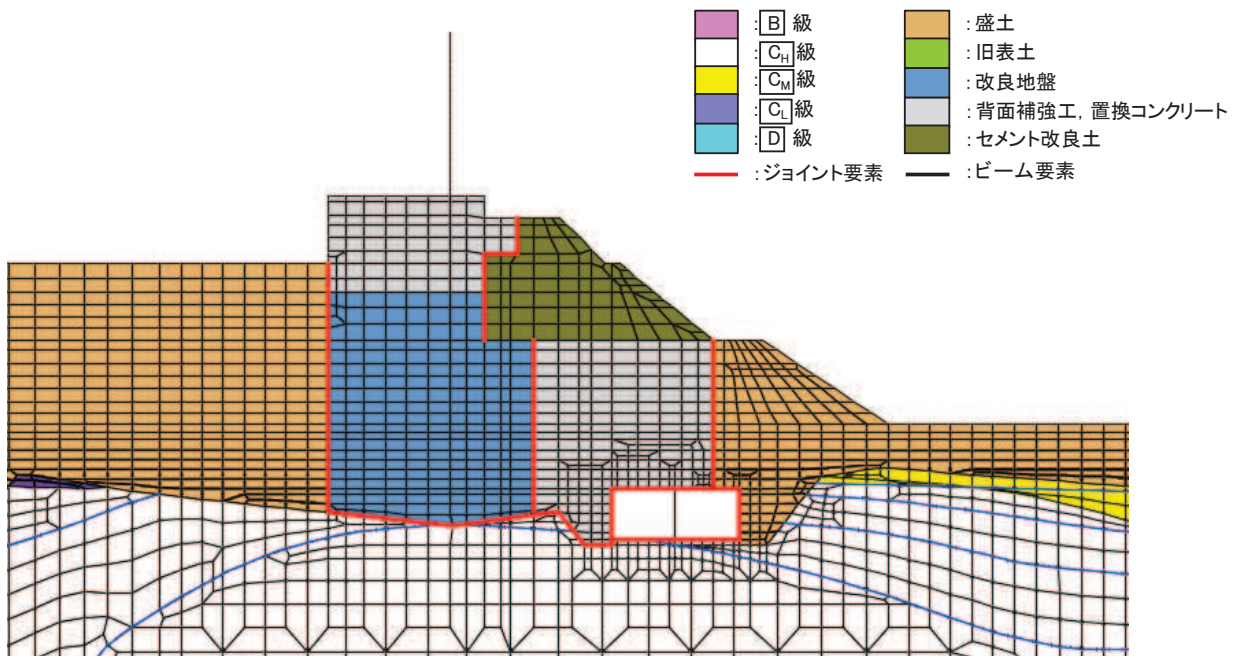


図 3-11 A-A 断面におけるジョイント要素の配置図

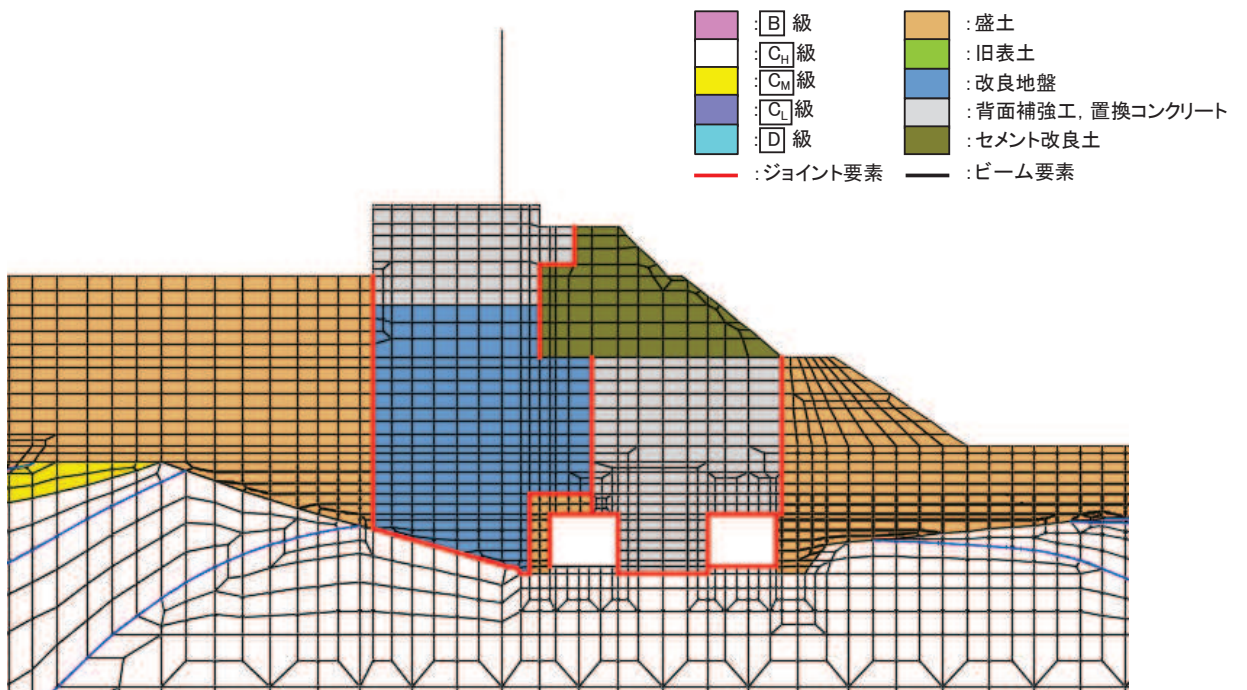


図 3-12 B-B 断面におけるジョイント要素の配置図

3.2.6 材料物性の設定

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素であるM- ϕ モデルを用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮する。材料の非線形性はコンクリート標準示方書 2002 に基づき設定する。

図 3-13 に鉄筋コンクリート部材におけるM- ϕ 関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。履歴特性は、図 3-14 に示すとおり修正武田モデルを適用する。コンクリートの応力-ひずみ関係及び、鉄筋の応力-ひずみ関係を図 3-15 及び図 3-16 に示す。

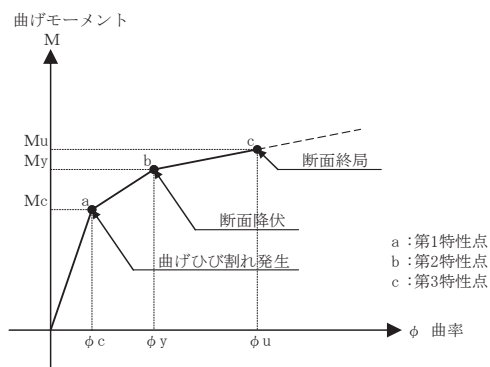


図 3-13 鉄筋コンクリート部材のM- ϕ 関係

(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

(土木学会 原子力土木委員会, 2005年6月) より引用)

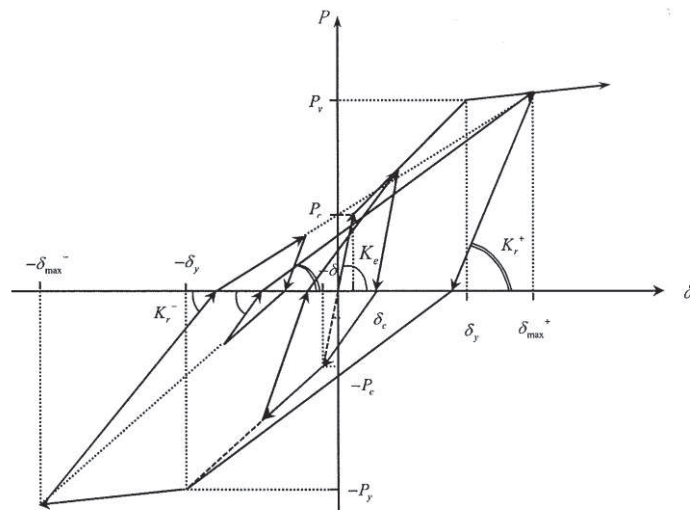


図 3-14 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)

(道路橋示方書 (V耐震設計編) ・同解説 (平成 14年3月) より引用)

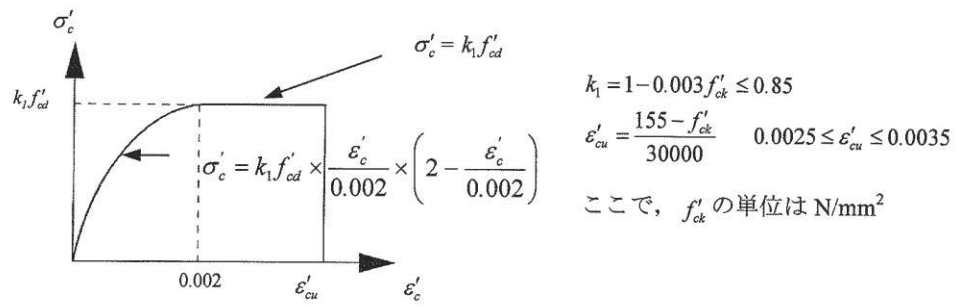


図 3-15 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）より引用）

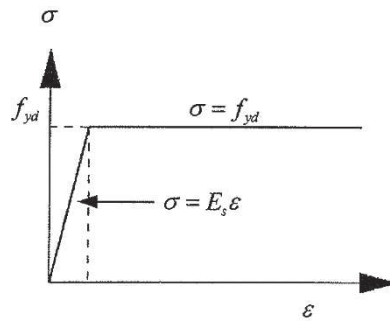


図 3-16 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）より引用）

3.3 減衰定数

減衰定数は、補足 610-20「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる解析モデル全体の固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

$[c]$: 減衰係数マトリックス, $[m]$: 質量マトリックス,

$[k]$: 剛性マトリックス

α, β : 係数

Rayleigh 減衰は、剛性比例型減衰 ($\alpha=0, \beta=0.002$) を考慮する。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を基に設定している。

3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震時荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震時荷重には、地震時土圧による荷重が含まれるものとする。

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m² の積雪荷重が作用することを考慮する。

なお、第 1 号機取水路は、地中に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられているため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する。
		機器・配管自重	—	対象構造物に作用する機器・配管はないため考慮しない。
		土被り荷重	○	常時応力解析により設定する。
		積載荷重	○	積雪荷重を含めて 4.9kN/m ² を考慮する。
		静止土圧	○	常時応力解析により設定する。
		外水圧	○	0. P. +13.8m を静水面とした外水圧を考慮する。
		内水圧	○	満水として考慮する。
		積雪荷重	○	積雪荷重を考慮する。
		風荷重	○	風荷重を考慮する。
偶発荷重		水平地震動	○	基準地震動 S _s による水平及び鉛直同時加振を考慮する。
		鉛直地震動	○	
		動水圧	○	地下水位及び地震動に応じた動水圧をモデル化する。

3.4.1 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位については「2.6 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

外水圧を図 3-17 に示す。

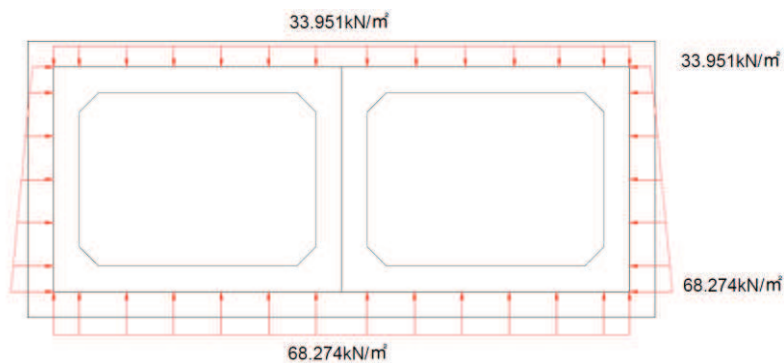


図 3-17(1) 外水圧図 (A-A 断面)

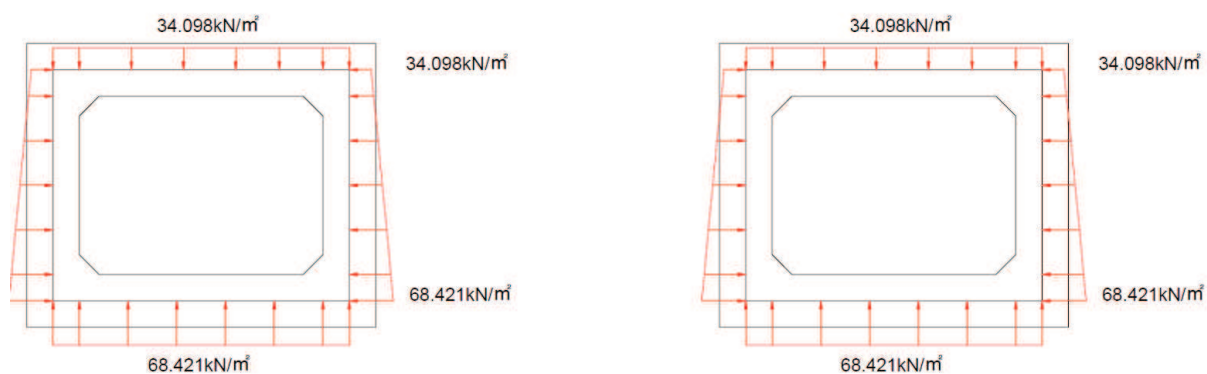


図 3-17(2) 外水圧図 (B-B 断面)

3.4.2 内水圧

第 1 号機取水路の内部には、朔望平均満潮位 O.P. +1.43m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。

設定の際には、海水の密度として $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

内水圧を図 3-18 に示す。

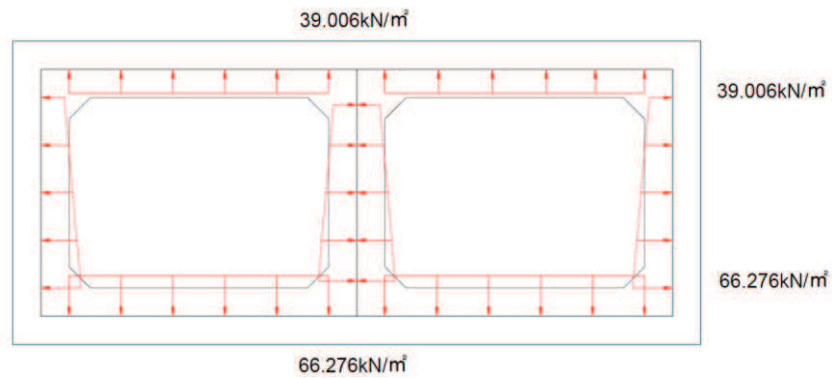


図 3-18(1) 内水圧図 (A-A 断面)

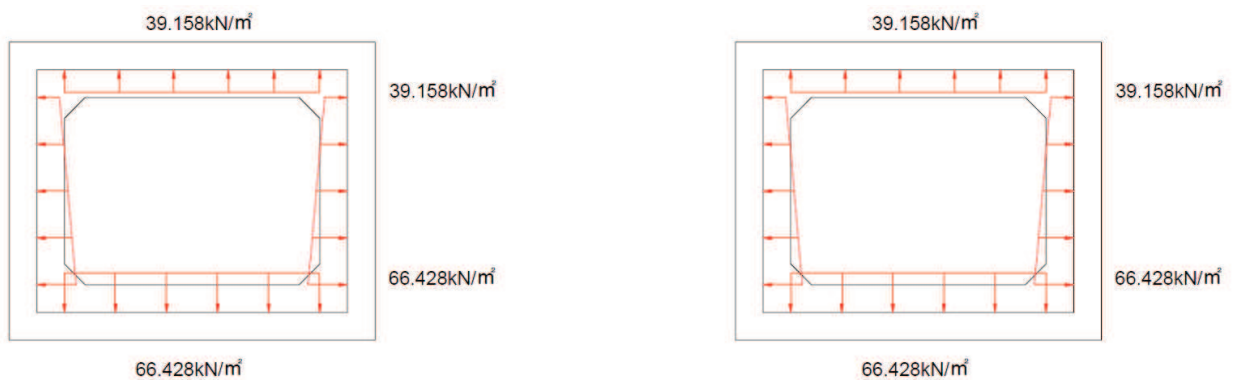


図 3-18(2) 内水圧図 (B-B 断面)

3.4.3 積載荷重

第 1 号機取水路に作用する積載荷重図を図 3-19 に示す。

地震時に第 1 号機取水路に作用する積載荷重については、積雪荷重を含めて単位奥行き (1m) 当たりの付加重量として地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

なお、積雪荷重は、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第 86 条第 2 項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し、 0.301kN/m^2 としている。

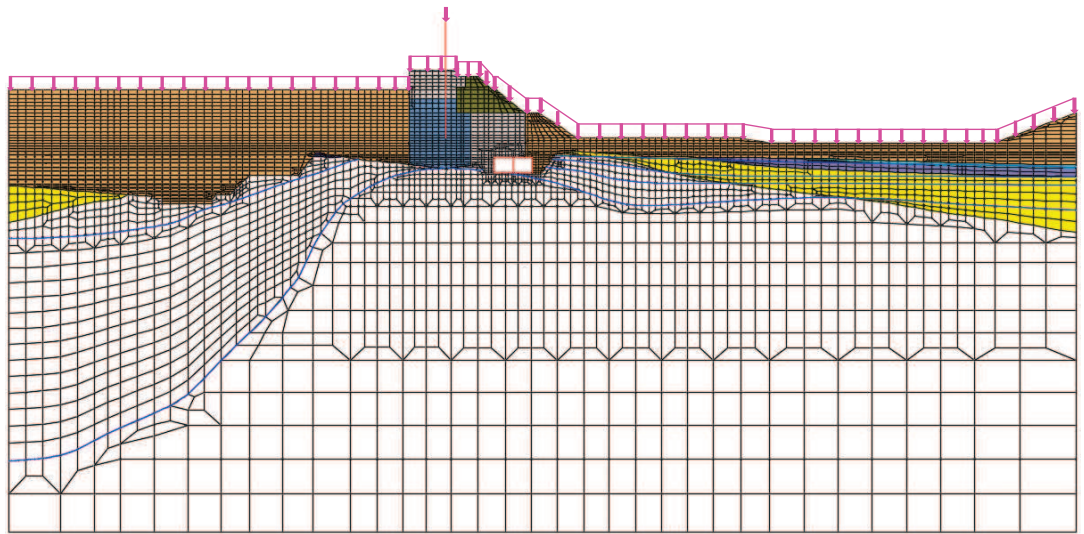


図 3-19 (1) 積載荷重の荷重図 (A-A 断面の例)

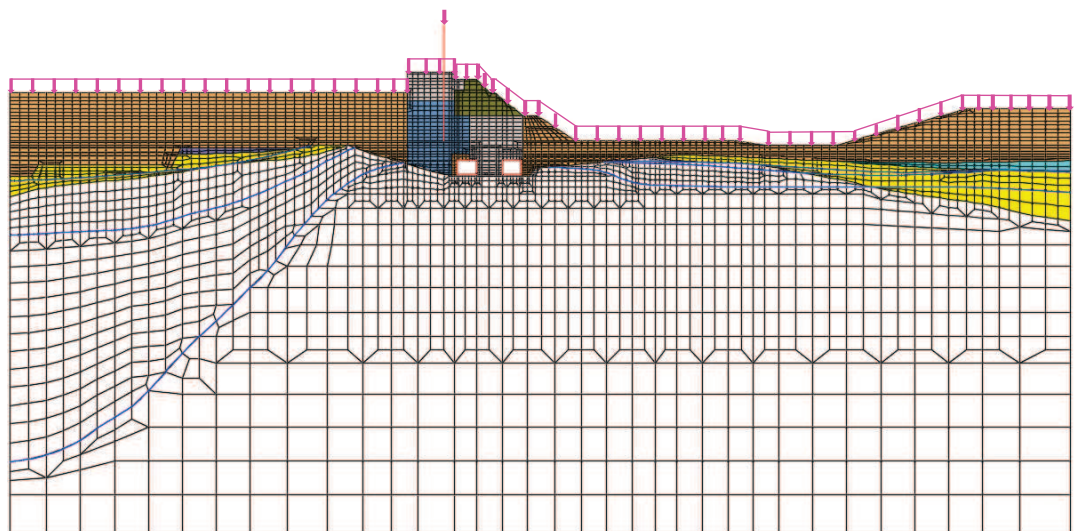


図 3-19 (2) 積載荷重の荷重図 (B-B 断面の例)

3.5 地震応答解析の解析ケース

3.5.1 耐震評価における解析ケース

(1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

第1号機取水路は、地盤に埋設及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）内を横断する鉄筋コンクリート構造物であり、構造物の耐震性に支配的な損傷モードは地盤のせん断変形を伴う構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊となる。そのため、ばらつきを考慮する物性値は、評価対象構造物周辺に主として盛土、旧表土、改良地盤、セメント改良土及びD級岩盤といった、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布し、これらの地盤が地震時に構造物への応答に大きく影響を与えると判断される場合は、これらの物性のばらつきについて影響を確認する。

ばらつきを考慮する物性は、地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表3-8に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差(σ)のケース（表3-8に示すケース②及び③）について確認を行う。なお、液状化強度特性については下限値を設定しており、最も液状化の影響が大きい物性を採用していることから、液状化強度特性のばらつきは考慮しない。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、補足-600-1「地盤の支持性能について」に示す。

(2) 材料物性のばらつきを考慮した解析ケース

材料物性のばらつきについては、剛性を定義するコンクリートのヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、ヤング係数をコンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う（表3-8に示すケース④）。

屋外重要土木構造物等の耐震性に支配的な要因である土圧は、構造物と周囲の地盤の剛性差により生じることから、構造物の剛性が低下し、地盤との剛性差が小さくなることは、耐震裕度が向上することとなる。したがって、屋外重要土木構造物等のコンクリートは設計基準強度に対応する剛性を基本とし、ばらつきの考慮としては、土圧が大きく評価されるようコンクリートの実強度に対応する剛性について確認を行う。なお、屋外重要土木構造物等は、屋外かつ湿潤した地盤に接して地中に埋設されていることから、建物と異なり乾燥する環境にはなく、点検においても乾燥収縮による有害なひび割れは確認されておらず、コンクリートの剛性低下は顕在化していない。

第1号機取水路における実強度は、構造物ごとのコア抜き強度 f'_{ck} の平均値とし、ヤング係数は実強度の平均値からコンクリート標準示方書 2017 に基づ

き算出する。第1号機取水路の実強度及びヤング係数を表3-6及び表3-7に示す。

また、耐震評価における解析ケースの一覧を表3-8に示す。

表3-6 第1号機取水路の実強度及びヤング係数

実強度*	ヤング係数
56.5N/mm ²	34.3kN/mm ²

注記*：第1号機取水路のコア採取による圧縮強度試験結果を表3-7に示す。

表3-7 第1号機取水路のコア採取による圧縮強度試験結果

採取位置*	採取年	供試体数 (本)	実強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)	
			最大	最小	最大	最小
側壁	2012	3	64.5	59.7	37.9	30.7
側壁	2017	3	47.0	56.0	36.7	33.2

注記*：コア採取位置は図3-20に示す。

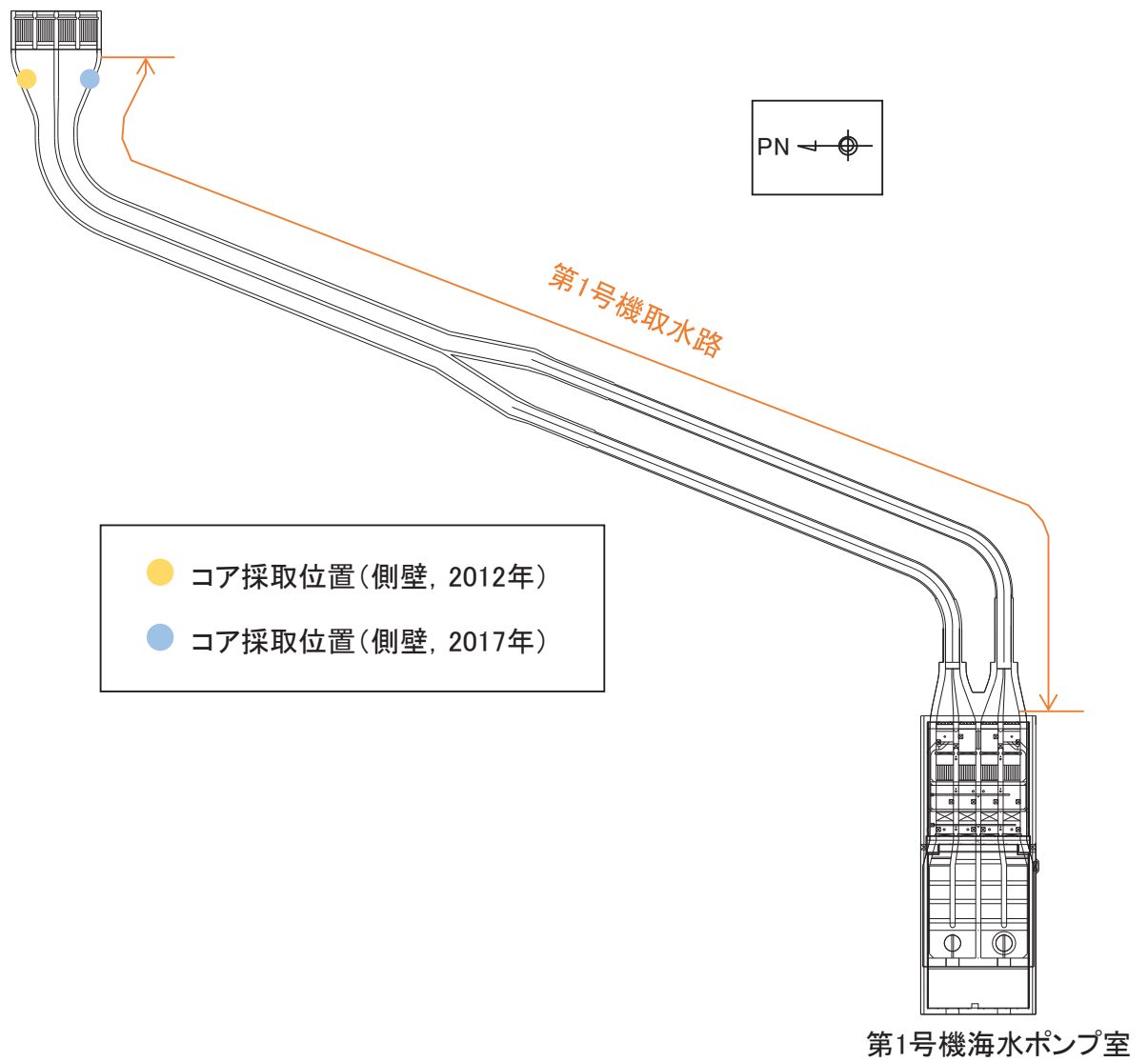


図 3-20 コア採取位置図

表 3-8 耐震評価における解析ケースの一覧

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		旧表土, 盛土, D級岩盤, セメント改良土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, E級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験に基づき表 3-6 に示すとおりとする。

(3) 耐震評価における解析ケースの組合せ

屋外重要土木構造物等の耐震評価においては、基本ケース（ケース①）において、基準地震動 S_s （7波）及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全14波を実施する。

上記のケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が0.5以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、図3-21に示すケース②～④を実施する。照査値がいずれも0.5未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。

また、上記解析ケースの結果を踏まえ、更に照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

耐震評価に対する解析ケースの組合せを表3-9に示す。また、追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図3-22に示す。

