

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-002-34改01
提出年月日	2023年3月24日

VI-2-2-34 緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての
計算書

2023年3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 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 解析方法	13
3.2.1 構造部材	13
3.2.2 地盤	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 耐震評価上考慮する状態	17
3.3.2 荷重	17
3.3.3 荷重の組合せ	18
3.4 入力地震動	19
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	34
3.5.3 地盤の物性値	34
3.5.4 地下水位	35
3.6 許容限界	37
3.6.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性に対する許容限界	37
3.6.2 鋼製タンクの健全性に対する許容限界	38
3.6.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	38
3.7 評価方法	39
3.7.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性評価	39
3.7.2 鋼製タンクの健全性評価	42
3.7.3 基礎地盤の支持性能評価	44
4. 解析結果	46
4.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性に対する評価結果	46
4.2 鋼製タンクの健全性に対する評価結果	50
4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	51

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急時対策所用燃料地下タンクが基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び燃料の漏出を抑制するため貯水機能と同等の機能（以下「貯水機能相当」という。）を有していることを確認するものである。

緊急時対策所用燃料地下タンクに要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、貯水機能相当の評価及び支持性能評価により行う。なお、貯水機能相当を期待する部位は、構造部材のうち鋼製タンクとする。

2. 基本方針

2.1 位置

緊急時対策所用燃料地下タンクの位置図を図 2-1 に示す。

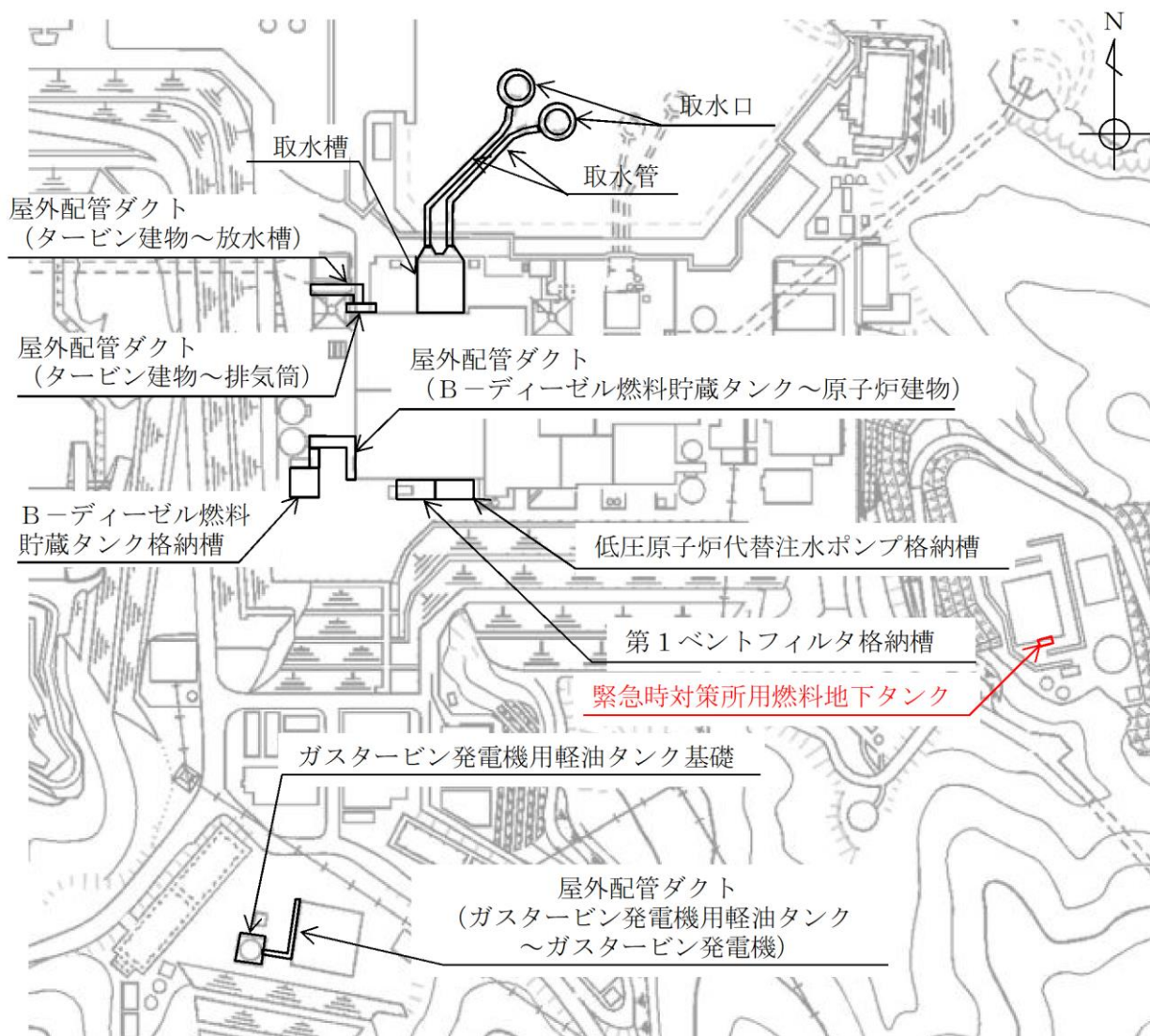


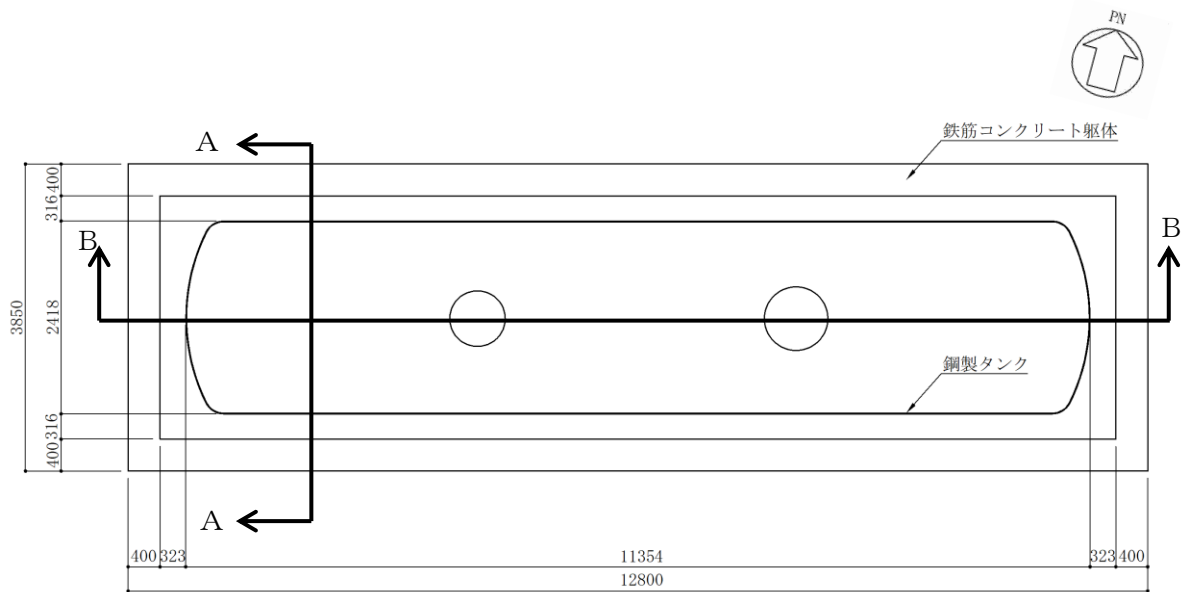
図 2-1 緊急時対策所用燃料地下タンク 位置図

2.2 構造概要

緊急時対策所用燃料地下タンクの平面図を図 2-2、断面図を図 2-3 及び図 2-4、概略配筋図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、非常時における燃料の貯水機能相当を求められる延長 12.8m、幅 3.85m、高さ 3.9m の鉄筋コンクリート躯体、内径 2.4m、板厚 9mm の鋼製タンク及び充填コンクリートで構成される地下埋設構造物である。

鉄筋コンクリート躯体は岩盤に直接設置され、周囲を埋戻しコンクリートで埋め戻されている。



(単位:mm)

図 2-2 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図

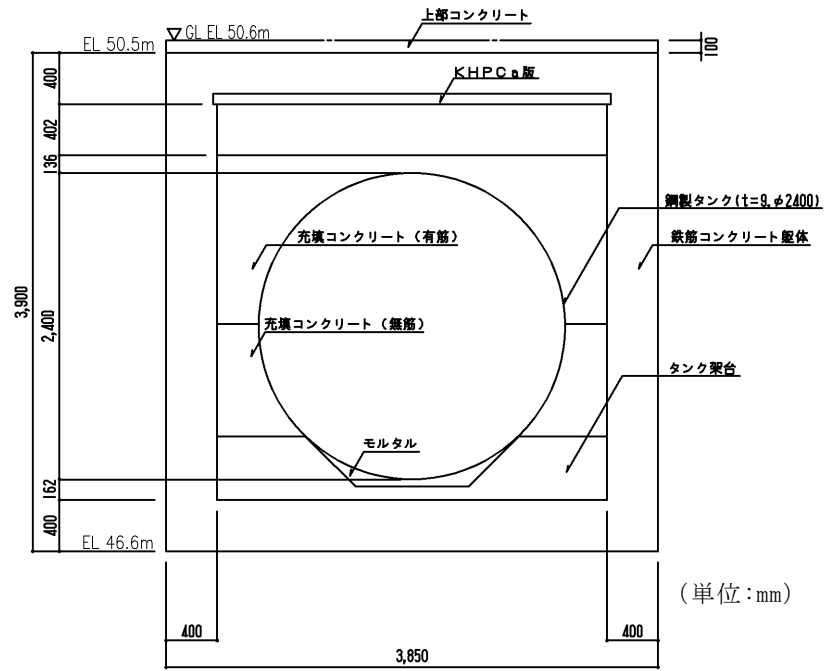


図 2-3 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (A-A 断面)

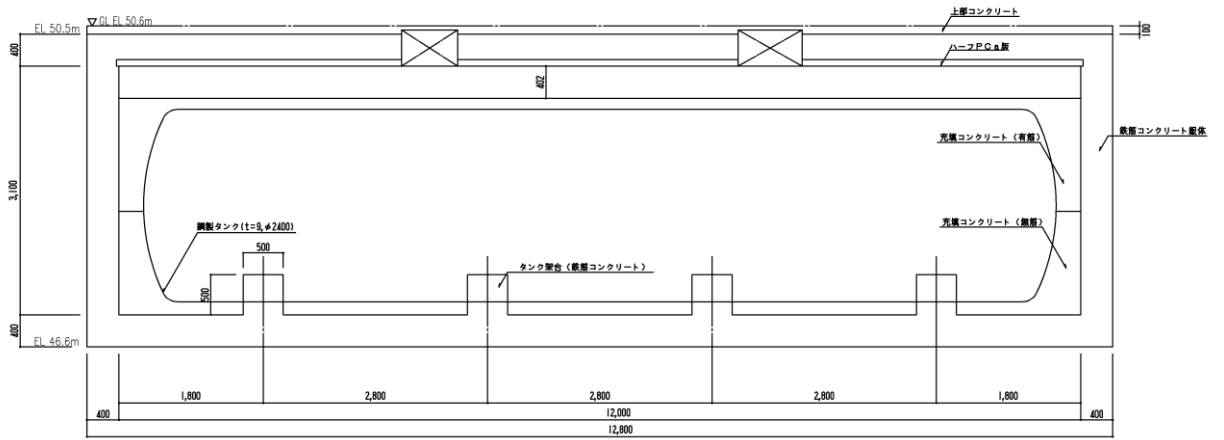


図 2-4 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (B-B 断面) (単位: mm)

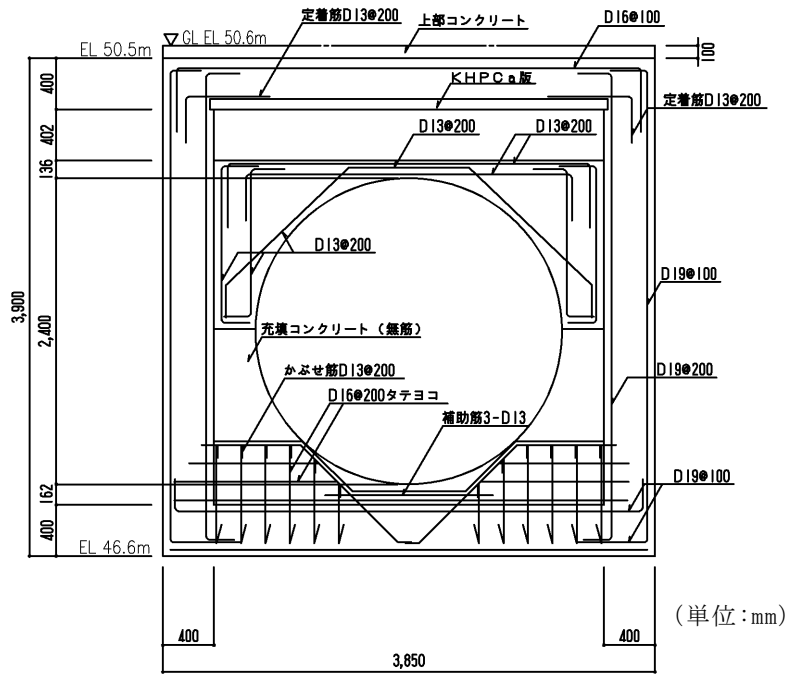
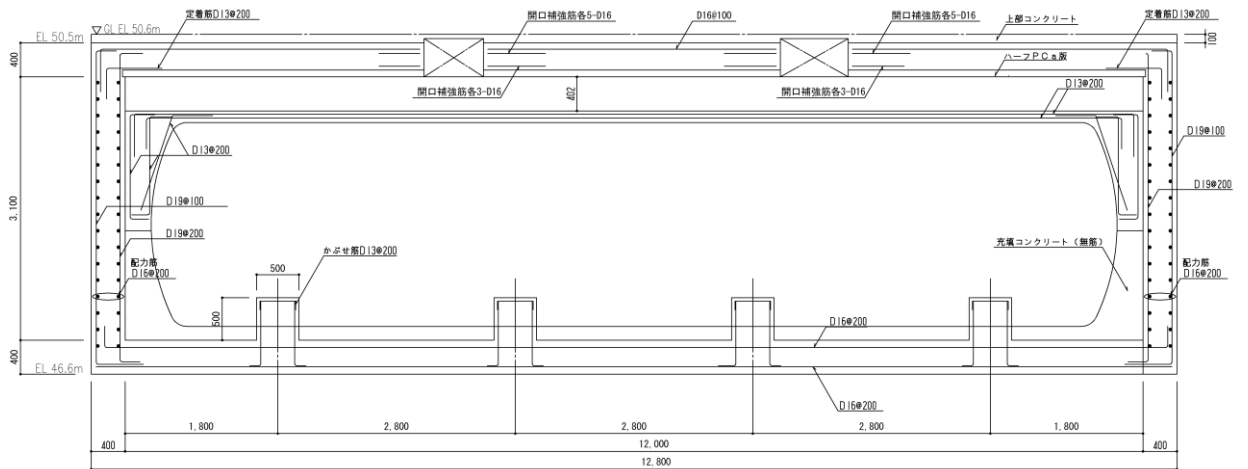


