

Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定に当たっては、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、1 次及び 2 次モードの固有振動数において、過大な減衰とならないよう定めている。

1 次固有振動数 (f_1) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から算定する。2 次固有振動数 (f_2) は、固有値解析から算定した 1 次固有振動数 (f_1) の 3 倍とする。減衰定数は、解析モデルに占める割合が多く、かつ減衰定数の小さい盛土・旧表土の 2% とする。

固有値解析結果の一覧を表 3-6 に、固有値解析におけるモード図を図 3-19 及び図 3-20 に、係数 α , β を表 3-7 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-21 に示す。

表 3-6(1) 固有値解析結果 (A-A 断面, 南北)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	1.511	5	0	46.91	10.95	1 次として採用
2	1.680	8	1	38.32	-13.43	—
3	2.214	8	1	10.97	-13.11	—
4	2.520	9	1	-19.48	-13.78	—
5	2.809	10	1	15.69	3.94	—
6	3.052	11	2	-27.79	11.51	—
7	3.200	11	2	-5.61	-3.78	—
8	3.263	12	2	18.47	13.92	—
9	3.419	12	2	3.87	3.32	—
10	3.673	13	2	-25.19	0.40	—

表 3-6(2) 固有値解析結果 (B-B 断面, 東西)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	1.228	3	0	52.94	-11.64	1 次として採用
2	1.673	4	0	-21.77	-8.75	—
3	2.028	4	0	-15.56	3.18	—
4	2.366	4	0	14.91	1.33	—
5	2.670	9	0	-63.42	0.82	—
6	2.748	9	0	-2.06	1.22	—
7	2.805	10	0	19.01	-6.11	—
8	3.120	10	0	5.93	1.72	—
9	3.140	10	0	-1.95	-6.81	—
10	3.317	11	0	32.77	-7.35	—

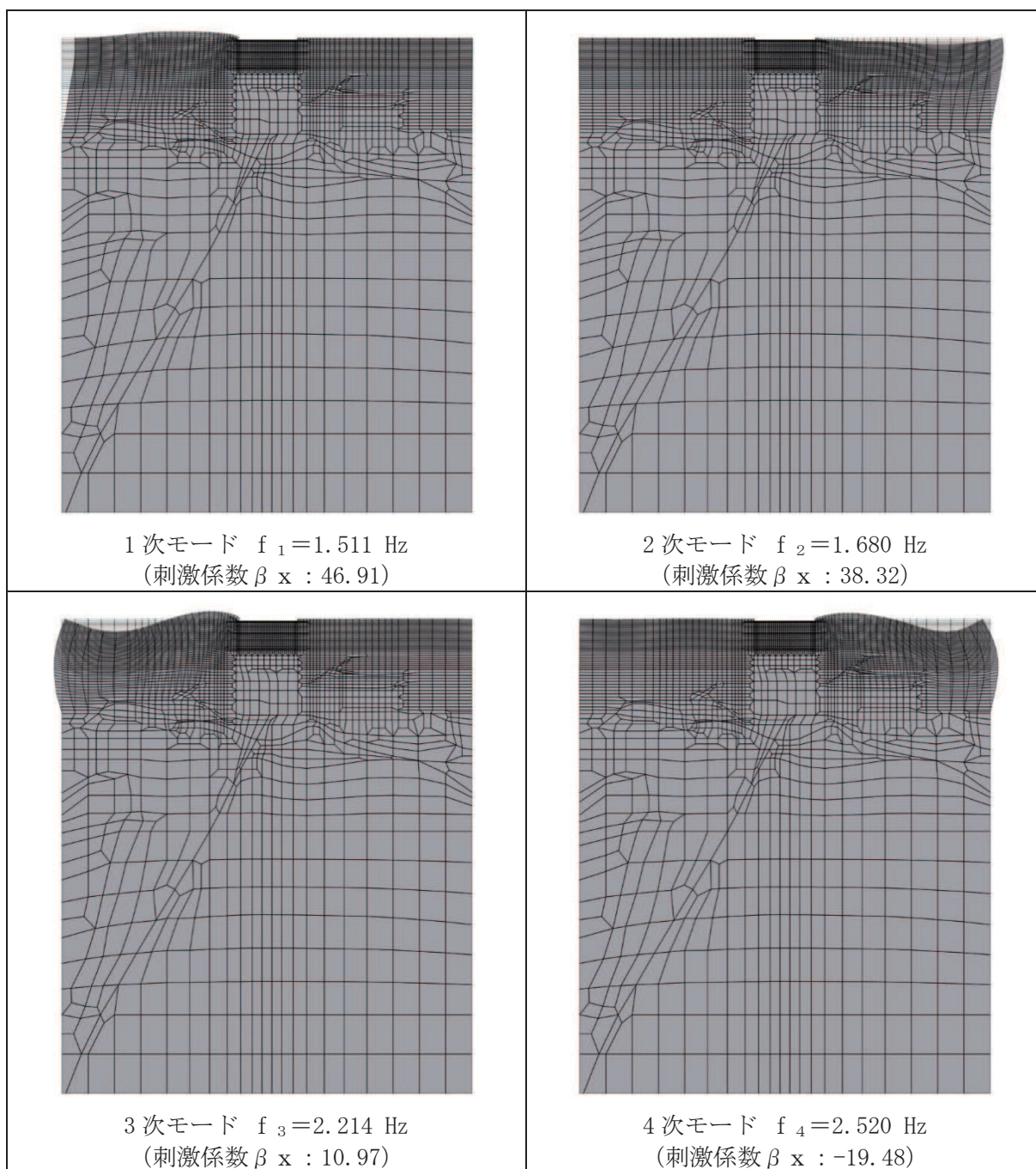


図 3-19(1) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 南北)

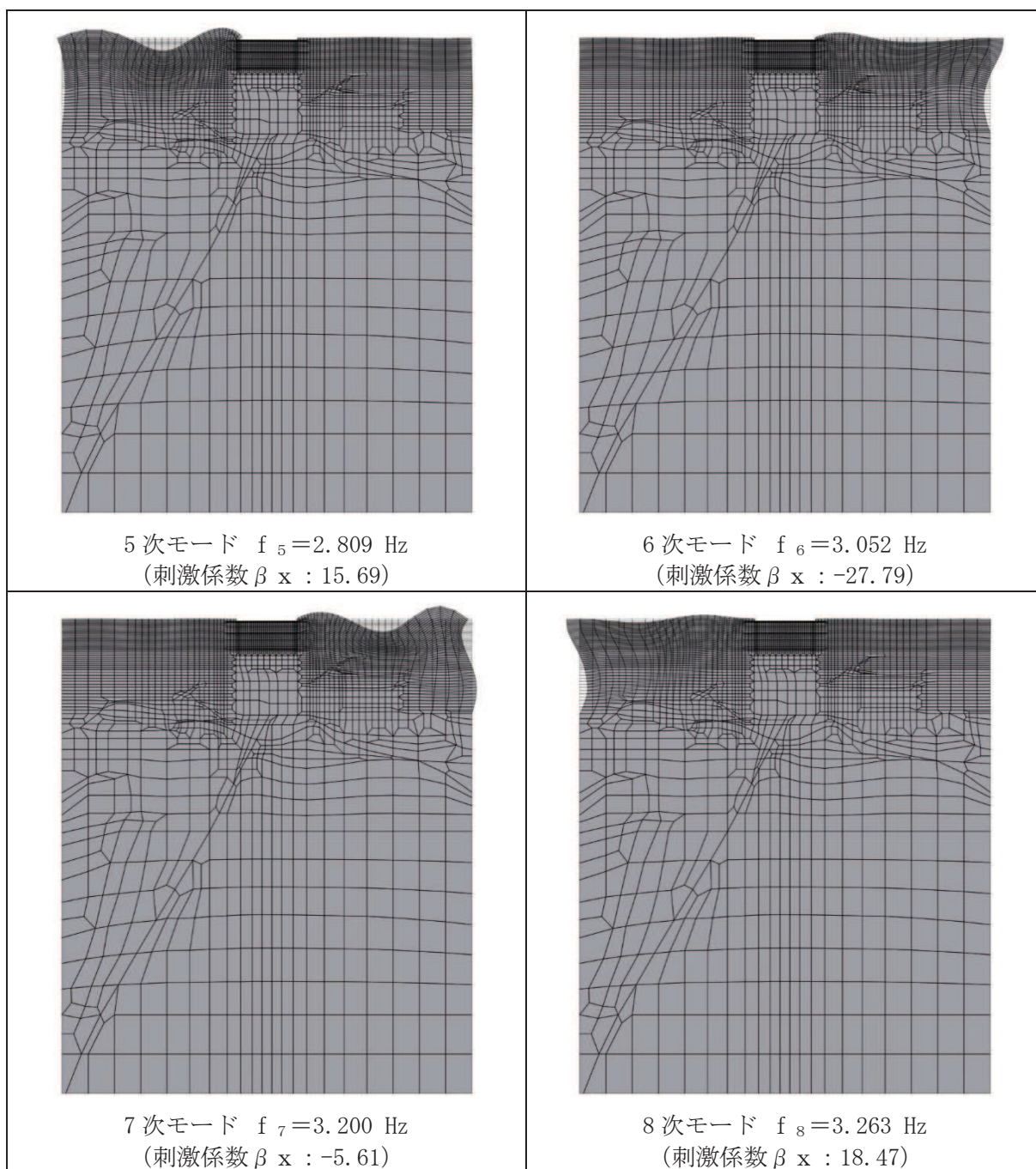


図 3-19(2) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 南北)

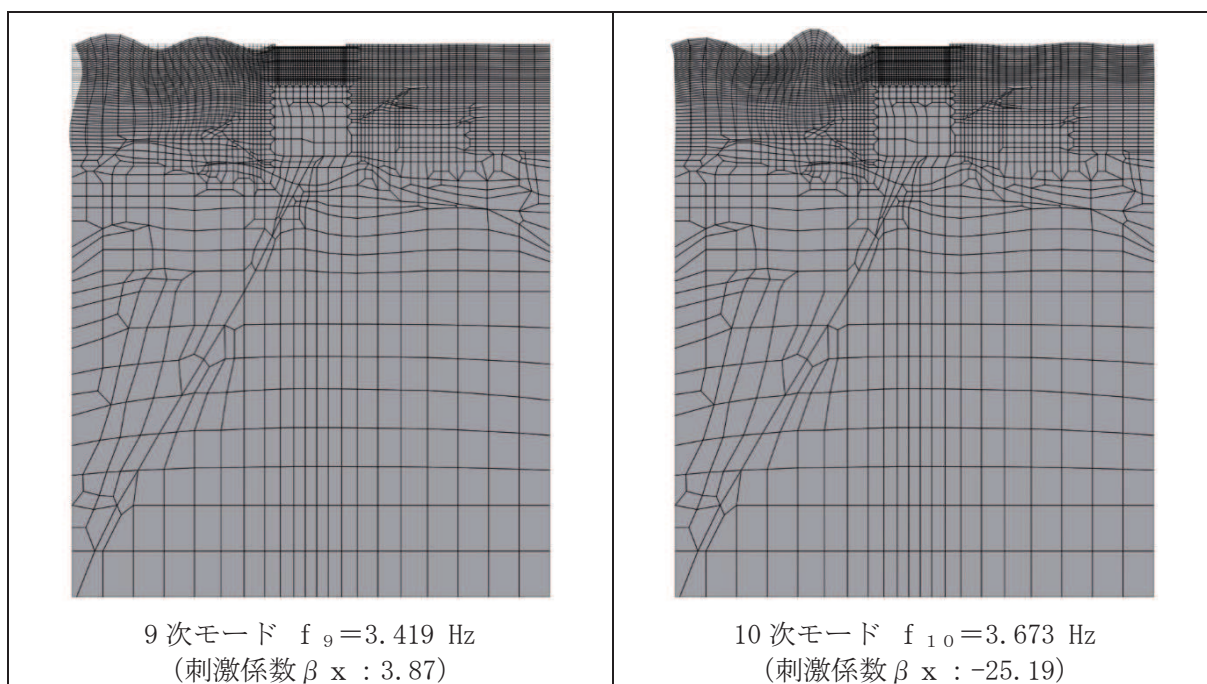


図 3-19(3) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 南北)

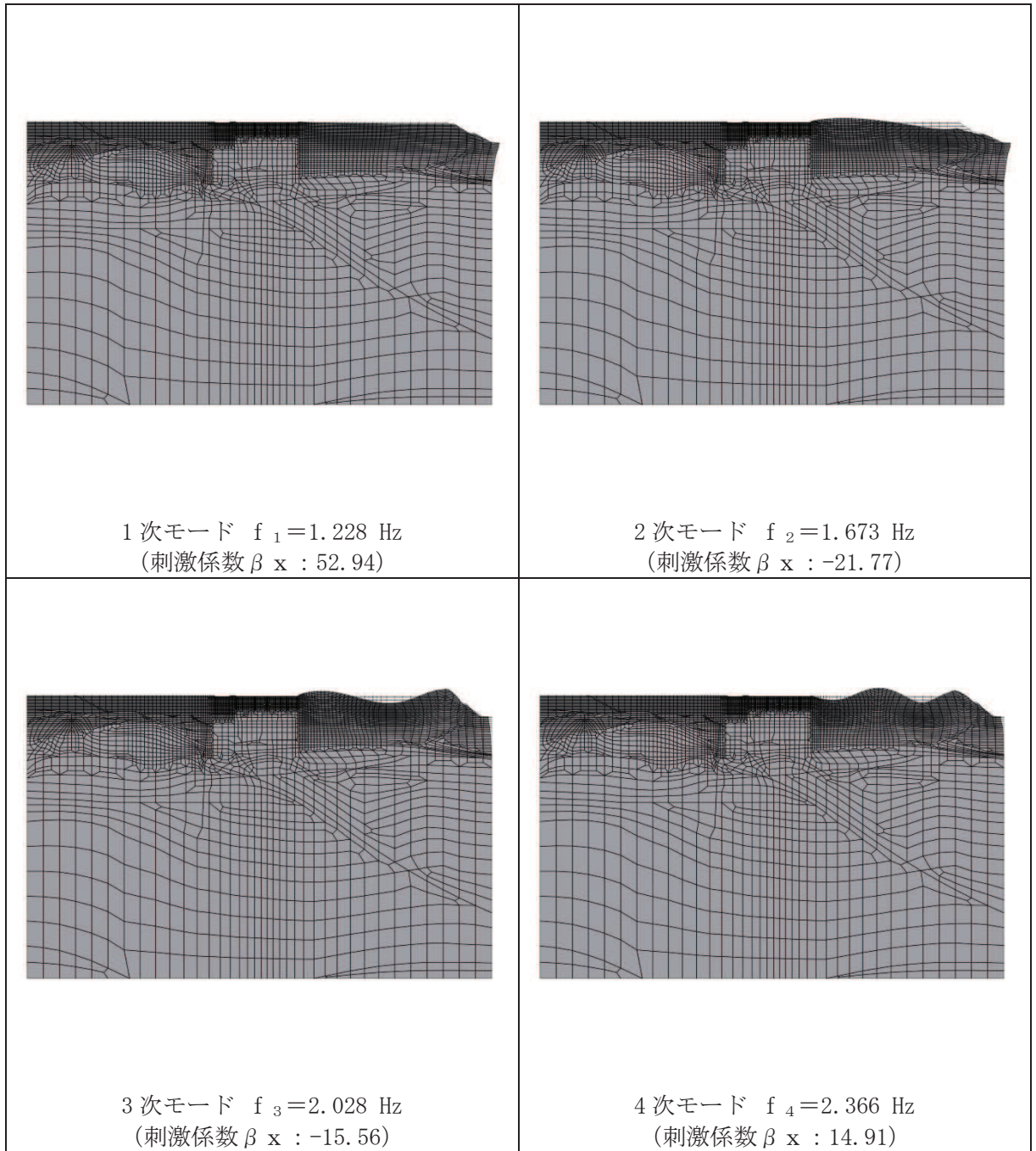


図 3-20(1) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西)

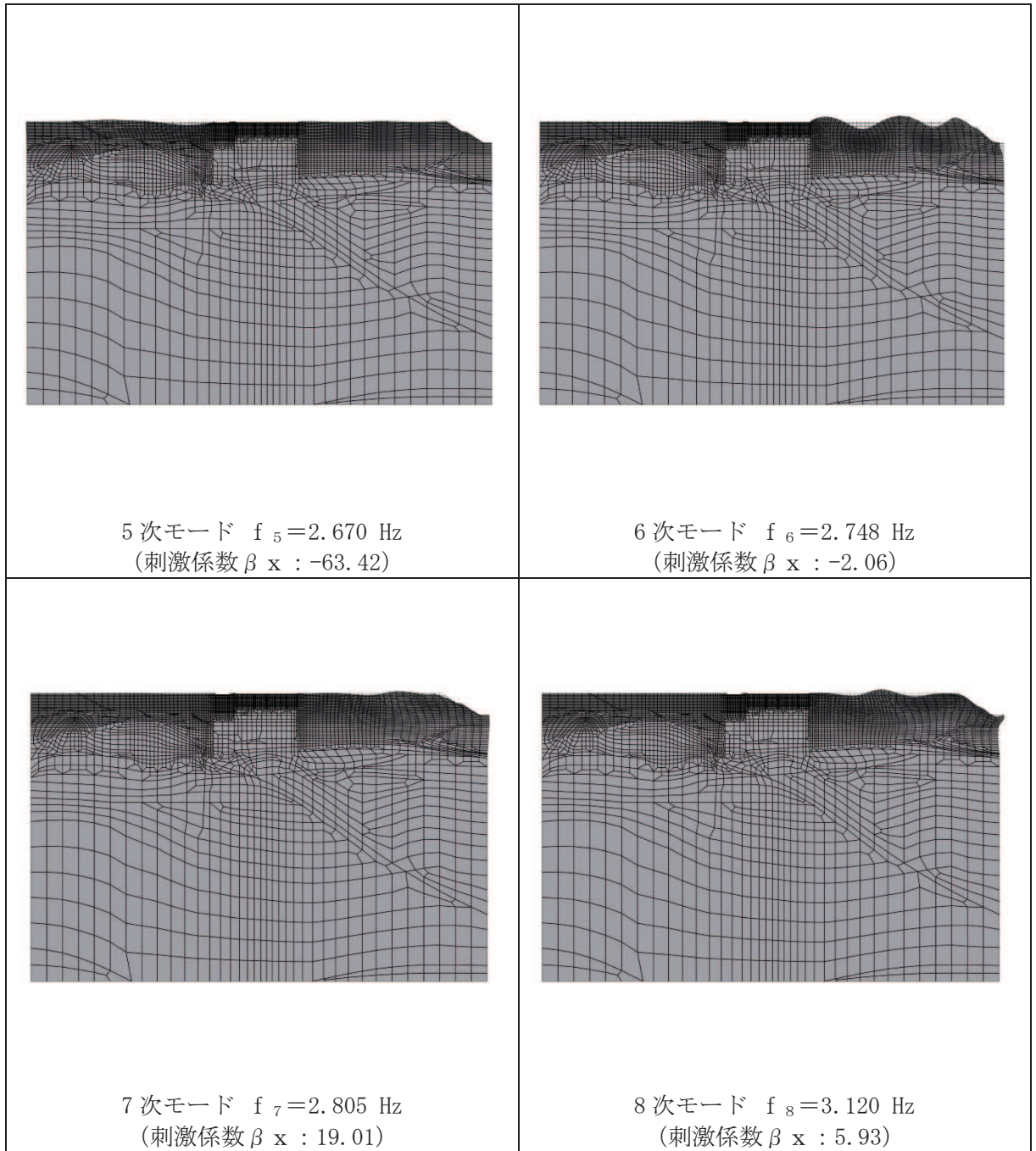


図 3-20(2) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西)

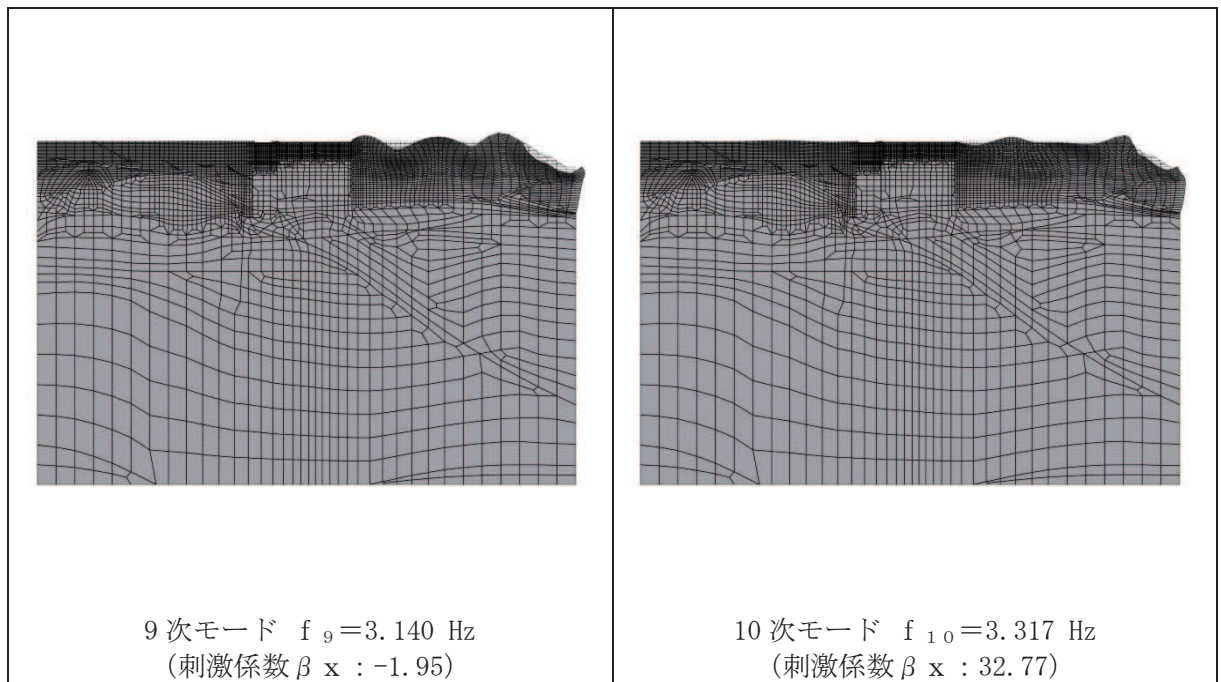
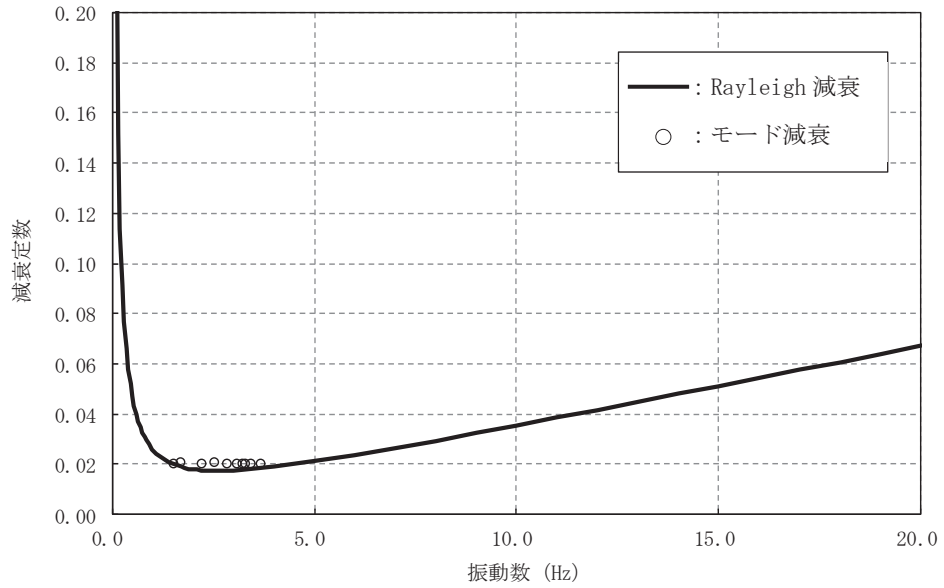


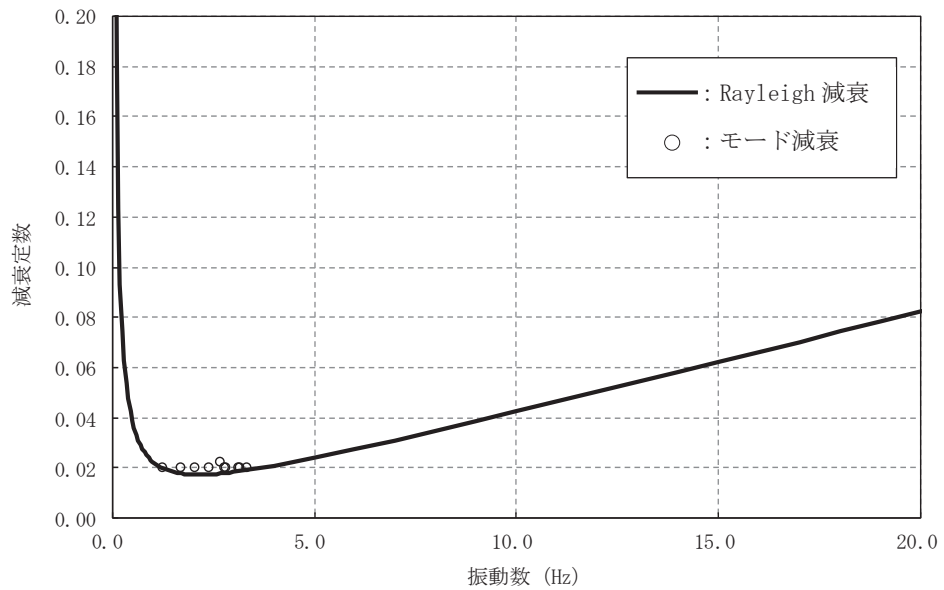
図 3-20(3) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西)

表 3-7 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

地震時荷重算出断面	α	β
A-A 断面 (南北)	2.848×10^{-1}	1.053×10^{-3}
B-B 断面 (東西)	2.315×10^{-1}	1.296×10^{-3}



(a) A-A 断面 (南北)



(b) B-B 断面 (東西)

図 3-21 設定した Rayleigh 減衰

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）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧及び機器・配管系からの反力による荷重が含まれるものとする。

なお、軽油タンク室（H）の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、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。

荷重の組合せを表 3-8 に示す。

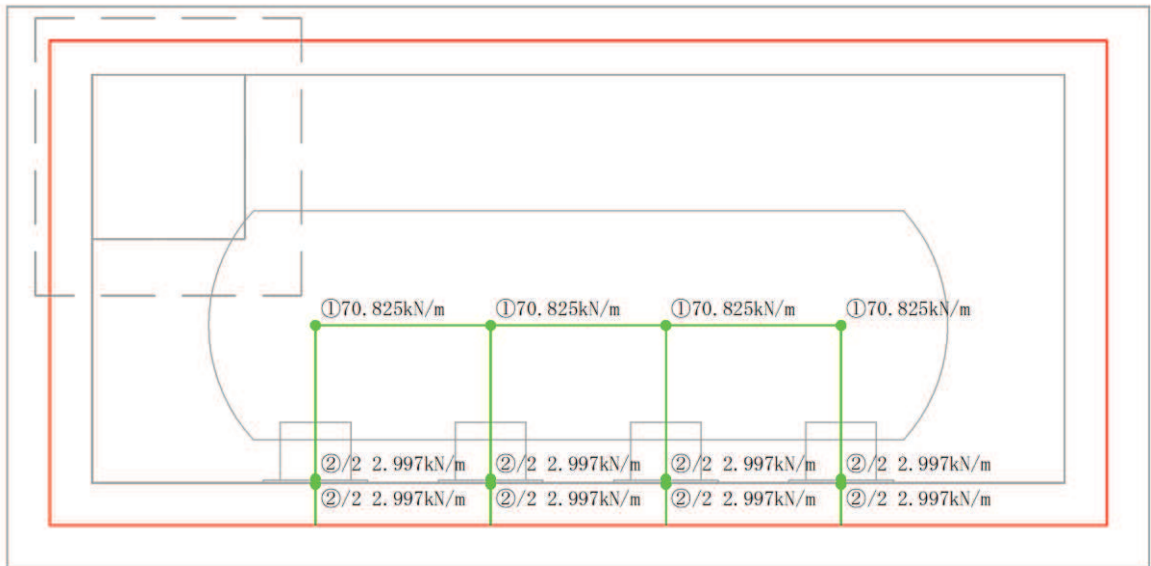
表 3-8 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要	
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	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・配管荷重	○	・機器・配管系の重量に基づいて設定する。
		土被り荷重	—	・土被りが無いことから考慮しない。
		永久上載荷重	—	・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから考慮しない。
	静止土圧		○	・常時応力解析により設定する。
	外水圧		○	・地下水位に応じた静水圧として考慮する。 ・地下水の密度を考慮する。
	積載荷重		○	・躯体及び地表面に考慮する。
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動		○	・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動		○	

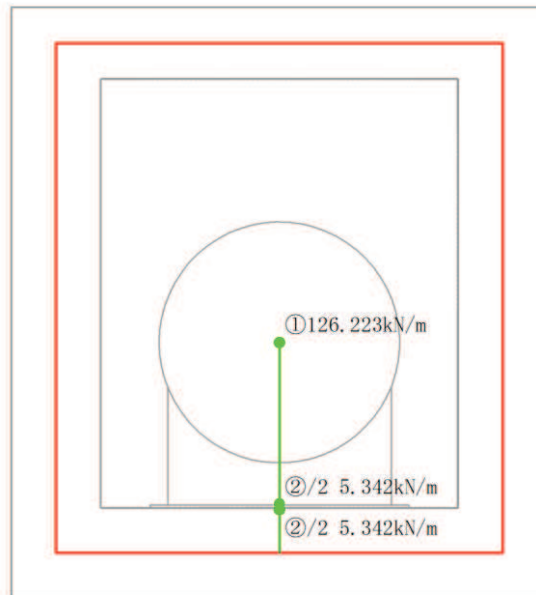
3.4.1 機器・配管荷重

(1) 軽油タンク及びタンク基礎

地震時に軽油タンク室 (H) に作用する機器・配管荷重のうち、軽油タンク及びタンク基礎の荷重図を図 3-22 に、荷重値の一覧を表 3-9 に示す。軽油タンク及びタンク基礎の荷重は、剛体でモデル化したはり要素の各節点に重量を与えることで考慮する。



(a) A-A 断面 (南北)



(b) B-B 断面 (東西)

図 3-22 軽油タンク及びタンク基礎の荷重図

表 3-9 軽油タンク及びタンク基礎の荷重値の一覧

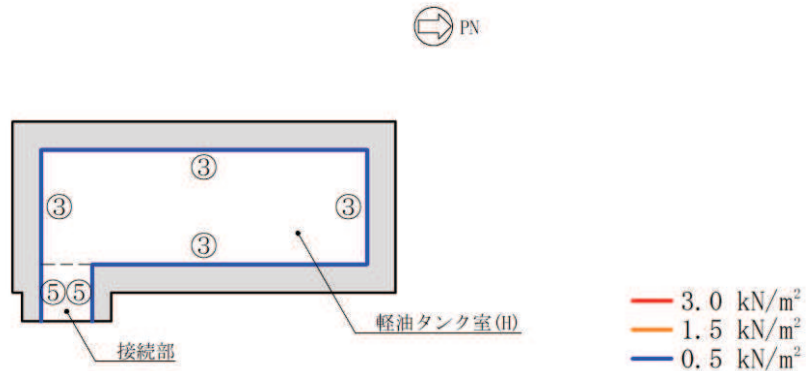
考慮する荷重	重量*1 (kN/m)	
①軽油タンク (1 基あたり, 運転重量, タンク廻りの架台重量を含む)	東西	126.223
	南北	70.825
②軽油タンク基礎 (タンク 1 基あたり, 基礎ボルト据付材の重量を含む) *2	東西	10.683
	南北	5.994

注記*1：東西と南北で構造物の奥行き長さが異なるため重量が異なる。

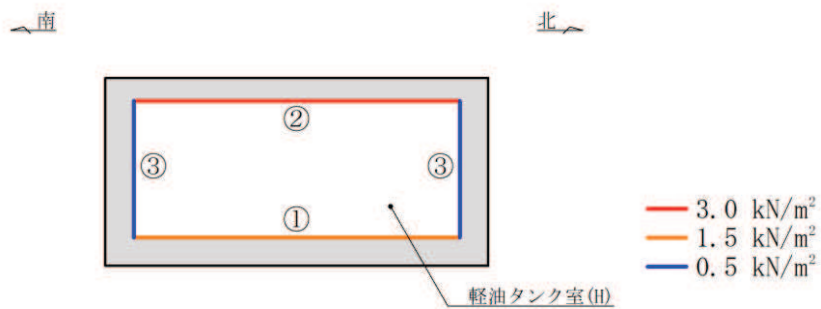
*2：基礎荷重を 2 質点に分割してモデル化しているため、荷重図に記載されている重量の数値は半分の値となっている。

(2) 機器・配管系

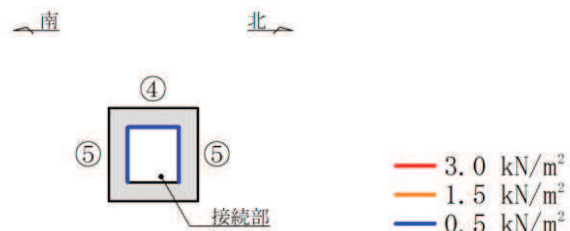
地震時に軽油タンク室(H)に作用する機器・配管荷重のうち、「(1) 軽油タンク及びタンク基礎」以外の荷重を図3-23に、荷重を考慮する主な機器の一覧を表3-10に示す。機器・配管系の荷重は、解析モデルの各質点に与えることで考慮する。



(a) 平面図*



(b) A-A 断面 (南北) *



(c) 接続部*

注記* : 図中の①～⑤は表3-10に対応する。

図3-23 機器・配管系の荷重図

表 3-10 荷重を考慮する主な機器の一覧

位置*	重量 (kN/m ²)	考慮する荷重
①底版 軽油タンク室(H)	1.50	・勾配コンクリート
②頂版 軽油タンク室(H)	3.00	・機器, 配管
③側壁 軽油タンク室(H) 北壁・南壁・東壁・西壁	0.50	・機器, 配管
④頂版 接続部	0.50	・機器, 配管
⑤側壁 接続部 北壁・南壁	0.50	・機器, 配管

注記* : ①から⑤は図 3-23 に対応する。

3.4.2 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「2.8 地下水位」のとおりとし, 地下水の密度として, 1.00g/cm³を考慮する。

3.4.3 積載荷重

地震時に軽油タンク室 (H) に作用する積載荷重は、積雪荷重以外は想定されないが、保守的な配慮として頂版及び地表面に 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 とする。

地表面への積載荷重は、単位奥行き (1m) あたりの付加質量として考慮する。

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

軽油タンク室 (H) は、構造物が地中に埋設された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に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 3-11 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 3-11 に示すケース②及び③) について確認を行う。

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

軽油タンク室 (H) は、新設の構造物であり、許容応力度法による設計を行うなど、裕度を確保した設計とすることから、材料物性のばらつきを考慮した構造解析及び耐震評価は実施しない。

また、耐震評価における解析ケースの一覧を表 3-11 に示す。

表 3-11 軽油タンク室 (H) の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 (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, B 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 + 1σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値 - 1σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤	初期剛性低下考慮*2	平均値	平均値

注記*1: 「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度とする。

*2: 機器・配管系の耐震評価に適用する。原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

(3) 耐震評価における解析ケースの組合せ

軽油タンク室 (H) の耐震評価においては、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 波を用いてケース① (基本ケース) 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 を超え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 3-25 に示すケース②及び③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 3-12 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 3-26 に示す。

なお、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響」において、軽油タンク室 (H) のような、地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物は、鉛直地震動の影響をほぼ受けないことを確認しているため、鉛直地震動については、位相の反転を考慮しない。

表 3-12 軽油タンク室 (H) の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	
		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	
地盤物性		平均値		平均値+1σ		平均値-1σ	
材料物性		設計基準強度		設計基準強度		設計基準強度	
地震動 (位相)	S _s -D1	++*	○	<p>【追加解析ケースについて】</p> <p>基準地震動 S_s (7 波) 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 波に対し、全応力解析による基本ケース①を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、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及び③を実施する。</p> <p>すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③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、追加解析ケースを実施する。</p>			
		-+*	○				
	S _s -D2	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -D3	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -F1	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -F2	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -F3	++*	○				
		-+*	○				
	S _s -N1	++*	○				
		-+*	○				

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。

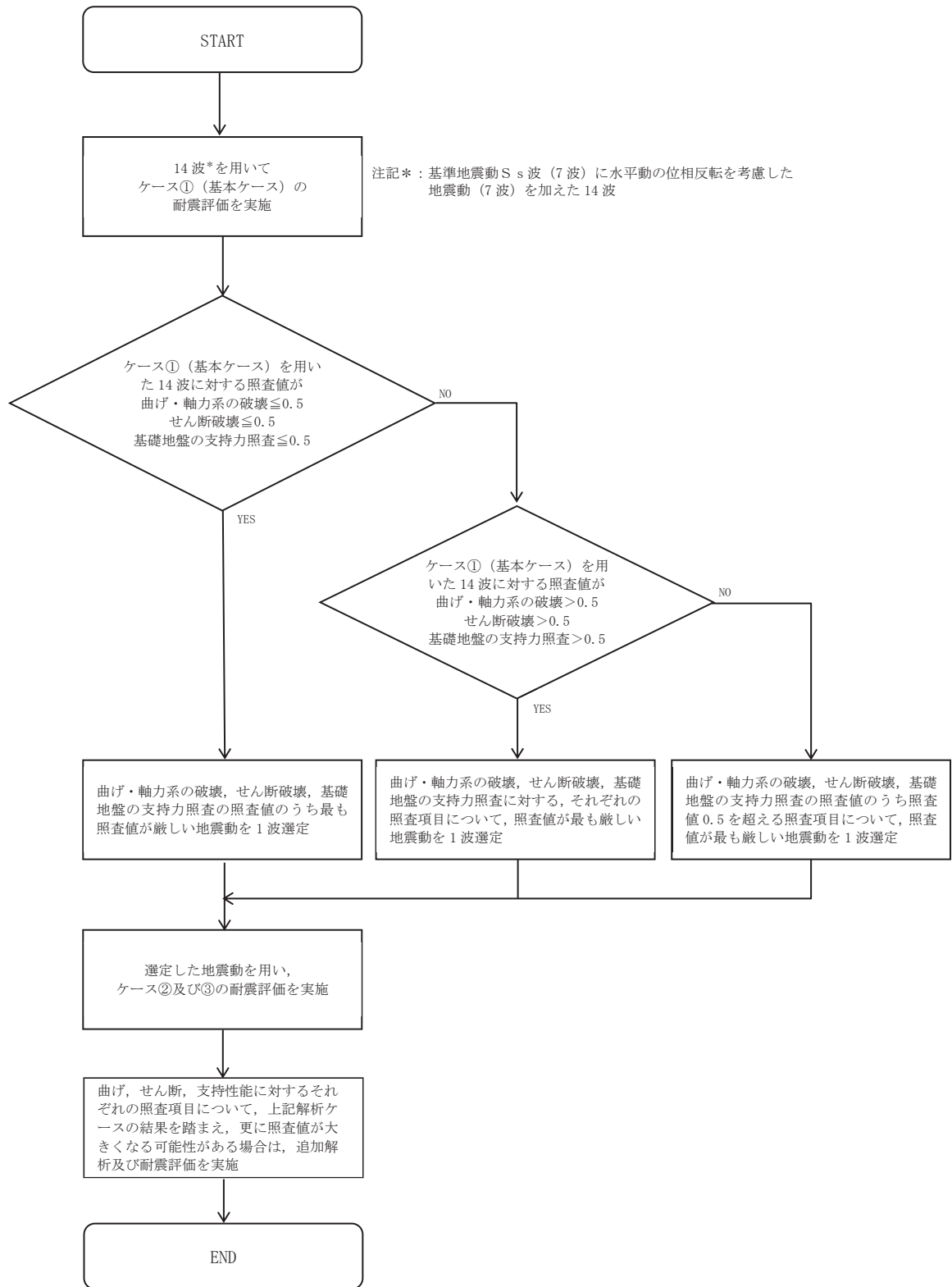


図 3-25 追加解析を実施する地震動の選定フロー

(4) 従方向荷重の選定

軽油タンク室(H)は、弱軸方向が明確であることから、弱軸方向を評価対象として耐震評価を行う。主方向荷重(弱軸方向)に対し、加振方向に平行に配置される妻壁は面内荷重に抵抗しているが、従方向(強軸方向)の地震力に対しては、面外荷重の影響を受けることになる。よって、軽油タンク室(H)は弱軸方向の耐震評価に加えて加振方向に平行に配置された壁部材への影響を確認するため、従方向の荷重を作用させる。

水平2方向載荷の耐震評価について、評価用地震動及び時刻は、基準地震動 S_s (7波)、水平動の位相反転を考慮した地震動(7波)及びばらつきケースの中で最も照査値が厳しい地震動、時刻に対し実施する。

従方向荷重は、水平方向の慣性力を算出して用いる荷重とし、主方向荷重での地震時荷重算出時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出する。 S_s-N1 は観測波に基づいており地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 S_s-N1 が選定された場合は、2番目に照査値が厳しい地震動においても水平2方向評価を実施する。

3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

軽油タンク室 (H) に支持される機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、基準地震動 S_s (7 波)、弾性設計用地震動 S_d 及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動 (28 波) を用いて、ケース①に加え、図 3-27 に示すケース②～④の解析を実施する。

また、基準地震動 S_s (7 波) については、建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮したケース⑤について影響を確認する。

ケース④の材料物性の設定について、軽油タンク室 (H) は新設構造物のため、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度とし、解析ケース④に用いるヤング係数をコンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2017 年制定) (以下「コンクリート標準示方書 2017」という。) に基づき算出する。表 3-13 に実強度及びヤング係数を示す。

表 3-13 軽油タンク室 (H) の実強度及びヤング係数

実強度*	ヤング係数
36.1 N/mm ²	29.8 kN/mm ²

注記* : 「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度とする。

機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出の基本ケースであるケース①に対して、最も地盤が固い条件となるケース②、最も地盤が軟らかいケース③、最も材料特性が固い条件のケース④を実施することで地盤剛性等のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースを表 3-14 に示す。

なお、基準地震動 S_s (7 波) におけるケース⑤の地震応答解析結果については、「参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース」に示す。

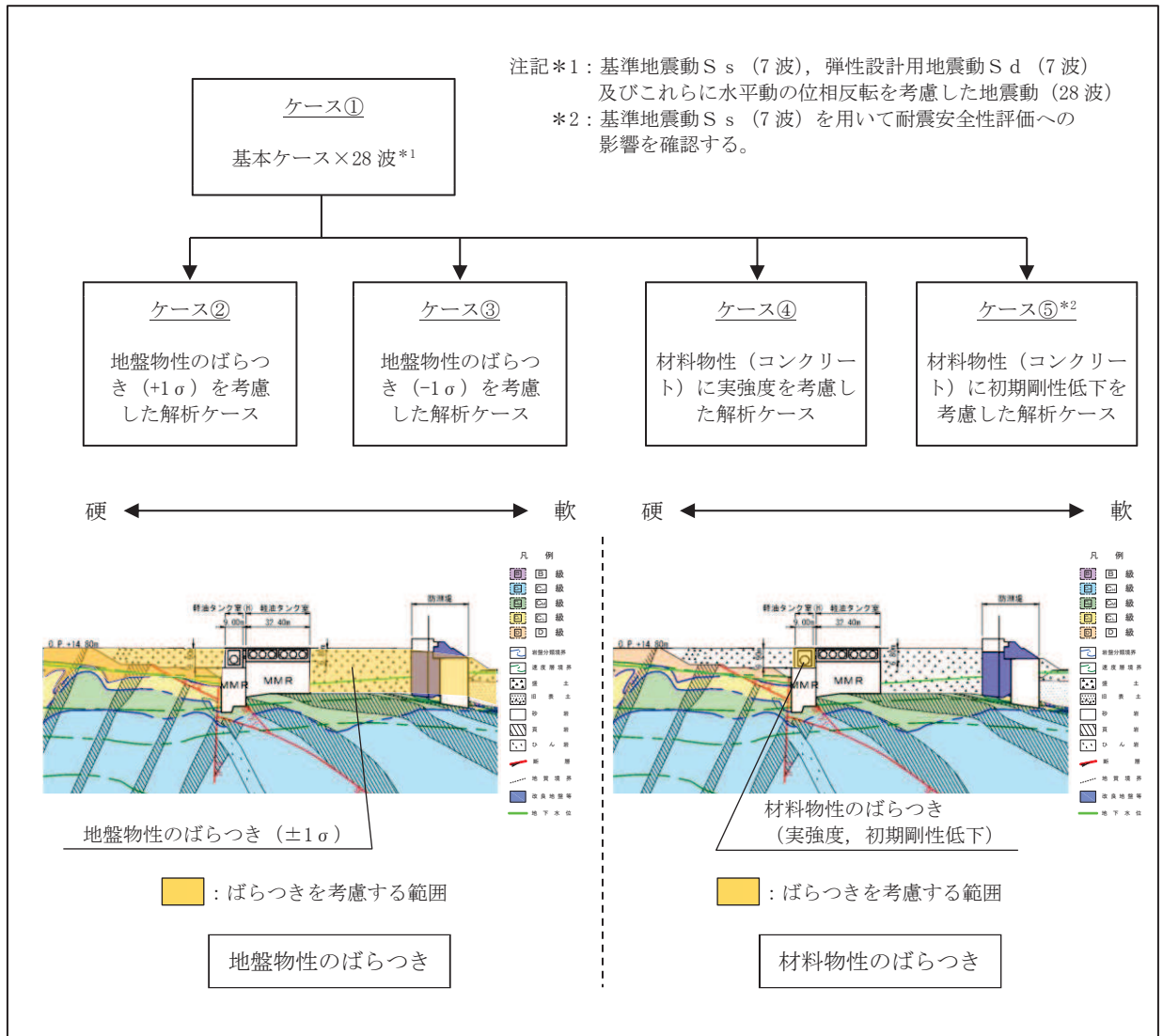


図 3-26 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

表 3-14(1) 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース（基準地震動 S_s ）

解析ケース*3		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	
		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（コ ンクリート） に初期剛性低 下を考慮した 解析ケース	
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値	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*2	初期剛性 低下考慮*4	
地震動 (位相)	S _s -D 1	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -D 2	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -D 3	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -F 1	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -F 2	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -F 3	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–
	S _s -N 1	++*1	○	○	○	○	△
		–+*1	○	○	○	○	–

注記*1：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。

*2：「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度とする。

*3：○は設計に用いる解析ケースを示し，△は影響検討ケースを示す。

*4：機器・配管系の耐震評価に適用する。原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

表 3-14(2) 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース（弾性設計用地震動 S d）

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	
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	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*2	
地震動 (位相)	S d - D 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - D 2	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - D 3	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 2	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 3	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - N 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○

注記*1：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。

*2：「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 5 新設する構造物のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度とする。

4. 三次元構造解析

4.1 解析手法

軽油タンク室(H)は、加振方向に平行に配置される妻壁を有する箱形構造物であることから、構造部材の応答値の算出は、三次元構造解析により行い、構造物の各部材を線形シェル要素でモデル化し、耐震評価を行う。

軽油タンク室(H)は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である軽油タンク等を間接支持しており、支持機能が要求される。

軽油タンク室(H)は、新設の構造物となるため、構造物の各部材を線形シェル要素でモデル化し、耐震評価を行う。

軽油タンク室(H)に作用する荷重は、二次元の地震応答解析において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。三次元構造解析には、解析コード「SLAP Ver. 6.64」を用いる。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。

4.2 解析モデルの設定

4.2.1 構造物のモデル化

構造物の各部材は線形シェル要素でモデル化する。モデル概念図を図 4-1 に、各部材の要素座標系を図 4-2 に示す。なお、開口部については、部材厚以上の開口をモデル化することとし、頂版に設置される開口をモデル化する。また、部材接合部の隅角部には剛域を設ける。剛域は、コンクリート標準示方書 2017 に基づき、図 4-3 に示す範囲とする。

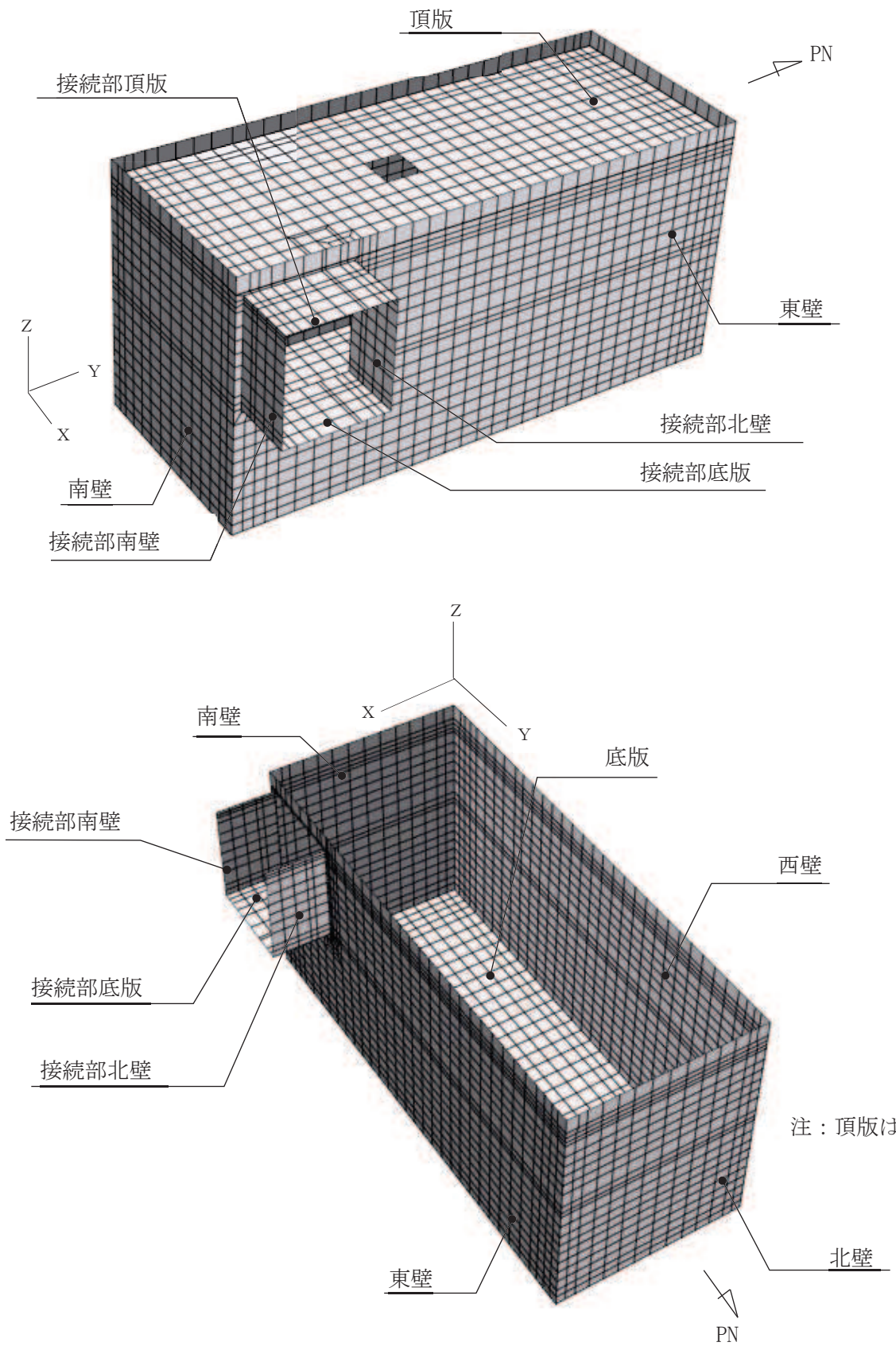
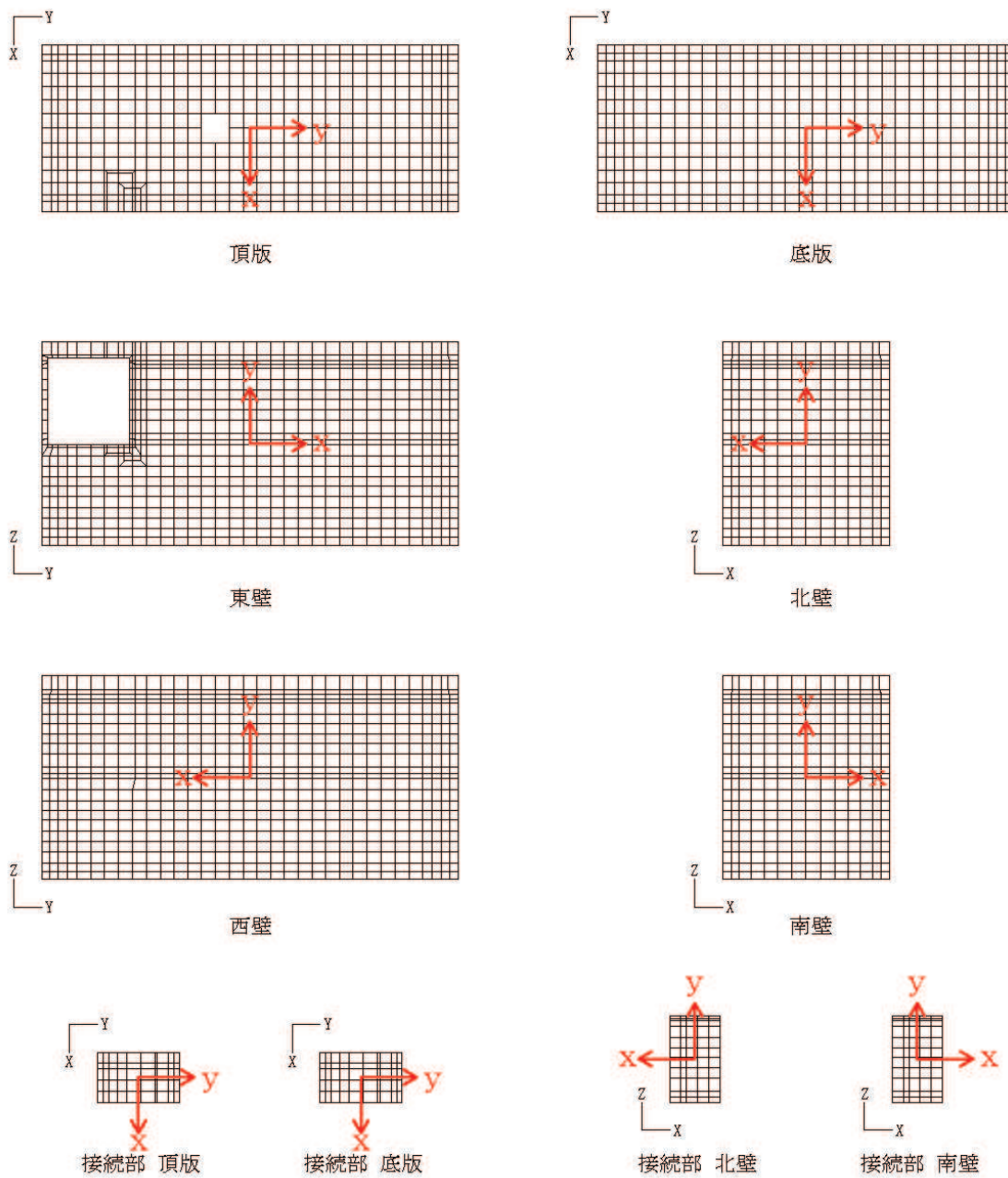
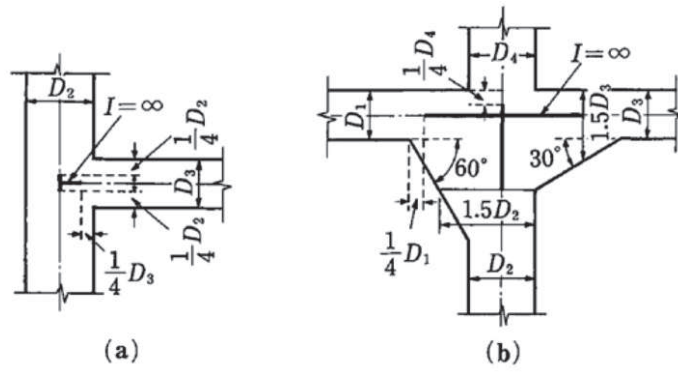


図 4-1 三次元構造解析モデルの概念図



黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 4-2 各部材の要素座標系



- a. ハンチが無い場合は部材端から $1/4$ 入った断面より内部を剛域とする。
- b. 部材がその軸線に対して 30° 以上傾斜するハンチを持つ場合には、部材高さが 1.5 倍となる断面より内部を剛域とする。ただし、ハンチの傾斜が 60° 以上の場合には、ハンチの起点から部材高さの $1/4$ 入った断面から内部を剛域とする。

図 4-3 剛域の設定（コンクリート標準示方書 2017 より引用）

4.2.2 地盤ばね要素

地盤ばねは、常時解析においては道路橋示方書（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）に基づき設定する。

地震時解析においては，支持地盤は，地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し，「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定する。

側方地盤は，非線形ばねでモデル化し，妻壁の法線方向に取り付け，道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）に基づき設定する。地盤ばねの設定イメージ図を図4-4に示す。

1方向載荷時には，構造物下面及び載荷方向と直交する壁に地盤ばねを設定する。2方向載荷時には，構造物下面のみに地盤ばねを設定する。

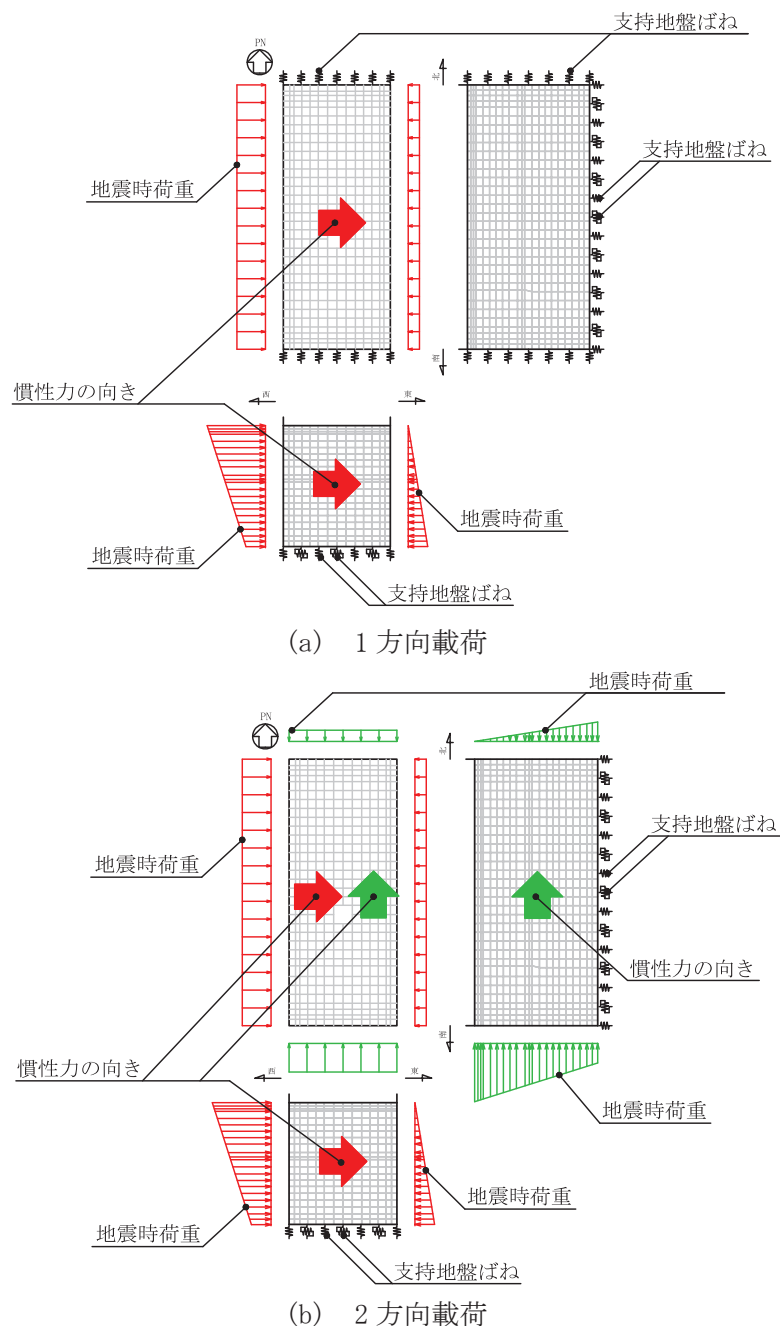


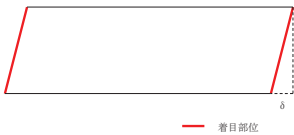
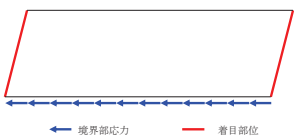
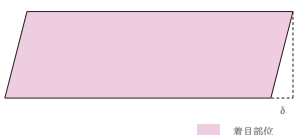
図4-4 地盤ばねの設定イメージ

4.3 照査時刻の選定

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。表 4-1 に照査時刻の選定の考え方を示す。

なお、三次元構造解析においては、表 4-1 に示す全ての照査時刻に対して照査を実施する。選定された時刻については「6.1.1 各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果」に示す。

表 4-1 照査時刻の考え方

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		頂底版間の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻

4.4 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は「4.3 照査時刻の選定」にて選定した照査時刻に対し、地震応答解析から同時刻における水平荷重及び鉛直荷重の応答値を抽出し、算定する。入力荷重の一覧を表4-2に、各入力荷重の算定フローを図4-5に示す。常時荷重は、表3-8に示す荷重を考慮する。

表4-2 入力荷重一覧

入力荷重		地震応答解析から抽出する応答値	載荷位置
慣性力	機器・配管の慣性力	応答加速度	設置位置
	躯体の慣性力	応答加速度	躯体全体
	積載荷重の慣性力	応答加速度	作用位置
地震時土圧		土圧	作用位置
周面せん断力		土圧	作用位置

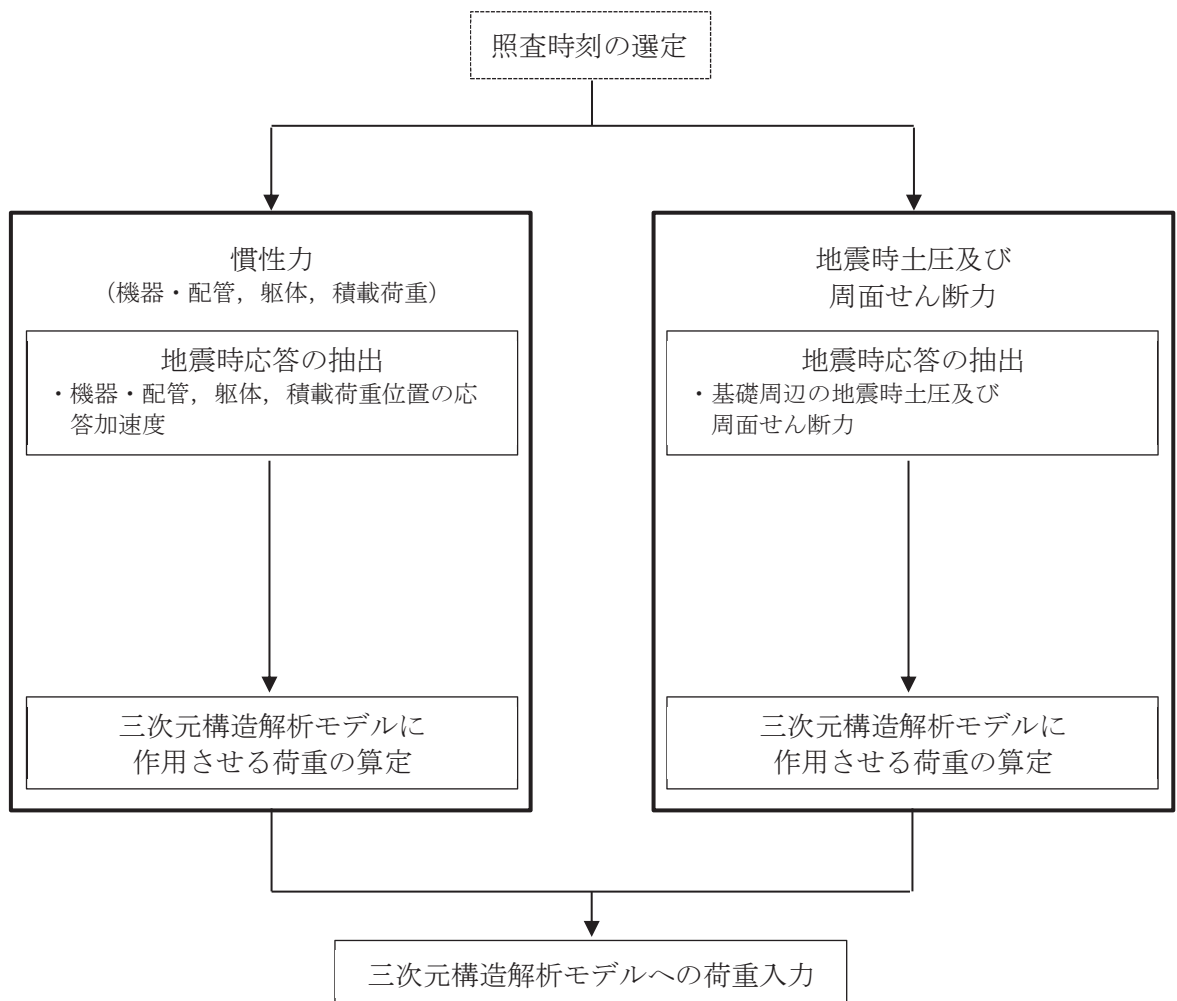


図4-5 各入力荷重の算定フロー

4.4.1 常時荷重

(1) 躯体自重

躯体の体積に鉄筋コンクリートの密度を乗じて設定する。

(2) 静止土圧及び外水圧

地震応答解析の常時応力解析から求まる静止土圧を躯体側面に作用させる。地下水位が躯体底面よりも低いため、外水圧は作用しない。

静止土圧の载荷概念図を図 4-6 に示す。なお、静止土圧は、奥行方向に一様に载荷する。

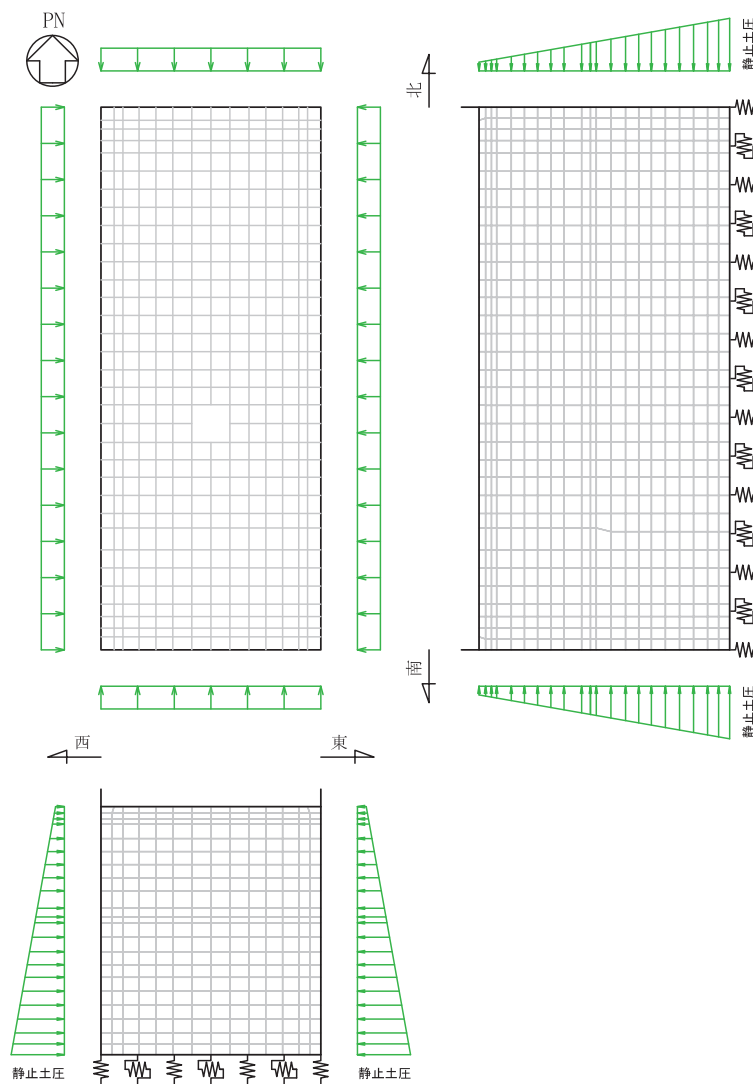


図 4-6 静止土圧の载荷概念図

(3) 機器・配管荷重

機器・配管系の重量に基づいて設定する。機器・配管荷重図を図4-7に示す。

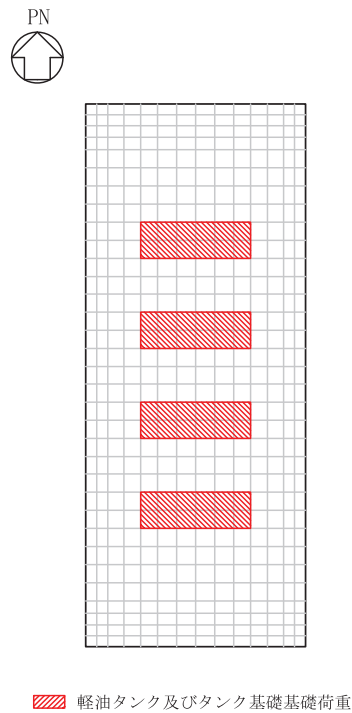


図4-7 機器・配管荷重図（底版上）

(4) 積載荷重

地震時に軽油タンク室(H)に作用する積載荷重は、積雪荷重以外は想定されないが、保守的な配慮として頂版上に 4.9kN/m^2 を考慮する。なお、地表面に作用する積載荷重は、常時応力解析から得られる静止土圧に含まれる。

4.4.2 慣性力

機器・配管，躯体，積載荷重の慣性力は，地震応答解析により算定される躯体及び機器・配管の位置の応答加速度分布から算定する。応答加速度の抽出位置を図4-8に示す。
算定した慣性力は，図4-9に示すとおり，三次元構造解析モデルに入力する。

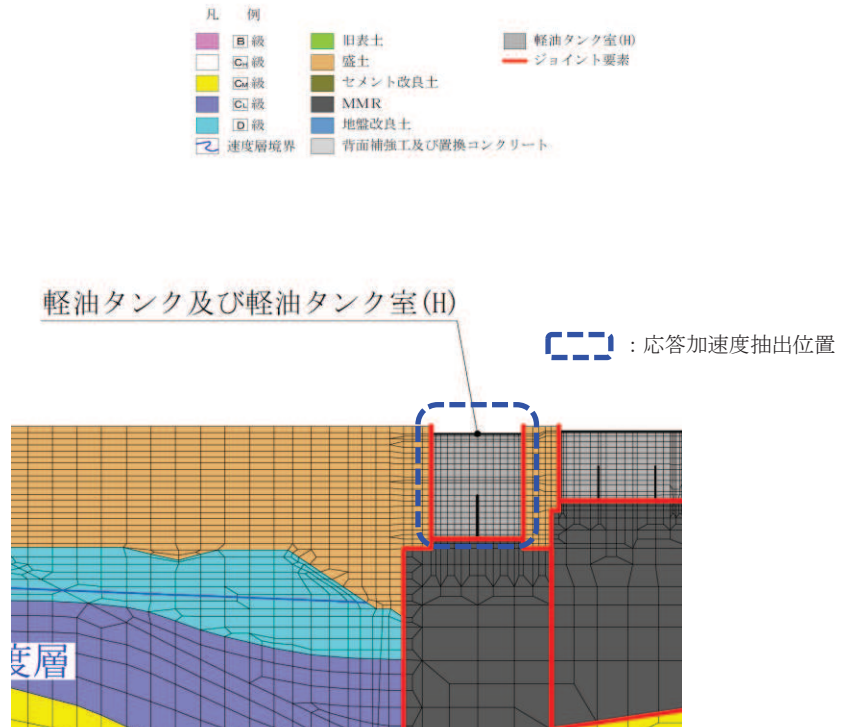


図4-8 応答加速度の抽出位置

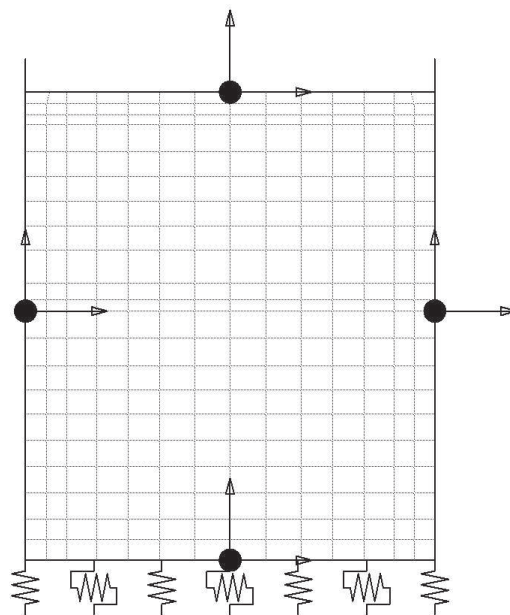


図4-9 三次元構造解析モデルに入力する慣性力の概念図

4.4.3 地震時土圧及び周面せん断力

躯体側面に作用する地震時土圧及び周面せん断力は、地震応答解析モデルにおいて各部位に接するジョイント要素の、照査時刻における要素応力から算定する。地震時土圧及び周面せん断力の抽出位置を図4-10に示す。また、算定した地震時土圧及び周面せん断力は、図4-11に示すとおり、軽油タンク室(H)の三次元構造解析モデルに入力する。

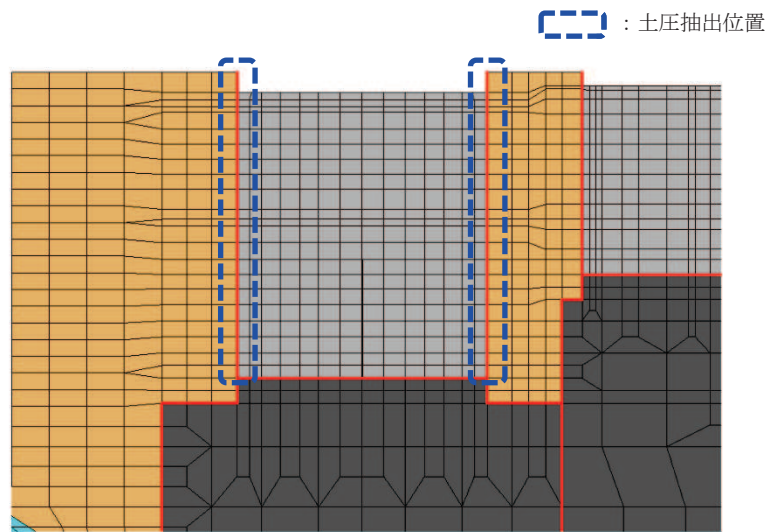
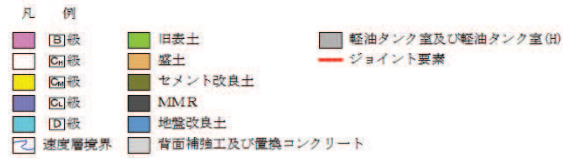


図4-10 地震時土圧及び周面せん断力抽出位置

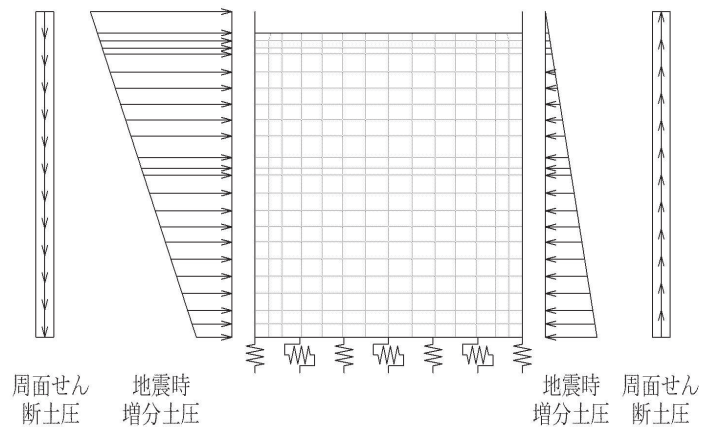


図4-11 地震時土圧及び周面せん断力の概念図

5. 評価内容

5.1 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 及び弾性設計用地震動 S_d を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端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」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 5-1 に入力地震動算定の概念図を、図 5-2～図 5-29 に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。

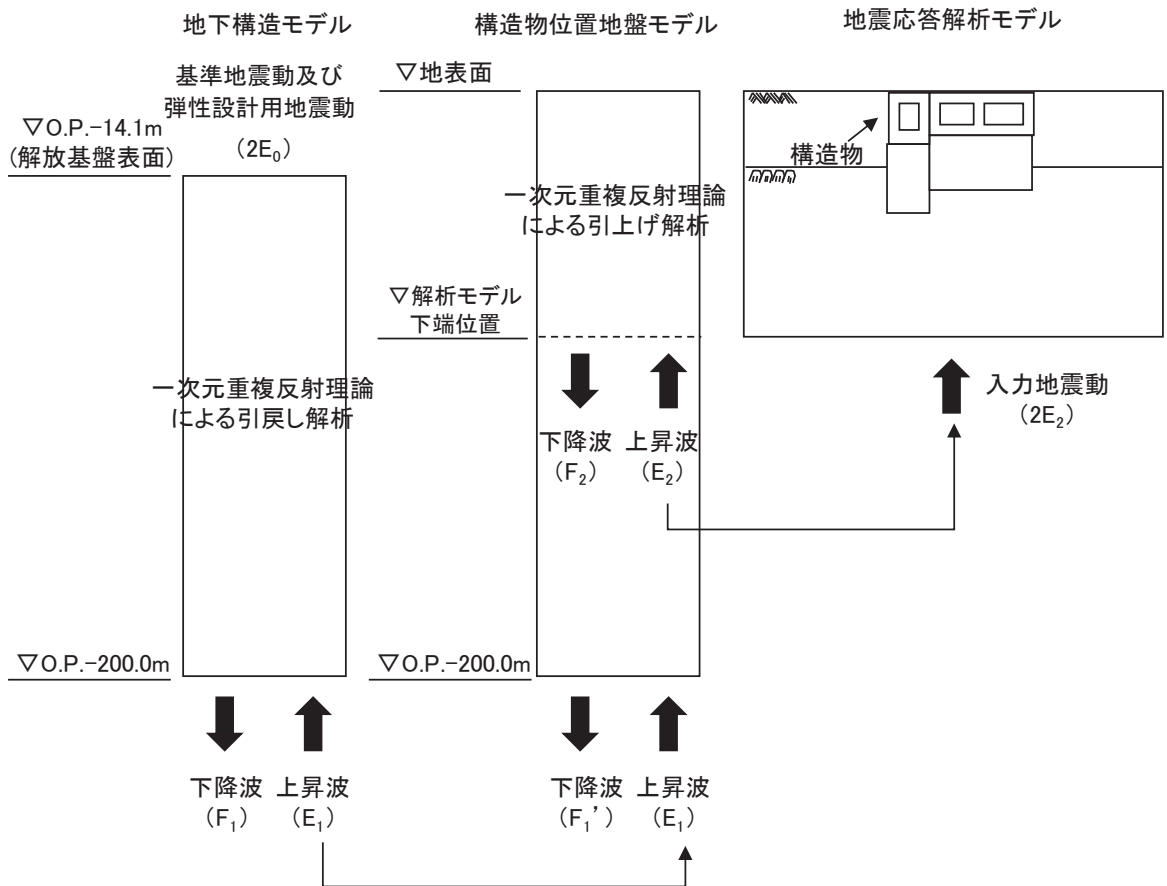
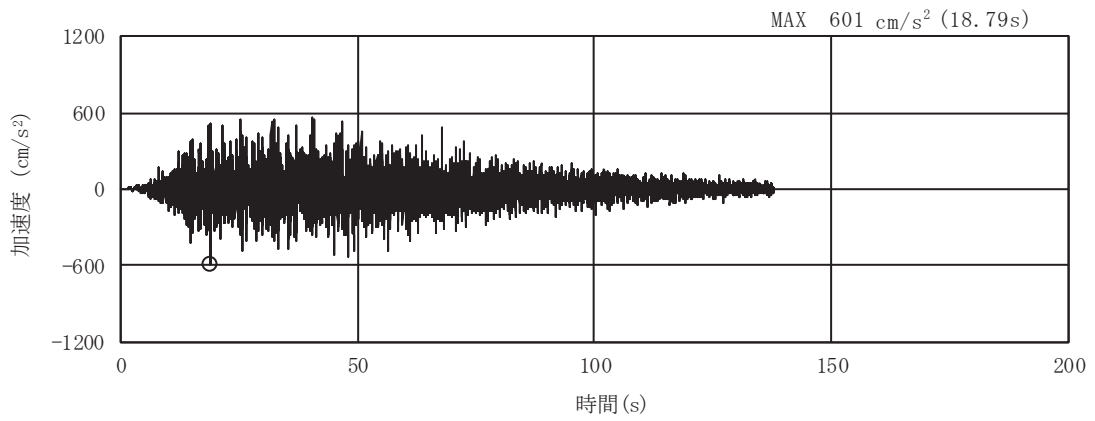
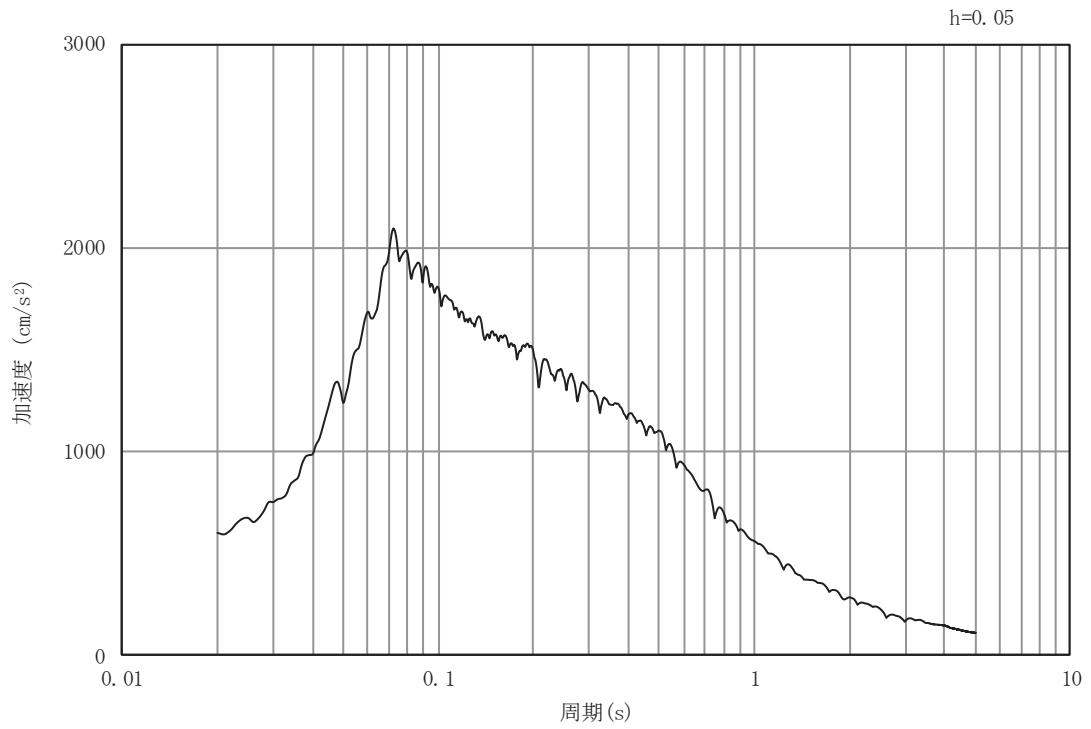


図 5-1 入力地震動算定の概念図（基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d ）

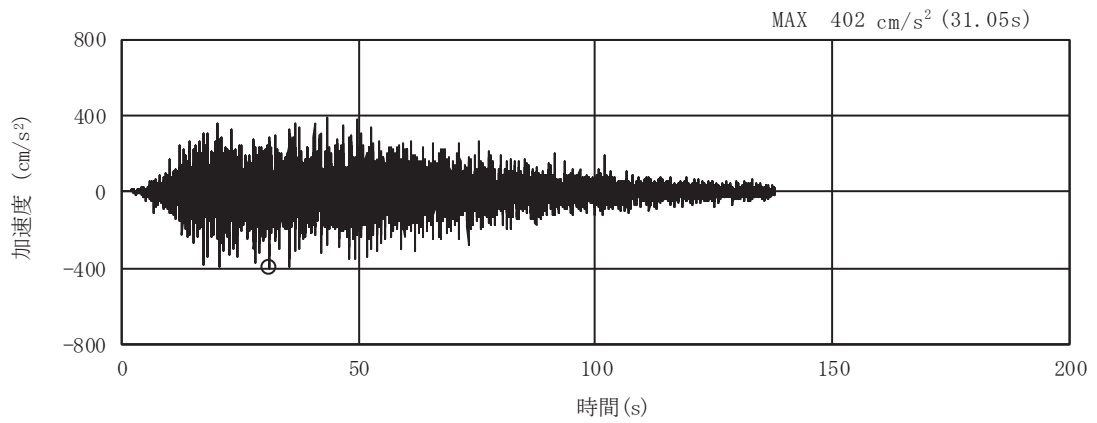


(a) 加速度時刻歴波形

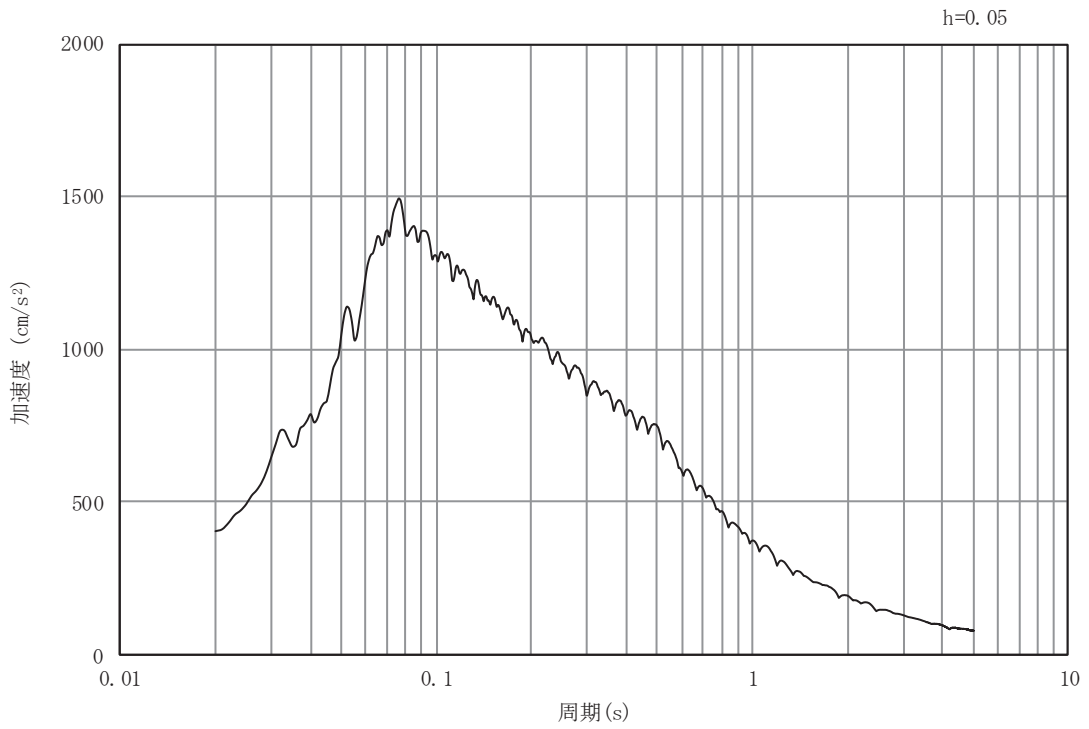


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-2 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
(水平成分：S s - D 1)

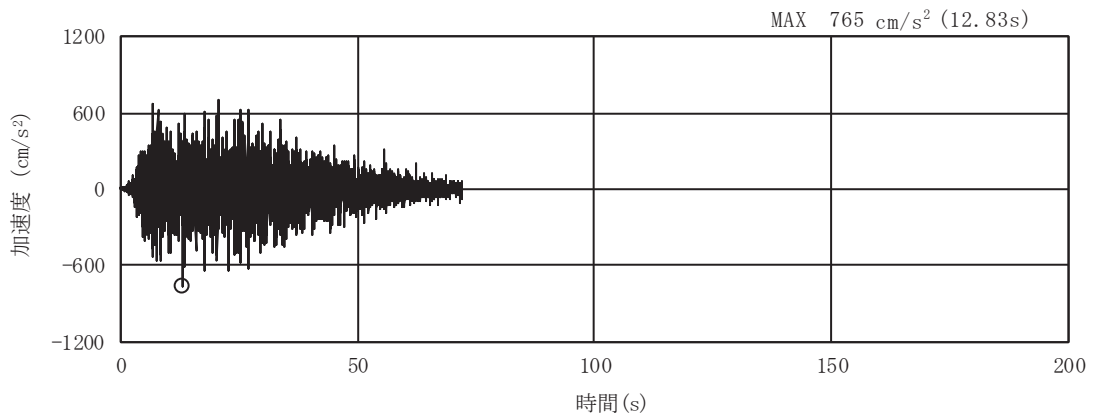


(a) 加速度時刻歴波形

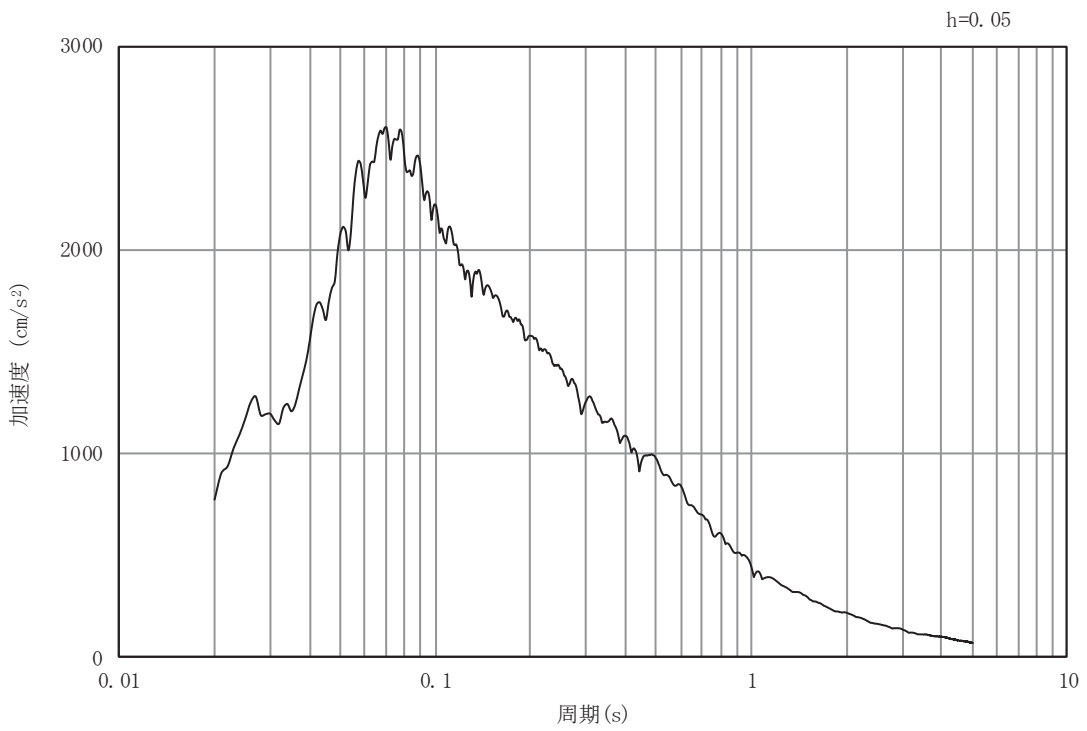


(b) 加速度応答スペクトル

図5-3 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
(鉛直成分：S s - D 1)

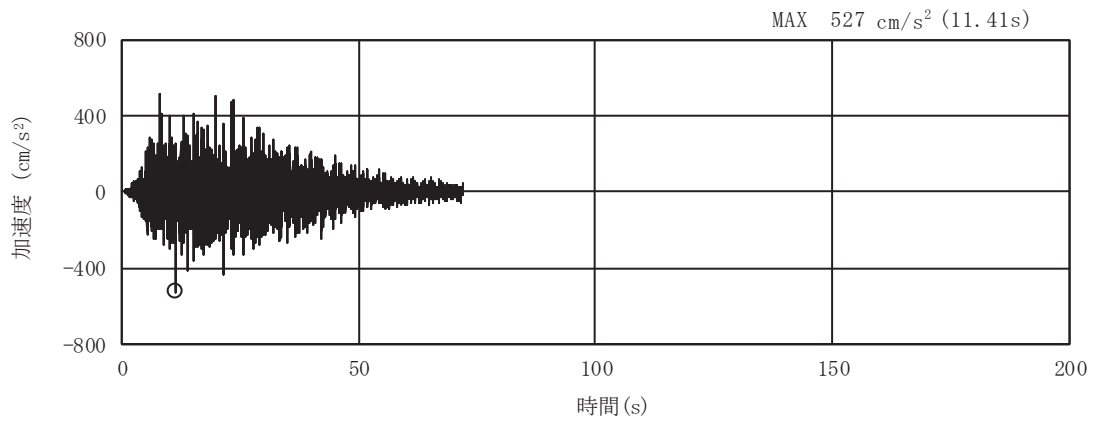


(a) 加速度時刻歴波形

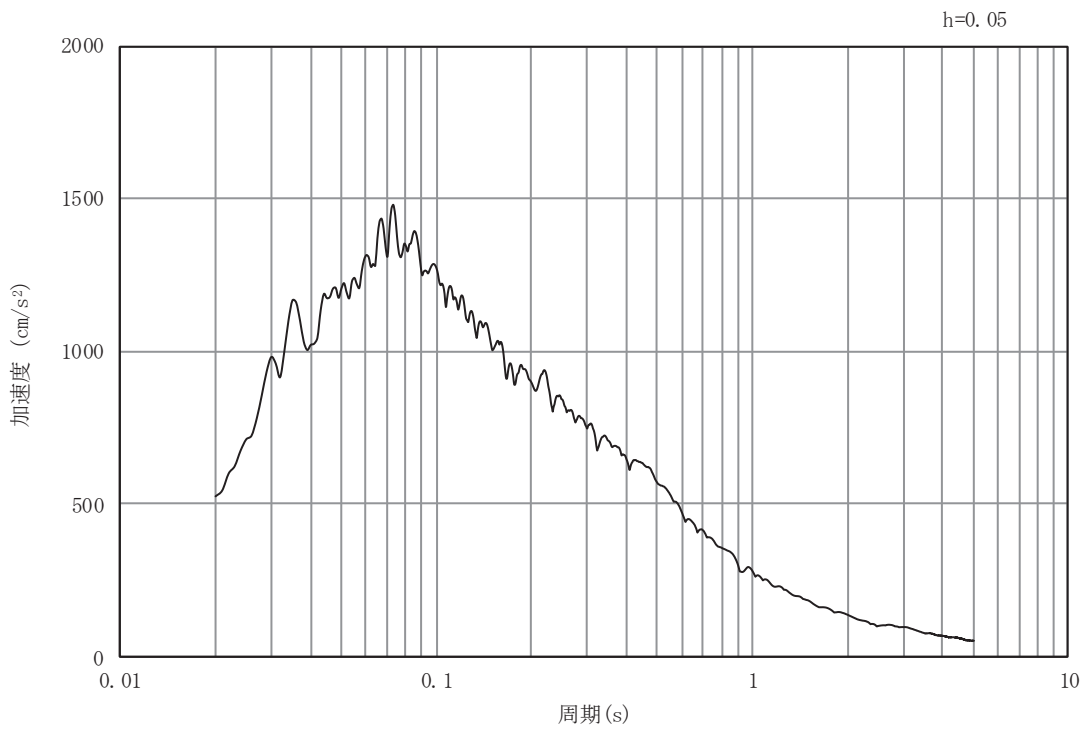


(b) 加速度応答スペクトル

図5-4 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
(水平成分：S s - D 2)

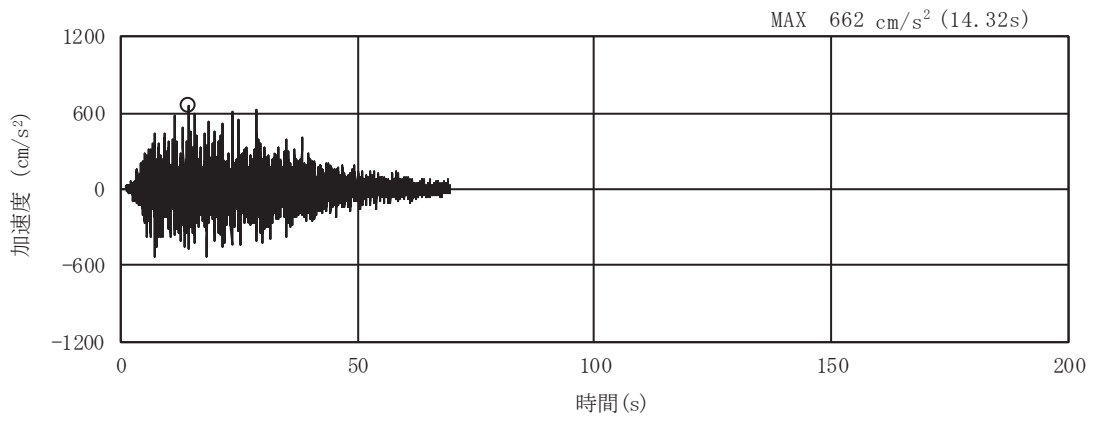


(a) 加速度時刻歴波形

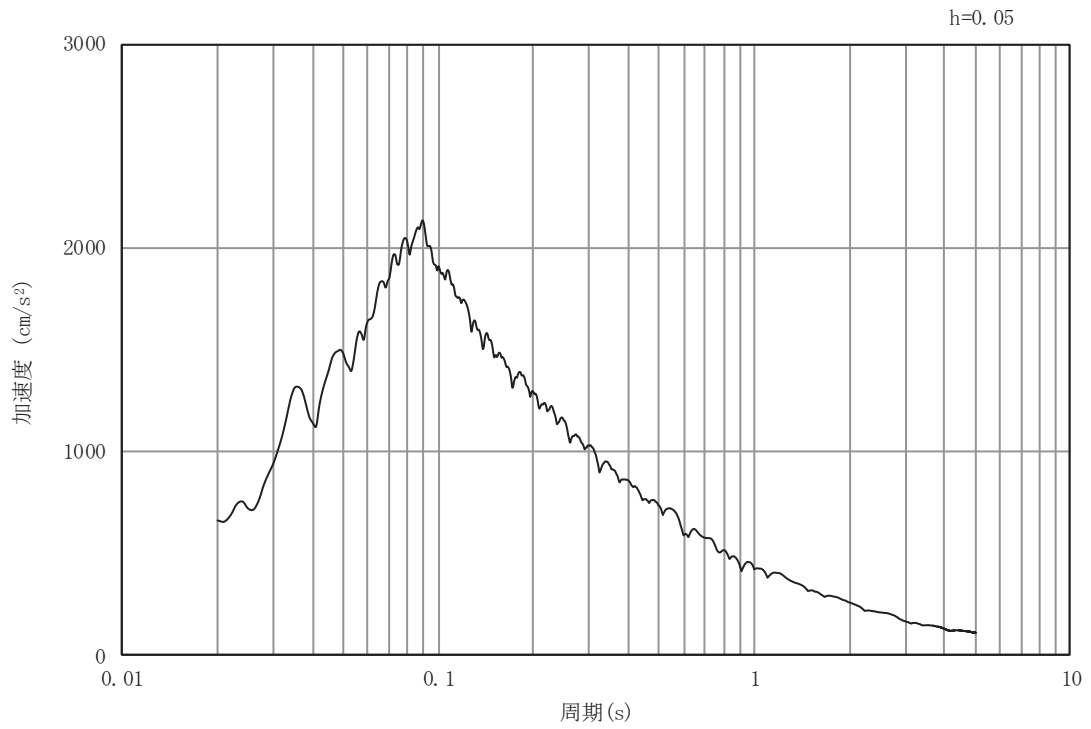


(b) 加速度応答スペクトル

図5-5 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
(鉛直成分：S s - D 2)

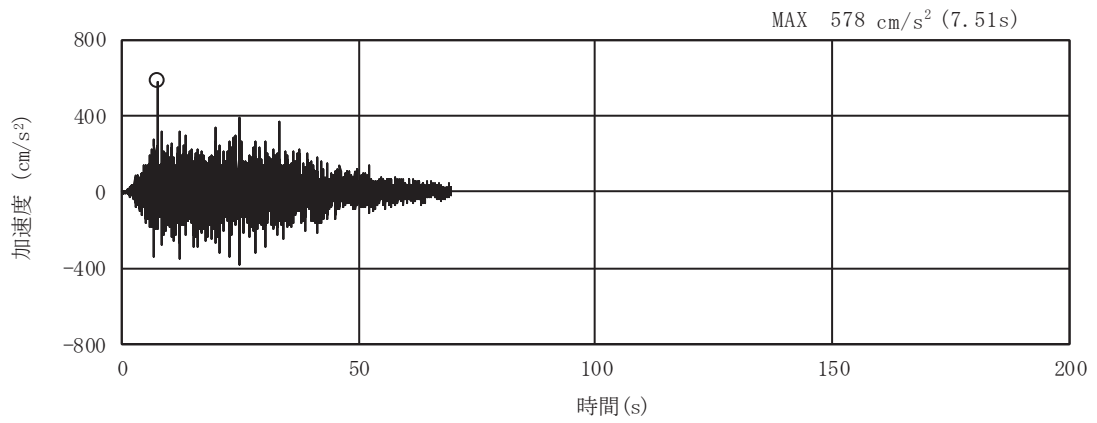


(a) 加速度時刻歴波形

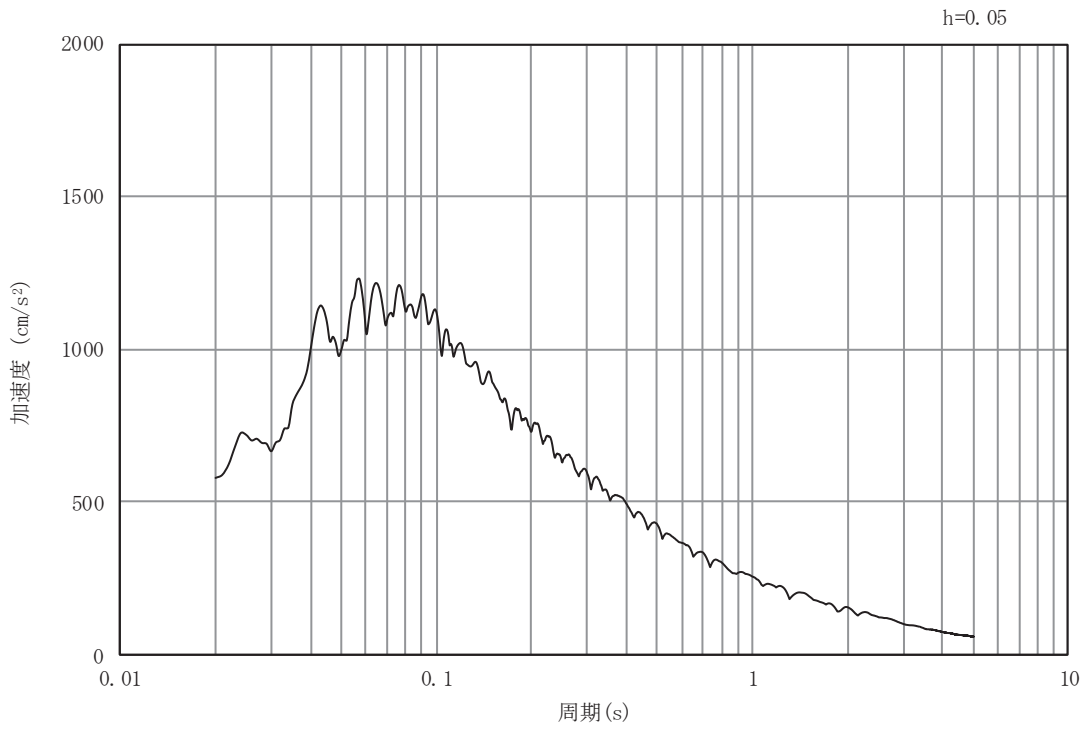


(b) 加速度応答スペクトル

図5-6 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
(水平成分：S s - D 3)

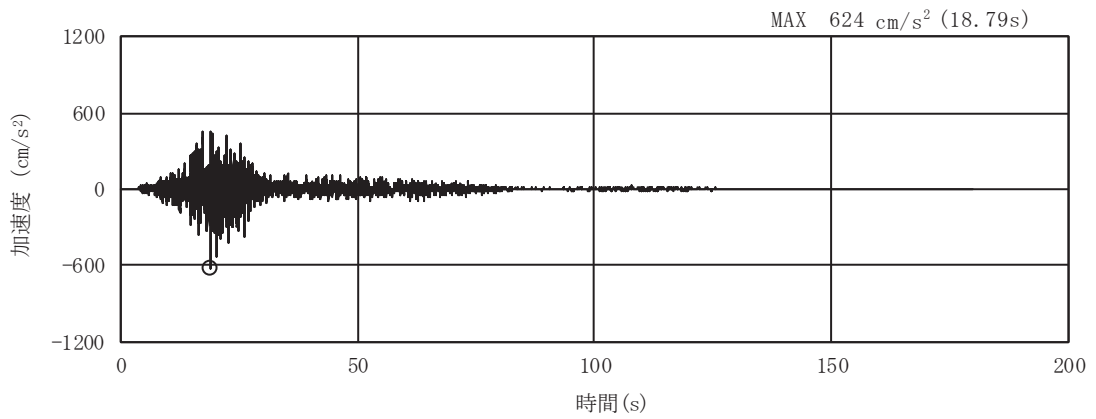


(a) 加速度時刻歴波形

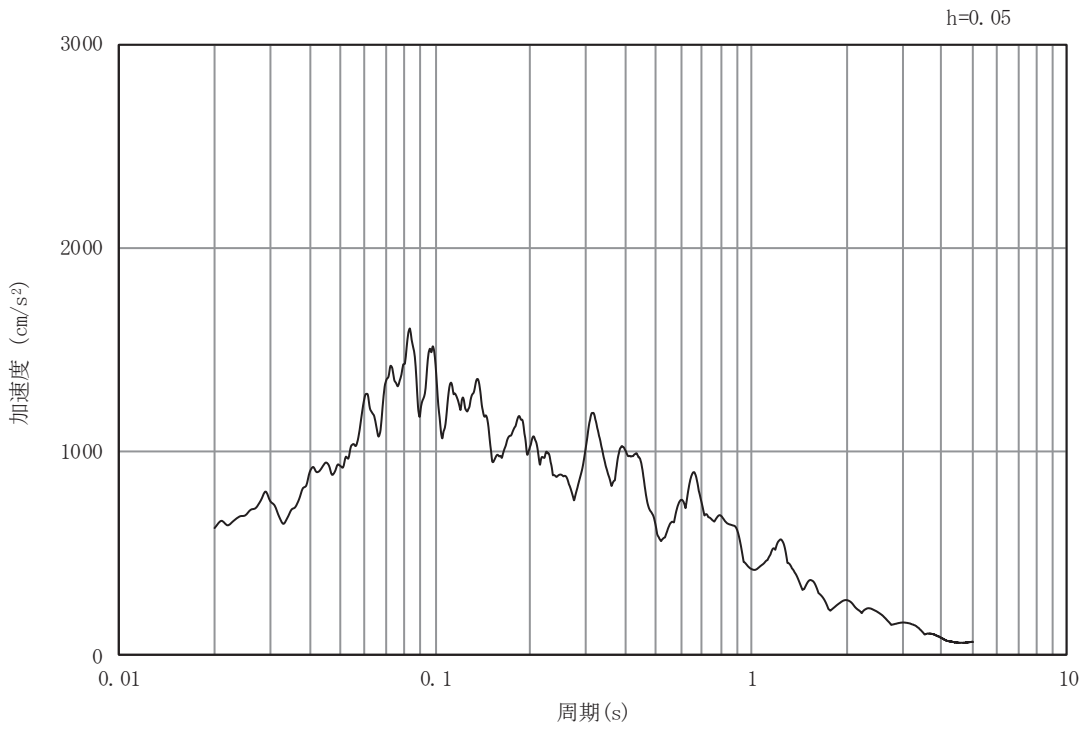


(b) 加速度応答スペクトル

図5-7 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
(鉛直成分：S s - D 3)

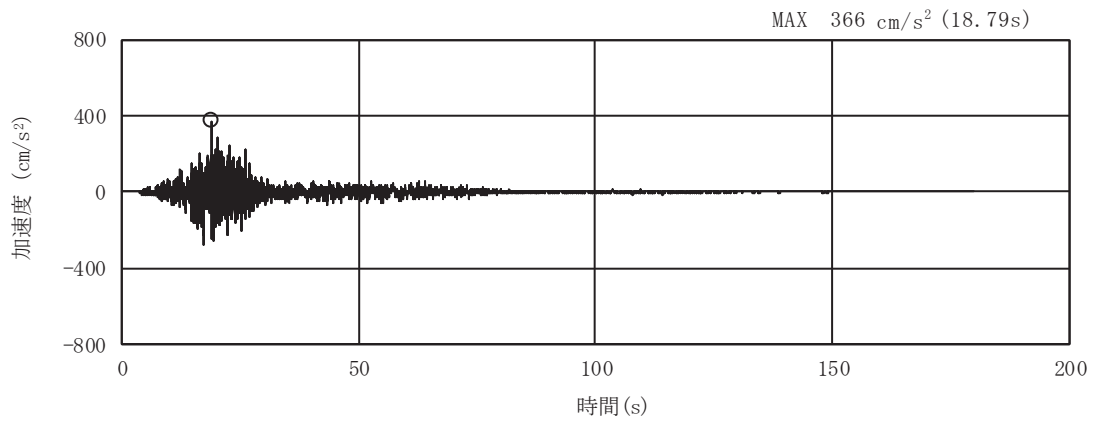


(a) 加速度時刻歴波形

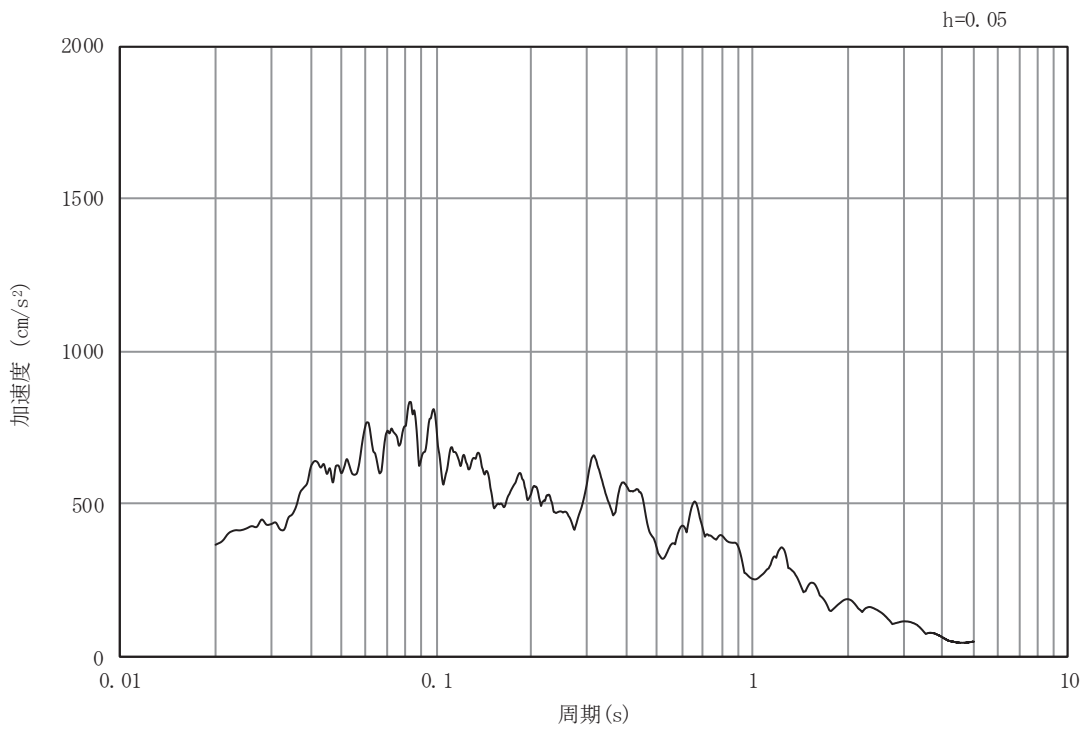


(b) 加速度応答スペクトル

図5-8 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
(水平成分：S s - F 1)

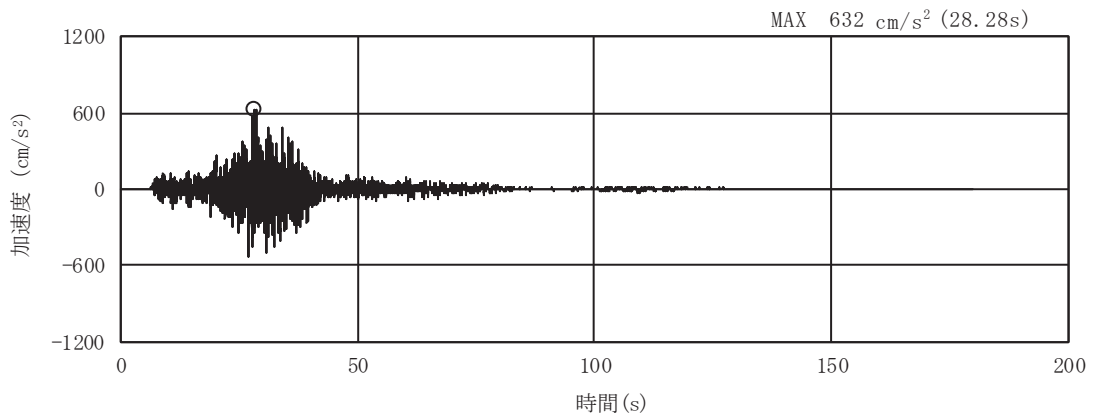


(a) 加速度時刻歴波形

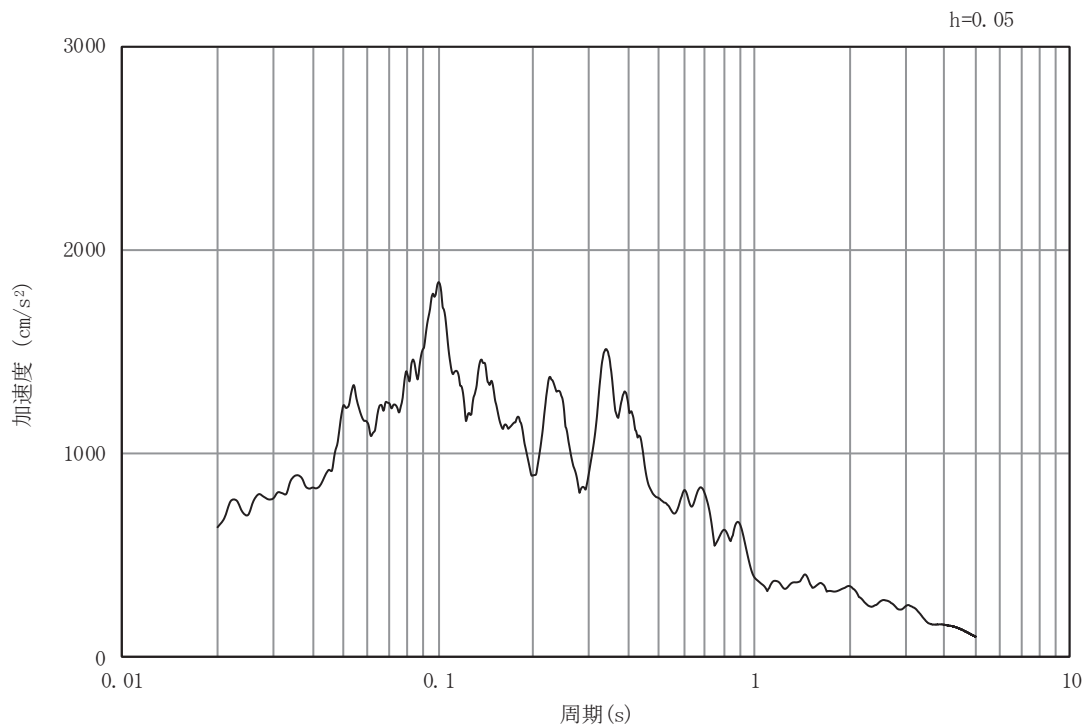


(b) 加速度応答スペクトル

図5-9 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
(鉛直成分：S s - F 1)

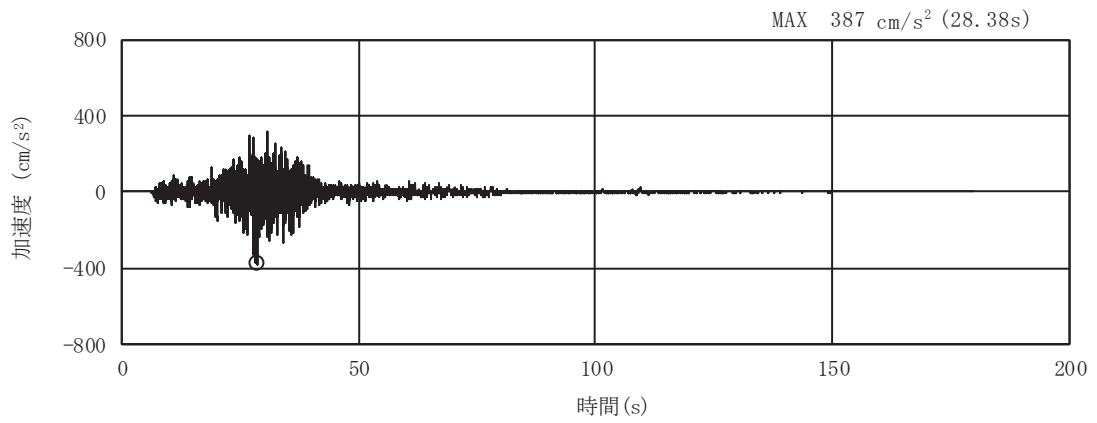


(a) 加速度時刻歴波形

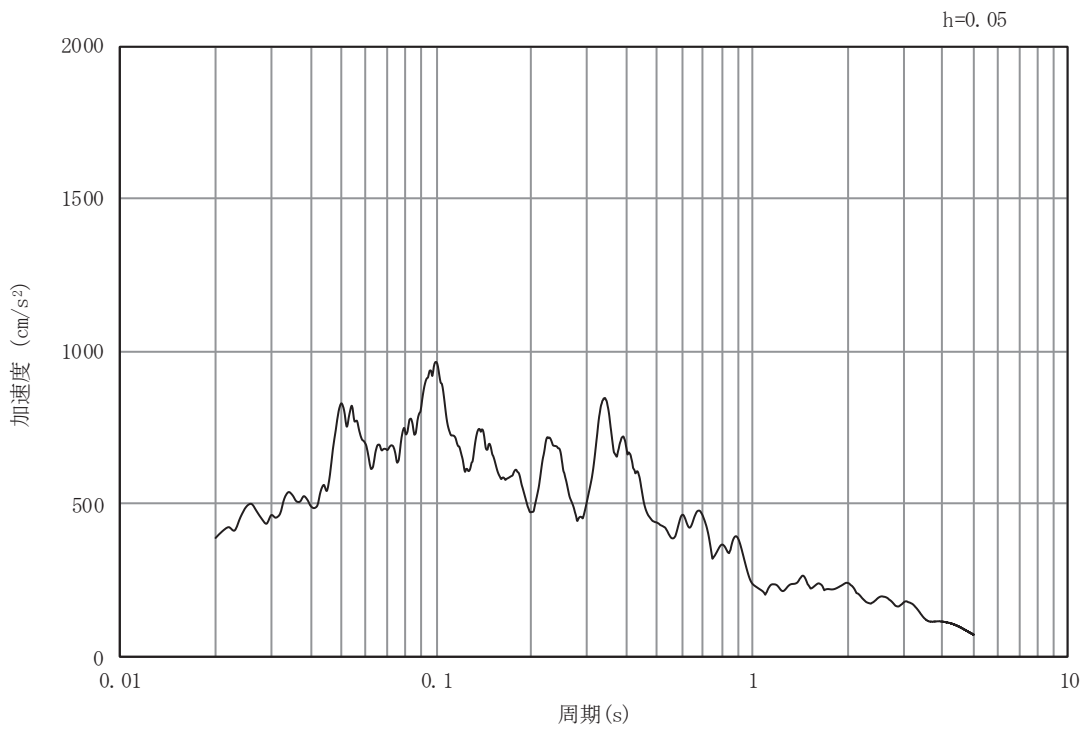


(b) 加速度応答スペクトル

図5-10 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
(水平成分：S s - F 2)

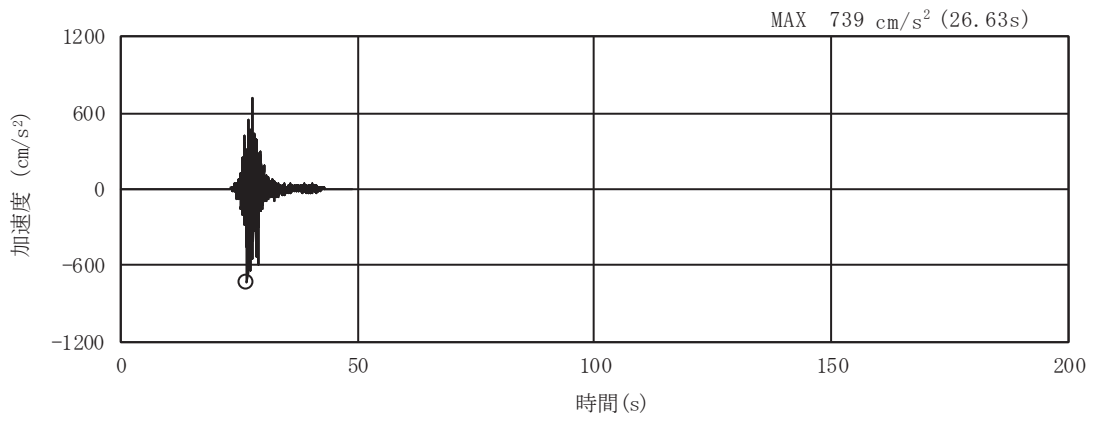


(a) 加速度時刻歴波形

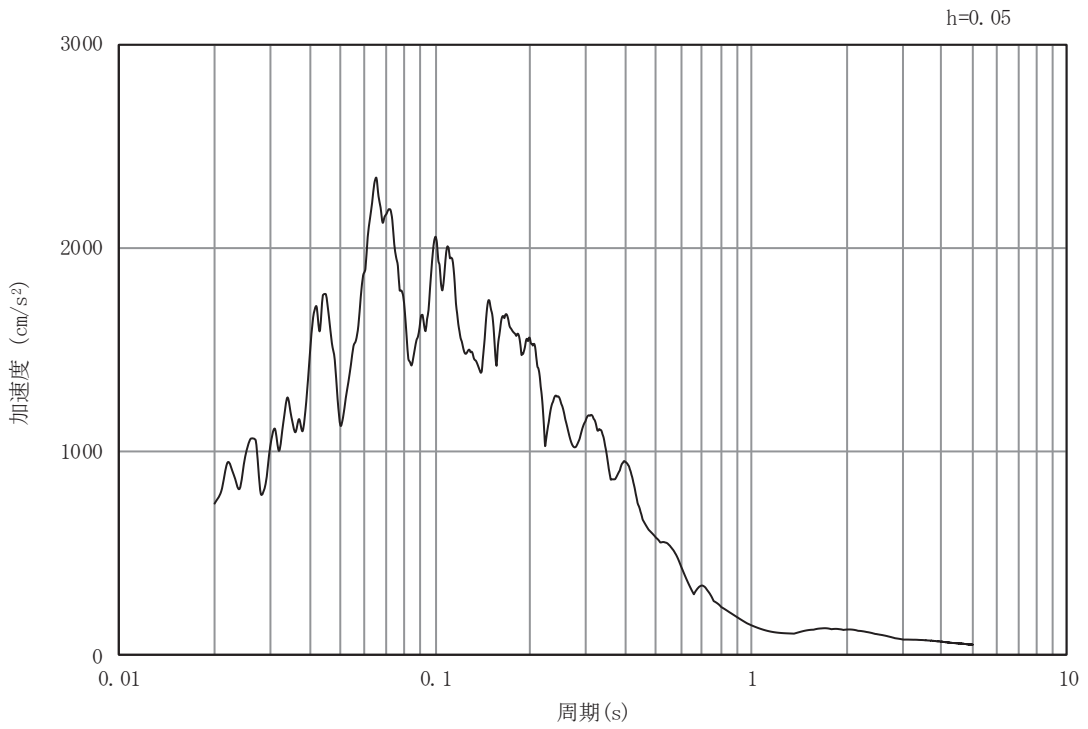


(b) 加速度応答スペクトル

図5-11 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
(鉛直成分：S s - F 2)

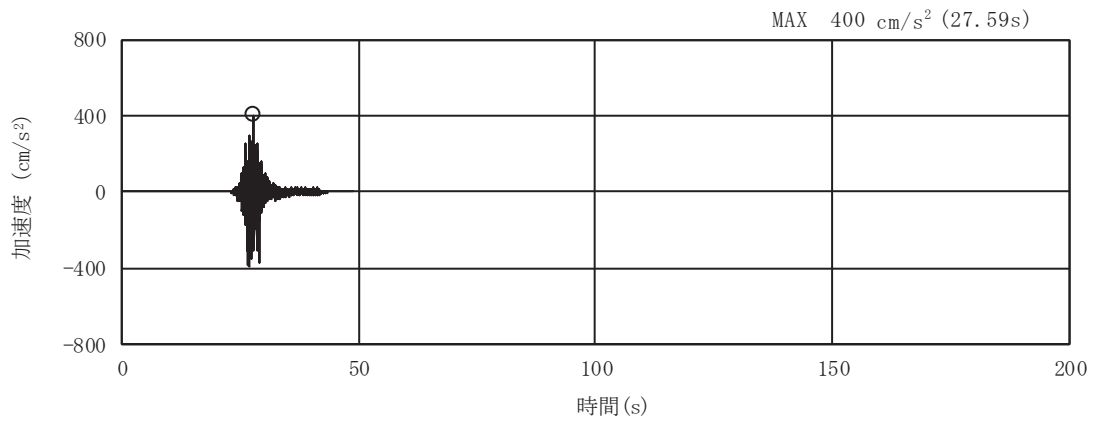


(a) 加速度時刻歴波形

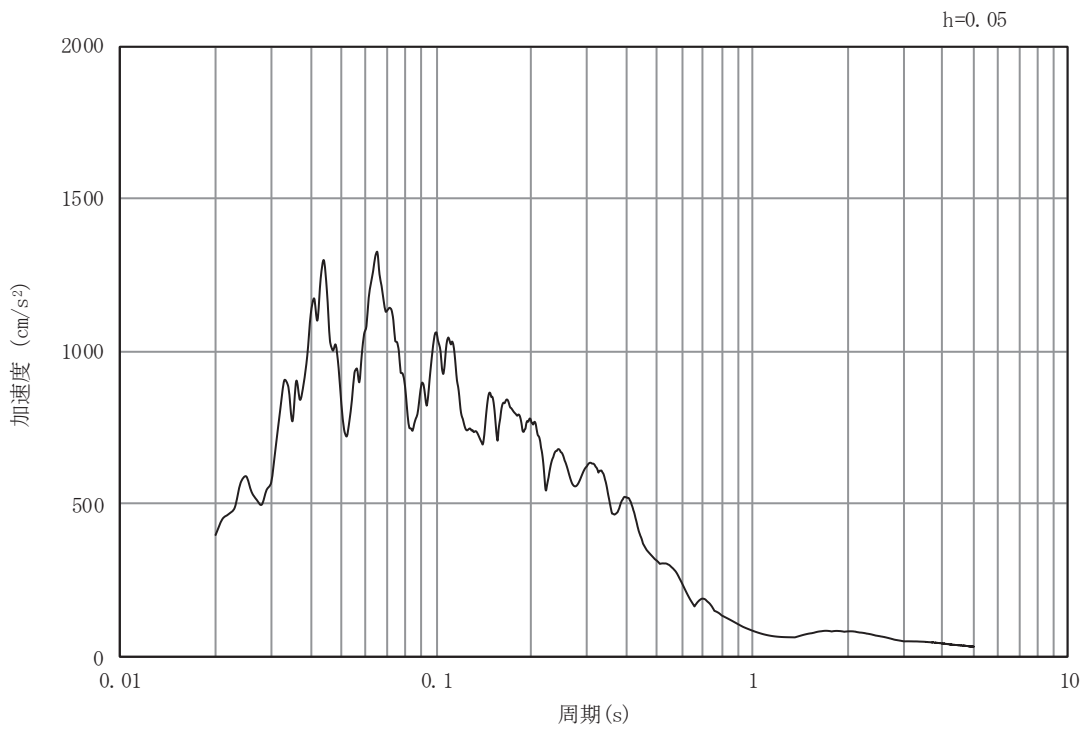


(b) 加速度応答スペクトル

図5-12 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
(水平成分：S s - F 3)