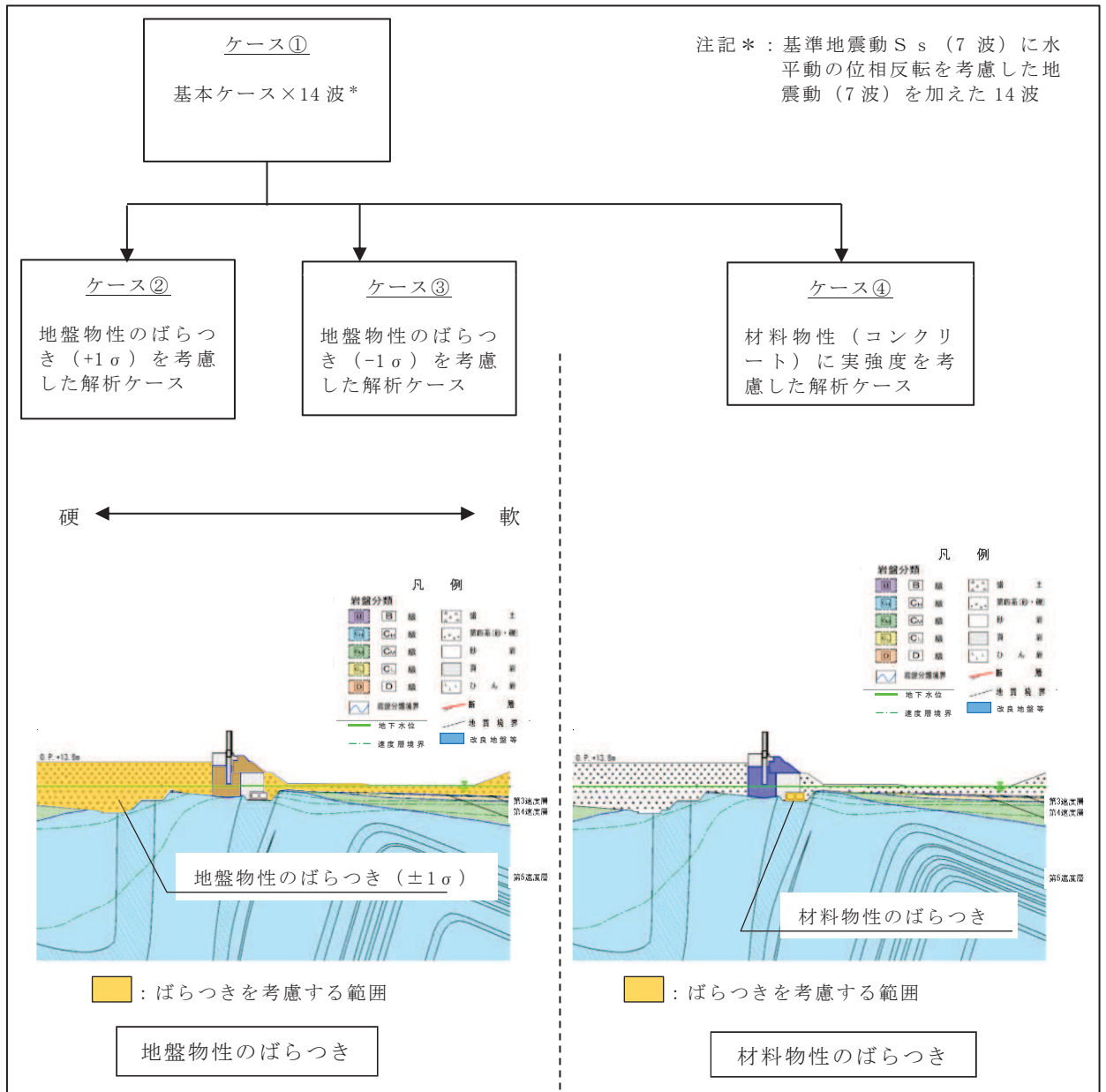


図 3-21 耐震評価における解析ケース

表 3-9 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース	
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度	
地盤物性		平均値	平均値 +1 σ	平均値 -1 σ	平均値	
地震動 (位相)	S _s -D 1	++*	○	基準地震動 S _s (7 波) 及び水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊に対する照査、せん断破壊に対する照査及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いてケース②~④を実施する。 照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②~④を実施する。		
		-+*	○			
	S _s -D 2	++*	○			
		-+*	○			
	S _s -D 3	++*	○			
		-+*	○			
	S _s -F 1	++*	○			
		-+*	○			
	S _s -F 2	++*	○			
		-+*	○			
	S _s -F 3	++*	○			
		-+*	○			
	S _s -N 1	++*	○			
		-+*	○			

注記 * : 耐震評価に当たっては、「土木学会マニュアル」に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++ の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

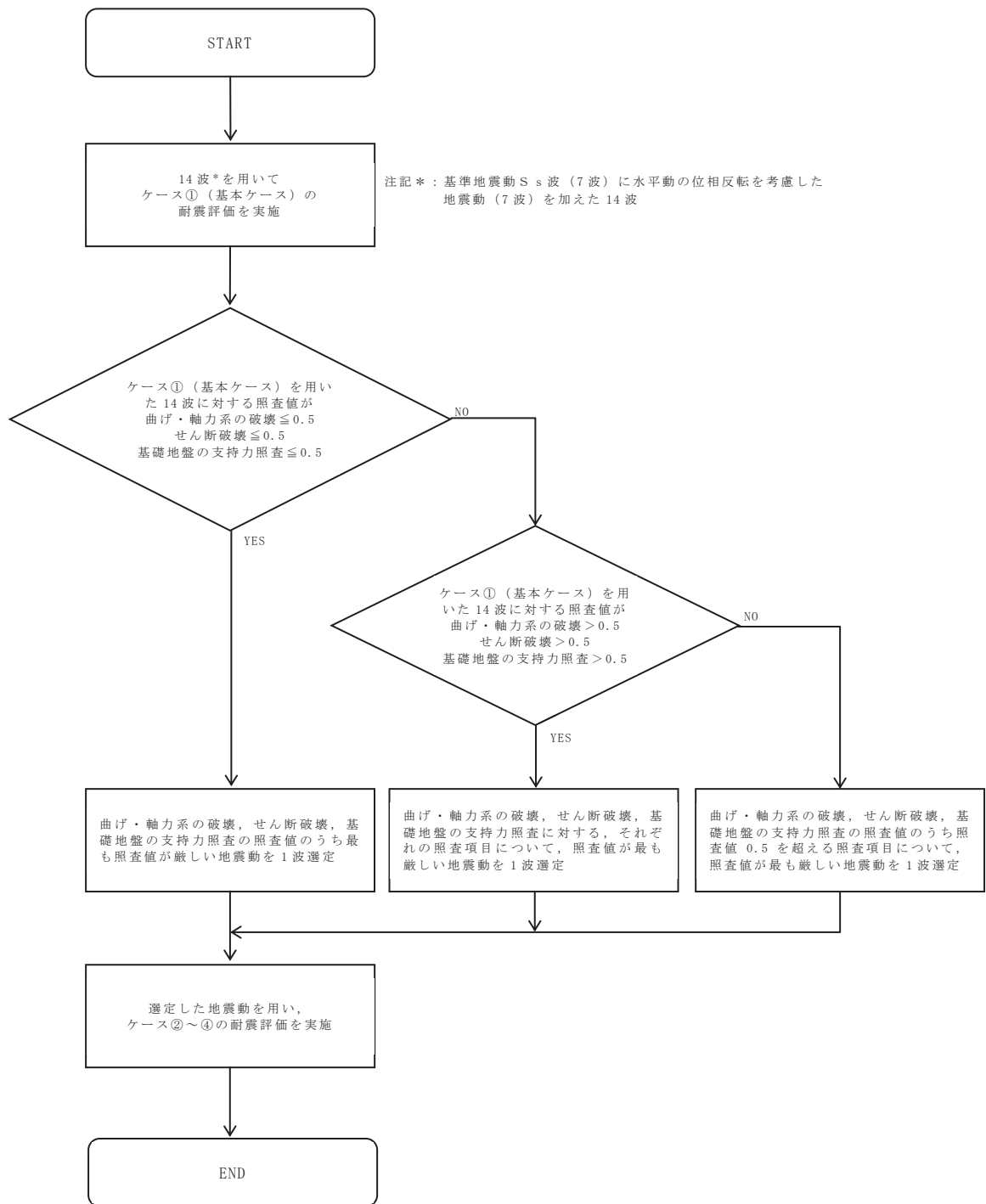


図 3-22 追加解析を実施する地震動の選定フロー

4. 評価条件

4.1 入力地震動の設定

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 4-1 に入力地震動算定の概念図を、図 4-2 及び図 4-3 に各断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

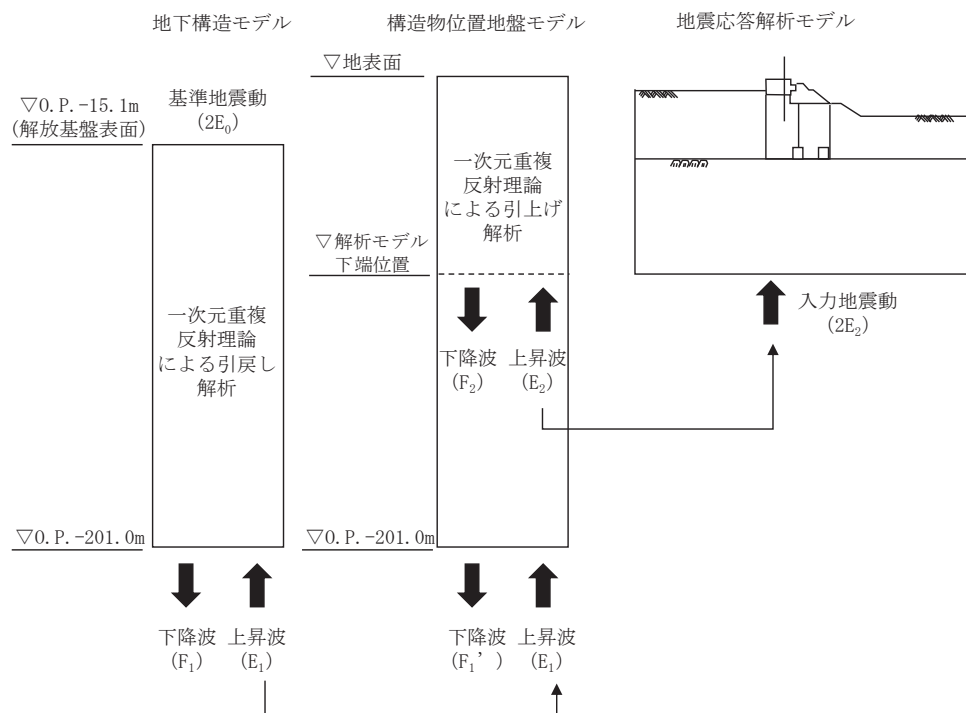
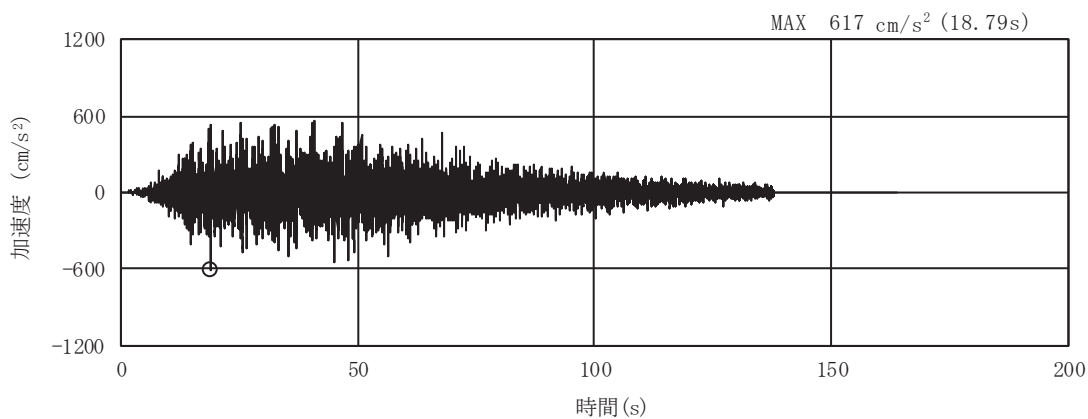
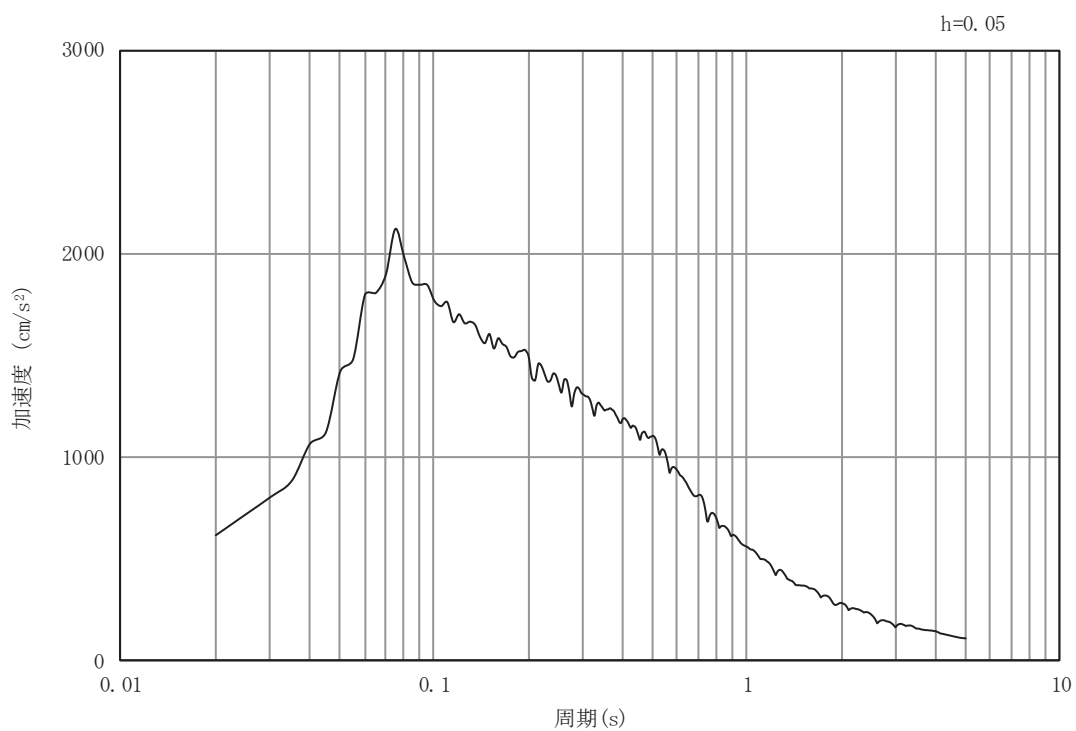


図 4-1 入力地震動算定の概念図

4.1.1 A-A 断面

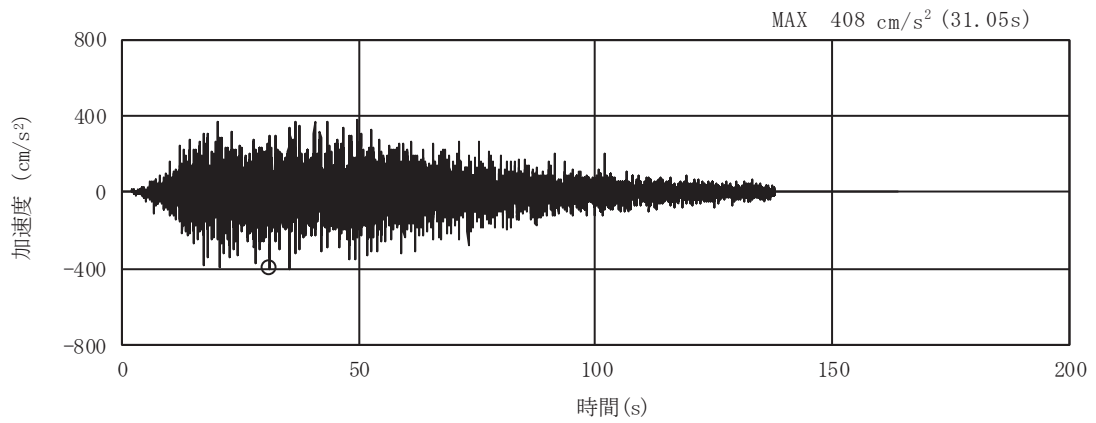


(a) 加速度時刻歴波形

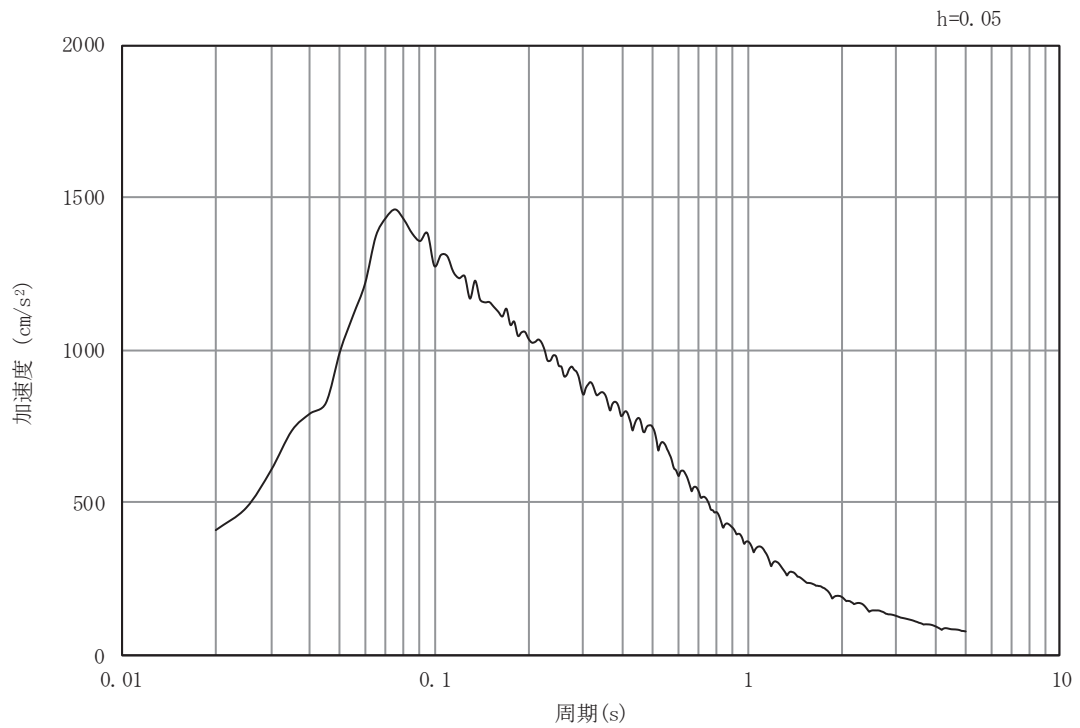


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S s - D 1)

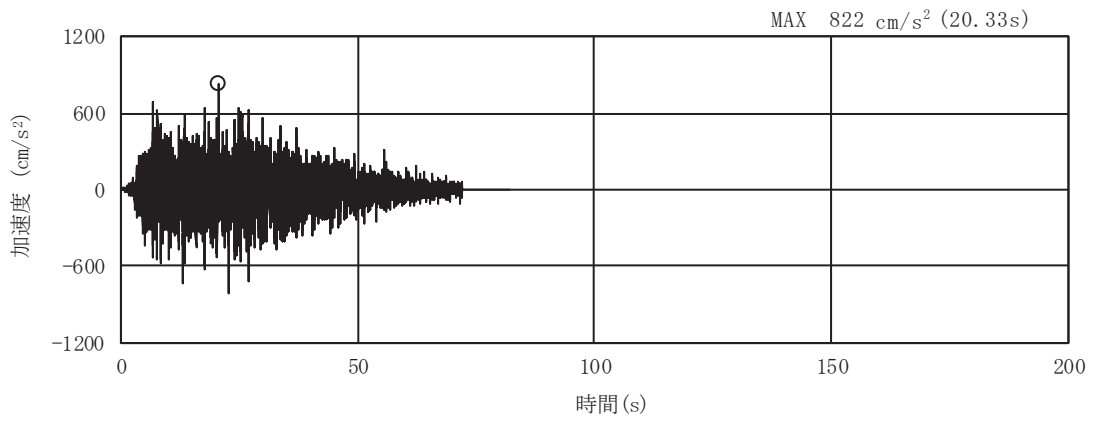


(a) 加速度時刻歴波形

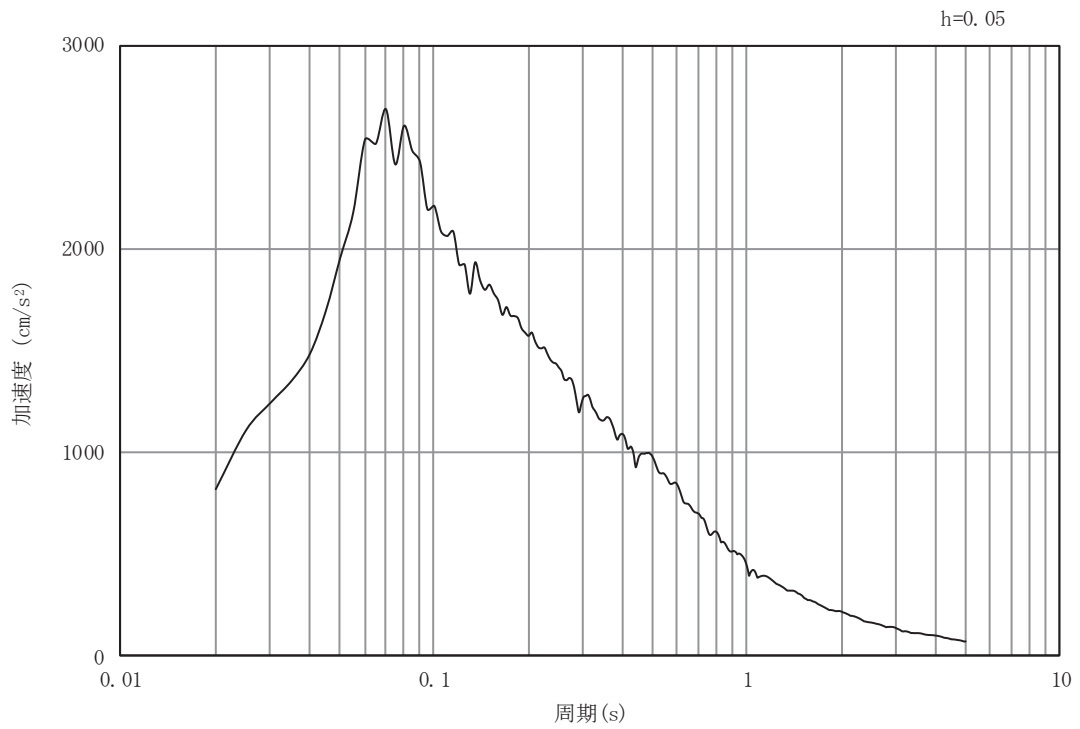


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)

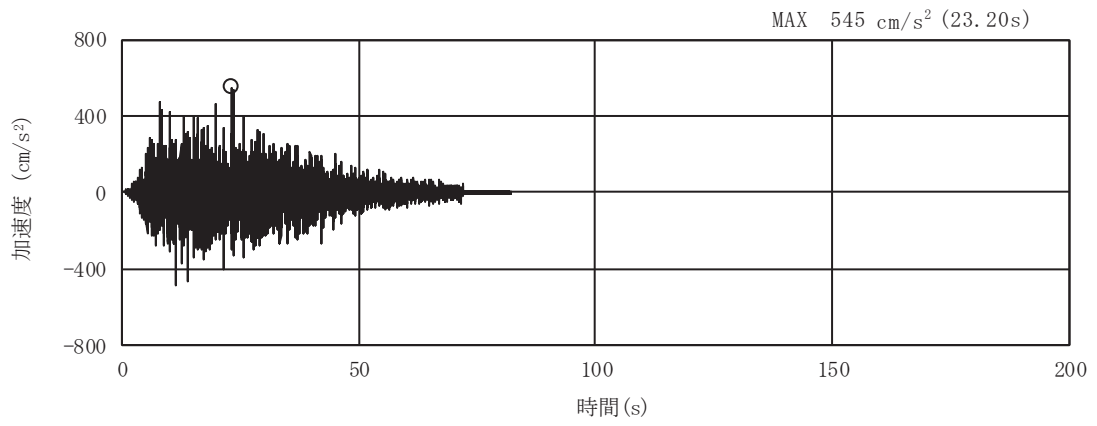


(a) 加速度時刻歴波形

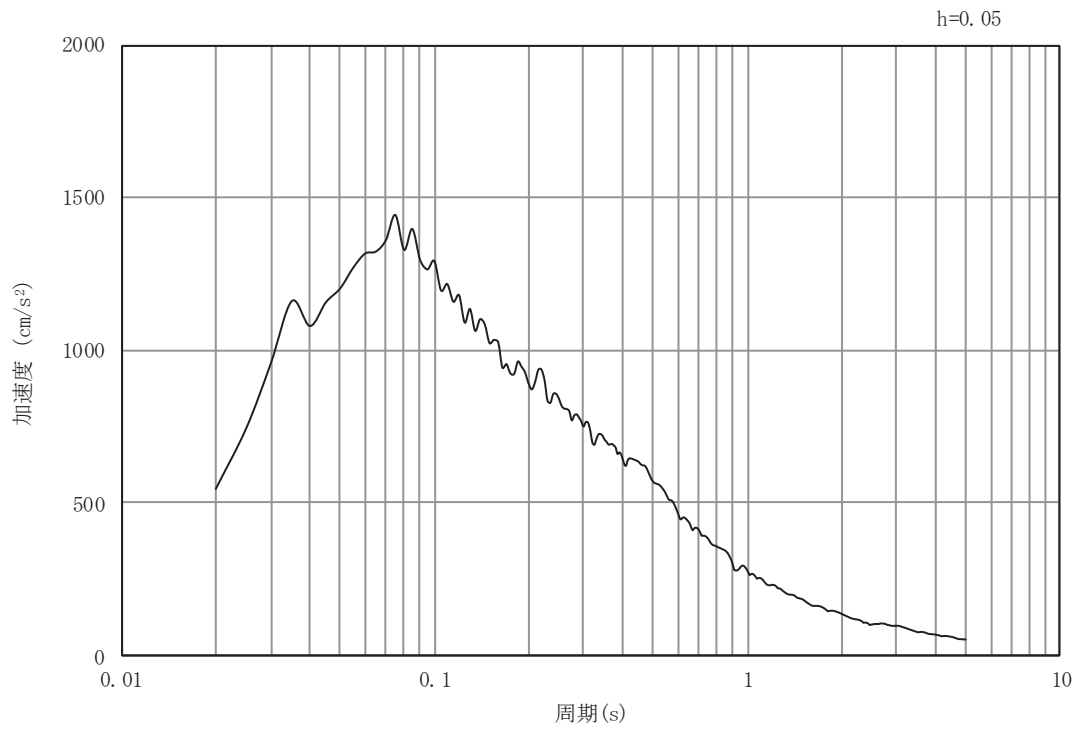


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2)

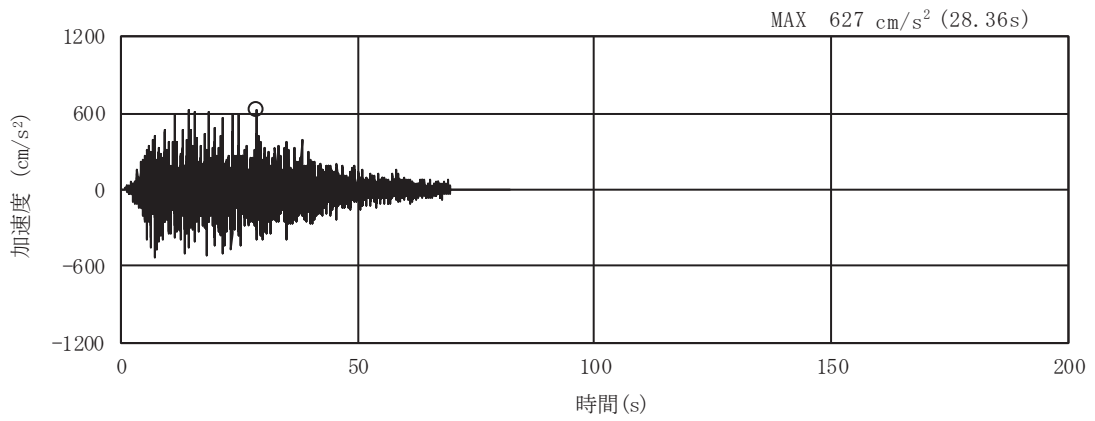


(a) 加速度時刻歴波形

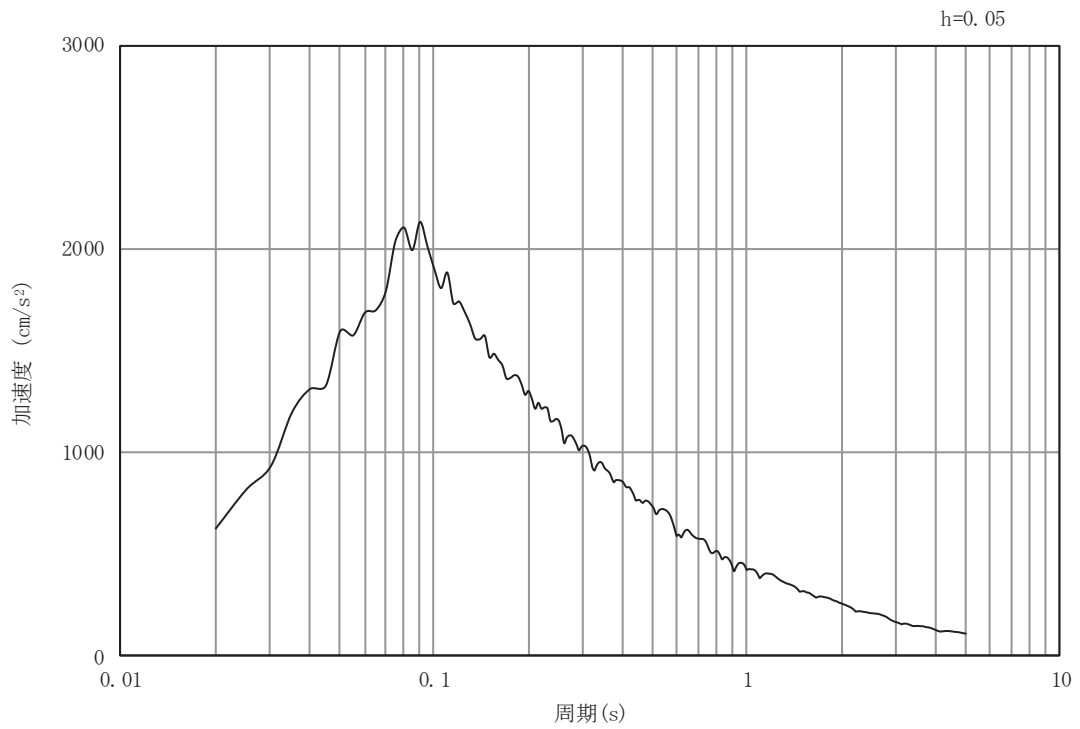


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 2)