図 2-5 緊急時対策所用燃料地下タンク 概略配筋図 (A-A 断面)



注：配力筋は評価に用いる側壁のみ記載

(単位: mm)

図 2-6 緊急時対策所用燃料地下タンク 概略配筋図 (B-B 断面)

2.3 評価方針

緊急時対策所用燃料地下タンクは、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価、貯水機能相当の評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、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、鉄筋コンクリート躯体に生じる圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度並びに鋼製タンクに生じる曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

なお、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と貯水機能相当を損なわないことの確認における許容限界は同一となる。したがって、鋼製タンクについては構造強度を有することを確認することで、貯水機能相当を損なわないことの確認も同時に行う。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価フローを図 2-7 に示す。

表 2-1 緊急時対策所用燃料地下タンクの評価項目

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	鉄筋コンクリート躯体	圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認	圧縮応力度	コンクリートの許容曲げ圧縮応力度
				引張応力度	鉄筋の許容引張応力度
				せん断応力度	コンクリートの許容せん断応力度
		鋼製タンク		曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認	曲げ応力度
			せん断応力度	許容せん断応力度	
基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*		
貯水機能相当を損なわないこと	貯水機能	鋼製タンク	曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認	曲げ応力度	許容曲げ応力度
				せん断応力度	許容せん断応力度

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

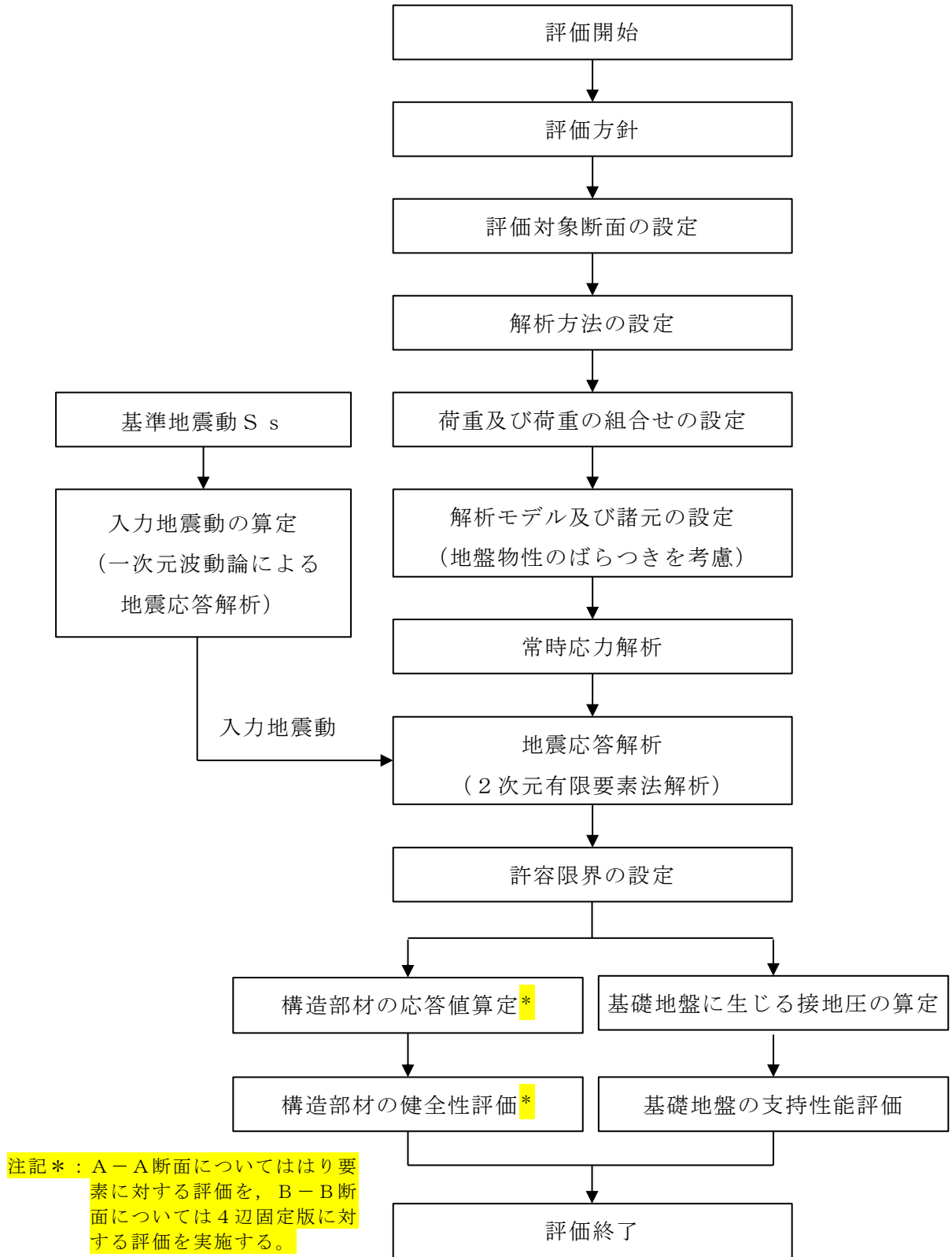


図 2-7 緊急時対策所用燃料地下タンク 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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）
- ・鋼構造設計基準（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市観測第234号）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

緊急時対策所用燃料地下タンクの評価対象断面位置を図 3-1 に示す。耐震設計における評価対象断面図を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

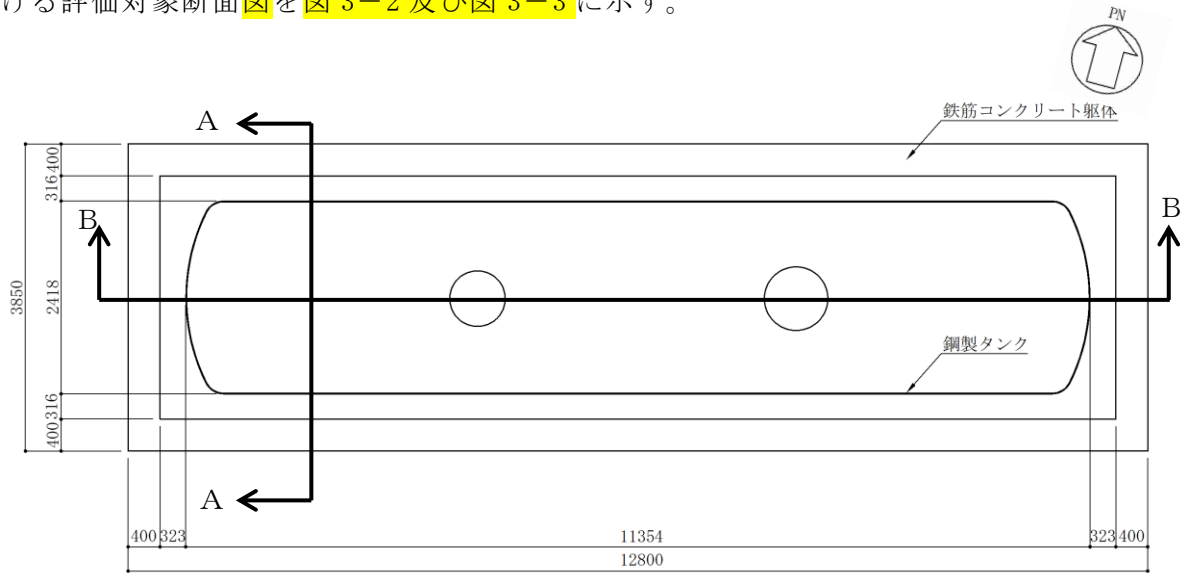
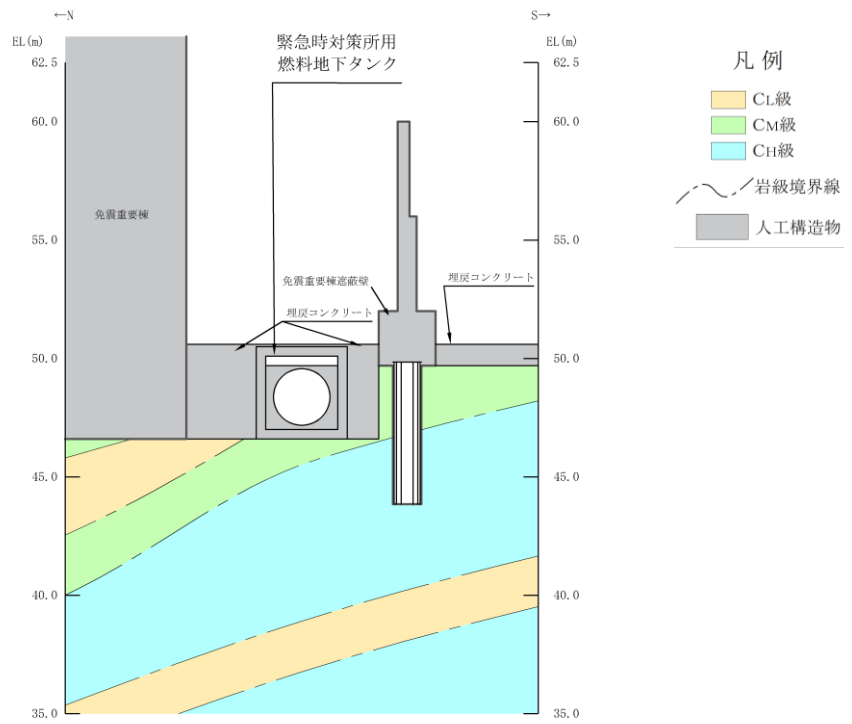
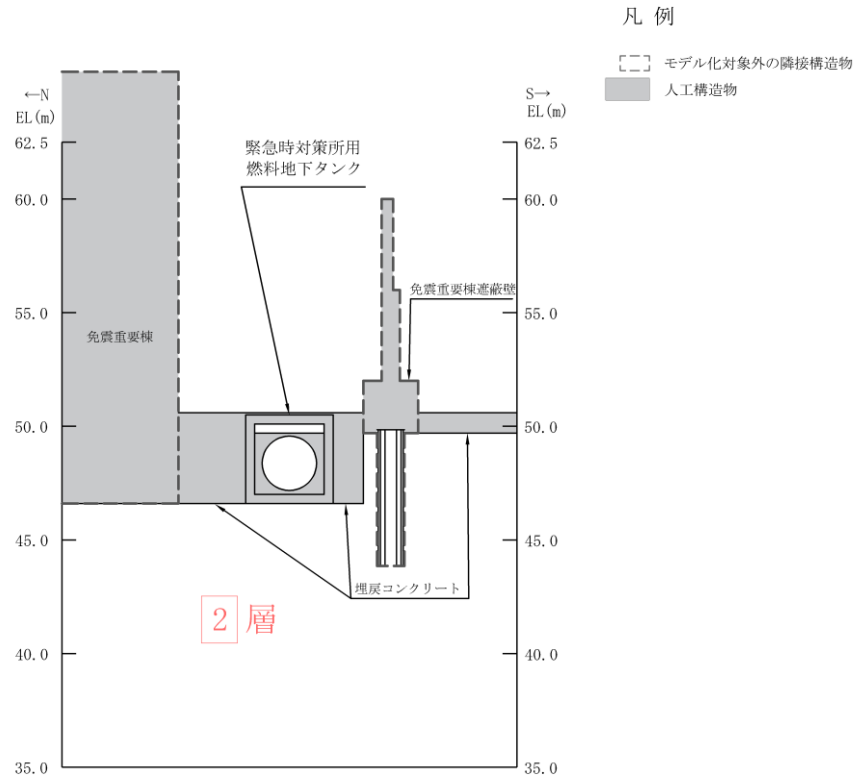


図 3-1 緊急時対策所用燃料地下タンク 評価対象断面位置図



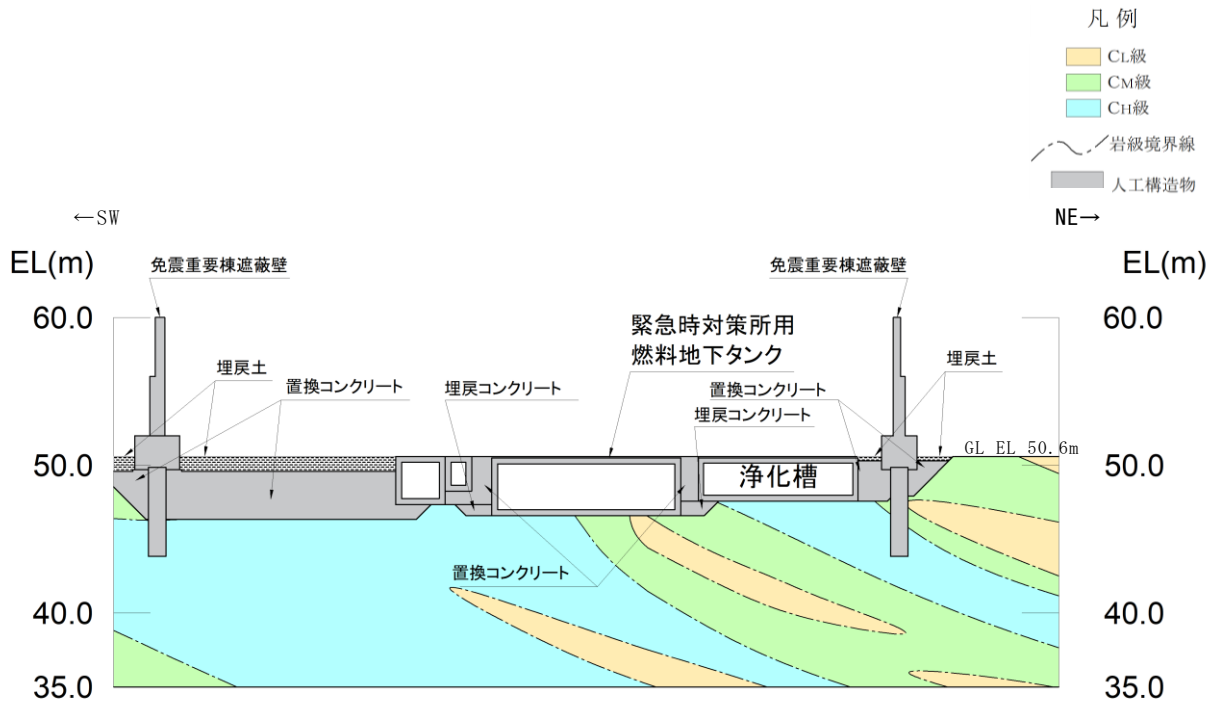
(岩級図)



