

柏崎刈羽原子力発電所7号機

新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る
排気筒の点検および解析評価状況について
(改訂版)

平成 20 年 7 月 14 日

東京電力株式会社

目次

1. はじめに	1-1
2. 排気筒の概要	2-1
3. 点検・評価に関する基本的な考え方	3-1
4. 点検	4-1
4. 1 点検方法の策定	4-1
4. 2 点検結果	4-2
5. 耐震健全性評価	5-1
5. 1 地震応答解析	5-1
5. 2 耐震健全性評価結果	5-11
6. 総合評価	6-1
6. 1 総合評価の方法	6-1
6. 2 総合評価結果	6-2

1. はじめに

本報告は、「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について（経済産業省 平成 19・11・06 原院第 2 号 平成 19 年 11 月 9 日）」を受け、原子力安全・保安院に提出した「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき実施した排気筒の点検・評価結果について取り纏めたものである。

2. 排気筒の概要

電気事業法に基づく事業用電気工作物の工事計画書に記載があり、かつ、耐震上重要な機器の間接支持構造物に該当する建物・構築物である排気筒は、新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価の対象となっている。

本排気筒は、原子炉建屋 R1～R2, RC～RD 間の屋上 (T.M.S.L. 38.2m) に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身 (換気空調系排気筒) を鋼管四角形鉄塔で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。
排気筒の概要図を図-2.1 及び図-2.2 に示す。

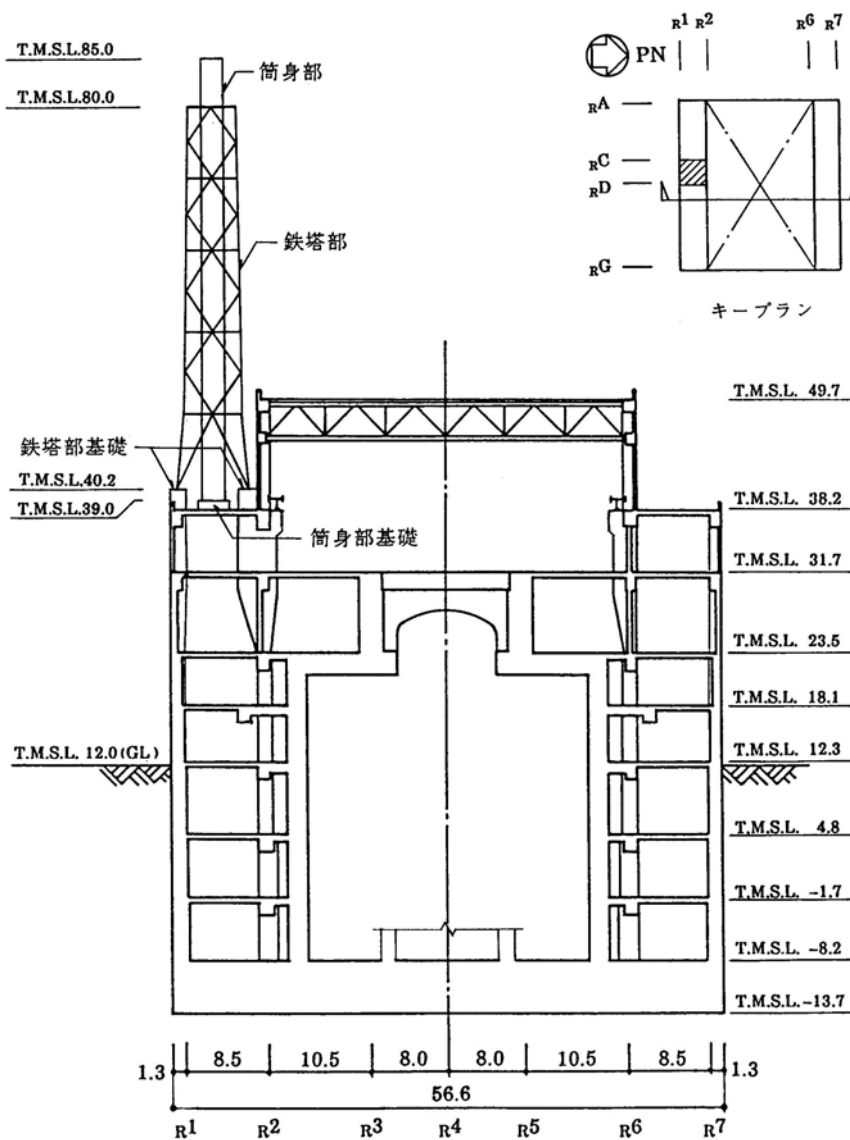
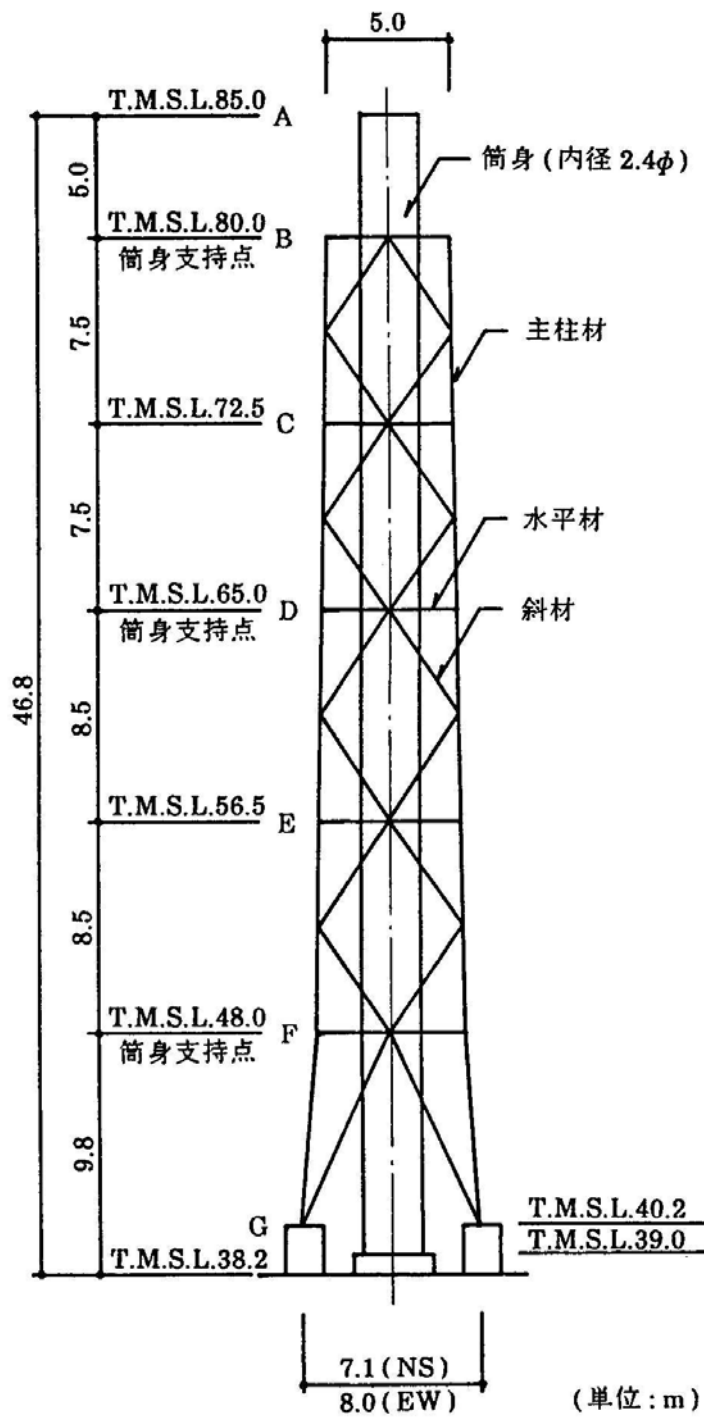


