

柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 添-2-038-2 改 0
提出年月日	2023 年 11 月 21 日

VI-2-7-2-1 主排気筒の耐震性についての計算書

KK6 ① VI-2-7-2-1 (I) R0

2023年11月
東京電力ホールディングス株式会社

(I) 主排気筒の地震応答計算書

(II) 主排気筒の耐震計算書

(I) 主排気筒の地震応答計算書

目 次

1. 構造及びモデル化	1
2. 解析方法	16
2.1 入力地震動	16
2.2 建屋応答の不確かさ等	33
3. 応答解析の結果	34
3.1 固有値解析結果	34
3.2 地震応答解析結果	34

1. 構造及びモデル化

本主排気筒は、原子炉建屋_{R1}～_{R2}, _{RC}～_{RD}間の屋上 (T. M. S. L. *¹38.2m) に位置し、内径 2.8m の鋼板製筒身 (換気空調系用排気筒) を鋼管四角形鉄塔 (制震装置付) で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系 (以下「SGTS」という。) 用排気筒が筒身に支持されている。

主排気筒の配置図を図 1-1 に、概要図を図 1-2 に、主要レベルの概略平面図を図 1-3 に、材料諸元を表 1-1 に示す。

構造概要

構造形状	四角鉄塔支持形鋼管構造 (制震装置付)
主排気筒の高さ	46.8m (T. M. S. L. 85.0m)
鉄塔高さ	41.8m (T. M. S. L. 80.0m)
鉄塔幅	頂部 5.0m 根開き NS 方向 7.1m, EW 方向 8.0m
筒身支持点位置	T. M. S. L. 48.0m, 76.25m
基礎	T. M. S. L. 38.2m 以高の鉄骨鉄筋コンクリート造* ² 立上り部を基礎とする。

主排気筒の地震応答解析モデルは、原子炉建屋屋上 (T. M. S. L. 38.2m) より上部を対象とした立体フレームモデルとする。主排気筒の地震応答解析モデルを図 1-4 に、主要レベルのモデル図について図 1-5 に、部材諸元一覧を表 1-2 に示す。また、主排気筒の T. M. S. L. 76.25m には 8 台の制震装置 (オイルダンパー) が設置されている。制震装置 (オイルダンパー) の概要を図 1-6 に、諸元を表 1-3 に示す。地震応答解析は時刻歴応答解析により行う。

なお、減衰は、剛性比例型減衰 (鉄塔部の水平方向 1 次固有振動数に対し、鉄骨造は 2%, 鉄筋コンクリート造 (基礎) は 5%を設定) として評価する。

注記*1 : 東京湾平均海面を、以下「T. M. S. L.」という。

*2 : 基礎は鉄筋コンクリート造として評価する。

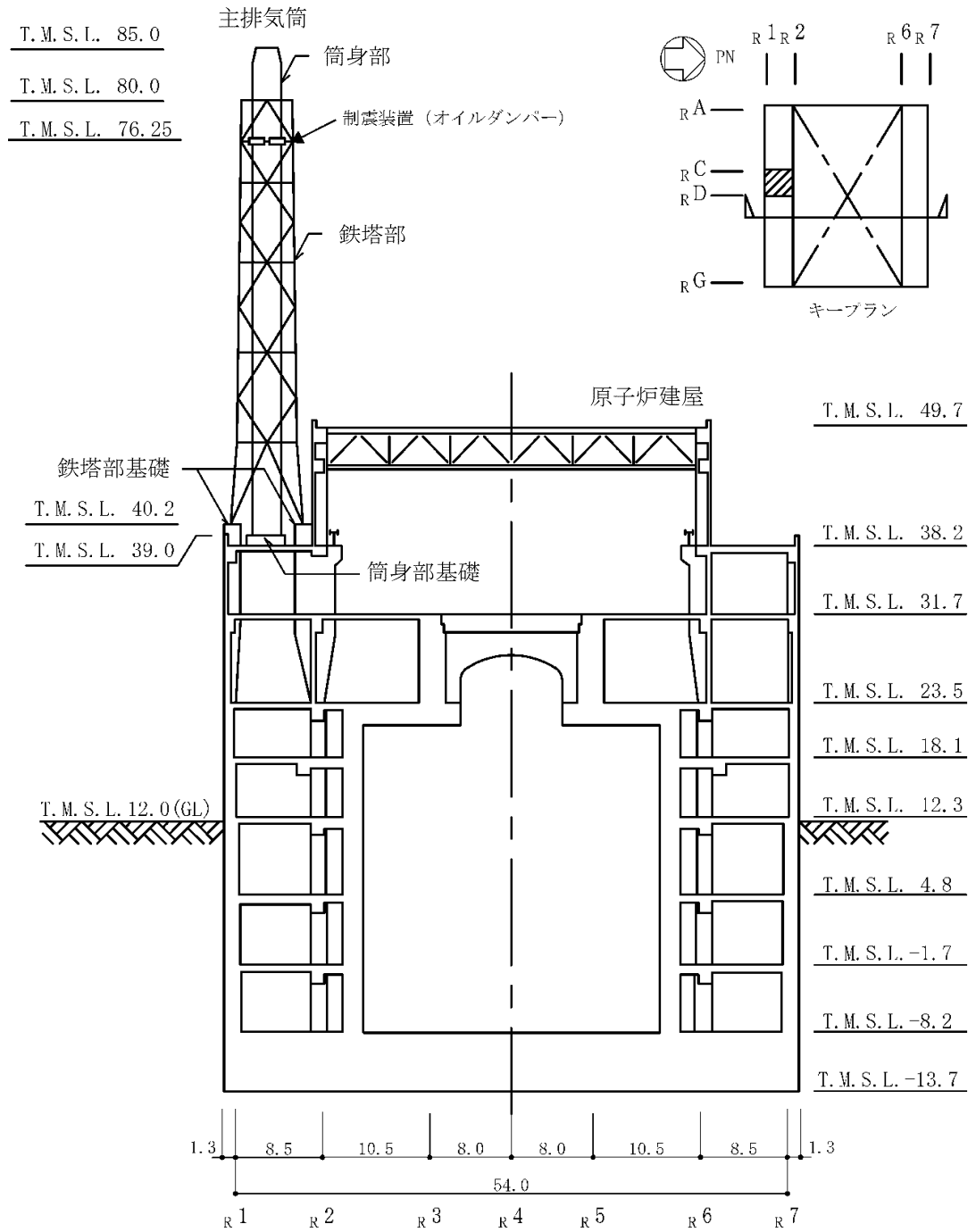
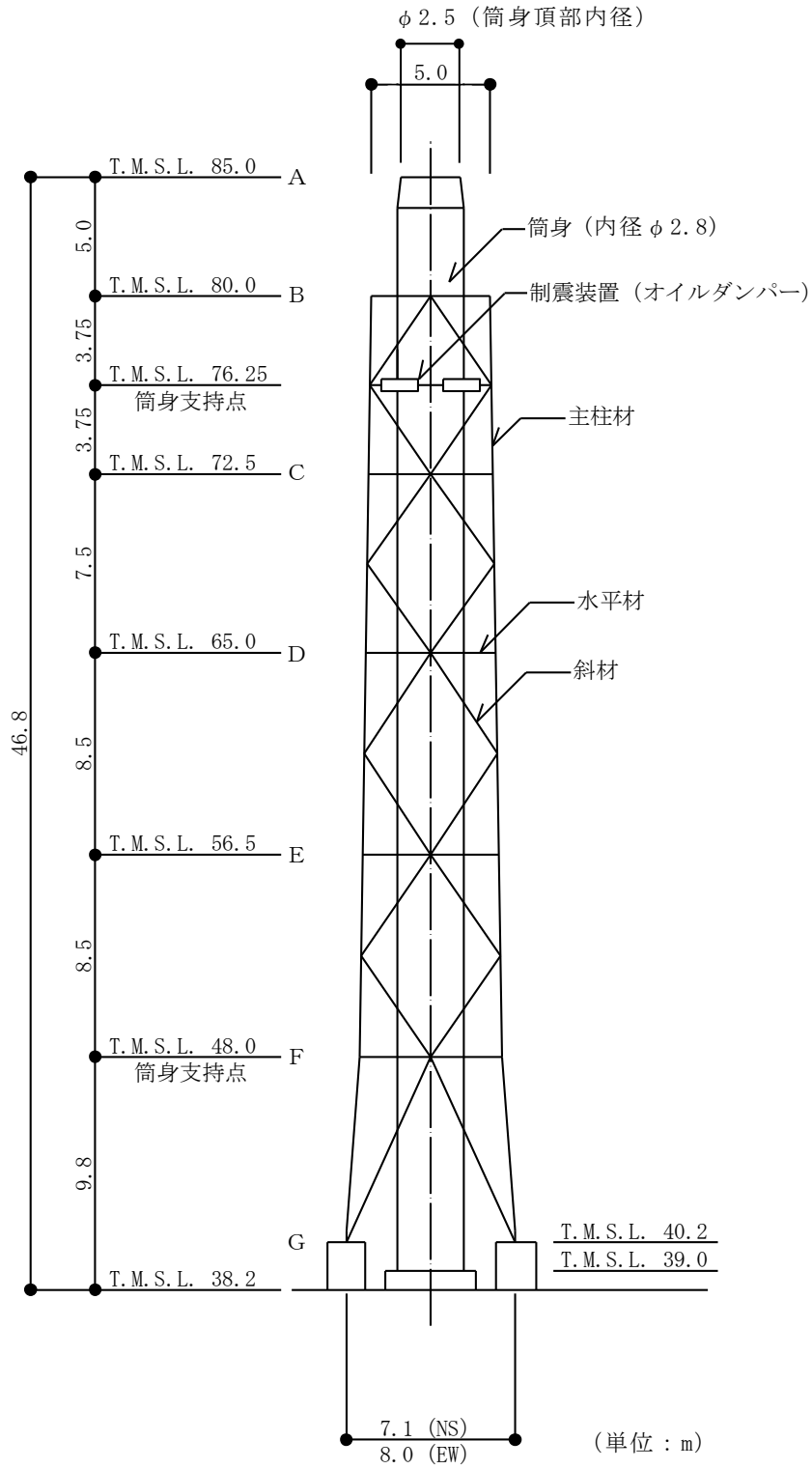


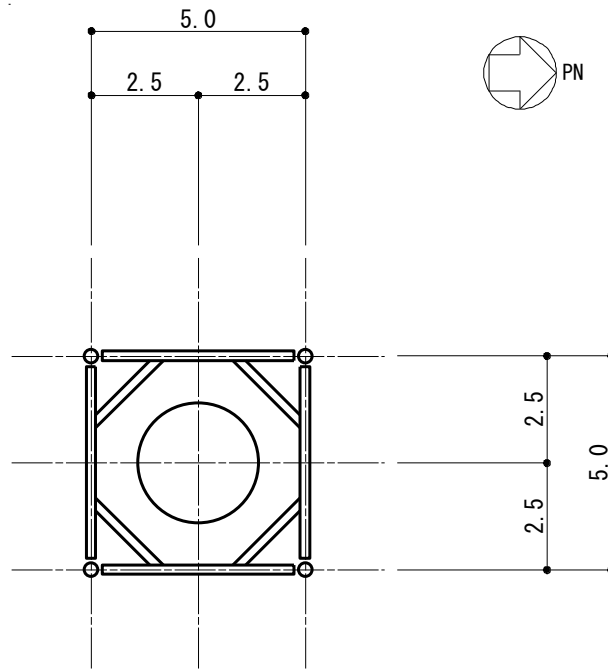
図 1-1 主排気筒配置図 (単位 : m)



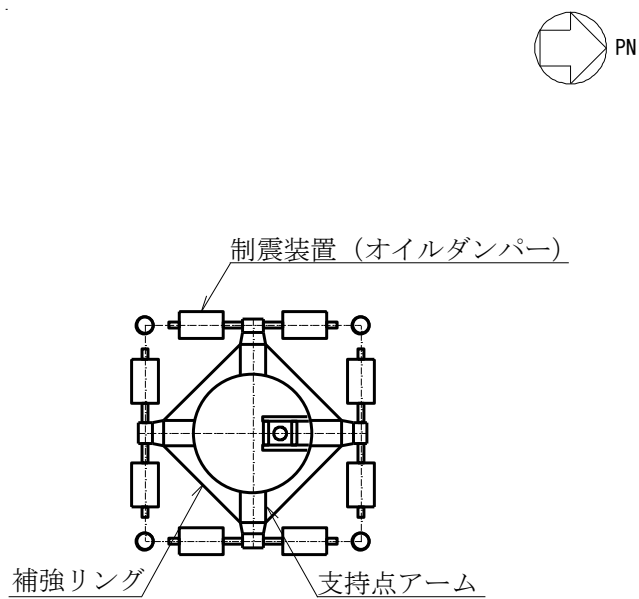
STK490[STK50]*	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6
支柱材					
STK400[STK41]*	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5
水平材					
STK490[STK50]*	φ 558.8 × 16	φ 406.4 × 12.7	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5
斜材					
SMA400AP[SMA41A]*	t = 12	t = 8	t = 8	t = 6	t = 6
筒身板厚					
部材リスト (単位 : mm)					

注記* : 以下[]内は従来標記を示す。

図 1-2 主排気筒概要図

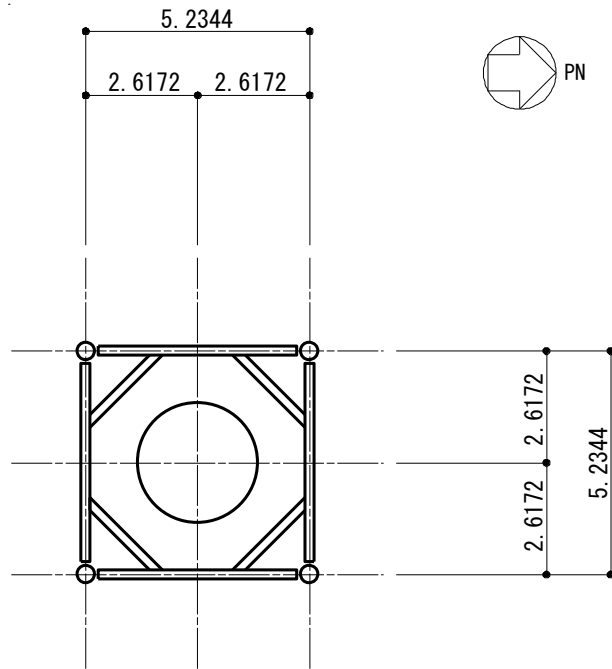


(a) T. M. S. L. 80.0m

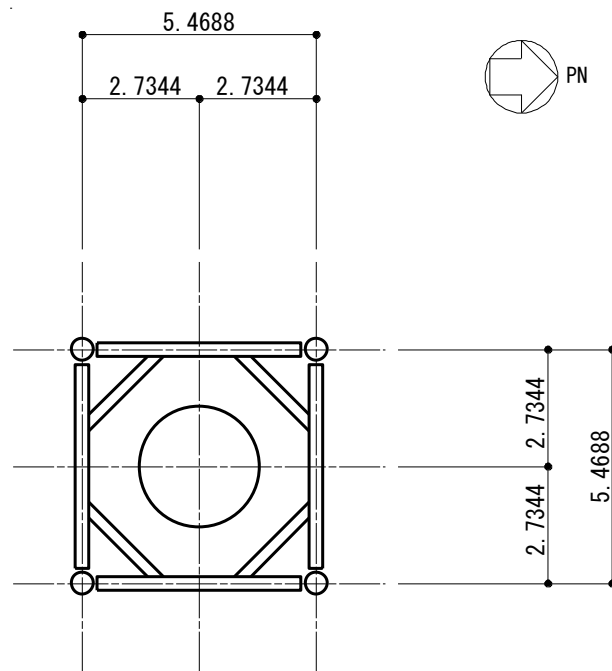


(b) T. M. S. L. 76.25m (筒身支持点)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位: m) (1/4)

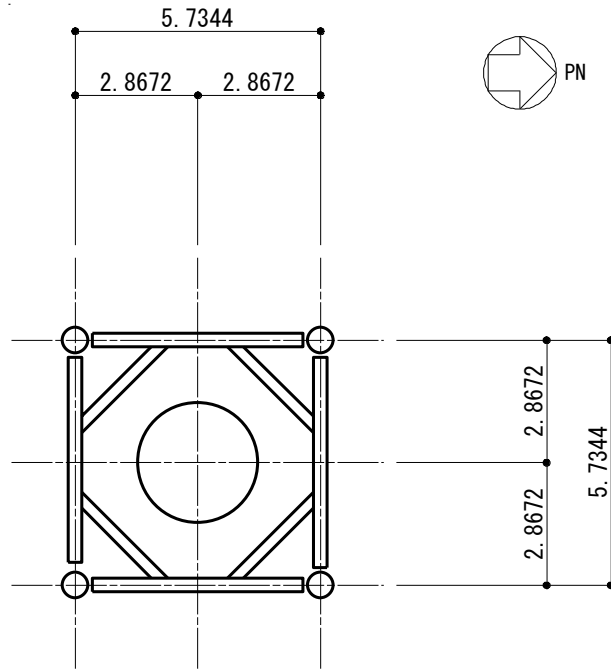


(c) T. M. S. L. 72.5m

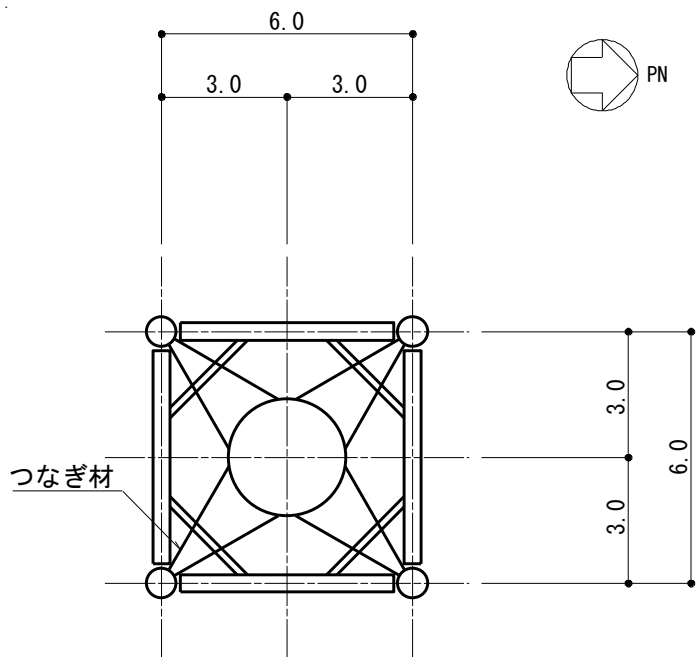


(d) T. M. S. L. 65.0m

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位 : m) (2/4)

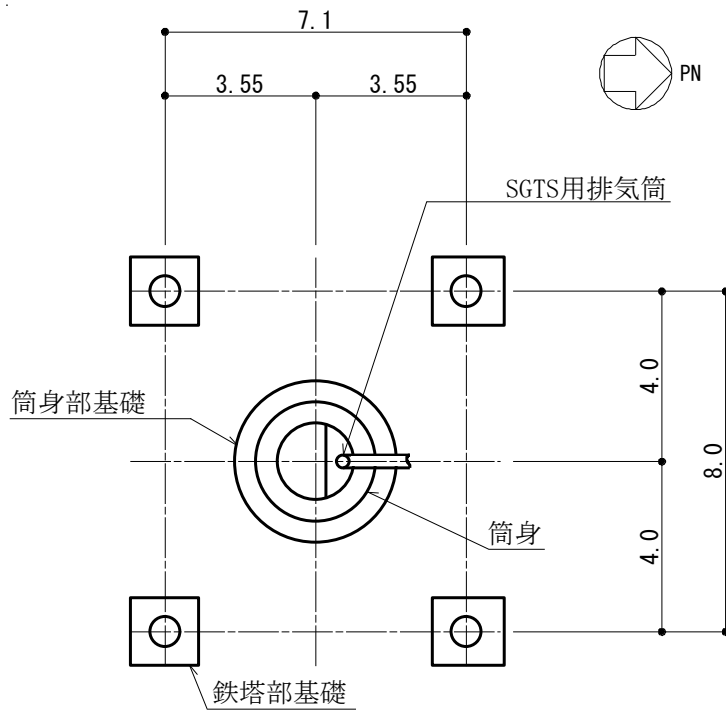


(e) T. M. S. L. 56.5m



(f) T. M. S. L. 48.0m (筒身支持点)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位: m) (3/4)



(g) T. M. S. L. 38.2m (基礎)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位 : m) (4/4)

表 1-1 主排気筒材料諸元

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
鉄塔部 筒身部	鋼材	2.05×10^5	0.3	2
基礎	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1$ (N/mm ²) 鉄筋 : SD345 [SD35]	2.88×10^4	0.2	5

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度を示す。

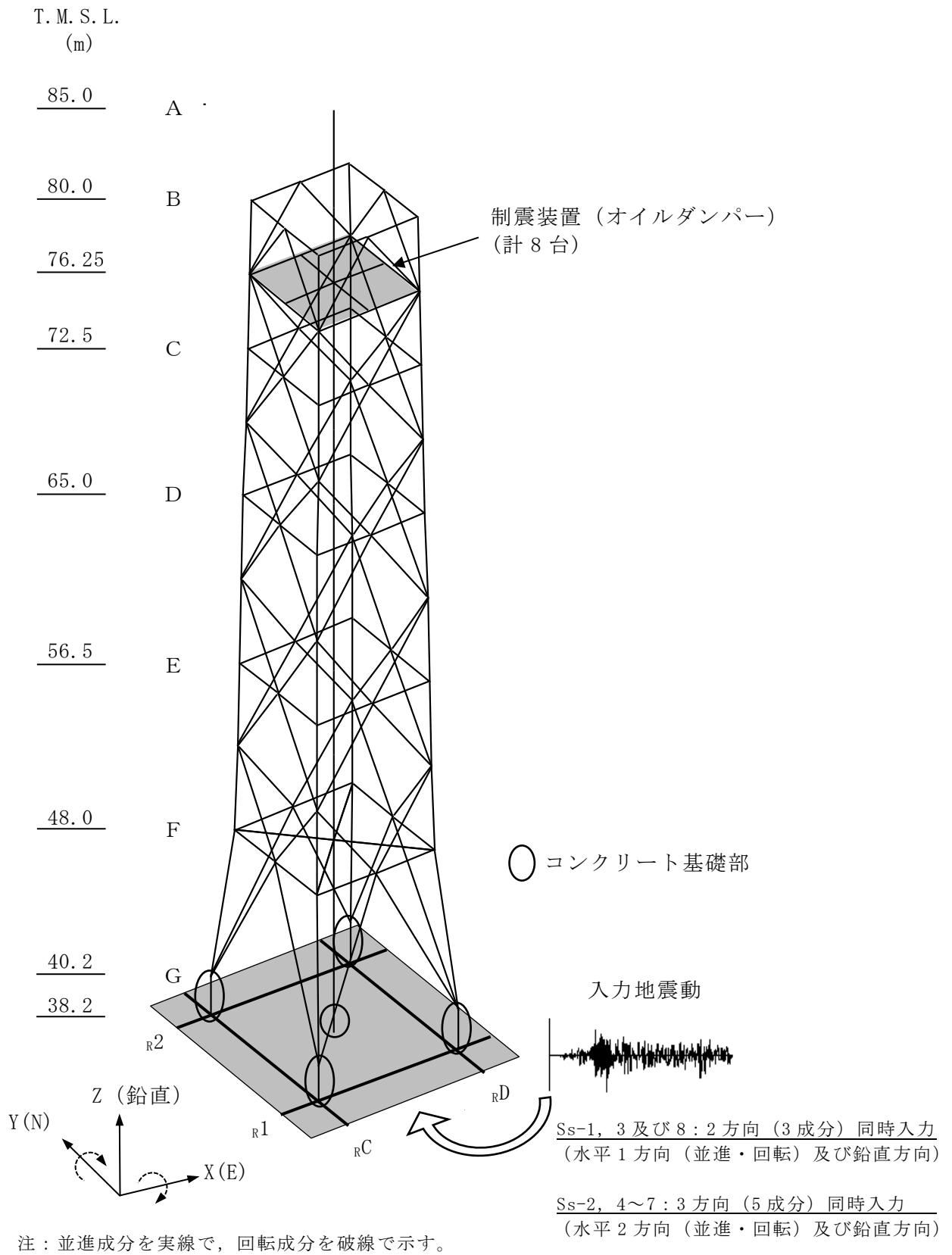
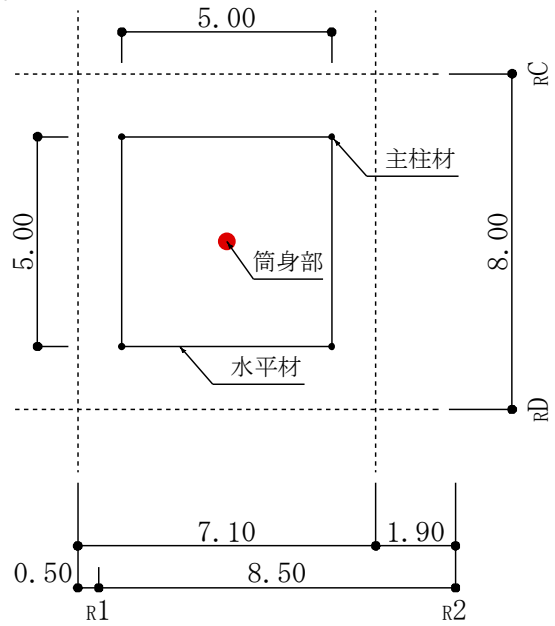
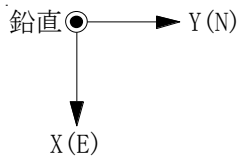


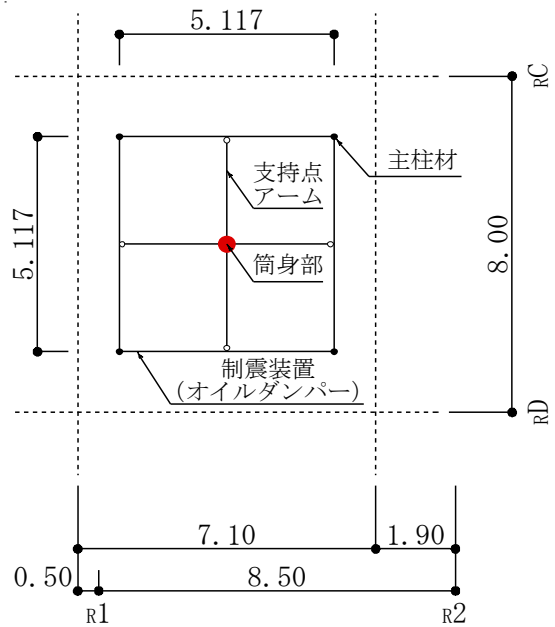
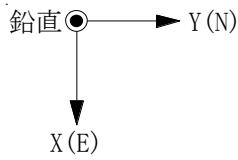
図 1-4 主排気筒の地震応答解析モデル



(a) T. M. S. L. 80.0m

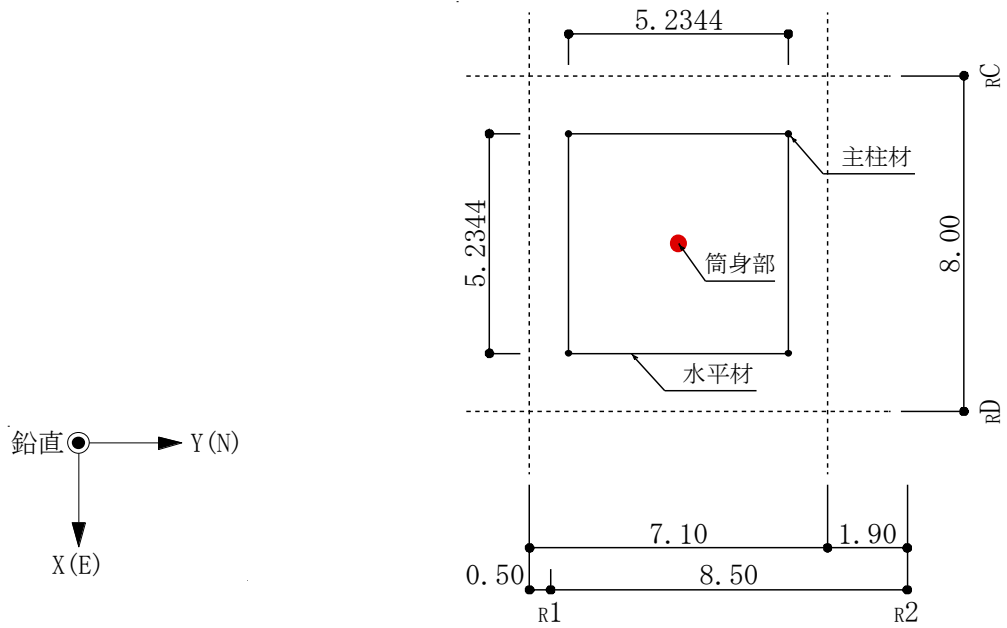
支持点アームについて

- ・使用要素：はり要素
- ・境界条件：
ピン接合（○部）－剛接合
（詳細は図 1-6 参照。）

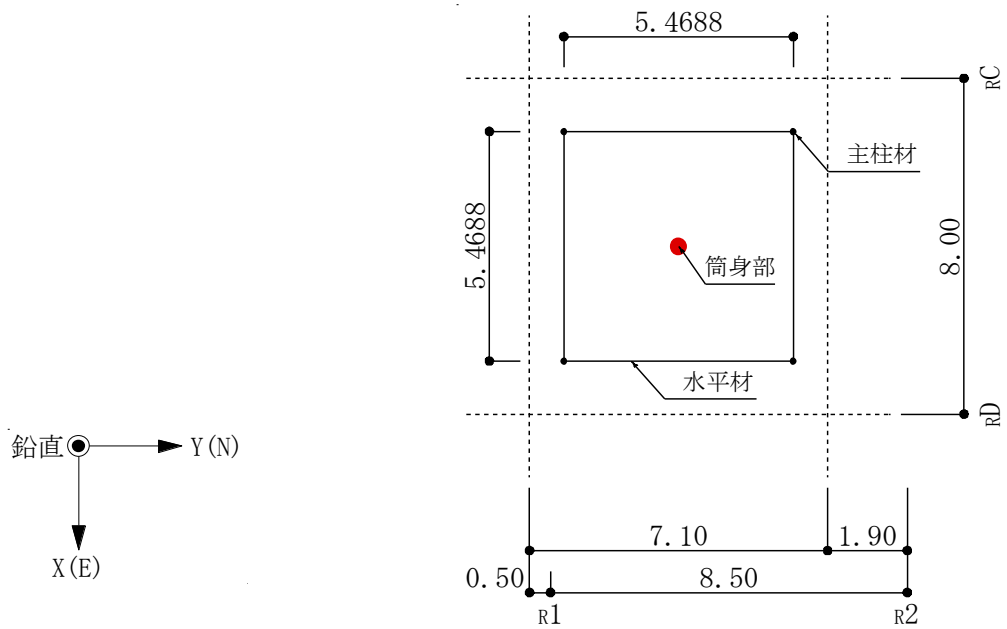


(b) T. M. S. L. 76.25m (筒身支持点)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位：m) (1/4)

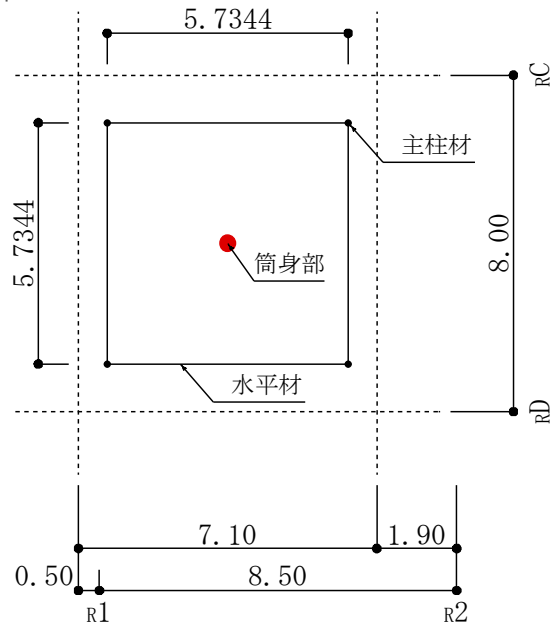
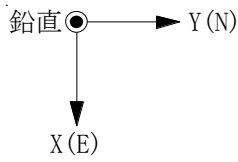


(c) T. M. S. L. 72.5m



(d) T. M. S. L. 65.0m

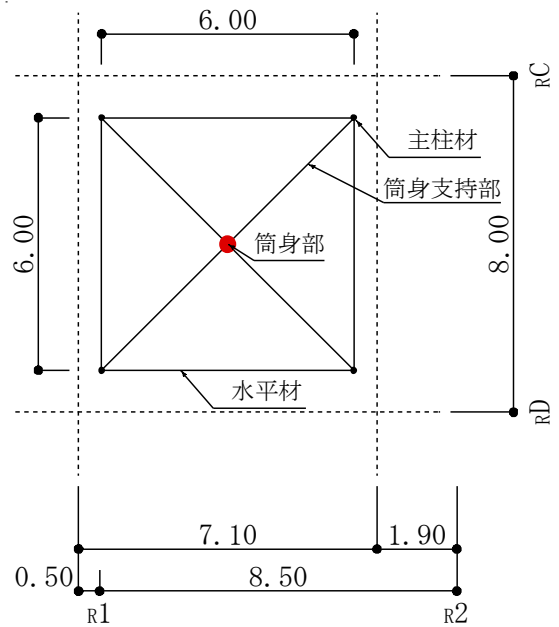
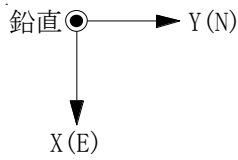
図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位 : m) (2/4)



(e) T. M. S. L. 56.5m

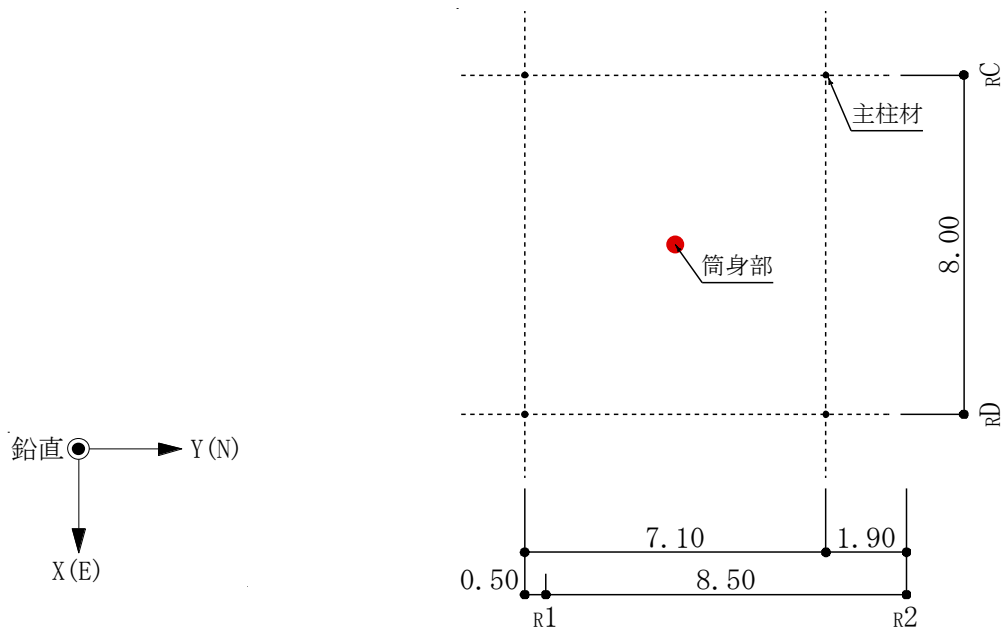
筒身支持部について

- ・ 使用要素：ばね要素
(水平方向)
- ・ 境界条件：
剛接合－剛接合



(f) T. M. S. L. 48.0m (筒身支持点)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位：m) (3/4)

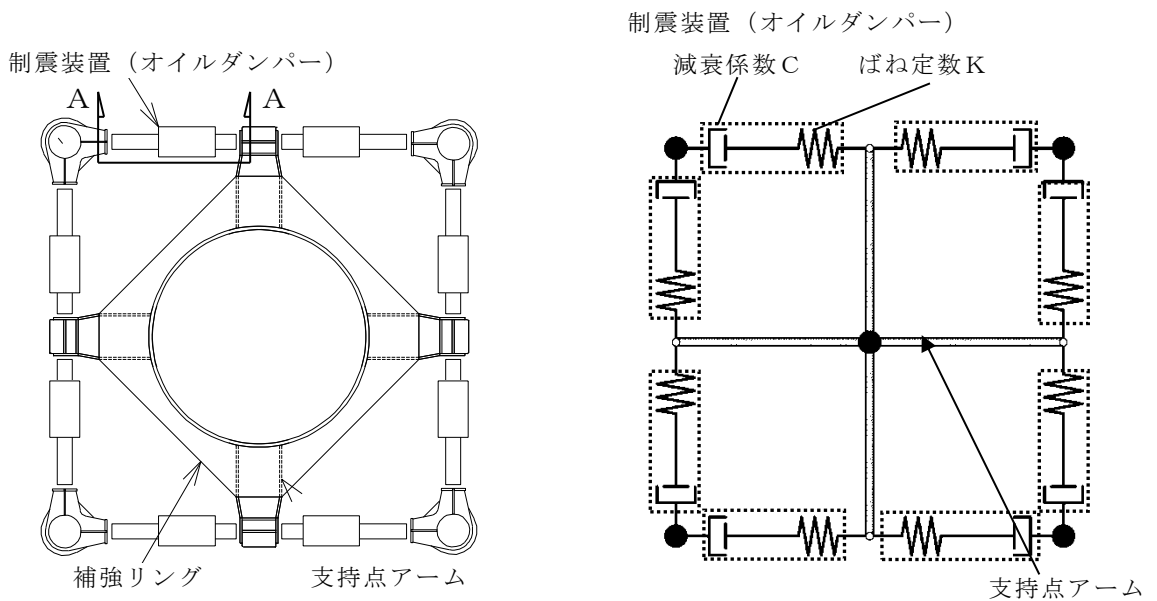


(g) T. M. S. L. 38.2m (基礎)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位 : m) (4/4)

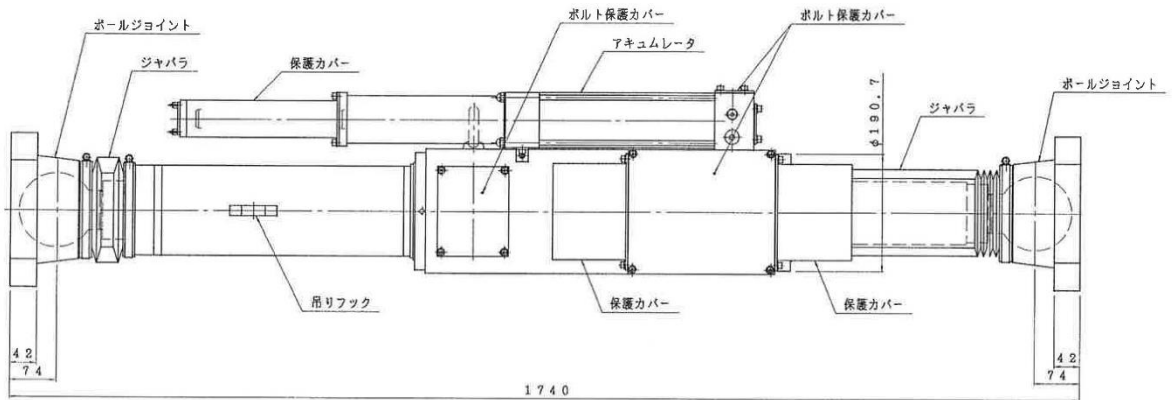
表 1-2 主排気筒の部材諸元一覧

部材	部材間	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)
支柱材	B - C	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	C - D	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21
	D - E	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	38800	62.05
	E - F	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	132000	149.2
	F - G	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	248000	206.6
斜材	B - C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C - D	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	4210	24.64
	D - E	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	13000	43.15
	E - F	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	30500	78.55
	F - G	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	101000	136.4
水平材	B	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	D	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	E	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	F	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21
筒身部	A - B	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	B - C	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	C - D	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	D - E	$\phi 2816 \times 8$	705.7	6960000	352.9
	E - F	$\phi 2816 \times 8$	705.7	6960000	352.9
	F - G	$\phi 2824 \times 12$	1060	10500000	530.1



