

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0172_改0
提出年月日	2021年6月2日

VI-2-11-2-15 第1号機排気筒の耐震性についての計算書

02 ④ VI-2-11-2-15 R1

2021年6月

東北電力株式会社

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	8
2.4	適用規格・基準等	9
3.	評価方法	10
3.1	評価対象部位及び評価方針	10
3.2	評価に用いる地震波	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	20
3.3.1	荷重	20
3.3.2	荷重の組合せ	24
3.4	許容限界	25
3.5	使用材料及び材料の許容応力度	26
3.6	断面の評価方法	27
3.6.1	筒身	27
3.6.2	鉄塔部	29
3.7	地震応答解析	30
3.7.1	地震応答解析モデル	30
3.7.2	解析方法	48
3.7.3	地盤物性及び材料物性の不確かさ	48
3.8	解析結果	50
3.8.1	固有値解析結果	50
3.8.2	地震応答解析結果	53
4.	評価結果	58
4.1	耐震性能の評価結果	58
5.	脚部の断面評価	67
5.1	評価方法	67
5.1.1	概要	67
5.2	アンカーボルトに対する検討	69
5.2.1	アンカーボルトの引張応力度に対する検討	69
5.2.2	アンカーボルトのせん断応力度に対する検討	70
5.2.3	引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討	70

5.2.4	コンクリートのコーン状破壊に対する検討.....	71
5.3	ベースプレートに対する検討.....	72
5.3.1	コンクリートの圧縮応力度に対する検討.....	72
5.3.2	ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（鉄塔脚部）	72
5.3.3	ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（筒身脚部）	73
5.3.4	ベースプレートのアンカーボルト引張力による面外曲げに対する検討（筒身脚部）	74
5.4	フランジプレートに対する検討（鉄塔脚部）.....	75
5.4.1	フランジプレートの面外曲げに対する検討.....	75
5.5	リブプレートに対する検討.....	76
5.5.1	リブプレートの圧縮応力度に対する検討.....	76
5.5.2	リブプレートのせん断応力度に対する検討.....	77
5.6	評価結果.....	78

別紙 1 第 1 号機排気筒斜面の耐震性についての計算書

1. 概要

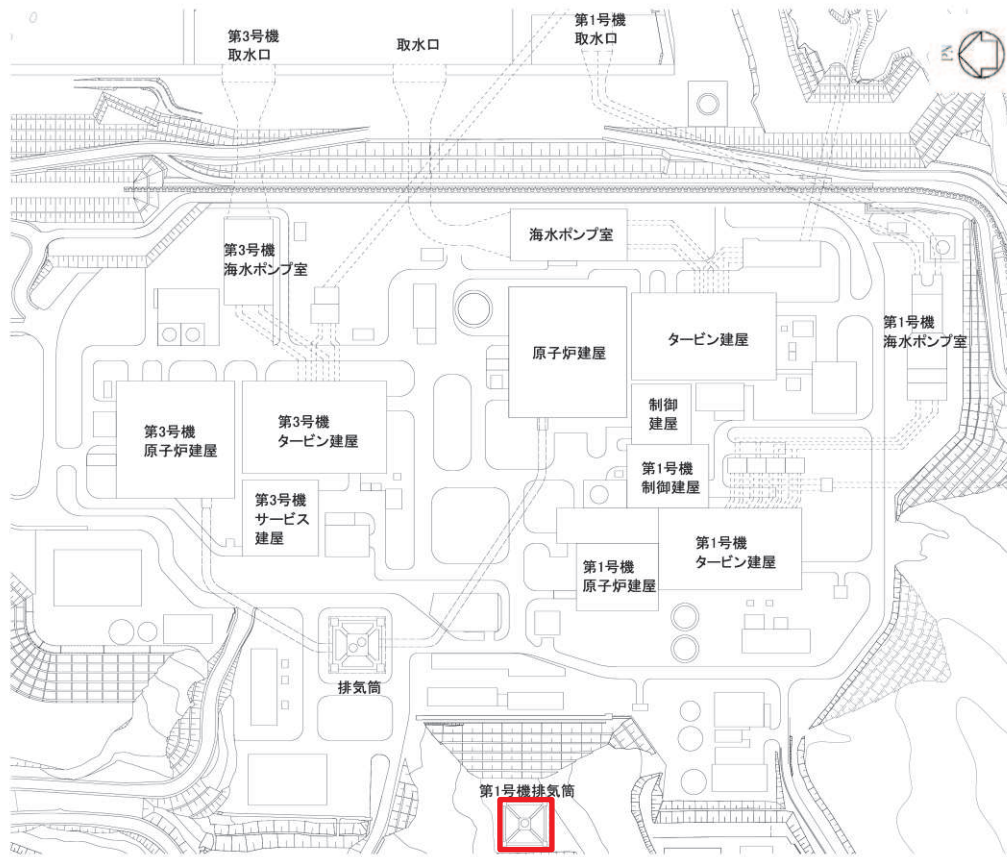
本資料は、添付書類「VI-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、第1号機排気筒が排気筒に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、排気筒の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、第1号機排気筒の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

第 1 号機排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。



□ 第 1 号機排気筒

図 2-1 第 1 号機排気筒の設置位置

2.2 構造概要

第1号機排気筒は、地上からの高さ125.0m、基部内径5.226m、頂部内径3.2mの鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造である。筒身及び鉄塔部はO.P.*65.1m, O.P.86.4m, O.P.103.6m, O.P.118.6m, O.P.144.4m, O.P.164.8mの6つの高さで接続されている。

第1号機排気筒の基礎は、地表面より7m掘り下げた岩盤を基礎面とするマットスラブ形式の直接基礎である。基礎構造は32.0m×32.0mの正方形で厚さ2.5mのスラブ、その上に鉄塔受台4基(外寸法3.0m×3.0m×高さ5.0m)、筒身受台1基(外寸法7.8m×7.8m×高さ5.0m)が付き、それぞれの受台をつなぐ地中梁(幅1.5m×高さ4.2m)から構成される。

以下に構造概要を示す。

構造概要

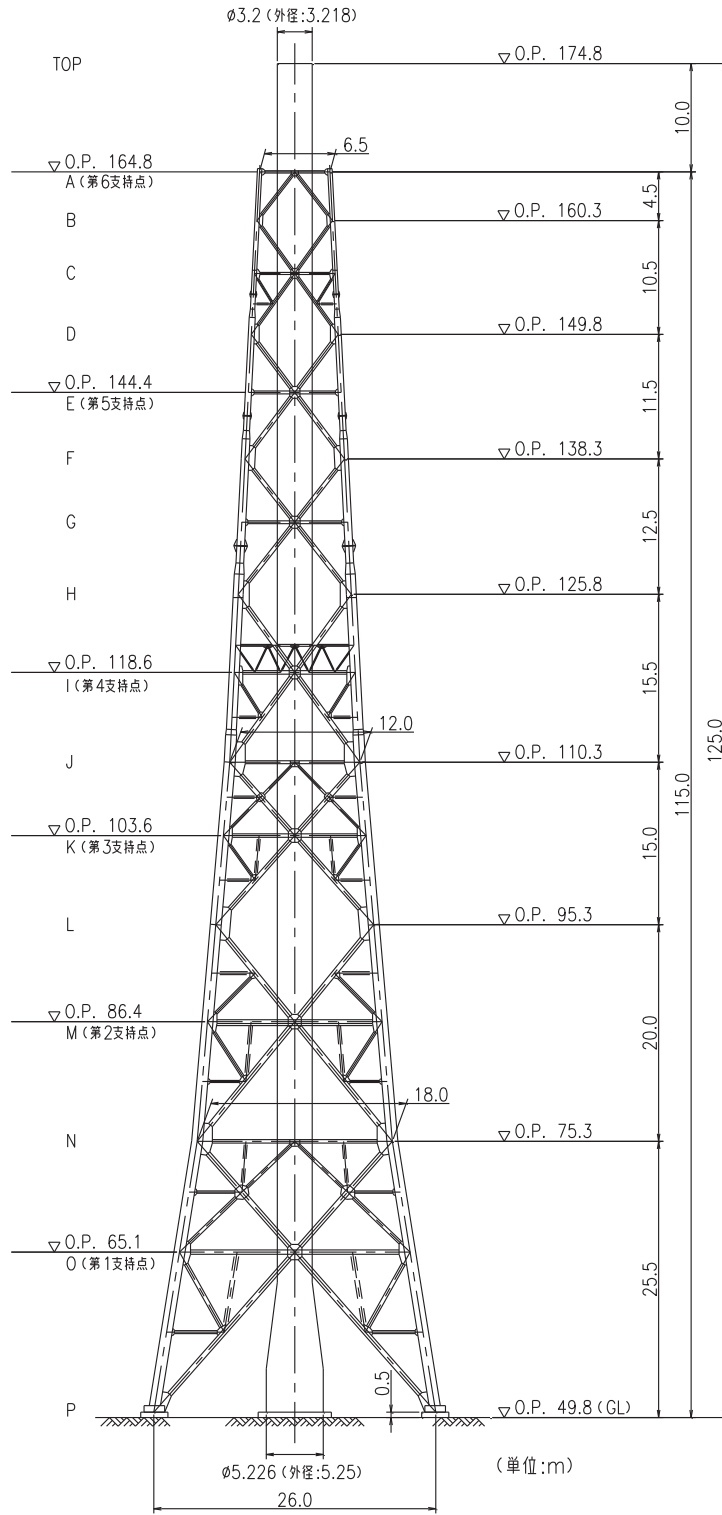
- ・構造形式 四角鉄塔支持形鋼管構造 (支持点: 6カ所, 1筒身)
- ・排気筒高さ 125.0m (O.P.174.8m)
- ・鉄塔高さ 115.0m (O.P.164.8m)
- ・筒身内径

頂部	3.2m
基部	5.226m
- ・鉄塔幅

頂部	6.5m
根開き	26.0m
- ・支持点位置 O.P.65.1m, O.P.86.4m, O.P.103.6m,
O.P.118.6m, O.P.144.4m, O.P.164.8m
- ・基礎 マットスラブ形式の直接基礎

注記*: O.P.は女川原子力発電所工事用基準面であり、東京湾平均海面(T.P.)
-0.74mである。

第1号機排気筒の概要図、概略平面図を図2-2及び図2-3に、第1号機排気筒の基礎平面図、基礎断面図を図2-4及び図2-5に示す。また、第1号機排気筒と排気筒の位置関係を図2-6に示す。



主柱材		1016φ×18.0 ※1	1016φ×16.0 ※1	1016φ×12.7 ※1	711.2φ×12.7	558.8φ×9.5	406.4φ×7.9	
鉄骨	斜材	457.2φ×9.5		406.4φ×7.9	355.6φ×6.4		267.4φ×6.6	
	水平材	406.4φ×6.4	318.5φ×6.9	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	267.4φ×6.6	190.7φ×5.3 216.3φ×5.8	
筒身		SMA400AP						t=9
部材リスト(単位:mm)								

図 2-2 第 1 号機排気筒の概要図

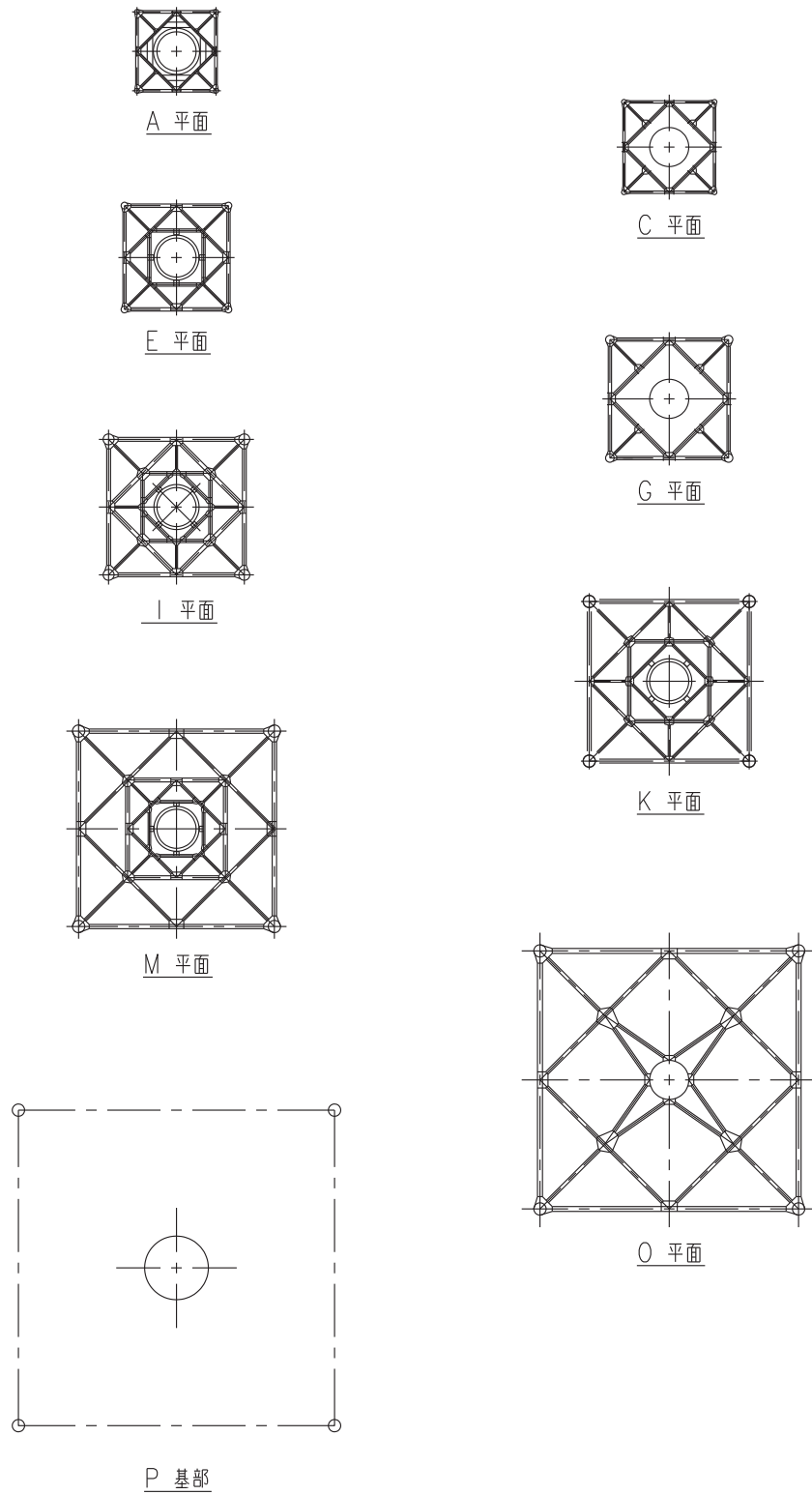
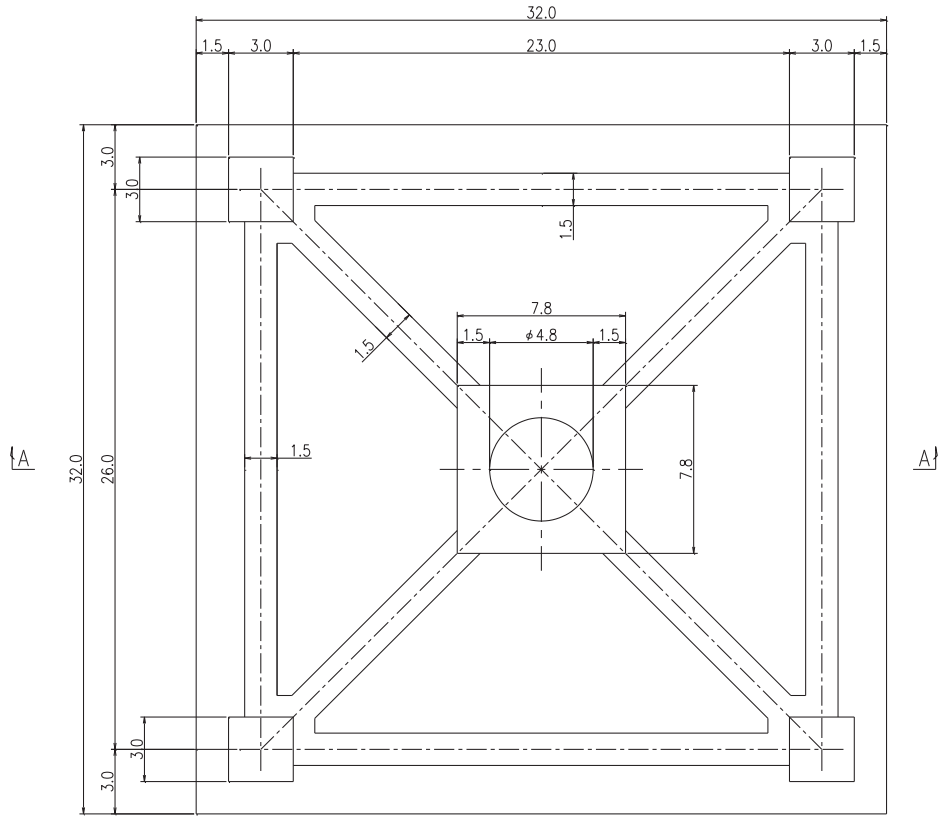
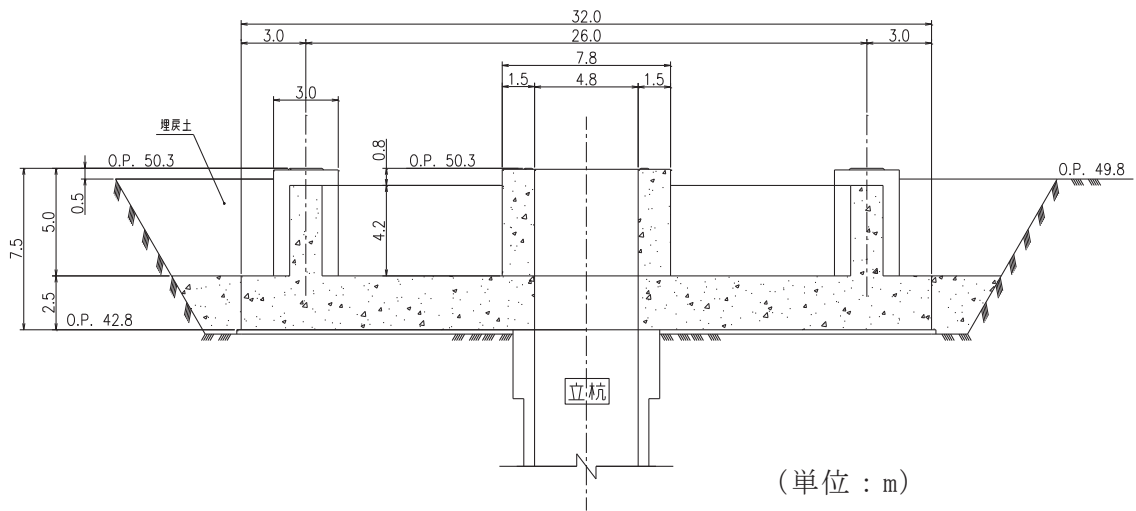


図 2-3 第 1 号機排気筒の概略平面図



(単位：m)

図 2-4 第 1 号機排気筒の基礎平面図



(単位：m)

図 2-5 第 1 号機排気筒の基礎断面図 (A-A 断面)

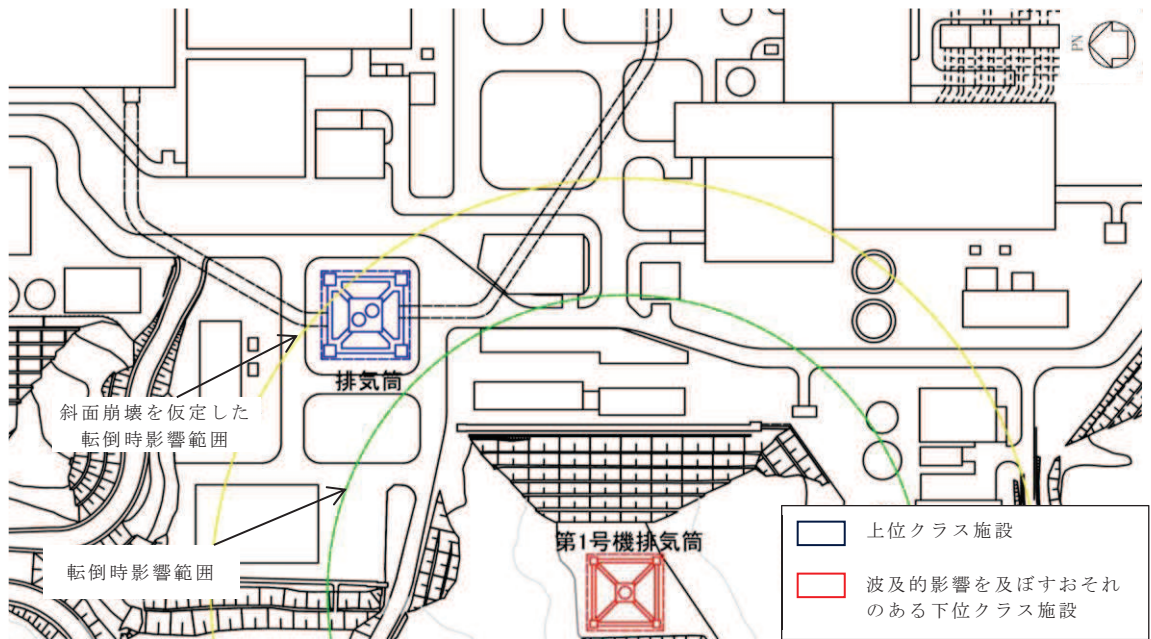


図 2-6 第 1 号機排気筒と排気筒の位置関係

2.3 評価方針

第1号機排気筒の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する波及的影響評価」という。）を行うこととする。

第1号機排気筒の波及的影響の評価は、添付書類「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、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。評価方法は、地震応答解析による第1号機排気筒の主要な構造部材の耐震評価を行うことで、排気筒への衝突の有無の確認を行う。評価にあたっては、地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。

第1号機排気筒の波及的影響の評価フローを図2-7に示す。

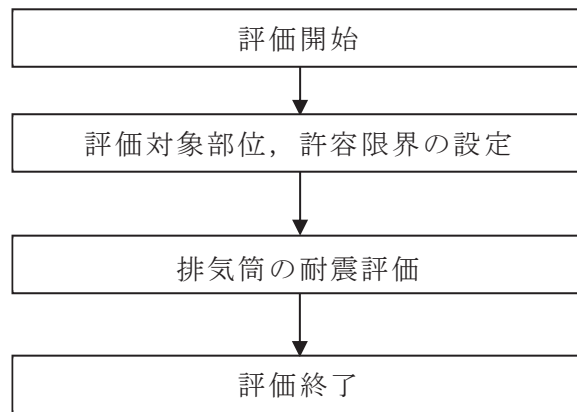


図2-7 第1号機排気筒の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

第1号機排気筒の波及的影響の評価に適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・ 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）
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）
- ・ 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（以下「鋼構造設計規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2010年 容器構造設計指針・同解説（以下「容器構造設計指針」という。）
- ・ 日本建築学会 2007年 煙突構造設計指針
- ・ 日本建築センター 1982年 煙突構造設計施工指針
- ・ 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-（以下「RC規準」という。）
- ・ 日本建築学会 2005年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

3. 評価方法

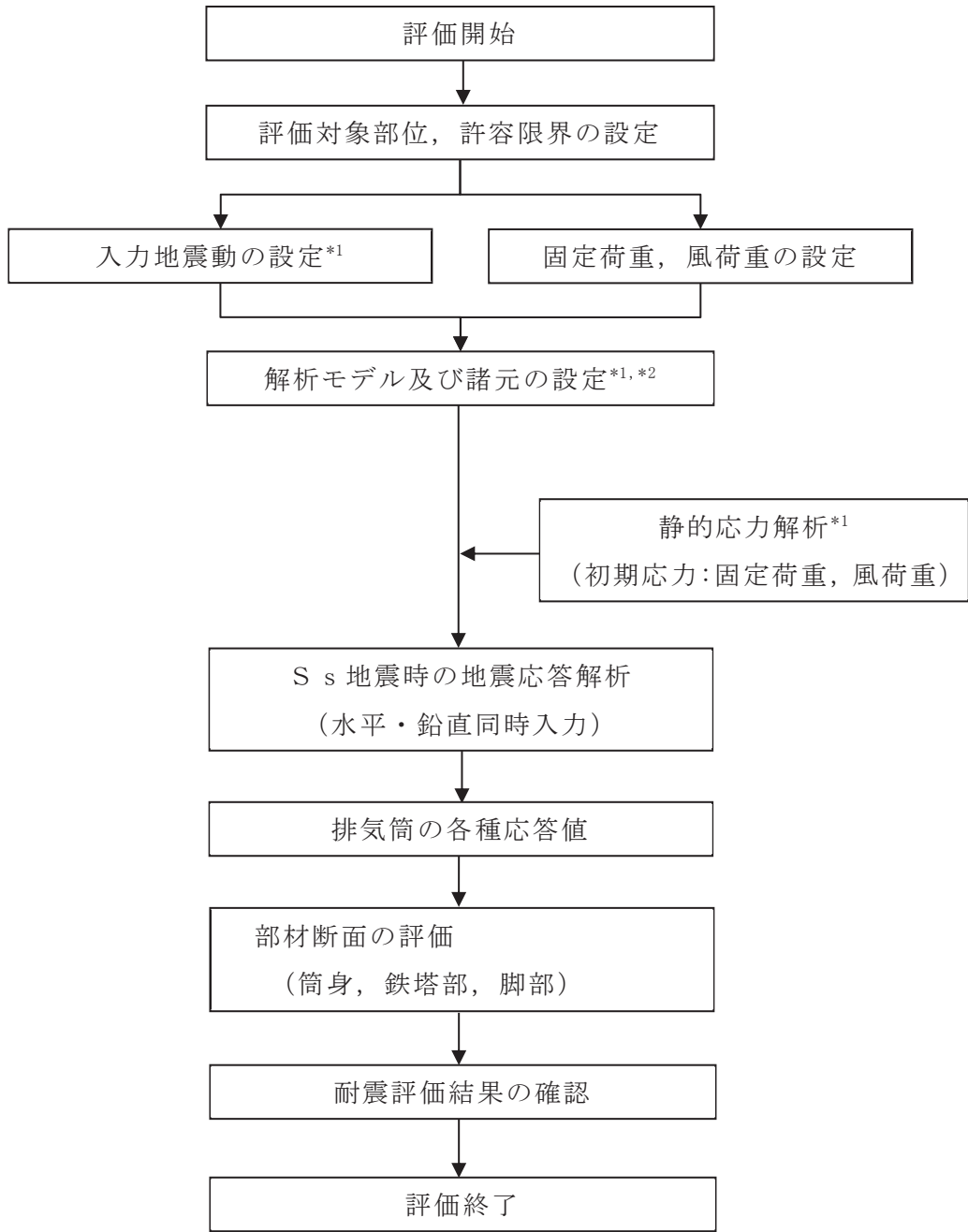
3.1 評価対象部位及び評価方針

第1号機排気筒の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

排気筒の主要な構造部材の構造健全性の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果による部材応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認する。

また、排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、筒身、鉄塔部及び脚部を評価対象部位とする。

第1号機排気筒の耐震評価フローを図3-1に示す。



注記 *1：地盤物性の不確かさを考慮する。

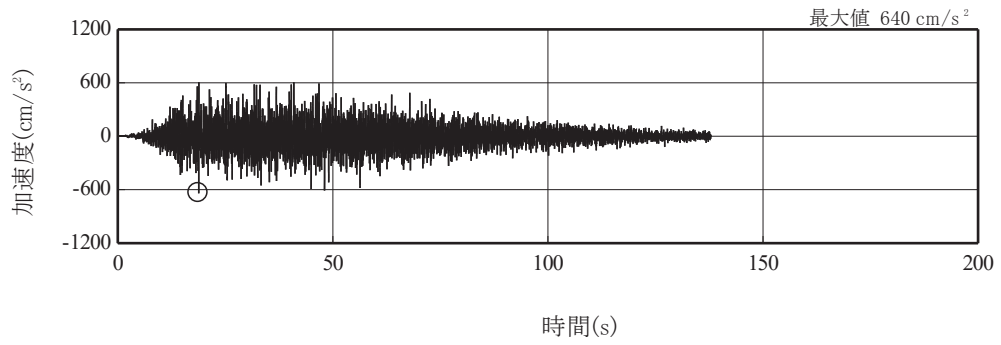
*2：地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 第 1 号機排気筒の耐震評価フロー

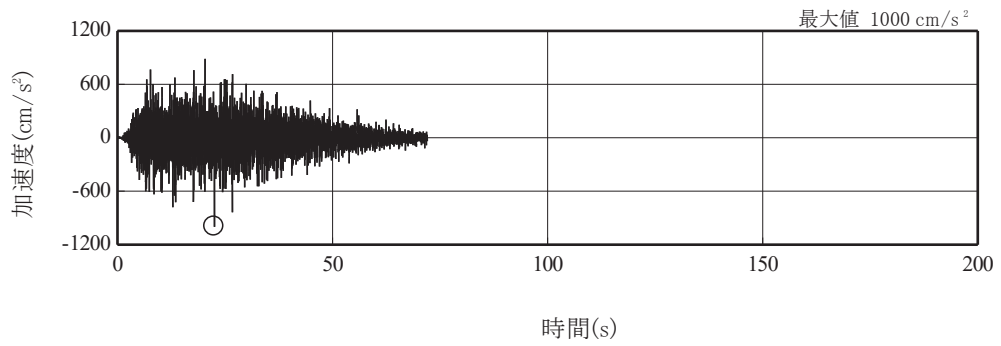
3.2 評価に用いる地震波

第1号機排気筒の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設における構造物の評価に適用した添付書類「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面に想定する地震波のうち、基準地震動 S_s とする。

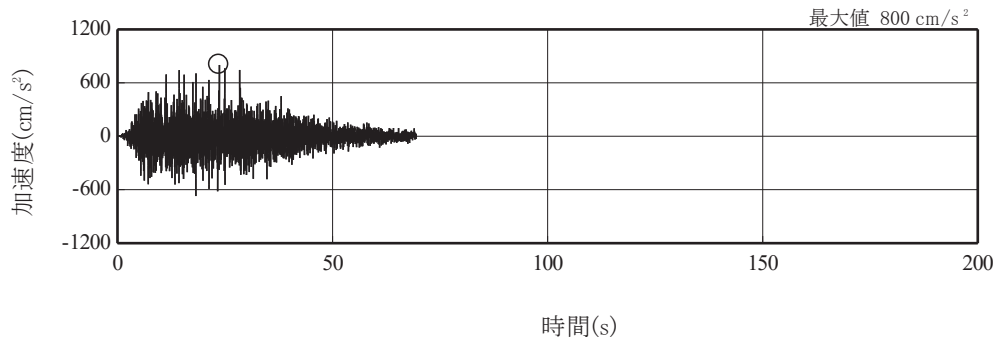
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-2 及び図 3-3 に示す。