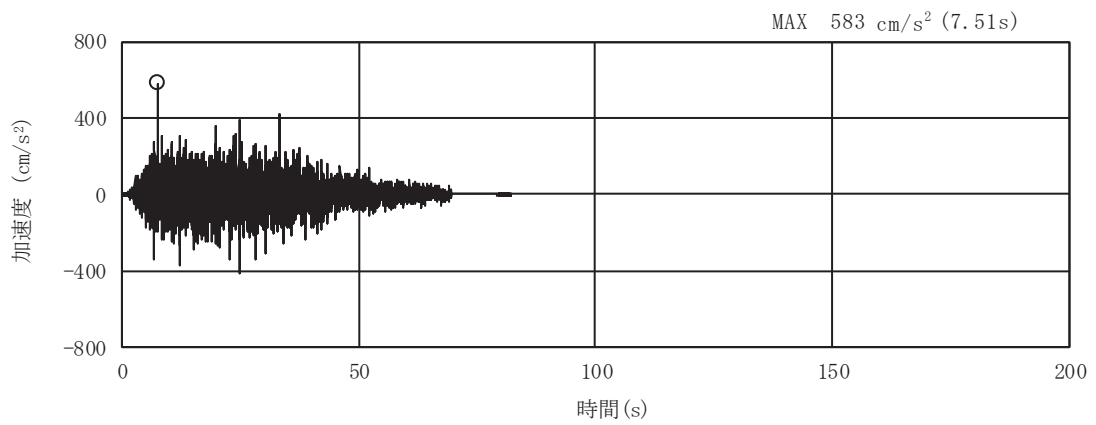


(a) 加速度時刻歴波形

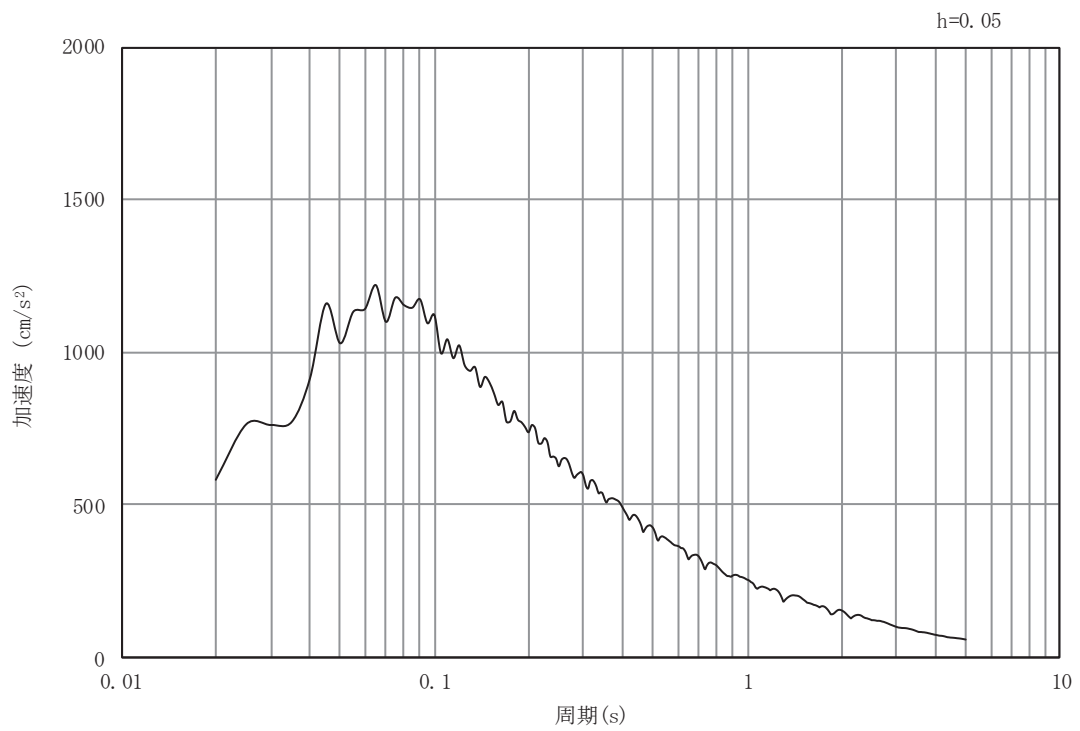


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

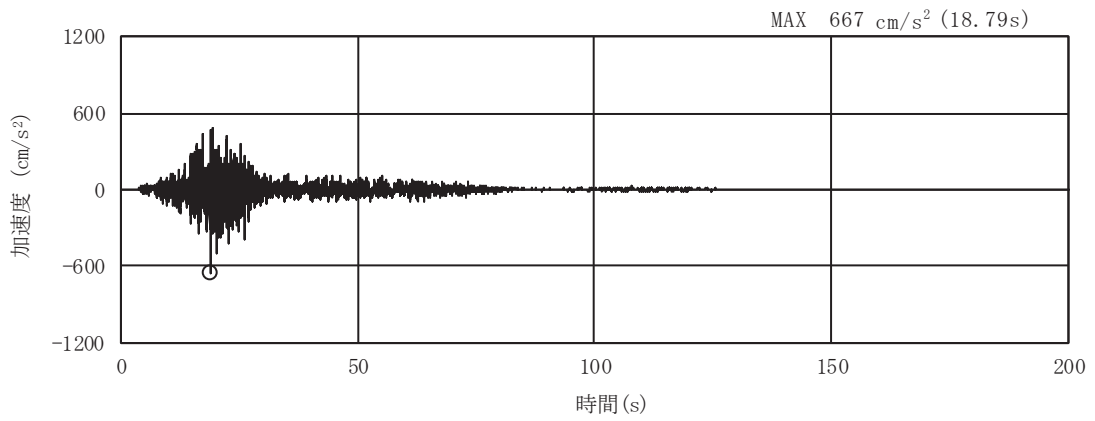


(a) 加速度時刻歴波形

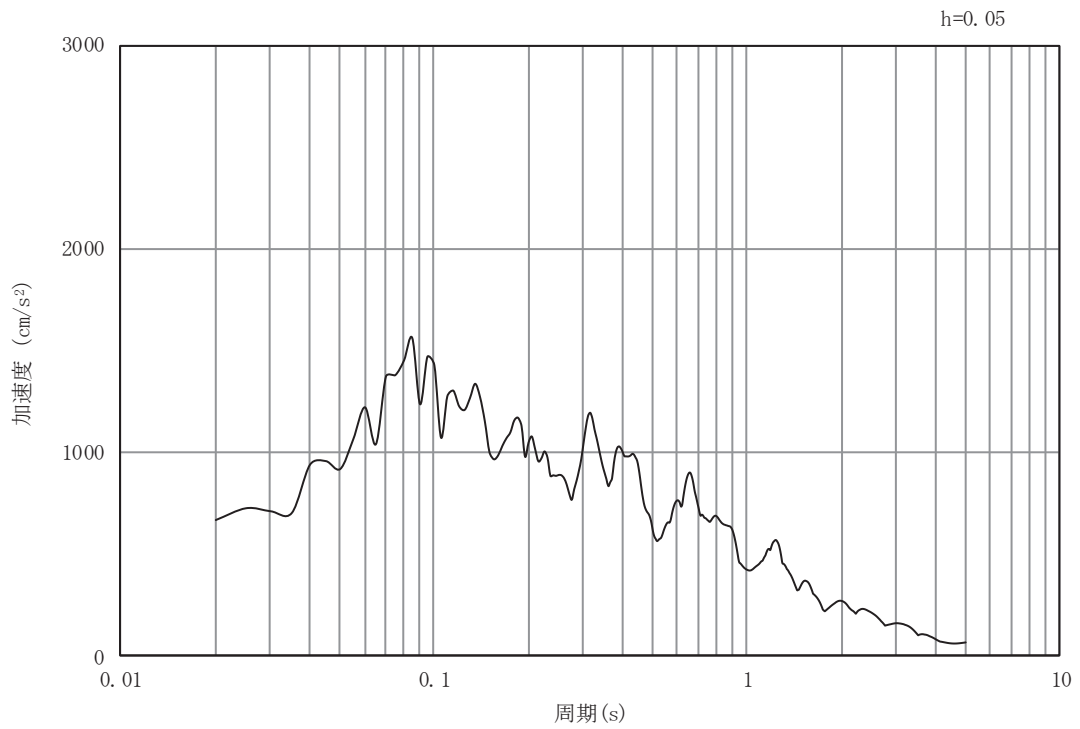


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)

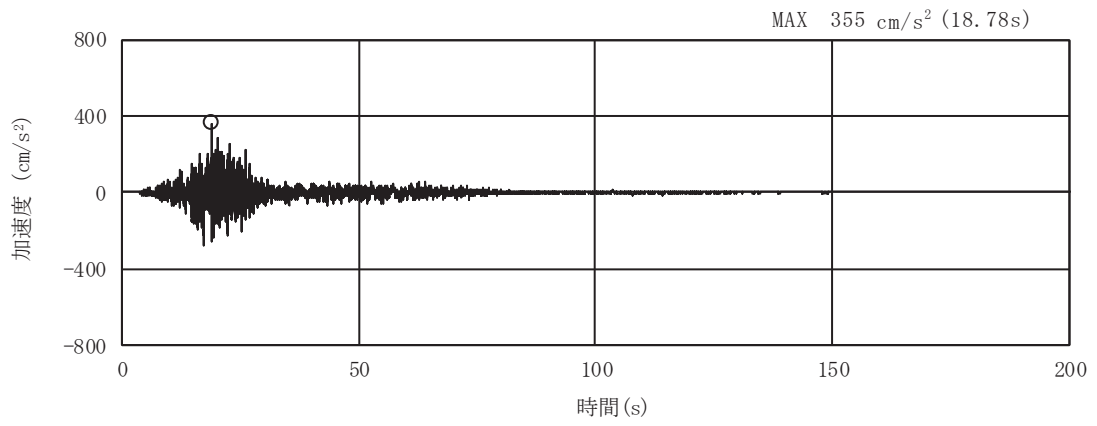


(a) 加速度時刻歴波形

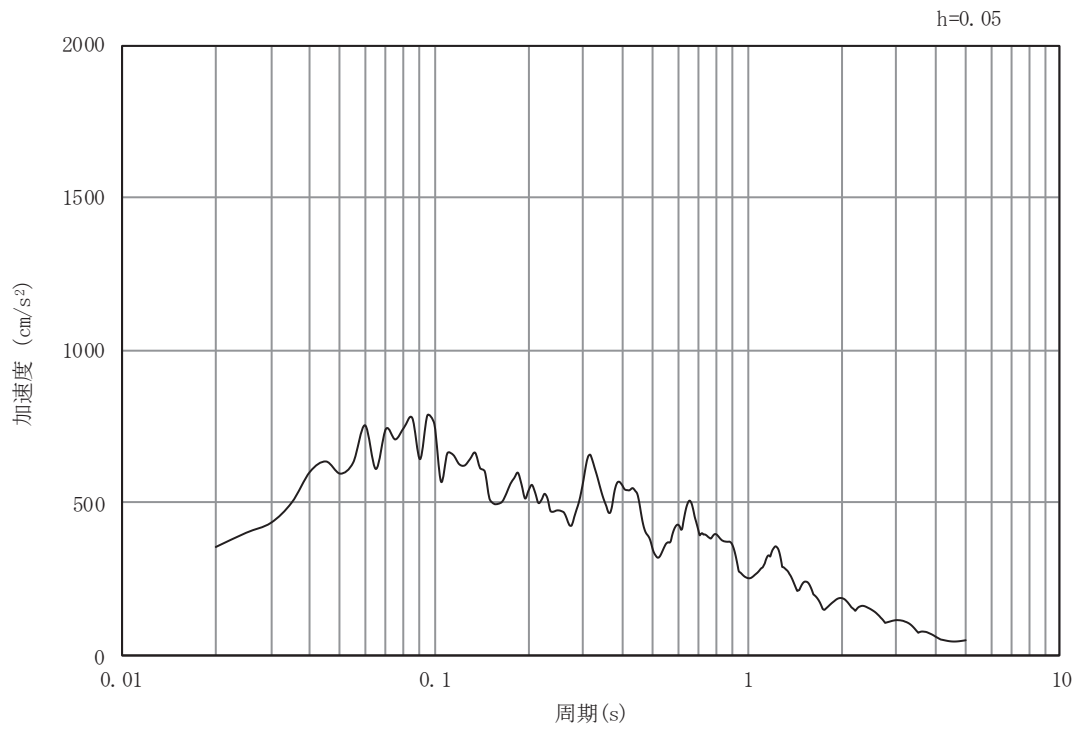


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

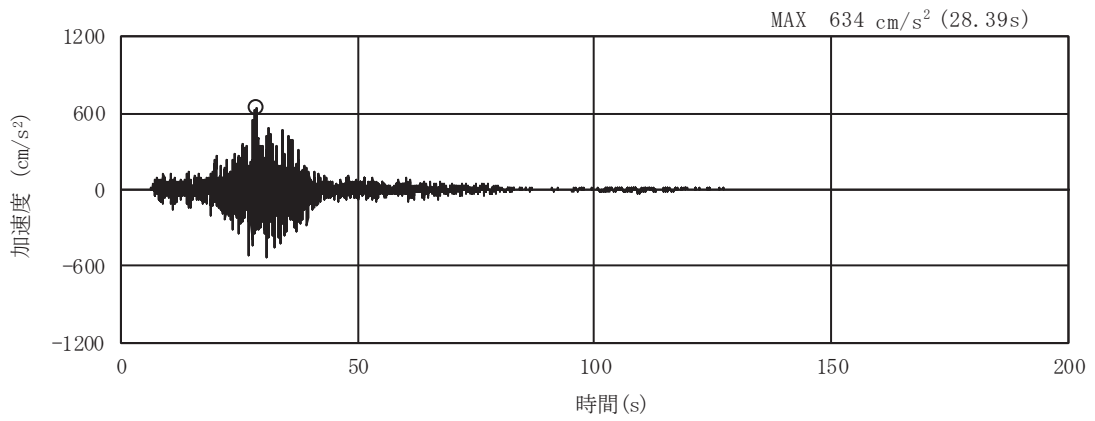


(a) 加速度時刻歴波形

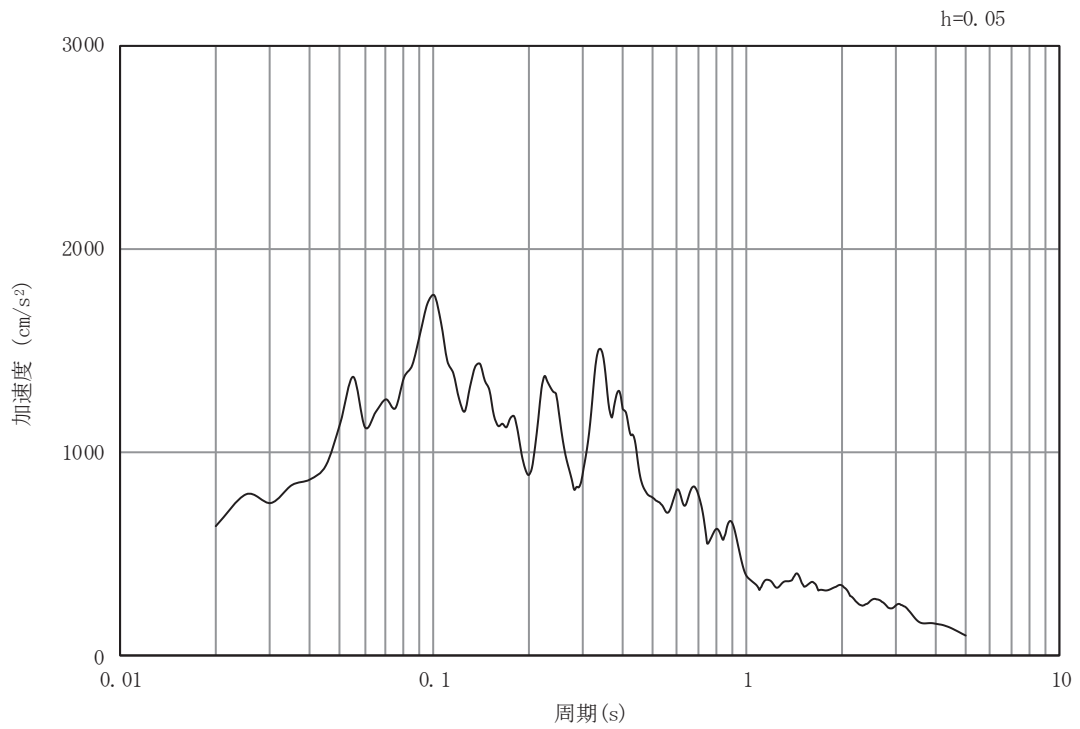


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 1)

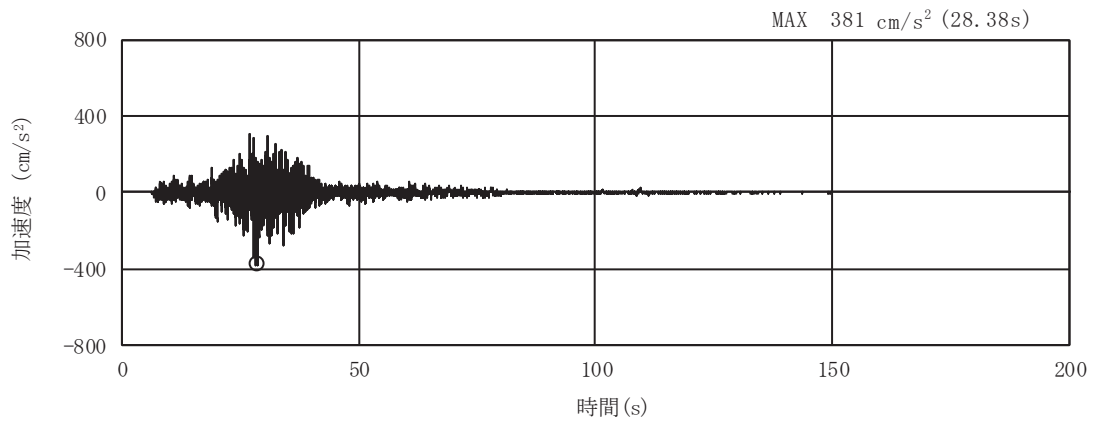


(a) 加速度時刻歴波形

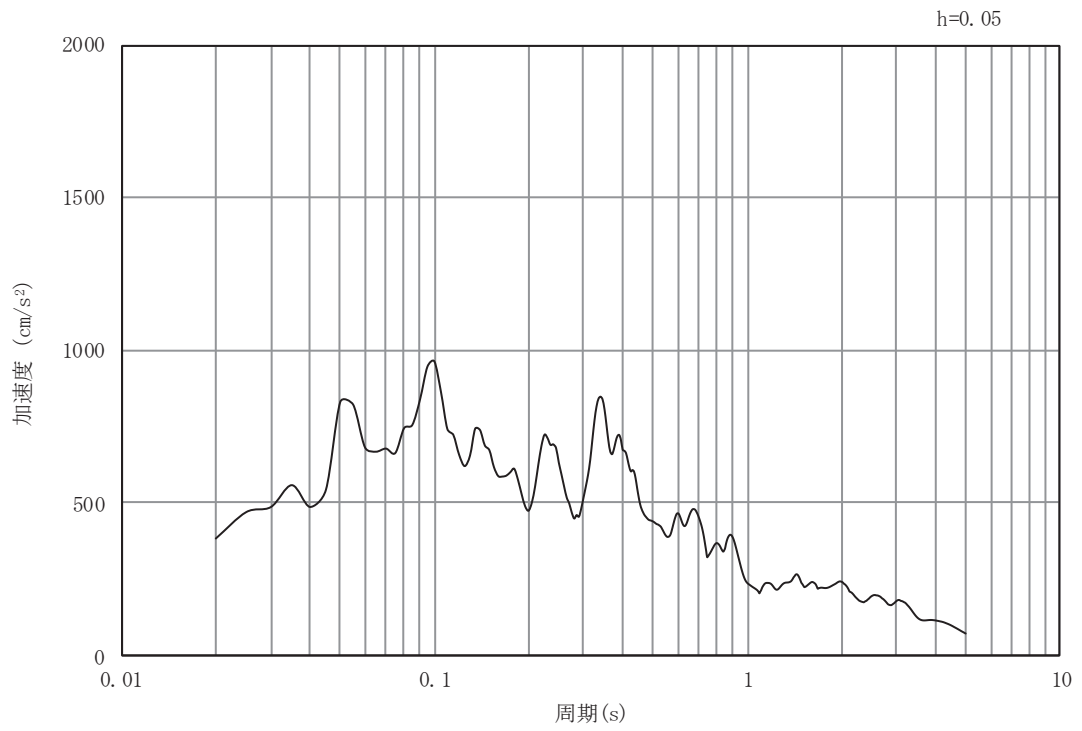


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2)

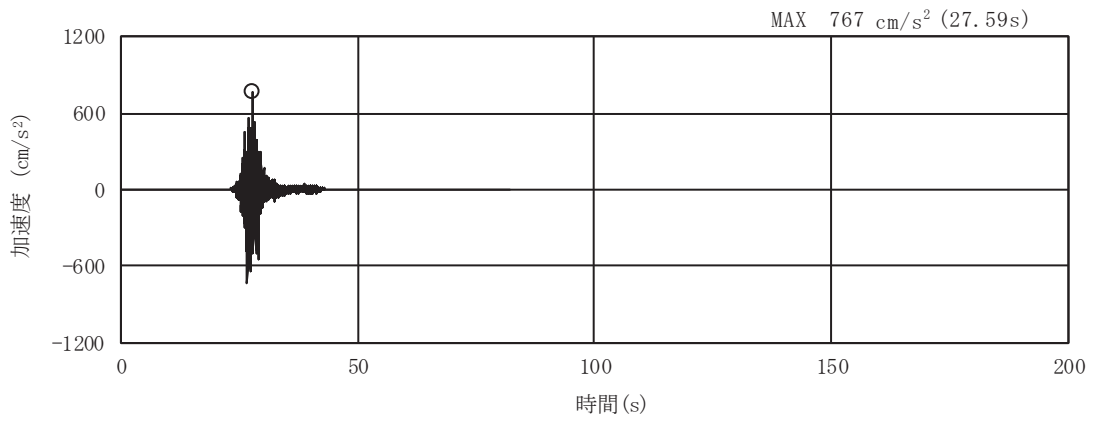


(a) 加速度時刻歴波形

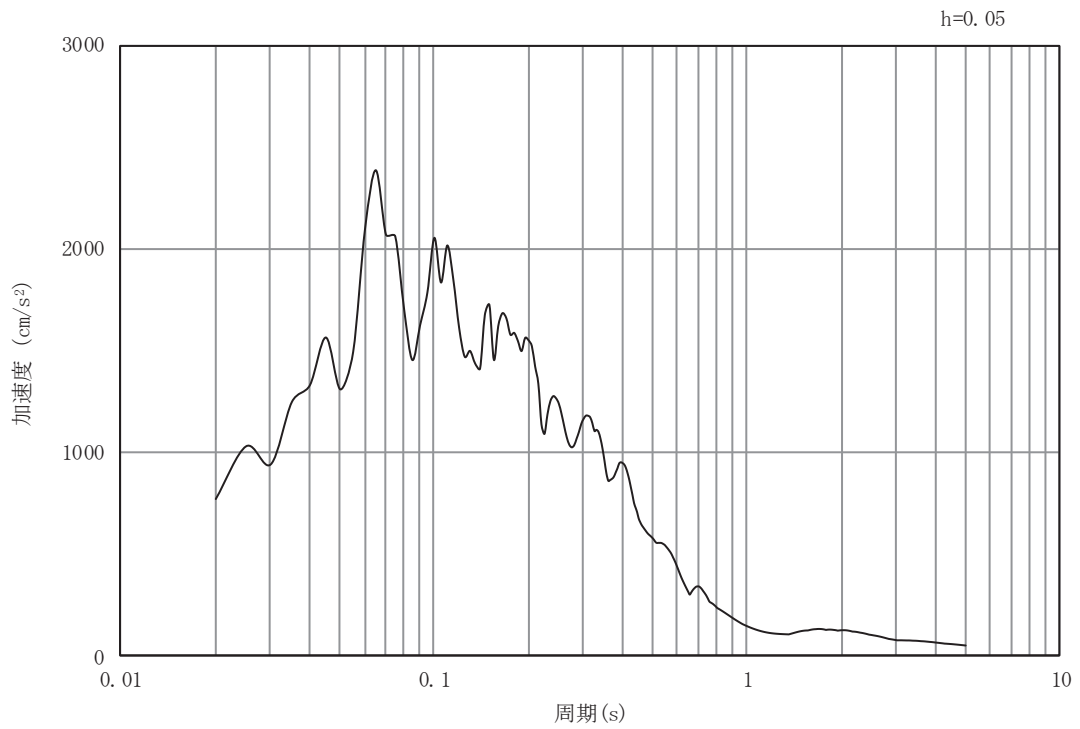


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 2)

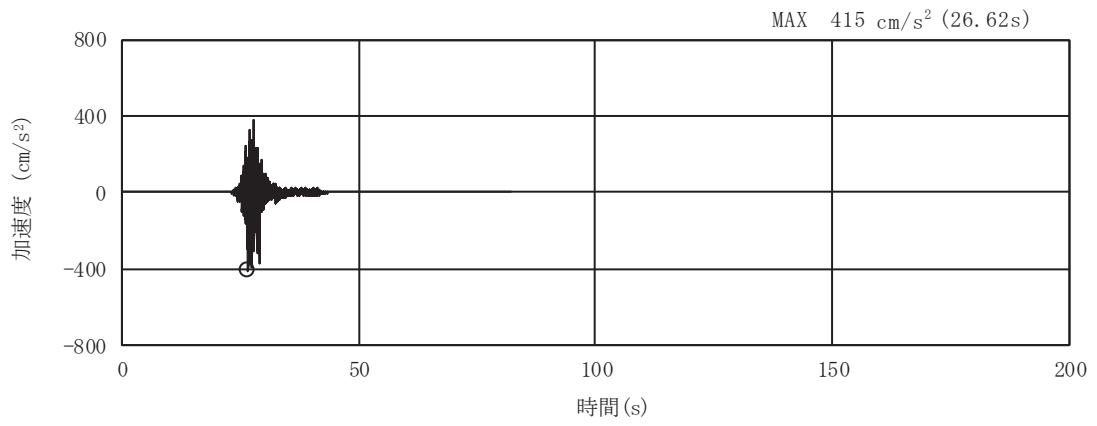


(a) 加速度時刻歴波形

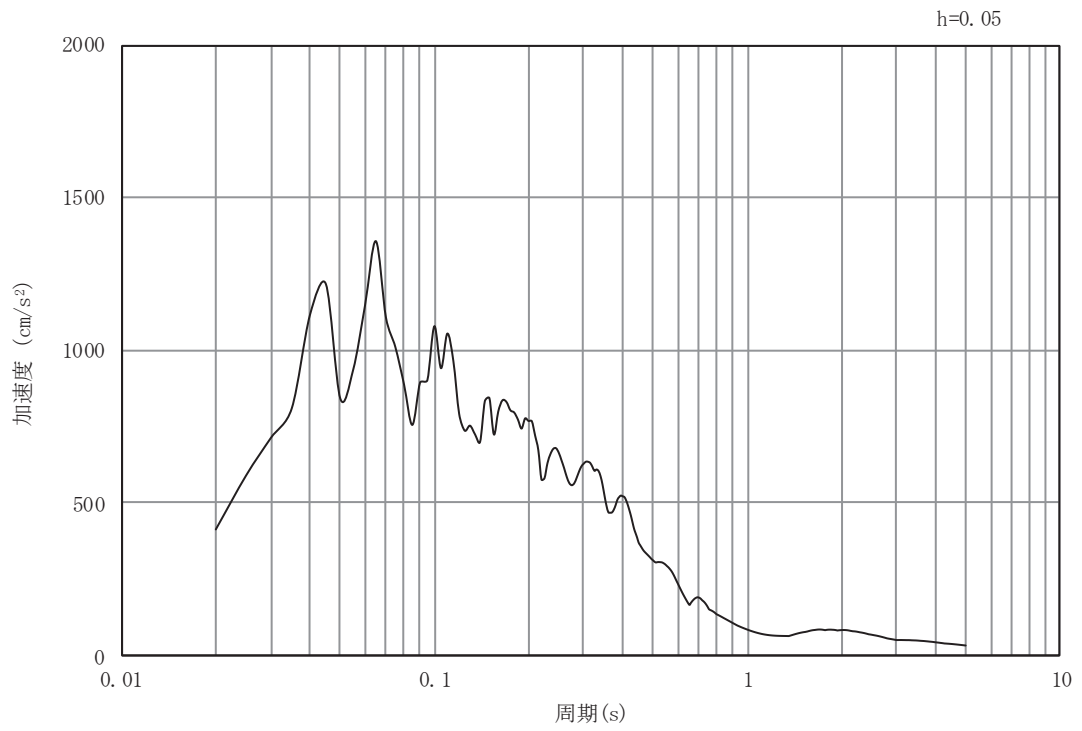


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3)