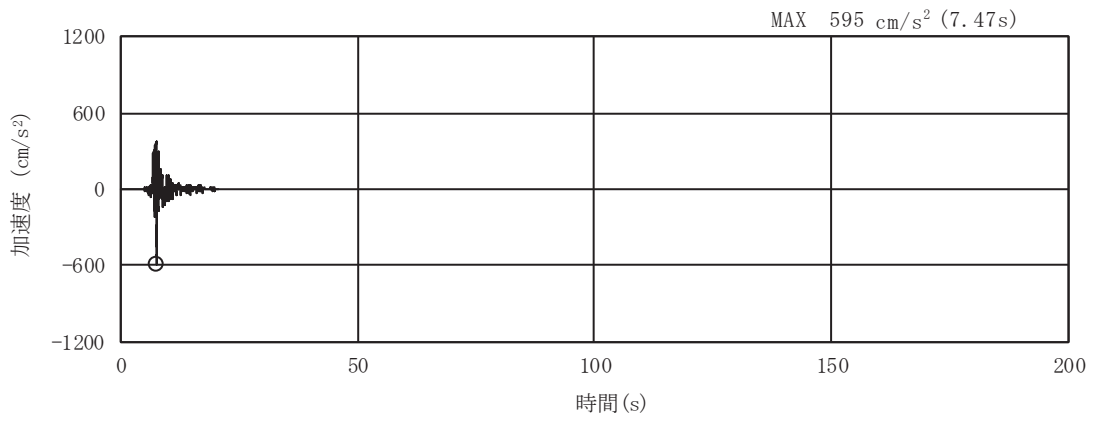


(a) 加速度時刻歴波形

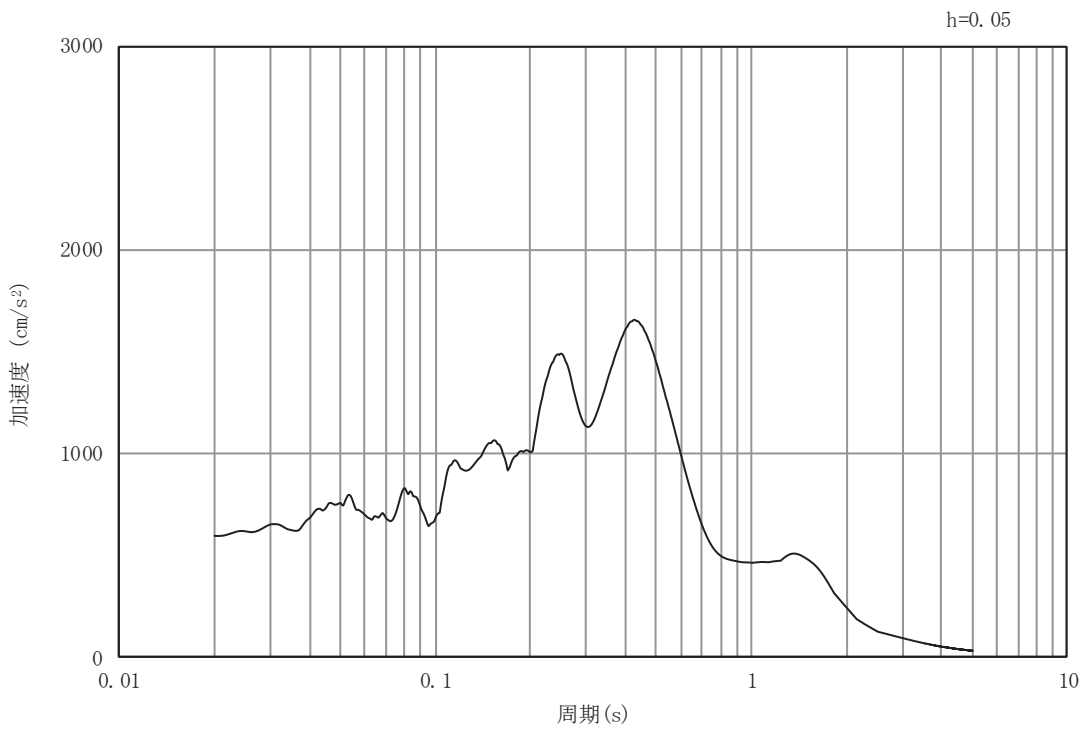


(b) 加速度応答スペクトル

図5-13 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
(鉛直成分：S s - F 3)

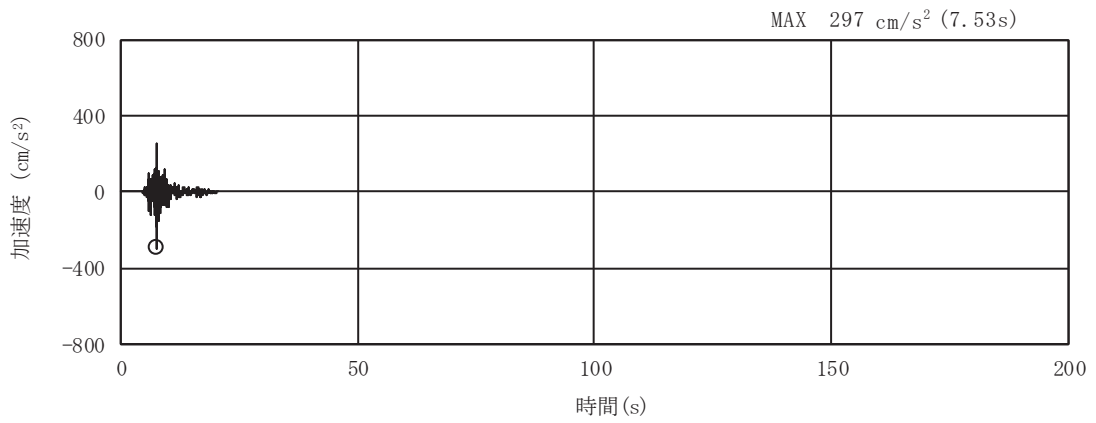


(a) 加速度時刻歴波形

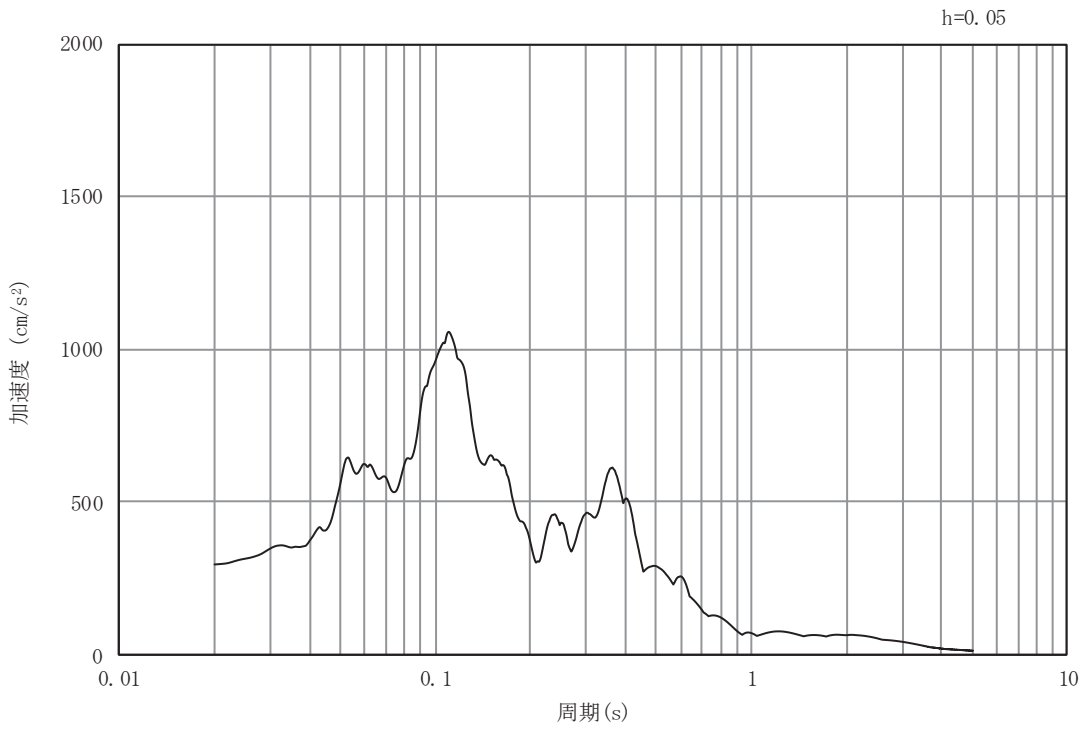


(b) 加速度応答スペクトル

図5-14 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
(水平成分：S s - N 1)

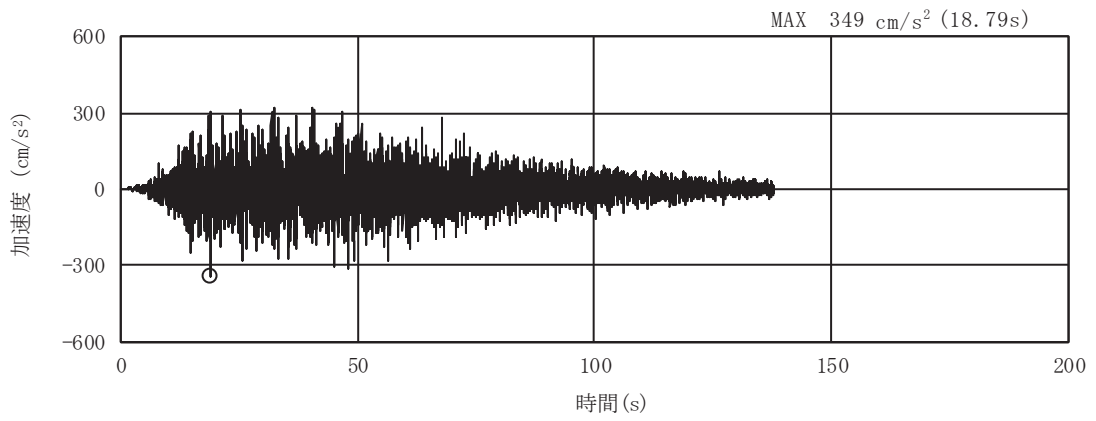


(a) 加速度時刻歴波形

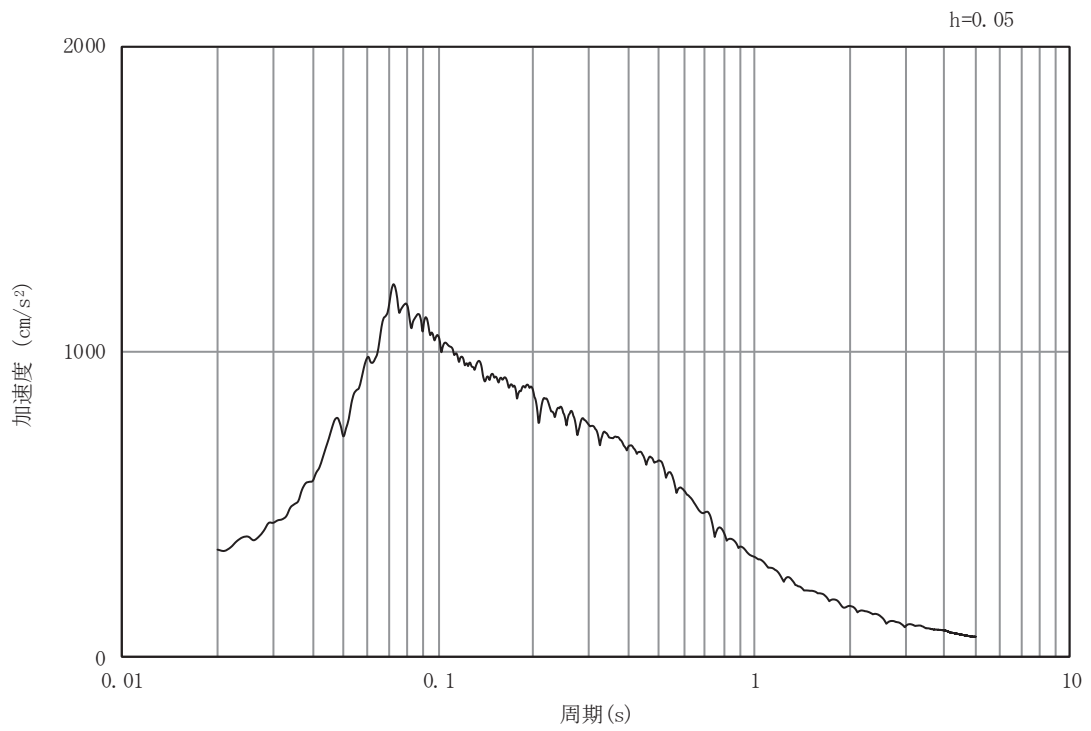


(b) 加速度応答スペクトル

図5-15 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
(鉛直成分：S s - N 1)

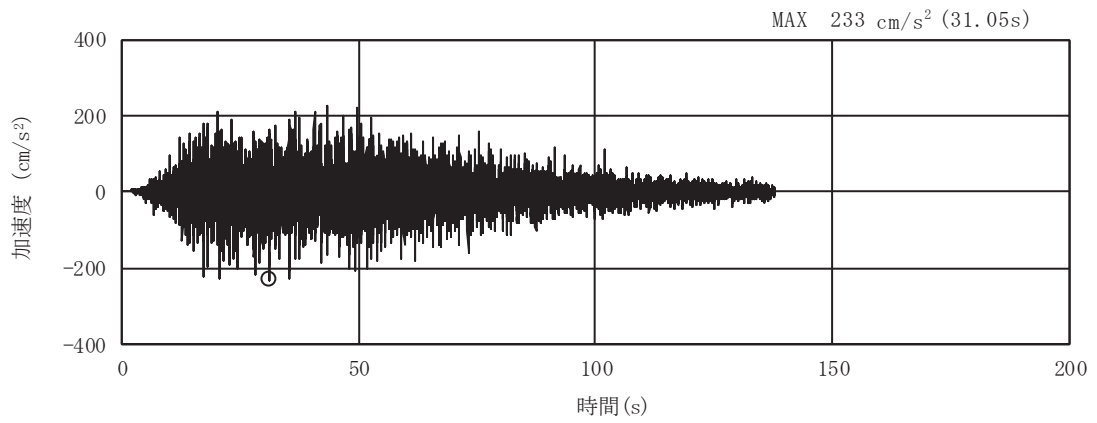


(a) 加速度時刻歴波形

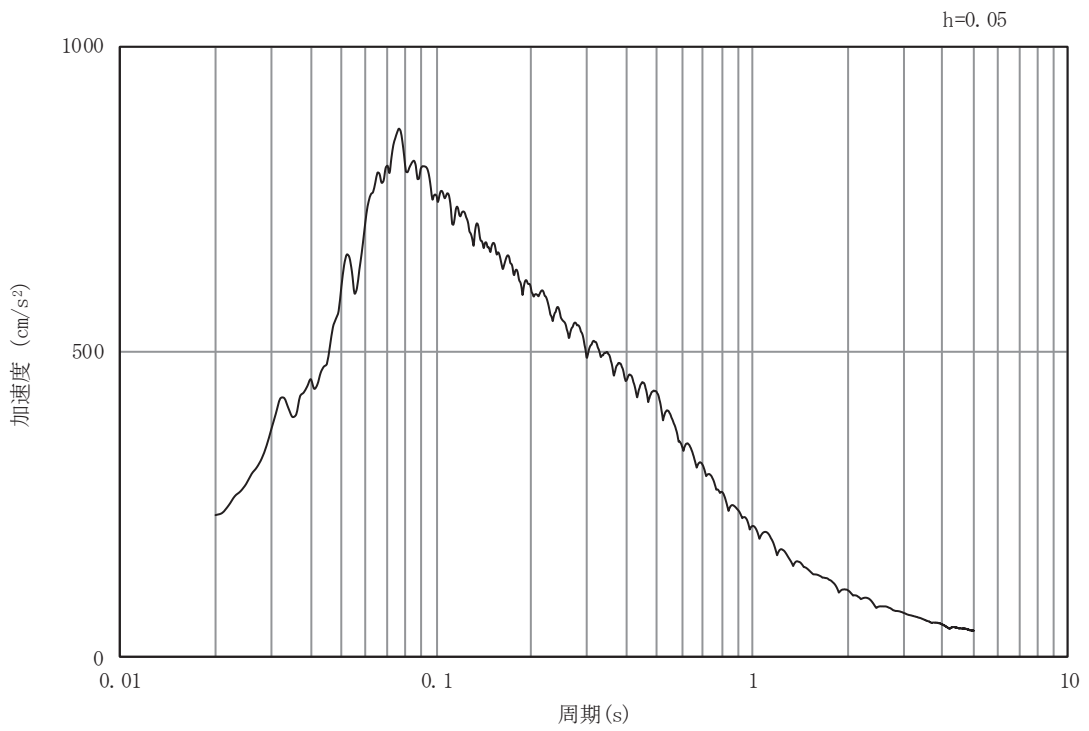


(b) 加速度応答スペクトル

図5-16 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
(水平成分：S d - D 1)

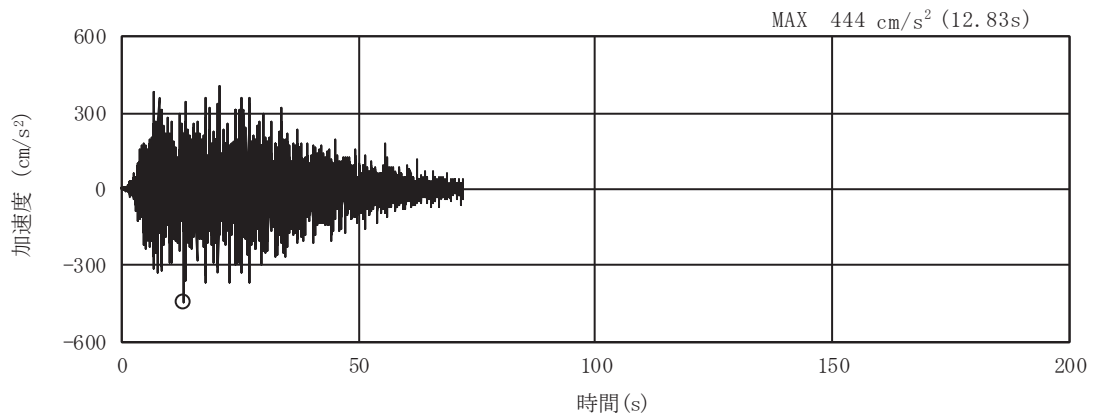


(a) 加速度時刻歴波形

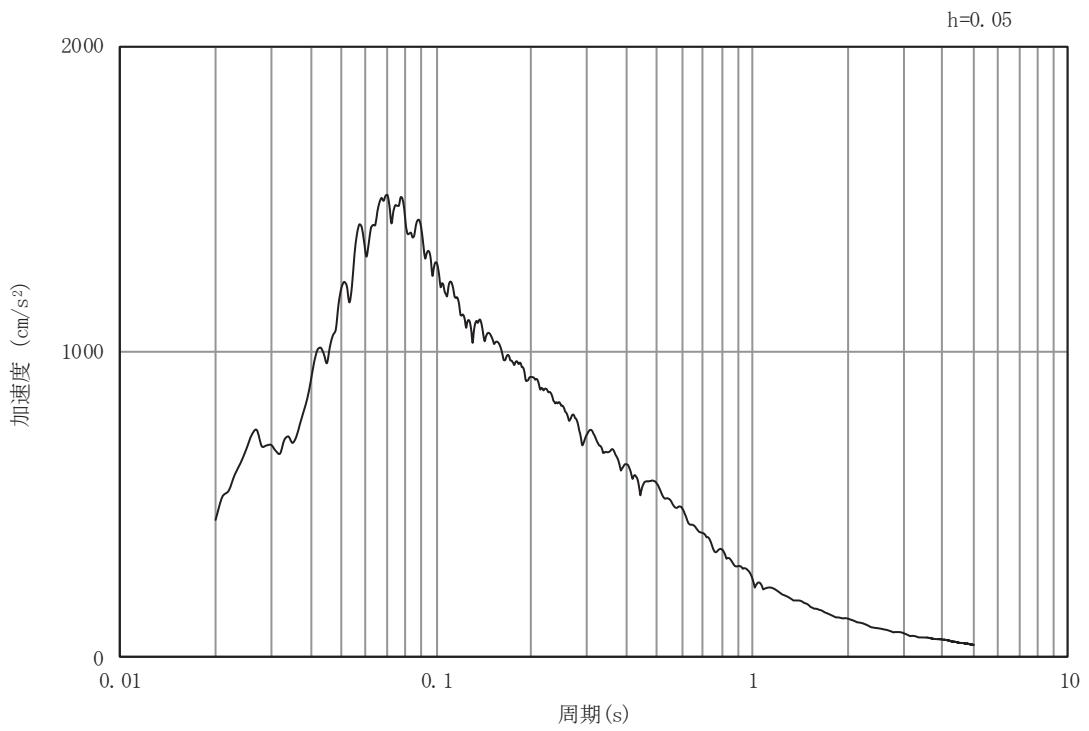


(b) 加速度応答スペクトル

図5-17 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
(鉛直成分：S d - D 1)

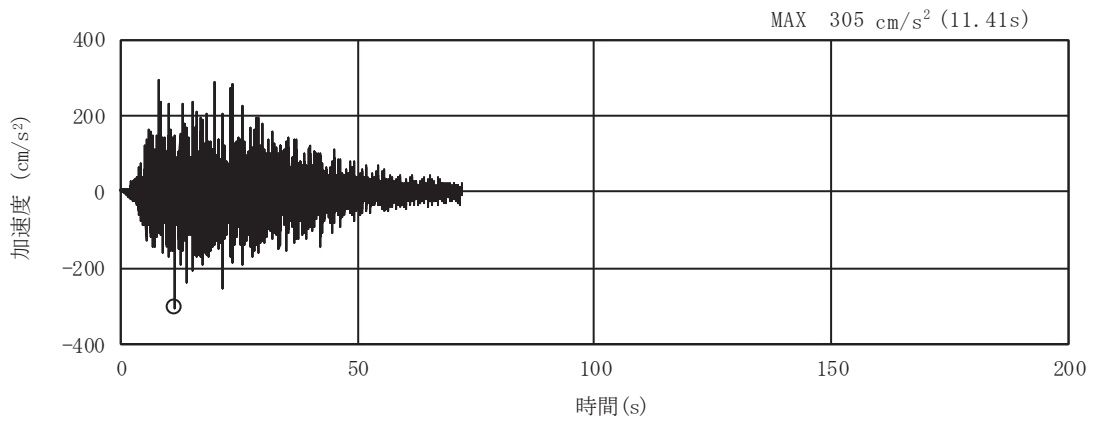


(a) 加速度時刻歴波形

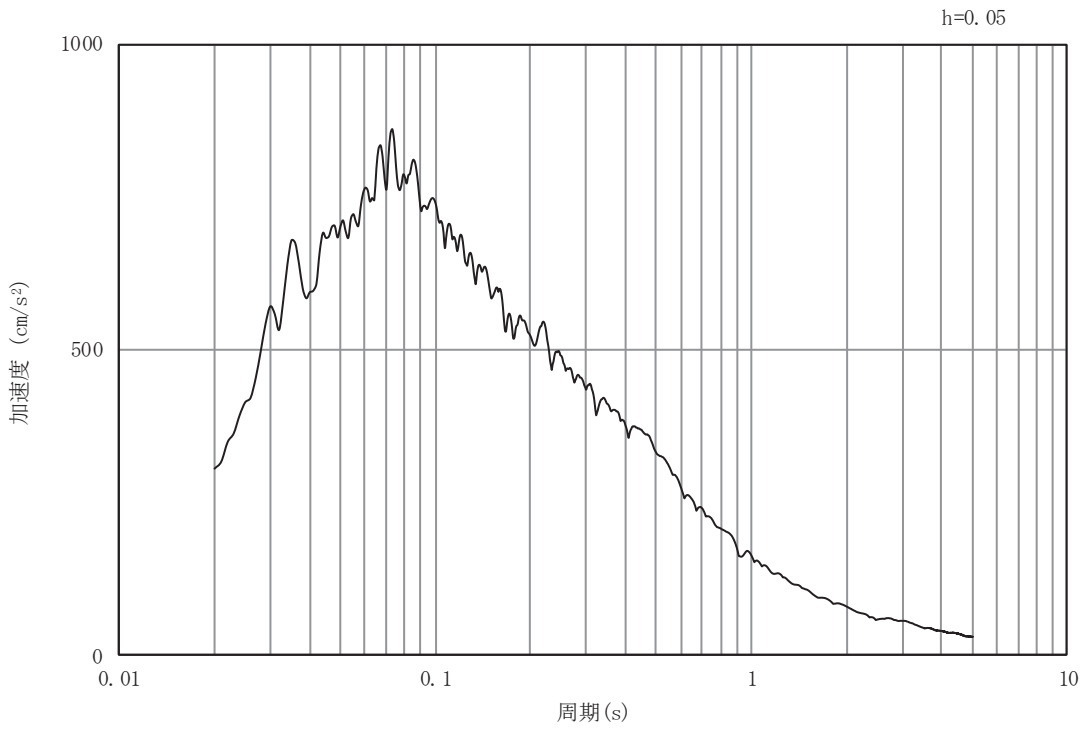


(b) 加速度応答スペクトル

図5-18 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
(水平成分：S d - D 2)

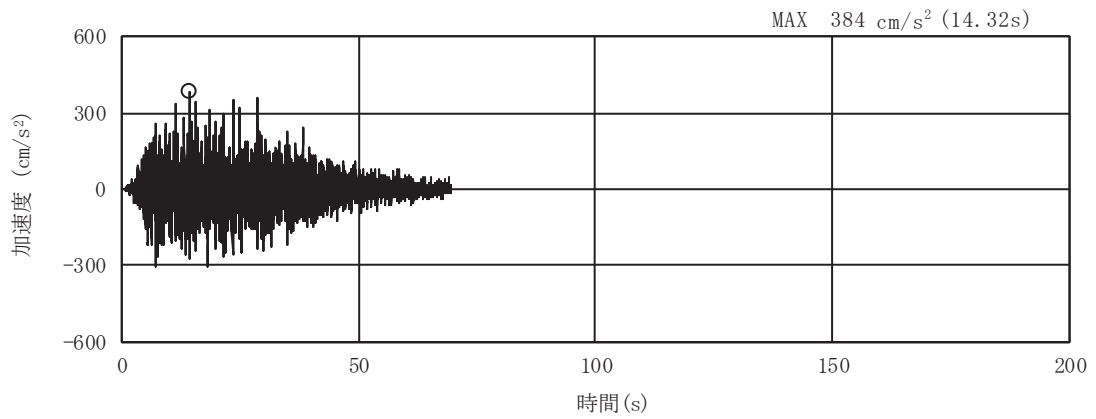


(a) 加速度時刻歴波形

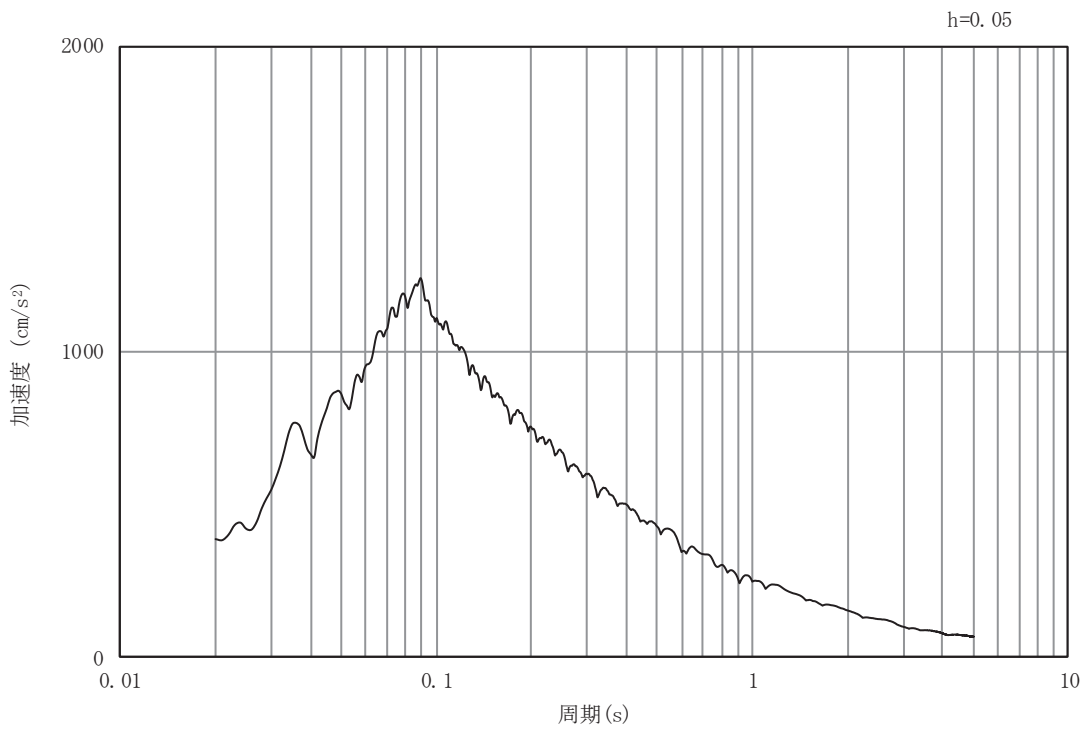


(b) 加速度応答スペクトル

図5-19 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
(鉛直成分：S d - D 2)

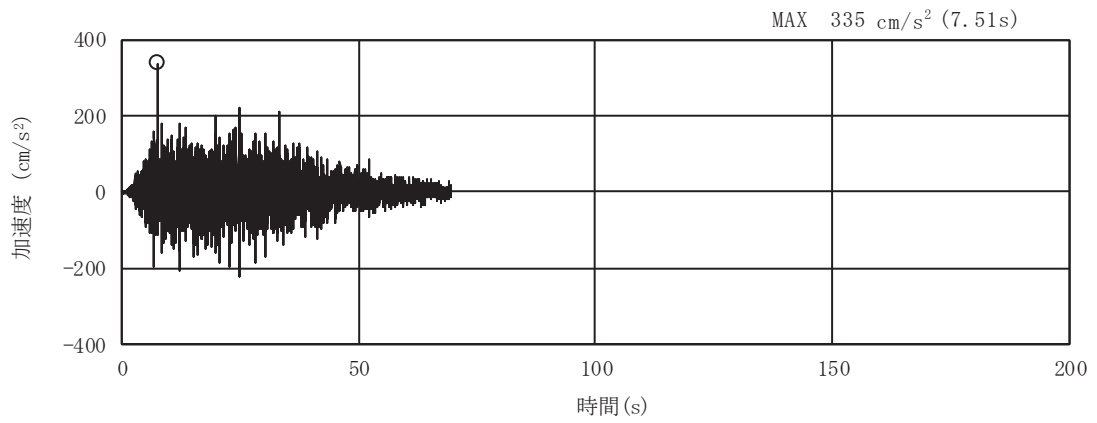


(a) 加速度時刻歴波形

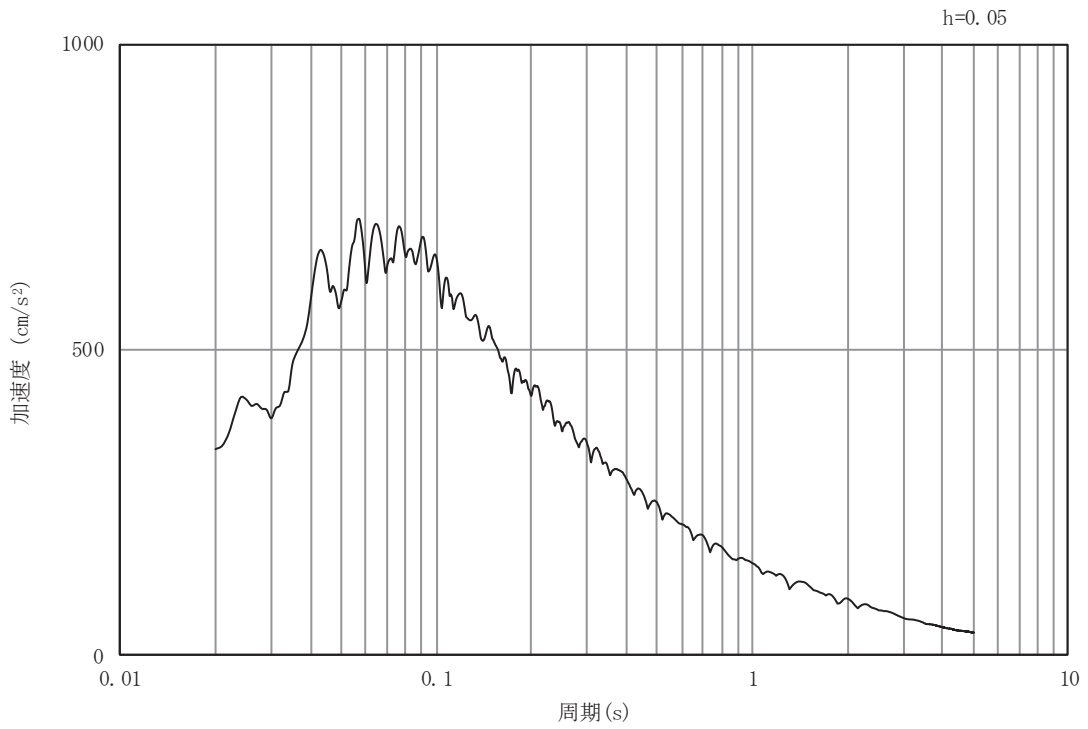


(b) 加速度応答スペクトル

図5-20 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
(水平成分：S d - D 3)

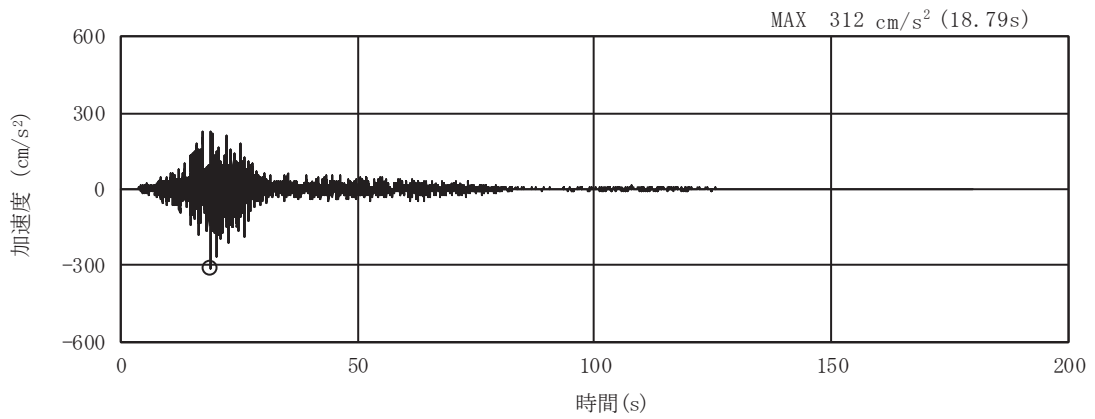


(a) 加速度時刻歴波形

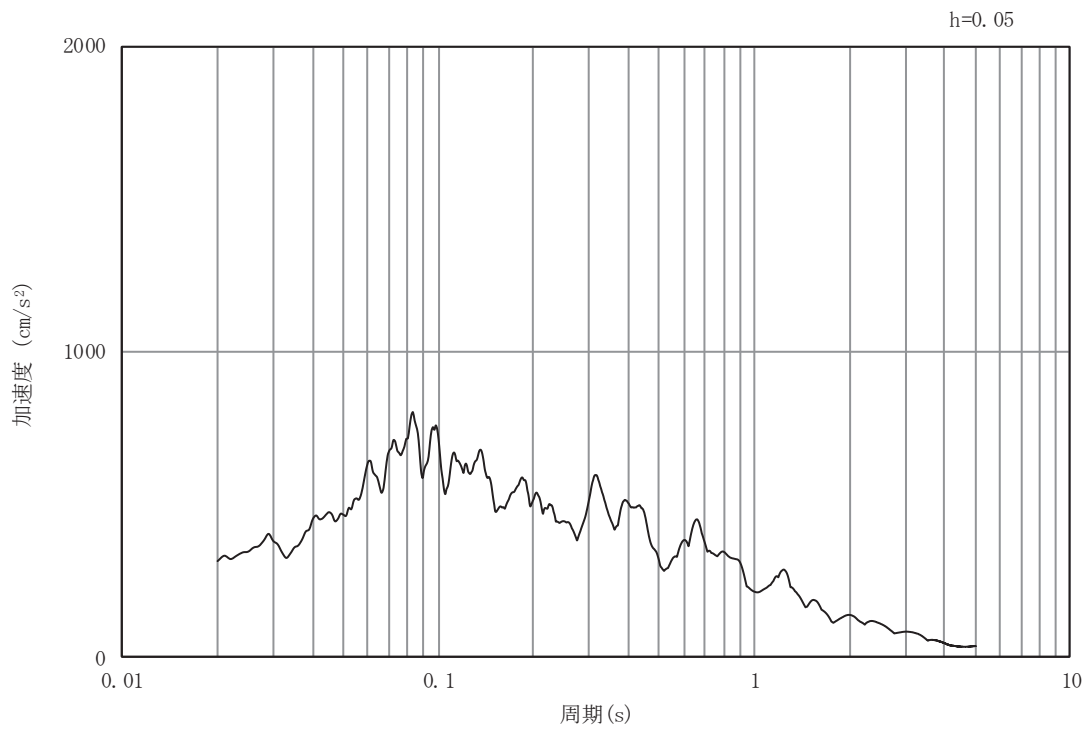


(b) 加速度応答スペクトル

図5-21 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
(鉛直成分：S d - D 3)

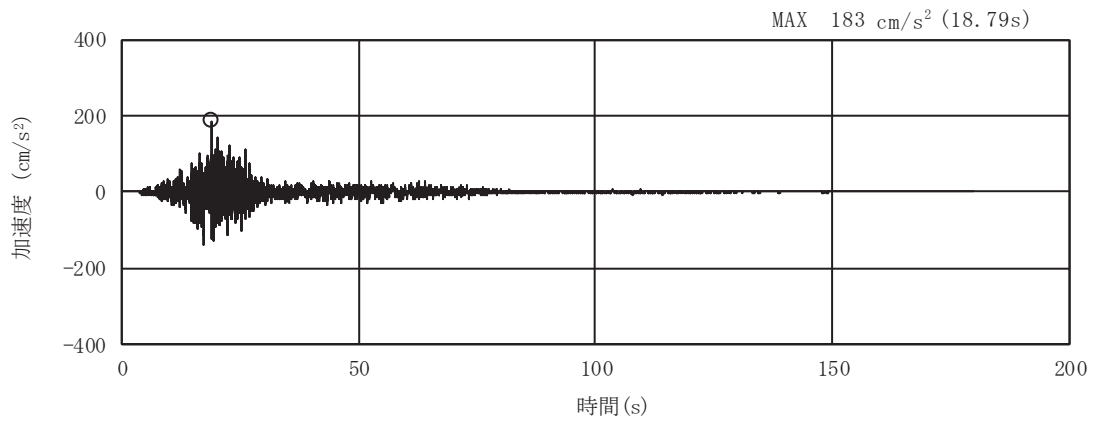


(a) 加速度時刻歴波形

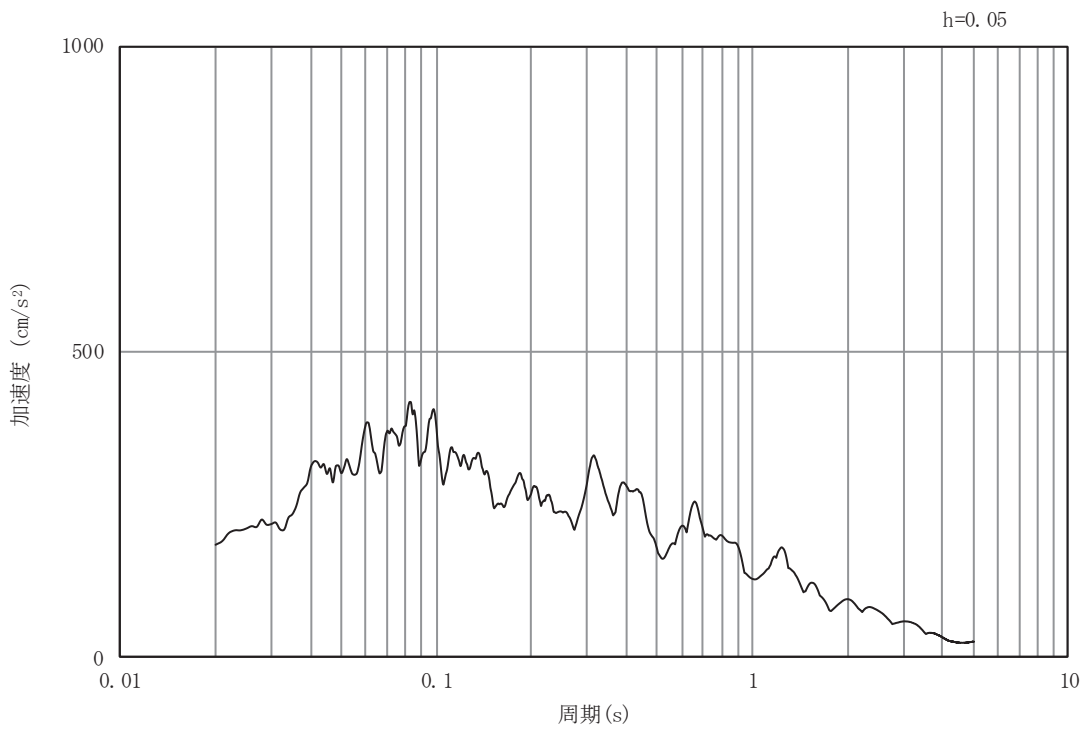


(b) 加速度応答スペクトル

図5-22 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
(水平成分：S d - F 1)

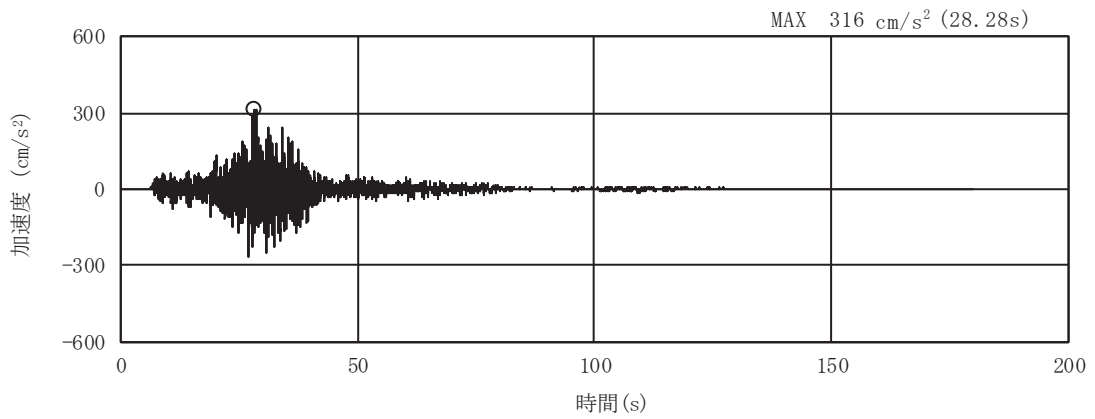


(a) 加速度時刻歴波形

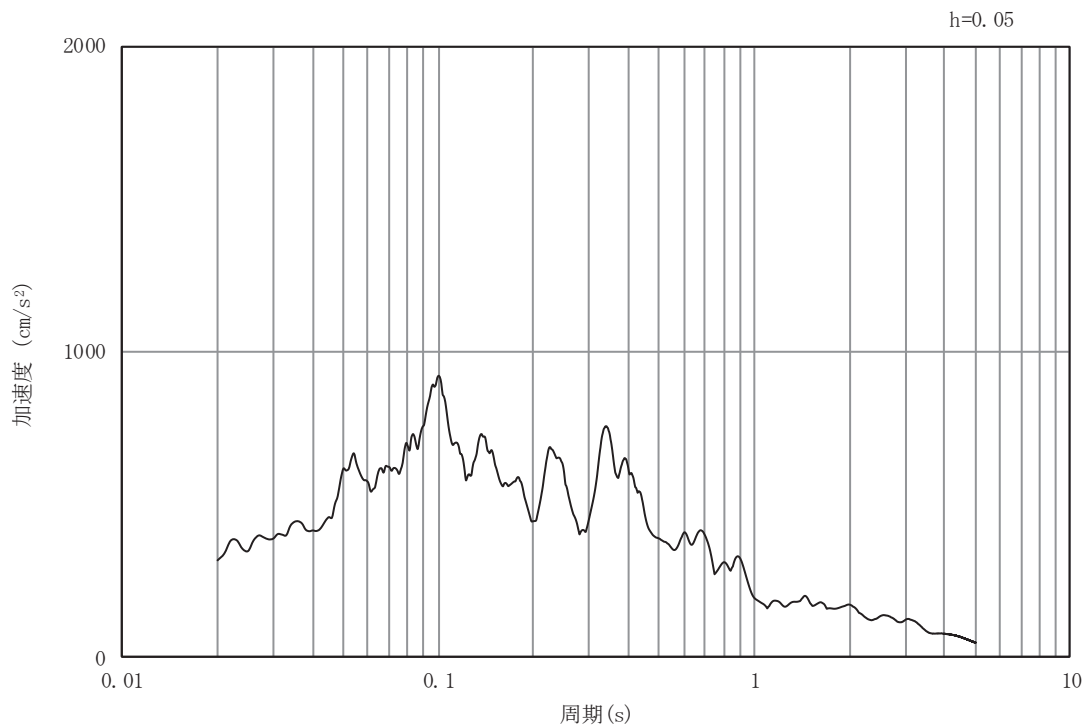


(b) 加速度応答スペクトル

図5-23 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
(鉛直成分：S d - F 1)

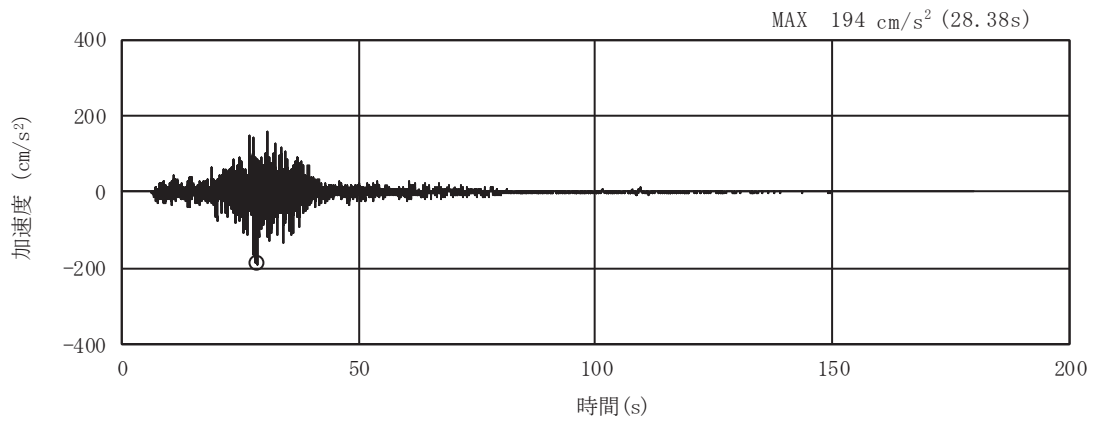


(a) 加速度時刻歴波形

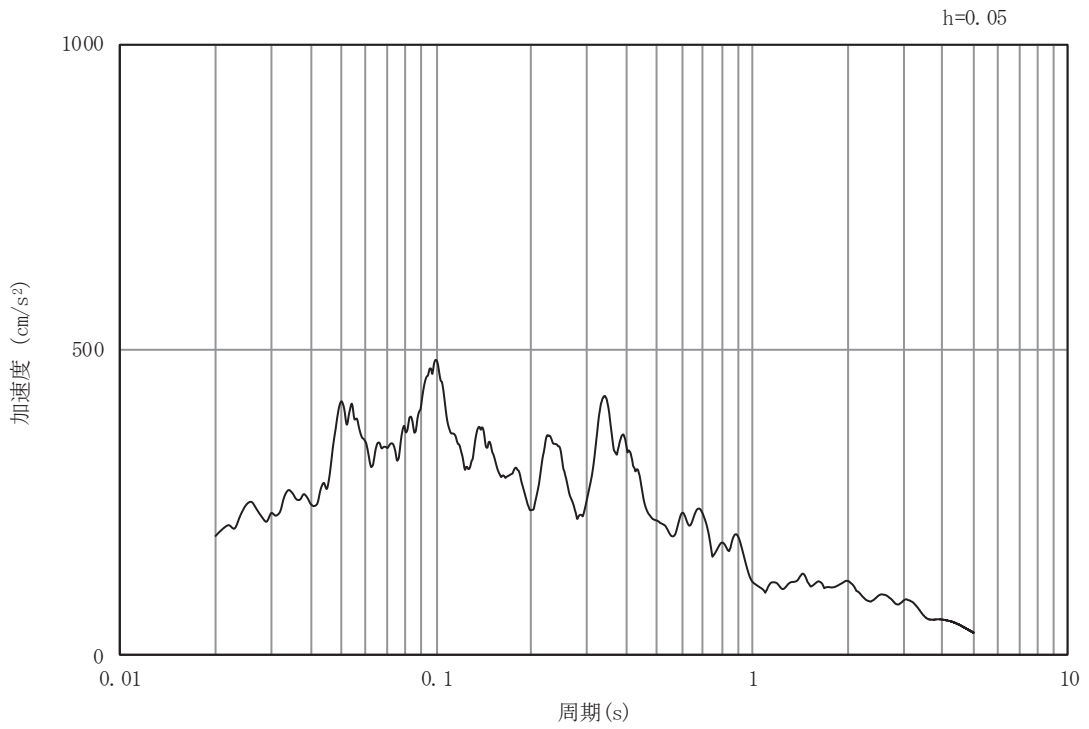


(b) 加速度応答スペクトル

図5-24 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
(水平成分：S d - F 2)

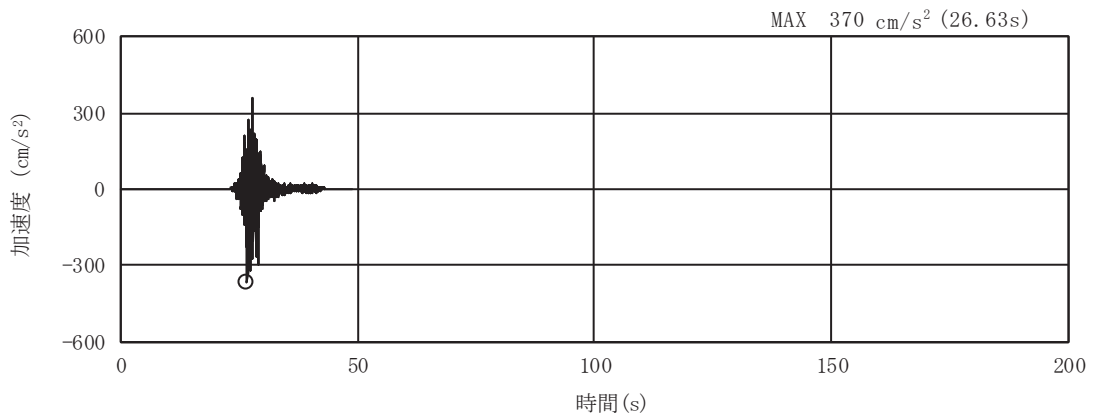


(a) 加速度時刻歴波形

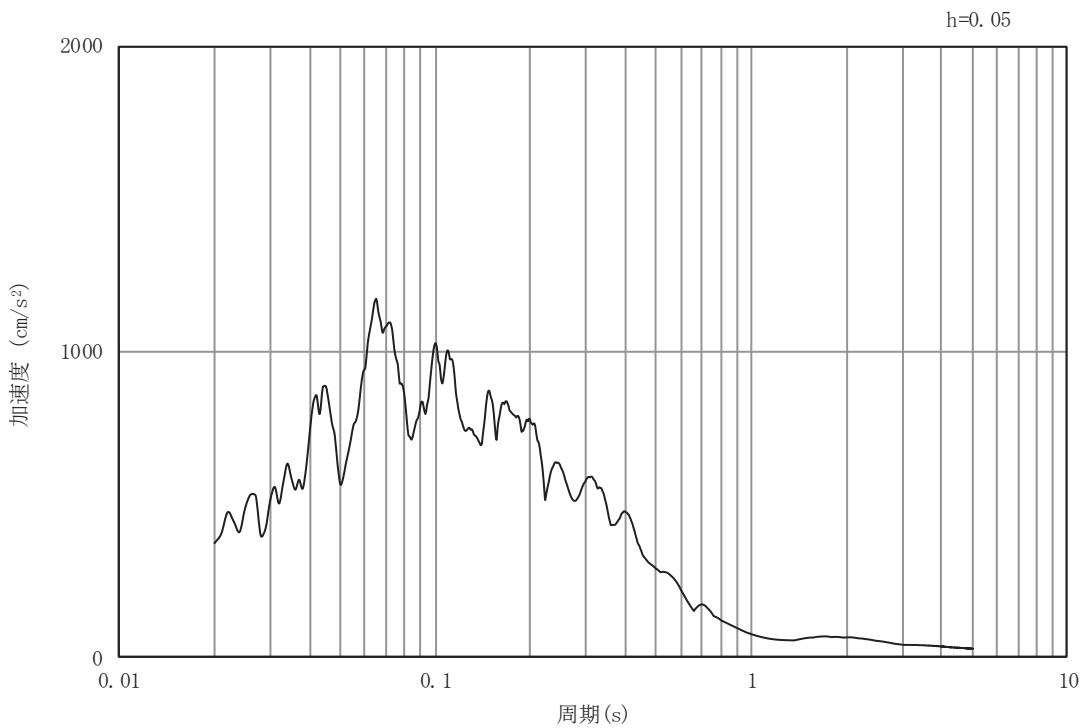


(b) 加速度応答スペクトル

図5-25 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
(鉛直成分：S d - F 2)

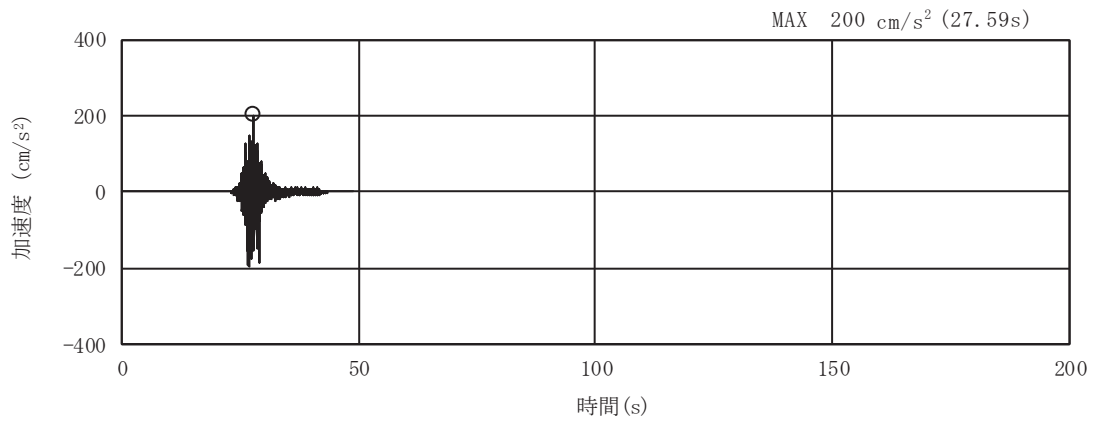


(a) 加速度時刻歴波形

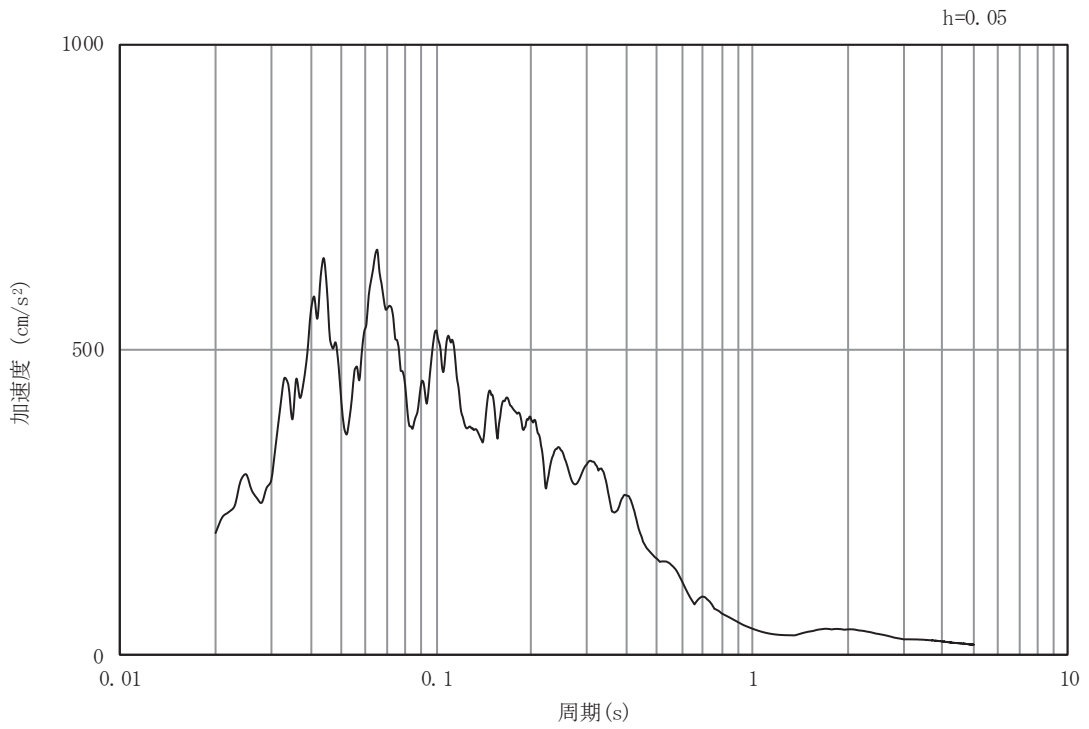


(b) 加速度応答スペクトル

図5-26 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
(水平成分：S d - F 3)

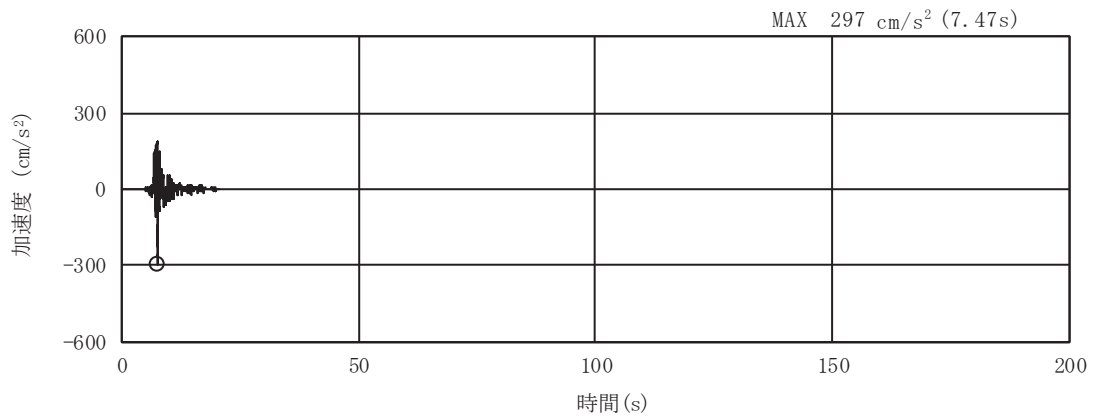


(a) 加速度時刻歴波形

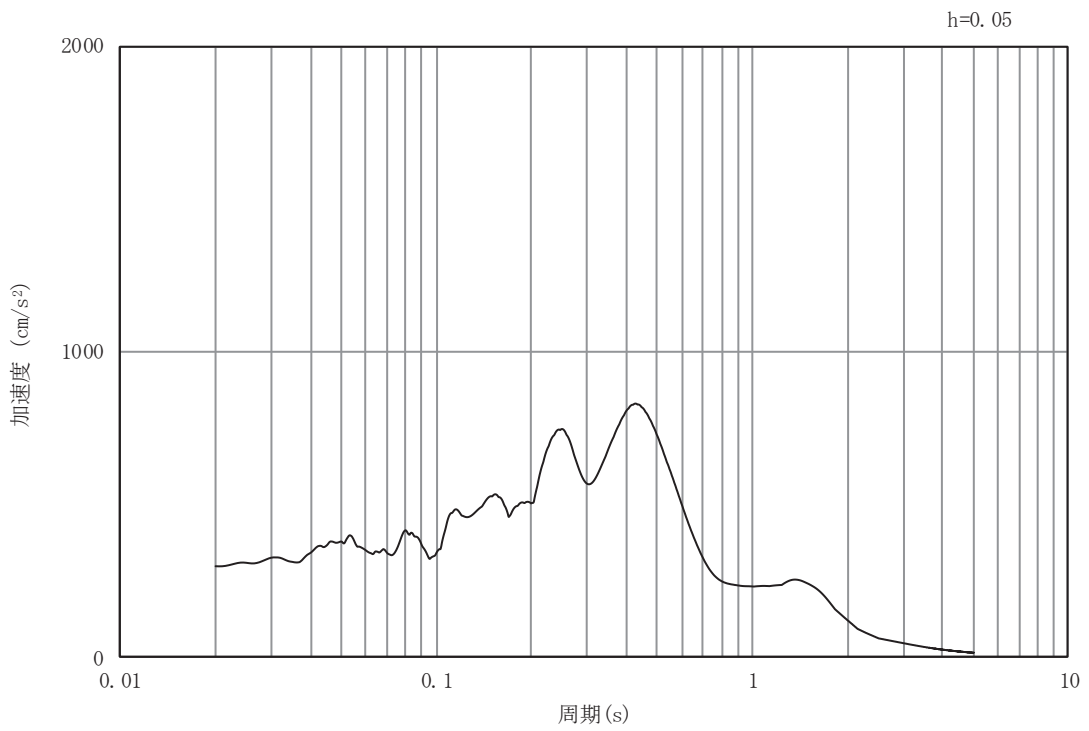


(b) 加速度応答スペクトル

図5-27 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
(鉛直成分：S d - F 3)

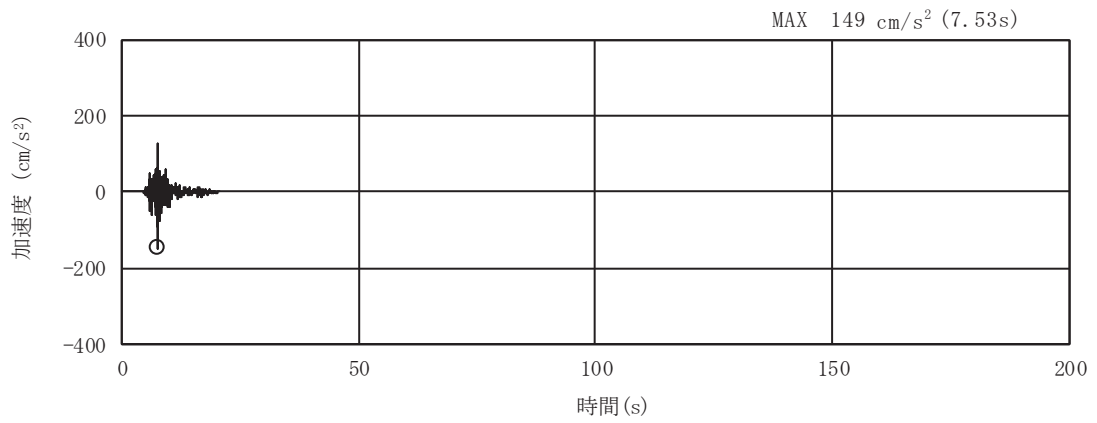


(a) 加速度時刻歴波形

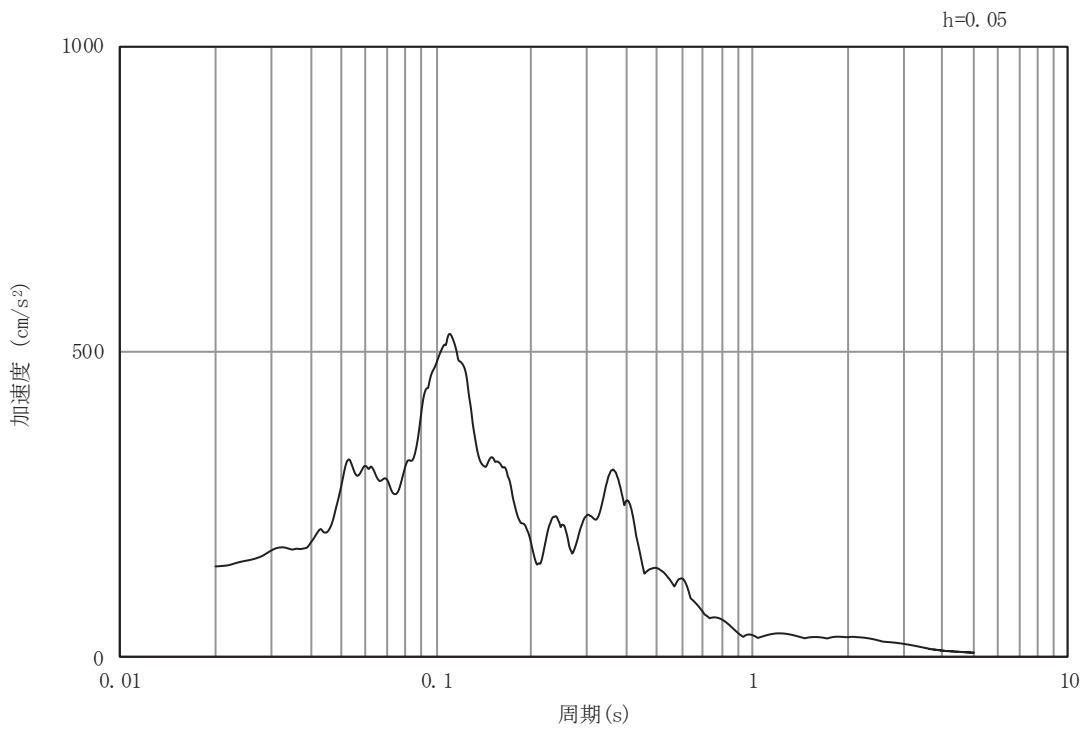


(b) 加速度応答スペクトル

図5-28 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
(水平成分：S d - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図5-29 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
(鉛直成分：S d - N 1)

5.2 許容限界の設定

5.2.1 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並びにSクラスの施設を支持する機能を損なわないこと
の確認における構造部材（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は、
短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表5-1及び表5-2に示す。

なお、頂版、底版及び側壁のアンカー定着部に要求されるSクラスの施設を支持する機
能を損なわないことの確認については、短期許容応力度を許容限界とする。そのため、構
造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を
有することを確認することで、支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表5-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f' _{ck} = 24.0 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	
許容せん断応力度 τ_{al}		0.45	0.675

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

表5-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	
SD390	許容引張応力度 σ_{sa}	206	309

注記*：コンクリート標準示方書により地震時の割り増し係数として1.5を考慮する。

5.2.2 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並びに S クラスの施設を支持する機能を損なわないこと
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、表 5-1
及び表 5-2 に示すコンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力
とする。

$$V_a = V_c + V_s$$

ここに、 V_a : 短期許容せん断力

V_c : コンクリートが分担するせん断耐力

V_s : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_c = \frac{1}{2} \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$$

ここに、 τ_{a1} : コンクリートの短期許容せん断応力度

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

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。

$$V_s = \left\{ A_w \sigma_{sa} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z$$

ここに、 A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

σ_{sa} : 鉄筋の短期許容引張応力度

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

5.2.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤（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。

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 基礎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

(2) MMR（新設）

a. 接地圧に対する許容限界

MMR（新設）に発生する接地圧に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートの支圧強度とする。MMR（新設）の接地圧に対する許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4 MMR（新設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（新設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=21.0\text{N/mm}^2$)	$f'_a=26.5$

b. 健全性に対する許容限界

MMR（新設）に発生するせん断応力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、MMR（新設）のせん断強度 $\tau_f = \tau_0 = f'_{ck}/5$ とする。また、せん断破壊に対する健全性の確認において参照する引張破壊については、コンクリート標準示方書に基づく引張強度を超える引張応力が発生した場合に引張破壊と判定する。

MMR（新設）のせん断破壊及び引張強度を表 5-5 に示す。

表 5-5 MMR（新設）せん断強度及び引張強度

せん断強度*1 (N/mm ²)	引張強度*2 (N/mm ²)
4.20	1.75

注記*1：せん断強度 τ_f は、粘着力 $\tau_0 = f'_{ck}/5$ のみ見込むこととし、

$\sigma \tan \phi$ は考慮しないことで安全側に配慮する。

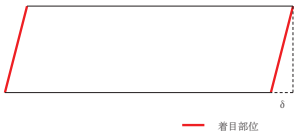
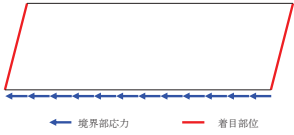

*2：コンクリート標準示方書に基づき設定。

6. 評価結果

6.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として、表 6-1 で設定した照査時刻に対する「各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果」、「作用荷重分布図」及び「最大せん断ひずみ分布」を記載する。

表 6-1 照査時刻の考え方（再掲）

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		頂底板間の層間変位が最大となる時刻
時刻 2	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 3 (時刻 1)	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻

6.1.1 各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果

(1) 頂底板間の層間変位が最大となる時刻（時刻1）

地震応答解析結果のうち、頂底板間の層間変位が最大となる時刻を表6-2に示す。

表6-2 頂底板間の最大層間変位の算定結果

解析ケース	地震動		最大層間変位 (mm)	
			(時刻 (s))	
①	S s - D 1	++	-1.418	(25.36)
		-+	-1.372	(49.11)
	S s - D 2	++	+1.635	(8.58)
		-+	-1.538	(8.58)
	S s - D 3	++	-1.361	(15.58)
		-+	+1.325	(14.42)
	S s - F 1	++	-1.063	(19.49)
		-+	-1.197	(19.56)
	S s - F 2	++	-1.224	(34.00)
		-+	+1.261	(28.50)
	S s - F 3	++	-1.477	(27.70)
		-+	-1.193	(28.59)
	S s - N 1	++	+0.932	(7.64)
		-+	-0.989	(7.51)
②	S s - D 2	++	+1.625	(8.58)
③	S s - D 2	++	+1.641	(8.58)
		-+	-1.567	(8.58)

(2) 総水平荷重が最大となる時刻 (時刻 2)

地震応答解析結果のうち，総水平荷重が最大となる時刻を表 6-3 に示す。

表 6-3 最大総水平荷重の算定結果

解析ケース	地震動		最大総水平荷重 (kN/m)	
			(時刻 (s))	
①	S _s -D 1	++	-1608	(25.36)
		-+	+1513	(40.40)
	S _s -D 2	++	+1453	(8.58)
		-+	+1408	(29.99)
	S _s -D 3	++	-1139	(14.58)
		-+	+1319	(14.57)
	S _s -F 1	++	+1098	(21.23)
		-+	-1237	(20.14)
	S _s -F 2	++	-1193	(34.00)
		-+	+1449	(28.49)
	S _s -F 3	++	-1599	(27.70)
		-+	-1171	(28.59)
	S _s -N 1	++	+1308	(7.50)
		-+	-1105	(7.67)
②	S _s -D 2	++	+1432	(13.52)
③	S _s -D 2	++	+1505	(13.52)
		-+	+1429	(29.99)

(3) 面部材の層間変位が最大となる時刻（時刻3）

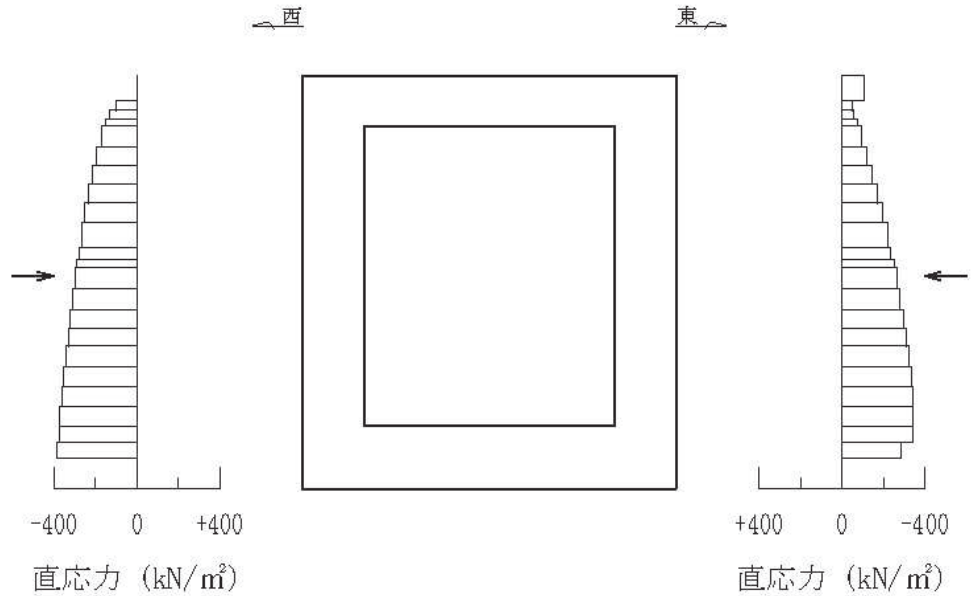
地震応答解析結果のうち、面部材の層間変位が最大となる時刻を表6-4に示す。

表6-4 面部材の最大層間変位の算定結果

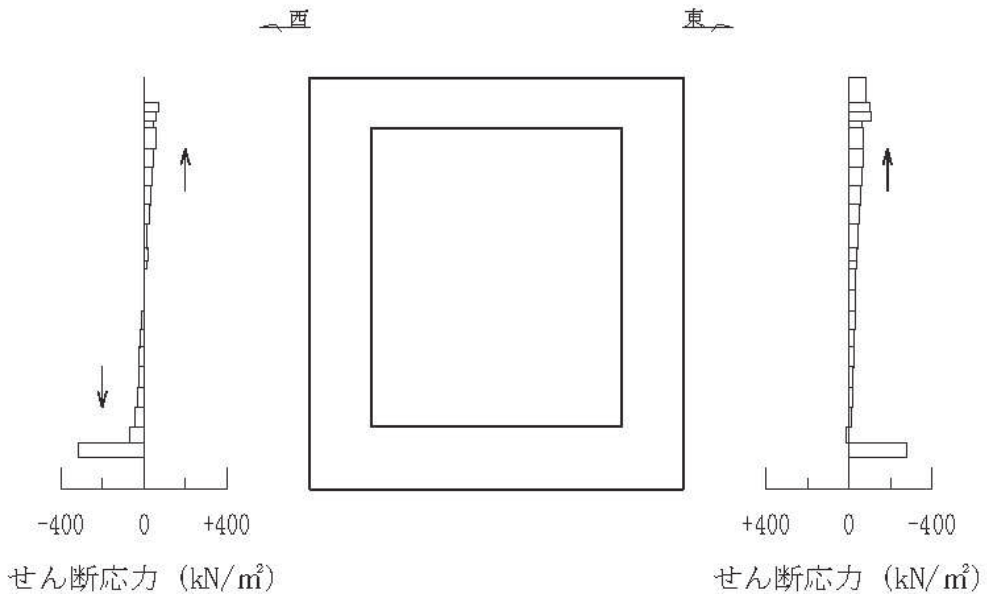
解析ケース	地震動		最大層間変位 (mm)	
			(時刻 (s))	
①	S s - D 1	++	-1.418	(25.36)
		-+	-1.372	(49.11)
	S s - D 2	++	+1.635	(8.58)
		-+	-1.538	(8.58)
	S s - D 3	++	-1.361	(15.58)
		-+	+1.325	(14.42)
	S s - F 1	++	-1.063	(19.49)
		-+	-1.197	(19.56)
	S s - F 2	++	-1.224	(34.00)
		-+	+1.261	(28.50)
	S s - F 3	++	-1.477	(27.70)
		-+	-1.193	(28.59)
	S s - N 1	++	+0.932	(7.64)
		-+	-0.989	(7.51)
②	S s - D 2	++	+1.625	(8.58)
③	S s - D 2	++	+1.641	(8.58)
		-+	-1.567	(8.58)

6.1.2 作用荷重分布図

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のうち、照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図6-1及び図6-2に示す。



直応力



せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図6-1 作用荷重分布図（直応力及びせん断応力）
（解析ケース③， $S_s - D2$ （++）， $t = 8.58$ s）

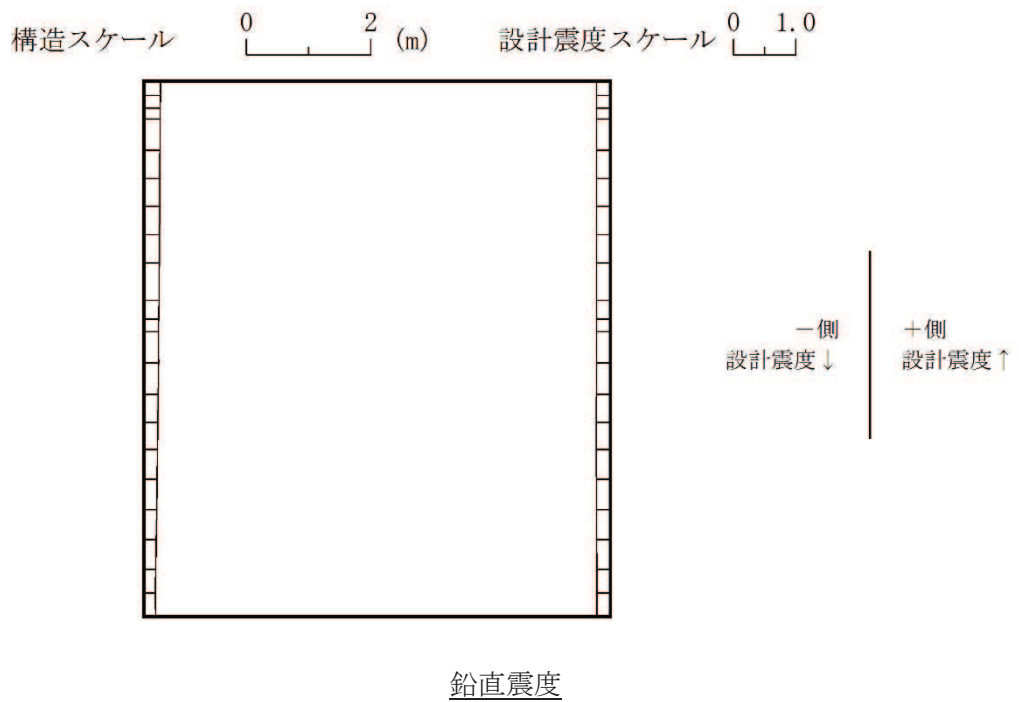
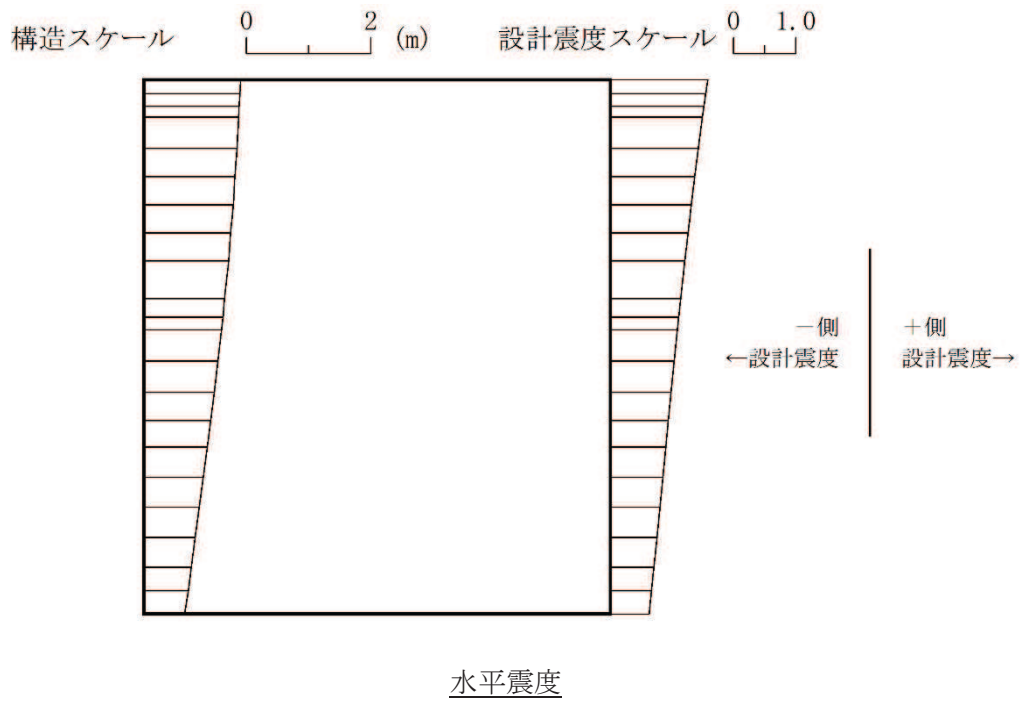


図 6-2 作用荷重分布図（設計震度分布）
 （解析ケース③， $S_s - D 2$ （++）， $t = 8.58$ s）

6.1.3 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解析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。

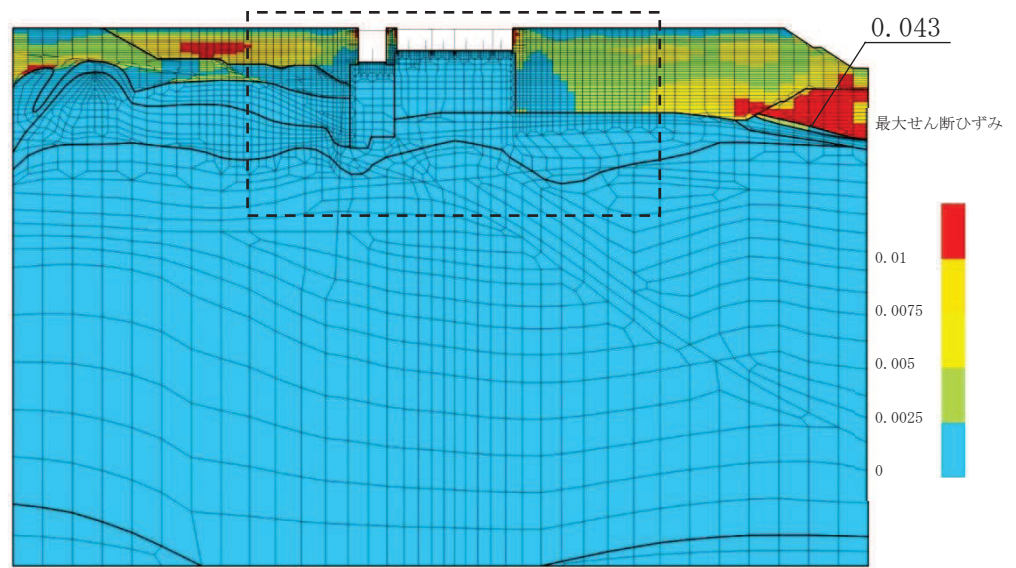
最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 6-5 に、最大せん断ひずみ分布図を図 6-3 に示す。

表 6-5 最大照査値を示す解析ケースの一覧

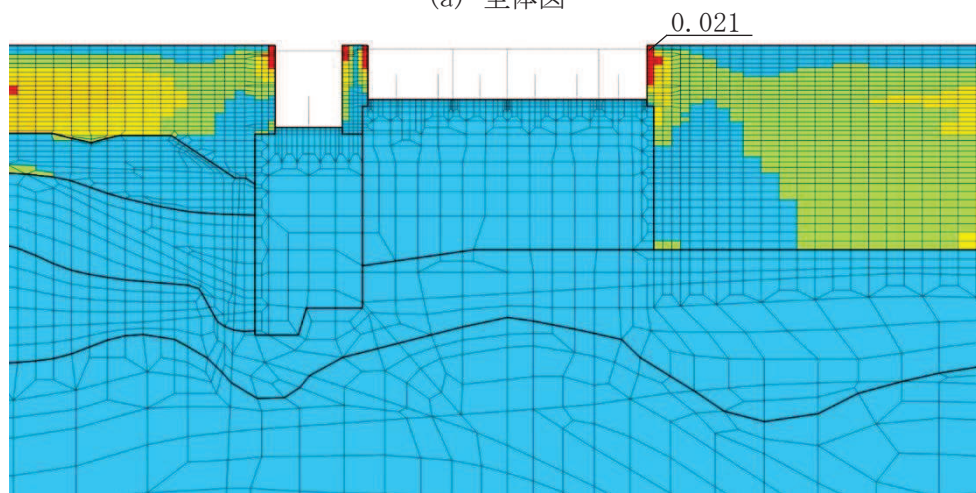
評価項目	
曲げ・軸力系の破壊	せん断破壊
ケース③	ケース③
S _s -D2 (++)	S _s -D2 (++)

注：耐震評価における解析ケース一覧

	ケース①	ケース②	ケース③
解析ケース	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
地盤物性	平均値	平均値+1σ	平均値-1σ
材料物性	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度



(a) 全体図

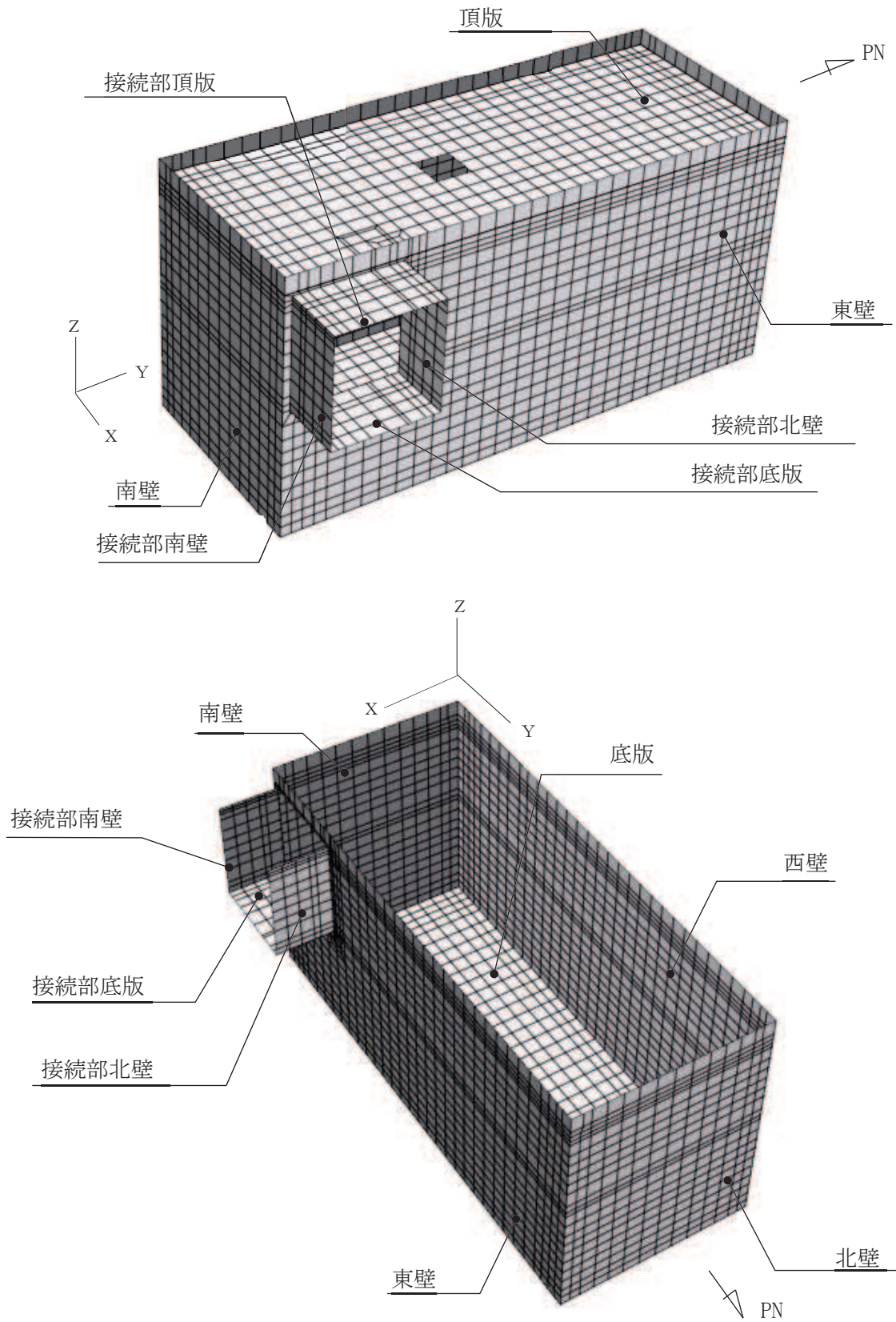


(b) 構造物周辺拡大図

図 6-3 最大せん断ひずみ分布図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)
(解析ケース③, S s - D 2 (++))

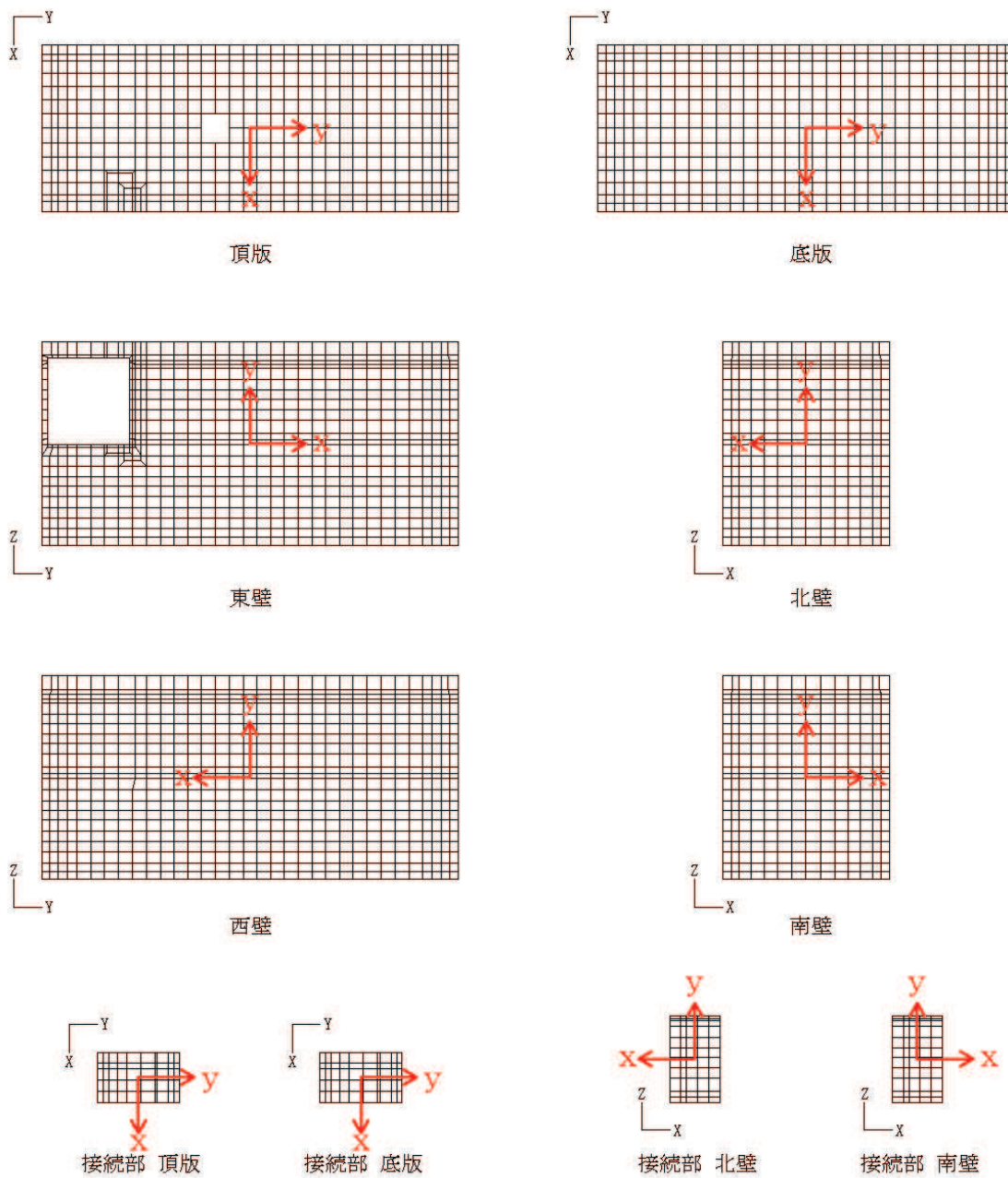
6.2 三次元構造解析結果

三次元構造解析に基づく、各構造部材の構造解析結果を示す。各部材位置を図 6-4 に、各部材の要素座標系を図 6-5 に、シェル要素における各要素の断面力の方向を図 6-6 に示す。



注：頂版は非表示

図 6-4 評価部位の位置



黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 6-5 各部材の要素座標系

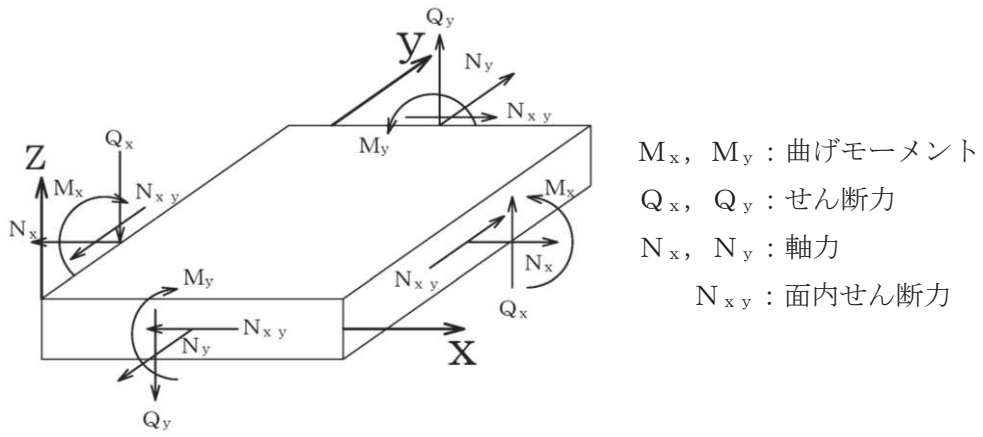


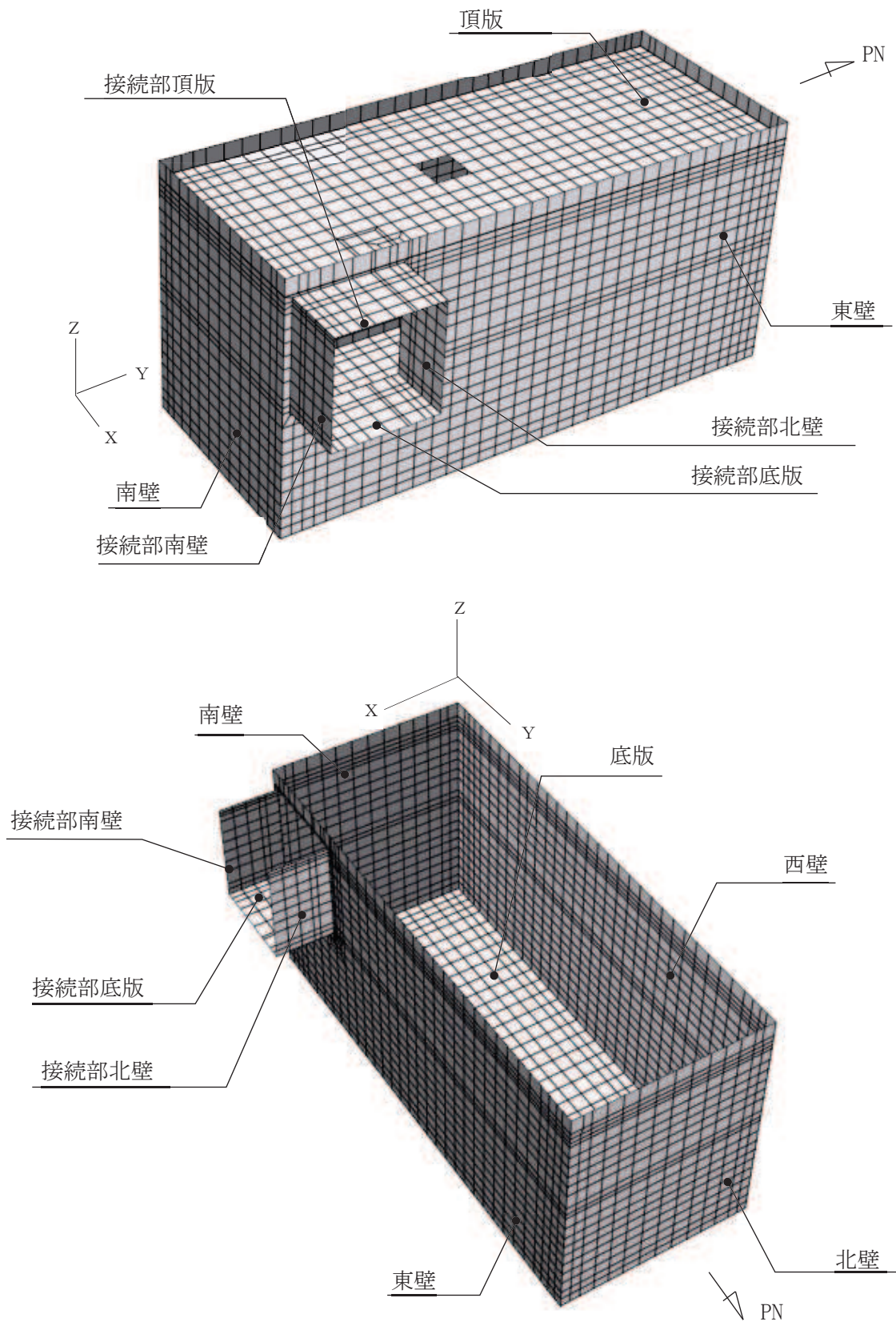
図 6-6 シェル要素における断面力の方向

6.2.1 解析ケースと照査値

耐震評価においては、「資料 1 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、すべての基準地震動 S_s に対して実施するケース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 を超え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及び③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。

以下に軽油タンク（H）の曲げ軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査結果を示す。なお、各部材位置を図 6-7 に示す。



注：頂版は非表示

図 6-7 各部材位置 (再掲)

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

表 6-6 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。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、短期許容応力度を許容限界とする。なお、詳細については、「6.3.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果」に示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査値は、照査値が 0.5 を超える評価結果に対し、ばらつきを考慮しても、保守的な許容限界である短期許容応力度に対して 0.67 であり、要求性能を満足していると評価できる。

表 6-6(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値 (底版) *

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
S _s -D 1	++	0.41		
	-+	0.49		
S _s -D 2	++	0.60	0.59	0.63
	-+	0.48		
S _s -D 3	++	0.42		
	-+	0.49		
S _s -F 1	++	0.41		
	-+	0.40		
S _s -F 2	++	0.35		
	-+	0.58		
S _s -F 3	++	0.45		
	-+	0.38		
S _s -N 1	++	0.49		
	-+	0.27		

注記* : 部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-6(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（頂版）*

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
S _s -D 1	++	0.21		
	-+	0.41		
S _s -D 2	++	0.55	0.54	0.55
	-+	0.44		
S _s -D 3	++	0.23		
	-+	0.42		
S _s -F 1	++	0.35		
	-+	0.22		
S _s -F 2	++	0.21		
	-+	0.48		
S _s -F 3	++	0.24		
	-+	0.21		
S _s -N 1	++	0.40		
	-+	0.22		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-6(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（南北壁）*

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
S _s -D 1	++	0.21		
	-+	0.45		
S _s -D 2	++	0.63	0.62	0.65
	-+	0.53		
S _s -D 3	++	0.21		
	-+	0.46		
S _s -F 1	++	0.34		
	-+	0.22		
S _s -F 2	++	0.21		
	-+	0.57		
S _s -F 3	++	0.23		
	-+	0.20		
S _s -N 1	++	0.42		
	-+	0.20		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-6(4) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（東西壁）*¹

地震動		解析ケース			曲げ・軸力系の破壊に対する照査* ²		
		①	②	③			
S s - D 1	++	0.25					
	-+	0.51					
S s - D 2	++	0.67	0.66	0.67			
	-+	0.52					
S s - D 3	++	0.26					
	-+	0.51					
S s - F 1	++	0.41					
	-+	0.27					
S s - F 2	++	0.26					
	-+	0.59					
S s - F 3	++	0.29					
	-+	0.25					
S s - N 1	++	0.48					
	-+	0.25					

注記*1：部材位置を図 6-7 に示す。

*2：赤枠は、前述図 3-26 のフローに基づき、解析ケース②及び③を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 6-6(5) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 底版）*

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			
S s - D 1	++	0.14					
	-+	0.42					
S s - D 2	++	0.58	0.57	0.59			
	-+	0.44					
S s - D 3	++	0.16					
	-+	0.43					
S s - F 1	++	0.36					
	-+	0.16					
S s - F 2	++	0.16					
	-+	0.51					
S s - F 3	++	0.18					
	-+	0.15					
S s - N 1	++	0.41					
	-+	0.15					

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-6(6) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 頂版）*

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
S _s -D 1	++	0.13		
	-+	0.39		
S _s -D 2	++	0.55	0.54	0.55
	-+	0.42		
S _s -D 3	++	0.14		
	-+	0.40		
S _s -F 1	++	0.33		
	-+	0.14		
S _s -F 2	++	0.14		
	-+	0.48		
S _s -F 3	++	0.15		
	-+	0.14		
S _s -N 1	++	0.38		
	-+	0.13		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-6(7) 曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 南北壁）*

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
S _s -D 1	++	0.23		
	-+	0.28		
S _s -D 2	++	0.41	0.41	0.42
	-+	0.33		
S _s -D 3	++	0.29		
	-+	0.31		
S _s -F 1	++	0.24		
	-+	0.29		
S _s -F 2	++	0.27		
	-+	0.37		
S _s -F 3	++	0.30		
	-+	0.27		
S _s -N 1	++	0.28		
	-+	0.25		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

(2) せん断破壊に対する照査

表 6-7 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。

せん断破壊に対する許容限界は、短期許容せん断力とする。なお、詳細については、「6.3.2 せん断破壊に対する評価結果」に示す。

せん断破壊に対する照査値は、照査値が 0.5 を超える評価結果に対し、ばらつきを考慮しても、保守的な許容限界である短期許容せん断力に対して 0.57 であり、要求性能を満足していると評価できる。

表 6-7(1) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（底版）*1

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査*2		
		①	②	③
S s - D 1	++	0.37		
	-+	0.39		
S s - D 2	++	0.56	0.56	0.57
	-+	0.53		0.54
S s - D 3	++	0.40		
	-+	0.46		
S s - F 1	++	0.29		
	-+	0.32		
S s - F 2	++	0.28		
	-+	0.47		
S s - F 3	++	0.39		
	-+	0.32		
S s - N 1	++	0.35		
	-+	0.23		

注記*1：部材位置を図 6-7 に示す。

*2：赤枠は、前述図 3-26 のフローに基づき、解析ケース②及び③を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 6-7(2) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（頂版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.16		
	-+	0.28		
S _s -D 2	++	0.36	0.35	0.36
	-+	0.28		
S _s -D 3	++	0.17		
	-+	0.28		
S _s -F 1	++	0.24		
	-+	0.16		
S _s -F 2	++	0.15		
	-+	0.31		
S _s -F 3	++	0.18		
	-+	0.16		
S _s -N 1	++	0.27		
	-+	0.15		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-7(3) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（南北壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.08		
	-+	0.21		
S _s -D 2	++	0.27	0.27	0.27
	-+	0.23		
S _s -D 3	++	0.09		
	-+	0.22		
S _s -F 1	++	0.18		
	-+	0.09		
S _s -F 2	++	0.09		
	-+	0.24		
S _s -F 3	++	0.10		
	-+	0.09		
S _s -N 1	++	0.20		
	-+	0.09		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-7(4) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（東西壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.14		
	-+	0.43		
S _s -D 2	++	0.51	0.49	0.52
	-+	0.38		
S _s -D 3	++	0.14		
	-+	0.42		
S _s -F 1	++	0.35		
	-+	0.14		
S _s -F 2	++	0.15		
	-+	0.46		
S _s -F 3	++	0.16		
	-+	0.13		
S _s -N 1	++	0.41		
	-+	0.16		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-7(5) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 底版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.17		
	-+	0.32		
S _s -D 2	++	0.40	0.40	0.40
	-+	0.33		
S _s -D 3	++	0.18		
	-+	0.31		
S _s -F 1	++	0.25		
	-+	0.17		
S _s -F 2	++	0.18		
	-+	0.36		
S _s -F 3	++	0.19		
	-+	0.17		
S _s -N 1	++	0.30		
	-+	0.17		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-7(6) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 頂版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.15		
	-+	0.24		
S _s -D 2	++	0.31	0.31	0.31
	-+	0.27		
S _s -D 3	++	0.16		
	-+	0.24		
S _s -F 1	++	0.19		
	-+	0.16		
S _s -F 2	++	0.16		
	-+	0.28		
S _s -F 3	++	0.17		
	-+	0.15		
S _s -N 1	++	0.22		
	-+	0.15		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

表 6-7(7) せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値（接続部 南北壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.18		
	-+	0.32		
S _s -D 2	++	0.42	0.41	0.42
	-+	0.35		
S _s -D 3	++	0.21		
	-+	0.33		
S _s -F 1	++	0.28		
	-+	0.20		
S _s -F 2	++	0.20		
	-+	0.37		
S _s -F 3	++	0.21		
	-+	0.19		
S _s -N 1	++	0.31		
	-+	0.19		

注記*：部材位置を図 6-7 に示す。

(3) 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 6-8 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。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界は、極限支持力及び支圧強度とする。なお、詳細については、「6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果」に示す。

基礎地盤の支持性能に対する照査は、ばらつきを考慮しても極限支持力に基づく許容限界に対して 0.5 未満であり、要求性能を満足していると評価できる。

表 6-8 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

地震動		基礎地盤の支持性能に対する照査*		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.15		
	-+	0.14		
S _s -D 2	++	0.15	0.15	0.15
	-+	0.15		
S _s -D 3	++	0.14		
	-+	0.12		
S _s -F 1	++	0.12		
	-+	0.11		
S _s -F 2	++	0.14		
	-+	0.12		
S _s -F 3	++	0.13		
	-+	0.12		
S _s -N 1	++	0.11		
	-+	0.12		

注記*：基礎地盤（狐崎部層）に対する評価結果と MMR（新設）に対する評価結果（接地圧）の厳しい方を記載。

6.2.2 構造部材の断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の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 6-9 及び表 6-10 に示す。また、最大照査値となる評価時刻での断面力分布図を図 6-8～図 6-12 に示す。

表 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（コンクリート）

評価位置*		解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c/σ'_{ca}
底版	10	③	S s - D 2 (++)	2418	-2080	8.4	13.5	0.63
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	-1335	-1154	7.3	13.5	0.55
南北壁	30	③	S s - D 2 (++)	-1170	-3031	4.3	13.5	0.32
東西壁	60	③	S s - D 2 (++)	-1783	-2476	6.2	13.5	0.46
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	415	56	4.0	13.5	0.30
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	-301	270	3.0	13.5	0.23
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	-436	-2291	4.4	13.5	0.33

注記*：評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（鉄筋）

評価位置*		解析ケース	地震動	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s/σ_{sa}
底版	10	③	S s - D 2 (++)	636	1978	161	309	0.53
頂版	20	③	S s - D 2 (++)	-1254	-721	120	309	0.39
南北壁	40	③	S s - D 2 (++)	753	2538	200	309	0.65
東西壁	60	③	S s - D 2 (++)	336	3509	207	309	0.67
接続部 底版	70	③	S s - D 2 (++)	-376	864	181	309	0.59
接続部 頂版	80	③	S s - D 2 (++)	287	901	169	309	0.55
接続部 南北壁	90	③	S s - D 2 (++)	235	636	128	309	0.42

注記*：評価位置を図 6-13 に示す。

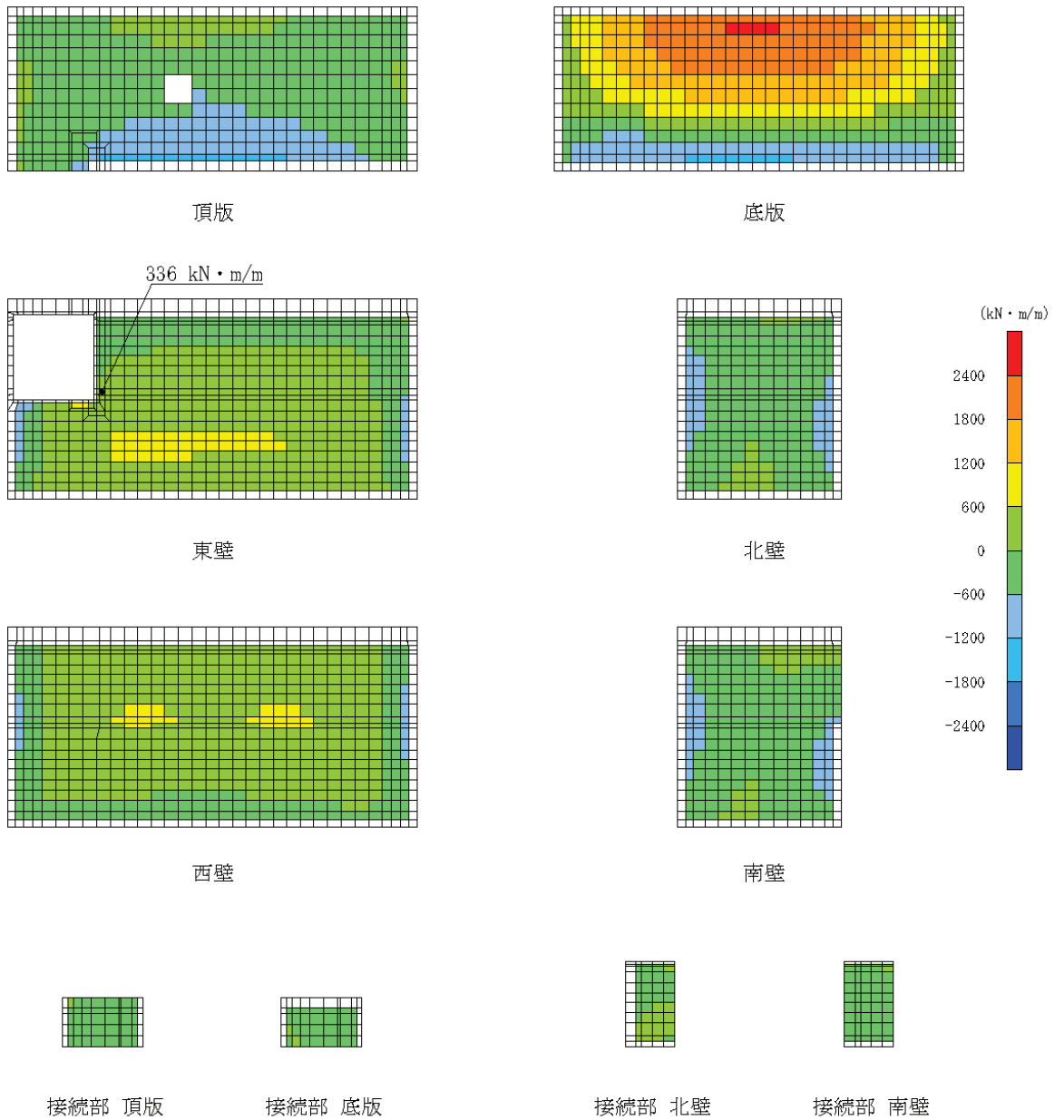


図 6-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++) , $t = 8.58$ s)

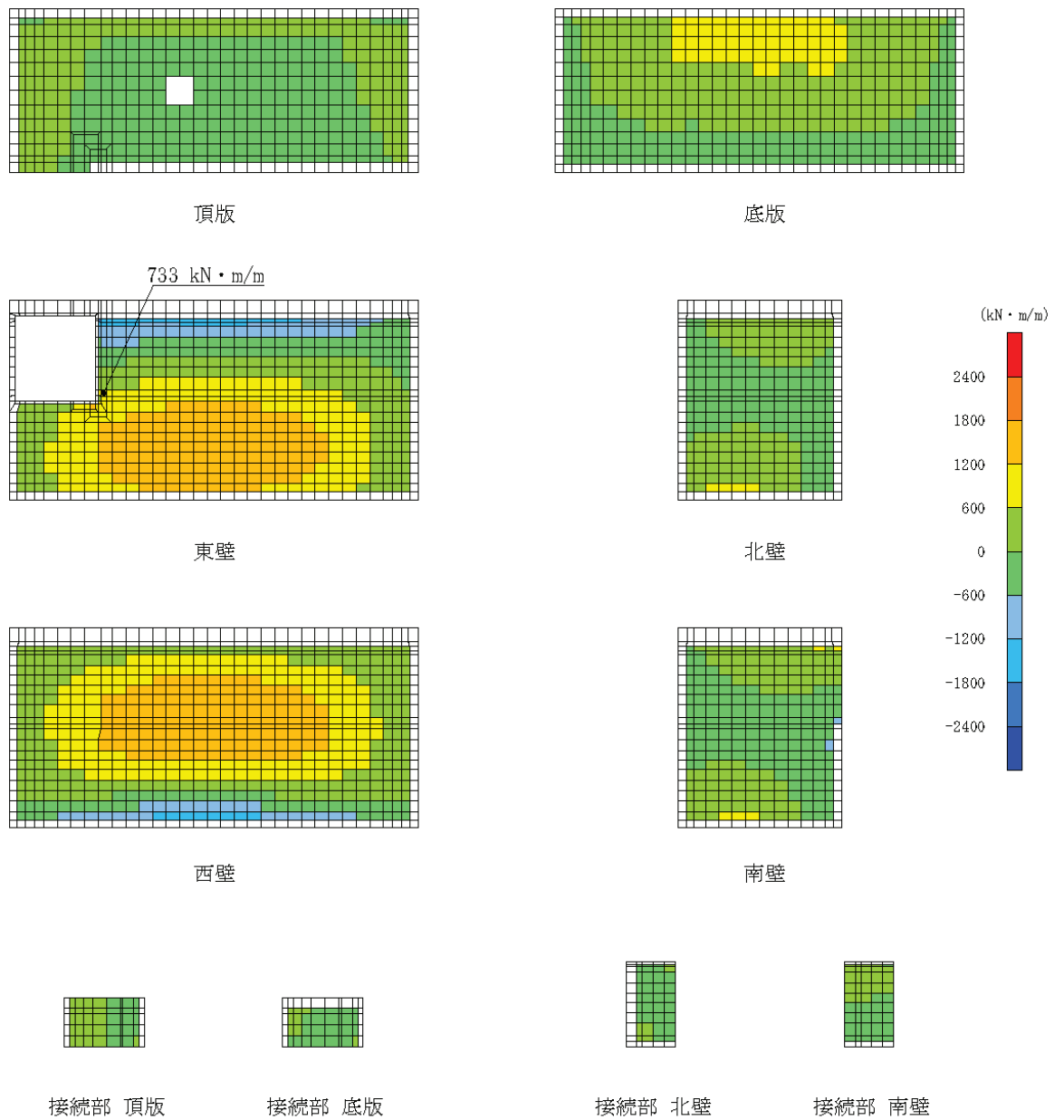


図 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : M_y)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++) , $t = 8.58$ s)

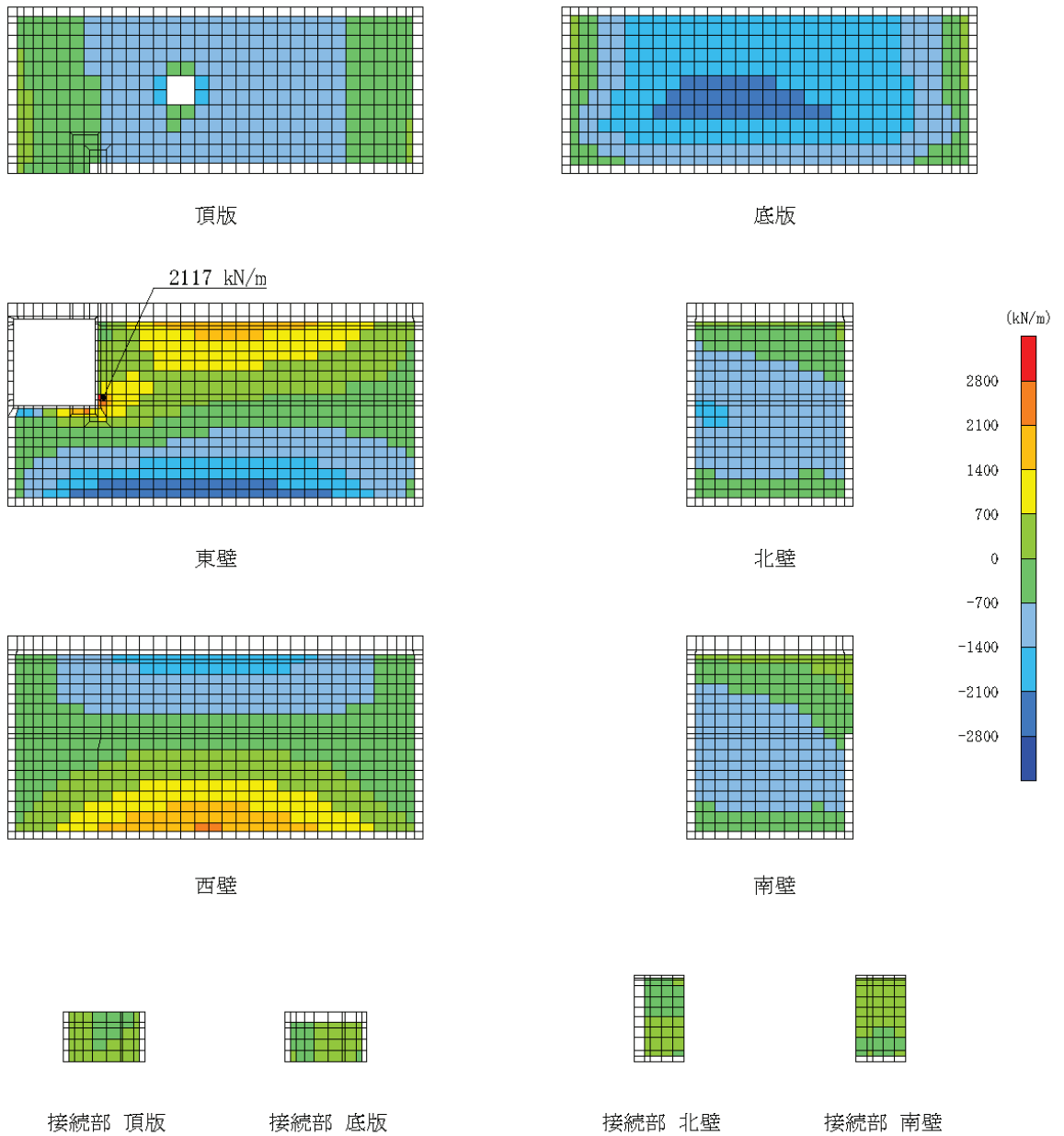


図 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++) , $t = 8.58$ s)

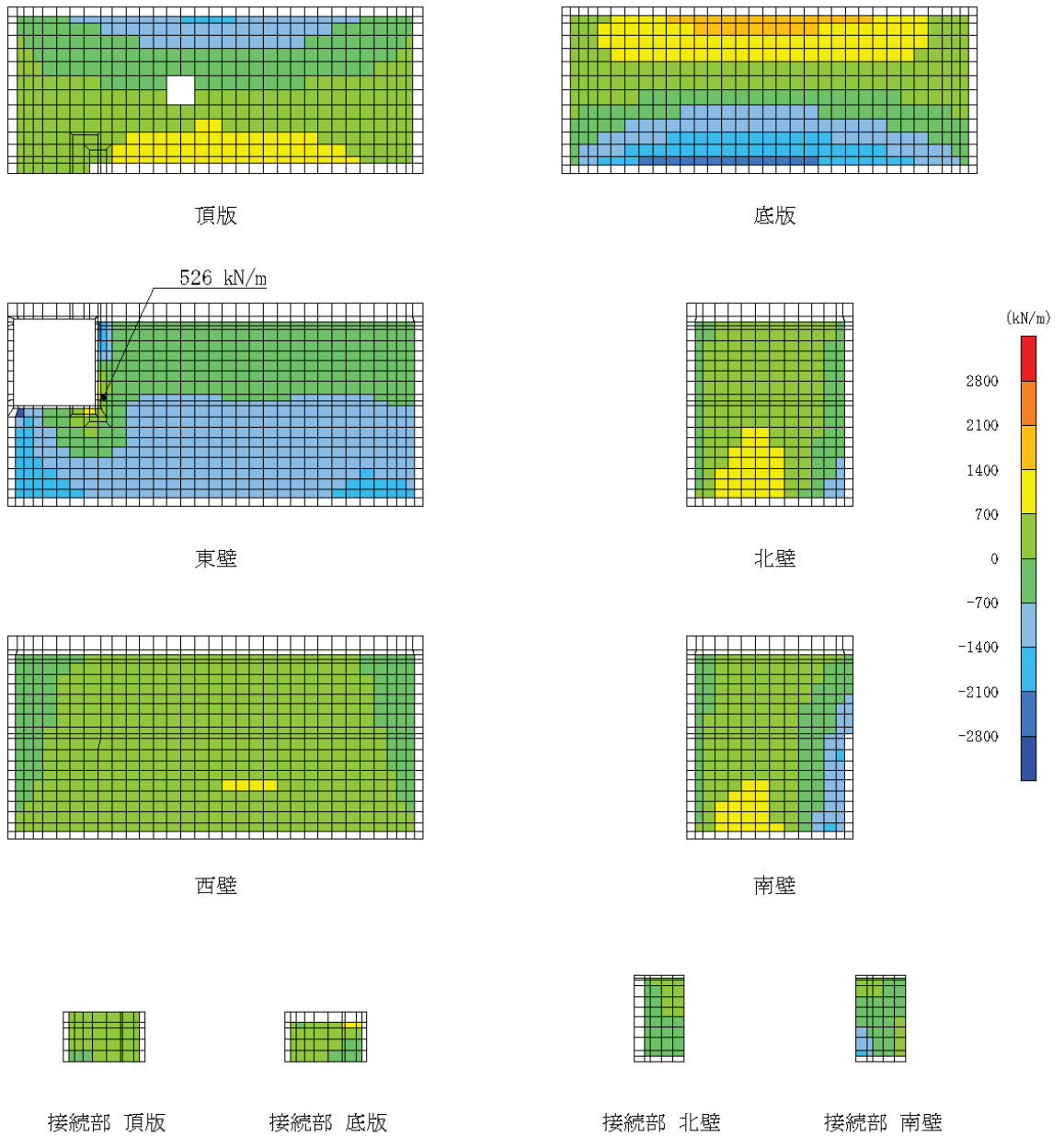


図 6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_y)
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D 2$ (++) , $t = 8.58$ s)

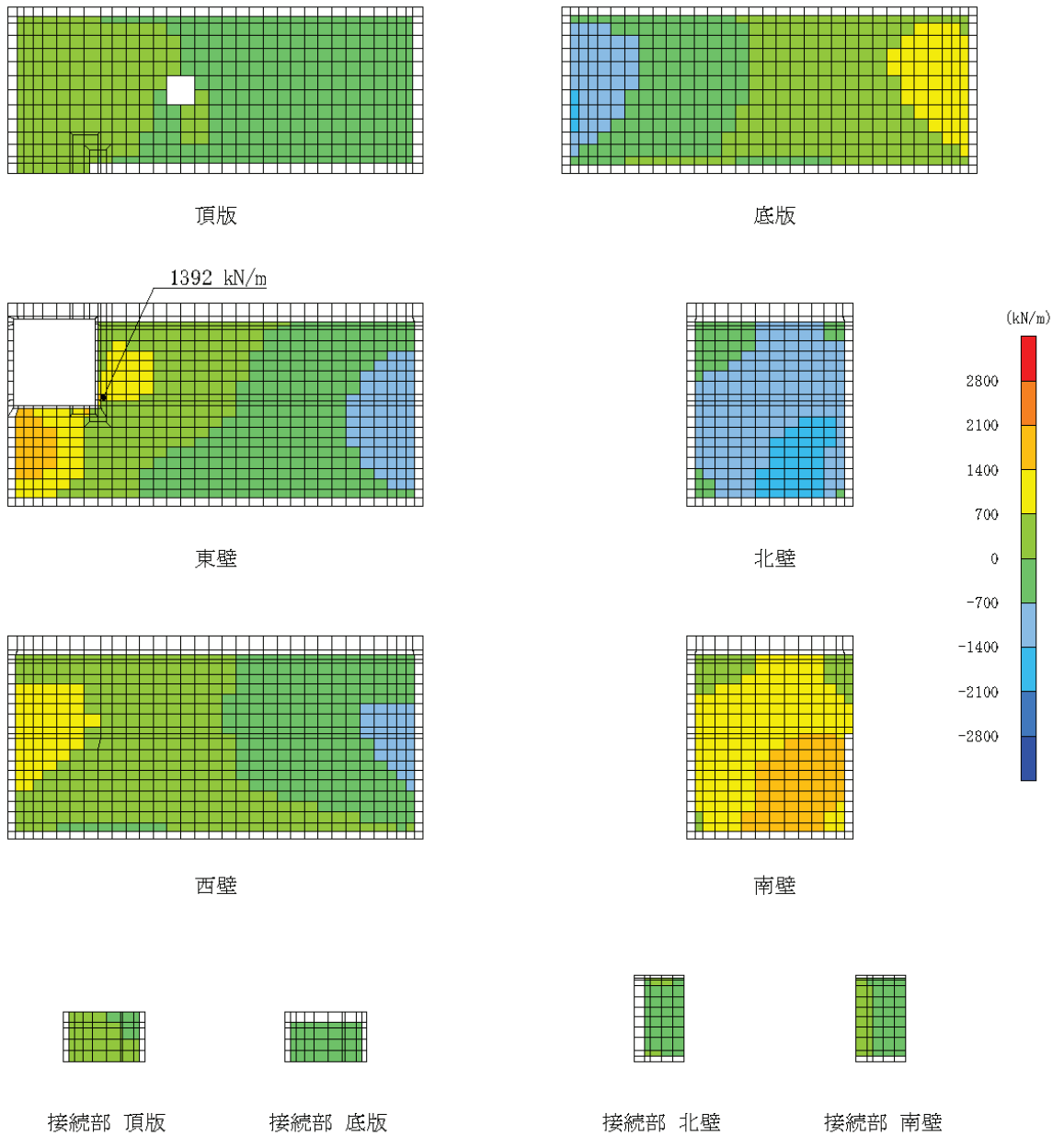


図 6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})
 (東壁, 解析ケース③, $S_s - D_2$ (++) , $t = 8.58$ s)

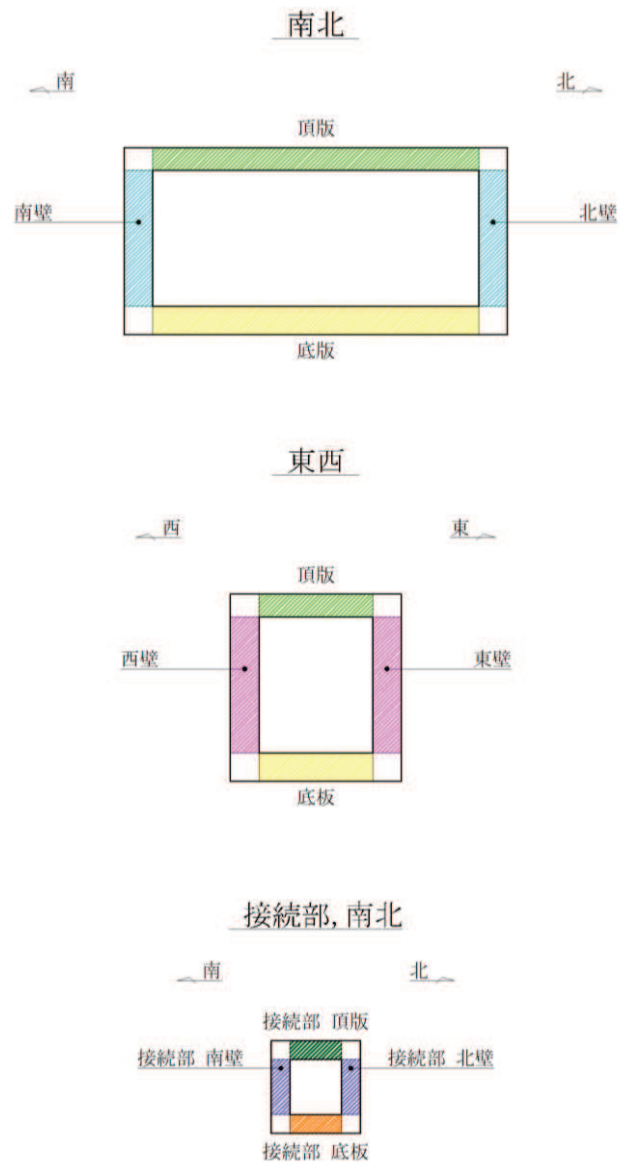


图 6-13 評価位置図

6.2.3 構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）

鉄筋コンクリート部材の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6-11に示す。また、最大照査値となる評価時刻での断面力分布図を図6-14及び図6-15に示す。

表6-11 せん断破壊に対する照査

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	10	③	S _s -D2(++)	1341	2390	0.57
頂版	20	③	S _s -D2(++)	641	1817	0.36
南北壁	30	③	S _s -D2(++)	634	2390	0.27
東西壁	50	③	S _s -D2(++)	1238	2390	0.52
接続部 底版	70	③	S _s -D2(++)	374	943	0.40
接続部 頂版	80	③	S _s -D2(++)	278	906	0.31
接続部 南北壁	90	③	S _s -D2(++)	376	906	0.42

注記*：評価位置を図6-13に示す。

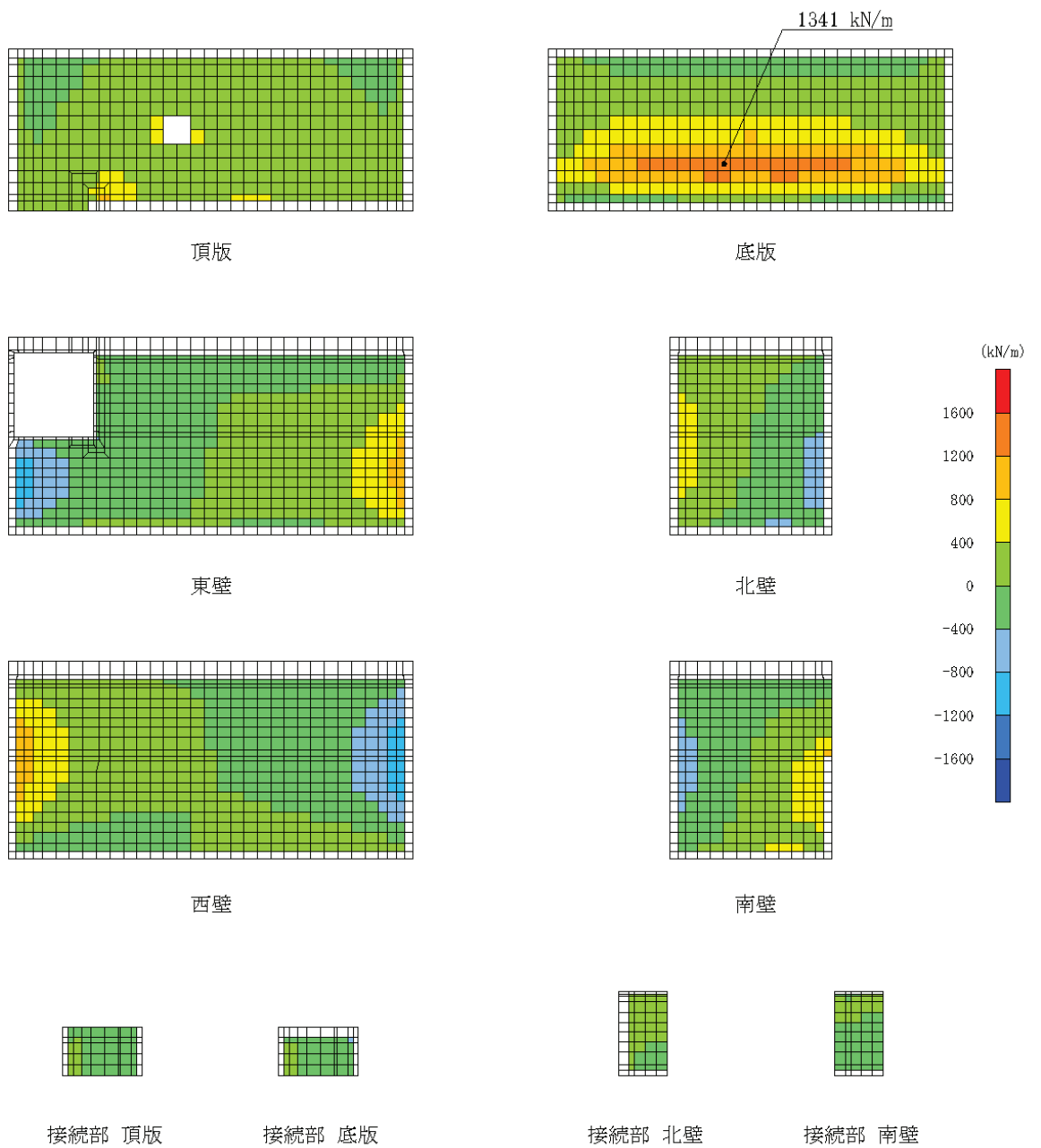


図 6-14 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (底版, 解析ケース③, $S_s - D 2 (+ +)$, $t = 8.58 \text{ s}$)

