

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-37改01
提出年月日	2023年4月13日

VI-2-11-2-12 復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-12 R0

2023年4月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造及び補強の概要	4
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	11
3. 地震応答解析	12
3.1 地震時荷重算出断面	12
3.2 解析方法	14
3.2.1 構造部材	14
3.2.2 地盤物性のばらつき	14
3.2.3 減衰定数	15
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	16
3.3 荷重及び荷重の組合せ	17
3.3.1 荷重	17
3.3.2 荷重の組合せ	17
3.4 入力地震動	18
3.5 解析モデル及び諸元	31
3.5.1 解析モデル	31
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	33
3.5.3 地盤の物性値	33
3.5.4 地下水位	34
3.6 地震応答解析結果	35
3.6.1 地震応答解析結果	35
4. 応力解析	52
4.1 評価対象部位	52
4.2 解析方法	52
4.3 荷重及び荷重の組合せ	52
4.3.1 荷重	52
4.3.2 荷重の組合せ	53
4.4 解析モデル及び諸元	54
5. 耐震評価	57
5.1 許容限界	57
5.1.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界	57

5.1.2	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート，リブプレート）の健全性に対する許容限界	61
5.1.3	復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界	62
5.1.4	基礎地盤の健全性に対する許容限界	63
6.	耐震評価結果	64

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、復水貯蔵タンク遮蔽壁がB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価として、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材の健全性評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析により算定した荷重を3次元構造解析モデルに作用させて確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

復水貯蔵タンク遮蔽壁の位置図を図 2-1 に示す。

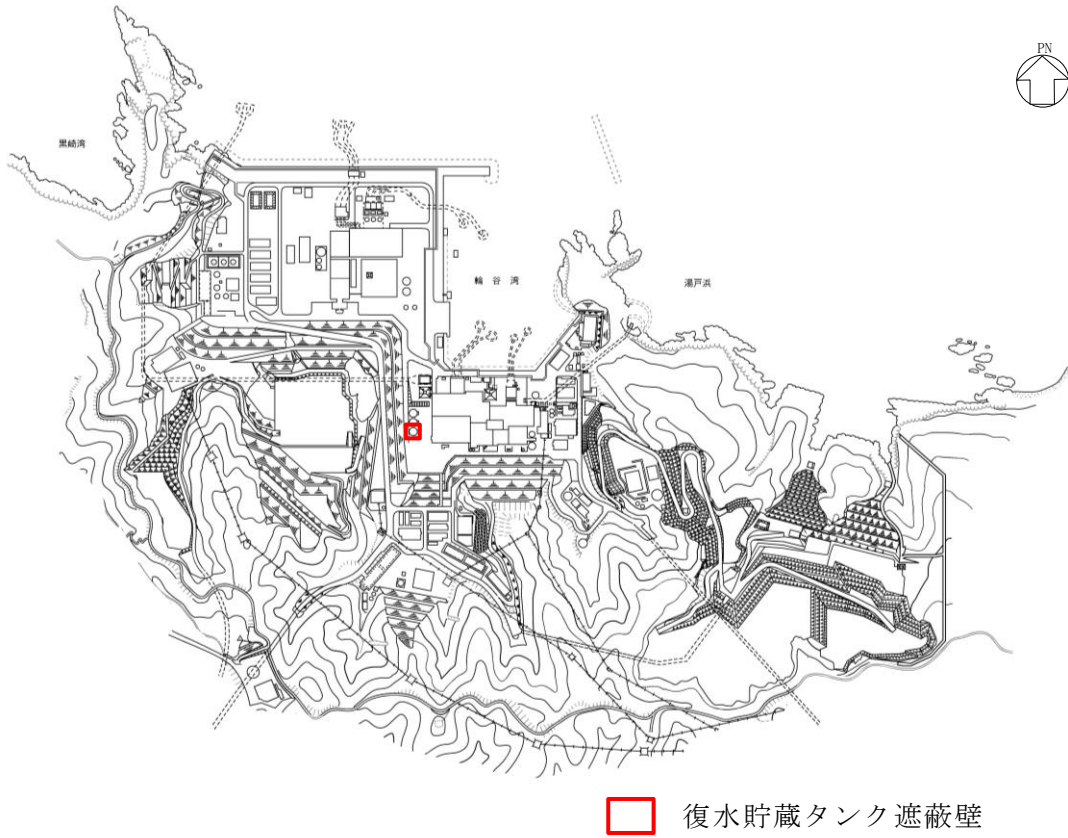


図 2-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図

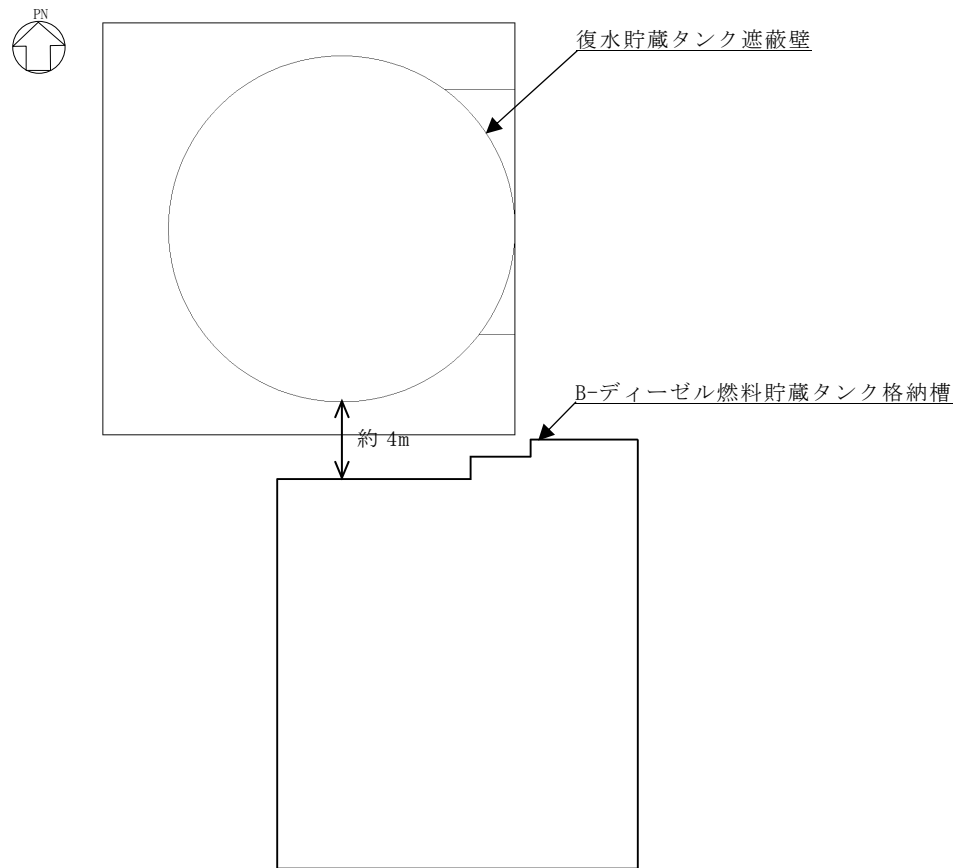


図 2-1(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図 (詳細図)

2.2 構造及び補強の概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3 に，耐震補強箇所を図 2-4 に，開口補強鋼材を図 2-5 に，概略配筋図を図 2-6 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は，鉄筋コンクリート造であり，荷重は遮蔽壁に作用し，基礎へ伝達する構造である。基礎は，幅 22m（東西）×22m（南北），遮蔽壁は，内径 17.5m，壁厚 0.5m，高さ 12m の円筒状の地上構造物で，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。

なお，復水貯蔵タンク遮蔽壁については，耐震性を確保するために耐震補強を実施する。

せん断破壊に対する耐震補強として，後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHb 工法」という。）による補強を行っている。

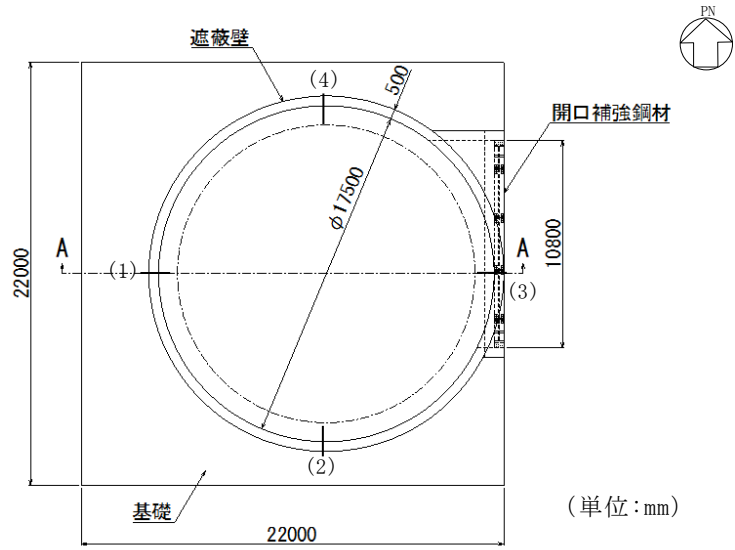


図 2-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図

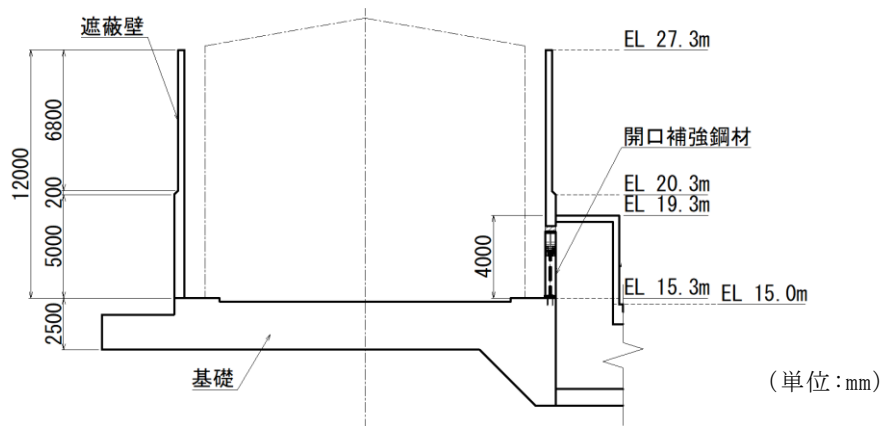
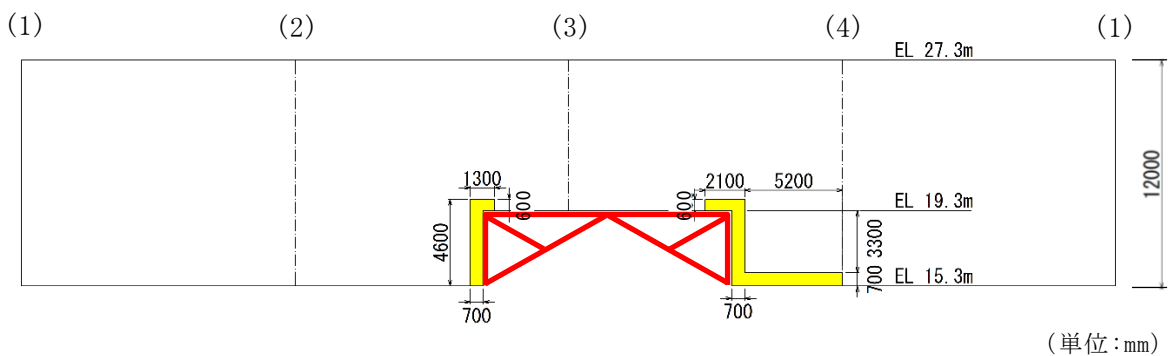


図 2-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 東西)



— : 開口補強鋼材

■ : PHb による補強箇所

図 2-4 復水貯蔵タンク遮蔽壁 PHb による耐震補強箇所及び開口補強鋼材概念図

(展開図)

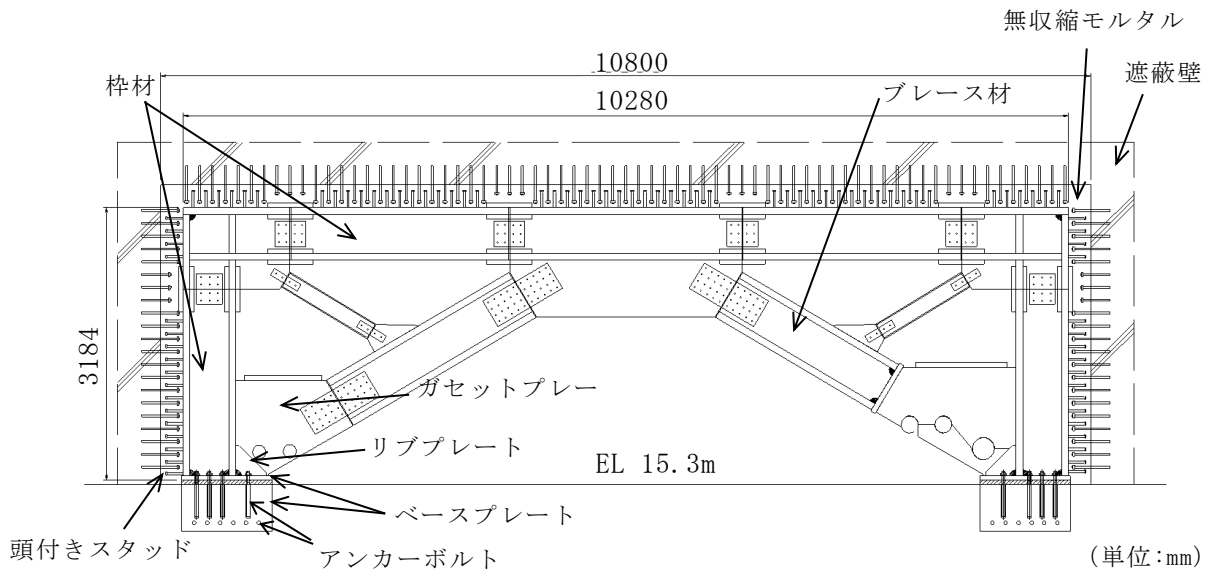


図 2-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁 開口補強鋼材による耐震補強概念図 (正面図)

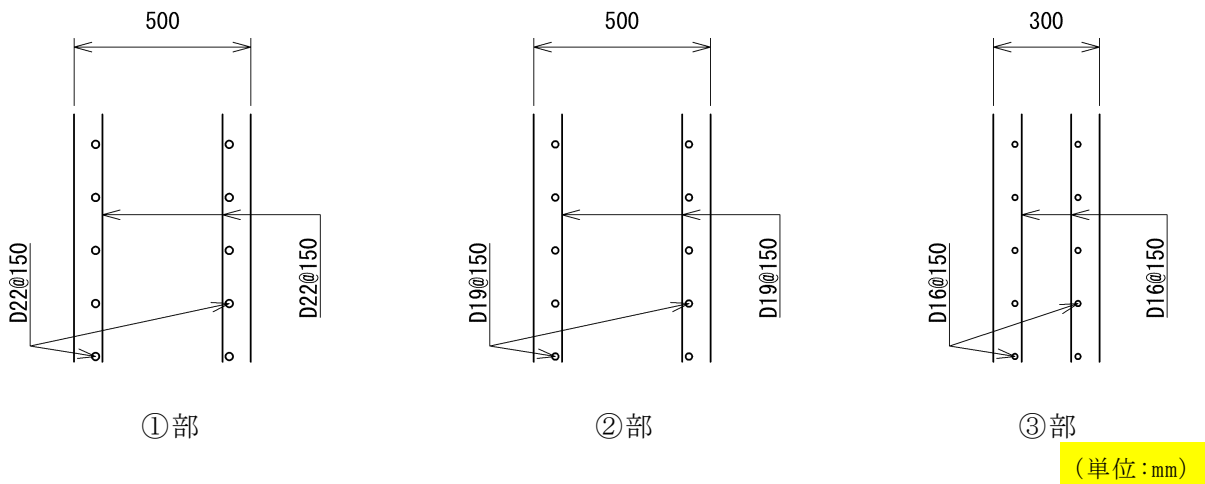
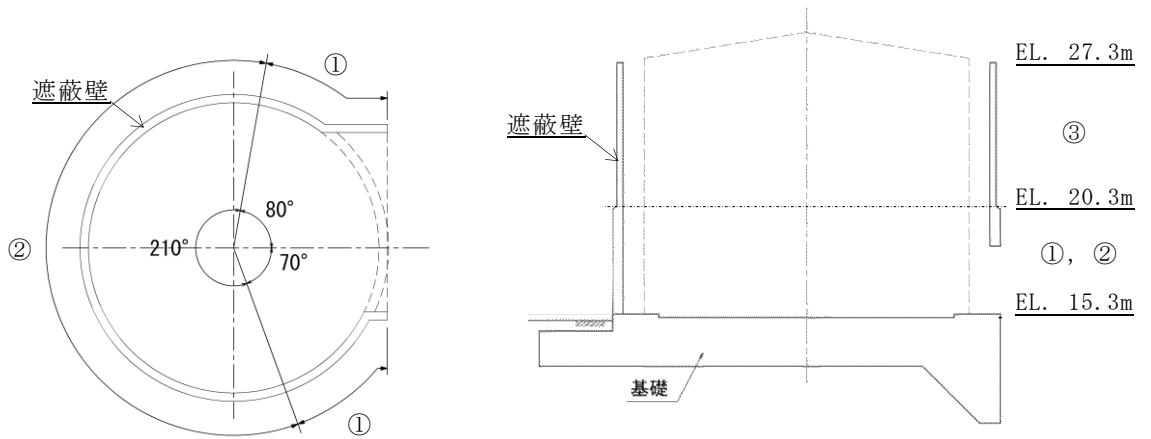
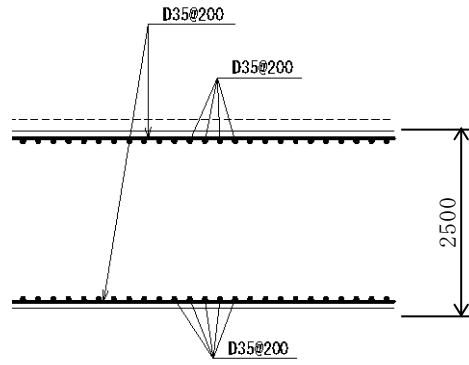
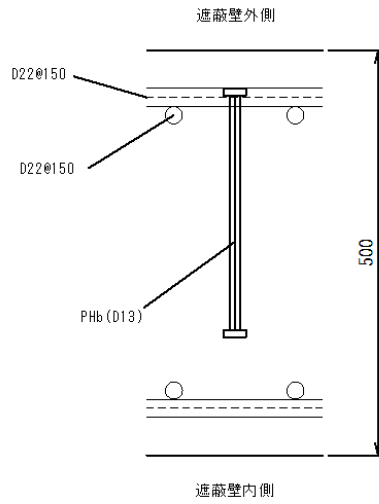


