

# 柏崎刈羽原子力発電所3号機

## 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る 点検・評価状況について (排気筒)

平成22年11月15日



東京電力

---

---

# 1. 本日のご報告内容の概要

# 1. 本日のご報告内容の概要

---

## ■点検結果

- 排気筒について、部材の変形、座屈・破断、溶接部のきれつおよびボルト接合部のボルト破断・緩みについて評価を実施し、異常は確認されなかった。
- 排気筒の杭構造については基礎の傾斜・沈下量の測量、杭頭部の目視点検を実施し、異常の無いことを確認した。

## ■耐震健全性評価結果

- 排気筒について、3次元モデルによる地震応答解析を実施し、評価基準値を下回っているかについて確認した。
  - ◆排気筒について、評価基準値を下回っていることを確認した。

## ■総合評価結果

- 点検・地震応答解析の両面から評価を行った結果、排気筒の健全性が確保されているものと評価した。

---

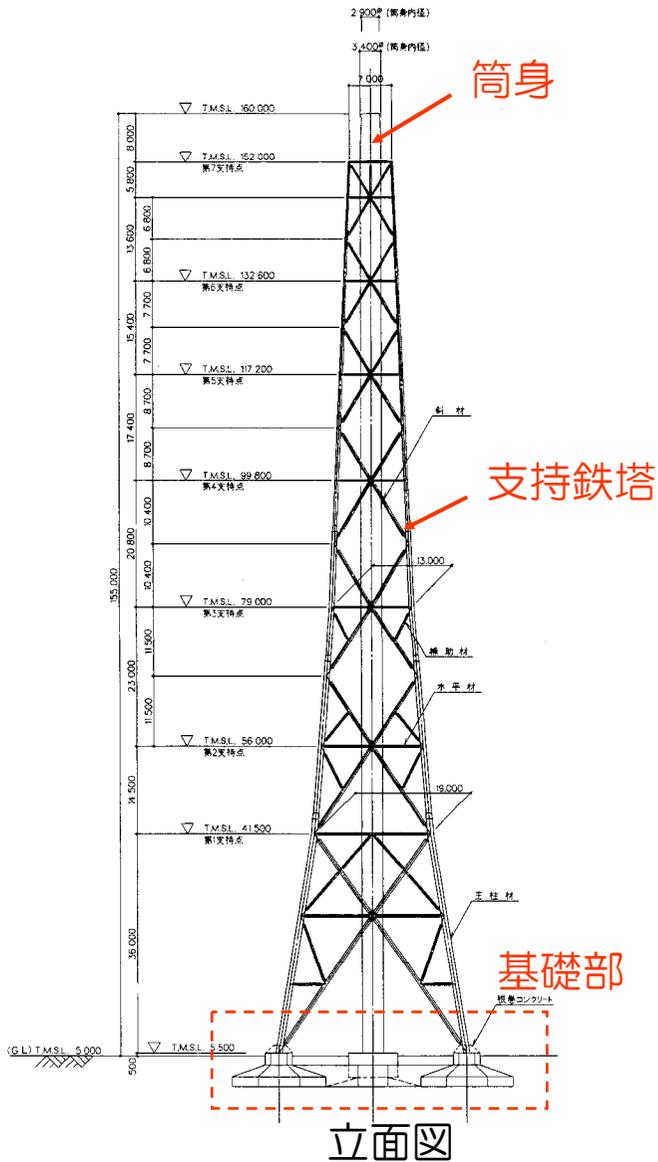
## 2. 構内配置図

## 2. 構内配置図 (全体)

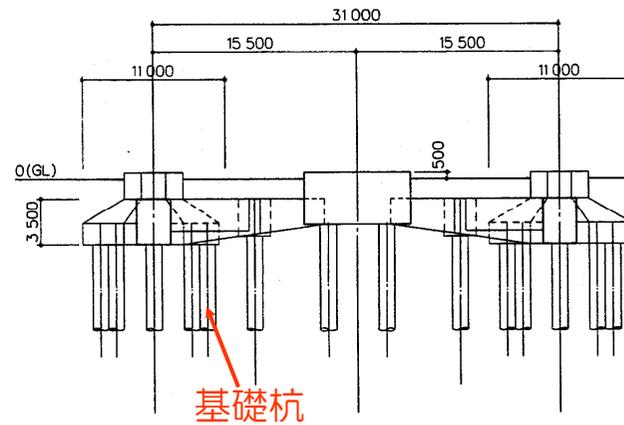




## 2. 対象設備の概要(3号機排気筒)



- 構造形式：四角鉄塔支持型鋼管構造
- 地上高さ：155m
- 筒身内径：3.4m（頂部2.9m）
- 杭本数：52本
- 杭長：約13m～33m
- 杭径：1.2m
- 施工種別：場所打ちコンクリート杭



---

## 3. 点検

## 3. 1 鉄骨構造（点検方法）

---

- 鉄骨構造に対しては、以下の点検方針を設定。
  - ・ 目視点検を主体とした点検を実施。
  - ・ 以下に示す点検項目を設定。
    - ◆ 部材（主材・支柱・ブレース）の変形・座屈・破断の有無
    - ◆ 溶接接合部のきれつ・破断の有無
    - ◆ ボルト接合部のボルト破断・緩みの有無
  - ・ 点検対象には、排気筒の筒身・支持鉄塔が該当。

## 3. 1 鉄骨構造（点検結果）

### ■ 排気筒（筒身、支持鉄塔）

- 点検の結果、一部のボルト接合部において、塗膜剥離が確認されたため、ハンマリング試験を実施したが、異音は確認されなかった。
- その他の部位に地震による影響は確認されなかった

