

1/2号機排気筒耐震安全性の再評価について

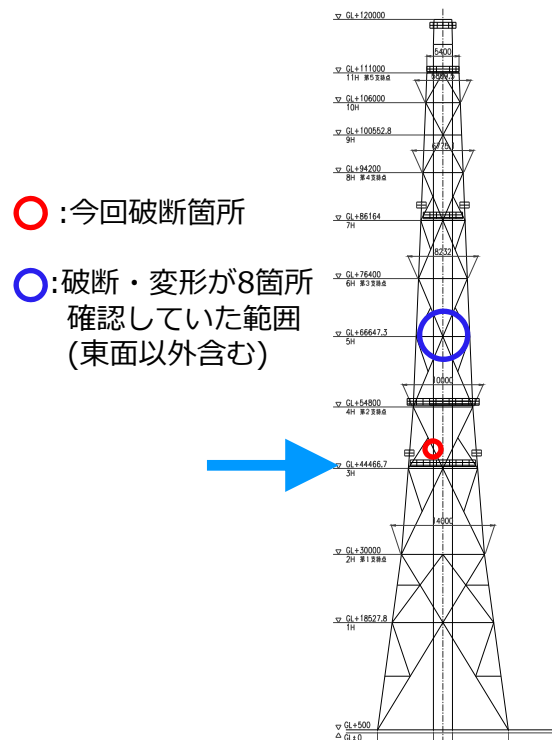
2017年7月27日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

はじめに

- 1 / 2号機排気筒は、これまでの点検により地上66m付近に8か所の破断・変形箇所を確認していたが、東面の地上約50m以下は、タービン建屋との干渉により詳細な点検が出来ていなかった。
- 作業環境の改善により1 / 2号機タービン建屋屋上からの点検が可能となったため、社外からの指摘も踏まえ、4月6日に東面の地上約50m以下の点検を実施した。
- その結果、東面45m付近において斜材接合部の1か所に新たな破断箇所を確認した。
- 今回新たに確認した破断箇所を踏まえた耐震安全性の再評価結果を報告するものである。



○ : 破断箇所
GL+45m(O.P.+55m) 付近の斜材接合部



写真撮影位置(東面立面)

東面(GL+45m付近)

解析概要

- 1/2号機排気筒については、2013年10月7日に、9本の斜材（FG間：1部材，GH間：8部材※，右図の青色）を取り除いた解析モデルで地震応答解析を実施し、耐震安全性が確保されていることを確認している。

※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、解析ではGH間に存在する残りの1本も取り除いている。

- 今回、2017年4月6日の点検結果を反映し、新たにHI間の1本の斜材（合計10本，右図の赤色）を取り除いた解析モデルで地震応答解析を行い、耐震安全性の再評価を実施した。