図 2-6(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (遮蔽壁)



(単位:mm)

図 2-6 (2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (基礎)



(単位:mm)

図 2-6 (3) 復水貯蔵タンク遮蔽壁 概略配筋図 (PHb 工法)

2.3 評価方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フローを図 2-7 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響評価は、地震応答解析及び 3 次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3. 地震応答解析」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて、3 次元構造解析により応答値を算定し、VI-2-1-9 「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強として PHb 工法を用いる場合には、構造部材に対して PHb 工法の適用条件を満たしていることを確認し、PHb 工法を採用する。

表 2-1(1) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目 (構造部材)

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界		
構造強度を有すること	構造部材の健全性	遮蔽壁	曲げ軸力, せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	終局曲げモーメント*	
				せん断力	短期許容応力度	
		基礎		曲げ軸力	終局曲げモーメント*	
				せん断力	短期許容応力度	
		開口補強鋼材		枠材	曲げ軸力	短期許容応力度
					せん断力	短期許容応力度
				ブレース材	曲げ軸力	短期許容応力度
					せん断力	短期許容応力度
				ガセットプレート	曲げ軸力	短期許容応力度
					せん断力	短期許容応力度
				リブプレート	せん断力	短期許容応力度
					曲げ軸力	短期許容応力度
ベースプレート	せん断力	短期許容応力度				
	曲げ軸力	短期許容応力度				
アンカーボルト	せん断力	短期許容応力度				
	せん断力	短期許容応力度				

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-1(2) 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目 (基礎地盤)

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	接地圧	極限支持力度*

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

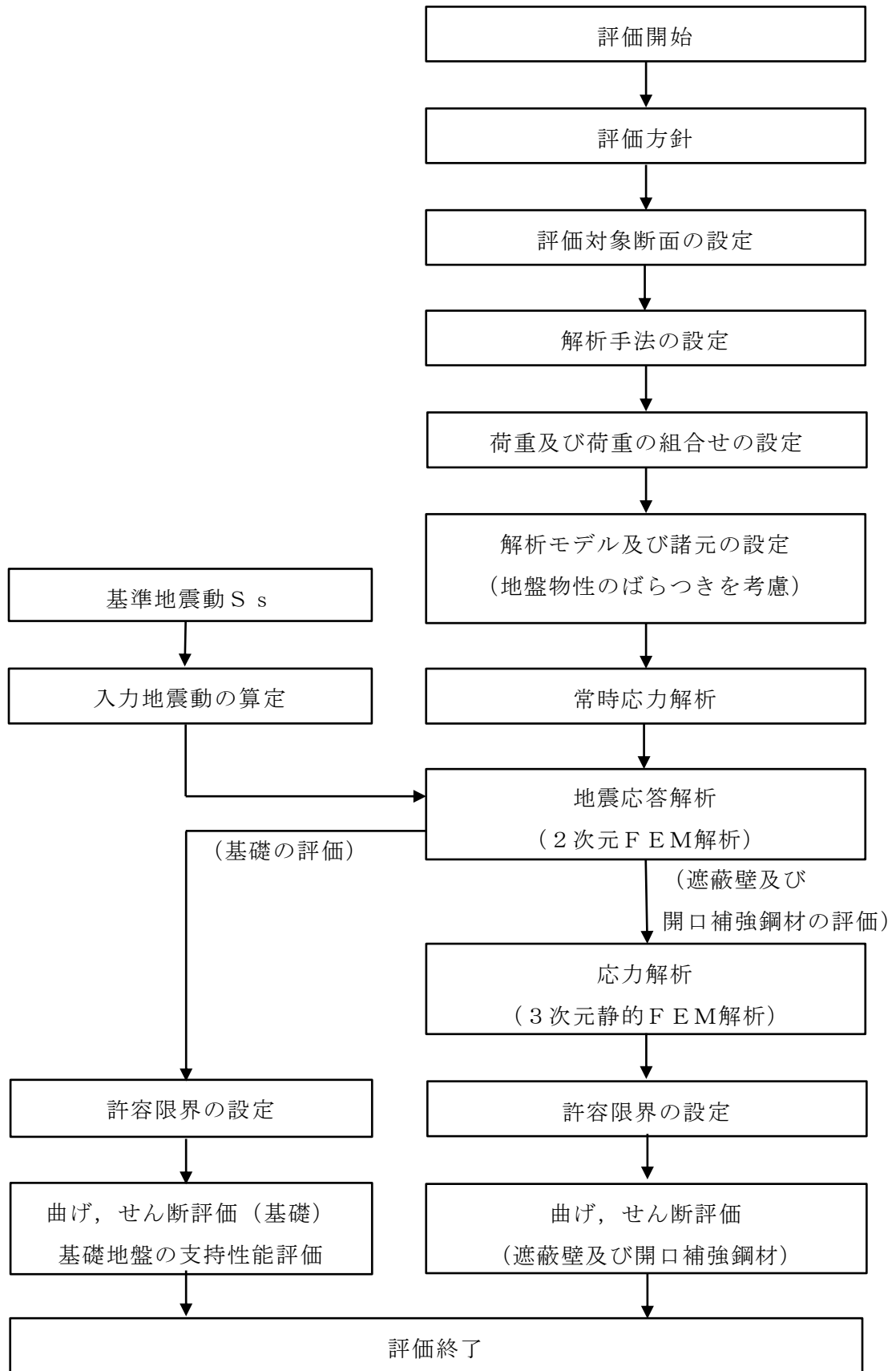


図 2-7 復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会, 1987)
- ・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, 2005.6)
- ・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)
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002) (以下「RC 示方書」という。)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度法— (日本建築学会, 2005 年)

3. 地震応答解析

3.1 地震時荷重算出断面

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震時荷重算出断面位置図を図3-1に、評価対象断面図を図3-2に示す。

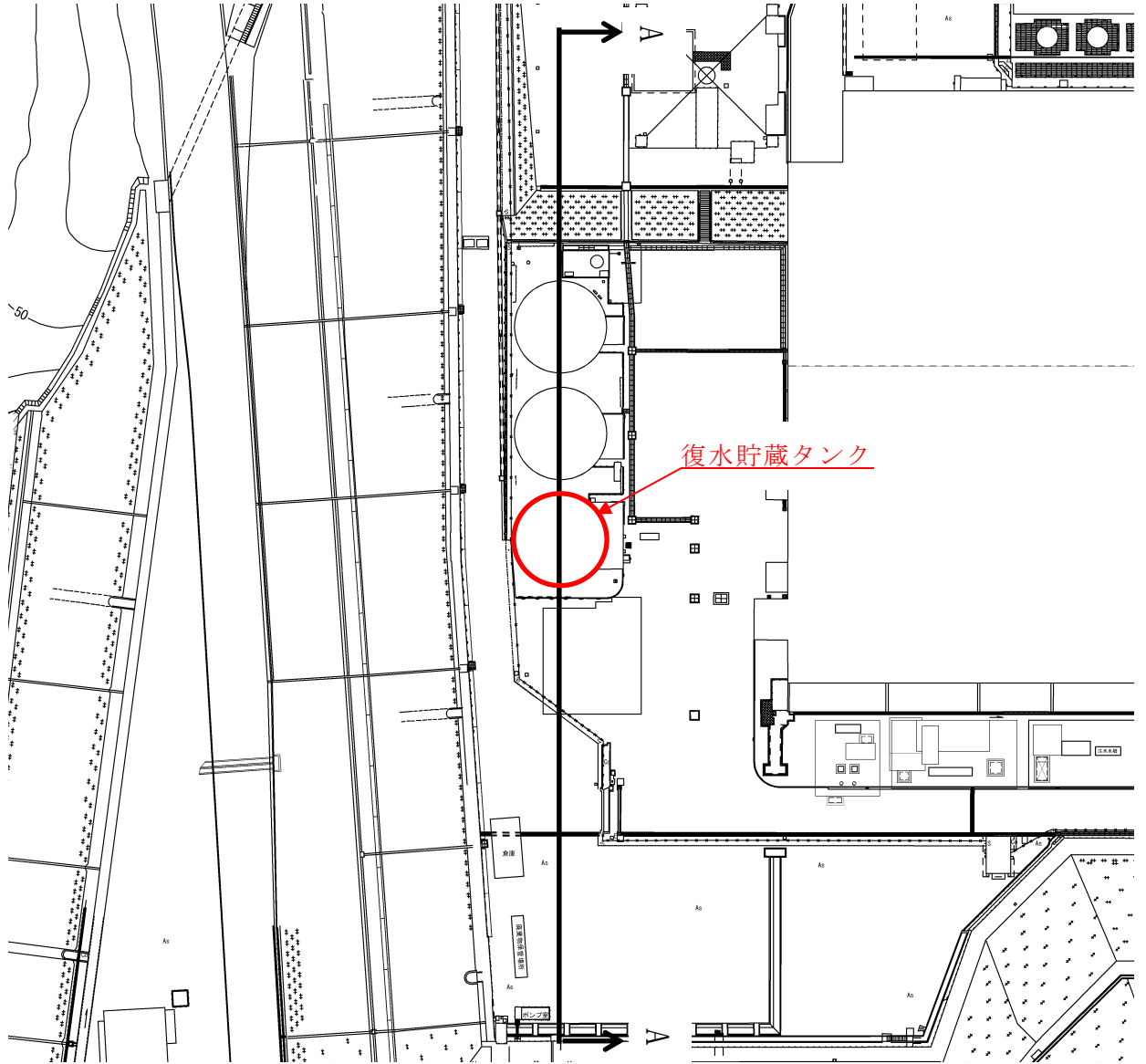


図3-1 地震時荷重算出断面位置図

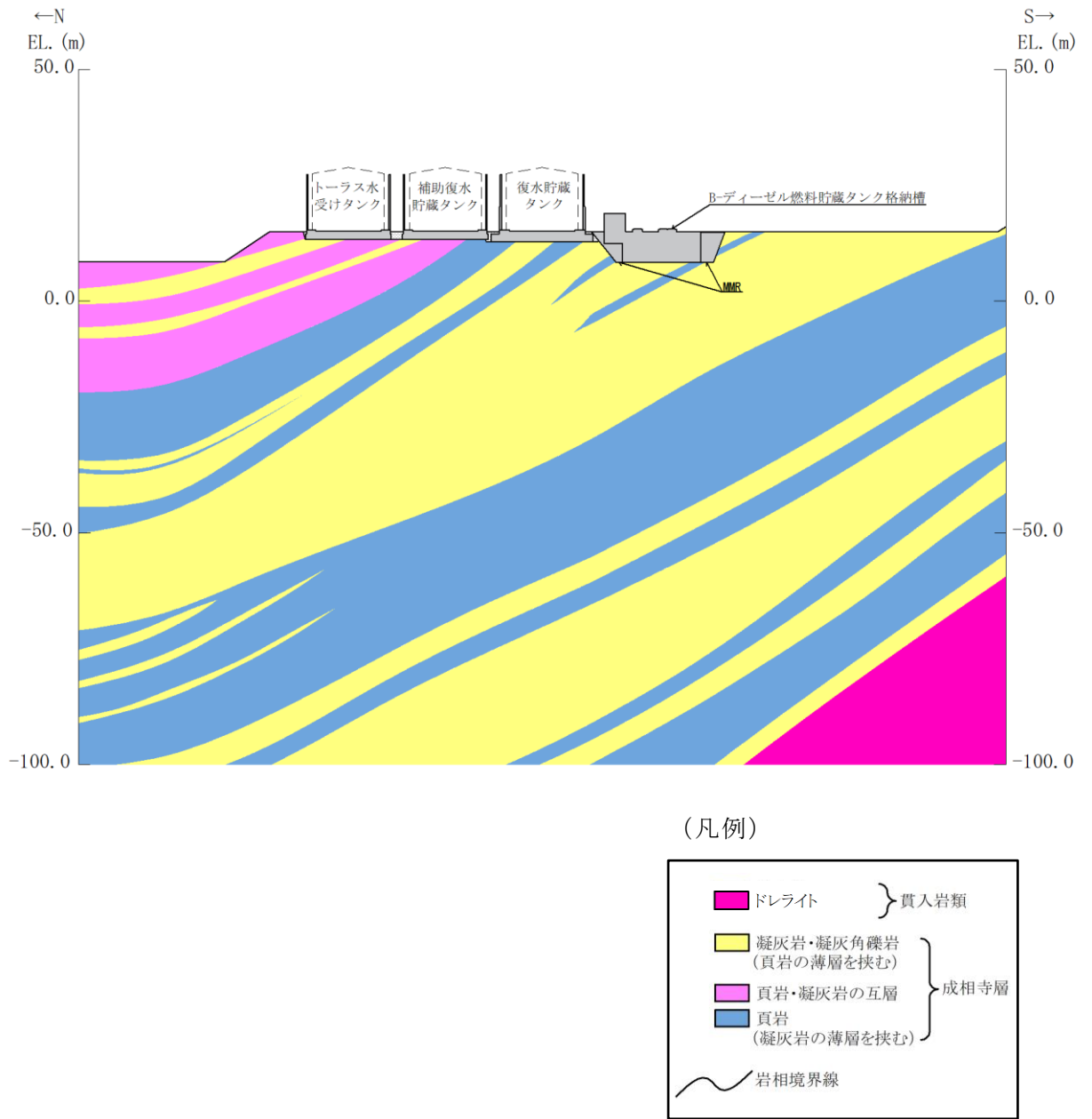


図 3-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面図 (A-A 断面)

3.2 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析は、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」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、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非線形解析により行う。復水貯蔵タンク遮蔽壁は、施設周辺に地下水水位以深の液状化対象層が存在しないことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析については、解析コード「TDAPIII」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.1 構造部材

構造部材のうち、復水貯蔵タンク及び復水貯蔵タンク遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。また、復水貯蔵タンク基礎については線形はり要素でモデル化する。

3.2.2 地盤物性のばらつき

地盤は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、動せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施する。地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-1に示す。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性
	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1σ
ケース③	平均値 - 1σ

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

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。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 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

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

α	β
1.152	1.3×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・下部における応答加速度が最も大きくなる地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 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 (+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	
地盤物性		平均値		平均値 + 1 σ		平均値 - 1 σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○			基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、遮蔽壁の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、遮蔽壁の頂部・下部における応答加速度が最も大きくなる地震動において、ケース②及び③を実施する。	
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○					
	-+*	○					

注記*：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。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び積雪荷重 P_s を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、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設定する。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含む。)

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

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

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動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、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 3-3 に入力地震動算定の概念図を、図 3-4～図 3-15 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」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