排気筒（筒身・支持鉄塔）の点検結果

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

# 3. 1 鉄骨構造（点検結果）

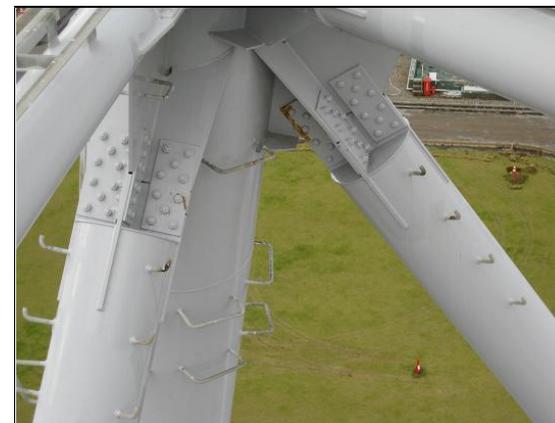
## ■ 排気筒（筒身、支持鉄塔）



3号機排気筒全景



水平材・斜材接合部



主柱材・水平材・斜材接合部



水平材・斜材接合部



排気筒下部

# 3. 1 鉄骨構造（点検結果）

## ■ 排気筒（筒身内部）

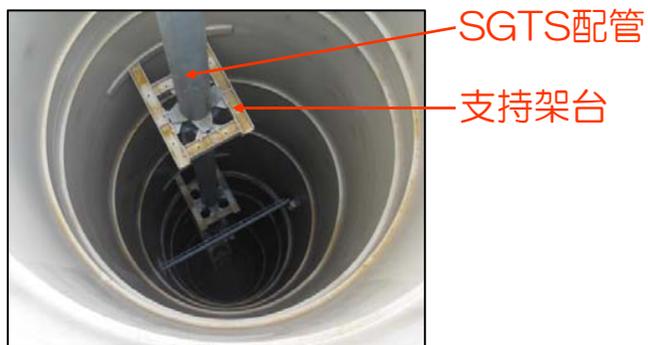
- 筒身内部において、地震による影響は確認されなかった。



SGTS配管継手部



配管支持架台



筒身内部状況



支持架台と筒身取合部

## 3. 2 杭基礎構造（点検方法）

### ■ 杭基礎構造の測定および目視点検。

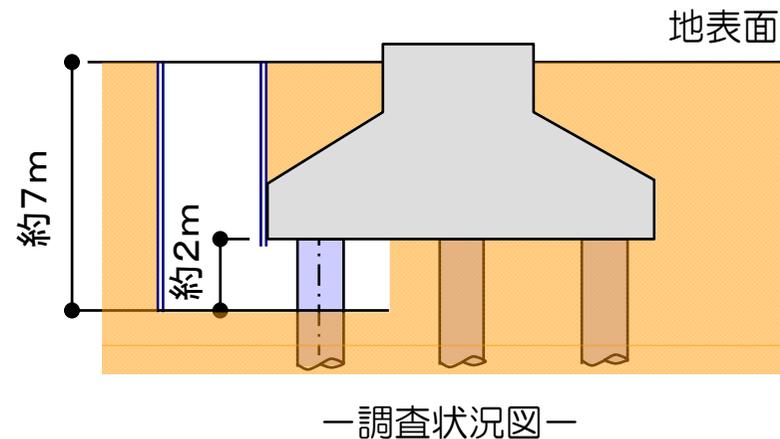
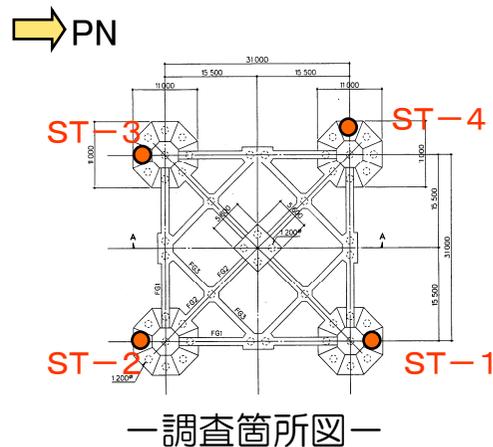
・ 以下に示す点検項目を設定。

#### ◆ 基礎の傾斜・沈下量を測量により確認

評価基準値※は、傾斜量：1 / 300未満、沈下量：50mm未満

※「兵庫県南部地震における震災建物基礎の被災度調査（日本建築学会技術報告集 第5号，1997年12月）」を参考に設定。

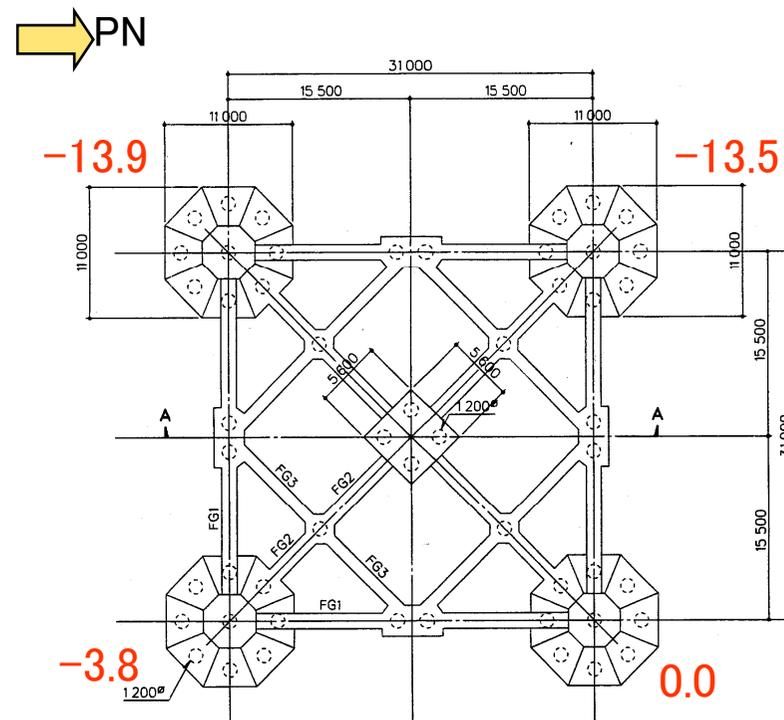
#### ◆ 杭頭部の目視点検による損傷状況の確認（下図）



## 3. 2 杭基礎構造（点検結果）

### ■ 排気筒（杭基礎構造）

- 排気筒基礎の最大傾斜量は約  $1 / 2200$ 、最大沈下量は  $13.9\text{mm}$  であり、評価基準値（傾斜量： $1 / 300$ 未滿かつ沈下量： $50\text{mm}$ 未滿）を満足していることを確認した。



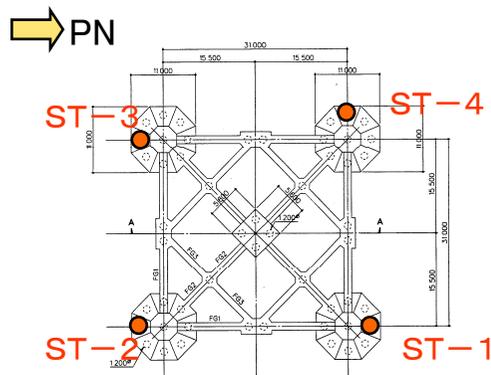
各フーチング基礎の沈下量(mm)  
(北東部を基準としている)

## 3. 2 杭基礎構造（点検結果）

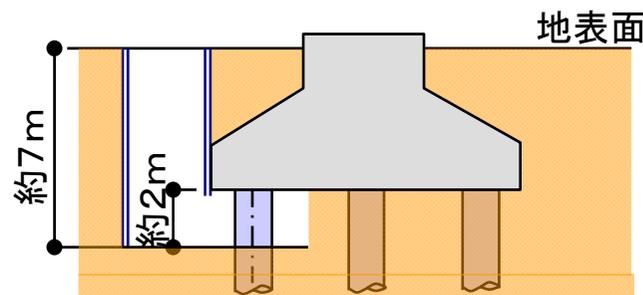
### ■ 排気筒（杭基礎構造）

- 杭頭において、ひび割れの発生は確認されたが、剥離・剥落および鉄筋が見えるひび割れは生じていないことが確認された。
- したがって、排気筒の杭基礎には異常が認められないと判断した。
- 点検により確認されたひび割れについては、適切な補修を行う。

