

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-11 改 02
提出年月日	2023年3月24日

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての  
計算書に関する補足説明資料

2023年3月

中国電力株式会社

## 目 次

1. 評価方法	1
2. 評価条件	1
2.1 適用規格	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価対象断面の方向	11
2.4 評価対象断面の選定	11
2.5 使用材料及び材料の物性値	12
2.6 地盤物性値	13
2.7 評価構造物諸元	15
2.8 地下水位	17
2.9 耐震評価フロー	18
3. 地震応答解析	20
3.1 地震応答解析手法	20
3.2 地震応答解析モデルの設定	23
3.2.1 解析モデル領域	23
3.2.2 境界条件	24
3.2.3 構造物のモデル化	27
3.2.4 地盤のモデル化	28
3.2.5 地震応答解析モデル	30
3.2.6 ジョイント要素の設定	32
3.3 減衰定数	36
3.4 荷重及び荷重の組合せ	45
3.4.1 内水圧	46
3.4.2 積雪荷重	46
3.4.3 動水圧	47
3.5 地震応答解析の解析ケース	50
3.5.1 耐震評価における解析ケース	50
4. 評価内容	54
4.1 入力地震動の設定	54
4.1.1 入力地震動	55
4.2 許容限界の設定	71
4.2.1 構造部材（鉄筋コンクリート）に対する許容限界	71
4.2.2 構造部材（鋼製タンク）に対する許容限界	73
4.2.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	73
4.3 評価方法	74

4.3.1	A－A断面	74
4.3.2	B－B断面	74
4.3.3	剛域の設定の有無について	76
5.	評価結果	77
5.1	地震応答解析結果	77
5.1.1	解析ケース	77
5.1.2	断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）（A－A断面）	81
5.1.3	断面力分布（せん断破壊に対する照査）（A－A断面）	84
5.1.4	断面力分布（層間変位最大時刻）（B－B断面）	87
5.2	構造部材の健全性に対する評価結果	89
5.2.1	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	89
5.2.2	せん断破壊に対する評価結果	95
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	101
6.	まとめ	105

参考資料 充填コンクリートの評価結果

## 1. 評価方法

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として非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物であり、貯水機能相当\*が要求される。

緊急時対策所用燃料地下タンクについては、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貯水機能相当の機能を有していることを確認する。

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基礎地盤の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、鋼製タンクとする。

注記\*：貯水機能は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」において、重大事故等時に熔融炉心の冷却水を確保するための設備に対して貯水機能を確保し、漏えいを防止することと定義されている。緊急時対策所用燃料地下タンクの要求機能はこれに該当するものではないが、重大事故等時に燃料の漏出を防止する観点から、貯水機能と同等の機能を維持するものとし、要求機能を「貯水機能相当」と表現する。

## 2. 評価条件

### 2.1 適用規格

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価にあたっては、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 2002」という。) 及び 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) (以下「J E A G 4 6 0 1-1987」という。) を適用するが、鋼材の曲げ・軸力系及びせん断破壊の許容限界については、鋼構造設計規準—許容応力度設計法— (日本建築学会, 2005 年) を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界については、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) を適用する。なお、解析モデルの要素分割及び構造物のモデル化等において、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 2005」という。) も参照している。

表 2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 2-1 適用する規格，基準類

項目	適用する規格，基準類	参照する内容
使用材料及び 材料定数	・コンクリート標準示方書 2002	・鉄筋コンクリートの材料諸元 ( $\gamma$ , E, $\nu$ )
荷重及び荷重 の組合せ	・コンクリート標準示方書 2002	・永久荷重，偶発荷重等の適切な組合せを 検討
許容限界	・コンクリート標準示方書 2002	【鉄筋コンクリート】 ・曲げ及び軸力系の破壊に対する照査にお いて，発生応力度が短期許容応力度を下 回ることを確認 ・せん断破壊に対する照査において，発生 せん断力が短期許容せん断力を下回るこ とを確認
	・鋼構造設計規準－許容応 力度設計法－（日本建築 学会 2005 年改定）	【鋼製タンク】 ・曲げ及び軸力系の破壊に対する照査にお いて，発生応力度が短期許容引張応力度 を下回ることを確認 ・せん断破壊に対する照査において，発生 せん断応力度が短期許容せん断応力度を 下回ることを確認
	・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）	・基礎地盤の支持性能に対する照査は，基 礎地盤に発生する応力が極限支持力度を 下回ることを確認
地震応答解析	・J E A G 4 6 0 1 -1987	・有限要素法による 2 次元モデルを用いた 時刻歴非線形解析

## 2.2 構造概要

緊急時対策所用燃料地下タンクの位置図を図 2-1 に、**周辺拡大図を図 2-2 に、**平面図を図 2-3 に、断面図を図 2-4 及び図 2-5 に、概略配筋図を図 2-6～図 2-8 に、評価対象地質断面図を図 2-9 及び図 2-10 に示す。

緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長 12.8m、幅 3.85m、高さ 3.9m の鉄筋コンクリート造で鋼製タンク（ $t = 9\text{mm}$ 、 $\phi = 2400\text{mm}$ ）を内包する地中構造物であり、十分な支持性能を有する  $C_H$  級～ $C_L$  級岩盤に直接支持される。

頂版はハーフ P C a 版を設置後、現場打ちコンクリートを打設することで一体化を図っている。なお、トラス筋については保守的に構造鉄筋として考慮しない。

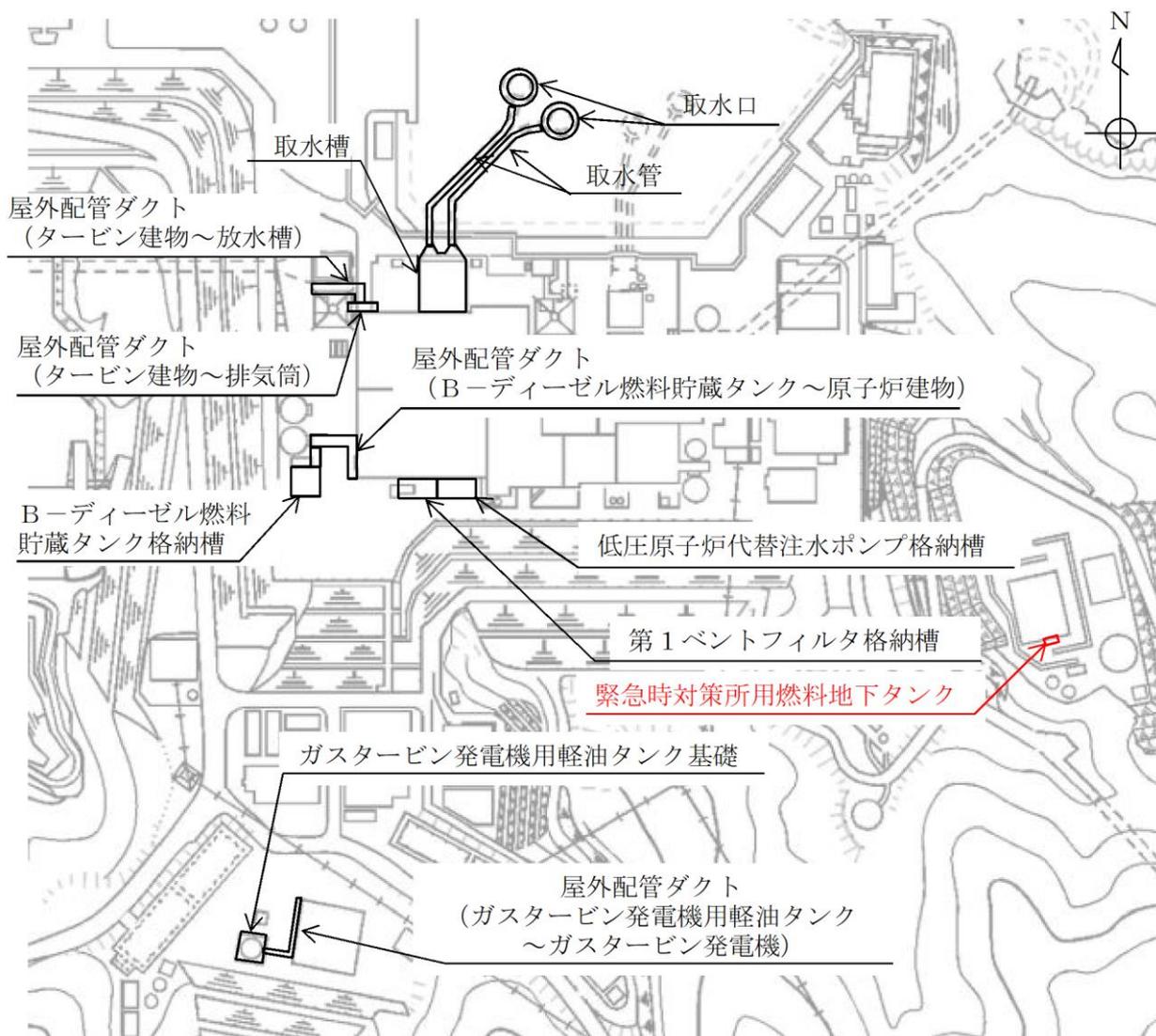


図 2-1 緊急時対策所用燃料地下タンク 位置図

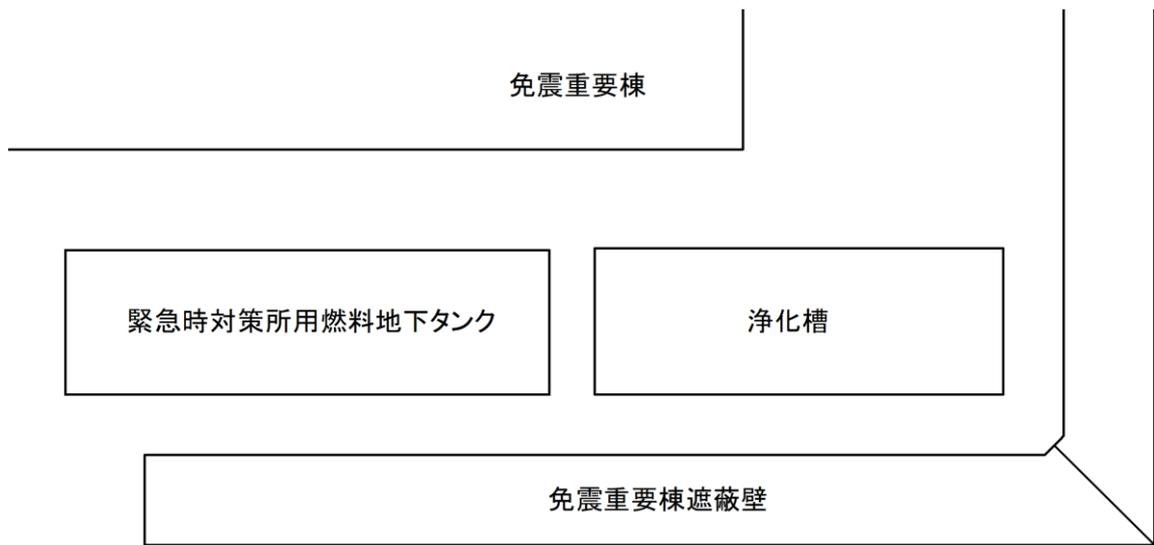


図 2-2 緊急時対策所用燃料地下タンク周辺拡大図

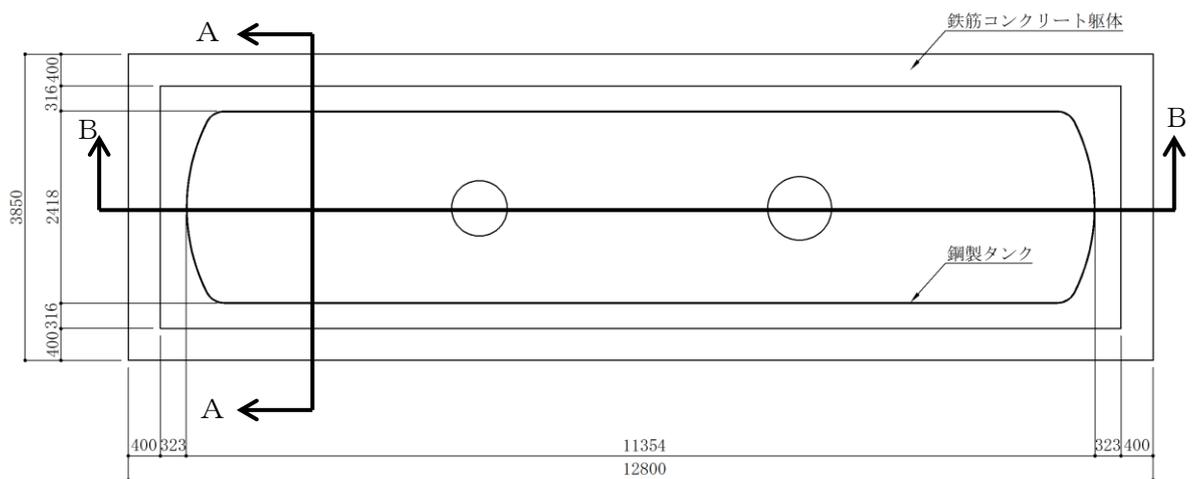


図 2-3 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図

(単位: mm)

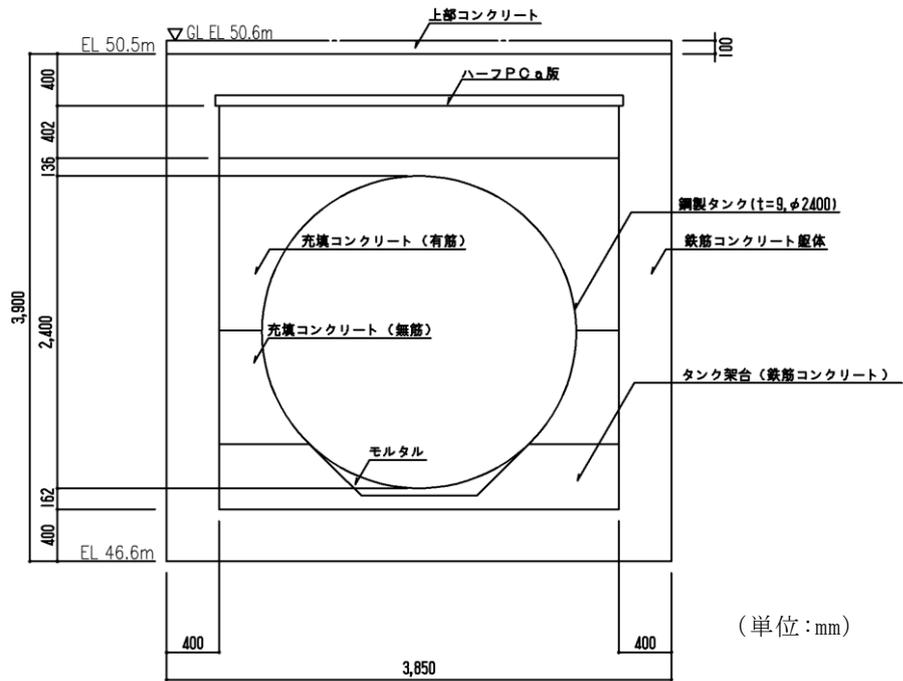


図 2-4 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (A-A 断面)

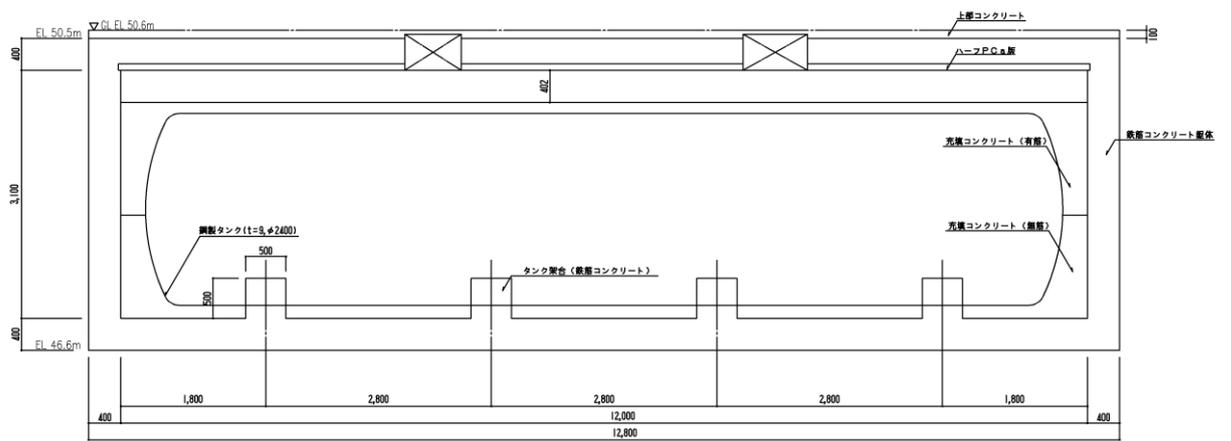


図 2-5 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (B-B 断面) (単位: mm)

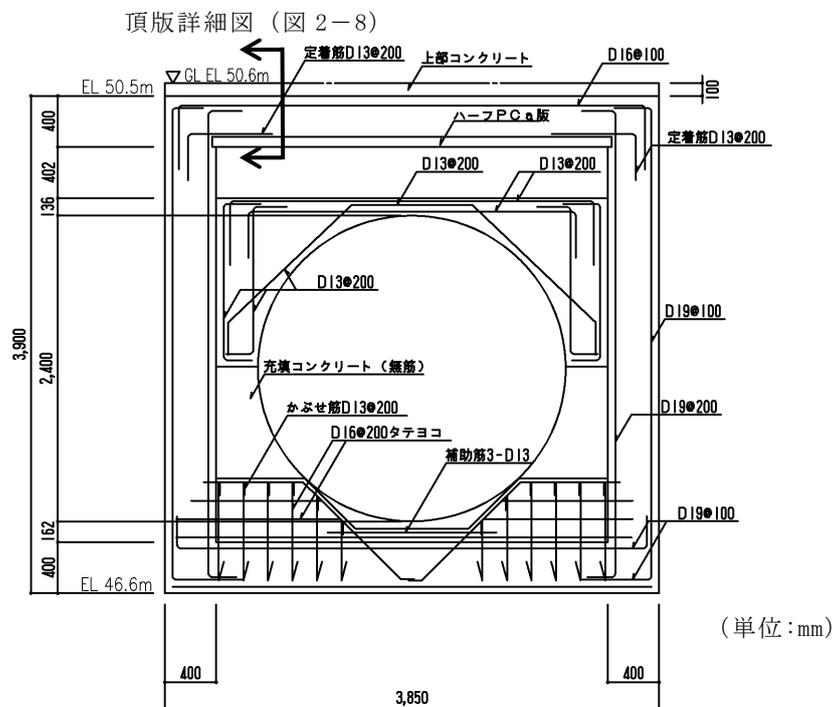
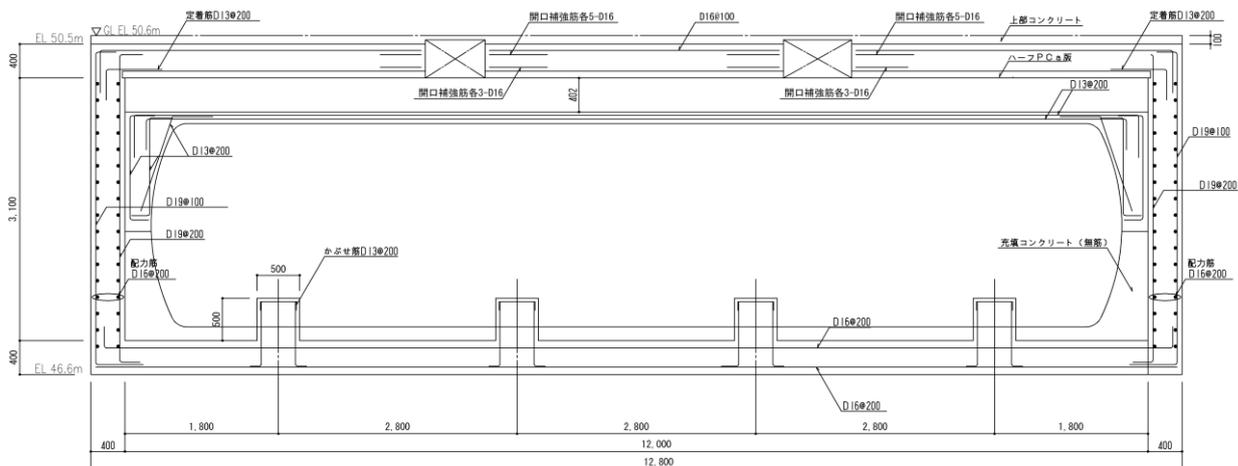


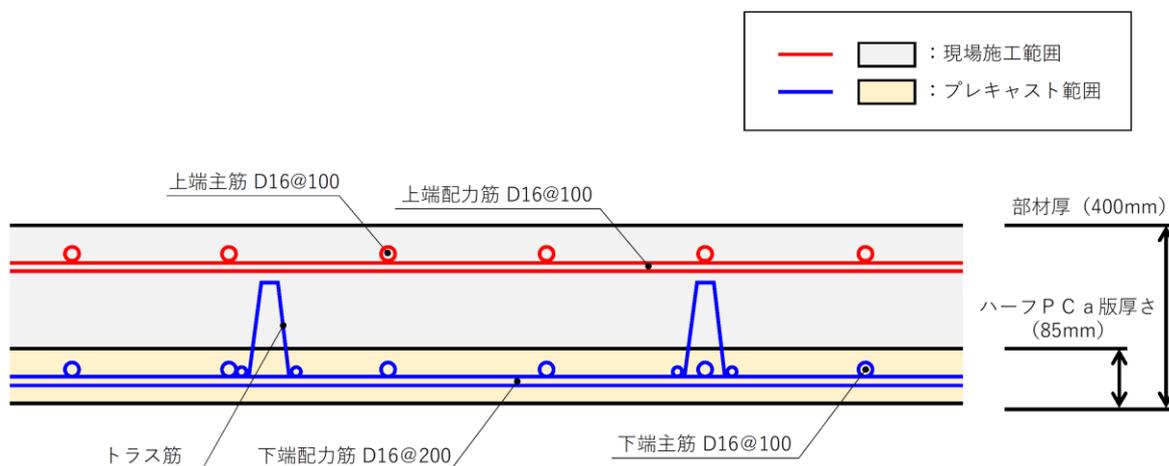
図 2-6 緊急時対策所用燃料地下タンク 概略配筋図 (A-A 断面)



注：配力筋は評価に用いる側壁のみ記載

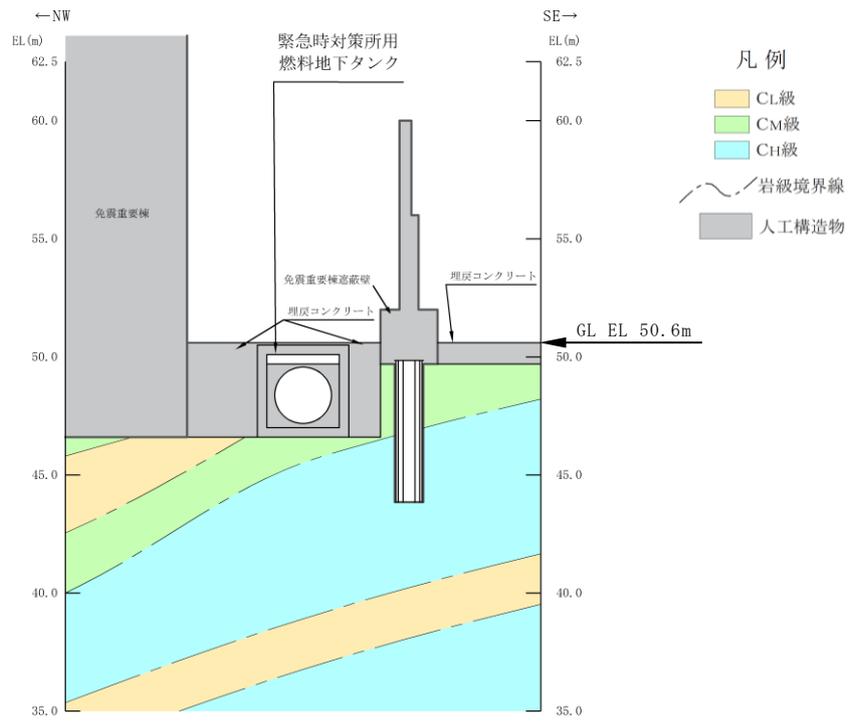
(単位：mm)

図 2-7 緊急時対策所用燃料地下タンク 概略配筋図 (B-B 断面)

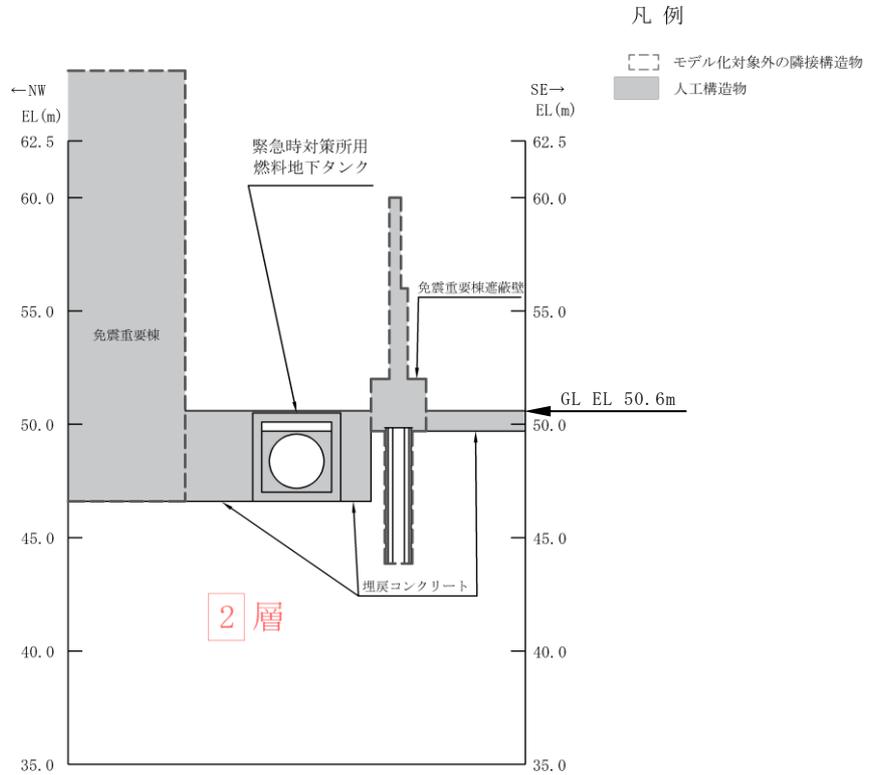


注1：ハーフ P C a 版内の配筋はSD295Aとする。  
 注2：トラス筋は構造鉄筋として考慮しない。

図 2-8 緊急時対策所用燃料地下タンク 概略配筋図 (頂版詳細図)



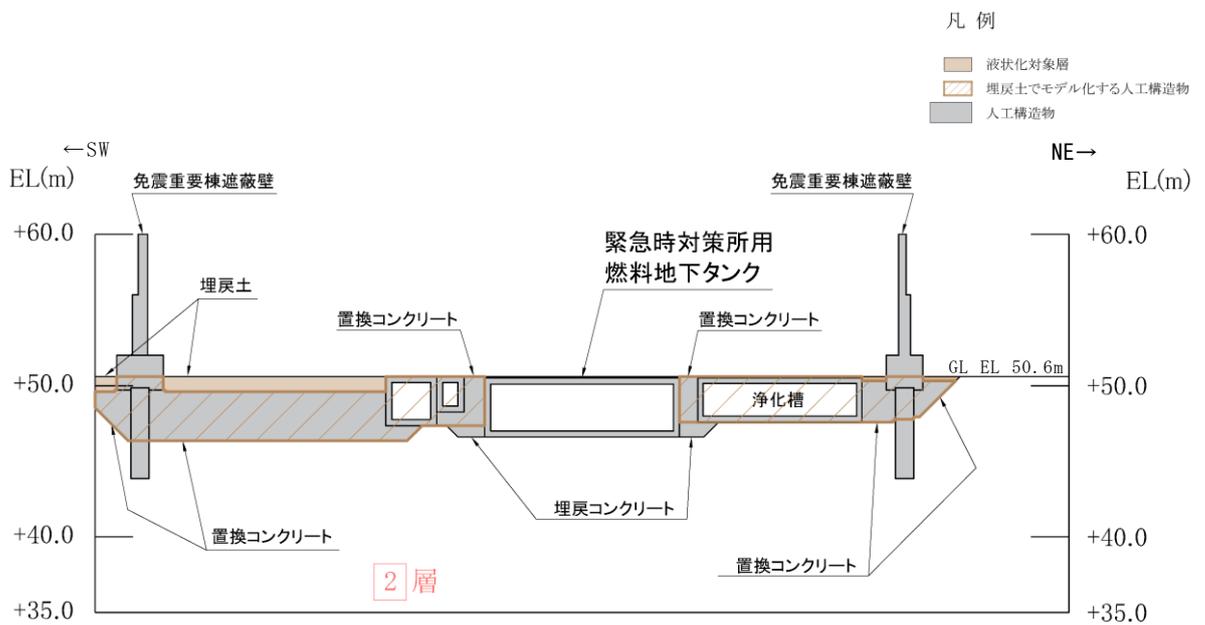
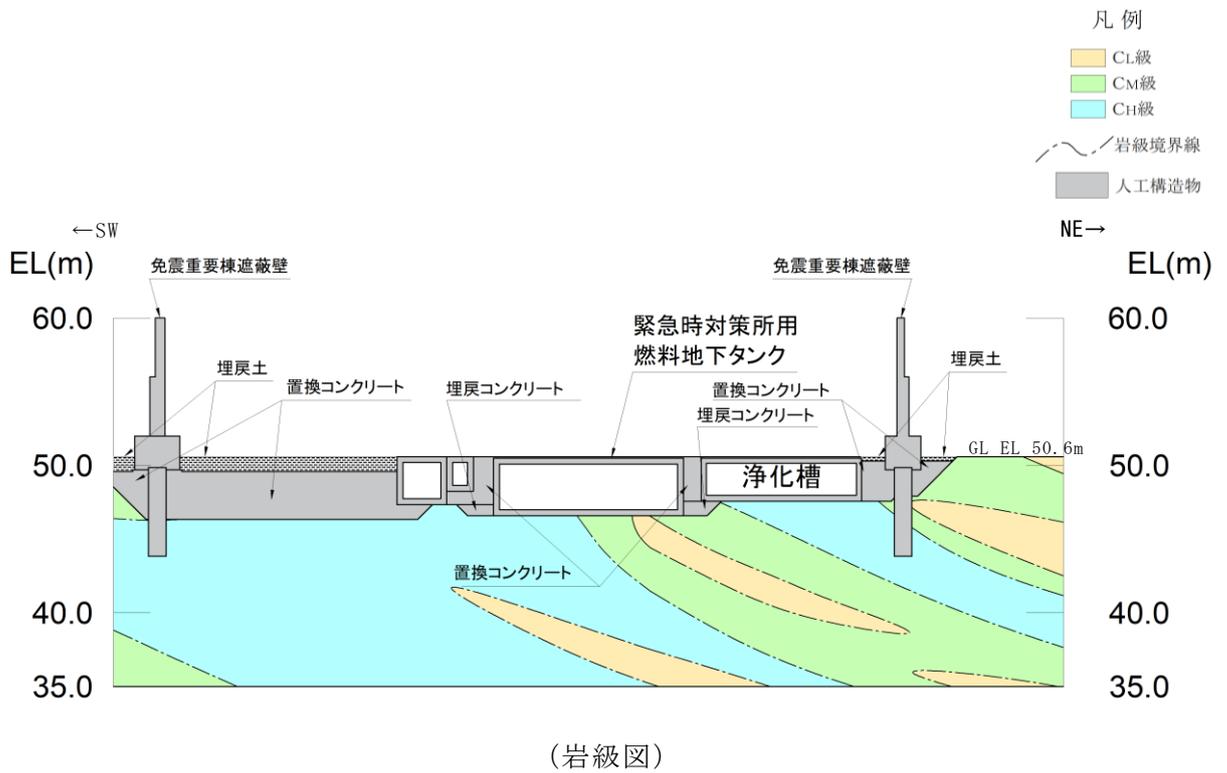
(岩級図)