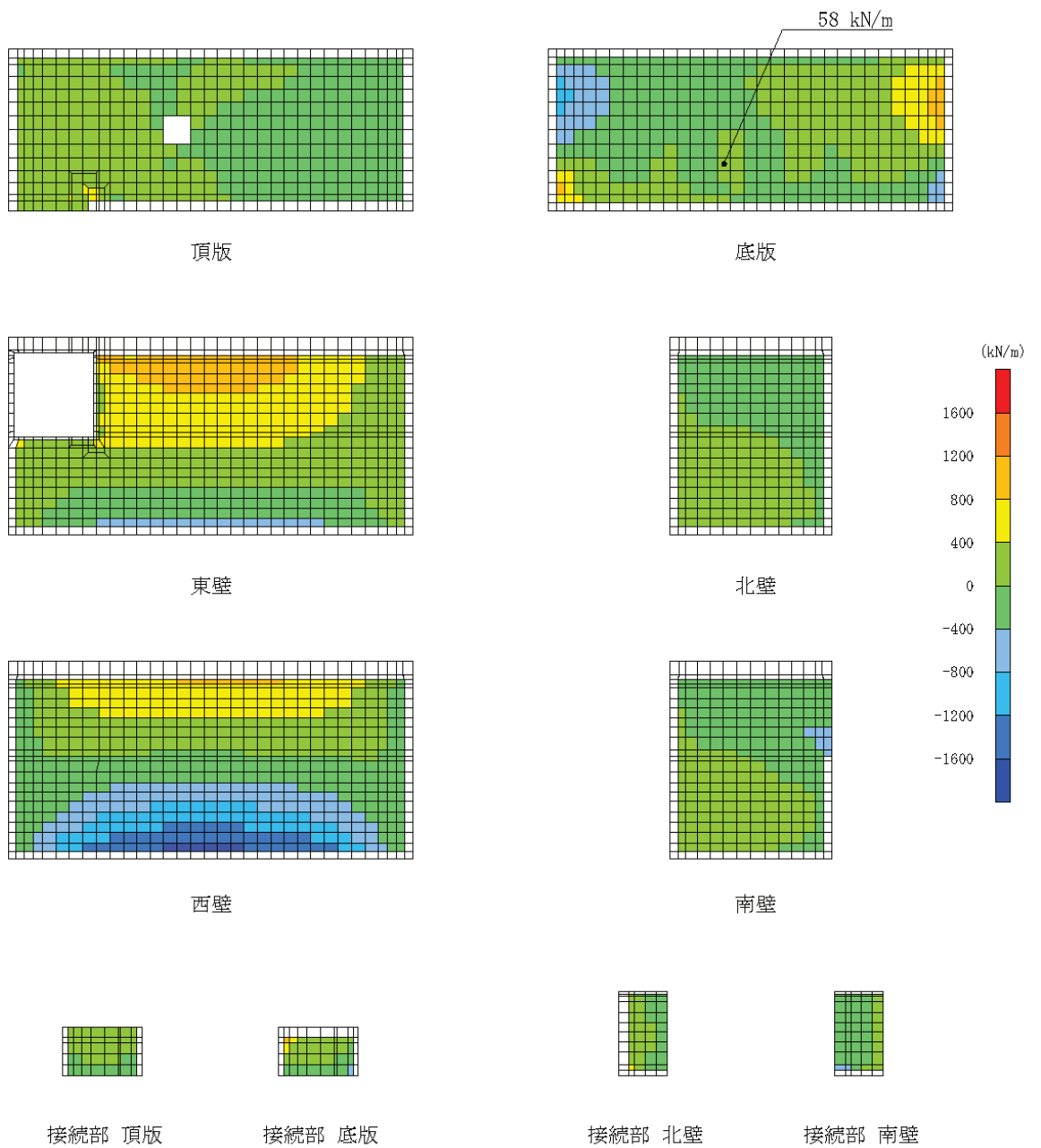


図 6-15 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (底板, 解析ケース③, $S_s - D 2 (+ +)$, $t = 8.58$ s)

6.3 構造部材の健全性に対する評価結果

6.3.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各部材での最大照査値について、表 6-12 及び表 6-13 に解析ケース・地震動ごとに示す。

同表より、コンクリート及び鉄筋の発生応力度が全ケースにおいて短期許容応力度を下回ることを確認した。

表 6-12(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ'_c / σ'_{ca}	
							σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)		
①	S s - D 1	++	底版	10	25.36s	-1322	41	4.4	13.5	0.33
			頂版	20	25.36s	-523	-100	2.8	13.5	0.21
			南北壁	40	25.36s	-344	-2076	1.9	13.5	0.15
			東西壁	50	25.36s	837	-1116	2.9	13.5	0.22
			接続部 底版	70	25.36s	179	-710	1.7	13.5	0.13
			接続部 頂版	80	25.36s	-168	-226	1.7	13.5	0.13
		接続部 南北壁	90	25.36s	159	213	1.6	13.5	0.12	
		-+	底版	10	40.40s	1866	-1715	6.5	13.5	0.49
			頂版	20	40.40s	-1005	-935	5.5	13.5	0.41
			南北壁	30	40.40s	-927	-2311	3.4	13.5	0.26
			東西壁	60	40.40s	-1340	-1898	4.7	13.5	0.35
			接続部 底版	70	40.40s	310	9	3.0	13.5	0.23
	接続部 頂版		80	40.40s	-217	160	2.2	13.5	0.17	
	接続部 南北壁	90	40.40s	-320	-1745	3.3	13.5	0.25		
	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	2344	-2031	8.1	13.5	0.60
			頂版	20	8.58s	-1327	-1143	7.3	13.5	0.55
			南北壁	30	8.58s	-1166	-3022	4.3	13.5	0.32
			東西壁	60	8.58s	-1774	-2467	6.2	13.5	0.46
			接続部 底版	70	8.58s	412	59	4.0	13.5	0.30
			接続部 頂版	80	8.58s	-300	271	3.0	13.5	0.23
		接続部 南北壁	90	8.58s	-432	-2297	4.3	13.5	0.32	
		-+	底版	10	29.99s	1847	-1585	6.4	13.5	0.48
			頂版	20	29.99s	-1069	-918	5.9	13.5	0.44
			南北壁	30	29.99s	-981	-2475	3.6	13.5	0.27
東西壁			60	29.99s	1453	-784	5.0	13.5	0.38	
接続部 底版			70	29.99s	329	27	3.2	13.5	0.24	
接続部 頂版	80		29.99s	-233	210	2.3	13.5	0.18		
接続部 南北壁	90	29.99s	-341	-1803	3.4	13.5	0.26			
S s - D 3	++	底版	10	15.58s	-1371	33	4.5	13.5	0.34	
		頂版	20	15.58s	-562	-114	3.1	13.5	0.23	
		南北壁	40	15.58s	-301	-1902	1.7	13.5	0.13	
		東西壁	50	15.58s	971	-1036	3.4	13.5	0.26	
		接続部 底版	70	15.58s	208	-785	1.9	13.5	0.15	
		接続部 頂版	80	15.58s	-186	-249	1.8	13.5	0.14	
	接続部 南北壁	90	15.58s	181	381	1.8	13.5	0.14		
	-+	底版	10	14.57s	1913	-1643	6.6	13.5	0.49	
		頂版	20	14.57s	-1010	-919	5.6	13.5	0.42	
		南北壁	30	14.42s	-905	-2312	3.3	13.5	0.25	
		東西壁	60	14.42s	-1346	-1927	4.7	13.5	0.35	
		接続部 底版	70	14.42s	317	35	3.1	13.5	0.23	
接続部 頂版		80	14.42s	-235	236	2.3	13.5	0.18		
接続部 南北壁	90	14.42s	-327	-1750	3.3	13.5	0.25			

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-12(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値	
							σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)		σ'_c / σ'_{ca}
①	S s - F 1	++	底版	10	21.23s	1601	-1348	5.5	13.5	0.41
			頂版	20	21.23s	-843	-749	4.7	13.5	0.35
			南北壁	30	21.23s	-713	-1831	2.6	13.5	0.20
			東西壁	60	21.23s	-1124	-1600	3.9	13.5	0.29
			接続部 底版	70	21.23s	266	-3	2.6	13.5	0.20
			接続部 頂版	80	21.23s	-194	163	1.9	13.5	0.15
		接続部 南北壁	90	21.23s	-271	-1460	2.8	13.5	0.21	
		-+	底版	10	19.56s	-1269	-44	4.2	13.5	0.32
			頂版	20	19.56s	-533	-76	2.9	13.5	0.22
			南北壁	40	19.56s	-415	-2169	2.1	13.5	0.16
			東西壁	60	19.56s	-844	-313	2.9	13.5	0.22
			接続部 底版	70	19.56s	203	-761	1.9	13.5	0.15
	接続部 頂版		80	19.56s	-186	-254	1.8	13.5	0.14	
	接続部 南北壁	90	19.56s	182	313	1.9	13.5	0.15		
	S s - F 2	++	底版	10	34.00s	-1161	-147	3.9	13.5	0.29
			頂版	20	34.00s	-509	-88	2.8	13.5	0.21
			南北壁	40	34.00s	-398	-2049	2.0	13.5	0.15
			東西壁	60	34.00s	-864	-300	3.0	13.5	0.23
			接続部 底版	70	34.00s	197	-759	1.8	13.5	0.14
			接続部 頂版	80	34.00s	-181	-247	1.8	13.5	0.14
		接続部 南北壁	90	34.00s	177	303	1.8	13.5	0.14	
		-+	底版	10	28.49s	2232	-1810	7.7	13.5	0.58
			頂版	20	28.49s	-1172	-1046	6.4	13.5	0.48
			南北壁	30	28.50s	-1015	-2573	3.7	13.5	0.28
東西壁			60	28.49s	-1549	-2080	5.4	13.5	0.40	
接続部 底版			70	28.49s	361	36	3.5	13.5	0.26	
接続部 頂版	80		28.49s	-258	200	2.6	13.5	0.20		
接続部 南北壁	90	28.49s	-375	-1993	3.8	13.5	0.29			
S s - F 3	++	底版	10	27.70s	-1461	98	4.8	13.5	0.36	
		頂版	20	27.70s	-594	-103	3.2	13.5	0.24	
		南北壁	40	27.70s	-405	-2345	2.2	13.5	0.17	
		東西壁	50	27.70s	896	-1185	3.2	13.5	0.24	
		接続部 底版	70	27.70s	216	-822	2.0	13.5	0.15	
		接続部 頂版	80	27.70s	-197	-265	1.9	13.5	0.15	
	接続部 南北壁	90	27.70s	194	325	2.0	13.5	0.15		
	-+	底版	10	28.59s	-1224	55	4.0	13.5	0.30	
		頂版	20	28.59s	-509	-77	2.8	13.5	0.21	
		南北壁	40	28.59s	-337	-1960	1.8	13.5	0.14	
		東西壁	50	28.59s	800	-964	2.8	13.5	0.21	
		接続部 底版	70	28.59s	193	-732	1.8	13.5	0.14	
接続部 頂版		80	28.59s	-177	-243	1.8	13.5	0.14		
接続部 南北壁	90	28.59s	172	288	1.8	13.5	0.14			

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-12(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (コンクリート)

解析 ケース	地震動		評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値
						(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)	
①	S s - N 1	++	底版	10	7.64s	1867	-1583	6.5	13.5	0.49
			頂版	20	7.64s	-981	-928	5.4	13.5	0.40
			南北壁	30	7.64s	-848	-2141	3.1	13.5	0.23
			東西壁	60	7.64s	-1300	-1799	4.6	13.5	0.35
			接続部 底版	70	7.64s	298	-2	2.9	13.5	0.22
			接続部 頂版	80	7.64s	-212	139	2.1	13.5	0.16
			接続部 南北壁	90	7.64s	-306	-1698	3.1	13.5	0.23
		-+	底版	10	7.51s	-979	-244	3.3	13.5	0.25
			頂版	20	7.51s	-526	-144	2.9	13.5	0.22
			南北壁	40	7.51s	-394	-1906	1.9	13.5	0.15
			東西壁	60	7.51s	-856	-265	2.9	13.5	0.22
			接続部 底版	70	7.51s	184	-724	1.7	13.5	0.13
			接続部 頂版	80	7.51s	-171	-235	1.7	13.5	0.13
			接続部 南北壁	90	7.51s	166	293	1.7	13.5	0.13
②	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	2269	-1982	7.9	13.5	0.59
			頂版	20	8.58s	-1317	-1141	7.2	13.5	0.54
			南北壁	30	8.58s	-1161	-2991	4.3	13.5	0.32
			東西壁	60	8.58s	-1757	-2447	6.1	13.5	0.46
			接続部 底版	70	8.58s	406	55	3.9	13.5	0.29
			接続部 頂版	80	8.58s	-297	269	2.9	13.5	0.22
			接続部 南北壁	90	8.58s	-426	-2269	4.3	13.5	0.32
③	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	2418	-2080	8.4	13.5	0.63
			頂版	20	8.58s	-1335	-1154	7.3	13.5	0.55
			南北壁	30	8.58s	-1170	-3031	4.3	13.5	0.32
			東西壁	60	8.58s	-1783	-2476	6.2	13.5	0.46
			接続部 底版	70	8.58s	415	56	4.0	13.5	0.30
			接続部 頂版	80	8.58s	-301	270	3.0	13.5	0.23
			接続部 南北壁	90	8.58s	-436	-2291	4.4	13.5	0.33

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-13(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (鉄筋)

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}	
							σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		
①	S s - D 1	++	底版	10	25.36s	-1322	65	124	309	0.41
			頂版	20	25.36s	-520	-53	62	309	0.21
			南北壁	40	25.36s	-201	879	64	309	0.21
			東西壁	50	25.36s	-209	1096	75	309	0.25
			接続部 底版	70	25.36s	-125	90	41	309	0.14
			接続部 頂版	80	25.36s	-144	-109	28	309	0.10
		接続部 南北壁	90	25.36s	159	242	68	309	0.23	
		-+	底版	10	49.11s	-1277	24	118	309	0.39
			頂版	20	40.40s	-958	-659	87	309	0.29
			南北壁	40	40.40s	507	1744	137	309	0.45
			東西壁	50	40.40s	1406	529	155	309	0.51
			接続部 底版	70	40.40s	-271	587	127	309	0.42
	接続部 頂版		80	40.40s	201	626	118	309	0.39	
	接続部 南北壁	90	40.40s	162	416	86	309	0.28		
	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	619	1943	157	309	0.51
			頂版	20	8.58s	-1247	-720	119	309	0.39
			南北壁	40	8.58s	732	2446	193	309	0.63
			東西壁	60	8.58s	333	3464	204	309	0.67
			接続部 底版	70	8.58s	-372	855	179	309	0.58
			接続部 頂版	80	8.58s	284	895	167	309	0.55
		接続部 南北壁	90	8.58s	233	628	126	309	0.41	
		-+	底版	10	8.58s	-1511	8	139	309	0.45
			頂版	20	29.99s	-1063	-744	95	309	0.31
			南北壁	40	29.99s	643	2016	163	309	0.53
東西壁			50	29.99s	1304	815	160	309	0.52	
接続部 底版			70	29.99s	-283	624	134	309	0.44	
接続部 頂版	80		29.99s	216	688	128	309	0.42		
接続部 南北壁	90	29.99s	182	494	99	309	0.33			
S s - D 3	++	底版	10	15.58s	-1367	65	128	309	0.42	
		頂版	20	15.58s	-559	-87	65	309	0.22	
		南北壁	30	15.58s	87	1089	63	309	0.21	
		東西壁	60	15.58s	451	708	78	309	0.26	
		接続部 底版	70	15.58s	-146	114	49	309	0.16	
		接続部 頂版	80	15.58s	-162	-128	31	309	0.11	
	接続部 南北壁	90	15.58s	181	388	88	309	0.29		
	-+	底版	10	14.57s	497	1310	114	309	0.37	
		頂版	20	14.42s	-960	-573	91	309	0.30	
		南北壁	40	14.57s	513	1847	142	309	0.46	
		東西壁	50	14.57s	1341	675	157	309	0.51	
		接続部 底版	70	14.42s	-275	617	131	309	0.43	
接続部 頂版		80	14.42s	206	641	121	309	0.40		
接続部 南北壁	100	14.42s	-296	169	93	309	0.31			

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-13(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (鉄筋)

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}	
							σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		
①	S s - F 1	++	底版	10	21.23s	408	1044	92	309	0.30
			頂版	20	21.23s	-789	-480	74	309	0.24
			南北壁	40	21.23s	331	1398	102	309	0.34
			東西壁	60	21.23s	196	2117	124	309	0.41
			接続部 底版	70	21.23s	-231	511	109	309	0.36
			接続部 頂版	80	21.23s	167	529	99	309	0.33
		接続部 南北壁	100	21.23s	-247	88	73	309	0.24	
		-+	底版	10	19.56s	-1267	135	123	309	0.40
			頂版	20	19.56s	-530	-42	64	309	0.21
			南北壁	40	19.56s	-188	938	65	309	0.22
			東西壁	60	19.56s	-248	1163	82	309	0.27
			接続部 底版	70	19.56s	-147	86	47	309	0.16
	接続部 頂版		80	19.56s	-157	-126	30	309	0.10	
	接続部 南北壁	90	19.56s	182	376	87	309	0.29		
	S s - F 2	++	底版	10	34.00s	-1141	24	106	309	0.35
			頂版	20	34.00s	-506	-44	61	309	0.20
			南北壁	40	34.00s	-194	861	62	309	0.21
			東西壁	60	34.00s	-247	1094	79	309	0.26
			接続部 底版	70	34.00s	-142	108	47	309	0.16
			接続部 頂版	80	34.00s	-156	-124	30	309	0.10
		接続部 南北壁	90	34.00s	177	332	81	309	0.27	
		-+	底版	10	28.49s	575	1648	138	309	0.45
			頂版	20	28.49s	-301	1257	104	309	0.34
			南北壁	40	28.49s	641	2248	175	309	0.57
東西壁			50	28.49s	1510	860	181	309	0.59	
接続部 底版			70	28.49s	-325	749	156	309	0.51	
接続部 頂版	80		28.49s	244	791	146	309	0.48		
接続部 南北壁	90	28.49s	201	567	112	309	0.37			
S s - F 3	++	底版	10	27.70s	-1461	113	139	309	0.45	
		頂版	20	27.70s	-591	-60	70	309	0.23	
		南北壁	40	27.70s	-248	917	70	309	0.23	
		東西壁	60	27.70s	-267	1254	89	309	0.29	
		接続部 底版	70	27.70s	-158	121	53	309	0.18	
		接続部 頂版	80	27.70s	-169	-130	33	309	0.11	
	接続部 南北壁	90	27.70s	194	373	90	309	0.30		
	-+	底版	10	28.59s	-1221	76	116	309	0.38	
		頂版	20	28.59s	-506	-51	60	309	0.20	
		南北壁	40	28.59s	-211	782	60	309	0.20	
		東西壁	60	28.59s	-226	1069	76	309	0.25	
		接続部 底版	70	28.59s	-137	82	44	309	0.15	
接続部 頂版		80	28.59s	-151	-122	29	309	0.10		
接続部 南北壁	90	28.59s	172	336	81	309	0.27			

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-13(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果 (鉄筋)

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}	
							σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)		
①	S s - N 1	++	底版	10	7.64s	483	1286	111	309	0.36
			頂版	20	7.64s	-251	1001	85	309	0.28
			南北壁	40	7.64s	452	1666	127	309	0.42
			東西壁	50	7.64s	1321	524	147	309	0.48
			接続部 底版	70	7.64s	-264	571	124	309	0.41
			接続部 頂版	80	7.64s	193	621	115	309	0.38
			接続部 南北壁	90	7.64s	154	421	84	309	0.28
		-+	底版	10	7.51s	-979	-185	81	309	0.27
			頂版	20	7.51s	-523	-89	61	309	0.20
			南北壁	30	7.51s	158	867	59	309	0.20
			東西壁	60	7.51s	-240	1022	75	309	0.25
			接続部 底版	70	7.51s	-133	105	45	309	0.15
			接続部 頂版	80	7.51s	-149	-118	29	309	0.10
			接続部 南北壁	90	7.51s	166	312	76	309	0.25
②	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	601	1916	154	309	0.50
			頂版	20	8.58s	-1235	-725	117	309	0.38
			南北壁	40	8.58s	729	2405	191	309	0.62
			東西壁	60	8.58s	333	3418	202	309	0.66
			接続部 底版	70	8.58s	-367	836	176	309	0.57
			接続部 頂版	80	8.58s	280	881	165	309	0.54
			接続部 南北壁	90	8.58s	229	617	124	309	0.41
③	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	636	1978	161	309	0.53
			頂版	20	8.58s	-1254	-721	120	309	0.39
			南北壁	40	8.58s	753	2538	200	309	0.65
			東西壁	60	8.58s	336	3509	207	309	0.67
			接続部 底版	70	8.58s	-376	864	181	309	0.59
			接続部 頂版	80	8.58s	287	901	169	309	0.55
			接続部 南北壁	90	8.58s	235	636	128	309	0.42

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

6.3.2 せん断破壊に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に対する各部材での最大照査値について，表 6-14 に解析ケース・地震動ごとに示す。

同表より，発生せん断力が，全ケースにおいて短期許容せん断力を下回ることを確認した。

表 6-14(1) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*		照査 時刻	発生 せん断力	短期許容 せん断力	照査値 V/V_a
						V (kN/m)	V_a (kN/m)	
①	S s - D 1	++	底版	10	25.36s	872	2390	0.37
			頂版	20	25.36s	281	1817	0.16
			南北壁	30	25.36s	191	2390	0.08
			東西壁	60	25.36s	331	2390	0.14
			接続部 底版	70	25.36s	154	943	0.17
			接続部 頂版	80	25.36s	134	906	0.15
			接続部 南北壁	100	25.36s	168	943	0.18
		-+	底版	10	40.40s	920	2390	0.39
			頂版	20	40.40s	494	1817	0.28
			南北壁	30	40.40s	501	2390	0.21
			東西壁	50	40.40s	1005	2390	0.43
			接続部 底版	70	40.40s	298	943	0.32
			接続部 頂版	80	40.40s	210	906	0.24
			接続部 南北壁	90	40.40s	287	906	0.32
	S s - D 2	++	底版	10	8.58s	1330	2390	0.56
			頂版	20	8.58s	640	1817	0.36
			南北壁	30	8.58s	630	2390	0.27
			東西壁	50	8.58s	1206	2390	0.51
			接続部 底版	70	8.58s	373	943	0.40
			接続部 頂版	80	8.58s	275	906	0.31
			接続部 南北壁	90	8.58s	373	906	0.42
		-+	底版	10	29.99s	1244	2390	0.53
			頂版	20	29.99s	493	1817	0.28
			南北壁	30	29.99s	547	2390	0.23
東西壁			50	29.99s	886	2390	0.38	
接続部 底版			70	29.99s	310	943	0.33	
接続部 頂版			80	29.99s	237	906	0.27	
接続部 南北壁			90	29.99s	310	906	0.35	
S s - D 3	++	底版	10	15.58s	950	2390	0.40	
		頂版	20	15.58s	295	1817	0.17	
		南北壁	30	15.58s	208	2390	0.09	
		東西壁	50	15.58s	313	2390	0.14	
		接続部 底版	70	15.58s	166	943	0.18	
		接続部 頂版	80	15.58s	136	906	0.16	
		接続部 南北壁	100	15.58s	189	943	0.21	
	-+	底版	10	14.42s	1076	2390	0.46	
		頂版	20	14.42s	496	1817	0.28	
		南北壁	30	14.42s	506	2390	0.22	
		東西壁	50	14.57s	992	2390	0.42	
		接続部 底版	70	14.57s	289	943	0.31	
		接続部 頂版	80	14.57s	211	906	0.24	
		接続部 南北壁	90	14.42s	297	906	0.33	

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-14(2) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*		照査 時刻	発生 せん断力	短期許容 せん断力	照査値 V/V_a
						V (kN/m)	V_a (kN/m)	
①	S s - F 1	++	底版	10	21.23s	692	2390	0.29
			頂版	20	21.23s	428	1817	0.24
			南北壁	30	21.23s	408	2390	0.18
			東西壁	50	21.23s	820	2390	0.35
			接続部 底版	70	21.23s	231	943	0.25
			接続部 頂版	80	21.23s	170	906	0.19
			接続部 南北壁	90	21.23s	249	906	0.28
		-+	底版	10	19.56s	761	2390	0.32
			頂版	20	19.56s	286	1817	0.16
			南北壁	40	19.56s	215	2390	0.09
			東西壁	60	20.14s	328	2390	0.14
			接続部 底版	70	19.56s	160	943	0.17
			接続部 頂版	80	19.56s	141	906	0.16
			接続部 南北壁	100	19.56s	181	943	0.20
	S s - F 2	++	底版	10	34.00s	665	2390	0.28
			頂版	20	34.00s	269	1817	0.15
			南北壁	40	34.00s	206	2390	0.09
			東西壁	60	34.00s	356	2390	0.15
			接続部 底版	70	34.00s	163	943	0.18
			接続部 頂版	80	34.00s	139	906	0.16
			接続部 南北壁	100	34.00s	181	943	0.20
		-+	底版	10	28.50s	1123	2390	0.47
			頂版	20	28.49s	561	1817	0.31
			南北壁	30	28.49s	553	2390	0.24
東西壁			50	28.49s	1086	2390	0.46	
接続部 底版			70	28.50s	338	943	0.36	
接続部 頂版			80	28.49s	246	906	0.28	
接続部 南北壁			90	28.49s	330	906	0.37	
S s - F 3	++	底版	10	27.70s	915	2390	0.39	
		頂版	20	27.70s	312	1817	0.18	
		南北壁	30	27.70s	217	2390	0.10	
		東西壁	60	27.70s	366	2390	0.16	
		接続部 底版	70	27.70s	177	943	0.19	
		接続部 頂版	80	27.70s	153	906	0.17	
		接続部 南北壁	100	27.70s	197	943	0.21	
	-+	底版	10	28.59s	764	2390	0.32	
		頂版	20	28.59s	274	1817	0.16	
		南北壁	30	28.59s	200	2390	0.09	
		東西壁	50	28.59s	300	2390	0.13	
		接続部 底版	70	28.59s	155	943	0.17	
		接続部 頂版	80	28.59s	134	906	0.15	
		接続部 南北壁	100	28.59s	175	943	0.19	

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

表 6-14(3) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*		照査 時刻	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a	
①	S _s -N1	++	底版	10	7.64s	821	2390	0.35
			頂版	20	7.64s	485	1817	0.27
			南北壁	30	7.64s	461	2390	0.20
			東西壁	50	7.64s	963	2390	0.41
			接続部 底版	70	7.64s	280	943	0.30
			接続部 頂版	80	7.64s	197	906	0.22
			接続部 南北壁	90	7.64s	276	906	0.31
		-+	底版	10	7.51s	538	2390	0.23
			頂版	20	7.51s	269	1817	0.15
			南北壁	40	7.51s	196	2390	0.09
			東西壁	60	7.51s	364	2390	0.16
			接続部 底版	70	7.51s	154	943	0.17
			接続部 頂版	80	7.51s	134	906	0.15
			接続部 南北壁	100	7.51s	172	943	0.19
②	S _s -D2	++	底版	10	8.58s	1318	2390	0.56
			頂版	20	8.58s	634	1817	0.35
			南北壁	30	8.58s	622	2390	0.27
			東西壁	50	8.58s	1171	2390	0.49
			接続部 底版	70	8.58s	371	943	0.40
			接続部 頂版	80	8.58s	273	906	0.31
			接続部 南北壁	90	8.58s	368	906	0.41
③	S _s -D2	++	底版	10	8.58s	1341	2390	0.57
			頂版	20	8.58s	641	1817	0.36
			南北壁	30	8.58s	634	2390	0.27
			東西壁	50	8.58s	1238	2390	0.52
			接続部 底版	70	8.58s	374	943	0.40
			接続部 頂版	80	8.58s	278	906	0.31
			接続部 南北壁	90	8.58s	376	906	0.42
		-+	底版	10	29.99s	1269	2390	0.54

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

6.3.3 水平2方向載荷による評価結果

水平2方向載荷による評価は、「3.5 地震応答解析の解析ケース」に示すとおり、すべての基準地震動S_sに対して実施する解析ケース①、解析ケース②及び③の照査値の中で最大となる地震動に対し実施する。水平2方向載荷の評価において組み合わせる荷重は、主方向荷重を水平方向及び鉛直方向荷重、従方向荷重を水平方向荷重とし、従方向荷重は主方向荷重での地震時荷重算定時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出した荷重とする。

「6.2 三次元構造解析結果」に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において、照査値が最大となる解析ケース③のS_s-D2(++)により、水平2方向載荷による評価を実施する。

表6-15～表6-17に水平2方向載荷に対する評価結果を示す。

同表より、発生応力度及び発生せん断力がそれぞれの許容限界を下回ることを確認した。

表6-15 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（コンクリート）

評価位置*		解析ケース	地震動	照査時刻	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
底版	10	③	主方向：S _s -D2(++) 従方向：S _s -D2	8.58s	2411	-2313	8.4	13.5	0.63
頂版	20				-1322	-1235	7.3	13.5	0.55
南北壁	30				-1098	-2938	4.1	13.5	0.31
東西壁	60				-1729	-2161	6.0	13.5	0.45
接続部 底版	70				355	98	3.4	13.5	0.26
接続部 頂版	80				-282	254	2.8	13.5	0.21
接続部 南北壁	90				-402	-2324	4.2	13.5	0.32

注記*：評価位置を図6-13に示す。

表6-16 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）

評価位置*		解析ケース	地震動	照査時刻	曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	10	③	主方向：S _s -D2(++) 従方向：S _s -D2	8.58s	639	2013	163	309	0.53
頂版	20				-560	1129	129	309	0.42
南北壁	30				707	2719	204	309	0.67
東西壁	50				1709	954	204	309	0.67
接続部 底版	70				-298	909	165	309	0.54
接続部 頂版	80				248	896	158	309	0.52
接続部 南北壁	90				190	570	109	309	0.36

注記*：評価位置を図6-13に示す。

表 6-17 せん断破壊に対する評価結果

評価位置*		解析 ケース	地震動	照査 時刻	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	10	③	主方向 : S _s -D ₂ (++) 従方向 : S _s -D ₂	8.58s	1388	2390	0.59
頂版	20				622	1817	0.35
南北壁	40				738	2390	0.31
東西壁	50				1233	2390	0.52
接続部 底版	70				427	943	0.46
接続部 頂版	80				282	906	0.32
接続部 南北壁	100				369	943	0.40

注記* : 評価位置を図 6-13 に示す。

6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

6.4.1 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤（狐崎部層）の支持性能に対する評価結果を表6-18に示す。また、最大接地圧分布図を図6-16に示す。

同表より、基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧が極限支持力を下回ることを確認した。

表6-18 基礎地盤（狐崎部層）の支持性能評価結果

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	++	2.0	13.7	0.15
		-+	1.9	13.7	0.14
	S _s -D 2	++	1.7	13.7	0.13
		-+	1.6	13.7	0.12
	S _s -D 3	++	1.9	13.7	0.14
		-+	1.6	13.7	0.12
	S _s -F 1	++	1.6	13.7	0.12
		-+	1.5	13.7	0.11
	S _s -F 2	++	1.9	13.7	0.14
		-+	1.6	13.7	0.12
	S _s -F 3	++	1.7	13.7	0.13
		-+	1.6	13.7	0.12
	S _s -N 1	++	1.4	13.7	0.11
		-+	1.6	13.7	0.12
②	S _s -D 2	++	1.8	13.7	0.14
③	S _s -D 2	++	1.7	13.7	0.13

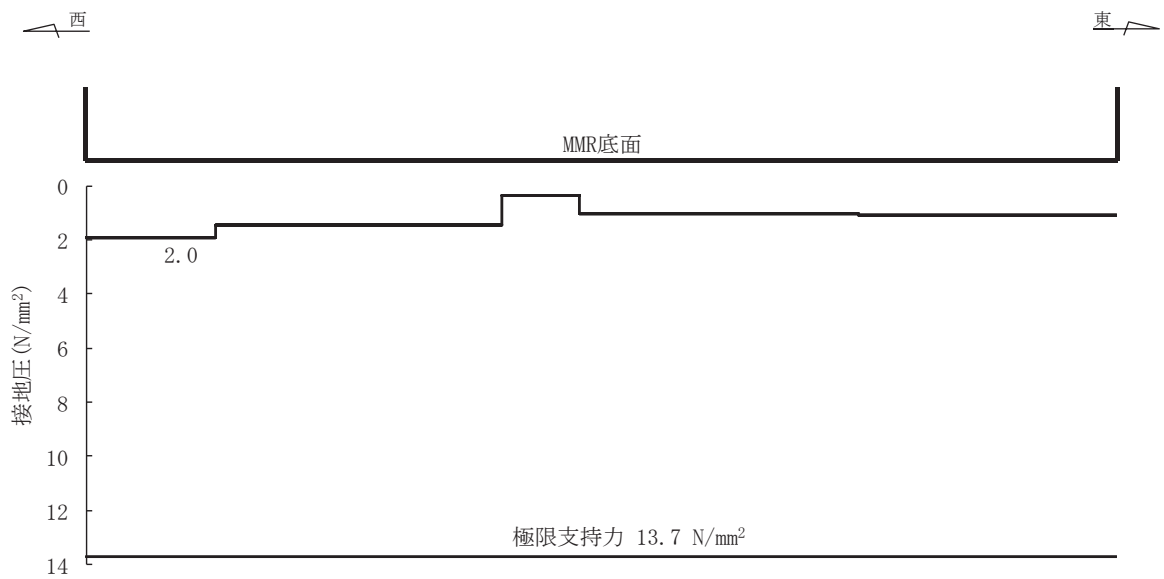


図 6-16 基礎地盤の最大接地圧分布図
 (解析ケース①, S s - D 1 (++))

6.4.2 MMR（新設）

(1) 接地圧に対する評価

MMR（新設）の接地圧に対する支持性能の評価結果を表 6-19 に示す。また、最大接地圧分布図を図 6-17 に示す。

同表より、MMR（新設）に発生する接地圧が支圧強度を下回ることを確認した。

表 6-19 MMR（新設）の接地圧に対する支持性能評価結果

解析 ケース	地震動		最大接地圧	支圧強度	照査値
			R_d (N/mm ²)	f'_a (N/mm ²)	R_d/f'_a
①	S s - D 1	++	3.1	26.5	0.12
		-+	2.9	26.5	0.11
	S s - D 2	++	3.9	26.5	0.15
		-+	3.8	26.5	0.15
	S s - D 3	++	3.0	26.5	0.12
		-+	3.0	26.5	0.12
	S s - F 1	++	2.2	26.5	0.09
		-+	2.7	26.5	0.11
	S s - F 2	++	2.4	26.5	0.10
		-+	2.6	26.5	0.10
	S s - F 3	++	3.3	26.5	0.13
		-+	2.6	26.5	0.10
	S s - N 1	++	1.9	26.5	0.08
		-+	2.0	26.5	0.08
②	S s - D 2	++	3.8	26.5	0.15
③	S s - D 2	++	3.9	26.5	0.15

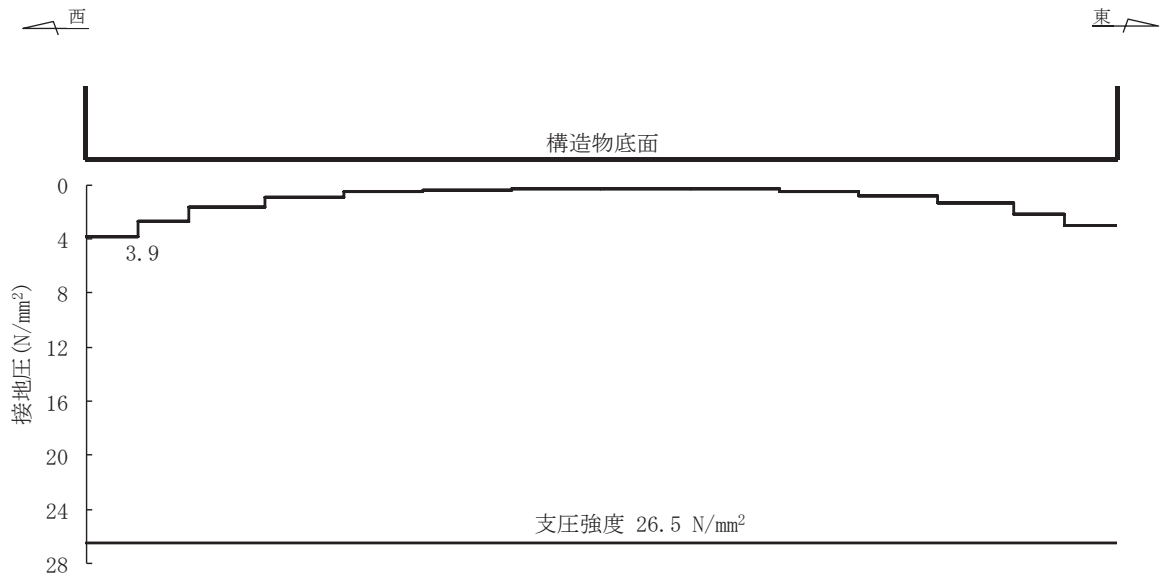


図 6-17 MMR (新設) の最大接地圧分布図
 (解析ケース③, S s - D 2 (++))

(2) 健全性評価

MMR（新設）のせん断破壊に対する局所安全係数を表 6-20 に、引張破壊に対する局所安全係数を表 6-21 に示す。

$$f_s = R / S$$

ここに、 f_s ：局所安全係数

R：せん断強度又は引張強度

S：発生せん断応力又は発生引張応力

表 6-20、表 6-21 よりせん断破壊及び引張破壊している要素はなく、MMR（新設）の安定性に影響を及ぼすことはない。

以上から、MMR（新設）の健全性を確認した。

表 6-20 MMR（新設）のせん断破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		せん断応力 S (N/mm ²)	せん断強度 R (N/mm ²)	局所安全係数 f _s	
①	S _s -D 1	++	1.95	4.20	2.15	
		-+	1.73	4.20	2.42	
	S _s -D 2	++	2.26	4.20	1.85	
		-+	2.15	4.20	1.95	
	S _s -D 3	++	1.74	4.20	2.41	
		-+	1.67	4.20	2.51	
	S _s -F 1	++	1.22	4.20	3.44	
		-+	1.52	4.20	2.76	
	S _s -F 2	++	1.43	4.20	2.93	
		-+	1.78	4.20	2.35	
	S _s -F 3	++	1.97	4.20	2.13	
		-+	1.52	4.20	2.76	
	S _s -N 1	++	1.31	4.20	3.20	
		-+	1.13	4.20	3.71	
	②	S _s -D 2	++	2.19	4.20	1.91
	③	S _s -D 2	++	2.30	4.20	1.82

表 6-21 MMR（新設）の引張破壊に対する局所安全係数

解析 ケース	地震動		引張応力 S (N/mm ²)	引張強度 R (N/mm ²)	局所安全係数 f _s	
①	S _s -D 1	++	1.26	1.75	1.38	
		-+	1.20	1.75	1.45	
	S _s -D 2	++	1.61	1.75	1.08	
		-+	1.45	1.75	1.20	
	S _s -D 3	++	1.41	1.75	1.24	
		-+	1.14	1.75	1.53	
	S _s -F 1	++	0.93	1.75	1.88	
		-+	1.12	1.75	1.56	
	S _s -F 2	++	0.94	1.75	1.86	
		-+	1.17	1.75	1.49	
	S _s -F 3	++	1.42	1.75	1.23	
		-+	1.06	1.75	1.65	
	S _s -N 1	++	0.85	1.75	2.05	
		-+	0.94	1.75	1.86	
	②	S _s -D 2	++	1.56	1.75	1.12
	③	S _s -D 2	++	1.63	1.75	1.07

7. まとめ

軽油タンク室 (H) については、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ・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評価を実施した。

構造部材の健全性評価については、鉄筋コンクリート部材の発生応力度、発生せん断力が要求機能に応じた許容限界を下回ることを確認した。

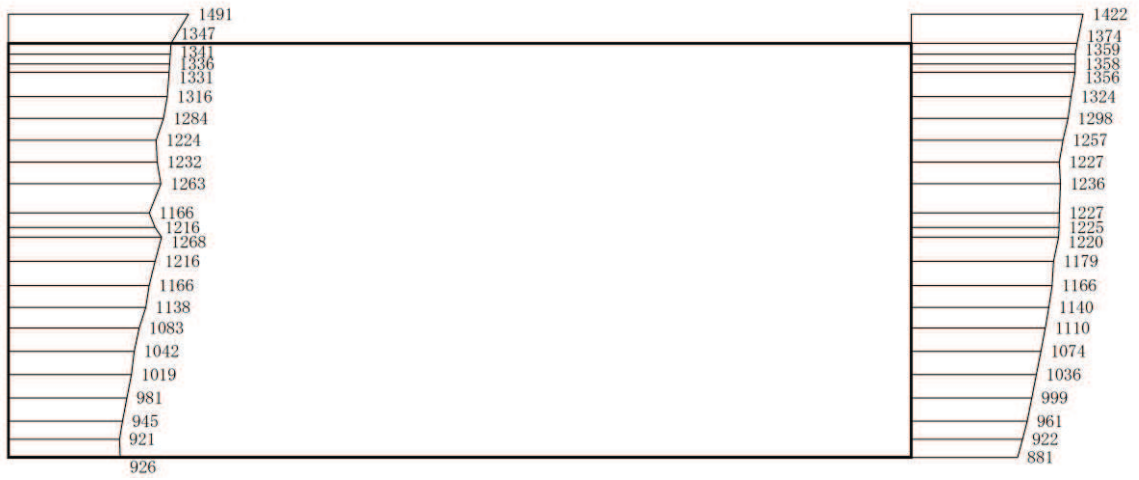
基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に発生する応力（接地圧）が極限支持力に基づく許容限界を下回ること、MMR（新設）に発生する応力（接地圧）が支圧強度を下回ること、及びMMR（新設）の健全性を確認した。

以上から、軽油タンク室 (H) は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造強度を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認した。

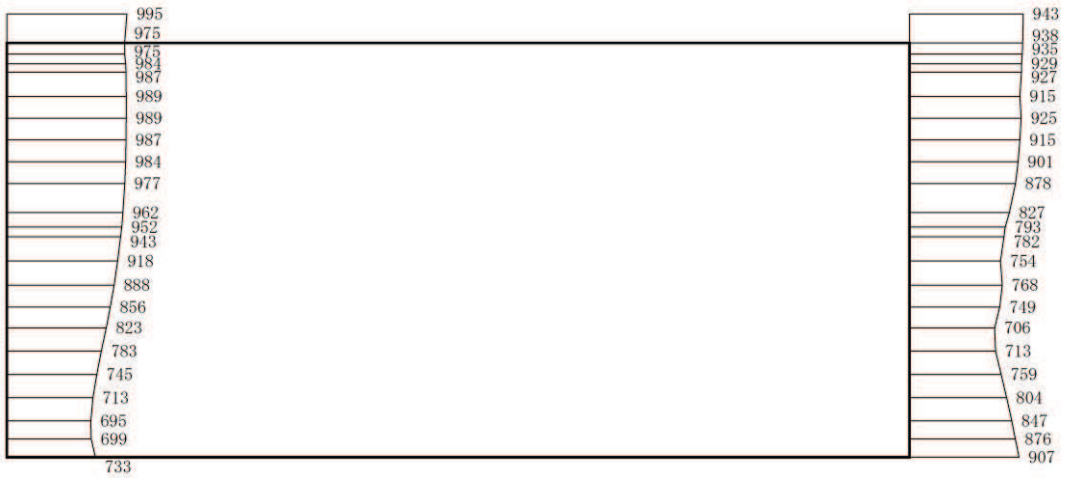
参考資料 1 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

軽油タンク室(H)に支持される機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、基準地震動 S_s (7波) 及び弾性設計用地震動 S_d を用いて、ケース①に加え、「資料 8 軽油タンク室(H)の耐震安全性評価」の「3. 地震応答解析」に基づきケース②～④の解析を実施している。

鉄筋コンクリート部材の初期剛性低下の影響として、鉄筋コンクリート部材の剛性を 0.75 倍したケース⑤に係る地震応答解析結果として、基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 1-1～図 1-14 に示す。



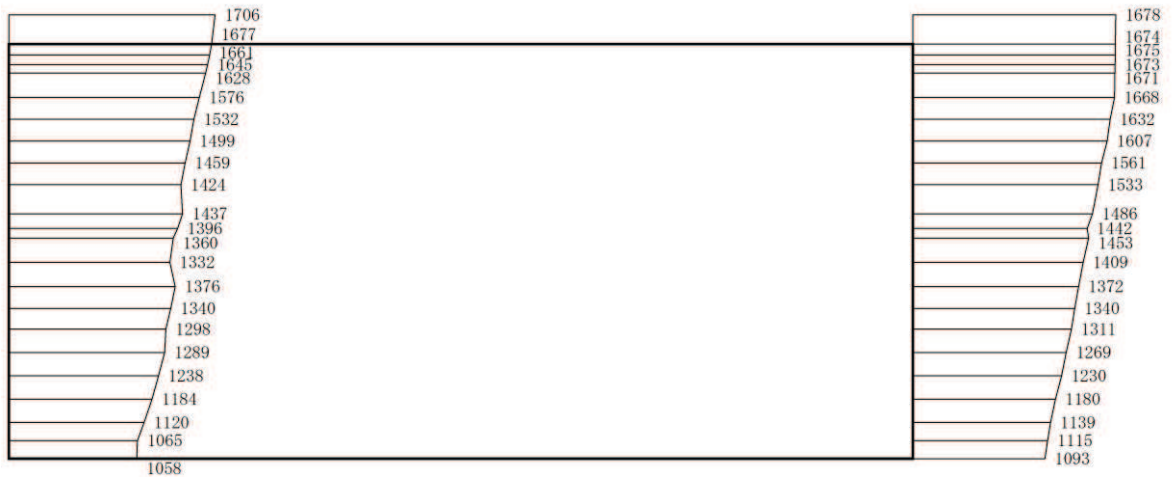
(a) S s - D 1 (++) 水平



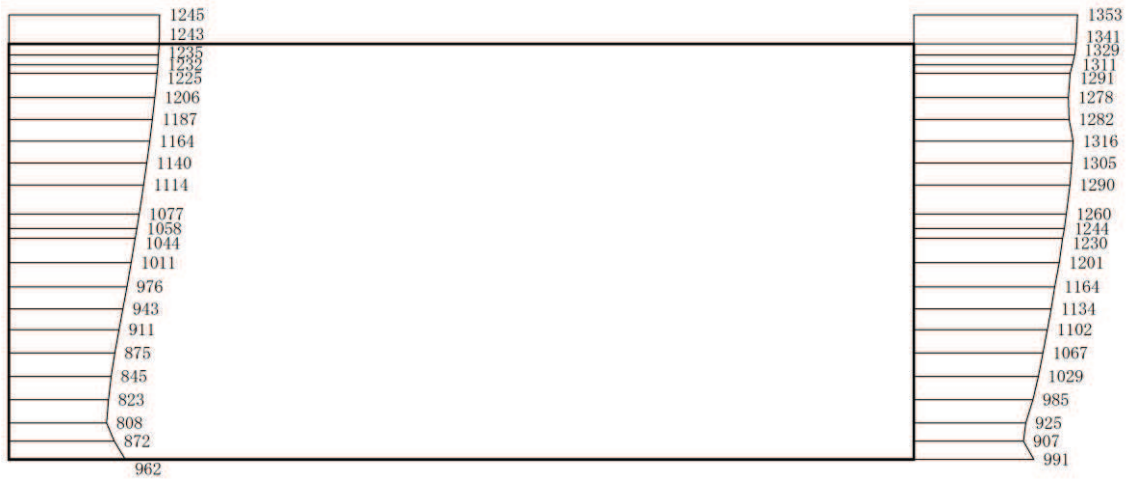
(b) S s - D 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-1 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



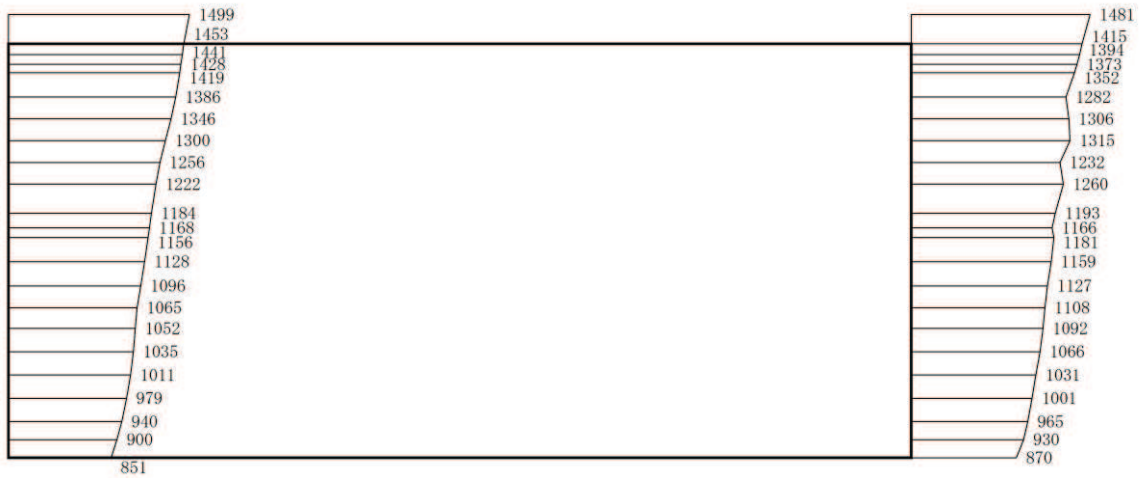
(a) S s - D 2 (++) 水平



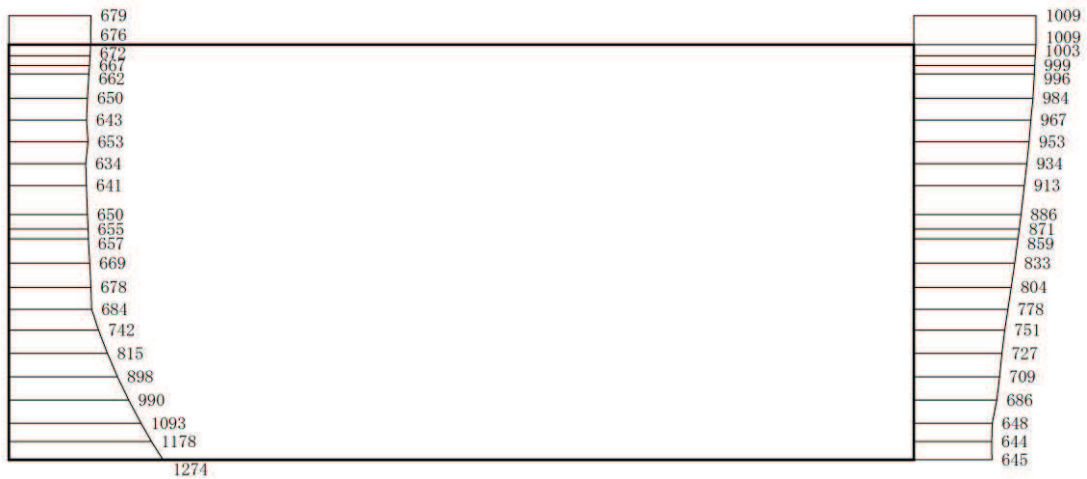
(b) S s - D 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-2 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



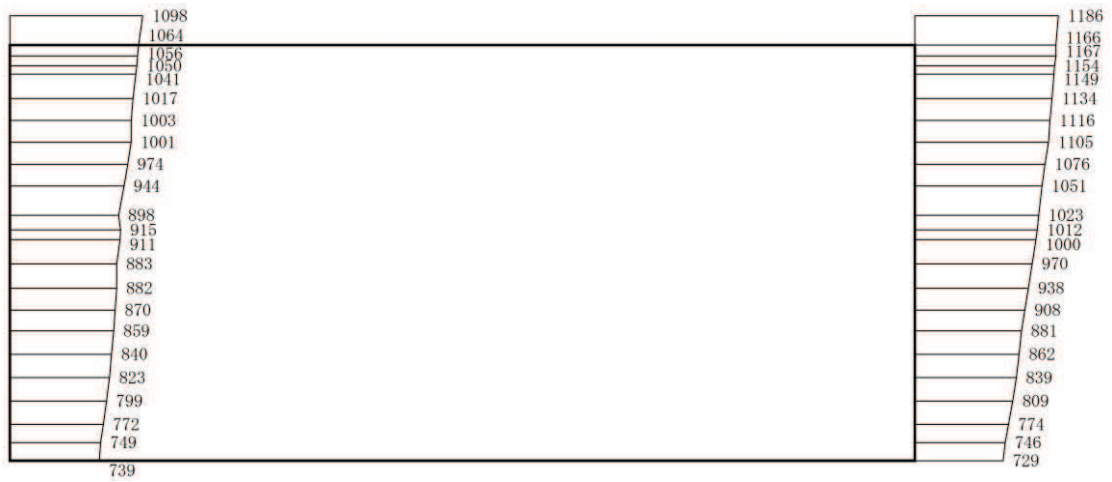
(a) S s - D 3 (++) 水平



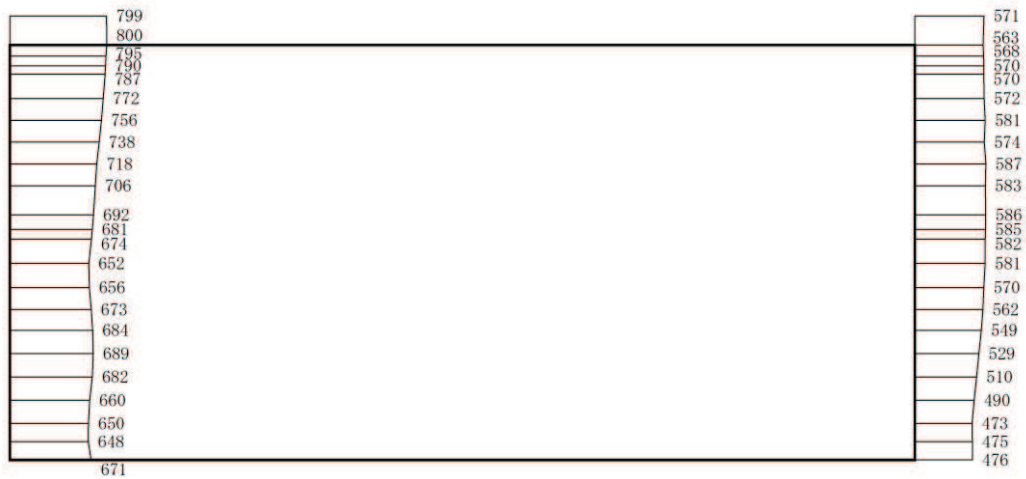
(b) S s - D 3 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-3 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



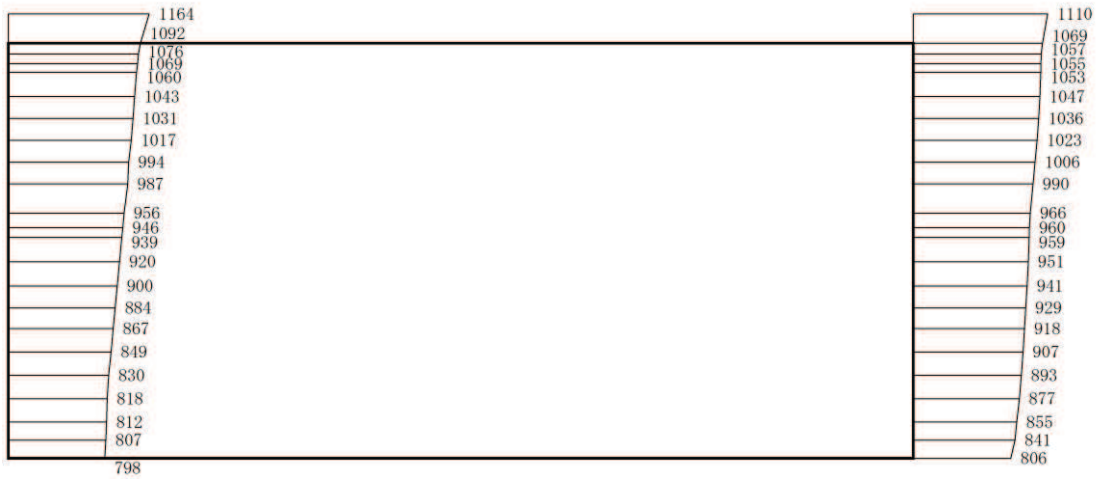
(a) S s - F 1 (++) 水平



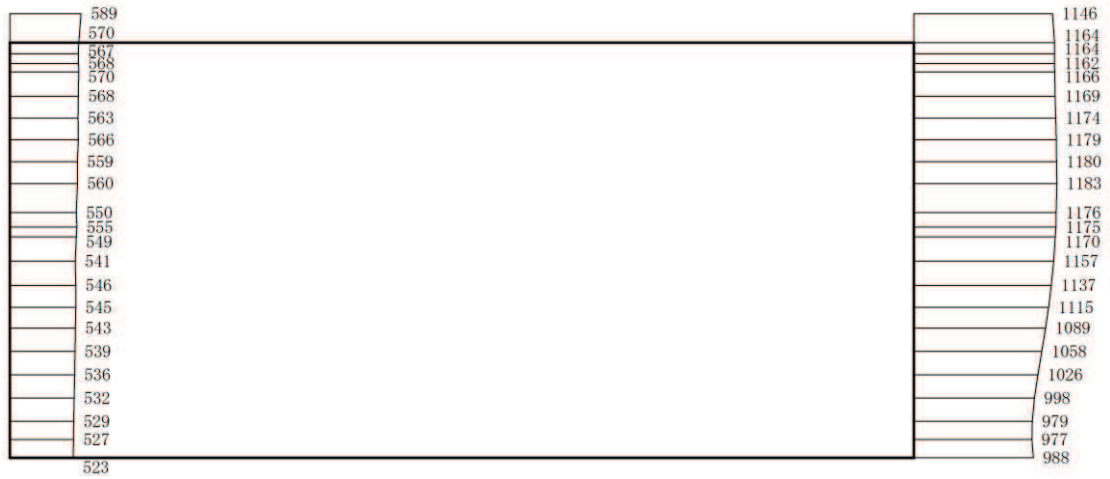
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-4 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



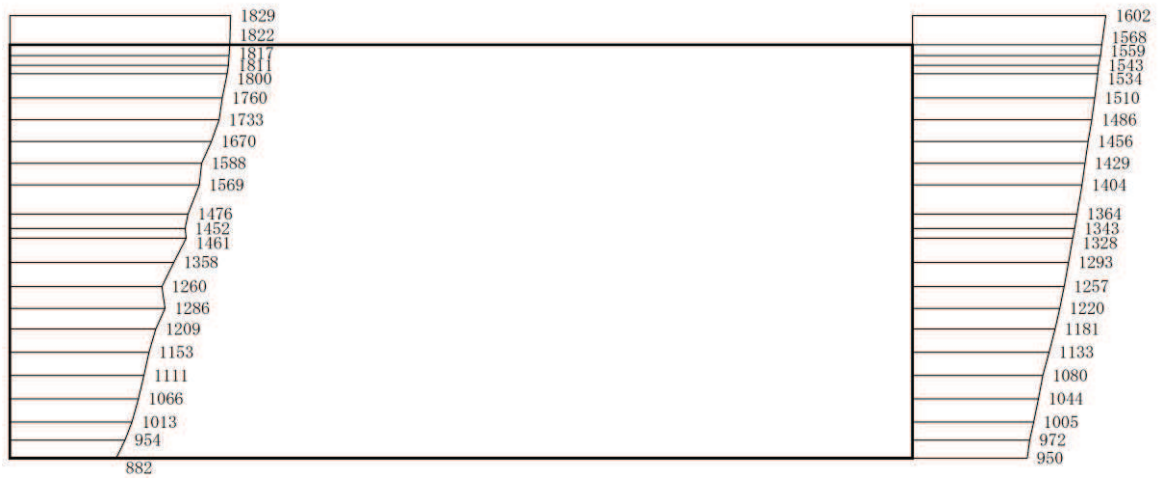
(a) S s - F 2 (++) 水平



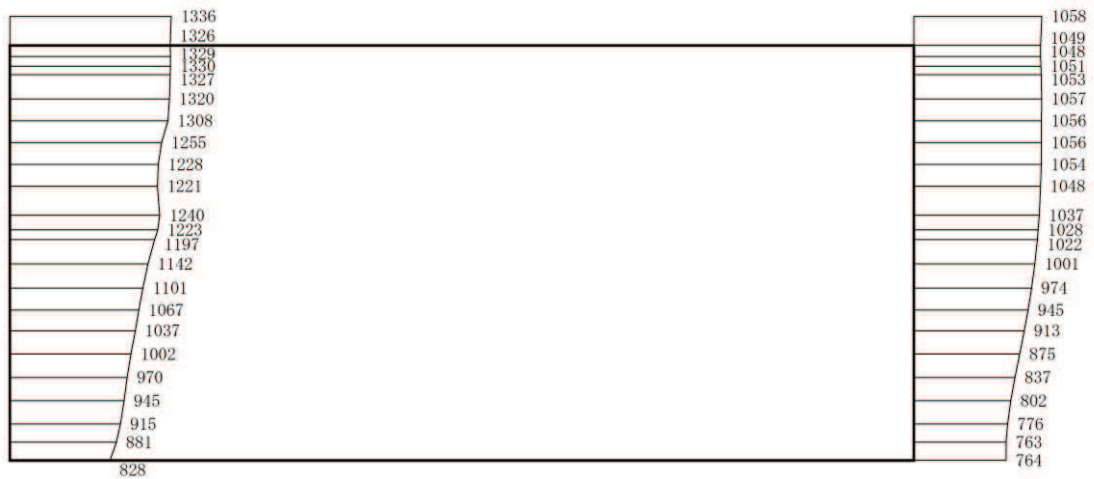
(b) S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-5 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



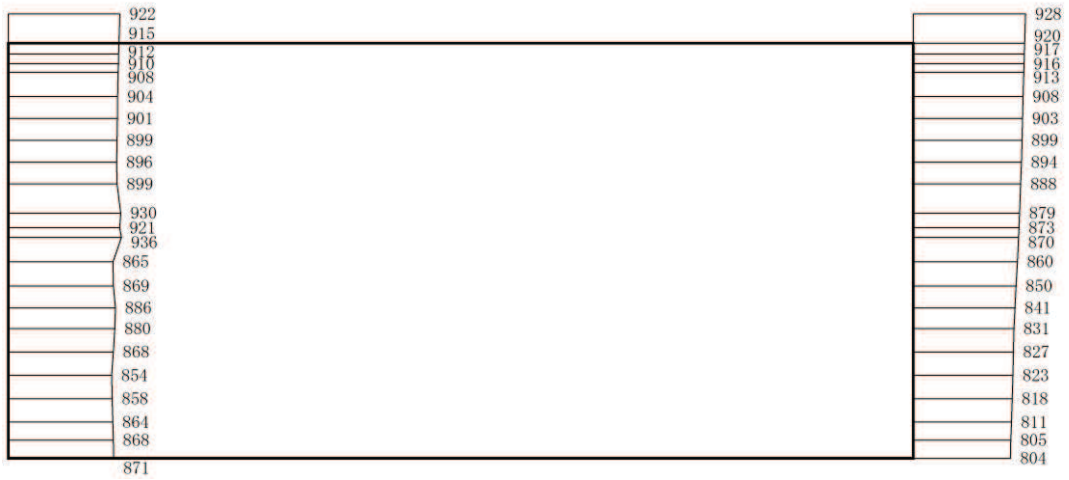
(a) S s - F 3 (++) 水平



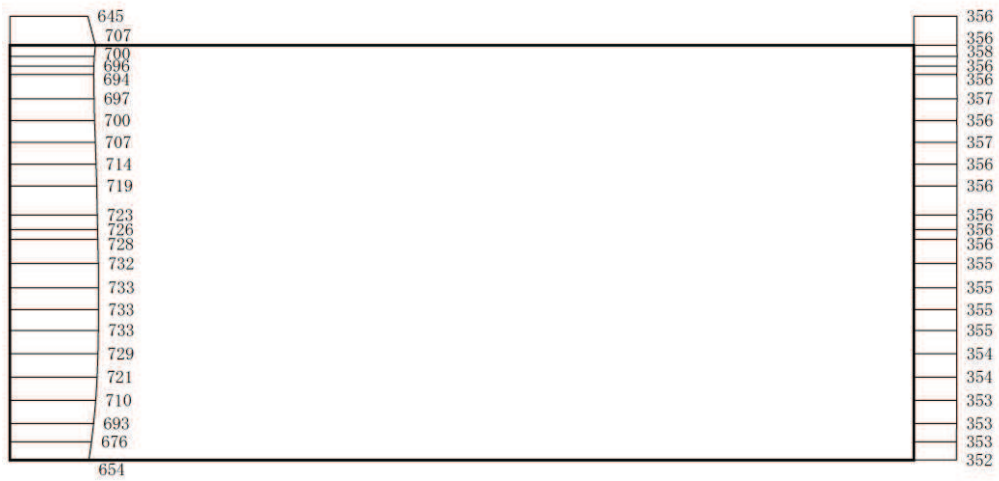
(b) S s - F 3 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-6 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



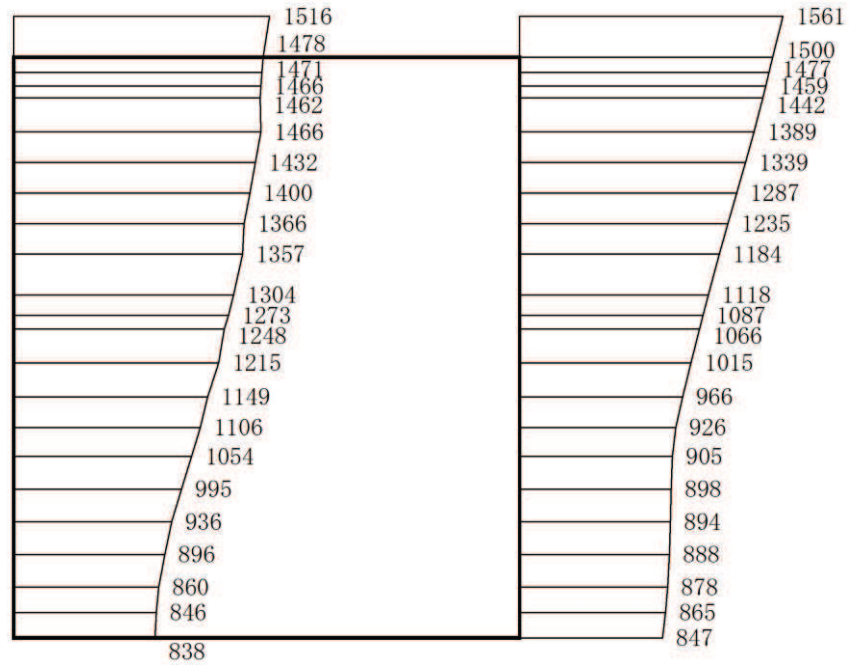
(a) $S_s - N1$ (++) 水平



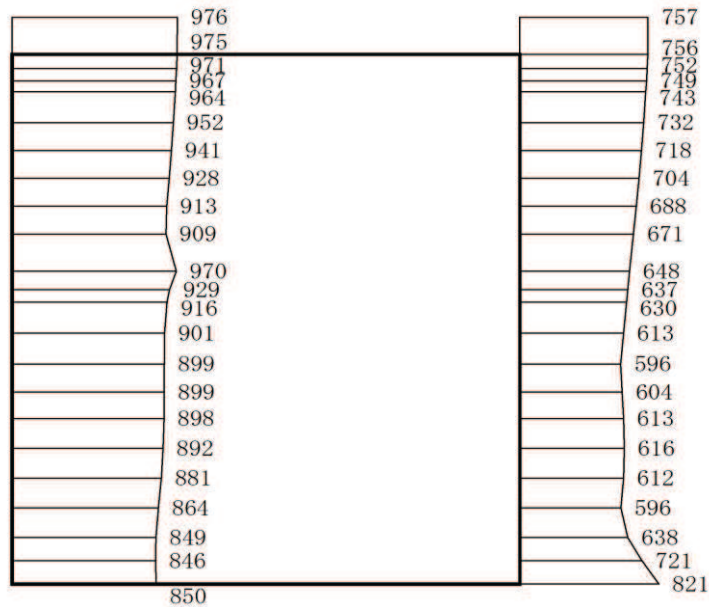
(b) $S_s - N1$ (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 1000$ (cm/s^2)

図 1-7 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, A-A 断面)



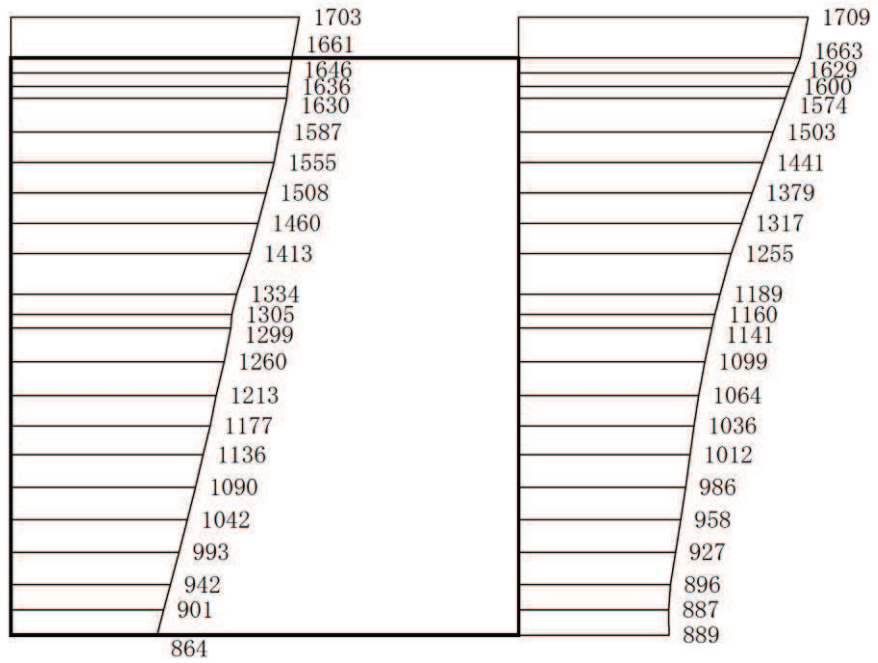
(a) S s - D 1 (++) 水平



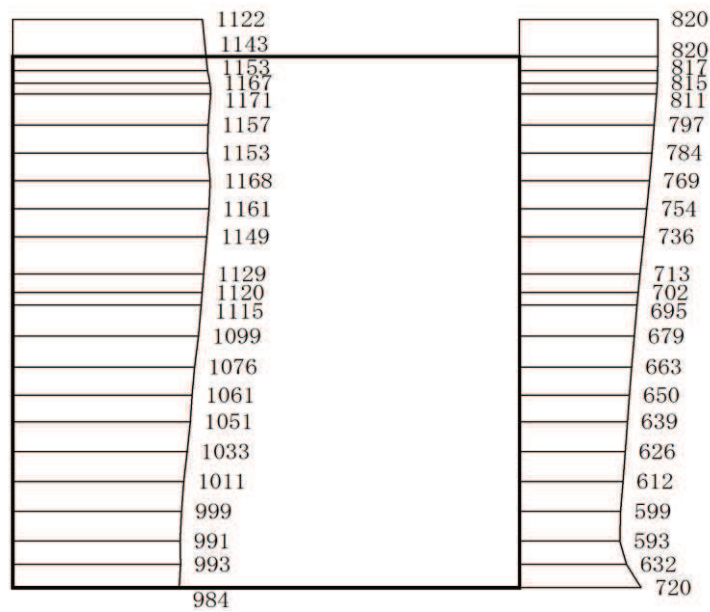
(b) S s - D 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-8 EW断面の最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B断面)



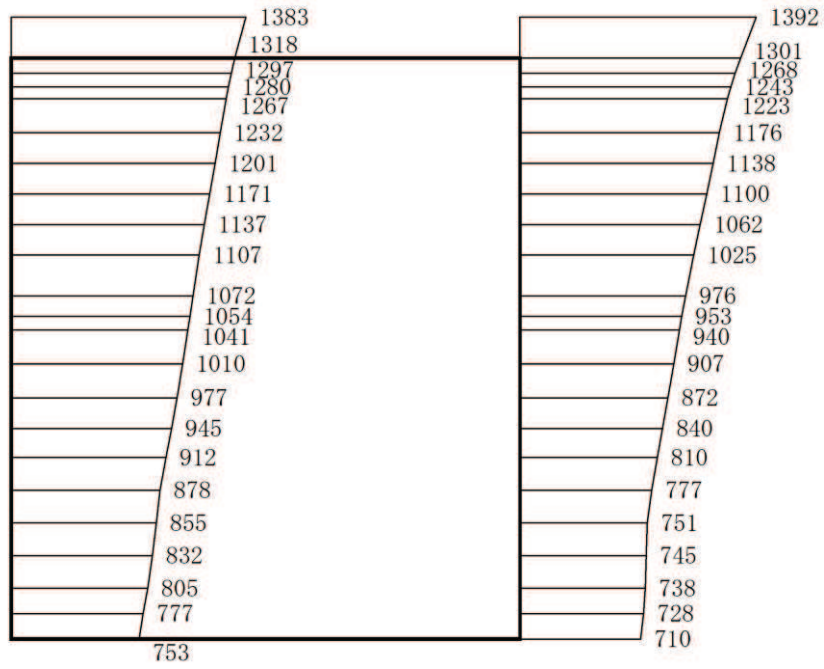
(a) S s - D 2 (++) 水平



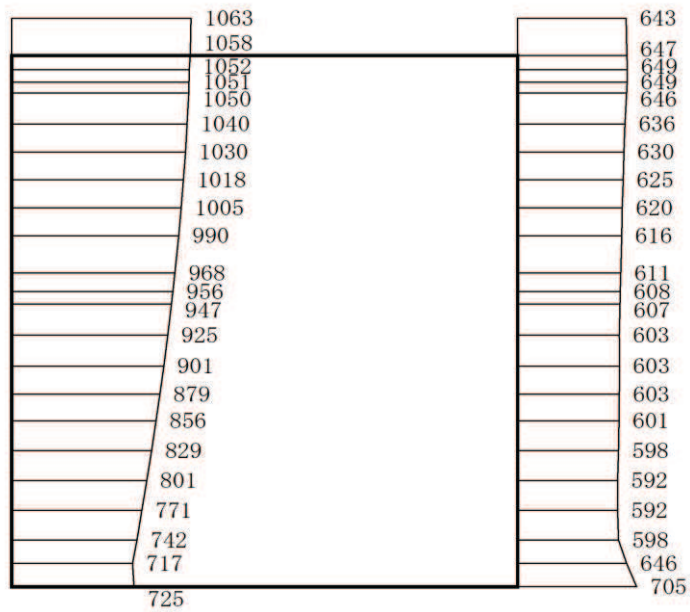
(b) S s - D 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-9 EW断面の最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B断面)



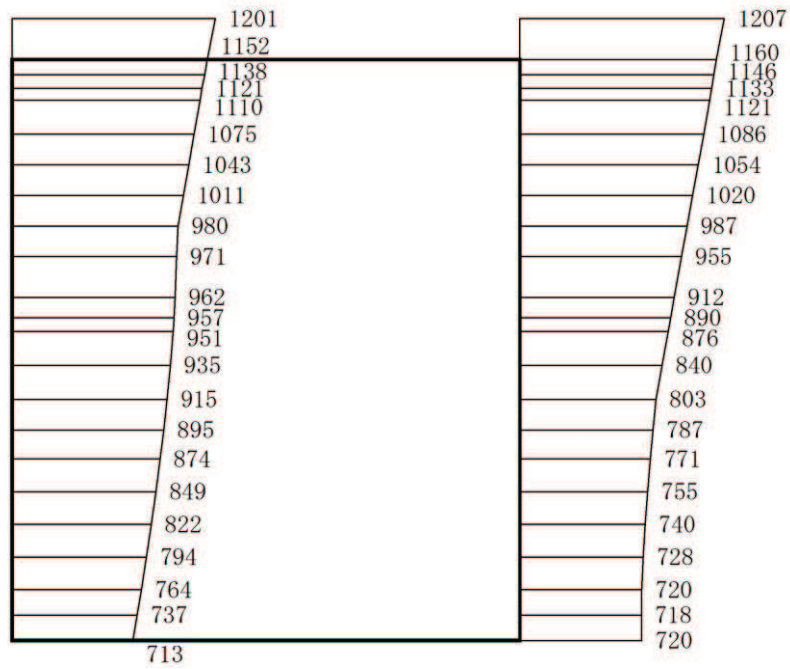
(a) S s - D 3 (++) 水平



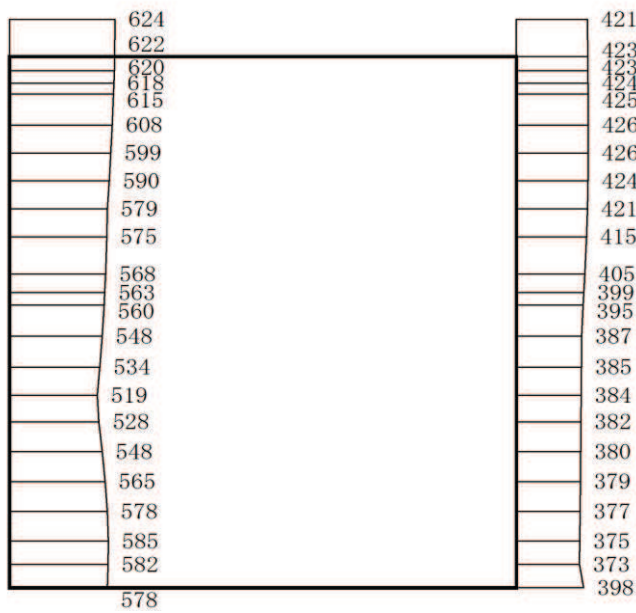
(b) S s - D 3 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-10 E W断面の最大加速度分布図 (解析ケース⑤B-B断面)



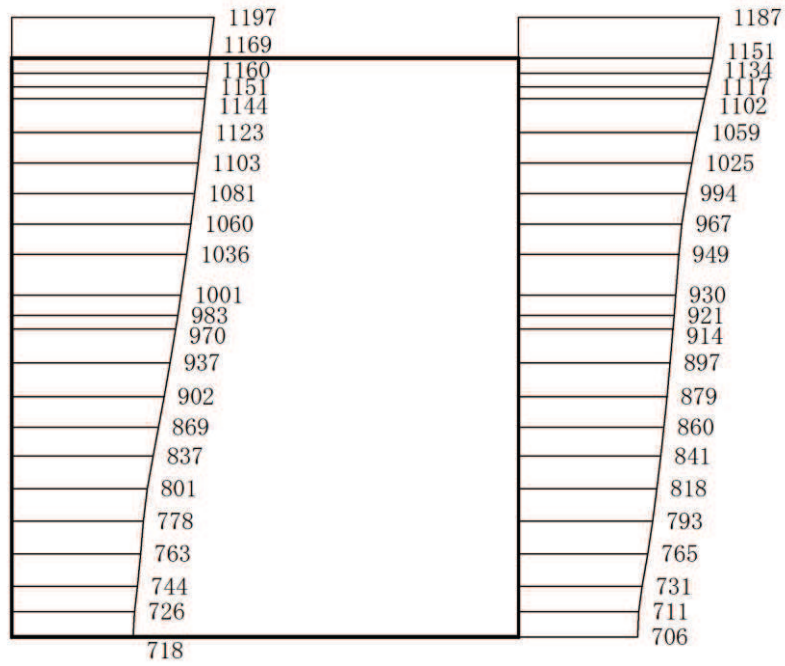
(a) S s - F 1 (++) 水平



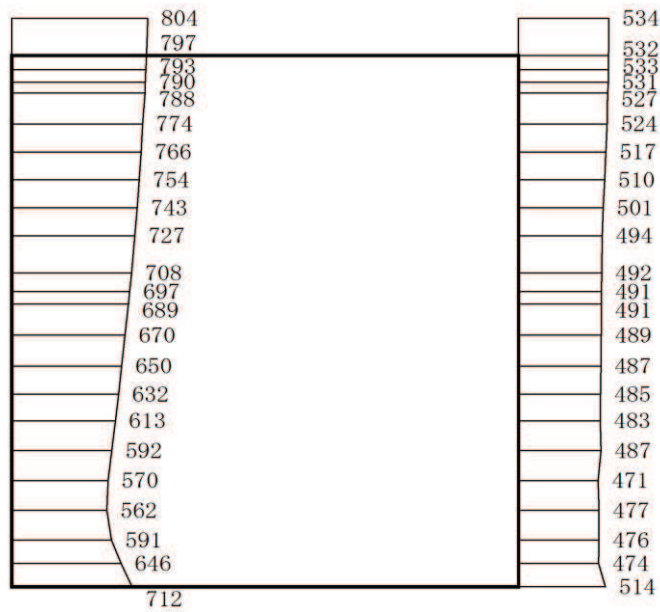
(b) S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-11 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B 断面)



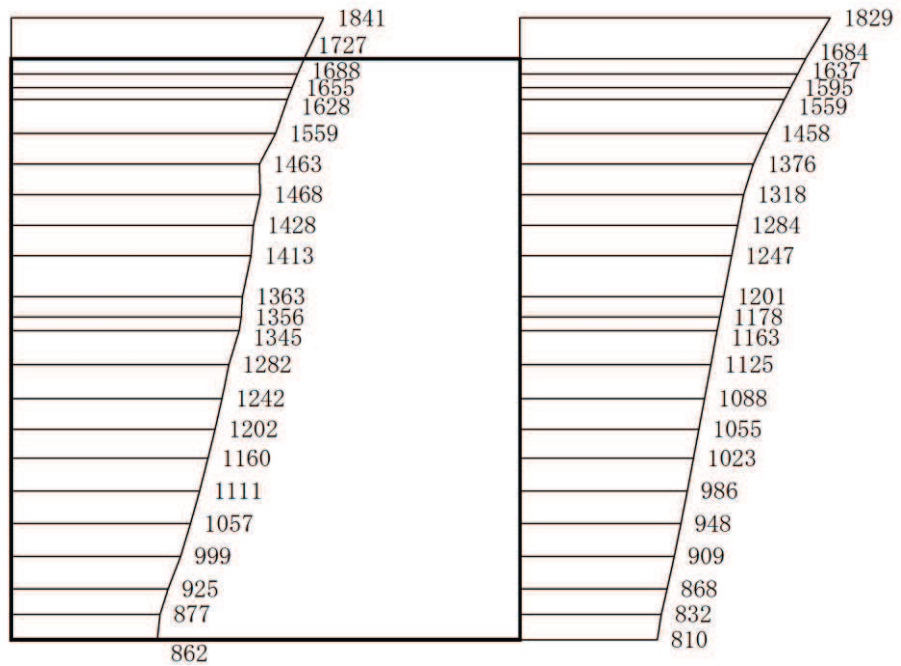
(a) S s - F 2 (++) 水平



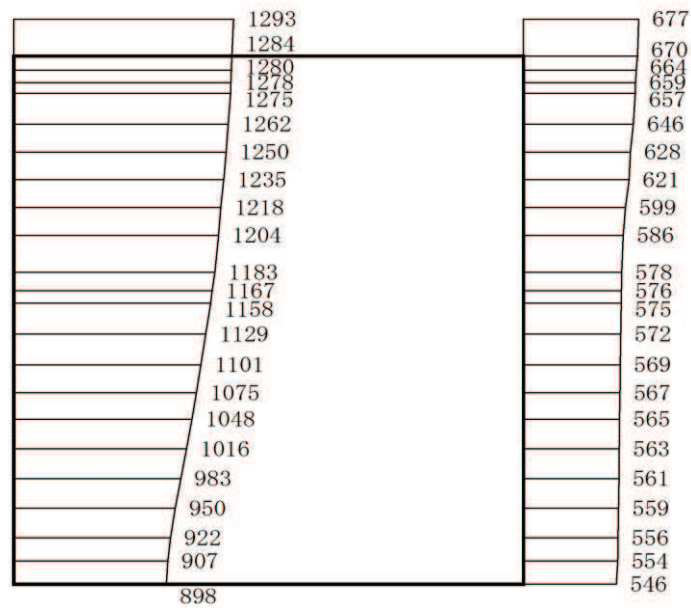
(b) S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-12 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B 断面)



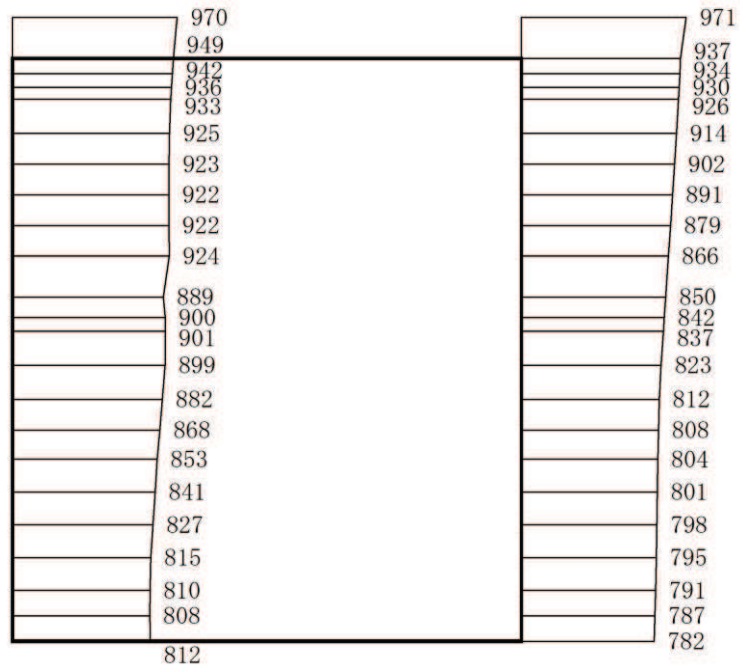
(a) S s - F 3 (++) 水平



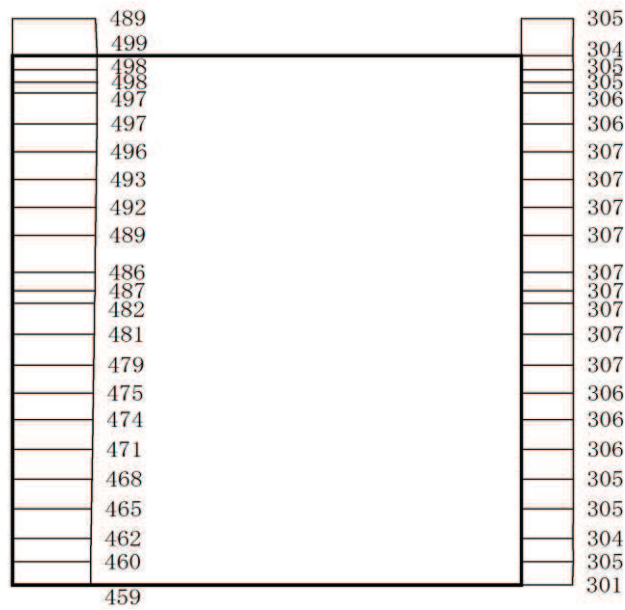
(b) S s - F 3 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-13 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B 断面)



(a) S s - N 1 (++) 水平



(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2 (m) 応答値スケール 0 1000 (cm/s²)

図 1-14 最大加速度分布図 (解析ケース⑤, B-B 断面)

参考資料 2 静的地震力に対する耐震評価

軽油タンク室(H)については、Cクラス施設に求められる静的地震力($kh=0.16$)を上回る、基準地震動 S_s による地震力に対して、許容応力度法による耐震評価を実施していることから、今回工認では静的地震力による評価は省略する。

参考資料 3 断層交差部の影響評価

1. 評価方法

SF-2①断層及び SF-2②断層と交差する軽油タンク室 (H) は、施設の周囲が地盤に覆われていることから、岩盤の変形に対して躯体が変形しやすい地質状況となっている。また、MMR に支持されている構造物となるため、断層が構造部に与える影響は間接的となっている。そのため、断層が軽油タンク室 (H) に与える影響が軽微であると考えられることから、断層が軽油タンク室 (H) の耐震性に与える影響について検討を行う。軽油タンク室 (H) の断層交差部における影響検討では、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認する。

2. 評価条件

2.1 評価対象断面の選定

「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「4.9 軽油タンク室 (H)」に基づき、SF-2①断層及び SF-2②断層に対して概ね直交し、両断層がマンメイドロック (以下「MMR という。)」に接している南北方向の断面を選定する。

評価対象断面地質図を図 2-1 に示す。

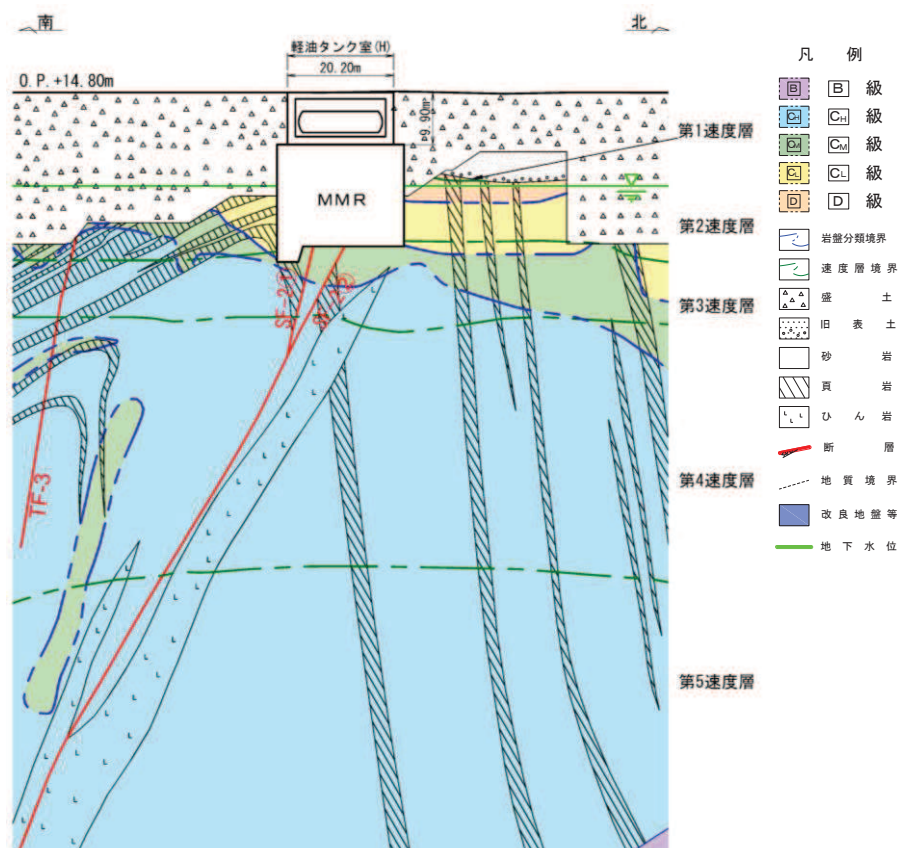


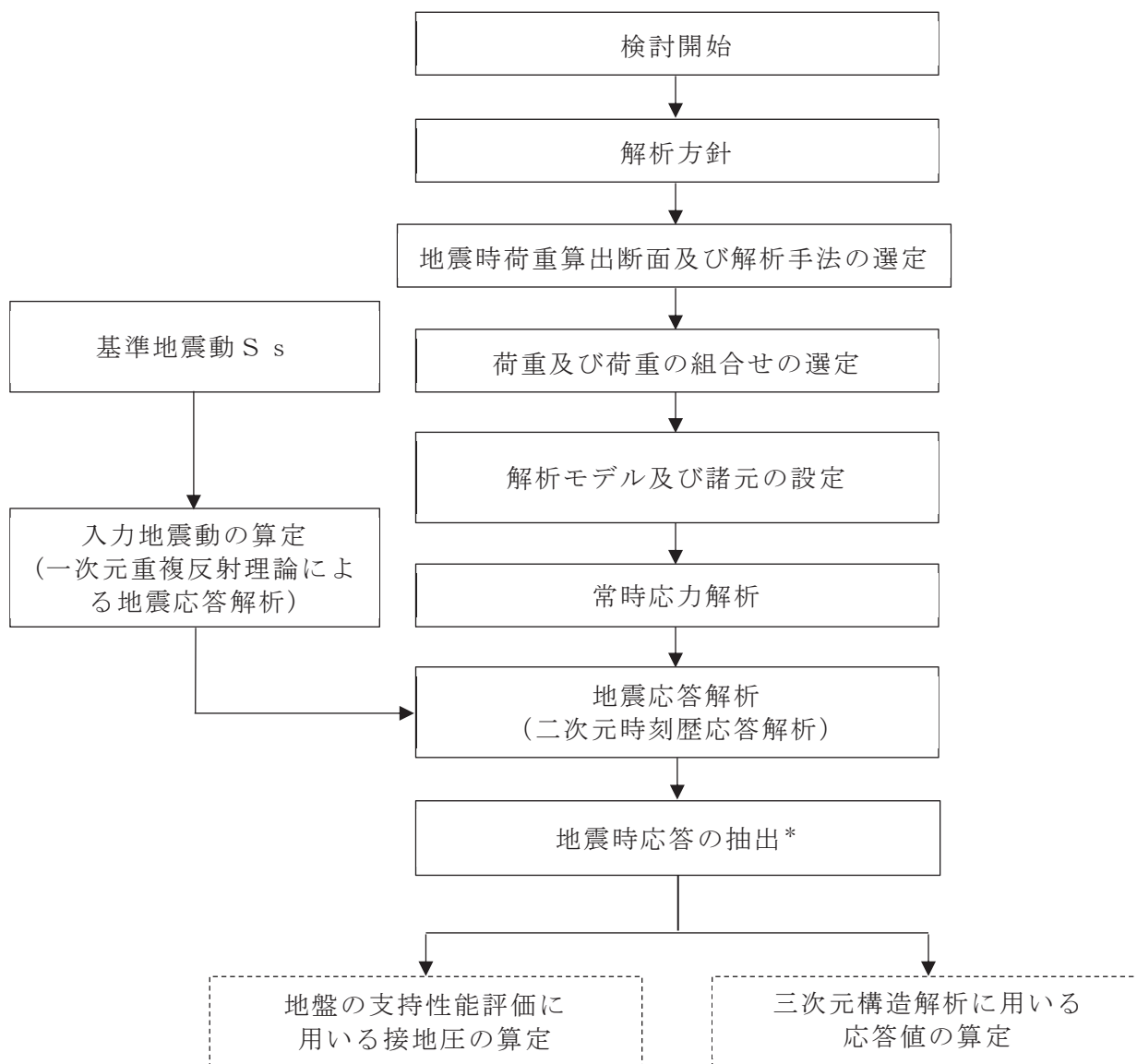
図 2-1 軽油タンク室 (H) の評価対象地質断面図 (南北)

2.2 使用材料及び材料の物性値等

使用材料及び材料の物性値は「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「2.5 使用材料及び材料の物性値」、地盤物性値は「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「2.6 地盤物性値」、評価構造物諸元は「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「2.7 評価構造物諸元」、地下水位は「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「2.8 地下水位」と同様とする。

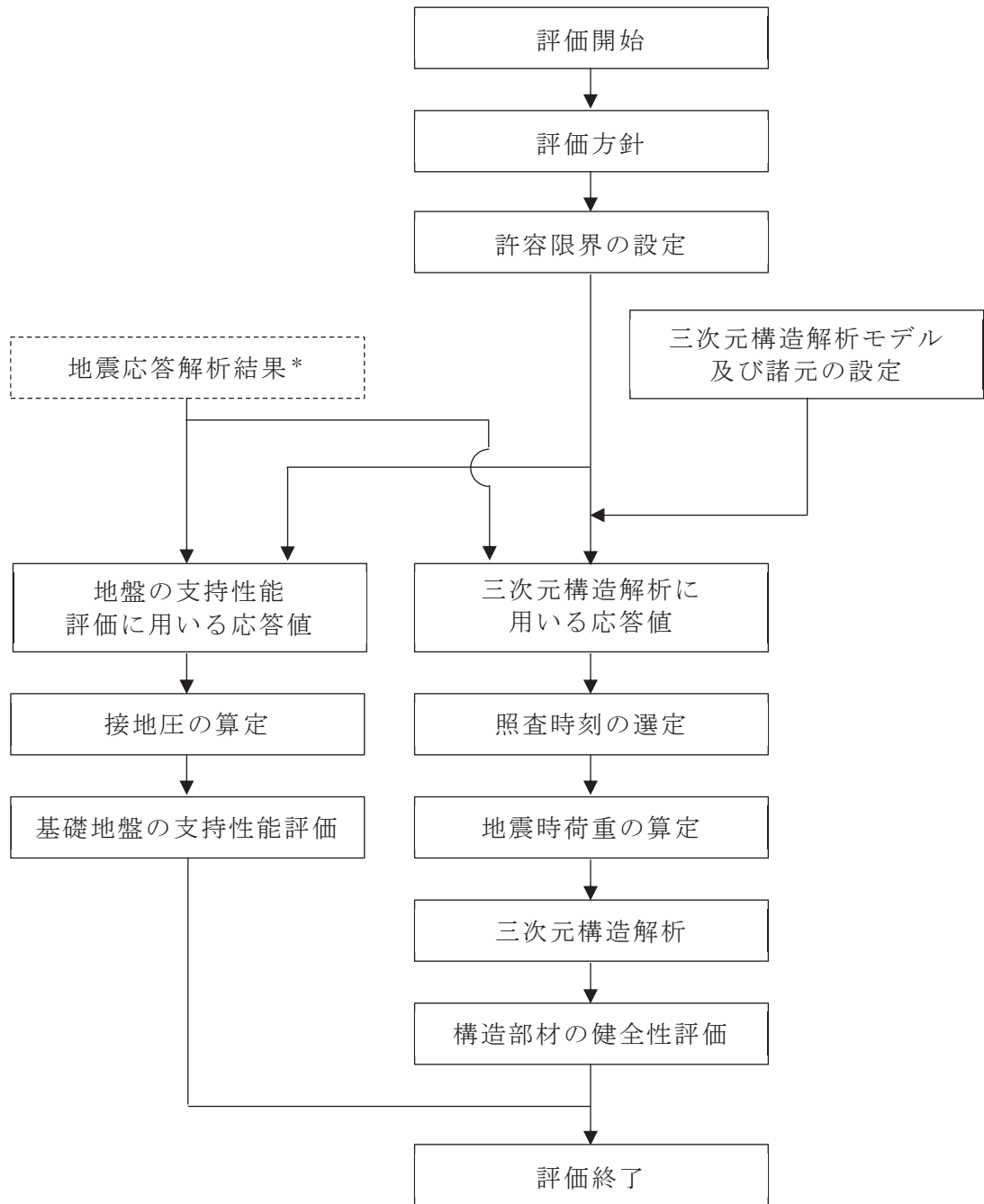
2.3 耐震評価フロー

軽油タンク室 (H) の地震応答解析フロー及び耐震評価フローを図 2-2 及び図 2-3 に示す。



注記*：耐震評価に用いる応答値を算定する。

図 2-2 軽油タンク室 (H) の地震応答計算フロー



注記*：地震応答解析より算定した値を用いる。

図 2-3 軽油タンク室 (H) の耐震評価フロー

2.4 適用規格

「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「2.1 適用規格」と同様とする。

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析手法

「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「3.1 地震応答解析手法」と同様とする。

3.2 地震応答解析モデルの設定

女川原子力発電所第 2 号機における屋外重要土木構造物等の断層交差部の断層評価においては、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 4 断層交差部の影響評価」における「1. 断層が接する構造物の抽出」に既述の通り、地質観察により断層の影響を否定できない領域をすべて断層幅として保守的に評価している。

構造物へ与える影響は、構造物直下の粘土状物質の断層幅が支配的と考えられるものの、断層の挙動は深部まで連続する断層が一体となって変形することから、深部での断層幅も考慮しモデル化する断層幅を決定する。つまり、直下の粘土状物質の幅と深部を含めた断層の平均幅のうち大きい方を用いる。

表 3-1 に示すように、軽油タンク室 (H) の SF-2①断層及び SF-2②断層と交差する南北断面は、SF-2①断層については、モデル化領域の地質調査より得られた断層の平均幅が大きいため、平均幅 115mm を用い、SF-2②断層については、構造物直下の粘土状物質の幅が大きいため、粘土状物質の幅 700mm を用いて評価を行う。

二次元有限要素解析による影響評価においては、粘土状物質以外の亀裂部等も含めた断層幅をすべて粘土状物質によりモデル化する。なお、解析用物性値一覧と使用する粘土状物質の物性値は「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 4 断層評価部の影響評価」に示す。

二次元有限要素解析における断層のモデル化は、「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料> (土木学会, 2009 年)」(以下「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>」という。)を参考に、ジョイント要素により行う。また、松本ら*の「ソリッド要素による弱層のモデルに対し、ジョイント要素を用いた弱層のモデルは、同程度の地盤応答を再現できる」という知見と「設置変更許可時の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価」における断層のモデル化方針を踏まえ、軽油タンク室 (H) の解析でモデル化する断層は層厚が薄いことから、ジョイント要素によりモデル化する。

ジョイント要素は「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>」を参考に、ばね値をせん断弾性係数と断層の厚さの関係から式 3-1 及び式 3-2 のとおり設定する。表 3-2 に影響評価を行う断層幅及びモデル化方法の一覧を示す。

断層以外については、「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「3.2 地震応答解析モデルの設定」に基づきモデル化する。地震応答解析モデルを図 3-1 に示す。

$$\text{せん断ばね} : k_s = \frac{G}{t} \quad \dots (\text{式 } 3-1)$$

$$\text{垂直ばね} : k_n = \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \cdot \frac{G}{t} \quad \dots (\text{式 } 3-2)$$

注記*：松本ら：非線形動的解析における地盤の弱層のモデル化に関する一考察，土木学会第 66 回年次学術講演会（平成 23 年度）

表 3-1 屋外重要土木構造物等と直下に分布する断層

構造物	断層	構造物直下の粘土状物質の幅 (mm)	モデル化領域の断層の平均幅 (mm)
軽油タンク室 (H)	SF-2②断層	700	205
	SF-2①断層	110	115

注：赤枠は評価対象として選定した断層

表 3-2 断層幅及びモデル化方法

構造物	断層	断層幅 (mm)	モデル化方法
軽油タンク室 (H)	SF-2②断層	700	ジョイント要素
	SF-2①断層	110	ジョイント要素

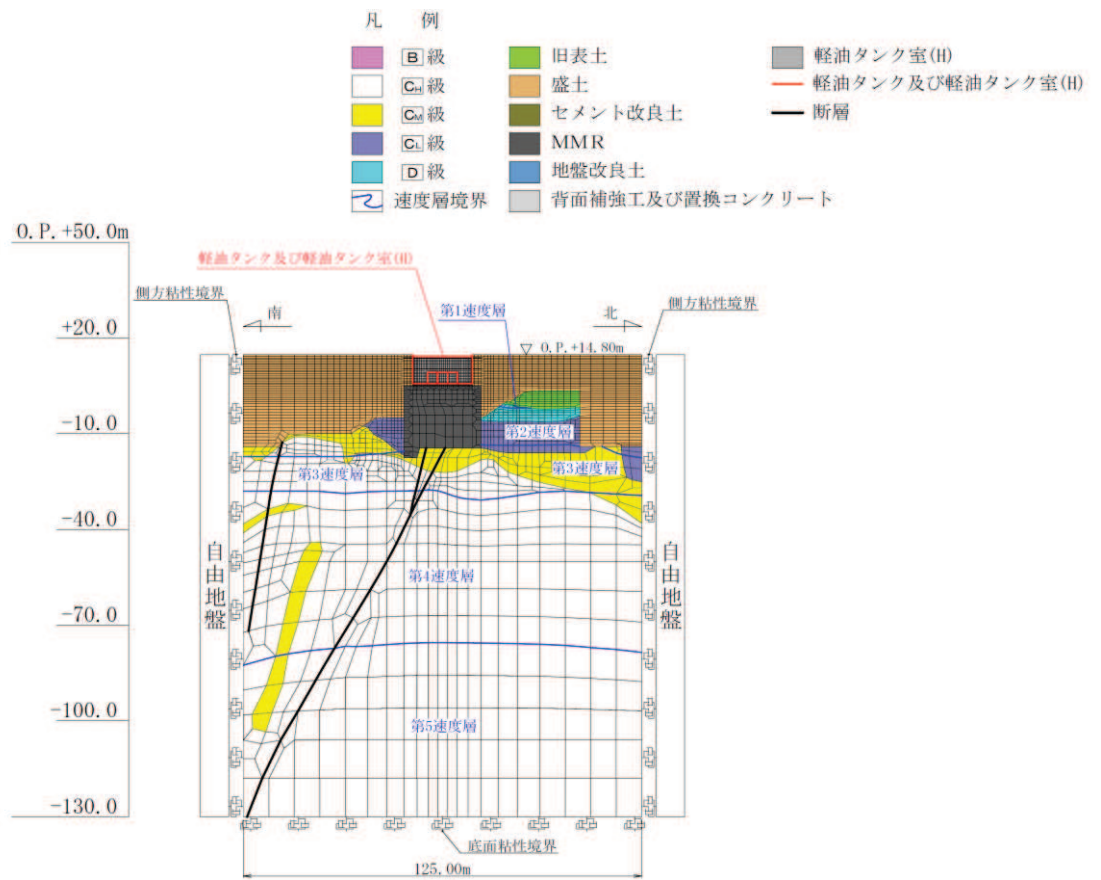


図 3-1 軽油タンク室 (H) の地震応答解析モデル図 (南北)

3.3 減衰定数

減衰定数は「資料8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「3.3 減衰定数」に基づき設定する。

固有値解析結果の一覧を表3-3に、固有値解析におけるモード図を図3-2に、係数 α 、 β を表3-4に、固有値解析に基づき設定したRayleigh減衰を図3-3に示す。

表3-3 固有値解析結果

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		Tx	Ty	β_x	β_y	
1	1.514	5	0	48.36	10.85	1次として採用
2	1.675	8	1	38.42	-13.38	—
3	2.222	9	1	10.74	-13.04	—
4	2.514	9	1	20.30	13.99	—
5	2.818	10	1	16.90	3.95	—
6	3.037	12	2	29.30	-11.06	—
7	3.190	12	2	-5.07	-4.46	—
8	3.272	13	2	-22.24	-15.07	—
9	3.435	13	2	-3.95	-2.52	—
10	3.679	15	2	30.12	0.12	—

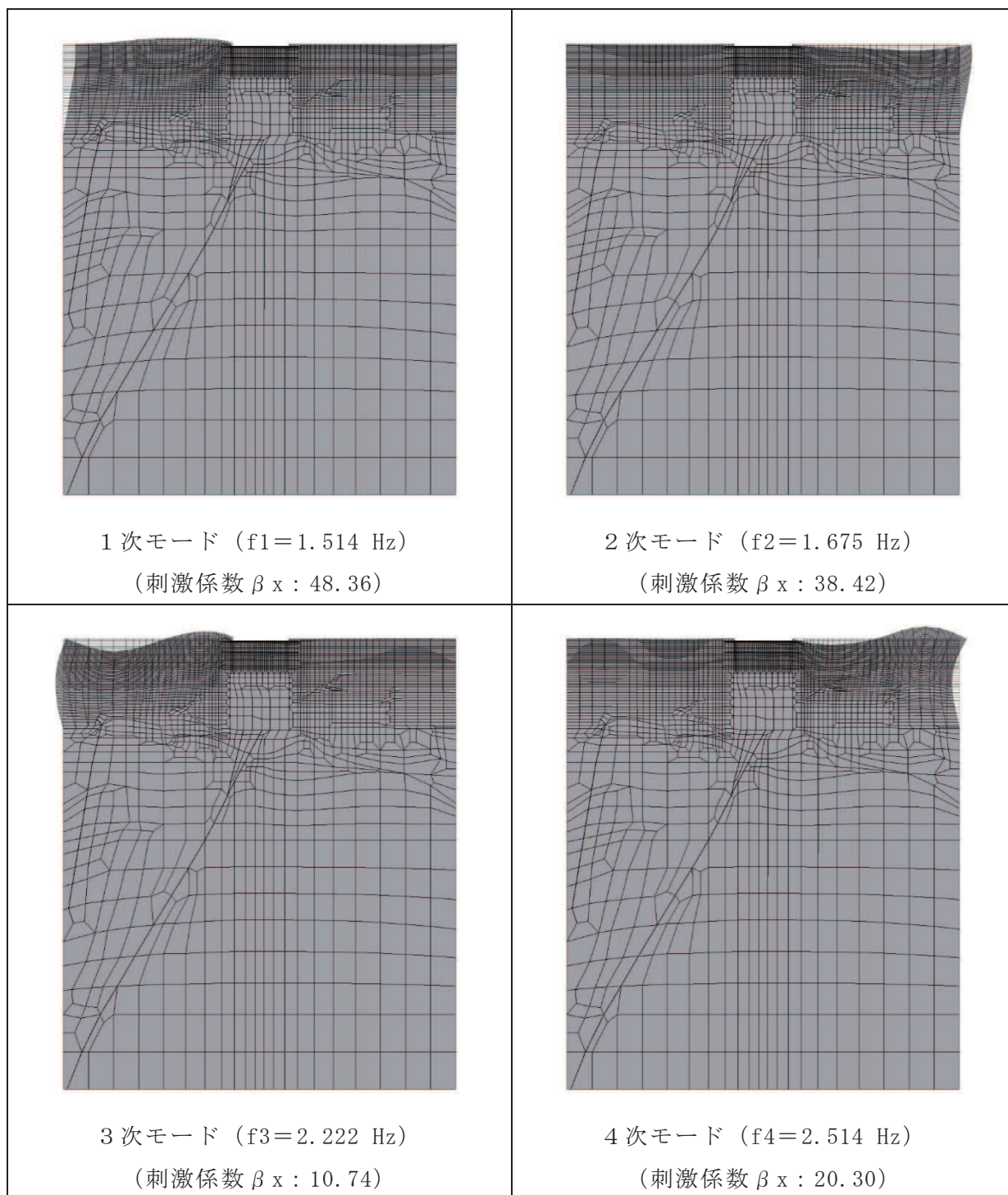


図 3-2(1) 固有値解析結果 (モード図)

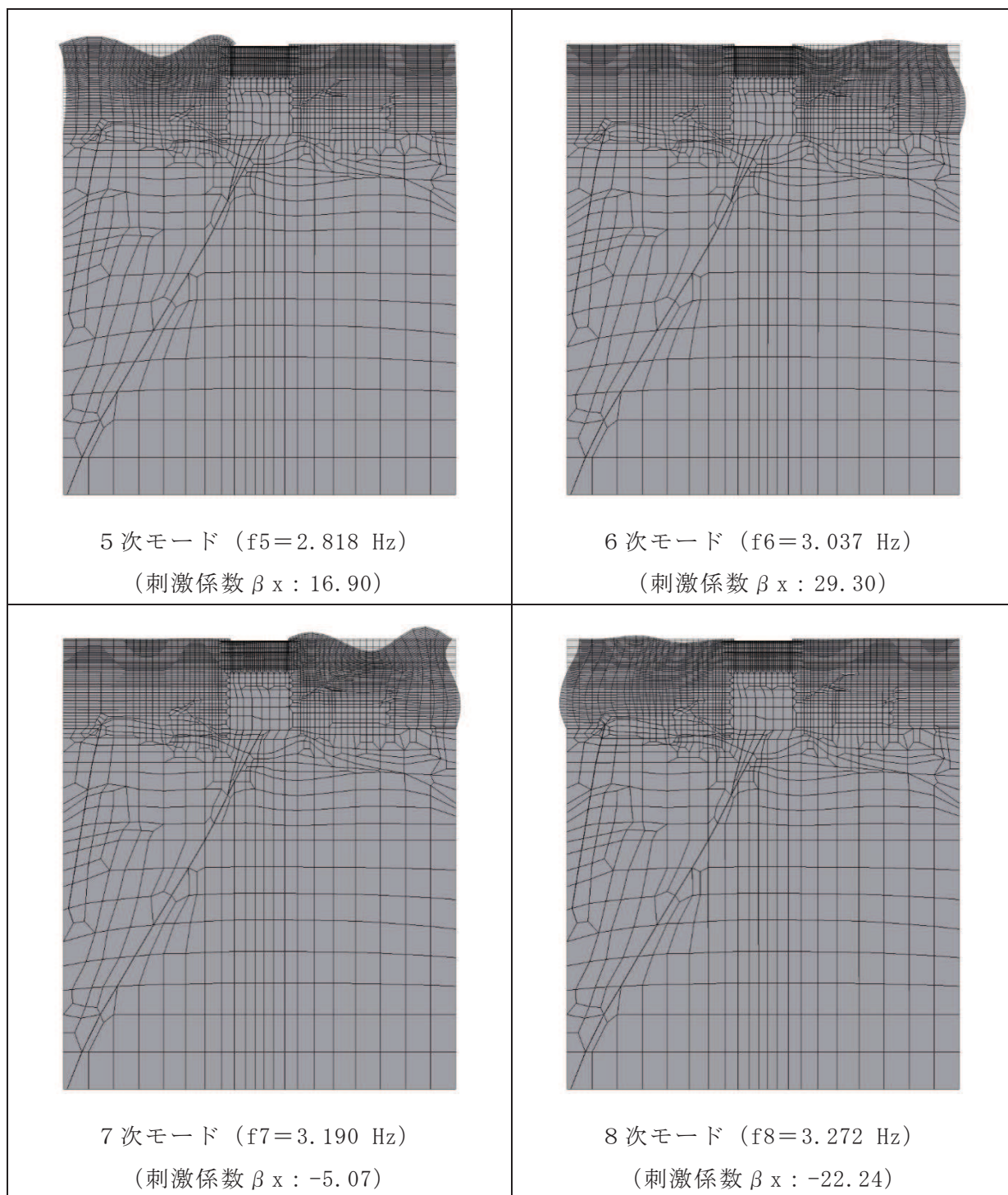


図 3-2(2) 固有値解析結果 (モード図)

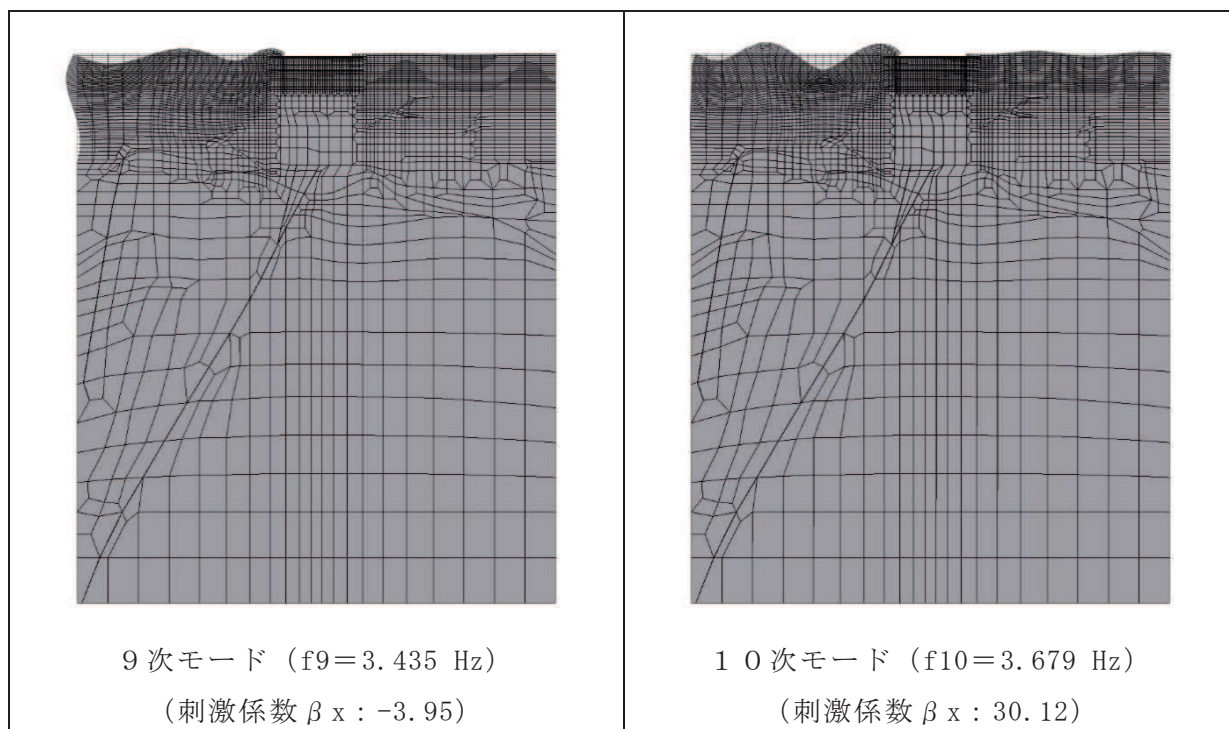


図 3-2(3) 固有値解析結果 (モード図)

表 3-4 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

α	β
2.854×10^{-1}	1.051×10^{-3}

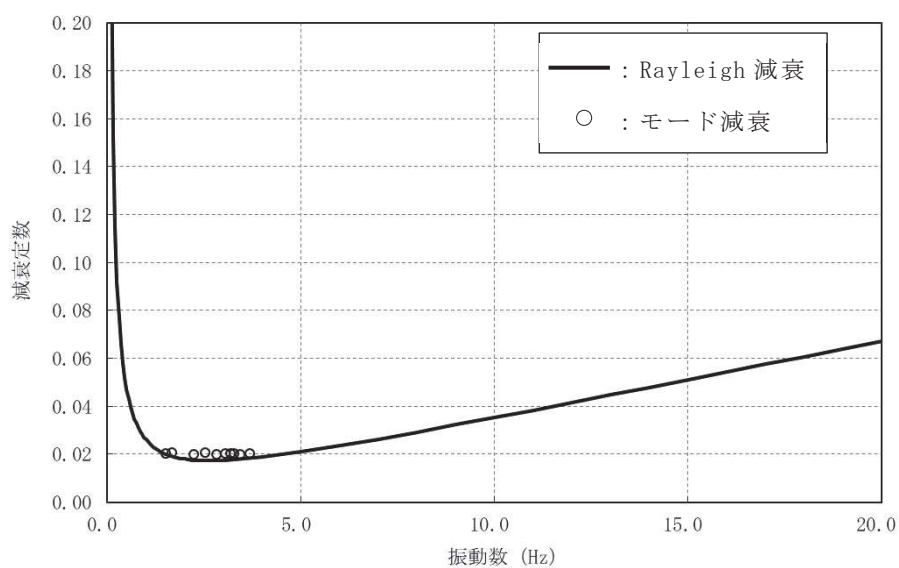


図 3-3 設定した Rayleigh 減衰

3.4 荷重の組合せ

「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「3.4 荷重の組合せ」と同様とする。

3.5 地震応答解析の解析ケース

断層交差部の耐震評価においては，耐震性に与える影響検討のため基準地震動 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波を用いて基本ケース (ケース①) を実施する。

4. 三次元構造解析

「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「4. 三次元構造解析」と同様とする。

5. 評価内容

5.1 入力地震動の設定

入力地震動は，「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「5.1 入力地震動の設定」と同様とする。

5.2 許容限界の設定

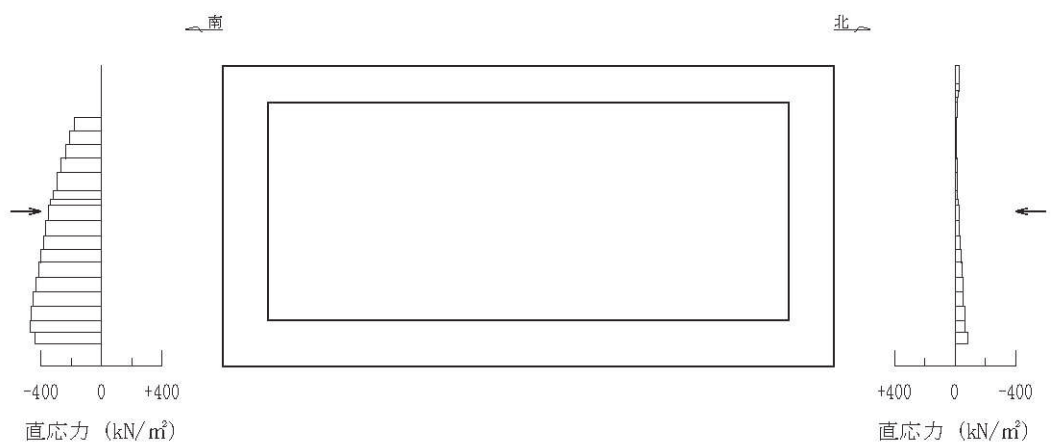
「資料 8 軽油タンク室 (H) の耐震安全性評価」のうち「5.2 許容限界の設定」と同様とする。

6. 評価結果

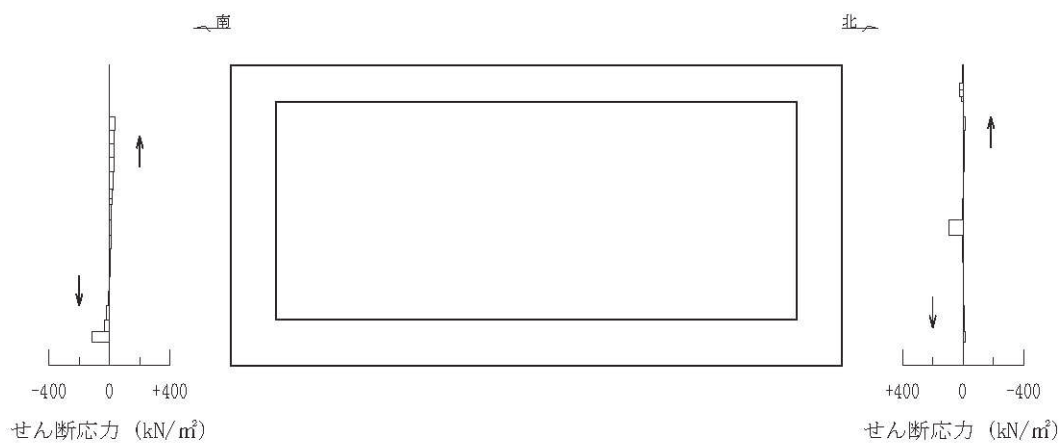
6.1 地震応答解析結果

6.1.1 作用荷重分布図

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のうち，照査値が最大となるせん断破壊に対する照査時における作用荷重分布図を図 6-1 及び図 6-2 に示す。



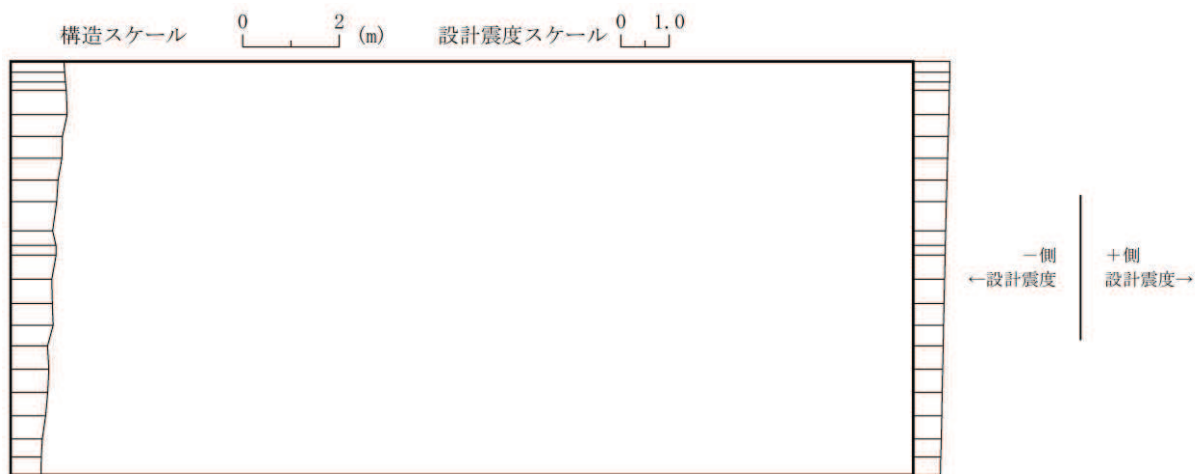
直応力



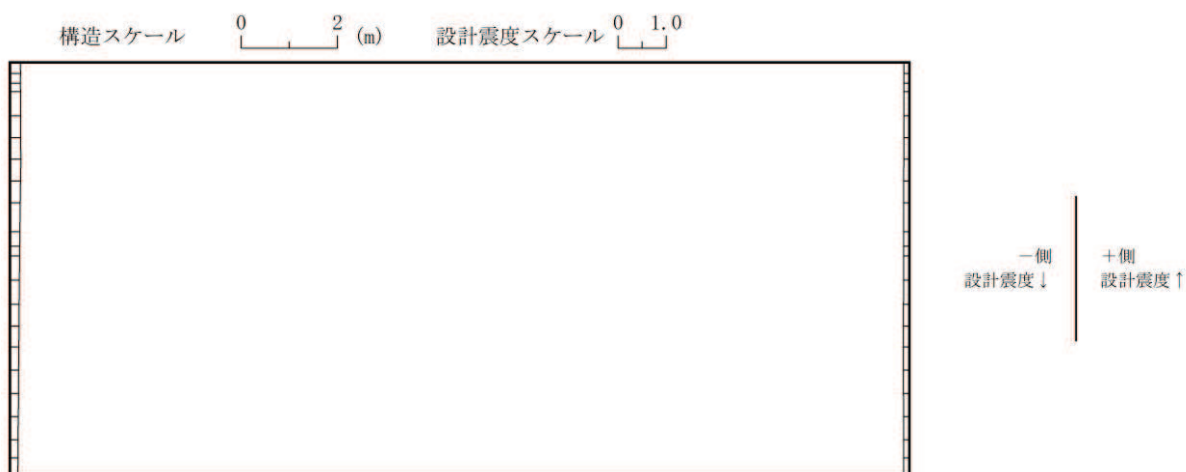
せん断応力

図中の矢印は荷重の作用方向を示す

図 6-1 作用荷重分布図 (直応力及びせん断応力)
(解析ケース①, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75s$)



水平震度



鉛直震度

図 6-2 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(解析ケース①, $S_s - F3$ (++) , $t = 27.75s$)

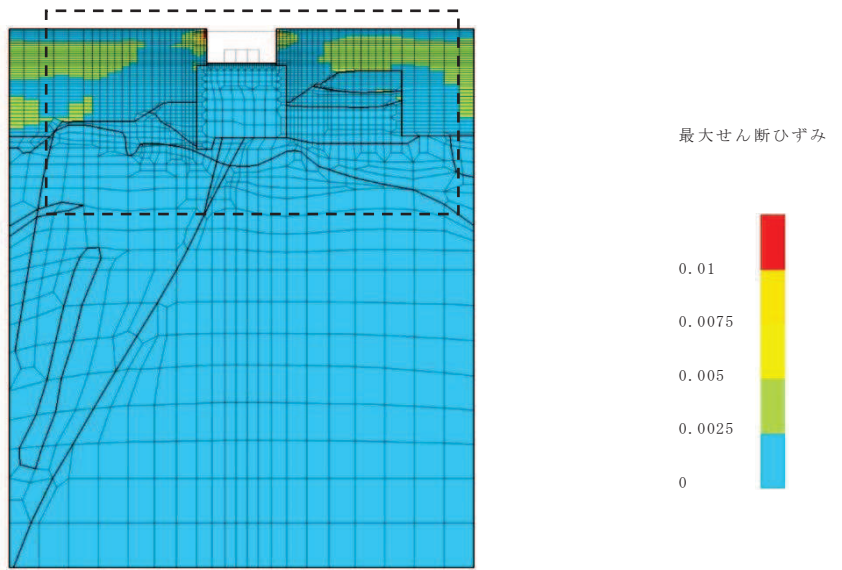
6.1.2 最大せん断ひずみ分布

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。

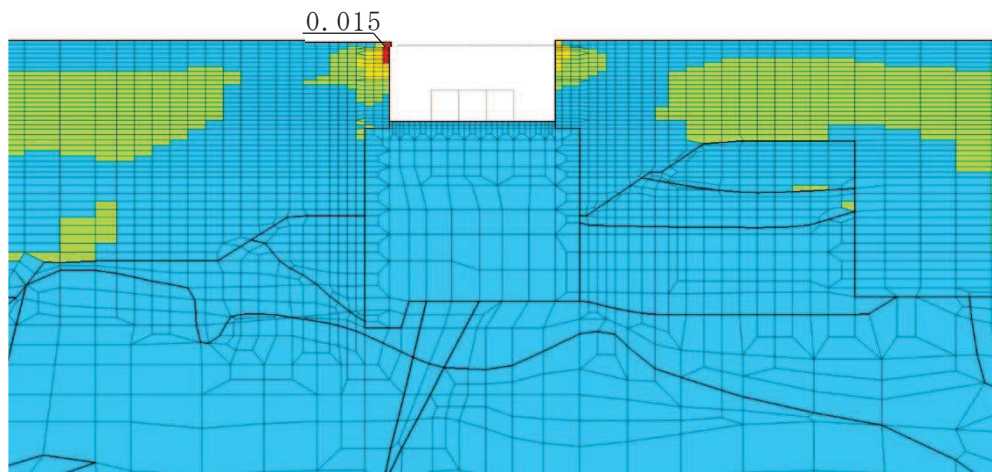
最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 6-1 に、最大せん断ひずみ分布図を図 6-3 に示す。

表 6-1 最大照査値を示すケースの一覧

評価項目	
曲げ・軸力系	せん断
ケース①	ケース①
S s - F 3 (++)	S s - F 3 (++)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

