

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-26 改 01
提出年月日	2023年5月10日

屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書及び  
ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書に  
関する補足説明資料

2023年5月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1.	概要	1
2.	屋外配管ダクト(排気筒)の耐震評価	2
2.1	評価条件	2
2.1.1	適用規格	2
2.1.2	構造概要	3
2.1.3	評価対象断面の方向	9
2.1.4	評価対象断面の選定	10
2.1.5	使用材料及び材料の物性値	10
2.1.6	地盤物性値	11
2.1.7	評価構造物諸元	12
2.1.8	地下水位	13
2.1.9	耐震評価フロー	14
2.2	地震応答解析	15
2.2.1	地震応答解析手法	15
2.2.2	地震応答解析モデルの設定	18
2.2.3	減衰定数	30
2.2.4	荷重及び荷重の組合せ	36
2.2.5	地震応答解析の解析ケース	39
2.3	評価内容	42
2.3.1	入力地震動の設定	42
2.3.2	許容限界の設定	55
2.4	評価結果	80
2.4.1	地震応答解析結果	80
2.4.2	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	86
2.4.3	せん断破壊に対する評価結果	87
2.4.4	基礎コンクリートの支持性能に対する評価結果	93
3.	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震評価	94
3.1	評価条件	94
3.1.1	構造概要	94
3.1.2	評価対象断面の選定	100
3.1.3	評価構造物諸元	101
3.1.4	機器・配管荷重	102
3.2	評価結果	104
3.2.1	地震応答解析結果	104
3.2.2	曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	110

今回提出範囲：

3.3.3	せん断破壊に対する評価結果	111
4.	まとめ	117
参考資料 1	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）の耐震性について	
参考資料 2	せん断破壊に対する照査への線形被害則適用について	

1. 概要

屋外配管ダクト（排気筒）は、表 1-1 に示す S クラス施設の間接支持構造物であり、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、基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室については、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、表 1-2 に示す上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する。

なお、屋外配管ダクト（排気筒）及びディーゼル燃料貯蔵タンク室は建物・構築物に分類されるが、地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であるため、「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」に準拠した評価を実施する。

表 1-1 S クラス施設一覧

屋外配管ダクト（排気筒）が間接支持する S クラス施設の一覧
非常用ガス処理系配管
A-ディーゼル燃料移送ポンプ電線管
高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送ポンプ電線管
A-ディーゼル燃料移送配管
高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送配管

表 1-2 上位クラス施設一覧

波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設	波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	ディーゼル燃料貯蔵タンク室
高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料貯蔵タンク	
A-ディーゼル燃料移送配管	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送配管	
屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	
屋外配管ダクト（排気筒）	

## 2. 屋外配管ダクト(排気筒)の耐震評価

### 2.1 評価条件

#### 2.1.1 適用規格

屋外配管ダクト(排気筒)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。), 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987(社団法人日本電気協会 電気技術基準調査委員会)(以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。)を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊の許容限界の一部については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(2005年6月 土木学会 原子力土木委員会)(以下「土木学会マニュアル2005」という。)及びコンクリート標準示方書2002を適用する。

表2-1に適用する規格, 基準類を示す。

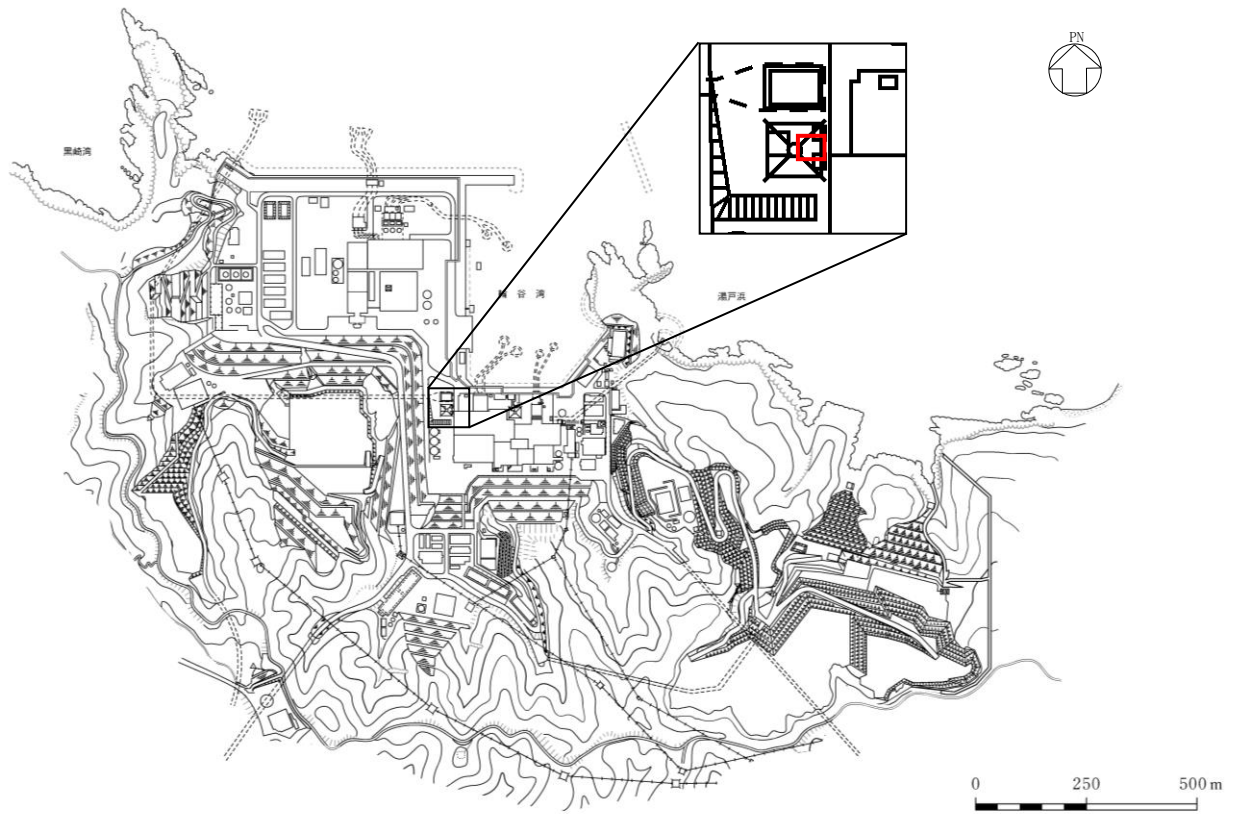
表2-1 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準値	備考
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	土木学会マニュアル2005	曲げ・軸力系の破壊に対する照査は, 発生ひずみが限界ひずみ(圧縮縁コンクリートひずみ1.0%)以下であることを確認 せん断破壊に対する照査は, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認
地震応答解析	J E A G 4 6 0 1 -1987	有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

### 2.1.2 構造概要

屋外配管ダクト(排気筒)の位置図を図 2-1 に，平面図を図 2-2 に，**周辺状況**  
**平面図**を図 2-3 に，**断面図**を図 2-4 に，概略配筋図を図 2-5 に，安全対策工事に伴う掘削範囲図を図 2-6 に，評価対象断面位置図を図 2-7 に示す。

屋外配管ダクト(排気筒)は S クラス施設（非常用ガス処理系配管等）を間接支持する鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，**基礎コンクリート**を介して，同じく S クラス施設の間接支持構造物である排気筒基礎に支持される。



□ : 屋外配管ダクト(排気筒)

図 2-1 屋外配管ダクト(排気筒) 位置図

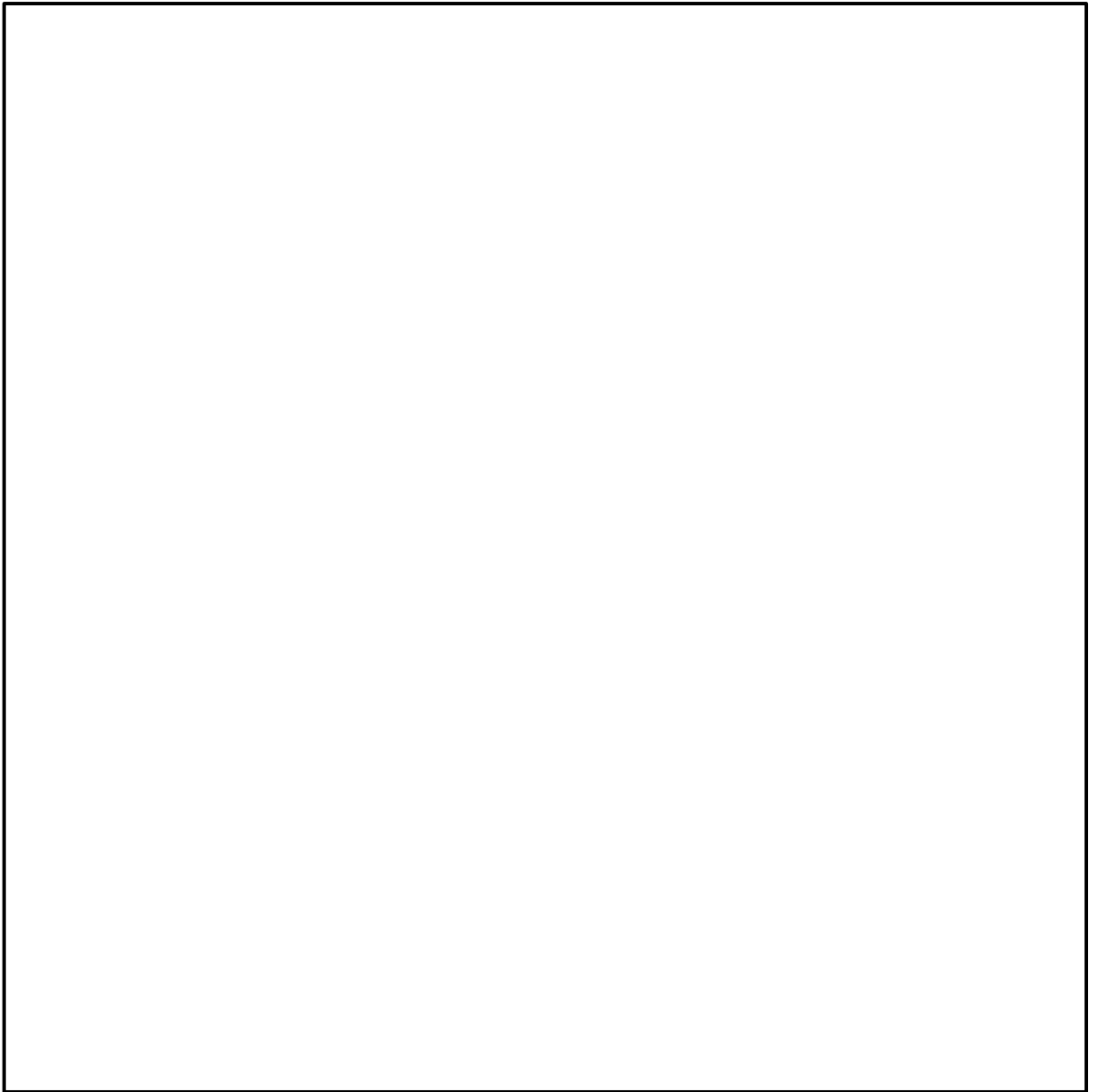


図 2-2 屋外配管ダクト(排気筒) 平面図



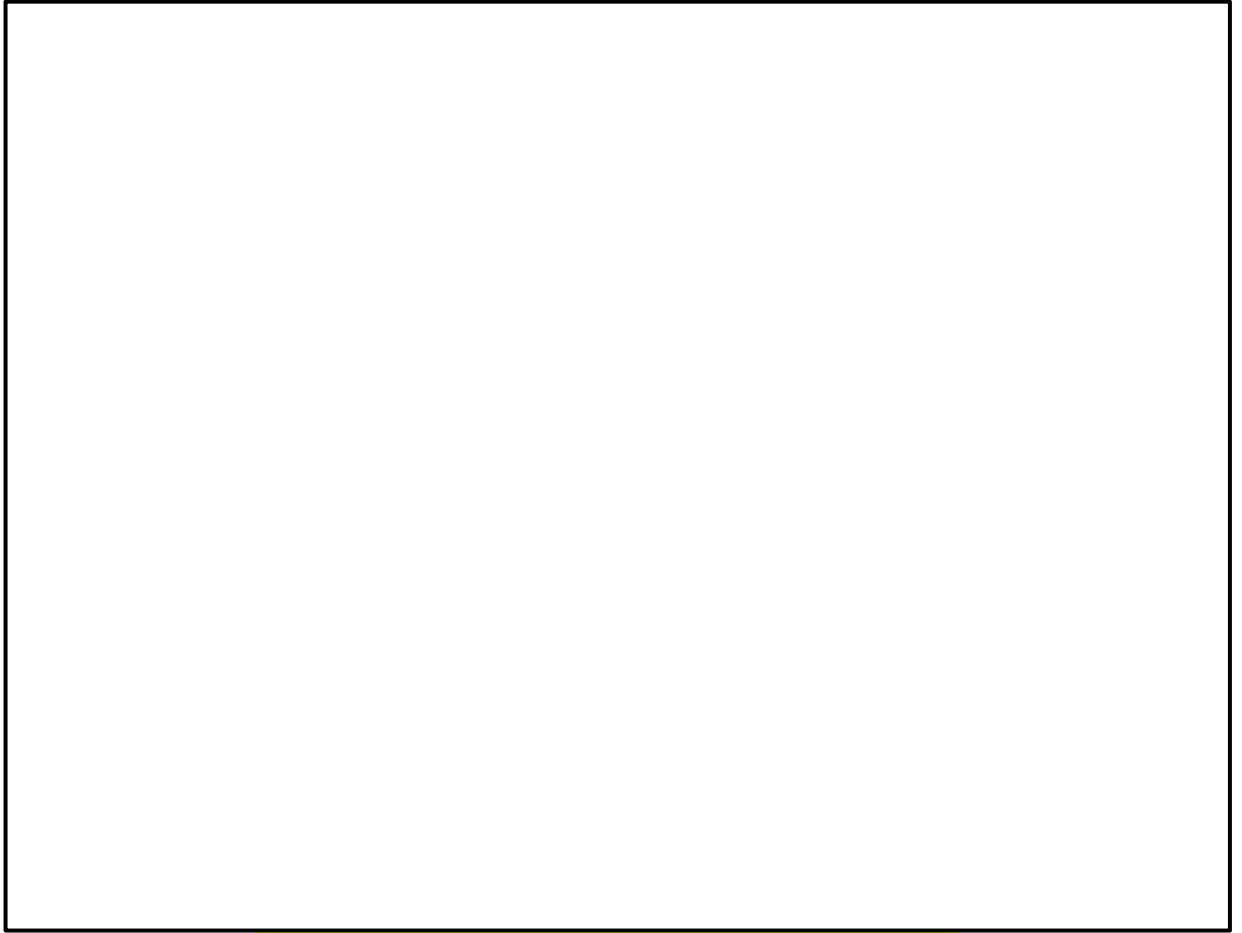


図 2-3 屋外配管ダクト(排気筒) 周辺状況平面図



図 2-4 屋外配管ダクト(排気筒) 断面図 (A-A断面)

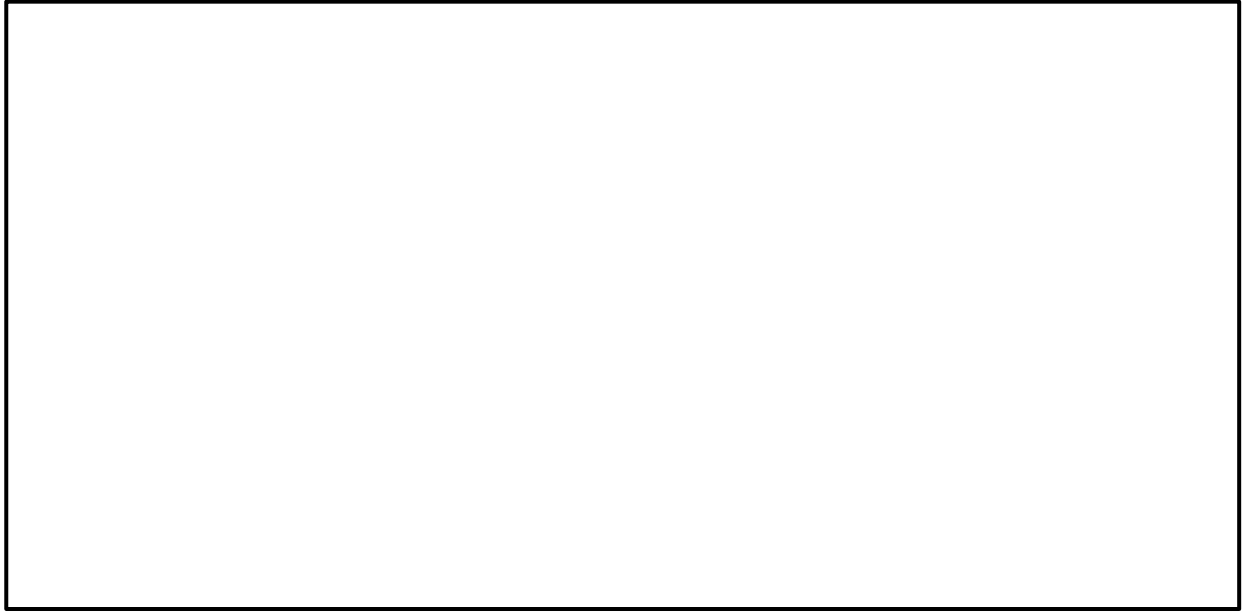


図 2-5 屋外配管ダクト(排気筒) 概略配筋図 (A-A断面)

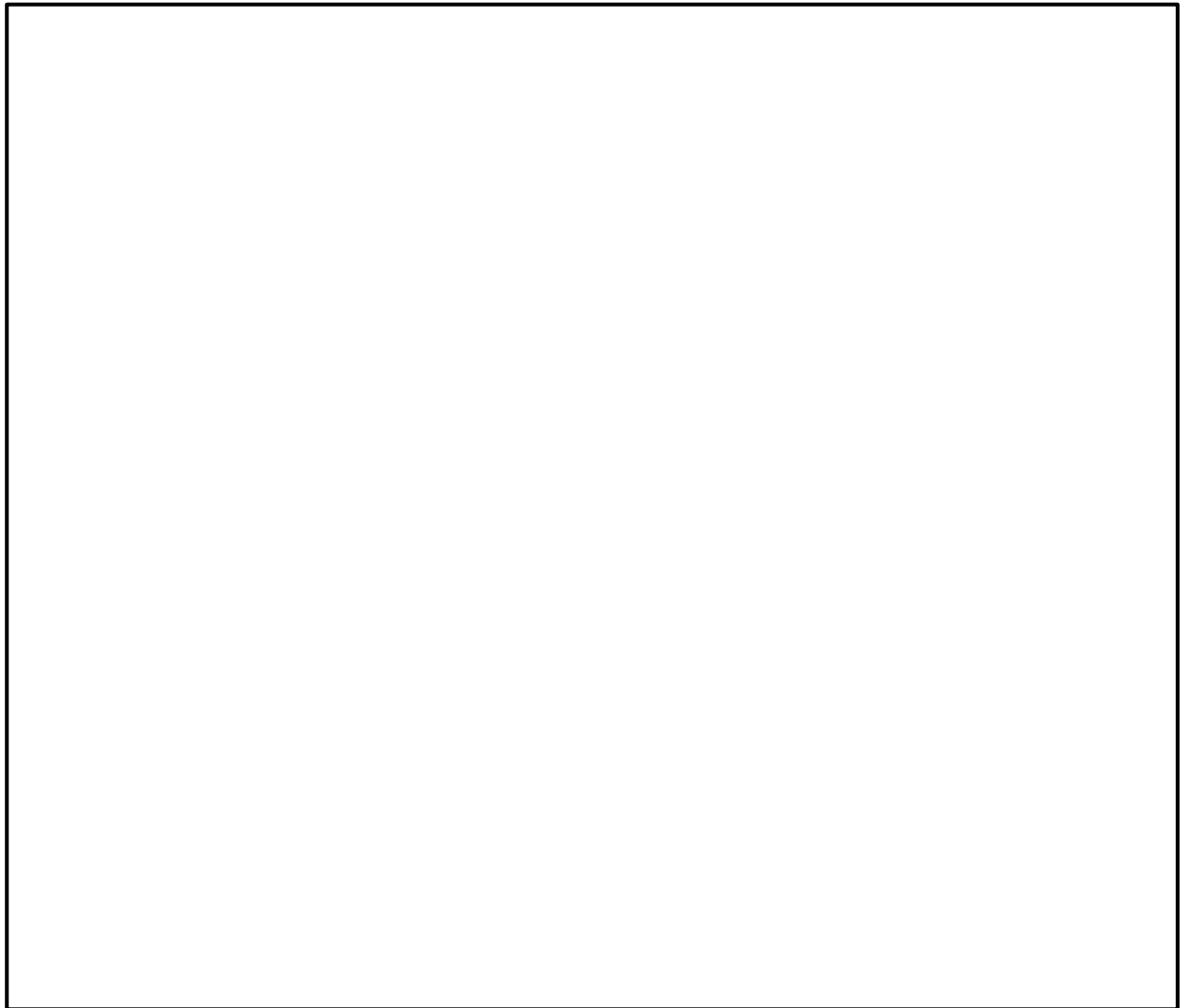
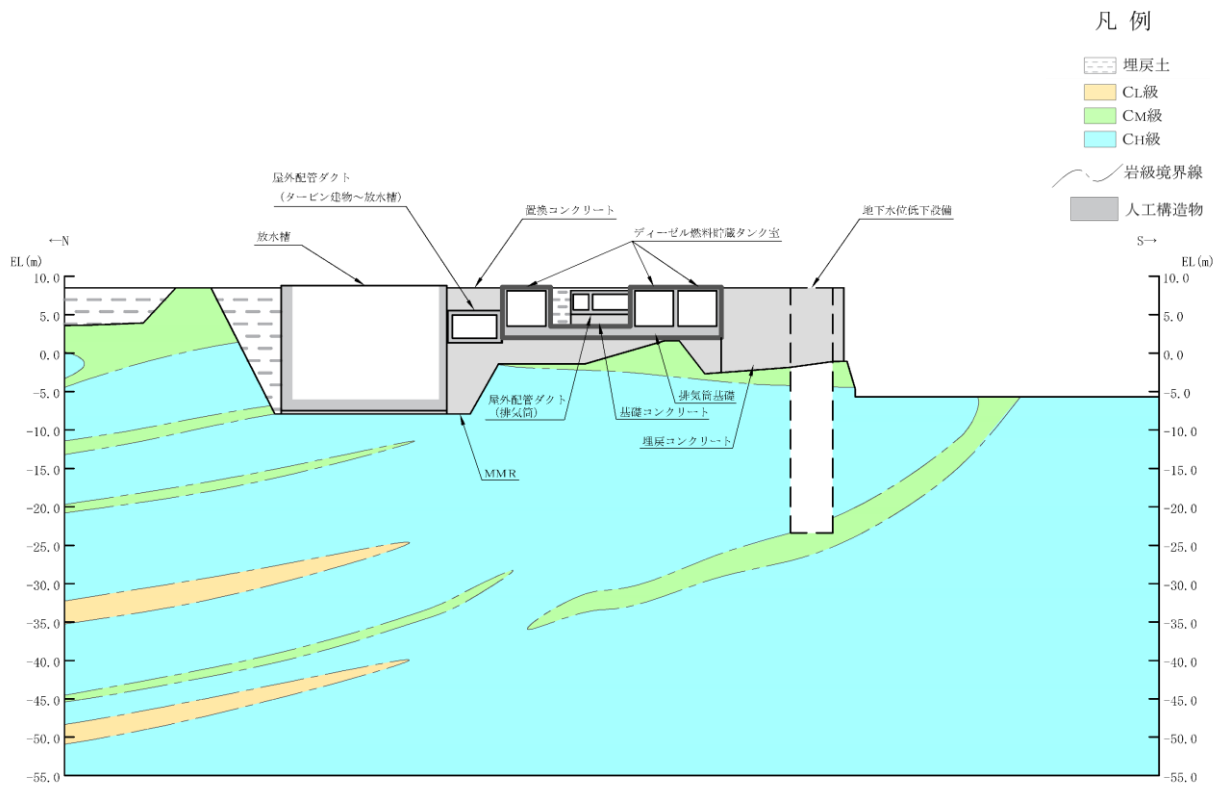
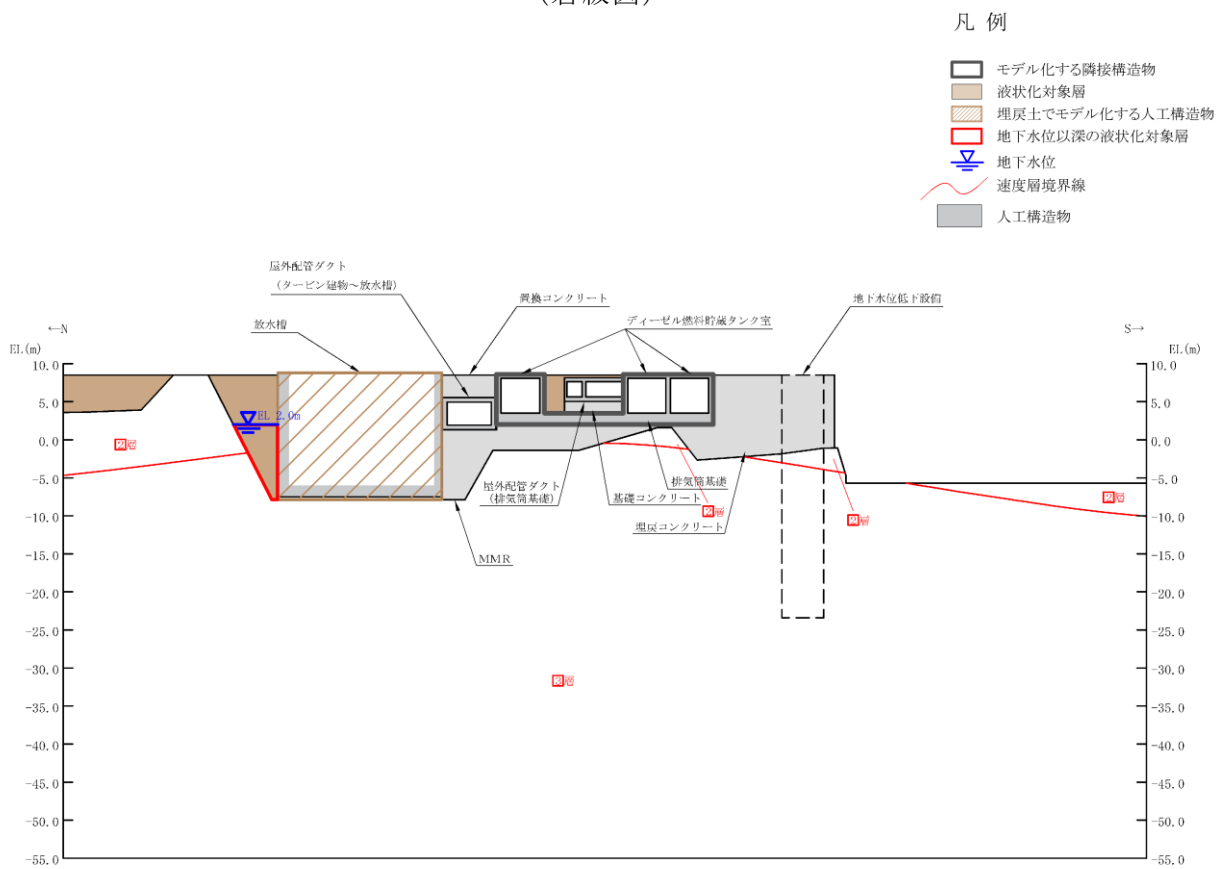


図 2-6 安全対策工事に伴う掘削範囲図



(岩級図)



(速度層図)

図 2-7 屋外配管ダクト(排気筒) 評価対象断面図 (A-A断面位置)

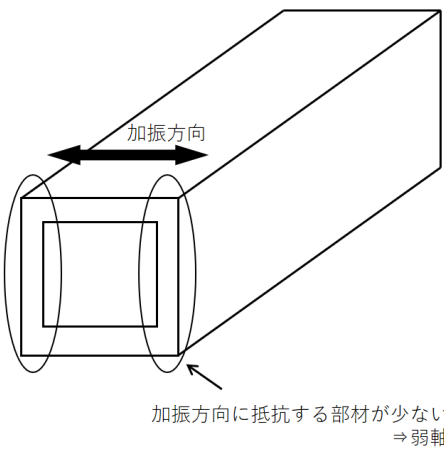
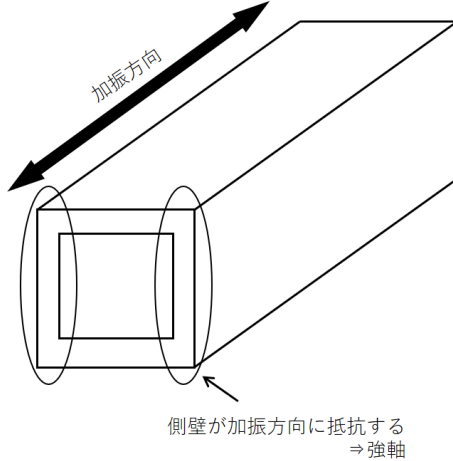
### 2.1.3 評価対象断面の方向

評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表 2-2 に示す。

管軸方向（延長方向）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壁の厚さの割合が大きくなり，側壁が耐震要素として機能する。管軸直交方向（横断方向）は，耐震要素として機能する面部材が少ない。

なお，同一ダクト内での部材厚や配筋についてはおおむね同一であり，屋外配管ダクト（排気筒）の横断方向断面を評価対象断面として選定する。

表 2-2 屋外配管ダクト（排気筒）の評価対象断面の方向の選定

	管軸直交方向（横断方向）	管軸方向（延長方向）
屋外配管ダクト（排気筒）	 <p>加振方向に抵抗する部材が少ない ⇒ 弱軸</p>	 <p>側壁が加振方向に抵抗する ⇒ 強軸</p>
	管軸直交方向は，加振方向に平行な壁部材がなく，弱軸方向にあたる。	管軸方向は，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，強軸方向にあたる。
弱軸方向を評価対象断面とする。		

#### 2.1.4 評価対象断面の選定

評価対象構造物である屋外配管ダクト(排気筒)の弱軸方向断面として、内空幅の広い区間であるA-A断面を選定する。

#### 2.1.5 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表2-3に、材料の物性値を表2-4に示す。

表2-3 使用材料

材料		仕様
構造物 (鉄筋コンクリート)	構造部材	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 15.6N/mm <sup>2</sup>
基礎コンクリート		
埋戻コンクリート		
置換コンクリート		

表2-4 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
構造物 (鉄筋コンクリート)	2.33×10 <sup>4</sup>	24.0* <sup>1</sup>	0.2
MMR	2.08×10 <sup>4</sup>	22.6* <sup>2</sup>	
基礎コンクリート			
埋戻コンクリート			
置換コンクリート			

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。

### 2.1.6 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2-5及び表2-6に示す。

表2-5 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2-6 地盤の解析用物性値（埋戻土）

		解析用物性値
		埋戻土
物理特性	密度 $\rho_s$ (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。

2.1.7 評価構造物諸元

屋外配管ダクト(排気筒)の諸元を表 2-7 に評価部位を図 2-8 に示す。

表 2-7 評価部位とその仕様(A-A断面)

