

< 参考資料 >
平成25年10月7日
東京電力株式会社

福島第一原子力発電所1・2号機排気筒の 部材損傷に対する耐震安全性評価について



東京電力

1・2号機排気筒の概要

■ 本排気筒は、高さ120m、内径3.2mの筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鉄塔支持型共用排気筒である。

■ 鉄塔部は主に主柱材、斜材、水平材により構成されている。

■ 筒身

- ・ 地上高さ：120m
- ・ 筒身内径：3.2m

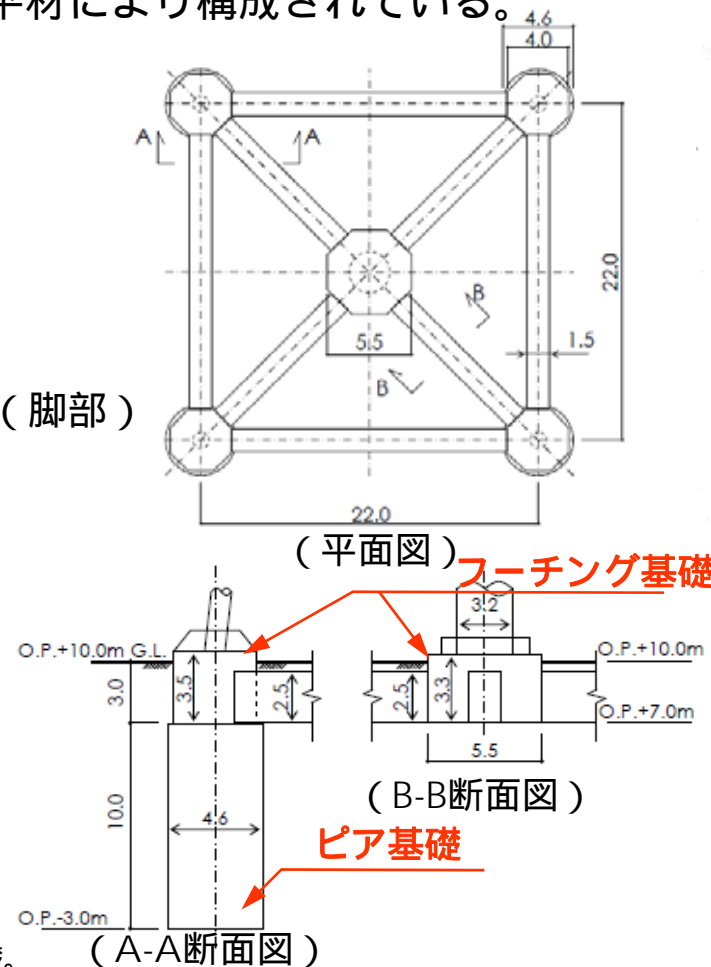
■ 鉄塔

- ・ 高さ：111m
- ・ 鉄塔幅：5.4m（頂部）、22.0m（脚部）

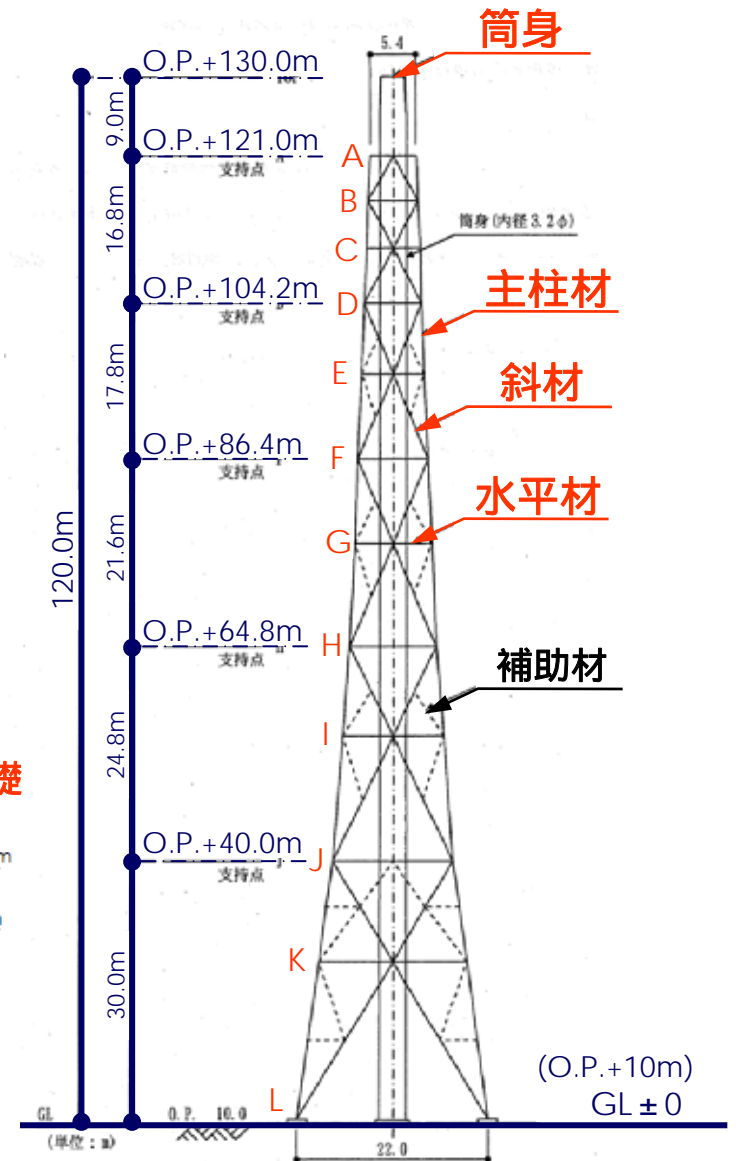
■ 基礎

- ・ 筒身部
フーチング基礎
- ・ 鉄塔部
フーチング基礎 + ピア基礎
ピア基礎径：4.6m
ピア基礎長：約10m

ピア基礎とは...