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 2-9 緊急時対策所用燃料地下タンク 評価対象地質断面図 (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)

(速度層図)

図 2-10 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)

### 2.3 評価対象断面の方向

長辺方向に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される妻壁同士の離隔が小さくなるが、短辺方向に加振した場合は、耐震要素として機能する妻壁同士の離隔が大きい。

以上より、弱軸方向となる短辺方向を選定する。ただし、短辺方向において評価対象外となっている長辺方向の側壁の評価についても実施する。

### 2.4 評価対象断面の選定

「2.3 評価対象断面の方向」に示すとおり、評価対象断面は、加振方向に平行な部材全体を耐震設計上見込むことができず、弱軸方向となる短辺方向から選定する。短辺方向における各断面の奥行き方向について、部材厚や内空断面及び配筋はおおむね同一であることから、評価対象断面はA-A断面とする。

なお、短辺方向の評価に含まれない部材（長辺方向の側壁）についても、B-B断面を用いて側壁の評価を実施する。

## 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
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 <sup>2</sup>
	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 <sup>2</sup>

表 2-3 材料の物性値

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

## 2.6 地盤物性値

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。地盤の物性値を表 2-4 及び表 2-5 に示す。

表 2-4 地盤の解析用物性値（岩盤）

層番号	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	動せん断弾性係数 $G_d$ ( $\times 10^5$ kN/m <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
2層	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
3層*	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
4層*	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
5層*	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
6層*	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記\*：入力地震動の算定においてのみ用いる解析用物性値

表 2-5 地盤の解析用物性値 (埋戻土)

		解析用物性値
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.11
強度特性	初期せん断強度 $\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.22
	内部摩擦角 $\phi$ (°)	22
動的変形特性	初期せん断弾性係数 $G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G_0=749 \sigma^{0.66}$ (N/mm <sup>2</sup> ) $G/G_0=1/(1+\gamma/0.00027)$
	動ポアソン比 $\nu_d$	0.45*
減衰特性	減衰定数 $h$	$h=0.0958 \times (1-G/G_0)^{0.85}$

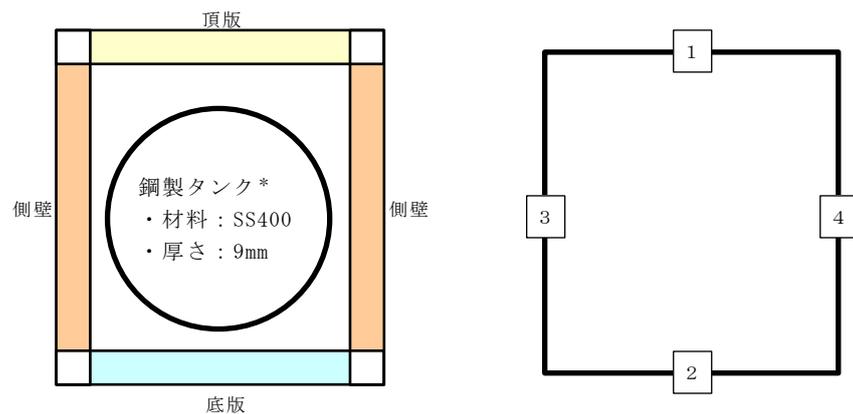
注記\* : 常時応力解析においては, 土木学会マニュアル 2005 に基づき, 静止土圧 ( $K_0 = \nu / (1 - \nu) = 0.5$ ) を作用させるため,  $\nu = 0.333$  とする。

## 2.7 評価構造物諸元

緊急時対策所用燃料地下タンクの諸元を表 2-6 及び表 2-7 に、評価部位を図 2-11 及び図 2-12 に示す。

表 2-6 評価部位とその仕様 (A-A断面)

部位		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋	
頂版	1	3050	400	24.0	SD345 SD295A	構造強度を 有すること
底版	2	3050	400	24.0	SD345	
側壁	3 4	3100	400	24.0	SD345	



注記\*：鋼製タンクは貯水機能相当を要求機能とする。

図 2-11 評価部位位置図

表 2-7 評価部位とその仕様 (B-B 断面)

部位		仕様		材料		要求性能
		部材幅 (mm)	部材厚 (mm)	コンクリート 設計基準強度 $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋	
側壁	1 2	3100	400	24.0	SD345	構造強度を 有すること

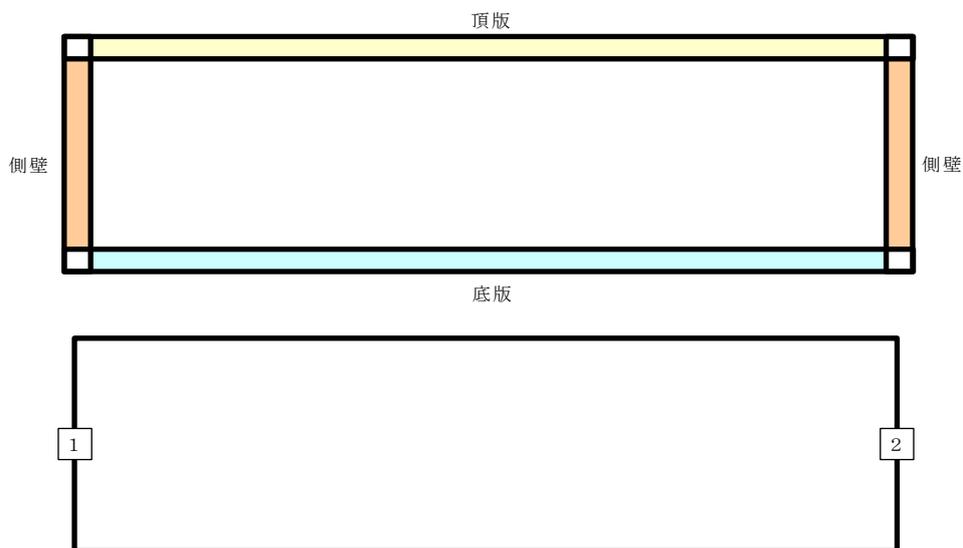


図 2-12 評価部位位置図

## 2.8 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2-8に示す。

なお，緊急時対策所用燃料地下タンクについては，地下水位が構造物基礎下端より十分低いため，地下水を考慮しない。

表2-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)	備考
緊急時対策所用 燃料地下タンク	A-A断面	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
	B-B断面		

## 2.9 耐震評価フロー

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価フローを図 2-13 に示す。弱軸方向断面である A-A 断面については、地震応答解析における応答値を用いたはり要素の評価を実施する。一方で強軸方向断面である B-B 断面については、「補足 026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき、短辺方向の評価に含まれない側壁に対して、妻壁による拘束効果を固定境界として考慮した 4 辺固定版による評価を実施する。

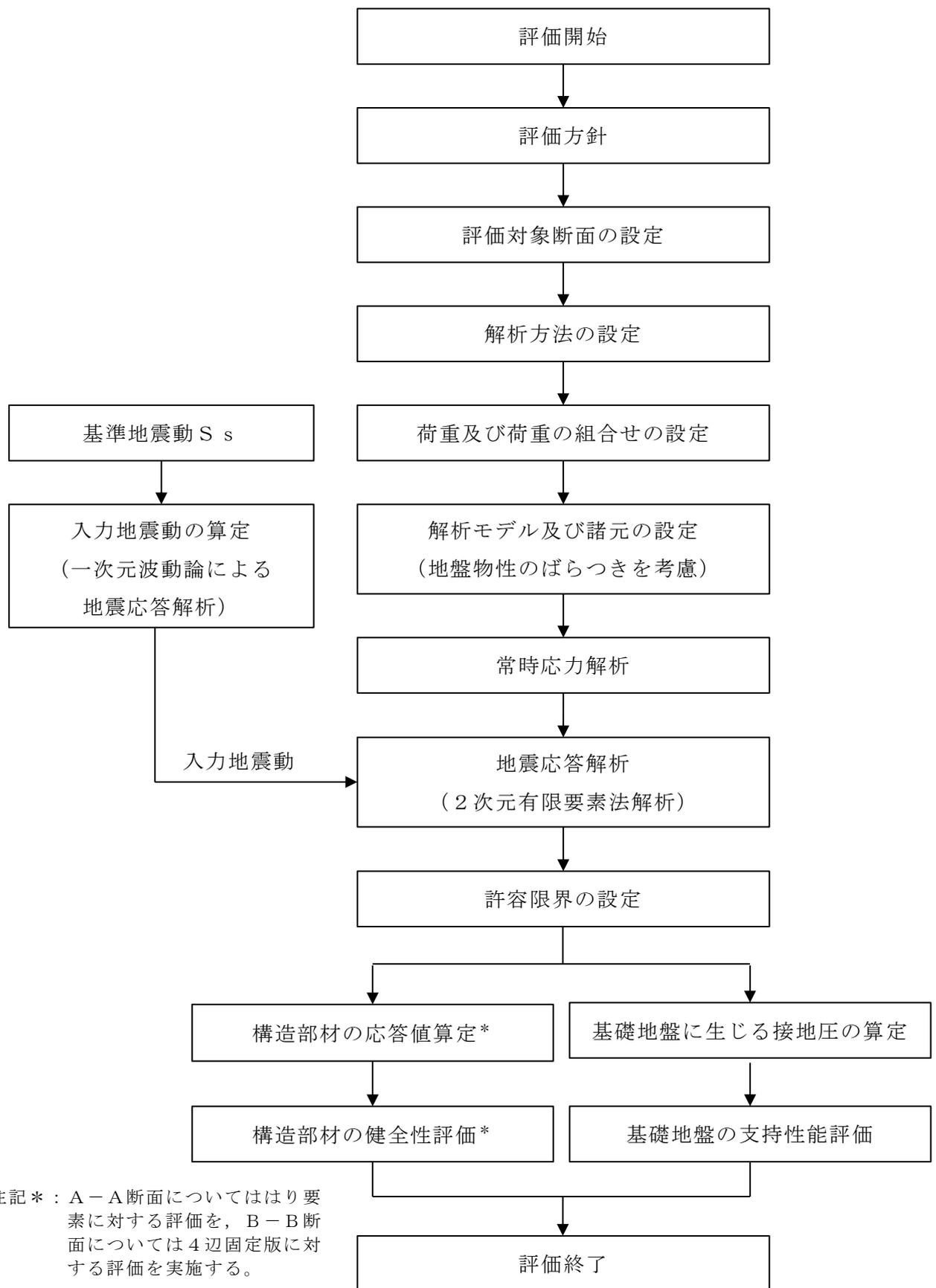


図 2-13 緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震評価フロー

### 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2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。

A-A断面及びB-B断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より低いため解析手法の選定フローに基づき「①全応力解析」を選定する。

A-A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線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

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4辺固定版に与える土圧を保守的に算定する観点から、等価剛性でモデル化する。

また、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、岩盤は線形でモデル化する。埋戻土については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるように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）を用いて非線形性を考慮する。なお、埋戻コンクリートについては線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

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。

地震応答解析手法の選定フローを図3-2に示す。

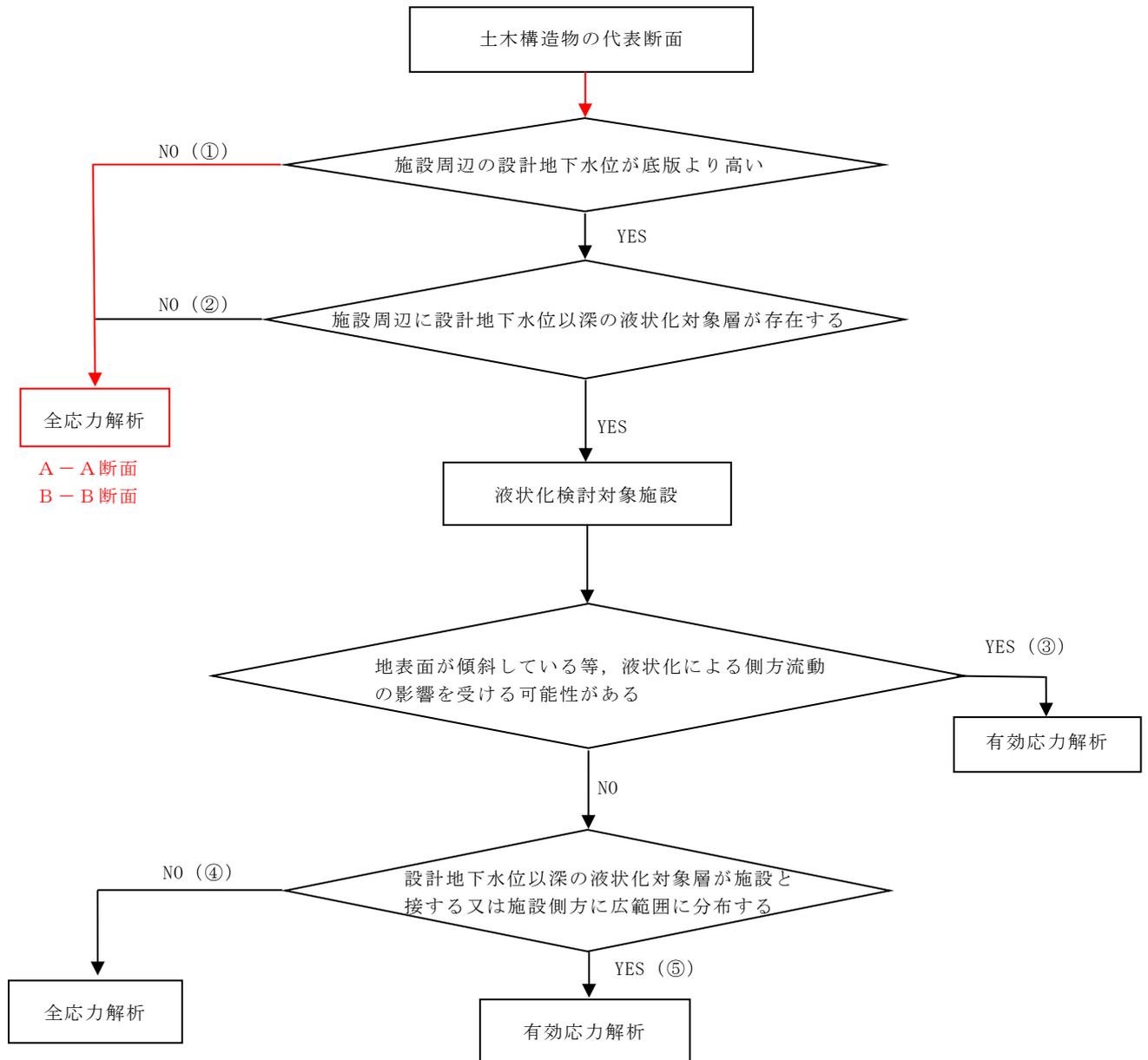


図 3-1 解析手法の選定フロー

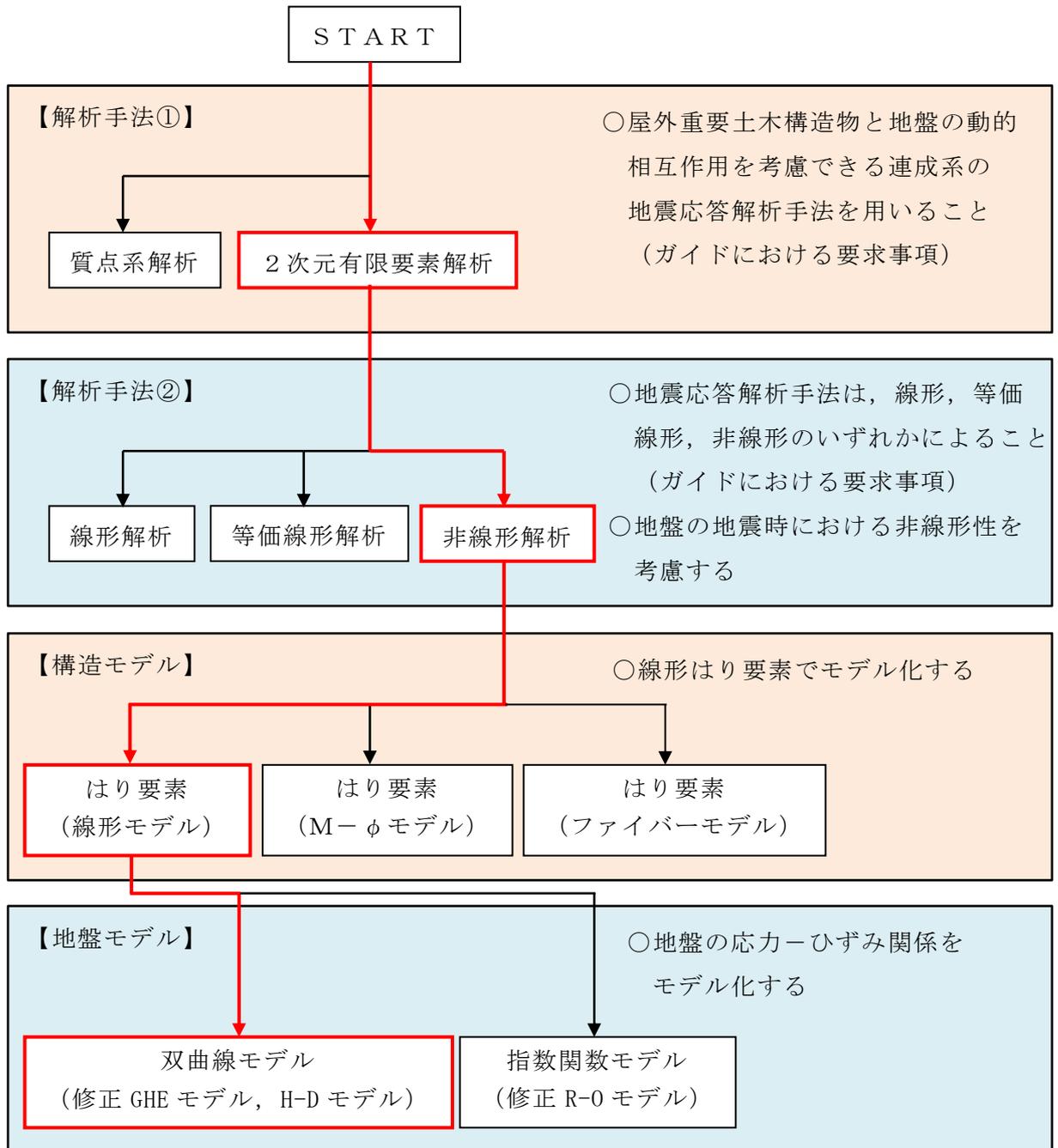


図 3-2 地震応答解析手法の選定フロー

### 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。J E A G 4 6 0 1 -1987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1.5倍～2倍以上とする。

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2005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。

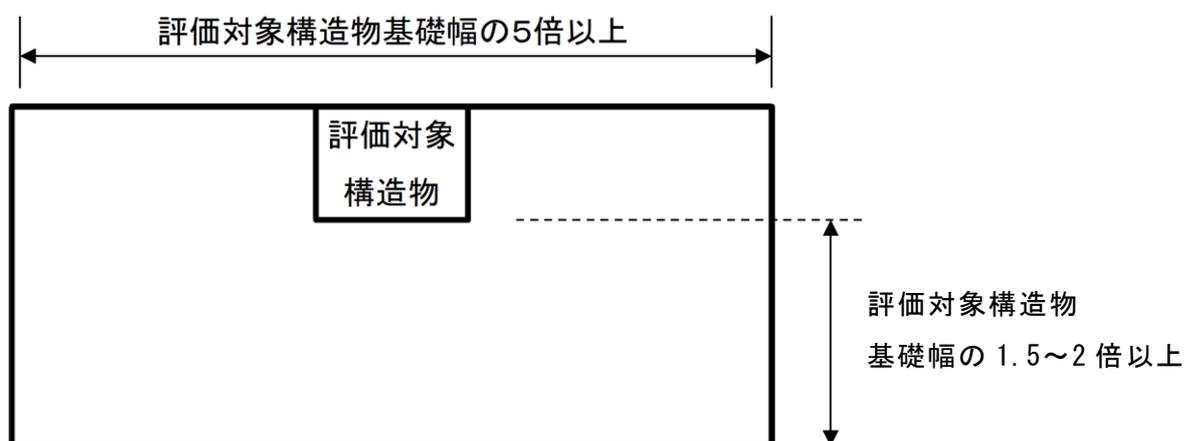


図3-3 モデル化範囲の考え方

### 3.2.2 境界条件

#### (1) 固有値解析時

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、側方境界はフリーとする。境界条件の概念図を図3-4に示す。

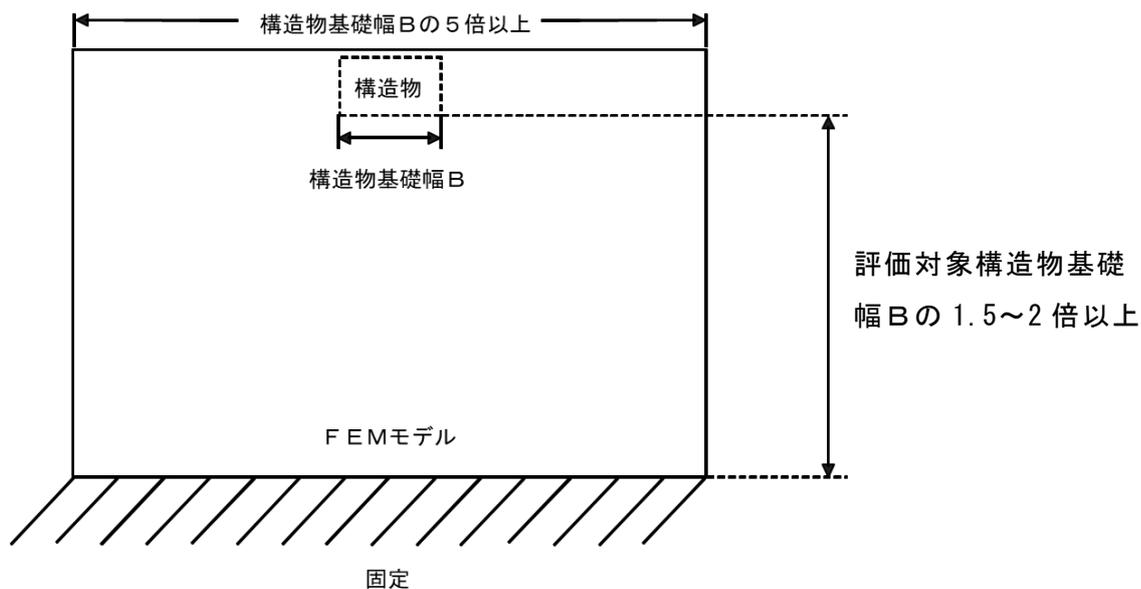


図3-4 固有値解析における境界条件の概念図

(2) 常時応力解析時

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

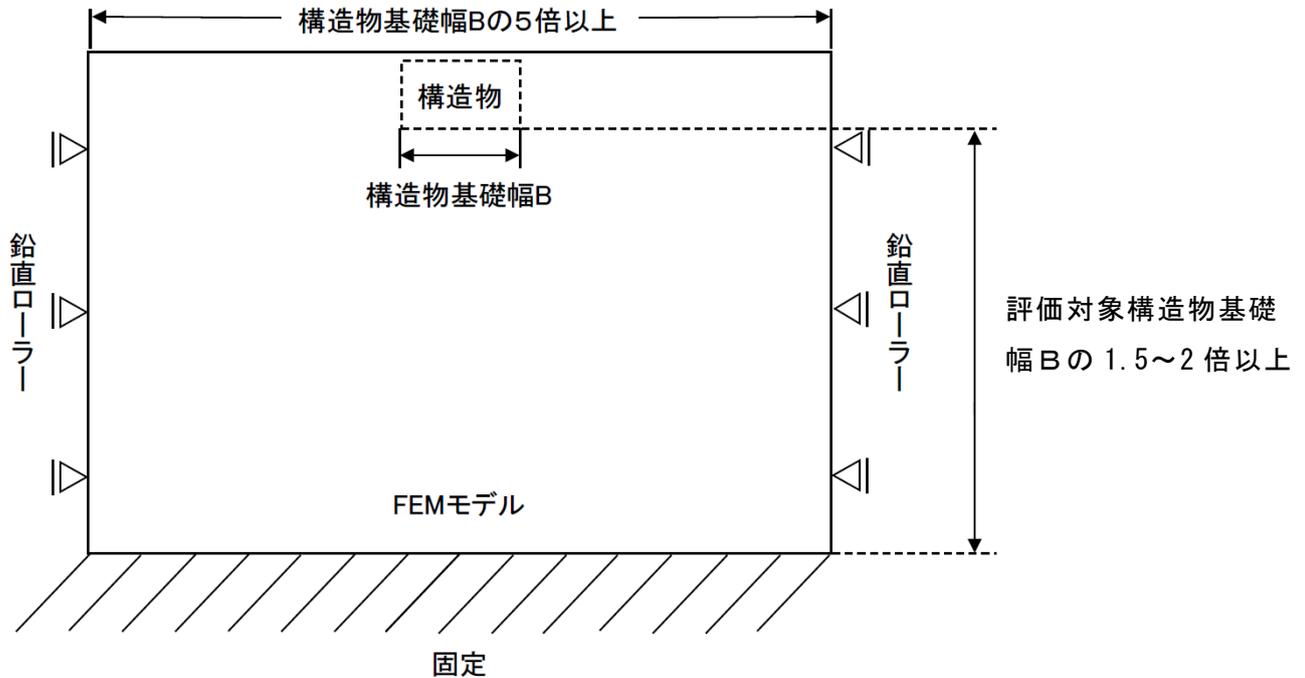


図3-5 常時応力解析における境界条件の概念図

(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。境界条件の概念図を図 3-6 に示す。

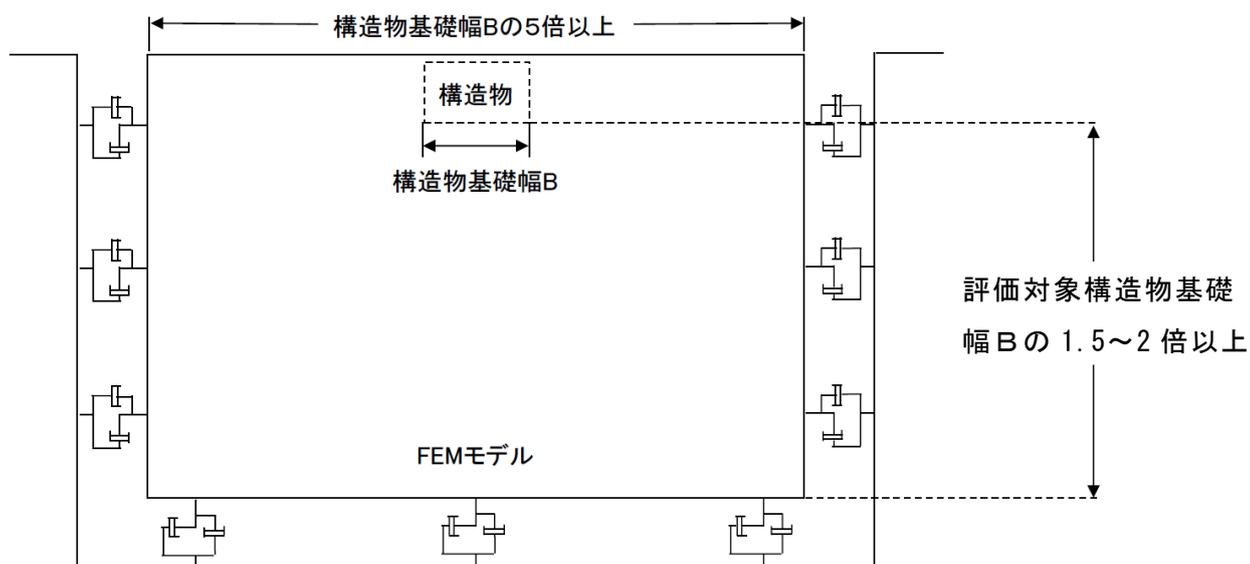


図 3-6 地震応答解析における境界条件の概念図

### 3.2.3 構造物のモデル化

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奥行き方向に十分連続していることから線形の平面ひずみ要素によりモデル化する。なお、タンク架台は配置が局所的であるため、充填コンクリートが奥行き方向に一様に配置されているものとしてモデル化する。

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。等価重量及び等価弾性係数の算定方法は以下に示すとおりである。

$$E = E_c \times \alpha, \quad W = W_c \times \alpha$$

ここに、

$E$  : 妻壁の等価弾性係数

$E_c$  : コンクリートの弾性係数

$W$  : 妻壁の等価重量

$W_c$  : 鉄筋コンクリートの重量

$\alpha$  : 構造物の奥行長さに対する妻壁の厚さの比率 ( $L_w / L$ )

$L_w$  : 妻壁の厚さ (複数の妻壁を有する場合はその和)

$L$  : 構造物の奥行長さ

### 3.2.4 地盤のモデル化

岩盤及び埋戻コンクリートは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

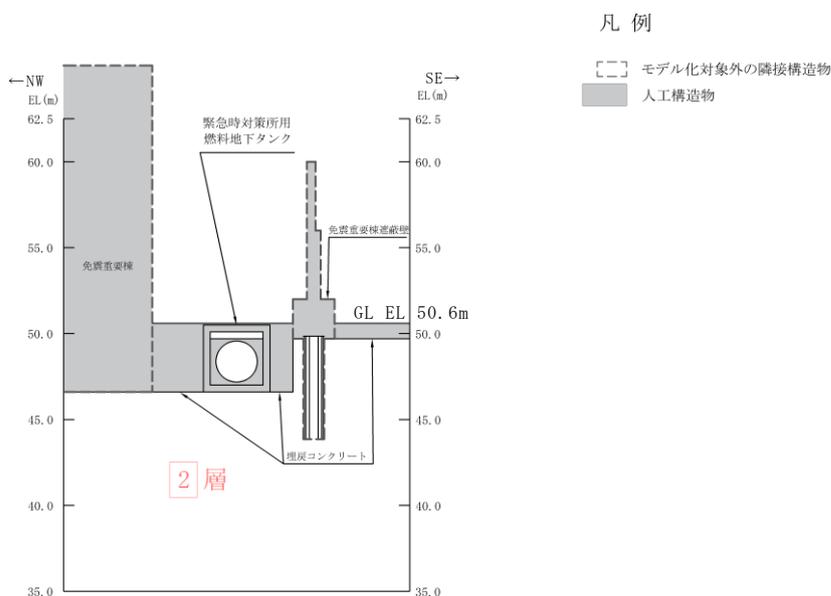
A-A断面において、緊急時対策所用燃料地下タンクの周辺には埋戻コンクリート、免震重要棟、免震重要棟遮蔽壁及び岩盤が存在するが、それぞれが十分に大きな剛性\*を有しており、応答加速度を用いた評価を行う設備も設置されないことから、簡略的に緊急時対策所用燃料地下タンク周囲の埋戻コンクリートが水平方向に一様に分布するものとしてモデル化する。なお、構造物周辺地盤を簡易なモデルとしていることを踏まえ、最終的な照査値に十分な余裕を有することを確認する。

また、B-B断面においては、周囲の置換コンクリート及び構造物を埋戻土としてモデル化する。埋戻土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。