- 対象地震

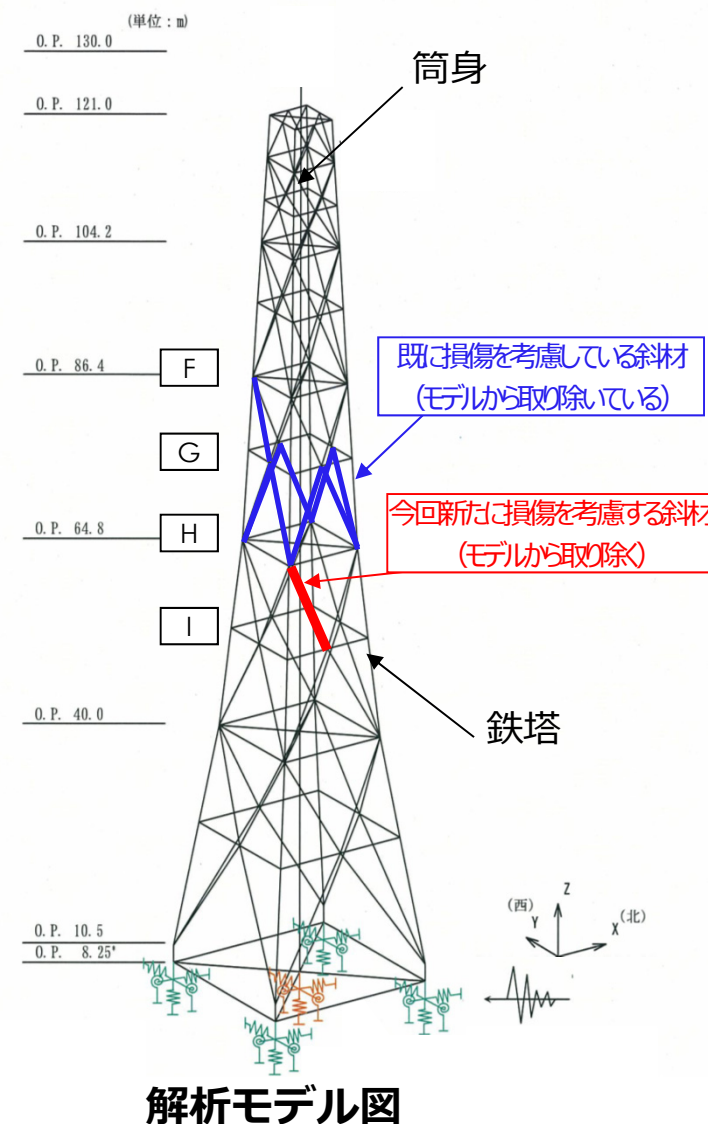
基準地震動Ss-1（水平450Gal 鉛直300Gal）

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）

- 評価対象

鉄塔（支柱材，斜材，水平材），筒身，基礎部



- 排気筒は筒身を鉄塔（支柱材，斜材，水平材）で支えた支持型共用排気筒である。
- 1/2号機排気筒については，以下の項目について評価を実施している。
 - ① 上部構造（鉄塔部および筒身）の評価
 1. 各部材について，発生応力が弾性限界以下であることを確認する。
 2. 本評価では，弾性限界を超えた部材のうち，支柱材の発生応力が塑性設計手法のひとつである全塑性モーメント※以下であることを確認する。

② 基礎部の評価

基礎部に発生する応力が鉛直支持力以下であることを確認

基礎部に発生する引抜き力が抵抗力(ピア基礎重量)以下であることを確認（転倒しないことを確認）

※全塑性モーメントとは，対象部材の全断面が塑性化（降伏状態となる）するモーメントのことである。【鋼構造塑性設計指針（日本建築学会）】

ただし，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く，塑性化を評価可能な詳細評価が必要となる。

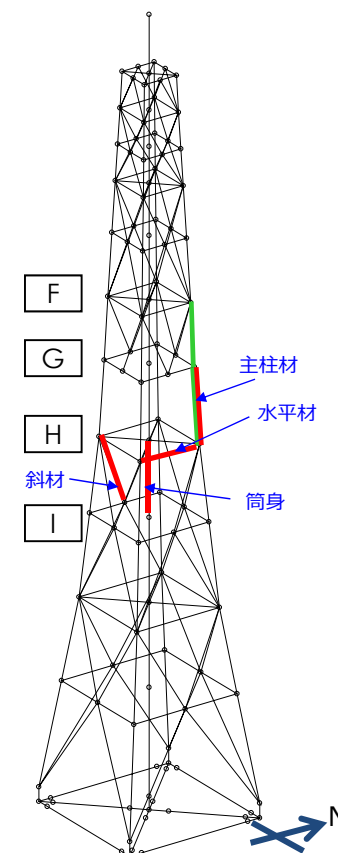
鋼構造塑性設計指針：きわめてまれに起こる地震などに対して，構造物が倒壊しないことを保証する設計手法であり，構造物の塑性挙動を考慮に入れた設計手法。