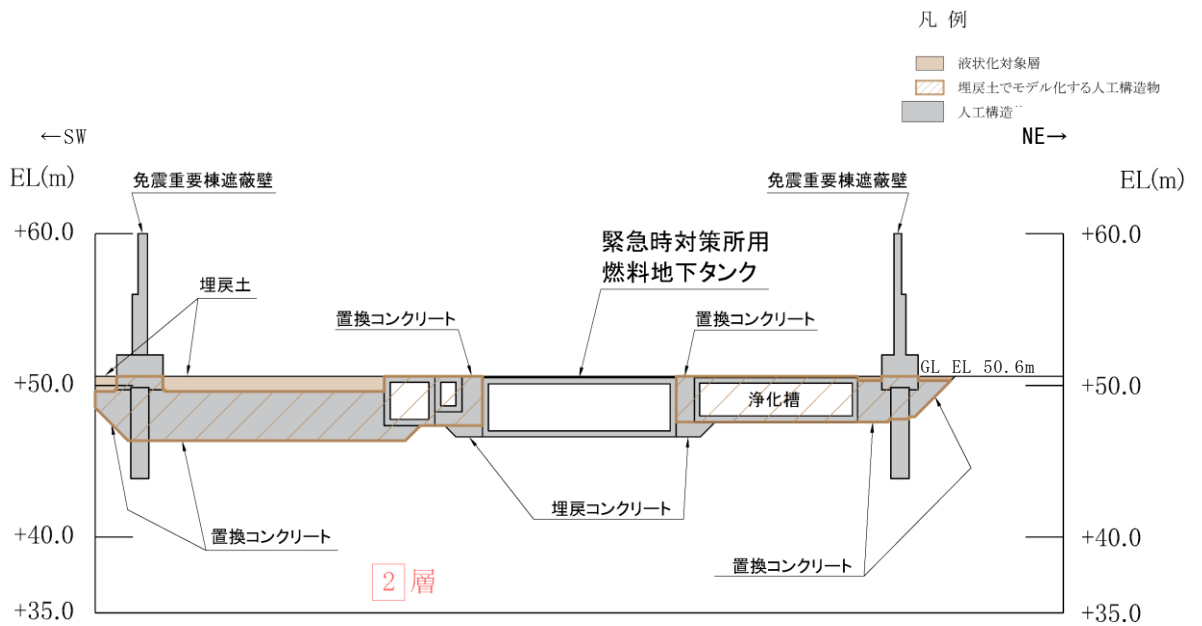
地下水位は施設設置地盤より十分低いため、設計地下水位を設定しない構造物
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

(速度層図)

図 3-2 緊急時対策所用燃料地下タンク 評価対象断面図 (A-A 断面位置)



(岩級図)



地下水位は施設設置地盤より十分低いいため、設計地下水位を設定しない構造物
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

(速度層図)

図 3-3 緊急時対策所用燃料地下タンク 評価対象地質断面図 (B-B 断面位置)

3.2 解析方法

緊急時対策所用燃料地下タンクの地震応答解析は、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直接積分法の時刻歴応答解析により行う。緊急時対策所用燃料地下タンク周辺の地下水位が緊急時対策所用燃料地下タンク下端より低いことから、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

A-A断面においては、鉄筋コンクリート躯体及び鋼製タンクは線形はり要素、充填コンクリートは線形の平面ひずみ要素によりモデル化する。

B-B断面においては、構造部材は線形はり要素でモデル化し、充填コンクリートは配置が局所的であることからモデル化しない。妻壁については等価な重量及び剛性とした平面応力要素で考慮する。

3.2.2 地盤

岩盤及び埋戻コンクリートは、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

また、地盤剛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。地盤剛性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-1及び表3-2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 (A-A断面)

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	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	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	平均値	平均値 + 1 σ
ケース③	全応力解析	平均値	平均値 - 1 σ

表 3-2 解析ケース (B-B断面)

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	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	平均値	平均値
ケース②	全応力解析	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	全応力解析	平均値 - 1 σ	平均値

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 3-3 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 3-3 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

	α	β
A-A 断面	3.109	2.410×10^{-4}
B-B 断面	9.894×10^{-1}	1.380×10^{-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

耐震評価における解析ケースを表 3-4 に示す。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、曲げ破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の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。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。なお、解析モデルが左右対称であり、水平動の位相反転による解析結果への影響はないと考えられることから水平動の位相反転は実施しない。

表 3-4 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
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*1	○	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、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。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には、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。
		-+*1	○*2	
		+ -*1	○	
		--*1	○*2	
	$S_s - F 1$	++*1	○	
	$S_s - F 2$	++*1	○	
	$S_s - N 1$	++*1	○	
		-+*1	○*2	
	$S_s - N 2$ (NS)	++*1	○	
		-+*1	○*2	
$S_s - N 2$ (EW)	++*1	○		
	-+*1	○*2		

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：A-A断面については、解析モデルが左右対称であり、水平動の位相反転による解析結果への影響はないと考えられることから実施しない。

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 耐震評価上考慮する状態

緊急時対策所用燃料地下タンクの地震応答解析において，地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり，通常の条件下におかれている状態。ただし，運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。風の影響は地震力と比較して小さいため考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

緊急時対策所用燃料地下タンク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，躯体重量を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として，内水圧，永久上載荷重及び積雪荷重 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 35.0 cm 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 1 cm 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) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

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3-4に入力地震動算定の概念図を、図3-5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」及び「microSHAKE/3D」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。

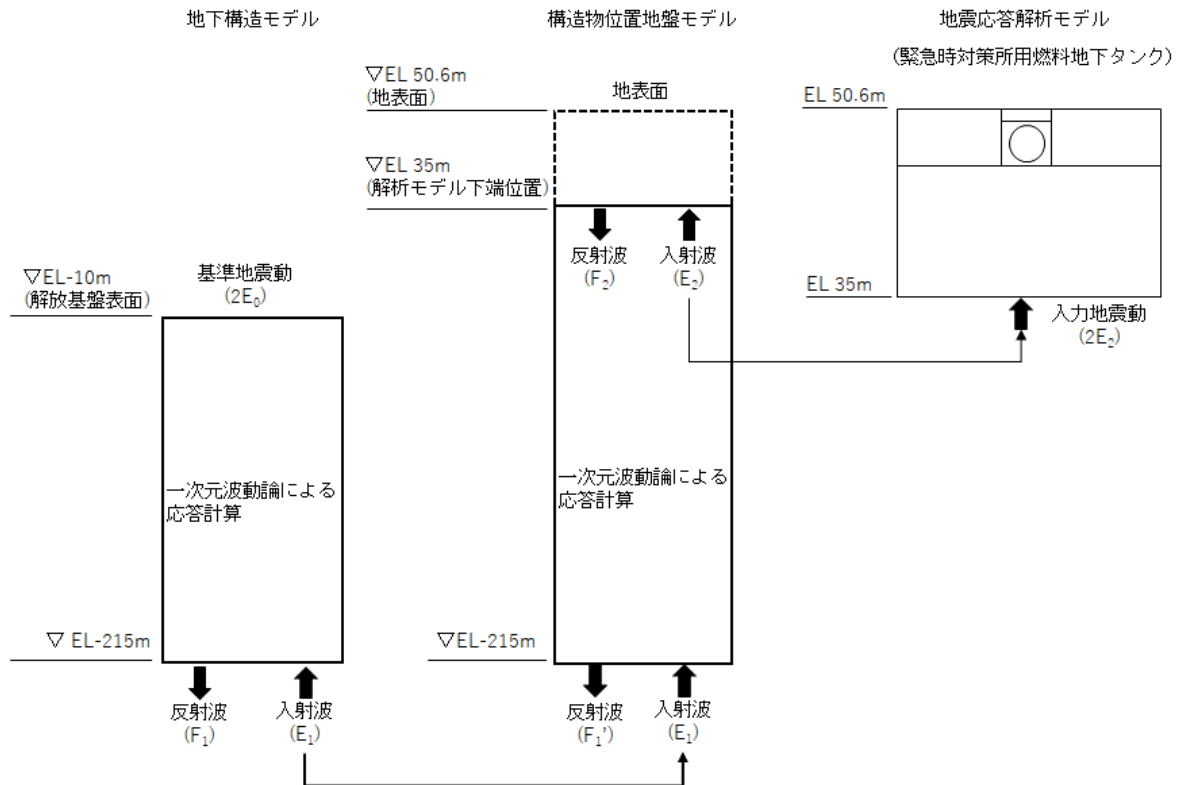
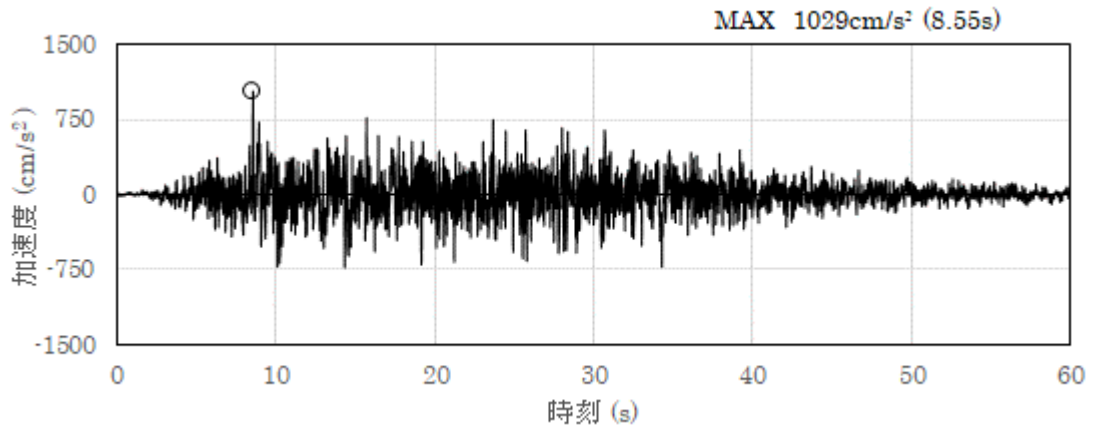
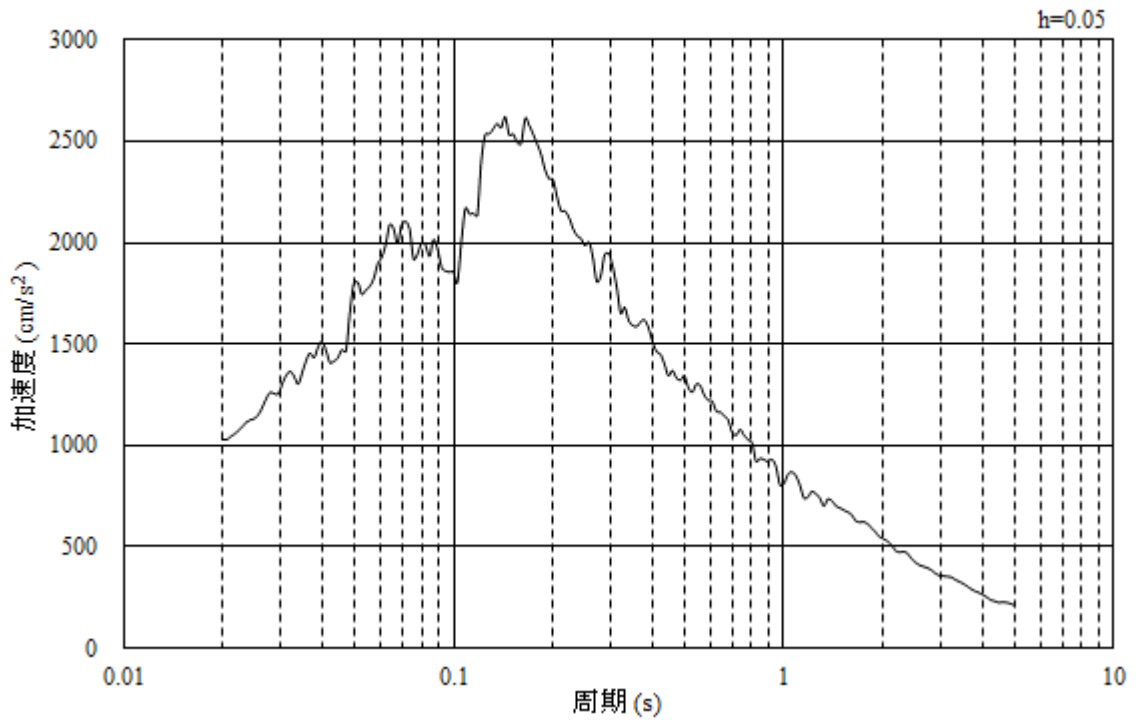


図 3-4 入力地震動算定の概念図

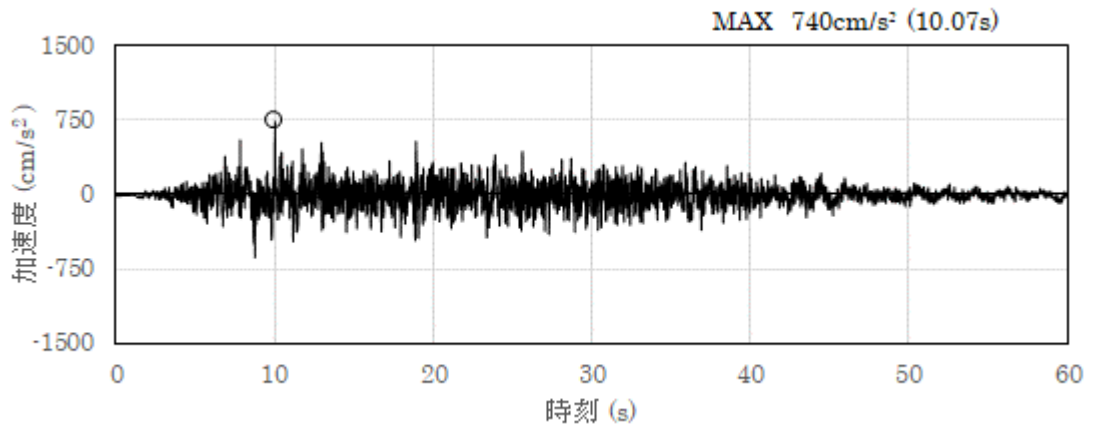


(a) 加速度時刻歴波形

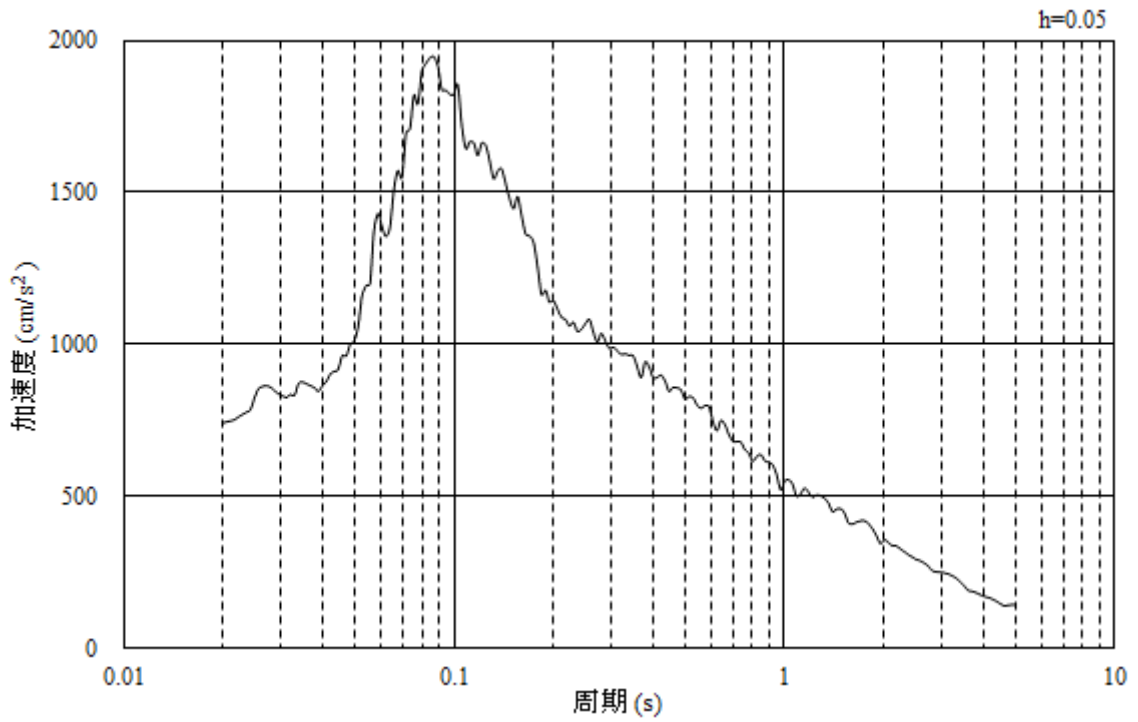


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(S s - D, 水平方向)