(a) S s - D 1

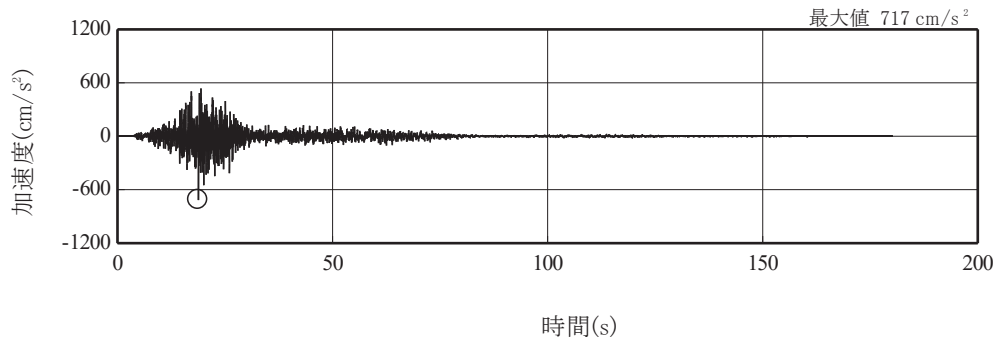


(b) S s - D 2

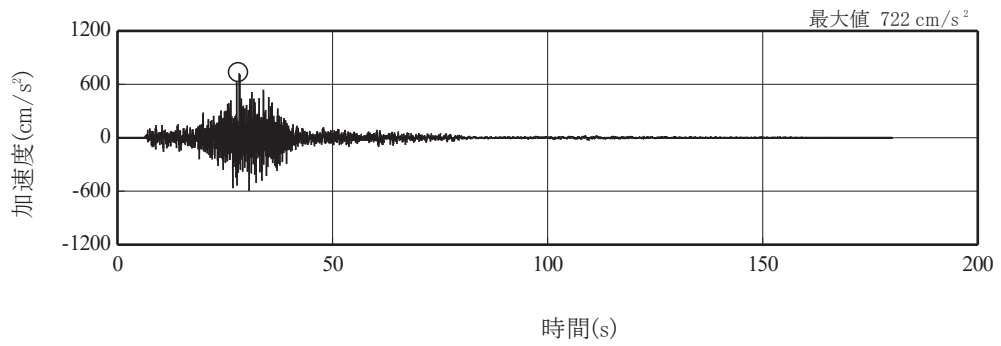


(c) S s - D 3

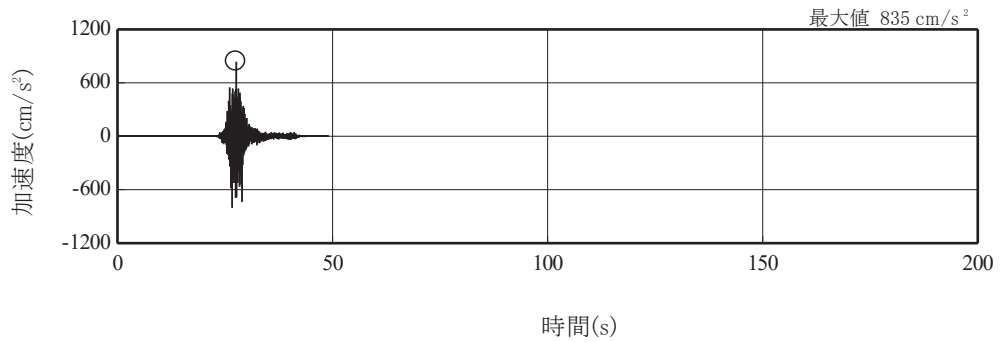
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 水平方向) (1/3)



(d) S s - F 1

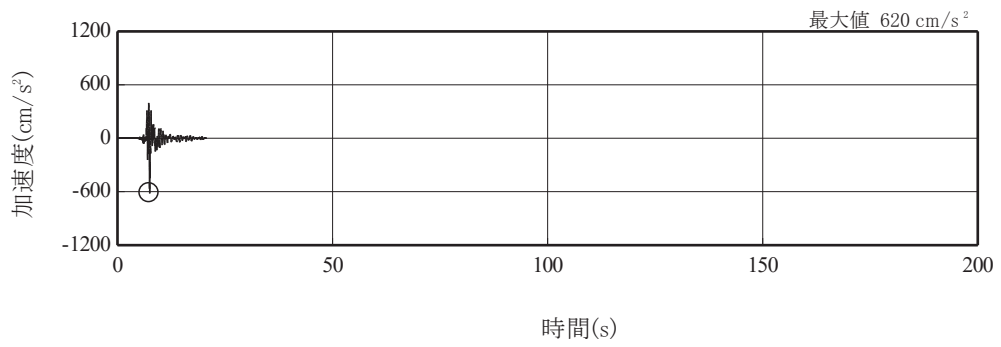


(e) S s - F 2



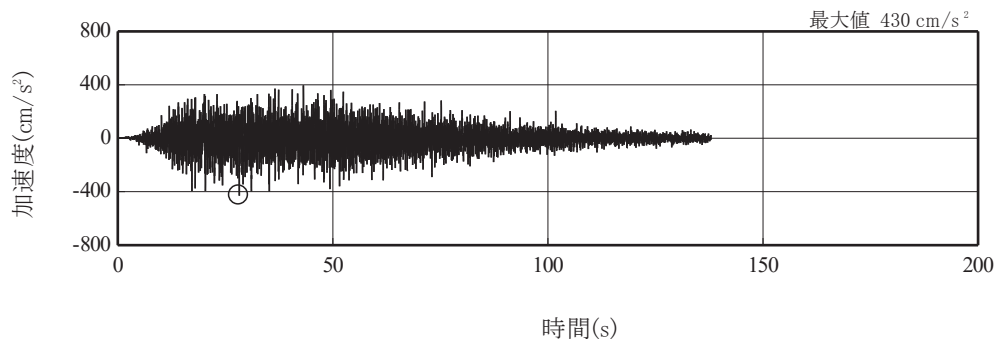
(f) S s - F 3

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (2/3)

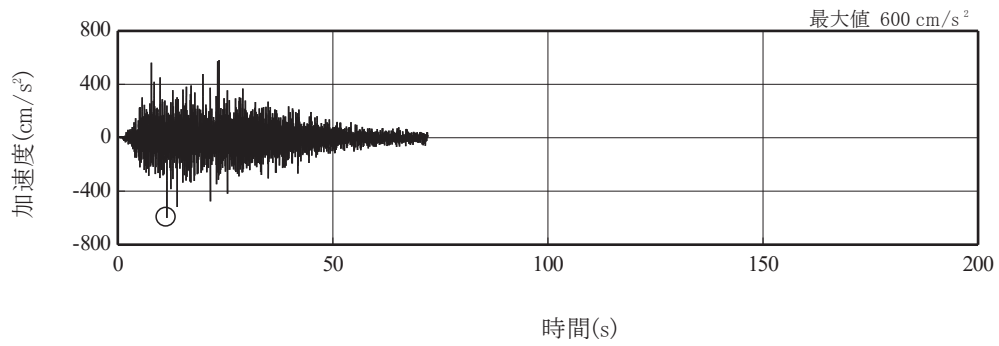


(g) S s - N 1

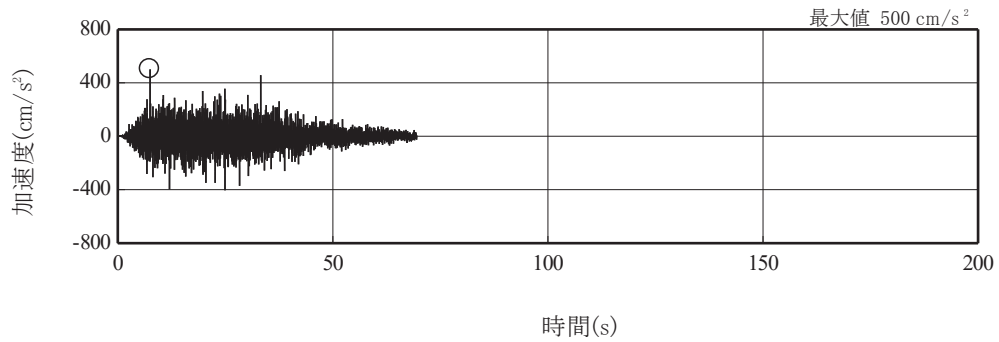
图 3-2 (3) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 水平方向) (3/3)



(a) S s - D 1

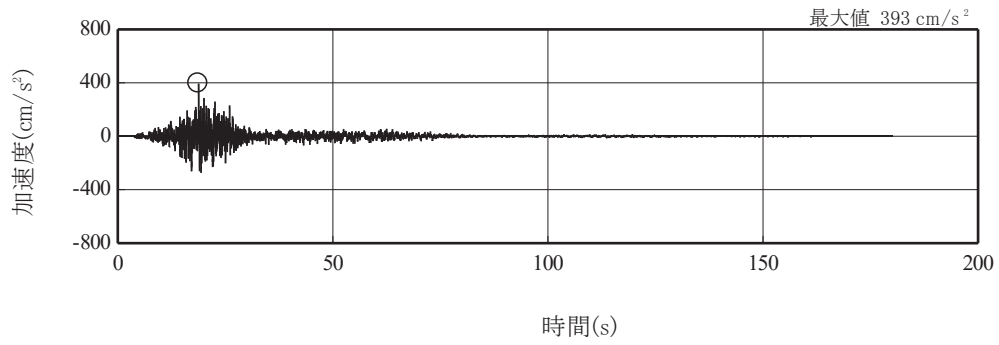


(b) S s - D 2

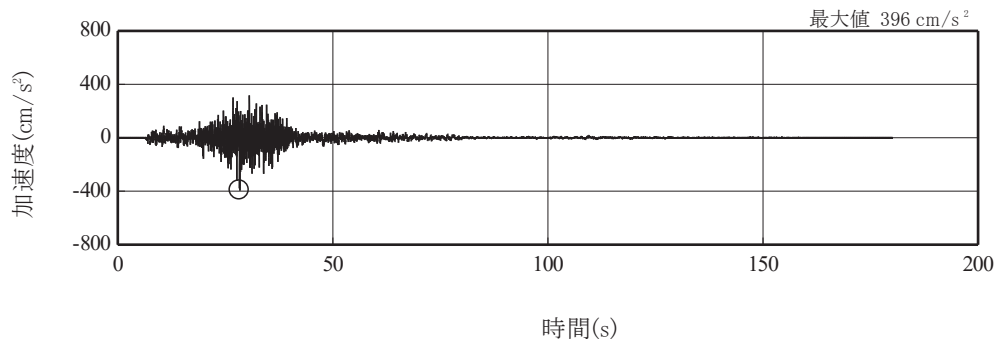


(c) S s - D 3

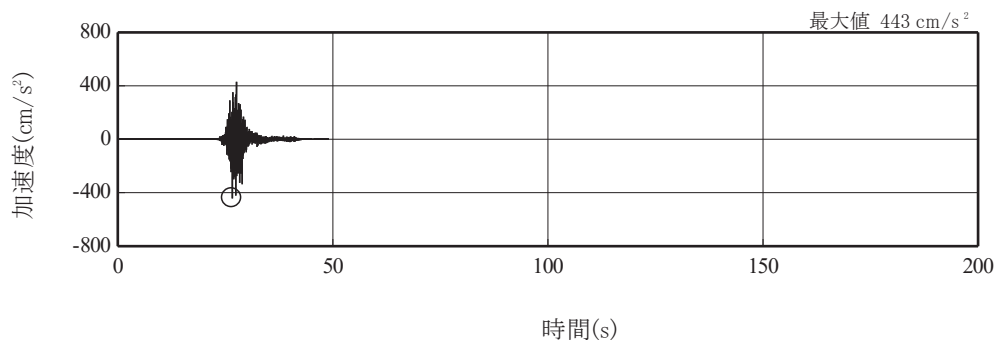
図 3-2(4) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S s - F 1

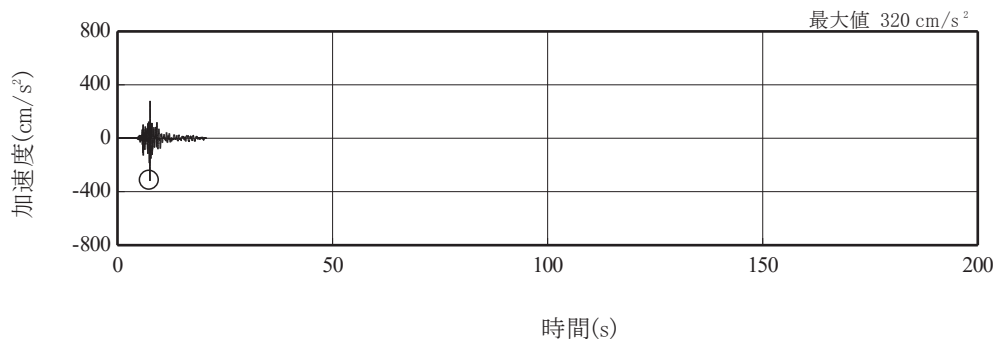


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-2(5) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , 鉛直方向) (2/3)



(g) S s - N 1

圖 3-2(6) 加速度時刻歷波形 (基準地震動 S s, 鉛直方向) (3/3)

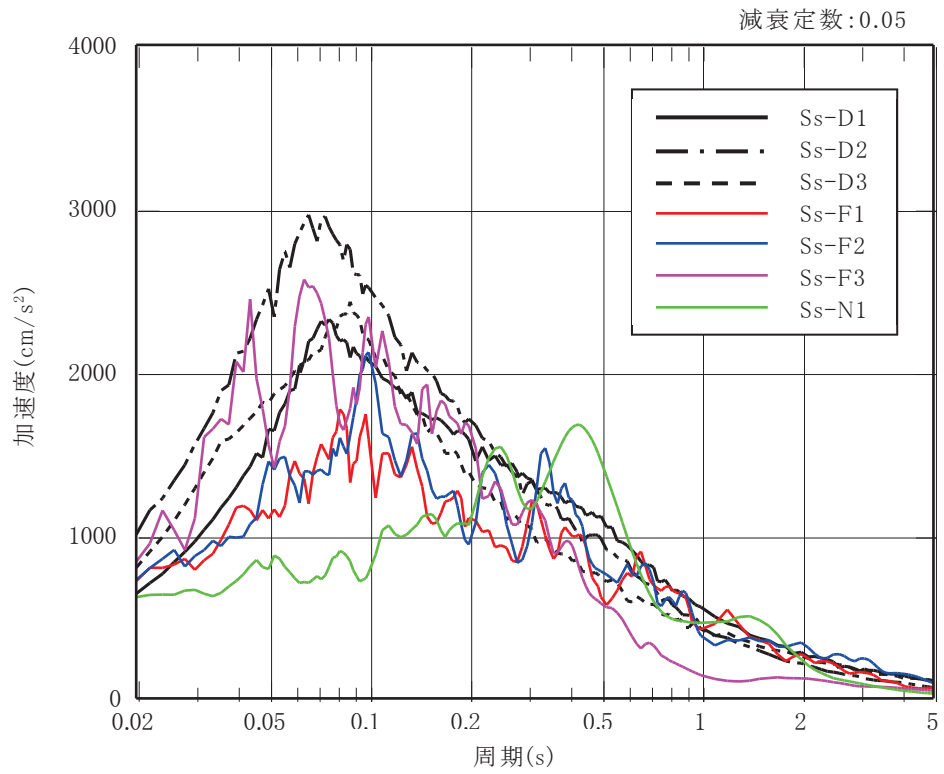


図 3-3(1) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向)

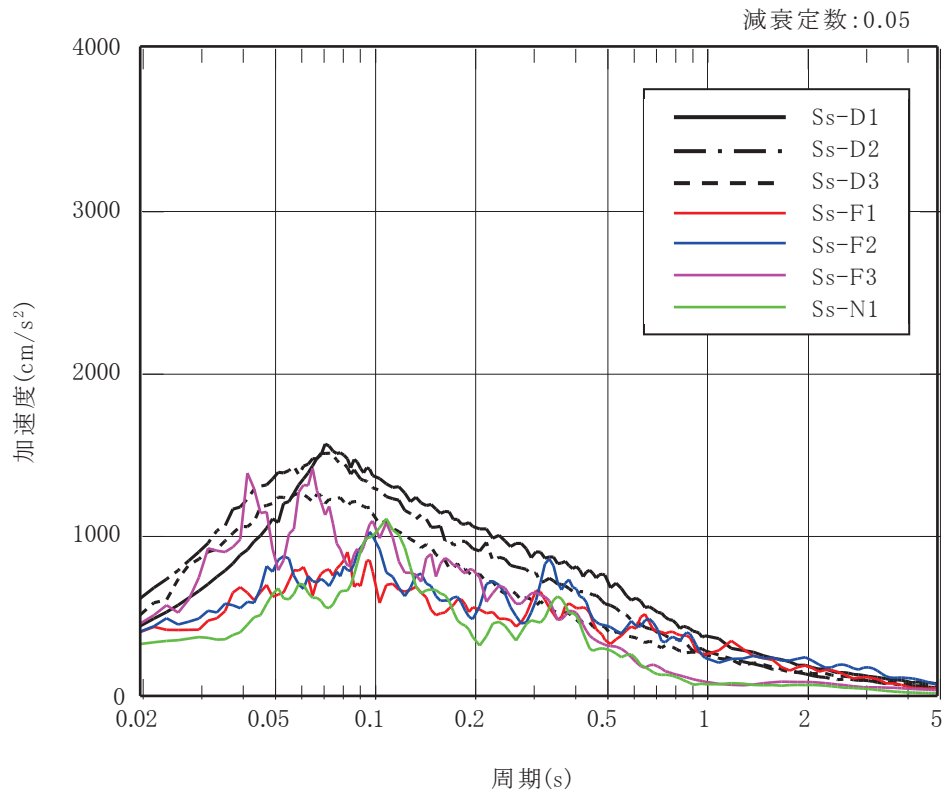


図 3-3(2) 加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、筒身及び鉄塔の荷重の他に、歩廊等の付属設備の荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載物はないため、積載荷重は考慮しない。

(3) 積雪荷重 (P_s)

歩廊の床材はグレーチングのため雪が積もらない構造となっている。よって、積雪荷重は考慮しない。

(4) 風荷重 (P_k)

風荷重を考慮する。風荷重は、「建築基準法施行令」に定められた速度圧に風力係数と受風面積を乗じて得られる風荷重を考慮する。

$$P_k = q \cdot C_f \cdot A$$

ここで

P_k : 風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m^2) $= 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$

V_0 : 当該地の基準風速 ($V_0 = 30\text{m/s}$)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値
($= E_r^2 \cdot G_f$)

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数
 $E_r = 1.7(H/Z_G)^\alpha$ ($H > Z_b$)

H : 地盤面からの高さ (m) ($H = 125.0\text{m}$)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて定められる数値
(当該地の地表面粗度区分 II : $Z_b = 5\text{m}, Z_G = 350\text{m},$
 $\alpha = 0.15$)

G_f : ガスト影響係数 ($G_f = 1.0$)

- C_f : 「煙突構造設計施工指針」による風力係数
 筒身 0.7 (I方向, II方向)
 鉄塔 1.9 (I方向), 2.4 (II方向)
- A : 「煙突構造設計施工指針」による受風面積 (m²)

風荷重の作用方向の説明図を図3-4に示す。風荷重の算定結果を表3-1及び表3-2に示す。

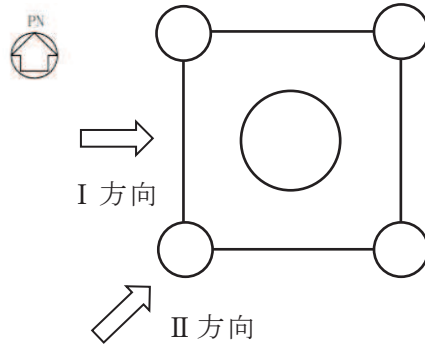


図3-4 風荷重作用方向の説明

表 3-1 風荷重の算定結果 (筒身)

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)	
		I 方向 (0 度方向)	II 方向 (45 度方向)
174.8	TOP	13.0	13.0
164.8	A	18.8	18.8
160.3	B	12.3	12.3
155.4	C	13.7	13.7
149.8	D	14.2	14.2
144.4	E	14.9	14.9
138.3	F	15.6	15.6
132.4	G	16.2	16.2
125.8	H	18.0	18.0
118.6	I	20.1	20.1
110.3	J	19.5	19.5
103.6	K	19.5	19.5
95.3	L	22.3	22.3
86.4	M	26.0	26.0
75.3	N	27.6	27.6
65.1	O	34.6	34.6
50.3	P	30.1	30.1

注記* : 位置は, 第 1 号機排気筒の概要図 (図 2-2) に示す。

表 3-2 風荷重の算定結果（鉄塔部）

標高 O.P. (m)	位置*	風荷重 P_k (kN)	
		I 方向 (0 度方向)	II 方向 (45 度方向)
174.8	TOP	—	—
164.8	A	10.4	13.2
160.3	B	15.3	19.3
155.4	C	20.0	25.3
149.8	D	20.8	26.2
144.4	E	30.3	38.2
138.3	F	28.4	35.9
132.4	G	37.5	47.4
125.8	H	39.3	49.7
118.6	I	59.3	74.9
110.3	J	58.9	74.4
103.6	K	67.6	85.4
95.3	L	59.7	75.4
86.4	M	96.5	121.9
75.3	N	100.9	127.5
65.1	O	131.8	166.4
50.3	P	55.1	69.6

注記*：位置は，第 1 号機排気筒の概要図（図 2-2）に示す。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

基準地震動 S_s の加振方向は、図 3-4 に示す風荷重作用方向と同様となる。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

第 1 号機排気筒の地震応答解析では、初期応力として固定荷重と風荷重を考慮する。なお、基準地震動 S_s は、水平 1 方向及び鉛直方向を同時入力する。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	ケース名	荷重の組合せ
S _s 地震力	I 方向	G + P _k (I) + S _s (I)
	II 方向	G + P _k (II) + S _s (II)

注記：記号の説明

G : 固定荷重

P_k (I) : I 方向からの風荷重

P_k (II) : II 方向からの風荷重

S_s (I) : 基準地震動 S_s の I 方向加振により定まる地震力

S_s (II) : 基準地震動 S_s の II 方向加振により定まる地震力

3.4 許容限界

第1号機排気筒の排気筒に対する波及的影響の評価における許容限界は、添付書類「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」の記載に基づき、表3-4及び表3-5のとおり設定する。

表3-4 波及的影響の評価における許容限界（設計基準対象施設に対する評価）

設計上の性能目標	地震力	部位	耐震評価の考え方	許容限界（評価基準値）
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	筒身 鉄塔部 脚部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。

鋼材の基準強度Fを「技術基準解説書」に準拠して1.1Fと読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔部の許容限界は「平13国交告第1024号」による材料強度とする。

表3-5 波及的影響の評価における許容限界（重大事故等対処施設に対する評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
排気筒に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	筒身 鉄塔部 脚部	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対して適切な安全裕度を有する許容限界*

注記*：許容限界は終局耐力に対して適切な裕度を有する弾性限強度を用いる。

鋼材の基準強度Fを「技術基準解説書」に準拠して1.1Fと読み替え、筒身の許容限界は「容器構造設計指針」によって求めた地震時許容応力度、鉄塔部の許容限界は「平13国交告第1024号」による材料強度とする。

3.5 使用材料及び材料の許容応力度

筒身の鋼材については、J I S G 3 1 1 4「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」に規定される SMA400AP を使用する。鉄塔部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 4 4 4「一般構造用炭素鋼鋼管」に規定される STK400 を使用する。

筒身脚部及び鉄塔脚部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 1 0 6「溶接構造用圧延鋼材」に規定される SM400A のいずれかを使用する。なお、鉄塔脚部のアンカーボルトは、直径が 40mm を超える鋼材を使用する。

基礎で使用するコンクリートの設計基準強度 F_c は 20.5 N/mm^2 とする。使用材料の材料定数及びコンクリートの許容応力度を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料の材料定数

板厚	材料	基準強度 F (N/mm^2)	備考
$t \leq 40\text{mm}$	SS400, STK400, SM400A, SMA400AP	235	筒身, 鉄塔部, 脚部
$40\text{mm} < t$	SS400	215	アンカーボルト*

注記* : アンカーボルトは、公称軸径を板厚と読み替える。

表 3-7 コンクリートの許容応力度

(単位 : N/mm^2)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 20.5$	
	長期	短期
	圧縮	圧縮
S_s 地震時	6.8	13.6

3.6 断面の評価方法

「3.3 荷重及び荷重の組合せ」により組合せた荷重を用いて算出した設計用部材応力に対して、筒身と鉄塔部の各部材の断面検定を次のとおり行う。

3.6.1 筒身

筒身部材について、板厚 2mm(外側 1mm, 内側 1mm)の腐食代を考慮し、次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{c r}} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 筒身の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 筒身の断面係数 (mm³)

$c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

$b f_{c r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

$c f_{c r}$ 及び $b f_{c r}$ は「容器構造設計指針」による材料強度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

(1) 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 $c f_{c r}$

地震時応力に対する許容圧縮応力度は、以下の式により求める。

$$\overline{c f_{c r}} = F \quad \left(\frac{r}{t} \leq 0.377 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \right)$$

$$\overline{c f_{c r}} = 0.6F + 0.4F \left[\frac{2.567 \frac{r}{t} \left(\frac{F}{E} \right)^{0.72}}{2.190} \right]$$

$$\left(0.377 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \leq 2.567 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \right)$$

$$\overline{c f_{c r}} = 0.6E \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \right\} \right] / \frac{r}{t} \quad \left(2.567 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.72} \leq \frac{r}{t} \right)$$

$\overline{c f_{c r}}$: 内圧が存在しない場合の $c f_{c r}$ (N/mm²)

F : 許容応力度の基準値 (N/mm²)

E : ヤング率 (N/mm²)

r : 内半径 (mm)

t : 壁厚 (mm)

(2) 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 $b f_{c r}$

地震時応力に対する許容曲げ応力度は、以下の式により求める。

$$\overline{b f_{c r}} = F \quad \left(\frac{r}{t} \leq 0.274 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \right)$$

$$\overline{b f_{c r}} = 0.6F + 0.4F \left[\frac{2.106 \frac{r}{t} \left(\frac{F}{E} \right)^{0.78}}{1.832} \right]$$

$$\left(0.274 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t} \leq 2.106 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \right)$$

$$\overline{b f_{c r}} = 0.6E \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \right\} \right] / \frac{r}{t} \quad \left(2.106 \left(\frac{E}{F} \right)^{0.78} \leq \frac{r}{t} \right)$$

$\overline{b f_{c r}}$: 内圧が存在しない場合の $b f_{c r}$ (N/mm²)

F : 許容応力度の基準値 (N/mm²)

E : ヤング率 (N/mm²)

r : 半径 (mm)

t : 壁厚 (mm)

3.6.2 鉄塔部

鉄塔部材（支柱材，斜材，水平材）について，板厚 1mm(外側のみ)の腐食代を考慮し，次式の応力度比によって断面検定を行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここに

σ_c : 圧縮応力度 $\sigma_c = N / A$ (N/mm²)

N : 軸力 (N)

A : 鉄塔部材の断面積 (mm²)

σ_b : 曲げ応力度 $\sigma_b = M / Z$ (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 鉄塔部材の断面係数 (mm³)

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (N/mm²)

f_c 及び f_b は「平 13 国交告第 1024 号」による材料強度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。

3.7 地震応答解析

3.7.1 地震応答解析モデル

(1) 解析モデルの概要

第1号機排気筒の地震応答解析モデルは、基礎下端レベル（O.P. 42.8m）より上部を対象とした質点モデルとし、筒身及び鉄塔部材は梁要素でモデル化する。基礎部は筒身受台、鉄塔受台、地中梁及びスラブの剛性を、構造物中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する梁要素と等価な質量を有する質点でモデル化する。また、地盤と構造物の相互作用を基礎底面の地盤ばねで評価する。

以上の排気筒－地盤連成モデルを用いた水平1方向・鉛直同時入力による地震応答解析を実施する第1号機排気筒の地震応答解析モデルを図3-5に示す。なお、固定荷重及び風荷重による初期応力を算定する際の静的応力解析においても、同じ解析モデルを用いるものとする。