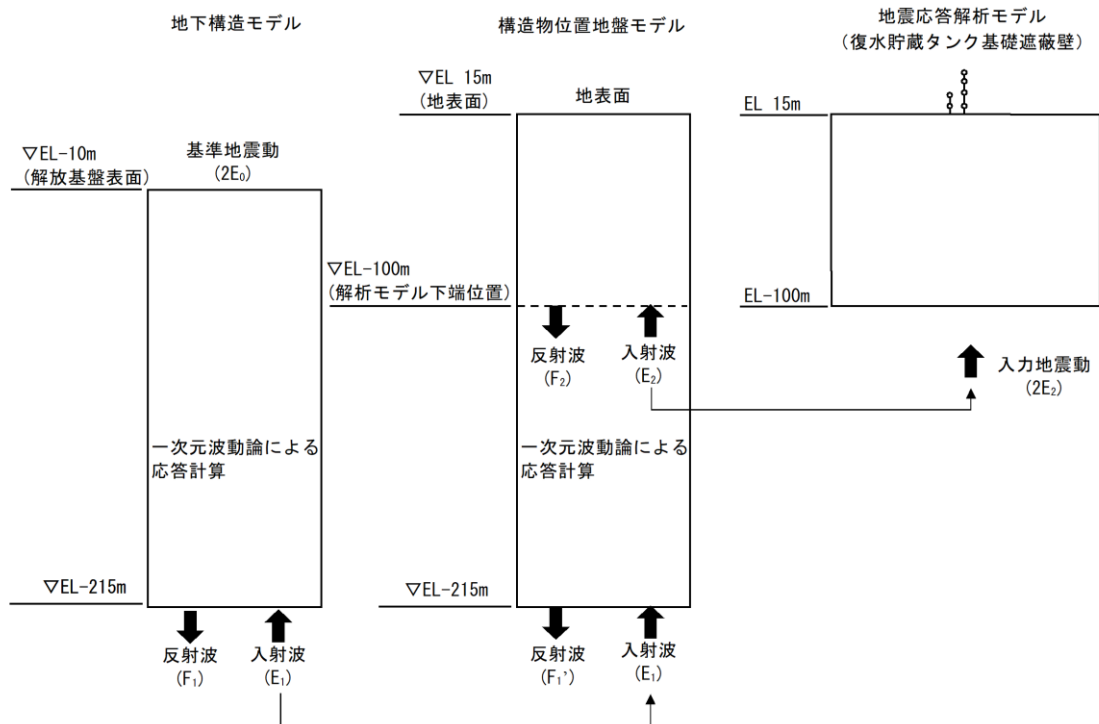
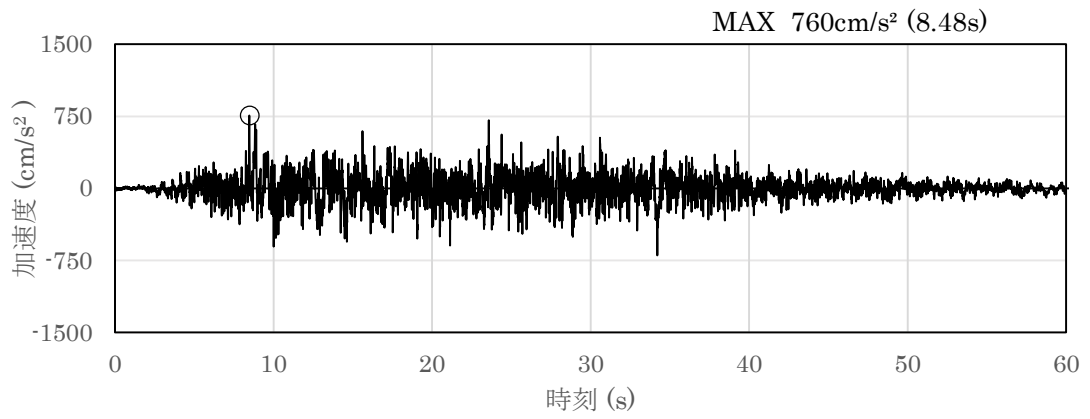
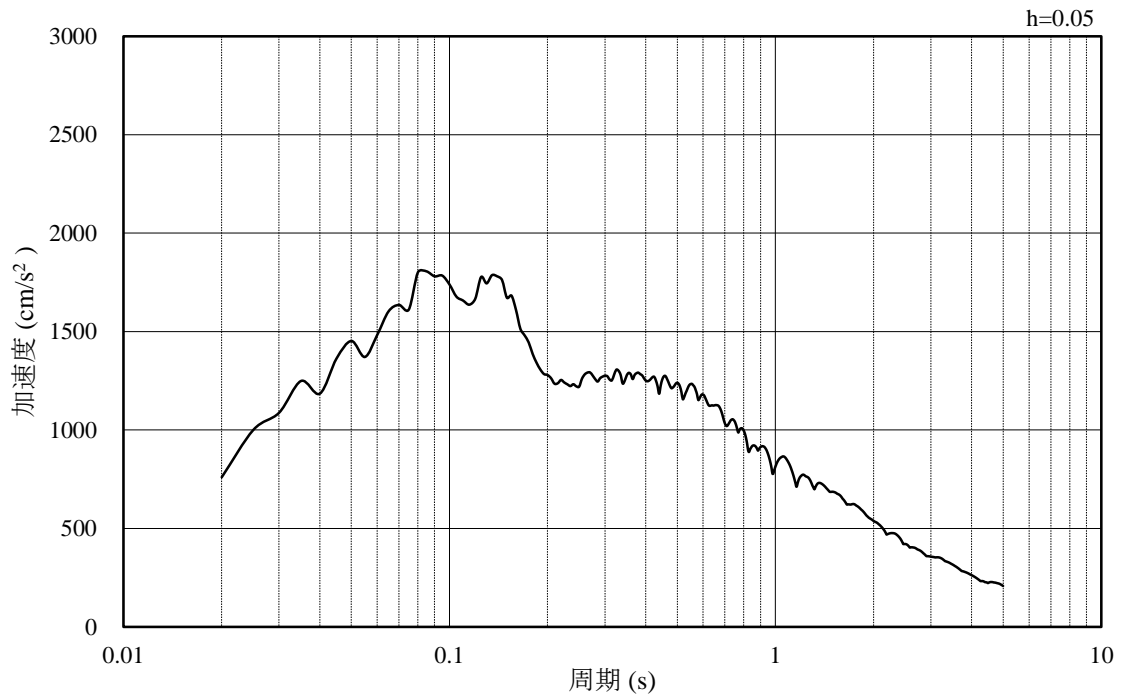