図-2.1 7号機排気筒の概要(その1)



STK50	711.2φ×19	609.6φ×16	508.0φ×7.9	406.4φ×6.4	318.5φ×6	216.3φ×4.5	t=6
主柱材	STK41	406.4φ×6.4	318.5φ×6	216.3φ×4.5	161.3φ×3	113.3φ×2.2	t=6
水平材	STK50	558.8φ×16	406.4φ×12.7	267.4φ×6	216.3φ×4.5	161.3φ×3	t=6
斜材	SMA41A						t=8
筒身板厚							t=12
部材リスト (単位: mm)							

図-2.2 7号機排気筒の概要(その2)

3. 点検・評価に関する基本的な考え方

点検・評価とは、建物・構築物について点検、地震応答解析による評価および両者の結果を踏まえた健全性の総合評価をいう。

点検は、各建物・構築物を対象に共通的に実施する目視点検により行う。地震応答解析では、本地震の観測波に基づく各建物・構築物の解析的な評価を実施する。

点検・評価に関しては、以下の基本的な考え方に従った。(図-3.1 参照)

- ・耐震安全上重要な建物・構築物については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を照合して健全性の総合評価を行う。
- ・目視点検で異常が確認された場合は、非破壊試験等の追加点検を行い、必要に応じて補修を実施することも検討する。
- ・地震応答解析結果において裕度が比較的小さい場合は、詳細検討を行う。

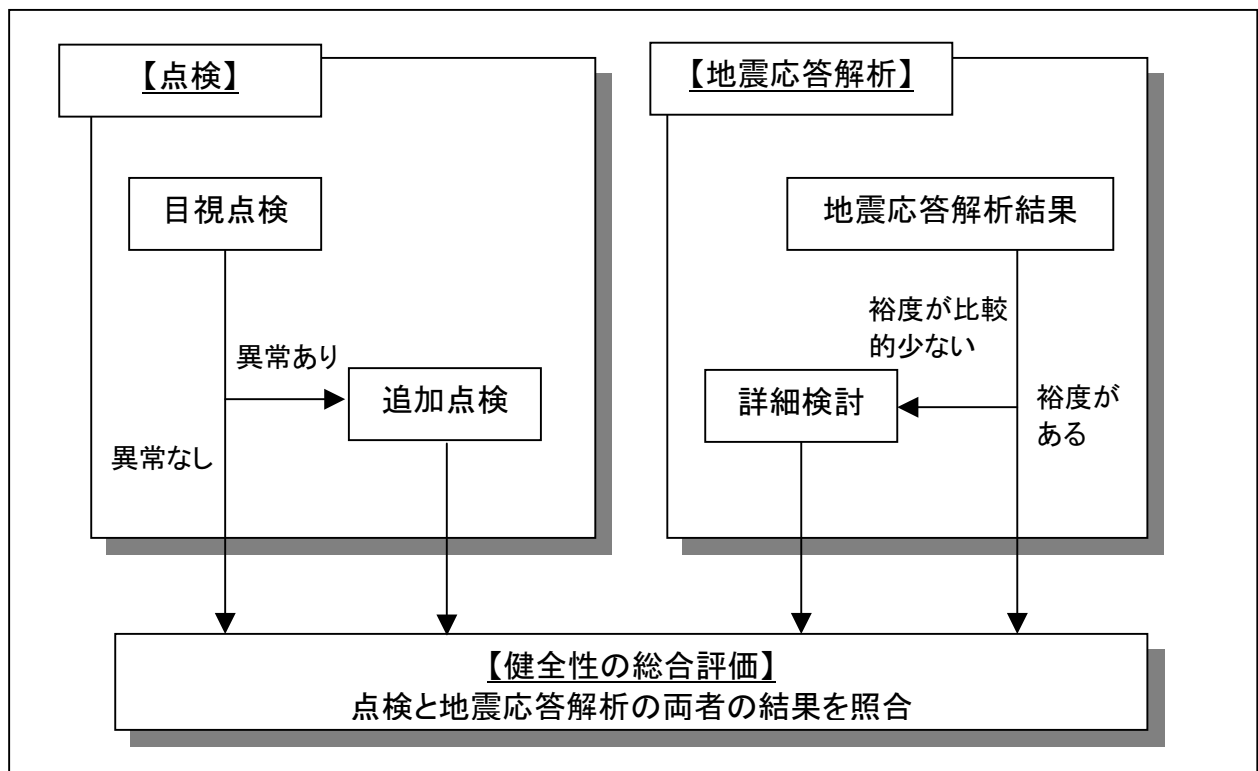
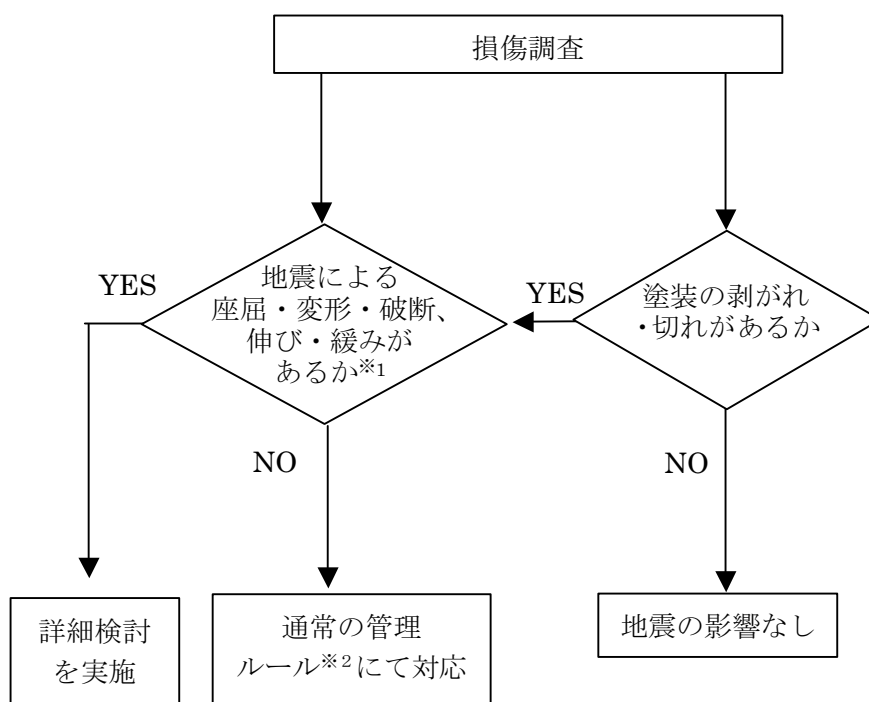


図-3.1 建物・構築物の点検・評価の全体フロー

4. 点検

4.1. 点検方法の策定

鉄骨構造物である排気筒の耐震性能に対する地震の影響については、部材の変形・座屈・破断、溶接接合部のきれつ・破断、ボルト接合部のボルト破断・緩みが想定され、外観の確認が有効であると考えられるため、目視点検を主体とした点検を実施した。点検の流れを図-4.1.1に示す。



※1 至近の点検記録との比較、鋼材の発錆状況により評価

※2 原子力発電所建築設備点検マニュアルなどの社内マニュアル

図-4.1.1 鉄骨構造の点検の流れ

4.2. 点検結果

「柏崎刈羽原子力発電所7号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（建物・構築物編）」に基づき、点検を実施した。