(a) 平面図 (T.M.S.L. 76.25m)

(b) モデル概要図



(c) A-A制震装置 (オイルダンパー) 詳細図 (単位: mm)

図 1-6 制震装置 (オイルダンパー) の概要

表 1-3 制震装置 (オイルダンパー) の諸元

重量	6.0 (kN/台)
ばね定数 K	0.3×10^8 (N/m)
減衰係数 C	1.05×10^5 (N·s/m)

2. 解析方法

主排気筒の地震応答解析（直接積分法）には，解析コード「f a p p a s e」を用いる。また，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.1 入力地震動

主排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は，基準地震動 Ss-1～Ss-8 による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル（T. M. S. L. 38. 2m）における応答値を用いることとし，主排気筒の基礎脚部を固定として入力する。応答スペクトルに基づく地震動である Ss-1 及び Ss-3，震源を特定せず策定する地震動である Ss-8 については，2 方向（3 成分）（水平 1 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。一方で，断層モデルに基づく地震動である Ss-2 及び Ss-4～Ss-7 については，3 方向（5 成分）（水平 2 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。

また，原子炉建屋全体の地震応答解析では，接地率が 65%未満となるケースについては誘発上下動を考慮しており，主排気筒についても当該ケースについては誘発上下動を考慮した応答を用いるものとする。

代表して，入力地震動のうち，基準地震動 Ss-1～Ss-8 の基本ケースの加速度時刻歴波形を以下に示す。また，入力地震動の組合せを表 2-1 に示す。（建屋応答の不確かさを考慮する解析ケースの入力地震動の組合せについては，別紙 3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」参照。）

NS 方向	並進成分	図 2-1
EW 方向	並進成分	図 2-2
	鉛直方向	図 2-3
NS 方向	回転成分	図 2-4
EW 方向	回転成分	図 2-5

基本ケースにおいて，原子炉建屋全体の地震応答解析では Ss-2 のみ接地率が 65%未満となるため誘発上下動を考慮しており，主排気筒についても図 2-3(b)に示す Ss-2 の鉛直方向の入力地震動では誘発上下動を考慮している。

表 2-1 入力地震動の組合せ（基本ケース）

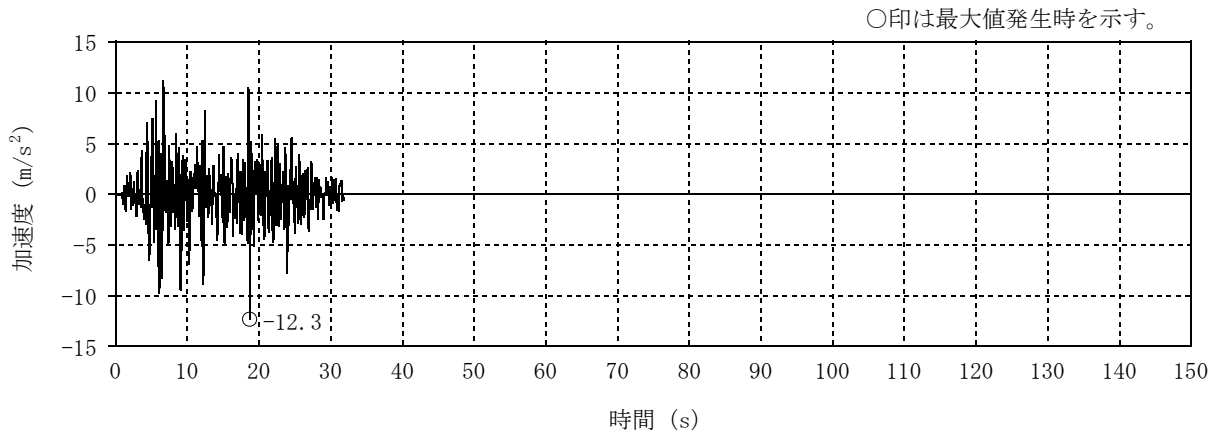
入力地震動* ¹		水平方向* ²				鉛直 方向* ²	備考* ³
		NS 方向		EW 方向			
		並進	回転	並進	回転		
S _s -1	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—
S _s -2	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮
S _s -3	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—
S _s -4	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -5	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -6	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -7	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -8	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—

注記*¹：入力地震動の詳細について以下に示す。

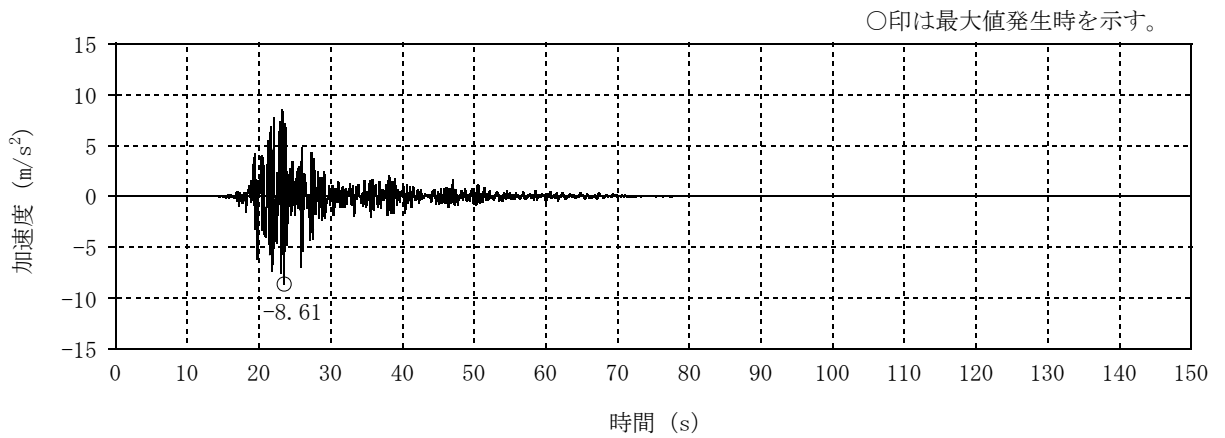
- ・方向性のある地震動
S_s-2, S_s-4～S_s-7…断層モデルに基づく地震動
- ・方向性のない地震動
S_s-1 及び S_s-3…応答スペクトルに基づく地震動
S_s-8…震源を特定せず策定する地震動

*²：組み合わせる成分を「○」で、組み合わせない成分を「—」で示す。

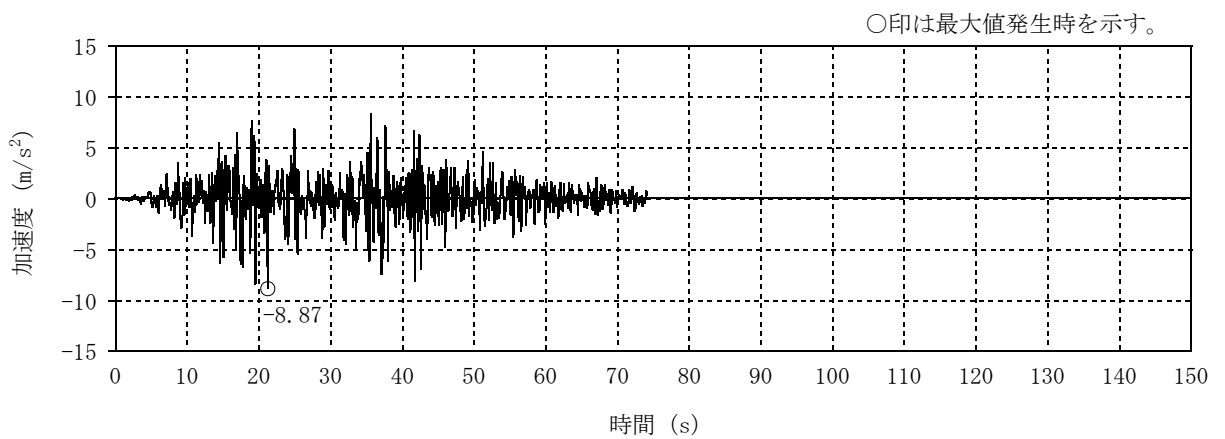
*³：誘発上下動を考慮しない場合は「—」で示す。



(a) S_s-1NS

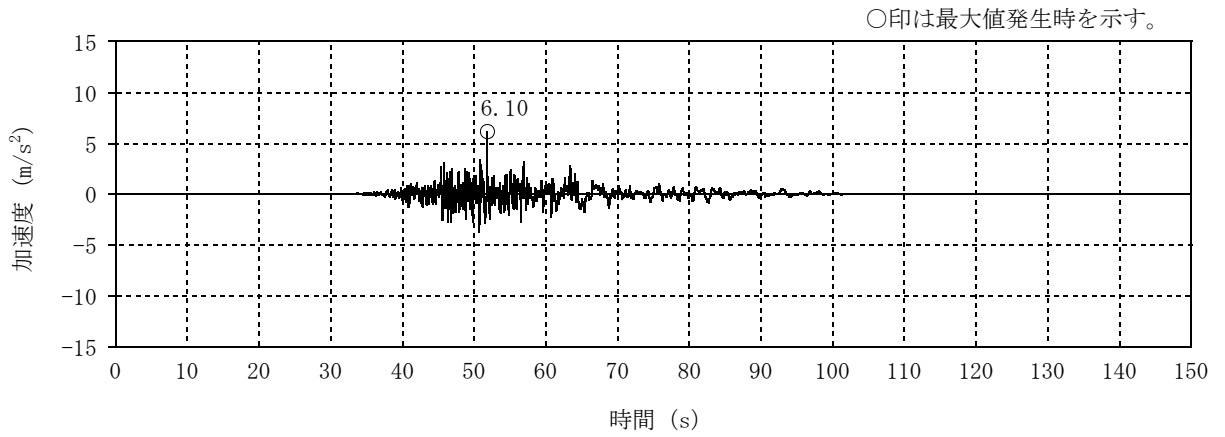


(b) S_s-2NS

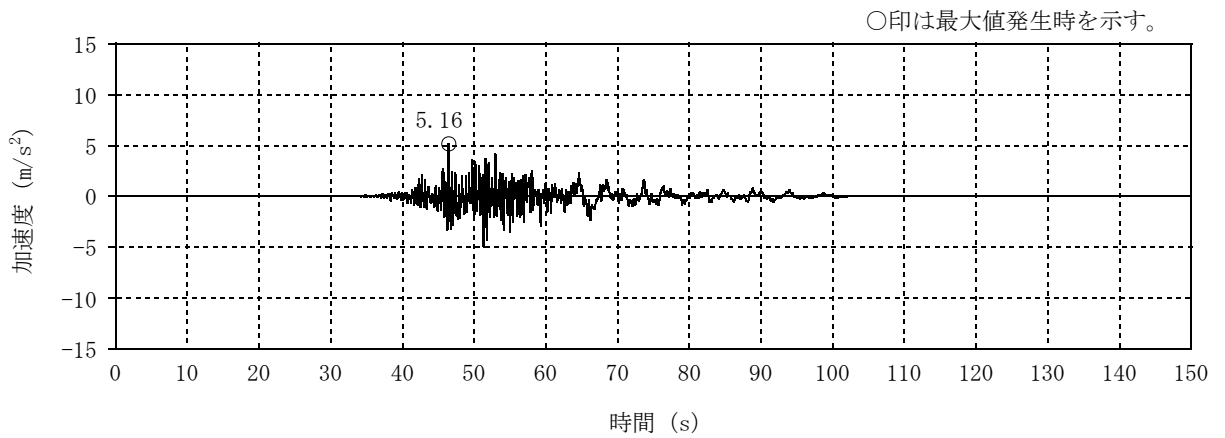


(c) S_s-3NS

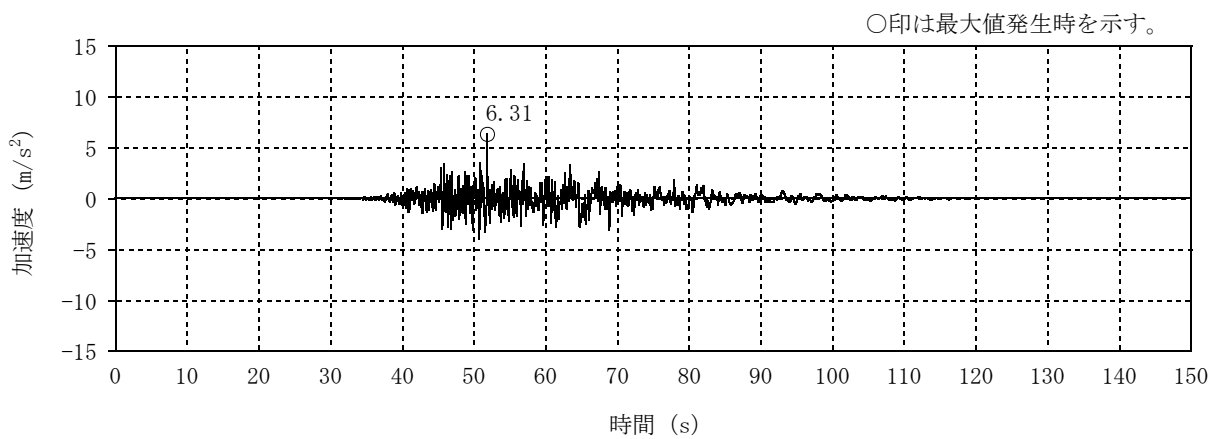
図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向並進成分) (1/3)



(d) S_s-4NS

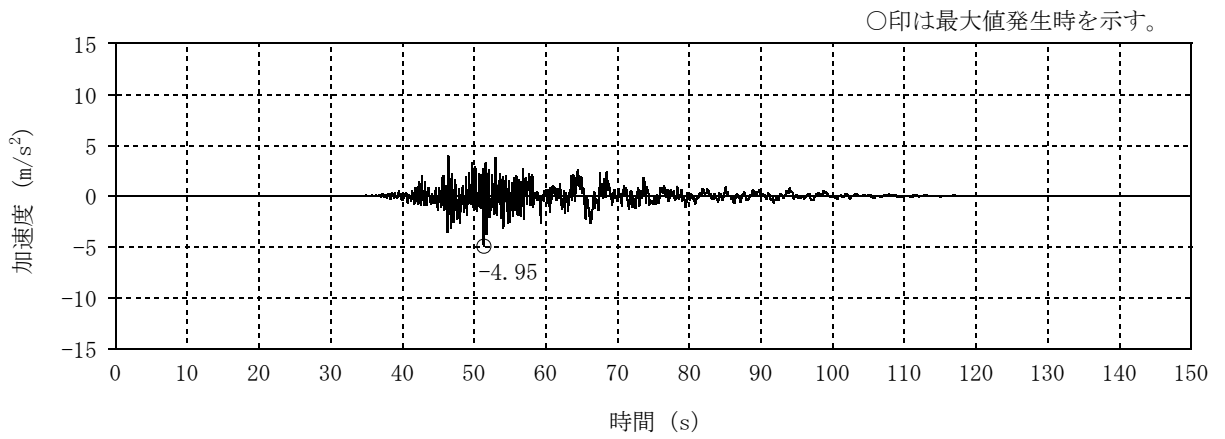


(e) S_s-5NS

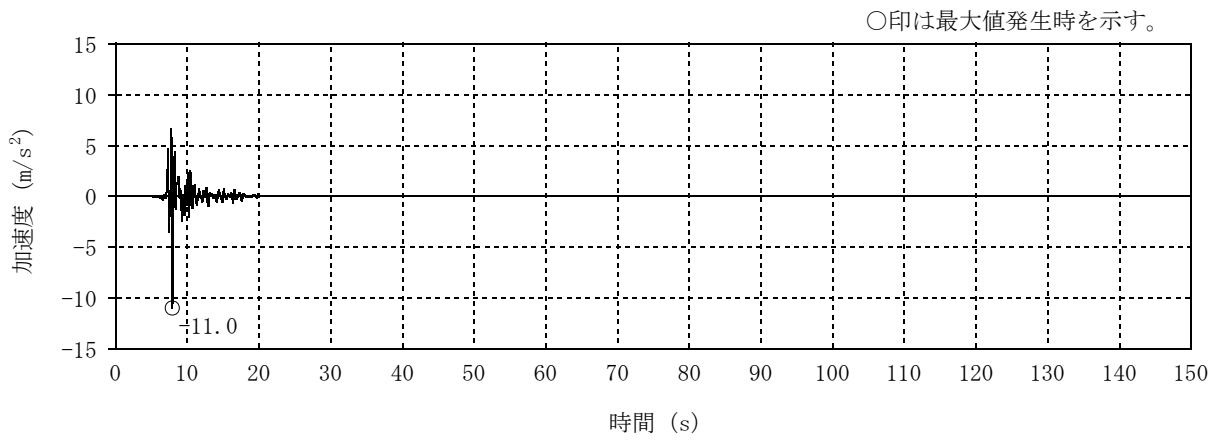


(f) S_s-6NS

図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向並進成分) (2/3)

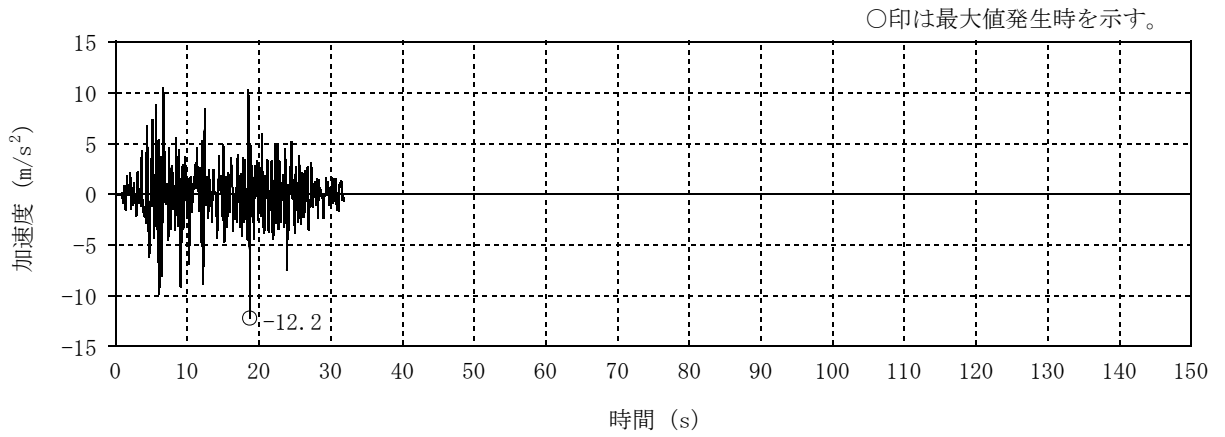


(g) Ss-7NS

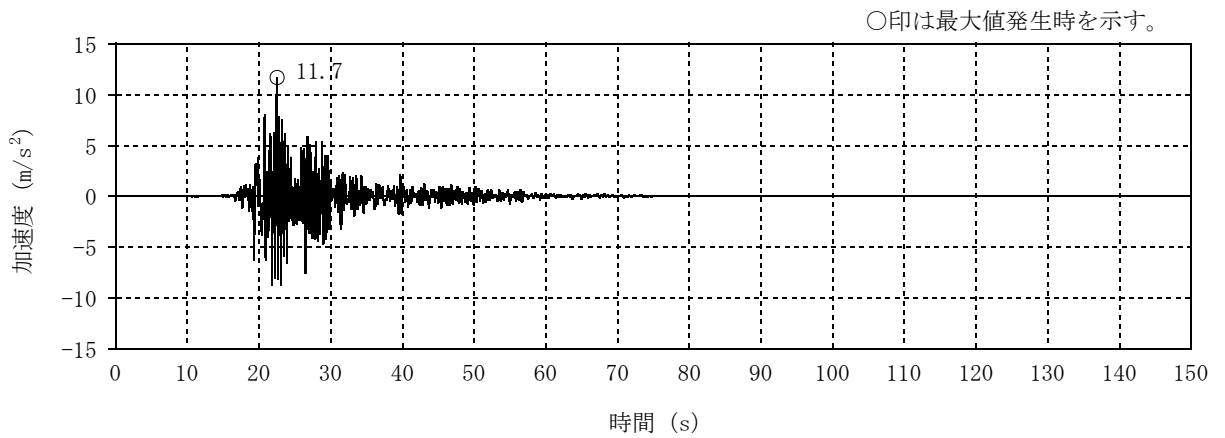


(h) Ss-8NS

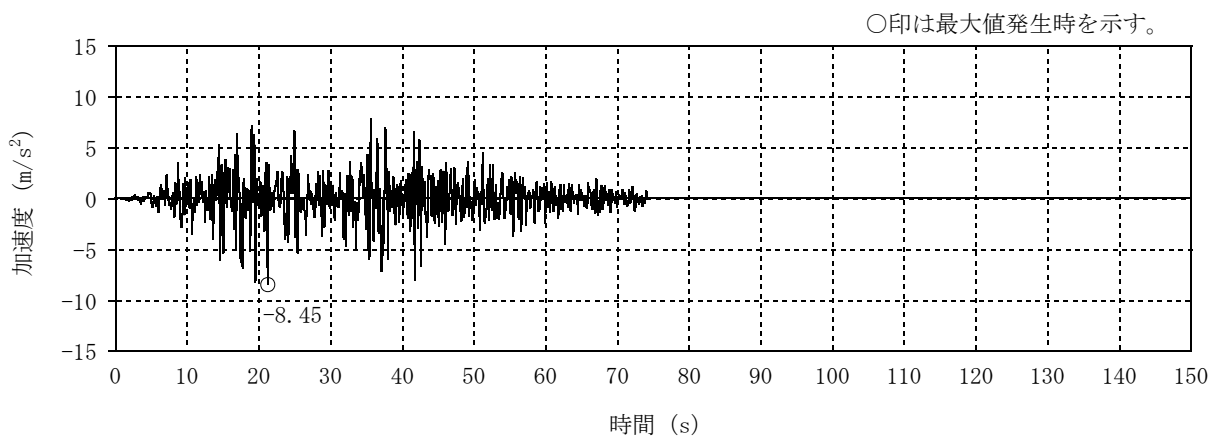
図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , NS 方向並進成分) (3/3)



(a) S_s-1EW

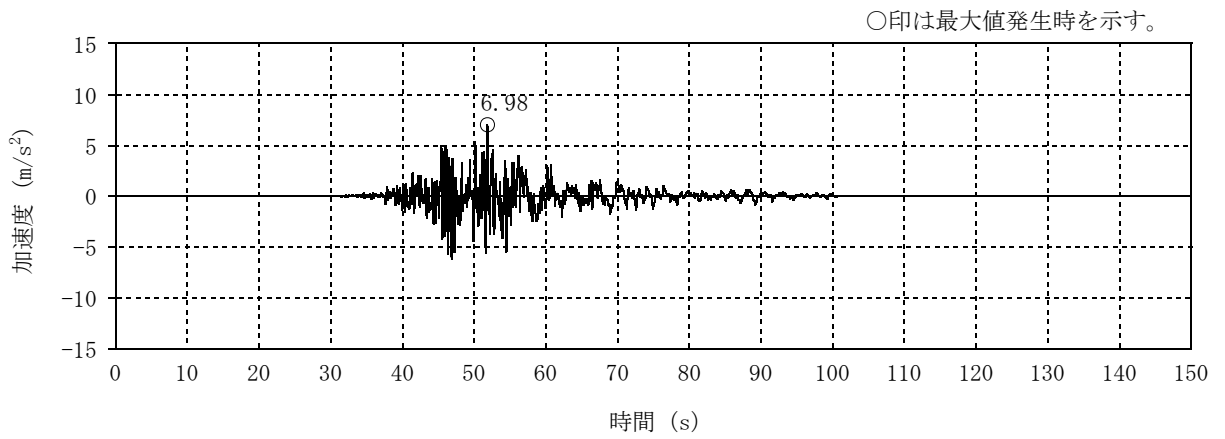


(b) S_s-2EW

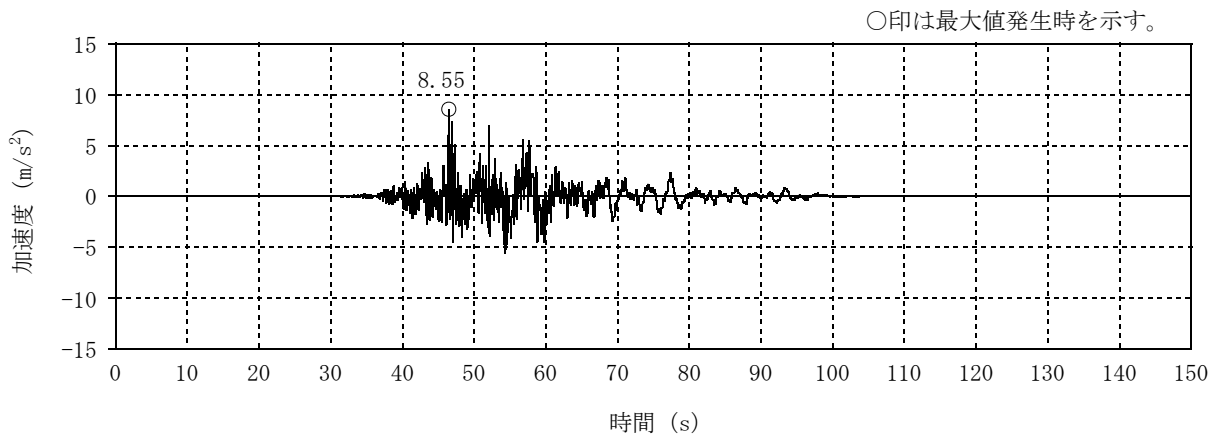


(c) S_s-3EW

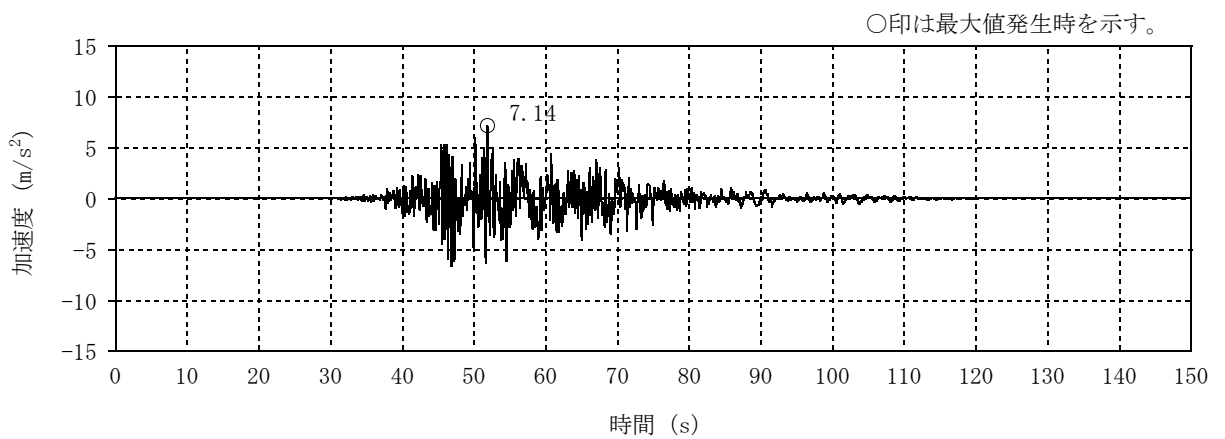
図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向並進成分) (1/3)



(d) S_s-4EW

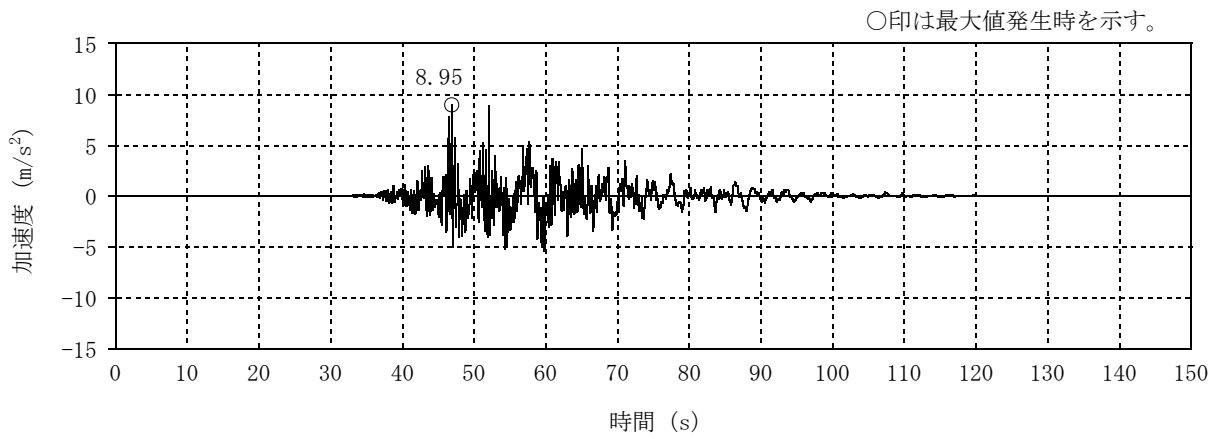


(e) S_s-5EW

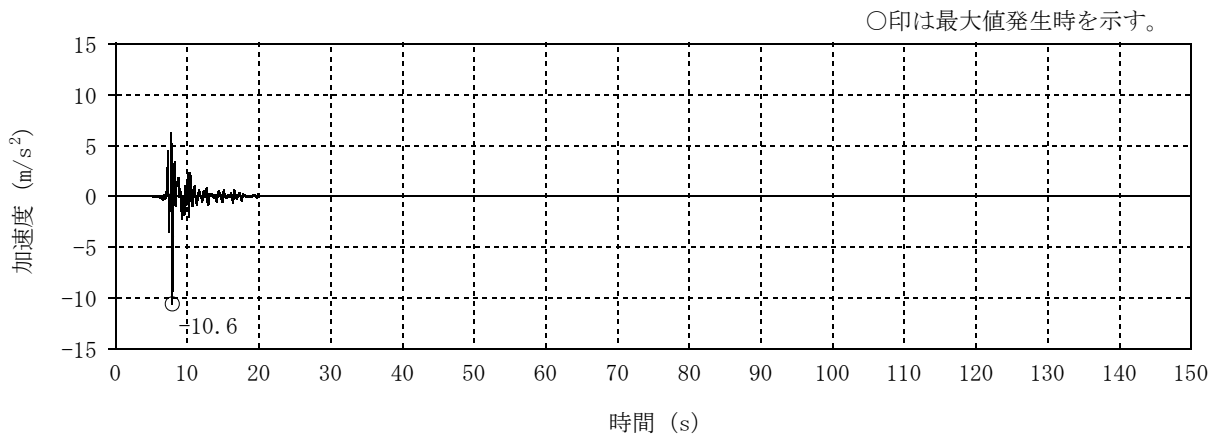


(f) S_s-6EW

図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形（基準地震動 S_s，EW 方向並進成分）（2/3）

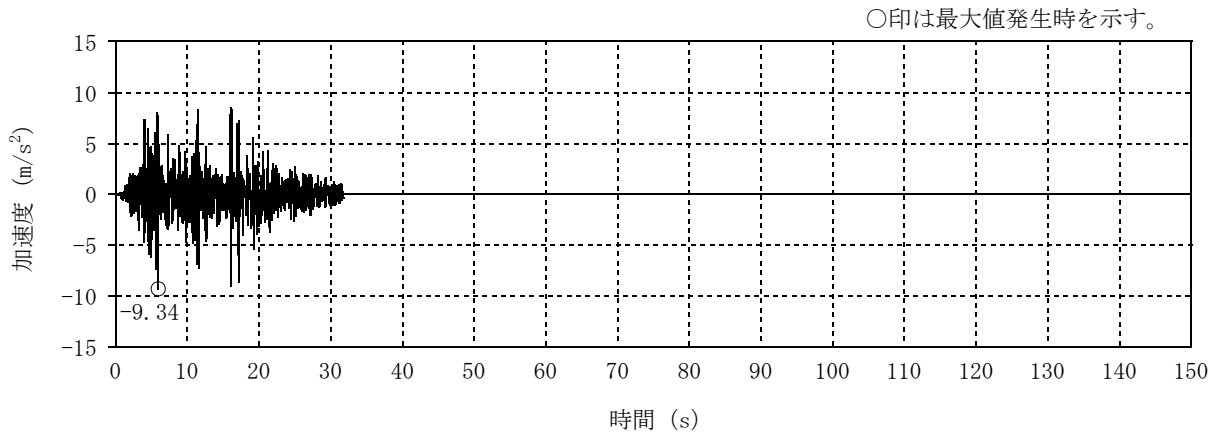


(g) Ss-7EW

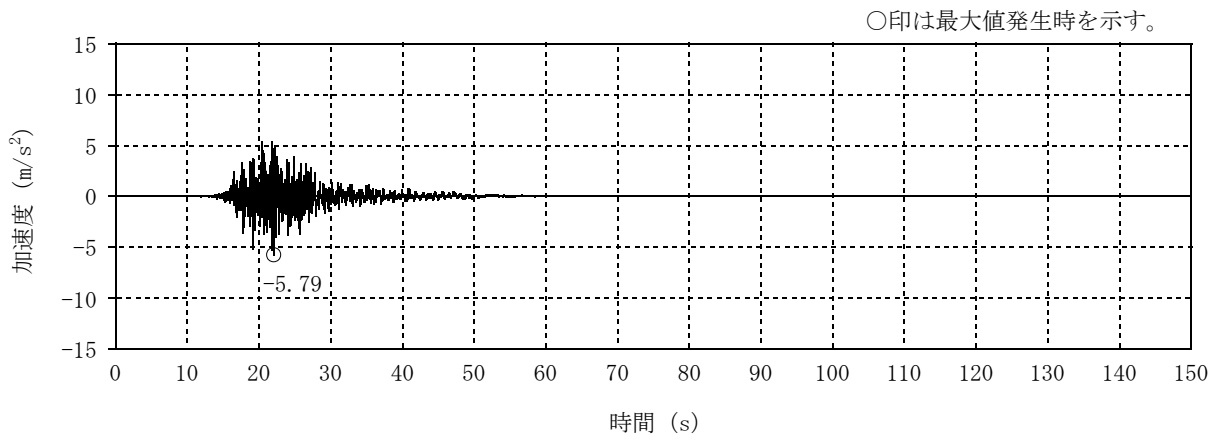


(h) Ss-8EW

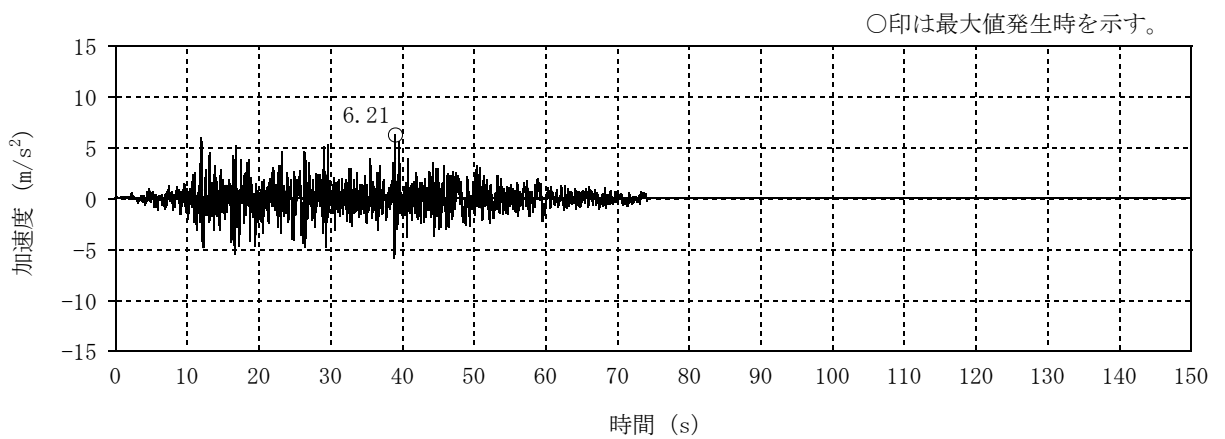
図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , EW 方向並進成分) (3/3)



(a) S_s-1UD

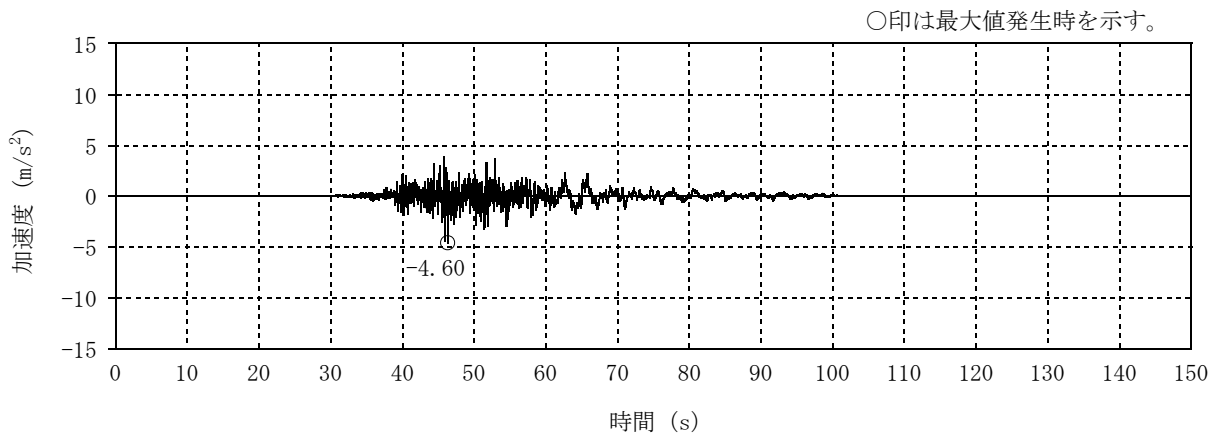


(b) S_s-2UD (誘発上下動考慮)