図 3-3 入力地震動算定の概念図

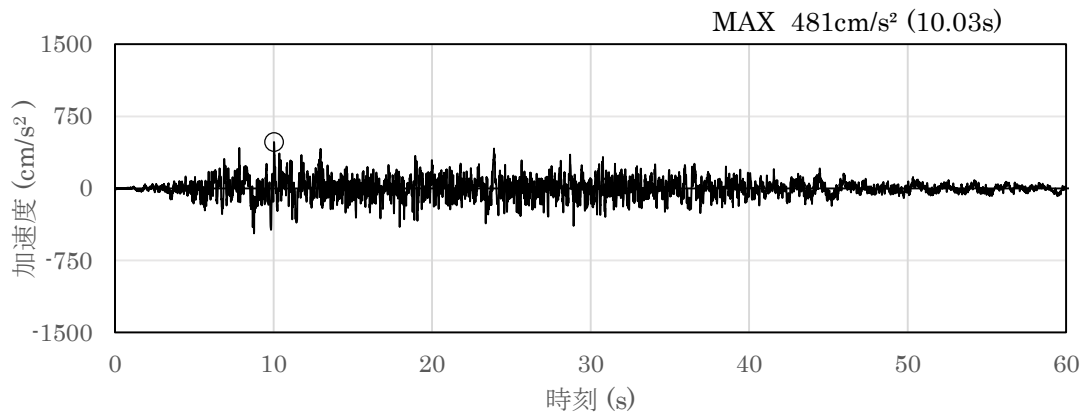


(a) 加速度時刻歴波形

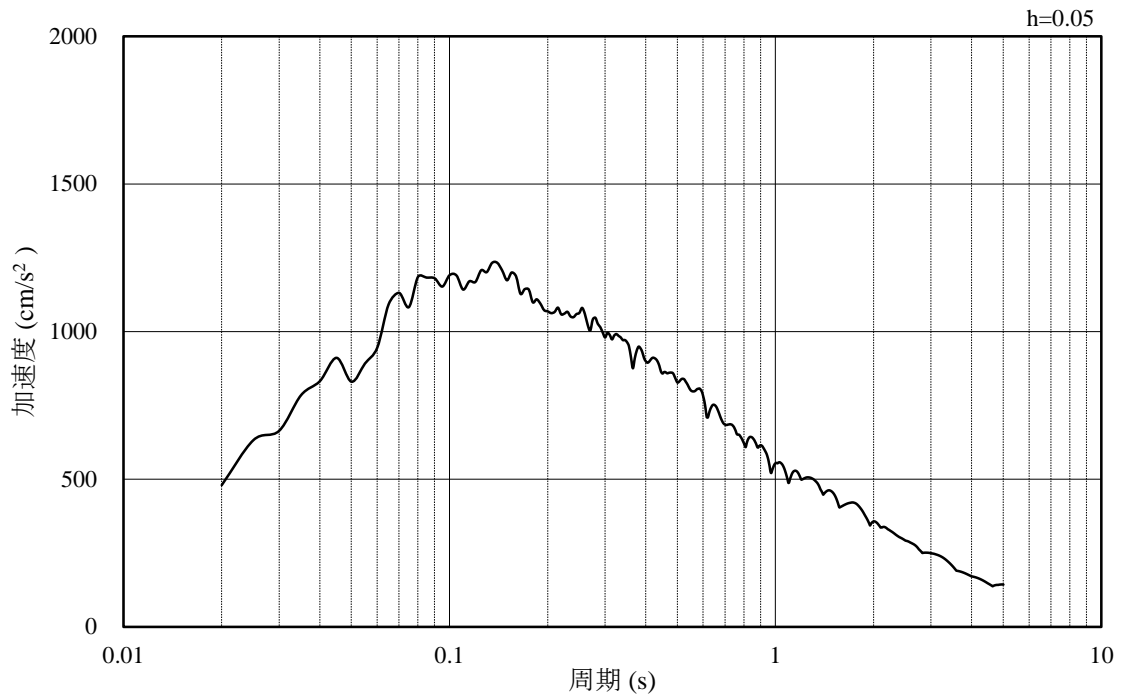


(b) 加速度応答スペクトル

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

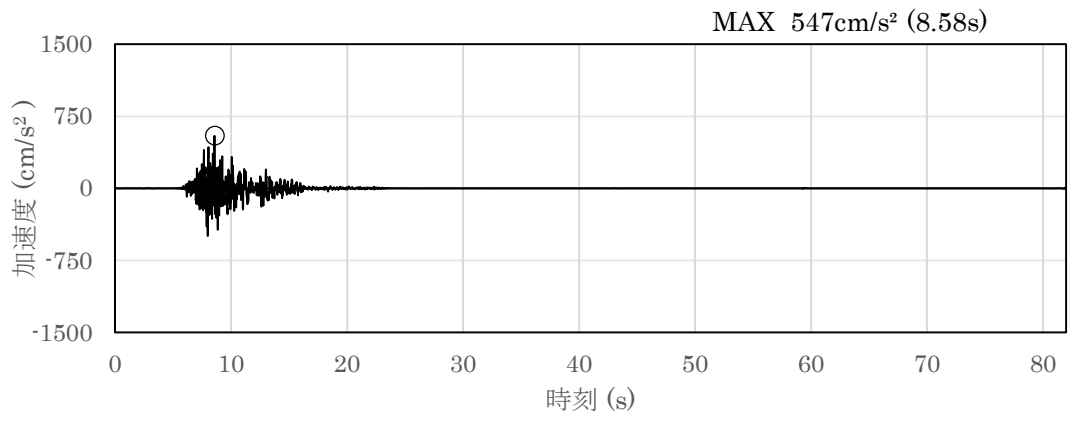


(a) 加速度時刻歴波形

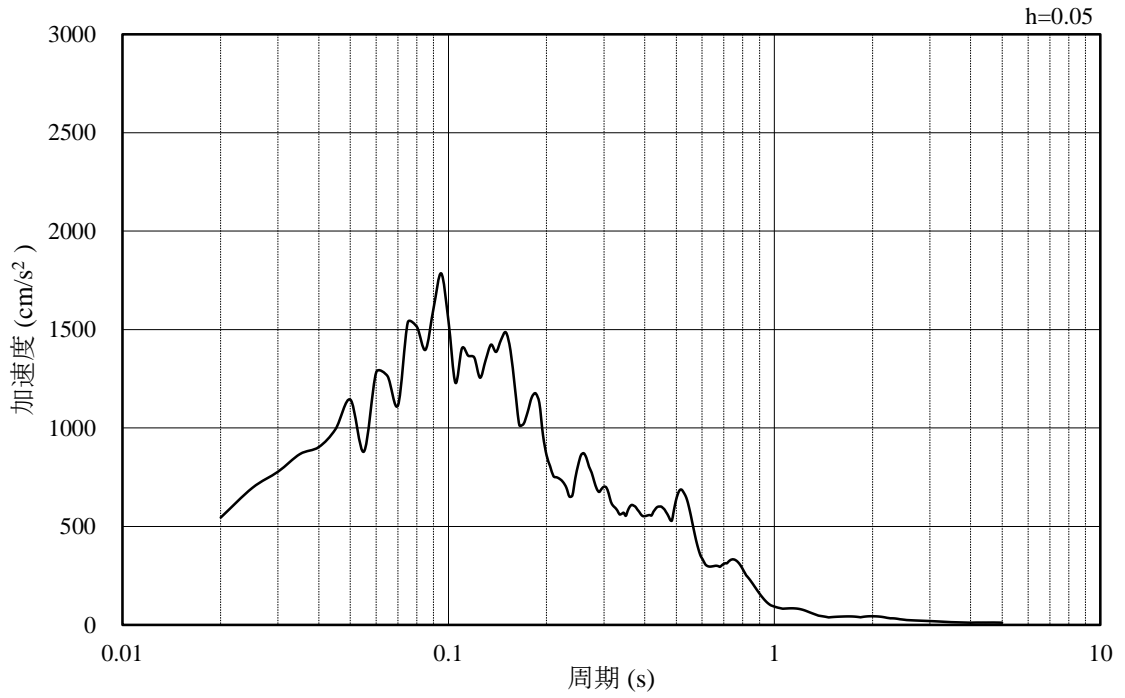


(b) 加速度応答スペクトル

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

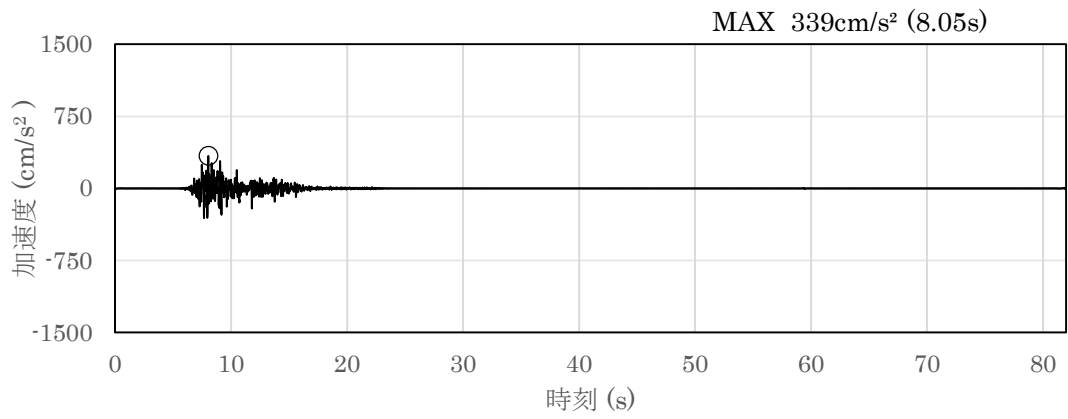


(a) 加速度時刻歴波形

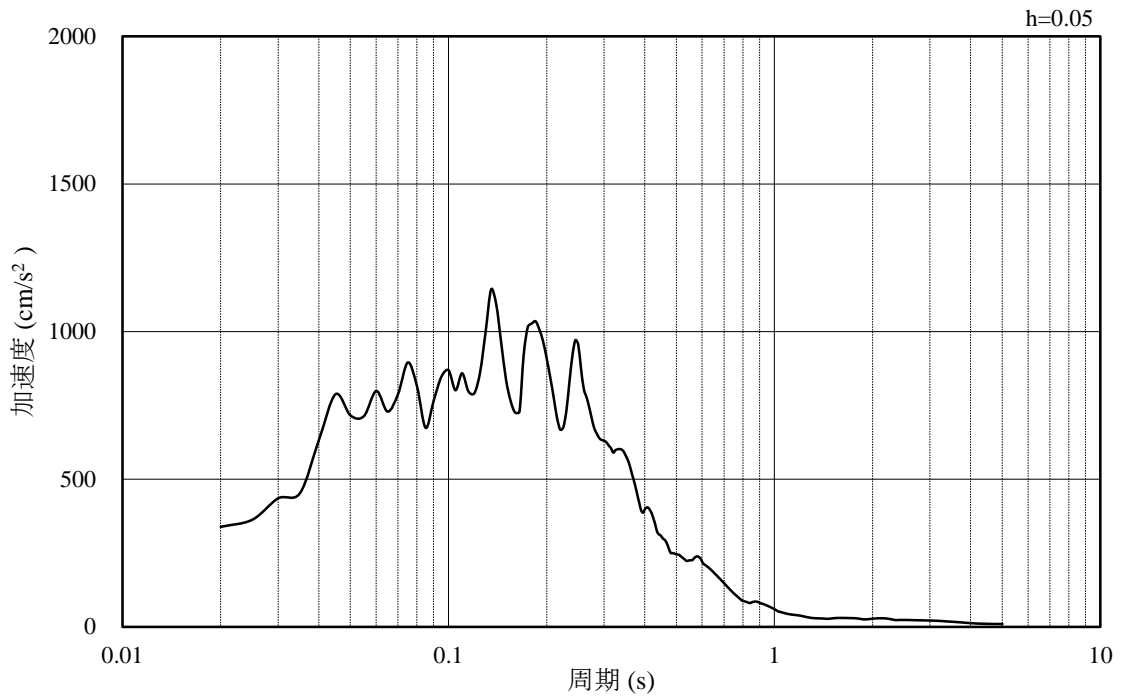


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

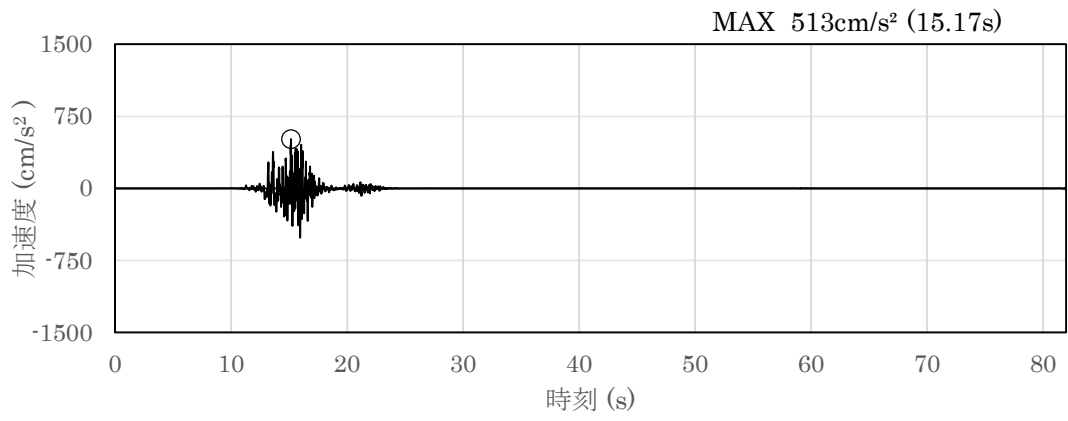


(a) 加速度時刻歴波形

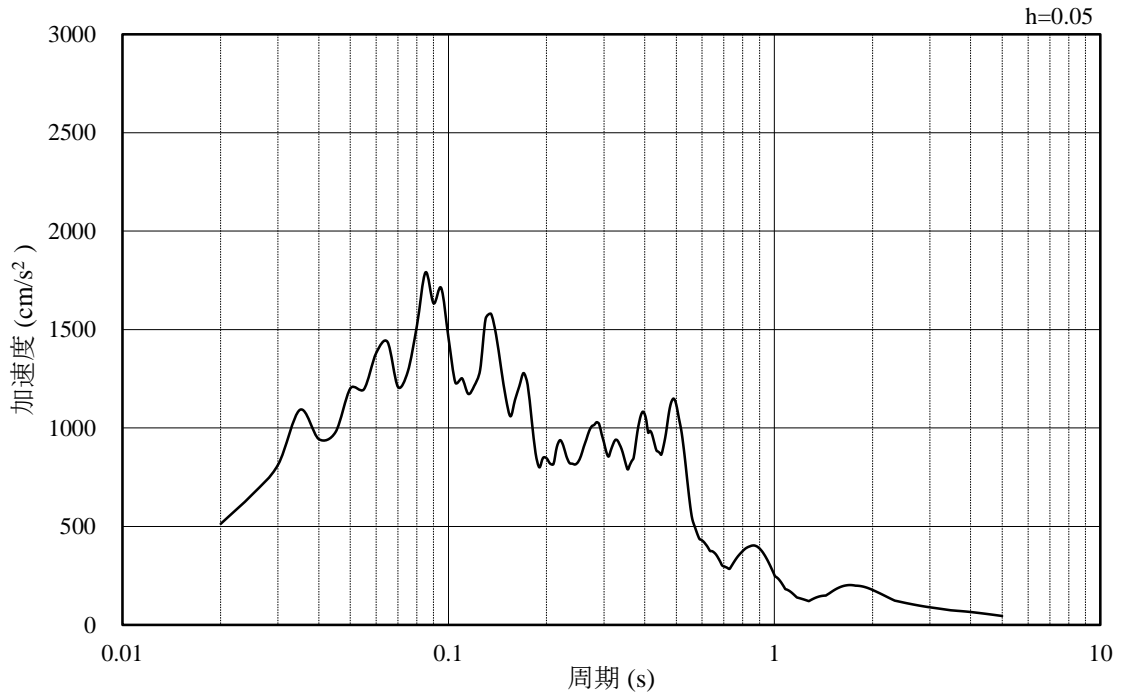


(b) 加速度応答スペクトル

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

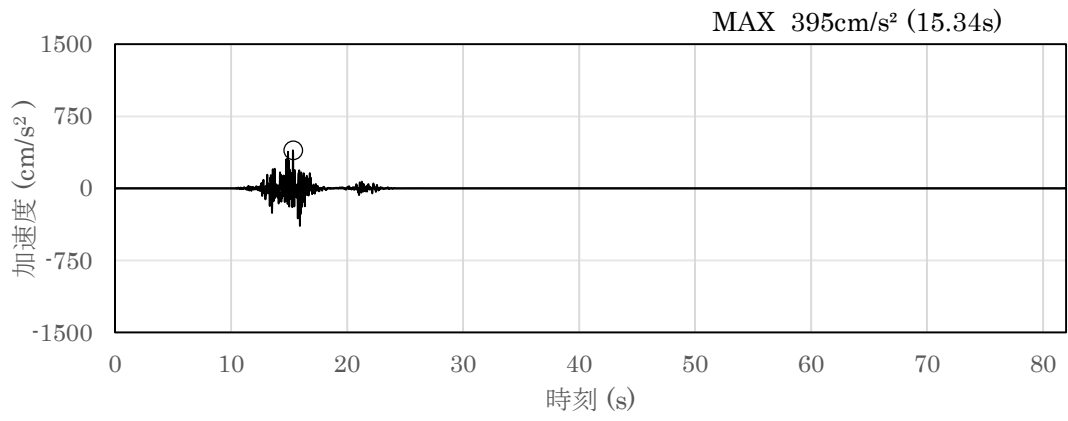


(a) 加速度時刻歴波形

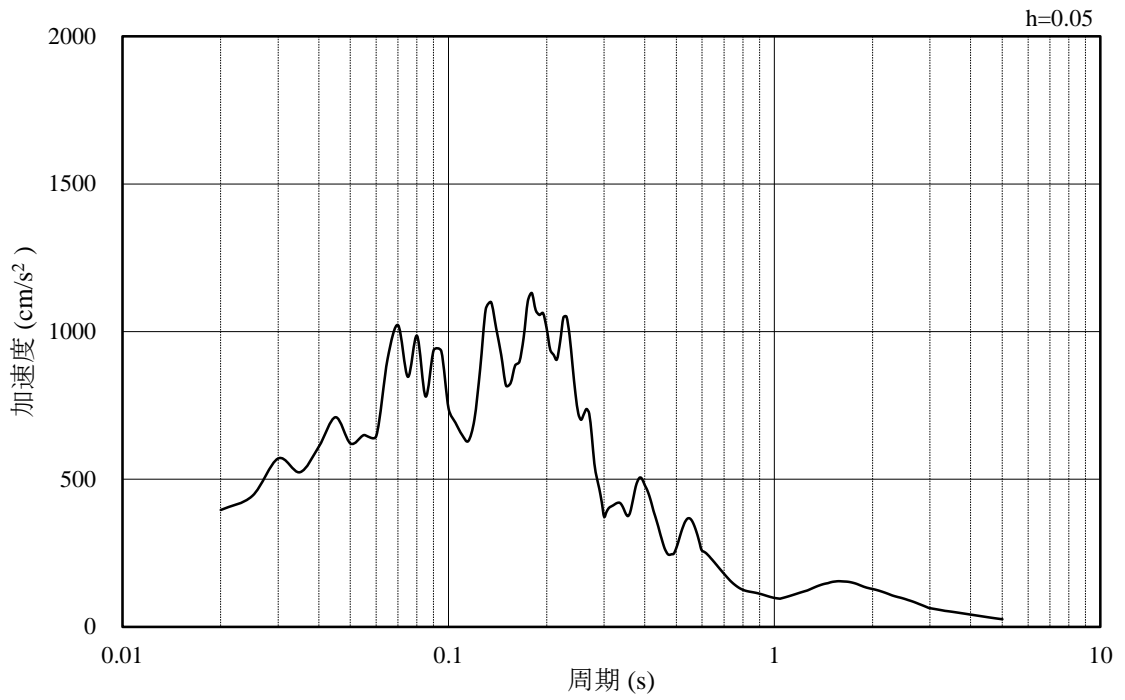


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

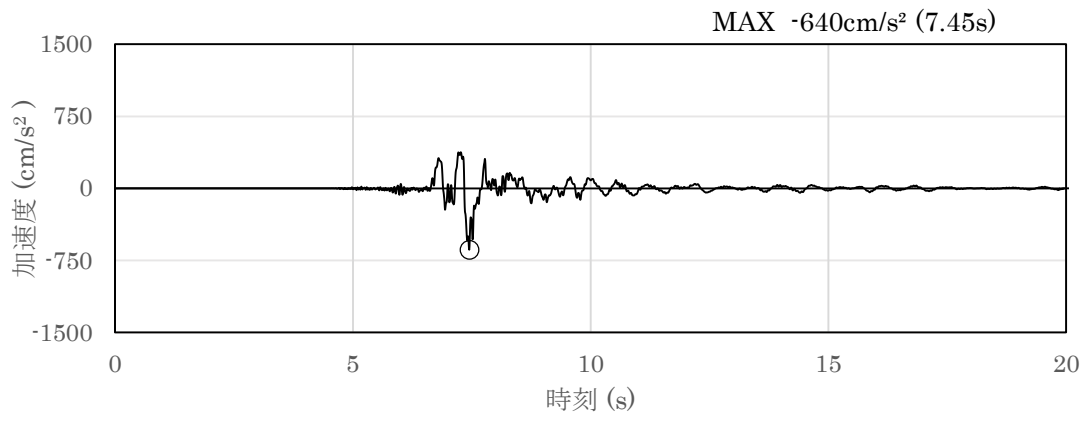


(a) 加速度時刻歴波形

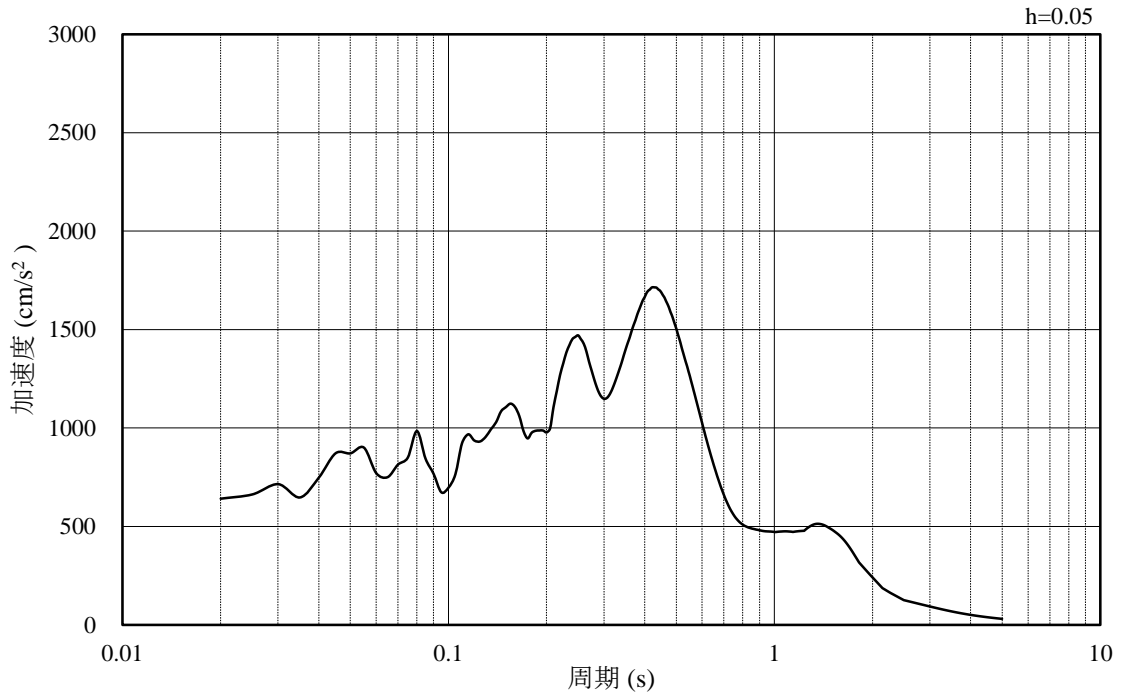


(b) 加速度応答スペクトル