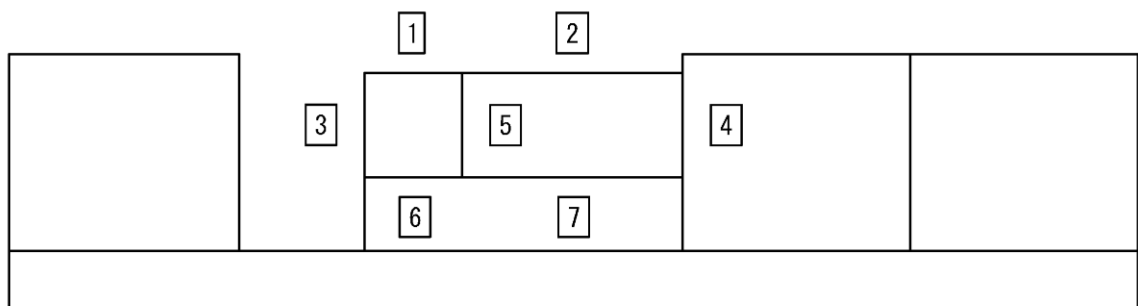
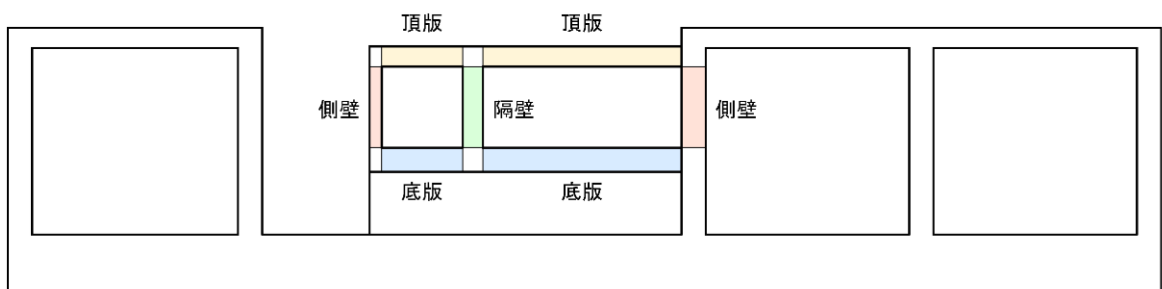
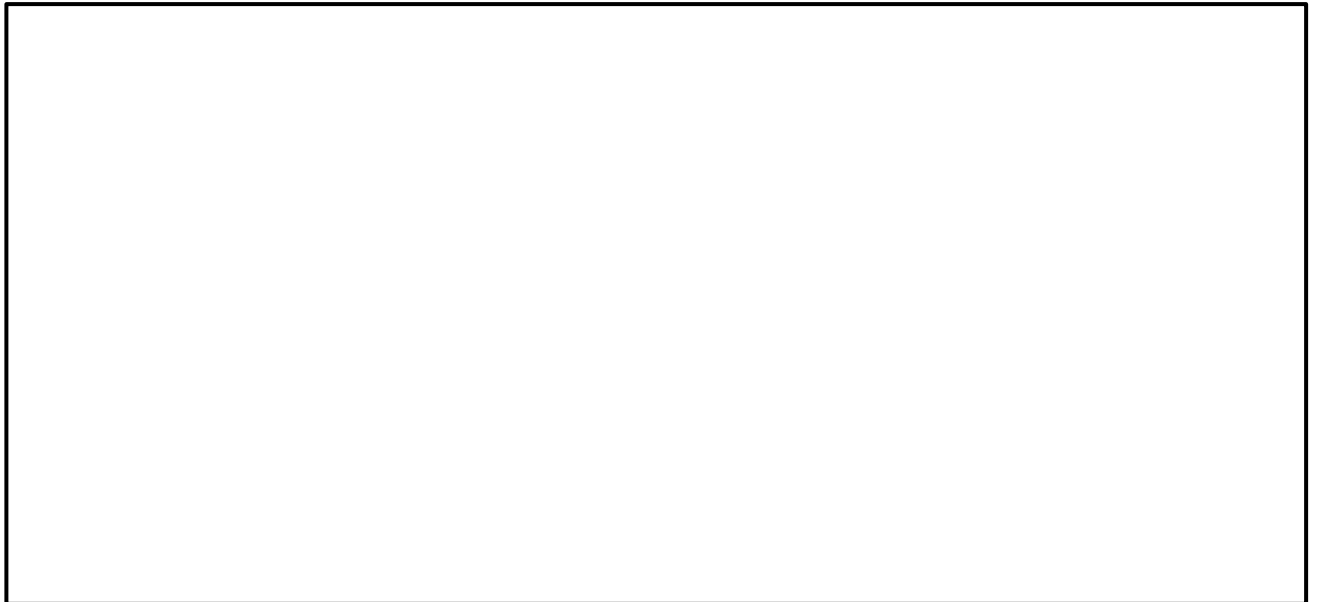


図 2-8 評価部位位置図

### 2.1.8 地下水位

設計地下水位は屋外配管ダクト(排気筒)が設置される排気筒基礎の設計地下水位とし、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2-8に示す。

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)
屋外配管ダクト(排気筒) (排気筒基礎の設計地下水位を使用)	A-A断面	2.0



### 2.1.9 耐震評価フロー

屋外配管ダクト(排気筒)の耐震評価フローを図2-9に示す。

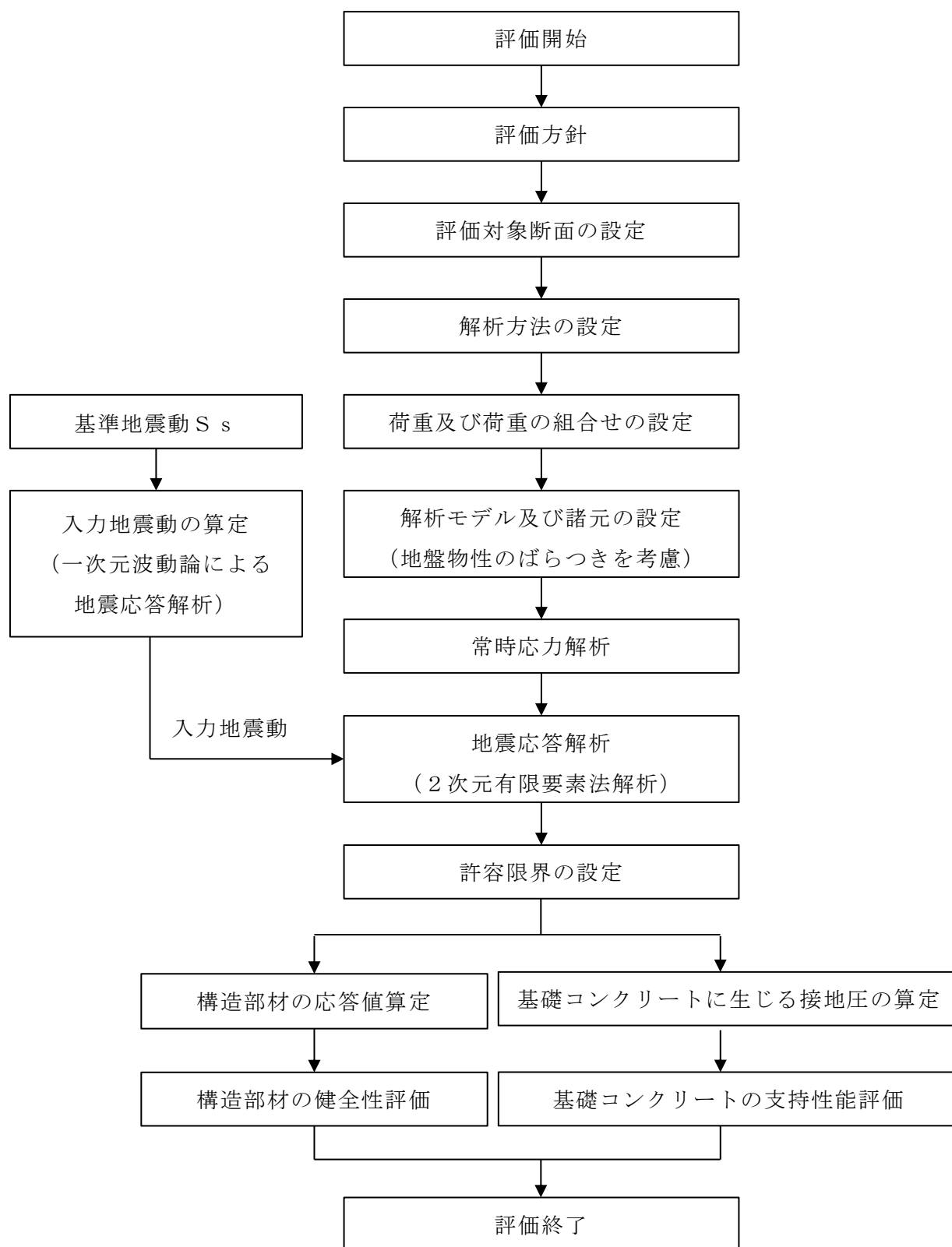


図2-9 屋外配管ダクト(排気筒)の耐震評価フロー

## 2.2 地震応答解析

### 2.2.1 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2-10に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。

屋外配管ダクト(排気筒)周辺の地下水位が屋外配管ダクト(排気筒)下端より低いことから、解析手法は「①全応力解析」とする。

構造部材については、ファイバーモデルで考慮する。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、無筋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2-11に示す。

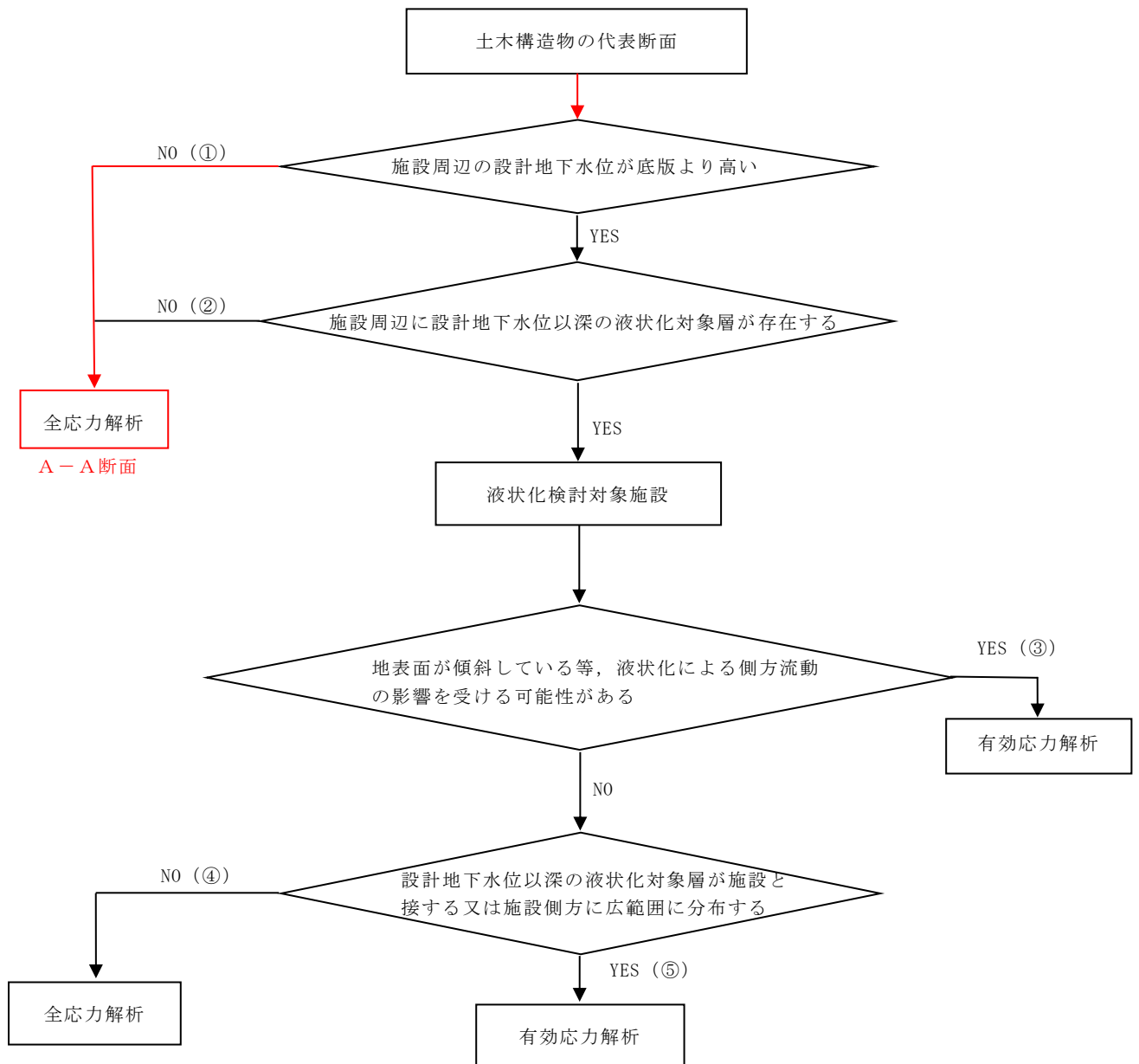


図 2-10 解析手法の選定フロー

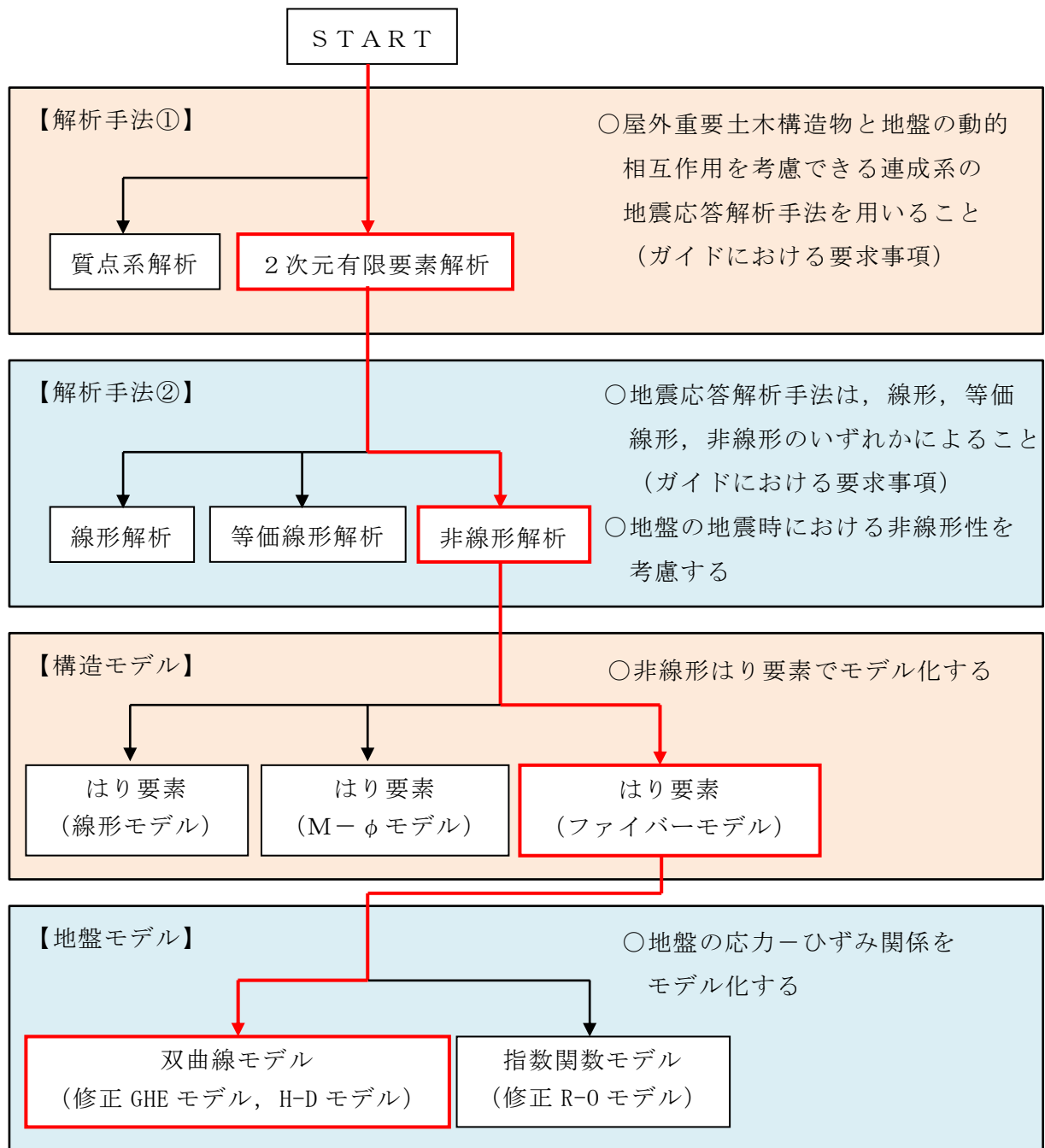


図 2-11 地震応答解析手法の選定フロー

## 2.2.2 地震応答解析モデルの設定

### (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2-12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。

屋外配管ダクト(排気筒)の解析モデル領域については、屋外配管ダクト(排気筒)を基礎コンクリートを介して支持する排気筒の基礎幅を踏まえて設定する。

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。

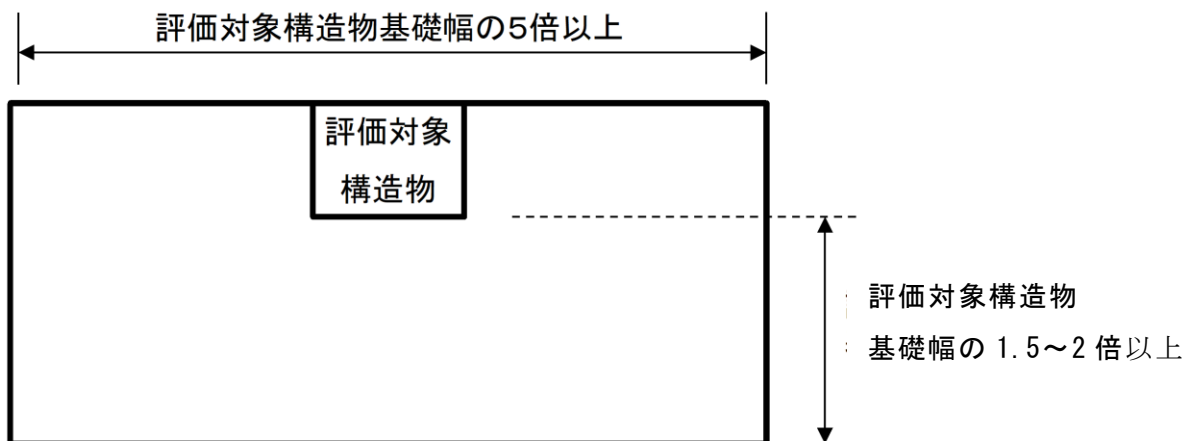


図2-12 モデル化範囲の考え方

(2) 境界条件

a. 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 2-13 に示す。

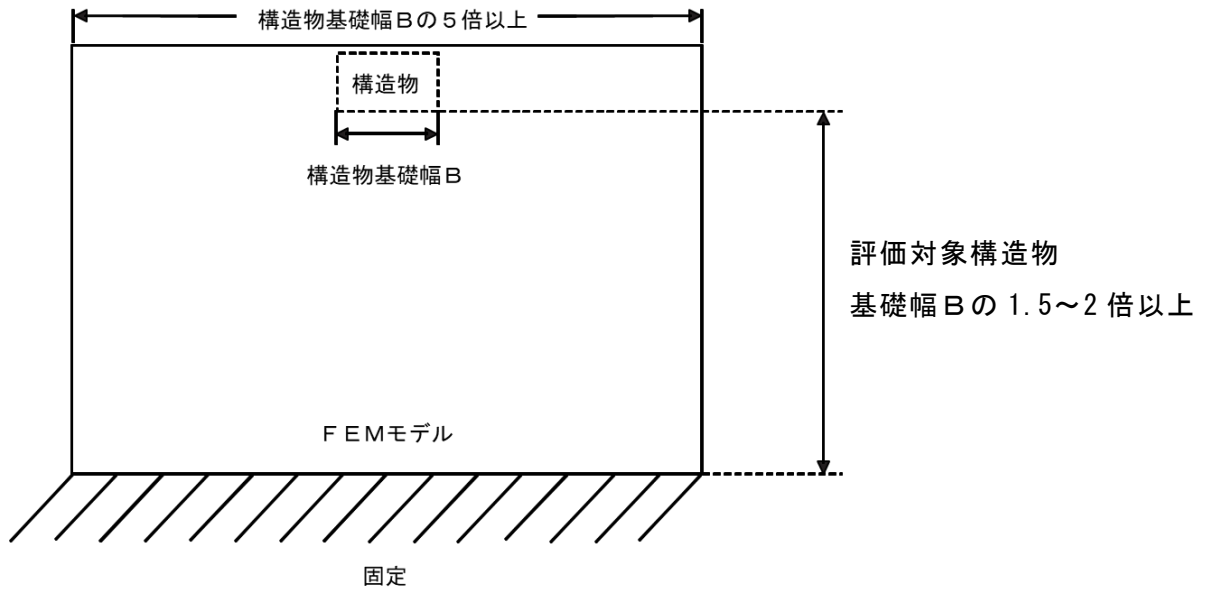


図 2-13 固有値解析における境界条件の概念図

b. 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 2-14 に示す。

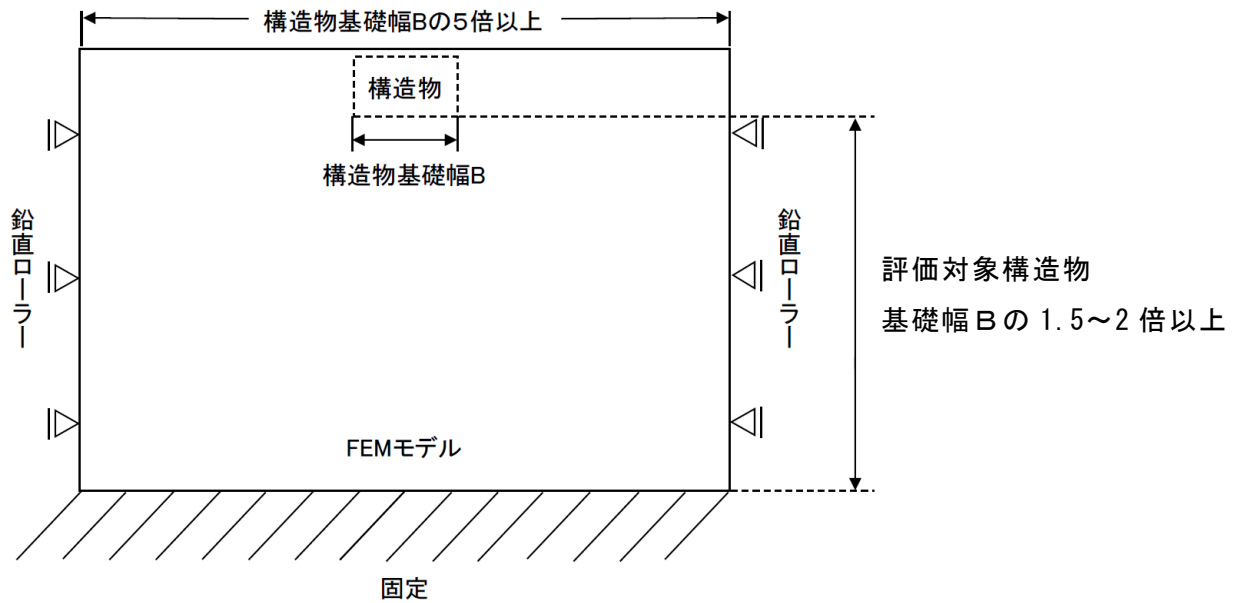


図 2-14 常時応力解析における境界条件の概念図

c. 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 2-15 に示す。

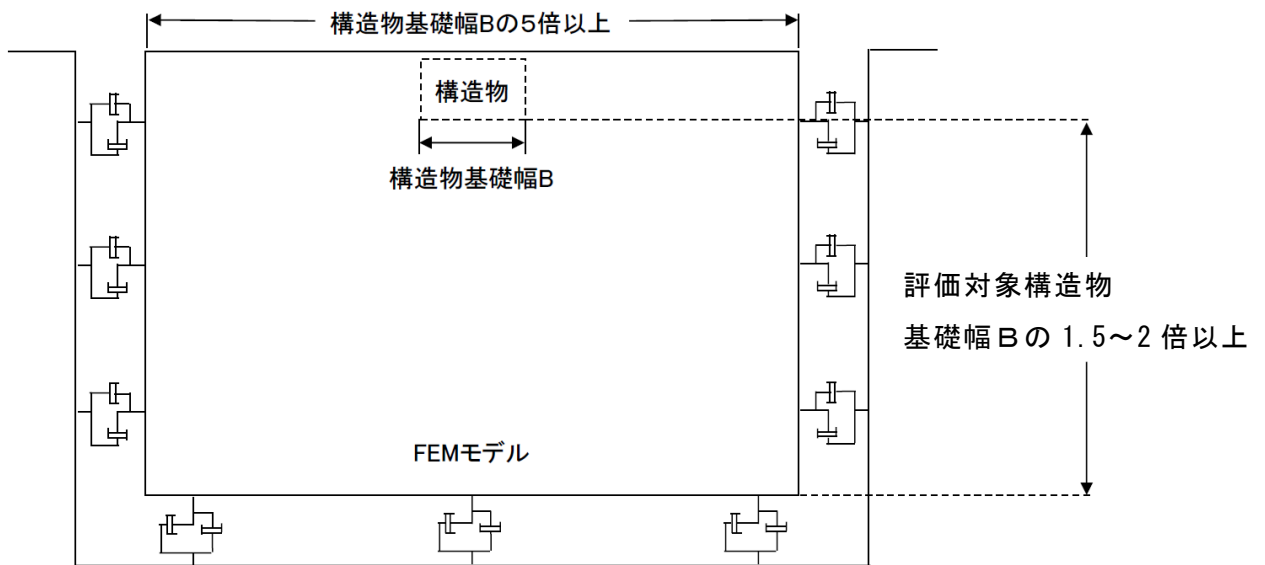


図 2-15 地震応答解析における境界条件の概念図



(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素でモデル化する。機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(4) 隣接構造物のモデル化

A-A断面の解析モデル範囲において隣接構造物となるディーゼル燃料貯蔵タンク室は非線形はり要素でモデル化する。排気筒の基礎については、VI-2-2-15「排気筒の基礎の耐震性についての計算書」において、短期許容応力度による評価を実施していることから、線形はり要素でモデル化する。なお、排気筒基礎は部材厚の中心位置でモデル化する。

また、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）は非線形はり要素、放水槽は保守的に埋戻土とし、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。なお、基準地震動  $S_s$  に対してに対して十分な構造強度を有している地下水位低下設備は、評価対象構造物に対して奥行き幅が限定的であるため、モデル化しない。

(5) 地盤及び無筋コンクリートのモデル化

岩盤、置換コンクリート、基礎コンクリート、埋戻コンクリート及びMMRは線形の平面ひずみ要素でモデル化する。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地質断面図を図 2-16 に示す。

凡例

- モデル化する隣接構造物
- 液状化対象層
- 埋戻土でモデル化する人工構造物
- 地下水位以深の液状化対象層
- 地下水位
- 速度層境界線
- 人工構造物

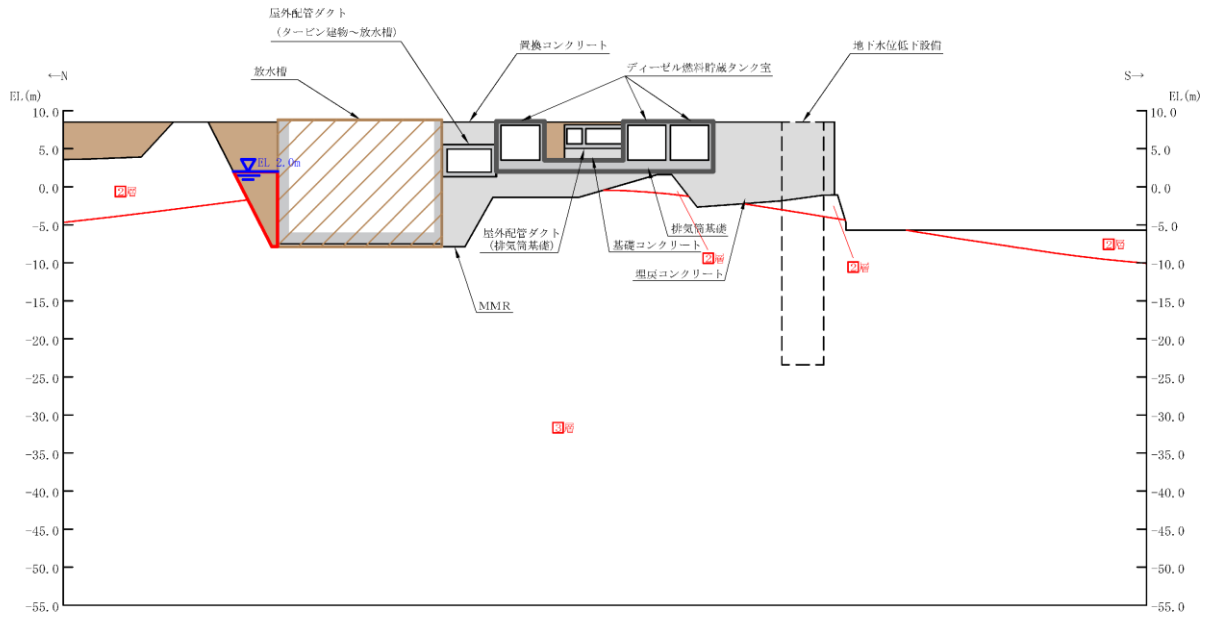
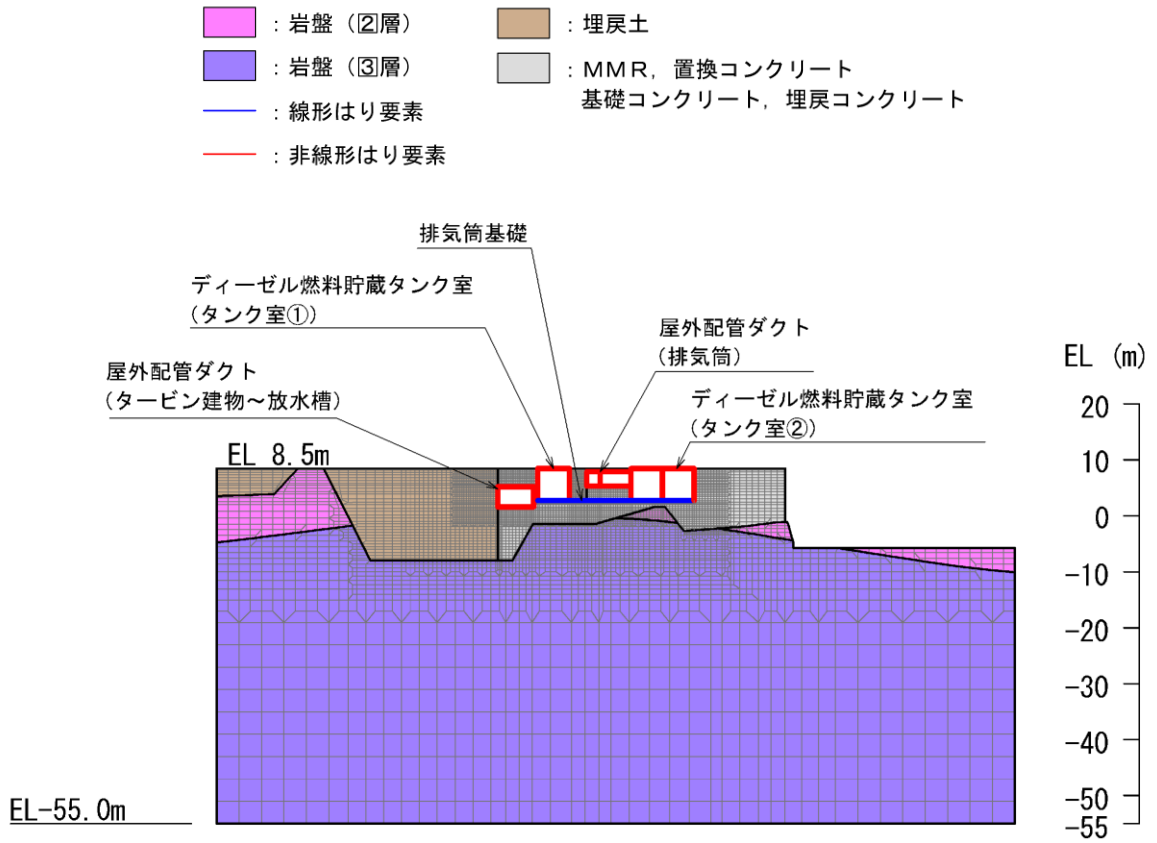


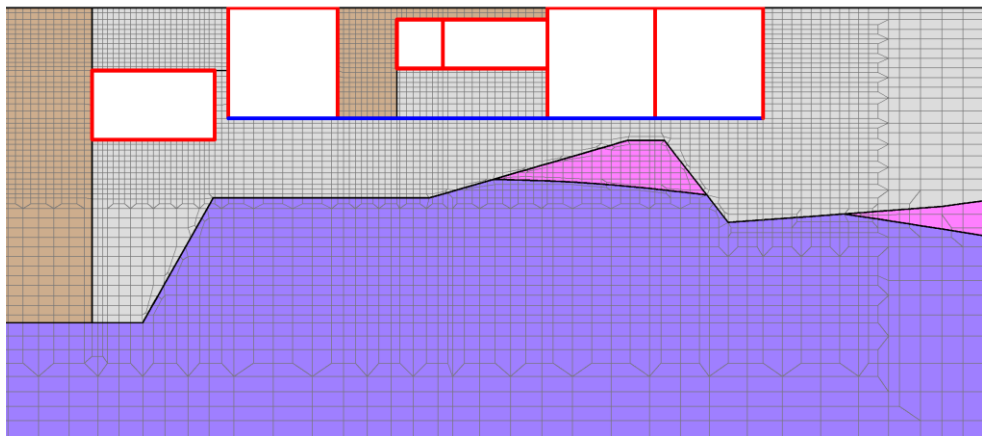
図 2-16 評価対象地質断面図 (A-A 断面位置)

(6) 地震応答解析モデル

評価対象地質断面図を踏まえて設定した地震応答解析モデル図を図 2-17 に示す。



(全体図)



(拡大図)

図 2-17 地震応答解析モデル図 (A-A 断面)

(7) 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 2-9 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 2-10 のとおり設定する。

屋外配管ダクト(排気筒)を支持する排気筒の基礎の直下には  $C_M$  級～ $C_H$  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  $C_M$  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

$\phi$  : 内部摩擦角

表 2-9 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 ( $C_M$ 級)		1.23	52
置換コンクリート	24.0N/mm <sup>2</sup>	4.77	40
MMR	15.6N/mm <sup>2</sup>	3.10	40
基礎コンクリート			
埋戻コンクリート	18.0N/mm <sup>2</sup>	3.58	40

表 2-10 要素間の粘着力と内部摩擦角

接合条件		粘着力 $c$ ( $N/mm^2$ )	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 $\phi$
無筋コンクリート*1	無筋コンクリート*1	設計基準強度が 小さい材料の $c$	設計基準強度が 小さい材料の $\phi$
	埋戻土	材料 2 の $c$	材料 2 の $\phi$
	岩盤	—*2	—*2

注記\*1：MMR，置換コンクリート，基礎コンクリート及び埋戻コンクリートの総称

\*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 2-11 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 2-18 に，ジョイント要素の配置を図 2-19 に示す。