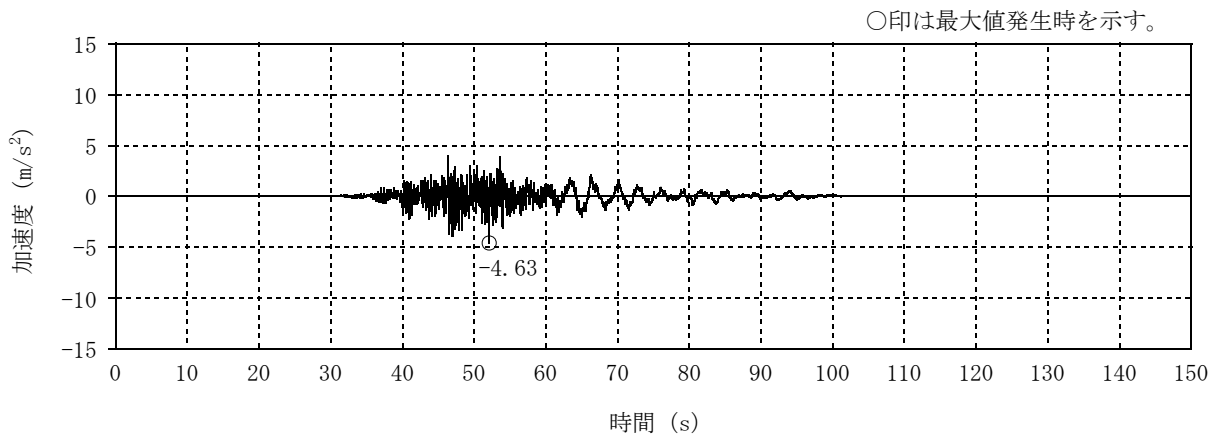


(c) S_s-3UD

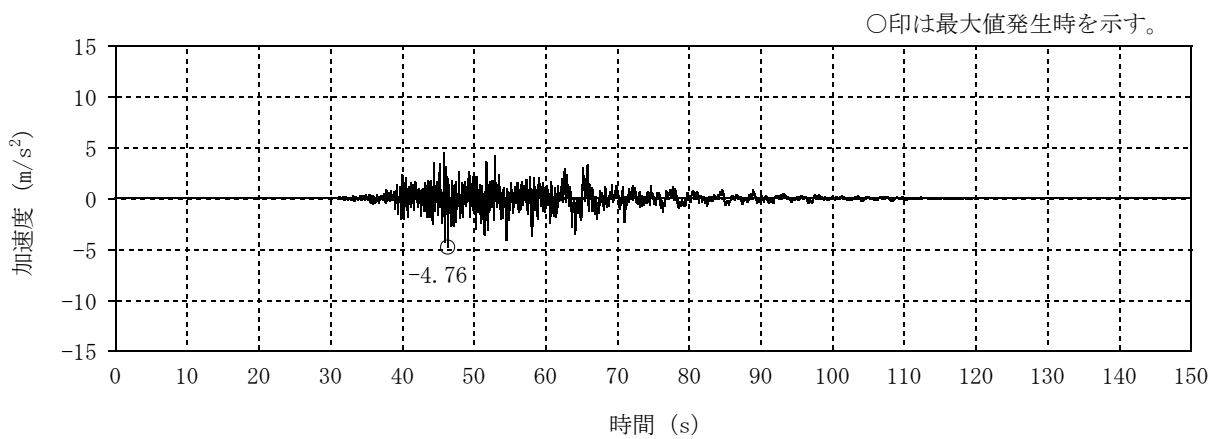
図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S_s-4UD

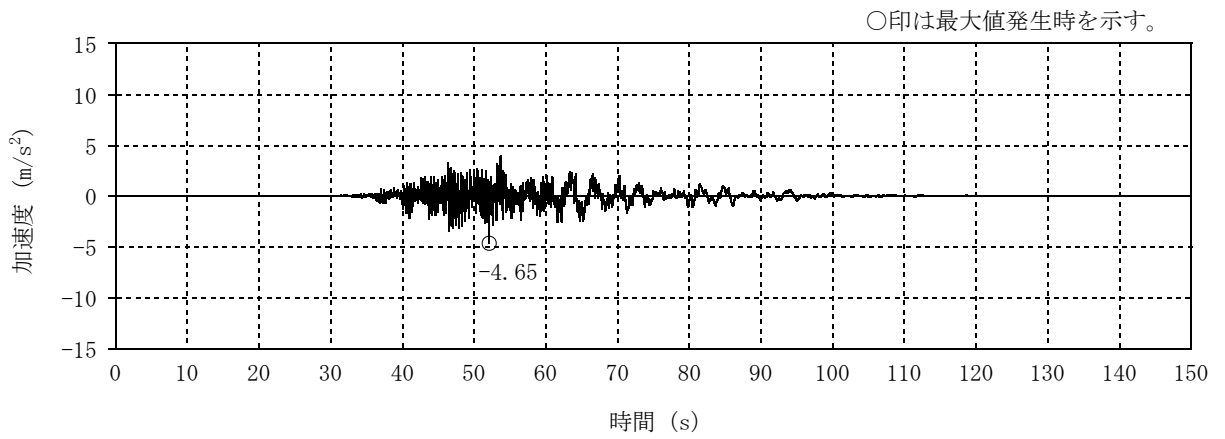


(e) S_s-5UD

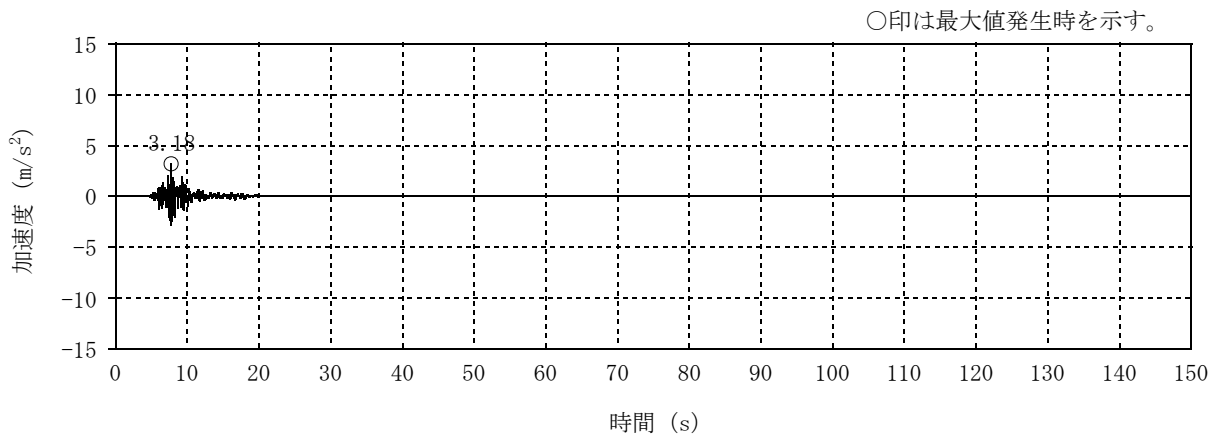


(f) S_s-6UD

図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (2/3)

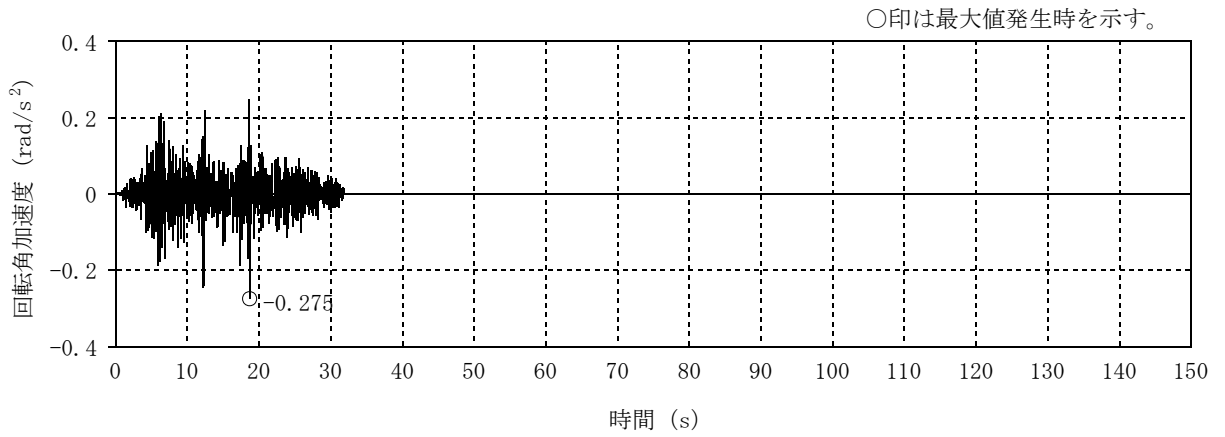


(g) Ss-7UD

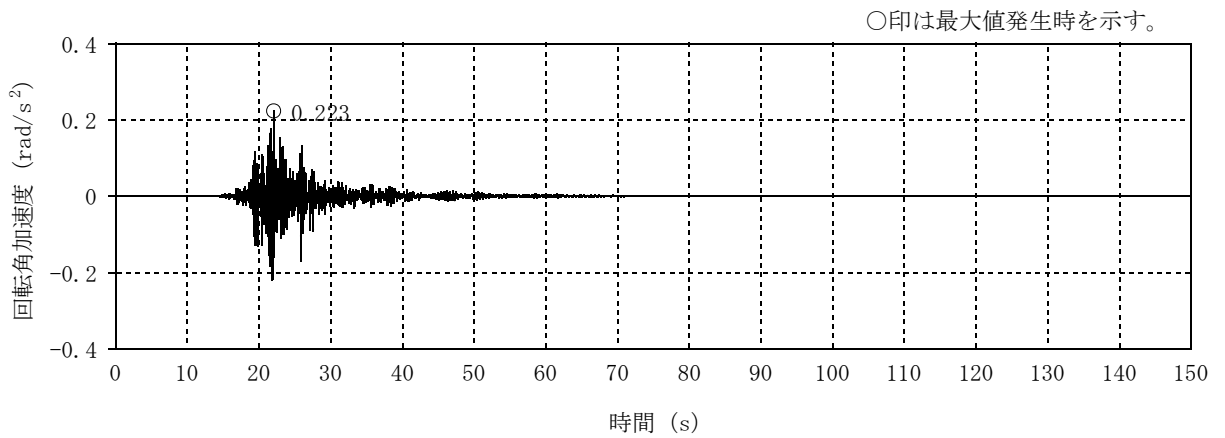


(h) Ss-8UD

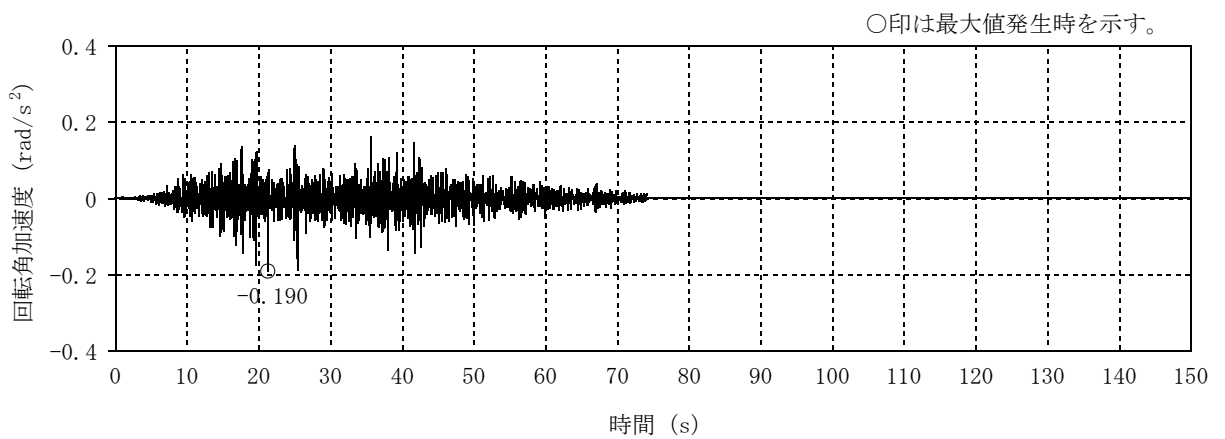
図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (3/3)



(a) Ss-1NS

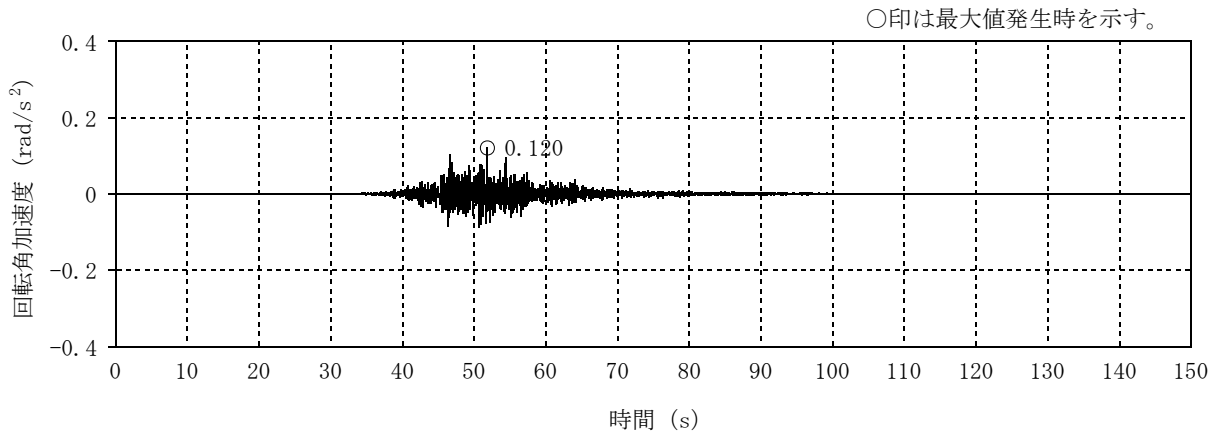


(b) Ss-2NS

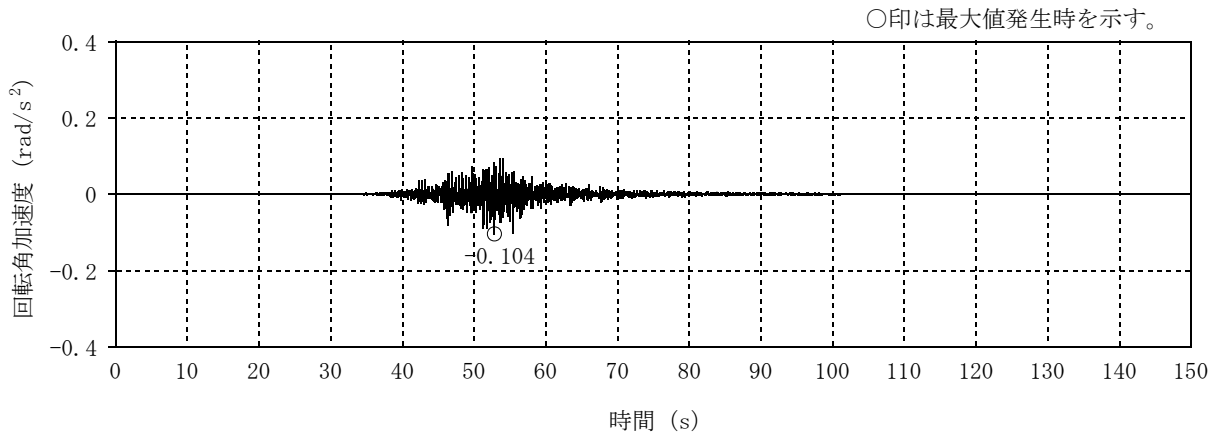


(c) Ss-3NS

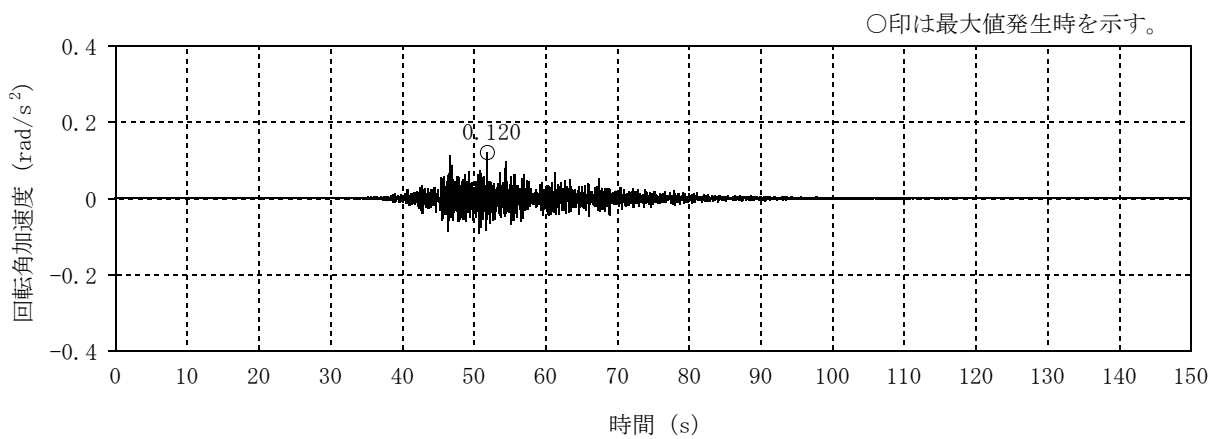
図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向回転成分) (1/3)



(d) S_s-4NS

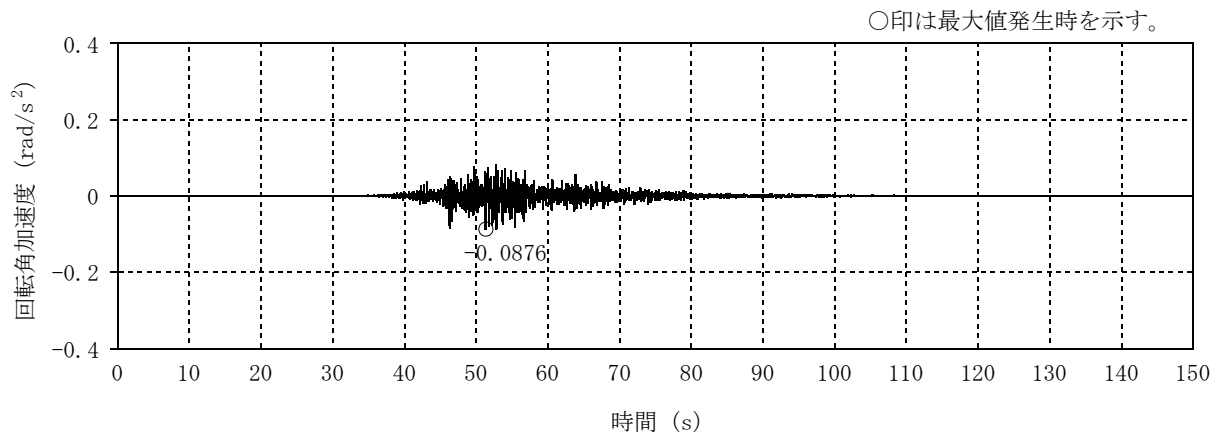


(e) S_s-5NS

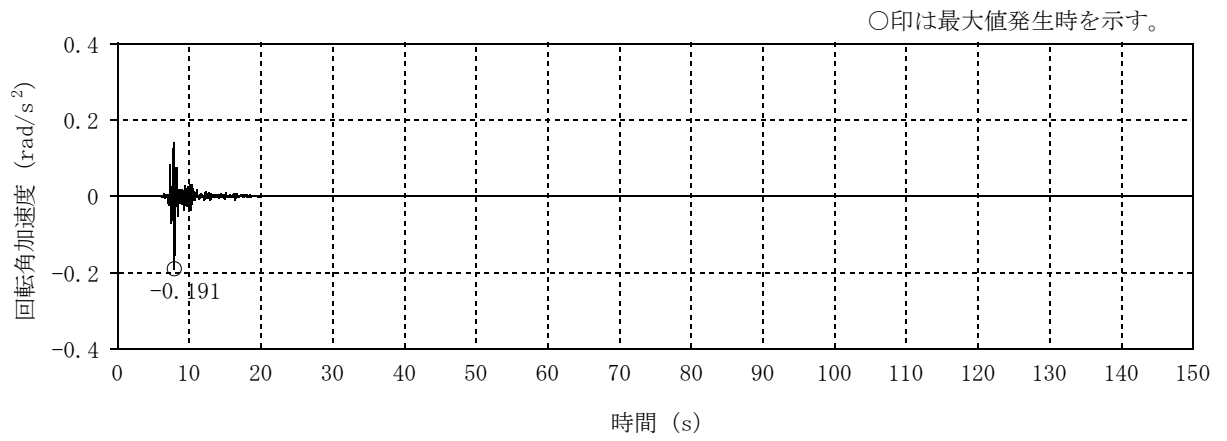


(f) S_s-6NS

図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向回転成分) (2/3)

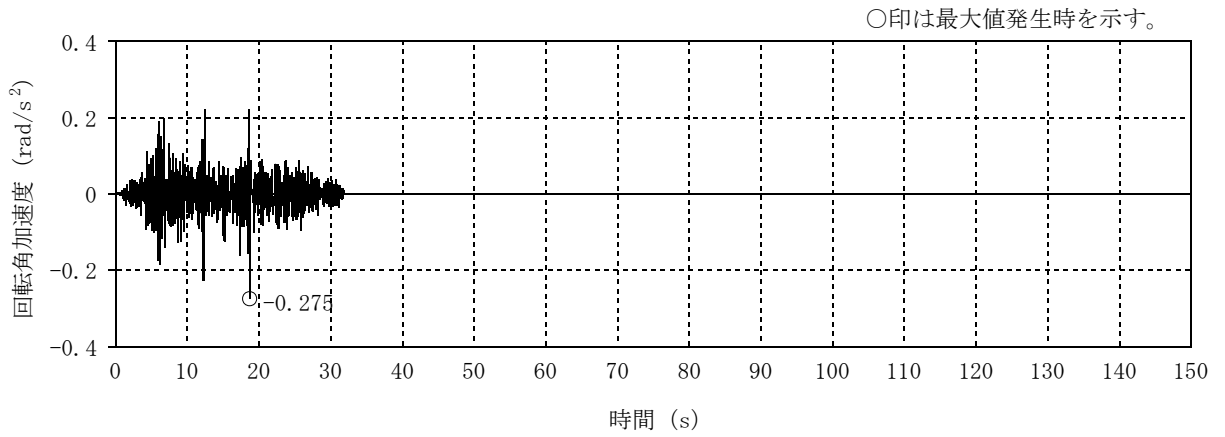


(g) Ss-7NS

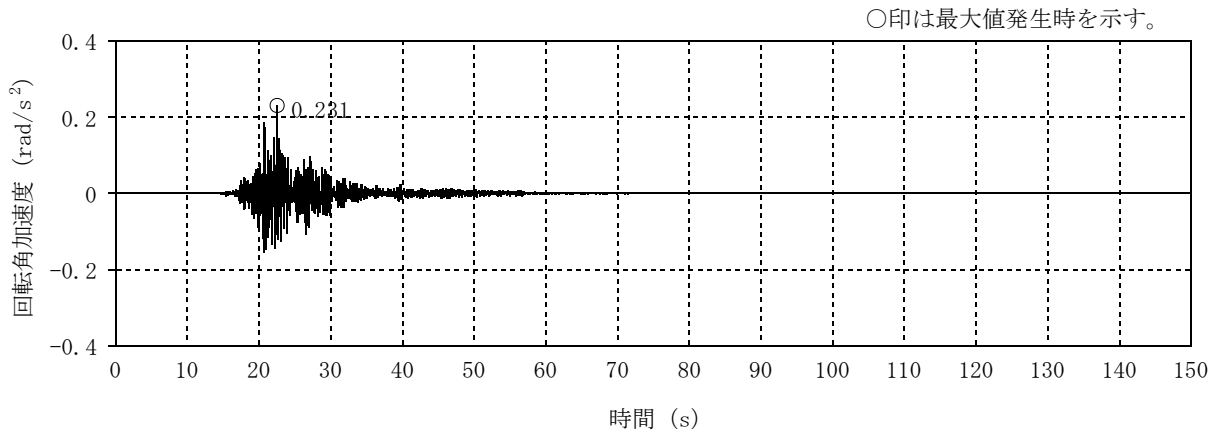


(h) Ss-8NS

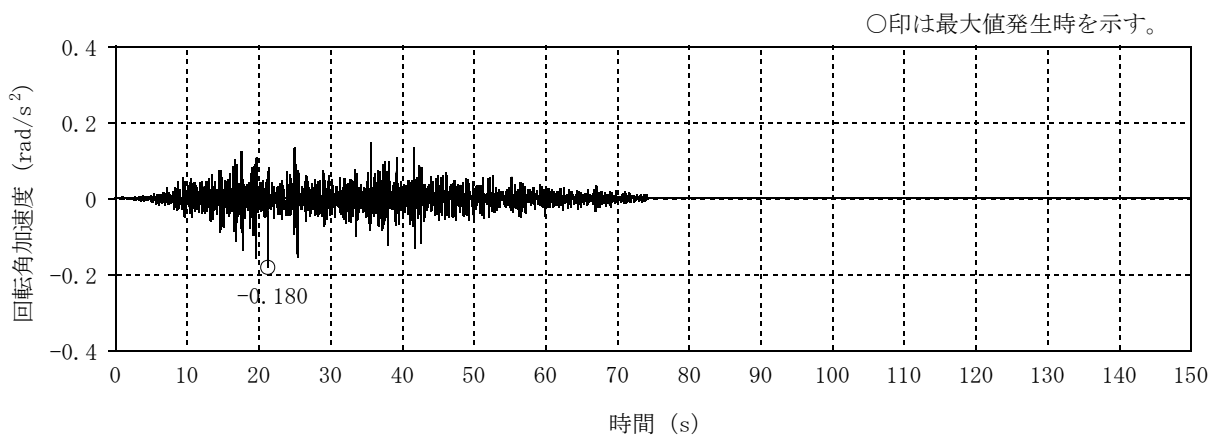
図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , NS 方向回転成分) (3/3)



(a) S_s-1EW

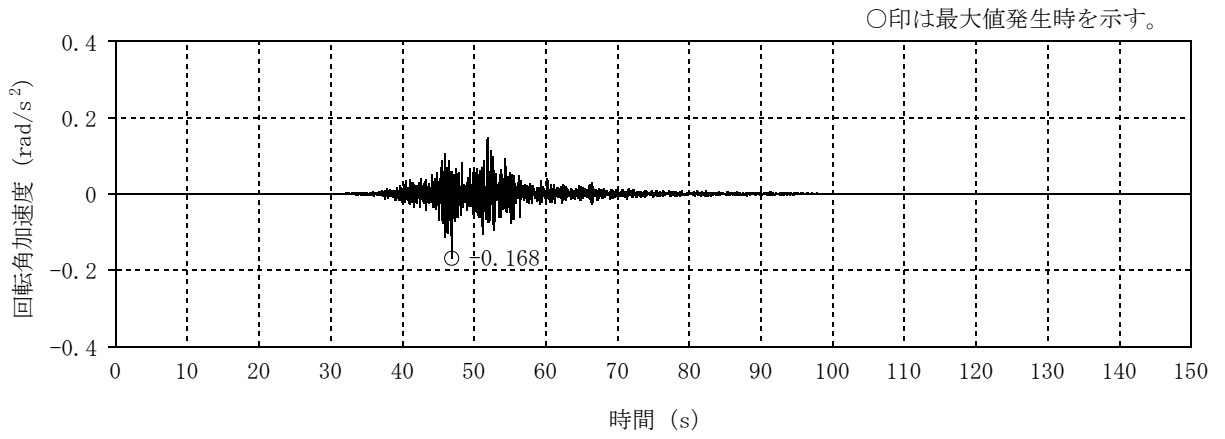


(b) S_s-2EW

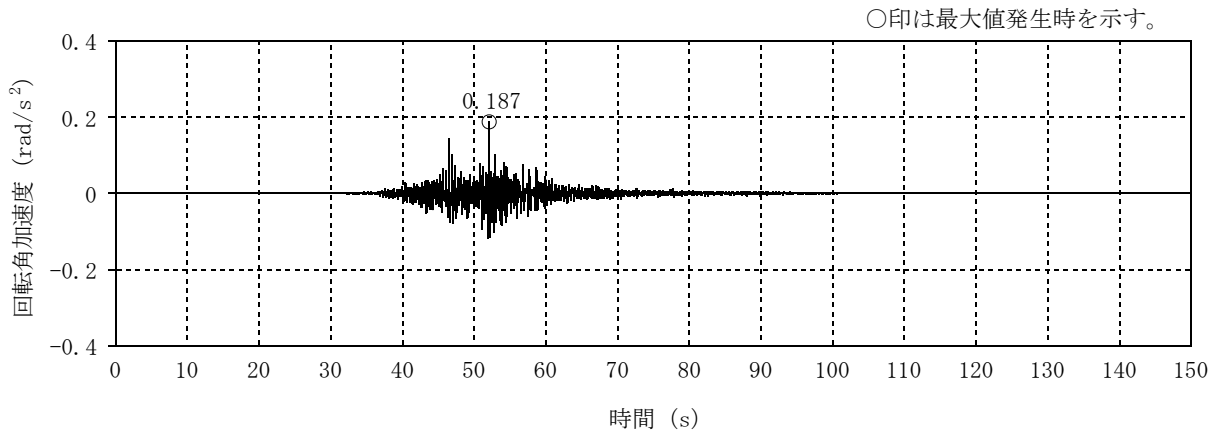


(c) S_s-3EW

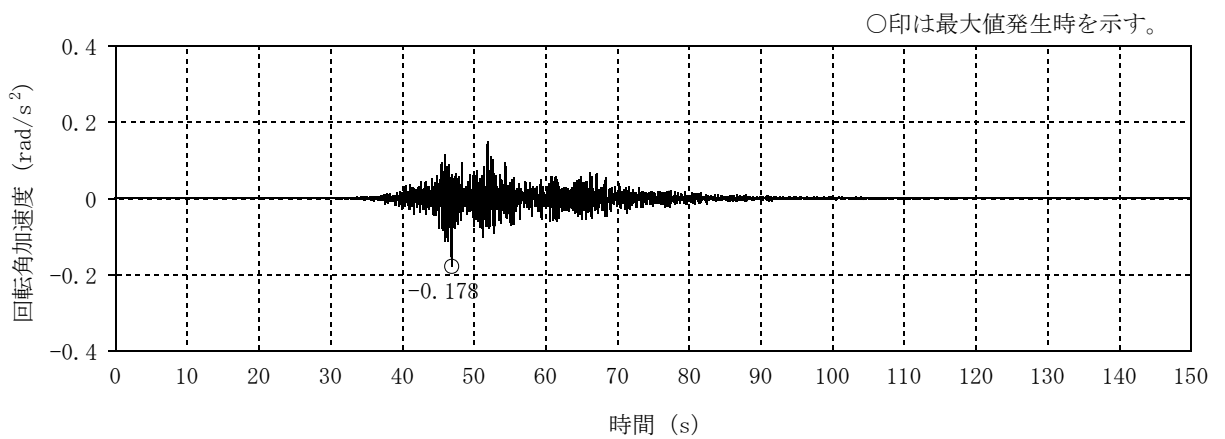
図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向回転成分) (1/3)



(d) S_s-4EW

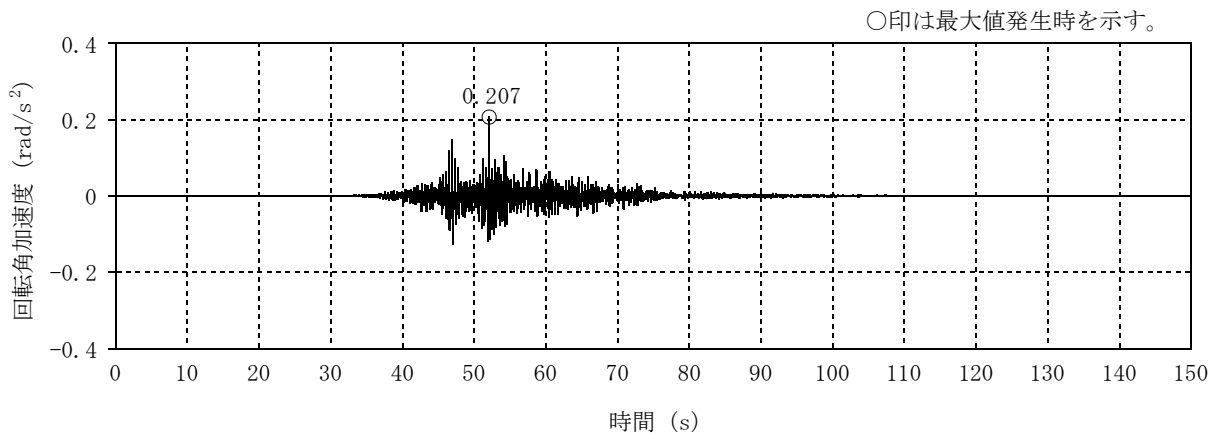


(e) S_s-5EW

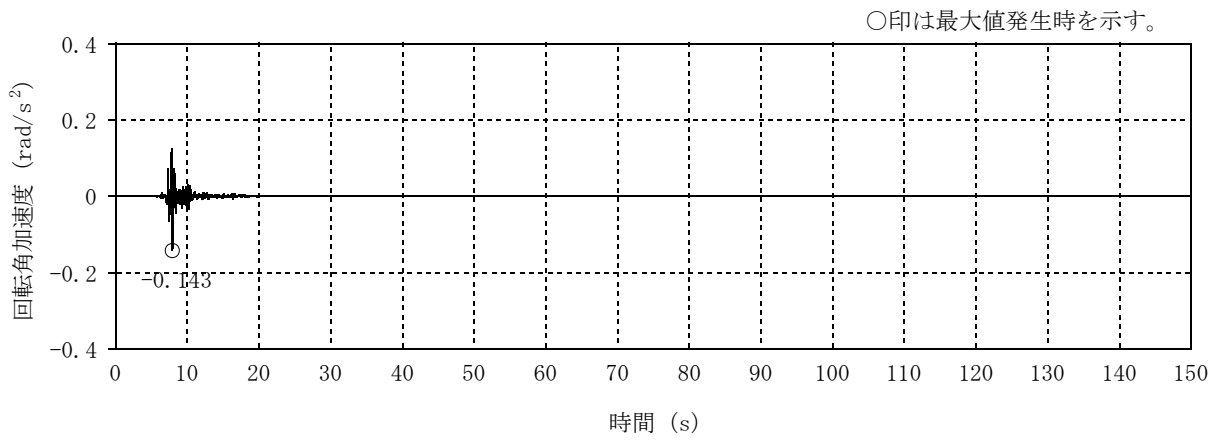


(f) S_s-6EW

図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向回転成分) (2/3)



(g) Ss-7EW



(h) Ss-8EW

図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向回転成分) (3/3)

2.2 建屋応答の不確かさ等

原子炉建屋の地震応答解析における基本ケースの応答値を用いた解析を基本ケースとし、建屋応答の不確かさを考慮する。建屋応答の不確かさを考慮した地震応答解析は、主排気筒応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる基準地震動 S_s に対して実施することとする。

建屋応答の不確かさを考慮する解析ケースを表 2-2 に示す。

表 2-2 建屋応答の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	回転ばね 定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (建屋剛性+ σ , 地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤+ σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	—
③ケース 3 (建屋剛性- σ , 地盤剛性- σ)	実強度- σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤- σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	—
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑤ケース 5 (建屋剛性- 2σ)	実強度- 2σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	—

3. 応答解析の結果

本資料においては、代表として基本ケースの地震応答解析結果を示す。

3.1 固有値解析結果

図 1-4 に示す解析モデルについて固有値解析を行い、その結果を表 3-1 に、固有モードを図 3-1 に示す。

3.2 地震応答解析結果

各質点位置での最大応答値を図 3-2～図 3-33 に示す。また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表 3-2 に示す。

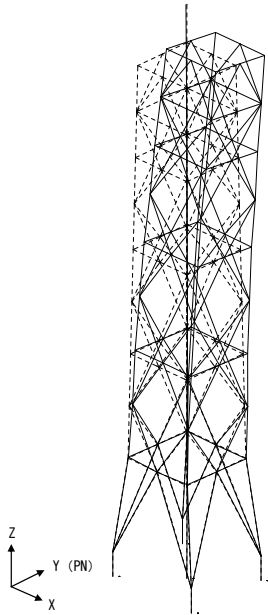
なお、地震応答解析結果のうち、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は仕様における許容値以下である。

表 3-1 固有値解析結果

方向	固有モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
				X (EW方向)	Y (NS方向)	Z (鉛直方向)
NS	筒身1次	1.20	0.832	0.000	-1.566	0.000
	筒身2次	7.73	0.129	0.000	-1.434	0.000
	鉄塔1次	3.65	0.274	0.000	1.565	0.000
	鉄塔2次	10.99	0.091	0.000	0.843	0.000
EW	筒身1次	1.21	0.828	1.543	0.000	0.000
	筒身2次	7.85	0.127	1.378	0.000	0.000
	鉄塔1次	3.67	0.272	1.525	0.000	0.000
	鉄塔2次	11.32	0.088	-0.869	0.000	0.001
鉛直	筒身1次	20.23	0.049	-0.007	0.000	-1.613
	鉄塔1次	20.39	0.049	0.000	0.000	-1.266

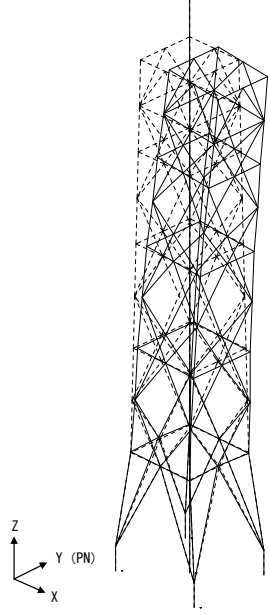
注：刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

