

参考資料 1 原子炉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-1.1 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-1.1～参図-1.6 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-1.7 および参図-1.8 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-1.2 に示す。

参表-1.1 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	0.425	2.36	1.56
2	0.211	4.74	-0.60
3	0.087	11.51	-0.09
4	0.073	13.61	0.21
5	0.059	17.08	-0.09

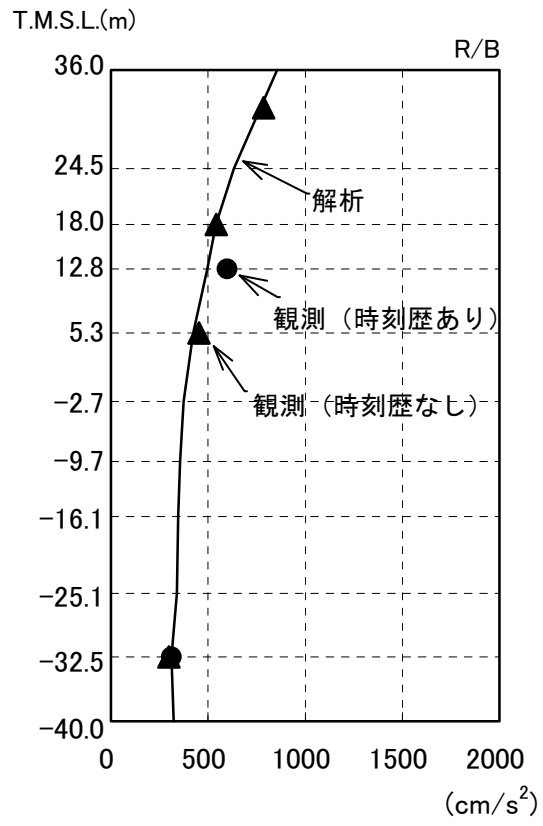
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.423	2.36	1.56
2	0.211	4.74	-0.60
3	0.086	11.69	-0.08
4	0.073	13.65	0.18
5	0.056	17.74	-0.06

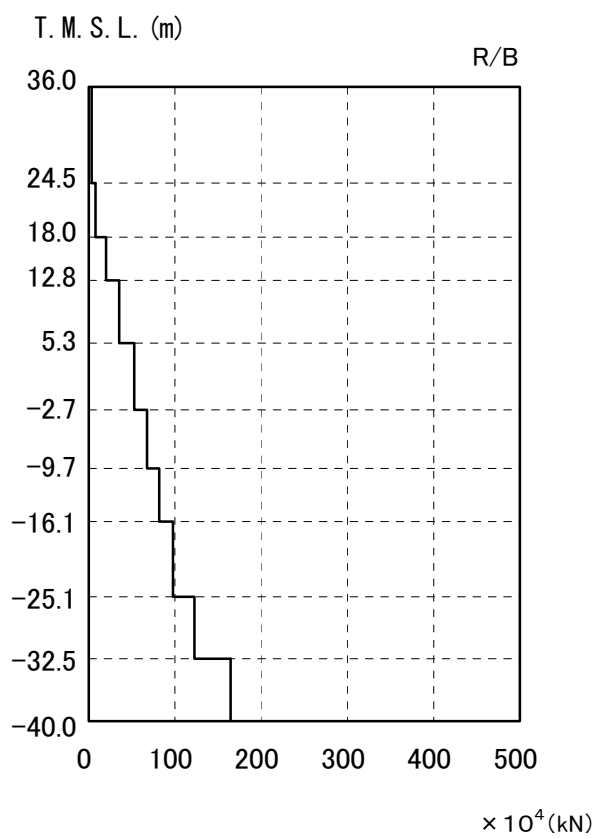
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*
1	0.311	3.21	4.85
2	0.267	3.75	-3.89
3	0.078	12.84	0.08
4	0.056	17.81	-0.06
5	0.050	20.15	-0.07

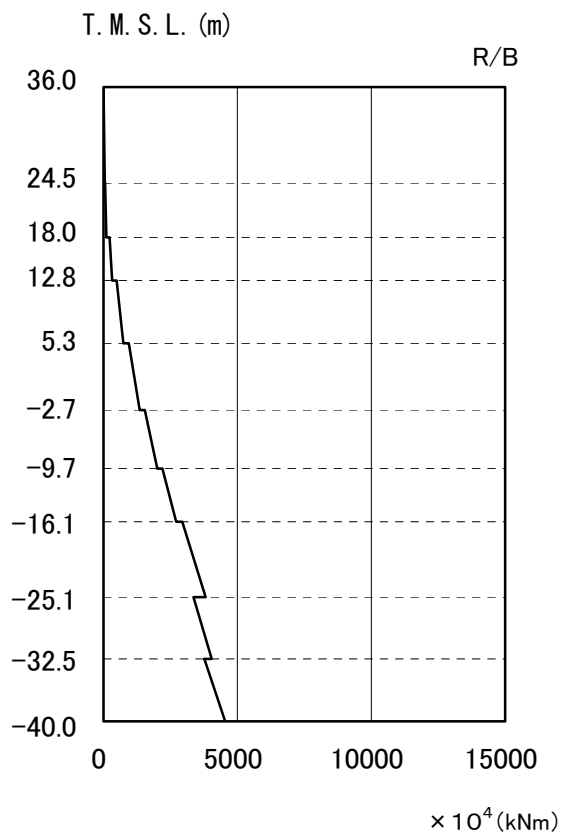
注*：各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



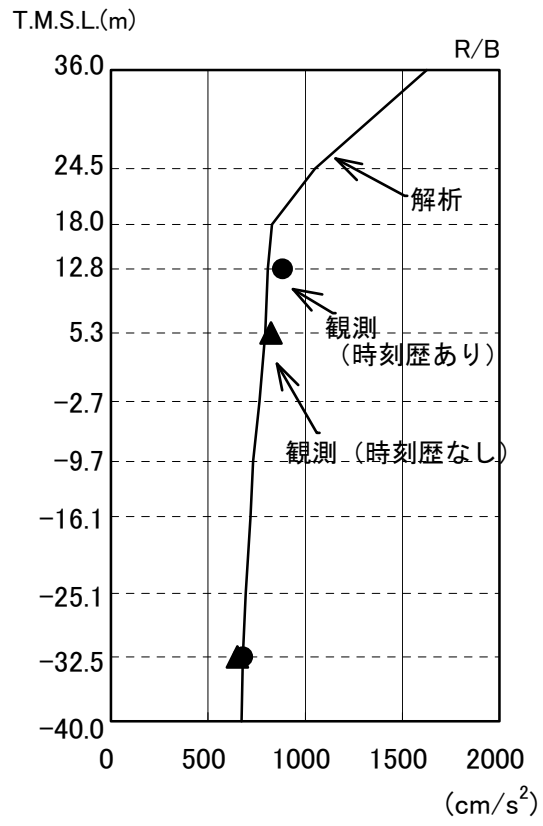
参図-1.1 最大応答加速度 (南北方向)



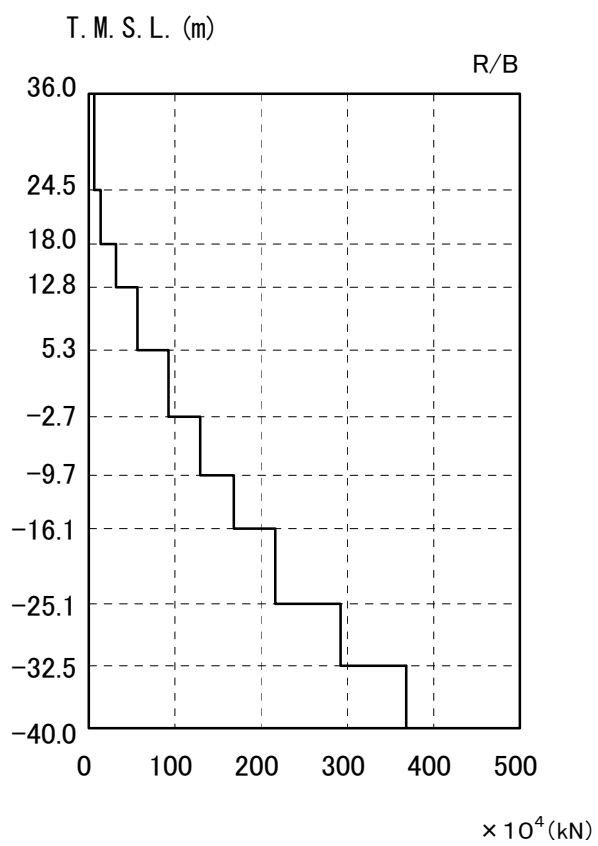
参图-1.2 最大応答せん断力（南北方向）



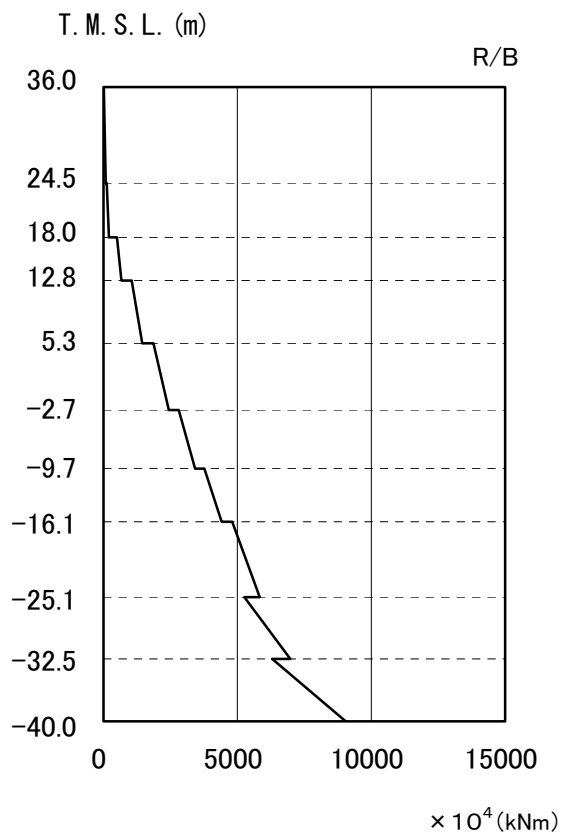
参図-1.3 最大応答曲げモーメント (南北方向)



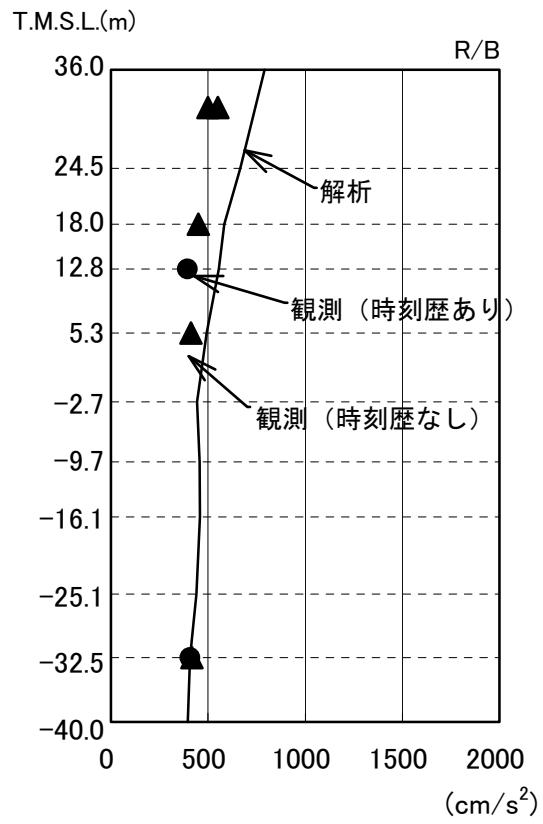
参図-1.4 最大応答加速度 (東西方向)



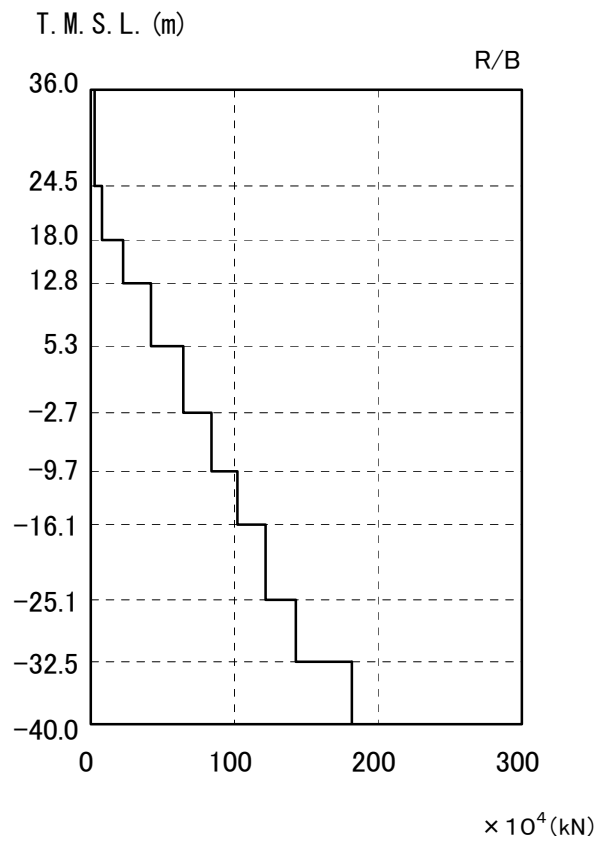
参図-1.5 最大応答せん断力（東西方向）



参図-1.6 最大応答曲げモーメント（東西方向）



参図-1.7 最大応答加速度 (鉛直方向)



参图-1.8 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-1.2 に示す。

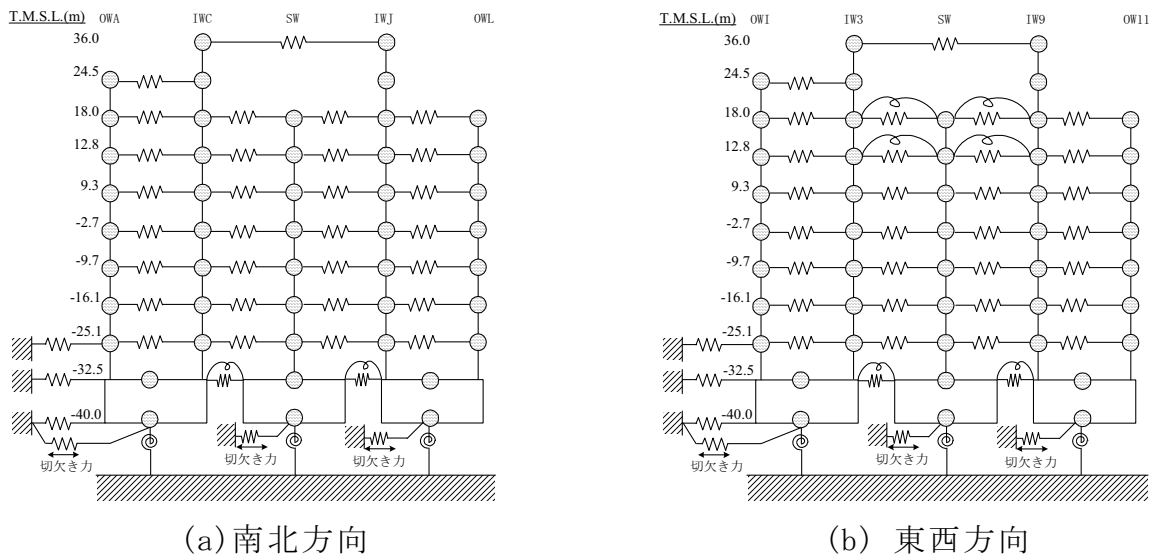
参表-1.2 浮上りの検討結果

	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} (kNm)	接地率 η (%)
南北方向	7.65×10^7	4.72×10^7	100
東西方向	7.65×10^7	8.56×10^7	94

参考資料 2 原子炉建屋の追加検討モデルによる応答結果比較

1. はじめに

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を実施し、現状のシミュレーション解析モデル（剛床仮定のモデル）による結果との比較を行なう。追加検討モデルは、参図-2.1 に示すとおり、水平方向について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。



参図-2.1 追加検討モデル

2. 追加検討モデルによる応答結果

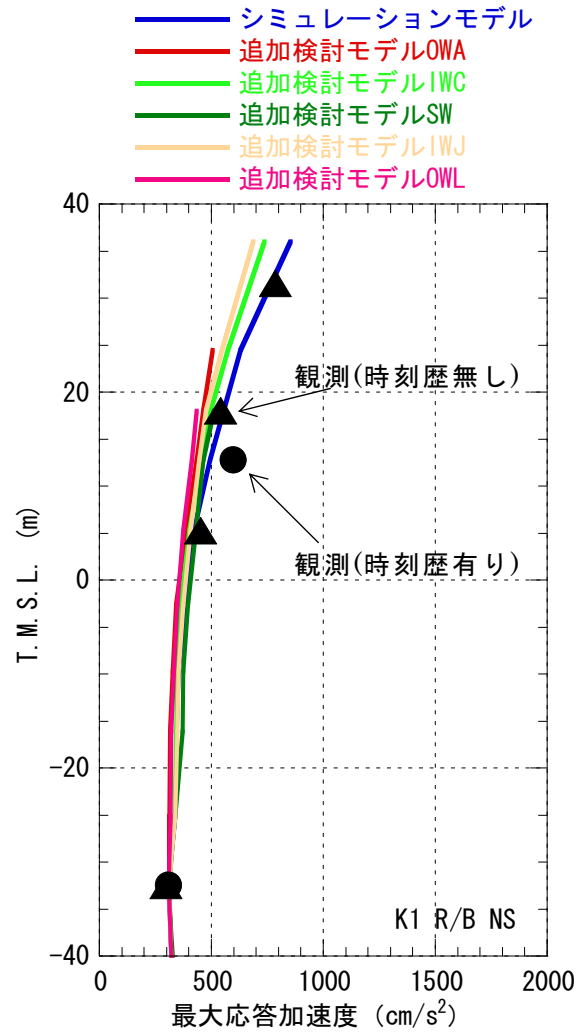
参図-2.2 に最大応答加速度、参図-2.3～参図-2.4 に中間階の加速度応答スペクトルの比較を示す。また、参考として、追加検討モデルによる各床レベルの加速度応答スペクトルを参図-2.5～参図-2.6 に示す。中間階の加速度応答スペクトルの比較を見ると、周期 0.1 秒近傍では追加検討モデルのシェル壁[SW]部分でシミュレーション解析モデルよりも多少大きくなる傾向が見られるものの、全周期帯における観測記録との整合の観点からは、追加検討モデルとシミュレーション解析モデルとで大きな違いは無いものと考えられる。

3. 建屋の健全性評価

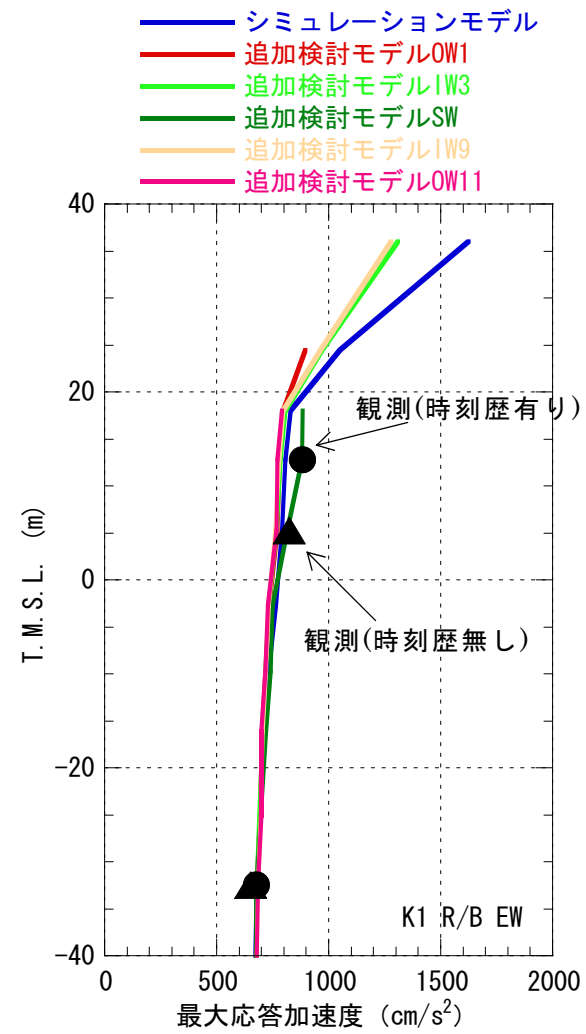
参図-2.7～参図-2.18 に耐震壁（外部ボックス壁[OW]、内部ボックス壁[IW]、シェル壁[SW]）のせん断応力とせん断ひずみの比較を示す。各耐震壁のせん断応力は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度を下回っている。

また、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-2.19～参図-2.20 に示す。各層の耐震壁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と考えられる。

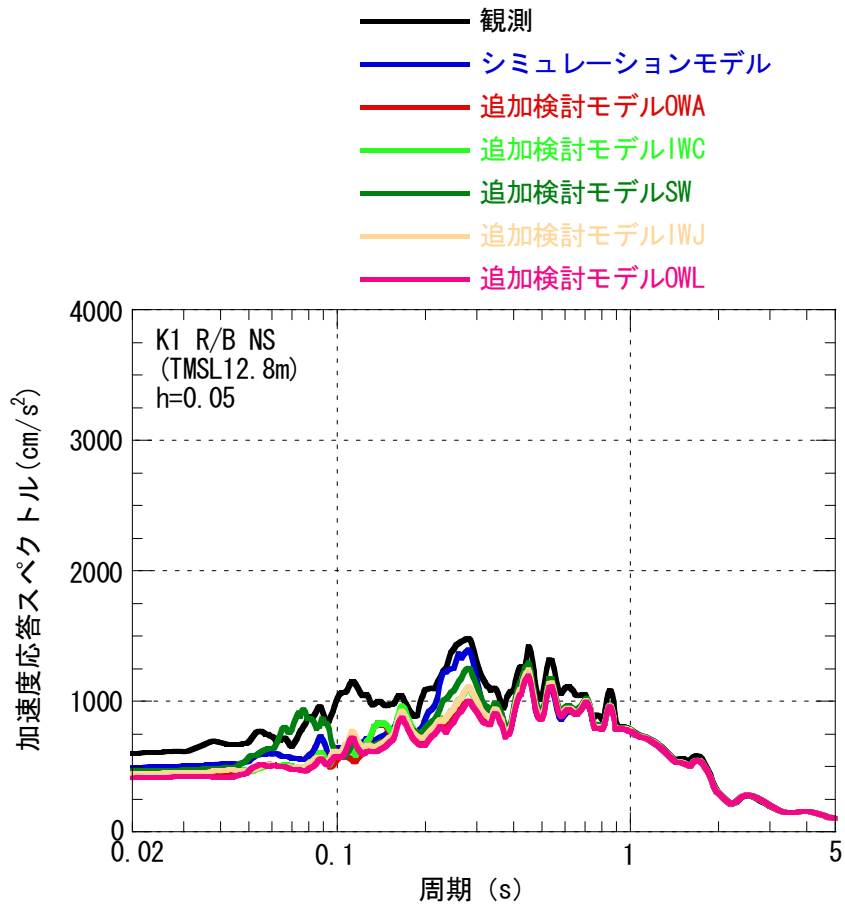


(a) 南北方向

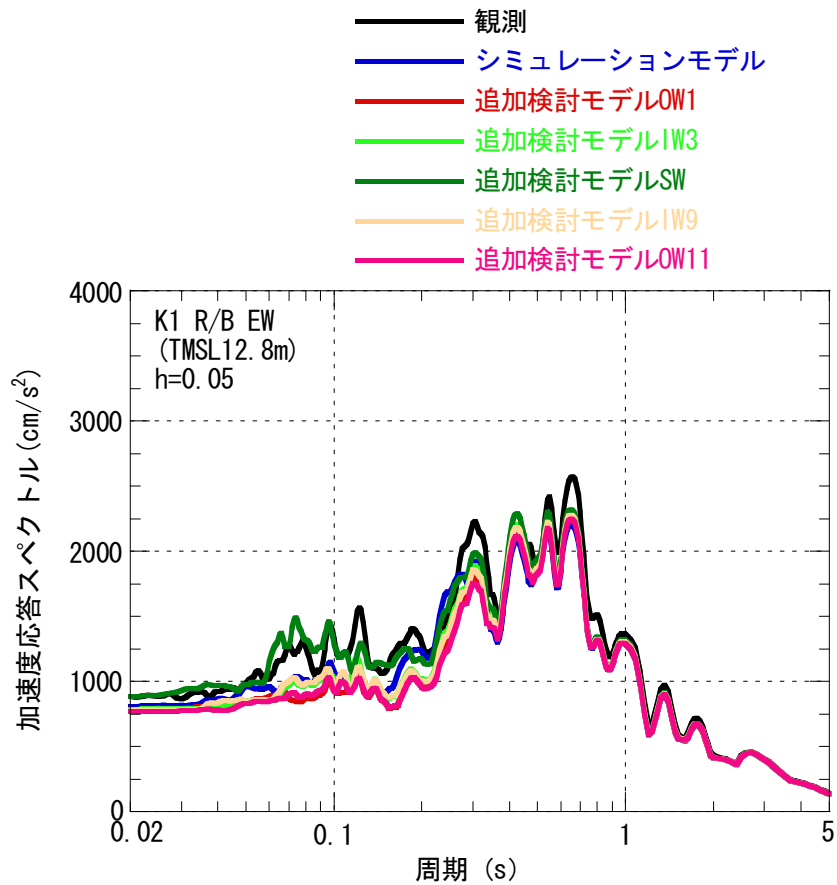


(b) 東西方向

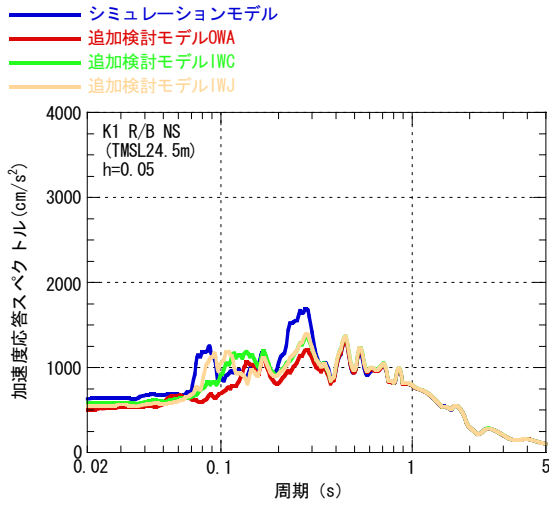
参图-2.2 最大応答加速度の比較



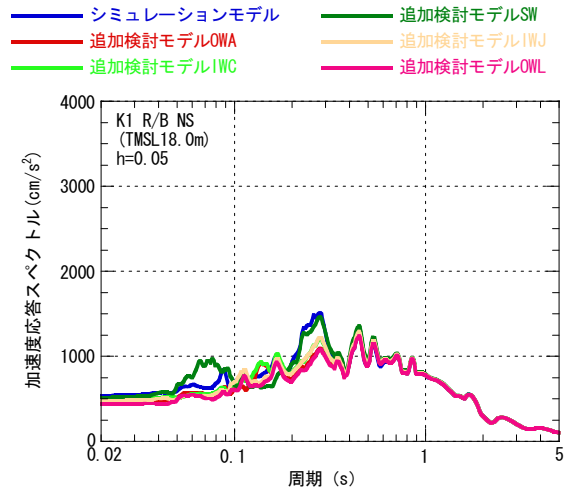
参図-2.3 加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T. M. S. L. 12.8m)、南北方向