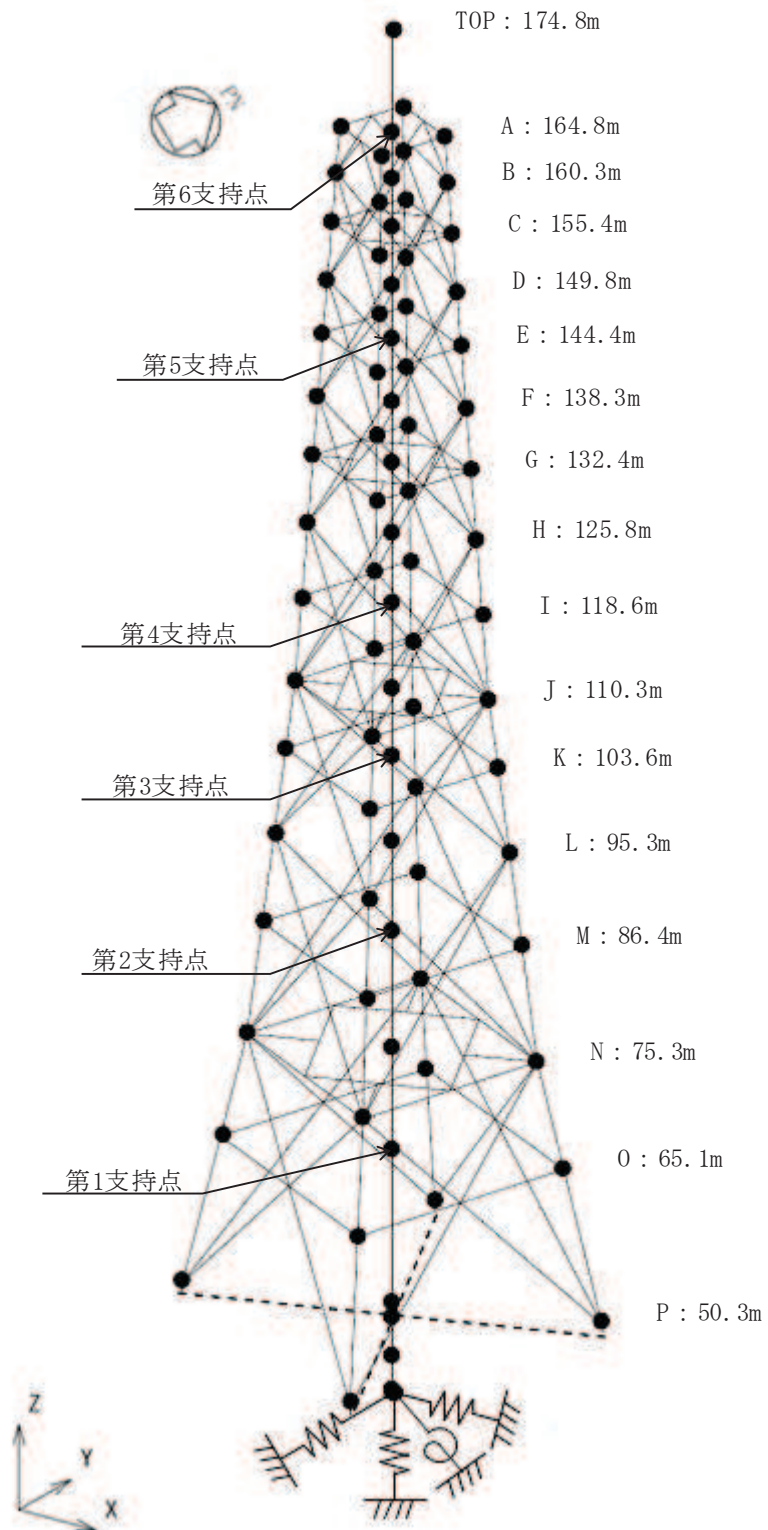
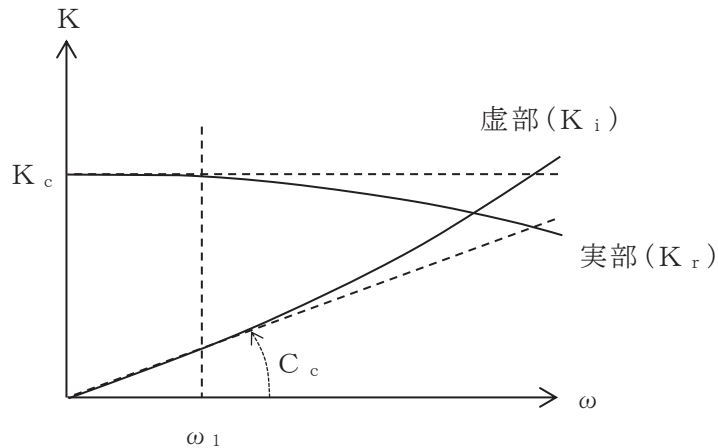


図 3-5 第 1 号機排気筒の地震応答解析モデル

(2) 地盤ばね

基礎底面下の地盤は、地震応答解析モデルにおいて、水平ばね、回転ばね及び鉛直ばねで置換している。この地盤ばねは「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、基礎底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なし、振動アドミタンス理論に基づいて評価している。いずれの地盤ばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値 (K_c) を、また、減衰係数 (C_c) として、排気筒-地盤連成系の一次固有円振動数 (ω_1) に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

解析コードは「ADMIT 導入時 Ver.」を用いる。評価に用い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、添付書類「VI-5 計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数 K_c で定数化

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

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

(3) 解析モデルの接合条件

部材間の接合条件は以下とする。

- 主柱材－主柱材 : 剛接合
- 主柱材－斜材 : ピン接合
- 主柱材－水平材 : ピン接合
- 筒身－鉄塔の支持点* : 水平方向固定，鉛直方向フリー

注記*：筒身－鉄塔の支持点については，水平構面部材を等価な水平ばねでモデル化する。

(4) 解析モデルの諸元

使用材料の材料定数を表 3-8 に，第 1 号機排気筒上部工の重量を表 3-9 に，基礎の重量を表 3-10 に示す。上部工の重量は，筒身と鉄塔部主柱材の質点に振り分け，筒身及び鉄塔部の自重の他に，付属設備の重量を考慮する。

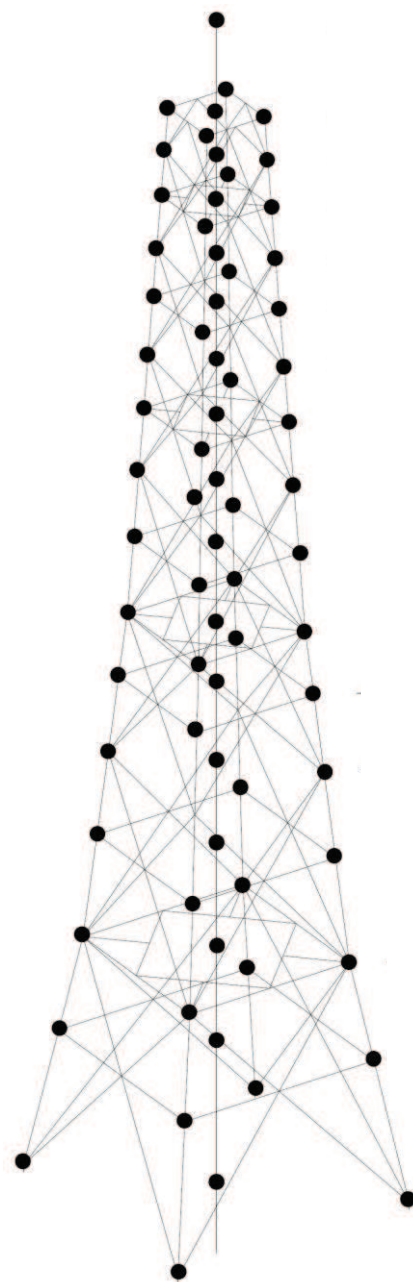
筒身，鉄塔部（主柱材，斜材，水平材）及び基礎の部材諸元一覧を表 3-11～表 3-15 に示す。解析入力値には，腐食代を考慮しない断面性能を用いる。また，地盤ばね（水平，鉛直，回転）の値を表 3-16 に，筒身支持点における水平ばねの値を表 3-17 に示す。

表 3-8 使用材料の材料定数

使用材料	ヤング係数 E * (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)	備考
鋼材：SMA400AP	2.05×10 ⁵	0.3	1	筒身
鋼材：SS400 STK400	2.05×10 ⁵	0.3	2	鉄塔部
鉄筋コンクリート コンクリート： F _c =20.5N/mm ² 鉄筋：SD345	2.15×10 ⁴ (2.87×10 ⁴)	0.2	5	基礎

注記*：括弧内は，既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果に基づくヤング係数

表 3-9 第 1 号機排気筒上部工の重量

モデル図	質点位置	重量 (kN)	
	O.P. (m)	筒身部	鉄塔部 (主柱材 1 本分)
	174.8	47.3	—
	164.8	34.3	12.2
	160.3	71.7	10.6
	155.4	64.0	17.3
	149.8	52.1	14.5
	144.4	54.8	29.1
	138.3	57.2	24.2
	132.4	56.9	34.9
	125.8	60.6	38.7
	118.6	67.7	98.8*
	110.3	70.3	51.6
	103.6	76.1	104.6*
	95.3	82.5	76.3
	86.4	90.9	128.6
	75.3	96.2	138.1
	65.1	124.4	204.0
	50.3	69.8	91.2
小 計	1,176.8	1,074.8	
合 計	上部架構の総重量 : 5,476.0 kN		
備 考			

注記* : パラボラアンテナ重量を含む

表 3-10 第 1 号機排気筒基礎の重量

モデル図	質点位置	基礎部	
	O. P. (m)	重量 (kN)	回転慣性重量 (kN・m ²)
<p>【凡例】 ● : 質点 (重量、回転慣性) ○ : 仮想節点 (無質量) — : 曲げせん断棒要素 (細) ■ : 剛域 (太) - - : MPC (自由度従属)</p>	49.5	44,483.0 +17.1*	0.400 × 10 ⁷
	45.3	69,334.7 +19.7*	0.623 × 10 ⁷
	42.8	29,591.6 +7.4*	0.266 × 10 ⁷
	合 計	143,409.3 +44.2*	1.289 × 10 ⁷
	備 考	O. P. 49.5m は基礎梁上端レベル O. P. 45.3m は基礎版上端レベル O. P. 42.8m は基礎版下端レベル	

注記* : 配管重量

表 3-11 筒身の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	筒身		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
174.8-65.1	3218	9	907.3	453.7	11680000	内径 3200mm
65.1-54.3	3224	12	1211	605.4	15620000	内径 3200mm
54.3-50.3	5250	12	1975	987.3	67720000	基部内径 5226mm

表 3-12 主柱材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8-149.8	406.4	7.9	98.90	49.45	19640	
149.8-138.3	558.8	9.5	163.9	81.97	61850	
138.3-125.8	711.2	12.7	278.7	139.3	170000	
125.8-110.3	914.4	12.7	359.8	179.9	365700	
110.3- 95.3	1016	12.7	400.3	200.1	503800	
95.3- 75.3	1016	16	502.7	251.3	628500	
75.3- 50.3	1016	18	564.4	282.2	702900	

表 3-13 斜材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8-149.8	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
149.8-125.8	355.6	6.4	70.21	35.11	10710	
125.8- 95.3	406.4	7.9	98.90	49.45	19640	
95.3- 50.3	457.2	9.5	133.6	66.81	33490	

表 3-14 水平材の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
164.8	216.3	5.8	38.36	19.18	2126	
155.4	190.7	5.3	30.87	15.43	1327	
144.4	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
132.4	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
118.6	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
110.3	267.4	6.6	54.08	27.04	4600	
103.6	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
86.4	355.6	6.4	70.21	35.11	10710	
75.3	318.5	6.9	67.55	33.77	8202	
65.1	406.4	6.4	80.42	40.21	16090	

表 3-15 基礎の部材諸元一覧

標高 O.P. (m)	断面積 (m ²)	せん断 断面積 (m ²)	断面二次 モーメント (m ⁴)	備考
49.5-45.3	281.2	234.4	25270	
45.3-42.8	1006	838.3	87360	

表 3-16 地盤ばねの値

地盤ばね	標高 O.P. (m)	ばね剛性 ($\times 10^8 \text{kN/m}$) ($\times 10^{10} \text{kN}\cdot\text{m/rad}$) *	減衰係数 ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{s/m}$) ($\times 10^8 \text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{s/rad}$) *	備考
水平	42.8	1.877	2.105	
鉛直	42.8	4.960	6.108	
回転	42.8	6.069	2.478	

注記*：回転ばねの単位を示す。

表 3-17 筒身支持点における水平ばねの値

標高 O.P. (m)	ばね剛性 ($\times 10^4 \text{kN/m}$)	位置*	備考
164.8	17.41	A	第 6 支持点
144.4	12.52	E	第 5 支持点
118.6	9.885	I	第 4 支持点
103.6	6.049	K	第 3 支持点
86.4	6.023	M	第 2 支持点
65.1	5.605	O	第 1 支持点

注記*：位置は、第 1 号機排気筒の概要図（図 2-2）に示す。

(5) 入力地震動

入力地震動は，添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.1 建物・構築物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

第1号機排気筒の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地震波を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定方法を図3-7に，入力地震動の地盤モデルを表3-18に示す。

基準地震動 S_s を用いて作成した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図3-8及び図3-9に示す。

解析コードは「SHAKE 導入時 Ver.」を用いる。評価に用い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，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

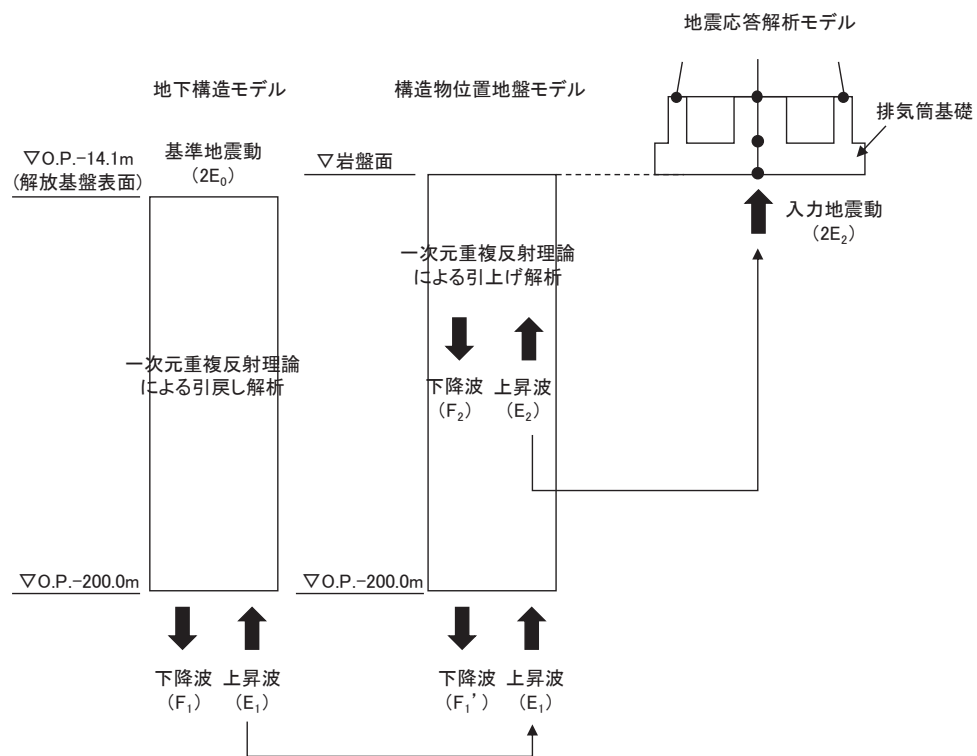
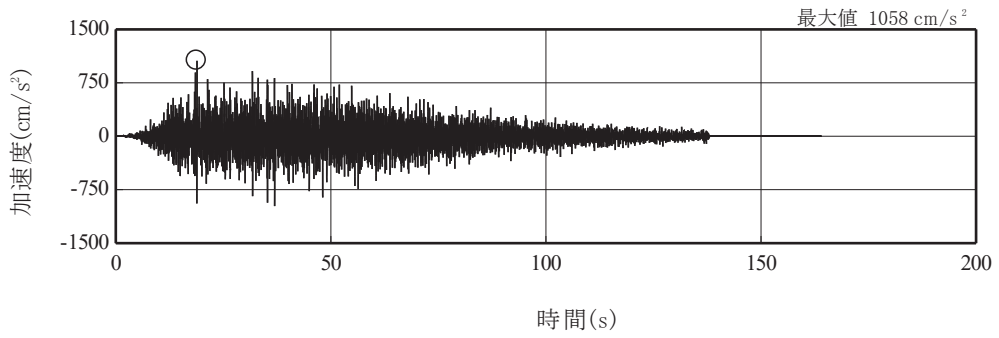


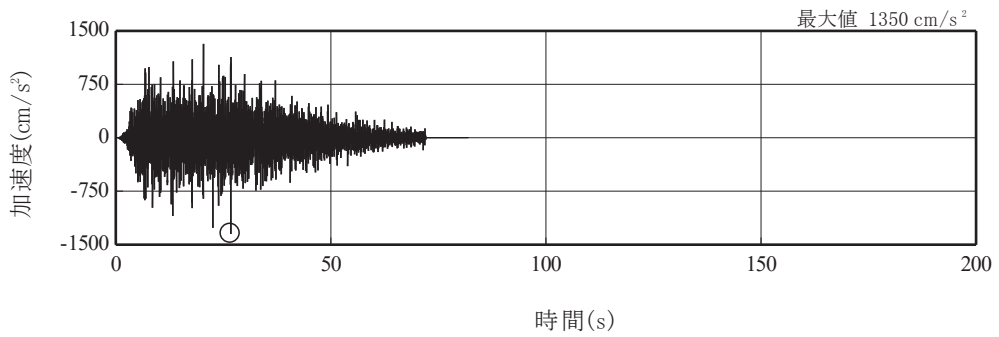
図3-7 入力地震動の算定方法

表 3-18 入力地震動の地盤モデル

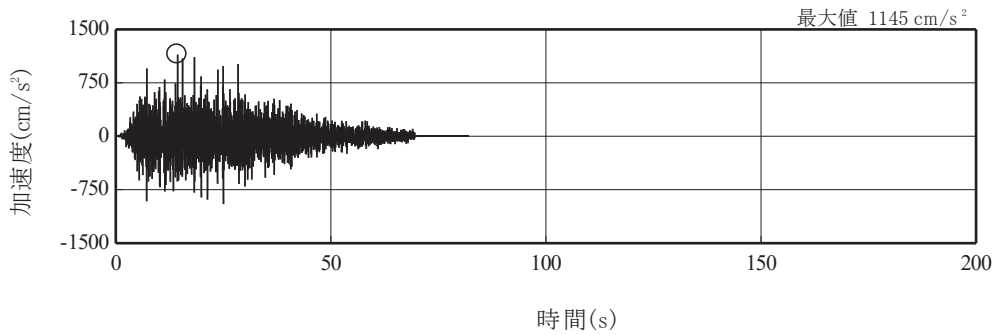
解放基盤モデル (引戻し解析)						構造物位置地盤モデル (引上げ解析)					
標高 O. P. (m)		単位体積 重 量 γ_t (t/m ³)	S 波速度 V_s (m/s)	P 波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)	標高 O. P. (m)	地質名	単位体積 重 量 γ_t (kN/m ³)	せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	P 波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)
						42.8	▼排気筒基礎底面				
						40.6	C _L 級砂岩	24.1	1.40×10^6	2,310	3
						29.0	C _M 級砂岩	25.2	1.50×10^6	2,330	3
						24.4	C _M 級砂岩	25.2	5.70×10^6	3,650	3
						11.9	C _H 級砂岩	26.2	5.90×10^6	3,640	3
						-2.4	C _H 級砂岩	26.2	1.32×10^7	4,750	3
-14.1	▼解放基盤表面										
-25.0		2.43	1,300	3,420	3						
-80.0		2.51	2,150	4,700	3						
							C _H 級砂岩	26.2	1.65×10^7	5,170	3
-200.0		2.55	2,440	5,130	3						
-200.0						-200.0					
∞	(半無限岩盤)	2.55	2,440	5,130	3	∞	(半無限岩盤)	26.2	1.65×10^7	5,170	3



(a) S s - D 1

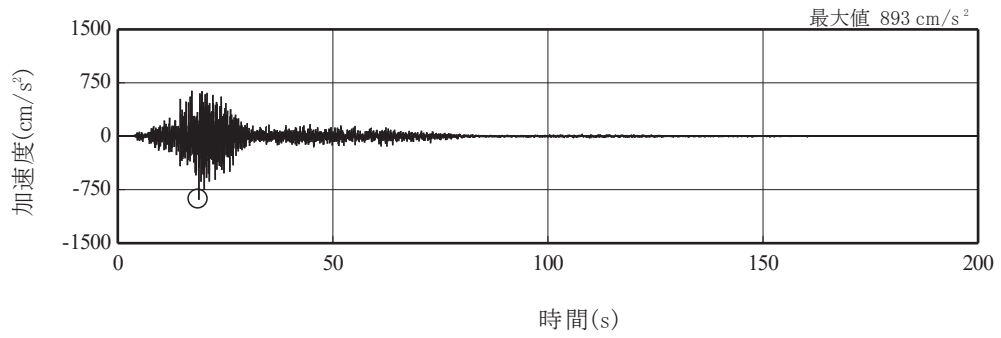


(b) S s - D 2

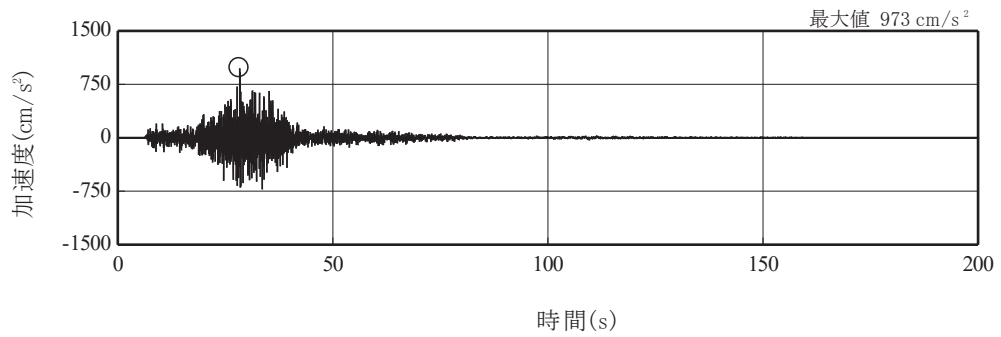


(c) S s - D 3

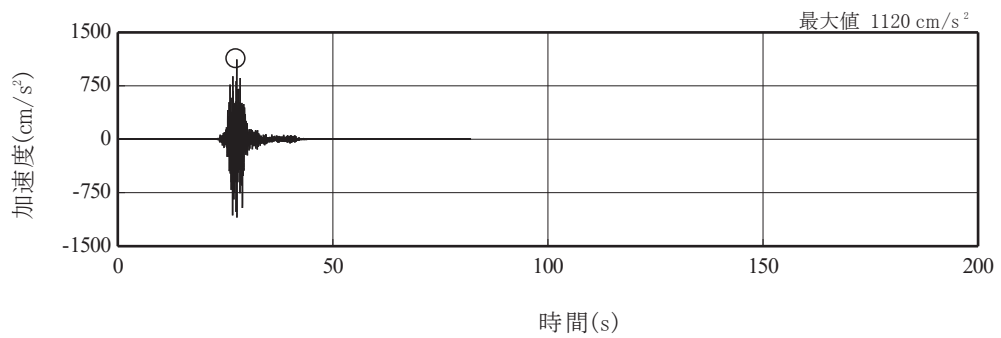
図 3-8(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (1/3)



(d) S s - F 1

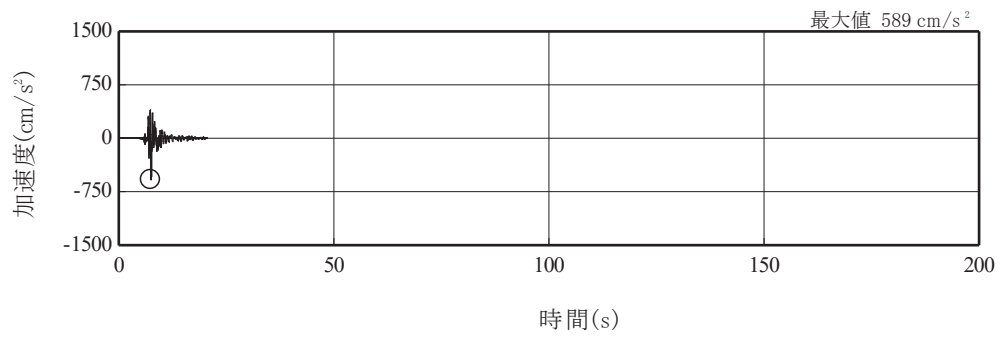


(e) S s - F 2



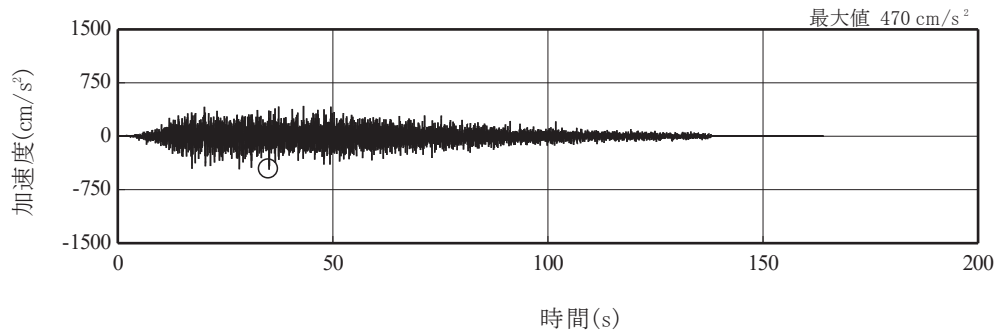
(f) S s - F 3

図 3-8(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (2/3)

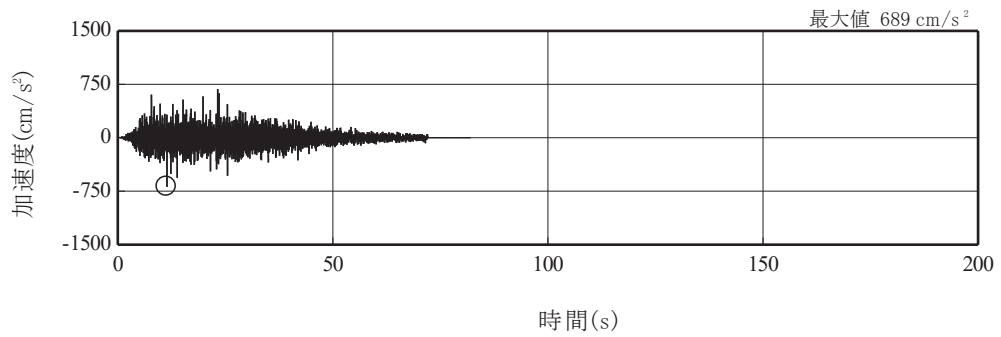


(g) S s - N 1

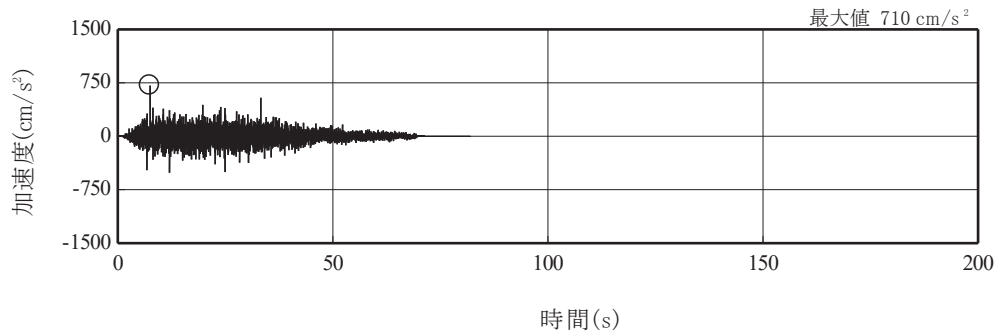
図 3-8(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 水平成分) (3/3)



(a) S s - D 1

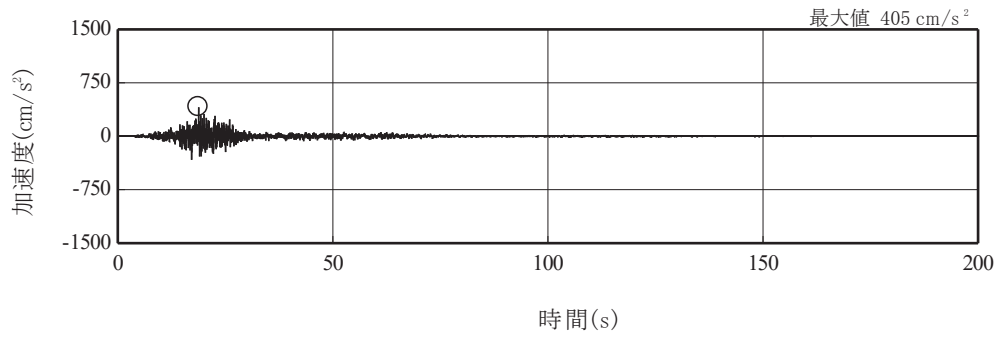


(b) S s - D 2

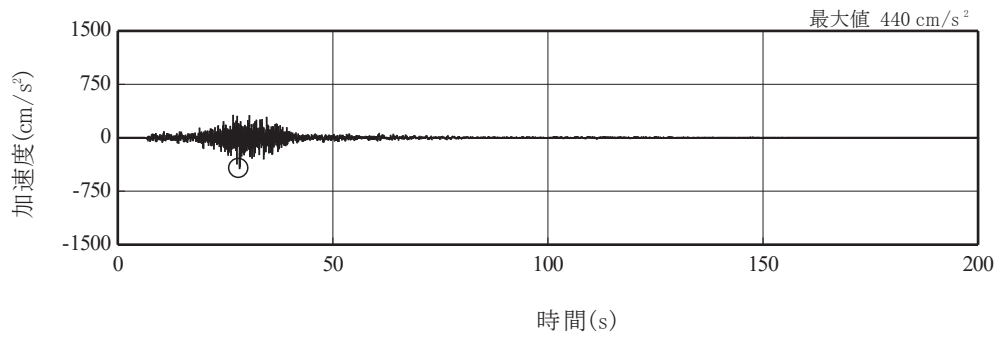


(c) S s - D 3

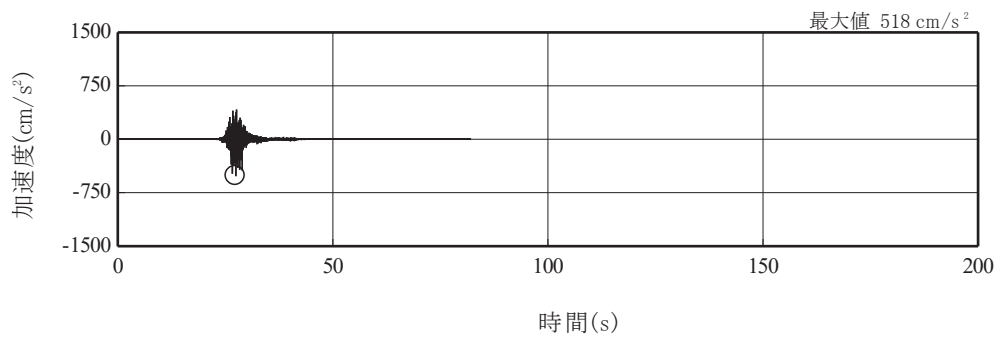
図 3-8(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (1/3)



(d) S s - F 1

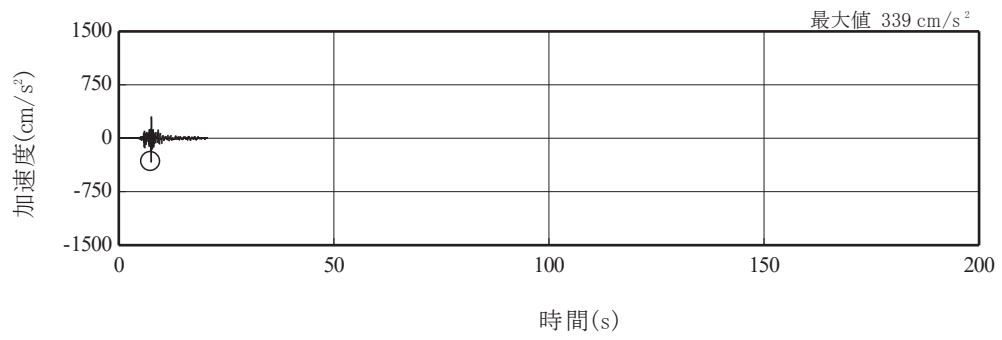


(e) S s - F 2



(f) S s - F 3

図 3-8(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (2/3)