固有周期 0.274 s
固有振動数 3.65 Hz
刺激係数 1.565



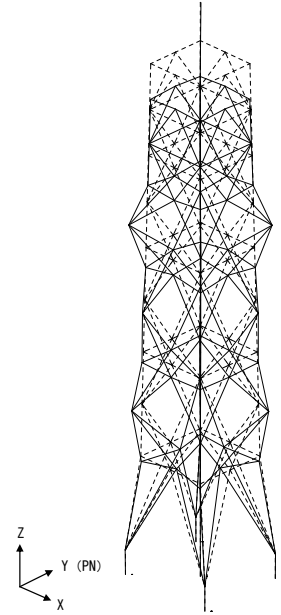
鉄塔 NS 方向 1 次

固有周期 0.272 s
固有振動数 3.67 Hz
刺激係数 1.525



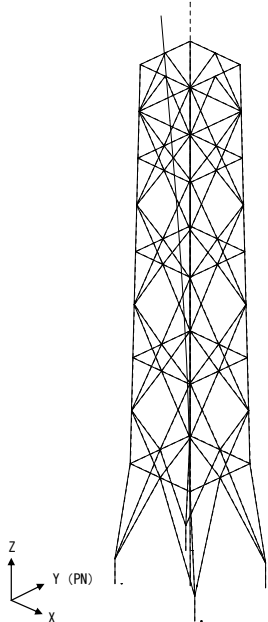
鉄塔 EW 方向 1 次

固有周期 0.049 s
固有振動数 20.23 Hz
刺激係数 -1.613



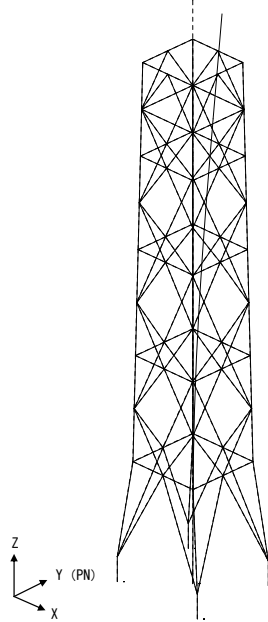
鉄塔鉛直方向 1 次

固有周期 0.832 s
固有振動数 1.20 Hz
刺激係数 -1.566



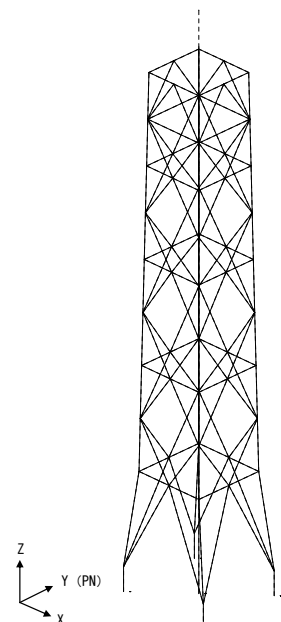
筒身 NS 方向 1 次

固有周期 0.828 s
固有振動数 1.21 Hz
刺激係数 1.543



筒身 EW 方向 1 次

固有周期 0.049 s
固有振動数 20.39 Hz
刺激係数 -1.266



筒身鉛直方向 1 次

注：刺激係数は各方向の値のみ記載する。

図 3-1 固有モード

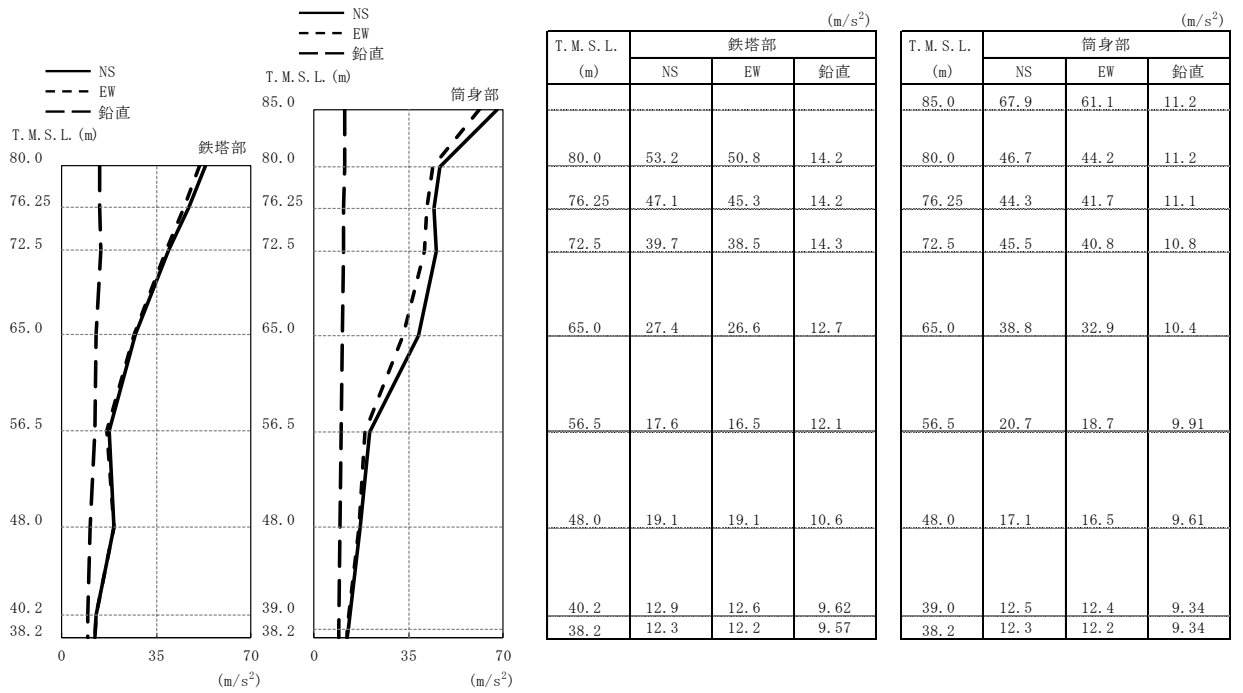


图 3-2 最大応答加速度 (Ss-1)

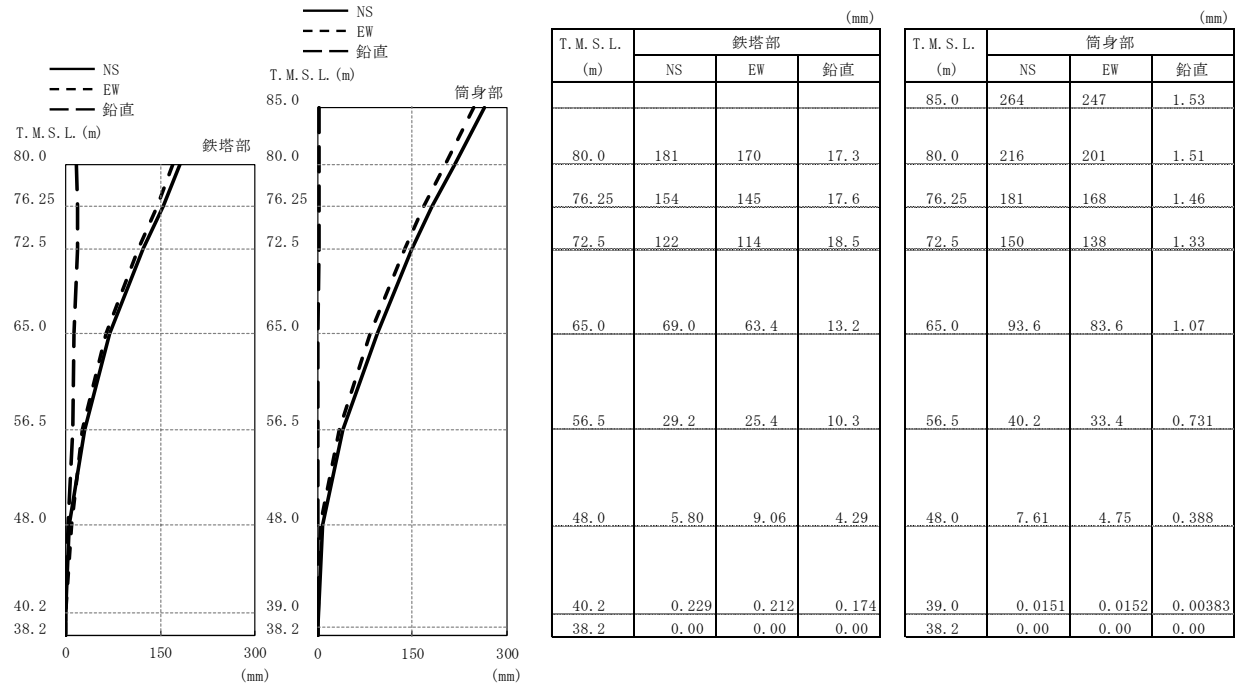
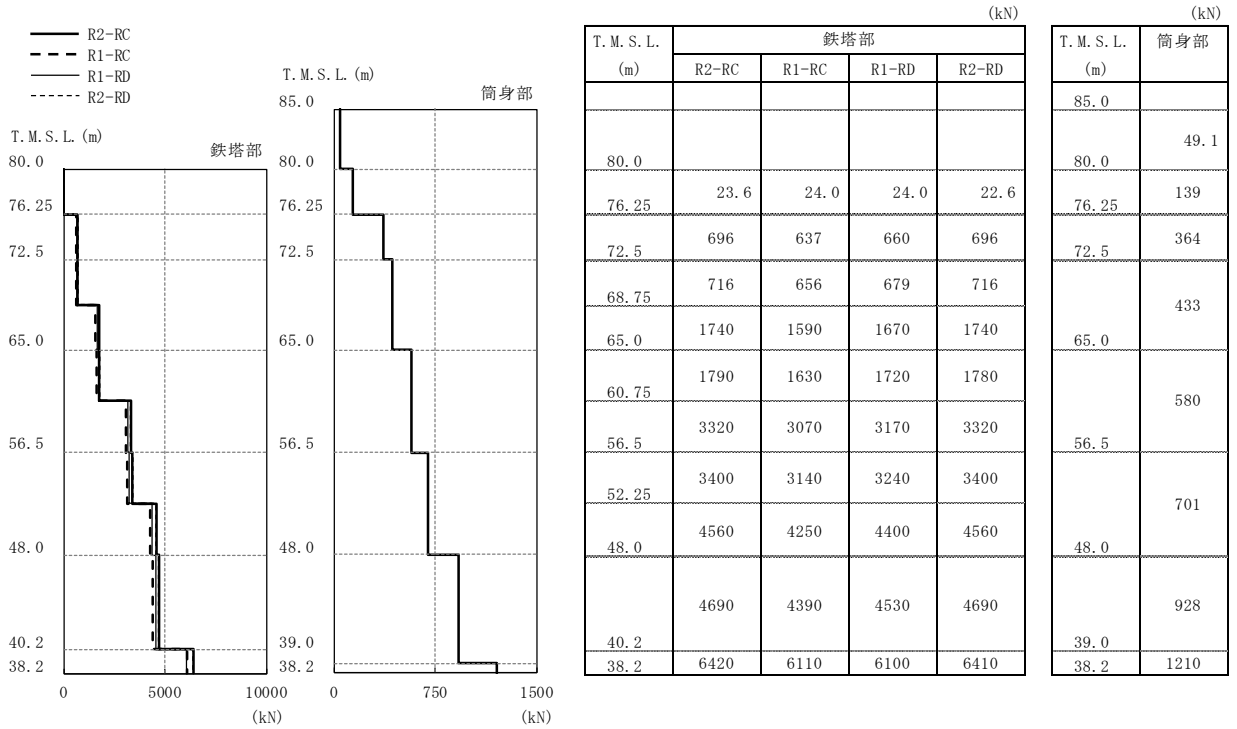
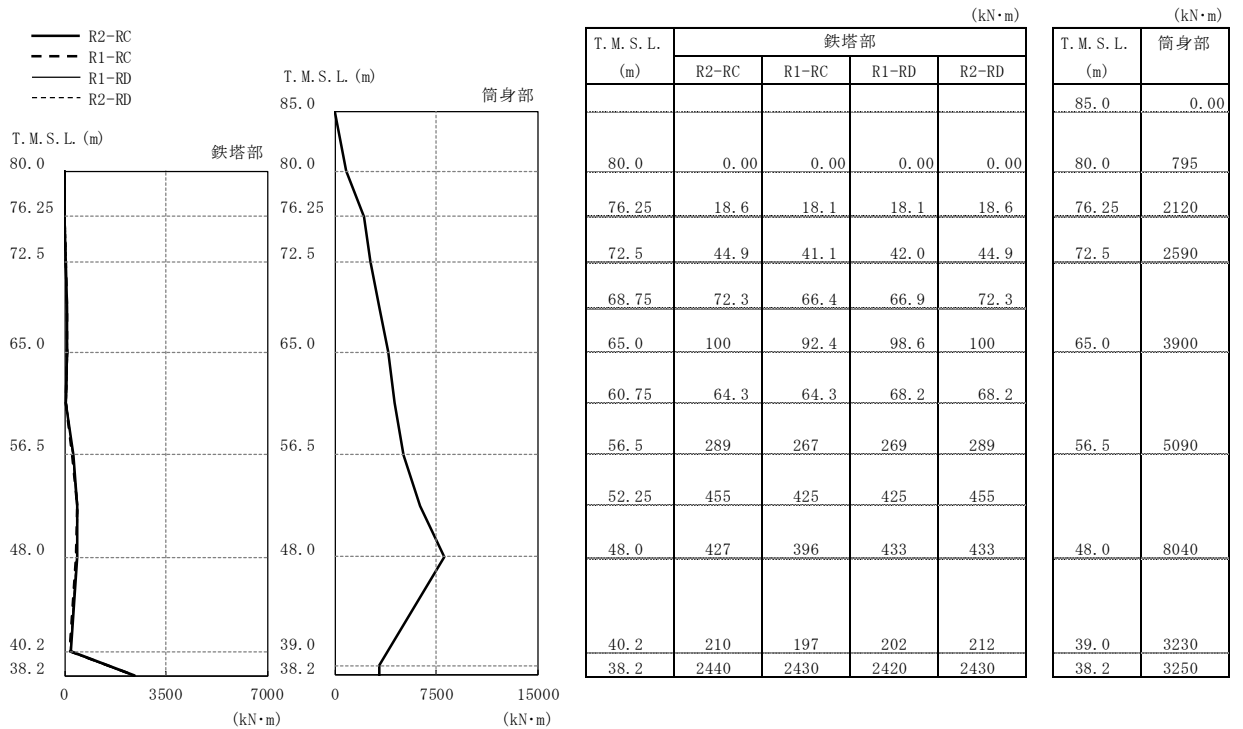


图 3-3 最大応答変位 (Ss-1)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-4 最大応答軸力 (Ss-1)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1)

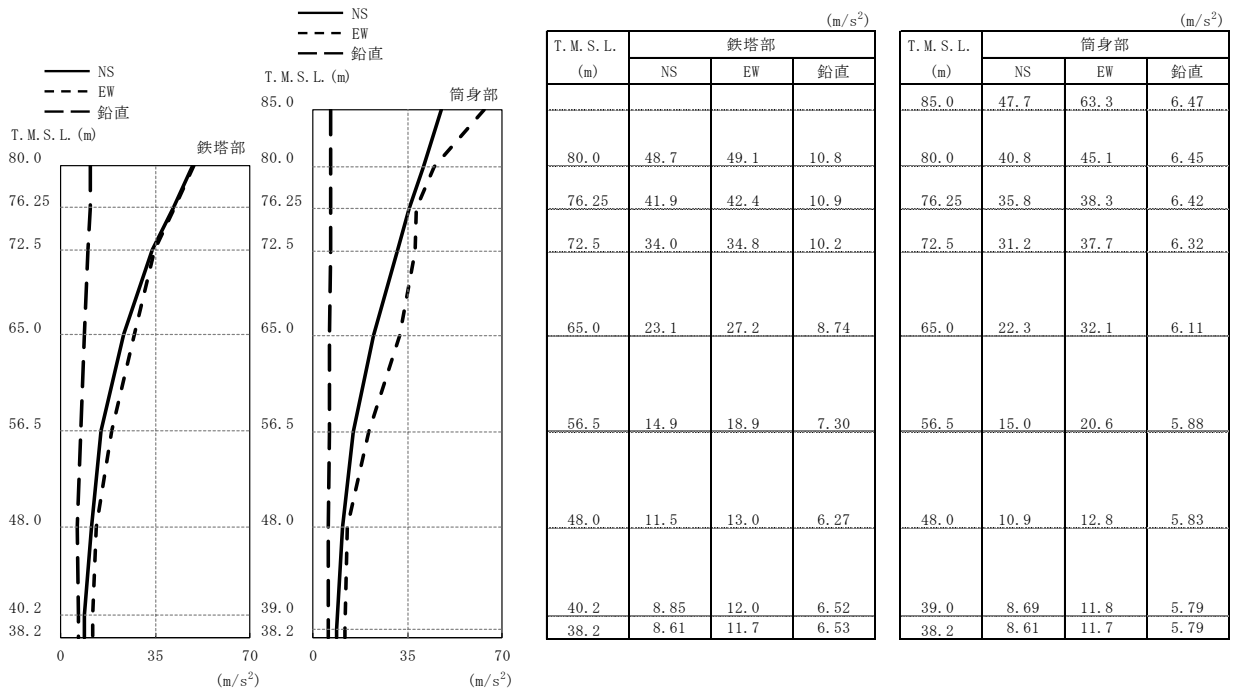


図 3-6 最大応答加速度 (Ss-2)

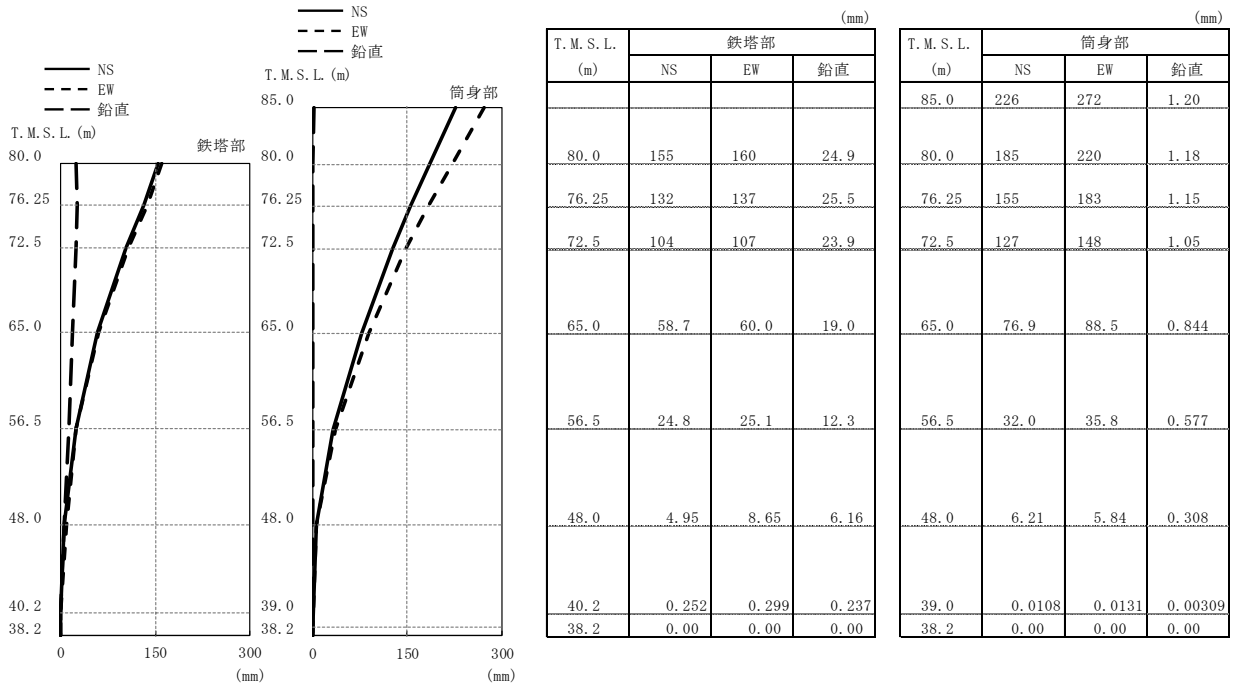
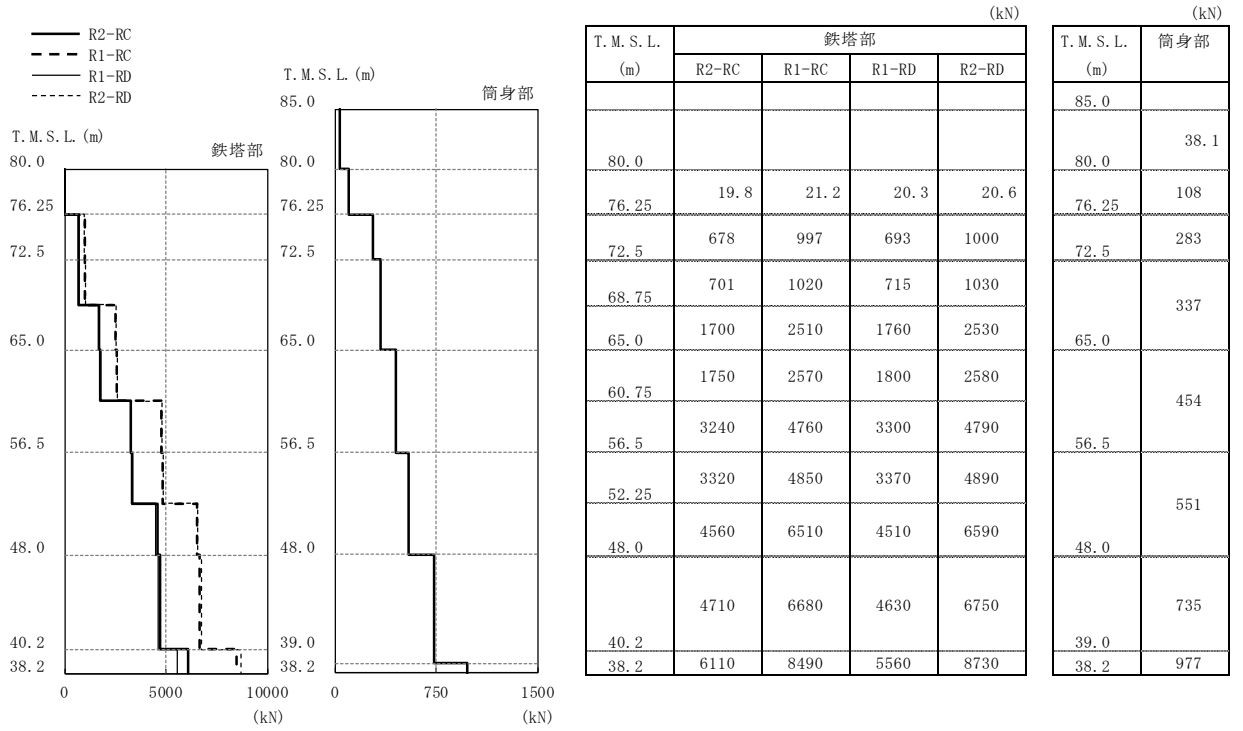
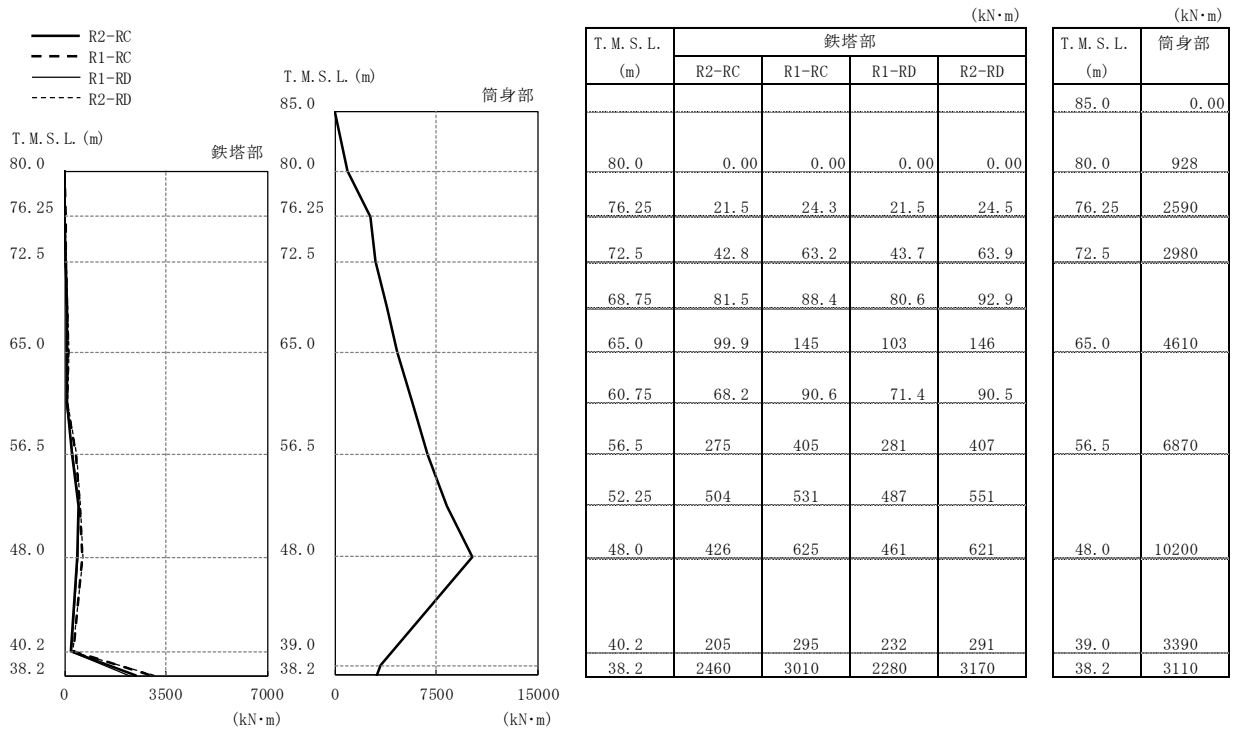


図 3-7 最大応答変位 (Ss-2)



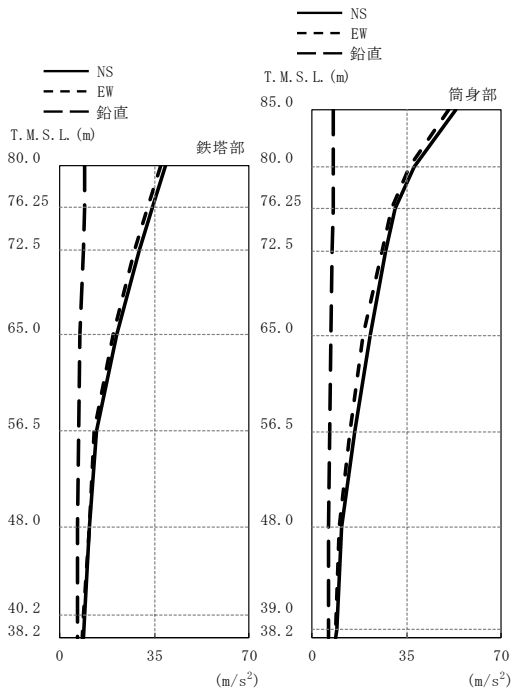
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-8 最大応答軸力 (Ss-2)



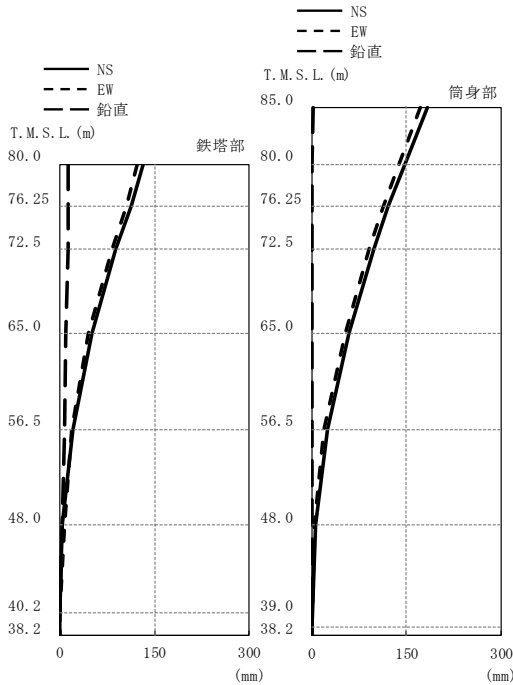
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-2)



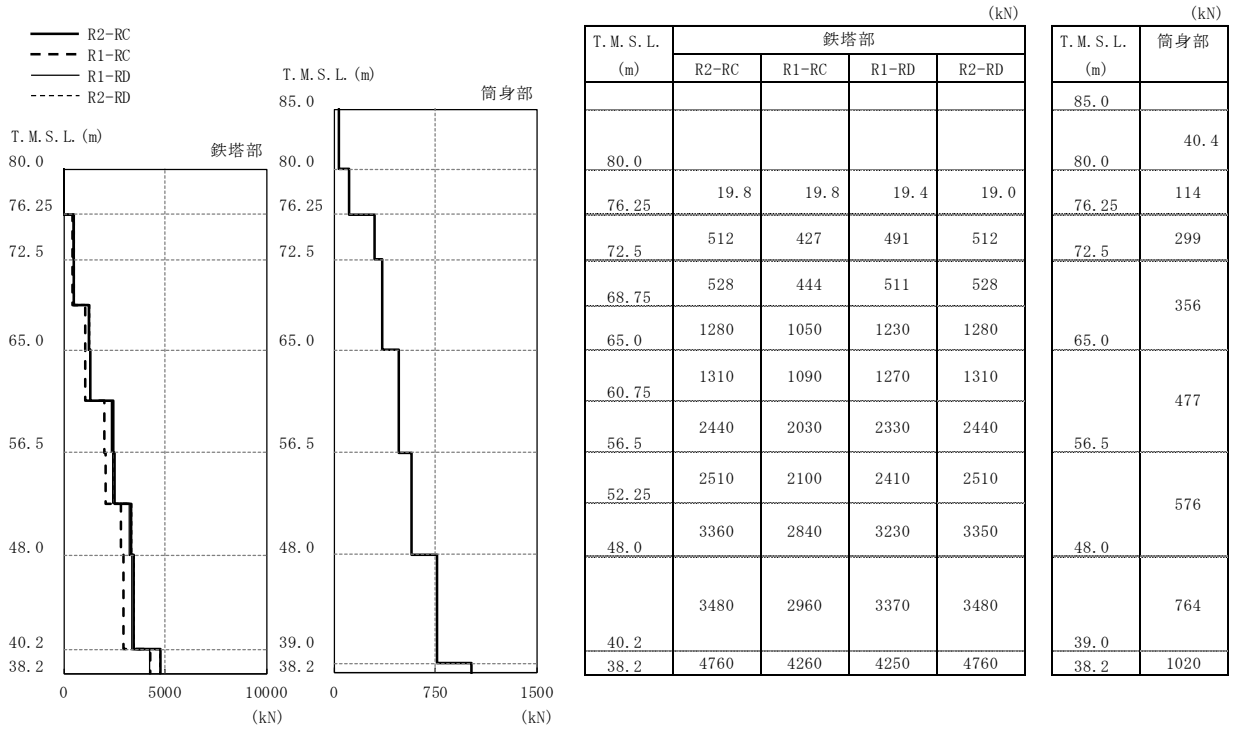
T. M. S. L. (m)	鉄塔部 (m/s ²)			筒身部 (m/s ²)		
	NS	EW	鉛直	NS	EW	鉛直
85.0				53.1	50.6	7.86
80.0	39.0	37.4	9.13	38.0	36.3	7.82
76.25	34.1	32.6	8.97	31.0	29.5	7.72
72.5	29.3	27.8	8.87	27.3	25.8	7.45
65.0	20.9	19.6	7.60	21.6	19.1	6.97
56.5	13.7	12.7	7.02	15.8	14.0	6.46
48.0	10.9	11.0	6.43	10.8	10.1	6.28
40.2	9.16	8.70	6.32	8.98	8.54	6.21
38.2	8.87	8.45	6.32	8.87	8.45	6.21

図 3-10 最大応答加速度 (Ss-3)



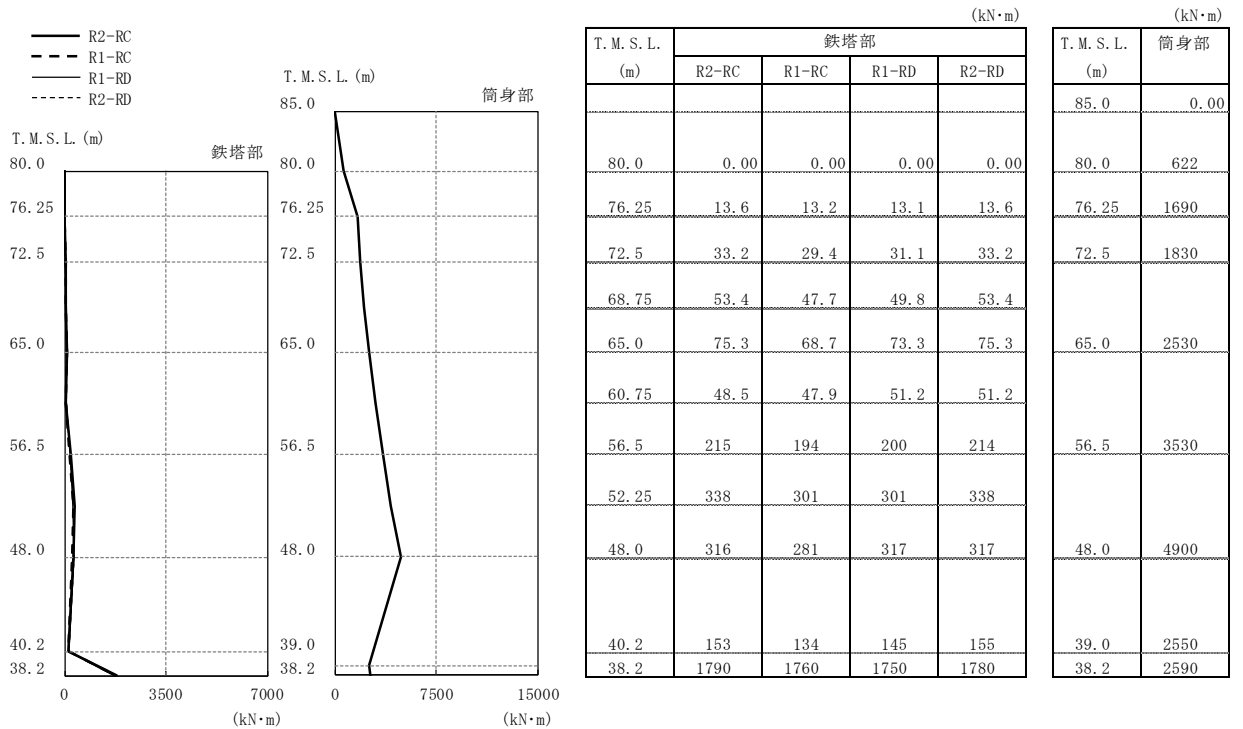
T. M. S. L. (m)	鉄塔部 (mm)			筒身部 (mm)		
	NS	EW	鉛直	NS	EW	鉛直
85.0				183	172	1.26
80.0	131	123	12.8	147	138	1.24
76.25	112	105	13.0	121	113	1.20
72.5	88.1	82.0	13.6	97.8	90.5	1.10
65.0	50.1	45.8	9.75	58.0	52.3	0.881
56.5	21.2	18.4	7.64	24.1	20.1	0.601
48.0	4.35	6.63	3.19	5.24	3.47	0.319
40.2	0.171	0.154	0.129	0.0103	0.00998	0.00321
38.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図 3-11 最大応答変位 (Ss-3)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-12 最大応答軸力 (Ss-3)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-13 最大応答曲げモーメント (Ss-3)

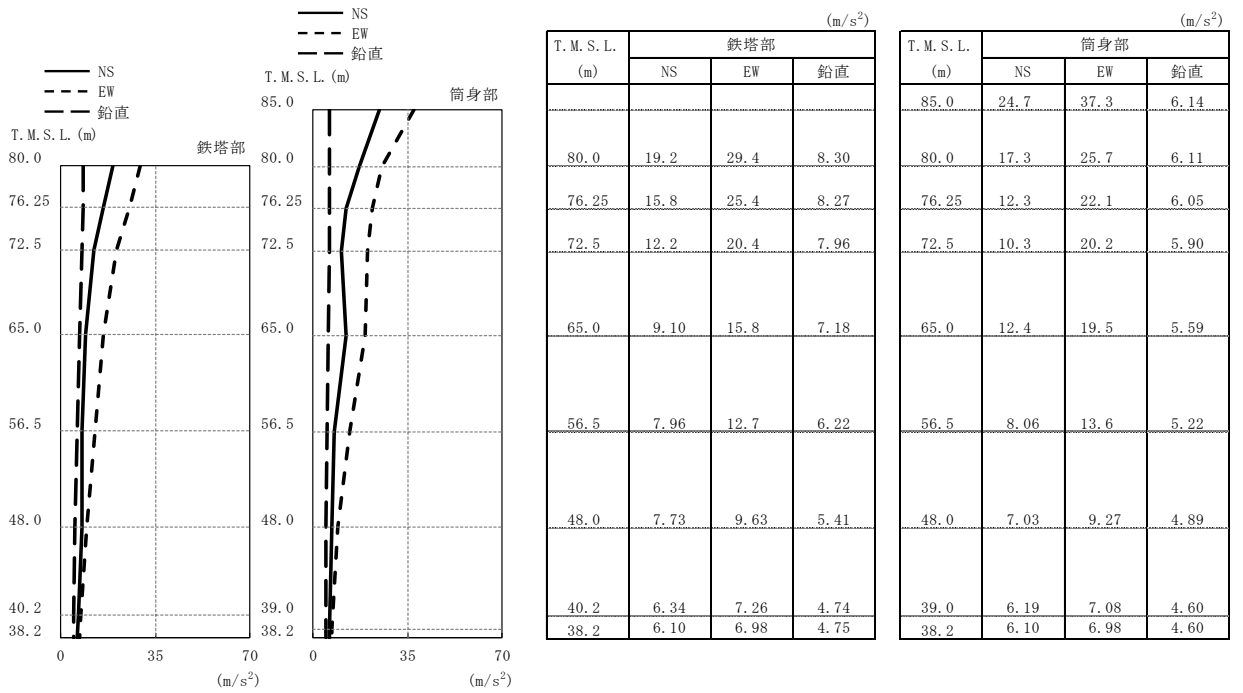


图 3-14 最大応答加速度 (Ss-4)