調査箇所	最大ひび割れ幅 (mm)	最大ひび割れ長さ(m)	ひび割れ本数	杭頭部の剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れ
ST-1	0.25	1.6	6	なし
ST-2	0.80	3.5	8	なし
ST-3	2.00	2.5	8	なし
ST-4	1.00	2.3	6	なし



— 調査箇所図 —



— 調査状況図 —

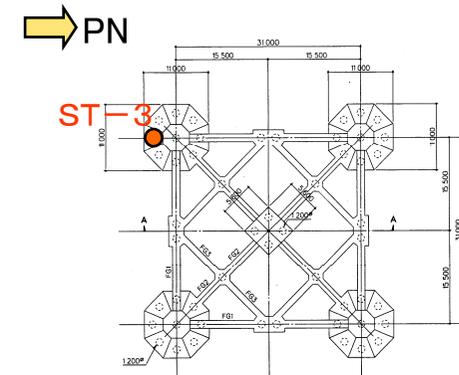


— 杭頭状況 (ST-3) —

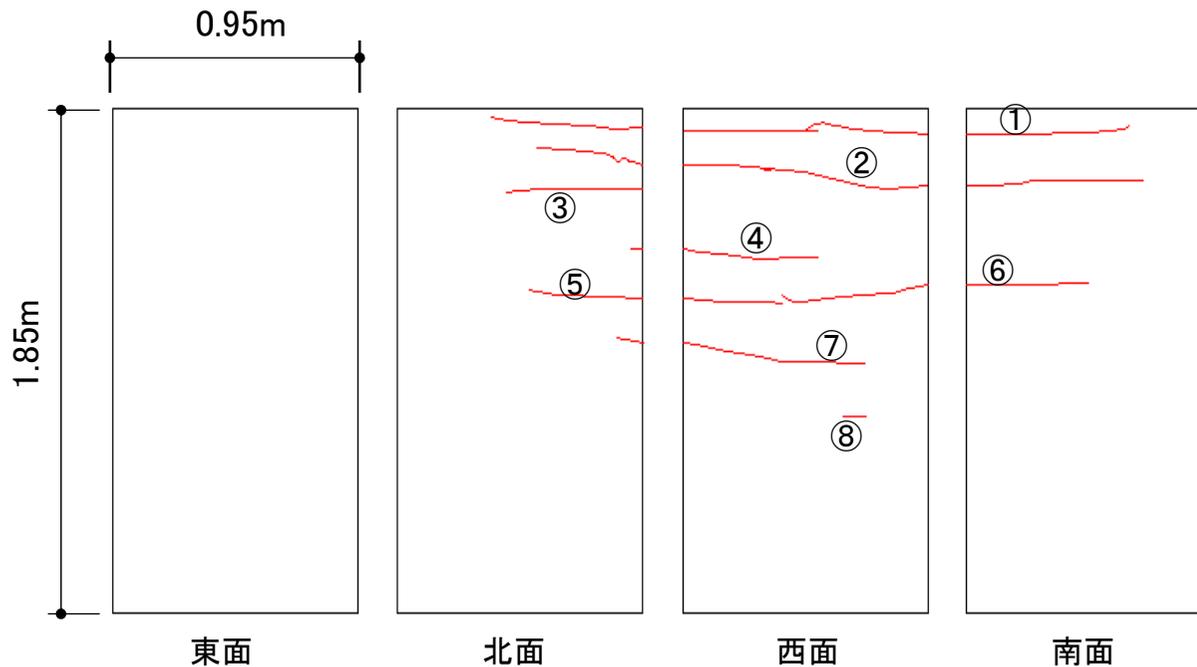
## 3. 2 杭基礎構造（点検結果）

### ■ 排気筒（杭基礎構造）

- 杭基礎調査箇所（ST-3）のひび割れ状況
- 最大幅2.0mmのひび割れが確認されたが、剥離・剥落、鉄筋が見えるひび割れは発生していない。



—調査箇所図—



—ひび割れ状況図—

番号	ひび割れ幅(mm)	ひび割れ長さ(m)
①	0.6	2.50
②	2.0	2.08
③	0.2	0.74
④	0.1	0.49
⑤	0.25	0.57
⑥	0.3	1.22
⑦	0.2	0.80
⑧	0.1	0.13

---

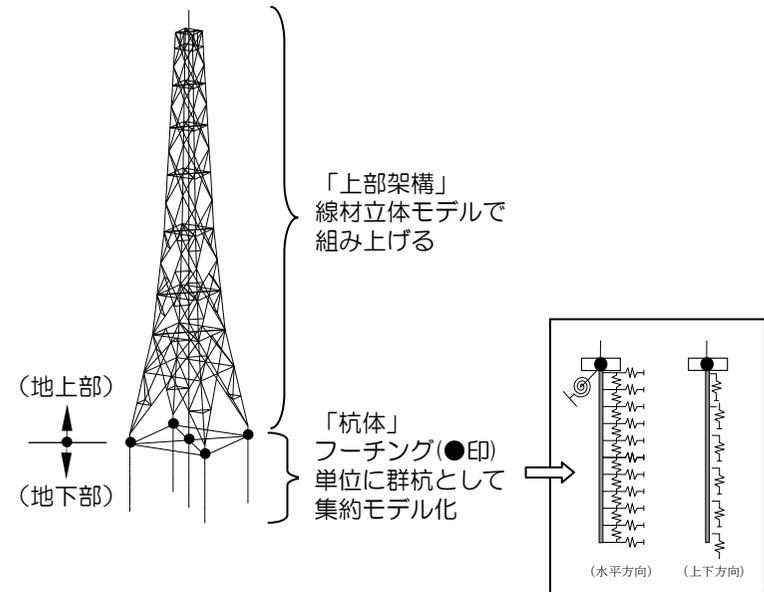
## 4. 耐震健全性評価

# 4. 1 排気筒の耐震健全性評価 (1)

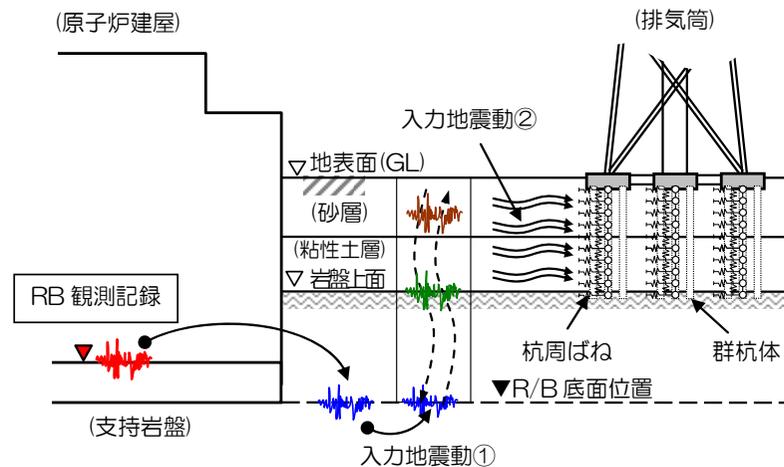
## ■排気筒の地震応答解析モデル

排気筒の地震応答解析モデルは、杭-上部構造を立体的にモデル化した立体架構モデルとする。

解析モデルへの入力は、3号機原子炉建屋の基礎下端における入力地震動①を算出し、それを排気筒の地盤モデルの同一レベル位置に定義し、地盤モデルを用いて入力地震動②を求める手順で行う。



