

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-024-06 改 01
提出年月日	2023年2月17日

排気筒の地震応答計算書に関する補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

今回提出範囲：

別紙1 地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較

別紙1-1 排気筒における補強部材

別紙2 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙2-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙2-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 1 地震応答解析における既工認と今回工認の  
解析モデル及び手法の比較

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 1-1
2. 地震応答解析モデル及び手法の比較 .....	別紙 1-2
2.1 耐震補強の経緯 .....	別紙 1-5
2.2 地震応答解析モデル及び諸元の比較 .....	別紙 1-10

別紙 1-1 排気筒における補強部材

## 1. 概要

本資料は、排気筒の既工認時及び今回工認時の地震応答解析モデル及び手法の比較を示すものである。

## 2. 地震応答解析モデル及び手法の比較

排気筒の地震応答解析モデル及び手法の比較を表 2-1 に示す。また、今回工認時の地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。

比較に用いる既工認時の地震応答解析モデル及び手法は、島根原子力発電所第 2 号機『工事計画認可申請書第 2 回 添付書類Ⅳ-2-6「排気筒の耐震性についての計算書」(59 資庁第 8283 号昭和 59 年 9 月 17 日認可)』(以下「建設時工認(認可)」という。)及び島根原子力発電所第 2 号機『工事計画届出書 添付書類Ⅳ-1-2「排気筒の耐震性及び強度に関する説明書」(電耐建第 5 号平成 25 年 5 月 30 日届出及び電耐建第 6 号平成 25 年 6 月 14 日一部補正)』(以下「耐震裕度向上に伴う補強(届出)」という。)のものである。

既工認のうち耐震裕度向上に伴う補強(届出)では、制震装置(粘性ダンパ)の追加、補助柱の追加及び筒身脚部の補強材追加を実施している。

また、今回工認では、さらに補助柱の追加、主柱及び鉄塔脚部の補強材追加並びに S G T S 用排気筒支持部材の補強を実施している。

耐震裕度向上に伴う補強(届出)以降に実施した鉄塔部材、鉄塔基礎及び S G T S 用排気筒支持部材の補強概要については、別紙 1-1「排気筒における補強部材」に示す。

表 2-1 地震応答解析モデル及び手法の比較

項目	内容	建設時工認 (認可)	耐震裕度向上に伴う補強 (届出)	今回工認	備考
入力地震動 の算定法	水平	一次元波動論により算定	同左	同左	—
	鉛直	—*	一次元波動論により算定	同左	—
解析コード		(工認図書に記載なし)	S N A P - L E	同左	—
排気筒の モデル化	モデル	・ 水平：鉄塔部及び筒身部を一体とした1軸多質点系モデル ・ 鉛直：応答解析を実施せず	・ 立体架構モデル	同左	①
	材料物性	(工認図書に記載なし)	検討時の規準に基づき設定 ・ コンクリートのヤング係数, ポアソン比 E = 2.15 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> ν = 0.2 ・ 鋼材のヤング係数, ポアソン比 E = 2.05 × 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> ν = 0.3	同左	—
	要素分割	・ はり要素 鉄塔部及び筒身部を一体化	・ はり要素 鉄塔部 (主柱材, 水平材, 斜材, 補助柱), 筒身部及び基礎 ・ ばね要素 制震装置 (粘性ダンパ)	同左	—
	減衰定数	・ 筒身部：2% ・ 鉄塔部：2%	・ 筒身部：1% ・ 鉄塔部：2% ・ RC (基礎)：5%	同左	—
	減衰	・ ひずみエネルギー比例型	・ 剛性比例型	同左	—
	筒身支持点	EL 113.5m, EL 89.2m, EL 62.2m, EL 34.5m	同左	同左	—
	制震装置	—	・ 粘性ダンパ (EL 113.5mに8台設置)	同左	—
	地盤の モデル化	底面ばね	・ 水平ばね及び回転ばねを考慮	・ 水平ばね, 回転ばね及び鉛直ばねを考慮	同左
側面ばね		・ 考慮せず	同左	同左	—
非線形特性	底面ばね	・ 考慮せず	同左	同左	—

注記\*：建設時工認（認可）は，水平方向のみ地震応答解析を実施

【具体的な反映事項】（表の備考欄に対応）

- ① 今回工認は，耐震裕度向上に伴う補強（届出）以降の補強（使用部材の断面諸元及び重量を地震応答解析モデルへ反映）による変更を考慮。

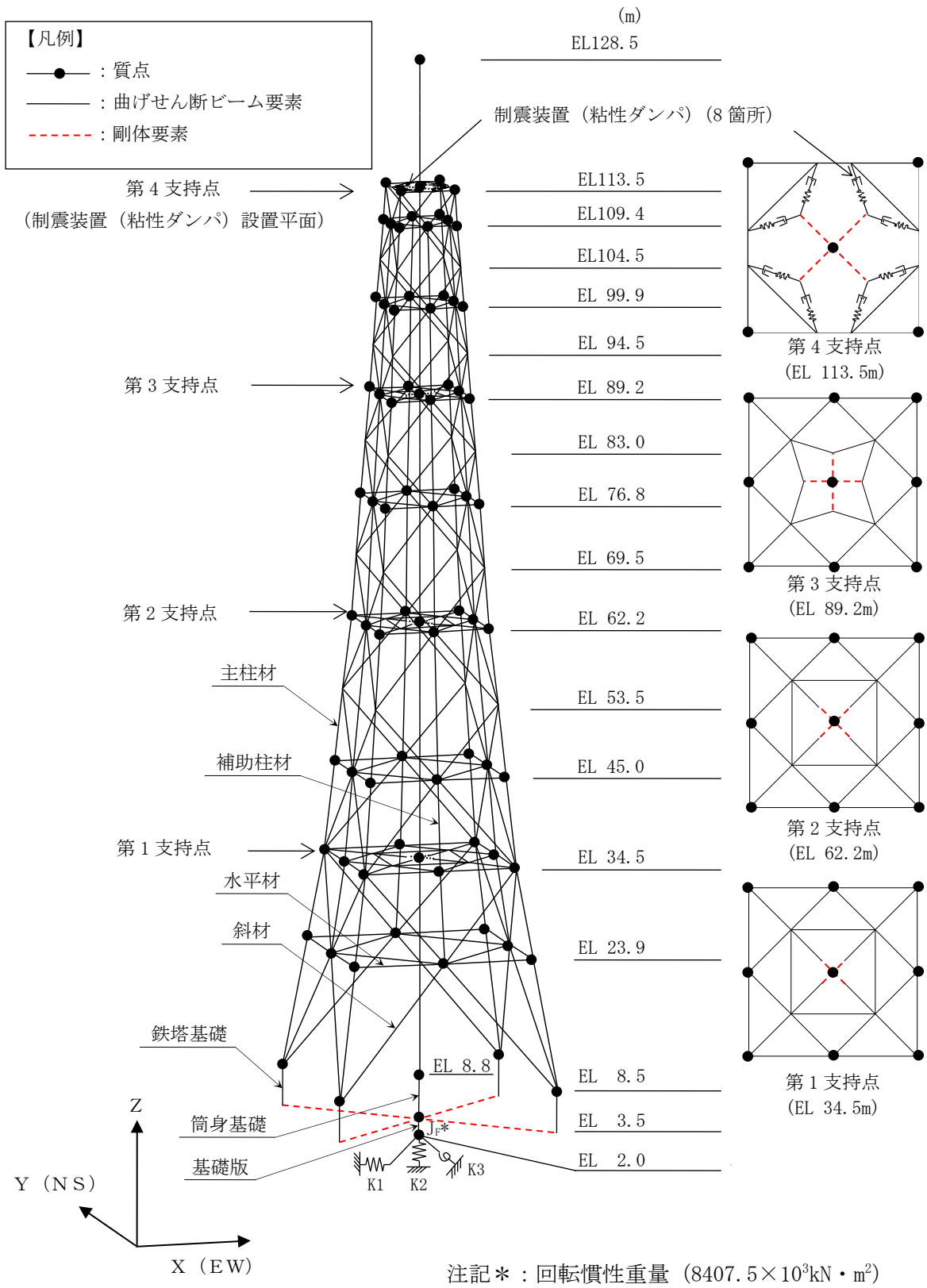


図2-1 地震応答解析モデル



## 2.1 耐震補強の経緯

排気筒は、島根2号機の建設以降、耐震裕度向上に伴う補強工事を行っており、さらに今回工認時に追加の補強工事を行っている。これまでの排気筒の補強の内容について以下に整理する。また、排気筒の補強の経緯を表 2-2 に、排気筒の補強履歴を図 2-2 に示す。

### (1) 建設時の構造

建設時の排気筒は、地盤からの高さ 120m である内径 3.3m の鋼板製筒身（空調換気系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり、岩盤に直接設置している。

また、筒身外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。

### (2) 耐震裕度向上に伴う補強（届出）時の補強内容

耐震裕度向上に伴う補強（届出）時における補強内容は以下のとおりである。

- ① 第4支持点（EL 113.5m）に制震装置（粘性ダンパ）を8台設置
- ② EL 45.0m～EL 109.4mの各面に補助柱材を設置
- ③ 第3支持点（EL 89.2m）の繋ぎ材を変更
- ④ 筒身脚部に座金及びリブプレートを追加

### (3) 今回工認時の補強内容

今回工認時における補強内容は以下のとおりである。

- ① EL 23.9m～EL 45.0mの各面に補助柱材を設置
- ② EL 8.5m～EL 34.5mの支柱材に補強リブを追加
- ③ 鉄塔脚部に補強材（せん断プレート、フランジプレート、アンカー材等）を追加
- ④ S G T S用排気筒支持部材（脚部）の補強

なお、今回工認時の具体的な補強内容については、別紙 1-1「排気筒における補強部材」に示す。

表 2-2 排気筒の補強の経緯

項目	建設時工認 (認可)	耐震裕度向上に伴う補強 (届出)	今回工認
目的	—	耐震裕度向上	耐震補強
筒身	主要寸法	・地表上の高さ：120m ・口径：3.3m	変更なし
	部材補強	—	・筒身脚部に座金及びリブプレートを追加 変更なし
鉄塔	主要寸法	・地表上の高さ：105m ・鉄塔幅（頂部）：6.5m ・鉄塔幅（根開き）：26m	変更なし
	部材補強	—	・EL 45.0m～EL 109.4mの各面に補助柱材を設置 ・第3支持点（EL 89.2m）の繋ぎ材を変更 ・EL 23.9m～EL 45.0mの各面に補助柱材を設置 ・EL 8.5m～EL 34.5mの主柱材に補強リブを追加 ・鉄塔脚部に補強材（せん断プレート、フランジプレート、アンカー材等）を追加
	制震装置の有無	なし	・第4支持点（EL 113.5m）に8台設置 変更なし
基礎	主要寸法	・鉄塔基礎 ：2.5m×2.5m×5.0m ・筒身基礎 ：6.0m×6.0m×5.0m ・基礎版 ：28.5m×28.5m×1.5m	変更なし
	部材補強	—	変更なし
SGTS 用排気筒	主要寸法	・地表上の高さ：120m ・口径：0.4m	変更なし
	部材補強	—	・支持部材（脚部）の補強

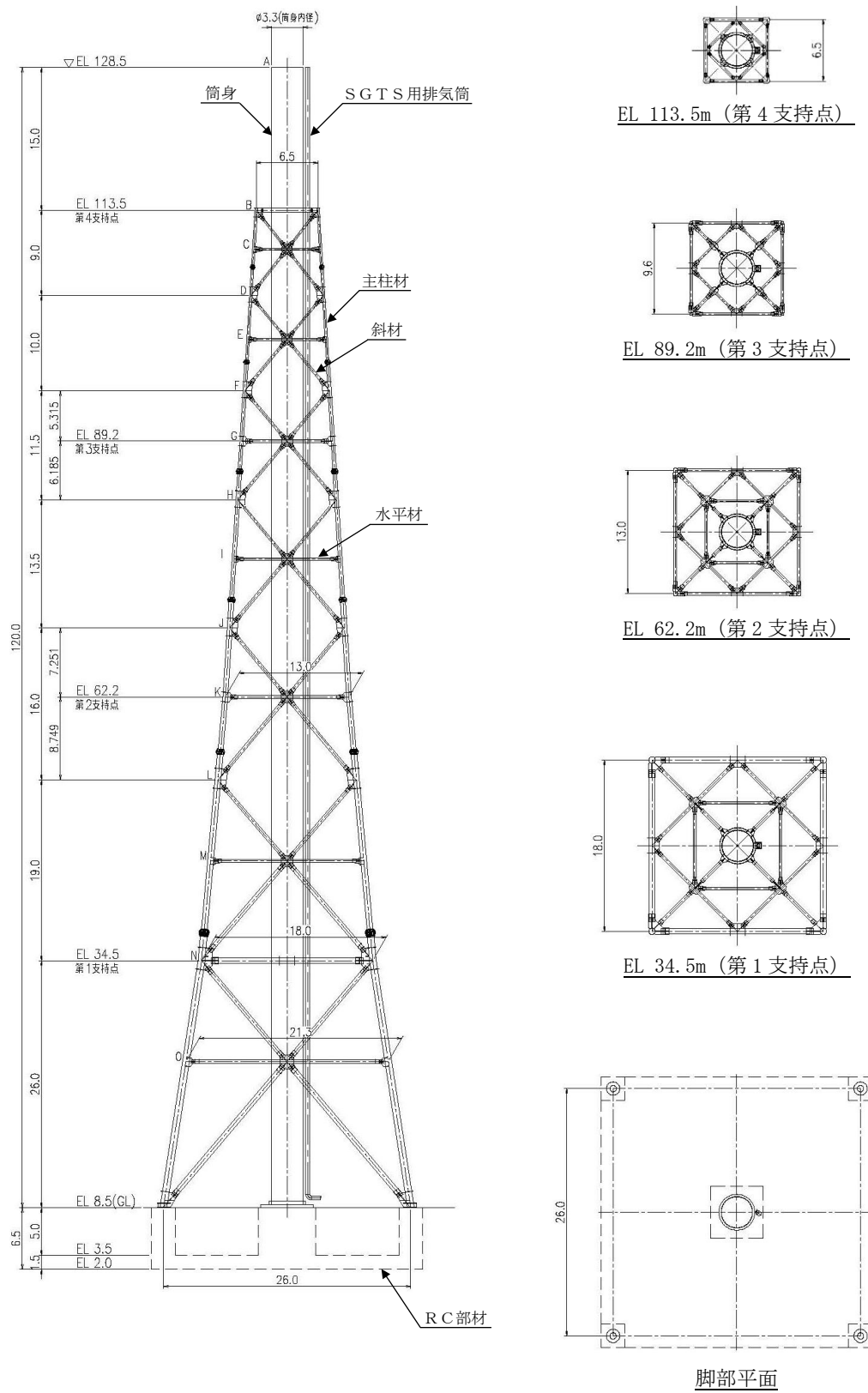


図 2-2(1) 排気筒の補強履歴 (建設時工認 (認可)) (単位: m)

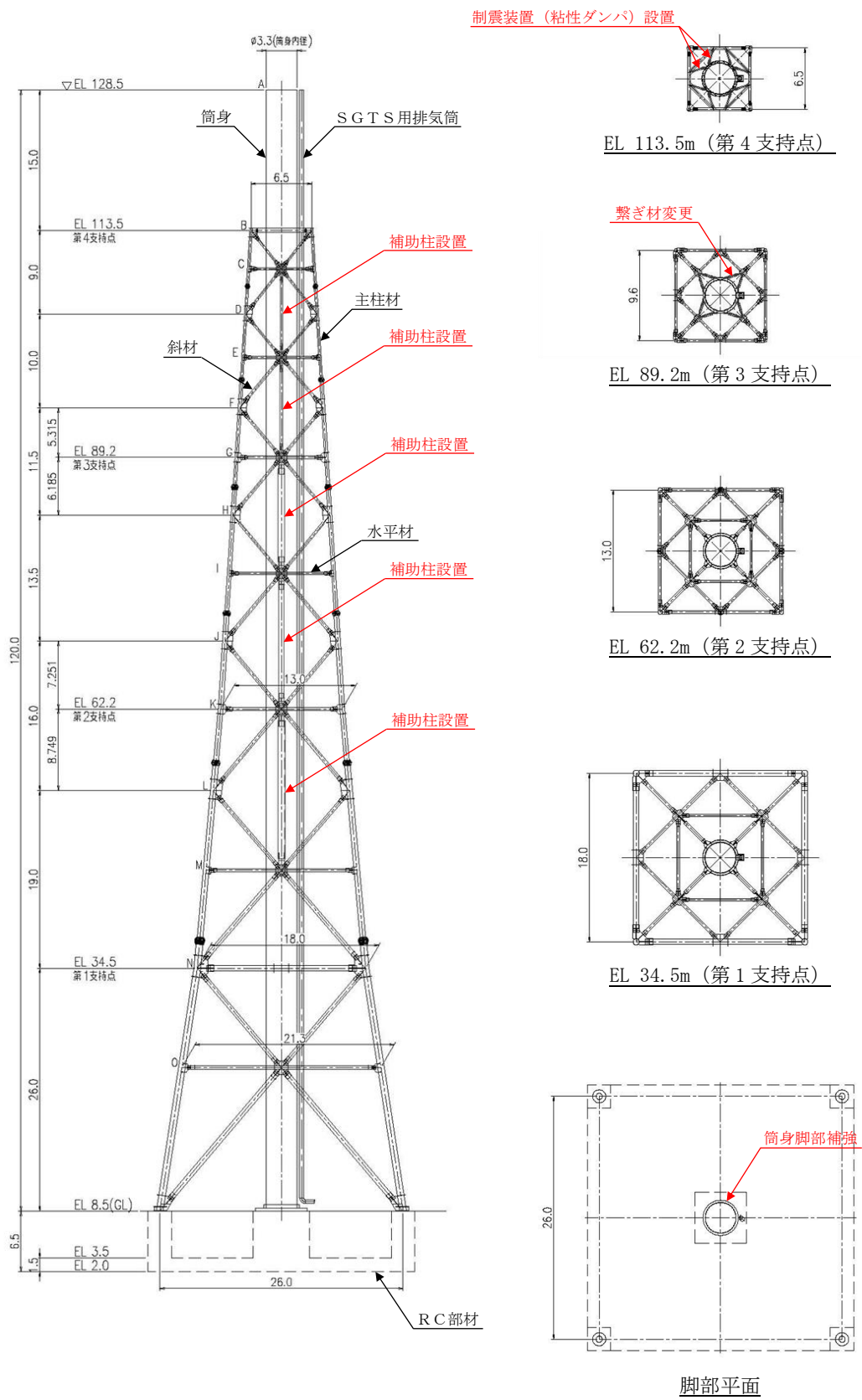


図 2-2(2) 排気筒の補強履歴 (耐震裕度向上に伴う補強 (届出)) (単位 : m)