排気筒（筒身および支持鉄塔）の点検による確認状況を表-4.2.1に示す。

点検の結果、排気筒（筒身および支持鉄塔）において地震による影響がないことが確認された。

表-4.2.1 7号機 排気筒（筒身および支持鉄塔）の確認状況

対 象	項 目	発生の有無
部 材	変形・座屈・破断	なし
溶接接合部	きれつ・破断	なし
ボルト接合部	ボルト破断・緩み	なし

5. 排気筒の耐震健全性評価

5.1. 地震応答解析

5.1.1. 地震応答解析モデル

排気筒の地震応答解析モデルは、屋上（T.M.S.L. 38.2m）より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとする。

解析モデルの概要を図-5.1.1 に示す。また、解析に用いる材料の物性値を表-5.1.1 に示す。

解析モデルへの入力は、原子炉建屋全体の地震応答解析結果から得られる屋上レベル（T.M.S.L. 38.2m）における応答結果を用いることとし、排気筒の基礎位置を固定として入力する（水平 2 成分、鉛直成分、回転 2 成分）。

このうち、水平 2 成分と鉛直成分の加速度波形を、図-5.1.2 に、回転 2 成分を図-5.1.3 に示す。

また、地震応答解析における減衰評価は、剛性比例型減衰を用いている（鉄骨造の初期減衰として 0.02、コンクリート造の初期減衰として 0.05 を与えることとしている）。

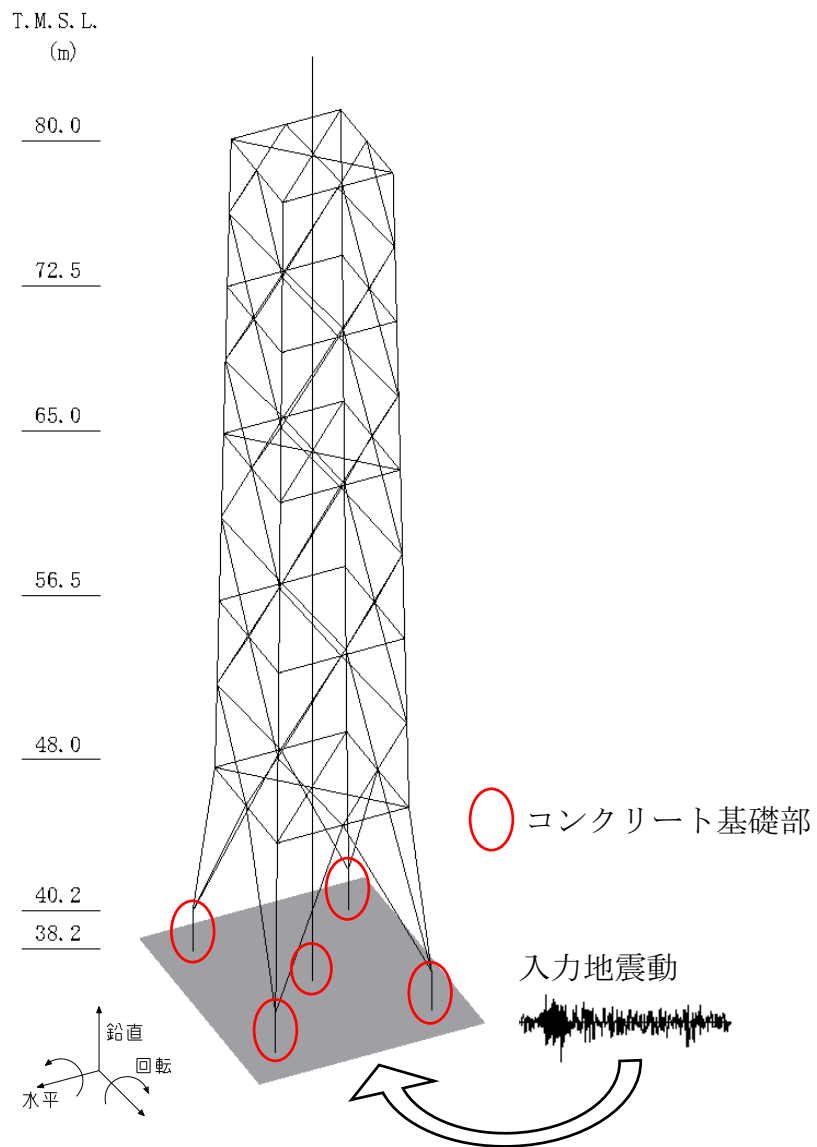
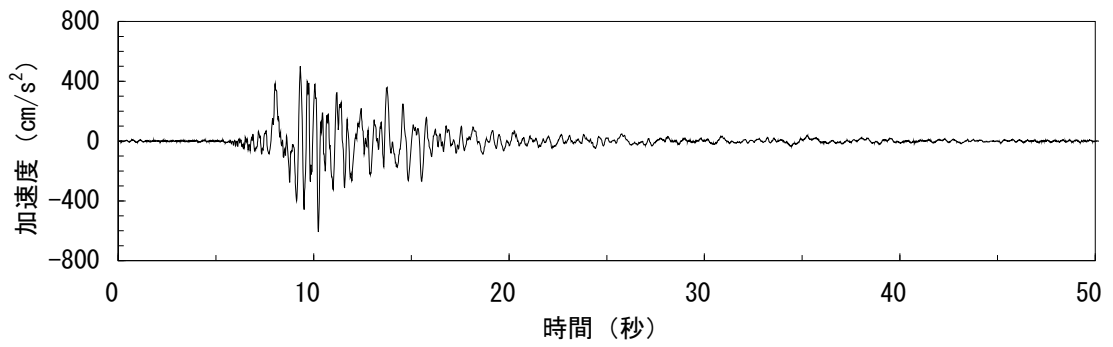