(g) S s - N 1

図 3-8(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形
(基準地震動 S s , 鉛直成分) (3/3)

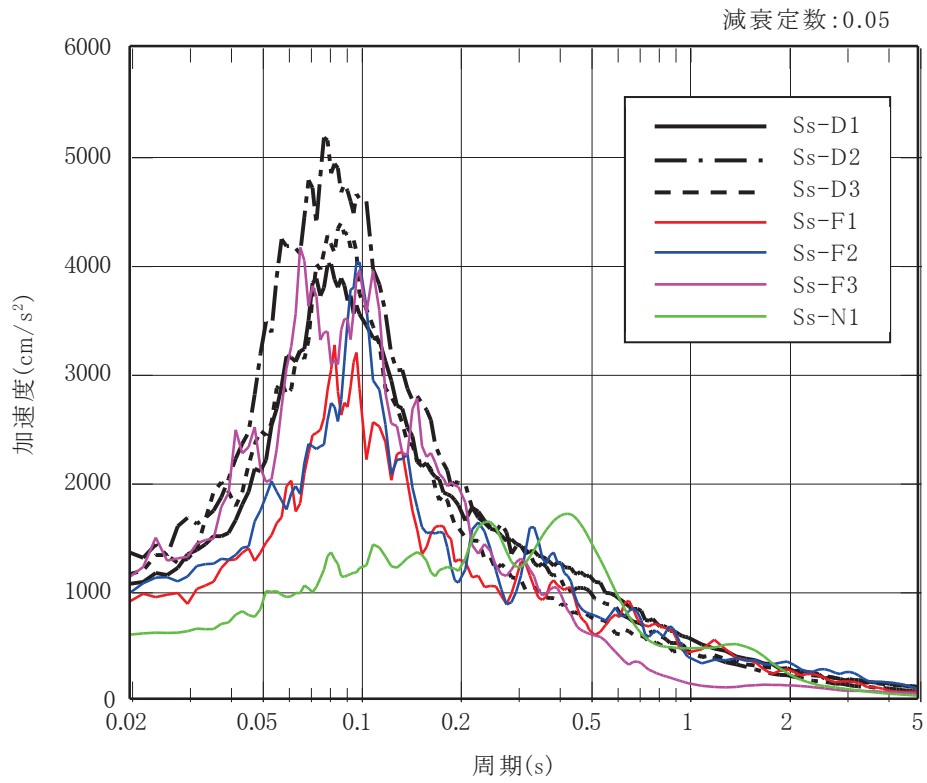


図 3-9(1) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 水平成分)

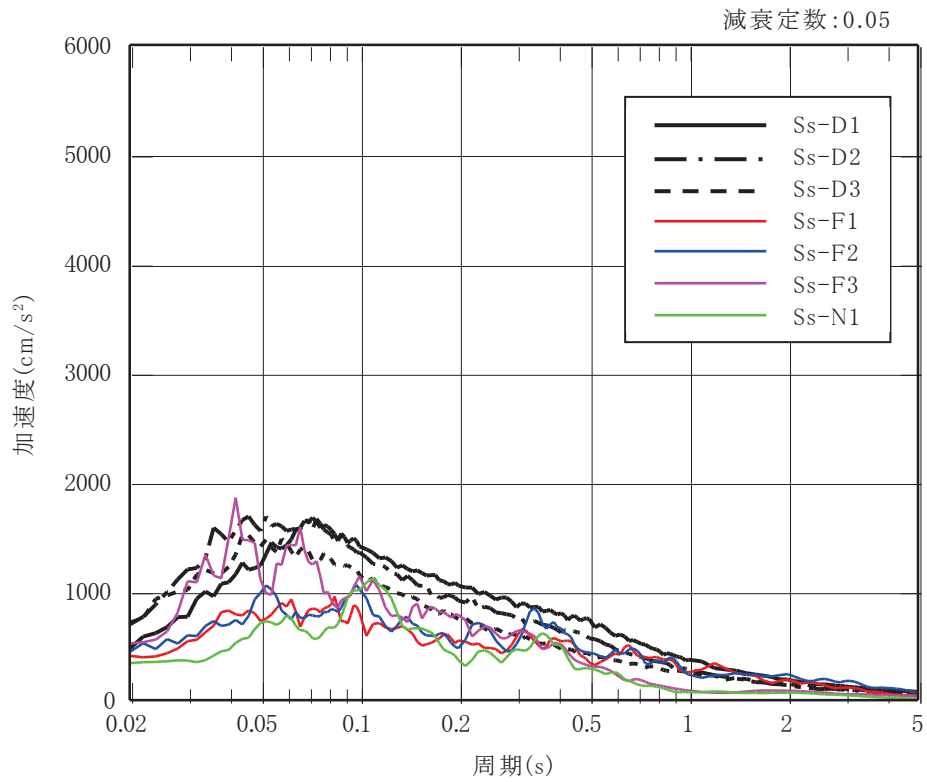


図 3-9(2) 入力地震動の加速度応答スペクトル
(基準地震動 S_s , 鉛直成分)

3.7.2 解析方法

第1号機排気筒の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、基準地震動 S_s を用いた入力地震動に対する地震応答解析により、各種応答値を算出する。

地震応答解析は、時刻歴直接積分法による線形解析を実施し、ひずみエネルギー比例型減衰で評価する。

解析コードは「DYNA2E Ver. 7.2.63」を用いる。評価に用い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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.7.3 地盤物性及び材料物性の不確かさ

地盤物性及び材料物性の不確かさの影響を考慮するため、表3-19に示す解析ケースを設定する。第1号機排気筒は、岩盤上に直接基礎が構築され、周囲が盛土で埋戻されており、盛土等の土圧が主たる荷重となる他、第1号機排気筒及び基礎の質量が大きく、作用する慣性力も主たる荷重となることから、盛土・旧表土に加え、岩盤についても地盤のせん断弾性係数のばらつきを考慮する。

せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして基礎の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

第1号機排気筒の耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果に対して、最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②、③及び④を実施する。

表 3-19 第 1 号機排気筒の耐震評価における解析ケース

解析ケース	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性* ¹	平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性* ²	設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度* ³
地震動	S s - D 1	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - D 2	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - D 3	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 1	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 2	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - F 3	○	△* ⁴	△* ⁴
	S s - N 1	○	△* ⁴	△* ⁴

注記*1: 地盤物性は、盛土、旧表土、 C_L 級岩盤、 C_M 級岩盤及び C_H 級岩盤(G:せん断弾性係数)を示す。

*2: 材料物性は、コンクリート(E:ヤング係数)を示す。

*3: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

*4: △については、解析ケース①において、排気筒の筒身、支柱材それぞれの断面算定結果が最も厳しい地震動を用いる。

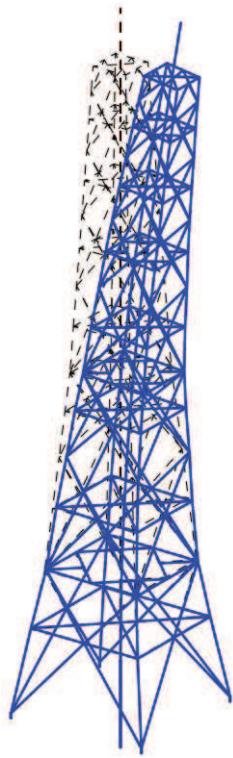
3.8 解析結果

3.8.1 固有値解析結果

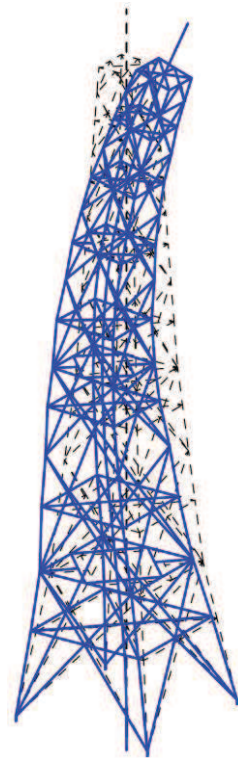
地震応答解析モデルの固有値解析結果を表 3-20 に示す。主要なモードを図 3-10 に示す。

表 3-20 固有値解析結果

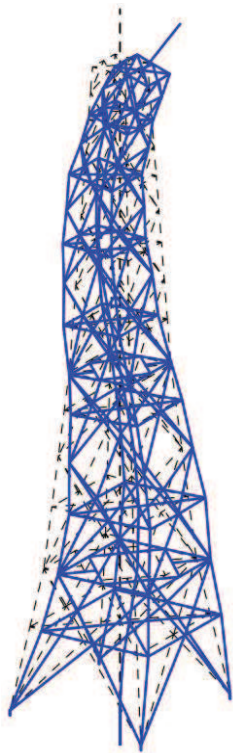
モード No.	振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数			備考
			X 方向	Y 方向	Z 方向	
1	1.285	0.778	2.052	0.103	0.000	全体 1 次
2	3.266	0.306	-2.043	-0.121	0.000	全体 2 次
3	5.583	0.179	1.885	0.068	0.000	全体 3 次
4	7.695	0.130	-1.500	0.197	0.000	全体 4 次
5	9.707	0.103	0.413	0.698	0.000	全体 5 次
6	16.928	0.059	0.962	-0.534	0.000	基礎 1 次



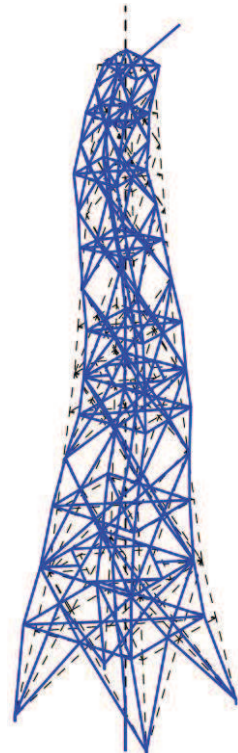
(a) モード No. 1



(b) モード No. 2

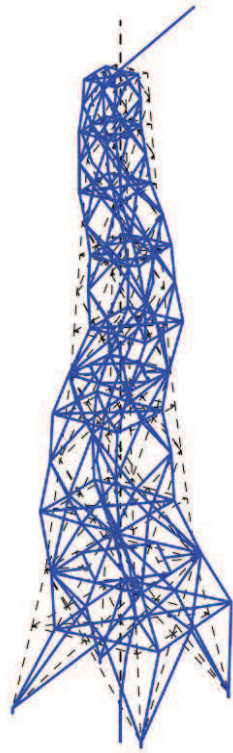


(c) モード No. 3

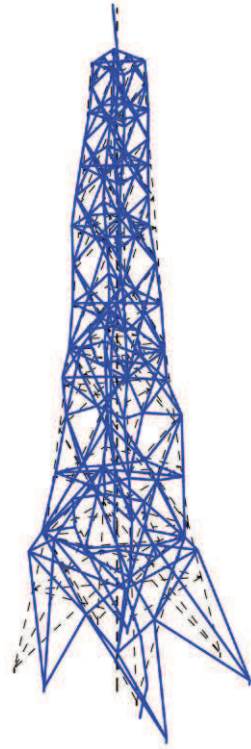


(d) モード No. 4

図 3-10(1) 固有モード図 (1/2)



(e) モード No. 5



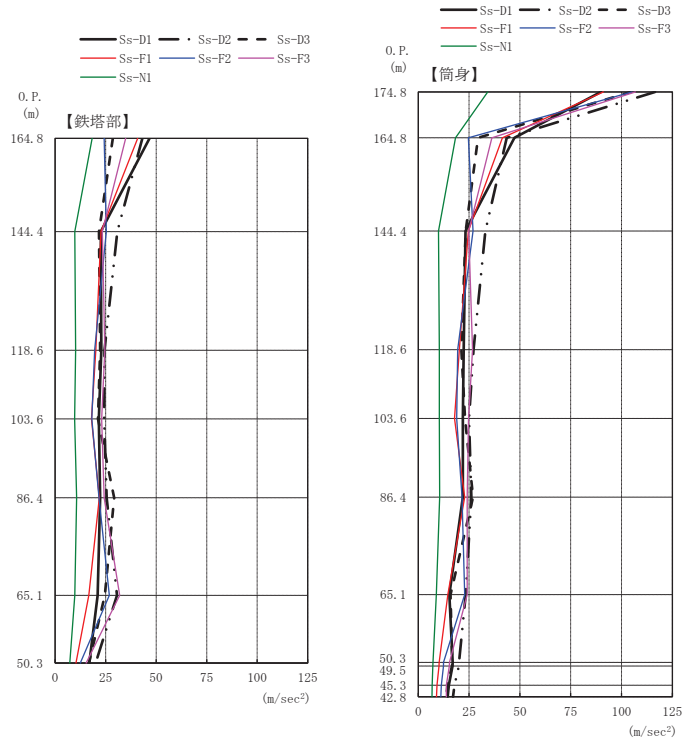
(f) モード No. 6

図 3-10(2) 固有モード図 (2/2)

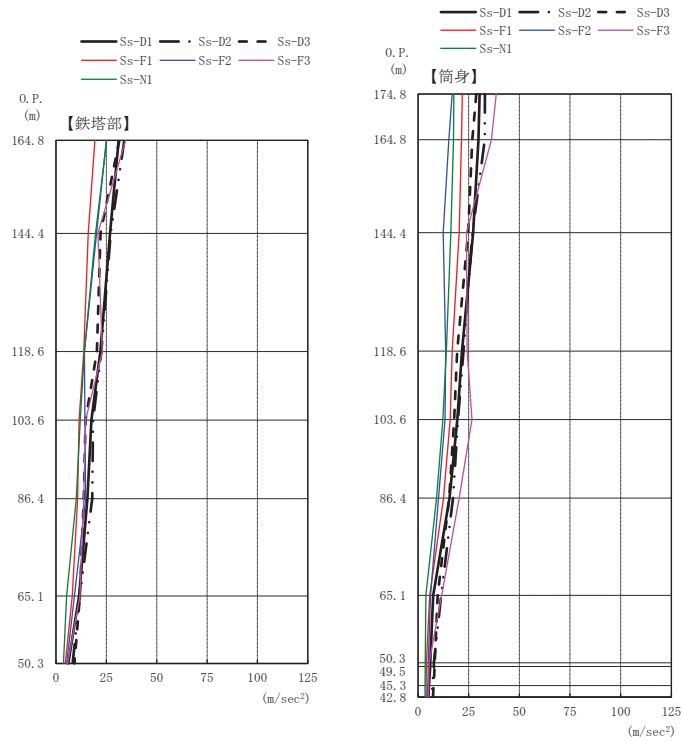
3.8.2 地震応答解析結果

基準地震動 S_s に対する各質点位置での加速度，軸力，曲げモーメントの高さ方向における最大応答分布を 図 3-11～図 3-13 に示す。最大応答分布図は，各層の部材に発生する最大応答値を示している。

また，基準地震動 S_s に対する応答について，排気筒の加振方向は，Ⅰ方向（0度方向）及びⅡ方向（45度方向）の解析結果（解析ケース①：基本ケース）を示す。

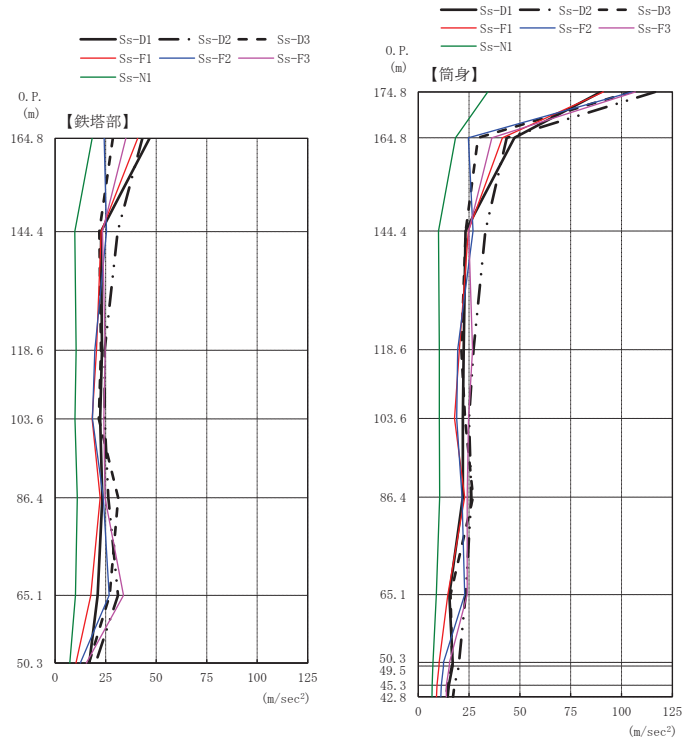


水平方向 (I 方向)

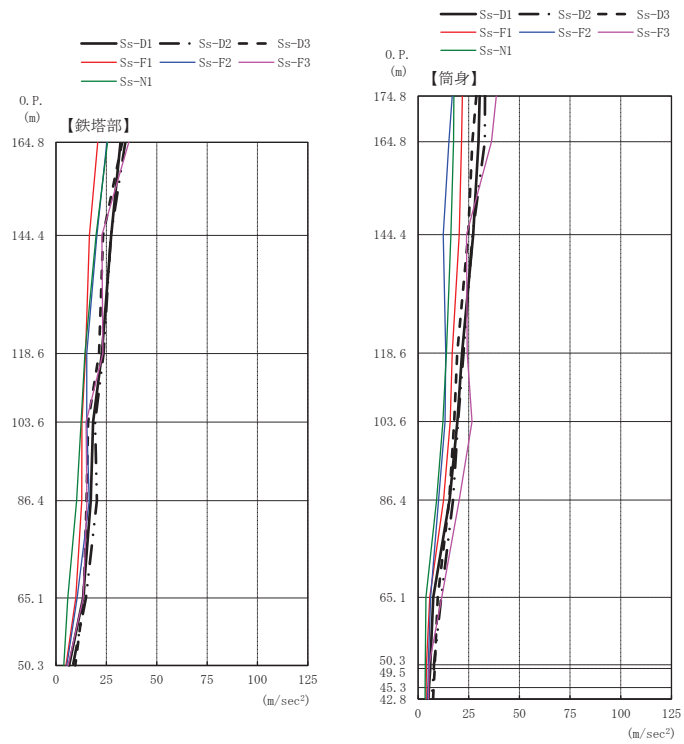


鉛直方向 (I 方向)

図 3-11(1) S s 地震時における最大応答加速度 (基本ケース) (1/2)

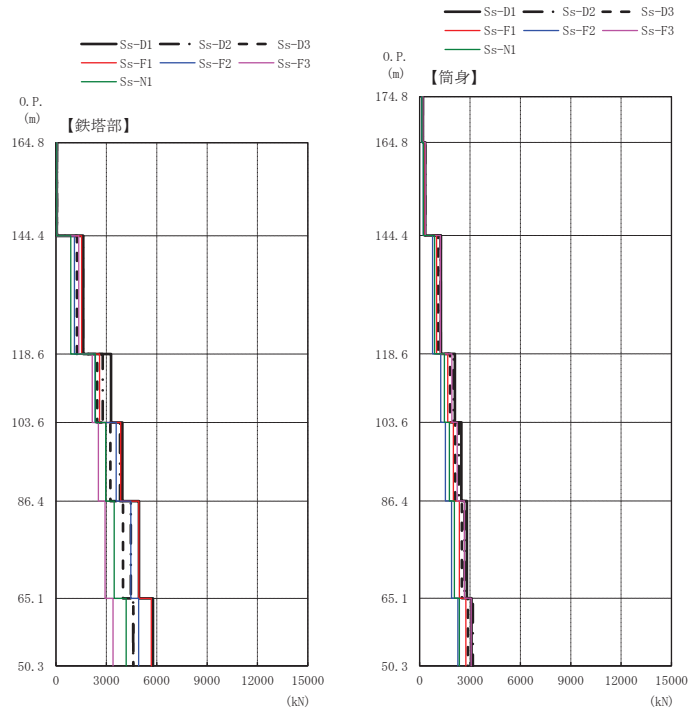


水平方向（Ⅱ方向）

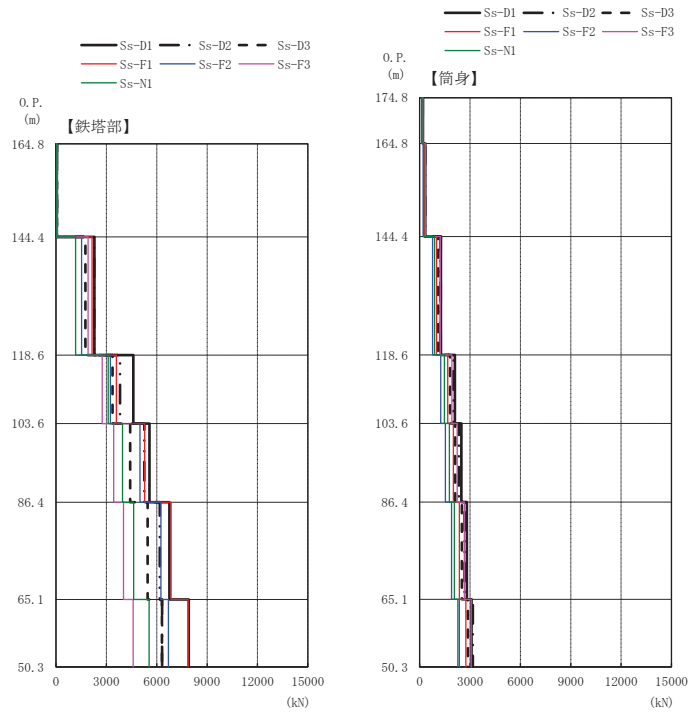


鉛直方向（Ⅱ方向）

図 3-11(2) S s 地震時における最大応答加速度（基本ケース）(2/2)

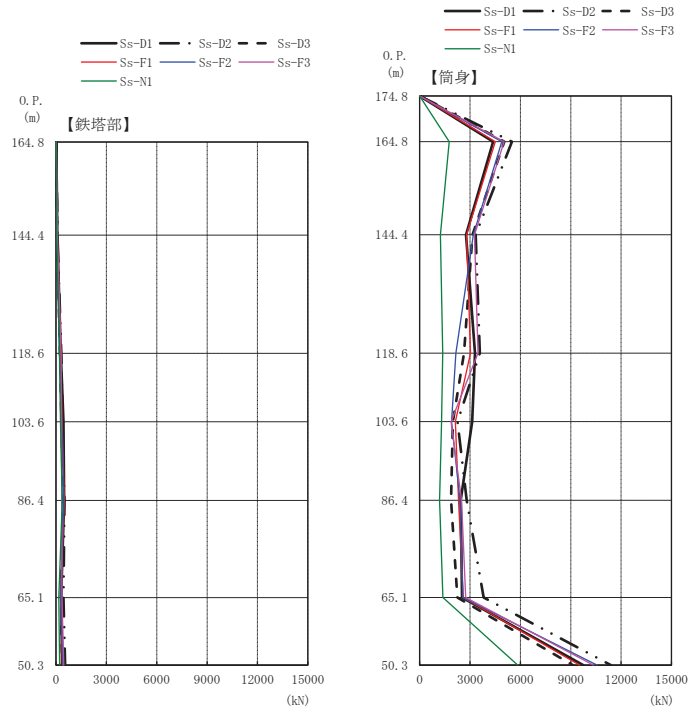


水平方向（Ⅰ方向）

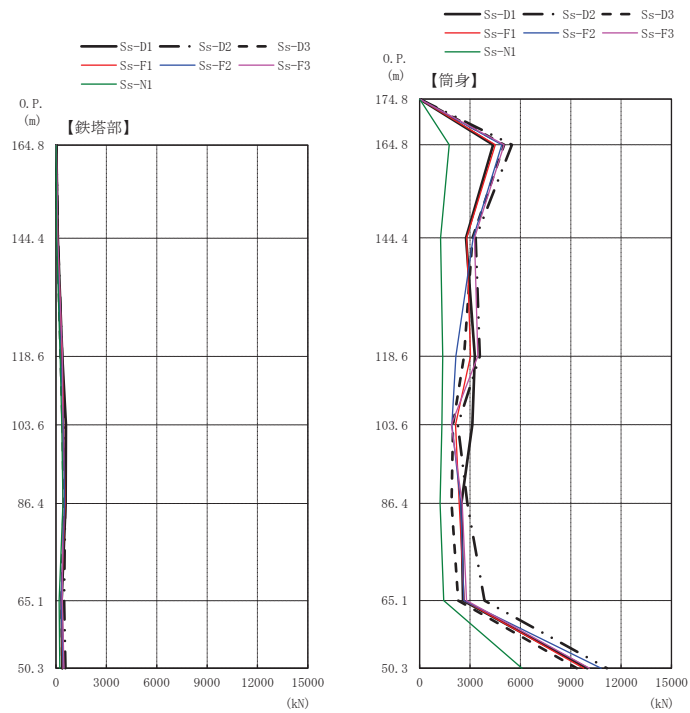


水平方向（Ⅱ方向）

図 3-12 S_s地震時における最大応答軸力（基本ケース）



水平方向（Ⅰ方向）



水平方向（Ⅱ方向）

図 3-13 S s 地震時における最大応答曲げモーメント（基本ケース）

4. 評価結果

4.1 耐震性能の評価結果

「3.6 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。断面の評価結果を記載する解析ケースは、軸力及び曲げモーメントによる基本ケース及びばらつきケースの断面検定において、応力度比が最大となる解析ケースとする。

基準地震動 S_s に対する断面算定結果を表 4-1～表 4-4 に示す。断面算定結果に記載している応力度比は、各層の部材ごとの最大軸力及び最大曲げモーメントを用いて算出した応力度比のうち、最大値を示している。評価用部材断面力の軸力及び曲げモーメントは、断面算定結果に記載した応力度比の算出に用いている断面力を示している。

基準地震動 S_s において、軸力及び曲げモーメントによる発生応力度の評価値が各許容値を超えないことを確認した。

表 4-1(1) S s 地震時における筒身の断面算定表 (SMA400AP) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			f_{cr} (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c / f_{cr} + $\sigma_b / b f_{cr}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)					
164.8	A	189.8	5703.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	2.7	101.1	0.52
160.3	B	324.0	5703.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	4.6	101.1	0.53
155.4	C	599.9	5422.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	8.5	96.1	0.52
149.8	D	838.8	5089.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	11.9	90.2	0.51
144.4	E	1031.6	3471.6	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	14.6	61.6	0.39
138.3	F	1235.7	3591.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	17.5	63.7	0.41
132.4	G	1436.4	4356.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	20.4	77.2	0.49
125.8	H	1617.8	4356.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	22.9	77.2	0.51
118.6	I	1784.3	3722.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	25.3	66.0	0.46
110.3	J	2082.6	3212.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	29.5	57.0	0.44
103.6	K	2282.6	3212.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	32.4	57.0	0.46
95.3	L	2347.7	2934.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	33.3	52.0	0.44
86.4	M	2506.1	2934.5	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	35.5	52.0	0.45
75.3	N	2661.6	3952.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	37.7	70.1	0.55
65.1	O	2857.0	3952.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	40.5	70.1	0.57
50.3	P	3124.3	11946.4	Ss-D2(ケース③)	$\phi 5226 \times 12$	1645.0	215000	175.3	193.1	19.0	55.6	0.40

表 4-1(2) S s 地震時における筒身の断面算定表 (SMA400AP) (II 方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	位置	評価用部材断面力			使用部材			f_{cr} (N/mm ²)	$b f_{cr}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c / f_{cr} + $\sigma_b / b f_{cr}$
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)					
164.8	A	189.8	5703.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	2.7	101.1	0.52
160.3	B	324.0	5703.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	4.6	101.1	0.53
155.4	C	599.9	5421.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	8.5	96.1	0.52
149.8	D	838.8	5086.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	11.9	90.2	0.51
144.4	E	1031.6	3472.3	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	14.6	61.6	0.39
138.3	F	1235.7	3596.1	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	17.5	63.8	0.41
132.4	G	1436.4	4351.7	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	20.4	77.2	0.49
125.8	H	1617.8	4351.7	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	22.9	77.2	0.51
118.6	I	1784.3	3717.2	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	25.3	65.9	0.46
110.3	J	2082.6	3226.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	29.5	57.2	0.44
103.6	K	2282.6	3226.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	32.4	57.2	0.46
95.3	L	2347.7	2968.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	33.3	52.6	0.44
86.4	M	2506.1	2968.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	35.5	52.6	0.45
75.3	N	2661.6	4004.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	37.7	71.0	0.56
65.1	O	2857.0	4004.9	Ss-D2(ケース③)	$\phi 3200 \times 9$	705.6	56400	188.0	203.2	40.5	71.0	0.57
50.3	P	3124.3	11707.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 5226 \times 12$	1645.0	215000	175.3	193.1	19.0	54.5	0.40

表 4-2(1) S s 地震時における主柱材の断面算定表 (STK400, SS400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	54.1	21.5	Ss-D2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4511	32.3	250.2	258.5	6.3	25.6	0.13
160.3-155.4	B-C	804.7	28.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4936	35.3	248.6	258.5	93.4	34.0	0.51
155.4-149.8	C-D	832.1	57.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	5591	40.0	245.8	258.5	96.6	67.9	0.66
149.8-144.4	D-E	1635.2	90.6	Ss-D2(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	5376	27.9	252.3	258.5	111.7	46.0	0.63
144.4-138.3	E-F	1655.8	90.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	6154	31.9	250.4	258.5	113.1	45.7	0.63
138.3-132.4	F-G	2264.5	167.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	5888	24.0	253.9	258.5	88.4	38.0	0.50
132.4-125.8	G-H	2354.8	280.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	6643	27.1	252.6	258.5	91.9	63.9	0.62
125.8-118.6	H-I	3197.2	291.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	7268	22.9	254.3	258.5	96.6	39.6	0.54
118.6-110.3	I-J	3309.3	290.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	8271	26.1	253.1	258.5	100.0	39.5	0.55
110.3-103.6	J-K	3914.0	456.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	6800	19.3	255.5	258.5	106.2	50.0	0.61
103.6-95.3	K-L	3996.3	492.6	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	8310	23.5	254.1	258.5	108.5	54.0	0.64
95.3-86.4	L-M	4805.9	492.7	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	9013	25.6	253.3	258.5	102.1	42.8	0.57
86.4-75.3	M-N	4932.7	397.8	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	5567	15.8	256.5	258.5	104.8	34.6	0.55
75.3-65.1	N-O	5524.7	314.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	5243	14.9	256.7	258.5	103.8	24.2	0.50
65.1-50.3	O-P	5761.4	375.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	7573	21.6	254.8	258.5	108.2	28.9	0.54