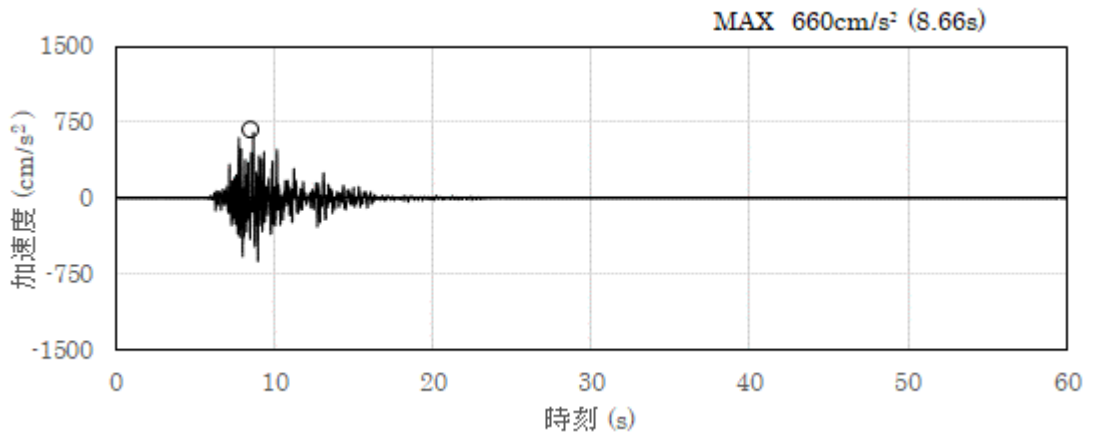


(a) 加速度時刻歴波形

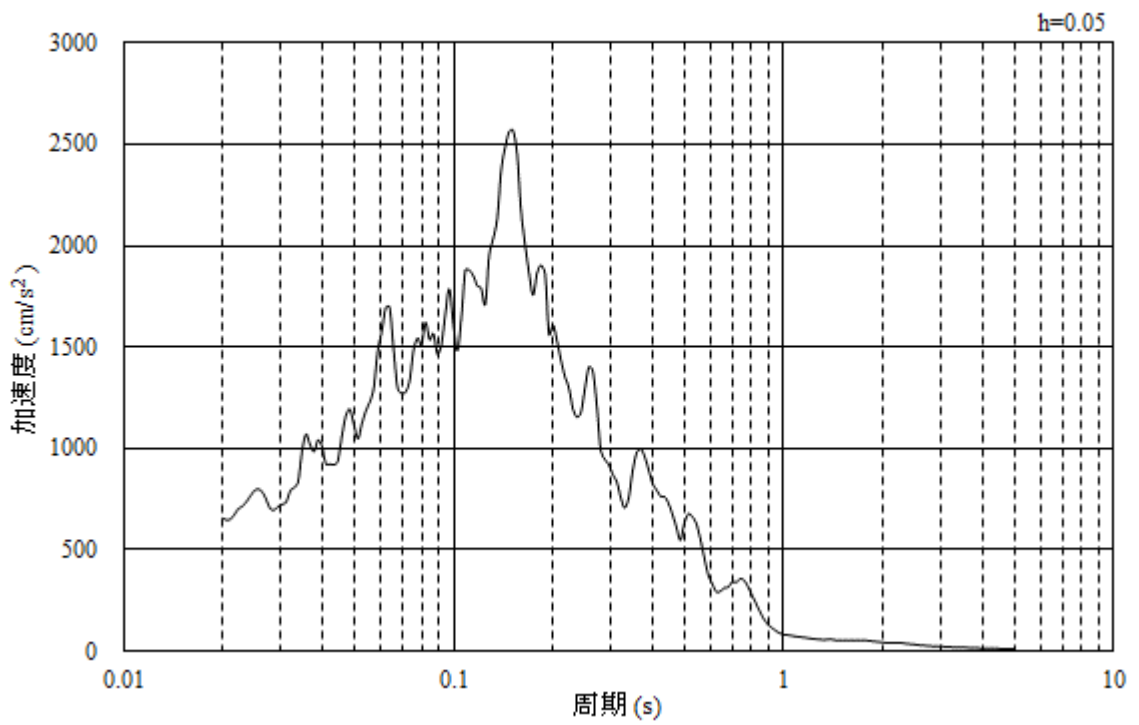


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - D, 鉛直方向)

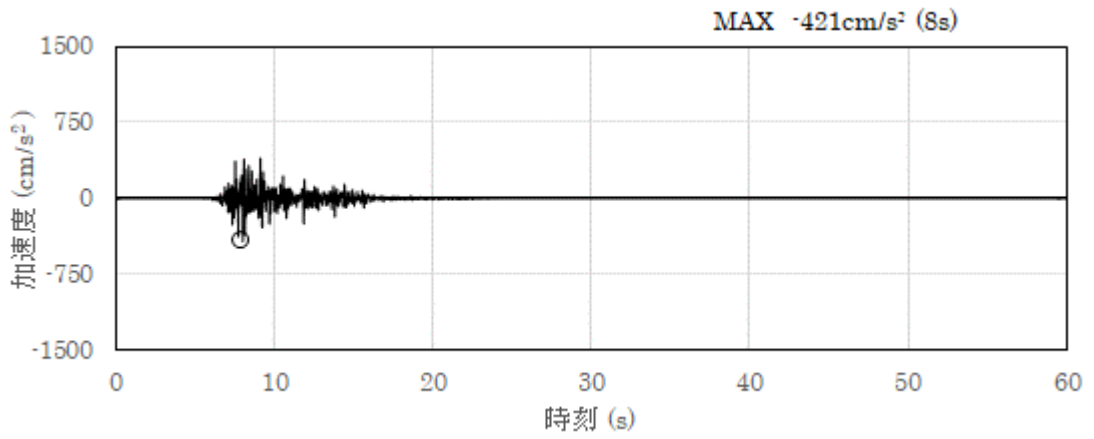


(a) 加速度時刻歴波形

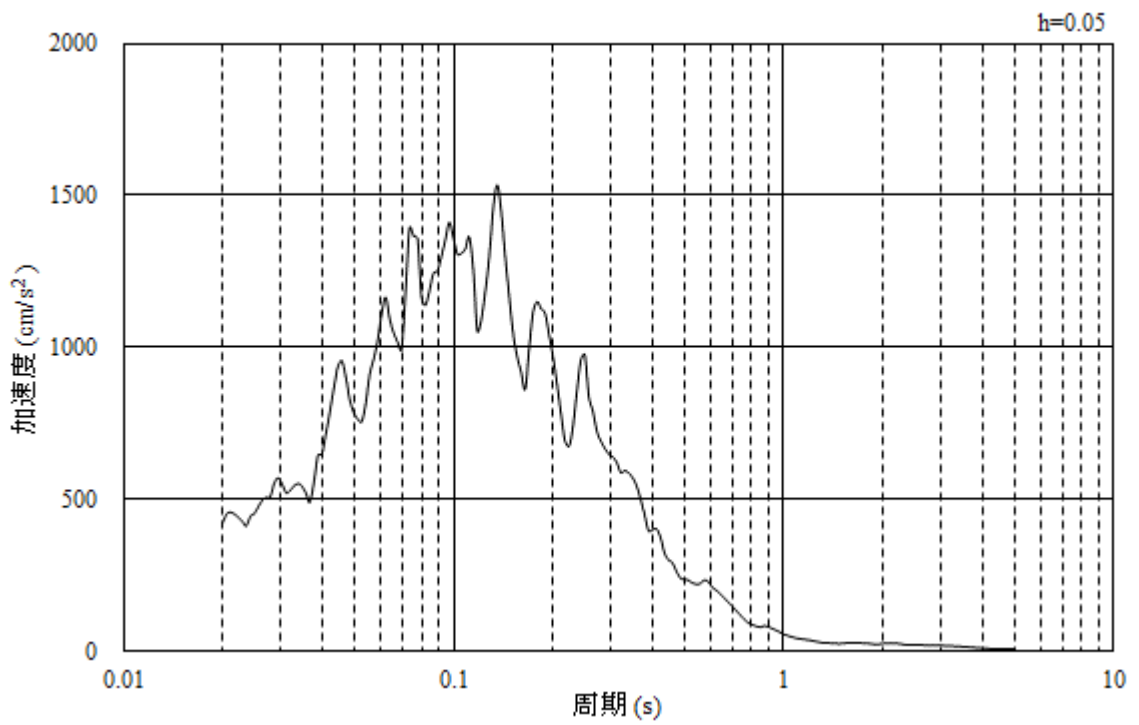


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - F 1, 水平方向)

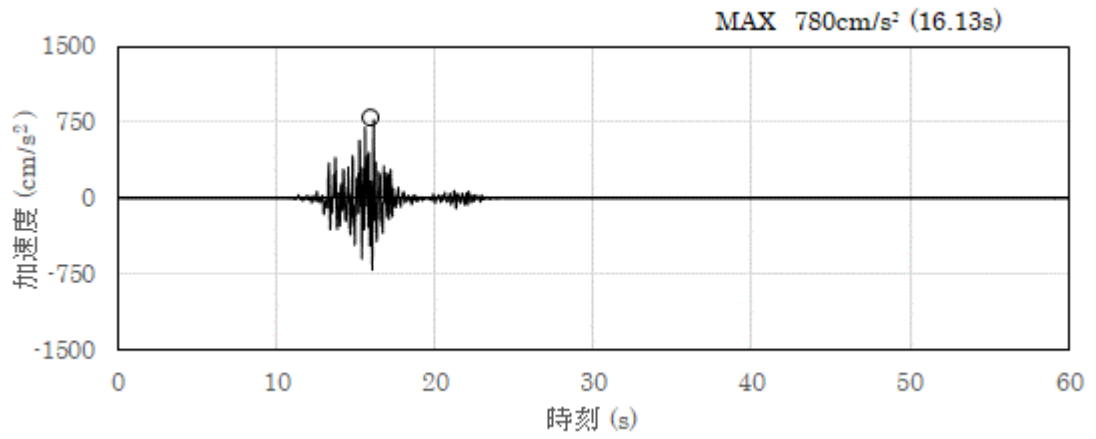


(a) 加速度時刻歴波形

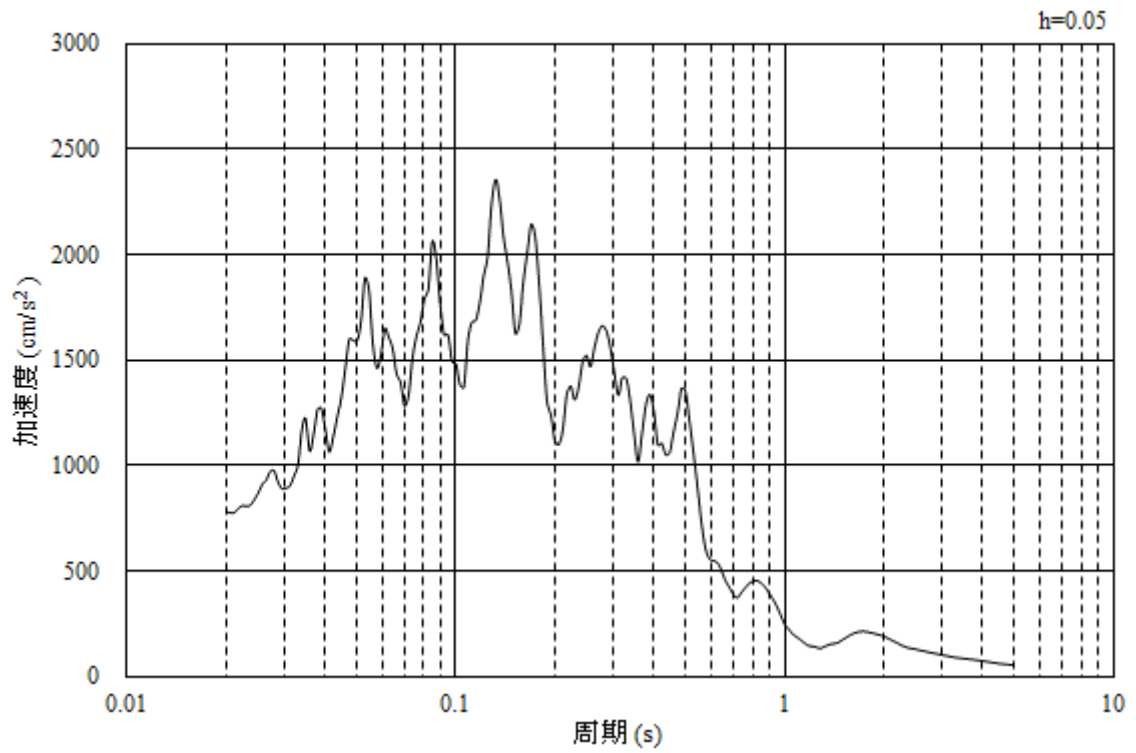


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - F 1, 鉛直方向)