表 2-11 ジョイント要素のばね定数

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

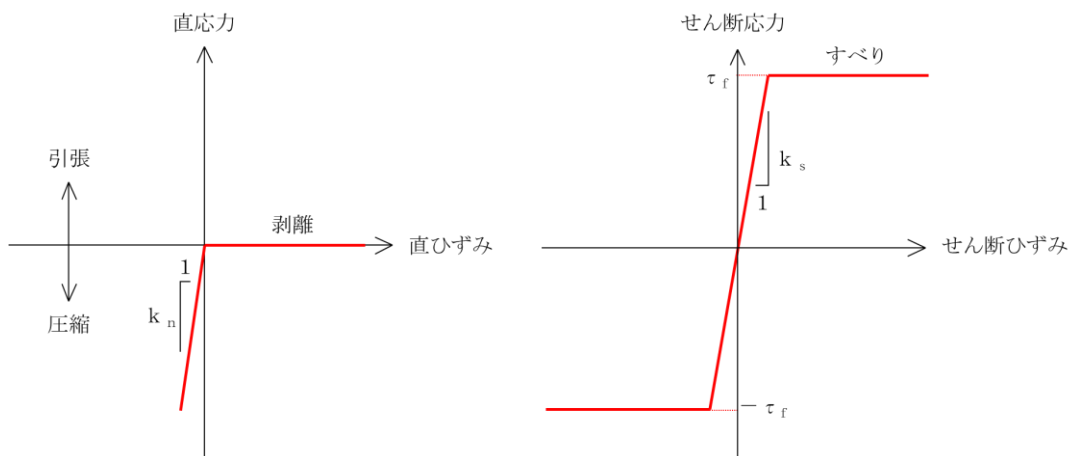
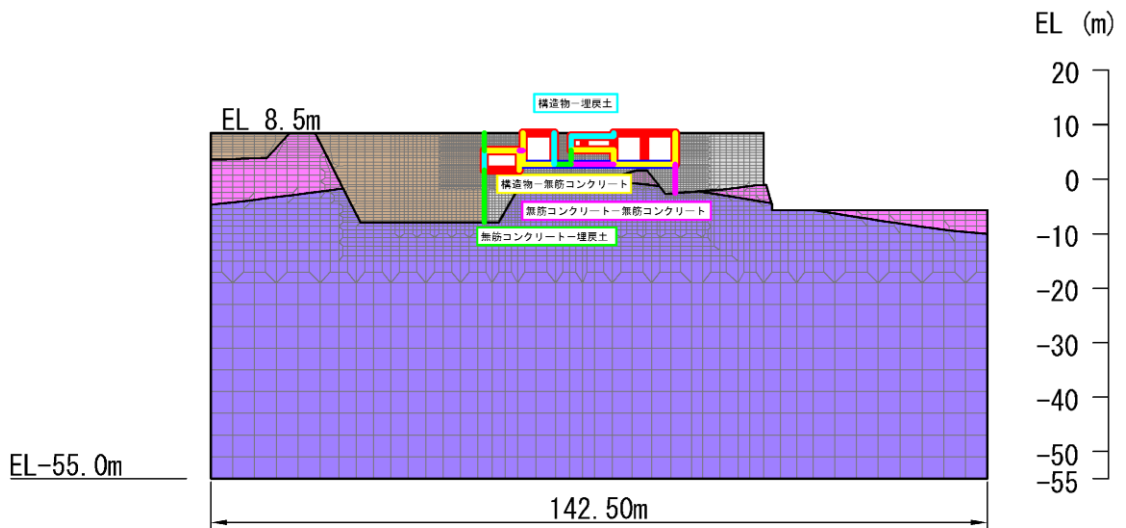


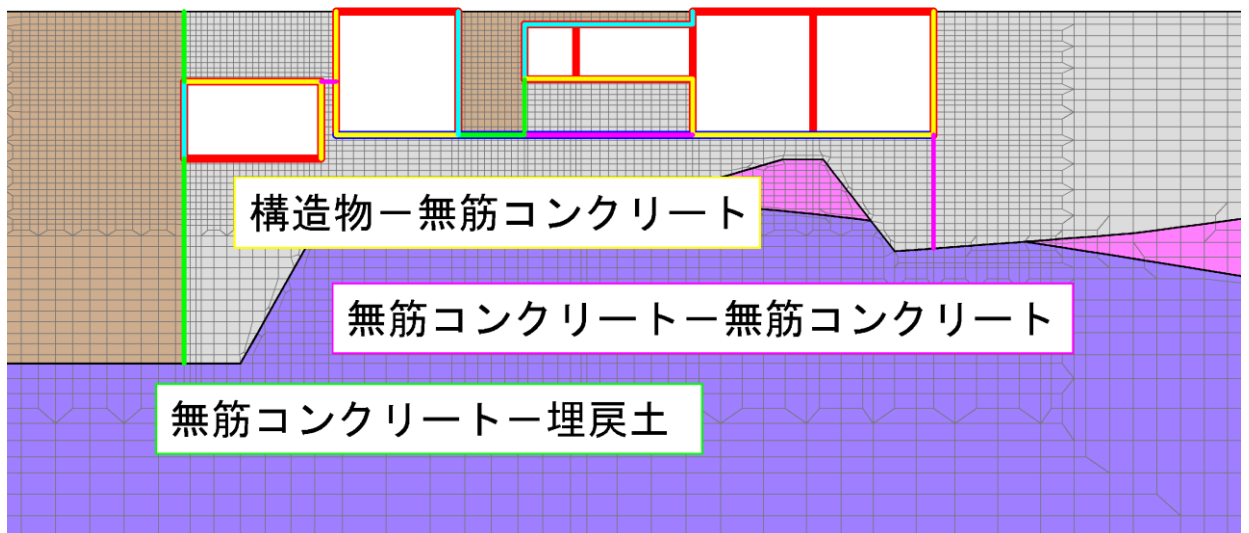
図 2-18 ジョイント要素の力学特性

- : 岩盤 (②層)
- : 岩盤 (③層)
- : 線形はり要素
- : 非線形はり要素
- : 埋戻土
- : MMR, 置換コンクリート  
基礎コンクリート, 埋戻コンクリート
- : ジョイント要素



(全体図)

構造物-埋戻土



(拡大図)

図 2-19 ジョイント要素の配置 (A-A断面)

(8) 材料特性の設定

全応力解析における鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図 2-20 参照）、図 2-21 に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

また、図 2-22 に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。

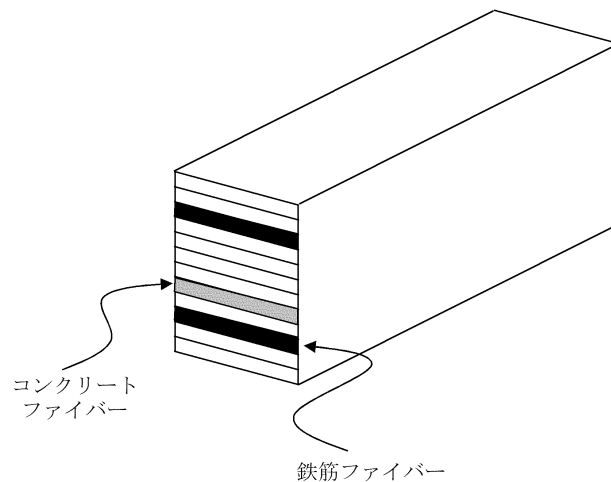
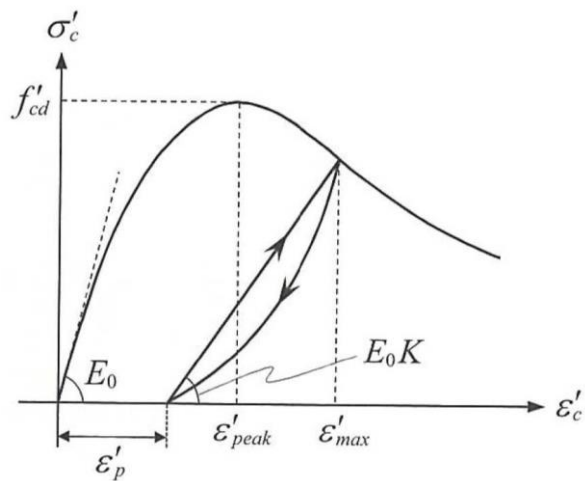
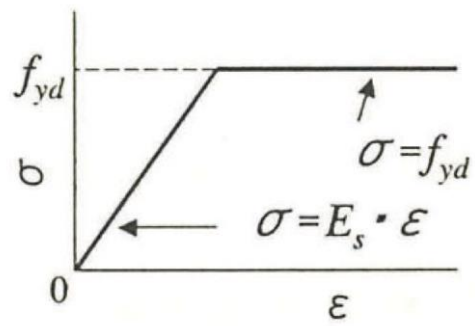


図 2-20 ファイバーモデルの概念図



（コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）より引用）

図 2-21 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）



(コンクリート標準示方書 2002 より引用)

図 2-22 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)



### 2.2.3 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。

固有値解析にて求められる解析モデル全体の固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰を解析モデル全体に与える。Rayleigh減衰の設定フローを図2-23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

$\alpha$ ,  $\beta$  : 係数

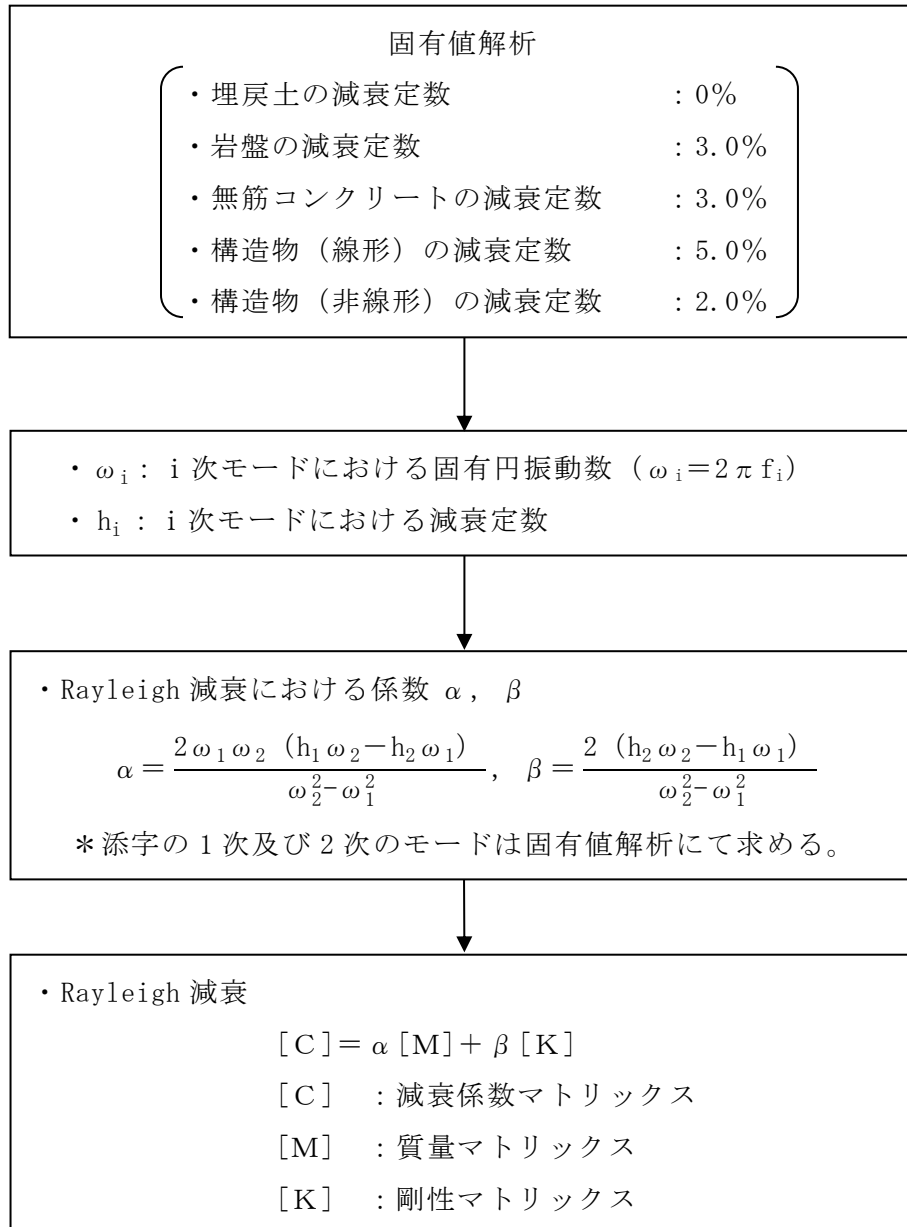


図 2-23 Rayleigh 減衰の設定フロー

全応力解析における Rayleigh 減衰の係数  $\alpha$ 、 $\beta$  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。

$$h_i = \alpha / 2 \omega_i + \beta \omega_i / 2$$

$h_i$  : 固有値解析により求められた  $i$  次モードの減衰定数

$\omega_i$  : 固有値解析により求められた  $i$  次モードの固有円振動数

固有値解析結果の一覧を表 2-12 に、固有値解析におけるモード図を図 2-24 に、係数  $\alpha$ 、 $\beta$  を表 2-13 に、固有値解析結果に基づき設定した Rayleigh 減衰を図 2-25 に示す。

表 2-12 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
		$T_x$	$T_y$	$\beta_x$	$\beta_y$	
1	5.612	63	0	3.084	0.207	1次として採用
2	8.311	16	3	-2.616	0.992	
3	8.666	1	2	-0.329	-1.423	
4	10.745	0	14	0.811	5.810	
5	10.950	0	4	-0.499	1.921	
6	11.280	1	4	0.929	-1.849	
7	12.105	1	1	-0.607	-0.696	
8	12.799	0	0	1.050	1.019	2次として採用
9	13.182	0	7	0.120	2.953	
10	13.768	2	0	-1.241	-0.430	

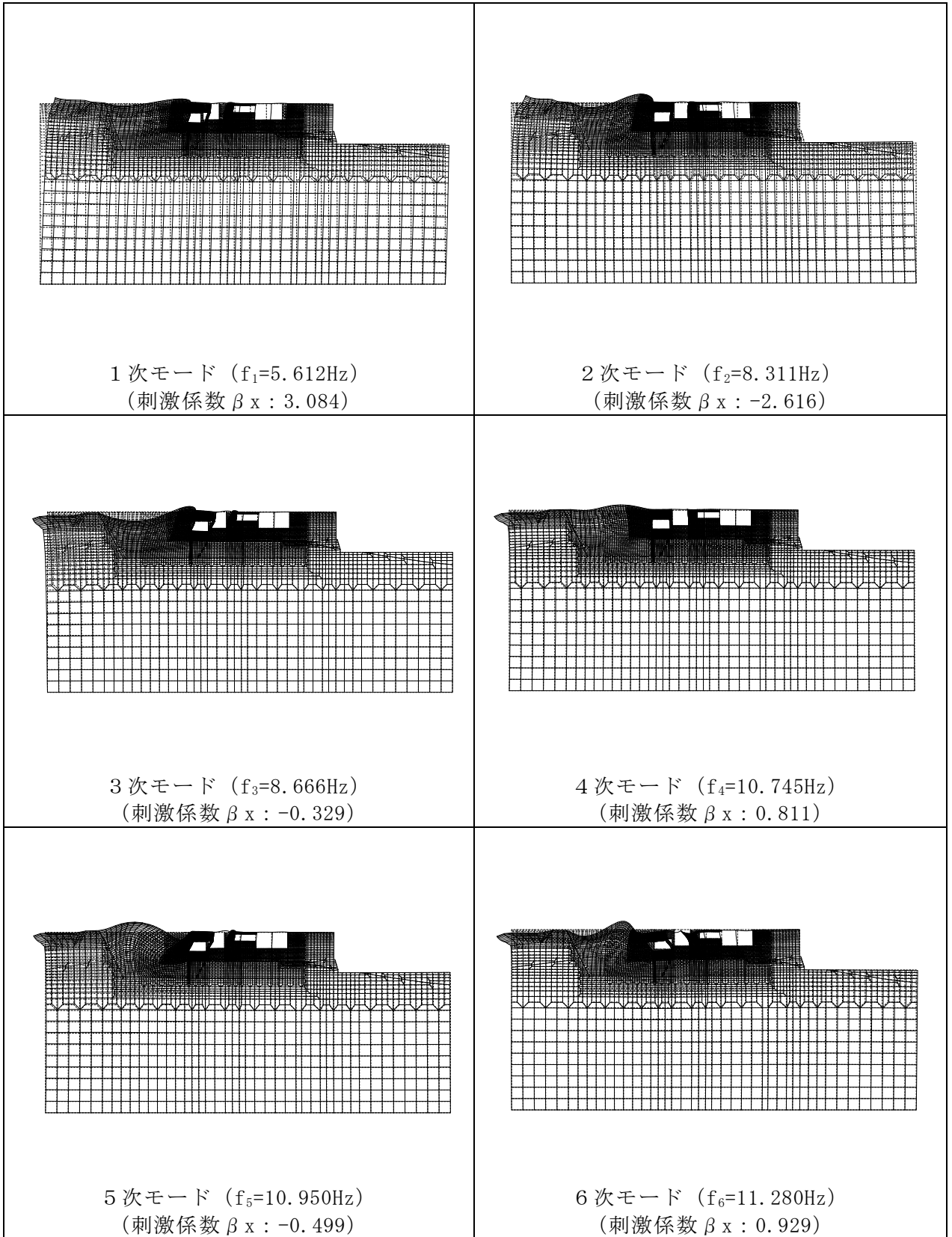


図 2-24(1) 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

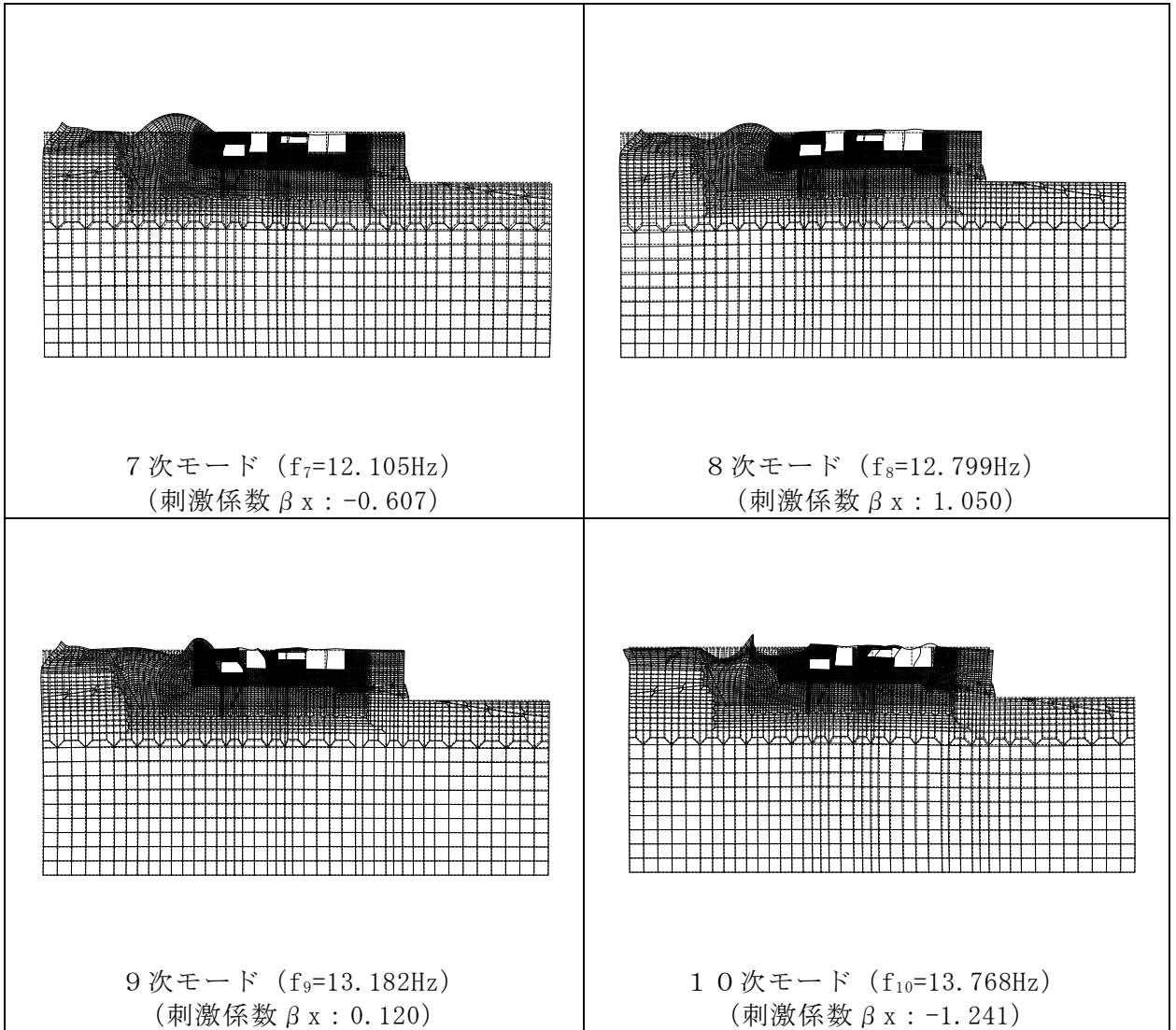


図 2-24(2) 固有値解析結果 (モード図) (A-A断面)

表 2-13 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	1.595	$2.241 \times 10^{-4}$

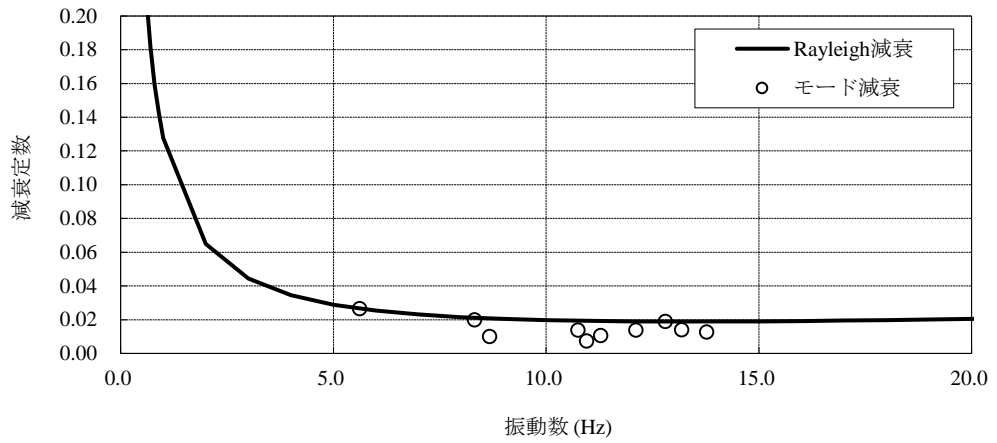


図 2-25 設定した Rayleigh 減衰 (A-A 断面)

#### 2.2.4 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（乾燥砂を含む）、機器・配管系及び排気筒モニタ室からの反力による荷重が含まれるものとする。

地震時に屋外配管ダクト（排気筒）に作用する機器・配管系からの反力については、機器・配管系を解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

荷重の組合せを表 2-14 に示す。

表 2-14 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・配管系及び排気筒モニタ室の重量に基づいて設定する。
	積載荷重	静止土圧	○	常時応力解析により設定する。乾燥砂からの土圧については、荷重として考慮する。
		外水圧	○	地下水位に応じた静水圧として考慮する。 地下水の密度を考慮する。
		積雪荷重	○	地表面及び構造物頂版に考慮する。
		土被り荷重	○	常時応力解析により設定する。
		永久上載荷重	—	排気筒モニタ室は機器・配管荷重として考慮するため、永久上載荷重としては考慮しない。
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	○		

(1) 機器・配管荷重

解析モデルに考慮する機器・配管系の荷重図を図 2-26 に示す。機器・配管荷重は、常時・地震時ともに付加質量としてモデル化する。

機器・配管荷重設定の詳細については、「3.1.4 機器・配管荷重」にて示す。

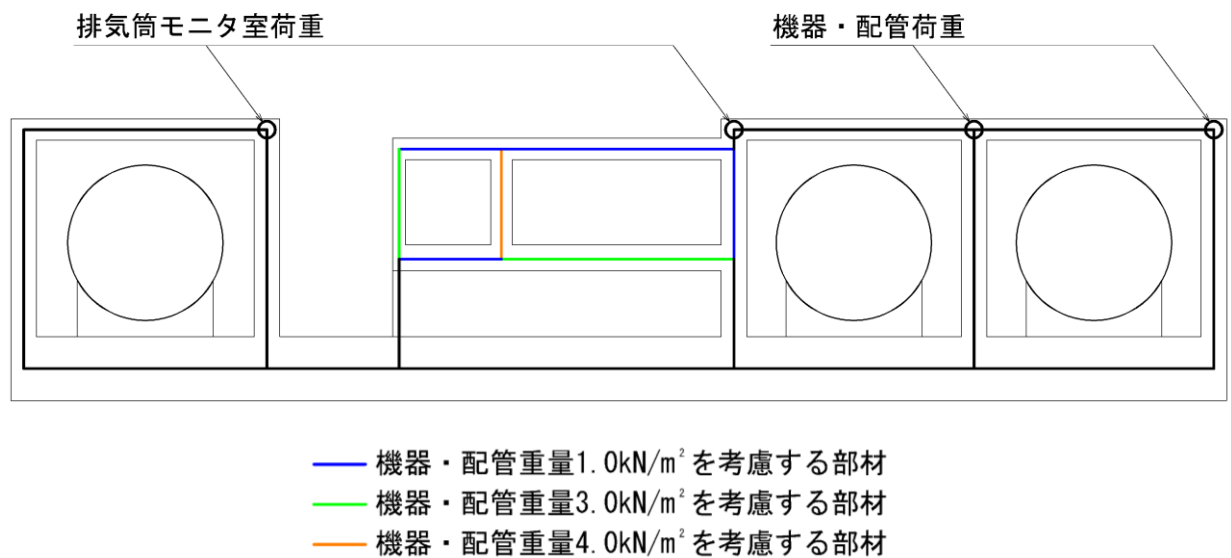


図 2-26 解析用機器・配管荷重図

(2) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位については、「2.1.8 地下水位」のとおりとし、地下水の密度として 1.00g/cm<sup>3</sup>を考慮する

(3) 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おけ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 20N/m<sup>2</sup> の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。



(4) 乾燥砂による荷重

ディーゼル燃料貯蔵タンク室内には乾燥砂を充填していることから、乾燥砂による荷重を考慮する。乾燥砂による荷重は、常時は側壁及び底版（排気筒の基礎）に静止土圧として、地震時は乾燥砂と接する全部材に付加質量として与える。乾燥砂による荷重の作用イメージを図 2-27 に示す。なお、乾燥砂の密度は  $8.8\text{kN/m}^3$  である。

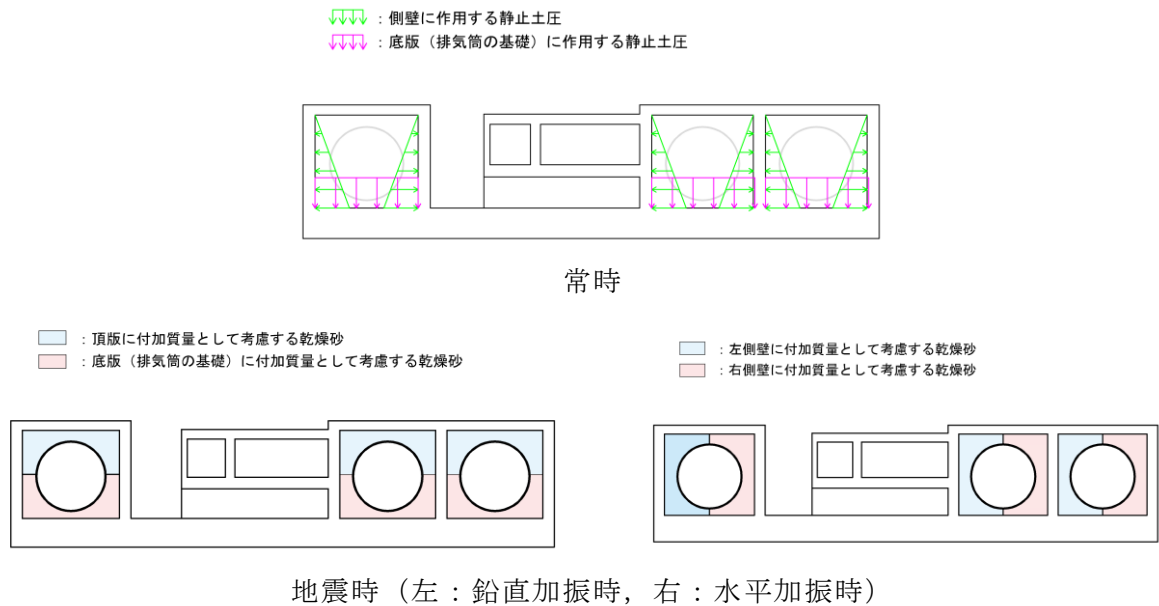


図 2-27 乾燥砂による荷重の作用イメージ図

(5) 排気筒上部工からの荷重

排気筒上部工からの荷重は、筒身基礎及び鉄塔基礎を介して基礎版に伝達されるため、屋外配管ダクト（排気筒）及びディーゼル燃料貯蔵タンク室は荷重を負担しない設計としている。

また、排気筒基礎の地震応答解析モデルからも、筒身基礎及び鉄塔基礎の最大応答変位が  $1.0\text{mm}$  未満であること、排気筒の 1 次固有周期（約  $1.0\text{s}$ ）が本解析モデルの 1 次固有周期（約  $0.18\text{s}$ ）と異なることを確認しているため、排気筒上部工からの荷重の影響は軽微であると判断し、考慮しない。

## 2.2.5 地震応答解析の解析ケース

### (1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

屋外配管ダクト(排気筒)は、周囲に埋戻土が分布し、主たる荷重は埋戻土の土圧となることから、埋戻土の初期せん断弾性係数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2-15に示すケース①)とした場合に加えて、平均値±1.0×標準偏差( $\sigma$ )のケース(表2-15に示すケース②及び③)について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表 2-15 解析ケース

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（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2-16に示す解析ケース（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。耐震評価における解析ケースを表2-16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2-28に示す。

表 2-16 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)	$S_s - D$	++*	○	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。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - F1$	++*	○		
	$S_s - F2$	++*	○		
	$S_s - N1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N2$ (NS)	++*	○		
		-+*	○		
$S_s - N2$ (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。

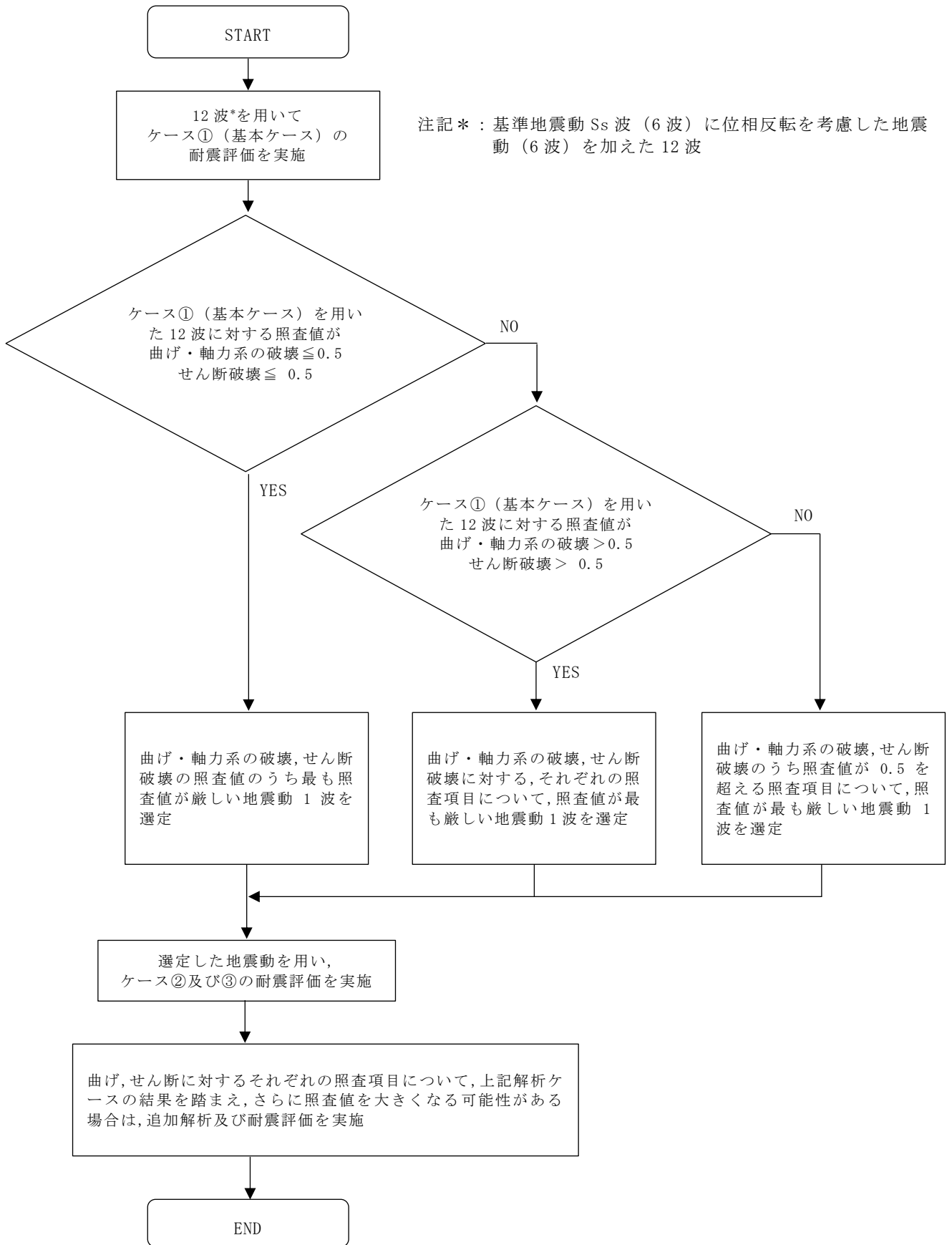


図 2-28 追加解析を実施する地震動の選定フロー

## 2.3. 評価内容

### 2.3.1 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 2-29 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 2-30～図 2-41 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。