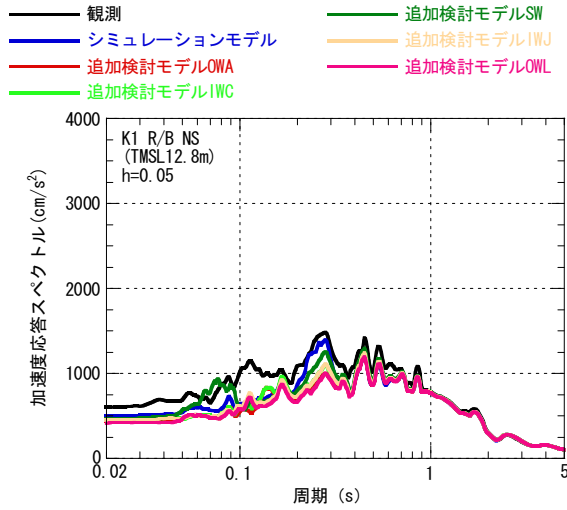
参図-2.4 加速度応答スペクトルの比較
 中間階 (T. M. S. L. 12.8m)、東西方向



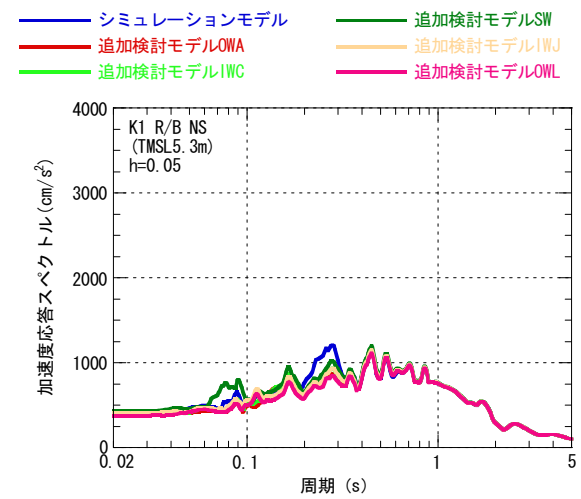
①T. M. S. L. 24.5m



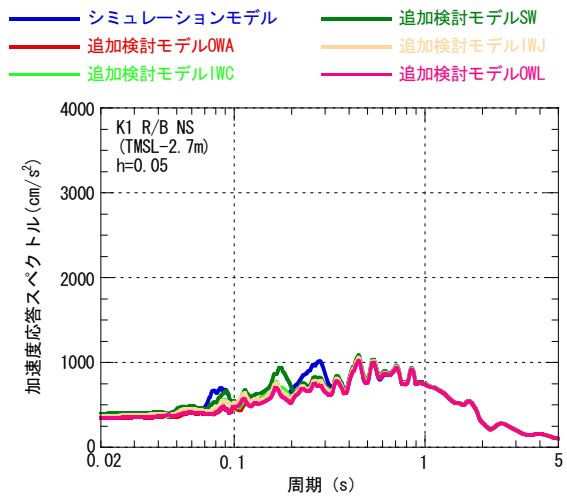
②T. M. S. L. 18.0m



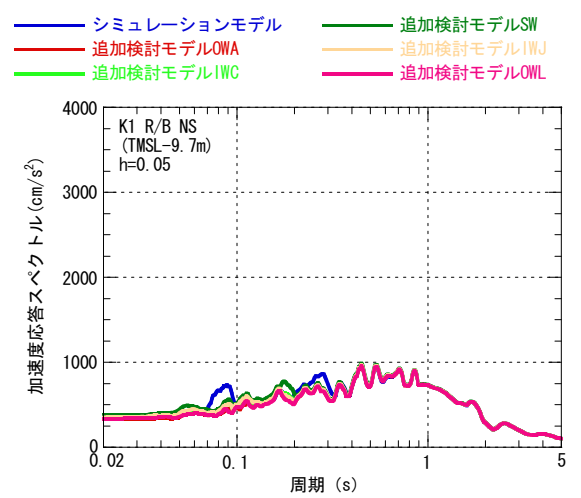
③T. M. S. L. 12.8m



④T. M. S. L. 5.3m

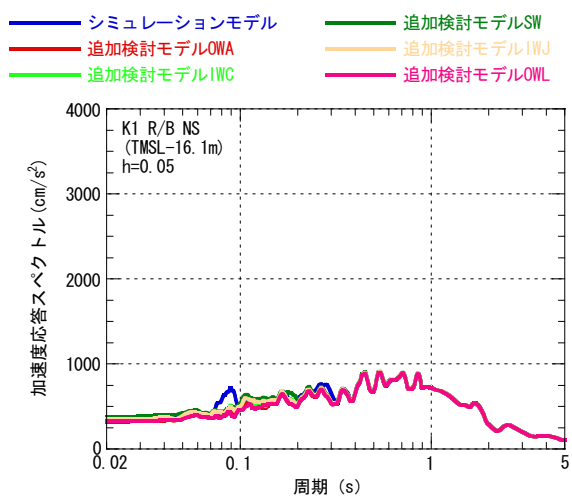


⑤T. M. S. L. -2.7m

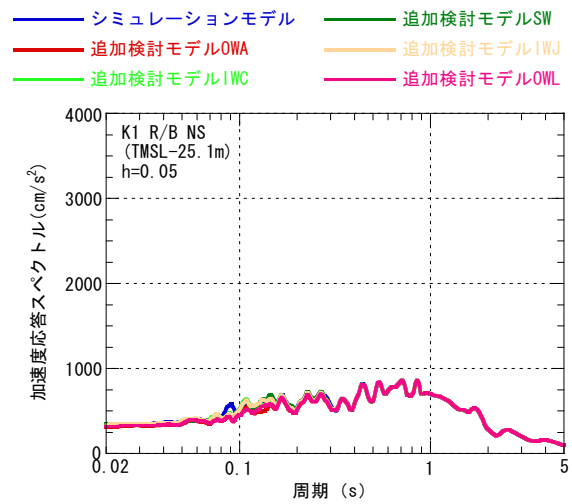


⑥T. M. S. L. -9.7m

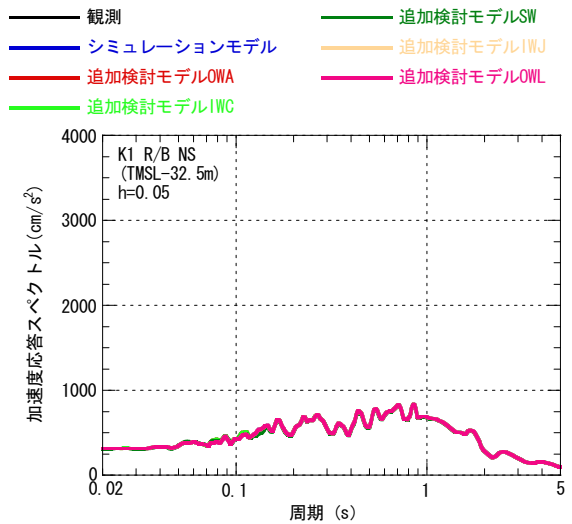
参図-2.5 各床レベルの加速度応答スペクトル (南北方向) (その1)



⑦T. M. S. L. -16.1m

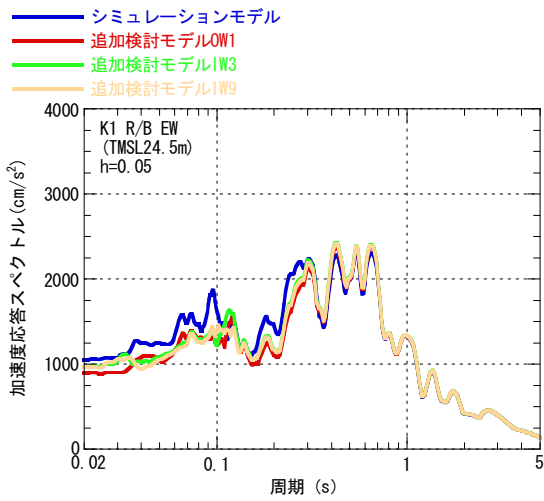


⑧T. M. S. L. -25.1m

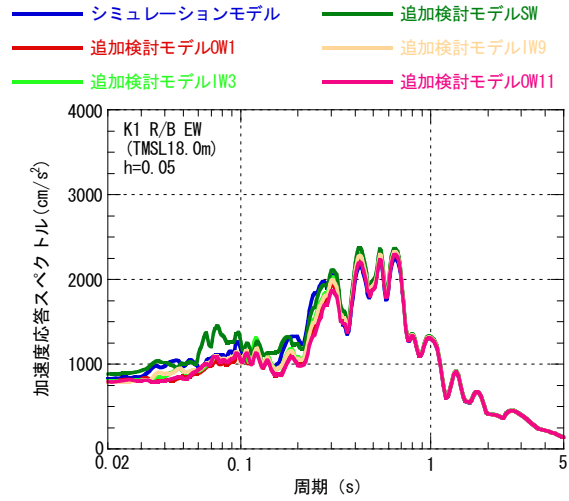


⑨T. M. S. L. -32.5m

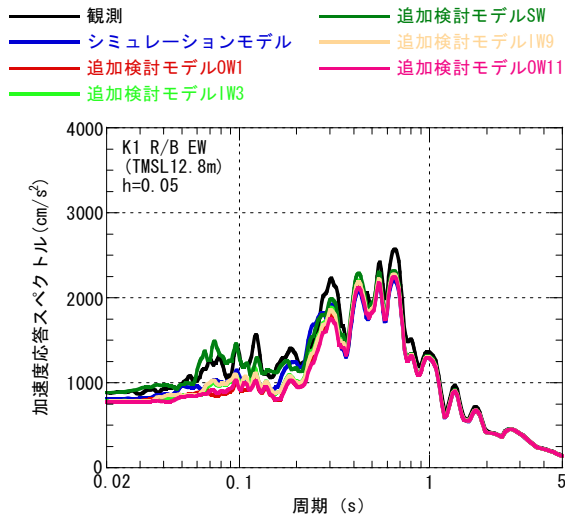
参図-2.5 各床レベルの加速度応答スペクトル (南北方向) (その2)



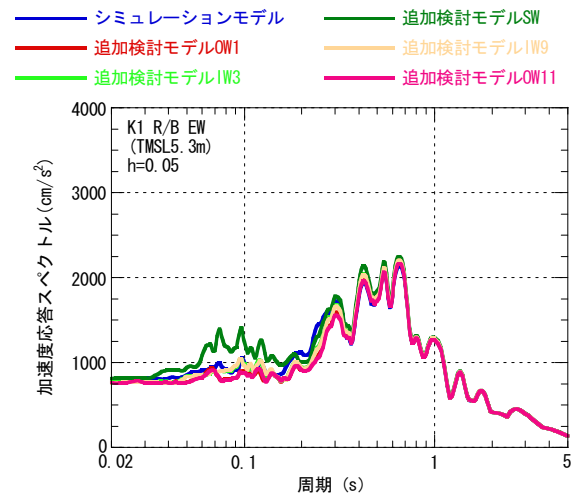
①T. M. S. L. 24.5m



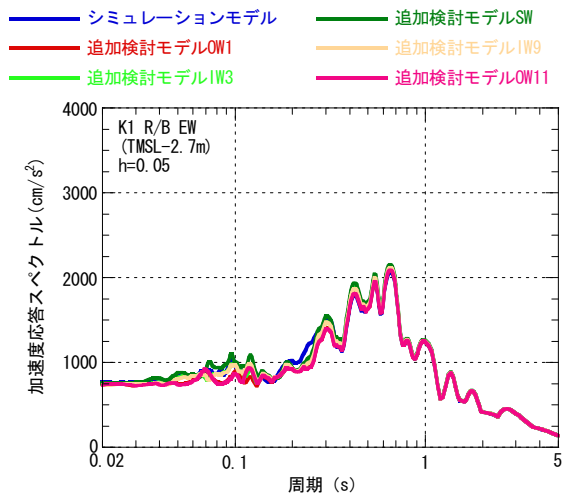
②T. M. S. L. 18.0m



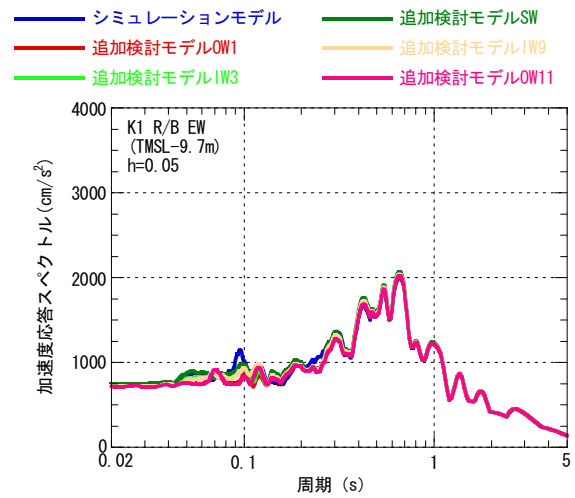
③T. M. S. L. 12.8m



④T. M. S. L. 5.3m

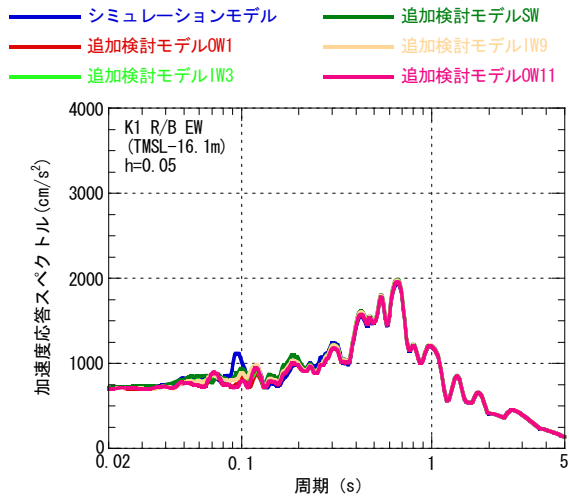


⑤T. M. S. L. -2.7m

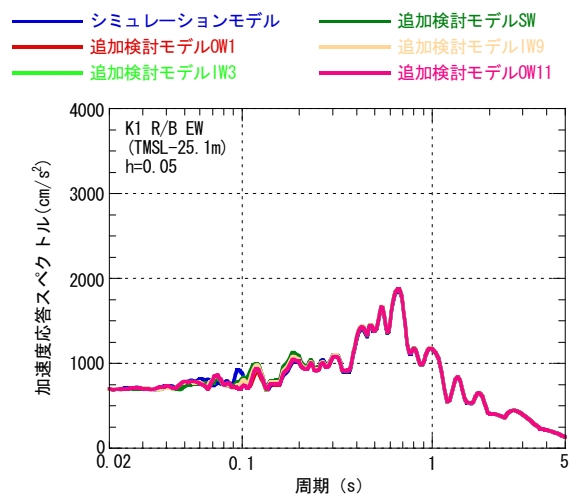


⑥T. M. S. L. -9.7m

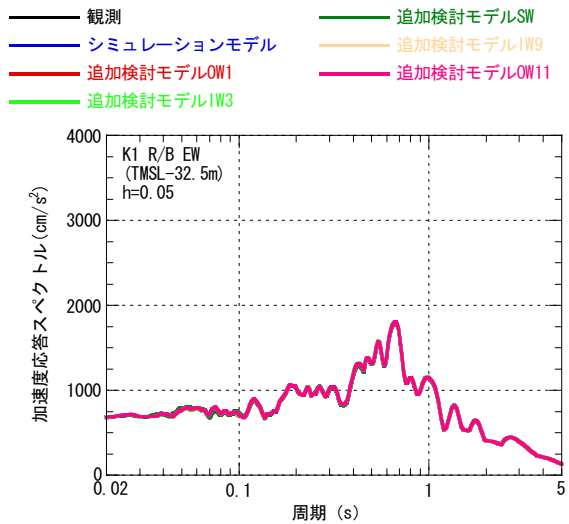
参図-2.6 各床レベルの加速度応答スペクトル (東西方向) (その1)



⑦T. M. S. L. -16.1m

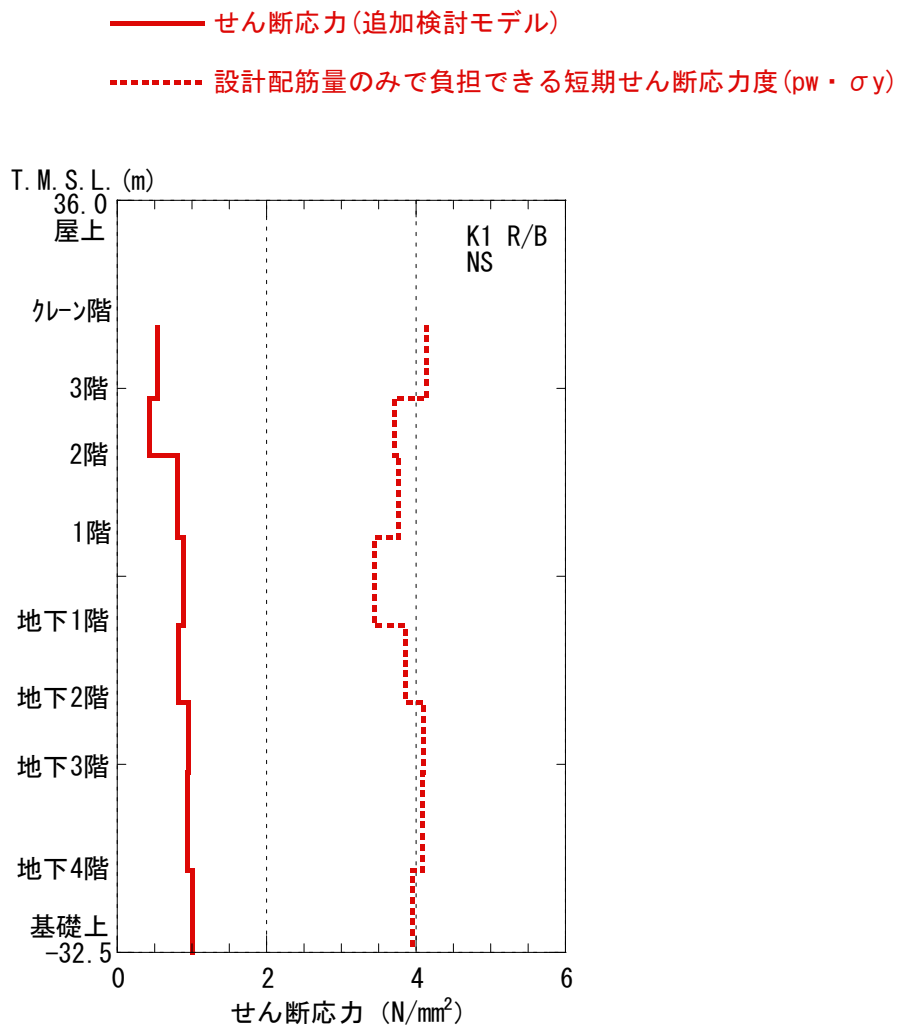


⑧T. M. S. L. -25.1m

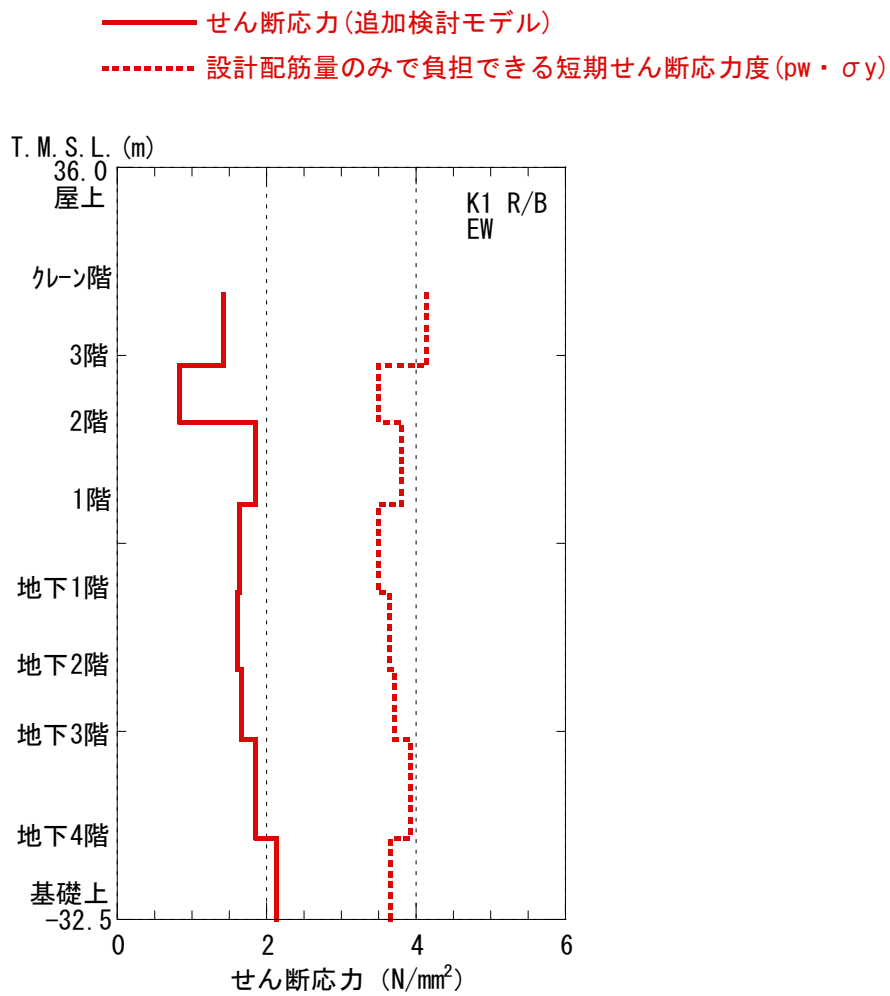


⑨T. M. S. L. -32.5m

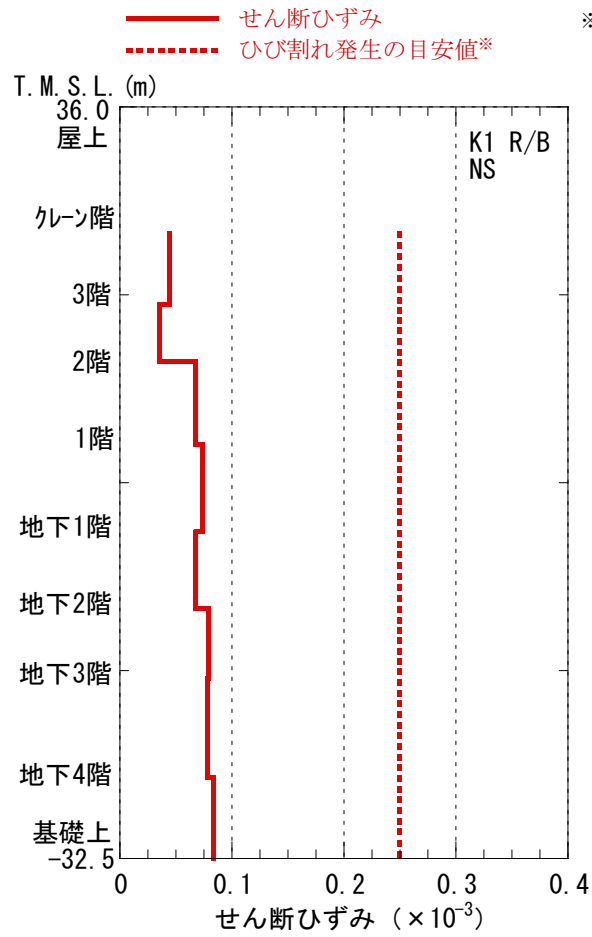
参図-2.6 各床レベルの加速度応答スペクトル（東西方向）（その2）



参図-2.7 原子炉建屋 耐震壁 (外部ボックス壁) のせん断応力 (南北方向)