評価結果① 鉄塔および筒身

- Ss-1に対しては、主柱材の発生応力が一部で弾性限界を超えるものの、全塑性モーメント以下であることを確認した。なお、斜材、水平材、筒身は弾性範囲内であることを確認した。
- Ss-2,3に対しては、いずれの部材も弾性範囲内であることを確認した。

鉄塔及び筒身評価結果

箇所	部材	Ss-1 評価結果			Ss-2 評価結果		Ss-3 評価結果		【参考】2013年10月7日の評価結果	
		弾性限界に対する比	全塑性モーメントに対する比	判定	弾性限界に対する比	判定	弾性限界に対する比	判定	弾性限界に対する比	全塑性モーメントに対する比
鉄塔	主柱材	1.079	0.851	≦1 OK	0.895	≦1 OK	0.764	≦1 OK	0.981	0.765
	斜材	0.923	-	≦1 OK	0.746	≦1 OK	0.588	≦1 OK	0.687	-
	水平材	0.161	-	≦1 OK	0.131	≦1 OK	0.103	≦1 OK	0.148	-
筒身		0.784	-	≦1 OK	0.656	≦1 OK	0.606	≦1 OK	0.769	-



— : 評価結果が最大となる部材
— : 弾性限界を超える部材(2部材)

Ss-1

評価結果② 基礎部

- 基礎部の支持力については、発生応力が許容基準値以内であることを確認した。
- 引抜き力については、Ss-1の鉄塔部のみ発生しており、発生応力が許容基準値以内であることを確認した。

鉛直支持力等の確認（鉄塔部）

検討項目	発生応力			評価基準値 (抵抗力)	検定比 (発生応力最大値/評価基準値)	判定	
	Ss-1	Ss-2	Ss-3				
支持力の確認 (kN/m ²)	1,134 (最大圧縮力)	1,054 (最大圧縮力)	970 (最大圧縮力)	3,923 (短期許容鉛直支持力)	0.290 (Ss-1)	≤1	OK
全体引抜き力 の確認 (kN/脚)	788 (最大引抜き力)	引抜き力は 生じない	引抜き力は生 じない	3,911 (ピア基礎重量)	0.202 (Ss-1)	≤1	OK