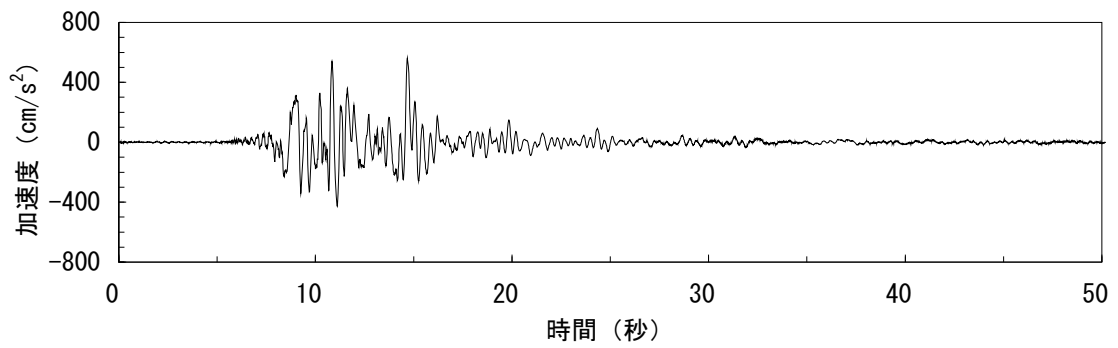
図-5.1.1 7号機排気筒の地震応答解析モデル

表-5.1.1 7号機排気筒の材料諸元

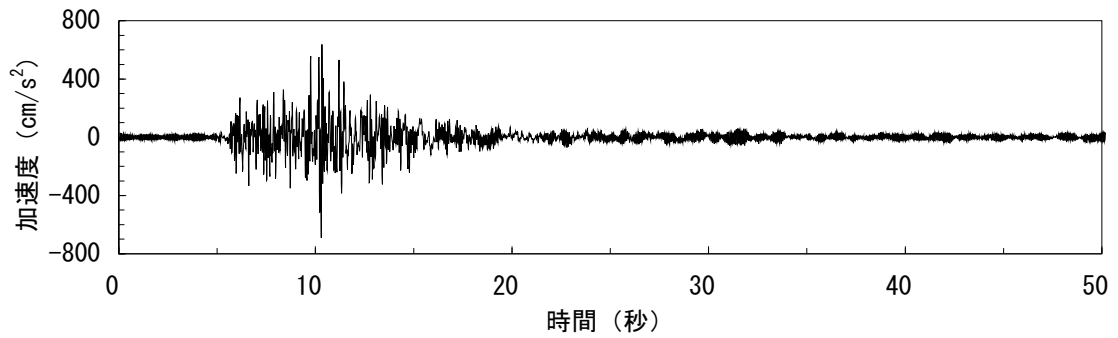
部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h
鉄塔部 筒身部	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	77.0	0.02
基礎	コンクリート	3.13×10 ⁴	0.2	25.0	0.05



(a) 南北方向

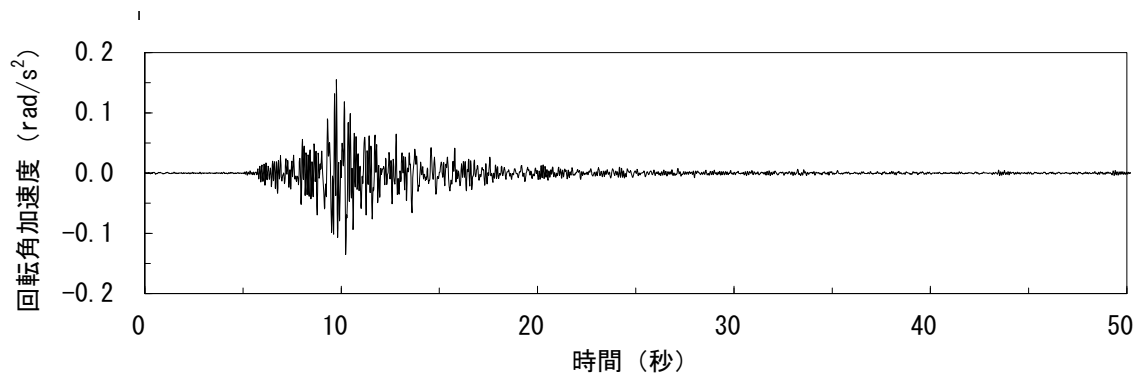


(b) 東西方向

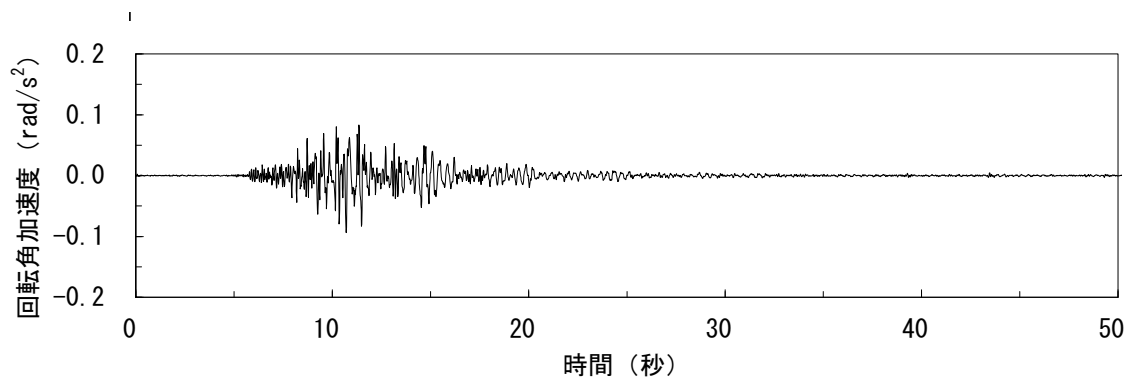


(c) 鉛直方向

図-5. 1. 2 排気筒への入力地震動 (水平、鉛直成分)



(d) 南北方向



(e) 東西方向

図-5.1.3 排気筒への入力地震動（回転成分）

5.1.2. 地震応答解析結果

排気筒の地震応答解析に用いた立体架構モデルの固有値解析結果を表-5.1.2及び図-5.1.4に示す。

表-5.1.2 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考
			X	Y	Z	
1	3.29	0.304	1.912	0.000	0.000	南北方向1次
2	3.32	0.301	0.000	1.868	0.000	東西方向1次
17	23.79	0.042	-0.002	0.000	1.793	鉄塔鉛直1次
18	24.13	0.041	0.000	0.000	1.380	筒身鉛直1次