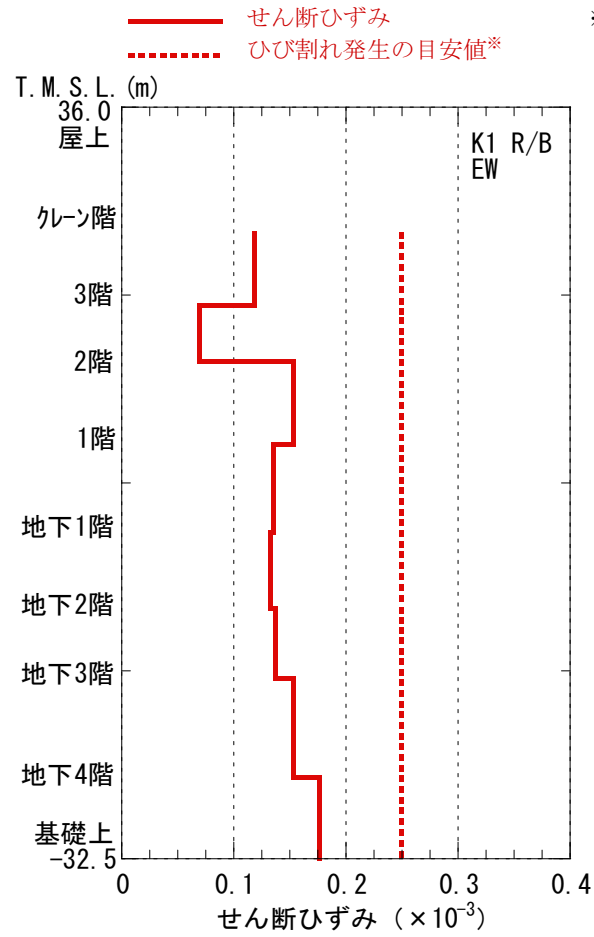


参図-2.8 原子炉建屋 耐震壁（外部ボックス壁）のせん断応力（東西方向）



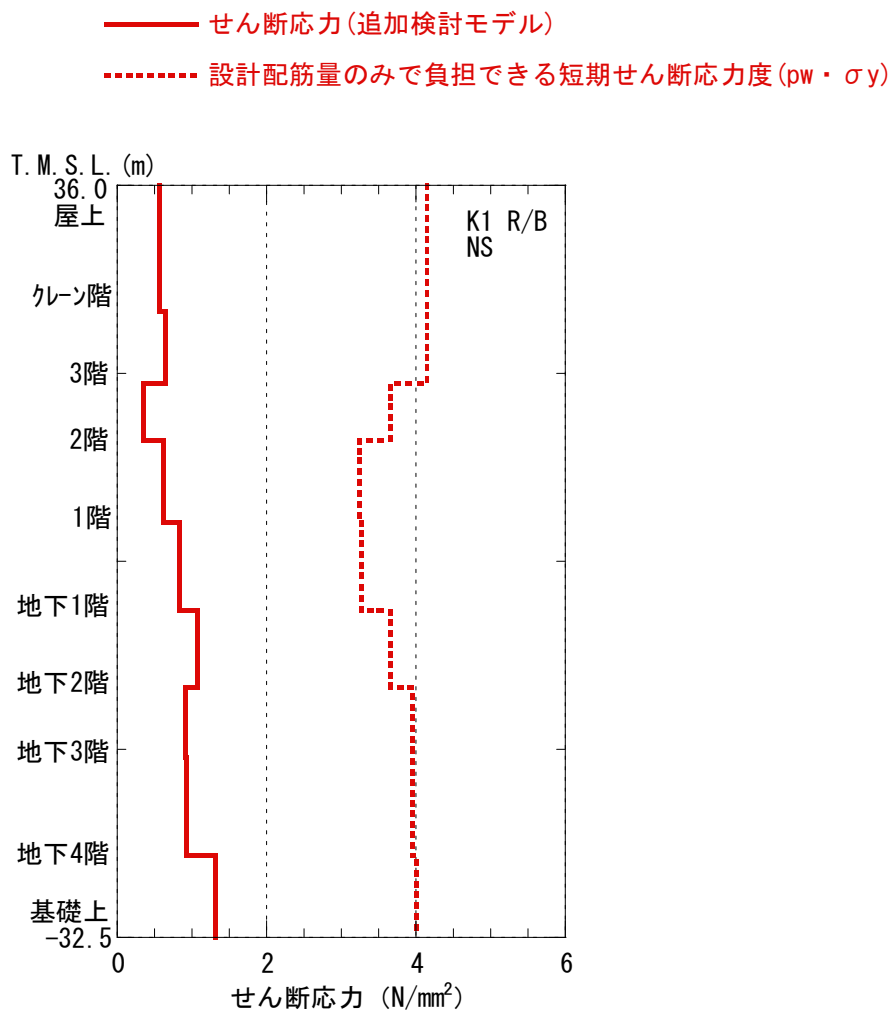
※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

参図-2.9 原子炉建屋 耐震壁（外部ボックス壁）のせん断ひずみ（南北方向）

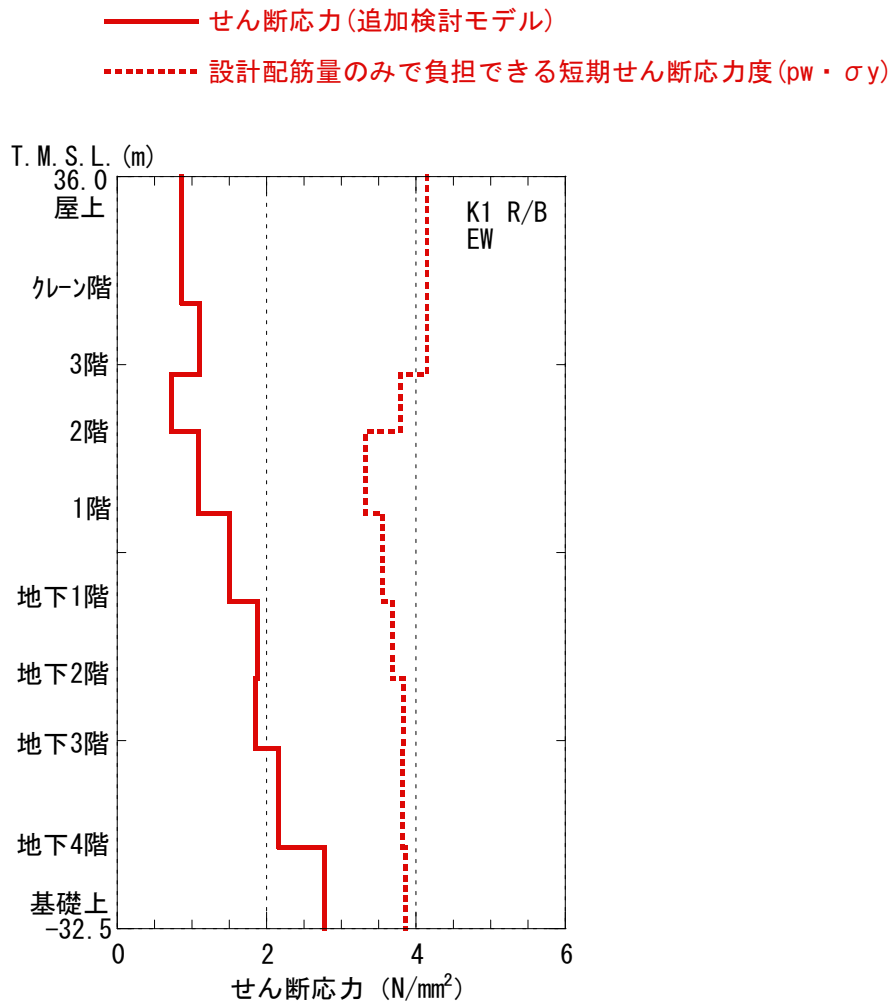


※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

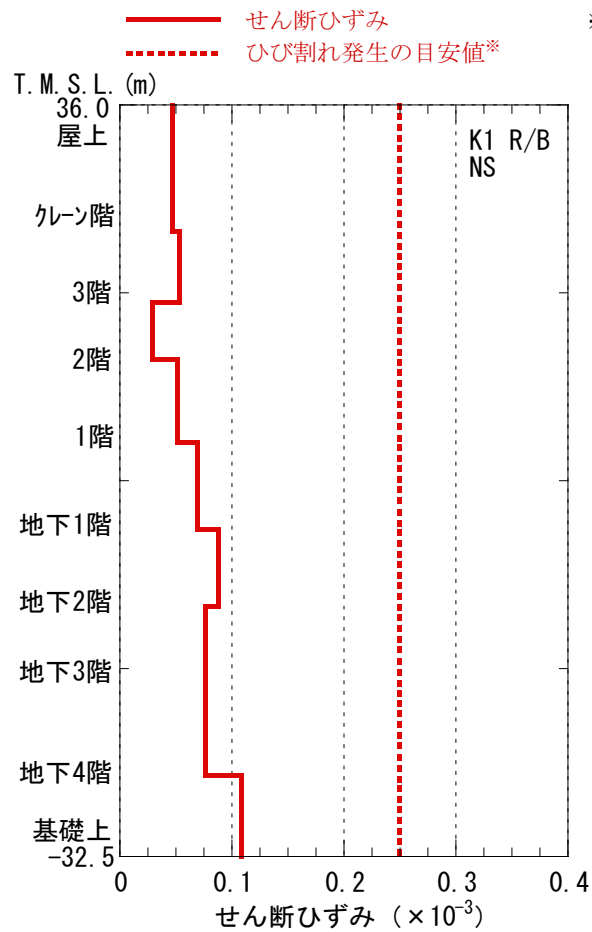
参図-2.10 原子炉建屋 耐震壁（外部ボックス壁）のせん断ひずみ（東西方向）



参図-2.11 原子炉建屋 耐震壁（内部ボックス壁）のせん断応力（南北方向）

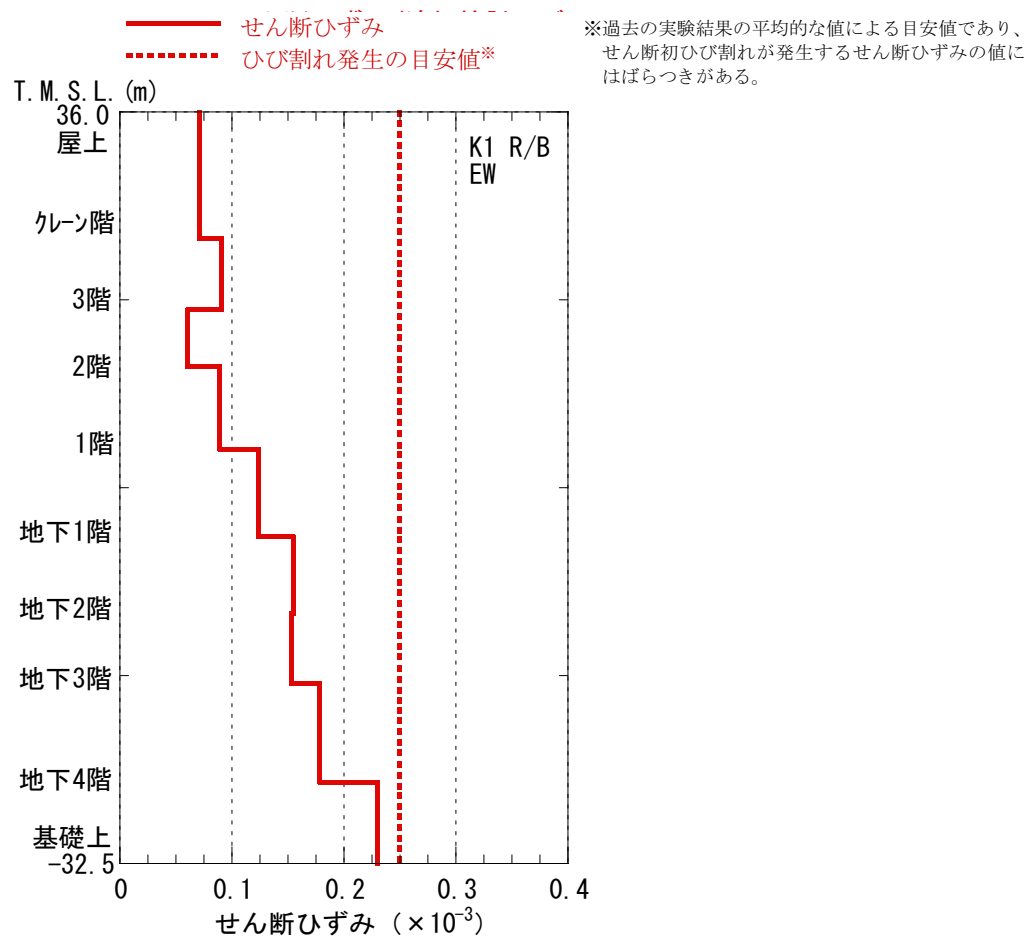


参図-2.12 原子炉建屋 耐震壁（内部ボックス壁）のせん断応力（東西方向）

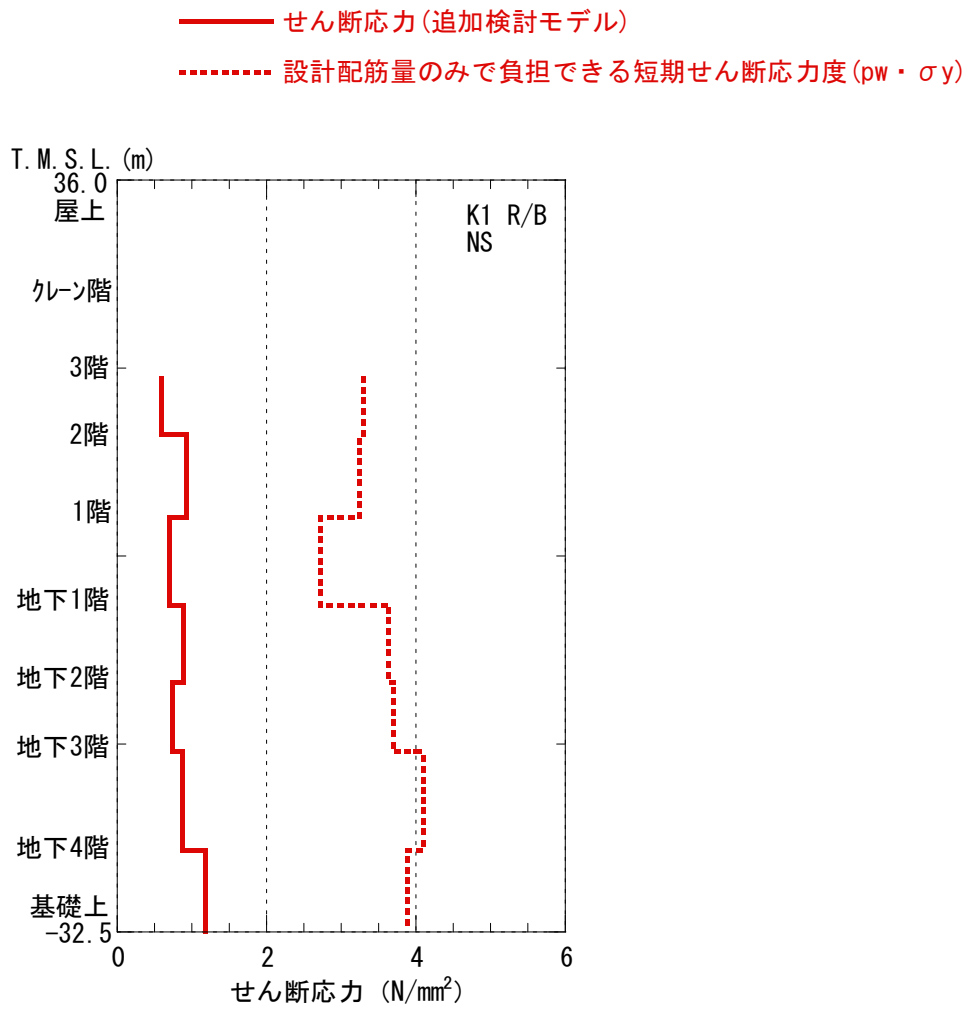


※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

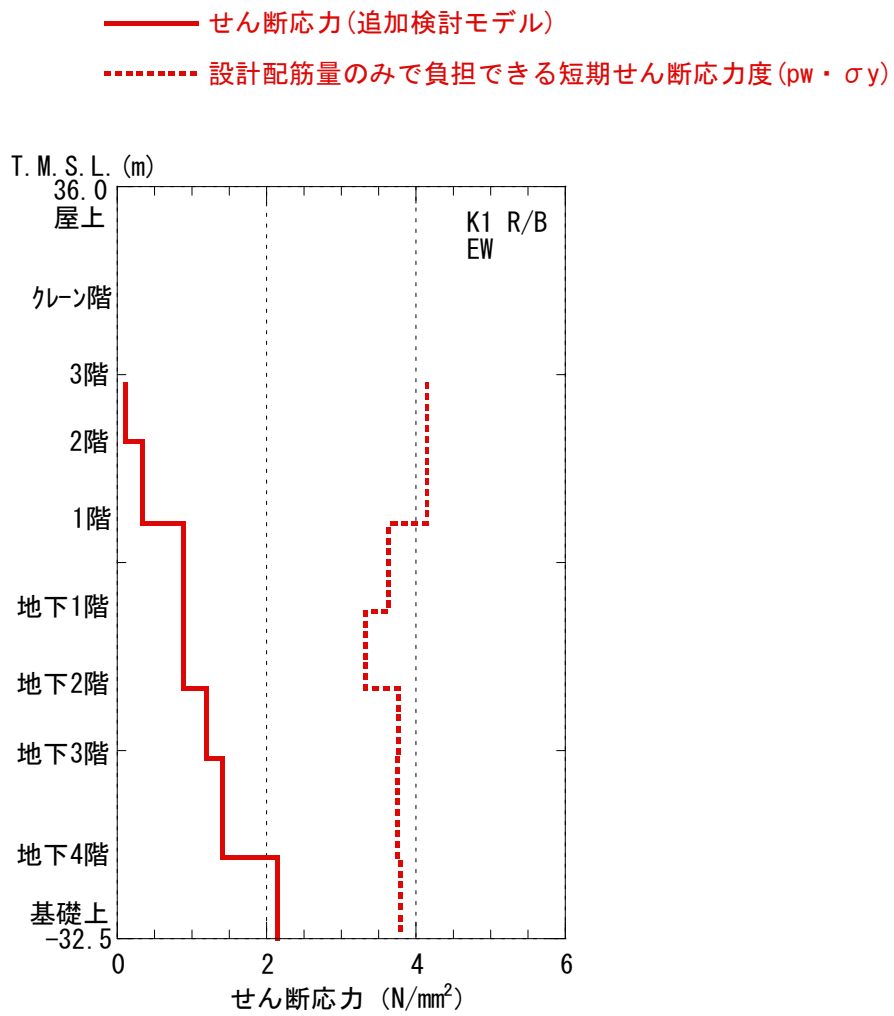
参図-2.13 原子炉建屋 耐震壁（内部ボックス壁）のせん断ひずみ（南北方向）



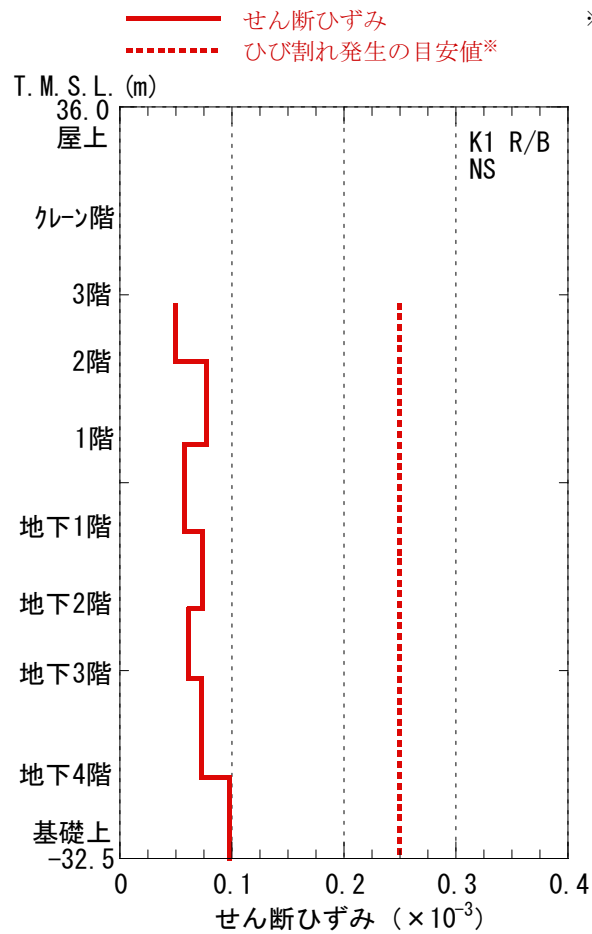
参図-2.14 原子炉建屋 耐震壁（内部ボックス壁）のせん断ひずみ（東西方向）



参図-2.15 原子炉建屋 耐震壁 (シェル壁) のせん断応力 (南北方向)

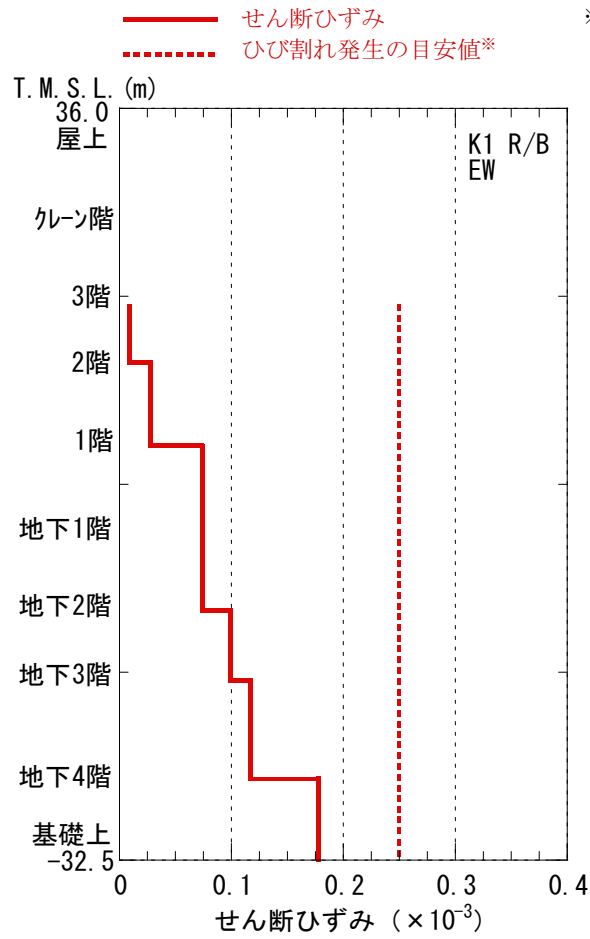


参図-2.16 原子炉建屋 耐震壁（シェル壁）のせん断応力（東西方向）



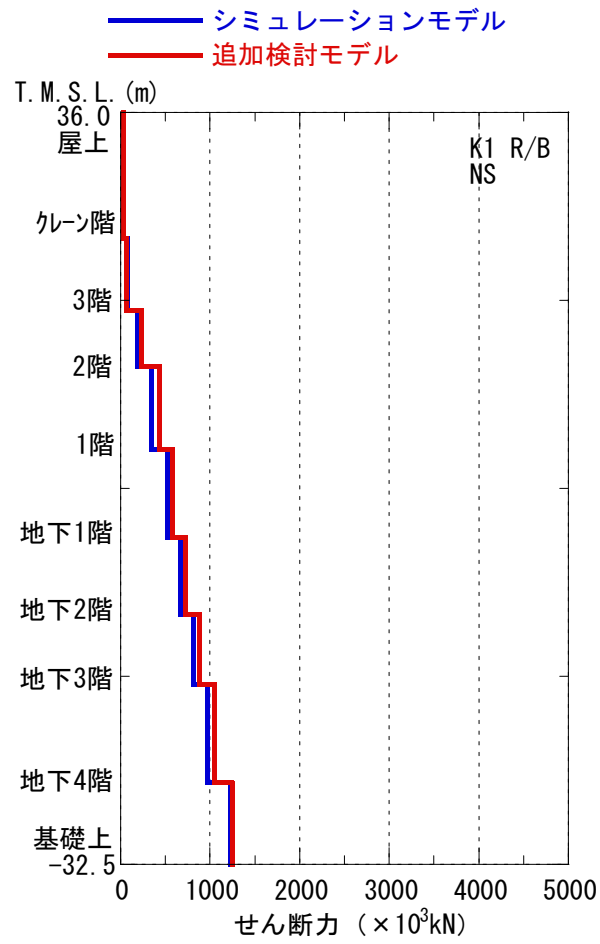
※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