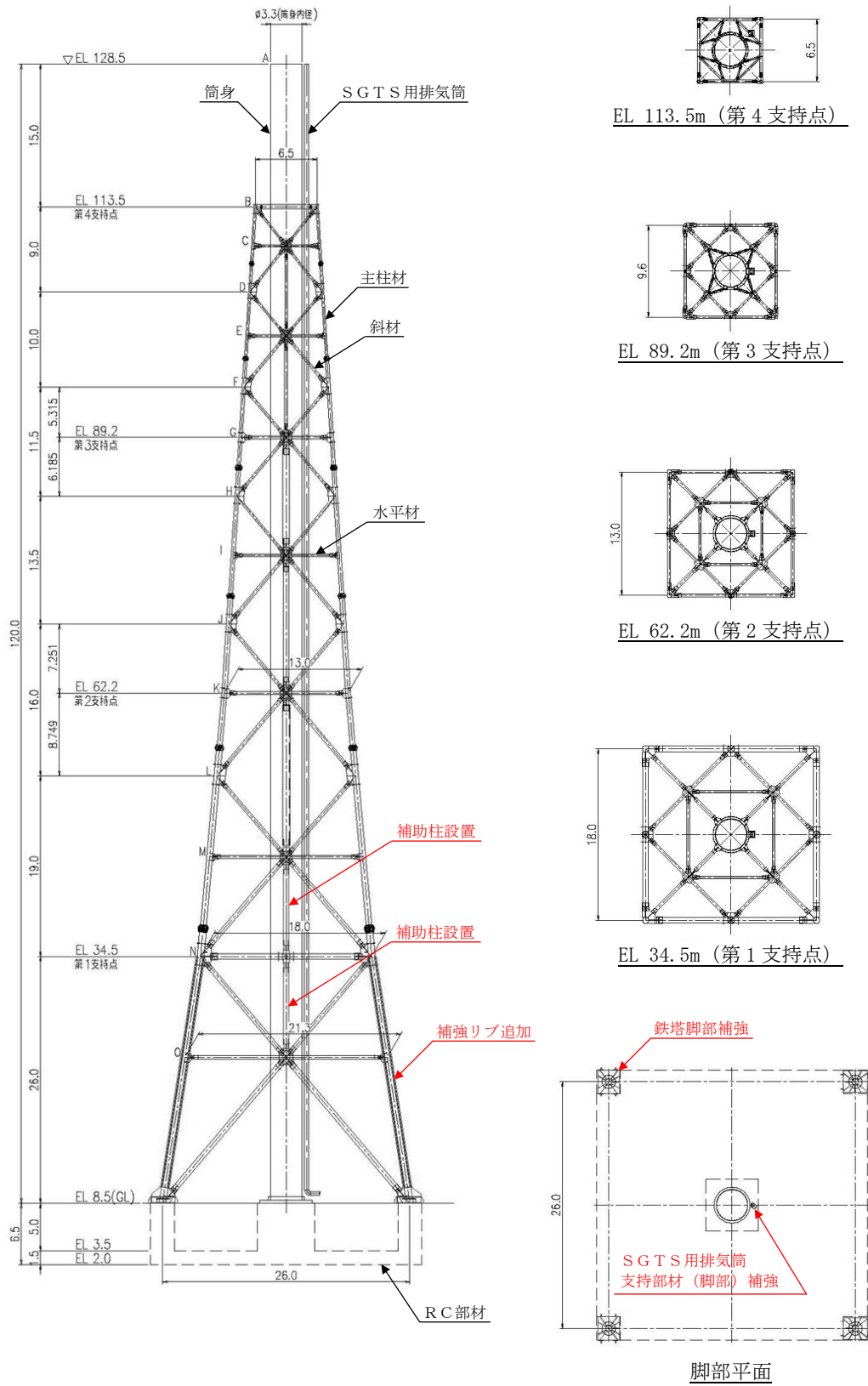


図 2-2(3) 排気筒の補強履歴 (今回工認) (単位: m)

## 2. 2 地震応答解析モデル及び諸元の比較

排気筒は、耐震裕度向上に伴う補強（届出）以降に補強を行っていることから、今回工認においては、補強内容を反映してモデル化している。

建設時工認（認可）、耐震裕度向上に伴う補強（届出）及び今回工認の地震応答解析モデルの比較を図 2-3 に示す。また、耐震裕度向上に伴う補強（届出）モデルと今回工認モデルの使用部材の断面諸元及び質点重量の比較を表 2-3 及び表 2-4 に示す。

なお、筒身部の断面諸元及び質点重量は耐震裕度向上に伴う補強（届出）時から変更していないため、ここでは鉄塔部の比較を示す。

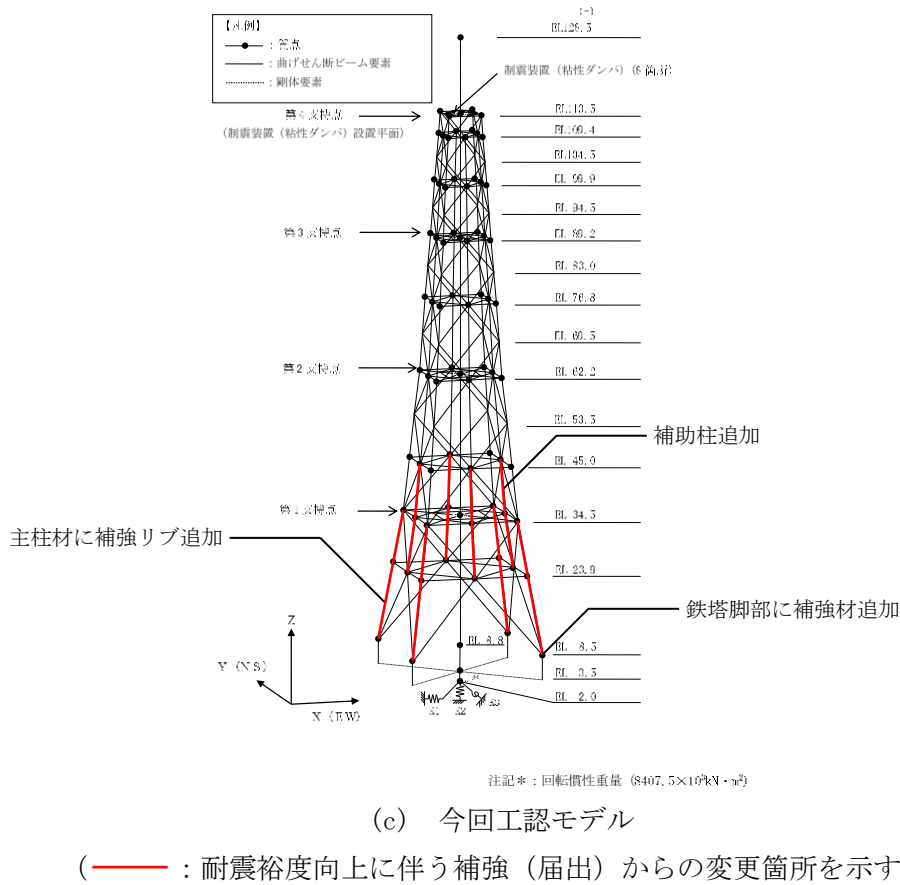
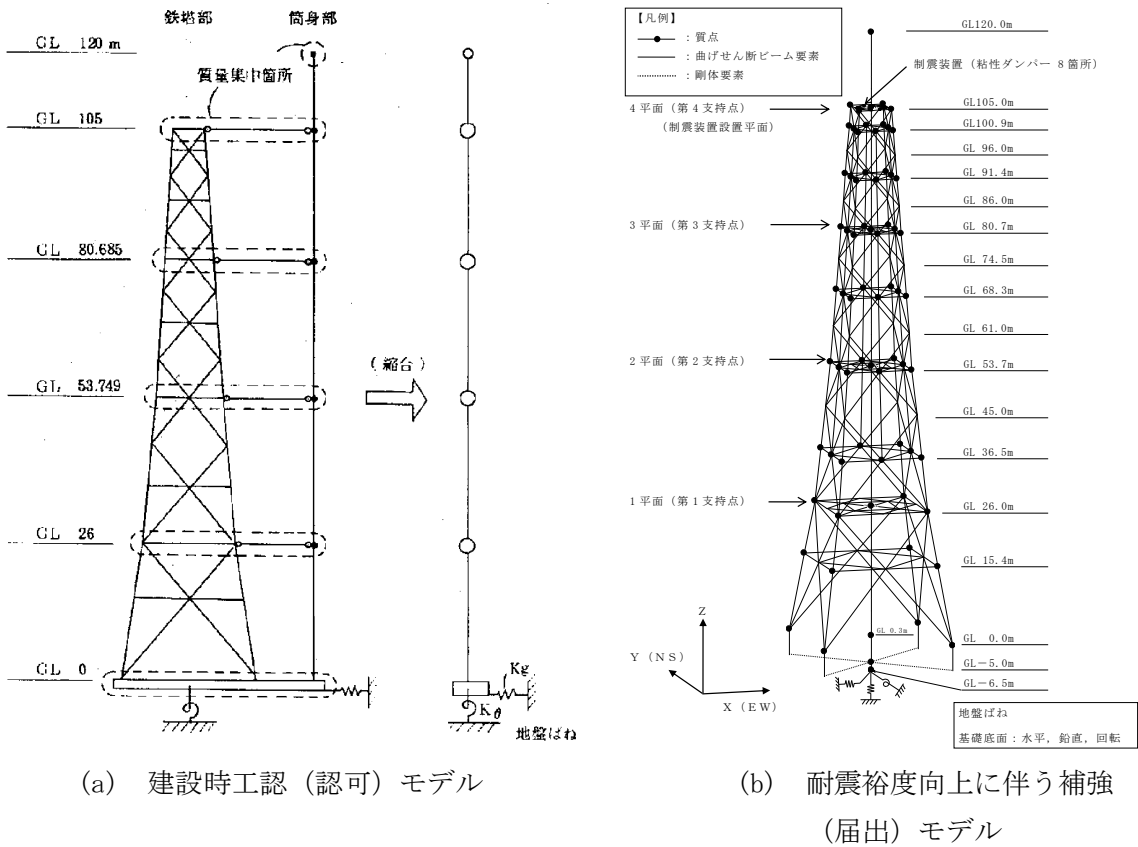


図 2-3 地震応答解析モデルの比較

表 2-3(1) 使用部材の断面諸元の比較 (鉄塔部)

(a) 耐震裕度向上に伴う補強 (届出)

部材	高さ EL (m)	使用部材 (mm)	断面性能			
			断面積 A (mm <sup>2</sup> )	せん断 断面積 A <sub>Sx, y</sub> (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>x, y</sub> (×10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	ねじり 定数 J (×10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )
主柱材	113.5 ~ 94.5	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	94.5 ~ 83.0	φ 355.6×6.4	7021	3511	107.0	214.1
	83.0 ~ 69.5	φ 406.4×7.9	9890	4945	196.0	392.8
	69.5 ~ 53.5	φ 508.0×9.5	14880	7440	462.0	924.6
	53.5 ~ 34.5	φ 609.6×12.7	23820	11910	1060.0	2122.2
	34.5 ~ 8.5	φ 711.2×12.7	27870	13935	1700.0	3400.4
斜材	113.5 ~ 99.9	φ 216.3×5.8	3836	1918	21.3	42.5
	99.9 ~ 76.8	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	76.8 ~ 62.2	φ 318.5×6.9	6755	3378	82.0	164.0
	62.2 ~ 45.0	φ 355.6×7.9	8629	4315	130.0	260.9
	45.0 ~ 23.9	φ 457.2×9.5	13360	6680	335.0	669.8
	23.9 ~ 8.5	φ 558.8×9.5	16390	8195	619.0	1237.0
水平材	113.5	H450×300×10×15*	13200	9000	487.7	0.815
				4200	67.5	
	109.4, 99.9	φ 216.3×5.8	3836	1918	21.3	42.5
	89.2, 76.8	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	62.2, 45.0	φ 318.5×6.9	6755	3378	82.0	164.0
	34.5	φ 609.6×9.5	17910	8955	806.0	1612.8
23.9	φ 406.4×9.5	11850	5925	233.0	466.8	
補助柱	109.4 ~ 99.9	φ 267.4×6.0	4927	2464	42.1	84.2
	99.9 ~ 89.2	φ 318.5×6.0	5891	2946	71.9	143.9
	89.2 ~ 76.8	φ 711.2×7.9	17450	8725	1080.0	2158.7
	76.8 ~ 62.2	φ 609.6×12.7	23820	11910	1060.0	2122.2
	62.2 ~ 45.0	φ 762.0×12.7	29900	14950	2100.0	4197.5

注記\* : H形鋼のせん断断面積及び断面二次モーメントは上段がA<sub>Sx</sub>及びI<sub>x</sub>, 下段がA<sub>Sy</sub>及びI<sub>y</sub>とする。



表 2-3(2) 使用部材の断面諸元の比較 (鉄塔部)

(b) 今回工認

部材	高さ EL (m)	使用部材 (mm)	断面性能			
			断面積 A (mm <sup>2</sup> )	せん断 断面積 A <sub>Sx, y</sub> (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>x, y</sub> (×10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	ねじり 定数 J (×10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )
支柱材	113.5 ~ 94.5	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	94.5 ~ 83.0	φ 355.6×6.4	7021	3511	107.0	214.1
	83.0 ~ 69.5	φ 406.4×7.9	9890	4945	196.0	392.8
	69.5 ~ 53.5	φ 508.0×9.5	14880	7440	462.0	924.6
	53.5 ~ 34.5	φ 609.6×12.7	23820	11910	1060.0	2122.2
	34.5 ~ 8.5	φ 711.2×12.7 8PLS-22×100*1	45470	22735	2992.0	3400.4
斜材	113.5 ~ 99.9	φ 216.3×5.8	3836	1918	21.3	42.5
	99.9 ~ 76.8	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	76.8 ~ 62.2	φ 318.5×6.9	6755	3378	82.0	164.0
	62.2 ~ 45.0	φ 355.6×7.9	8629	4315	130.0	260.9
	45.0 ~ 23.9	φ 457.2×9.5	13360	6680	335.0	669.8
	23.9 ~ 8.5	φ 558.8×9.5	16390	8195	619.0	1237.0
水平材	113.5	H-450×300×10×15*2	13200	9000	487.7	0.815
				4200	67.5	
	109.4, 99.9	φ 216.3×5.8	3836	1918	21.3	42.5
	89.2, 76.8	φ 267.4×6.6	5408	2704	46.0	92.0
	62.2, 45.0	φ 318.5×6.9	6755	3378	82.0	164.0
	34.5	φ 609.6×9.5	17910	8955	806.0	1612.8
23.9	φ 406.4×9.5	11850	5925	233.0	466.8	
補助柱	109.4 ~ 99.9	φ 267.4×6.0	4927	2464	42.1	84.2
	99.9 ~ 89.2	φ 318.5×6.0	5891	2946	71.9	143.9
	89.2 ~ 76.8	φ 711.2×7.9	17450	8725	1080.0	2158.7
	76.8 ~ 62.2	φ 609.6×12.7	23820	11910	1060.0	2122.2
	62.2 ~ 45.0	φ 762.0×12.7	29900	14950	2100.0	4197.5
	45.0 ~ 23.9	φ 609.6×12.7	23820	11910	1060.0	2122.2

注記\*1: リブ付きの支柱材のせん断剛性及び軸剛性は補強リブも含めて考慮している。また、断面二次モーメントは最小値とし、ねじり定数は鋼管のみの値とする。

\*2: H形鋼のせん断断面積及び断面二次モーメントは上段がA<sub>Sx</sub>及びI<sub>x</sub>、下段がA<sub>Sy</sub>及びI<sub>y</sub>を示す。

注: ハッチングは耐震裕度向上に伴う補強(届出)以降の変更箇所を示す。

表 2-4 質点重量の比較（鉄塔部）

(a) 耐震裕度向上に伴う補強（届出）

高さ EL (m)	質点重量* (kN)
113.5	107.2
109.4	113.2
99.9	146.4
89.2	246.4
76.8	315.6
62.2	528.0
45.0	470.0
34.5	461.6
23.9	521.6
8.5	269.2

注記\*：各高さの総重量を示す。

(b) 今回工認

高さ EL (m)	質点重量* (kN)
113.5	107.2
109.4	113.2
99.9	146.4
89.2	246.4
76.8	315.6
62.2	528.0
45.0	525.2
34.5	611.2
23.9	669.6
8.5	597.6

注記\*：各高さの総重量を示す。

注：ハッチングは耐震裕度向上に伴う補強（届出）  
以降の変更箇所を示す。

別紙 1-1 排気筒における補強部材

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 1-1-1
2. 補強内容 .....	別紙 1-1-2

## 1. 概要

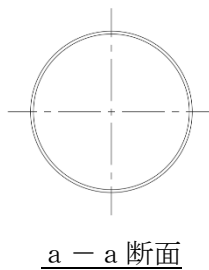
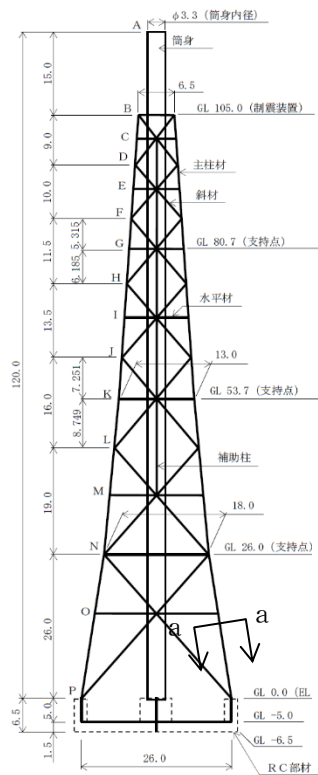
本資料は、耐震裕度向上に伴う補強（届出）に対し、排気筒の裕度の小さい部材に対して補強材の追加等による補強工事を実施していることから、補強概要を示すものである。

## 2. 補強内容

排気筒の耐震裕度向上に伴う補強（届出）以降の変更箇所を以下に示す。

- EL 23.9m～EL 45.0m の斜材交点に補助柱を追加
- EL 8.5m～EL 34.5m の主柱材に補強リブを追加
- 鉄塔脚部に補強材（せん断プレート，フランジプレート，アンカー材等）を追加
- S G T S用排気筒支持部材（脚部）の補強

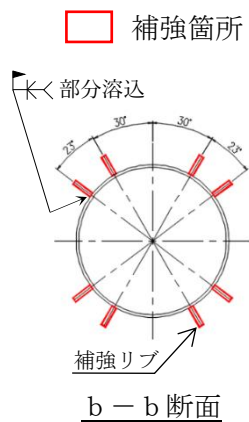
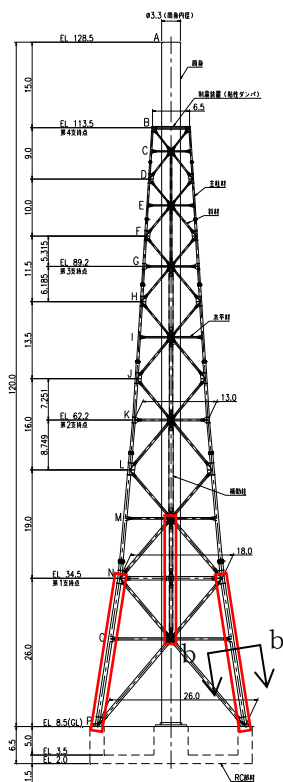
鉄塔部（主柱材及び補助柱）の補強箇所を図 2-1 に，鉄塔脚部の補強箇所を図 2-2 に，S G T S用排気筒支持部材（脚部）の補強箇所を図 2-3 に示す。



部材リスト (単位:mm)

主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0 (STR400)
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	10	φ318.5×6.0 (STR400)
φ406.4×7.9	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	12	φ711.2×12.7×6.0 (STR400)
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ609.6×12.7×6.0 (STR400)
φ508.0×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ762.0×12.7×6.0 (STR490)
φ609.6×12.7	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	10	φ762.0×12.7×6.0 (STR490)
φ711.2×12.7	φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	12	-
STR400	SM400	SM400	t=10	STR400 STR400