地盤のモデル化に用いる評価対象地質断面図を図3-7及び図3-8に示す。

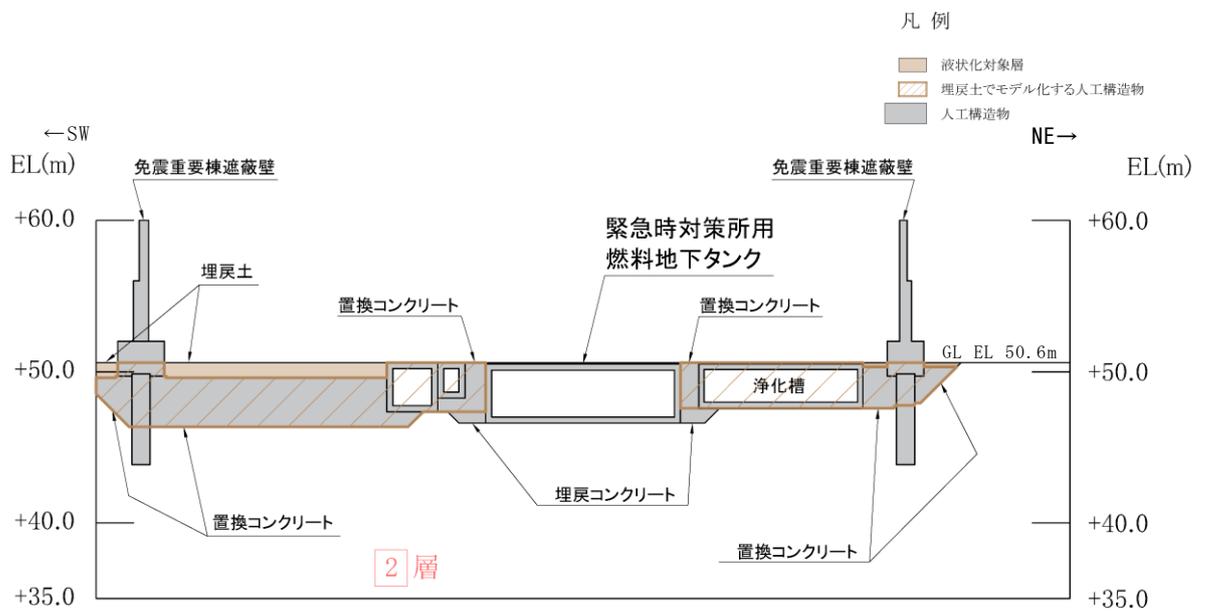
注記\*：それぞれの材料のせん断弾性係数G (N/mm<sup>2</sup>)を以下に記載する。

- ・ [2]層： $1.9 \times 10^4$
- ・ 埋戻コンクリート ( $f'_{c,k} = 18.0 \text{ N/mm}^2$ )： $9.2 \times 10^4$
- ・ 鋼管杭 (鋼材)： $7.7 \times 10^5$



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3-7 評価対象地質断面図 (A-A断面位置)



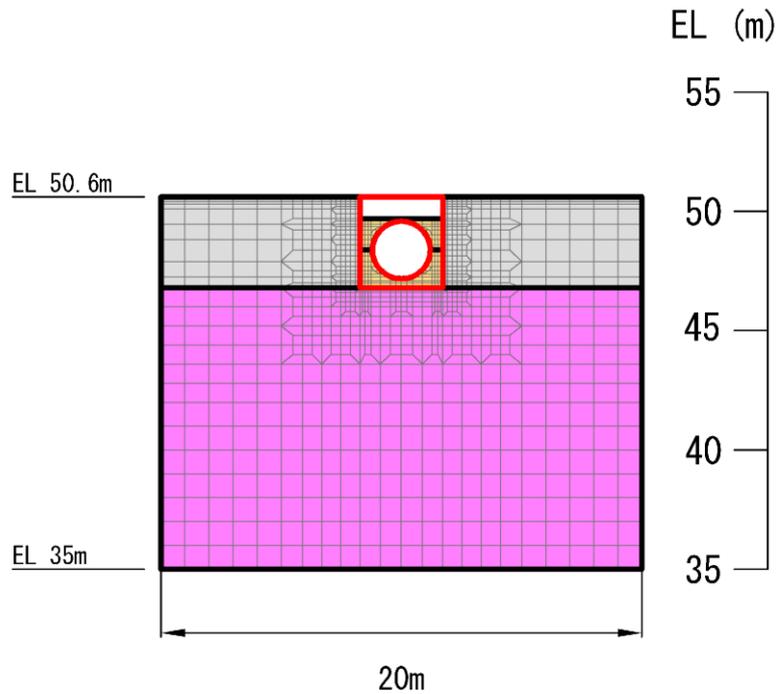
地下水位は施設設置地盤より十分低いため、設計地下水位を設定しない構造物  
(三次元浸透流解析による自然水位：EL 22.1m～22.6m)

図 3-8 評価対象地質断面図 (B-B 断面位置)

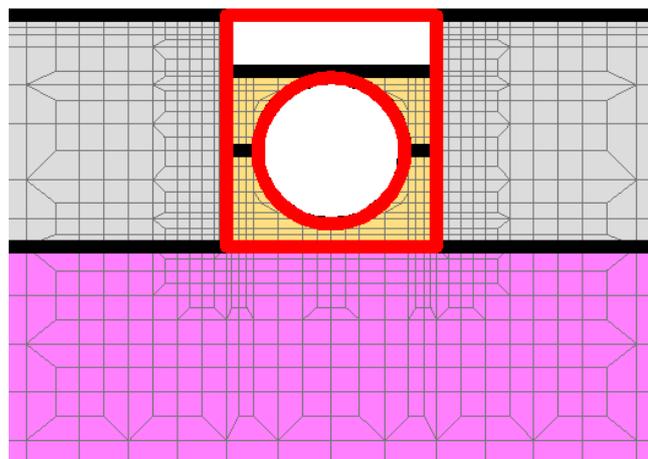
### 3.2.5 地震応答解析モデル

3.2.1～3.2.4 を踏まえて設定した地震応答解析モデル図を図 3-9 及び図 3-10 に示す。

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



(全体図)



(拡大図)

図 3-9 地震応答解析モデル図 (A-A断面)

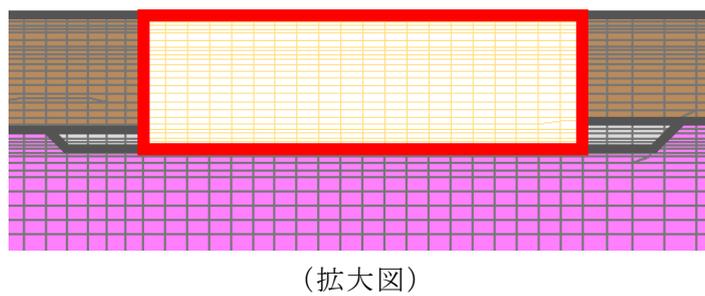
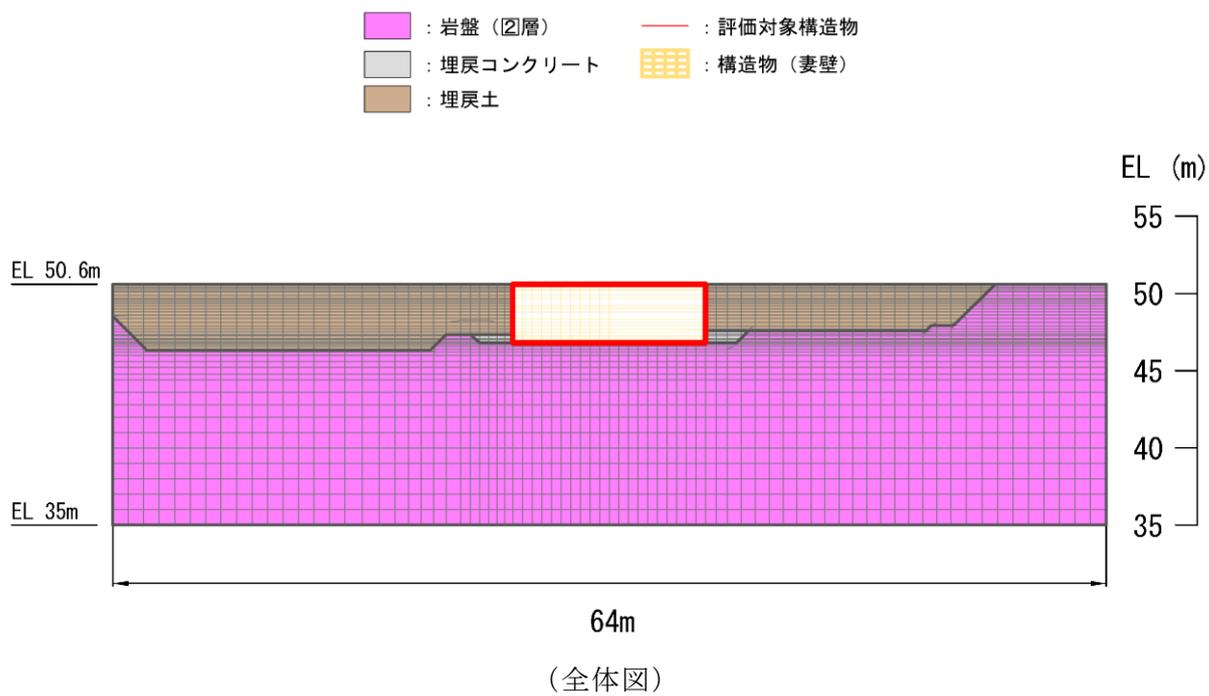


図 3-10 地震応答解析モデル図 (B-B断面)

### 3.2.6 ジョイント要素の設定

地盤と構造物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物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、地盤と構造物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、地盤と構造物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  $\tau_f$  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  $\phi$  は周辺地盤の  $c$ 、 $\phi$  とし、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 3-1 のとおりとする。また、要素間の粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  は表 3-2 のとおり設定する。ただし、B-B 断面における無筋コンクリート-埋戻土間のジョイント要素については、いずれの材料も照査対象外であることから、ジョイント要素を設定しない。

緊急時対策所用燃料地下タンクの直下には  $C_H$  級～ $C_L$  級の岩盤が分布するが、せん断強度の設定においては一律  $C_L$  級岩盤の粘着力  $c$  及び内部摩擦角  $\phi$  を用いる。

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここに、 $\tau_f$  : せん断強度

$c$  : 粘着力 (= 初期せん断強度  $\tau_0$ )

$\phi$  : 内部摩擦角

表 3-1 周辺地盤との境界に用いる強度特性

地盤	粘着力 $c$ (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)
岩盤 ( $C_L$ 級)	0.56	37
埋戻土	0.22	22
充填コンクリート ( $f'_{ck} = 24.0 \text{ N/mm}^2$ )	4.77	40
埋戻コンクリート ( $f'_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$ )	3.58	40

表 3-2 要素間の粘着力及び内部摩擦角

接合条件		粘着力 $c$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )
材料 1	材料 2		
構造物	無筋コンクリート*1	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	岩盤	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
無筋コンクリート*1	埋戻土	—	—
	岩盤	—*2	—*2

注記\*1：MMR，置換コンクリート及び埋戻コンクリートの総称（本構造物においては充填コンクリートも含む）

\*2：表面を露出させて打継処理が可能である箇所については，ジョイント要素を設定しない

ジョイント要素のばね定数は，土木学会マニュアル 2005 を参考に，数値計算上，不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 3-3 にジョイント要素のばね定数を示す。

また，ジョイント要素の力学特性を図 3-11 に，ジョイント要素の配置を図 3-12 及び図 3-13 に示す。

表 3-3 ジョイント要素のばね定数

圧縮剛性 $k_n$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	せん断剛性 $k_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
$1.0 \times 10^7$	$1.0 \times 10^7$

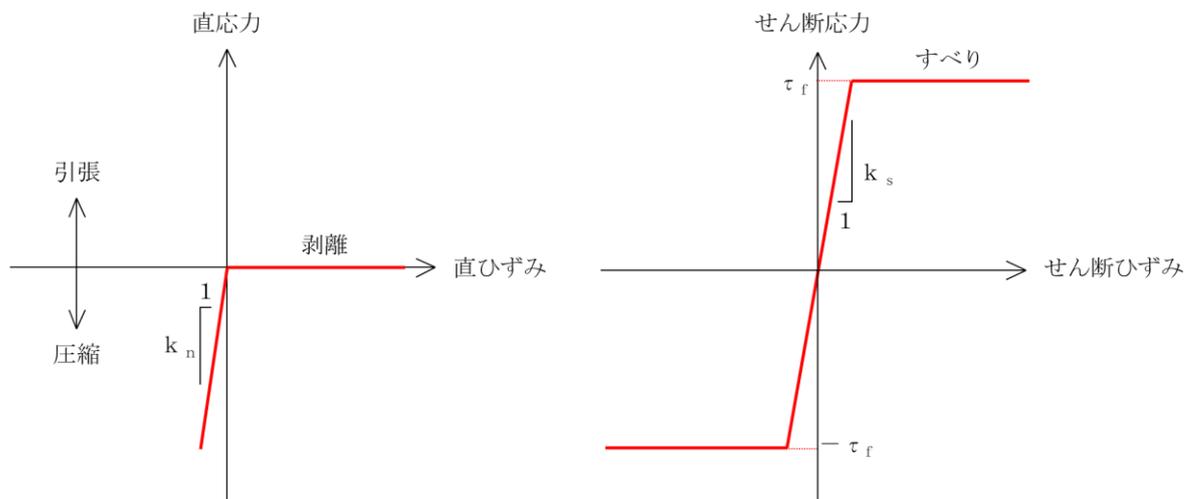
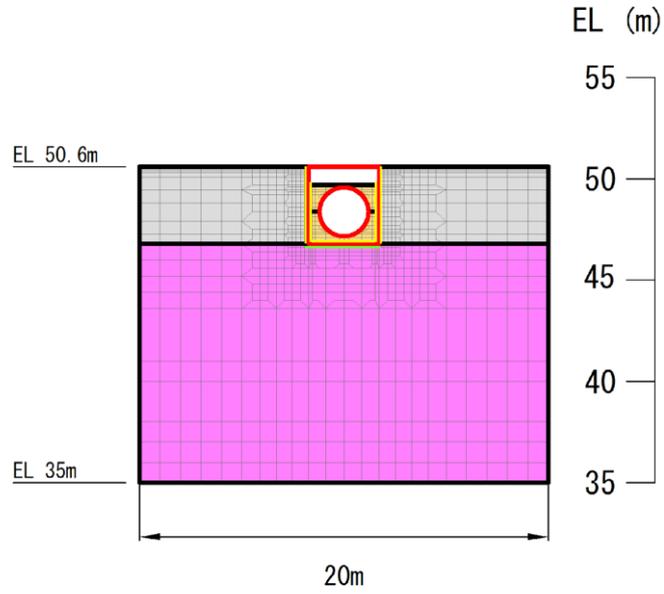
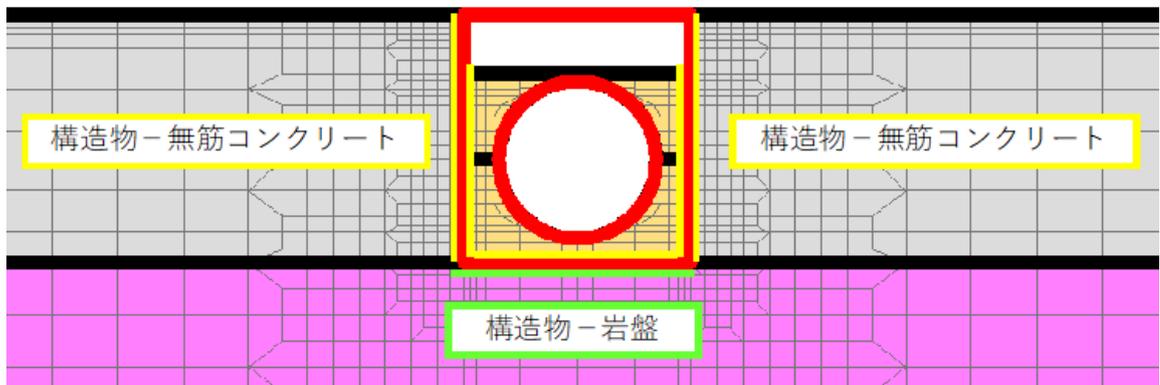


図 3-11 ジョイント要素の力学特性

- : 岩盤 (2層)
- : 埋戻コンクリート
- : 充填コンクリート
- : 評価対象構造物
- : ジョイント要素



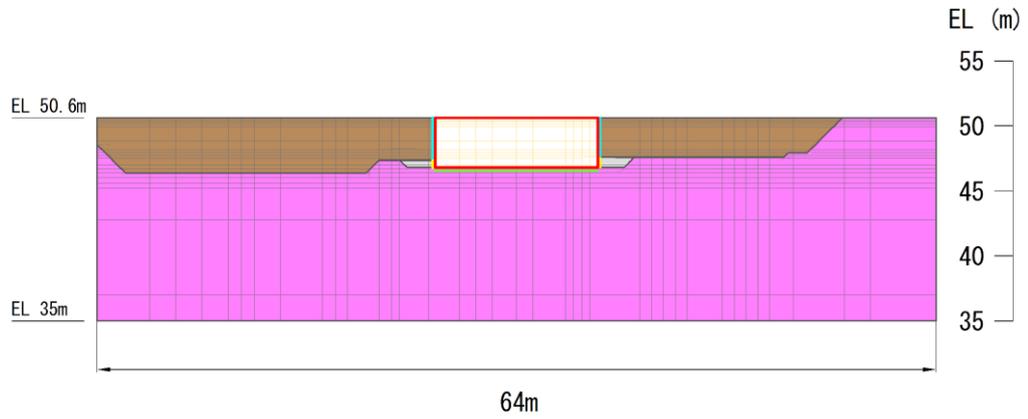
(全体図)



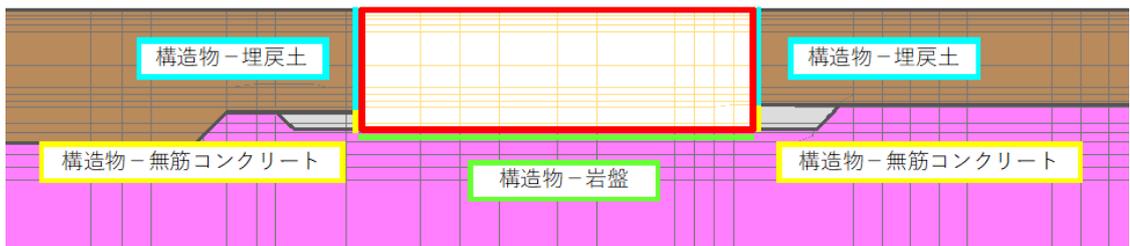
(拡大図)

図 3-12 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

- : 岩盤 (2層)
  - : 埋戻コンクリート
  - : 埋戻土
- : 評価対象構造物
  - : 構造物 (妻壁)
  - : ジョイント要素



(全体図)



(拡大図)

図 3-13 ジョイント要素の配置 (B-B断面)

### 3.3 減衰定数

減衰定数は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」に基づき、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる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。

Rayleigh 減衰の設定フローを図 3-14 に示す。

なお、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「9. 地震応答解析における減衰定数」では、無筋コンクリートの減衰定数を 3.0%としているが、躯体内部に充填コンクリートをモデル化している本構造物（A-A断面）においては、充填コンクリートと同様に埋戻コンクリートについても、構造物（線形）の減衰定数である 5.0%を一律で採用した。

結果として、1次モード及び3次モードが支配的であり、解析モデル内に最も広く分布する岩盤の減衰による影響が有意であることが確認されたため、無筋コンクリートの減衰定数の設定による影響は軽微であったと考察される。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

$\alpha, \beta$  : 係数

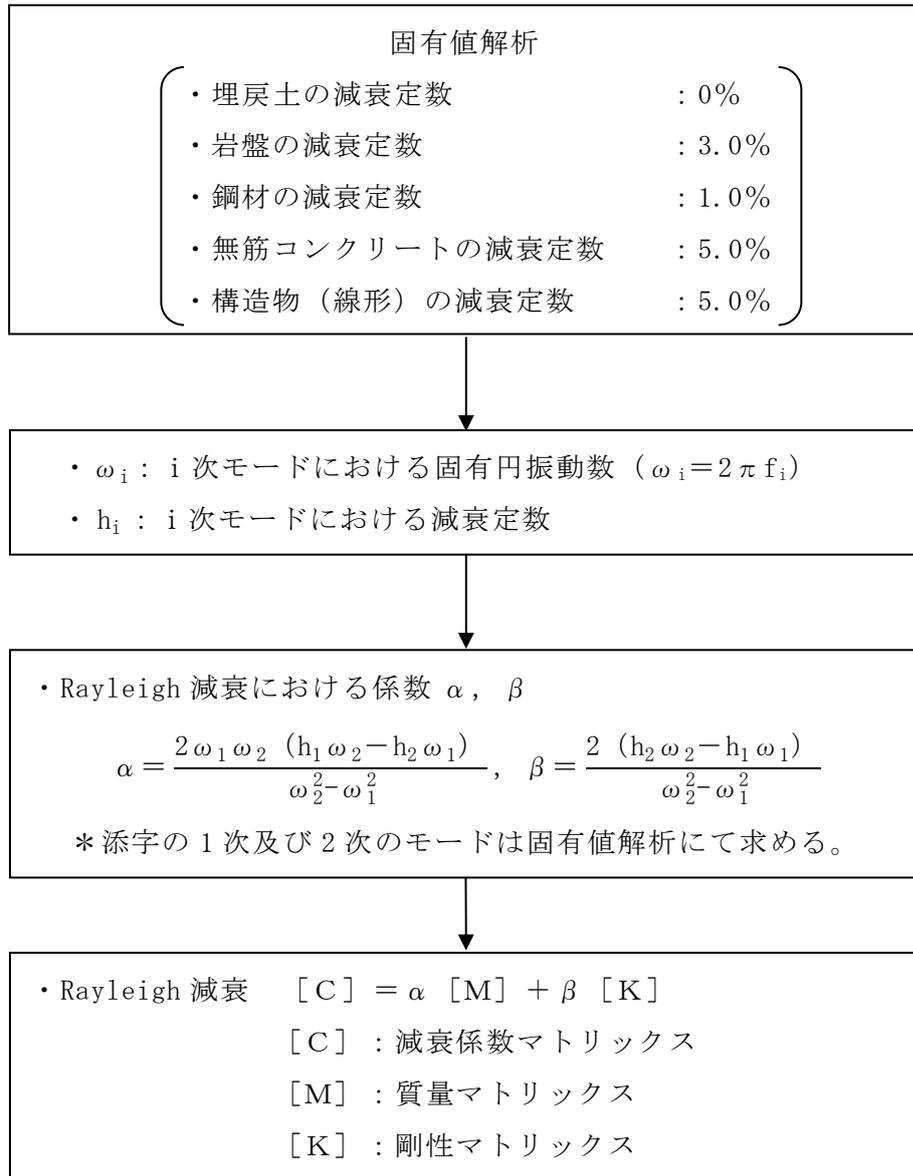


図 3-14 Rayleigh 減衰の設定フロー

Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$  ,  $\beta$  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、固有値解析結果より得られる卓越するモードの減衰と Rayleigh 減衰が一致するように設定する。なお、卓越するモードは全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定するが、係数  $\alpha$  ,  $\beta$  が負値となる場合は当該モードを選定しない。

固有値解析結果の一覧を表 3-4 及び表 3-5 に、固有値解析におけるモード図を図 3-15~図 3-18 に、係数  $\alpha$  ,  $\beta$  を表 3-6 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 3-19 及び図 3-20 に示す。

表 3-4 固有値解析結果 (A-A 断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	$\beta_x$	$\beta_y$	
1	11.542	74	0	22.81	0.00	1次として採用
2	26.858	0	70	0.00	22.10	
3	28.430	14	0	-9.78	0.00	2次として採用
4	39.614	0	1	0.00	-2.83	
5	43.268	4	0	5.52	-0.00	
6	49.130	0	11	0.00	8.86	
7	59.569	2	0	4.02	0.00	
8	66.893	0	2	0.00	-4.12	
9	73.468	0	1	0.00	-2.01	
10	73.775	1	0	1.58	0.00	

表 3-5 固有値解析結果 (B-B 断面)

	固有振動数 (Hz)	有効質量比 (%)		刺激係数		備考
		$T_x$	$T_y$	$\beta_x$	$\beta_y$	
1	10.508	25	0	23.23	2.21	1次として採用
2	13.314	31	1	-25.72	3.83	$\alpha < 0$ のため不採用
3	14.208	1	0	4.98	-0.13	
4	17.460	5	0	-10.17	-1.23	
5	17.961	4	1	9.73	-5.34	
6	19.478	12	2	-16.33	-5.21	2次として採用
7	20.834	1	4	4.28	9.81	
8	21.113	0	0	1.69	2.76	
9	23.317	2	1	-6.69	3.34	
10	23.624	2	0	5.05	-2.87	

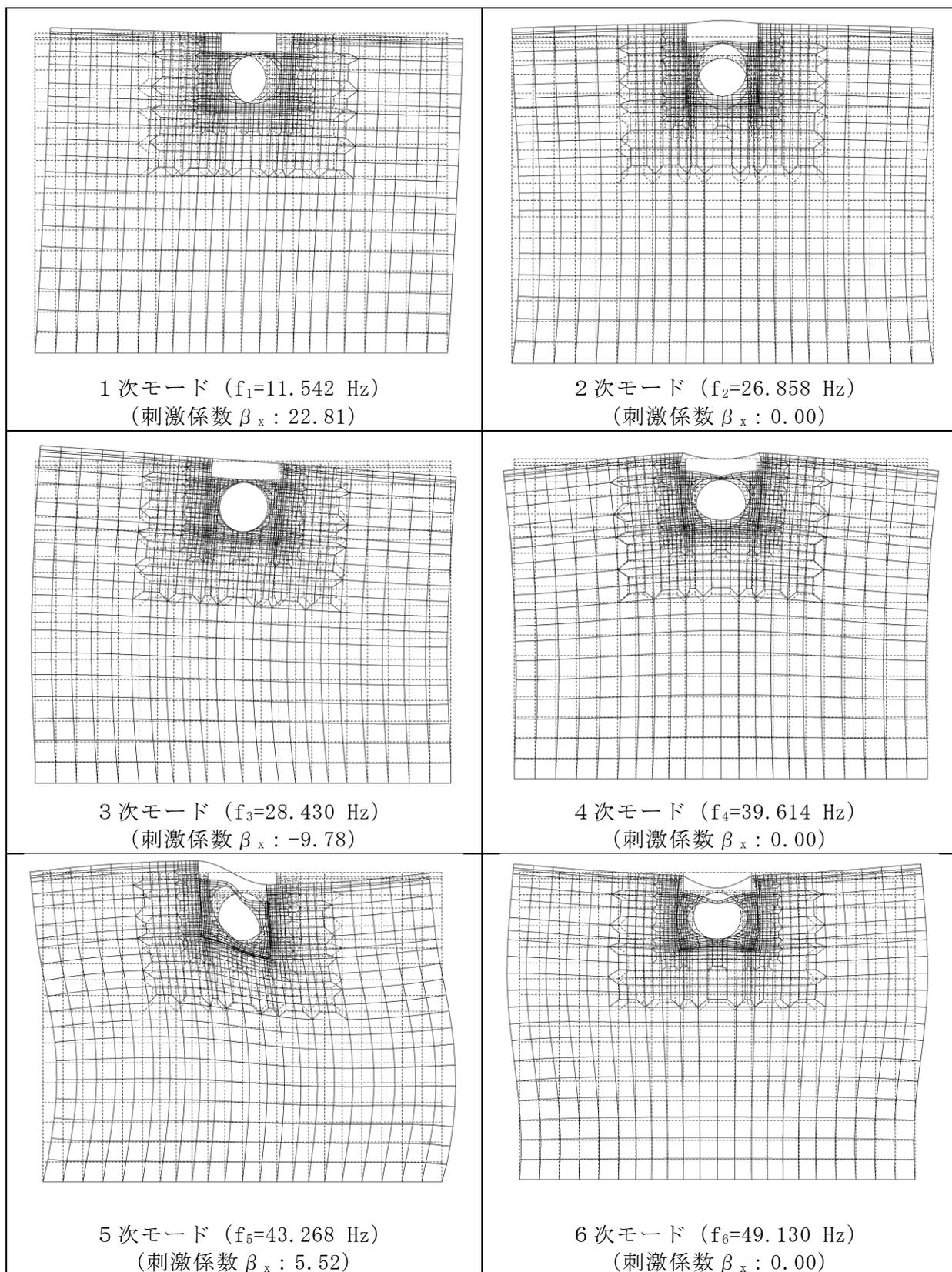


図 3-15 固有値解析結果 (モード図) (A-A 断面)