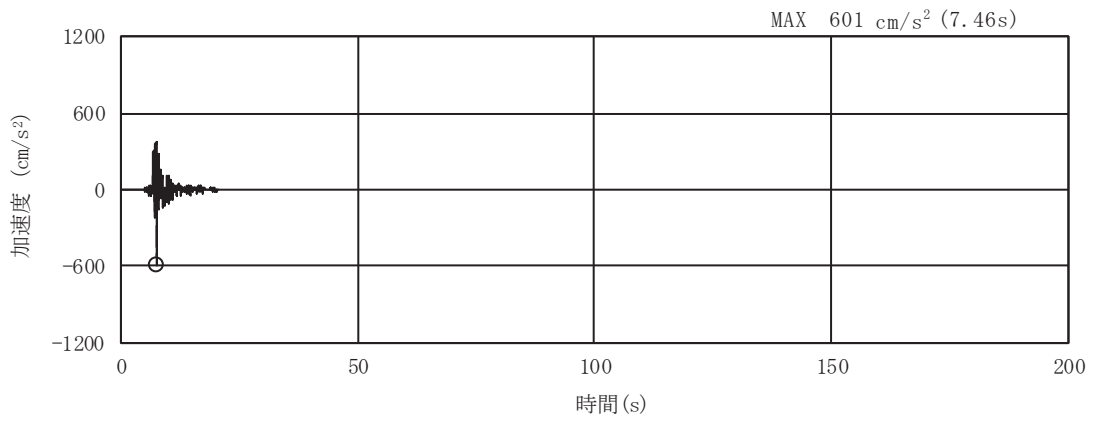


(a) 加速度時刻歴波形

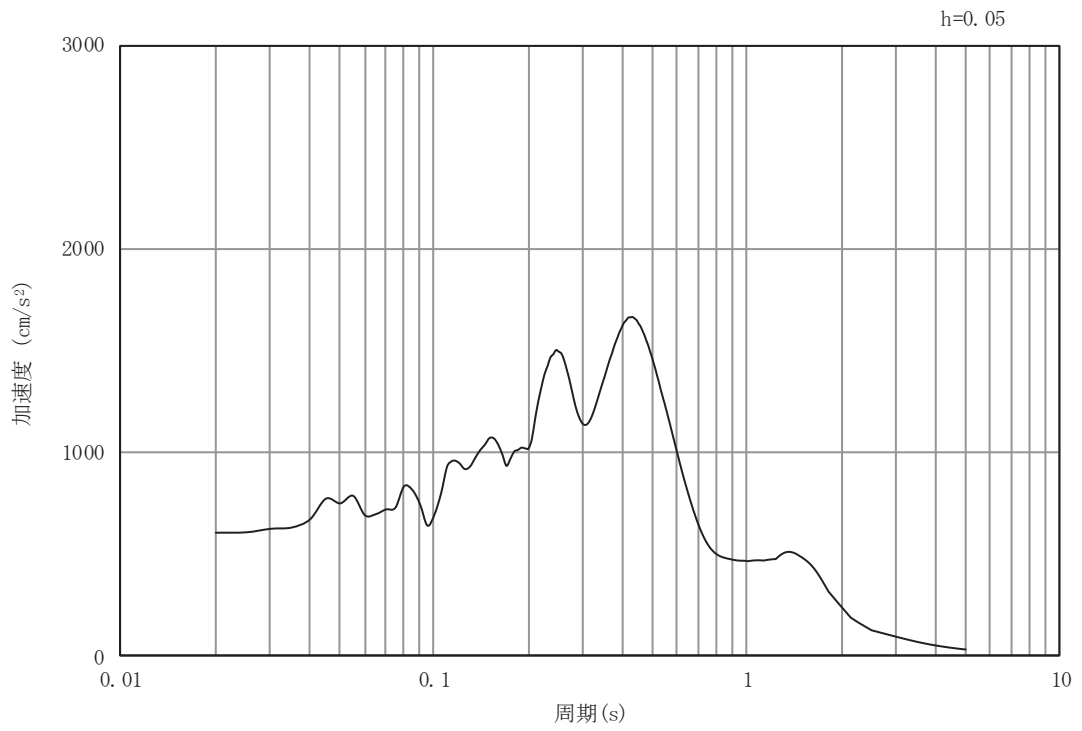


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 3)

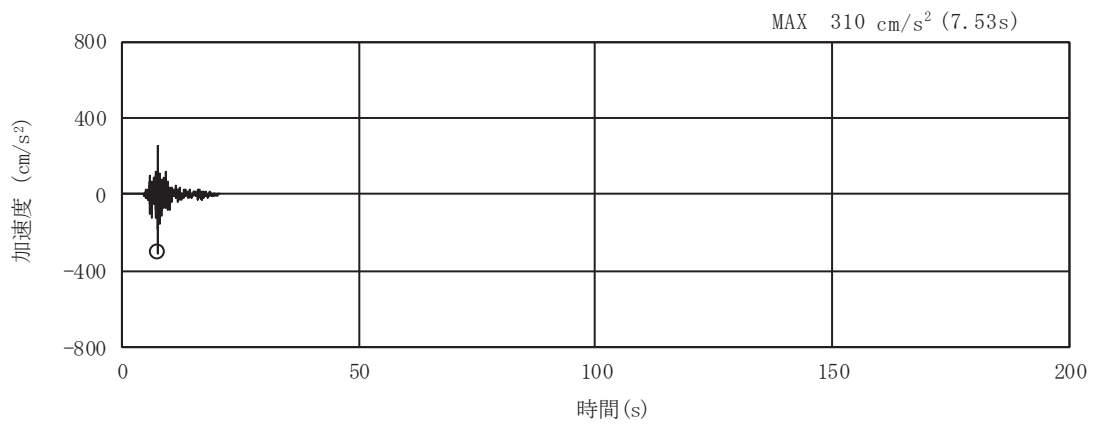


(a) 加速度時刻歴波形

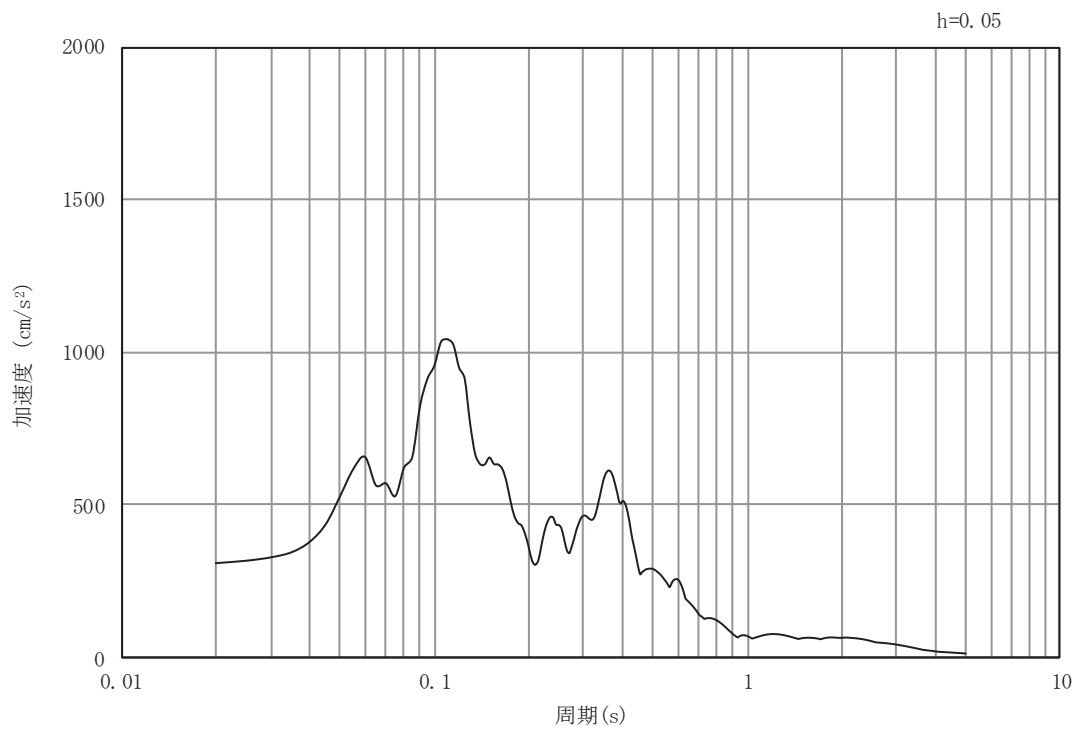


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - N 1)



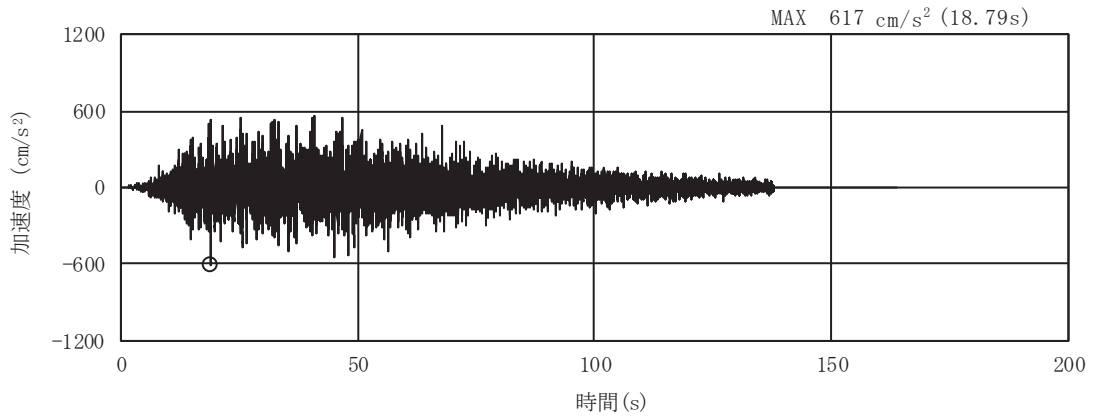
(a) 加速度時刻歴波形



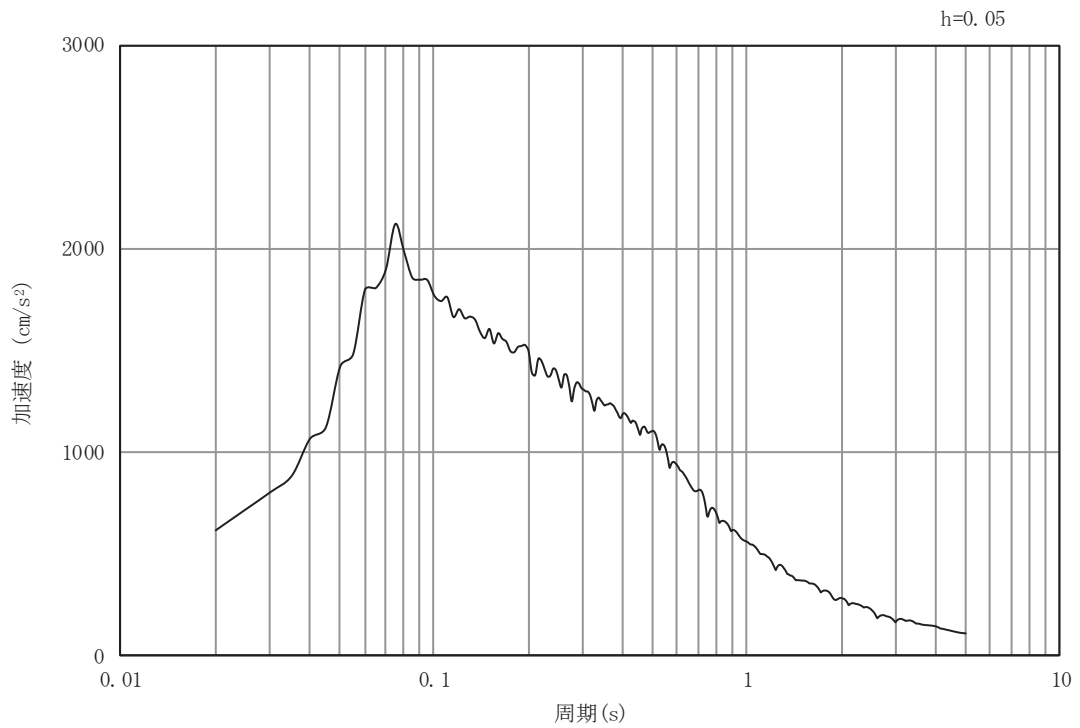
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)

4.1.2 B-B 断面

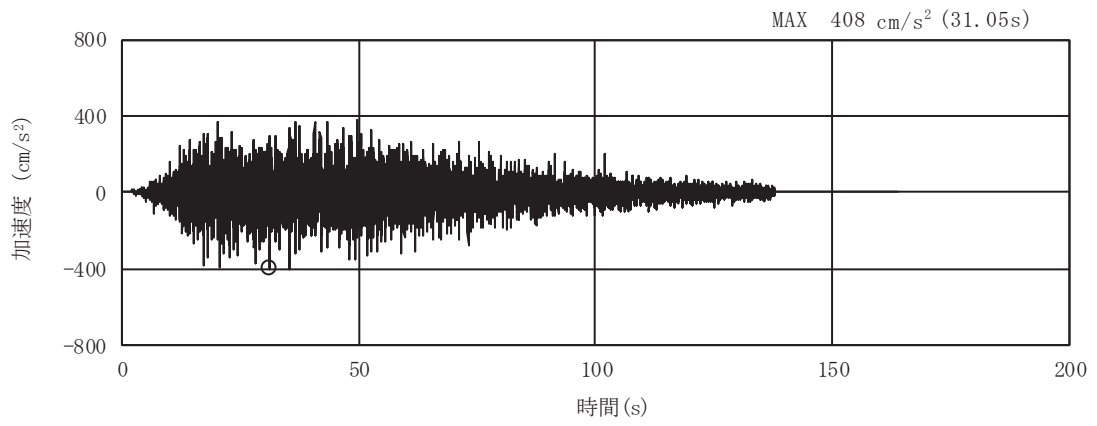


(a) 加速度時刻歴波形

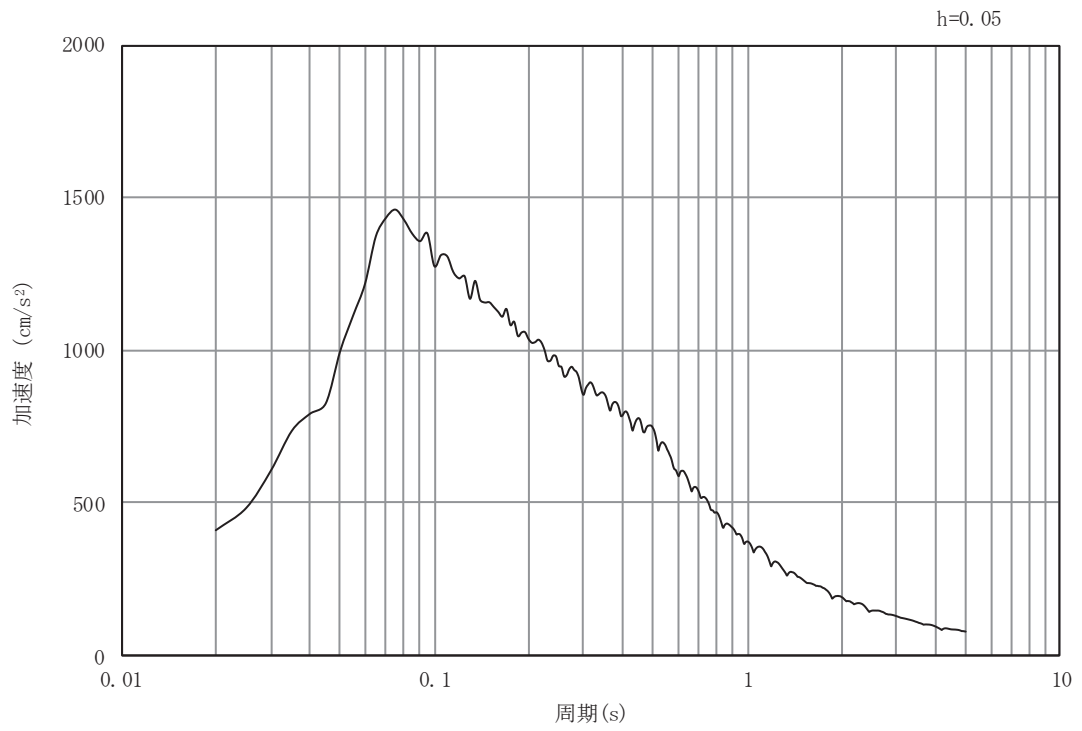


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S s - D 1)

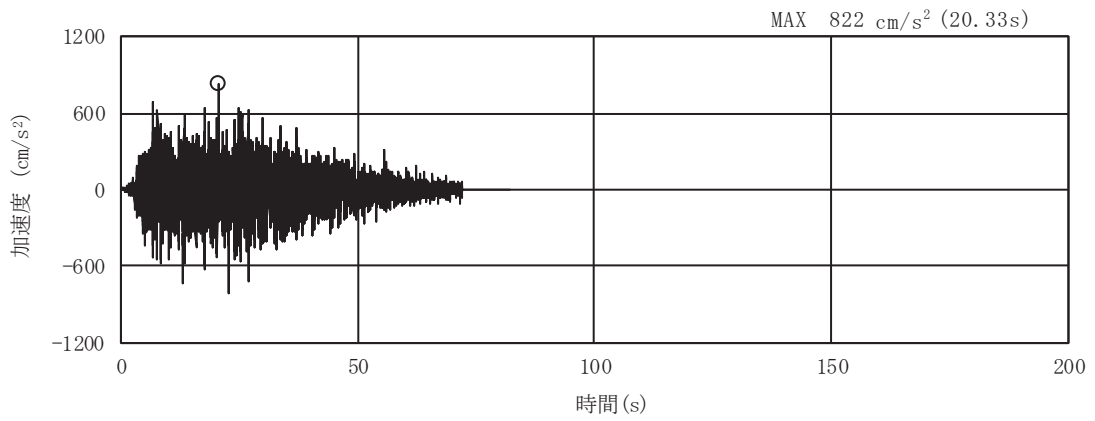


(a) 加速度時刻歴波形

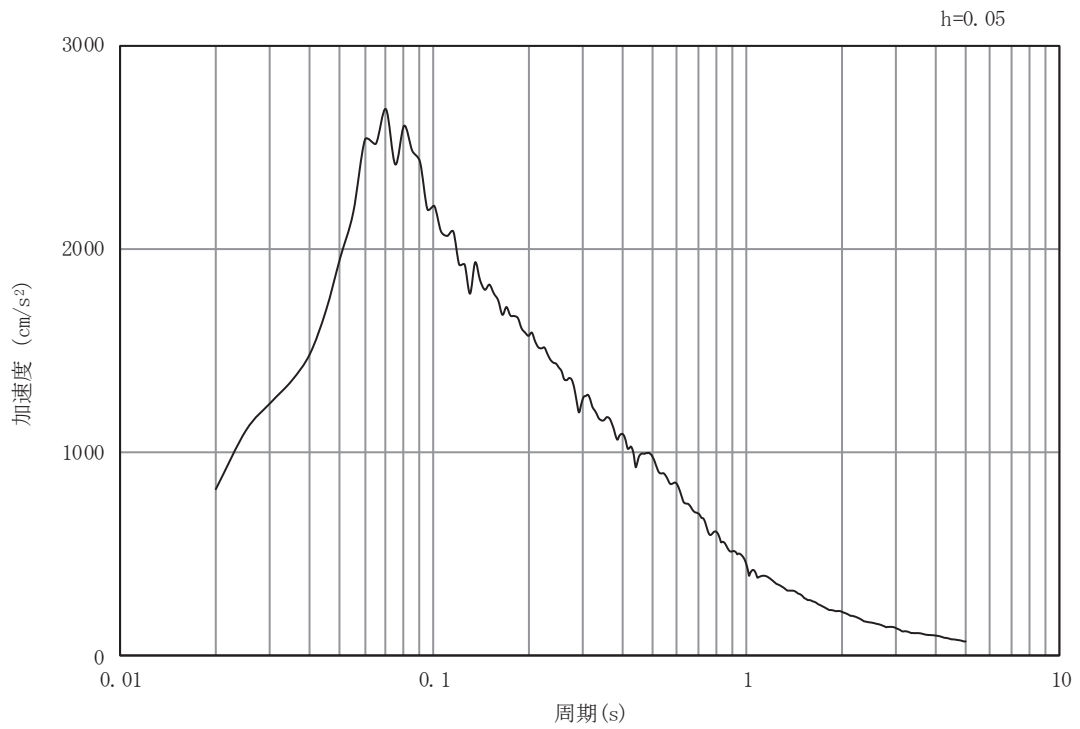


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)

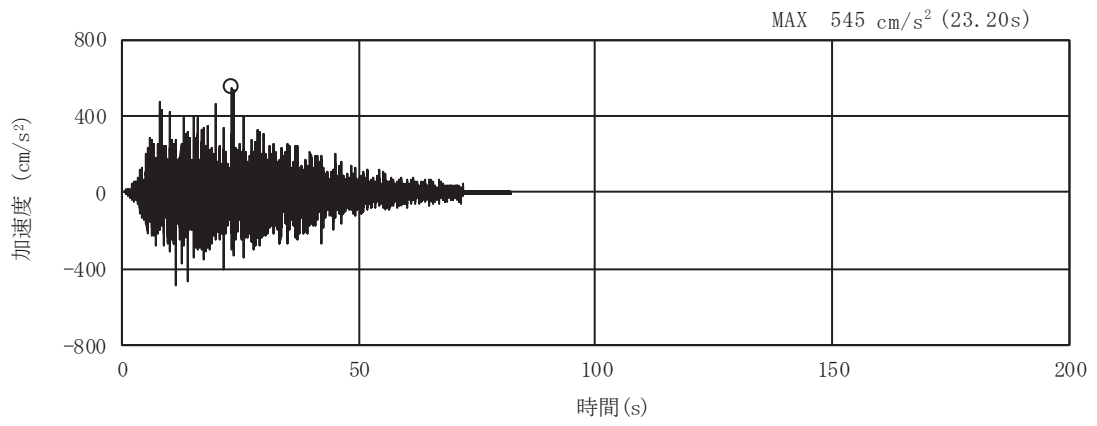


(a) 加速度時刻歴波形

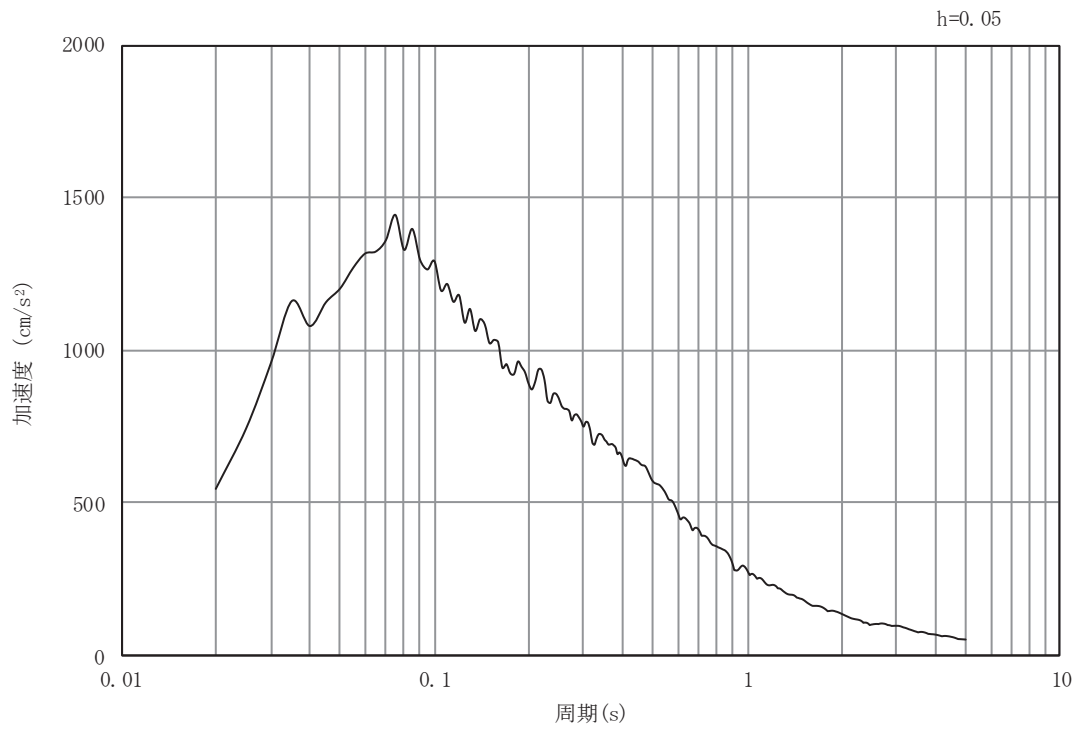


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2)

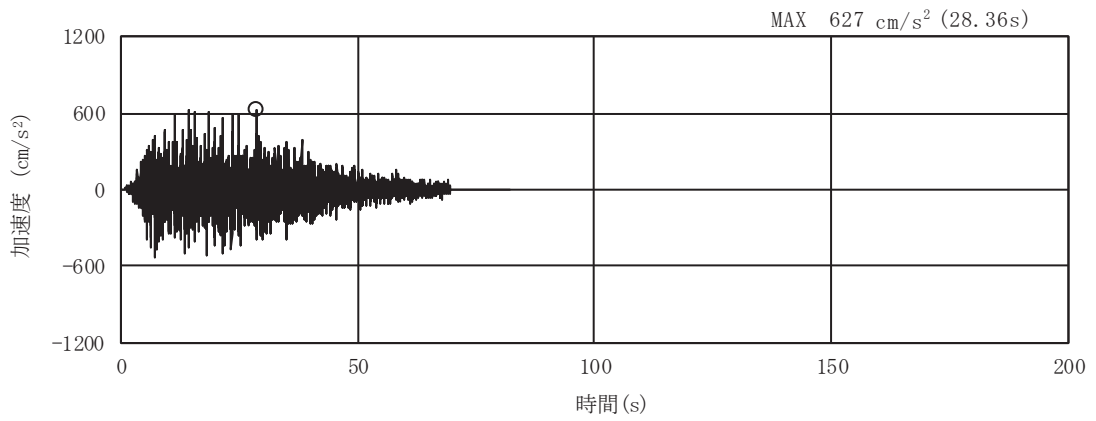


(a) 加速度時刻歴波形

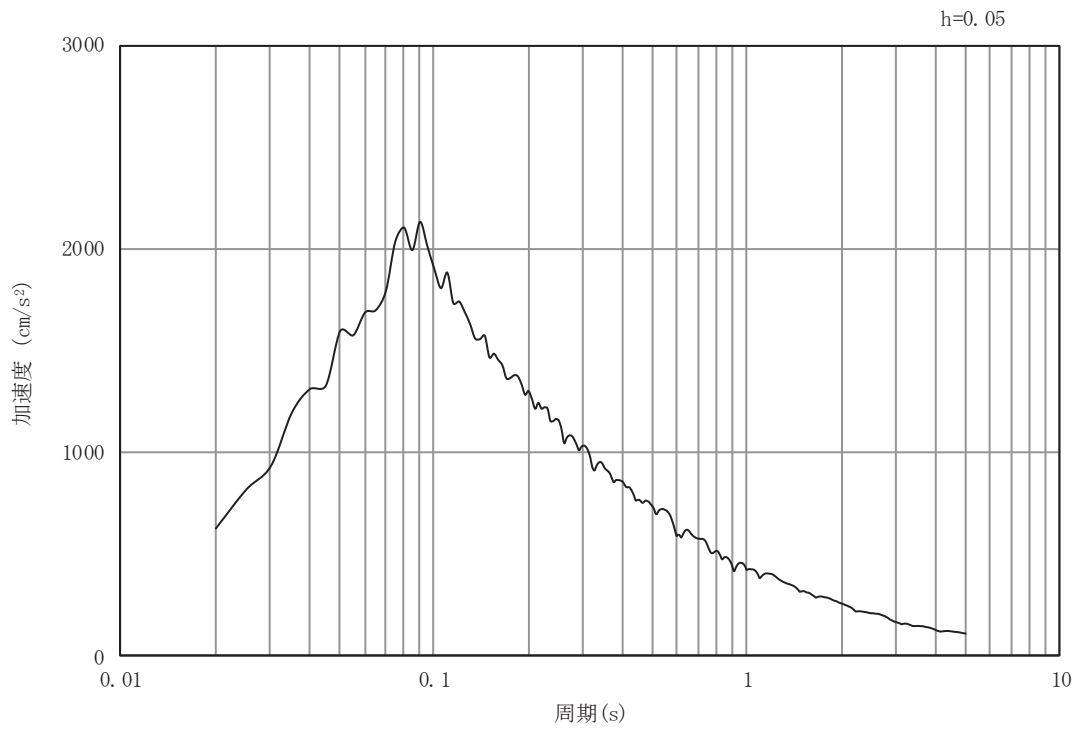


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 2)