構造物の荷重を地盤に伝えるための柱状の基礎。



基礎部概要図



地上部概要図

1・2号機排気筒の点検

点検概要

点検方法

1．現地調査

地上から望遠カメラを使用し、排気筒の各方向から撮影。

2．画像分析

撮影した写真の画像処理を実施し、部材・接合部・筒身・柱脚について部材全数を評価。

使用機材

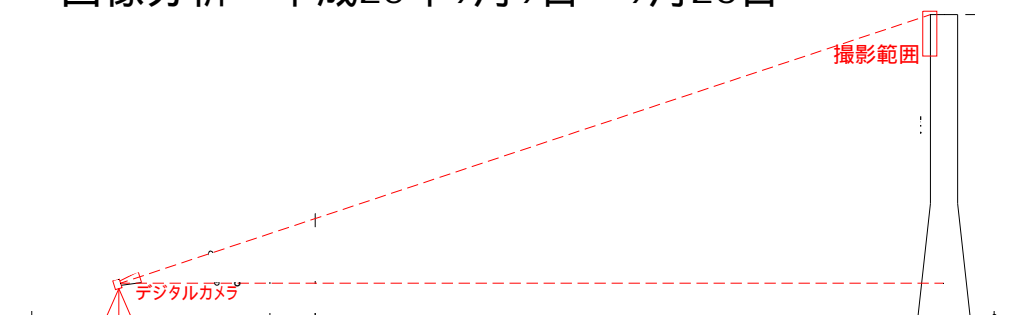
デジタル一眼レフカメラ（三脚使用）

望遠レンズ（75mm～200mm，200mm～400mm）

実施期間

現地調査 平成25年8月26日～8月29日

画像分析 平成25年9月9日～9月26日



撮影方法



撮影状況

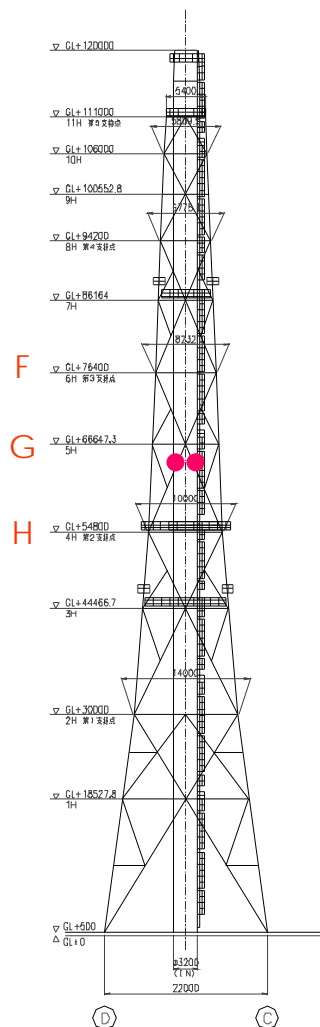
点検結果

- 破断箇所
- 変形箇所

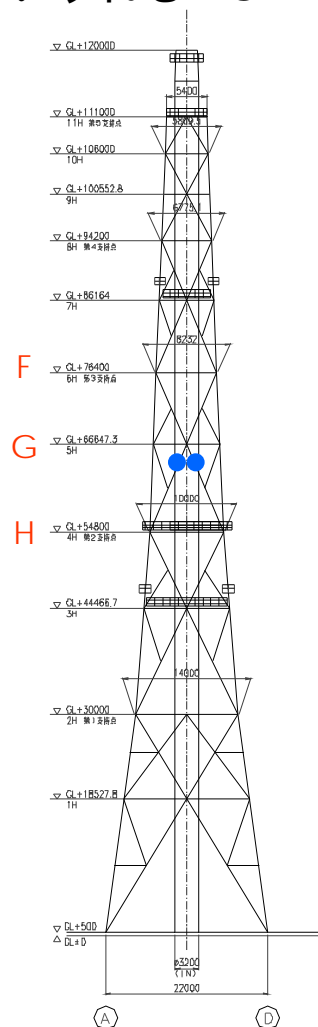
: 5箇所 (北面: 2箇所 南面: 2箇所 西面: 1箇所)

: 3箇所 (東面: 2箇所 南面: 1箇所)