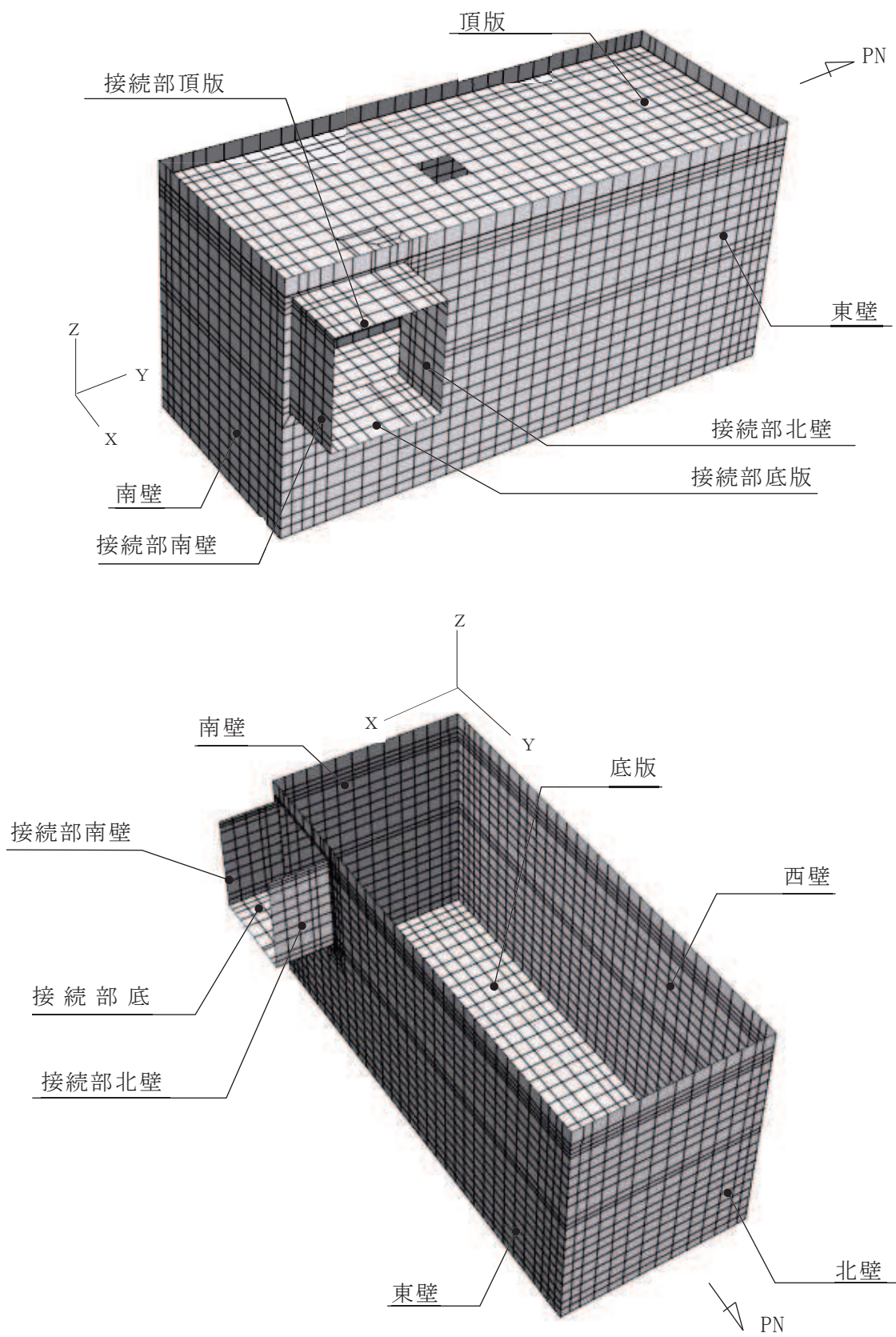
図 6-3 最大せん断ひずみ分布図 (曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊)
(解析ケース①, S s - F 3 (++))

6.2 構造部材の健全性に対する評価結果

6.2.1 解析ケースと照査値

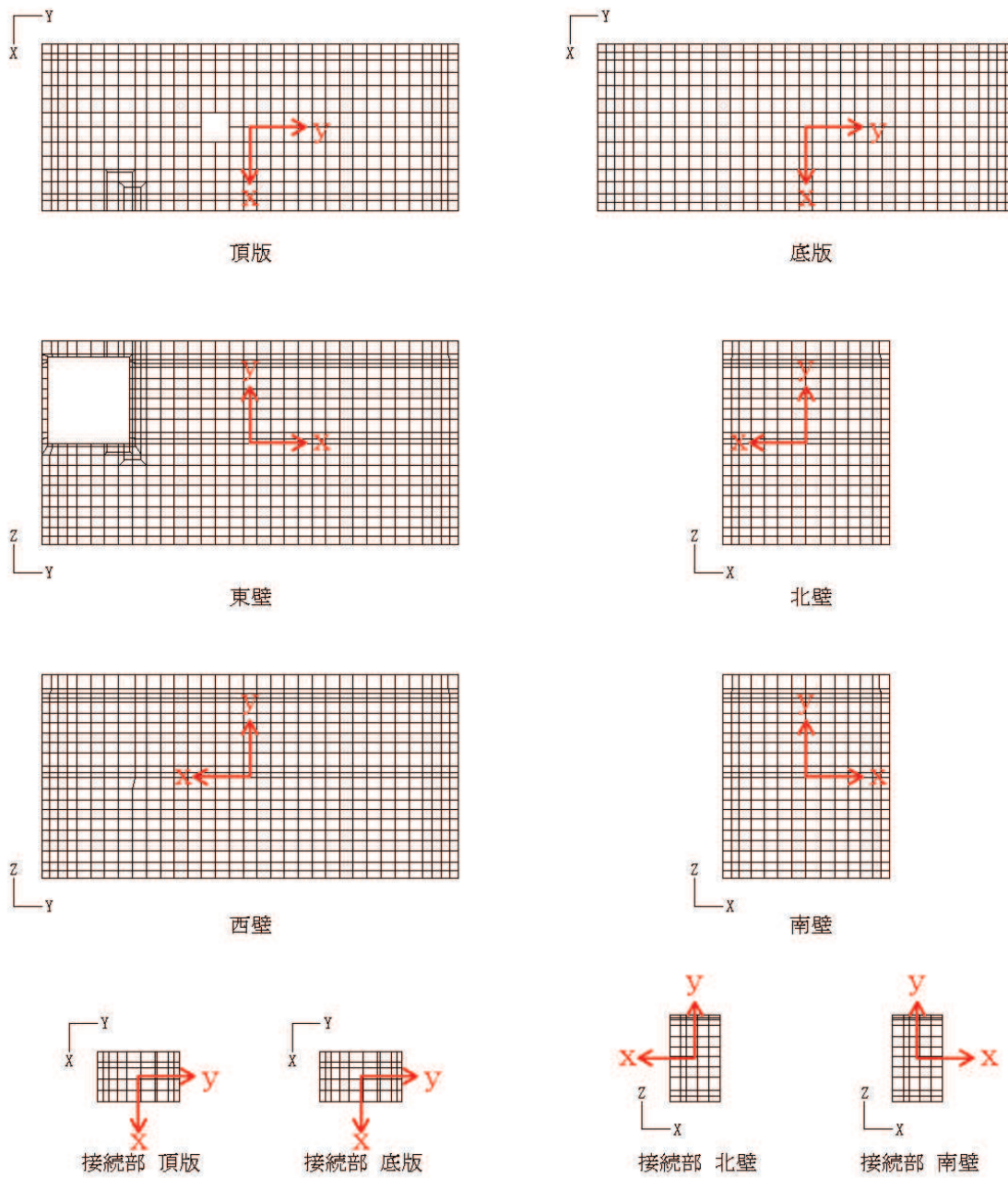
曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を表 6-2 に、せん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を表 6-3 に、基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を表 6-4 に示す。

また、各部材位置を図 6-4 に、各部材の要素座標系を図 6-5 に、シェル要素における各要素の断面力の方向を図 6-6 に示す。



* 頂版は非表示

図 6-4 各部材位置



黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 6-5 各部材の要素座標系

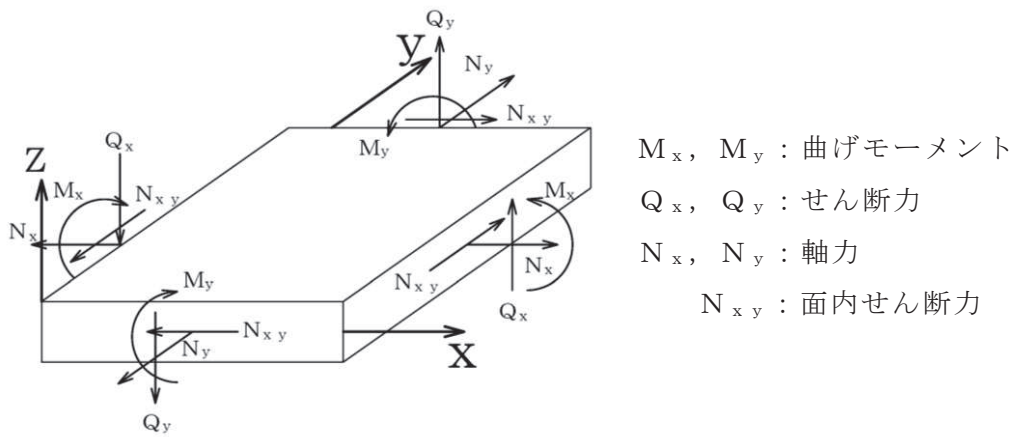


図 6-6 シェル要素における断面力の方向

表 6-2(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（底版）*

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
S _s -D 1	++	0.22		
	-+	0.22		
S _s -D 2	++	0.27		
	-+	0.25		
S _s -D 3	++	0.23		
	-+	0.23		
S _s -F 1	++	0.20		
	-+	0.23		
S _s -F 2	++	0.19		
	-+	0.20		
S _s -F 3	++	0.23		
	-+	0.24		
S _s -N 1	++	0.18		
	-+	0.20		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（頂版）*

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
S _s -D 1	++	0.11		
	-+	0.12		
S _s -D 2	++	0.12		
	-+	0.11		
S _s -D 3	++	0.11		
	-+	0.11		
S _s -F 1	++	0.11		
	-+	0.09		
S _s -F 2	++	0.11		
	-+	0.12		
S _s -F 3	++	0.14		
	-+	0.11		
S _s -N 1	++	0.12		
	-+	0.09		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(3) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（南北壁）*

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
S _s -D 1	++	0.16		
	-+	0.18		
S _s -D 2	++	0.21		
	-+	0.21		
S _s -D 3	++	0.20		
	-+	0.17		
S _s -F 1	++	0.17		
	-+	0.17		
S _s -F 2	++	0.17		
	-+	0.17		
S _s -F 3	++	0.23		
	-+	0.17		
S _s -N 1	++	0.15		
	-+	0.15		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(4) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（東西壁）*

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
S _s -D 1	++	0.30		
	-+	0.29		
S _s -D 2	++	0.31		
	-+	0.34		
S _s -D 3	++	0.26		
	-+	0.30		
S _s -F 1	++	0.27		
	-+	0.24		
S _s -F 2	++	0.27		
	-+	0.27		
S _s -F 3	++	0.30		
	-+	0.26		
S _s -N 1	++	0.20		
	-+	0.22		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(5) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 底版）*

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
S _s -D 1	++	0.15		
	-+	0.18		
S _s -D 2	++	0.20		
	-+	0.16		
S _s -D 3	++	0.19		
	-+	0.15		
S _s -F 1	++	0.15		
	-+	0.17		
S _s -F 2	++	0.15		
	-+	0.16		
S _s -F 3	++	0.18		
	-+	0.19		
S _s -N 1	++	0.15		
	-+	0.15		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(6) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 頂版）*

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
S _s -D 1	++	0.10		
	-+	0.12		
S _s -D 2	++	0.20		
	-+	0.10		
S _s -D 3	++	0.18		
	-+	0.09		
S _s -F 1	++	0.14		
	-+	0.17		
S _s -F 2	++	0.12		
	-+	0.10		
S _s -F 3	++	0.16		
	-+	0.18		
S _s -N 1	++	0.13		
	-+	0.14		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-2(7) 曲げ・軸力系の破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 南北壁）*

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
S _s -D 1	++	0.26		
	-+	0.28		
S _s -D 2	++	0.30		
	-+	0.29		
S _s -D 3	++	0.21		
	-+	0.24		
S _s -F 1	++	0.25		
	-+	0.20		
S _s -F 2	++	0.23		
	-+	0.26		
S _s -F 3	++	0.36		
	-+	0.19		
S _s -N 1	++	0.24		
	-+	0.19		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(1) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（底版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.33		
	-+	0.34		
S _s -D 2	++	0.39		
	-+	0.34		
S _s -D 3	++	0.34		
	-+	0.35		
S _s -F 1	++	0.31		
	-+	0.34		
S _s -F 2	++	0.31		
	-+	0.32		
S _s -F 3	++	0.34		
	-+	0.36		
S _s -N 1	++	0.27		
	-+	0.31		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(2) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（頂版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.08		
	-+	0.08		
S _s -D 2	++	0.09		
	-+	0.06		
S _s -D 3	++	0.09		
	-+	0.08		
S _s -F 1	++	0.07		
	-+	0.08		
S _s -F 2	++	0.09		
	-+	0.08		
S _s -F 3	++	0.10		
	-+	0.09		
S _s -N 1	++	0.10		
	-+	0.09		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(3) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（南北壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.29		
	-+	0.34		
S _s -D 2	++	0.37		
	-+	0.34		
S _s -D 3	++	0.26		
	-+	0.28		
S _s -F 1	++	0.31		
	-+	0.25		
S _s -F 2	++	0.29		
	-+	0.32		
S _s -F 3	++	0.42		
	-+	0.23		
S _s -N 1	++	0.28		
	-+	0.22		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(4) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（東西壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.15		
	-+	0.16		
S _s -D 2	++	0.17		
	-+	0.17		
S _s -D 3	++	0.16		
	-+	0.16		
S _s -F 1	++	0.15		
	-+	0.16		
S _s -F 2	++	0.15		
	-+	0.16		
S _s -F 3	++	0.18		
	-+	0.16		
S _s -N 1	++	0.14		
	-+	0.15		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(5) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 底版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.17		
	-+	0.20		
S _s -D 2	++	0.23		
	-+	0.17		
S _s -D 3	++	0.24		
	-+	0.15		
S _s -F 1	++	0.19		
	-+	0.23		
S _s -F 2	++	0.16		
	-+	0.19		
S _s -F 3	++	0.19		
	-+	0.21		
S _s -N 1	++	0.18		
	-+	0.21		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(6) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 頂版）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.06		
	-+	0.06		
S _s -D 2	++	0.09		
	-+	0.08		
S _s -D 3	++	0.10		
	-+	0.06		
S _s -F 1	++	0.08		
	-+	0.09		
S _s -F 2	++	0.06		
	-+	0.08		
S _s -F 3	++	0.08		
	-+	0.10		
S _s -N 1	++	0.08		
	-+	0.09		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-3(7) せん断破壊に対する実施ケースと照査値（接続部 南北壁）*

地震動 \ 解析ケース		せん断破壊に対する照査		
		①	②	③
S _s -D 1	++	0.36		
	-+	0.44		
S _s -D 2	++	0.38		
	-+	0.41		
S _s -D 3	++	0.29		
	-+	0.34		
S _s -F 1	++	0.38		
	-+	0.24		
S _s -F 2	++	0.36		
	-+	0.39		
S _s -F 3	++	0.48		
	-+	0.17		
S _s -N 1	++	0.37		
	-+	0.25		

注記*：部材位置を図 6-4 に示す。

表 6-4 基礎地盤の支持性能に対する実施ケースと照査値

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
S s - D 1	++	0.15		
	-+	0.17		
S s - D 2	++	0.17		
	-+	0.18		
S s - D 3	++	0.14		
	-+	0.16		
S s - F 1	++	0.17		
	-+	0.14		
S s - F 2	++	0.20		
	-+	0.16		
S s - F 3	++	0.17		
	-+	0.16		
S s - N 1	++	0.20		
	-+	0.19		

注記*：基礎地盤（狐崎部層）に対する評価結果と MMR（新設）に対する評価結果（接地圧）の厳しい方を記載。

6.2.2 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表 6-5 及び表 6-6 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。また、最大照査値となる評価時刻での断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図 6-7～図 6-11 に示す。

同表より、コンクリート及び鉄筋の発生応力度が全ケースにおいて短期許容応力度を下回ることを確認した。

表 6-5(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）【断層考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)	
底版	10	①	S s - D 2 (++)	-818	-649	2.9	13.5	0.22
頂版	20	①	S s - F 3 (++)	-319	-685	1.8	13.5	0.14
南北壁	30	①	S s - F 3 (++)	682	-619	2.4	13.5	0.18
東西壁	60	①	S s - F 3 (++)	-727	-3440	3.5	13.5	0.26
接続部 底版	70	①	S s - F 3 (++)	256	-622	2.4	13.5	0.18
接続部 頂版	80	①	S s - D 1 (-+)	-98	-902	1.3	13.5	0.10
接続部 南北壁	90	①	S s - F 3 (++)	-277	319	2.7	13.5	0.20

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

表 6-5(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）【断層非考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ'_c (N/mm ²)	σ'_{ca} (N/mm ²)	
底版	10	①	S s - D 2 (-+)	-945	-594	3.3	13.5	0.25
頂版	20	①	S s - F 2 (-+)	-276	-937	1.6	13.5	0.12
南北壁	40	①	S s - D 2 (-+)	-545	-2095	2.4	13.5	0.18
東西壁	60	①	S s - D 2 (-+)	-936	-3275	3.8	13.5	0.29
接続部 底版	70	①	S s - F 2 (-+)	250	-668	2.3	13.5	0.18
接続部 頂版	80	①	S s - F 2 (-+)	-94	-1057	1.5	13.5	0.12
接続部 南北壁	90	①	S s - F 2 (-+)	-261	259	2.6	13.5	0.20

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

表 6-6(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）【断層考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	
底版	10	①	S s - D 2 (++)	558	595	82	309	0.27
頂版	20	①	S s - D 1 (-+)	-222	178	37	309	0.12
南北壁	30	①	S s - F 3 (++)	616	239	69	309	0.23
東西壁	60	①	S s - D 2 (-+)	256	1605	105	309	0.34
接続部 底版	70	①	S s - D 2 (++)	-83	383	59	309	0.20
接続部 頂版	80	①	S s - D 2 (++)	40	486	59	309	0.20
接続部 南北壁	90	①	S s - F 3 (++)	-277	403	109	309	0.36

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

表 6-6(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）【断層非考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げ モーメント	軸力	発生 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_s / σ_{sa}
				(kN・m/m)	(kN/m)	σ_s (N/mm ²)	σ_{sa} (N/mm ²)	
底版	10	①	S s - D 2 (-+)	574	609	84	309	0.28
頂版	20	①	S s - D 2 (++)	-225	172	37	309	0.12
南北壁	30	①	S s - F 2 (-+)	509	481	71	309	0.23
東西壁	60	①	S s - F 2 (-+)	371	1429	108	309	0.35
接続部 底版	70	①	S s - F 3 (-+)	-143	334	70	309	0.23
接続部 頂版	80	①	S s - F 3 (-+)	63	453	63	309	0.21
接続部 南北壁	90	①	S s - F 3 (++)	-246	357	96	309	0.32

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

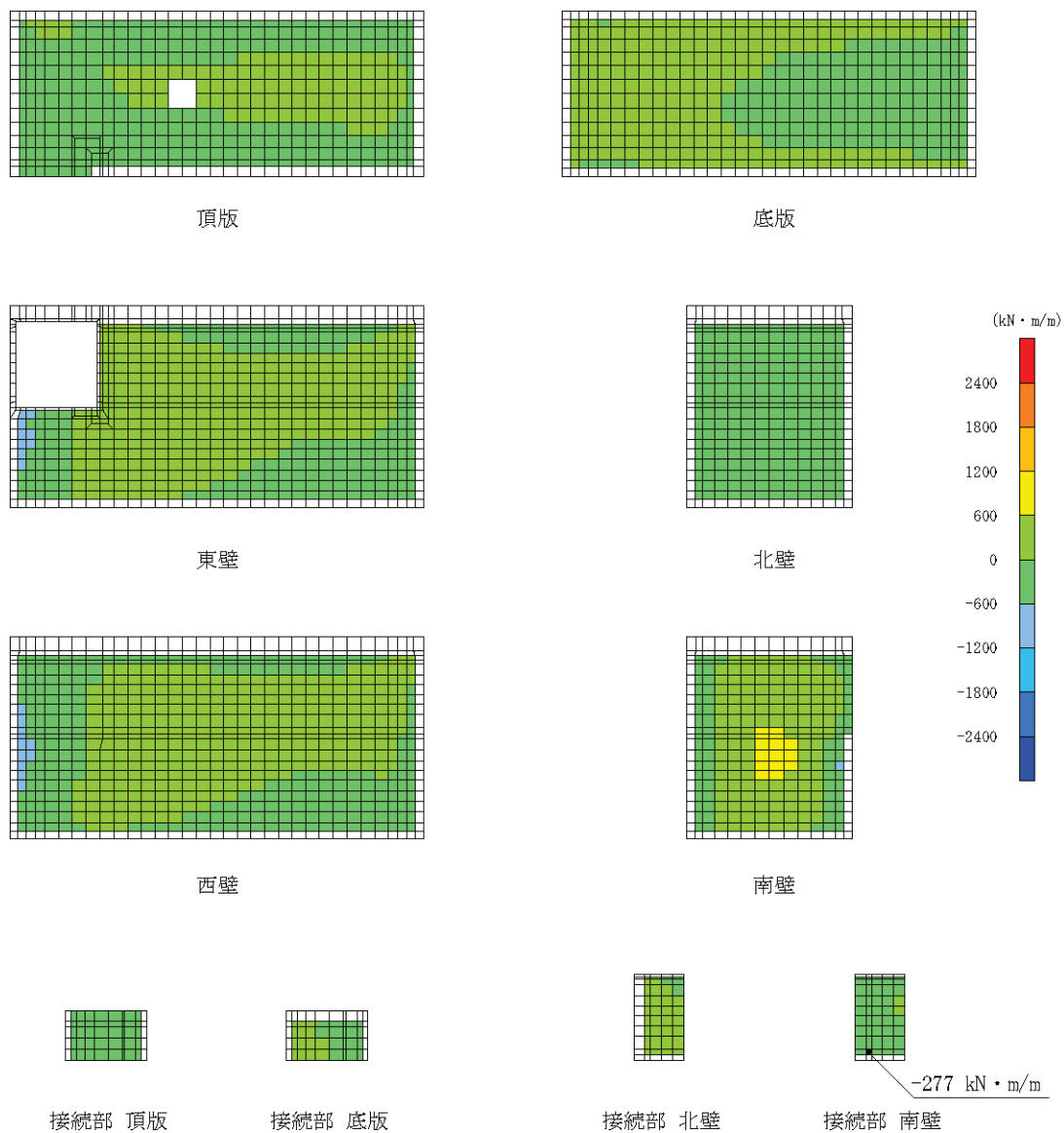


図 6-7 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)
 (接続部 南壁, 断層考慮ケース, S s - F 3 (++) , t = 27.75 s)

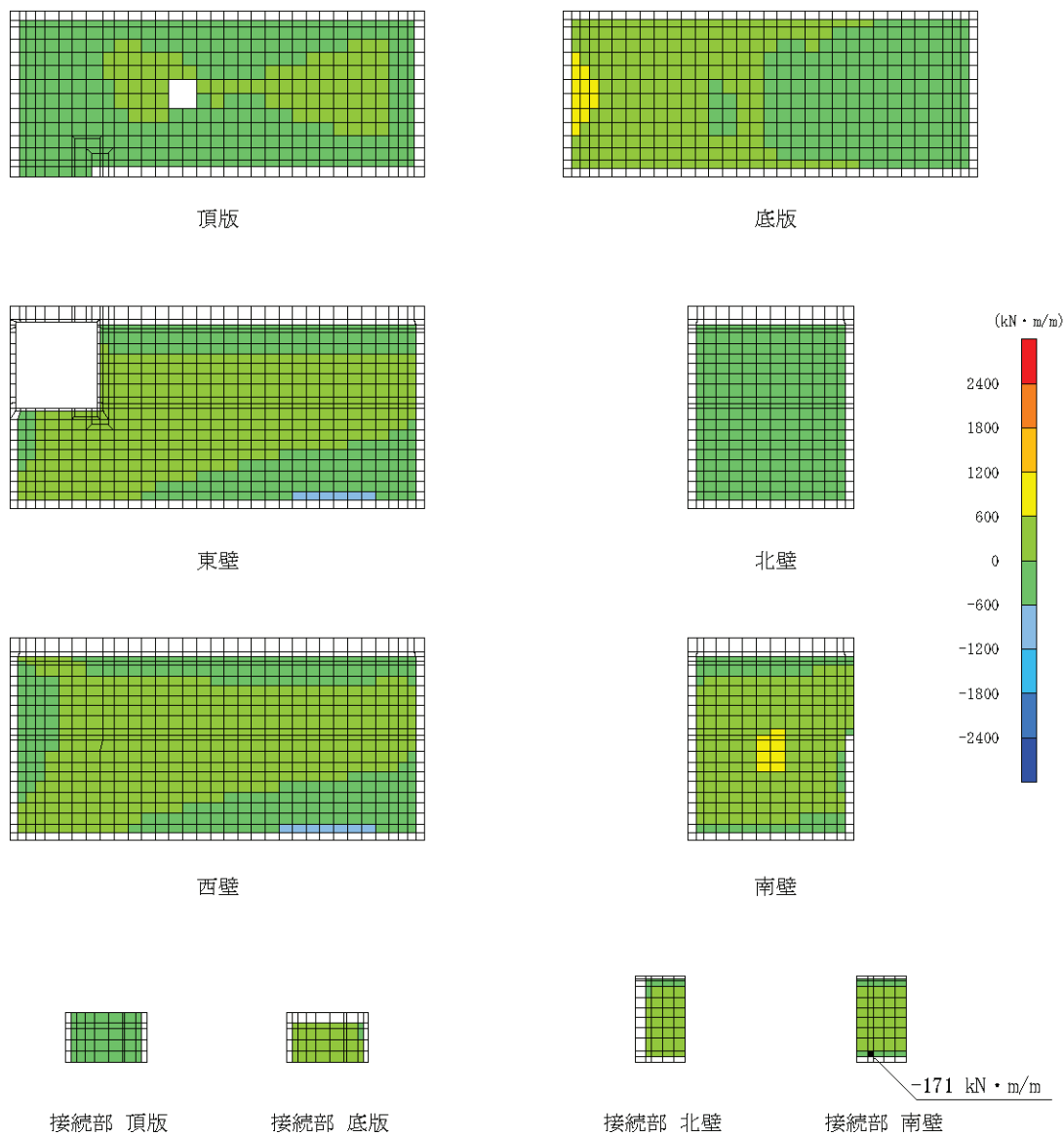


図 6-8 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時のひずみ分布図
 (曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)
 (接続部 南壁, 断層考慮ケース, S s - F 3 (++) , t = 27.75 s)

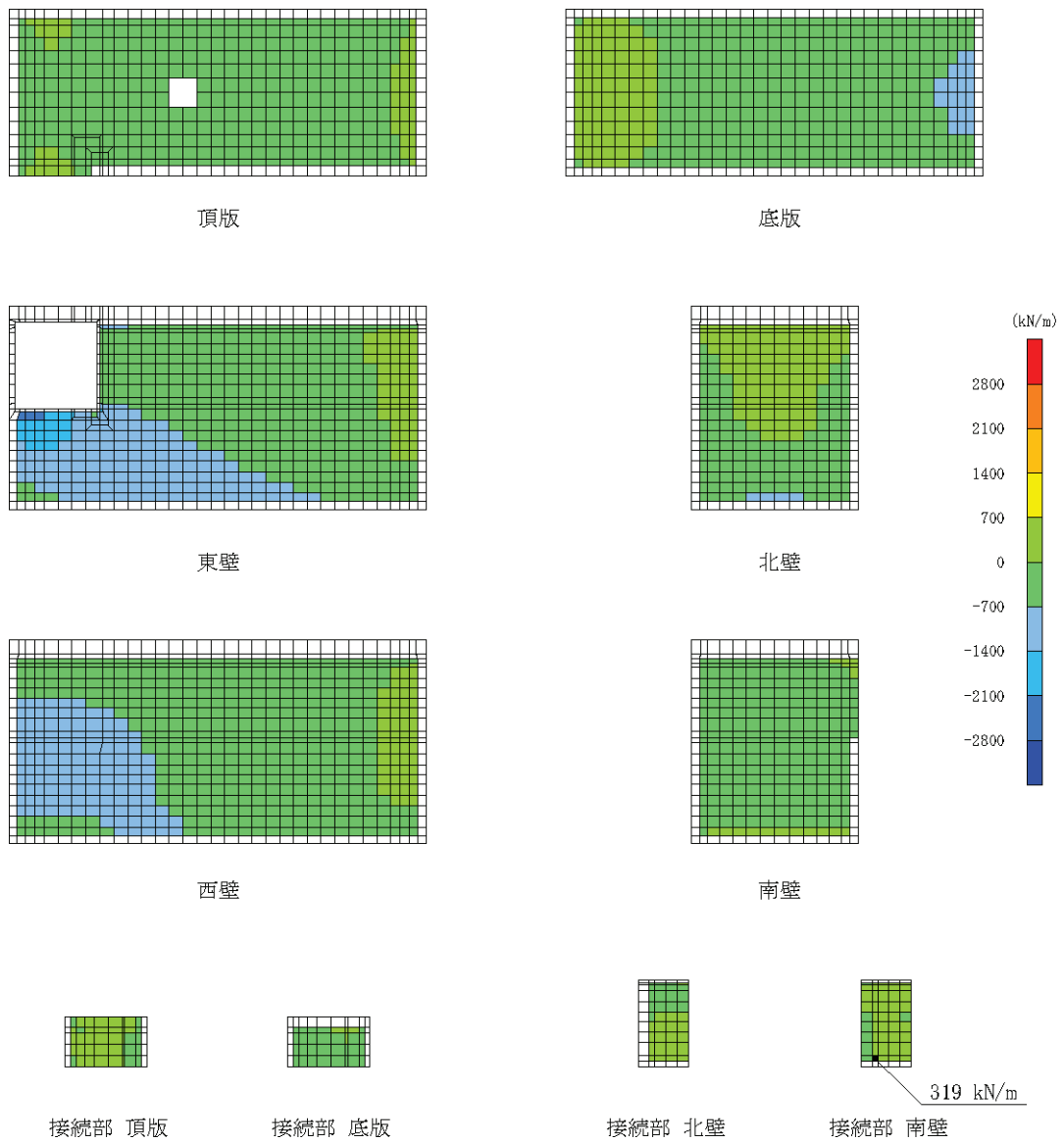


図 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (軸力 (kN/m) : N_x)
 (接続部 南壁, 断層考慮ケース, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75$ s)

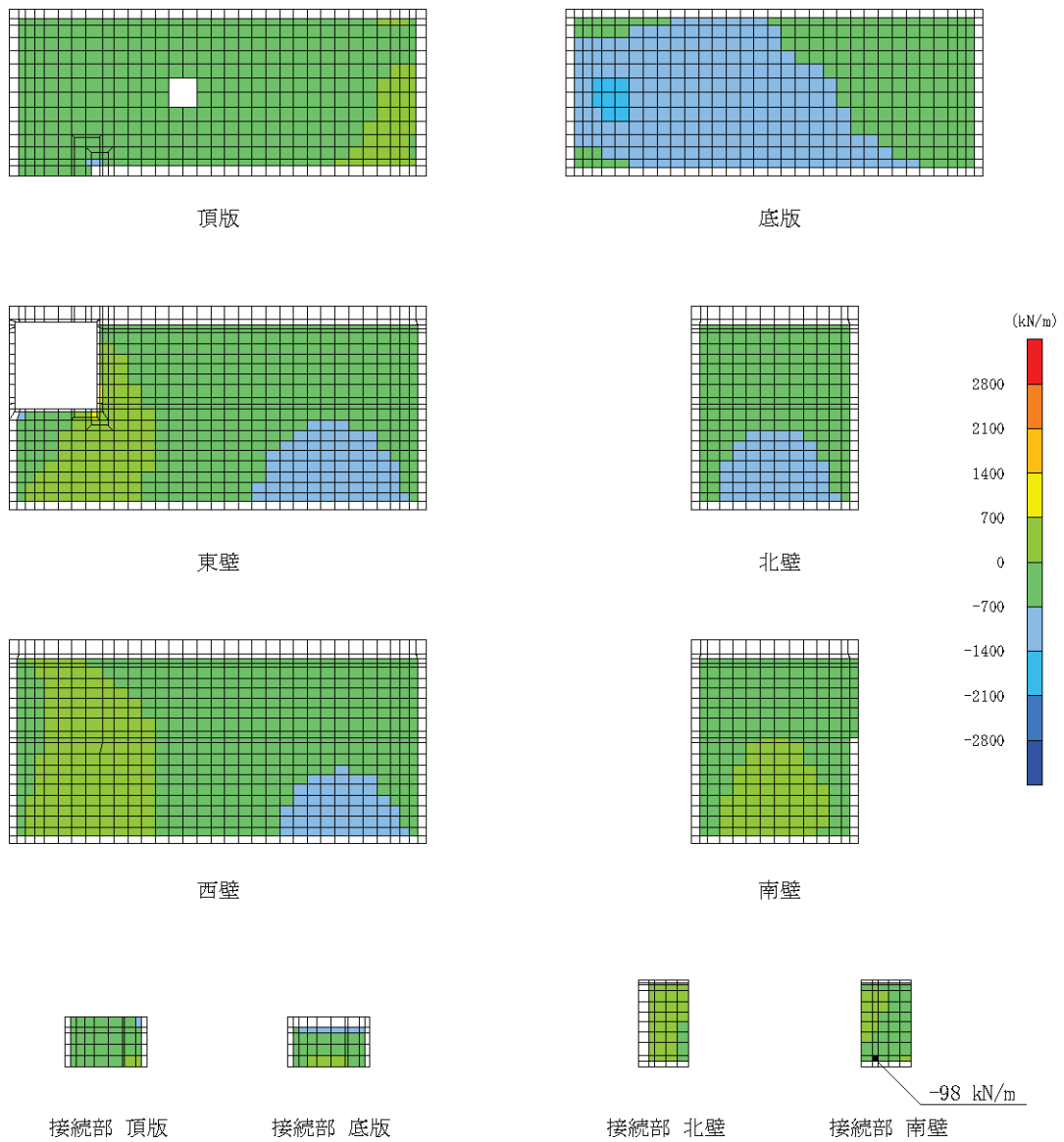


図 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(接続部 南壁, 断層考慮ケース, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75$ s)

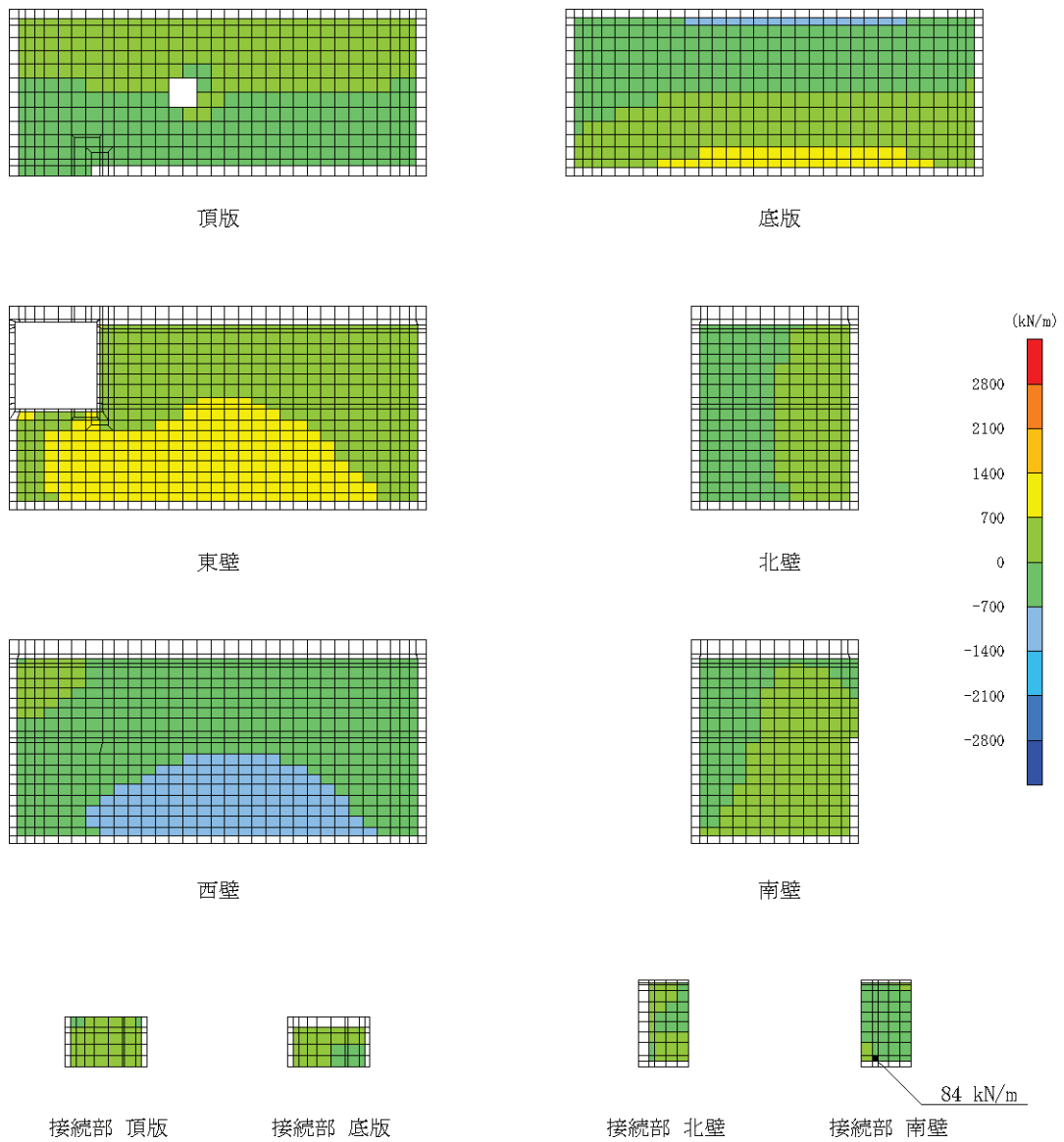


図 6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図
 (面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})
 (接続部 南壁, 断層考慮ケース, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75$ s)

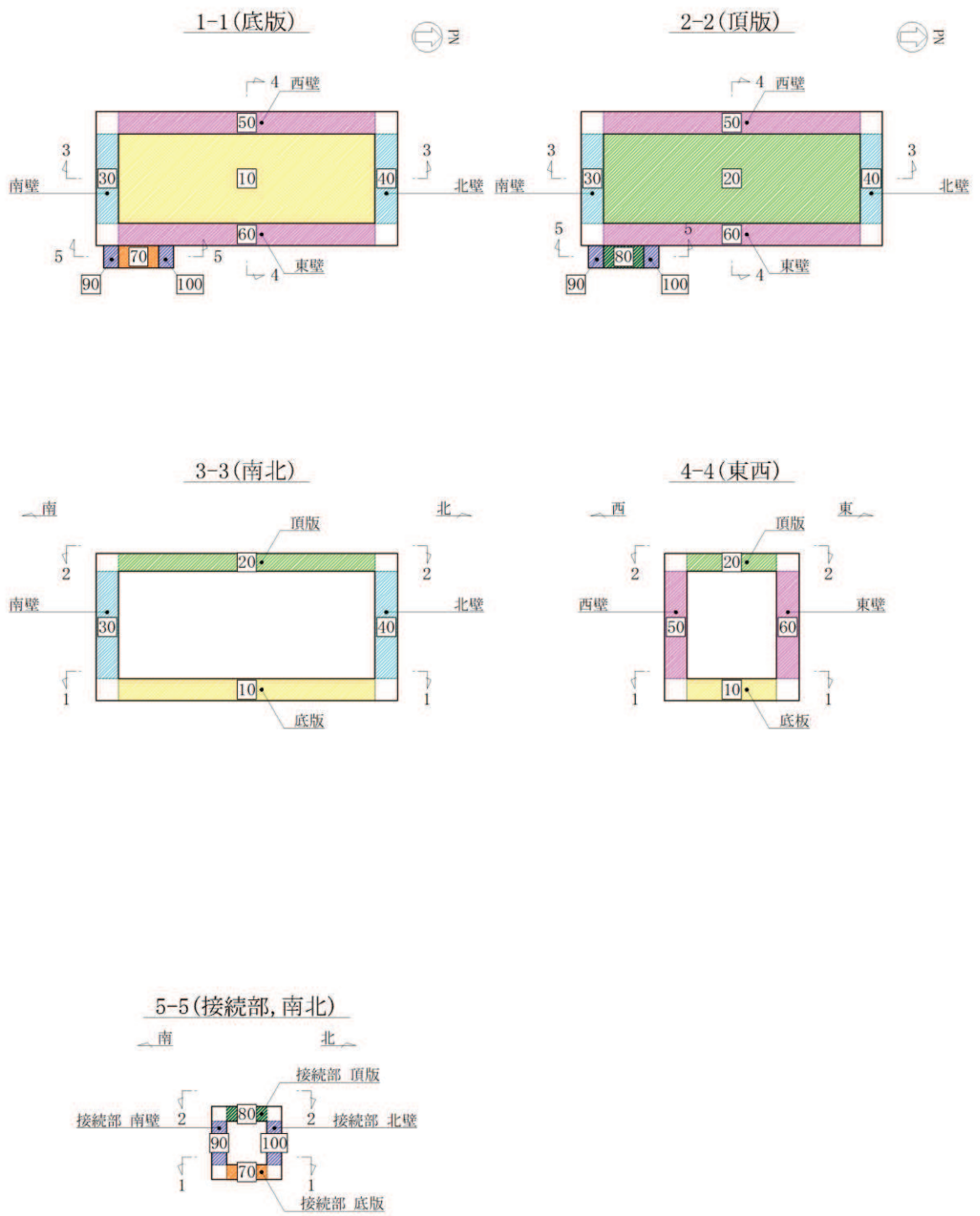


图 6-12 評価位置图

6.2.3 せん断破壊に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に対する評価結果を表 6-7 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。また、最大照査値となる評価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 6-13 及び図 6-14 に示す。

同表より、発生せん断力が、全ケースにおいて短期許容せん断力を下回ることを確認した。

表 6-7(1) せん断破壊に対する最大照査値【断層考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	10	①	S _s -D 2 (++)	913	2390	0.39
頂版	20	①	S _s -N 1 (++)	170	1817	0.10
南北壁	30	①	S _s -F 3 (++)	982	2390	0.42
東西壁	60	①	S _s -F 3 (++)	420	2390	0.18
接続部 底版	70	①	S _s -D 3 (++)	221	943	0.24
接続部 頂版	80	①	S _s -D 3 (++)	88	906	0.10
接続部 南北壁	90	①	S _s -F 3 (++)	434	906	0.48

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

表 6-7(2) せん断破壊に対する最大照査値【断層非考慮】

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V _a (kN/m)	照査値 V/V _a
底版	10	①	S _s -D 2 (-+)	1031	2390	0.44
頂版	20	①	S _s -N 1 (++)	188	1817	0.11
南北壁	30	①	S _s -F 2 (-+)	905	2390	0.38
東西壁	60	①	S _s -F 2 (-+)	433	2390	0.19
接続部 底版	70	①	S _s -F 2 (++)	272	943	0.29
接続部 頂版	80	①	S _s -F 2 (++)	103	906	0.12
接続部 南北壁	90	①	S _s -F 2 (-+)	420	906	0.47

注記*：評価位置を図 6-12 に示す。

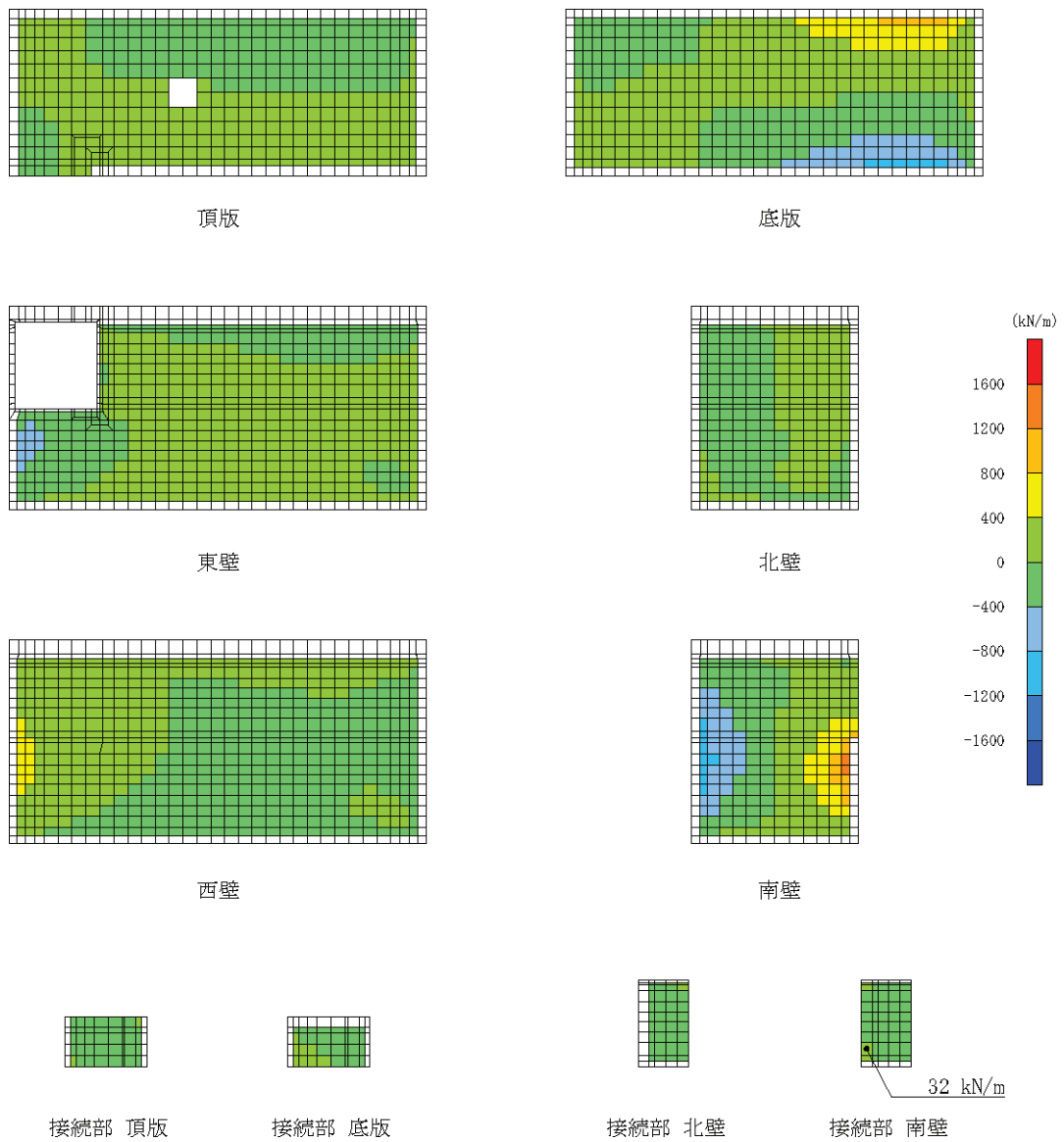


図 6-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(接続部 南壁, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75$ s)

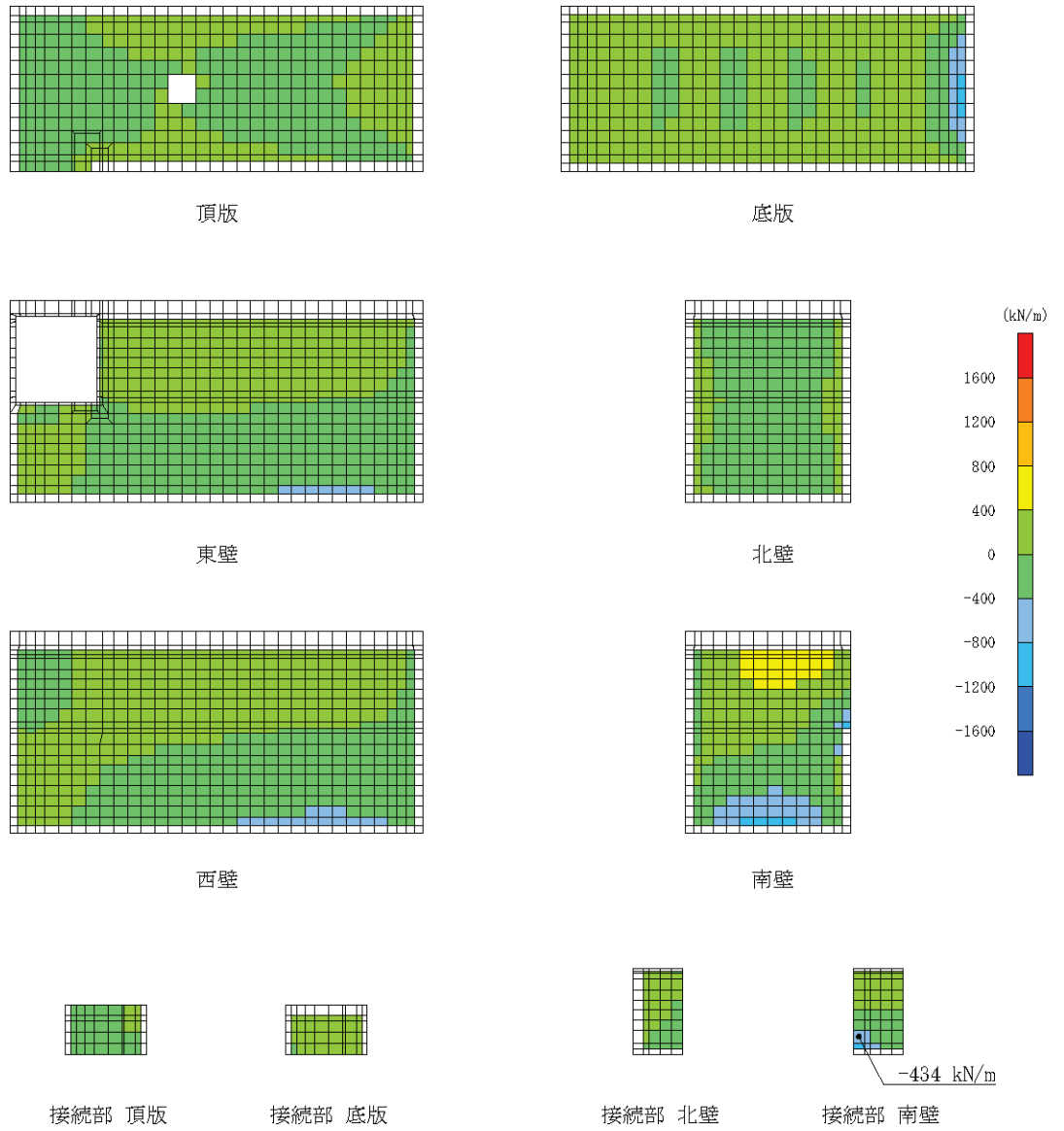


図 6-14 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(接続部 南壁, $S_s - F_3$ (++) , $t = 27.75$ s)

6.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果及び MMR（新設）の支持性能に対する照査結果を表 6-8 及び表 6-9 に断層を考慮しない場合のケースと併せて示す。また、最大接地圧分布図を図 6-15 及び図 6-16 に示す。

同表より、基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧が極限支持力を下回ること及び MMR（新設）に発生する接地圧が支圧強度を下回ることを確認した。

表 6-8(1) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層考慮】

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 -F2 (++)	2.7	13.7	0.20

表 6-8(2) 基礎地盤の支持性能照査結果【断層非考慮】

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 -D1 (-+)	2.1	13.7	0.16

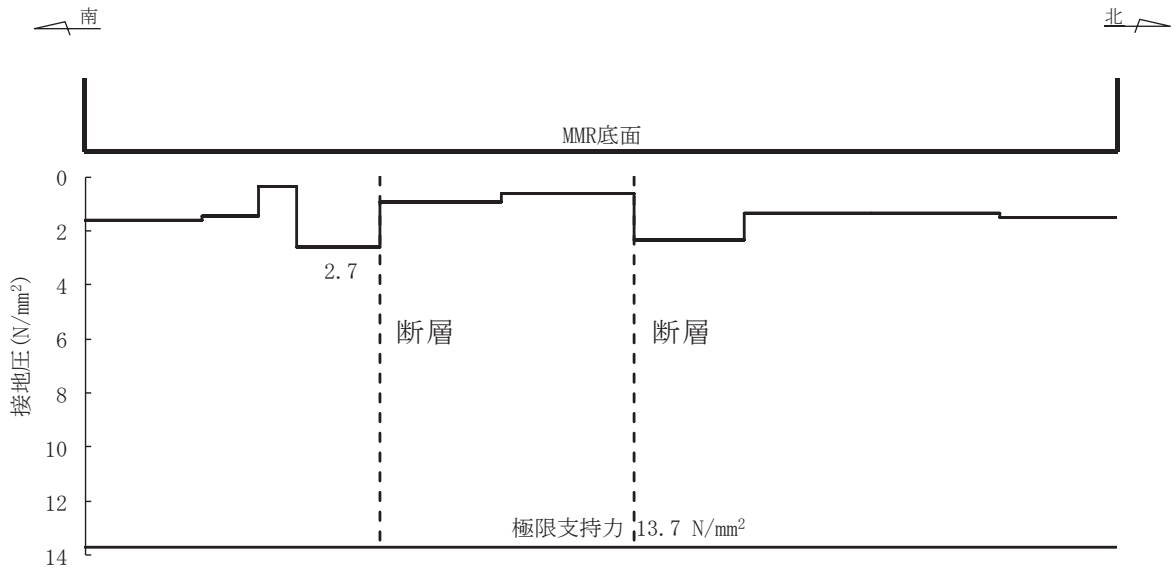


図 6-15 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S_s-F2 (++))

表 6-9(1) MMR (新設) の支持性能照査結果【断層考慮】

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
①	S _s - D 2 (++)	1.9	26.5	0.08

表 6-9(2) MMR (新設) の支持性能照査結果【断層非考慮】

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
①	S _s - D 2 (-+)	2.1	26.5	0.08

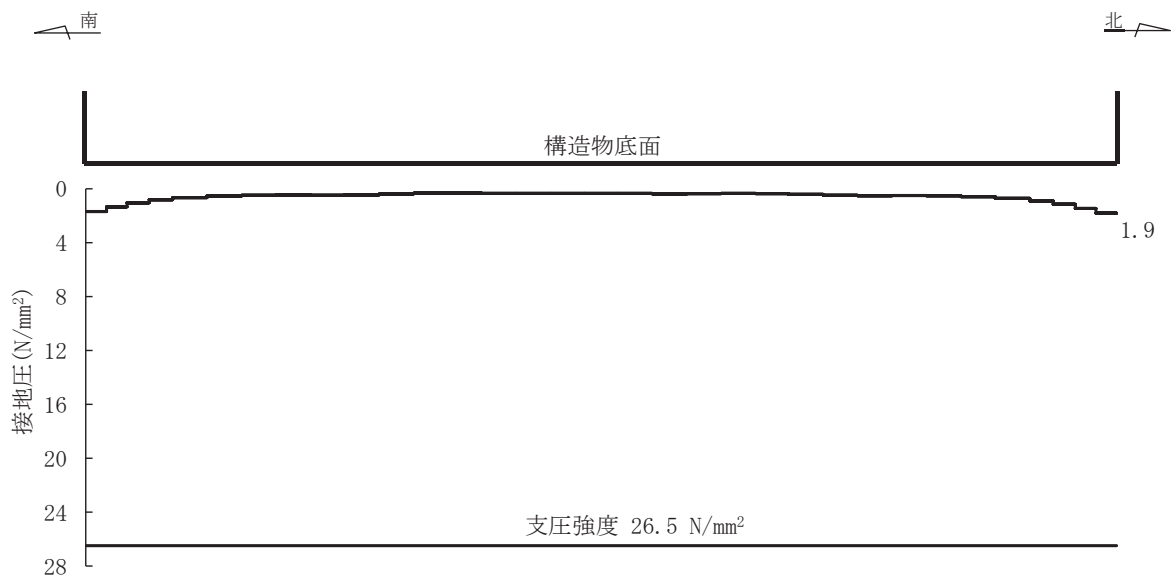


図 6-16 MMR (新設) の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S_s - D 2 (++))

7. まとめ

敷地内に分布する断層が屋外重要土木構造物等の耐震性に与える影響を検討するため、軽油タンク室 (H) について影響評価を実施した。

断層を考慮した影響評価を行った結果、軽油タンク室 (H) については、断層厚さを保守的に厚く設定した評価において、基本ケース (ケース①) の14波による評価を行い、断層による影響が無いこと及び基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認した。

資料9 海水ポンプ室の耐震安全性評価

目次

1. 評価方法	資料 9-1
2. 評価条件	資料 9-1
2.1 適用規格	資料 9-1
2.2 構造及び補強の概要	資料 9-4
2.3 耐震評価フロー	資料 9-14
2.4 地震時荷重算出断面の選定	資料 9-19
2.5 使用材料及び材料の物性値	資料 9-22
2.6 地盤物性値	資料 9-22
2.7 評価構造物諸元及び要求機能の考え方	資料 9-26
2.7.1 評価構造物諸元	資料 9-26
2.7.2 海水ポンプ室の要求機能の考え方	資料 9-29
2.8 地下水位	資料 9-33
3 地震応答解析	資料 9-35
3.1 地震応答解析手法	資料 9-35
3.2 地震応答解析モデルの設定	資料 9-38
3.2.1 解析モデル領域	資料 9-38
3.2.2 境界条件	資料 9-40
3.2.3 構造物のモデル化	資料 9-47
3.2.4 隣接構造物のモデル化	資料 9-54
3.2.5 地盤及び MMR のモデル化	資料 9-57
3.2.6 ジョイント要素の設定	資料 9-57
3.3 減衰定数	資料 9-62
3.4 荷重の組合せ	資料 9-77
3.4.1 機器・配管荷重	資料 9-78
3.4.2 竜巻防護ネット荷重	資料 9-79
3.4.3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重	資料 9-80
3.4.4 外水圧	資料 9-82
3.4.5 内水圧	資料 9-84
3.4.6 積載荷重	資料 9-86
3.4.7 動水圧	資料 9-89
3.5 地震応答解析の解析ケース	資料 9-92
3.5.1 耐震評価における解析ケース	資料 9-92
3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース	資料 9-99
4. 三次元構造解析	資料 9-103
4.1 解析手法	資料 9-103
4.2 解析モデルの設定	資料 9-104
4.2.1 構造物のモデル化	資料 9-104
4.2.2 地盤ばね要素	資料 9-107

4.2.3	材料の非線形特性	資料 9-112
4.3	照査時刻の選定	資料 9-117
4.4	入力荷重	資料 9-121
4.4.1	常時荷重	資料 9-124
4.4.2	慣性力（機器）	資料 9-127
4.4.3	慣性力（配管）	資料 9-129
4.4.4	慣性力（躯体）	資料 9-130
4.4.5	慣性力（竜巻防護ネット反力）	資料 9-132
4.4.6	慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部））	資料 9-136
4.4.7	内水圧・動水圧	資料 9-138
4.4.8	地震時土圧・水圧及び周面せん断力	資料 9-140
5	評価内容	資料 9-141
5.1	入力地震動の設定	資料 9-141
5.2	許容限界の設定	資料 9-198
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	資料 9-198
5.2.2	せん断破壊に対する許容限界	資料 9-203
5.2.3	壁部材の面内せん断に対する許容限界	資料 9-213
5.2.4	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	資料 9-215
6.	評価結果	資料 9-216
6.1	地震応答解析結果	資料 9-216
6.1.1	各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果	資料 9-216
6.1.2	作用荷重分布図	資料 9-244
6.1.3	最大せん断ひずみ	資料 9-250
6.2	三次元構造解析結果	資料 9-257
6.2.1	解析ケースと照査値	資料 9-262
6.2.2	構造部材のひずみ分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）	資料 9-277
6.2.3	構造部材の断面力分布（せん断破壊に対する照査）	資料 9-289
6.3	構造部材の健全性に対する評価結果	資料 9-302
6.3.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	資料 9-302
6.3.2	せん断破壊に対する評価結果	資料 9-361
6.3.3	壁部材の面内せん断に対する評価結果	資料 9-391
6.3.4	水平 2 方向載荷による評価結果	資料 9-412
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	資料 9-417
6.4.1	基礎地盤（狐崎部層）	資料 9-417
6.4.2	MMR（既設）	資料 9-421
7.	まとめ	資料 9-441

参考資料

- 参考資料 1 主筋ひずみの平均化について・・・・・・・・・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 1-1
- 参考資料 2 止水機能が要求される部材に対する漏水量評価について・・・・ 資料 9- (参考) 2-1
- 参考資料 3 増厚部における既設部材と補強部材の一体化設計・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 3-1
- 参考資料 4 静的地震力に対する耐震評価・・・・・・・・・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 4-1
- 参考資料 5 解析手法の選定について・・・・・・・・・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 5-1
- 参考資料 6 照査時刻の選定の妥当性について・・・・・・・・・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 6-1
- 参考資料 7 補強追加による非常用海水ポンプ取水への影響について・・・・ 資料 9- (参考) 7-1
- 参考資料 8 補強部材の施工履歴が及ぼす耐震評価への影響について・・・・ 資料 9- (参考) 8-1
- 参考資料 9 既設部材と新設部材のコンクリートの付着力について・・・・ 資料 9- (参考) 9-1
- 参考資料 10 竜巻ネット反力他に対する海水ポンプ室の構造成立性について・・・・・・・・・・・・・・・・ 資料 9- (参考) 10-1
- 参考資料 11 海水ポンプ室補機ポンプエリアの隔壁等の設計について・・・・ 資料 9- (参考) 11-1
- 参考資料 12 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース・・・・ 資料 9- (参考) 12-1

1. 評価方法

海水ポンプ室は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能及び貯水機能、浸水防止のための止水機能が要求される。

海水ポンプ室については、基準地震動 S_s による耐震評価として、構造部材の曲げ・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評価を実施する。

構造部材の健全性評価については、鉄筋コンクリート部材のひずみ、せん断力、壁部材の面内せん断変形に伴う面内せん断ひずみが要求機能に応じた許容限界を下回ることを確認する。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）が極限支持力に基づく許容限界を下回ることを、マンメイドロック（以下「MMR」という。）に発生する応力（接地圧）が支圧強度を下回ることを及びMMRの健全性を確認する。

2. 評価条件

2.1 適用規格

海水ポンプ室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・軸力系の破壊及びせん断破壊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。

増厚補強部のせん断破壊に対する許容限界については、トンネル標準示方書 [開削工法編]・同解説（土木学会 2016 年制定）を、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。）を使用した部材への増厚補強部のせん断破壊に対する許容限界については、「鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル）（鉄道総合技術研究所，平成 13 年 3 月）」（以下「鉄道標準」という。）を適用する。

三次元静的材料非線形解析（以下「三次元構造解析」という。）に用いる材料定数については、コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2017 年制定）（以下「コンクリート標準示方書 2017」という。）を適用する。

また、三次元構造解析に用いる地盤反力係数については、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）、道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（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。

表 2-1 に適用する規格，基準類を示す。

表 2-1 (1) 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準類	備考	確認項目
使用材料及び材料定数	・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)	・鉄筋コンクリートの材料諸元(γ , E , ν)	—
	・コンクリート標準示方書[設計編](土木学会, 2017年制定)	・コンクリートの材料定数(三次元構造解析に用いる材料定数)	—
荷重及び荷重の組合せ	・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)	・永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討	—
許容限界	・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)	・曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 圧縮縁コンクリートひずみが 1.0%を下回ることを確認*	・構造強度を有すること ・通水機能を有すること
		・せん断破壊に対する照査において, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認*	・構造強度を有すること ・通水機能を有すること ・貯水機能を損なわないこと ・止水機能を損なわないこと ・Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと
	・鉄道構造物等設計標準・同解説(開削トンネル)(鉄道総合技術研究所 平成13年3月)	・増厚補強部における既設部材と補強部材のせん断耐力の鉄筋負担分の合成式	—
	・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)	・曲げ・軸力系の破壊に対する照査においておおむね弾性範囲として, 発生ひずみが限界ひずみ(コンクリート圧縮 2000μ , 主筋ひずみ 1725μ)を下回ることを確認*	・貯水機能を損なわないこと ・止水機能を損なわないこと ・Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-1 (2) 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準類	備考	要求機能
許容限界	<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"> せん断破壊に対する照査において, 面内せん断ひずみが 2/1000 (2000μ) を下回ることを確認* 	<ul style="list-style-type: none"> 貯水機能を損なわないこと 止水機能を損なわないこと
	<ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会 平成 14 年 3 月) 	<ul style="list-style-type: none"> 基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎に発生する応力が極限支持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 	—
構造解析	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤反力係数 (三次元構造解析に用いる係数) 	—
	<ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月) 		
	<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 - 1991 追補版 (社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会) 		

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

2.2 構造及び補強の概要

海水ポンプ室の位置図を図 2-1 に、平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3～図 2-7 に、概略配筋図を図 2-8～図 2-11 に示す。

海水ポンプ室は、地下 2 階または地下 3 階構造となっており、上部はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの 3 エリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリア及び補機ポンプエリアの下部は四連のボックスカルバート構造、循環水ポンプエリアの下部は二連のボックスカルバート構造となっている。また、上部は各エリアが隔壁により仕切られ、各エリアによって開口部の存在や中床版の設置レベルが異なる等、複雑な構造となっている。

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物である。

基準地震動 S_s の増大により、海水ポンプ室の耐震性を確保するために耐震補強を実施する。耐震補強の概要図を図 2-12 に、補強計画図を図 2-13～図 2-18 に示す。

曲げ・軸力系の破壊に対する補強として、水路部における側壁及び底版の増厚、気中部における隔壁の追加、気中部における側壁及び妻壁への補強梁の追加を実施する。

せん断破壊に対する補強として、CCb 工法によるせん断補強を実施する。

竜巻防護ネットの支持部として、補機ポンプエリアの隔壁にコーベルを設置する。竜巻防護ネットの支持部の施工は、南側の支持部は、新設する隔壁と一体で施工し、北側の支持部は、既設の隔壁の目荒らしを行った上で、鉄筋を既設の隔壁に定着させ、一体化を図った施工とする。北側隔壁の竜巻防護ネットにおける支持部の施工手順を図 2-19 に示す。なお、支持部における評価は、隔壁の一部として、三次元モデルに反映し、評価を行う。

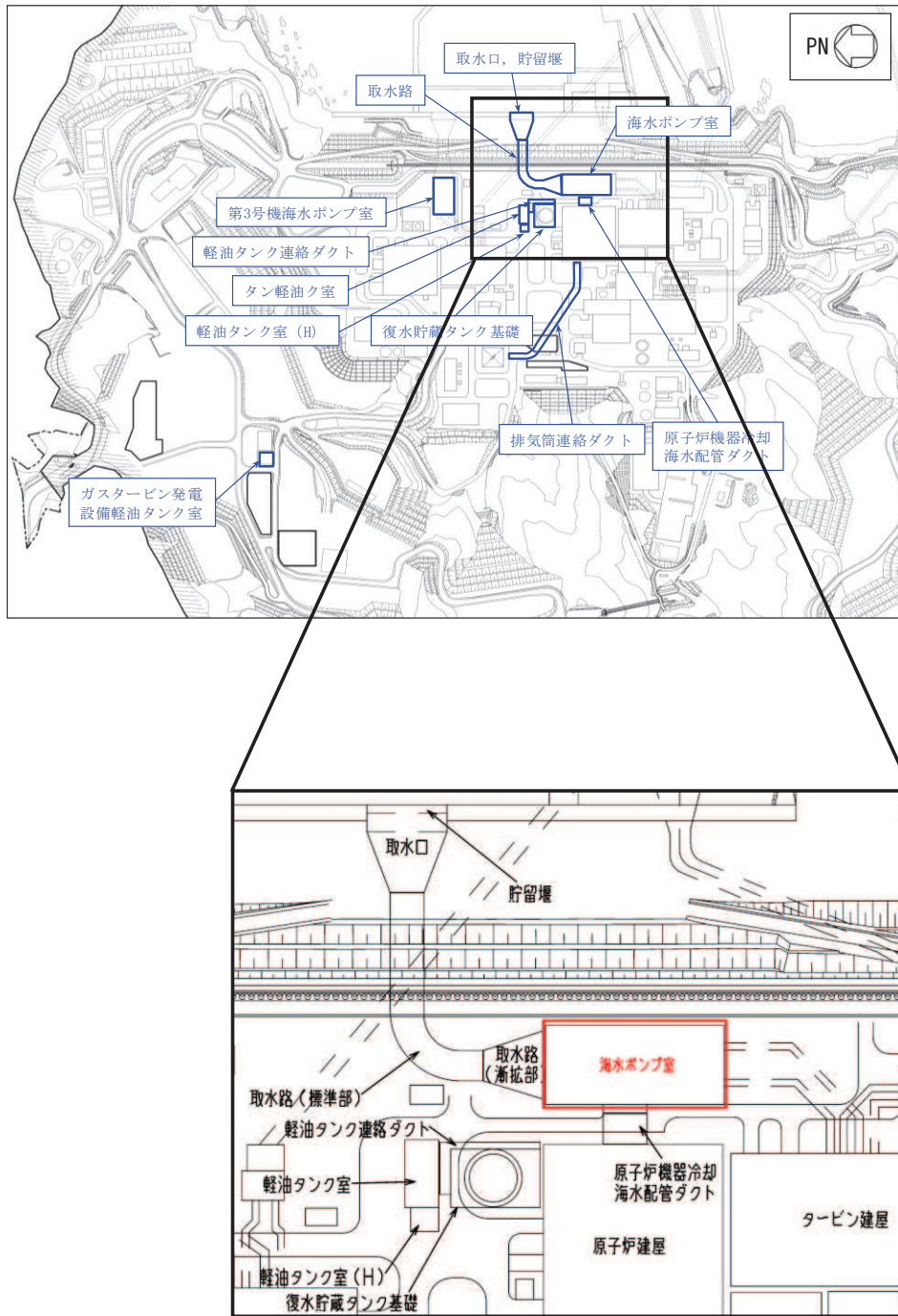


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

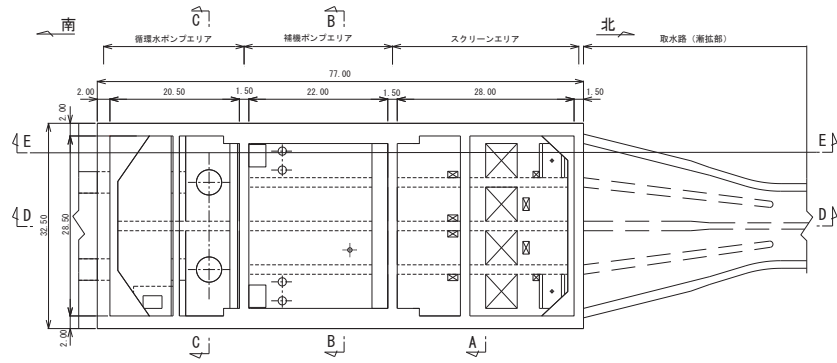
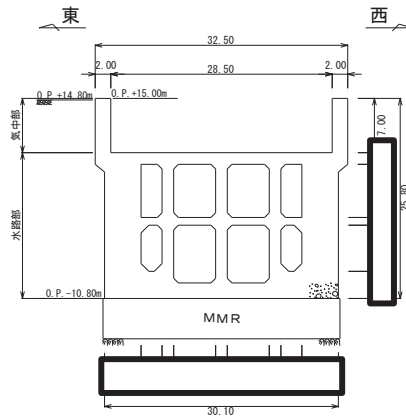


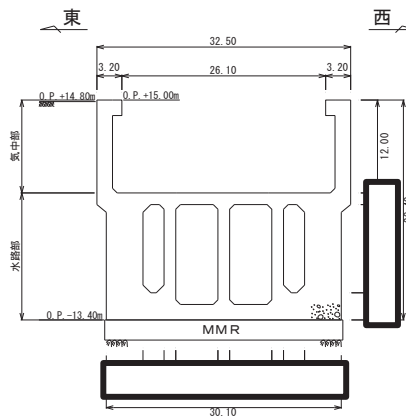
図 2-2 海水ポンプ室平面図

(単位：m)



(単位：m)

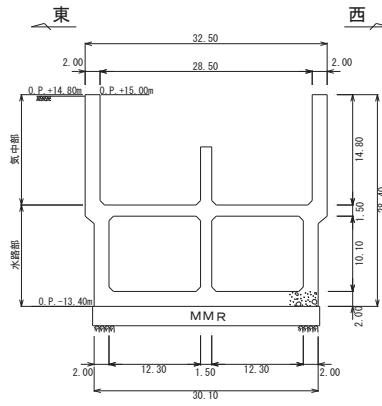
図 2-3 海水ポンプ室断面図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))



(単位：m)

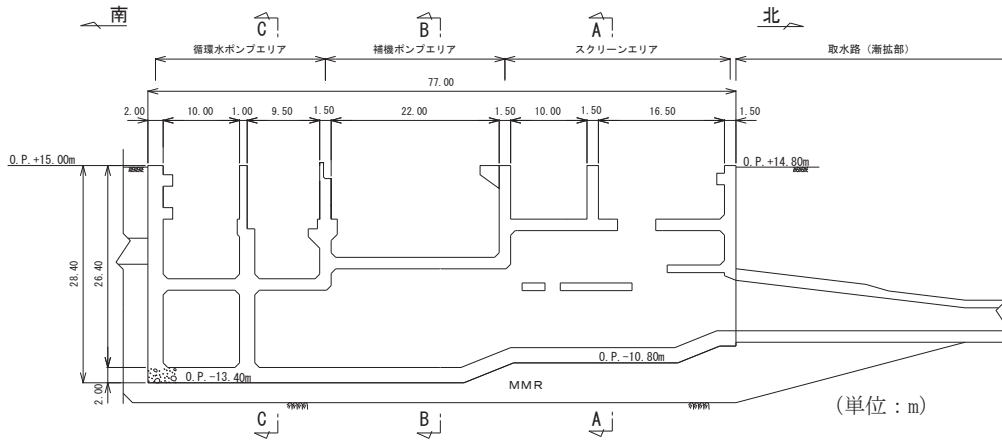
図 2-4 海水ポンプ室断面図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



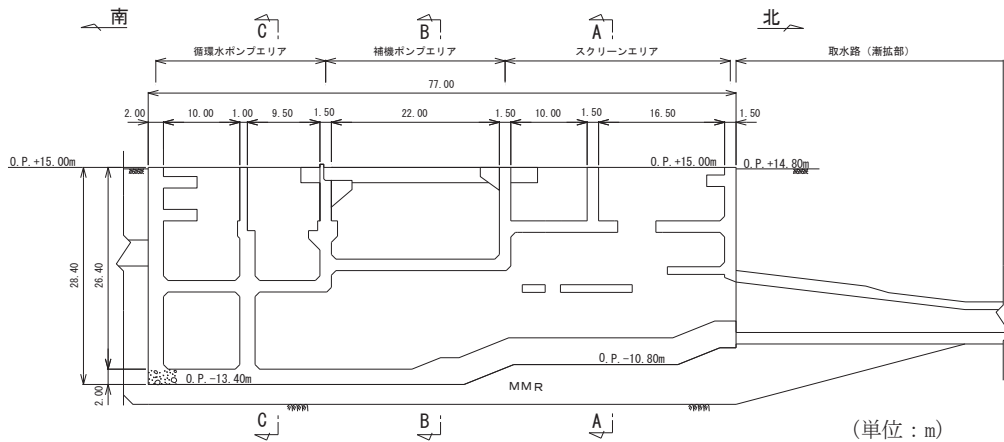
(単位：m)

図 2-5 海水ポンプ室断面図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))



(単位：m)

図 2-6 海水ポンプ室断面図 (D-D 断面, 南北)



(単位：m)

図 2-7 海水ポンプ室断面図 (E-E 断面, 南北)

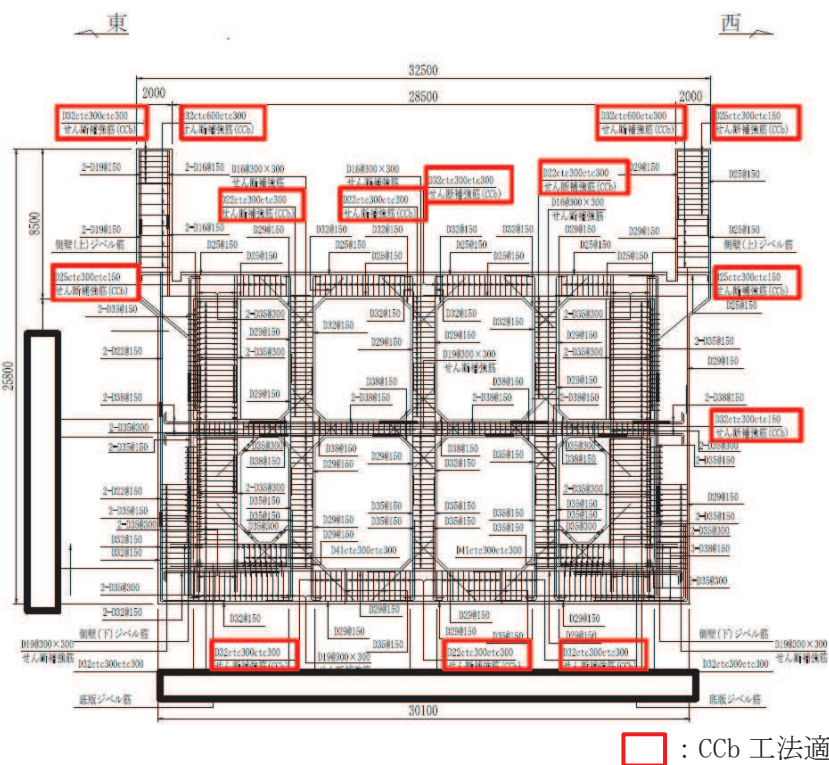


図 2-8 海水ポンプ室概略配筋図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

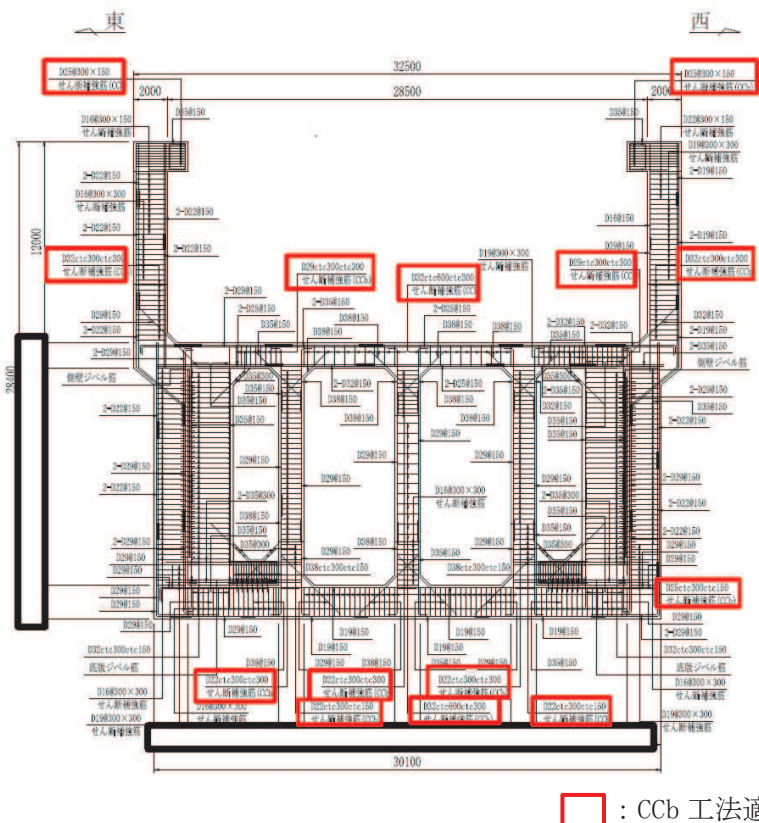
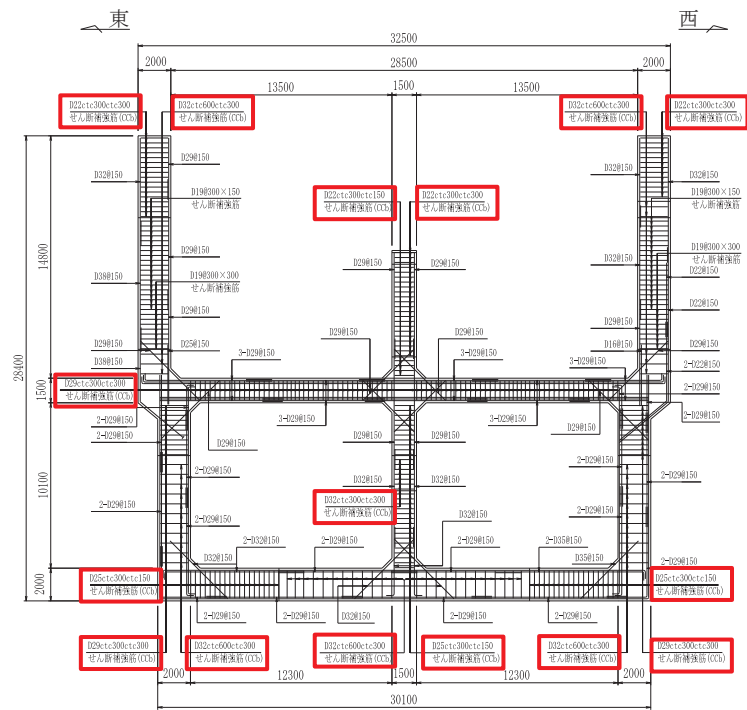


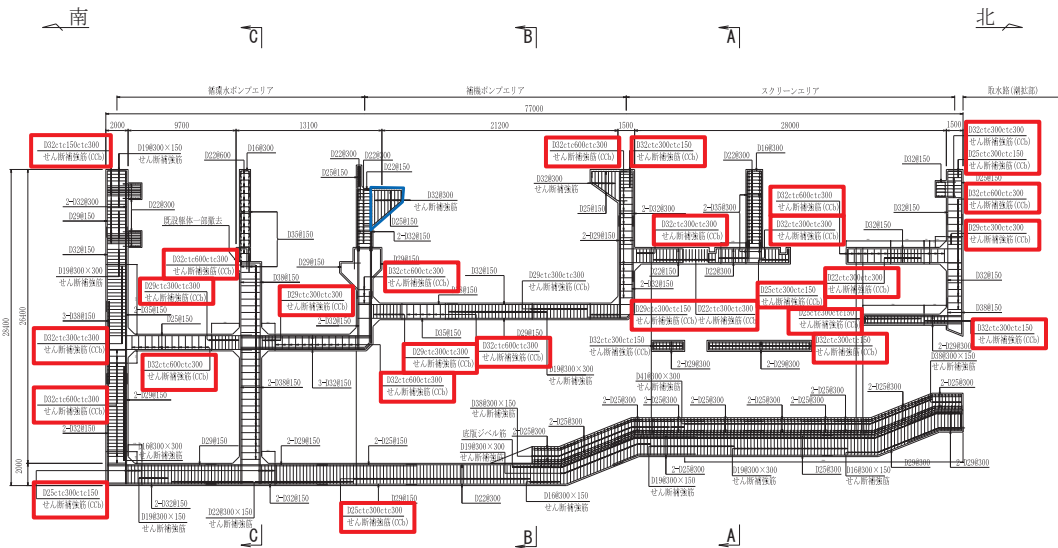
図 2-9 海水ポンプ室概略配筋図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



□ : CCb 工法適用箇所

図 2-10 海水ポンプ室概略配筋図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))



□ : 投影による記載箇所

□ : CCb 工法適用箇所

図 2-11 海水ポンプ室概略配筋図 (D-D 断面, 南北)

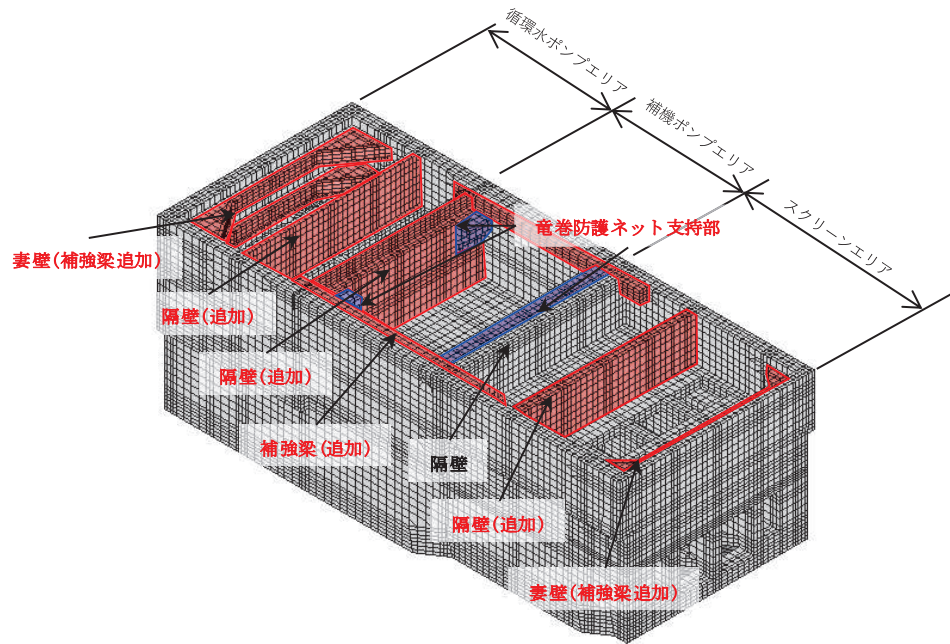


図 2-12 耐震補強の概要図

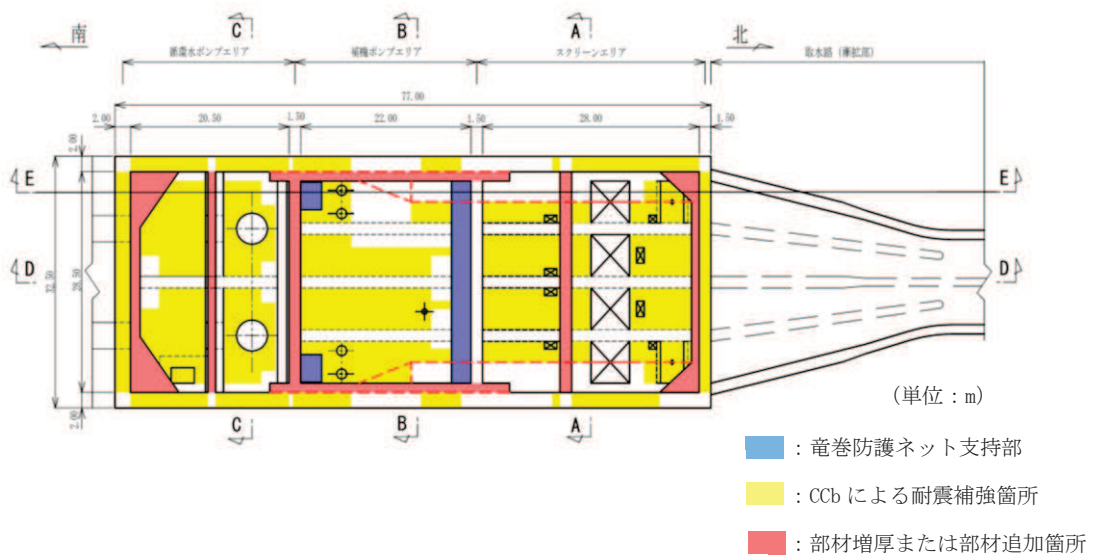


図 2-13 補強計画図 (平面図)

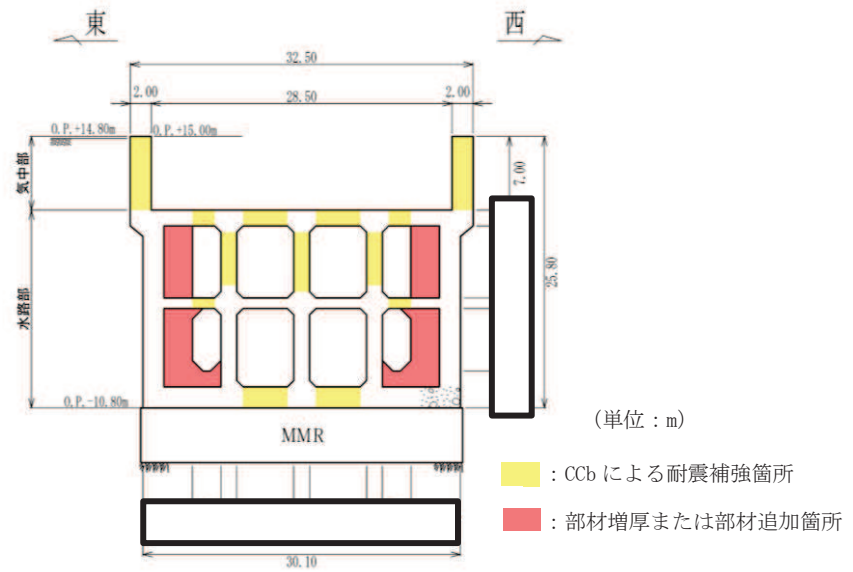


図 2-14 補強計画図 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

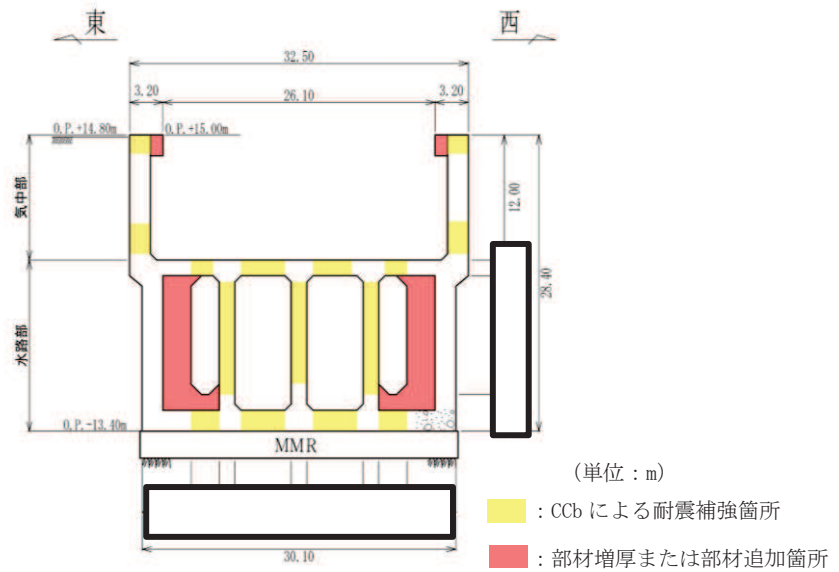


図 2-15 補強計画図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

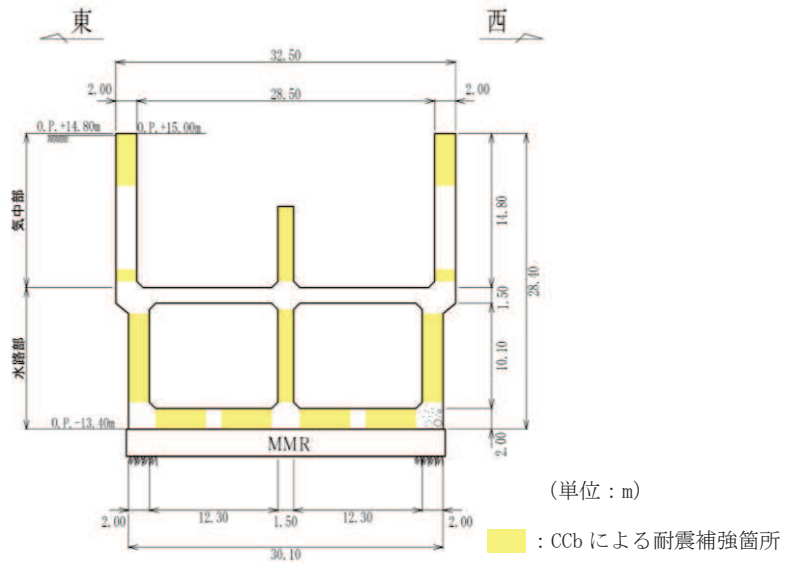


図 2-16 補強計画図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

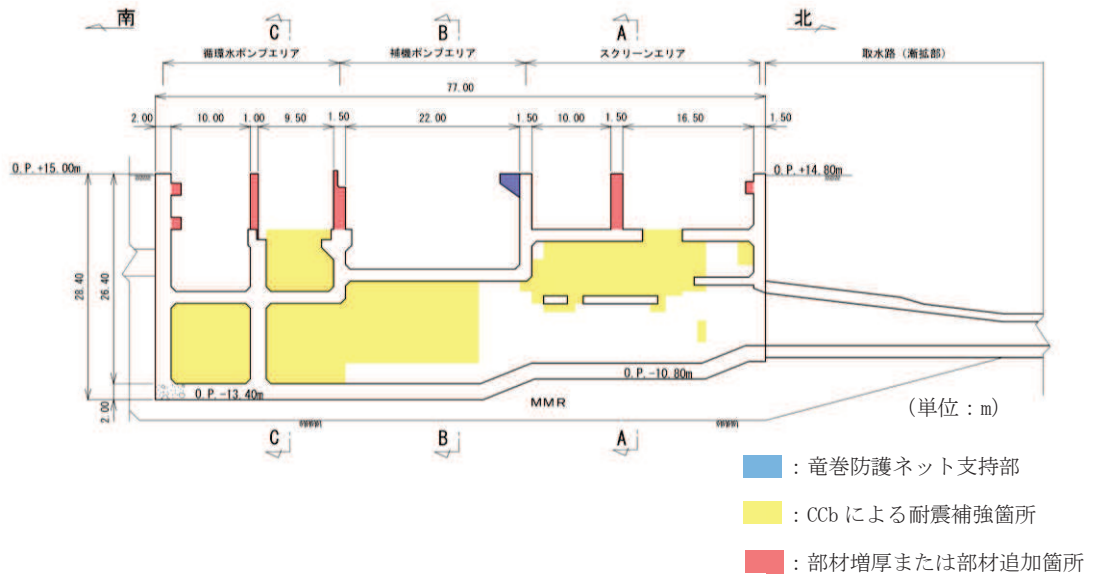


図 2-17 補強計画図 (D-D 断面, 南北)

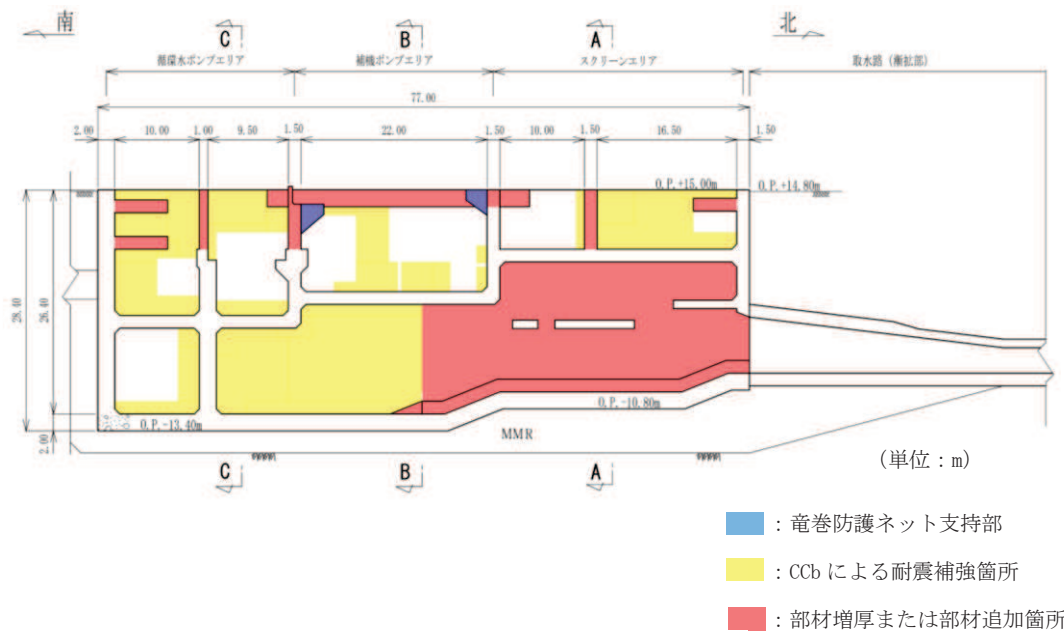


図 2-18 補強計画図 (E-E 断面, 南北)

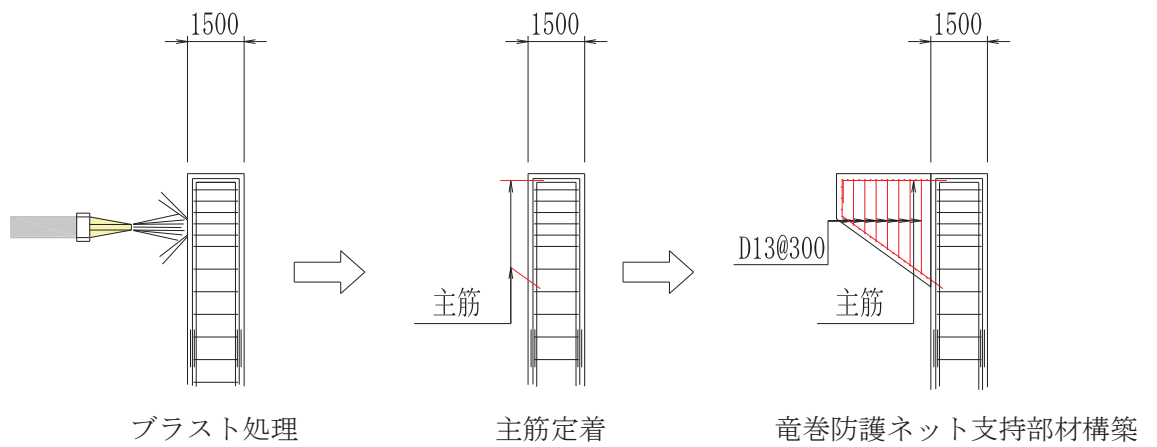


図 2-19 竜巻防護ネット支持部施工手順

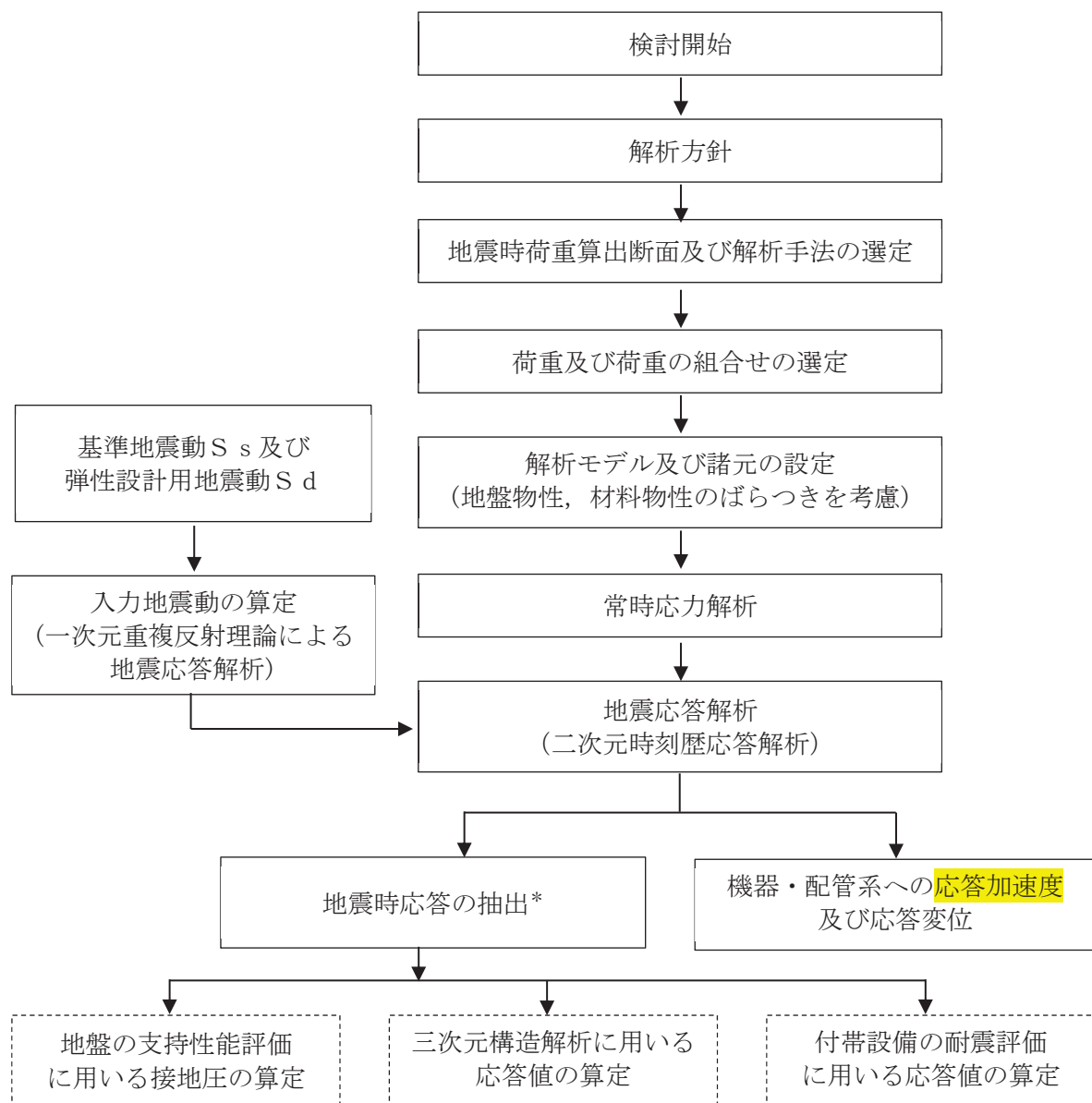
2.3 耐震評価フロー

海水ポンプ室の地震応答解析フロー及び耐震評価フローを図 2-20 及び図 2-21 に示す。

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される壁や隔壁を有する箱形構造物であることから、三次元非線形ソリッド要素による三次元構造解析による耐震評価を実施する。図 2-21 の赤破線内に示す範囲について、地震動1波に対する評価内容を具体化したフローを図 2-22 に示す。さらに、三次元構造解析における基本ケースから水平2方向载荷に至る一連の評価プロセスを図 2-23 に示す。三次元構造解析に当たっては、二次元有限要素法を用いた地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を三次元構造解析モデルに作用させて耐震評価を実施する。よって、地震応答解析により抽出する応答値は、三次元構造解析モデルに作用させる地震時土圧、慣性力及び基礎地盤に発生する接地圧である。

また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

海水ポンプ室の基礎地盤の支持性能については、地震応答解析により得られた応答値を用いて耐震評価を行う。



注記*：耐震評価に用いる応答値を算定する。

図 2-20 海水ポンプ室の地震応答解析フロー

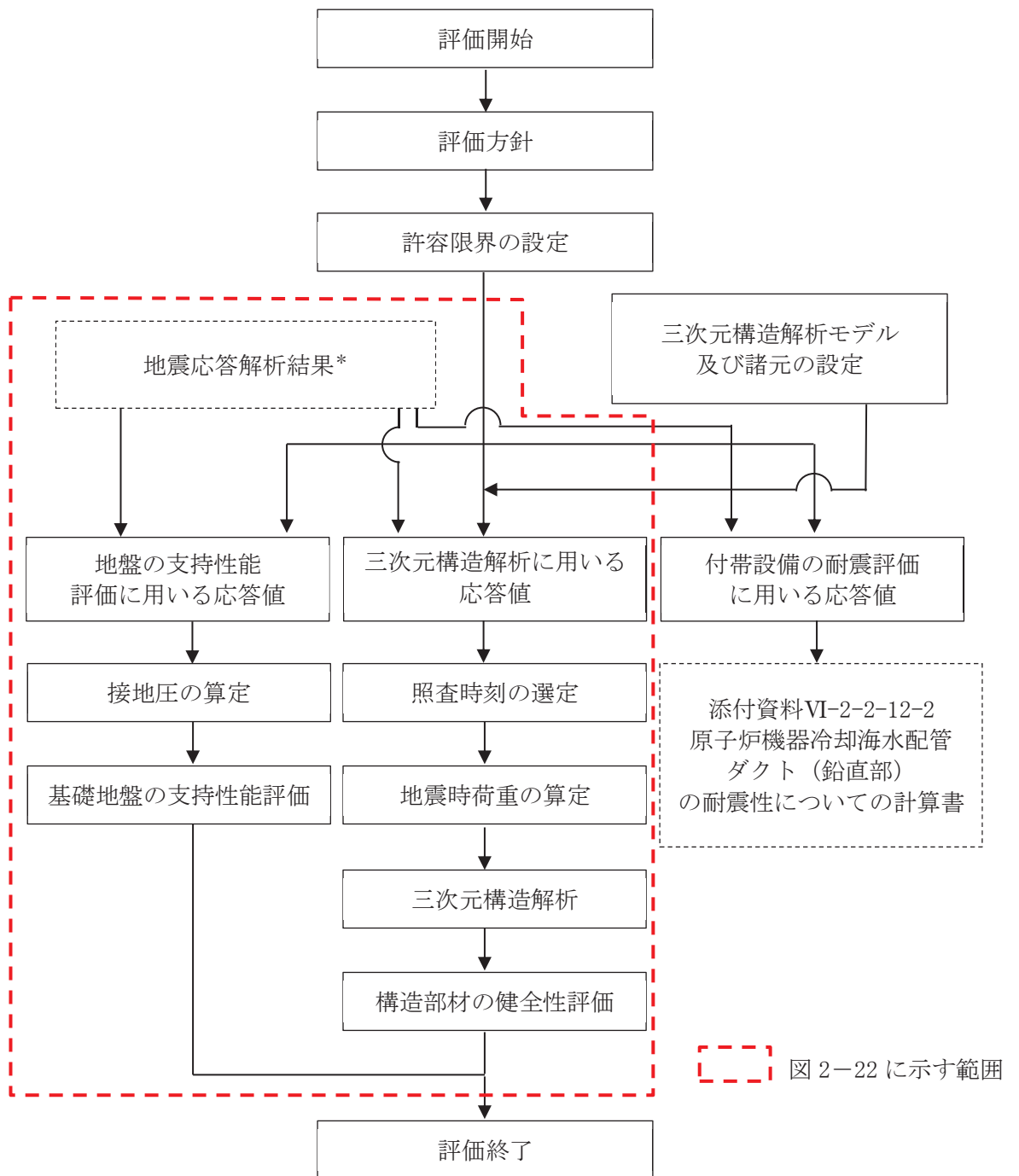


図 2-22 に示す範囲

注記*：地震応答解析より算定した値を用いる。

図 2-21 海水ポンプ室の耐震評価フロー

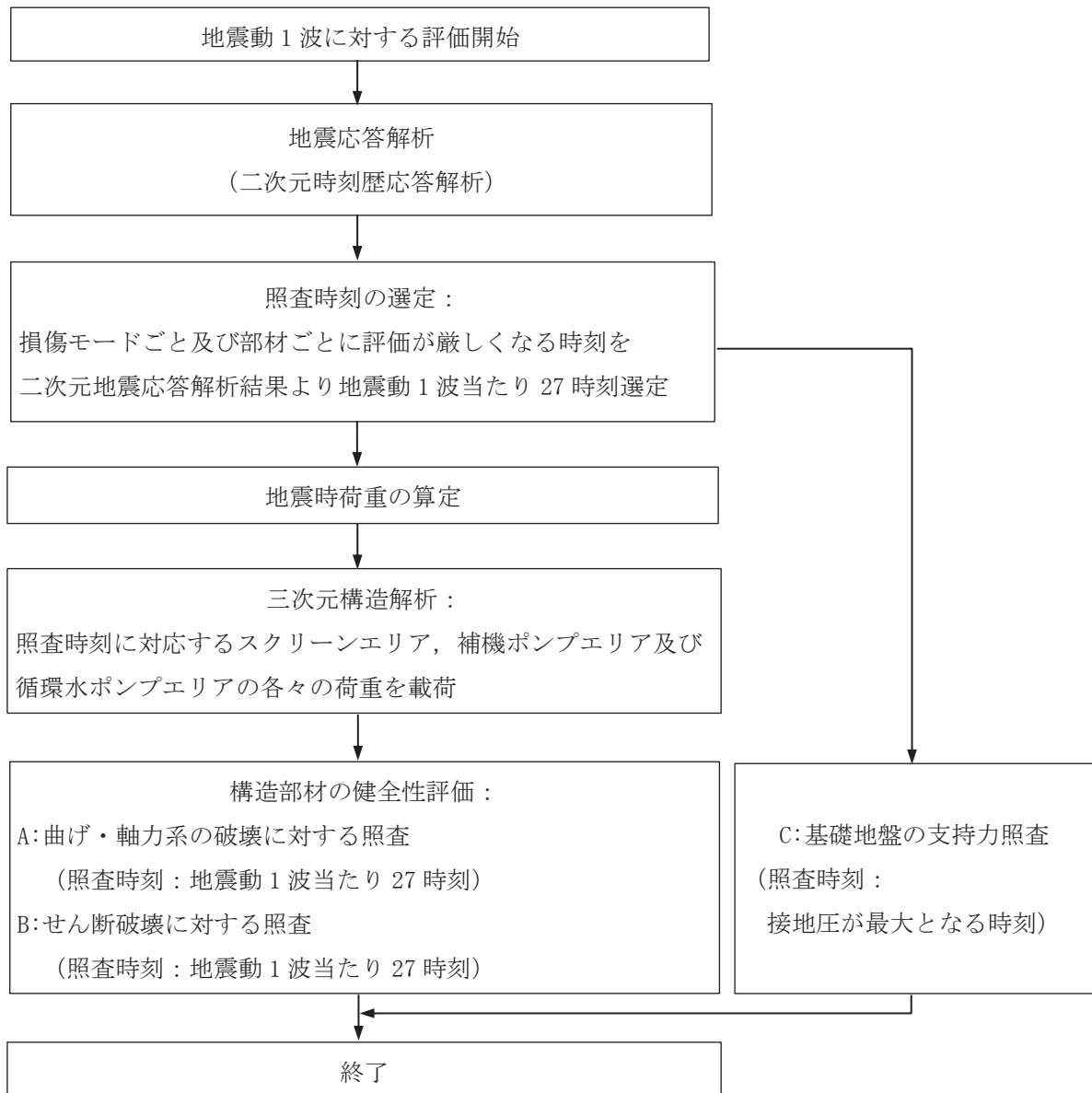


図 2-22 基本フロー（地震動 1 波に対する評価フロー）

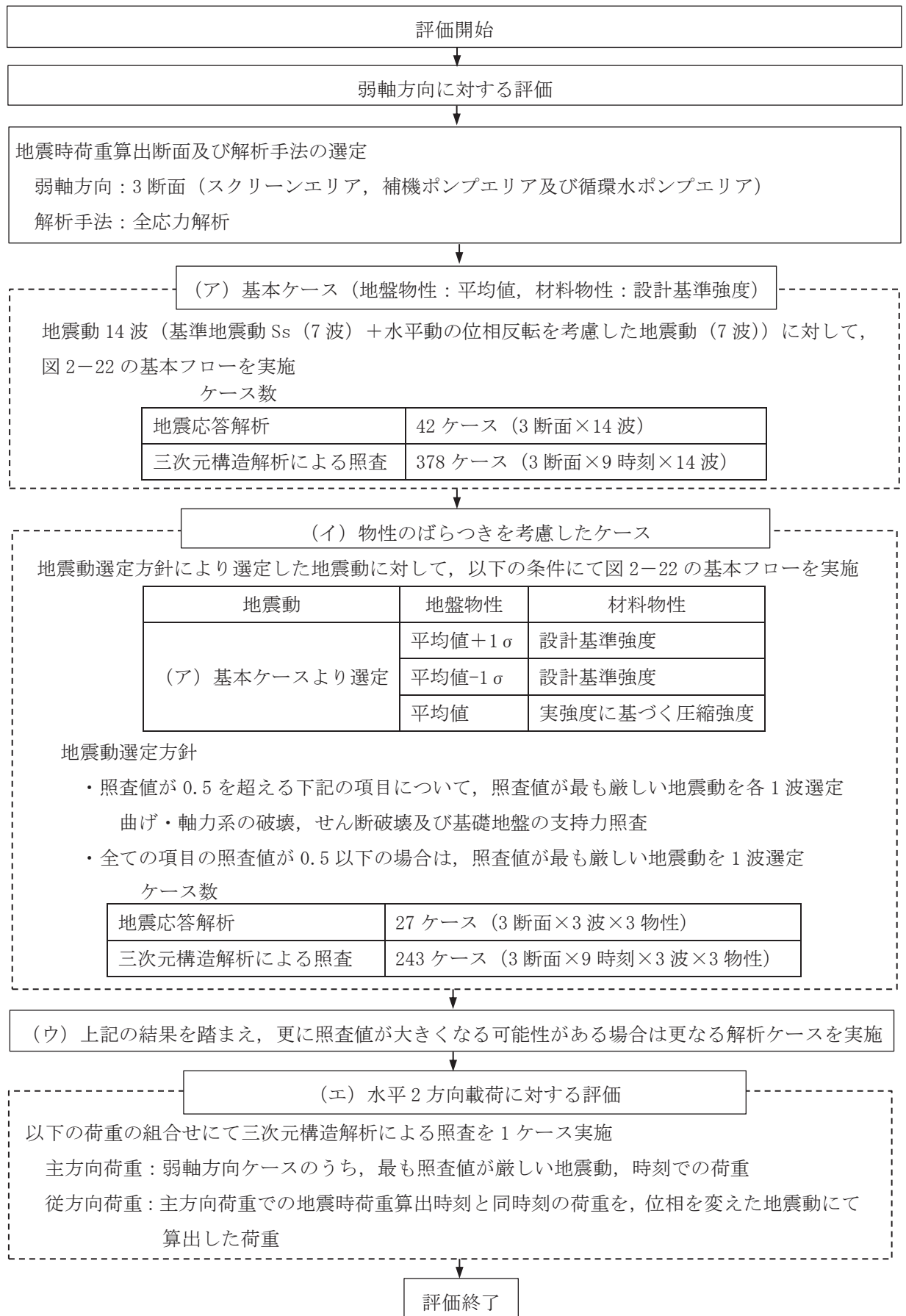


図 2-23 海水ポンプ室の三次元構造解析フロー

2.4 地震時荷重算出断面の選定

地震時荷重算出断面は、「資料1 屋外重要土木建造物の耐震安全性評価について」の「4.10 海水ポンプ室」で記載したとおり、東西方向では各エリアにおける剛性の違いが地震時荷重及び床応答に及ぼす影響を考慮し、スクリーンエリア（A-A断面）、補機ポンプエリア（B-B断面）及び循環水ポンプエリア（C-C断面）の各エリアの構造モデルを使用して地震応答解析に反映するが、周辺状況は、各エリアで差異がないことから、補機ポンプエリアの中心を通る地質断面を地盤モデルとして、地震時荷重算出断面とする。

また、南北方向については、構造的特徴や周辺状況を踏まえ、構造物中心を通る断面（D-D断面）を地震時荷重算出断面とする。

海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図を図2-24～図2-27に示す。

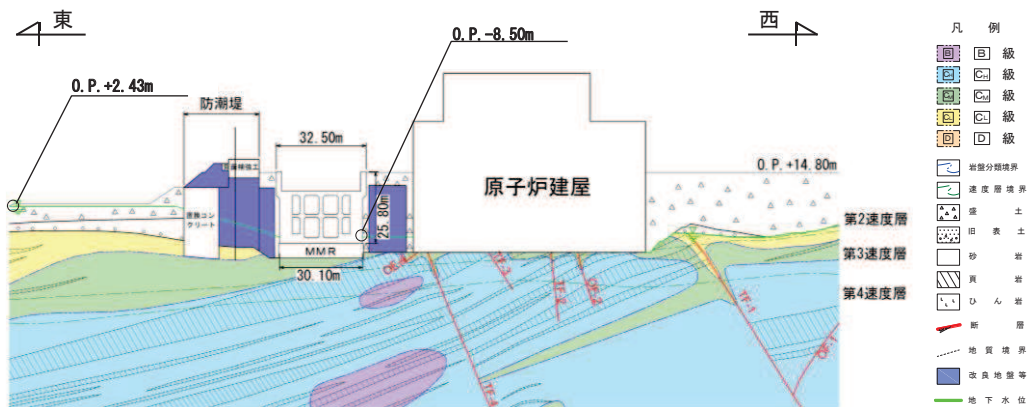


図 2-24 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

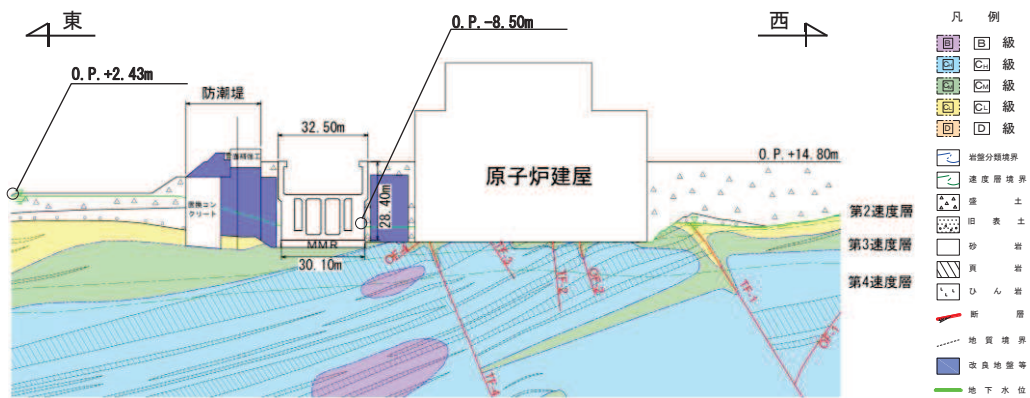


図 2-25 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

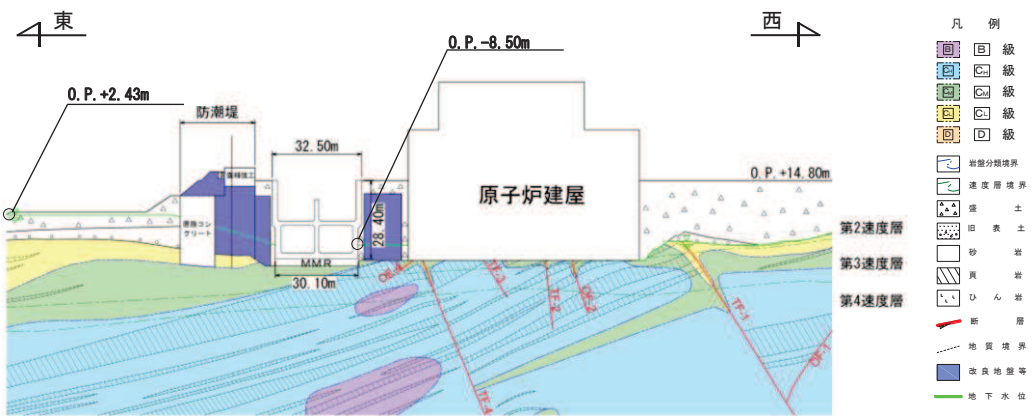


図 2-26 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

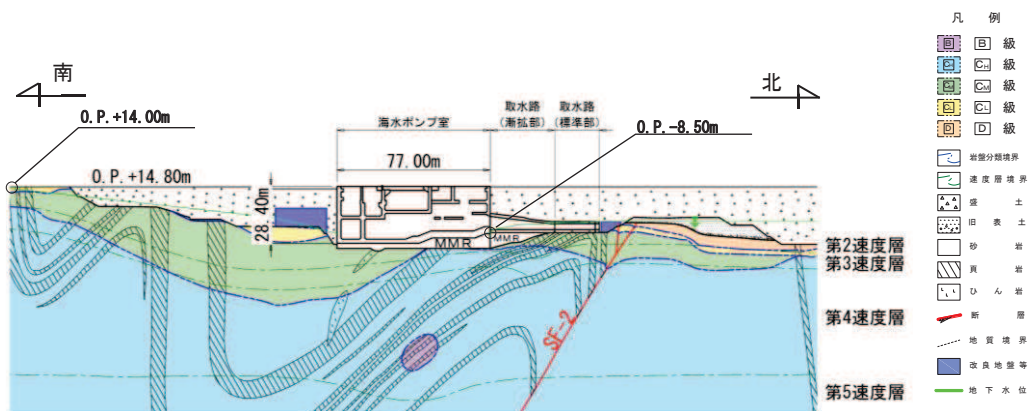


図 2-27 海水ポンプ室 地震時荷重算出用地質断面図
(D-D 断面, 南北)

2.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 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	仕様
コンクリート (N/mm ²)	設計基準強度 20.5 (既設部材, 補強部材 (気中部) * ¹) 設計基準強度 30.0* ² (補強部材 (水路部) * ¹)
鉄筋	SD345

注記*1: 補強部材の位置は、図 2-12~図 2-18 に示す。

*2: 耐震評価上は、20.5N/mm² で評価を実施している。なお、既設部材と補強部材の強度の違いによる影響は、「参考資料 3 増厚補強部における既設部材と補強部材の一体化設計」に示す。

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	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	設計基準強度	20.5N/mm ² (既設部材, 補強部材 (気中部))	解析ケース* ² ①, ②, ③
			30.0N/mm ² (補強部材 (水路部))	
		実強度* ¹	3.03×10 ⁴	解析ケース* ² ④
	ポアソン比		0.2	

注記*1: 補強部材については、a. 「既設構造物のコア採取による圧縮強度試験」と、b. 「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料 5 新設する構造部のコンクリートの圧縮強度の設定」に基づき設定した圧縮強度のうち、強度が大きい a. を使用する。

*2: 解析ケースについては、「3.5 地震応答解析の解析ケース」に示す。

2.6 地盤物性値

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 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		
			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	減衰定数 h
B級	砂岩	26.4	1.72	43.0	$1.30 \sigma^{0.73}$	1,770	0.25	表 2-5 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	$G_0 = 255.4 \sigma^{0.26}$ $G_d/G_0 =$ $1 / (1 + 119 \gamma^{0.63})$	$h =$ $0.085 \gamma /$ $(0.00026 + \gamma)$ $+ 0.028$	

表 2-5 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 参照	0.48	
	第 2 速度層		0.44	

表 2-6 地盤の解析用物性値(盛土ほか)

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		
		せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	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	減衰定数 h
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	$\gamma < 3 \times 10^{-4}$ $h = 0.125 + 0.020 \log \gamma$ $3 \times 10^{-4} \leq \gamma < 2 \times 10^{-2}$ $h = 0.374 + 0.091 \log \gamma$ $2 \times 10^{-2} \leq \gamma$ $h = 0.22$
断層 及びシーム*2	18.6	0.067	22.2	—	$0.067 + \sigma \tan 22.2^\circ$	圧縮方向 $124.5 \sigma^{0.90}$ せん断方向 $44.43 \sigma^{0.90}$	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	$\gamma < 3.8 \times 10^{-5}$ $h = 0.014$ $3.8 \times 10^{-5} \leq \gamma$ $h = 0.151 + 0.031 \log \gamma$
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	$\gamma < 1.2 \times 10^{-4}$ $h = 0.031$ $1.2 \times 10^{-4} \leq \gamma < 5.2 \times 10^{-3}$ $h = 0.227 + 0.050 \log \gamma$ $5.2 \times 10^{-3} \leq \gamma$ $h = 0.113$

*1: 残存剛性率 (G_d/G_0) が小さい領域は次式で補間

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

*2: 断層及びシームの狭在物は、「粘土状」、「砂状」、「鱗片状」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2-7 地盤の解析用物性値 (MMR)

	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)	内部摩擦角 ϕ (°)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	残留強度 τ (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断剛性 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 (%)
MMR (既設) ($f'_{ck} = 15.6\text{N/mm}^2$)	22.6	3.12	-*	1.43	-*	20590	8579	0.2	3

*：内部摩擦角及び残留強度は保守的に考慮しない。

2.7 評価構造物諸元及び要求機能の考え方

2.7.1 評価構造物諸元

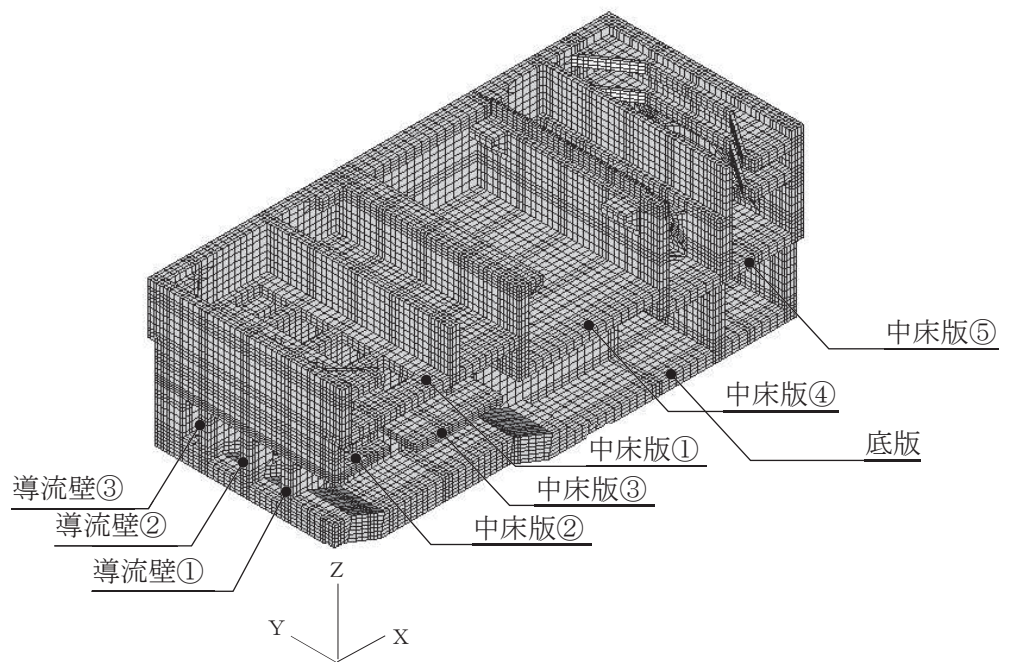
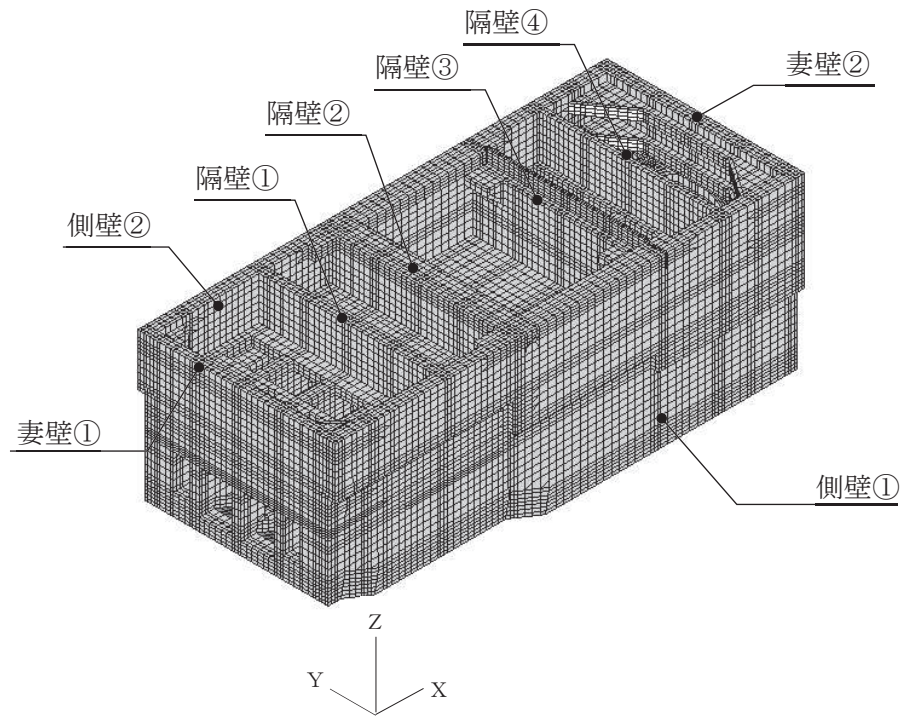
海水ポンプ室の諸元を表2-8に、評価部位を図2-28に示す。

表 2-8 評価部位とその仕様

部 位	仕 様*1	材 料		要求機能
	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 f'_{ck} (N/mm ²)	鉄 筋	
底版	2000 (既設部材) 1500 (補強部材)	20.5 (既設部材) 30.0 (補強部材) *2	SD345	通水機能 貯水機能
	2000	20.5	SD345	
側壁	2000 (既設部材) 2700 (補強部材)	20.5 (既設部材) 30.0 (補強部材) *2	SD345	通水機能 貯水機能 止水機能 支持機能
	2000	20.5	SD345	
隔壁	1500 (隔壁①) 1500 (隔壁②) 500~1500 (隔壁③) 1000~1500 (隔壁④)	20.5	SD345	止水機能 支持機能
妻壁	1500 (妻壁①) 2000 (妻壁②)	20.5	SD345	止水機能 支持機能
導流壁	1500	20.5	SD345	通水機能
	1500	20.5	SD345	
	1500	20.5	SD345	
中床版	1500 (中床版①) 1000 (中床版②, 中床版③)	20.5	SD345	通水機能 止水機能 支持機能
	1500 (中床版④)	20.5	SD345	
	1500 (中床版⑤)	20.5	SD345	