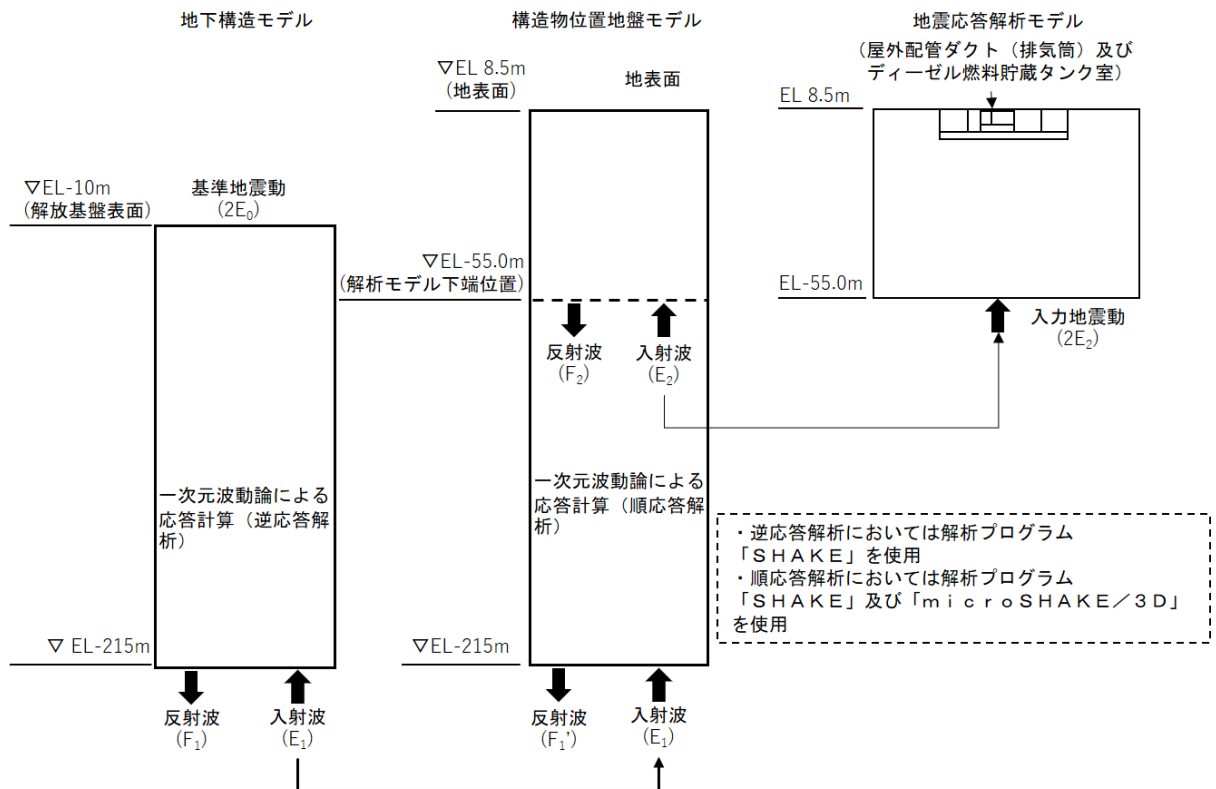
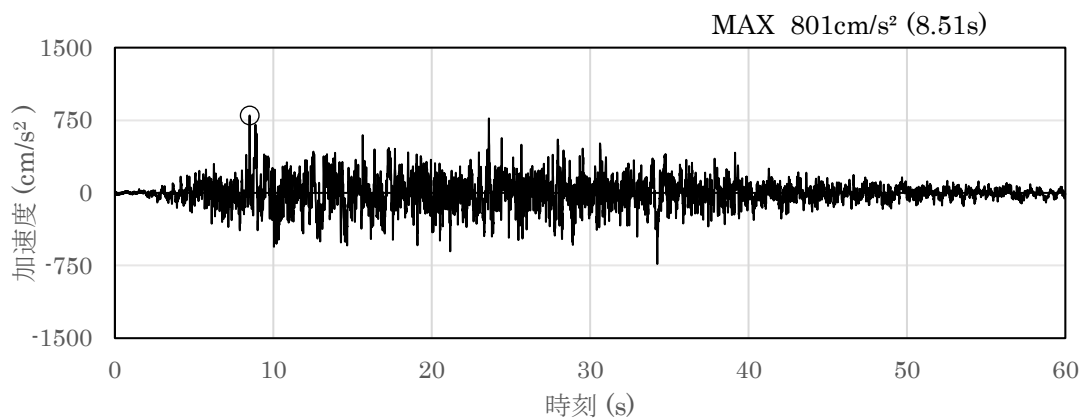
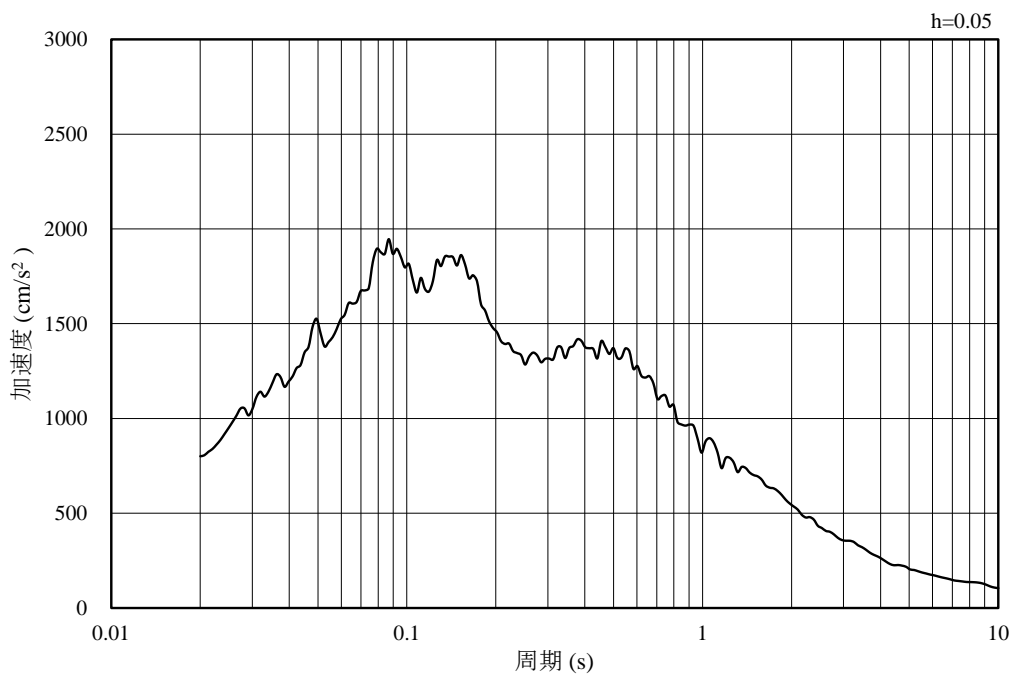


図 2-29 入力地震動算定の概念図

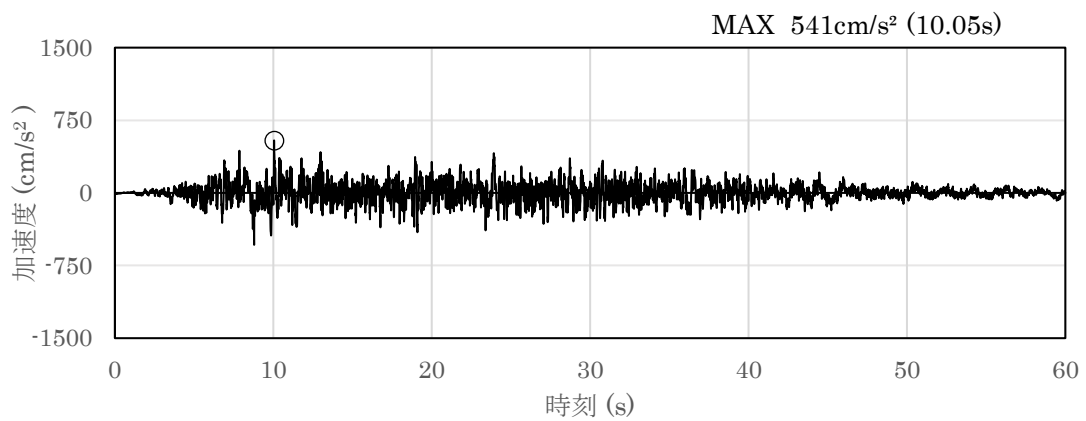


(a) 加速度時刻歴波形

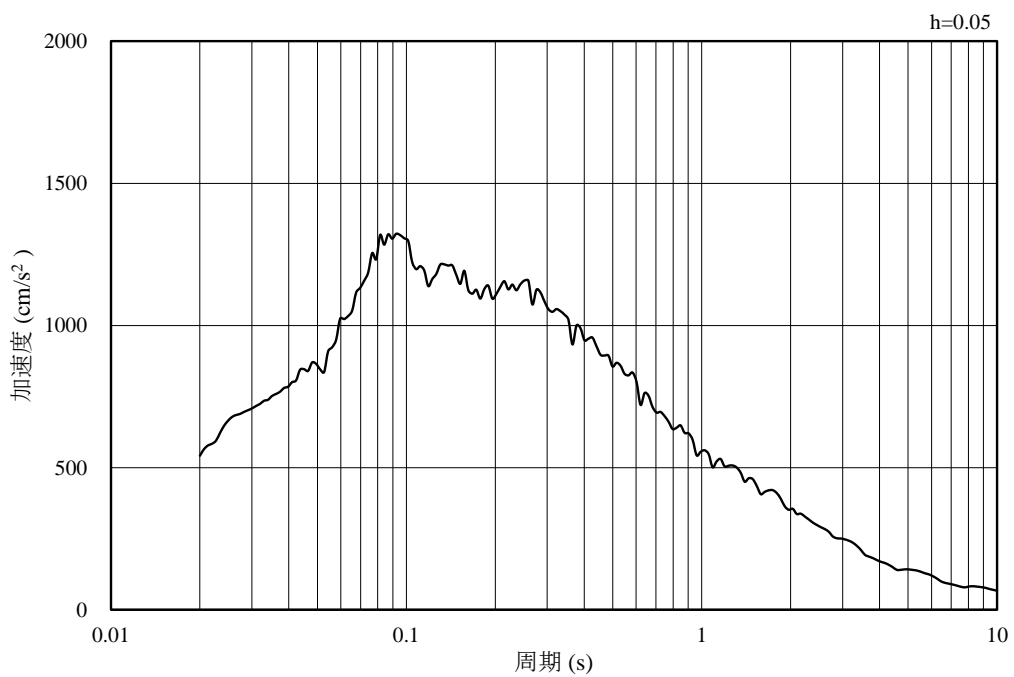


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S<sub>s</sub>-D)

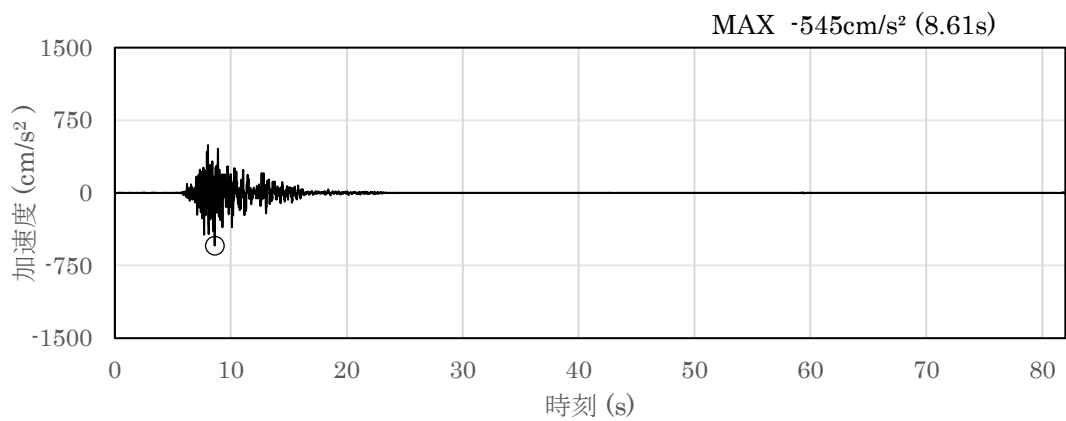


(a) 加速度時刻歴波形

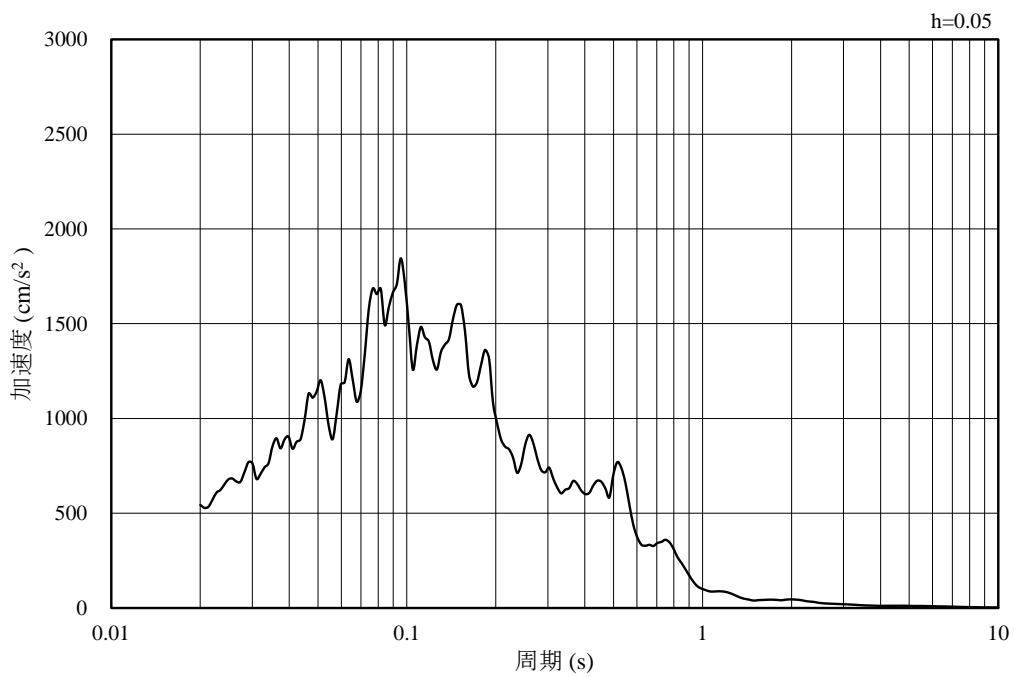


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S<sub>s</sub>-D)



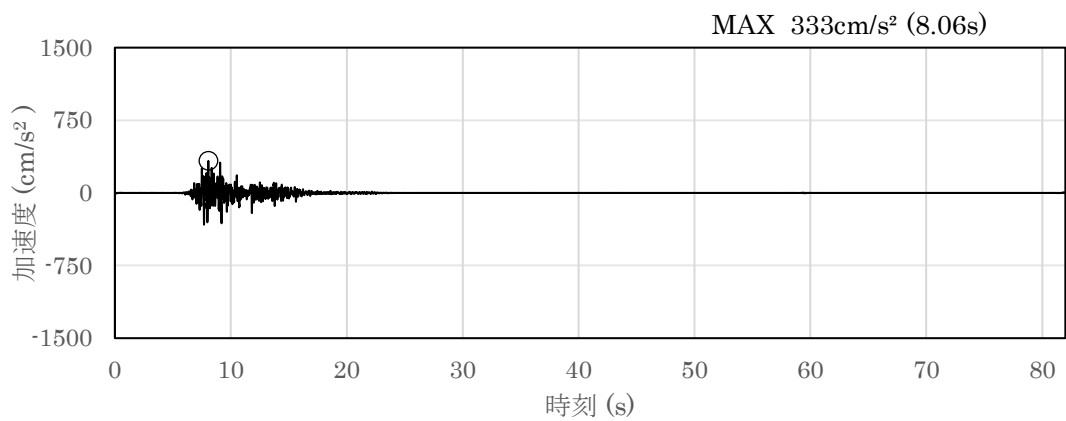
(a) 加速度時刻歴波形



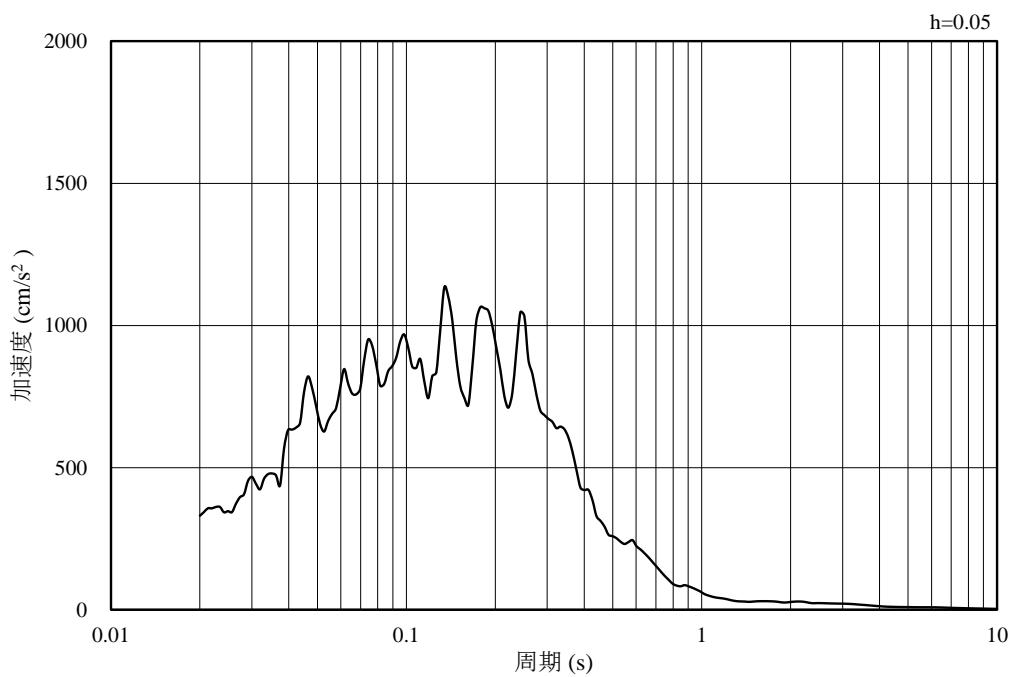
(b) 加速度応答スペクトル

図 2-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 1 (N S))



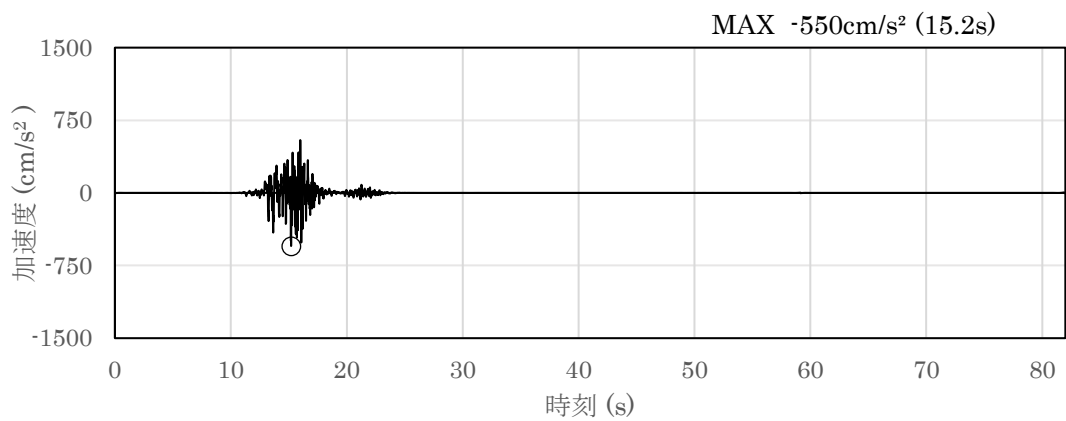


(a) 加速度時刻歴波形

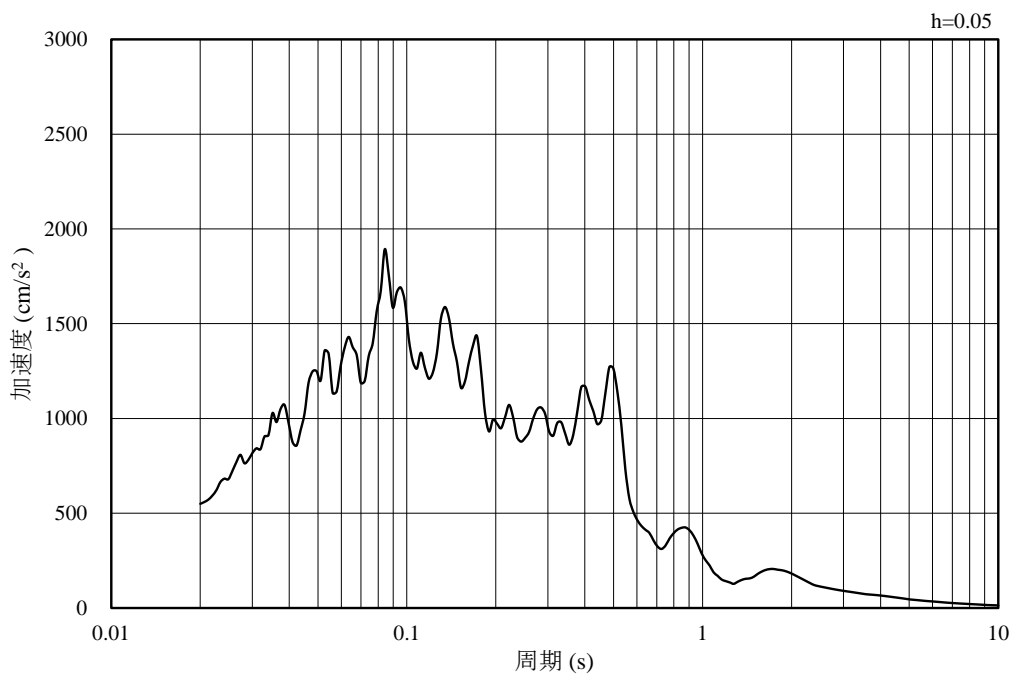


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分 : S s - F 1 (N S))

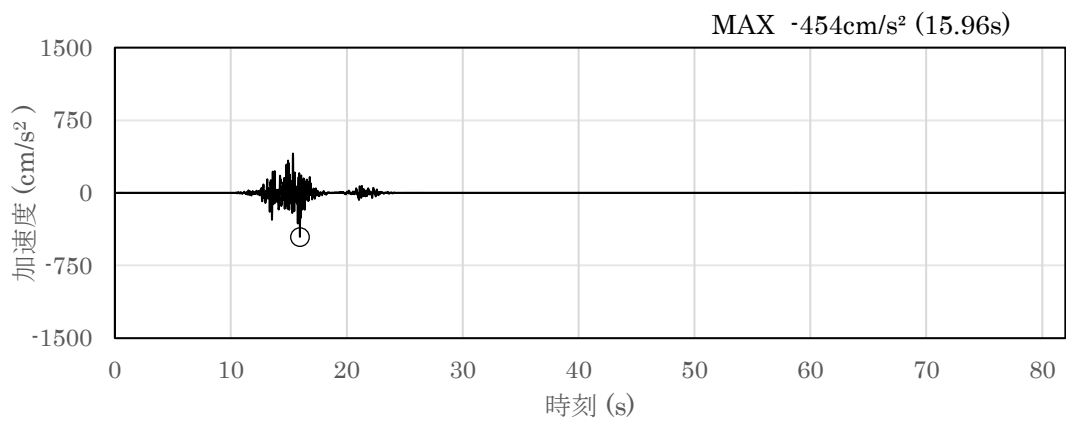


(a) 加速度時刻歴波形

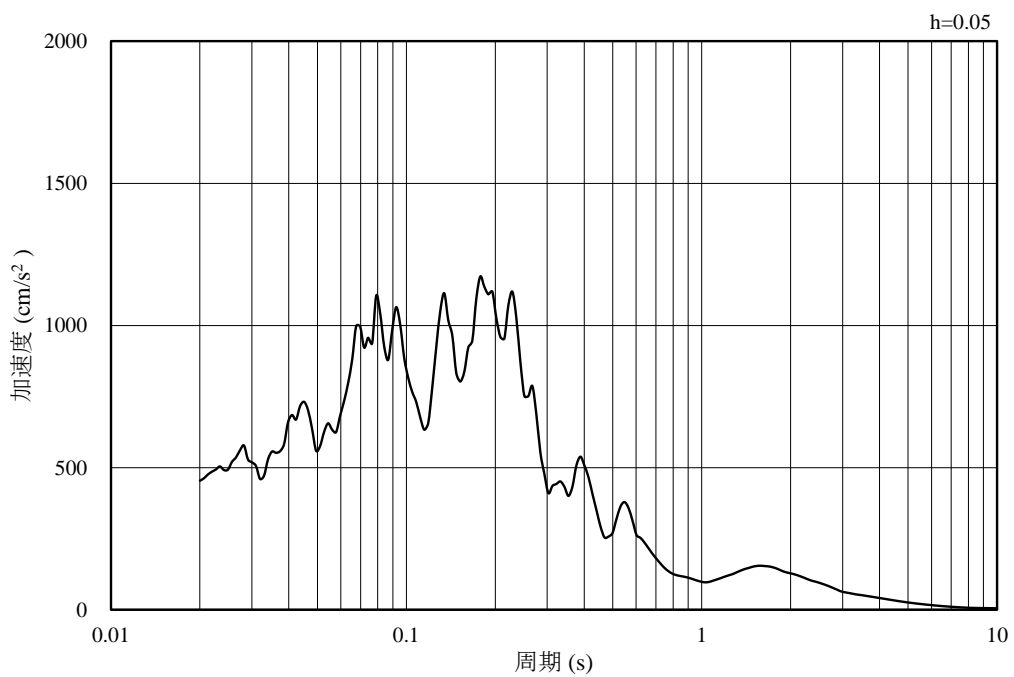


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - F 2 ( N S ))

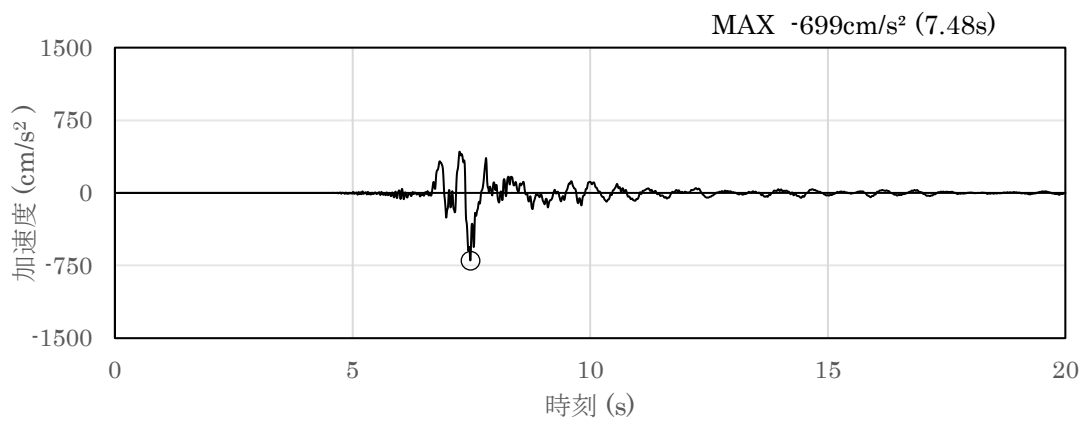


(a) 加速度時刻歴波形

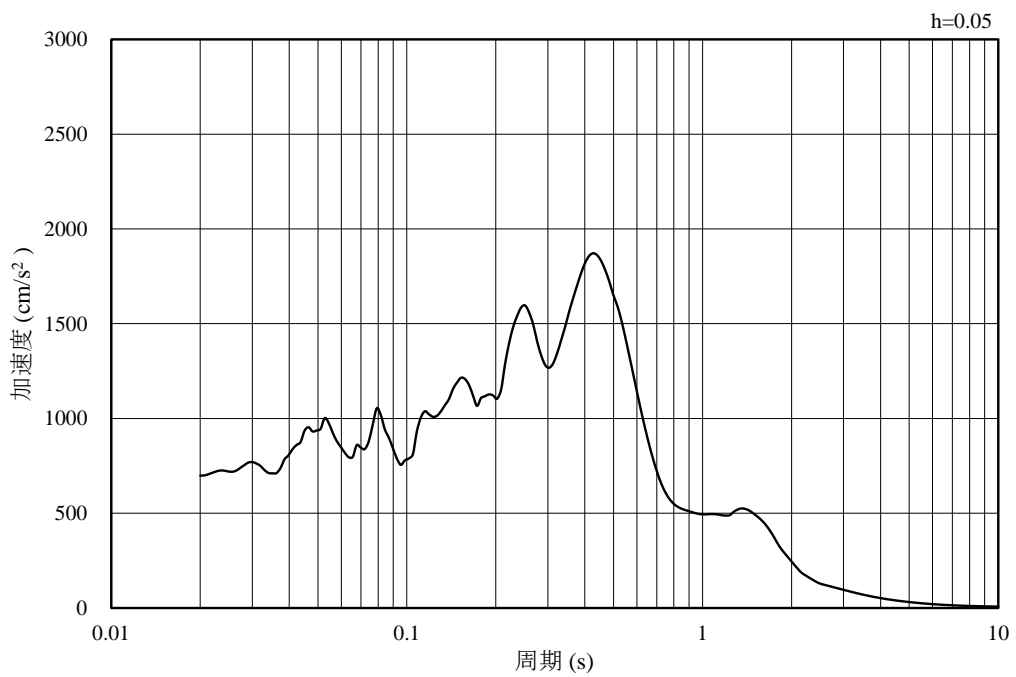


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分 : S<sub>s</sub> - F<sub>2</sub> (NS))

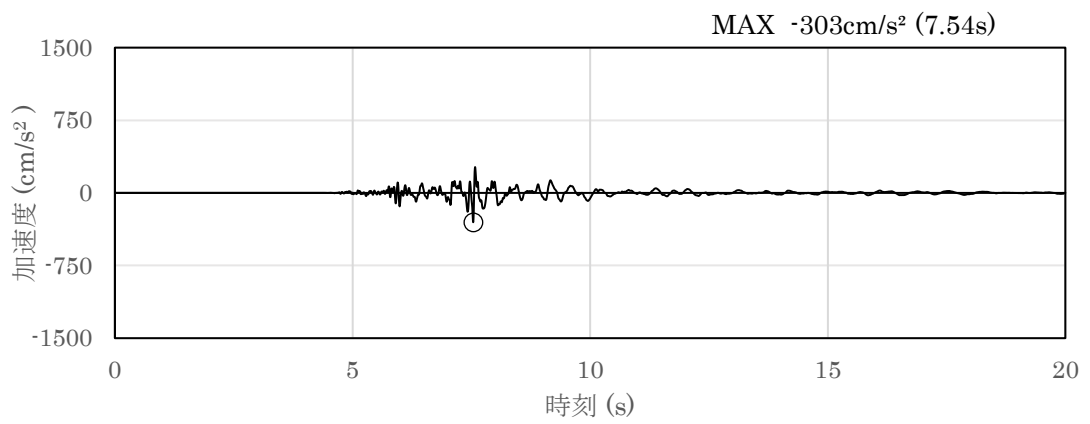


(a) 加速度時刻歴波形

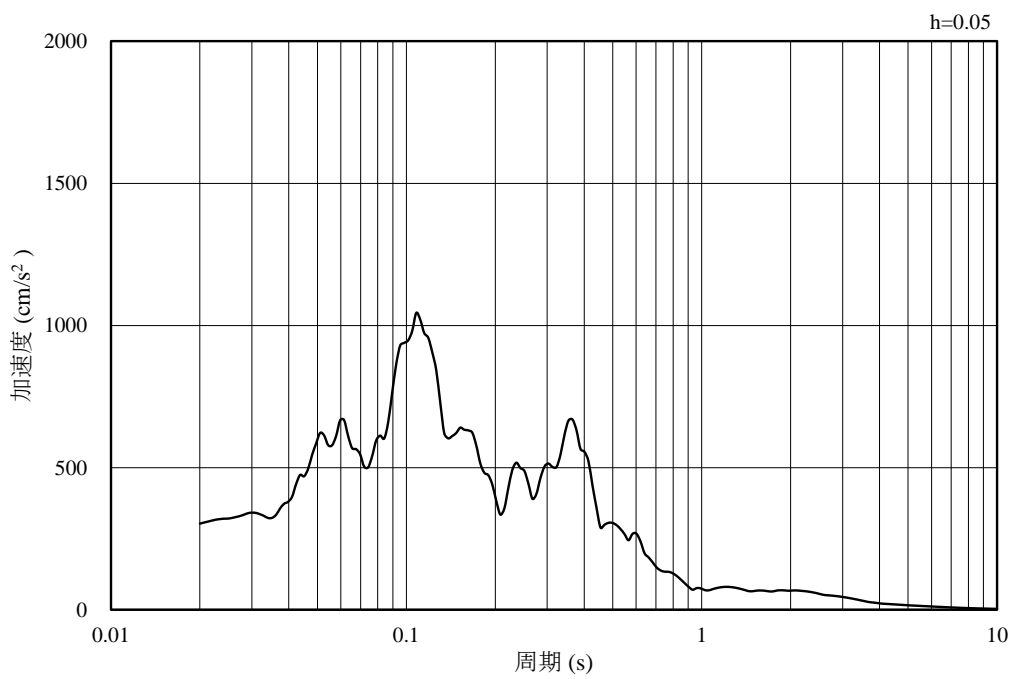


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-36 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S<sub>s</sub> - N 1)