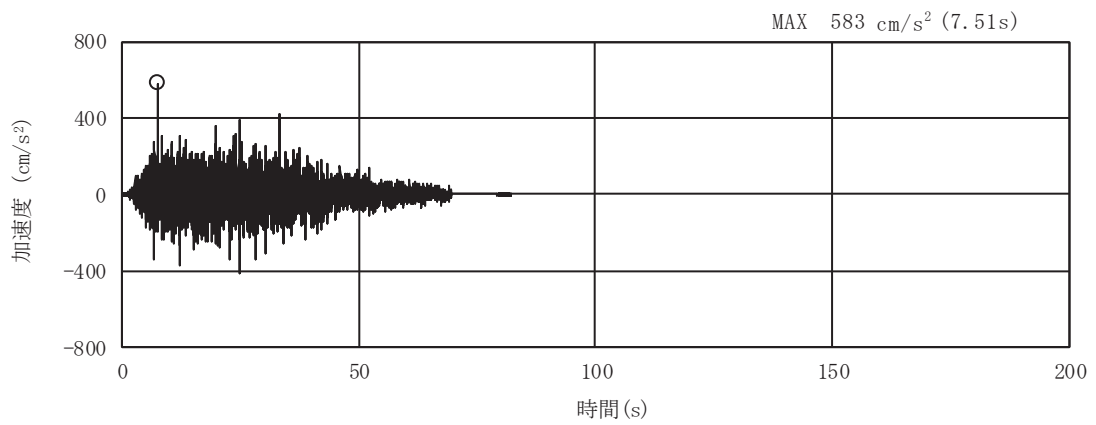


(a) 加速度時刻歴波形

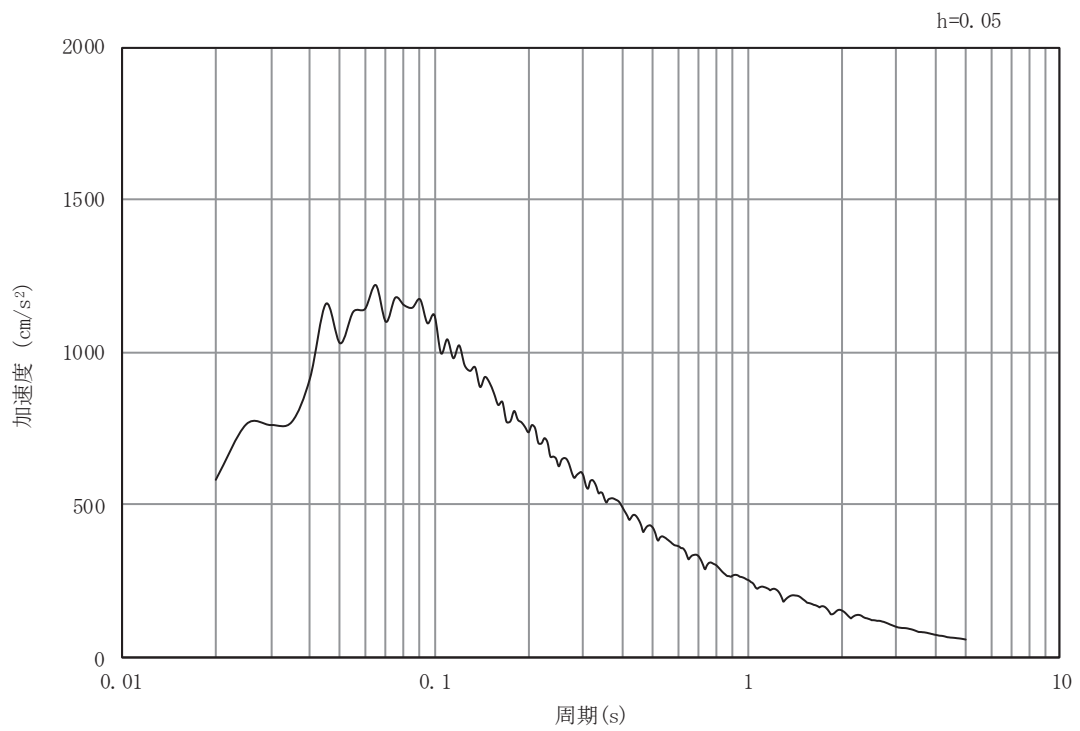


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

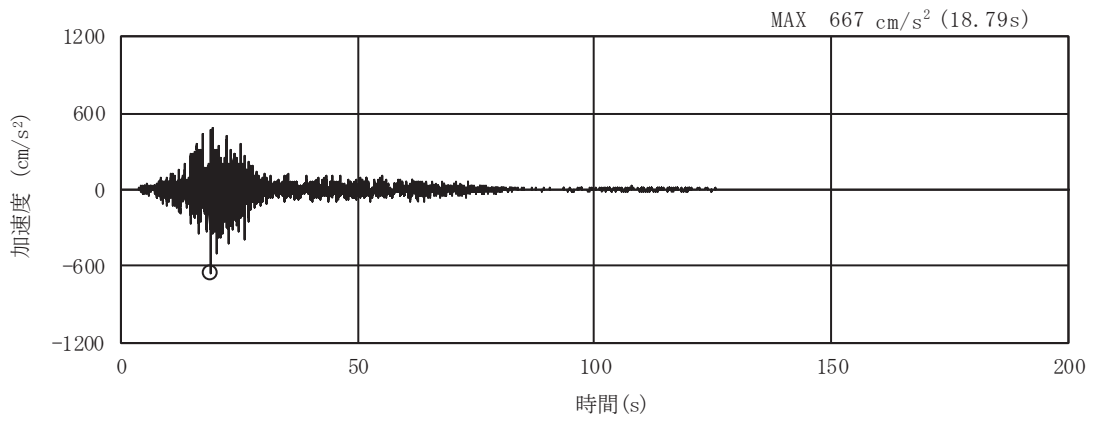


(a) 加速度時刻歴波形

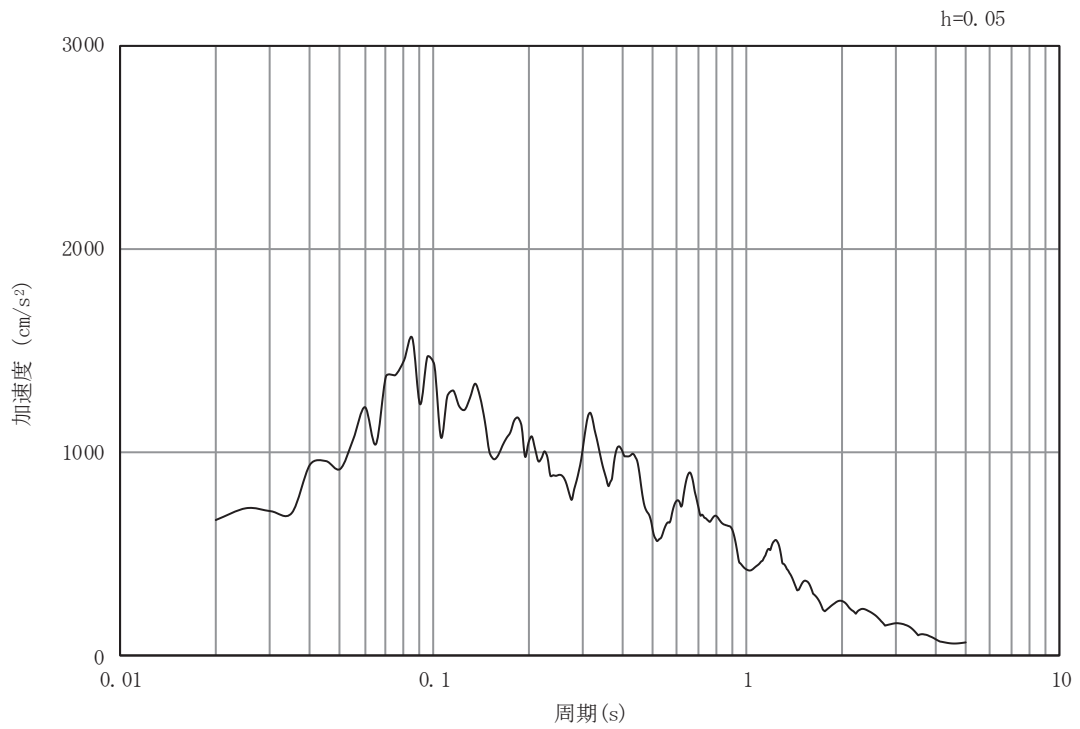


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)

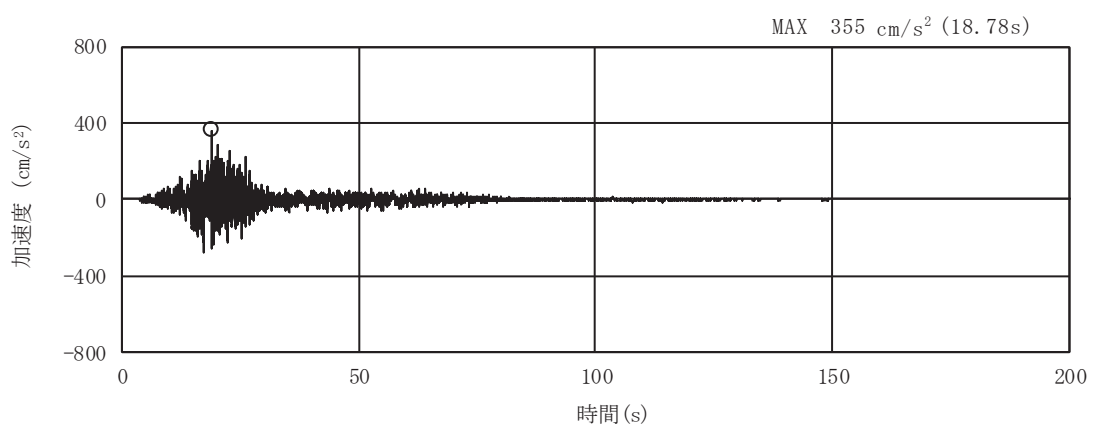


(a) 加速度時刻歴波形

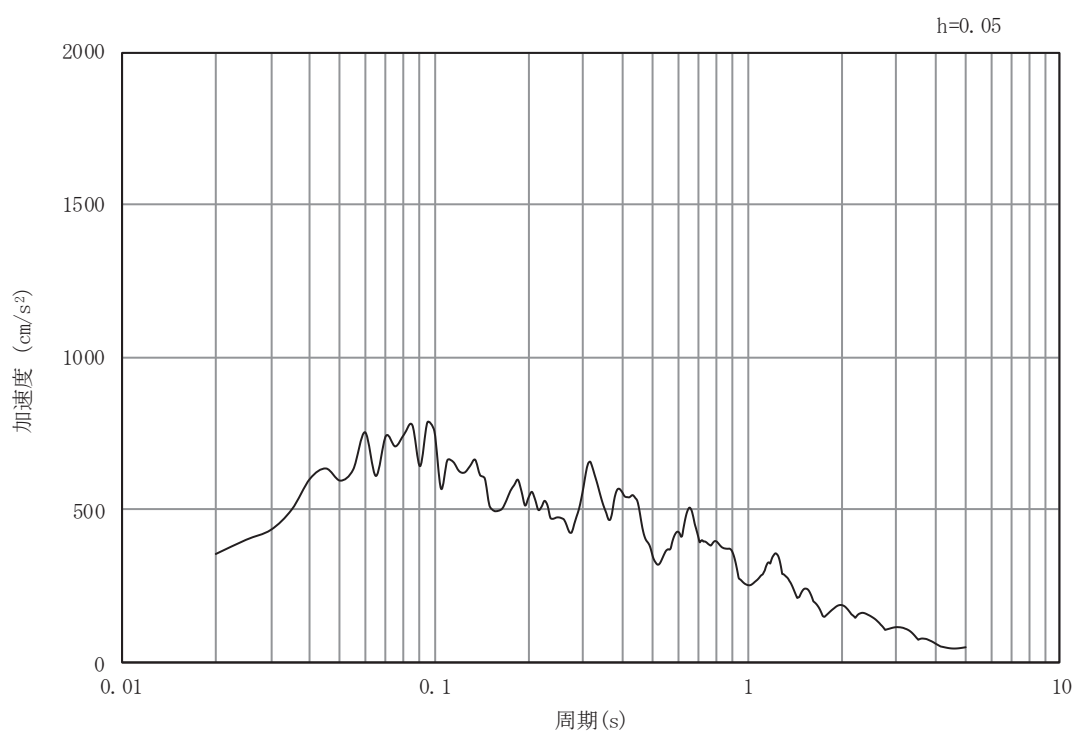


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

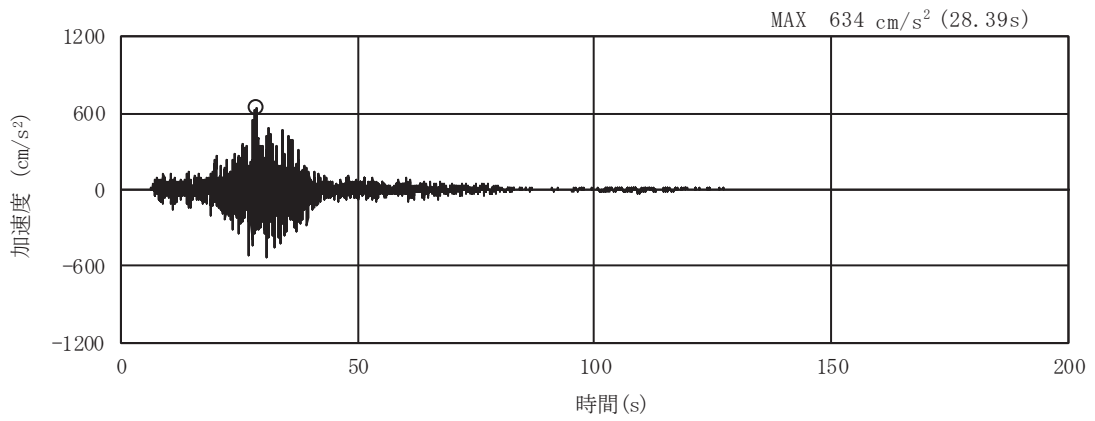


(a) 加速度時刻歴波形

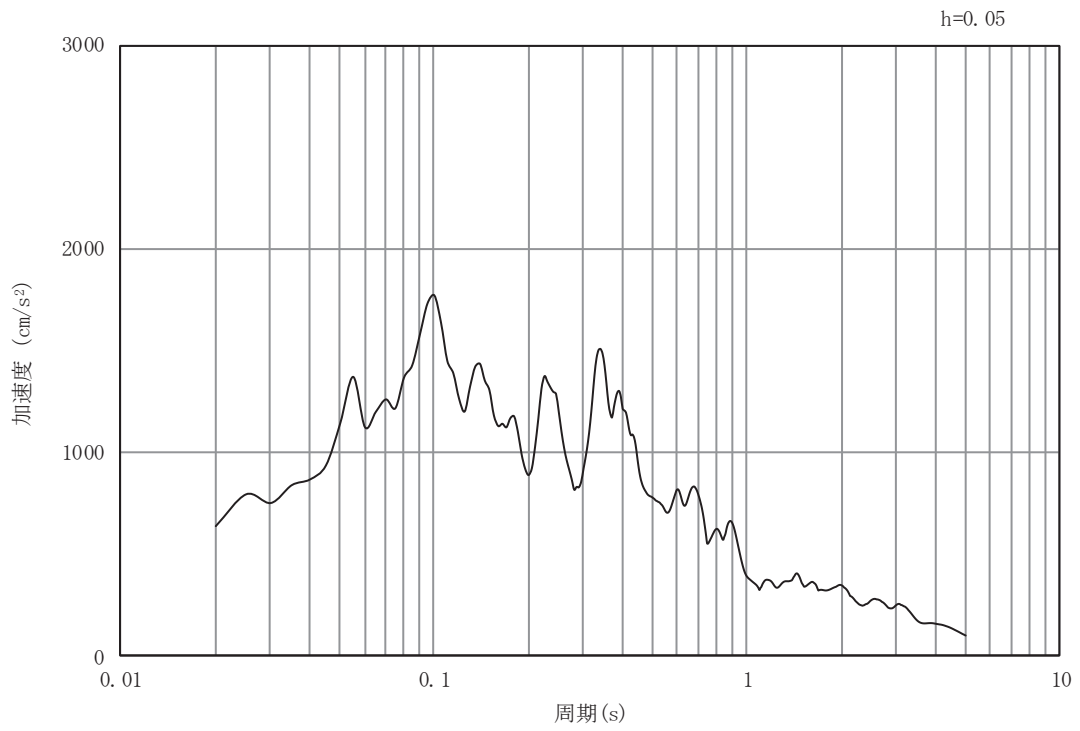


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 1)

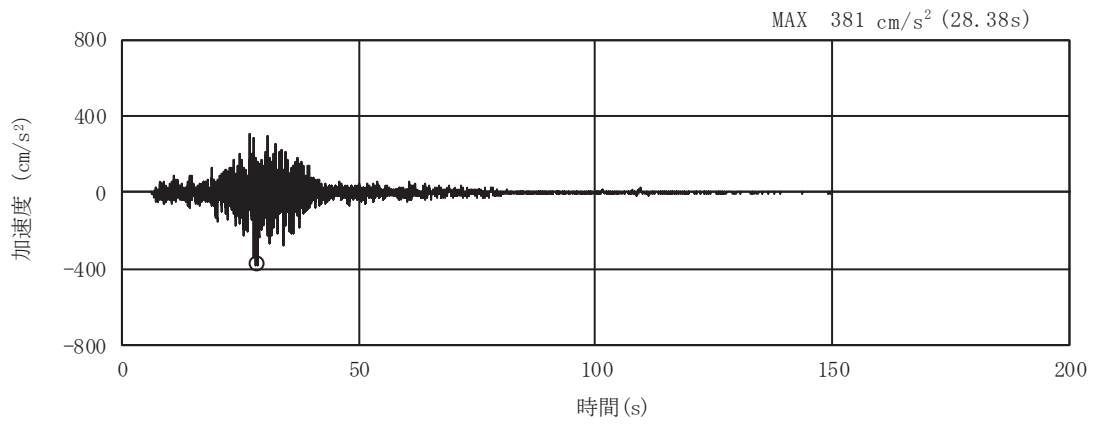


(a) 加速度時刻歴波形

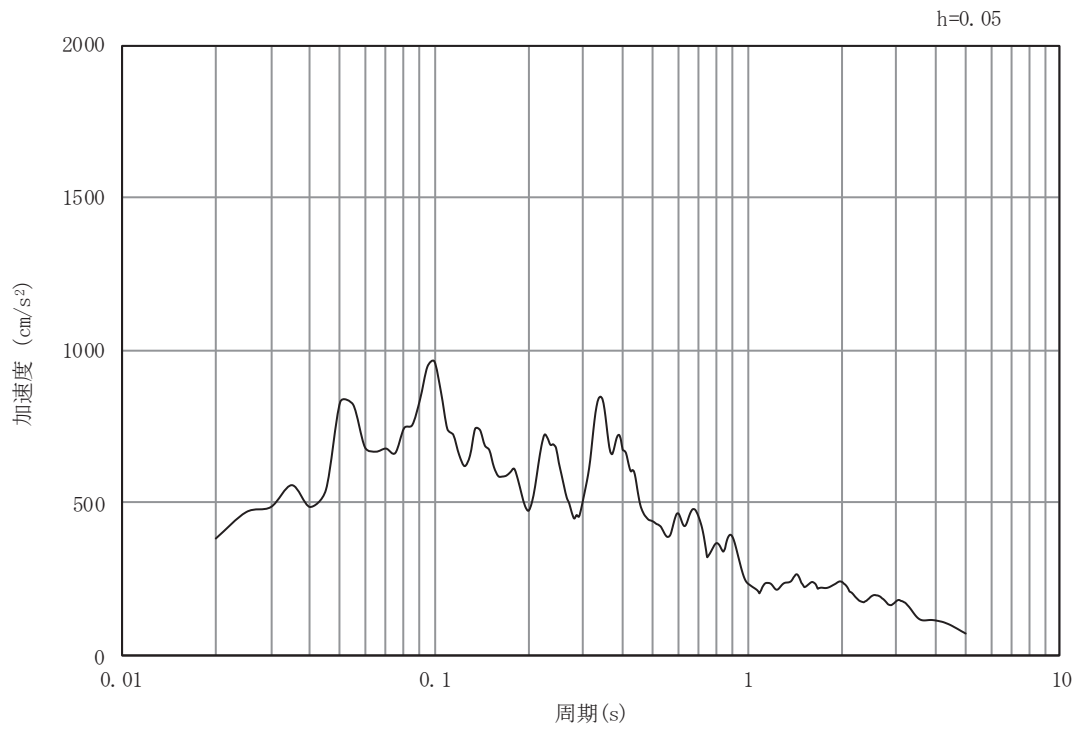


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2)

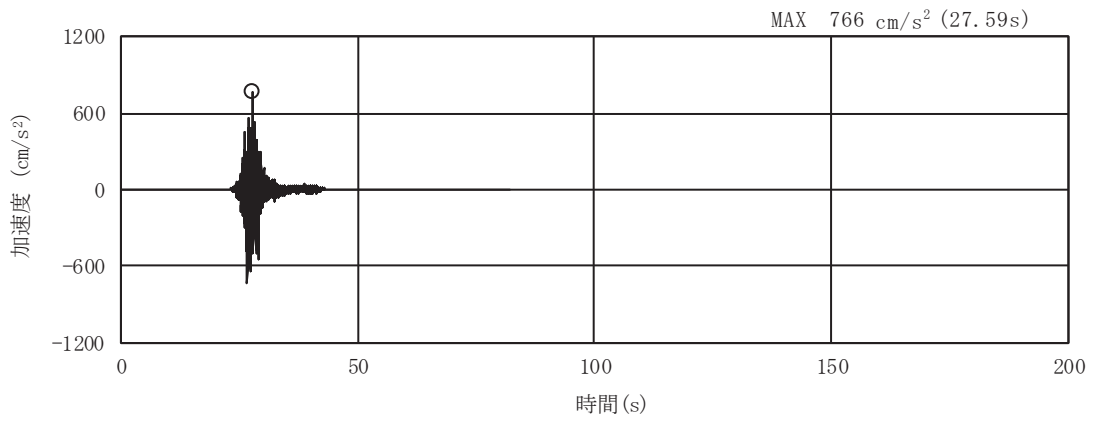


(a) 加速度時刻歴波形

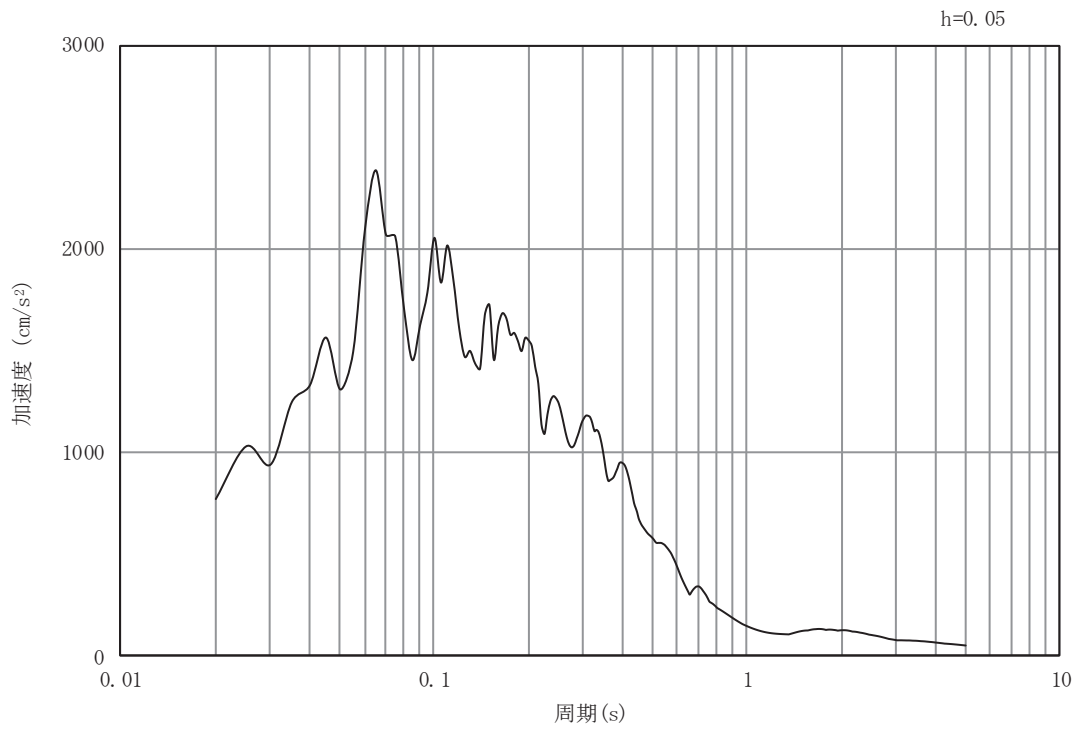


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 2)

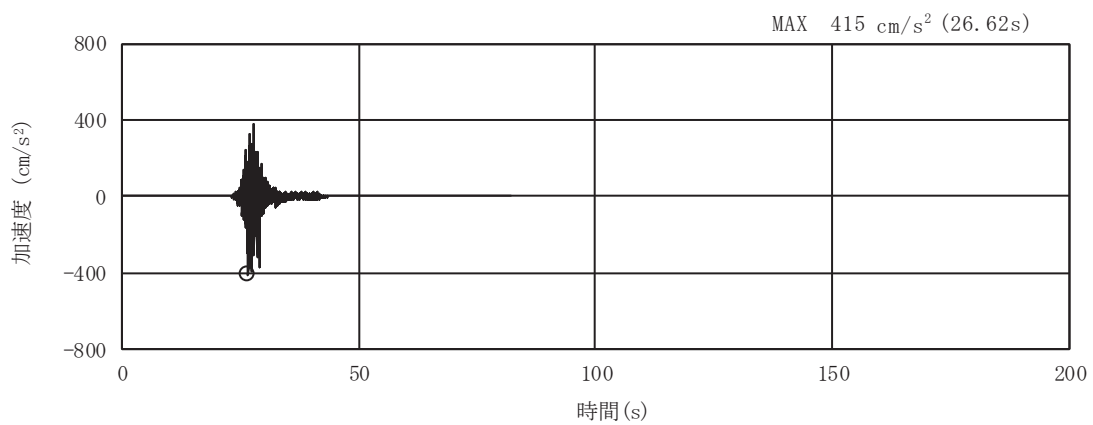


(a) 加速度時刻歴波形

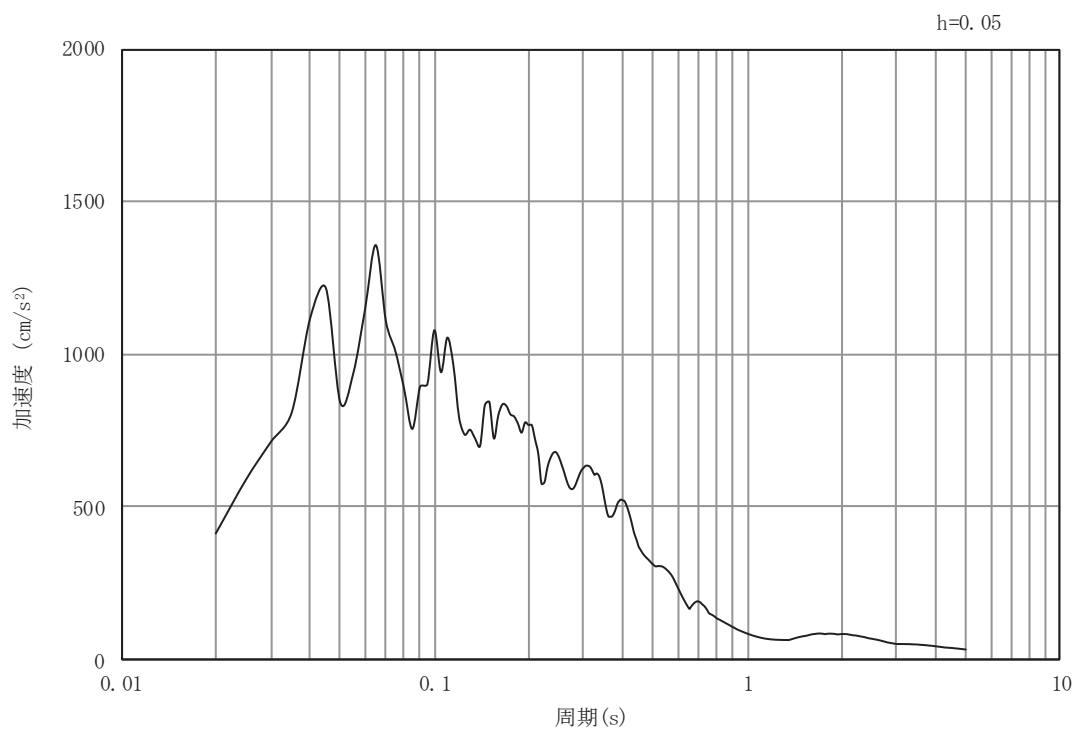


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3)