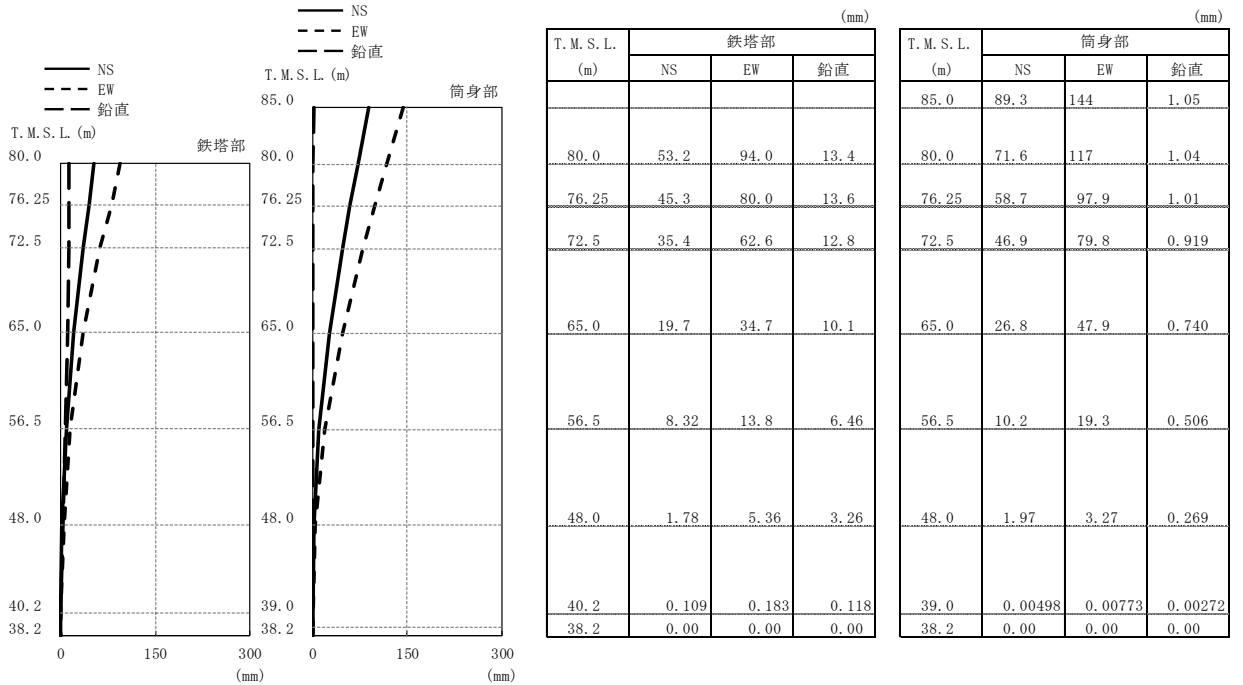
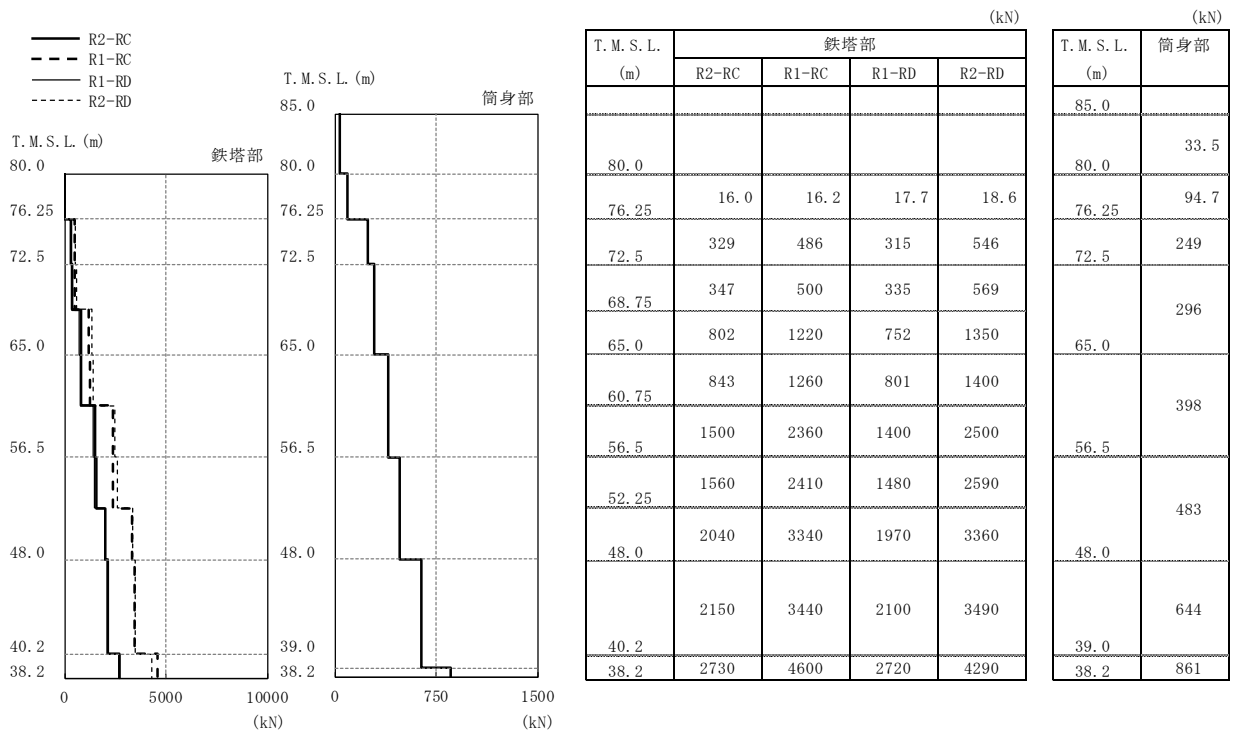
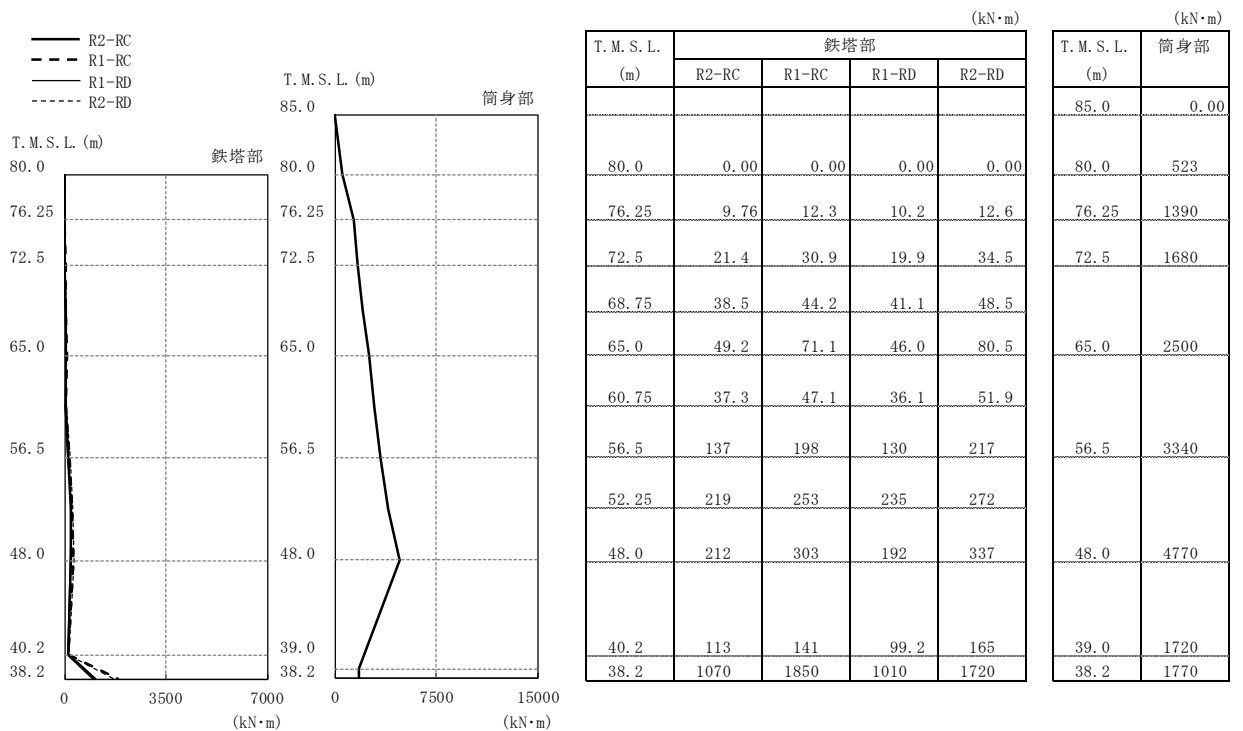


图 3-15 最大応答変位 (Ss-4)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-16 最大応答軸力 (Ss-4)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-17 最大応答曲げモーメント (Ss-4)

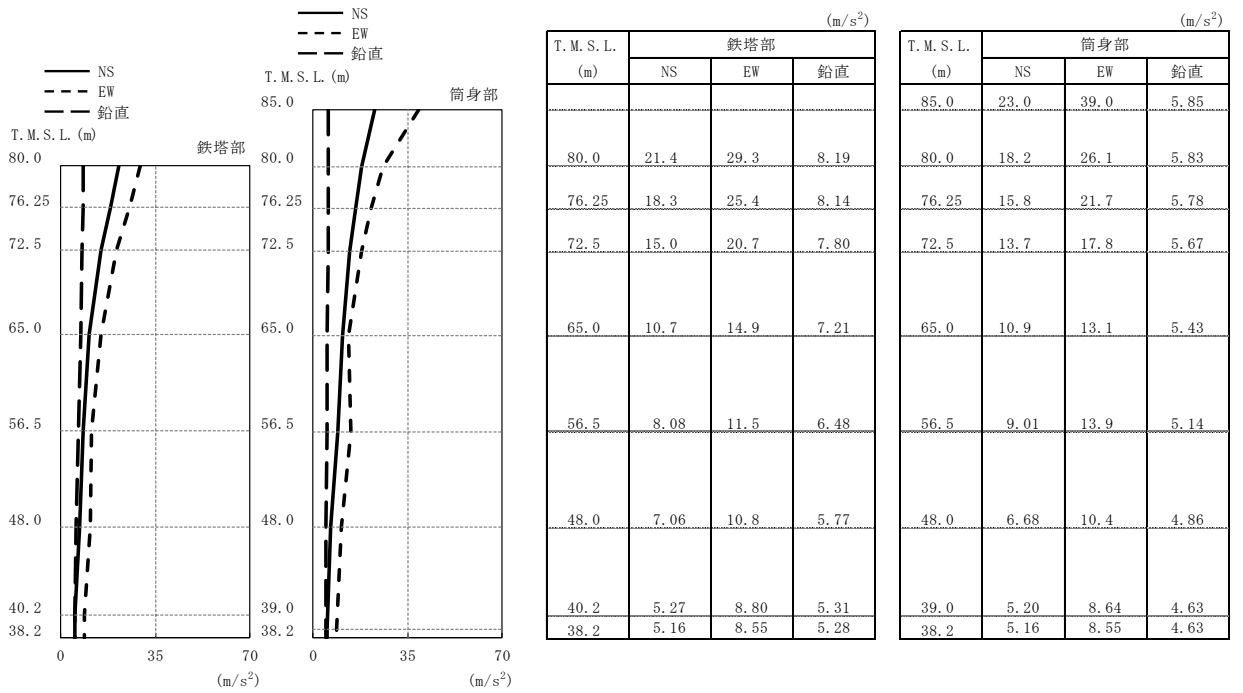


図 3-18 最大応答加速度 (Ss-5)

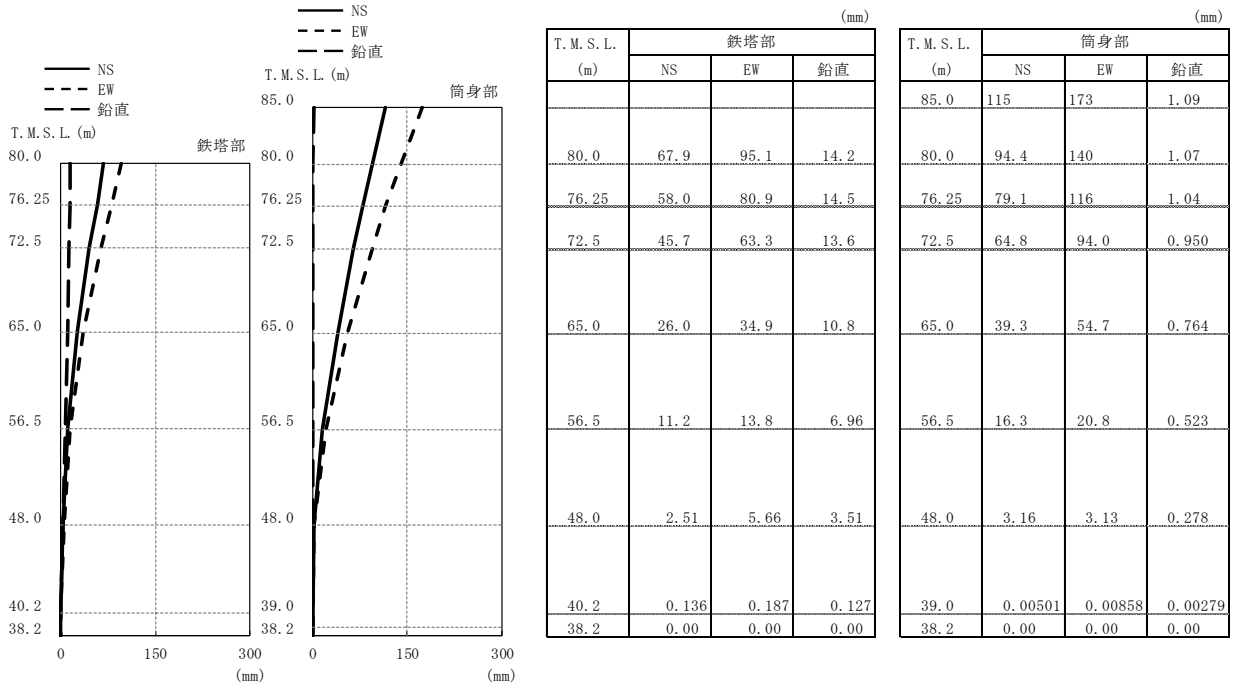
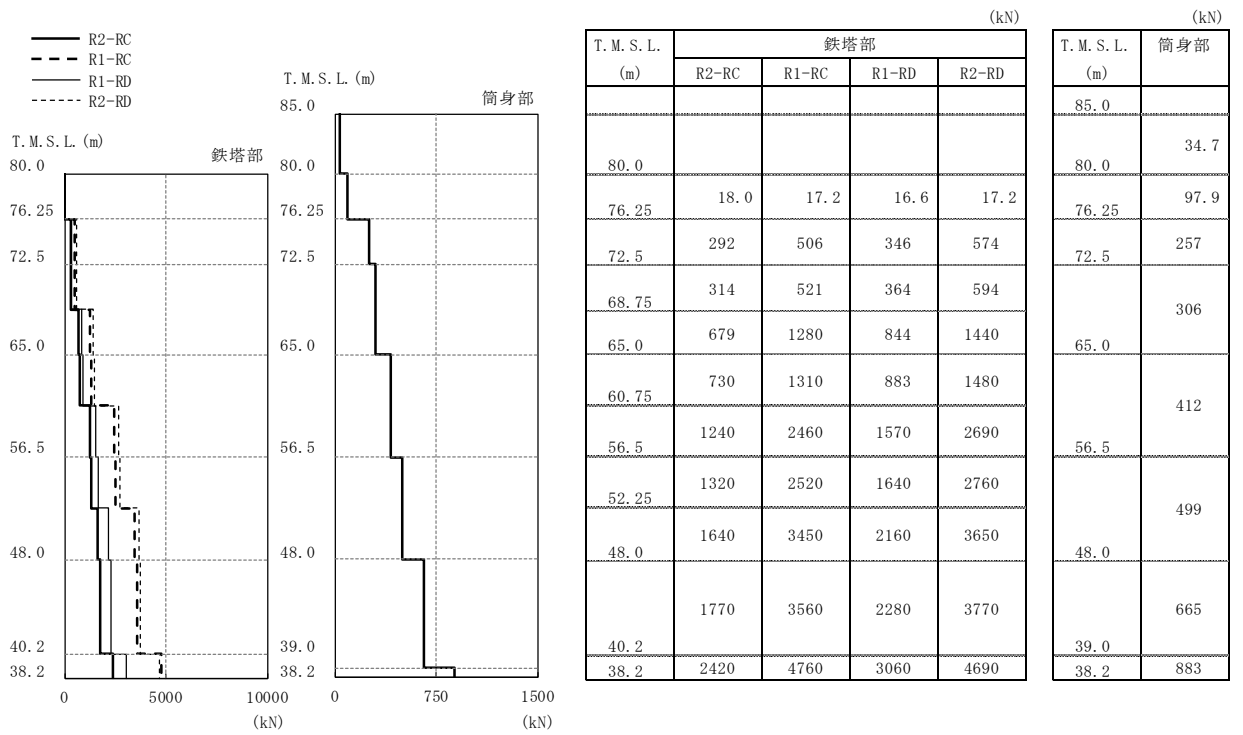
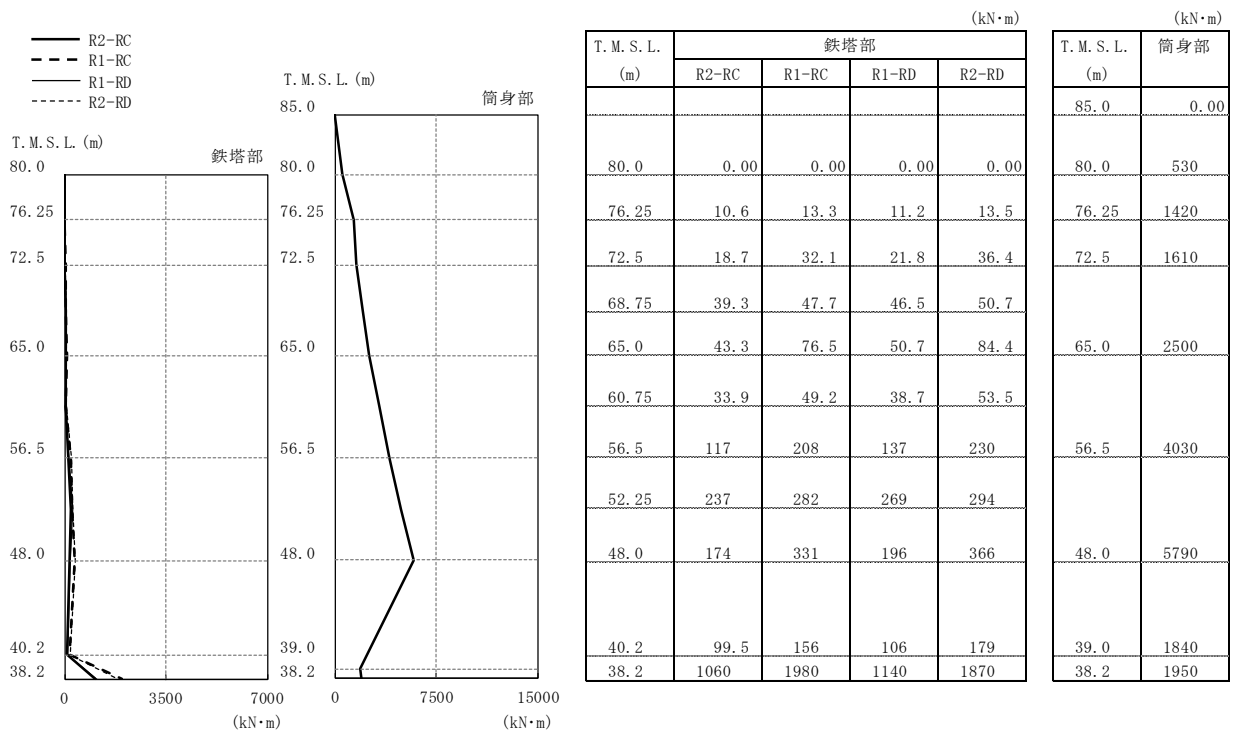


図 3-19 最大応答変位 (Ss-5)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-20 最大応答軸力 (Ss-5)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-21 最大応答曲げモーメント (Ss-5)

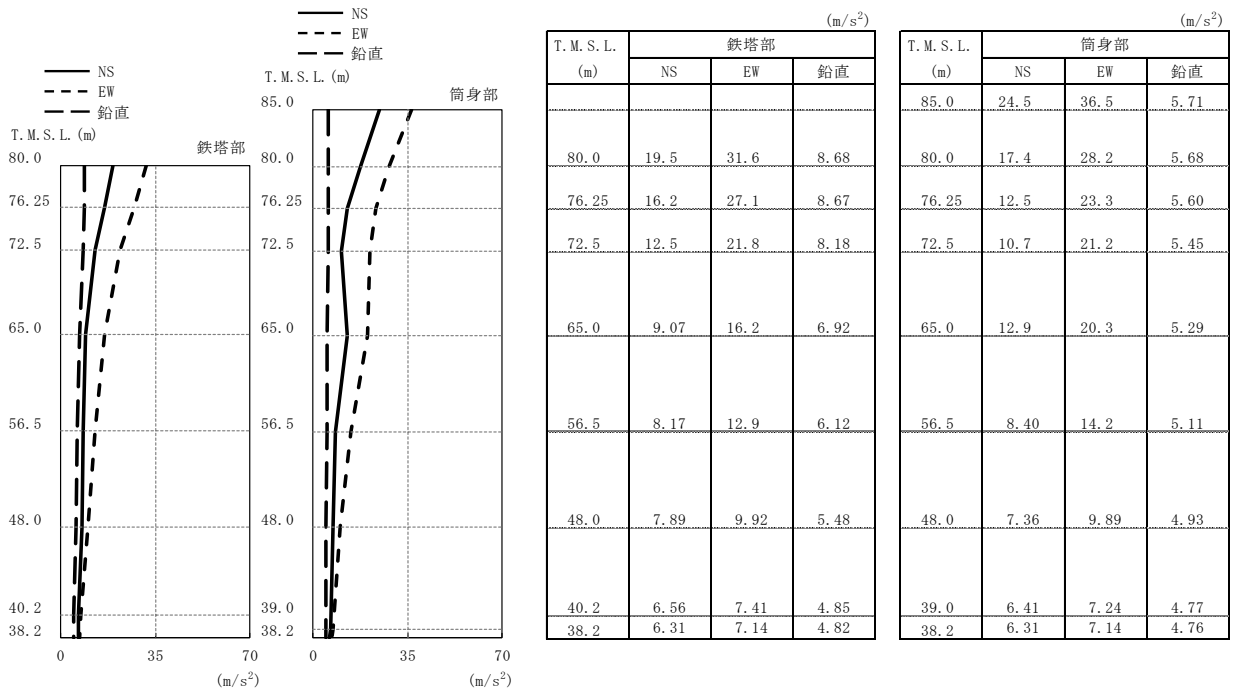


图 3-22 最大応答加速度 (Ss-6)

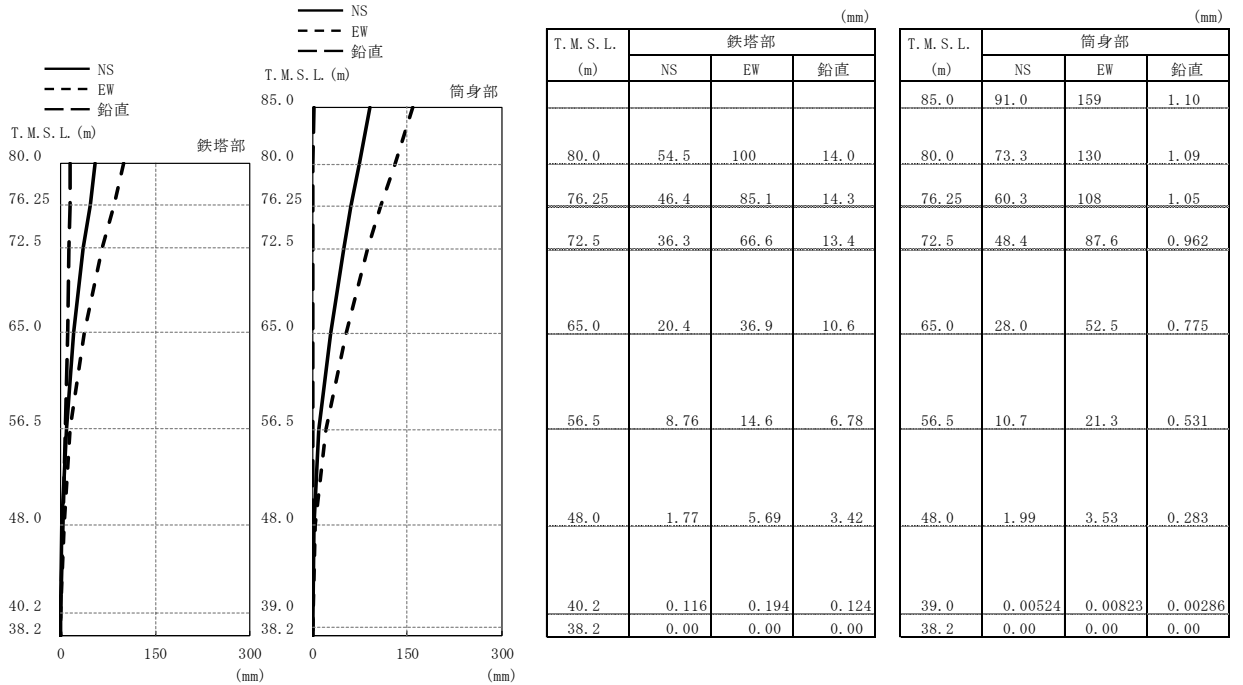
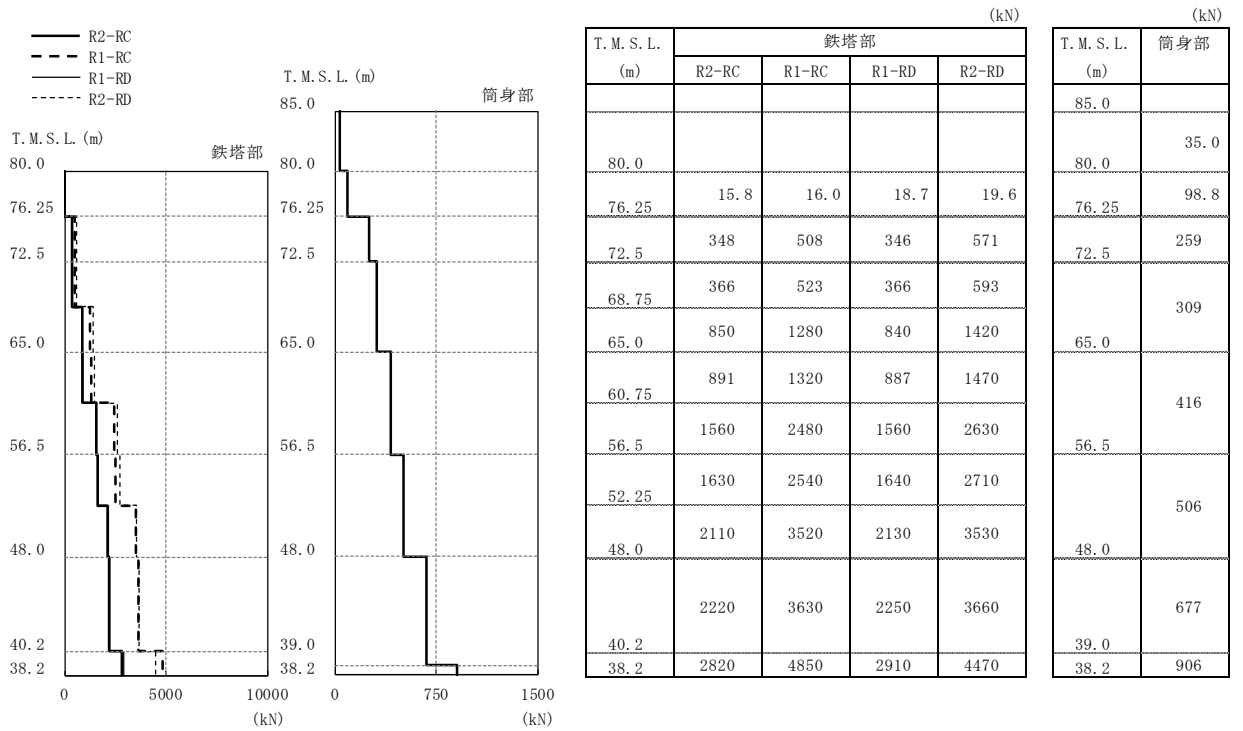
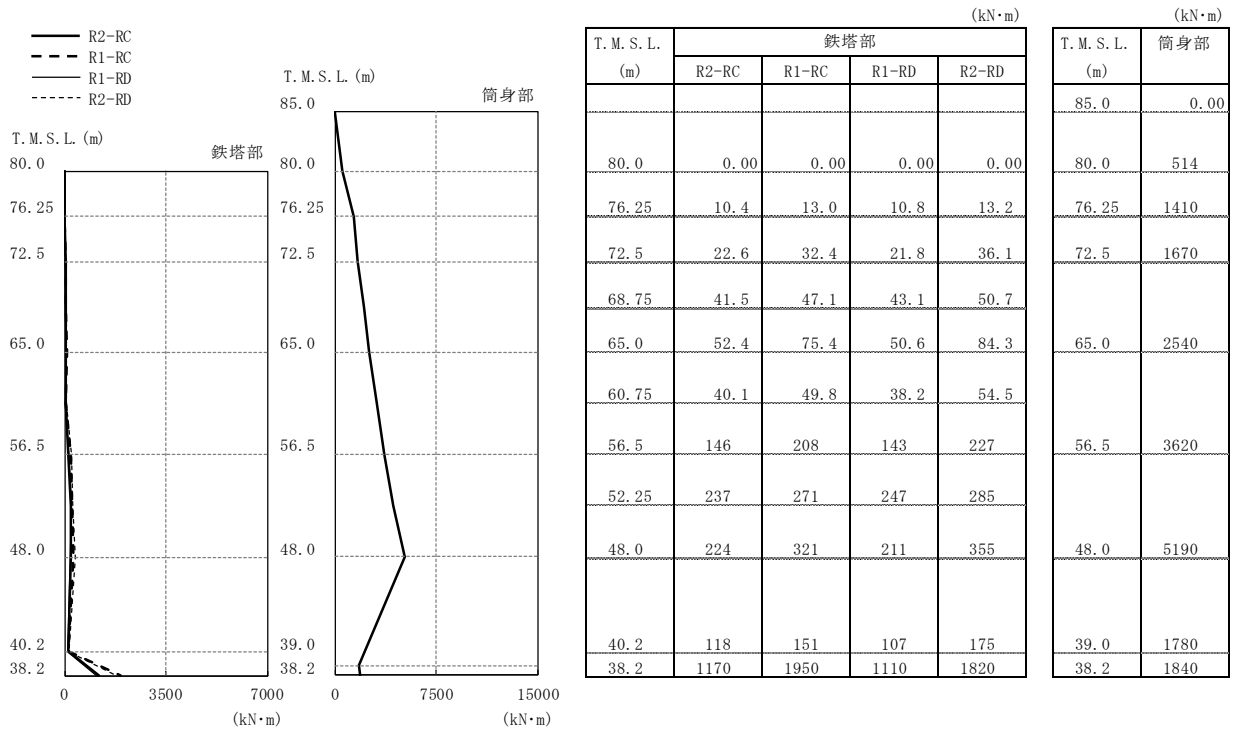


图 3-23 最大応答変位 (Ss-6)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-24 最大応答軸力 (Ss-6)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-25 最大応答曲げモーメント (Ss-6)

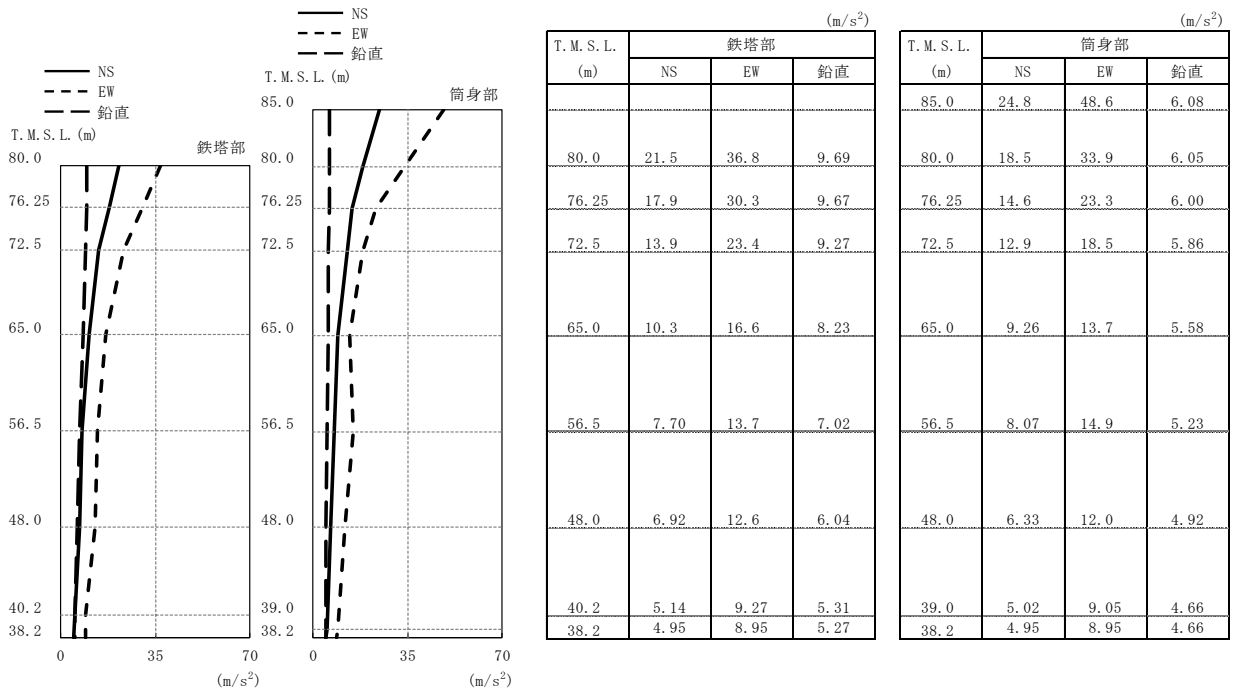


図 3-26 最大応答加速度 (Ss-7)

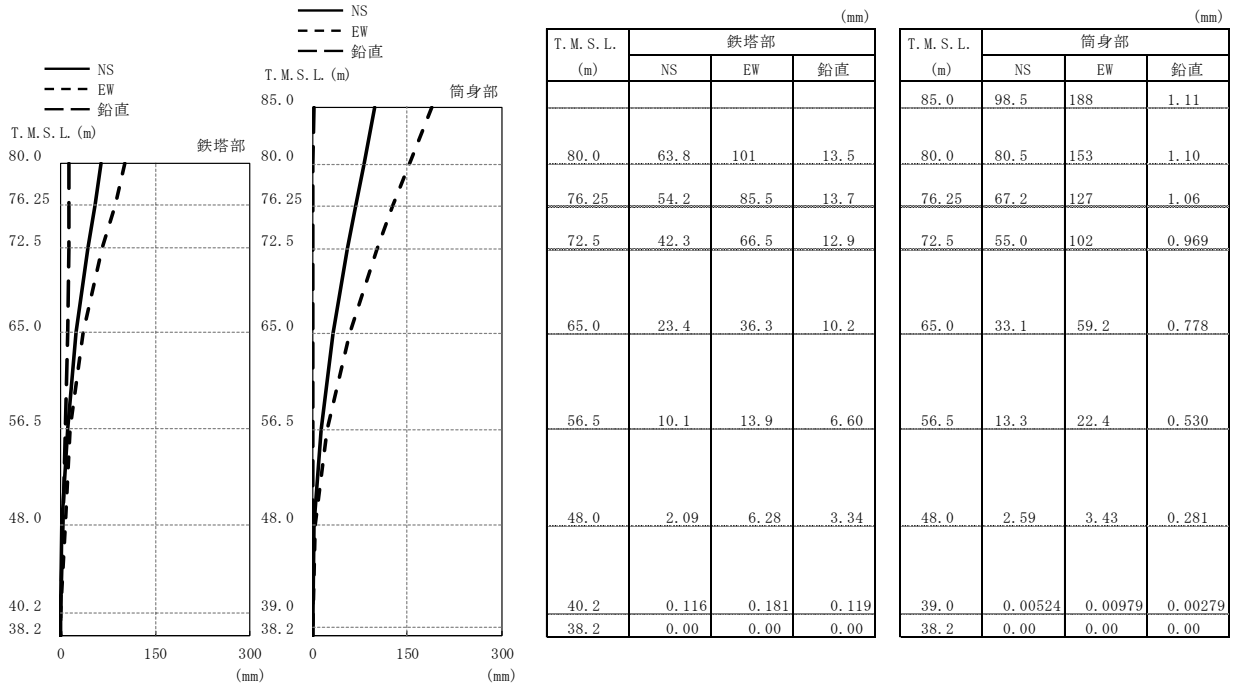
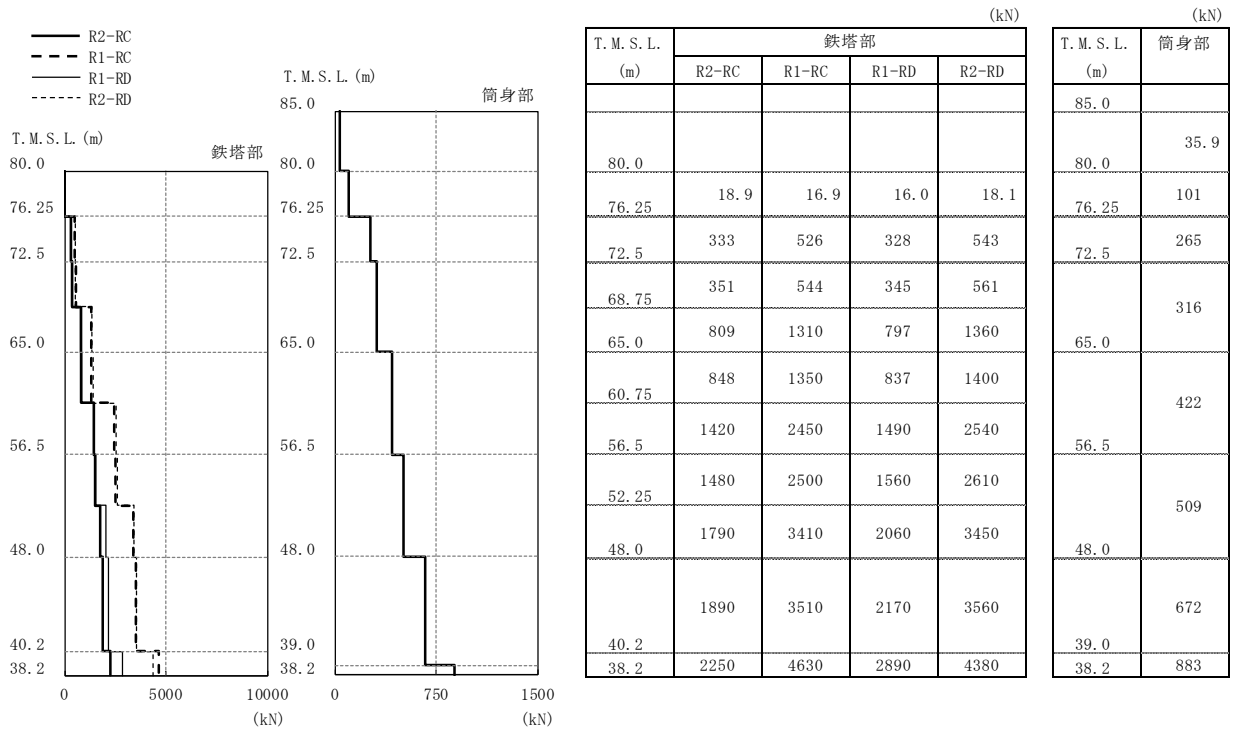
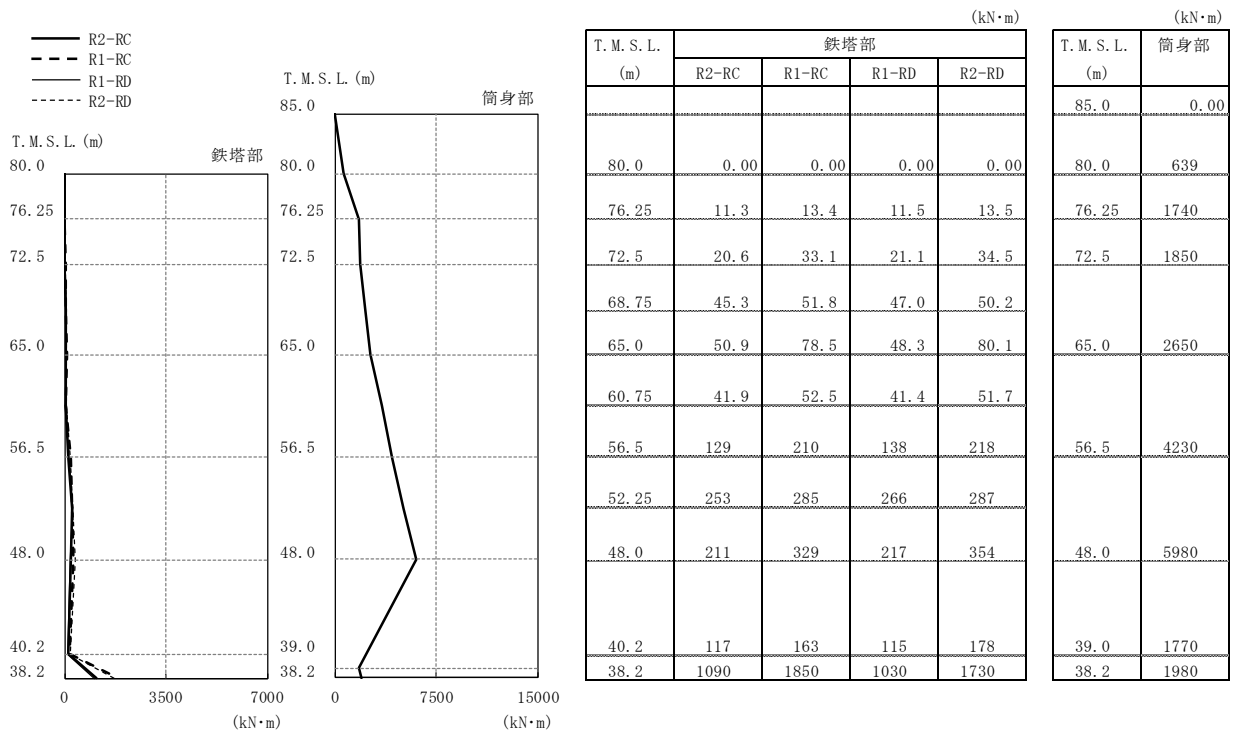