表 4-2(2) S s 地震時における主柱材の断面算定表 (STK400, SS400) (II 方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	52.4	21.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4511	32.3	250.2	258.5	6.1	25.0	0.13
160.3-155.4	B-C	1133.5	36.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	4936	35.3	248.6	258.5	131.6	43.3	0.70
155.4-149.8	C-D	1133.4	63.8	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	841	140	5591	40.0	245.8	258.5	131.5	75.8	0.83
149.8-144.4	D-E	2342.6	115.2	Ss-D1(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	5376	27.9	252.3	258.5	160.0	58.5	0.87
144.4-138.3	E-F	2379.4	114.4	Ss-D1(ケース③)	$\phi 558.8 \times 9.5$	146.40	1970	193	6154	31.9	250.4	258.5	162.5	58.1	0.88
138.3-132.4	F-G	3189.9	222.3	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	5888	24.0	253.9	258.5	124.5	50.6	0.69
132.4-125.8	G-H	3214.3	299.7	Ss-D1(ケース③)	$\phi 711.2 \times 12.7$	256.30	4390	246	6643	27.1	252.6	258.5	125.4	68.3	0.77
125.8-118.6	H-I	4536.0	381.2	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	7268	22.9	254.3	258.5	137.0	51.8	0.74
118.6-110.3	I-J	4658.1	380.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 914.4 \times 12.7$	331.00	7360	318	8271	26.1	253.1	258.5	140.7	51.6	0.76
110.3-103.6	J-K	5554.7	611.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	6800	19.3	255.5	258.5	150.8	67.0	0.85
103.6-95.3	K-L	5637.4	612.1	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 12.7$	368.40	9120	354	8310	23.5	254.1	258.5	153.0	67.1	0.87
95.3-86.4	L-M	6720.5	542.3	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	9013	25.6	253.3	258.5	142.8	47.2	0.75
86.4-75.3	M-N	6857.3	541.2	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 16.0$	470.70	11500	353	5567	15.8	256.5	258.5	145.7	47.1	0.76
75.3-65.1	N-O	7673.3	351.8	Ss-D1(ケース③)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	5243	14.9	256.7	258.5	144.1	27.1	0.67
65.1-50.3	O-P	7870.9	396.5	Ss-F1(ケース①)	$\phi 1016.0 \times 18.0$	532.40	13000	352	7573	21.6	254.8	258.5	147.8	30.5	0.70

表 4-3(1) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k	λ	f_c	f_b	σ_c	σ_b	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	480.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	5691	62.0	228.0	258.5	105.2	0.0	0.47
160.3-155.4	B-C	502.2	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6032	65.8	224.1	258.5	109.9	0.0	0.50
155.4-149.8	C-D	554.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6872	74.9	214.0	258.5	121.4	0.0	0.57
149.8-144.4	D-E	478.8	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	6698	54.5	234.9	258.5	81.1	0.0	0.35
144.4-138.3	E-F	712.5	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7669	62.4	227.6	258.5	120.6	0.0	0.53
138.3-132.4	F-G	666.7	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7458	60.7	229.2	258.5	112.9	0.0	0.50
132.4-125.8	G-H	732.0	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	8440	68.7	221.0	258.5	123.9	0.0	0.57
125.8-118.6	H-I	641.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	8939	63.9	226.1	258.5	74.4	0.0	0.33
118.6-110.3	I-J	1014.96	0.0	Ss-F2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5105	36.5	247.9	258.5	117.8	0.0	0.48
110.3-103.6	J-K	821.6	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	4525	32.4	250.1	258.5	95.4	0.0	0.39
103.6-95.3	K-L	1100.5	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5515	39.4	246.1	258.5	127.7	0.0	0.52
95.3-86.4	L-M	1146.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	5783	36.9	247.7	258.5	96.2	0.0	0.39
86.4-75.3	M-N	1527.25	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	7143	45.5	242.0	258.5	128.1	0.0	0.53
75.3-65.1	N-O	1297.7	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	6861	43.7	243.3	258.5	108.9	0.0	0.45
65.1-50.3	O-P	1489.9	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	9910	63.2	226.8	258.5	125.0	0.0	0.56

表 4-3(2) S s 地震時における斜材の断面算定表 (STK400) (II 方向) (2/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k	λ	f_c	f_b	σ_c	σ_b	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	i (mm)							
164.8-160.3	A-B	340.8	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	5691	62.0	228.0	258.5	74.6	0.0	0.33
160.3-155.4	B-C	371.1	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6032	65.8	224.1	258.5	81.2	0.0	0.37
155.4-149.8	C-D	409.8	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 267.4 \times 6.6$	45.70	291	92	6872	74.9	214.0	258.5	89.7	0.0	0.42
149.8-144.4	D-E	369.3	0.0	Ss-D1(ケース①)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	6698	54.5	234.9	258.5	62.5	0.0	0.27
144.4-138.3	E-F	534.1	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7669	62.4	227.6	258.5	90.4	0.0	0.40
138.3-132.4	F-G	506.2	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	7458	60.7	229.2	258.5	85.7	0.0	0.38
132.4-125.8	G-H	553.1	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 355.6 \times 6.4$	59.07	506	123	8440	68.7	221.0	258.5	93.6	0.0	0.43
125.8-118.6	H-I	565.0	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	8939	63.9	226.1	258.5	65.6	0.0	0.30
118.6-110.3	I-J	816.8	0.0	Ss-F2(ケース①)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5105	36.5	247.9	258.5	94.8	0.0	0.39
110.3-103.6	J-K	642.4	0.0	Ss-D2(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	4525	32.4	250.1	258.5	74.6	0.0	0.30
103.6-95.3	K-L	812.4	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 406.4 \times 7.9$	86.16	842	140	5515	39.4	246.1	258.5	94.3	0.0	0.39
95.3-86.4	L-M	961.9	0.0	Ss-D1(ケース③)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	5783	36.9	247.7	258.5	80.7	0.0	0.33
86.4-75.3	M-N	1207.9	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	7143	45.5	242.0	258.5	101.3	0.0	0.42
75.3-65.1	N-O	1260.7	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	6861	43.7	243.3	258.5	105.8	0.0	0.44
65.1-50.3	O-P	1418.1	0.0	Ss-F1(ケース①)	$\phi 457.2 \times 9.5$	119.20	1308	157	9910	63.2	226.8	258.5	119.0	0.0	0.53

表 4-4(1) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400) (I 方向) (1/2)

高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8	A	293.9	2.7	Ss-D2(ケース③)	ϕ 216.3 \times 5.8	31.59	161	74	3250	44.0	243.1	258.5	93.0	16.8	0.45
155.4	C	52.4	1.6	Ss-D1(ケース③)	ϕ 190.7 \times 5.3	24.91	112	65	3723	57.2	232.5	258.5	21.0	14.7	0.15
144.4	E	255.6	4.6	Ss-D2(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4277	46.6	241.2	258.5	55.9	15.8	0.30
132.4	G	88.7	3.3	Ss-D1(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4882	53.2	236.0	258.5	19.4	11.4	0.13
118.6	I	347.6	4.5	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	5582	51.3	237.6	258.5	60.4	10.4	0.30
110.3	J	104.0	0.5	Ss-D2(ケース①)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	6000	65.4	224.5	258.5	22.8	1.8	0.11
103.6	K	290.9	3.5	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	6581	60.4	229.5	258.5	50.5	7.9	0.26
86.4	M	411.1	3.1	Ss-D3(ケース①)	ϕ 355.6 \times 6.4	59.07	506	123	8053	65.5	224.4	258.5	69.6	6.2	0.34
75.3	N	204.7	0.4	Ss-D1(ケース②)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	9000	82.6	204.4	258.5	35.6	0.9	0.18
65.1	O	428.1	0.7	Ss-F2(ケース①)	ϕ 406.4 \times 6.4	67.68	666	141	10636	75.5	213.3	258.5	63.2	1.1	0.31

表 4-4(2) S s 地震時における水平材の断面算定表 (STK400) (II 方向) (2/2)

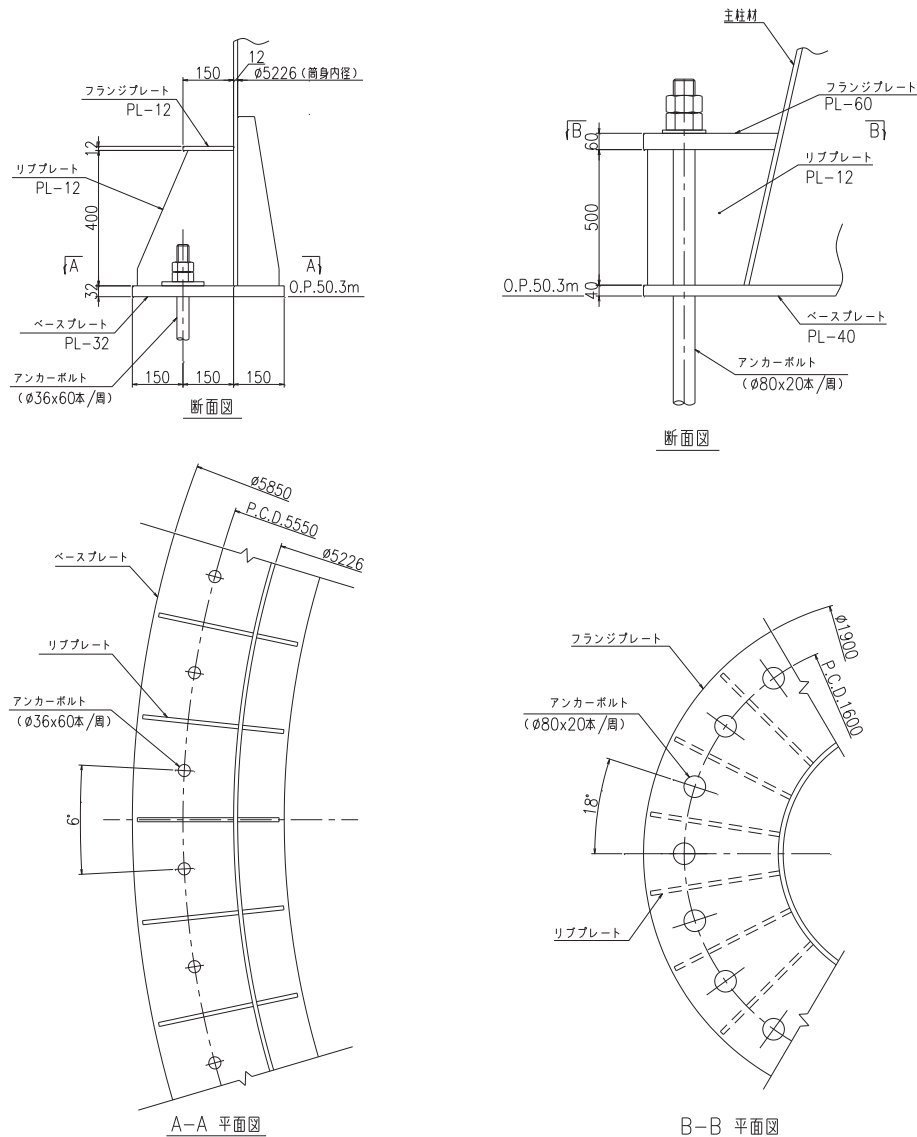
高さ O.P. (m)	区間	評価用部材断面力			使用部材				ϕ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	σ_c/f_c + σ_b/f_b
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
164.8	A	208.7	2.4	Ss-D2(ケース③)	ϕ 216.3 \times 5.8	31.59	161	74	3250	44.0	243.1	258.5	66.1	15.2	0.34
155.4	C	45.8	1.4	Ss-D1(ケース③)	ϕ 190.7 \times 5.3	24.91	112	65	3723	57.2	232.5	258.5	18.4	12.9	0.13
144.4	E	188.2	3.9	Ss-D2(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4277	46.6	241.2	258.5	41.2	13.4	0.23
132.4	G	98.1	2.9	Ss-D1(ケース③)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	4882	53.2	236.0	258.5	21.5	9.9	0.13
118.6	I	274.0	3.8	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	5582	51.3	237.6	258.5	47.6	8.6	0.24
110.3	J	100.0	0.4	Ss-D2(ケース①)	ϕ 267.4 \times 6.6	45.70	290	92	6000	65.4	224.5	258.5	21.9	1.5	0.11
103.6	K	245.6	2.7	Ss-D2(ケース③)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	6581	60.4	229.5	258.5	42.7	6.2	0.21
86.4	M	310.5	2.8	Ss-D3(ケース①)	ϕ 355.6 \times 6.4	59.07	506	123	8053	65.5	224.4	258.5	52.6	5.5	0.26
75.3	N	160.4	0.4	Ss-D1(ケース②)	ϕ 318.5 \times 6.9	57.57	438	109	9000	82.6	204.4	258.5	27.9	0.8	0.14
65.1	O	324.5	0.6	Ss-F2(ケース①)	ϕ 406.4 \times 6.4	67.68	666	141	10636	75.5	213.3	258.5	47.9	1.0	0.23

5. 脚部の断面評価

5.1 評価方法

5.1.1 概要

脚部の概要図を図 5-1 に示す。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値 $\times 1.1$ を適用して算定する。コンクリートの許容応力度は、「RC規準」に規定される短期許容応力度とする。アンカーボルト以外の各プレートには、2mm の腐食代（両面 1mm ずつ）を考慮する。筒身脚部及び鉄塔脚部の脚部評価用反力を表 5-1 及び表 5-2 に示す。



(a) 筒身脚部

(b) 鉄塔脚部

注：板厚は腐食代 2mm を含む使用板厚を示す。

図 5-1 脚部の概要図（単位：mm）

表 5-1 筒身脚部の評価用反力 (S_s-D 2, ケース③)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)
3207	89	980	11946

表 5-2 鉄塔脚部の評価用反力 (S_s-F 1, ケース①)

軸力 (圧縮側) (kN)	軸力 (引張側) (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN・m)
9111	7128	3130	397

5.2 アンカーボルトに対する検討

5.2.1 アンカーボルトの引張応力度に対する検討

アンカーボルトに作用する引張力は脚部に作用する軸力と曲げモーメントの荷重状態に応じて算出する。

すべてのアンカーボルトが引張状態となる場合、アンカーボルトの全数で引張力に抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力は次式のとおり算定する。

$$P = N / n_o + M / Z_b$$

ここに

- P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)
 N : 軸力 (N)
 n_o : アンカーボルト本数 (本) (n_o = 筒身:60本, 鉄塔:20本)
 M : 曲げモーメント (N・mm)
 Z_b : アンカーボルト群の中心線周りの断面係数 (mm)
 (Z_b = 筒身:83364mm, 鉄塔:7995mm)

中立軸が断面内にあり一部のアンカーボルトが引張状態となる場合、断面内の圧縮荷重に対しては圧縮側にあるベースプレート下面のコンクリートで、引張力に対しては引張側にあるアンカーボルトで抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力はベースプレートの平面形状を円環の鉄筋コンクリート断面とした応力算定式より求める。

アンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_t$$

ここに

- σ_t : アンカーボルトねじ部の引張応力度 $\sigma_t = P / A_e$ (N/mm²)
 P : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)
 A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)
 (A_e = 筒身:816.7mm², 鉄塔:4110mm²)
 f_t : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容引張応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

5.2.2 アンカーボルトのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau \leq f_s$$

ここに

τ : アンカーボルトねじ部のせん断応力度 $\tau = Q / A_e$ (N/mm²)

Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)

A_e : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm²)

f_s : アンカーボルトの許容せん断応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

5.2.3 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討

引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_{ts}$$

ここに

σ_t : 5.2.1 に規定するアンカーボルトねじ部の引張応力度 σ_t (N/mm²)

f_{ts} : 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²), $f_{ts} = 1.4 f_t - 1.6 \tau$ かつ, $f_{ts} \leq f_t$

f_t : 5.2.1 に規定するアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm²)

τ : 5.2.2 に規定するアンカーボルトねじ部のせん断応力度 (N/mm²)

5.2.4 コンクリートのコーン状破壊に対する検討

コンクリートのコーン状破壊に対する許容引張力は、アンカーボルトの引張力が以下に示すコンクリート部の引張力に対する許容値以下であることを確認する。

$$P \leq p_a = \text{Min} (p_{a1}, p_{a2})$$

ここに、

$$p_{a1} = \alpha \cdot 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$$

ここに

- P : 5.2.1に規定するボルト1本当たりの引張荷重 (N)
- p_a : アンカーボルト1本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)
- p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)
- p_{a2} : アンカーボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト1本当たりの許容引張荷重 (N)
- α : 有効投影断面積の範囲内にせん断補強筋を配する場合で、鉄筋比が0.4%以上ある場合は1.5、それ以外は1.0とする。
(ここでは筒身脚部は $\alpha = 1.0$ 、鉄塔脚部は $\alpha = 1.5$)
- K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_1 = 2/3$)
- K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ($K_2 = 1$)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
- A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)
- α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数、 $\alpha_c = \sqrt{A_c / A_0}$ で6を超える場合は6
- A_0 : 支圧面積 (mm²)

5.3 ベースプレートに対する検討

5.3.1 コンクリートの圧縮応力度に対する検討

ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_c \leq f_c$$

ここに

σ_c : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm²)

f_c : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm²)

(「RC規準」の短期許容圧縮応力度)

5.3.2 ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討 (鉄塔脚部)

ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度 (σ_c) が等分布荷重として作用する (図 5-2)。リブプレート及び鉄塔の部材位置を固定とする 3 辺固定 1 辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度 (N/mm²)

(等分布荷重を受ける 3 辺固定 1 辺自由板の応力図より算定)

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

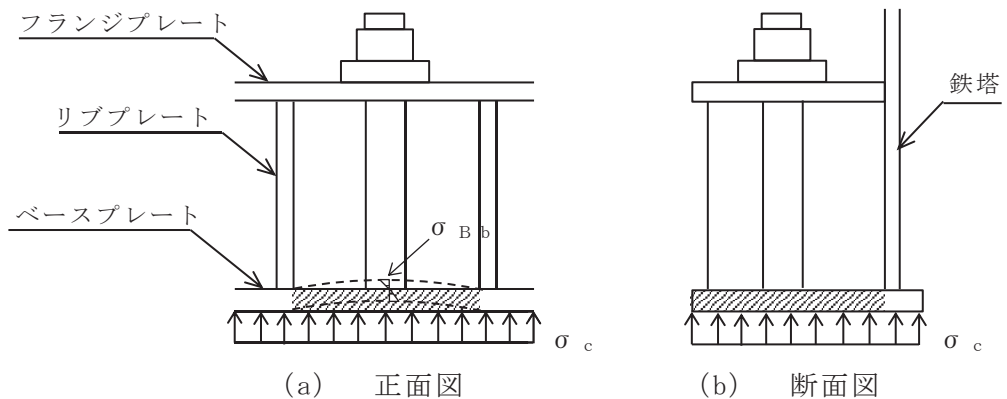


図 5-2 ベースプレート応力算定説明図

5.3.3 ベースプレートのコンクリート圧縮による面外曲げに対する検討（筒身脚部）

ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度（ σ_c ）が等分布荷重として作用する（図5-3）。リブプレート及び筒身の部材位置を固定とする3辺固定1辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度（N/mm²）
 （等分布荷重を受ける3辺固定1辺自由板の応力図より算定）

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm²）
 （「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づきF値×1.1を適用して算定）

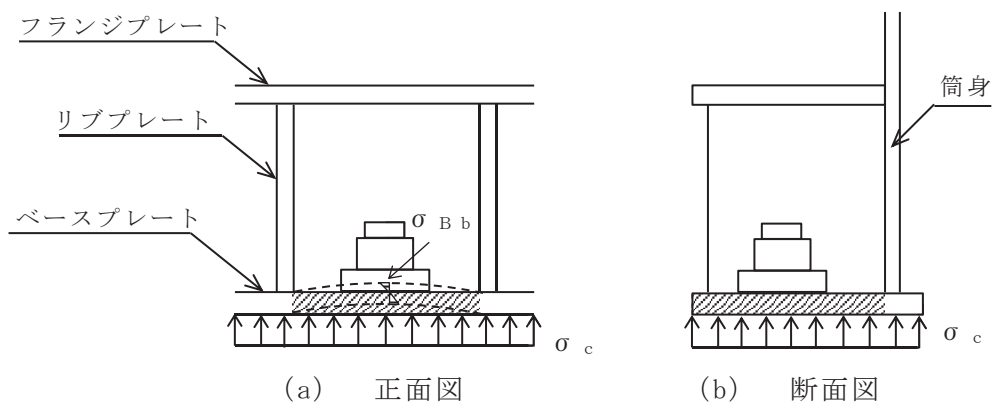


図5-3 ベースプレート応力算定説明図

5.3.4 ベースプレートのアンカーボルト引張力による面外曲げに対する検討（筒身脚部）

ベースプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図 5-4）。リブプレート位置を固定とする 2 辺固定板（両端固定梁）としてベースプレートの面外の曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Bb} : ベースプレートの面外の曲げ応力度（N/mm²）
 （リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定）

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm²）
 （「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 を適用して算定）

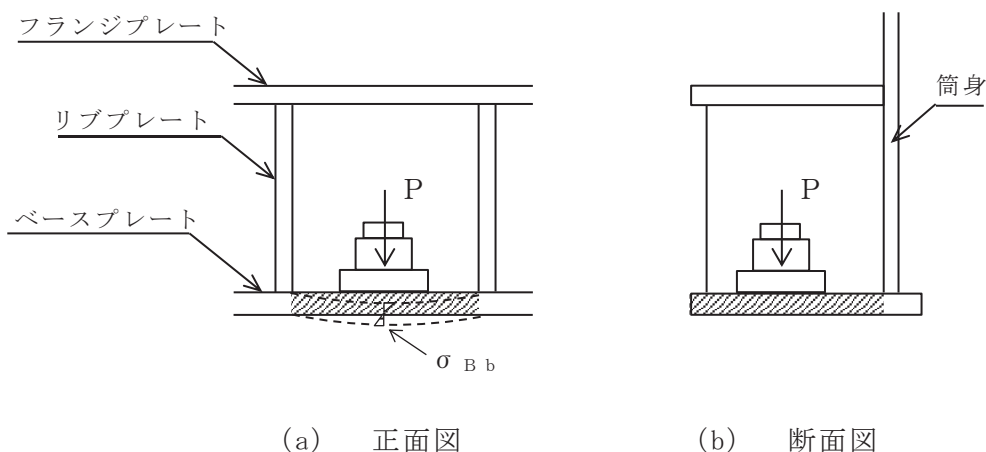


図 5-4 ベースプレート応力算定説明図

5.4 フランジプレートに対する検討（鉄塔脚部）

5.4.1 フランジプレートの面外曲げに対する検討

フランジプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図 5-5）。リブプレート位置を固定とする 2 辺固定板（両端固定梁）としてフランジプレートの面外の曲げ応力度を算定する。フランジプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Fb} \leq f_{b1}$$

ここに

σ_{Fb} : フランジプレートの面外曲げ応力度（N/mm²）
 （リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定）

f_{b1} : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm²）
 （「鋼構造設計規準」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ
 応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1
 を適用して算定）

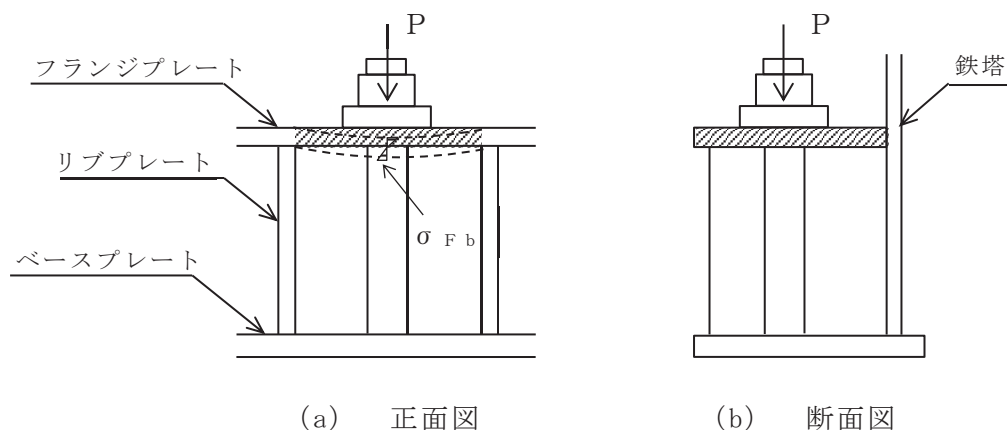


図 5-5 フランジプレート応力算定説明図

5.5 リブプレートに対する検討

5.5.1 リブプレートの圧縮応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（P）又はベースプレート下面からの圧縮力（ σ_c ）によってリブプレートに圧縮応力度が作用する（図 5-6）。リブプレートの圧縮応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

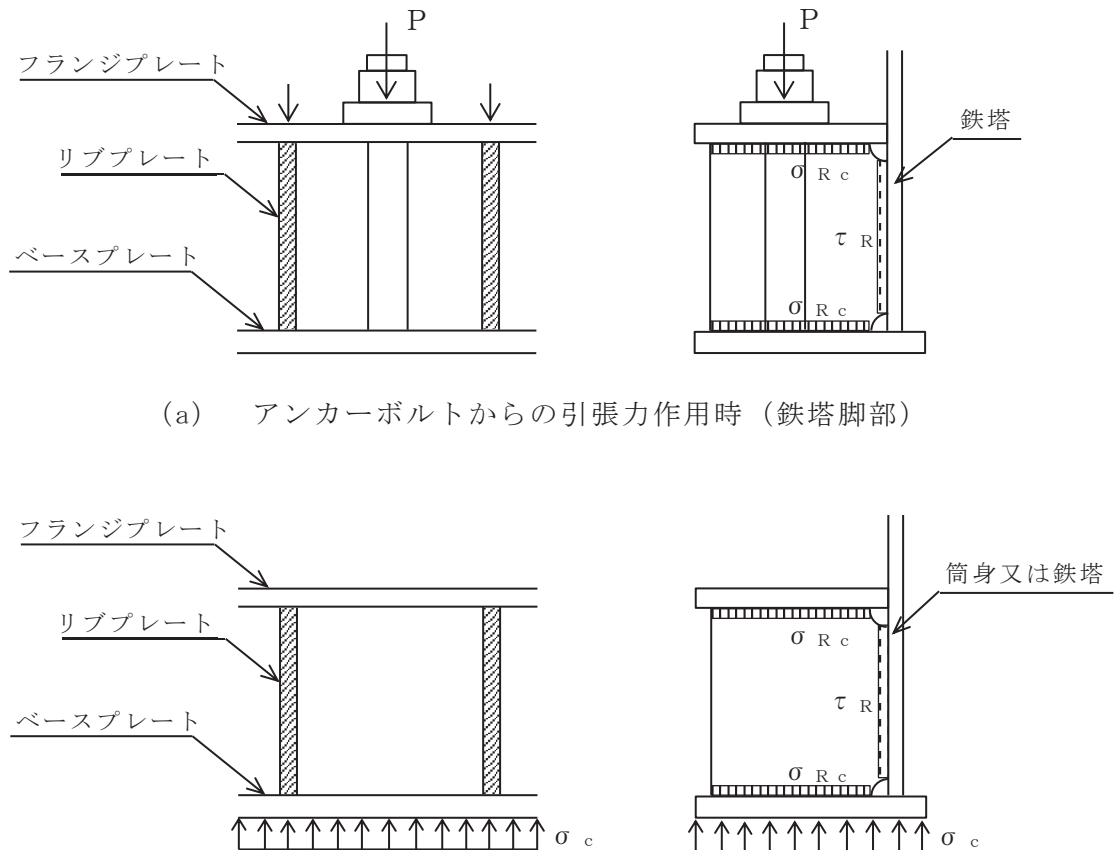
$$\sigma_{Rc} \leq f_c$$

ここに

σ_{Rc} : リブプレートの圧縮応力度（N/mm²）

f_c : リブプレートの許容圧縮応力度（N/mm²）

（リブプレートは「鋼構造設計規準」の幅厚比制限を満足するものとし、 f_c は「技術基準解説書」に基づき F 値×1.1 の値）



(a) アンカーボルトからの引張力作用時（鉄塔脚部）

(b) ベースプレート下面からの圧縮力作用時

図 5-6 リブプレート応力算定説明図

5.5.2 リブプレートのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力(P)又はベースプレート下面からの圧縮力(σ_c)によってリブプレートにせん断応力度が作用する(図5-6)。リブプレートのせん断応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau_R \leq f_s$$

ここに

τ_R : リブプレートのせん断応力度 (N/mm²)

f_s : リブプレートの許容せん断応力度 (N/mm²)

(「鋼構造設計規準」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「技術基準解説書」に基づきF値×1.1を適用して算定)

5.6 評価結果

筒身脚部及び鉄塔脚部の各部位の評価結果を表 5-3 及び表 5-4 に、発生応力/許容値の一覧表を表 5-5 及び表 5-6 に示す。なお、本節における応力計算結果は、各地震動、検討ケースに対して、I 方向及びII 方向の軸力・曲げモーメントの最大値同士を組合せて用いたものである。

表 5-5 及び表 5-6 により、筒身脚部及び鉄塔脚部における各部位の発生応力は、各許容値以下であることを確認した。

表 5-3(1) 筒身脚部の評価結果 (S s - D 2, ケース③) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルトの検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本当たり)	P	kN	131
	アンカーボルトのせん断力 (1 本当たり)	Q	kN	16.4
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	817
	アンカーボルトの引張応力度	σ _t	N/mm ²	160.0
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	258.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	20.1
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2
	アンカーボルトの許容引張応力度 (せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	258.5
コンクリートのコーン状破壊に対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本当たり)	A _c	mm ²	712407
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本当たり)	p _a	kN	660
コンクリートの圧縮応力度に対する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ _c	N/mm ²	2.3
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	17.4