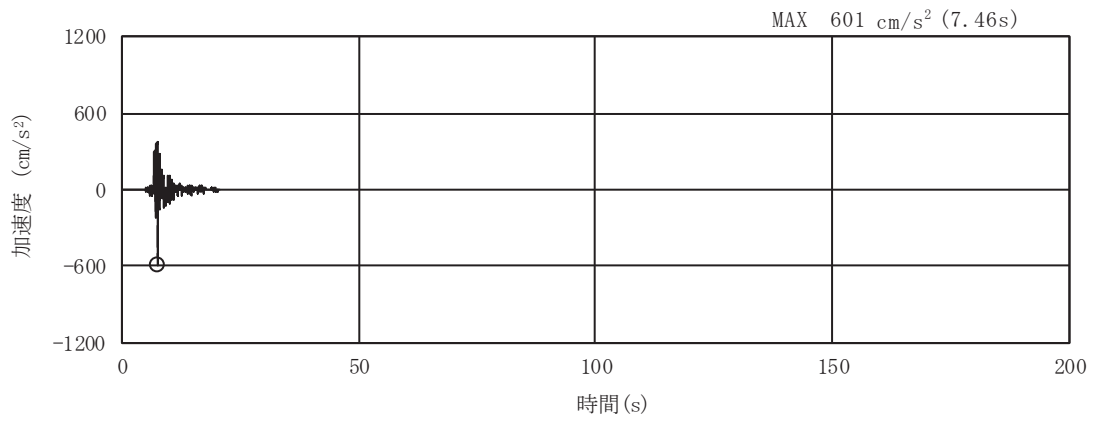


(a) 加速度時刻歴波形

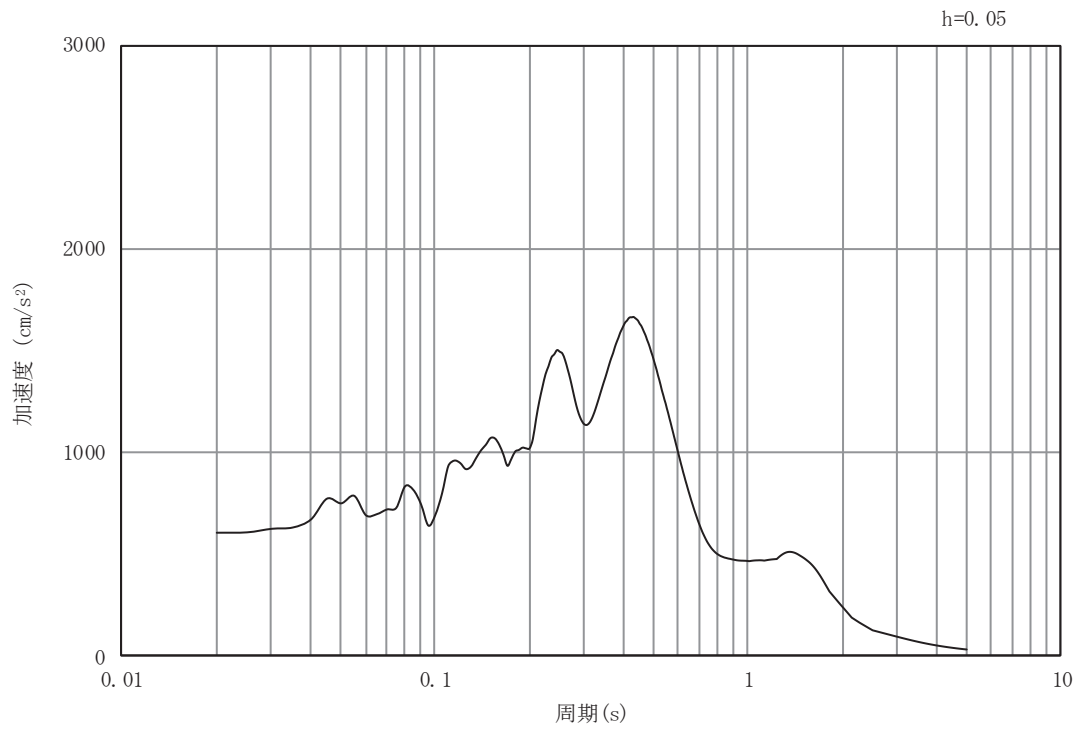


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 3)

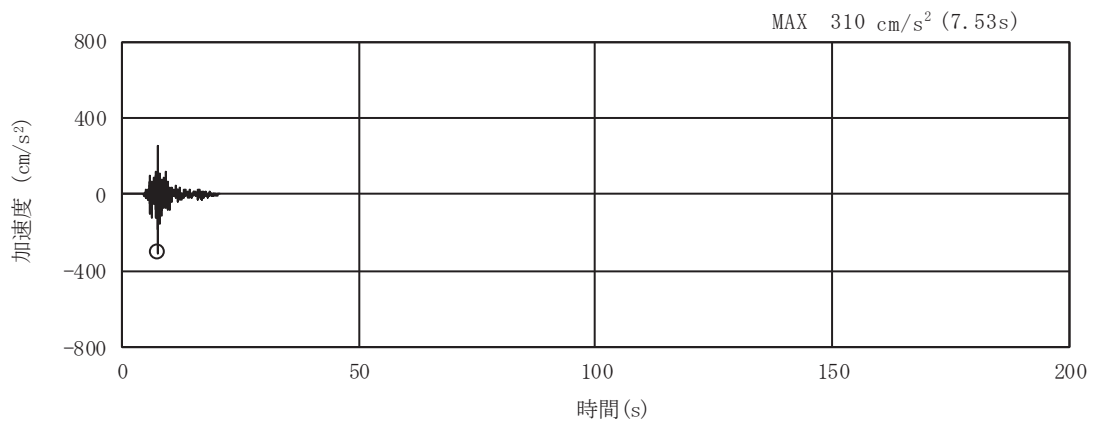


(a) 加速度時刻歴波形

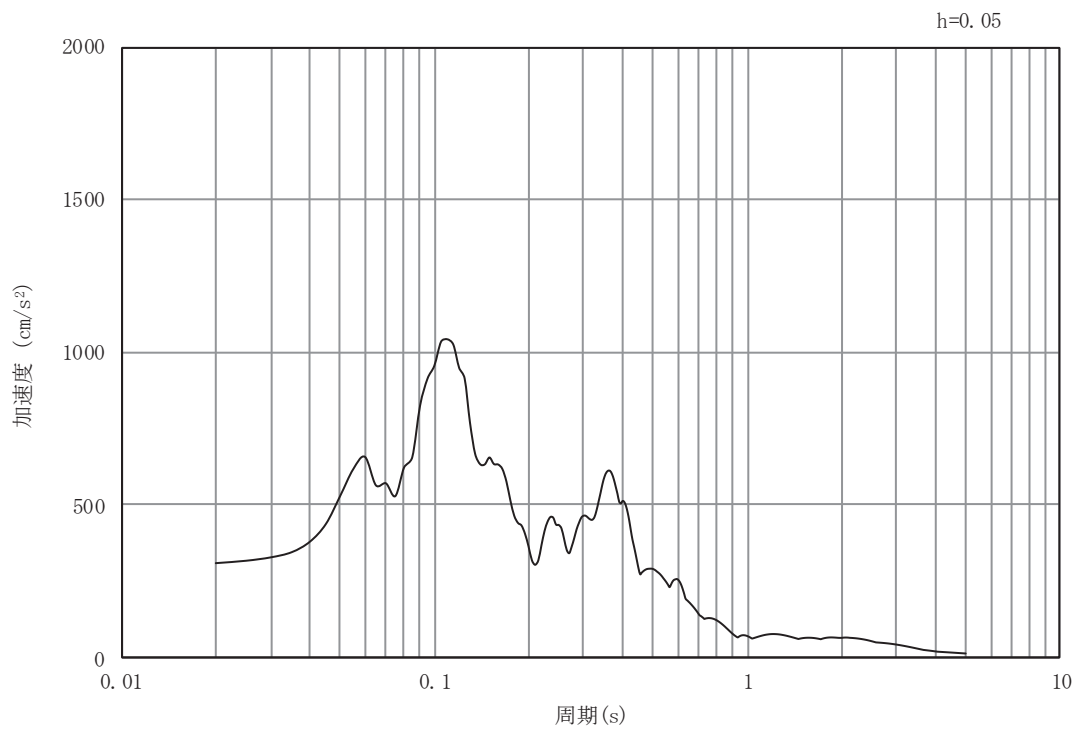


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)

4.2 許容限界の設定

4.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき限界層間変形角（層間変形角 1/100）とし、照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルではコンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、層間変形角 1/100 の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性等が確保できるとして設定されたものである。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いる照査用層間変形角は、地震応答解析により得られた応答値に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ・軸力系の破壊に対する安全余裕を見込んだ評価を実施する。

また、後施工せん断補強工法（セラミックキャップバー工法）（以下、「CCb工法」という。）を適用する部材について、CCb工法はおおむね弾性範囲となる状況下で使用することから、鉄筋コンクリート部材の曲げモーメントが降伏曲げモーメントを下回ることを併せて確認する。第1号機取水路においてCCb工法を適用する部材を図4-4に示す。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表4-1に示す。

表4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界の整理

確認項目	許容限界*1	
	構造強度を有すること	限界層間変形角

注記*1：CCb工法を適用する部材については、降伏曲げモーメントを許容限界とする。

$$*2: \gamma_i \cdot \frac{R_d}{R_L} < 1.0$$

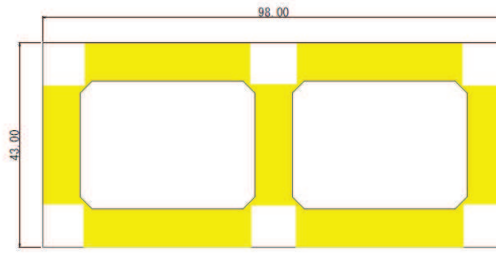
ここで、 γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i=1.0$ ）

R_L ：限界層間変形角（層間変形角 1/100）

R_d ：照査用層間変形角 $R_d = \gamma_a \cdot R$

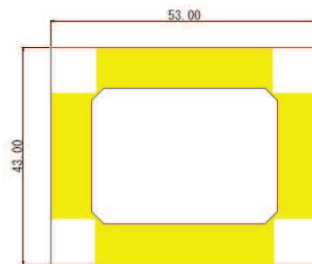
γ_a ：構造解析係数（ $\gamma_a=1.2$ ）

R ：応答計算による層間変形角



■ : CCb 工法を適用する部材

図 4-4(1) CCb 工法を用いる部材 (A-A 断面)



■ : CCb 工法を適用する部材

図 4-4(2) CCb 工法を用いる部材 (B-B 断面, 左右取水路共通)

4.2.2 せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。

せん断耐力を、土木学会マニュアルに基づき「(1)棒部材式」，「(2)ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

せん断破壊に対する照査のフローを図 4-5 に示す。また、CCb 工法を用いる構造部材については「（CCb によりせん断補強された部材のせん断耐力式）」によることとする。

なお、せん断照査に用いる照査用せん断力は、三次元構造解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数） 1.05 を乗じることにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{V_{y d}} < 1.0$$

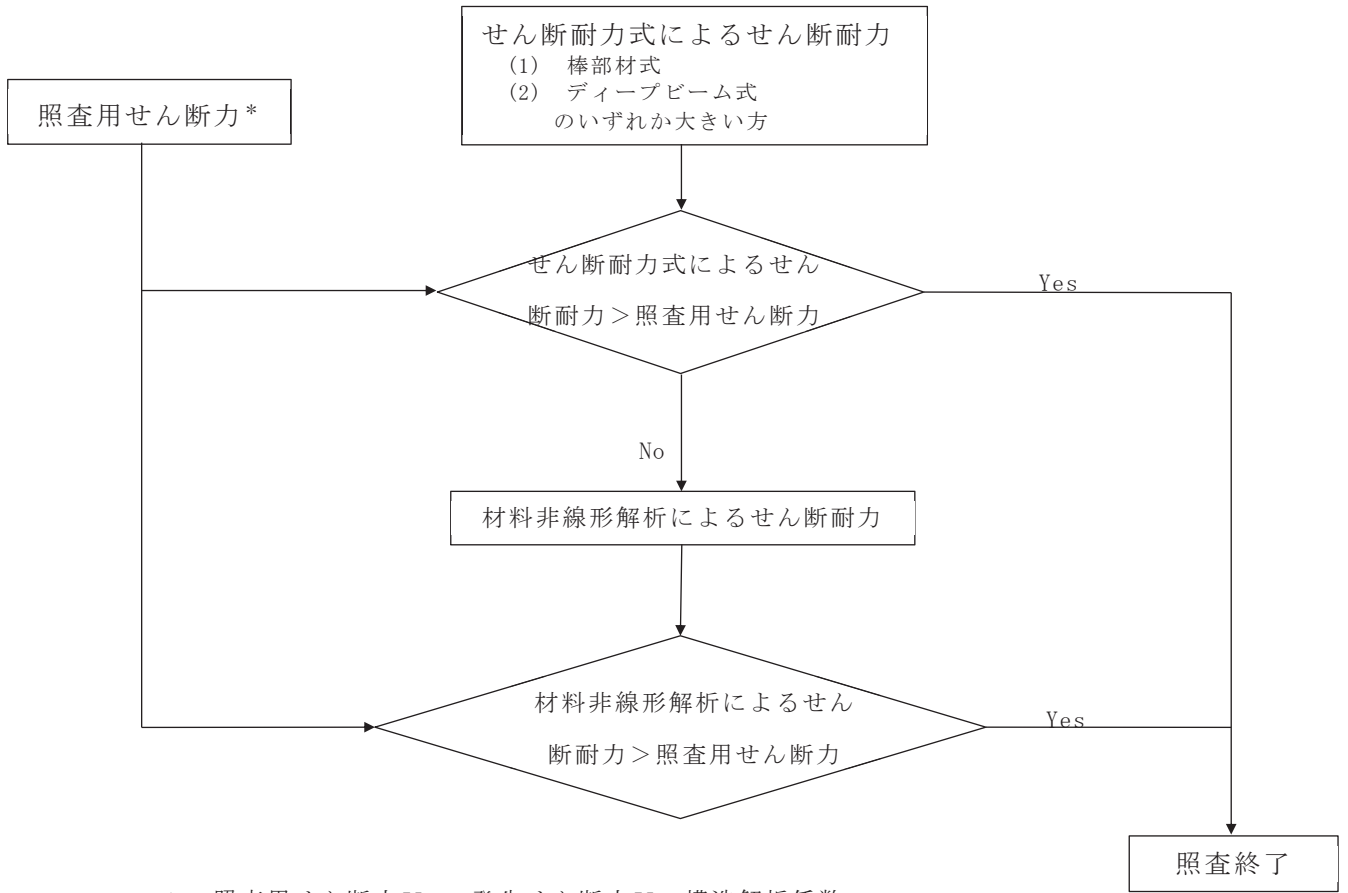
ここで、 γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i = 1.0$ ）

$V_{y d}$ ：せん断耐力

V_d ：照査用せん断力（ $V_d = \gamma_a \cdot V$ ）

γ_a ：構造解析係数（ $\gamma_a = 1.05$ ）

V ：発生せん断力



* : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

図 4-5 せん断破壊に対する照査フロー

(1) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、 V_{yd} : せん断耐力

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²) となる場合は

$$f_{vcd} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0)$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

$$= 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0)$$

ただし、 $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

ここで、 f'_{cd} : コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm²) で設計基準強度 f'_{ck} を材料係数 γ_{mc} で除したもの

p_v : 引張鉄筋比 $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_0 : M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D / 6$$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

ここで、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度を γ_{ms} で除したもので、

400N/mm²以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値

f'_{ck} が 60N/mm² 以上のときは 800N/mm² 以下とする。

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

(2) ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで、 V_{ydd} : せん断耐力

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$$

ここで、 γ_{bc} : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし } 0 \leq \phi \leq 1$$

ここで、 p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表4-2に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表4-2 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値 算定	限界値 算定	
材料係数	コンクリート	γ_{mc}	1.0	1.3	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	γ_{ms}	1.0	1.0	—
部材係数	コンクリート	γ_{bc}	—	1.3	コンクリートが負担するせん断力を低減*
	鉄筋	γ_{bs}	—	1.1	せん断補強筋が負担するせん断力を低減*
構造解析係数		γ_a	1.05	—	応答値（断面力）の割り増し

注記*：土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2}$

$$\gamma_{b1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R+2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R：層間変形角とされている。

第1号機取水路は、層間変形角1/100を鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界とすることから、 $\gamma_{b2} = 1.0$ とする。

(3) CCbによりせん断補強された部材のせん断耐力式（棒部材式）

第1号機取水路において後施工せん断補強（セラミックキャップバー（CCb））を配置した構造部材については、「建設技術審査証明報告書 技術名称 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー（CCb） 一般財団法人土木研究センター」」（以下、「建設技術証明書」という）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{p y d} = V_{c d} + V_{s d} + V_{C C b d} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_{C C b d} &= \beta_{a w} \cdot V_{a w d} \\ &= \beta_{a w} \left\{ A_{a w} \cdot f_{a w y d} (\sin \alpha_{a w} + \cos \alpha_{a w}) / S_{a w} \right\} z / \gamma_b \quad (2) \end{aligned}$$

$$\beta_{a w} = \eta = 1 - \frac{l_y}{2S_{r b}} \quad (3)$$

ただし、 $l_y - d' \leq 0$ となる場合は $l_y - d' = 0$ とする。

ここに、

$V_{c d}$: せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅当たりのせん断耐力

$V_{s d}$: 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力

$V_{C C b d}$: セラミックキャップバー（CCb）により受け持たれる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力

$V_{a w d}$: セラミックキャップバー（CCb）を通常のスターラップと見なし、て求められる壁部材の単位幅当たりのせん断耐力

$\beta_{a w}$: セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

$A_{a w}$: 単位長さ当たりの区間 $S_{a w}$ におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積

$f_{a w y d}$: セラミックキャップバー（CCb）の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

$\alpha_{a w}$: セラミックキャップバー（CCb）が部材軸となす角度

$S_{a w}$: セラミックキャップバー（CCb）の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

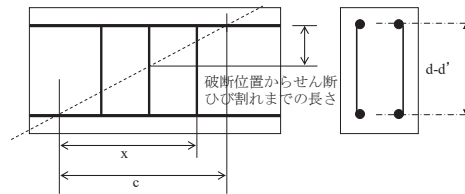
l_y : セラミックキャップバー (CCb) の先端型定着耐の定着長 (5D とし
てよい)

S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

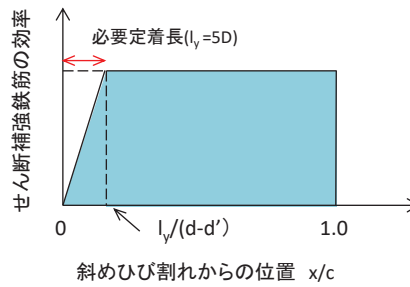
d : 補強対象部材の有効高さ

d' : 差し込み側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $5D$ であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下することから、セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 4-6 に有効率算定における概念図を示す。



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋



(b) 標準型

図 4-6 セラミックキャップバー (CCb) の有効率算定の概念図

4.2.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 支持地盤（狐崎部層）の接地圧に対する許容限界

支持地盤（狐崎部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

支持地盤（狐崎部層）の接地圧に対する許容限界を表 4-3 に示す。

表 4-3 支持地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

5. 評価結果

5.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として、「層間変形角時刻歴波形」，「断面力分布」，「最大せん断ひずみ分布」，「過剰間隙水圧比分布」を記載する。なお，断面力分布は単位奥行き当たりの断面力を図示する。

5.1.1 解析ケースと照査値

耐震評価における解析ケースについては，補足-610-20「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定」に基づき設定する。

第1号機取水路の耐震評価は，すべての基準地震動 S_s に対して実施するケース①を基本ケースとし，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において，照査値が0.5以上となるすべての照査項目に対して，最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いて，ケース②～④を実施する。

また，上記解析ケースの結果を踏まえ，さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は，追加解析を実施する。

なお，追加解析を反映した結果は，別途示す。

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 5-1 及び表 5-2 に曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値 (A-A 断面)

地震動 解析ケース		曲げ・軸力系の破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.06			
	-+	0.06			
S _s -D 2	++	0.09			
	-+	0.07			
S _s -D 3	++	0.04			
	-+	0.05			
S _s -F 1	++	0.05			
	-+	0.05			
S _s -F 2	++	0.06			
	-+	0.08			
S _s -F 3	++	0.05			
	-+	0.05			
S _s -N 1	++	0.10	0.09	0.13	0.09
	-+	0.05			

表 5-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値
(B-B 断面, 左取水路)

解析ケース 地震動		曲げ・軸力系の破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.06			
	-+	0.07			
S _s -D 2	++	0.05			
	-+	0.06			
S _s -D 3	++	0.04			
	-+	0.06			
S _s -F 1	++	0.05			
	-+	0.05			
S _s -F 2	++	0.05			
	-+	0.06	0.06	0.05	0.06
S _s -F 3	++	0.05			
	-+	0.05			
S _s -N 1	++	0.07	0.07	0.06	0.07
	-+	0.07			

表 5-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値
(B-B 断面, 右取水路)

解析ケース 地震動		曲げ・軸力系の破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.05			
	-+	0.05			
S _s -D 2	++	0.06			
	-+	0.05			
S _s -D 3	++	0.04			
	-+	0.05			
S _s -F 1	++	0.04			
	-+	0.05			
S _s -F 2	++	0.05			
	-+	0.08	0.08	0.08	0.08
S _s -F 3	++	0.04			
	-+	0.04			
S _s -N 1	++	0.08	0.08	0.10	0.08
	-+	0.05			

(2) せん断破壊に対する照査

表 5-3 及び表 5-4 にせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-3(1) せん断破壊に対する実施ケースと照査値

(A-A 断面, 側壁, 部材 1)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.39			
	-+	0.32			
S _s -D 2	++	0.49			
	-+	0.45			
S _s -D 3	++	0.29			
	-+	0.30			
S _s -F 1	++	0.30			
	-+	0.28			
S _s -F 2	++	0.31			
	-+	0.38			
S _s -F 3	++	0.31			
	-+	0.37			
S _s -N 1	++	0.46	0.45	0.48	0.52
	-+	0.32			

表 5-3(2) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 側壁, 部材 2)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.21			
	-+	0.22			
S _s -D 2	++	0.25			
	-+	0.23			
S _s -D 3	++	0.19			
	-+	0.20			
S _s -F 1	++	0.20			
	-+	0.18			
S _s -F 2	++	0.21			
	-+	0.22			
S _s -F 3	++	0.20			
	-+	0.21			
S _s -N 1	++	0.27	0.26	0.33	0.25
	-+	0.18			

表 5-3(3) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 隔壁, 部材 3)

地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.11			
	-+	0.14			
S _s -D 2	++	0.18			
	-+	0.11			
S _s -D 3	++	0.09			
	-+	0.13			
S _s -F 1	++	0.08			
	-+	0.13			
S _s -F 2	++	0.13			
	-+	0.18			
S _s -F 3	++	0.08			
	-+	0.09			
S _s -N 1	++	0.21	0.20	0.27	0.23
	-+	0.14			

表 5-3(4) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 頂版左, 部材 4)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.50			
	-+	0.51			
S _s -D 2	++	0.57			
	-+	0.51			
S _s -D 3	++	0.44			
	-+	0.48			
S _s -F 1	++	0.46			
	-+	0.47			
S _s -F 2	++	0.50			
	-+	0.55			
S _s -F 3	++	0.48			
	-+	0.45			
S _s -N 1	++	0.60	0.60	0.71	0.67
	-+	0.44			

表 5-3(5) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 頂版右, 部材 5)

地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.45			
	-+	0.45			
S _s -D2	++	0.54			
	-+	0.49			
S _s -D3	++	0.42			
	-+	0.43			
S _s -F1	++	0.42			
	-+	0.41			
S _s -F2	++	0.44			
	-+	0.49			
S _s -F3	++	0.44			
	-+	0.45			
S _s -N1	++	0.53	0.52	0.66	0.51
	-+	0.41			

表 5-3(6) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 底版左, 部材 6)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.27			
	-+	0.24			
S _s -D 2	++	0.37			
	-+	0.32			
S _s -D 3	++	0.21			
	-+	0.22			
S _s -F 1	++	0.22			
	-+	0.21			
S _s -F 2	++	0.23			
	-+	0.31			
S _s -F 3	++	0.22			
	-+	0.25			
S _s -N 1	++	0.37	0.37	0.40	0.42
	-+	0.22			

表 5-3(7) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面, 底版右, 部材 7)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.29			
	-+	0.30			
S _s -D 2	++	0.34			
	-+	0.30			
S _s -D 3	++	0.26			
	-+	0.28			
S _s -F 1	++	0.27			
	-+	0.27			
S _s -F 2	++	0.29			
	-+	0.31			
S _s -F 3	++	0.28			
	-+	0.28			
S _s -N 1	++	0.34	0.33	0.40	0.39
	-+	0.26			

表 5-4(1) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 左取水路, 側壁, 部材 5)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.21			
	-+	0.23			
S _s -D2	++	0.24			
	-+	0.21			
S _s -D3	++	0.19			
	-+	0.21			
S _s -F1	++	0.19			
	-+	0.21			
S _s -F2	++	0.21			
	-+	0.24	0.24	0.23	0.25
S _s -F3	++	0.18			
	-+	0.21			
S _s -N1	++	0.25	0.24	0.25	0.24
	-+	0.22			

表 5-4(2) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 左水路, 側壁, 部材 6)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.15			
	-+	0.27			
S _s -D2	++	0.33			
	-+	0.16			
S _s -D3	++	0.14			
	-+	0.14			
S _s -F1	++	0.13			
	-+	0.15			
S _s -F2	++	0.14			
	-+	0.29	0.24	0.36	0.35
S _s -F3	++	0.15			
	-+	0.26			
S _s -N1	++	0.18	0.22	0.34	0.18
	-+	0.22			

表 5-4(3) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 左取水路, 頂版, 部材 7)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.28			
	-+	0.30			
S _s -D 2	++	0.26			
	-+	0.29			
S _s -D 3	++	0.25			
	-+	0.24			
S _s -F 1	++	0.25			
	-+	0.26			
S _s -F 2	++	0.26			
	-+	0.31	0.29	0.27	0.30
S _s -F 3	++	0.26			
	-+	0.26			
S _s -N 1	++	0.28	0.26	0.26	0.29
	-+	0.29			

表 5-4(4) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 左取水路, 底版, 部材 8)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.20			
	-+	0.19			
S _s -D 2	++	0.26			
	-+	0.21			
S _s -D 3	++	0.12			
	-+	0.12			
S _s -F 1	++	0.13			
	-+	0.12			
S _s -F 2	++	0.11			
	-+	0.23	0.20	0.25	0.28
S _s -F 3	++	0.11			
	-+	0.18			
S _s -N 1	++	0.14	0.13	0.25	0.20
	-+	0.18			

表 5-4(5) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
(B-B 断面, 右取水路, 側壁, 部材 1)

地震動 解析ケース		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.40			
	-+	0.39			
S _s -D2	++	0.42			
	-+	0.40			
S _s -D3	++	0.34			
	-+	0.36			
S _s -F1	++	0.35			
	-+	0.36			
S _s -F2	++	0.38			
	-+	0.54	0.54	0.49	0.58
S _s -F3	++	0.33			
	-+	0.37			
S _s -N1	++	0.54	0.54	0.54	0.62
	-+	0.35			

表 5-4(6) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 右取水路, 側壁, 部材 2)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.12			
	-+	0.11			
S _s -D 2	++	0.11			
	-+	0.12			
S _s -D 3	++	0.10			
	-+	0.09			
S _s -F 1	++	0.12			
	-+	0.09			
S _s -F 2	++	0.10			
	-+	0.13	0.13	0.12	0.11
S _s -F 3	++	0.10			
	-+	0.12			
S _s -N 1	++	0.14	0.14	0.16	0.14
	-+	0.14			

表 5-4(7) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 右取水路, 頂版, 部材 3)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.17			
	-+	0.17			
S _s -D 2	++	0.19			
	-+	0.18			
S _s -D 3	++	0.16			
	-+	0.17			
S _s -F 1	++	0.17			
	-+	0.17			
S _s -F 2	++	0.17			
	-+	0.21	0.22	0.21	0.23
S _s -F 3	++	0.16			
	-+	0.18			
S _s -N 1	++	0.19	0.20	0.20	0.19
	-+	0.16			

表 5-4(8) せん断破壊に対する実施ケースと照査値
 (B-B 断面, 右水路, 底版, 部材 4)

解析ケース 地震動		せん断破壊に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.28			
	-+	0.28			
S _s -D 2	++	0.32			
	-+	0.28			
S _s -D 3	++	0.26			
	-+	0.26			
S _s -F 1	++	0.25			
	-+	0.26			
S _s -F 2	++	0.29			
	-+	0.41	0.42	0.38	0.45
S _s -F 3	++	0.23			
	-+	0.27			
S _s -N 1	++	0.41	0.42	0.43	0.47
	-+	0.26			

(3) 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 5-5 及び表 5-6 に基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 5-5 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値
(A-A 断面)

地震動 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.34			
	-+	0.22			
S _s -D2	++	0.31			
	-+	0.46			
S _s -D3	++	0.19			
	-+	0.21			
S _s -F1	++	0.20			
	-+	0.21			
S _s -F2	++	0.22			
	-+	0.25			
S _s -F3	++	0.30			
	-+	0.44			
S _s -N1	++	0.27	0.27	0.34	0.26
	-+	0.25			

表 5-6(1) 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値
(B-B 断面, 左取水路)

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D 1	++	0.19			
	-+	0.17			
S _s -D 2	++	0.33			
	-+	0.22			
S _s -D 3	++	0.20			
	-+	0.19			
S _s -F 1	++	0.22			
	-+	0.14			
S _s -F 2	++	0.26			
	-+	0.15	0.14	0.32	0.16
S _s -F 3	++	0.19			
	-+	0.22			
S _s -N 1	++	0.18	0.13	0.27	0.17
	-+	0.28			

表 5-6(2) 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値
(B-B 断面, 右取水路)

解析ケース 地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査			
		①	②	③	④
S _s -D1	++	0.53			
	-+	0.52			
S _s -D2	++	0.59			
	-+	0.55			
S _s -D3	++	0.45			
	-+	0.47			
S _s -F1	++	0.45			
	-+	0.48			
S _s -F2	++	0.49			
	-+	0.65	0.63	0.71	0.65
S _s -F3	++	0.48			
	-+	0.48			
S _s -N1	++	0.67	0.63	0.79	0.70
	-+	0.49			