図 3-27 最大応答変位 (Ss-7)



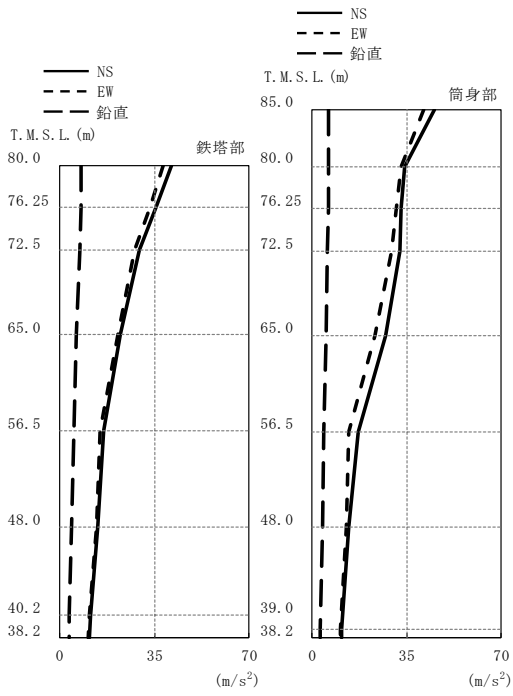
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-28 最大応答軸力 (Ss-7)



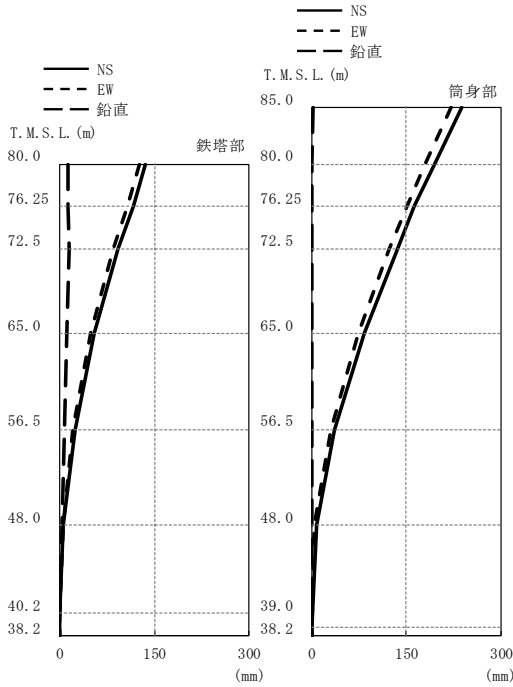
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-29 最大応答曲げモーメント (Ss-7)



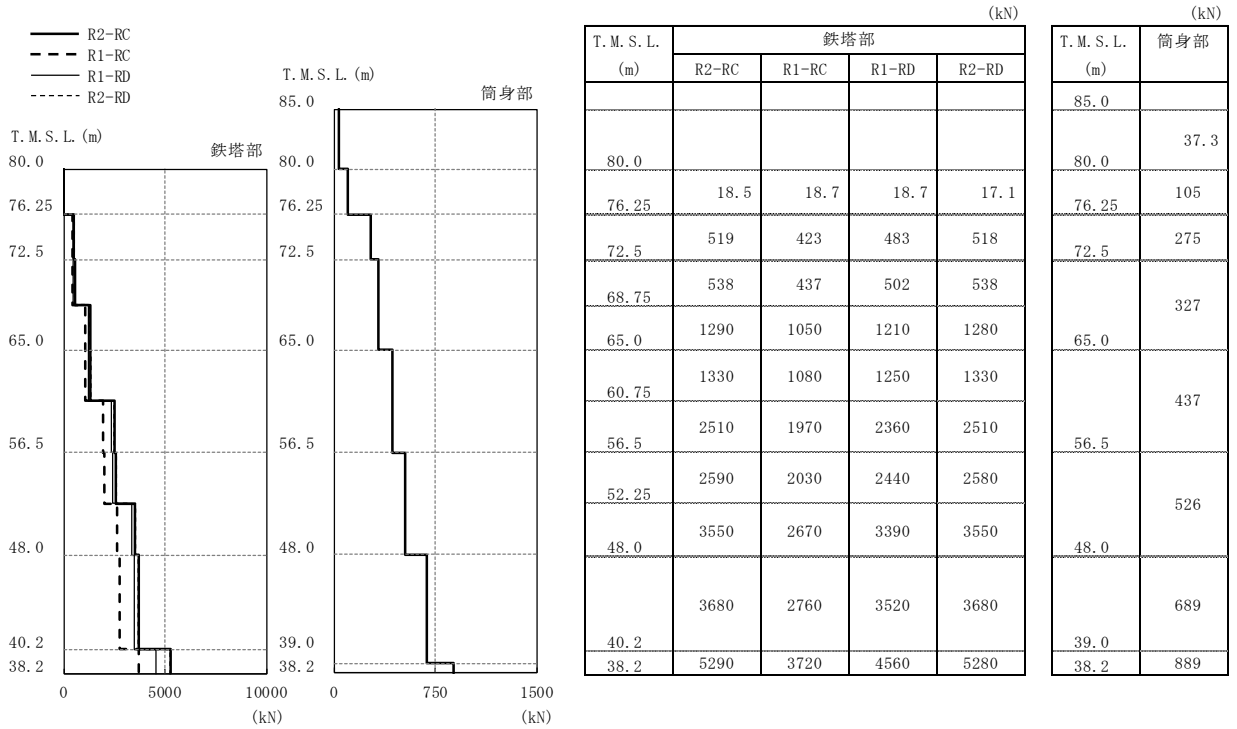
T. M. S. L. (m)	(m/s ²)			T. M. S. L. (m)	(m/s ²)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
85.0				85.0	45.4	41.3	6.15
80.0	41.3	38.2	7.81	80.0	34.5	32.8	6.10
76.25	35.5	33.2	7.65	76.25	33.0	31.1	6.00
72.5	29.3	27.5	7.56	72.5	32.5	29.4	5.74
65.0	22.3	21.3	6.03	65.0	27.2	23.2	5.20
56.5	16.2	14.7	5.09	56.5	17.0	13.6	4.51
48.0	14.1	13.4	4.15	48.0	13.6	12.8	3.85
40.2	11.4	10.9	3.42	39.0	11.1	10.7	3.18
38.2	11.0	10.6	3.39	38.2	11.0	10.6	3.18

図 3-30 最大応答加速度 (Ss-8)



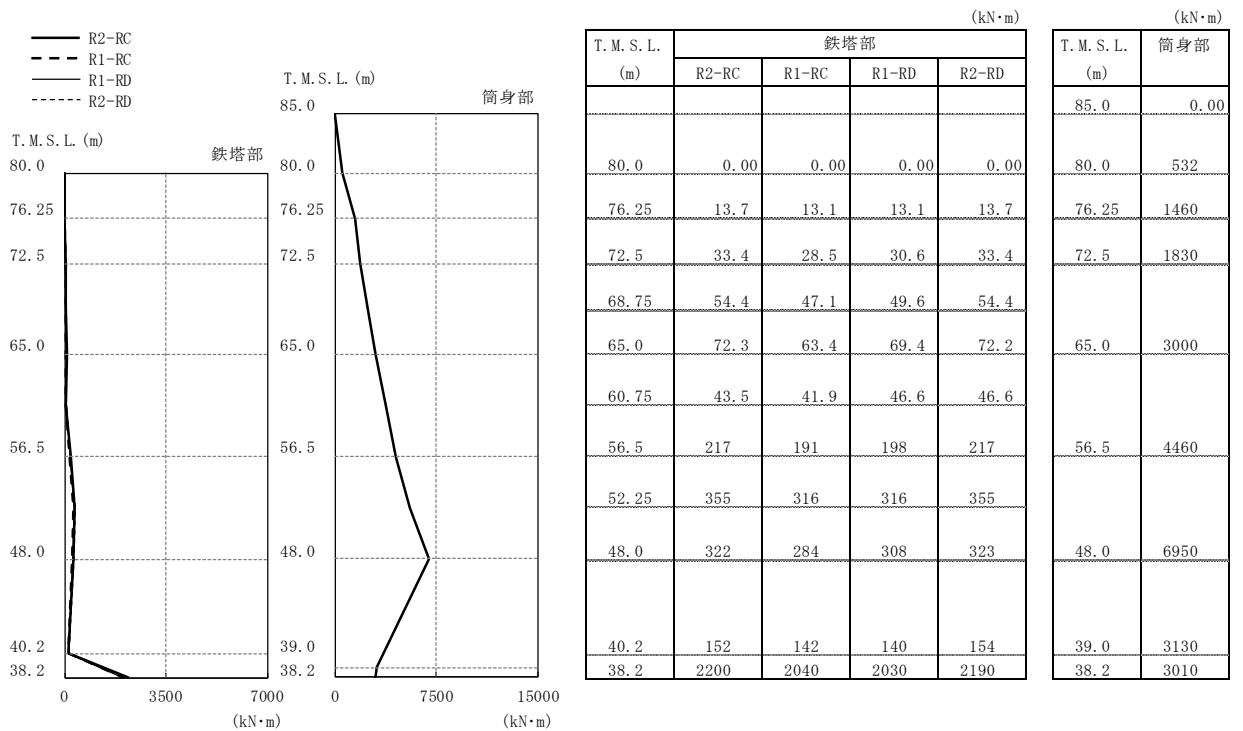
T. M. S. L. (m)	(mm)			T. M. S. L. (m)	(mm)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
85.0				85.0	237	220	1.15
80.0	136	126	13.1	80.0	194	180	1.13
76.25	117	108	13.4	76.25	163	151	1.10
72.5	92.4	85.0	14.0	72.5	135	123	1.00
65.0	53.5	48.3	10.1	65.0	83.2	74.2	0.802
56.5	23.6	20.1	8.02	56.5	35.4	29.8	0.545
48.0	5.59	6.17	3.31	48.0	7.01	4.64	0.288
40.2	0.212	0.198	0.143	39.0	0.0116	0.0100	0.00281
38.2	0.00	0.00	0.00	38.2	0.00	0.00	0.00

図 3-31 最大応答変位 (Ss-8)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-32 最大応答軸力 (Ss-8)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-33 最大応答曲げモーメント (Ss-8)

表 3-2 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値

	オイルダンパーの最大応答値								許容値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
速度 (m/s)	2.04	1.87	1.47	1.10	1.14	1.17	1.22	1.52	2.60
変位 (mm)	137	144	94.4	78.1	92.4	86.3	101	129	175

(Ⅱ) 主排気筒の耐震計算書

目 次

1. 評価方針	1
1.1 耐風設計	4
1.2 耐震設計	6
2. 使用材料及び材料の許容応力度	7
3. 設計荷重	9
3.1 風荷重	9
3.2 地震荷重	11
4. 鉄塔部及び筒身部の応力評価	12
4.1 鉛直荷重	12
4.2 風荷重	12
4.3 静的地震荷重	12
4.4 動的地震荷重	12
4.5 荷重の組合せ	13
5. 部材応力	15
6. 断面算定	20
6.1 概要	20
6.2 鉄塔部材断面算定	20
6.3 筒身部材断面算定	20
7. 制震装置（オイルダンパー）支持部の評価	25
8. 基礎の評価	29
8.1 基礎の概要	29
8.2 荷重及び荷重の組合せ	31
8.3 基礎の評価	33
9. SGTS用排気筒の評価	39
9.1 SGTS用排気筒部の評価	39
9.2 支持部の評価	45
10. 評価結果	48

別紙 1 共振風速及び渦励振について

1. 評価方針

主排気筒の鉄塔及び筒身は設計基準対象施設において、「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

主排気筒の鉄塔及び筒身の、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設としての評価においては、風荷重及び基準地震動 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。）を行うこととする。 S_s 地震時に対する評価は「(I)主排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとし、建屋応答の不確かさを考慮する。主排気筒の鉄塔及び筒身の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において、最大部材応力に対して各部材断面を材料強度より算出した弾性限耐力による評価を行うことで、主排気筒の鉄塔及び筒身の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

主排気筒の非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）用排気筒はSクラスの施設に該当し、設計基準対象施設において、「Sクラスの施設の主要設備」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

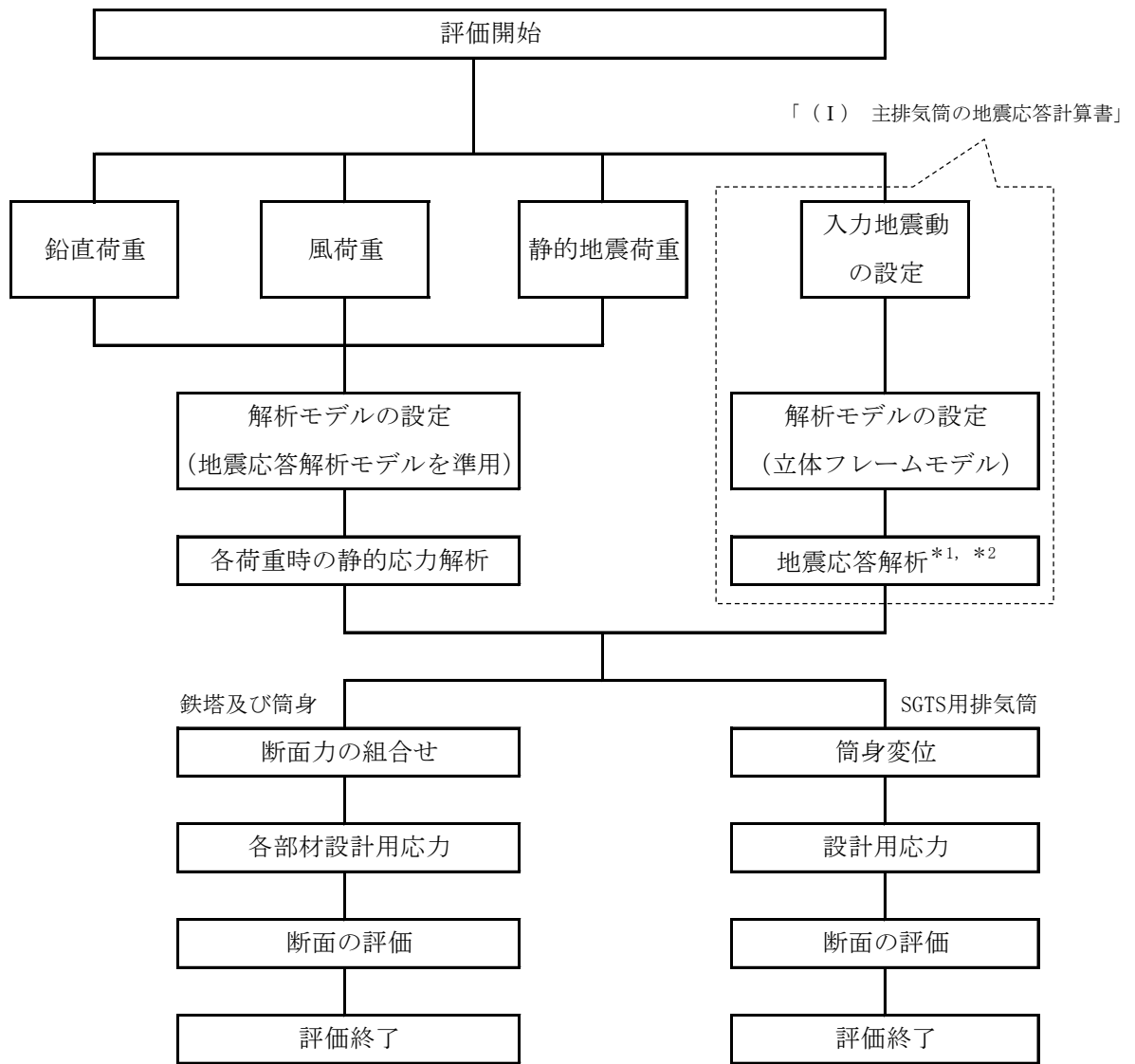
主排気筒のSGTS用排気筒の設計基準対象施設としての評価においては、風荷重及び S_s 地震時に対する評価を行うこととする。 S_s 地震時に対する評価は「(I)主排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとし、建屋応答の不確かさを考慮する。主排気筒のSGTS用排気筒の評価は、主排気筒の鉄塔及び筒身と同様の評価とする。

図1-1に鉄塔、筒身及びSGTS用排気筒の評価フローを示す。

評価に用いる関連法規，規準等は原則として下記のとおりである。

- (1) 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 ((社) 日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- (3) 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)
- (4) 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会，2005 改定)
(以下「鋼構造設計規準」という。)
- (5) 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)
- (6) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会，2005 制定)
- (7) 塔状鋼構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，1980 制定)
- (8) 煙突構造設計指針 ((社) 日本建築学会，2007 制定) (以下「煙突構造設計指針」という。)
- (9) 鋼構造座屈設計指針 ((社) 日本建築学会，1996 改定) (以下「鋼構造座屈設計指針」という。)
- (10) 建築基準法・同施行令
- (11) 容器構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，2010 改定)
- (12) 日本産業規格 (J I S)
- (13) 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。)

なお，本計算書における使用計算機コードは「M S C N A S T R A N」及び「f a p p a s e」である。また，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。



注記*1 : 鉛直荷重を考慮した応答値を示す。

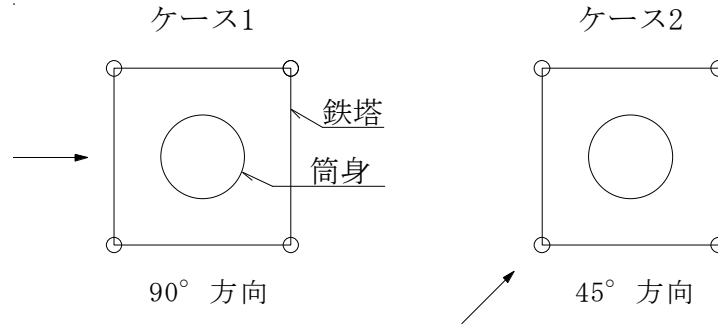
*2 : 建屋応答の不確かさを考慮する。

図 1-1 鉄塔，筒身及び SGTS 用排気筒の評価フロー

1.1 耐風設計

風荷重は、荷重方向として 90° 方向と 45° 方向の 2 ケースについて考慮する。

荷重方向：



矢印は荷重作用方向を示す。

風荷重 (P) は、次式により算定する。

$$P = q \cdot C_f \cdot A \dots\dots\dots (1. 1)$$

ここで、

- P : 風荷重 (N)
- q : 速度圧 (N/m²)
- C_f : 風力係数
- A : 鉄塔及び筒身の見付面積 (m²)

主要鉄塔部材及び筒身部の共振風速は 15m/s 以上とする。

主要鉄塔部材の共振風速は、次式により算定する。

$$V_r = D \cdot f / S \dots\dots\dots (1. 2)$$

ここで、

- V_r : 個材の共振風速 (m/s)
- D : 個材の見付幅 (m)
- f : 個材の 1 次固有振動数 (Hz)
- S : ストローハル数 (円形断面につき 0.18)

筒身部の共振風速は、次式により算定する。

$$U_r = 5 \cdot f_L \cdot D_m \cdots \cdots \cdots (1. 3)$$

ここで、

U_r : 筒身部の共振風速 (m/s)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数 (Hz)

D_m : 筒身部の高さの 2/3 における筒身部の外径 (=2.816m)

1.2 耐震設計

鉄塔及び筒身はSクラスの施設の間接支持構造物であり，原子炉建屋屋上に設置されることから，地震荷重として，平成12年建設省告示第1389号（屋上から突出する水槽，煙突等の構造計算の基準を定める件）に定められた静的地震荷重及び「(I)主排気筒の地震応答計算書」による動的地震荷重を考慮する。

また，SGTS用排気筒は，Sクラスの施設の主要設備であり，静的地震荷重又は弾性設計用地震動 S_d による動的地震荷重のいずれか大きい方の地震荷重に対する評価及び S_s 地震時に対する評価を行う必要がある。しかし，SGTS用排気筒の評価において地震荷重として加える筒身の弾性設計用地震動 S_d による変位が，基準地震動 S_s による変位に比べて十分小さいことを踏まえ，弾性設計用地震動 S_d に対する評価を行うことはせず，静的地震荷重又は基準地震動 S_s による動的地震荷重のいずれか大きい方に対する評価とする。

耐震設計において考慮する地震力を図1-2に示す。ここで，動的地震荷重は建屋応答の不確かさを考慮する。

なお，鉛直方向の地震荷重については，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に示す鉛直震度を考慮する。

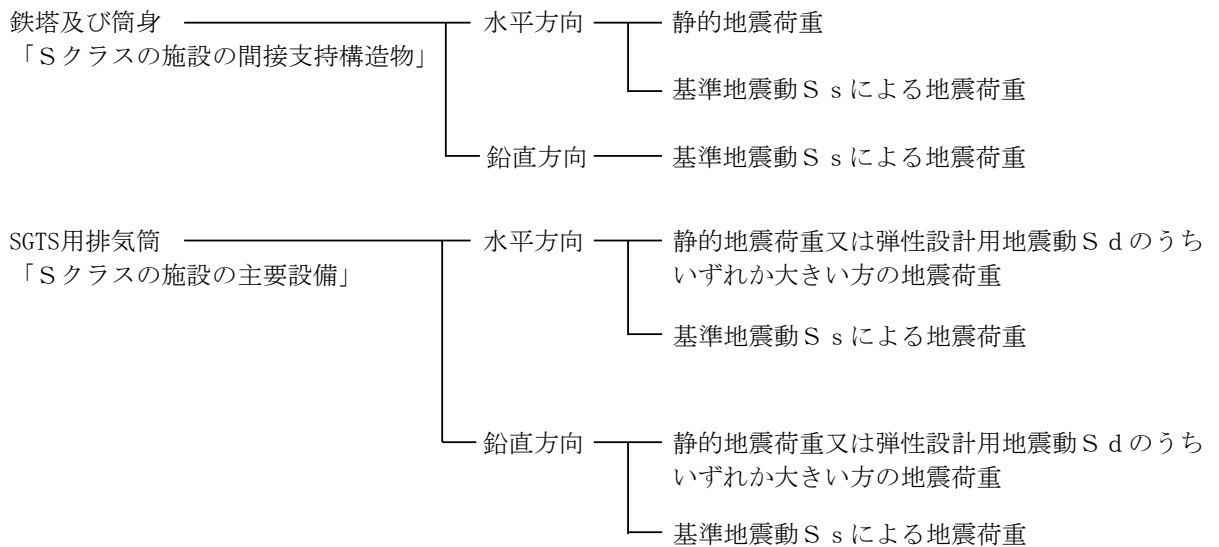


図 1-2 耐震設計において考慮する地震力

2. 使用材料及び材料の許容応力度

鋼材は J I S G 3 1 0 1 で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400[SS41]*, J I S G 3 1 0 6 で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A[SM41A], J I S G 3 1 1 4 で規定される溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMA400AP[SMA41A], J I S G 3 1 3 6 で規定される建築構造用圧延鋼材 SN490B, J I S G 3 4 4 4 で規定される一般構造用炭素鋼管 STK400[STK41], STK490[STK50]及び J I S G 3 4 5 5 で規定される高圧配管用炭素鋼管 STS410[STS42]を使用する。

なお、基礎に使用するコンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 32.3N/mm^2 、鉄筋は SD345[SD35]とする。各使用材料の許容応力度を表 2-1～表 2-4 に示す。

注記*：以下[]内は従来標記を示す。

表 2-1 鋼材の許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
t ≤ 40mm	SN490B STK490[STK50]	325	「鋼構造設計規準」及び「煙突構造設計指針」に従って左記 F の値により求める。
	SS400[SS41] SM400A[SM41A] SMA400AP[SMA41A] STK400[STK41]	235	
	STS410[STS42]	245*	

注記*：「鋼構造設計規準」に準拠して基準強度 F を設定した。

表 2-2 基礎ボルトの許容応力度

部位	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
基礎ボルト (M80) (鉄塔部)	SS400[SS41]	215	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。
基礎ボルト (M36) (筒身部)	SS400[SS41]	235	

表 2-3 コンクリートの許容応力度 (単位：N/mm²)

	長 期			短 期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
$F_c = 32.3$	10.7	—	0.81	21.5	—	1.21

表 2-4 鉄筋の許容応力度 (単位：N/mm²)

		長 期		短 期	
SD345 [SD35]	鉄筋径	引張 及び圧縮	せん断 補強	引張 及び圧縮	せん断 補強
	D25 以下	215	195	345	345
	D29 以上	195			

3. 設計荷重

3.1 風荷重

(1) 風方向荷重

$$P = q \cdot C_f \cdot A \cdots \cdots \cdots (3. 1)$$

ここで,

P : 風荷重(N)

q : 速度圧(N/m²) = 0.6 · E · V₀²

V_0 : 当該地の基準風速 (=40.1m/s)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値
= E_r² · G_f

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \leq Z_b)$$

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

H : 建築物の高さ(m) (鉄塔部 68m, 筒身部 73m)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて示される数値
(当該地の地表面粗度区分Ⅱ : Z_b = 5m, Z_G = 350m, α = 0.15)

G_f : ガスト影響係数 (=2.0)

C_f : 風力係数

A : 鉄塔及び筒身の見付面積(m²)

以上より算定した風荷重を表 3-1 に示す。

表 3-1 風荷重計算表

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
80.0	3.42	1.92	3.4	23	1.50	5.4	28
76.25	3.42	1.82	7.6	48	1.44	11.9	59
72.5	3.42	1.86	9.6	62	1.45	15.5	77
65.0	3.42	1.72	16.8	99	1.36	27.1	127
56.5	3.42	1.63	21.0	118	1.26	34.1	147
48.0	3.42	1.48	24.3	123	1.15	39.7	157
40.2	3.42	1.43	11.0	54	1.10	18.5	70

注記* : NS 方向及び EW 方向の包絡値を示す。

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
85.0	3.49	0.90	6.8	22	0.90	6.8	22
80.0	3.49	0.89	12.3	39	0.89	12.3	39
76.25	3.49	0.88	10.6	33	0.88	10.6	33
72.5	3.49	0.86	15.8	48	0.86	15.8	48
65.0	3.49	0.83	22.5	66	0.83	22.5	66
56.5	3.49	0.79	24.0	67	0.79	24.0	67
48.0	3.49	0.74	24.7	64	0.74	24.7	64
39.0	3.49	0.68	12.7	31	0.68	12.7	31

(2) 風直交方向荷重

風直交方向荷重は別紙 1「共振風速及び渦励振について」による。

3.2 地震荷重

(1) 静的地震荷重

「1. 評価方針」に基づき、Sクラスの施設の間接支持構造物である主排気筒の鉄塔及び筒身の静的地震荷重は、平成12年建設省告示第1389号に定められた次式による。

$$P = k \cdot W \dots\dots\dots (3. 2)$$

ここで、

P : 地震荷重 (kN)

k : 水平震度 (k = 1.0)

W : 当該質点位置での固定荷重と積載荷重との和 (kN)

以上より算定した静的地震荷重を表3-2に示す。

表3-2 静的地震荷重計算表

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	W (kN)	k	P (kN)
80.0	42	1.0	42
76.25	108		108
72.5	56		56
65.0	148		148
56.5	257		257
48.0	396		396

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	W (kN)	k	P (kN)
85.0	23	1.0	23
80.0	42		42
76.25	106		106
72.5	33		33
65.0	72		72
56.5	61		61
48.0	118		118

(2) 動的地震荷重

動的地震荷重は「(I) 主排気筒の地震応答計算書」による。

4. 鉄塔部及び筒身部の応力評価

主排気筒の応力評価に用いる設計用荷重は、鉛直荷重、風荷重、静的地震荷重及び動的地震荷重を考慮する。

4.1 鉛直荷重

鉛直荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、柏崎刈羽原子力発電所第6号機「工事計画届出書」（総官発20第179号 平成20年8月25日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）による。なお、風荷重及び動的地震荷重については、各荷重に対する解析時に鉛直荷重を考慮する。

4.2 風荷重

風荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、表3-1に示す風方向荷重及び別紙1「共振風速及び渦励振について」に示す風直交方向荷重を組み合わせて、図4-1に示す解析モデルに加えた静的応力解析により行う。

4.3 静的地震荷重

静的地震荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、中越沖地震に伴う補強時（届出）による。

4.4 動的地震荷重

動的地震荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、「(Ⅰ)主排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。なお、各部材応力の算出に当たっては建屋応答の不確かさを考慮する。

4.5 荷重の組合せ

各部位の評価における荷重組合せを許容限界と併せて表 4-1 に示す。

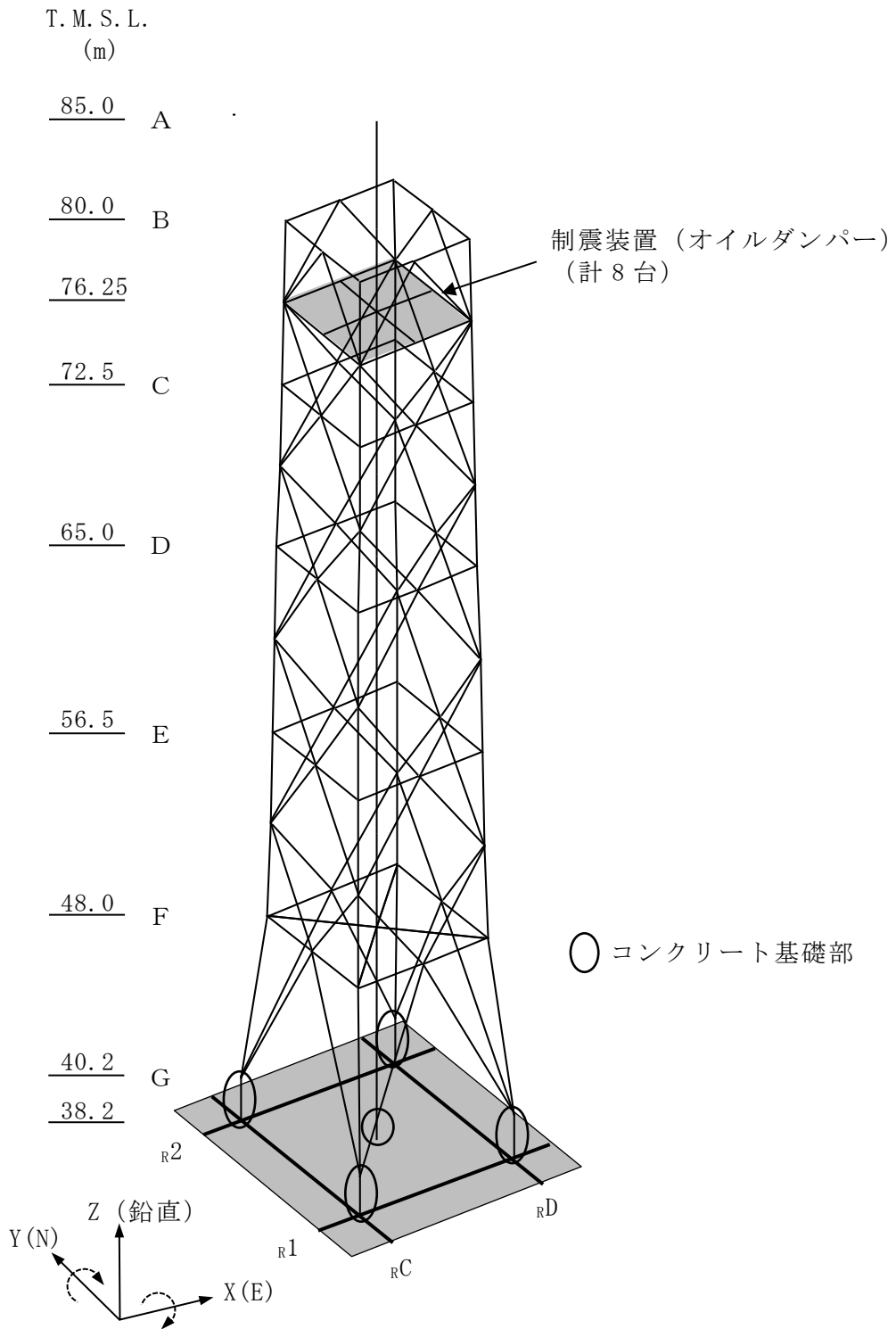
Sクラスの施設の間接支持構造物である鉄塔及び筒身の許容限界は「技術基準解説書」を参考にF値に1.1倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。なお、弾性設計用地震動S_dによる評価については、原子炉建屋の応答加速度が基準地震動S_sの約1/2倍であり、許容限界が基準地震動S_sの1/1.1倍であることから、基準地震動S_sにより生じる各部材の断面の応力が弾性限強度を超えないことを確認することで、弾性設計用地震動S_dによる評価は行わないこととする。

また、Sクラスの施設の主要設備であるSGTS用排気筒の許容限界は、短期許容応力度とし、基準地震動S_sにより生じる応力が短期許容応力度を超えないことを確認することで、鉄塔及び筒身と同様に弾性設計用地震動S_dによる評価は行わない。

表 4-1 各部位の評価における荷重組合せ

部位	荷重						許容限界
	鉛直荷重	風荷重	静的地震荷重		動的地震荷重		
			水平	鉛直	水平	鉛直	
鉄塔	○	○	—	—	—	—	弾性限強度
	○	—	○	—	—	—	
	○	—	—	—	○	○	
筒身	○	○	—	—	—	—	弾性限強度
	○	—	○	—	—	—	
	○	—	—	—	○	○	
SGTS用排気筒	○	○	—	—	—	—	短期許容 応力度
	○	—	○	○	—	—	
	○	—	—	—	○	○	

注：荷重の大きい組合せで評価するものとし、組み合わせる荷重を「○」で、組み合わせない荷重を「—」で示す。



注：並進成分を実線で，回転成分を破線で示す。

図 4-1 主排気筒の解析モデル

5. 部材応力

4章で示した解析より求まる各部材の評価用応力を表5-1～表5-4に示す。

鉄塔支柱材	表5-1
鉄塔斜材	表5-2
鉄塔水平材	表5-3
筒身	表5-4

なお、断面算定は、表4-1に示した荷重組合せのうち発生応力が最大となる組合せに対して実施するため、発生応力の最大値を評価用応力として表5-1～表5-4に併せて示す。

ただし、動的地震荷重に対する応力については、基本ケース及び建屋応答の不確かさを考慮した解析ケース各々に対して、筒身部以外については最大発生応力に対する断面算定、筒身部については時刻歴を考慮した断面算定を実施し、応力度比が最大となる解析ケースの応力を記載している。

ここで、動的地震荷重の評価用応力は、Ss-2（ケース3及びケース6）及びSs-1（ケース6）のいずれかによるものであり、特に支柱材は全てSs-2（ケース6）による応力である。これは、入力地震動の大きさと組合せによる影響と考えられる。

入力地震動である原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル（T. M. S. L. 38.2m）における各ケースの応答加速度は、Ss-1及びSs-2のいずれかが最大となり、Ss-2については、ケース3及びケース6の水平方向の応答加速度は基本ケースよりも大きい。また、Ss-1は応答スペクトルに基づく地震動であるため、2方向（3成分）の同時入力であるが、Ss-2は断層モデルに基づく地震動であるため、3方向（5成分）の同時入力であり、Ss-2による影響が大きい傾向である。

表 5-1 主柱材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重		風荷重*				地震荷重					評価用応力*		
				90° 方向		45° 方向		静的		動的*					
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	N (kN)	M (kN・m)	荷重
80.0	B-C	12.2	0.361	10.4	0.824	10.4	0.861	0.100	4.53	<u>21.5</u>	<u>27.2</u>	Ss-2 (ケース6)	21.5	27.2	動的 地震荷重
72.5	C-D	56.7	5.38	87.5	9.12	86.0	10.5	173	17.3	<u>1160</u>	<u>102</u>	Ss-2 (ケース6)	1160	102	動的 地震荷重
65.0	D-E	95.7	4.67	196	9.51	-263	7.11	509	25.4	<u>2910</u>	<u>164</u>	Ss-2 (ケース6)	2910	164	動的 地震荷重
56.5	E-F	173	28.5	435	72.5	-684	39.5	1080	121	<u>5510</u>	<u>609</u>	Ss-2 (ケース6)	5510	609	動的 地震荷重
48.0	F-G	255	20.4	732	60.1	-1200	45.3	1750	151	<u>7620</u>	<u>703</u>	Ss-2 (ケース6)	7620	703	動的 地震荷重

注記*：鉛直荷重を考慮した値を示す。

注：下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N：軸力（圧縮を正とする。）

M：曲げモーメント

表 5-2 斜材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重 N (kN)	風荷重*1		地震荷重			評価用応力*1	
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*1		N (kN)	荷重
			N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)		
80.0	B-C	1.90	34.5	47.1	122	<u>686</u>	Ss-1*2 (ケース6)	686	動的 地震荷重
72.5	C-D	1.90	60.5	82.8	167	<u>800</u>	Ss-1*2 (ケース6)	800	動的 地震荷重
65.0	D-E	4.40	109	-148	258	<u>1000</u>	Ss-1*2 (ケース6)	1000	動的 地震荷重
56.5	E-F	2.60	180	212	375	<u>1200</u>	Ss-2 (ケース3)	1200	動的 地震荷重
48.0	F-G	18.4	712	675	500	<u>1510</u>	Ss-2 (ケース6)	1510	動的 地震荷重
40.2									

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 5-3 水平材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 位 置	鉛直荷重 N (kN)	風荷重*1		地震荷重			評価用応力*1	
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*1		N (kN)	荷重
			N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)		
80.0	B	0.200	12.2	10.3	13.3	<u>65.1</u>	Ss-1*2 (ケース6)	65.1	動的 地震荷重
72.5	C	-1.30	29.1	28.9	28.0	<u>98.9</u>	Ss-2 (ケース6)	98.9	動的 地震荷重
65.0	D	-2.40	47.8	48.4	-53.6	<u>178</u>	Ss-2 (ケース6)	178	動的 地震荷重
56.5	E	-6.60	51.6	73.0	102	<u>342</u>	Ss-2 (ケース6)	342	動的 地震荷重
48.0	F	19.0	238	263	66.0	<u>274</u>	Ss-2 (ケース3)	274	動的 地震荷重

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 5-4 筒身応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重		風荷重 ^{*1}				地震荷重					評価用応力 ^{*1}		
				90° 方向		45° 方向		静的		動的 ^{*1, *2}					
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	N (kN)	M (kN・m)	荷重
85.0	A-B	27.0	—	23.0	130	23.0	130	—	120	<u>16.6</u>	<u>827</u>	Ss-2 (ケース6)	16.6	827	動的 地震荷重
80.0	B-C	199	—	171	802	171	803	—	500	<u>149</u>	<u>2650</u>	Ss-2 (ケース6)	149	2650	動的 地震荷重
72.5	C-D	237	—	204	1410	204	1410	—	620	<u>192</u>	<u>3360</u>	Ss-2 (ケース6)	192	3360	動的 地震荷重
65.0	D-E	276	—	276	4030	276	4040	—	1260	<u>236</u>	<u>5910</u>	Ss-2 (ケース6)	236	5910	動的 地震荷重
56.5	E-F	337	—	337	5350	337	5350	—	1710	<u>228</u>	<u>7120</u>	Ss-2 (ケース3)	228	7120	動的 地震荷重
48.0	F-G	528	—	455	6660	455	6670	—	4790	<u>487</u>	<u>8490</u>	Ss-2 (ケース6)	487	8490	動的 地震荷重
39.0															