参図-2.17 原子炉建屋 耐震壁（シェル壁）のせん断ひずみ（南北方向）

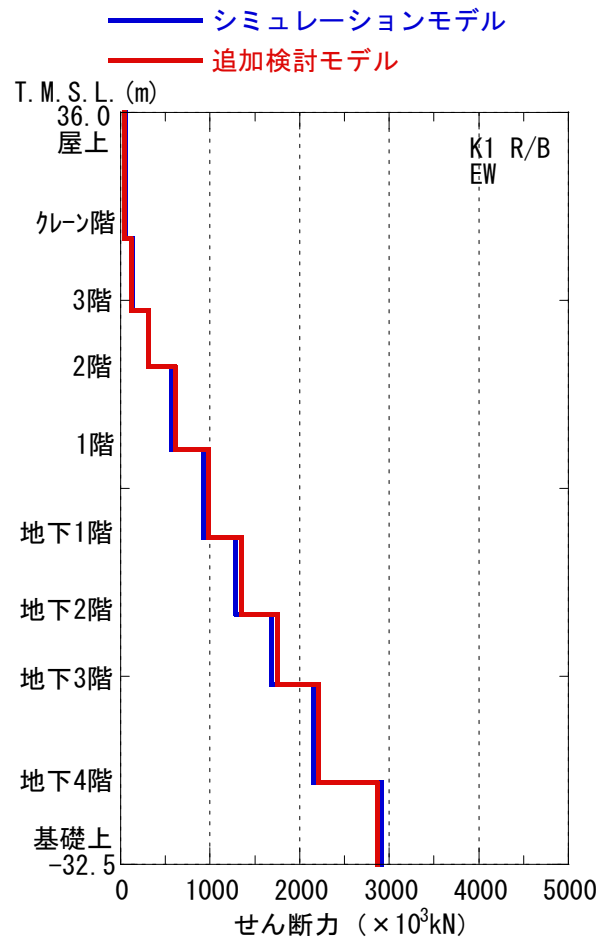


※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

参図-2.18 原子炉建屋 耐震壁（シェル壁）のせん断ひずみ（東西方向）



参図-2.19 原子炉建屋 最大応答せん断力 (南北方向)



参図-2.20 原子炉建屋 最大応答せん断力 (東西方向)

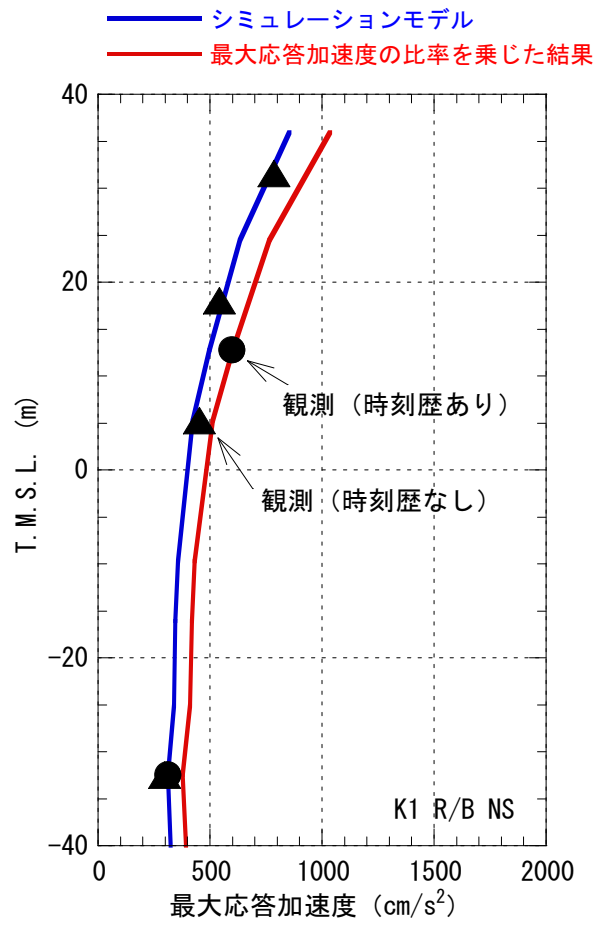
参考資料 3 観測記録と解析結果との相違の影響検討について

原子炉建屋の健全性評価について、解析結果と観測記録の加速度応答スペクトルを比較した結果、南北方向の一部周期帯において解析結果が観測記録を下回っている部分が見られた。従って、ここでは解析結果と観測記録との相違による影響を把握することを目的として、下記のような検討を実施する。

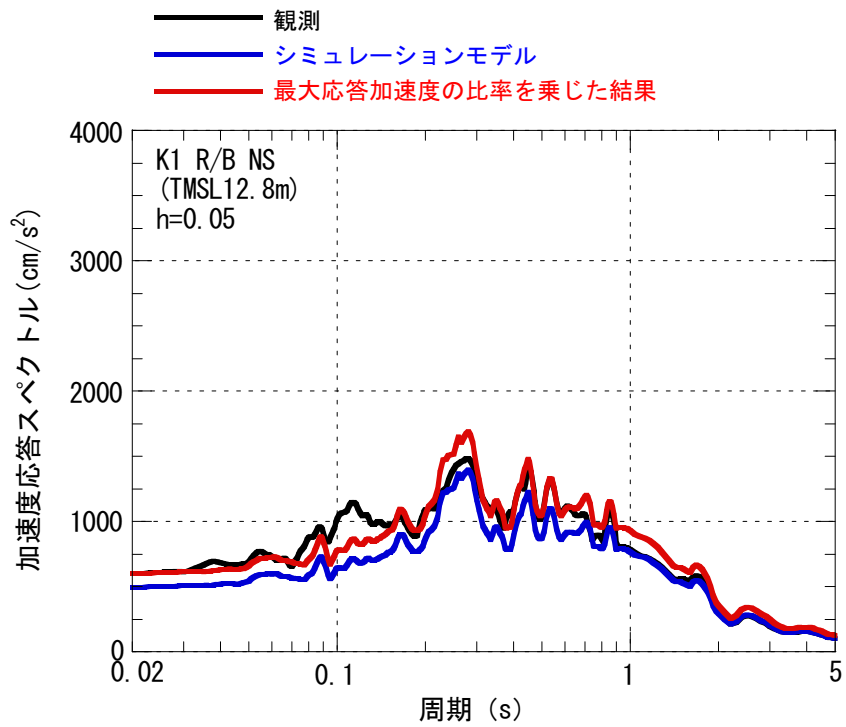
- 南北方向を対象に、中間階における解析結果の最大応答加速度に対する観測記録の最大応答加速度の比率を求めると、1.21 となる。
- 解析から求まる南北方向のせん断応力に対して、上記の最大応答加速度の比率を乗じて評価基準値との比較を行い弾性範囲であることを確認することで、耐震健全性への影響を検討する。

参図-3.1 に最大応答加速度、参図-3.2～参図-3.3 に中間階および基礎版上の加速度応答スペクトルの比較を示す。参図-3.4～参図-3.5 に耐震壁のせん断応力およびせん断ひずみの比較を示す。耐震壁のせん断応力は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度を下回っており、かつ、各耐震壁のせん断ひずみもひび割れ発生の目安値を下回っている。

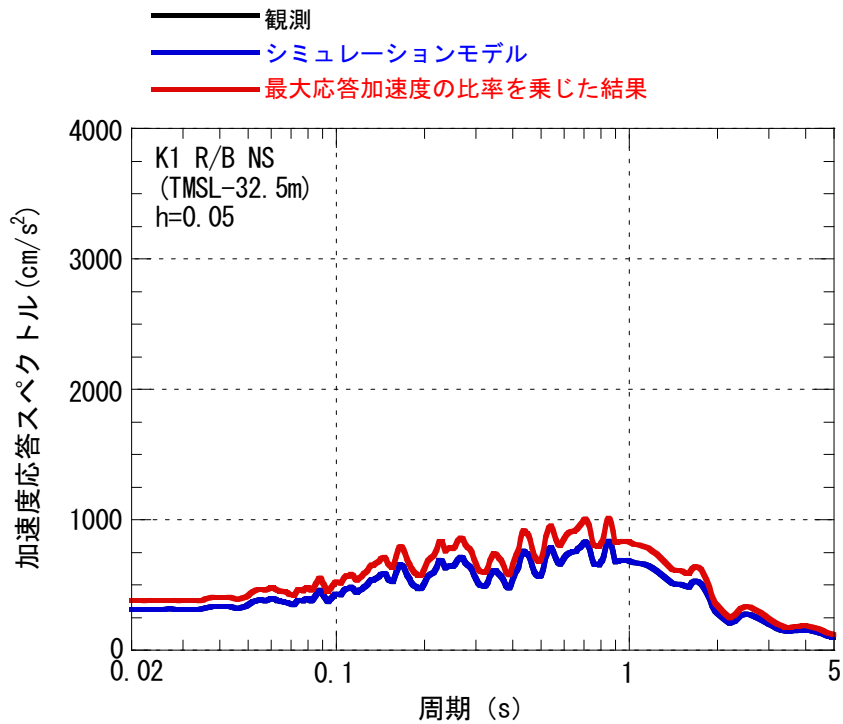
以上のことから、解析結果と観測記録との相違による影響検討結果を踏まえても、耐震壁の鉄筋コンクリート部は概ね弾性範囲にあると判断されるとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと考えられる。



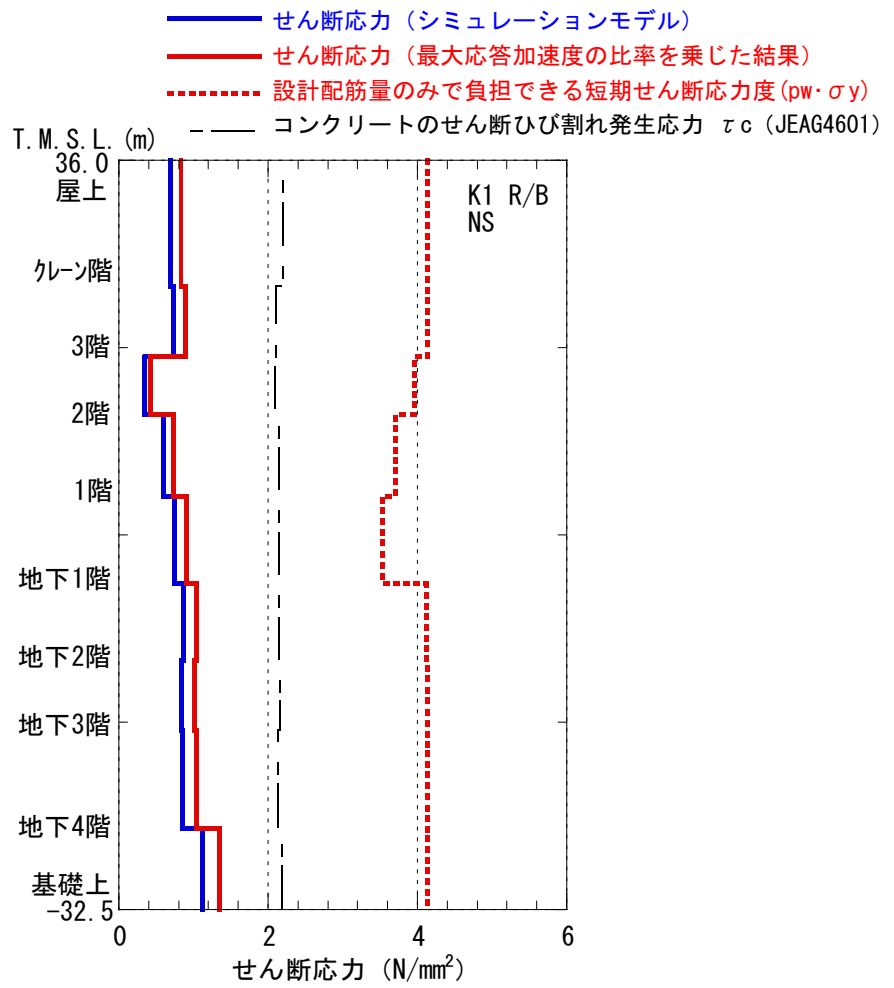
参図-3.1 最大応答加速度の比較 (南北方向)



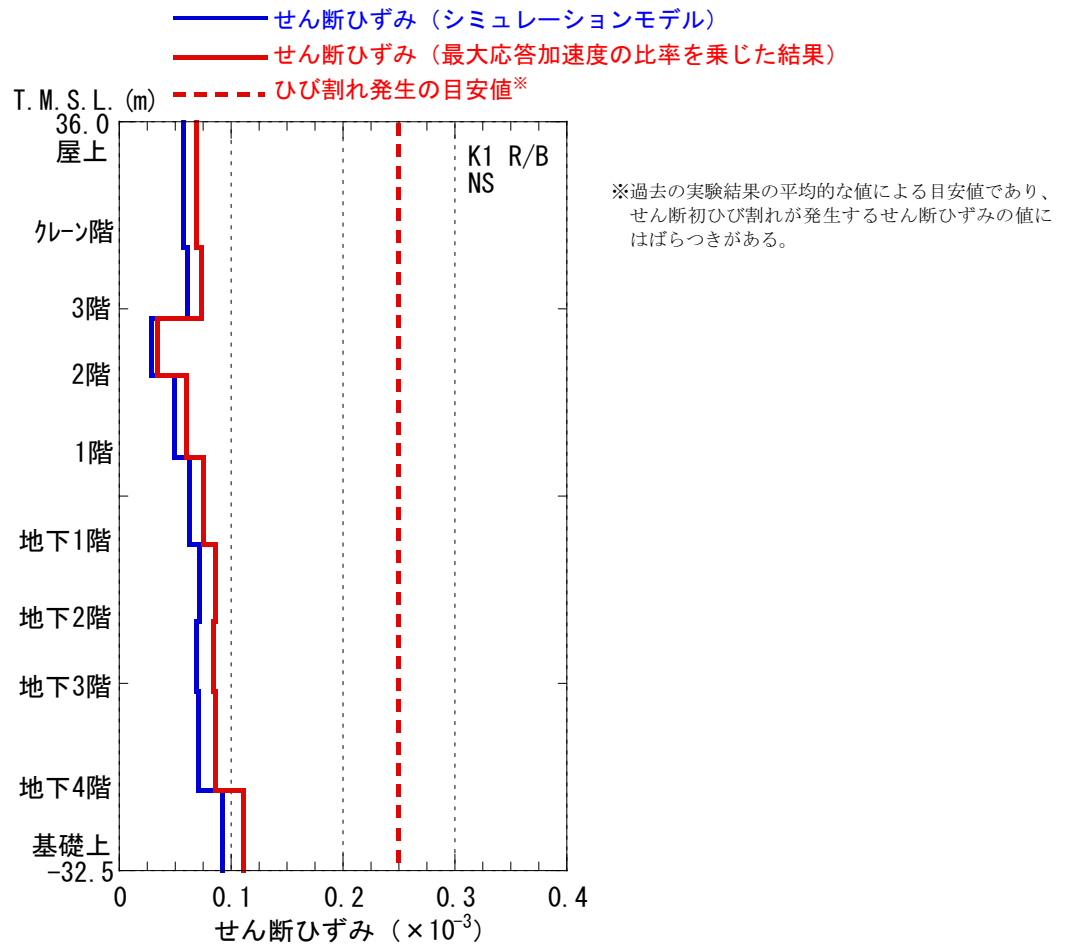
参図-3.2 加速度応答スペクトルの比較
中間階 (T. M. S. L. 12.8m)、南北方向



参図-3.3 加速度応答スペクトルの比較
基礎版上 (T. M. S. L. -32.5m)、南北方向



参図-3.4 原子炉建屋 耐震壁のせん断応力 (南北方向)



参図-3.5 原子炉建屋 耐震壁のせん断ひずみ (南北方向)

参考資料 4 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-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-4.4 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
1	0.345	2.90	1.60
2	0.216	4.62	-0.55
3	0.186	5.38	-0.14
4	0.079	12.65	-0.13
5	0.063	15.93	-0.01

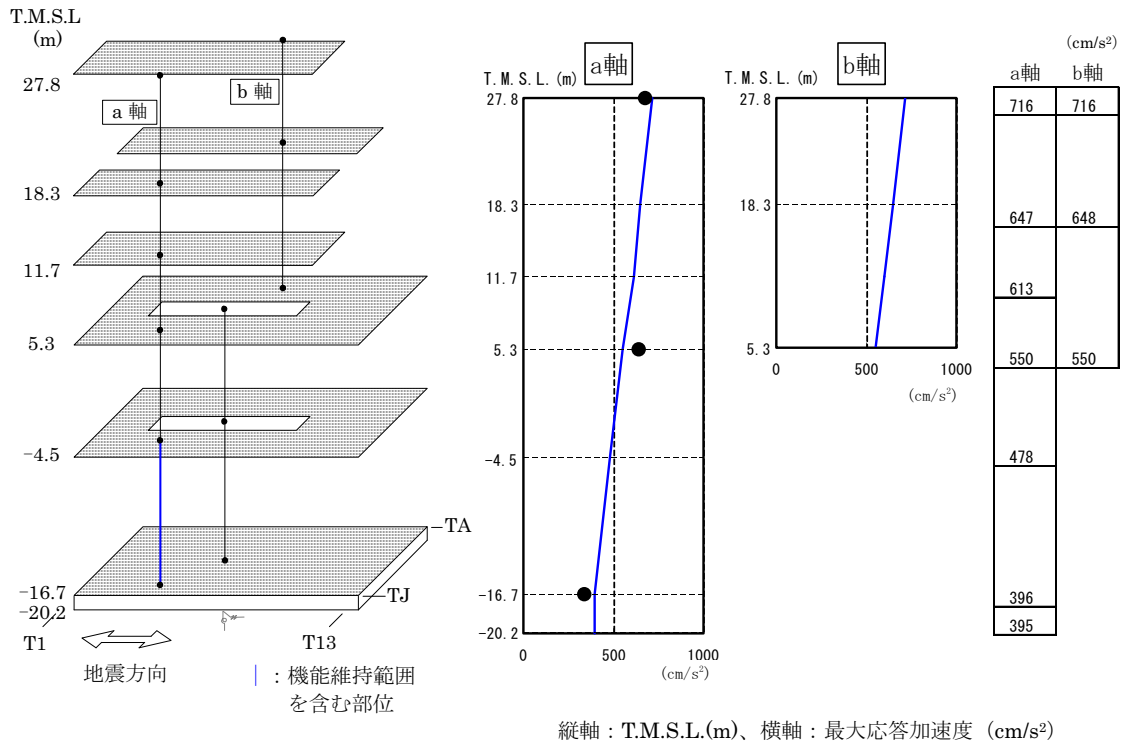
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*1
1	0.348	2.87	1.70
2	0.176	5.67	-0.35
3	0.169	5.92	-1.16
4	0.149	6.71	0.79
5	0.122	8.17	-0.02

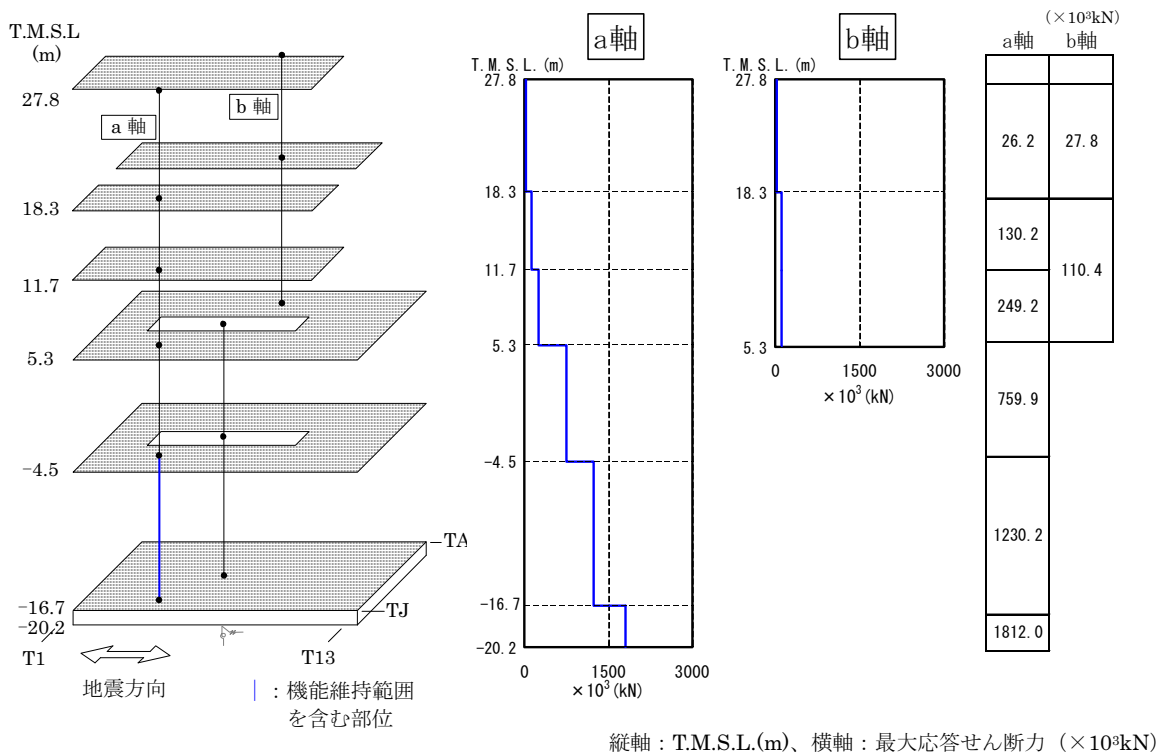
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*1
1	0.319	3.13	3.47
2	0.251	3.98	-2.53
3	0.083	12.04	0.08
4	0.050	19.88	-0.03
5	0.048	21.04	0.02

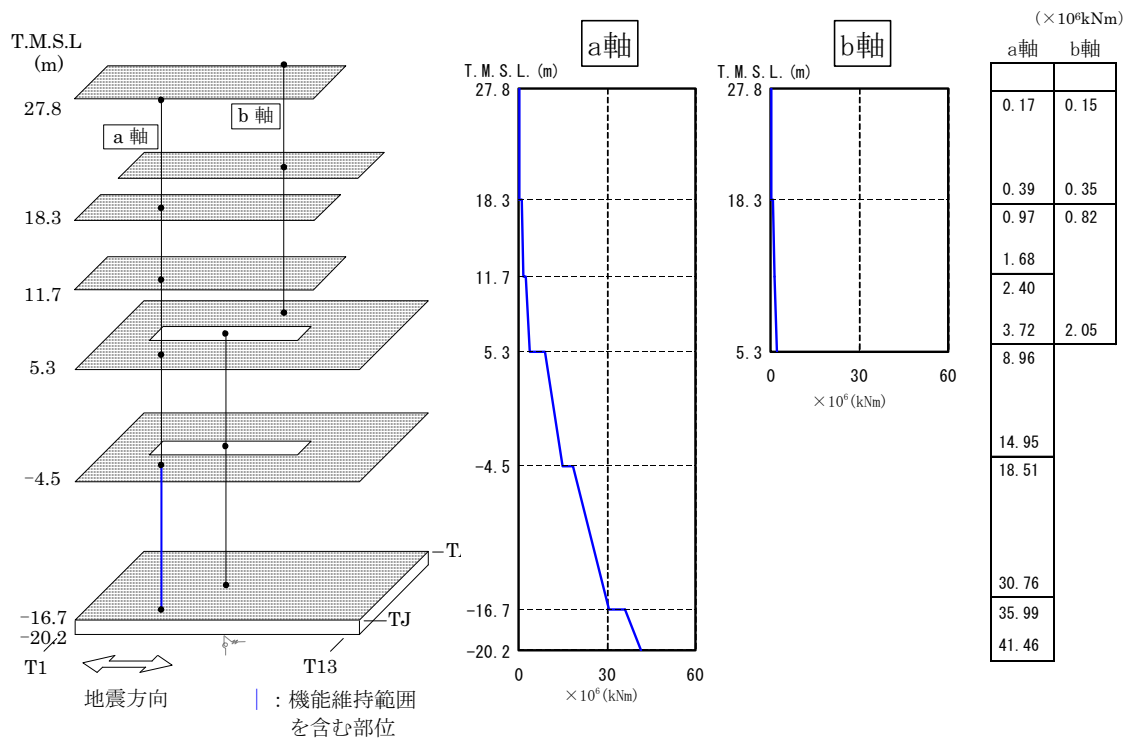
*1 : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



参図-4.1 最大応答加速度 (南北方向)