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

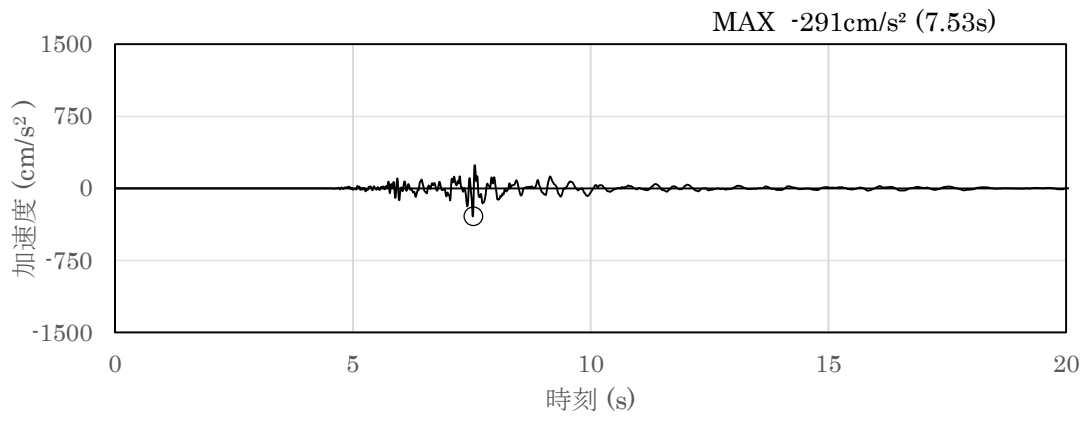


(a) 加速度時刻歴波形

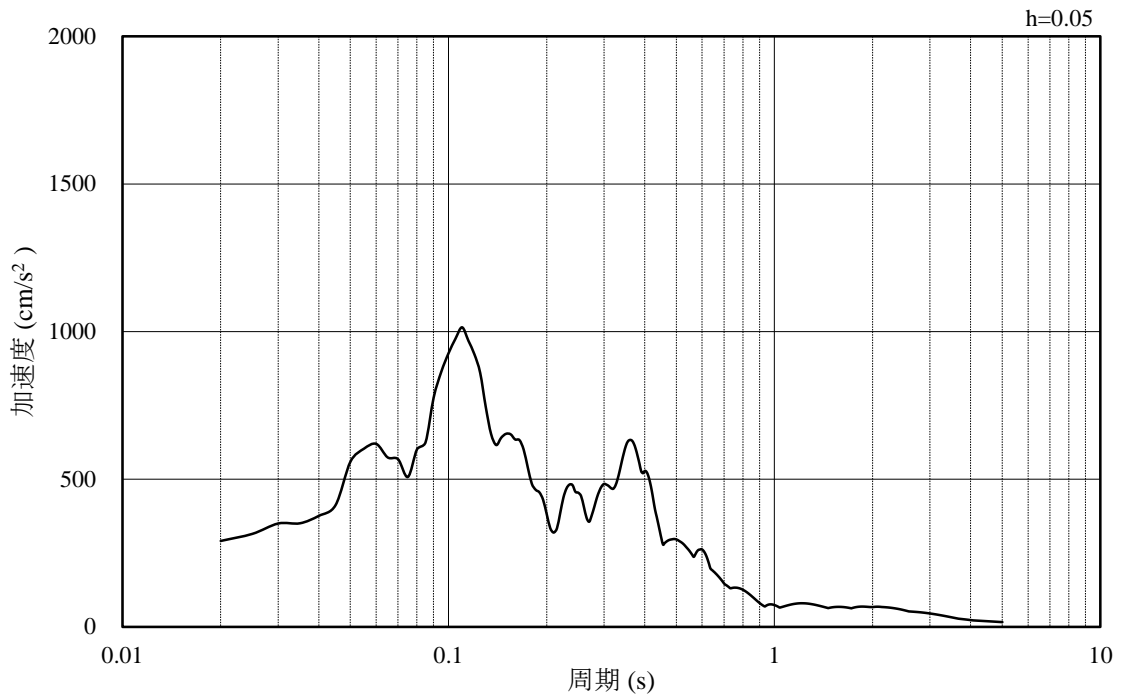


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

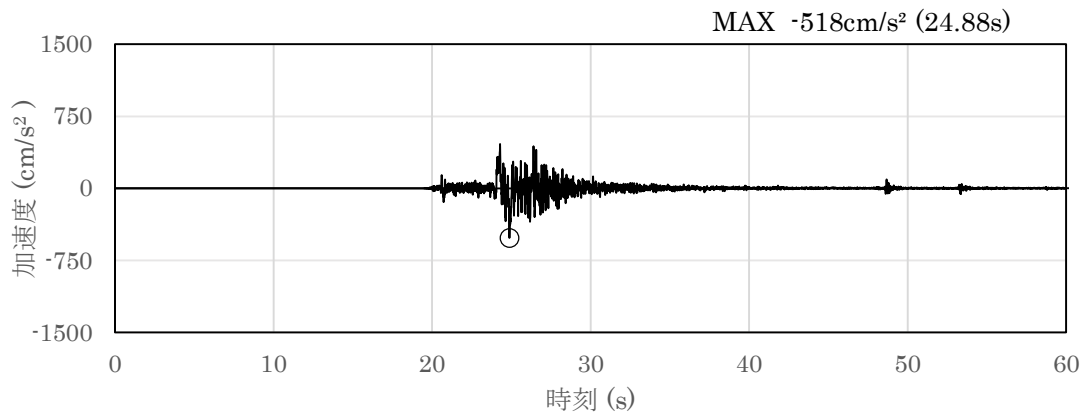


(a) 加速度時刻歴波形

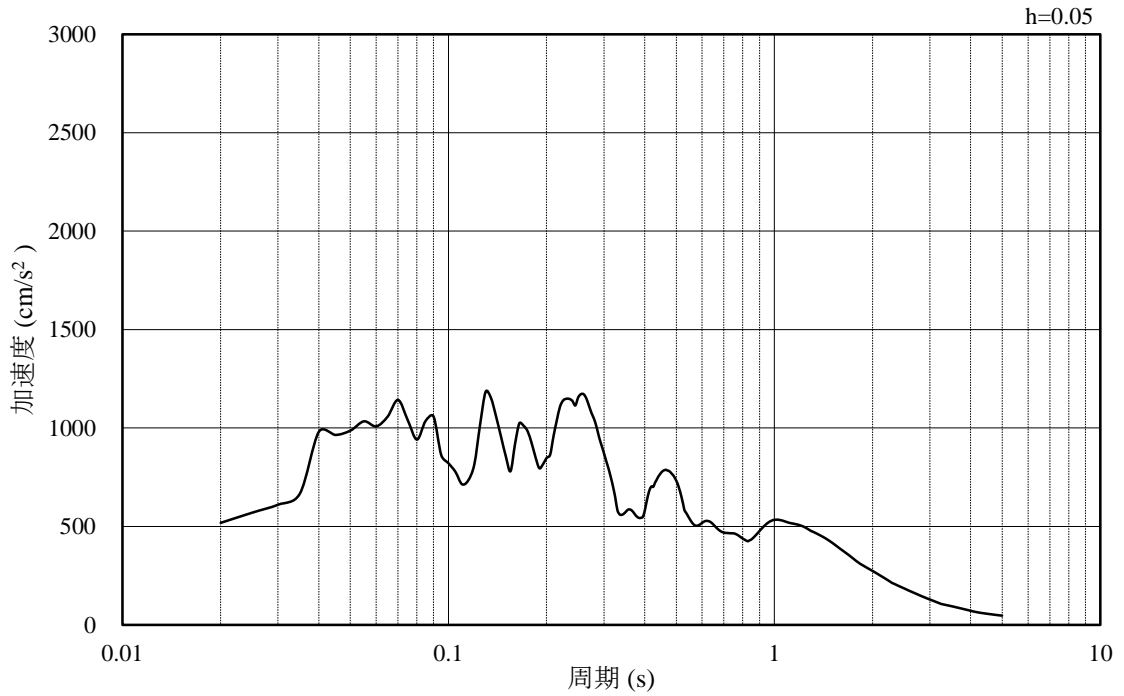


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - N 1)

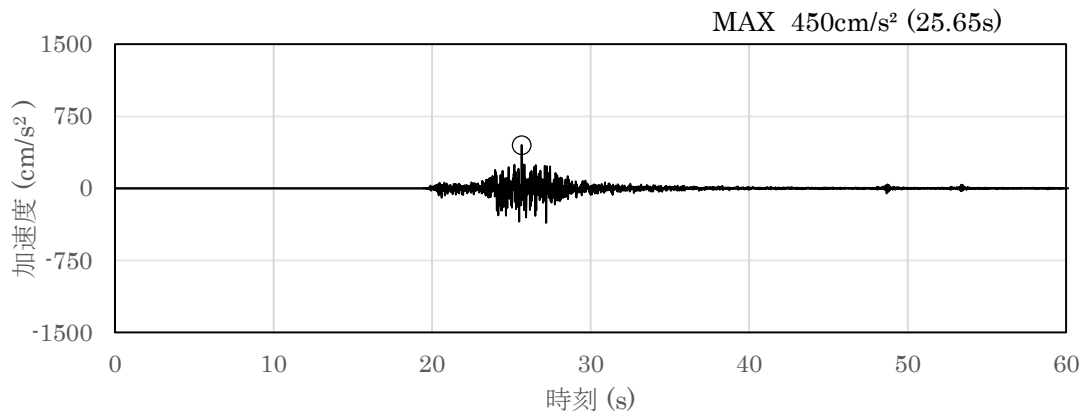


(a) 加速度時刻歴波形

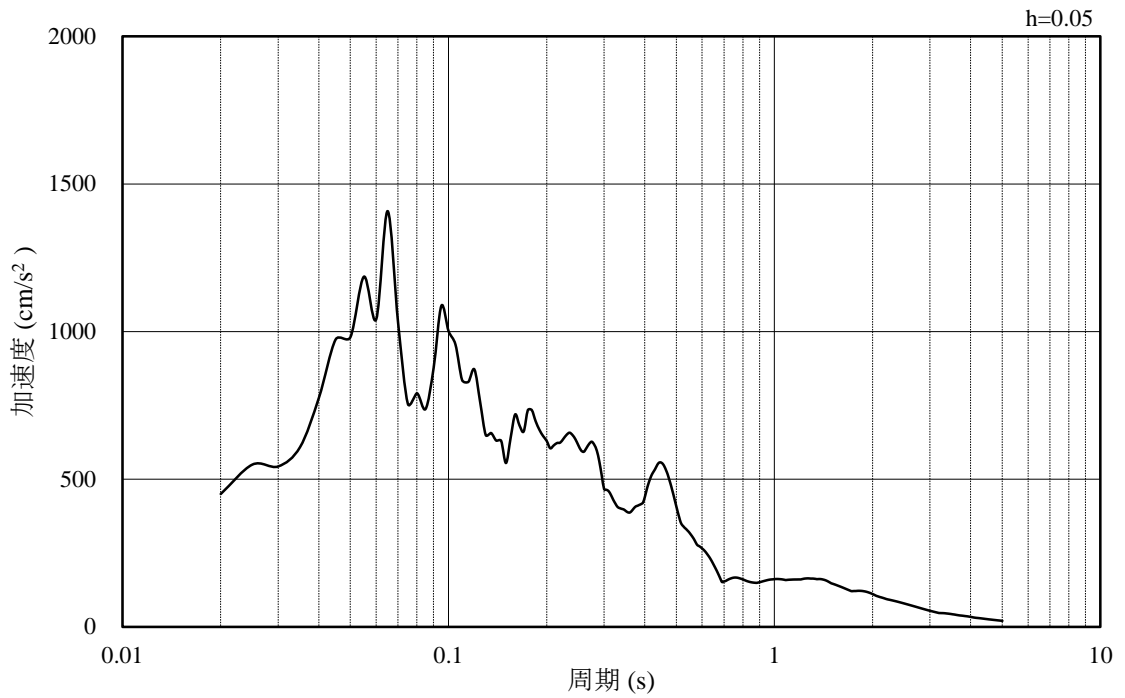


(b) 加速度応答スペクトル

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

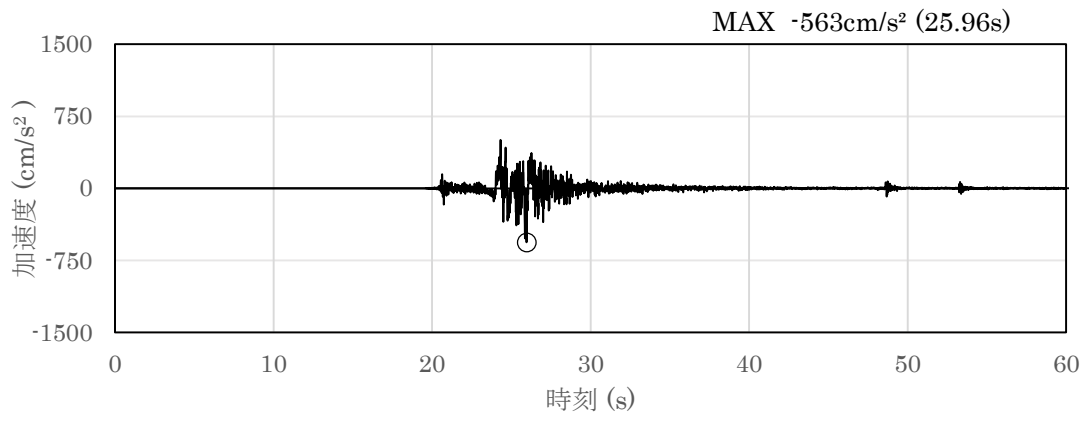


(a) 加速度時刻歴波形

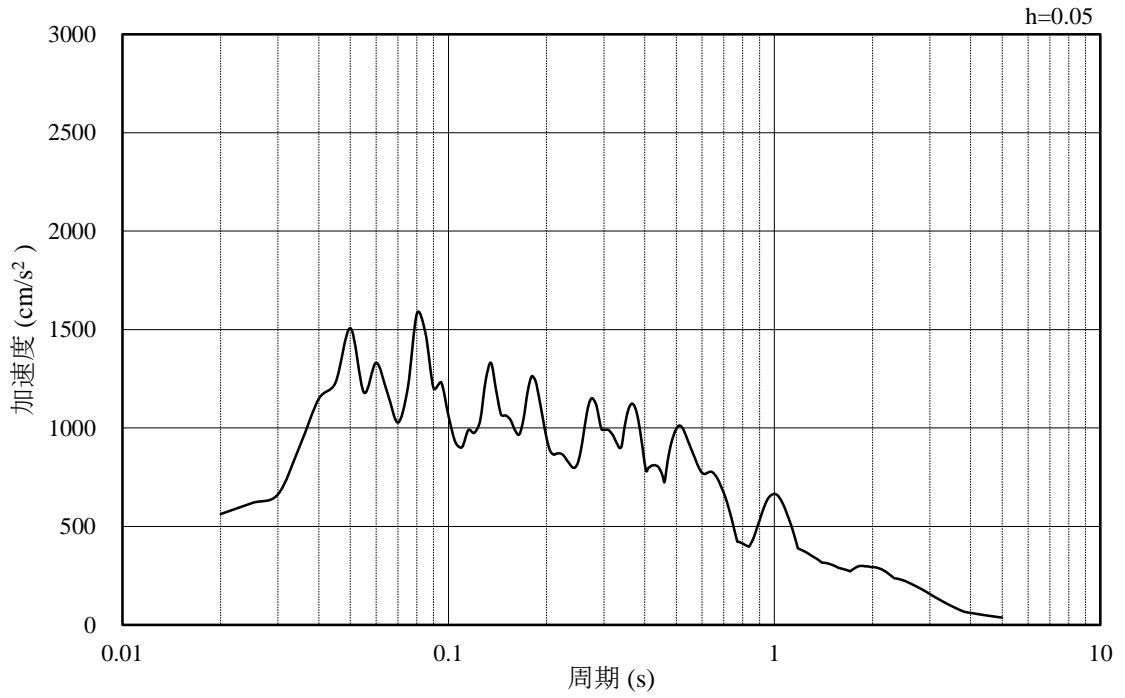


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S 方向))

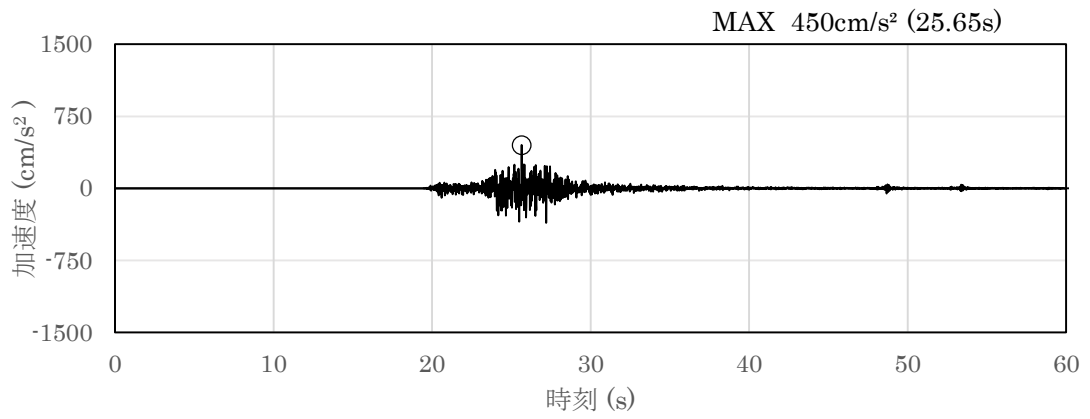


(a) 加速度時刻歴波形

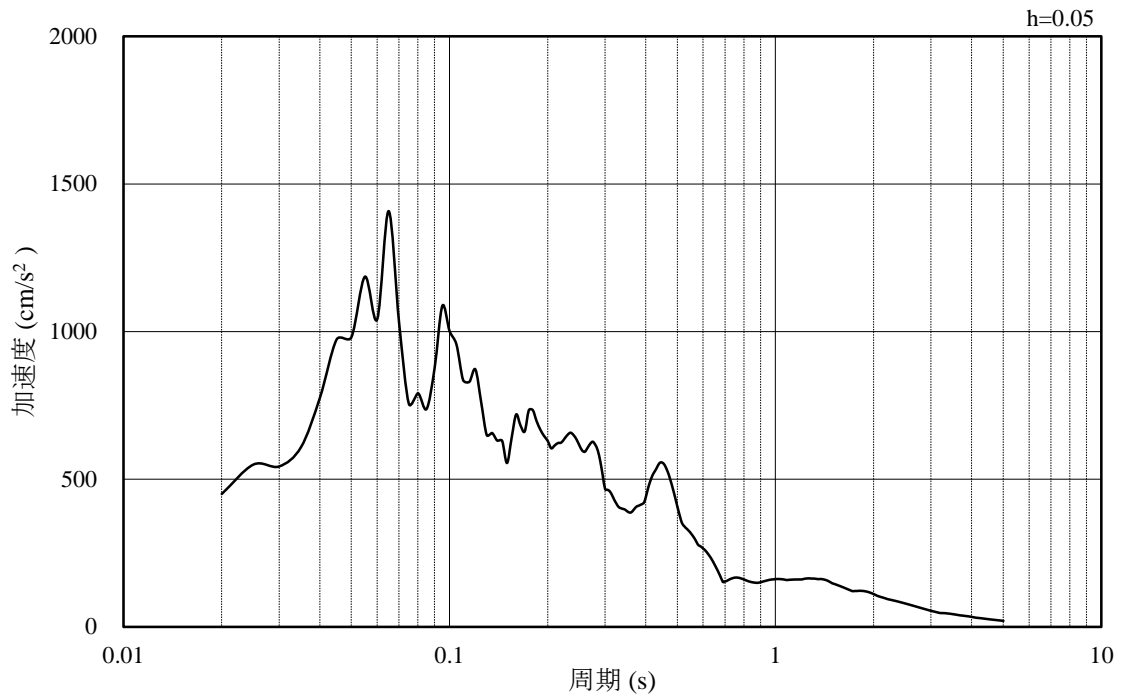


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (EW方向))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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 2 (EW方向))