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 時刻歴評価に基づく応力を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント

6. 断面算定

6.1 概要

表 5-1～表 5-4 の評価用応力に対して各部材の断面算定を行う。

各部材は、「鋼構造設計規準」，「鋼構造座屈設計指針」及び「煙突構造設計指針」に準拠して算定する。

6.2 鉄塔部材断面算定

鉄塔部材の代表部材についての断面算定結果を以下に示す。

主柱材の断面算定	表 6-1
斜材の断面算定	表 6-2
水平材の断面算定	表 6-3

なお、各表に記載した共振風速は個材振動の判定に用いるものであり、いずれの部材についても個材振動は発生しないことを確認している。（詳細は別紙 1「共振風速及び渦励振について」参照。）

6.3 筒身部材断面算定

筒身部材の断面算定結果を表 6-4 に示す。

なお、断面性能の算定には腐食代 2mm を考慮する。

表 6-1 主柱材の断面算定 (STK490[STK50])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力			使 用 部 材				L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	共振風速 V_r^* (m/s)
		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)								
80.0	B-C	21.5	27.2	Ss-2 (ケース6)	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	452	111	3750	34	339	357	3.7	60.2	0.18	175
72.5	C-D	1160	102	Ss-2 (ケース6)	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	792	141	3750	27	345	357	144.3	128.8	0.78	414
65.0	D-E	2910	164	Ss-2 (ケース6)	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	1530	177	4250	24	348	357	234.5	107.2	0.98	504
56.5	E-F	5510	609	Ss-2 (ケース6)	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	4320	210	4250	20	350	357	184.7	141.0	0.93	719
48.0	F-G	7620	703	Ss-2 (ケース6)	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	6960	245	7880	32	341	357	184.5	101.1	0.83	284

注記* : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力 λ : 細長比 (L_k / i)
M : 曲げモーメント f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
A : 断面積 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
Z : 断面係数 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
i : 断面二次半径 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)
 L_k : 座屈長さ

表 6-2 斜材の断面算定 (STK490[STK50])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		使 用 部 材			L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	共振風速 V_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	i (mm)						
80.0	B-C	686	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	4540	61	300	229.2	0.77	35
72.5	C-D	800	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	4610	50	319	162.4	0.51	52
65.0	D-E	1000	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	5090	41	331	115.9	0.36	118
56.5	E-F	1200	Ss-2 (ケース3)	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	5160	37	336	76.4	0.23	149
48.0	F-G	1510	Ss-2 (ケース6)	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	8590	45	326	55.4	0.17	103

注記*1 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

*2 : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力

λ : 細長比 (L_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

L_k : 座屈長さ

表 6-3 水平材の断面算定 (STK400[STK41])

標高 T. M. S. L. (m)	部材 位置	評価用応力		使用部材			L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	共振風速 V_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	i (mm)						
80.0	B	65.1	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	2500	33	249	21.8	0.09	29
72.5	C	98.9	Ss-2 (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	5230	70	219	33.1	0.16	26
65.0	D	178	Ss-2 (ケース6)	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	2730	25	253	30.3	0.12	53
56.5	E	342	Ss-2 (ケース6)	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	5730	52	236	58.1	0.25	48
48.0	F	274	Ss-2 (ケース3)	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	3000	21	254	34.1	0.14	112

注記*1 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

*2 : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力

λ : 細長比 (L_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

L_k : 座屈長さ

表 6-4 筒身部の断面算定 (SMA400AP[SMA41A])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力			使 用 部 材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{b r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	共振風速 U_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ^{*1} (×10 ² mm ²)	Z ^{*1} (×10 ³ mm ³)						
85.0	A-B	16.6	827	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	0.5	33.5	0.17	40
80.0	B-C	149	2650	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	4.3	107.3	0.56	
72.5	C-D	192	3360	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	5.5	136.1	0.71	
65.0	D-E	236	5910	Ss-2 (ケース6)	φ 2816× 8	529	37000	208	219	4.5	159.8	0.76	
56.5	E-F	228	7120	Ss-2 (ケース3)	φ 2816× 8	529	37000	208	219	4.4	192.5	0.91	
48.0	F-G	487	8490	Ss-2 (ケース6)	φ 2824× 12	883	61800	231	237	5.6	137.4	0.61	
39.0													

注記*1 : 腐食代2mmを考慮する。

*2 : (1. 3) 式による検討を示す。

注 : 時刻歴断面算定結果を示す。

記号の説明

- N : 軸力 $c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
- M : 曲げモーメント $b f_{b r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
- A : 断面積 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
- Z : 断面係数 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)

7. 制震装置（オイルダンパー）支持部の評価

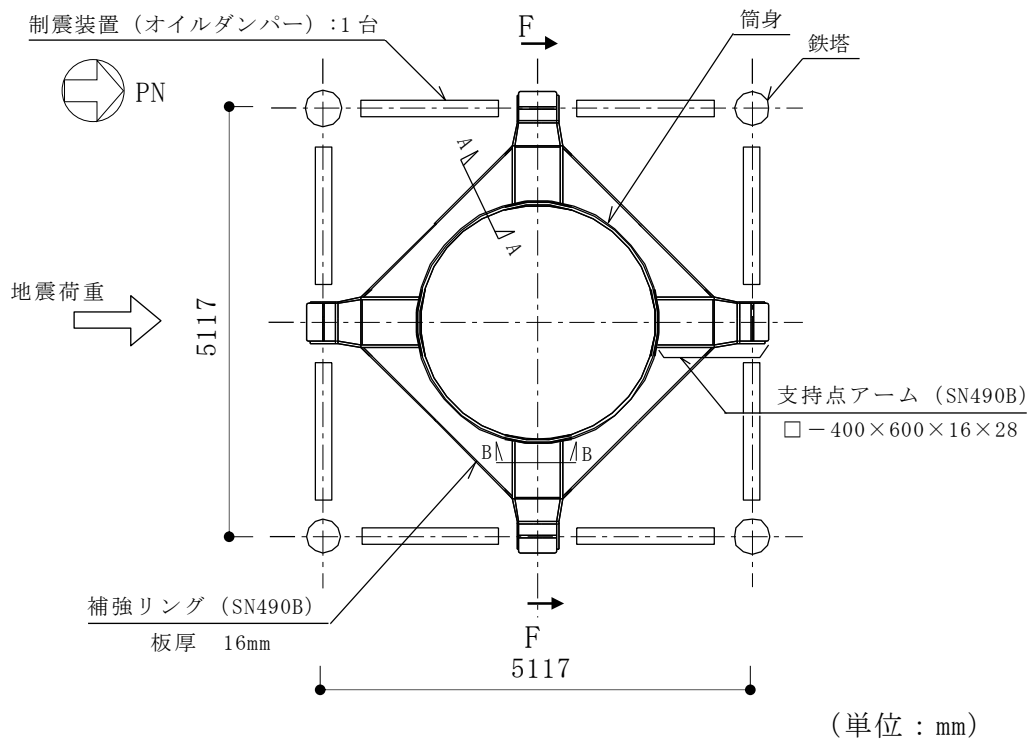
制震装置（オイルダンパー）支持部平面図及び支持点荷重を図 7-1 に示す。

制震装置（オイルダンパー）と筒身は，支持点アームの先端で接続しており，制震装置（オイルダンパー）の反力は支持点アームの先端に伝達し，筒身周囲に設けた補強リングによって抵抗させる。

制震装置（オイルダンパー）支持部の評価は，基準地震動 S_s による地震荷重に対して行う。地震荷重として支持点アームに加わる荷重は，基準地震動 S_s による主排気筒の地震応答解析より求まる制震装置（オイルダンパー）の反力から設定した値とする。

補強リング及び支持点アームの評価用応力は，補強リング及び支持点アームを線材置換した図 7-1 に示す 2 次元フレームモデルに，支持点荷重 F を作用させる静的解析に基づく最大発生応力とする。

補強リング及び支持点アームの評価用応力及び断面算定結果を表 7-1 及び表 7-2 に示す。



支持点レベル T. M. S. L. (m)	支持点荷重 F (kN/箇所)	地震動 (組合せ) (ケース)
76.25	444	Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6)
解析モデルに対する支持点荷重 F の载荷方法		

図 7-1 制震装置 (オイルダンパー) 支持部平面図及び支持点荷重

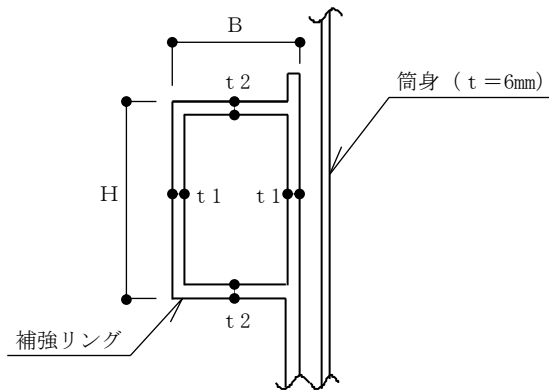
表 7-1 補強リングの断面算定 (SN490B)

断面寸法				評価用応力 (Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6))			断面性能		
H (mm)	B (mm)	t 1 (mm)	t 2 (mm)	N (kN)	M (kN・m)	Q (kN)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	A _s ($\times 10^2$ mm ²)
400	362	16	16	219	93.6	128	233.6	2650	105.6

応力度			許容応力度			許容応力度比	
σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _s (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
9.4	35.4	12.2	325	325	187	0.14	0.07

記号の説明

- H : 補強リング高さ
- B : 補強リング幅
- t 1, t 2 : 補強リング板厚
- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- Q : せん断力
- A : 断面積
- Z : 断面係数
- A_s : せん断断面積
- σ_c : 圧縮応力度
- σ_b : 曲げ応力度
- τ : せん断応力度
- f_c : 許容圧縮応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_s : 許容せん断応力度



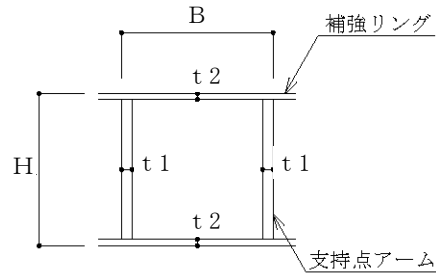
補強リング断面図 (図 7-1 中 A-A 断面)

表 7-2 支持点アームの断面算定 (SN490B)

断面寸法				評価用応力 (Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6))		断面性能		応力度		許容応力度		許容応力度比	
H (mm)	B (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	M (kN・m)	Q (kN)	Z ($\times 10^3 \text{ mm}^3$)	A _s ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _s (N/mm ²)	$\frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
400	600	28	16	350	444	7540	174.1	46.5	25.6	325	187	0.15	0.14

記号の説明

- H : 支持点アーム高さ
- B : 支持点アーム幅
- t1, t2 : 支持点アーム板厚
- M : 曲げモーメント
- Q : せん断力
- Z : 断面係数
- A_s : せん断断面積
- σ_b : 曲げ応力度
- τ : せん断応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_s : 許容せん断応力度

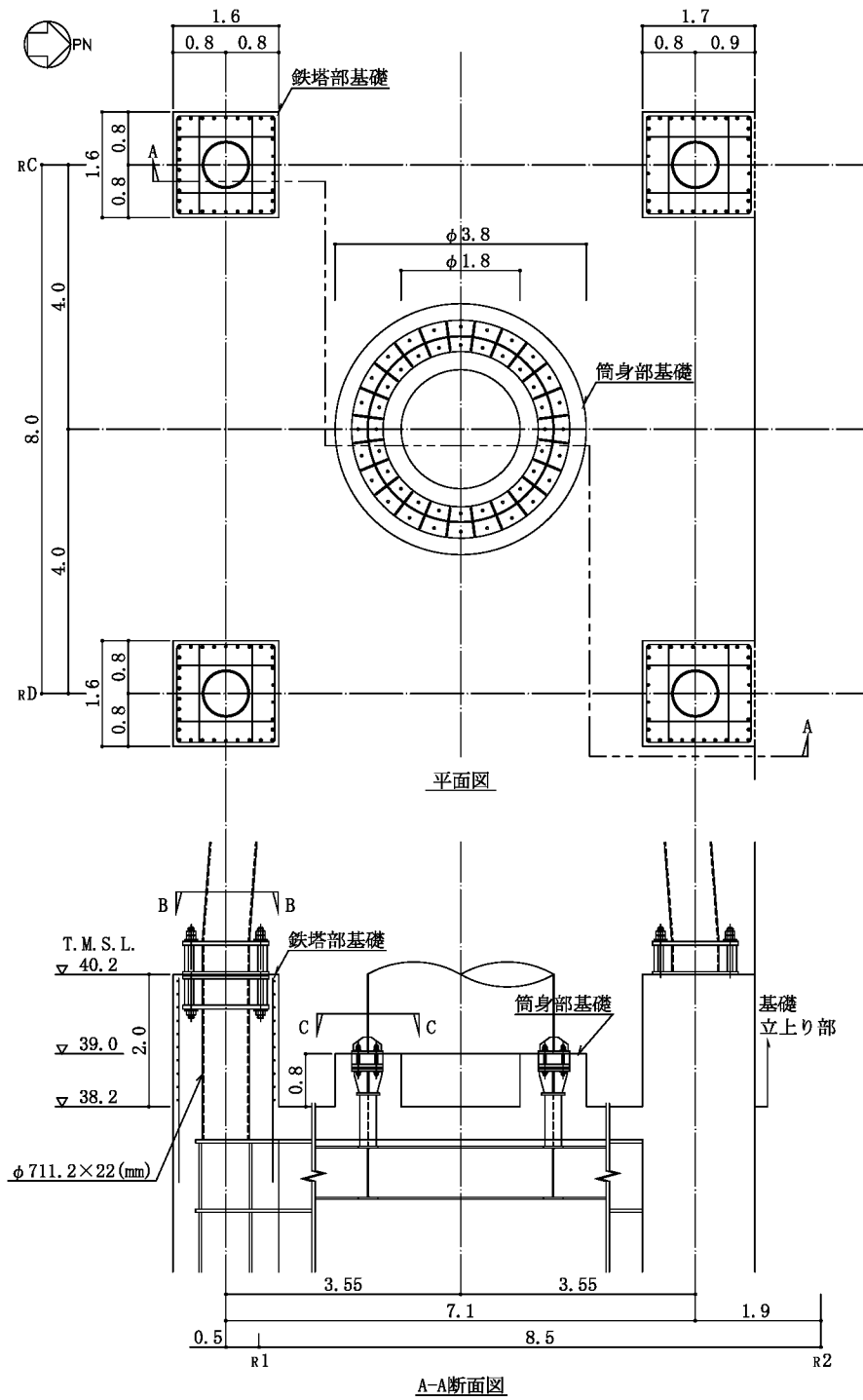


支持点アーム断面図 (図 7-1 中 B-B 断面)

8. 基礎の評価

8.1 基礎の概要

主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立上り部である。主排気筒の基礎の概要図を図 8-1 に、主排気筒の基礎の詳細図を図 8-2 に筒身部基礎の詳細図を図 8-3 に示す。



(単位：m)

図 8-1 主排気筒の基礎の概要図

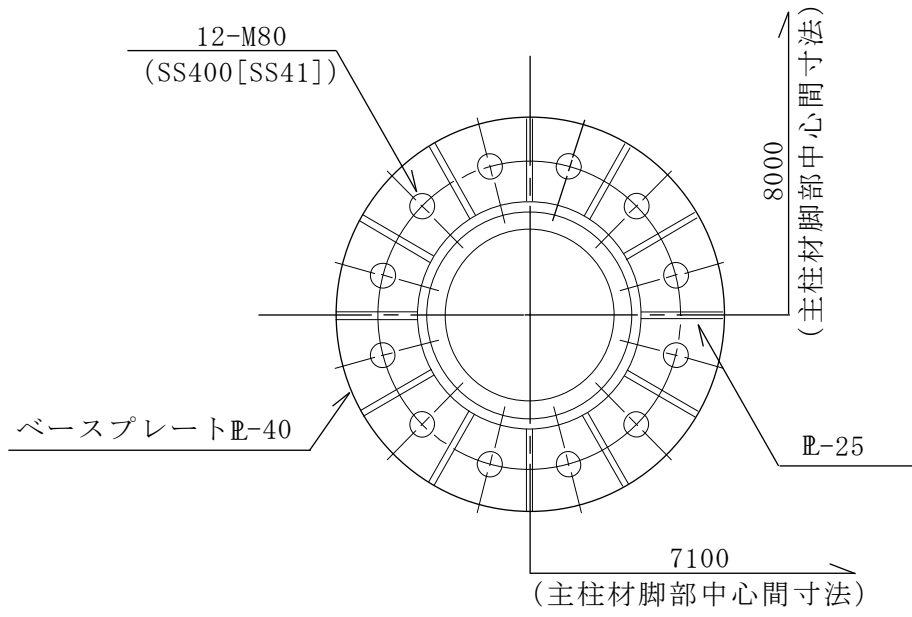


図 8-2 鉄塔部基礎の詳細図 (B-B 矢視) (単位 : mm)

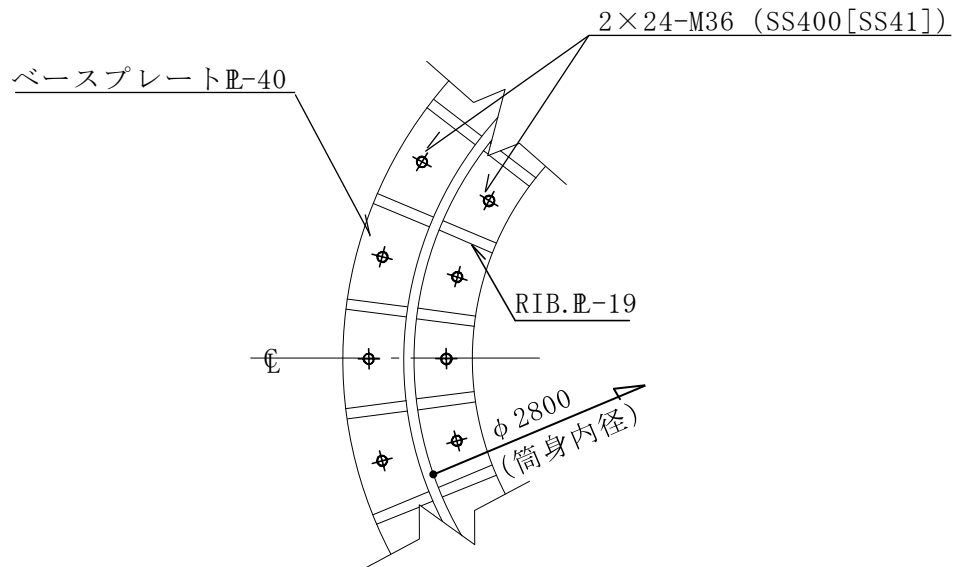


図 8-3 筒身部基礎の詳細図 (C-C 矢視) (単位 : mm)

8.2 荷重及び荷重の組合せ

主排気筒の基礎は、風荷重又は地震荷重の大きい方と主排気筒より受ける鉛直荷重を組合せたもののうち、最も不利な組合せを考慮する。基礎が主排気筒より受ける荷重を表 8-1 に示す。

表 8-1 基礎が主排気筒より受ける荷重

		鉛直荷重	水平荷重				評価用応力*	
			風荷重*		地震荷重			
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*		
鉄塔部 基礎	引張側軸力 (kN)	250	-1010	-1750	-2410	<u>-8980</u>	S _s -2 (ケース6)	-8980 (動的地震荷重)
	圧縮側軸力 (kN)	347	1740	1520	2410	<u>9820</u>		9820 (動的地震荷重)
	水平力 (kN)	50.2	482	535	501	<u>1940</u>		1940 (動的地震荷重)
	曲げモーメント (kN・m)	12.5	78.1	109	54.1	<u>332</u>		332 (動的地震荷重)
筒身部 基礎	圧縮側軸力 (kN)	598	616	616	—	<u>978</u>	S _s -2 (ケース6)	978 (動的地震荷重)
	水平力 (kN)	—	561	568	293	<u>1170</u>		1170 (動的地震荷重)
	曲げモーメント (kN・m)	—	1670	1340	4790	<u>3930</u>		3930 (動的地震荷重)

注記* : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

注1 : 軸力は圧縮を正とする。

注2 : 下線部は最大となる応力を示す。

8.3 基礎の評価

(1) 鉄塔部

a. 基礎ボルトの評価

(a) 評価用応力

評価用応力を表 8-2 に示す。基礎ボルトの評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-2 評価用応力

	軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S _s による地震力	-8980	332	1940	Ss-2 (ケース 6)

鉄塔部基礎ボルトの評価位置 (T. M. S. L. 40.2m, 赤枠部)

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

軸力、曲げモーメント及びせん断力を考慮する。なお、せん断力は各基礎ボルトに均等に作用するものとする。基礎ボルトの諸元を表 8-3 に、鉄塔の断面性能を表 8-4 に示す。

表 8-3 基礎ボルトの諸元

材料	基礎ボルト 本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
ボルト (SS400[SS41])	12	80	43.40*

注記*：細目ねじとする。(M80×6)

表 8-4 鉄塔の断面性能 (主柱材: $\phi 711.2 \times 19\text{mm}$)

断面積 $A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
413.2	6960

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

- 鉄塔の引張応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} = 265.1 \text{N/mm}^2$$

- 基礎ボルト 1 本当たりの引張力 $T_a = \frac{\sigma_t \cdot A}{n} = 912.9 \text{kN}$

- 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力 $Q_a = \frac{Q}{n} = 161.7 \text{kN}$

- 引張応力度 $\sigma = \frac{T_a}{A_0} = 211 \text{N/mm}^2 < 236 \text{N/mm}^2$ 可

- せん断応力度 $\tau = \frac{Q_a}{A_0} = 37.3 \text{N/mm}^2 < 236 \text{N/mm}^2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 136 \text{N/mm}^2$ 可

注記* : 許容引張応力度 (f_{ts}) = $1.4 f_{t0} - 1.6 \tau = 1.4 \times 236 - 1.6 \times 36.3$
 $= 270 \text{N/mm}^2$ かつ 236N/mm^2 以下
 $\rightarrow f_{ts} = 236 \text{N/mm}^2$

ここで,

T_a : 基礎ボルト 1 本当たりの引張力

Q_a : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力

σ : 引張応力度

τ : せん断応力度

f_{ts} : せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力度 (鋼構造設計規準に基づく)

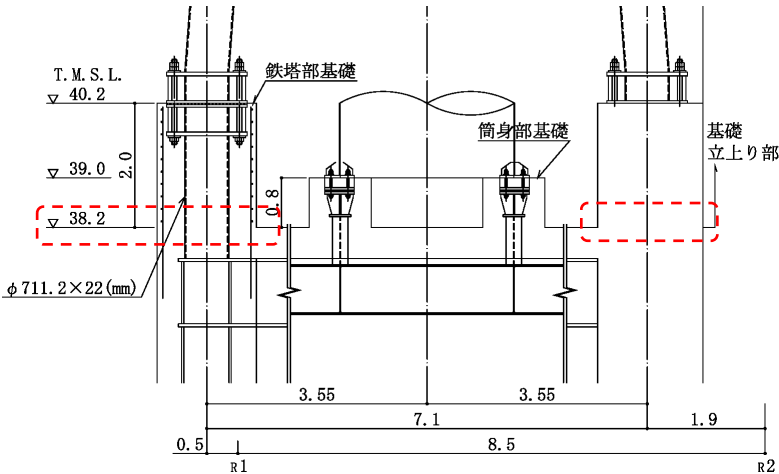
f_{t0} : ボルト (SS400[SS41], M80) の許容引張応力度 = $215 \times 1.1 = 236 \text{N/mm}^2$ (鋼構造設計規準に基づく)

b. 基礎立上り部の評価

(a) 評価用応力

評価用応力を表 8-5 に示す。基礎立上り部の評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-5 評価用応力

		軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S_s による地震力	引張側	-8980	3580	1940	Ss-2 (ケース 6)
	圧縮側	9820			
鉄塔部基礎立上り部の評価位置 (T. M. S. L. 38.2m, 赤枠部)					
					

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

基礎は引張側より応力が支配的な圧縮側にて検討する。なお、曲げモーメント及びせん断力については鉄筋コンクリート部が負担し、軸力については鉄骨柱が負担するものとする。

鉄骨柱の諸元を表 8-6 に、鉄塔部基礎の断面性能を表 8-7 に示す。

基礎寸法は 2 種類 (1.6m×1.6m 及び 1.6m×1.7m) あるが、ここでは断面性能の低い基礎 (1.6m×1.6m) について評価を実施する。

表 8-6 鉄骨柱の諸元 (φ711.2×22mm)

断面積 $s A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $s Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
476.3	7960

表 8-7 鉄塔部基礎の断面性能

断面積 $A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
20860	10234.3

注：基礎寸法 1.6m×1.6m の場合を示す。

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

- 鉄筋コンクリート部主筋の応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} = 350 \text{N/mm}^2 < 345 \times 1.1 = 379 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

- コンクリートのせん断応力度

$$\tau = \frac{Q}{A} = 0.931 \text{N/mm}^2 < 1.21 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

- 鉄骨柱の応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{s A} = 207 \text{N/mm}^2 < 325 \times 1.1 = 357 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋コンクリート部主筋の応力度

τ : コンクリートのせん断応力度

σ_c : 鉄骨柱の応力度

(2) 筒身部

a. 基礎ボルトの評価

(a) 評価用応力

基礎ボルトの評価用応力を表 8-8 に示す。基礎ボルトの評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-8 基礎ボルトの評価用応力

	軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S _s による地震力	598	3930	1170	Ss-2 (ケース 6)
筒身部基礎ボルトの評価位置 (T. M. S. L. 39.0m, 赤枠部)				

(単位 : m)

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

軸力、曲げモーメント及びせん断力について考慮する。なお、せん断力は各基礎ボルトに均等に作用するものとする。基礎ボルトの諸元を表 8-9 に、筒身の断面性能を表 8-10 に示す。

表 8-9 基礎ボルトの諸元

材料	基礎ボルト 本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
SS400[SS41]	2×24	36	8.17*

注記*：並目ねじとする。(M36×4)

表 8-10 筒身の断面性能

断面積 A (×10 ² mm ²)	断面係数 Z (×10 ³ mm ³)
883	61800

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

・筒身の引張応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} = 56.9 \text{N/mm}^2$$

・基礎ボルト 1 本当たりの引張力 $T_a = \frac{\sigma_t \cdot A}{n} = 104.7 \text{kN}$

・基礎ボルト 1 本当たりのせん断力 $Q_a = \frac{Q}{n} = 24.4 \text{kN}$

・引張応力度 $\sigma = \frac{T_a}{A_0} = 129 \text{N/mm}^2 < 258 \text{N/mm}^2$ 可

・せん断応力度 $\tau = \frac{Q_a}{A_0} = 29.9 \text{N/mm}^2 < 258 \text{N/mm}^2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 148 \text{N/mm}^2$ 可

注記* : 許容引張応力度 (f_{t s}) = 1.4 f_{t 0} - 1.6 τ = 1.4 × 258 - 1.6 × 29.9
= 313 N/mm² かつ 258 N/mm² 以下
→ f_{t s} = 258 N/mm²

ここで,

T_a : 基礎ボルト 1 本当たりの引張力

Q_a : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力

σ : 引張応力度

τ : せん断応力度

f_{t s} : せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力度 (鋼構造設計規準に基づく)

f_{t 0} : ボルト (SS400 [SS41]) の短期許容引張応力度 = 235 × 1.1 = 258 N/mm² (鋼構造設計規準に基づく)

9. SGTS 用排気筒の評価

9.1 SGTS 用排気筒部の評価

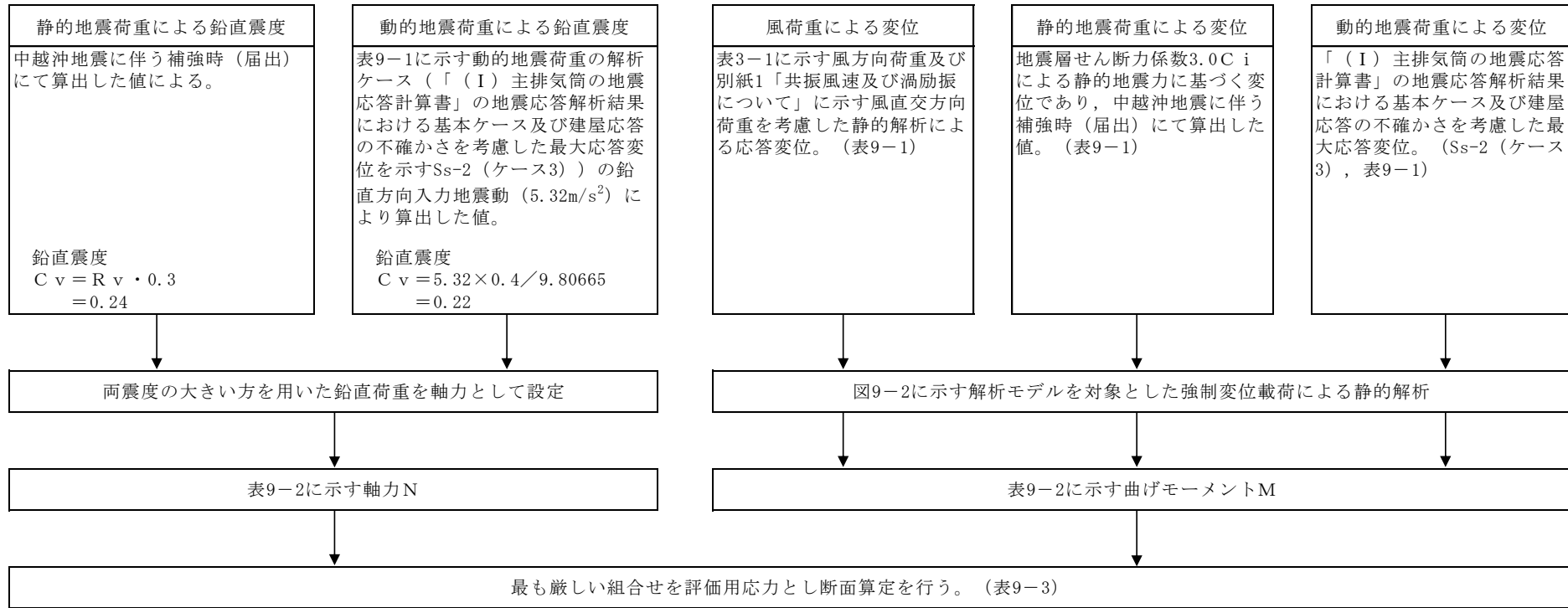
SGTS 用排気筒は、筒身に支持されている。SGTS 用排気筒の剛性は筒身の剛性に比べて小さいので、変形は筒身の変形に追従する。したがって、筒身の変位を SGTS 用排気筒に強制的に与えることにより応力を算出し、最大応力で断面の算定を行う。また、SGTS 用排気筒の各支持点間での 1 次固有振動数は高いので、筒身と共振することはない。

SGTS 用排気筒部の評価の概要を図 9-1 に示す。

SGTS 用排気筒部の評価用応力のうち、曲げモーメントについては、風荷重及び地震荷重による強制変位載荷により算出し、各部材間で最大となる応力を設定する。詳細には、表 9-1 に示す筒身脚部 (T. M. S. L. 38. 2m) に対する相対変位を図 9-2 に示す解析モデルに対し強制載荷する。このとき、動的地震荷重による変位は、「(I) 主排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による基本ケース及び建屋応答の不確かさを考慮した最大応答変位である。また、静的地震荷重による変位は、地震層せん断力係数 3.0 Ci による静的地震力に基づく変位であり、中越沖地震に伴う補強時 (届出) にて算出した値を用いる。風荷重による変位は、表 3-1 に示す風方向荷重及び別紙 1「共振風速及び渦励振について」に示す風直交方向荷重を考慮した静的解析による応答変位である。

軸力については、地震荷重による鉛直震度により算出し、各部材間で最大となる応力を設定する。このとき、動的荷重による鉛直震度は、表 9-1 に示す動的地震荷重の解析ケース (Ss-2 (ケース 3)) における入力地震動 (T. M. S. L. 38. 2m における原子炉建屋の鉛直方向応答加速度) により算出する。静的地震荷重による震度は、鉛直震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して設定しており、中越沖地震に伴う補強時 (届出) にて算出した値を用いる。

図 9-3 に筒身部及び SGTS 用排気筒概要を、表 9-2 に SGTS 用排気筒応力及び表 9-3 に断面算定の結果を示す。なお、断面性能の算定には、保守的に腐食代を筒身部内側に 2mm を考慮する。



注：Rvは鉛直方向振動特性係数（0.8）を示す。

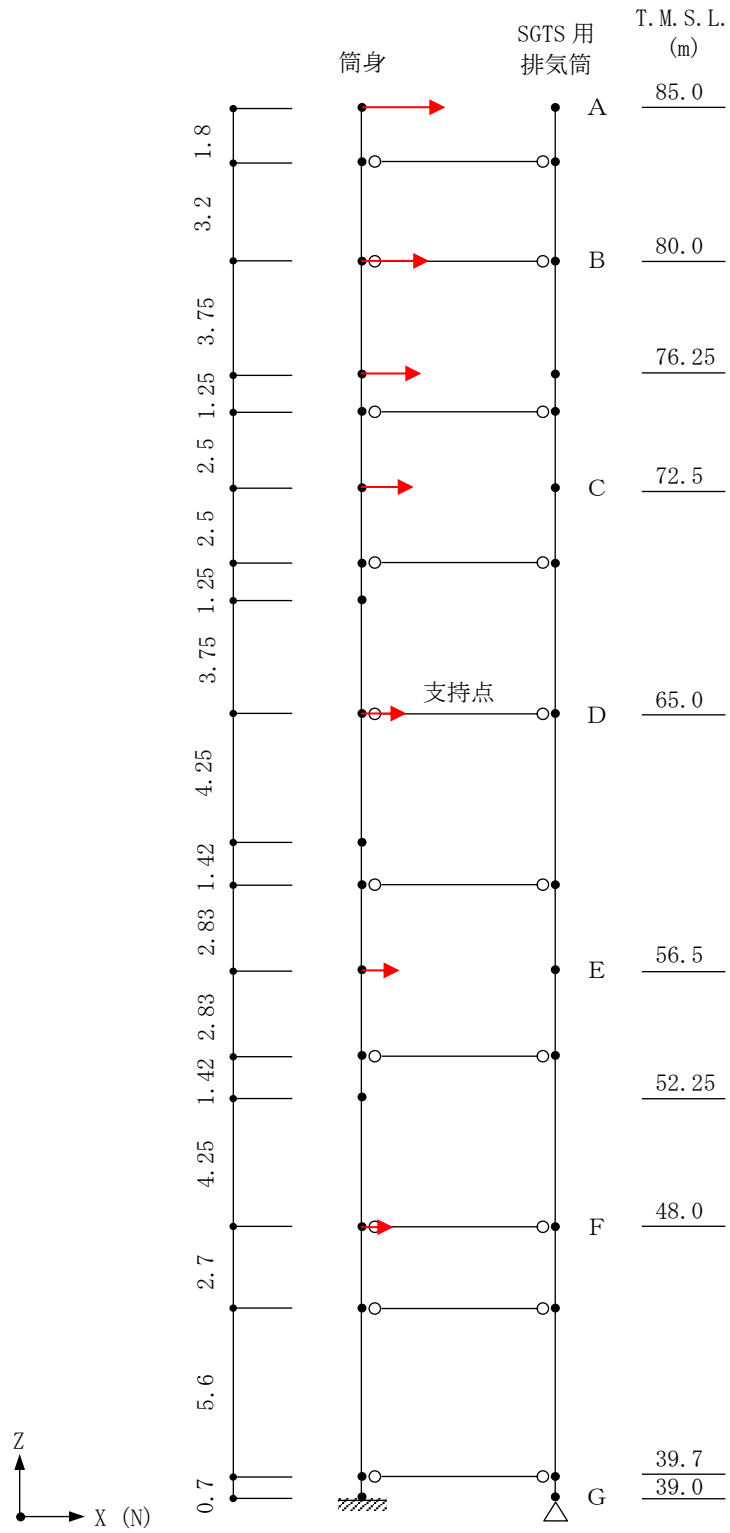
図9-1 SGTS用排気筒部の評価の概要

表 9-1 最大応答変位 (SGTS 用)

支持点	標高 T. M. S. L. (m)	風荷重 (mm)		地震荷重 (mm)	
		90° 方向*1	45° 方向	静的	動的*2
A	85.0	218	215	134	306
B	80.0	181	178	111	248
制震装置支持部	76.25	154	151	93.9	205
C	72.5	127	125	78.0	166
D	65.0	77.3	75.6	49.9	97.5
E	56.5	31.4	30.2	24.3	39.7
F	48.0	5.07	4.55	7.40	7.28

注記*1 : NS 方向に対する風荷重載荷時の値を示す。

*2 : Ss-2 (ケース 3) の最大応答変位を示す。



注：強制変位の入カイメージを赤矢印で示す。

図 9-2 解析モデル

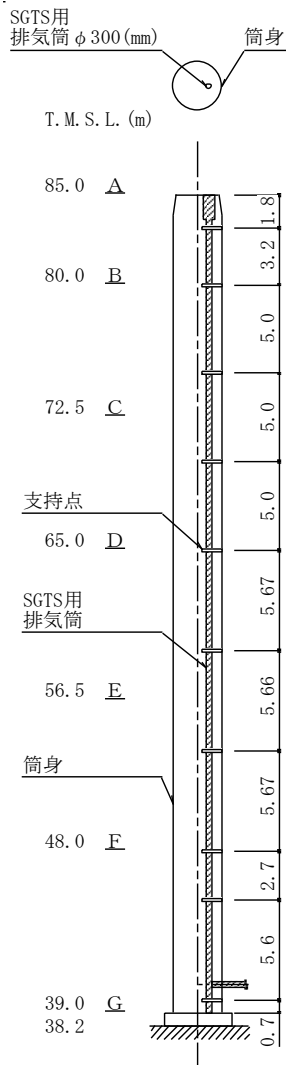


表 9-2 評価用応力

部材間	軸力N (kN)		曲げモーメントM (kN・m)			評価用応力	
	地震荷重		風荷重	地震荷重		N (kN)	M (kN・m)
	静的	動的		静的	動的 ^{*1, *2}		
A-B	<u>7.35</u>	7.23	0.225	0.249	<u>1.38</u>	7.35	1.38
B-C	<u>15.0</u>	14.8	1.91	2.33	<u>6.78</u>	15.0	6.78
C-D	<u>22.7</u>	22.3	3.11	2.21	<u>6.57</u>	22.7	6.57
D-E	<u>31.3</u>	30.8	6.74	3.07	<u>8.71</u>	31.3	8.71
E-F	<u>39.9</u>	39.3	9.01	3.43	<u>9.97</u>	39.9	9.97
F-G	<u>51.5</u>	50.7	9.01	4.72	<u>9.97</u>	51.5	9.97

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 建屋応答の不確かさを考慮した値であり、Ss-2 (ケース3) による。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

図 9-3 SGTS 用排気筒概要

表 9-3 SGTS 用排気筒の断面の算定結果 (STS410[STS42])

部材間	部材長 (m)	評価用応力		使用部材				L _k (mm)	λ	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	σ _c (N/mm ²)	σ _b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A (×10 ² mm ²)	Z (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
A-B	3.20	7.35	1.38	φ300×10.3	80.9	611	110.0	3200	29	232	245	1.0	2.3	0.02
B-C	5.00	15.0	6.78					5000	45	216	245	1.9	11.1	0.06
C-D	5.00	22.7	6.57					5000	45	216	245	2.9	10.8	0.06
D-E	5.67	31.3	8.71					5670	52	207	245	3.9	14.3	0.08
E-F	5.67	39.9	9.97					5670	52	207	245	5.0	16.4	0.10
F-G	5.60	51.5	9.97					5600	51	208	245	6.4	16.4	0.10