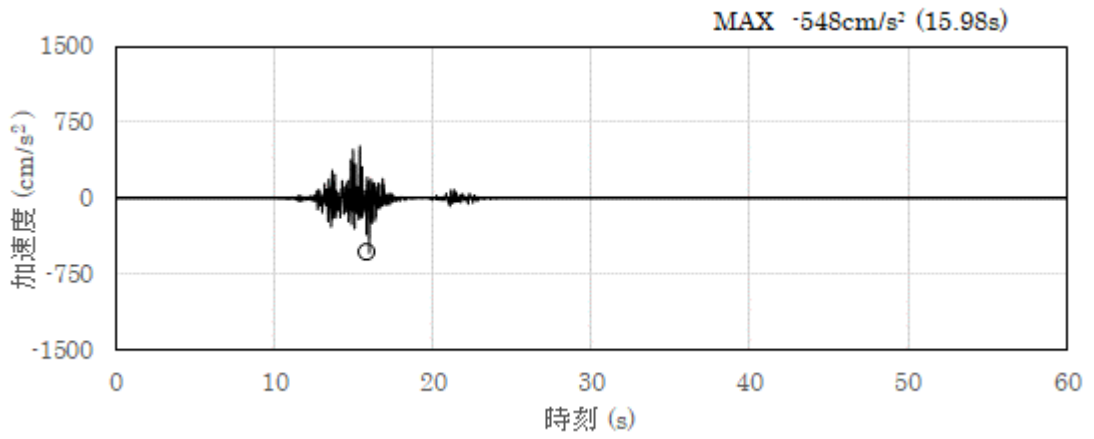


(a) 加速度時刻歴波形

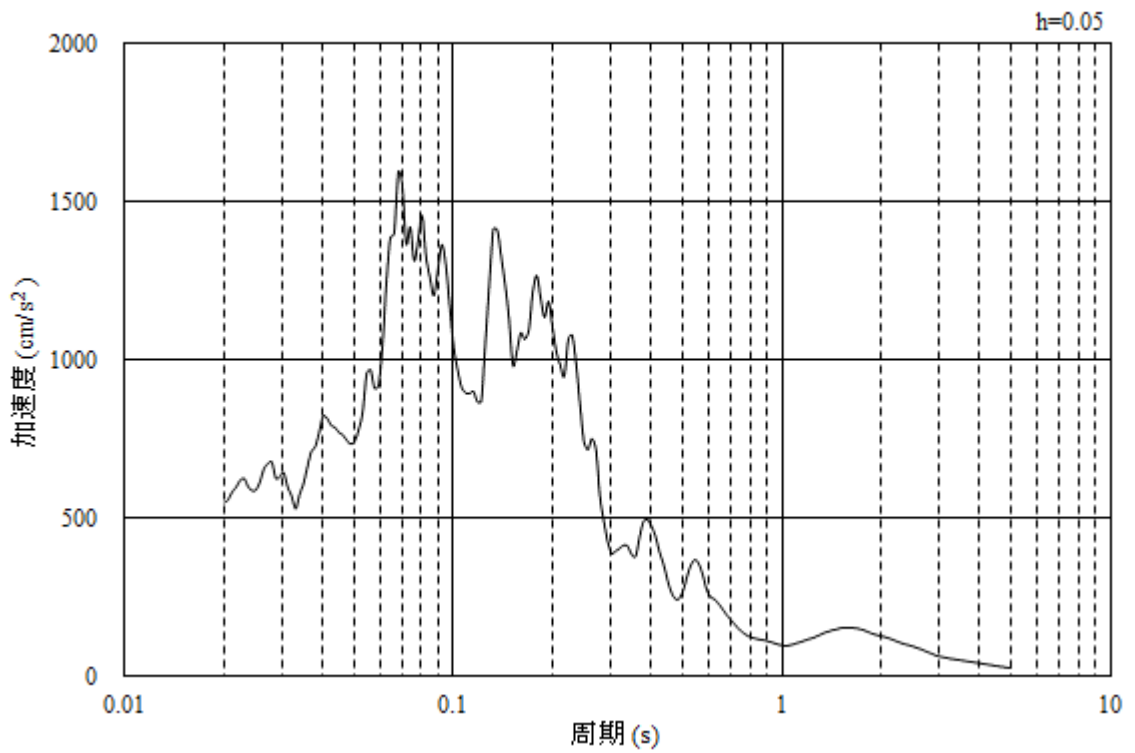


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - F 2, 水平方向)

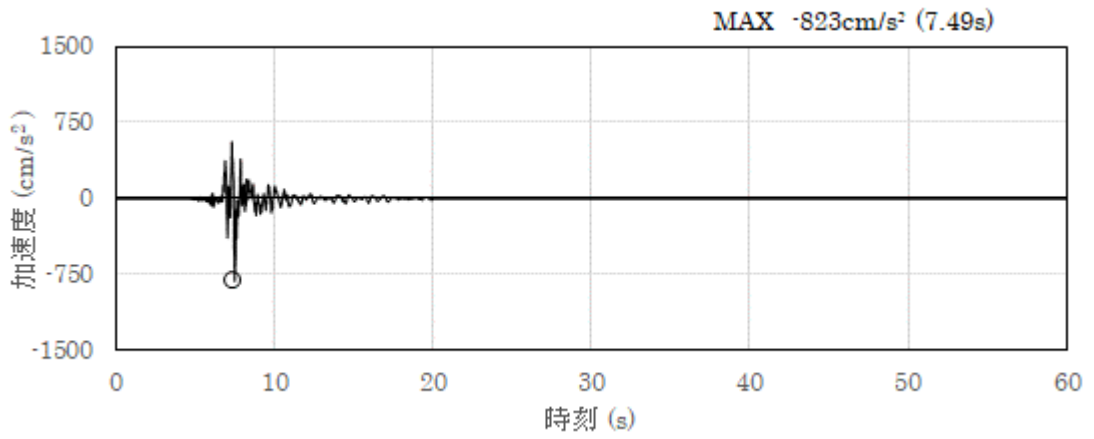


(a) 加速度時刻歴波形

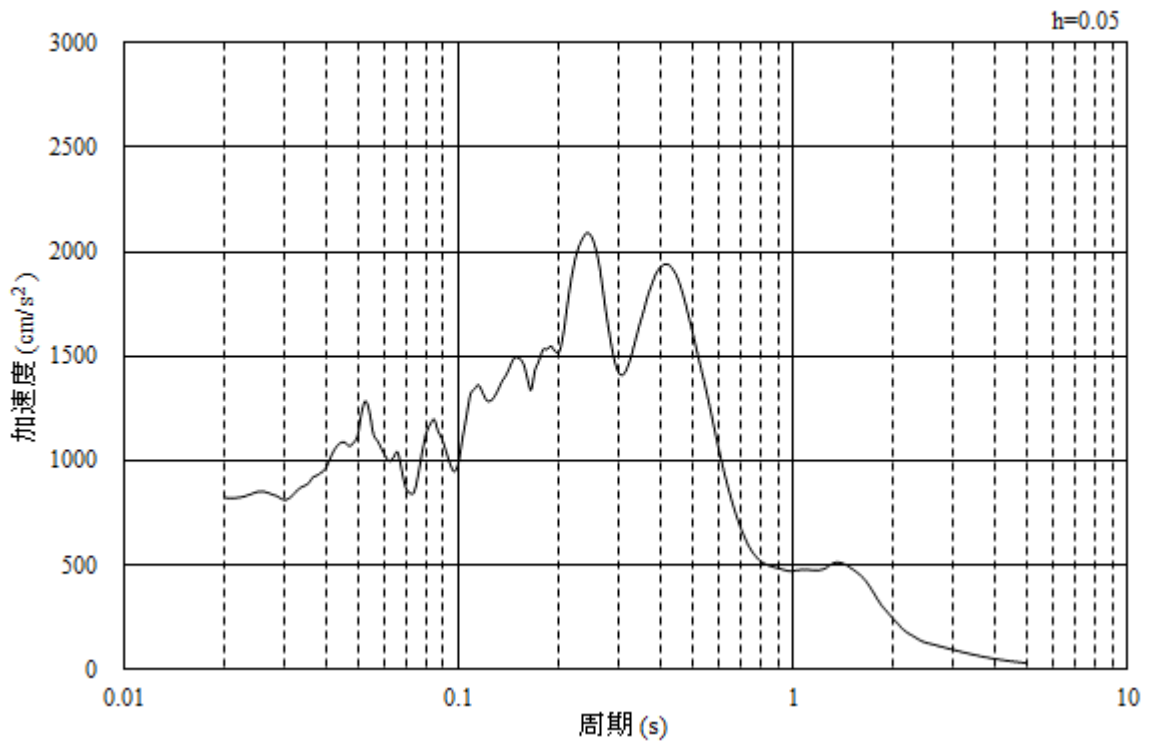


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - F 2, 鉛直方向)

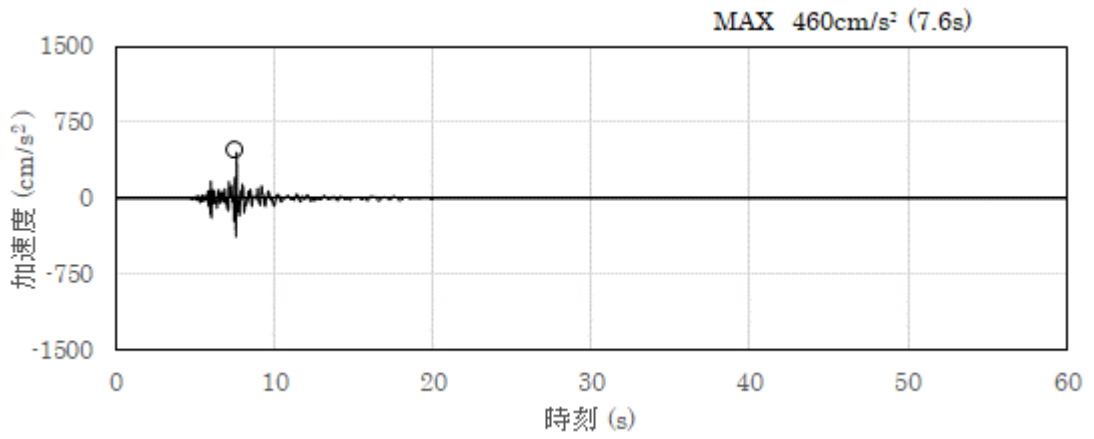


(a) 加速度時刻歴波形

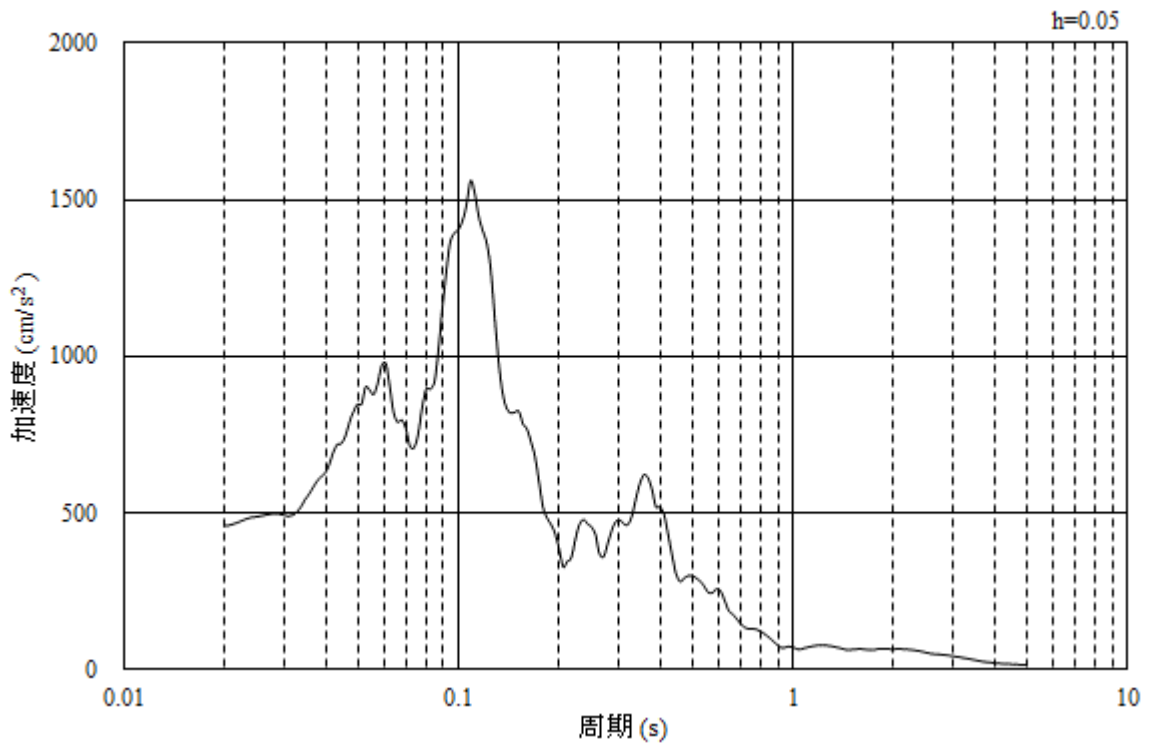


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - N 1, 水平方向)

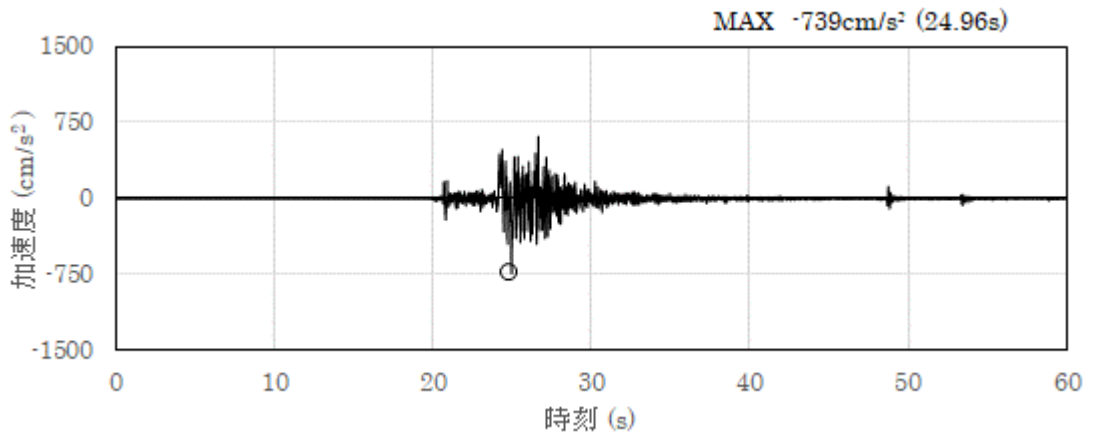


(a) 加速度時刻歴波形

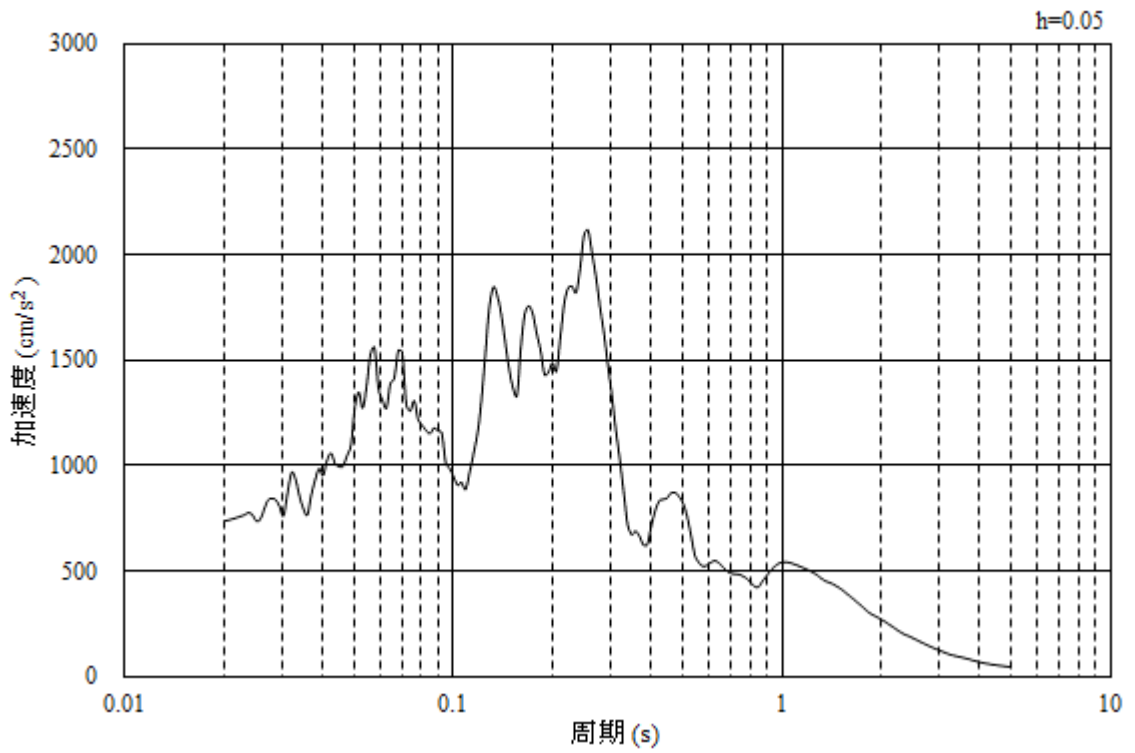


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - N 1, 鉛直方向)