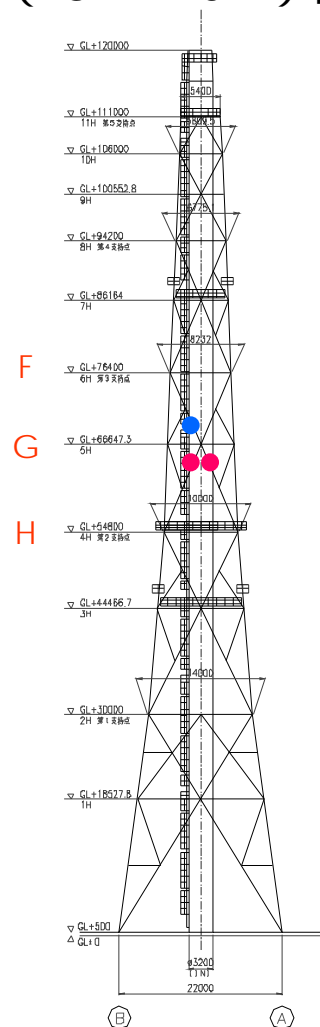
いずれも GL+66m (O.P.+76m) 付近の斜材接合部



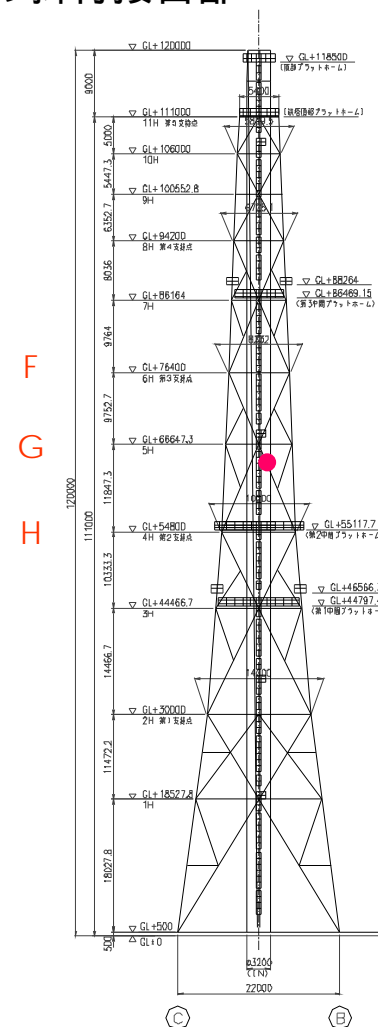
北側立面



東側立面

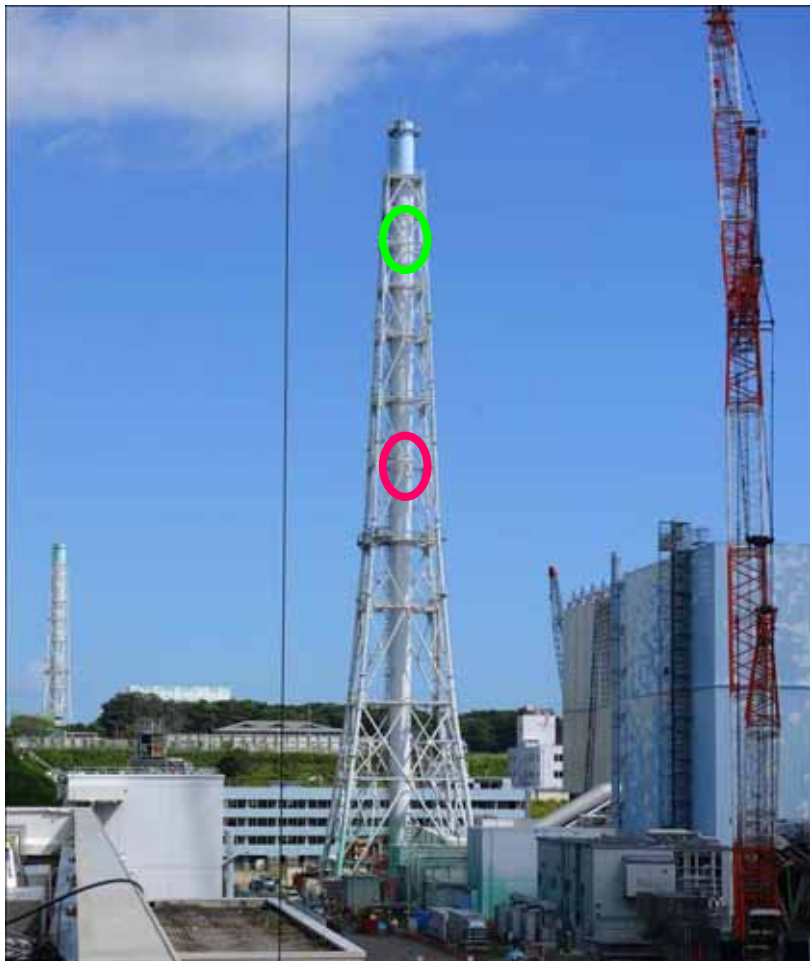


南側立面



西側立面

点検結果

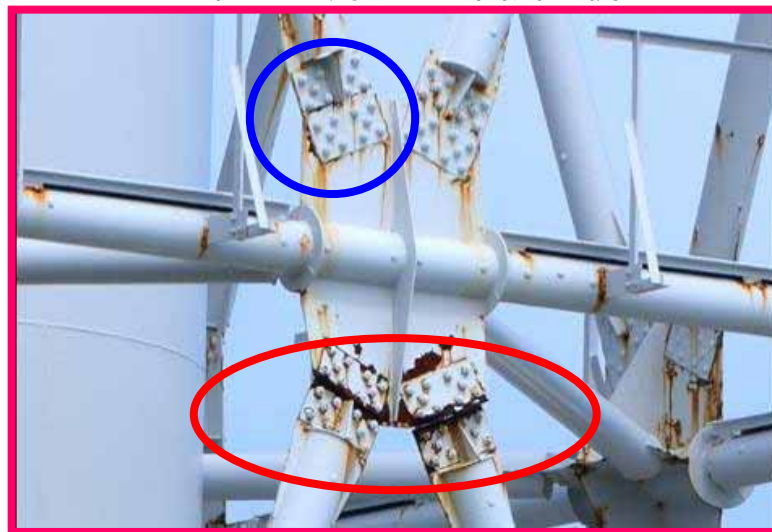


南側から撮影した全景写真

- 健全箇所为例
- 破断箇所为例
- 変形箇所为例







健全と判断した箇所の例



破断及び変形と判断した箇所の例

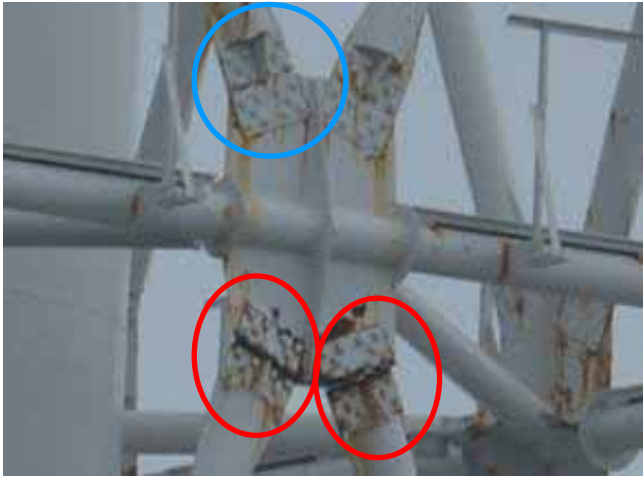



点検結果 (破断・変形箇所)

- 破断箇所：5箇所（北面：2箇所 南面：2箇所 西面：1箇所）
- 変形箇所：3箇所（東面：2箇所 南面：1箇所） いずれも GL+66m（O.P.+76m）付近の斜材接合部

	北側	東側
外側		
内側		