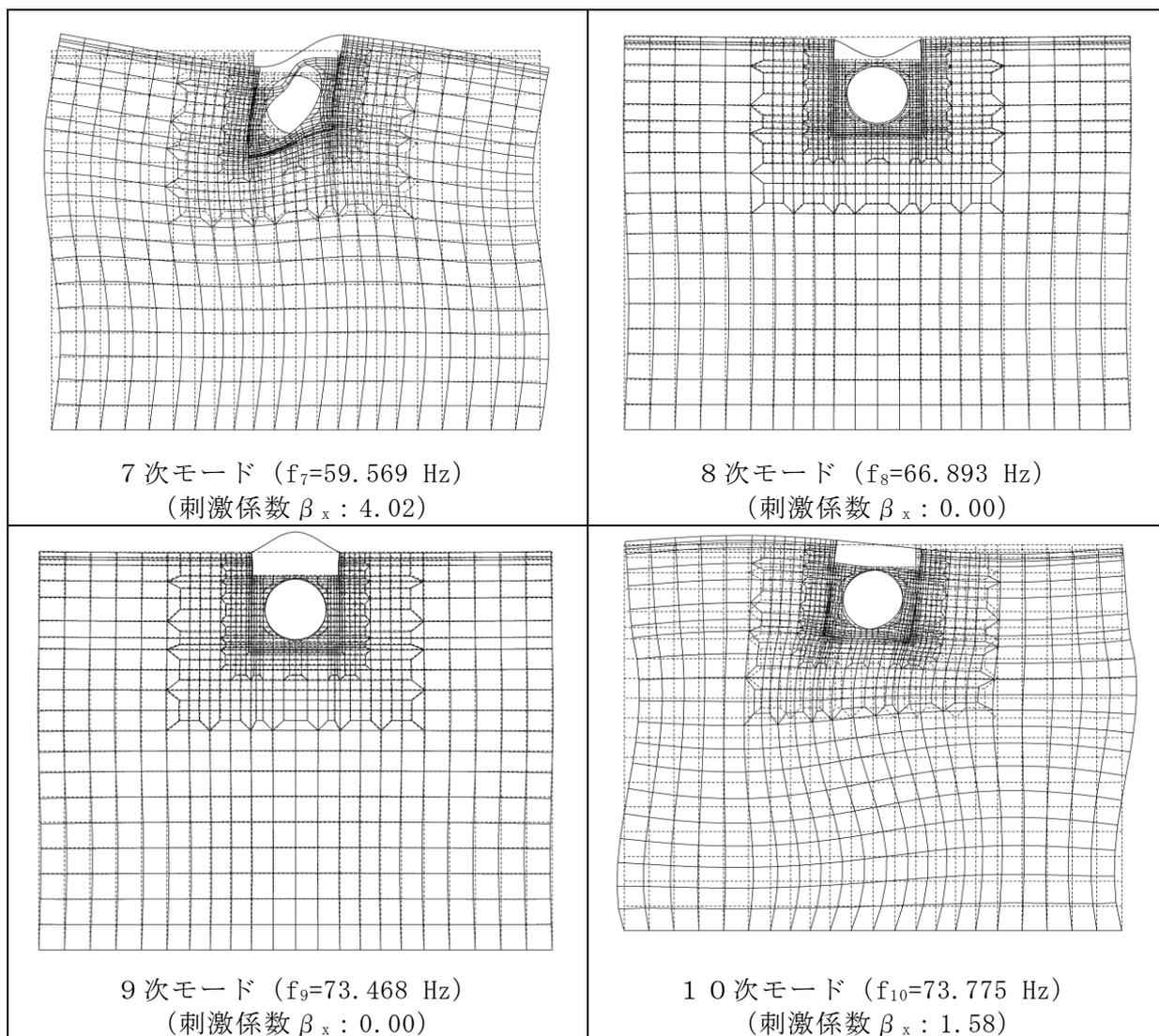


図 3-16 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

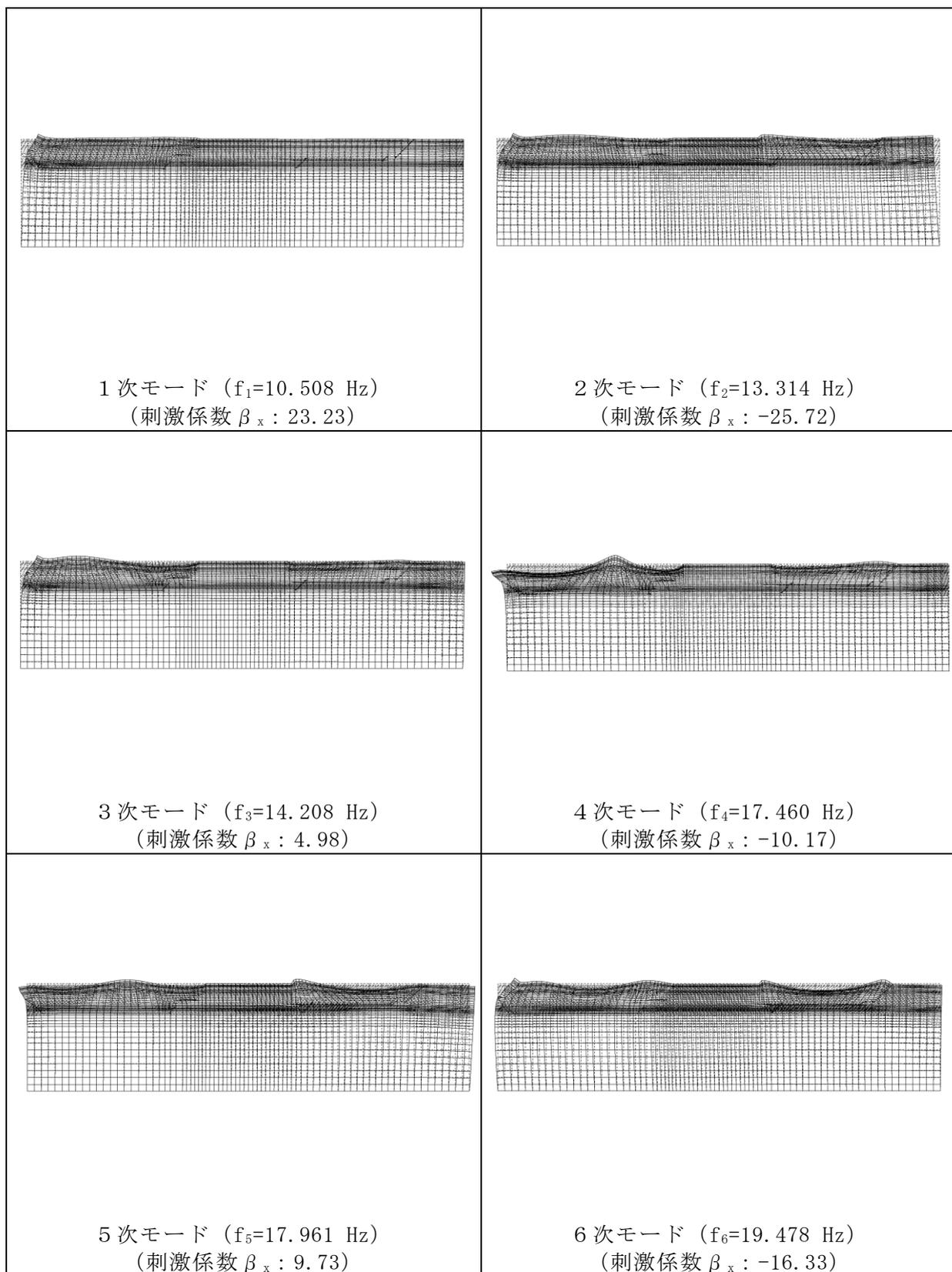


図 3-17 固有値解析結果 (モード図) (B-B 断面)

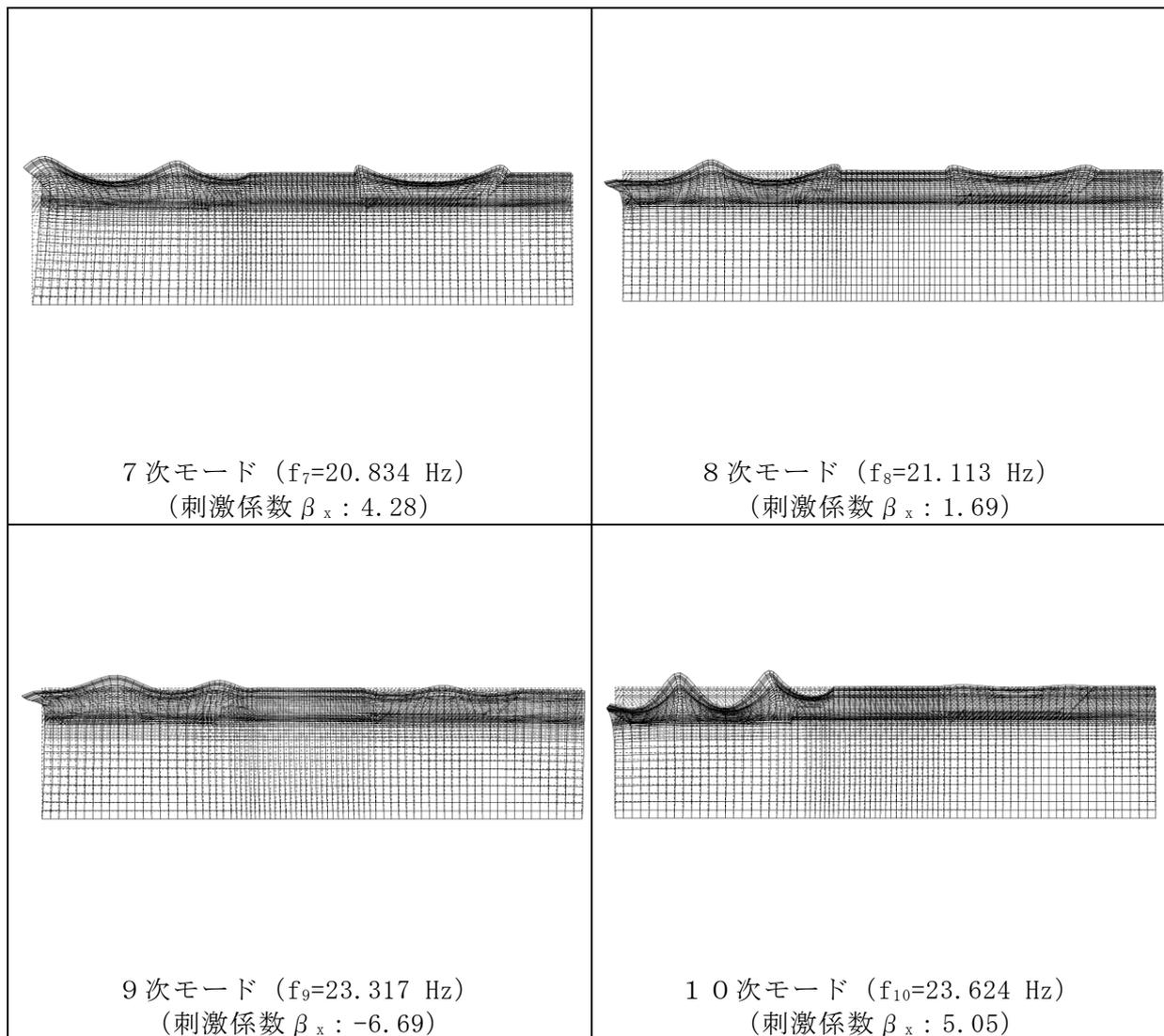


図 3-18 固有値解析結果 (モード図) (B-B断面)

表 3-6 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$  ,  $\beta$  の設定結果

評価対象断面	$\alpha$	$\beta$
A-A断面	3.109	$2.410 \times 10^{-4}$
B-B断面	$9.894 \times 10^{-1}$	$1.380 \times 10^{-4}$

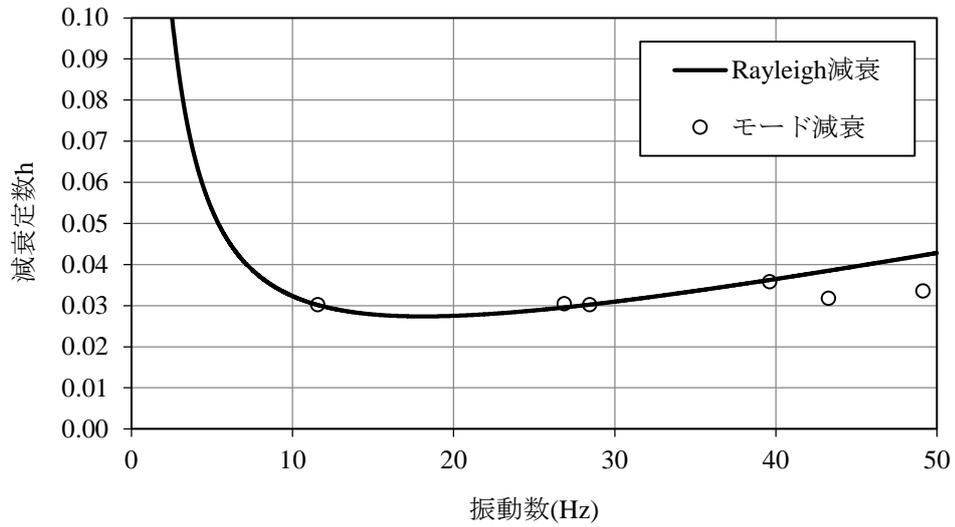


図 3-19 設定した Rayleigh 減衰 (A-A断面)

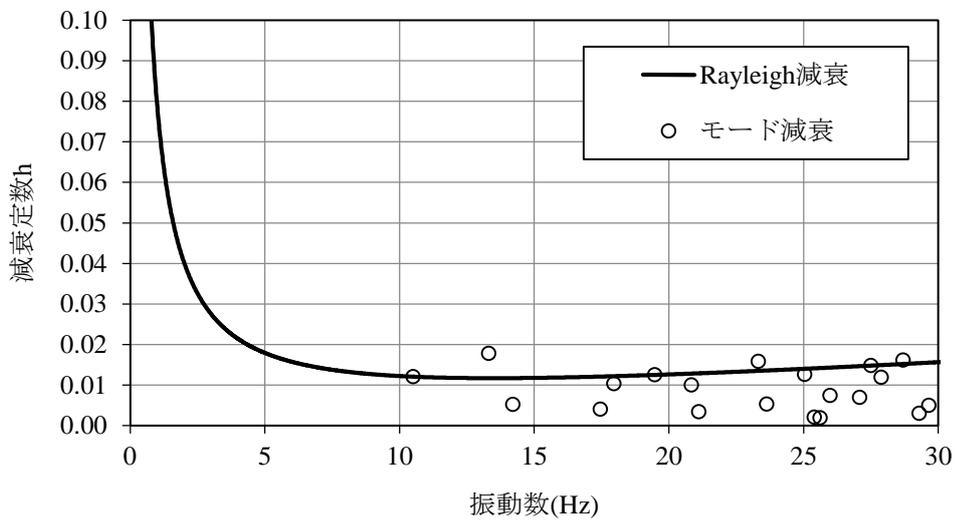


図 3-20 設定した Rayleigh 減衰 (B-B断面)

### 3.4 荷重及び荷重の組合せ

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で設定する。地震荷重には、地震時土圧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、緊急時対策所用燃料地下タンクの運転時、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 3-7 に示す。

表 3-7 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・配管系が設置されないことから考慮しない。
	積載荷重	静止土圧	○	・常時応力解析により設定する。
		外水圧	—	・地下水位が構造物基礎下端より十分低い場合考慮しない
		内水圧	○	・鋼製タンクの内容液による静水圧として考慮する。 ・保守的に水の密度を考慮する。
		積雪荷重	○	・地表面及び構造物上部に考慮する。
		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	○	・頂版上部に打設された上部コンクリートの重量に基づいて設定する。		
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。

### 3.4.1 内水圧

鋼製タンクの内容液による荷重は，タンク本体の頂部に静水面があるものとしてタンク本体各節点での水位と内容液の単位体積重量から算定し，タンクに対して垂直方向の分布荷重で与える。なお，内容液については，保守的に水の密度として  $9.81\text{kN/m}^3$  を用いる。図 3-21 に鋼製タンク本体に作用する内容液荷重のイメージ図を示す。

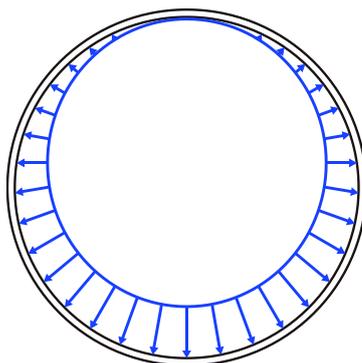


図 3-21 鋼製タンク本体に作用する内容液荷重のイメージ図

### 3.4.2 積雪荷重

積雪荷重は，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき，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  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

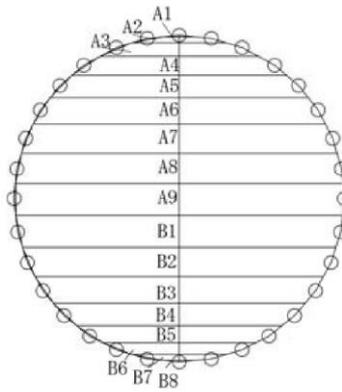
### 3.4.3 動水圧

動水圧は、地震応答解析における応答加速度に応じた内容液重量を付加質量として鋼製タンク本体の構成節点に与えることで作用させる。なお、各構成節点の付加質量はタンク本体を満液状態とし、タンク内空面積の分担を考慮して、図3-22に示すとおり水平成分と鉛直成分で個別に下式により算定する。各構成節点の分担面積及び付加質量の算定結果を表3-8に、解析モデルにおけるタンク本体の節点番号図を図3-23に、節点番号毎の付加質量を表3-9に示す。

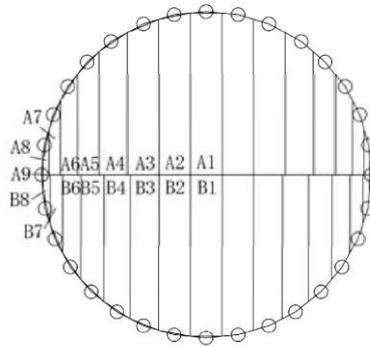
$$P_{dwhi} = \pm k_{hi} \cdot \gamma \cdot A_{hi}$$

$$P_{dvti} = \pm k_{vti} \cdot \gamma \cdot A_{vti}$$

- ここに、 $P_{dwhi}$  :  $i$  節点の動水圧の水平成分  
 $P_{dvti}$  :  $i$  節点の動水圧の鉛直成分  
 $k_{hi}$  :  $i$  節点の水平震度 ( $= \alpha_{hi} / g$ )  
 $k_{vti}$  :  $i$  節点の鉛直震度 ( $= \alpha_{vti} / g$ )  
 $\alpha_{hi}$  :  $i$  節点の水平加速度  
 $\alpha_{vti}$  :  $i$  節点の鉛直加速度  
 $g$  : 重力加速度 ( $= 9.80665 \text{m/s}^2$ )  
 $\gamma_w$  : 内容水重量 ( $= 9.81 \text{kN/m}^3$ )  
 $A_{hi}$  :  $i$  節点の水平成分の分担面積  
 $A_{vti}$  :  $i$  節点の鉛直成分の分担面積



a) 水平加振  $A_{hi}$



b) 鉛直加振  $A_{vi}$

図 3-22 付加質量算定時の分担面積

表 3-8 分担面積及び付加質量の算定結果

水平加振			鉛直加振		
区分	$A(m^2)$	$W(kN)$	区分	$A(m^2)$	$W(kN)$
A1	0.001	0.014	A1	0.279	2.739
A2	0.011	0.103	A2	0.269	2.635
A3	0.046	0.450	A3	0.254	2.489
A4	0.096	0.937	A4	0.201	1.972
A5	0.143	1.400	A5	0.131	1.282
A6	0.195	1.915	A6	0.081	0.790
A7	0.240	2.350	A7	0.038	0.370
A8	0.260	2.555	A8	0.009	0.092
A9	0.279	2.739	A9	0.001	0.014
B1	0.276	2.709	B1	0.279	2.739
B2	0.238	2.330	B2	0.269	2.635
B3	0.192	1.882	B3	0.232	2.273
B4	0.138	1.351	B4	0.191	1.871
B5	0.082	0.800	B5	0.145	1.426
B6	0.038	0.376	B6	0.090	0.885
B7	0.011	0.103	B7	0.043	0.426
B8	0.001	0.014	B8	0.012	0.115

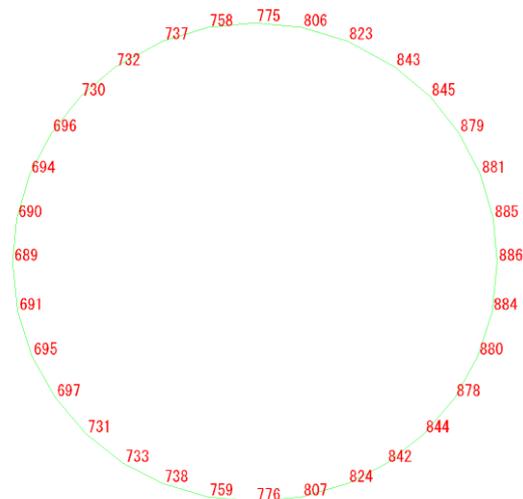


図 3-23 タンク本体の節点番号図

表 3-9 タンク本体の節点番号毎の付加質量

節点番号	水平加振		鉛直加振	
	区分	W(kN)	区分	W(kN)
689	A9	2.739	A9	0.014
690	A8	2.555	A8	0.092
694	A7	2.350	A7	0.370
696	A6	1.915	A6	0.790
730	A5	1.400	A5	1.282
732	A4	0.937	A4	1.972
737	A3	0.450	A3	2.489
758	A2	0.103	A2	2.635
775	A1	0.014	A1	2.739
806	A2	0.103	A2	2.635
823	A3	0.450	A3	2.489
843	A4	0.937	A4	1.972
845	A5	1.400	A5	1.282
879	A6	1.915	A6	0.790
881	A7	2.350	A7	0.370
885	A8	2.555	A8	0.092
886	A9	2.739	A9	0.014
884	B1	2.709	B8	0.115
880	B2	2.330	B7	0.426
878	B3	1.882	B6	0.885
844	B4	1.351	B5	1.426
842	B5	0.800	B4	1.871
824	B6	0.376	B3	2.273
807	B7	0.103	B2	2.635
776	B8	0.014	B1	2.739
759	B7	0.103	B2	2.635
738	B6	0.376	B3	2.273
733	B5	0.800	B4	1.871
731	B4	1.351	B5	1.426
697	B3	1.882	B6	0.885
695	B2	2.330	B7	0.426
691	B1	2.709	B8	0.115
合計		44.028		44.028

### 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

緊急時対策所用燃料地下タンクは地中に埋設された鉄筋コンクリート造の地中構造物である。

A-A断面においては、緊急時対策所用燃料地下タンクの周辺には、埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しておらず、C<sub>H</sub>級～C<sub>L</sub>級岩盤が分布しているため、これらの地盤が地震時に構造物の応答に影響を与えることと判断されることから、岩盤のばらつきを考慮する。

B-B断面においては、緊急時対策所用燃料地下タンクの周辺には、主として埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布し、主たる荷重は埋戻土の土圧となることから、埋戻土のばらつきを考慮する。

ばらつきを考慮する物性値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3-10及び表3-11に示す解析ケース①）とした場合に加えて、平均値±1.0×標準偏差（ $\sigma$ ）のケース（表3-10及び表3-11に示す解析ケース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-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表3-10 緊急時対策所用燃料地下タンク耐震評価における解析ケース（A-A断面）

解析ケース	解析手法	地盤物性	
		埋戻土 ( $G_o$ : 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 $\sigma$
ケース③	全応力解析	平均値	平均値 - 1 $\sigma$

表 3-11 緊急時対策所用燃料地下タンク耐震評価における解析ケース（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 + $1\sigma$	平均値
ケース③	全応力解析	平均値 - $1\sigma$	平均値

(2) 耐震評価における解析ケースの組合せ

耐震評価においては、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれら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、基本ケースを実施する。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊、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3-12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、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。耐震評価における解析ケースを表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3-24に示す。なお、B-B断面については4辺固定版による評価を実施することから、上記によらず「5.1.1 解析ケース」において解析ケースを選定する。

表3-12 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 $\sigma$ )を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ )を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 $\sigma$		平均値-1 $\sigma$	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++* <sup>1</sup>	○	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、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。			
		-+* <sup>1</sup>	○* <sup>2</sup>				
		+-* <sup>1</sup>	○				
		--* <sup>1</sup>	○* <sup>2</sup>				
	$S_s - F1$	++* <sup>1</sup>	○				
	$S_s - F2$	++* <sup>1</sup>	○				
	$S_s - N1$	++* <sup>1</sup>	○				
		-+* <sup>1</sup>	○* <sup>2</sup>				
	$S_s - N2$ (NS)	++* <sup>1</sup>	○				
		-+* <sup>1</sup>	○* <sup>2</sup>				
$S_s - N2$ (EW)	++* <sup>1</sup>	○					
	-+* <sup>1</sup>	○* <sup>2</sup>					

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。

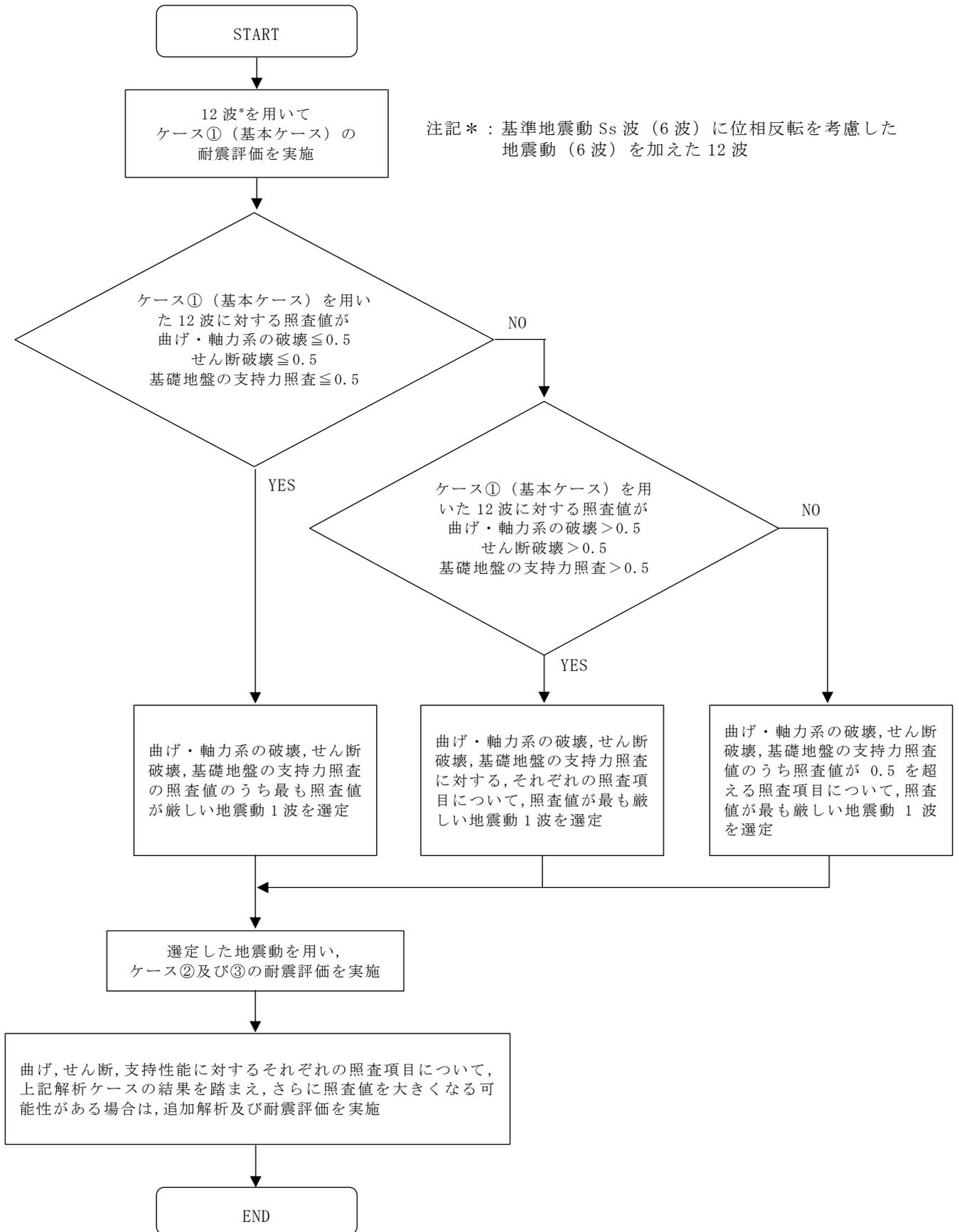


図 3-24 追加解析を実施する地震動の選定フロー

#### 4. 評価内容

##### 4.1 入力地震動の設定

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4-1に入力地震動算定の概念図を示す。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。

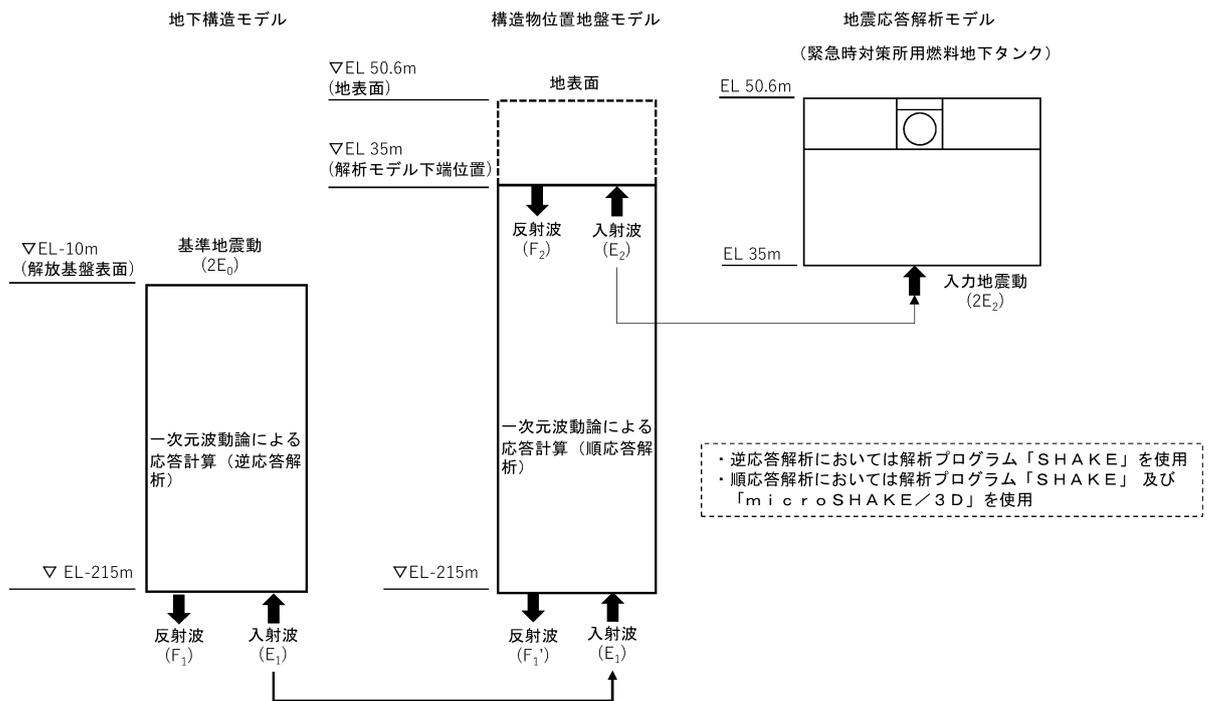
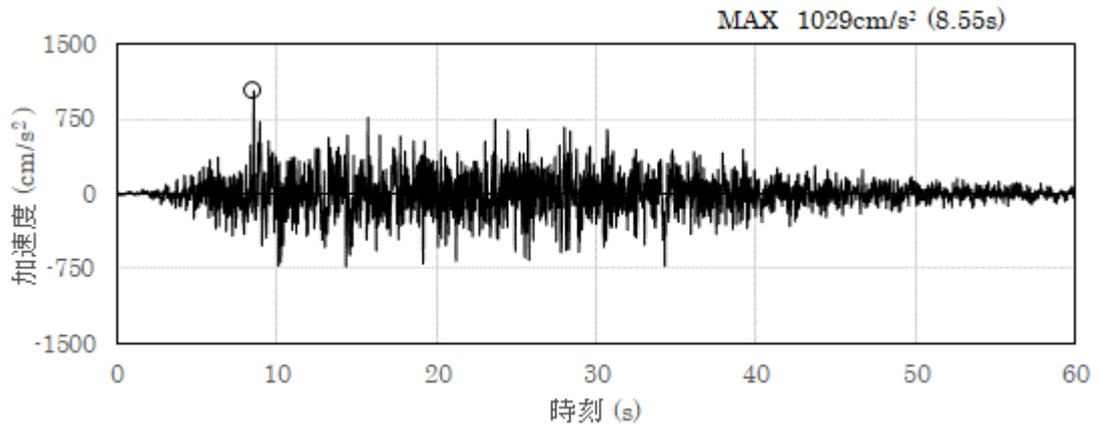


