

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-026-9 改2
提出年月日	2020年6月17日

工事計画に係る説明資料

(主排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料)

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

「V-2-7-2-1 主排気筒の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。なお、他建物・構築物の地震応答計算書の記載内容を共通的に補足する内容についても、本資料で代表し説明する。

別紙1 既工認と今回工認モデル及び手法の比較

別紙2 主排気筒のモデル化，境界条件及び拘束条件の考え方

別紙3 地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討

別紙3-1 原子炉建屋の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3-2 原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙3-3 減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果

別紙4 地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討

別紙5 接合部の耐震性について

別紙6 原子炉建屋と主排気筒の連成解析による影響評価

下線：今回ご提示資料

### 別紙3-3 減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 3-3-1
2. 地震応答解析結果 .....	別紙 3-3-2

## 1. 概要

V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」では、減衰を剛性比例型減衰（鉄塔部の水平方向1次固有振動数に対し、鉄骨造は2%、鉄筋コンクリート造（基礎）は5%を設定）とした地震応答解析について示している。

本資料では、減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析を行い、剛性比例型減衰の解析結果と比べることで、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定の妥当性を確認する。詳細には、以下に示す検討を実施する。

- ・ S<sub>s</sub>-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討
- ・ S<sub>s</sub>-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

S<sub>s</sub>-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討では、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動S<sub>s</sub>-1を用いた基本ケースを選定し、減衰の違いによる影響を確認することを目的とする。

S<sub>s</sub>-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討では、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における断面算定結果（検定値）が最も厳しくなる検討ケースを対象に、減衰をレーリー減衰にした場合においても断面算定結果が許容値を超過しないことを確認することを目的とする。

なお、入力地震動は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に基づき、S<sub>s</sub>-1は、2方向（3成分）（NS方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とし、S<sub>s</sub>-2は、3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とする。

また、固有値解析結果は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に示すケース1（基本ケース）と同一である。

## 2. 地震応答解析結果

固有値解析結果を表2-1に、減衰の設定方法を図2-1に、解析ケースを表2-2に示す。

レーリー減衰は、主排気筒の応答に影響の大きい鉄塔NS方向の1次振動数（3.69Hz）と主要モード（鉄塔水平2次）が存在する12.0Hzに対し、鋼材の減衰定数（2%）となるように設定した。

減衰をレーリー減衰にした場合の基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果を図2-2～図2-15に示す。なお、図2-8、図2-9、図2-14及び図2-15では、以下の支柱材の最大応力を包絡したものを「鉄塔部 支柱材包絡」として示す。

- ・原子炉建屋の $R_1$ 通りと $R_C$ 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の $R_1$ 通りと $R_D$ 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の $R_2$ 通りと $R_C$ 通りの交点に位置する支柱材
- ・原子炉建屋の $R_2$ 通りと $R_D$ 通りの交点に位置する支柱材

また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表2-3に、地震応答解析結果に基づく断面算定結果を表2-4に示す。

減衰をレーリー減衰にした場合の地震応答解析結果は剛性比例型減衰に比べ、一部の応答は大きくなるものの、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は許容値以下であり、減少傾向にある。

また、各部材の断面算定結果について、 $S_s-1$ を用いたケース1（基本ケース）に対する検討では、筒身部B-C間を除き、レーリー減衰の断面算定結果（検定値）は剛性比例型減衰の断面算定結果（検定値）以下となっている。なお、筒身部B-C間についても検定値が0.71（剛性比例型減衰）から0.72（レーリー減衰）に増加してはいるものの、その影響は軽微である。

一方で、 $S_s-2$ を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討では、剛性比例型減衰に比べレーリー減衰の検定値が大きくなる部材がいくつかあり、検定値の変動は筒身部が大きい傾向である。しかしながら、筒身部のうち、レーリー減衰の検定値が最大となるB-C間において、検定値は0.83（剛性比例型減衰）及び0.87（レーリー減衰）と変動は小さく、いずれも裕度は確保されている。また、全部材中で最も検定値が大きくなる支柱材D-E間について、剛性比例型減衰では検定値は0.99であったが、レーリー減衰では検定値は0.95まで低減している。

以上より、減衰をレーリー減衰にした場合についても耐震性に影響がないことを確認するとともに、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における減衰設定が妥当であることを確認した。

表2-1 固有値解析結果（水平方向）

方向	固有モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
				X (NS方向)	Y (EW方向)	Z (鉛直方向)
NS	筒身1次	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000
	筒身2次	6.63	0.151	-1.201	0.000	0.000
	鉄塔1次	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000
	鉄塔2次	10.74	0.093	1.067	0.000	0.001
EW	筒身1次	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000
	筒身2次	6.67	0.150	0.000	-1.186	0.000
	鉄塔1次	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000
	鉄塔2次	11.15	0.090	0.000	1.035	0.000

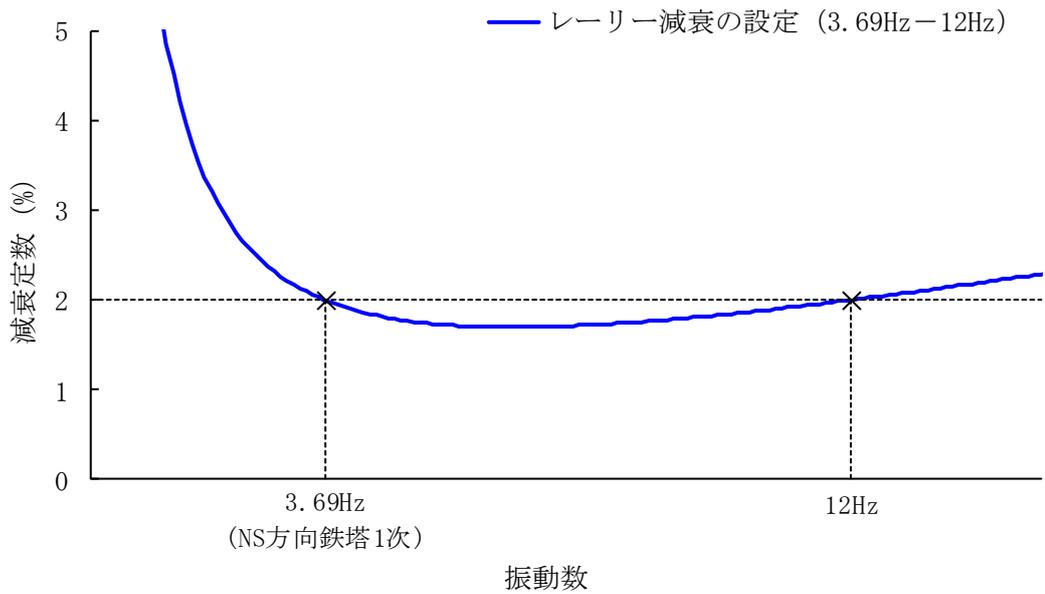


図2-1 減衰の設定方法

表2-2 検討ケース

(a) Ss-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討

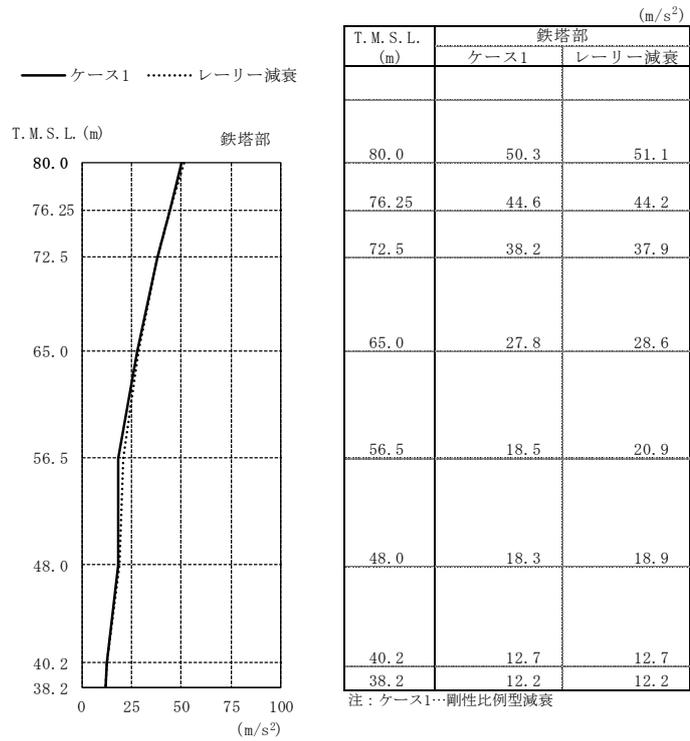
検討ケース	地震動	建屋応答の不確かさ（基本ケース）			減衰	備考
		コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性		
①ケース1 （工認モデル）	Ss-1	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤	剛性比例型	計算書* 記載
レーリー減衰	Ss-1	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	100%	標準地盤	<u>レーリー</u>	

(b) Ss-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

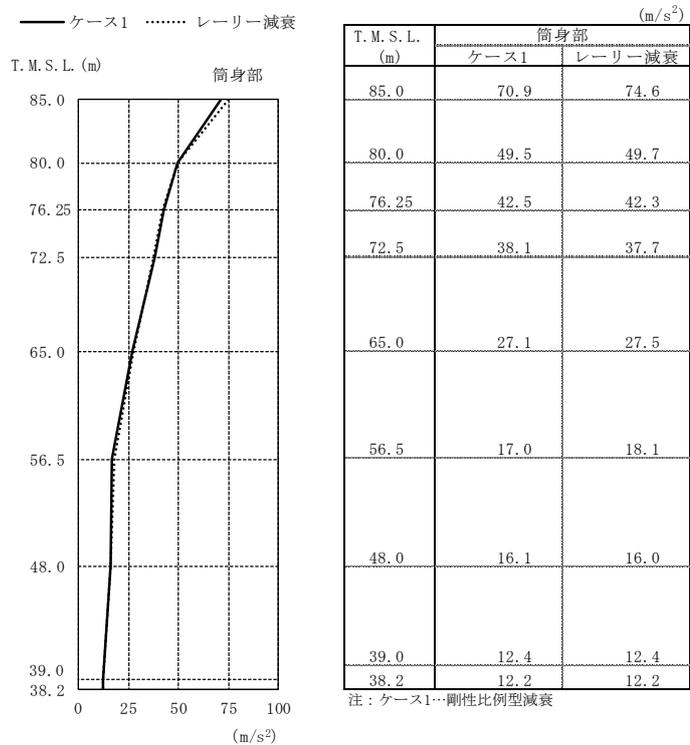
検討ケース	地震動	建屋応答の不確かさ（ケース6）			減衰	備考
		コンクリート剛性	回転ばね定数	地盤剛性		
⑥ケース6 （回転ばね低減）	Ss-2	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	50%	標準地盤	剛性比例型	計算書* 記載
レーリー減衰	Ss-2	実強度 (43.1N/mm <sup>2</sup> )	50%	標準地盤	<u>レーリー</u>	

注：下線部は，V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」記載ケースとの差異を示す。

注記\*：「計算書」とは，V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」を指す。

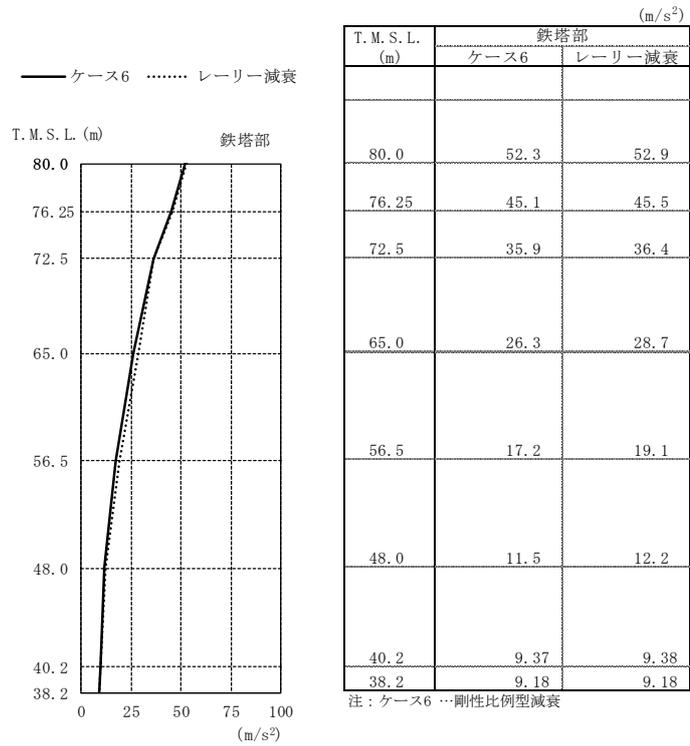


(a) 鉄塔部

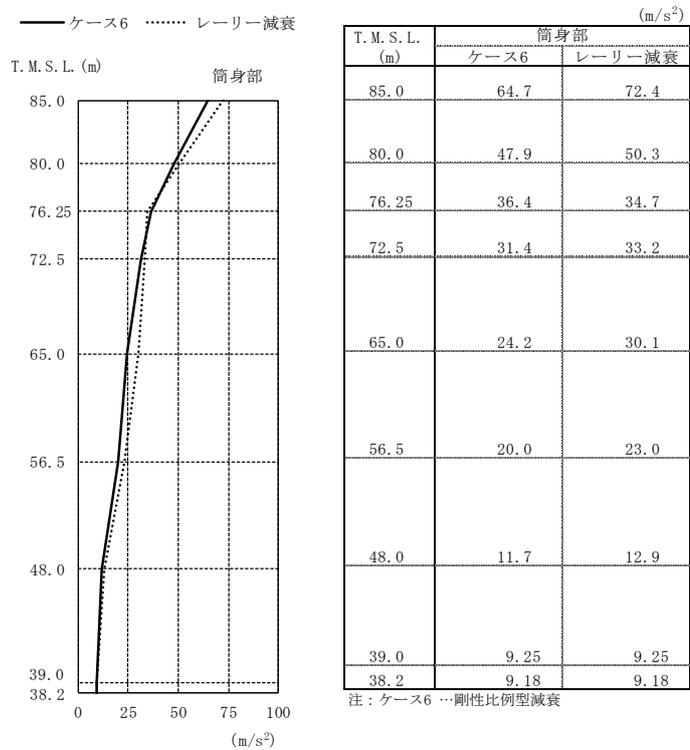


(b) 筒身部

図2-2 最大応答加速度 (S<sub>s</sub>-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, NS方向)