(a) 補強前 (耐震裕度向上に伴う補強 (届出))



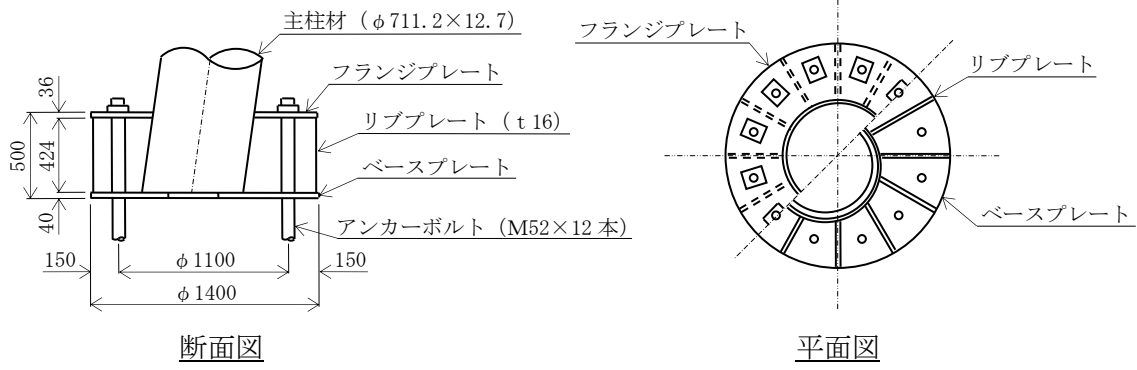
部材リスト (単位:mm)

主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	10	φ318.5×6.0
φ406.4×7.9	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	12	φ711.2×12.7×6.0
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ609.6×12.7×6.0
φ508.0×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ762.0×12.7×6.0
φ609.6×12.7	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	10	φ762.0×12.7×6.0
φ711.2×12.7	φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	12	-
STR400	SM400	SM400	t=10	STR400 STR400

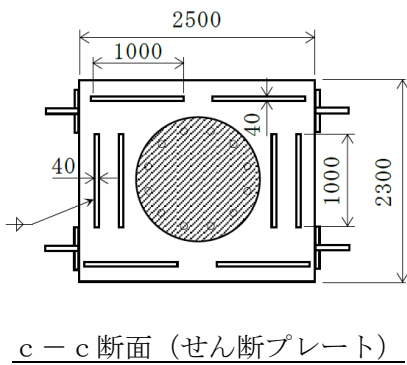
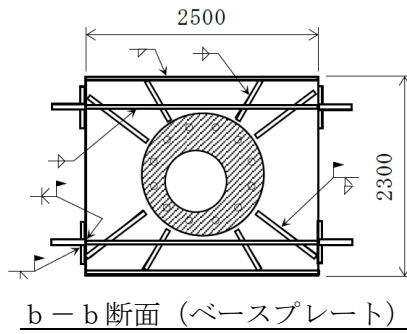
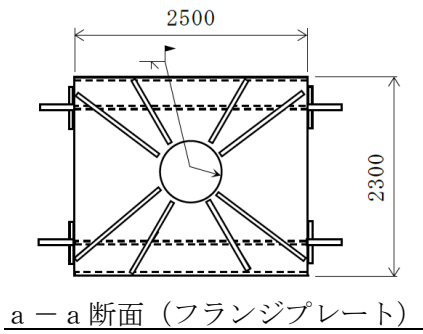
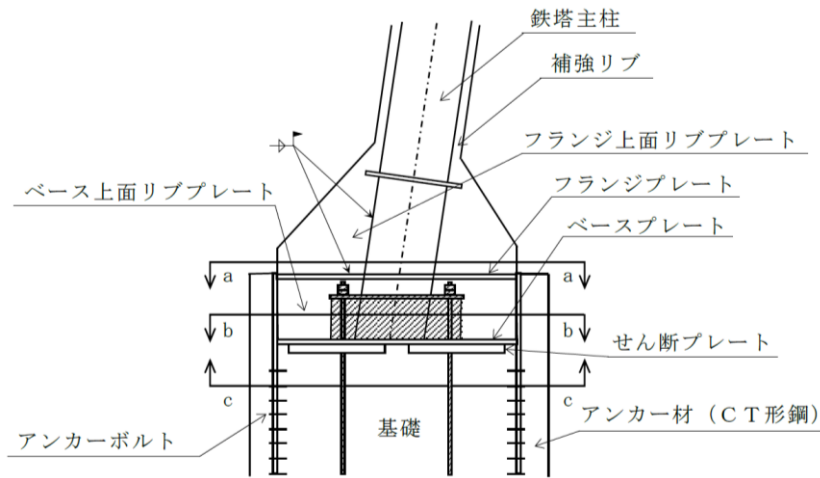
注記\*1: SS400Hを示す。  
\*2: SS41H (SS400H)を示す。  
\*3: STR490Hを示す。

(b) 補強後 (今回工認)

図 2-1 鉄塔部 (主柱材及び補助柱) の補強箇所 (単位:mm)



(a) 補強前 (耐震裕度向上に伴う補強 (届出))

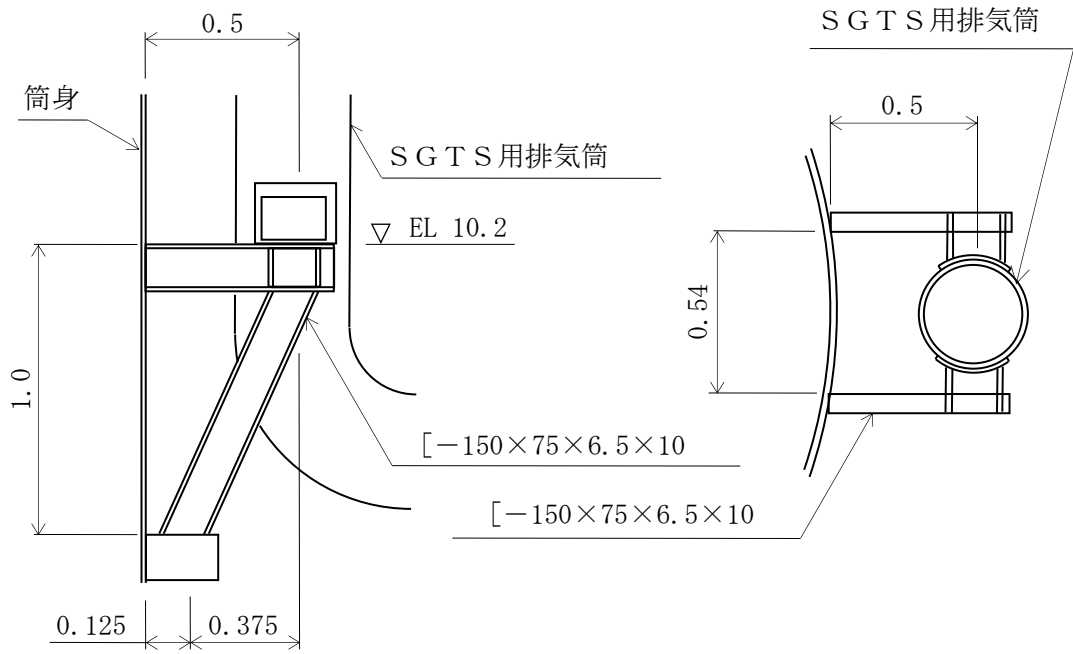


注：図中の  は既設部を示す。

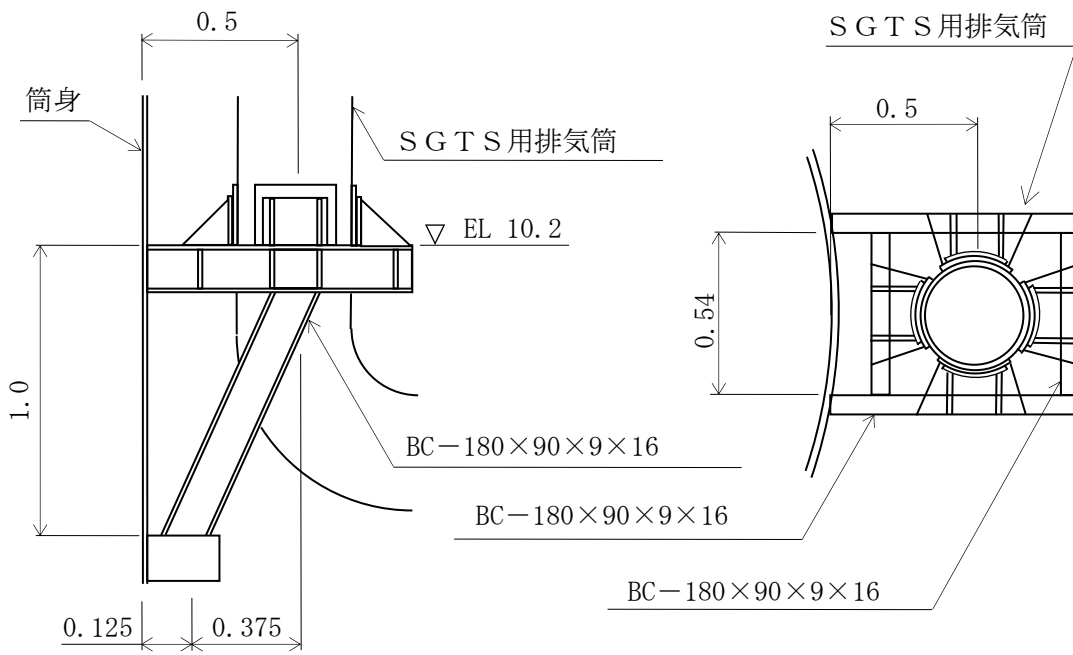
(b) 補強後 (今回工認)

図 2-2 鉄塔脚部の補強箇所 (単位: mm)





(a) 補強前（耐震裕度向上に伴う補強（届出））



(b) 補強後（今回工認）

図 2-3 SGT S用排気筒支持部材（脚部）の補強箇所（単位：m）

別紙 2 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する  
検討

## 目 次

1. 概要	別紙 2-1
1.1 検討概要	別紙 2-1
1.2 検討方針	別紙 2-2
2. 材料物性の不確かさの分析	別紙 2-3
2.1 排気筒基礎部の剛性の不確かさ	別紙 2-3
2.2 地盤物性の不確かさ	別紙 2-3
2.3 制震装置（粘性ダンパ）の不確かさ	別紙 2-3
3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定	別紙 2-4
3.1 設計用地震力の設定方法	別紙 2-4
3.2 材料物性の不確かさの設定	別紙 2-6
3.2.1 地盤物性の不確かさの設定	別紙 2-6
3.2.2 制震装置（粘性ダンパ）の不確かさの設定	別紙 2-7
4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討	別紙 2-8
4.1 検討概要	別紙 2-8
4.2 不確かさの影響検討	別紙 2-10
4.2.1 地盤物性の変動による影響検討	別紙 2-10
4.2.2 制震装置（粘性ダンパ）の変動による影響検討	別紙 2-31
4.3 まとめ	別紙 2-46
5. 機器・配管系評価への影響	別紙 2-47

別紙 2-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 2-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

本資料は、排気筒の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討について、「NS2-補-023-13 地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理」に基づき説明するものである。

地震応答解析に用いる材料定数は材料物性の不確かさの変動幅を適切に考慮することとしているが、本資料では、地震応答解析結果に影響を及ぼす排気筒基礎部の剛性（コンクリート強度）及び地盤物性（地盤のS波速度及びP波速度）の不確かさ並びに制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数の不確かさについて検討を行うとともに、その変動幅を設定し、地震応答解析結果における影響を検討する。なお、積雪荷重との組合せについては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき考慮しない。また、検討結果を踏まえ、排気筒の耐震性評価において、材料物性の不確かさを考慮して設定する設計用地震力を検討する。さらに、材料物性の不確かさの影響評価として、機器・配管系の評価への影響についても検討する。

## 1.2 検討方針

排気筒の耐震性評価に用いる動的地震力は、排気筒の地震応答解析(時刻歴応答解析法)により求められており、地盤物性、排気筒基礎部の剛性、地盤のばね定数及び減衰定数、地震動の位相特性などの影響を受ける。特に床応答スペクトルの変動に影響を及ぼす要因は、建物・構築物の剛性及び地盤物性であることが確認されている。\*

地震応答解析モデルの建物・構築物の剛性について、鉄筋コンクリート構造物においては、コンクリートの設計基準強度を用いて算出しているが、構造体コンクリートの強度が設計基準強度を上回るよう施工されるため、実構造物と地震応答解析モデルとで剛性が異なることが考えられる。また、排気筒と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性は地盤調査結果の平均値を基に算出していることから、地盤のS波速度及びP波速度の不確かさが排気筒の応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

また、制震装置(粘性ダンパ)の減衰係数について、温度変化及び製造誤差が想定されること並びに維持管理時に制震装置(粘性ダンパ)を取り外す場合を想定することから、制震装置(粘性ダンパ)の減衰係数及び台数の不確かさが排気筒の応答へ影響を及ぼすことが考えられる。

以上より、排気筒基礎部の剛性の不確かさ要因としてはコンクリート強度を、地盤物性の不確かさ要因としては地盤のS波速度及びP波速度を、制震装置(粘性ダンパ)の不確かさ要因としては減衰係数及び台数を考慮することとし、それぞれの不確かさが排気筒の地震応答並びに排気筒及び機器・配管系の耐震安全性に及ぼす影響について考察を行う。

注記\* : 第29回耐震設計分科会資料 No. 29-4-5-7「参考資料 4.7 鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率」( (社) 日本電気協会 (平成20年1月18日))

## 2. 材料物性の不確かさの分析

### 2.1 排気筒基礎部の剛性の不確かさ

排気筒基礎部の剛性の不確かさについては、コンクリート強度を実強度とすることによるコンクリート強度及び弾性係数の増加により、剛性が上昇する。

部材の発生応力については、剛性の不確かさを考慮することにより、不確かさを考慮しないケース（以下「基本ケース」という。）に対して変動すると考えられるが、耐力については上昇する。また、変位については、剛性が上昇することから、基本ケースよりも小さくなると考えられる。

よって、排気筒の耐震性評価において、排気筒基礎部の剛性の不確かさを考慮しない。

### 2.2 地盤物性の不確かさ

地盤物性の不確かさについては、地盤のS波速度及びP波速度が変動することにより、地盤物性が変動する。これに対応して、排気筒への入力地震動の特性が変動し、排気筒に考慮すべき設計用地震力も変動すると考えられる。よって、排気筒の耐震性評価において、地盤物性の不確かさを考慮する。

### 2.3 制震装置（粘性ダンパ）の不確かさ

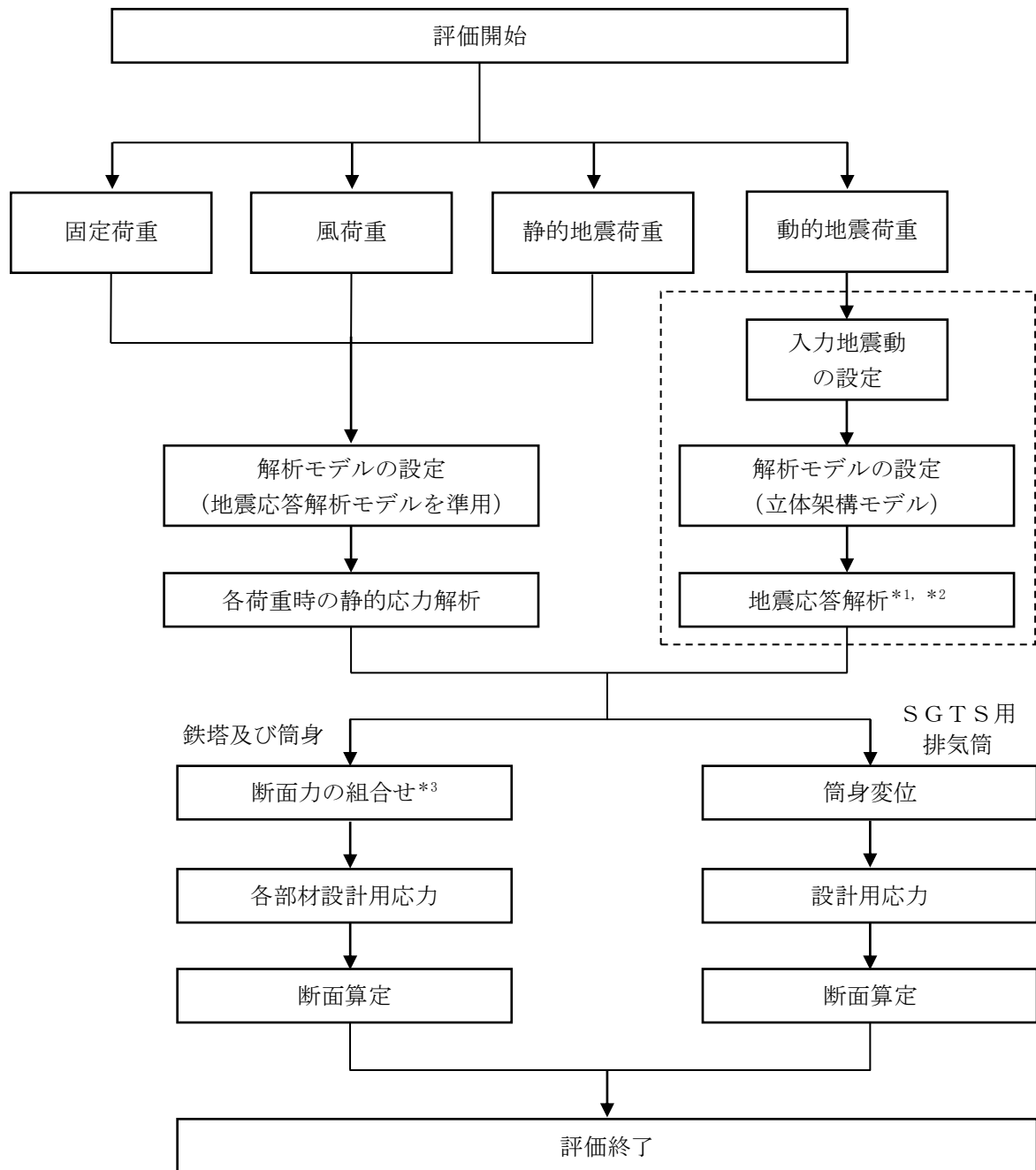
制震装置（粘性ダンパ）の不確かさについては、制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数が変動することにより、制震装置（粘性ダンパ）の性能が変動する。これに対応して、排気筒の応答特性も変動すると考えられる。よって、排気筒の耐震性評価において、制震装置（粘性ダンパ）の不確かさを考慮する。

### 3. 材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力の設定

#### 3.1 設計用地震力の設定方法

基本ケース及び材料物性の不確かさを考慮したケースの地震応答解析を実施することで、材料物性の不確かさを設計用地震力として考慮する。不確かさを考慮したケースの立体架構モデルの応答値の算出に当たっては、基本ケースにおける排気筒応答を確認したうえで、排気筒応答への影響の大きい波に対して実施する（別紙 2-1「材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について」参照）。材料物性の不確かさを考慮した排気筒耐震性評価フローの例（応力解析による評価）を図 3-1 に示す。

材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を別紙 2-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。