表 5-3(2) 筒身脚部の評価結果 (S s - D 2, ケース③) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	32
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメント (単位幅当たり)	M _b	N・mm/mm	14600
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメントに対する断面係数(単位幅当たり)	Z _b [*]	mm ³ /mm	160
	コンクリート圧縮による面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	91.2
	アンカーボルト引張力による面外曲げモーメント	M _b	N・mm/mm	8975485
	アンカーボルト引張力による面外曲げモーメントに対する断面係数(有効幅当たり)	Z _b [*]	mm ³ /mm	44030
	アンカーボルト引張力による面外曲げ応力度	σ _{Bb}	N/mm ²	203.9
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b1}	N/mm ²	258.5
リブプレート の検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	293
	リブプレートの断面積	A _r [*]	mm ²	2850
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	102.8
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	72.7
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-4(1) 鉄塔脚部の評価結果 (S s - F 1, ケース①) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルトの検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm ²	215
	アンカーボルトの引張力 (1本あたり)	P	kN	406
	アンカーボルトのせん断力 (1本あたり)	Q	kN	156.5
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A _e	mm ²	4110
	アンカーボルトの引張応力度	σ_t	N/mm ²	98.8
	アンカーボルトの許容引張応力度	f _t	N/mm ²	236.5
	アンカーボルトのせん断応力度	τ	N/mm ²	38.1
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度 (せん断力との組合せ)	f _{t s}	N/mm ²	236.5
コンクリートのコーン状破壊に対する検討	コンクリートの基準強度	F _c	N/mm ²	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1本あたり)	A _c	mm ²	450000
	コンクリート部の許容引張荷重 (1本あたり)	p _a	kN	625
コンクリートの圧縮応力度に対する検討	ベースプレートの幅	B _b	mm	950
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	σ_c	N/mm ²	3.6
	コンクリートの許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	17.4
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SM400A
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t _b	mm	40
	コンクリート圧縮による面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M _b	N・mm/mm	26945
	面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z _b *	mm ³ /mm	254
	ベースプレートの面外曲げ応力度	$\sigma_{B b}$	N/mm ²	106.3
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f _{b 1}	N/mm ²	258.5

表 5-4(2) 鉄塔脚部の評価結果 (S s - F 1, ケース①) (2/2)

項目		記号	単位	数値
フランジプレート の面外曲 げに対する検 討	フランジプレートの材質	-	-	SM400A
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm ²	215
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t _f	mm	60
	アンカーボルトの引張力による面外 曲げモーメント	M _f	kN・mm	30297750
	面外曲げモーメントに対する断面係 数	Z _f [*]	mm ³	167359
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ _{Fb}	N/mm ²	181.1
	フランジプレートの許容面外曲げ応 力度	f _{b1}	N/mm ²	236.5
リブプレート の検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm ²	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t _r	mm	16
	リブプレートに作用する圧縮力	P _r	kN	510
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A _r [*]	mm ²	6048
	圧縮応力度	σ _{Rc}	N/mm ²	84.4
	許容圧縮応力度	f _c	N/mm ²	258.5
	せん断応力度	τ _R	N/mm ²	72.5
	許容せん断応力度	f _s	N/mm ²	149.2

注記* : 断面性能は腐食代を考慮した値である。

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 5-5 筒身脚部の評価結果 (S_s-D2, ケース③)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	160.0	258.5	0.62
	せん断	N/mm ²	20.1	149.2	0.14
	組合せ	N/mm ²	160.0	258.5	0.62
コンクリート (コーン状破壊)	引張* ¹	kN	131	660	0.20
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	2.3	17.4	0.14
ベースプレート* ²	面外曲げ	N/mm ²	203.9	258.5	0.79
リブプレート	圧縮	N/mm ²	102.8	258.5	0.40
	せん断	N/mm ²	72.7	149.2	0.49

注記*1: アンカーボルト 1 本当たりの引張力

*2: コンクリート圧縮力による面外曲げと, アンカーボルト引張力による面外曲げの発生応力が大きい方を記載

表 5-6 鉄塔脚部の評価結果 (S_s-F1, ケース①)

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm ²	98.8	236.5	0.42
	せん断	N/mm ²	38.1	136.5	0.28
	組合せ	N/mm ²	98.8	236.5	0.42
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	406	625	0.65
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm ²	3.6	17.4	0.21
ベースプレート	面外曲げ	N/mm ²	106.3	258.5	0.42
フランジプレート	面外曲げ	N/mm ²	181.1	236.5	0.77
リブプレート	圧縮	N/mm ²	84.4	258.5	0.33
	せん断	N/mm ²	72.5	149.2	0.49

注記*: アンカーボルト 1 本当たりの引張力

別紙1 第1号機排気筒斜面の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置及び構造	2
2.2	評価方針	3
2.3	適用規格・基準等	4
3.	評価方法	5
3.1	評価対象断面	6
3.2	評価に用いる地震波	6
3.3	荷重及び荷重の組合せ	7
3.3.1	荷重	7
3.3.2	荷重の組合せ	7
3.4	許容限界	7
3.5	使用材料及び材料の物性値	7
3.6	地盤の物性値	7
3.7	地震応答解析	8
3.7.1	地震応答解析モデル	8
3.7.2	解析方法	25
3.7.3	地震応答解析の解析ケース	25
3.7.4	地盤物性のばらつき	25
4.	評価結果	26

1. 概要

第1号機排気筒は、上位クラス施設である排気筒の近傍に位置しており、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ている。

一方、第1号機排気筒は斜面上に位置していることから、第1号機排気筒を支持している斜面（以下、「第1号機排気筒斜面」という。）の崩壊による第1号機排気筒の転倒が、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本資料にて説明するものである。

波及的影響の評価は、排気筒の有する機能が保持されることを確認するために、第1号機排気筒斜面を対象に、斜面の安定性を確認するものである。

2. 基本方針

2.1 位置及び構造

第1号機排気筒斜面の位置を図2-1に示す。第1号機排気筒斜面は、発電所建設時に尾根部を掘削し造成した最大高さ35m、勾配1:1.0の岩盤斜面である。

第1号機排気筒斜面は上位クラス施設である排気筒から斜面高さ×1.4倍^{*1}、2.0倍^{*2}及び50m^{*1}の離隔を確保していることから、斜面の崩壊による排気筒への影響はない。

一方、第1号機排気筒は斜面上に位置していることから、図2-2に示すとおり、第1号機排気筒斜面の崩壊による第1号機排気筒の転倒が、上位クラス施設に対して波及的影響を及ぼす可能性がある。

注記*1：原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）

*2：宅地防災マニュアルの解説

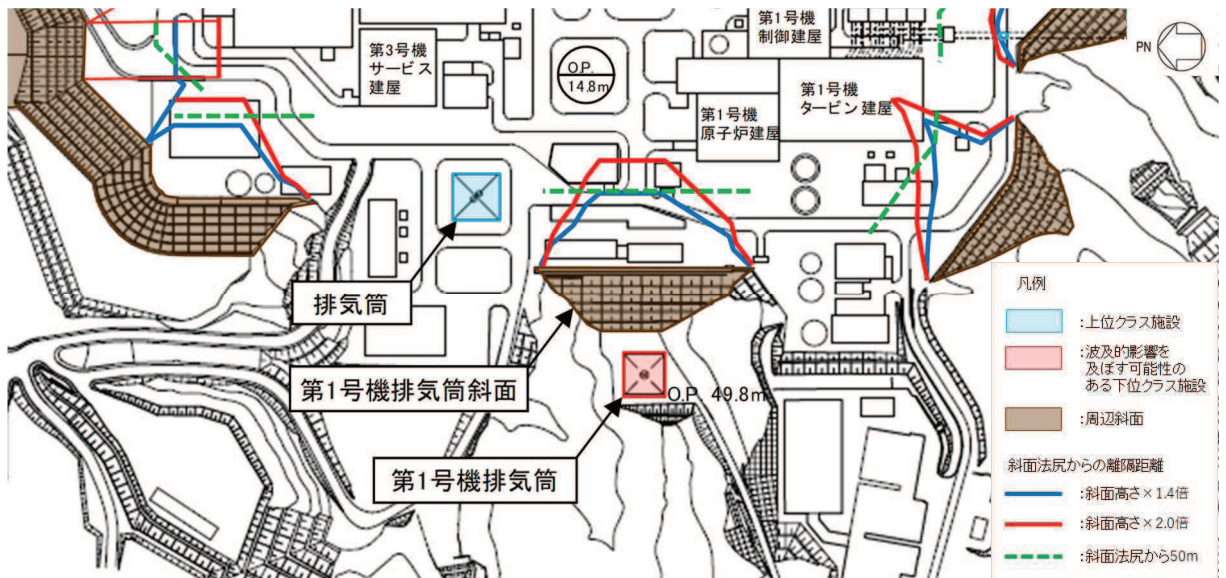


図2-1 第1号機排気筒斜面の位置

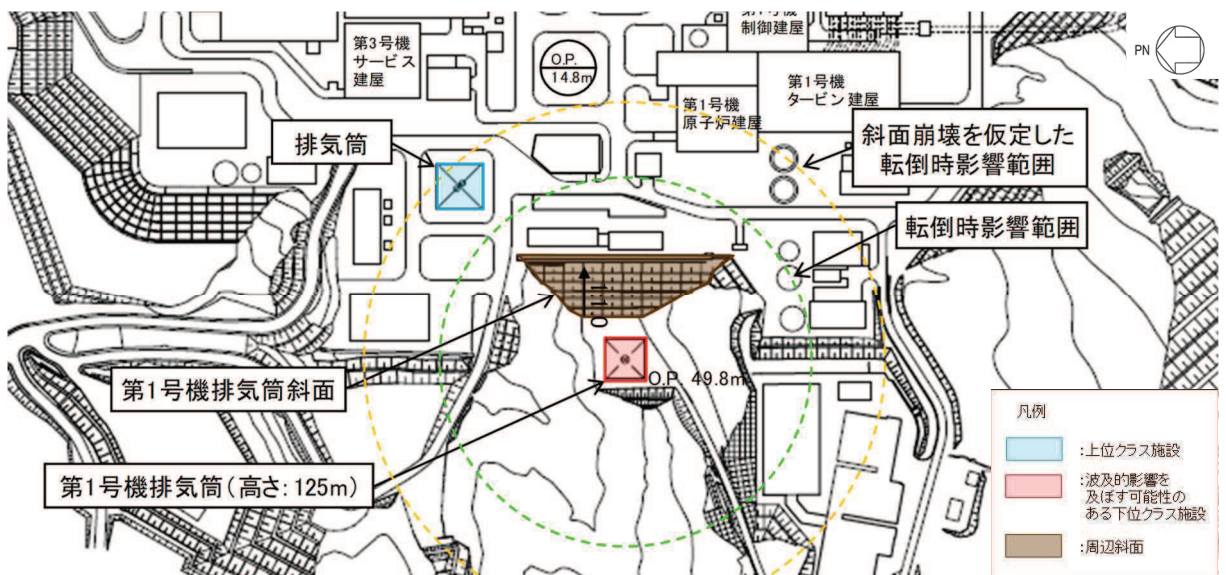


図2-2 第1号機排気筒斜面の崩壊による第1号機排気筒転倒時の影響範囲

2.2 評価方針

第1号機排気筒斜面は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

第1号機排気筒斜面の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する波及的影響評価を行うこととする。

第1号機排気筒斜面の波及的影響の評価は、添付書類「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、地震応答解析による周辺斜面の安定性評価を行うことで、斜面の崩壊による排気筒に対する影響の有無の確認を行う。評価に当たっては、斜面の安定性に支配的要因である地盤強度の不確かさを考慮する。

第1号機排気筒斜面の波及的影響の評価フローを図2-3に示す。

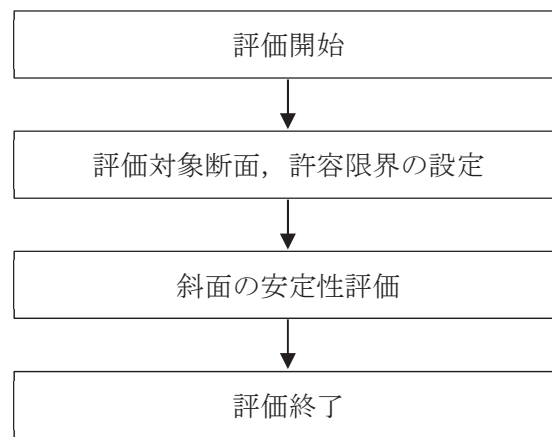


図2-3 第1号機排気筒斜面の波及的影響の評価フロー

2.3 適用規格・基準等

第1号機排気筒斜面の波及的影響の評価に適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド（平成25年6月制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・土木学会 2009年 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>

3. 評価方法

第1号機排気筒斜面の安定性評価は、地震応答解析に基づき算定した最小すべり安全率が許容限界以上であることを確認する。

すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。

また、地盤の強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 -1σ 強度）についても実施する。第1号機排気筒斜面の安定性評価フローを図3-1に示す。

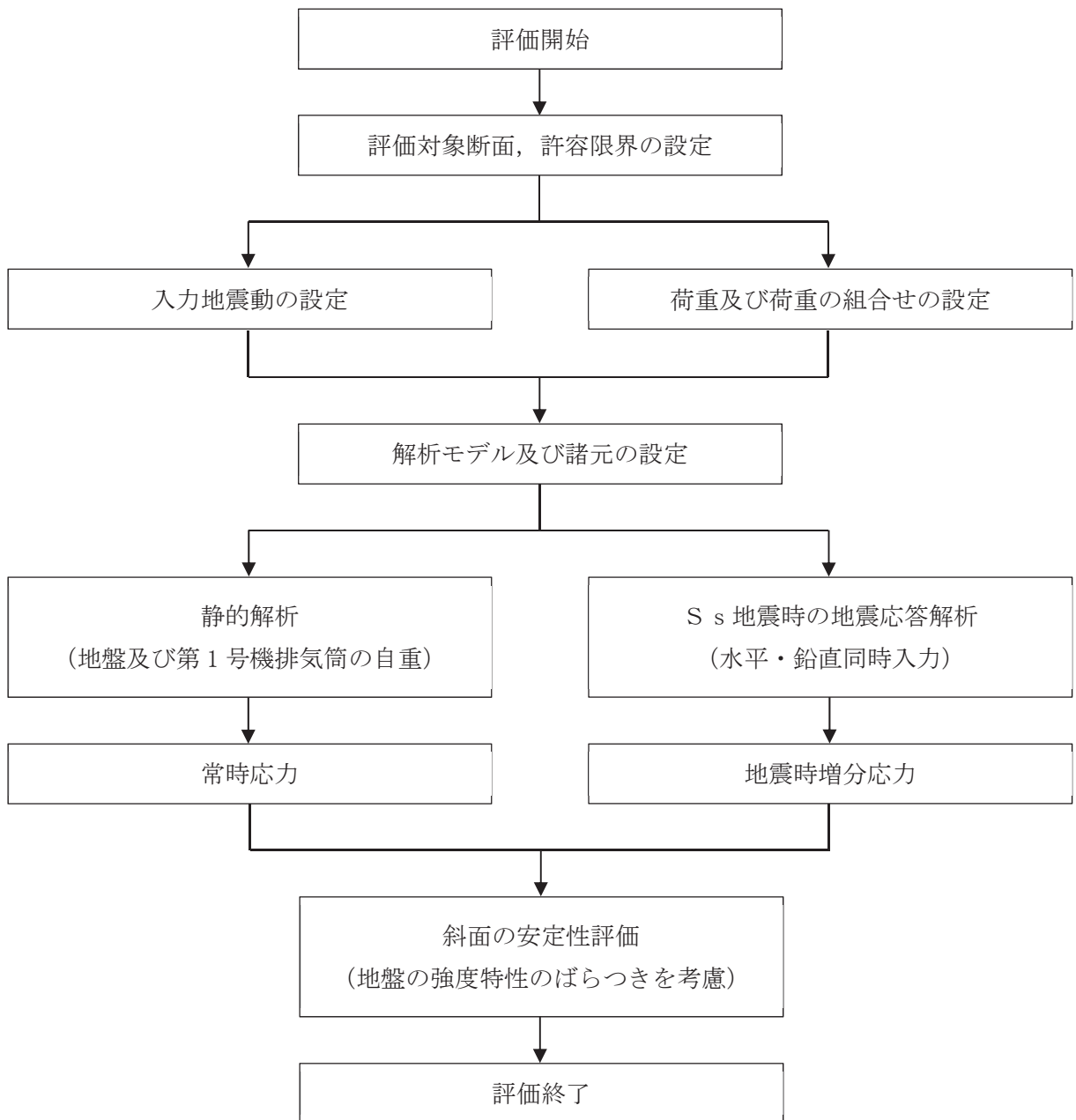


図3-1 第1号機排気筒斜面の安定性評価フロー

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、斜面の高さ、斜面の最急勾配の方向を考慮し、第1号機排気筒を含む断面とする。評価対象断面の位置を図3-2に、評価対象地質断面図を図3-3に示す。

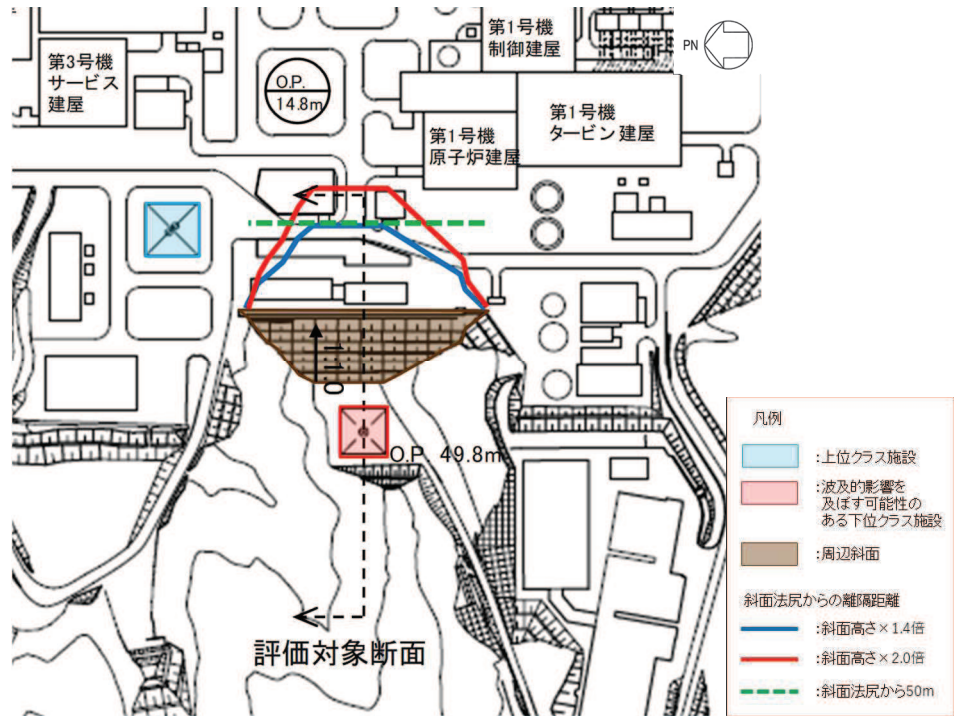


図3-2 第1号機排気筒斜面の評価対象断面位置図

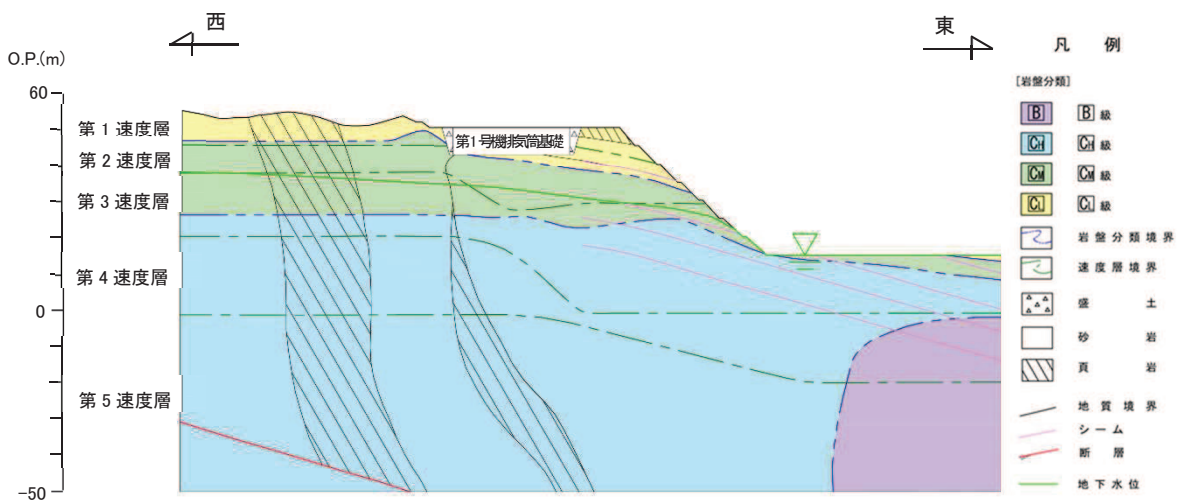


図3-3 第1号機排気筒斜面の評価対象地質断面図

3.2 評価に用いる地震波

第1号機排気筒斜面の地震応答解析に用いる地震波は、第1号機排気筒の耐震性評価と同じく基準地震動 S_s (7波) とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「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」に基づき設定する。

3.3.1 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、地盤及び第1号機排気筒の自重を考慮する。

(2) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-1に示す。

表3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震力	G + S _s

G : 固定荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

許容限界は、添付書類「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」の記載に基づき、表3-2のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界

設計上の性能目標	地震力	安定性評価の考え方	許容限界
斜面の安定性を有すること	基準地震動 S _s	最小すべり安全率が許容限界以上であることを確認	「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づき、すべり安全率 1.2 以上

3.5 使用材料及び材料の物性値

第1号機排気筒の使用材料の仕様及び物性値については、第1号機排気筒の耐震性評価と同じ物性値を用いる。

3.6 地盤の物性値

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

3.7 地震応答解析

3.7.1 地震応答解析モデル

第1号機排気筒斜面の地震応答解析モデルは以下のとおり作成する。また、地震応答解析モデルを図3-4に示す。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による地震応答解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による地震応答解析モデル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、底面に粘性境界を、側面にエネルギー伝達境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

第1号機排気筒は女川原子力発電所第一号機「工事計画認可申請書」(56 資庁第 11510 号 昭和 56 年 12 月 24 日認可)と同様に、鉄塔部と筒身を一体化した1軸多質点系でモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土は、等価線形化法により、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

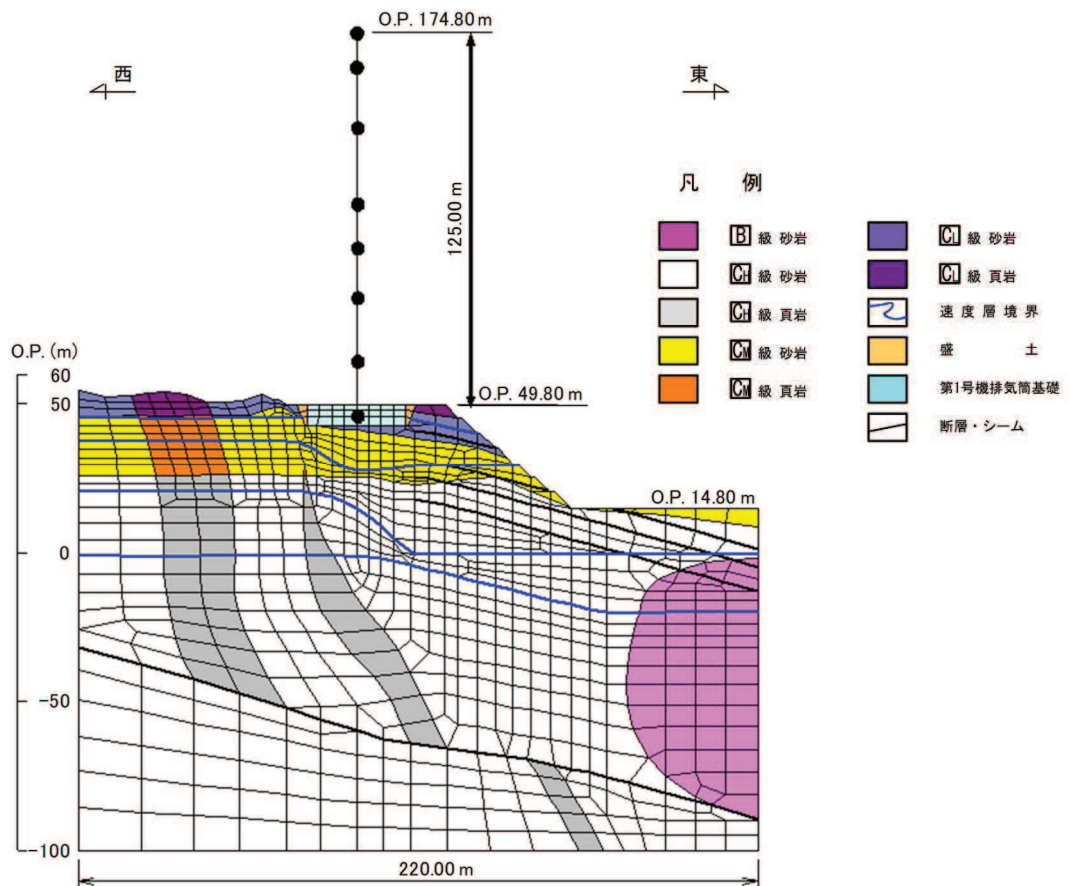


図3-4 第1号機排気筒斜面の地震応答解析モデル図

(5) 地下水位

地下水位については、添付書類「VI-1-1-6-別添1 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」に従い設定する。設計用地下水位を図3-5に示す。

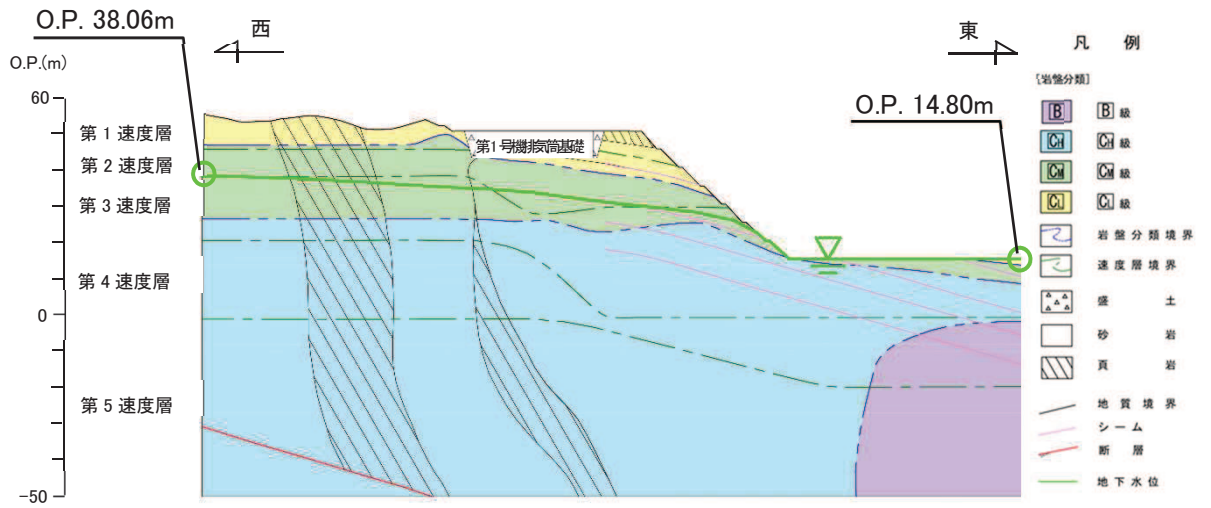


図3-5 設計用地下水位

(6) 入力地震動

第1号機排気筒斜面の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地震波を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。図3-6に入力地震動算定の概念図を、図3-7～図3-20に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 1.6」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

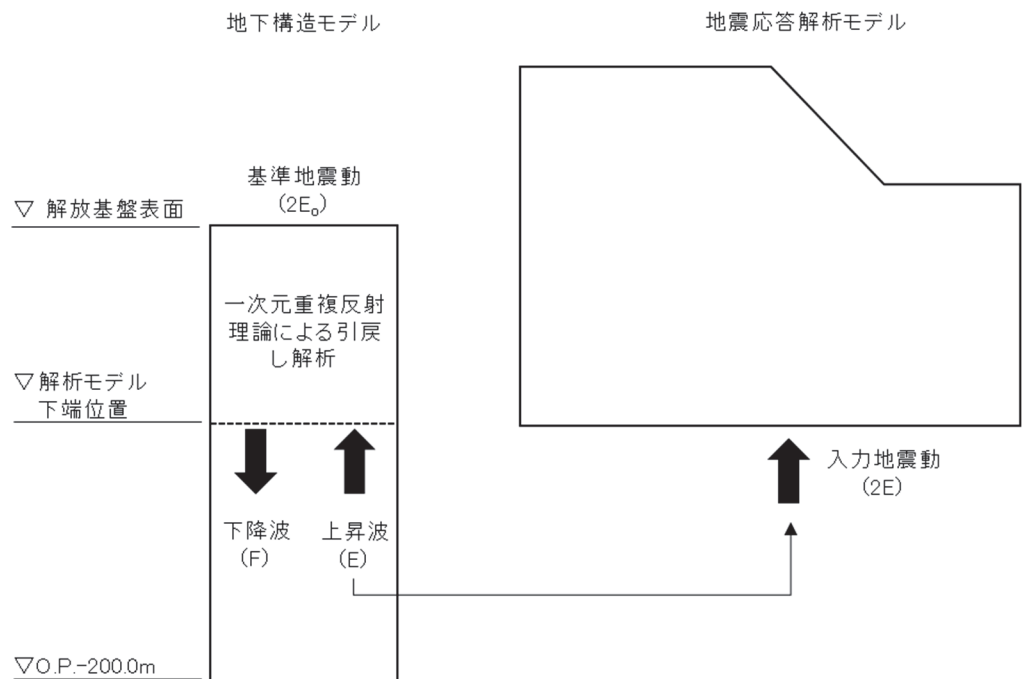
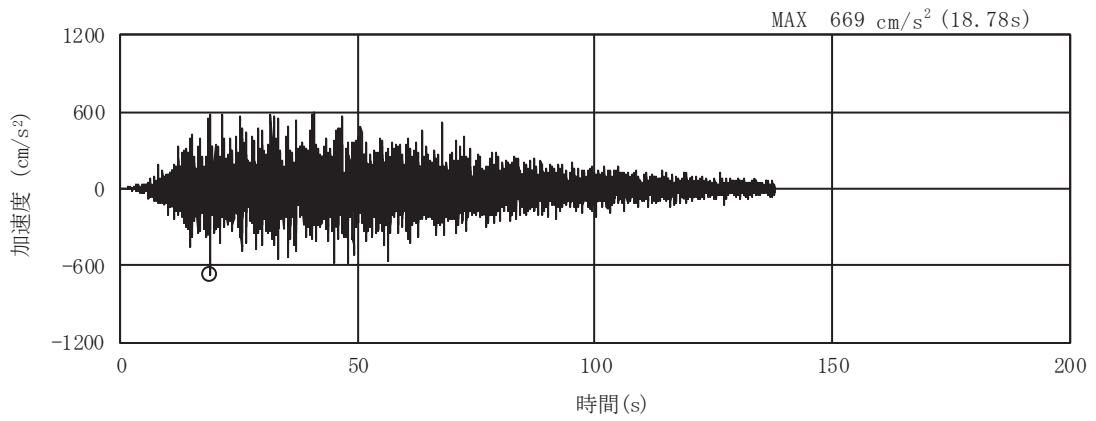
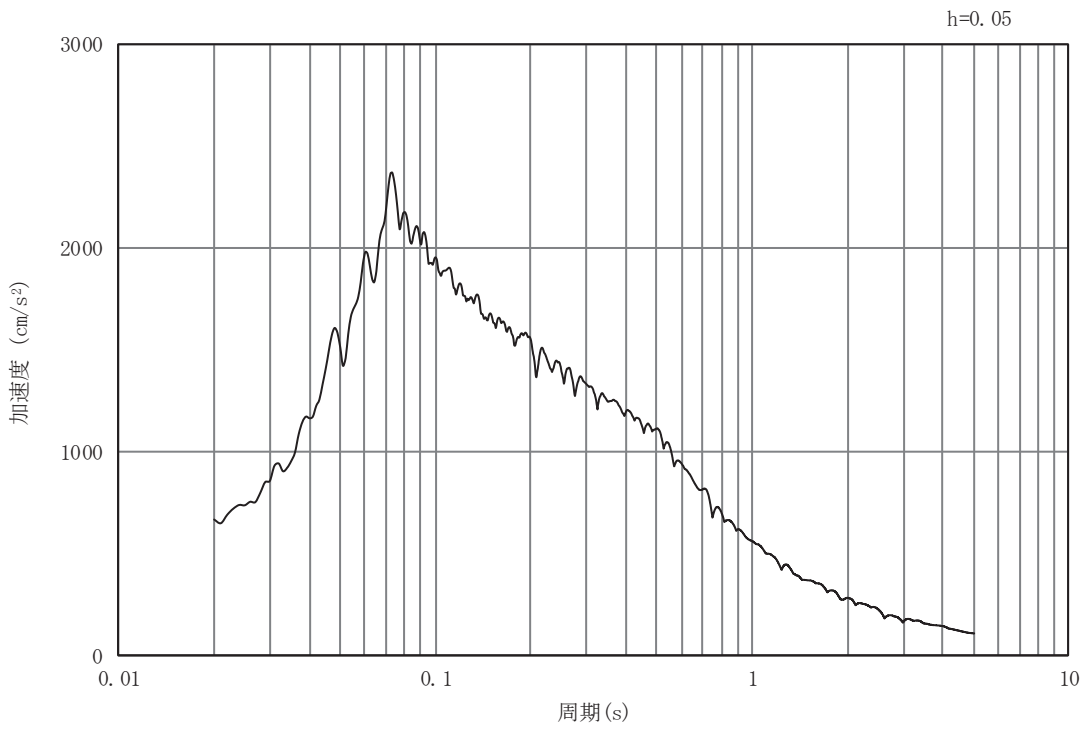