5.1.2 層間変形角時刻歴波形（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

第1号機取水路の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-7及び表5-8に示す。また、該当する解析ケースの層間変形角時刻歴波形を図5-1及び図5-2に示す。

表5-7 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（A-A断面）

地震動	解析 ケース	照査用層間 変形角* R_d	限界層間 変形角 R_u	照査値 R_d / R_u
S s - N 1 (++)	③	1.27×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.13

注記 *：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

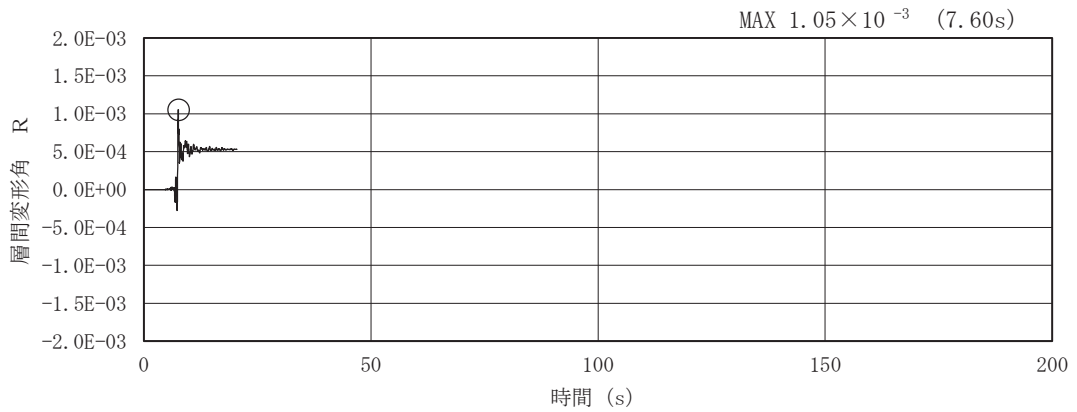


図5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形
(A-A断面, S s - N 1 (++))

(解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

表5-8 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（B-B断面）

評価 位置	地震動	解析 ケース	照査用層間 変形角* R_d	限界層間 変形角 R_u	照査値 R_d / R_u
右	S s - N 1 (++)	③	9.32×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.10
左	S s - N 1 (++)	①	6.71×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.07

注記 *：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

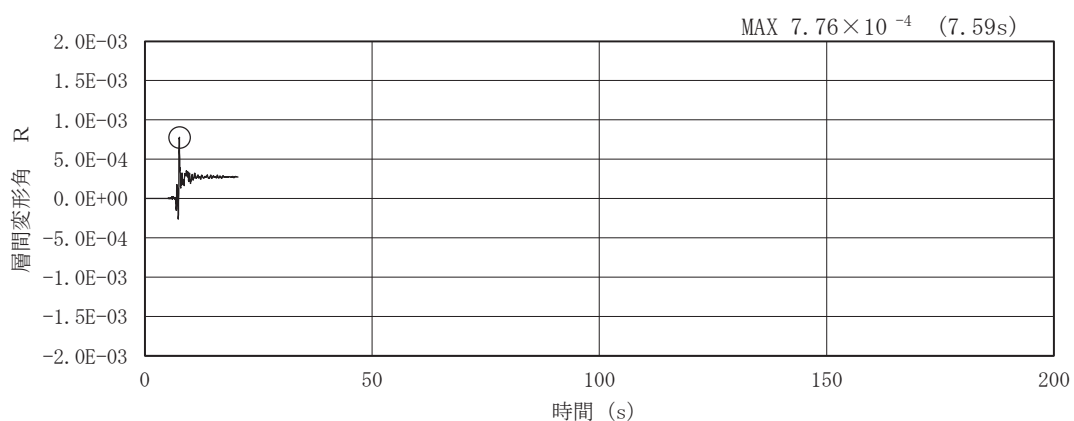


図 5-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形
 (B-B断面(右), $S_s - N1$ (++))
 (解析ケース③: 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

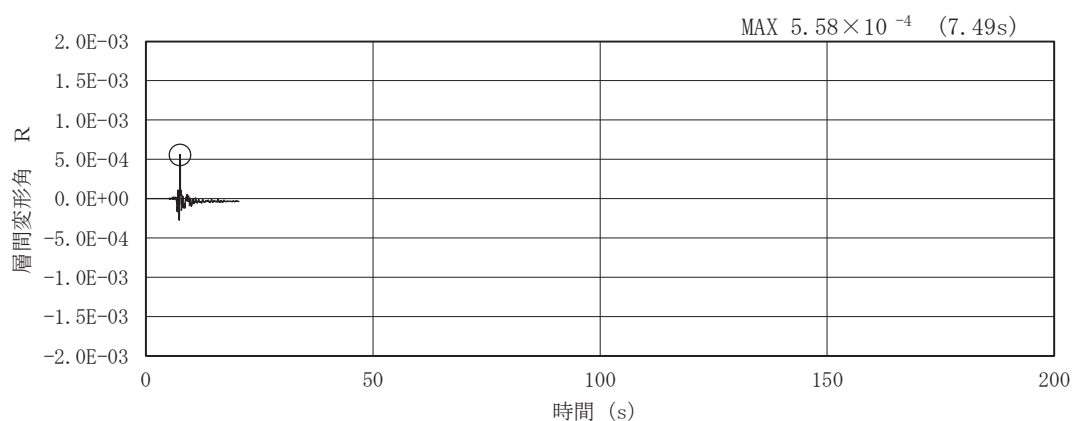


図 5-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の層間変形角時刻歴波形
 (B-B断面(左), $S_s - N1$ (++))
 (解析ケース①: 基本ケース)

5.1.3 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

せん断破壊に対する照査について、各部材において最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を、表 5-9 及び表 5-10 に示す。

また、該当する解析ケースについて、部材毎の照査値が最大となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図 5-4 及び図 5-6 に示す。

表 5-9 せん断破壊に対する最大照査値（A-A 断面）

評価位置* ¹	地震動	解析ケース	照査用せん断力* ² V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y,d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y,d}$
頂版 4	S s - N 1 (++)	③	1504	2130	0.71
側壁 1	S s - N 1 (++)	④	1407	2729	0.52
隔壁 3	S s - N 1 (++)	③	975	3710	0.27
底版 6	S s - N 1 (++)	④	1536	3746	0.42

注記 *1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

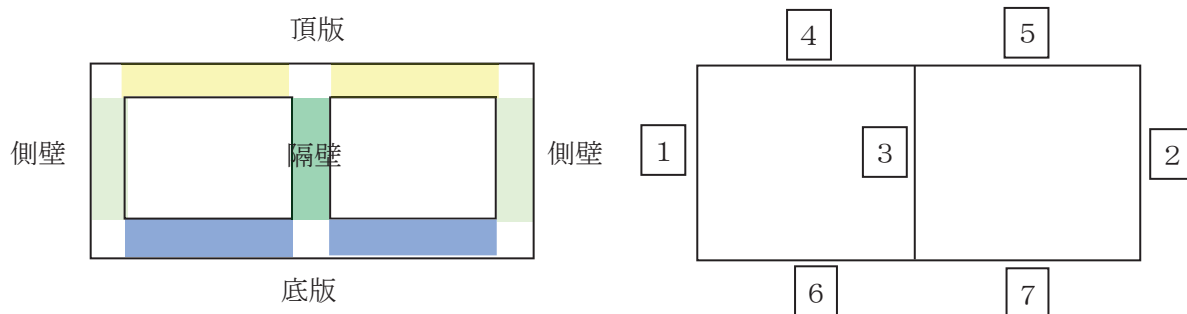
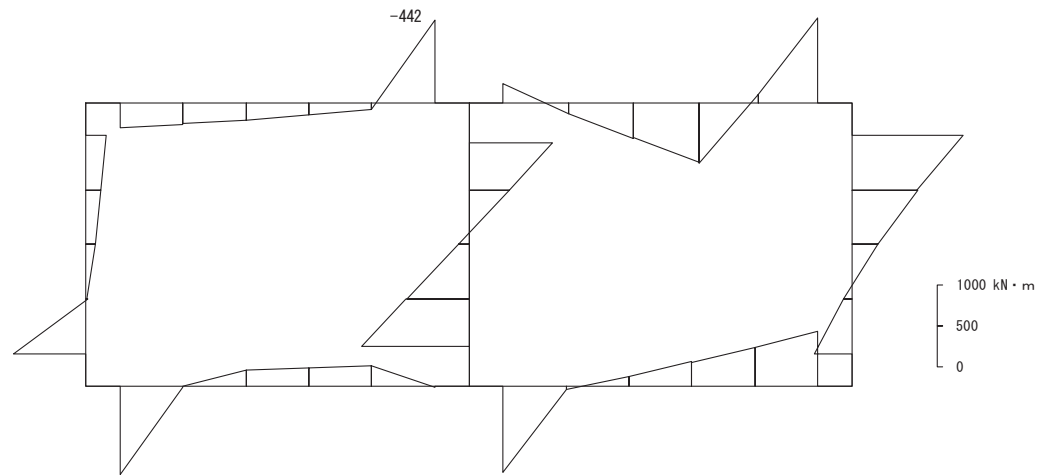
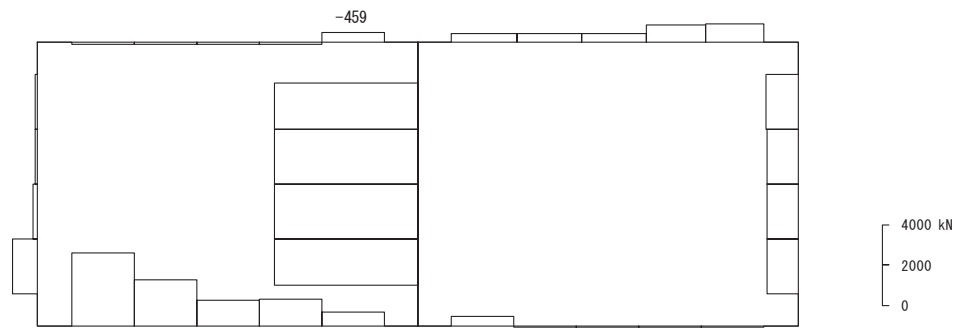


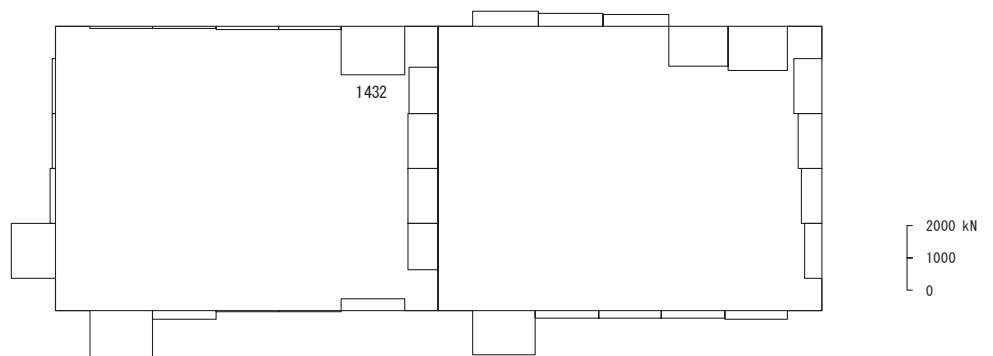
図 5-3 A-A 断面評価位置



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 5-4 せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (A-A 断面，頂版左，S s - N 1 (++)，t = 7.60s)
 (解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

表 5-10 せん断破壊に対する最大照査値 (B-B 断面)

評価位置*1		地震動	解析ケース	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
右	頂版 3	$S_s - F_2 (-+)$	④	458	2071	0.23
	側壁 1	$S_s - N_1 (++)$	④	1747	2832	0.62
	底版 4	$S_s - N_1 (++)$	④	1739	3716	0.47
左	頂版 7	$S_s - F_2 (-+)$	①	666	2217	0.31
	側壁 6	$S_s - F_2 (-+)$	③	1010	2842	0.36
	底版 8	$S_s - F_2 (-+)$	④	1036	3787	0.28

注記 *1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

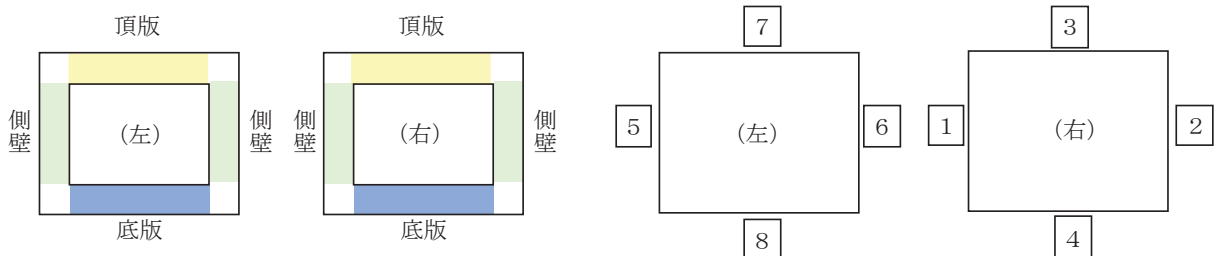
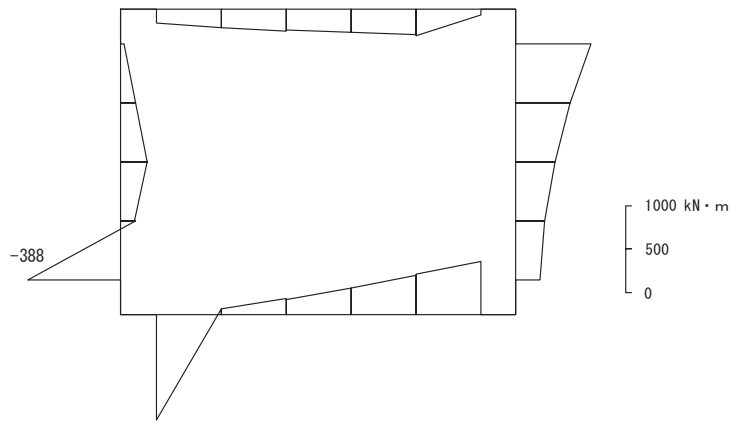
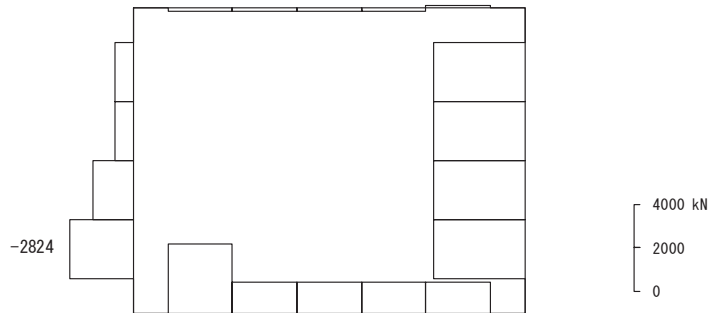


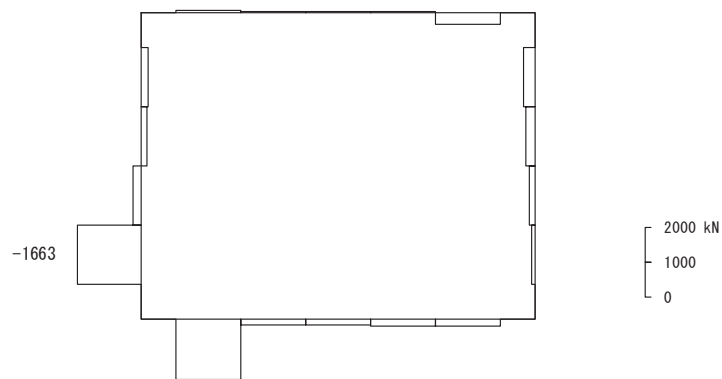
図 5-5 B-B 断面評価位置



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

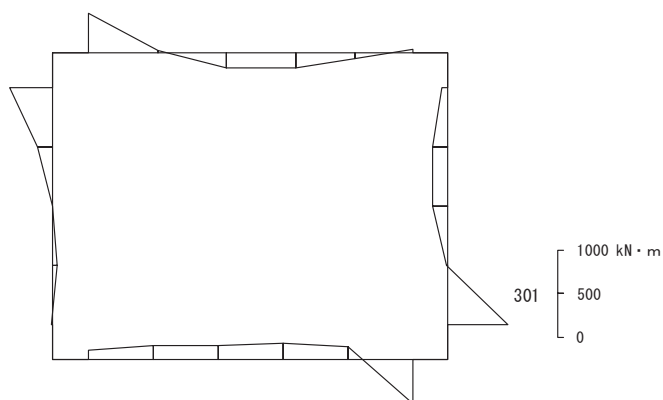


数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)

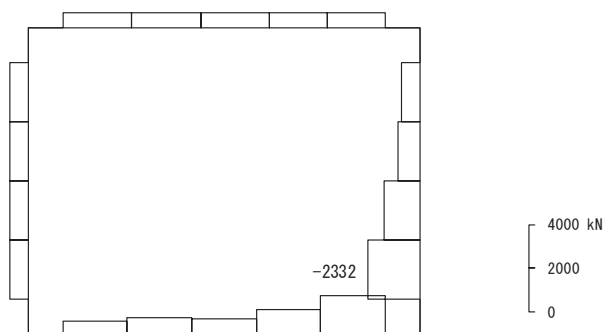


数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 5-6(1) せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B 断面, 右取水路左側壁, S s - N 1 (++) , t = 7.60s)
 (解析ケース④：材料物性のばらつき (実強度) を考慮した解析ケース)



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張, -：圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 5-6(2) せん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (B-B 断面, 左取水路右側壁, $S_s - F_2 (-+)$, $t = 26.85s$)
 (解析ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

5.1.4 最大せん断ひずみ分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて地盤に発生した最大せん断ひずみを確認する。最大照査値を示すケースの一覧を表 5-11 に示す。

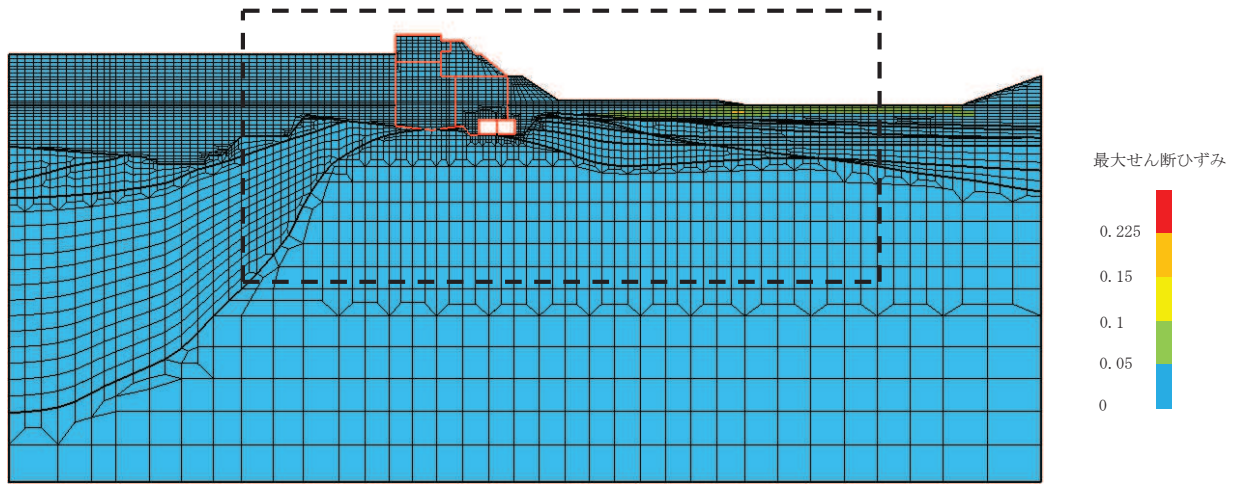
最大せん断ひずみ分布図を図 5-7 及び図 5-8 に示す。

表 5-11 最大照査値を示すケースの一覧

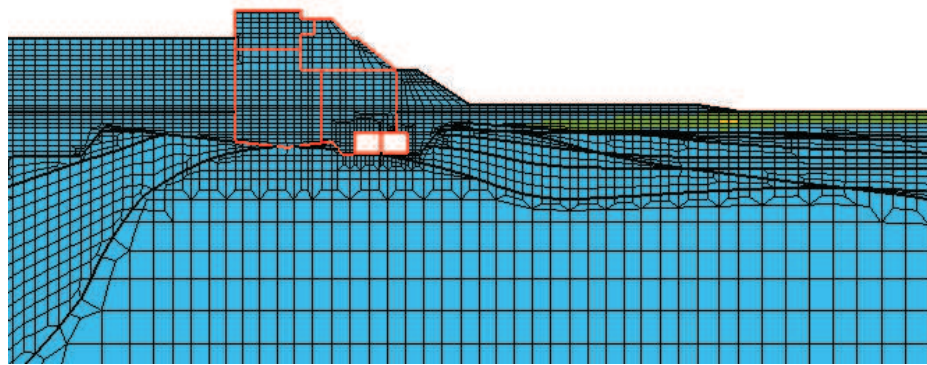
断面	評価項目	
	曲げ・軸力系	せん断
A-A 断面	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース③ S s - N 1 (++)
B-B 断面	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース④ S s - N 1 (++)

注：耐震評価における解析ケース一覧

解析ケース	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性	平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ	平均値
材料物性	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度



(a) 全体図

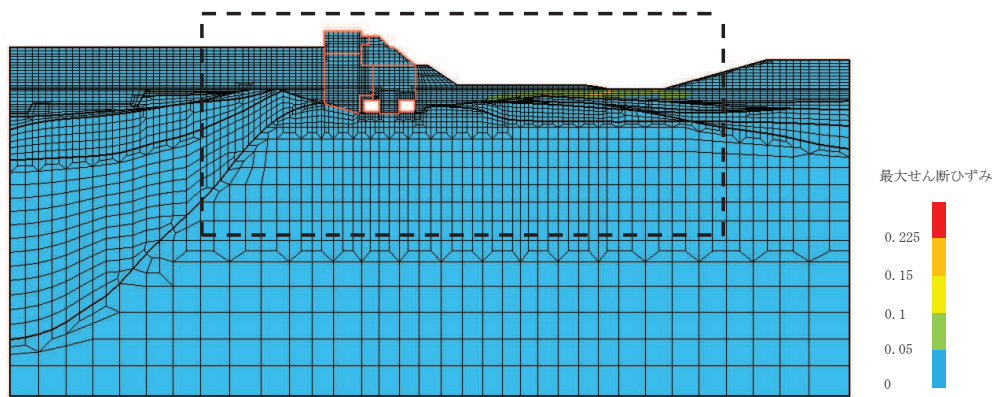


(b) 構造物周辺拡大図

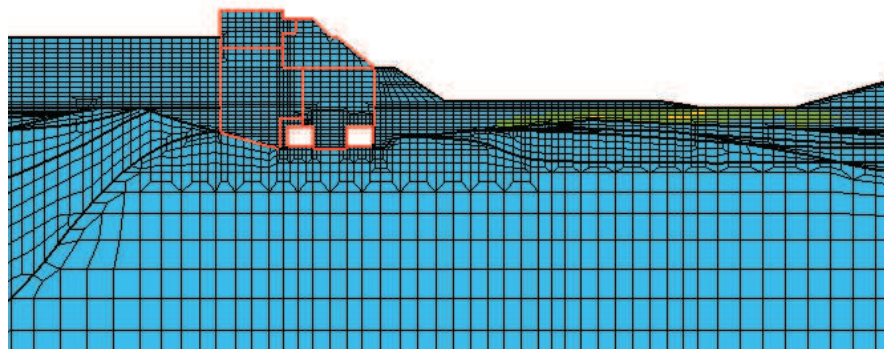
図 5-7 最大せん断ひずみ

(A-A 断面, S s - N 1 (++))

(解析ケース③ : 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

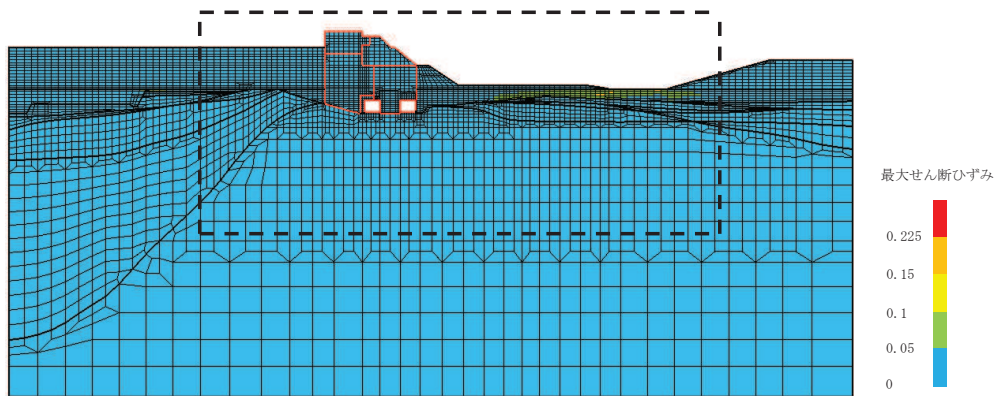


(a) 全体図

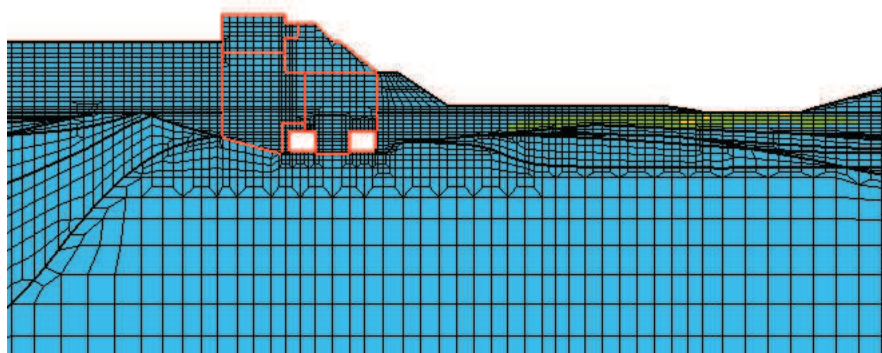


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-8(1) 最大せん断ひずみ
 (B-B 断面, S s - N 1 (++))
 (解析ケース③ : 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-8(2) 最大せん断ひずみ
 (B-B 断面, $S_s - N1$ (++))
 (解析ケース④ : 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース)

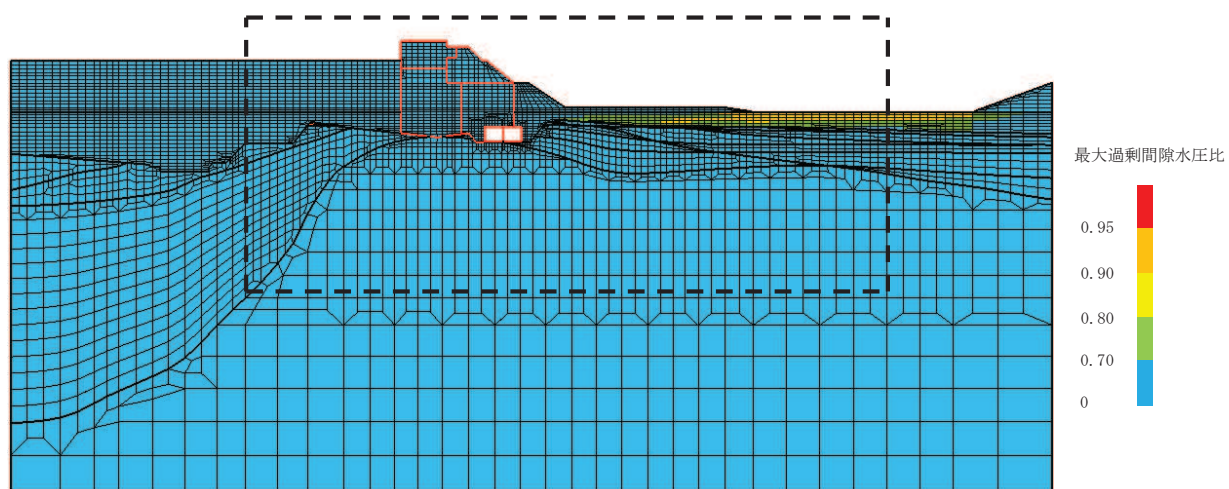
5.1.5 過剰間隙水圧比分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて、地盤に発生した過剰間隙水圧比分布を確認する。最大照査値を示すケースの一覧を表 5-12 に示す。