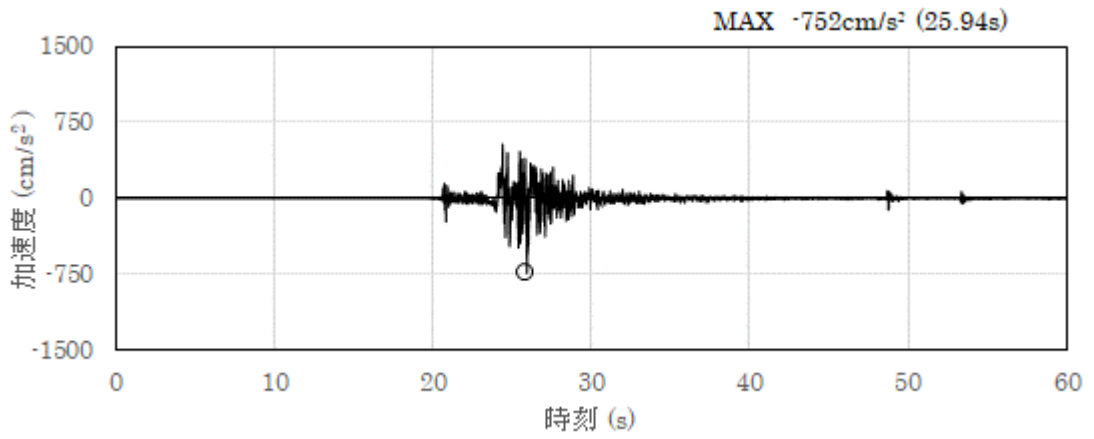


(a) 加速度時刻歴波形

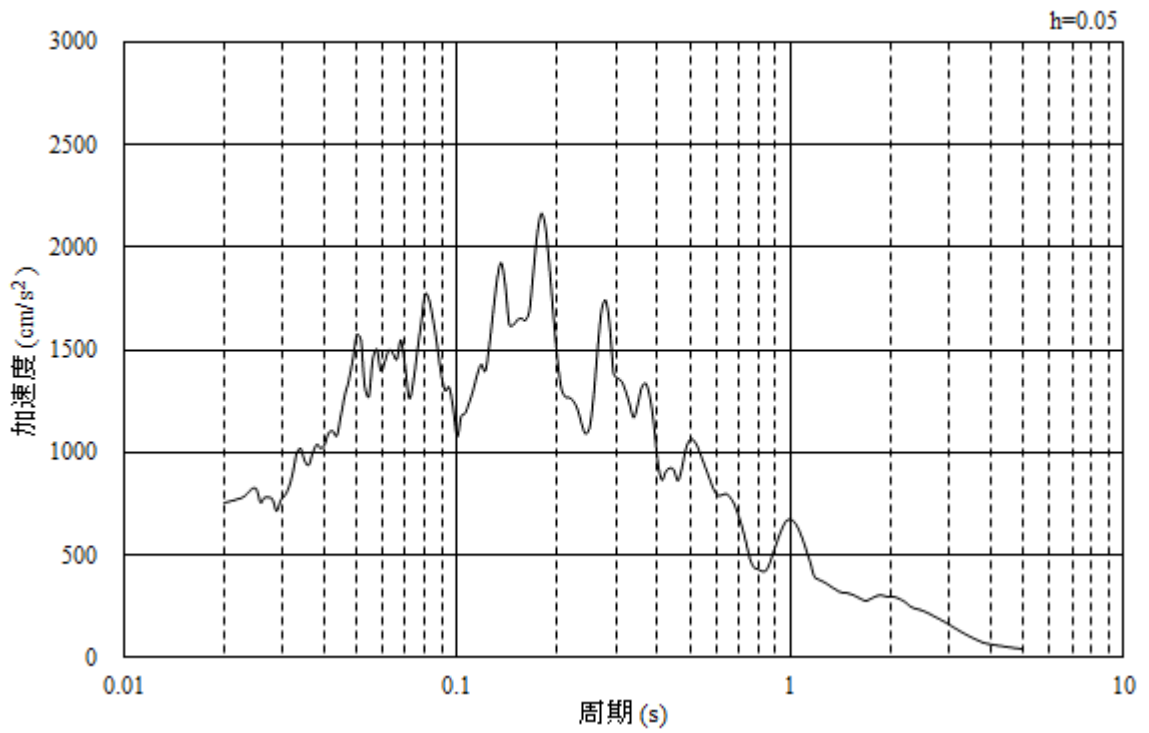


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S_s-N2, 水平方向 (NS))

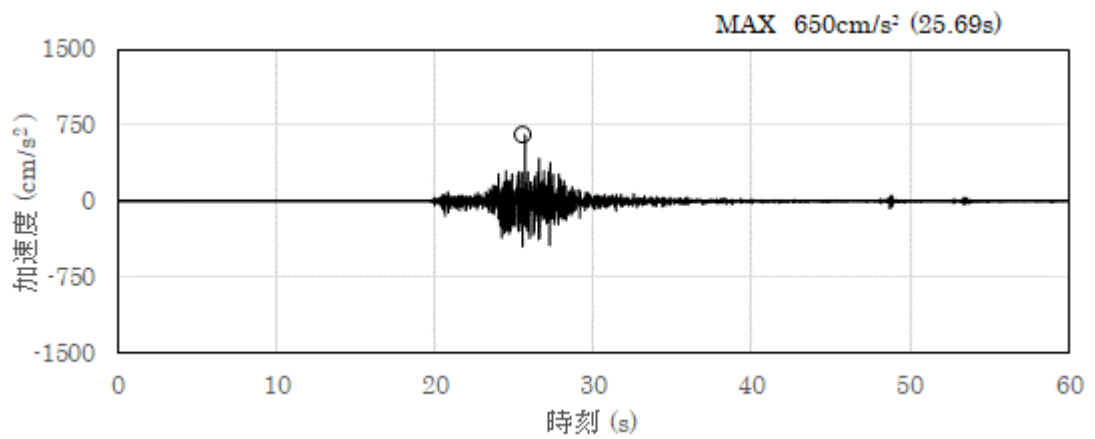


(a) 加速度時刻歴波形

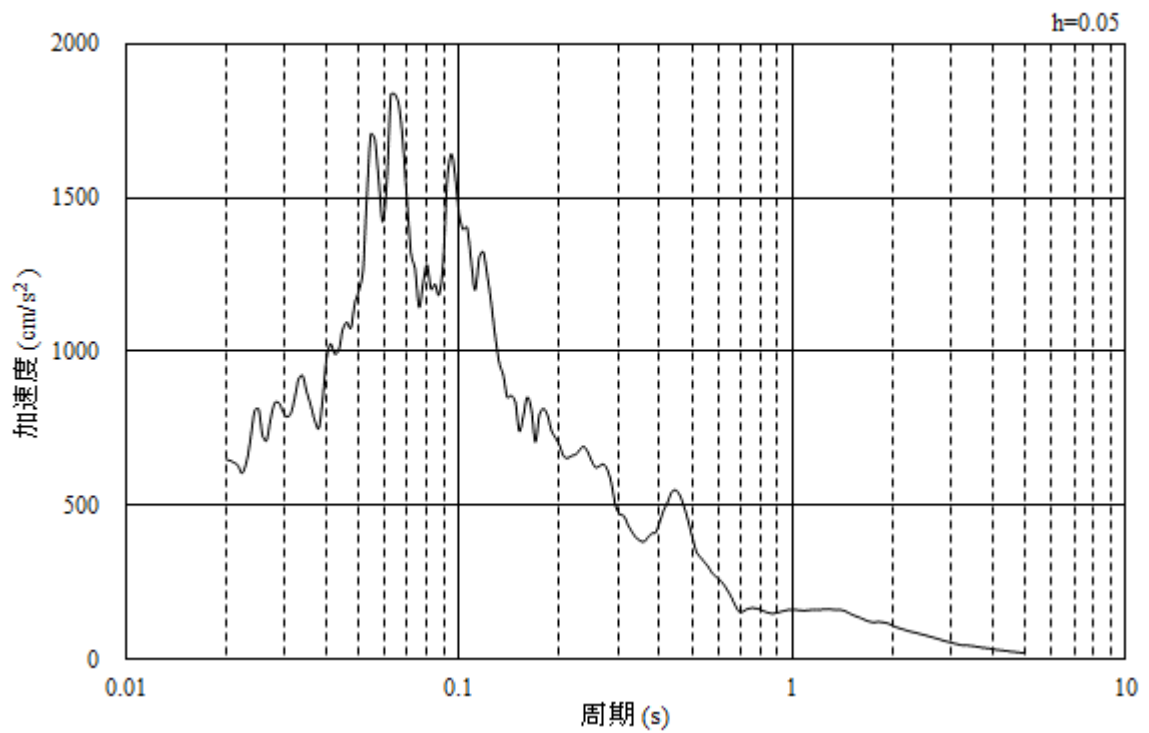


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - N 2, 水平方向 (EW))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 (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
(S s - N 2, 鉛直方向)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

緊急時対策所用燃料地下タンクの地震応答解析モデルを図 3-5 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

A-A断面における、鉄筋コンクリート躯体及び鋼製タンクは線形はり要素、充填コンクリートは線形の平面ひずみ要素によりモデル化する。

B-B断面については、構造物を線形はり要素でモデル化し、妻壁を等価な重量及び剛性とした平面応力要素で考慮する。

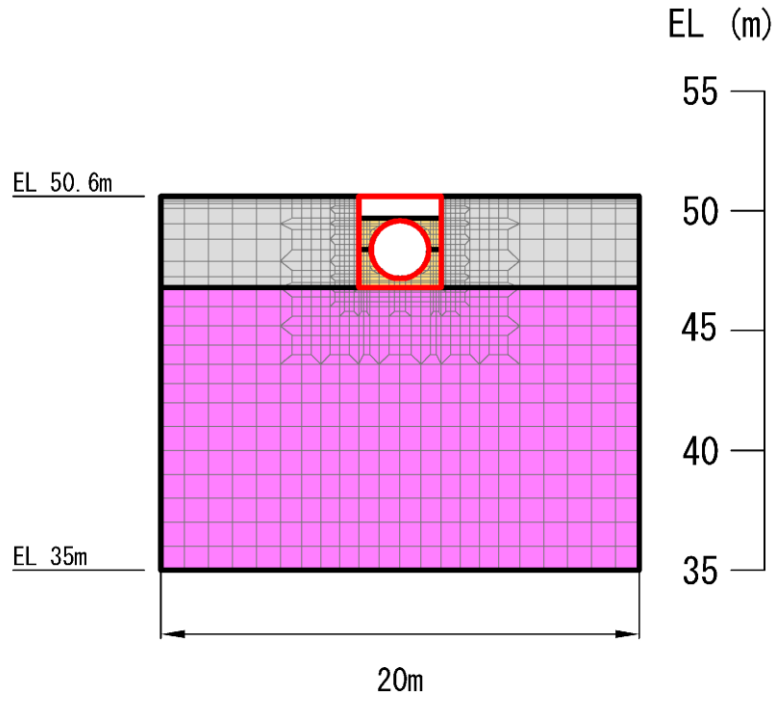
(4) 地盤のモデル化

岩盤及び埋戻コンクリートは線形平面ひずみ要素でモデル化する。

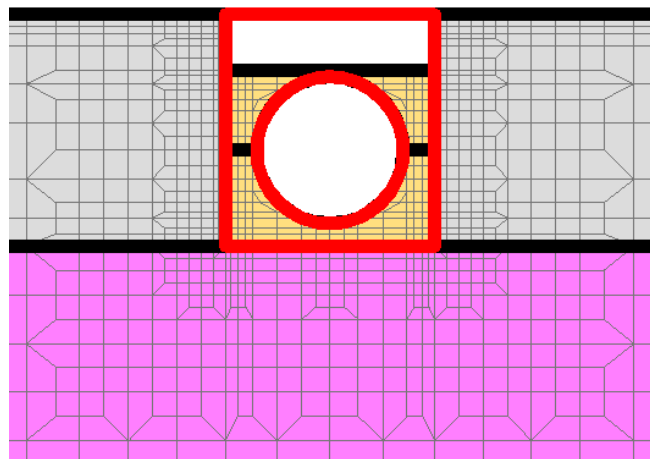
(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」及び「構造物と無筋コンクリート」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。

- : 岩盤 (2層)
- : 評価対象構造物
- : 埋戻コンクリート
- : 充填コンクリート



(全体図)



(拡大図)