備考	66m地点斜材接合部下側2箇所破断を確認	66m地点斜材接合部下側2箇所変形痕を確認

点検結果 (破断・変形箇所)

- 破断箇所：5箇所（北面：2箇所 南面：2箇所 西面：1箇所）
- 変形箇所：3箇所（東面：2箇所 南面：1箇所） いずれも GL+66m（O.P.+76m）付近の斜材接合部

	南側	西側
外側		
内側		<p>西側は内側の撮影が困難 ため角度を変えた写真</p> 
備考	66m地点斜材接合部下側2箇所破断、上側1箇所変形痕を確認	66m地点斜材接合部下側1箇所破断を確認

点検結果 (健全と判断した部材の一例)



南側 (GL100m付近)
接合部



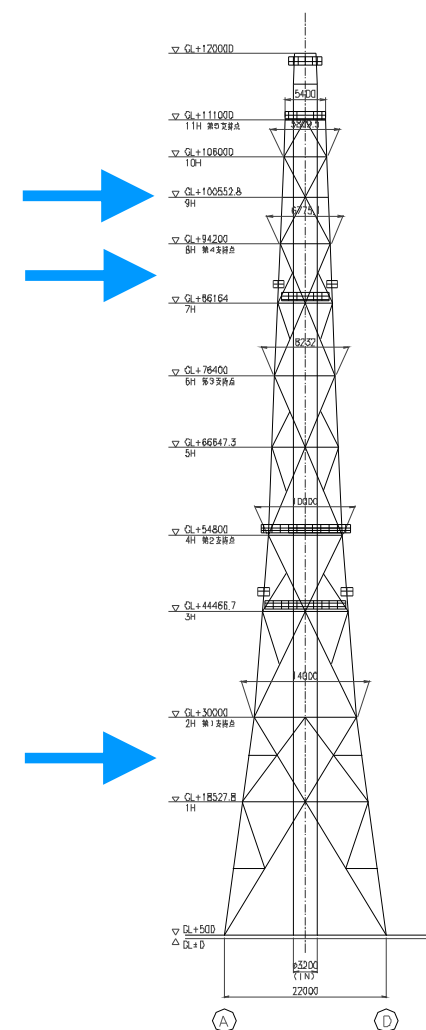
東側 (GL94 ~ 82m付近)
排気筒 筒身



北側 (GL19 ~ 30m付近)
主柱・斜材



東側 (GL19 ~ 30m付近)
排気筒 筒身



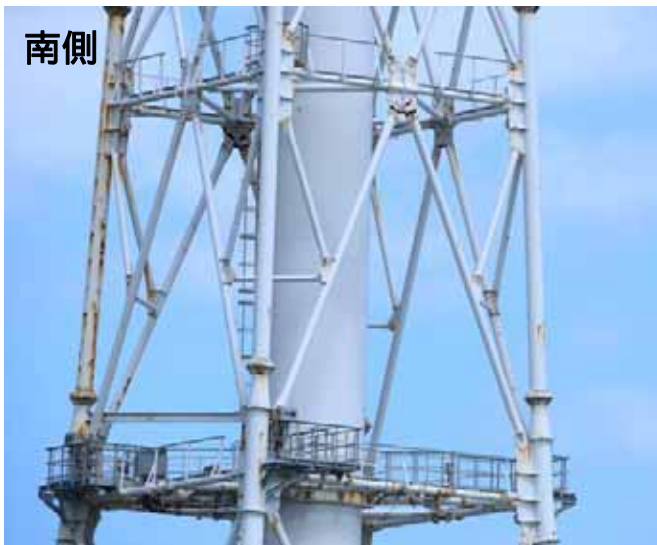
撮影位置
(参考に東側立面を記載)