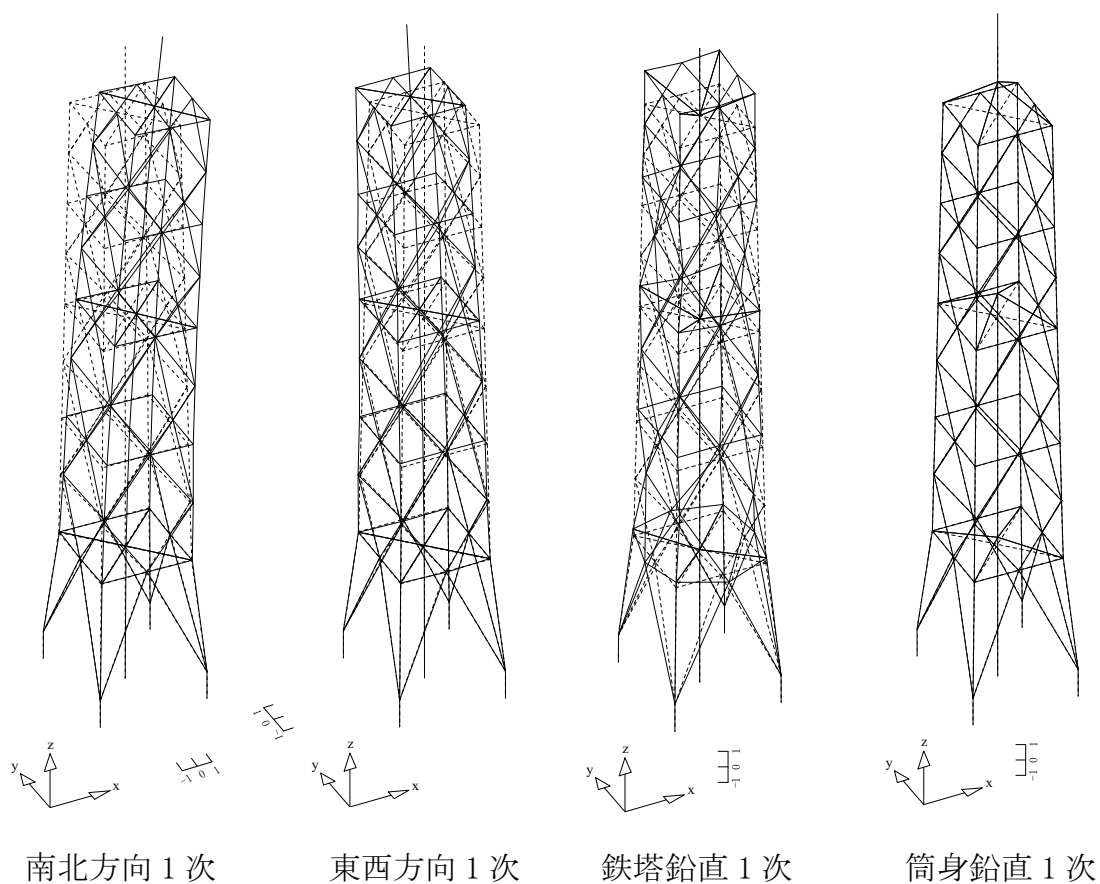


図-5.1.4 固有値解析結果（刺激関数）

排気筒の地震応答解析より得られた鉄塔部及び筒身部の最大応答加速度を図-5.1.5に、最大応答変位を図-5.1.6に示す。

また、鉄塔部及び筒身部の最大応答値を図-5.1.7及び図-5.1.8に示す。

鉄塔部の最下部は、鉄筋コンクリート部の基礎の応答を示す。また、その上部（T. M. S. L. 40.2m～）は鉄筋コンクリート部の基礎から立ち上がる支柱材と斜材のうち、支柱材に発生する応力を示している。鉄筋コンクリート部の基礎と鉄骨の支柱材では剛性が異なるため、応答曲げモーメントが異なる結果となっている。

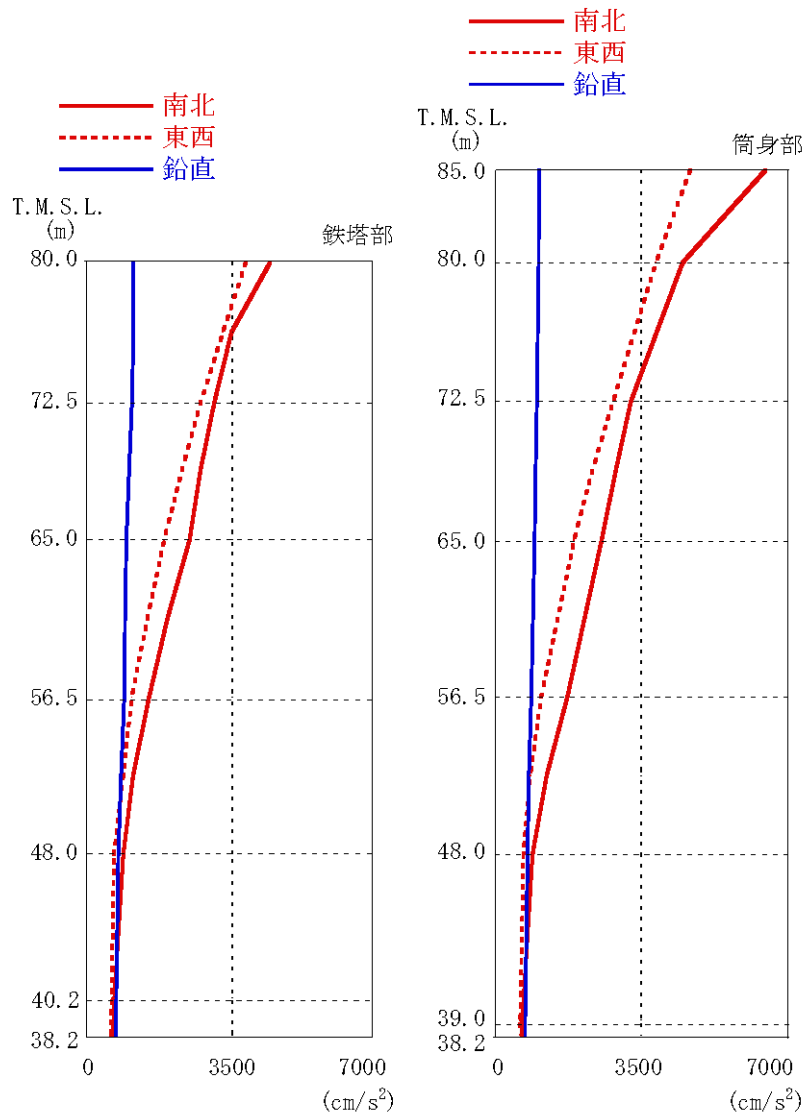


图-5. 1. 5 最大応答加速度

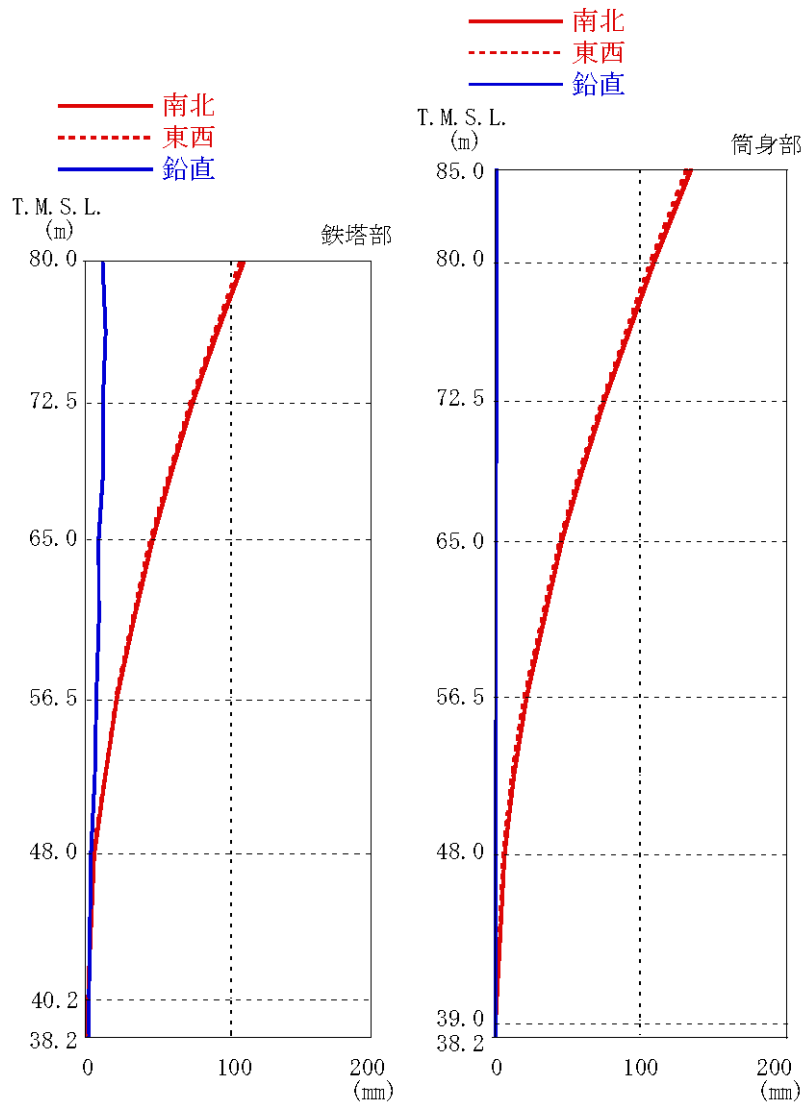
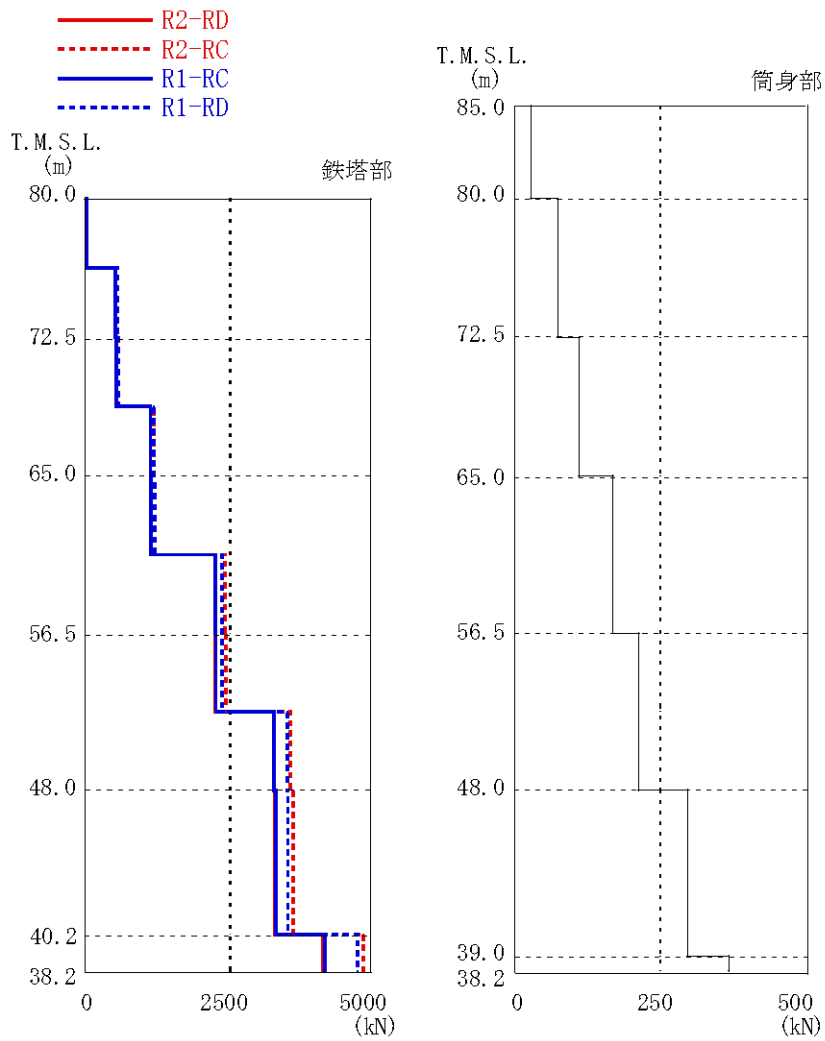