注記*1：補強部材の位置は、図 2-12～図 2-18 に示す。

*2：耐震評価上は、20.5N/mm²として評価を実施している。



注：手前の側壁は非表示としている。

図 2-28 評価部位の位置

2.7.2 海水ポンプ室の要求機能の考え方

「2.7.1 評価構造物諸元」の表 2-8 に示した海水ポンプ室の要求機能について、その考え方を以下に記載する。

(1) 通水機能

海水ポンプ室の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。

図 2-29 に通水機能が要求される部材の範囲を示す。

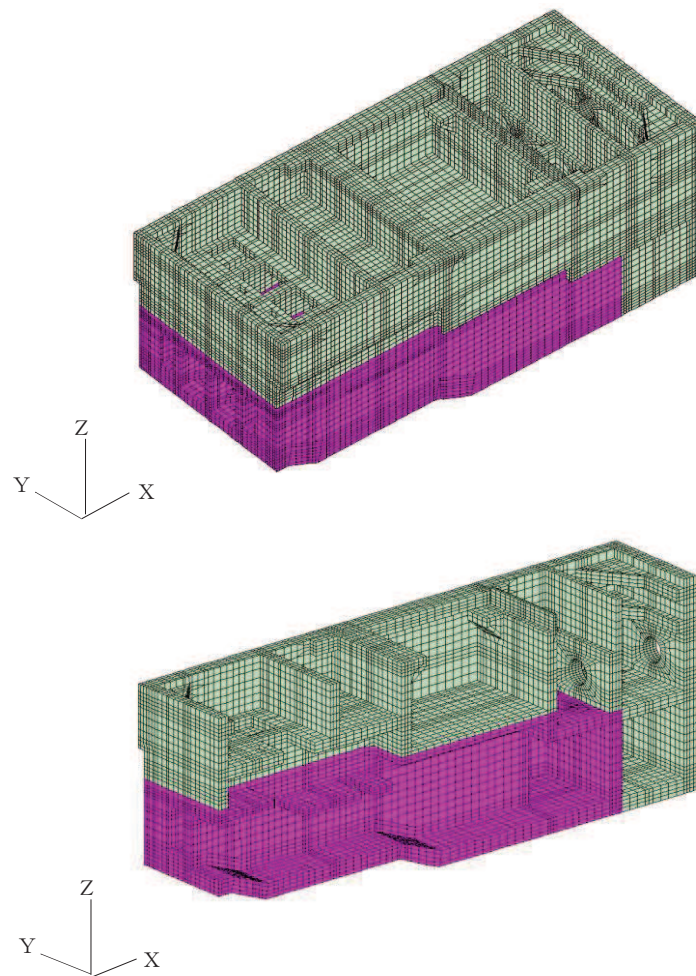


図 2-29 通水機能が要求される部材の範囲

(2) 貯水機能

海水ポンプ室における貯水機能は、津波時の引き波を想定した要求機能であるため、貯留堰天端標高（O.P. -5.30m）以下の側壁、隔壁及び底版を対象とする。

図2-30に貯水機能が要求される部材の範囲を示す。

引き波の継続時間の詳細は、添付資料「VI-1-1-2-2 津波への配慮に関する説明書」に示す。

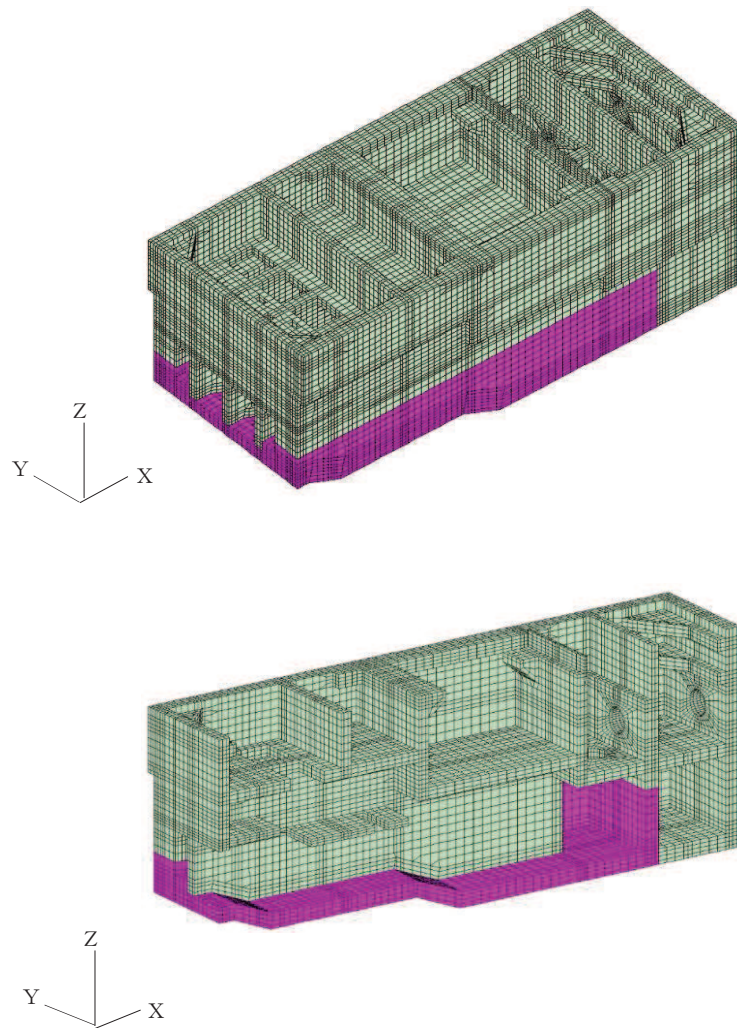


図2-30 貯水機能が要求される部材の範囲

(3) 止水機能

止水機能は、津波の押し波時における外郭防護、屋外タンク損傷時における内郭防護及び循環水単一破損時における内部溢水に対し、部材からの漏水によりSクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないように要求される機能である。

図2-31に止水機能が要求される部材の範囲を示す。

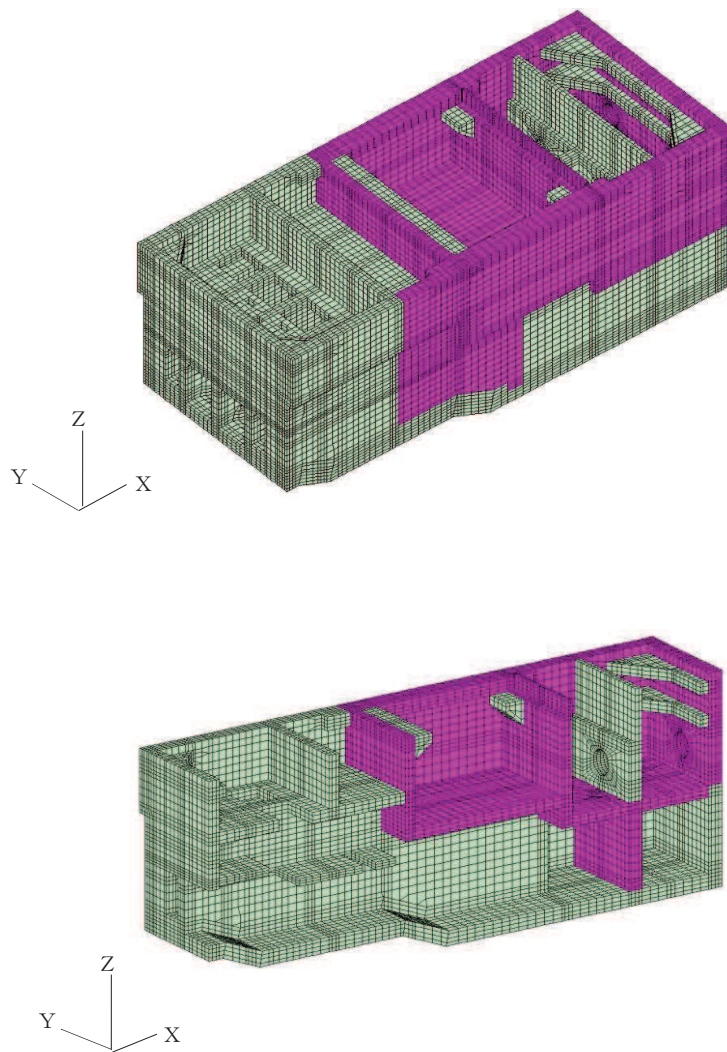


図2-31 止水機能が要求される部材の範囲

(4) 支持機能

耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備である原子炉補機冷却海水ポンプ等を間接支持する部材を図 2-32 に示す。

支持機能における曲げに対する許容限界は、構造物全体で終局状態に対する限界ひずみを下回ることに加え、アンカー定着部周辺においては、部材降伏に対する限界ひずみを下回ることを確認する。図 2-32 にはアンカー定着部周辺の部材降伏に対する評価範囲を示す。

竜巻防護ネットの支持部については、三次元モデルに反映し、支持機能を損なわないことを確認する。

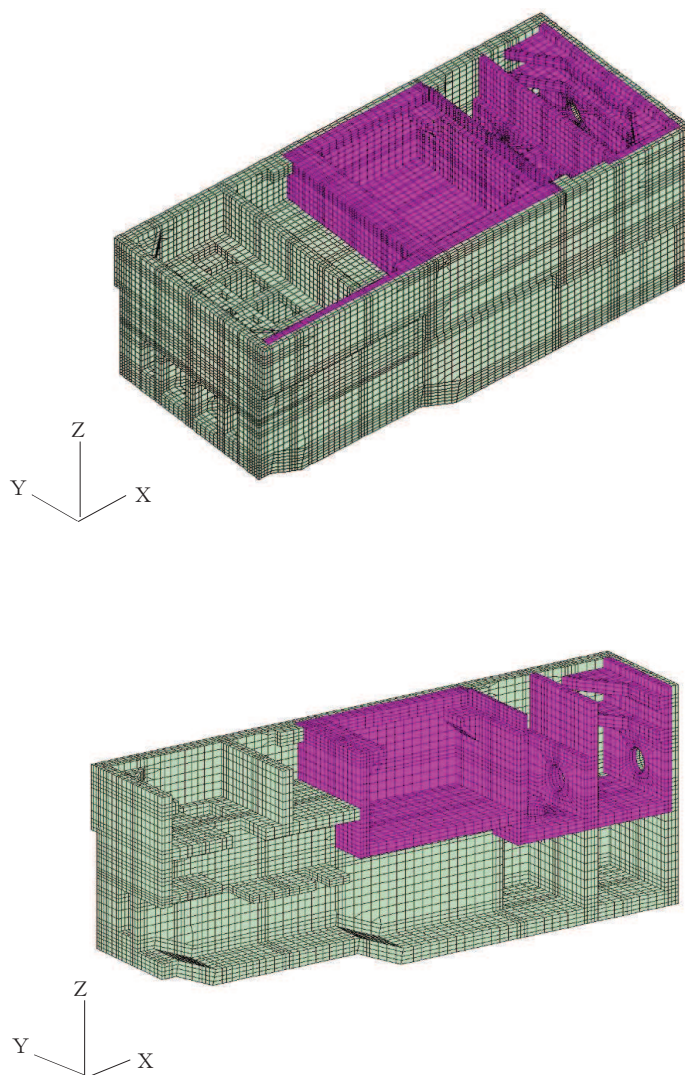


図 2-32 支持機能が要求される部材の範囲

2.8 地下水位

設計用地下水位は、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。
設計用地下水位の一覧を表 2-9 に、設計用地下水位を図 2-33～図 2-36 に示す。

表 2-9 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
海水ポンプ室	A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア)	O. P. -8.50m～O. P. +2.43m ^{*1,2}
	B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア)	
	C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア)	
	D-D 断面, 南北	O. P. -8.50m～O. P. +14.00m

注記*1：朔望平均満潮位。

*2：東北地方太平洋沖地震による約 1 m の沈降を、敷地高さ (O. P. +14.8m) を固定とし朔望平均満潮位を O. P. +1.43m から O. P. +2.43m とすることにより考慮する。

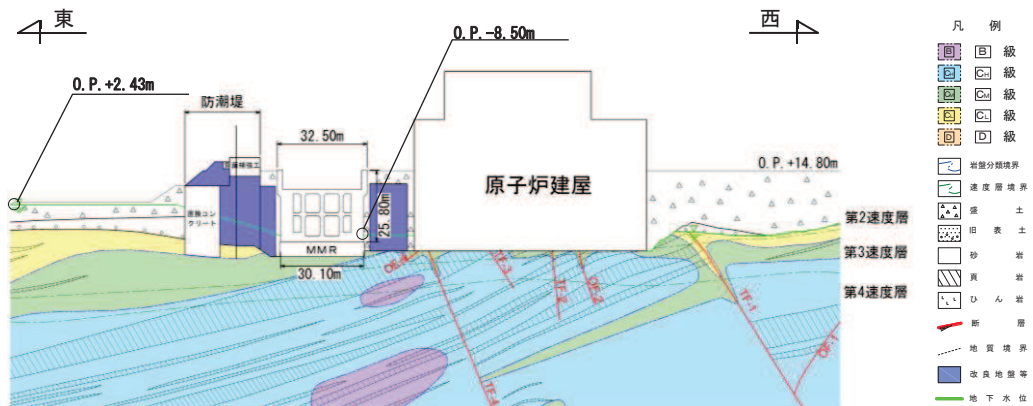


図 2-33 設計用地下水位 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

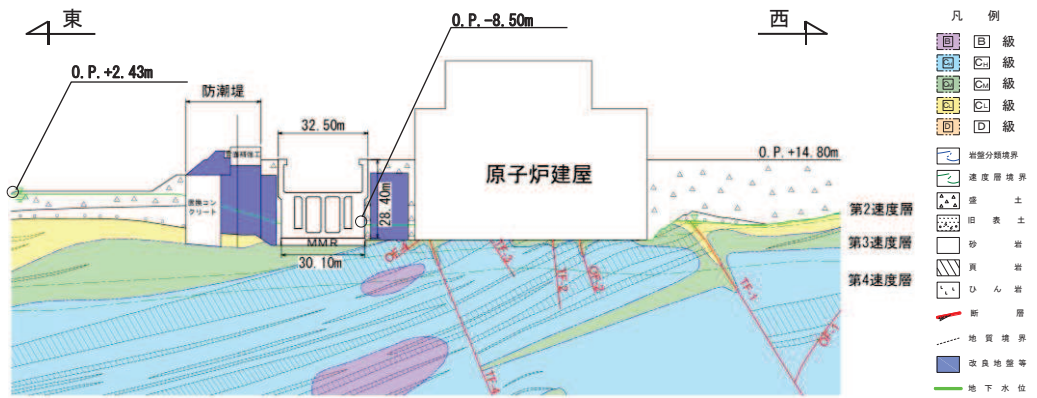


図 2-34 設計用地下水位東西方向 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

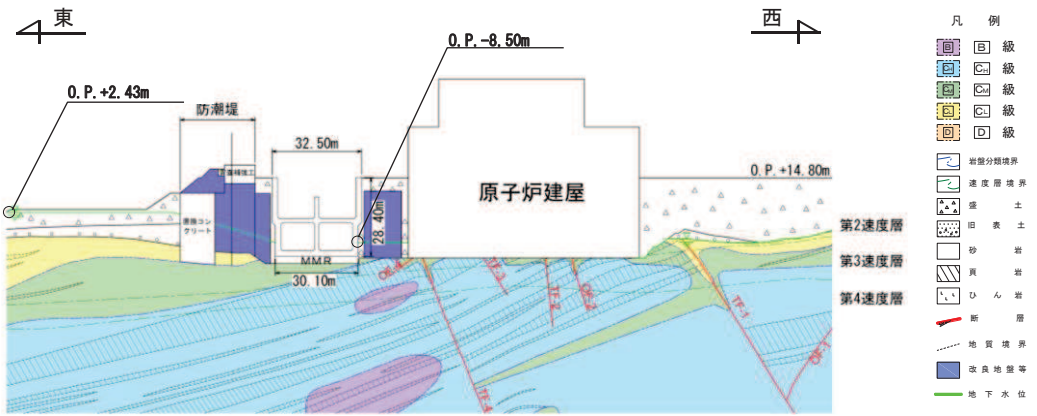


図 2-35 設計用地下水位東西方向 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

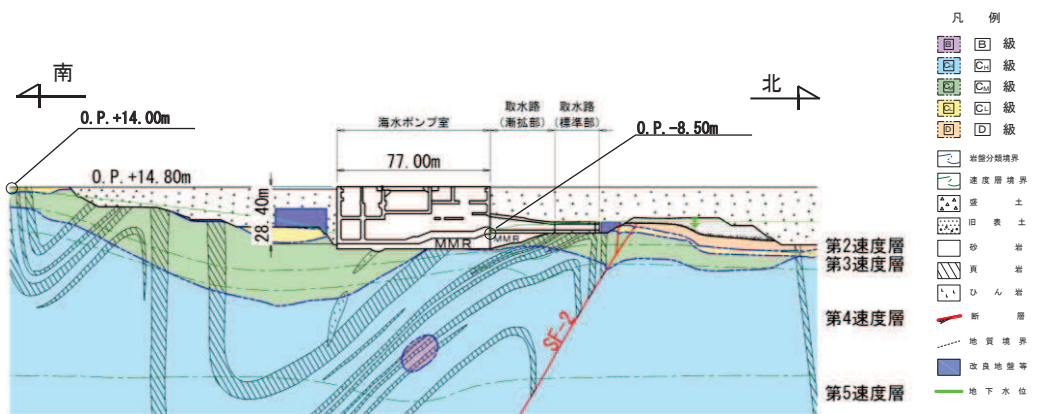


図 2-36 設計用地下水位 (D-D 断面, 南北)

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、図 3-1 に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。解析手法は、「資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.10 海水ポンプ室」に示すとおり、全応力解析とする。

構造部材については、中床版、底版及び地震時荷重算出断面に垂直な壁部材を線形はり要素、断面に平行な壁部材は平面応力要素とし、構造物の奥行方向の長さ各部材の奥行方向の長さの比率や三次元構造解析モデルとの変位を整合させるためのヤング係数の調整を行い、三次元構造モデルと等価な剛性となるようモデル化する。

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、セメント改良土、改良地盤及び 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 (修正 GHE モデル又は 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「Soil Plus Ver. 2015 Build3」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。

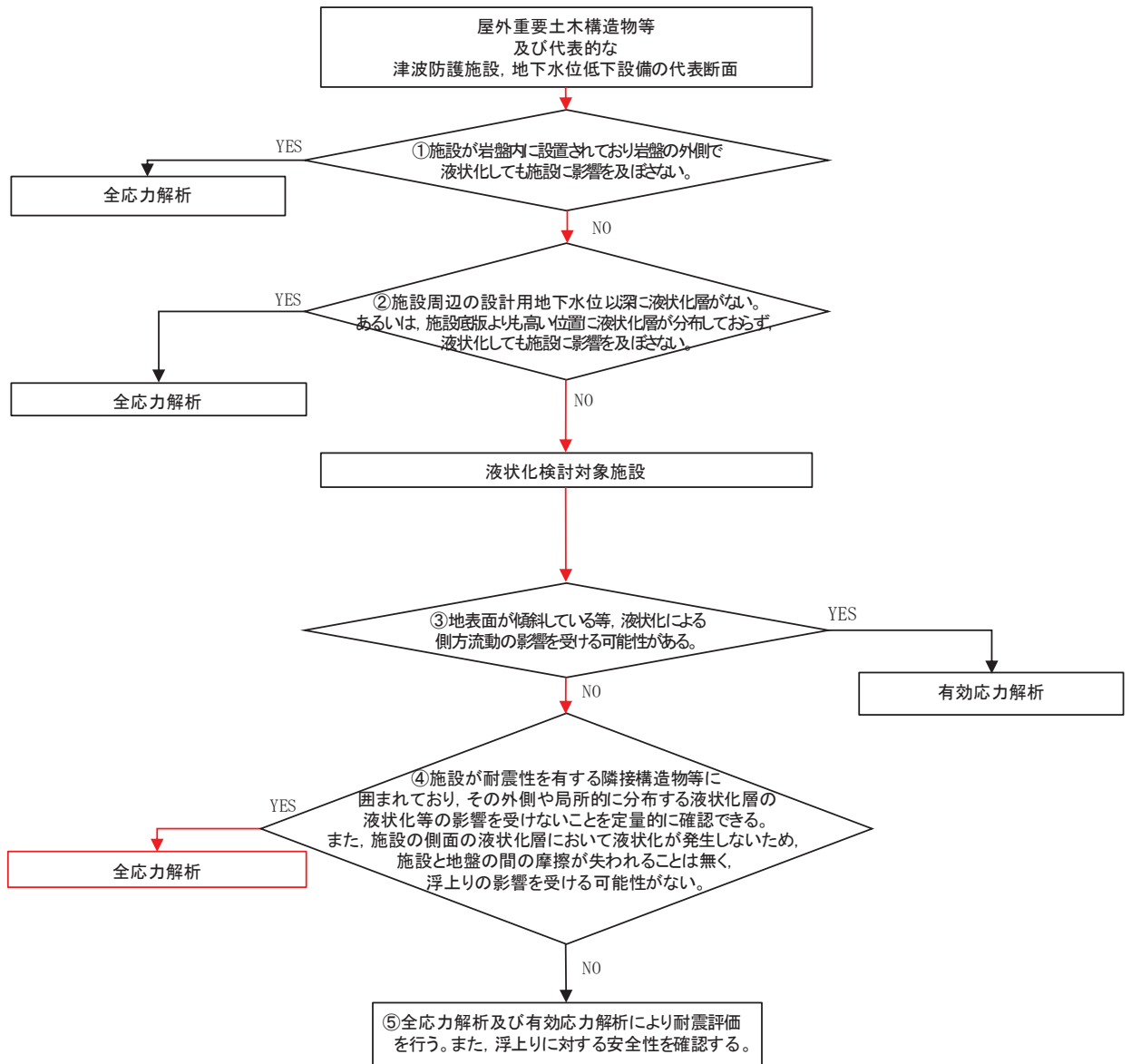


図 3-1 解析手法の選定フロー

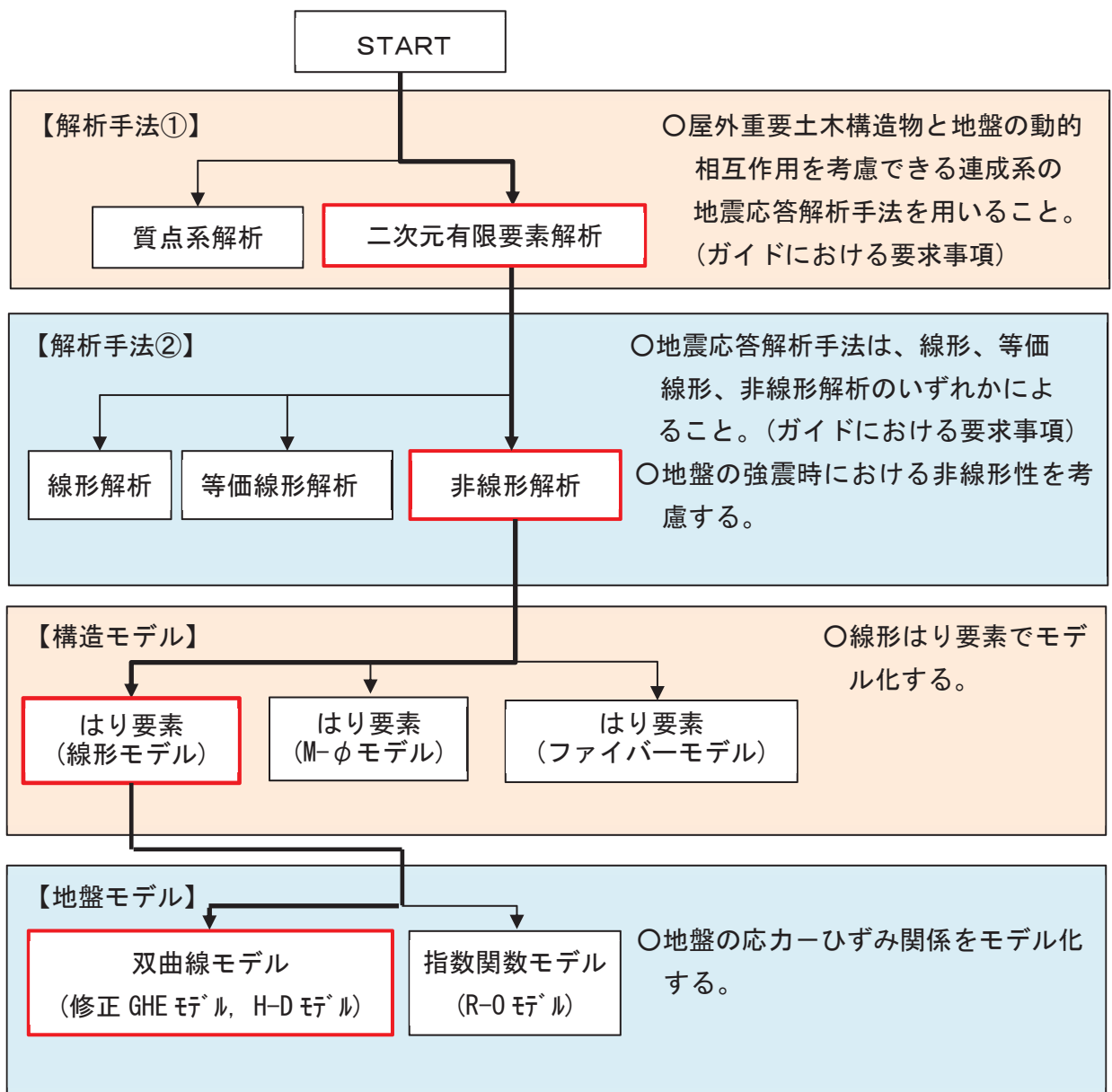


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

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 倍以上、モデル高さを構造物基礎幅の 2 倍以上を目安とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及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 倍程度まで細分して設定する。

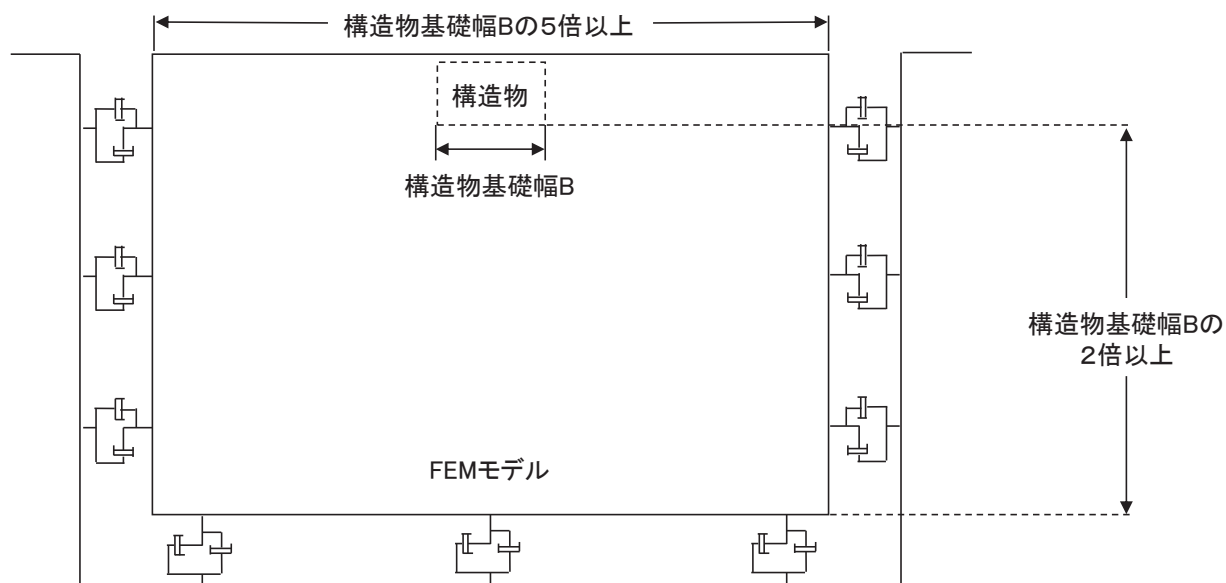


図 3-3 モデル化範囲の考え方

二次元全応力解析モデルは、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。二次元全応力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。

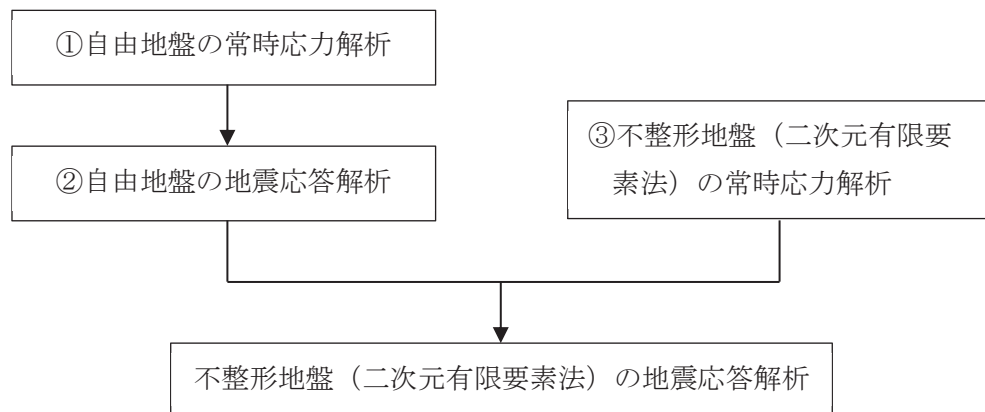


図3-4 自由地盤の常時応力解析から不整形地盤（二次元有限要素法）の地震応答解析までのフロー

3.2.2 境界条件

(1) 固有値解析時

Rayleigh 減衰の設定に用いる固有周期を求めるための固有値解析を実施する際の境界条件は、境界が構造物を含めた周辺地盤の振動特性に影響を与えないよう設定する。ここで、底面境界は地盤のせん断方向の卓越変形モードを把握するために固定とし、側面は実地盤が側方に連続していることを模擬するため水平ローラーとする。境界条件の概念図を図3-5に示す。

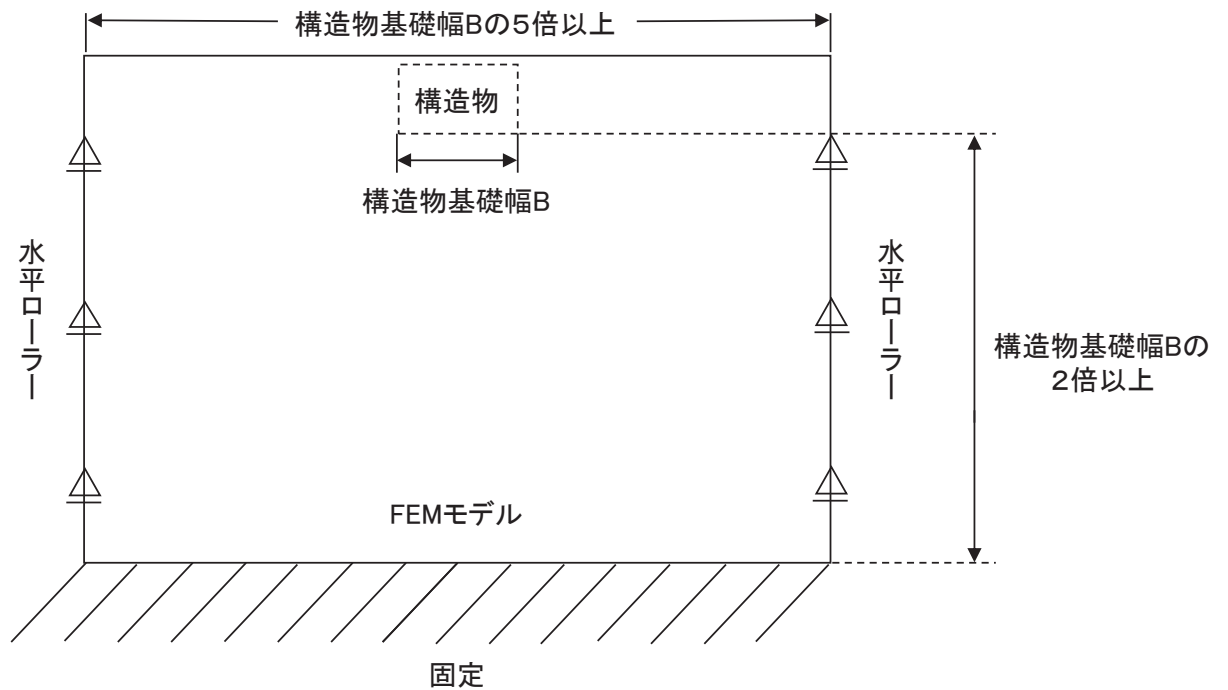


図3-5 固有値解析における境界条件の概念図

(2) 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷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3-6に示す。

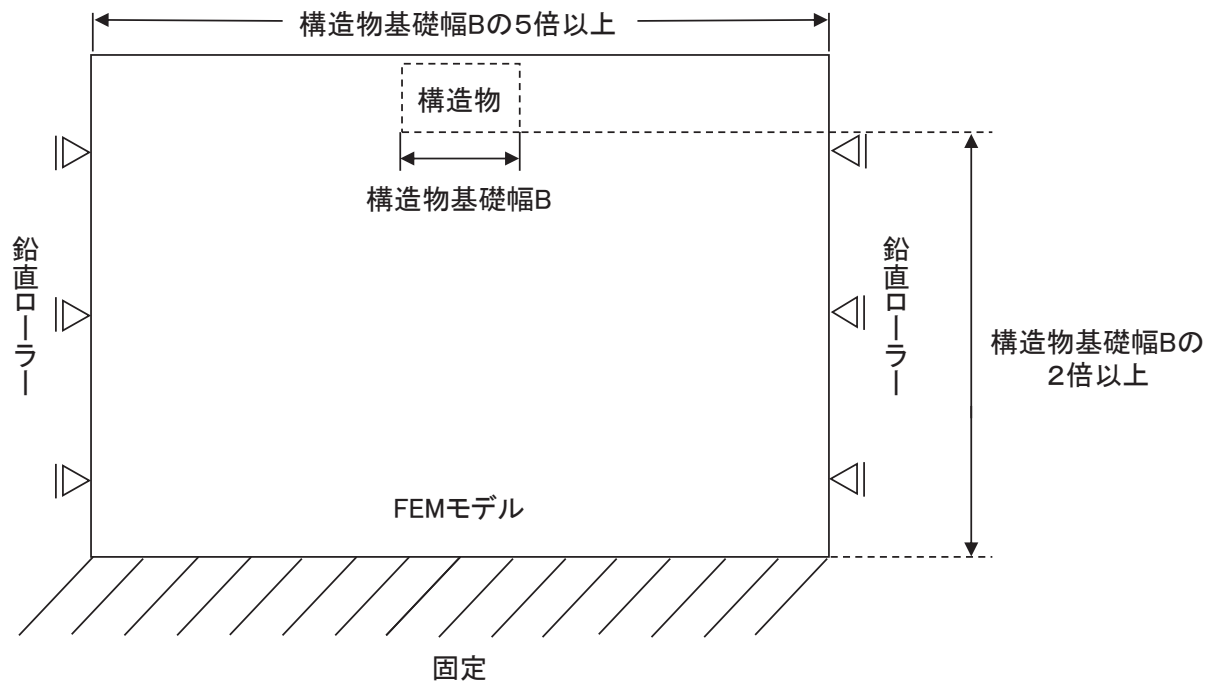
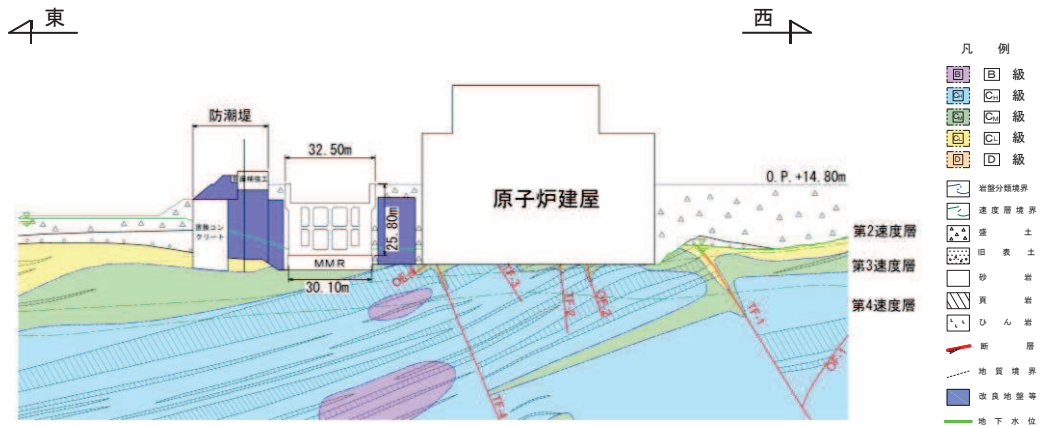


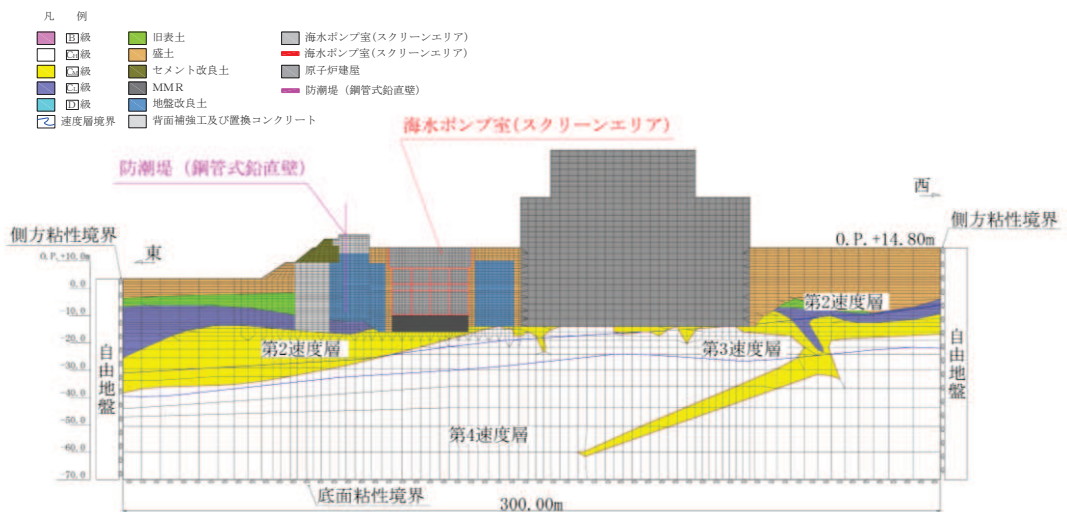
図3-6 常時応力解析における境界条件の概念図

(3) 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整形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。海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図及び地震応答解析モデルを図 3-7～図 3-10 に示す。

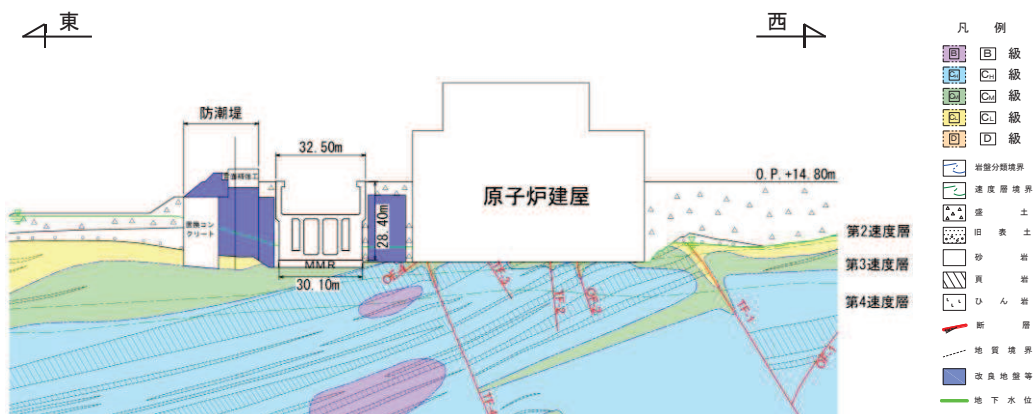


(a) 地震時荷重算出用地質断面図

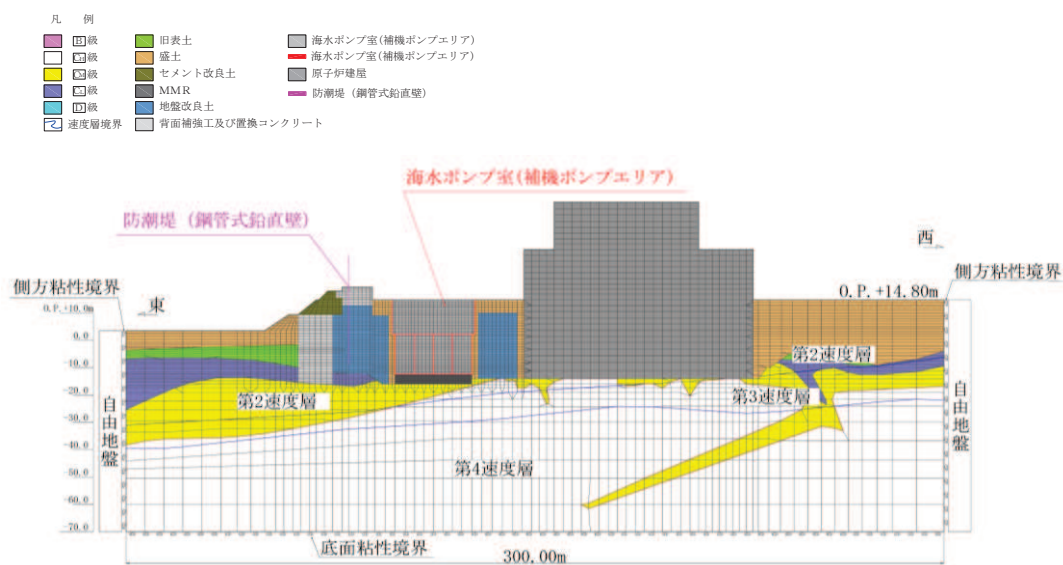


(b) 地震応答解析モデル図

図 3-7 海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図及び地震応答解析モデル図
(A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

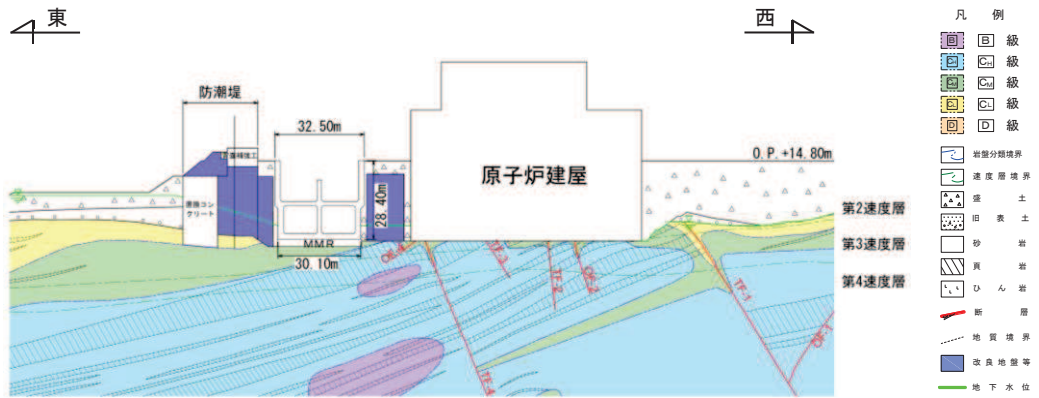


(a) 地震時荷重算出用地質断面図

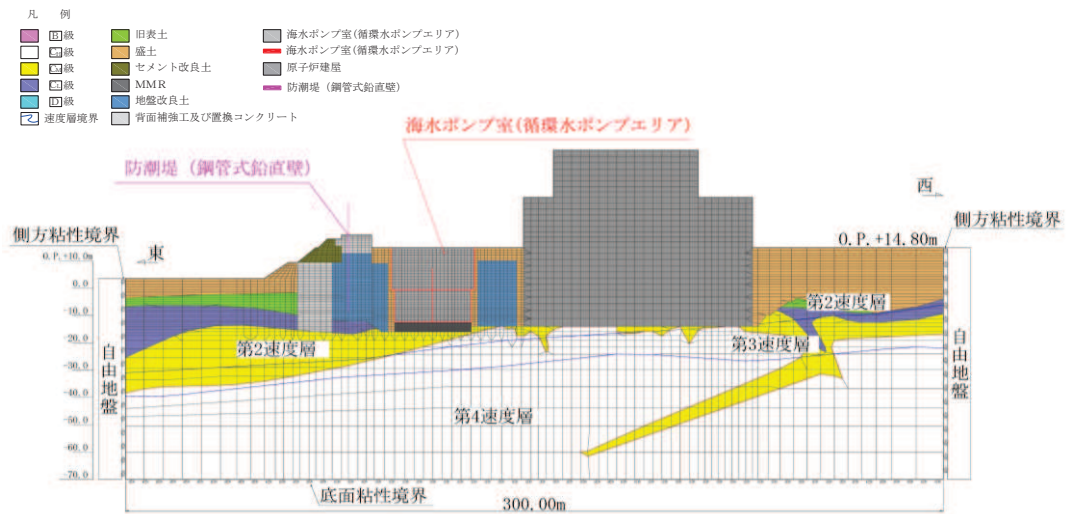


(b) 地震応答解析モデル図

図 3-8 海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図及び地震応答解析モデル図
(B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

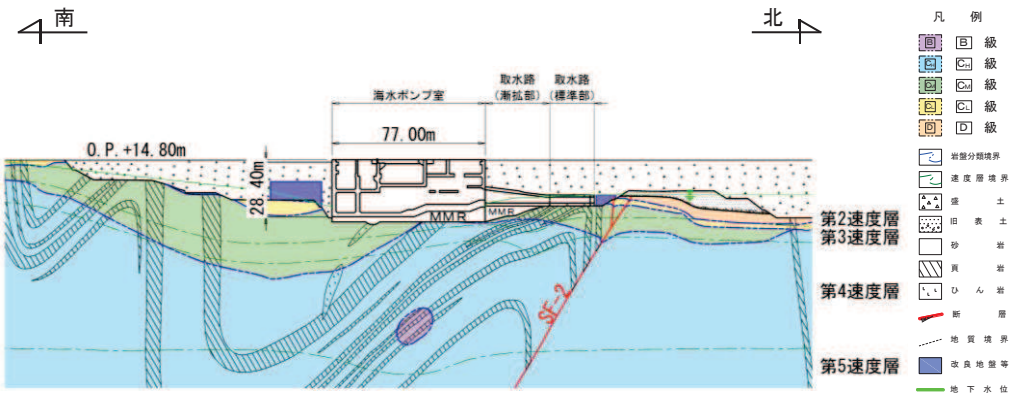


(a) 地震時荷重算出用地質断面図

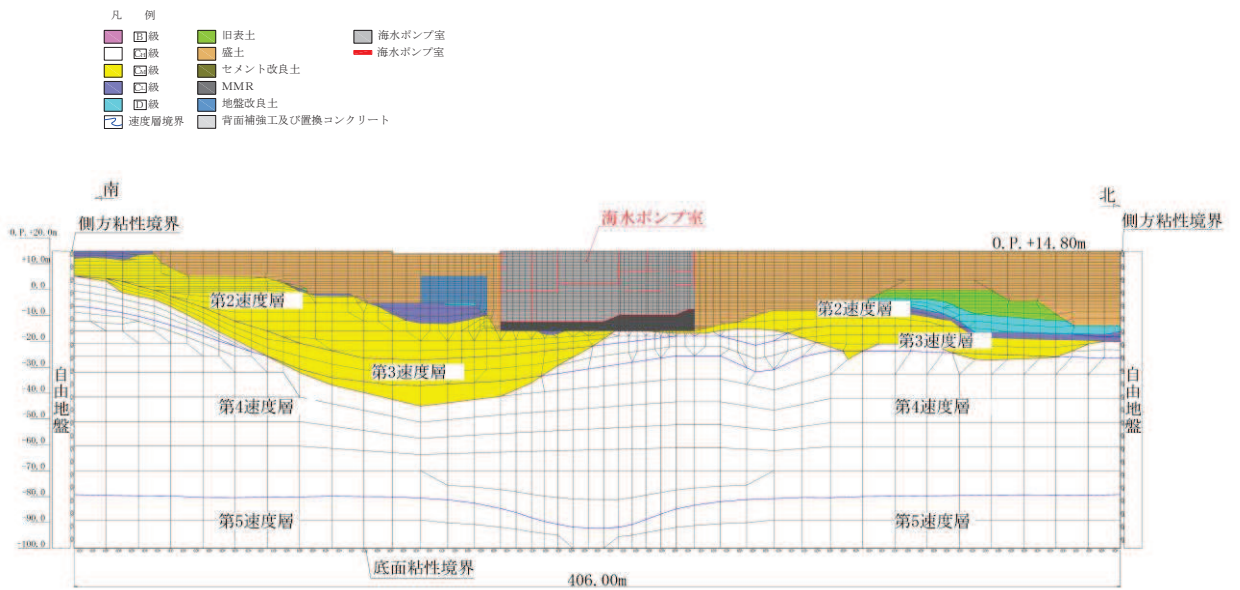


(b) 地震応答解析モデル図

図 3-9 海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図及び地震応答解析モデル図
(C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))



(a) 地震時荷重算出用地質断面図



(b) 地震応答解析モデル図

図 3-10 海水ポンプ室の地震時荷重算出用地質断面図及び地震応答解析モデル図 (D-D 断面, 南北)

3.2.3 構造物のモデル化

(1) 東西方向

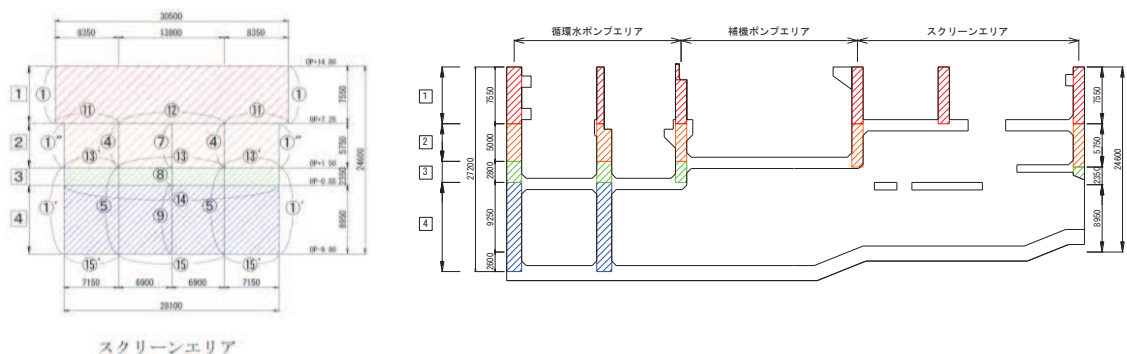
海水ポンプ室の東西方向は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、妻壁や隔壁の配置が異なることによる剛性差を考慮して、スクリーンエリア（A-A 断面）、補機ポンプエリア（B-B 断面）及び循環水ポンプエリア（C-C 断面）を通る断面とし、エリアごとに等価剛性モデルを作成する。等価剛性モデルについて、側壁、底版、中床版のような加振に対して面外変形で抵抗する部材は、線形はり要素にてモデル化し、隔壁、妻壁のような加振に対して面内変形で抵抗する部材は、平面応力要素にてモデル化する。海水ポンプ室は、せん断変形が主体的であり、地震応答解析モデルは、三次元構造解析モデルの土圧等算定用のため、地震時土圧を適切に評価できるように、側壁及び底版の増厚箇所については、躯体の外形にあったモデルとする必要があることから、既設部材中心位置に線形はり要素でモデル化する。なお、剛性は、増厚部を含めた剛性とする。

等価剛性の設定は以下の2つの手順に基づき行う。

手順1として、エリア奥行長さに対する、部材の奥行長さの比率から補正係数 α を線形はり要素および平面応力要素それぞれに設定する。

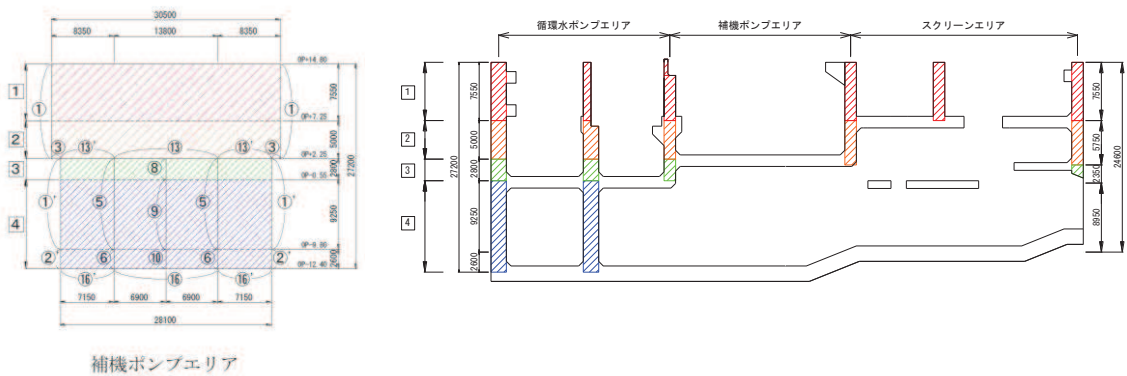
手順2として、線形の三次元モデルに水平荷重として単位荷重（約100kN/m²）を作用させ、構造物の奥行方向の平均的な水平変位を算定する。さらに、補正係数 α を設定した二次元モデルに同じ単位荷重を作用させ、剛性変化部における両側壁の平均変位を算定し、三次元モデルの水平変位と等しくなるように補正係数 β を算定する。各エリアの等価剛性モデル概念図を図3-11に、各エリアにおける三次元モデルとの水平変位の比較位置を図3-12に示す。コンクリートの弾性係数 E_c に補正係数 α 、 β を乗じ、等価剛性モデルの弾性係数（剛性）を設定する。剛性の調整方法を図3-13に、剛性調整結果を図3-14に、補正係数の計算結果を表3-1及び表3-2に示す。また、補正係数 β は平面応力要素に対してのみ設定する。なお、単位荷重を載荷させる三次元モデル及び二次元モデルの底面の境界条件は、構造物の変位に着目するため固定境界としている。

等価剛性モデルは、地震時荷重を保守的に評価するよう線形モデルとする。



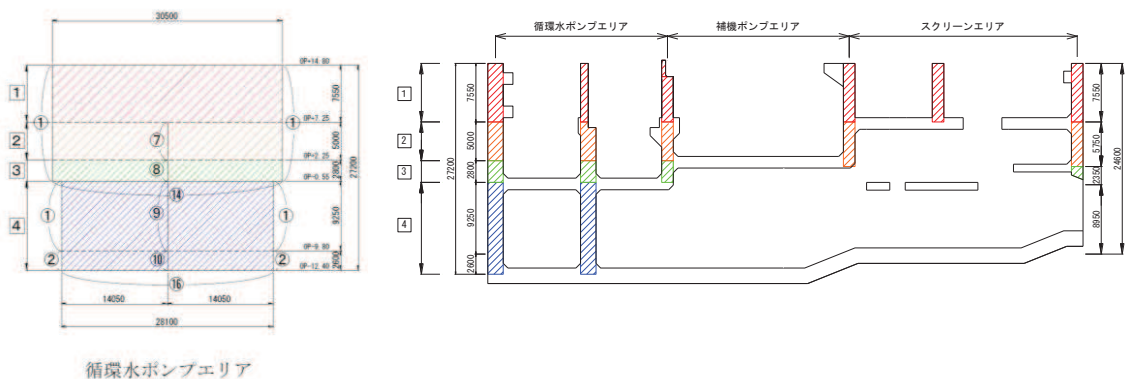
スクリーンエリア

図 3-11 (1) 各エリアの等価剛性モデル (スクリーンエリア)



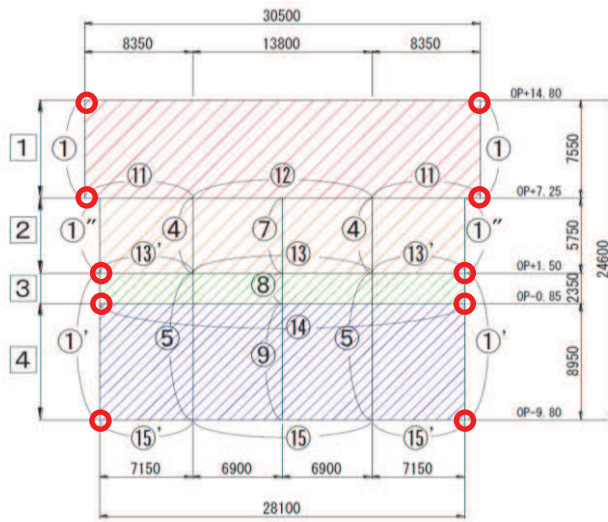
補機ポンプエリア

図 3-11 (2) 各エリアの等価剛性モデル (補機ポンプエリア)

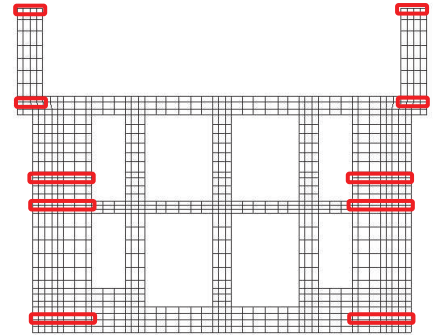


循環水ポンプエリア

図 3-11 (3) 各エリアの等価剛性モデル (循環水ポンプエリア)



等価剛性モデル



三次元モデル

□ : 変位置着目位置

図 3-12 等価剛性モデルと三次元モデルの変位比較概念図

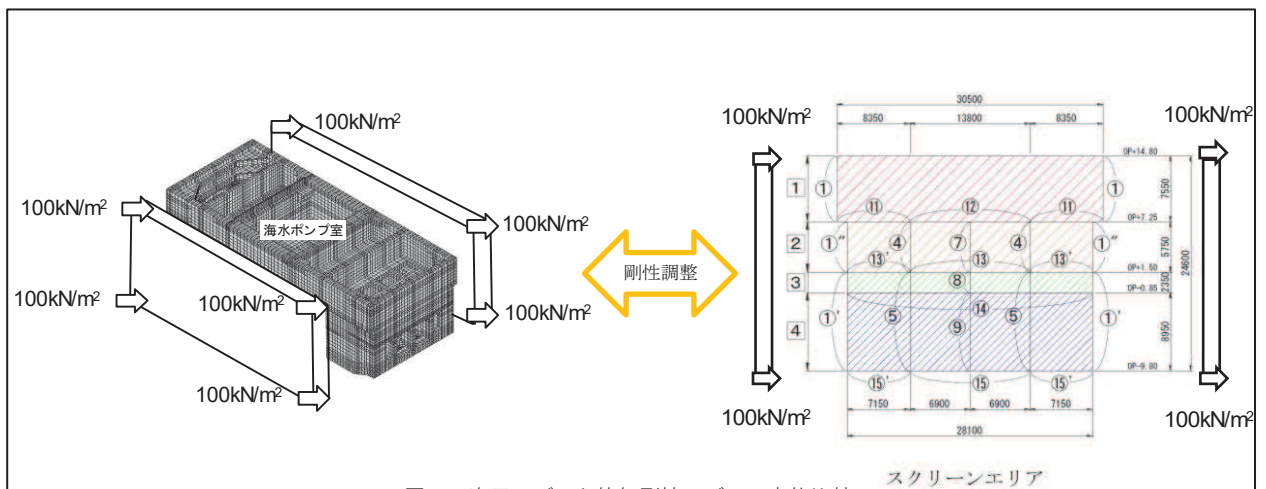


図 三次元モデルと等価剛性モデルの変位比較

剛性の調整方法

剛性の調整は、以下の式によるものとする。なお、三次元モデルにおける変位は、各エリアの奥行方向の平均変位を用いる。

$$E = E_c \times \alpha \times \beta$$

E : 等価剛性モデルの弾性係数

E_c : コンクリートの弾性係数

α : 海水ポンプ室の奥行き長さに対する部材の奥行き長さの比率 = L_e/L

L_e : 部材の奥行き長さ

L : 海水ポンプ室の奥行き長さ

β : 変位を合わせるための弾性係数の補正係数

図 3-13 剛性の調整方法

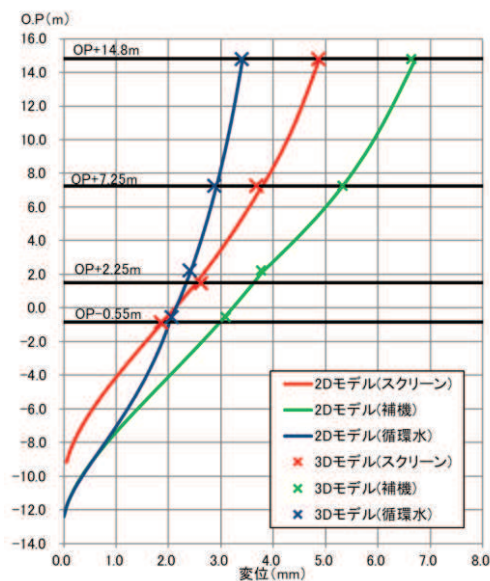


図 3-14 剛性調整結果

表 3-1(1) 補正係数の計算結果 (はり要素) (スクリーンエリア)

要素番号*	α
①	1.00
①'	1.00
①''	1.00
④	1.00
⑤	1.00
⑦	0.85
⑧	0.85
⑨	0.85
⑪	0.83
⑫	0.83
⑬	0.33
⑬'	0.33
⑭	0.42
⑮	1.00
⑮'	1.00

注記* : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

表 3-1(2) 補正係数の計算結果 (はり要素) (補機ポンプエリア)

要素番号*	α
①	1.00
①'	1.00
②'	1.00
③	1.00
⑤	1.00
⑥	1.00
⑧	1.00
⑨	1.00
⑩	1.00
⑬	0.87
⑬'	0.94
⑯	1.00
⑯'	1.00

注記* : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

表 3-1(3) 補正係数の計算結果 (はり要素) (循環水ポンプエリア)

要素番号*	α
①	1.00
②	1.00
⑦	0.46
⑧	0.46
⑨	1.00
⑩	1.00
⑭	0.82
⑯	1.00

注記* : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

表 3-2(1) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (スクリーンエリア)

要素番号* ¹	α	β
1	0.15	0.35
2	0.10	0.48
3	0.02	0.01
4	0.02* ²	0.80

注記*1 : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

*2 : 4 は開口部だが、変位調整のため、3 と同様の値としている。

表 3-2(2) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (補機ポンプエリア)

要素番号* ¹	α	β
1	0.12	0.28
2	0.13	0.28
3	0.06	0.90
4	0.06* ²	0.48

注記*1 : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

*2 : 4 は開口部だが、変位調整のため、3 と同様の値としている。

表 3-2(3) 補正係数の計算結果 (平面応力要素) (循環水ポンプエリア)

要素番号*	α	β
1	0.19	0.58
2	0.22	0.60
3	0.25	0.60
4	0.18	0.49

注記* : 要素番号は図 3-11 の要素番号に対応

(2) 南北方向

海水ポンプ室の南北方向の D-D 断面は，底版，隔壁，妻壁，中床版のような加振に対して面外変形で抵抗する部材は，線形はり要素にてモデル化し，側壁のような加振に対して面内変形で抵抗する部材は，平面応力要素にてモデル化する。

D-D 断面は，土圧を直接受ける妻壁と各エリアに配置される隔壁が上方で拘束されず，地震時に一体として挙動しないことからエリア奥行長さに対する，部材奥行長さの比率から求める補正係数 α のみ設定する。

3.2.4 隣接構造物のモデル化

東西方向において隣接構造物となる原子炉建屋及び防潮堤は、海水ポンプ室との間が地盤改良されており、隣接構造物の地震応答が剛性の大きい改良地盤を介して海水ポンプ室に伝達することが考えられるため、原子炉建屋及び防潮堤をモデル化する。以下に、それぞれの構造物のモデル化方針を示す。なお、縦断方向北側には取水路が隣接するが、土圧を大きく評価するために、取水路は、盛土にてモデル化する。

(1) 原子炉建屋

原子炉建屋のモデル化は、「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〉」に基づき、質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_θ を用いて、せん断剛性 G 、ポアソン比 ν 、ばね定数 k_s を求め等価な有限要素モデルを作成する。原子炉建屋のモデル化概要について図3-15に示す。女川2号機における原子炉建屋の耐震評価は、多軸モデルにて評価しているため、有限要素モデル作成に当たっては、多軸モデルから単軸モデルに変換し、有限要素モデルを作成する。原子炉建屋のモデル化の概念図を図3-16に示す。

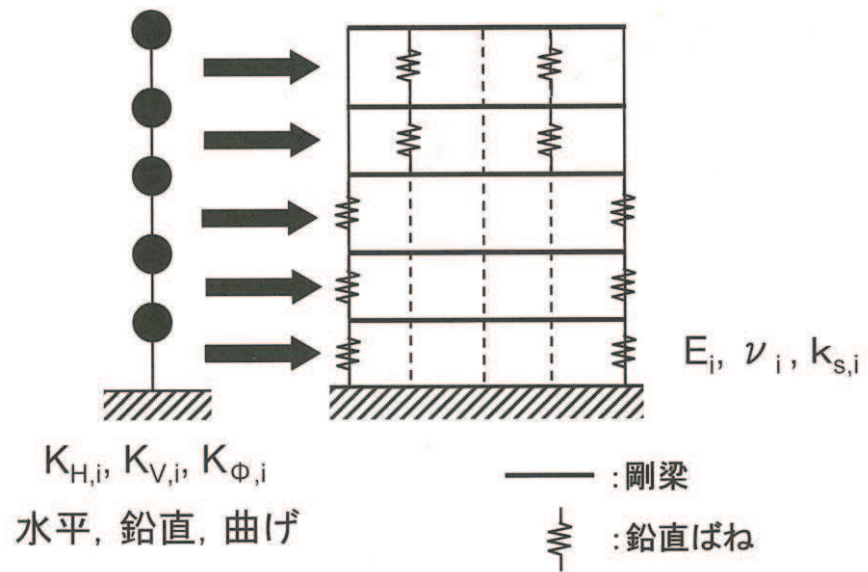
a. 単軸モデルの作成

原子炉建屋の単軸モデルの作成概念図を図3-17に示す。単軸モデルにおいて、質点を多軸モデルの各床レベルに設け、その間を曲げせん断棒でつなぎ、多質点系建屋モデルと振動的に等価な単軸モデル（水平、鉛直）を作成する。設定された単軸モデル（水平、鉛直）について、固有値解析を実施し、多軸モデル（水平、鉛直）の固有値解析結果と比較して、1次の固有モード及び固有周期が同等となるよう単軸モデルのせん断断面積及び断面2次モーメントを補正する。

b. 有限要素モデルの作成

原子炉建屋の有限要素モデルは建屋形状に合わせて要素分割を行う。これを単軸モデルと振動的に等価にするために、有限要素モデルの各部の剛性及び質量を図3-15の(4.3.1)～(4.3.8)の関係式を用いて、単軸モデルと一致させる。重量については、単軸モデルと同様に各フロアの質点重量でモデル軸心位置に考慮する。

作成したモデル諸元を図3-18に、多質点系モデルと有限要素モデルの固有値（1次モード）の比較を表3-3示す。



$$K_{H,i} = \frac{G_i A_{H,i}}{\ell_i} \dots\dots\dots (4.3.1)$$

$$K_{V,i} = \frac{E_i A_{V,i}}{\ell_i} \dots\dots\dots (4.3.2)$$

$$K_{\phi,i} = E_i I_i \dots\dots\dots (4.3.3)$$

$$\tilde{G}_i = \left(\frac{A_{H,i}}{a_i} \right) G_i \dots\dots\dots (4.3.4)$$

$$K_{V,i} = \frac{2a_i \tilde{G}_i (1 - \tilde{\nu}_i)}{b_i (1 - 2\tilde{\nu}_i)} + 2k_{sp,i} \dots\dots\dots (4.3.5)$$

$$K_{\phi,i} = \frac{a_i^3 \tilde{G}_i (1 - \tilde{\nu}_i)}{6 (1 - 2\tilde{\nu}_i)} + \frac{b_i d_i^2}{2} k_{sp,i} \dots\dots\dots (4.3.6)$$

$$\tilde{\nu}_i = \frac{1}{2} \frac{12K_{\phi,i} - 3b_i \cdot d_i^2 K_{V,i} - 2(a_i^3 - 3a_i \cdot d_i^2) \tilde{G}_i}{12K_{\phi,i} - 3b_i \cdot d_i^2 K_{V,i} - (a_i^3 - 3a_i \cdot d_i^2) \tilde{G}_i} \dots\dots\dots (4.3.7)$$

$$k_{sp,i} = \frac{1}{2} \frac{K_{V,i} \cdot a_i^2 \cdot b_i - 12K_{\phi,i}}{(a_i^2 - 3d_i^2) b_i} \dots\dots\dots (4.3.8)$$

図 3-15 原子炉建屋のモデル化概要

(原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>

(土木学会 原子力土木委員会 2009年2月) より引用

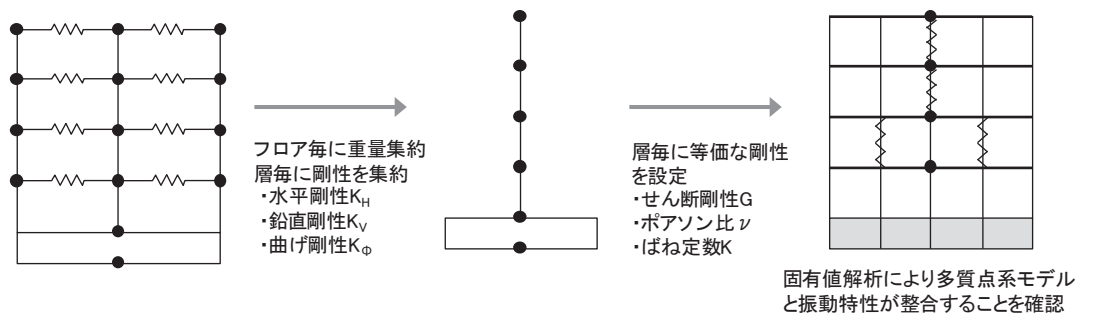


図 3-16 原子炉建屋のモデル化概念図

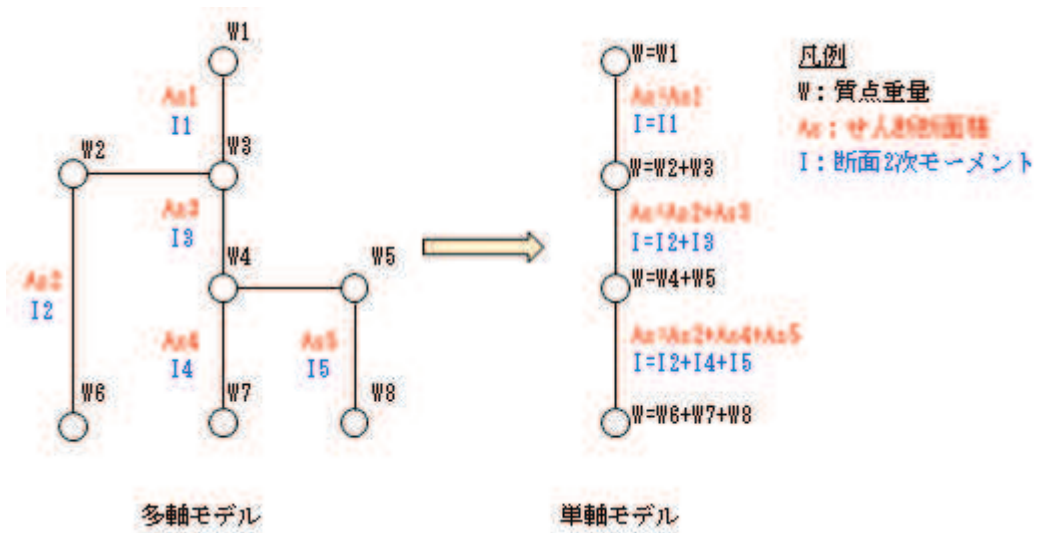


図 3-17 原子炉建屋単軸モデルの作成概要図

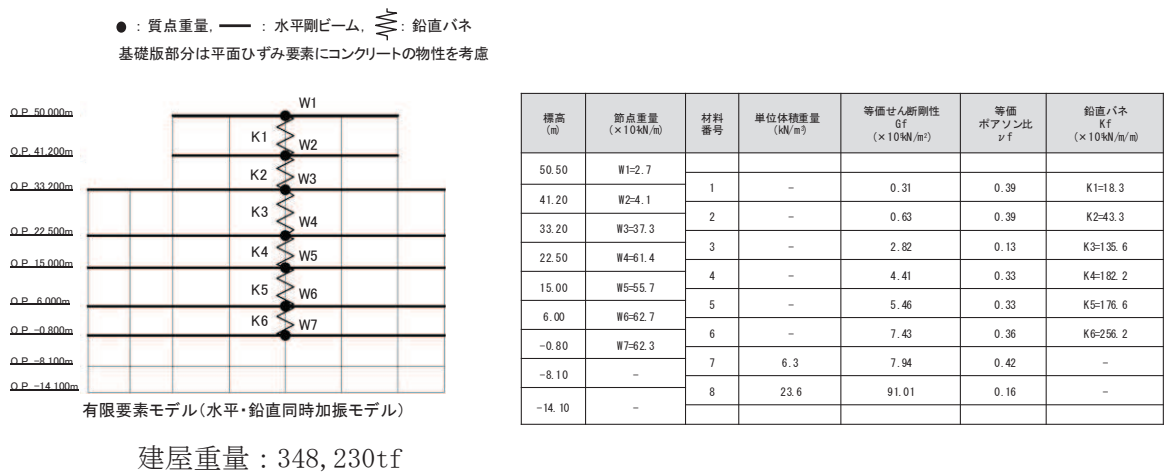


図 3-18 原子炉建屋のモデル諸元

表 3-3 固有周期比較表

	固有周期 (1次モード) (s)
多質点系モデル	0.21 (水平)
	0.076 (鉛直)
有限要素モデル	0.21 (水平)
	0.076 (鉛直)

(2) 防潮堤 (鋼管式鉛直壁)

防潮堤 (鋼管式鉛直壁) は、添付書類「VI-2-10-2-2-1 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) の耐震性について」に基づき、鋼管杭を、線形はり要素 (ビーム要素) でモデル化する。

3.2.5 地盤及び MMR のモデル化

D級を除く岩盤及び MMR は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土、改良地盤及び D級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

3.2.6 ジョイント要素の設定

地盤と構造体と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。

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。

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 3-4 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 は強度の小さい側の要素の物性値とし、表 3-5 のとおり設定する。

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

- ここで、 σ' : 面直圧
 τ_f : せん断強度
 c : 粘着力
 ϕ : 内部摩擦角

表 3-4 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 (°)
盛土*1	0.10	33.9
盛土*2	0.06	30.0
C _M 級	0.49	47.0
MMR	3.10	40.0

注記*1：地下水位以浅

*2：地下水位以深

表 3-5 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 (°)
盛土-改良地盤	盛土の c	盛土の ϕ
盛土-MMR	盛土の c	盛土の ϕ
盛土-構造物	盛土の c	盛土の ϕ
改良地盤-岩盤 (C _L 級, C _M 級)	岩盤の c	岩盤の ϕ
改良地盤-岩盤 (C _H 級)	改良地盤の c	改良地盤の 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
岩盤-構造物	岩盤の c	岩盤の ϕ
岩盤-MMR	岩盤の c	岩盤の ϕ
構造物-MMR	MMR の c	MMR の ϕ
背面補強工-盛土・旧表土	盛土・旧表土 c	盛土・旧表土 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
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
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-改良地盤	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大きな値とし、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 pp10610070, 2009）に従い，表 3-6 のとおり設定する。

ジョイント要素の力学特性を図 3-19 に，ジョイント要素の配置を図 3-20～図 3-23 に示す。

表 3-6 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, MMR	1.0×10^7	1.0×10^7

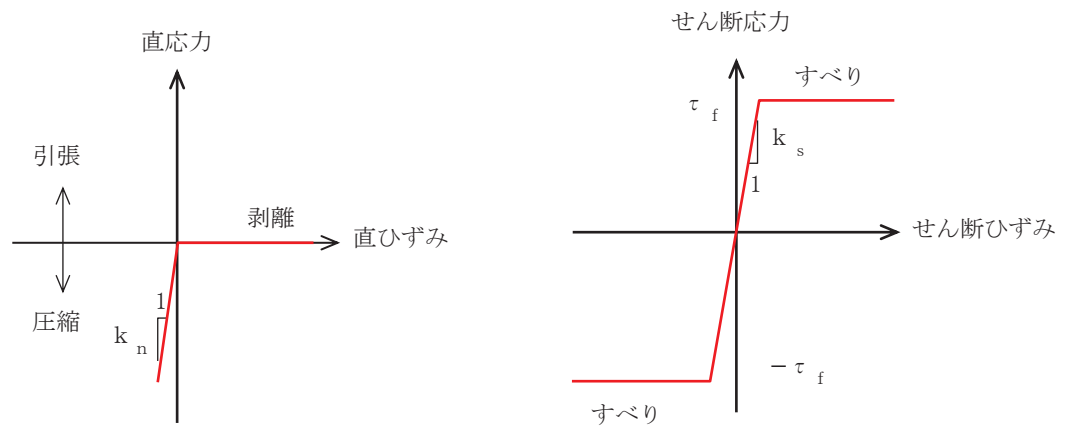


図 3-19 ジョイント要素の力学特性

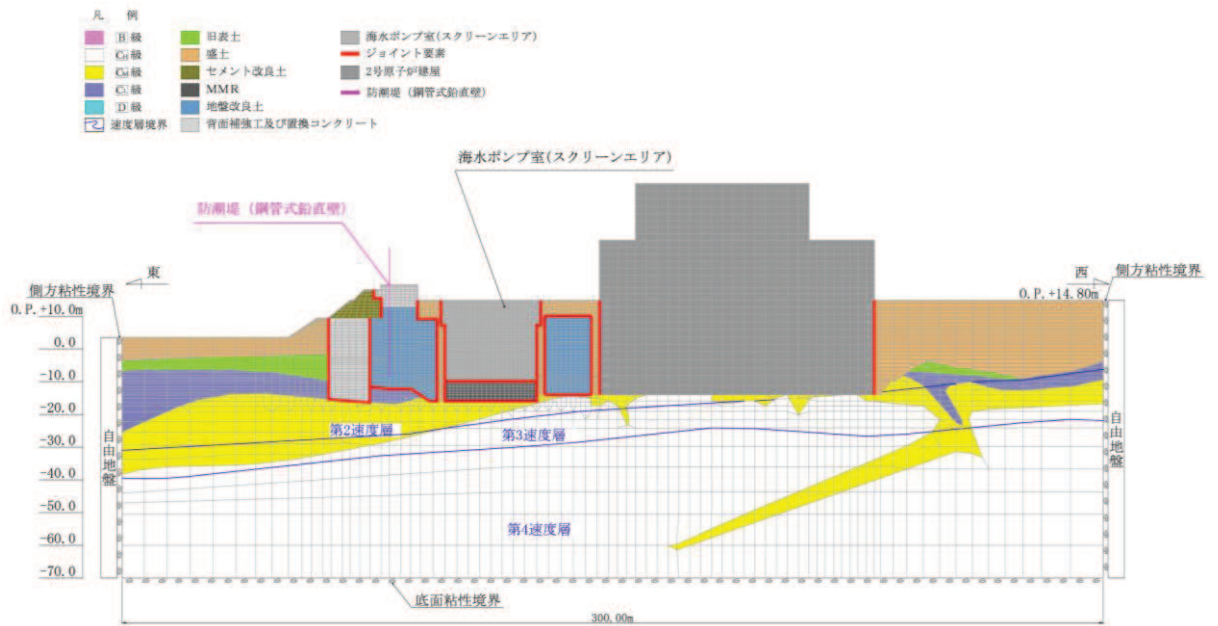


図3-20 海水ポンプ室 (A-A断面, 東西 (スクリーンエリア)) のジョイント要素の配置

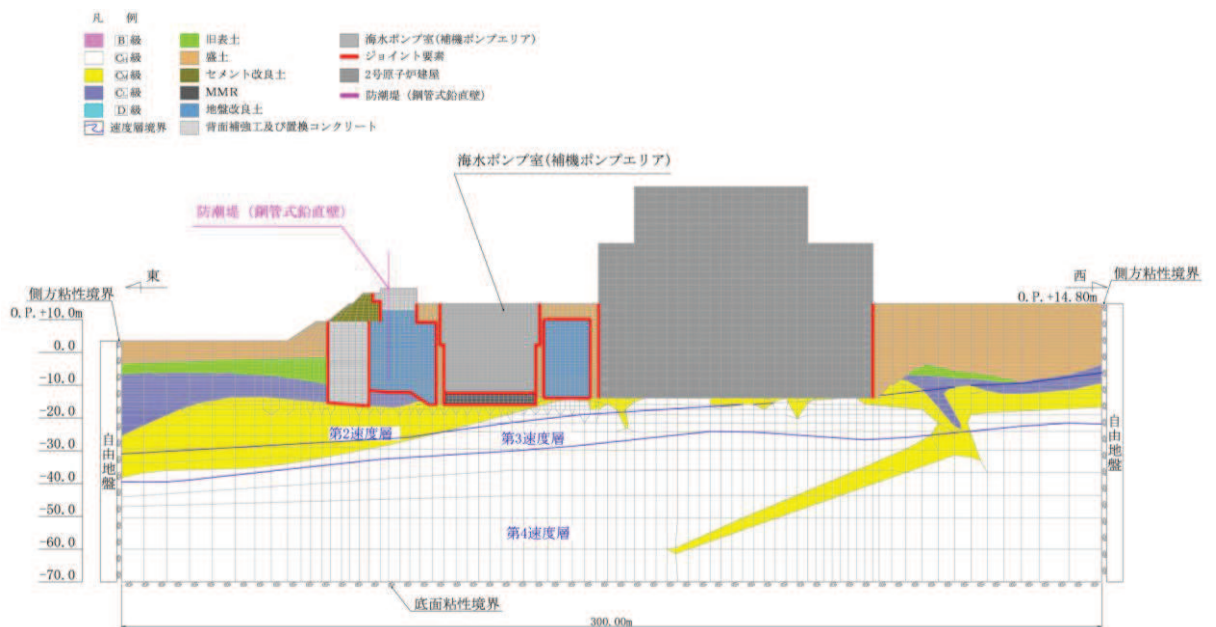


図3-21 海水ポンプ室 (B-B断面, 東西 (補機ポンプエリア)) のジョイント要素の配置

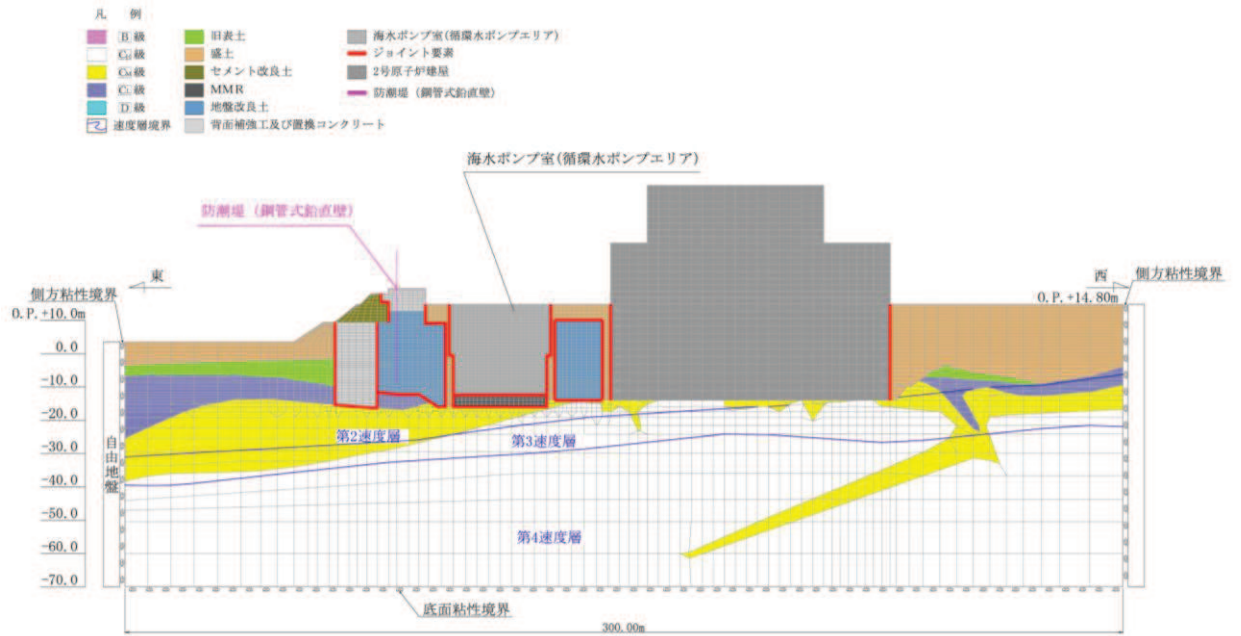


図 3-22 海水ポンプ室 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア)) のジョイント要素の配置

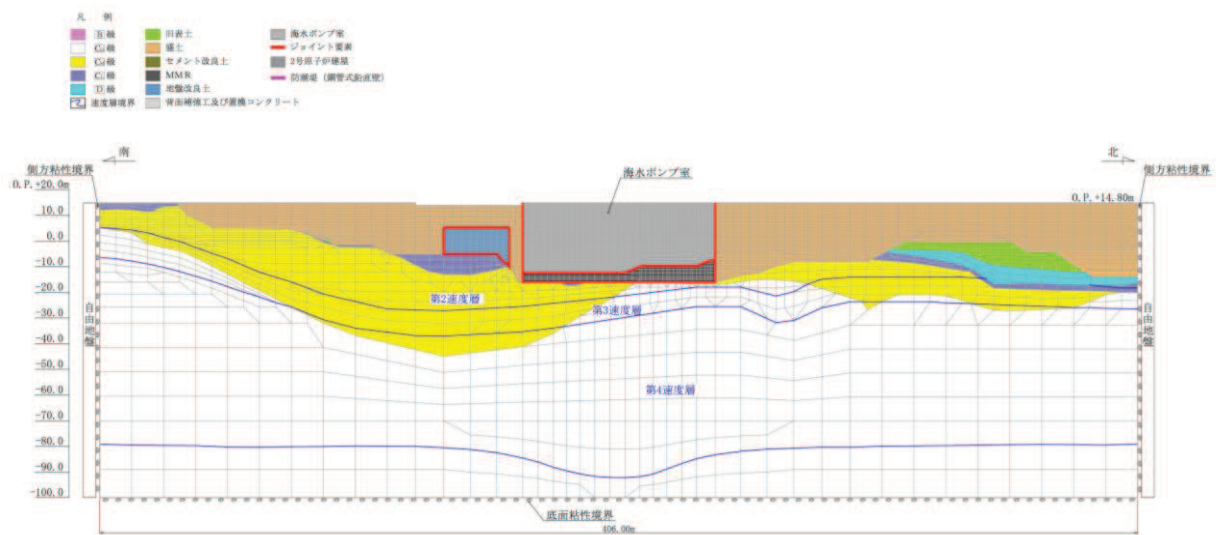


図 3-23 海水ポンプ室 (D-D 断面, 南北) のジョイント要素の配置

3.3 減衰定数

減衰定数は、「資料1 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構造物の減衰定数」に従い、構造部材の減衰定数は、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。なお、構造部材を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみを設定する。Rayleigh 減衰の設定フローを図3-24に示す。

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

[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

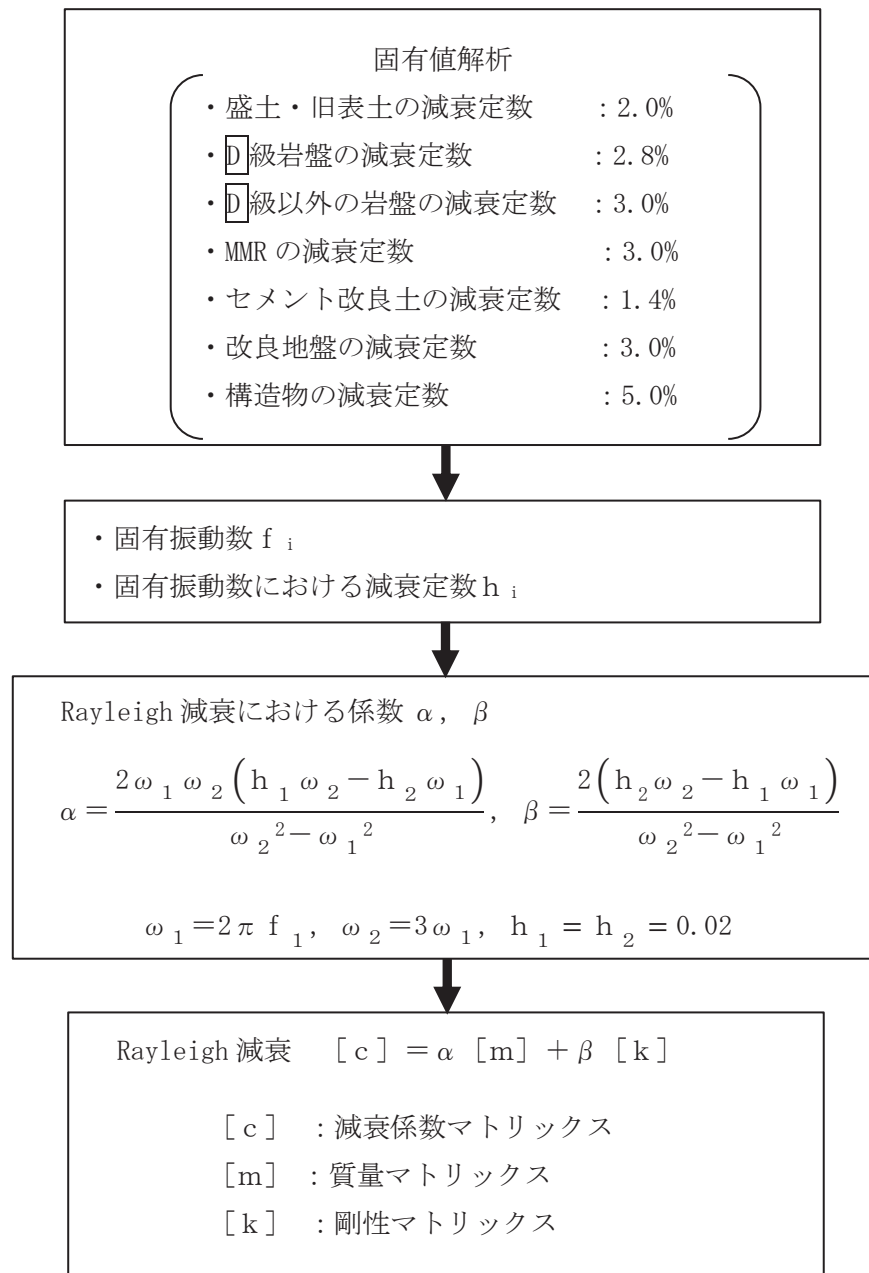


図 3-24 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定にあたっては、低次のモードの変形が支配的となる地中埋設構造物に対して、その特定の振動モードの影響が大きいことを考慮して、1 次及び 2 次モードの固有振動数において、過大な減衰とならないよう定めている。

1 次固有振動数 (f_1) は、地震応答解析の解析モデルの固有値解析結果から算定する。2 次固有振動数 (f_2) は固有値解析から算定した 1 次固有振動数 (f_1) の 3 倍とする。減衰定数は、解析モデルに占める割合が多く、かつ減衰定数の小さい盛土・旧表土の 2% とする。

固有値解析結果の一覧を表 3-7 に、固有値解析におけるモード図を図 3-25~図 3-28 に、係数 α , β を表 3-8 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-29~図 3-32 に示す。

表 3-7(1) 固有値解析結果 スクリーンエリア (A-A 断面, 東西)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	2.928	7	0	60.56	-4.84	1 次として採用
2	3.934	16	0	-94.33	-7.46	—
3	4.187	6	0	-58.21	-2.37	—
4	4.718	2	0	-33.81	4.21	—
5	5.165	4	0	48.69	0.37	—
6	5.837	2	0	-36.10	0.81	—
7	5.976	0	0	-6.13	0.67	—
8	6.401	0	0	-15.30	4.02	—
9	6.577	5	0	52.96	1.02	—
10	6.772	1	1	18.20	-17.27	—

表 3-7(2) 固有値解析結果 補機ポンプエリア (B-B 断面, 東西)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	2.928	7	0	60.36	-4.82	1次として採用
2	3.934	15	0	-92.29	-7.33	—
3	4.182	6	0	-58.70	-2.76	—
4	4.721	2	0	-33.46	4.15	—
5	5.124	4	0	49.00	-0.02	—
6	5.841	2	0	-34.64	0.92	—
7	5.976	0	0	-5.88	0.68	—
8	6.401	0	0	-14.65	4.03	—
9	6.578	6	0	56.25	0.69	—
10	6.765	1	1	17.12	-16.52	—

表 3-7(3) 固有値解析結果 循環水ポンプエリア (C-C 断面, 東西)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	2.929	6	0	59.65	-4.85	1次として採用
2	3.954	13	0	-85.73	-7.31	—
3	4.218	7	0	-62.17	-3.36	—
4	4.736	2	0	-33.89	3.81	—
5	5.238	5	0	52.50	0.80	—
6	5.912	4	0	-46.03	0.15	—
7	5.976	0	0	-7.55	0.67	—
8	6.401	0	0	-15.20	4.00	—
9	6.604	6	0	58.87	0.64	—
10	6.776	0	1	12.82	-17.51	—

表 3-7(4) 固有値解析結果 縦断 (D-D 断面, 南北)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T x	T y	β x	β y	
1	2.214	10	0	3371.00	-266.49	1次として採用
2	2.361	5	0	2354.50	122.91	—
3	2.809	0	0	547.54	-63.08	—
4	3.117	2	0	-1536.30	-151.93	—
5	3.411	1	0	-925.87	139.52	—
6	3.734	1	0	-744.99	-189.94	—
7	4.047	1	0	985.34	-155.41	—
8	4.303	1	0	-944.64	-223.53	—
9	4.527	1	0	991.35	-140.49	—
10	4.724	1	0	-1234.60	-180.24	—

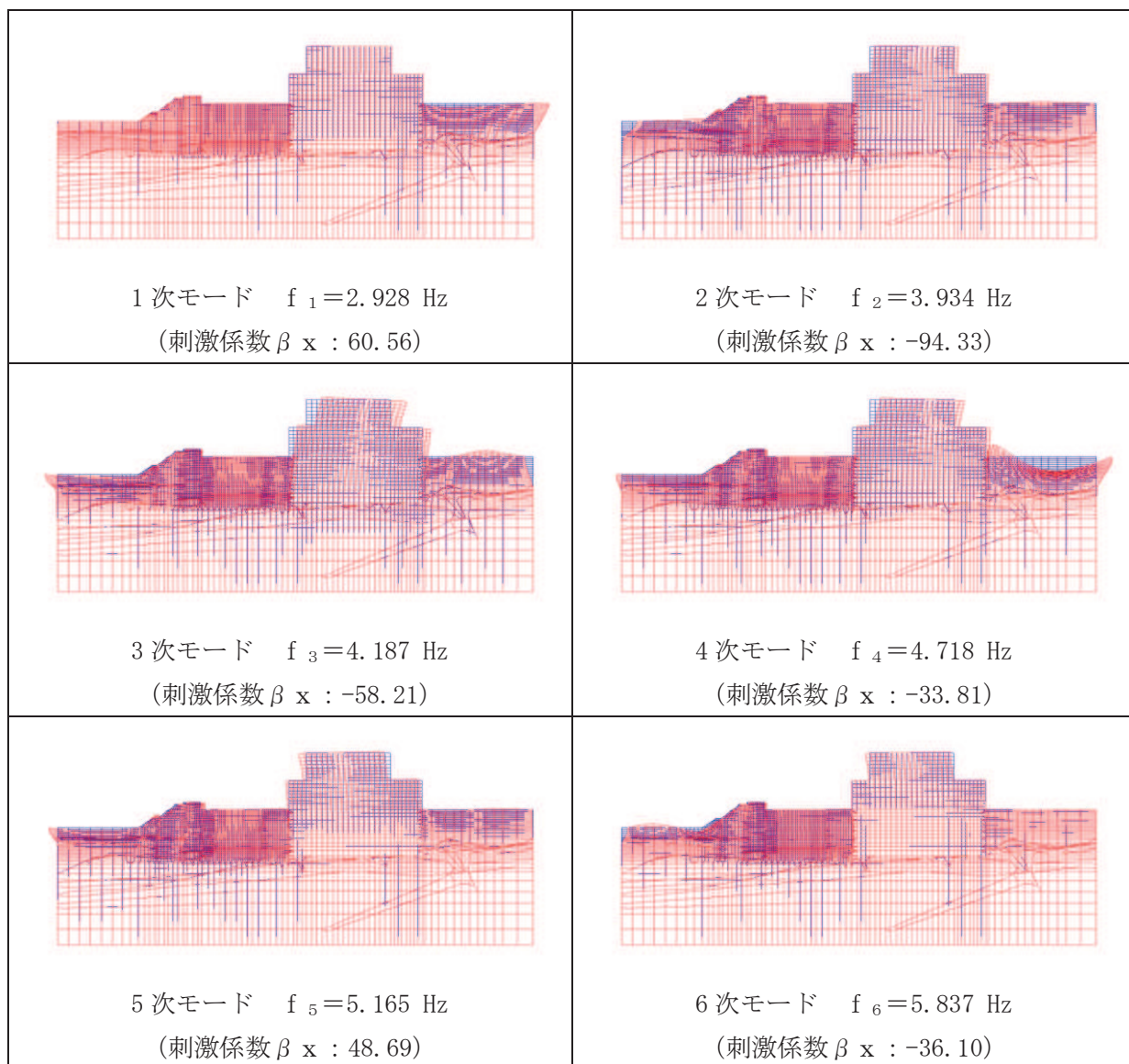


図 3-25 (1) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

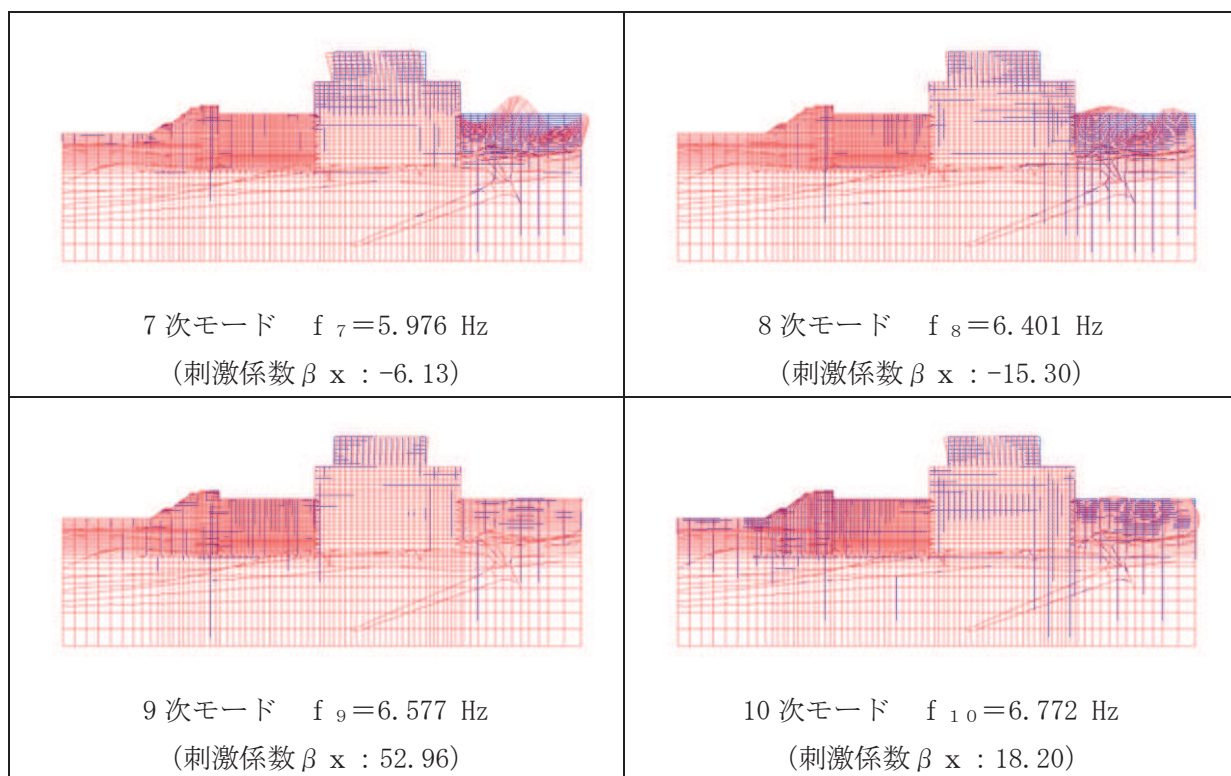


図 3-25 (2) 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

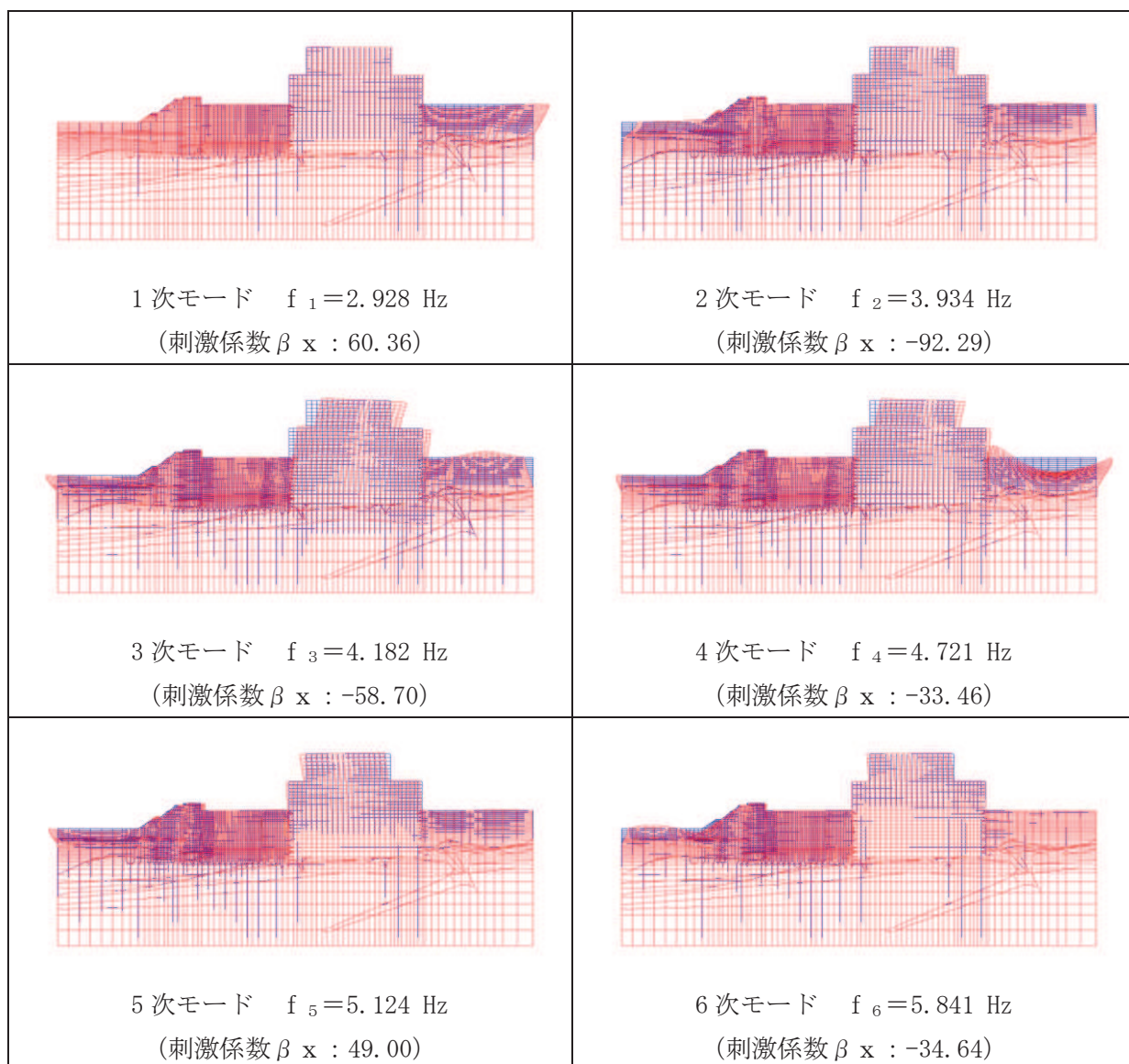


図 3-26 (1) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

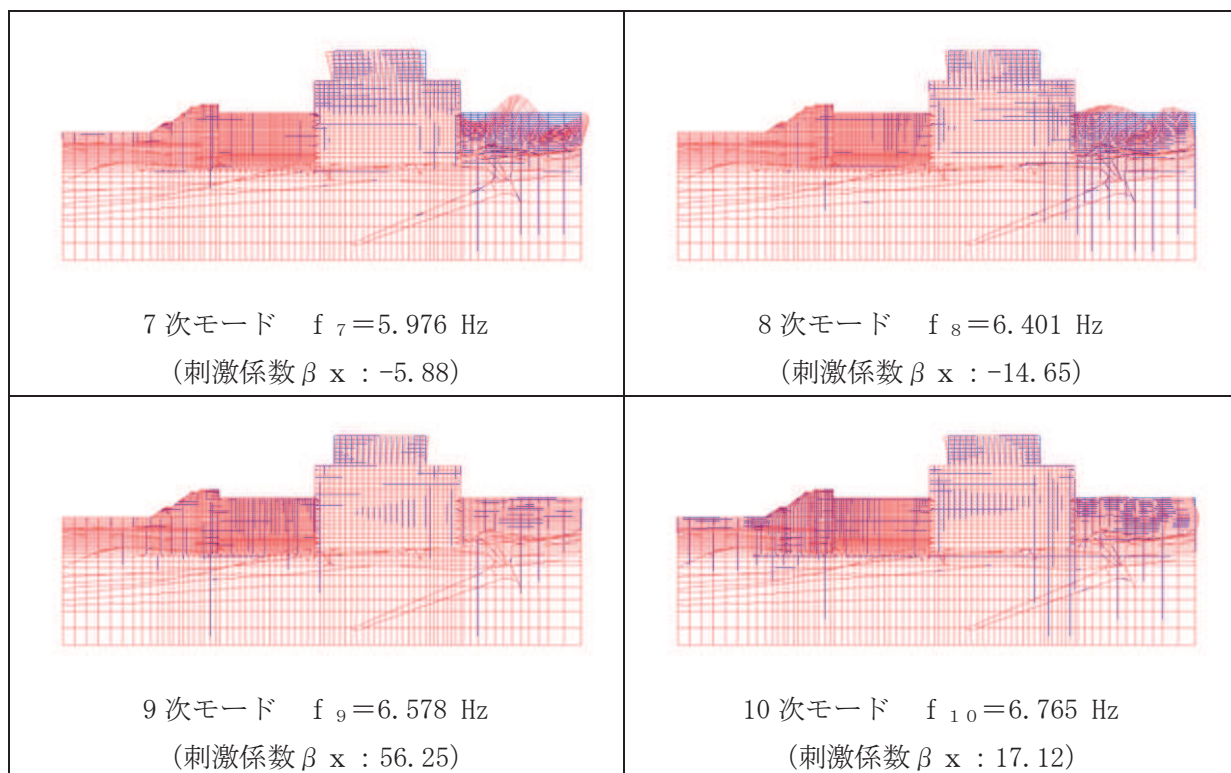


図 3-26 (2) 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

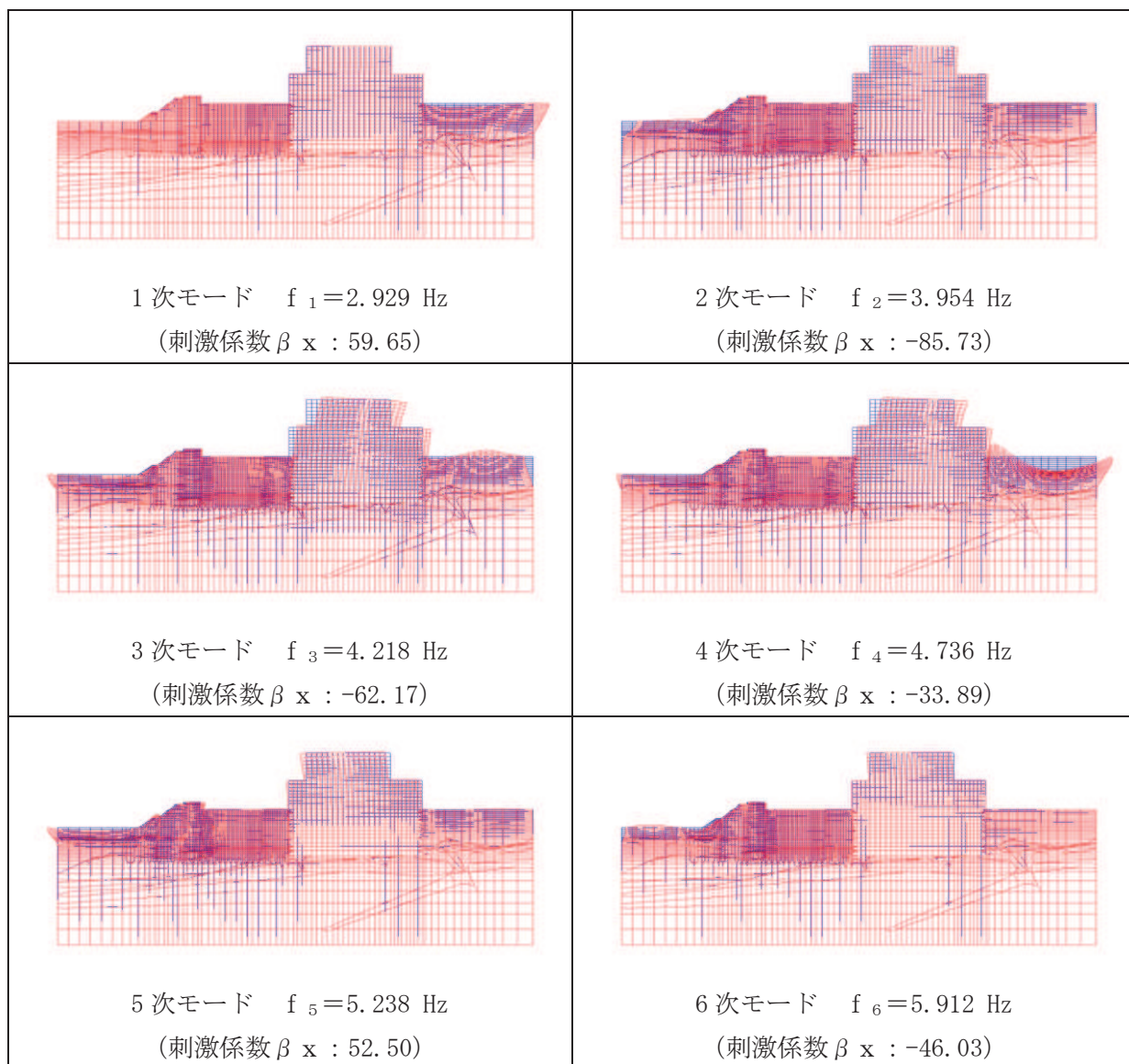


図 3-27 (1) 固有値解析結果 (モード図) (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

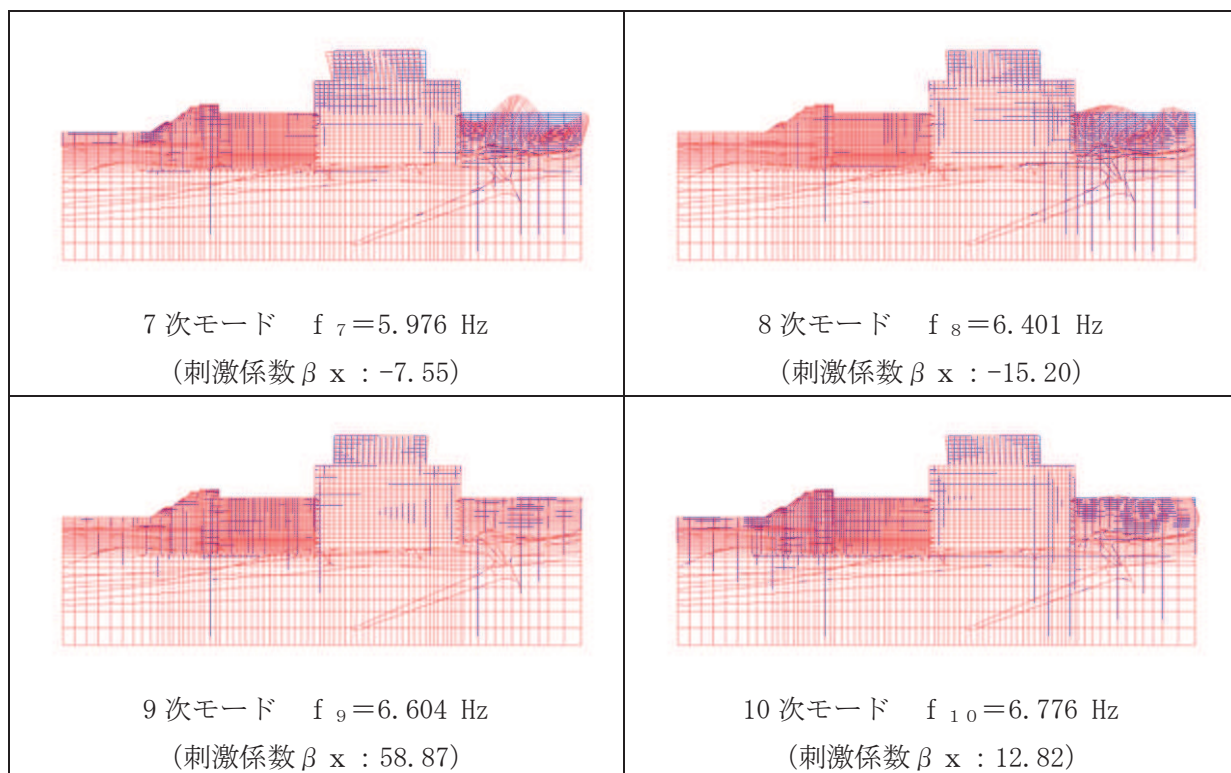


図 3-27 (2) 固有値解析結果 (モード図) (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

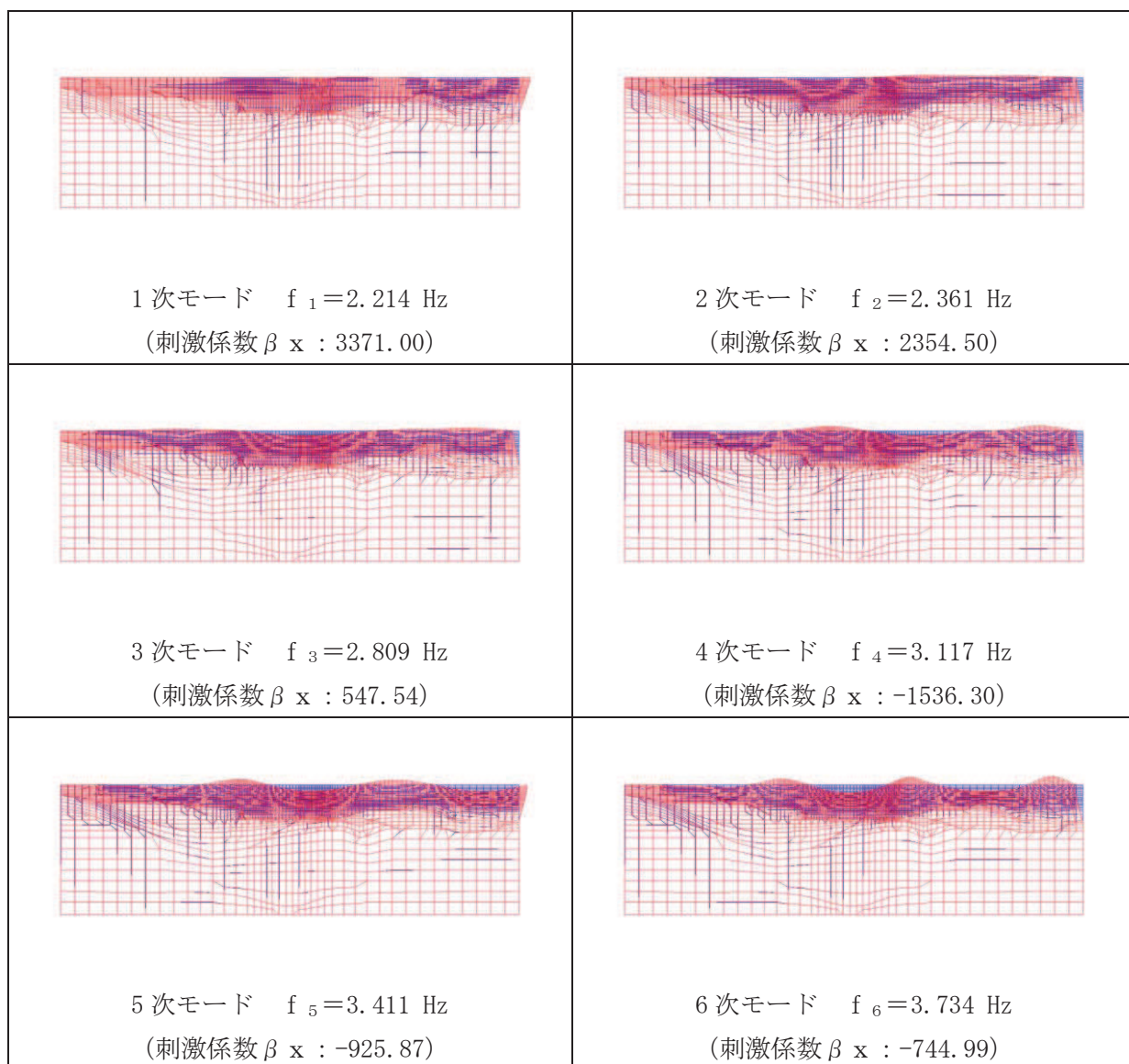


図 3-28 (1) 固有値解析結果 (モード図) (D-D 断面, 南北)

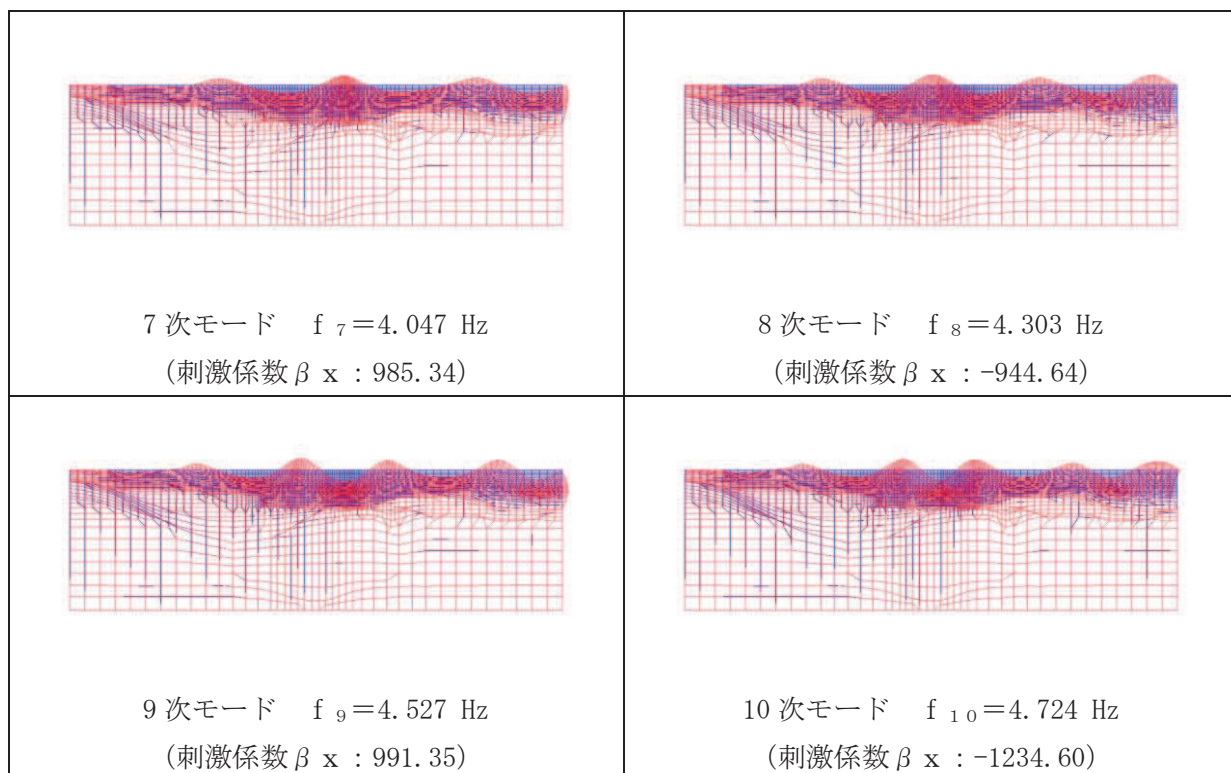


図 3-28 (2) 固有値解析結果 (モード図) (D-D 断面, 南北)

表 3-8 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

地震時荷重算出断面	α	β
(A-A 断面, 東西) スクリーンエリア	5.519×10^{-1}	5.440×10^{-4}
(B-B 断面, 東西) 補機ポンプエリア	5.519×10^{-1}	5.440×10^{-4}
(C-C 断面, 東西) 循環水ポンプエリア	5.521×10^{-1}	5.430×10^{-4}
(D-D 断面, 南北)	4.174×10^{-1}	7.190×10^{-4}

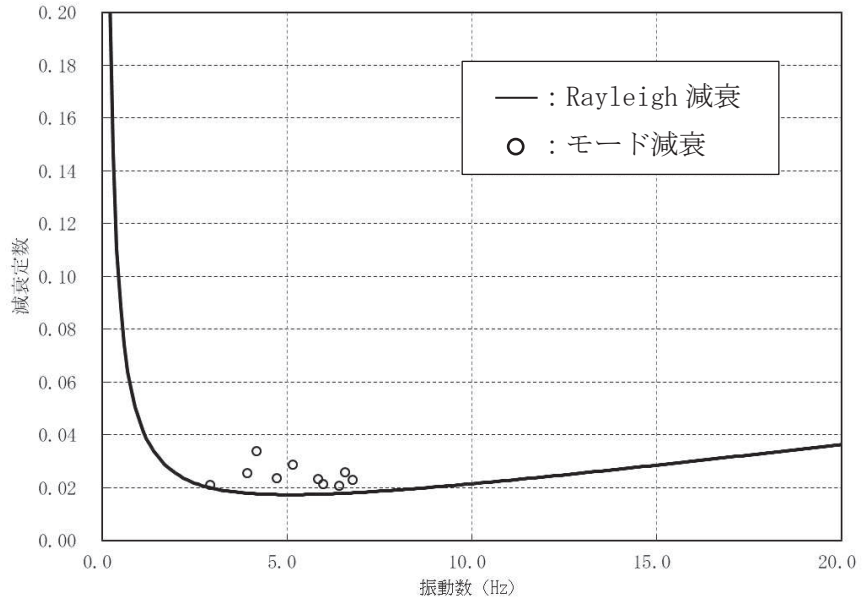


図 3-29 設定した Rayleigh 減衰 (A-A 断面, 東西 (スクリーンエリア))

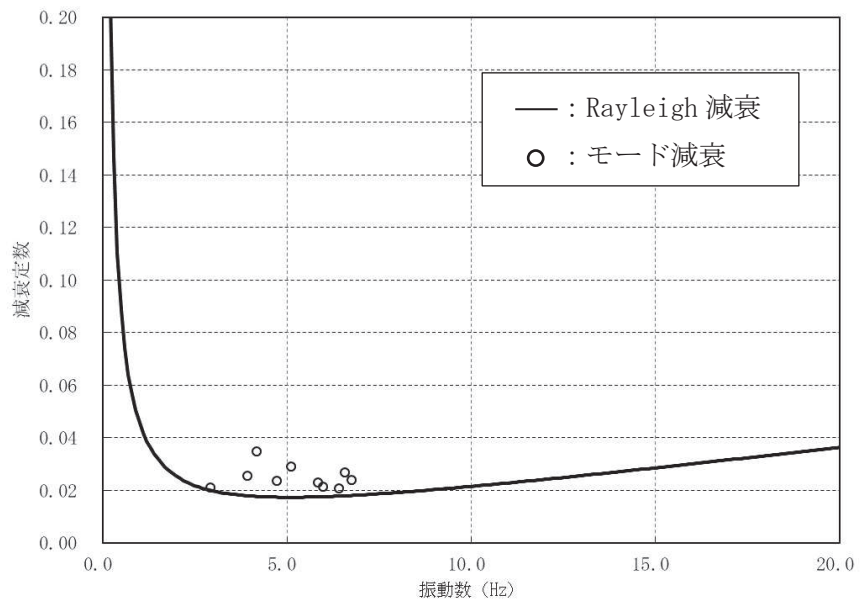


図 3-30 設定した Rayleigh 減衰 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

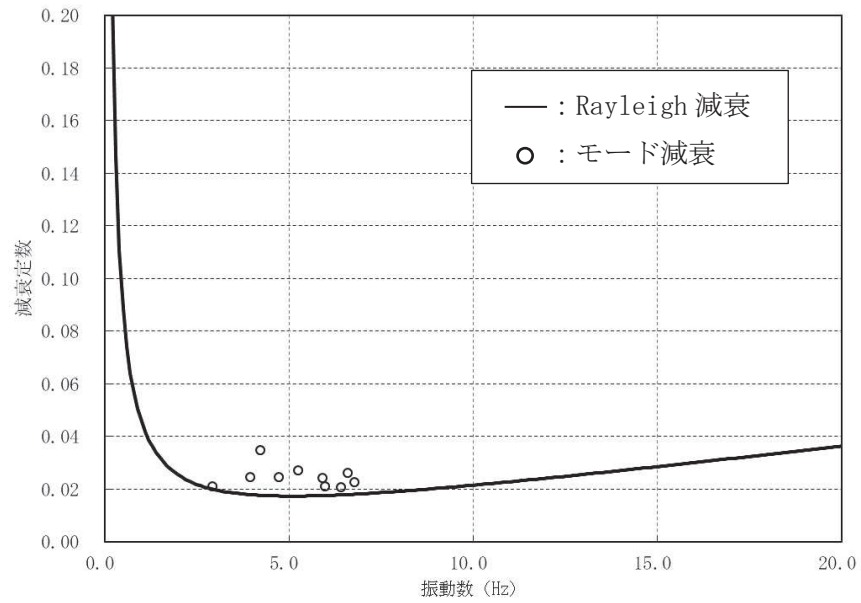


図 3-31 設定した Rayleigh 減衰 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

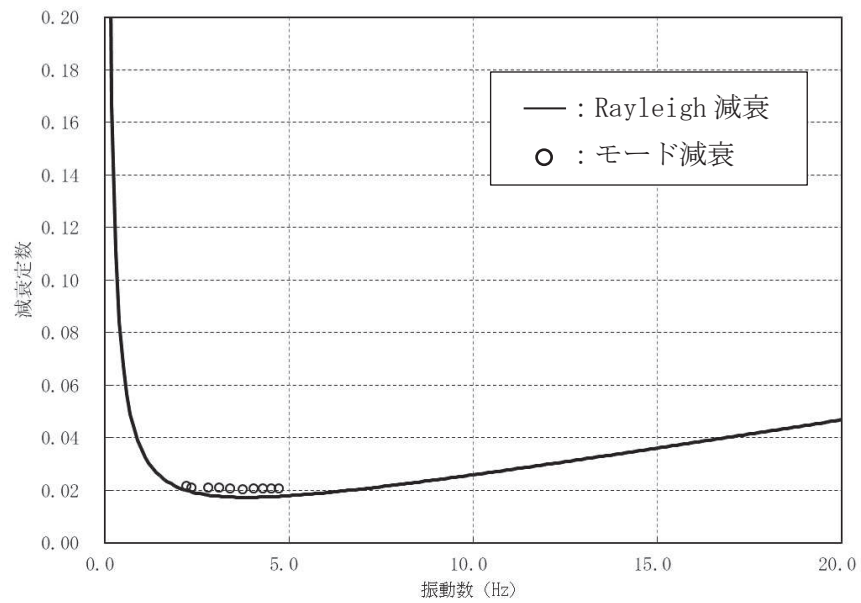


図 3-32 設定した Rayleigh 減衰 (D-D 断面, 南北)

3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時に荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧、機器・配管系からの反力及び動水圧による荷重が含まれるものとする。

なお、海水ポンプ室の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、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。

荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

種別	荷重		算定方法の概要
永久荷重 (常時荷重)	固定荷重	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・配管荷重	○ ・機器・配管系の重量に基づいて設定する。
		竜巻防護ネット荷重	○ ・竜巻防護ネットの重量に基づいて設定する。
		原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)荷重	○ ・原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の躯体重量に基づいて設定する。
		土被り荷重	— ・土被りがないことから考慮しない。
		永久上載荷重	— ・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから考慮しない。
	静止土圧		○ ・常時応力解析により設定する。
	外水圧		○ ・地下水位に応じた静水圧として考慮する。 ・地下水の密度を考慮する。
	内水圧		○ ・朔望平均満潮位 (O. P. +2.43m*) に応じた静水圧を設定する。
	積載荷重		○ ・躯体に考慮する。
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動	○	・基準地震動 S _s による水平・鉛直同時加振を考慮する。
	鉛直地震動	○	
	動水圧	○	・水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする。 ・地震時動水圧を付加質量により考慮する。

注記*：東北地方太平洋沖地震による約 1m の沈降を、敷地高さ (O. P. +14.8m) を固定とし朔望平均満潮位を O. P. +1.43m から O. P. +2.43m とすることにより考慮する。

3.4.1 機器・配管荷重

地震時に海水ポンプ室に作用する機器・配管等の荷重図を図3-33に、荷重を考慮する主な機器の一覧を表3-10に示す。機器・配管等の荷重は、解析モデルの各質点に与えることで考慮する。循環水ポンプや原子炉補機冷却海水ポンプ等の主要な機器は、接地範囲に荷重を載荷し、配管荷重は、部材全体に分布荷重として考慮する。

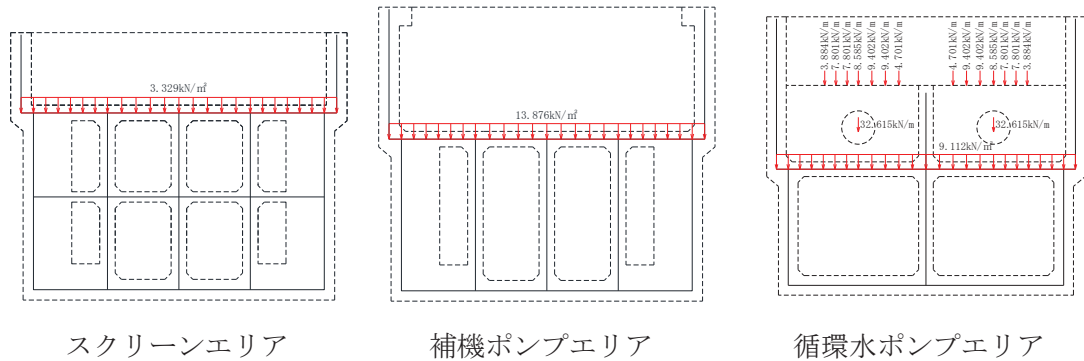


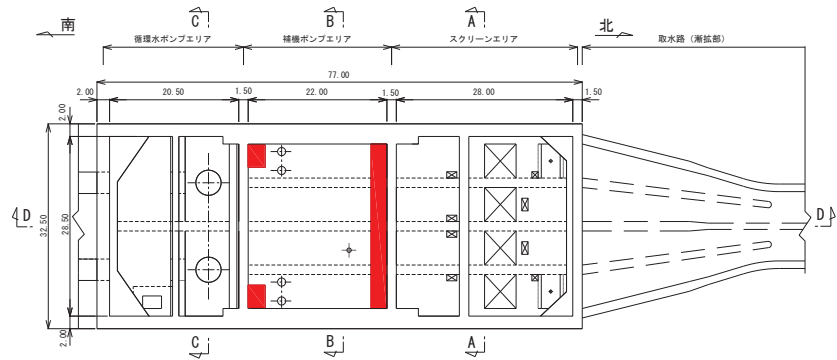
図3-33 機器・配管系の荷重図

表3-10 荷重を考慮する機器・配管等

部位	主な考慮する機器・配管等
中床版 (スクリーンエリア)	バケット型スクリーン：686kN/基 洗浄ポンプ：44.1kN/基
中床版 (補機ポンプエリア)	原子炉補機冷却海水ポンプ：227.5kN/基 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ：58.6kN/基
中床版 (循環水ポンプエリア)	循環水ポンプ（モーター，架台等含む）：2579.3kN/基