図 3-6 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

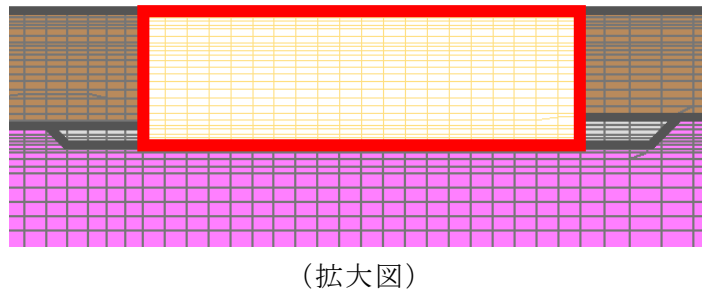
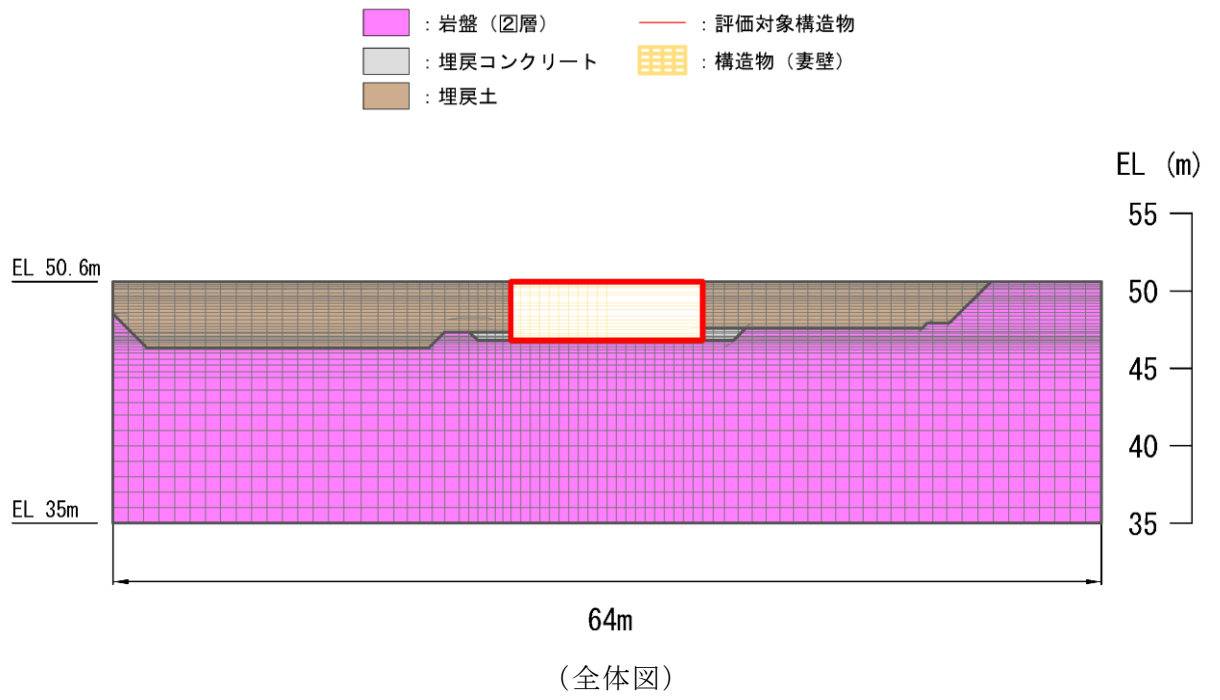


図 3-7 地震応答解析モデル図 (B-B 断面)

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 に示す。

表 3-6 使用材料

材料		仕様
構造物	構造部材 (鉄筋コンクリート) 充填コンクリート (有筋・無筋)	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD295A, SD345
	鋼製タンク	SS400
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 3-7 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物 (鉄筋コンクリート) 充填コンクリート (有筋)	2.50×10 ⁴	24.0 ^{*1}	0.2
充填コンクリート (無筋)	2.50×10 ⁴	23.0 ^{*2}	
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴	22.6 ^{*2}	
鋼製タンク	2.00×10 ⁵	77.0	0.3

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

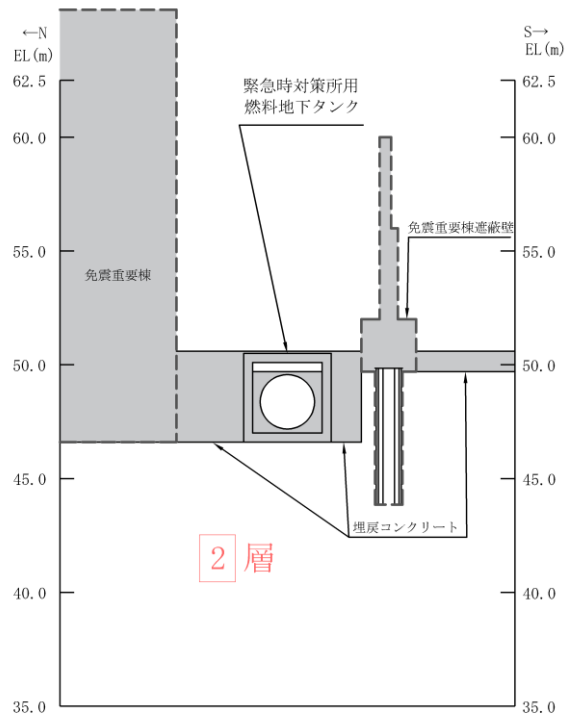
地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

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」に基づき設定する。設計地下水位を表3-8，**図3-8**及び**図3-9**に示す。緊急時対策所用燃料地下タンク直下の地下水位は，緊急時対策所用燃料地下タンク下端より低いことから，地下水による浮力は考慮しない。

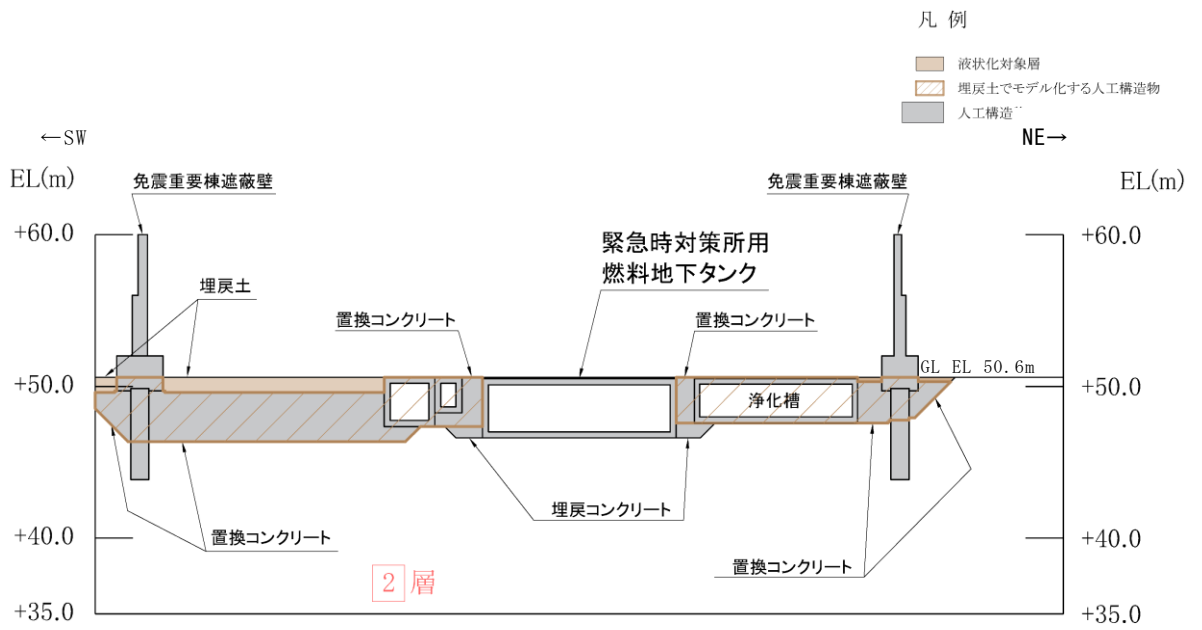
表3-8 緊急時対策所用燃料地下タンク 設計地下水位

施設名称	設計地下水位 (EL m)	備考
緊急時対策所用 燃料地下タンク	地下水位が構造物基礎下端より十分低いため考慮しない。	三次元浸透流解析による 自然水位：EL 22.1m～22.6m



地下水位は施設設置地盤より十分低いため，設計地下水位を設定しない構造物
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

図3-8 緊急時対策所用燃料地下タンク 設計地下水位 (A-A断面位置)



地下水位は施設設置地盤より十分低いため、設計地下水位を設定しない構造物
 (三次元浸透流解析による自然水位: EL 22.1m~22.6m)

図 3-9 緊急時対策所用燃料地下タンク 設計地下水位 (B-B 断面位置)

3.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.6.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性に対する許容限界

(1) 曲げに対する許容限界

鉄筋コンクリート躯体の曲げ破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。）に基づき、許容応力度（許容曲げ圧縮応力度（短期），許容引張応力度（短期））とする。鉄筋コンクリート躯体の曲げに対する許容限界を表3-8及び表3-9に示す。

表3-9 鉄筋コンクリート躯体の許容曲げ圧縮応力度

設計基準強度 (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度（長期） (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度（短期） (N/mm ²)
24	9	13.5

表3-10 鉄筋コンクリート躯体の許容引張応力度

鉄筋の種類	許容引張応力度（長期） (N/mm ²)	許容引張応力度（短期） (N/mm ²)
SD295A	176	264
SD345	196	294

(2) せん断力に対する許容限界

鉄筋コンクリート躯体の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に基づき、許容応力度（許容せん断応力度（短期））とする。鉄筋コンクリート躯体のせん断力に対する許容限界を表3-10に示す。

表3-11 鉄筋コンクリート躯体の許容せん断力応力度

設計基準強度 (N/mm ²)	許容せん断応力度（長期） (N/mm ²)	許容せん断応力度（短期） (N/mm ²)
24	0.45	0.675

3.6.2 鋼製タンクの健全性に対する許容限界

(1) 曲げに対する許容限界

鋼製タンクの曲げ系破壊に対する許容限界は、鋼構造設計規準（日本建築学会、2005年）（以下「鋼構造設計規準」という。）に基づき、許容応力度（許容引張応力度（短期））とする。鋼製タンクの曲げに対する許容限界を表3-11に示す。なお、短期許容応力度により照査を行うため、貯水機能相当を損なわないことの確認も同時に行う。

表3-12 鋼製タンクの許容引張応力度

鋼製タンク の仕様	許容引張応力度（長期） (N/mm ²)	許容引張応力度（短期） (N/mm ²)
SS400	156	235

(2) せん断力に対する許容限界

鋼製タンクのせん断破壊に対する許容限界は、鋼構造設計規準に基づき、許容応力度（許容せん断応力度（短期））とする。鋼製タンクのせん断力に対する許容限界を表3-12に示す。

表3-13 鋼製タンクの許容せん断応力度

鋼製タンク の仕様	許容せん断応力度（長期） (N/mm ²)	許容せん断応力度（短期） (N/mm ²)
SS400	90	135

3.6.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する鉛直力の許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、基礎岩盤（C_L級）の極限支持力度とする。

基礎地盤（C_L級）の極限支持力度を表3-13に示す。

表3-14 基礎地盤（C_L級）の極限支持力度

岩級	極限支持力度 (N/mm ²)
C _L 級	3.9

3.7 評価方法

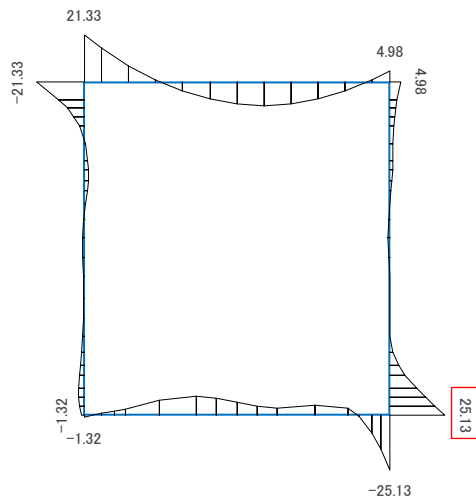
A-A断面においては、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

B-B断面においては、側壁を4辺固定版として算定した照査用応答値が、「3.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。4辺固定版は、線形シェル要素によりモデル化する。なお、4辺固定版に作用させる荷重は土圧及び慣性力とし、地震応答解析において頂底版間の層間変位が最大となる時刻から抽出する。

3.7.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性評価

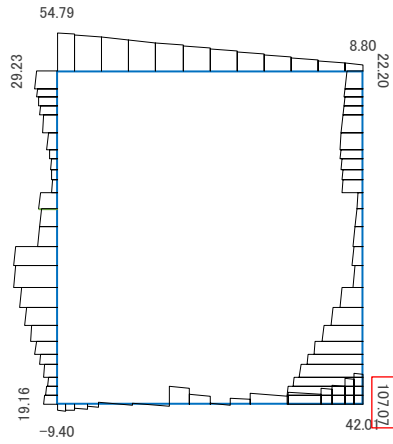
鉄筋コンクリート躯体の曲げ照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析又は4辺固定版により算定した照査用曲げ応力度、引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

A-A断面における、鉄筋コンクリート躯体の曲げ照査及びせん断力照査において照査値が最大となる時刻での断面力分布図を図3-10に示す。また、B-B断面において、頂底版間の層間変位が最大となる時刻における断面力分布図を図3-11に示す。



□ : 評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



□ : 評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)

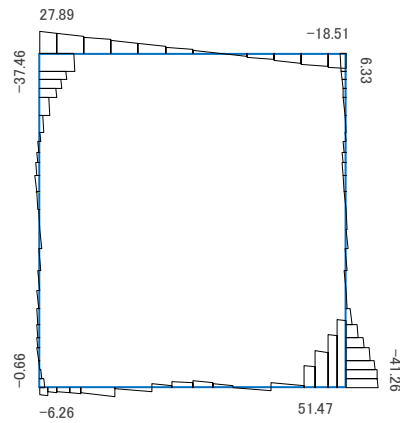
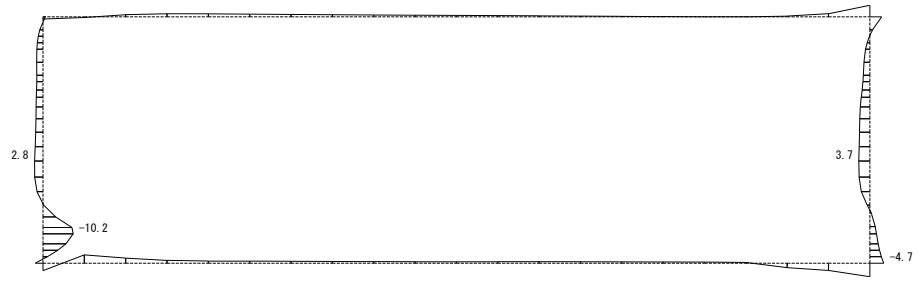
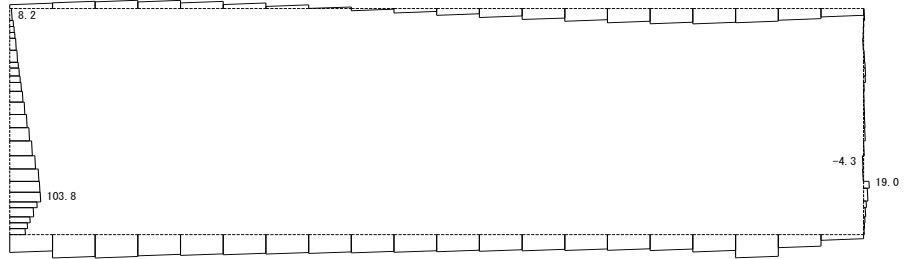