点検結果 (GH間鉄塔部)

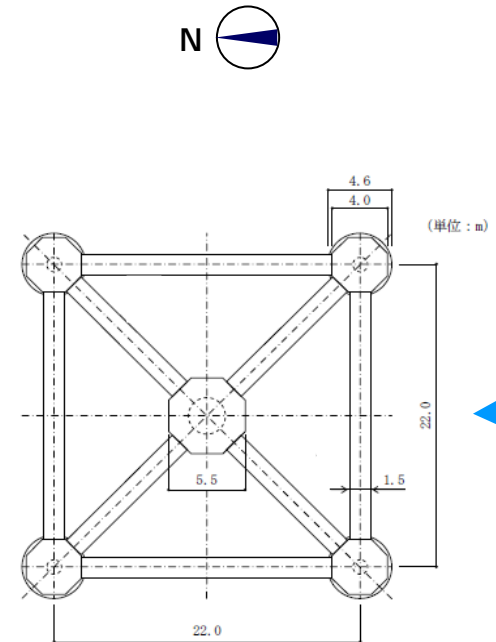
北側



南側



北側



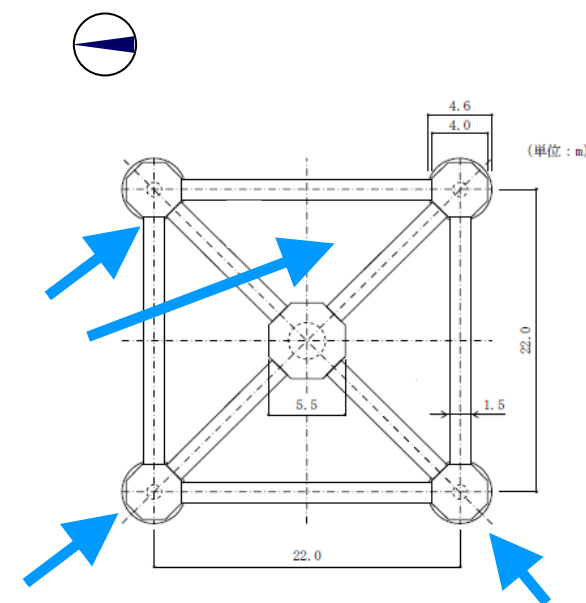
南側

点検結果 (柱脚部)

柱脚部については、鉄塔およびコンクリート基礎に異常は確認されていない



南東側柱脚は高線量のため道路側から撮影



点検結果のまとめ

- 鉄塔G-H間に5箇所破断を確認した。
- 鉄塔G-H間に2箇所、F-G間に1箇所変形を確認した。
- 柱脚部は、鉄塔およびコンクリート基礎に異常がないことを確認した。