注記\*1：鉛直荷重を考慮した応答値

\*2：材料物性の不確かさを考慮する。

\*3：組合せはVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」による。

-----：VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。

図 3-1 排気筒耐震性評価フローの例（応力解析による評価）



### 3.2 材料物性の不確かさの設定

#### 3.2.1 地盤物性の不確かさの設定

地盤物性の不確かさ影響評価においては、弾性波速度試験結果に基づくS波速度及びP波速度の不確かさを考慮する。

基本ケースでは、地盤調査結果の平均値を基に設定した地盤のS波速度及びP波速度により地盤物性を設定している。地盤物性の不確かさ検討に当たっては、初期のS波速度及びP波速度に対して、標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。地盤物性の不確かさを考慮したS波速度及びP波速度を表3-1に示す。

表3-1 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

#### (a) S波速度

層番号		地盤のS波速度 $V_s$ (m/s)		
		基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
表層①-1	S s	127	153	102
	S d	156	187	125
岩盤②		900	1080	720
岩盤③		1600	1760	1440
岩盤④		1950	2145	1755
岩盤⑤		2000	2200	1800
岩盤⑥		2350	2585	2115

#### (b) P波速度

層番号		地盤のP波速度 $V_p$ (m/s)		
		基本ケース	+ $\sigma$ 相当	- $\sigma$ 相当
表層①-1	S s	422	506	338
	S d	516	620	413
岩盤②		2100	2520	1680
岩盤③		3600	3960	3240
岩盤④		4000	4400	3600
岩盤⑤		4050	4455	3645
岩盤⑥		4950	5445	4455

### 3.2.2 制震装置（粘性ダンパ）の不確かさの設定

制震装置（粘性ダンパ）の不確かさ影響評価においては、減衰係数及び台数の不確かさを考慮する。

減衰係数については、ダンパ特性確認試験を基に設定した性能変動としての±30%に加えて、維持管理時に8台のうち1台を取り外す場合を想定して、上限値は標準値の1.3倍、下限値は制震装置（粘性ダンパ）を7台としたうえで標準値の0.7倍とする。

#### 4. 地震応答解析による材料物性の不確かさの影響検討

本章では、地盤物性及び制震装置（粘性ダンパ）の不確かさを考慮したモデルによる地震応答解析を実施し、材料物性の不確かさが排気筒の応答及び耐震安全性に及ぼす影響について確認する。

##### 4.1 検討概要

地盤物性（地盤のS波速度及びP波速度）及び制震装置（粘性ダンパ）（減衰係数及び台数）の不確かさを考慮して検討ケースを定め、排気筒への影響を確認する。

検討ケースを表4-1に、排気筒の地震応答解析モデルを図4-1に示す。ここで、コンクリート強度を設計基準強度、地盤のS波速度及びP波速度を標準地盤、制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数を標準値、台数を8台とした検討ケースを基本ケースとする。表中の塗りつぶし部分は、基本ケースと異なる設定をしているパラメータである。

表4-1 検討ケース

検討ケース	コンクリート強度	地盤物性	制震装置 (粘性ダンパ)		備考
			減衰係数	台数	
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	標準値	8	基本 ケース
ケース2 (地盤物性+ $\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤+ $\sigma$ (+10%, +20%)	標準値	8	
ケース3 (地盤物性- $\sigma$ )	設計基準強度	標準地盤- $\sigma$ (-10%, -20%)	標準値	8	
ケース4 (減衰係数上限)	設計基準強度	標準地盤	標準値 $\times 1.3$	8	
ケース5 (減衰係数下限)	設計基準強度	標準地盤	標準値 $\times 0.7$	7	

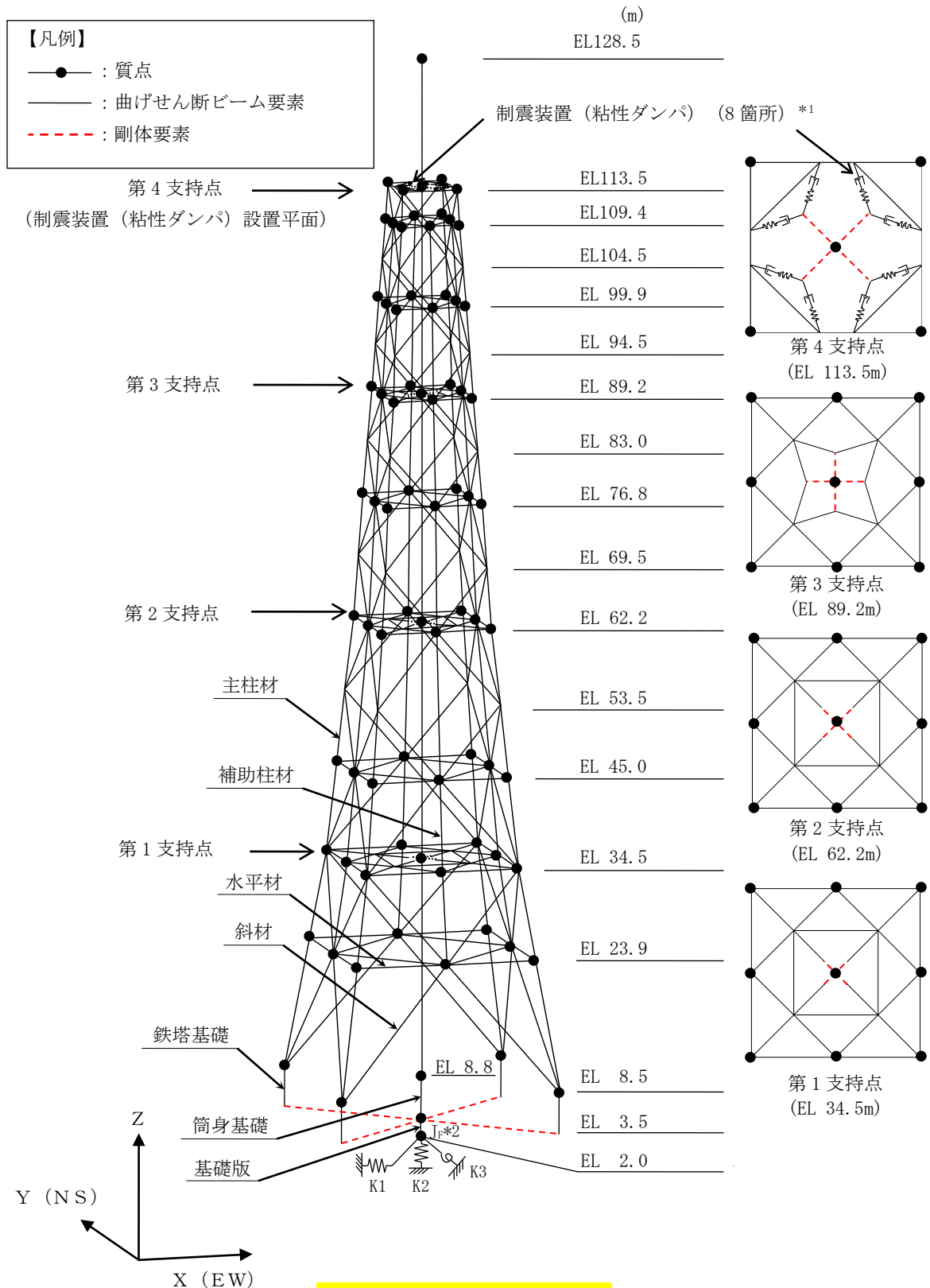


図 4-1 地震応答解析モデル

注記\*1: ケース5 (減衰係数下限) では, 制震装置 (粘性ダンパ) を1台取り外した場合を考慮する。

\*2: 回転慣性重量 ( $8407.5 \times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ )

## 4.2 不確かさの影響検討

### 4.2.1 地盤物性の変動による影響検討

#### (1) 影響評価方針

地盤物性を変動させた解析モデルにより固有値解析及び地震応答解析を実施し、地盤物性を変動させたケース（ケース2及びケース3）と基本ケース（ケース1）の比較を実施する。なお、対象とする地震動は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動  $S_s - D$  とする。

#### (2) 固有値解析結果

地盤物性を変動させた解析モデルにより固有値解析を実施した。固有値解析結果を表4-2、刺激関数図を図4-2及び図4-3に示す。

基本ケースに対する地盤物性を変動させた解析モデルの固有振動数の変動幅は、 $\pm 1\%$ 未満である。

表 4-2 固有値解析結果の比較 (ケース 1~ケース 3)

(a) X方向

次数	固有振動数 f (Hz)			備考
	ケース1	ケース2	ケース3	
1	0.904	0.905 (1.00)	0.904 (1.00)	水平X方向 1次
5	1.785	1.786 (1.00)	1.784 (1.00)	水平X方向 2次

(b) Y方向

次数	固有振動数 f (Hz)			備考
	ケース1	ケース2	ケース3	
2	0.904	0.905 (1.00)	0.904 (1.00)	水平Y方向 1次
6	1.785	1.786 (1.00)	1.784 (1.00)	水平Y方向 2次

(c) 鉛直方向

次数	固有振動数 f (Hz)			備考
	ケース1	ケース2	ケース3	
20	8.832	8.833 (1.00)	8.828 (1.00)	鉛直方向 1次 (筒身部)
21	9.090	9.094 (1.00)	9.083 (1.00)	鉛直方向 2次 (鉄塔部)

注： ( ) 内は基本ケース (ケース 1) に対する比率

$T_i$  :  $i$  次の固有周期  
 $\beta_{X_i}$  : X方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{Y_i}$  : Y方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{Z_i}$  : Z方向の  $i$  次の刺激係数

$T_1 = 1.106s$   
 $\beta_{X_1} = 2.222$   
 $\beta_{Y_1} = 0.001$   
 $\beta_{Z_1} = 0.000$

$T_2 = 1.106s$   
 $\beta_{X_2} = -0.001$   
 $\beta_{Y_2} = 2.222$   
 $\beta_{Z_2} = 0.000$

$T_5 = 0.560s$   
 $\beta_{X_5} = -1.478$   
 $\beta_{Y_5} = -0.015$   
 $\beta_{Z_5} = 0.000$

$T_6 = 0.560s$   
 $\beta_{X_6} = 0.015$   
 $\beta_{Y_6} = -1.478$   
 $\beta_{Z_6} = 0.000$

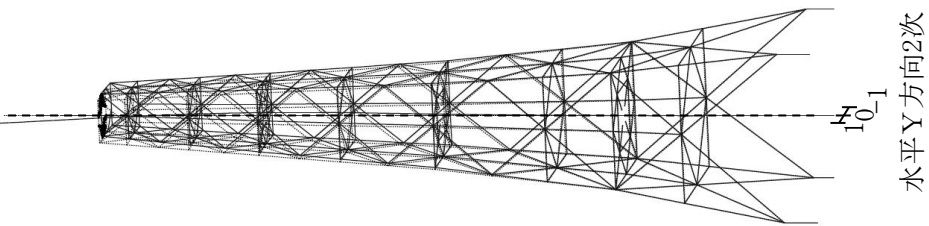
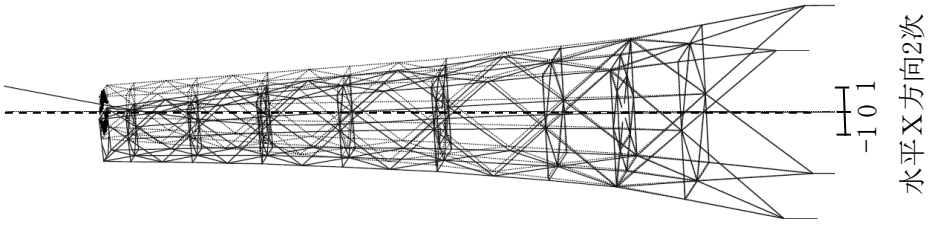
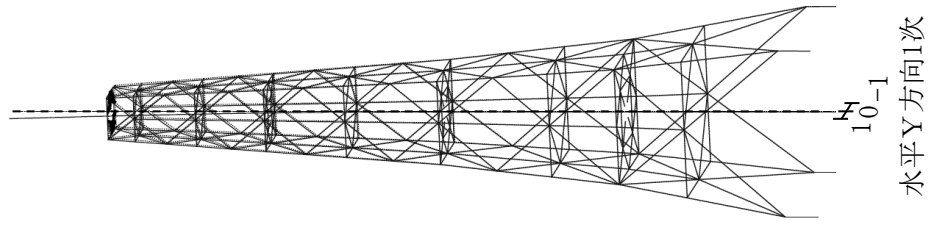
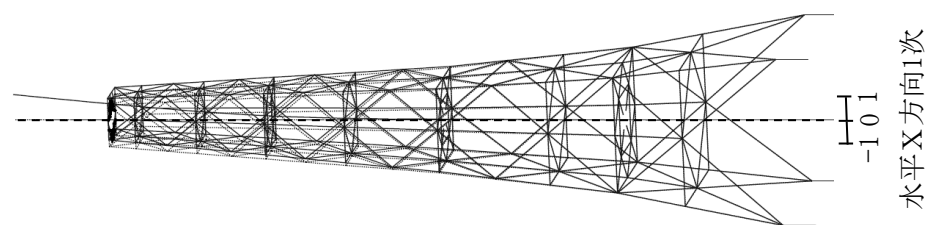
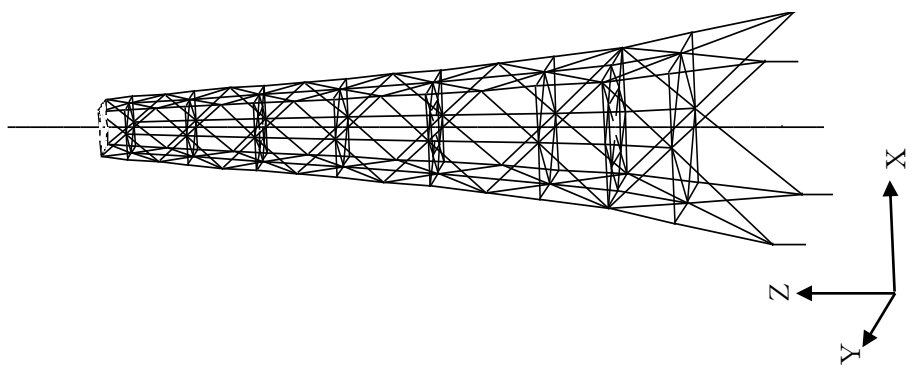
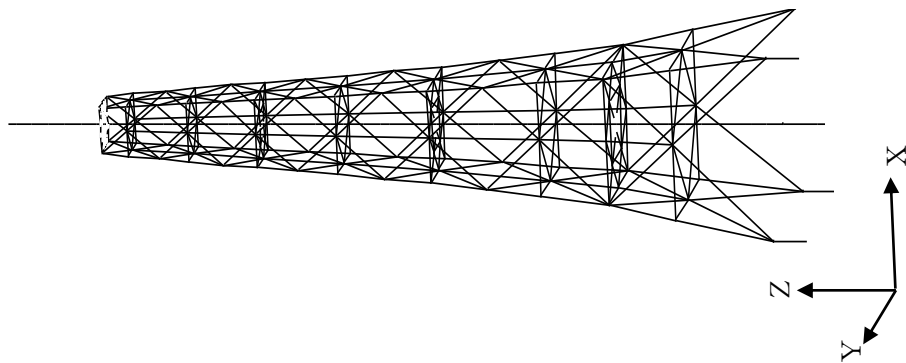
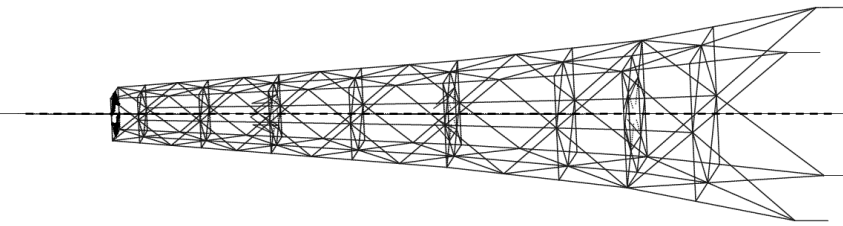


図4-2(1) 刺激関数図 (ケース2)

$T_i$  :  $i$  次の固有周期  
 $\beta_{xi}$  : X方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{yi}$  : Y方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{zi}$  : Z方向の  $i$  次の刺激係数



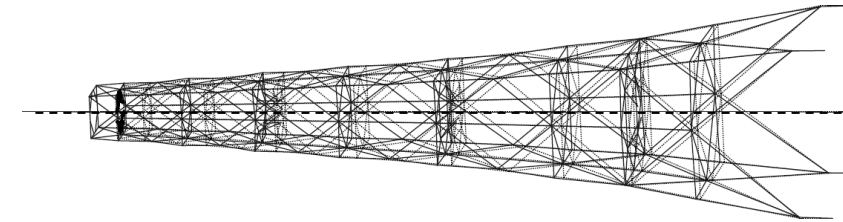
$T_{20} = 0.113s$   
 $\beta_{x20} = 0.000$   
 $\beta_{y20} = 0.000$   
 $\beta_{z20} = 1.431$



$\begin{matrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{matrix}$

鉛直方向1次 (筒身部)

$T_{21} = 0.110s$   
 $\beta_{x21} = 0.000$   
 $\beta_{y21} = 0.000$   
 $\beta_{z21} = 1.801$



$\begin{matrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{matrix}$

鉛直方向2次 (鉄塔部)

図4-2(2) 刺激関数図 (ケース2)



$T_i$  :  $i$  次の固有周期  
 $\beta_{x_i}$  : X方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{y_i}$  : Y方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{z_i}$  : Z方向の  $i$  次の刺激係数