图-5. 1. 6 最大応答変位



* : 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)

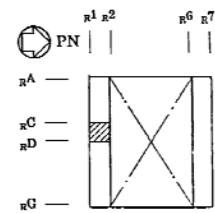
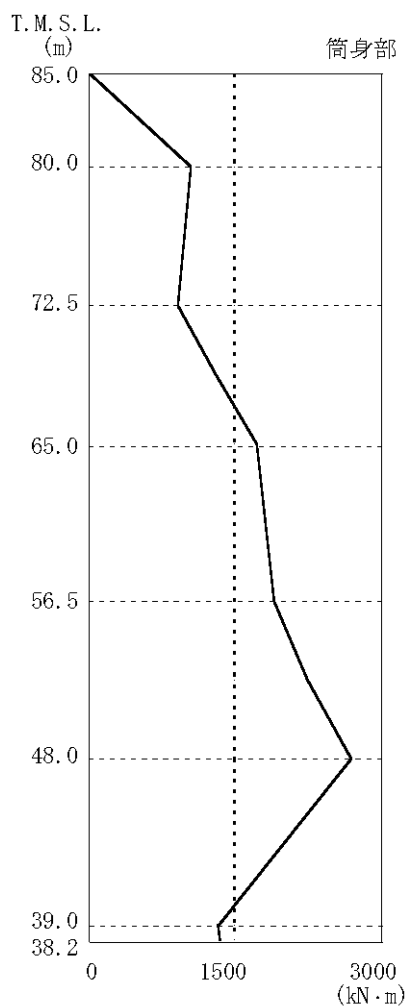
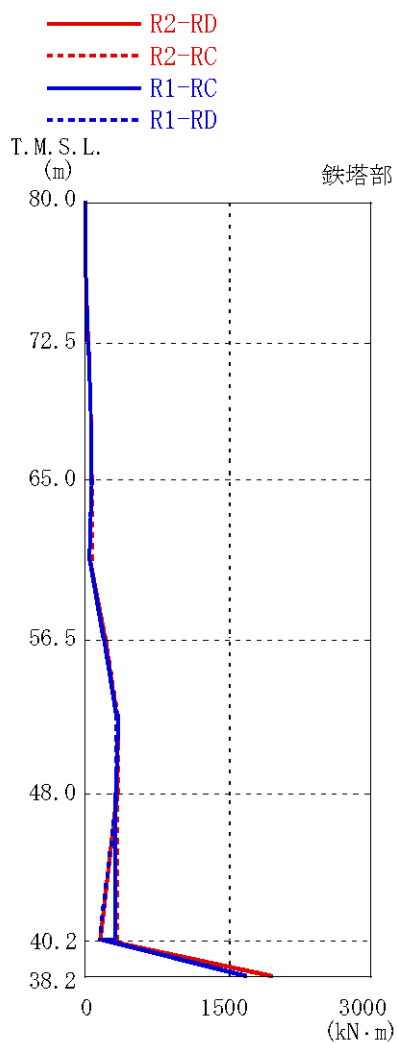


図-5.1.7 最大応答軸力



* : 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)

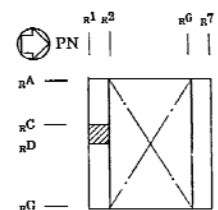


図-5.1.8 最大応答曲げモーメント

5.2. 耐震健全性評価結果

5.2.1. 鉄塔部、筒身部

3次元モデルの時刻歴地震応答解析により生じる各部材応力が評価基準値以下であることを確認する。

鉄塔部の支柱材、斜材、水平材及び筒身部材を対象として、地震時に生じる軸力および曲げモーメントより短期許容応力度に対する断面検定について、下式を用いて行う。

(圧縮)

$$\frac{s\sigma_N + s\sigma_b}{sf_c \quad sf_b} \leq 1.0$$

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力度

$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力度

sf_c : 短期許容圧縮応力度

(座屈の影響を考慮して細長比等により低減した数値)

sf_b : 短期許容曲げ応力度

(引張)

$$\frac{s\sigma_N + s\sigma_b}{sf_t \quad sf_b} \leq 1.0$$

ここに、 $s\sigma_N$: 地震時における部材の軸応力度

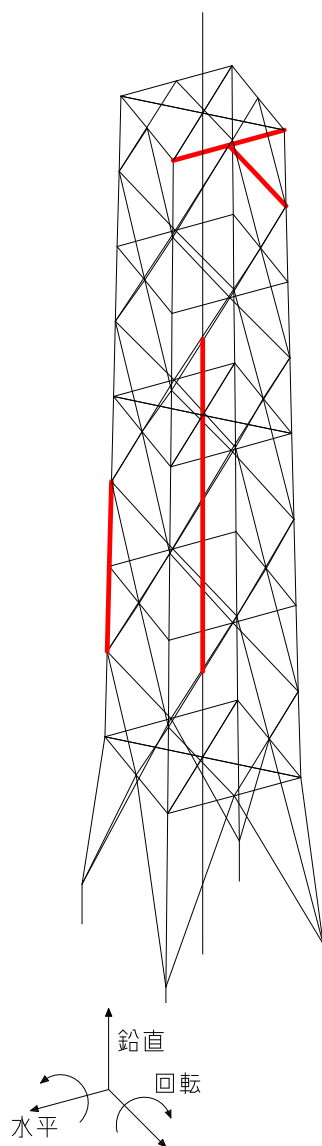
$s\sigma_b$: 地震時における部材の曲げ応力度

sf_t : 短期許容引張応力度

sf_b : 短期許容曲げ応力度

各部材の評価結果のうち、発生応力度と評価基準値の比（発生応力度／評価基準値）が最も大きい部材について、評価部位を図-5.2.1に、評価結果を表-5.2.1に示す。

排気筒について各部材の発生応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。



— : 最大応力度発生位置を示す.