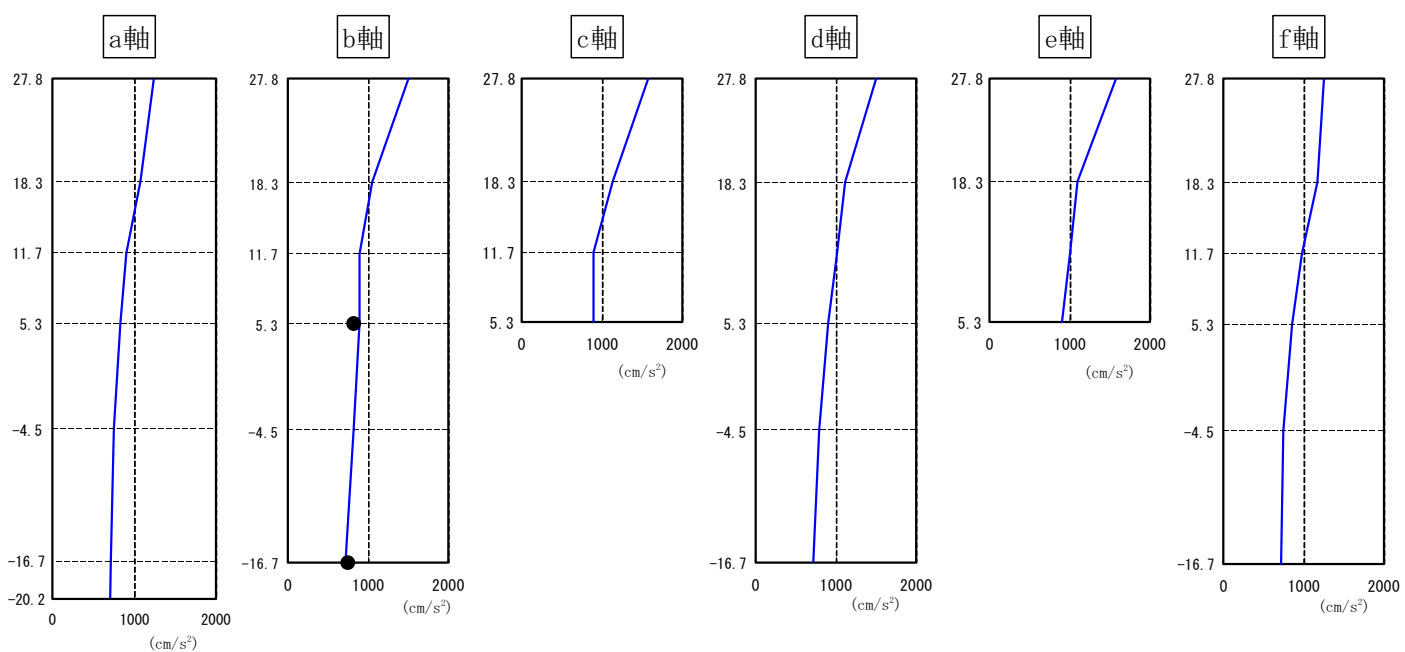


参図-4.2 最大応答せん断力 (南北方向)



縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答曲げモーメント (×10⁶kNm)

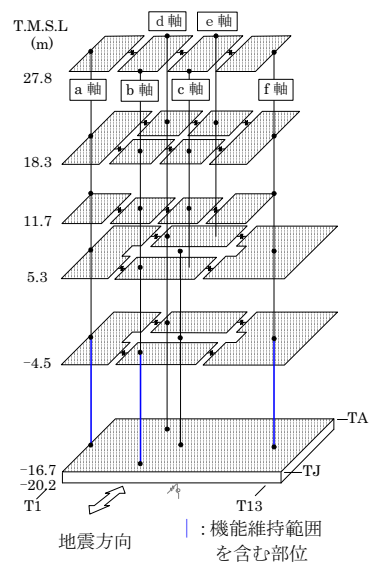
参図-4.3 最大応答曲げモーメント (南北方向)

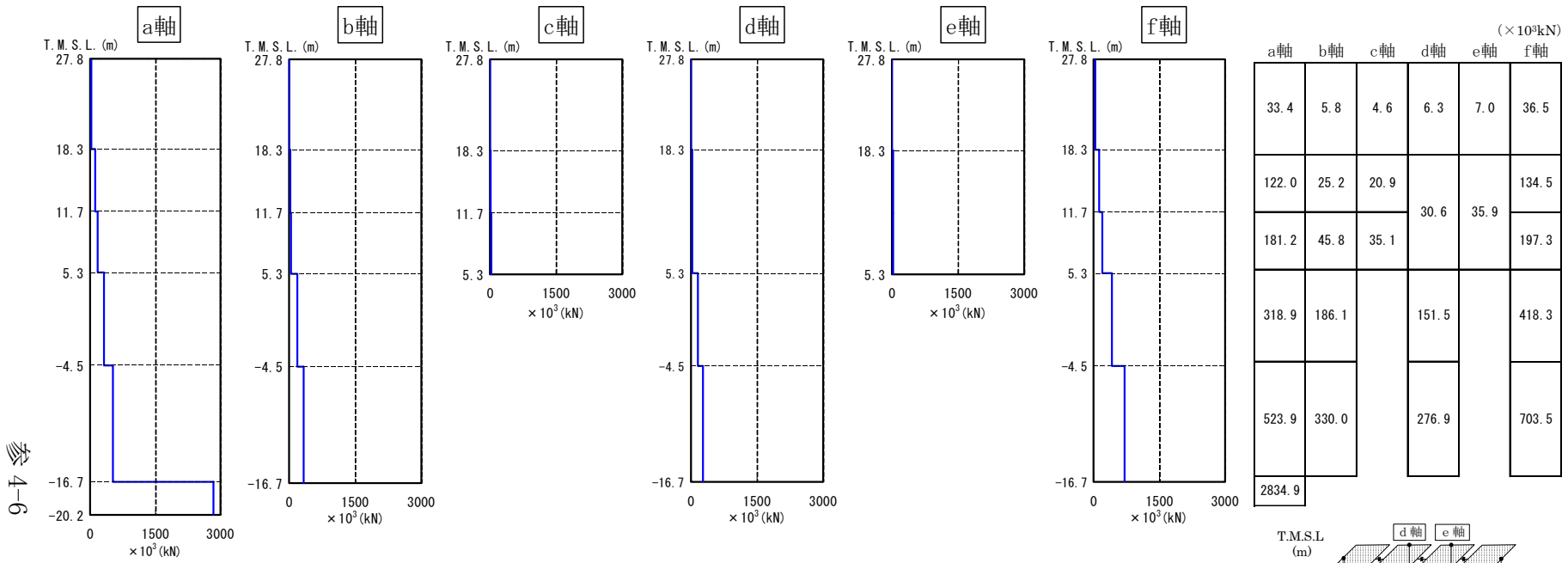


縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答加速度 (cm/s²)

参图-4.4 最大応答加速度 (東西方向)

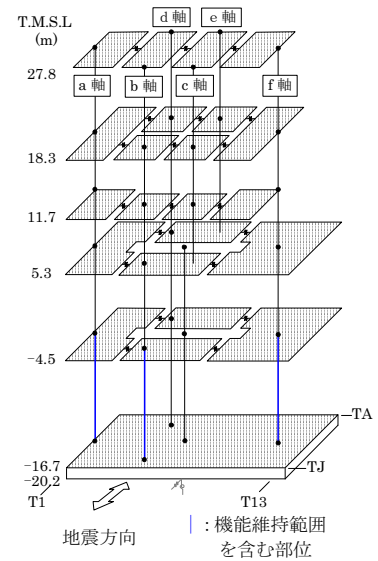
(cm/s ²)						
a軸	b軸	c軸	d軸	e軸	f軸	
1242	1500	1574	1500	1574	1257	
1075	1049	1134	1120	1099	1170	
907	896	892			974	
830	890	890	905	905	856	
748	822		795		745	
716	716		716		716	
708						

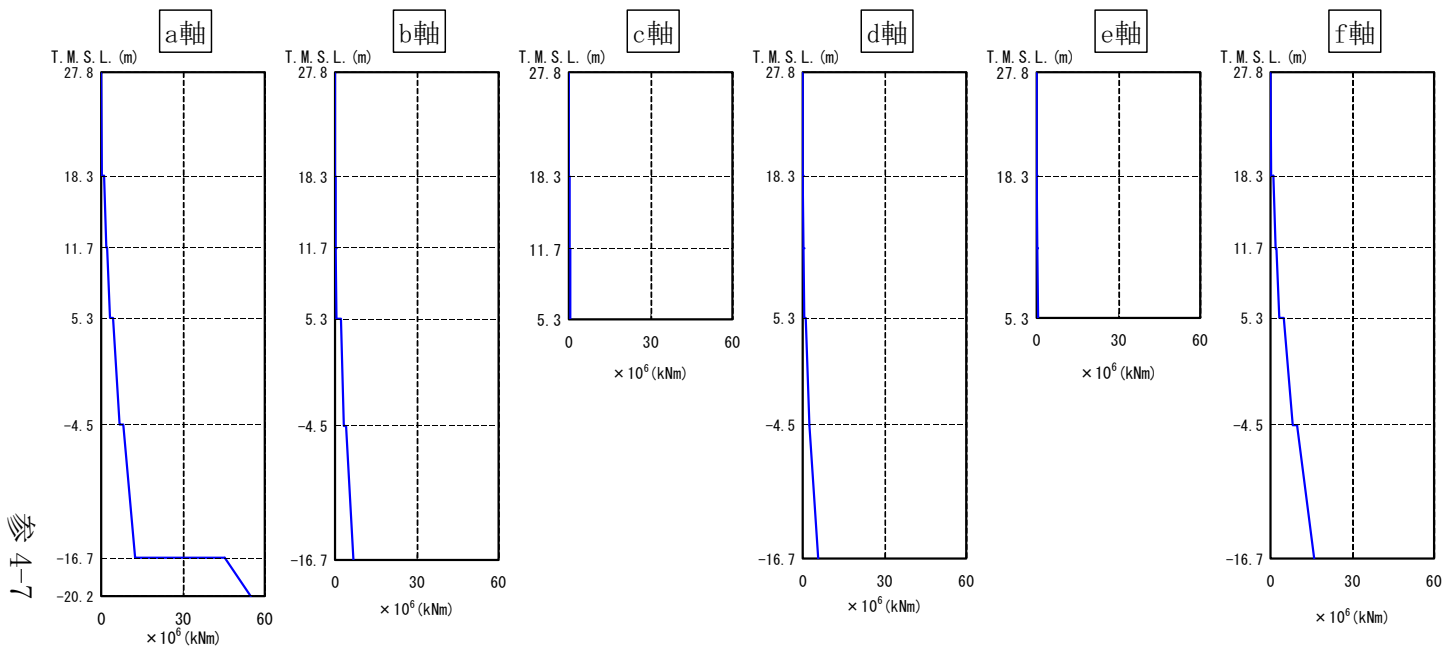




縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)

参図-4.5 最大応答せん断力 (東西方向)

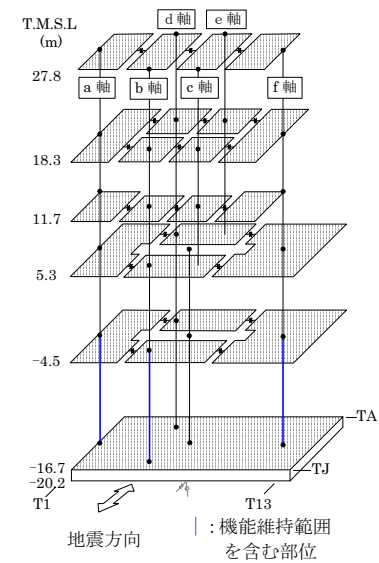




縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答曲げモーメント (×10⁶kNm)

(×10⁶kNm)

a軸	b軸	c軸	d軸	e軸	f軸
0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04
0.37	0.06	0.05	0.07	0.07	0.38
1.16	0.15	0.17	0.10	0.09	0.97
1.79	0.28	0.28			1.79
2.29	0.39	0.44			2.17
3.21	0.60	0.62	0.44	0.54	3.35
4.46	2.29		1.11		4.81
6.83	3.17		2.41		8.20
8.22	4.20		2.47		9.72
12.62	6.69		5.70		16.15
45.47					
54.77					



参図-4.6 最大応答曲げモーメント (東西方向)

タービン建屋の接地率は、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 (kNm)	最大転倒モーメント M_{max} (kNm)	接地率 η (%)
南北方向	1.04×10^8	3.32×10^7	100
東西方向	6.48×10^7	5.32×10^7	100

参考資料 5 1号機解放基盤波を用いたタービン建屋の耐震健全性評価

「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」（平成20年9月22日補正、東京電力株式会社）に示されている、1号機原子炉建屋基礎版上の記録を用いて推定された解放基盤表面の地震動（以下、「1号機解放基盤波」という）を用いて1号機タービン建屋の健全性評価を行う。

(1) 検討方法

地震応答解析における入力地震動を「1号機解放基盤波」から算定される地盤一建屋連成系の解析モデル下端における地震動とした。1号機解放基盤波を用いた地震応答解析のイメージを参図-5.1に示す。

その他の検討条件は、報告書本編の「5.2. タービン建屋の耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準と同一である。

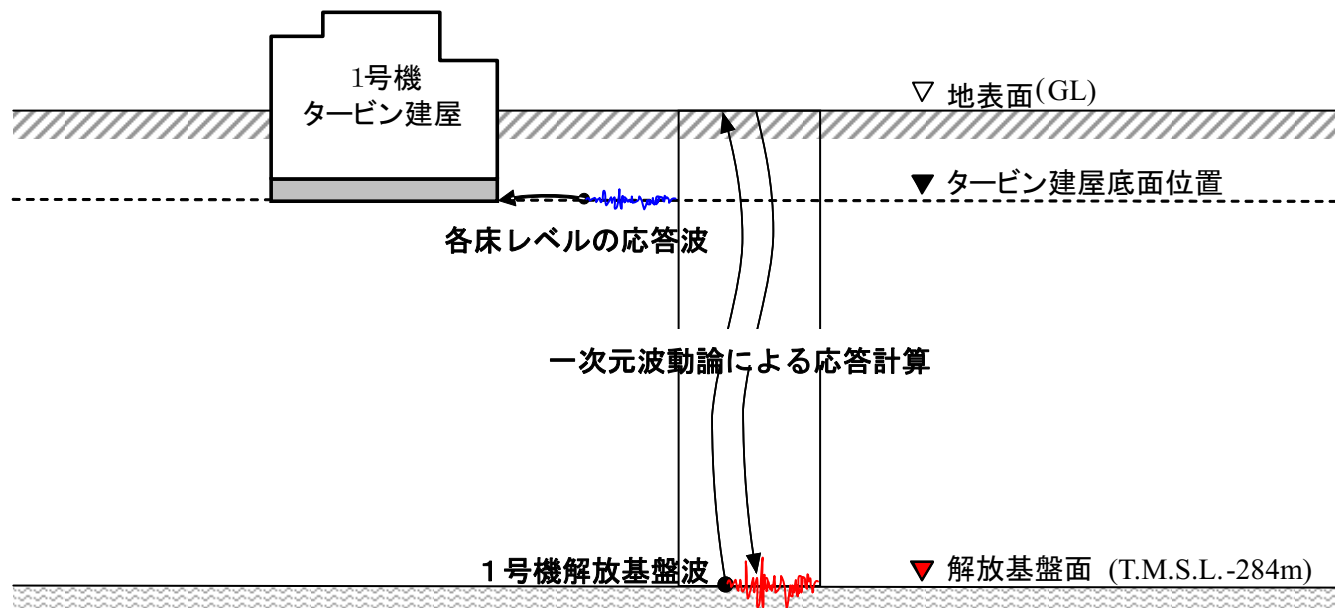
(2) 地震応答解析結果

地震応答解析から求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度分布を参図-5.2～参図-5.4に示す。

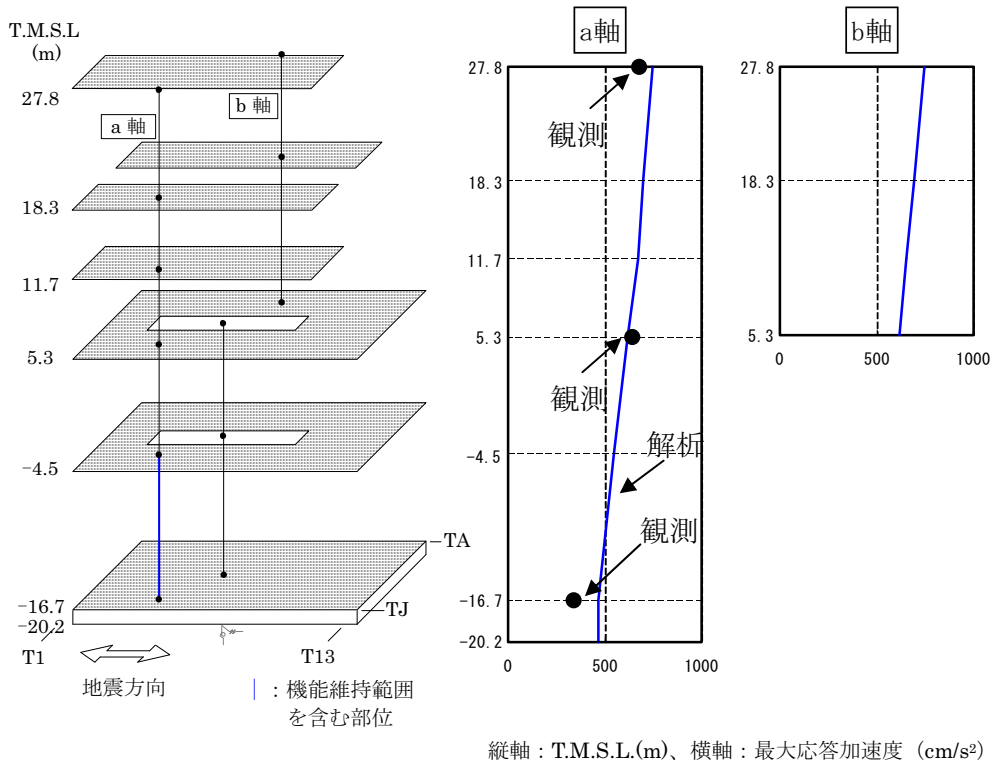
また、機能維持部位のせん断応力を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度($p_w \cdot \sigma_y$)と併せて参図-5.5および参図-5.6に示す。せん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて参図-5.7および参図-5.8に示す。

機能維持範囲を含む部位について、応答結果をスケルトン曲線上にプロットしたものを参図-5.9および参図-5.10に示す。

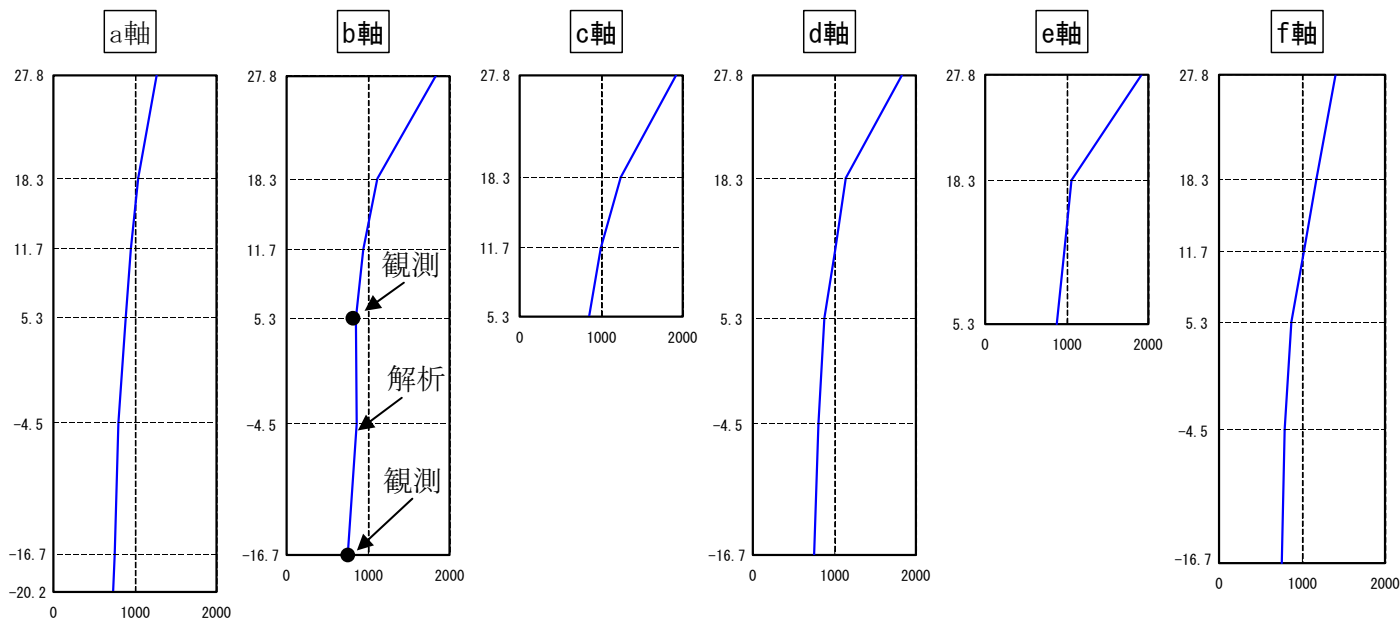
地震応答解析から求められた南北方向、東西方向の最大応答せん断力分布および最大応答曲げモーメント分布を参図-5.11～参図-5.14に示す。



参図-5.1 1号機解放基盤波を用いた地震応答解析方法のイメージ

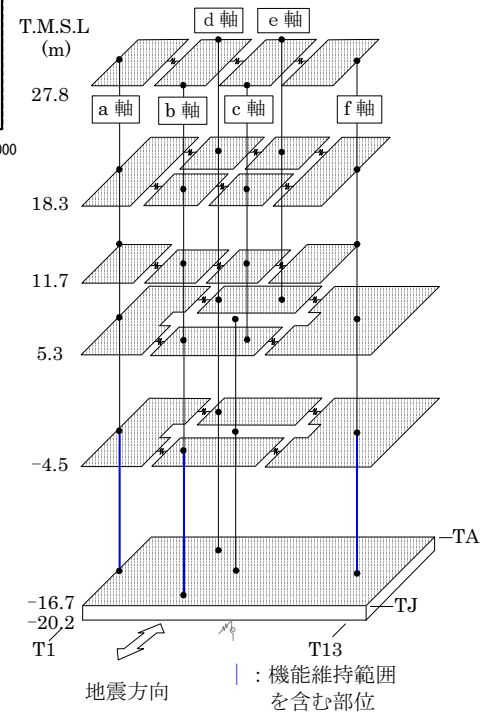


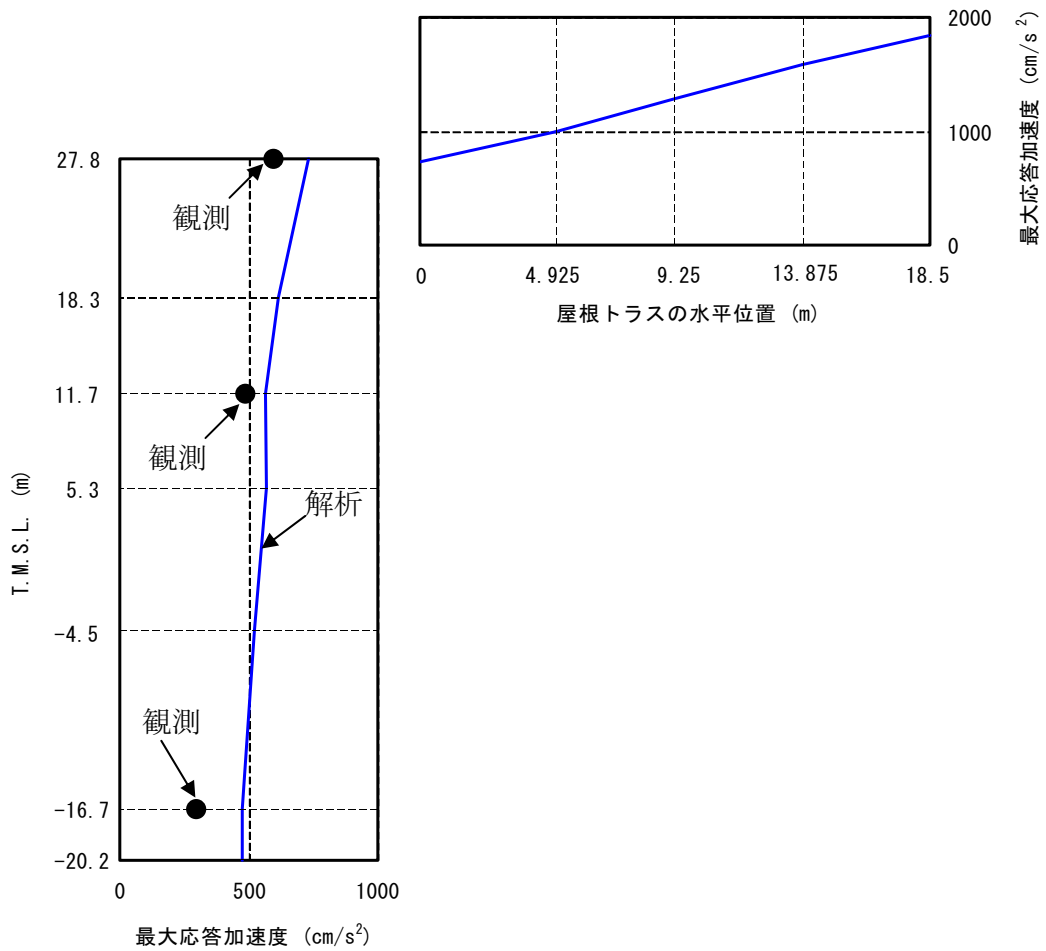
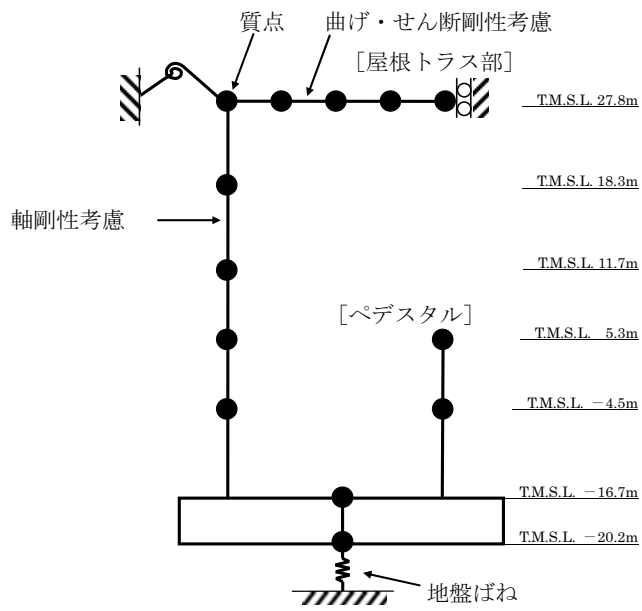
参図-5.2 最大応答加速度（南北方向）