1・2号機排気筒の耐震安全性評価

解析概要

今回の点検結果を反映し、9本の斜材（FG間：1部材、GH間：8部材）を取り除いた解析モデルを用いて地震応答解析を実施した。

なお、GH間については、破断および変形が確認された斜材は7本であるが、今回の解析においては、保守的にGH間に存在する全8本を解析モデルから取り除いた。

■ 対象地震

基準地震動Ss-1（水平450Gal 鉛直300Gal）

基準地震動Ss-2（水平600Gal 鉛直400Gal）

基準地震動Ss-3（水平450Gal 鉛直300Gal）

■ 解析モデル

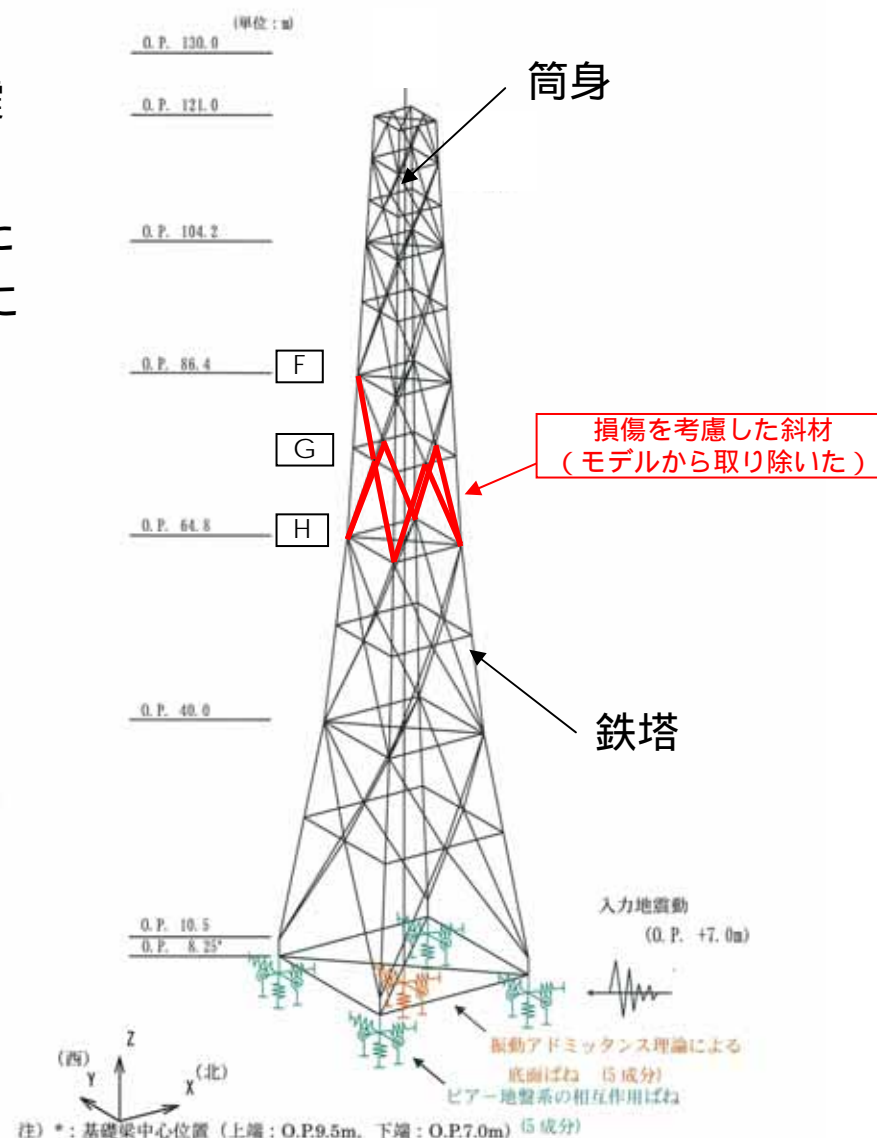
三次元フレーム

■ 解析手法

線形時刻歴応答解析

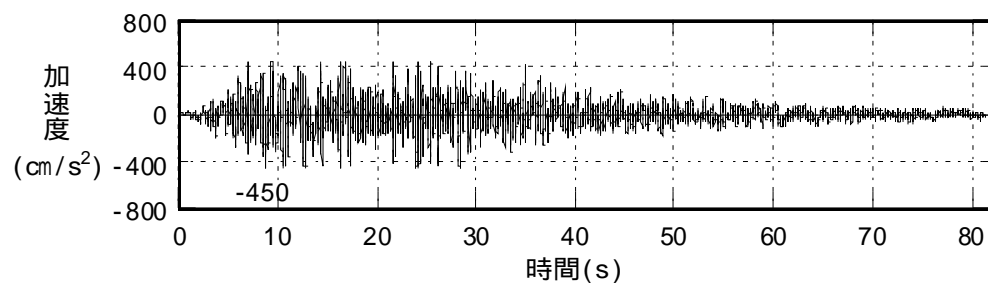
■ 評価対象

鉄塔（支柱材、斜材、水平材）、筒身、基礎部

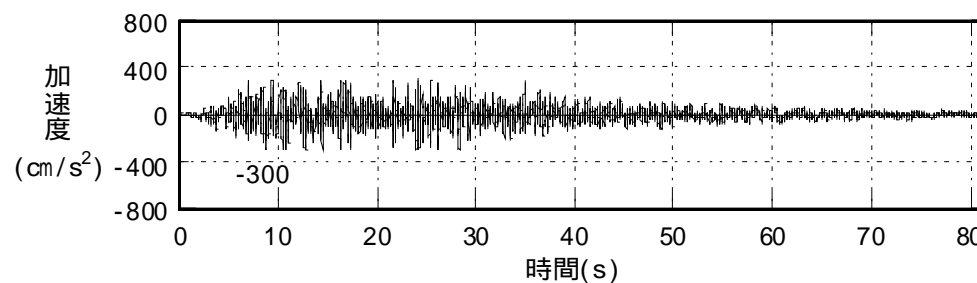


解析モデル図

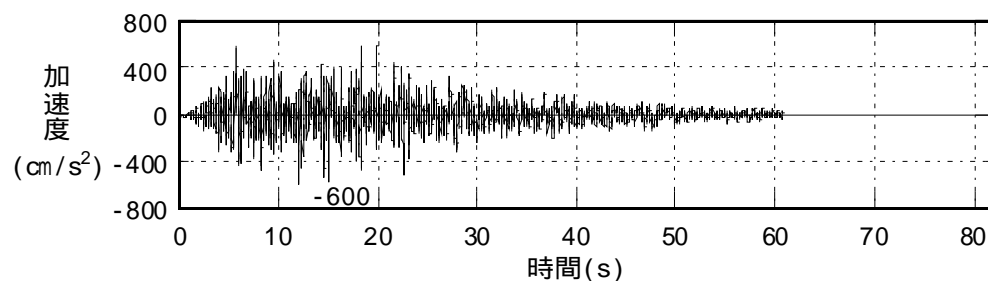
加速度時刻歴波形 (Ss-1 ~ 3)