図3-6 入力地震動算定の概念図

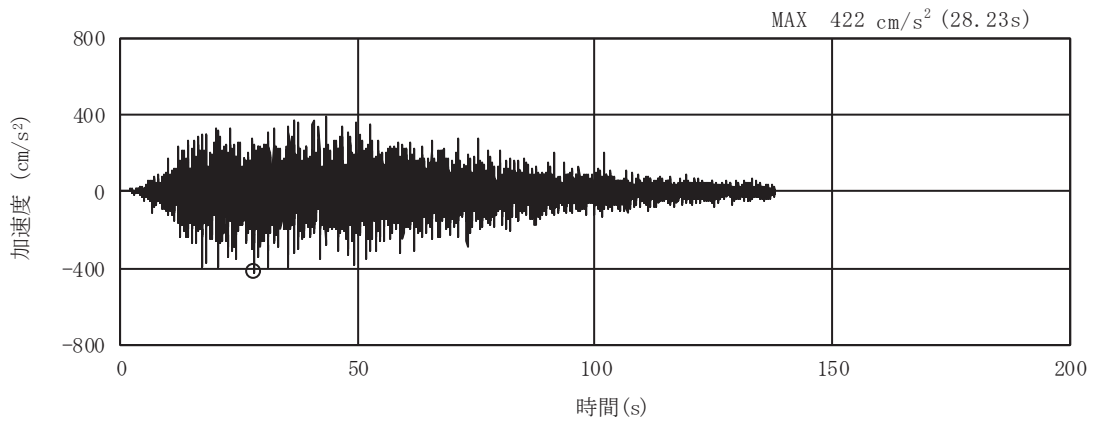


(a) 加速度時刻歴波形

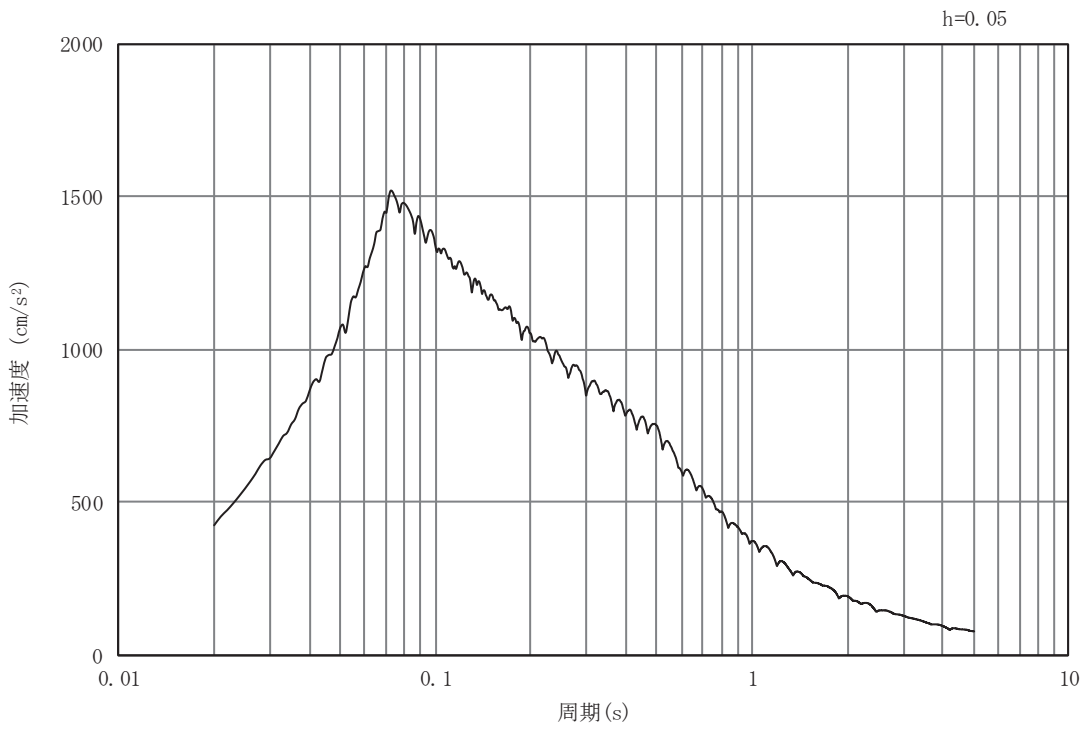


(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 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
(水平成分：S s - D 1)

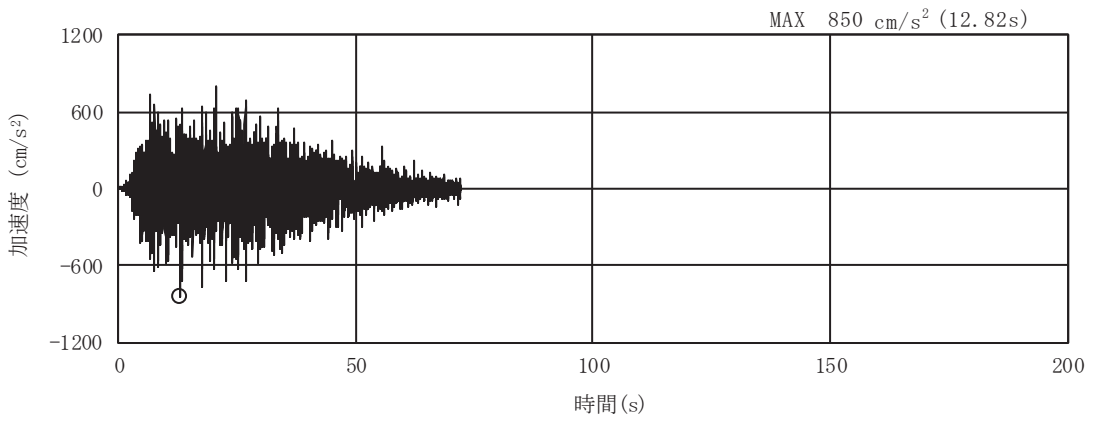


(a) 加速度時刻歴波形

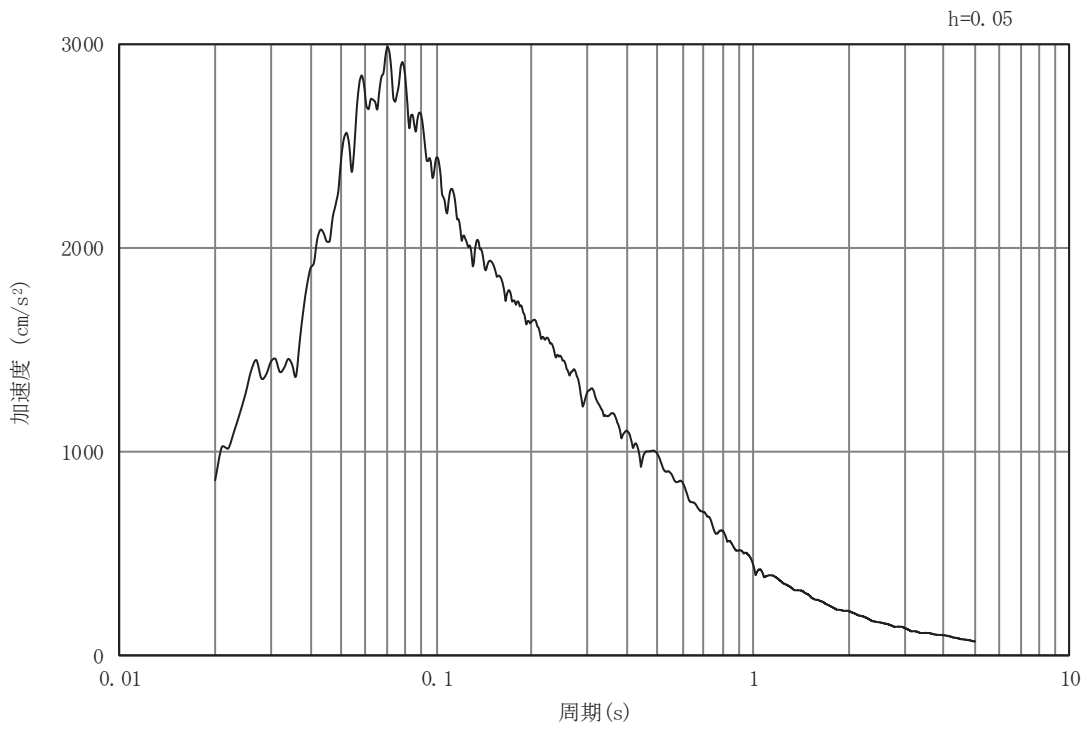


(b) 加速度応答スペクトル

図3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 1)

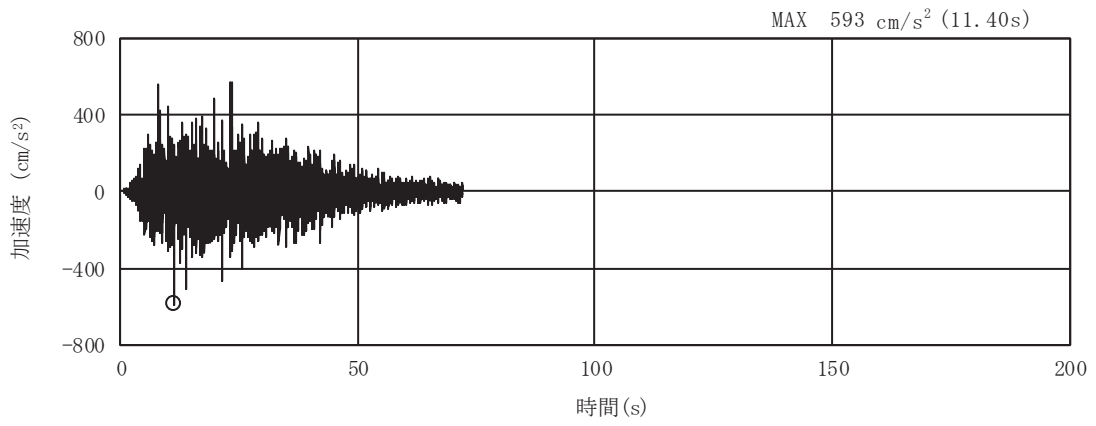


(a) 加速度時刻歴波形

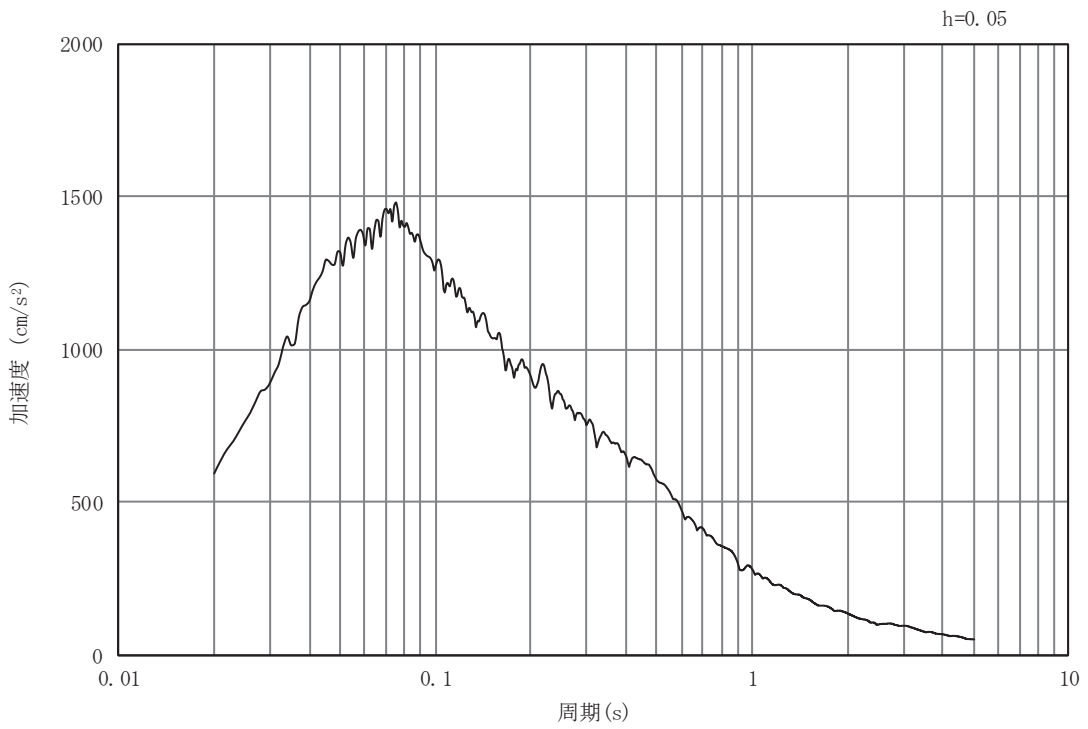


(b) 加速度応答スペクトル

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

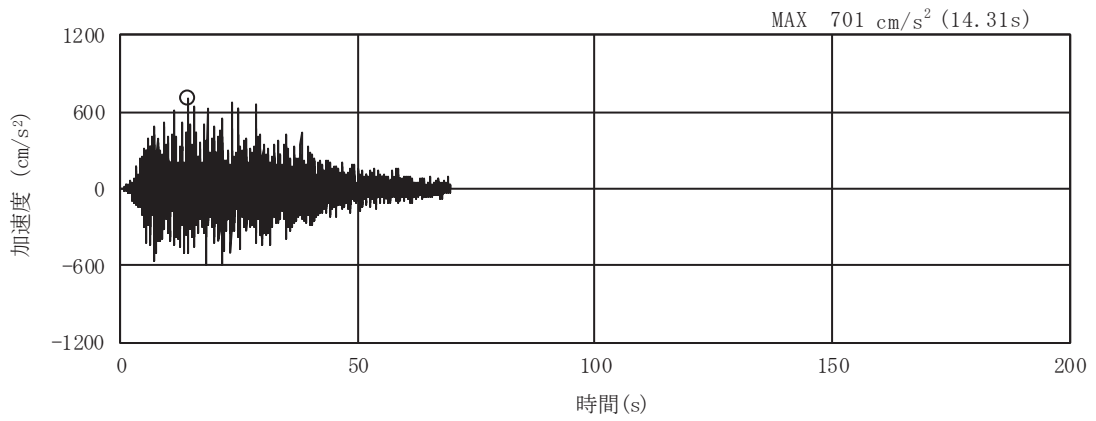


(a) 加速度時刻歴波形

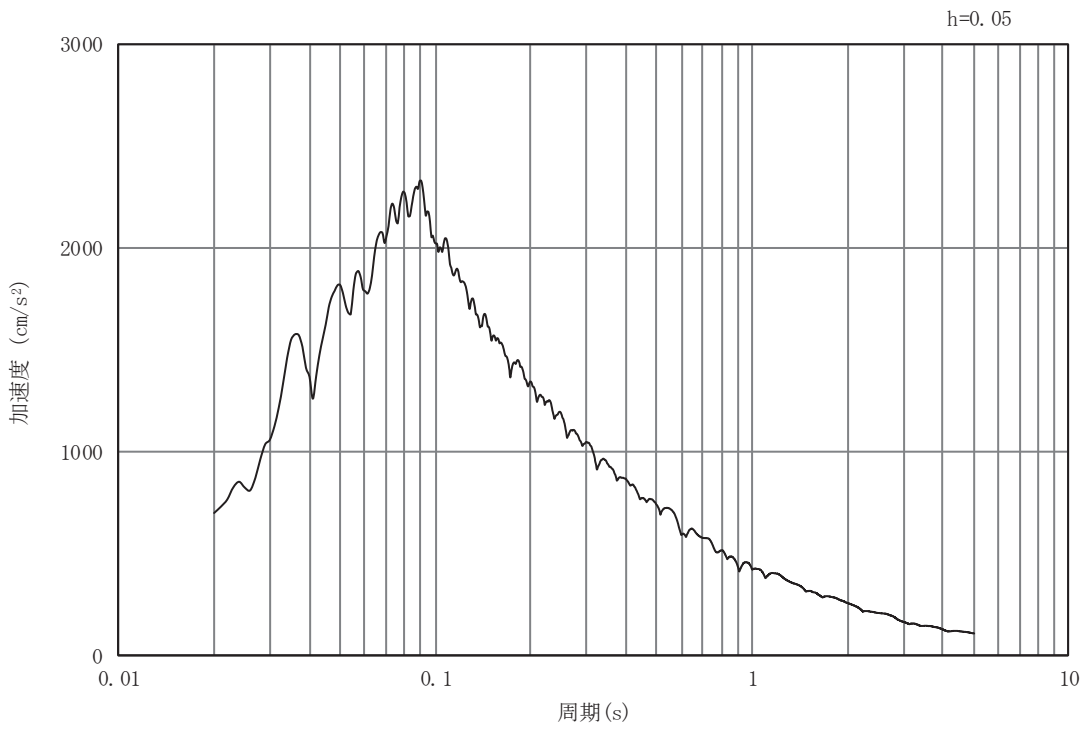


(b) 加速度応答スペクトル

図3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D 2)