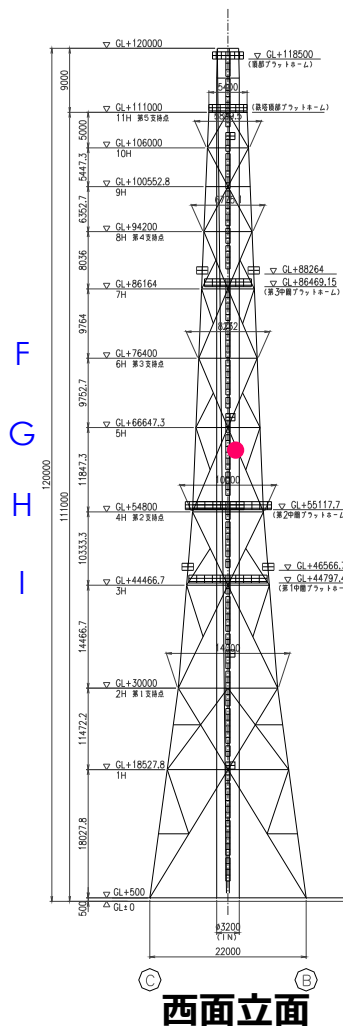
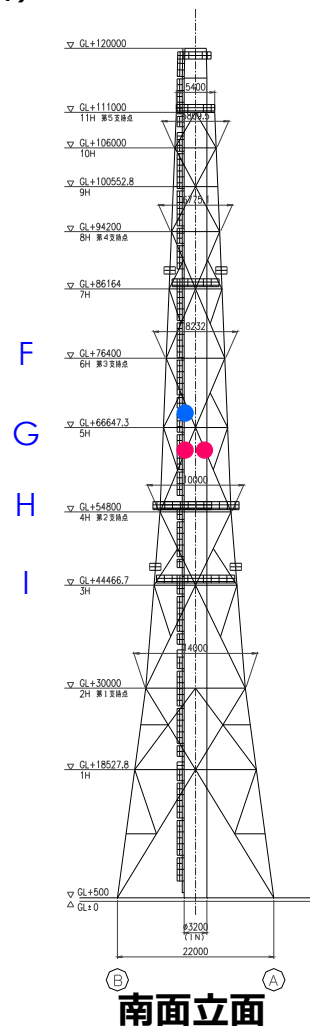
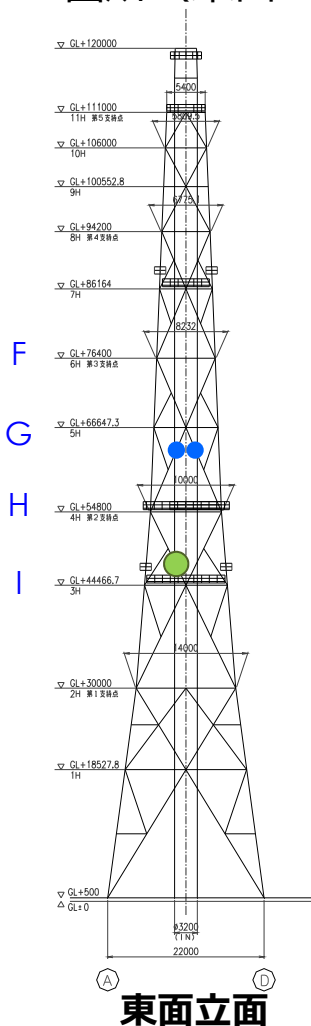
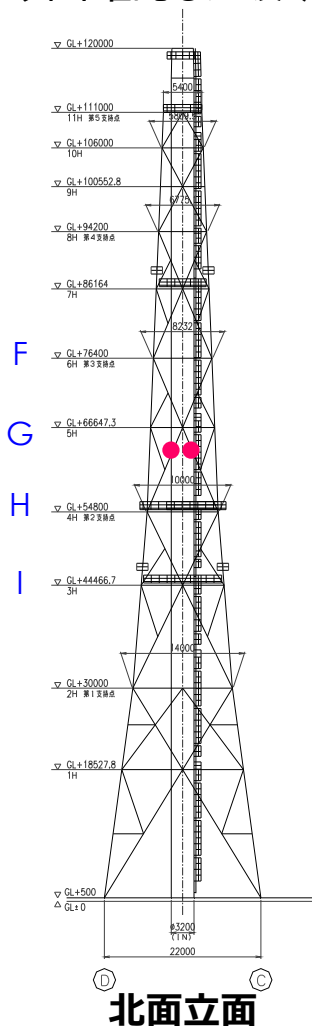
鉛直支持力等の確認（筒身部）

検討項目	発生応力			評価基準値 (抵抗力)	検定比 (発生応力最大値/評価基準値)	判定	
	Ss-1	Ss-2	Ss-3				
支持力の確認 (kN/m ²)	306 (最大圧縮力)	303 (最大圧縮力)	294 (最大圧縮力)	3,923 (短期許容鉛直支持力)	0.079 (Ss-1)	≤1	OK
全体引抜き力 の確認 (kN/脚)	引抜き力は 生じない	引抜き力は 生じない	引抜き力は 生じない	—	—	—	OK

- 2017年4月6日の点検結果を反映し、新たにHI間の1本の斜材を取り除いた解析モデルで地震応答解析を行い、耐震安全性の再評価を実施した。
- 1/2号機排気筒については、上部構造(鉄塔および筒身)と基礎部の評価結果から、基準地震動 $S_s-1\sim 3$ に対し、倒壊には至らないことを確認した。
- なお、1/2号機排気筒については、リスクをより低減するという観点から、早期の解体を計画している。