地震応答解析モデル



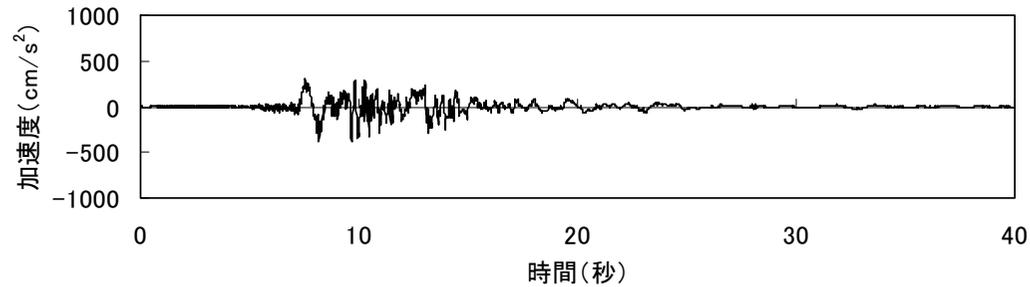
地上型排気筒の入力地震動の考え方

## 4. 1 排気筒の耐震健全性評価（2）

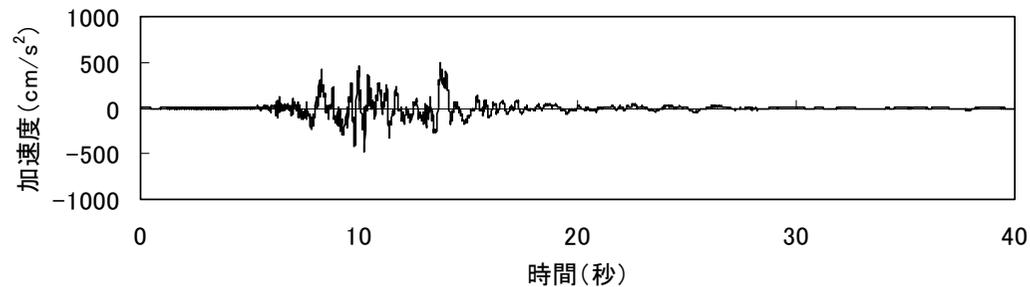
地盤定数

標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	初期せん断 弾性係数 Go (N/mm <sup>2</sup> )	剛性低下率 G/Go
5.0	(砂層)	110	18.6	0.333	21.0	0.51
1.3		170			53.2	0.28
-6.2		200			77.5	0.15
-10.0	安田層	350	18.0	0.472	225	0.78
-21.0	西山層	420	15.8	0.460	284	0.95
-46.0		530	16.2	0.445	464	0.95
-148.0		570	16.2	0.436	537	0.95
-199.0		650	17.3	0.426	745	0.95
-261.0		690	17.8	0.415	864	0.95
-285.0		710	17.5	0.409	900	1.00

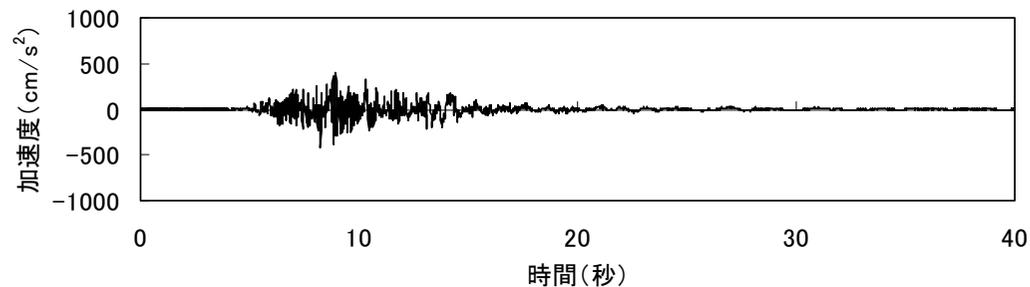
## 4. 1 排気筒の耐震健全性評価 (3)



(a) 南北成分



(b) 東西成分



(c) 鉛直成分

排気筒への入力地震動 (水平、鉛直成分)

(杭先端レベル：主要動を含む40秒間を表示)

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（1）

### ■固有値解析結果

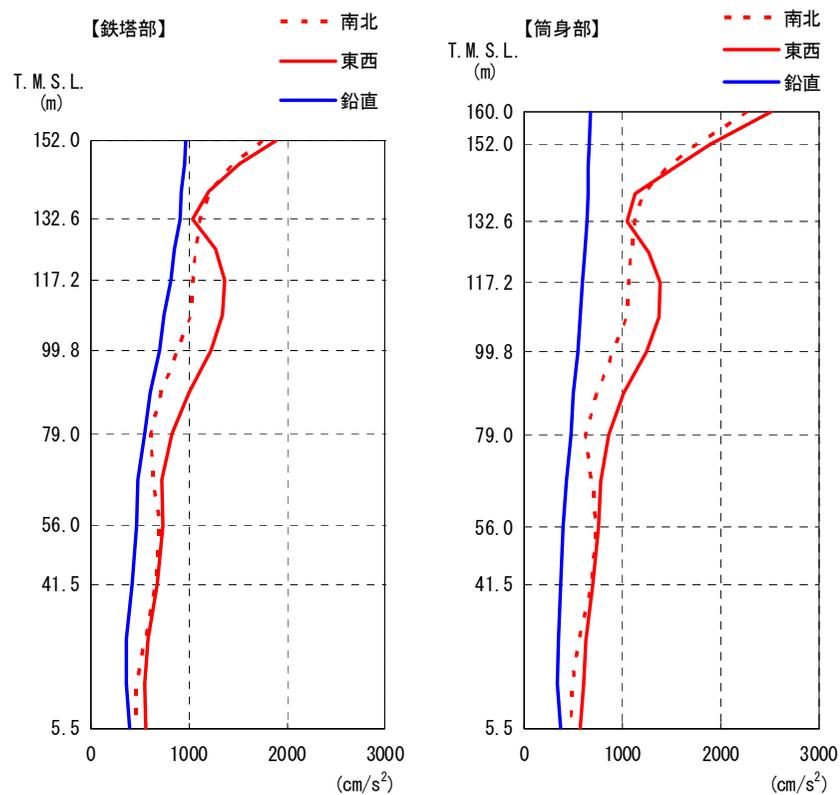
排気筒の地震応答解析に用いた立体架構モデルの固有値解析結果を示す。

	周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数(注)	備考
全体1次	1.283	0.78	1.984	東西1次
全体2次	1.283	0.78	1.984	南北1次
全体3次	0.459	2.18	-2.532	東西2次
全体4次	0.459	2.18	-2.532	南北2次
全体5次	0.286	3.49	4.405	南北3次