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析モデルを図 3-16 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

復水貯蔵タンク及び復水貯蔵タンク遮蔽壁は、多質点系のはり質点系モデルとし、復水貯蔵タンク基礎は、線形はり要素でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

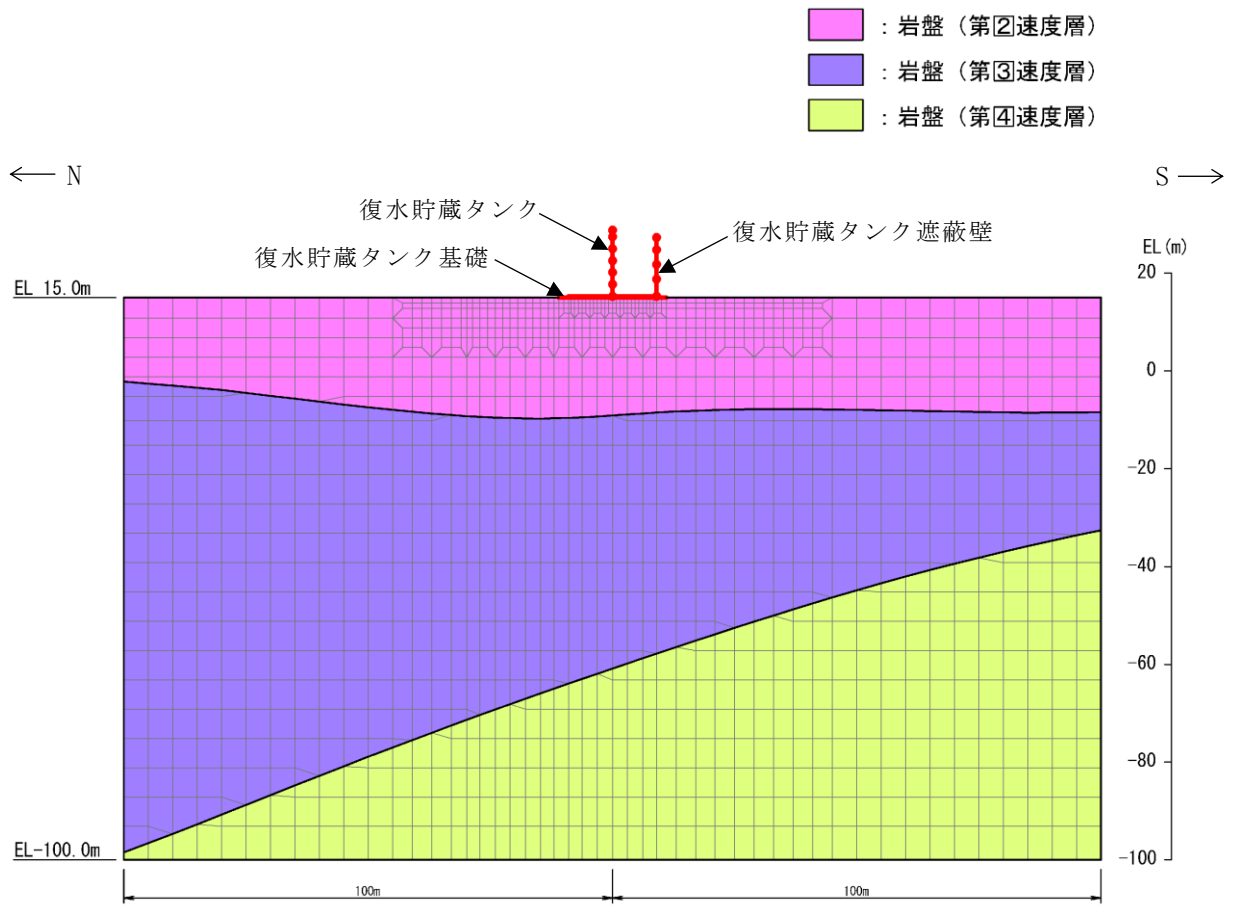


図 3-16 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様
コンクリート		設計基準強度 23.5N/mm ²
鉄筋		SD345
開口補強鋼材	枠材	H-612×510×60×80 SM400A
	ブレース材	H-612×510×60×80 SM400A
		H-200×200×8×12 SS400
	ガセットプレート	PL-60 SM400C
	リブプレート	PL-40 SM400C
	ベースプレート	PL-50 SM400C
	アンカーボルト	D38 SD345

表 3-6 材料の物性値（鉄筋コンクリート）

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0

表 3-7 材料の物性値（復水貯蔵タンク）

材料	項目	材料諸元
復水貯蔵タンク	ヤング係数 (N/mm ²)	2.00×10 ⁵
	ポアソン比	0.3

表 3-8 材料の物性値（開口補強鋼材）

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
開口補強鋼材	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

3.5.3 地盤の物性値

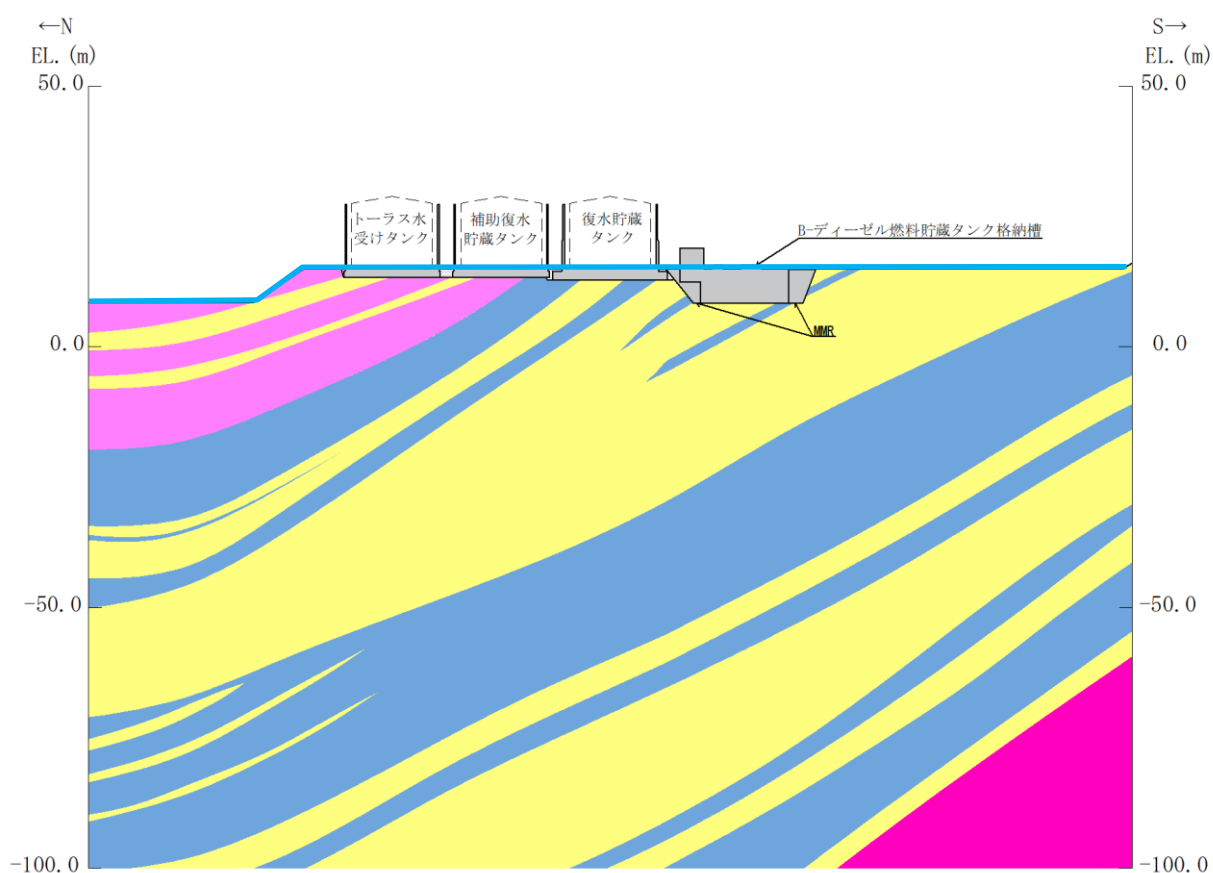
地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は，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。設計地下水位の一覧を表3-9に，設計地下水位を図3-17に示す。なお，施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから，地下水の影響は考慮しない。

表3-9 設計地下水位

施設名称	評価対象断面	設計地下水位(EL m)
復水貯蔵タンク遮蔽壁	A-A断面	15.0



(凡例)

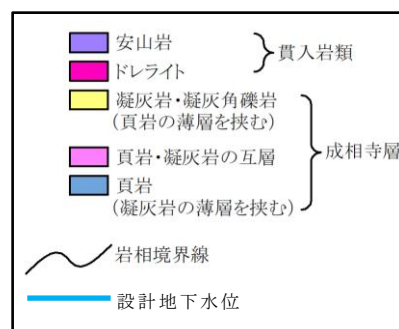
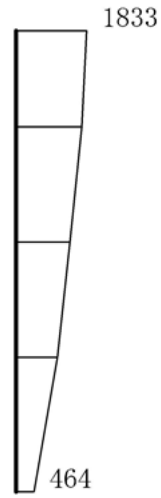


図3-17 設計地下水位 (南北方向)

3.6 地震応答解析結果

3.6.1 地震応答解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する応答加速度分布図を図 3-18～図 3-29 に示す。また、解析ケース①の中で、遮蔽壁の頂部・下部の応答加速度が最も大きくなる地震動における解析ケース②及び解析ケース③の応答加速度分布図を図 3-30～図 3-33 に示す。



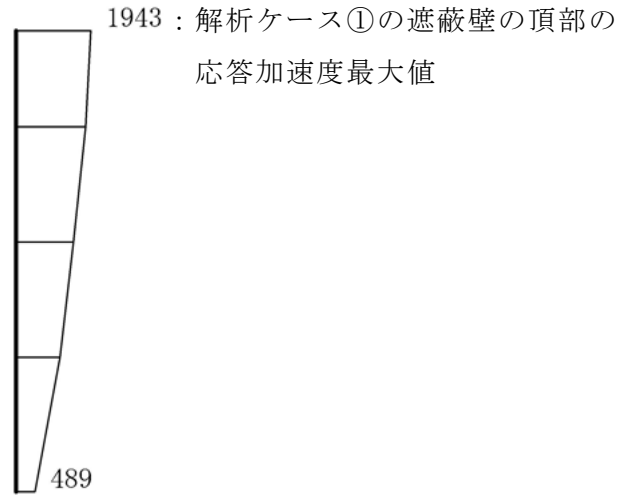
(a) $S_s - D(++)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D(++)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-18 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (1/16) (解析ケース①)



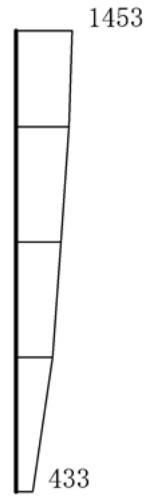
(a) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-19 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (2/16) (解析ケース①)



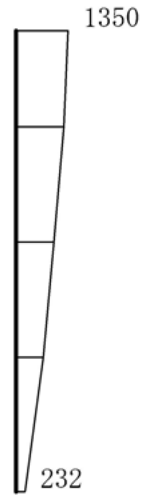
(a) $S_s - D (+ -)$, 10.10 秒, 水平



(b) $S_s - D (+ -)$, 10.10 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-20 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (3/16) (解析ケース①)



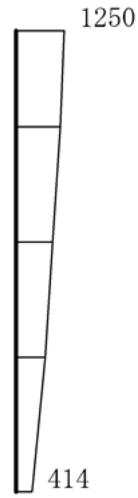
(a) $S_s - D$ (—) , 20.66 秒, 水平



(b) $S_s - D$ (—) , 20.66 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-21 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (4/16) (解析ケース①)



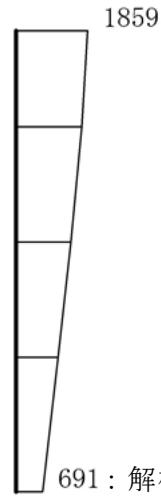
(a) $S_s - F_1$ (++) , 8.66 秒, 水平



(b) $S_s - F_1$ (++) , 8.66 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-22 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (5/16) (解析ケース①)



691：解析ケース①の遮蔽壁の下部の
応答加速度最大値

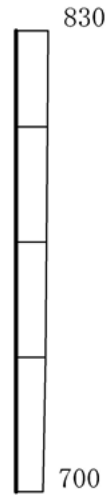
(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.06 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-23 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (6/16) (解析ケース①)



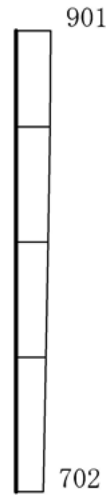
(a) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 水平



(b) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-24 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (7/16) (解析ケース①)



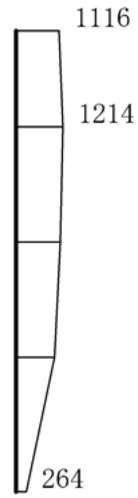
(a) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 水平



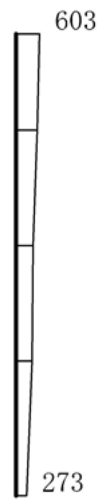
(b) S s - N 1 (- +) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2 \text{ (m)}$ 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000 \text{ (cm/s}^2\text{)}$

図 3-25 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (8/16) (解析ケース①)



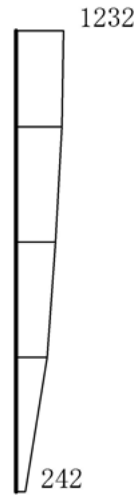
(a) S s - N 2 (N S) (+ +) , 26.60 秒, 水平



(b) S s - N 2 (N S) (+ +) , 26.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-26 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (9/16) (解析ケース①)



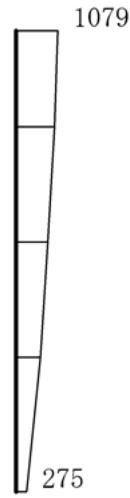
(a) S s - N 2 (N S) (- +) , 26.60 秒, 水平



(b) S s - N 2 (N S) (- +) , 26.60 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-27 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (10/16) (解析ケース①)



(a) S s - N 2 (E W) (+ +) , 26.51 秒 , 水平



(b) S s - N 2 (E W) (+ +) , 26.51 秒 , 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-28 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (11/16) (解析ケース①)



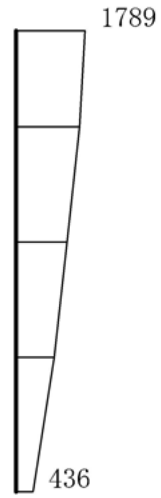
(a) S s - N 2 (E W) (- +) , 25.94 秒 , 水平



(b) S s - N 2 (E W) (- +) , 25.94 秒 , 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s²)

図 3-29 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (12/16) (解析ケース①)



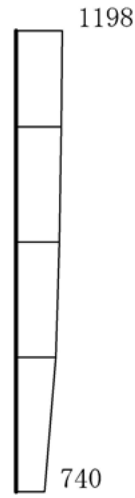
(a) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 10.09 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-30 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (13/16) (解析ケース②)
 (解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



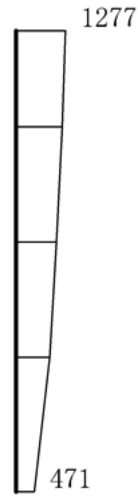
(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.05 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-31 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (14/16) (解析ケース②)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 水平



(b) $S_s - D (-+)$, 19.41 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-32 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (15/16) (解析ケース③)
 (解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



(a) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 水平



(b) $S_s - F_2$ (++) , 16.01 秒, 鉛直

構造スケール $0 \quad 2$ (m) 応答値スケール $0 \quad 2000$ (cm/s^2)

図 3-33 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (16/16) (解析ケース③)
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)

4. 応力解析

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析として、復水貯蔵タンク遮蔽壁をシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、「3. 地震応答解析」より復水貯蔵タンクの耐震性に最も影響を及ぼす地震動を対象に実施するものとし、解析ケース①（ $S_s - D(-+)$ ）を対象とする。

4.1 評価対象部位

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、遮蔽壁とする。

4.2 解析方法

復水貯蔵タンクの応力解析は、「3. 地震応答解析」により得られる荷重を考慮する。

応力解析には「NX NASTRAN」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組み合わせは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（ G ）

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、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設定する。

(3) 風荷重（ P_k ）

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(4) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