参考 1 点検結果のまとめ

- 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）
- 今回確認した破断箇所：1箇所（東面：1箇所）



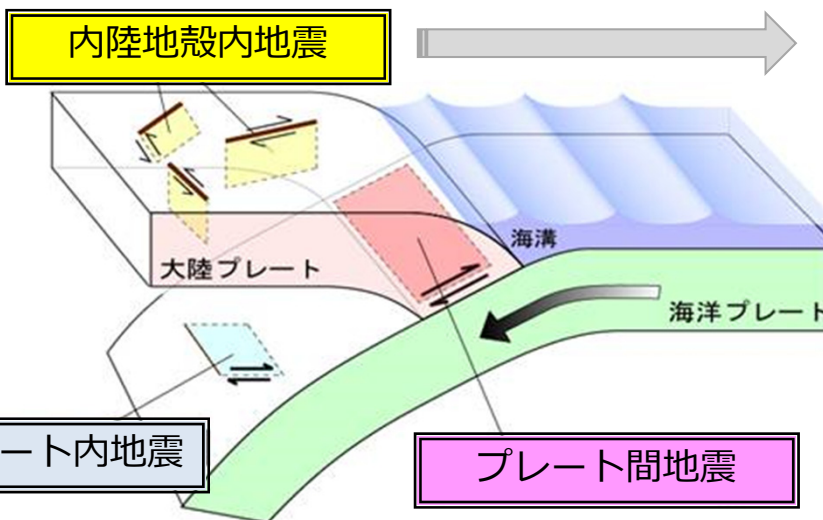
参考 2 - 1 福島第一原子力発電所の基準地震動Ss



策定において考慮する地震

1. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

サイト個別に、敷地に大きな影響を与えると予想される地震を複数選定し、評価を行い策定する地震動



2. 震源を特定せず策定する地震動

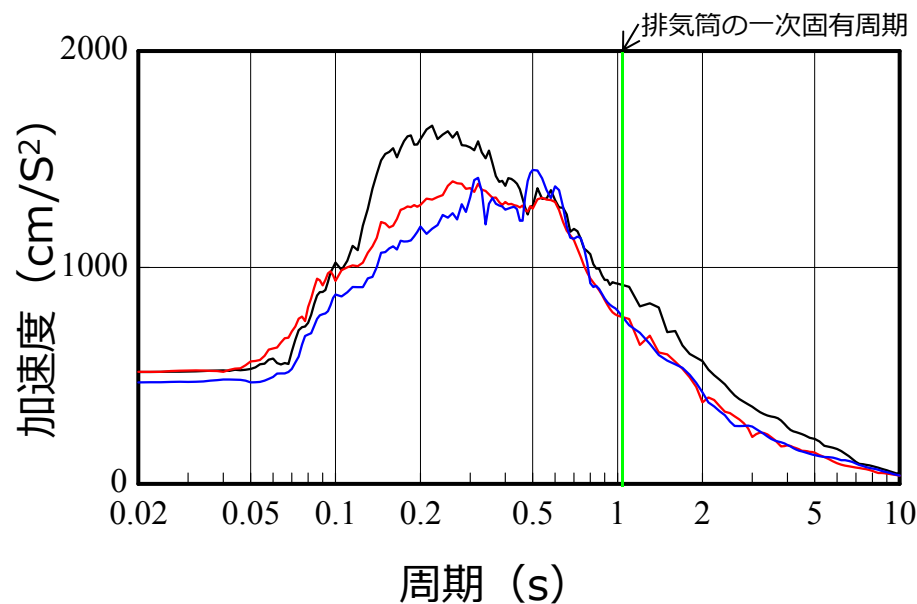
内陸地殻内の地震の全てを事前に評価できるとは限らないとの観点から、敷地近傍における詳細な調査にかかわらず全てのサイトで共通的に考慮すべき地震動