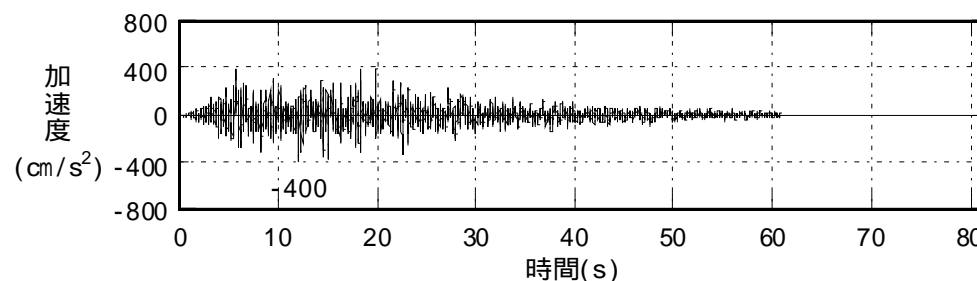
加速度時刻歴波形 (Ss-1H)



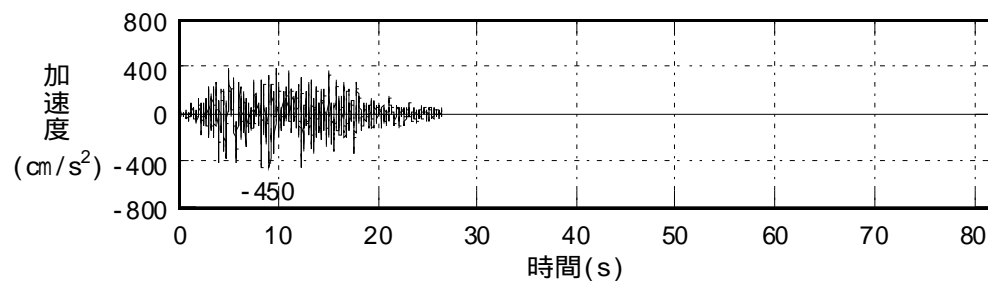
加速度時刻歴波形 (Ss-1V)



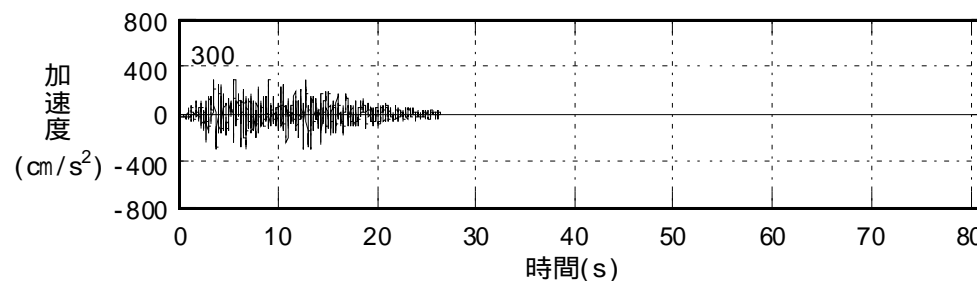
加速度時刻歴波形 (Ss-2H)



加速度時刻歴波形 (Ss-2V)



加速度時刻歴波形 (Ss-3H)



加速度時刻歴波形 (Ss-3V)

評価結果 (鉄塔部および筒身部)

各部材の評価結果のうち、検定比が最大となる部位について、評価結果を示す。

箇所	部材	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)
鉄塔	主柱材	2,726	276	213.8	2,526.5
	斜材	844	-	54.1	-
	水平材	127	-	38.4	-
筒身		1,097	10,241	807.3	64,662.6

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 圧縮応力に対する許容値
- s^f_b 曲げ応力に対する許容値
- s^c 圧縮応力 (N/A)
- s^b 曲げ応力 (M/Z)

箇所	部材	$\frac{s^c \sigma_c}{s^f_c}$ (N/mm^2)	$\frac{s^b \sigma_b}{s^f_b}$ (N/mm^2)	$\frac{s^f_c}{s^f_c}$ (N/mm^2)	$\frac{s^f_b}{s^f_b}$ (N/mm^2)	$\frac{s^c \sigma_c + s^b \sigma_b}{s^f_c s^f_b}$ 検定比	判定
鉄塔	主柱材	127.5	109.2	228.2	258.5	0.981	1 OK
	斜材	156.1	-	227.4	-	0.687	1 OK
	水平材	33.1	-	224.8	-	0.148	1 OK
筒身		13.6	158.4	214.5	224.5	0.769	1 OK

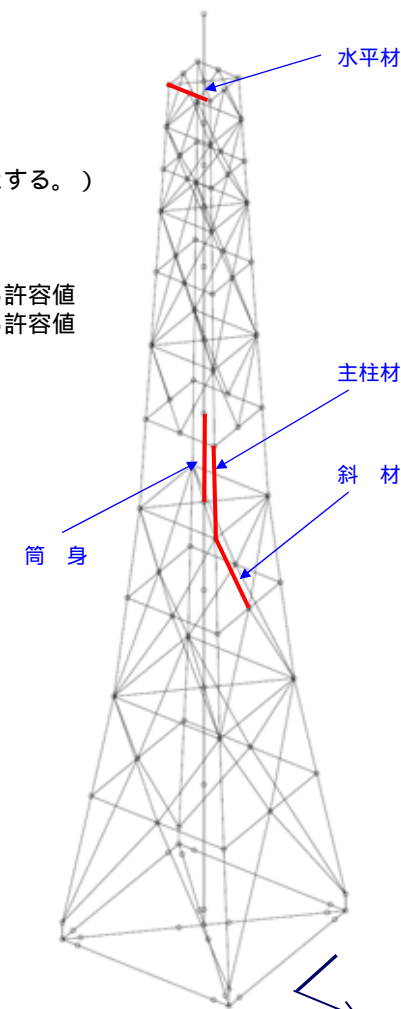
検定比0.981は弾性限界に対するものであり、全塑性モーメントに対しては、約1.3倍の裕度がある。