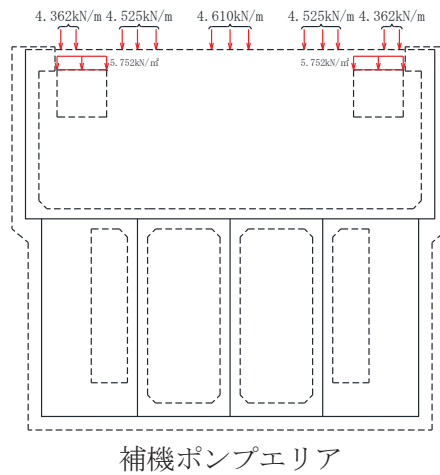
3.4.2 竜巻防護ネット荷重

補機ポンプエリア上部に設置されている竜巻防護ネットの自重を荷重として考慮する。荷重は、各支持点の荷重を支持点間の分担距離に応じた分布荷重として作用させる。竜巻防護ネットの位置図を図3-34に、荷重図を図3-35に示す。竜巻防護ネット荷重は、基本設計を基にした荷重を考慮しているが、詳細設計における荷重に対し10%程度保守的な荷重となっている。



■ : 竜巻防護ネット位置

図3-34 竜巻防護ネット位置図



竜巻防護ネット 荷重	荷重 (kN)
基本設計段階	3792
詳細設計段階	3456

図3-35 竜巻防護ネット荷重図

3.4.3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重

海水ポンプ室の西側の側壁には原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が懸架されている。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の幅は、海水ポンプ室の幅に対して小さく深さ方向は海水ポンプ室と同等であり、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の躯体重量は、海水ポンプ室の躯体重量と比較し 8%程度と小さく、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）による海水ポンプ室へのモーメントの影響等は小さいと考えられることから、躯体重量を付加重量として海水ポンプ室の側壁へ作用させる。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）平面図を図 3-36 に、縦断面図を図 3-37 に示す。また、荷重図を図 3-38 に示す。

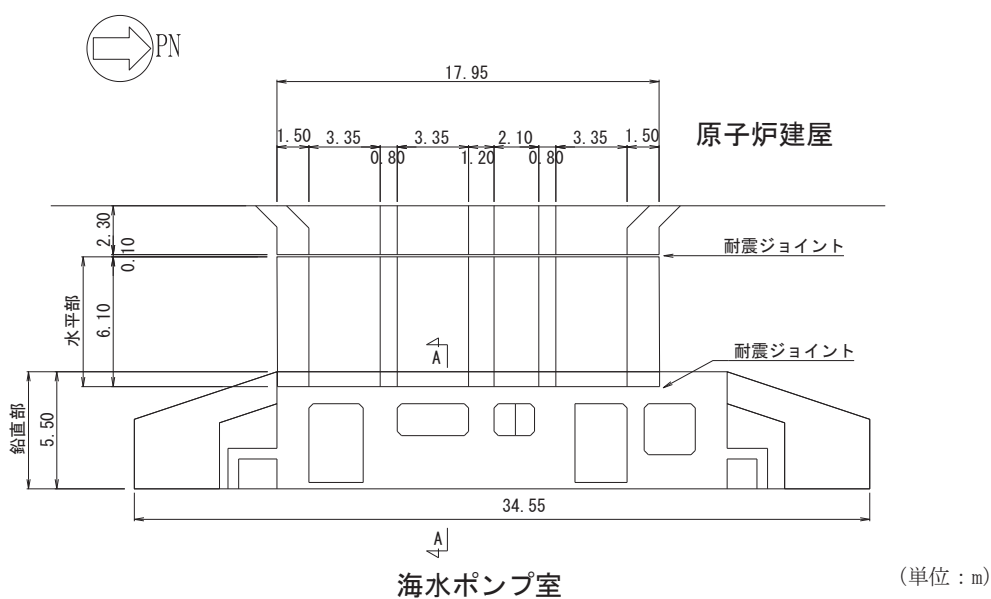


図 3-36 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）平面図

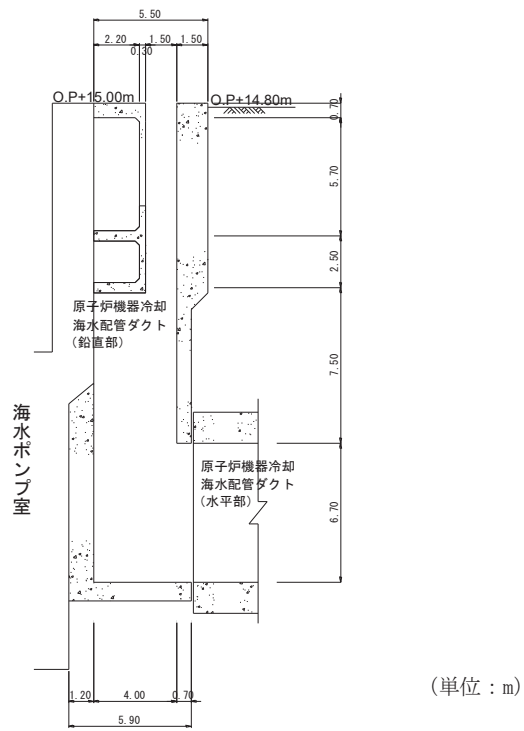


図 3-37 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）縦断面（A-A 断面）

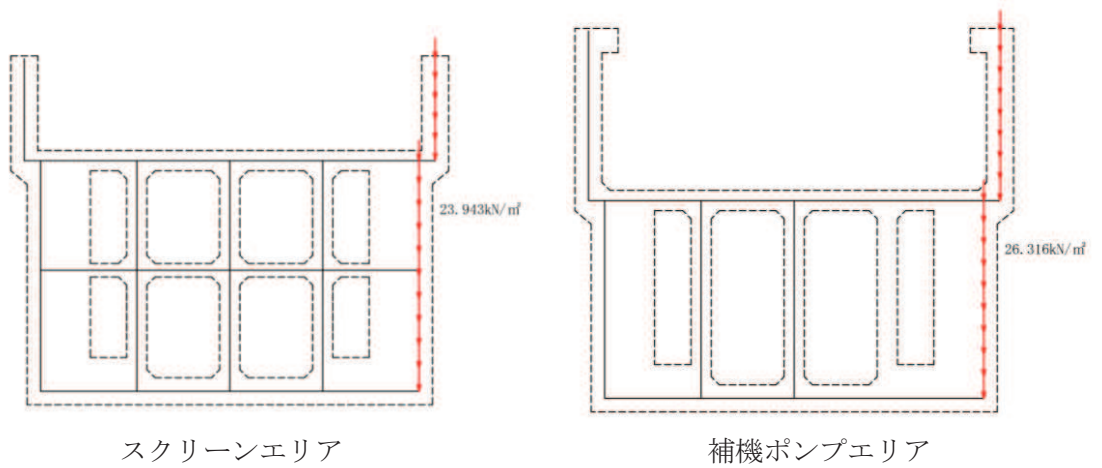


図 3-38 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）荷重図

3.4.4 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、「2.8 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。

外水圧図を図3-39～図3-42に示す。

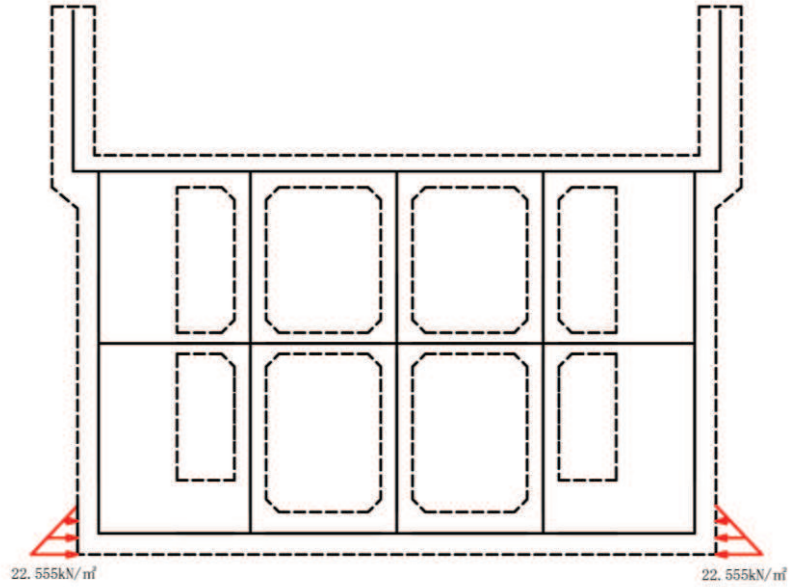


図3-39 外水圧図 (A-A断面, 東西 (スクリーンエリア))

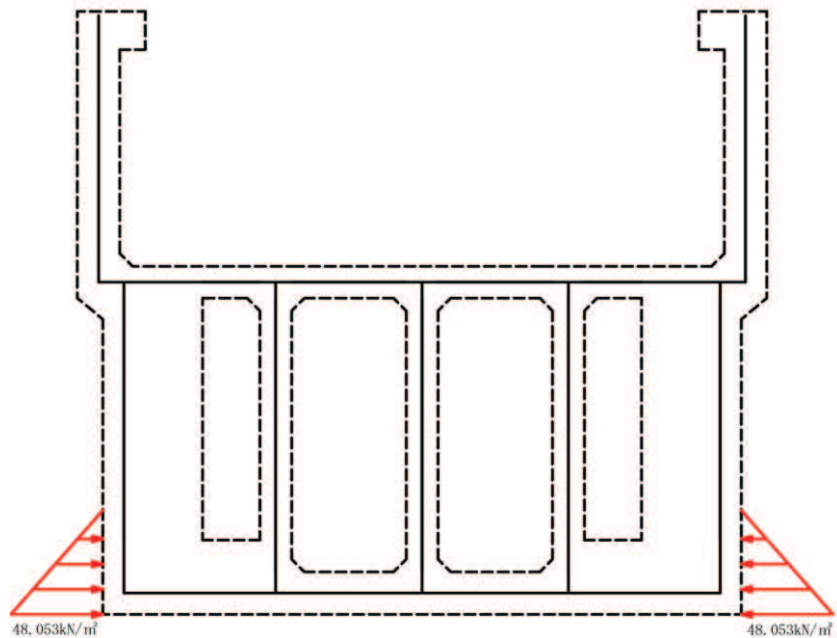


図3-40 外水圧図 (B-B断面, 東西 (補機ポンプエリア))

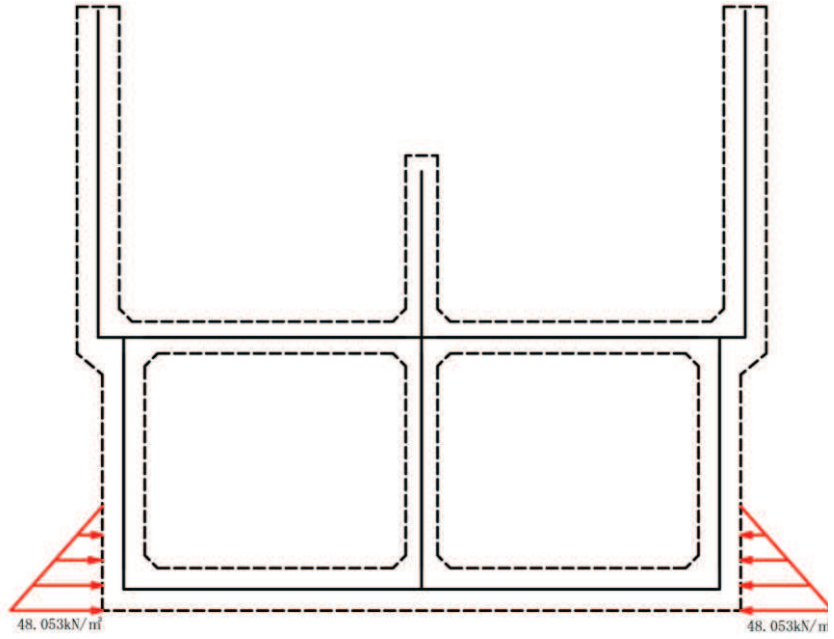


図 3-41 外水圧図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

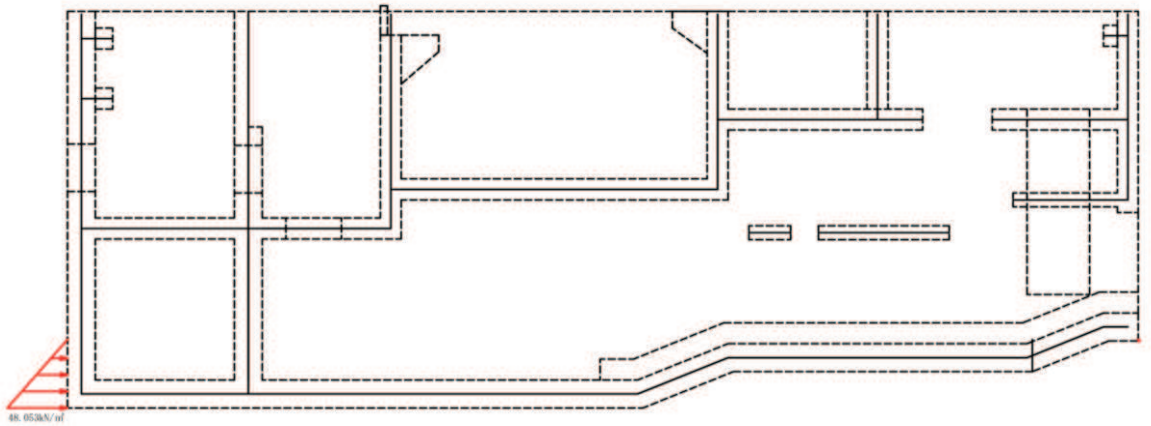


図 3-42 外水圧図 (D-D 断面, 南北)

3.4.5 内水圧

海水ポンプ室の内部には、遡望平均満潮位 O.P. +2.43m*を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 1.03g/cm^3 を考慮する。

内水圧図を図3-43～図3-46に示す。

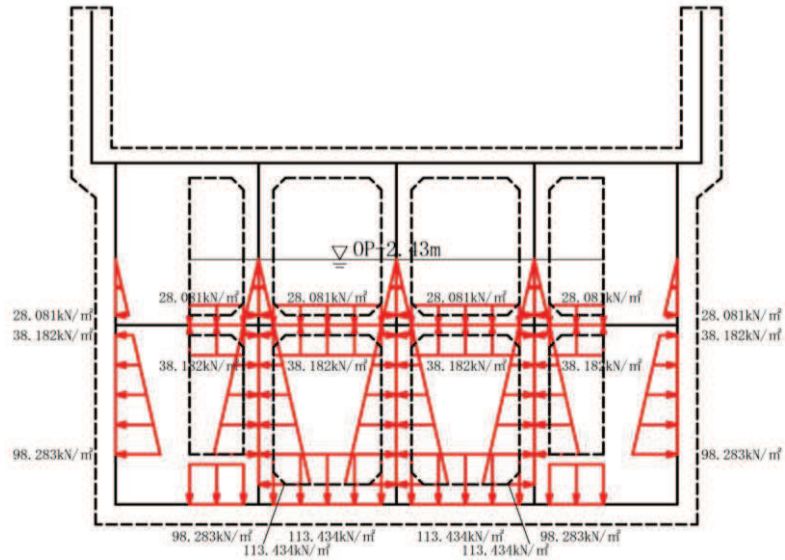


図3-43 内水圧図 (A-A断面, 東西 (スクリーンエリア))

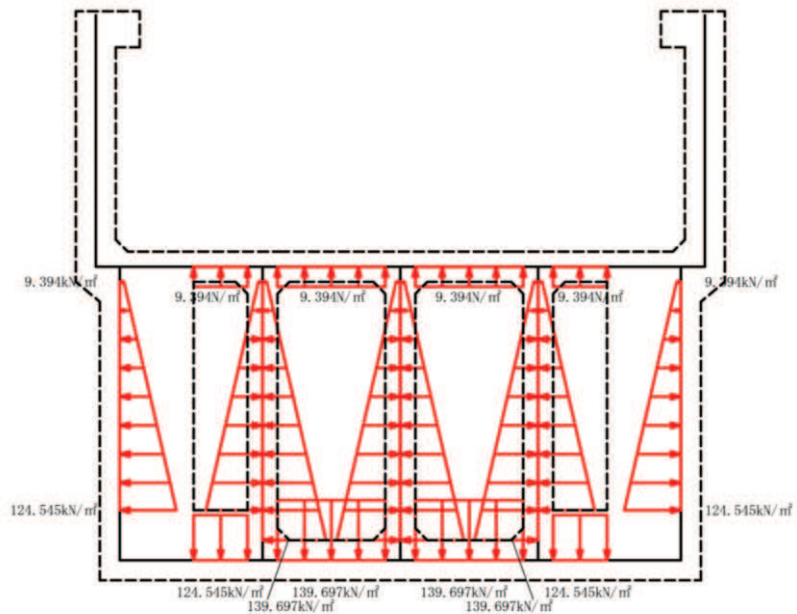


図3-44 内水圧図 (B-B断面, 東西 (補機ポンプエリア))

注記* : 東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を、敷地高さ (O.P. +14.8m) を固定とし、遡望平均満潮位を O.P. +1.43m から O.P. +2.43m とすることにより考慮する。

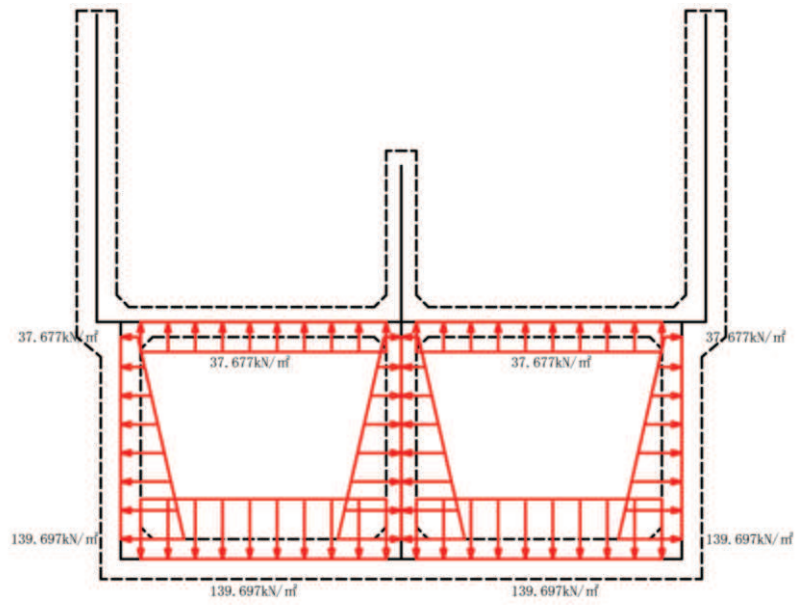


図 3-45 内水圧図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

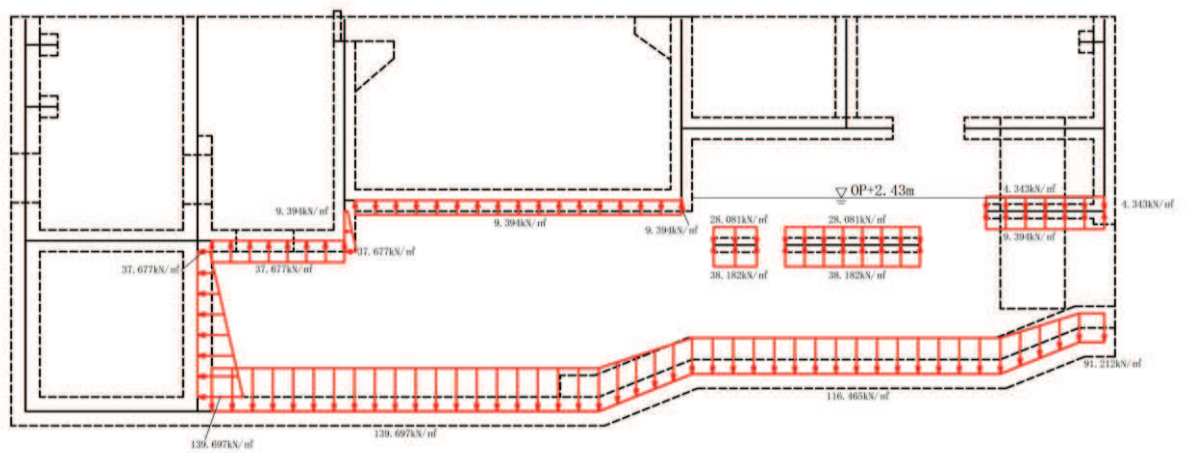


図 3-46 内水圧図 (D-D 断面, 南北)

3.4.6 積載荷重

海水ポンプ室に作用する積載荷重図を図3-47～図3-50に示す。

地震時に海水ポンプ室に作用する積載荷重は、積雪荷重以外は想定されないが、保守的な配慮として中床版、妻壁、隔壁及び側壁に 4.9kN/m^2 を考慮する。具体的には、積載荷重は中床版、妻壁及び側壁に考慮するが、隔壁については、中床板のはり要素に載荷することで考慮する。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。

中床版への積載荷重は、開口面積分を抜いた、単位奥行幅(1m)あたりの付加重量として考慮する。

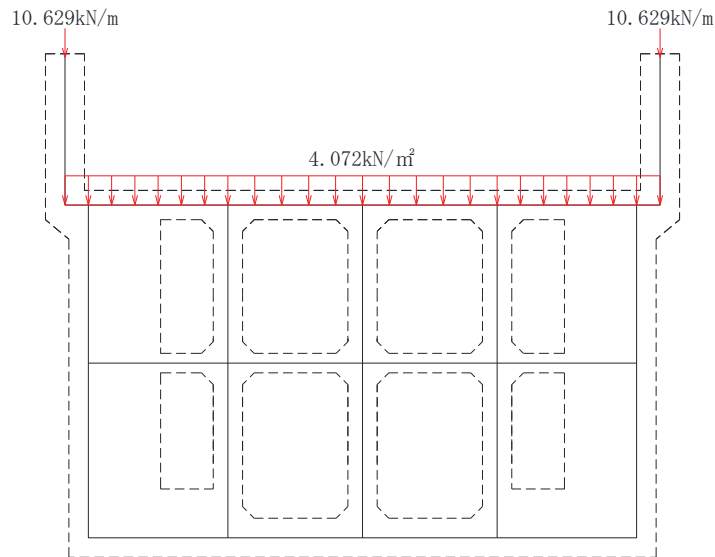


図3-47 積載荷重図 (A-A断面, 東西 (スクリーンエリア))

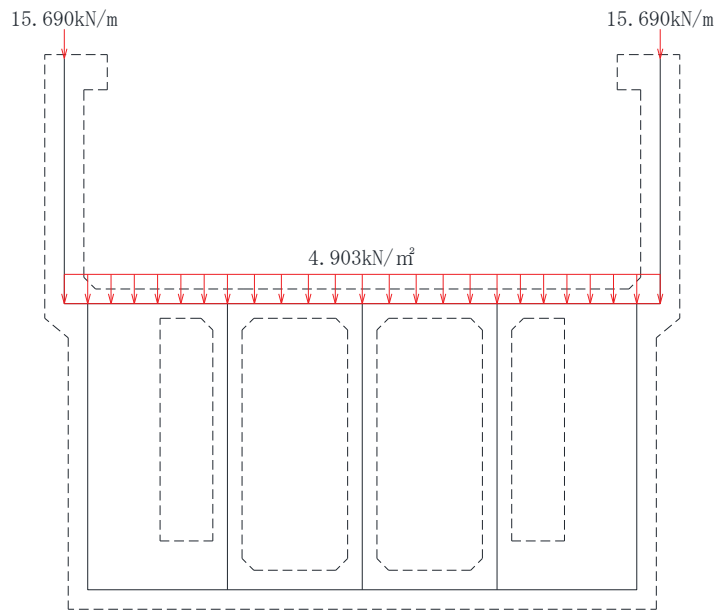


図 3-48 積載荷重図 (B-B 断面, 東西 (補機ポンプエリア))

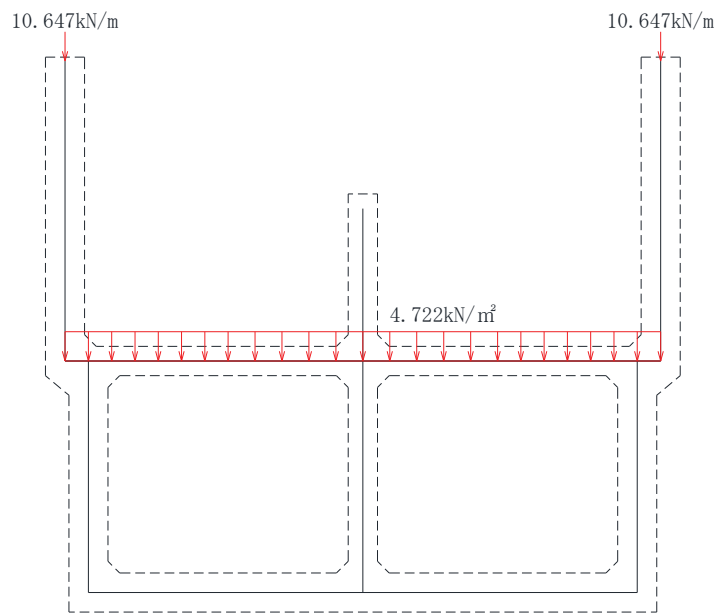


図 3-49 積載荷重図 (C-C 断面, 東西 (循環水ポンプエリア))

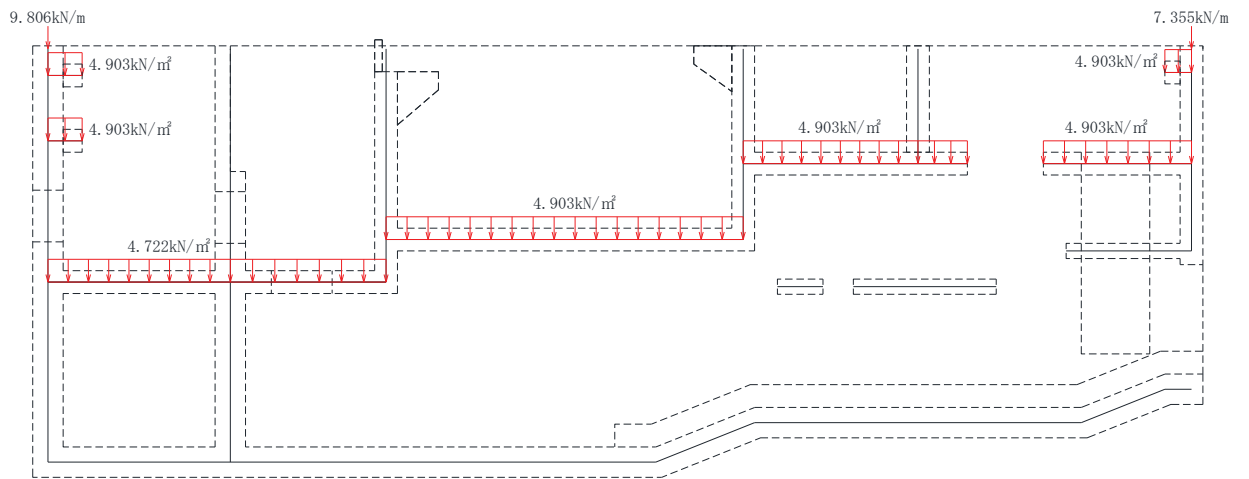


图 3—50 積載荷重図 (D-D 断面, 南北)

3.4.7 動水圧

動水圧は、自由水面の無い閉水路部分については固定水として算出し、自由水面のある開水路部分については Westergaard 式から算定する。

(1) 自由水面のない場合

a. 水平方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。水平方向動水圧の概要図を図 3-51 に示す。

$$p_w = k_H \times \frac{L}{2} \times \gamma_w$$

p_w : 動水圧

k_H : 水平震度

L : 水路幅

γ_w : 水の単位体積重量

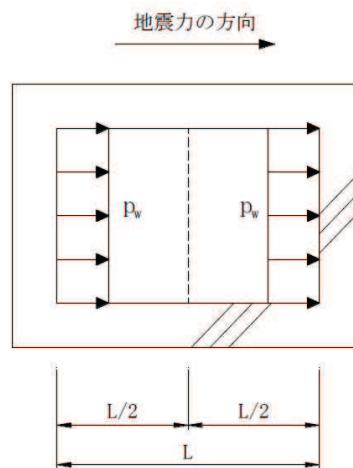


図 3-51 水平方向の動水圧分布図（自由水面なし）

b. 鉛直方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。鉛直方向動水圧の概要図を図3-52に示す。

$$p_w = k_v \times \frac{H}{2} \times \gamma_w$$

p_w : 動水圧

k_v : 鉛直震度

H : 水路高さ

γ_w : 水の単位体積重量

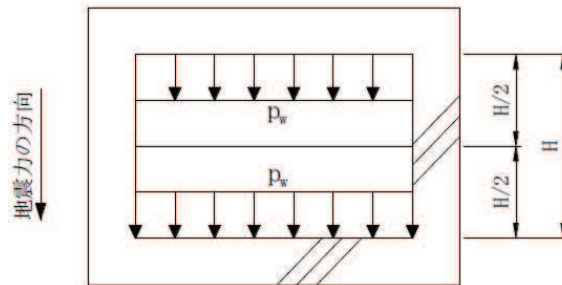


図3-52 鉛直方向の動水圧分布図（自由水面なし）

(2) 自由水面のある場合

a. 水平方向の動水圧

固定水として扱い、次式で算定する。水平方向動水圧の概要図を図3-53に示す。

$$p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times k_H$$

p_w : 動水圧

c : 補正係数

$L/h < 1.5$ の場合, $c = L / (1.5h)$

$L/h \geq 1.5$ の場合, $c = 1.0$

L : 水路幅

h : 水深

γ_w : 水の単位体積重量

y : 水面から動水圧を求める点までの深さ

k_v : 水平震度

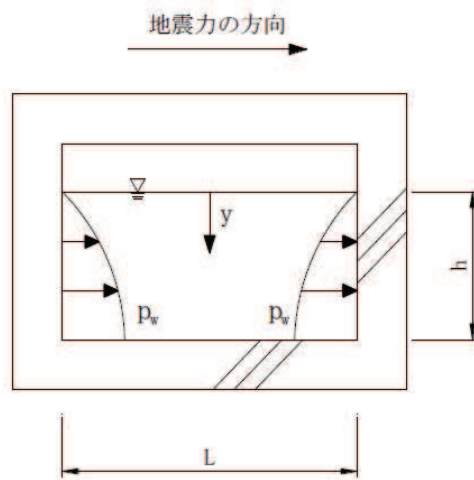


図 3-53 水平方向の動水圧分布図（自由水面あり）

b. 鉛直方向の動水圧

固定水として扱い，次式で算定する。鉛直方向動水圧の概要図を図 3-54 に示す。

$$p_w = k_v \times \gamma_w \times h$$

p_w : 動水圧

k_v : 鉛直震度

γ_w : 水の単位体積重量

h : 水深

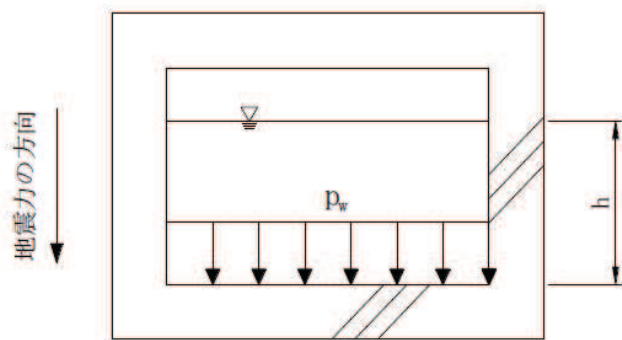


図 3-54 鉛直方向の動水圧分布図（自由水面あり）

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

海水ポンプ室は、構造物の大部分が地中に埋設された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、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤といった、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。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3-13に示すケース①）とした場合に加えて、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケース（表3-13に示すケース②、③）について確認を行う。

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3-13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。

一方、機器・配管系の耐震評価においては、建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮したケースについて影響を確認する（表3-13に示すケース⑤）。

海水ポンプ室における実強度は、構造物ごとのコア抜き強度 $f'_{c,k}$ 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に基づき算出する。海水ポンプ室の実強度およびヤング係数を表3-11及び表3-12に示す。

また、耐震安全性評価における解析ケースの一覧を表3-13に示す。

表 3-11 海水ポンプ室の実強度およびヤング係数

実強度*	ヤング係数
37.6N/mm ²	30.3kN/mm ²

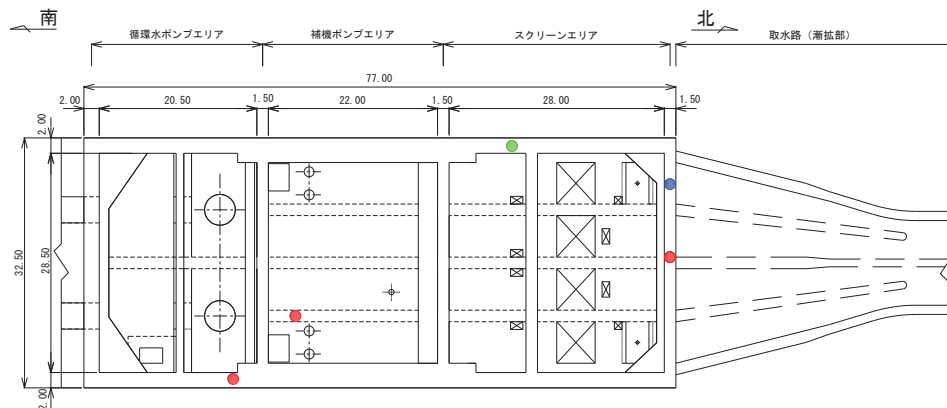
注記*：海水ポンプ室のコア採取による圧縮強度試験結果を表 3-12 に示す。

表 3-12 海水ポンプ室のコア採取による圧縮強度試験結果

採取位置*1	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
妻壁 (スクリーンエリア)	2012	3	34.5	29.8	29.4	27.9
隔壁 (補機ポンプエリア)	2012	3	40.4	36.8	31.1	30.0
側壁 (循環水ポンプエリア)	2012	1*2	52.6	52.6	33.5	33.5
妻壁 (スクリーンエリア)	2018	3	38.4	27.4	30.5	26.7
側壁 (スクリーンエリア)	2019	3	51.6	37.3	33.3	30.2

注記*1：採取位置は図 3-55 に示す。

*2：コンクリートの劣化度調査の際に採取したものであり、供試体は1本のみであるが、実強度の網羅性の観点から用いることとする。



- : コア採取位置 (2012年)
- : コア採取位置 (2018年)
- : コア採取位置 (2019年)

図 3-55 コア採取位置図

表 3-13 海水ポンプ室の耐震評価における解析ケース

解析ケース	解析手法	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
			盛土, 旧表土, セメント改良 土, 改良地盤, D 級岩盤 (G_0 : 初期せん断 弾性係数)	C _I 級岩盤, C _{II} 級岩盤, C _{III} 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係 数)
ケース① (基本ケース)	全応力解析	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	設計基準強度	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	設計基準強度	平均値 - 1 σ	平均値
ケース④	全応力解析	実強度に基づく 圧縮強度*1	平均値	平均値
ケース⑤*2	全応力解析	初期剛性低下考慮	平均値	平均値

注記*1: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験に基づき表 3-11 に示すとおりとする。

*2: 機器・配管系の耐震評価に適用する。原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

(3) 耐震評価における解析ケースの組合せ

海水ポンプ室の耐震評価においては、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波を用いてケース①（基本ケース）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を超える全ての照査項目に対して、最も厳しい地震動*を用いて、図3-56に示すケース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3-14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3-57に示す。

なお、「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「参考資料7 地中構造物への鉛直地震動の位相が与える影響」において、海水ポンプ室のような、地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物は、鉛直地震動の影響をほぼ受けないことを確認しているため、鉛直地震動については、位相の反転を考慮しない。

注記*：各要求機能（支持機能、通水機能、貯水機能、止水機能）により許容限界は異なるが、各照査項目に対して、許容限界に対する余裕が最も小さくなる地震動を選定する。

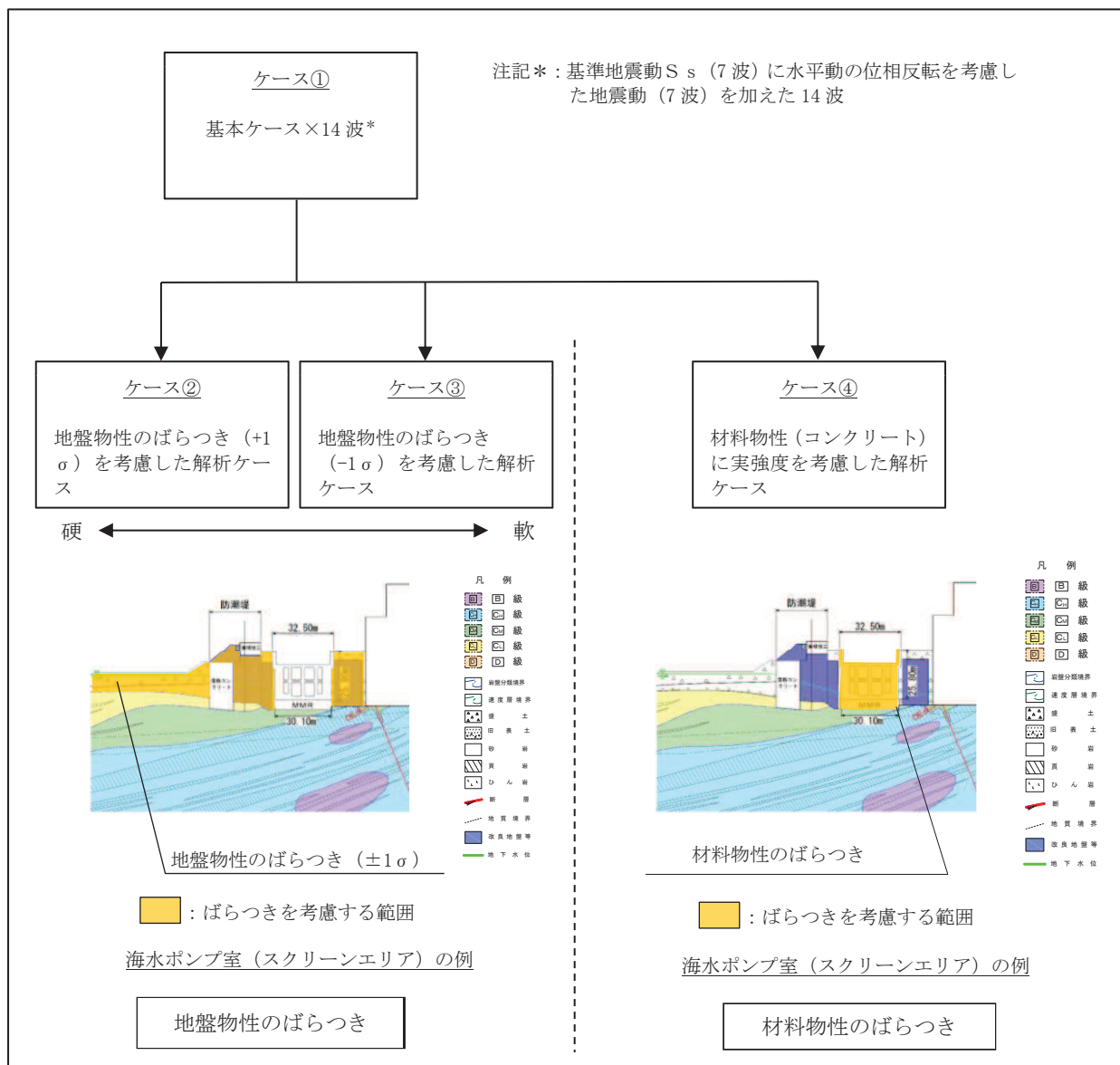


図 3-56 海水ポンプ室の耐震評価における解析ケース

表 3-14 海水ポンプ室の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 (+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*2
地震動 (位相)	S _s -D1	++*1	○	<p>【追加解析ケースについて】</p> <p>基準地震動 S_s (7波) 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 波に対し、全応力解析による基本ケース①を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、基礎地盤の支持力照査の各照査項目に照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、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。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、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、追加解析ケースを実施する。</p>	
		-+*1	○		
	S _s -D2	++*1	○		
		-+*1	○		
	S _s -D3	++*1	○		
		-+*1	○		
	S _s -F1	++*1	○		
		-+*1	○		
	S _s -F2	++*1	○		
		-+*1	○		
	S _s -F3	++*1	○		
		-+*1	○		
	S _s -N1	++*1	○		
		-+*1	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、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。

*2：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。

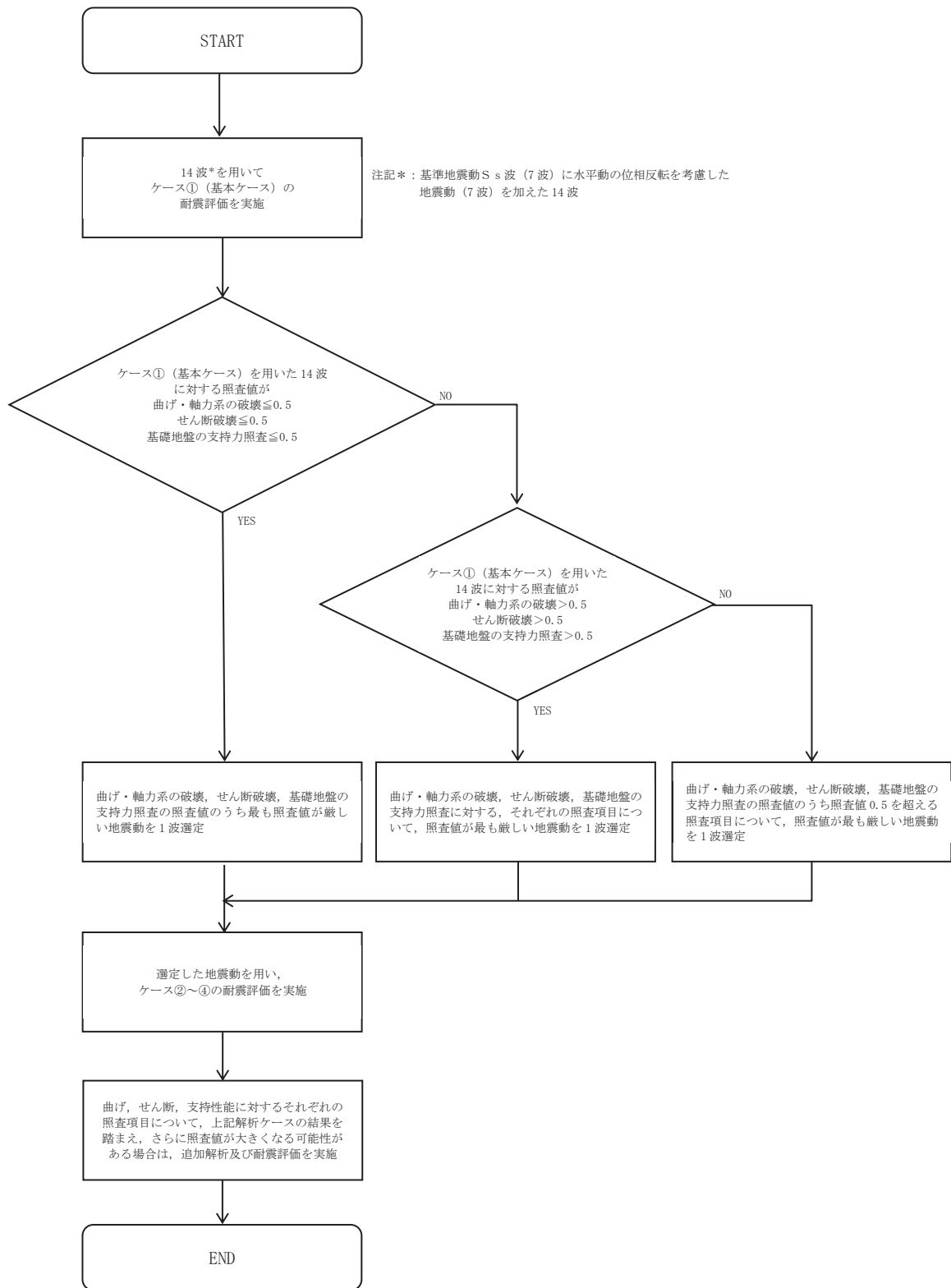


図 3-57 追加解析を実施する地震動の選定フロー

(4) 従方向荷重の選定

海水ポンプ室は、弱軸方向が明確であることから、弱軸方向を評価対象として耐震評価を行う。主方向荷重（弱軸方向）に対し、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁は面内荷重に抵抗しているが、従方向（強軸方向）の地震力に対しては、面外荷重の影響を受けることになる。よって、海水ポンプ室は弱軸方向の耐震評価に加えて加振方向に平行に配置された壁部材への影響を確認するため、従方向の荷重を作用させる。

評価用地震動及び時刻は、弱軸方向加振において基準地震動 S_s （7波）、水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）及びばらつきケースの中で最も照査値が厳しい地震動、時刻に対し実施する。

従方向荷重は、水平方向の慣性力を算出して用いる荷重とし、主方向荷重での地震時荷重算出時刻と同時刻の荷重を、位相を変えた地震動にて算出する。 $S_s - N1$ は観測波に基づいており地震動の方向に偏りがあり、基準地震動 S_s と直交する地震動が基準地震動 S_s に比べ小さいことから、 $S_s - N1$ が選定された場合は、2番目に照査値が厳しい地震動においても水平2方向評価を実施する。

3.5.2 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

海水ポンプ室に支持される機器・配管系の耐震安全性評価に適用する床応答への保守的な配慮として、基準地震動 S_s （7波）、弾性設計用地震動 S_d （7波）及びこれらに水平動の位相反転を考慮した地震動（28波）を用いて、ケース①に加え、図3-58に示すケース②～④の解析を実施する。

また、基準地震動 S_s （7波）については、建物・構築物で考慮しているコンクリートの初期剛性低下を考慮したケース⑤について影響を確認する。

機器・配管系に対する応答加速度及び応答変位抽出の基本ケースであるケース①に対して、最も地盤が固い条件となるケース②及び最も地盤が軟らかいケース③、最も材料特性が固い条件のケース④を実施することで地盤剛性等のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースを表3-15に示す。

なお、基準地震動 S_s （7波）におけるケース⑤の地震応答解析結果については、「参考資料12 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース」に示す。

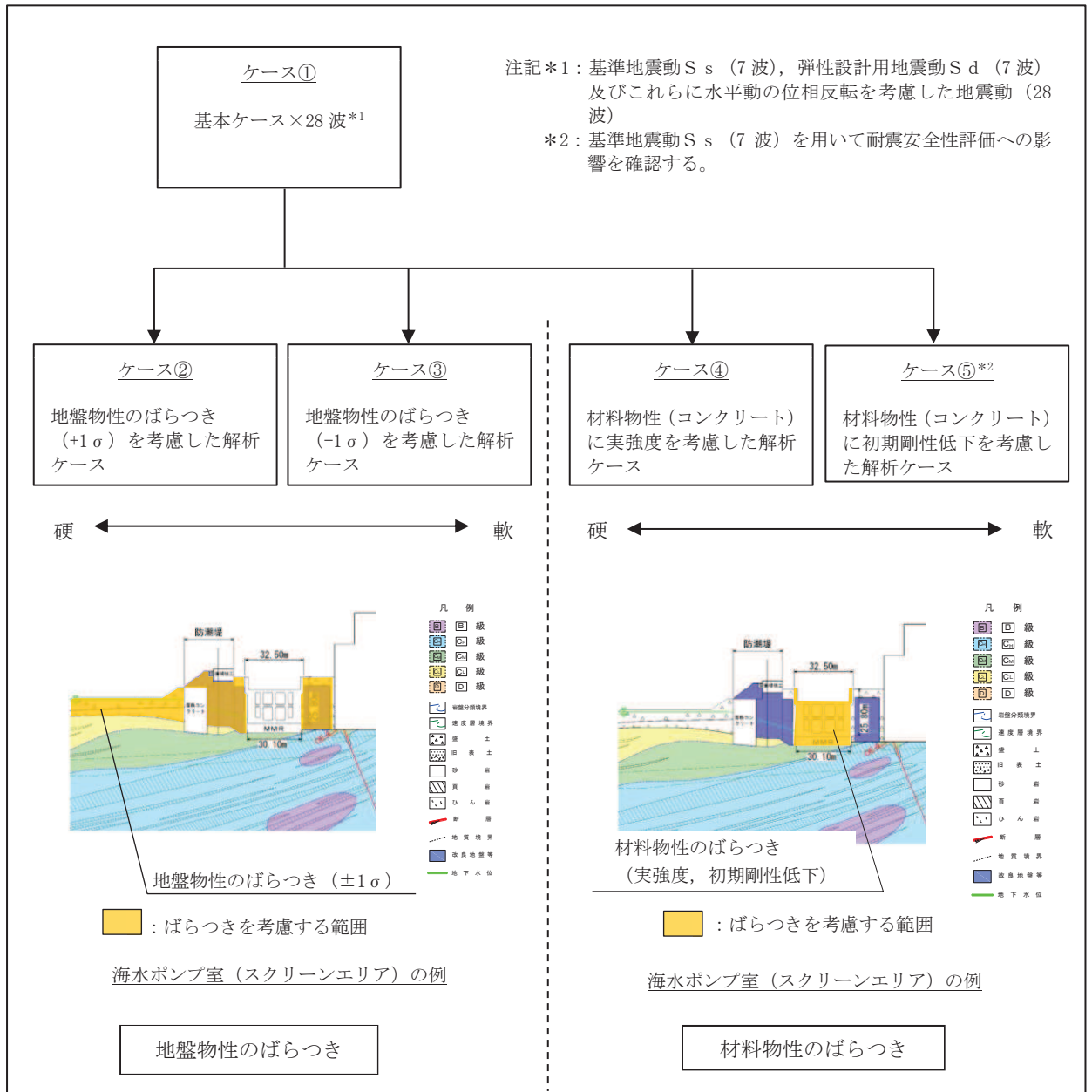


図 3-58 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース

表 3-15 (1) 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース（基準地震動 S s）

解析ケース*3		全応力解析					
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤	
		基本ケース*2	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	材料物性(コンクリート)に剛性低下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	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*2	剛性低下に基づく圧縮強度*4	
地震動 (位相)	S s - D 1	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - D 2	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - D 3	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - F 1	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - F 2	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - F 3	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—
	S s - N 1	++*1	○	○	○	○	△
		-+*1	○	○	○	○	—

- 注記*1：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。
- *2：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。
- *3：○は設計に用いる解析ケースを示し，△は影響検討ケースを示す。
- *4：機器・配管系の耐震評価に適用する。原子炉建屋の剛性低下率のうち特異的なオペフロの値を除いた中で最大となる NS 方向の剛性低下率を設定する。

表 3-15 (2) 機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケース（弾性設計用地震動 S d）

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
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	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*2
地震動 (位相)	S d - D 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - D 2	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - D 3	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 2	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - F 3	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○
	S d - N 1	++*1	○	○	○	○
		-+*1	○	○	○	○

注記*1：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。

*2：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。

4. 三次元構造解析

4.1 解析手法

海水ポンプ室は、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁を有する箱形構造物であることから、構造部材の応答値は、三次元構造解析により耐震評価を行う。

海水ポンプ室に要求される機能は、耐震重要施設及び常設重大事故等対処設備を支持する機能（間接支持機能）、非常時における海水の通水機能及び貯水機能、浸水防止のための止水機能が要求されることから、構造部材（鉄筋コンクリート）は、ひび割れ状態を評価できる非線形ソリッド要素を用いる。

海水ポンプ室に作用する荷重は、二次元の地震応答解析において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。

三次元構造解析には、解析コード「COM3 Ver. 9.15」を用いる。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。

4.2 解析モデルの設定

4.2.1 構造物のモデル化

材料の非線形特性を考慮した非線形ソリッド要素でモデル化する。モデル概念図を図 4-1 に、各部材の要素座標系を図 4-2 に示す。なお、開口部については、部材厚以上の開口をモデル化することとし、除塵機開口、循環水ポンプ開口及びスクリーンエリア及び循環水ポンプエリアに設置されるピットの開口をモデル化する。

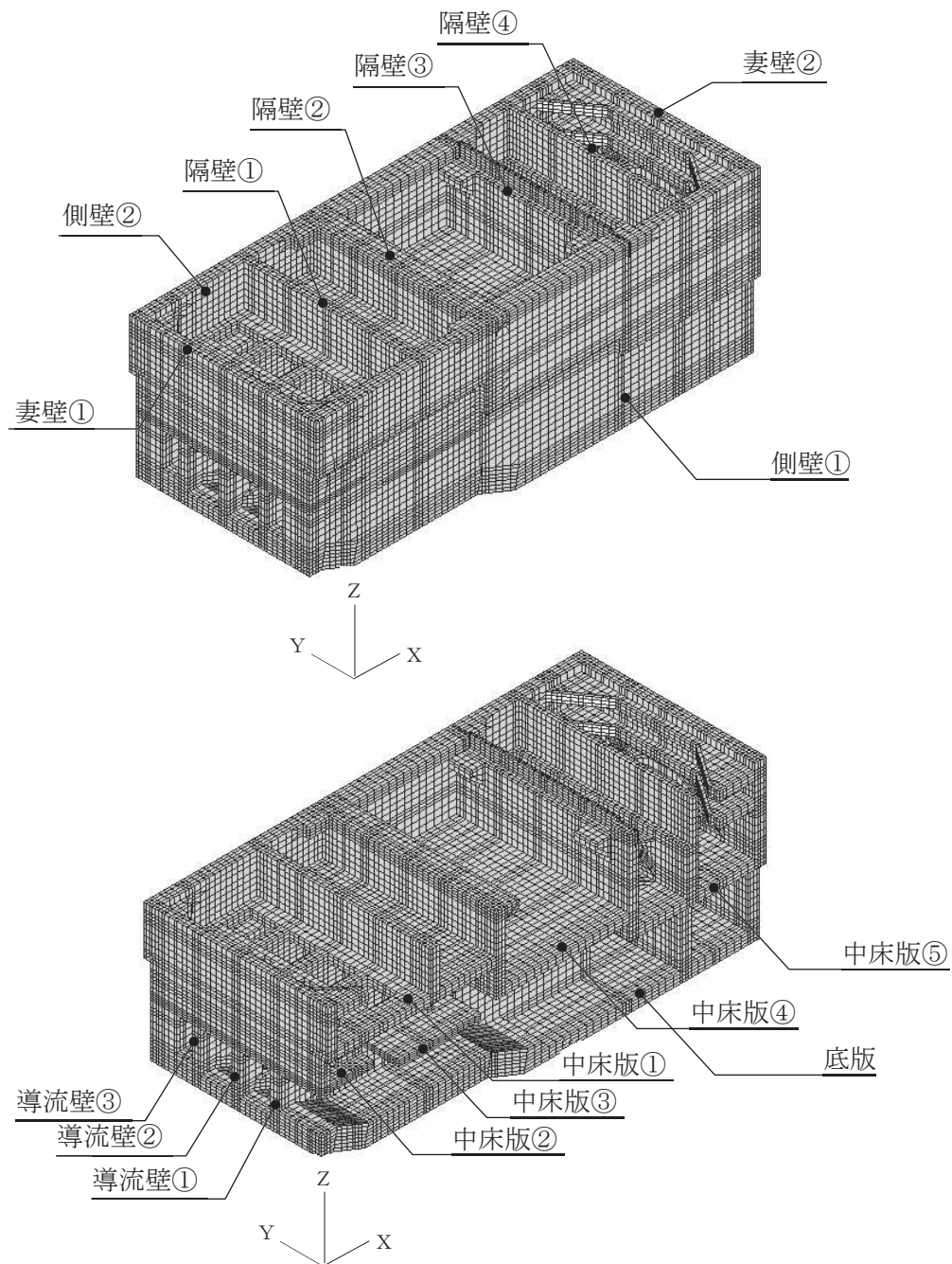
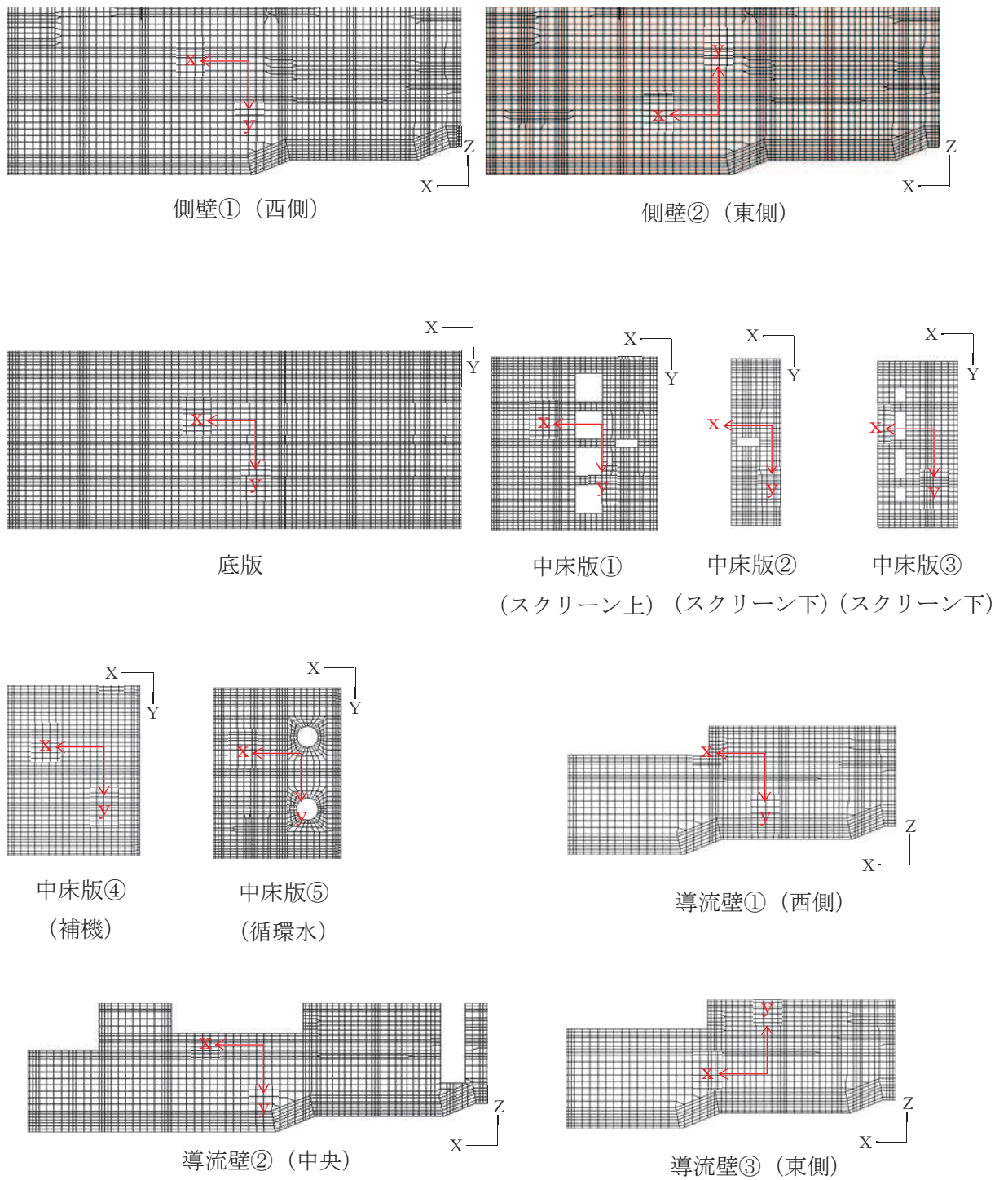


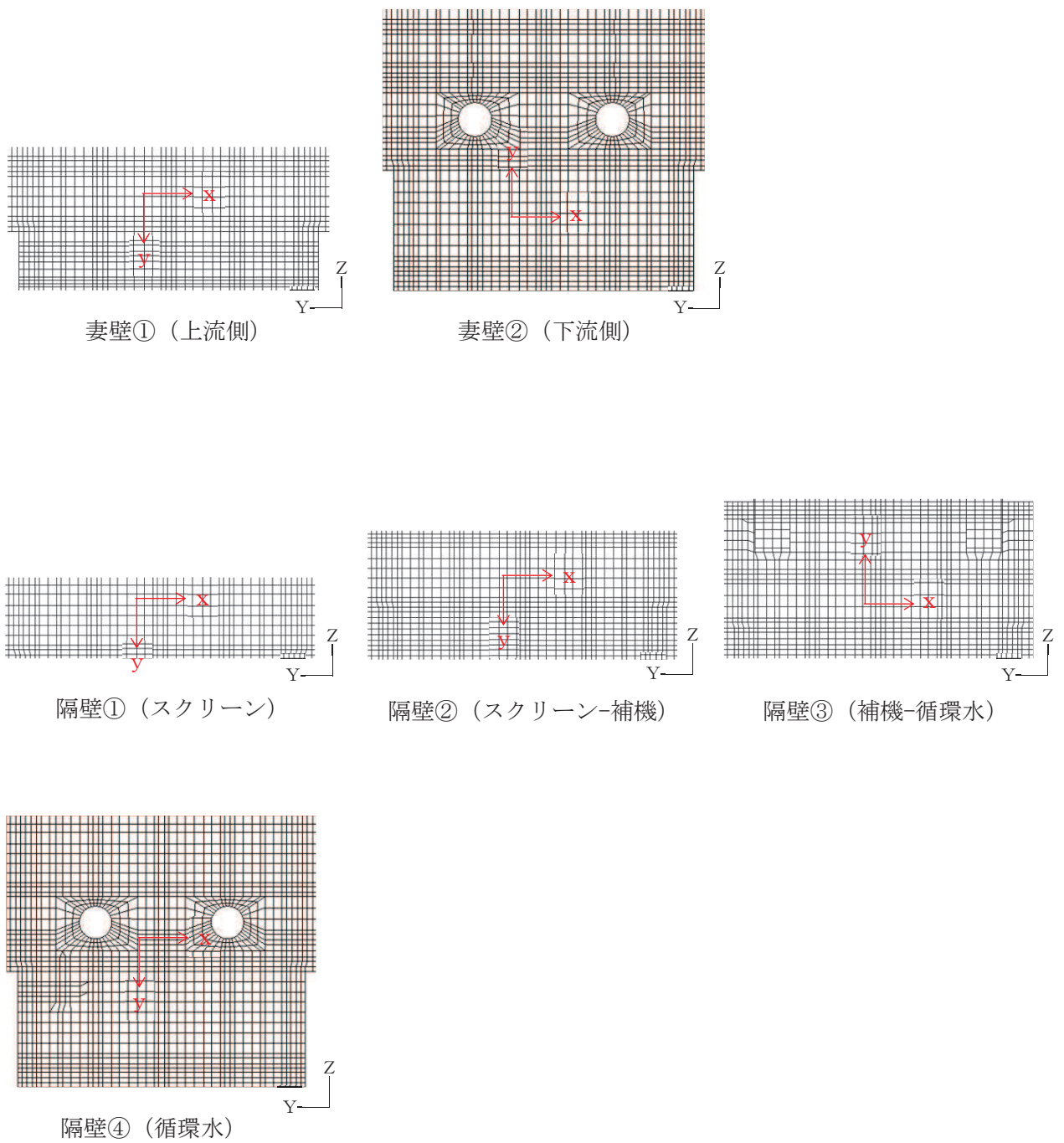
図 4-1 三次元構造解析モデルの概念図



黒：全体座標系を示す

赤：要素座標系を示す

図 4-2(1) 各部材の要素座標系



黒：全体座標系を示す

赤：要素座標系を示す

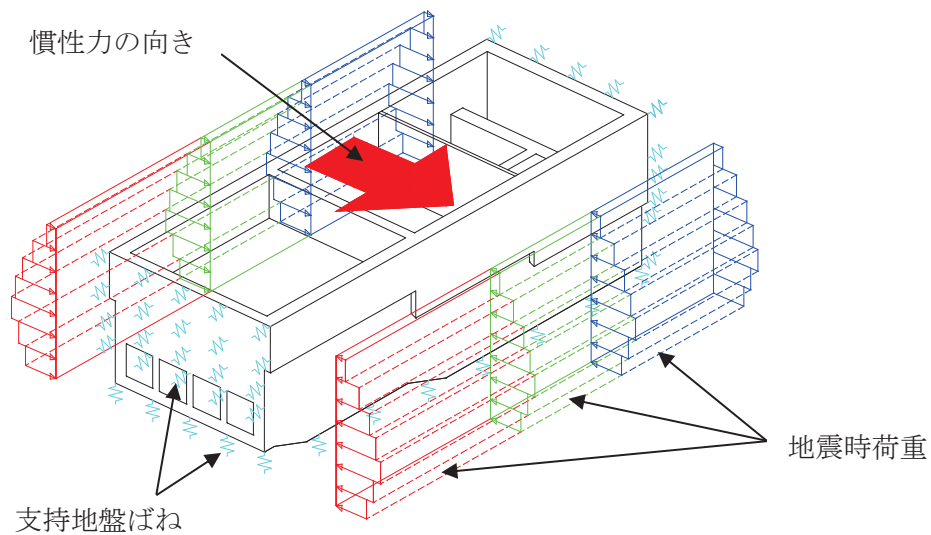
図 4-2(2) 各部材の要素座標系

4.2.2 地盤ばね要素

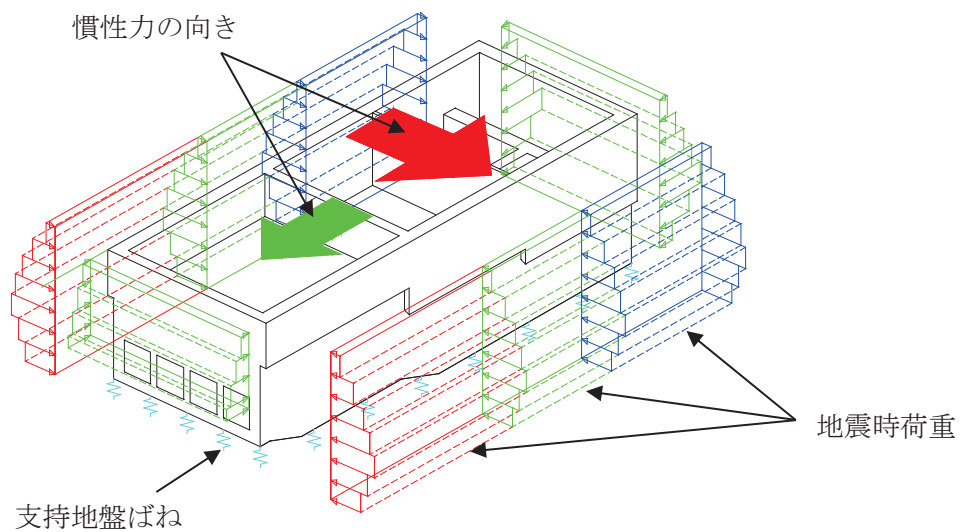
地盤ばねは、常時解析においては基礎の地盤に対する静的な荷重状態を想定して定義されている「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」に基づき設定する。

地震時解析においては、支持地盤は、地盤と構造物底面の剥離を考慮できる非線形ばねでモデル化し、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき、地震時の上下、水平、回転に対する地盤ばねの設定が可能である「田治見の振動アドミタンス理論」を用いて、設定する。側方地盤は、非線形ばねでモデル化し、妻壁の法線方向に取り付け、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」に基づき設定する。地盤ばねの設定イメージ図を図4-3に示す。

1方向荷重時には、荷重方向と直交する壁に地盤ばねを設定する。



(1 方向荷重)



(2 方向荷重)

図4-3 地盤ばねの設定イメージ

(1) 常時

常時における地盤ばねは「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」により算出する。

なお、地盤反力係数は、O.P. -200m 以浅の範囲で速度層や岩盤区分の変化を考慮に入れた換算変形係数を用いて算定を行う。

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

ここに、

k_v : 鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

k_{v0} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_v : 基礎の換算載荷幅 (m) $B_v = \sqrt{A_v}$

A_v : 鉛直方向の載荷面積 (m²)

α : 表 4-1 に示す地盤反力係数の換算係数

E_0 : 地盤の変形係数で、「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」に基づき、地盤の変形を考慮に入れた換算変形係数 (kN/m²) とする。

$$E_0 = \frac{\log \frac{(B + 2h_n \tan \theta) D}{(D + 2h_n \tan \theta) B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B + 2h_i \tan \theta) (D + 2h_{i-1} \tan \theta)}{(D + 2h_i \tan \theta) (B + 2h_{i-1} \tan \theta)}}$$

ここに、

B : 基礎幅 (m)

D : 基礎の奥行 (m)

h_n : 影響を調べる深さ (m) で、基礎幅 B の 3 倍以上とする。

h_i : 細分する各層底面までの深さ (m)

E_{0i} : 細分した第 i 番目の層の変化係数 (kN/m²)

θ : 荷重の分散角度で、 $\theta = 30^\circ$ とする。

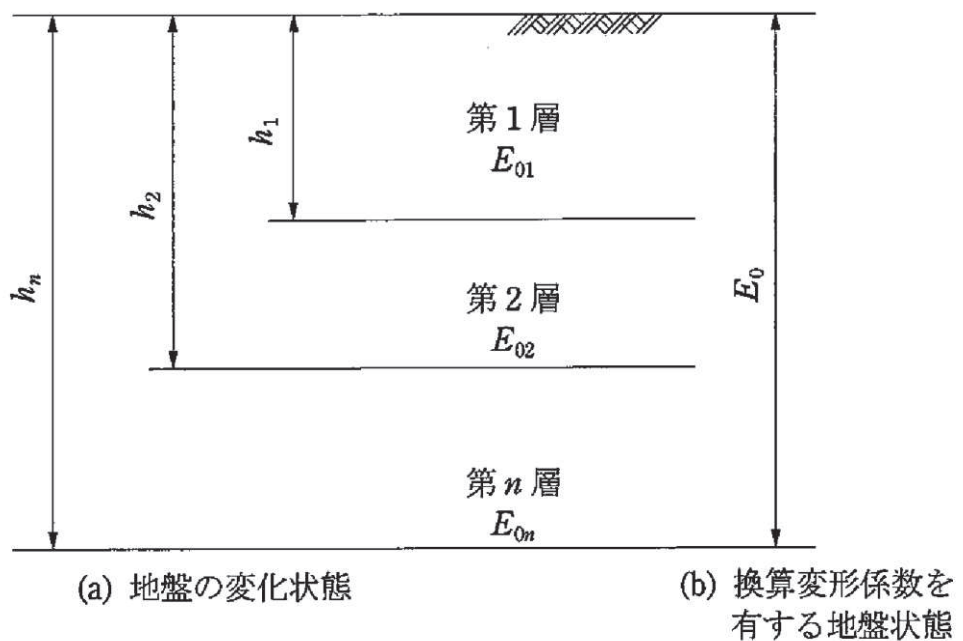


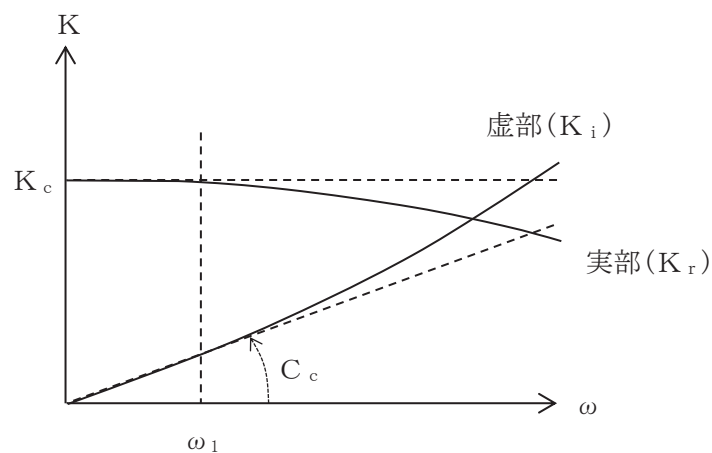
図 4-4 地盤が深さ方向に変化する場合の換算変形係数

表 4-1 変形係数 E_{0i} と α (道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編より引用)

変形係数 E_{0i} の推定方法	地盤反力係数の換算係数 α	
	常時, 暴風時	地震時
直径 0.3m の剛体円盤による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の 1/2	1	2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸圧縮試験又は三軸圧縮試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値より $E_{0i} = 2,800N$ で推定した変形係数	1	2

(2) 地震時

地震時の支持地盤ばねにおける深さ方向の地盤物性の変化は、「田治見の成層補正法」を用いて剛性の等価な半無限地盤に置換することにより考慮する。地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図4-5に示すようにばね定数として、実部の静的な値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として、海水ポンプ室-地盤連成系の一次固有円振動数 (ω_1) に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：海水ポンプ室-地盤連成系の一次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図4-5 地盤ばねの定数化の概要

(3) 側方地盤ばね

側方地盤ばねは、「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」及び「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」により算出する。

なお、地盤反力係数は、地盤の剛性低下を考慮するため一次元解析より得られた地盤の収束物性値を用いる。

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$B_H = \sqrt{A_H}$$

ここに,

k_H : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

B_H : 換算載荷幅 (m)

A_H : 法面ばね設置面積 (m²)

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} E_{eq}$$

$$E_{eq} = 2(1 + \nu_D) G_{eqAVE}$$

ここに,

k_{H0} : 地盤反力係数の基準値 (kN/m³)

E_{eq} : 地盤の動的変形係数 (kN/m³)

ν_D : 動的ポアソン比

G_{eqAVE} : 一次元解析における地盤の収束剛性 G_{eq} の加重平均値 (kN/m²)

$$G_{eqAVE} = \frac{\sum (G_{eqi} \times h_i)}{\sum h_i}$$

h_i : 一次元解析モデルの各層の層厚

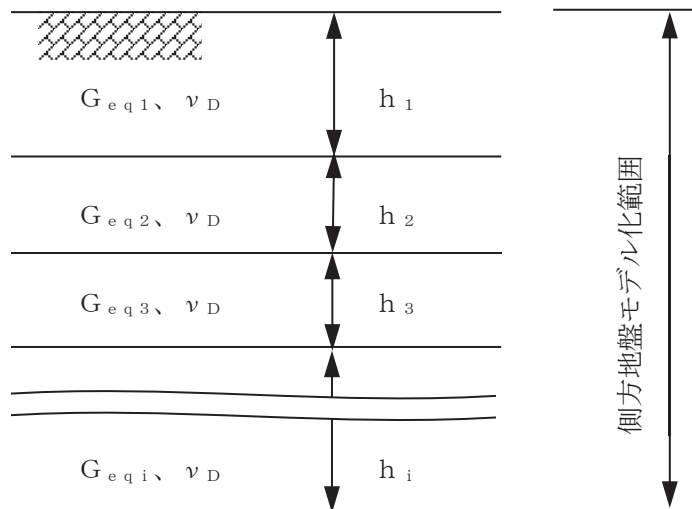


図 4-6 一次元解析モデルイメージ

4.2.3 材料の非線形特性

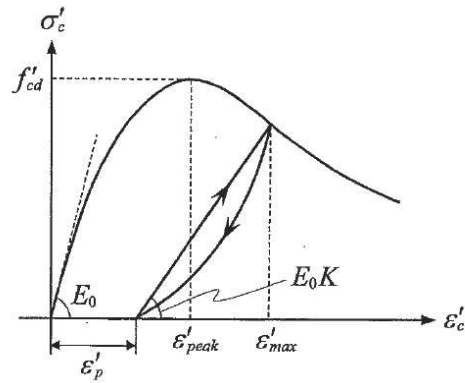
(1) コンクリート

a. 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図4-7に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を超えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、図4-8に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0 K (\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

ε'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)

ε'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

ε'_p : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

図 4-7 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性
(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

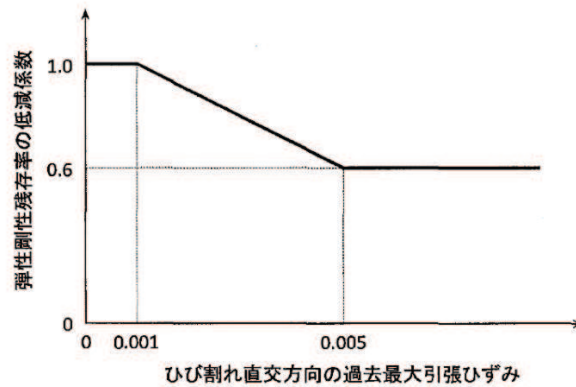
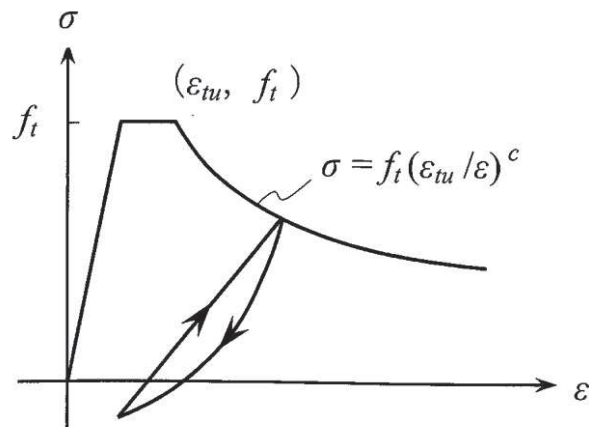


図 4-8 弾性剛性残存率の低減係数
(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

b. 引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、図 4-9 に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー (G_f) によって定義する。引張軟化挙動の考慮に当たっては、図 4-10 に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が G_f / L_e (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



- ここに、 f_t : 引張強度
 ϵ_{tu} : 引張軟化開始ひずみ
 c : 引張軟化特性を表す係数

図 4-9 引張対応力下における鉄筋とコンクリートの
付着効果を考慮した応力-ひずみ関係
(コンクリート標準示方書 2017 より引用)

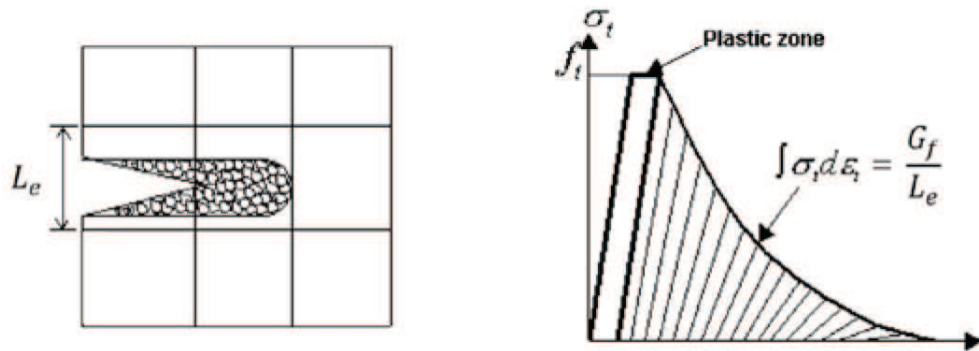
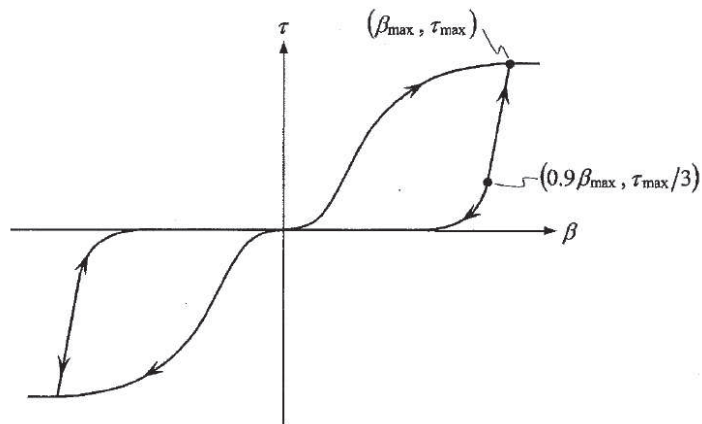


図4-10 応力—ひずみ曲線と破壊エネルギー G_f の関係

c. ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、図4-11に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



ここに、 β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比 (γ/ε)

τ : ひび割れ面でのせん断応力

τ_{max} : 除荷開始時せん断応力

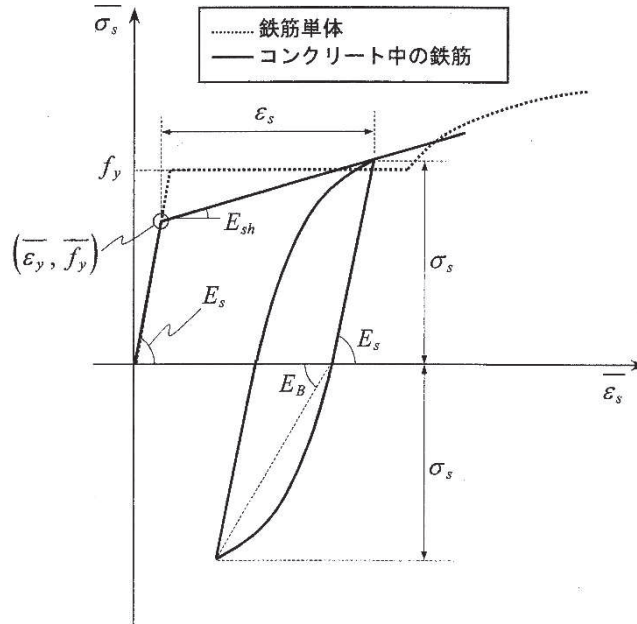
β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

図4-11 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

(コンクリート標準示方書 2017) より引用)

(2) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、図4-12に示すひずみ硬化特性を考慮する。



$$\begin{aligned} \overline{\sigma_s} &= E_s \overline{\varepsilon_s} & (\overline{\varepsilon_s} \leq \overline{\varepsilon_y}) \\ &= \overline{f_y} + E_{sh} (\overline{\varepsilon_s} - \overline{\varepsilon_y}) & (\overline{\varepsilon_y} < \overline{\varepsilon_s}) \end{aligned}$$

- ここに、 $\overline{\sigma_s}$: コンクリート中における鉄筋の平均応力
 $\overline{\varepsilon_s}$: コンクリート中における鉄筋の平均ひずみ
 f_y : 鉄筋単体の降伏強度
 E_s : 鉄筋のヤング率
 $\overline{f_y}$: コンクリート中における鉄筋の平均降伏強度
 $\overline{\varepsilon_y}$: コンクリート中における鉄筋の平均降伏ひずみ
 E_{sh} : コンクリート中における鉄筋の降伏後の二次勾配

図4-12 ひずみ硬化域を簡略化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係
 (コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2012年制定) より引用)

(3) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_s$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$


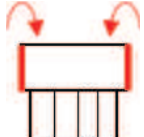

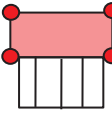
4.3 照査時刻の選定

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、損傷モードごと及び部材ごとに評価が厳しくなる照査時刻を地震応答解析の結果から複数選定する。海水ポンプ室の照査時刻を表 4-2 に示す。海水ポンプ室の地震応答解析断面はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアの 3 断面あり、1 断面当たり 9 時刻選定するため、地震動 1 波当たり 27 時刻の照査時刻を選定し、三次元構造解析により耐震評価を実施している。

各エリアで選定された照査時刻の組合せの考え方について、側壁のせん断破壊（面外）に対する照査時刻（時刻 5、6）の選定を例に図 4-13 に示す。地震応答解析の結果から、エリア毎の側壁における水平荷重が最大となる時刻（照査時刻 t_1 、 t_2 及び t_3 ）を選定後、三次元構造解析に用いる照査時刻の組合せを設定する。

三次元構造解析における照査時刻の組合せは、図 4-13 に示すとおり、着目した断面で選定した時刻の前後 0.1 秒以内から保守的な荷重となる時刻を選定する。なお、着目した断面以外の断面における時刻は、荷重の作用方向等を確認し、大きく変わらないことを確認した上で選定している。

表 4-2 照査時刻の考え方 (1 断面当たり*)

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		下部構造 (水路) における 頂底板間の層間変位が 最大となる時刻
時刻 2, 3	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		上部構造における 各側壁の転倒曲げモーメントが最大となる時刻
時刻 4	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が 最大となる時刻
時刻 5, 6	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における 各側壁の水平荷重が 最大となる時刻
時刻 7	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が 最大となる時刻
時刻 8, 9	曲げ・軸力系の破壊 及び せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における 各側壁の上部荷重が 最大となる時刻

注記* : 1 断面当たり 9 時刻を選定しており、海水ポンプ室は 3 つの断面を有することから、地震動 1 波当たり合計 27 時刻の照査を行う。

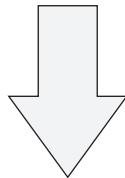
各エリアの荷重抽出時刻

	荷重抽出時刻		
	スクリーン エリア	補機ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
上部構造における 各側壁の水平荷重が 最大となる時刻	t_1^{*1}	t_2^{*2}	t_3^{*3}

注記*1：スクリーンエリアの地震応答解析結果により選定された時刻

*2：補機ポンプエリアの地震応答解析結果により選定された時刻

*3：循環水ポンプエリアの地震応答解析結果により選定された時刻



各エリアの照査時刻を選定後、
選定された時刻の±0.1 秒以内で保守的な荷重となる時刻を
組み合わせる。

	照査時刻*1		
	スクリーン エリア	補機ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
上部構造における 各側壁の水平荷重が 最大となる時刻	t_1	t_{1-1}^{*2}	t_{1-2}^{*2}
	t_{2-1}^{*3}	t_2	t_{2-2}^{*3}
	t_{3-1}^{*4}	t_{3-2}^{*4}	t_3

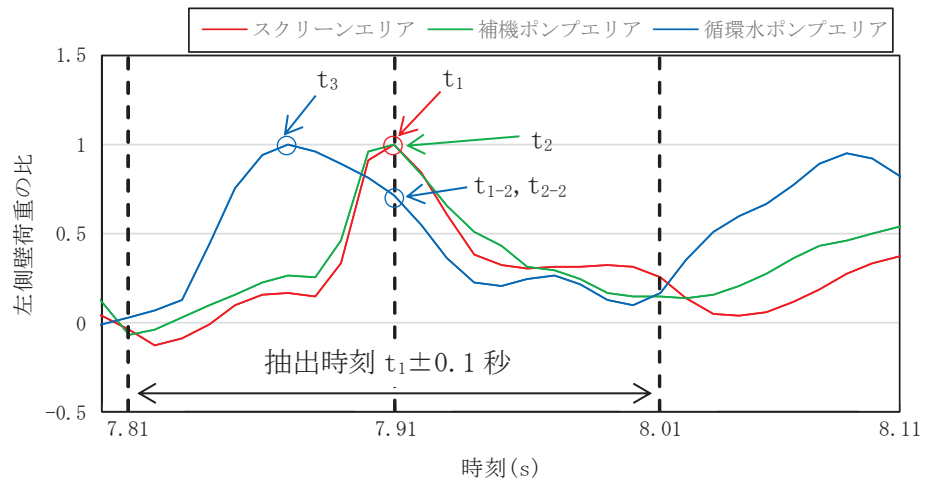
注記*1：赤枠は、着目する断面における時刻を示す。

*2： $t_1 \pm 0.1$ 秒以内で保守的な荷重となる時刻

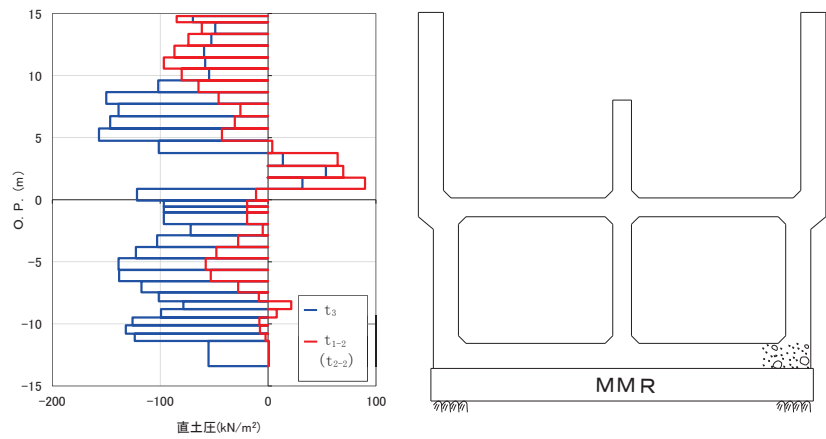
*3： $t_2 \pm 0.1$ 秒以内で保守的な荷重となる時刻

*4： $t_3 \pm 0.1$ 秒以内で保守的な荷重となる時刻

図 4-13 (1) 照査時刻の組み合わせの考え方



注記*：スクリーンエリアに着目（補機ポンプエリア着目）した場合、
 t_3 と t_{1-2} (= t_{2-2})を比較し、保守的な荷重となる t_3 を照査時刻とする。
 (側壁の水平荷重比の時刻歴の概念図)



(荷重分布比較の概念図)

組み合わせの結果

	照査時刻		
	スクリーン エリア	補機ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
最大となる時刻 *	t_1	t_2	t_3

注記*：照査時刻 t_1 , t_2 (= t_1), t_3 の 2 ケースが、この 1 ケースに集約される。

図 4-13 (2) 照査時刻の組み合わせの考え方

4.4 入力荷重

三次元構造解析の入力荷重は「4.3 照査時刻の選定」にて選定した照査時刻に対し、地震応答解析から同時刻における水平荷重及び鉛直荷重の応答値を抽出し、算定する。入力荷重の一覧を表4-3に、各入力荷重の算定フローを図4-14に示す。また、地震応答解析から算出される荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフローを図4-15に示す。常時荷重は、表3-9に示す荷重を考慮する。

表4-3 入力荷重一覧

入力荷重		地震応答解析から抽出する応答値	載荷位置
慣性力	機器・配管の慣性力	応答加速度	設置位置
	竜巻防護ネットの反力	応答加速度	設置位置
	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の反力	応答加速度	設置位置
	躯体の慣性力	応答加速度	躯体全体
	積載荷重の慣性力	応答加速度	作用位置
内水圧・動水圧		応答加速度*	作用位置
地震時土圧・水圧		土圧・水圧	作用位置
周面せん断力		土圧・水圧	作用位置

注記*：動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

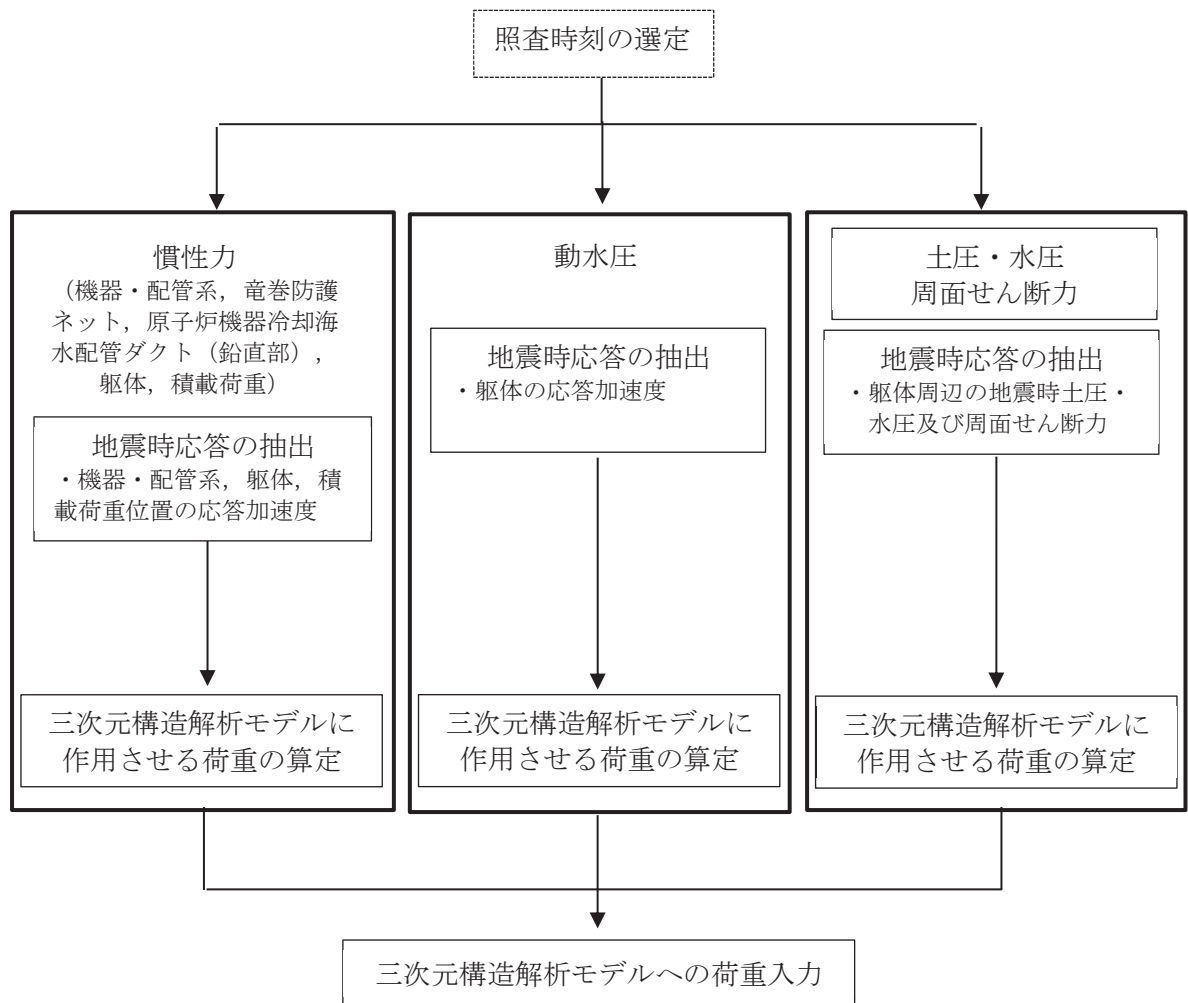


図4-14 各入力荷重の算定フロー

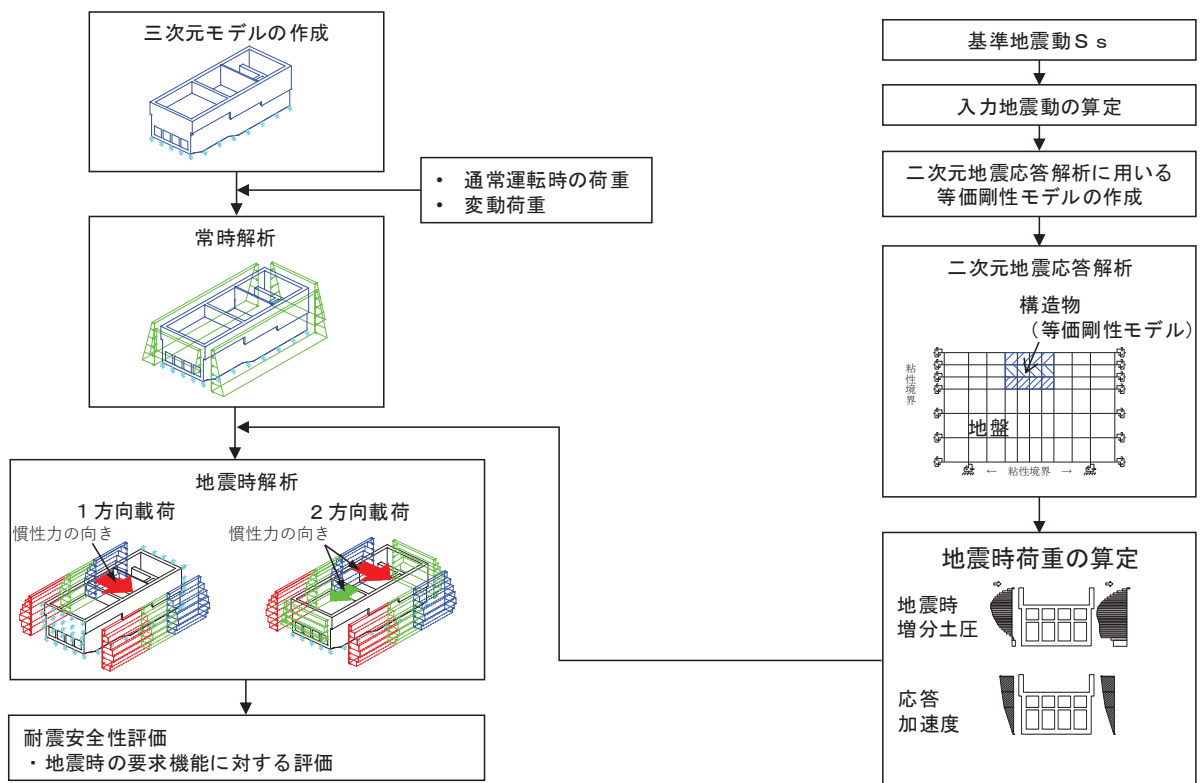


図 4-15 地震時荷重を三次元モデルへ載荷するまでのフロー図

4.4.1 常時荷重

(1) 躯体自重

躯体の体積に鉄筋コンクリートの密度を乗じて設定する。

(2) 静止土圧及び外水圧

地震応答解析の常時解析から求まる静止土圧及び外水圧を躯体側面に作用させる。静止土圧及び外水圧の荷重概念図を図4-16に示す。なお、各断面から算出した土圧及び外水圧は、各区間の奥行方向に一様に荷重する。

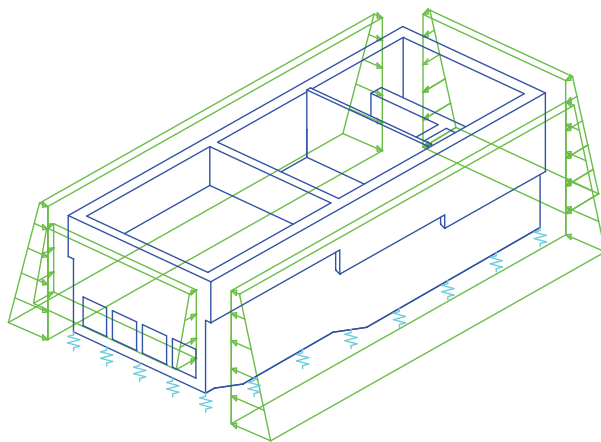


図4-16 静止土圧及び外水圧の荷重概念図

(3) 内水圧

海水ポンプ室の内部には、朔望平均満潮位 (O. P. +2.43m^{*}) を静水面とした内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、1.03kg/cm³ を考慮する。内水圧の概念図を図4-17及び図4-18に示す。

注記* : 東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を、敷地高さ (O. P. +14.8m) を固定とし朔望平均満潮位を O. P. +1.43m から O. P. +2.43m とすることにより考慮する。

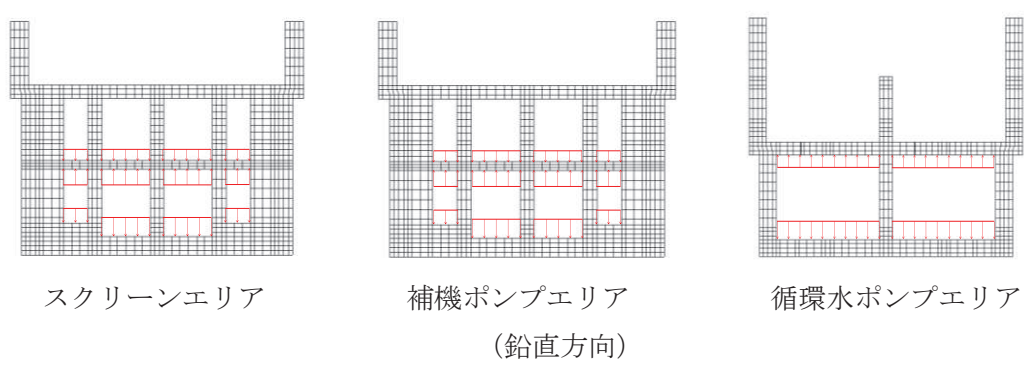
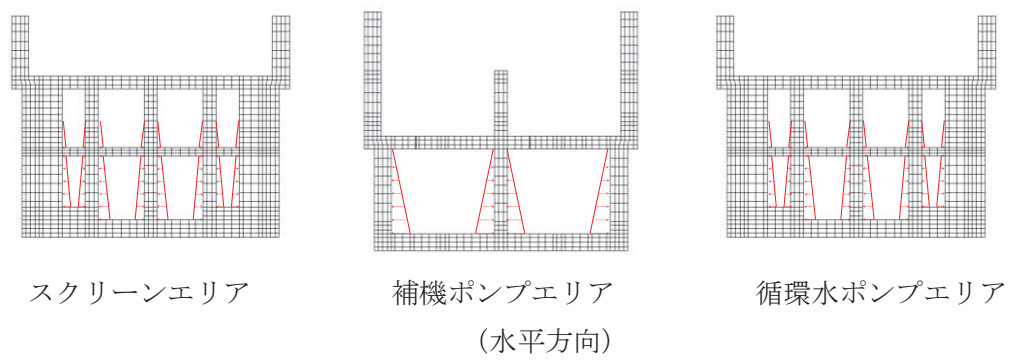


図 4-17 内水圧の概念図 (東西方向)

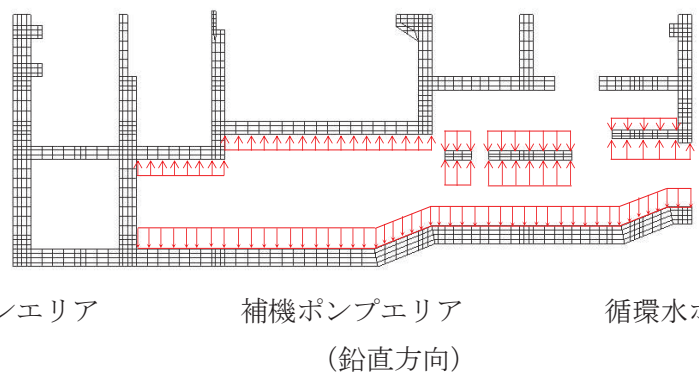
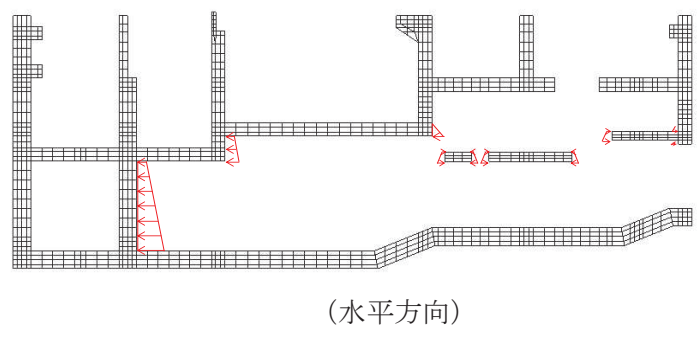


図 4-18 内水圧の概念図 (南北方向)

(4) 機器荷重

機器の重量に基づいて設定する。機器荷重図を図 4-19 に示す。

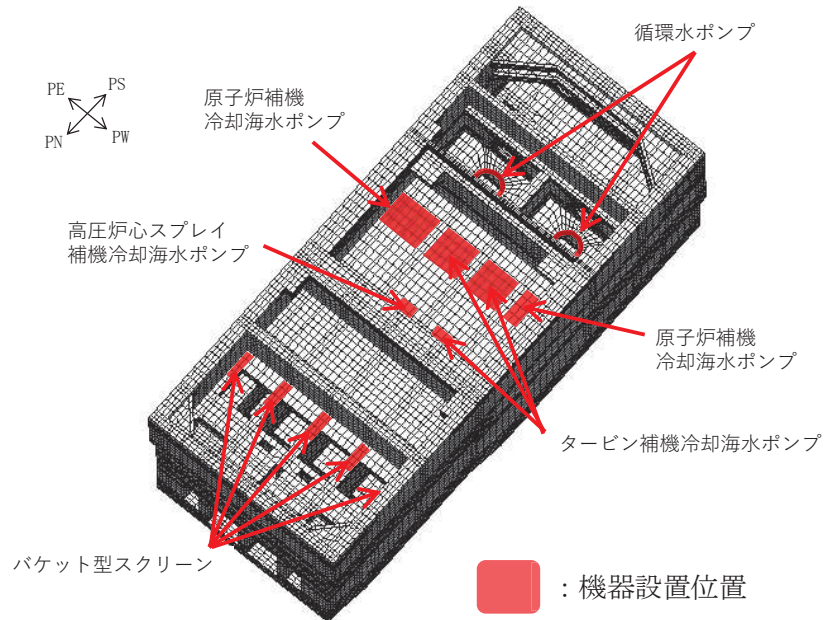


図 4-19 機器荷重図

(5) 配管荷重

配管の重量に基づいて設定する。配管荷重図を図 4-20 に示す。

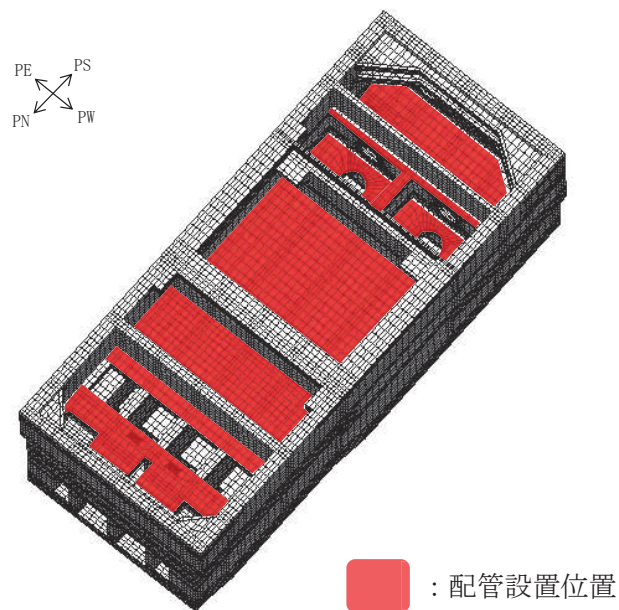


図 4-20 配管荷重図

(6) 積載荷重

地震時に海水ポンプ室に作用する積載荷重は、積雪荷重以外は想定されないが、保守的な配慮として中床版、妻壁、隔壁及び側壁に 4.9kN/m^2 を考慮する。具体的には、積載荷重は中床板、妻壁及び側壁に考慮するが、隔壁については、中床板のはり要素に載荷することで考慮する。中床版への積載荷重は、開口面積分を抜いた、単位奥行幅 (1m) あたりの付加重量として考慮する。

4.4.2 慣性力 (機器)

機器の慣性力は、地震応答解析モデルにおける機器が設置されている各節点、照査時刻における応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図 4-21 に、応答加速度の抽出概念図を図 4-22 に示す。

水平方向 (NS 方向及びEW 方向) 及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、機器が設置される節点とする。

慣性力は、抽出した加速度に機器荷重を乗じて算定する。算定した慣性力は、図 4-23 に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

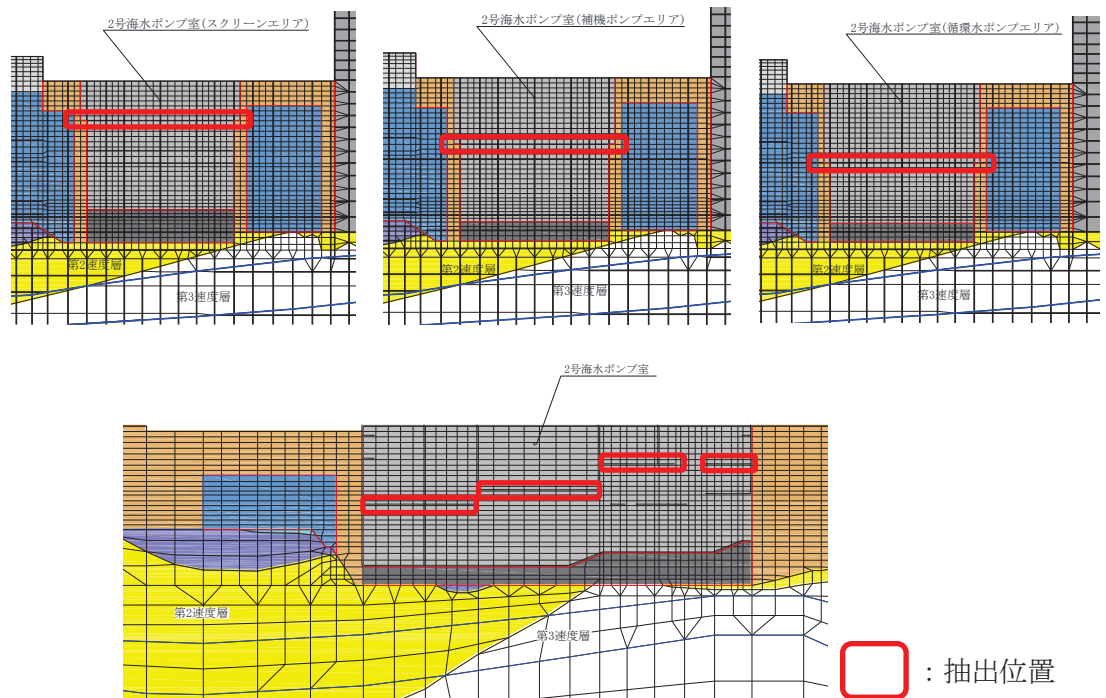


図 4-21 応答加速度の抽出位置

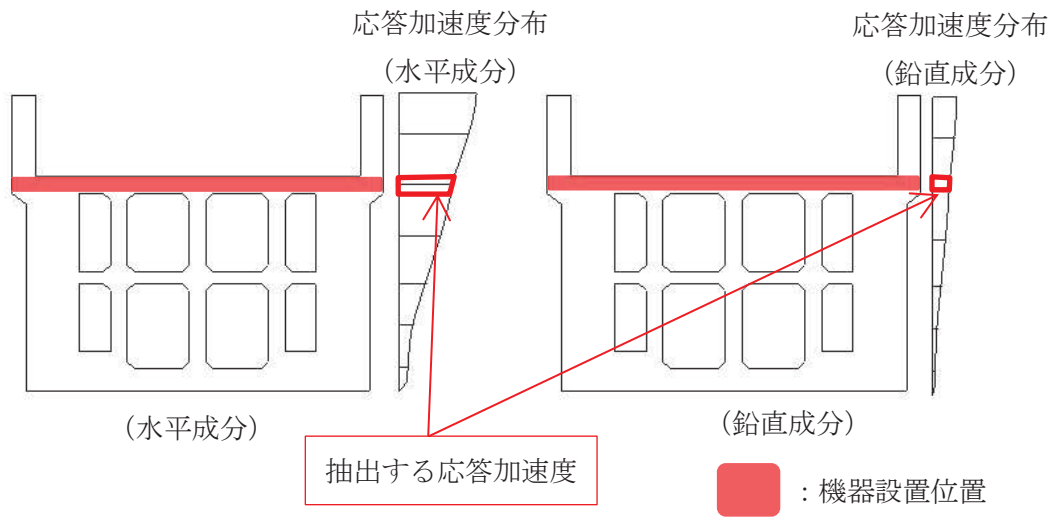


図 4-22 応答加速度の抽出概念図

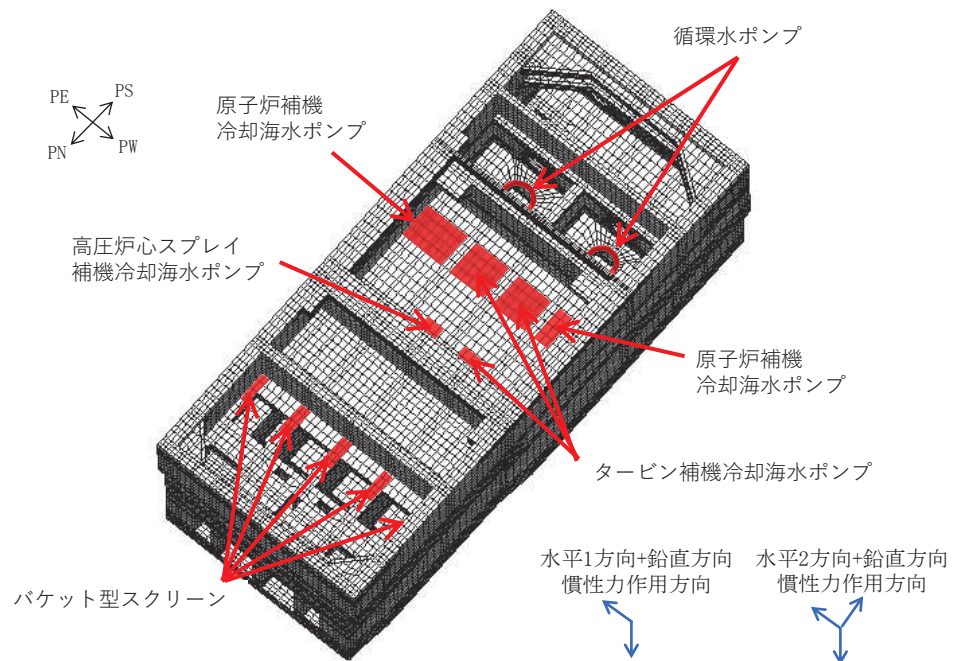


図 4-23 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（機器）の概念図

4.4.3 慣性力（配管）

配管の慣性力は、地震応答解析モデルにおける配管が設置されている各節点，照査時刻における応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図4-24に，応答加速度の抽出概念図を図4-25に示す。

水平方向（NS方向及びEW方向）及び鉛直方向の加速度の抽出位置は，配管が設置される節点とする。

慣性力は，抽出した加速度に配管荷重を乗じて算定する。算定した慣性力は，図4-26に示すとおり，海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

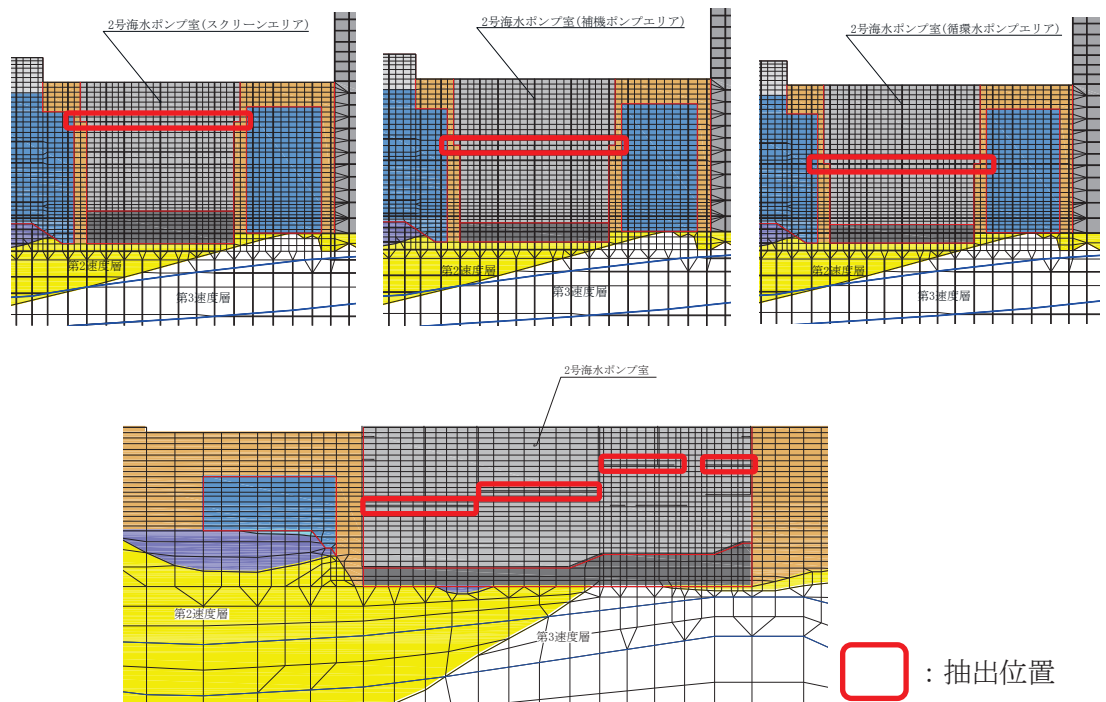


図4-24 応答加速度の抽出位置

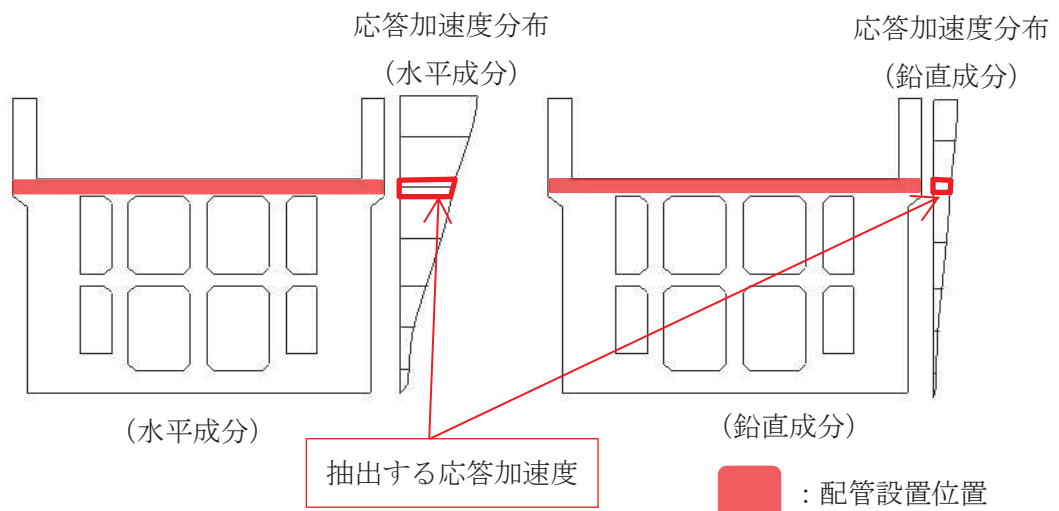


図4-25 応答加速度の抽出概念図

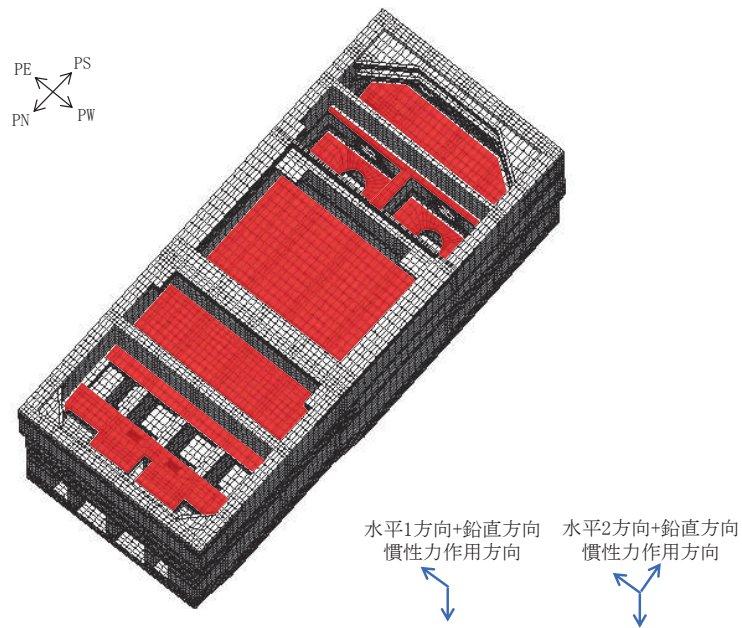


図 4-26 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（配管）の概念図

4.4.4 慣性力（躯体）

躯体及び積載荷重の慣性力は、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材の各節点の、照査時刻における応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図 4-27 に示す。

水平方向（N S 方向及び E W 方向）及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、各断面の鉄筋コンクリート部材及び妻壁の位置に当たる全節点とする。

算定した慣性力は、図 4-28 に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに水平方向及び鉛直方向に同時に入力する。入力する慣性力は、各照査時刻における水平方向及び鉛直方向の応答加速度の正負の方向とする。

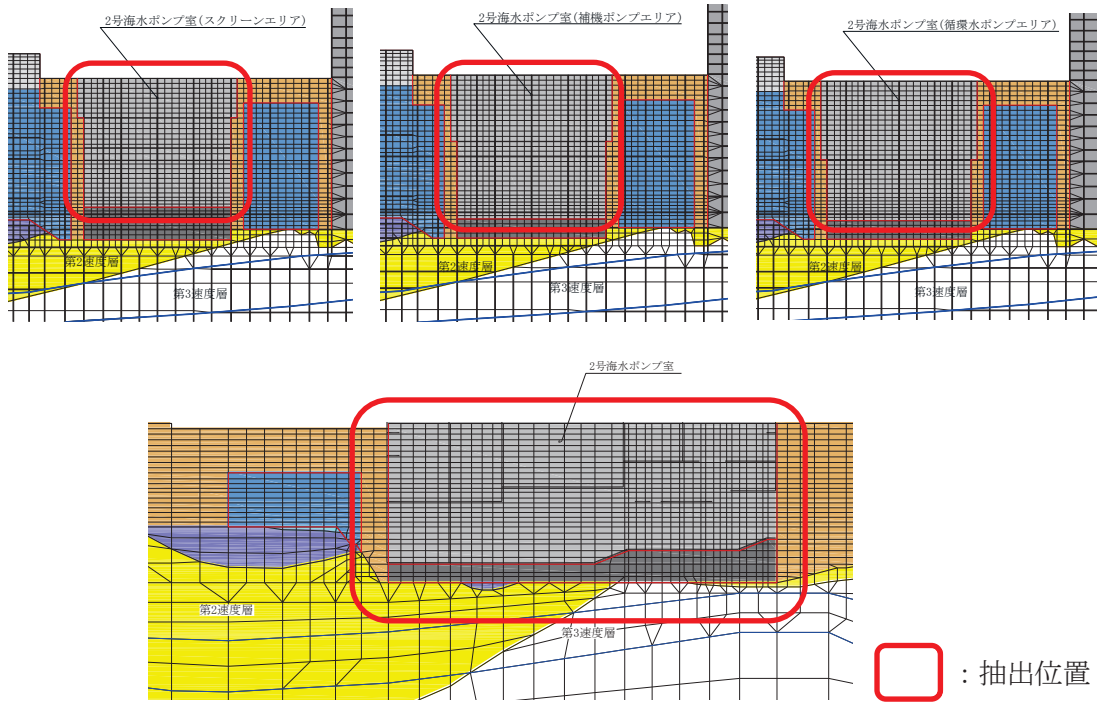


図 4-27 応答加速度の抽出位置

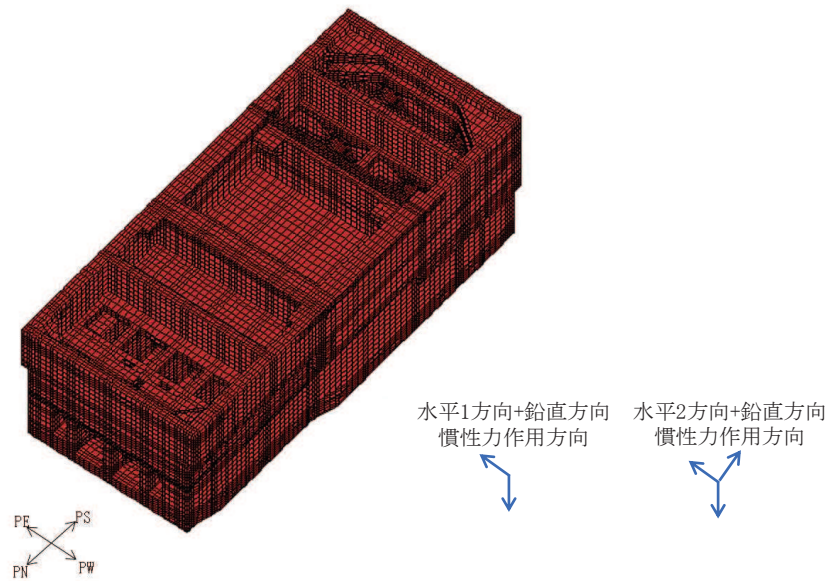


図 4-28 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（躯体）の概念図

4.4.5 慣性力（竜巻防護ネット反力）

竜巻防護ネットの反力は、地震応答解析モデルにおける竜巻防護ネット設置位置における各節点の応答加速度から算定する。竜巻防護ネットの構造概念図を図4-29に、ゴム支承及び可動支承概略図を図4-30に、応答加速度の抽出位置を図4-31に、応答加速度の抽出概念図を図4-32に示す。

水平方向（NS方向及びEW方向）及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、竜巻防護ネットが設置される節点とする。

算定した反力は、図4-33に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

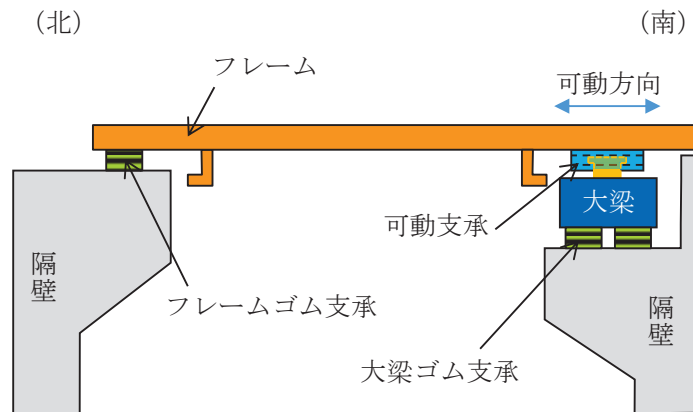


図 4-29 竜巻防護ネットの構造 (イメージ)

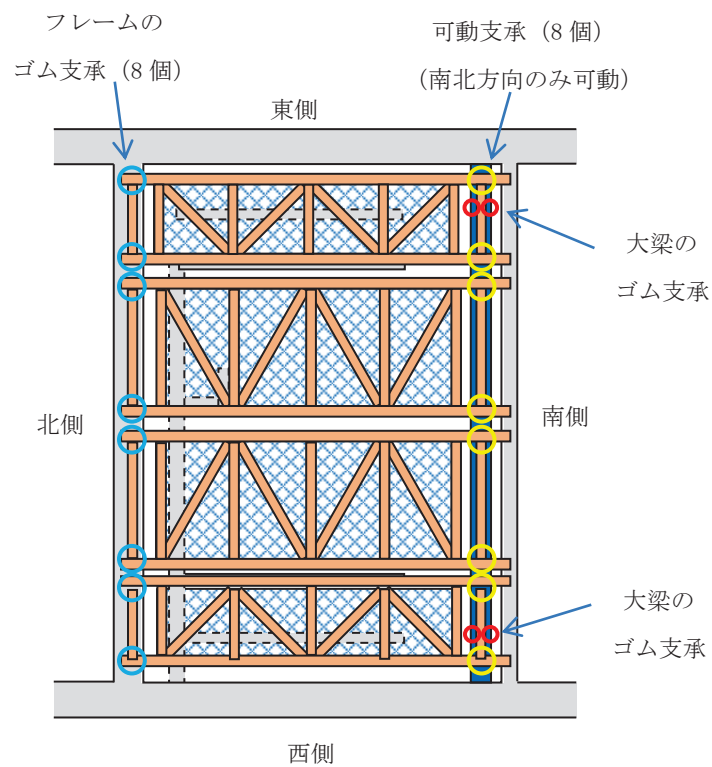


図 4-30 ゴム支承及び可動支承概略図

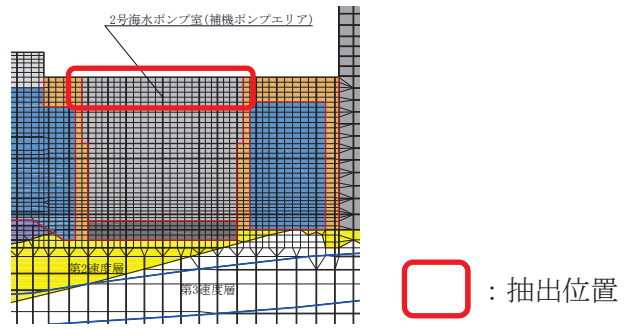


図 4-31 応答加速度の抽出位置

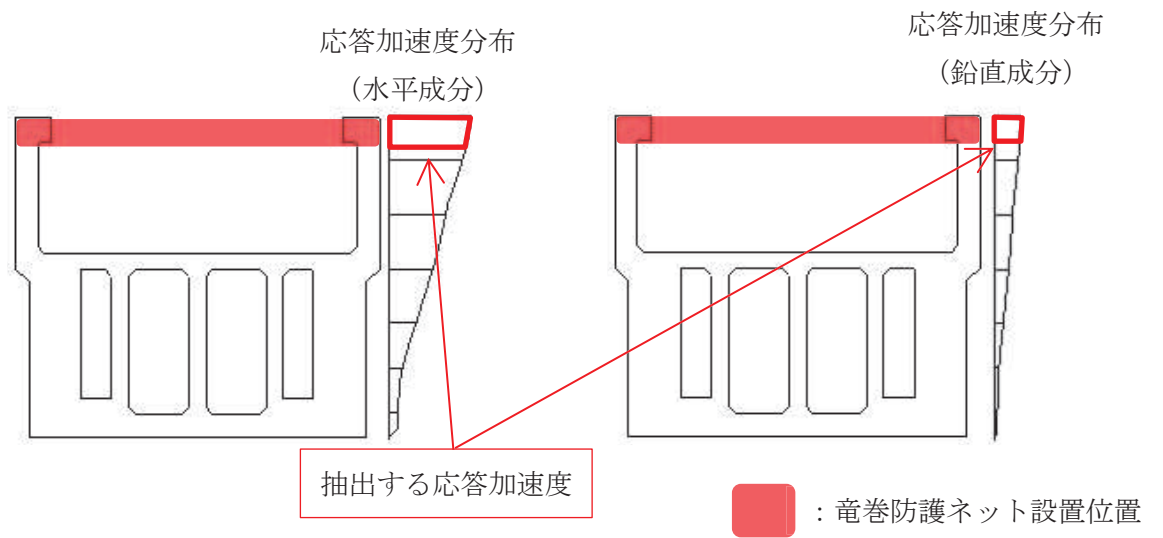


図 4-32 応答加速度の抽出概念図

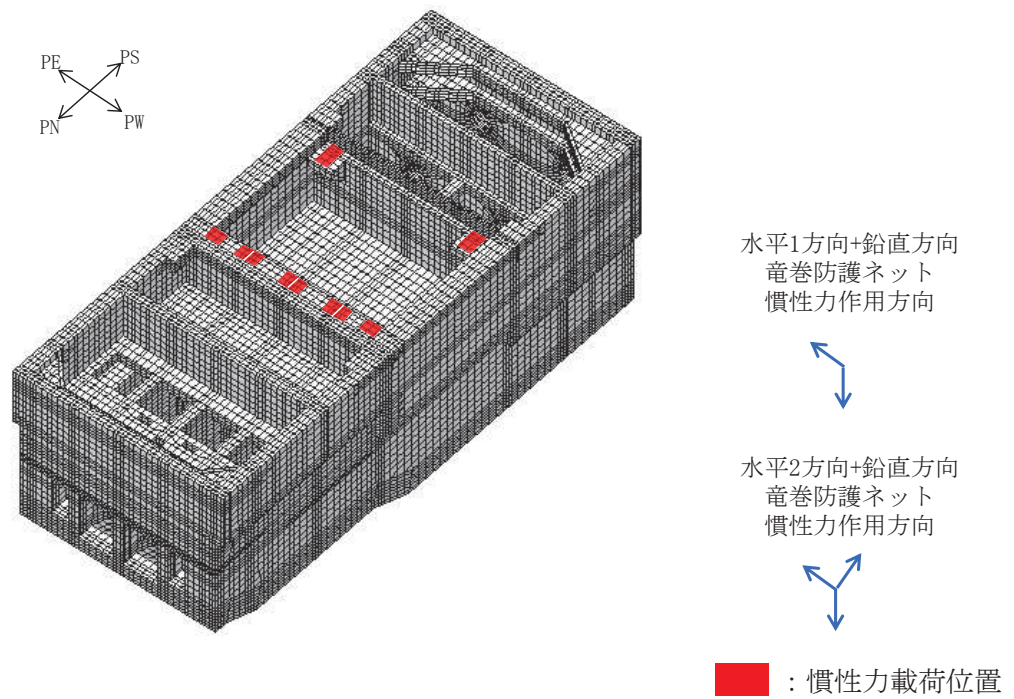


図 4-33 三次元構造解析モデルに入力する慣性力（竜巻防護ネット反力）の概念図

4.4.6 慣性力（原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部））

海水ポンプ室の西側の側壁には原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が懸架されている。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の反力は、地震応答解析モデルにおける原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が海水ポンプ室に接続している位置における各節点の応答加速度から算定する。応答加速度の抽出位置を図4-34に、応答加速度の抽出概念図を図4-35に示す。