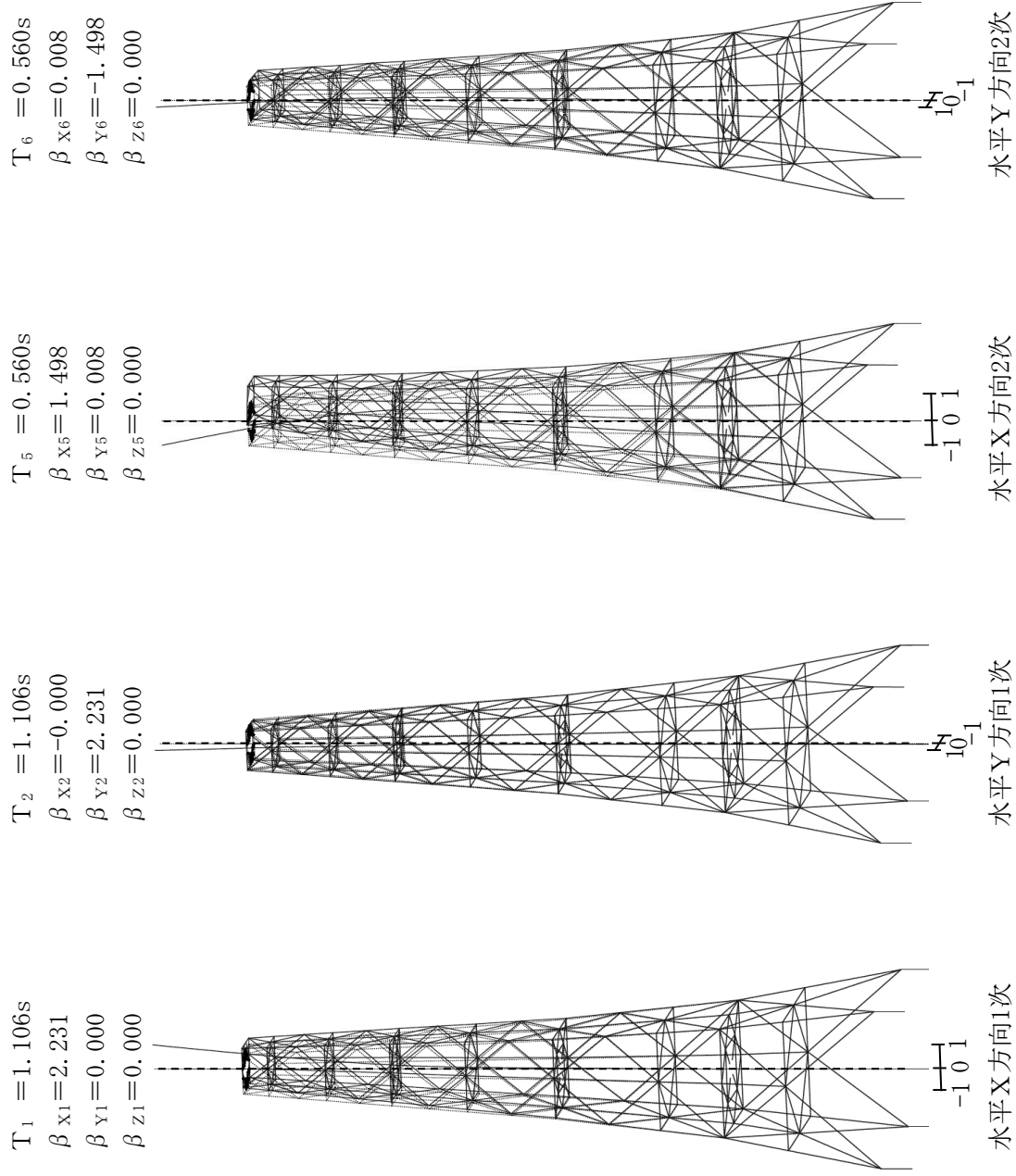
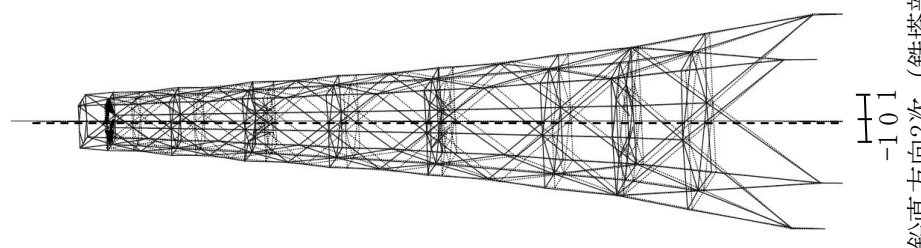
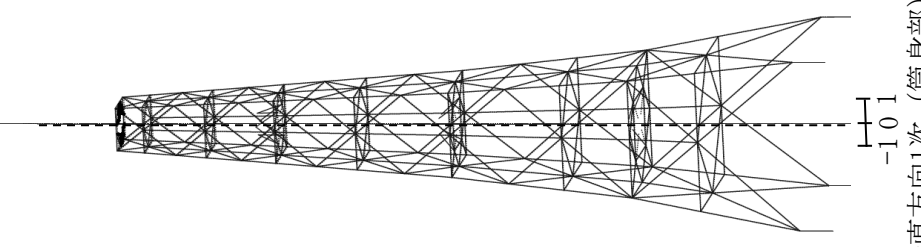
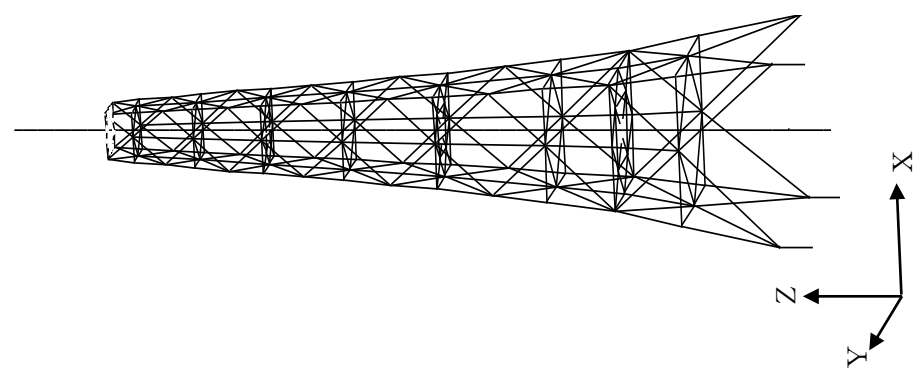


図4-3(1) 刺激関数図 (ケース3)

$T_i$  :  $i$  次の固有周期  
 $\beta_{xi}$  : X方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{yi}$  : Y方向の  $i$  次の刺激係数  
 $\beta_{zi}$  : Z方向の  $i$  次の刺激係数

$T_{20} = 0.113s$   
 $\beta_{x20} = 0.000$   
 $\beta_{y20} = 0.000$   
 $\beta_{z20} = 1.649$

$T_{21} = 0.110s$   
 $\beta_{x21} = 0.000$   
 $\beta_{y21} = 0.000$   
 $\beta_{z21} = 1.952$



鉛直方向1次 (筒身部)

鉛直方向2次 (鉄塔部)

図 4-3 (2) 刺激関数図 (ケース 3)

### (3) 地震応答解析結果

地盤物性を変動させた解析モデルによる地震応答解析結果を、不確かさを考慮しない基本ケースの結果と比較した。S<sub>s</sub>-Dに対する最大応答値の比較を図4-4～図4-10に示す。

水平方向については、鉄塔部及び筒身部とも、最大応答加速度はケース2で概ね同程度であり、ケース3で大きくなる傾向を確認したが、最大応答変位、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントはケース1～ケース3で概ね同程度である。

鉛直方向について、鉄塔部の最大応答加速度はケース3で大きくなる傾向を確認したが、最大応答変位及び最大応答軸力は概ね同程度である。また、筒身部の最大応答加速度及び最大応答軸力はケース3で大きくなる傾向を確認したが、最大応答変位は概ね同程度である。

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

鉄塔部					
ケース 1		ケース 2		ケース 3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1545		1434		1630	
1293		1204		1343	
817		771		881	
856		796		913	
794		750		830	
853		797		963	
884		829		1073	
922		850		1112	
934		852		1047	
1043		1031		1189	

- ケース1 (0° , 45°)
- - - ケース2 (0° , 45°)
- - - ケース3 (0° , 45°)

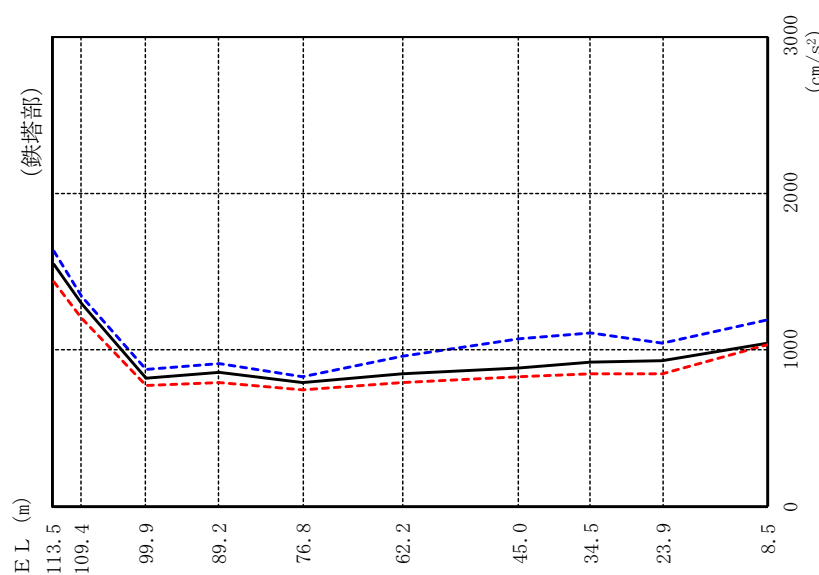


図 4-4(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位 :  $\text{cm/s}^2$ )

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1957		1906		2227	
999	1089	945	1089	1089	1089
1042	1192	973	1192	1192	1192
961	1123	902	1123	1123	1123
872	931	812	931	931	931
792	845	742	845	845	845
899	1028	832	1028	1028	1028
998	1118	921	1118	1118	1118
973	1158	898	1158	1158	1158
759	820	727	820	820	820
1029	1186	1024	1186	1186	1186

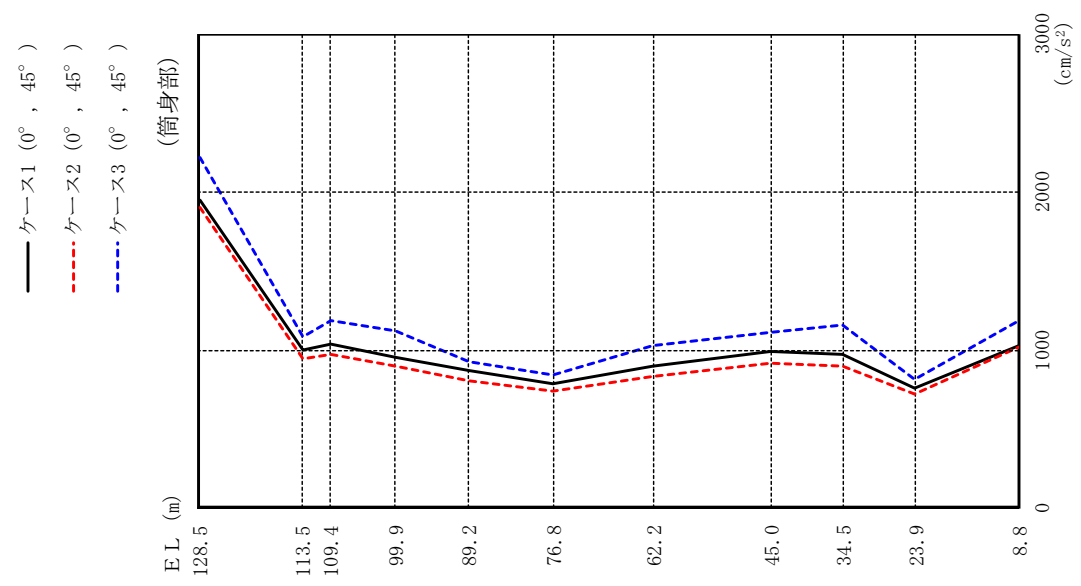


図 4-4(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位：cm)

鉄塔部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
15.34	15.08	15.85	15.85	15.85	15.85
14.16	13.92	14.60	14.60	14.60	14.60
11.47	11.26	11.73	11.73	11.73	11.73
8.88	8.70	8.98	8.98	8.98	8.98
5.91	5.73	5.97	5.97	5.97	5.97
3.30	3.28	3.46	3.46	3.46	3.46
1.86	1.80	1.91	1.91	1.91	1.91
1.29	1.24	1.32	1.32	1.32	1.32
0.73	0.69	0.74	0.74	0.74	0.74
0.10	0.07	0.15	0.15	0.15	0.15

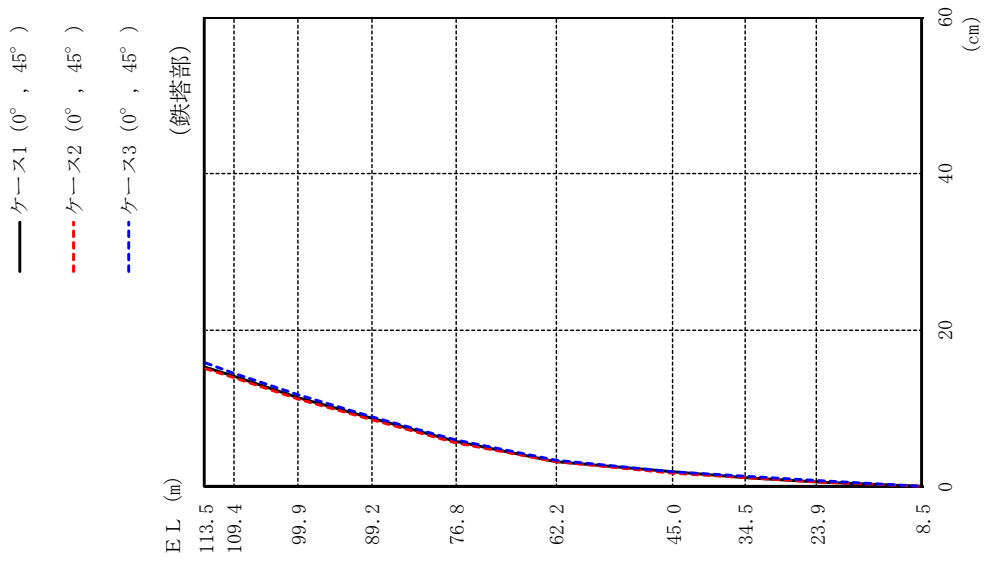


図 4-5(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位: cm)

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
34.87		34.43		35.89	
23.21		22.90		23.78	
20.18		19.89		20.65	
14.02		13.74		14.27	
8.95		8.76		9.06	
5.43		5.36		5.61	
3.32		3.31		3.50	
2.14		2.05		2.19	
1.35		1.30		1.38	
0.57		0.55		0.58	
0.08		0.07		0.11	

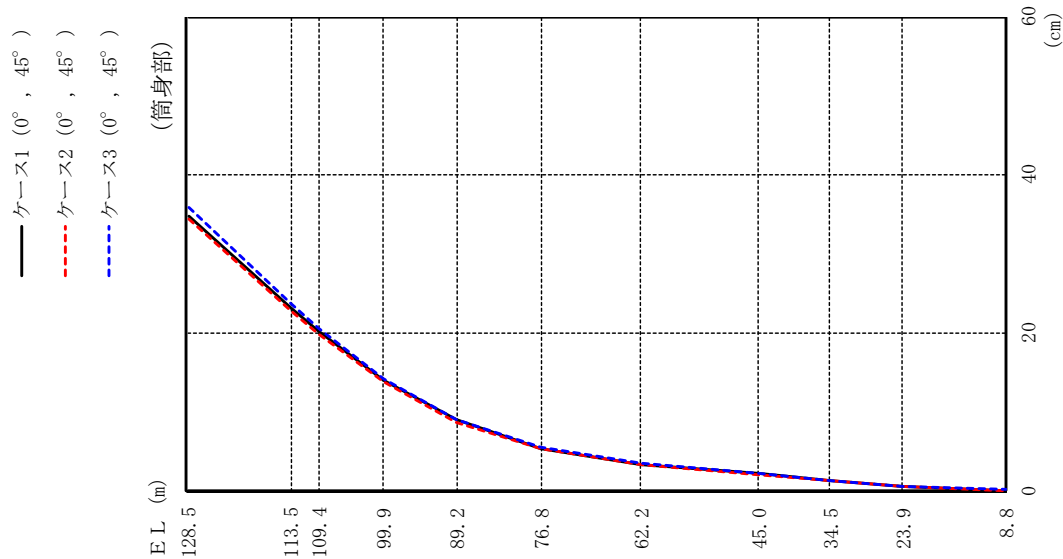
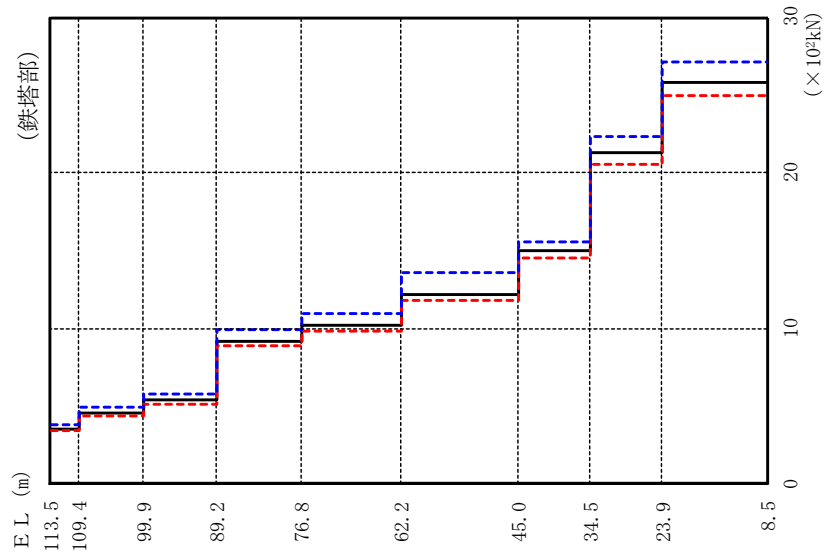


図 4-5(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース2 (0°, 45°)
- · - ケース3 (0°, 45°)



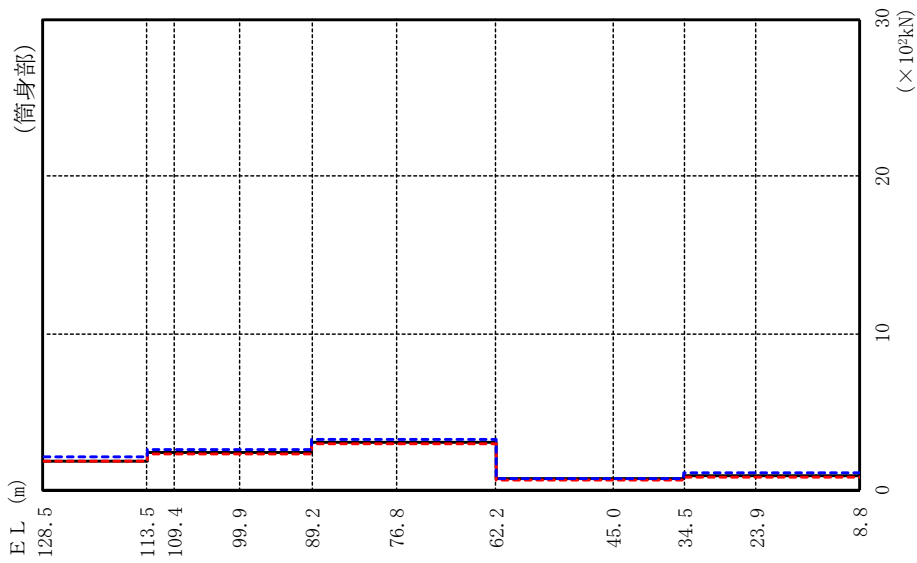
(単位 :  $\times 10^2 \text{kN}$ )

鉄塔部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
3.58	3.44	3.82			
4.58	4.36	4.92			
5.42	5.18	5.80			
9.21	8.90	9.89			
10.2	9.85	11.0			
12.2	11.8	13.6			
15.0	14.5	15.6			
21.3	20.6	22.3			
25.8	25.0	27.1			

図 4-6(1) 最大応答せん断力 (基準地震動 S-D, 水平方向)



- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース2 (0°, 45°)
- · - ケース3 (0°, 45°)



(単位：×10²kN)

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1.86		1.82		2.12	
2.45		2.37		2.56	
2.45		2.37		2.56	
2.45		2.37		2.56	
3.10		2.99		3.24	
3.10		2.99		3.24	
0.731		0.656		0.768	
0.731		0.656		0.768	
0.901		0.807		1.11	
0.901		0.807		1.11	

図 4-6(2) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位 :  $\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

鉄塔部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.48	1.42	1.42	1.58	1.58	1.58
5.80	5.54	5.54	6.23	6.23	6.23
11.6	11.0	11.0	12.4	12.4	12.4
20.4	19.9	19.9	21.4	21.4	21.4
33.5	33.1	33.1	35.0	35.0	35.0
51.3	50.5	50.5	52.0	52.0	52.0
64.4	62.6	62.6	65.4	65.4	65.4
80.4	77.5	77.5	81.9	81.9	81.9
107	102	102	109	109	109