注) 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刺激係数を示す。

# 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果 (2)

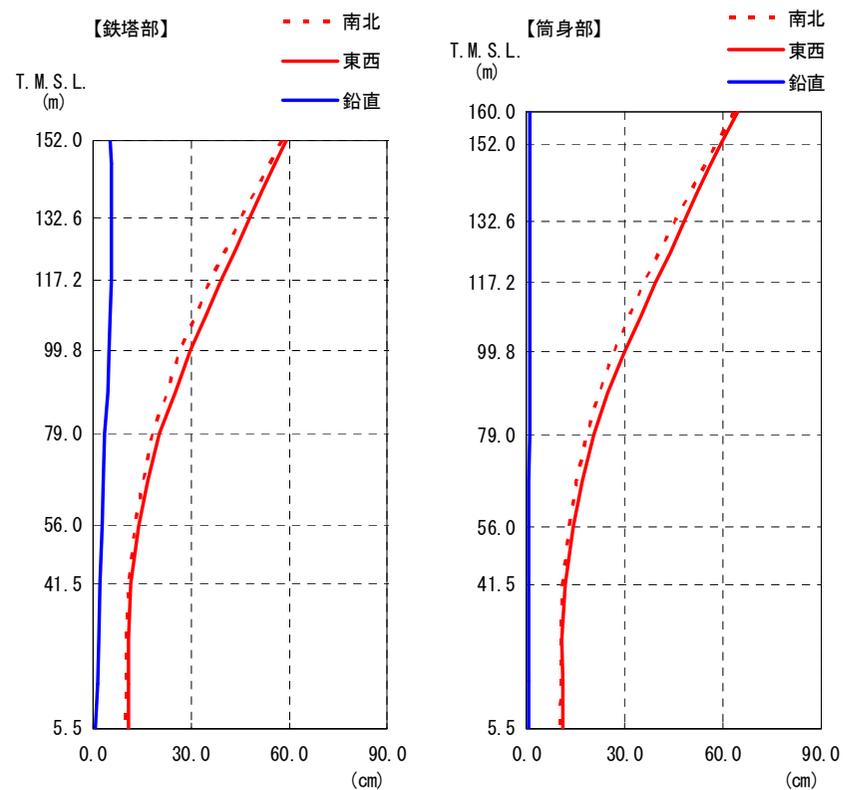
## ■ 最大応答値の比較 - 1



(a) 鉄塔部

(b) 筒身部

最大応答加速度



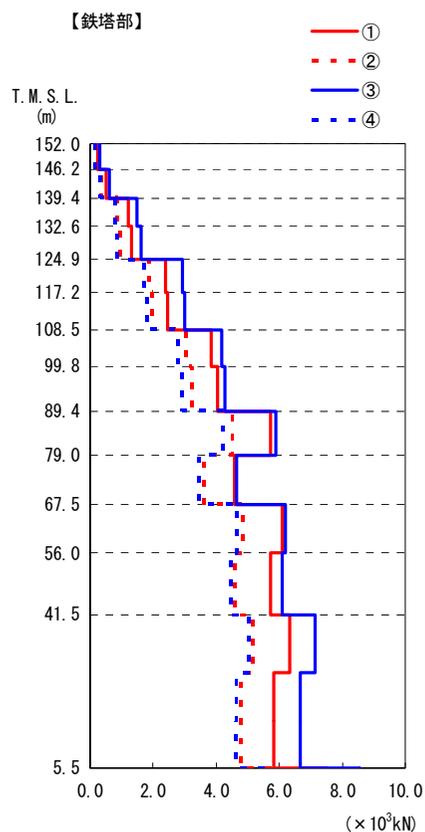
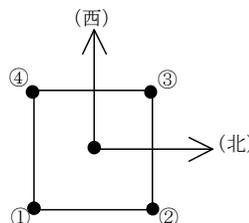
(a) 鉄塔部

(b) 筒身部

最大応答変位

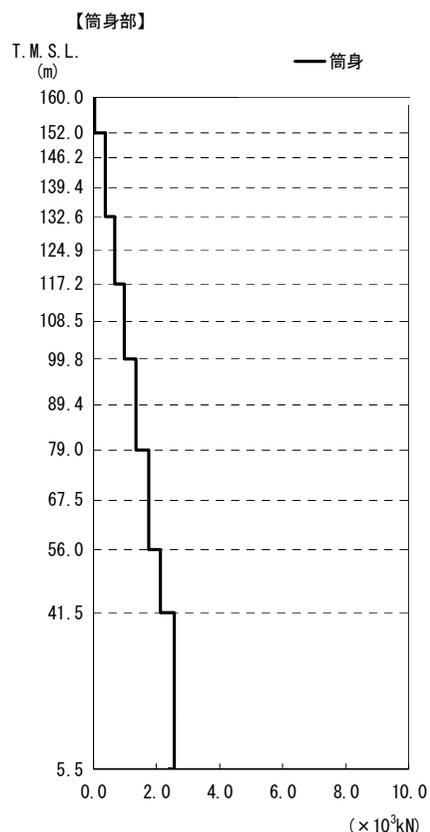
# 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果 (3)

## ■ 最大応答値の比較 - 2

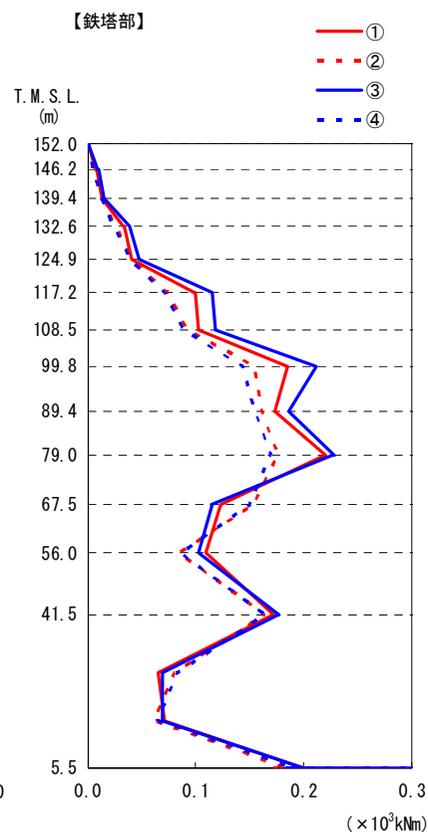


(a) 鉄塔部 (支柱材)