水平方向（NS方向及びEW方向）及び鉛直方向の加速度の抽出位置は、海水ポンプ室に接続している位置での各節点とする。

算定した反力は、図4-36に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

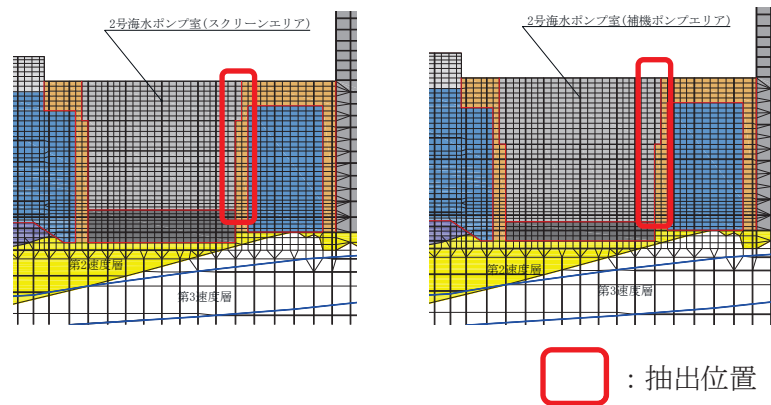


図4-34 応答加速度の抽出位置

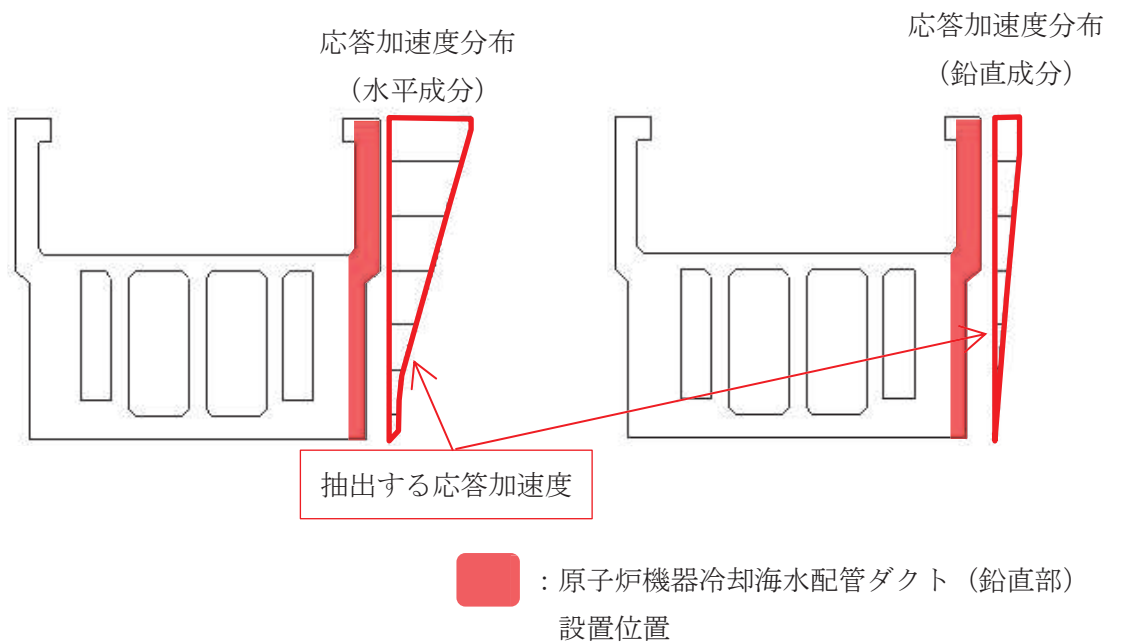


図 4-35 応答加速度の抽出概念図

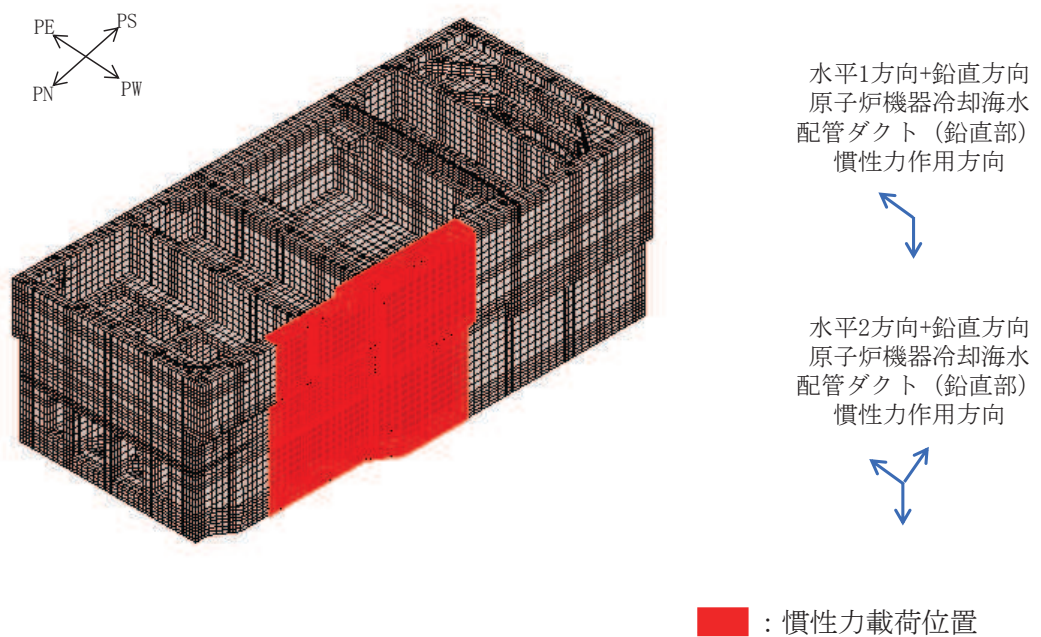


図 4-36 三次元構造解析モデルに入力する慣性力
(原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部)) の概念図

4.4.7 内水圧・動水圧

海水ポンプ室の内部には、朔望平均満潮位 (O. P. +2.43m^{*}) を水位とした内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、1.03kg/cm³ を考慮する。

動水圧については、「3.4.7 動水圧」の考え方にに基づき、自由水面の無い閉水路と自由水面のある開水路に分けて荷重を作用させる。「3. 地震応答解析」より得られた側壁及び導流壁における各節点の加速度を用いて動水圧を算定する。なお、算定した動水圧は図4-37及び図4-38の概略図に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

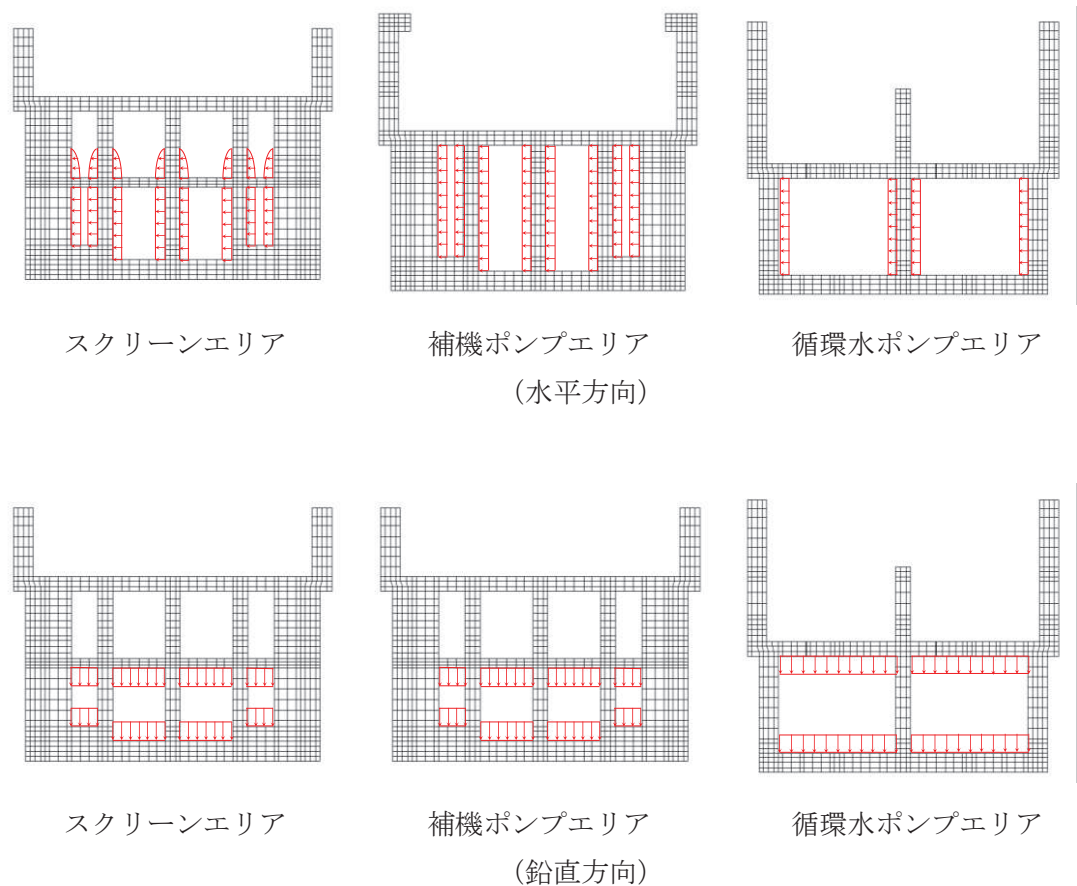
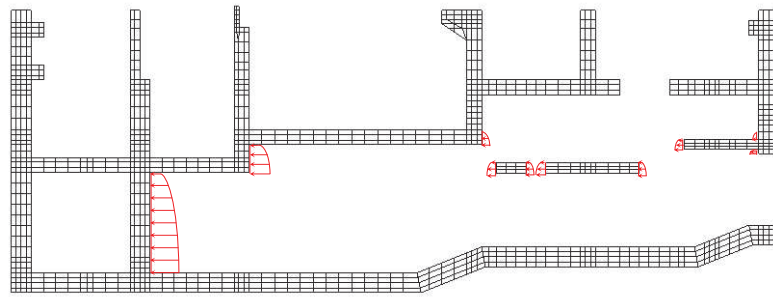
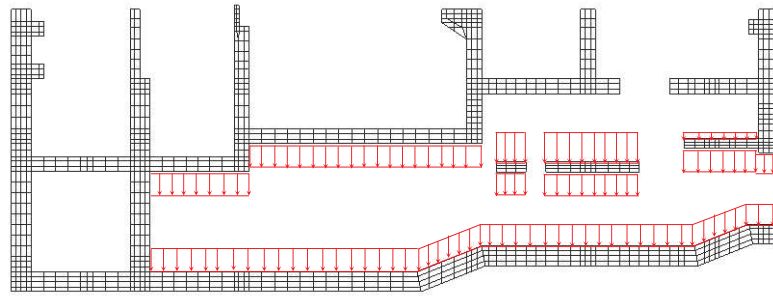


図4-37 動水圧の概念図 (東西方向)

注記* : 東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を、敷地高さ (O. P. +14.8m) を固定とし朔望平均満潮位を O. P. +1.43m から O. P. +2.43m とすることにより考慮する。



(水平方向)



(鉛直方向)

図 4-38 動水圧の概念図 (南北方向)

4.4.8 地震時土圧・水圧及び周面せん断力

躯体側面に作用する地震時土圧・水圧及び周面せん断力は、地震応答解析モデルにおいて各部位に接するジョイント要素の、照査時刻における要素応力から算定する。地震時土圧・水圧及び周面せん断力の抽出位置を図4-39に示す。また、算定した地震時土圧・水圧及び周面せん断力は、図4-40に示すとおり、海水ポンプ室の三次元構造解析モデルに入力する。

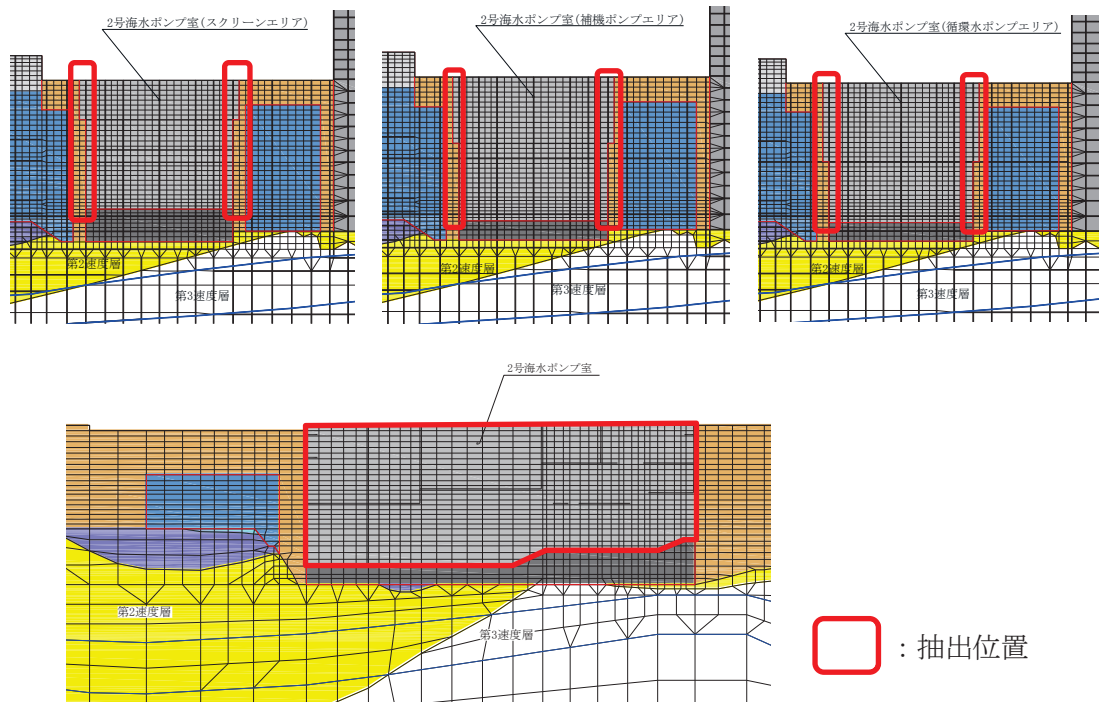


図4-39 地震時土圧・水圧及び周面せん断力の抽出位置

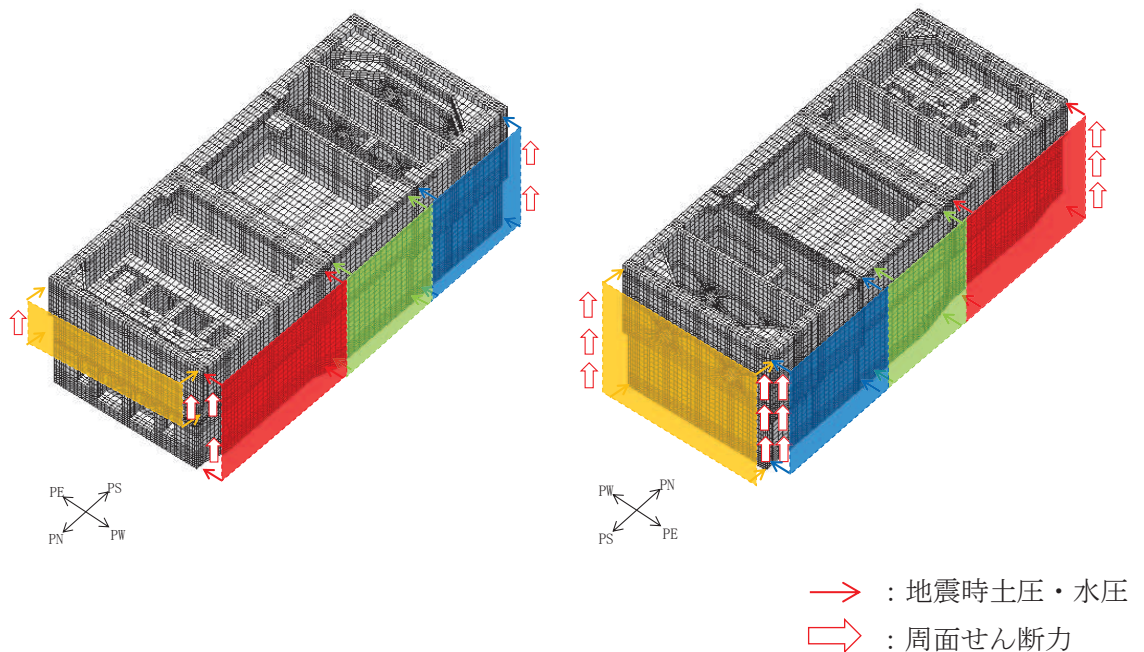


図4-40 地震時土圧・水圧及び周面せん断力の概念図

5 評価内容

5.1 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 及び弾性設計用地震動 S_d を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端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」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図5-1に入力地震動算定の概念図を、図5-2～図5-29に東西方向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、図5-30～図5-57に南北方向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「Ark Quake Ver. 3.10」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。

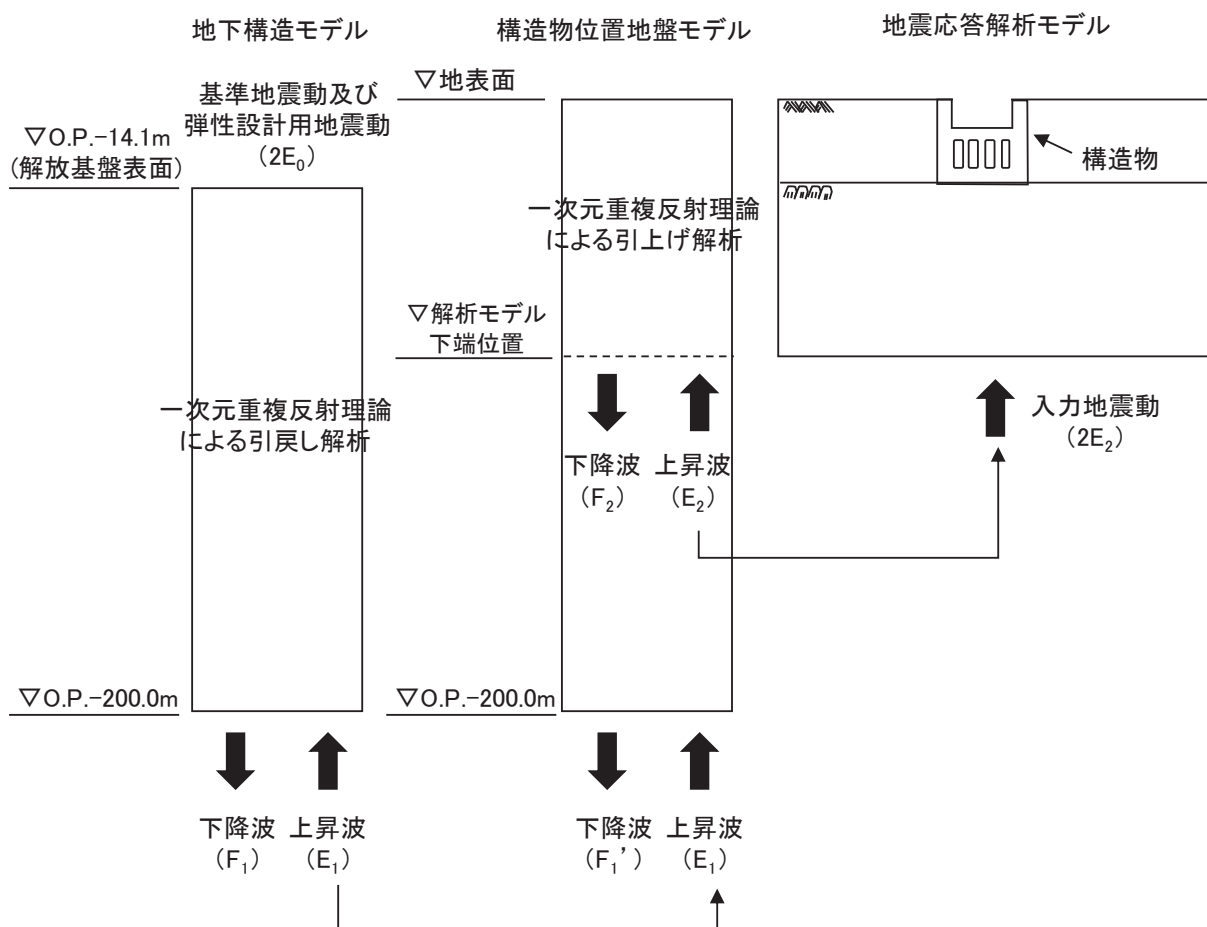
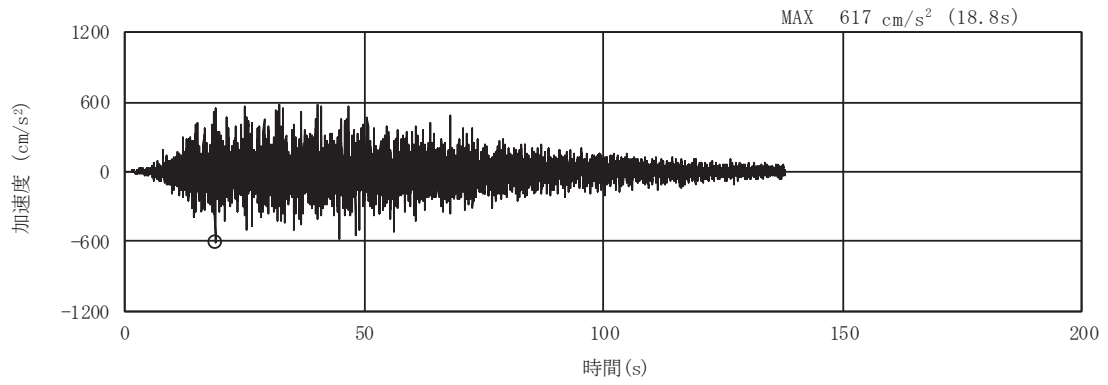
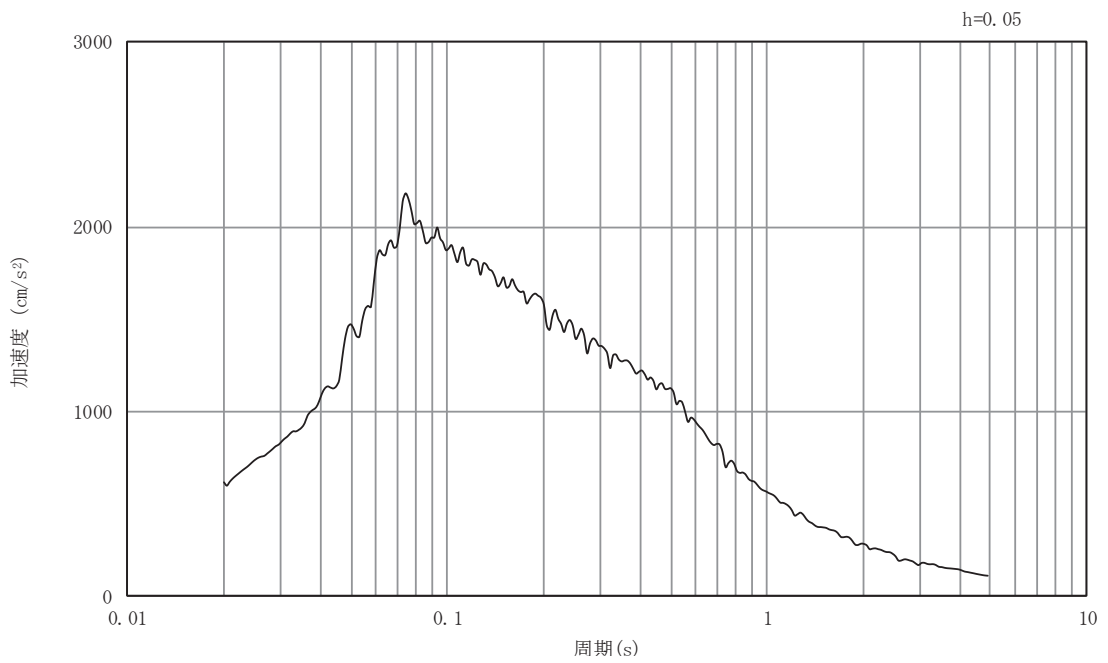


図5-1 入力地震動算定の概念図（基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d ）

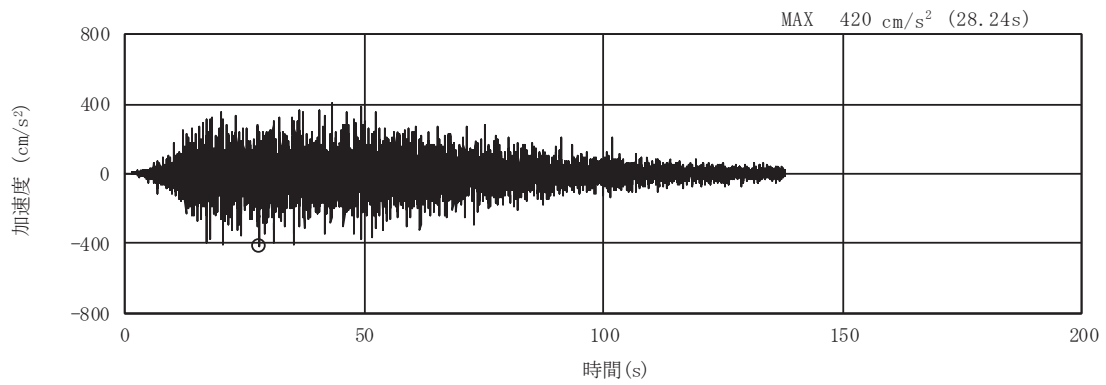


(a) 加速度時刻歴波形

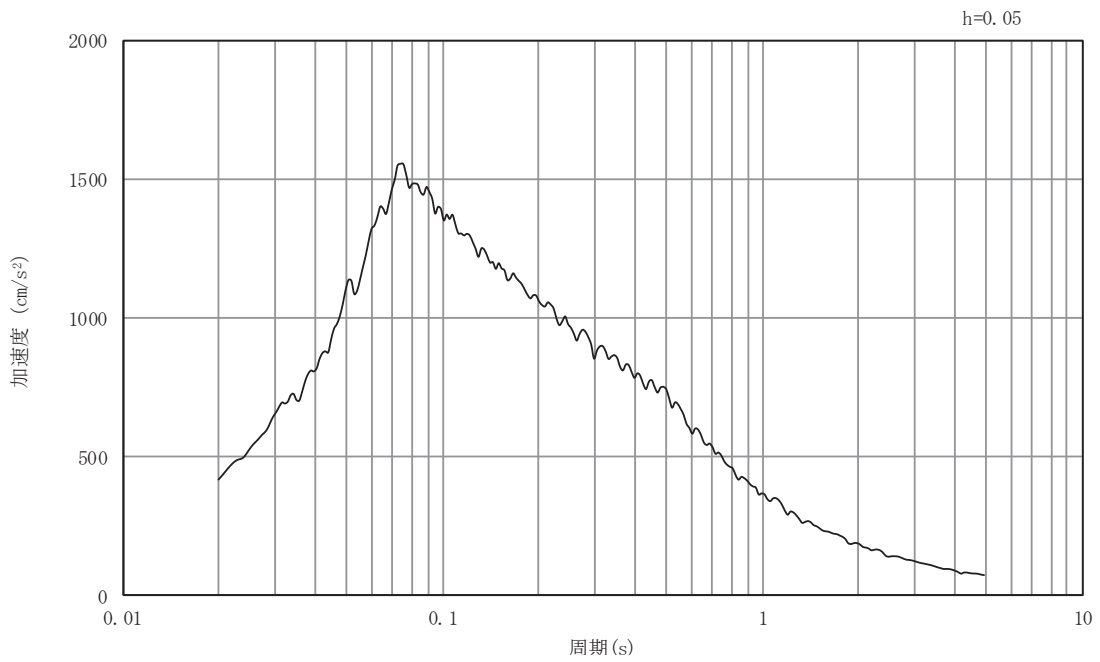


(b) 加速度応答スペクトル

図5-2 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
(東西方向, 水平成分: S s - D 1)

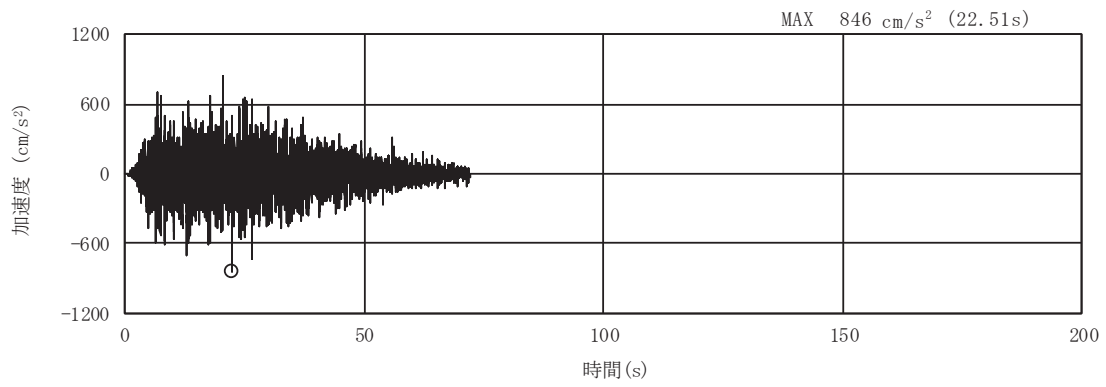


(a) 加速度時刻歴波形

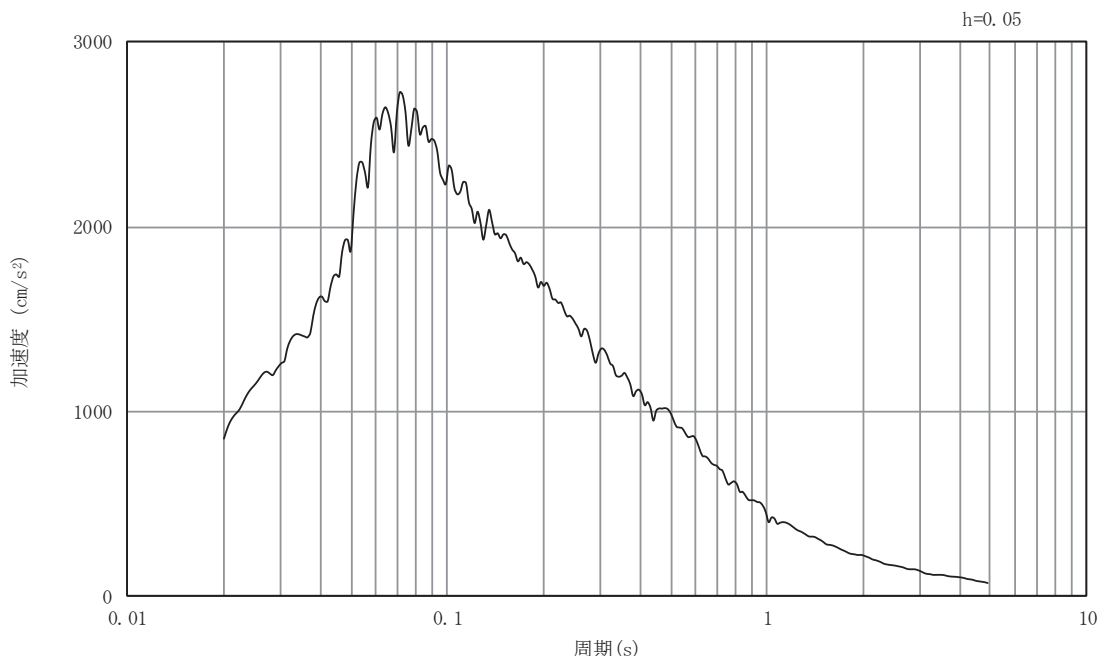


(b) 加速度応答スペクトル

図5-3 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 1)

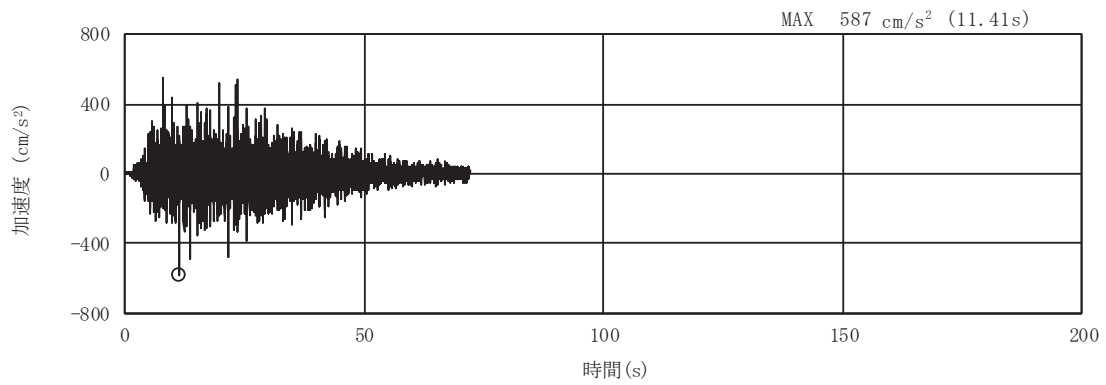


(a) 加速度時刻歴波形

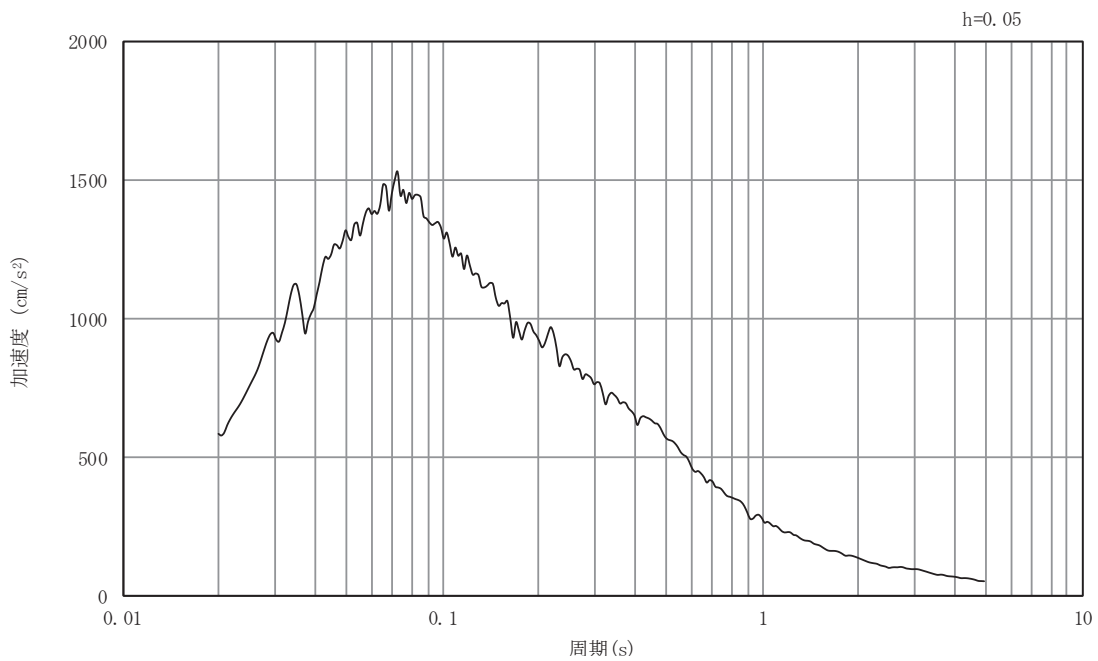


(b) 加速度応答スペクトル

図5-4 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
(東西方向, 水平成分: S s - D 2)

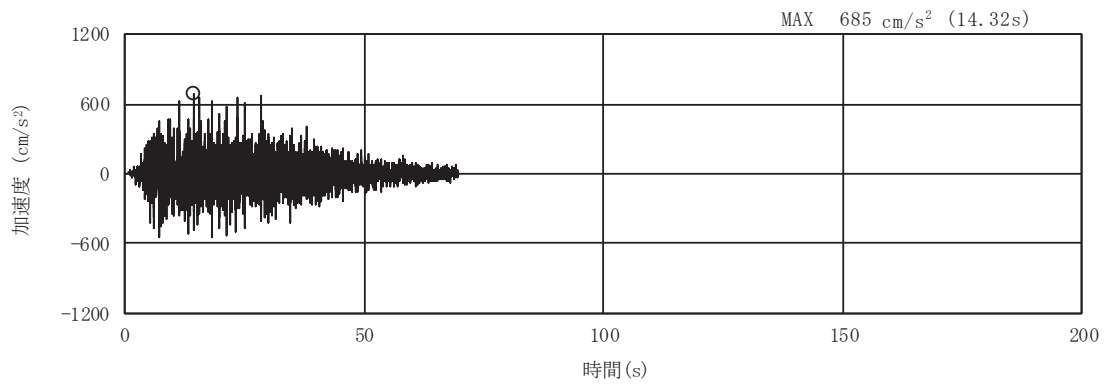


(a) 加速度時刻歴波形

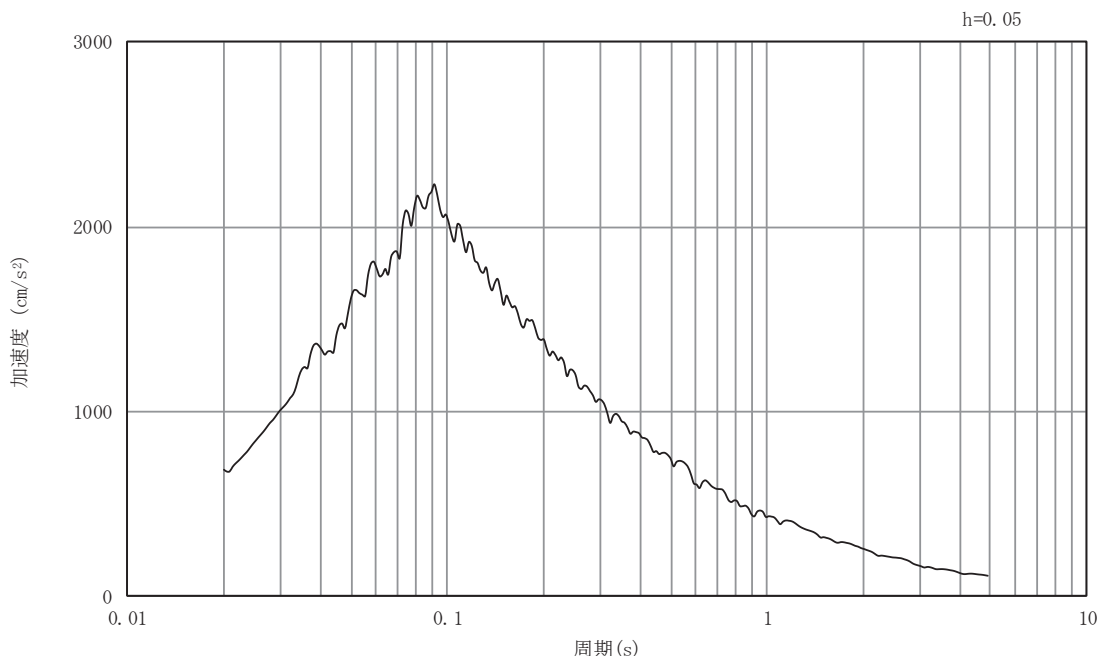


(b) 加速度応答スペクトル

図5-5 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 2)

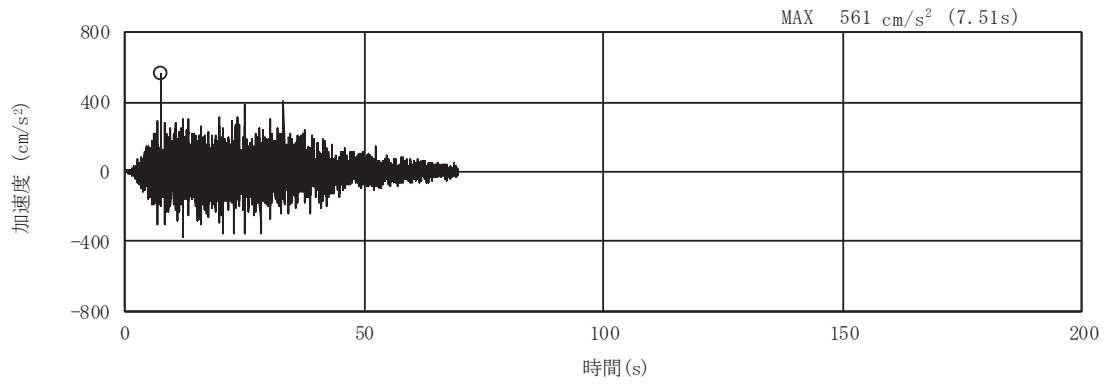


(a) 加速度時刻歴波形

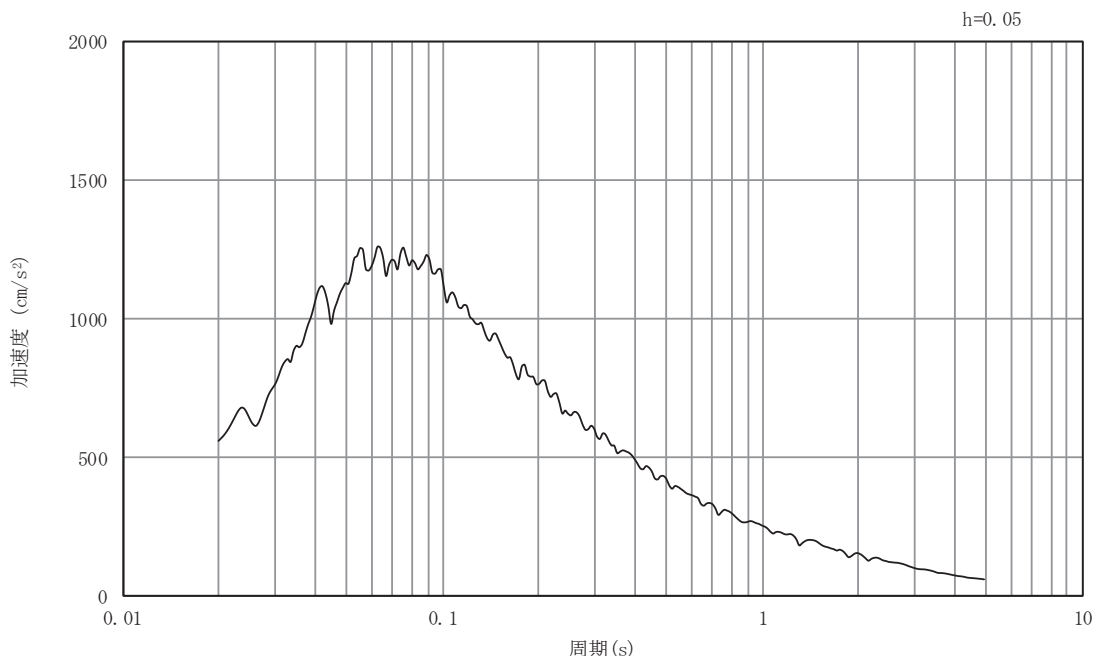


(b) 加速度応答スペクトル

図5-6 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
(東西方向, 水平成分: S s - D 3)

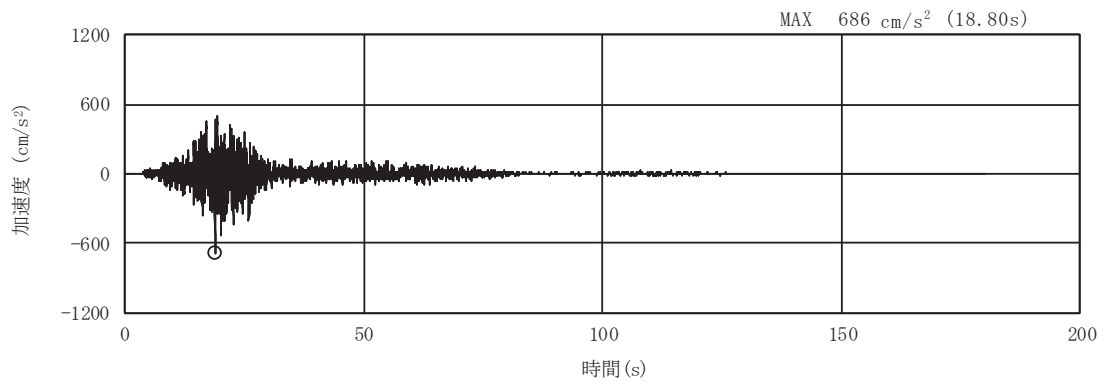


(a) 加速度時刻歴波形

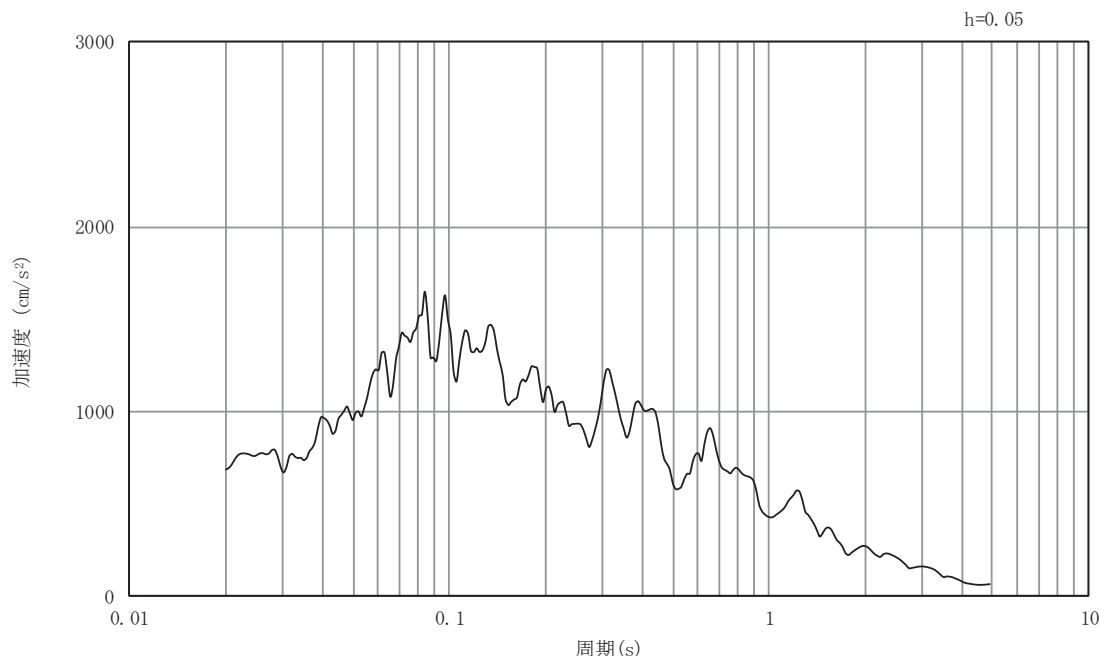


(b) 加速度応答スペクトル

図5-7 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - D 3)

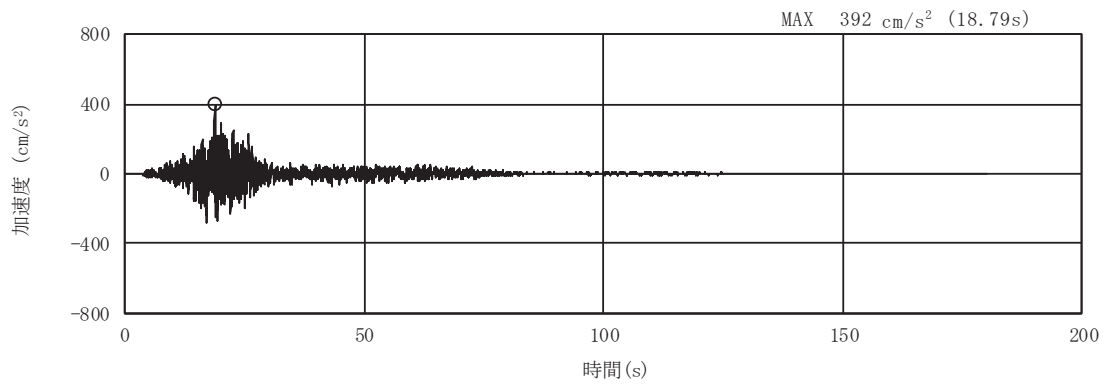


(a) 加速度時刻歴波形

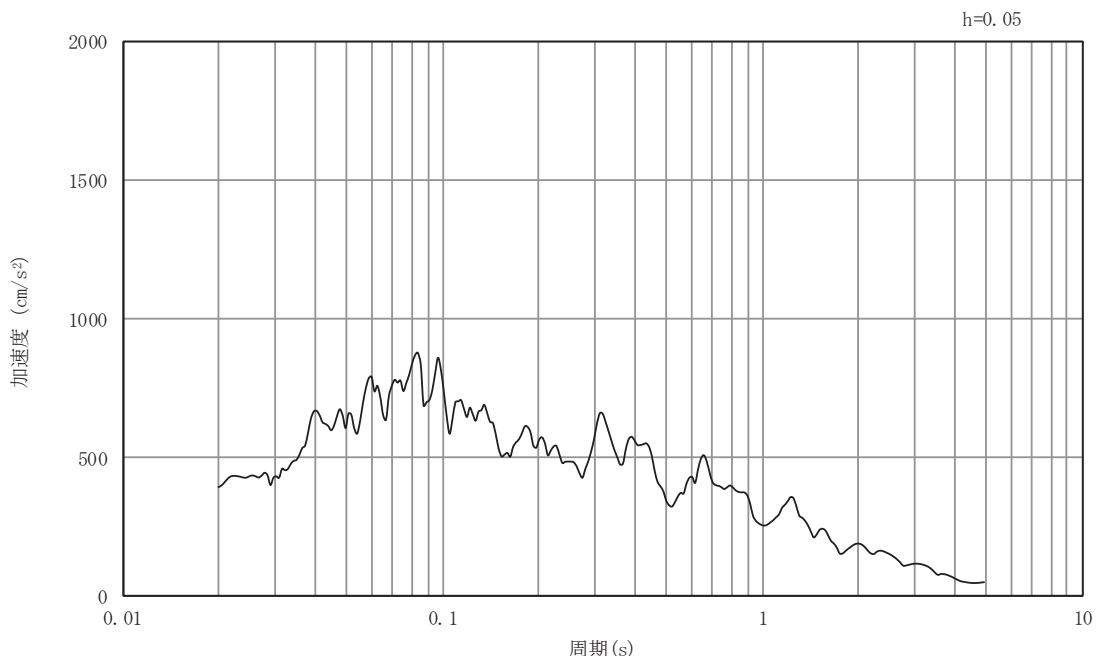


(b) 加速度応答スペクトル

図5-8 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
(東西方向, 水平成分: S s - F 1)

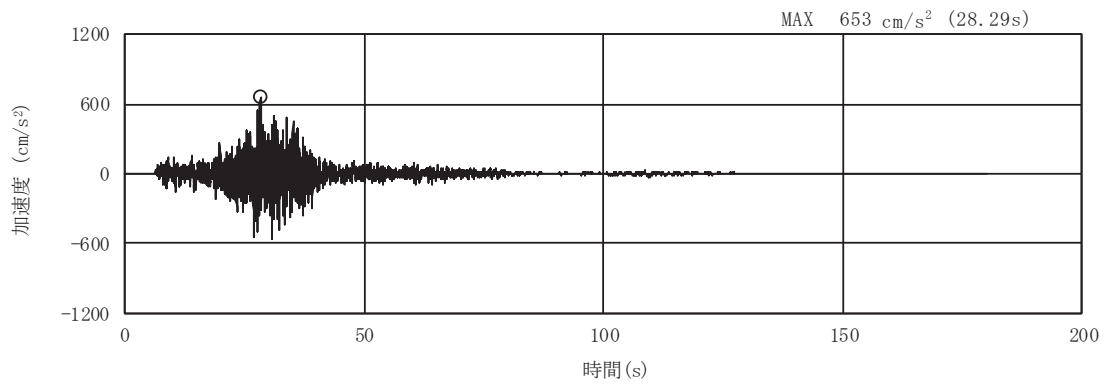


(a) 加速度時刻歴波形

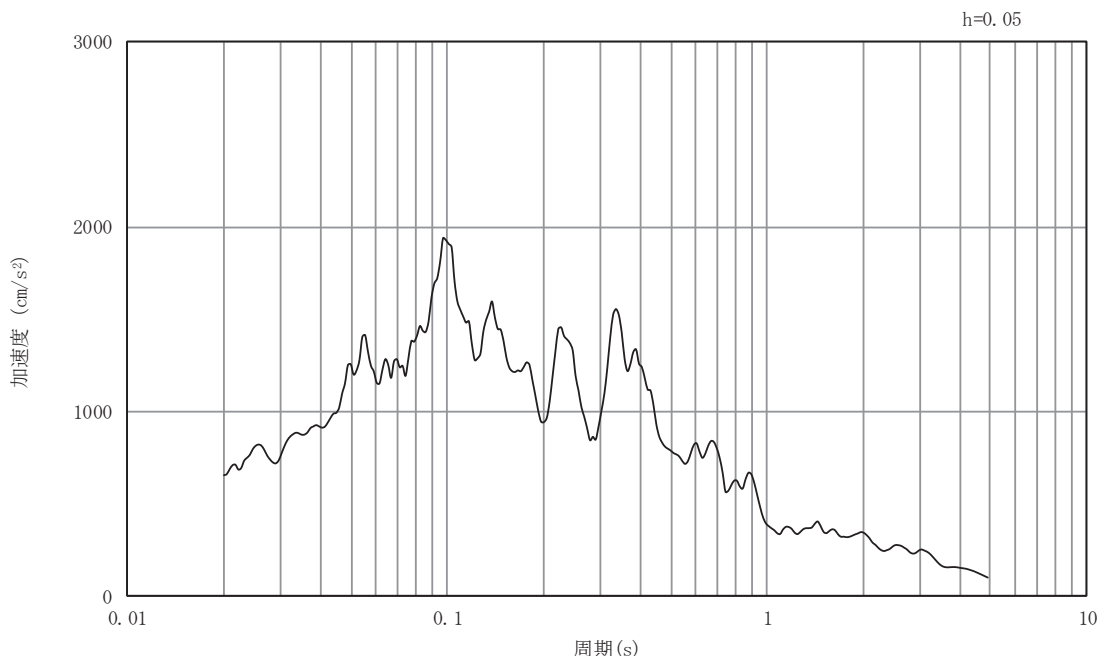


(b) 加速度応答スペクトル

図5-9 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 1)

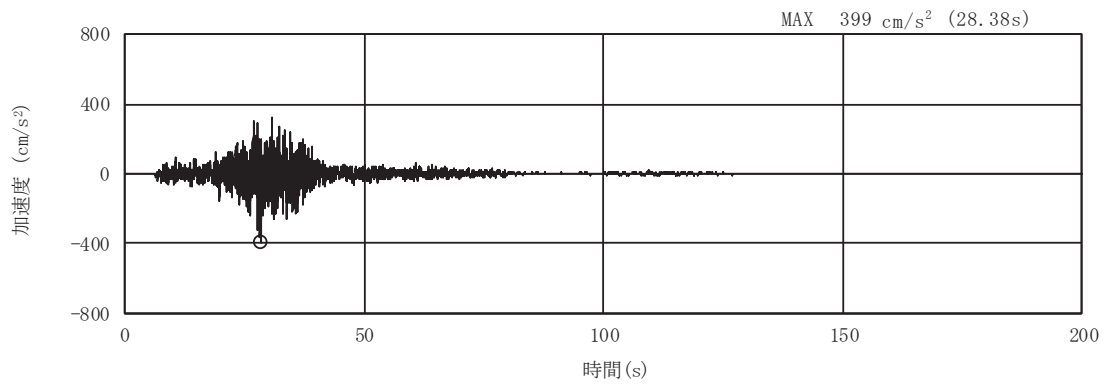


(a) 加速度時刻歴波形

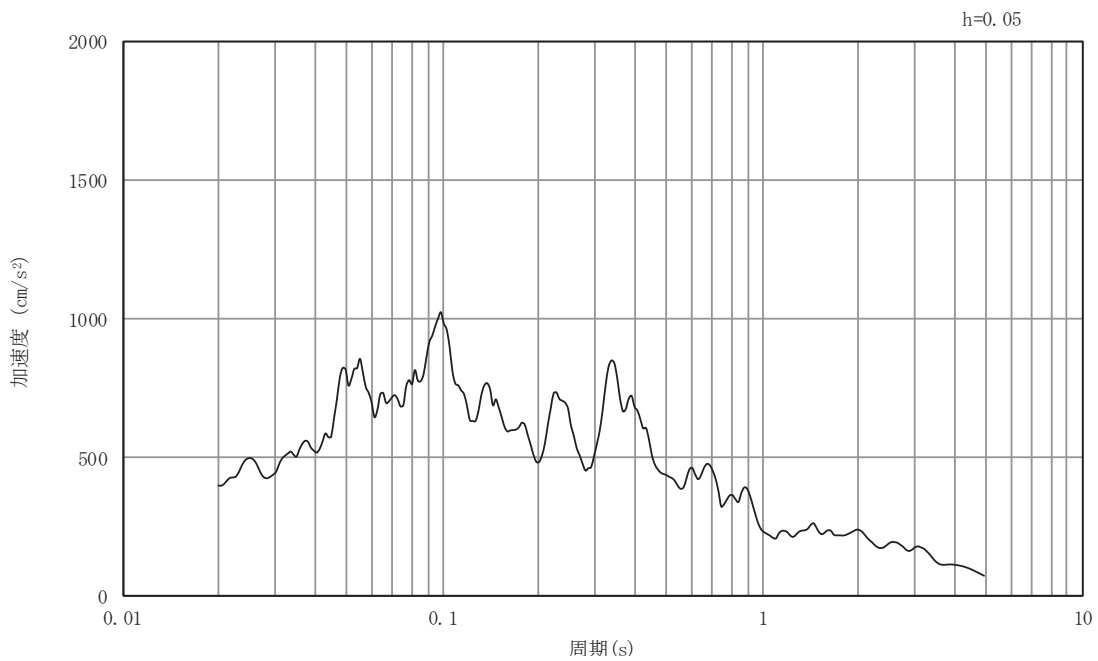


(b) 加速度応答スペクトル

図5-10 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
(東西方向, 水平成分: S s - F 2)

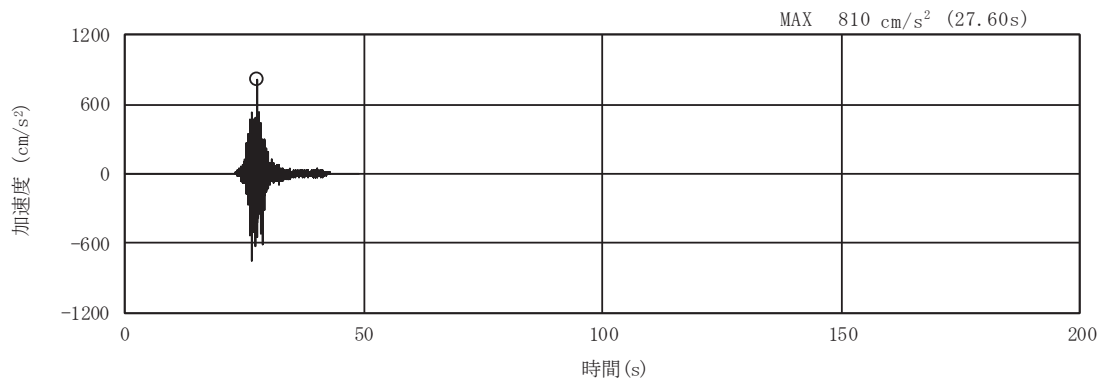


(a) 加速度時刻歴波形

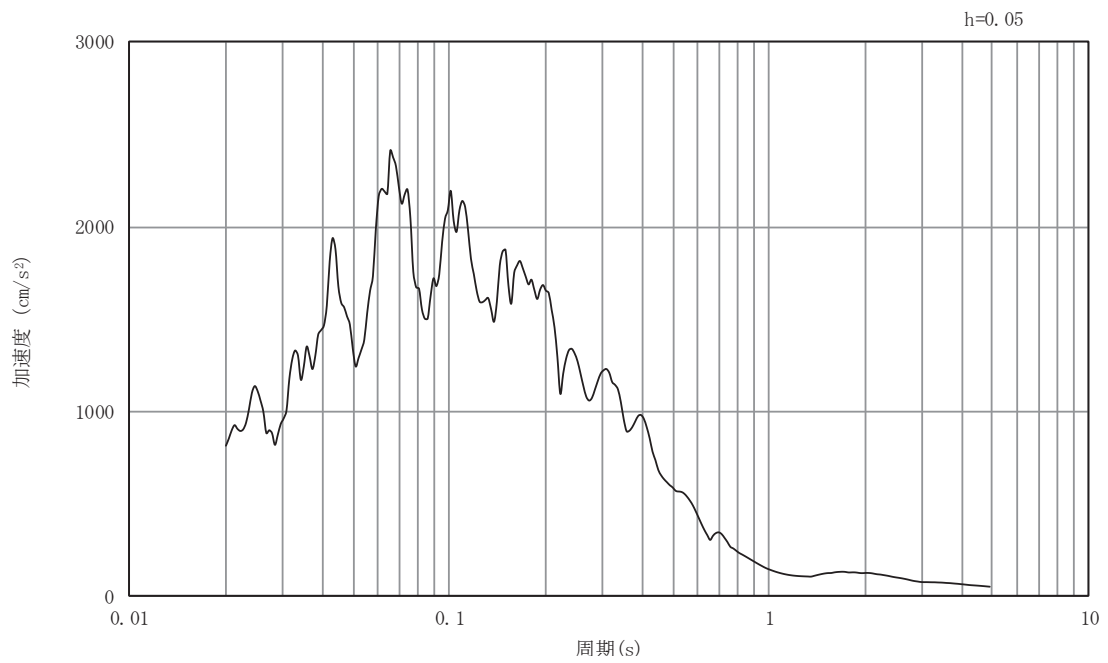


(b) 加速度応答スペクトル

図5-11 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 2)

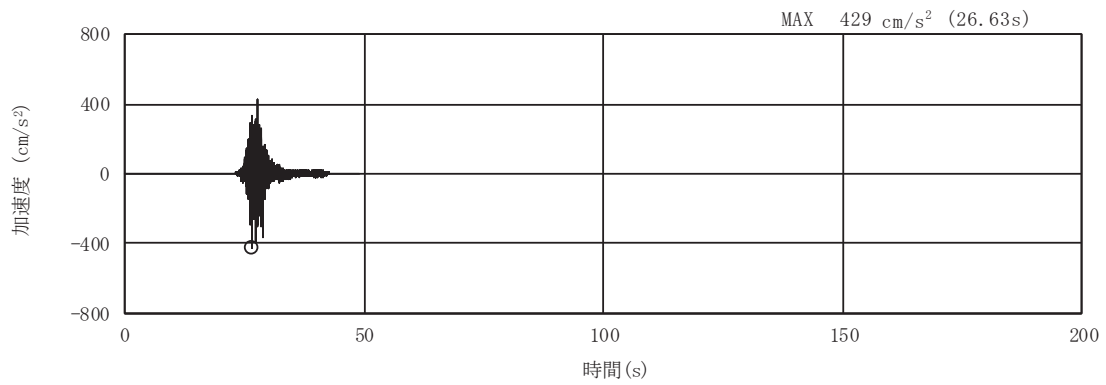


(a) 加速度時刻歴波形

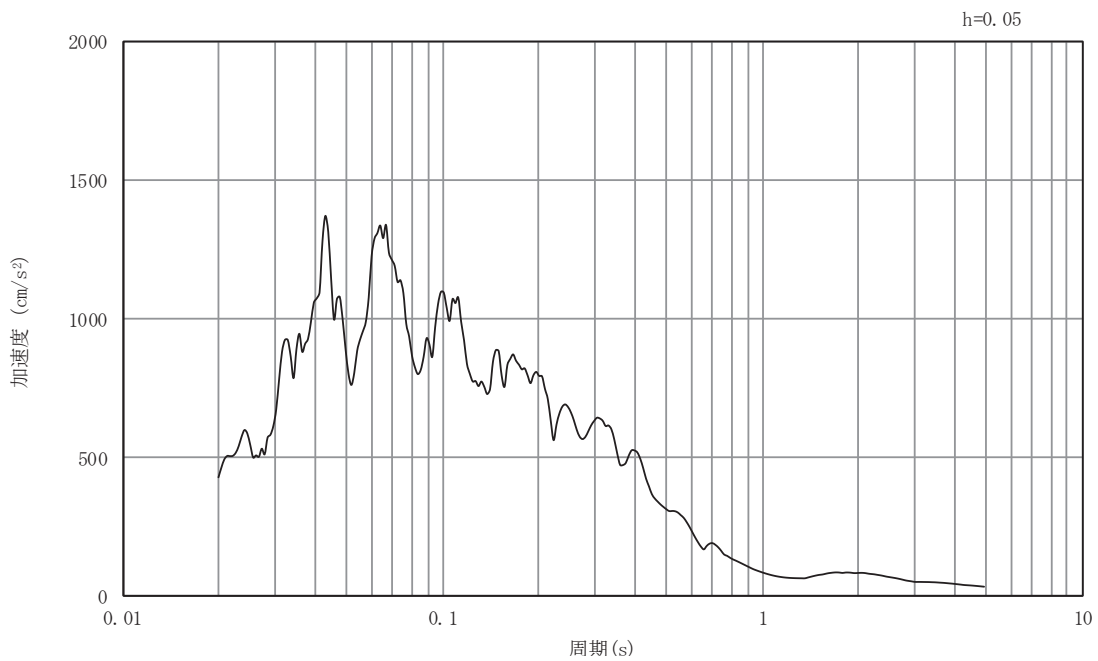


(b) 加速度応答スペクトル

図5-12 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
(東西方向, 水平成分: S s - F 3)

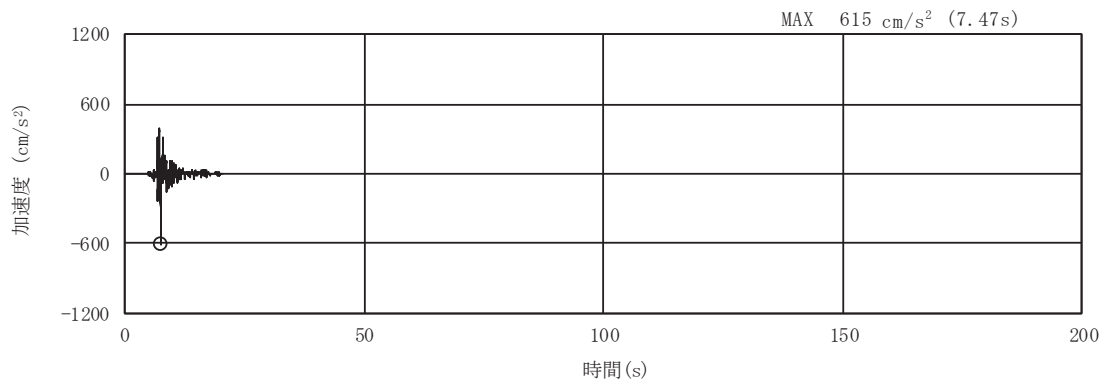


(a) 加速度時刻歴波形

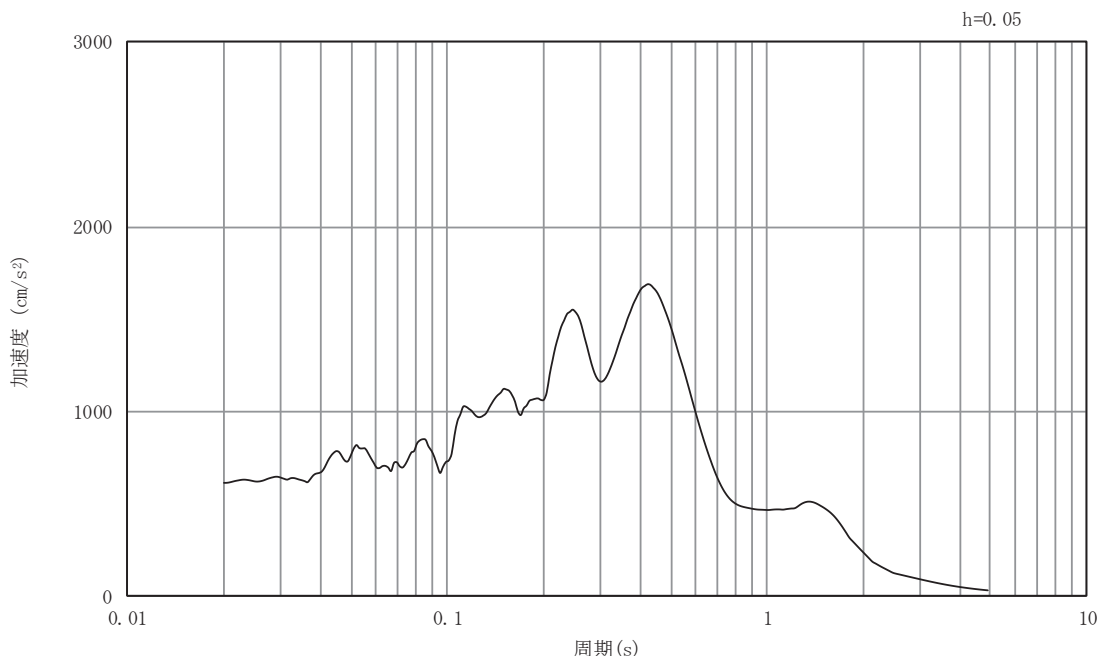


(b) 加速度応答スペクトル

図5-13 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - F 3)

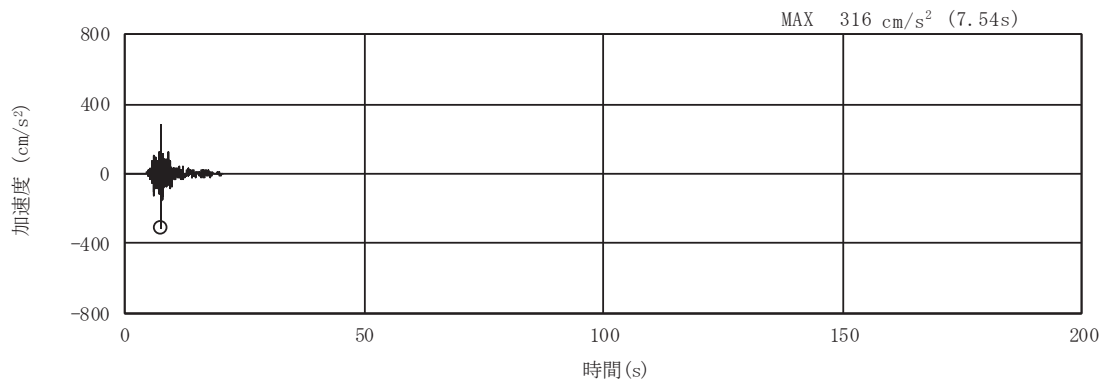


(a) 加速度時刻歴波形

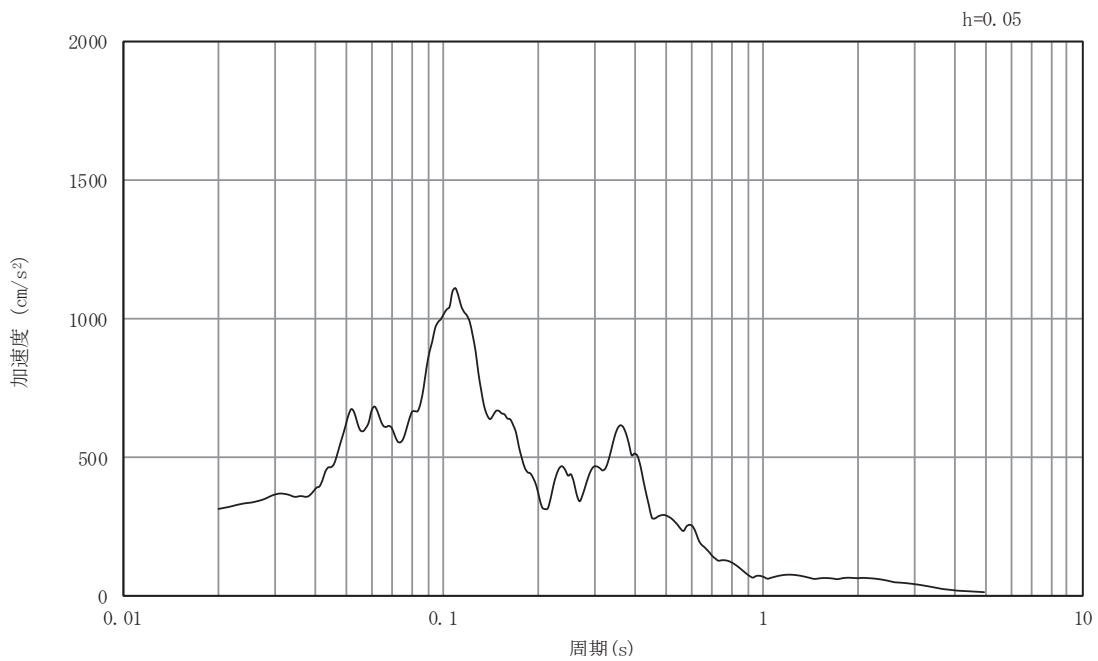


(b) 加速度応答スペクトル

図5-14 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
(東西方向, 水平成分: S s - N 1)

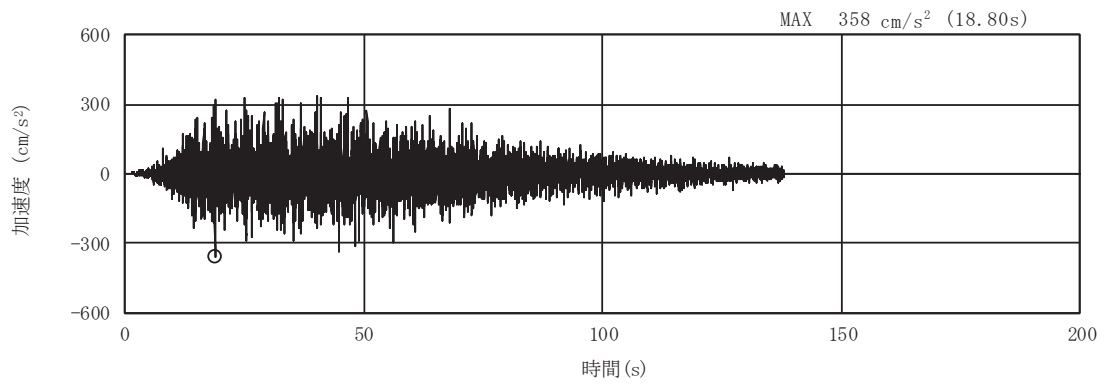


(a) 加速度時刻歴波形

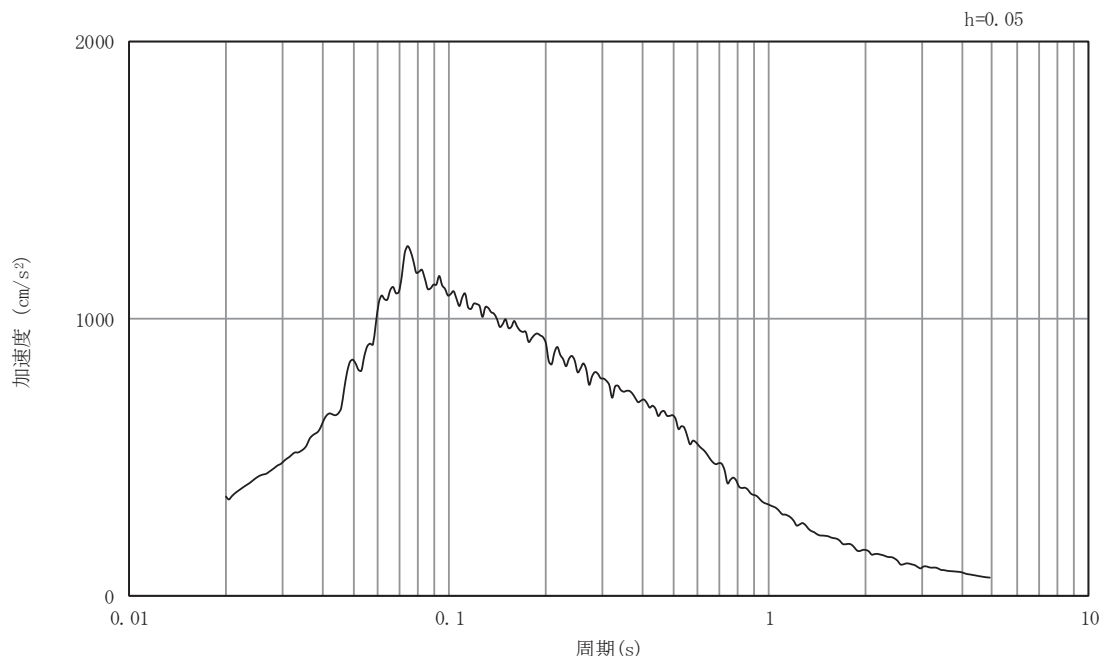


(b) 加速度応答スペクトル

図5-15 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
(東西方向, 鉛直成分: S s - N 1)

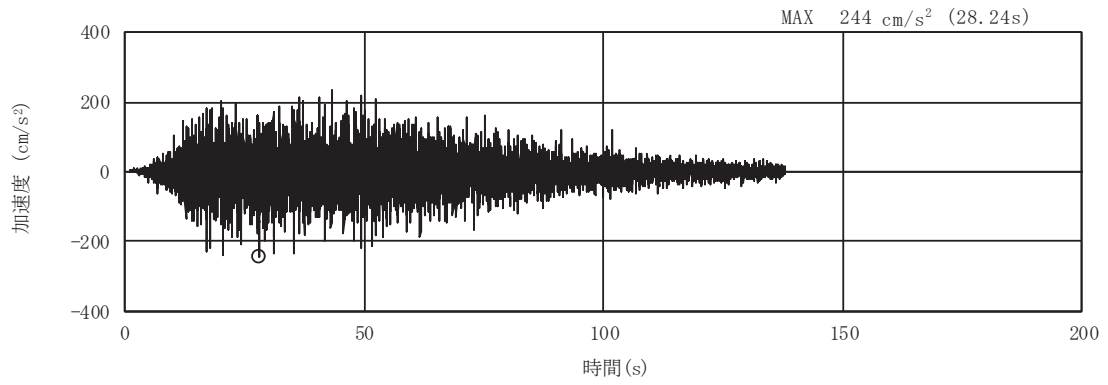


(a) 加速度時刻歴波形

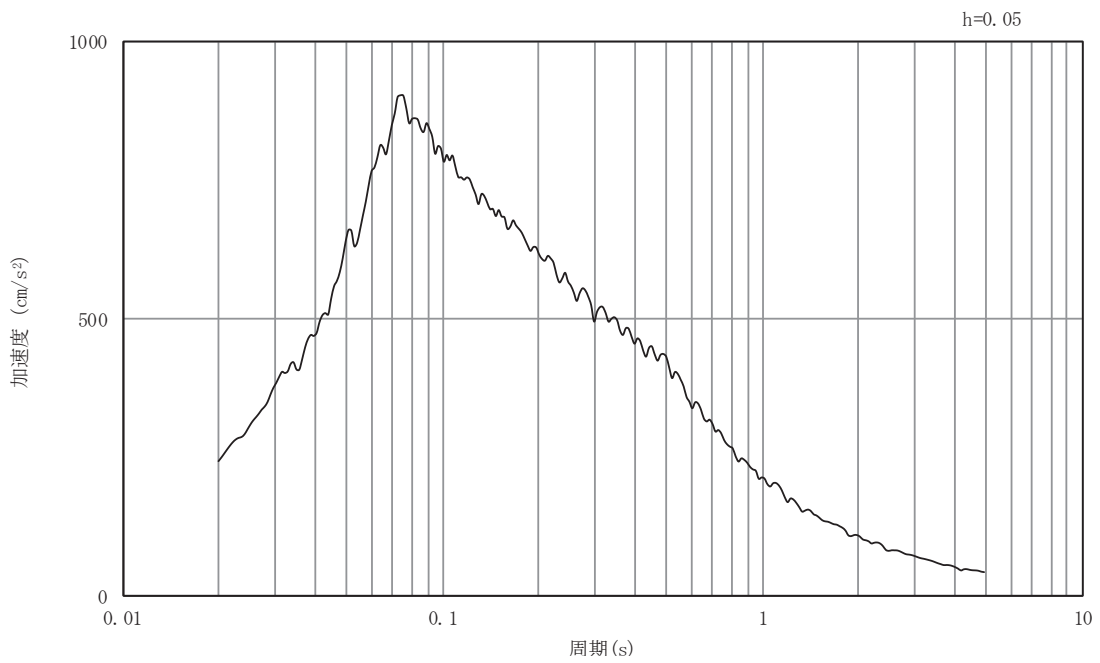


(b) 加速度応答スペクトル

図5-16 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
(東西方向, 水平成分: S d - D 1)

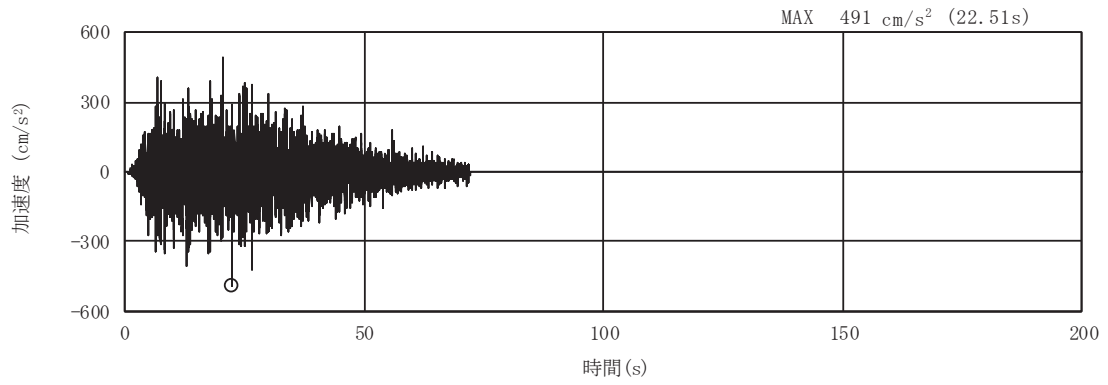


(a) 加速度時刻歴波形

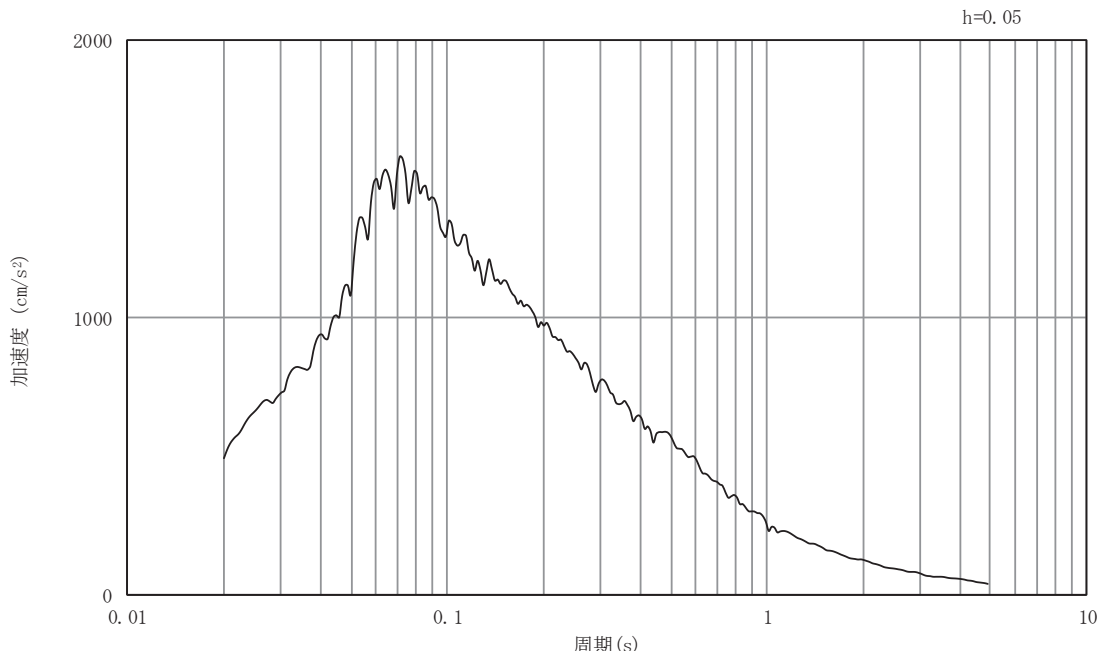


(b) 加速度応答スペクトル

図5-17 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 1)

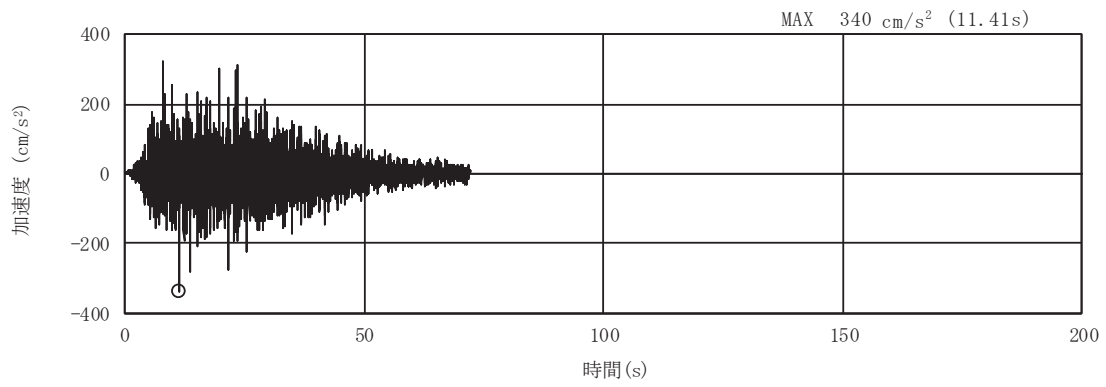


(a) 加速度時刻歴波形

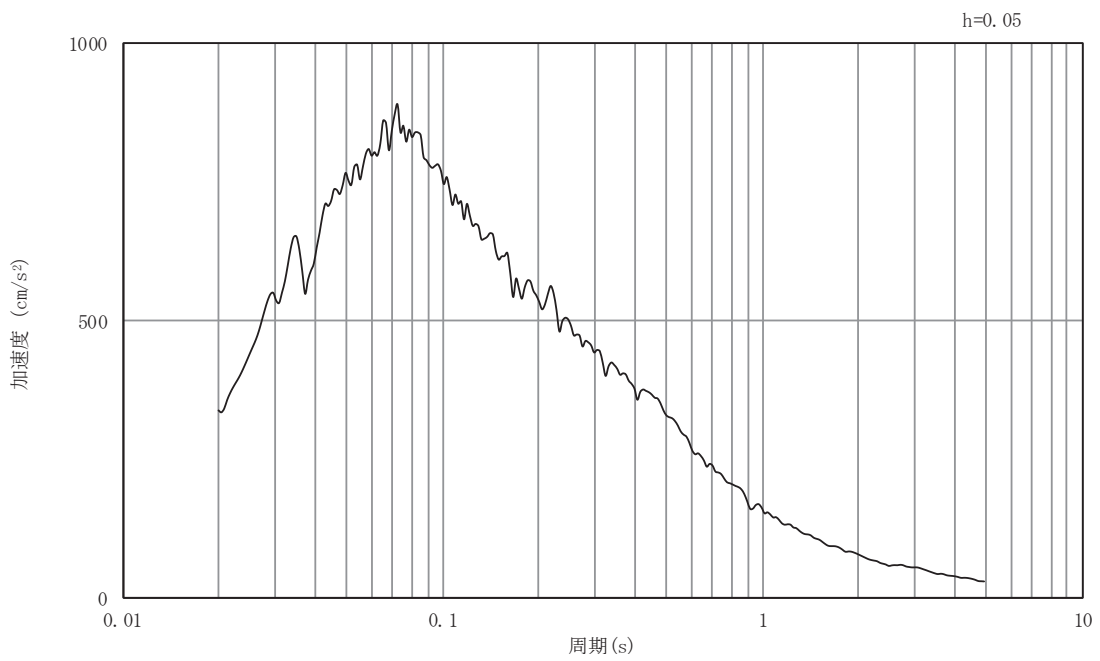


(b) 加速度応答スペクトル

図5-18 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
(東西方向, 水平成分: S d - D 2)

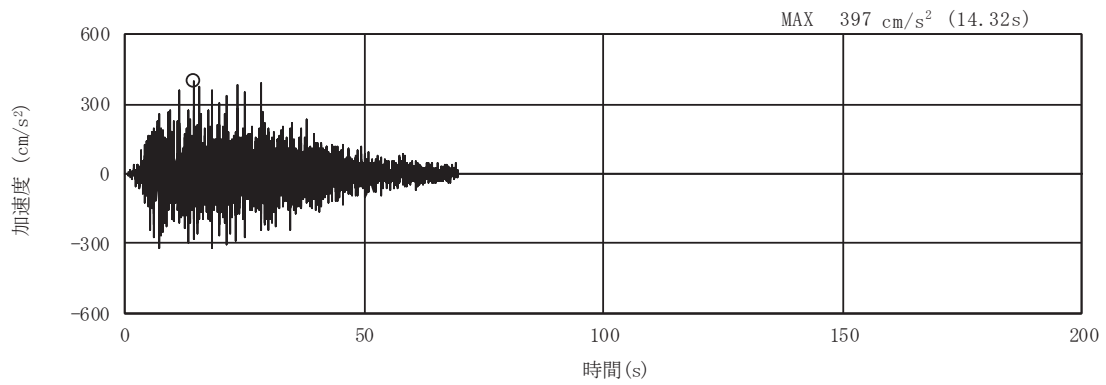


(a) 加速度時刻歴波形

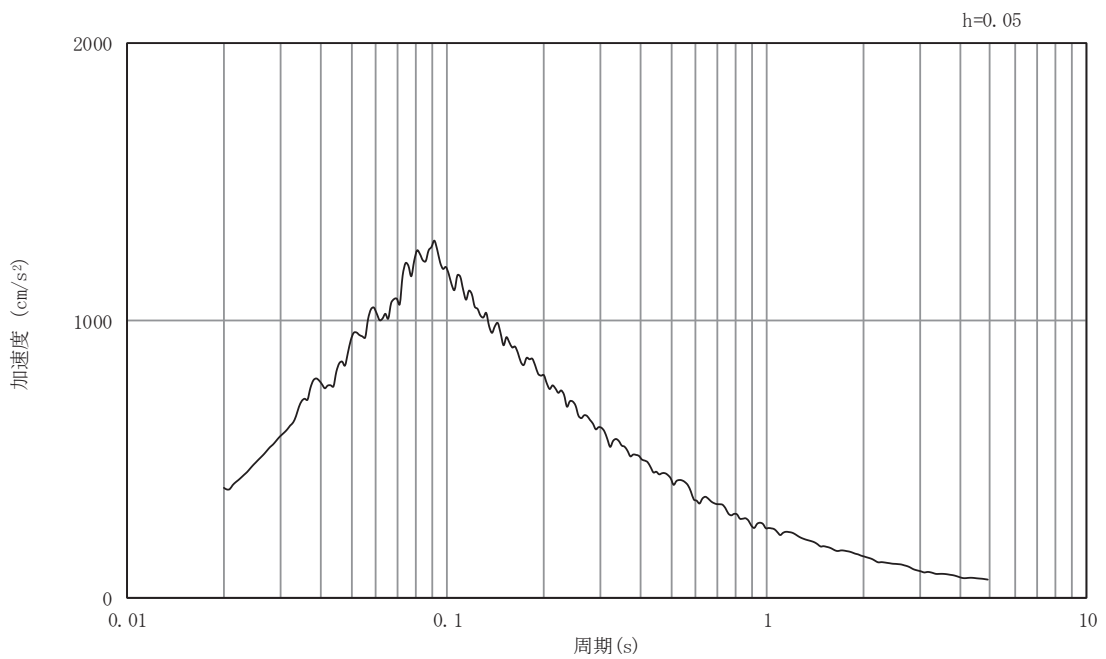


(b) 加速度応答スペクトル

図5-19 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 2)

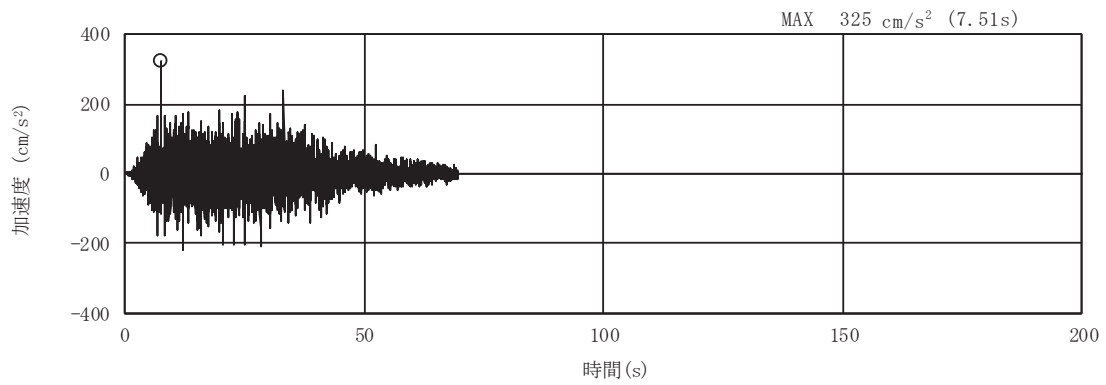


(a) 加速度時刻歴波形

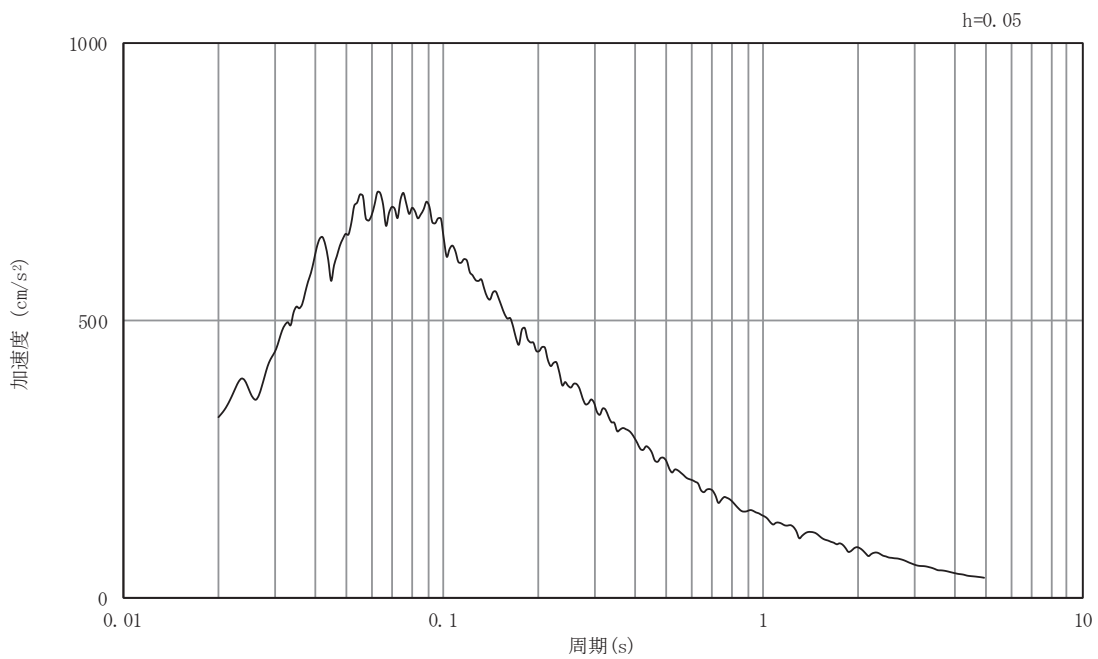


(b) 加速度応答スペクトル

図5-20 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
(東西方向, 水平成分: S d - D 3)

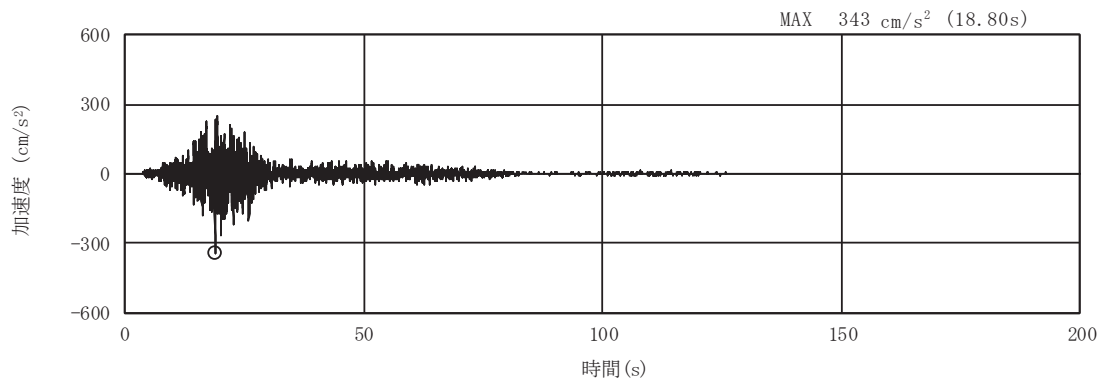


(a) 加速度時刻歴波形

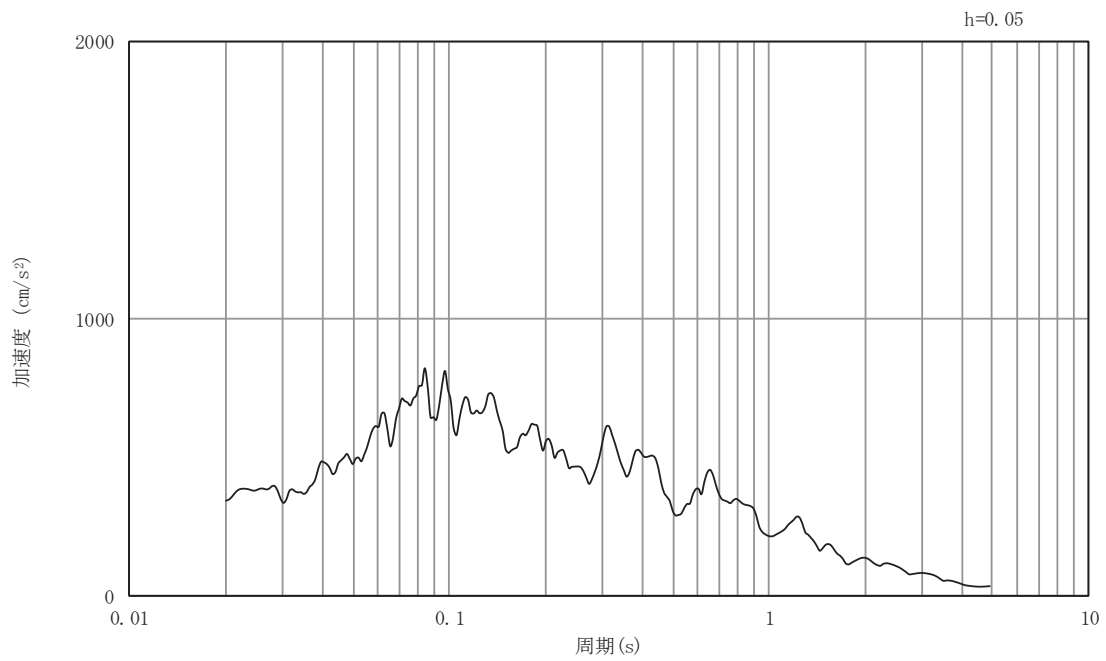


(b) 加速度応答スペクトル

図5-21 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - D 3)

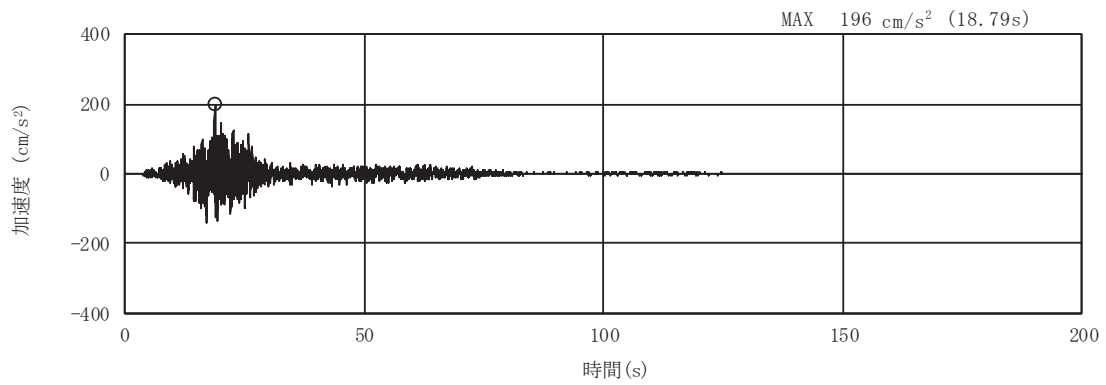


(a) 加速度時刻歴波形

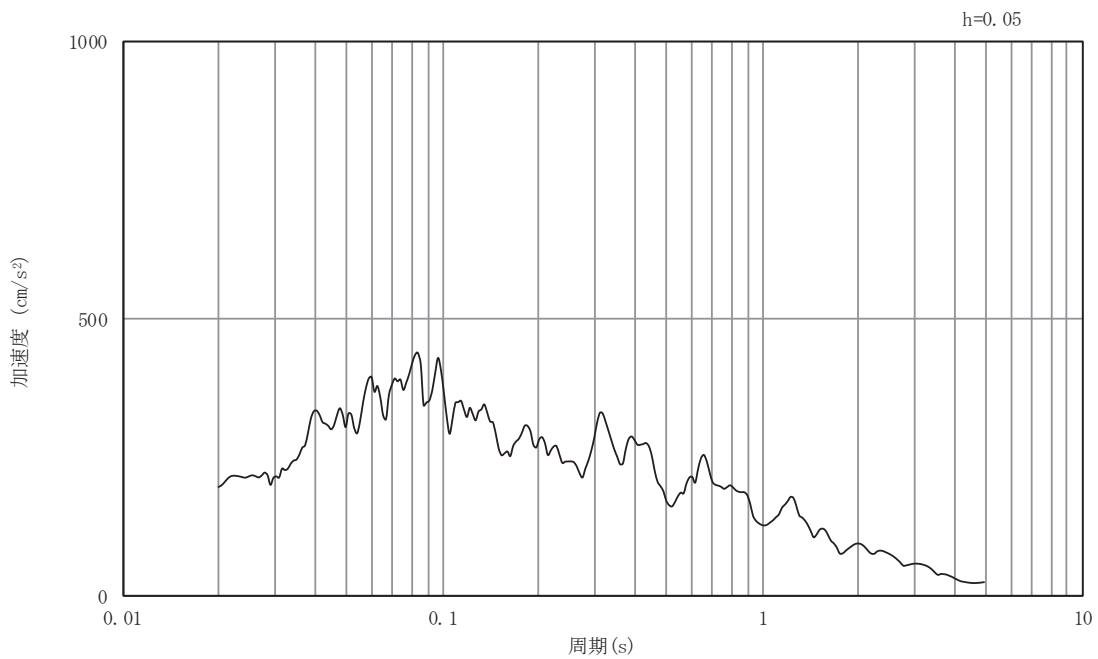


(b) 加速度応答スペクトル

図5-22 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
(東西方向, 水平成分: S d - F 1)

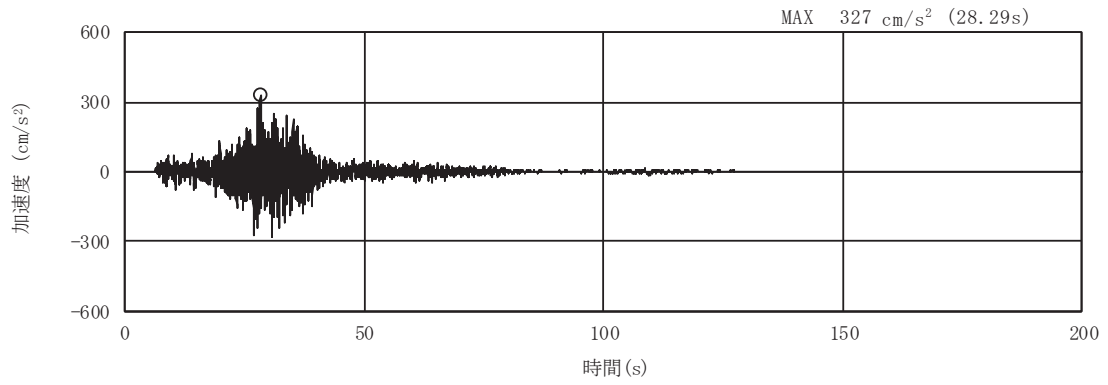


(a) 加速度時刻歴波形

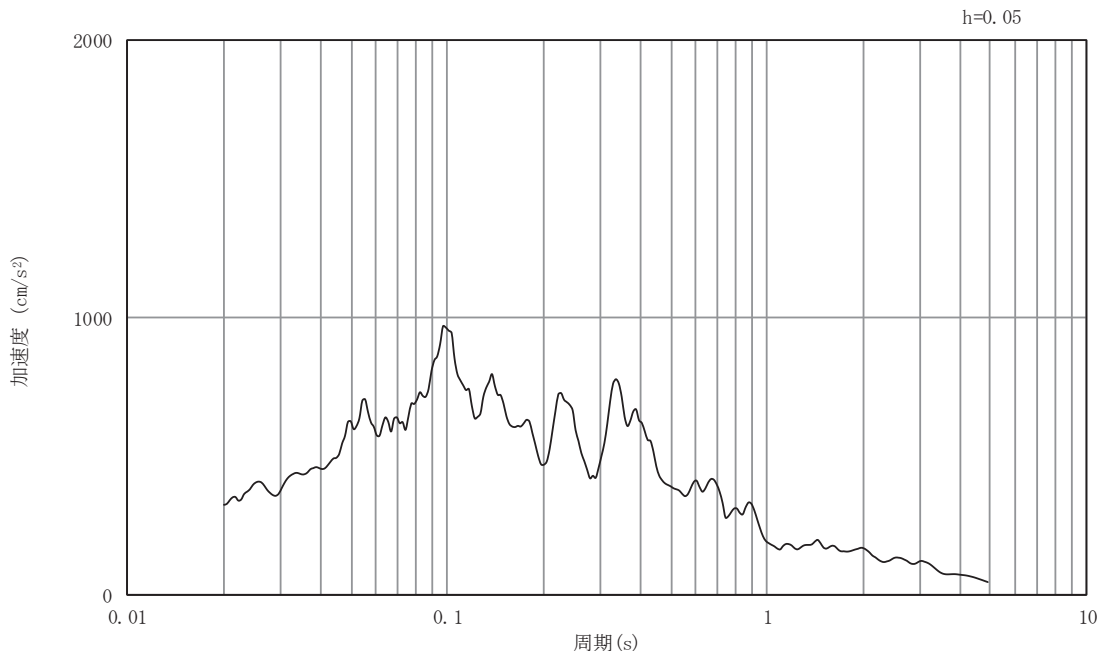


(b) 加速度応答スペクトル

図5-23 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 1)

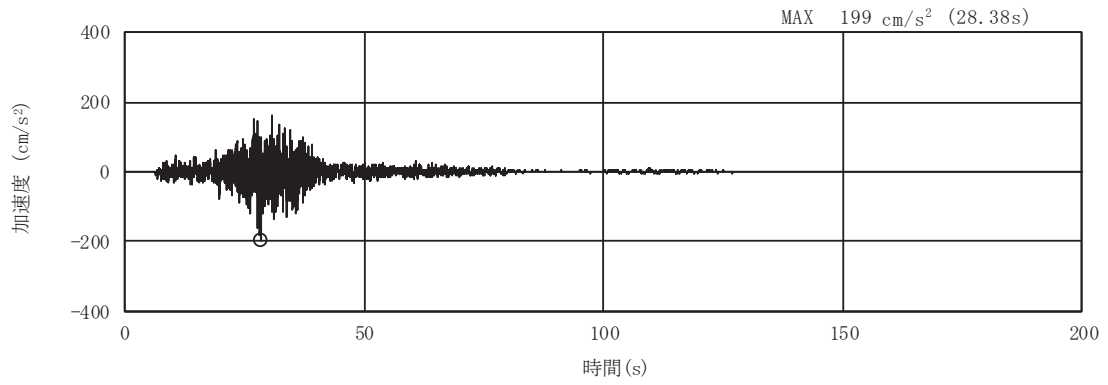


(a) 加速度時刻歴波形

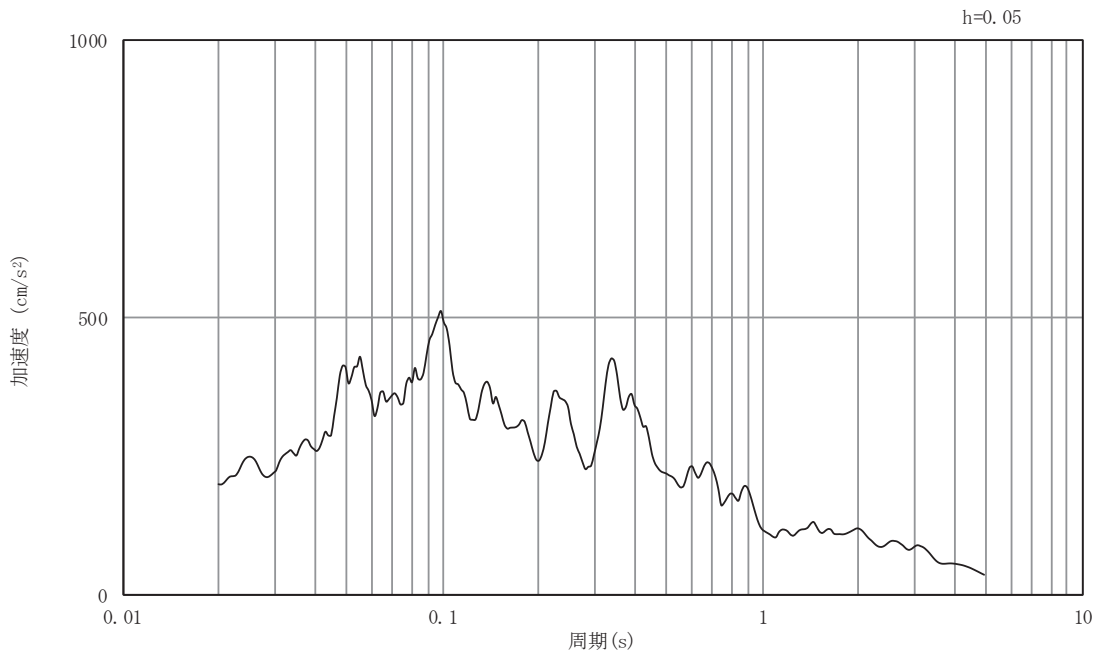


(b) 加速度応答スペクトル

図5-24 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
(東西方向, 水平成分: S d - F 2)

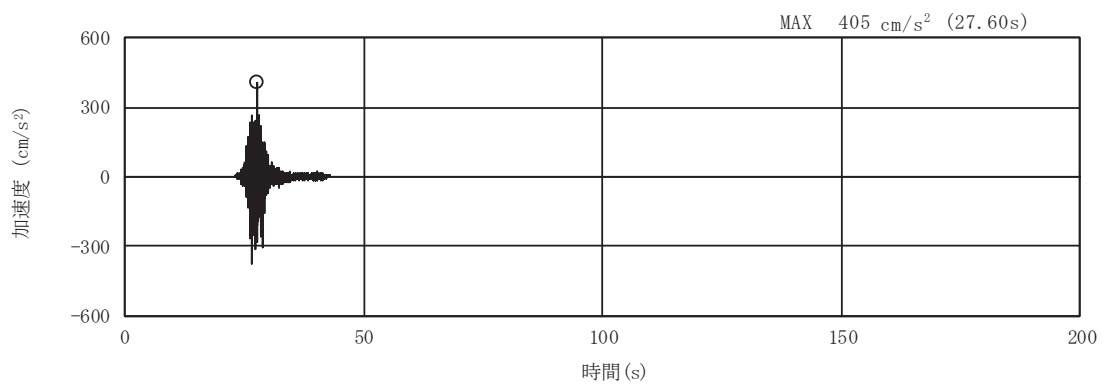


(a) 加速度時刻歴波形

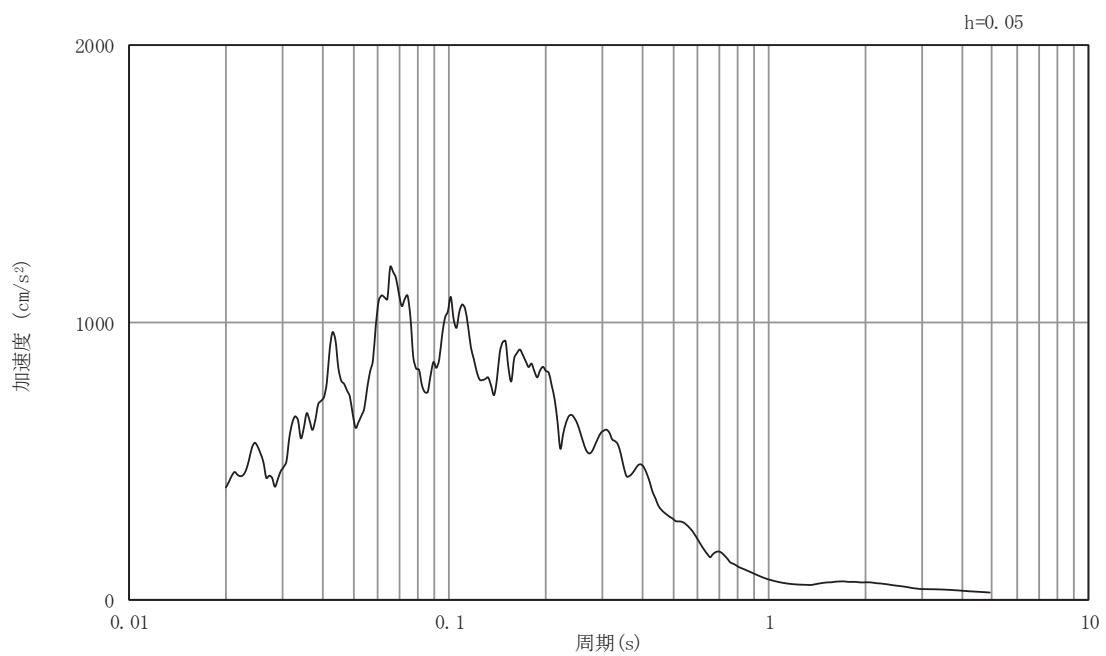


(b) 加速度応答スペクトル

図5-25 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 2)

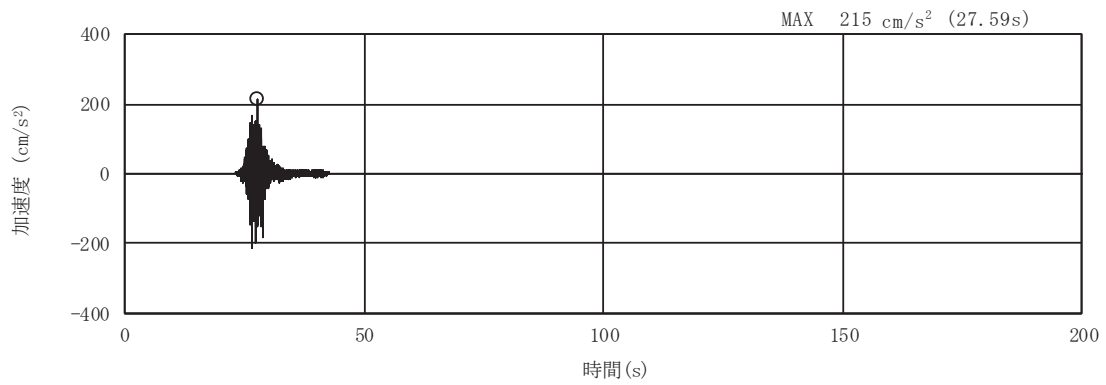


(a) 加速度時刻歴波形

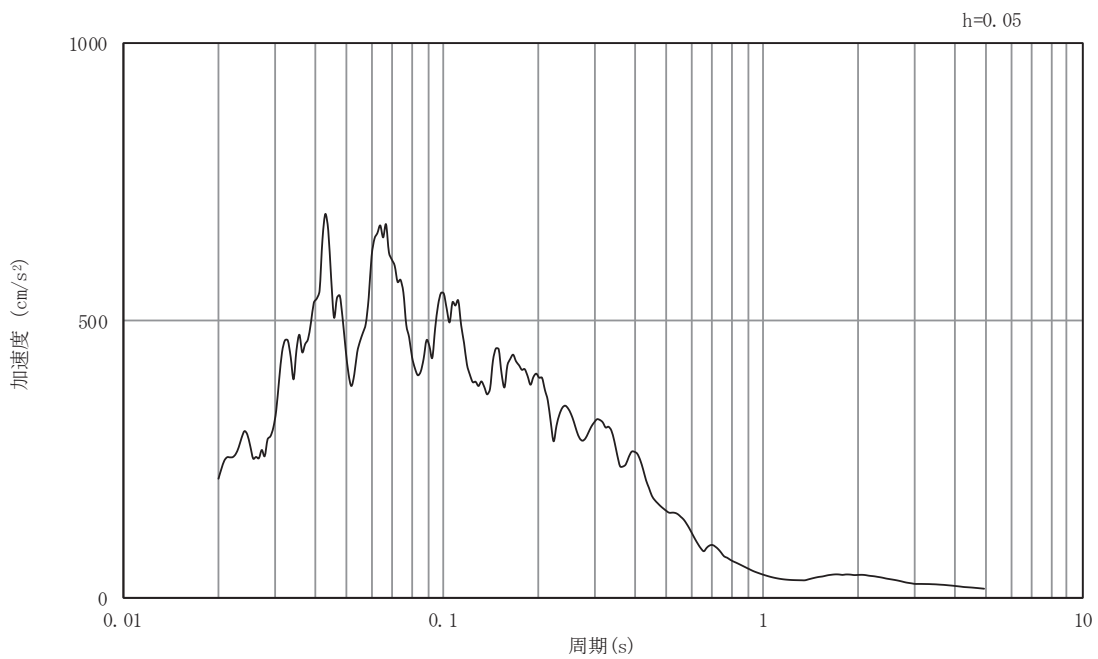


(b) 加速度応答スペクトル

図5-26 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
(東西方向, 水平成分: S d - F 3)

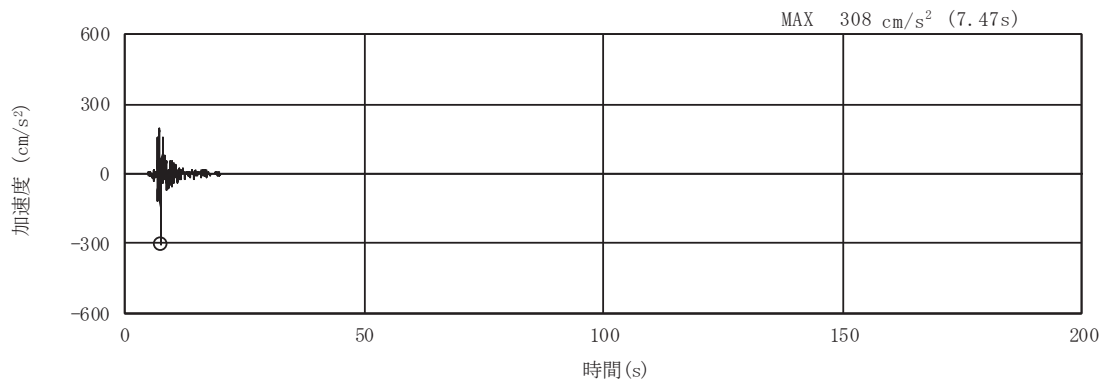


(a) 加速度時刻歴波形

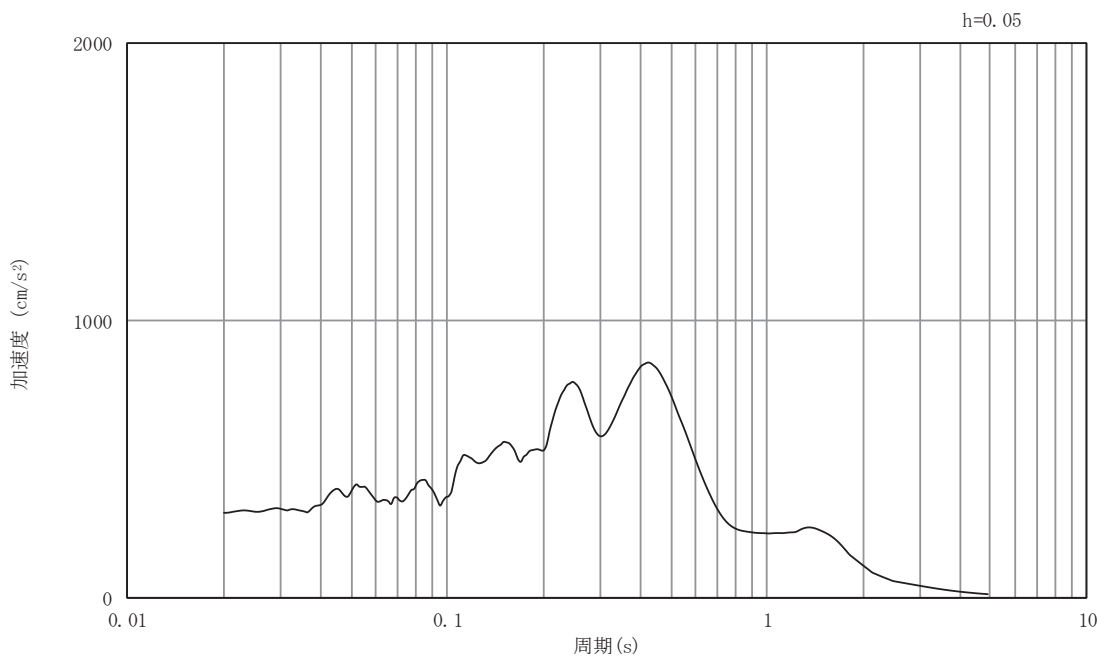


(b) 加速度応答スペクトル

図5-27 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - F 3)

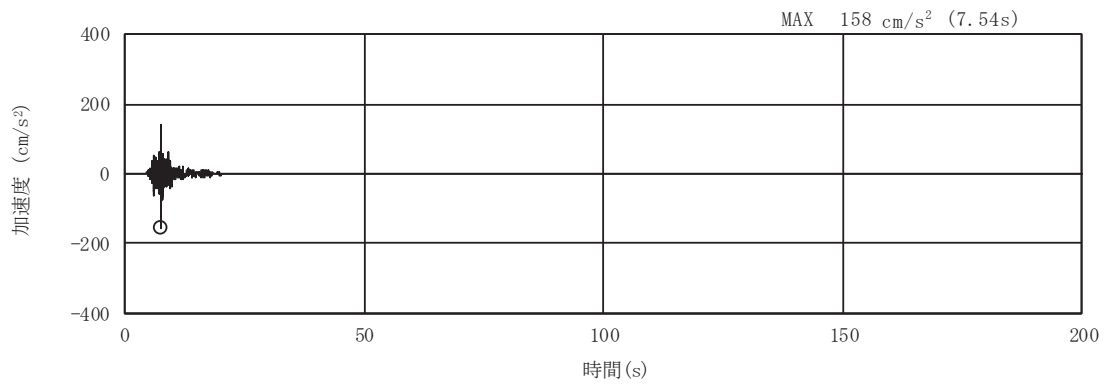


(a) 加速度時刻歴波形

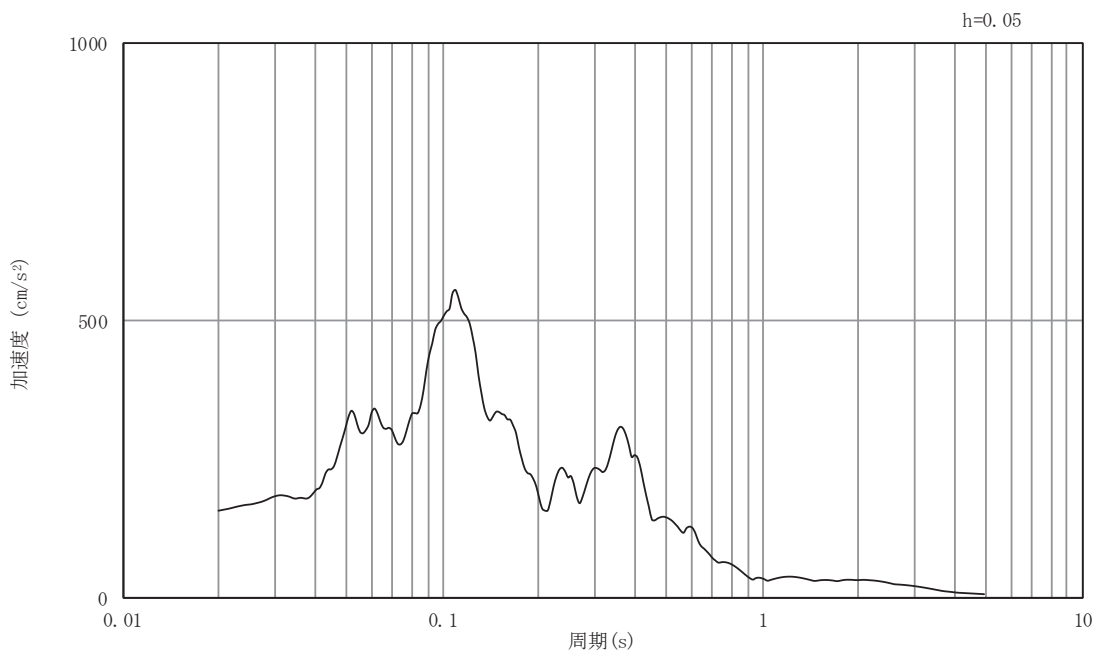


(b) 加速度応答スペクトル

図5-28 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
(東西方向, 水平成分: S d - N 1)

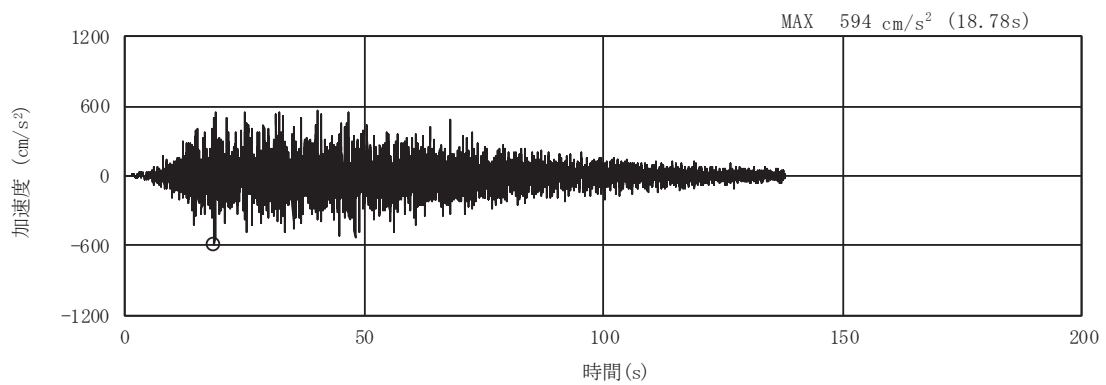


(a) 加速度時刻歴波形

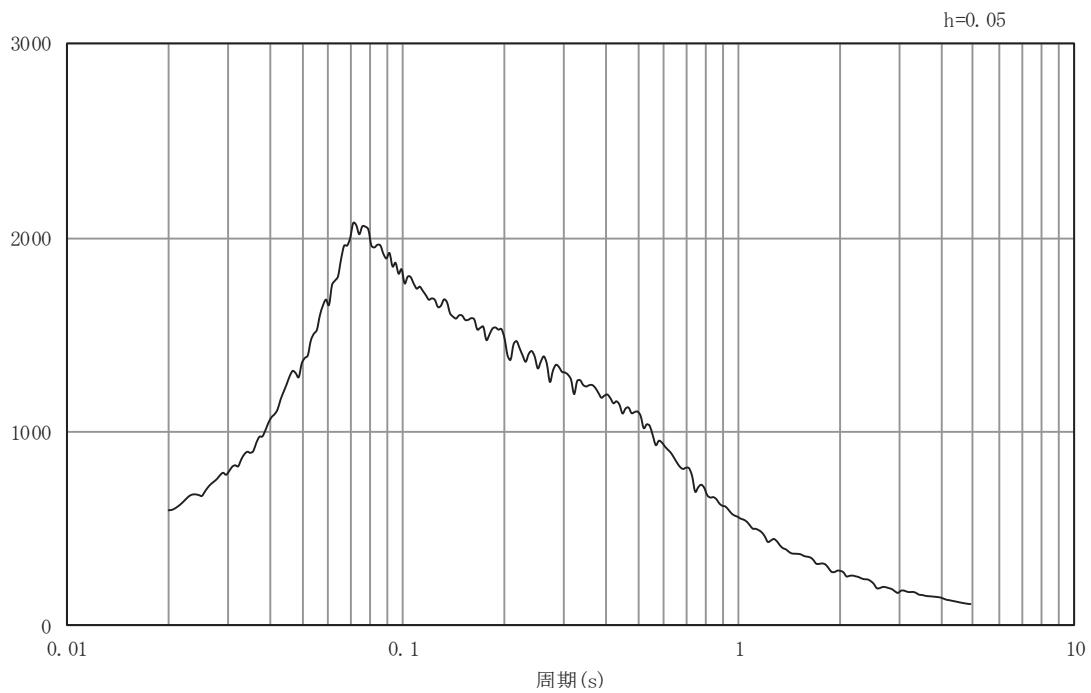


(b) 加速度応答スペクトル

図5-29 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
(東西方向, 鉛直成分: S d - N 1)