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース2 (0°, 45°)
- - - ケース3 (0°, 45°)

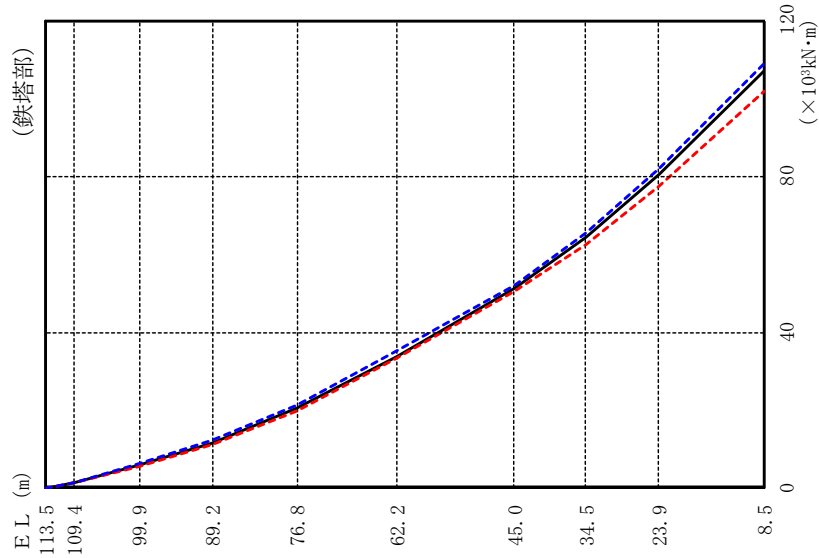


図 4-7(1) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位：×10<sup>3</sup>kN・m)

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.80	2.80	2.72	2.72	3.18	3.18
3.54	3.54	3.44	3.44	3.69	3.69
5.29	5.29	5.14	5.14	5.47	5.47
7.65	7.65	7.39	7.39	8.05	8.05
4.03	4.03	3.89	3.89	4.24	4.24
1.78	1.78	1.67	1.67	1.83	1.83
1.06	1.06	1.05	1.05	1.18	1.18
1.21	1.21	1.14	1.14	1.42	1.42
0.741	0.741	0.723	0.723	0.815	0.815
1.73	1.73	1.68	1.68	1.87	1.87

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース2 (0°, 45°)
- - - ケース3 (0°, 45°)

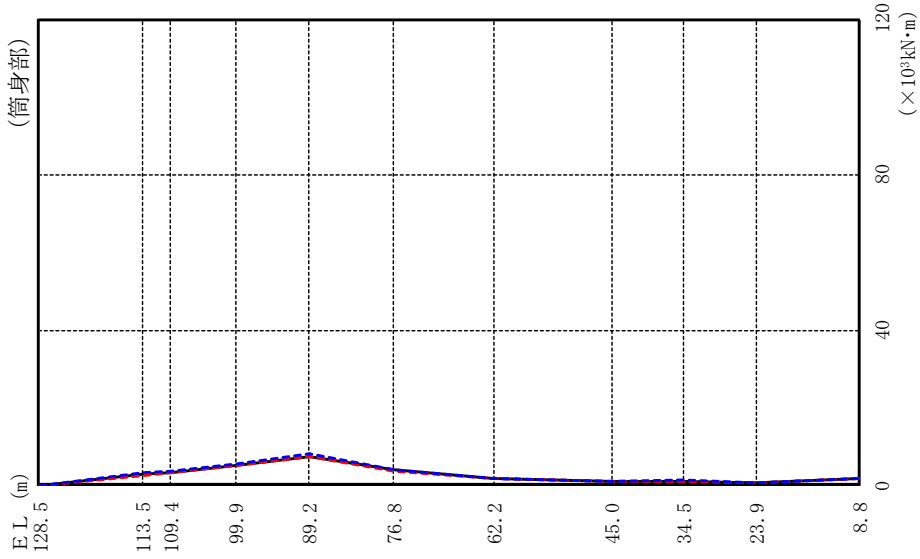


図 4-7(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

鉄塔部						
ケース1		ケース2		ケース3		
0°	45°	0°	45°	0°	45°	
1330	1348	1232	1245	1490	1516	
1318	1338	1223	1236	1480	1507	
1227	1244	1157	1171	1385	1410	
1084	1089	1070	1083	1230	1242	
981	992	970	983	1084	1101	
900	908	876	886	1013	1040	
836	864	828	861	924	961	
782	818	783	823	840	871	
755	794	770	820	805	840	
648	668	698	749	707	742	

- ケース1 (0°)
- ケース2 (0°)
- ケース3 (0°)
- - - ケース1 (45°)
- - - ケース2 (45°)
- - - ケース3 (45°)

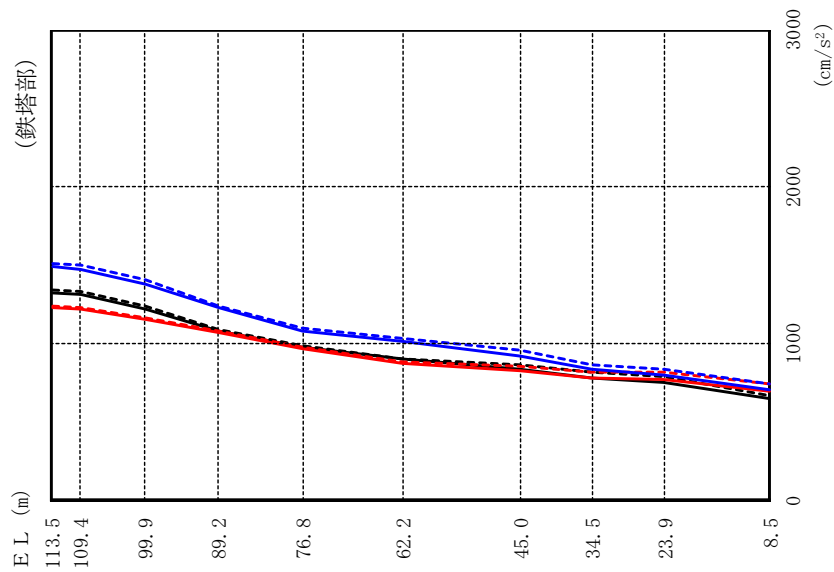


図 4-8(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
	1429		1332		1591
	1403		1309		1563
	1380		1288		1539
	1325		1238		1479
	1265		1183		1413
	1141		1069		1276
	996		937		1115
	766		726		863
	694		668		733
	640		619		681
	632		623		664

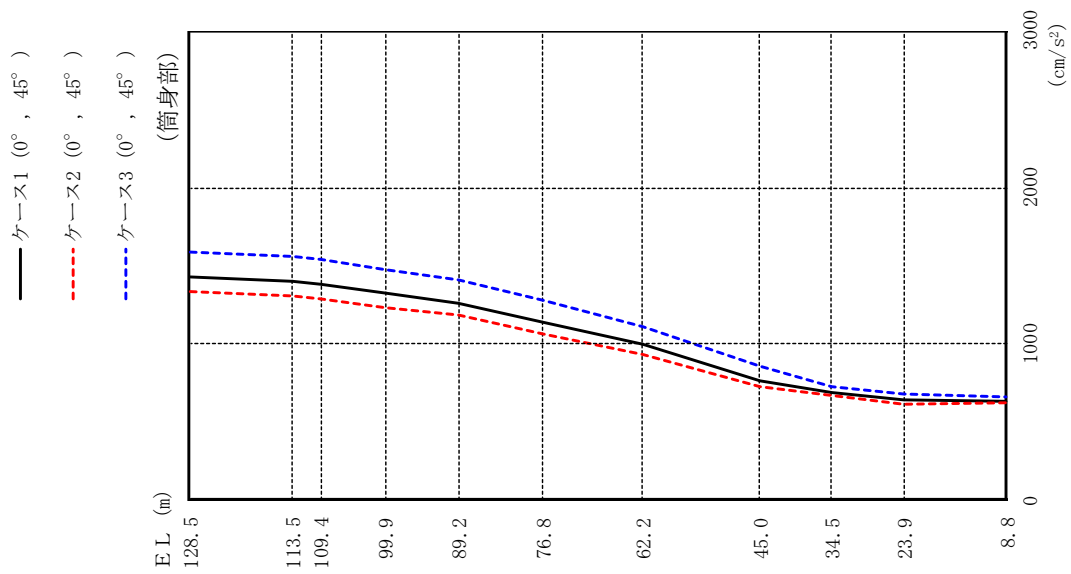


図 4-8(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位：cm)

		鉄塔部					
		ケース1		ケース2		ケース3	
		0°	45°	0°	45°	0°	45°
1.12	1.47	1.11	1.46	1.18	1.54		
1.17	1.55	1.16	1.53	1.24	1.62		
1.23	1.63	1.21	1.61	1.29	1.71		
1.19	1.58	1.17	1.55	1.25	1.65		
1.10	1.48	1.08	1.46	1.14	1.54		
0.89	1.20	0.88	1.19	0.93	1.25		
0.62	0.83	0.61	0.83	0.65	0.86		
0.42	0.56	0.41	0.55	0.44	0.59		
0.31	0.41	0.29	0.39	0.32	0.43		
0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05		

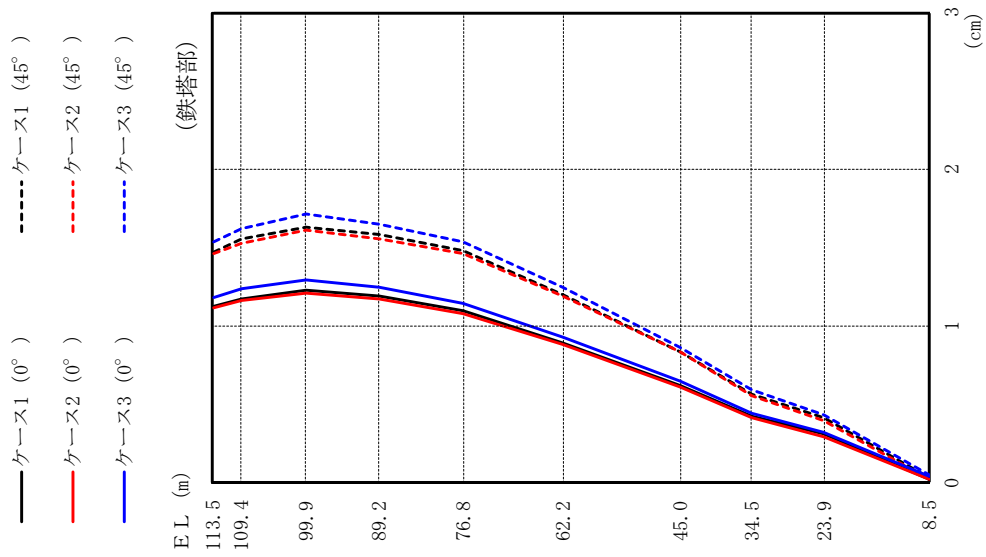


図 4-9(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位：cm)

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
	0.47		0.44		0.51
	0.46		0.43		0.50
	0.45		0.42		0.49
	0.43		0.40		0.47
	0.41		0.38		0.44
	0.36		0.34		0.39
	0.30		0.29		0.33
	0.21		0.20		0.23
	0.16		0.15		0.17
	0.09		0.09		0.09
	0.02		0.01		0.03

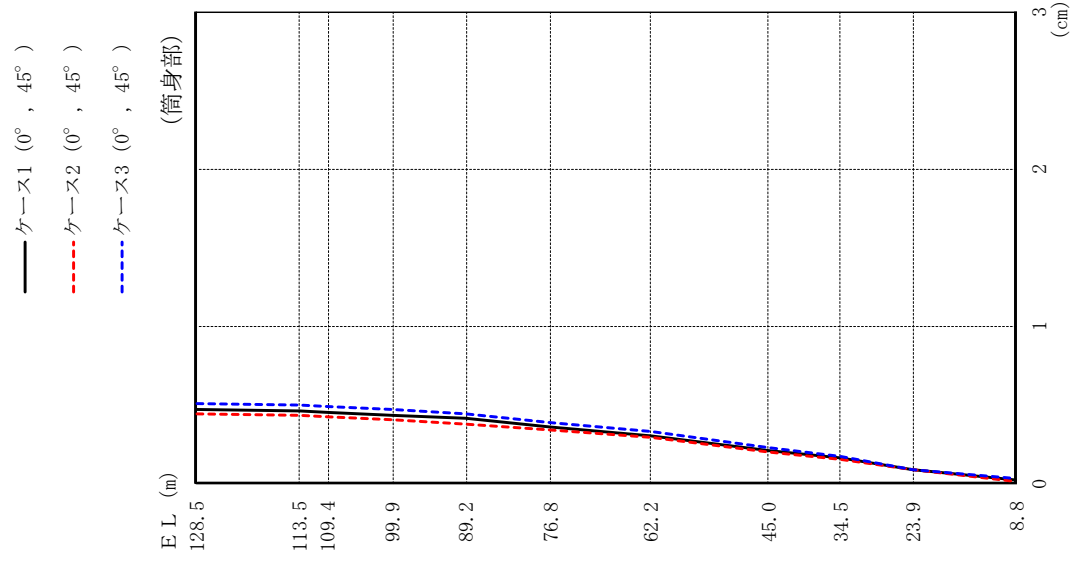
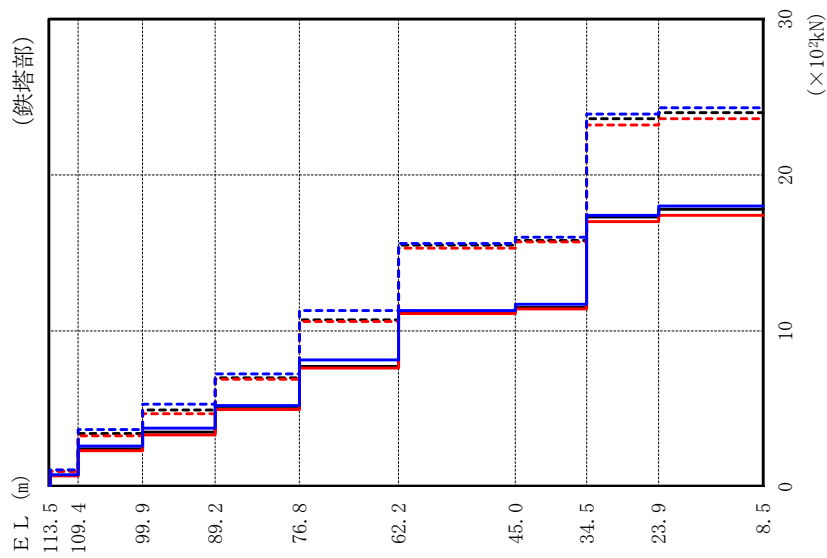
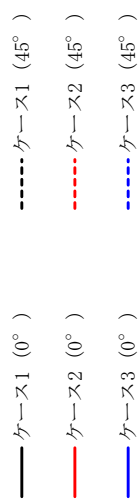


図 4-9(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)



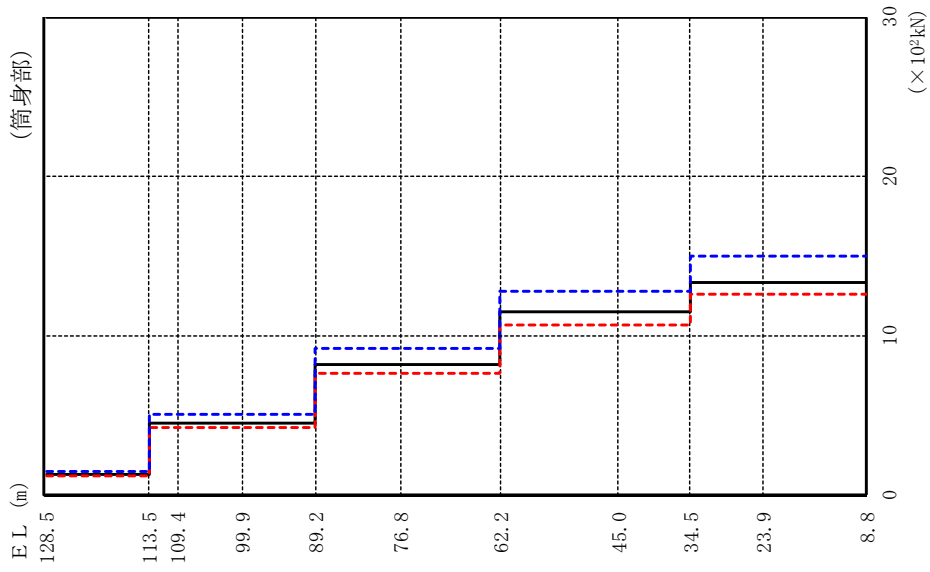
(単位：×10<sup>4</sup>kN)

鉄塔部						
ケース1		ケース2		ケース3		
0°	45°	0°	45°	0°	0°	45°
0.721	1.02	0.694	0.976	0.766	0.766	1.08
2.43	3.42	2.31	3.26	2.61	2.61	3.67
3.50	4.93	3.32	4.69	3.76	3.76	5.30
5.01	6.98	4.95	6.90	5.20	5.20	7.24
7.72	10.7	7.61	10.6	8.13	8.13	11.3
11.2	15.5	11.1	15.3	11.3	11.3	15.6
11.5	15.8	11.4	15.7	11.7	11.7	16.0
17.3	23.6	17.0	23.2	17.4	17.4	23.9
17.8	24.0	17.4	23.6	18.0	18.0	24.3

図 4-10(1) 最大応答軸力 (基準地震動 S s-D, 鉛直方向)



- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース2 (0°, 45°)
- · - ケース3 (0°, 45°)



(単位 :  $\times 10^2 \text{kN}$ )

筒身部					
ケース1		ケース2		ケース3	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
	1.34	1.25			1.49
	4.54	4.24			5.06
	4.54	4.24			5.06
	4.54	4.24			5.06
	8.23	7.69			9.18
	8.23	7.69			9.18
	11.5	10.7			12.8
	11.5	10.7			12.8
	13.4	12.6			15.0
	13.4	12.6			15.0

図 4-10(2) 最大応答軸力 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

#### 4.2.2 制震装置（粘性ダンパ）の変動による影響検討

##### (1) 影響評価方針

制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数を変動させた解析モデルにより固有値解析及び地震応答解析を実施し、制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数を変動させたケース（ケース4及びケース5）と基本ケース（ケース1）の比較を実施する。なお、対象とする地震動は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動  $S_s - D$  とする。

##### (2) 固有値解析結果

制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数の変動は固有値解析結果に影響しないため、基本ケースと同じとなる。

##### (3) 地震応答解析結果

制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数及び台数を変動させた解析モデルによる地震応答解析結果を、不確かさを考慮しない基本ケースの結果と比較した。基準地震動  $S_s - D$  に対する最大応答値の比較を図4-11～図4-17に示す。

水平方向については、鉄塔部及び筒身部とも、最大応答加速度及び最大応答変位は、ケース4は概ね同程度であるが、ケース5は上部で大きくなる傾向を確認した。また、最大応答せん断力及び曲げモーメントは、ケース4は概ね同程度であるが、ケース5は大きくなる傾向を確認した。