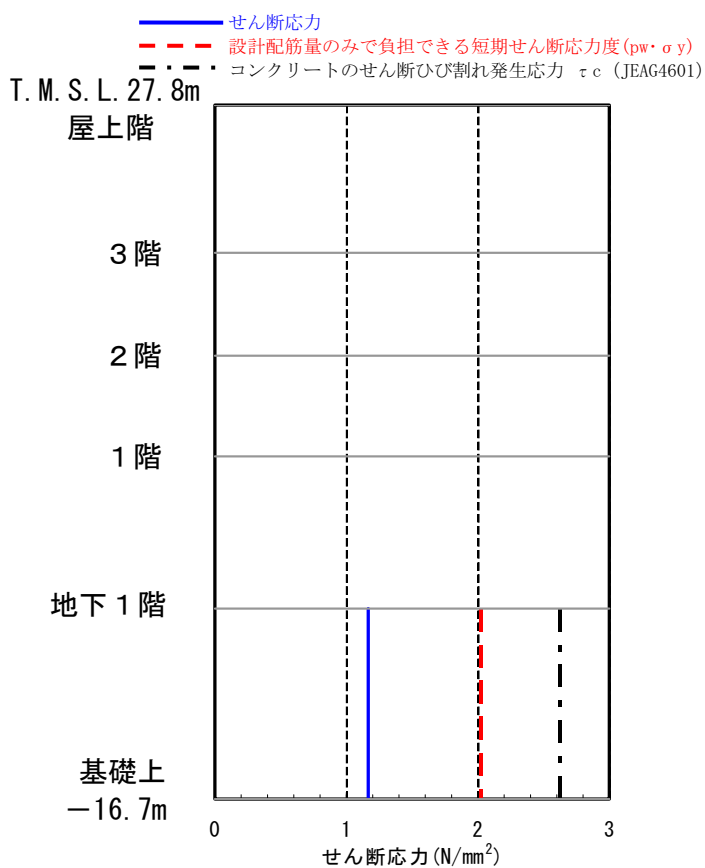
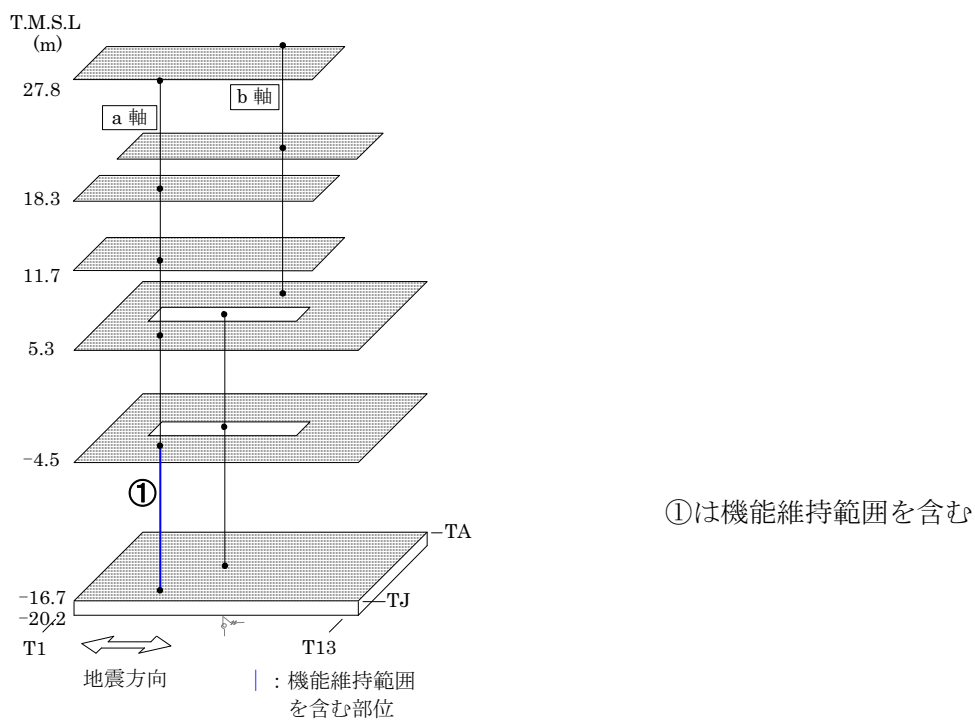
縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答加速度 (cm/s²)

参図-5.3 最大応答加速度 (東西方向)



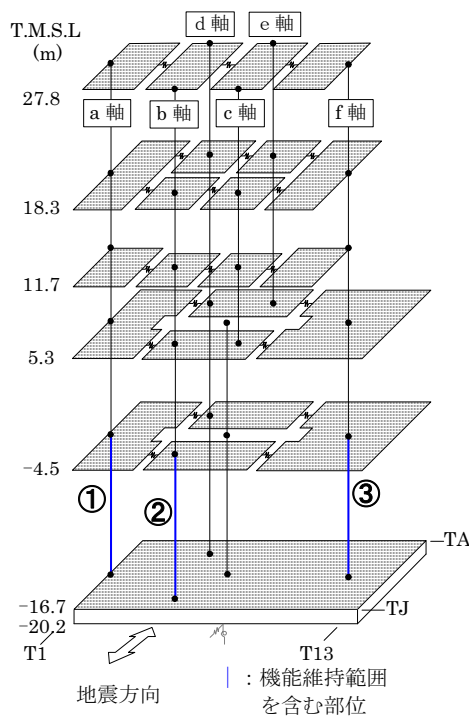


参図-5.4 最大応答加速度 (鉛直方向)

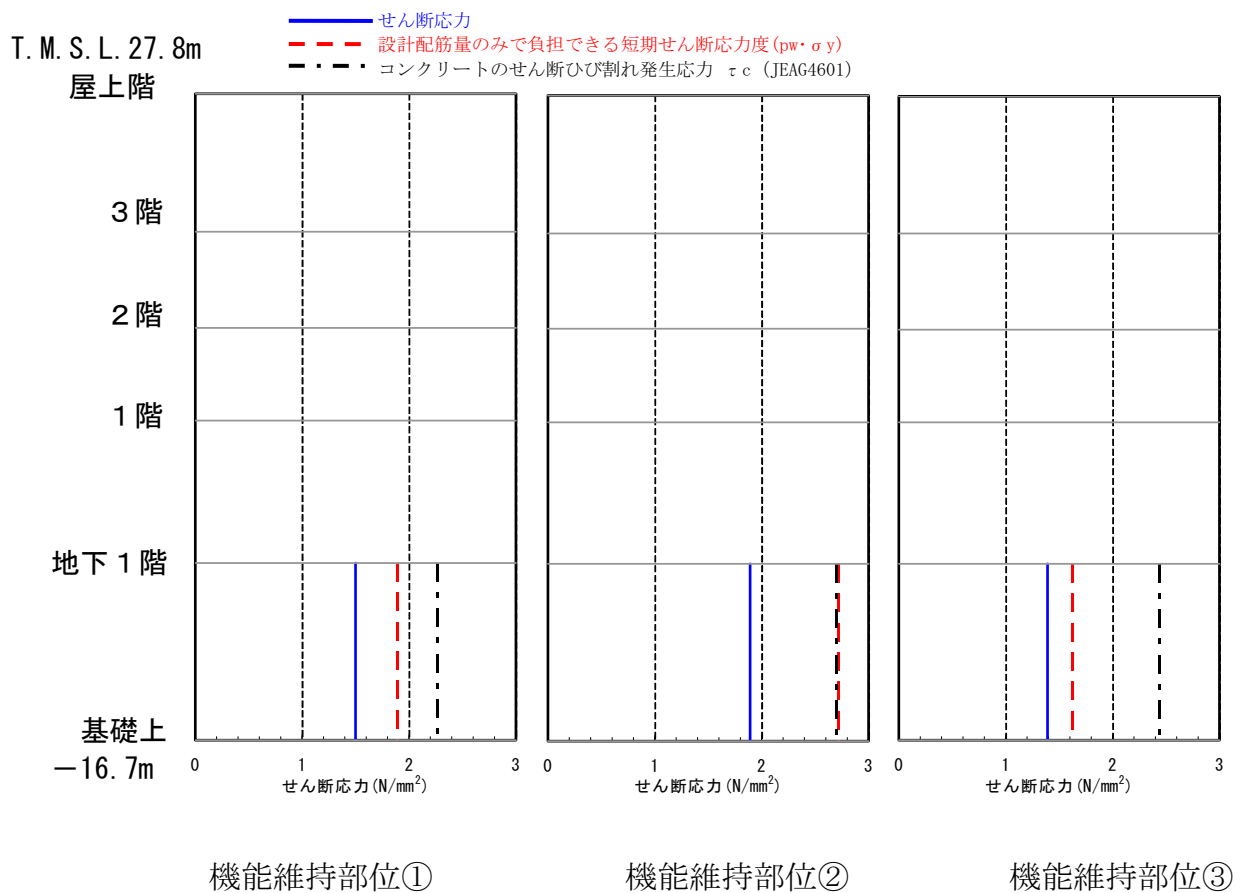


機能維持部位①

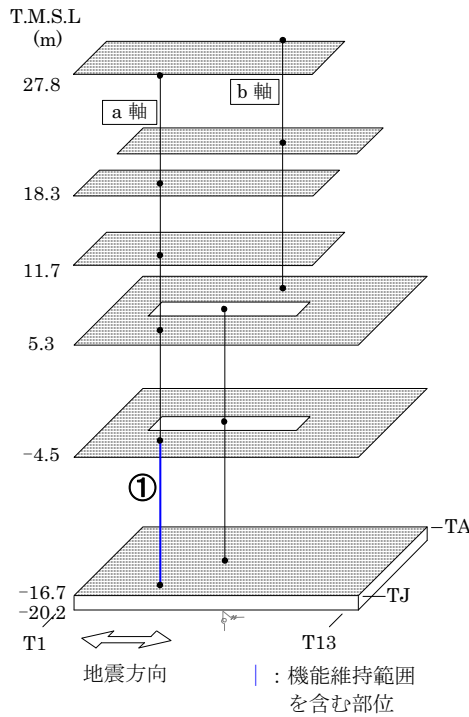
参図-5.5 機能維持部位のせん断応力度 (南北方向)



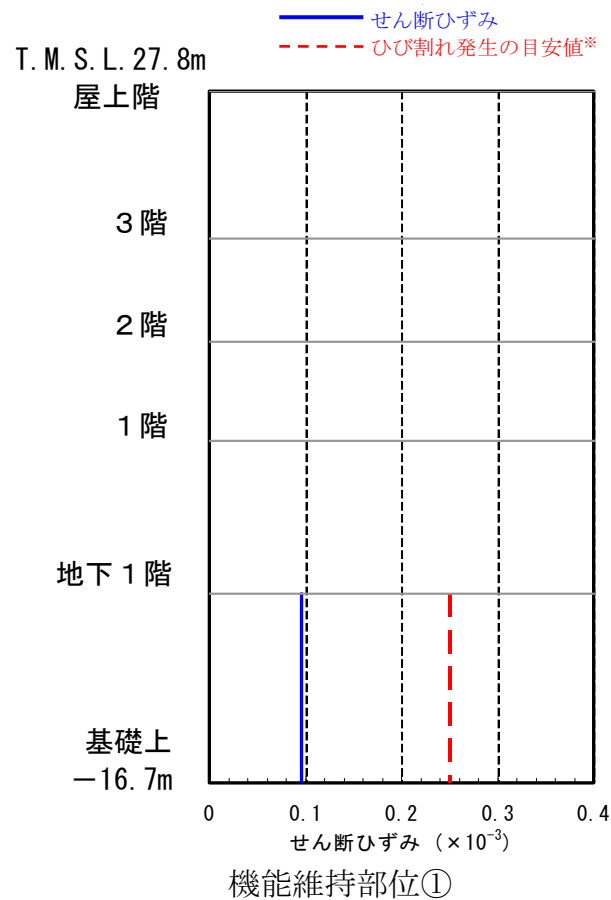
①～③は機能維持範囲を含む



参図-5.6 機能維持部位のせん断応力度 (東西方向)

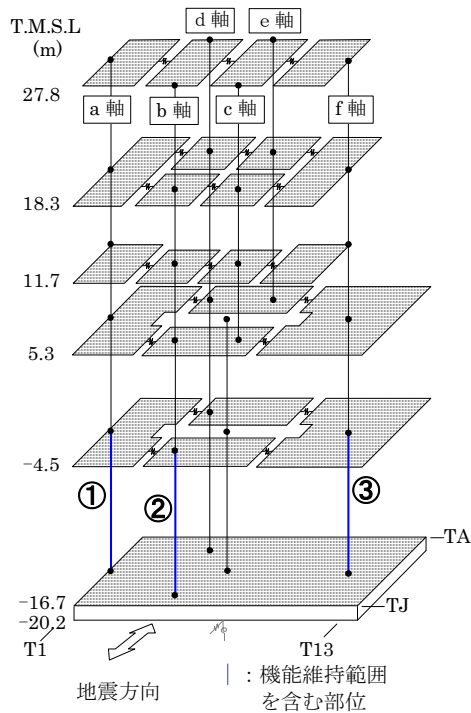


①は機能維持範囲を含む

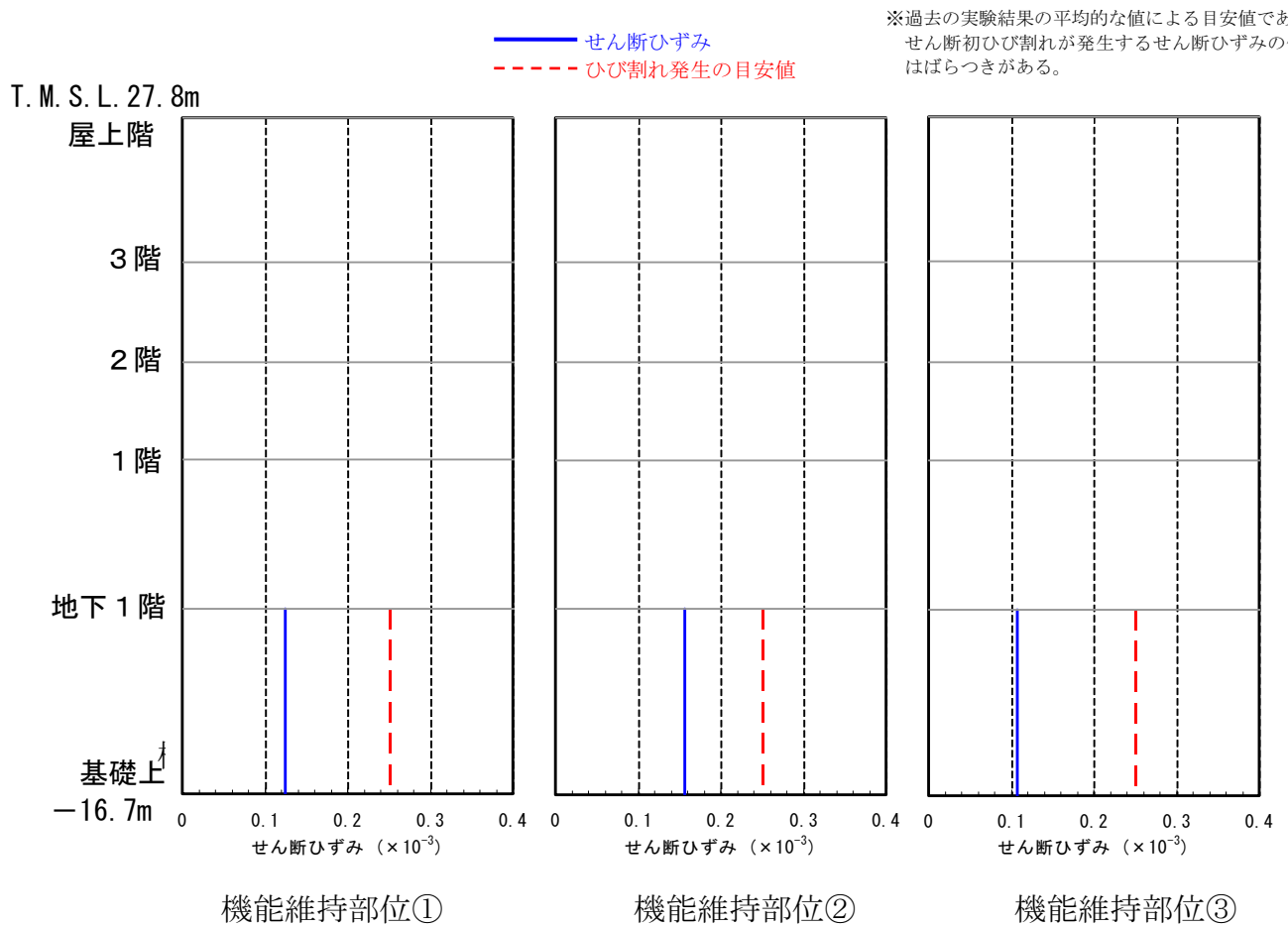


※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れが発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

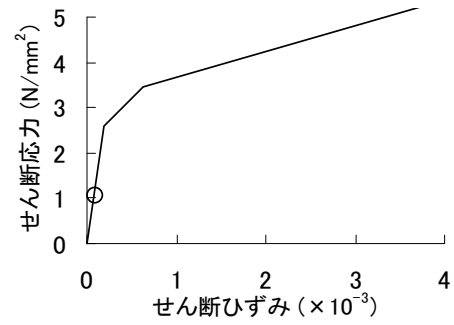
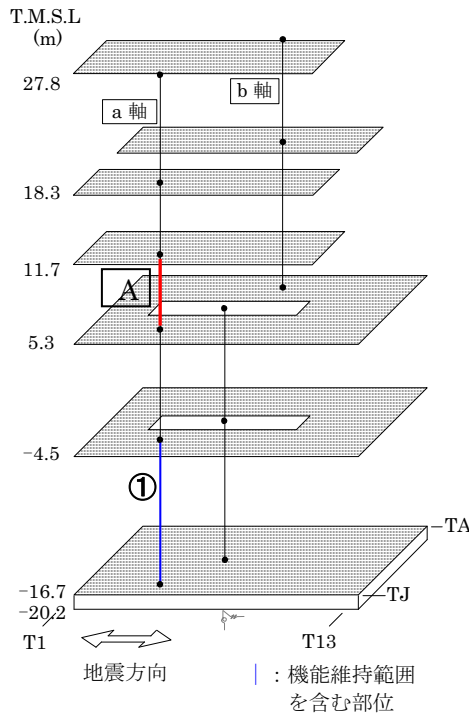
参図-5.7 機能維持部位のせん断ひずみ (南北方向)



①～③は機能維持範囲を含む

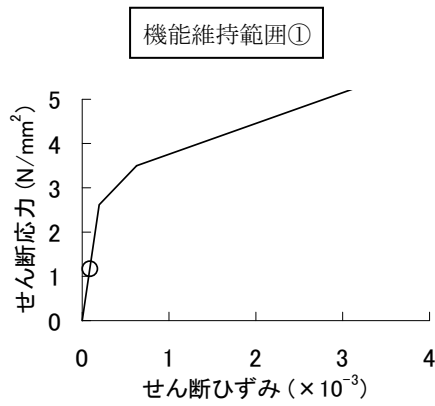


参図-5.8 機能維持部位のせん断ひずみ (東西方向)

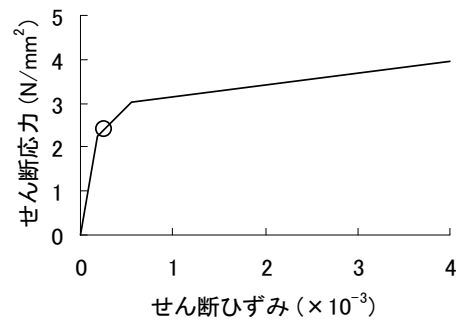
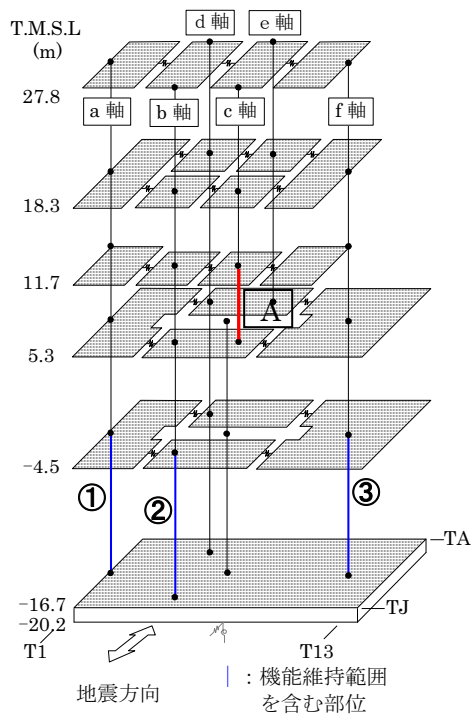


機能維持範囲を含まない部位で耐震壁のせん断ひずみが最も大きかった部位 **A**

- ①は機能維持範囲を含む
- はせん断スケルトン曲線上の最大応答値を表す。

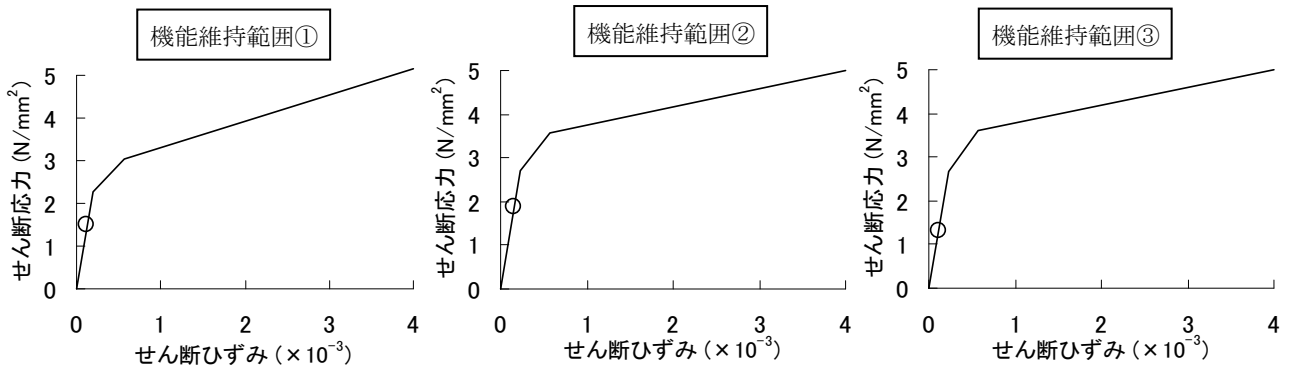


参図-5.9 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (南北方向)