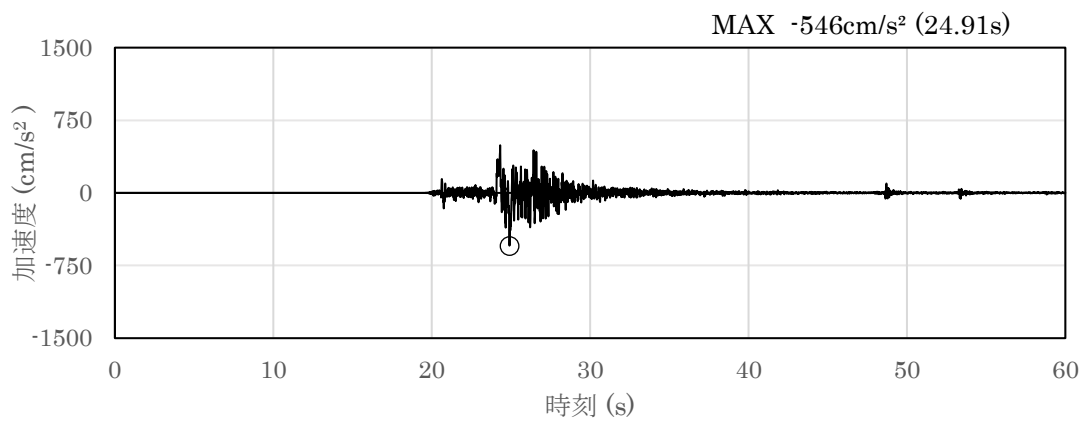


(a) 加速度時刻歴波形

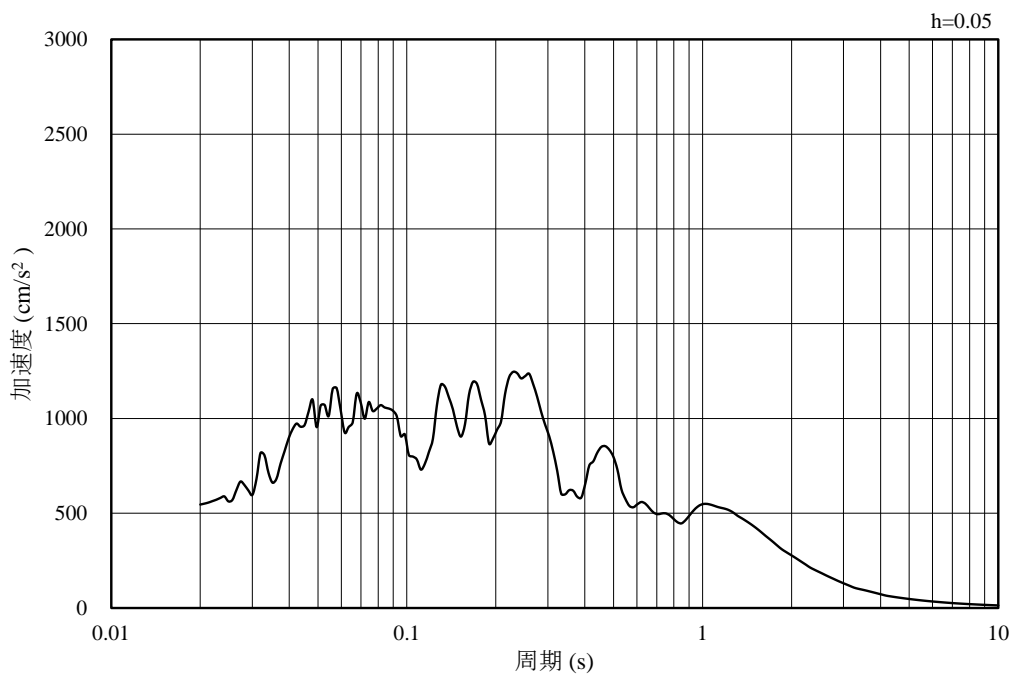


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-37 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分 : S<sub>s</sub> - N 1)

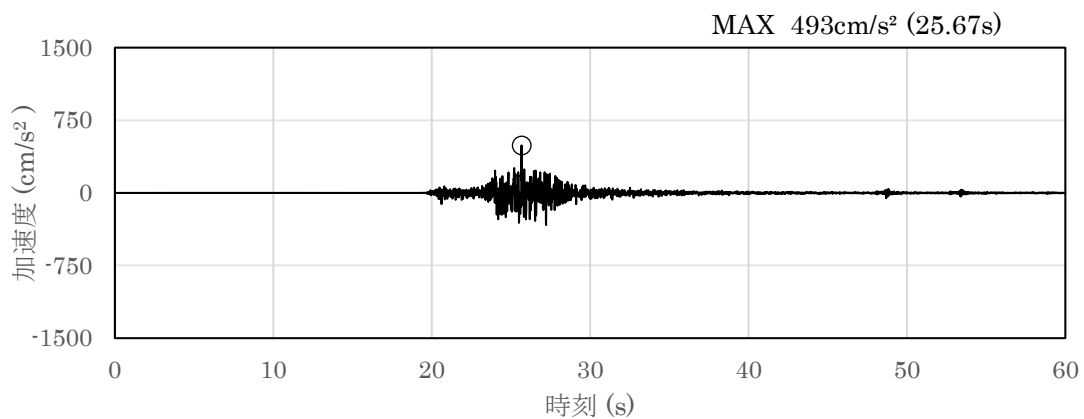


(a) 加速度時刻歴波形

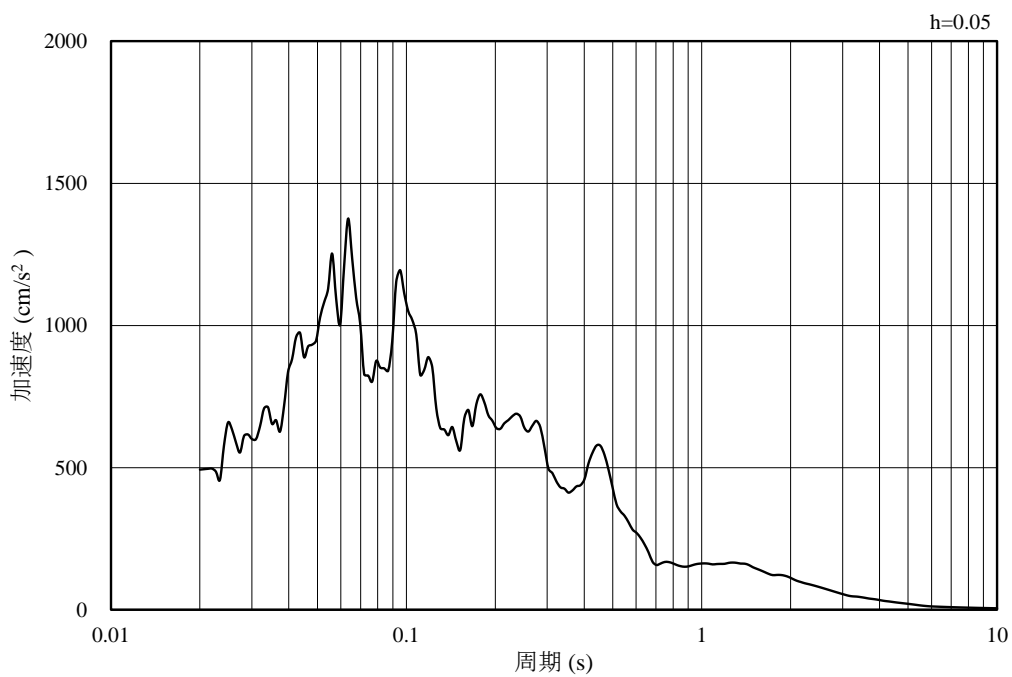


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - N 2 ( N S ))

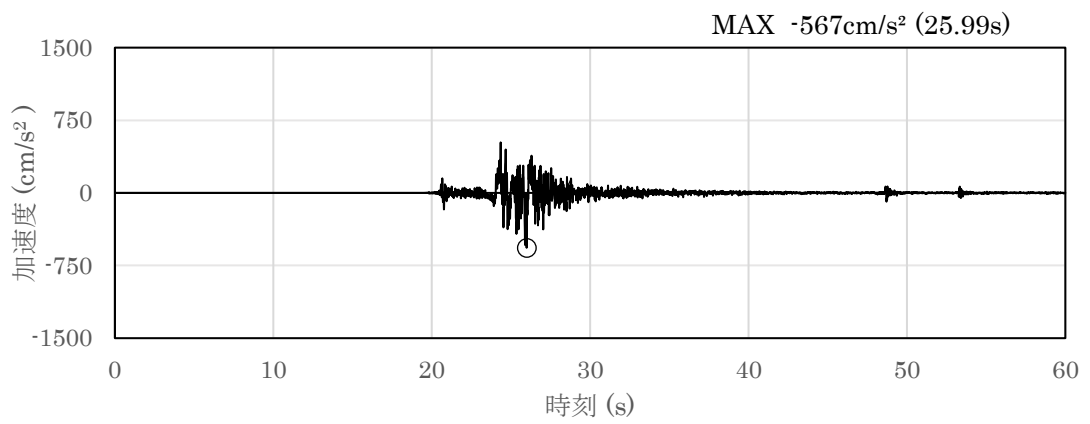


(a) 加速度時刻歴波形

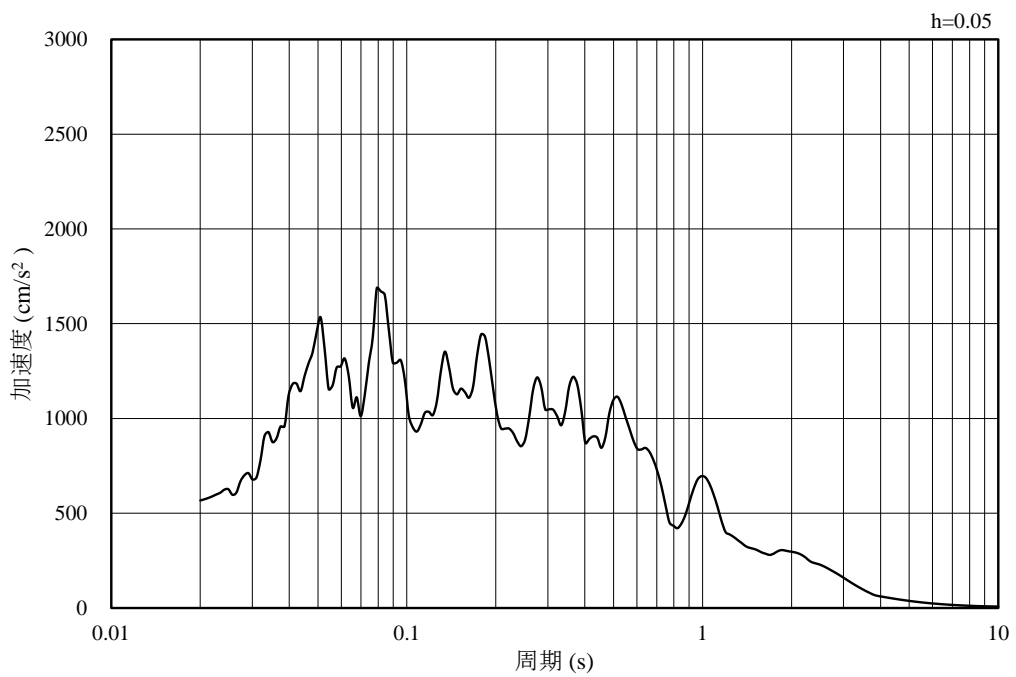


(b) 加速度応答スペクトル

図 2-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分 : S s - N 2 ( N S ))



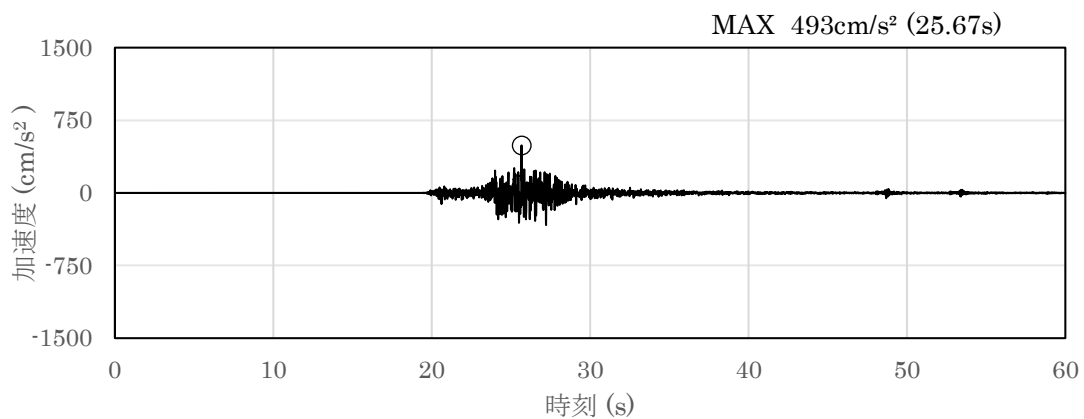
(a) 加速度時刻歴波形



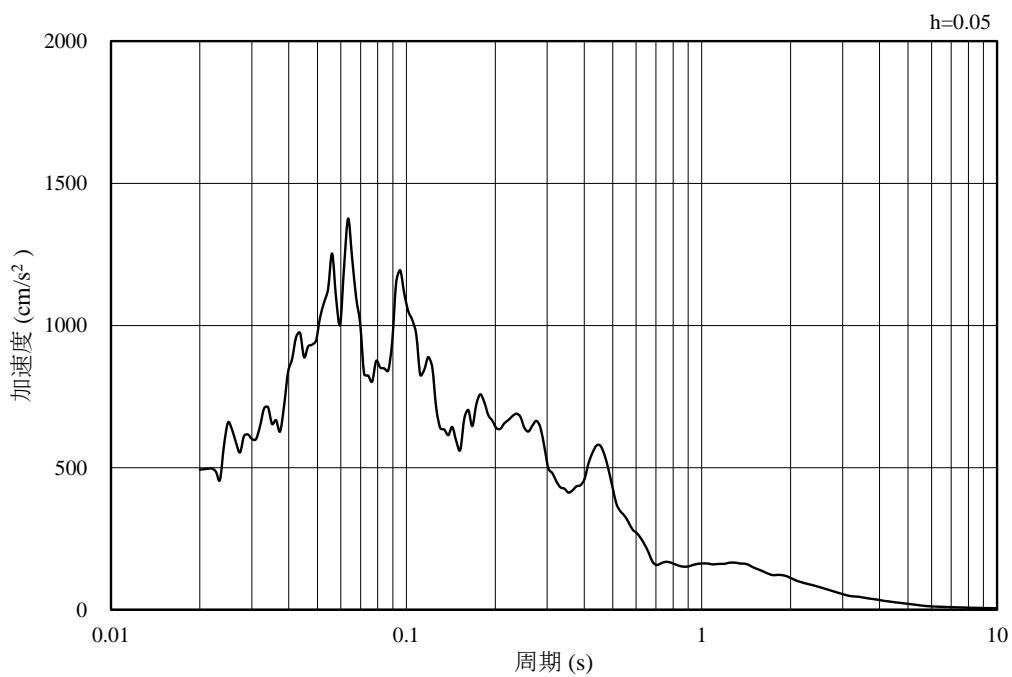
(b) 加速度応答スペクトル

図 2-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - N 2 (E W))





(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 2-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

### 2.3.2 許容限界の設定

屋外配管ダクト(排気筒)の耐震安全性評価は、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。

耐震安全性評価は、限界状態設計法を用いることとし、限界状態設計法については以下に詳述する。

#### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアル 2005 に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）とする。

土木学会マニュアル 2005 では、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみが 1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 2-17 に示す。

表 2-17 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ 1.0% (10000 $\mu$ ) *

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

ここで、 $\gamma_i$  : 構造物係数 ( $\gamma_i = 1.0$ )

$\epsilon_R$  : 限界ひずみ (圧縮縁コンクリートひずみ 10000 $\mu$ )

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

$\gamma_a$  : 構造解析係数 ( $\gamma_a = 1.2$ )

$\epsilon$  : 圧縮縁の発生ひずみ

(2) せん断の破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$  : せん断耐力

$V_{c d}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

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

$$f_{v c d} = 0.72 (\text{N/mm}^2)$$

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

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

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \quad \text{となる場合は } \beta_n = 2.0$$
$$= 1 + 4 M_o / M_{ud} \quad (N'_d < 0)$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし, } \beta_a < 1.0 \quad \text{となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで、

$f'_{c d}$  : コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm<sup>2</sup>)で設計基準強度  $f'_{c k}$  を材料係数  $\gamma_{m c}$  除したもの

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

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積

$b_w$  : 部材の有効幅

$d$  : 部材の有効高さ

$N'_d$  : 設計軸圧縮力

$M_d$  : 設計曲げモーメント

$M_o$  :  $M_d$  に対する引張縁において、軸力方向によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)  $M_o = N'_d \cdot D / 6$

$M_{u d}$  : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

- D : 断面高さ  
 a / d : せん断スパン比  
 $\gamma_{bc}$  : 部材係数  
 $\gamma_{bc}$  : 材料係数

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

ここで、

- $A_w$  : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積  
 $f_{wyd}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度を  $\gamma_{ms}$  で除したもので、400N/mm<sup>2</sup>以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が 60N/mm<sup>2</sup>以上のときは 800N/mm<sup>2</sup>以下とする。  
 $\alpha$  : 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  
 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。  
 $\gamma_{bs}$  : 部材係数

また、土木学会マニュアル 2005 におけるせん断耐力式による評価においては、表 2-18 に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表 2-18 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数*	コンクリート	$\gamma_{b c}$	—	1.3	せん断耐力（コンクリート負担分）を低減
	鉄筋	$\gamma_{b s}$	—	1.1	せん断耐力（鉄筋負担分）を低減
構造解析係数		$\gamma_a$	1.05	—	応答値（断面力）の割り増し

注記\*：土木学会マニュアル 2005 では、部材係数  $\gamma_b = \gamma_{b 1} \cdot \gamma_{b 2}$

$$\gamma_{b 1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

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

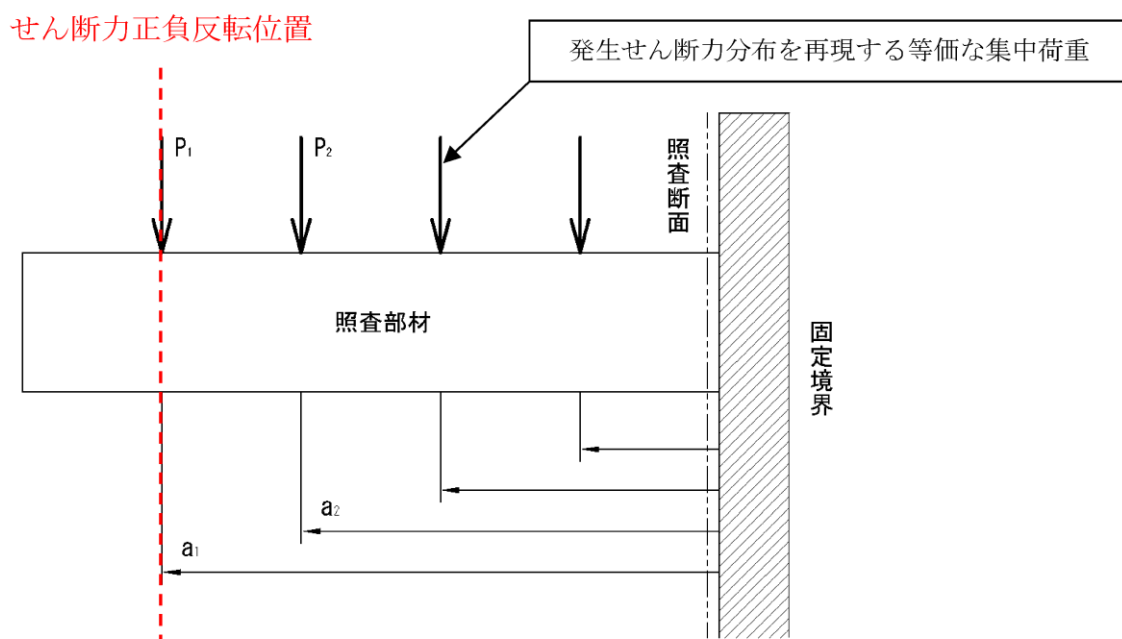
ここで、R：層間変形角とされている。

$\gamma_{b 2}$  は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b 2} = 1.0$  としてよいとされている。

### (3) 線形被害則による照査方法

「(2) せん断の破壊に対する許容限界」に示したせん断耐力式による照査において照査用せん断力がせん断耐力を上回る場合、分布荷重下にある部材のせん断耐力照査を合理的に行う手法として、土木学会マニュアル 2005 に基づき、線形被害則による照査を行う。照査手順を以下に記載し、線形被害則による照査方法を図 2-42 に示す。また、屋外配管ダクト(排気筒)における線形被害則を適用した部材における照査結果を参考資料 3 に示す。

- ①ある照査対象時刻の地震応答解析結果より、着目する部材の発生せん断力が正負反転する節点までを照査対象範囲として設定し、発生せん断力分布を再現する等価な集中荷重を算定する。
- ②各集中荷重の作用位置に基づいて、せん断スパンを設定し、せん断スパン比から算定式を選定する。
- ③照査断面を設定し、各集中荷重に対する照査断面のせん断耐力を算定する。
- ④各集中荷重とせん断耐力の比(=被害度)の総和をとり、構造物係数  $\gamma_i$  を乗じた値が評価基準値 1.0 以下になることを確認する。



$$\gamma_i \cdot \left( \frac{P_1 \cdot \gamma_a}{V_1} + \frac{P_2 \cdot \gamma_a}{V_2} + \dots \right) \leq 1.0$$

$\gamma_i$  : 構造物係数

$\gamma_a$  : 構造解析係数

$V_1$  : 照査断面における  $P_1$  に対するせん断耐力

$V_2$  : 照査断面における  $P_2$  に対するせん断耐力

⋮

$V_n$  : 照査断面における  $P_n$  に対するせん断耐力

図 2-42 線形被害則による照査方法

a. 発生せん断力分布を再現する等価な集中荷重及びせん断スパンの算定

地震応答解析より得られた、分布荷重下にある部材に発生するせん断力分布を再現する等価な集中荷重の算定方法を図 2-43 に、土木学会マニュアル 2005 におけるせん断スパン比の取り方を図 2-44 に示す。

等価な集中荷重は、隣り合う要素に発生するせん断力の差であり、当該要素間の節点位置に作用させる。また、せん断スパンは、各集中荷重の作用位置と支承前面間の距離とする。なお、土木学会マニュアル 2005 では、せん断スパン比にハンチを考慮することができるとされているが、ハンチは考慮しないものとする。

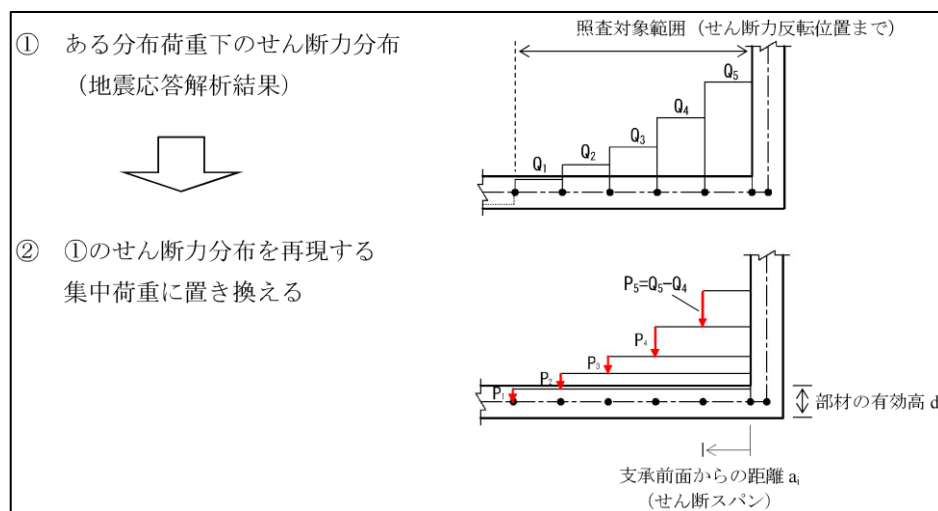


図 2-43 集中荷重の算定方法

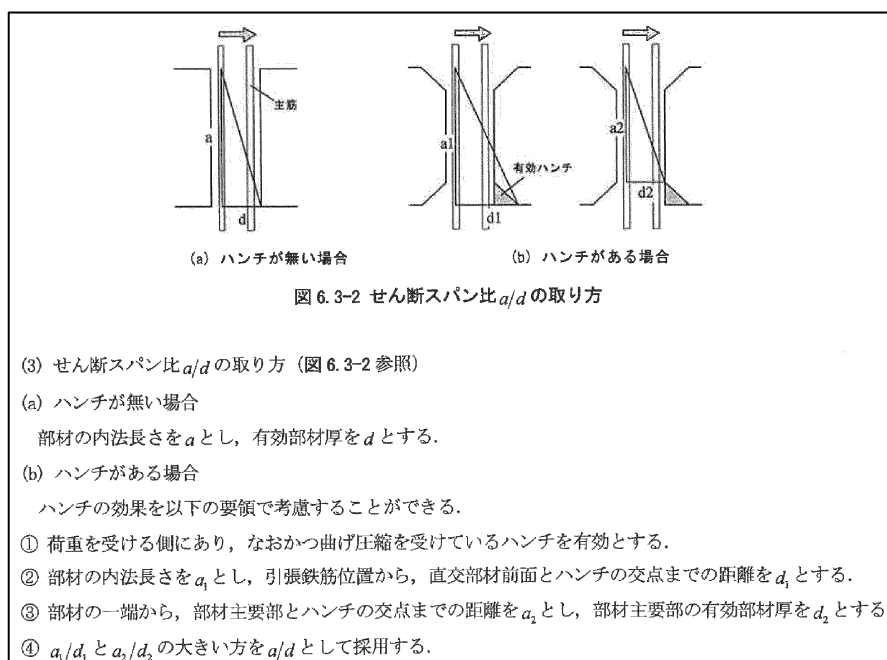


図 2-44 せん断スパン比の取り方

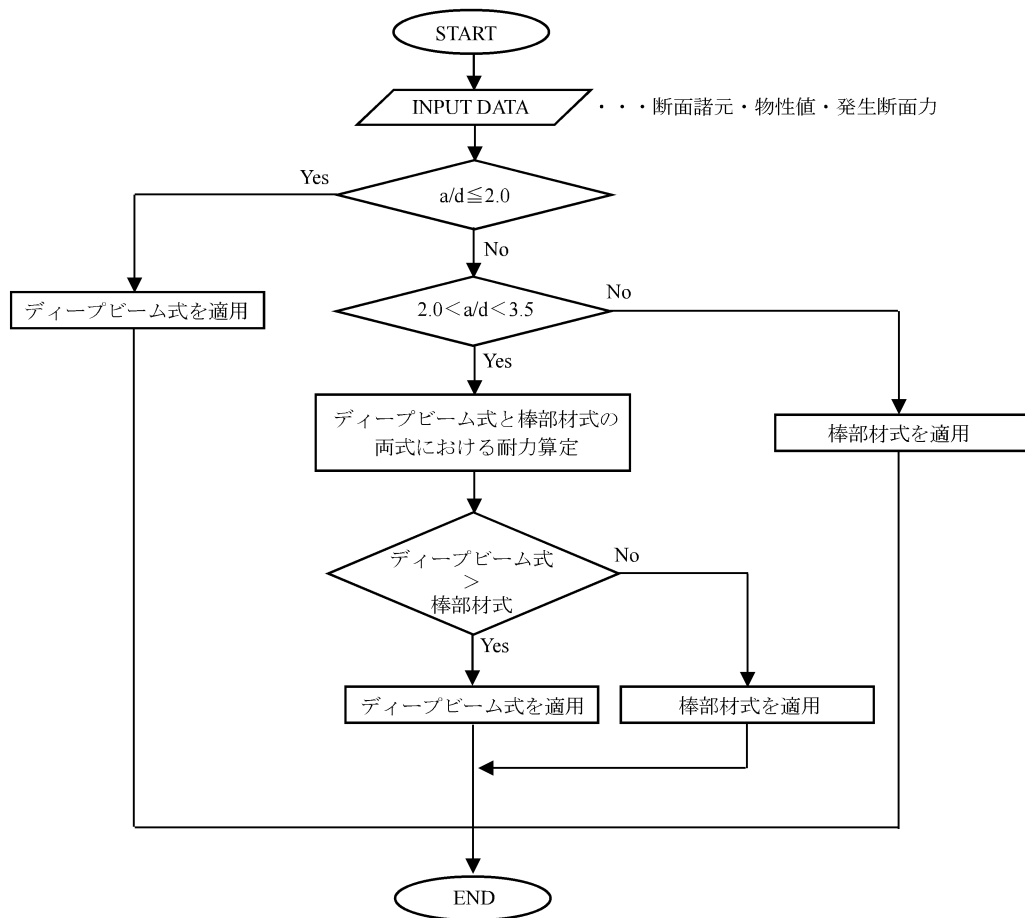


b. 照査断面の設定

照査断面は，照査対象範囲の中でせん断応力度（応答せん断力を断面積で除した値）が最大となる断面とする。また，照査断面よりも支点寄りにある作用点の影響は考慮しない。

c. 各集中荷重に対するせん断耐力の算定

棒部材式及びディープビーム式の適用フローを図 2-45 に，棒部材式とディープビーム式の適用区分を図 2-46 に示す。



せん断スパン比 (a/d) の一般的な判定目安 (『土木学会指針 2005 (マニュアル)』より)

$0 < a/d \leq 2.0$	ディープビーム式の適用範囲
$2.0 < a/d < 3.5$	ディープビーム式 or 棒部材式の耐力が大きい方 (遷移領域)
$3.5 \leq a/d$	棒部材式の適用範囲

図 2-45 棒部材式及びディープビーム式の適用フロー

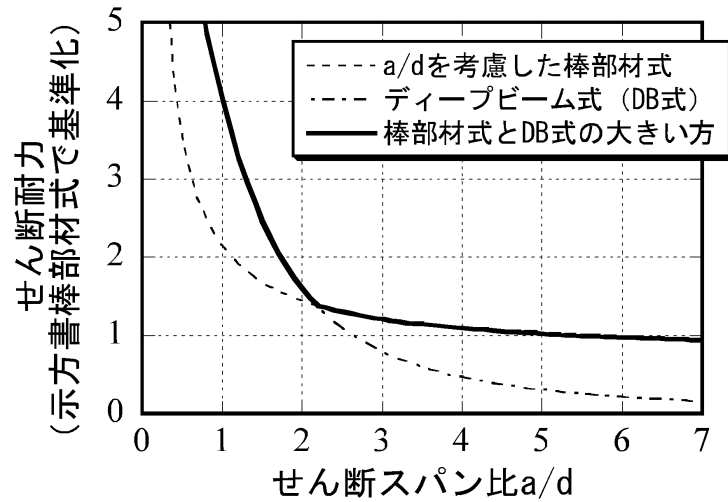


図 2-46 棒部材式とディープビーム式の適用区分  
(土木学会マニュアル 2005 より抜粋)

b. ディープビーム式

$$V_{yddl} = V_{cdd} + V_{sdd} \quad (6.3-6)$$

ここに、 $V_{cdd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sdd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc} \quad (6.3-7)$$

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

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

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

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

$\gamma_{bc}$  : 部材係数 (表 6.1-1 参照, コンクリート寄与分用の値)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd} \quad (6.3-8)$$

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

$V_{sd}$  : (6.3-5)式による

$p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比[%]

#### (4) 材料非線形解析によるせん断耐力

##### a. 評価条件

線形被害則による照査値が 1.0 を上回る場合は、材料非線形解析によりせん断耐力を算定し、せん断耐力が照査用せん断力を上回ることを確認する。

「(2) せん断の破壊に対する許容限界」で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。

表 2-19 及び表 2-20 に材料非線形解析の概要を示す。

材料非線形解析は、90 年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会 2012 年制定）（以下「コンクリート標準示方書 2012」という。）や土木学会マニュアル 2005 等で取り扱われている。

材料非線形解析にて用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、コンクリート標準示方書 2012 において標準とされる以下の手法とする。①鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。②鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。③鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。

なお、材料非線形解析の適用にあたっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。

材料非線形解析においては、解析コード「WCOMD Studio」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。

表 2-19 材料非線形解析の位置付け（土木学会マニュアル 2005）

目標性能		選択される標準的な解析手法と耐震性能の照査に用いる物理量	
区分	限界状態		
1	構造物の構成部材が降伏に至らない		<b>手法①: 線形解析</b> ・鉄筋およびコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
2	構造物が最大耐力に至らない		<b>手法②: 等価線形解析</b> ・鉄筋およびコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力 ・最大せん断力 ・最大曲げモーメント
3	構造物が崩壊しない		<b>手法③: 部材非線形の解析</b> ・最大曲げモーメント ・最大曲率 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大せん断力
			<b>手法④: 材料非線形の解析</b> ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ ・最大せん断力

表 2-20 部材非線形解析と材料非線形解析の特徴

解析手法	部材非線形モデル		材料非線形モデル	
	骨組		有限要素	
モデル化				
解析次元	一次元		二次元	三次元
構成則	$M-\phi$ , $M-\theta$ など	応力ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面要素	立体要素
ガウス積分	$M-\phi$ , $M-\theta$ など	$M-\phi$ に変換	応力-ひずみ	
特徴	汎用性	狭い ← → 広い		
	解析時間	短い ← → 長い		