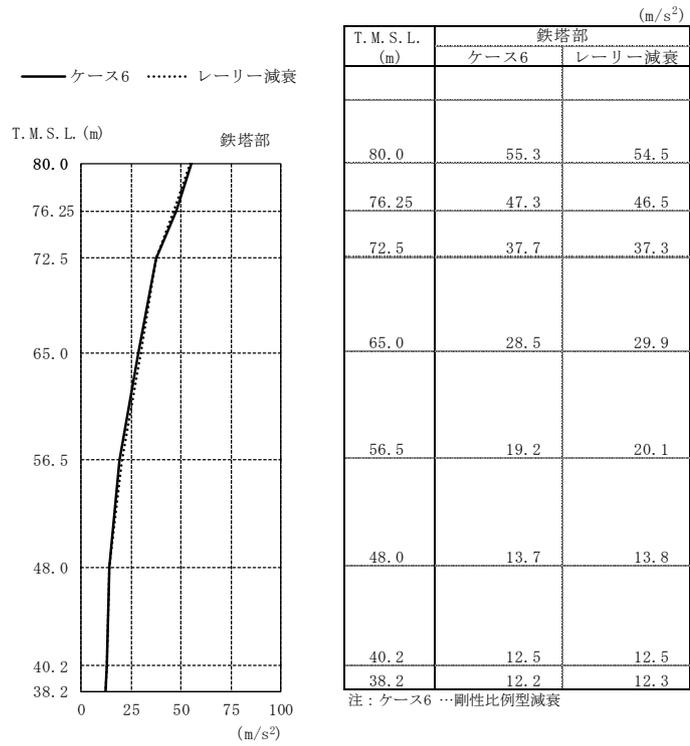


(a) 鉄塔部

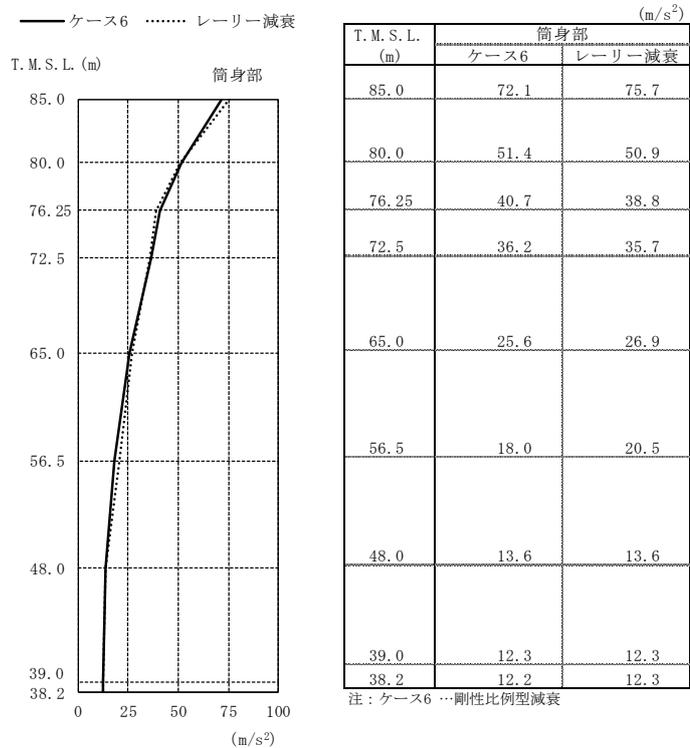


(b) 筒身部

図2-3 最大応答加速度 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, NS方向)

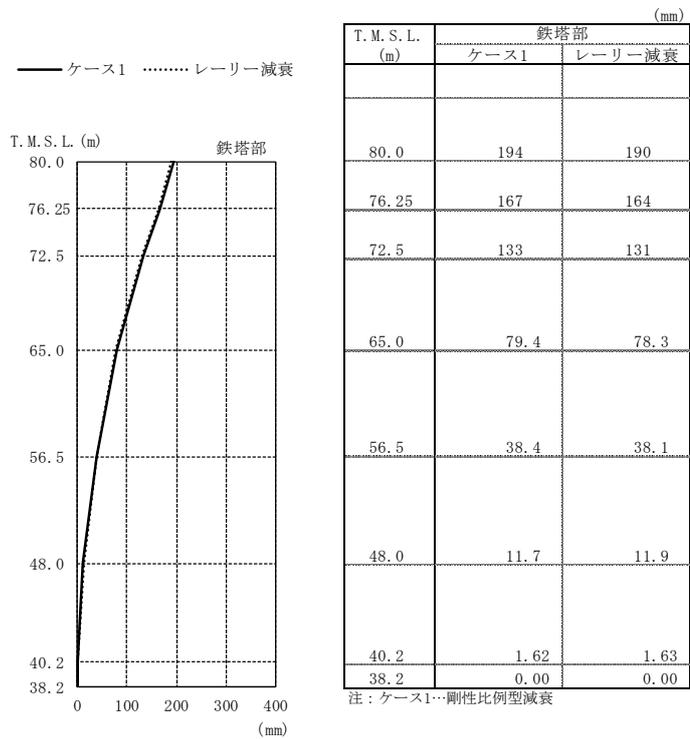


(a) 鉄塔部

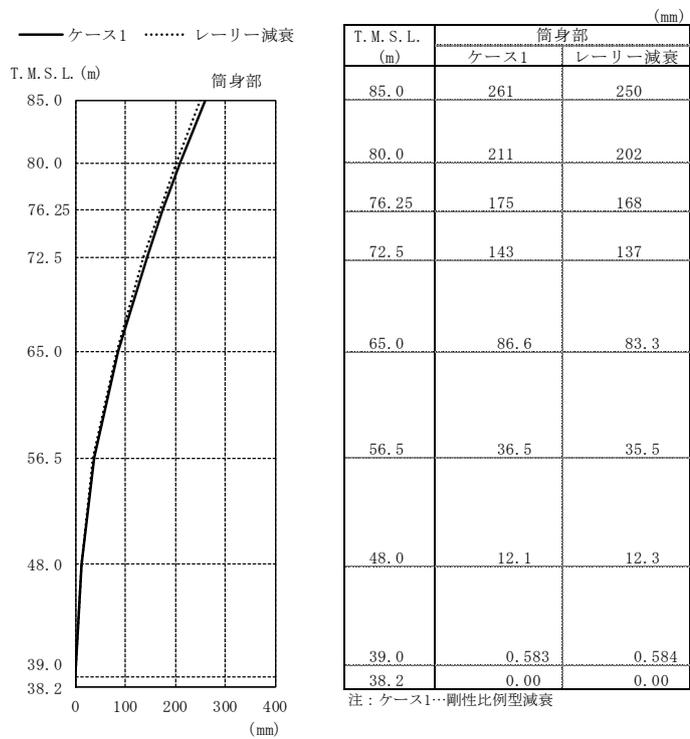


(b) 筒身部

図2-4 最大応答加速度 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, EW方向)

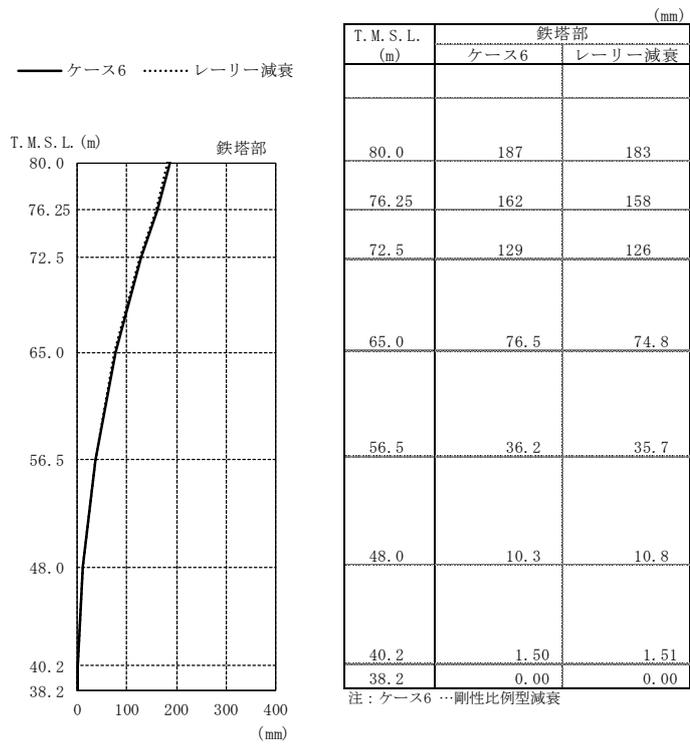


(a) 鉄塔部

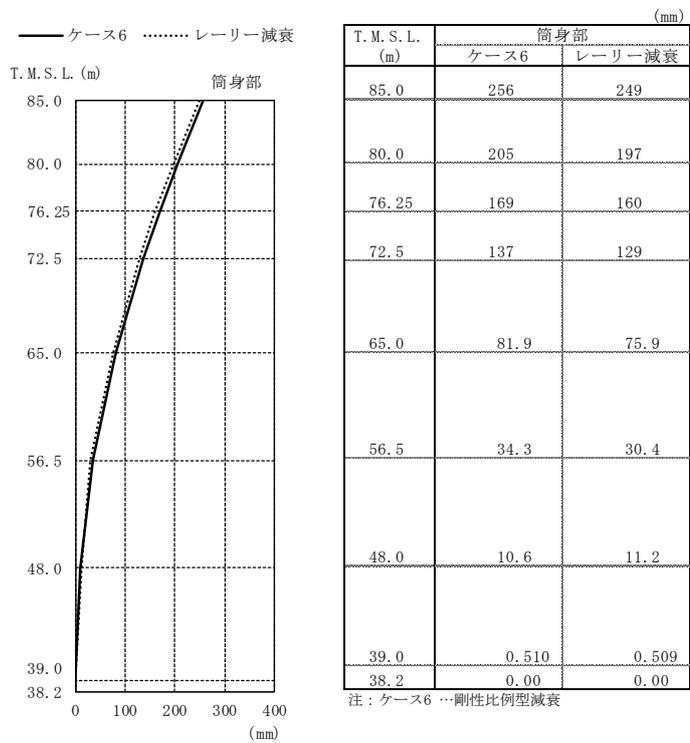


(b) 筒身部

図2-5 最大応答変位 (Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, NS方向)

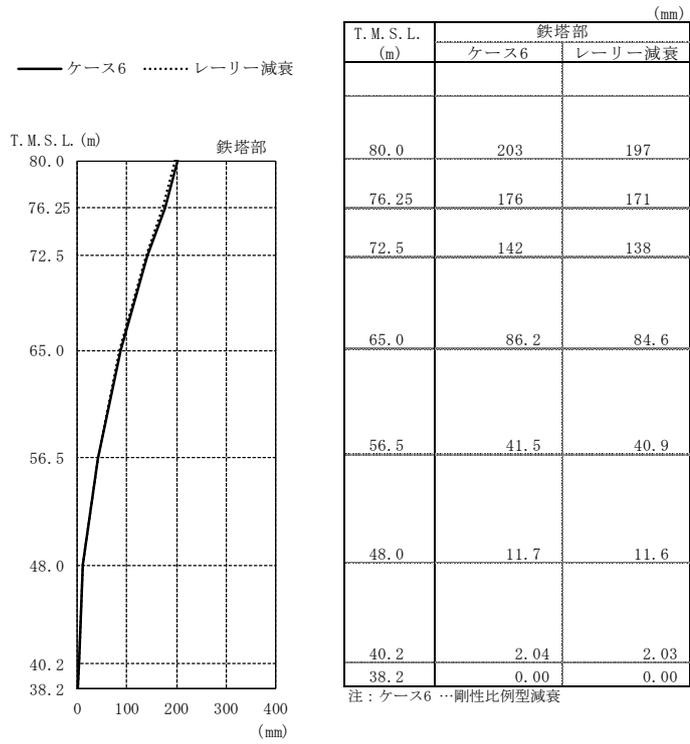


(a) 鉄塔部

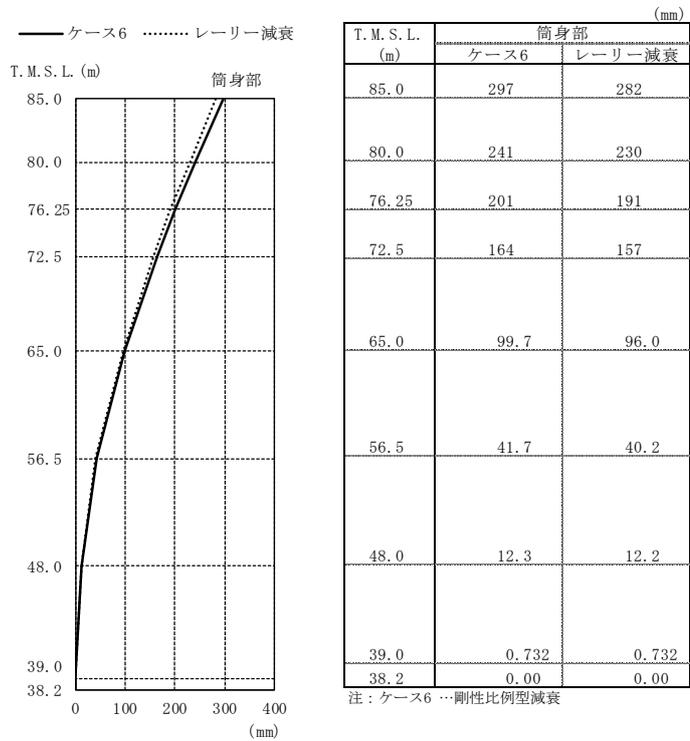


(b) 筒身部

図2-6 最大応答変位 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, NS方向)

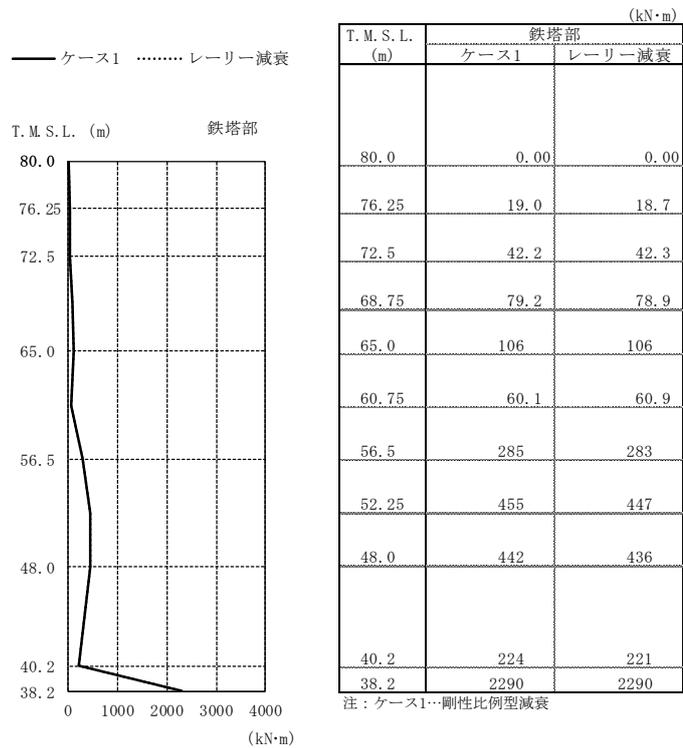


(a) 鉄塔部

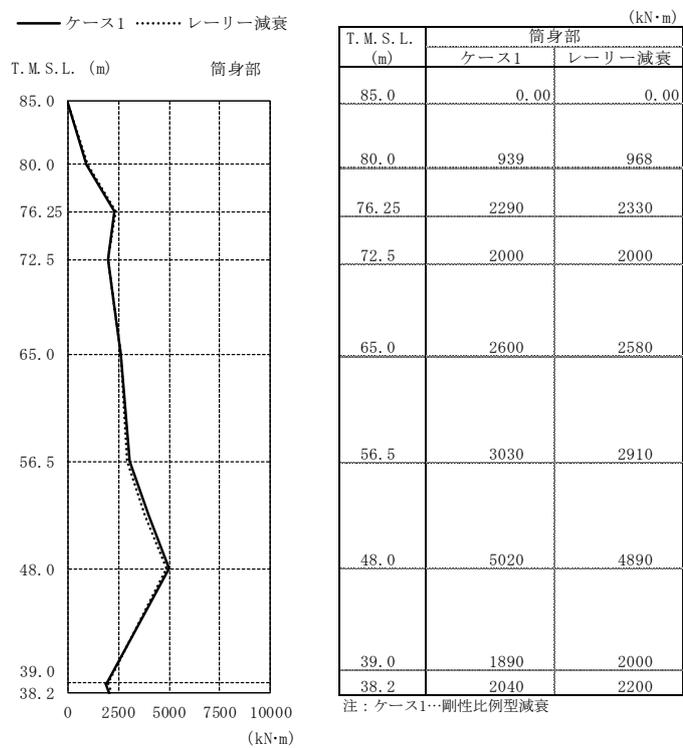


(b) 筒身部

図2-7 最大応答変位 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, EW方向)

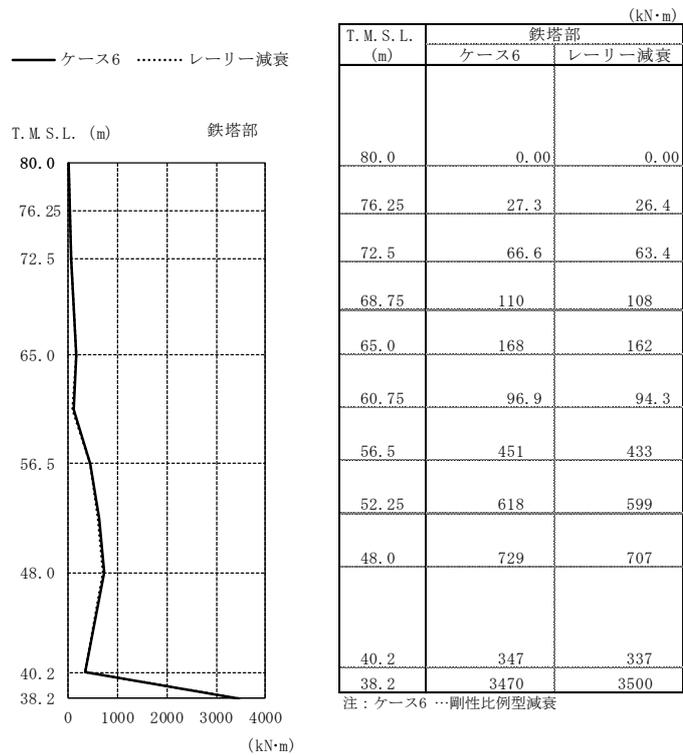


(a) 鉄塔部 主柱材包絡

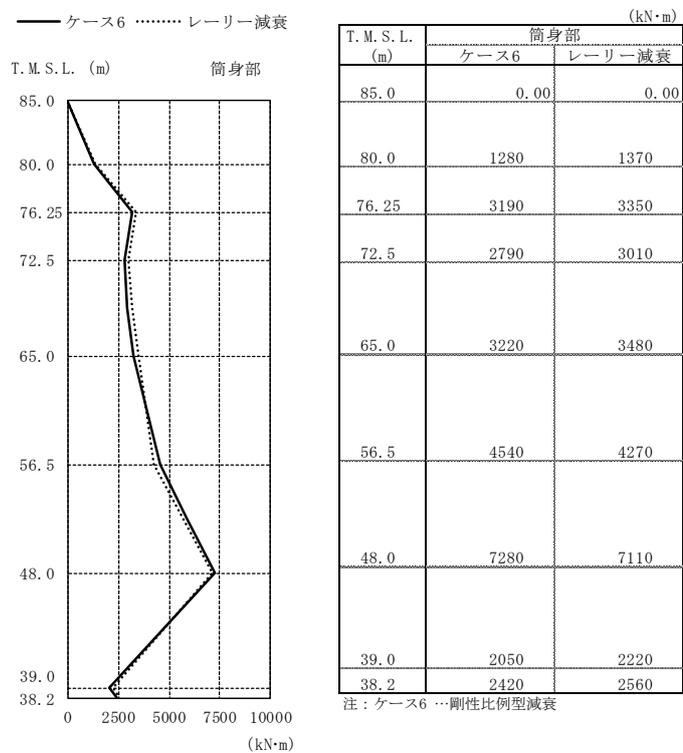


(b) 筒身部

図2-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討)

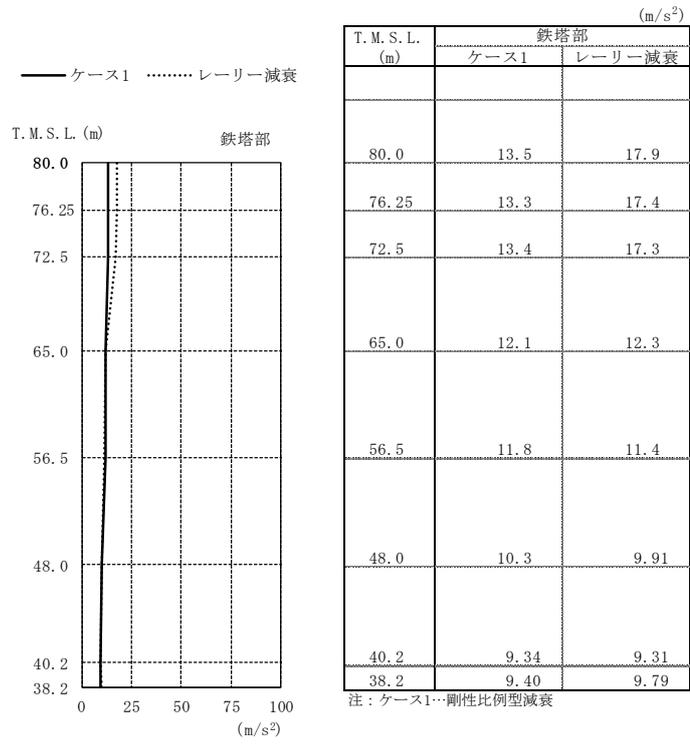


(a) 鉄塔部 主柱材包絡

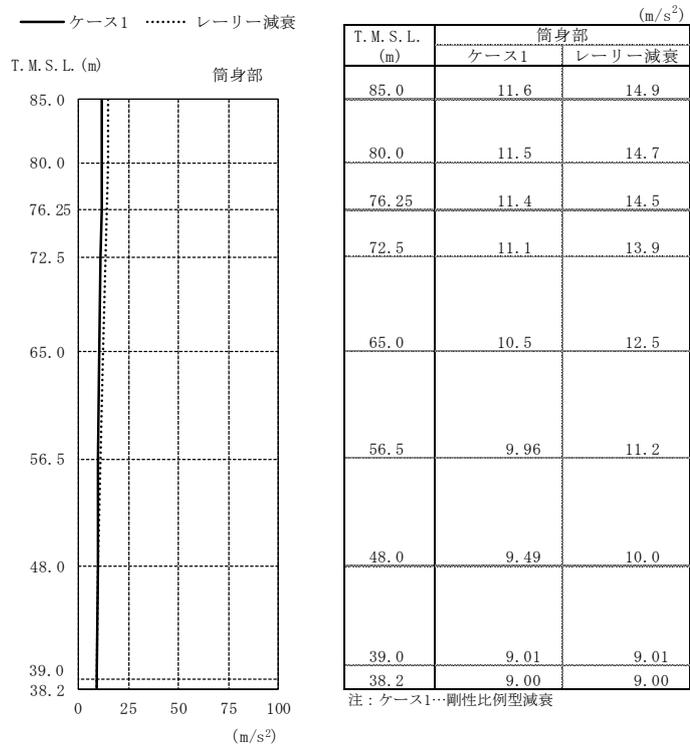


(b) 筒身部

図2-9 最大応答曲げモーメント (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討)

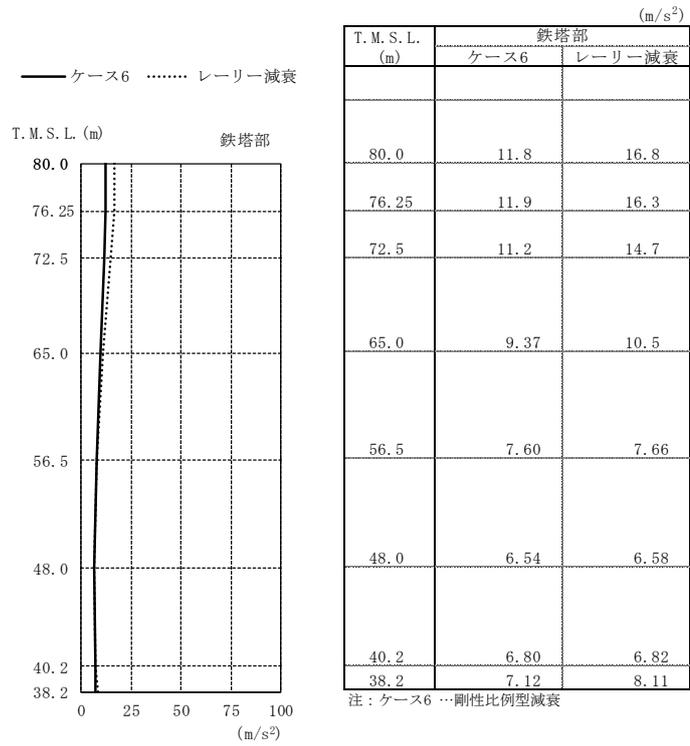


(a) 鉄塔部

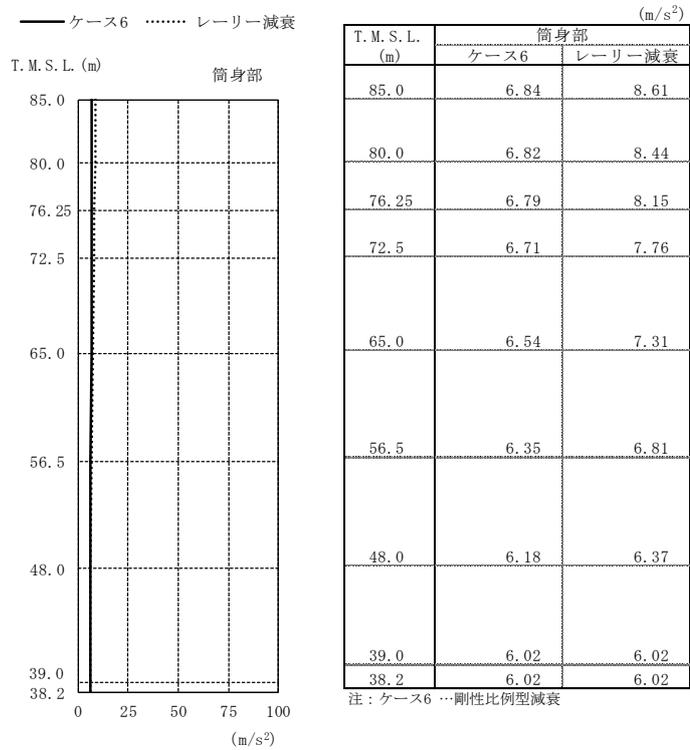


(b) 筒身部

図2-10 最大応答加速度 (Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, 鉛直方向)



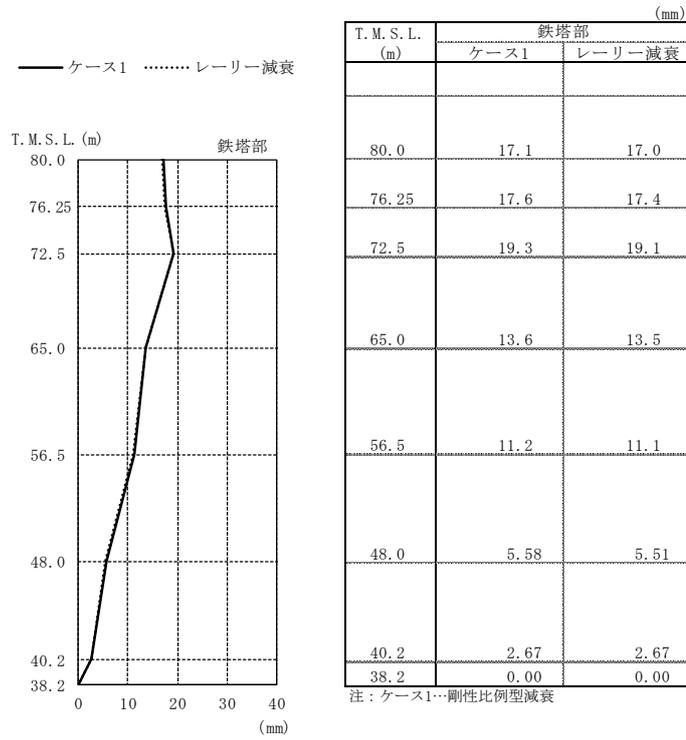
(a) 鉄塔部



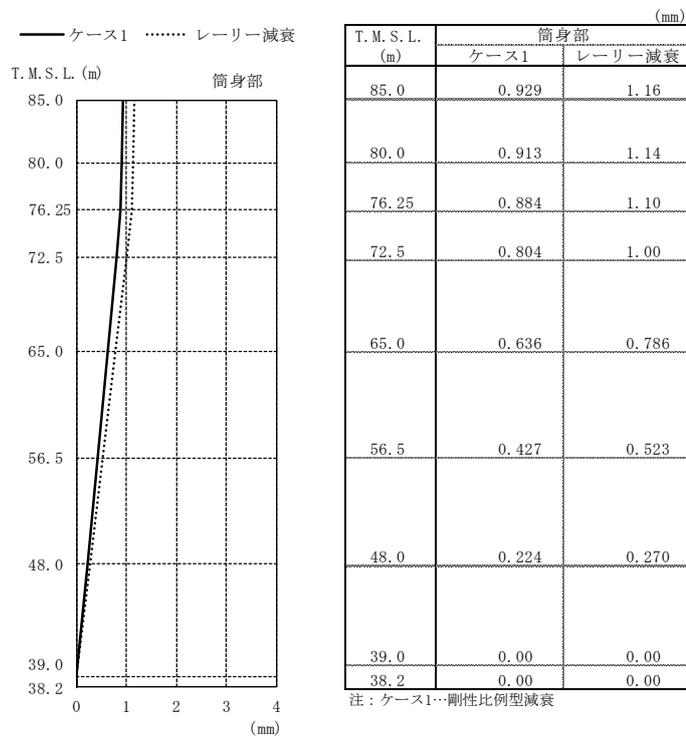
(b) 筒身部

図2-11 最大応答加速度

(Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, 鉛直方向)

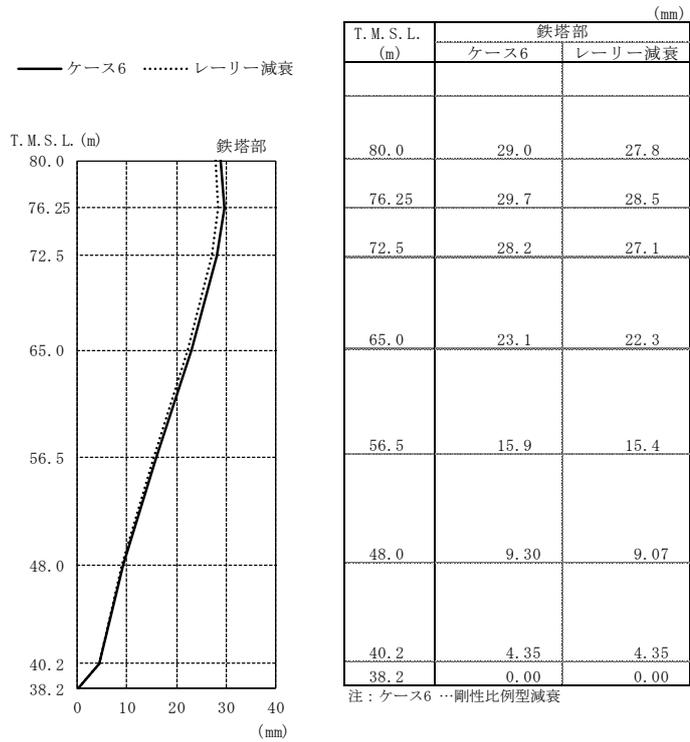


(a) 鉄塔部

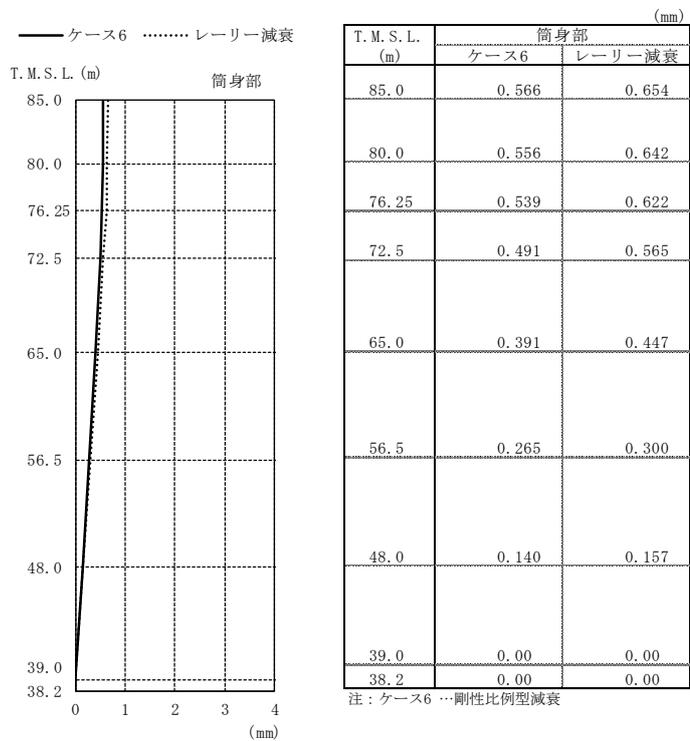


(b) 筒身部

図2-12 最大応答変位 (Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討, 鉛直方向)

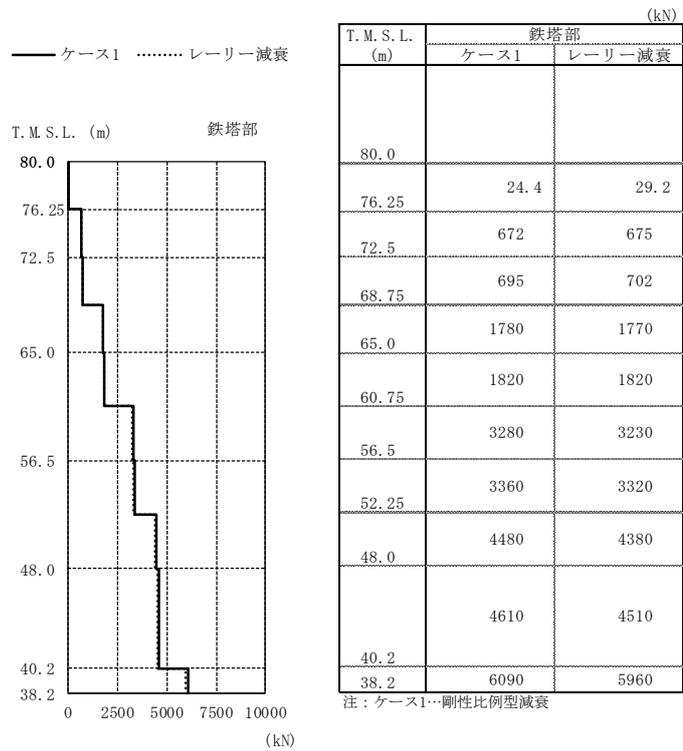


(a) 鉄塔部

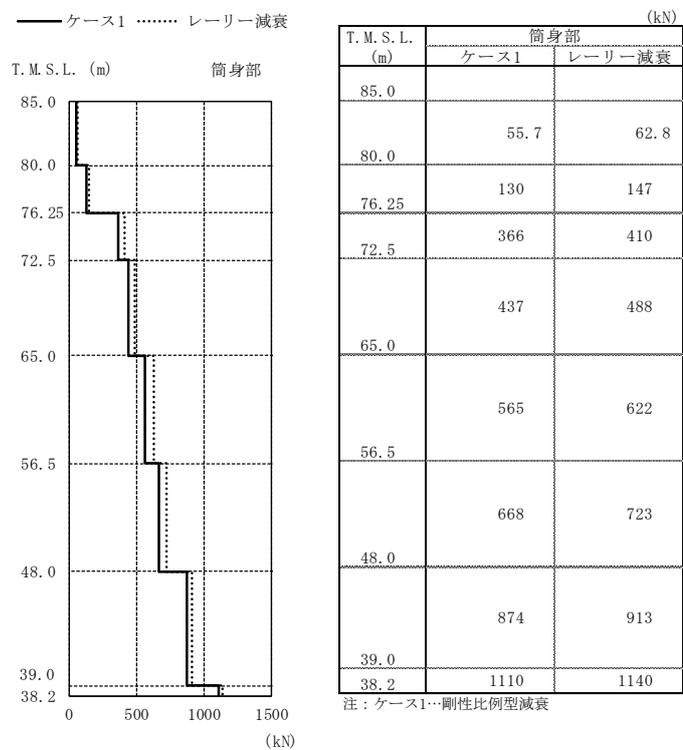


(b) 筒身部

図2-13 最大応答変位 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討, 鉛直方向)

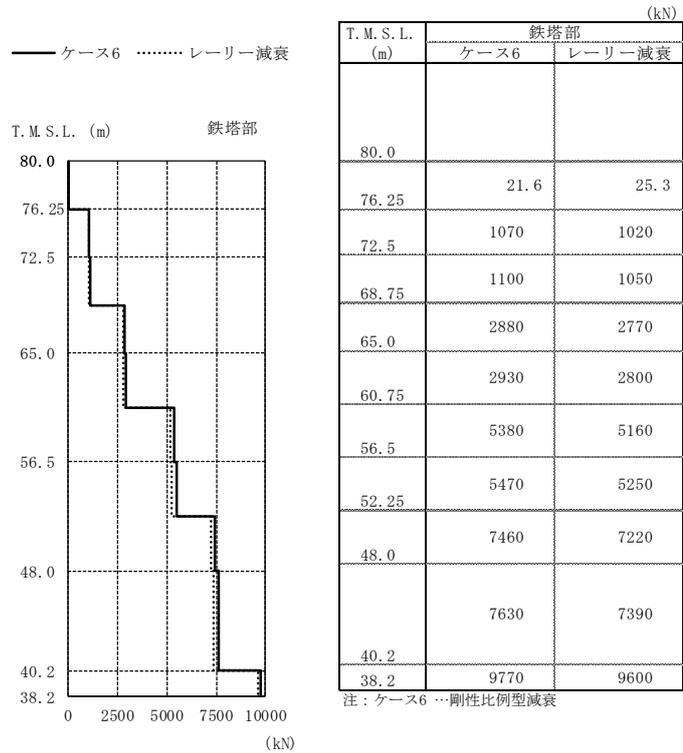


(a) 鉄塔部 主柱材包絡

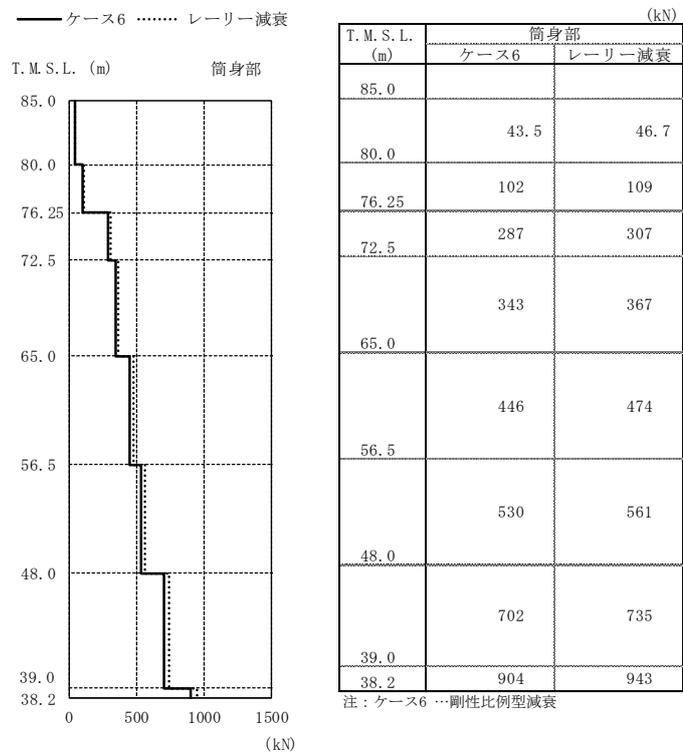


(b) 筒身部

図2-14 最大応答軸力 (Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討)



(a) 鉄塔部 主柱材包絡



(b) 筒身部

図2-15 最大応答軸力 (Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討)

表2-3 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値

	オイルダンパーの最大応答値				許容値
	Ss-1 を用いた ケース 1（基本ケース） に対する検討		Ss-2 を用いた ケース 6（回転ばね低減） に対する検討		
	剛性比例型 減衰	レーリー 減衰	剛性比例型 減衰	レーリー 減衰	
速度 (m/s)	1.91	1.86	1.90	1.79	2.60
変位 (mm)	124	118	146	139	175

表2-4 (1/2) 断面算定結果

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		剛性比例型減衰			レーリー減衰			剛性比例型減衰			レーリー減衰		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	24.4	19.0	0.14	29.2	18.7	0.14	21.6	27.3	0.19	25.3	26.4	0.18
72.5	C-D	695	79.2	0.54	702	78.9	0.54	1100	110	0.79	1050	108	0.77
65.0	D-E	1820	106	0.62	1820	106	0.62	2930	168	0.99	2800	162	0.95
56.5	E-F	3360	455	0.62	3320	447	0.61	5470	618	0.93	5250	599	0.90
48.0	F-G	4610	455	0.52	4510	447	0.51	7630	729	0.84	7390	707	0.81

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		剛性比例型減衰		レーリー減衰		剛性比例型減衰		レーリー減衰	
		評価用応力		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$			N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$		
80.0	B-C	655	0.73	646	0.72	633	0.71	611	0.69
72.5	C-D	758	0.49	746	0.48	738	0.47	713	0.46
65.0	D-E	942	0.33	928	0.33	968	0.34	932	0.33
56.5	E-F	1100	0.21	1090	0.21	1130	0.22	1120	0.22
48.0	F-G	1210	0.14	1230	0.14	1360	0.16	1430	0.17

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		剛性比例型減衰		レーリー減衰		剛性比例型減衰		レーリー減衰	
		評価用応力		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$			N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$		
80.0	B	58.7	0.08	58.8	0.08	63.6	0.09	62.3	0.09
72.5	C	73.2	0.12	73.0	0.12	92.9	0.15	90.9	0.14
65.0	D	139	0.10	139	0.10	178	0.12	181	0.13
56.5	E	207	0.15	205	0.15	326	0.24	325	0.24
48.0	F	220	0.11	215	0.11	325	0.16	306	0.15

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表2-4 (2/2) 断面算定結果

(d) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		剛性比例型減衰			レーリー減衰			剛性比例型減衰			レーリー減衰		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)				
85.0	A-B	24.2	938	0.29	25.1	967	0.29	21.7	1090	0.33	21.7	1160	0.35
80.0	B-C	163	2290	0.71	168	2330	0.72	152	2720	0.83	148	2850	0.87
72.5	C-D	227	2290	0.72	209	2290	0.72	203	2450	0.77	206	2650	0.83
65.0	D-E	301	3020	0.57	314	2910	0.55	256	3630	0.67	274	3510	0.65
56.5	E-F	282	3980	0.73	292	3830	0.71	396	4570	0.85	421	4410	0.82
48.0	F-G	379	5020	0.50	381	4890	0.49	539	5660	0.57	562	5530	0.56
39.0													

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。

## 別紙 4 地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討

## 目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 解析方針	別紙 4-2
2.1 解析モデル	別紙 4-2
2.2 風荷重	別紙 4-5
3. 断面算定結果（検定値）に基づく影響評価	別紙 4-7

## 1. 概要

本資料は主排気筒に対し、地震荷重に加えて風荷重（風速4.1m/s及び16.0m/s）を重畳させた場合の耐震性に関する裕度を示すものである。詳細には、以下に示す検討を実施する。

- ・ S<sub>s</sub>-1を用いたケース1（基本ケース）に対する検討
- ・ S<sub>s</sub>-2を用いたケース6（回転ばね低減）に対する検討

S<sub>s</sub>-1 を用いたケース 1（基本ケース）に対する検討では、建屋応答の不確かさを含めた各入力地震動の代表として、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい基準地震動 S<sub>s</sub>-1 を用いた基本ケースを選定し、地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響を確認することを目的とする。

S<sub>s</sub>-2 を用いたケース 6（回転ばね低減）に対する検討では、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における断面算定結果が最も厳しくなる検討ケースを対象に、地震荷重と風荷重を重畳させた場合においても断面算定結果に一定の裕度を有することを確認することを目的とする。

また、上述の各検討において重畳させる風荷重を以下に示す。

- ・ 風速4.1m/sによる風荷重
- ・ 風速16.0m/sによる風荷重

なお、入力地震動は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に基づき、S<sub>s</sub>-1については2方向（3成分）（NS方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とし、S<sub>s</sub>-2について3方向（5成分）（水平2方向（並進・回転）及び鉛直方向）同時入力とする。

また、固有値解析結果は、別紙3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」に示すケース1（基本ケース）と同一である。

## 2. 解析方針

### 2.1 解析モデル

V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」における解析モデル（以下「工認モデル」という。）では，既工認との整合性と保守性を担保するため，支柱材及び筒身の実状の部材断面の切り替え位置よりも低い位置に部材の切り替え位置を設定し，モデル化を行っている。本検討では，地震荷重に加えて，風荷重を重畳させた場合の耐震性に関する裕度を確認することを目的としているため，支柱材及び筒身部について，実状に合わせた切り替え位置を考慮したモデルに変更する。

切り替え位置の一覧を表 2-1 に示す。支柱材は，工認モデルに対して，1.65m～2.15m 高い位置に部材断面の切り替え位置を変更し，筒身は，C-D間で 0.25m 高い位置，E-F間で 1.75m 高い位置に部材断面の切り替え位置を変更する。

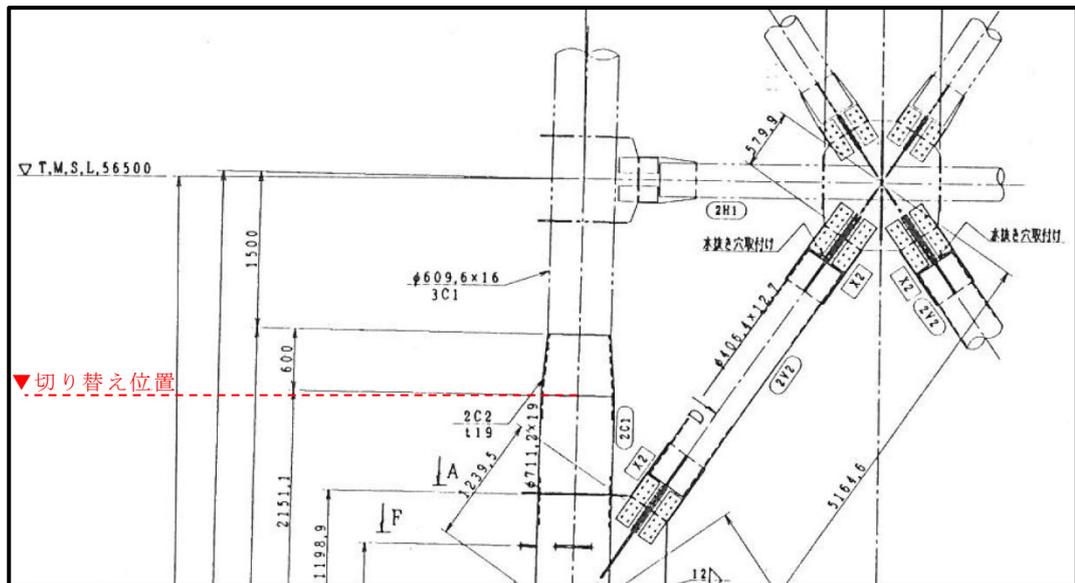
また，切り替え位置の変更を考慮した解析モデルを図 2-1 に示す。

表 2-1 切り替え位置の一覧

部材	部材間	切り替え位置のレベル T. M. S. L. (m)		切り替え位置 の差 (①-②) (m)
		① 本検討における 解析モデル	② 工認モデル	
主柱材	B-C	77.90	76.25	1.65
	C-D	70.40	68.75	1.65
	D-E	62.50	60.75	1.75
	E-F	54.40	52.25	2.15
筒身	C-D	69.00	68.75	0.25
	E-F	54.00	52.25	1.75

切り替え位置の設定例（主柱材 E-F間）

（「柏崎刈羽原子力発電所7号機工事の内発電所本館建物新設工事 原子炉建屋 施工図  
一覧表（11/16） 排気筒鉄骨工事」のうち、KMG-205「鉄塔詳細図(2C)」）



注：主柱材の切り替え位置は保守的に切り替え位置の始点とする。

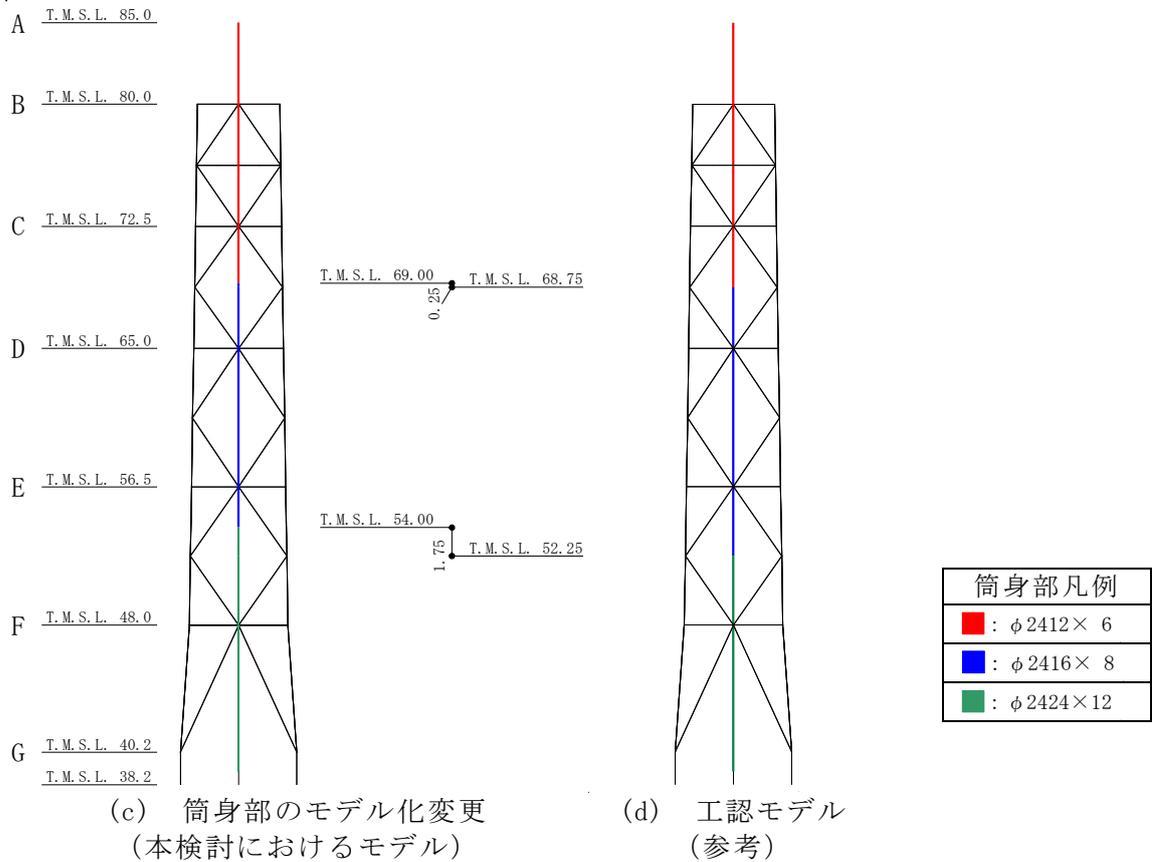
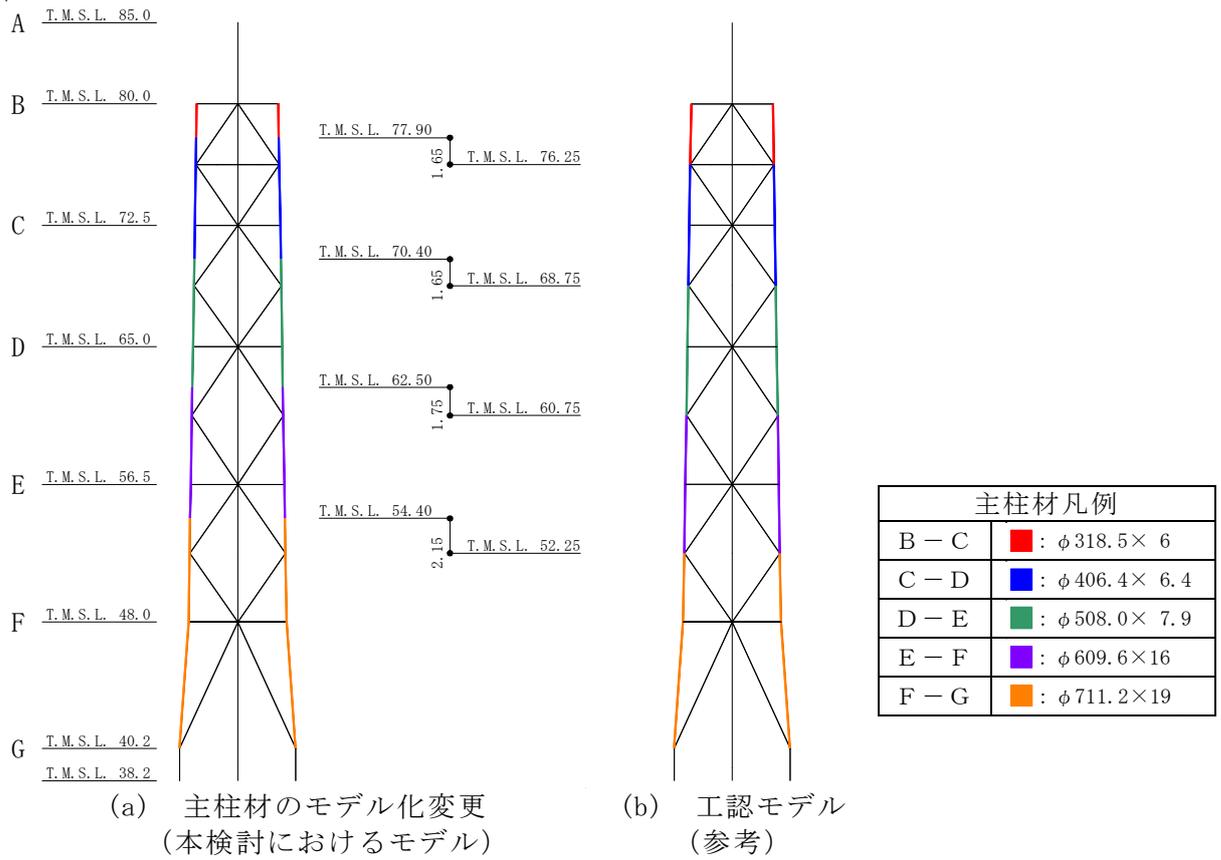


図 2-1 切り替え位置の変更を考慮した解析モデル (単位: m)

## 2.2 風荷重

風荷重は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」と同一方法により算定し、作用方向も同一とする。また、風速については4.1m/s及び16.0m/sの2ケースについて検討する。

風荷重計算表を表2-2及び表2-3に示す。

表2-2 風荷重計算表（風速4.1m/s）

### (a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)	風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)
80.00	0.0358	1.92	3.4	0.24	1.50	5.4	0.29
76.25	0.0358	1.82	7.6	0.50	1.44	11.9	0.62
72.50	0.0358	1.86	9.6	0.64	1.45	15.5	0.81
65.00	0.0358	1.72	16.8	1.04	1.36	27.1	1.32
56.50	0.0358	1.63	21.0	1.23	1.26	34.1	1.54
48.00	0.0358	1.48	24.3	1.29	1.15	39.7	1.64
40.20	0.0358	1.43	11.0	0.57	1.10	18.5	0.73

注記\* : NS方向, EW方向の包絡値を示す。

### (b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)	風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)
85.00	0.0365	0.90	6.0	0.20	0.90	6.0	0.20
80.00	0.0365	0.89	10.6	0.35	0.89	10.6	0.35
76.25	0.0365	0.88	9.0	0.29	0.88	9.0	0.29
72.50	0.0365	0.86	13.6	0.43	0.86	13.6	0.43
65.00	0.0365	0.83	19.3	0.59	0.83	19.3	0.59
56.50	0.0365	0.79	20.5	0.60	0.79	20.5	0.60
48.00	0.0365	0.74	21.2	0.58	0.74	21.2	0.58
39.00	0.0365	0.68	10.9	0.28	0.68	10.9	0.28

表 2-3 風荷重計算表 (風速 16.0m/s)

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)	風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)
80.00	0.544	1.92	3.4	3.6	1.50	5.4	4.5
76.25	0.544	1.82	7.6	7.6	1.44	11.9	9.4
72.50	0.544	1.86	9.6	9.8	1.45	15.5	12.3
65.00	0.544	1.72	16.8	15.8	1.36	27.1	20.1
56.50	0.544	1.63	21.0	18.7	1.26	34.1	23.4
48.00	0.544	1.48	24.3	19.6	1.15	39.7	24.9
40.20	0.544	1.43	11.0	8.6	1.10	18.5	11.1

注記\* : NS方向, EW方向の包絡値を示す。

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m <sup>2</sup> )	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)	風力係数 C <sub>f</sub>	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風荷重 P (kN)
85.00	0.555	0.90	6.0	3.0	0.90	6.0	3.0
80.00	0.555	0.89	10.6	5.3	0.89	10.6	5.3
76.25	0.555	0.88	9.0	4.4	0.88	9.0	4.4
72.50	0.555	0.86	13.6	6.5	0.86	13.6	6.5
65.00	0.555	0.83	19.3	8.9	0.83	19.3	8.9
56.50	0.555	0.79	20.5	9.0	0.79	20.5	9.0
48.00	0.555	0.74	21.2	8.8	0.74	21.2	8.8
39.00	0.555	0.68	10.9	4.2	0.68	10.9	4.2

3. 断面算定結果（検定値）に基づく影響評価

断面算定結果を表 3-1 に示す。

鉄塔部について、地震荷重と風荷重（風速 4.1m/s 及び 16.0m/s）を重畳させた場合の検定値の変動はごく微小であることを確認した。特に、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」において最も厳しい検定値 (0.99) を示す主柱材 D-E 間についても、重畳させる風荷重を風速 4.1m/s から風速 16.0m/s に変動させた場合においても検定値は 0.01 程度の変動であることを確認した。

主柱材の評価用応力の発生要素の比較 (Ss-2 (ケース 6)) を図 3-1 に示す。

部材断面の切り替え位置を変更することで、主排気筒の剛性が増加するとともに、部材の評価位置が上がるため、風速 16.0m/s を重畳させたとしても主柱材 D-E 間の検定値は 0.95 となる。

また、筒身部についてはその他部材と比較をして受風面積が大きいことから、重畳させる風荷重の増加に伴い、検定値も増加する傾向であることが確認されたが、最大検定値は E-F 間の検定値 0.81 であり、十分な裕度を有することを確認した。

以上のことから、風荷重と地震荷重を重畳させた場合についても主排気筒の耐震性に影響が無いことを確認した。

表 3-1 断面算定結果 (1/2)

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳			風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳		
		評価用応力			評価用応力			評価用応力			評価用応力		
		N (kN)	M (kN・m)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	N (kN)	M (kN・m)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	N (kN)	M (kN・m)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	N (kN)	M (kN・m)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
80.0	B-C	24.2	15.0	0.11	24.1	14.9	0.11	21.5	19.7	0.14	21.5	19.7	0.14
72.5	C-D	688	41.3	0.40	691	41.3	0.40	1060	63.6	0.61	1060	63.7	0.61
65.0	D-E	1810	98.4	0.60	1830	99.4	0.61	2840	152	0.94	2850	153	0.95
56.5	E-F	3370	272	0.50	3410	275	0.51	5330	418	0.79	5360	421	0.79
48.0	F-G	4600	550	0.55	4670	558	0.56	7400	719	0.82	7460	726	0.83
40.2													

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳	
		評価用応力		評価用応力		評価用応力		評価用応力	
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
80.0	B-C	649	0.73	656	0.74	613	0.69	616	0.69
72.5	C-D	758	0.49	769	0.49	721	0.46	729	0.47
65.0	D-E	948	0.34	961	0.34	945	0.34	953	0.34
56.5	E-F	1110	0.22	1130	0.22	1120	0.22	1140	0.22
48.0	F-G	1200	0.14	1220	0.14	1400	0.16	1470	0.17
40.2									

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討				Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討			
		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳		風速4.1m/sとの重畳		風速16.0m/sとの重畳	
		評価用応力		評価用応力		評価用応力		評価用応力	
		N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	N (kN)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
80.0	B	60.1	0.09	62.0	0.09	63.6	0.09	64.9	0.09
72.5	C	76.3	0.12	80.9	0.13	96.7	0.15	101	0.16
65.0	D	138	0.10	145	0.10	182	0.13	189	0.13
56.5	E	228	0.17	232	0.17	335	0.25	346	0.25
48.0	F	201	0.10	204	0.10	294	0.15	306	0.15

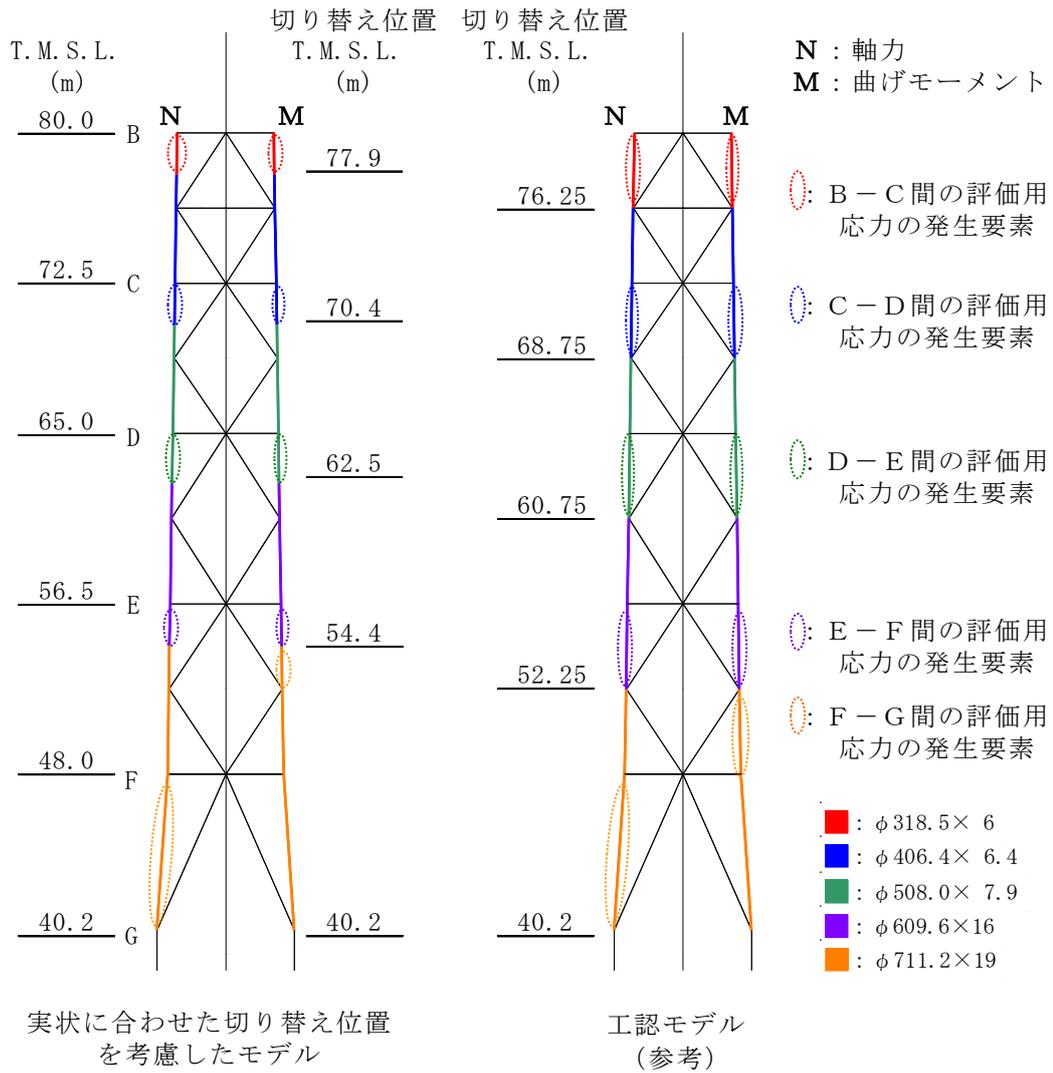
注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-1 断面算定結果 (2/2)

(d) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	Ss-1を用いたケース1 (基本ケース) に対する検討						Ss-2を用いたケース6 (回転ばね低減) に対する検討					
		風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳			風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
85.0	A-B	24.3	959	0.29	23.5	976	0.30	18.5	1070	0.32	21.4	1050	0.32
80.0	B-C	164	2340	0.73	164	2380	0.74	145	2660	0.82	137	2620	0.80
72.5	C-D	224	2250	0.71	224	2100	0.67	197	2390	0.75	240	2390	0.76
65.0	D-E	301	3020	0.57	246	3430	0.63	260	3530	0.65	274	3950	0.72
56.5	E-F	289	3610	0.67	287	4140	0.76	395	4080	0.76	333	4430	0.81
48.0	F-G	379	5100	0.51	382	5840	0.58	539	5620	0.57	469	5640	0.56
39.0													

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。



標高 T. M. S. L. (m)	部材間	支柱材断面算定結果 Ss-2 (ケース6)								
		風速4.1m/sとの重畳			風速16.0m/sとの重畳			工認モデル(参考)		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	21.5	19.7	0.14	21.5	19.7	0.14	21.6	27.3	0.19
72.5	C-D	1060	63.6	0.61	1060	63.7	0.61	1100	110	0.79
65.0	D-E	2840	152	0.94	2850	153	0.95	2930	168	0.99
56.5	E-F	5330	418	0.79	5360	421	0.79	5470	618	0.93
48.0	F-G	7400	719	0.82	7460	726	0.83	7630	729	0.84
40.2										

注 1 : 実状に合わせた切り替え位置を考慮したモデルでは、風を重畳させた結果（風速 4.1m/s との重畳、及び風速 16.0m/s との重畳）を示す。

注 2 : 断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

図 3-1 評価用応力の発生要素の比較 (Ss-2 (ケース 6), 支柱材)

## 別紙5 接合部の耐震性について

## 目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 検討方針	別紙 5-2
2.1 主柱材	別紙 5-6
2.2 斜材及び水平材	別紙 5-7
3. 検討条件	別紙 5-9
4. 検討結果	別紙 5-11
4.1 検討用応力	別紙 5-11
4.2 検討結果	別紙 5-12

## 1. 概要

V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」においては、主排気筒を構成する鉄塔部材、筒身部材、及び基礎について断面算定結果を示している。

本資料では、主排気筒を構成する部材のうち、ボルト接合をしている鉄塔部材について、その接合部の耐震性について確認した結果を示す。

## 2. 検討方針

鉄塔部材の支柱材，斜材，及び水平材について，地震時において接合部が破断しないことを確認する。

検討は，各部材の端部及び接合部の破断耐力が，基準地震動  $S_s$ （建屋応答の不確かさの考慮を含む）による応力を上回っていることを確認する。

鉄塔部材の接合形式は以下のとおりとなっている。

支柱材　：フランジ継手

斜材　　：十字継手又は I 字継手

水平材　：十字継手又は I 字継手

各部材の接合部の位置及び詳細図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

接合部の詳細は，柏崎刈羽原子力発電所の竣工図書のうち，「柏崎刈羽原子力発電所 第 7 号機本館建物新設工事 排気筒継手詳細図（K-7 SST-XX-S-006）」による。



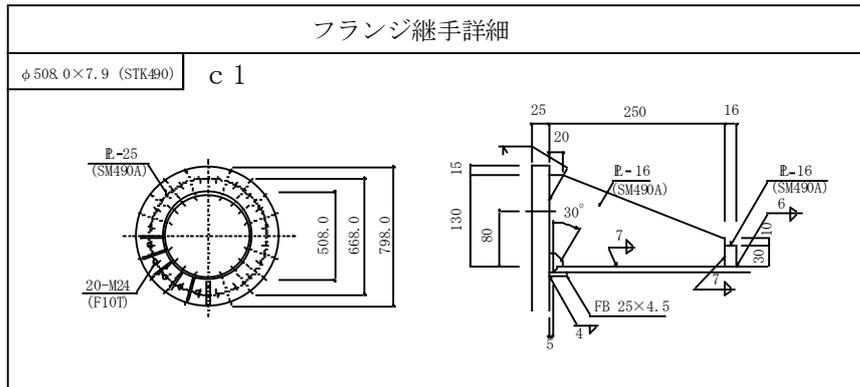


図 2-2 接合部詳細 (1/3)

I 字継手詳細	継手 板厚	使 用 ボルト径	本 数
<p style="text-align: center;">φ 267.4 × 6.0 (STK490)    b 2</p>	16 (SM490A)	M22 (F10T)	12
<p style="text-align: center;">φ 216.3 × 4.5 (STK490)    b 1</p>	12 (SM490A)	M22 (F10T)	8
<p style="text-align: center;">φ 216.3 × 4.5 (STK490)    a 1</p>	12	M22 (F10T)	6

図 2-2 接合部詳細 (2/3)



以下に各部位の検討方針を示す。

なお、検討に当たっては、「鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，2005年）」及び「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」に準拠して算定する。

## 2.1 主柱材

フランジ継手部について、継手位置のボルトに生じる検討用応力が、破断耐力以下であることを確認する。

検討用応力 $N'$ は以下により算定する。

$$N' = \left( \frac{N}{A} + \frac{M}{Z} \right) \times A$$

ここで、

$N$  : 評価用応力（主柱材に発生する軸力の最大値）（kN）

$A$  : 主柱材の断面積（ $\text{mm}^2$ ）

$M$  : 評価用応力（主柱材に発生する曲げモーメントの最大値）（ $\text{kN}\cdot\text{m}$ ）

$Z$  : 主柱材の断面係数（ $\text{mm}^3$ ）

継手位置の破断耐力 $P_u$ は、以下により算定する。

$$P_u = T \times n$$

ここで、

$T$  : 高力ボルト1本あたりの引張破断耐力（kN）

$n$  : 高力ボルト本数

## 2.2 斜材及び水平材

十字継手部及びI字継手部について、接合部の部材端部（十字継手部はスプラインプレートを含む）、接合ファスナー、ファスナーのはしあき部分、ガセットプレート及び溶接部に対して、破断形式に応じた破断耐力を算定し、部材に生じる応力が破断耐力以下であることを確認する。

以下に示す部材端部及び接合部の破断形式(1)～(5)の各々の場合について、破断耐力 $A_j \cdot \sigma_u$ を算定し、その最小の値を接合部の破断耐力とする。

### (1) 部材端部で破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_u = A_1 \cdot b \sigma_u$$

$$A_1 = A_g - A_d$$

ここで、 $b \sigma_u$  : 部材端部の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_g$  : 部材端部の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_d$  : 部材端部の欠損断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_u$  : 部材端部の破断耐力 (N)

### (2) 部材の接合ファスナーで破断する場合

$$A_j \cdot \sigma_u = 0.75 \cdot A_2 \cdot f \sigma_u$$

$$A_2 = n \cdot m \cdot f A$$

ここで、 $f \sigma_u$  : 接合ファスナーの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$n$  : ファスナーの数

$m$  : ファスナーがせん断を受ける面の数

$f A$  : ファスナー1つの断面積 (mm<sup>2</sup>)

ただし、ねじ部がせん断面にかかる時は、

$$f A = 0.75 \cdot \pi (d/2)^2$$

$d$  : ファスナーの呼び径 (mm)

$A_j \cdot \sigma_u$  : 接合ファスナーの破断耐力 (N)

### (3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合

#### a. 部材端部の場合

$$A_j \cdot \sigma_u = {}_1A_3 \cdot b \sigma_u$$

$${}_1A_3 = n \cdot b_e \cdot b_t$$

ここで、 $b \sigma_u$  : 部材端部の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_e$  : 部材端部のはしあき距離 (mm)

$b_t$  : 部材端部のファスナー接合部での板厚 (mm)

$n$  : ファスナーの数

$A_j \cdot \sigma_u$  : ファスナーのはしあき部分の破断耐力 (N)

b. ガセットプレートの場合

$$A_j \cdot \sigma_u = 2A_3 \cdot {}_g\sigma_u$$

$$2A_3 = n \cdot {}_g e \cdot {}_g t$$

ここで、 ${}_g\sigma_u$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

${}_g e$  : ガセットプレートのはしあき距離 (mm)

${}_g t$  : ガセットプレートのファスナー接合部での板厚 (mm)

$n$  : ファスナーの数

$A_j \cdot \sigma_u$  : ガセットプレートのはしあき部分の破断耐力 (N)

(4) ガセットプレートの破断による場合

$$A_j \cdot \sigma_u = A_4 \cdot {}_g\sigma_u$$

$$A_4 = (2 / \sqrt{3} \cdot \ell_1 + b) \cdot {}_g t - A_d$$

ここで、 ${}_g\sigma_u$  : ガセットプレートの破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_1$  : 応力方向の両端ボルト間の距離 (mm)

$b$  : 応力直交方向の両端ボルト間の距離 (mm)

${}_g t$  : ガセットプレートの板厚 (mm)

$A_d$  : ガセットプレートのファスナー端部における欠損断面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_j \cdot \sigma_u$  : ガセットプレートの破断耐力 (N)

(5) 溶接部で破断する場合

接合部はすみ肉溶接であるため、

$$A_j \cdot \sigma_u = 1 / \sqrt{3} \cdot A_5 \cdot {}_a\sigma_u$$

$$A_5 = \Sigma 0.7 \cdot S \cdot \ell_e$$

ここで、 ${}_a\sigma_u$  : 接合される母材の破断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\ell_e$  : すみ肉溶接の有効長さ (mm) ( $\ell_e = \ell - 2S$  とする。)

$\ell$  : 1つの連続したすみ肉溶接の長さ (mm)

$S$  : すみ肉溶接のサイズ (mm)

$A_j \cdot \sigma_u$  : 溶接部の破断耐力 (N)

### 3. 検討条件

各部材の接合部検討用の諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 接合部検討用諸元（フランジ継手部：主柱材）

符号		フランジ継手	
		c 1 主柱材 D-E	
使用部材	径 (mm)	φ 508.0	
	厚さ (mm)	7.9	
	材料	STK490	
使用ボルト		M24	
		HTB	
検討用諸元			
A	mm <sup>2</sup>	12410	
Z	mm <sup>3</sup>	1530000	
n	本	20	
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	

記号の説明

- A : 断面積
- Z : 断面係数
- n : 高力ボルト本数
- $\sigma_u$  : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- $f \sigma_u$  : 高力ボルトの引張強さ（F10T）

表 3-2 接合部検討用諸元（I 字継手部：斜材及び水平材）

符号		I 字継手		
		b 1 斜材 B-C	b 2 斜材 C-D	a 1 水平材 B, C
使用部材	径 (mm)	φ 216.3	φ 267.4	φ 216.3
	厚さ (mm)	4.5	6.0	4.5
	材料	STK490	STK490	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB
検討用諸元				
A <sub>0</sub>	mm <sup>2</sup>	2994	4927	2994
h	mm	250	300	250
t	mm	12	16	12
A <sub>g</sub>	mm <sup>2</sup>	3000	4800	3000
r	列	2	2	2
f	列	4	6	3
m	面	1	1	1
d <sub>0</sub>	mm	24	24	24
$\sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000

記号の説明

- A<sub>0</sub> : 斜材又は水平材の断面積
- h : I 字プレートの幅
- t : I 字プレートの厚さ
- A<sub>g</sub> : I 字プレートの断面積
- r : ファスナー群1箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- f : ファスナー群1箇所あたりの軸方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d<sub>0</sub> : 高力ボルト孔径
- $\sigma_u$  : 接合部の破断応力度（鋼材の引張強さ）
- $f \sigma_u$  : 高力ボルトの引張強さ（F10T）

表 3-3 接合部検討用諸元 (十字継手部：斜材及び水平材)

符号		十字継手				
		b 3 斜材D-E	b 4 斜材E-F	b 5 斜材F-G	a 2 水平材D, E	a 3 水平材F
使用部材	径(mm)	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ(mm)	7.9	12.7	16.0	6.0	6.4
	材料	STK490	STK490	STK490	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M24	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
検討用諸元						
A <sub>0</sub>	mm <sup>2</sup>	8629	15710	27280	5891	8042
h	mm	440	440	590	440	440
t	mm	16	22	22	16	16
A <sub>g</sub>	mm <sup>2</sup>	13824	18876	25476	13824	13824
r	列	2	2	2	2	2
f	列	2	3	4	2	2
m	面	2	2	2	2	2
d <sub>0</sub>	mm	24	24	26	24	24
b <sub>s</sub>	mm	150	150	220	150	150
t <sub>s</sub>	mm	12	19	19	12	12
σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
f σ <sub>u</sub>	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000

記号の説明

- A<sub>0</sub> : 斜材又は水平材の断面積
- h : 十字プレートの幅
- t : 十字プレートの厚さ (ガセットプレートも同様)
- A<sub>g</sub> : 十字プレートの断面積
- r : ファスナー群1箇所あたりの軸直交方向ボルト列数
- f : ファスナー群1箇所あたりの軸方向ボルト列数
- m : ファスナーがせん断を受ける面の数
- d<sub>0</sub> : 高力ボルト孔径
- b<sub>s</sub> : 十字プレートスプライスプレートの幅
- t<sub>s</sub> : 十字プレートスプライスプレートの厚さ
- σ<sub>u</sub> : 接合部の破断応力度 (鋼材の引張強さ)
- f σ<sub>u</sub> : 高力ボルトの引張強さ (F10T)

#### 4. 検討結果

##### 4.1 検討用応力

各部材の接合部検討用の評価応力を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 接合部検討用応力（主柱材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用応力				使用部材	備考	
		N (kN)	M (kN・m)	N' (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
66.5	D-E	2930	168	4290	Ss-2 (ケース6)	φ508.0×7.9	フランジ継手	c1

表 4-2 接合部検討用応力（斜材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用応力		使用部材	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
80.0						
72.5	B-C	699	Ss-1 (ケース6)	φ216.3×4.5	I字継手	b1
65.0	C-D	807	Ss-1 (ケース6)	φ267.4×6	I字継手	b2
56.5	D-E	995	Ss-2 (ケース3)	φ355.6×7.9	十字継手	b3
48.0	E-F	1190	Ss-2 (ケース3)	φ406.4×12.7	十字継手	b4
40.2	F-G	1360	Ss-2 (ケース6)	φ558.8×16	十字継手	b5

表 4-3 接合部検討用応力（水平材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	検討用応力		使用部材	備考	
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	継手形式	符号
80.0	B	65.3	Ss-1 (ケース6)	φ216.3×4.5	I字継手	a1
72.5	C	92.9	Ss-2 (ケース6)	φ216.3×4.5	I字継手	a1
65.0	D	178	Ss-2 (ケース6)	φ318.5×6	十字継手	a2
56.5	E	326	Ss-2 (ケース6)	φ318.5×6	十字継手	a2
48.0	F	325	Ss-2 (ケース6)	φ406.4×6.4	十字継手	a3

#### 4.2 検討結果

各部材の接合部検討用の破断耐力の算定結果を表 4-4～表 4-6 に示す。

表 4-4 接合部検討用の破断耐力（フランジ継手部：主柱材）

符号		フランジ継手
		c 1 主柱材D-E
主柱材継手部の検討		
有効断面積(M24)	mm <sup>2</sup>	353
T	kN	353
n	本	20
破断耐力 P <sub>u</sub>	kN	7060

表 4-5 接合部検討用の破断耐力 (I 字継手部 : 斜材及び水平材)

符号		I 字継手		
		b 1 斜材 B-C	b 2 斜材 C-D	a 1 水平材 B, C
使用部材	径 (mm)	φ 216.3	φ 267.4	φ 216.3
	厚さ (mm)	4.5	6.0	4.5
	材料	STK490	STK490	STK400
使用ボルト		M22	M22	M22
		HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合 (I 字プレート端部)				
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	3000	4800	3000
$A_d$	mm <sup>2</sup>	576	768	576
$A_1$	mm <sup>2</sup>	2424	4032	2424
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	<u>1180</u>	1970	<u>969</u>
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合				
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000
n	箇所	8	12	6
m	面	1	1	1
$f A$	mm <sup>2</sup>	285	285	285
$A_2$	mm <sup>2</sup>	2280	3420	1710
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1710	2560	1280
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合				
a. 部材端部の場合 (I 字プレート端部のはしあき)				
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$b e$	mm	45	55	45
$b t$	mm	12	16	12
n	箇所	8	12	6
${}_1 A_3$	mm <sup>2</sup>	4320	10560	3240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2110	5170	1290
b. ガセットプレートの場合 (ガセットプレートのはしあき)				
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$g e$	mm	45	55	45
$g t$	mm	12	16	12
n	箇所	8	12	6
${}_2 A_3$	mm <sup>2</sup>	4320	10560	3240
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2110	5170	1290
(4) ガセットプレートの破断による場合				
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$\ell_1$	mm	225	275	150
b	mm	160	120	160
$g t$	mm	12	16	12
$A_d$	mm <sup>2</sup>	576	768	576
$A_4$	mm <sup>2</sup>	4462	6233	3422
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	2180	3050	1360
(5) 溶接部で破断する場合				
$a \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	400
$\ell$	mm	930	1030	725
$\ell e$	mm	906	1006	689
S	mm	4	4	6
$A_5$	mm <sup>2</sup>	5074	5634	5788
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	1430	<u>1590</u>	1330
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	1180	1590	969

注 : 下線部は破断耐力を決定する形式を示す。

表 4-6 接合部検討用の破断耐力（十字継手部：斜材及び水平材）（1/2）

符号		十字継手				
		b 3 斜材D-E	b 4 斜材E-F	b 5 斜材F-G	a 2 水平材D, E	a 3 水平材F
使用部材	径(mm)	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ(mm)	7.9	12.7	16.0	6.0	6.4
	材料	STK490	STK490	STK490	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M24	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(1) 部材端部で破断する場合						
a. 十字プレート端部						
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	13824	18876	25476	13824	13824
$A_d$	mm <sup>2</sup>	3072	4224	4576	3072	3072
$A_1$	mm <sup>2</sup>	10752	14652	20900	10752	10752
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5260	7170	10200	4300	4300
b. スプライスプレート端部						
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
$A_g$	mm <sup>2</sup>	14400	22800	33440	14400	14400
$A_d$	mm <sup>2</sup>	4608	7296	7904	4608	4608
$A_1$	mm <sup>2</sup>	9792	15504	25536	9792	9792
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4790	7590	12500	3910	3910
(2) 部材の接合ファスナーで破断する場合						
$f \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	1000	1000	1000	1000	1000
n	箇所	16	24	32	16	16
m	面	2	2	2	2	2
$f A$	mm <sup>2</sup>	285	285	339	285	285
$A_2$	mm <sup>2</sup>	9120	13680	21696	9120	9120
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6840	10200	16200	6840	6840
(3) ファスナーのはしあき部分で破断する場合						
a. 部材端部の場合（十字プレート端部のはしあき）						
$b \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
b e	mm	55	55	45	55	55
b t	mm	16	22	22	16	16
n	箇所	16	24	32	16	16
$1 A_3$	mm <sup>2</sup>	14080	29040	31680	14080	14080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6890	14200	15500	5630	5630
b. 部材端部の場合（スプライスプレートのはしあき）						
$s \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
s e	mm	55	55	45	55	55
s t	mm	12	19	19	12	12
n	箇所	16	24	32	16	16
$2 A_3$	mm <sup>2</sup>	21120	50160	54720	21120	21120
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	10300	24500	26800	8440	8440
c. 部材端部の場合（ガセットプレートのはしあき）						
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
g e	mm	55	55	45	55	55
g t	mm	16	22	22	16	16
n	箇所	16	24	32	16	16
$2 A_3$	mm <sup>2</sup>	14080	29040	31680	14080	14080
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	6890	14200	15500	5630	5630

表 4-6 接合部検討用の破断耐力（十字継手部：斜材及び水平材）（2/2）

符号		十字継手				
		b 3 斜材 D-E	b 4 斜材 E-F	b 5 斜材 F-G	a 2 水平材 D, E	a 3 水平材 F
使用部材	径(mm)	φ 355.6	φ 406.4	φ 558.8	φ 318.5	φ 406.4
	厚さ(mm)	7.9	12.7	16.0	6.0	6.4
	材料	STK490	STK490	STK490	STK400	STK400
使用ボルト		M22	M22	M24	M22	M22
		HTB	HTB	HTB	HTB	HTB
(4) ガセットプレートの破断による場合						
$g \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
$l_1$	mm	75	150	225	75	75
b	mm	340	340	480	340	340
$g t$	mm	16	22	22	16	16
$A_d$	mm <sup>2</sup>	1536	2112	2288	1536	1536
$A_4$	mm <sup>2</sup>	10579	18357	27976	10579	10579
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	5180	8990	13700	4230	4230
(5) 溶接部で破断する場合						
$a \sigma_u$	N/mm <sup>2</sup>	490	490	490	400	400
$l$	mm	2085	2209	3041	1436	1486
$l_e$	mm	2025	2149	2971	1366	1366
S	mm	6	6	7	7	12
$A_5$	mm <sup>2</sup>	17010	18052	29116	13387	22949
$A_j \cdot \sigma_u$	kN	4810	<u>5100</u>	<u>8230</u>	<u>3090</u>	5290
破断耐力 $P_u = \min\{A_j \cdot \sigma_u\}$	kN	4790	5100	8230	3090	3910

注：下線部は破断耐力を決定する形式を示す。

各部材について、検討用応力と接合部の破断耐力の比較を表4-7～表4-9に示す。  
 検討用応力は、接合部の破断耐力以下となる。

表4-7 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（主柱材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用 応力	破断 耐力	検定値	備考	
		N' (kN)	P <sub>u</sub> (kN)	N' / P <sub>u</sub>	継手形式	符号
66.5	D-E	4290	7060	0.61	フランジ継手	c 1

表4-8 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（斜材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	検討用 応力	破断 耐力	検定値	備考	
		N (kN)	P <sub>u</sub> (kN)	N / P <sub>u</sub>	継手形式	符号
80.0						
72.5	B-C	699	1180	0.60	I字継手	b 1
65.0	C-D	807	1590	0.51	I字継手	b 2
56.5	D-E	995	4790	0.21	十字継手	b 3
48.0	E-F	1190	5100	0.24	十字継手	b 4
40.2	F-G	1360	8230	0.17	十字継手	b 5

表4-9 検討用応力と接合部の破断耐力の比較（水平材）

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	検討用 応力	破断 耐力	検定値	備考	
		N (kN)	P <sub>u</sub> (kN)	N / P <sub>u</sub>	継手形式	符号
80.0	B	65.3	969	0.07	I字継手	a 1
72.5	C	92.9	969	0.10	I字継手	a 1
65.0	D	178	3090	0.06	十字継手	a 2
56.5	E	326	3090	0.11	十字継手	a 2
48.0	F	325	3910	0.09	十字継手	a 3

## 別紙6 原子炉建屋と主排気筒の連成解析による影響評価

## 目 次

1. 概要 .....	別紙 6-1
2. 解析方針 .....	別紙 6-3
3. 地震応答解析結果 .....	別紙 6-8

## 1. 概要

本資料では、主排気筒の地震応答解析モデルについて、既工認と同様に原子炉建屋と分離した解析モデルを採用することの妥当性を、主排気筒と原子炉建屋を連成した地震応答解析（以下「連成解析」という。）を実施することにより確認する。

主排気筒の配置図を図 1-1 に示す。

主排気筒は、原子炉建屋の屋上（T.M.S.L. \*<sup>1</sup> 38.2m）に位置しており、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「STK 今回工認」という。）における地震応答解析モデルには、原子炉建屋屋上（T.M.S.L. 38.2m）より上部を対象とした立体フレームモデル（以下「STK 単独モデル」という。）を採用している。

本資料では、以下の解析を行うことにより、原子炉建屋との連成の影響が小さいことを断面算定結果（検定値）で確認する。

### ①減衰及び誘発上下動の影響

連成解析を行うにあたり、「減衰を原子炉建屋で採用しているひずみエネルギー比例型減衰に合わせる事」及び「連成解析で考慮することができない誘発上下動を考慮しない事」による影響をSTK単独モデルで確認する。

### ②連成の影響

①による影響を確認した上で、連成の影響確認では、STK単独モデルによる地震応答解析（以下「STK単独解析」という。）と連成解析の断面算定結果を比較することで、連成解析が主排気筒の耐震性に与える影響を確認する。

注記\*1：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

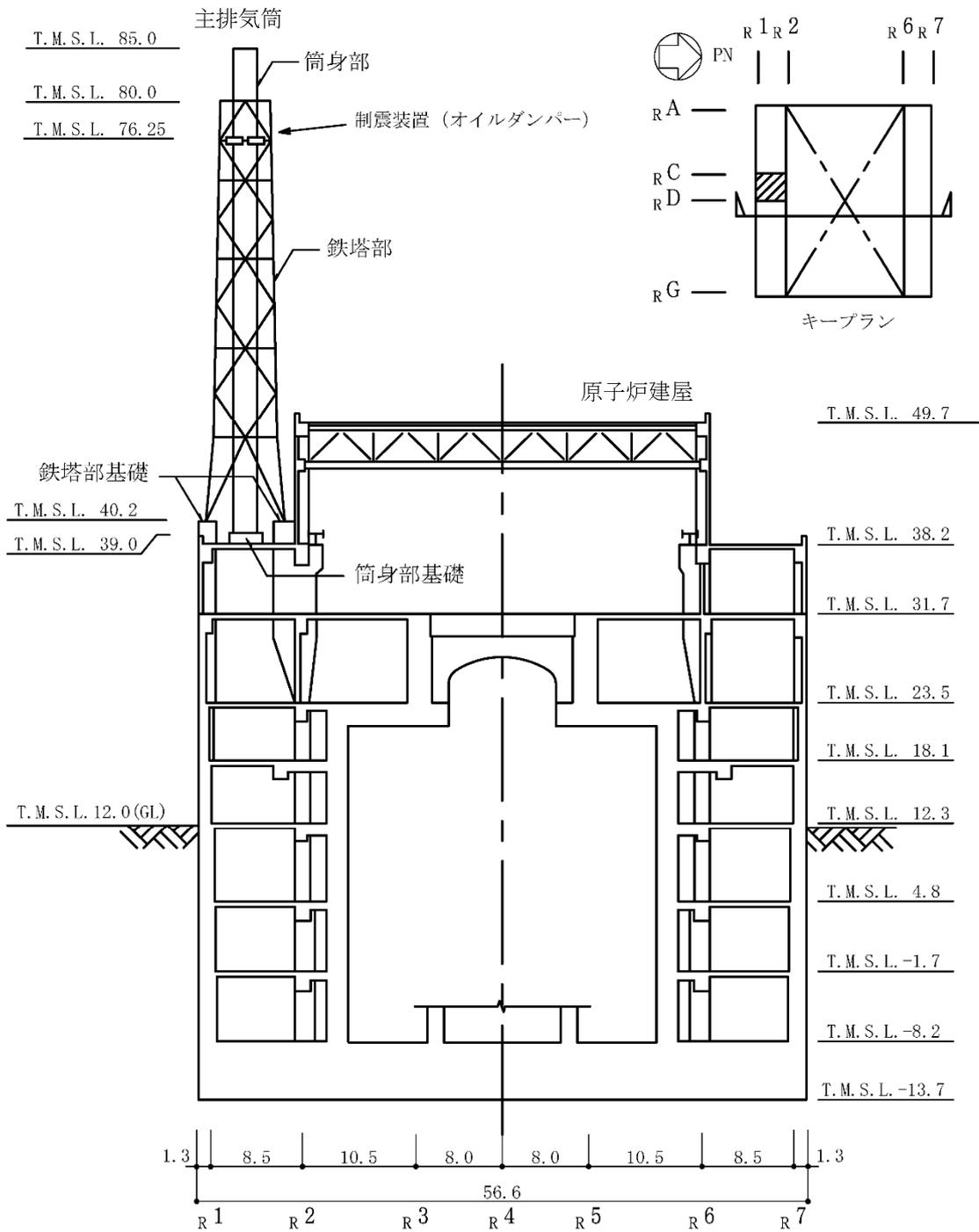


図 1-1 主排気筒配置図 (単位 : m)

## 2. 解析方針

検討ケースを表 2-1 に示す。

入力地震動について、STK 単独解析では、STK 今回工認における断面算定結果として、主柱材 D-E 間の検定値が 0.99 で最も厳しくなる S<sub>s</sub>-2 (ケース 6) を用いるものとし、原子炉建屋屋上 (T.M.S.L. 38.2m) で 3 方向 (5 成分) (水平 2 方向 (並進・回転) 及び鉛直方向) の同時入力とする。連成解析では、V-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」 (以下「R/B 今回工認」という。) の方法を準用し、S<sub>s</sub>-2 を入力 (3 方向 (3 成分) (水平 2 方向 (並進) 及び鉛直方向)) する。

検討ケースについて、①STK 今回工認は、「別紙 3-2 原子炉建屋の材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」で検討したケースであり、STK 単独解析で誘発上下動を考慮し、減衰は剛性比例型減衰を設定している。②減衰変更は、①STK 今回工認の減衰をひずみエネルギー比例型減衰に変更している。③誘発上下動変更は、①STK 今回工認の減衰をひずみエネルギー比例型減衰、誘発上下動を非考慮に変更している。④連成解析は、連成解析で誘発上下動を非考慮とし、減衰はひずみエネルギー比例型減衰を設定している。

解析モデルとして、STK 単独モデルを図 2-1、原子炉建屋の地震応答解析モデル (以下「R/B 単独モデル」という。) を図 2-2、連成解析の解析モデル (以下「R/B 連成モデル」という。) の概念図を図 2-3 に示す。

図 2-1 及び図 2-2 に示す STK 単独モデル及び R/B 単独モデルは、それぞれ STK 今回工認及び R/B 今回工認に示す地震応答解析モデルと同一である。

R/B 連成モデルは、上記で示す STK 単独モデルを R/B 単独モデルと原子炉建屋屋上 (T.M.S.L. 38.2m) で多点拘束により結合している。なお、R/B 単独モデルでは主排気筒の重量を考慮しているが、R/B 連成モデルでは主排気筒をモデル化するため、当該重量を差し引くものとする。

表 2-1 検討ケース

検討 ケース名	解析 モデル	主排気筒への入力 (Ss-2 (ケース 6))						減衰
		水平方向* <sup>1</sup>				鉛直 方向* <sup>1</sup>		
		NS 方向		EW 方向				
		並進	回転	並進	回転	並進		
①STK 今回工認	STK 単独	○	○	○	○	○* <sup>2</sup>	剛性比例型	
②減衰変更	STK 単独	○	○	○	○	○* <sup>2</sup>	ひずみエネルギー 比例型	
③誘発上下動 変更	STK 単独	○	○	○	○	○	ひずみエネルギー 比例型	
④連成解析	R/B 連成	○	○	○	○	○	ひずみエネルギー 比例型	

注記\*1：組み合わせる成分を「○」で示す。

\*2：誘発上下動を考慮する。

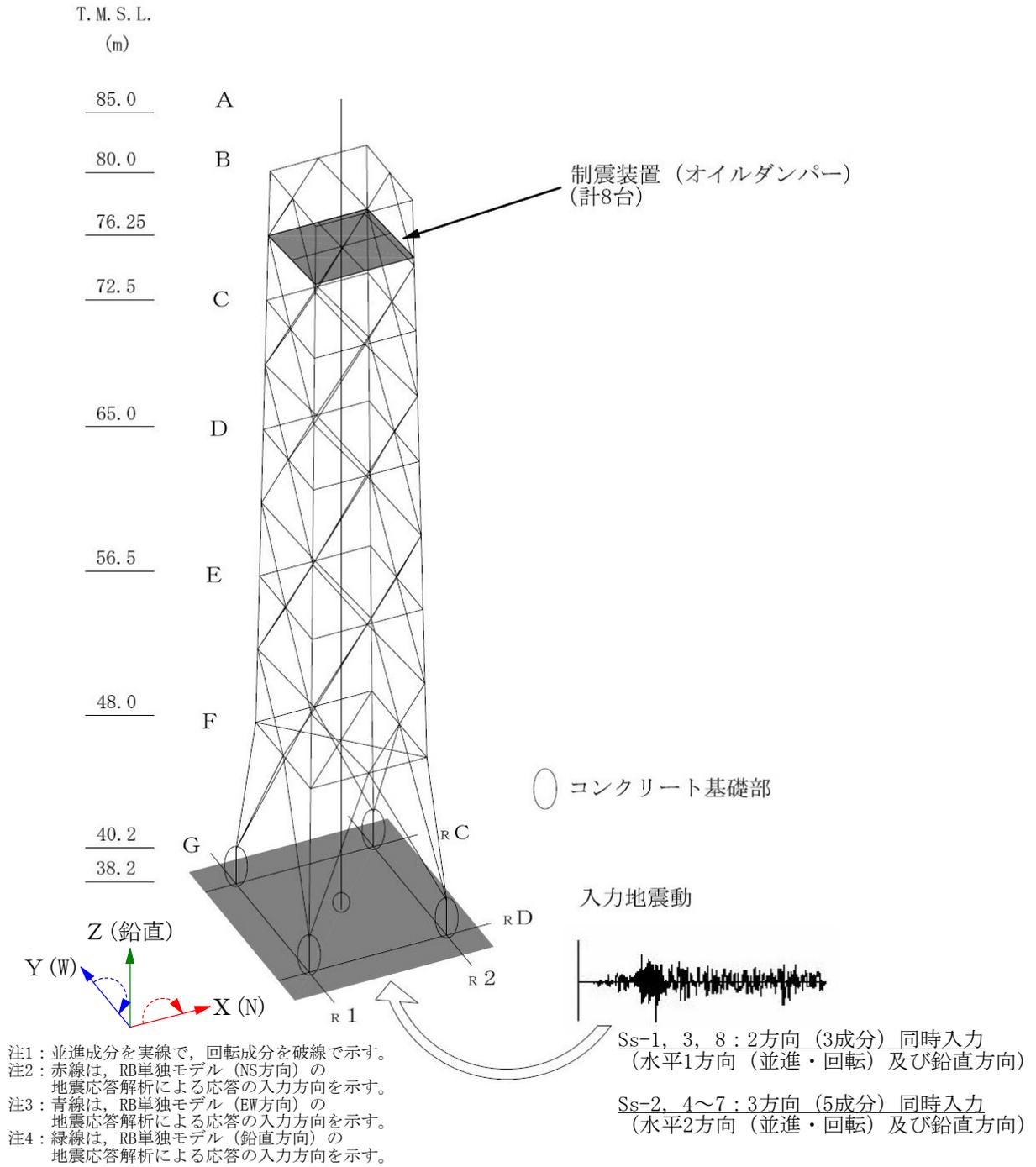
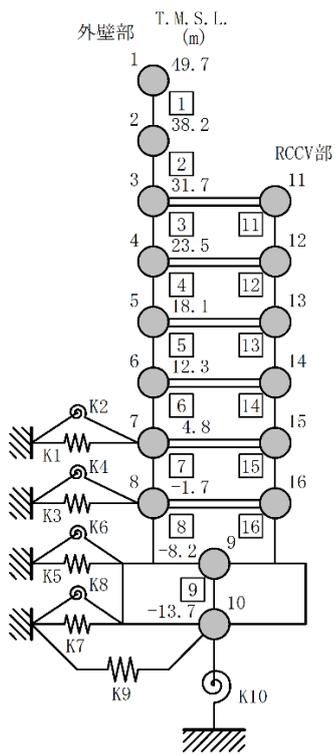
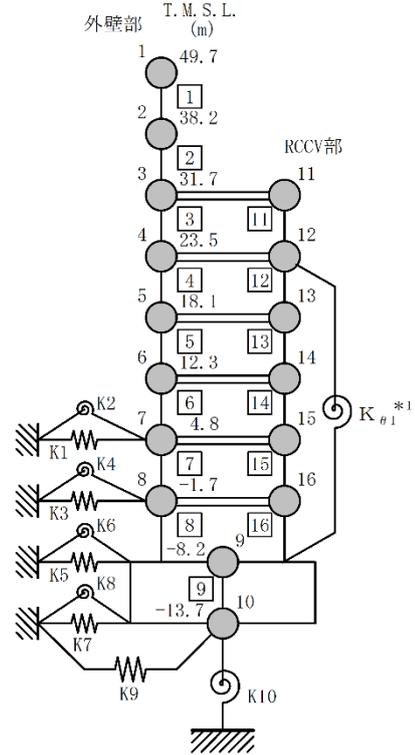


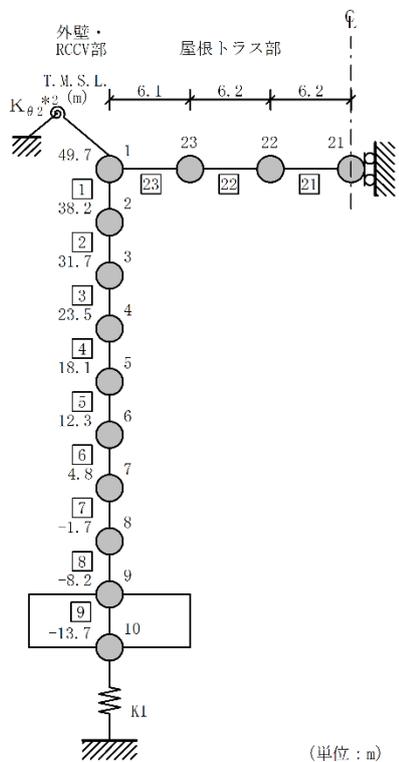
図 2-1 STK 単独モデル



(a) NS 方向



(b) EW 方向

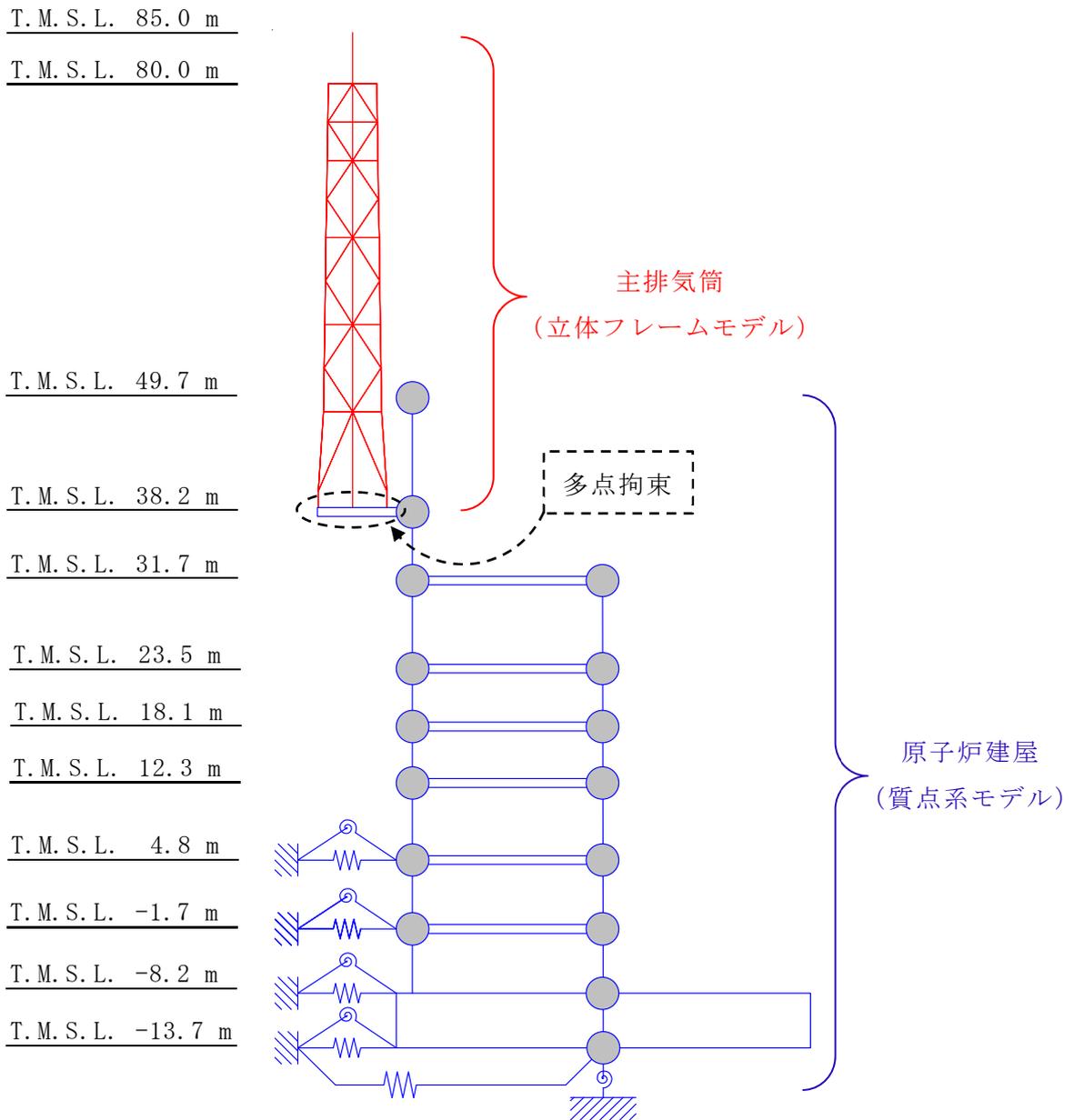


(c) 鉛直方向

(単位: m)

注記 \* 1 : RCCV 回転ばね  
 \* 2 : 屋根トラス端部回転拘束ばね

図 2-2 R/B 単独モデル



- 注 1：赤線部は主排気筒（立体フレームモデル）であり，図 2-1 をモデル化する。
- 注 2：青線部は原子炉建屋（質点系モデル）であり，原子炉建屋の各方向の応答を主排気筒で考慮するために，図 2-2 に示す 3 方向のモデルを主排気筒と T.M.S.L. 38.2m において同時に多点拘束で結合する。本図では，例として NS 方向のみを記載する。
- 注 3：主排気筒と原子炉建屋の詳細は，それぞれ STK 今回工認と R/B 今回工認に示す通りである。

図 2-3 R/B 連成モデルの概念図

### 3. 地震応答解析結果

表 3-1 に地震応答解析結果に基づく断面算定結果を示す。

主柱材の検定値について、STK 単独解析である②減衰変更及び③誘発上下動変更は、①STK 今回工認に対して減少する傾向にある。これは、②減衰変更及び③誘発上下動変更が同じ検定値であるため、ひずみエネルギー比例型減衰の影響であることを確認した。④連成解析の検定値は、②減衰変更及び③誘発上下動変更よりもやや小さいものの、検定値が①STK 今回工認に対して減少する傾向は、②減衰変更及び③誘発上下動変更と同じである。なお、全部材中で最も検定値が大きくなる主柱材 D-E 間について、①STK 今回工認では検定値が 0.99 であったが、②減衰変更及び③誘発上下動変更で 0.98、④連成解析では 0.96 まで低減している。

斜材及び水平材の検定値は、各ケースでおおむね整合している。

筒身部の検定値について、②減衰変更、③誘発上下動変更及び④連成解析は、①STK 今回工認に対して、T.M.S.L. 65.0m 以上で増大する傾向にあるものの、最大でも 0.89 となっている。T.M.S.L. 65.0m 以上の検定値については、②減衰変更、③誘発上下動変更及び④連成解析がほぼ同じであり、ひずみエネルギー比例型減衰の影響で①STK 今回工認より検定値が増加したものの、連成による影響は軽微である。

以上より、原子炉建屋と主排気筒を連成した場合についても耐震性に影響が無いことを確認するとともに、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」で原子炉建屋と分離した解析モデルを採用することの妥当性を確認した。

表 3-1 断面算定結果 (1/2)

(a) 主柱材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	STK単独解析									連成解析		
		①STK今回工認			②減衰変更			③誘発上下動変更			④連成解析		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
80.0	B-C	21.6	27.3	0.19	26.6	27.3	0.19	22.9	27.3	0.19	22.7	26.9	0.18
72.5	C-D	1100	110	0.79	1070	111	0.78	1070	111	0.78	1060	110	0.78
65.0	D-E	2930	168	0.99	2870	167	0.98	2870	167	0.98	2830	166	0.96
56.5	E-F	5470	618	0.93	5390	616	0.92	5390	615	0.92	5300	612	0.91
48.0	F-G	7630	729	0.84	7580	724	0.83	7580	724	0.83	7440	703	0.82
40.2													

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(b) 斜材

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	STK単独解析						連成解析	
		①STK今回工認		②減衰変更		③誘発上下動変更		④連成解析	
		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)		N (kN)		N (kN)		N (kN)	
80.0	B-C	633	0.71	631	0.71	631	0.71	627	0.70
72.5	C-D	738	0.47	736	0.47	736	0.47	731	0.47
65.0	D-E	968	0.34	960	0.34	960	0.34	955	0.34
56.5	E-F	1130	0.22	1150	0.22	1150	0.22	1130	0.22
48.0	F-G	1360	0.16	1430	0.17	1430	0.17	1420	0.16
40.2									

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

(c) 水平材

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	STK単独解析						連成解析	
		①STK今回工認		②減衰変更		③誘発上下動変更		④連成解析	
		評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	評価用応力	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)		N (kN)		N (kN)		N (kN)	
80.0	B	63.6	0.09	63.4	0.09	63.4	0.09	65.2	0.09
72.5	C	92.9	0.15	93.0	0.15	93.0	0.15	91.0	0.14
65.0	D	178	0.12	185	0.13	185	0.13	176	0.12
56.5	E	326	0.24	330	0.24	331	0.24	324	0.24
48.0	F	325	0.16	314	0.16	314	0.16	311	0.16

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づく。

表 3-1 断面算定結果 (2/2)

(d) 筒身部

標高 T.M.S.L. (m)	部材間	STK単独解析									連成解析		
		①STK今回工認			②減衰変更			③誘発上下動変更			④連成解析		
		評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$	評価用応力		$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}}$
		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)		N (kN)	M (kN・m)	
85.0	A-B	21.7	1090	0.33	21.3	1180	0.36	24.8	1180	0.36	27.4	1180	0.36
80.0	B-C	152	2720	0.83	149	2890	0.88	168	2890	0.89	186	2890	0.89
72.5	C-D	203	2450	0.77	193	2680	0.83	224	2670	0.83	229	2720	0.85
65.0	D-E	256	3630	0.67	259	3640	0.67	279	3640	0.67	278	3600	0.66
56.5	E-F	396	4570	0.85	424	4560	0.85	319	4560	0.84	310	4470	0.82
48.0	F-G	539	5660	0.57	578	5700	0.58	426	5710	0.57	419	5700	0.57
39.0													

注：断面算定方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づき、時刻歴断面算定結果を示す。