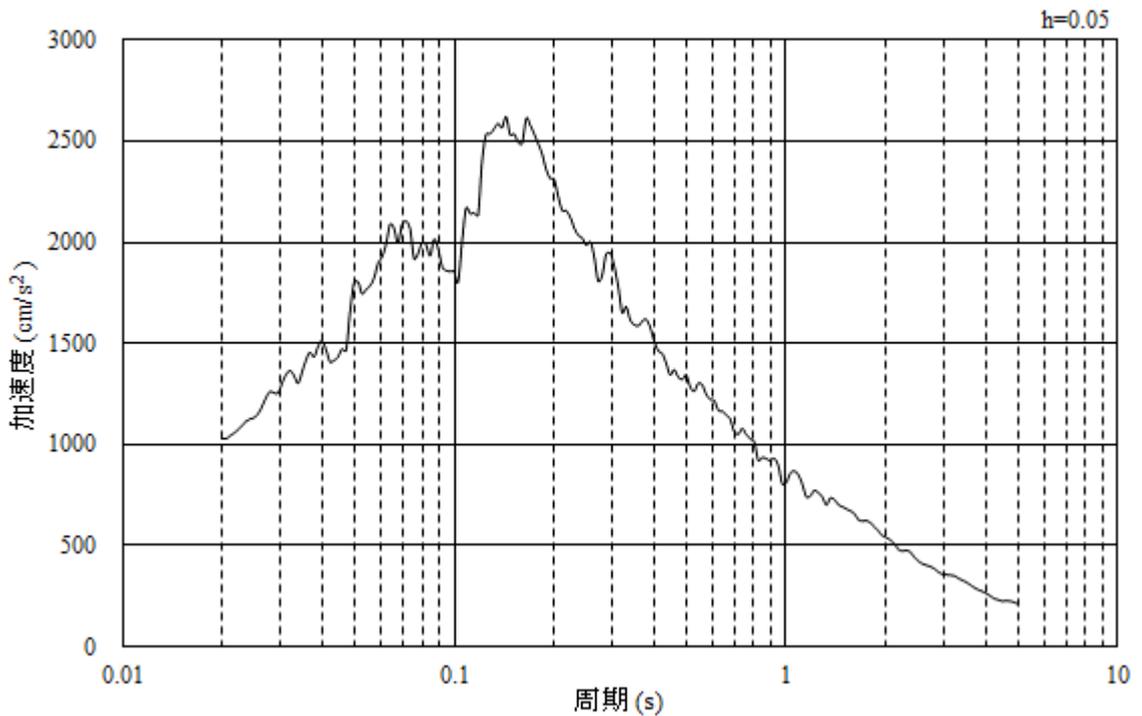
図 4-1 入力地震動算定の概念図

#### 4.1.1 入力地震動

図 4-2～図 4-17 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。

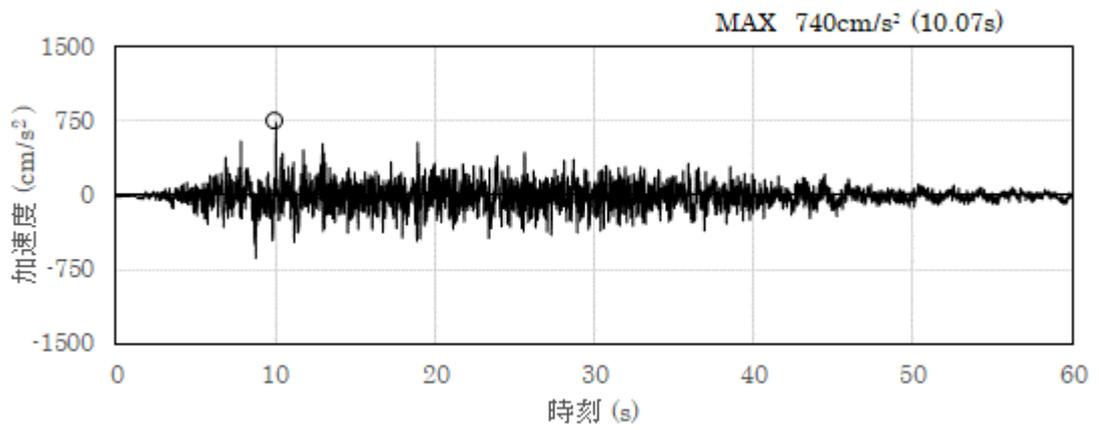


(a) 加速度時刻歴波形

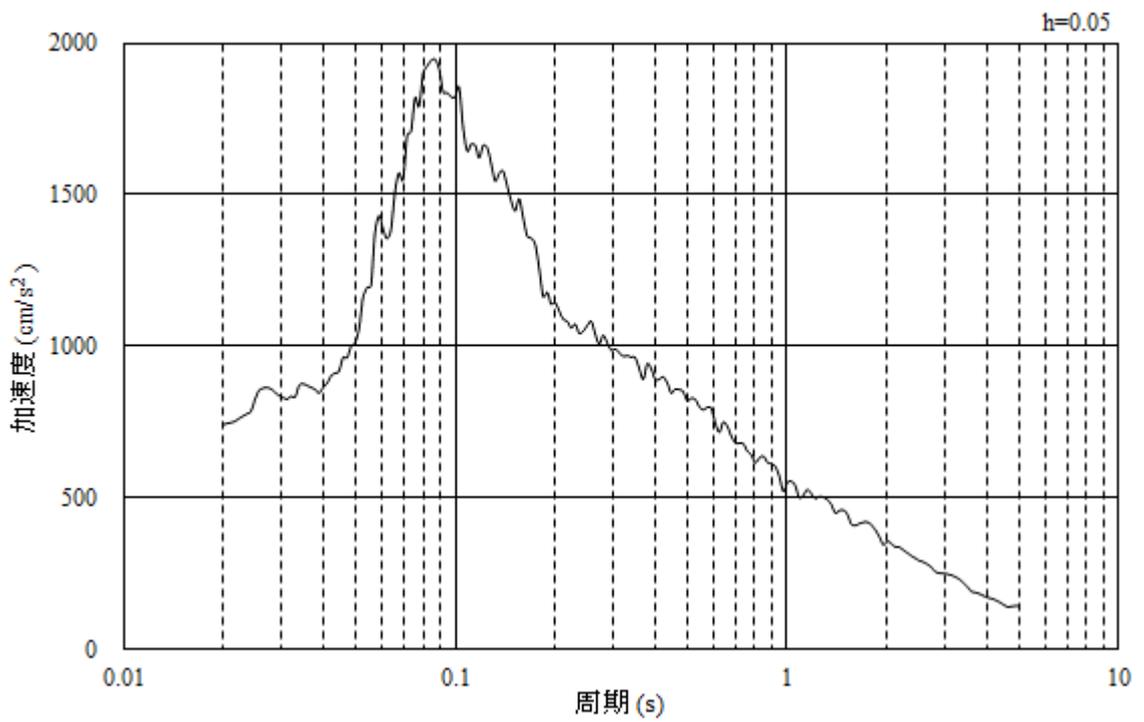


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 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)

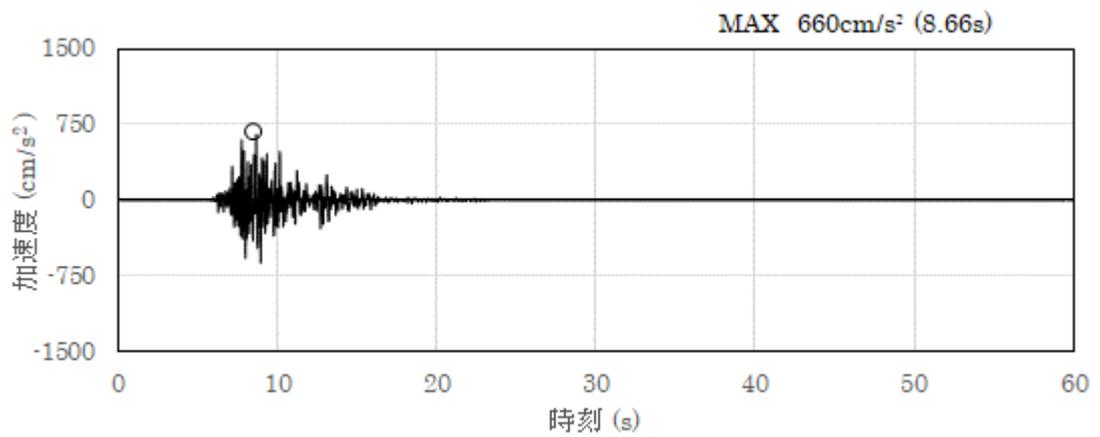


(a) 加速度時刻歴波形

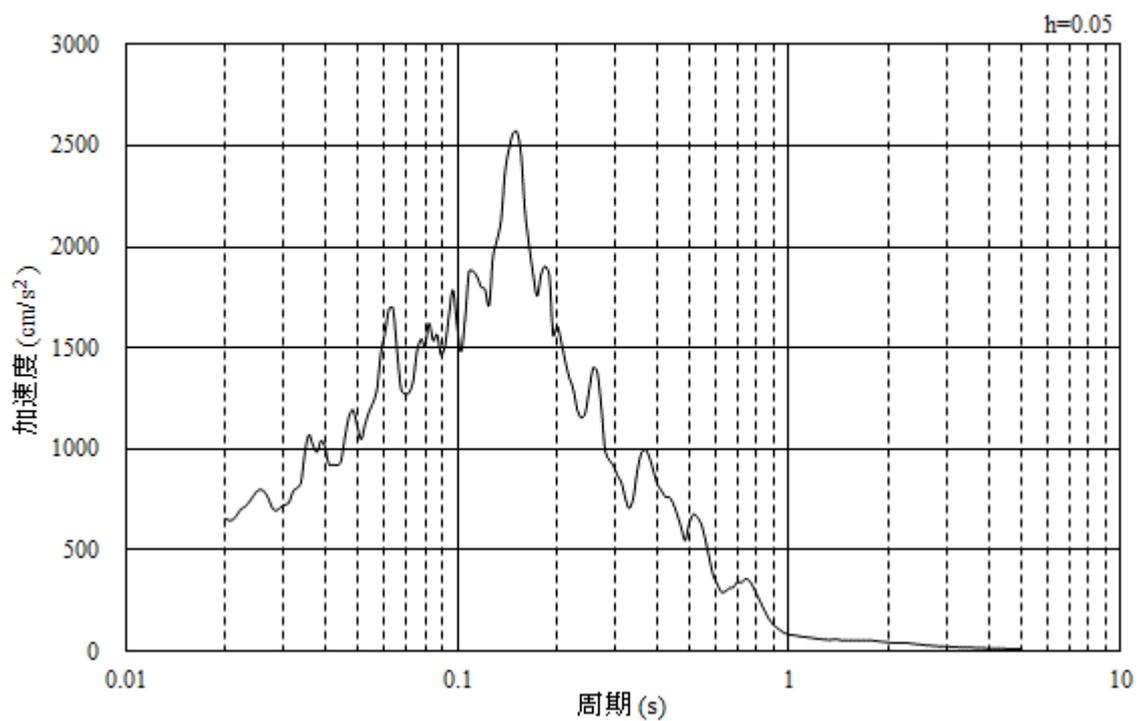


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-3 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)

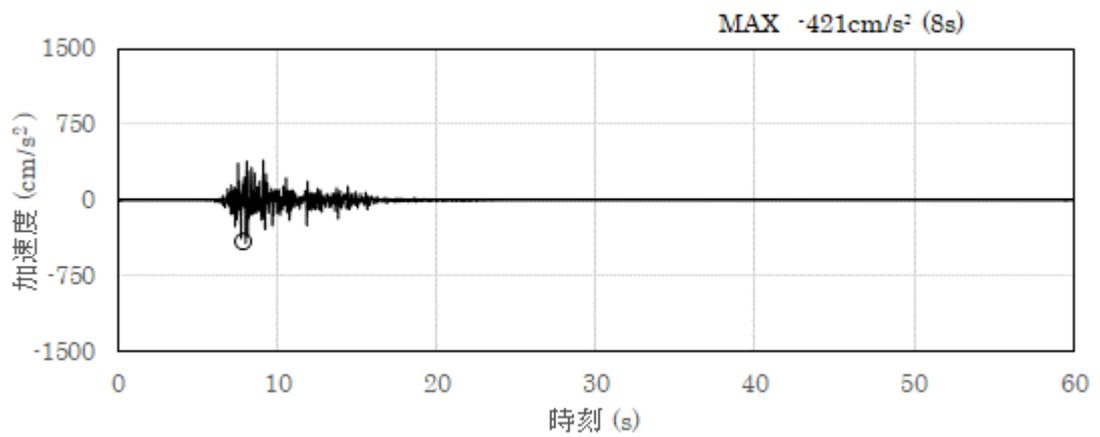


(a) 加速度時刻歴波形

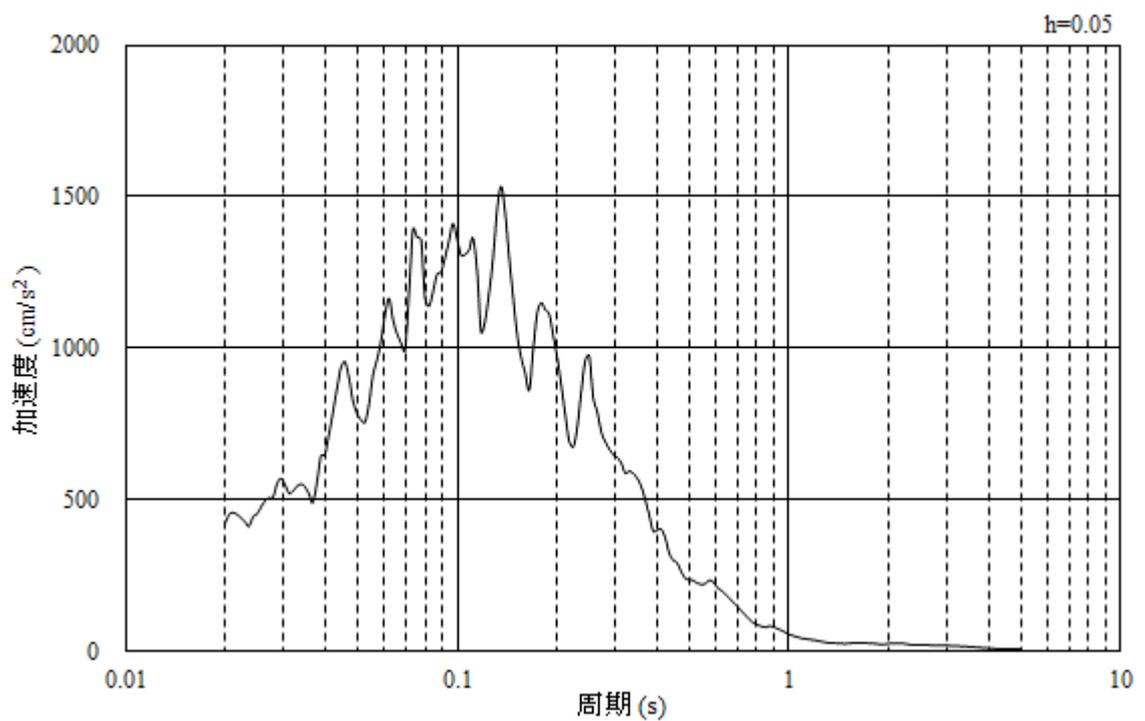


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 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 - F 1, N S 方向)

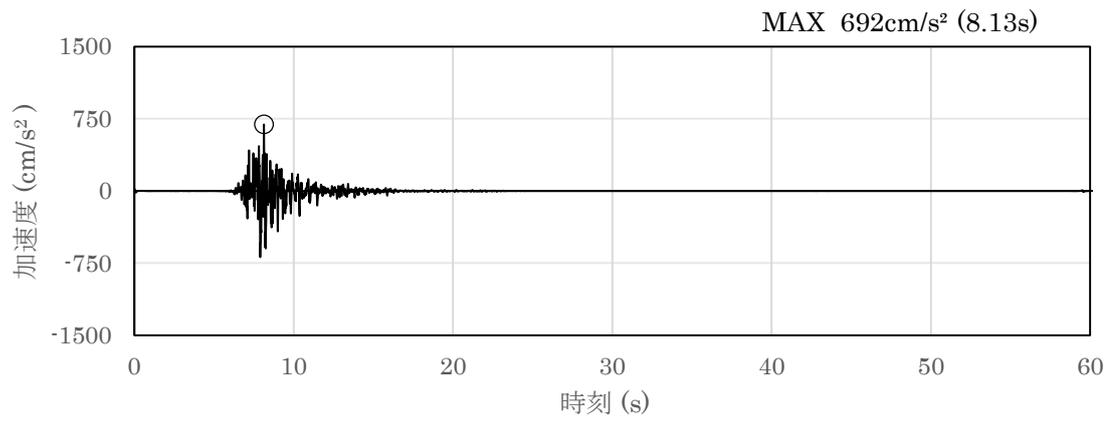


(a) 加速度時刻歴波形

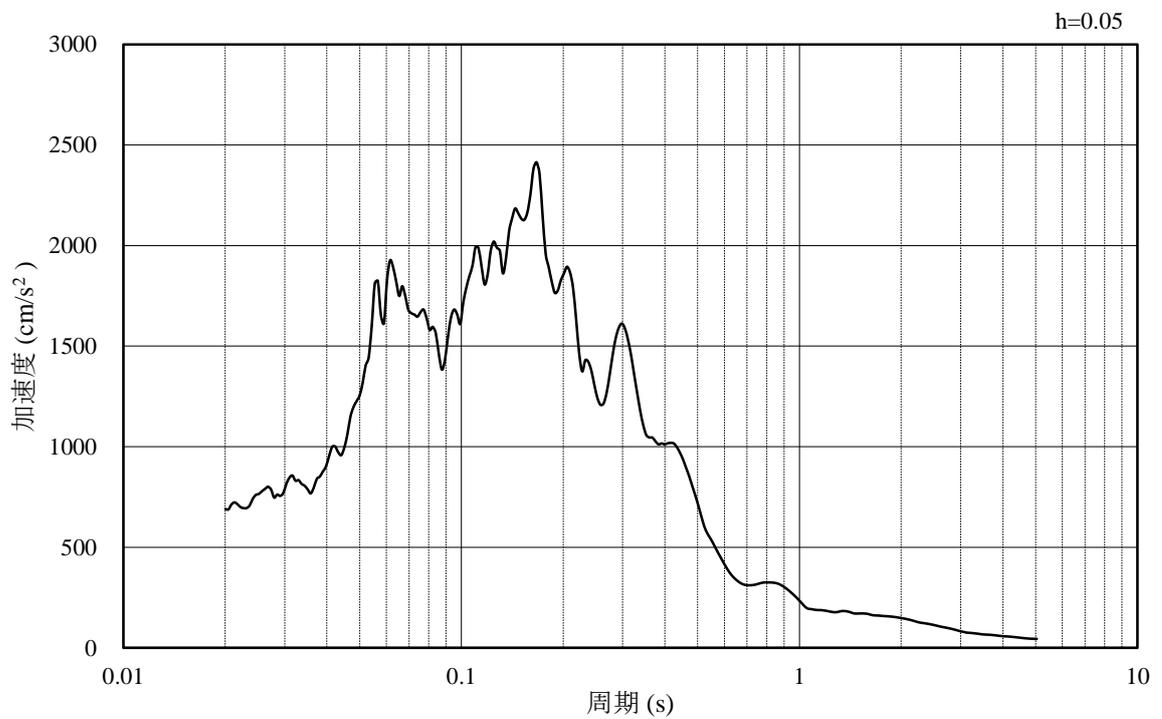


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 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 - F 1, N S 方向)

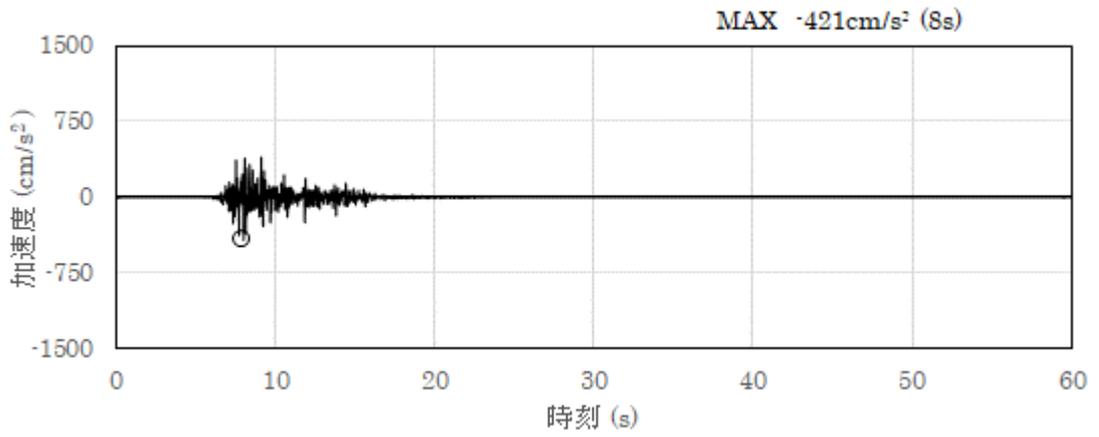


(a) 加速度時刻歴波形

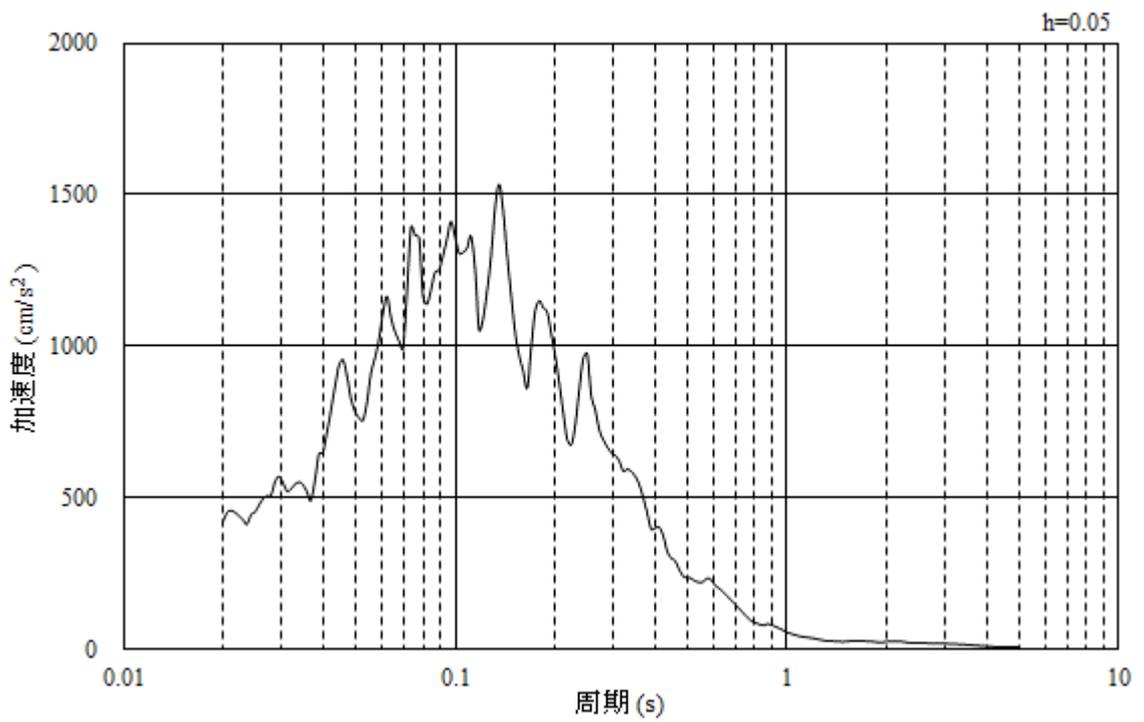


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 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, E W方向)

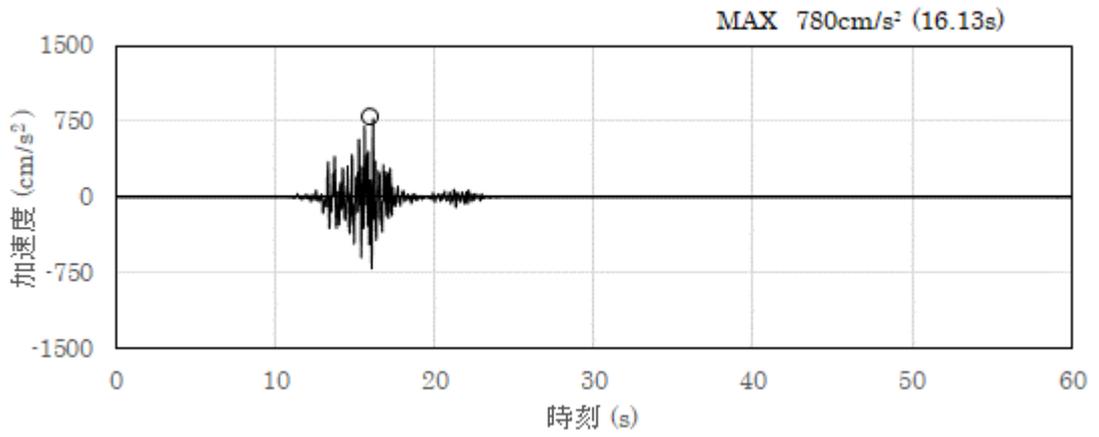


(a) 加速度時刻歴波形

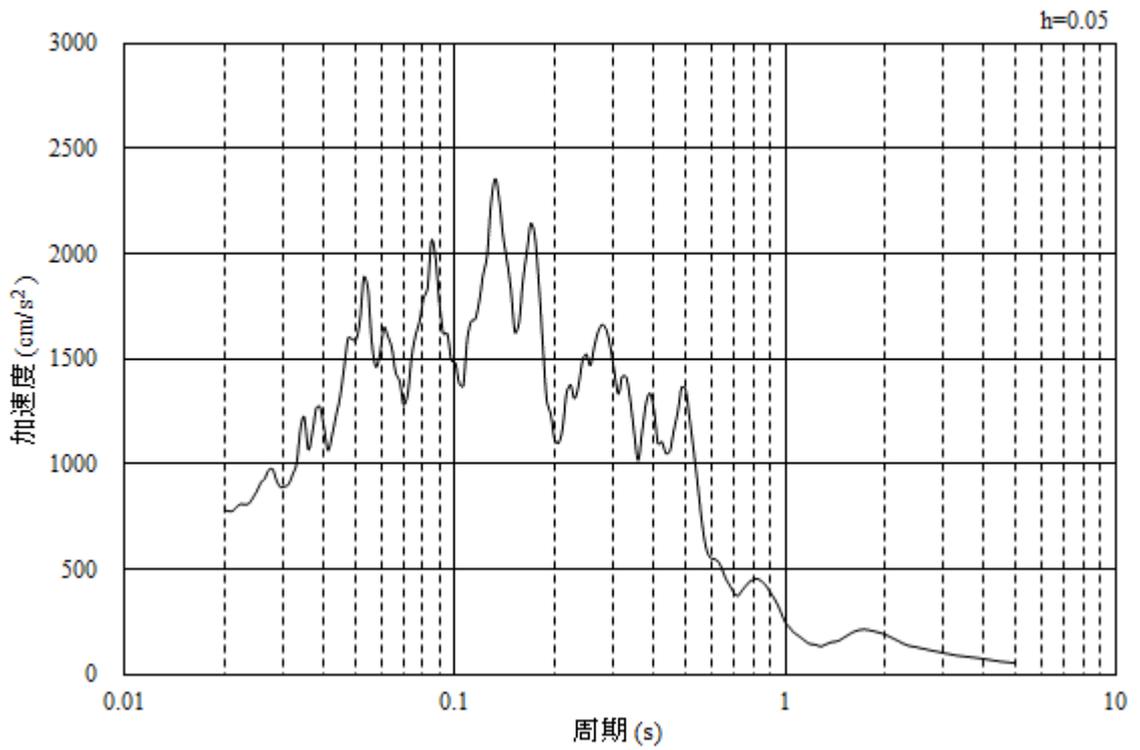


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 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, E W方向)

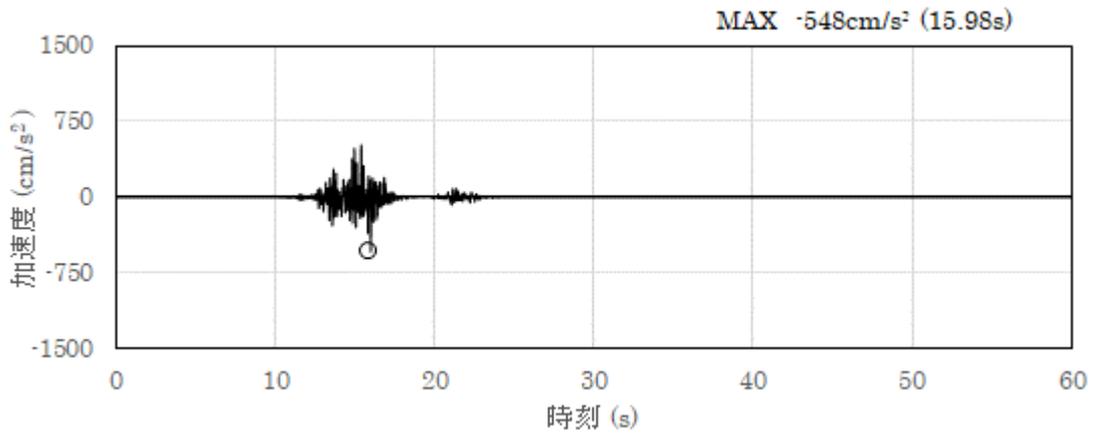


(a) 加速度時刻歴波形

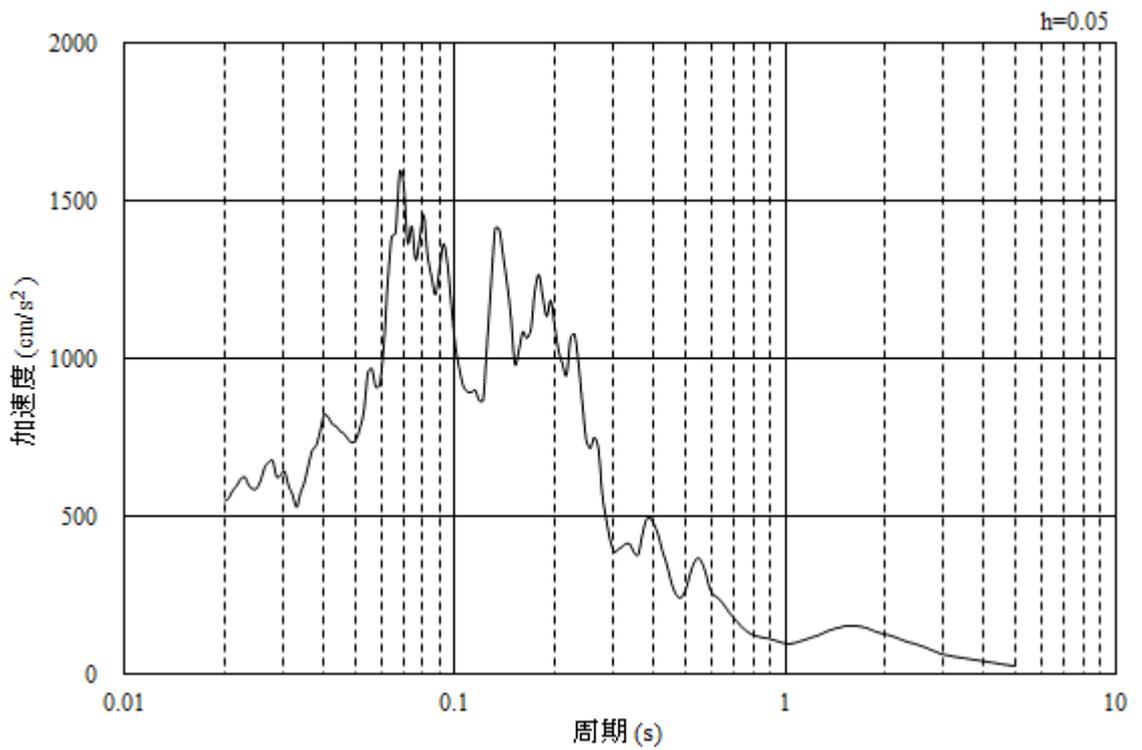


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 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, N S 方向)