(a) 適用基準

材料非線形解析については、土木学会マニュアル 2005、コンクリート標準示方書 2012 等に基づき実施する。

表 2-21 に参考とする主な基準等を示す。

表 2-21 参考とする主な基準等

項目	参考とする主な基準等	備考
材料定数 材料特性	コンクリート標準示方書 2012 土木学会マニュアル 2005	—
許容限界	—	せん断力-相対変位関係より設定した許容限界（破壊基準）が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果とおおむね整合的であることを確認。

(b) 材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を表 2-22 及び表 2-23 に示す。

表 2-22 コンクリートの材料定数

	設定値	諸元
単位体積重量	0.0kN/m <sup>3</sup>	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
圧縮強度	15.8N/mm <sup>2</sup>	設計基準強度 (20.6N/mm <sup>2</sup> ) ／材料係数*
引張強度	1.33N/mm <sup>2</sup>	引張強度／材料係数*
圧縮ピークひずみ	0.002	コンクリート標準示方書 2012
ひび割れ-せん断 伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書 2012
破壊エネルギー	0.0681N/mm	コンクリート標準示方書 2012

注記\*：材料係数を 1.3 として算出

表 2-23 鉄筋の材料定数

		設定値	諸元
単位体積重量		0.0kN/m <sup>3</sup>	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない
ヤング係数		200kN/mm <sup>2</sup>	コンクリート標準示方書 2012
降伏 強度	主鉄筋	1000N/mm <sup>2</sup>	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう曲げ耐力が増大するように設定
	せん断 補強筋	345N/mm <sup>2</sup>	SD345

(c) 解析モデルの要素分割

材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、図 2-47 に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。

部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと、及び 3 層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから 3 層以上に設定することとする。

具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの 2 倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平にならないように分割する。

なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル端部を固定境界とする。

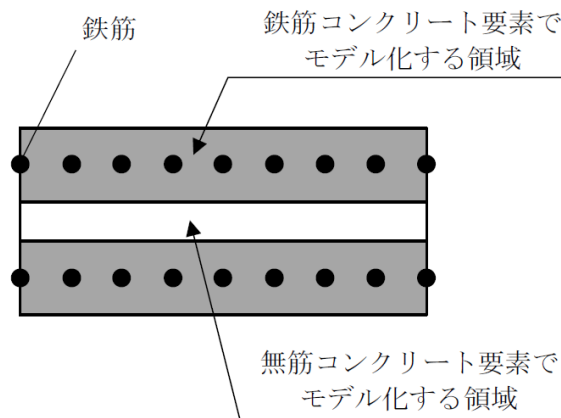


図 2-47 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要

(d) コンクリートの非線形特性

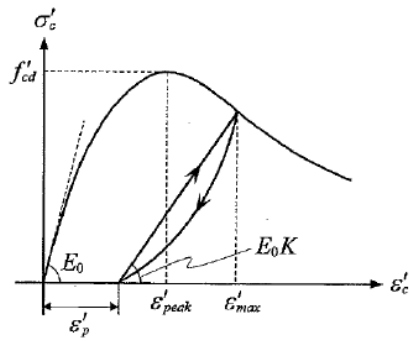
耐震評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素及び無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。

イ. 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 2-48 に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

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

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、図 2-49 に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



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

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

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

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

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$

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

$\varepsilon'_{max}$  : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

$\varepsilon'_p$  : 塑性ひずみ

K : 弾性剛性残存率

図 2-48 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

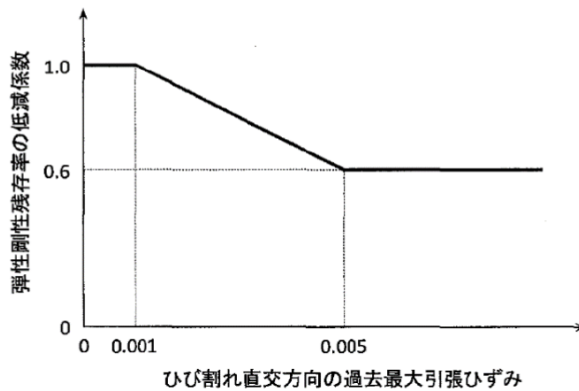


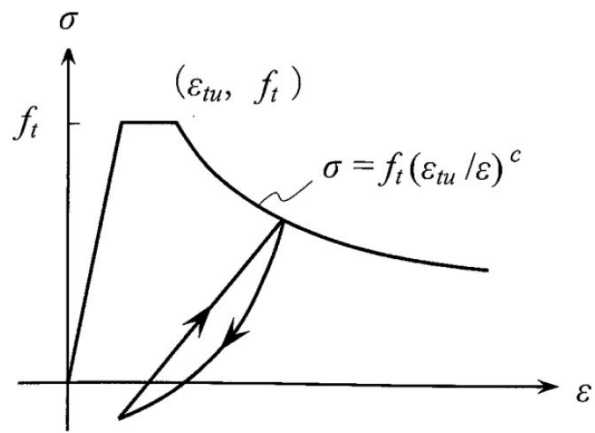
図 2-49 弾性剛性残存率の低減係数



ロ. 引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、図 2-50 に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー ( $G_f$ ) によって定義する。引張軟化挙動の考慮にあたっては、図 2-51 に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が  $G_f/L$ 。(要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数  $c$  を用いる。



ここに,

$f_t$  : 引張強度

$\epsilon_{tu}$  : 引張軟化開始ひずみ

$c$  : 引張軟化特性を表す係数

図 2-50 引張対応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した  
応力-ひずみ関係

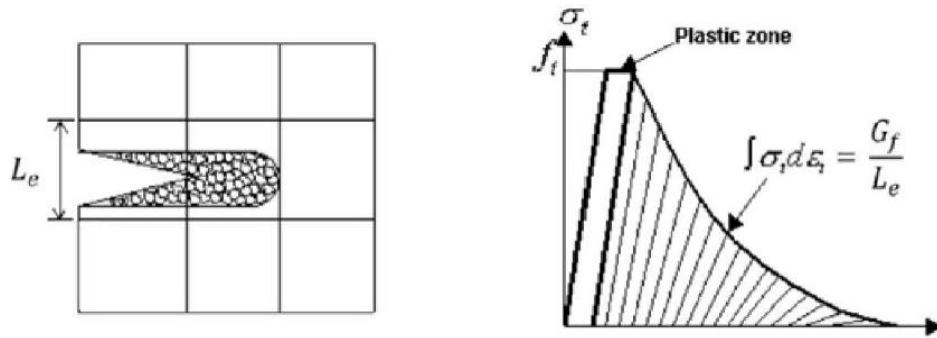
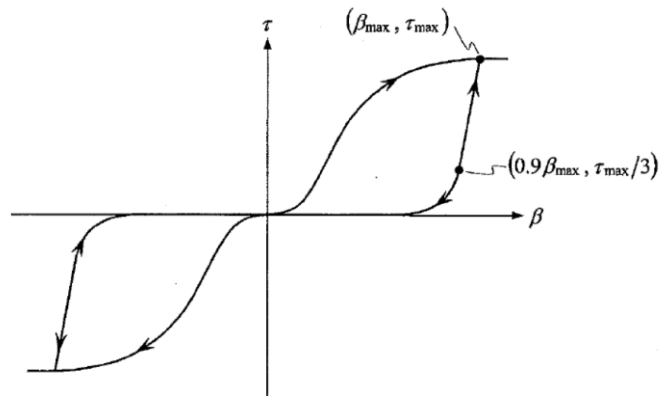


図 2-51 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギー $G_f$ の関係

ハ. ひび割れ面でのせん断伝達関係

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

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、図 2-52 に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。

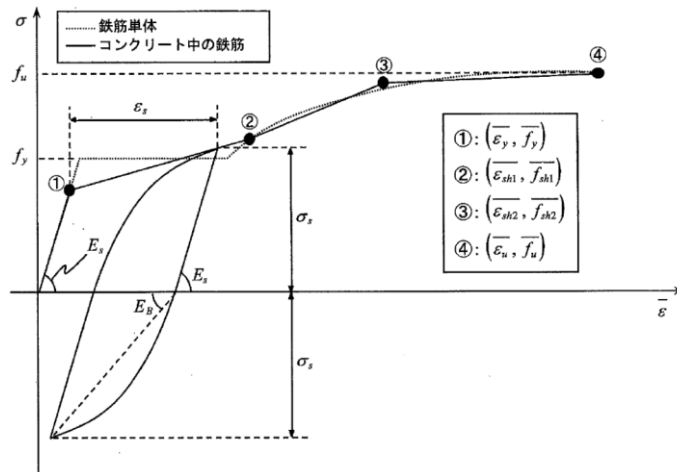


- $\beta$  : ひび割れ面におけるせん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比 ( $\gamma / \varepsilon$ )
- $\tau$  : ひび割れ面でのせん断応力
- $\tau_{\max}$  : 除荷開始時せん断応力
- $\beta_{\max}$  : 除荷開始時せん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比

図 2-52 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

(e) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力ー平均ひずみ関係は，単体鉄筋の応力ーひずみ関係と異なり，図 2-53 に示すひずみ硬化特性を考慮する。



- $f_y$  : 鉄筋単体の降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $f_u$  : 鉄筋単体の引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_s$  : 鉄筋単体のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\epsilon_y$  : 鉄筋単体の降伏ひずみ
- $\epsilon_{sh}$  : 鉄筋単体のひずみ硬化開始ひずみ
- $p$  : 鉄筋比
- $f_1$  : コンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

図 2-53 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力ー平均ひずみ関係

(f) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

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

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_C}{A_{RC}} \bar{\sigma}_C$$

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

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

(g) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組合せは地震応答解析と同様である。

b. 評価内容

(a) 耐震評価フロー

材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを図 2-54 に示す。

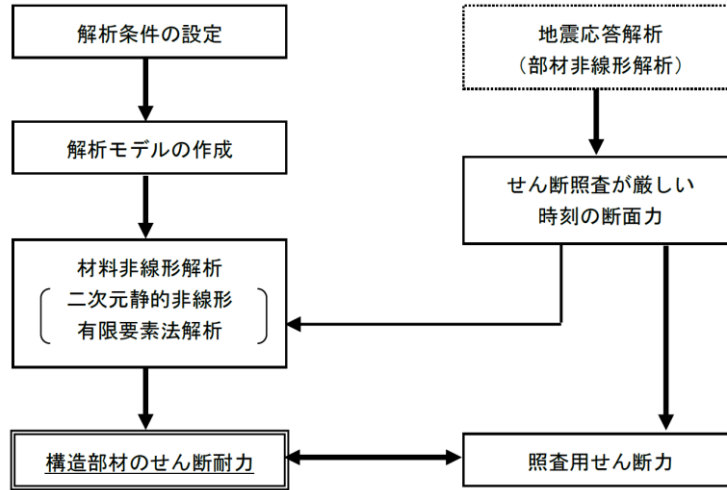


図 2-54 材料非線形解析のせん断耐力評価フロー

(b) 荷重の設定

材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（2次元時刻歴応答解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻における断面力（曲げモーメント、軸力及びせん断力）を材料非線形解析モデルに図 2-55 に示すとおり作用させる。

材料非線形解析では、地震応答解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。

作用荷重は、常時荷重及び地震時荷重を、図 2-56 に示すとおり载荷し材料非線形解析を実施する。

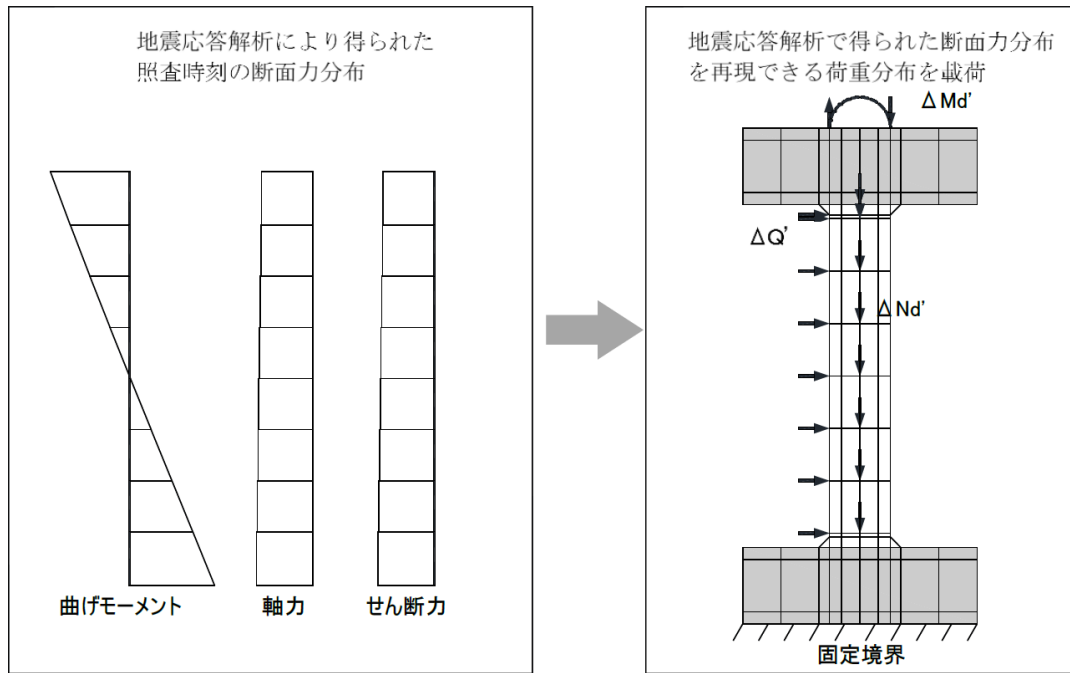


図 2-55 材料非線形解析における荷重状況

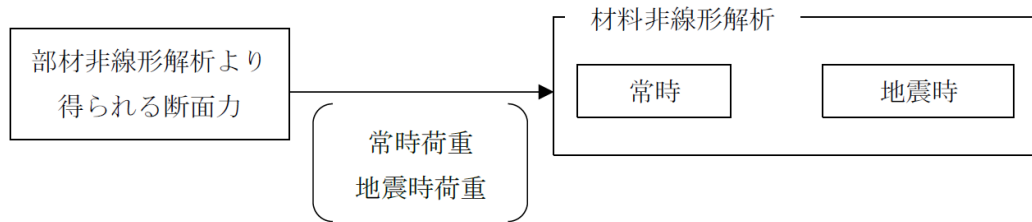


図 2-56 荷重の作用手順

(c) せん断耐力

材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析における固定端反力  $P$  - 相対変位  $\delta$  関係から設定する。具体的には、図 2-57 に示す例のとおり、固定端反力  $P$  - 相対変位  $\delta$  関係においてせん断力の増分に対して相対変位  $\delta$  が急増する直前の点を部材のせん断耐力と判断する。

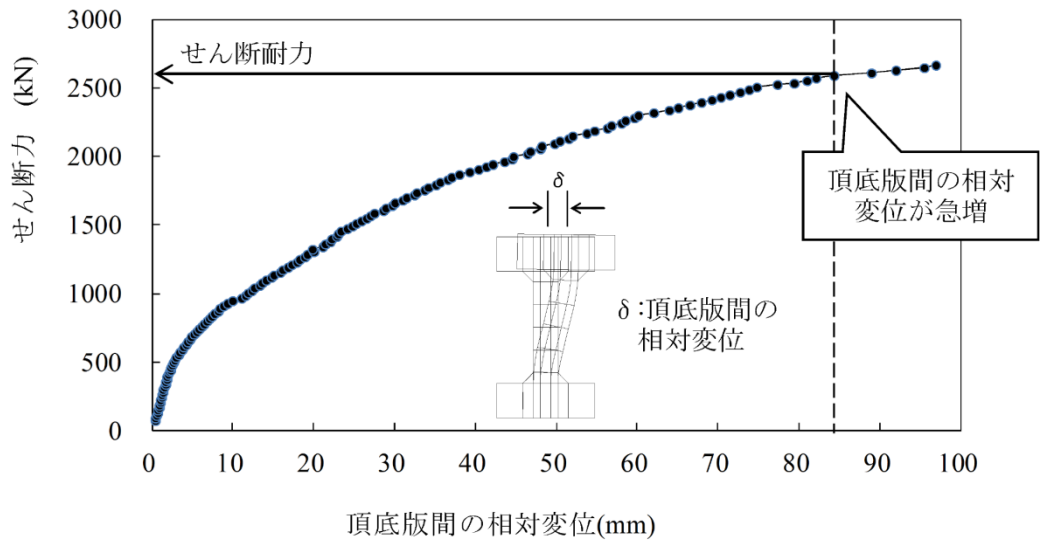


図 2-57 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例

(d) 安全係数の設定

材料非線形解析では、地震応答解析（2次元時刻歴応答解析）で得られる断面力（曲げモーメント，軸力，せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力  $V$  と材料非線形解析で得られるせん断耐力  $V_y$  に、以下のとおり部材係数  $\gamma_{b1}$ ， $\gamma_{b2}$ ，構造解析係数  $\gamma_a$ ，構造物係数  $\gamma_i$  を考慮し，照査用せん断力  $V_d$ ，設計せん断耐力  $V_{yd}$  を算定する。

$$V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$$

$$V_{yd} = V_y \cdot (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$$

考慮する安全係数の設定結果を表 2-24 に示す。ここで、部材係数  $\gamma_{b1}$  については、実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし、解析における構成則の相違や、要素の種類，要素分割，材料物性の設定，入力増分等，多岐にわたる解析者間の差を考慮する。

具体的には、土木学会マニュアル 2005 に示される 17 ケースの材料非線形解析を実施し、実験又はせん断耐力との差が最も大きい Case No. 8 の部材係数 1.12 を設定する。表 2-25 に部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定結果を示す。



表 2-24 考慮する安全係数の設定結果

安全係数		値	設定根拠
部材係数	$\gamma_{b1}$	1.12	別途実施する材料非線形解析により設定
	$\gamma_{b2}$	1.0	地震応答解析による層間変形角より設定
構造物係数	$\gamma_i$	1.0	構造物の重要度は、基準地震動 $S_s$ により評価することで包絡されていると判断
構造解析係数	$\gamma_a$	1.05	各種文献より保守的に設定
材料係数	$\gamma_m$	1.3	文献に基づく標準的な値を設定

表 2-25 部材係数  $\gamma_{b1}$  の設定結果

Case No.	試験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果) (②/①)	備考
	せん断耐力 (kN) ①	せん断耐力 (kN) ②		
1	475	426	0.90	
2	1187	1068	0.90	
3	324	361	1.11	
4	294	314	1.07	
5	581	522	0.90	
6	329	328	1.00	
7	1587	1713	1.08	
8	350	392	1.12	最大値
9	855	848	0.99	
10	165	104	0.63	
11	333	297	0.89	
12	127	124	0.97	
13	188	167	0.89	
14	163	171	1.05	
15	273	254	0.93	
16	356	370	1.04	
17	432	347	0.80	

## (5) 基礎コンクリート

### a. 接地圧に対する許容限界

基礎コンクリートに発生する接地圧に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書 2002」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

基礎コンクリートの支持性能に対する許容限界を表 2-26 に示す。

表 2-26 基礎コンクリート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> )
支圧強度	基礎コンクリート ( $f'_{c k} = 15.6 \text{ N/mm}^2$ )	$f'_a = 15.6$

### b. 健全性に対する許容限界

基礎コンクリートの健全性に対する許容限界は、「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、表 2-27 に示すせん断強度及び引張強度とする。

表 2-27 基礎コンクリートのせん断強度及び引張強度

	評価項目	算定式	許容限界
基礎コンクリート $f'_{c k} = 15.6 \text{ (N/mm}^2)$	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$1/5 f'_{c k}$	3.12
	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$0.23 f'_{c k}^{2/3}$	1.43

## 2.4 評価結果

### 2.4.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「ひずみの時刻歴波形」，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」，曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースの地盤の「最大せん断ひずみ分布」を記載する。

#### (1) 解析ケースと照査値

耐震評価における解析ケースについては、「補足-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（ケース①）を実施する。基本ケースにおいて，曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊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2-28に示す。

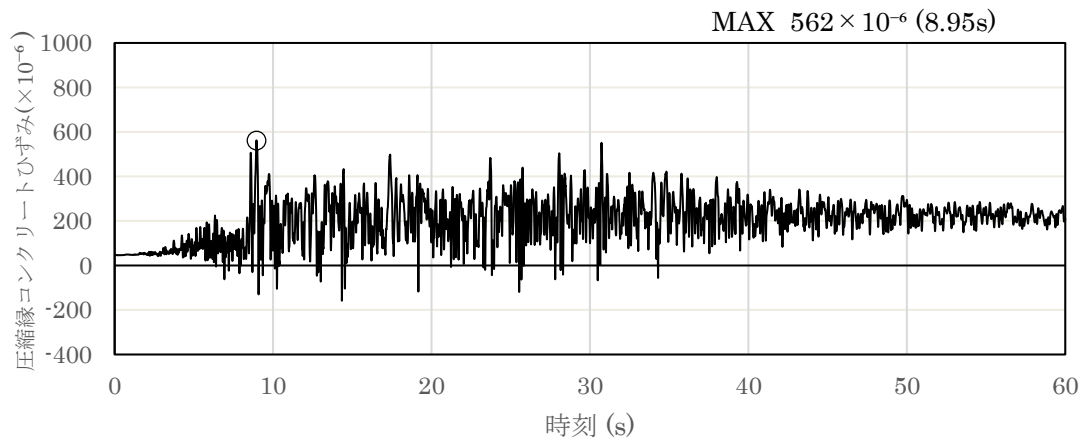
上記実施ケースの結果を踏まえ，照査値に十分な裕度を有することから，追加解析を実施しない。

表 2-28 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	備考
A-A断面	$S_s - D (+)$	せん断破壊から選定

(2) ひずみの時刻歴波形

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の時刻歴波形を図 2-58 に示す。



(圧縮を正で示す。)

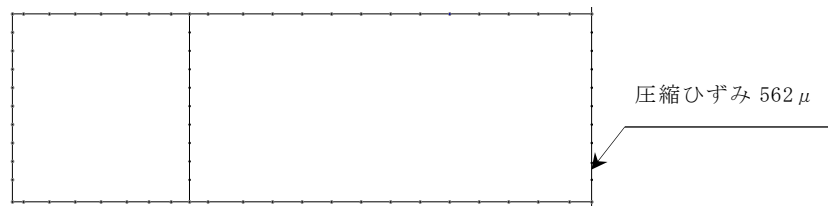
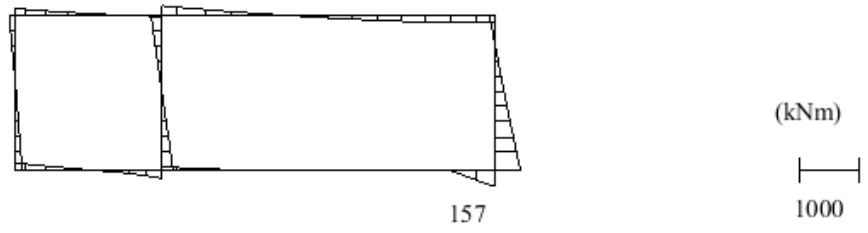


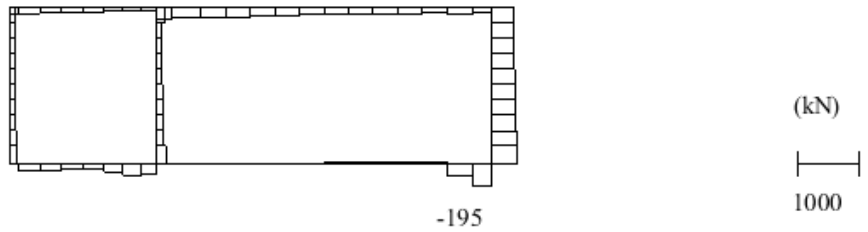
図 2-58 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの時刻歴波形  
(A-A断面, 解析ケース②, S<sub>s</sub>-D(+))

(3) 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

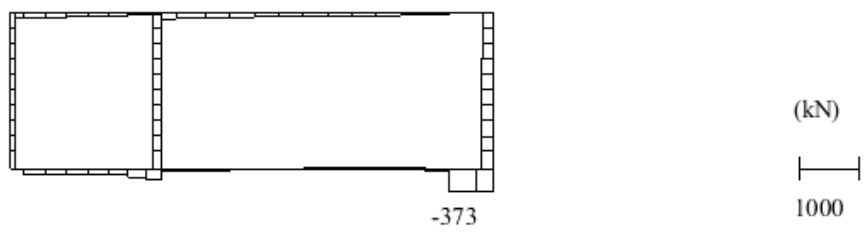
せん断破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図 2-59 に示す。



数值：評価位置における断面力  
(a) 曲げモーメント (kN・m)



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



数值：評価位置における断面力  
(c) せん断力 (kN)

図 2-59 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図  
(A-A断面，解析ケース①，S<sub>s</sub>-D (+-))

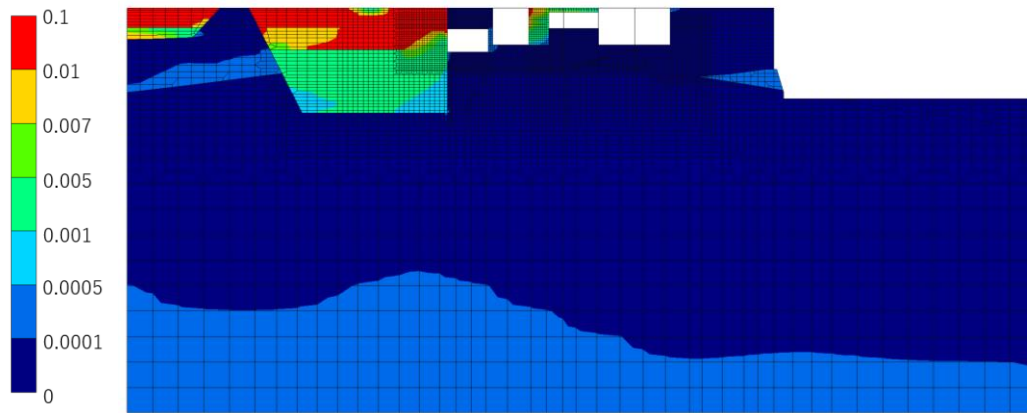
(4) 最大せん断ひずみ分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて，発生した最大せん断ひずみを確認する。

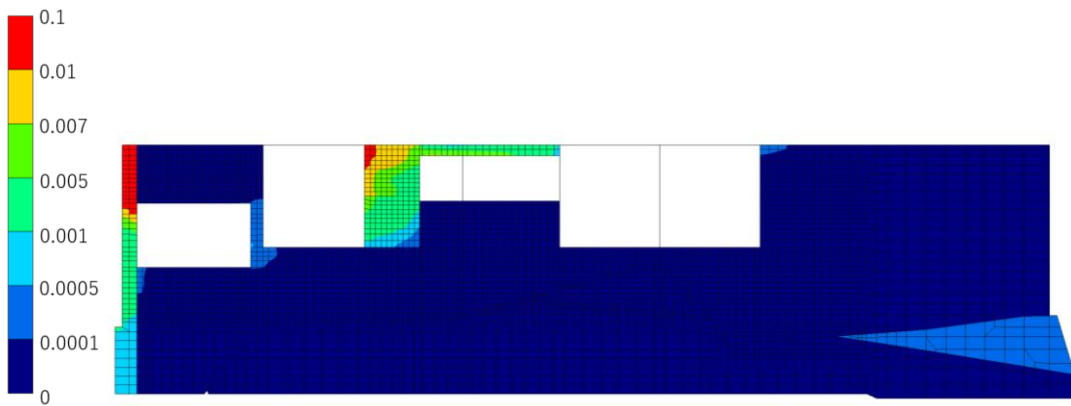
最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 2-29 に，最大せん断ひずみ分布図を図 2-60 に示す。

表 2-29 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面	対象ケース	照査項目
A-A断面	①	S <sub>s</sub> -D (+-)



(全体図)



(拡大図)

図 2-60 最大せん断ひずみ分布図 (A-A断面, 解析ケース①,  $S_s - D (+)$ )



#### 2.4.2 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表 2-30 に示す。照査値は、ひずみ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。

表 2-30 のとおり、コンクリートの照査用ひずみが全ケースにおいて、許容限界（ $10000\mu$ ）を下回ることを確認した。

表 2-30 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果  
(構造強度を有することの確認：全応力解析)

解析 ケース	地震動		照査用ひずみ $\epsilon_d^*$	限界ひずみ $\epsilon_R$	照査値 $\epsilon_d / \epsilon_R$
①	S s - D	++	635 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
		-+	556 $\mu$	10000 $\mu$	0.06
		+-	632 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
		--	536 $\mu$	10000 $\mu$	0.06
	S s - F 1	++	387 $\mu$	10000 $\mu$	0.04
	S s - F 2	++	419 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
	S s - N 1	++	452 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
		-+	621 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
	S s - N 2 (NS)	++	381 $\mu$	10000 $\mu$	0.04
		-+	431 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
	S s - N 2 (EW)	++	358 $\mu$	10000 $\mu$	0.04
		-+	440 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
②	S s - D	+-	675 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
③	S s - D	+-	603 $\mu$	10000 $\mu$	0.07

注記\*：照査用ひずみ  $\epsilon_d =$  発生ひずみ  $\epsilon \times$  構造解析係数  $\gamma_a (=1.2)$

### 2.4.3 せん断破壊に対する評価結果

#### (1) せん断耐力式による評価結果

せん断破壊に対する評価結果を表 2-31 に示す。照査値は、せん断力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。

同表中には、照査値が 1.0 を上回る解析ケース、部材があることから、次項「(2) 材料非線形解析による評価結果」にて照査値が 1.0 を下回ることを確認する。

表 2-31(1) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動	評価位置*1	照査用 せん断力 $V_d^{*2}$ (kN)		せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN)		照査値 $V_d/V_{y d}$
①	S s - D	++	頂版	2	138	166	0.84
			側壁	4	271	218	1.25*3
			隔壁	5	181	145	1.25*3
			底版	7	381	185	2.06*3
		-+	頂版	2	138	167	0.83
			側壁	4	200	225	0.90
			隔壁	5	164	142	1.16*3
			底版	7	334	179	1.87*3
		+-	頂版	2	130	161	0.81
			側壁	4	254	230	1.11*3
			隔壁	5	192	150	1.29*3
			底版	7	392	182	2.16*3
		--	頂版	2	130	164	0.80
			側壁	3	138	137	1.01*3
			隔壁	5	166	146	1.14*3
			底版	7	383	180	2.13*3

表 2-31(2) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d^{*2}$ (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - F 1	++	頂版	2	117	167	0.70
			側壁	4	157	223	0.71
			隔壁	5	132	142	0.93
			底版	7	186	174	1.08*3
	S s - F 2	++	頂版	2	129	166	0.78
			側壁	4	203	222	0.92
			隔壁	5	152	151	1.01*3
			底版	7	194	173	1.13*3
	S s - N 1	++	頂版	2	106	164	0.65
			側壁	3	142	135	1.06*3
			隔壁	5	163	147	1.11*3
			底版	7	217	182	1.20*3
-+		頂版	2	140	169	0.83	
		側壁	4	265	218	1.22*3	
		隔壁	5	189	147	1.29*3	
		底版	7	311	196	1.60*3	

表 2-31(3) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d^{*2}$ (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 2 (N S)	++	頂版	2	118	160	0.74
			側壁	3	89	137	0.65
			隔壁	5	123	146	0.85
			底版	7	172	172	1.01*3
		-+	頂版	2	120	159	0.76
			側壁	4	166	219	0.76
			隔壁	5	159	148	1.08*3
			底版	7	202	186	1.09*3
	S s - N 2 (E W)	++	頂版	2	113	163	0.70
			側壁	3	112	137	0.82
			隔壁	5	131	149	0.89
			底版	7	154	171	0.90
		-+	頂版	2	151	171	0.89
			側壁	4	146	210	0.70
			隔壁	5	147	147	1.00
			底版	7	220	174	1.27*3

表 2-31(4) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d$ *2 (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
②	S s - D	+-	頂版	2	139	161	0.87
			側壁	4	272	232	1.18*3
			隔壁	5	191	151	1.27*3
			底版	7	412	200	2.07*3
③	S s - D	+-	頂版	2	131	166	0.79
			側壁	4	240	230	1.05*3
			隔壁	5	193	150	1.29*3
			底版	7	356	182	1.96*3

注記\*1：評価位置は図 2-61 に示す。

\*2：照査用せん断力  $V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a (=1.05)$

\*3：線形被害則又は材料非線形解析を適用（結果は追而）

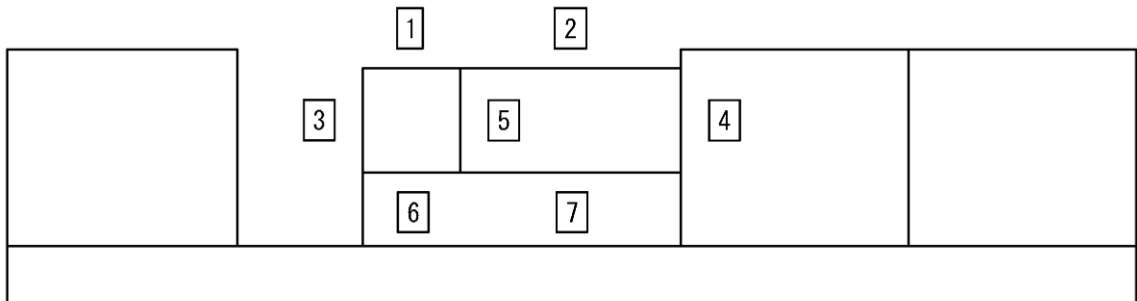
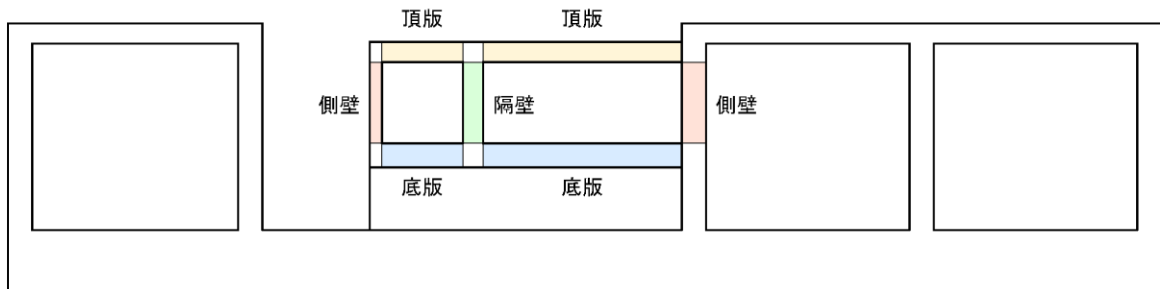