【鋼構造塑性設計指針 (日本建築学会)】

全塑性モーメントとは、部材の全断面が塑性化する (降伏状態となる) モーメントのことである。

なお、当該柱の全断面が塑性化したからといって、直ちに排気筒が倒壊するものではない。

鋼構造塑性設計指針：きわめてまれに起こる地震などに対して、構造物が倒壊しないことを保証する設計手法であり、構造物の塑性挙動を考慮に入れた設計手法。



— 検定比が最大位置を示す。PN

応力評価部位

評価結果（基礎部）

排気筒の基礎部の支持力確認結果を示す。

鉛直支持力等の確認（鉄塔部）

検討項目	応力	評価基準値 (抵抗力)	検定比 (応力 / 評価基準値)	判定	
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	522 (最大引抜き力)	3,911 (ピア基礎重量)	0.134	1	OK
支持力の確認 (kN/m ²)	1,111 (最大圧縮力)	3,923 (短期許容鉛直支持力)	0.284	1	OK

鉛直支持力等の確認（筒身部）

検討項目	応力	評価基準値 (抵抗力)	検定比 (応力 / 評価基準値)	判定	
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	引抜き力は 生じない	-	-	-	OK
支持力の確認 (kN/m ²)	308 (最大圧縮力)	3,923 (短期許容鉛直支持力)	0.079	1	OK

評価結果のまとめ

- 基準地震動 S_s （東北地方太平洋沖地震と同程度）を入力した際にも、損傷を考慮した排気筒においては、健全であることが確認された。

東北地方太平洋沖地震と同程度の地震（震度6強）が再度発生しても、筒身と鉄塔から構成される排気筒は倒壊しないものと思われる。

今後の対応

1. 人身安全と設備保護のための落下物等に対する当面の対策

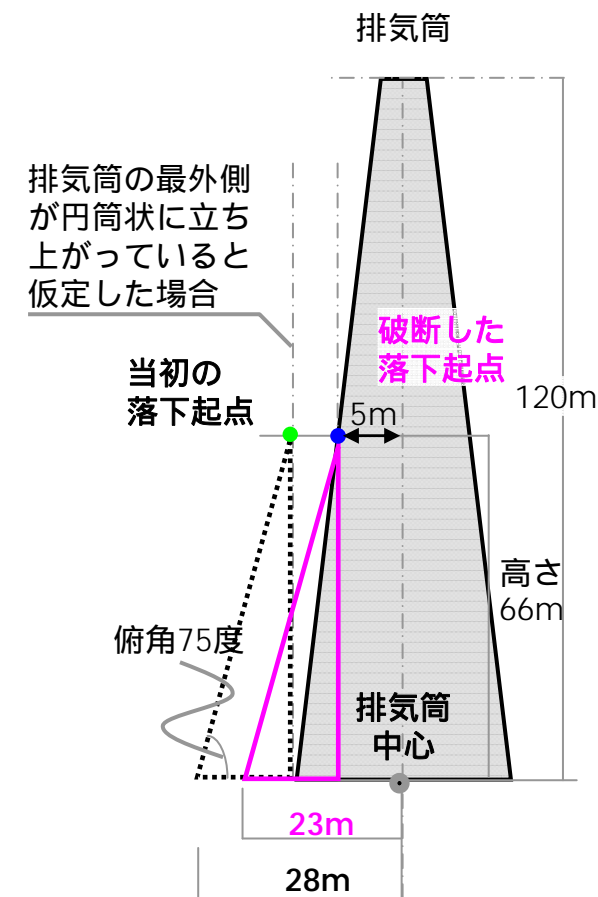
- ・立入規制エリアは、実状に合わせて排気筒中心から約23mのエリアとする。
- ・立入規制エリア内のパトロール人員用通路及び重要設備については、落下物防護対策を実施する。
- ・立入規制エリア内の作業（地組作業等）は禁止とするが、短時間の調査等は専任監視員を配置し、行うこととする。
- ・排気筒西側道路については、車両は通行可とし、人の通行は不可とする。
大物搬入口前道路の通行時は、専任監視員を配置する。

2. 短期的検討

- ・東北地方太平洋沖地震の観測記録を用いた、排気筒の解析評価を実施する。
- ・部材が損傷した原因について、継続して検討を進める。
- ・解体・補強等の条件整備のために、先行して排気筒及び周辺の線量測定を実施する。

3. 中長期的検討、対策

- ・解体・補強等に向けて工法や施工実施時期の検討を行う。
- ・新規制基準に伴う、基準地震動に対して検討を実施する。



落下範囲計算法の出典：「国土交通省建設工事公衆災害防止対策要綱土木工事編」