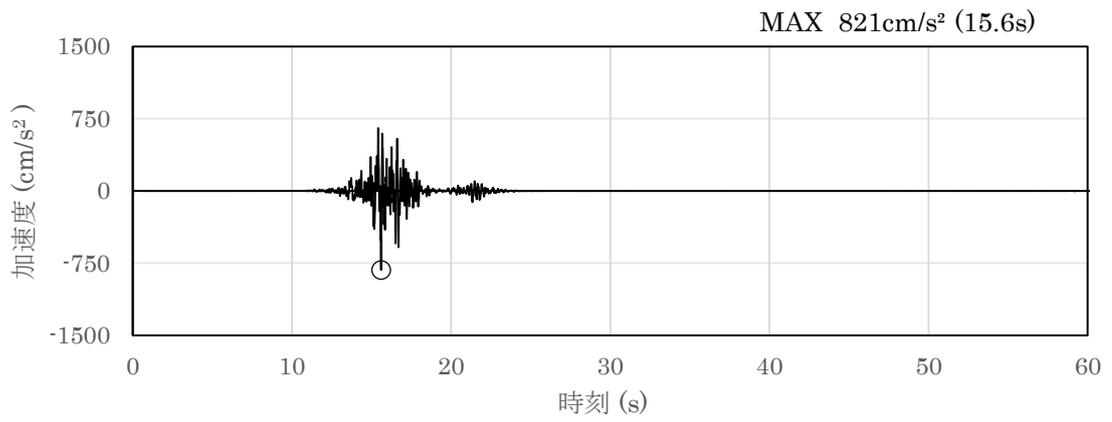


(a) 加速度時刻歴波形

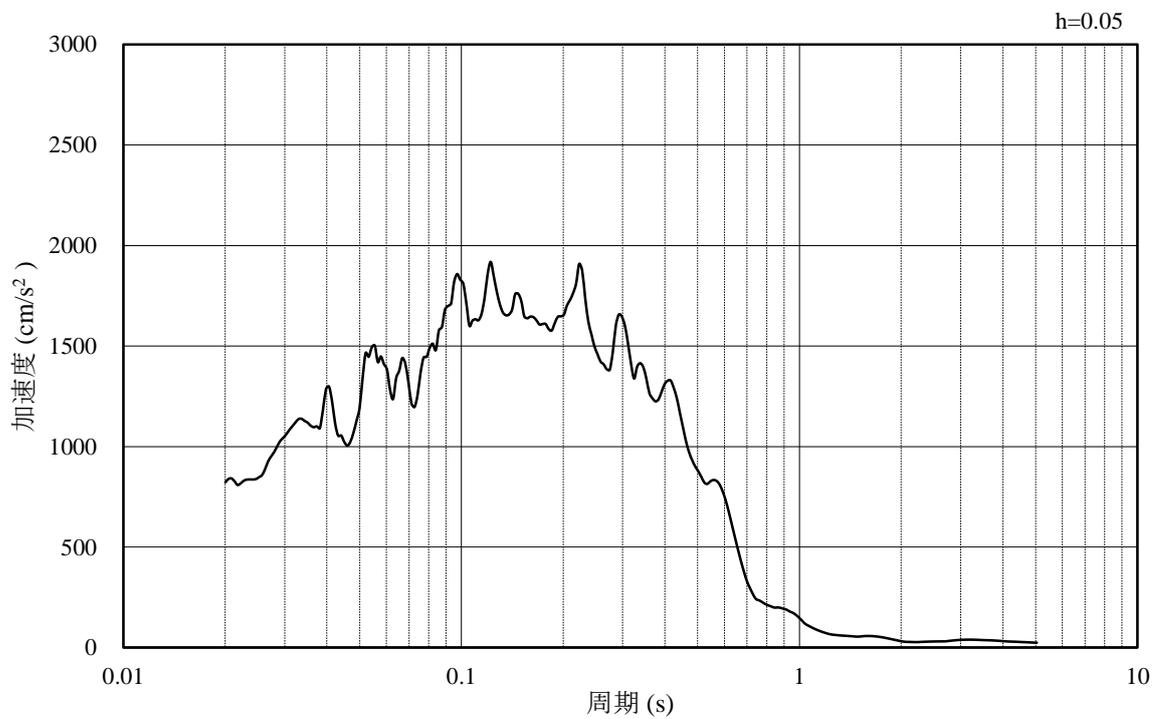


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 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, N S 方向)

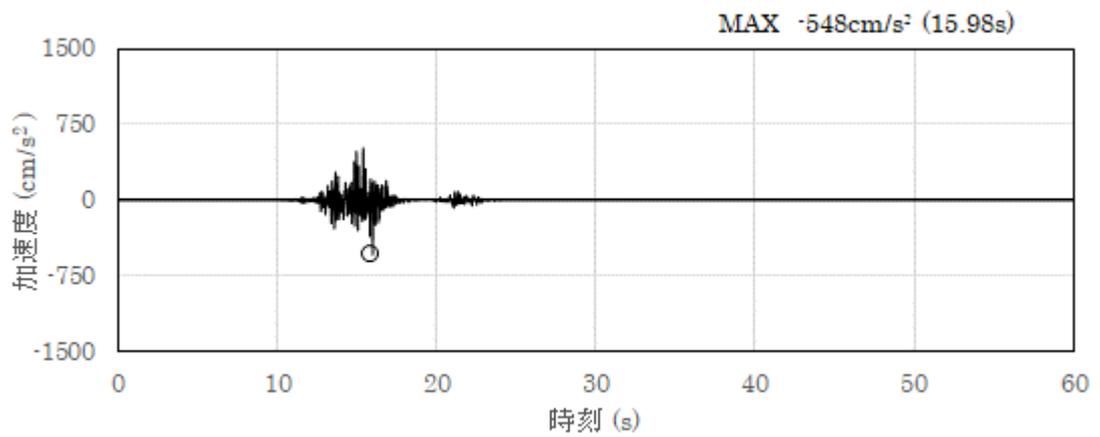


(a) 加速度時刻歴波形

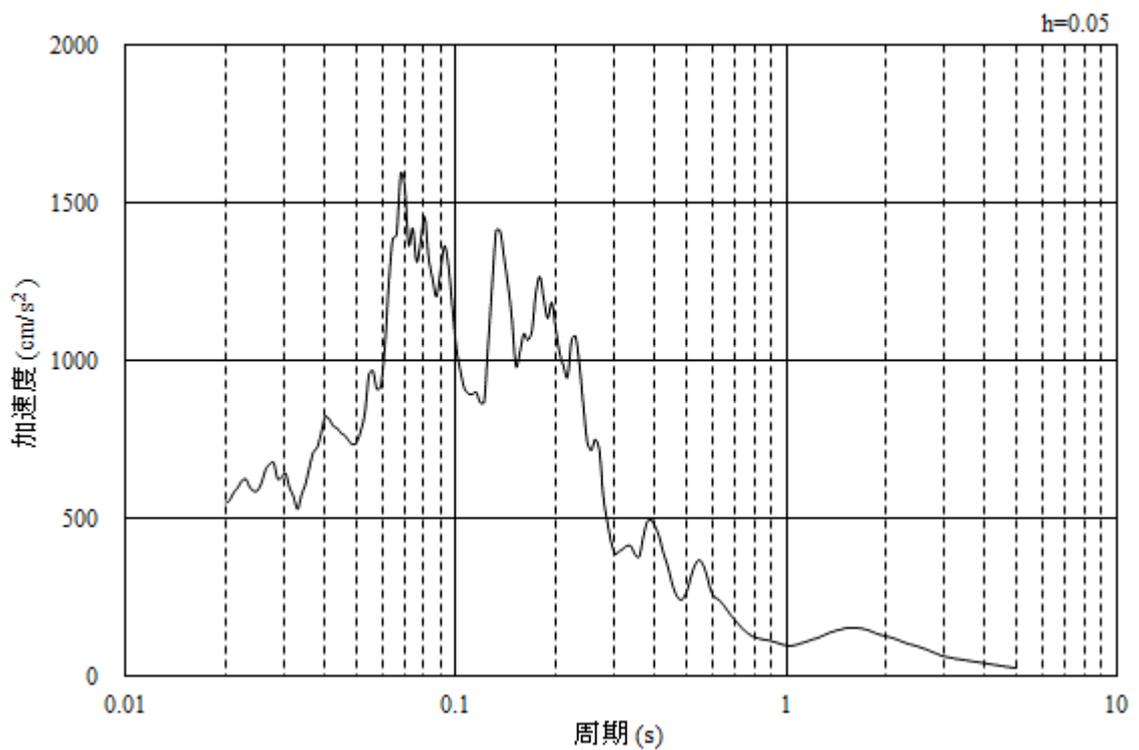


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 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, E W方向)

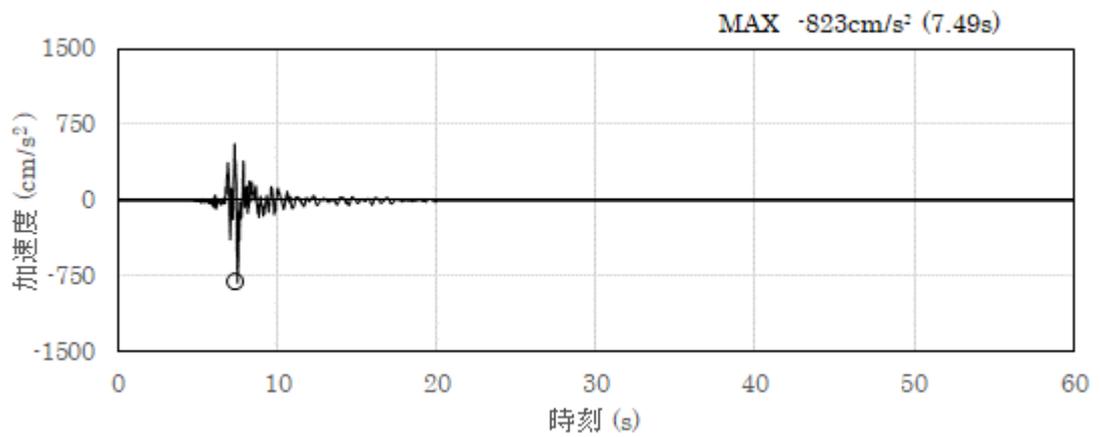


(a) 加速度時刻歴波形

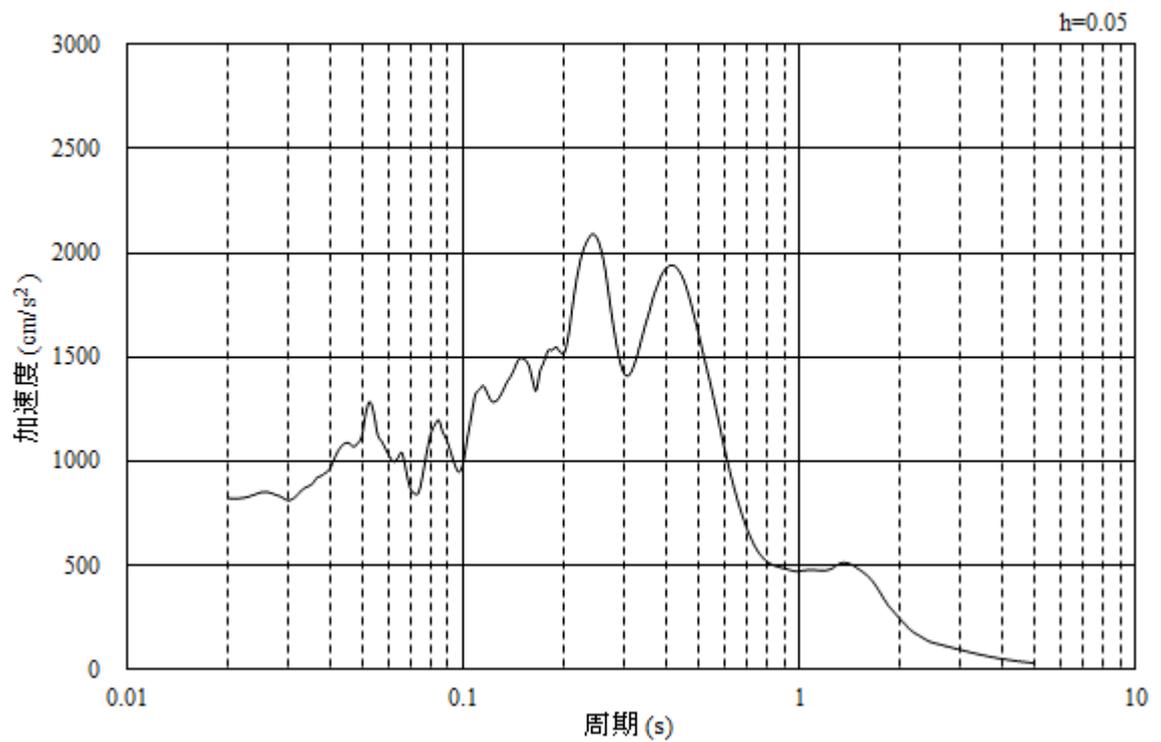


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 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, E W方向)

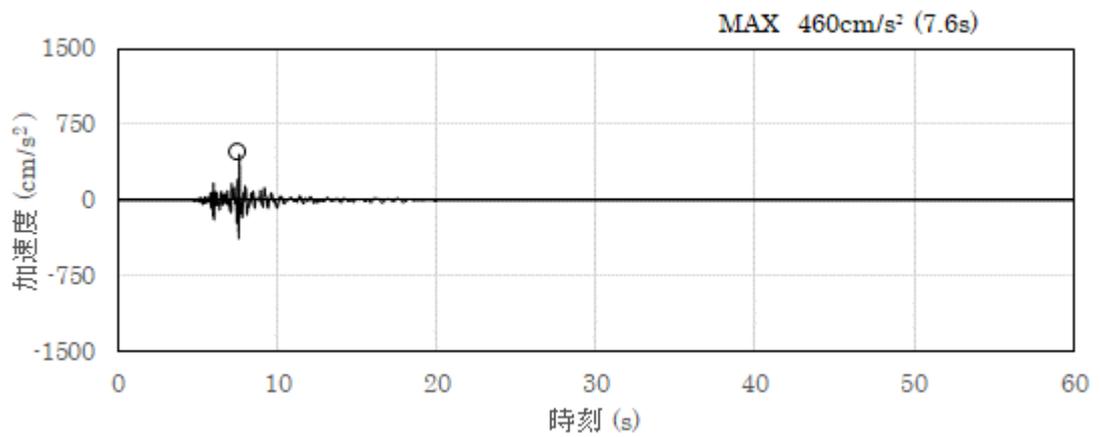


(a) 加速度時刻歴波形

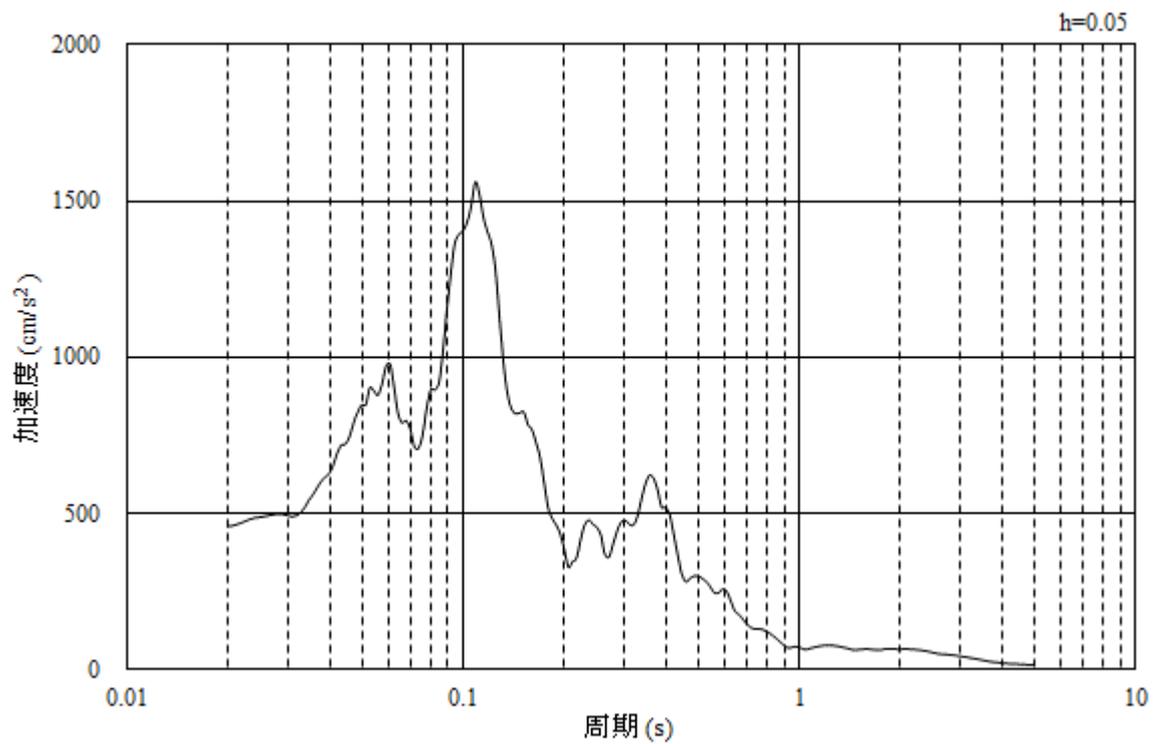


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 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 1)

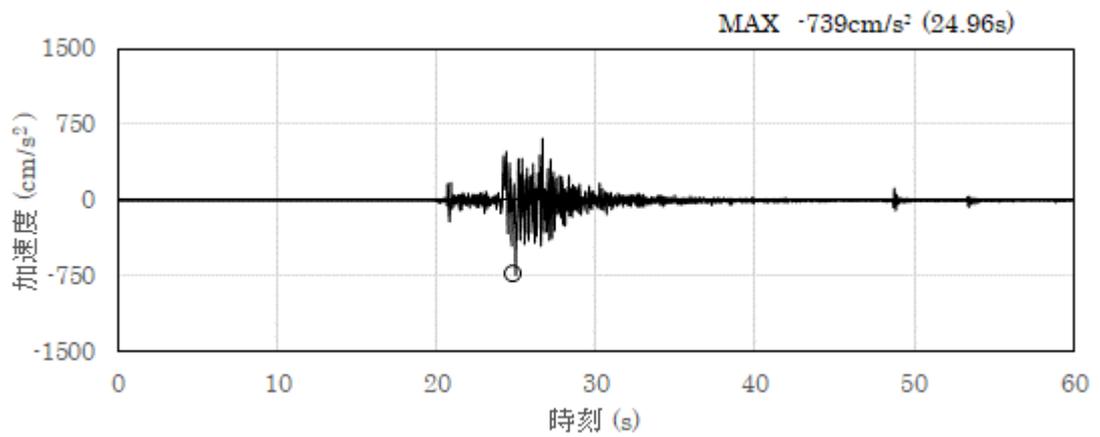


(a) 加速度時刻歴波形

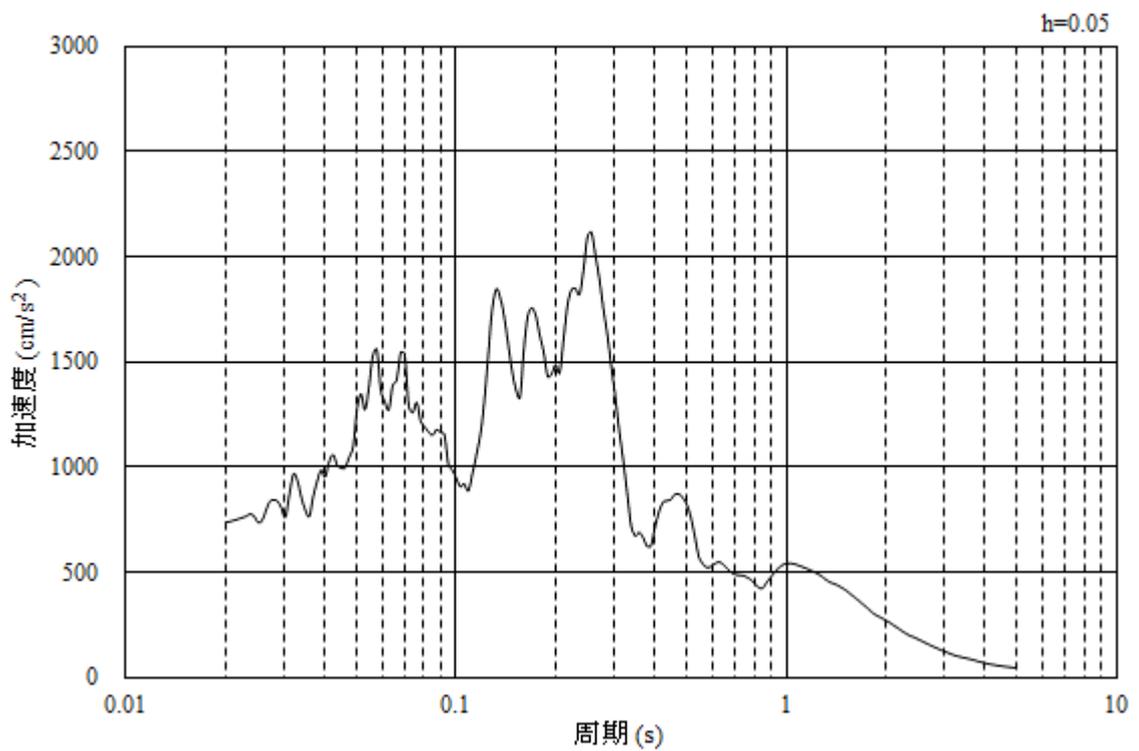


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 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 1)

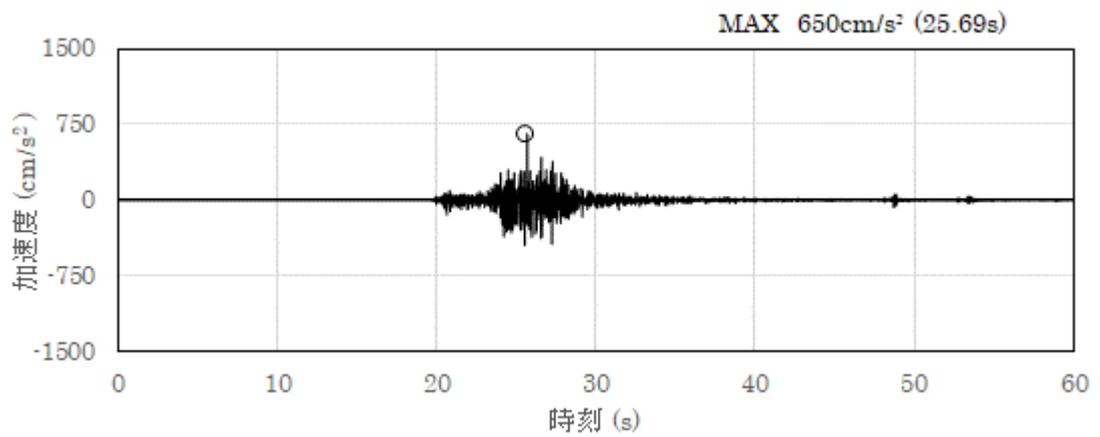


(a) 加速度時刻歴波形

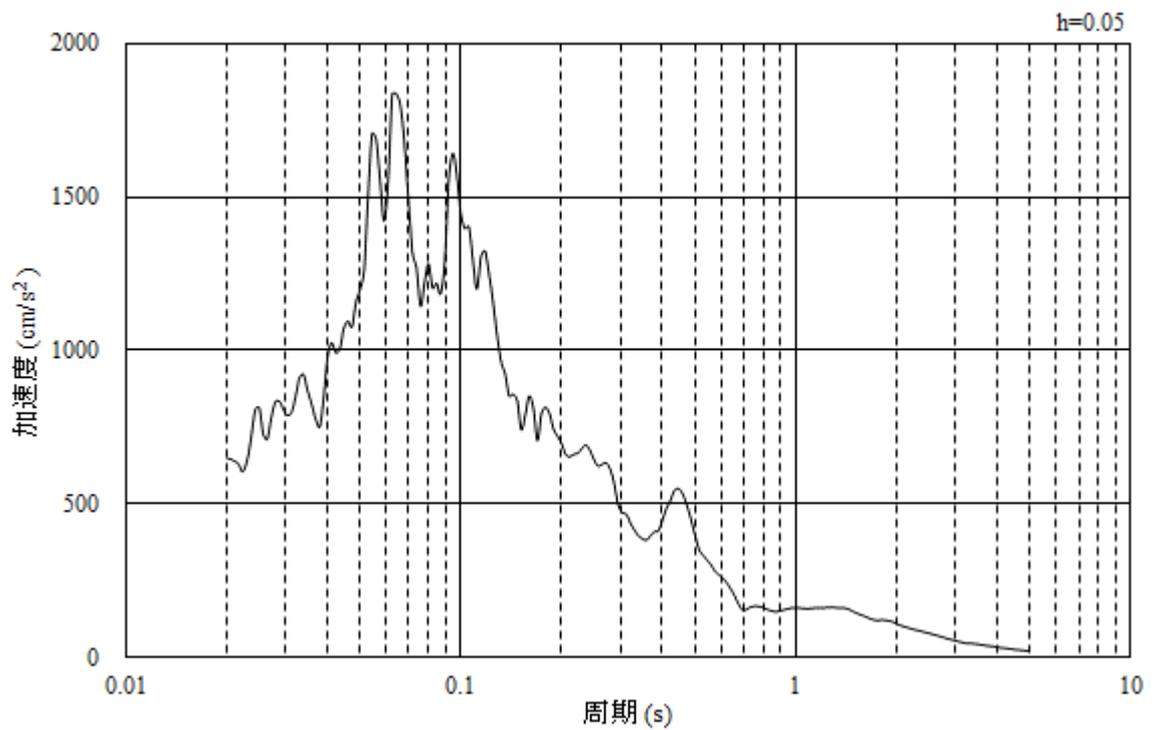


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 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, N S 方向)

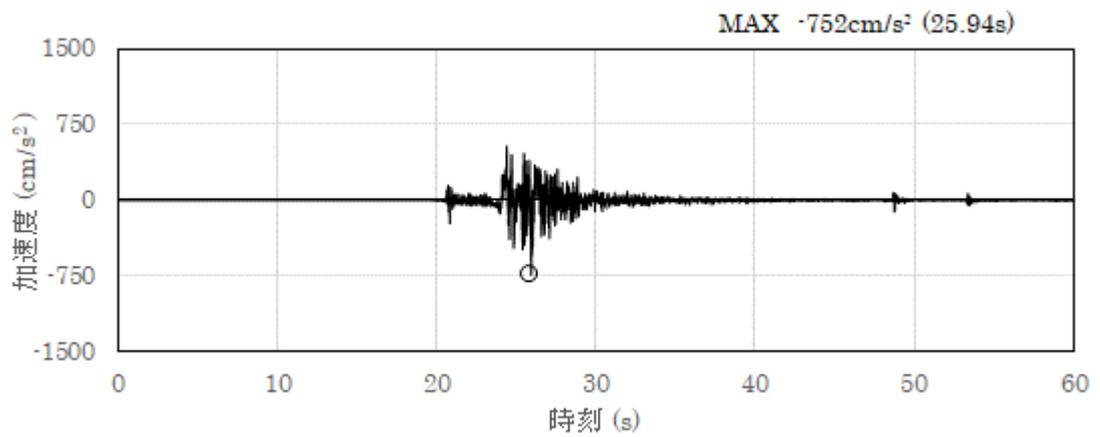


(a) 加速度時刻歴波形

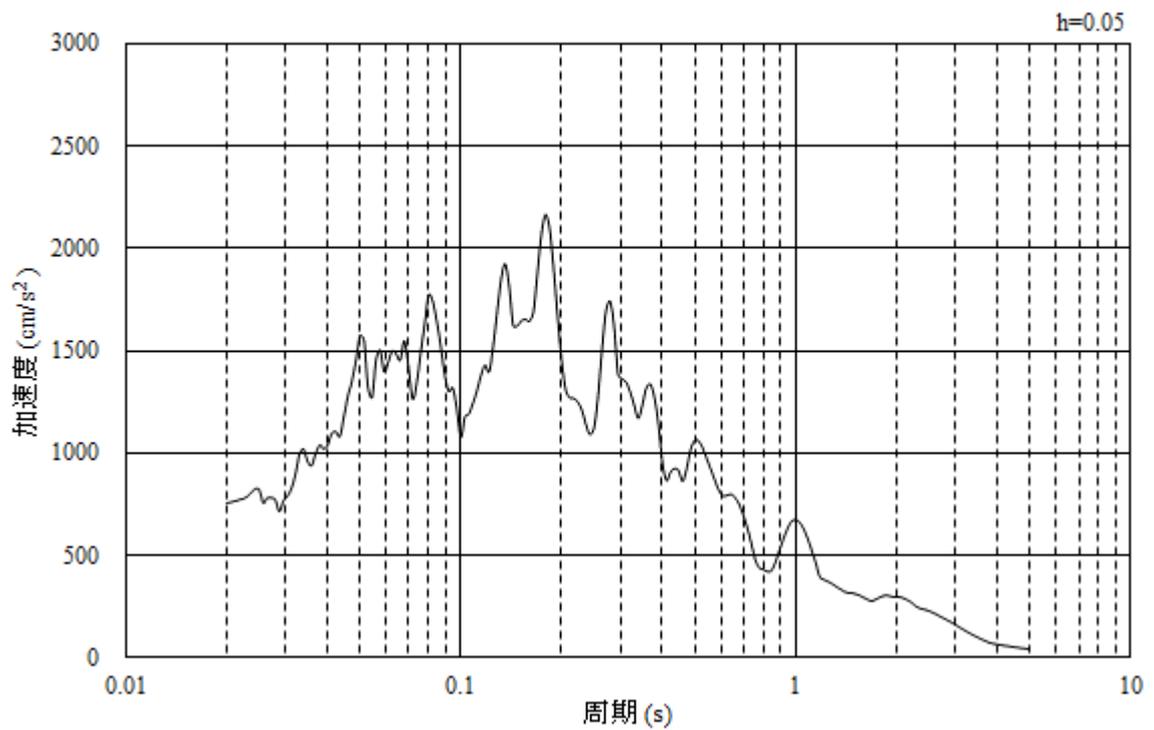


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 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, N S 方向)

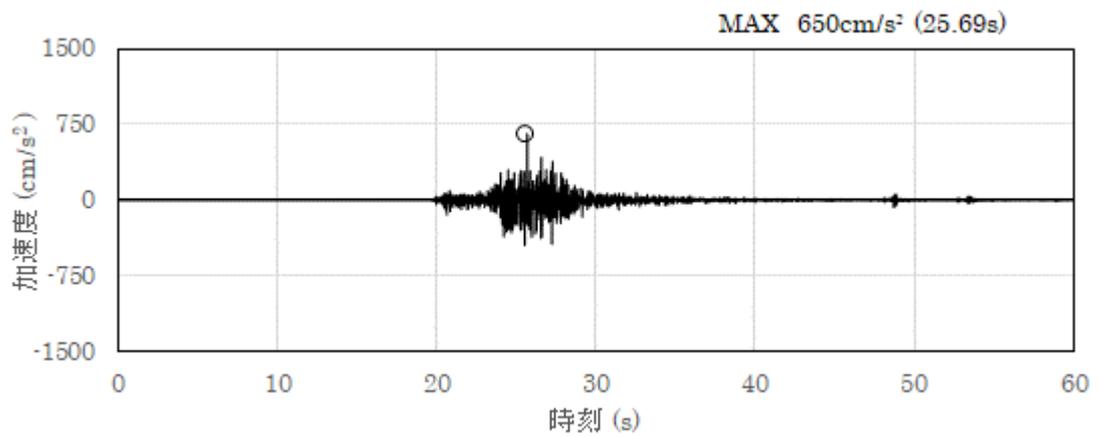


(a) 加速度時刻歴波形

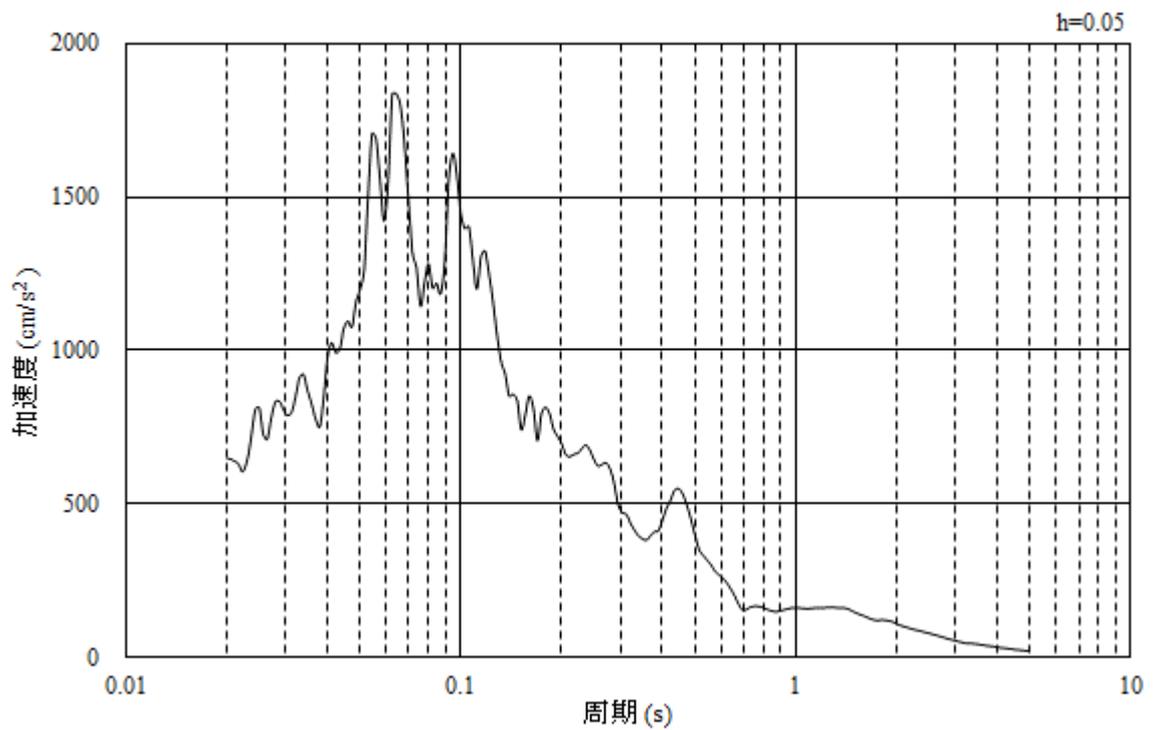


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-16 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 s - N 2, E W方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-17 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 s - N 2, E W方向)