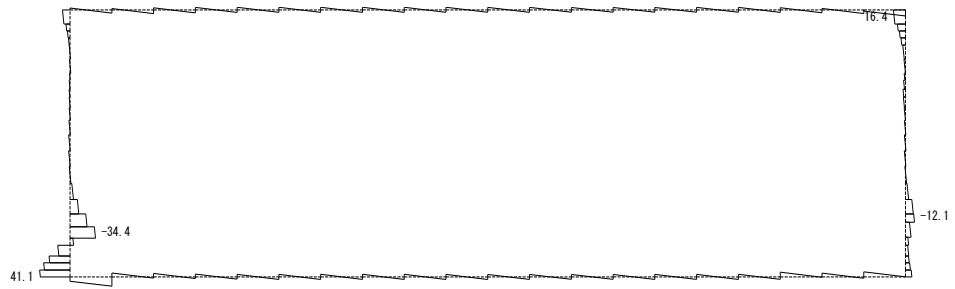
図 3-10 鉄筋コンクリート躯体の曲げ照査値及びせん断力照査が最大となる時刻での断面力分布図 (A-A断面, 解析ケース③, S_s-D (+))



(a) 曲げモーメント (kN・m)



(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



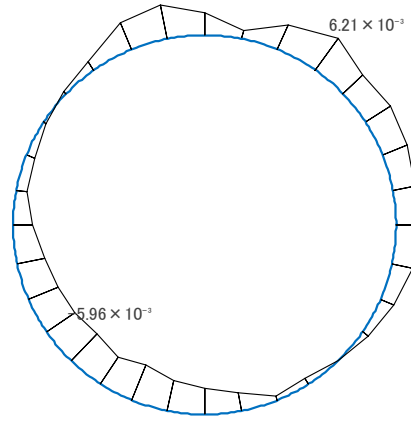
(c) せん断力 (kN)

図 3-11 頂底版間の層間変位が最大となる時刻における断面力分布図
(B-B断面, 解析ケース①, S s - D (+ -))

3.7.2 鋼製タンクの健全性評価

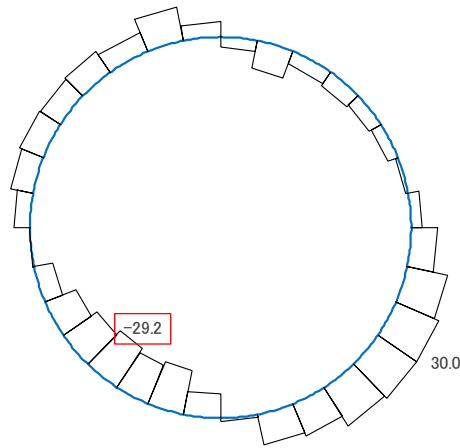
鋼製タンクの曲げ照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した照査用曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

鋼製タンクの曲げ照査及びせん断力照査において照査値が最大となる時刻での断面力分布図を図 3-8 に示す。



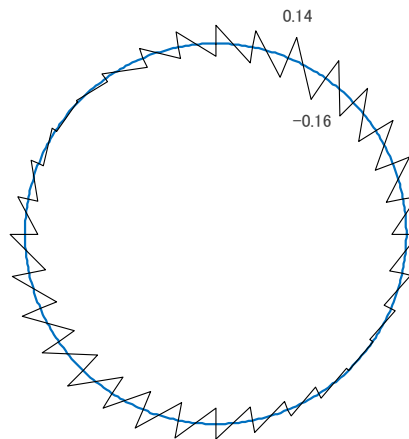
□ : 評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



□ : 評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



(c) せん断力 (kN)

図 3-12 鋼製タンクの曲げ照査値及びせん断力照査値が最大となる時刻での断面力分布図 (解析ケース③, S s - D (+ -))

3.7.3 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に発生する接地圧が基礎地盤（ C_L ）の極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価で最大照査値を示す地震動及び解析ケースにおける最大接地圧分布図を図 3-13 及び図 3-14 に示す。

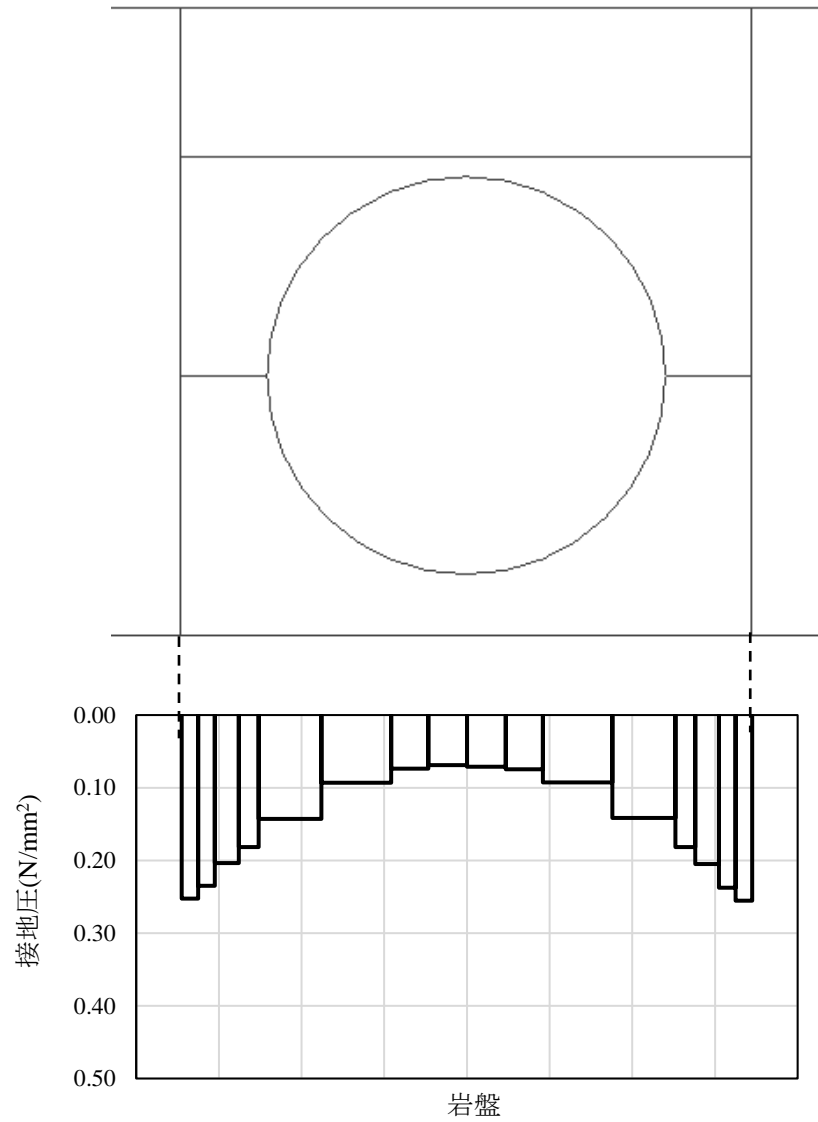


図 3-13 最大接地圧分布図（A-A断面，解析ケース②， $S_s-D(+)$ ）

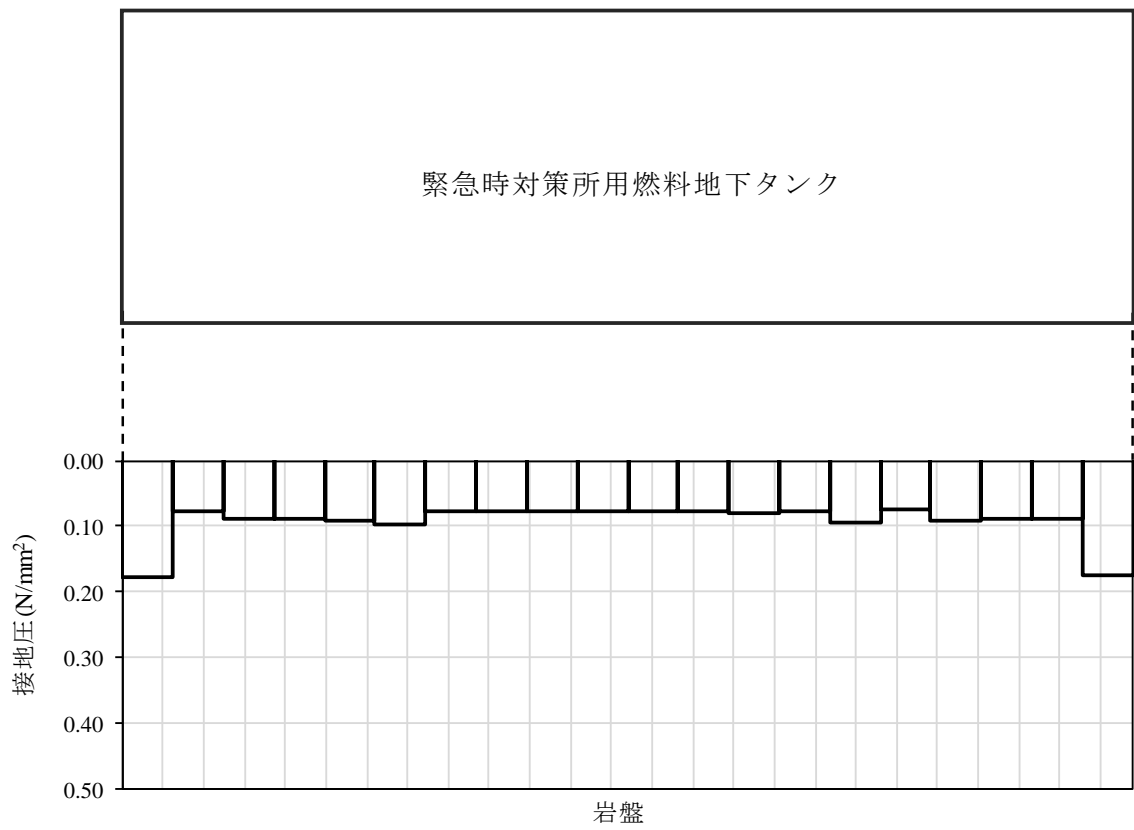


図 3-14 最大接地圧分布図 (B-B 断面, 解析ケース①, S_s-D (++))

4. 解析結果

4.1 鉄筋コンクリート躯体の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート躯体の曲げ照査における各評価位置での最大照査値を表 4-1～表 4-4，せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクの鉄筋コンクリート躯体の照査用圧縮応力度，引張応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ照査（圧縮）における最大照査値（A-A 断面，鉄筋コンクリート躯体）

解析 ケース	地震動		評価 位置*		曲げ モーメ ント (kN・m)	軸力 (kN)	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}
③	S s - D	+-	側壁	4	25.1	107.1	1.5	13.5	0.12

注記*：評価位置は図 4-1 に示す。

表 4-2 曲げ照査（圧縮）における最大照査値（B-B 断面，鉄筋コンクリート躯体）

解析 ケース	地震動		方向	曲げ モーメント (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}
①	S s - D	+-	X 方向 (配力筋方向)	9.80	0.911	13.5	0.07
			Y 方向 (主筋方向)	24.7	1.51	13.5	0.12

表 4-3 曲げ照査（引張）における最大照査値（A-A断面，鉄筋コンクリート躯体）

解析 ケース	地震動		評価 位置*		曲げ モーメ ント (kN・m)	軸力 (kN)	発生	短期許容	照査値 $\sigma'_s / \sigma'_{s a}$
							応力度 σ'_s (N/mm ²)	応力度 $\sigma'_{s a}$ (N/mm ²)	
③	S s - D	+ -	頂版	1	7.9	18.9	27.3	264	0.11

注記*：評価位置は図 4-1 に示す。

表 4-4 曲げ照査（引張）における最大照査値（B-B断面，鉄筋コンクリート躯体）

解析 ケース	地震動		方向	曲げ モーメント (kN・m)	発生	短期許容	照査値 $\sigma_s / \sigma_{s a}$
					応力度 σ_s (N/mm ²)	応力度 $\sigma_{s a}$ (N/mm ²)	
①	S s - D	+ -	X方向 (配力筋方向)	9.80	35.5	294	0.13
			Y方向 (主筋方向)	24.7	33.6	294	0.12

表 4-5 せん断力照査における最大照査値 (A-A断面, 鉄筋コンクリート躯体)

解析 ケース	地震動		評価 位置*		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
③	S s - D	+ -	底版	2	51.5	177	0.30

注記* : 評価位置は図 4-1 に示す。

表 4-6 せん断力照査における最大照査値 (B-B断面, 鉄筋コンクリート躯体)

解析 ケース	地震動		方向	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 - D	+ -	X方向 (配力筋方向)	37.2	176.1	0.22
			Y方向 (主筋方向)	92.7	176.1	0.53

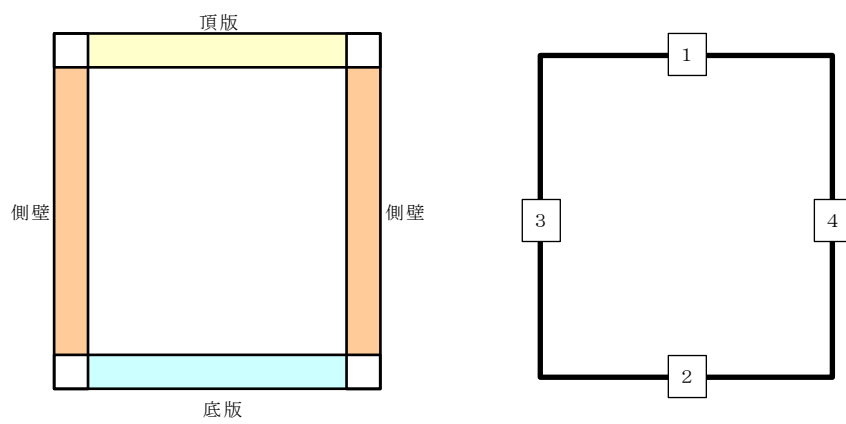


图 4-1 評価位置図 (A-A 断面)

4.2 鋼製タンクの健全性に対する評価結果

鋼製タンクの曲げ照査における最大照査値を表 4-7, せん断力照査における最大照査値を表 4-8 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクの鋼製タンクの照査用曲げ応力度及びせん断**応力度**が許容限界以下であることを確認した。

表 4-7 曲げ照査における最大照査値 (鋼製タンク)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生応力度 σ_{max} (N/mm ²)	短期許容 応力度 f_t (N/mm ²)	照査値 σ_{max} / f_t
	S s - D	+ -					
③	S s - D	+ -	5.96×10^{-3}	-29.2	3.7	235	0.02

表 4-8 せん断力照査における最大照査値 (鋼製タンク)

解析 ケース	地震動		発生せん断 応力度 τ_{max} (N/mm ²)	短期許容応力度 f_s (N/mm ²)	照査値 τ_{max} / f_s
	S s - D	+ -			
③	S s - D	+ -	1.74×10^{-2}	135	0.01

4.3 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を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクの基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 4-9 基礎地盤の支持性能照査結果 (A-A 断面)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
	②	S s - D	+ -	0.26	3.9

表 4-10 基礎地盤の支持性能照査結果 (B-B 断面)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
	①	S s - D	+ +	0.18	3.9