図 2-61 評価位置図 (A-A 断面)

(2) 材料非線形解析による評価結果

追而

#### 2.4.4 基礎コンクリートの支持性能に対する評価結果

追而



### 3. ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震評価

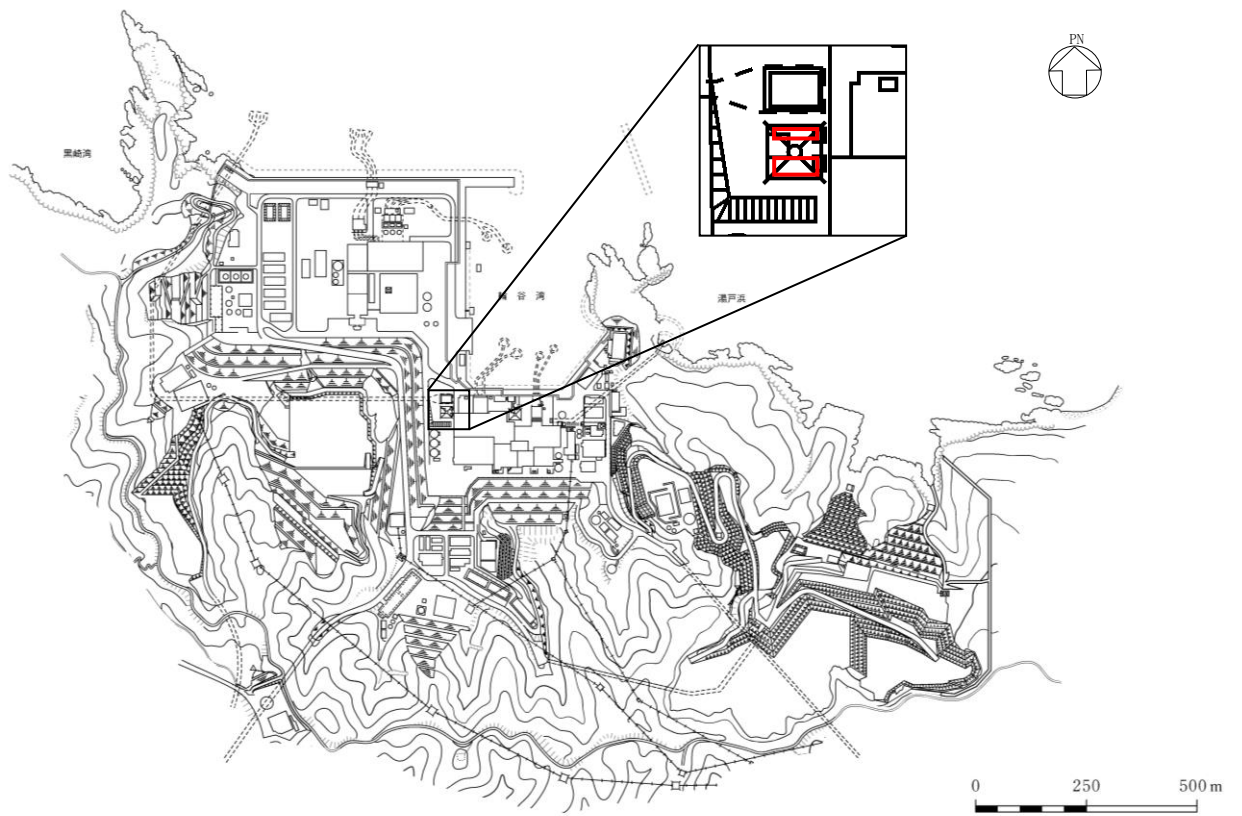
#### 3.1 評価条件

ディーゼル燃料貯蔵タンク室については、「2. 屋外配管ダクト(排気筒)の耐震評価」で実施した地震応答解析において構造物（非線形はり要素）としてモデル化していることから、その応答値を用いた耐震評価を実施する。以降、ディーゼル燃料貯蔵タンク室特有の項目について詳述する。

##### 3.1.1 構造概要

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の位置図を図 3-1 に、平面図を図 3-2 に、**周辺状況平面図**を図 3-3 に、断面図を図 3-4～図 3-6 に、概略配筋図を図 3-7 に、評価対象断面位置図を図 3-8 に示す。

ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、A-ディーゼル燃料貯蔵タンク（北側）を内包するタンク室（以下「タンク室①」という）及び2連構造でA-ディーゼル燃料貯蔵タンク（南側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料貯蔵タンクを内包するタンク室（以下「タンク室②」という）から構成される鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、底版はSクラス施設の間接支持構造物である排気筒の基礎である。また、タンク室②の一部は、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外配管ダクト(排気筒)の側壁と部材を共有している。



□ : ディーゼル燃料貯蔵タンク室

図 3-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 位置図

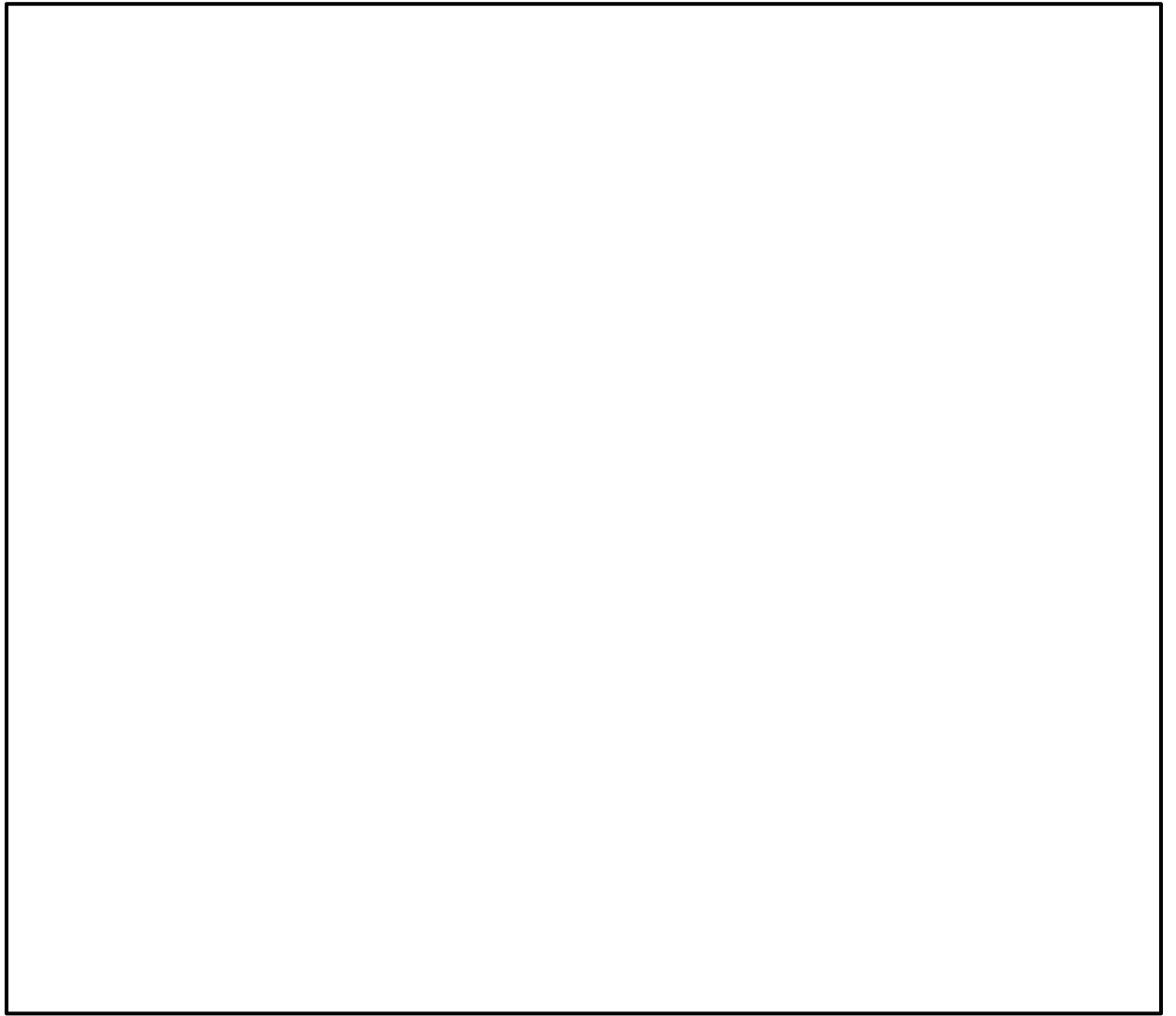


図 3-2 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 平面図

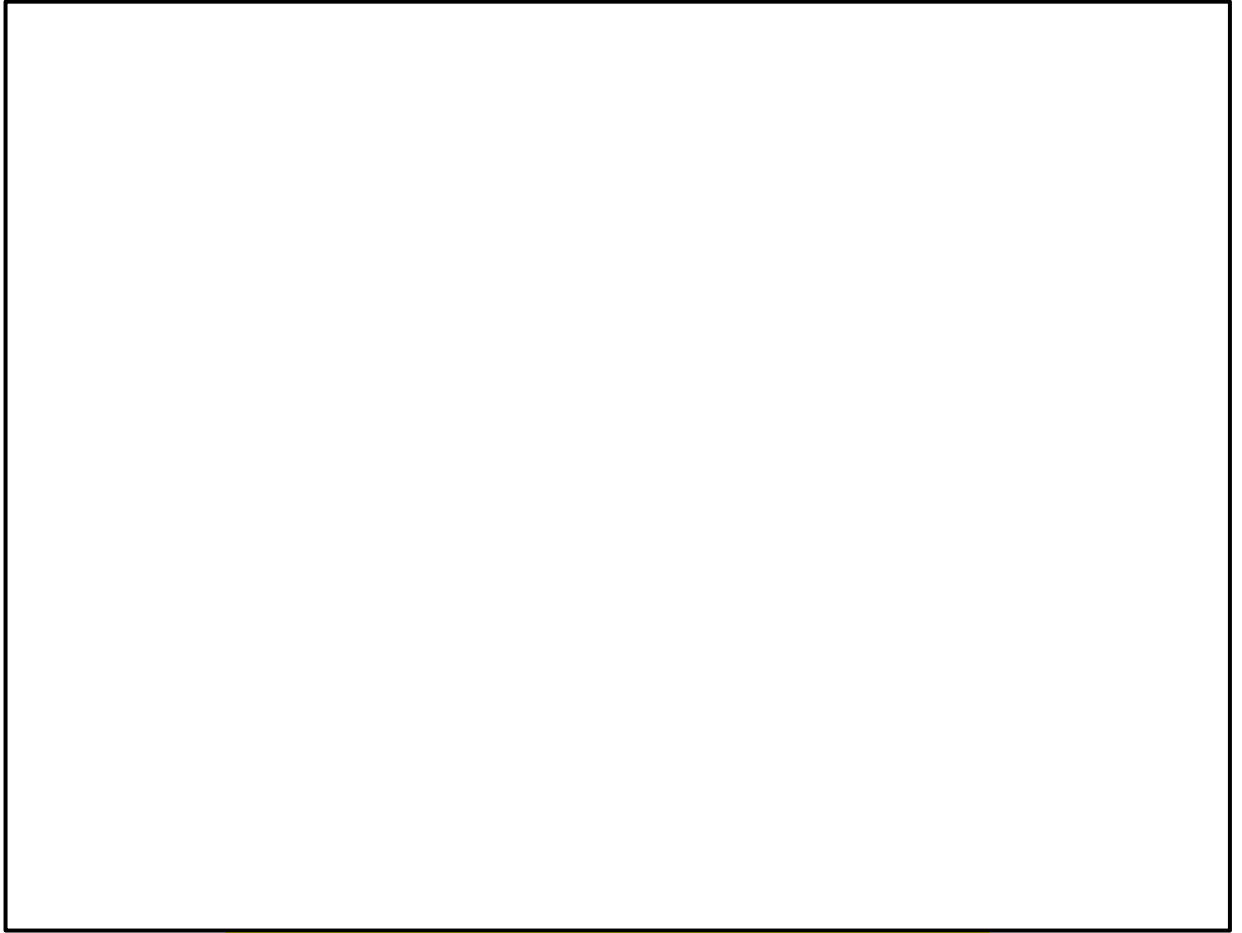


図 3-3 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 周辺状況平面図



図 3-4 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 断面図 (A-A断面)

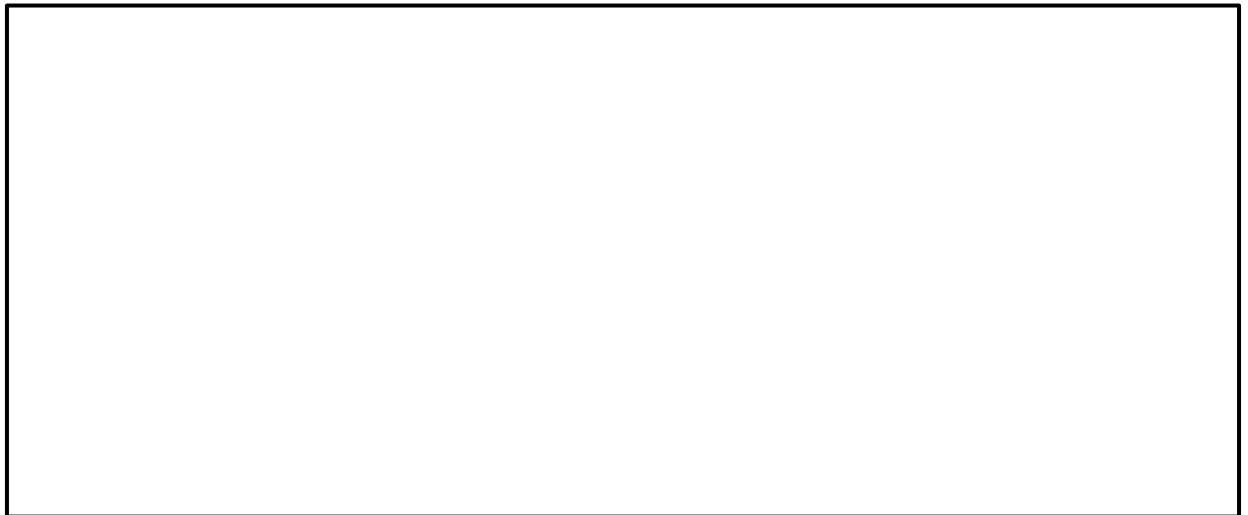


図 3-5 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 断面図 (B-B 断面)

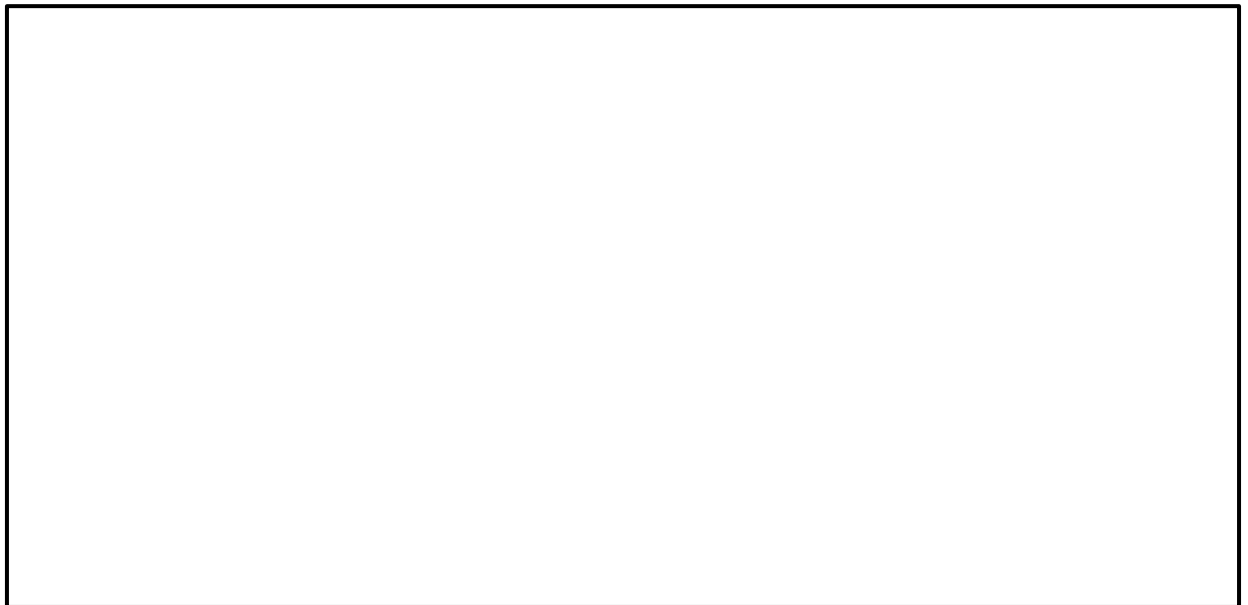


図 3-6 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 断面図 (C-C 断面)

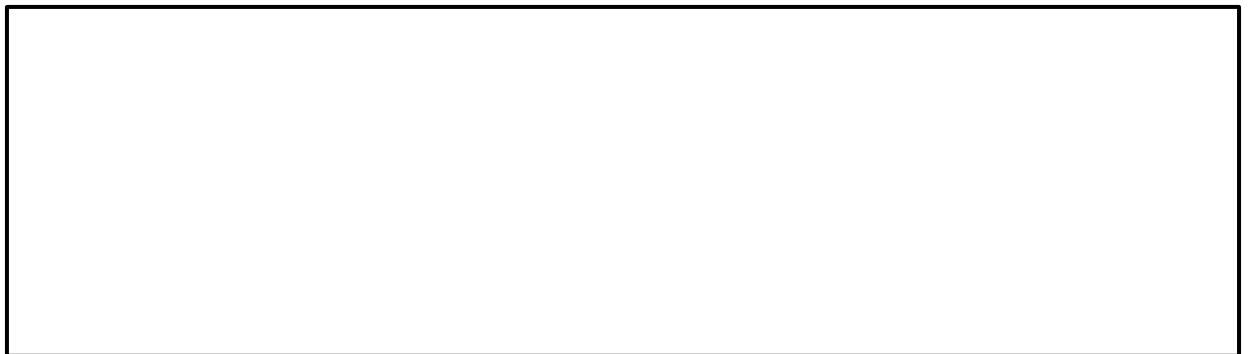


図 3-7 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 概略配筋図 (A-A 断面)

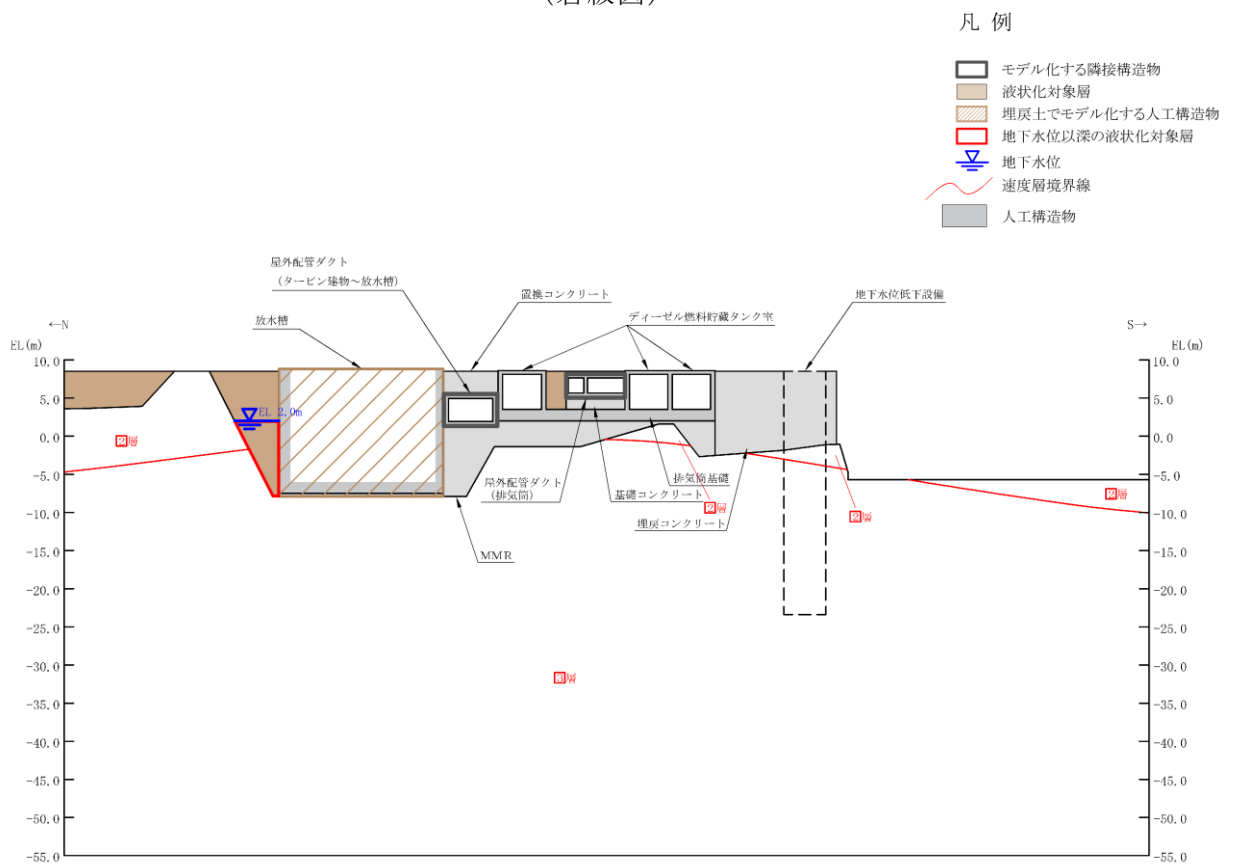
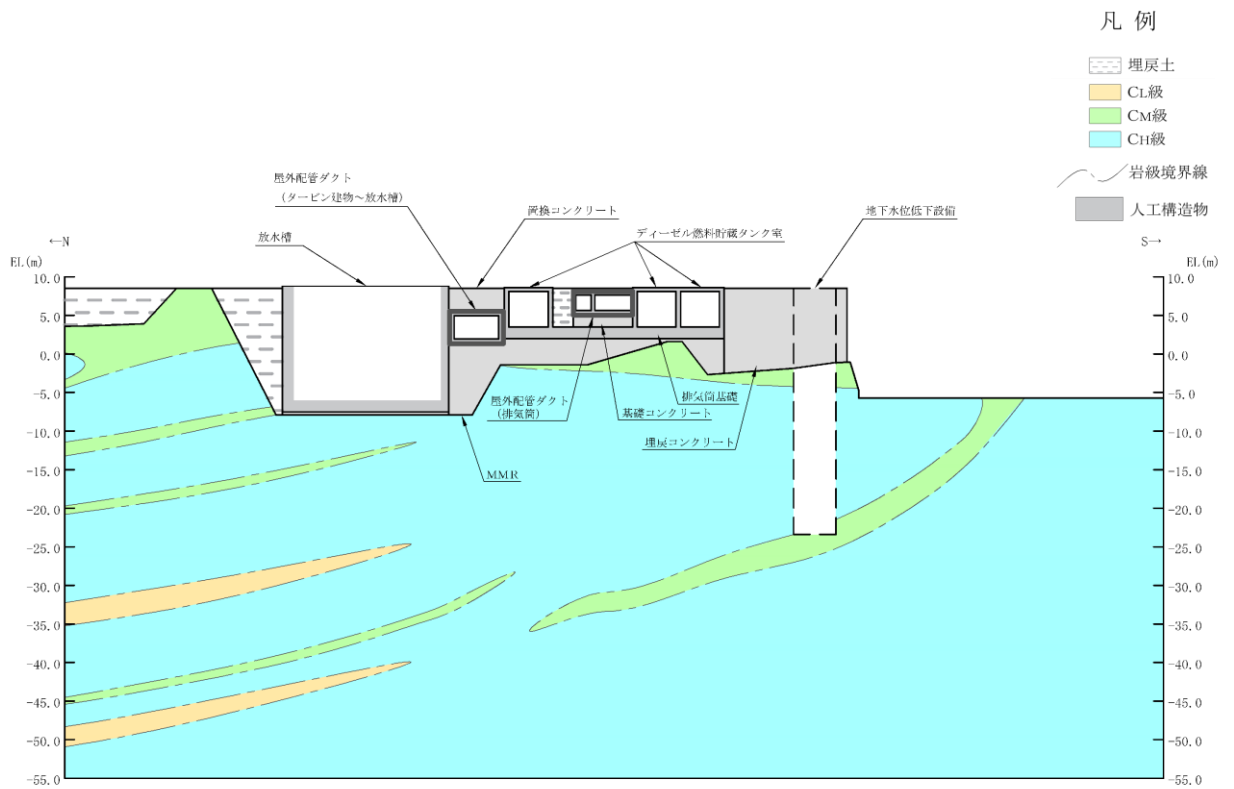


図 3-8 ディーゼル燃料貯蔵タンク室 評価対象断面図 (A-A 断面位置)

### 3.1.2 評価対象断面の選定

評価対象構造物であるディーゼル燃料貯蔵タンク室の弱軸方向断面として、屋外配管ダクト(排気筒)を含めて評価できるA-A断面を選定する。

C-C断面については表3-1に示すとおり、A-A断面の評価に包絡されると考えられるため、選定しない。

また、強軸方向についても、図3-3に示すとおり、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の西側に埋戻土が分布することから、B-B断面を用いて土圧を考慮した評価を実施する。評価結果については、参考資料1「ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁(西側)の耐震性について」に示す。

表3-1 弱軸方向断面の評価対象断面選定の考え方

前提	<p>以下の観点から、タンク室②と比較してタンク室①の評価が厳しくなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・タンク室の構造寸法及び配筋は同じであるが、タンク室①はタンク室②に比べて1基当たりの内空が大きい。</li> <li>・タンク室①は側方に構造物又は置換コンクリートを介して埋戻土(埋戻土としてモデル化する放水槽を含む)が広範囲に分布するが、タンク室②は側方に剛性の大きい埋戻コンクリートが幅広く分布する。</li> <li>・全ての評価対象構造物は排気筒の基礎の上に設置されているため、断面ごとの応答特性に大きな差はない。</li> </ul>
A-A断面とC-C断面の比較	<p>C-C断面については、排気筒モニタ室(スラブ厚930mm)がディーゼル燃料貯蔵タンク室の頂版の一部と一体化しており、タンク室①とタンク室②の変形が拘束されることで、タンク室それぞれが独立して挙動するよりも変形量が小さくなる。よって、C-C断面はA-A断面と比較してタンク室①の地震時の変形量が小さくなる。</p>
A-A断面の設計上の配慮	<p>A-A断面では排気筒モニタ室及び一部の機器・配管系を支持しないが、保守的にこれらの荷重も考慮する。</p>

3.1.3 評価構造物諸元

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の諸元を表 3-2 に、評価部位を図 3-9 に示す。

表 3-2 評価部位とその仕様(B-B断面)

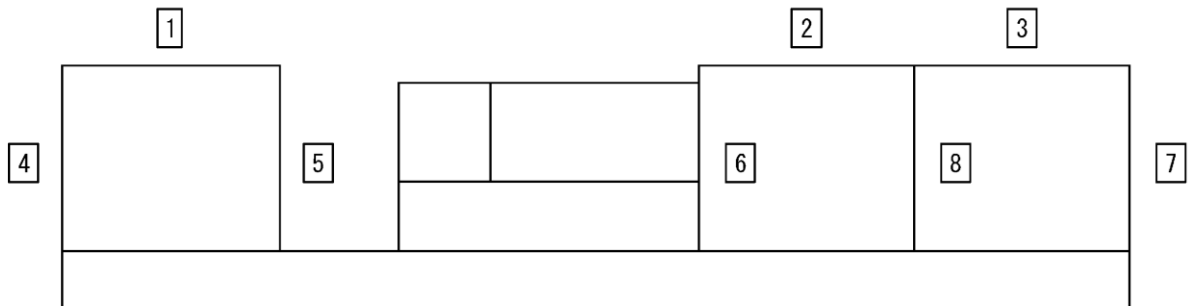
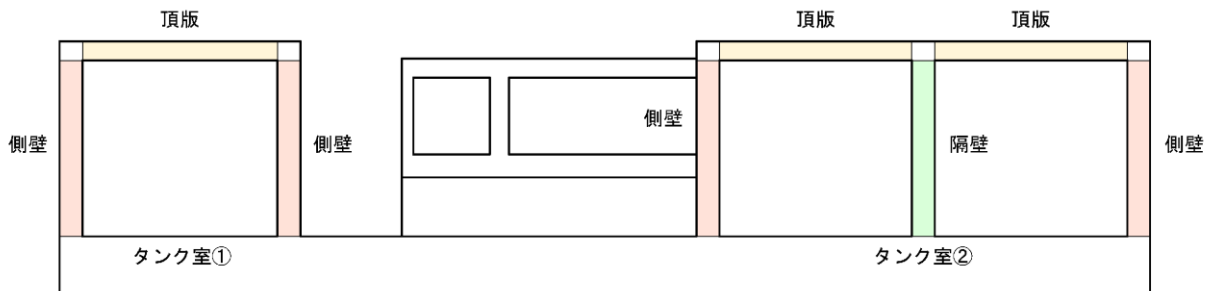
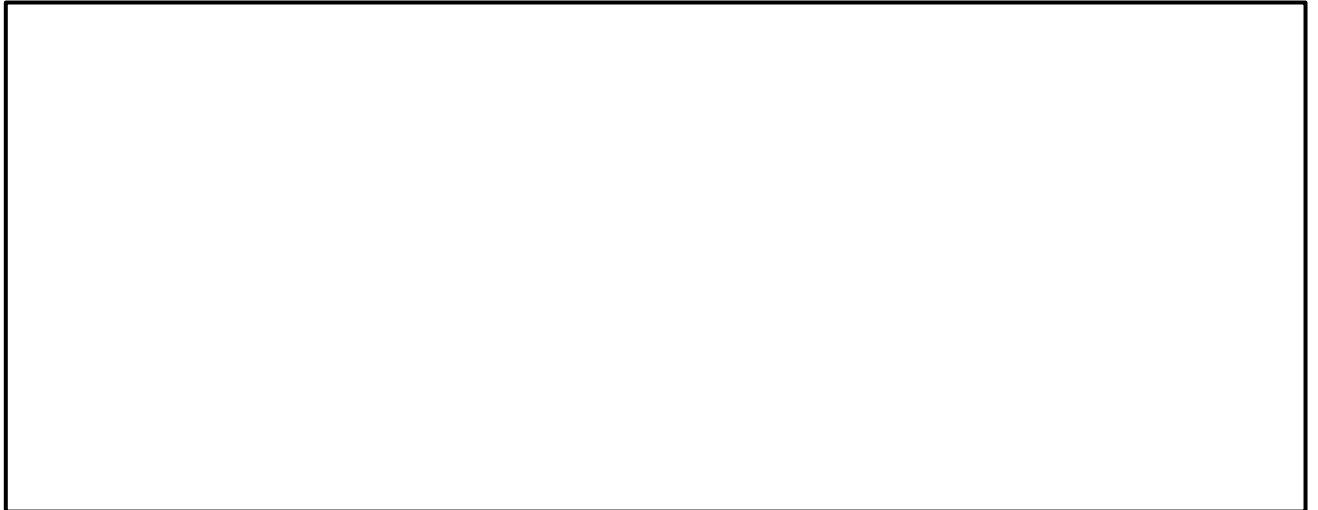


図 3-9 評価部位位置図



### 3.1.4 機器・配管荷重

解析モデルに考慮する機器・配管系の荷重図を図3-10に示す。ディーゼル燃料貯蔵タンク室は、頂版部で排気筒モニタ室又は機器・配管系を支持しているため、その影響を付加質量としてモデル化することで考慮する。排気筒モニタ室及び機器・配管系の位置図を図3-11に示す。

評価対象断面であるA-A断面において、排気筒モニタ室及び機器・配管系の一部は支持されていないが、排気筒の基礎上の構造物を網羅的に評価する観点から、これらの荷重についても保守的に考慮する。