## 4.2 許容限界の設定

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「2. 屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容」に示すとおり、各構造物の要求機能と要求機能に応じた許容限界を設定し照査を行う。なお、充填コンクリートの評価については、参考資料「充填コンクリートの評価結果」に示す。

### 4.2.1 構造部材（鉄筋コンクリート）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

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・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 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
f' <sub>ck</sub> = 24.0 (N/mm <sup>2</sup> )	許容曲げ圧縮応力度 σ' <sub>ca</sub>	9.0	13.5
	許容せん断応力度 τ <sub>a1</sub>	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 4-2 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 <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
SD295A	許容引張応力度 σ <sub>sa</sub>	176	264
SD345		196	294

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

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 4-1 及び表 4-2 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力

$V_s$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断力

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

ここに、 $\tau_{a1}$  : 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。

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_c = \tau_{a1} \cdot b_w \cdot z$

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

ここに、 $A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強筋の総断面積

$\sigma'_{sa}$  : 鉄筋の短期許容引張応力度

$\alpha$  : 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

ただし、せん断補強筋を有さない場合は、 $V_s = 0$

#### 4.2.2 構造部材（鋼製タンク）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

構造強度を有することの確認及び貯水機能相当を損なわないことの確認における構造部材（鋼製タンク）のせん断破壊に対する許容限界は、短期許容応力度とする。鋼製タンクの許容応力度を表 4-3 に示す。

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、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、貯水機能相当を損なわないことの確認も同時に行う。

表 4-3 鋼製タンクの許容応力度及び短期許容応力度

鋼製タンク の仕様	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	SS400	許容引張応力度 $f_t$	156
許容せん断応力度 $f_s$		90	135

注記\*：鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005年）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

構造強度を有することの確認及び貯水機能相当を損なわないことの確認における構造部材（鋼製タンク）のせん断破壊に対する許容限界は、表 4-3 に示す短期許容応力度とする。

#### 4.2.3 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 4-4 に示す。

表 4-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

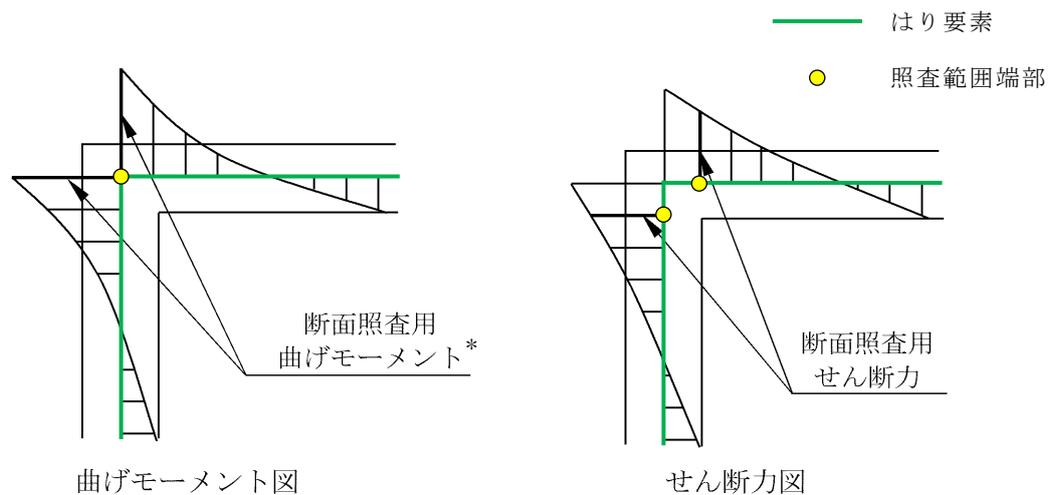
評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力度	C <sub>L</sub> 級岩盤	3.9

### 4.3 評価方法

#### 4.3.1 A-A断面

許容応力度法によるはり部材の照査では、地震応答解析において構造部材（鉄筋コンクリート）を構成するはり要素に発生した断面力を用いる。

図4-18に示すとおり、曲げ・軸力系の破壊に対する照査では要素端部までを照査範囲とし、せん断破壊に対する照査では部材端部（支承前面）までを照査範囲とする。



注記\*：応力の算定においては、同一節点における軸力も用いる

図4-18 はり要素における照査位置

#### 4.3.2 B-B断面

B-B断面においては、側壁を4辺固定版とした際に発生する断面力を用いた照査を実施する。4辺固定版は、線形シェル要素によりモデル化する。B-B断面（側壁）の応力解析モデル図を図4-19に示す。

4辺固定版に入力する荷重については、地震応答解析における応答値（土圧及び慣性力）とし、土圧は地震応答解析モデルの構造物（側壁）-地盤間に発生する直応力、慣性力は側壁を構成する各節点に発生する応答加速度に自重を乗じたものとする。東側壁と西側壁を比較した際に、西側壁のほうが埋戻土層厚が厚いことから、対象は西側壁とする。

4辺固定版の照査位置概念図を図4-20に示す。照査位置については、はり要素と同様に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査では解析モデル端部までを照査範囲とし、せん断破壊に対する照査では部材端部（支承前面）を照査範囲とする。

4辺固定版による評価については、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。

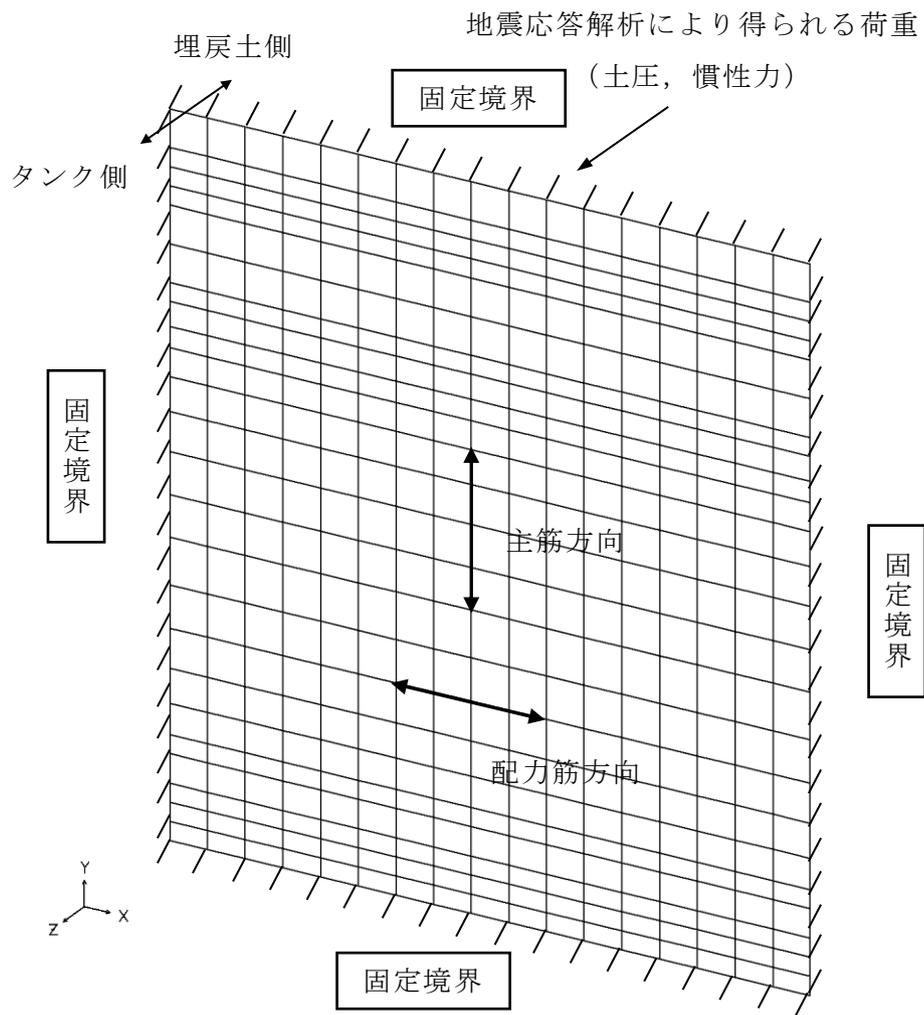


図 4-19 応力解析モデル図 (4 辺固定版)

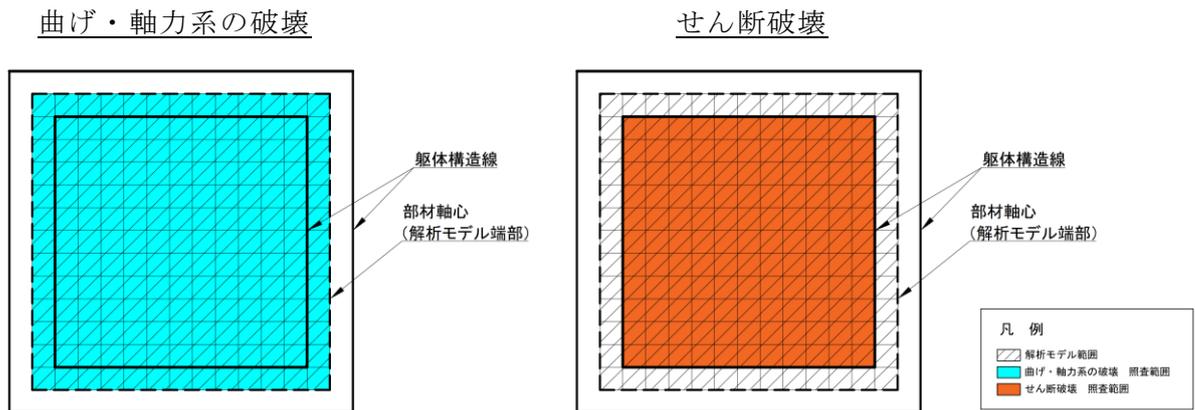


図 4-20 4 辺固定版の照査位置概念図

#### 4.3.3 剛域の設定の有無について

剛域については、一般に構造物の部材寸法に占める剛域長の割合が 10%程度以下であることから、構造物の地震時挙動及び耐震安全性評価に与える影響は軽微であると考えられるが、設定の有無により地震応答解析における応答値及び部材照査に少なからず影響を及ぼす可能性がある。具体的には、剛域を設定することで、構造物全体のせん断剛性が相対的に大きくなり、地震応答解析における応答値である変形を小さく評価する又は発生断面力を大きく評価する可能性がある。また、部材照査においては剛域内の断面力を無視できることから、保守的ではないが、合理的な部材照査を行うことができる。一方で、剛域部の要素分割が他の一般部と比較して細かくなりすぎる傾向もある。

以上を踏まえると、剛域の考慮の有無については構造物毎に適宜判断すればよいと考えられ、本構造物においては、部材厚が薄く要素分割が過度に細かくなるものが懸念されることから、剛域を考慮しない地震応答解析及び部材照査を実施することとする。

## 5. 評価結果

### 5.1 地震応答解析結果

全応力解析の地震応答解析結果として、断面力に対し照査を行っている項目のうち最も厳しい照査値に対する「断面力分布」を記載する。なお、断面力分布は単位奥行きあたりの断面力を図示する。

#### 5.1.1 解析ケース

##### (1) A-A断面

耐震評価における解析ケースについては、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「10. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における追加解析ケースの選定」に基づき設定する。

耐震評価においては、基準地震動  $S_s$  全波（6波）及びこれら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、基本ケース（解析ケース①）を実施する。基本ケースにおいて、曲げ・軸力系の破壊、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、解析ケース②及び③をする。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、解析ケース②及び③を実施する。

解析ケース②及び③を実施する地震動について、表5-1に示す。

なお、上記実施ケースの結果を踏まえ、照査値に十分な裕度を有することから、追加解析を実施しない。

表5-1 解析ケース②及び③を実施する地震動

断面	解析ケース②及び③を実施する地震動
A-A断面	$S_s - D (+ -)$

(2) B-B断面

B-B断面においては、地震応答解析結果から4辺固定版に作用させる荷重を選定する。4辺固定版に作用させる荷重は土圧及び慣性力であるため、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における荷重が構造物にとって最も厳しくなると考えられる。

基本ケース（解析ケース①）の各地震動の層間変位最大時刻における土圧分布図を図5-1に、総土圧の一覧表を表5-2示す。解析ケース①においては、最大土圧及び頂底版間での総土圧が最大となるS<sub>s</sub>-D（+-）を選定する。

また、地盤物性のばらつきの影響を確認するために、解析ケース①と解析ケース②及び③におけるS<sub>s</sub>-D（+-）の層間変位最大時刻における土圧分布及び総土圧を比較する。図5-2及び表5-3に示すとおり、最大土圧及び頂底版間での総土圧が最大となるのは解析ケース①である。

以上より、解析ケース①のS<sub>s</sub>-D（+-）を対象に、層間変位最大時刻における荷重を4辺固定版に作用させることとする。

なお、慣性力については最大でも2.24kN程度であり、耐震評価に与える影響が土圧に対して小さいことを確認した。

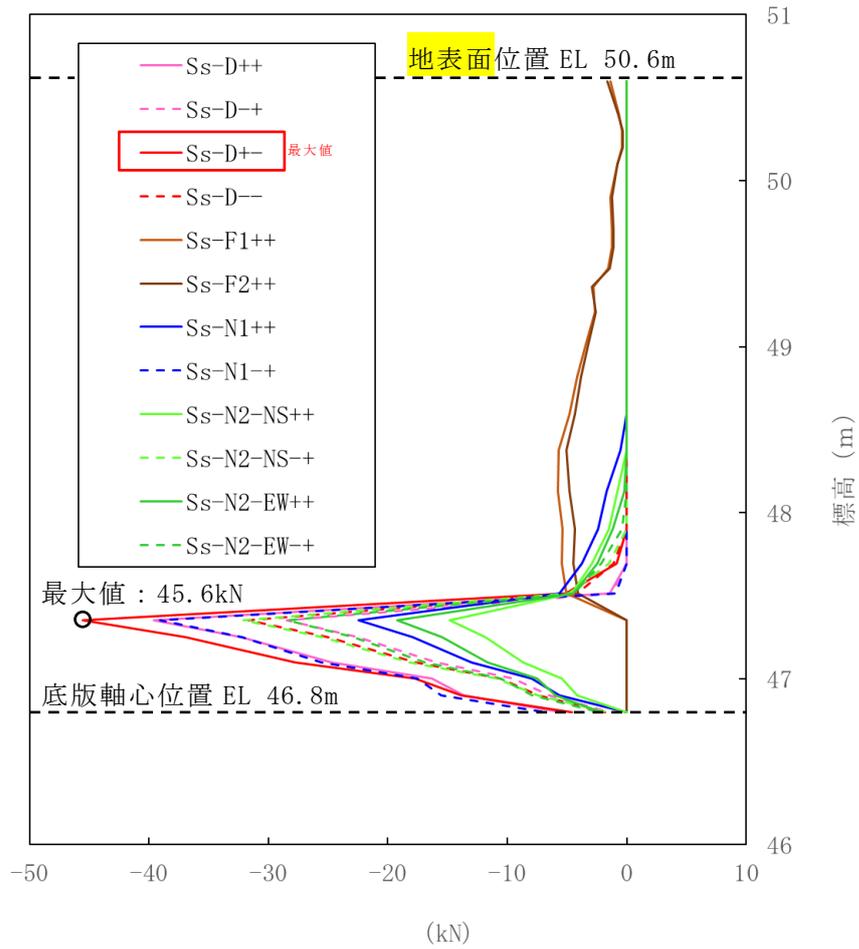


図 5-1 側壁に作用する土圧分布図（解析ケース①）

表 5-2 側壁に作用する総土圧（解析ケース①）

地震動	位相	総土圧 (kN)	地震動	位相	総土圧 (kN)
S <sub>s</sub> -D	++	134	S <sub>s</sub> -N1	++	81
	-+	86		-+	138
	+-	152	S <sub>s</sub> -N2 (NS)	++	55
	--	99		-+	102
S <sub>s</sub> -F1	++	54	S <sub>s</sub> -N2 (EW)	++	70
S <sub>s</sub> -F2	++	48		-+	96

注：ハッチングは最大値を示す。

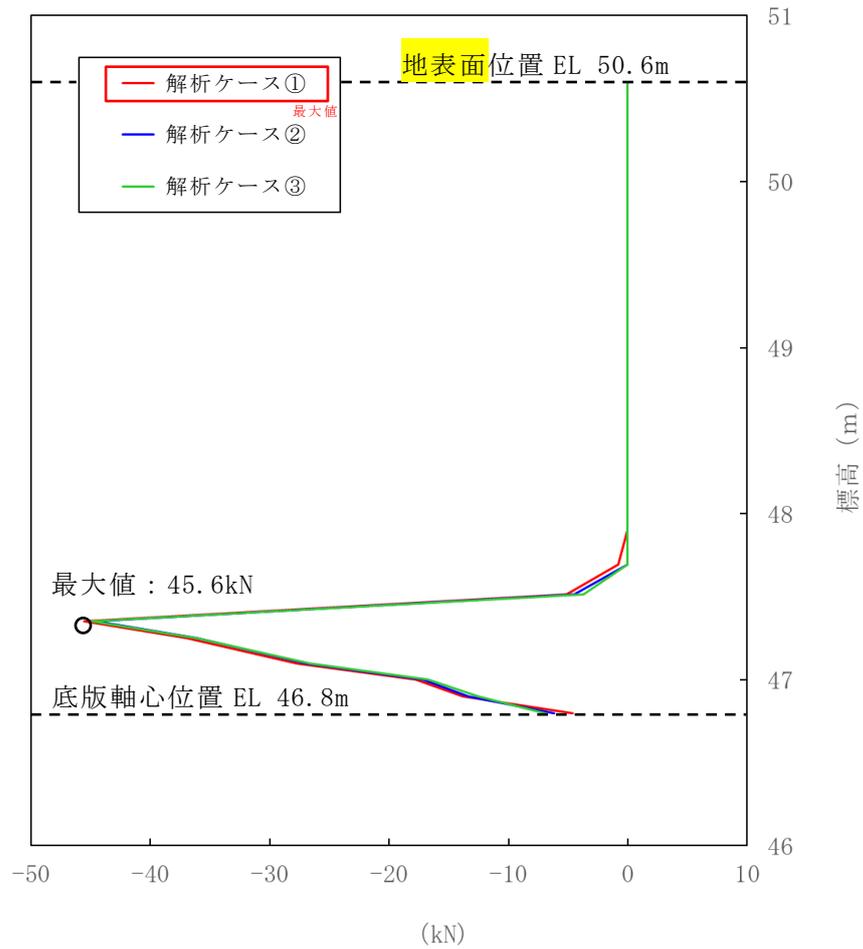


図 5-2 側壁に作用する土圧分布図の比較 (S s - D (+))

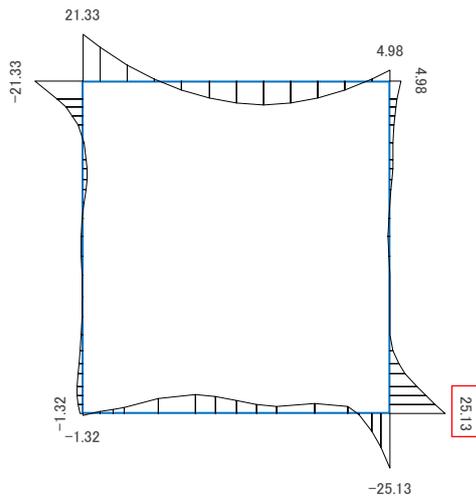
表 5-3 層間変位最大時刻における総土圧 (S s - D (+))

解析ケース	総土圧 (kN)
ケース①	152
ケース②	147
ケース③	145

注：ハッチングは最大値を示す。

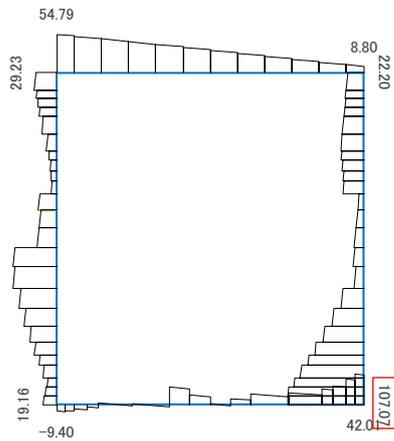
### 5.1.2 断面力分布（曲げ・軸力系の破壊に対する照査）（A-A断面）

曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図5-3及び図5-4に示す。



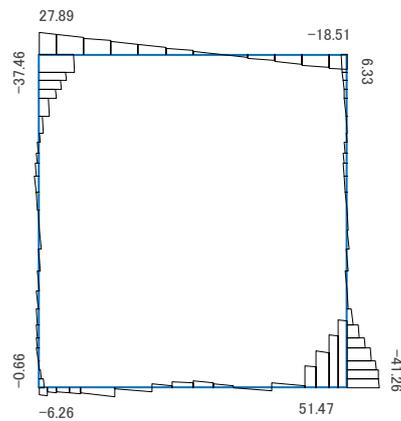
□ : 評価位置における断面力

(a) 曲げモーメント (kN・m)



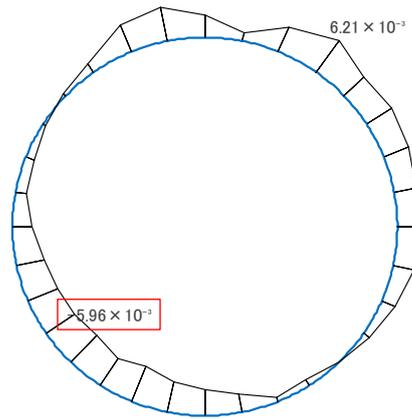
□ : 評価位置における断面力

(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



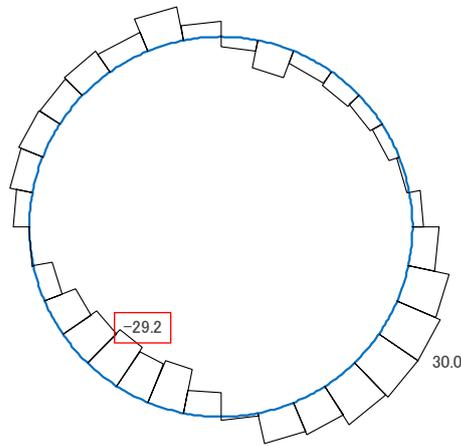
(c) せん断力 (kN)

図 5-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鉄筋コンクリート)  
(A-A断面, 解析ケース③, S s - D (+ -))



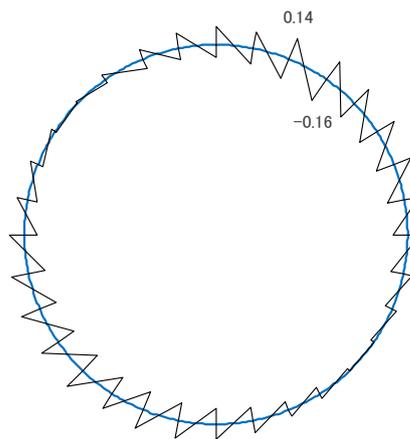
□ : 評価位置における断面力

(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)

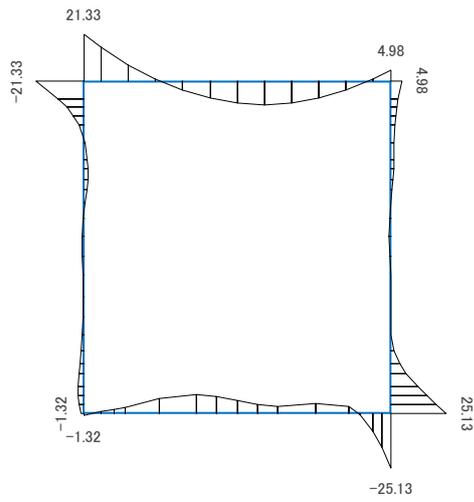


(c) せん断力 (kN)

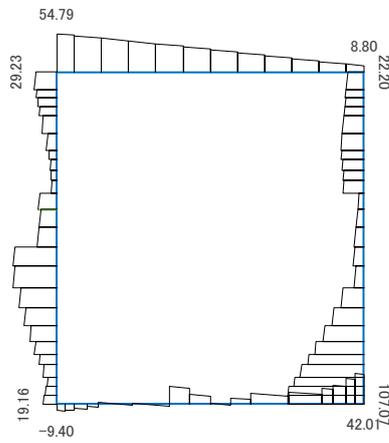
図 5-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鋼製タンク)  
(A-A断面, 解析ケース③, S s - D (+ -))

### 5.1.3 断面力分布（せん断破壊に対する照査）（A-A断面）

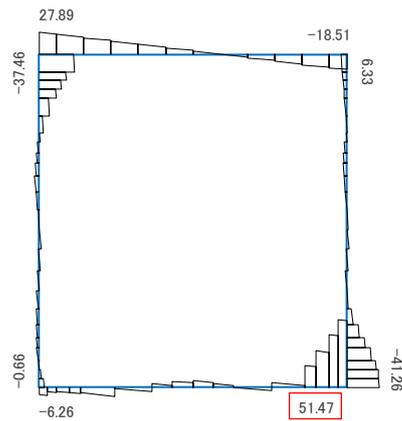
せん断破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図5-5及び図5-6に示す。



(a) 曲げモーメント (kN・m)



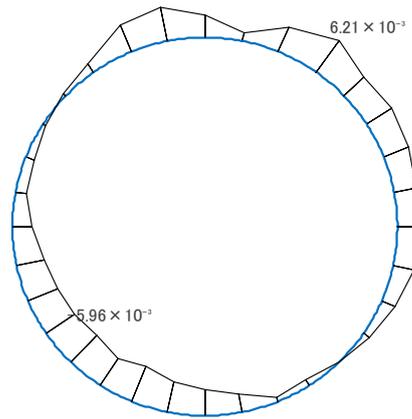
(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



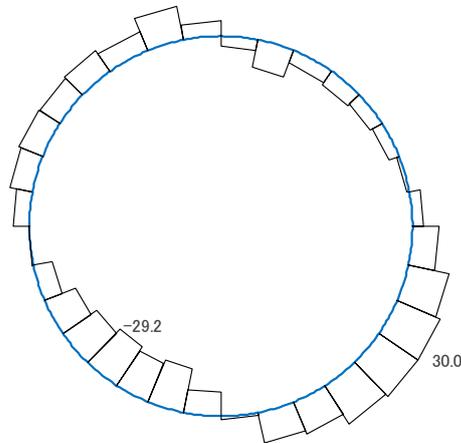
51.47 : 評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

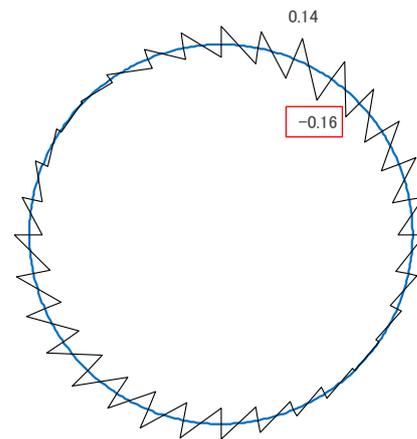
図 5-5 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鉄筋コンクリート)  
(A-A断面, 解析ケース③, S<sub>s</sub>-D (+-))



(a) 曲げモーメント (kN・m)



(b) 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



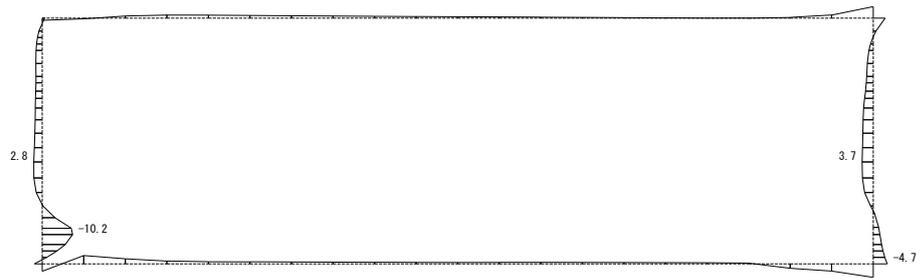
-0.16 : 評価位置における断面力

(c) せん断力 (kN)

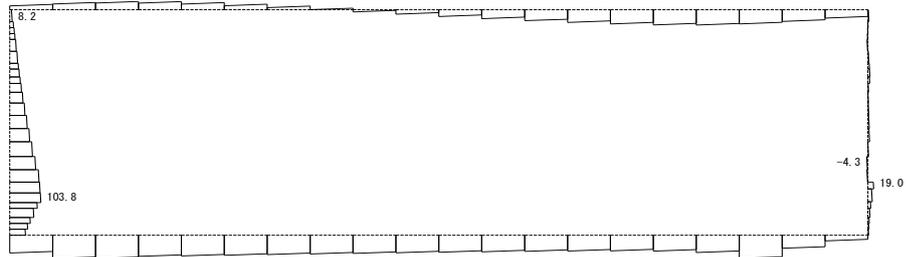
図 5-6 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図 (鋼製タンク)  
(A-A断面, 解析ケース③, S<sub>s</sub>-D (+-))

#### 5.1.4 断面力分布（層間変位最大時刻）（B－B断面）

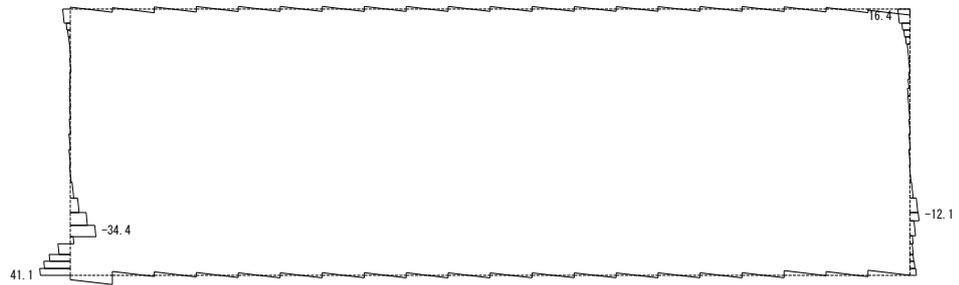
4辺固定版による評価を実施するB－B断面について、地震応答解析において頂底版間の層間変位が最大となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図5－7に示す。



(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 5-7 層間変位最大時刻における断面力図  
(B-B断面, 解析ケース①, S<sub>s</sub>-D (+-))

## 5.2 構造部材の健全性に対する評価結果

### 5.2.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

#### (1) A-A断面

構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-4～表5-6に示す。照査値は、応力度を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。同表のとおり、全ケースにおいて発生応力度は短期許容応力度を下回ることを確認した。

表5-4 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*		曲げ	軸力 (kN)	発生	短期許容	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
					モーメ ント (kN・m)		応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
①	S s - D	++	側壁	4	20.3	39.6	1.3	13.5	0.10
		+ -	側壁	3	19.0	28.0	1.2	13.5	0.09
	S s - F 1	++	側壁	4	16.9	31.7	1.0	13.5	0.08
	S s - F 2	++	側壁	4	19.3	35.3	1.2	13.5	0.09
	S s - N 1	++	側壁	4	18.3	28.1	1.1	13.5	0.09
	S s - N 2 (NS)	++	側壁	3	19.5	37.3	1.2	13.5	0.09
	S s - N 2 (EW)	++	側壁	4	19.6	37.4	1.2	13.5	0.09
②	S s - D	+ -	側壁	4	18.1	31.9	1.1	13.5	0.09
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5-8に示す。