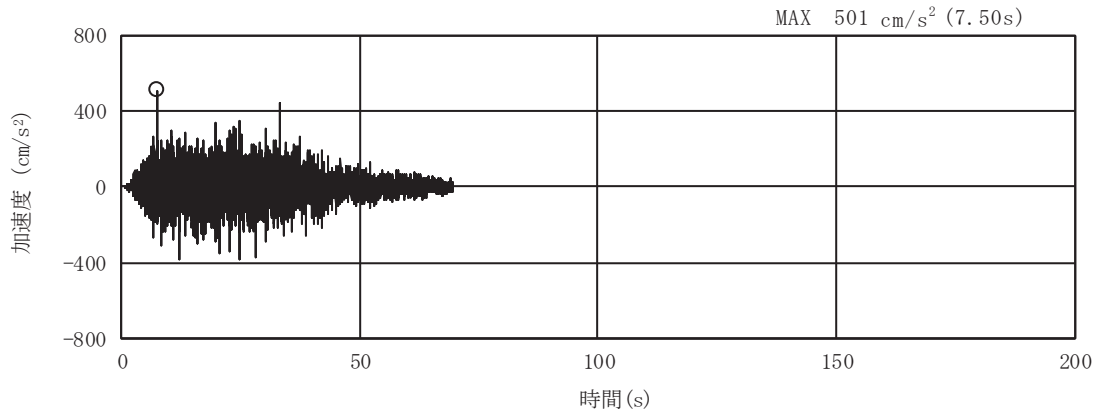


(a) 加速度時刻歴波形

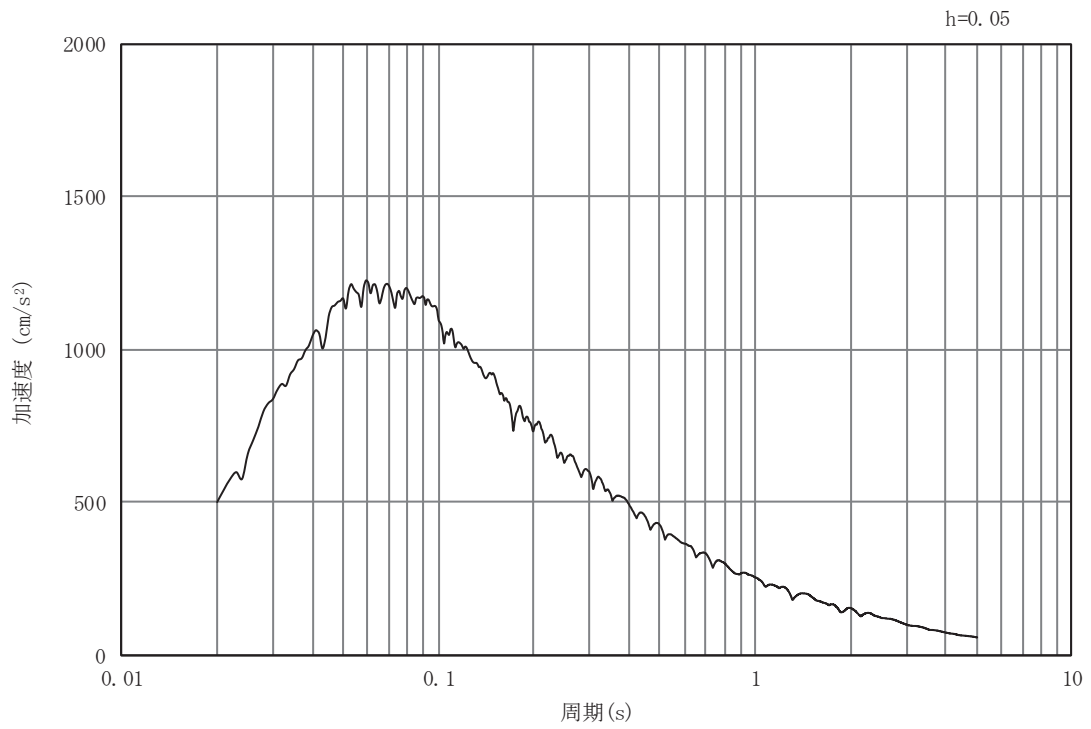


(b) 加速度応答スペクトル

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

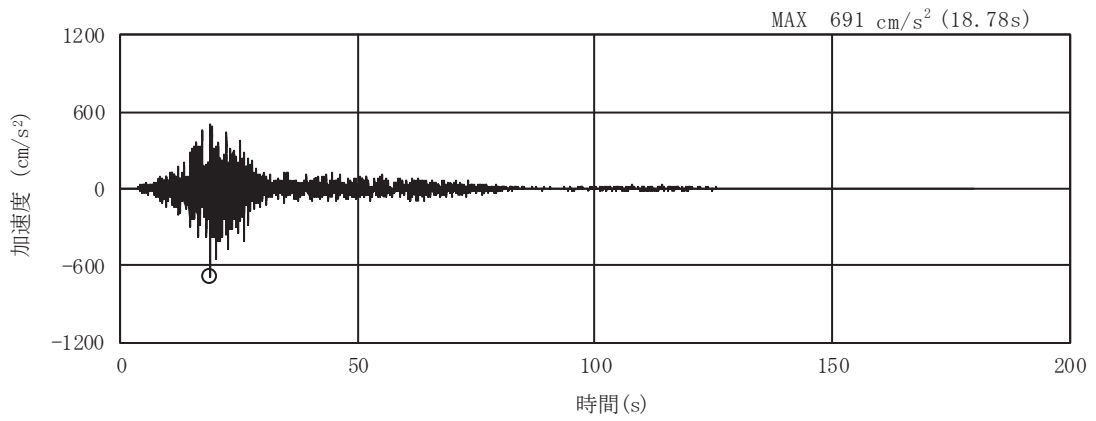


(a) 加速度時刻歴波形

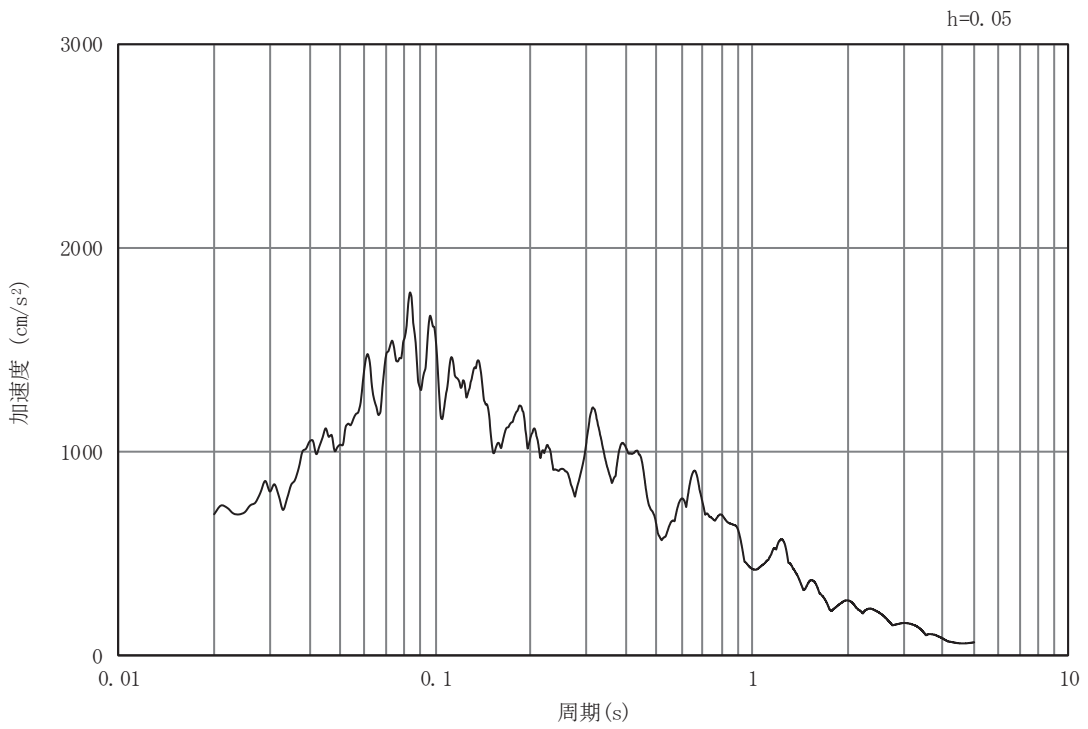


(b) 加速度応答スペクトル

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

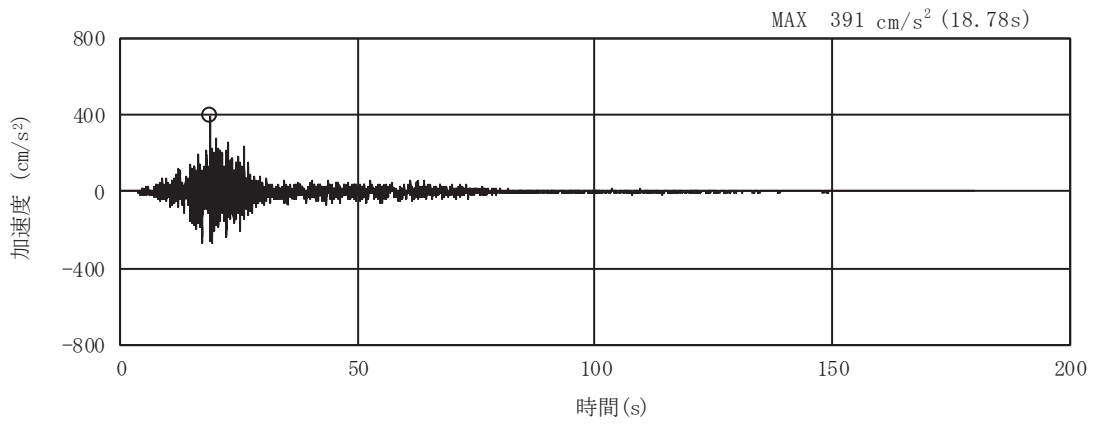


(a) 加速度時刻歴波形

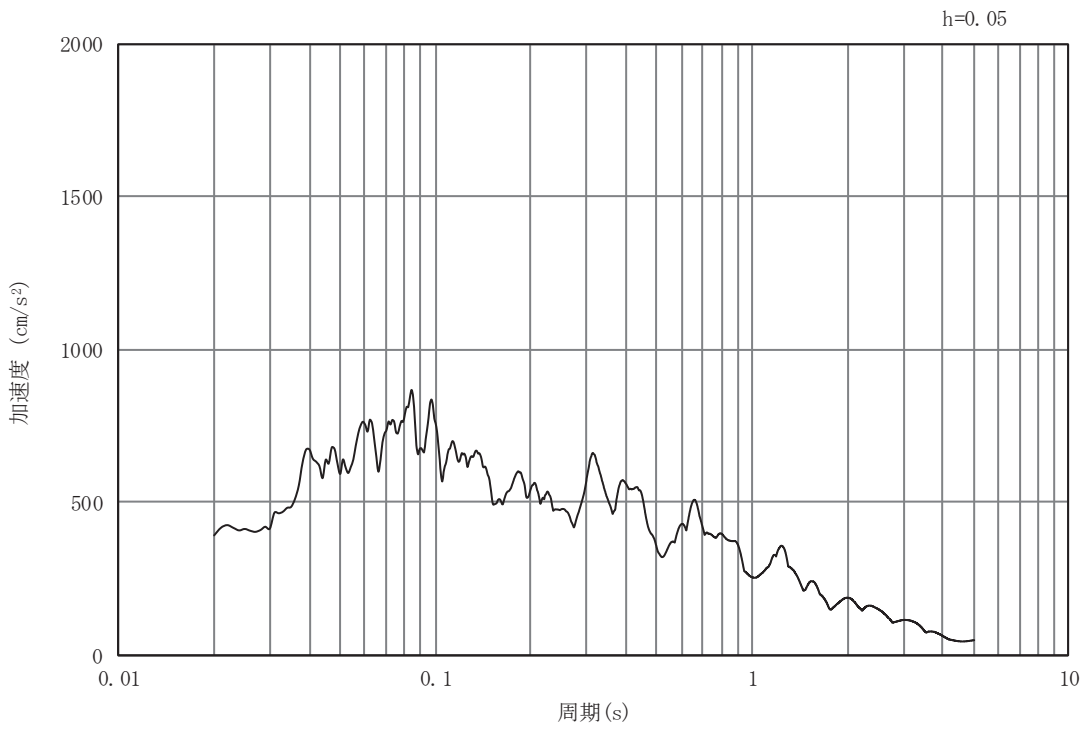


(b) 加速度応答スペクトル

図3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

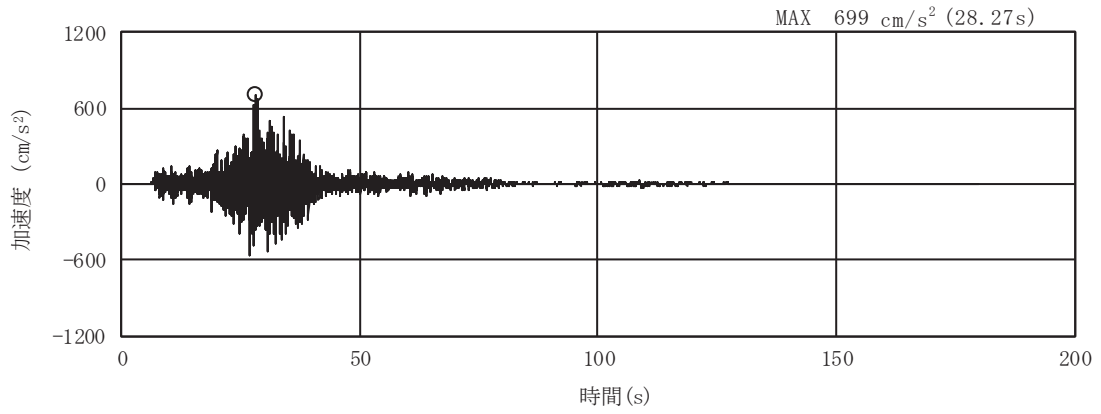


(a) 加速度時刻歴波形

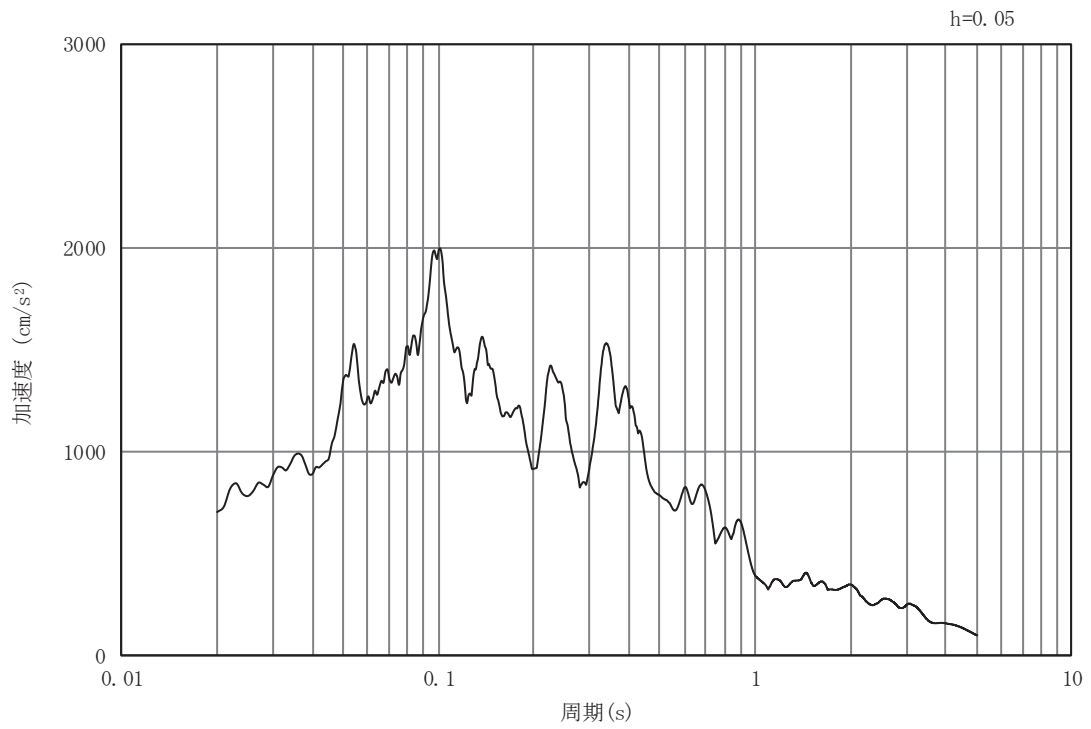


(b) 加速度応答スペクトル

図3-14 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
(鉛直成分：S s - F 1)

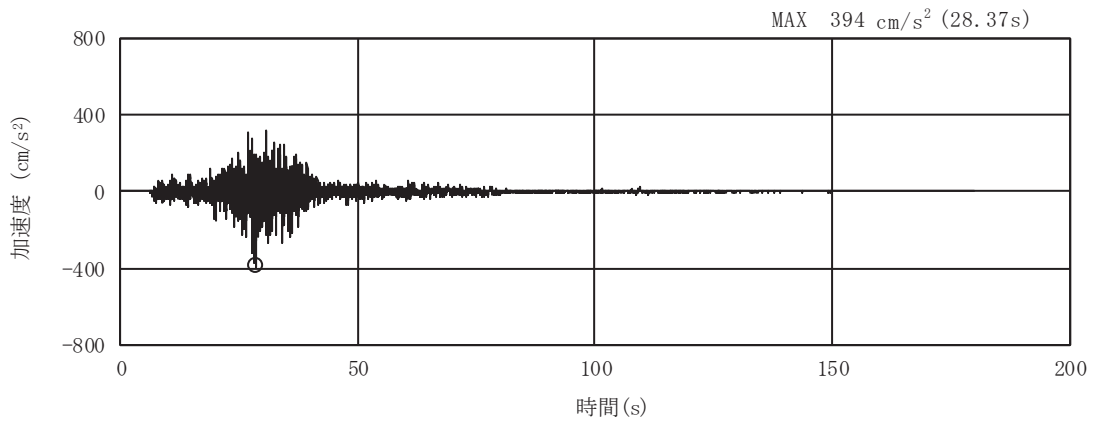


(a) 加速度時刻歴波形

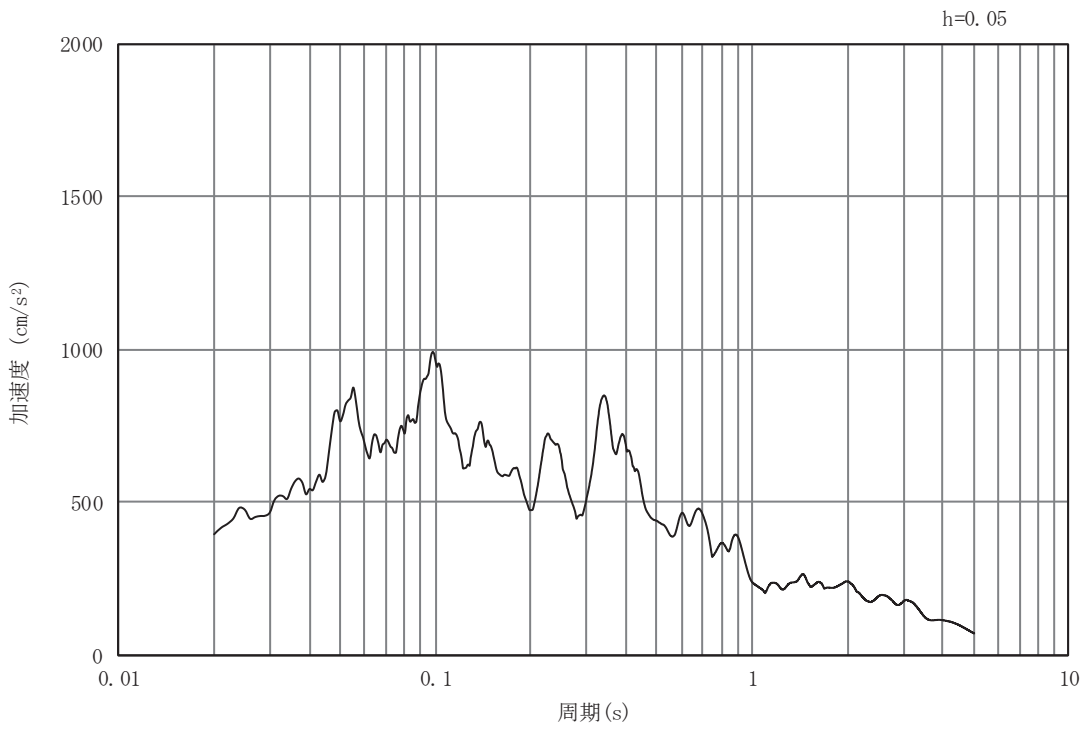


(b) 加速度応答スペクトル

図3-15 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
(水平成分：S s - F 2)

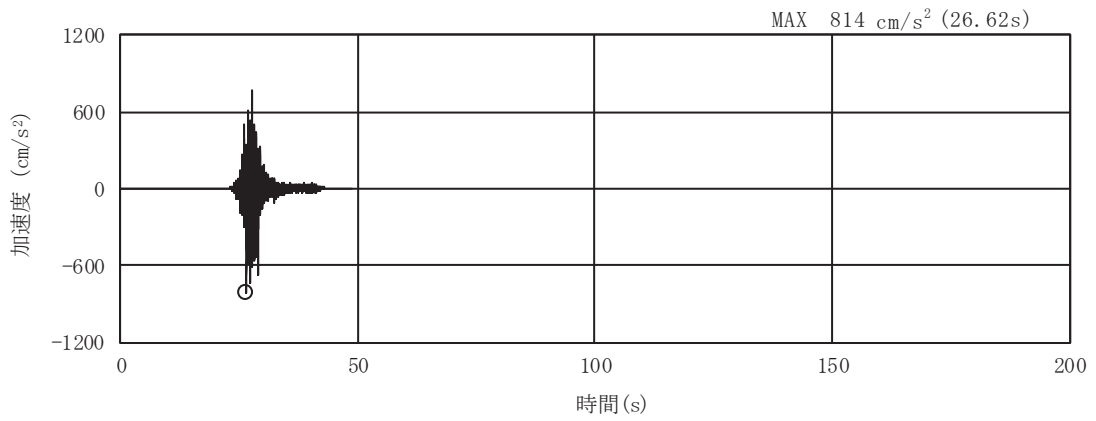


(a) 加速度時刻歴波形

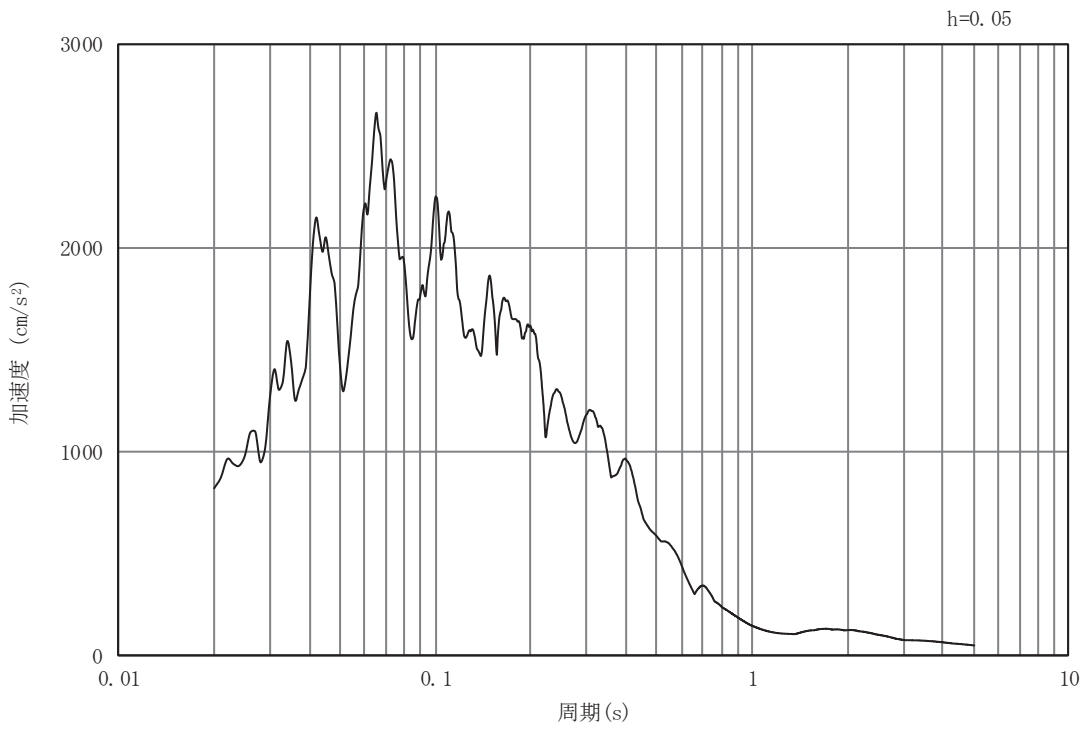


(b) 加速度応答スペクトル

図3-16 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
(鉛直成分：S s - F 2)

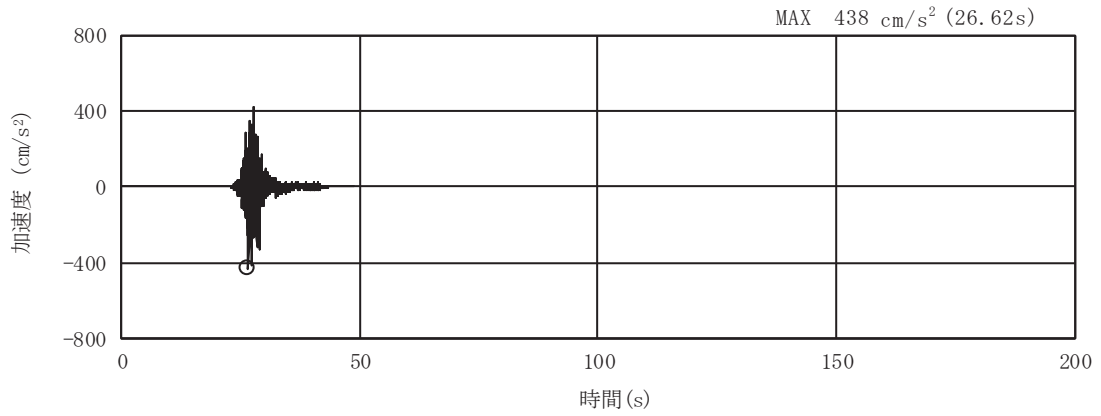


(a) 加速度時刻歴波形

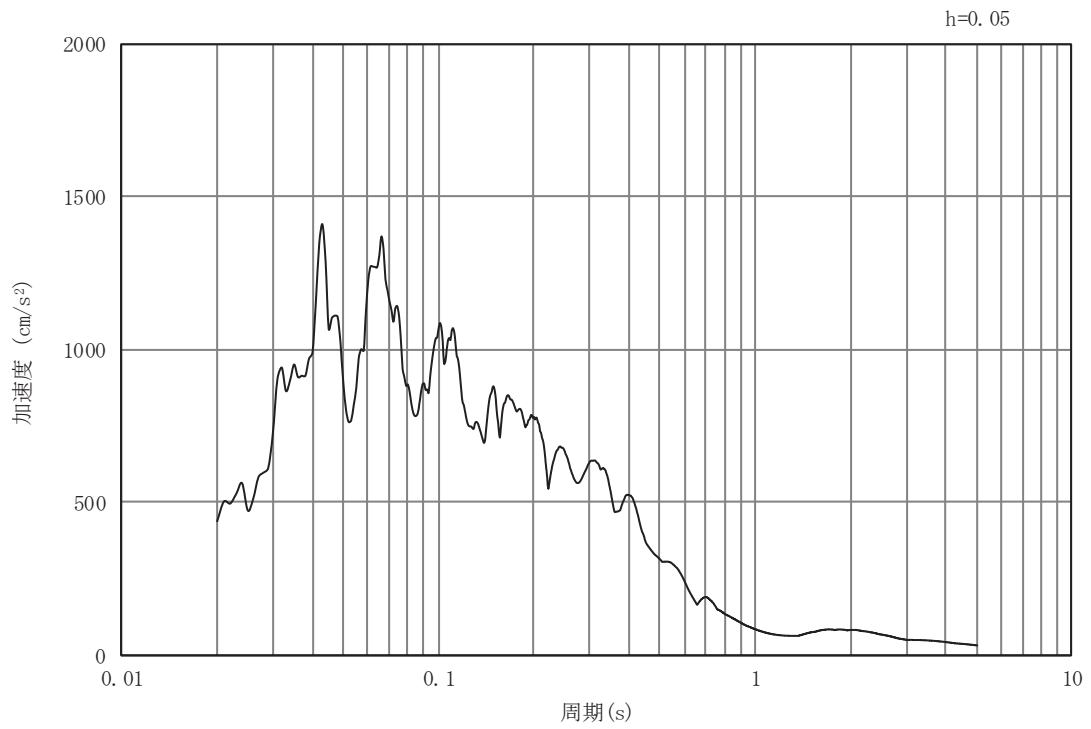


(b) 加速度応答スペクトル

図3-17 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
(水平成分：S s - F 3)

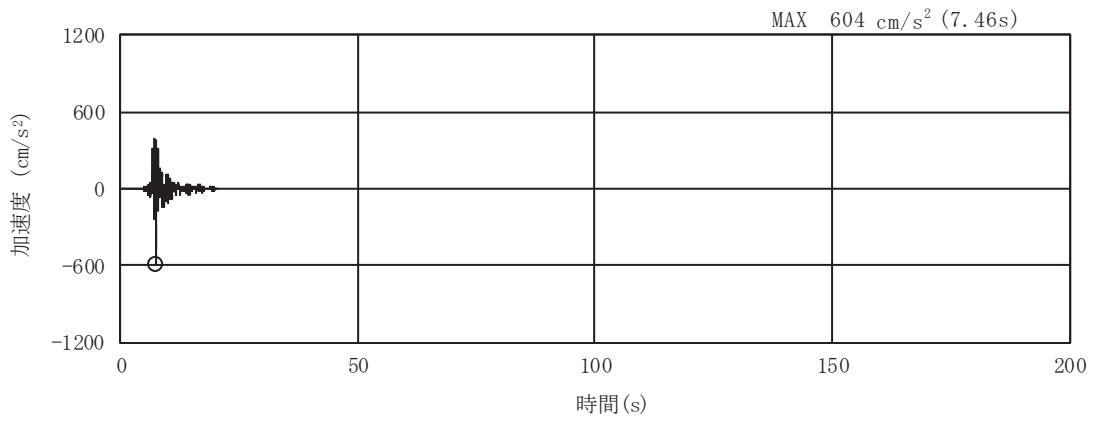


(a) 加速度時刻歴波形

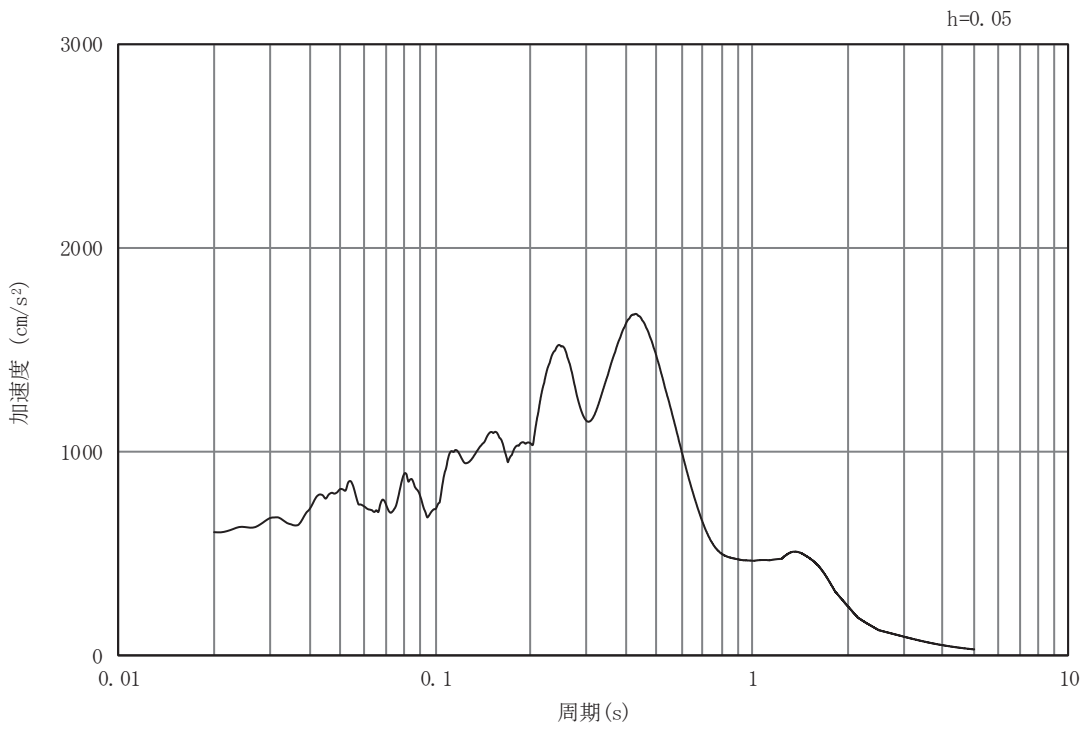


(b) 加速度応答スペクトル

図3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 3)

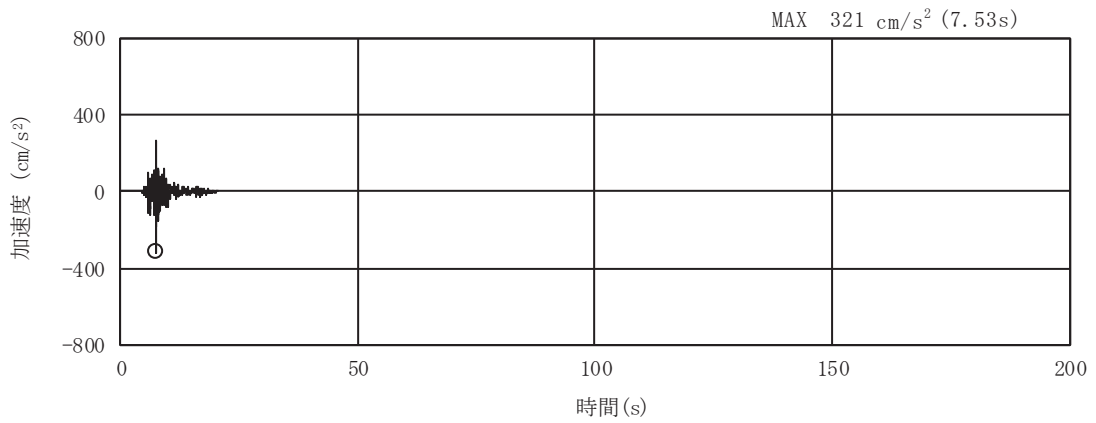


(a) 加速度時刻歴波形

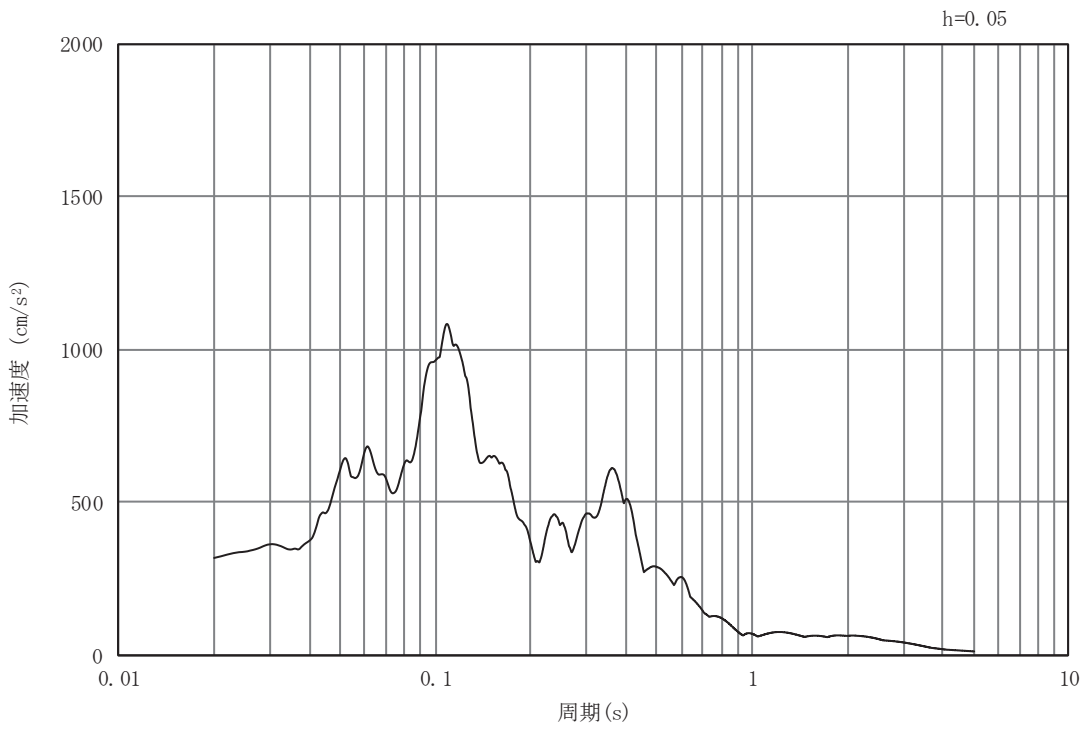


(b) 加速度応答スペクトル

図3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

3.7.2 解析方法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、周波数領域による複素応答解析を用い、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を行う。

地震時の応力は、静的解析による常時応力と、地震時応答解析による地震時増分応力を重ね合わせるにより求める。常時応力は地盤の自重計算により求まる初期応力、敷地造成に伴う解放力、第1号機排気筒基礎掘削に伴う解放力及び第1号機排気筒、埋戻土の荷重を考慮する。

静的解析には解析コード「BG0195HDW1 Ver. 5.0.6」を、地震応答解析には解析コード「VESL-DYN Ver. 2.03」、すべり計算には解析コード「SLIP02HDW1 Ver. 4.07」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.7.3 地震応答解析の解析ケース

地震応答解析は、すべての基準地震動 S_s に対して実施する。地震応答解析における解析ケースは、基準地震動 S_s （7波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）、スペクトル適合波（ S_s-D1 、 S_s-D2 、 S_s-D3 ）について鉛直動の位相反転を考慮した地震動（3波）及び水平動・鉛直動の位相反転を考慮した地震動（3波）を加えた全20ケースとする。

3.7.4 地盤物性のばらつき

第1号機排気筒斜面の評価項目であるすべり安全率に対しては、強度特性のばらつきが支配的要因^{*1,2}であることから、地盤物性のうち強度特性に関するばらつきを考慮した評価（平均強度 -1σ 強度）を併せて検討する。

注記*1：原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）

*2：原子力発電所の基礎地盤および周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>

4. 評価結果

第1号機排気筒斜面の最小すべり安全率を表4-1に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数の分布を図4-1に示す。

また、強度特性のばらつきを考慮した評価として、最小すべり安全率となるすべり面及び地震波において、地盤強度を -1σ 低減させたケースの最小すべり安全率を表4-1に示す。

これらの結果から、第1号機排気筒斜面の最小すべり安全率が、第1号機排気筒斜面の安定性に対する許容限界以上であることを確認した。

表4-1 第1号機排気筒斜面の最小すべり安全率

地震波	最小すべり安全率
S _s -D1 (-+)	2.0
S _s -D2 (-+)	2.0
S _s -D3 (--)	2.2
S _s -F1 (-+)	2.7
S _s -F2 (-+)	1.7 (1.6) *
S _s -F3 (++)	2.2
S _s -N1 (++)	1.8

注記* : () 内は、地盤の強度特性のばらつきを考慮したすべり安全率を示す。

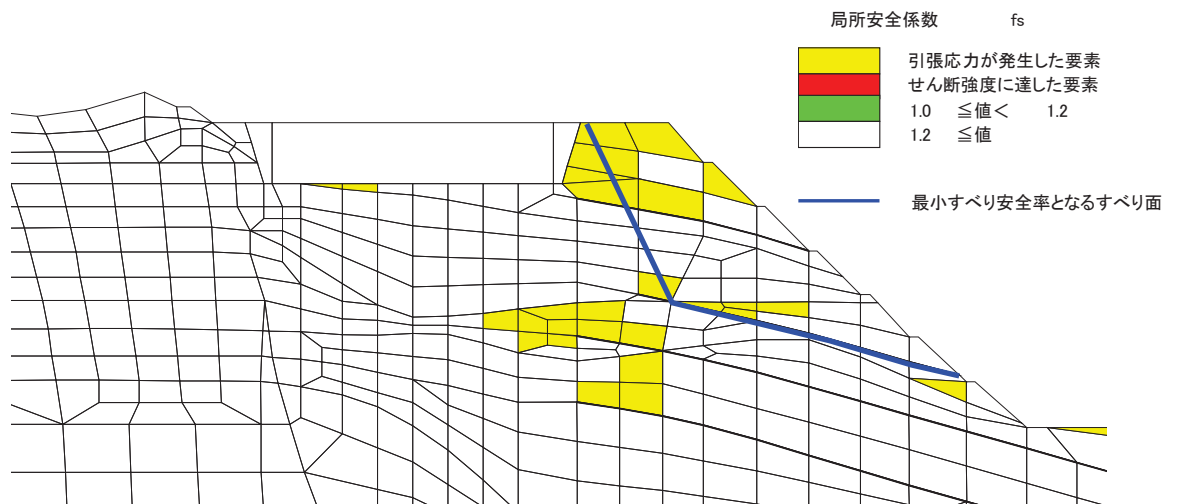


図4-1 第1号機排気筒斜面のすべり安全率が最小となる時刻における局所安全係数の分布 (S_s-F2 (-+))