図-5.2.1 7号機排気筒の応答評価部位

表-5.2.1 各部の最大応力度比

箇所	部材	N (kN)	M (kN・m)	A (cm ²)	Z (cm ³)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
鉄塔	支柱材	2559	352	298.4	4320	85.8	81.5	314.0	325.0	0.52
	斜材	274	—	29.94	—	91.5	—	241.0	—	0.38
	水平材	155	—	29.94	—	51.8	—	220.0	—	0.24
筒身	—	437	2258	454	27200	9.6	83.0	185.0	197.0	0.47

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)
M : 曲げモーメント
A : 断面積
Z : 断面係数
f_c : 許容圧縮応力度
f_b : 許容曲げ応力度
 σ_c : 圧縮応力度 (N/A)
 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)

5.2.2. 基礎

排気筒の基礎の概要を図-5.2.2に示す。

鉄塔部及び筒身部の基礎のボルト、鉄筋コンクリート部及び鋼管について、各部位の評価結果を表-5.2.2に示す。

排気筒基礎について各部位の発生応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

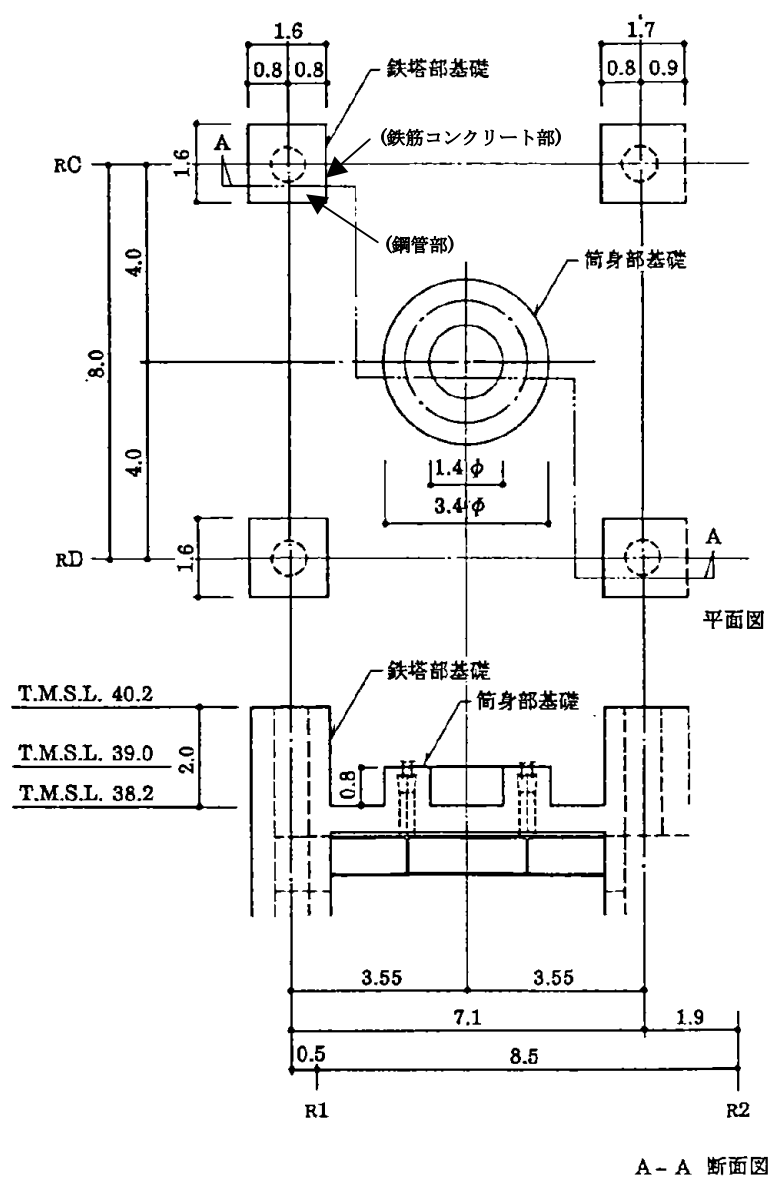


図-5.2.2 排気筒の基礎の概要図

表-5.2.2 各部位の最大応力度比

箇所	部材	発生応力度 (N/mm ²)		評価基準値 (N/mm ²)		発生応力度/ 評価基準値
鉄塔部 基礎	基礎 アンカーボルト	(引張)	81.3	180.0	*1	0.45
		(せん断)	17.6	135.0	*2	0.13
	基礎 コンクリート	(曲げ)	215.3	345.0	*3	0.62
		(せん断)	0.57	1.47	*4	0.39
	鋼管	(圧縮)	111.9	325.0	*5	0.34
筒身部 基礎	基礎 アンカーボルト	(引張)	50.9	180.0	*1	0.28

*1 : ボルトの短期許容引張応力度を示す。

*2 : ボルトの短期許容せん断応力度を示す。

*3 : 鉄筋の短期許容引張応力度を示す。

*4 : コンクリートの短期許容せん断応力度（実強度）を示す。

*5 : 鋼管の短期許容圧縮応力度を示す。

5.2.3. 非常用ガス処理系用排気筒

(1)筒身部

非常用ガス処理系（以下、「SGTS」と呼ぶ。）用排気筒は筒身（換気空調系用）内部の図-5.2.3 に示す位置で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、最大応力で健全性の確認を行う。

表-5.2.3 に筒身の変位を、図-5.2.3 に排気筒筒身部及び SGTS 用排気筒概要を、表-5.2.4、表-5.2.5 に SGTS 用排気筒応力及び評価結果を示す。

SGTS 用排気筒の発生応力度は評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

表-5.2.3 筒身の変位

支持点	標高 T. M. S. L. (m)	地震応答 解析結果 (mm)
A	85.0	125.2
B	80.0	100.8
C	72.5	68.2
D	65.0	40.7
E	56.5	17.7
F	48.0	4.2

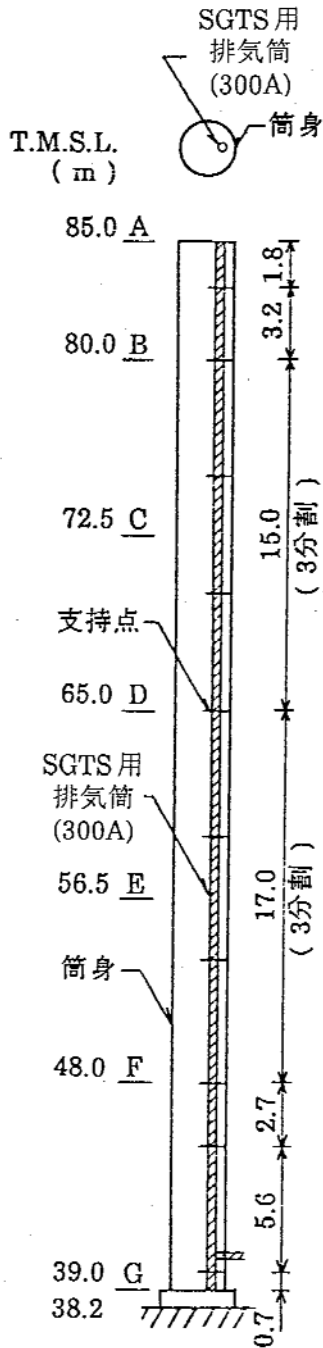


表-5.2.4 SGTS 用排気筒応力表

部材間	鉛直荷重 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)
A-B	7.4	2.9
B-C	15.3	2.9
C-D	23.2	3.0
D-E	32.1	3.2
E-F	41.0	3.4
F-G	52.9	3.3