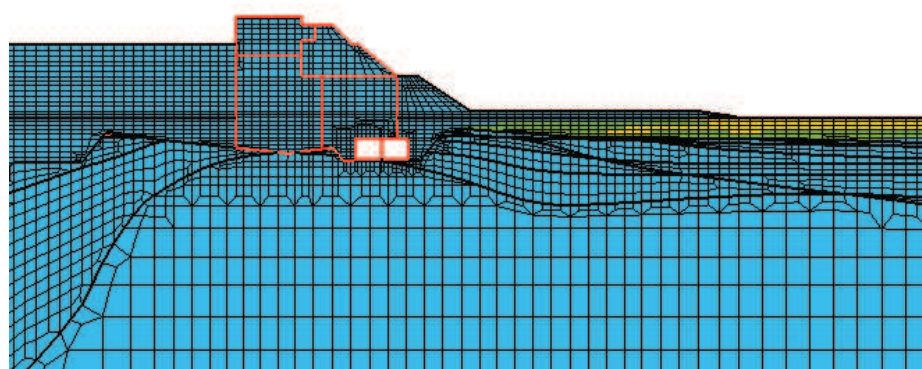
過剰間隙水圧比分布図を図 5-9 及び図 5-10 に示す。

表 5-12 最大照査値を示すケースの一覧

断面	評価項目	
	曲げ・軸力系	せん断
A-A 断面	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース③ S s - N 1 (++)
B-B 断面	解析ケース③ S s - N 1 (++)	解析ケース④ S s - N 1 (++)

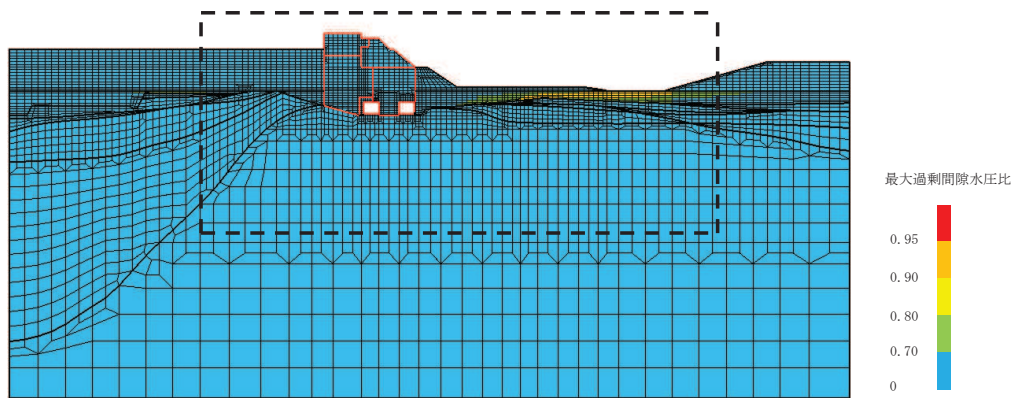


(a) 全体図

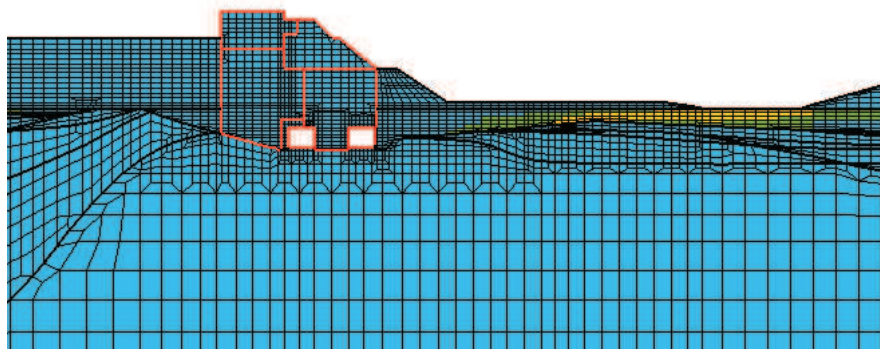


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-9 最大過剰間隙水圧比分布
 (A-A 断面, $S_s - N1$ (++))
 (解析ケース③ : 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) 全体図

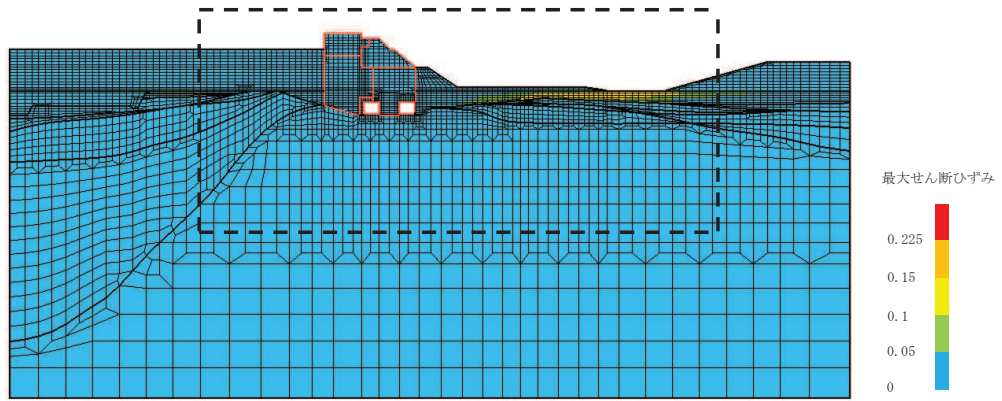


(b) 構造物周辺拡大図

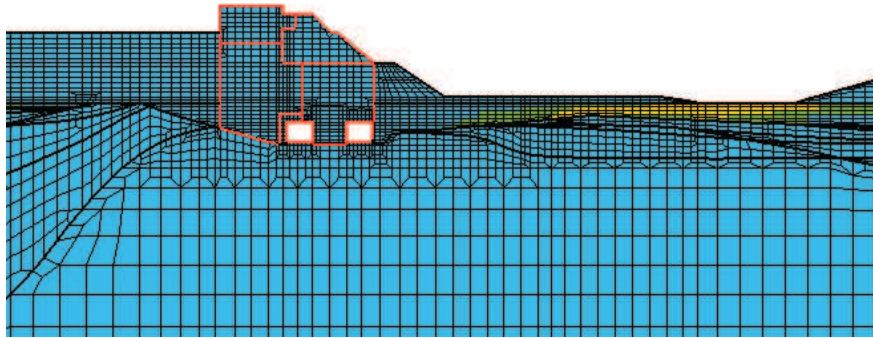
図 5-10(1) 最大過剰間隙水圧比分布

(B-B 断面, S s - N 1 (++))

(解析ケース③ : 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-10(2) 最大過剰間隙水圧比分布

(B-B 断面, $S_s - N1$ (++))

(解析ケース④ : 材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース)

5.2 構造部材の健全性に対する評価結果

5.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表 5-13～表 5-14 に示す。

表 5-13 及び表 5-14 のとおり，全ケースにおいて照査用層間変形角は限界層間変形角（層間変形角 1/100）を下回ることを確認した。

なお，CCb 工法の適用性に関する検討は，別途示す。

表 5-13 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（A-A 断面）

解析ケース	地震動		照査用層間変形角*	限界層間変形角	照査値	
			R_d	R_u	R_d / R_u	
①	S _s -D1	++	5.07×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.06	
		-+	5.22×10^{-4}		0.06	
	S _s -D2	++	8.02×10^{-4}		0.09	
		-+	6.31×10^{-4}		0.07	
	S _s -D3	++	3.71×10^{-4}		0.04	
		-+	4.74×10^{-4}		0.05	
	S _s -F1	++	4.27×10^{-4}		0.05	
		-+	4.60×10^{-4}		0.05	
	S _s -F2	++	5.05×10^{-4}		0.06	
		-+	7.09×10^{-4}		0.08	
	S _s -F3	++	4.66×10^{-4}		0.05	
		-+	4.53×10^{-4}		0.05	
	S _s -N1	++	9.15×10^{-4}		0.10	
		-+	4.70×10^{-4}		0.05	
	②	S _s -N1	++		8.83×10^{-4}	0.09
	③	S _s -N1	++		1.27×10^{-3}	0.13
④	S _s -N1	++	8.76×10^{-4}	0.09		

注記*：照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 5-14(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 左取水路)

解析ケース	地震動		照査用層間変形角*	限界層間変形角	照査値	
			R_d	R_u	R_d / R_u	
①	S _s -D1	++	5.36×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.06	
		-+	6.51×10^{-4}		0.07	
	S _s -D2	++	4.84×10^{-4}		0.05	
		-+	5.74×10^{-4}		0.06	
	S _s -D3	++	3.87×10^{-4}		0.04	
		-+	5.33×10^{-4}		0.06	
	S _s -F1	++	4.19×10^{-4}		0.05	
		-+	4.91×10^{-4}		0.05	
	S _s -F2	++	4.79×10^{-4}		0.05	
		-+	5.93×10^{-4}		0.06	
	S _s -F3	++	4.34×10^{-4}		0.05	
		-+	4.25×10^{-4}		0.05	
	S _s -N1	++	6.71×10^{-4}		0.07	
		-+	6.29×10^{-4}		0.07	
	②	S _s -F2	-+		5.85×10^{-4}	0.06
	②	S _s -N1	++		6.10×10^{-4}	0.07
③	S _s -F2	-+	4.92×10^{-4}	0.05		
③	S _s -N1	++	5.55×10^{-4}	0.06		
④	S _s -F2	-+	5.17×10^{-4}	0.06		
④	S _s -N1	++	6.27×10^{-4}	0.07		

注記* : 照査用層間変形角 $R_d = \text{最大層間変形角 } R \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

表 5-14(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 右取水路)

解析ケース	地震動		照査用層間変形角*	限界層間変形角	照査値	
			R_d	R_u	R_d / R_u	
①	S _s -D1	++	4.60×10^{-4}	1.0×10^{-2}	0.05	
		-+	4.67×10^{-4}		0.05	
	S _s -D2	++	5.59×10^{-4}		0.06	
		-+	4.59×10^{-4}		0.05	
	S _s -D3	++	3.52×10^{-4}		0.04	
		-+	4.12×10^{-4}		0.05	
	S _s -F1	++	3.55×10^{-4}		0.04	
		-+	4.09×10^{-4}		0.05	
	S _s -F2	++	4.46×10^{-4}		0.05	
		-+	7.60×10^{-4}		0.08	
	S _s -F3	++	3.39×10^{-4}		0.04	
		-+	3.92×10^{-4}		0.04	
	S _s -N1	++	7.78×10^{-4}		0.08	
		-+	4.34×10^{-4}		0.05	
	②	S _s -F2	-+		7.70×10^{-4}	0.08
	②	S _s -N1	++		7.40×10^{-4}	0.08
③	S _s -F2	-+	7.51×10^{-4}	0.08		
③	S _s -N1	++	9.32×10^{-4}	0.10		
④	S _s -F2	-+	7.15×10^{-4}	0.08		
④	S _s -N1	++	7.58×10^{-4}	0.08		

注記* : 照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

5.2.2 せん断破壊に対する評価結果

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する照査結果を表 5-15 及び表 5-16 に示す。

同表より、全ケースにおいてせん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表 5-15(1) せん断破壊に対する評価結果 (A-A 断面)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断耐力	照査値
					せん断力*2	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	
①	S s - D 1	++	頂版	4	1049	2121	0.50
			側壁	1	1068	2758	0.39
			隔壁	3	357	3250	0.11
			底版	7	1007	3522	0.29
		-+	頂版	4	1074	2139	0.51
			側壁	1	861	2701	0.32
			隔壁	3	512	3710	0.14
			底版	7	1018	3497	0.30
	S s - D 2	++	頂版	4	1209	2129	0.57
			側壁	1	1330	2745	0.49
			隔壁	3	640	3710	0.18
			底版	6	1364	3739	0.37
		-+	頂版	4	1070	2121	0.51
			側壁	1	1256	2810	0.45
			隔壁	3	328	3186	0.11
			底版	6	1176	3742	0.32
	S s - D 3	++	頂版	4	931	2132	0.44
			側壁	1	767	2706	0.29
			隔壁	3	283	3295	0.09
			底版	7	910	3502	0.26
-+		頂版	4	1020	2132	0.48	
		側壁	1	780	2678	0.30	
		隔壁	3	455	3710	0.13	
		底版	7	966	3509	0.28	

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-15(2) せん断破壊に対する評価結果 (A-A 断面)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力*2	せん断耐力	照査値
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	S _s -F 1	++	頂版	4	956	2124	0.46
			側壁	1	796	2719	0.30
			隔壁	3	255	3221	0.08
			底版	7	926	3503	0.27
		-+	頂版	4	978	2122	0.47
			側壁	1	751	2693	0.28
			隔壁	3	461	3710	0.13
			底版	7	935	3528	0.27
	S _s -F 2	++	頂版	4	1057	2118	0.50
			側壁	1	827	2699	0.31
			隔壁	3	464	3710	0.13
			底版	7	994	3517	0.29
		-+	頂版	4	1165	2132	0.55
			側壁	1	1023	2726	0.38
			隔壁	3	655	3710	0.18
			底版	2	1069	3533	0.31
	S _s -F 3	++	頂版	4	1009	2125	0.48
			側壁	1	815	2676	0.31
			隔壁	3	238	3140	0.08
			底版	7	964	3518	0.28
-+		頂版	5	965	2174	0.45	
		側壁	1	996	2724	0.37	
		隔壁	3	269	3069	0.09	
		底版	7	954	3522	0.28	

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

表 5-15(3) せん断破壊に対する評価結果 (A-A 断面)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断耐力	照査値
					せん断力*2	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 1	++	頂版	4	1275	2130	0.60
			側壁	1	1247	2717	0.46
			隔壁	3	770	3710	0.21
			底版	6	1362	3728	0.37
		-+	頂版	4	931	2120	0.44
			側壁	1	871	2797	0.32
			隔壁	3	437	3361	0.14
			底版	7	899	3532	0.26
②	S s - N 1	++	頂版	4	1256	2126	0.60
			側壁	1	1232	2741	0.45
			隔壁	3	742	3710	0.20
			底版	6	1343	3715	0.37
③	S s - N 1	++	頂版	4	1504	2130	0.71
			側壁	1	1248	2638	0.48
			隔壁	3	975	3710	0.27
			底版	7	1398	3525	0.40
④	S s - N 1	++	頂版	4	1426	2129	0.67
			側壁	1	1407	2729	0.52
			隔壁	3	821	3710	0.23
			底版	6	1536	3746	0.42

注記*1：評価位置は図 5-3 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(1) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 右取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力*2	せん断耐力	照査値
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	S s - D 1	++	頂版	3	341	2062	0.17
			側壁	1	1073	2735	0.40
			底版	4	1020	3655	0.28
		-+	頂版	3	332	2046	0.17
			側壁	1	1040	2732	0.39
			底版	4	988	3653	0.28
	S s - D 2	++	頂版	3	378	2075	0.19
			側壁	1	1145	2742	0.42
			底版	4	1141	3649	0.32
		-+	頂版	3	355	2074	0.18
			側壁	1	1082	2744	0.40
			底版	4	1023	3670	0.28
	S s - D 3	++	頂版	3	330	2085	0.16
			側壁	1	933	2760	0.34
			底版	4	924	3692	0.26
		-+	頂版	3	352	2072	0.17
			側壁	1	958	2723	0.36
			底版	4	945	3662	0.26

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(2) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 右取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断耐力	照査値
					せん断力*2	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	
①	S s - F 1	++	頂版	3	350	2075	0.17
			側壁	1	947	2739	0.35
			底版	4	911	3681	0.25
		-+	頂版	3	337	2056	0.17
			側壁	1	977	2748	0.36
			底版	4	953	3676	0.26
	S s - F 2	++	頂版	3	341	2065	0.17
			側壁	1	1027	2738	0.38
			底版	4	1027	3659	0.29
		-+	頂版	3	431	2078	0.21
			側壁	1	1481	2780	0.54
			底版	4	1495	3680	0.41
	S s - F 3	++	頂版	3	320	2058	0.16
			側壁	1	891	2723	0.33
			底版	4	835	3654	0.23
		-+	頂版	3	354	2080	0.18
			側壁	1	1003	2753	0.37
			底版	4	993	3696	0.27

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(3) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 右取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断耐力	照査値
					せん断力*2	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
					V_d (kN)		
①	S s - N 1	++	頂版	3	391	2086	0.19
			側壁	1	1513	2811	0.54
			底版	4	1511	3704	0.41
		-+	頂版	3	320	2062	0.16
			側壁	1	946	2712	0.35
			底版	4	910	3634	0.26
②	S s - F 2	-+	頂版	3	445	2086	0.22
			側壁	1	1501	2795	0.54
			底版	4	1527	3698	0.42
	S s - N 1	++	頂版	3	411	2081	0.20
			側壁	1	1513	2823	0.54
			底版	4	1525	3712	0.42
③	S s - F 2	-+	頂版	3	439	2103	0.21
			側壁	1	1348	2766	0.49
			底版	4	1371	3686	0.38
	S s - N 1	++	頂版	3	392	2050	0.20
			側壁	1	1457	2730	0.54
			底版	4	1573	3687	0.43
④	S s - F 2	-+	頂版	3	458	2071	0.23
			側壁	1	1611	2811	0.58
			底版	4	1639	3700	0.45
	S s - N 1	++	頂版	3	379	2035	0.19
			側壁	1	1747	2832	0.62
			底版	4	1739	3716	0.47

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(4) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 左取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力*2	せん断耐力	照査値
					V_d (kN)	$V_{y,d}$ (kN)	$V_d / V_{y,d}$
①	S s - D 1	++	頂版	7	611	2205	0.28
			側壁	5	529	2573	0.21
			底版	9	732	3745	0.20
		-+	頂版	7	651	2219	0.30
			側壁	6	721	2744	0.27
			底版	8	700	3780	0.19
	S s - D 2	++	頂版	7	570	2204	0.26
			側壁	6	920	2821	0.33
			底版	8	981	3787	0.26
		-+	頂版	7	634	2241	0.29
			側壁	5	525	2555	0.21
			底版	8	778	3742	0.21
	S s - D 3	++	頂版	7	572	2289	0.25
			側壁	5	476	2608	0.19
			底版	8	412	3524	0.12
		-+	頂版	7	530	2233	0.24
			側壁	5	527	2583	0.21
			底版	8	268	2298	0.12

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(5) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 左取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用 せん断力*2	せん断耐力	照査値
					V_d (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	S s - F 1	++	頂版	7	553	2237	0.25
			側壁	5	488	2593	0.19
			底版	8	469	3649	0.13
		-+	頂版	7	569	2258	0.26
			側壁	5	527	2599	0.21
			底版	8	255	2298	0.12
	S s - F 2	++	頂版	7	566	2213	0.26
			側壁	5	539	2586	0.21
			底版	8	249	2298	0.11
		-+	頂版	7	666	2217	0.31
			側壁	6	822	2842	0.29
			底版	8	838	3787	0.23
	S s - F 3	++	頂版	7	579	2308	0.26
			側壁	5	452	2570	0.18
			底版	8	245	2298	0.11
		-+	頂版	7	561	2219	0.26
			側壁	6	705	2739	0.26
			底版	8	657	3759	0.18

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 5-16(6) せん断破壊に対する評価結果 (B-B 断面, 左取水路)

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
					せん断力*2 V_d (kN)		
①	S s - N 1	++	頂版	7	625	2256	0.28
			側壁	5	615	2554	0.25
			底版	8	308	2298	0.14
		-+	頂版	7	618	2206	0.29
			側壁	5	565	2573	0.22
			底版	8	653	3677	0.18
②	S s - F 2	-+	頂版	7	631	2217	0.29
			側壁	5	622	2647	0.24
			底版	8	751	3787	0.20
	S s - N 1	++	頂版	7	589	2267	0.26
			側壁	5	600	2579	0.24
			底版	8	293	2319	0.13
③	S s - F 2	-+	頂版	7	581	2218	0.27
			側壁	6	1010	2842	0.36
			底版	8	926	3787	0.25
	S s - N 1	++	頂版	7	551	2201	0.26
			側壁	6	947	2842	0.34
			底版	8	932	3787	0.25
④	S s - F 2	-+	頂版	7	662	2219	0.30
			側壁	6	977	2842	0.35
			底版	8	1036	3787	0.28
	S s - N 1	++	頂版	7	640	2239	0.29
			側壁	5	610	2555	0.24
			底版	8	733	3787	0.20

注記*1: 評価位置は図 5-5 に示す。

*2: 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

5.3 基礎地盤の支持性能に対する支持力評価

支持地盤（狐崎部層）の支持性能に対する照査結果を表 5-17 及び表 5-18 に示す。
また、最大接地圧分布図を図 5-11 及び図 5-12 に示す。

同表より、第 1 号機取水路の支持地盤（狐崎部層）に発生する接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 5-17 支持地盤（狐崎部層）の支持性能に対する評価結果（A-A 断面）

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -D 1	++	4.6	13.7	0.34
		-+	3.0	13.7	0.22
	S _s -D 2	++	4.2	13.7	0.31
		-+	6.3	13.7	0.46
	S _s -D 3	++	2.6	13.7	0.19
		-+	2.8	13.7	0.21
	S _s -F 1	++	2.7	13.7	0.20
		-+	2.8	13.7	0.21
	S _s -F 2	++	2.9	13.7	0.22
		-+	3.3	13.7	0.25
	S _s -F 3	++	4.1	13.7	0.30
		-+	6.0	13.7	0.44
	S _s -N 1	++	3.6	13.7	0.27
		-+	3.3	13.7	0.25
②	S _s -N 1	++	3.6	13.7	0.27
③			4.6	13.7	0.34
④			3.5	13.7	0.26

表 5-18(1) 支持地盤（狐崎部層）の支持性能に対する評価結果（B-B 断面，左取水路）

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u	
①	S _s -D 1	++	2.6	13.7	0.19	
		-+	2.2	13.7	0.17	
	S _s -D 2	++	4.4	13.7	0.33	
		-+	3.0	13.7	0.22	
	S _s -D 3	++	2.7	13.7	0.20	
		-+	2.5	13.7	0.19	
	S _s -F 1	++	2.9	13.7	0.22	
		-+	1.9	13.7	0.14	
	S _s -F 2	++	3.5	13.7	0.26	
		-+	2.0	13.7	0.15	
	S _s -F 3	++	2.5	13.7	0.19	
		-+	2.9	13.7	0.22	
	S _s -N 1	++	2.4	13.7	0.18	
		-+	3.7	13.7	0.28	
	②	S _s -F 2	-+	1.9	13.7	0.14
	②	S _s -N 1	++	1.7	13.7	0.13
③	S _s -F 2	-+	4.3	13.7	0.32	
③	S _s -N 1	++	3.6	13.7	0.27	
④	S _s -F 2	-+	2.1	13.7	0.16	
④	S _s -N 1	++	2.2	13.7	0.17	

表 5-18(2) 支持地盤（狐崎部層）の支持性能に対する評価結果（B-B 断面，右取水路）

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u	
①	S _s -D 1	++	7.2	13.7	0.53	
		-+	7.0	13.7	0.52	
	S _s -D 2	++	8.0	13.7	0.59	
		-+	7.4	13.7	0.55	
	S _s -D 3	++	6.1	13.7	0.45	
		-+	6.4	13.7	0.47	
	S _s -F 1	++	6.1	13.7	0.45	
		-+	6.5	13.7	0.48	
	S _s -F 2	++	6.7	13.7	0.49	
		-+	8.8	13.7	0.65	
	S _s -F 3	++	6.5	13.7	0.48	
		-+	6.5	13.7	0.48	
	S _s -N 1	++	9.1	13.7	0.67	
		-+	6.6	13.7	0.49	
	②	S _s -F 2	-+	8.6	13.7	0.63
	②	S _s -N 1	++	8.6	13.7	0.63
③	S _s -F 2	-+	9.6	13.7	0.71	
③	S _s -N 1	++	10.7	13.7	0.79	
④	S _s -F 2	-+	8.9	13.7	0.65	
④	S _s -N 1	++	9.5	13.7	0.70	

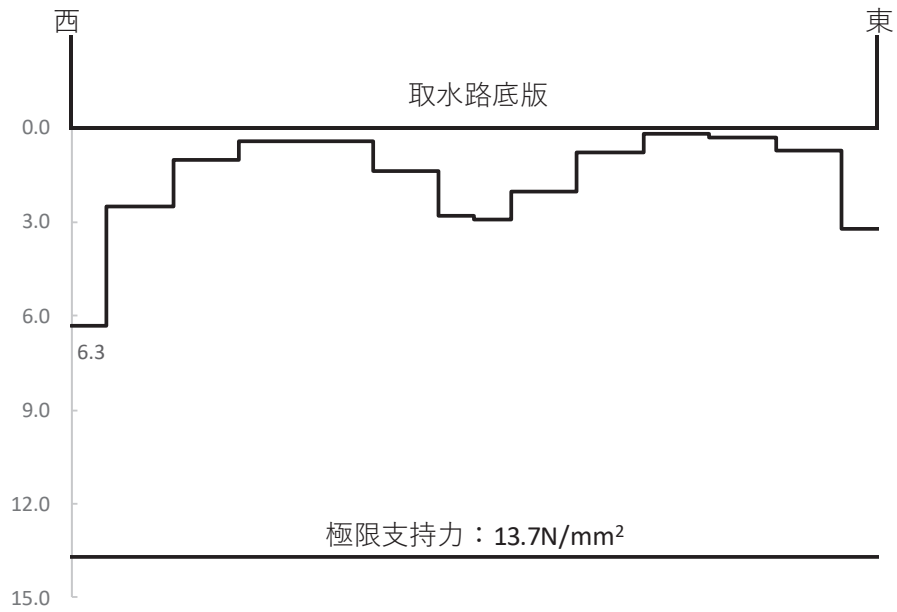


図 5-11 支持地盤の接地圧分布図 (S_s-D 2 (-+), A-A 断面)
(解析ケース①: 基本ケース)

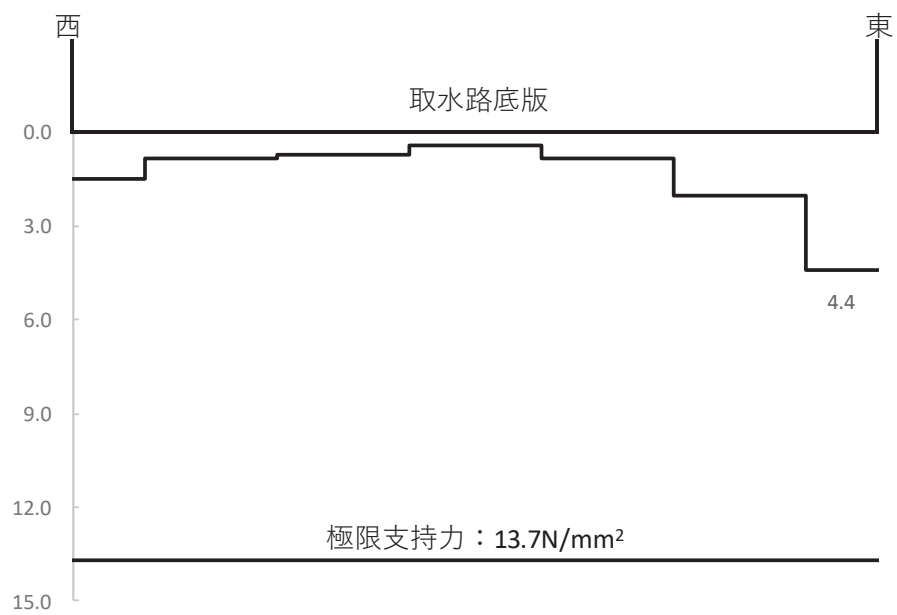


図 5-12(1) 支持地盤の接地圧分布図 (S_s-D 2 (++) , B-B 断面, 左取水路)
(解析ケース①: 基本ケース)

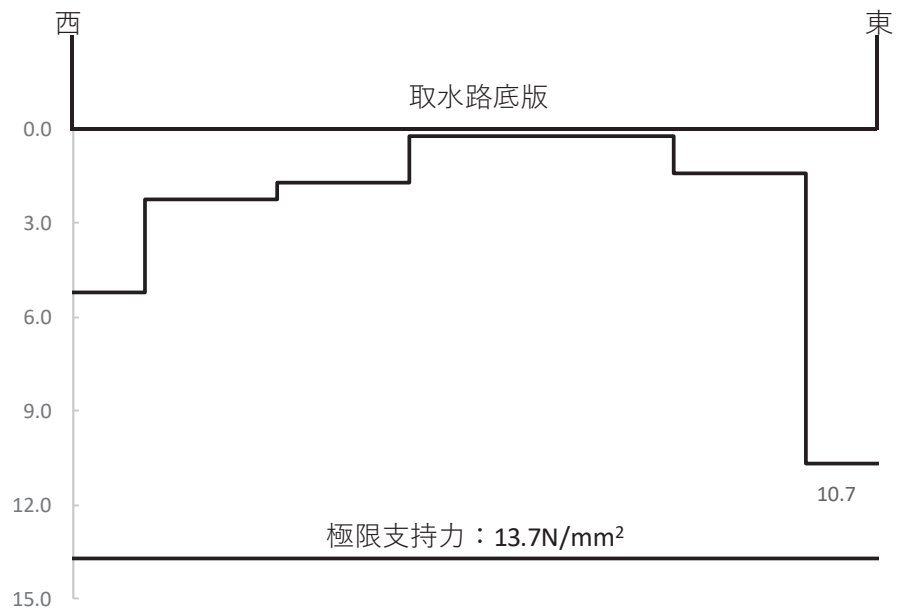


図 5-12(2) 支持地盤の接地圧分布図 (S_s-N1(++) , B-B断面, 右取水路)
 (解析ケース③: 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

6. まとめ

第1号機取水路については、波及的影響の評価として、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析により、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持性能に対する耐震評価を実施した。

構造部材の健全性評価については、構造部材の層間変形角、曲げモーメント及びせん断力が許容限界を下回ることを確認した。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に発生する応力（接地圧）が極限支持力を下回ることを確認した。

以上から、第1号機取水路は、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度を有し、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。