なお、タンクの重量については排気筒の基礎のみが負担しており、排気筒の基礎上の構造物の評価に与える影響が軽微であるため考慮しない。

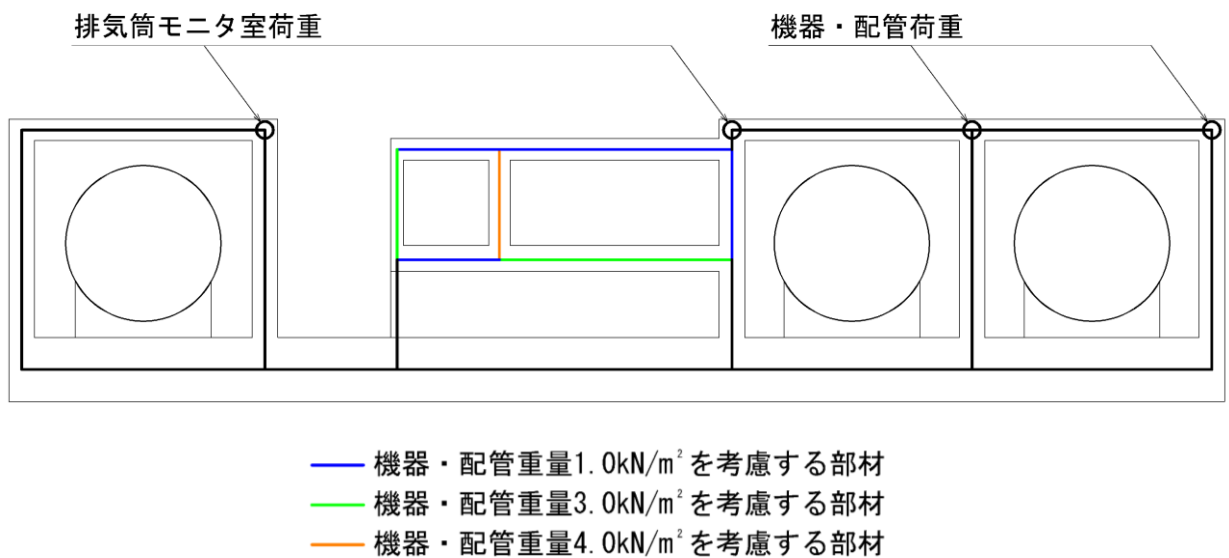


図3-10 解析用機器・配管荷重図

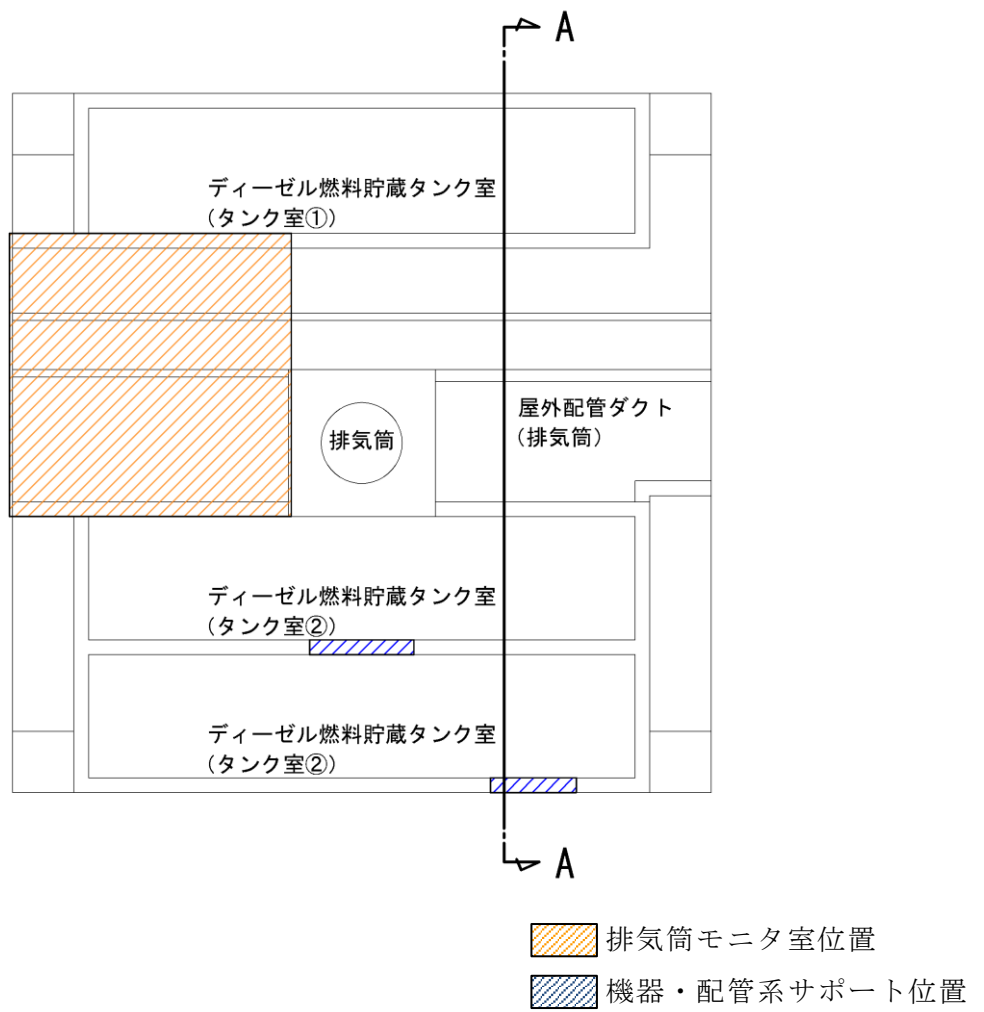


図 3-11 排気筒モニタ室及び機器・配管系サポートの位置図

## 3.2 評価結果

### 3.2.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「ひずみの時刻歴波形」，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」，曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースの地盤の「最大せん断ひずみ分布」を記載する。

#### (1) 解析ケースと照査値

耐震評価における解析ケースについては、「補足-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（ケース①）を実施する。基本ケースにおいて，曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊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3-3に示す。

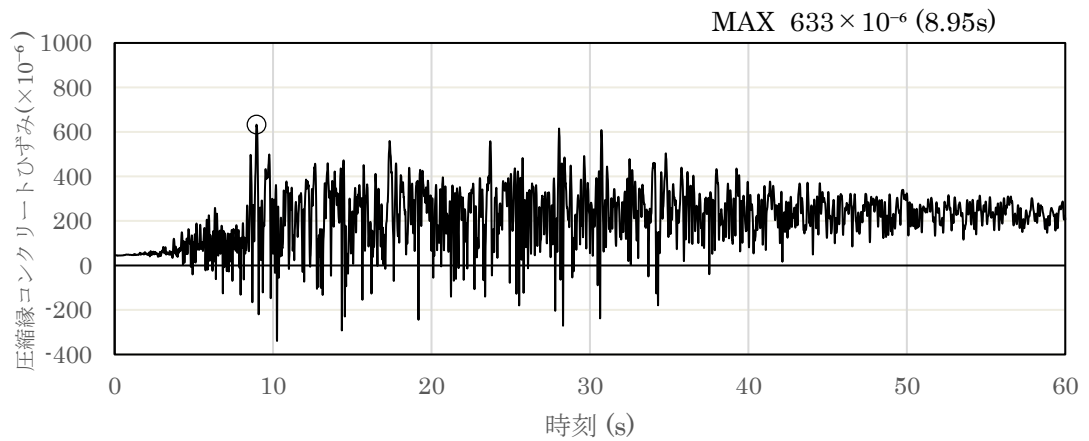
上記実施ケースの結果を踏まえ，照査値に十分な裕度を有することから，追加解析を実施しない。

表 3-3 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	備考
A-A断面	$S_s - F2$ （++）	せん断破壊から選定

(2) ひずみの時刻歴波形

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の時刻歴波形を図 3-12 に示す。



(圧縮を正で示す。)

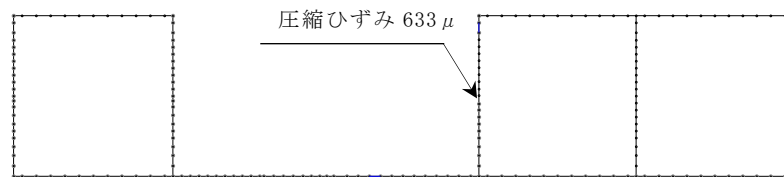
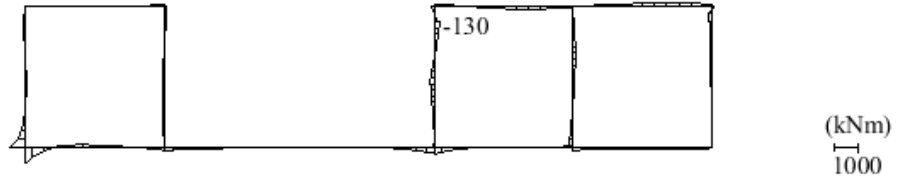


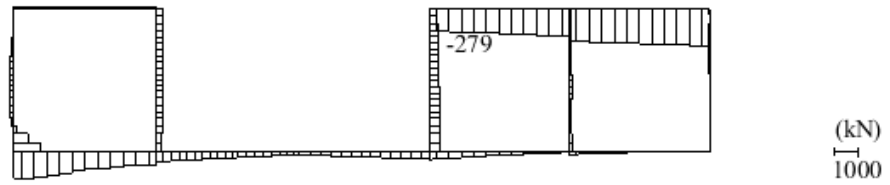
図 3-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査が最も厳しくなるケースの時刻歴波形  
(A-A断面, 解析ケース①, S s - D (++) )

(3) 断面力分布（せん断破壊に対する照査）

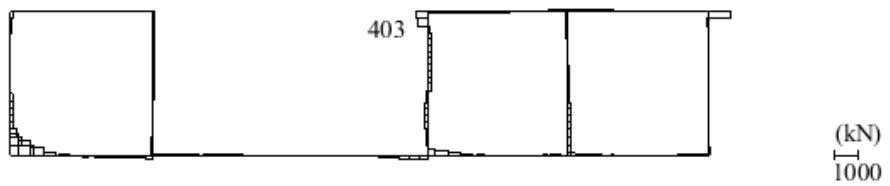
せん断破壊に対する照査において、最も厳しい照査値となる解析ケースの照査時刻における断面力分布図（曲げモーメント、軸力、せん断力）を図 3-13 に示す。



数値：評価位置における断面力  
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



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



数値：評価位置における断面力  
 (c) せん断力 (kN)

図 3-13 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図  
 (A-A断面，解析ケース①， $S_s - F_2$  (++) )

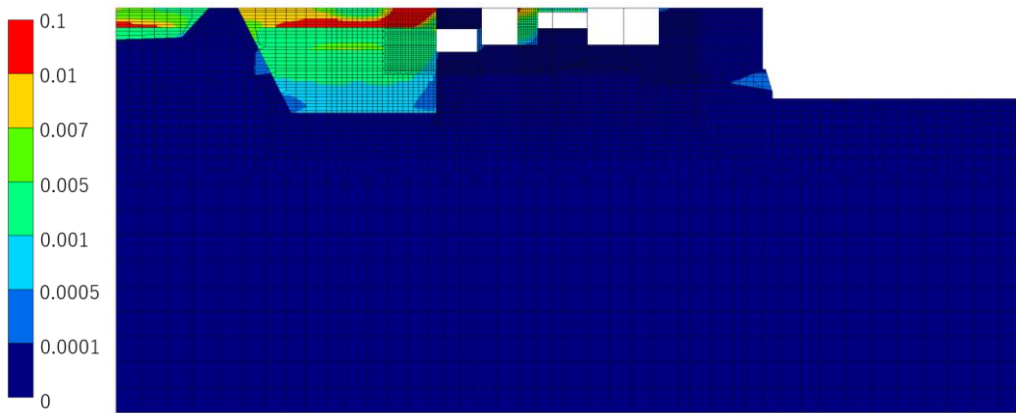
(4) 最大せん断ひずみ分布

曲げ・軸力系の破壊に対する照査及びせん断破壊に対する照査で最大照査値を示すケースについて，発生した最大せん断ひずみを確認する。

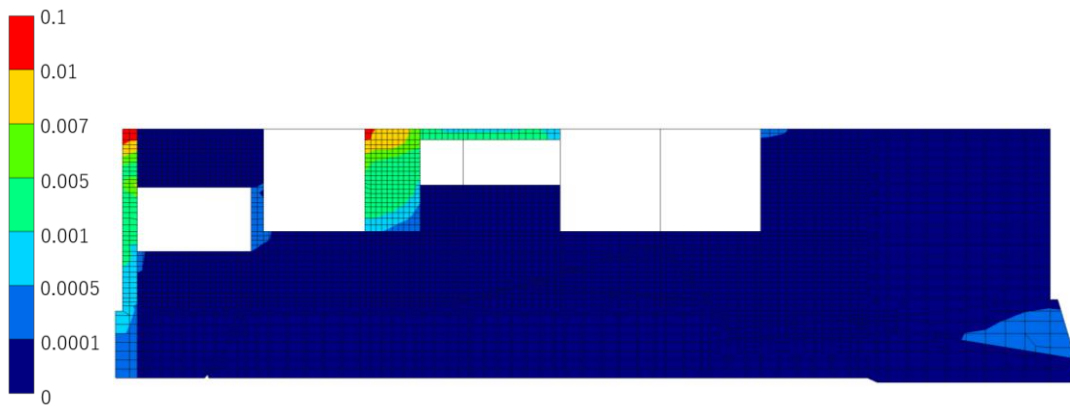
最大照査値を示す解析ケースの一覧を表 3-4 に，最大せん断ひずみ分布図を図 3-14 に示す。

表 3-4 最大照査値を示すケースの一覧

対象断面	対象ケース	照査項目
A-A断面	①	S <sub>s</sub> -F <sub>2</sub> (++)



(全体図)



(拡大図)

図 3-14 最大せん断ひずみ分布図  
(A-A断面, 解析ケース①,  $S_s - F_2$  (++))



### 3.2.2 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果を表3-5に示す。照査値は、ひずみ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。

表3-5のとおり、コンクリートの照査用ひずみが全ケースにおいて、許容限界(10000 $\mu$ )を下回ることを確認した。

表3-5 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果  
(構造強度を有することの確認：全応力解析)

解析 ケース	地震動		照査用ひずみ $\epsilon_d^*$	限界ひずみ $\epsilon_R$	照査値 $\epsilon_d / \epsilon_R$
①	S s - D	++	759 $\mu$	10000 $\mu$	0.08
		-+	652 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
		+-	751 $\mu$	10000 $\mu$	0.08
		--	628 $\mu$	10000 $\mu$	0.07
	S s - F 1	++	450 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
	S s - F 2	++	484 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
	S s - N 1	++	536 $\mu$	10000 $\mu$	0.06
		-+	740 $\mu$	10000 $\mu$	0.08
	S s - N 2 (NS)	++	449 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
		-+	504 $\mu$	10000 $\mu$	0.06
	S s - N 2 (EW)	++	415 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
		-+	511 $\mu$	10000 $\mu$	0.06
②	S s - F 2	++	500 $\mu$	10000 $\mu$	0.05
③	S s - F 2	++	478 $\mu$	10000 $\mu$	0.05

注記\*：照査用ひずみ  $\epsilon_d =$  発生ひずみ  $\epsilon \times$  構造解析係数  $\gamma_a (=1.2)$

### 3.3.3 せん断破壊に対する評価結果

#### (1) せん断耐力式による評価結果

せん断破壊に対する評価結果を表 3-6 に示す。照査値は、せん断力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。

同表中には、照査値が 1.0 を上回る解析ケース、部材があることから、次項「(2) 材料非線形解析による評価結果」にて照査値が 1.0 を下回ることを確認する。

表 3-6(1) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置* <sup>1</sup>		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d$ * <sup>2</sup> (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - D	++	頂版	2	160	180	0.90
			側壁	7	338	204	1.66* <sup>3</sup>
			隔壁	8	140	189	0.75
		-+	頂版	3	114	147	0.78
			側壁	6	353	219	1.62* <sup>3</sup>
			隔壁	8	140	195	0.72
		+-	頂版	3	108	133	0.81
			側壁	6	424	227	1.87* <sup>3</sup>
			隔壁	8	136	189	0.72
		--	頂版	3	104	131	0.80
			側壁	6	361	217	1.67* <sup>3</sup>
			隔壁	8	157	200	0.79

表 3-6(2) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置*1		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d^{*2}$ (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - F 1	++	頂版	1	100	158	0.64
			側壁	6	262	213	1.24*3
			隔壁	8	105	194	0.55
	S s - F 2	++	頂版	3	101	131	0.78
			側壁	6	423	213	1.99*3
			隔壁	8	116	193	0.60
	S s - N 1	++	頂版	1	129	162	0.80
			側壁	6	387	221	1.76*3
			隔壁	8	149	203	0.74
		-+	頂版	2	125	165	0.76
			側壁	6	341	235	1.46*3
			隔壁	8	125	198	0.64

表 3-6(3) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置* <sup>1</sup>		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d$ * <sup>2</sup> (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
①	S s - N 2 (N S)	++	頂版	2	104	157	0.66
			側壁	6	233	218	1.07* <sup>3</sup>
			隔壁	8	117	203	0.58
		-+	頂版	2	110	162	0.69
			側壁	6	246	223	1.11* <sup>3</sup>
			隔壁	8	115	212	0.55
	S s - N 2 (E W)	++	頂版	3	121	166	0.73
			側壁	6	277	224	1.24* <sup>3</sup>
			隔壁	8	103	213	0.49
		-+	頂版	3	122	144	0.85
			側壁	7	218	200	1.09* <sup>3</sup>
			隔壁	8	115	203	0.57

表 3-6(4) せん断破壊に対する評価結果

解析 ケース	地震動		評価位置* <sup>1</sup>		照査用	せん断	照査値 $V_d/V_{y d}$
					せん断力 $V_d$ * <sup>2</sup> (kN)	耐力 $V_{y d}$ (kN)	
②	S s - F 2	++	頂版	3	105	133	0.79
			側壁	6	398	214	1.86* <sup>3</sup>
			隔壁	8	112	193	0.59
③	S s - F 2	++	頂版	3	98	130	0.76
			側壁	6	417	212	1.97* <sup>3</sup>
			隔壁	8	120	189	0.64

注記\*1：評価位置は図 3-15 に示す。

\*2：照査用せん断力  $V_d =$  発生せん断力  $V \times$  構造解析係数  $\gamma_a (=1.05)$

\*3：線形被害則又は材料非線形解析を適用（結果は追而）

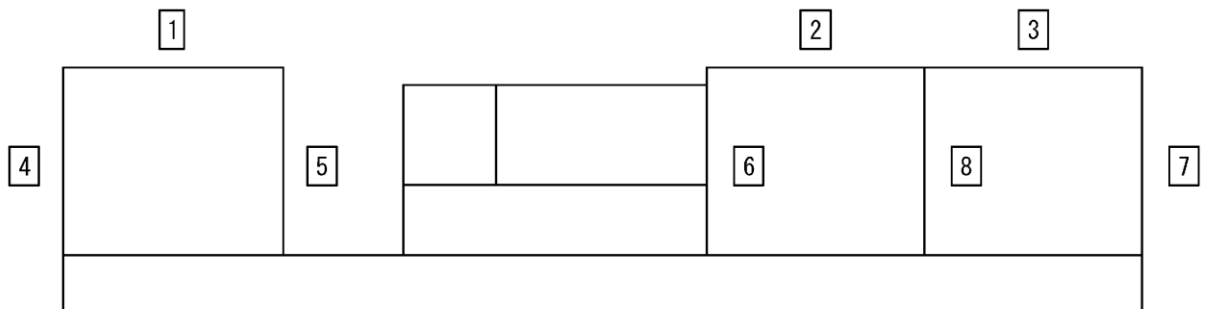
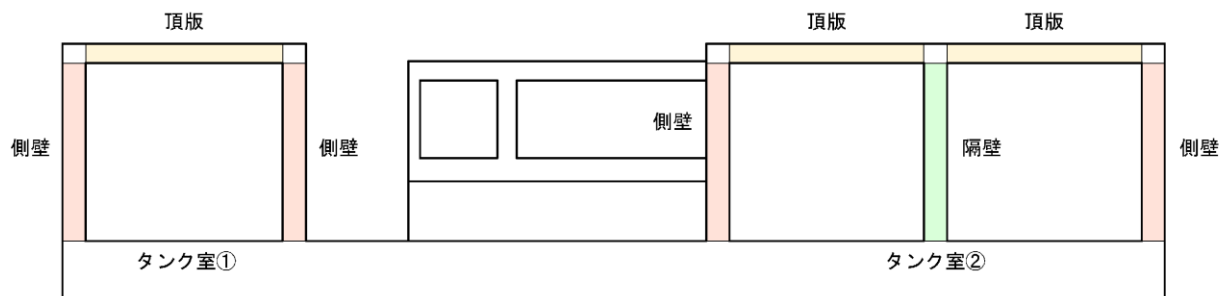


図 3-15 評価位置図 (A-A 断面)

(2) 材料非線形解析による評価結果

追而

#### 4. まとめ

屋外配管ダクト(排気筒)及びディーゼル燃料貯蔵タンク室については、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、せん断破壊に対する評価を実施した。

評価の結果、ひずみ及びせん断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。

以上から、屋外配管ダクト(排気筒)が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度を有していること及びディーゼル燃料貯蔵タンク室が上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。



参考資料 1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）の耐震性について

## 目 次

1. 概要 .....	参考 1-1
2. 検討方針 .....	参考 1-2
2.1 評価対象部位 .....	参考 1-2
2.2 荷重 .....	参考 1-4
2.3 許容限界 .....	参考 1-6
2.4 解析モデル及び荷重条件 .....	参考 1-7
2.5 評価方法 .....	参考 1-9
3. 評価結果 .....	参考 1-10

## 1. 概要

VI-2-11-2-15「ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書」では、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の弱軸断面についてモデル化し、各タンク室の頂版、側壁及び隔壁の断面評価を実施している。

本検討では、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の強軸方向の側壁のうち土圧を受ける西側の側壁について、耐震性を検討する。

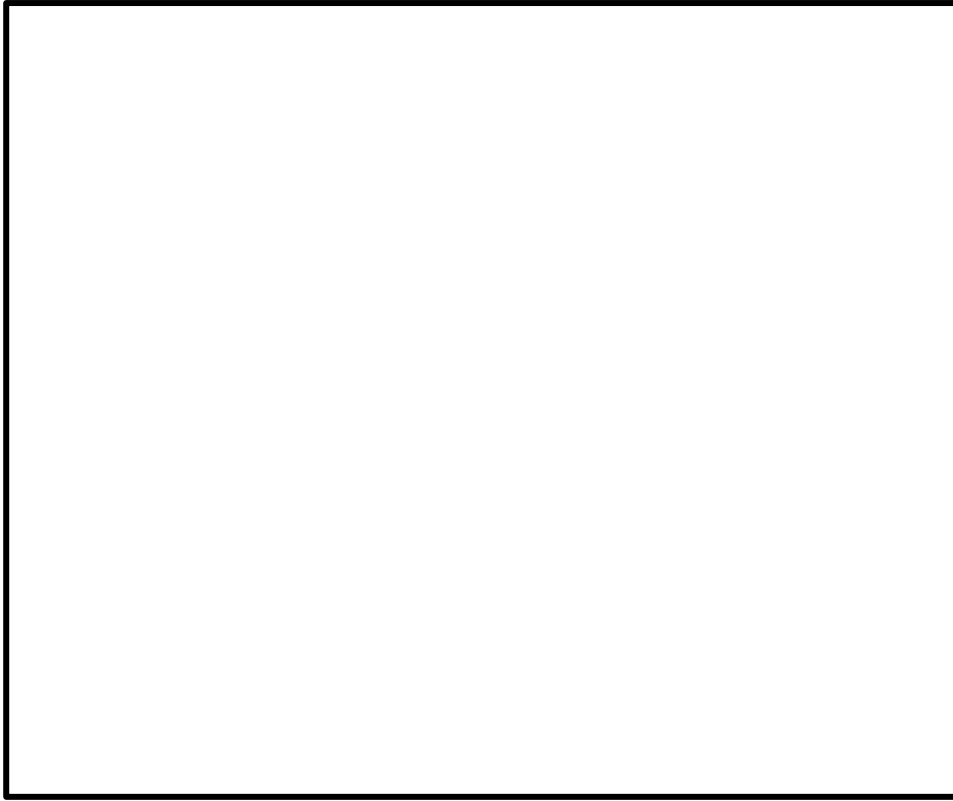
## 2. 検討方針

### 2.1 評価対象部位

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略平面図を図2-1に、概略断面図を図2-2に示す。

図2-1に示すとおり、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の西側に埋戻土があることから、土圧を考慮し、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）として、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）を対象に断面評価を行う。

なお、ディーゼル燃料貯蔵タンク室西側の側壁は壁の厚さ及び配筋が同一であるため、内法スパンが最も大きい部材を選定して断面評価を行う。図2-1に示すとおり、A-ディーゼル燃料貯蔵タンク室（北側及び南側）は排気筒の鉄塔基礎と一体となっており、土圧の作用する面積が小さくなるため、高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁を評価部材として選定する。




 選定した部材

図 2-1 ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略平面図



図 2-2(1) ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略断面図  
(A-A断面, NS方向)




 選定した部材

図 2-2(2) ディーゼル燃料貯蔵タンク室の概略断面図  
(B-B断面, EW方向)

## 2.2 荷重

### (1) 固定荷重

固定荷重はディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）の自重を考慮する。

### (2) 地震荷重

S s 地震時に対する評価では、ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）に作用する面外荷重として、水平方向（E W方向）の加速度による慣性力を考慮する。地震時における慣性力は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」から得られる排気筒の基礎版上端レベル（EL 3.5m）、鉄塔基礎上端レベル（EL 8.5m）及び筒身基礎上端レベル（EL 8.8m）におけるS s地震時の最大応答加速度の包絡値から算定した震度を用いて算定する。なお、震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を用いて算定する。応力解析で考慮するS s地震時におけるE W方向の最大応答加速度及び震度を表2-1に示す。

表 2-1 最大応答加速度及び震度

方向	位置	最大応答加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	震度	検討用震度
水平方向 (E W方向)	筒身基礎上端 (EL 8.8m)	1186	1.21	1.22
	鉄塔基礎上端 (EL 8.5m)	1189	1.22	
	基礎版上端 (EL 3.5m)	1118	1.15	

(2) 地震時土圧荷重

埋戻土による地震時土圧荷重は、地震時土圧により地中部の側壁に作用する荷重として、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。

なお、地震時増分土圧の算定に用いる地盤の最大加速度は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」における地表面（EL 8.5m）の最大加速度を用いる。

地震時土圧荷重を表 2-2 に、地震時土圧による荷重分布を図 2-3 に示す。

表 2-2 地震時土圧荷重

EL (m)	地震時土圧荷重 (kN/m <sup>2</sup> )
8.5~3.5	$136.1 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$

$\gamma$  : 土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$h$  : 地表面からの深さ (m)

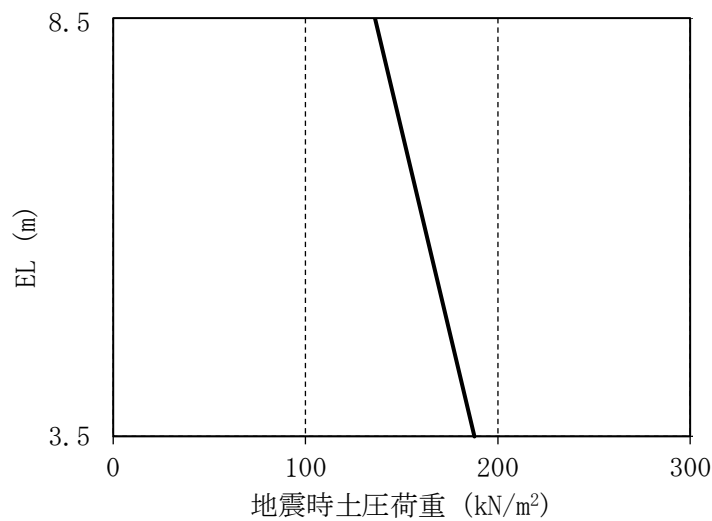


図 2-3 地震時土圧による荷重分布

### 2.3 許容限界

ディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）の許容限界は「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」（(社)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。）に基づく短期許容応力度とする。コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

表 2-3 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 $F_c$	圧縮	せん断
20.6	11.8	0.63

表 2-4 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

種別*	短期許容引張応力度
SD35 (SD345相当)	294

注記\*：建設当時の鋼材の種類を，現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。



## 2.4 解析モデル及び荷重条件

### (1) 解析モデル

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた静的応力解析とする。解析モデルを図2-4に示す。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

### (2) 境界条件

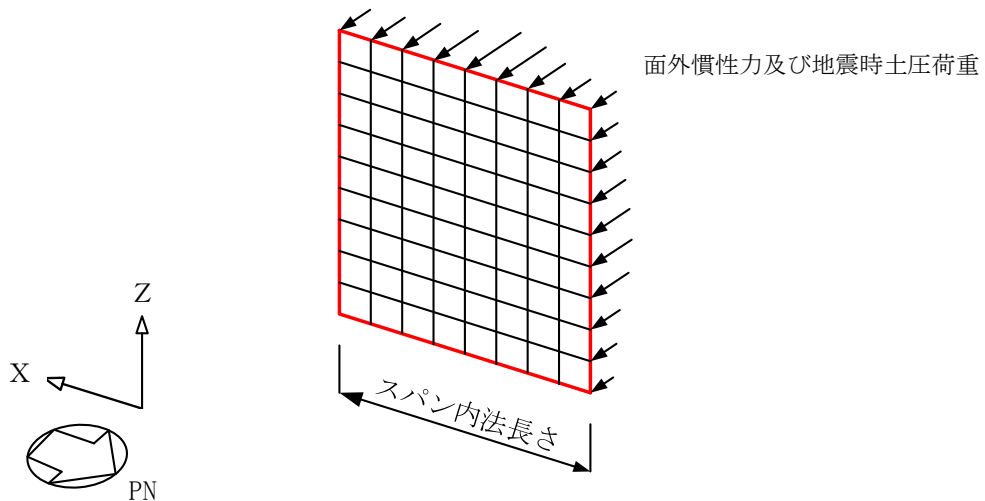
排気筒の基礎版並びにディーゼル燃料貯蔵タンク室の側壁（西側）に直交する側壁及び頂版を境界条件として、四辺固定版に置き換える。

### (3) 解析諸元

解析諸元のうち使用材料の物性値については、VI-2-11-2-15「ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書」と同一の物性値を用いる。

### (4) 荷重条件

荷重は、面外方向に作用する地震荷重及び地震時土圧荷重を考慮する。地震荷重（慣性力）はモデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力し、地震時土圧荷重は荷重分布に応じた分布荷重として入力する。



— : 固定端とする部分を示す

(a) 解析モデル概要図

EL 8.1

71	72	73	74	75	76	77	78
61	62	63	64	65	66	67	68
51	52	53	54	55	56	57	58
41	42	43	44	45	46	47	48
31	32	33	34	35	36	37	38
21	22	23	24	25	26	27	28
11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8

EL 3.5



(単位 : m)

(b) 要素分割図\*

注記\* : 要素分割図中の番号は要素番号を示す。

図 2-4 解析モデル

## 2.5 評価方法

### (1) 応力解析方法

#### a. 荷重ケース

S<sub>s</sub>地震時の応力は、次の荷重を組み合わせて求める。

G : 固定荷重

S<sub>SWE</sub> : W→E方向 S<sub>s</sub>地震荷重（地震時土圧荷重を含む）

#### b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表2-5に示す。

表2-5 荷重の組合せケース

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + S <sub>SWE</sub>

#### c. 応力算出方法

図2-4に示す解析モデルを用いた静的応力解析により、評価対象部位に発生するS<sub>s</sub>地震時の断面力（曲げモーメント、軸力及びせん断力）を求める。

### (2) 断面の評価方法

断面の評価は、静的応力解析より求めた評価対象部位の曲げモーメント及び軸力並びに面外せん断力に対して鉄筋コンクリート断面の照査を行う。

曲げモーメント及び軸力については、矩形断面の鉄筋コンクリート断面に対する検討を行い、コンクリートの曲げ圧縮応力度及び鉄筋の引張応力度が各々の短期許容応力度以下であることを確認する。

面外せん断力に対しては、矩形断面のせん断応力度が短期許容せん断応力度以下であることを確認する。

### 3. 評価結果

断面の評価結果を表 3-1～表 3-3 に示す。

S s 地震荷重によって、評価対象部位に発生する曲げモーメント及び軸力に対してコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を超えないこと、並びに評価対象部位に発生する面外せん断力に対してコンクリートの短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。

表 3-1 コンクリートの曲げモーメント及び軸力に対する評価結果

要素 番号	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma'_{ca}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma'_c / \sigma'_{ca}$
	曲げモーメント (kN・m)	軸力*1 (kN)			
5	116	61.2	4.20	11.8	0.36 【0.31】*2

注記\*1：圧縮を正とする。

\*2：参考として、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（(社)日本建築学会，1999 改定）」に基づき、コンクリートの短期許容圧縮応力度 13.6 N/mm<sup>2</sup> を許容値とした場合の照査値を括弧内【 】に示す。

表 3-2 鉄筋の曲げモーメント及び軸力に対する評価結果

要素 番号	発生断面力		曲げ引張 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 $\sigma'_s / \sigma'_{sa}$
	曲げモーメント (kN・m)	軸力*1 (kN)			
75	113	4.39	234	294	0.80 【0.68】*2

注記\*1：圧縮を正とする。

\*2：参考として、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（(社)日本建築学会，1999 改定）」に基づき、鉄筋の短期許容引張応力度 345 N/mm<sup>2</sup> を許容値とした場合の照査値を括弧内【 】に示す。

表 3-3 面外せん断力に対する評価結果

要素 番号	発生せん断力 (kN)	せん断 応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 せん断応力度 $\tau_{a1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau / \tau_{a1}$
5	283	0.625	0.63	0.993 【0.62】*

注記\*：参考として、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（(社)日本建築学会，1999 改定）」に基づき、コンクリートの短期許容せん断応力度 1.02 N/mm<sup>2</sup> を許容値とした場合の照査値を括弧内【 】に示す。