最大応答軸力

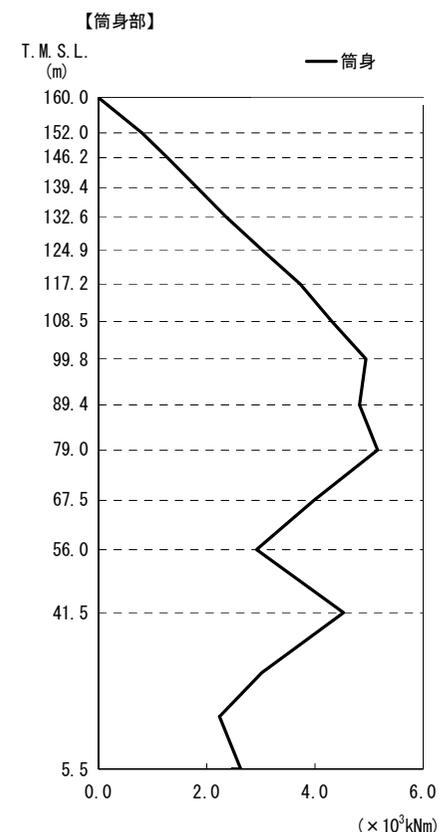


(b) 筒身部



(a) 鉄塔部 (支柱材)

最大応答曲げモーメント



(b) 筒身部

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（4）

### ■ 鉄塔部及び筒身部の健全性評価結果

各部材の評価結果のうち、発生応力と評価基準値の比（発生応力／評価基準値）が最大となる部位について、評価結果を示す。

各部の最大応力比

箇所	部材	N (kN)	M (kNm)	A ( $\times 10^4 \text{mm}^2$ )	Z ( $\times 10^6 \text{mm}^3$ )	${}_s\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{{}_s\sigma_c + {}_s\sigma_b}{{}_s f_c + {}_s f_b}$
鉄塔	主柱材	5889	227	264	4531	223.4	50.1	281.4	325.0	0.95
	斜材	944	—	98	828	96.3	—	144.3	—	0.67
	水平材	469	—	59	452	79.6	—	168.0	—	0.47
筒身	—	495	3654	750	63836	6.6	57.2	166.6	182.3	0.35

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

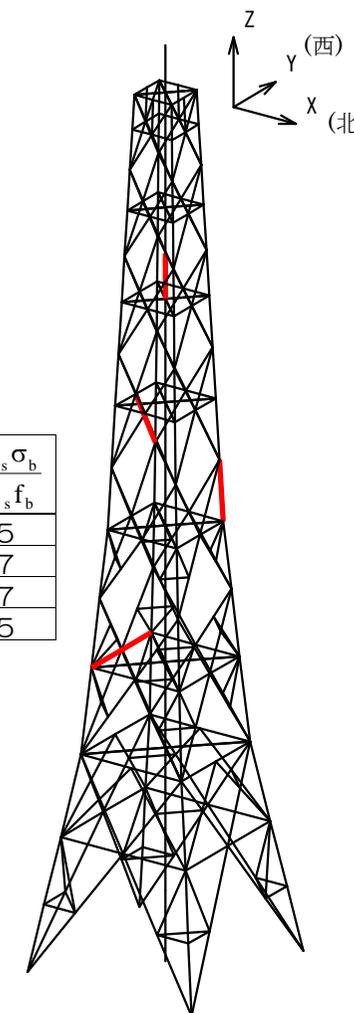
Z：断面係数

${}_s f_c$ ：許容圧縮応力度

${}_s f_b$ ：許容曲げ応力度

${}_s\sigma_c$ ：圧縮応力 (N/A)

${}_s\sigma_b$ ：曲げ応力 (M/Z)



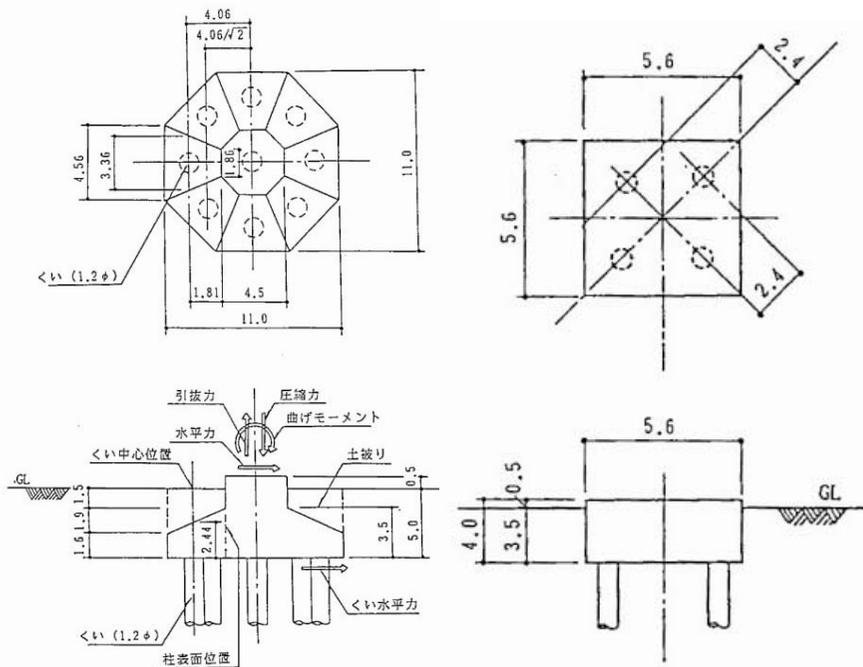
応力評価部位

—：最大応力発生位置を示す。

# 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果 (5)

## ■基礎部の健全性評価結果

排気筒のフーチング基礎部と杭配置の概要、上部架溝からフーチング基礎に伝達される荷重および杭の支持力確認結果を示す。



(a) 鉄塔部フーチング基礎 (b) 筒身部フーチング基礎

### フーチング基礎の概要

各部位の最大応力比

		鉄塔部	筒身部	備考
上部から伝達される荷重	圧縮力 (kN/脚)	8,564	2,374	長期軸力含む
	引抜き力 (kN/脚)	6,542	(生じない)	
	水平力 (kN/脚)	2,477	128	南北方向及び東西方向のベクトル和
曲げモーメント (kNm/脚)	190	2,475		
杭支持力の確認用荷重 (フーチング下面)	フーチング基礎下端位置の曲げモーメント (kNm/脚)*	13,812	2,987	南北方向及び東西方向のベクトル和
	フーチング基礎廻りの自重 (kN/脚)	13,210	4,658	基礎梁及び土被り重量含む

注) \*: 水平力×フーチング基礎高さ (鉄塔部 5.5m、筒身部 4.0m) + 曲げモーメント

### 杭の鉛直支持力等の確認(鉄塔部)

検定項目	発生応力	評価基準値 (抵抗力)	発生応力等 評価基準値
全体引き抜き力の確認 (kN/脚)	6,542 (最大引抜き力)	13,210 (フーチング+基礎梁+土被り)	0.50
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	3,270 (最大圧縮力)	3,922 (短期許容支持力)	0.83