図-5.2.3 排気筒筒身部及びSGTS 用排気筒概要図

表-5.2.5 SGTS 用排気筒の評価結果

部 材 間	部 材 長 (m)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
A-B	3.20	0.91	4.75	232.0	245.0	0.02
B-C	5.00	1.89	4.75	216.0		0.03
C-D	5.00	2.87	4.91	216.0		0.03
D-E	5.67	3.97	5.24	207.0		0.04
E-F	5.67	5.07	5.56	207.0		0.05
F-G	5.60	6.54	5.40	208.0		0.05

(2) 支持部

SGTS 用排気筒の支持部は図-5.2.4 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。

支持部の評価に用いる応力としては、支持部に発生する最大水平力を考慮する。応力度が最大となる部材を図-5.2.5 に示し、評価結果を表-5.2.6 に示す。

支持部に発生する応力度は、評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されている。

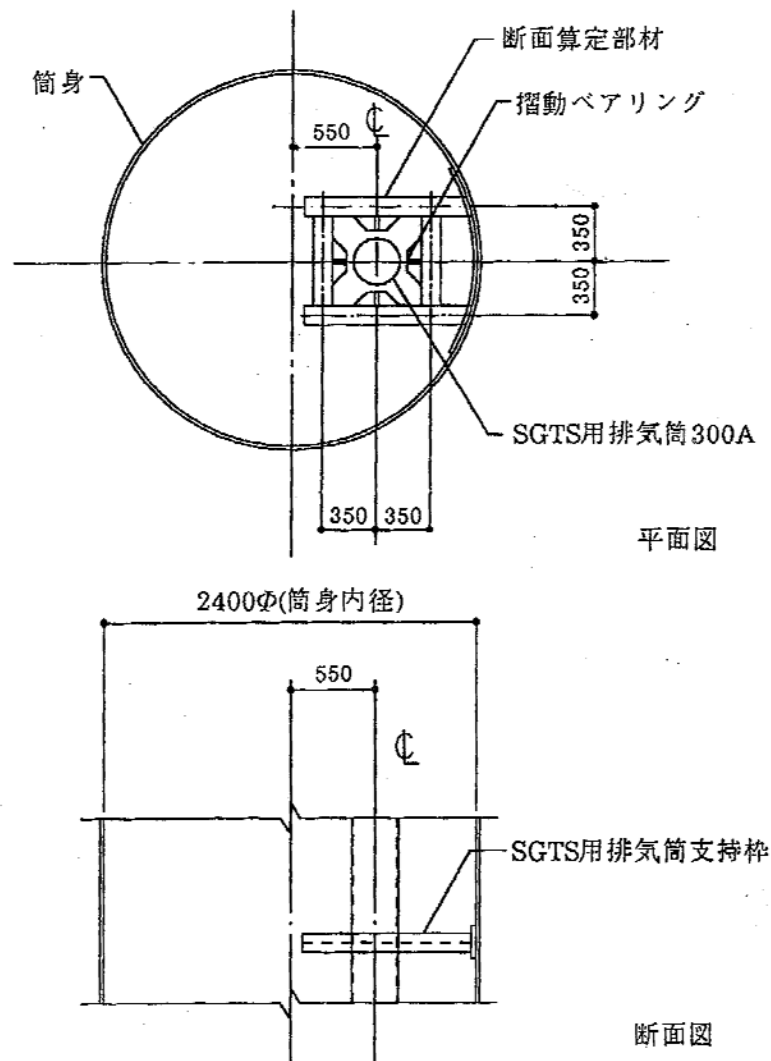


図-5.2.4 支持部の概要 (単位: mm)

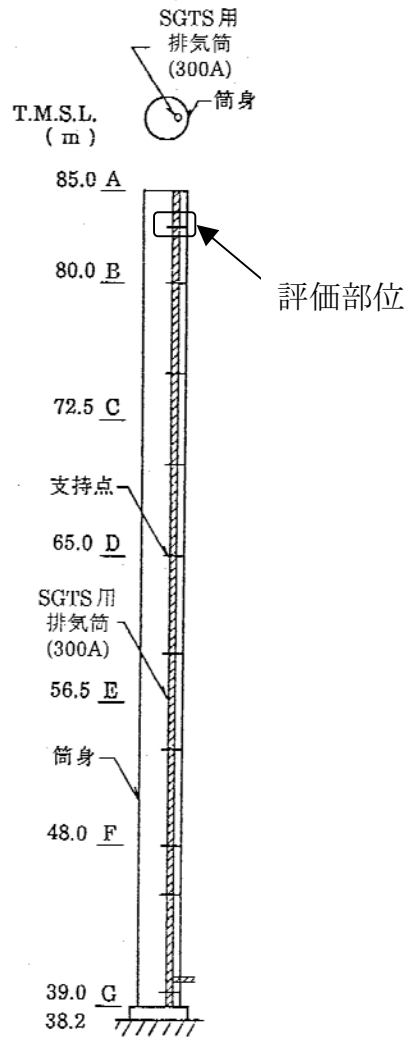


図-5.2.5 応力度が最大となる部材

表-5.2.6 SGTS用排気筒支持部材の評価結果

部材長 (m)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
0.95	0.0	77.7	151.0	235.0	0.33

6. 総合評価

6.1. 総合評価の方法

「4. 点検」及び「5. 耐震健全性評価」の結果を踏まえ、建物・構築物の健全性の総合評価を行う（表-6.1 参照）。

①点検結果において異常がなく、かつ、地震応答解析において裕度がある評価結果（鉄筋等が短期許容応力度レベル以下であることなど）が得られた建物・構築物については、健全性を満足するものと評価する。

②点検結果において異常がないにもかかわらず、地震応答解析において裕度が比較的少ないとの結果が得られた建物・構築物については、地震応答解析において保守的な配慮が行われている可能性を考慮し、より詳細な追加解析やモックアップ試験等により十分な構造強度を有することが確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。

③点検結果において異常が認められた建物・構築物（判定基準を満足できないもの）については、原則として、損傷原因の究明を行うとともに、必要に応じてモックアップ試験等により要求性能への損傷の影響がないことを確認できる場合には、健全性を満足するものと評価する。

表-6.1 総合評価（解析-点検）

		点検による評価	
		異常なし	異常あり
地震応答解析の結果に基づく構造評価	裕度がある	評価終了 (健全)	・ 損傷の原因究明 ・ 損傷の健全性への影響を評価
	裕度が比較的少ない	下記検討を実施。 ・ より詳細な追加解析 ・ モックアップ試験等	

6.2. 総合評価結果

点検においては、排気筒の各部位で要求性能を損なうような事象は確認されなかった。地震応答解析においても、評価基準を満足することを確認したことから、設備健全性が確保されているものと評価した。