鉛直方向については、鉄塔部のケース4の最大応答加速度、最大応答変位及び最大応答軸力並びにケース5の最大応答加速度は概ね同程度であるが、ケース5の最大応答変位及び最大応答軸力は下部で大きくなる傾向を確認した。筒身部の最大応答加速度、最大応答変位及び最大応答軸力は基本ケース（ケース1）と同じ値であることを確認した。

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

鉄塔部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1545		1467		1729	1718
1293		1230		1443	1433
817		819		980	970
856		859		838	839
794		781		816	814
853		854		845	845
884		893		892	891
922		930		931	930
934		939		921	921
1043		1043		1041	1041

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース4 (0°, 45°)
- · - ケース5 (0°)
- · - ケース5 (45°)

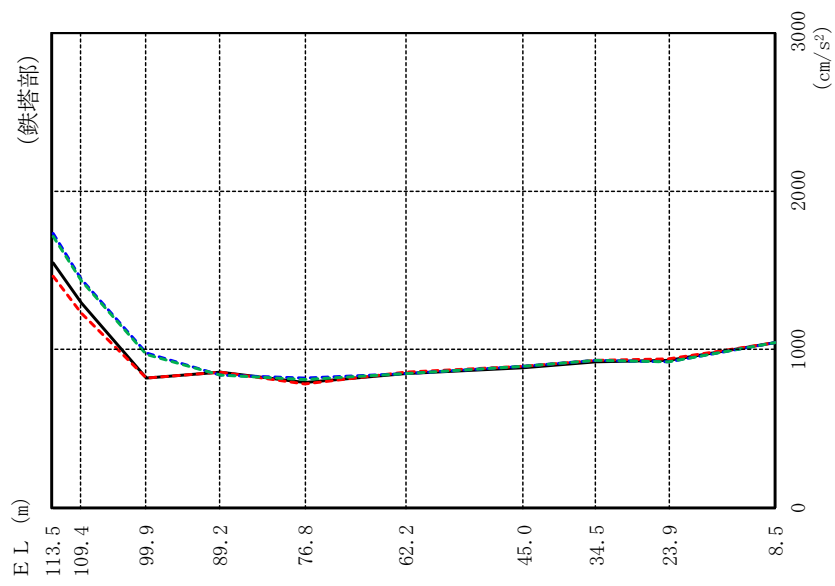


図 4-11(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位: cm/s<sup>2</sup>)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1957	1957	1989	1989	2148	2134
999	999	1019	1019	1177	1161
1042	1042	1042	1042	1089	1077
961	961	965	965	957	956
872	872	875	875	856	857
792	792	783	783	804	802
899	899	899	899	892	891
998	998	1009	1009	969	970
973	973	980	980	980	978
759	759	765	765	746	746
1029	1029	1029	1029	1029	1029

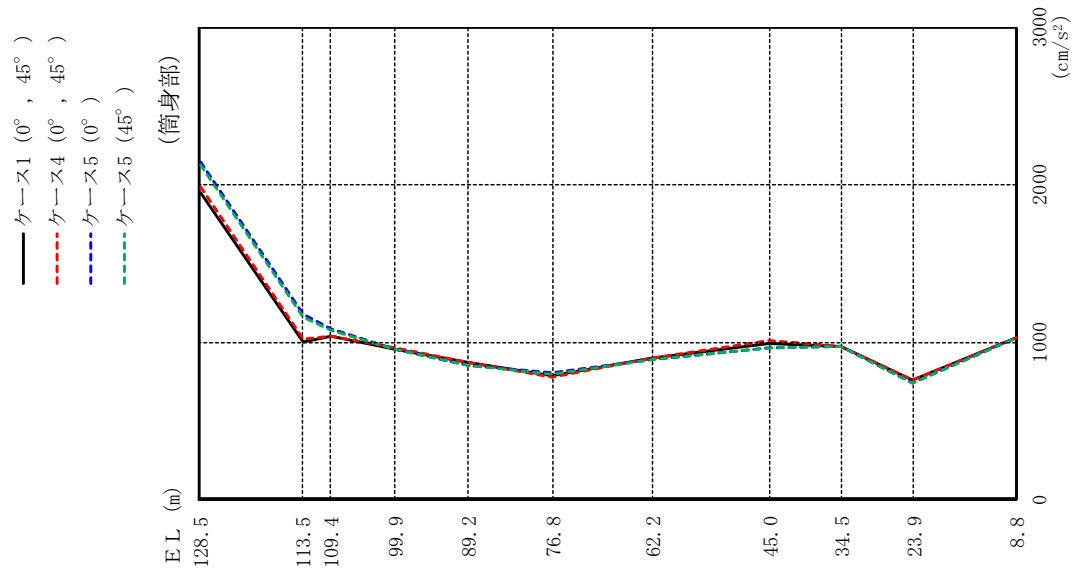


図 4-11(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位 : cm)

鉄塔部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
15.34	16.22	16.22	16.32	16.32	16.19
14.16	14.70	14.70	15.16	15.16	15.03
11.47	11.52	11.52	12.54	12.54	12.42
8.88	8.93	8.93	10.02	10.02	9.90
5.91	5.99	5.99	6.67	6.67	6.60
3.30	3.47	3.47	3.70	3.70	3.66
1.86	1.83	1.83	1.95	1.95	1.94
1.29	1.27	1.27	1.35	1.35	1.34
0.73	0.72	0.72	0.76	0.76	0.76
0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09

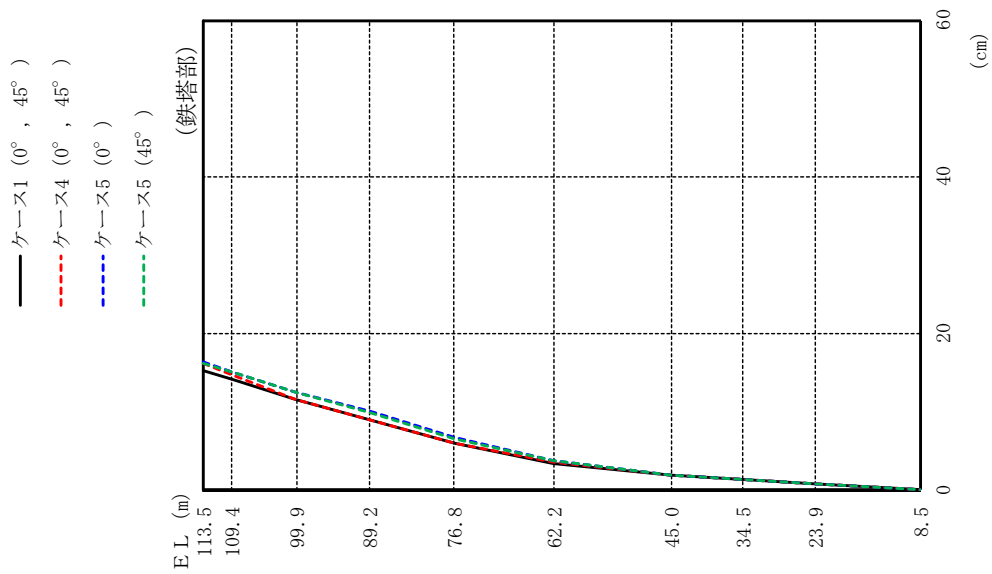


図 4-12(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

(単位 : cm)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
	34.87		32.95		42.41
	23.21		21.64		28.21
	20.18		18.91		24.48
	14.02		13.50		16.67
	8.95		9.00		10.00
	5.43		5.79		5.91
	3.32		3.52		3.64
	2.14		2.10		2.25
	1.35		1.32		1.41
	0.57		0.56		0.60
	0.08		0.08		0.08

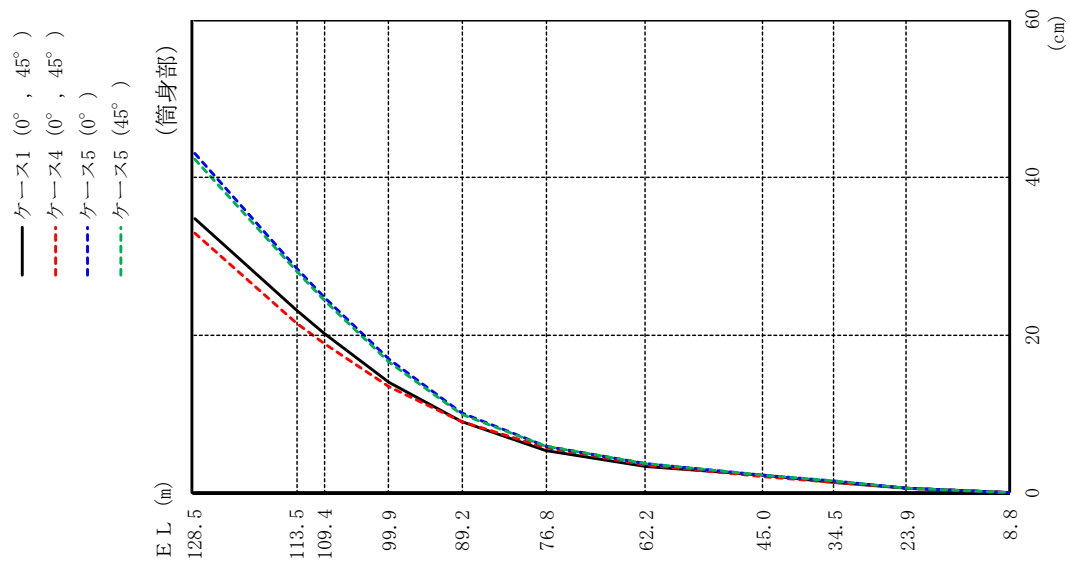
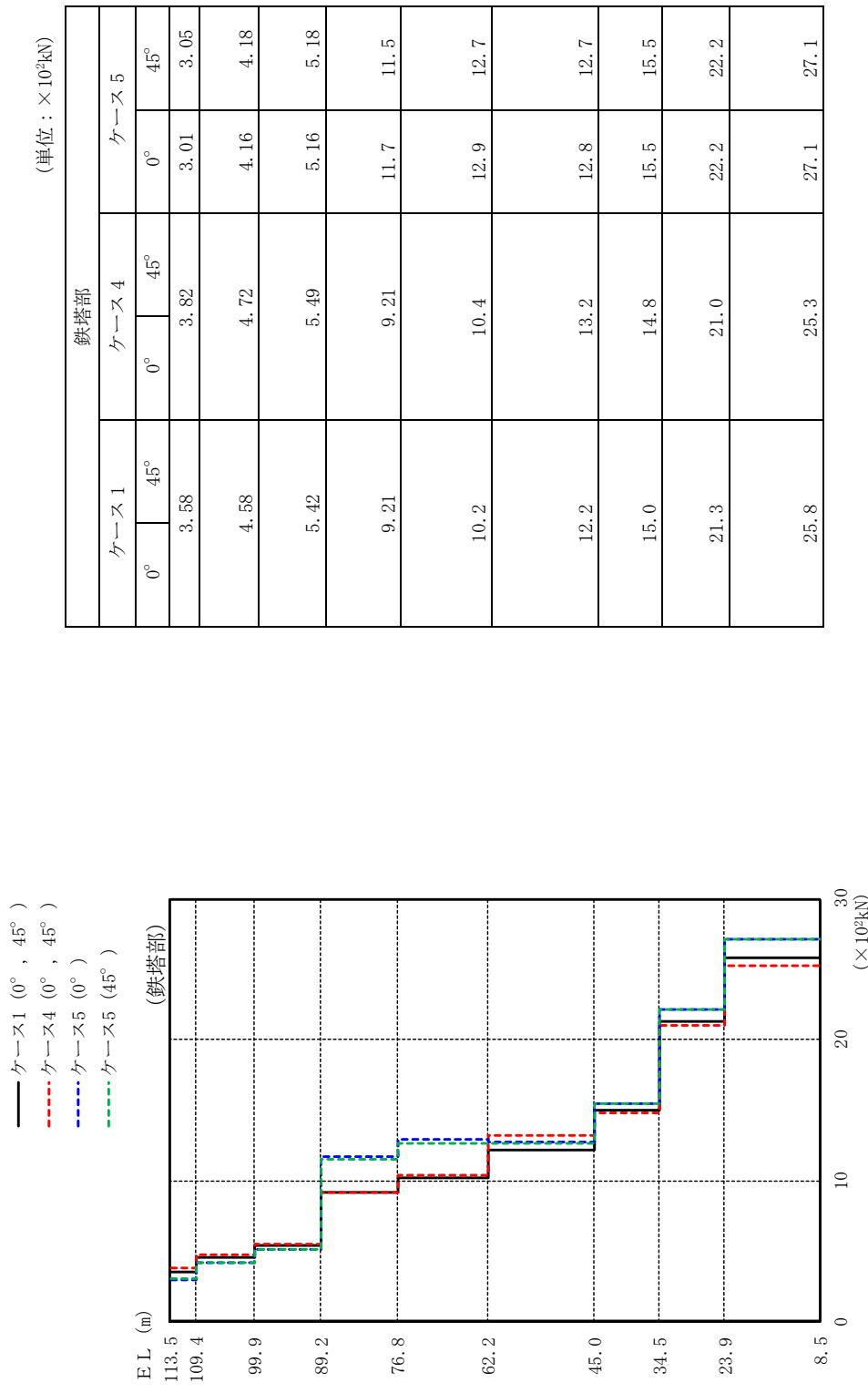


図 4-12(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

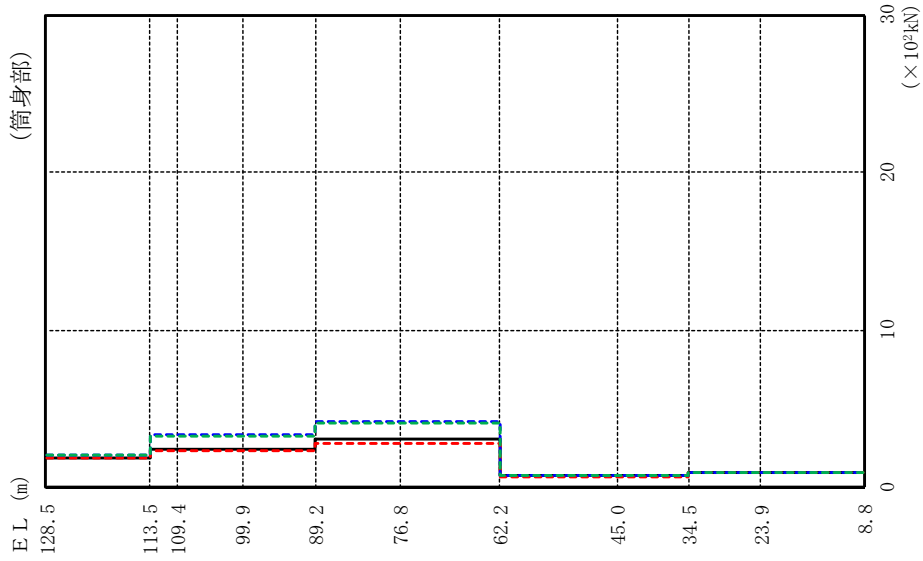


(単位 :  $\times 10^3 \text{kN}$ )

鉄塔部					
ケース 1		ケース 4		ケース 5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
3.58		3.82		3.01	3.05
4.58		4.72		4.16	4.18
5.42		5.49		5.16	5.18
9.21		9.21		11.7	11.5
10.2		10.4		12.9	12.7
12.2		13.2		12.8	12.7
15.0		14.8		15.5	15.5
21.3		21.0		22.2	22.2
25.8		25.3		27.1	27.1

図 4-13(1) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s - D, 水平方向)

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース4 (0°, 45°)
- · - ケース5 (0°)
- · - ケース5 (45°)



(単位：×10<sup>2</sup>kN)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1.86		1.89		2.05	2.03
2.45		2.31		3.36	3.28
2.45		2.31		3.36	3.28
2.45		2.31		3.36	3.28
3.10		2.77		4.18	4.09
3.10		2.77		4.18	4.09
0.731		0.708		0.778	0.776
0.731		0.708		0.778	0.776
0.901		0.896		0.909	0.908
0.901		0.896		0.909	0.908

図 4-13(2) 最大応答せん断力 (基準地震動 S s - D, 水平方向)



(単位：×10<sup>3</sup>kN・m)

鉄塔部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.48	1.58	1.58	1.24	1.24	1.26
5.80	6.02	6.02	5.17	5.17	5.21
11.6	11.9	11.9	10.6	10.6	10.7
20.4	21.6	21.6	19.7	19.7	19.6
33.5	35.0	35.0	37.8	37.8	37.3
51.3	51.8	51.8	58.4	58.4	57.8
64.4	64.6	64.6	73.0	73.0	72.2
80.4	79.5	79.5	90.1	90.1	89.2
107	105	105	117	117	116

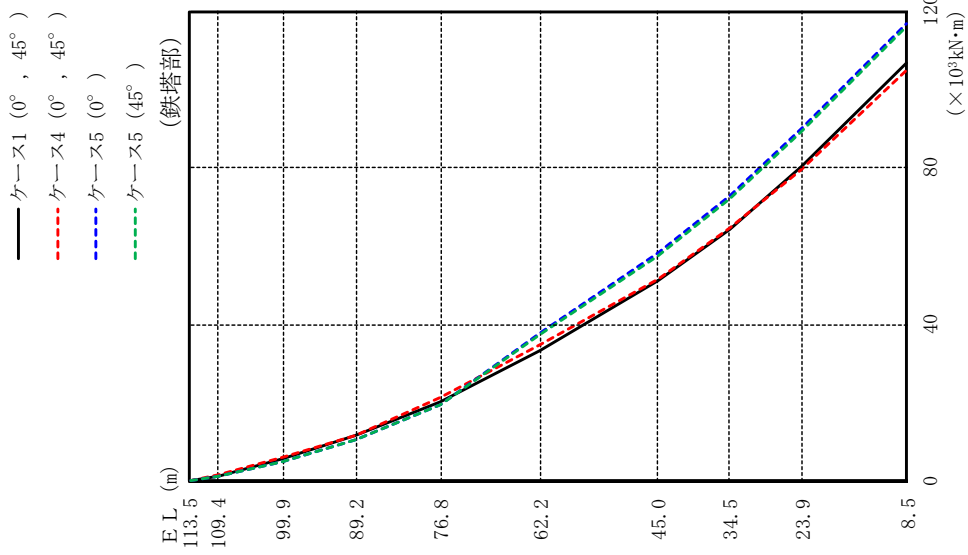


図 4-14(1) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S-D, 水平方向)

(単位：×10<sup>3</sup>kN・m)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.80	2.84	2.84	3.07	3.05	3.05
3.54	3.34	3.34	4.23	4.18	4.18
5.29	4.96	4.96	7.18	7.03	7.03
7.65	7.09	7.09	10.6	10.4	10.4
4.03	3.84	3.84	5.55	5.43	5.43
1.78	1.71	1.71	1.95	1.94	1.94
1.06	1.11	1.11	1.24	1.23	1.23
1.21	1.30	1.30	1.23	1.22	1.22
0.741	0.778	0.778	0.817	0.808	0.808
1.73	1.76	1.76	1.77	1.77	1.77