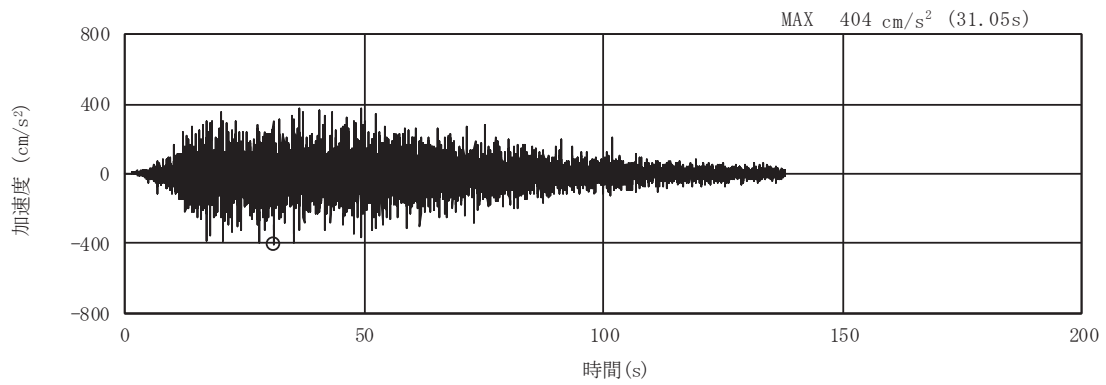


(a) 加速度時刻歴波形

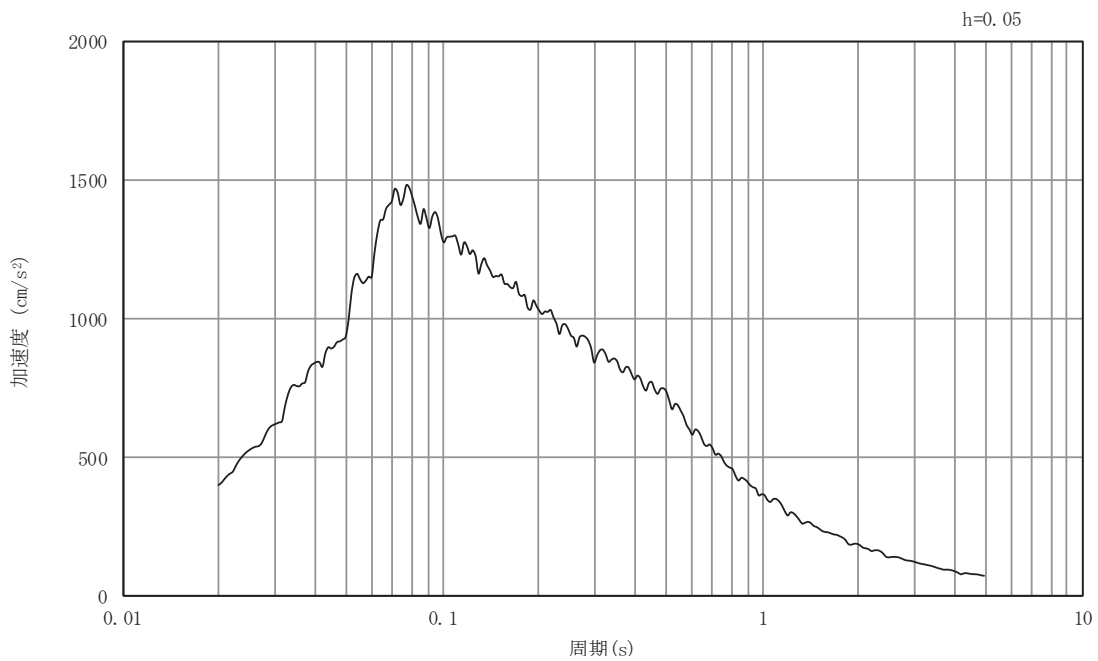


(b) 加速度応答スペクトル

図5-30 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
(南北方向, 水平成分: S s - D 1)

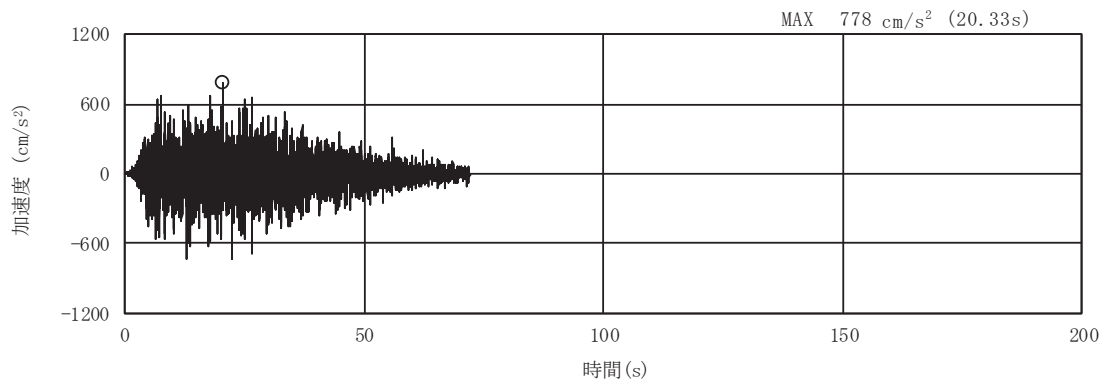


(a) 加速度時刻歴波形

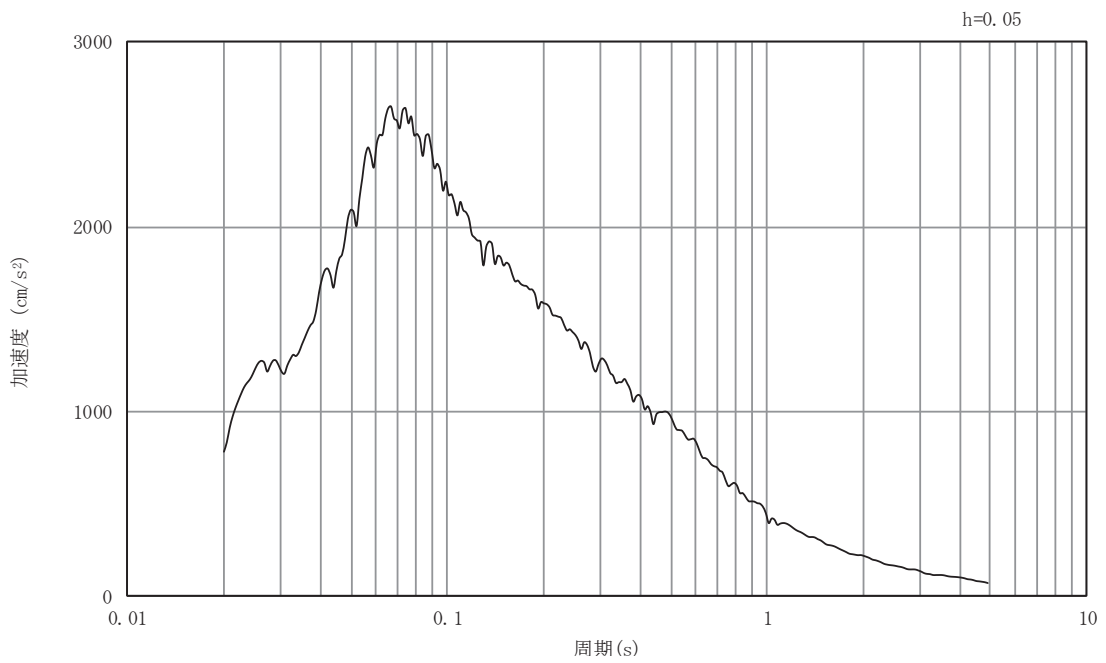


(b) 加速度応答スペクトル

図5-31 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 1)

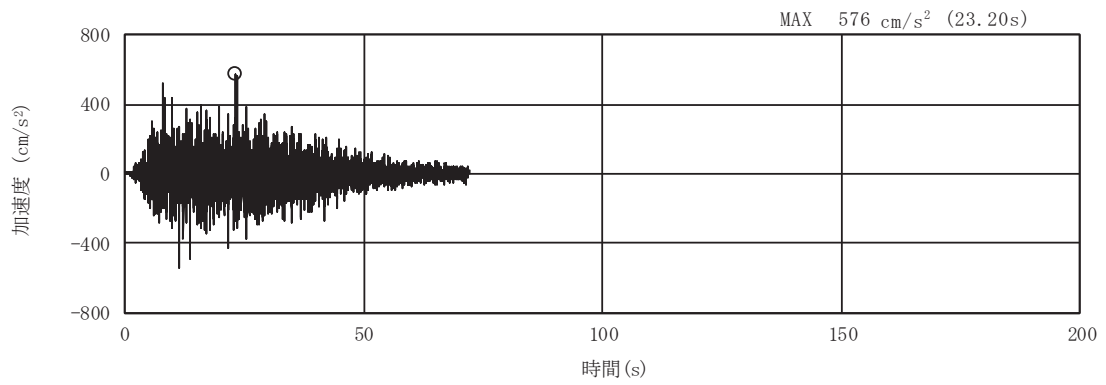


(a) 加速度時刻歴波形

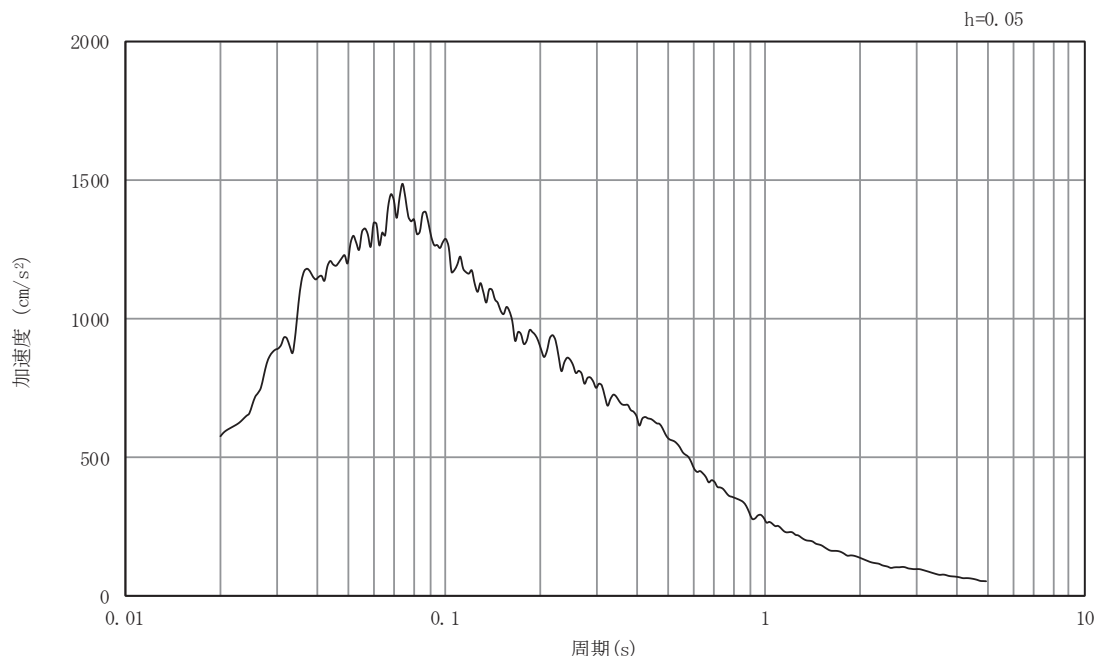


(b) 加速度応答スペクトル

図5-32 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
(南北方向, 水平成分: S s - D 2)

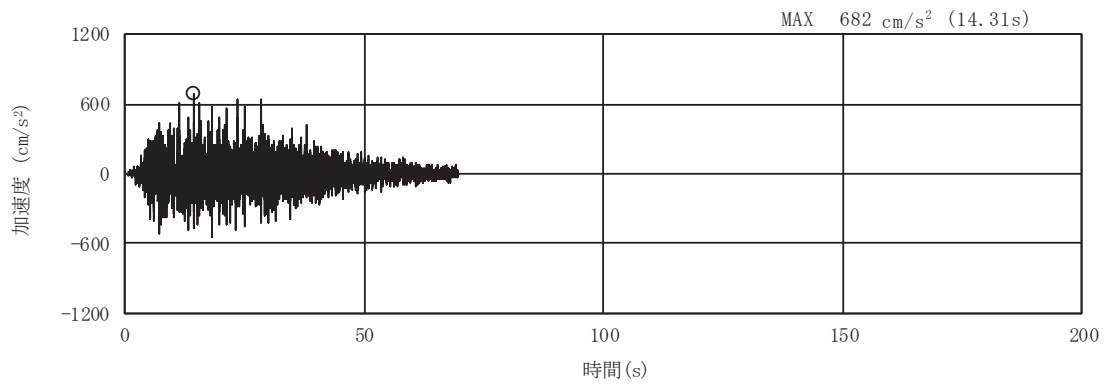


(a) 加速度時刻歴波形

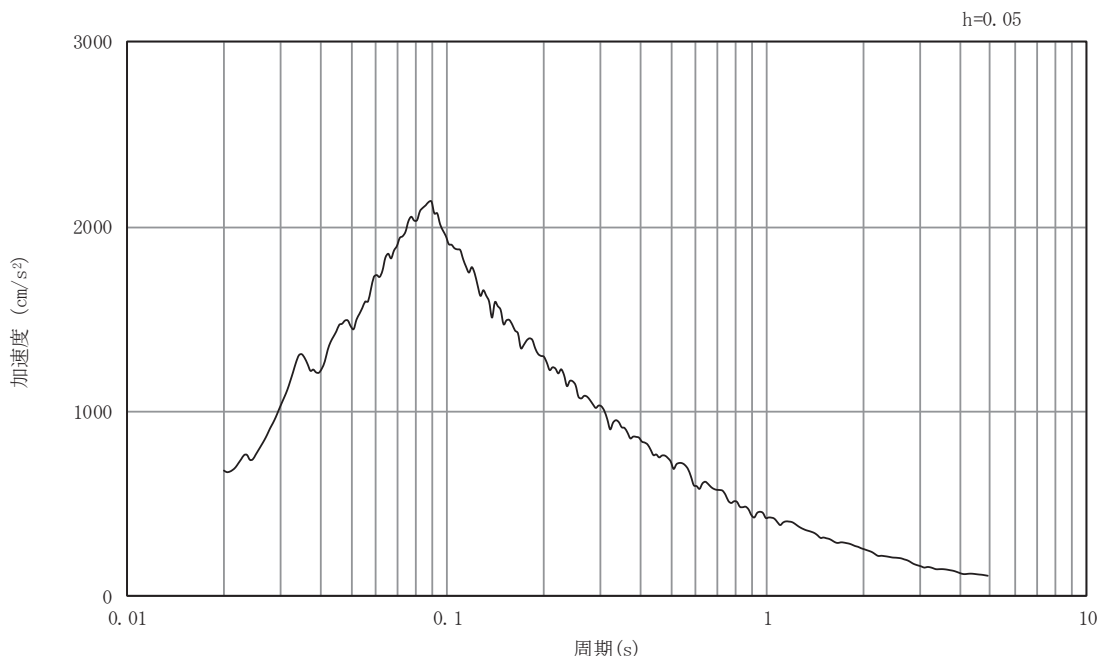


(b) 加速度応答スペクトル

図5-33 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 2)

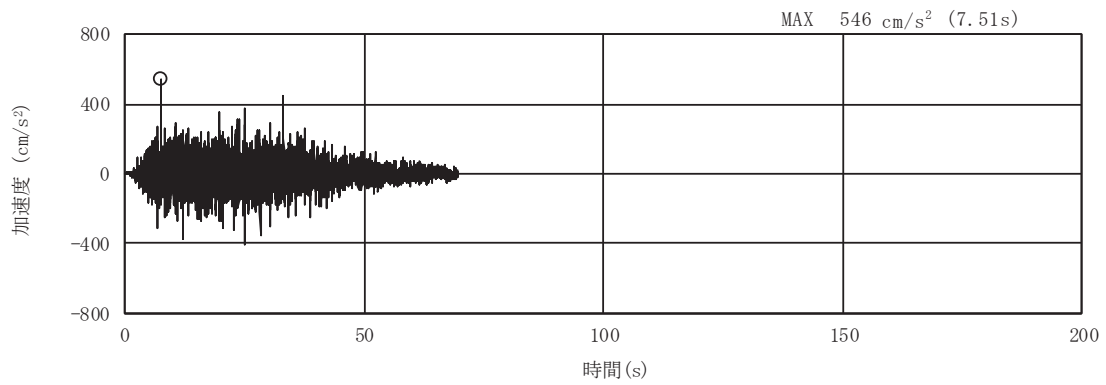


(a) 加速度時刻歴波形

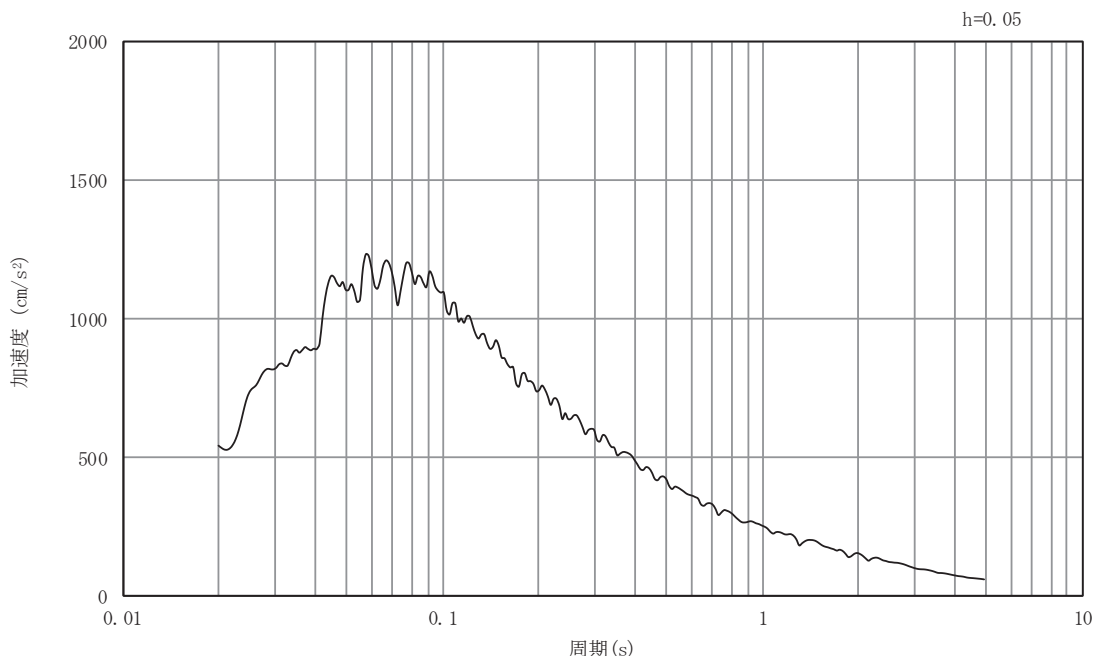


(b) 加速度応答スペクトル

図5-34 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
(南北方向, 水平成分: S s - D 3)

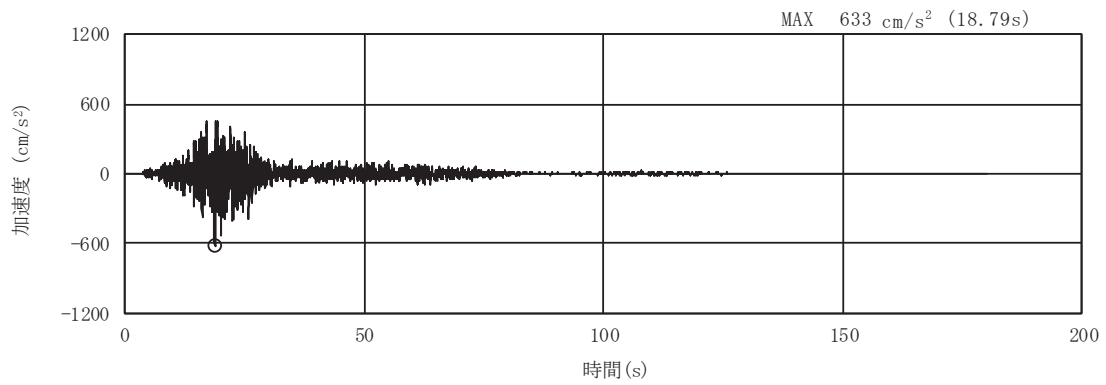


(a) 加速度時刻歴波形

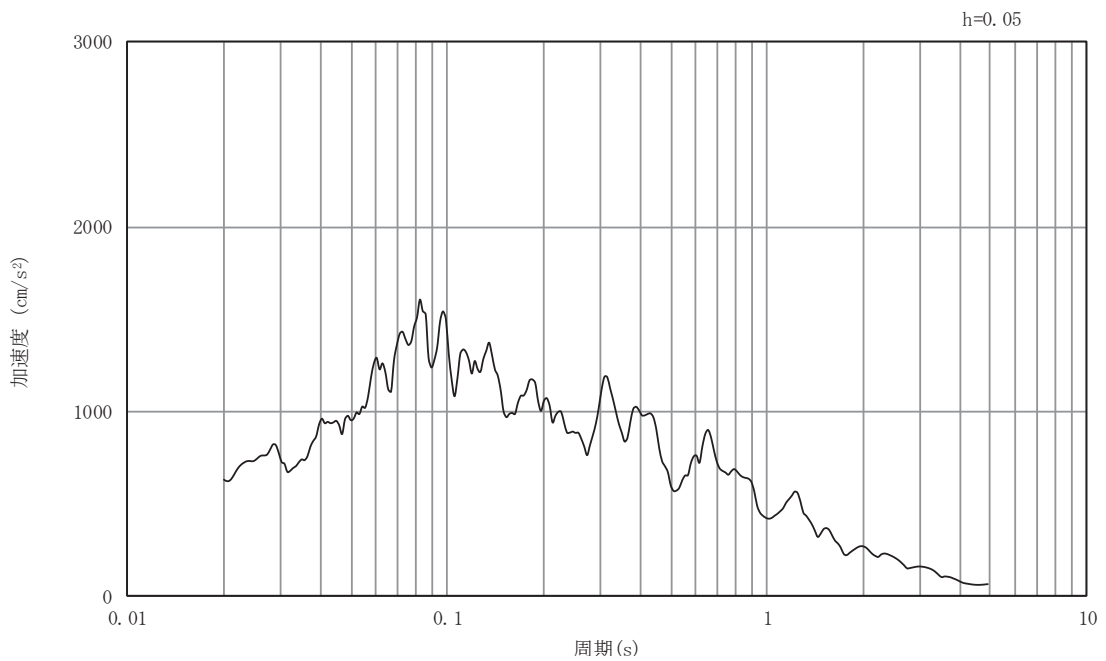


(b) 加速度応答スペクトル

図5-35 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - D 3)

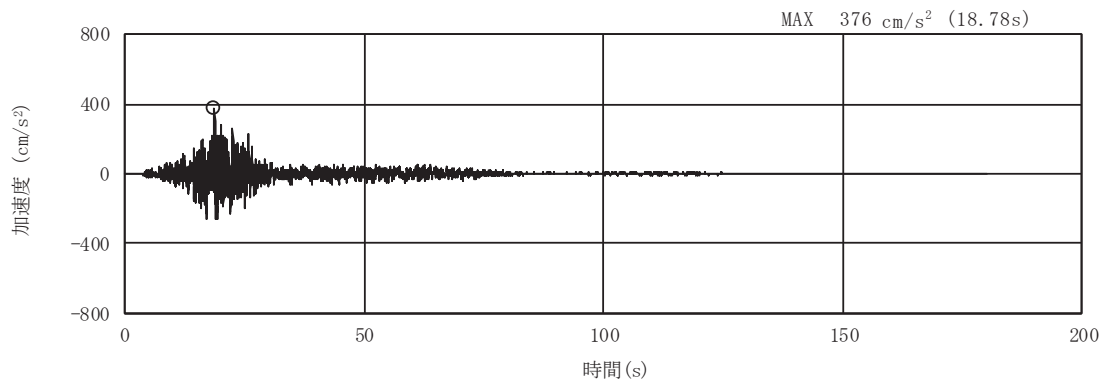


(a) 加速度時刻歴波形

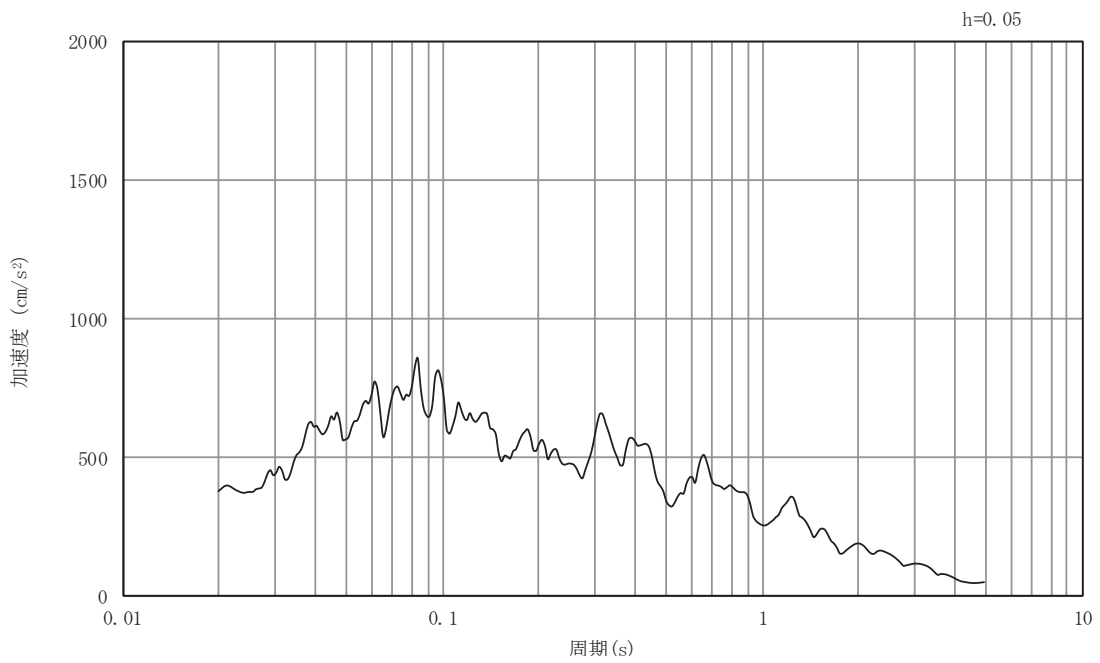


(b) 加速度応答スペクトル

図5-36 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
(南北方向, 水平成分: S s - F 1)

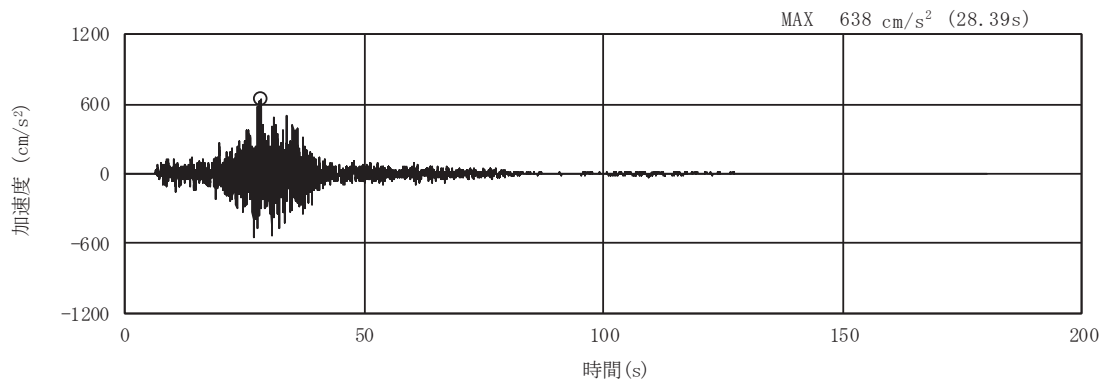


(a) 加速度時刻歴波形

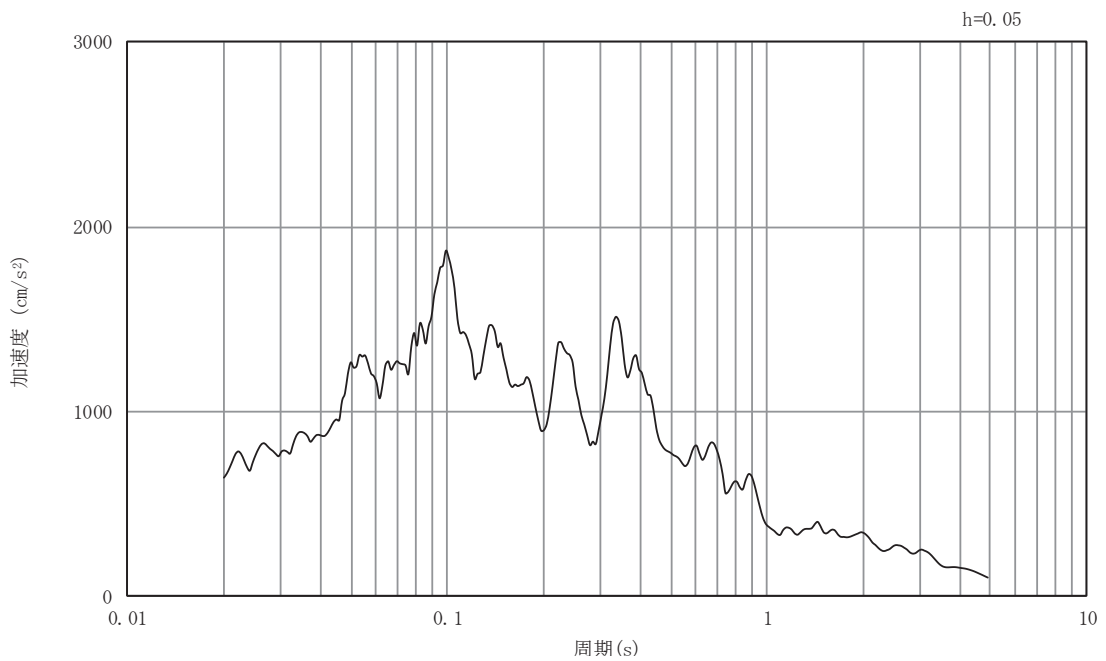


(b) 加速度応答スペクトル

図5-37 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 1)

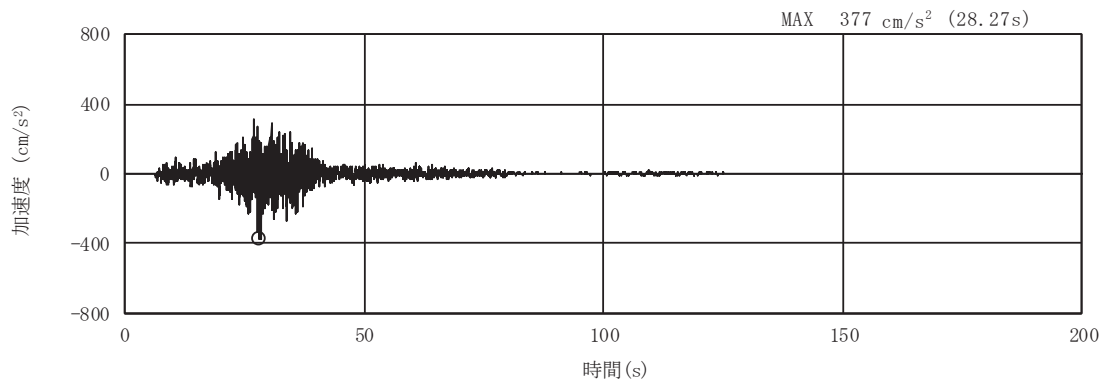


(a) 加速度時刻歴波形

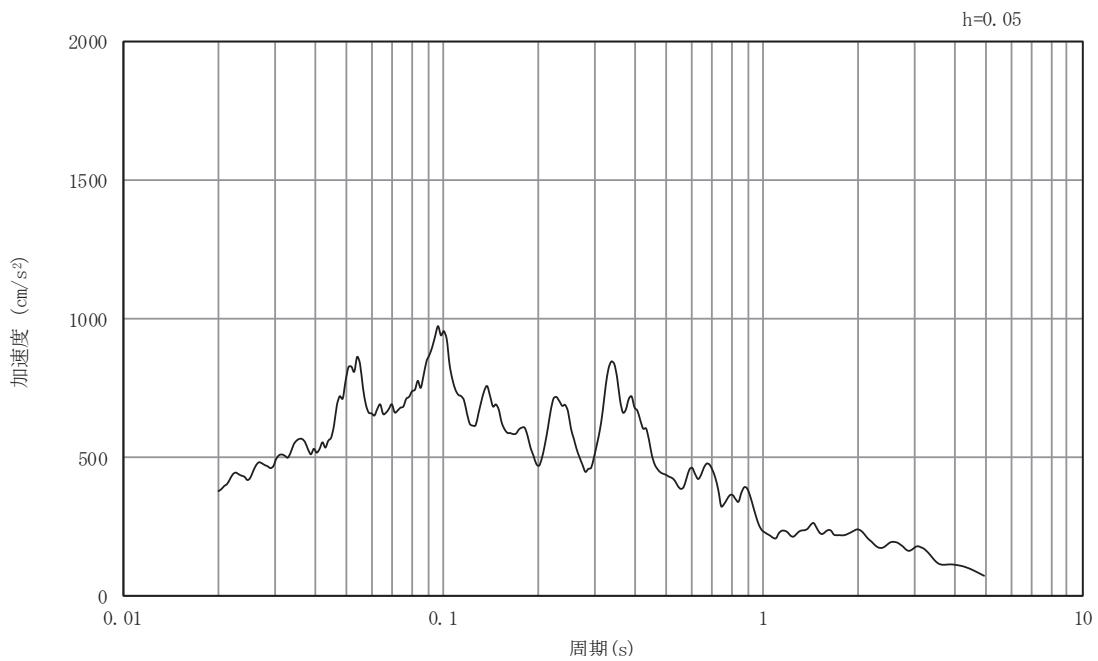


(b) 加速度応答スペクトル

図5-38 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
(南北方向, 水平成分: S s - F 2)

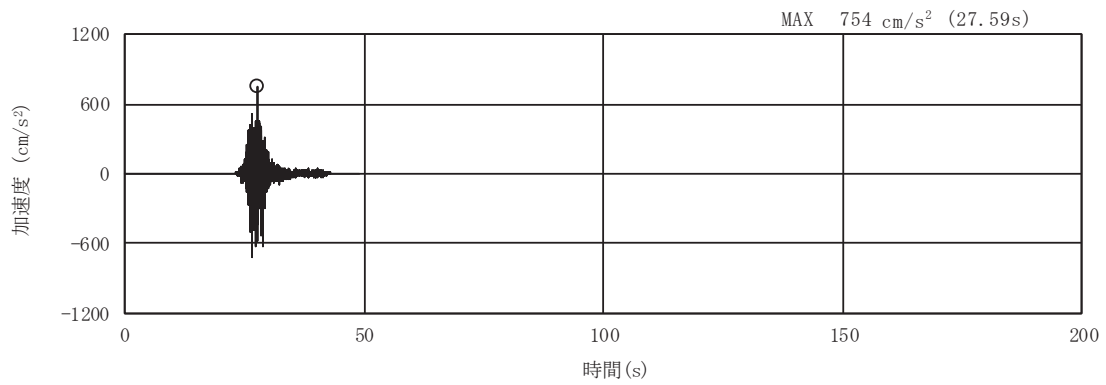


(a) 加速度時刻歴波形

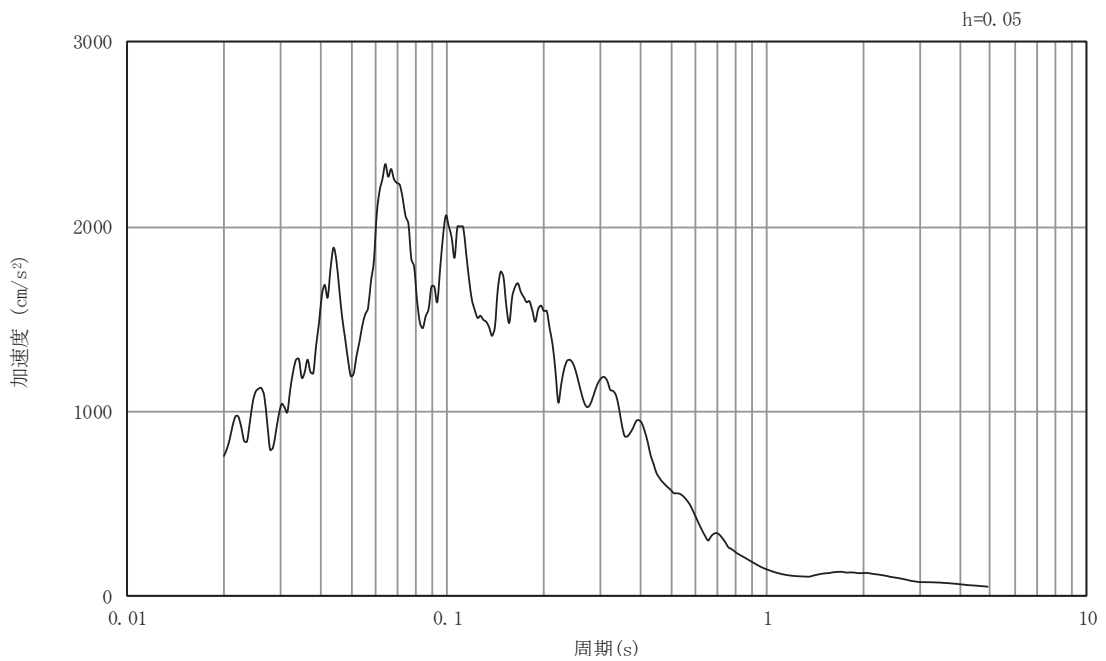


(b) 加速度応答スペクトル

図5-39 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 2)

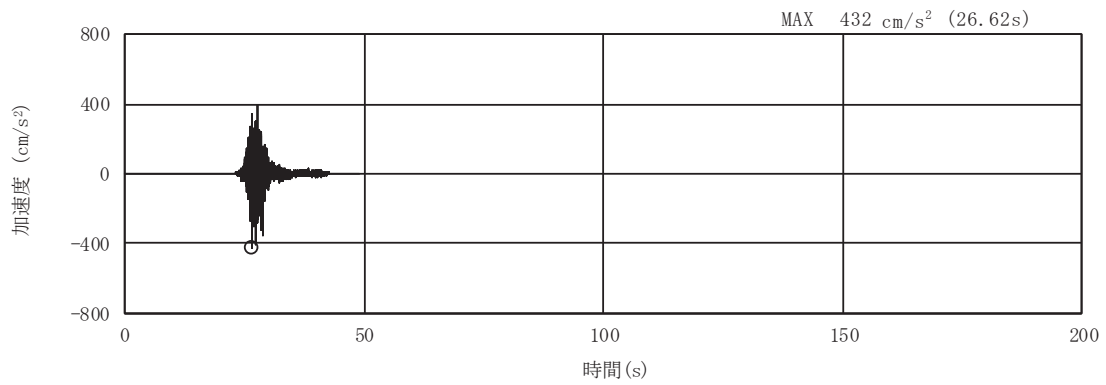


(a) 加速度時刻歴波形

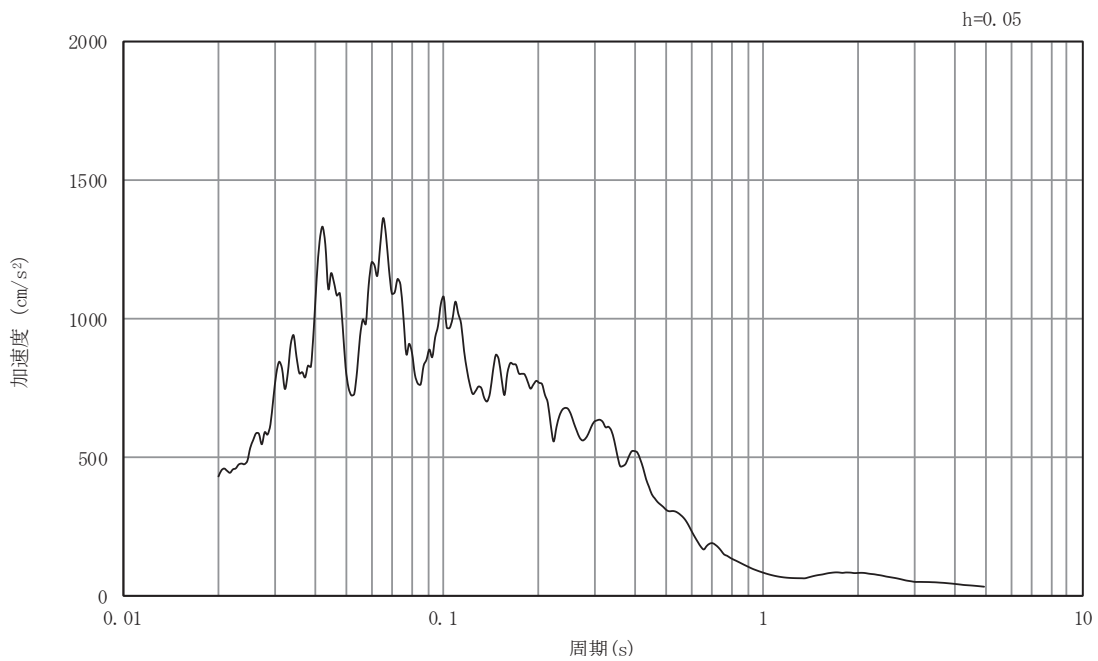


(b) 加速度応答スペクトル

図5-40 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
(南北方向, 水平成分: S s - F 3)

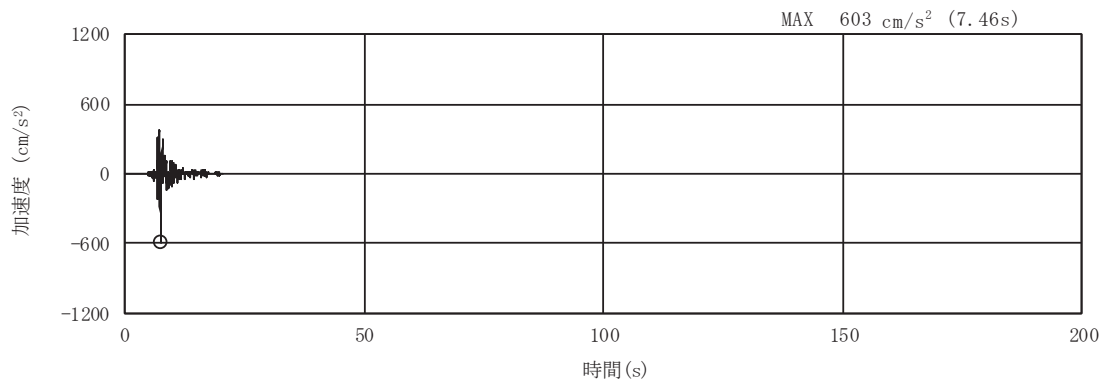


(a) 加速度時刻歴波形

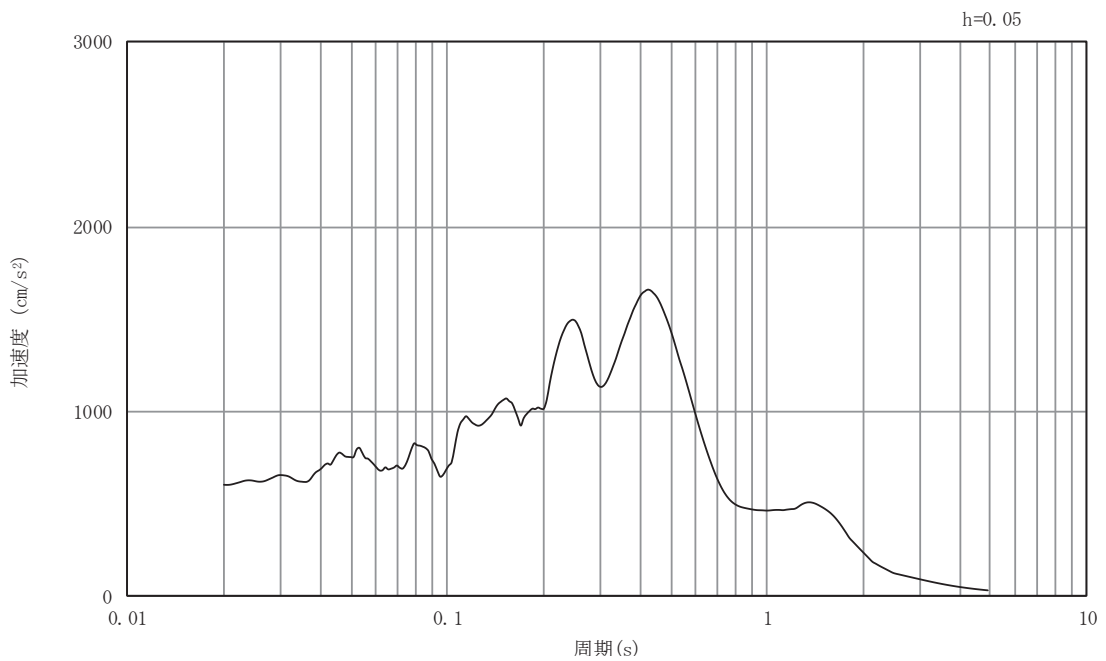


(b) 加速度応答スペクトル

図5-41 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - F 3)

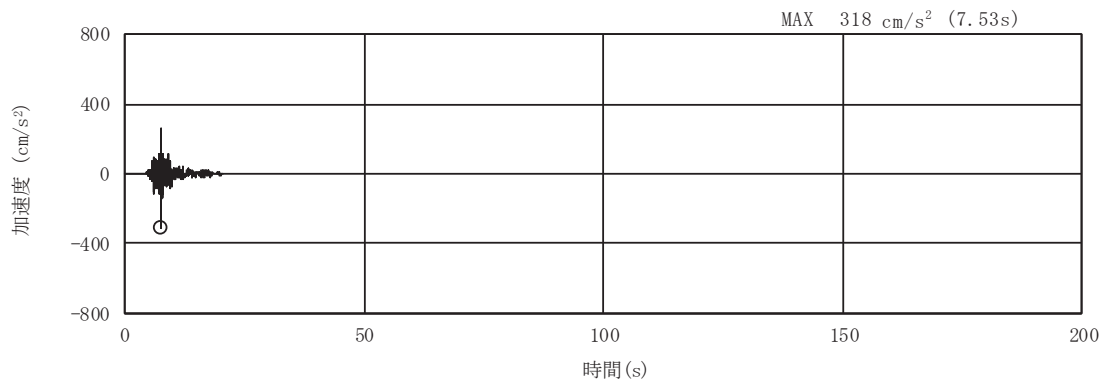


(a) 加速度時刻歴波形

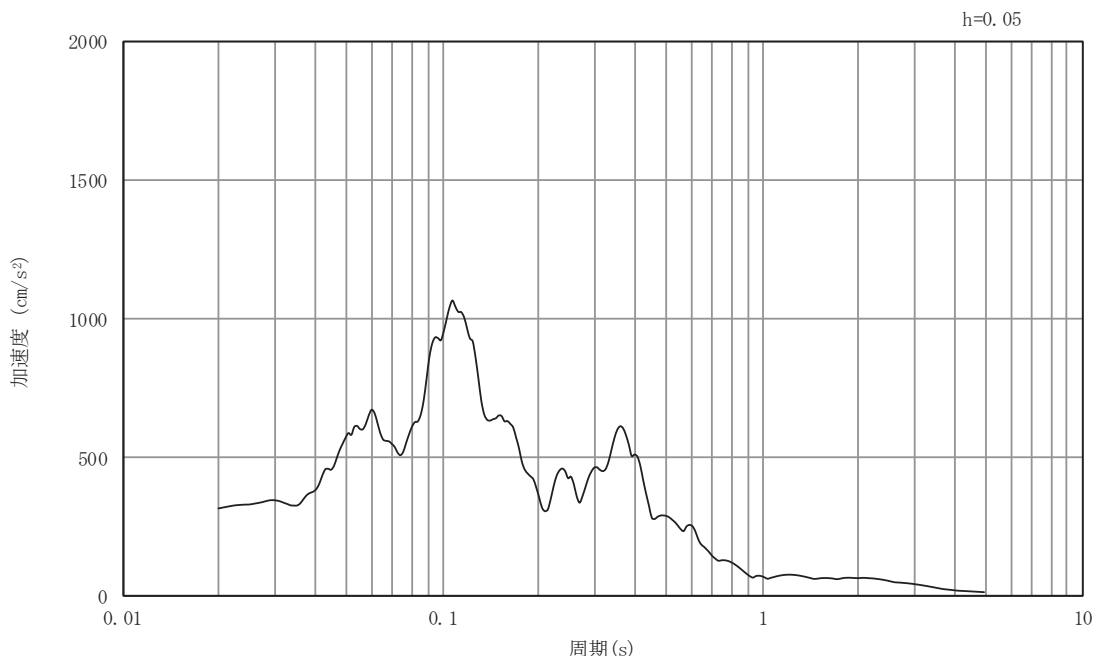


(b) 加速度応答スペクトル

図5-42 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
(南北方向, 水平成分: S s - N 1)

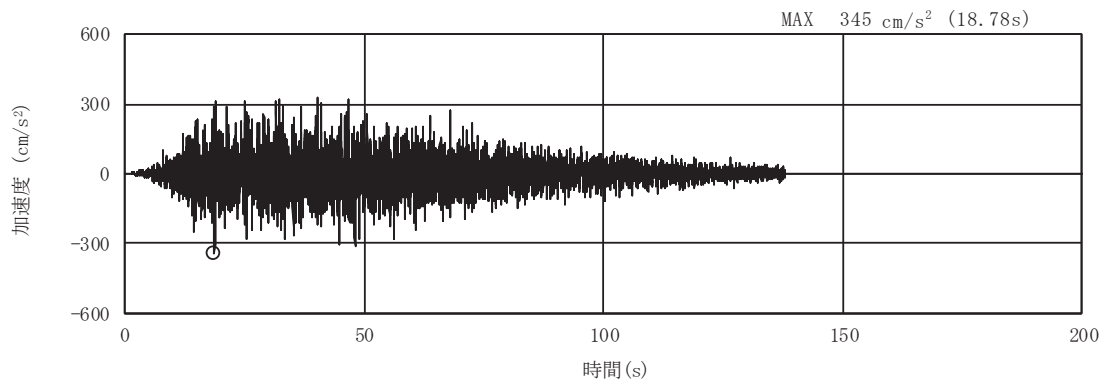


(a) 加速度時刻歴波形

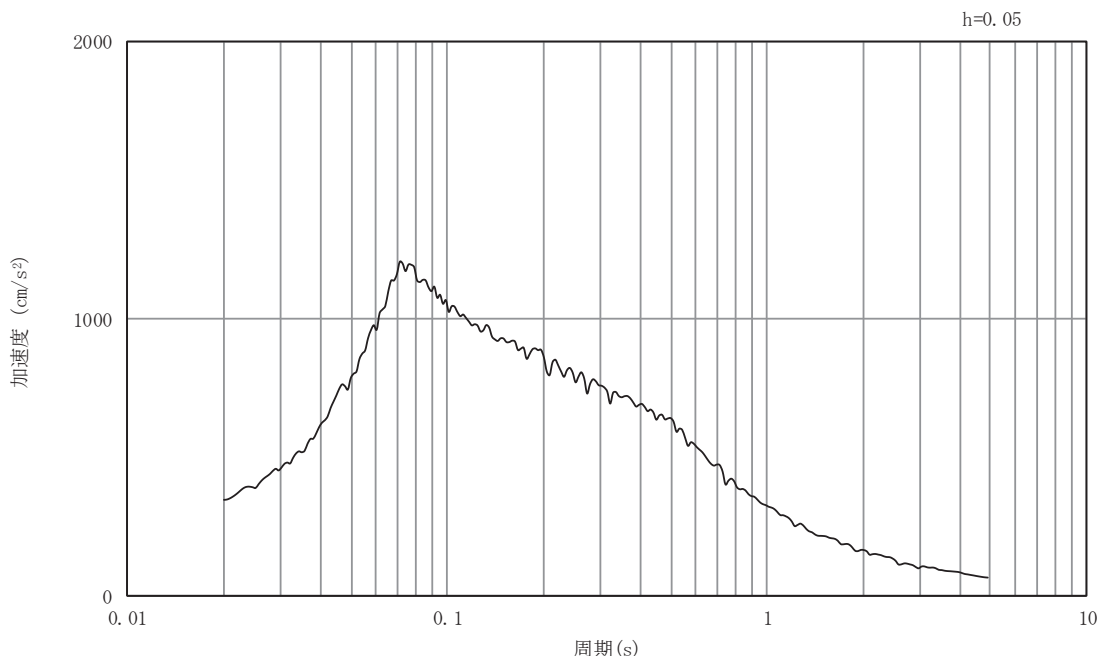


(b) 加速度応答スペクトル

図5-43 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
(南北方向, 鉛直成分: S s - N 1)

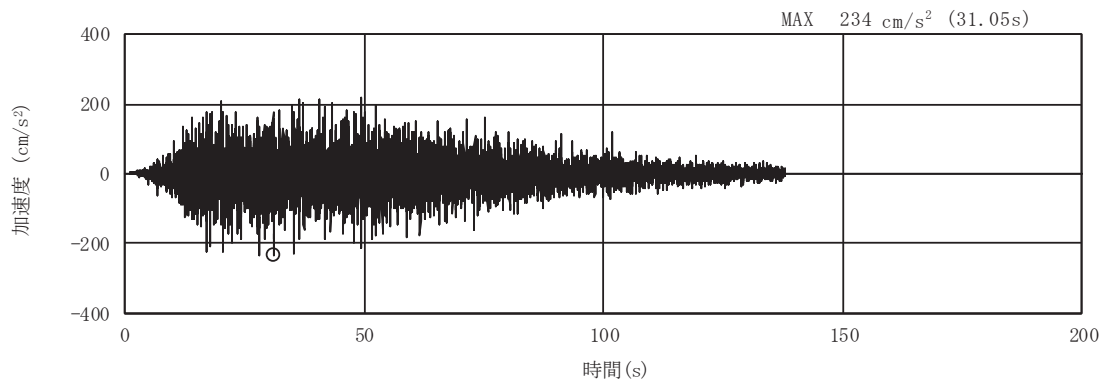


(a) 加速度時刻歴波形

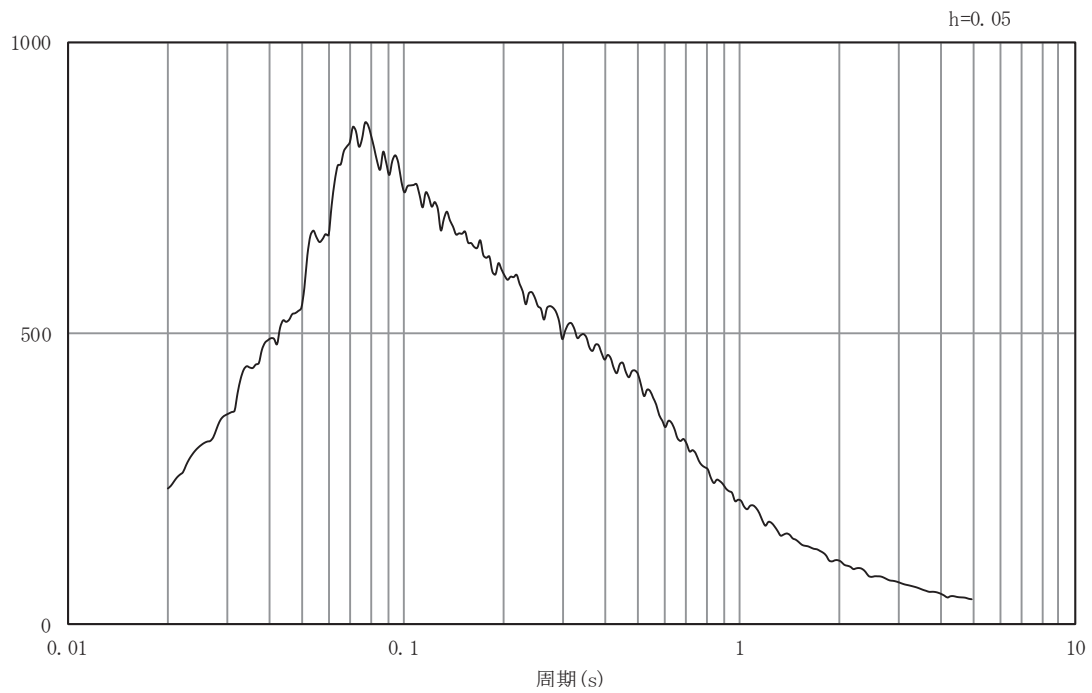


(b) 加速度応答スペクトル

図5-44 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
(南北方向, 水平成分: S d - D 1)

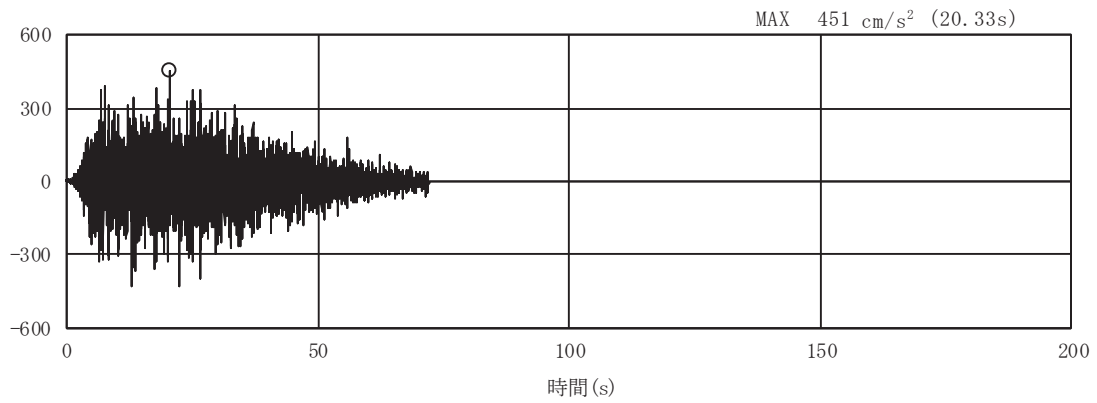


(a) 加速度時刻歴波形

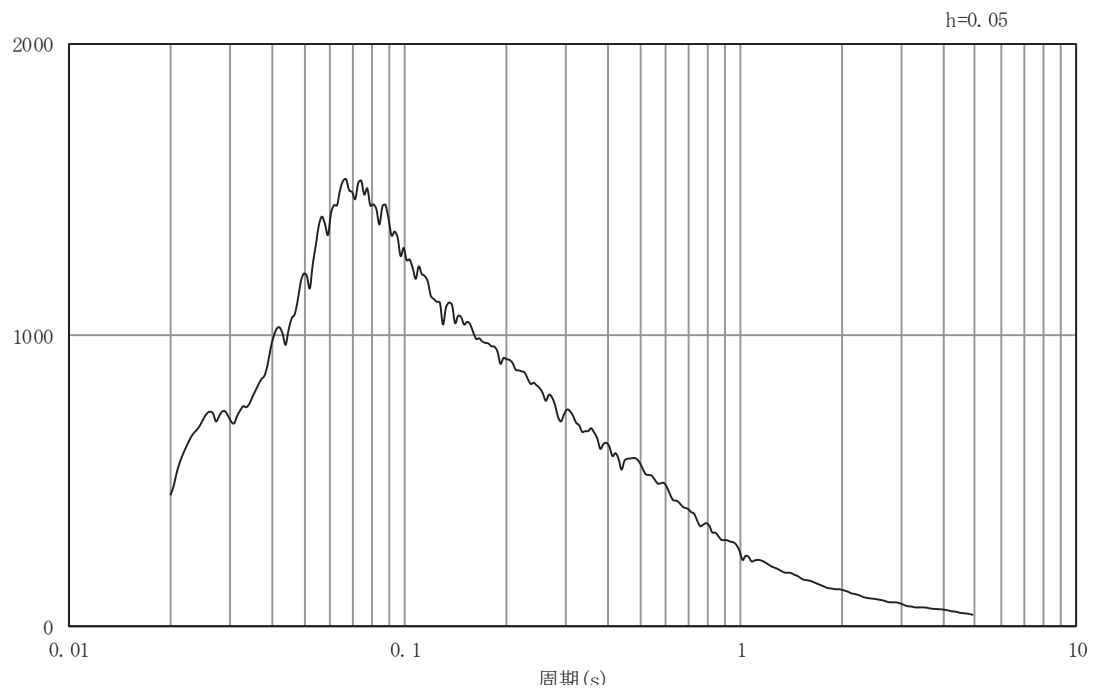


(b) 加速度応答スペクトル

図5-45 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 1)

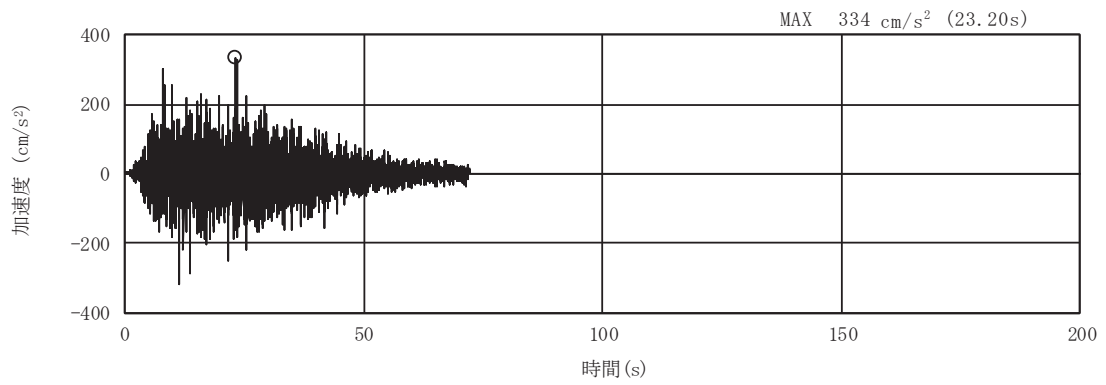


(a) 加速度時刻歴波形

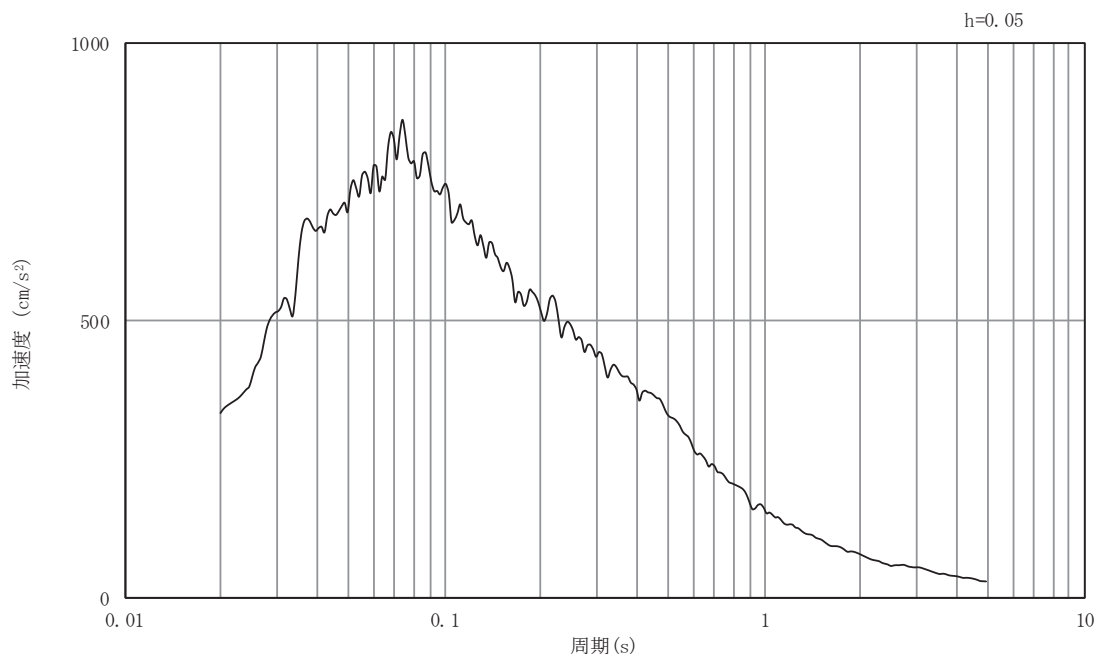


(b) 加速度応答スペクトル

図5-46 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
(南北方向, 水平成分: S d - D 2)

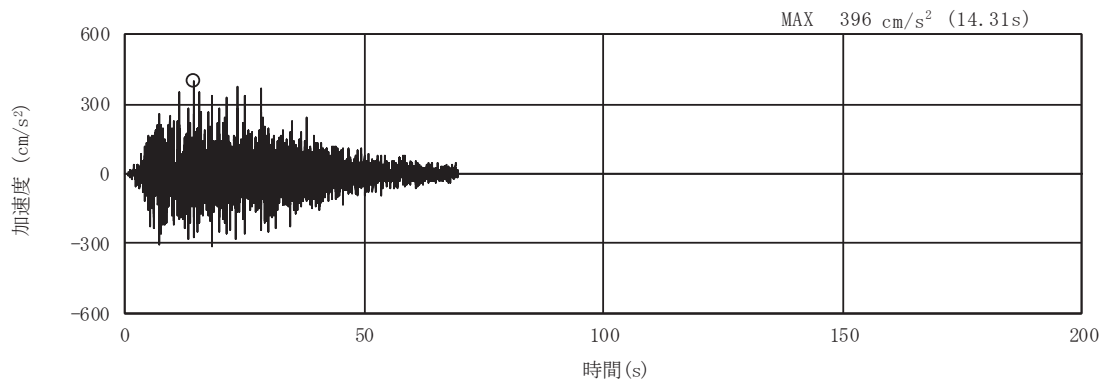


(a) 加速度時刻歴波形

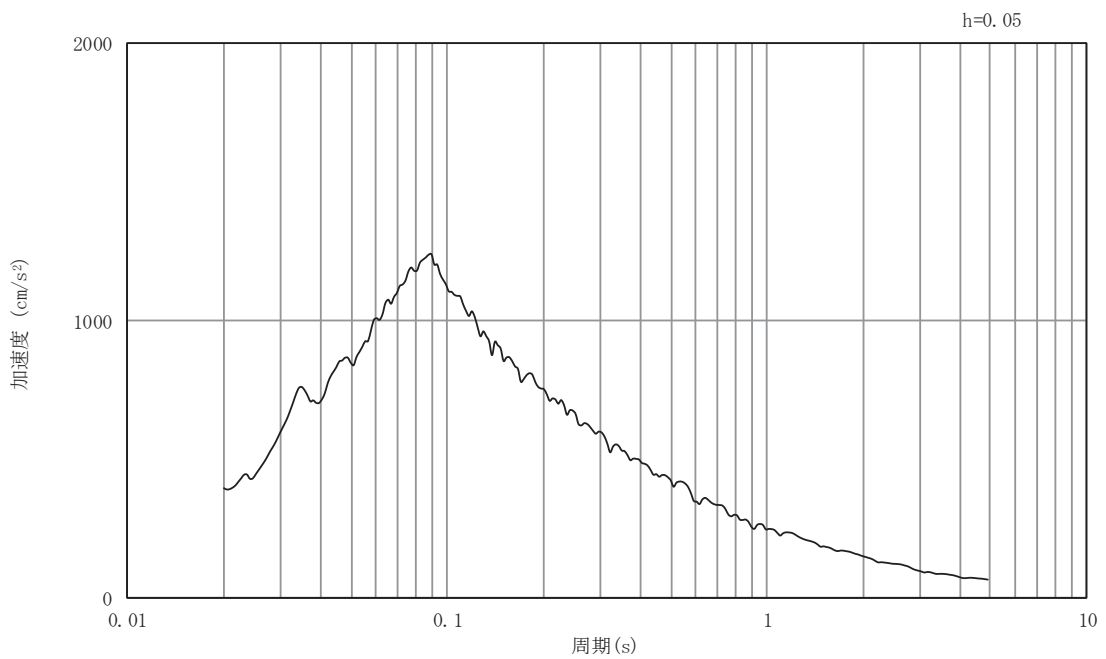


(b) 加速度応答スペクトル

図5-47 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 2)

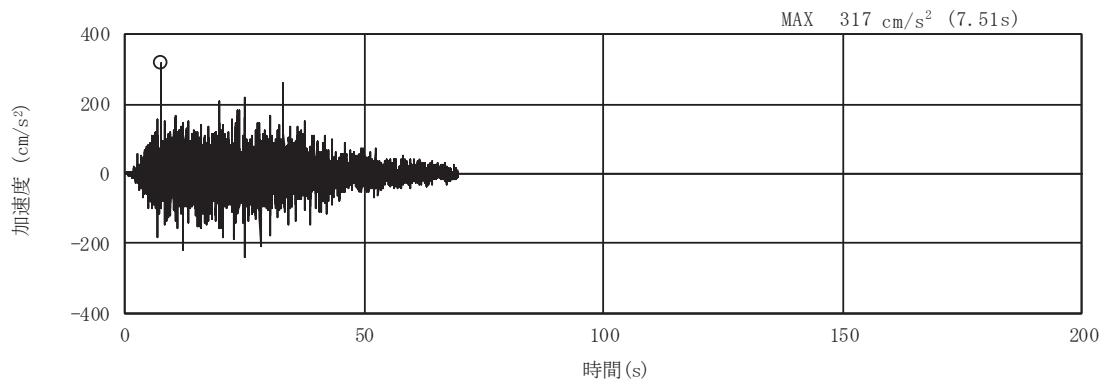


(a) 加速度時刻歴波形

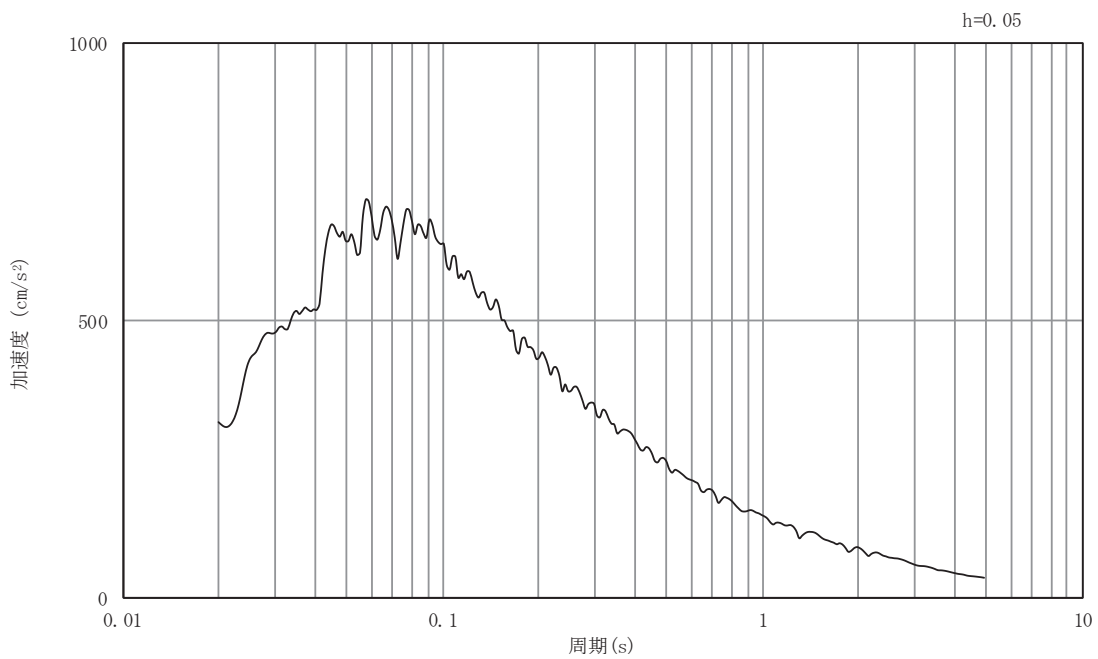


(b) 加速度応答スペクトル

図5-48 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
(南北方向, 水平成分: S d - D 3)

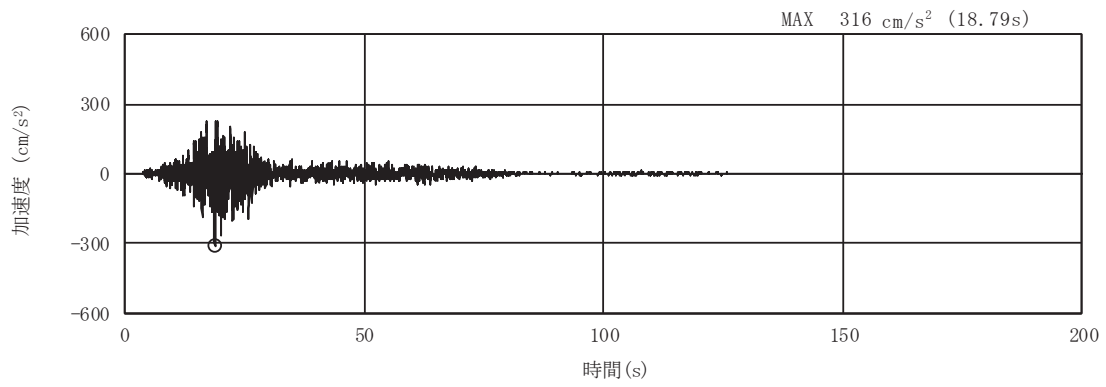


(a) 加速度時刻歴波形

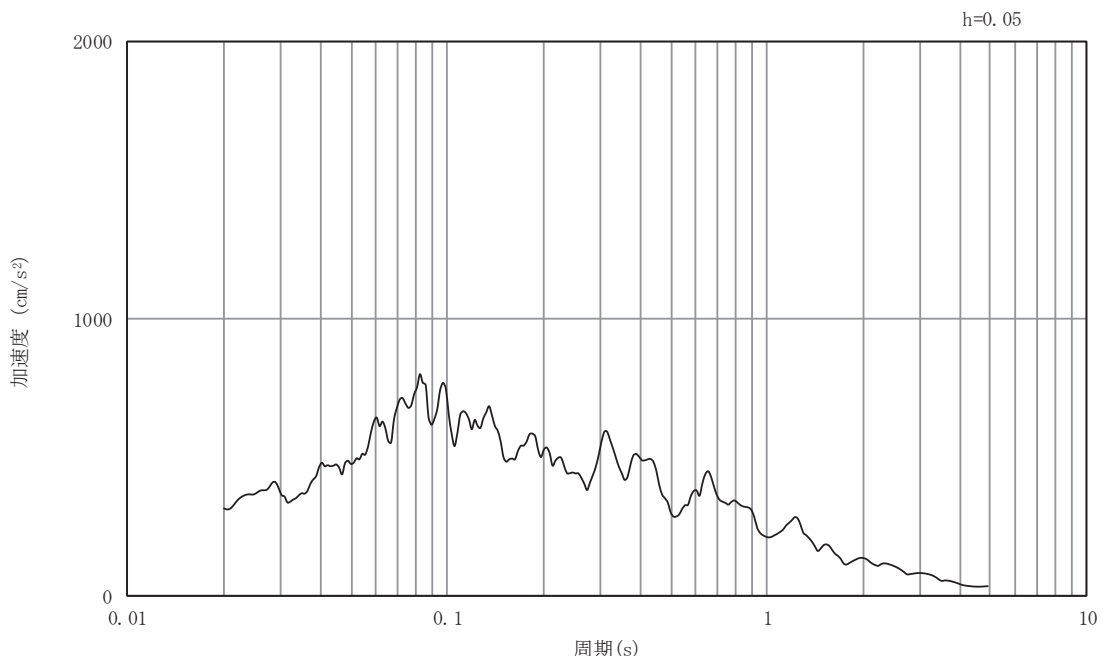


(b) 加速度応答スペクトル

図5-49 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - D 3)

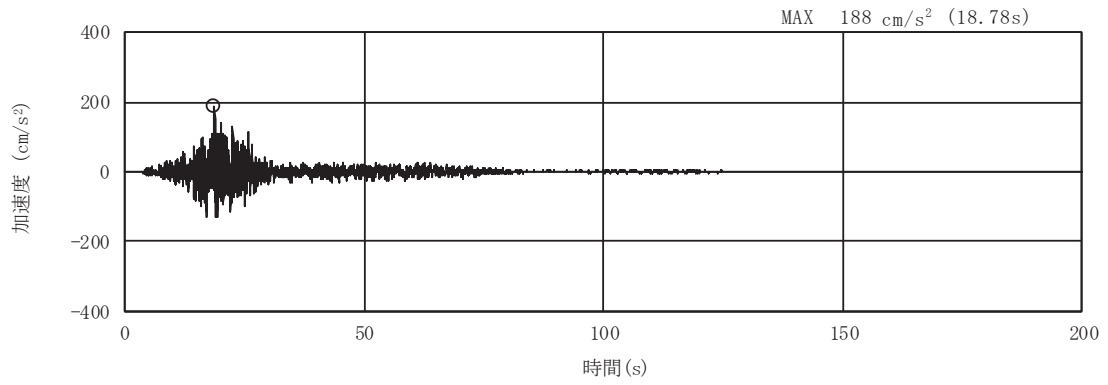


(a) 加速度時刻歴波形

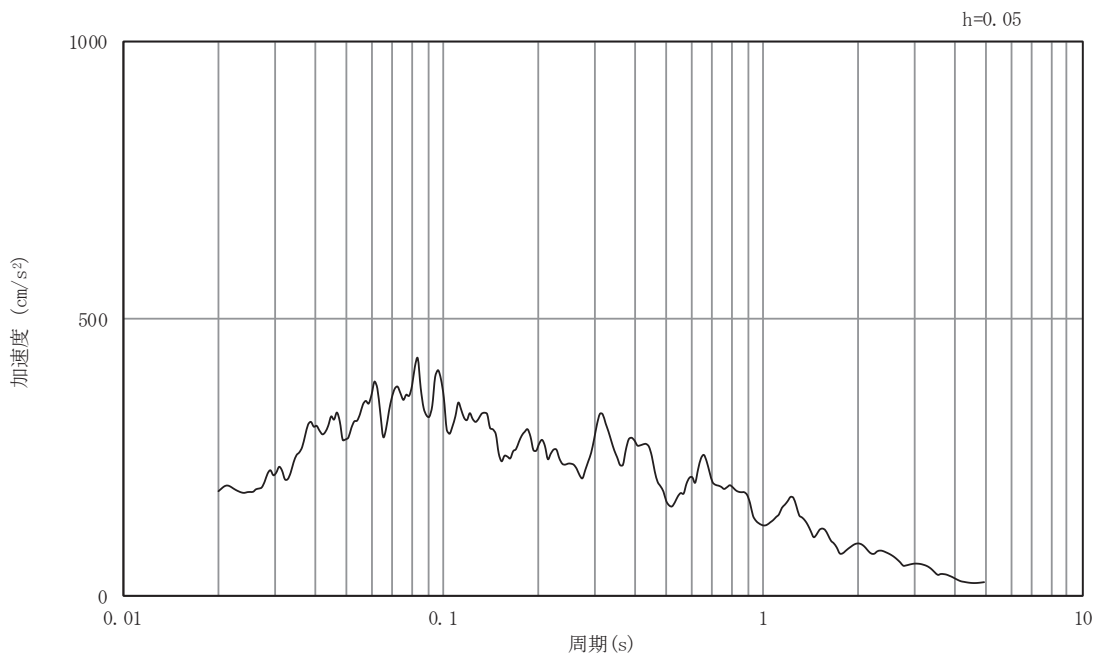


(b) 加速度応答スペクトル

図5-50 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
(南北方向, 水平成分: S d - F 1)

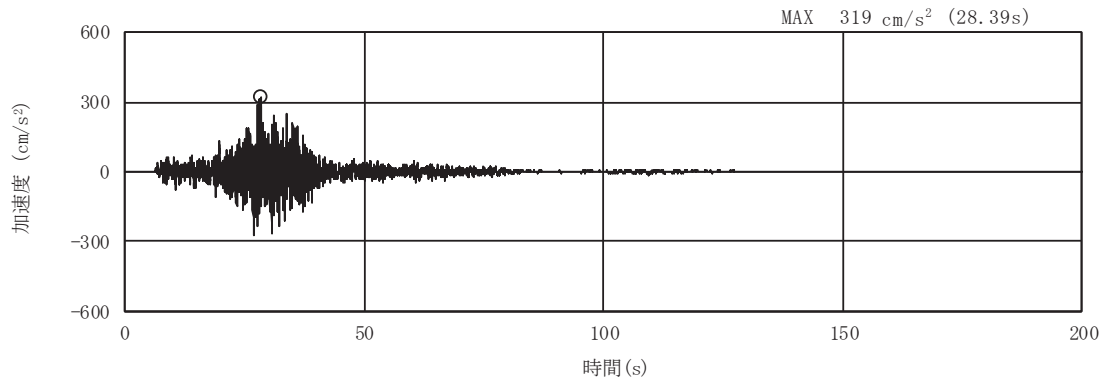


(a) 加速度時刻歴波形

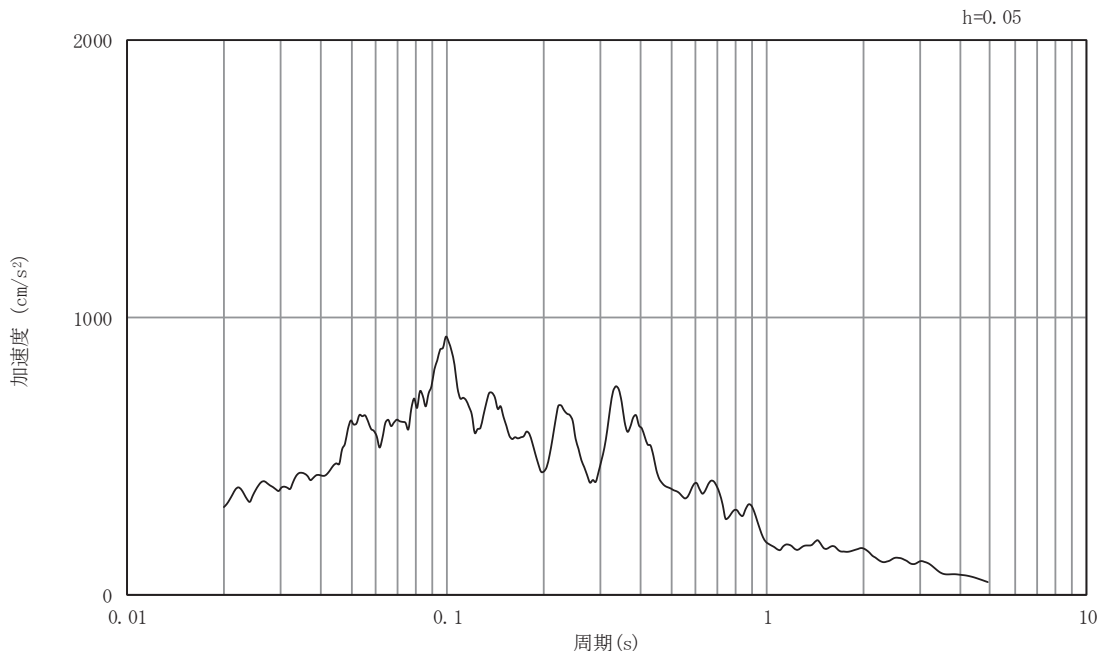


(b) 加速度応答スペクトル

図5-51 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 1)

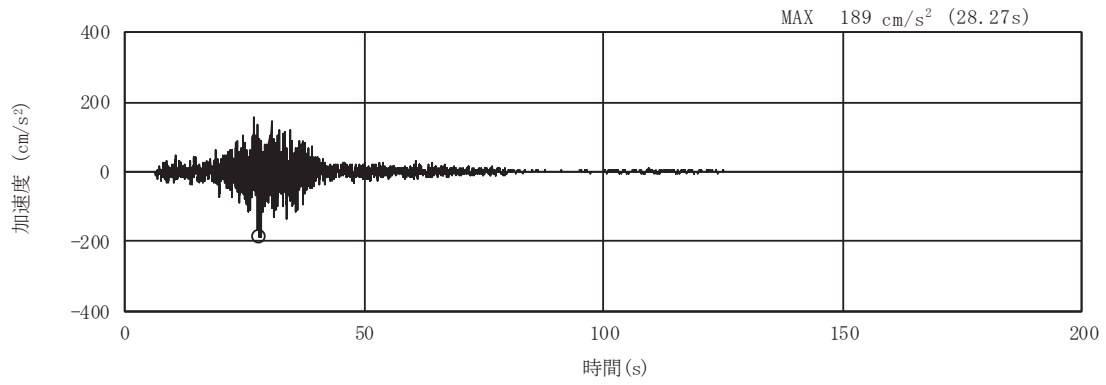


(a) 加速度時刻歴波形

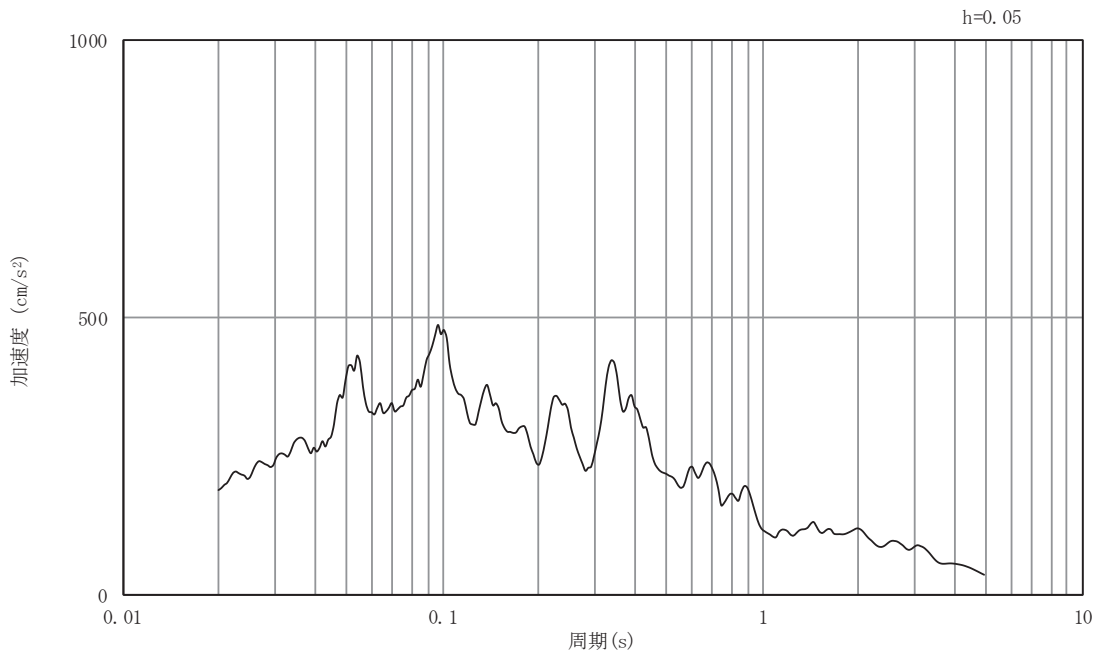


(b) 加速度応答スペクトル

図5-52 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
(南北方向, 水平成分: S d - F 2)

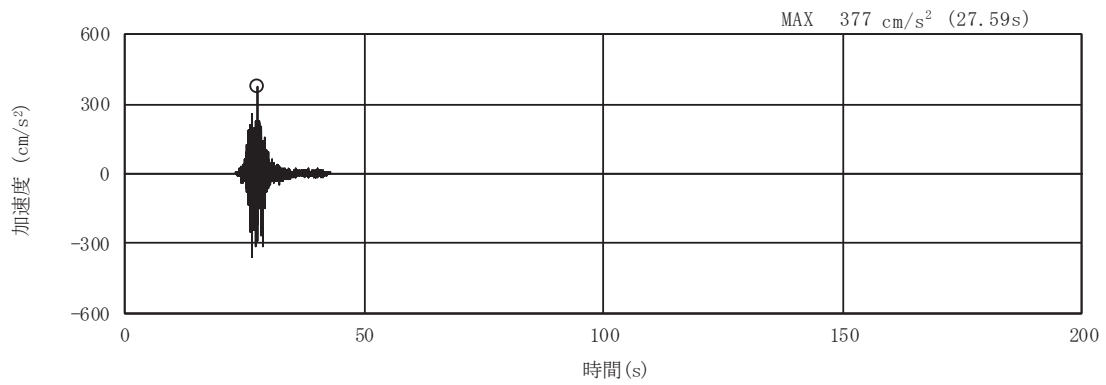


(a) 加速度時刻歴波形

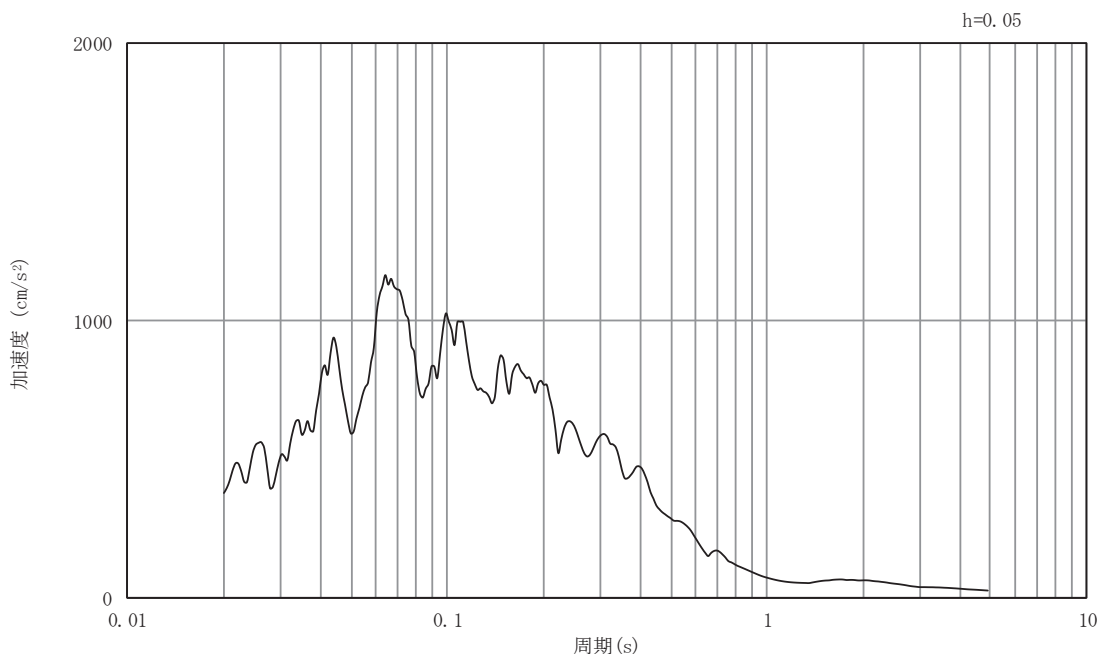


(b) 加速度応答スペクトル

図5-53 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 2)

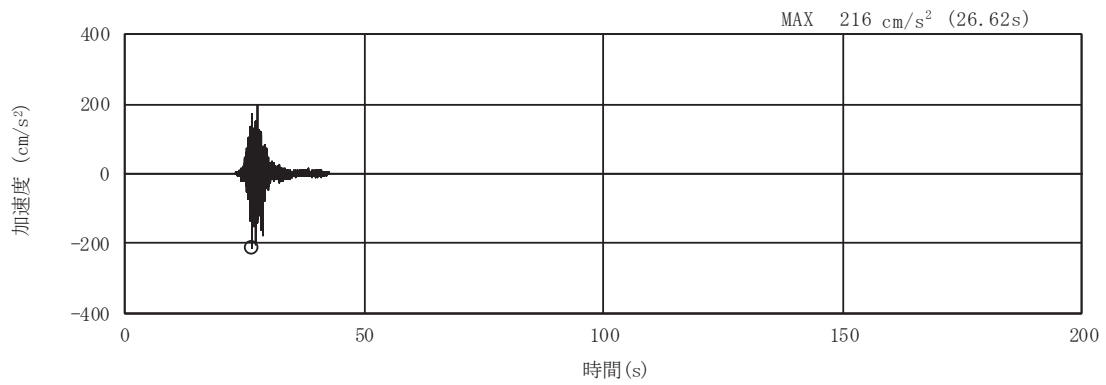


(a) 加速度時刻歴波形

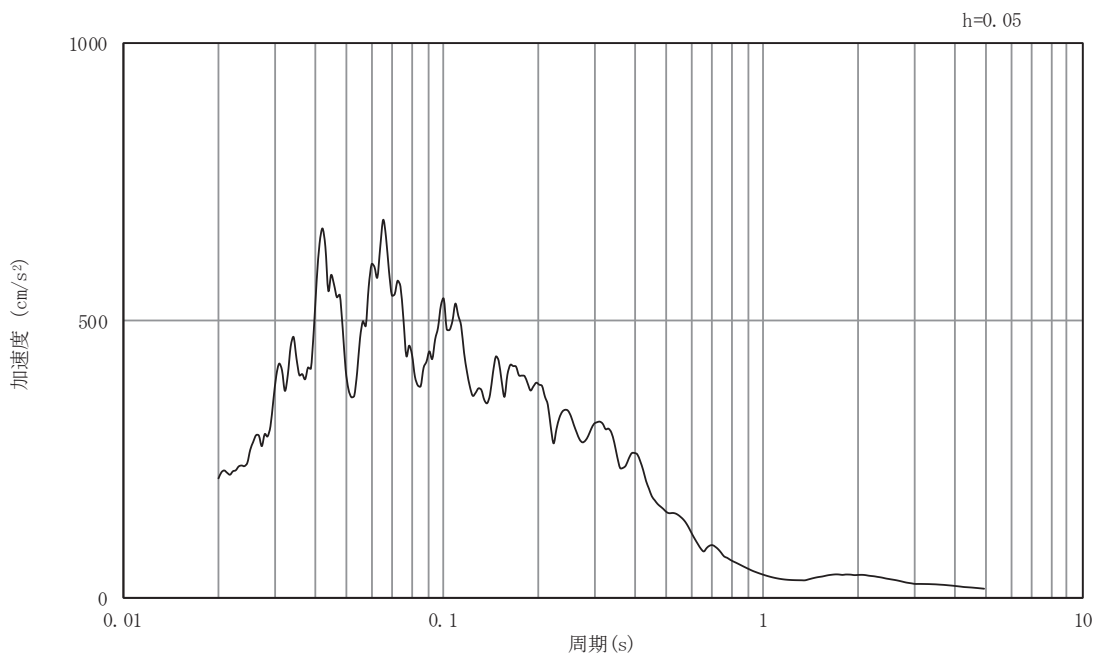


(b) 加速度応答スペクトル

図5-54 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
(南北方向, 水平成分: S d - F 3)

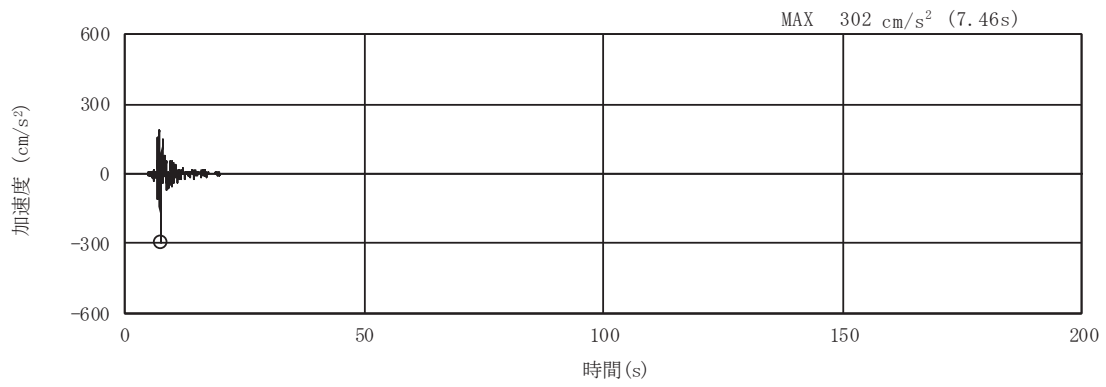


(a) 加速度時刻歴波形

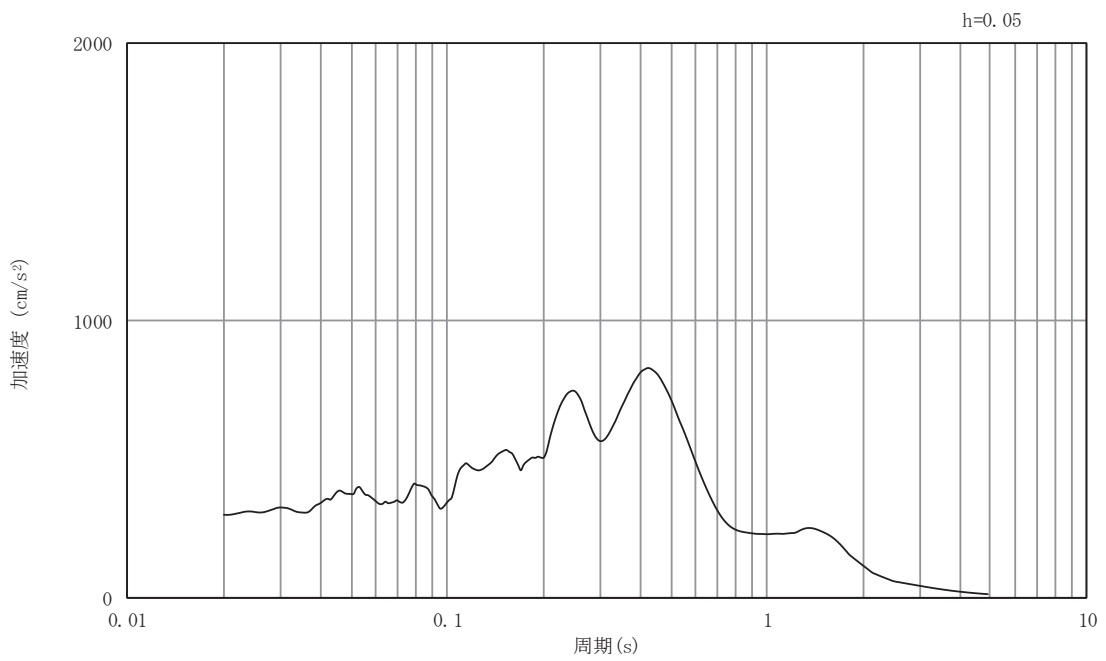


(b) 加速度応答スペクトル

図5-55 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - F 3)

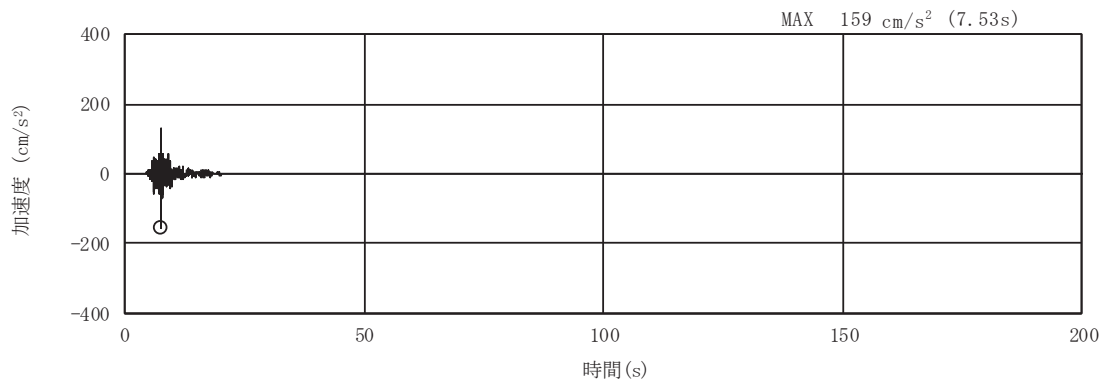


(a) 加速度時刻歴波形

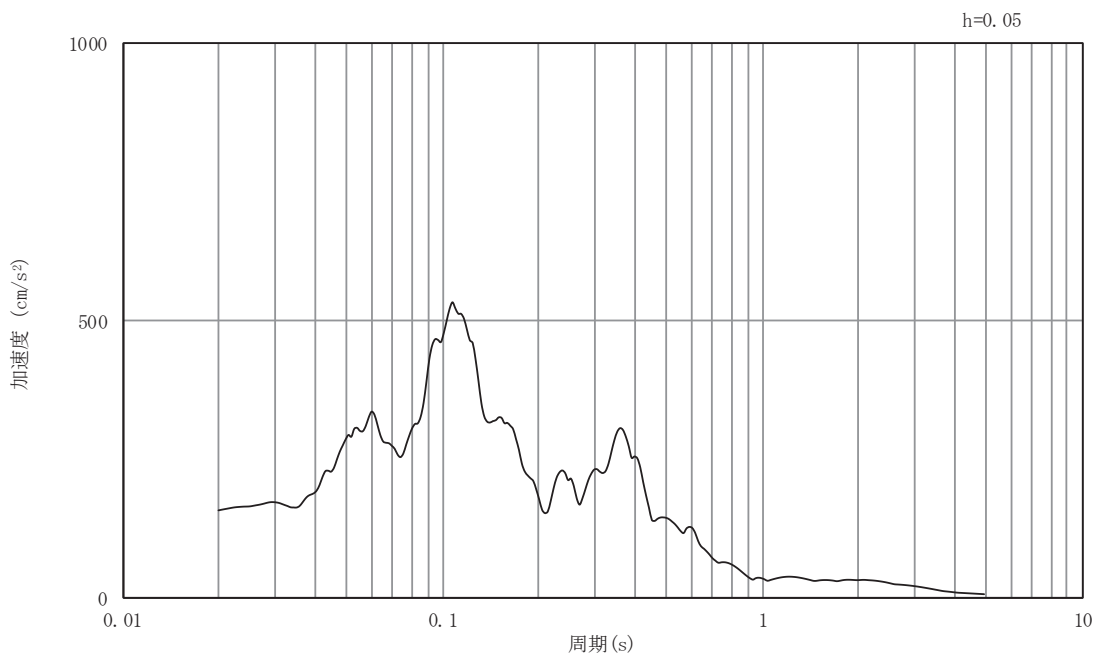


(b) 加速度応答スペクトル

図5-56 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
(南北方向, 水平成分: S d - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図5-57 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
(南北方向, 鉛直成分: S d - N 1)

5.2 許容限界の設定

5.2.1 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、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ：1.0%（10000 μ ））とする。

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、圧縮縁コンクリートひずみ1.0%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。

各要求機能について、通水機能を有することの確認においては、部材が終局状態に至らないことを目標性能とすることから、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）を許容限界とする。貯水機能及び止水機能を損なわないこと及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認においては、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ2000 μ ，主筋ひずみ1725 μ ）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する照査に用いるコンクリート及び鉄筋の照査用ひずみは、三次元構造解析により得られた発生ひずみに安全係数（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裕度を見込んだ評価を実施する。

また、CCb工法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、コンクリート及び鉄筋のひずみが、部材降伏に相当する限界ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ：2000 μ ，主筋ひずみ：1725 μ ）を下回ることを併せて確認する。海水ポンプ室においてCCb工法を適用する部材を図5-58に示す。

海水ポンプ室の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表5-1に示す。

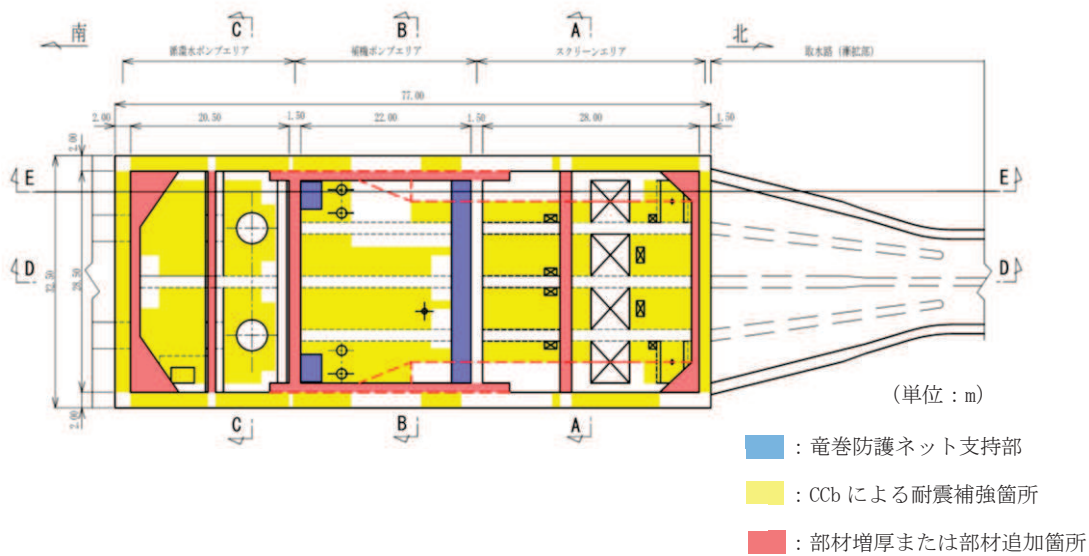


図 5-58(1) CcB による耐震補強箇所 (平面図) (再掲)

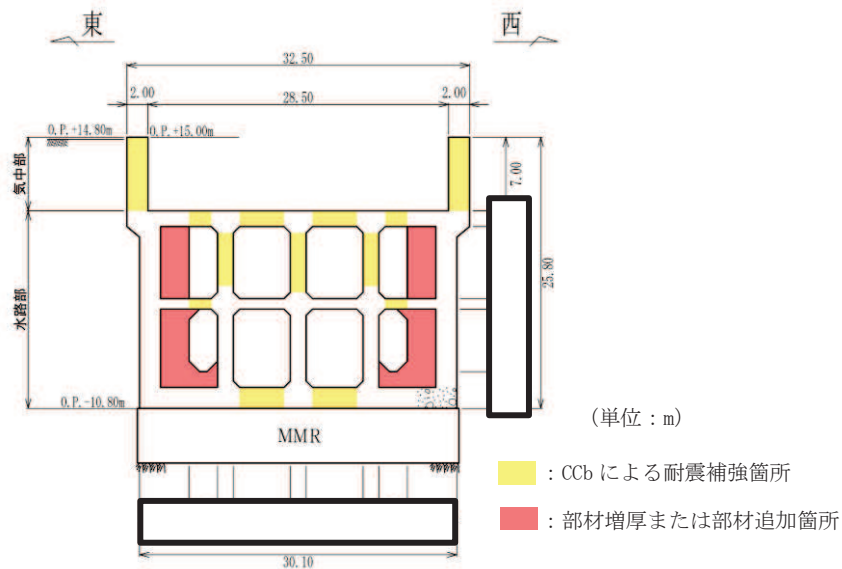


図 5-58(2) CcB による耐震補強箇所 (A-A 断面, 東西) (再掲)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

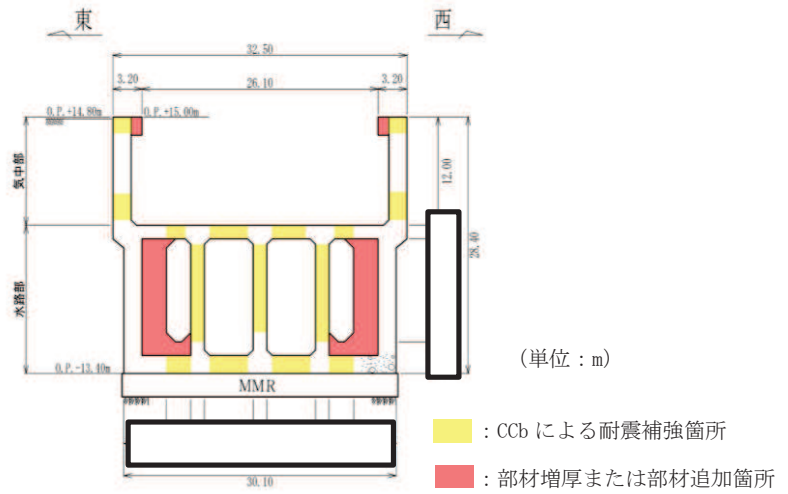


図5-58(3) CCbによる耐震補強箇所(B-B断面, 東西) (再掲)

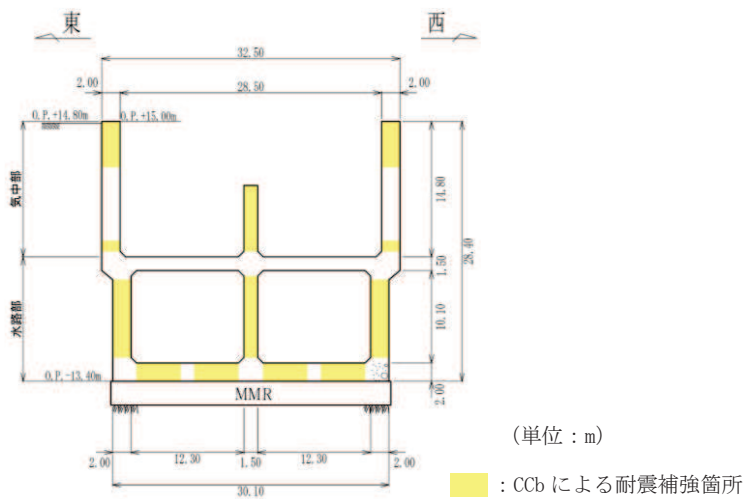


図5-58(4) CCbによる耐震補強箇所(C-C断面, 東西) (再掲)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

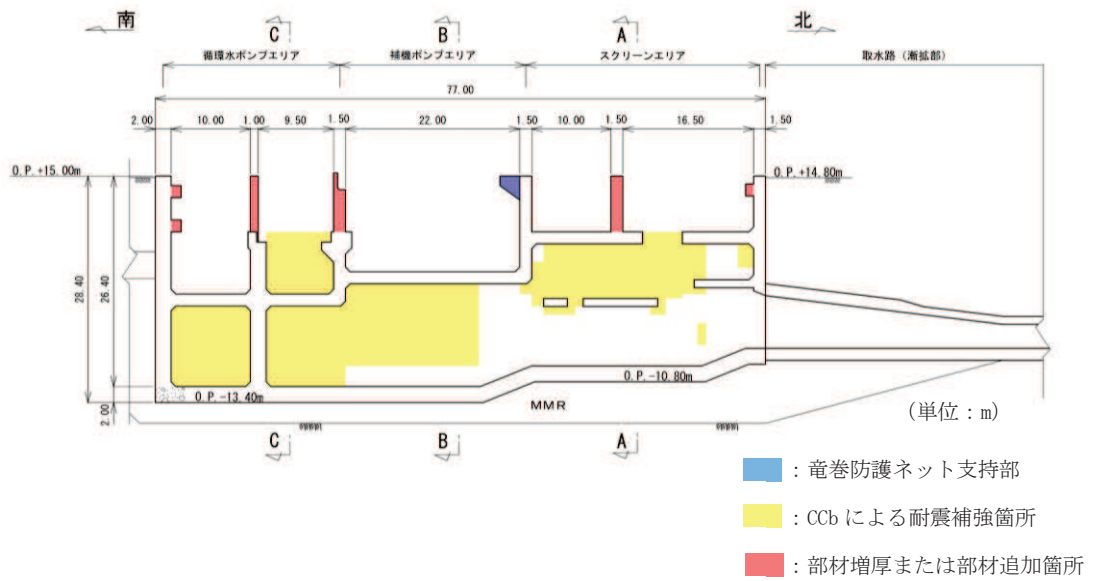


図 5-58(5) CCb による耐震補強箇所 (D-D 断面, 南北) (再掲)

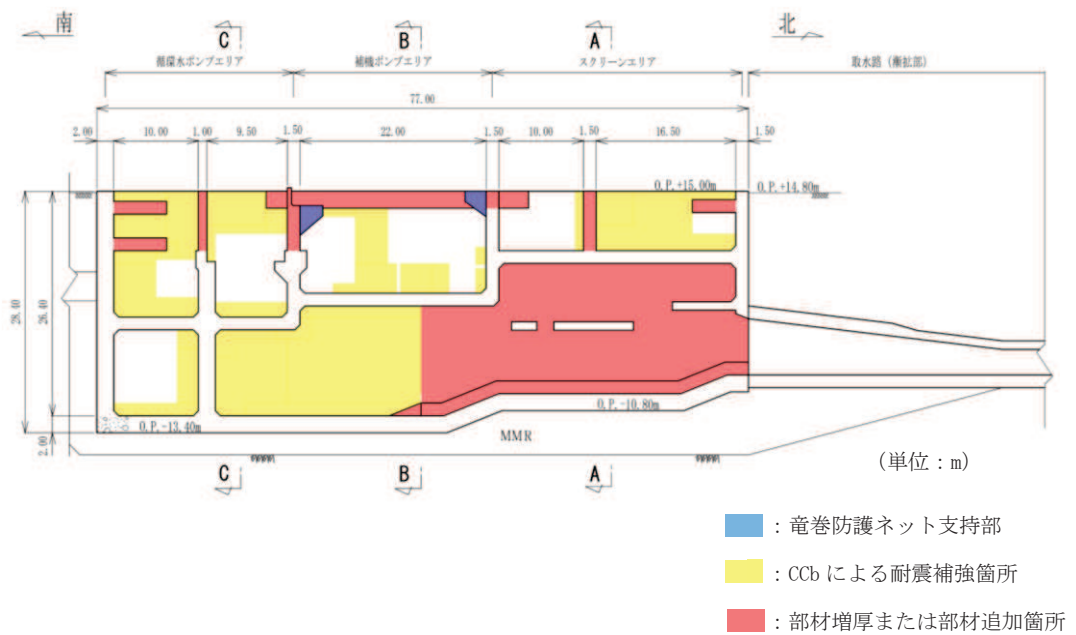


図 5-58(6) CCb による耐震補強箇所 (E-E 断面, 南北) (再掲)

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ) *1
通水機能を有すること		圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 μ) *1
貯水機能を損なわないこと		圧縮ひずみ : 2000 μ *2 主筋ひずみ : 1725 μ *2
止水機能を損なわないこと		圧縮ひずみ : 2000 μ *2 主筋ひずみ : 1725 μ *2
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと		圧縮ひずみ : 2000 μ *2 主筋ひずみ : 1725 μ *2

注記*1 : $\gamma_i \cdot \frac{\epsilon_d}{\epsilon_R} < 1.0$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ϵ_R : 限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 10000 μ)

ϵ_d : 照査用ひずみ ($\epsilon_d = \gamma_a \cdot \epsilon$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

ϵ : 圧縮縁の発生ひずみ

*2 : $\gamma_i \cdot \frac{\epsilon_d}{\epsilon_R} < 1.0$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

ϵ_R : 限界ひずみ (圧縮ひずみ : 2000 μ , 主筋ひずみ : 1725 μ)

ϵ_d : 照査用ひずみ ($\epsilon_d = \gamma_a \cdot \epsilon$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

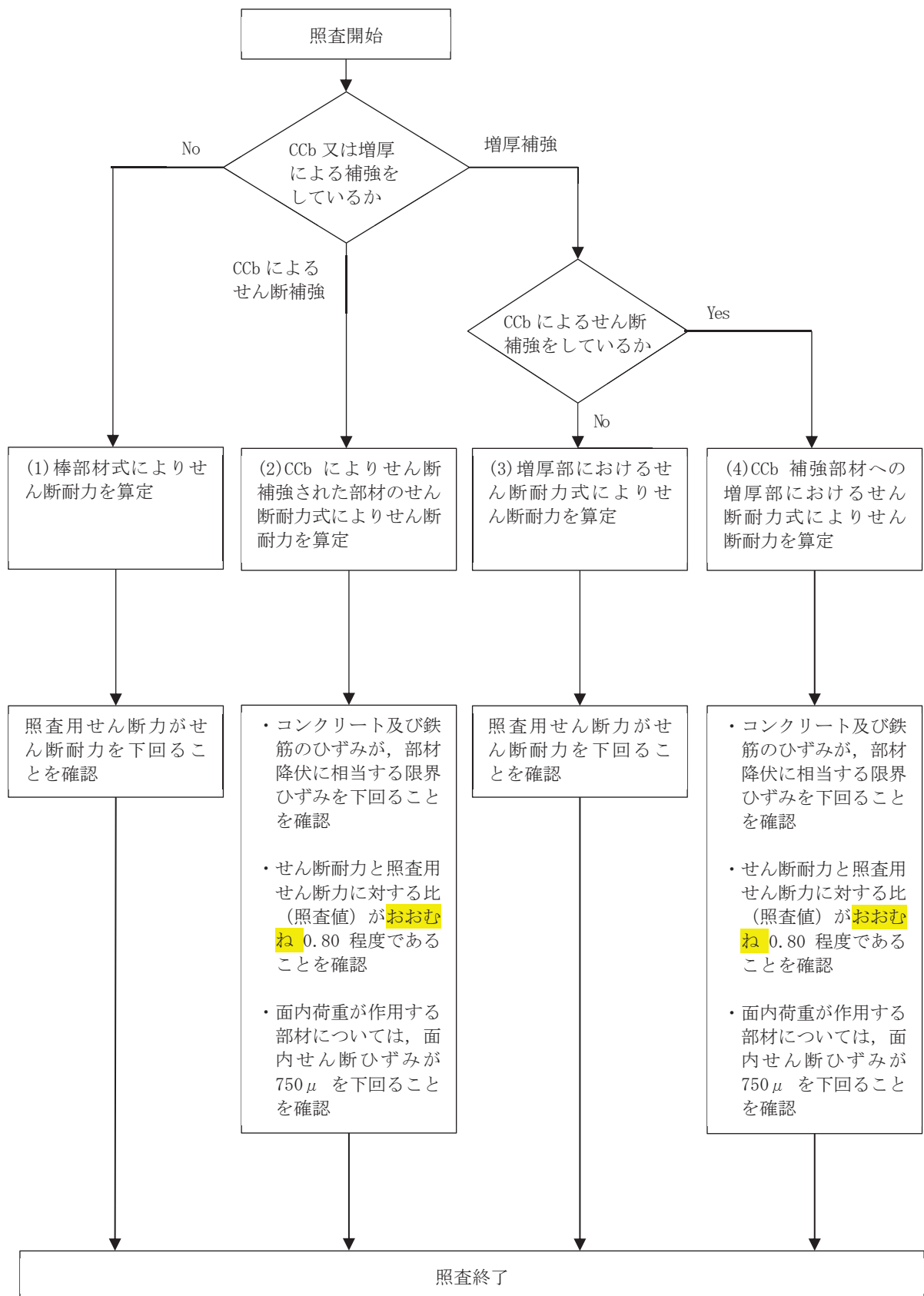
ϵ : 発生ひずみ

5.2.2 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，通水機能を有することの確認，貯水機能を損なわないことの確認，止水機能を損なわないことの確認及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認における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。せん断耐力の評価式は部材の種類に応じて4種類を用いる。

せん断耐力は，土木学会マニュアルに基づき「(1) 棒部材式」を適用することとし，デュープビームとなる部材についても，「(1) 棒部材式」を用いることで安全側の評価とする。

CCb工法を用いる構造部材については「(2) Ccbによりせん断補強された部材のせん断耐力式」を，増厚補強を行う構造部材については「(3) 増厚部におけるせん断耐力式」を用いる。また，CCb適用部材に対して増厚補強を行う場合については，「(4) Ccb適用部材に対して増厚補強を行う場合におけるせん断耐力式」を用いる。各せん断耐力の評価式は，後述する。せん断破壊に対する照査のフローを図5-59に示す。



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

図 5-59 せん断破壊に対する検査フロー

CCb 補強部材への増厚部におけるせん断耐力については、「鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル）（鉄道総合技術研究所，平成13年3月）」（以下「鉄道標準」という。）によることとする。

鉄筋コンクリート部材の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。

$$\gamma_i \cdot \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで， γ_i ：構造物係数（ $\gamma_i=1.0$ ）

V_{yd} ：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

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5-2に示すとおり，複数の安全係数（材料係数，部材係数，構造解析係数）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 5-2 セン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	コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減
	鉄筋	γ_s	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 $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$

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

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

ここで、R：応答層間変形角

とされている。

γ_{b2} は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b2}=1.0$ としてよいとされている。解析結果から海水ポンプ室の鉄筋コンクリート部材については降伏が認められなかったため、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

(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

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

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad \text{ただし, } f_{vcd} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ となる場合は}$$

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

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

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

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし, } \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

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

ただし, 三次元構造解析は安全側の設定となるよう

$\beta_a = 1.0$ とする。

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

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

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筋の総断面積
- f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度の材料係数 γ_{ms} で除したもので、
400N/mm²以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値
 f'_{ck} が60N/mm²以上の時は、800N/mm²以下としてよい。
- α : せん断補強筋と部材軸のなす角度
- s : せん断補強筋の配置間隔
- 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) 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）

海水ポンプ室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のせん断耐力については、「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。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} \\ = \beta_{aw} \cdot \{A_{aw} \cdot f_{awyd} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw}\} z / \gamma_b \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - \frac{\ell_y}{2S_{rb}} \quad \dots \text{式(3)}$$

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

ここに、 V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{sd} : 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あたりのせん断耐力

V_{CCbd} : 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あたりのせん断耐力

V_{awd} : 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あたりのせん断耐力

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

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

α_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）が部材軸となす角度

S_{aw} : 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）の先端型定着体の定着長（ $5D$ としてよい）

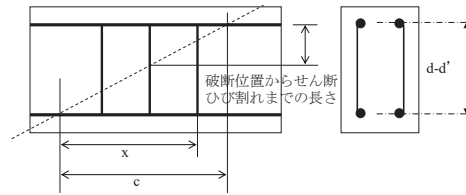
D : CCb の鉄筋径

S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

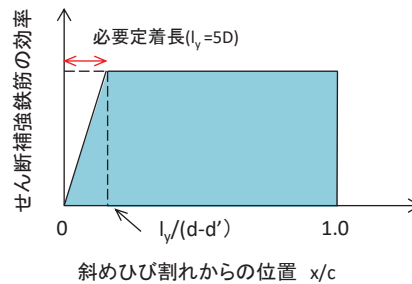
d : 補強対象部材の有効高さ

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。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 5-60 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 5-60 セラミックキャップバー (CCb) の有効率算定の概念図

なお、設計上の保守的な配慮として、セラミックキャップバー (CCb) によるせん断補強を配置する場合は、対象とする構造部材の主筋の降伏以下の場合に適用することとし、せん断破壊に対する照査値は **おおむね** 0.80 程度とする。

また、面内せん断ひずみを 750μ 未満とする。

(3) 増厚部におけるせん断耐力式

増厚補強部において既設部材と補強部材を一体壁として考慮する場合におけるせん断補強鋼材が負担するせん断耐力 V_{wd} の算定の考え方を図 5-61 に示す。せん断耐力式は、既設部材と補強部材が負担するせん断耐力の足し合わせとして図 5-61 の (解 8.4.3-3) により算定する。

各々の壁に分離してせん断補強鋼材を配置する場合において、せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力は、式（解 8.4.3-3）により算定してよい。

$h_1 > h_2$ の場合

$$V_{wd} = \left\{ \frac{A_{w1} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_1 + \cos \theta_1) \cdot z_1}{s_1} + \frac{A_{w2} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_2 + \cos \theta_2) \cdot z_2}{s_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \right\} / \gamma_b$$

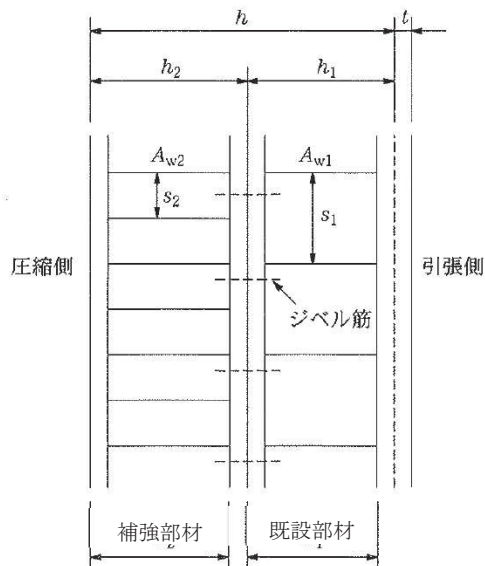
$h_1 = h_2$ の場合

$$V_{wd} = \left\{ \frac{A_{w1} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_1 + \cos \theta_1) \cdot z_1}{s_1} + \frac{A_{w2} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_2 + \cos \theta_2) \cdot z_2}{s_2} \right\} / \gamma_b$$

$h_1 < h_2$ の場合

$$V_{wd} = \left\{ \frac{A_{w1} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_1 + \cos \theta_1) \cdot z_1}{s_1} \cdot \frac{h_1}{h_2} + \frac{A_{w2} \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \theta_2 + \cos \theta_2) \cdot z_2}{s_2} \right\} / \gamma_b \quad (\text{解 8.4.3-3})$$

ここに、 V_{wd} ：せん断補強鋼材により受け持たれる棒部材の設計せん断耐力



解説図 8.4.3-4 一体化におけるせん断補強鉄筋の配置（分離して配置した場合）

図 5-61 既設部材と補強部材を一体壁としたせん断耐力の考え方
(鉄道標準より抜粋（一部加筆）)

(4) CCb 適用部材に対して増厚補強を行う場合におけるせん断耐力式

既設部材に CCb 補強を行う一体壁のせん断耐力のうちせん断補強鋼材が負担する設計せん断耐力 V_{wd} は、図 5-61 の (解 8.4.3-3) に補足説明資料「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 参考資料 6」の図 3-6 に示す有効率 β_{aw} を考慮する。

例として、 $h_1 > h_2$ の場合に β_{aw} を考慮したせん断耐力式を式 (1) に示す。

コンクリート負担分のせん断耐力 V_{cd} は、既設部材と補強部材との間にジベル鉄筋を配置し、既設部材と補強部材が一体として挙動するため、増厚を実施しない部材において参照している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) に基づき算出する。

$$V_{wd} = \left\{ \frac{A_{w1} f_{wyd} (\sin \theta_1 + \cos \theta_1) z_1}{s_1} \cdot \beta_{aw} + \frac{A_{w2} f_{wyd} (\sin \theta_2 + \cos \theta_2) z_2}{s_2} \cdot \frac{h_2}{h_1} \right\} / \gamma_b \quad (1)$$

ここで、

A_{wi} : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度を材料係数 γ_{ms} (1.0) で除したもの

で、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値

f'_{ck} が 60N/mm^2 以上の時は、 800N/mm^2 以下とする。

θ_i : せん断補強筋と部材軸のなす角度

s_i : せん断補強筋の配置間隔

z_i : 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_b : 部材係数 (=1.1)

h_i : 部材厚

5.2.3 壁部材の面内せん断に対する許容限界

壁部材の面内せん断に対する許容限界は、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) に基づき、面内せん断ひずみ 2000μ (2/1000) を許容限界とする。

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) において、限界せん断ひずみ 2000μ (2/1000) は、耐震壁の終局耐力に相当する面内せん断ひずみ 4000μ (4/1000) に余裕を見込んだ許容限界として規定されている。

壁部材の面内せん断照査に用いる照査用面内せん断ひずみは、三次元構造解析により得られた面内せん断ひずみに安全係数 (構造解析係数) 1.2 を乗じることにより、面内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。

各要求機能について、貯水機能を損なわないこと及び止水機能を損なわないことの確認においては、面内せん断ひずみが J E A G 4 6 0 1 - 1987 で規定されているスケルトンカーブの第一折点 (γ_1) を下回る場合は、水密性に影響のあるひび割れは生じないと考えられる。

「5.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界」で示す許容限界を下回る場合、おおむね弾性範囲に収まっており、顕著な漏水は発生しないと評価できる。なお、面内せん断ひずみが γ_1 を超過超過する場合においては、念のため漏水量の算定を行う。

また、CCb 工法を適用する部材について、CCb 工法は面内せん断ひずみが 750μ までの範囲内において使用することから、面内せん断ひずみが 750μ を下回ることを確認する。海水ポンプ室において CCb 工法を適用する部材を図 5-58 に示す。

$$\gamma_i \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma_R} < 1.0$$

ここで、

γ_i : 構造部材係数 ($\gamma_i = 1.0$)

$$\gamma_d = \gamma_a \cdot \gamma$$

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.2$)

γ : 発生する面内せん断ひずみ

γ_R : せん断ひずみ度に関する許容限界の目安値

$$\gamma_R = \gamma_u / 2.0$$

γ_u : 終局せん断ひずみ度で 4.0×10^{-3}

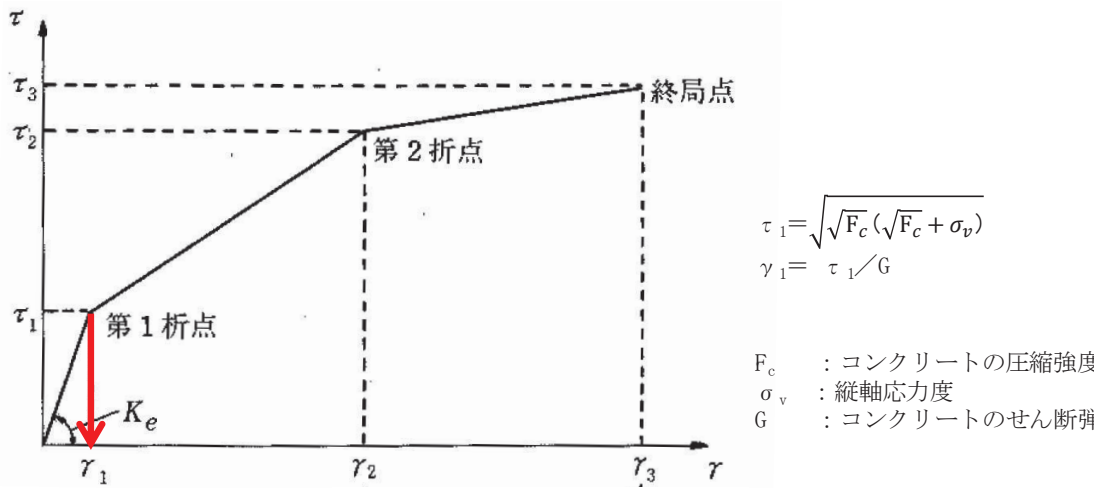


図 5-62 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ (τ - γ 関係) と評価式

5.2.4 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）

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 5-3 に示す。

表 5-3 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

(2) MMR（既設）

a. 接地圧に対する許容限界

MMR（既設）に発生する接地圧に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートの支圧強度とする。MMR（既設）の接地圧に対する許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$)	$f'_{ak} = 15.6$

b. 健全性に対する許容限界

MMR（既設）に発生するせん断応力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、MMR（既設）のせん断強度 $\tau_f = \tau_o = f'_{ck}/5$ とする。

また、せん断破壊に対する健全性の確認において参照する引張破壊については、コンクリート標準示方書に基づく引張強度を超える引張応力が発生した場合に引張破壊と判定する。

MMR（既設）のせん断強度及び引張強度を表 5-5 に示す。

表 5-5 MMR（既設）のせん断破壊に対する許容限界

せん断強度*1 (N/mm ²)	引張強度*2 (N/mm ²)
3.12	1.43

注記*1：せん断強度 τ_f は、粘着力 $\tau_o = f'_{ck}/5$ のみ見込むこととし、 $\sigma \tan \phi$ は考慮しないことで安全側に配慮する。

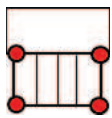
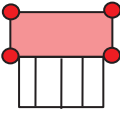
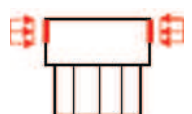
*2：コンクリート標準示方書に基づき設定

6. 評価結果

6.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として、表6-1で設定した照査時刻に対する「各照査時刻における荷重抽出時刻の算定結果」、「作用荷重分布図」及び「最大せん断ひずみ分布」を記載する。

表 6-1 照査時刻の考え方 (1断面当たり*)

照査時刻	損傷モード	着目部位		荷重抽出時刻
時刻 1	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		下部構造（水路）における頂底版間の層間変位が最大となる時刻
時刻 2, 3	曲げ・軸力系の破壊	壁 (面外)		上部構造における各側壁の転倒曲げモーメントが最大となる時刻
時刻 4	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		総水平荷重が最大となる時刻
時刻 5, 6	せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の水平荷重が最大となる時刻
時刻 7	せん断破壊 (面内)	壁 (面内)		面部材の層間変位が最大となる時刻
時刻 8, 9	曲げ・軸力系の破壊 及び せん断破壊 (面外)	壁 (面外)		上部構造における各側壁の上部荷重が最大となる時刻

注記* : 1断面当たり 9 時刻を選定しており、海水ポンプ室は 3つの断面を有することから、地震動 1波当たり合計 27 時刻の照査を行う。