### 杭の鉛直支持力等の確認(筒身部)

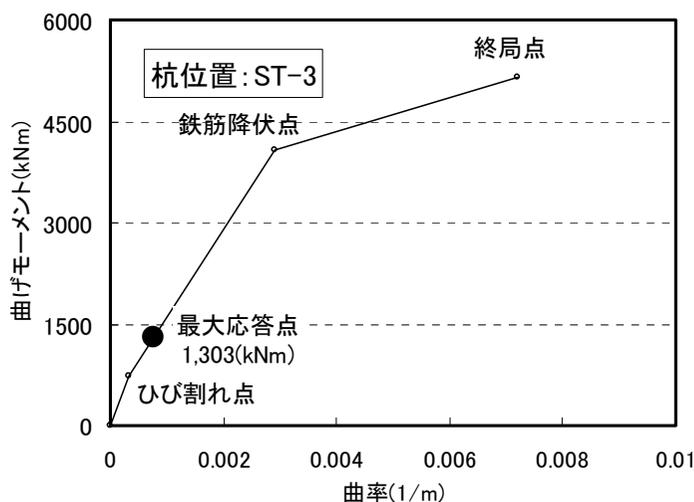
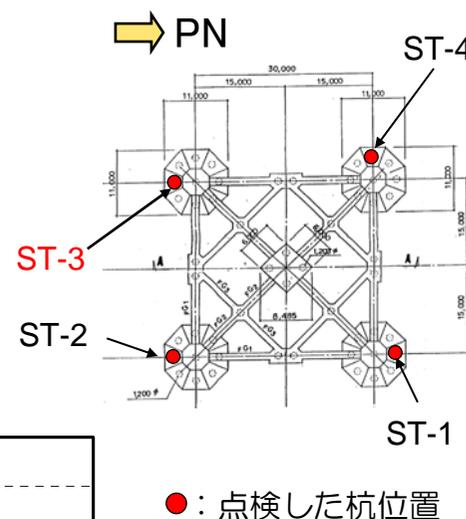
検定項目	発生応力	評価基準値 (抵抗力)	発生応力等 評価基準値
全体引き抜き力の確認 (kN/脚)	— (引抜きは生じない)	4,658 (フーチング+基礎梁+土被り)	—
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	2,380 (最大圧縮力)	3,922 (短期許容支持力)	0.61

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（6）

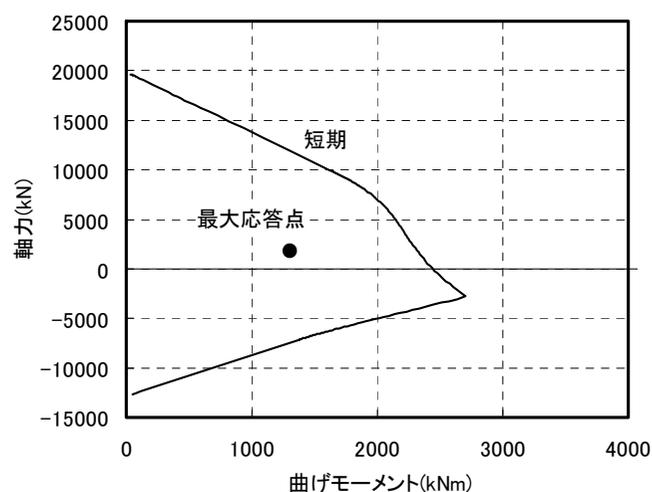
### ■基礎部の健全性評価結果

杭頭にひび割れが確認された杭のうち、地震応答解析から求めた杭（ST-3）の応答曲げモーメントおよび応答軸力を曲げモーメント-曲率（M- $\phi$ ）関係図と軸力-曲げモーメント相関図に応答点をプロットして下図に示す。

なお、他の位置の杭も同程度の応答結果であることを確認している。



(a) 杭のM- $\phi$ 関係図と応答プロット点



(b) 杭のN-M相関図と応答プロット点

注) 最大応答点●：最大曲げモーメント発生時の曲げモーメントおよび軸力の点をプロット

（杭の位置記号：ST-3にある杭1本あたりの応答結果）

地震応答解析から求まる杭頭付近の応答軸力～曲げモーメント関係（EW方向）

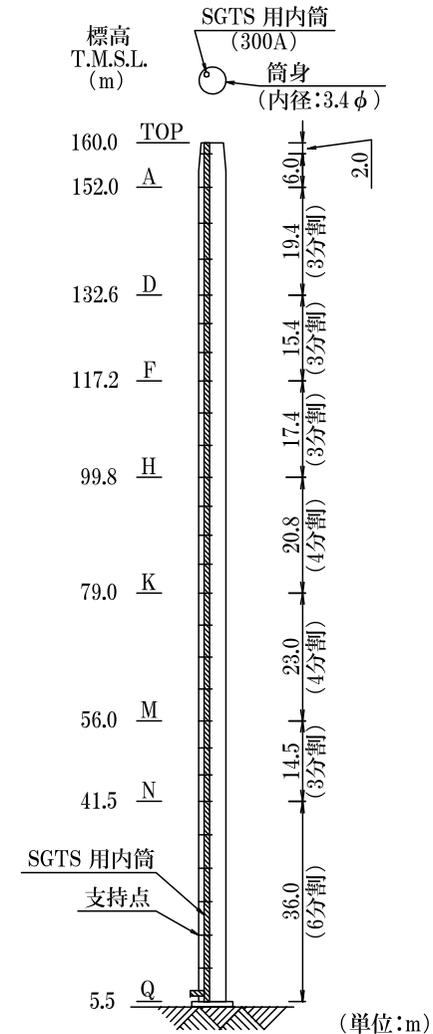
## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（7）

### ■SGTS（非常用ガス処理系）用排気筒の健全性評価結果

非常用ガス処理系用排気筒は筒身（換気空調系用）内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。

筒身の変位

支持点	標高 T.M.S.L. (m)	地震応答解析結果 (mm)
TOP	160.0	760
A	152.0	680
D	132.6	498
F	117.2	370
H	99.8	256
K	79.0	142
M	56.0	63
N	41.5	32



筒身部およびSGTS用排気筒の概要図

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（8）

SGTS用排気筒の評価結果

支持点 T.M.S.L. (m)	N (kN)	M (kNm)	A ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	Z ( $\times 10^3 \text{mm}^3$ )	${}_s\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	${}_s f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{{}_s\sigma_c}{{}_s f_c} + \frac{{}_s\sigma_b}{{}_s f_b}$
160.0	10.8	1.3	80.9	611	1.3	2.2	203	245	0.02
152.0	29.4	1.3			3.6	2.2	197		0.03
132.6	43.8	3.6			5.4	5.9	214		0.05
117.2	60.4	3.6			7.5	5.9	206		0.06
99.8	79.6	2.8			9.8	4.6	212		0.07
79.0	99.7	2.8			12.3	4.6	206		0.08
56.0	112.2	1.7			13.9	2.7	217		0.07
41.5	144.2	1.6			17.8	2.7	203		0.10