4.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

4.4 解析モデル及び諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の3次元解析モデルを図4-1及び図4-2に、各部材の要素座標系を図4-3に示す。

(1) 境界条件

復水貯蔵タンク遮蔽壁と基礎の境界は、完全固定境界とする。

(2) 構造部材のモデル化

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、線形シェル要素でモデル化する。

(3) 地震荷重の作用方法

復水貯蔵タンクの各構造部材には、「3. 地震応答解析」にて得られた応答加速度を考慮する。

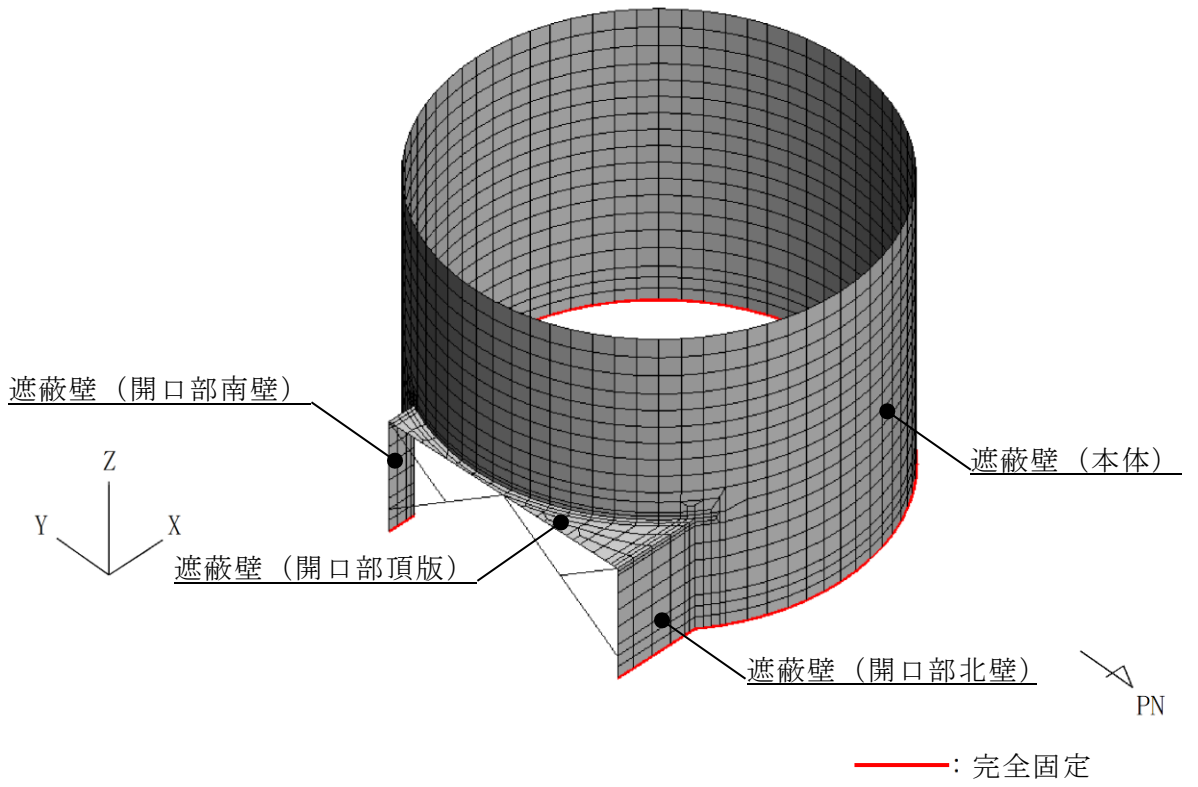


図 4-1 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 北東側から望む)

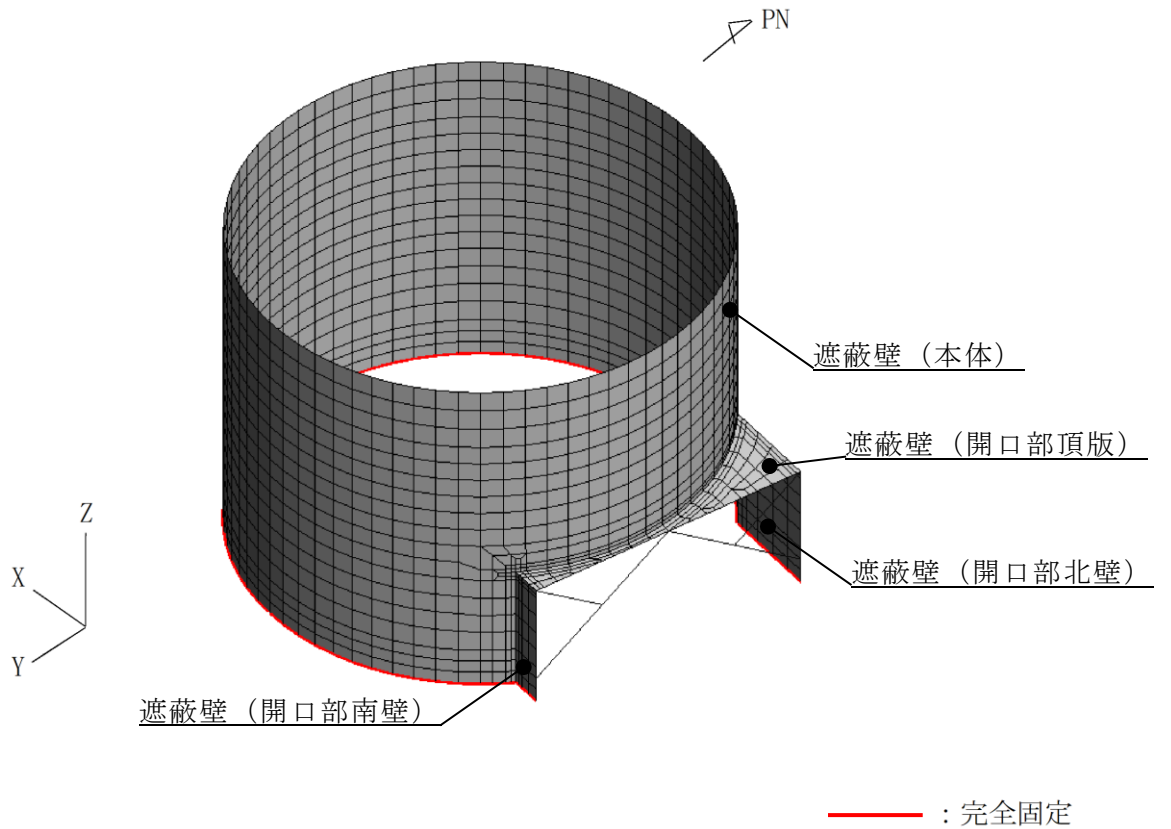
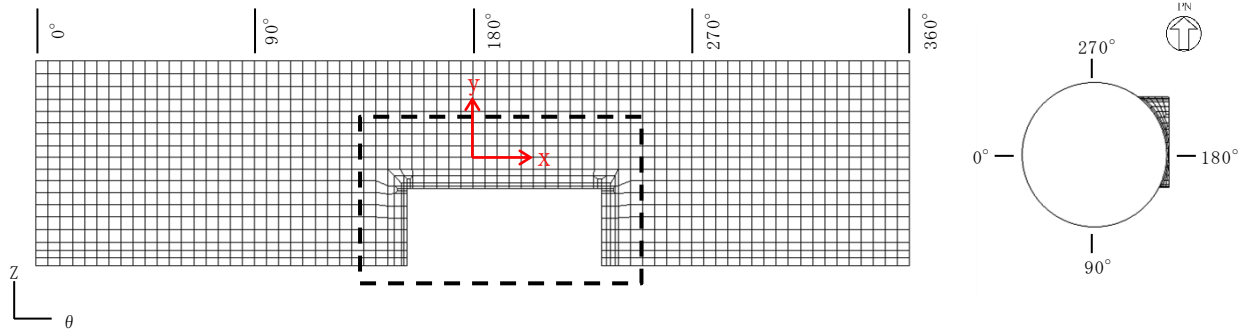
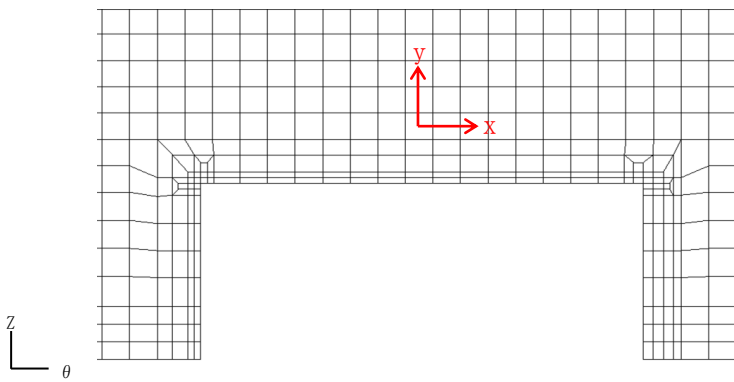


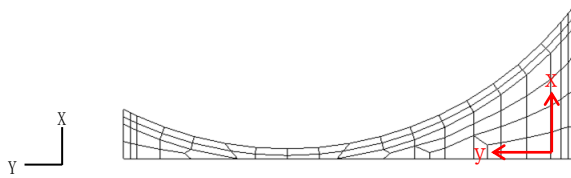
図 4-2 3次元構造解析モデル図 (鳥瞰図, 南東側から望む)



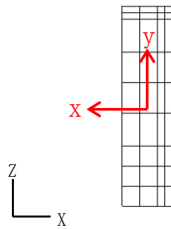
遮蔽壁 (本体)



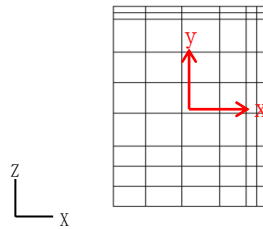
遮蔽壁 (本体) 拡大



遮蔽壁 (開口部頂版)



遮蔽壁 (開口部南壁)



遮蔽壁 (開口部北壁)

黒：全体座標系を示す
赤：要素座標系を示す

図 4-3 各部材の要素座標系

5. 耐震評価

5.1 許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

5.1.1 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち遮蔽壁及び基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する評価のうち構造物全体の安定性評価として、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき、曲げ耐力を許容限界とする。

また、遮蔽壁のうちPHb工法を適用する部位について、PHb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、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づく短期許容応力度を下回ることを合わせて確認する。発生曲げ応力が許容限界を上回る場合、3次元構造解析において、細かい要素分割を行っている部材の一部を部材厚程度の範囲で、発生曲げ応力を平均化した評価を実施する。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。

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} = 23.5 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ' _{ca}	8.8
許容せん断応力度 τ _{a1}		0.44	0.66

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}	196

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。

(2) せん断破壊に対する許容限界

せん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，短期許容応力度とする。また，遮蔽壁のうち PHb 工法を用いる部位については，PHb のせん断補強効果を見込んだ評価を行う。許容限界を次式に示す。

$$V_d/V_a < 1$$

(通常のせん断補強筋を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

(PHb を考慮する場合)

$$V_a = V_{ca} + \beta_{aw} \cdot V_{sa}$$

$$V_{ca} = 0.5 \cdot \tau \cdot b_w \cdot z$$

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot z / s$$

$$\beta_{aw} = 1 - l_y / (d - d') - z / (d - d') \quad \text{ただし, } \beta_{aw} \leq 0.9$$

ここに,

V_d	: 照査用せん断力
V_a	: 許容せん断力
V_{ca}	: コンクリートの負担する許容せん断力
V_{sa}	: 鉄筋の負担する許容せん断力
A_w	: せん断補強筋ピッチ間におけるせん断補強筋の総断面積
β_{aw}	: PHb の有効性を示す係数
τ	: 照査用せん断応力
b_w	: 部材断面の腹部の幅
σ_{sa}	: 鉄筋の許容引張応力度
z	: 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面図心までの距離 $z = d / 1.15$
d	: 有効高さ
s	: せん断補強筋ピッチ
l_y	: PHb の埋込側に必要な定着長
$d - d'$: 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔 $d - d' \geq l_y$
z	: 高止まり高さ

PHb を考慮する場合の許容せん断力の算定にあたっては、「建設技術審査証明
報告書 技術名称 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「P o s t - H e a
d - b a r」, 一般財団法人土木研究センター」に示されているとおり, PHb の
有効性を示す係数 β_{aw} を用いるものとする。本図書の抜粋を, 図 5-1 に示す。

2.7.1.3 L1地震動／常時荷重増加等に対するせん断補強（許容応力度法）

L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合のPost-Head-barの有効係数に、斜め引張ひび割れ等の発生を許容することを前提として、せん断に対する安全性照査において評価されたPost-Head-barの有効係数を用いてもよい。

〔解説〕せん断に対する安全性照査において、Post-Head-barのせん断補強効果はトラス理論に基づいた棒部材のせん断耐力で評価されている。この場合、Post-Head-barのせん断耐力はせん断補強鉄筋の規格降伏強度を用いて算出することになる。また、許容応力度法においても、斜め引張ひび割れの発生によってトラス機構が形成されるので、トラス理論に基づき算出されたせん断補強鉄筋の応力度を、許容応力度以下に抑えるように設計する。許容応力度は、規格降伏強度に安全率を考慮した値である。

そのため、両者はともにトラス理論に準拠しており、L2地震動作用時のせん断耐力は規格降伏強度に有効係数を乗じて算出される。また、許容応力度は規格降伏強度に設計条件から定めた安全率と有効係数を乗じて算出される。

これらのことから、L1地震動や常時の荷重増加等に起因するせん断応力度を許容応力度法によって照査する場合には、斜め引張ひび割れの発生を許容することを前提として、Ⅲ付属資料-2 2.4で規定した有効係数を用いてよいものとした。

具体的には、Post-Head-barに使用された鉄筋の、設計条件から定めた許容応力度に、Ⅲ付属資料-2 2.4式(3)で算出される有効係数を乗じることにより、使用するPost-Head-barの許容応力度を算出する。

図 5-1 PHb を考慮した許容せん断力の算定（抜粋）

5.1.2 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（杵材，ブレース材，ガセットプレート，ベースプレート，リブプレート）の健全性に対する許容限界
 鋼材の許容限界は，「鋼構造設計規準－許容応力度法－（日本建築学会，2005年改定）」に基づき，短期許容応力度とする。鋼材の短期許容応力度を表5-3に示す。

表5-3 鋼材の短期許容応力度

材料			仕様	短期許容応力度 (N/mm ²)			
				短期許容 圧縮応力度 f_c	短期許容 引張応力 度 f_t	許容曲げ 応力度 f_m	短期許容 せん断応力 度 f_s
開 口 補 強 鋼 材	杵材	H-612×510 ×60×80	SM400A	別途算出*1	215	別途算出	124
	ブ レ ー ス 材	H-612×510 ×60×80	SM400A	別途算出*1	215	—	—
		H-200×200 ×8×12	SS400	別途算出*1	235	—	—
	ガ セ ッ ト プ レ ー ト	PL-60	SM400C	215*2	215	—	—
	ベ ー ス プ レ ー ト	PL-50	SM400C	—	—	248	124
	リ ブ プ レ ー ト	PL-40	SM400C	—	—	—	136

注記*1：短期許容圧縮応力度 f_c については，以下の式にて算出する。

*2：座屈の影響を考慮しない。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \times 1.5$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \times 1.5$$

ここで、

λ : 圧縮材の細長比

$$\nu : \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

F : 215N/mm²

Λ : 限界細長比で $\sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

5.1.3 復水貯蔵タンク遮蔽壁のうち開口補強鋼材（アンカーボルト）の健全性に対する許容限界

アンカーボルトの許容限界は、メーカー評価式に基づき算定した、表 5-4 の値とする。

なお、評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 5-4 アンカーボルトの許容限界

許容耐力 (kN)
せん断
2924

5.1.4 基礎地盤の健全性に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

6. 耐震評価結果

構造部材の応力度に対する最大照査値を表 6-1～表 6-15 に、断面力分布図を図 6-1～図 6-3 に、最大照査値発生箇所位置図を図 6-4 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の照査用応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
①	S s - D (-+)	101	-1070	139	0.73

表 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

(PHb 工法の適用範囲内の確認)

地震応答解析		応力解析	発生応力度 σ_d (N/mm ²)	許容曲げ 応力度 σ_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (-+)	ケース A	280 (323)*	294	0.96 (1.10)*

注記*： () 内数値は、要素の平均化実施前の値を示す。

表 6-3 せん断破壊に対する最大照査値 (遮蔽壁)

解析 ケース	地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
①	S s - D (-+)	91	241	0.38

表 6-4 せん断破壊に対する最大照査値（遮蔽壁）

(PHb 工法の適用範囲内の確認)

地震応答解析		応力解析	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (-+)	ケース A	151	528	0.29