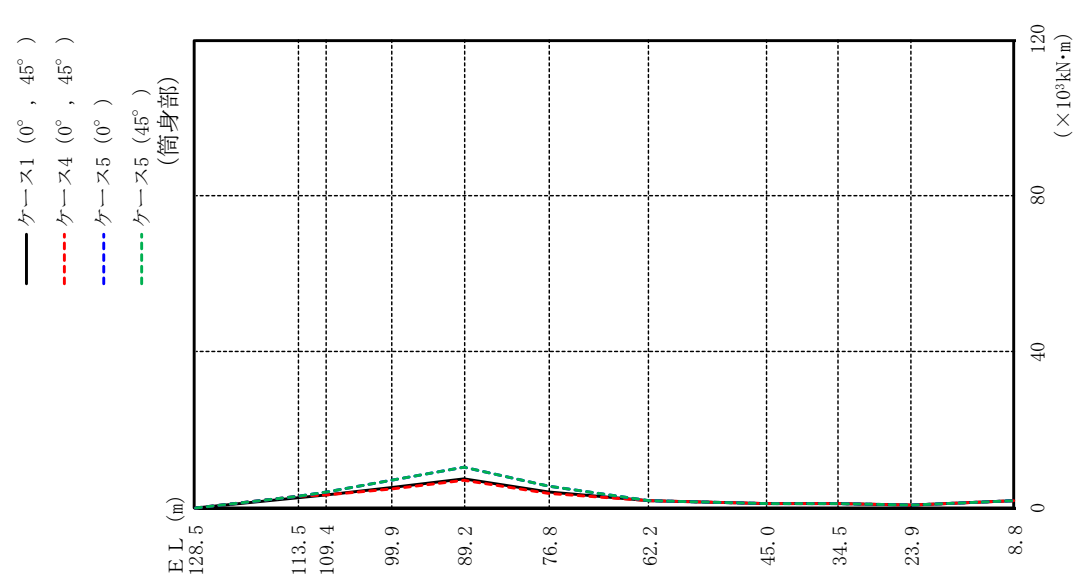


図 4-14(2) 最大応答曲げモーメント (基準地震動 S s-D, 水平方向)

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

鉄塔部						
ケース1		ケース4		ケース5		
0°	45°	0°	45°	0°	45°	
1330	1348	1330	1349	1332	1350	
1318	1338	1319	1339	1320	1339	
1227	1244	1228	1245	1227	1243	
1084	1089	1086	1088	1090	1100	
981	992	977	988	990	998	
900	908	902	912	896	902	
836	864	837	866	837	865	
782	818	782	818	784	820	
755	794	755	794	756	796	
648	668	648	668	648	669	

- ケース1 (0°)
- ケース1 (45°)
- ケース4 (0°)
- ケース4 (45°)
- ケース5 (0°)
- ケース5 (45°)

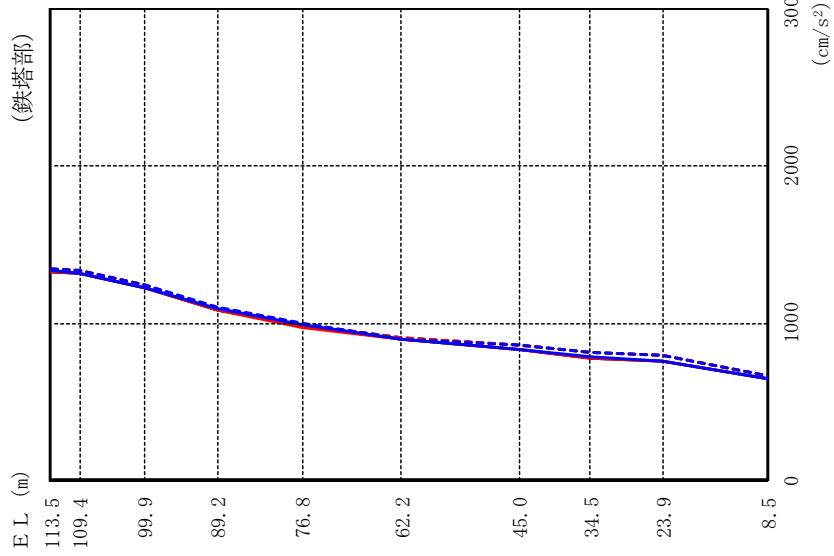


図 4-15(1) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位:  $\text{cm/s}^2$ )

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1429	1429	1429	1429	1429	1429
1403	1403	1403	1403	1403	1403
1380	1380	1380	1380	1380	1380
1325	1325	1325	1325	1325	1325
1265	1265	1265	1265	1265	1265
1141	1141	1141	1141	1141	1141
996	996	996	996	996	996
766	766	766	766	766	766
694	694	694	694	694	694
640	640	640	640	640	640
632	632	632	632	632	632

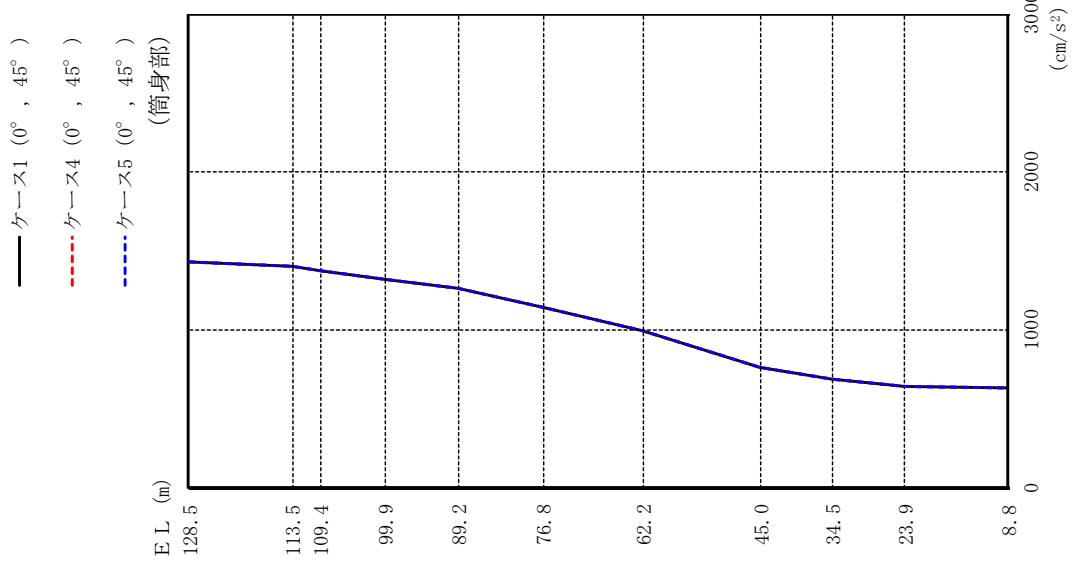


図 4-15(2) 最大応答加速度 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位：cm)

鉄塔部						
ケース1		ケース4		ケース5		
0°	45°	0°	45°	0°	45°	
1.12	1.47	1.18	1.55	1.05	1.38	
1.17	1.55	1.23	1.63	1.10	1.46	
1.23	1.63	1.29	1.72	1.17	1.56	
1.19	1.58	1.24	1.66	1.21	1.58	
1.10	1.48	1.13	1.52	1.22	1.60	
0.89	1.20	0.92	1.23	1.03	1.36	
0.62	0.83	0.64	0.85	0.73	0.96	
0.42	0.56	0.43	0.58	0.49	0.65	
0.31	0.41	0.32	0.42	0.36	0.47	
0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	

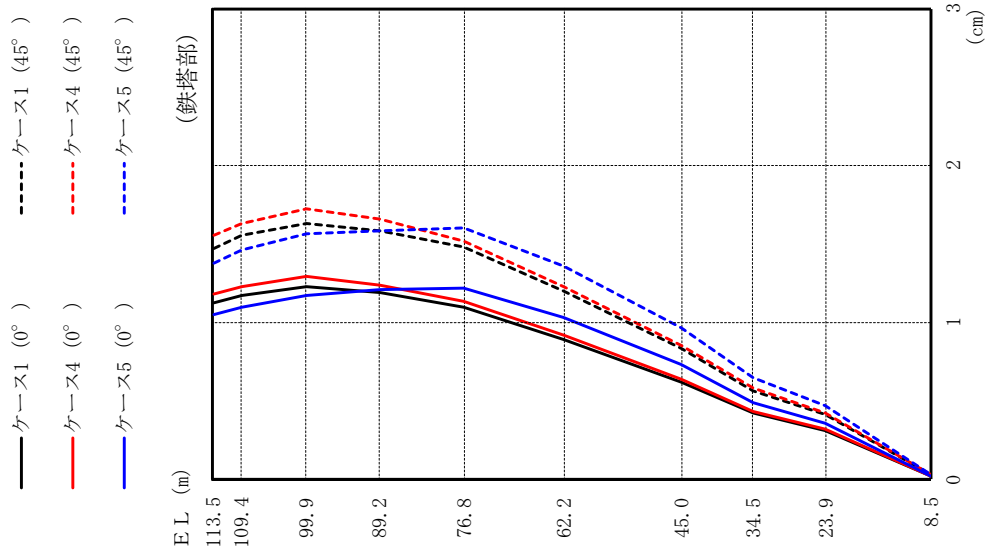


図 4-16(1) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

(単位: cm)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
	0.47		0.47		0.47
	0.46		0.46		0.46
	0.45		0.45		0.45
	0.43		0.43		0.43
	0.41		0.41		0.41
	0.36		0.36		0.36
	0.30		0.30		0.30
	0.21		0.21		0.21
	0.16		0.16		0.16
	0.09		0.09		0.09
	0.02		0.02		0.02

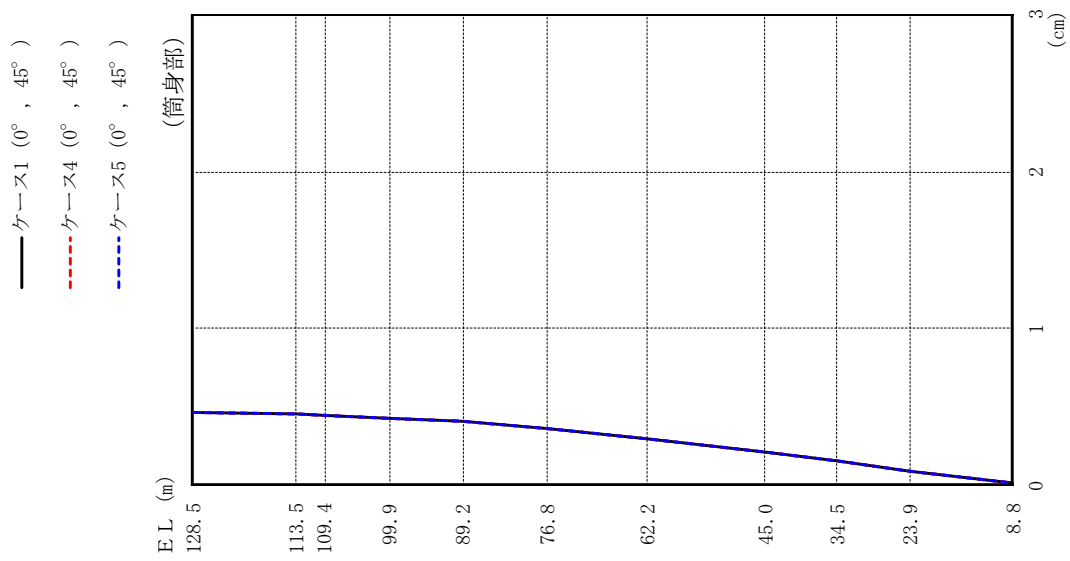
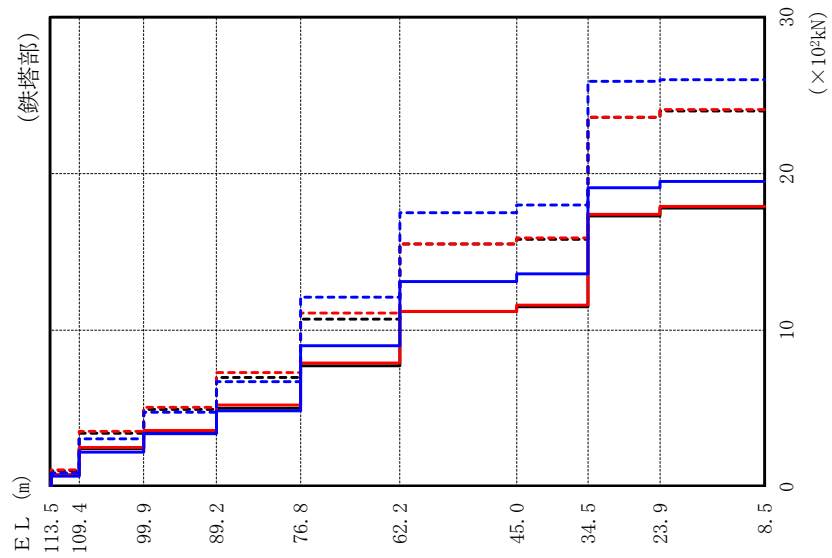
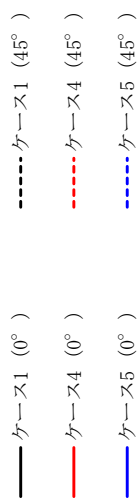


図 4-16(2) 最大応答変位 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

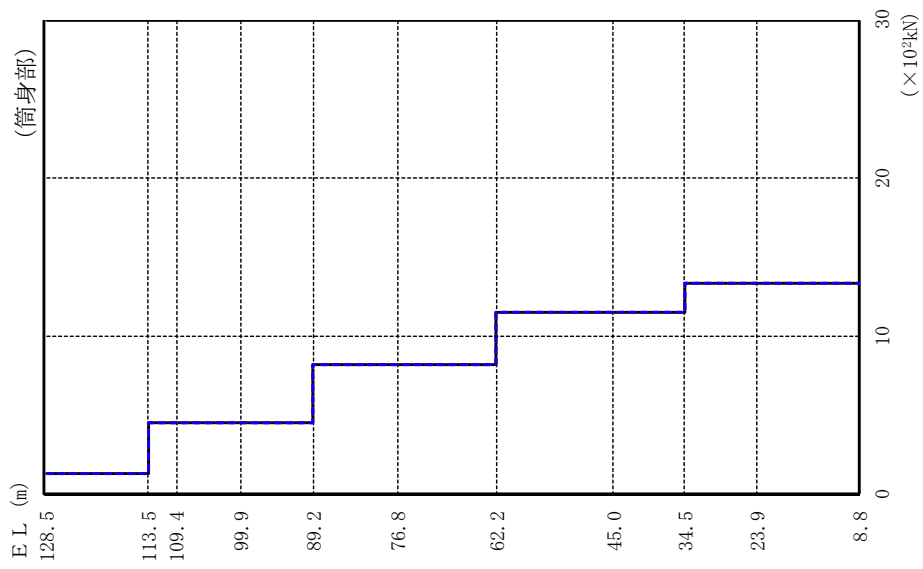


(単位 :  $\times 10^2\text{kN}$ )

鉄塔部						
ケース1		ケース4		ケース5		
0°	45°	0°	45°	0°	45°	
0.721	1.02	0.769	1.08	0.668	0.881	
2.43	3.42	2.51	3.54	2.21	3.06	
3.50	4.93	3.60	5.07	3.39	4.76	
5.01	6.98	5.22	7.29	4.84	6.71	
7.72	10.7	7.90	11.1	9.01	12.1	
11.2	15.5	11.2	15.5	13.1	17.5	
11.5	15.8	11.6	15.9	13.6	18.0	
17.3	23.6	17.4	23.6	19.1	25.9	
17.8	24.0	17.9	24.1	19.5	26.0	

図 4-17(1) 最大応答軸力 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)

- ケース1 (0°, 45°)
- - - ケース4 (0°, 45°)
- · - ケース5 (0°, 45°)



(単位：×10<sup>2</sup>kN)

筒身部					
ケース1		ケース4		ケース5	
0°	45°	0°	45°	0°	45°
1.34		1.34		1.34	
4.54		4.54		4.54	
4.54		4.54		4.54	
4.54		4.54		4.54	
8.23		8.23		8.23	
8.23		8.23		8.23	
11.5		11.5		11.5	
11.5		11.5		11.5	
13.4		13.4		13.4	
13.4		13.4		13.4	

図 4-17(2) 最大応答軸力 (基準地震動 S s - D, 鉛直方向)



#### 4.3 まとめ

地盤物性の不確かさ及び制震装置（粘性ダンパ）の不確かさを考慮した固有値解析及び地震応答解析結果より、以下の傾向を確認した。

- ・地盤物性の不確かさ

地盤物性が大きくなる側（地盤物性 $+\sigma$ ）に変動した場合、水平方向及び鉛直方向については、鉄塔部及び筒身部とも、発生応力、加速度及び変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。

地盤物性が小さくなる側（地盤物性 $-\sigma$ ）に変動した場合、水平方向については、鉄塔部及び筒身部とも、加速度は大きくなるが、発生応力及び変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。鉛直方向については、鉄塔部の加速度は大きくなるが、発生応力及び変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。筒身部の発生応力及び加速度は大きくなるが、変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。

- ・制震装置（粘性ダンパ）の不確かさ

制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数が大きくなる側（標準値 $\times 1.3$ ）に変動した場合、水平方向については、鉄塔部及び筒身部とも、発生応力、加速度及び変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。鉛直方向については、鉄塔部の場合、発生応力、加速度及び変位に大きな変化はなく、概ね同程度となる。

制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数が小さくなる側（標準値 $\times 0.7$ 、7台）に変動した場合、水平方向については、鉄塔部及び筒身部とも、発生応力、加速度及び変位は大きくなる。鉛直方向については、鉄塔部の発生応力及び変位は大きくなるが、加速度に大きな変化はなく、概ね同程度である。筒身部は発生応力、加速度及び変位が基本ケース（ケース1）と同じ値となる。

## 5. 機器・配管系評価への影響

地盤物性（地盤のS波速度及びP波速度）の不確かさ及び制震装置（粘性ダンパ）の不確かさを考慮した検討ケースに対して設備の評価に与える影響検討を行う。検討ケースを表5-1に示す。ここで、コンクリート強度を設計基準強度、地盤のS波速度及びP波速度を標準地盤、制震装置（粘性ダンパ）の減衰係数を標準値及び台数を8台とした検討ケースを基本ケースとする。表中の塗りつぶし部分は、基本ケースと異なる設定をしているパラメータを示す。

表5-1に示すとおり、ケース2及び3は耐震計算に用いる耐震条件（設計用条件I）に含めている。また、ケース4及び5の最大応答加速度はケース1と概ね同程度であり、機器・配管系への影響が軽微であることを確認している。

表5-1 検討ケース

検討ケース	コンクリート強度	地盤物性	制震装置 (粘性ダンパ)		備考
			減衰係数	台数	
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	標準値	8	基本 ケース
ケース2 (地盤物性+ $\sigma$ ) *1	設計基準強度	標準地盤+ $\sigma$ (+10%, +20%)	標準値	8	
ケース3 (地盤物性- $\sigma$ ) *1	設計基準強度	標準地盤- $\sigma$ (-10%, -20%)	標準値	8	
ケース4 (減衰係数上限) *2	設計基準強度	標準地盤	標準値 $\times 1.3$	8	
ケース5 (減衰係数下限) *2	設計基準強度	標準地盤	標準値 $\times 0.7$	7	

注記\*1：ケース2（地盤物性+ $\sigma$ ）及びケース3（地盤物性- $\sigma$ ）については、耐震計算に用いる耐震条件（設計用条件I）に含まれている。詳細については、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」を参照

\*2：ケース4（減衰係数上限）及びケース5（減衰係数下限）については、機器・配管系への影響が軽微であることを確認している。詳細については、補足説明資料「設計用床応答スペクトルの作成方法及び適用方法について」（NS2補足-027-1）を参照