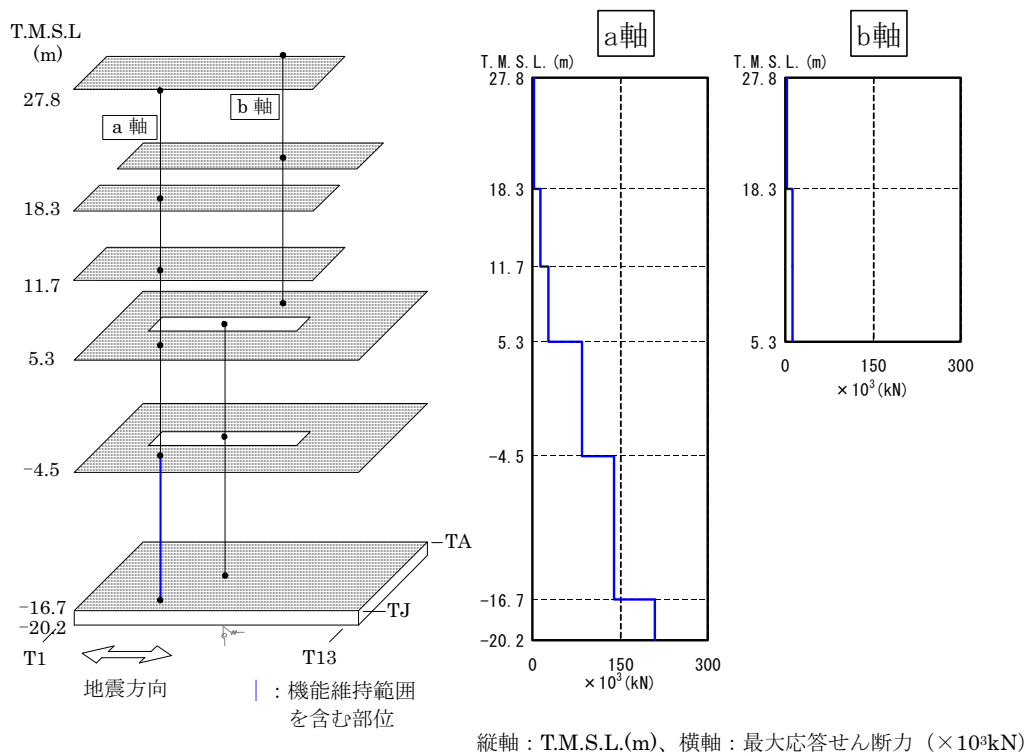


機能維持範囲を含まない部位で耐震壁のせん断ひずみが最も大きかった部位 **A**

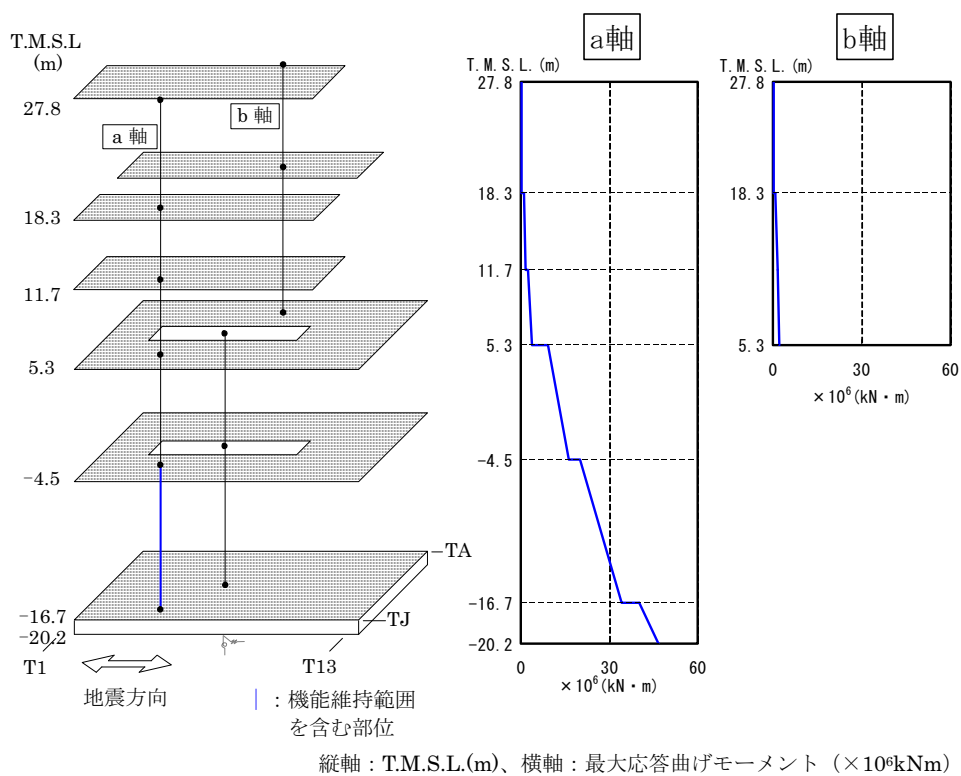
①～③は機能維持範囲を含む
○はせん断スケルトン曲線上の最大応答値を表す。



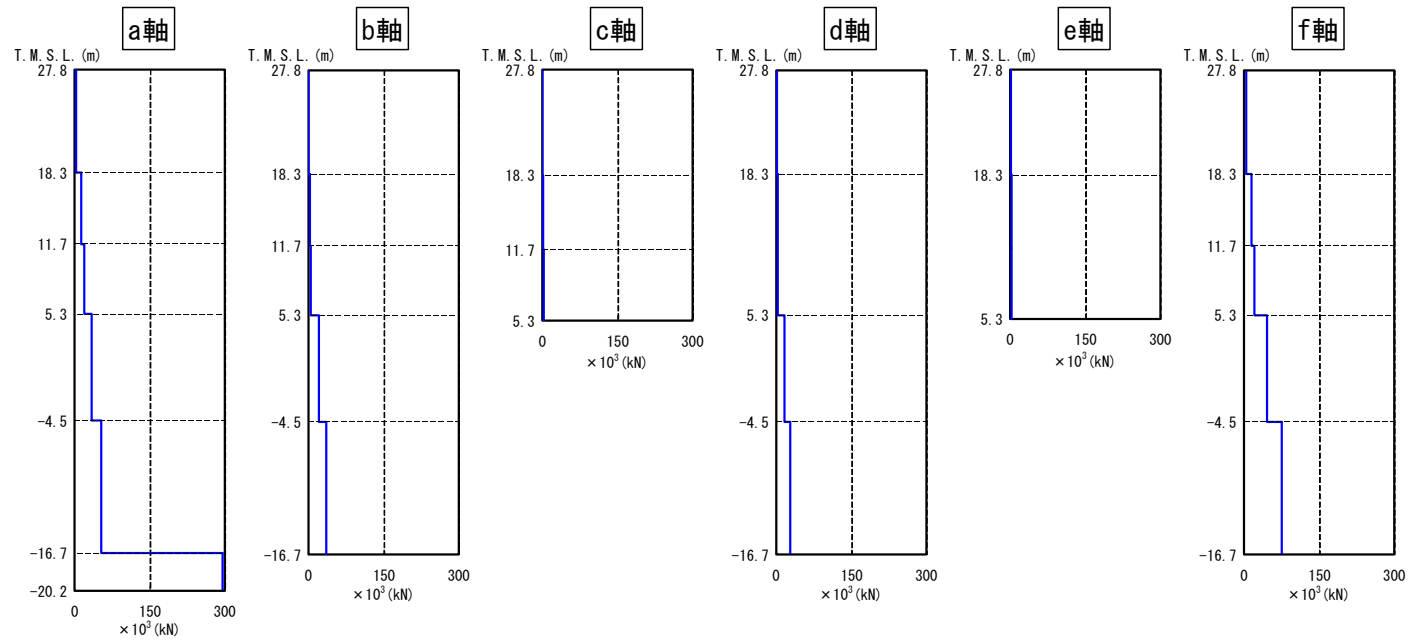
参図-5.10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値（東西方向）



参図-5.11 最大応答せん断力 (南北方向)

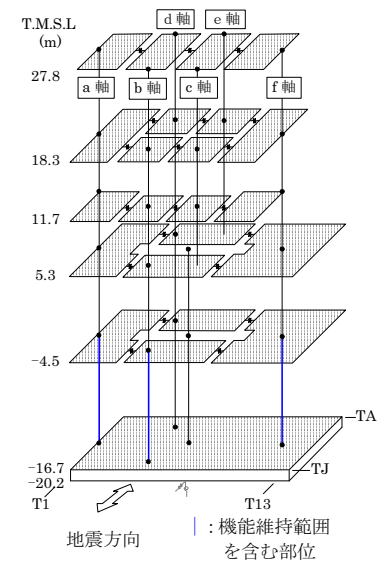


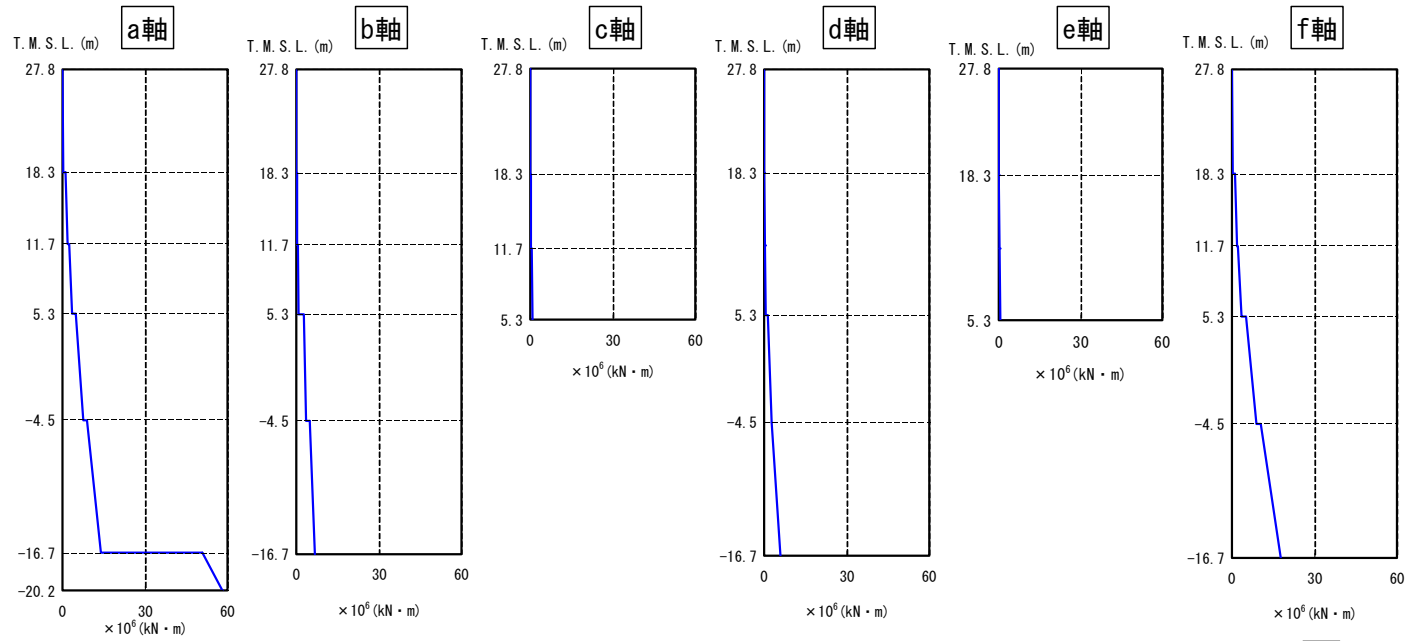
参図-5.12 最大応答曲げモーメント (南北方向)



縦軸：T.M.S.L.(m)、横軸：最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)

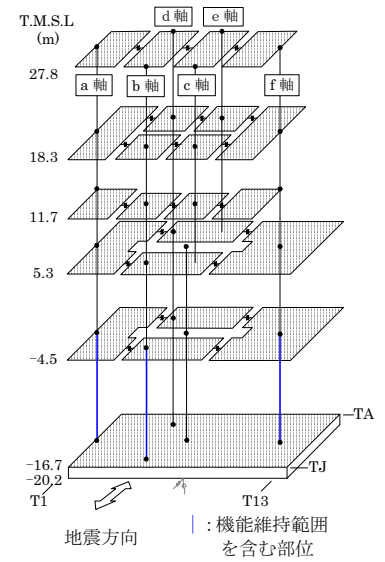
参图-5.13 最大応答せん断力 (東西方向)





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

参図-5.14 最大応答曲げモーメント (東西方向)



参考資料 6 海水機器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-6.1 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-6.1～参図-6.6 に示す。

参表-6.1 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	0.201	4.98	7.084
2	0.182	5.48	-6.163
3	0.095	10.50	0.197
4	0.038	26.61	-0.055
5	0.025	40.45	-0.019

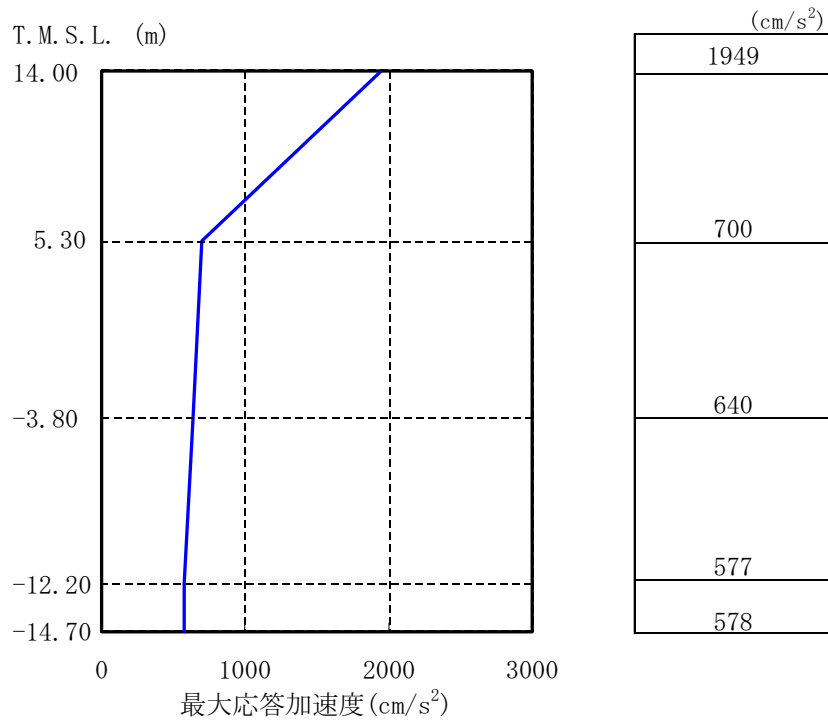
(東西方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*1
1	0.305	3.27	1.852
2	0.194	5.16	1.183
3	0.096	10.41	0.218
4	0.049	20.55	-0.083
5	0.032	31.01	-0.037

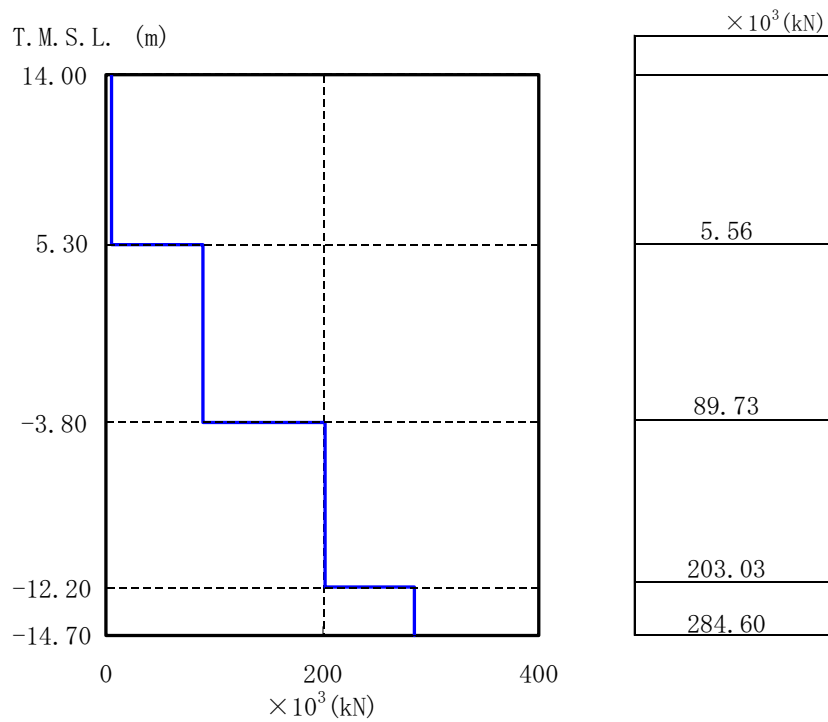
(鉛直方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*1
1	0.147	6.81	11.567
2	0.138	7.23	-10.596
3	0.031	32.09	-0.085
4	0.021	47.07	-0.212
5	0.020	50.62	0.174

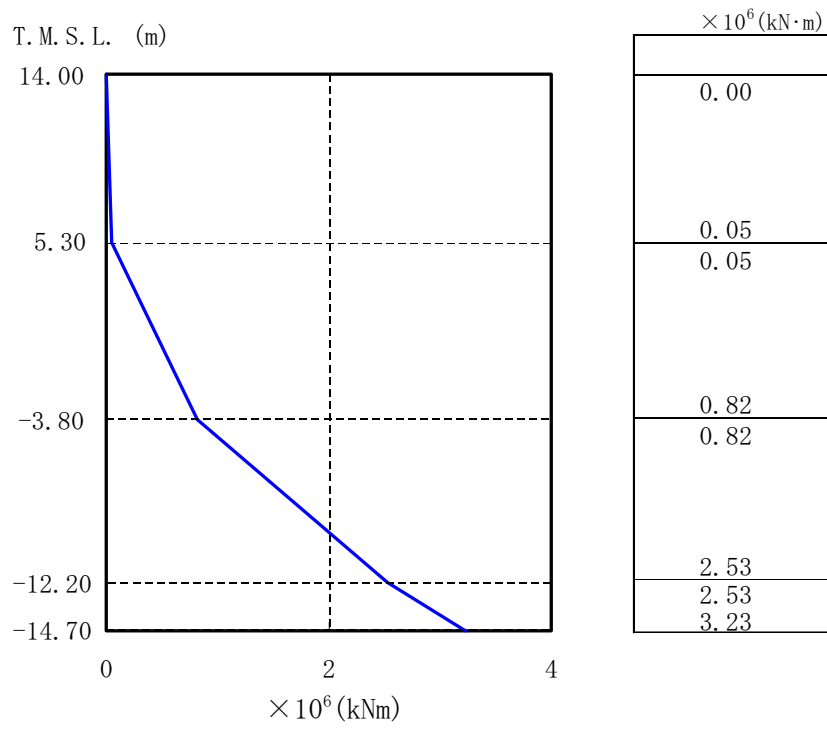
*1 : 各モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。



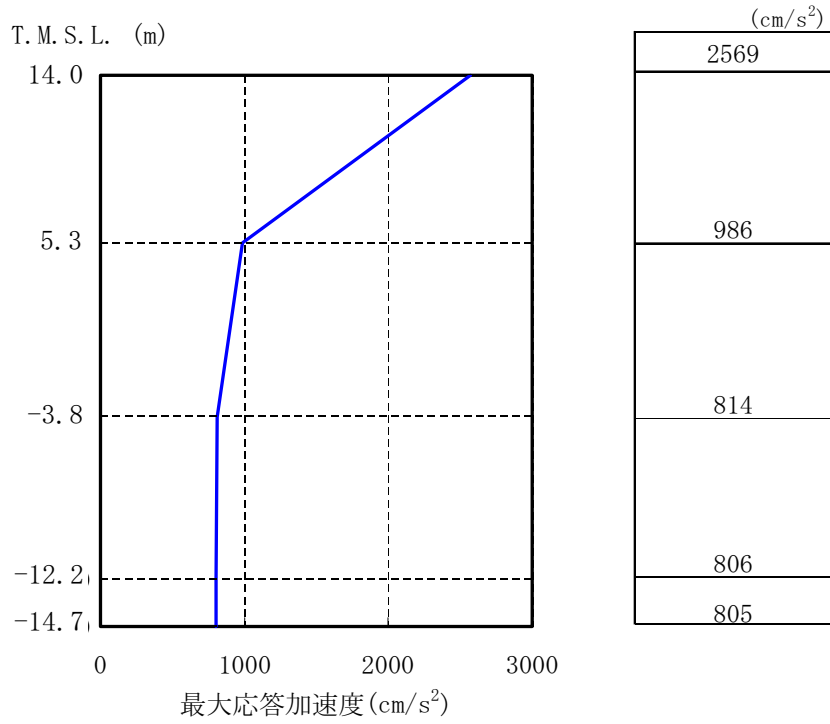
参图-6.1 最大応答加速度 (南北方向)



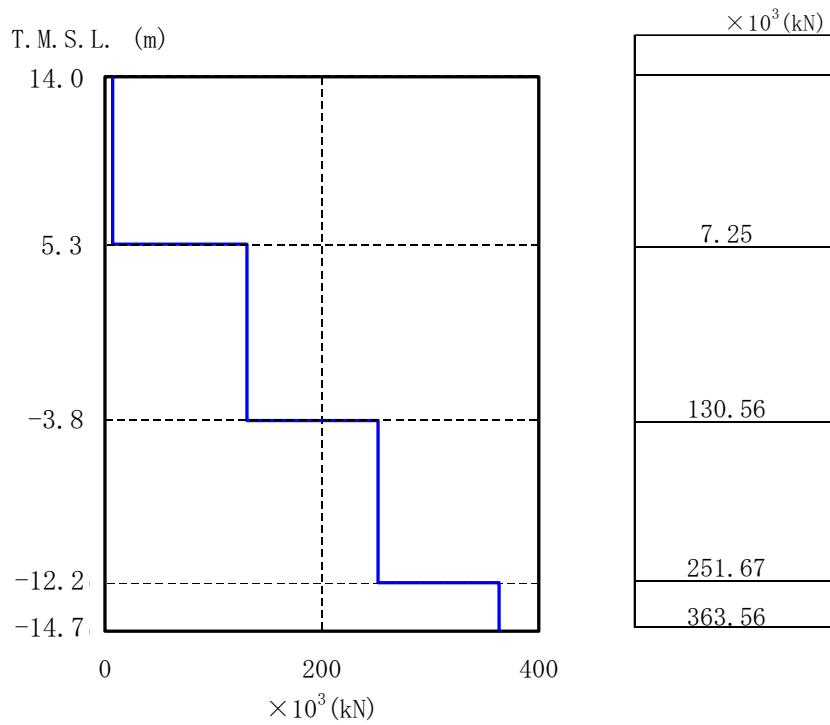
参图-6.2 最大応答せん断力 (南北方向)



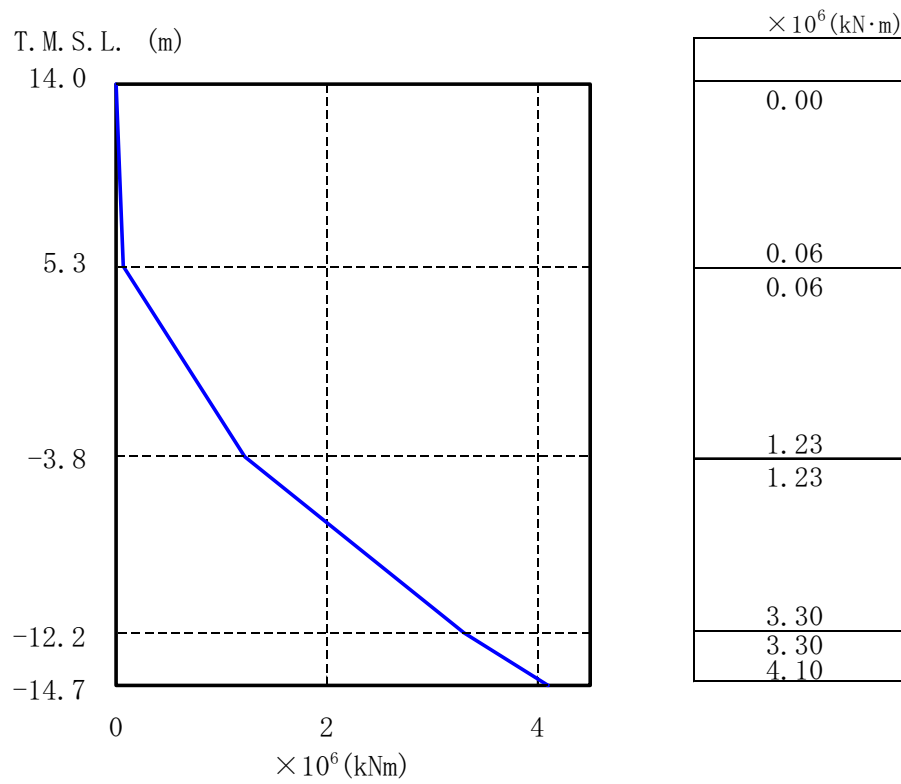
参图-6.3 最大応答曲げモーメント (南北方向)



参图-6.4 最大応答加速度（東西方向）



参图-6.5 最大応答せん断力（東西方向）



参図-6.6 最大応答曲げモーメント（東西方向）

海水機器建屋の接地率は、「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-6.2 に示す。

参表-6.2 浮上りの検討結果

	浮上り限界モーメント M_0 (kNm)	最大転倒モーメント M_{max} (kNm)	接地率 η (%)
南北方向	4.61×10^6	3.33×10^6	100
東西方向	4.59×10^6	4.25×10^6	100

参考資料 7 1号機解放基盤波を用いた海水機器建屋の耐震健全性評価

「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」（平成20年9月22日補正、東京電力株式会社）に示されている、1号機原子炉建屋基礎版上の記録を用いて推定された解放基盤表面の地震動（以下、「1号機解放基盤波」という）を用いて1号機海水機器建屋の健全性評価を行う。

(1) 検討方法

地震応答解析における入力地震動を「1号機解放基盤波」から算定される地盤一建屋連成系の解析モデル下端における地震動とした。1号機解放基盤波を用いた地震応答解析のイメージを参図-7.1に示す。

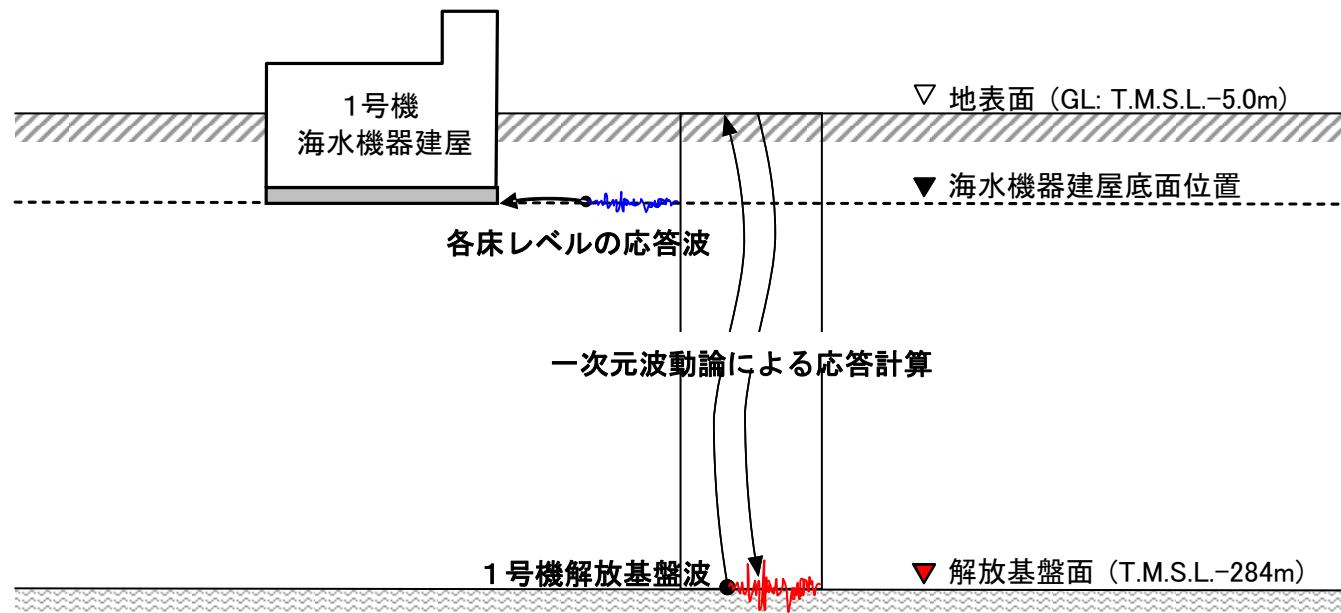
その他の検討条件は、報告書本編の「5.3. 海水機器建屋の耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準と同一である。