表 5-5 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*		曲げ モーメ ント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
①	S s - D	++	頂版	1	20.4	36.5	25.3	264	0.10
		+ -	頂版	1	18.4	32.8	22.9	264	0.09
	S s - F 1	++	頂版	1	16.9	31.8	20.7	264	0.08
	S s - F 2	++	頂版	1	19.3	37.1	23.4	264	0.09
	S s - N 1	++	頂版	1	17.6	32.9	21.5	264	0.09
	S s - N 2 (N S)	++	頂版	1	19.5	35.8	24.0	264	0.10
	S s - N 2 (E W)	++	頂版	1	19.6	36.4	24.1	264	0.10
②	S s - D	+ -	頂版	1	18.1	32.6	22.4	264	0.09
③	S s - D	+ -	頂版	1	7.9	18.9	27.3	264	0.11

注記\*：評価位置は図 5-8 に示す。

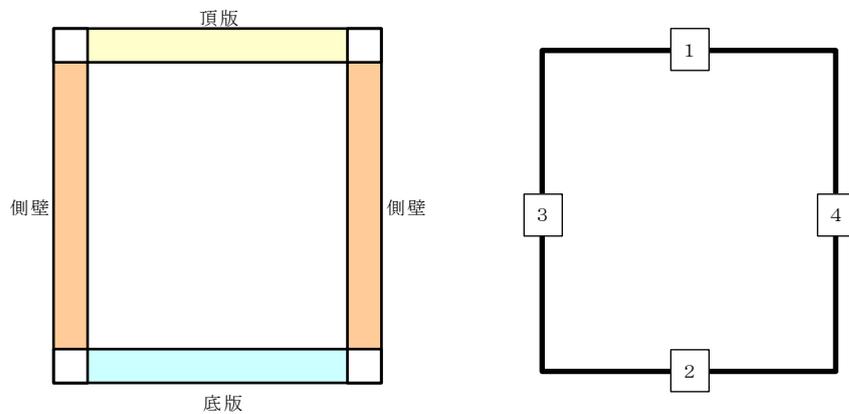


図 5-8 評価位置図（A - A 断面）

表 5-6 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（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 $\sigma_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_{max} / f_t$
①	S <sub>s</sub> -D	++	$5.05 \times 10^{-3}$	-26.4	3.3	235	0.02
		+ -	$5.47 \times 10^{-3}$	-24.9	3.2	235	0.02
	S <sub>s</sub> -F 1	++	$4.27 \times 10^{-3}$	-16.3	2.1	235	0.01
	S <sub>s</sub> -F 2	++	$3.87 \times 10^{-3}$	-19.9	2.5	235	0.02
	S <sub>s</sub> -N 1	++	$5.18 \times 10^{-3}$	-20.5	2.7	235	0.02
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	$4.40 \times 10^{-3}$	-18.4	2.4	235	0.02
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	$3.86 \times 10^{-3}$	-18.4	2.3	235	0.01
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	$5.06 \times 10^{-3}$	-20.7	2.7	235	0.02
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	$5.96 \times 10^{-3}$	-29.2	3.7	235	0.02

(2) B-B断面

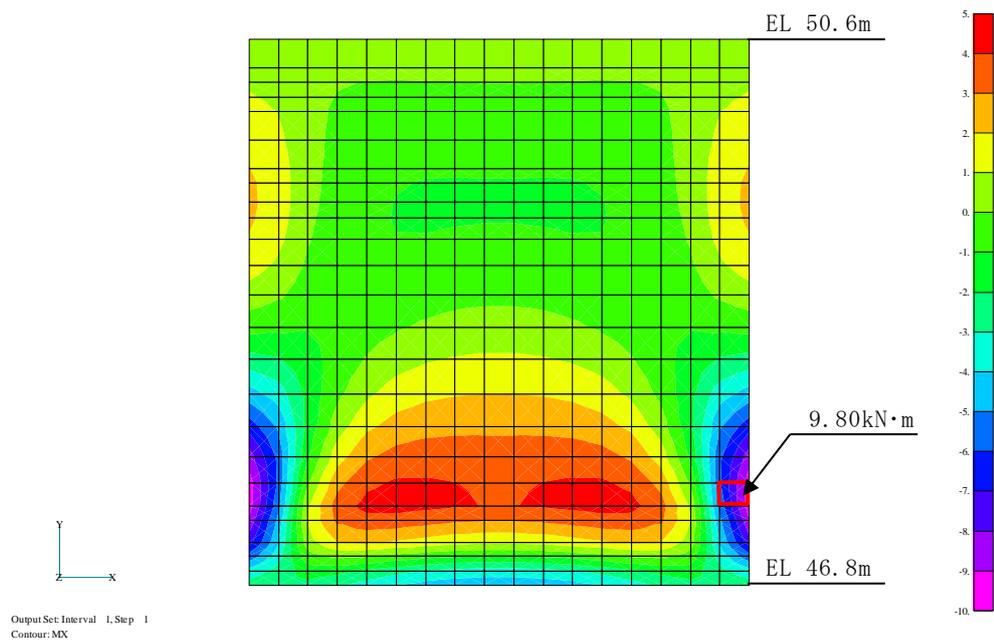
構造強度を有することの確認における曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表5-7及び表5-8に示す。また、4辺固定版における断面力図を図5-9及び図5-10に示す。同表のとおり、発生応力度は短期許容応力度を下回ることを確認した。

表5-7 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		方向	曲げ モーメ ント (kN・m)	発生 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{c a}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{c a}$
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

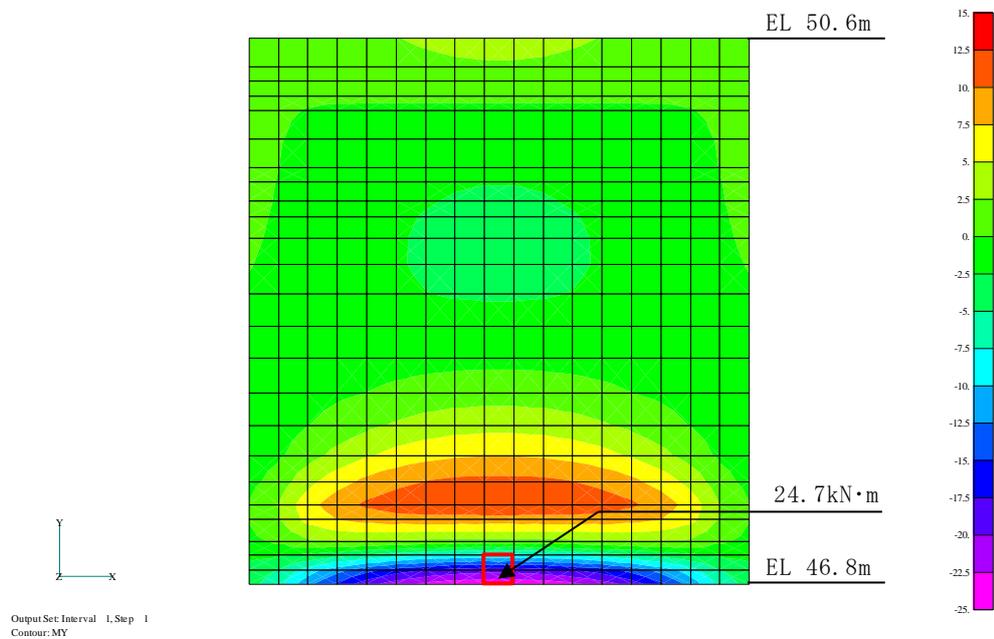
表 5-8 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果（鉄筋）

解析 ケース	地震動		方向	曲げ モーメ ント (kN・m)	発生 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
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



数値：評価位置における断面力  
 曲げモーメント  $M_x$  (kN・m)

図 5-9 4 辺固定版における断面力図 (B-B 断面, X 方向)



数値：評価位置における断面力  
 曲げモーメント  $M_y$  (kN・m)

図 5-10 4 辺固定版における断面力図 (B-B 断面, Y 方向)

### 5.2.2 せん断破壊に対する評価結果

#### (1) A-A断面

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表 5-9 及び表 5-10 に示す。照査値は、応力度を許容限界で除した値として時々刻々求め、全時刻において最大となる照査値を記載する。

同表より、全ケースにおいて発生応力度は短期許容応力度を下回ることを確認した。

表 5-9 せん断破壊に対する評価結果（鉄筋コンクリート）

解析 ケース	地震動		評価 位置*		発生	短期許容	照査値 $V/V_a$
					せん断力 V (kN/m)	せん断力 $V_a$ (kN/m)	
①	S s - D	++	頂版	1	34.4	180.8	0.20
			側壁	3	32.5	176.1	0.19
			底版	2	35.8	176.1	0.21
		+-	頂版	1	31.5	180.8	0.18
			側壁	3	34.5	176.1	0.20
			底版	2	41.1	176.1	0.24
	S s - F 1	++	頂版	1	27.5	180.8	0.16
			側壁	4	27.6	176.1	0.16
			底版	2	32.4	176.1	0.19
	S s - F 2	++	頂版	1	31.0	180.8	0.18
			側壁	4	31.5	176.1	0.18
			底版	2	32.5	176.1	0.19
	S s - N 1	++	頂版	1	29.0	180.8	0.17
			側壁	4	32.2	176.1	0.19
			底版	2	34.4	176.1	0.20
	S s - N 2 (NS)	++	頂版	1	32.3	180.8	0.18
			側壁	3	31.3	176.1	0.18
			底版	2	33.0	176.1	0.19
	S s - N 2 (EW)	++	頂版	1	32.4	180.8	0.18
			側壁	4	31.8	176.1	0.19
			底版	2	32.5	176.1	0.19
②	S s - D	+-	頂版	1	30.7	180.8	0.17
			側壁	3	33.0	176.1	0.19
			底版	2	37.1	176.1	0.22
③	S s - D	+-	頂版	1	32.1	180.8	0.18
			側壁	4	41.3	176.1	0.24
			底版	2	51.5	176.1	0.30

注記\*：評価位置は図 5-11 に示す。

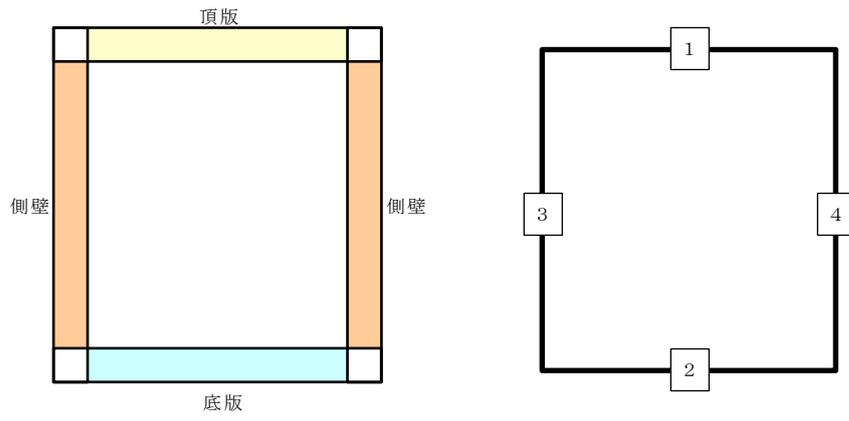


図 5-11 評価位置図 (A-A 断面)

表 5-10 せん断破壊に対する評価結果（鋼製タンク）

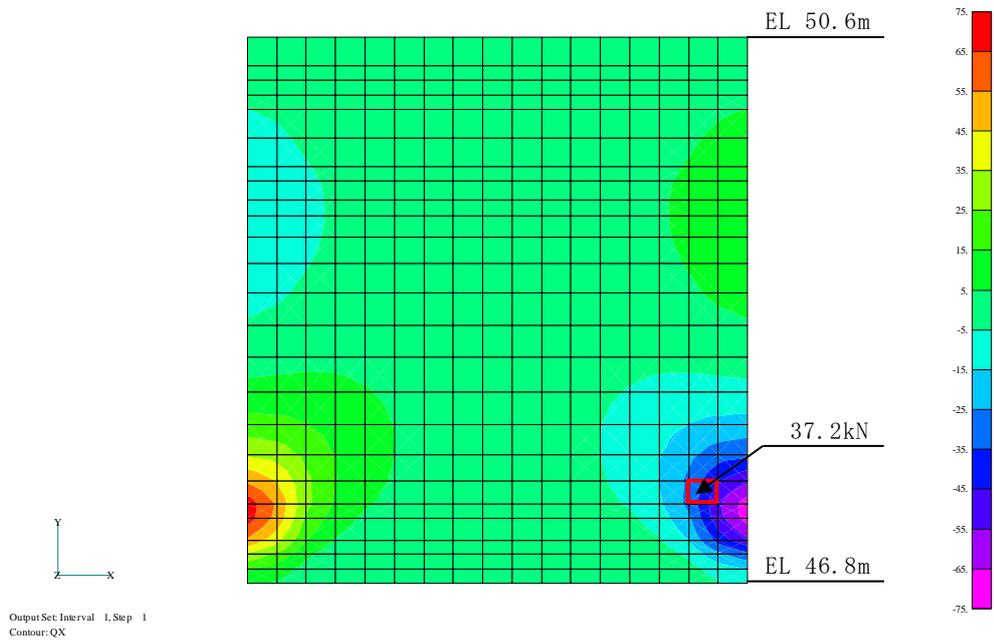
解析 ケース	地震動		発生せん断 応力度	短期許容応力度	照査値
			$\tau_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{max} / f_s$
①	S <sub>s</sub> -D	++	$1.67 \times 10^{-2}$	135	0.01
		+ -	$1.61 \times 10^{-2}$	135	0.01
	S <sub>s</sub> -F 1	++	$1.42 \times 10^{-2}$	135	0.01
	S <sub>s</sub> -F 2	++	$1.62 \times 10^{-2}$	135	0.01
	S <sub>s</sub> -N 1	++	$1.56 \times 10^{-2}$	135	0.01
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	$1.63 \times 10^{-2}$	135	0.01
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	$1.65 \times 10^{-2}$	135	0.01
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	$1.54 \times 10^{-2}$	135	0.01
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	$1.74 \times 10^{-2}$	135	0.01

(2) B-B断面

構造強度を有することの確認におけるせん断破壊に対する評価結果を表5-11に示す。また、4辺固定版における断面力図を図5-12及び図5-13に示す。同表より、発生応力度は短期許容応力度を下回ることを確認した。

表5-11 せん断破壊に対する評価結果

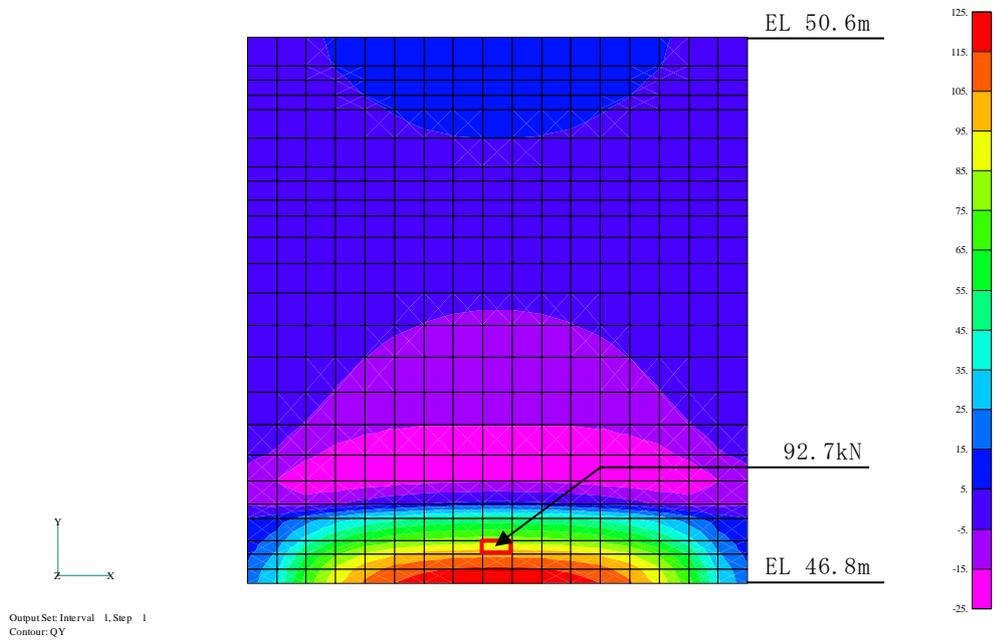
解析 ケース	地震動		方向	発生 せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 V <sub>a</sub> (kN/m)	照査値 V/V <sub>a</sub>
①	S <sub>s</sub> -D	+-	X方向 (配力筋方向)	37.2	176.1	0.22
			Y方向 (主筋方向)	92.7	176.1	0.53



数值：評価位置における断面力

せん断力  $Q_x$  (kN)

図 5-12 4 辺固定版における断面力図 (B-B 断面, X 方向)



数值：評価位置における断面力

せん断力  $Q_y$  (kN)

図 5-13 4 辺固定版における断面力図 (B-B 断面, Y 方向)

### 5.3 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 5-12 及び表 5-13 に示す。また、最大接地圧分布図を図 5-14 及び図 5-15 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、極限支持力度を下回ることを確認した。

表 5-12 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
①	S <sub>s</sub> -D	++	0.25	3.9	0.07
		+ -	0.25	3.9	0.07
	S <sub>s</sub> -F 1	++	0.23	3.9	0.06
	S <sub>s</sub> -F 2	++	0.24	3.9	0.07
	S <sub>s</sub> -N 1	++	0.24	3.9	0.07
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	0.25	3.9	0.07
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	0.25	3.9	0.07
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.26	3.9	0.07
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.25	3.9	0.07

表 5-13 基礎地盤の支持性能に対する照査結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 $R_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力度 $R_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $R_d/R_u$
①	S <sub>s</sub> -D	++	0.18	3.9	0.05
		-+	0.17	3.9	0.05
		+ -	0.18	3.9	0.05
		--	0.17	3.9	0.05
	S <sub>s</sub> -F 1	++	0.10	3.9	0.03
	S <sub>s</sub> -F 2	++	0.11	3.9	0.03
	S <sub>s</sub> -N 1	++	0.16	3.9	0.05
		-+	0.17	3.9	0.05
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	0.16	3.9	0.05
		-+	0.15	3.9	0.04
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	0.15	3.9	0.04
		-+	0.17	3.9	0.05
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.17	3.9	0.05
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.17	3.9	0.05

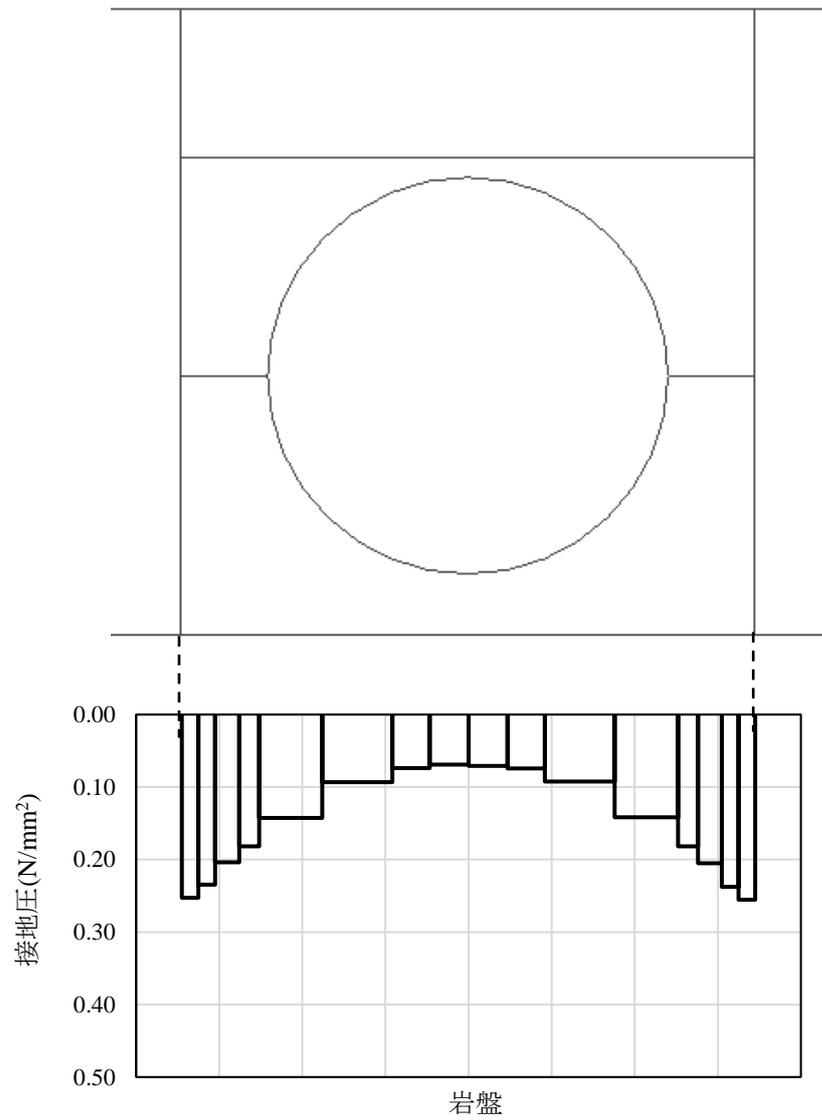


図 5-14 基礎地盤の最大接地圧分布図  
 (A-A断面, 解析ケース②, S<sub>s</sub>-D (+))

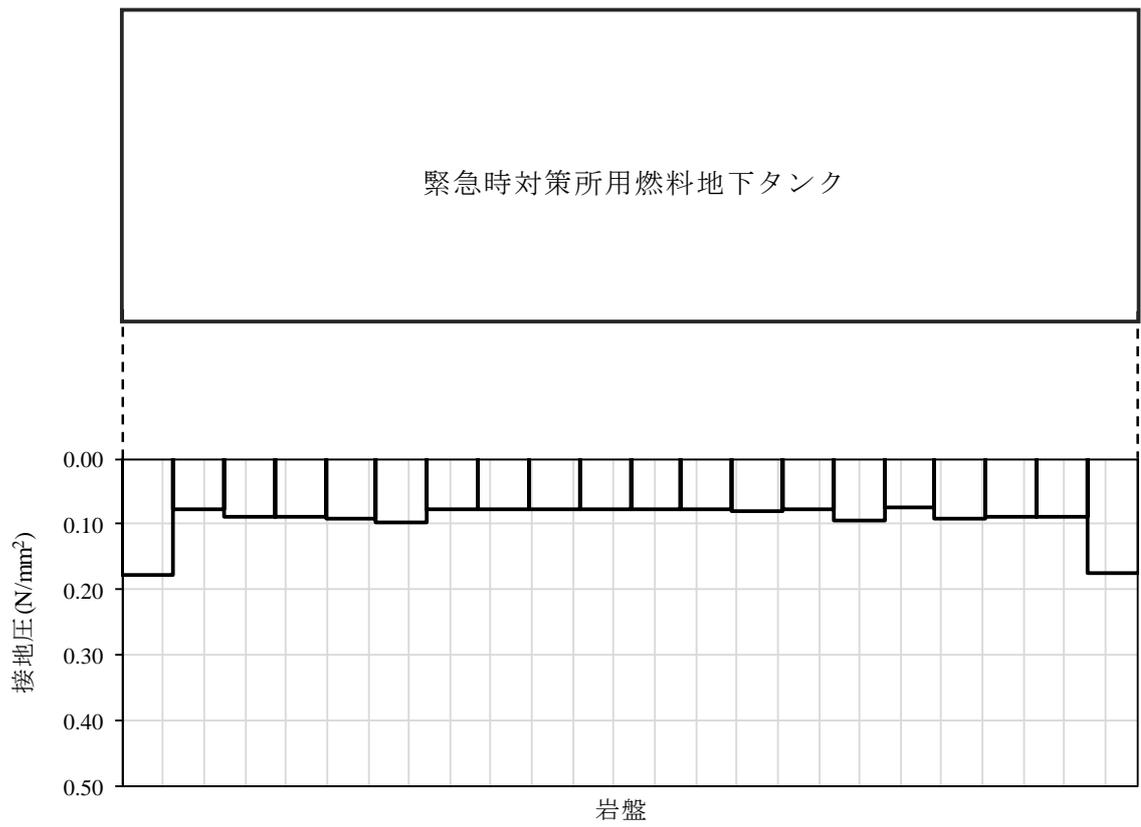


図 5-15 基礎地盤の最大接地圧分布図  
 (B-B断面, 解析ケース①, S<sub>s</sub>-D(++) )

## 6. まとめ

緊急時対策所用燃料地下タンクについては、基準地震動  $S_s$  による耐震評価として、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、発生応力が要求性能に応じた許容限界を下回ることを確認した。なお、A-A断面については、構造物周辺地盤を簡易なモデルとしていくことを踏まえ、照査値に十分な余裕を有することも併せて確認した。

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）が極限支持力度に基づく許容限界を下回ることを確認した。

以上から、緊急時対策所用燃料地下タンクは、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貯水機能相当を損なわないことを確認した。

## 参考資料 充填コンクリートの評価結果

### 1. 概要

緊急時対策所用燃料地下タンクに要求される機能を期待する部位は、鉄筋コンクリート躯体及び鋼製タンクであるが、当該箇所の評価においては充填コンクリートが健全であることが前提となるため、本資料では充填コンクリートの健全性について確認する。

### 2. 評価方針

本文において記載した地震応答解析結果に基づき、下式に示す局所安全係数に対する照査を実施する。局所安全係数は全時刻において最小となる値を記載する。なお、充填コンクリート（有筋）については、保守的に鉄筋に期待せず、無筋コンクリートとして評価を実施する。

$$f_s = R / S$$

ここに、 $f_s$  : 局所安全係数

R : 表 2-1 に示す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 2-1 充填コンクリートの許容限界

	評価項目	算定式	許容限界
充填コンクリート $f'_{ck} = 24.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$1/5 f'_{ck}$	4.80
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_{ck}^{2/3}$	1.91

### 3. 評価結果

充填コンクリートの健全性に対する評価結果を表 3-1 及び表 3-2 に、最大応力コンター図を図 3-1 及び図 3-2 に示す。全ての局所安全係数が 1.0 を上回ることから、充填コンクリートが健全であることを確認した。

表 3-1 充填コンクリートの健全性に対する評価結果（せん断破壊）

解析 ケース	地震動		せん断応力		局所安全係数 $f_s$
			S (N/mm <sup>2</sup> )	R (N/mm <sup>2</sup> )	
①	S <sub>s</sub> -D	++	0.16	4.80	30.1
		+ -	0.15	4.80	31.8
	S <sub>s</sub> -F 1	++	0.10	4.80	47.7
	S <sub>s</sub> -F 2	++	0.12	4.80	39.7
	S <sub>s</sub> -N 1	++	0.12	4.80	38.8
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	0.11	4.80	42.7
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	0.11	4.80	43.0
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.13	4.80	38.0
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.18	4.80	27.3

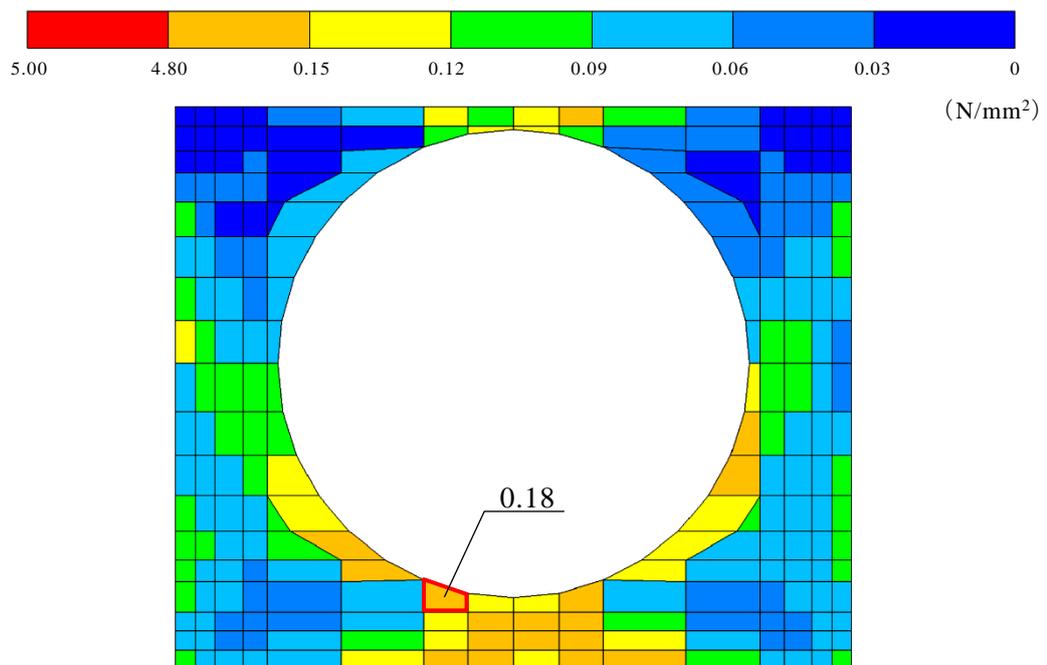


図 3-1 最大せん断応力コンター図 (S<sub>s</sub>-D (+ -), 解析ケース③)

表 3-2 充填コンクリートの健全性に対する評価結果（引張破壊）

解析 ケース	地震動		引張応力	引張強度	局所安全係数
			S (N/mm <sup>2</sup> )	R (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>s</sub>
①	S <sub>s</sub> -D	++	0.33	1.91	5.79
		+ -	0.31	1.91	6.12
	S <sub>s</sub> -F 1	++	0.19	1.91	9.87
	S <sub>s</sub> -F 2	++	0.25	1.91	7.72
	S <sub>s</sub> -N 1	++	0.25	1.91	7.79
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	0.22	1.91	8.50
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	0.23	1.91	8.31
②	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.25	1.91	7.50
③	S <sub>s</sub> -D	+ -	0.36	1.91	5.23

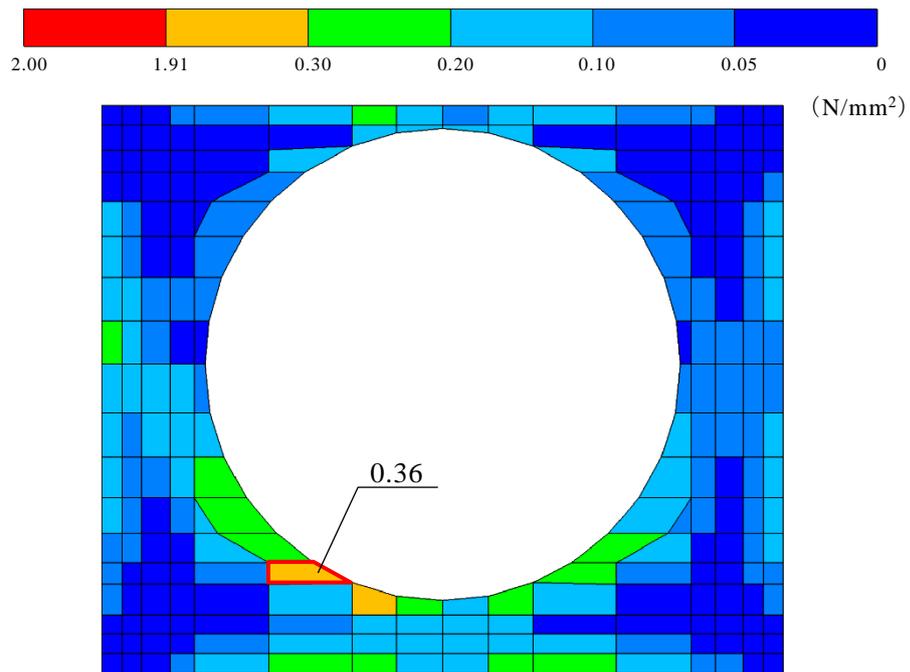


図 3-2 最大引張応力コンター図（S<sub>s</sub>-D（+ -），解析ケース③）