記号の説明

- | | |
|-----------------------|---|
| N : 軸力 | λ : 細長比 (L _k / i) |
| M : 曲げモーメント | f _c : 圧縮応力度に対する許容値 |
| A : 断面積 | f _b : 曲げ応力度に対する許容値 |
| Z : 断面係数 | σ _c : 圧縮応力度 (N / A, 圧縮を正とする) |
| i : 断面二次半径 | σ _b : 曲げ応力度 (M / Z) |
| L _k : 座屈長さ | |

9.2 支持部の評価

SGTS 用排気筒の支持部は図 9-4 に示すとおり、筒身に SGTS 用排気筒を水平方向に支持する構造である。

支持部は筒身内面からの片持ち部材を主とする構造である。評価においては SGTS 用排気筒支持レベルにおける筒身の基準地震動 S_s に対する加速度応答を考慮する。断面算定は支持部を構成する部材について行っているが、ここでは支持部構成部材のうち、片持ち部材の材軸に対し直交方向に地震荷重が作用する場合について断面算定を行う。詳細には、表 9-4 に示す荷重を考慮した静的応力解析を行い、解析結果に基づく断面算定を行う。荷重の載荷方法を図 9-5 に、SGTS 用排気筒支持部断面の算定結果を表 9-5 に示す。

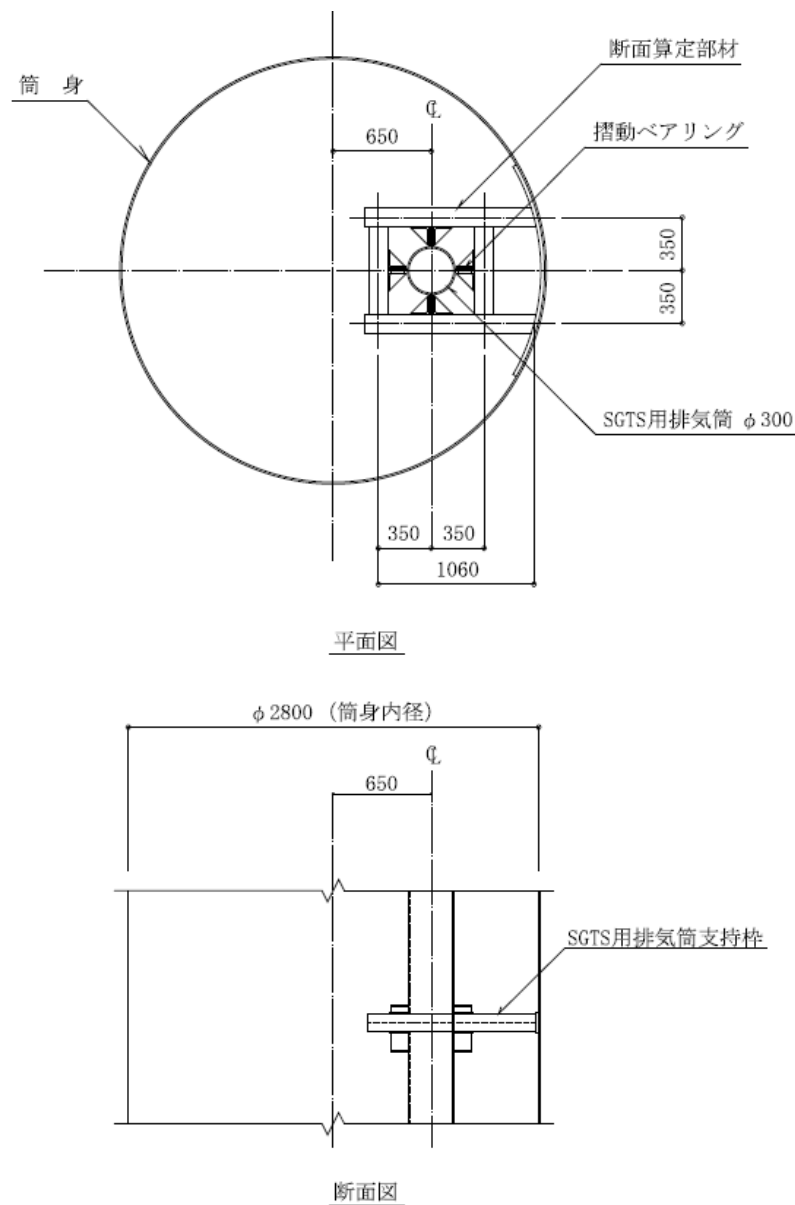


図 9-4 支持部の概要 (単位 : mm)

表 9-4 荷重

(a) 水平震度算定に用いた応答加速度

T. M. S. L. (m)	加速度 (m/s ²)	地震動 (組合せ) (ケース)	備考
85.0	72.4	Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6)	当該レベルの 最大加速度応答
83.2	66.9	(線形補間結果)	荷重算定の際に 水平震度として考慮
80.0	57.2	Ss-2 (NS+EW+鉛直) (ケース 6)	当該レベルの 最大加速度応答

(b) 荷重算定表

T. M. S. L. (m)	固定荷重 (t)	水平震度	固定荷重 × 水平震度 (t)	評価用荷重 F (kN)
83.2	0.45	6.83	3.08	30.21

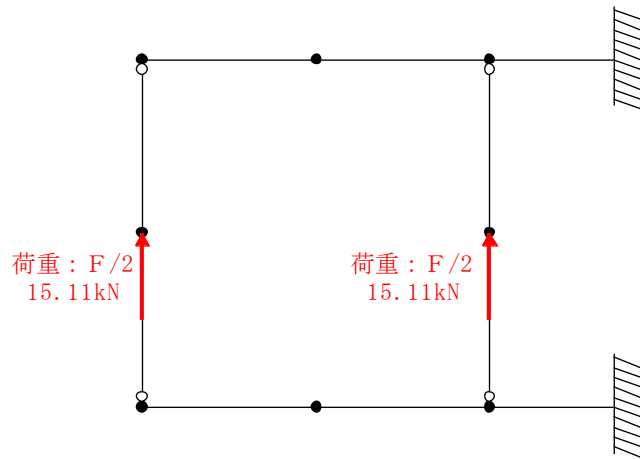


図 9-5 荷重の載荷方法

表 9-5 SGTS 用排気筒の支持部断面の算定結果 (SS400[SS41])

部材長 (m)	評価用応力		使用部材				L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
	N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
1.06	0.0	10.8	H-125×125×6.5×9	22.1	102.2	22.2	2120	95	142	258	0.0	105.7	0.41

記号の説明

N : 軸力

 λ : 細長比 (L_k / i)

M : 曲げモーメント

 f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による)

A : 断面積

 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による)

Z : 断面係数

 σ_c : 圧縮応力度 (N / A , 圧縮を正とする)

i : 断面二次半径

 σ_b : 曲げ応力度 (M / Z) L_k : 座屈長さ

10. 評価結果

以上の評価結果より主排気筒は荷重に対し、発生応力が評価基準値以内となっており十分な安全余裕を有している。

別紙1 共振風速及び渦励振について

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 検討方針	別紙 1-2
3. 渦励振の発生の有無	別紙 1-4
3.1 鉄塔部	別紙 1-4
3.1.1 判定方法	別紙 1-4
3.1.2 判定結果	別紙 1-6
3.1.3 実状に応じた見直しを考慮した判定結果	別紙 1-7
3.2 筒身部	別紙 1-10
4. 渦励振を考慮した場合の解析	別紙 1-11
4.1 渦励振による風直交方向荷重	別紙 1-11
4.2 解析結果	別紙 1-13

1. 概要

本資料は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「今回設工認」という。）における断面算定表について、記載されている共振風速の設計上の取扱いを説明し、渦励振の発生の有無の確認及び渦励振による風直交方向荷重による検討について示す資料である。

なお、本計算書における使用計算機コードは「f a p p a s e」である。また、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2. 検討方針

主排気筒のような煙突構造物では、カルマン渦の発生周波数と構造物の固有振動数が一致する風速で、風直交方向に大きな振動（渦励振）が発生するおそれがある。この風速を共振風速として、今回設工認における断面算定表に記載している。記載した共振風速を表 2-1 に示す。

鉄塔部（支柱材、斜材及び水平材）における共振風速 V_r は、次式により算定する。

$$V_r = D \cdot f_L / S_t \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

V_r : 個材の共振風速 (m/s)

D : 円形断面個材の外径 (m)

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

S_t : ストローハル数（円形断面につき 0.18）

なお、表 2-1 に示した鉄塔部の共振風速は、柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機「柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機の工事計画の変更認可について」（6 資庁第 3247 号 平成 6 年 4 月 27 日）（以下「建設時工認（認可）」という。）にて算出した値を用いている。

筒身部における共振風速 U_r は、次式により算定する。

$$U_r = 5 \cdot f_L \cdot D_m \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、

U_r : 筒身部の共振風速 (m/s)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数（=2.86Hz）

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径（=2.816m）

H : 煙突の基準高さ（=73.0m）

なお、表 2-1 に示した筒身部の共振風速は、柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機「工事計画届出書」（総官発 20 第 179 号 平成 20 年 8 月 25 日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）にて算出した値を用いている。

「煙突構造設計指針」（（社）日本建築学会，2007 制定）（以下「煙突構造設計指針」という。）に基づき、鉄塔部の個材及び筒身部に対する渦励振について検討を行う。検討フローを図 2-1 に示す。

表 2-1 今回設工認における共振風速

(a) 主柱材

主柱材 (mm)	部材間	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 318.5 \times 6$	B - C	175
$\phi 406.4 \times 6.4$	C - D	414
$\phi 508.0 \times 7.9$	D - E	504
$\phi 609.6 \times 16$	E - F	719
$\phi 711.2 \times 19$	F - G	284

(b) 斜材

斜材 (mm)	部材間	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 216.3 \times 4.5$	B - C	35
$\phi 267.4 \times 6$	C - D	52
$\phi 355.6 \times 7.9$	D - E	118
$\phi 406.4 \times 12.7$	E - F	149
$\phi 558.8 \times 16$	F - G	103

(c) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 216.3 \times 4.5$	B	29
$\phi 216.3 \times 4.5$	C	26
$\phi 318.5 \times 6$	D	53
$\phi 318.5 \times 6$	E	48
$\phi 406.4 \times 6.4$	F	112

(d) 筒身部

筒身部 (mm)	部材間	共振風速 U_r (m/s)
$\phi 2812 \times 6$	A - B	40
$\phi 2812 \times 6$	B - C	
$\phi 2812 \times 6$	C - D	
$\phi 2816 \times 8$	D - E	
$\phi 2816 \times 8$	E - F	
$\phi 2824 \times 12$	F - G	

K6 ① VI-2-7-2-1 別紙 1 R0

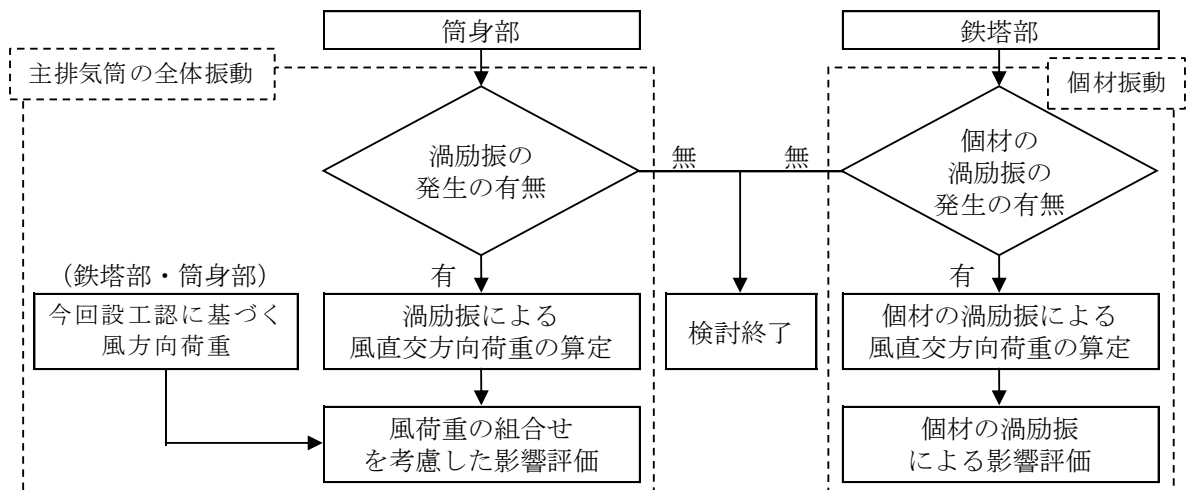


図 2-1 検討フロー

3. 渦励振の発生の有無

3.1 鉄塔部

3.1.1 判定方法

鉄塔部について、個材の渦励振に関する判定フローを図 3-1 に示す。

「煙突構造設計指針」では、次式の条件を満たす個材に対して、渦励振を考慮するものとしている。

$$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ} \quad L / D \geq 15 \dots\dots\dots (3. 1)$$

ここで、

U_z : 個材の平均高さ Z における設計風速 (m/s), 今回設工認に示す基準風速 (=40.1m/s) とする。

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

S_t : ストローク数 (円形断面につき 0.18)

L : 個材の長さ (m)

D : 円形断面個材の外径 (m)

(3. 1) 式から、(3. 2) 式又は (3. 3) 式のいずれかを満たす場合は、渦励振を考慮しなくても良いと判断できる。

$$40.1 / (f_L \cdot D) < 0.83 / S_t \dots\dots\dots (3. 2)$$

$$L / D < 15 \dots\dots\dots (3. 3)$$

ここで (3. 2) 式に (2. 1) 式を代入し、式変形させたものを (3. 4) 式に示す。

$$48.4 < V_f \dots\dots\dots (3. 4)$$

以上より、(3. 3) 式及び (3. 4) 式に基づき、個材の渦励振の発生の有無について判定する。

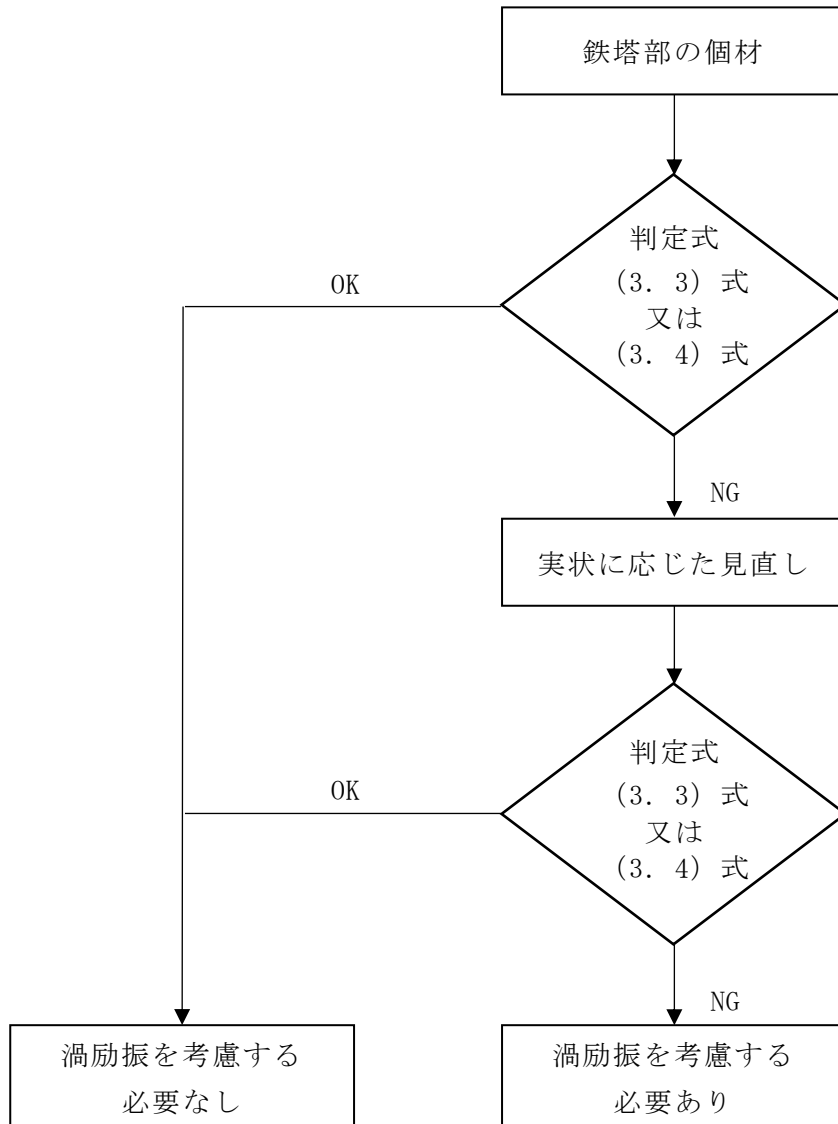


図 3-1 個材の渦励振に関する判定フロー

3.1.2 判定結果

判定結果を表 3-1 に示す。

判定の結果、一部の斜材及び水平材については、(3.3)式及び(3.4)式のいずれも満たさない。しかしながら、判定に用いた個材の長さLや共振風速 V_r は、建設時工認（認可）にて算出した保守的な値を用いている。よって、斜材及び水平材について実状に応じた見直しを行う。

表 3-1 個材の渦励振に関する判定結果

(a) 主柱材

主柱材 (mm)	部材間	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 318.5 \times 6$	B-C	3.75	0.3185	11.78	175	OK	OK	不要
$\phi 406.4 \times 6.4$	C-D	3.75	0.4064	9.23	414	OK	OK	不要
$\phi 508.0 \times 7.9$	D-E	4.25	0.5080	8.37	504	OK	OK	不要
$\phi 609.6 \times 16$	E-F	4.25	0.6096	6.98	719	OK	OK	不要
$\phi 711.2 \times 19$	F-G	7.88	0.7112	11.08	284	OK	OK	不要

(b) 斜材

斜材 (mm)	部材間	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 216.3 \times 4.5$	B-C	4.54	0.2163	20.99	35	NG	NG	要
$\phi 267.4 \times 6$	C-D	4.61	0.2674	17.25	52	NG	OK	不要
$\phi 355.6 \times 7.9$	D-E	5.09	0.3556	14.32	118	OK	OK	不要
$\phi 406.4 \times 12.7$	E-F	5.16	0.4064	12.70	149	OK	OK	不要
$\phi 558.8 \times 16$	F-G	8.59	0.5588	15.38	103	NG	OK	不要

(c) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 216.3 \times 4.5$	B	5.00	0.2163	23.12	29	NG	NG	要
$\phi 216.3 \times 4.5$	C	5.23	0.2163	24.18	26	NG	NG	要
$\phi 318.5 \times 6$	D	5.46	0.3185	17.15	53	NG	OK	不要
$\phi 318.5 \times 6$	E	5.73	0.3185	18.00	48	NG	NG	要
$\phi 406.4 \times 6.4$	F	6.00	0.4064	14.77	112	OK	OK	不要

3.1.3 実状に応じた見直しを考慮した判定結果

個材の長さ L の設定例を図 3-2 に示す。

建設時工認（認可）において、共振風速 V_r の算定に用いた個材の長さ L には接合部を無視した保守的な値を設定している。実際には、接合部間において個材の曲げ振動が発生し、1次固有振動数 f_L に影響を及ぼすと考えられる。そのため、実状に応じた見直しとして、個材の長さ L を以下のような設定とする。

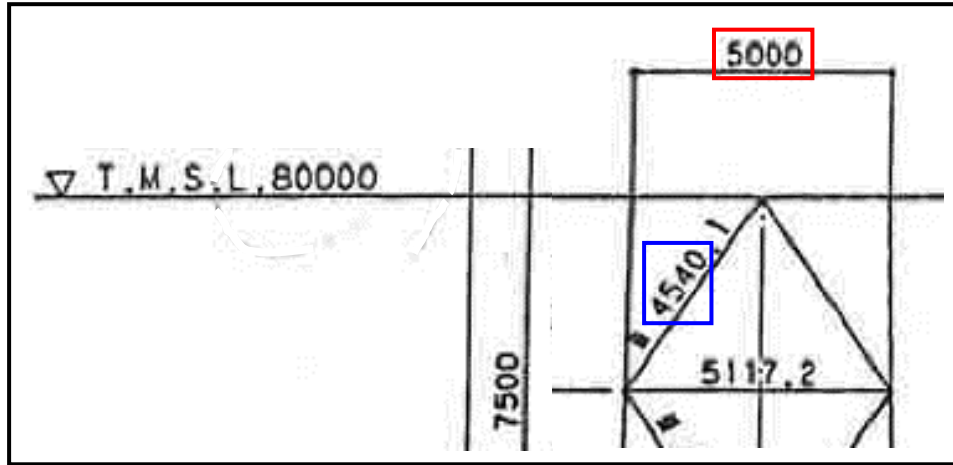
- ・ 水平材：ガセットの端部－継手のボルト中心間
- ・ 斜 材：継手のボルト中心－継手のボルト中心間

なお、個材の曲げ振動の1次固有振動数 f_L を算定する際の境界条件は、保守的にピン接合－ピン接合とする。

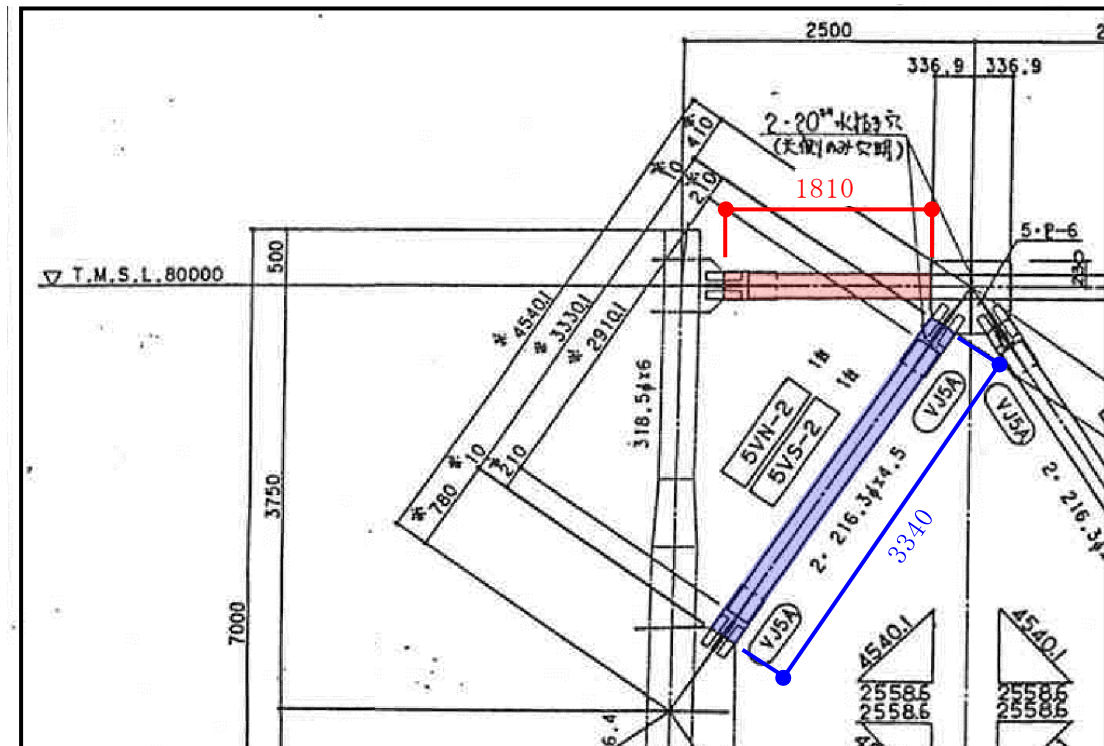
実状に応じた見直しを考慮した判定結果を表 3-2 に示す。

判定の結果、いずれの部材についても（3. 3）式又は（3. 4）式のいずれかを満たす。

以上より、鉄塔部における個材振動に関し、渦励振を考慮する必要は無いと判断した。



(a) 建設時工認における設定例（施工図*に対し加筆）



(b) 施工図*を参考とした実状に応じた見直し例

注記*： 柏崎刈羽原子力発電所第6号機工事の内 発電所本館建物新設工事
（その2）排気筒工事を示す。

注1： 青枠内及び青字は、斜材（B-C間）の個材長さLを示す。

注2： 赤枠内及び赤字は、水平材（B）の個材長さLを示す。

図3-2 個材の長さLの設定例（単位：mm）

表 3-2 実状に応じた見直しを考慮した判定結果

(a) 斜材

斜材 (mm)	部材間	L ^{*1} (m)	D (m)	L/D ^{*2}	共振風速 V _r ^{*2} (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
φ 216.3× 4.5	B-C	3.34	0.2163	15.45	64	NG	OK	不要
φ 267.4× 6	C-D	3.14	0.2674	11.75	111	OK	OK	不要
φ 355.6× 7.9	D-E	3.32	0.3556	9.34	176	OK	OK	不要
φ 406.4× 12.7	E-F	3.05	0.4064	7.51	271	OK	OK	不要
φ 558.8× 16	F-G	5.16	0.5588	9.24	180	OK	OK	不要

注記*1 : 実状に応じた個材の長さLの見直し結果を示す。

*2 : 実状に応じた見直しを考慮し再算定した結果を示す。

(b) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	L ^{*1} (m)	D (m)	L/D ^{*2}	共振風速 V _r ^{*2} (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
φ 216.3× 4.5	B	1.81	0.2163	8.37	220	OK	OK	不要
φ 216.3× 4.5	C	1.76	0.2163	8.14	233	OK	OK	不要
φ 318.5× 6	D	1.73	0.3185	5.44	524	OK	OK	不要
φ 318.5× 6	E	1.70	0.3185	5.34	543	OK	OK	不要
φ 406.4× 6.4	F	1.43	0.4064	3.52	1255	OK	OK	不要

注記*1 : 実状に応じた個材の長さLの見直し結果を示す。

*2 : 実状に応じた見直しを考慮し再算定した結果を示す。

3.2 筒身部

煙突構造設計指針では、次式の条件を満たす煙突に対しては、渦励振を考慮するものとしている。

$$U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2 \dots\dots\dots (3.5)$$

ここで、

U_H : 基準風速 (=40.1m/s)

f_L : 風直交方向振動の1次固有振動数 (=2.86Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ 2H/3 における外径 (=2.816m)

H : 煙突の基準高さ (=73.0m)

以上を (3.5) 式に代入すると (3.6) 式となる。

$$40.1 / (2.86 \times 2.816) = 4.979 \geq 4.2 \dots\dots\dots (3.6)$$

以上より、主排気筒は (3.5) 式の条件を満たすため、渦励振による風直交方向荷重を考慮する必要がある。

4. 渦励振を考慮した場合の解析

4.1 渦励振による風直交方向荷重

「煙突構造設計指針」より、風直交方向荷重の算定式を (4. 1) 式に示す。

$$W_r = 0.8 \cdot \rho \cdot U_r^2 \cdot C_r \cdot \frac{Z}{H} \cdot A_F \dots \dots \dots (4. 1)$$

ここで、

W_r : 地表面からの高さ Z における渦励振による風直交方向荷重 (N)

ρ : 空気密度 (= 1.22kg/m³)

U_r : 共振風速 (m/s) = 5 · f_L · D_m (= 40.3m/s*)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数 (= 2.86Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径
(= 2.816m)

C_r : 共振時風力係数 = 0.57/√ ζ_L (= 1.21)

ζ_L : 風直交方向振動の 1 次減衰定数 (= 0.225)

Z : 地表面からの高さ (m)

H : 煙突の基準高さ (= 73.0m)

A_F : 地表面からの高さ Z における風向き 0° に直角な面に投影した
煙突の投影面積 (m²)

注記* : 今回設工認における筒身部の共振風速は $U_r = 40\text{m/s}$ と示している。渦励振の有無の判定については、共振風速は小さい方が保守的であるため当該数値を記載しているが、荷重として考慮する場合は大きい方が保守的であるため、本評価では、 $U_r = 40.3\text{m/s}$ とする。

以上より算定した筒身部の風直交方向荷重を表 4-1 に示す。

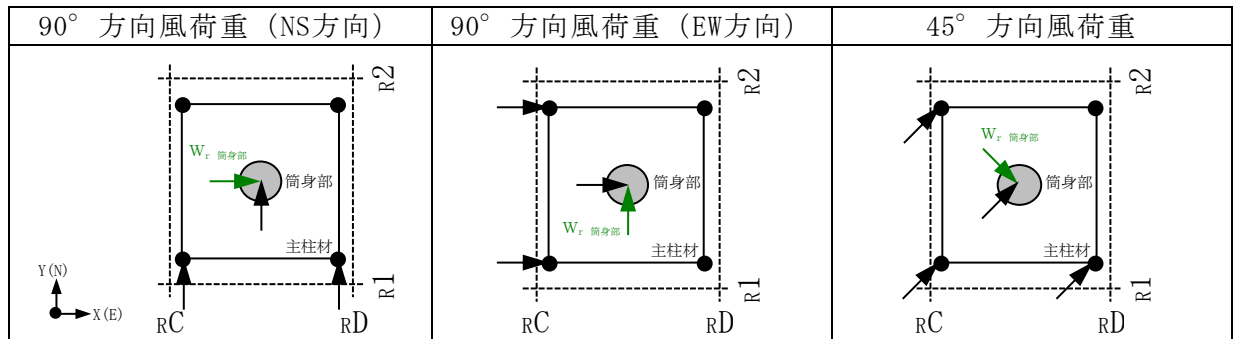
表 4-1 風直交方向荷重 (共振風速 40.3m/s)

(a) 荷重表

標高 T. M. S. L. (m)	$\frac{0.8 \cdot \rho \cdot U_r^2 \cdot C_r \cdot Z}{H \cdot 1000}$ (kN/m ²)	見付面積 A _F (m ²)	風荷重 W _r (kN)
85.00	1.92	6.8	14
80.00	1.79	12.3	22
76.25	1.69	10.6	18
72.50	1.59	15.8	26
65.00	1.39	22.5	32
56.50	1.17	24.0	29
48.00	0.946	24.7	24
39.00	0.709	12.7	10

注：90° 方向及び45° 方向の風直行方向荷重の値は同一。

(b) 載荷方向



注：黒矢印は風荷重 (風方向荷重)，緑矢印は風直交方向荷重を示す。

4.2 解析結果

解析ケースを表 4-2 に、各ケースにおける荷重の載荷方向及び荷重図を表 4-3 に示す。また、各解析より求まる各部材の発生応力の最大値を表 4-4～表 4-7 に示す。なお、表 4-4～表 4-7 には比較のため、今回設工認に基づく地震荷重による部材応力を示す。

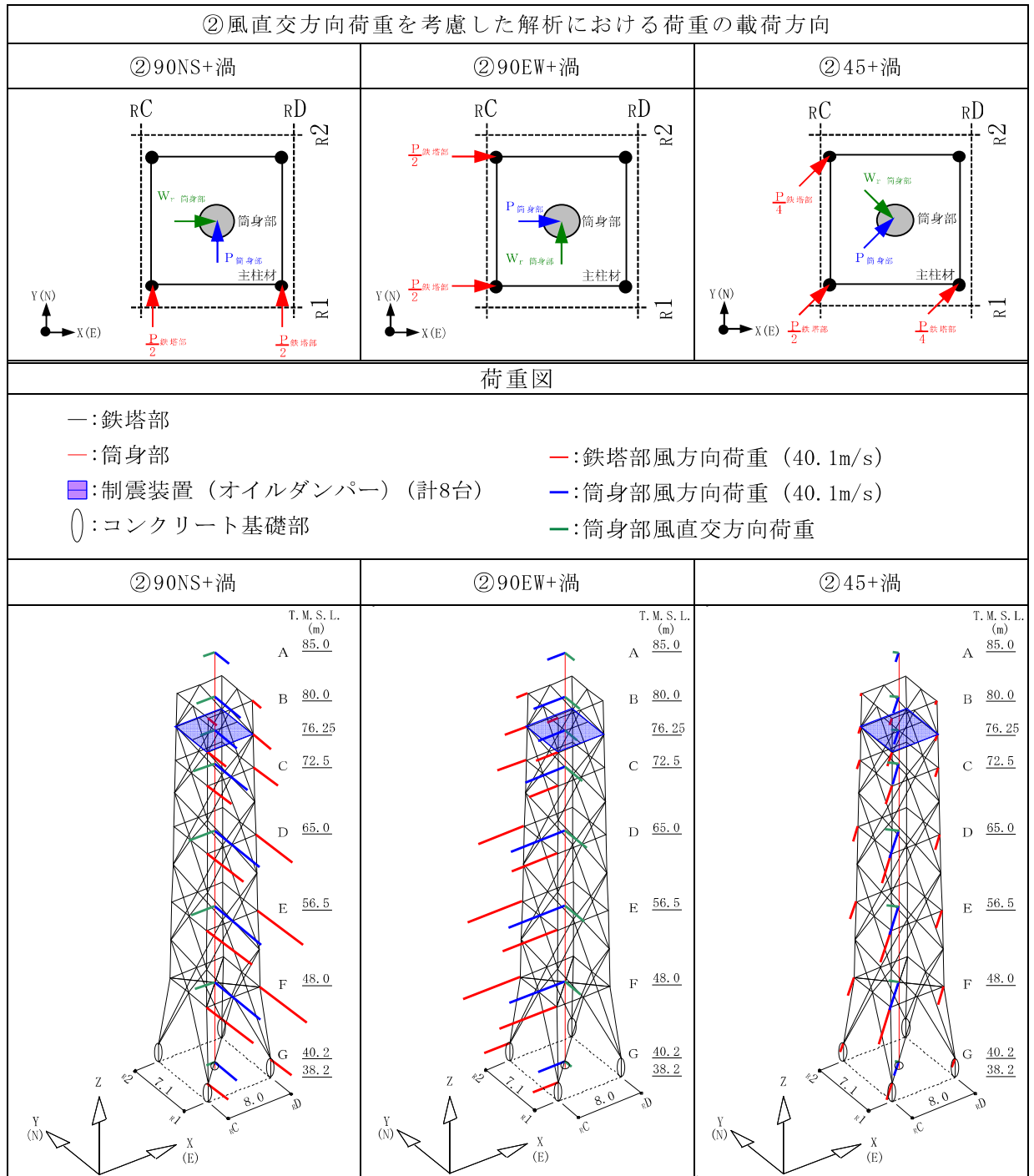
表 4-4～表 4-7 より、全ての部材において、渦励振を考慮することで多少応力は増加するものの、いずれも地震荷重による応力を下回る。

以上より、渦励振を考慮した場合でも主排気筒の発生応力は、評価基準以内となっており、十分な安全余裕を有していることを確認した。

表 4-2 解析ケース

検討 ケース	解析 ケース名	風荷重の組合せ			
		今回設工認	風方向荷重	渦励振（風直交方向荷重）	
		風速 (m/s)	風方向	風速 (m/s)	風方向
① 風方向荷重 単独解析 (今回設工認)	①90NS	40.1	90° 方向 (NS)	—	—
	①90EW	40.1	90° 方向 (EW)	—	—
	①45	40.1	45° 方向	—	—
② 風直交方向 荷重を考慮 した解析	②90NS+渦	40.1	90° 方向 (NS)	40.3 (共振風速)	90° 方向 (EW)
	②90EW+渦	40.1	90° 方向 (EW)	40.3 (共振風速)	90° 方向 (NS)
	②45+渦	40.1	45° 方向	40.3 (共振風速)	135° 方向

表 4-3 各ケースにおける荷重の載荷方向及び荷重図



注：各荷重線の長さは、荷重の大きさを示す。

表 4-4 主柱材 最大応答 (軸力及び曲げモーメント)

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	風荷重*												地震荷重		
		①90NS		②90NS+渦		①90EW		②90EW+渦		①45		②45+渦		動的*		
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)
80.0	B-C	10.4	0.819	10.4	0.824	10.4	0.815	10.4	0.818	10.4	0.862	10.4	0.861	<u>21.5</u>	<u>27.2</u>	Ss-2 (ケース6)
72.5	C-D	87.0	9.05	87.5	9.12	86.5	8.84	86.9	8.90	86.1	10.5	86.0	10.5	<u>1160</u>	<u>102</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D-E	195	9.23	196	9.40	196	9.39	196	9.51	-262	7.08	-263	7.11	<u>2910</u>	<u>164</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E-F	437	64.7	435	72.5	436	57.6	435	63.9	-684	39.2	-684	39.5	<u>5510</u>	<u>609</u>	Ss-2 (ケース6)
48.0	F-G	605	64.7	696	60.1	724	33.6	732	52.1	-1200	44.1	-1200	45.3	<u>7620</u>	<u>703</u>	Ss-2 (ケース6)
40.2																

注記* : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント

表 4-5 斜材 最大応答 (軸力)

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	風荷重*1						地震荷重	
		①90NS	②90NS+渦	①90EW	②90EW+渦	①45	②45+渦	動的*1	
		N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)
80.0	B-C	33.9	34.5	33.5	33.9	46.8	47.1	<u>686</u>	Ss-1*2 (ケース6)
72.5	C-D	59.9	60.5	59.4	59.9	82.5	82.8	<u>800</u>	Ss-1*2 (ケース6)
65.0	D-E	107	108	108	109	-148	-148	<u>1000</u>	Ss-1*2 (ケース6)
56.5	E-F	162	164	177	180	208	212	<u>1200</u>	Ss-2 (ケース3)
48.0	F-G	710	712	590	594	-578	675	<u>1510</u>	Ss-2 (ケース6)
40.2									

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 4-6 水平材 最大応答 (軸力)

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	風荷重 ^{*1}						地震荷重	
		①90NS	②90NS+渦	①90EW	②90EW+渦	①45	②45+渦	動的 ^{*1}	
		N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)
80.0	B	12.2	12.2	12.2	12.2	10.3	10.3	<u>65.1</u>	Ss-1 ^{*2} (ケース6)
72.5	C	29.0	29.1	29.0	29.0	28.9	28.9	<u>98.9</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D	47.5	47.8	47.7	47.8	48.3	48.4	<u>178</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E	51.3	51.6	50.2	50.2	71.0	73.0	<u>342</u>	Ss-2 (ケース6)
48.0	F	233	238	209	215	191	263	<u>274</u>	Ss-2 (ケース3)

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 4-7 筒身部 最大応答（軸力及び曲げモーメント）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	風荷重*1												地震荷重		
		①90NS		②90NS+渦		①90EW		②90EW+渦		①45		②45+渦		動的*1, *2		
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)
85.0	A-B	23.0	110	23.0	130	23.0	110	23.0	130	23.0	110	23.0	130	<u>16.6</u>	<u>827</u>	Ss-2 (ケース6)
80.0	B-C	171	691	171	802	171	691	171	802	171	691	171	803	<u>149</u>	<u>2650</u>	Ss-2 (ケース6)
72.5	C-D	204	1220	204	1410	204	1220	204	1410	204	1220	204	1410	<u>192</u>	<u>3360</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D-E	276	3520	276	4030	276	3520	276	4030	276	3520	276	4040	<u>236</u>	<u>5910</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E-F	337	4690	337	5350	337	4690	337	5350	337	4690	337	5350	<u>228</u>	<u>7120</u>	Ss-2 (ケース3)
48.0	F-G	455	5860	455	6660	455	5860	455	6660	455	5860	455	6670	<u>487</u>	<u>8490</u>	Ss-2 (ケース6)
39.0																

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 時刻歴評価に基づく応力を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント