

参考資料1 コンクリートの実強度に基づくヤング係数の評価方法

(1) 実強度に基づくヤング係数について

ヤング係数は、設計基準強度の同じ号機をまとめた実強度の採用値を設計基準強度 F_c と読み替えて、日本建築学会編『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1999年版)』(以下、RC規準という)に示される下式により算定している。

$$E = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}, \text{ (普通コンクリートの場合: } 18 < F_c < 60 \text{)} \text{ (式 - 1)}$$

E : ヤング係数 (N/mm^2) F_c : 設計基準強度 (N/mm^2) γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m^3)

シミュレーション解析に用いたヤング係数(静弾性係数)を参表-1.1に示す。

参表-1.1 シミュレーション解析に用いたヤング係数の計算

号機	部位	コンクリート強度			ヤング係数の計算				
		設計基準強度	実強度 (kg/cm^2)	採用値 (kg/cm^2) [N/mm^2]	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ヤング係数 E (N/mm^2)			
1号機	外壁	240	457	450 [44.1]	23.5 ($36 < F_c < 48$)	29.0×10^3			
	内壁		423						
2号機	外壁		511						
	内壁		447						
5号機	外壁		470						
	内壁		488						
3号機	外壁		330	560			500 [49.0]	24.0 ($48 < F_c < 60$)	31.3×10^3
	内壁			473					
4号機	外壁	513							
	内壁	501							
6号機	外壁	677							
	内壁	516							
7号機	外壁	613							
	内壁	572							
備考					γ は鉄筋コンクリートの単位体積重量から1を差し引いた値とする(RC規準5条、7条)				

(2) コンクリートの静弾性係数の試験結果について

実強度を求める際、日本工業規格コンクリートの静弾性係数試験方法 JIS A1149 (2001)に記載された手順で弾性係数を求める試験を行っている。各供試体ごとに応力 - ひずみ曲線 (参図-1.1) を作成し、それに基づき、以下に示す式を用いて各供試体の静弾性係数を算出している。

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^{-3} \quad (\text{式 - 2})$$

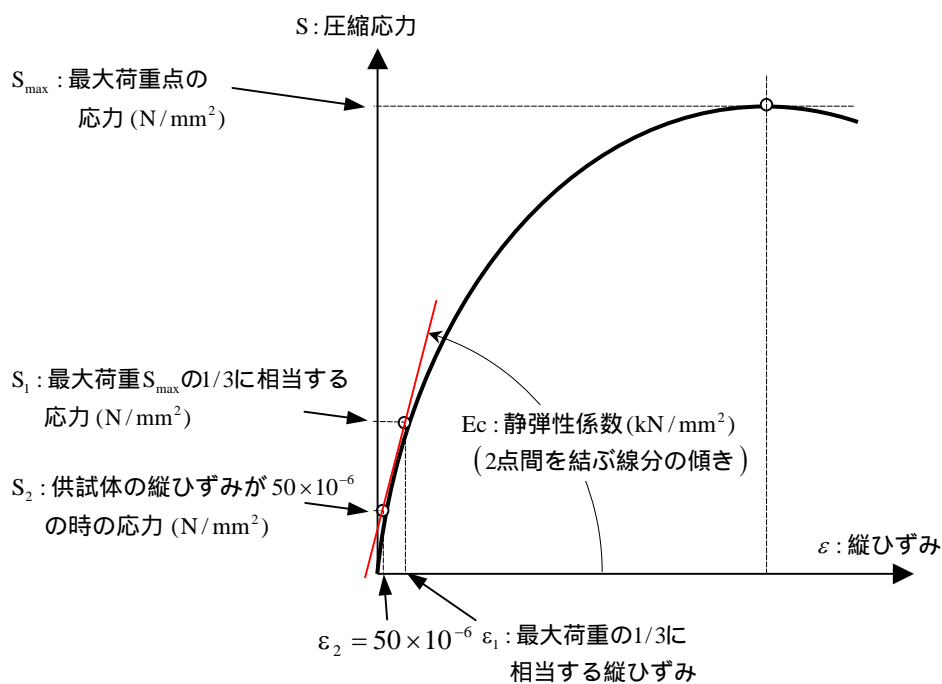
E_c : 各供試体の静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の 1/3 に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみが 50×10^{-6} のときの応力 (N/mm²)

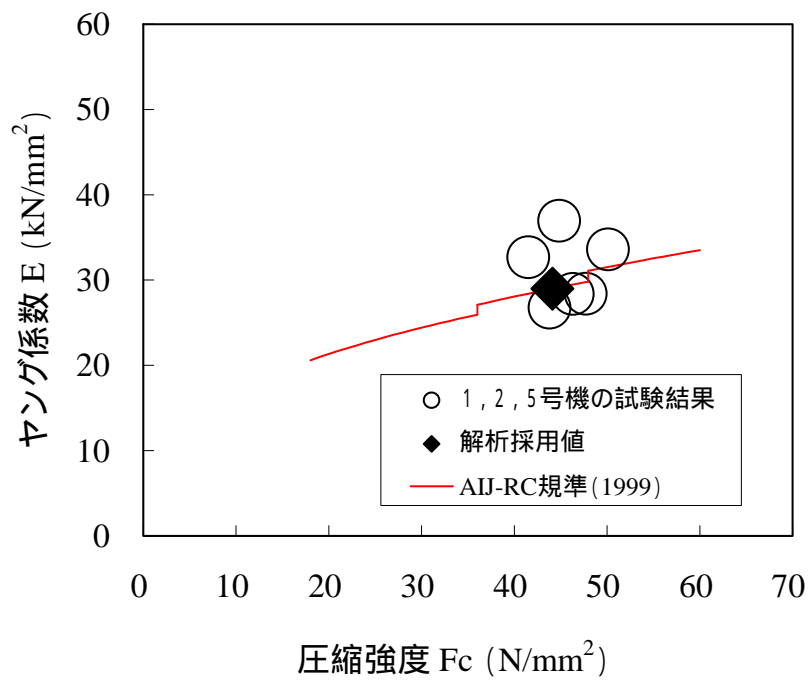
ε_1 : 応力 S_1 により生じる供試体の縦ひずみ

ε_2 : 50×10^{-6}

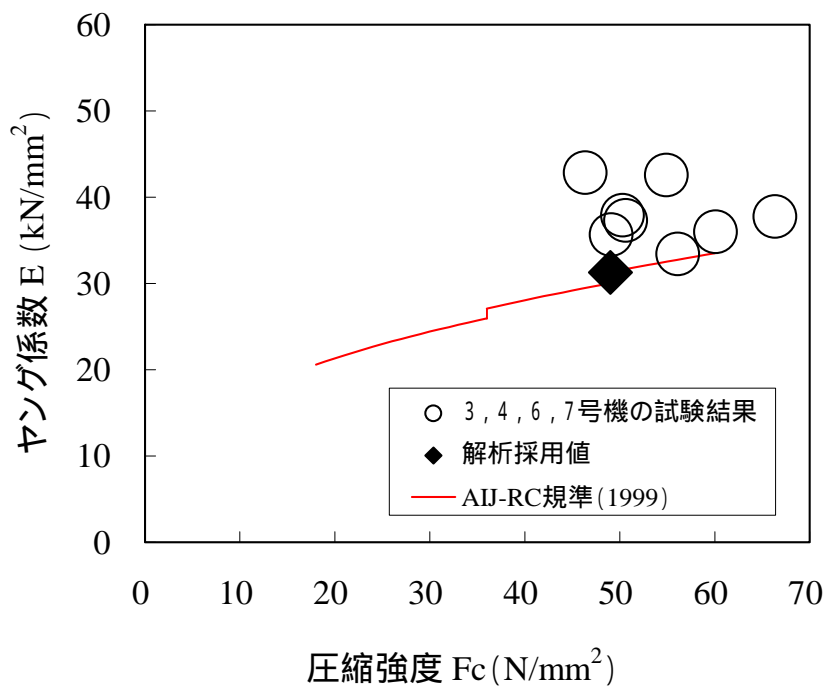


参図-1.1 コンクリートの応力-ひずみ曲線の概念図

以上のようにして求めた各号機ごとのコンクリート圧縮強度と静弾性係数の関係を次頁に示す。なお、参考として、シミュレーション解析で採用した値、及び前述した式 - 1 による曲線を併記した。(参図-1.2、3)



参図-1.2 ヤング係数の分布図 (K1、K2、K5)



参図-1.3 ヤング係数の分布図 (K3、K4、K6、K7)

参考資料 2 補助壁の評価について (7号機原子炉建屋)

(1) 耐震壁の規定と補助壁として考慮した壁の選定条件

原子力施設における耐震壁の一般的な規定としては、以下に示すとおりである。

日本建築学会 RC-N 規準* における耐震壁の規定 (算定外の規定)

- ・ 壁厚 200mm 以上、かつ、壁板の内法寸法の 1/30 以上
- ・ せん断補強筋は、0.25%以上 (直交する 2 方向それぞれ)
 (付帯ラーメンのない場合のせん断補強筋比は、壁筋の許容引張応力度に対するコンクリートの許容せん断応力度との比以上を確保)
- ・ 壁筋は複筋配置とする
- ・ 壁筋は D13 以上の異形鉄筋を用いる
 (壁の見付け面に対する間隔は 300mm 以下)
- ・ 開口補強筋は D13 以上、かつ、壁筋と同径以上の異形鉄筋を用いる
- ・ 付帯ラーメンがある場合には、その柱・梁に適切な靱性を確保させる

* 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (2005)

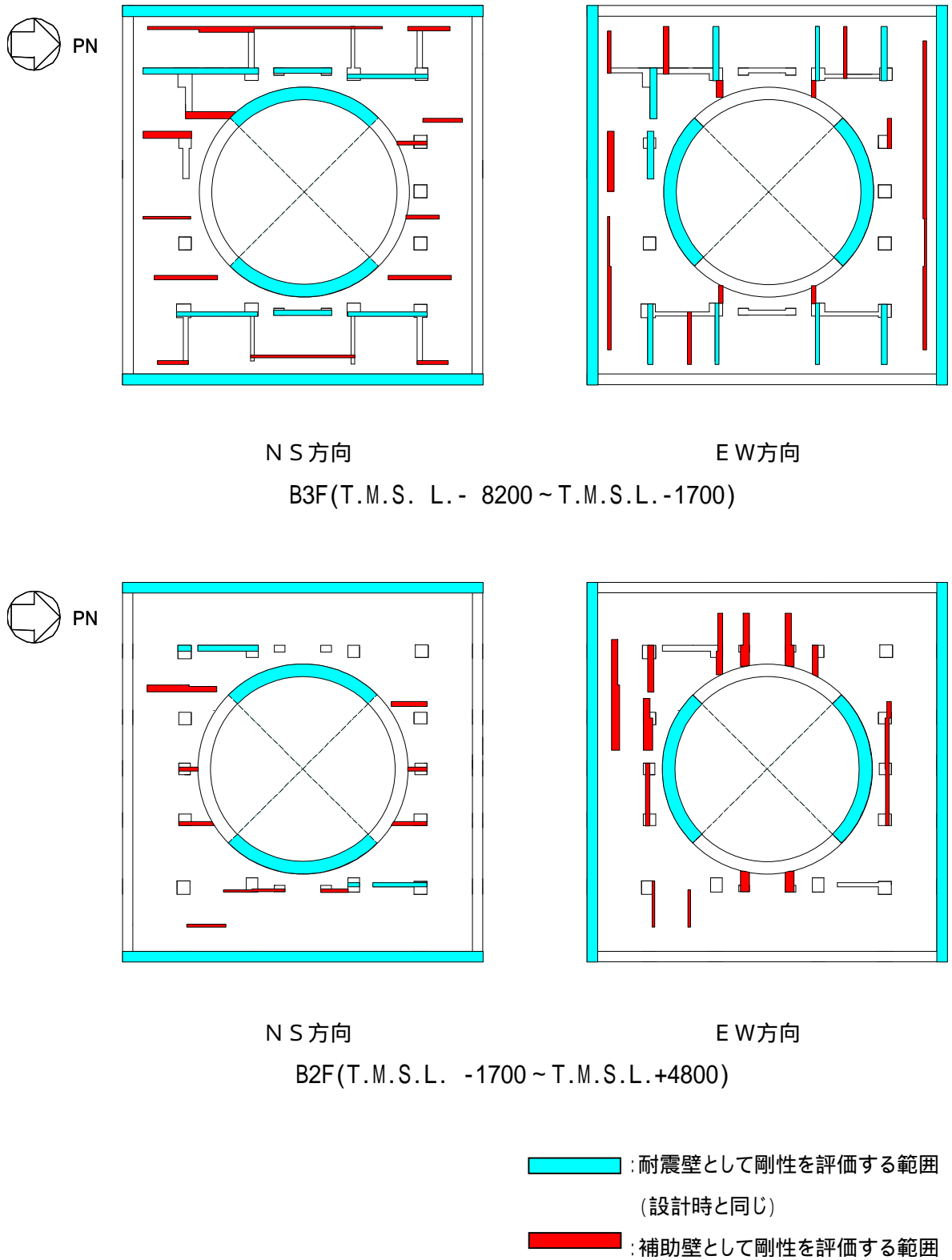
一方、柏崎刈羽原子力発電所において設計モデルに採用している耐震壁は、参図-2.1~4 に示すとおりである。また、今回のシミュレーション解析に採用した補助壁の判断基準についても参表-2.1 に合わせて示す。

参表-2.1 シミュレーション解析に採用した耐震壁と補助壁の選定条件

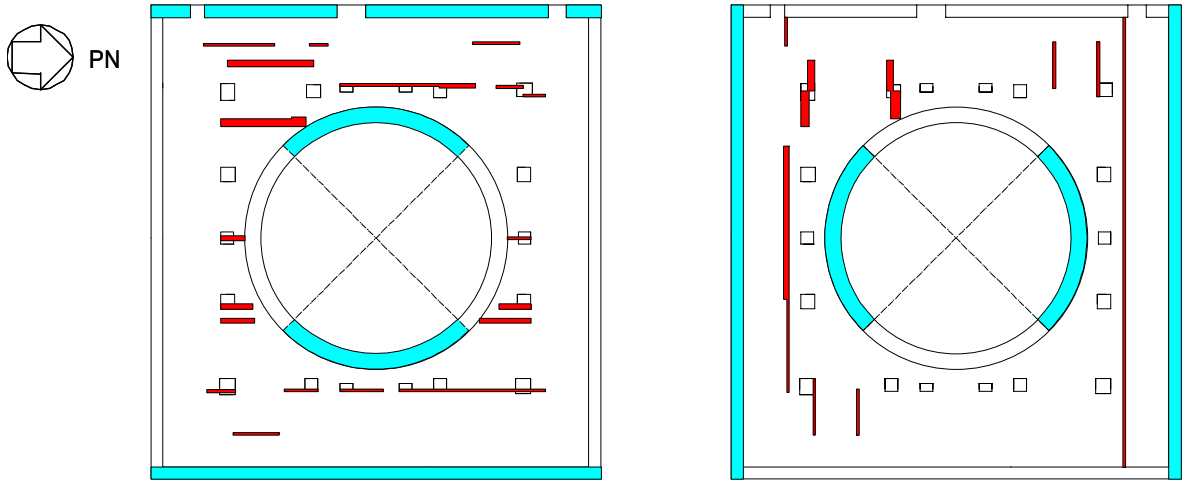
耐震壁	補助壁
・ 壁の厚さは 300mm 以上、かつ壁の内法高さの 1/30 以上	同左
・ 壁のせん断補強筋比は、直交する各方向に関し、それぞれ 0.6%以上	・ 壁のせん断補強筋比は、直交する各方向に関し、それぞれ 0.25%以上
・ 基礎スラブから連続して立ち上がっている壁	・ 下階まで壁が連続している、もしくは床スラブを介して壁に生じるせん断力を下階の耐震壁に伝達できる壁
・ フレーム構面内 (柱、梁間) の壁	・ フレーム構面外でも上記を満たす壁

(2) 補助壁として考慮した壁の範囲

原子炉建屋の地震応答解析時に剛性を評価する範囲を以下に示す。



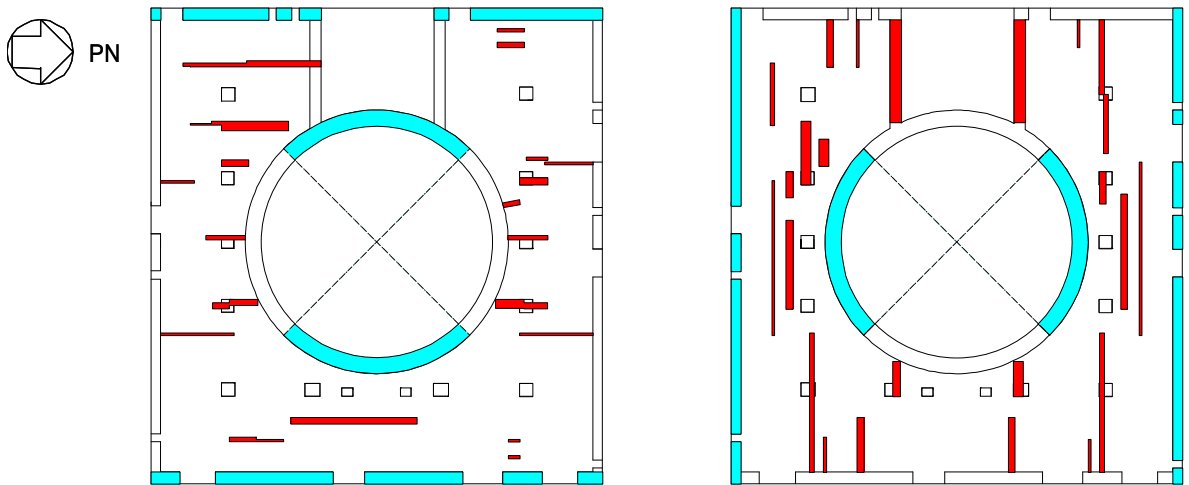
参図-2.1 剛性を評価する壁の範囲



NS方向

EW方向

B1F(T.M.S.L.+4800 ~ T.M.S.L.+12300)



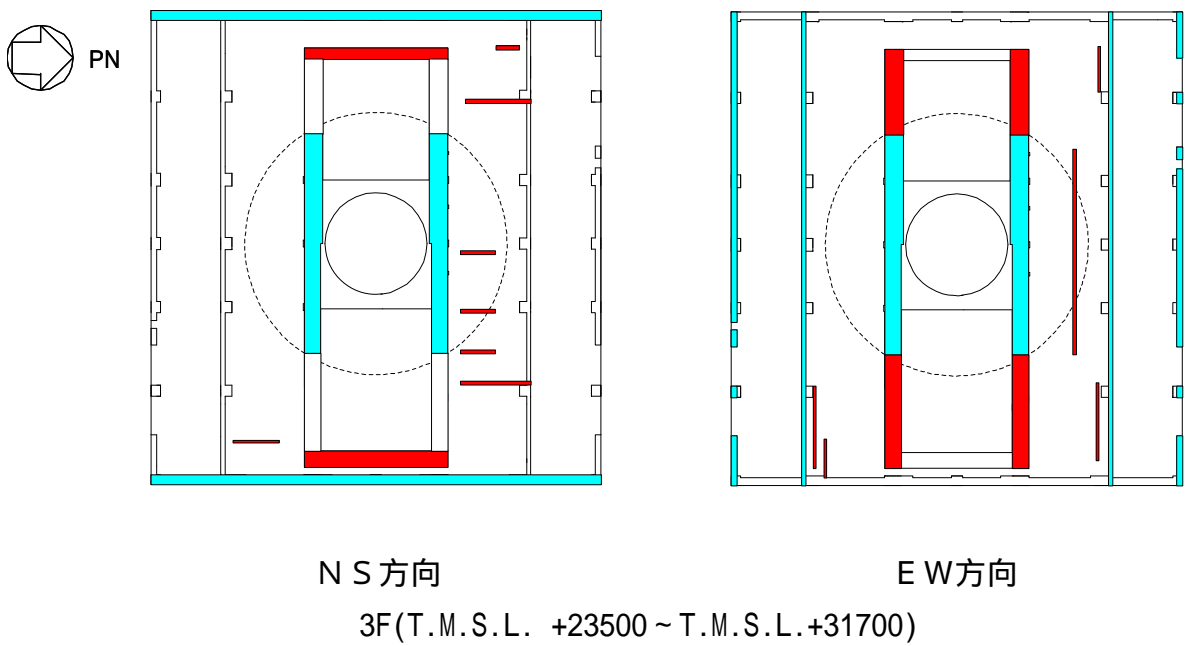
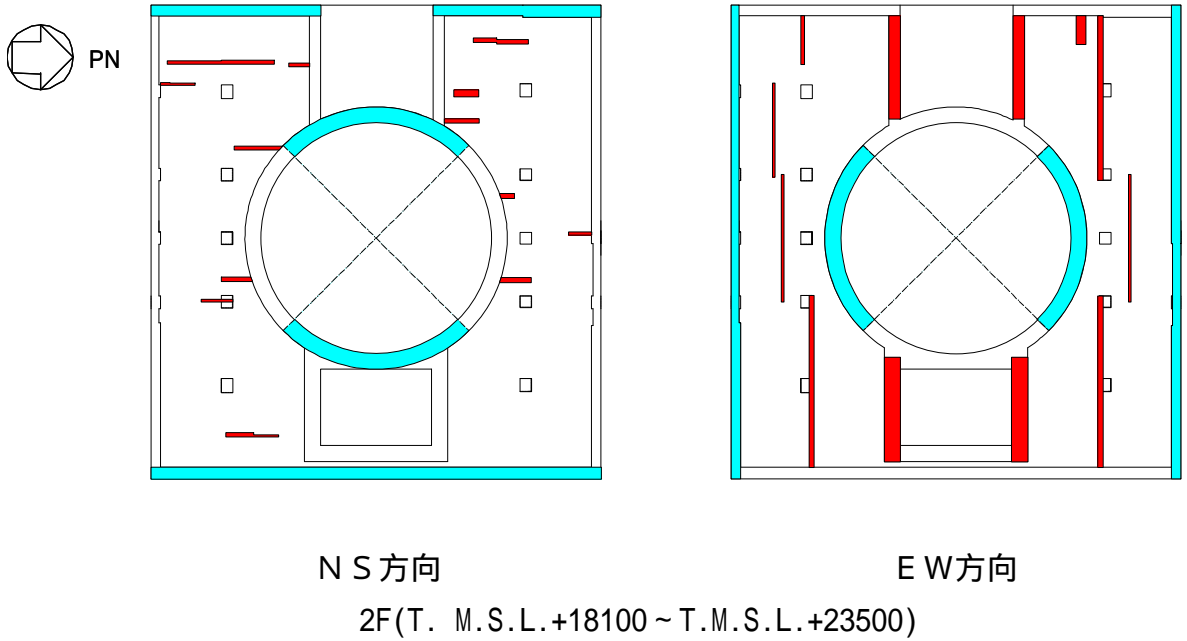
NS方向

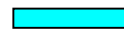
EW方向


1F(T.M.S.L. +12300 ~ T.M.S.L.+ 18100)

- : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(設計時と同じ)
- : 補助壁として剛性を評価する範囲

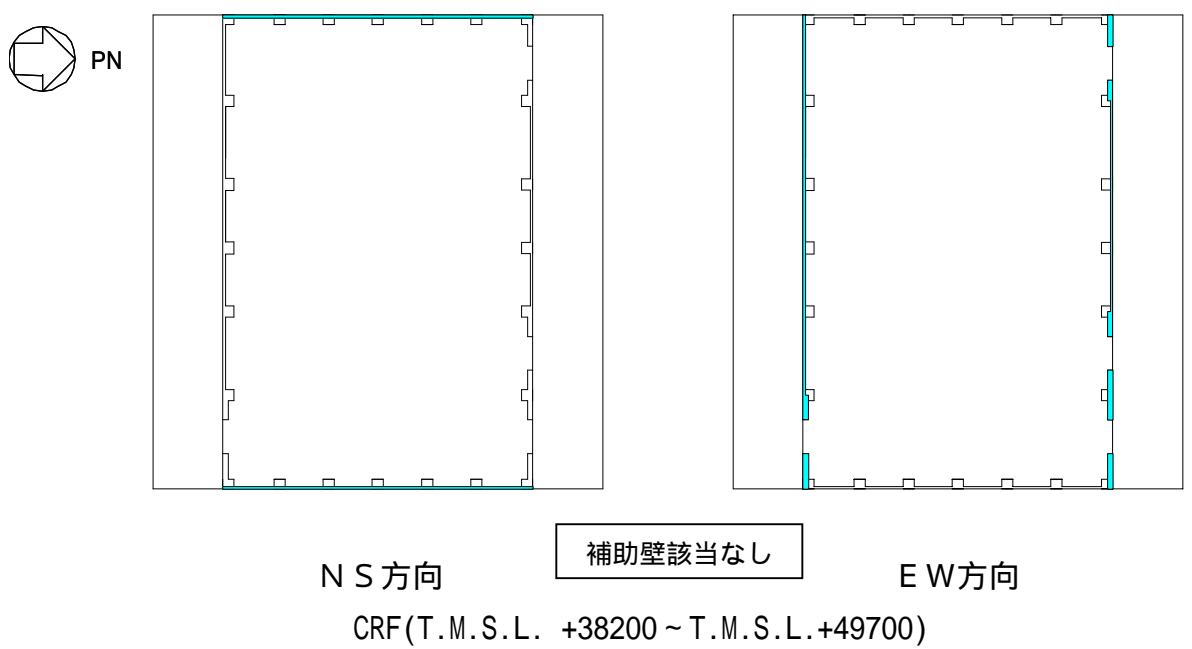
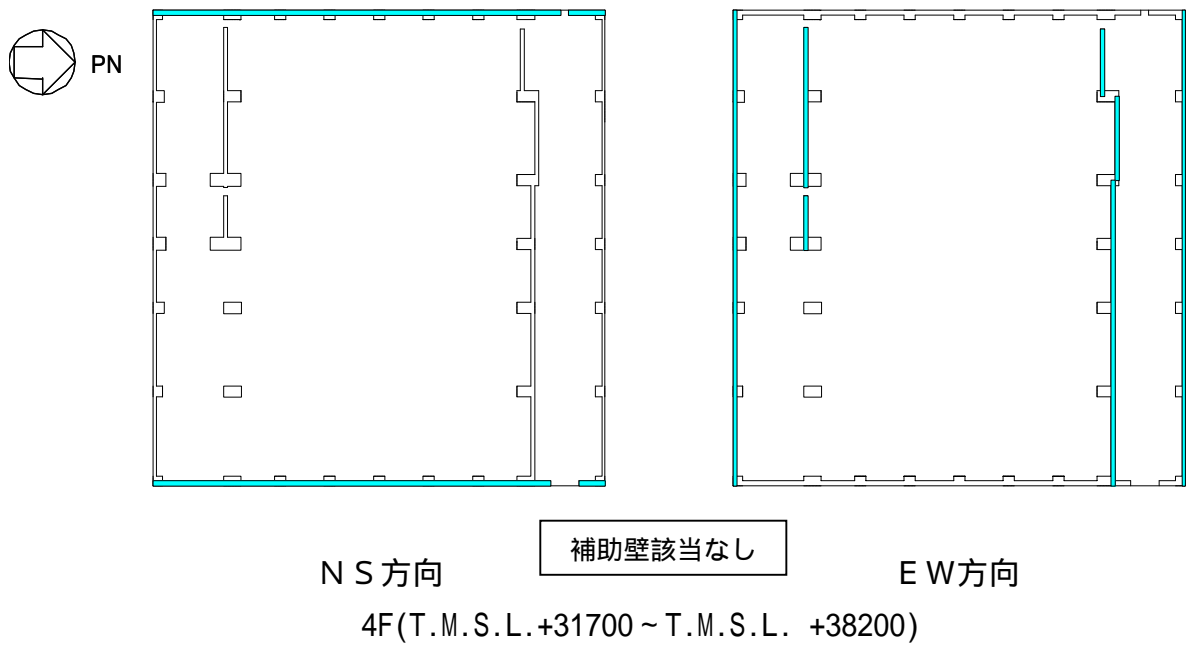
参図-2.2 剛性を評価する壁の範囲



 :耐震壁として剛性を評価する範囲
(設計時と同じ)

 :補助壁として剛性を評価する範囲

参図-2.3 剛性を評価する壁の範囲



■ : 耐震壁として剛性を評価する範囲
(設計時と同じ)

参図-2.4 剛性を評価する壁の範囲

(3) 補助壁の評価結果

今回のシミュレーション解析モデルにおいて剛性を考慮した壁の断面積 (= 耐震壁 + 補助壁) を7号機を例として参表-2.2 に示す。設計モデルに対するシミュレーションモデルの壁量の比は約 1.1~1.7 程度である。

参表-2.2 補助壁の評価結果

T.M.S.L. (m)	階	耐震壁		補助壁		シミュレーション 解析モデル		比率	
		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	NS方向	EW方向	シミュレーション / 設計	
		m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	NS方向	EW方向
49.7	屋上階								
38.2	クレーン階	41.0	54.7	0*	0*	41.0	54.7	1.00	1.00
31.7	4F	83.0	122.9	0*	0*	83.0	122.9	1.00	1.00
23.5	3F	231.8	267.7	75.7	124.0	307.5	391.7	1.33	1.46
18.1	2F	214.5	207.3	31.0	147.3	245.5	354.6	1.14	1.71
12.3	1F	215.8	228.9	71.2	145.2	287.0	374.1	1.33	1.63
4.8	地下1F	261.9	275.8	57.7	55.7	319.6	331.5	1.22	1.20
-1.7	地下2F	281.6	288.2	34.1	103.3	315.7	391.5	1.12	1.36
-8.2	地下3F	337.2	343.6	72.7	80.3	409.9	423.9	1.22	1.23

* 上部階については補助壁を考慮していない。

参考資料 3 中越沖地震における耐震壁の応力の分析

7号機 R/B の耐震壁のうち、参表-3.1 に示すように、3 階の R2 通りの壁と地下 2 階の R1 通りの壁を検討事例として選定した。中越沖地震のシミュレーション解析で得られたそれぞれの耐震壁の応力を、参表-3.1 に示す。中越沖地震における 7 号機 R/B の応答は弾性範囲であることから、各耐震壁が負担する応力はその剛性比により評価できる。すなわち、参表-3.1 は、層ごとに得られた最大応答せん断力などに、当該層の各耐震壁の剛性比（3 階 R2 通り壁の剛性比は 0.20、地下 2 階 R1 通り壁の剛性比は 0.45）を乗じて算定した応力である。例えば、3 階 R2 通り壁のせん断力は以下のとおり算定している。

- 3 階の層ごとの最大応答せん断力 : 119.7×10^3 kN
- 3 階 R2 通り壁の剛性比 : 0.20
- 3 階 R2 通り壁の負担せん断力 : $119.7 \times 10^3 \times 0.20 = 24 \times 10^3$ kN

なお、この表の中にある土圧荷重とは、壁の面内方向に作用する静止土圧と地震時動土圧により発生する荷重の総和である。

参表-3.1 中越沖地震における耐震壁の応力

位置	壁厚 (cm)	配筋 (縦横共)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)			曲げモーメント ($\times 10^4$ kN·m)			軸力 ($\times 10^3$ kN)		
			地震 荷重	土圧 荷重	合計	地震 荷重	土圧 荷重	合計	地震 荷重	土圧 荷重	合計
3階 R2通り	50	2-D22@200	24	0	24	110	0	110	79	0	79
地下2階 R1通り	160	4-D38@200	157	7	164	423	5	428	133	0	133

耐震壁の設計においては、地震荷重及び土圧荷重によるせん断力及び曲げモーメントに対して、鉄筋の短期許容引張応力度以内であることを確認している。

- s_t : せん断力による鉄筋の引張応力度 (N/mm^2)
- t : 曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度 (N/mm^2)
- f_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 ($345 N/mm^2$)

$$(s_t + t) / f_t < 1.0$$

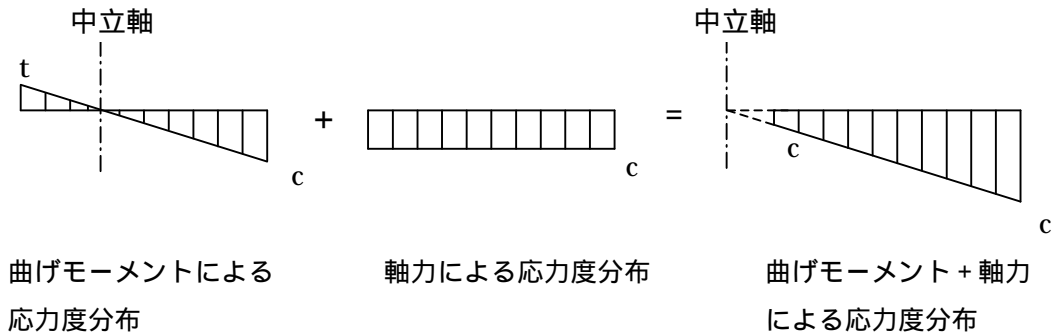
ここで、曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度を求める際には、軸力による中立軸の変動を評価して求める。

参表-3.1 に示す応力に対する断面検討結果を、参表-3.2 に示す。

参表-3.2 耐震壁の断面検討結果

位置	壁厚 (cm)	配筋 (縦横共)	せん断に対する鉄筋の引張応力度 s_t (N/mm ²)		曲げモーメントに対する 鉄筋の引張応力度 t (N/mm ²)		許容応力度比 $\frac{s_t + t}{ft}$
			地震荷重	土圧荷重			
3階 R2通り	50	2-D22@200	89.9 (100.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	0.27
地下2階 R1通り	160	4-D38@200	115.6 (72.3%)	4.9 (3.0%)	39.4 (24.7%)		0.47

注): ここで、3階の耐震壁において曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が0となっているのは、軸力による効果が大きく中立軸が移動したことによる。



参表-3.2によると、地下2階のR1通りの壁においては、中越沖地震によるせん断力は、壁の評価荷重全体に対して約72%となっている。また、3階のR2通りの壁においては、中越沖地震によるせん断力は、壁の評価荷重全体に対して100%となっている。これらのことから、壁の健全性評価を行う場合には、地震応答解析によるせん断力が支配的な荷重となっていることが分かる。

なお、地震応答解析によるせん断力以外の荷重を加えても、設計配筋による短期許容引張応力度に対して十分な余裕がある。これは、静的地震力等に余裕を加えて設定した設計用地震力による余裕や計算上の必要鉄筋量を上回る設計配筋量を設定した余裕などが含まれている効果である。

参考資料 4 原子炉建屋の地震応答解析結果

地震応答解析モデルの固有値(固有周期および固有振動数)を、参表-4.1 に示す。
地震応答解析(水平)により求められた最大応答値を、参図-4.1～参図-4.6 に示す。
地震応答解析(鉛直)により求められた最大応答値を、参図-4.7 および参図-4.8 に示す。

地震応答解析により得られた最大転倒モーメントを用い算出した、基礎浮上りの検討結果を参表-4.2 に示す。

参表-4.1 固有値解析結果

(南北方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [*]
1	0.431	2.32	1.580
2	0.190	5.26	-0.682
3	0.087	11.54	0.060
4	0.074	13.44	0.060
5	0.074	13.51	0.024

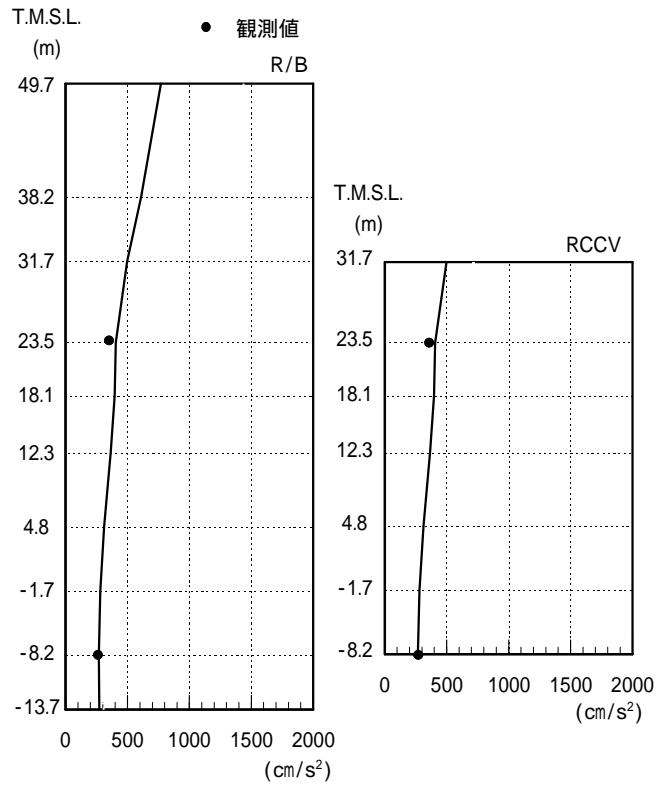
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [*]
1	0.422	2.37	1.543
2	0.189	5.30	-0.607
3	0.079	12.71	-0.029
4	0.074	13.53	0.130
5	0.068	14.62	-0.043

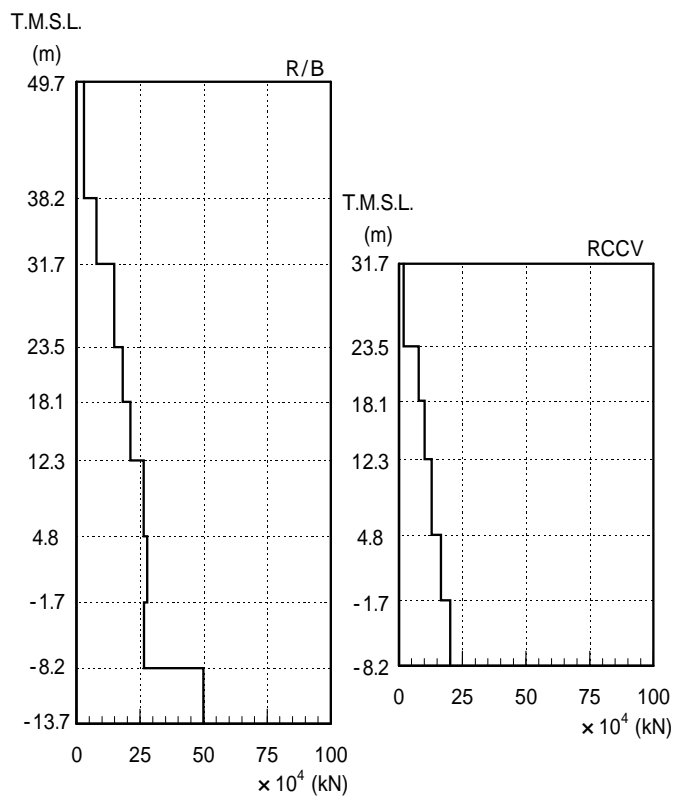
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [*]
1	0.269	3.72	11.160
2	0.252	3.97	-10.217
3	0.074	13.55	0.086
4	0.049	20.33	-0.114
5	0.045	22.20	0.111

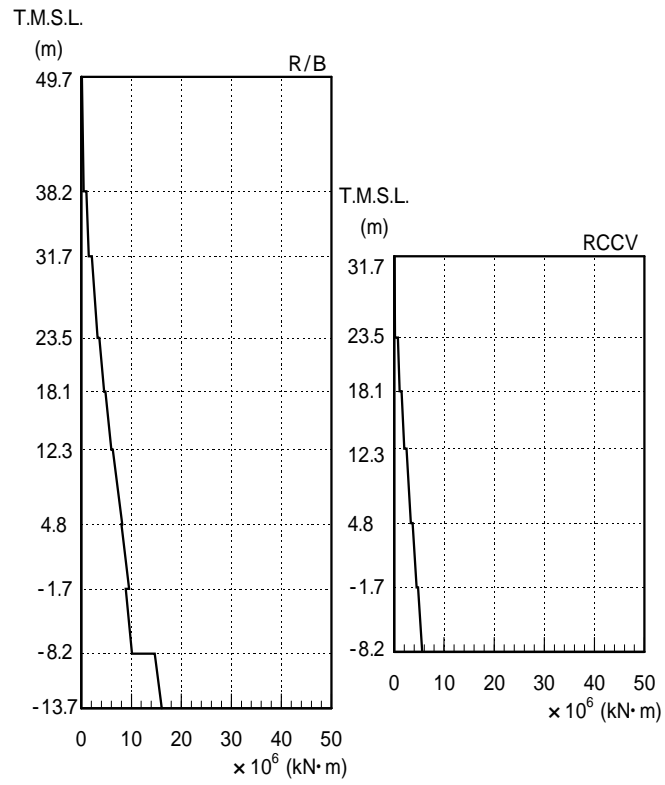
注* : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



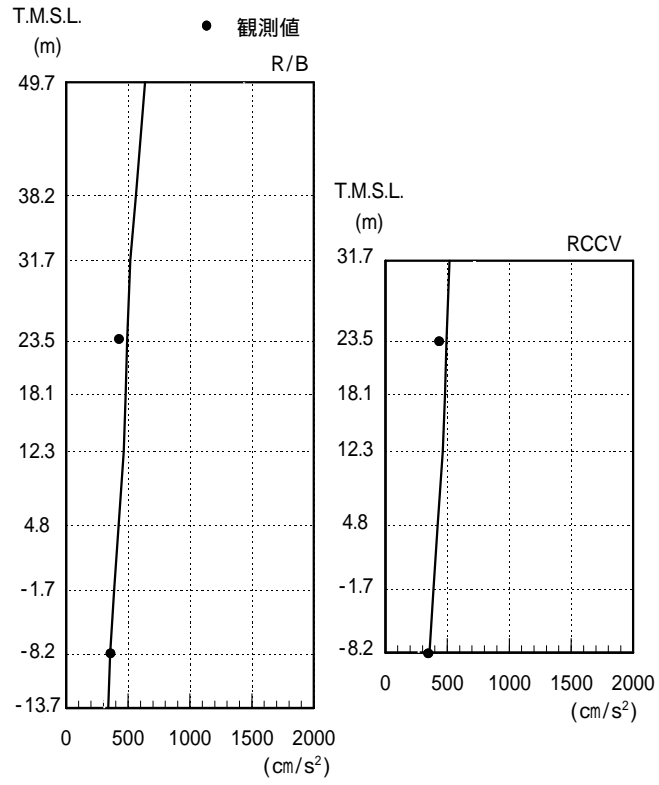
参図-4.1 最大応答加速度（南北方向）



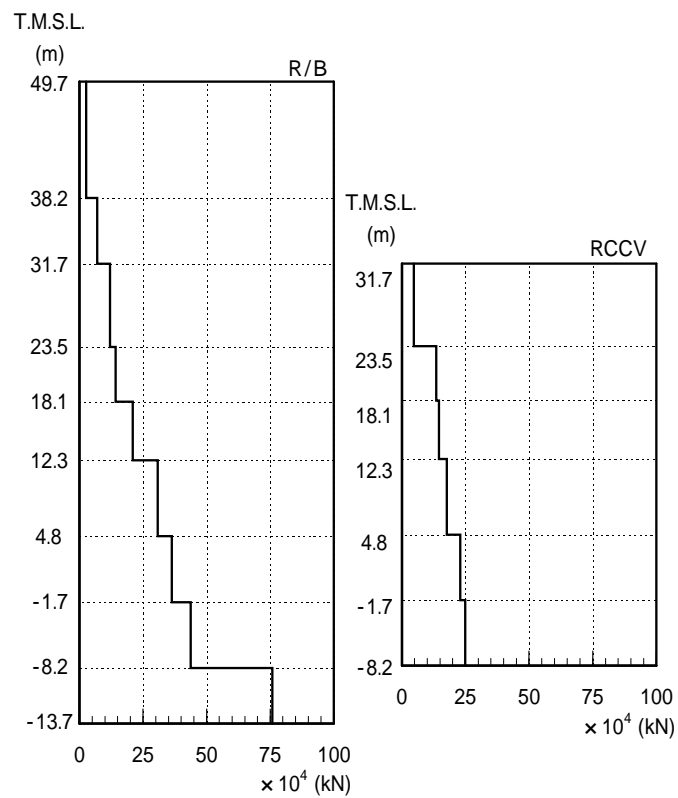
参图-4.2 最大応答せん断力（南北方向）



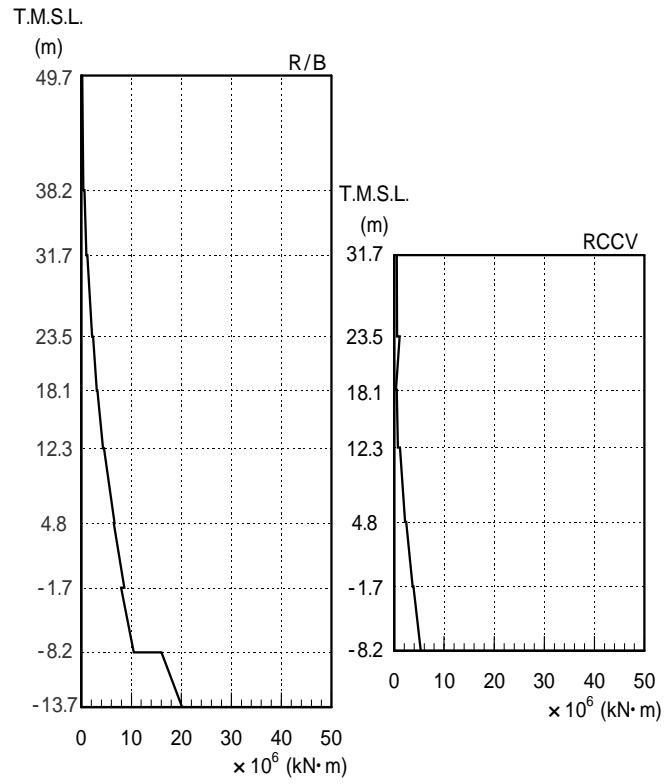
参図-4.3 最大応答曲げモーメント（南北方向）



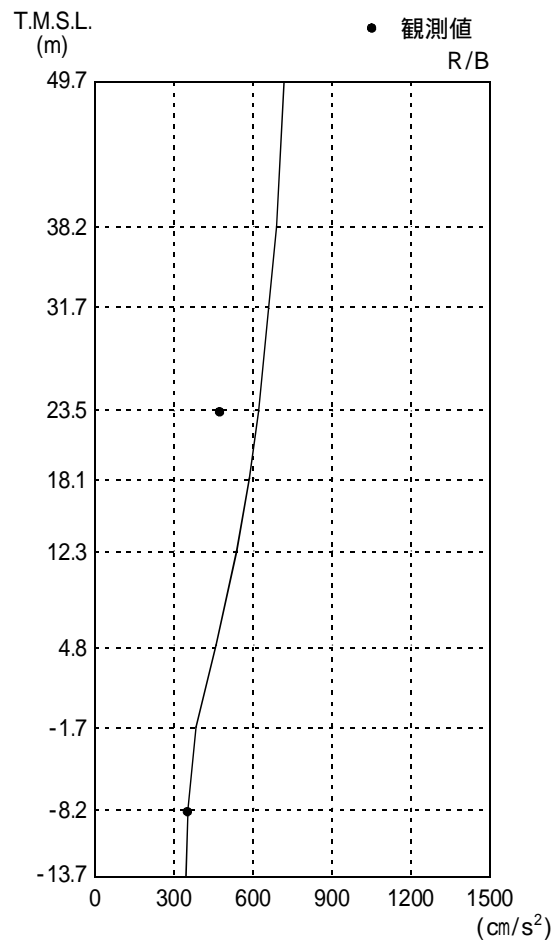
参図-4.4 最大応答加速度（東西方向）



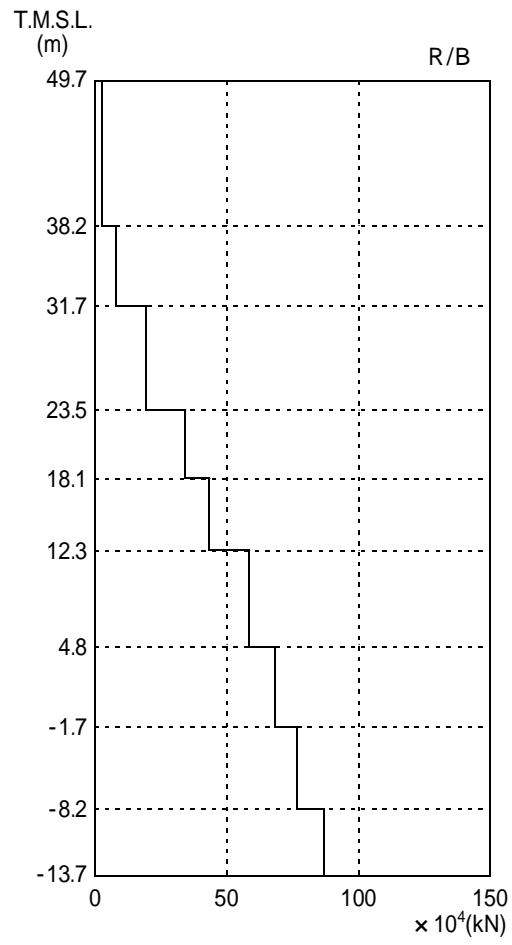
参图-4.5 最大応答せん断力 (東西方向)



参図-4.6 最大応答曲げモーメント（東西方向）



参図-4.7 最大応答加速度 (鉛直方向)



参図-4.8 最大応答軸力（鉛直方向）

建屋の接地率は、JEAG4601-1991 に基づき、地震応答解析の結果得られた最大転倒モーメントを用い、地盤反力を三角形分布と仮定して算出する。

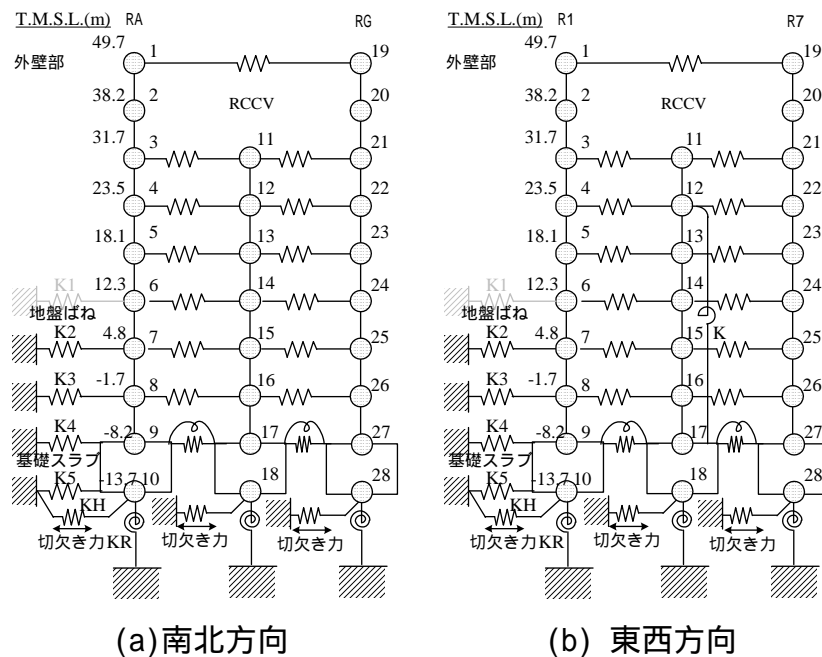
基礎浮上りの検討結果を参表-4.2 に示す。

参表-4.2 浮上りの検討結果

	浮上り限界モーメント M_0 (kN·m)	最大転倒モーメント M_{max} (kN·m)	接地率 (%)
南北方向	1.88×10^7	1.54×10^7	100.0
東西方向	1.98×10^7	1.93×10^7	100.0

参考資料5 追加検討モデルによる応答結果比較

シミュレーション解析の一連の検討結果に基づき、追加検討モデルによる地震応答解析結果を実施し、現状のシミュレーション解析モデルによる結果と比較を行なう。参図-5.1 に示すとおり、水平方向については床の柔性を考慮した多軸質点系モデルとする。なお、地盤ばね及び入力動は、シミュレーション解析モデルと同一条件とする。

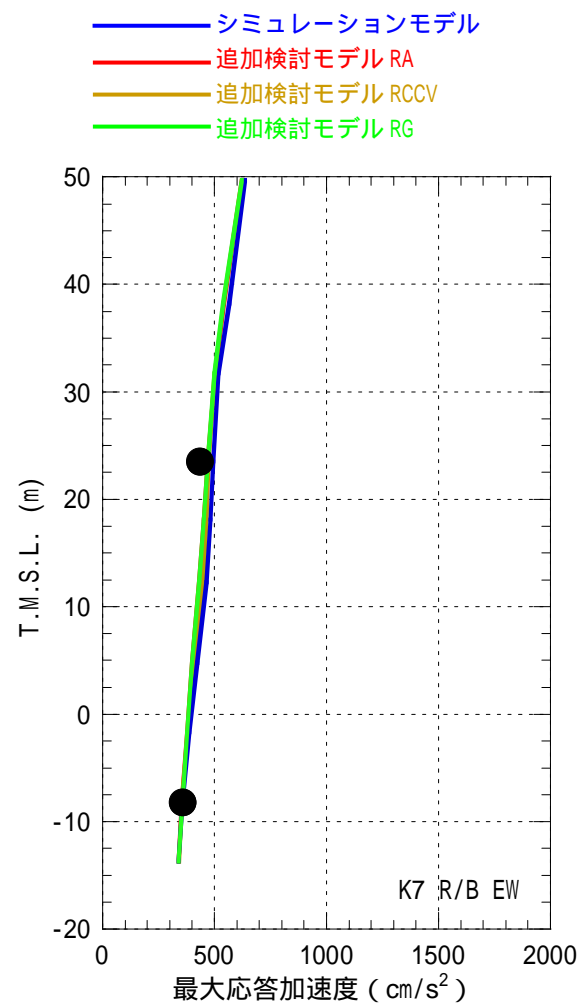
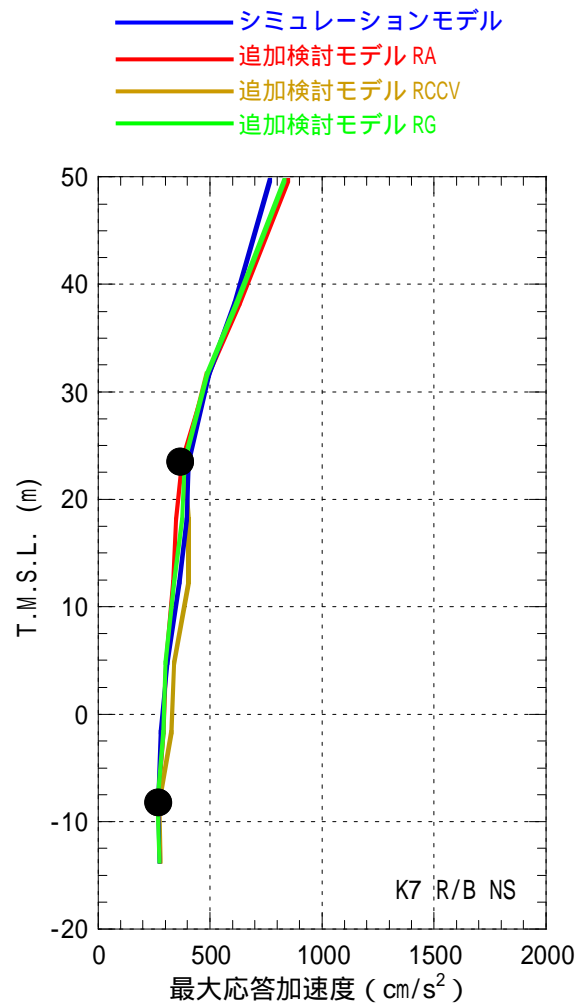


注：RCCV、外壁各部分の基礎スラブを剛とし、それぞれの基礎スラブ間の面内せん断変形及び回転変形を考慮した。

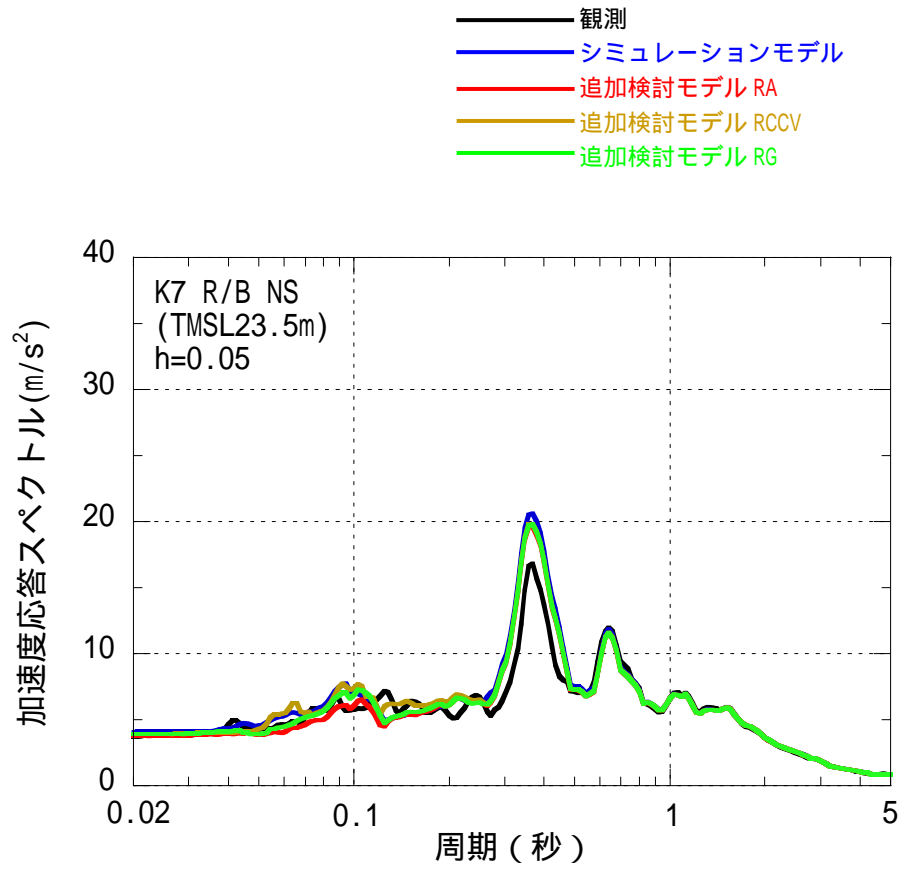
参図-5.1 追加検討モデル

参図-5.2 に最大応答加速度、参図-5.3～参図-5.4 に中間階の加速度応答スペクトルの比較を示す。水平方向については、追加検討モデルとシミュレーション解析モデルによる結果はほぼ同等である。

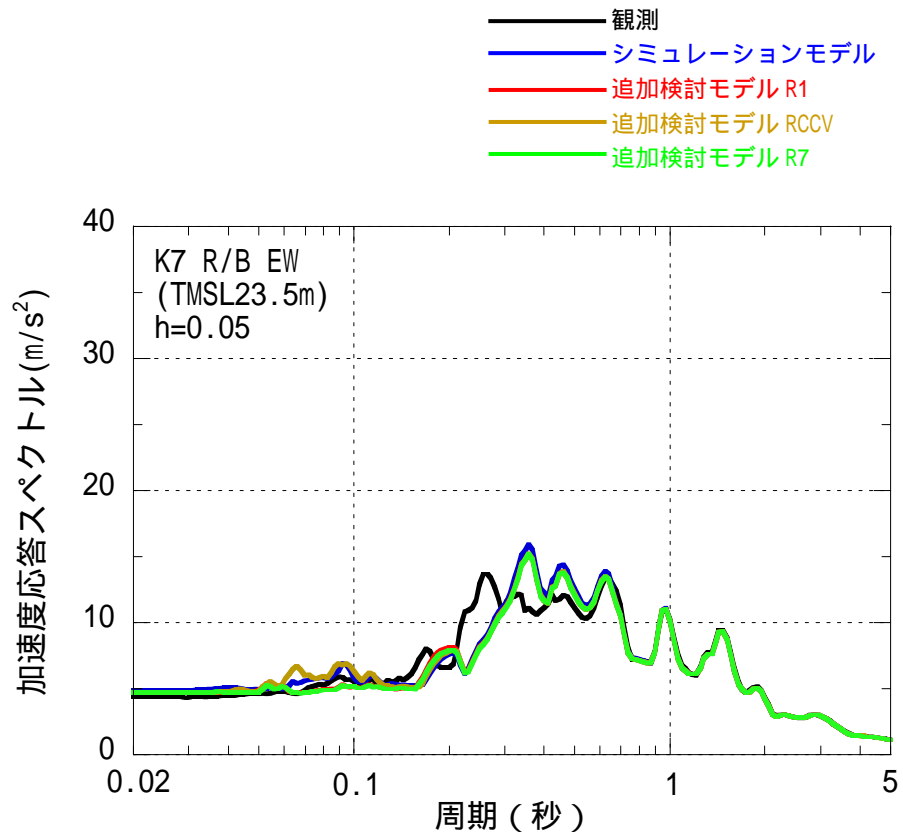
参図-5.5～参図-5.8 に外壁のせん断応力度とせん断ひずみの比較、参図-5.9～参図-5.12 に RCCV のせん断応力度とせん断ひずみの比較を示す。また、参考としてシミュレーション解析モデルと追加検討モデルによる層せん断力の比較を参図-5.13～参図-5.14 に示す。追加検討モデルは床の柔性を考慮しているため、重量の大きい RCCV の応答が若干大きくなる傾向がある。ただし、外壁と RCCV を集約して評価したせん断力は、シミュレーション解析モデルの結果とほぼ同等であり、建屋の健全性評価に与える影響は小さい。



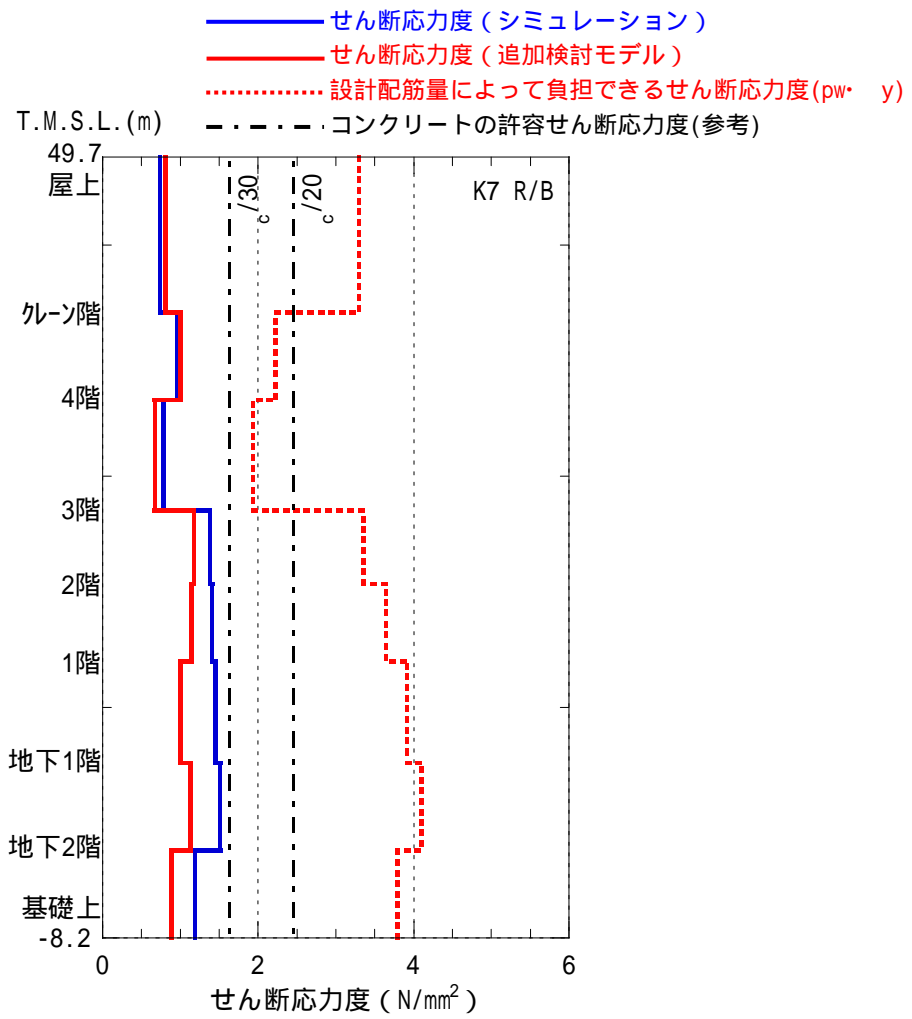
参图-5.2 最大応答加速度の比較



参図-5.3 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 南北方向

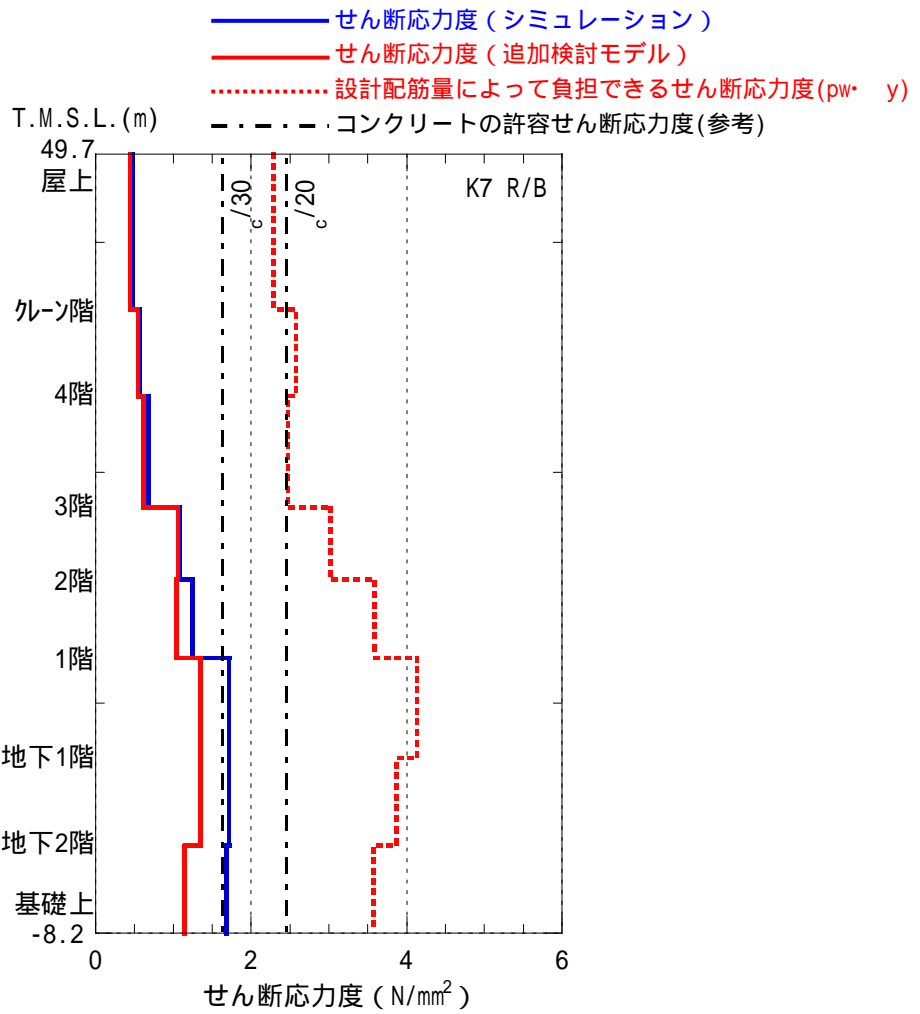


参図-5.4 加速度応答波形および加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T.M.S.L. 23.5m) 東西方向



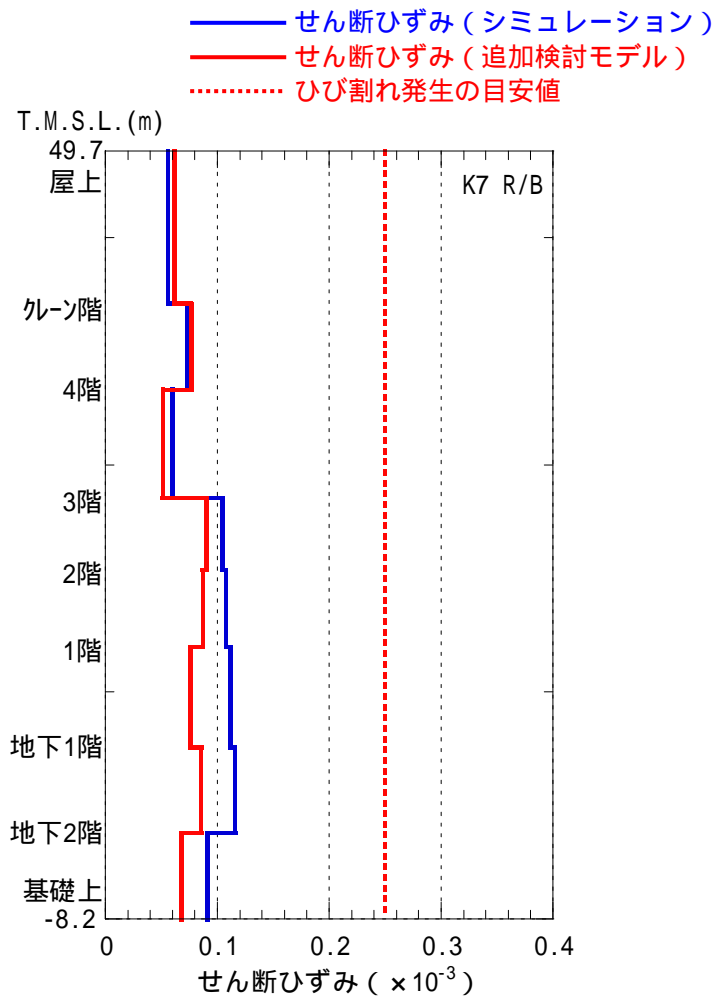
c = コンクリートの実強度

参図-5.5 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (南北方向)

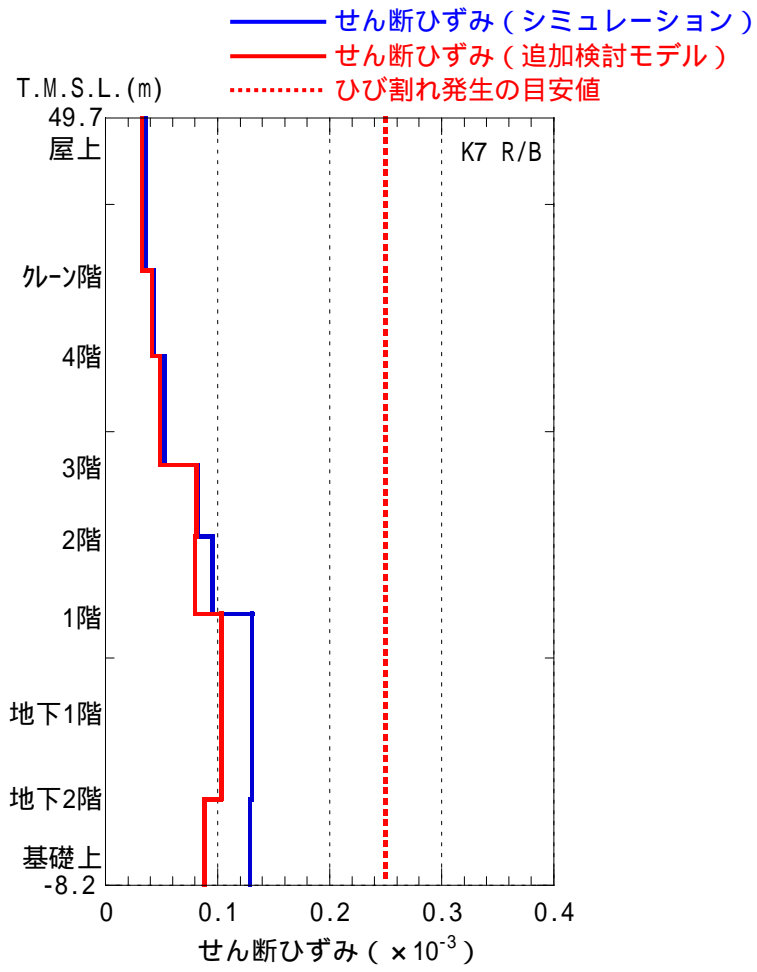


c = コンクリートの実強度

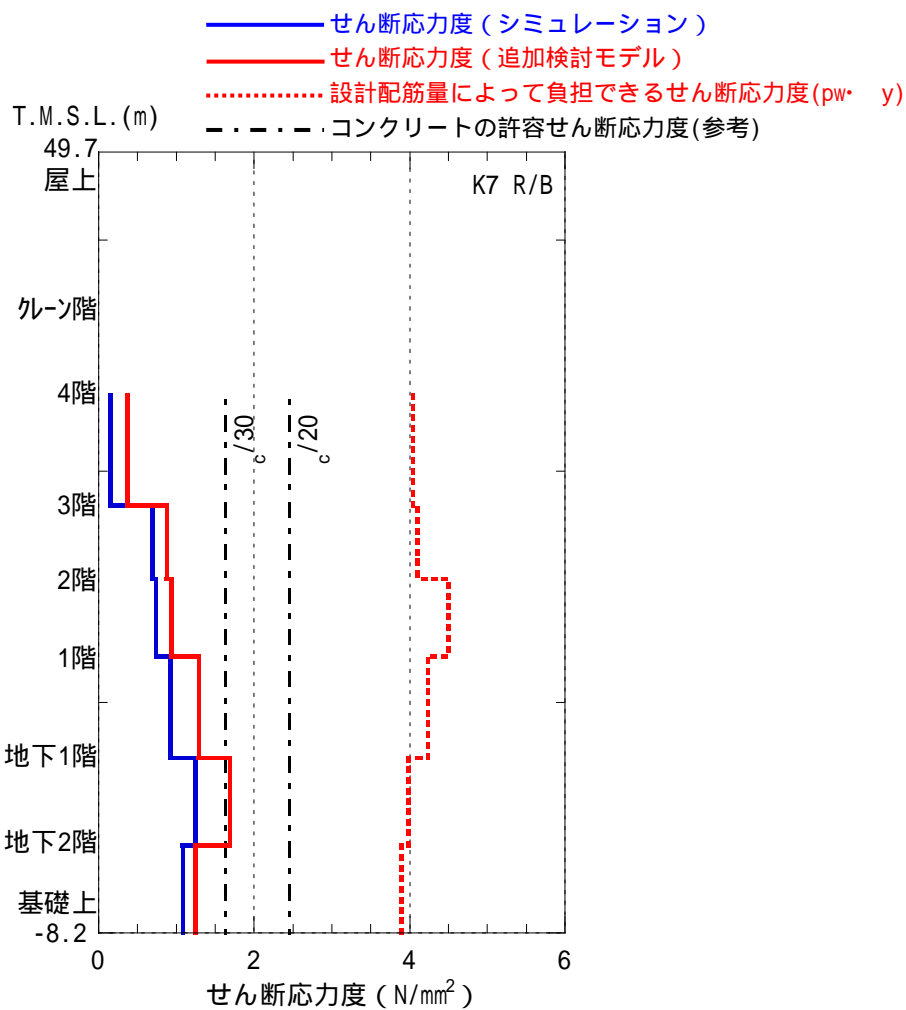
参図-5.6 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力度 (東西方向)



参図-5.7 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

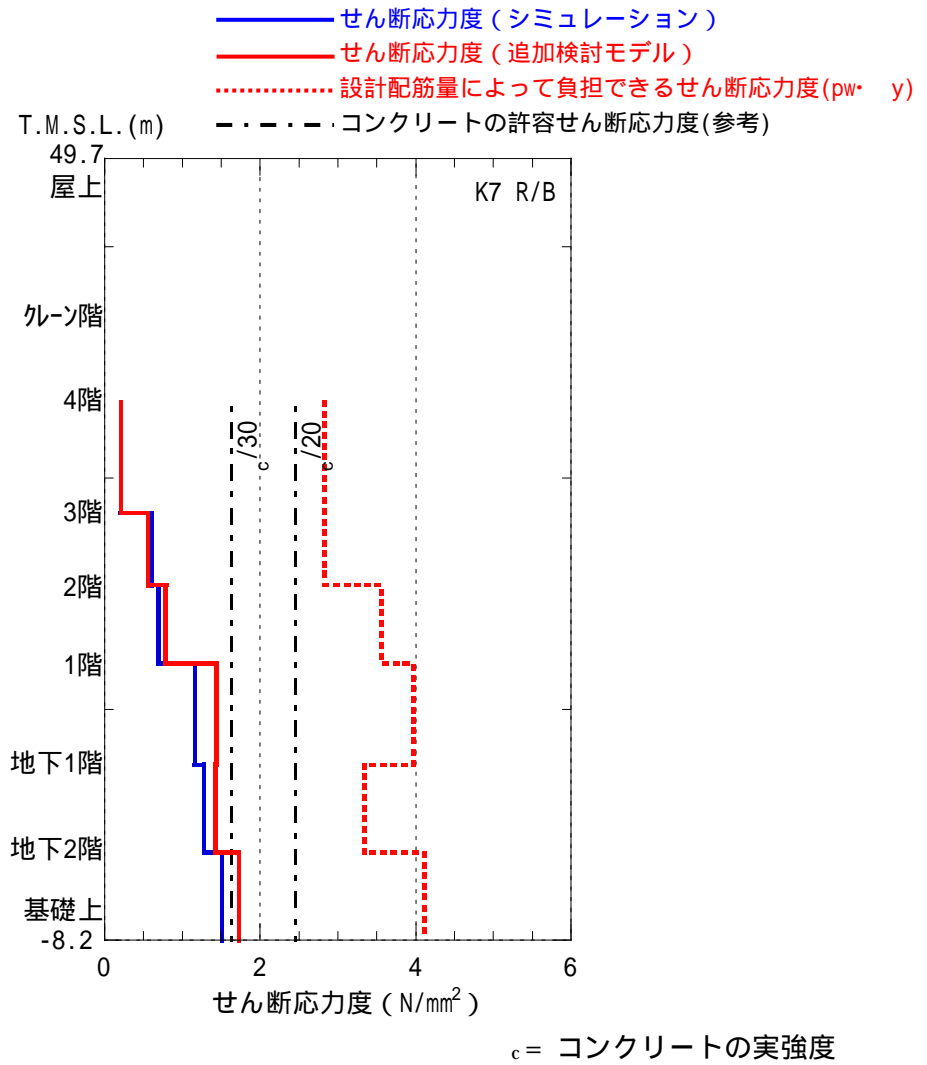


参図-5.8 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (東西方向)

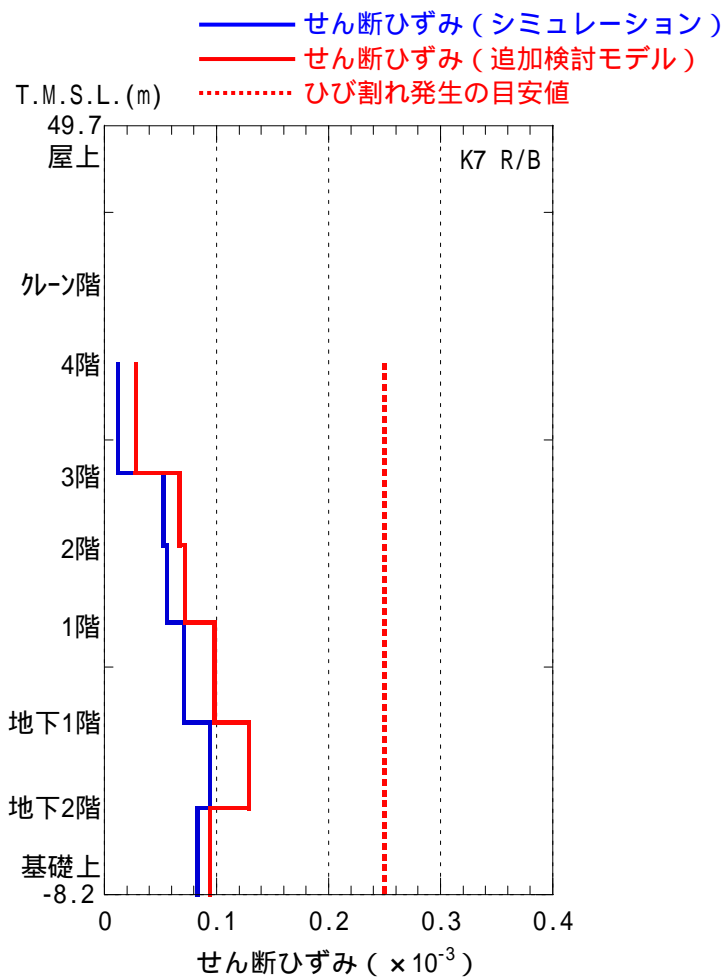


c = コンクリートの実強度

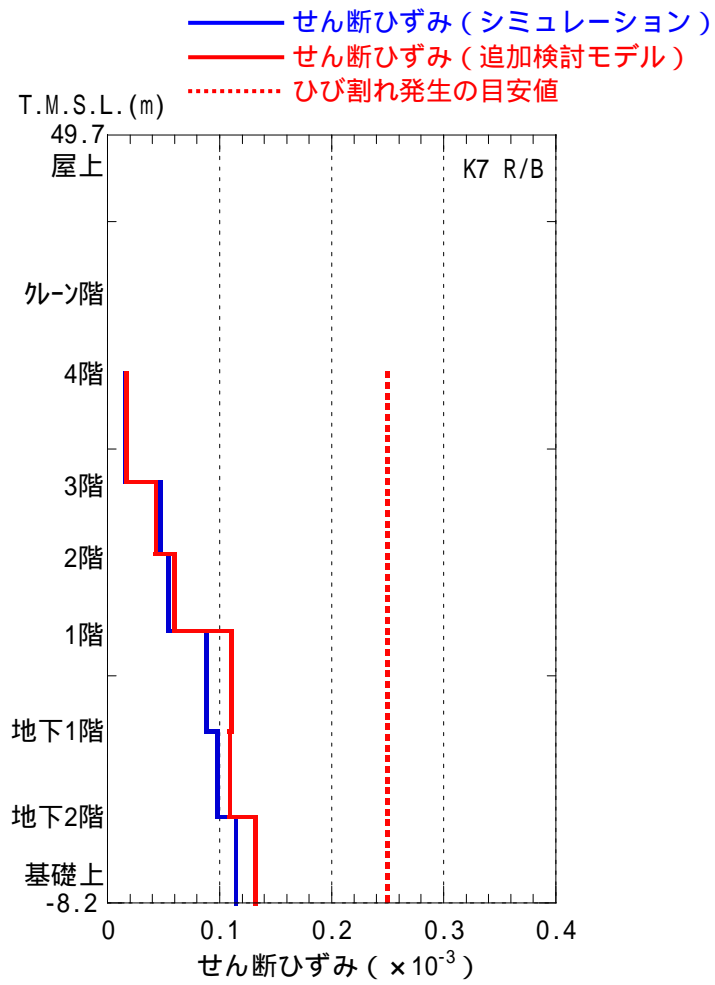
参図-5.9 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度 (南北方向)



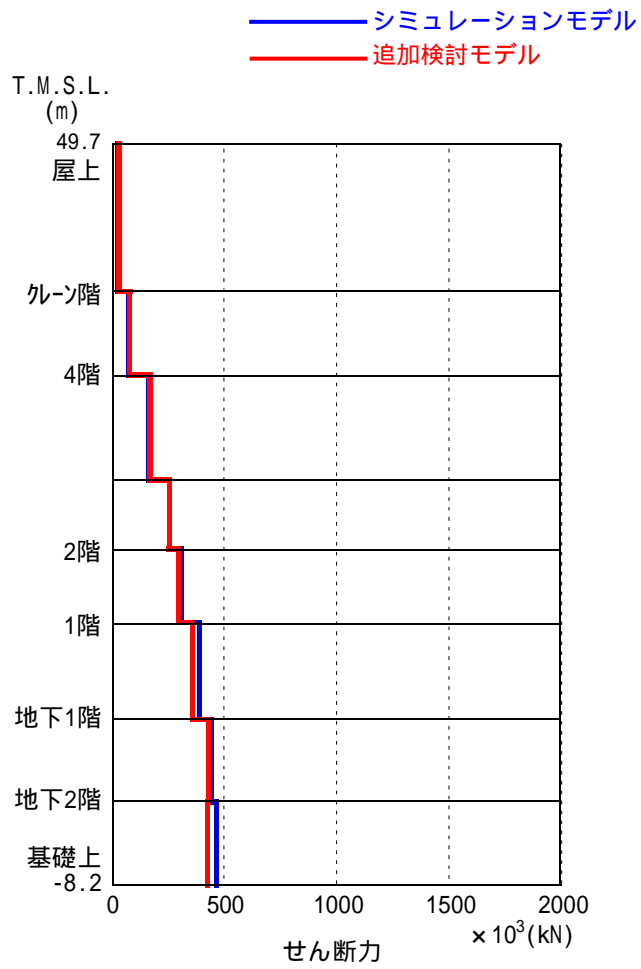
参図-5.10 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断応力度(東西方向)



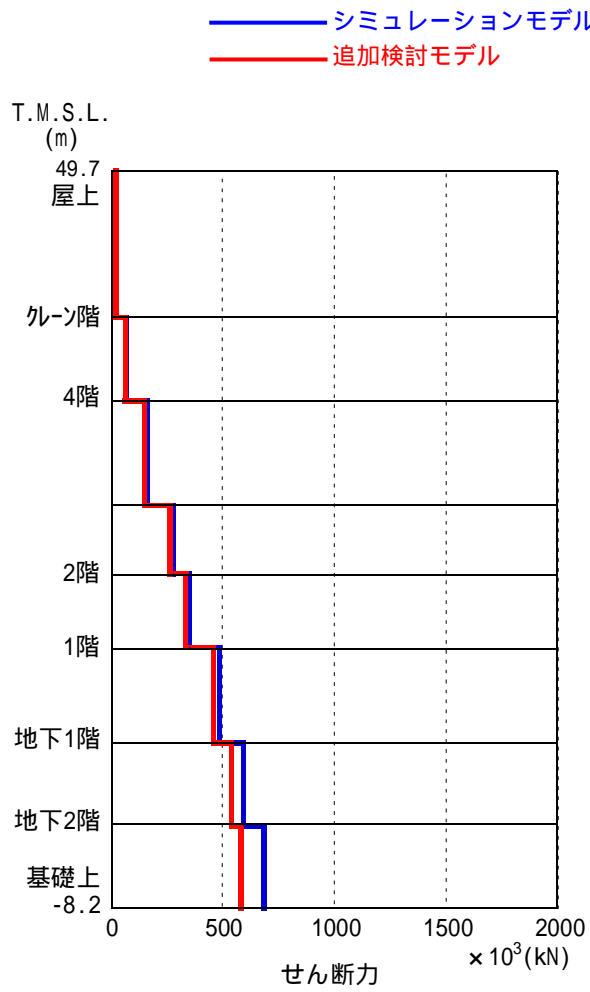
参図-5.11 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(南北方向)



参図-5.12 RCCVの鉄筋コンクリート部のせん断ひずみ(東西方向)



参図-5.13 原子炉建屋 最大応答せん断力 (南北方向)



参図-5.14 原子炉建屋 最大応答せん断力（東西方向）

参考資料 6 補助壁の評価について（7号機タービン建屋）

(1) 耐震壁の規定と補助壁として考慮した壁の選定条件

原子力施設における耐震壁の一般的な規定としては、以下に示すとおりである。

日本建築学会 RC-N 規準*における耐震壁の規定（算定外の規定）

<ul style="list-style-type: none"> ・壁厚 200mm 以上、かつ、壁板の内法寸法の 1/30 以上 ・せん断補強筋は、0.25% 以上(直交する 2 方向それぞれ) (付帯ラーメンのない場合のせん断補強筋比は、壁筋の許容引張応力度に対するコンクリートの許容せん断応力度との比以上を確保) ・壁筋は複筋配置とする ・壁筋は D13 以上の異形鉄筋を用いる (壁の見付け面に対する間隔は 300mm 以下) ・開口補強筋は D13 以上、かつ、壁筋と同径以上の異形鉄筋を用いる ・付帯ラーメンがある場合には、その柱・梁に適切な靱性を確保させる

*原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（2005）

一方、タービン建屋において設計時に採用した耐震壁の判断基準、及び今回のシミュレーション解析に採用した補助壁の判断基準を参表-6.1 に示す。

参表-6.1 シミュレーション解析に採用した耐震壁と補助壁の選定条件

耐震壁	補助壁
・壁の厚さは 300mm 以上、かつ壁の内法高さの 1/30 以上	同左
・基礎スラブから連続して立ち上がっている壁	・下階まで壁が連続している、もしくは床スラブを介して壁に生じるせん断力を下階の耐震壁に伝達できる壁
・フレーム構面内（柱、梁間）の壁	・フレーム構面外でも上記を満たす壁

(2) 剛性を評価した壁の範囲

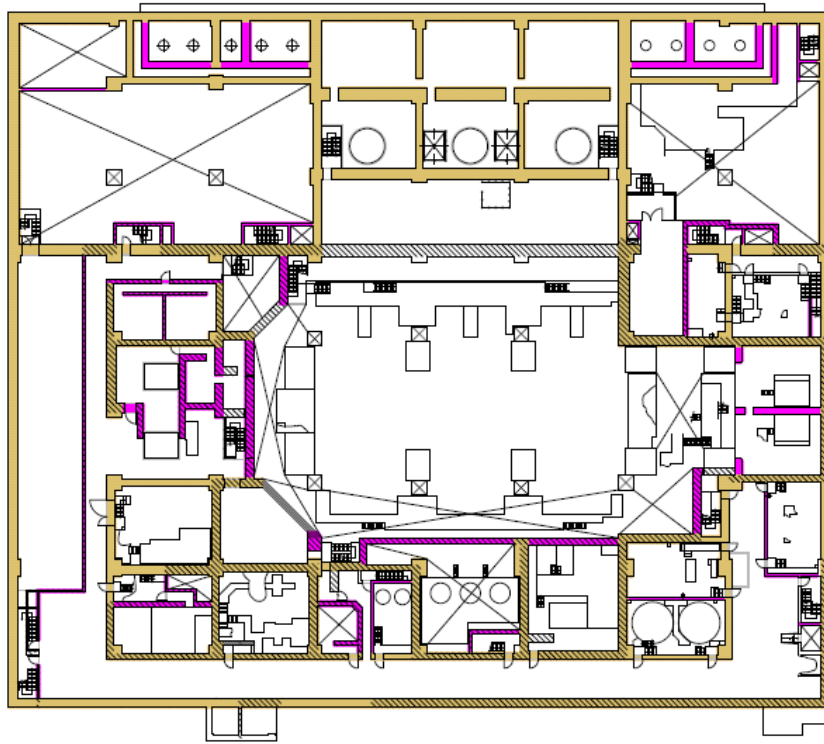
タービン建屋の地震応答解析時に耐震壁及び補助壁として剛性を評価する範囲を以下に示す。



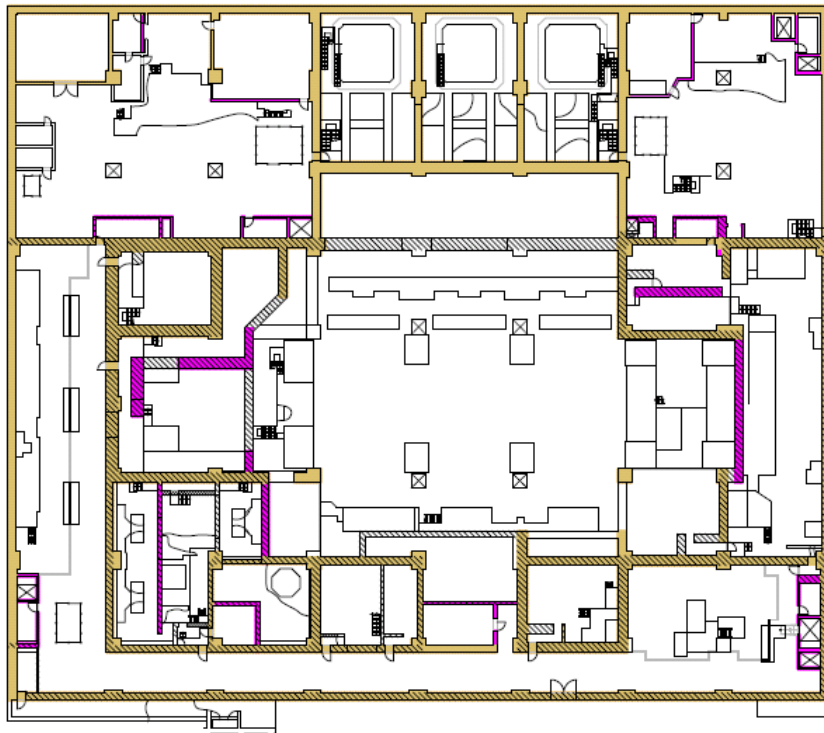
地下2階 (T.M.S.L. -5.1m)

- 耐震壁として剛性を評価する範囲(設計時と同じ)
- 補助壁として剛性を評価する範囲
- 遮蔽壁

参図-6.1 剛性を評価する壁の範囲



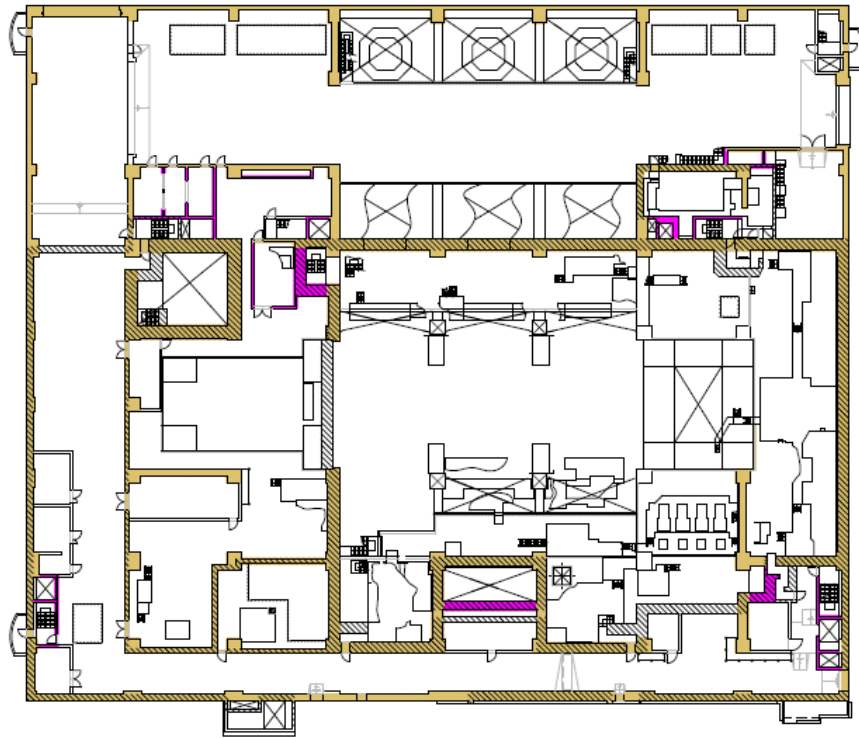
地下中 2 階 (T.M.S.L.-1.1m)



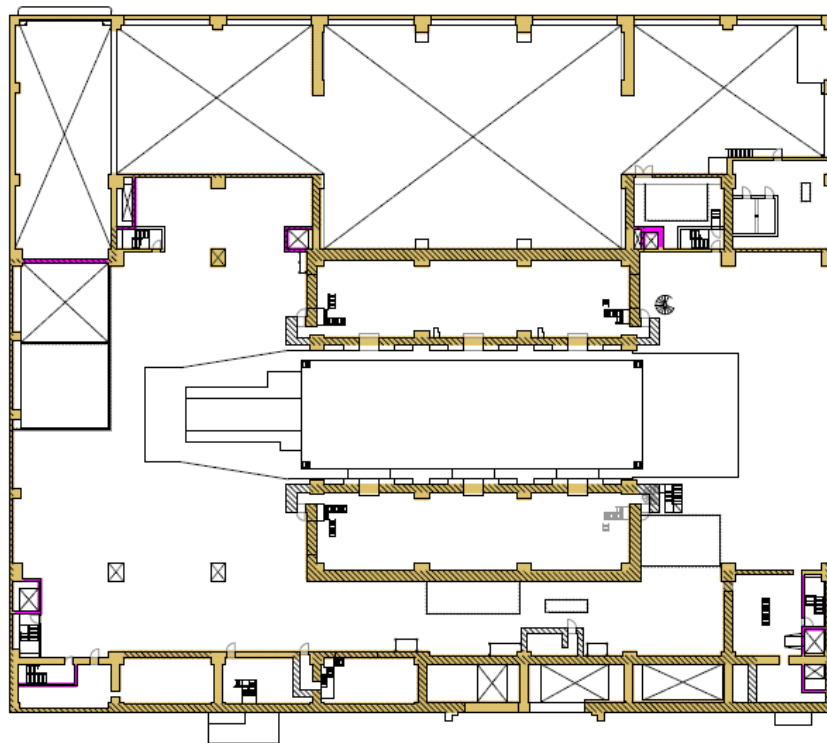
地下 1 階 (T.M.S.L. 4.9m)

- 耐震壁として剛性を評価する範囲(設計時と同じ)
- 補助壁として剛性を評価する範囲
- 遮蔽壁

参図-6.2 剛性を評価する壁の範囲



1階 (T.M.S.L. 12.3m)



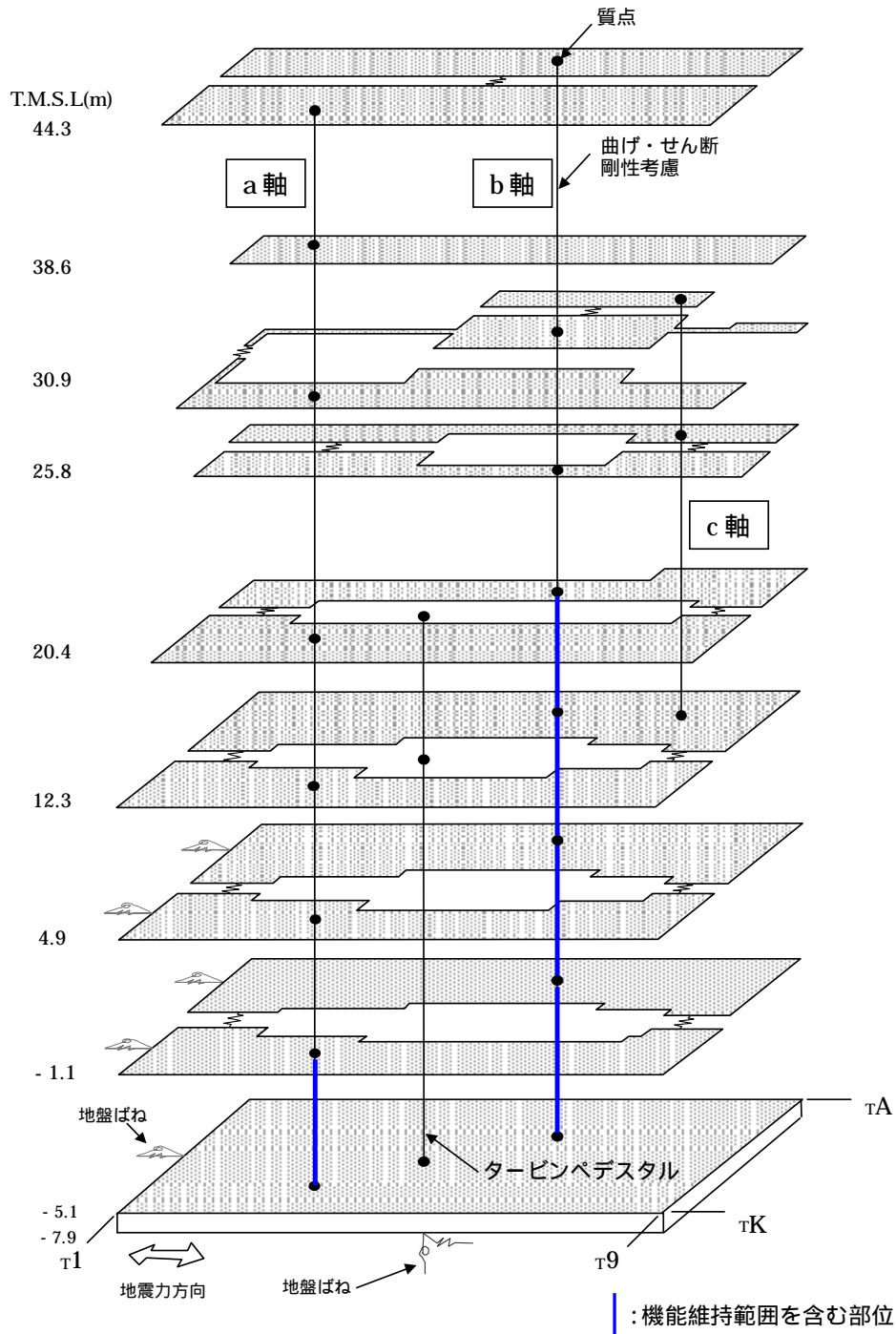
2階 (T.M.S.L. 20.4m)

耐震壁として剛性を評価する範囲(設計時と同じ)
 補助壁として剛性を評価する範囲
 遮蔽壁

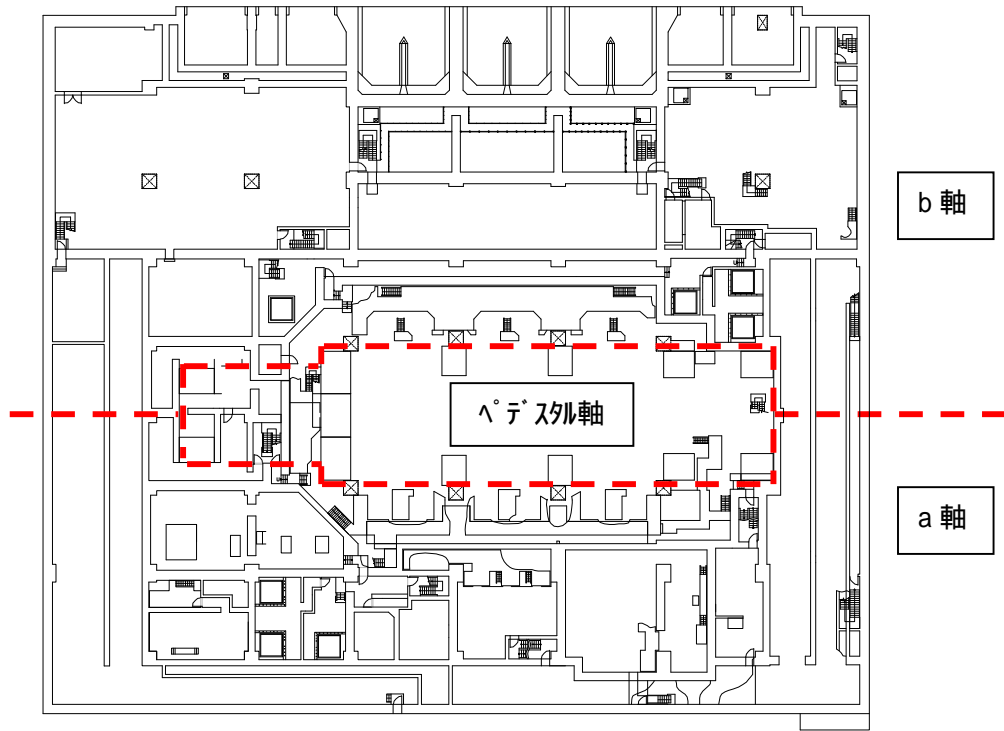
参図-6.3 剛性を評価する壁の範囲

参考資料 7 7号機タービン建屋の各軸のモデル化範囲について

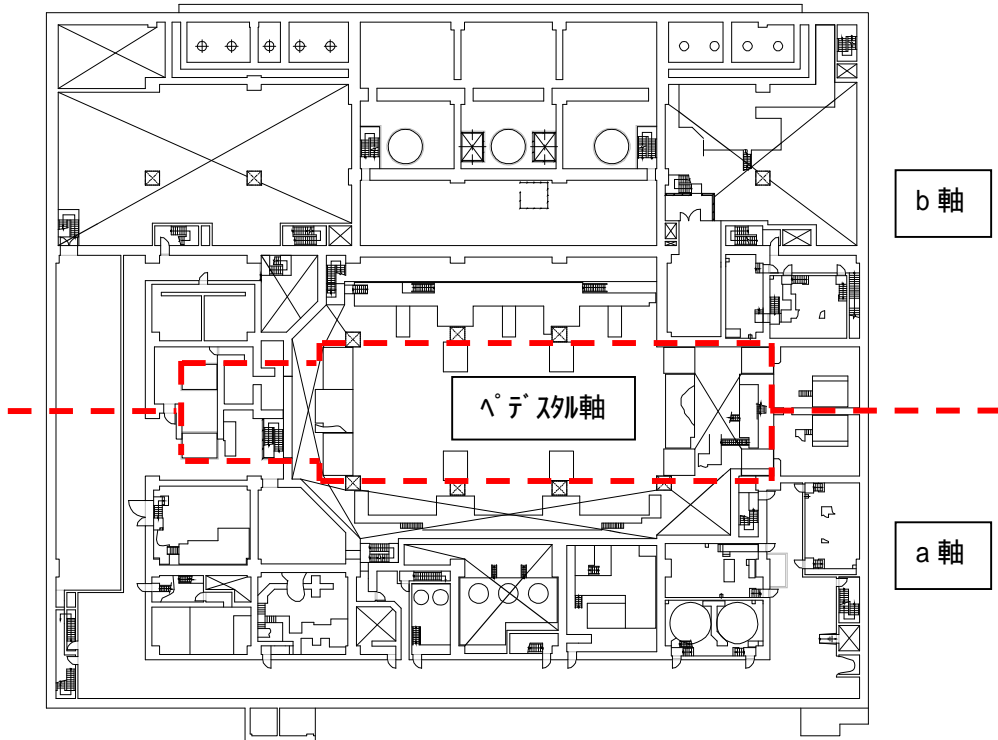
タービン建屋のモデル図およびそれぞれの軸が含まれるモデル化の範囲について以下の参図-7.1~7.16 に示す。



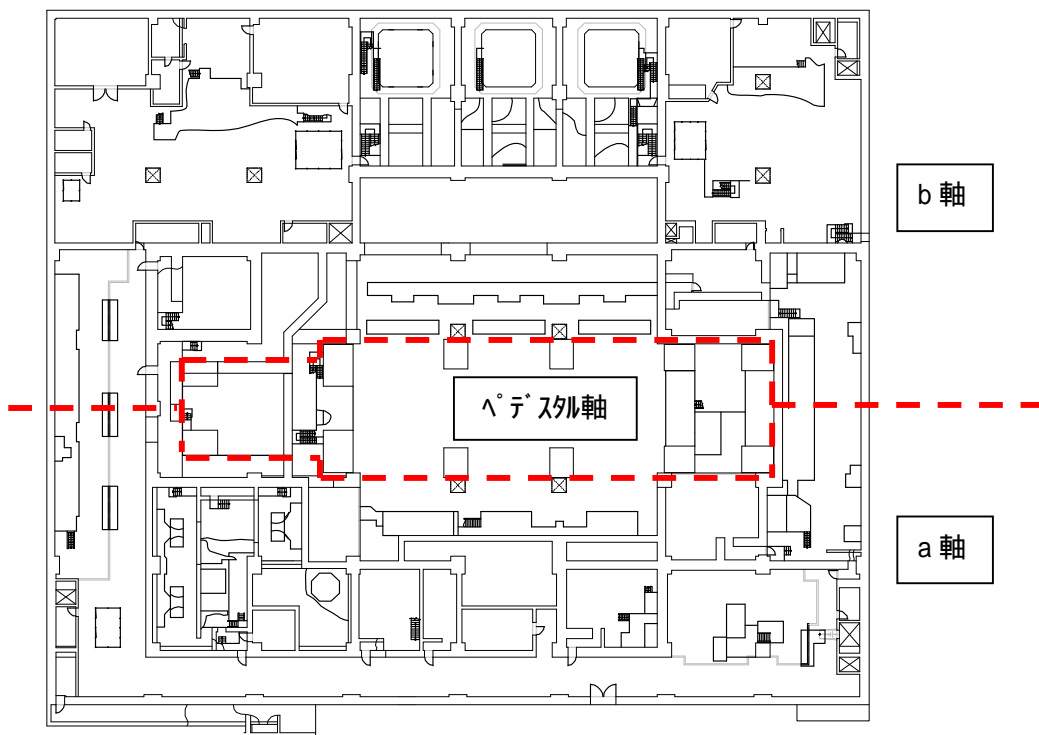
参図-7.1 振動モデル図(7号機タービン建屋、南北方向)



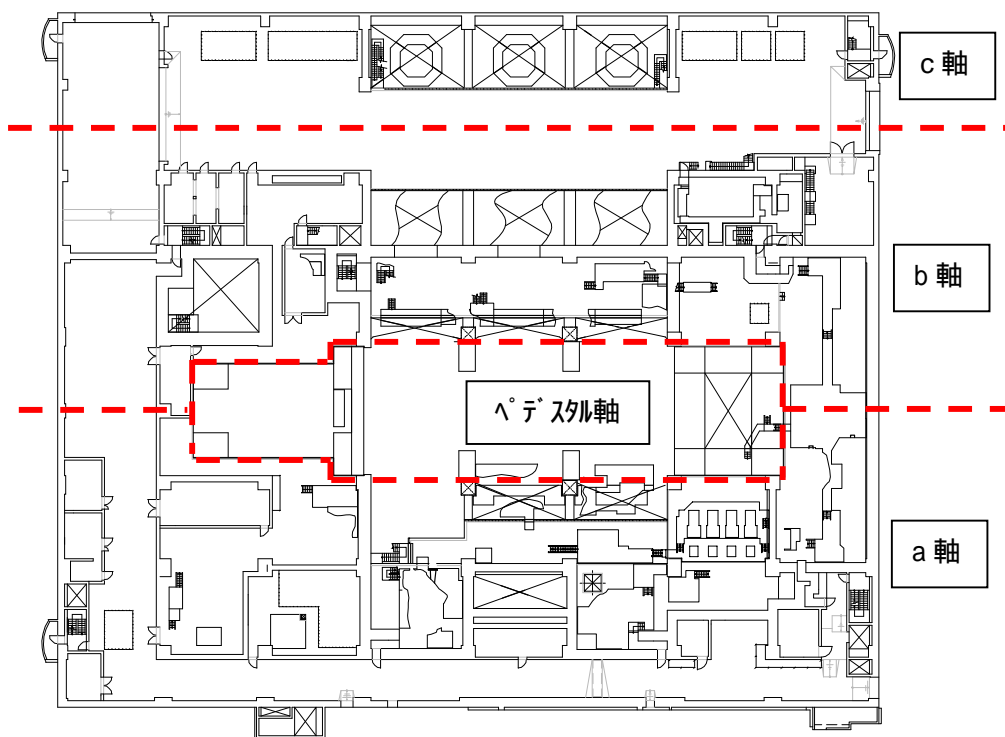
参図-7.2 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の地下2階 T.M.S.L. -5.1m)



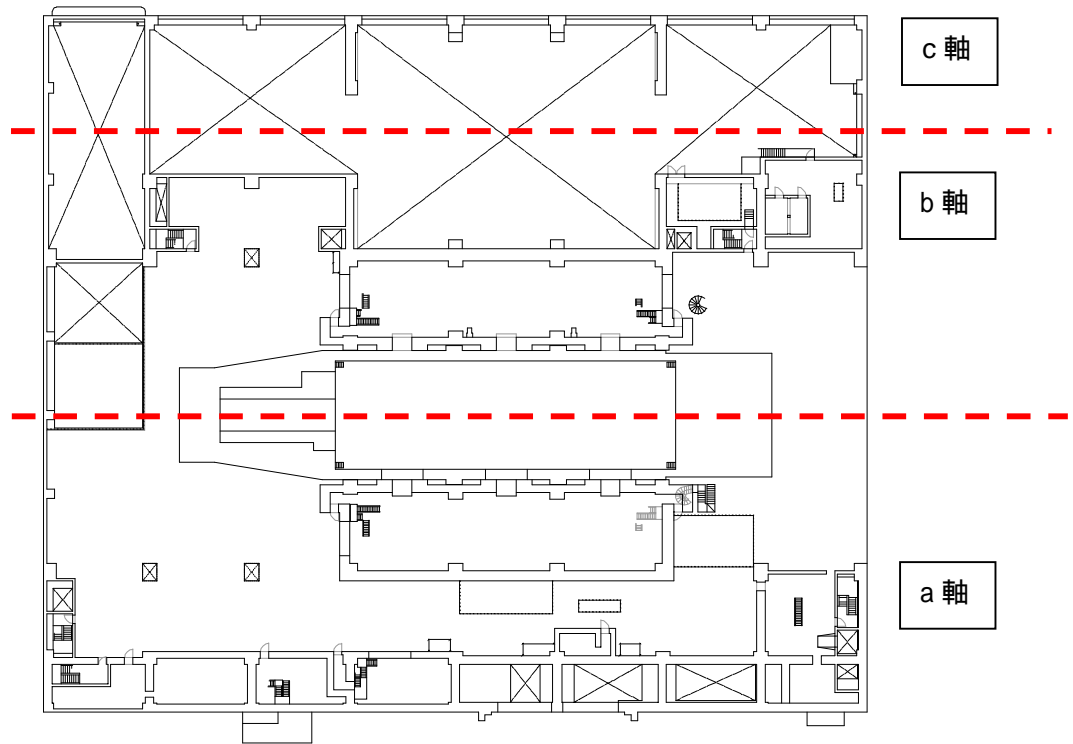
参図-7.3 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の地下中2階 T.M.S.L. -1.1m)



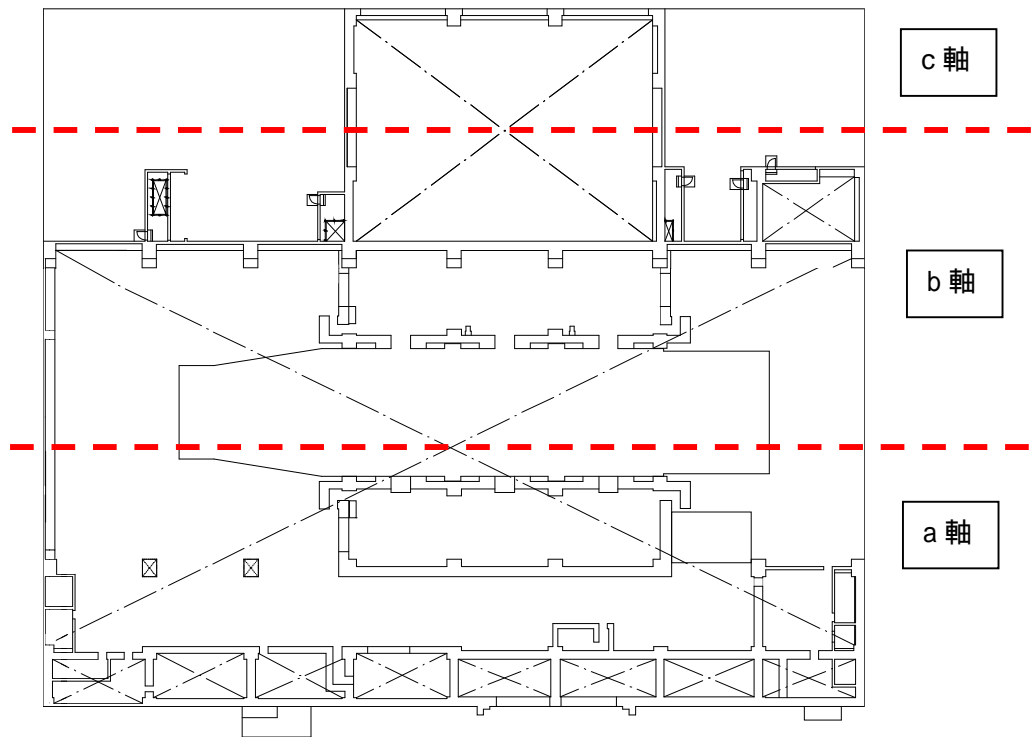
参図-7.4 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の地下1階 T.M.S.L.4.9m)



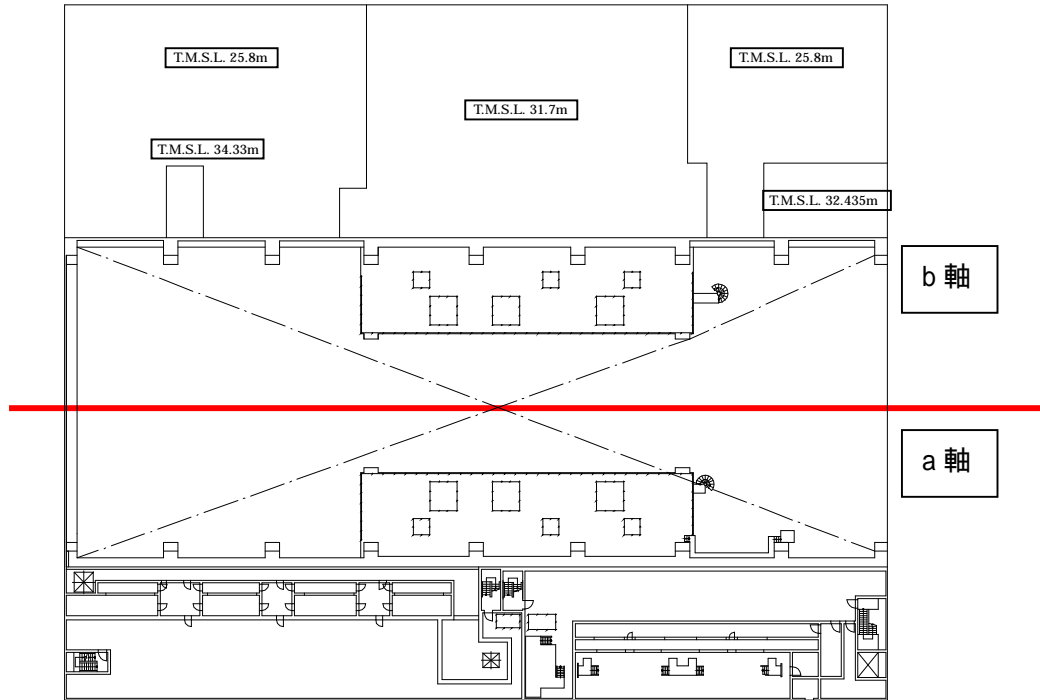
参図-7.5 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の1階 T.M.S.L.12.3m)



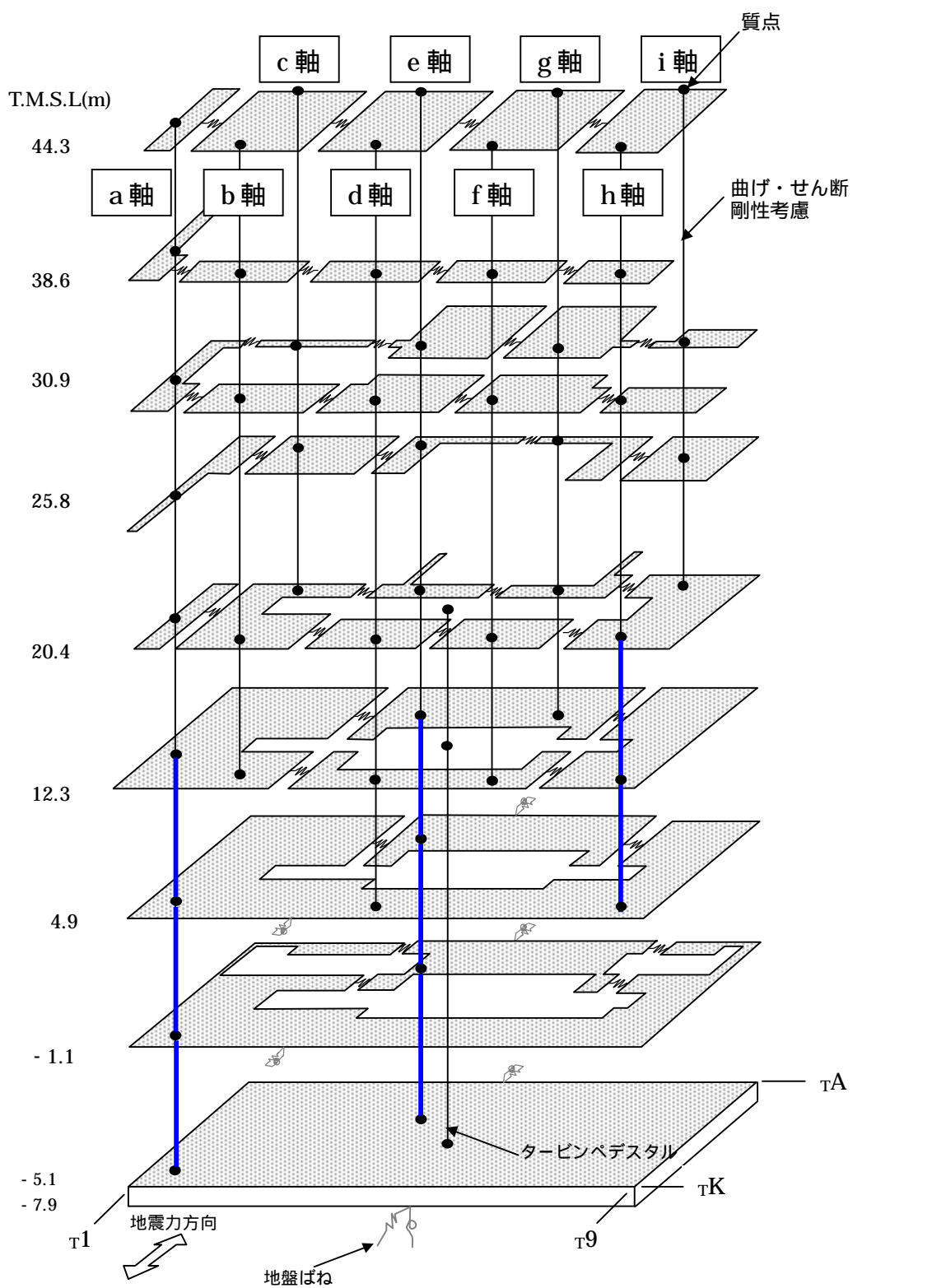
参図-7.6 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の2階 T.M.S.L.20.4m)



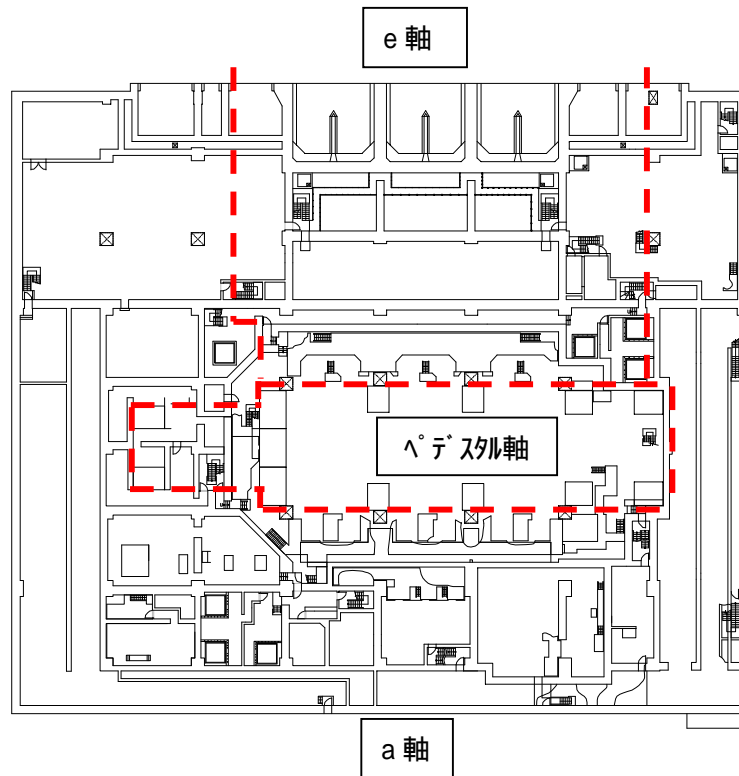
参図-7.7 振動モデル各軸のモデル化範囲
(南北方向の中3階 T.M.S.L.25.8m)



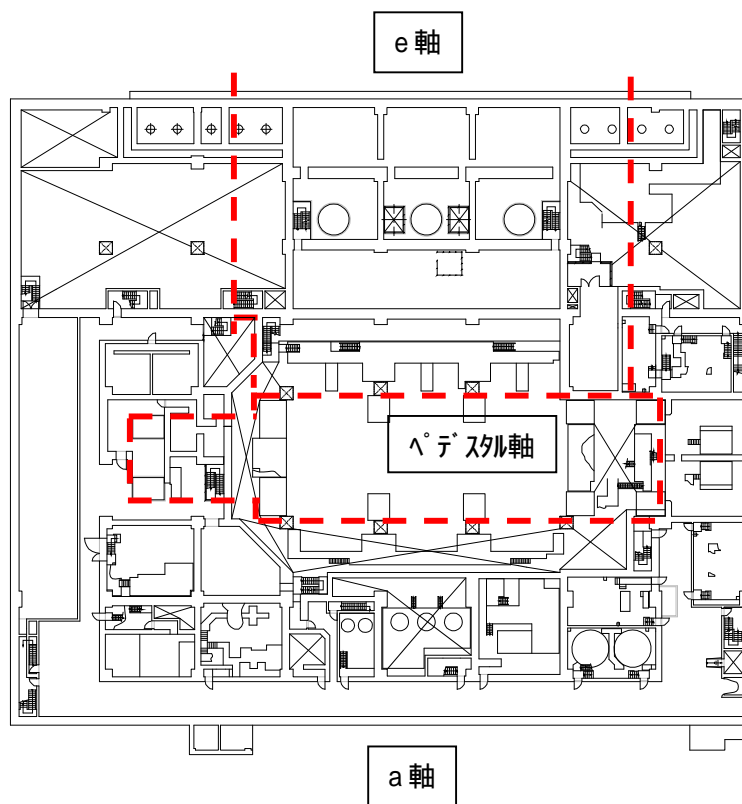
参図-7.8 振動モデル各軸のモデル化範囲
 (南北方向の3階 T.M.S.L.30.9m)



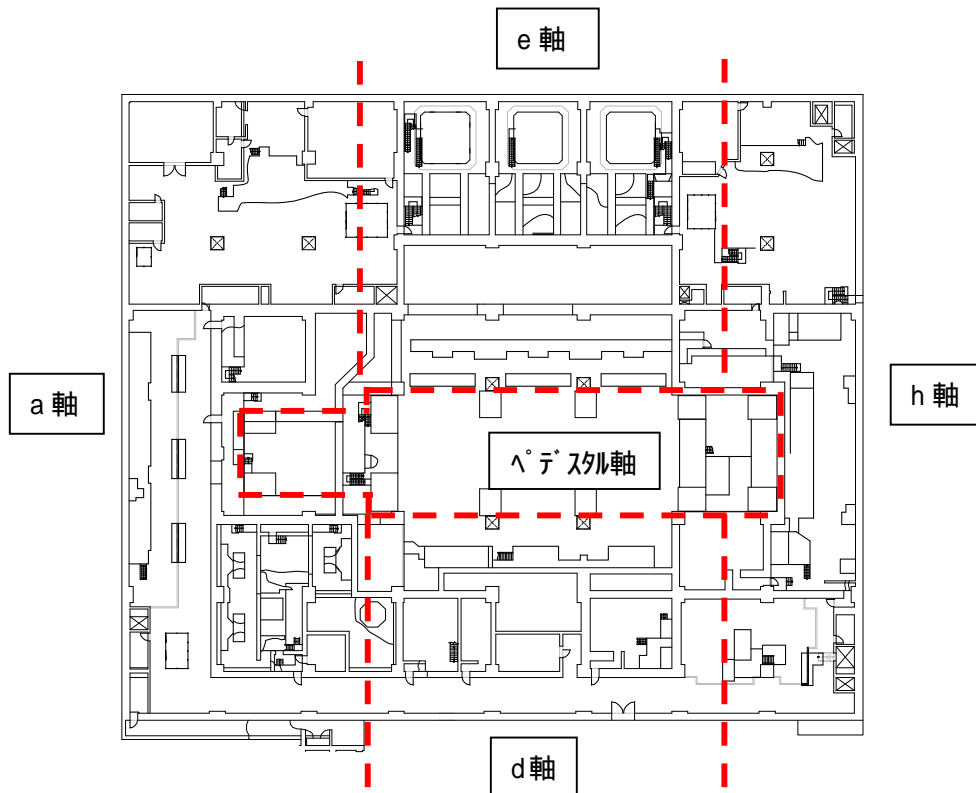
参図-7.9 振動モデル図(7号機タービン建屋、東西方向)



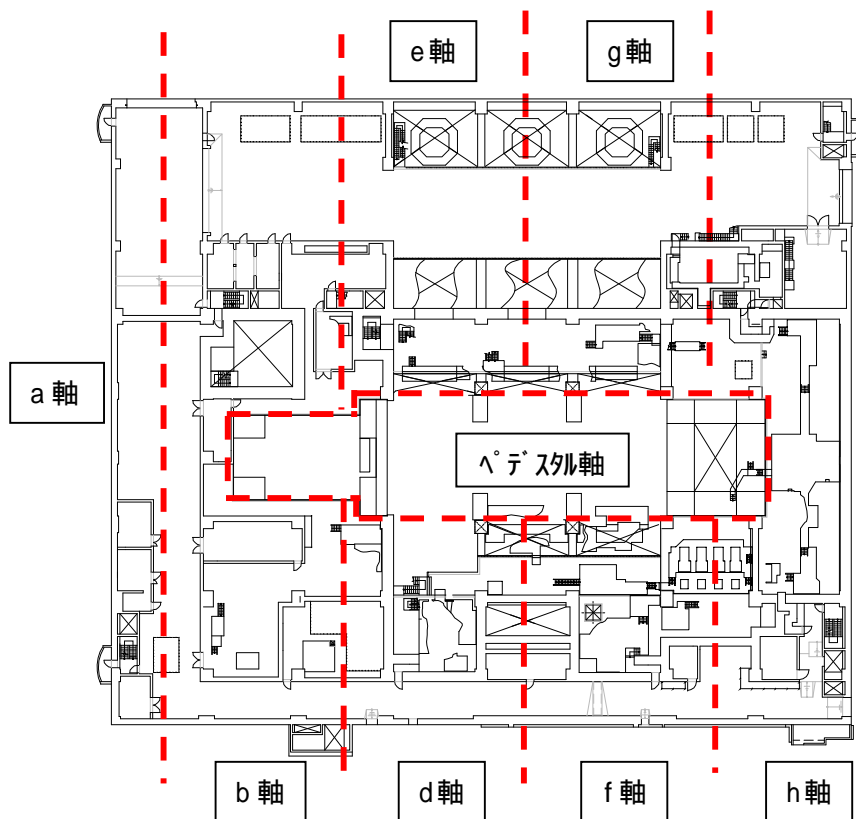
参図-7.10 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の地下2階 T.M.S.L. -5.1m)



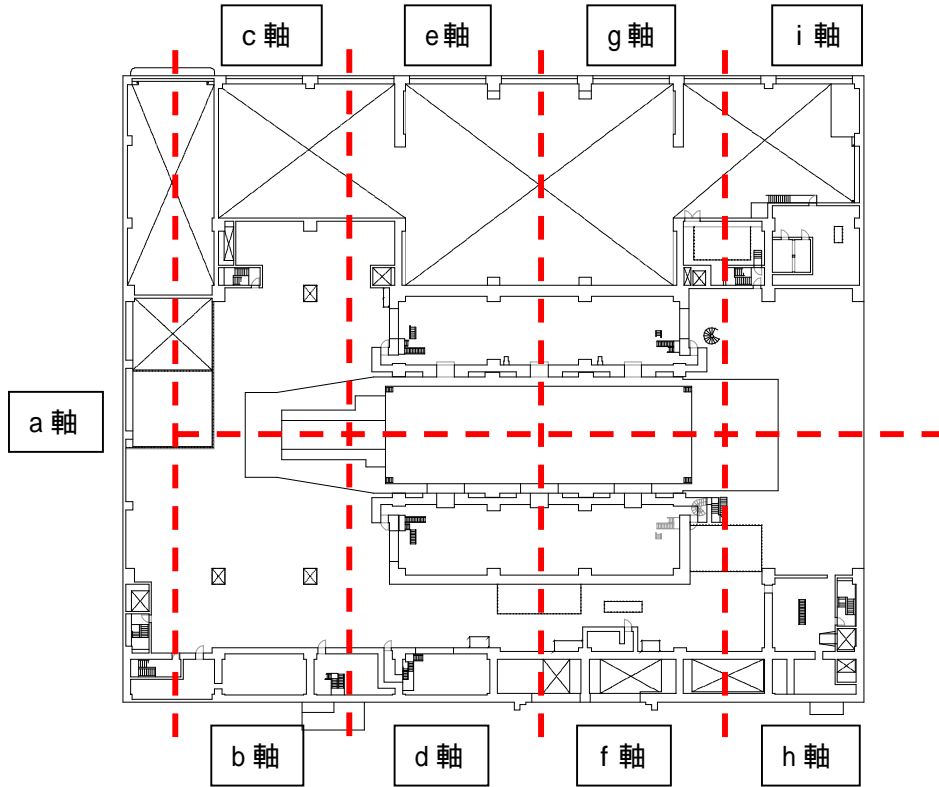
参図-7.11 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の地下中2階 T.M.S.L. -1.1m)



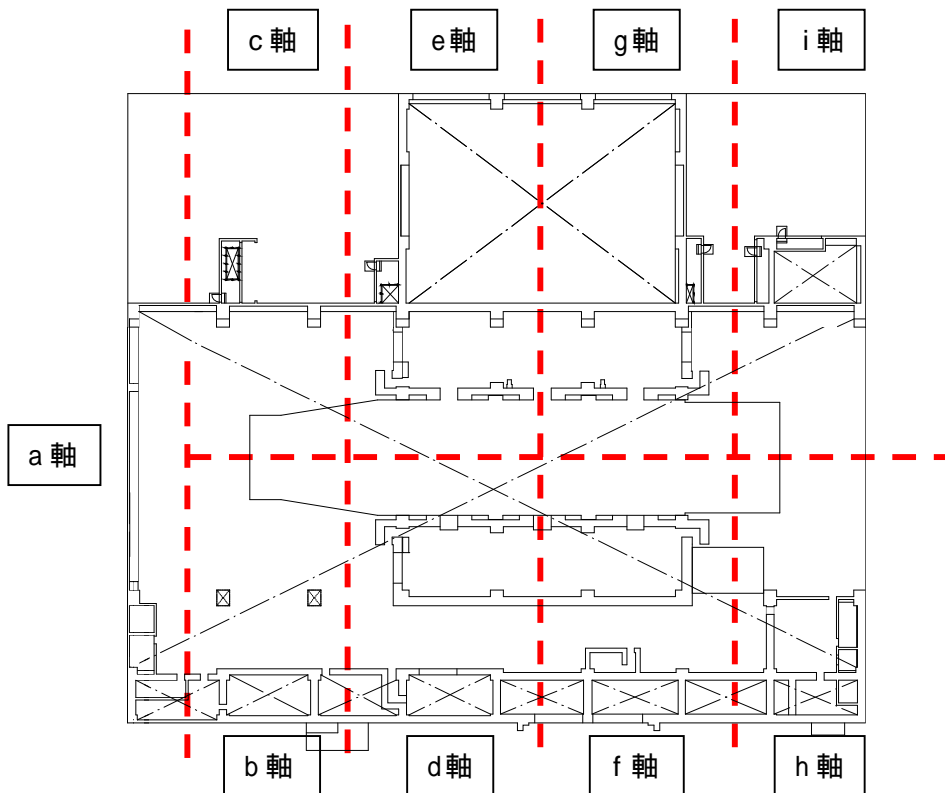
参図-7.12 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の地下1階 T.M.S.L.4.9m)



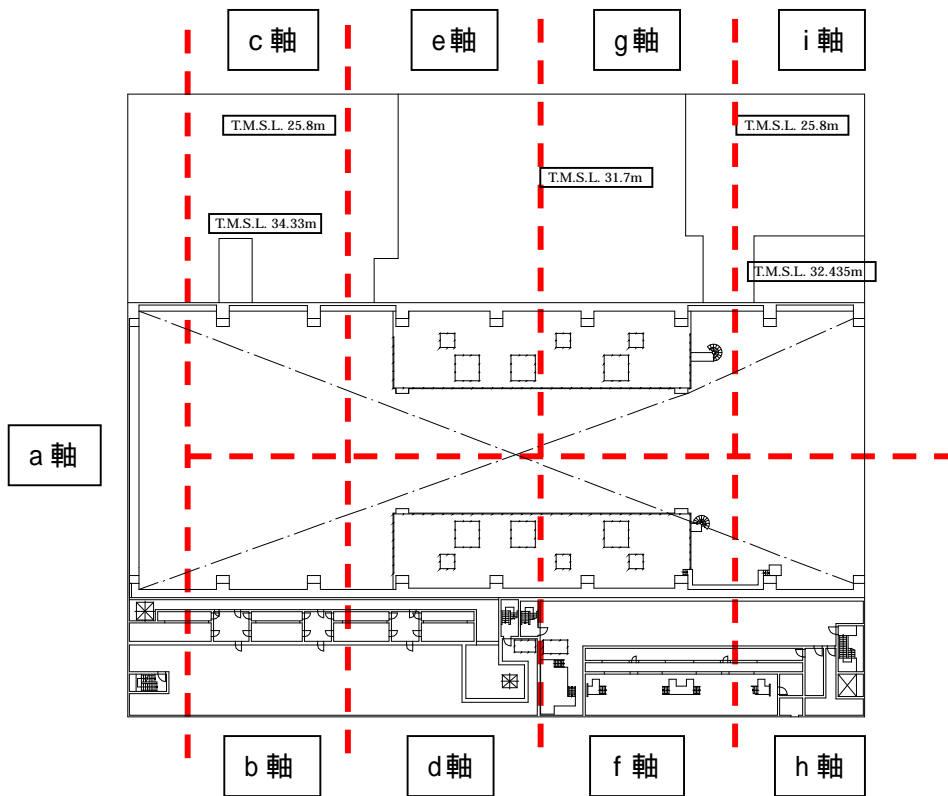
参図-7.13 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の1階 T.M.S.L.12.3m)



参図-7.14 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の2階 T.M.S.L.20.4m)



参図-7.15 振動モデル各軸のモデル化範囲
(東西方向の中3階 T.M.S.L.25.8m)



参図-7.16 振動モデル各軸のモデル化範囲
 (東西方向の3階 T.M.S.L.30.9m)

参考資料 8 タービン建屋地震応答解析結果

地震応答解析モデルの固有値(固有周期および固有振動数)を、参表-8.1 に示す。地震応答解析(水平)により求められた最大応答値を、参図-8.1～参図-8.4 に示す。

またタービン建屋のシミュレーション解析は、タービン建屋の基礎版上の記録を基に実施している。一方で、観測記録の無い建物・構築物(7号機の場合は非常用取水路が該当)については、原子炉建屋基礎版上の記録を基にした入力地震動を用いることとしている。この手法の妥当性を確認するために、7号機のタービン建屋において、比較解析を実施した。その手法のイメージを参図-8.5 に、原子炉建屋の基礎版上観測記録を用いた解析結果と、タービン建屋の基礎版上観測記録の加速度応答スペクトルの比較を、参図-8.6 に示す。

参表-8.1 固有値解析結果

(南北方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 ^{*1}
1	0.358	2.797	2.374
2	0.284	3.524	- 1.202
3	0.208	4.803	- 1.722
4	0.164	6.107	- 0.952
5	0.159	6.281	- 0.242
6	0.131	7.623	0.332
7	0.104	9.592	0.026
8	0.090	11.150	- 0.011
9	0.080	12.517	0.038
10	0.080	12.561	- 0.019

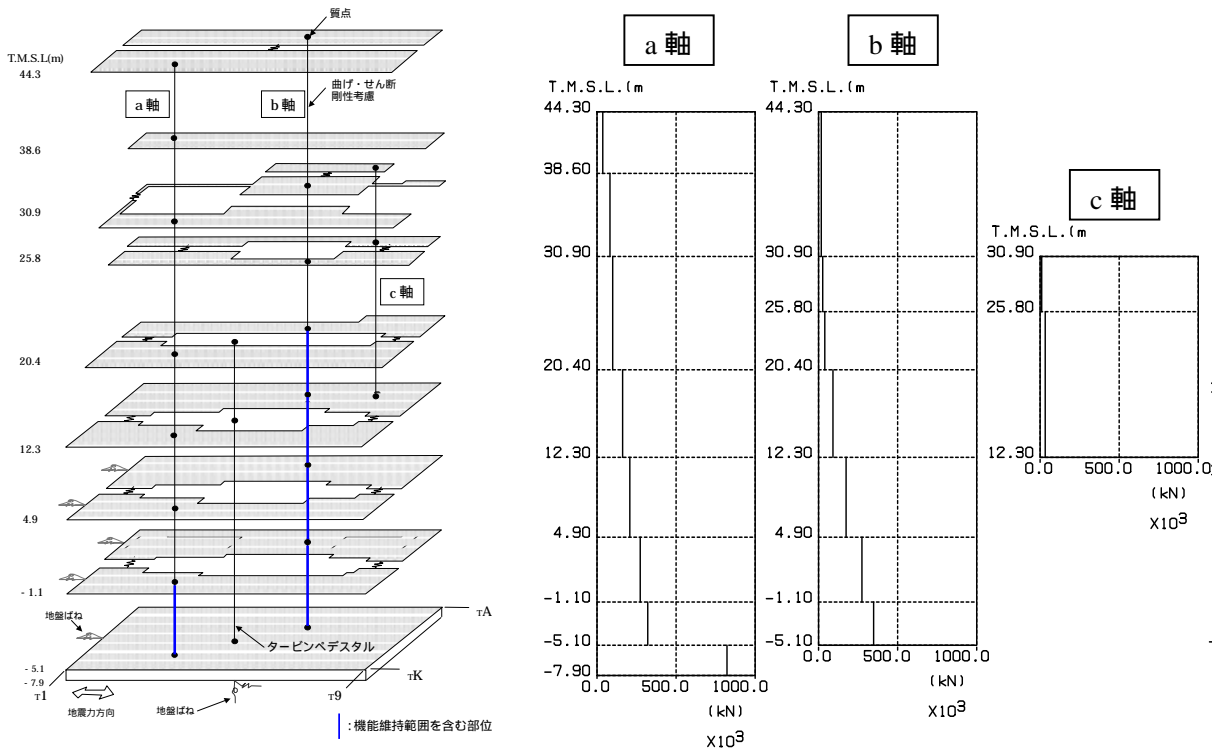
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 ^{*1}
1	0.375	2.666	3.263
2	0.297	3.370	- 1.036
3	0.246	4.069	- 1.815
4	0.203	4.918	- 0.452
5	0.159	6.286	- 1.162
6	0.152	6.581	- 0.316
7	0.146	6.829	0.564
8	0.133	7.522	0.278
9	0.122	8.220	- 0.454
10	0.114	8.750	0.399

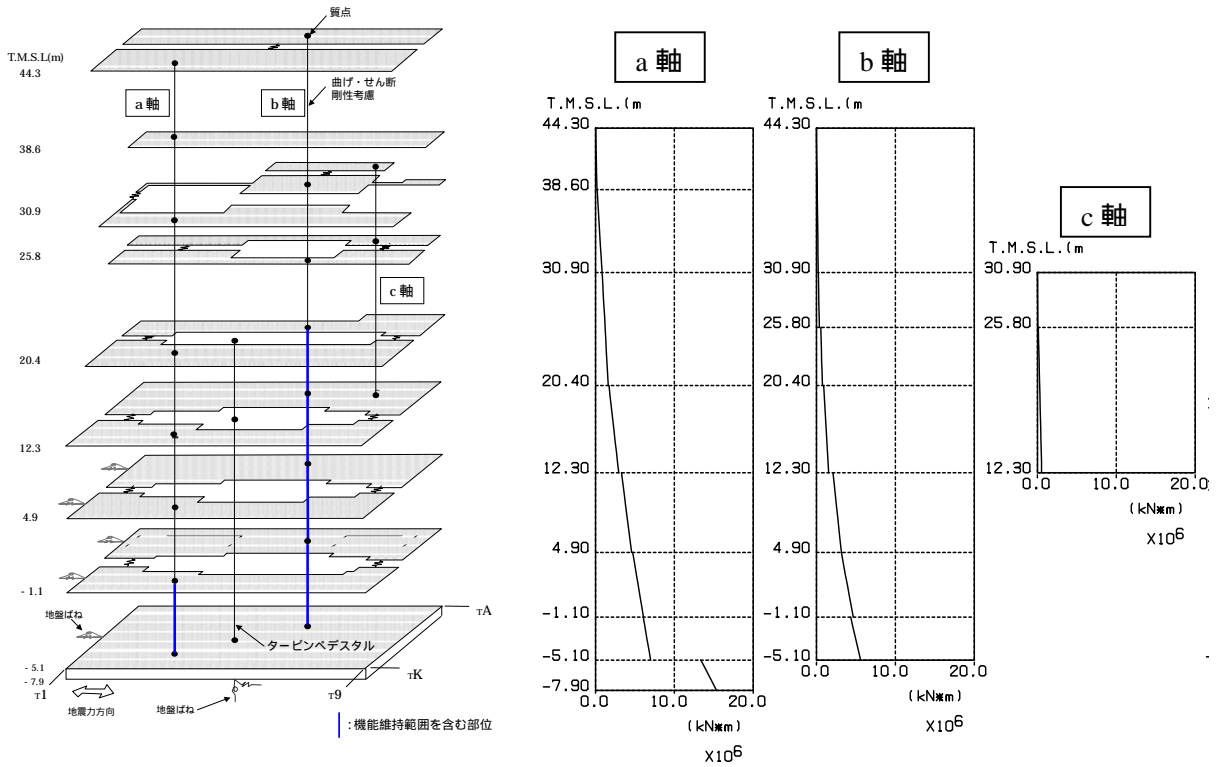
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 ^{*1}
1	0.264	3.782	5.694
2	0.229	4.361	- 4.778
3	0.072	13.859	- 0.171
4	0.055	18.093	0.034
5	0.054	18.438	- 0.116
6	0.034	29.358	0.075
7	0.032	30.845	- 0.070
8	0.028	36.044	0.026
9	0.027	37.728	0.019
10	0.019	53.560	0.011

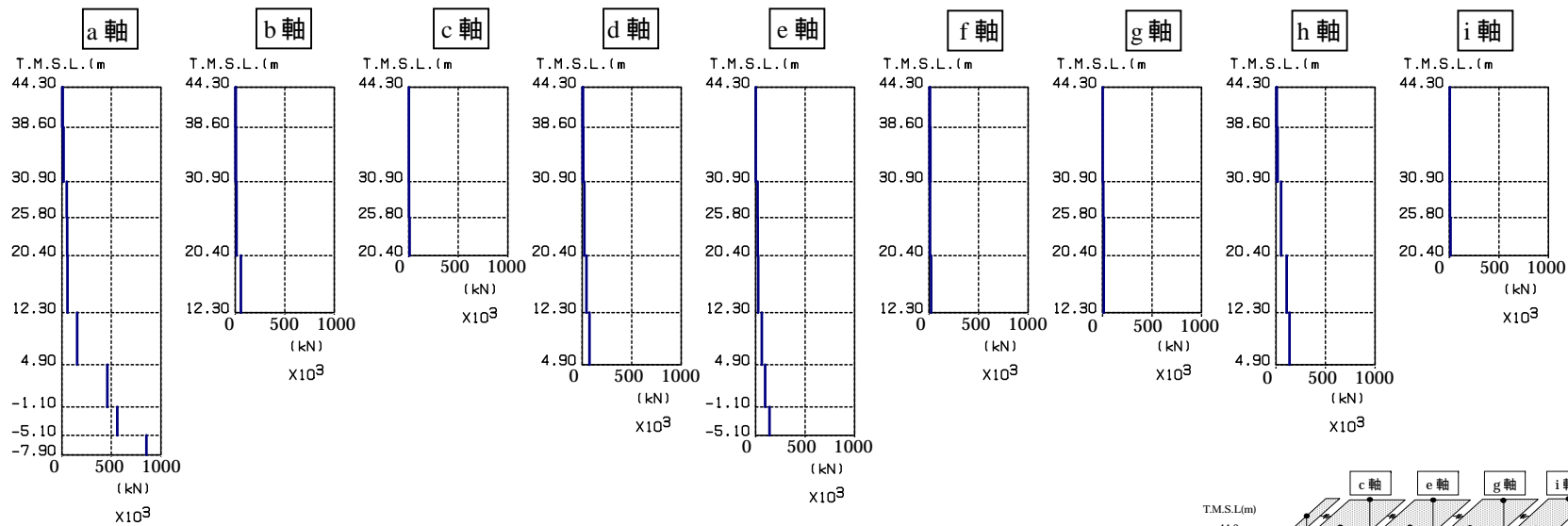
*1 : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



参図-8.1 最大応答せん断力 (南北方向)

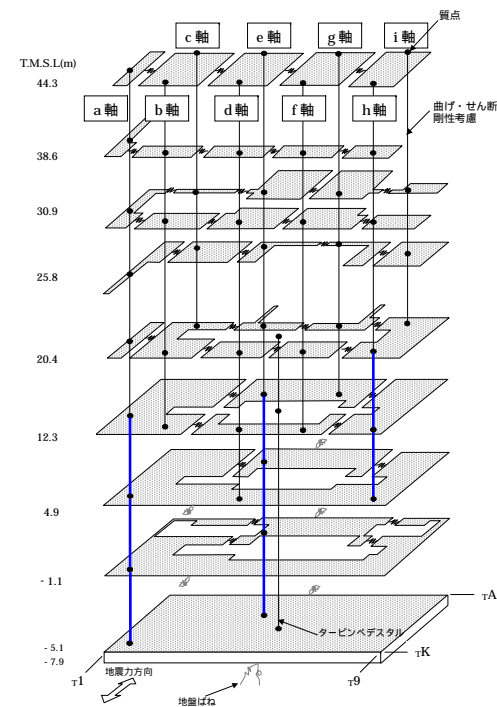


参図-8.2 最大応答曲げモーメント (南北方向)

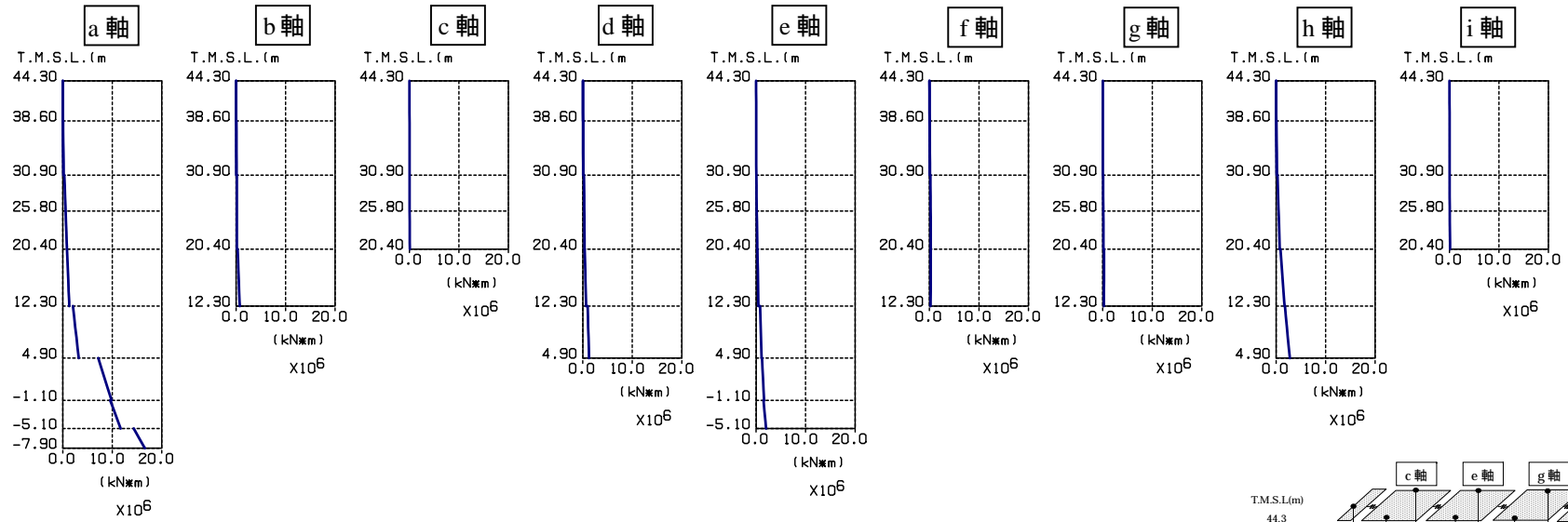


縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答せん断力 (× 10³kN)

参図-8.3 最大応答せん断力（東西方向）

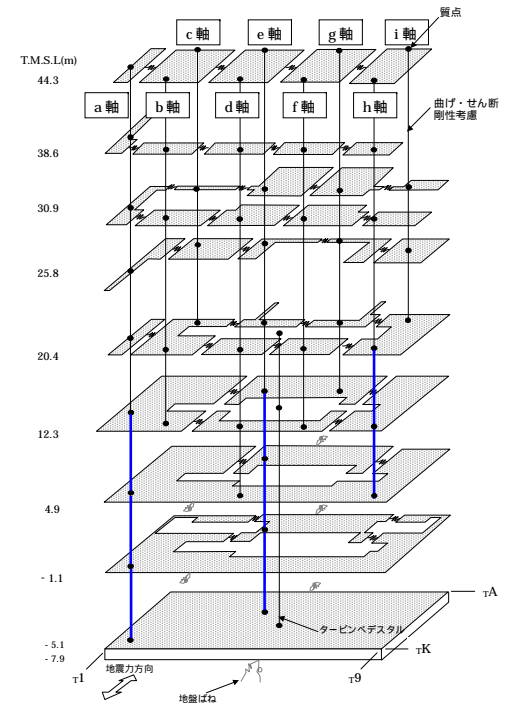


：機能維持範囲を含む部位

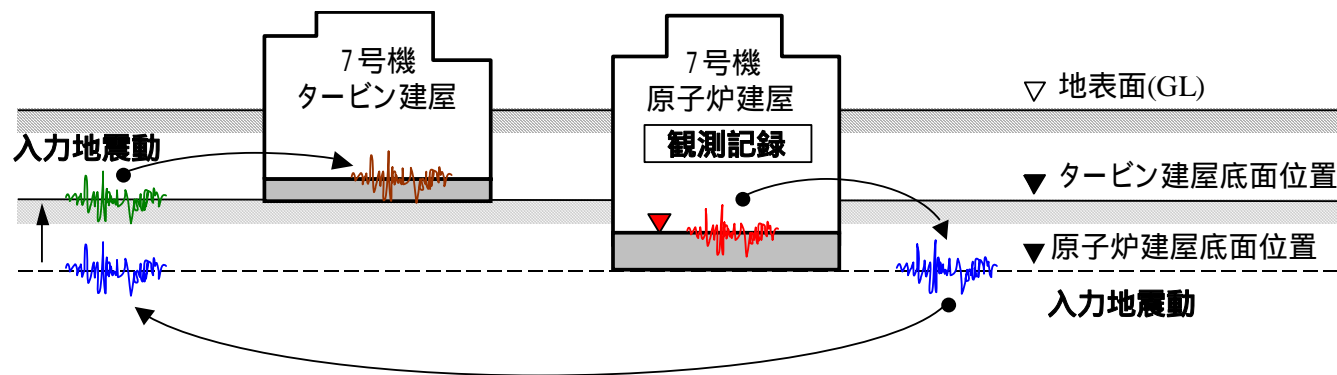


縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答曲げモーメント ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)

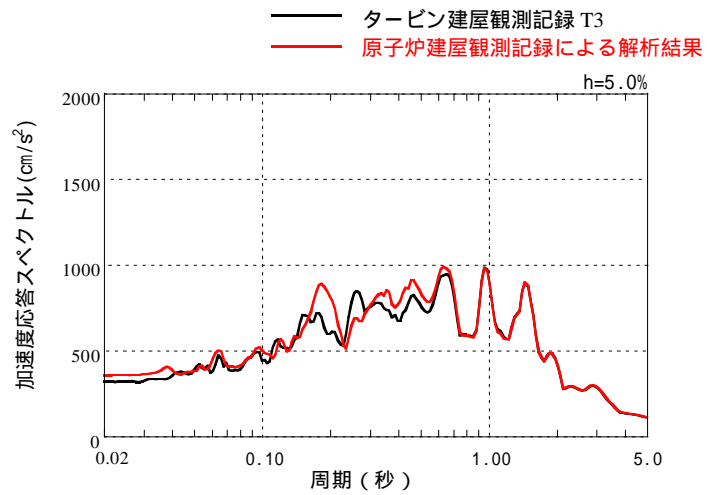
参図-8.4 最大応答曲げモーメント（東西方向）



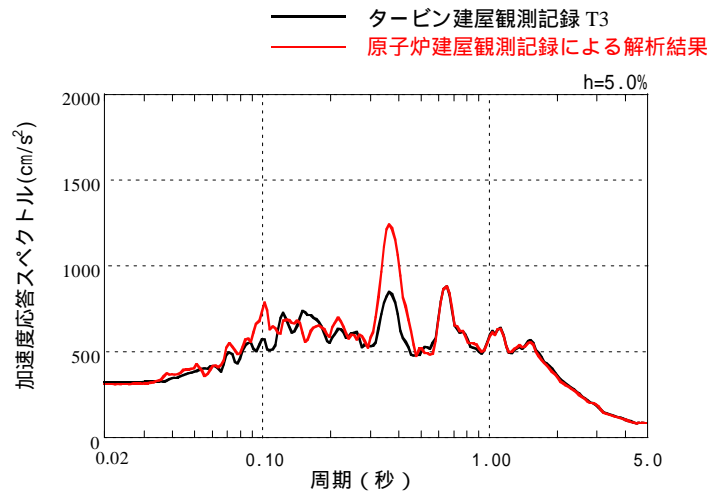
：機能維持範囲を含む部位



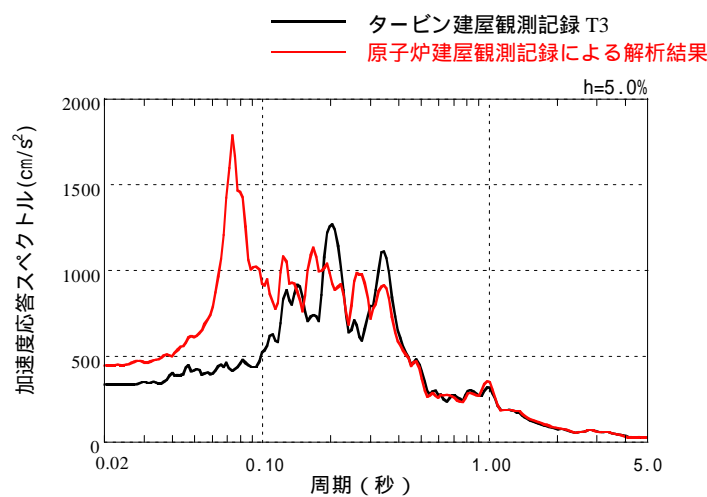
参図-8.5 原子炉建屋基礎版上の観測記録を基にした入力地震動の算出イメージ



(a) 南北方向の基礎版上



(b) 東西方向の基礎版上



上下方向の基礎版上

参図-8.6 7号機原子炉建屋の基礎版上観測記録を用いた解析結果と、タービン建屋の基礎版上観測記録の加速度応答スペクトル

(1) 検討の背景

地震応答解析の条件は安全側への配慮に基づく保守性が含まれているため、構造物の現実的な挙動を十分に説明できない可能性がある。そこで、今後の検討の参考のために、解析条件における保守性を取り除いた、より現実的な地震応答解析を実施し、その結果に基づいた健全性評価を行うこととする。

(2) 検討方法

報告書本編の「5.4. 非常用取水路の耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準を基本とし、次の2点について解析条件を変更することにより検討する。

- ① コンクリートおよび鉄筋の材料定数について、実際の平均的な強度を基に算定することとし、設計時に用いた値から変更する（参表-9.1）。なお、ひび割れ発生曲げモーメントの算定においては、コンクリート引張強度に代えて、曲げ強度を採用する。
- ② 設計時には考慮していなかった近接構造物のうち、対象設備の地震時挙動に影響を及ぼす可能性があるものを解析モデルに反映する。具体的には、補機冷却用海水取水路（南側および北側）の地震応答解析を実施する際に、近接する取水路漸拡部を等価な剛性をもつソリッド要素としてモデル化する（参図-9.1および参図-9.2）。

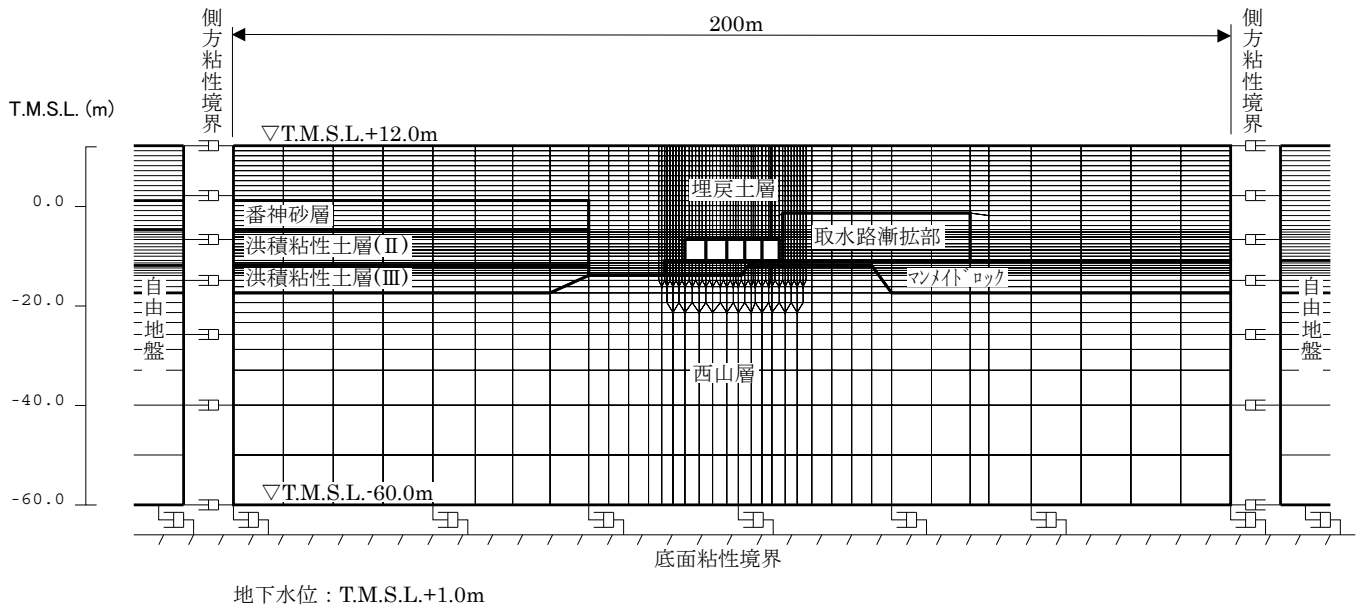
参表-9.1 材料の物性値

コンクリート (設計基準強度 24N/mm ²)	単位体積重量(kN/m ³)	23
	圧縮強度(N/mm ²)	48 ※ ¹
	ヤング係数(kN/mm ²)	32.6 ※ ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋 (SD345)	単位体積重量(kN/m ³)	80
	降伏強度(N/mm ²)	390 ※ ³
	ヤング係数(kN/mm ²)	200
	ポアソン比	0.3

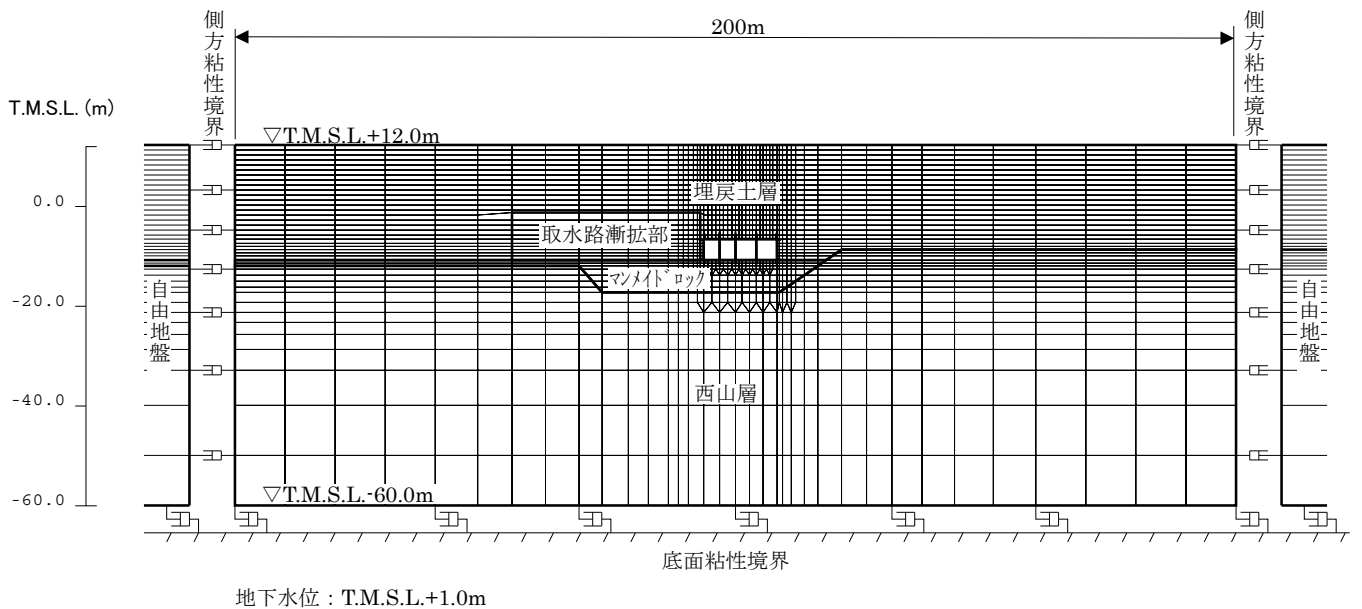
※1 実機（2～7号機非常用取水路）から採取したコア強度（試験体数40本）の平均値を適用

※2 コンクリート標準示方書に示された圧縮強度とヤング係数の関係を用いて算定

※3 建設時のミルシートに記載された試験結果の平均値を適用



参図-9.1 補機冷却用海水取水路（南側）地震応答解析モデル

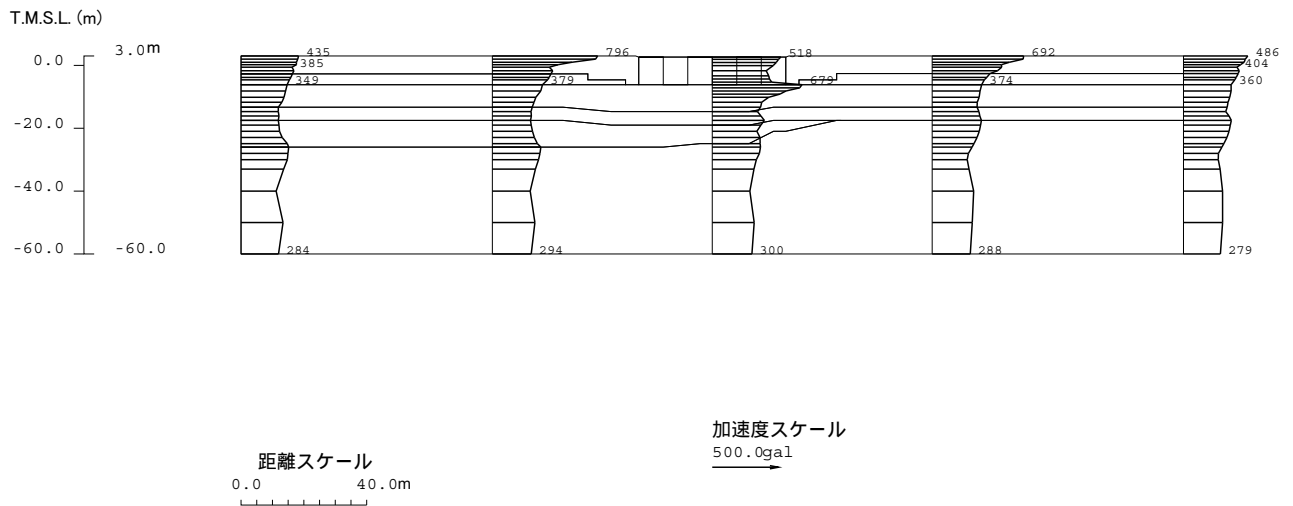


参図-9.2 補機冷却用海水取水路（北側）地震応答解析モデル

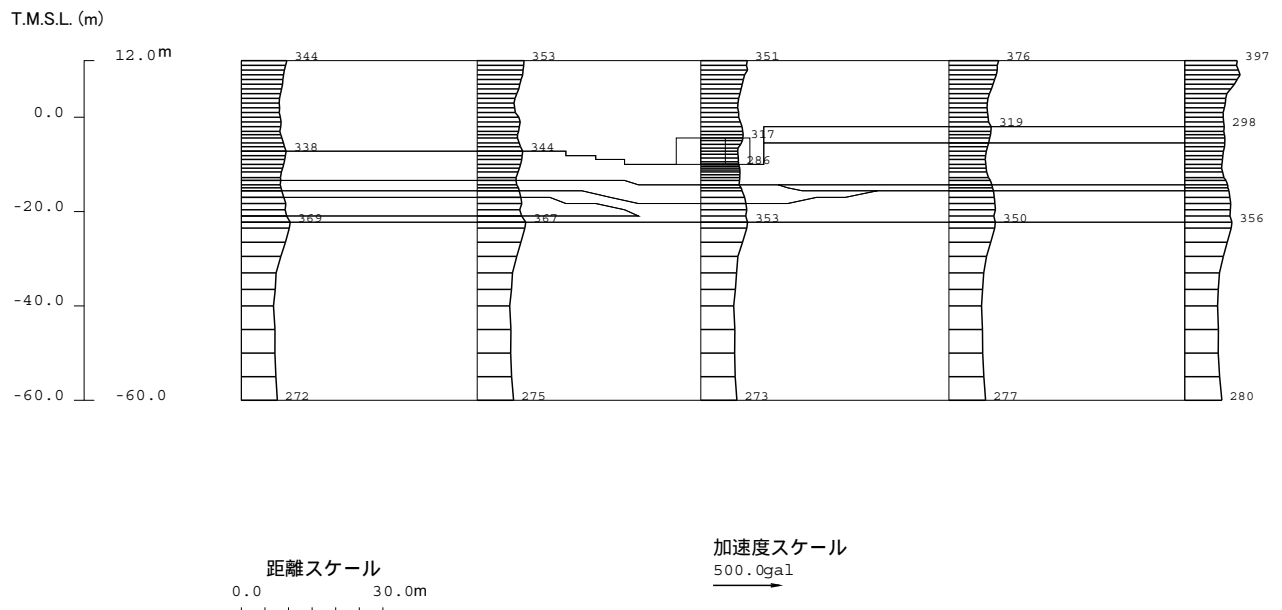
(3) 地震応答解析結果

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-9.3～参図-9.6に示す。

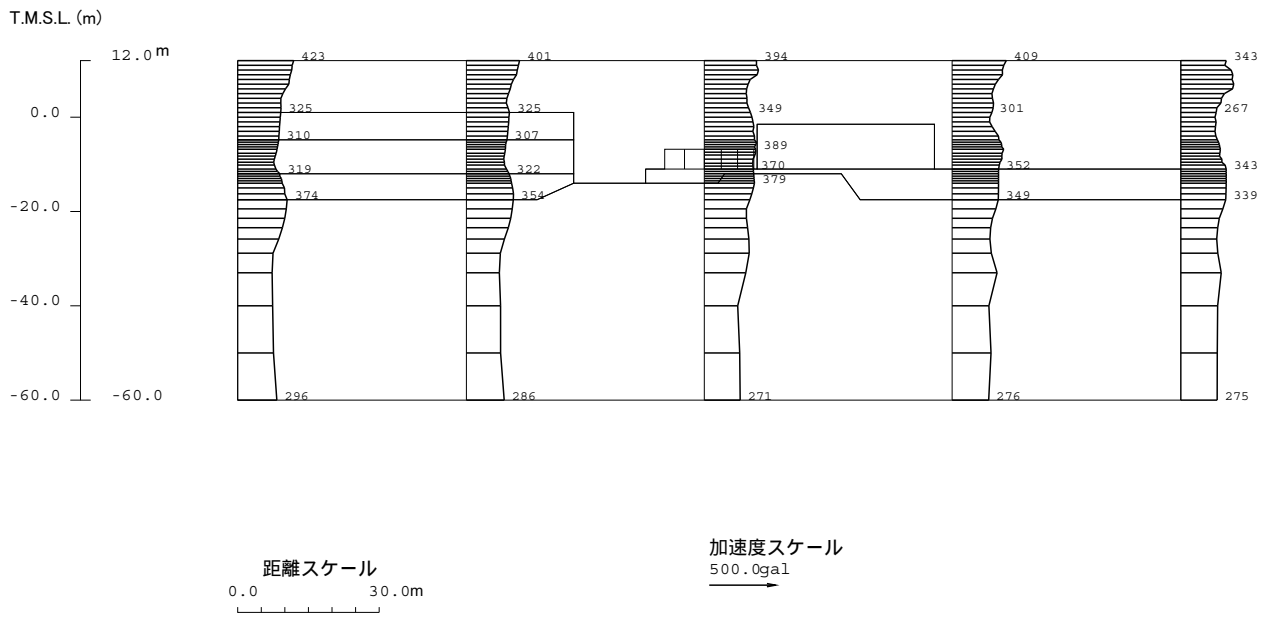
また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を参表-9.2に、最大相対変位発生時刻の変形図および加速度分布図をそれぞれ参図-9.7～参図-9.10、参図-9.11～参図-9.14に示す。



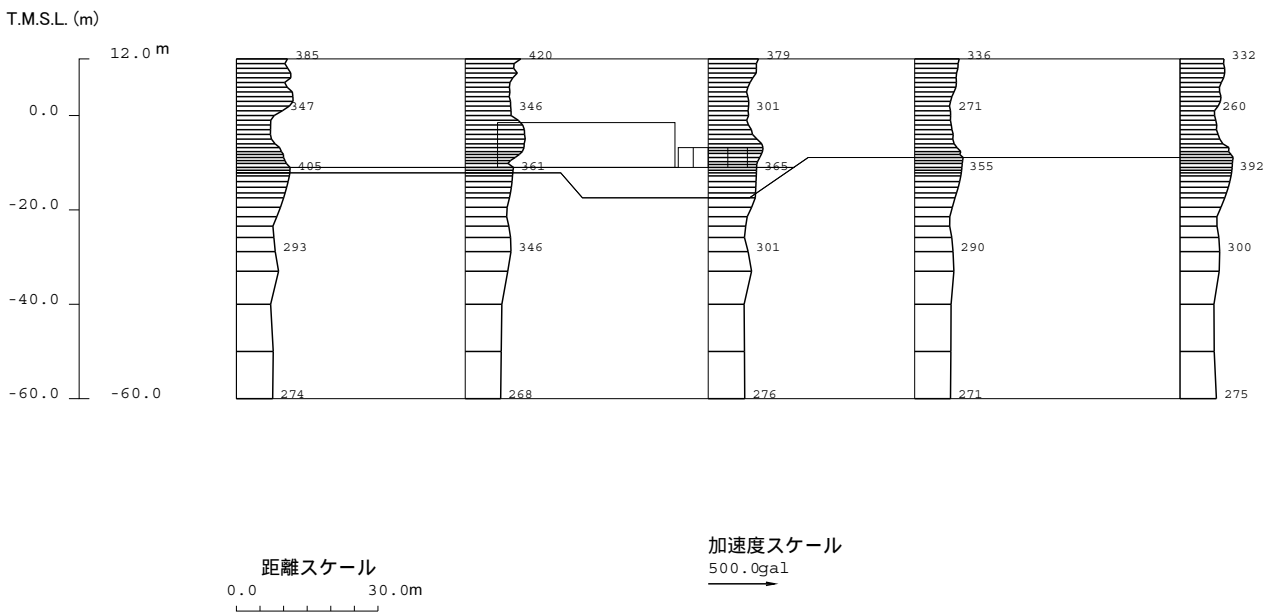
参図-9.3 スクリーン室最大加速度分布図



参図-9.4 取水路最大加速度分布図



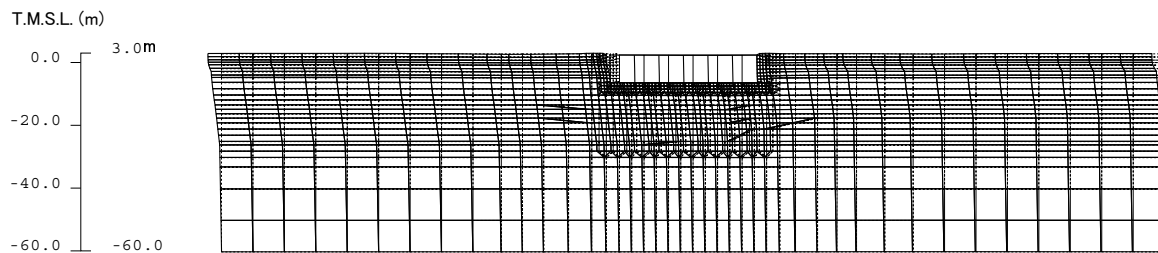
参図-9.5 補機冷却用海水取水路（南側）最大加速度分布図



参図-9.6 補機冷却用海水取水路（北側）最大加速度分布図

参表-9.2 頂底板間の最大相対変位

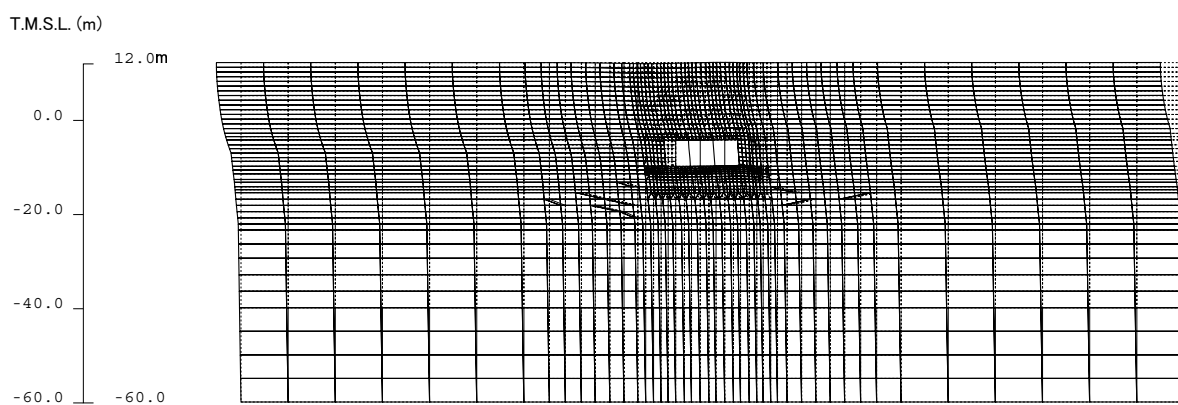
	最大相対変位(mm)	時刻(秒)
スクリーン室	2.5	11.38
取水路	9.4	8.21
補機冷却用海水 取水路 (南側)	2.3	8.06
補機冷却用海水 取水路 (北側)	2.2	8.15



距離スケール
0.0 40.0m

水平変位スケール
0.0 30.0cm

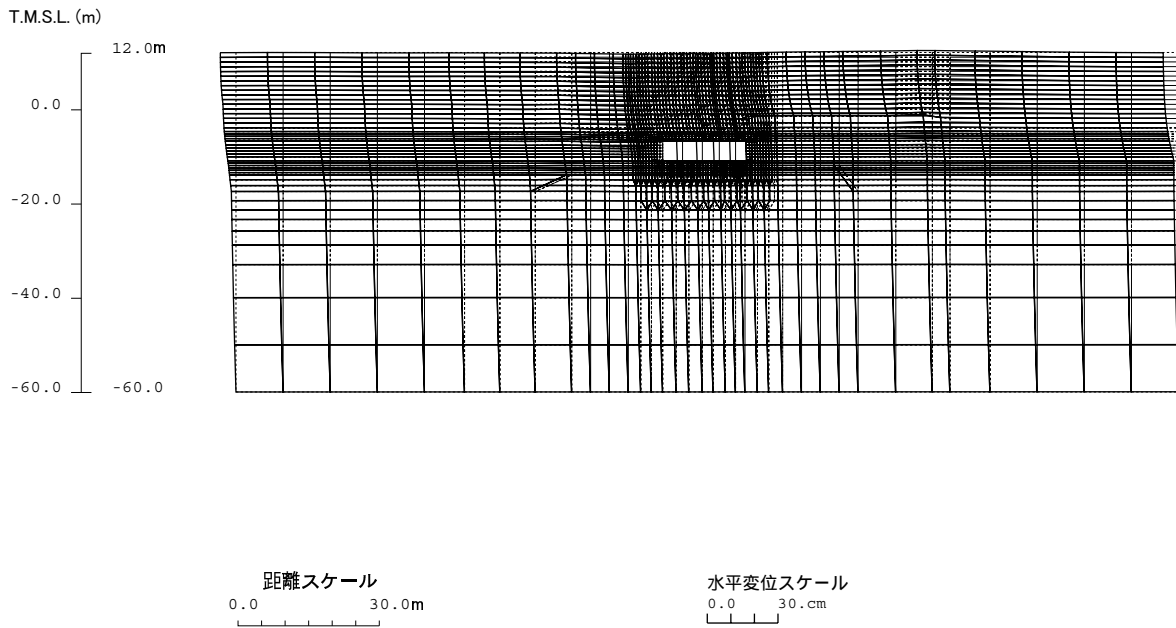
参図-9.7 スクリーン室変形図 (11.38 秒)



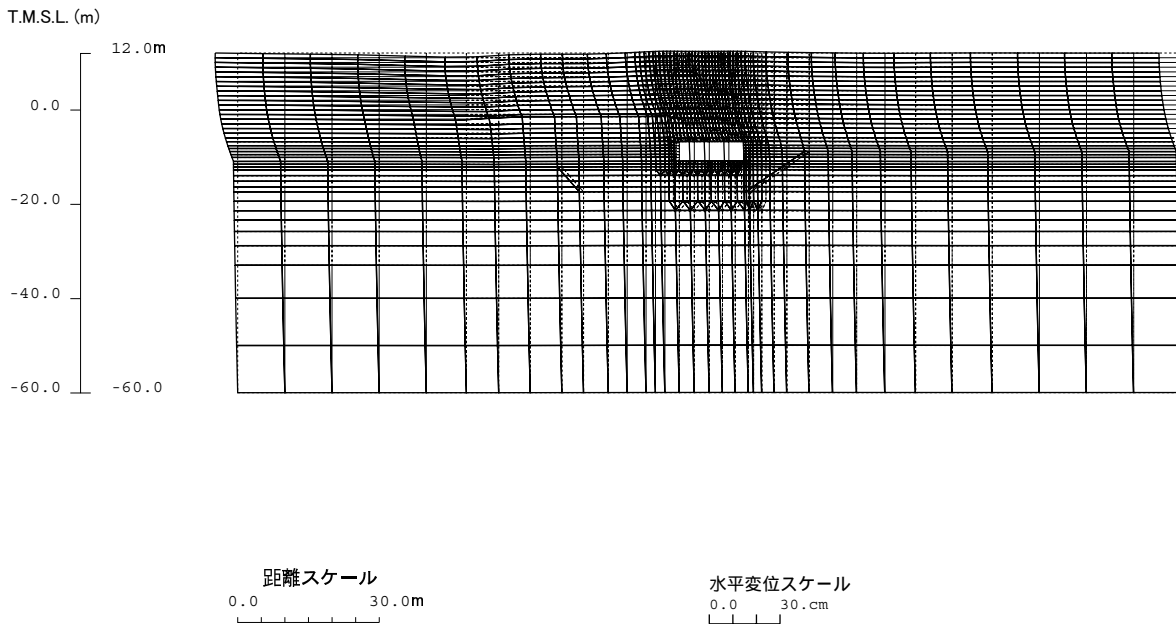
距離スケール
0.0 30.0m

水平変位スケール
0.0 30.0cm

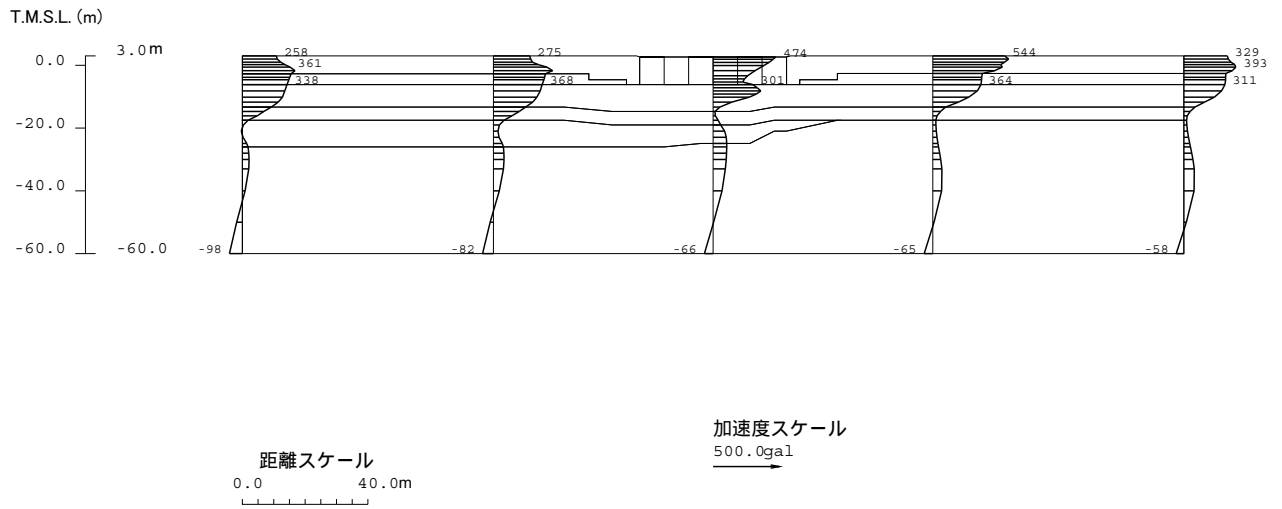
参図-9.8 取水路変形図 (8.21 秒)



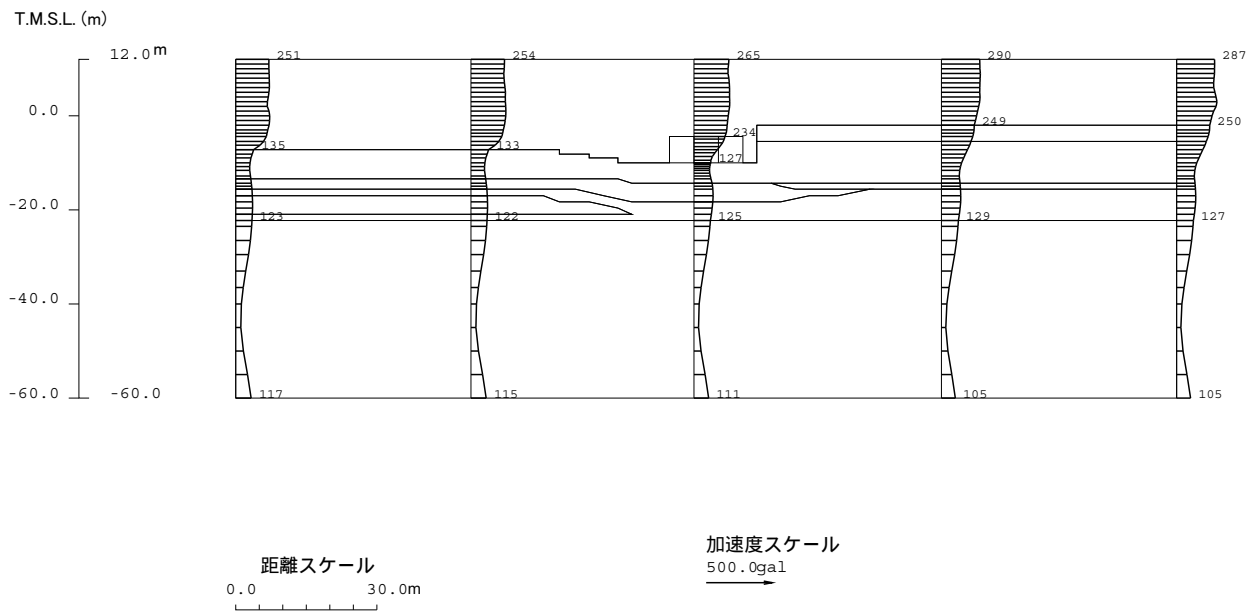
参図-9.9 補機冷却用海水取水路（南側）変形図（8.06秒）



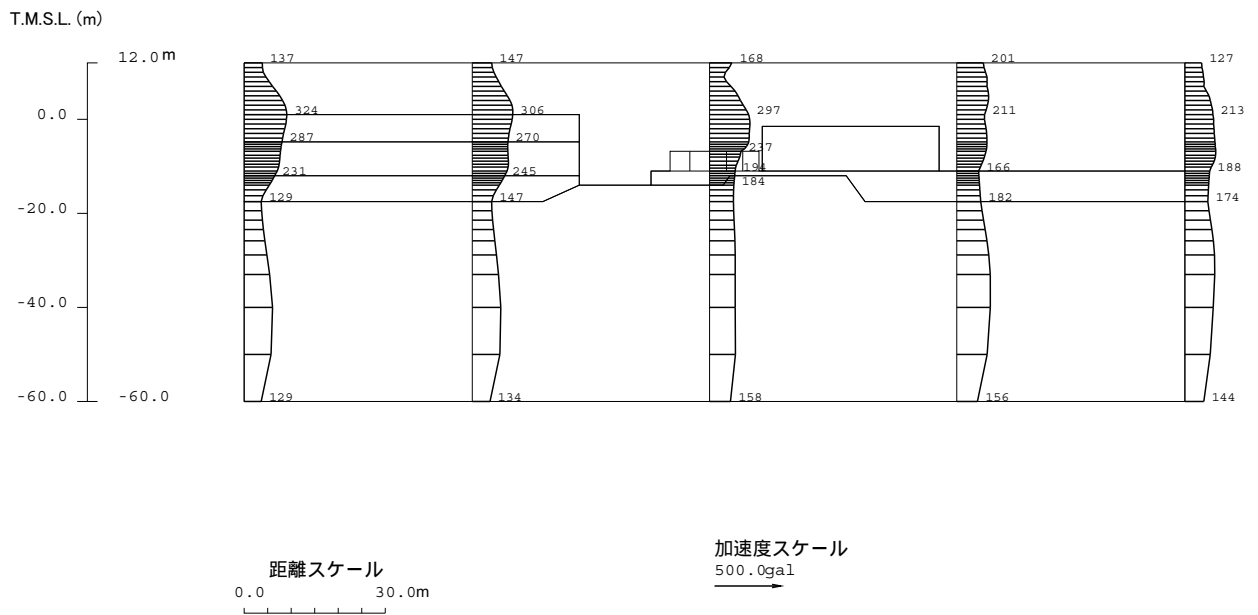
参図-9.10 補機冷却用海水取水路（北側）変形図（8.15秒）



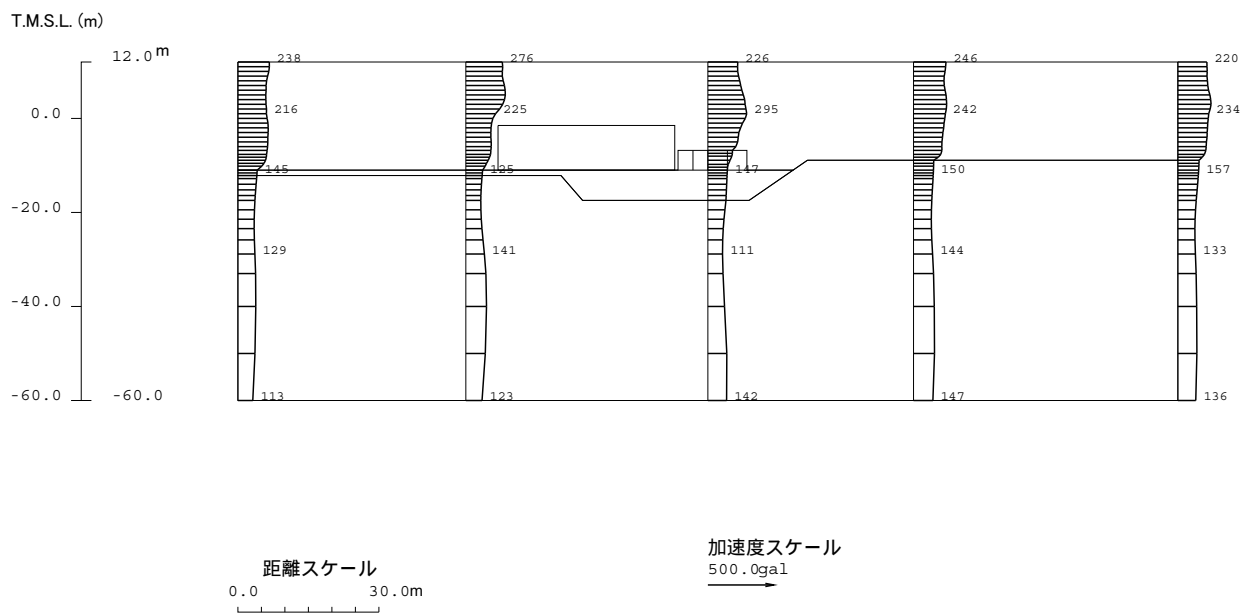
参図-9.11 スクリーン室加速度分布図 (11.38 秒)



参図-9.12 取水路加速度分布図 (8.21 秒)

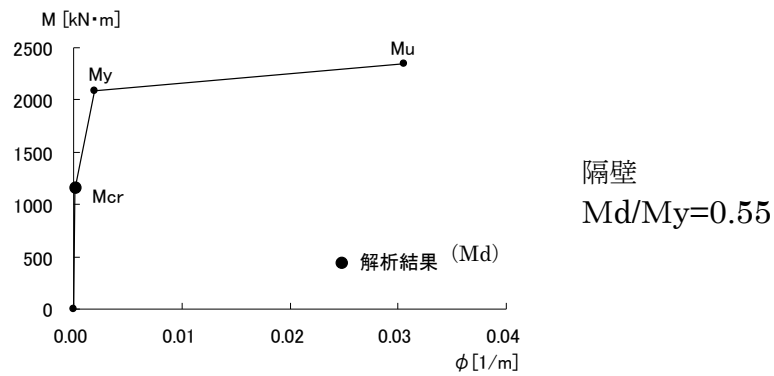


参図-9.13 補機冷却用海水取水路（南側）加速度分布図（8.06 秒）

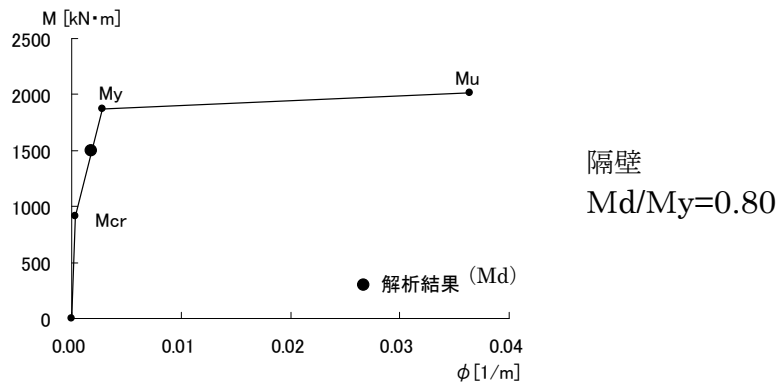
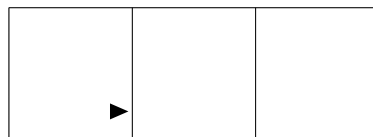


参図-9.14 補機冷却用海水取水路（北側）加速度分布図（8.15 秒）

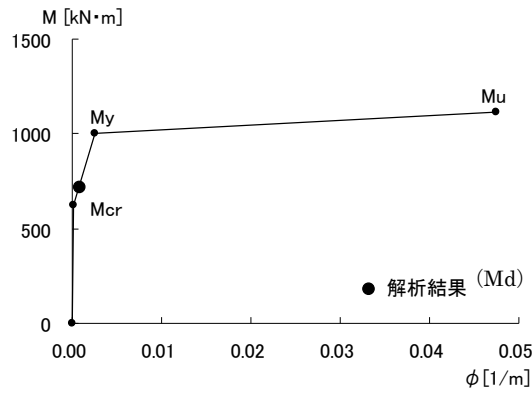
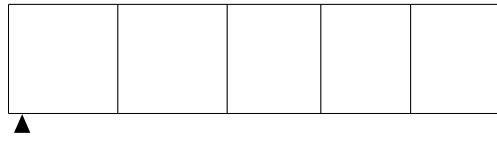
参図-9.15～参図-9.18 に、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路（南側）および補機冷却用海水取水路（北側）の各断面において、発生曲げモーメント M_d と降伏曲げモーメント M_y の比 M_d/M_y が最も大きい部位の $M-\phi$ スケルトン上に最大応答値をプロットした結果を示す。なお、図中の M_{cr} はひび割れ発生曲げモーメント、 M_u は最大曲げモーメントを表わしている。



参図-9.15 スクリーン室 $M-\phi$ スケルトン

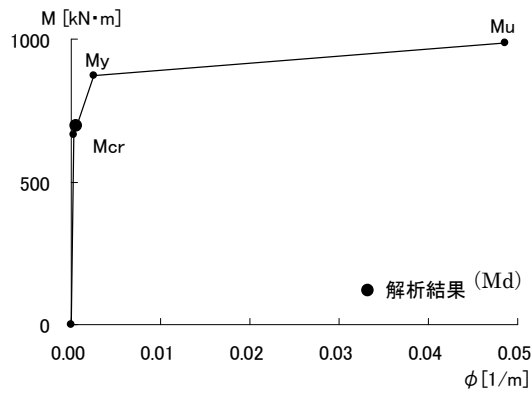
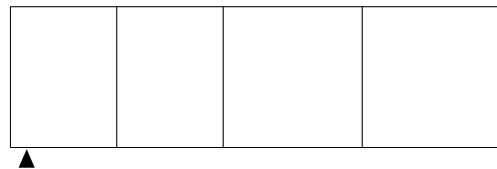


参図-9.16 取水路 $M-\phi$ スケルトン



底版
Md/My=0.72

参図-9.17 補機冷却用海水取水路（南側）M- ϕ スケルトン



底版
Md/My=0.80

参図-9.18 補機冷却用海水取水路（北側）M- ϕ スケルトン

(4) 地震応答解析結果

(a) 層間変形角による照査結果

層間変形角による照査結果を参表-9.3に示す。層間変形角による照査の結果、評価位置において照査用層間変形角が限界層間変形角を下回ることを確認した。

参表-9.3 層間変形角による照査結果

	評価位置	照査用層間変形角 R_d	限界層間変形角 R_u	R_d/R_u
スクリーン室	頂版 ～底版	0.0278/100	1/100	0.028
取水路	頂版 ～底版	0.168/100	1/100	0.17
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版 ～底版	0.0555/100	1/100	0.055
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版 ～底版	0.0533/100	1/100	0.053

(b) せん断力による照査結果

せん断力による照査結果を参表-9.4に示す。せん断力による照査の結果、評価位置において照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

参表-9.4 せん断力による照査結果

	評価位置	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd}^{*1} (kN)	V_d/V_{yd}
スクリーン室	頂版	171	624	0.27
	底版	317	1894	0.17
	側壁	206	1605	0.13
	隔壁	375	1579	0.24
取水路	頂版	806	3522	0.23
	底版	880	3665	0.24
	側壁	574	1881	0.31
	隔壁	824	1266	0.65
補機冷却用海水 取水路（南側）	頂版	743	3212	0.23
	底版	659	2928	0.23
	側壁	483	1955	0.25
	隔壁	631	1097	0.58
補機冷却用海水 取水路（北側）	頂版	717	5035	0.14
	底版	703	5114	0.14
	側壁	528	1664	0.32
	隔壁	568	1047	0.54

※1 等価せん断スパン比を用いた方法による。