記号の説明

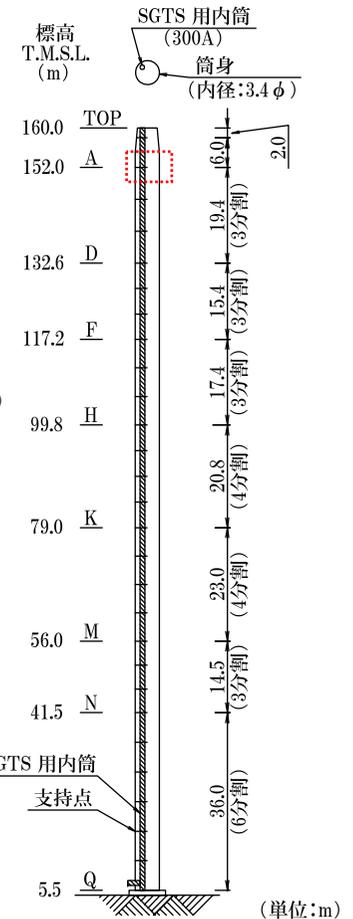
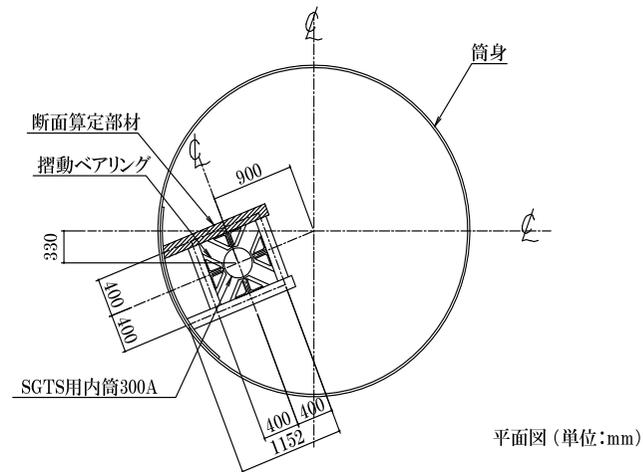
N：軸力（圧縮を正とする。）	${}_s f_c$ ：許容圧縮応力度
M：曲げモーメント	${}_s f_b$ ：許容曲げ応力度
A：断面積	${}_s\sigma_c$ ：圧縮応力（N/A）
Z：断面係数	${}_s\sigma_b$ ：曲げ応力（M/Z）

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（9）

### ■SGTS支持部の健全性評価結果

SGTS支持部は、筒身内部で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の評価結果を示す。



SGTS用排気筒支持部材の評価結果

N (kN)	M (kNm)	$s\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$s\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$s f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$s f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{s\sigma_c}{s f_c} + \frac{s\sigma_b}{s f_b}$
9.3	1.7	4.2	16.7	216	235	0.10

SGTS用排気筒支持部の概要

- 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
  - $s f_c$ ：許容圧縮応力度
  - $s f_b$ ：許容曲げ応力度
  - $s\sigma_c$ ：圧縮応力 (N/A)
  - $s\sigma_b$ ：曲げ応力 (M/Z)

評価部位

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（10）

### ■SGTS用排気筒脚部の健全性評価結果

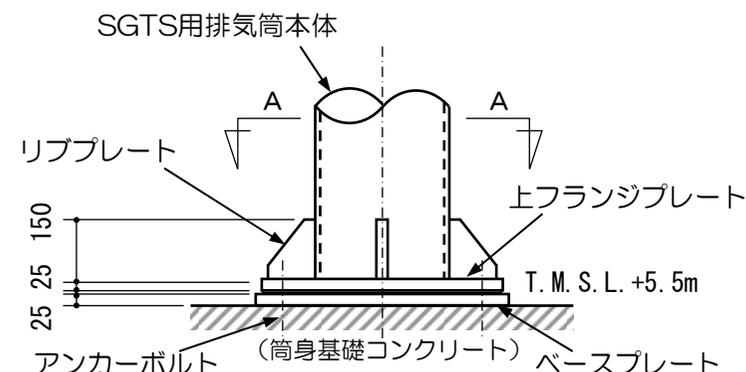
SGTS用排気筒脚部は、筒身基礎にベースプレートとアンカーボルトにより直接支持されており、SGTS用排気筒の自重や地震時に発生する応力を筒身基礎に伝達できる構造となっている。

健全性評価にあたっては、地震力を上向きと下向きに検討している。地震力を下向きに考慮した場合のベースプレート下面に発生する応力およびコンクリートの短期許容応力度を以下に示す。

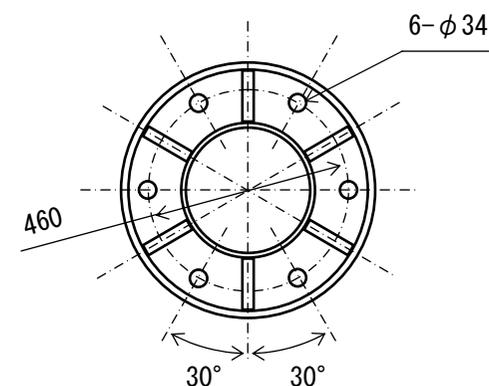
なお、地震力を上向きに考慮した場合の検討用軸力は100.2kN（圧縮力）であり、引き抜きは生じない。

SGTS用排気筒脚部の確認

地震力方向	ベースプレート下面のコンクリートに生じる圧縮力	コンクリートの評価基準値
下向き時	144.2 kN ⇔ 0.51 N/mm <sup>2</sup>	29.4 N/mm <sup>2</sup> (短期許容圧縮応力度)



(a) 脚部立面図



(b) A-A矢視図

SGTS用排気筒脚部の概要

## 4. 2 排気筒の耐震健全性評価結果（1 1）

---

### ■耐震健全性評価結果

排気筒の鉄塔部、筒身部および基礎部における発生応力は、評価基準値以下であり耐震健全性は確保されているものと評価した。

なお、杭頭の点検結果でひび割れの発生が確認されているものの、解析結果も鉄筋降伏に対して裕度があることから、耐震健全性は確保されているものと評価した。

SGTS用排気筒および支持部における発生応力は、評価基準値以下であり耐震健全性は確保されているものと評価した。

なお、SGTS用排気筒脚部において発生する最大圧縮応力についても、評価基準値以下であり耐震健全性は確保されているものと評価した。

---

## 5. 総合評価

## 5. 総合評価

---

### ■点検結果

- 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。

### ■地震応答解析結果

- 排気筒について、評価基準値を満足することを確認した。

### ■総合評価結果

- 点検と地震応答解析の両面から評価を行った結果、排気筒の健全性が確保されているものと評価した。