Ss-1	Ss-2	Ss-3
<ul style="list-style-type: none"> ● 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、内陸地殻内地震およびプレート間地震の評価結果を包絡。 ● 最大加速度振幅：450Gal 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、海洋プレート内地震の評価結果を包絡。 ● 最大加速度振幅：600Gal 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加藤ほか(2004)に基づく「震源を特定せず策定する地震動」 ● 最大加速度振幅：450Gal

※建物・構造物等には、揺れやすい周期(固有周期)がある。今回実施した地震応答解析による評価では、固有周期帯における地震動の大きさが評価結果に影響を与える。排気筒の固有周期帯は1s付近であり、この周期帯付近ではSs-1~3を比べるとSs-1が最も大きくなる。(P.9入力地震動の加速度応答スペクトル 参照)

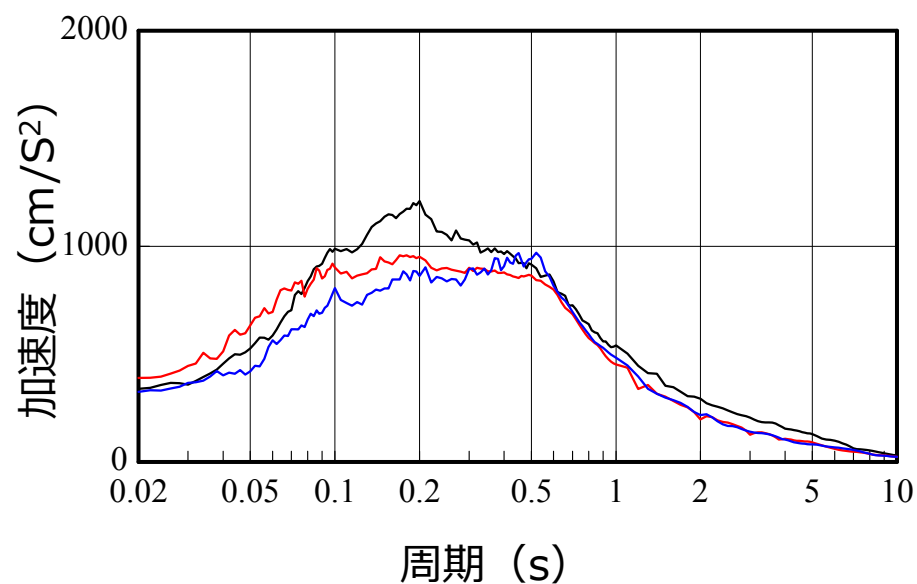
参考 2 - 2 入力地震動の比較

- Ss-1
- Ss-2
- Ss-3



入力地震動の加速度応答スペクトル

(基礎底面位置, 水平方向, 減衰5%)



入力地震動の加速度応答スペクトル

(基礎底面位置, 鉛直方向, 減衰5%)

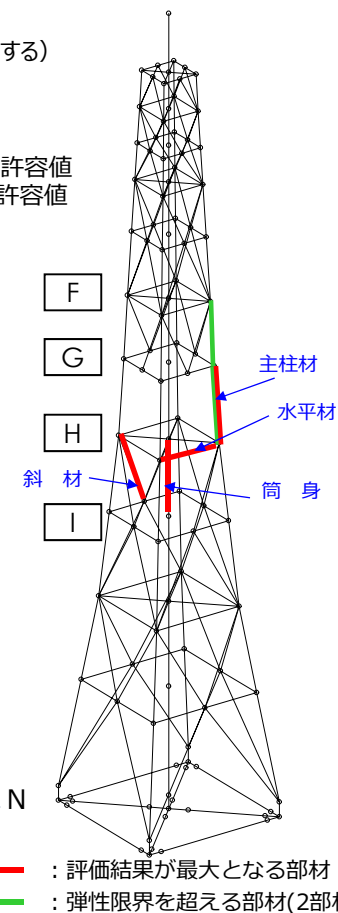
参考 3 - 1 弾性限界の算出過程 (Ss-1)