表 6-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	曲げ モーメント M_d (kN・m/m)	軸力 N_d (kN/m)	曲げ耐力 M_u (kN・m/m)	照査値 M_d/M_u
③	S s - F 2 (++)	867	217	2310	0.38

表 6-6 せん断破壊に対する最大照査値（基礎）

解析 ケース	地震動	せん断力 V_d (kN/m)	許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V_d/V_a
③	S s - D (-+)	620	901	0.69

表 6-7 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

地震応答解析		応力解析	発生応力 度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ/σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (-+)	ケース A	53	215	0.25

表 6-8 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：枠材）

地震応答解析		応力解析	発生せん断 応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ/τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (-+)	ケース A	10	124	0.09

表 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ブレース材）

地震応答解析		応力解析	発生応力 度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	21	183	0.12

表 6-10 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

(開口補強鋼材：ガセットプレート)

地震応答解析		応力解析	発生応力 度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	148	215	0.69

表 6-11 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：リブプレート）

地震応答解析		応力解析	発生せん 断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	26	136	0.20

表 6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

(開口補強鋼材：ベースプレート)

地震応答解析		応力解析	発生応力 度 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	165	248	0.67

表 6-13 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：ベースプレート）

地震応答解析		応力解析	発生せん断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断 応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	22	124	0.18

表 6-14 せん断破壊に対する最大照査値（開口補強鋼材：アンカーボルト）

地震応答解析		応力解析	発生せん断力 Q (kN)	許容せん断 力 Q_a (kN)	照査値 Q / Q_a
解析 ケース	地震動	解析 ケース			
①	S s - D (- +)	ケース A	1792	2924	0.62

表 6-15 支持性能に対する最大照査値（基礎地盤）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P_u (N/mm ²)	照査値 P / P_u
①	S s - N 2 (E W) (+ +)	0.39	9.8	0.04

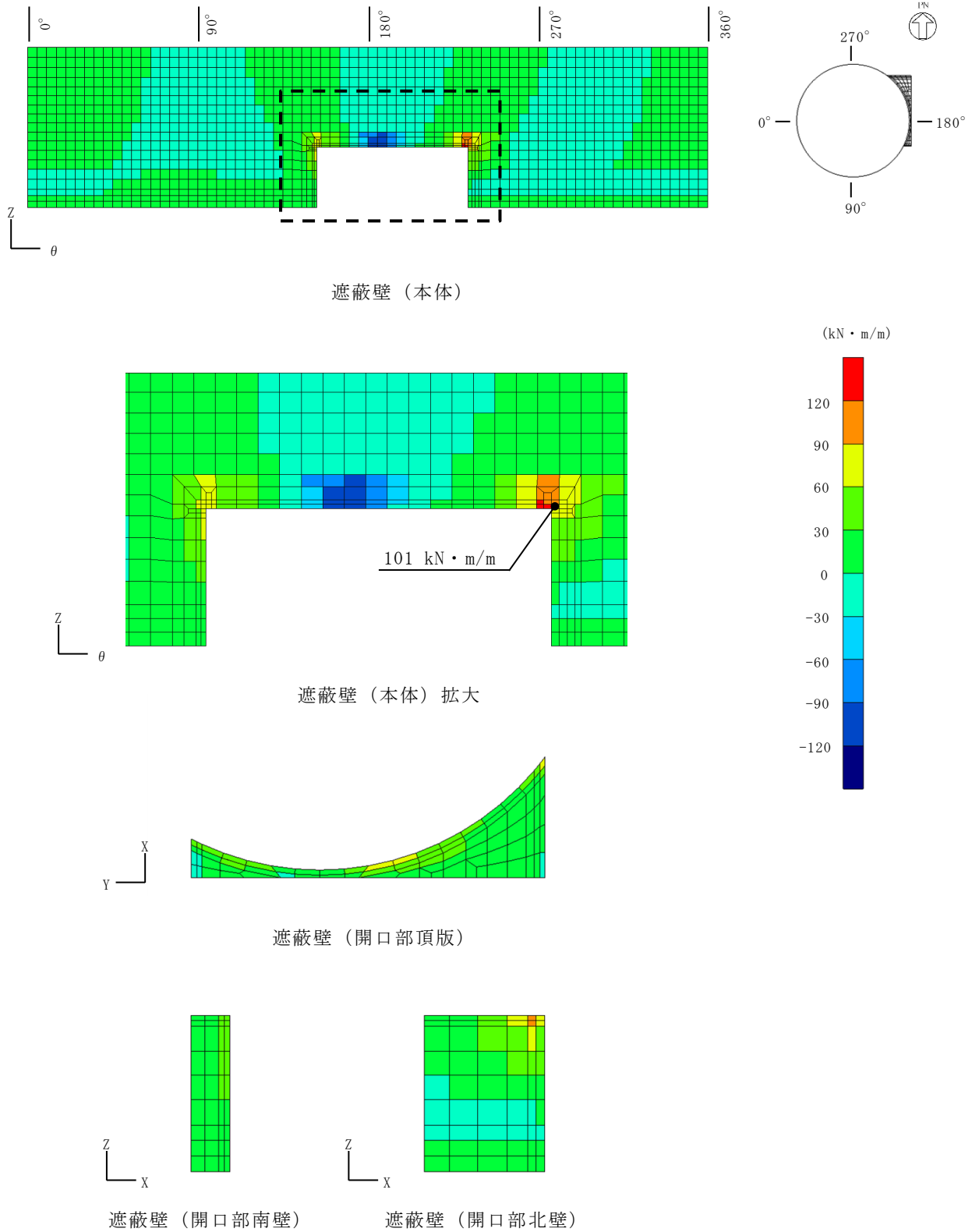
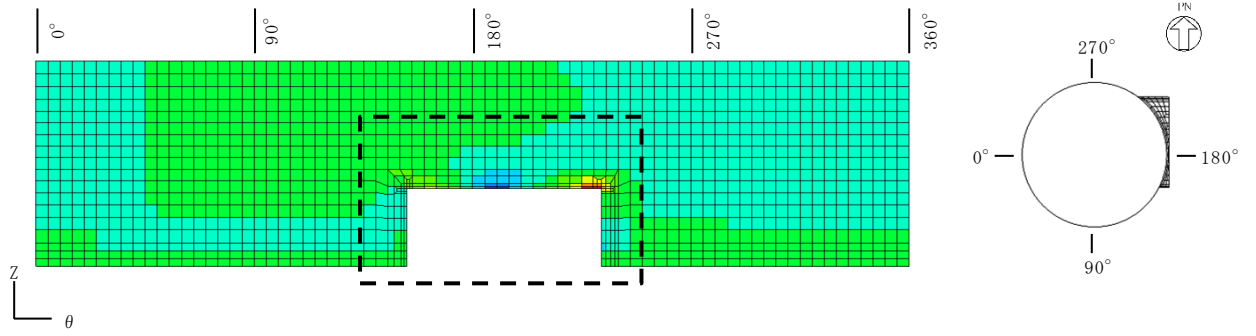
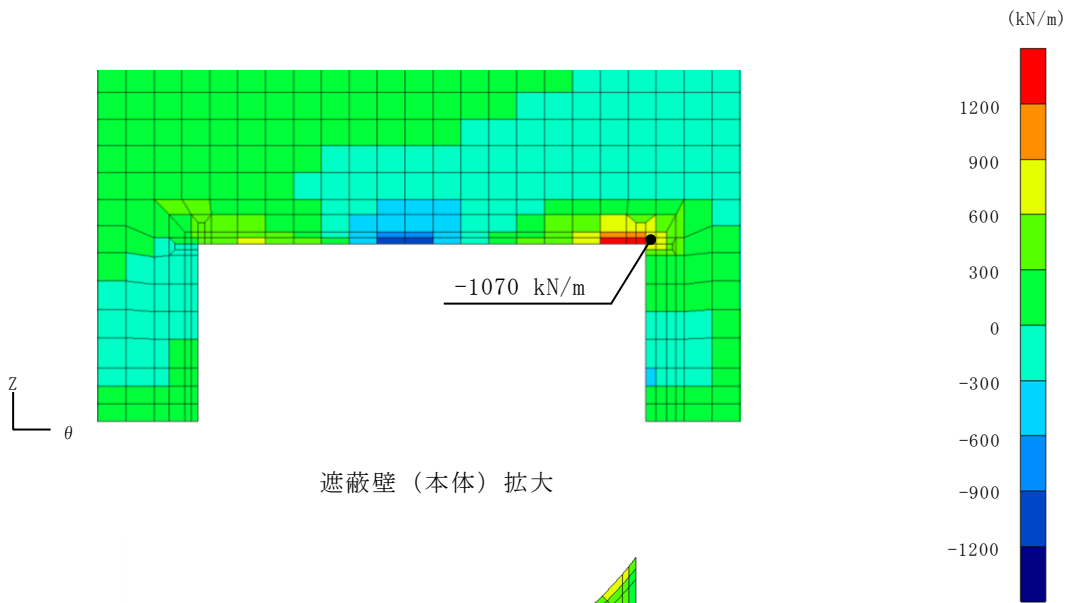


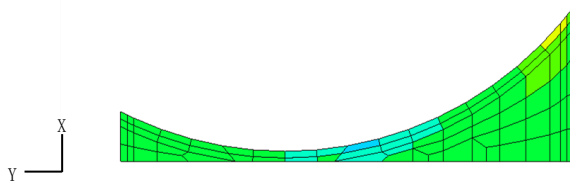
図 6-1 断面力分布図
 (曲げモーメント (kN · m/m) : M_x)
 (解析ケース①, $S_s - D (-+)$)



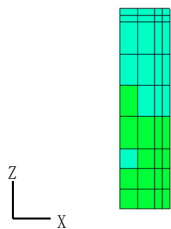
遮蔽壁（本体）



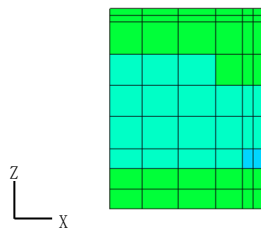
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）

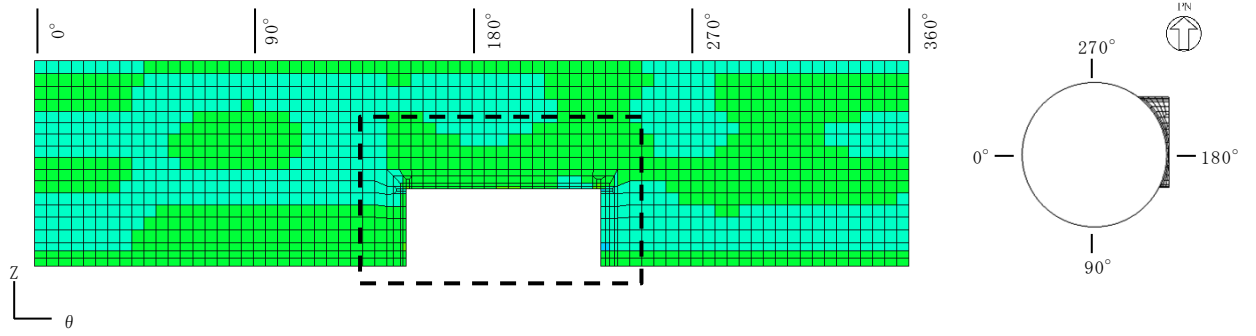


遮蔽壁（開口部南壁）

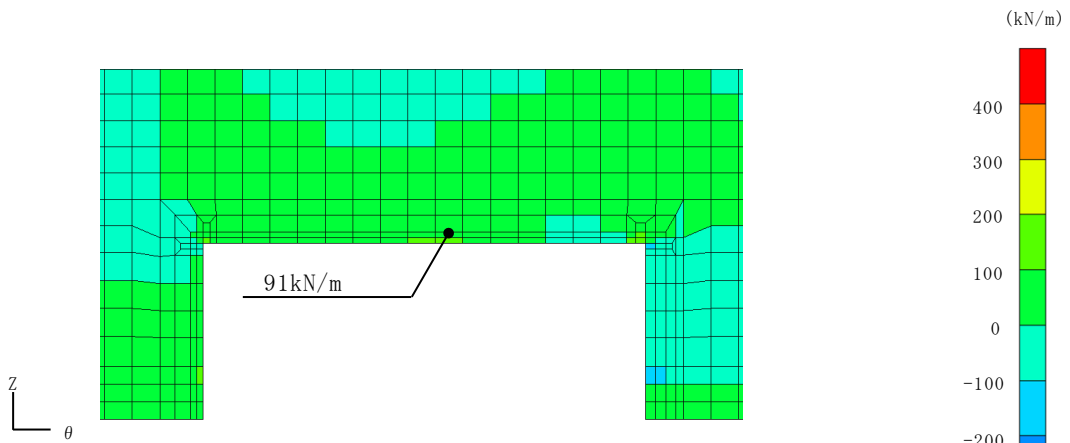


遮蔽壁（開口部北壁）

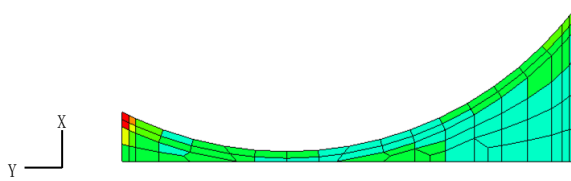
図 6-2 断面力分布図
 （軸力 (kN/m) : N_x ）
 （解析ケース①, $S_s - D (-+)$ ）



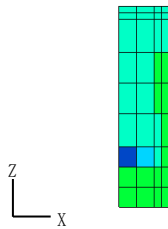
遮蔽壁（本体）



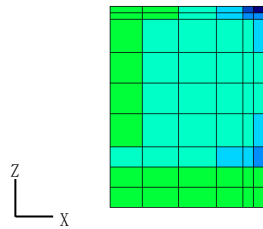
遮蔽壁（本体）拡大



遮蔽壁（開口部頂版）



遮蔽壁（開口部南壁）



遮蔽壁（開口部北壁）

図 6-3 断面力分布図
 （せん断力 (kN/m) : Q_y ）
 （解析ケース①, $S_s - D (-+)$ ）

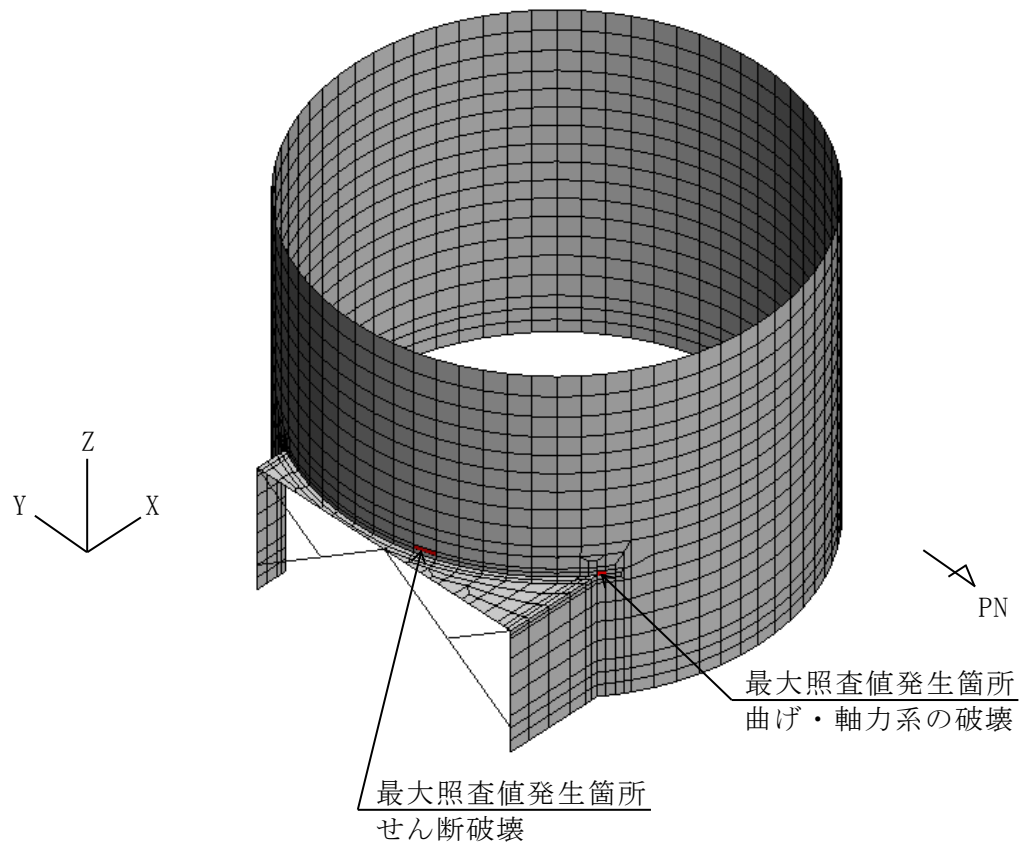


図 6-4 最大照査値発生箇所位置図（鳥瞰図，北東側から望む）