■ 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	支柱材	3,161	281	213.8	2,526.5
	斜材	1,135	—	54.1	—
	水平材	159	—	54.1	—
筒身		1,096	10,448	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^s_c 圧縮応力 (N/A)
- s^s_b 曲げ応力 (M/Z)

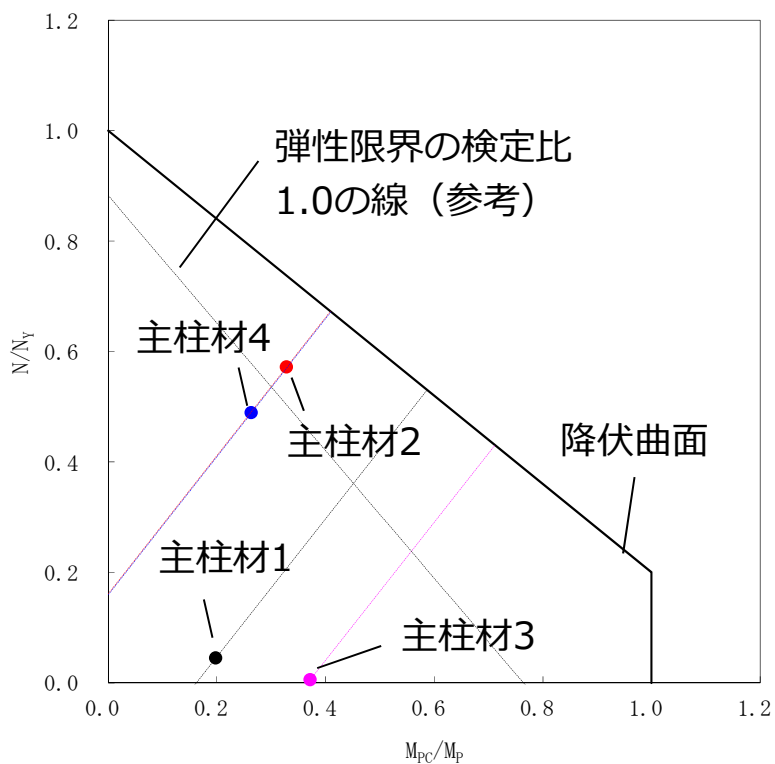


箇所	部材	s^s_c (N/mm ²)	s^s_b (N/mm ²)	s^f_c (N/mm ²)	s^f_b (N/mm ²)	$\frac{s^s_c + s^s_b}{s^f_c + s^f_b}$ 検定比
鉄塔	支柱材	147.9	111.3	228.2	258.5	1.079
	斜材	209.8	—	227.4	—	0.923
	水平材	29.4	—	183.1	—	0.161
筒身	13.6	161.6	214.5	224.5	0.784	

応力評価部位

参考 3 - 2 全塑性モーメントの算出過程 (Ss-1)

- 弾性限界を超える部材について、塑性設計手法のひとつである全塑性モーメントに対する評価を実施。
- GH間の各支柱材の降伏状態(全塑性モーメント)の検定比が0.851であることを確認した。



各支柱材の最大応力発生時刻のM-N相関関係

弾性限界に対する比

部材	N (kN)	M (kNm)	検定比 $\frac{s\sigma_c + s\sigma_b}{sf_c + sf_b}$
支柱材1	248	169	0.310
支柱材2	3,161	281	1.079
支柱材3	31	318	0.494
支柱材4	2,702	225	0.899

全塑性モーメントに対する比

部材	Nに対する 検定比	Mに対する 検定比	検定比 (N, Mの最大値)
支柱材1	0.085	0.338	0.338
支柱材2	0.851	0.803	0.851
支柱材3	0.014	0.523	0.523
支柱材4	0.728	0.643	0.728