(2) 地震応答解析結果

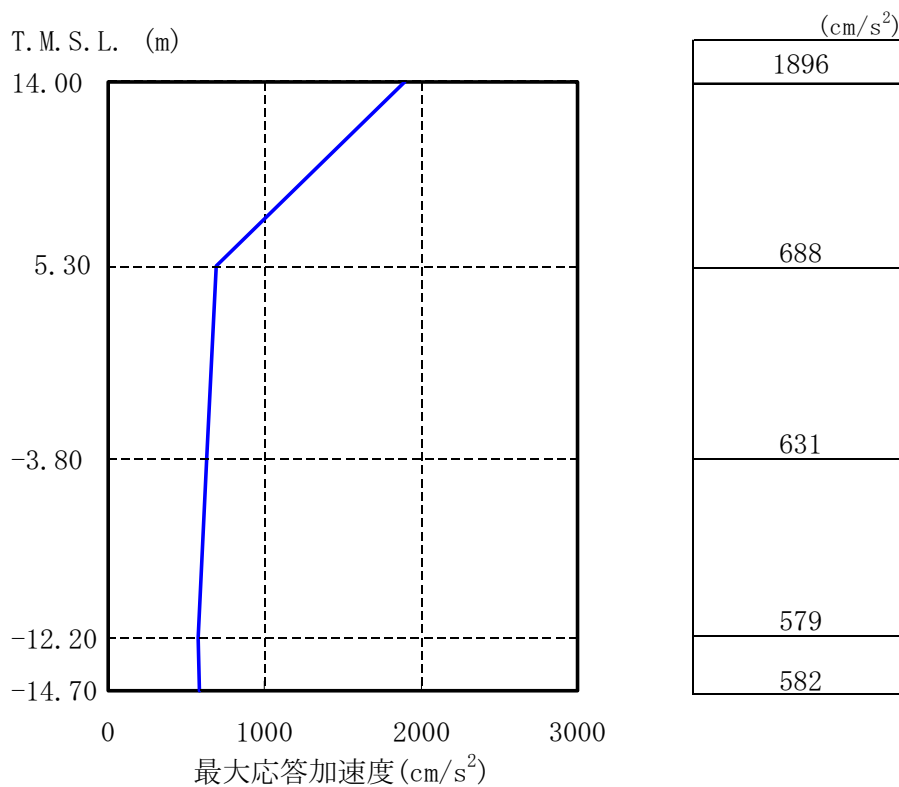
地震応答解析から求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度分布を参図-7.2～参図-7.4に示す。

また、機能維持部位のせん断応力を、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度 ($p_w \cdot \sigma_y$) と併せて参図-7.5および参図-7.6に示す。せん断ひずみを、壁のひび割れが発生するひずみの目安値と併せて参図-7.7および参図-7.8に示す。

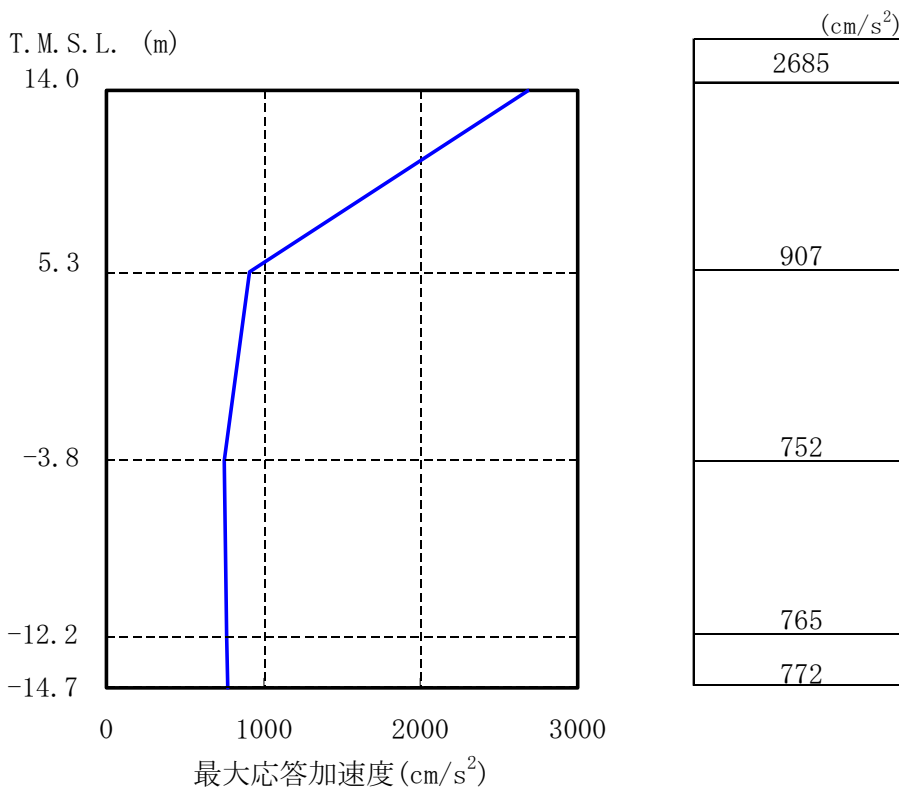
地震応答解析から求められた南北方向、東西方向の最大応答せん断力分布および最大応答曲げモーメント分布を参図-7.9～参図-7.12に示す。



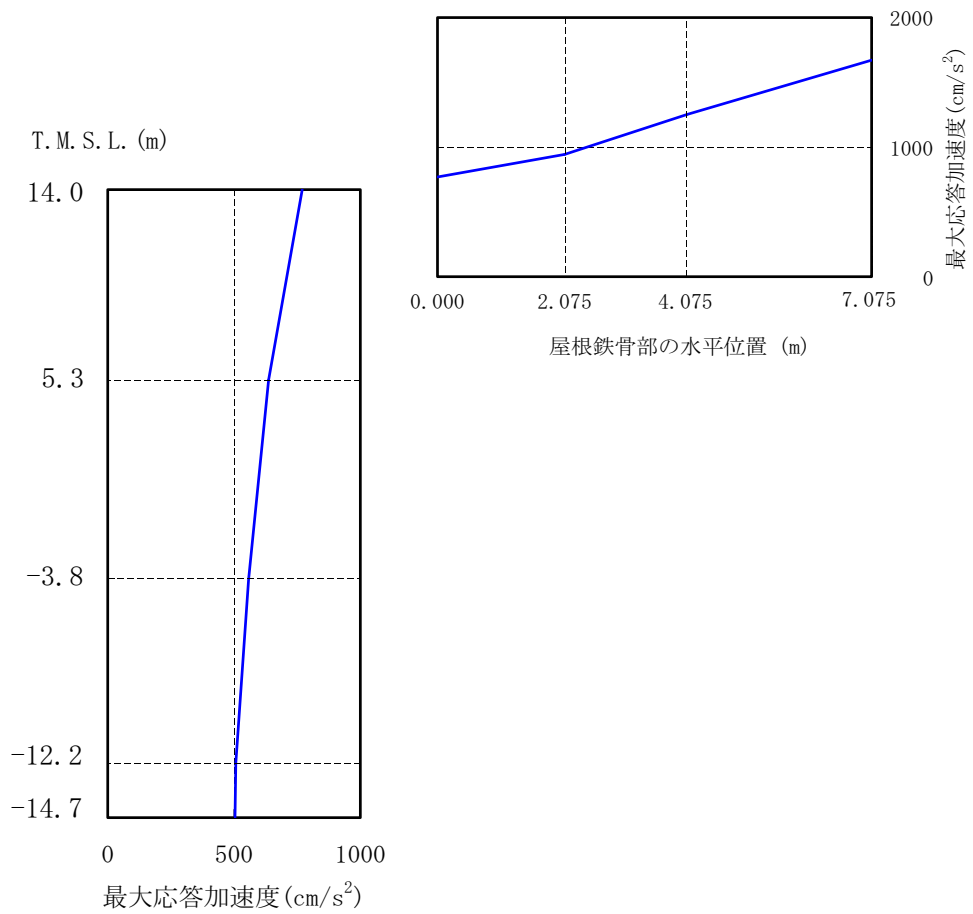
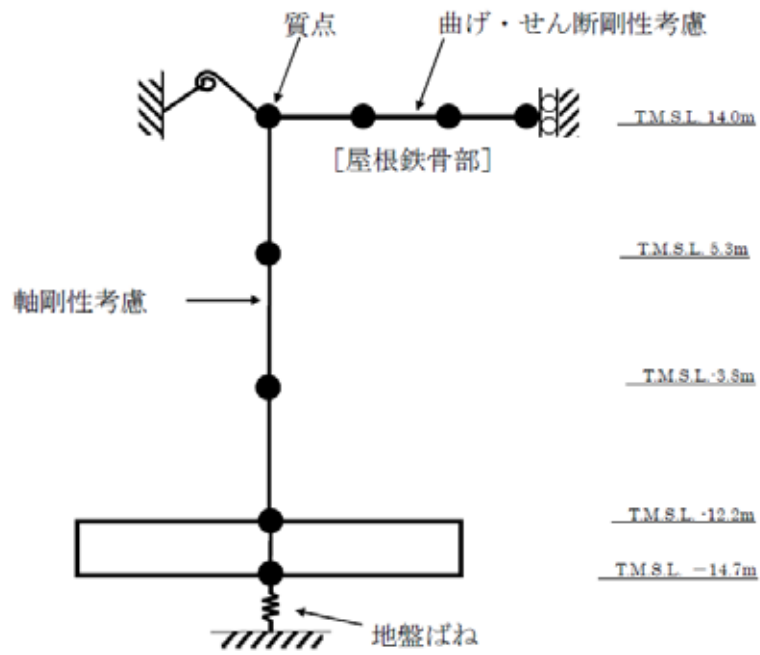
参図-7.1 1号機解放基盤波を用いた地震応答解析方法のイメージ



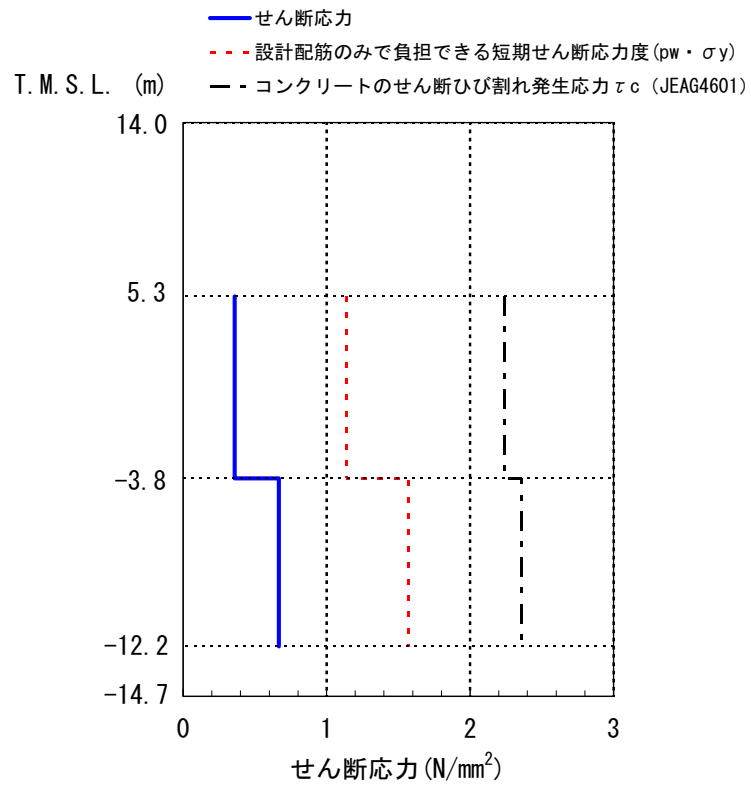
参图-7.2 最大応答加速度（南北方向）



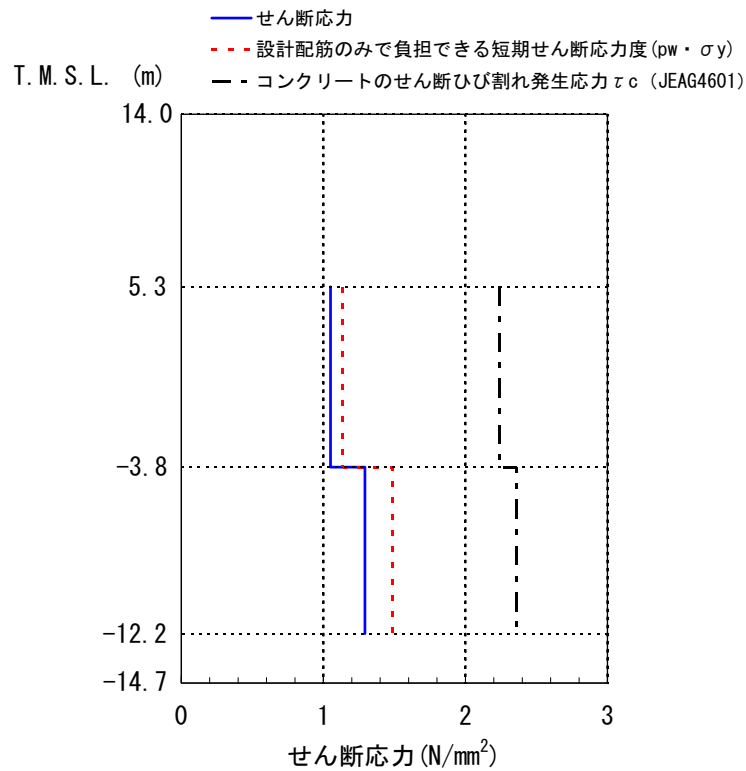
参图-7.3 最大応答加速度（東西方向）



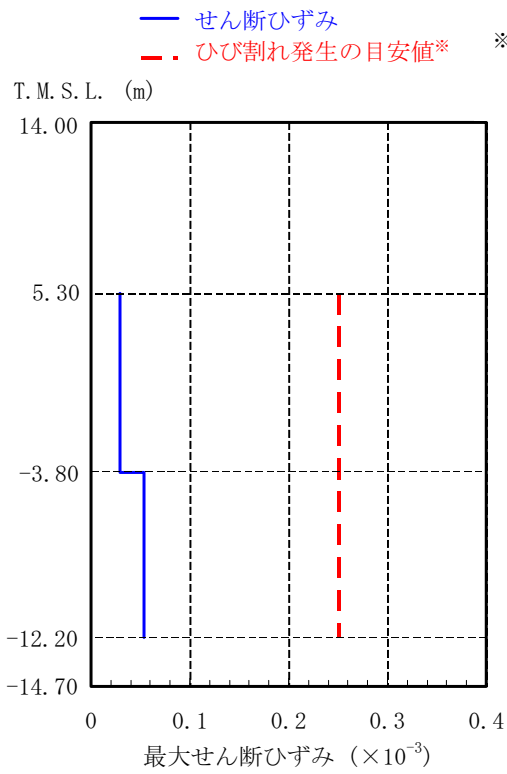
参図-7.4 最大応答加速度 (鉛直方向)



参図-7.5 機能維持部位のせん断応力度 (南北方向)

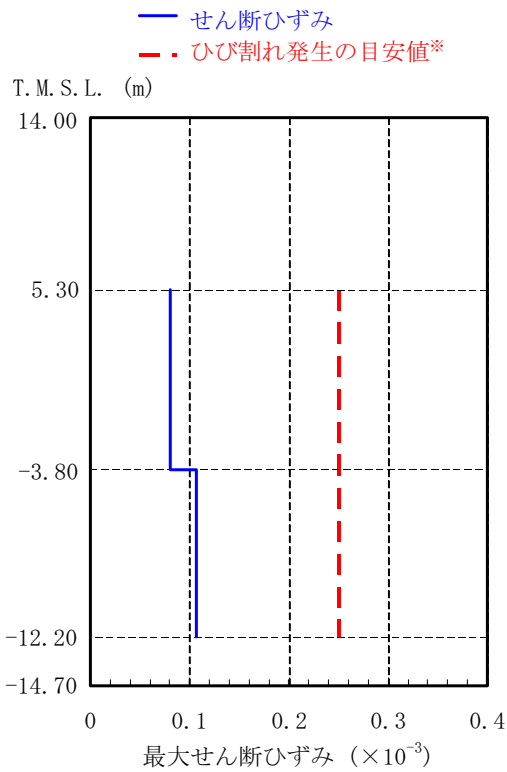


参図-7.6 機能維持部位のせん断応力度 (東西方向)

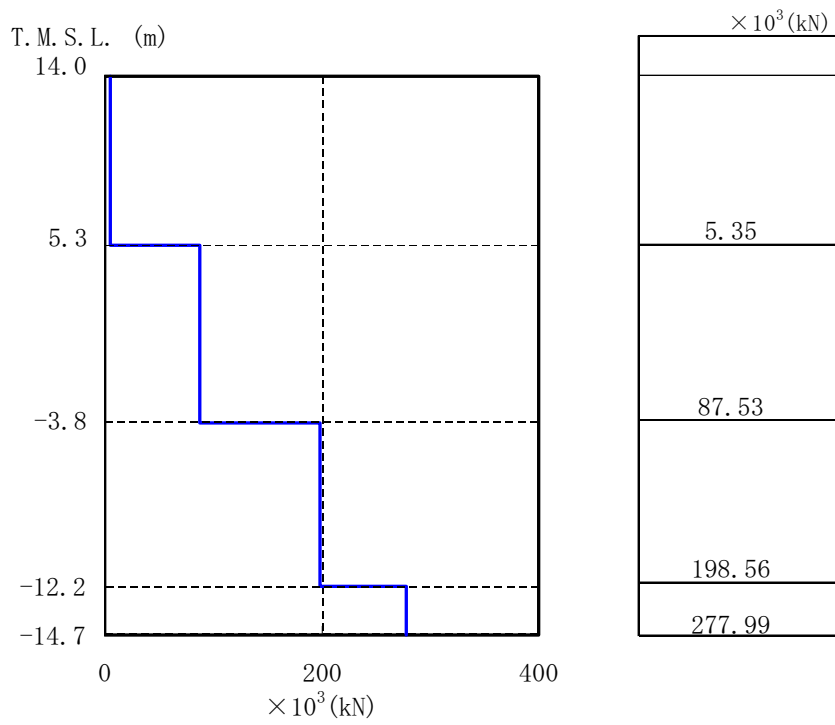


※過去の実験結果の平均的な値による目安値であり、せん断初ひび割れの発生するせん断ひずみの値にはばらつきがある。

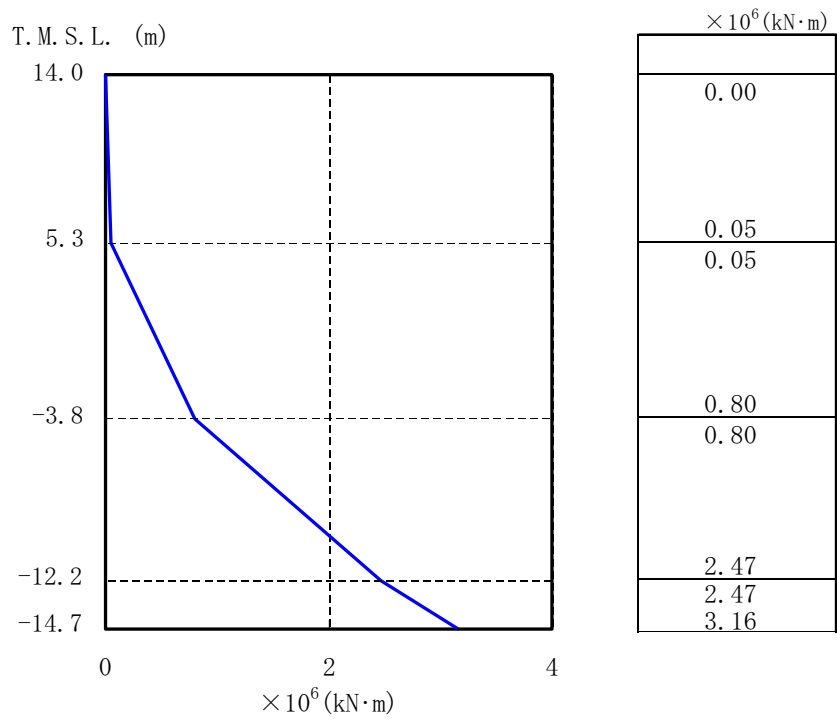
参図-7.7 機能維持部位のせん断ひずみ（南北方向）



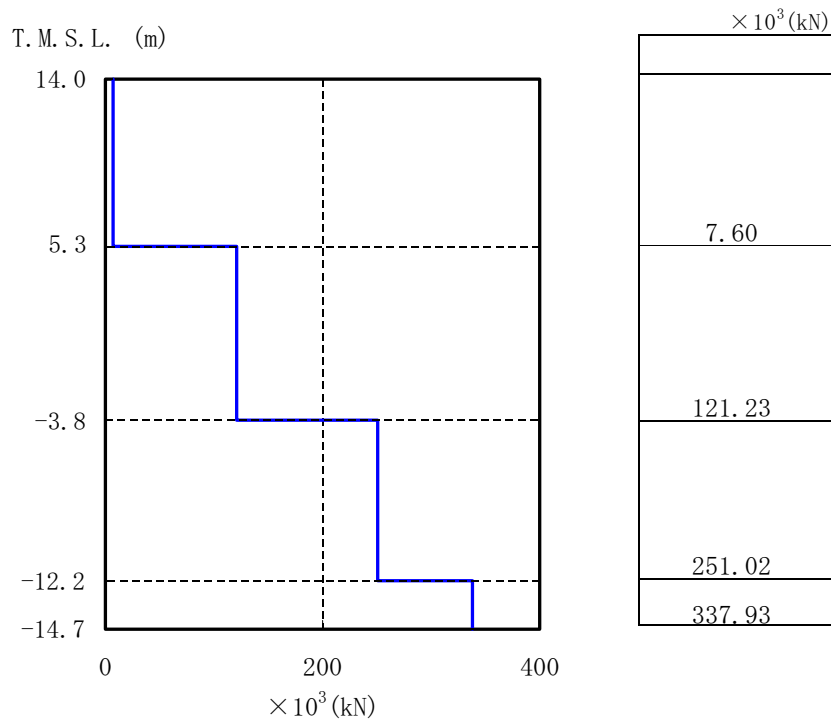
参図-7.8 機能維持部位のせん断ひずみ（東西方向）



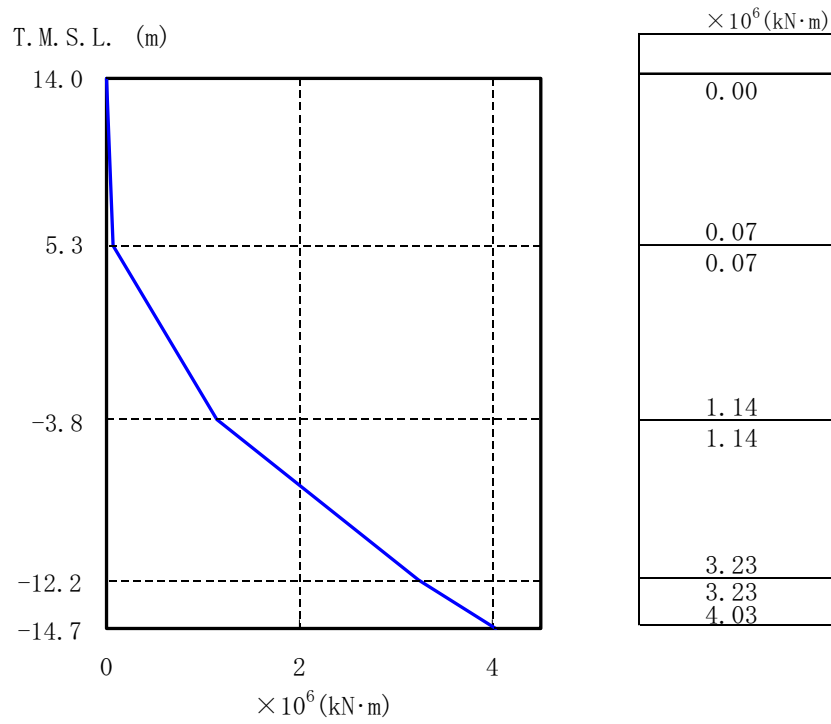
参图-7.9 最大応答せん断力 (南北方向)



参图-7.10 最大応答曲げモーメント (南北方向)



参図-7.11 最大応答せん断力（東西方向）



参図-7.12 最大応答曲げモーメント（東西方向）

参考資料 8 杭頭付近の目視点検結果と解析結果との対応について

1 / 2号機排気筒の杭基礎の杭頭付近の目視点検の結果確認されたひび割れ発生状況と解析的に求められた最大応答結果とを比較して示す。

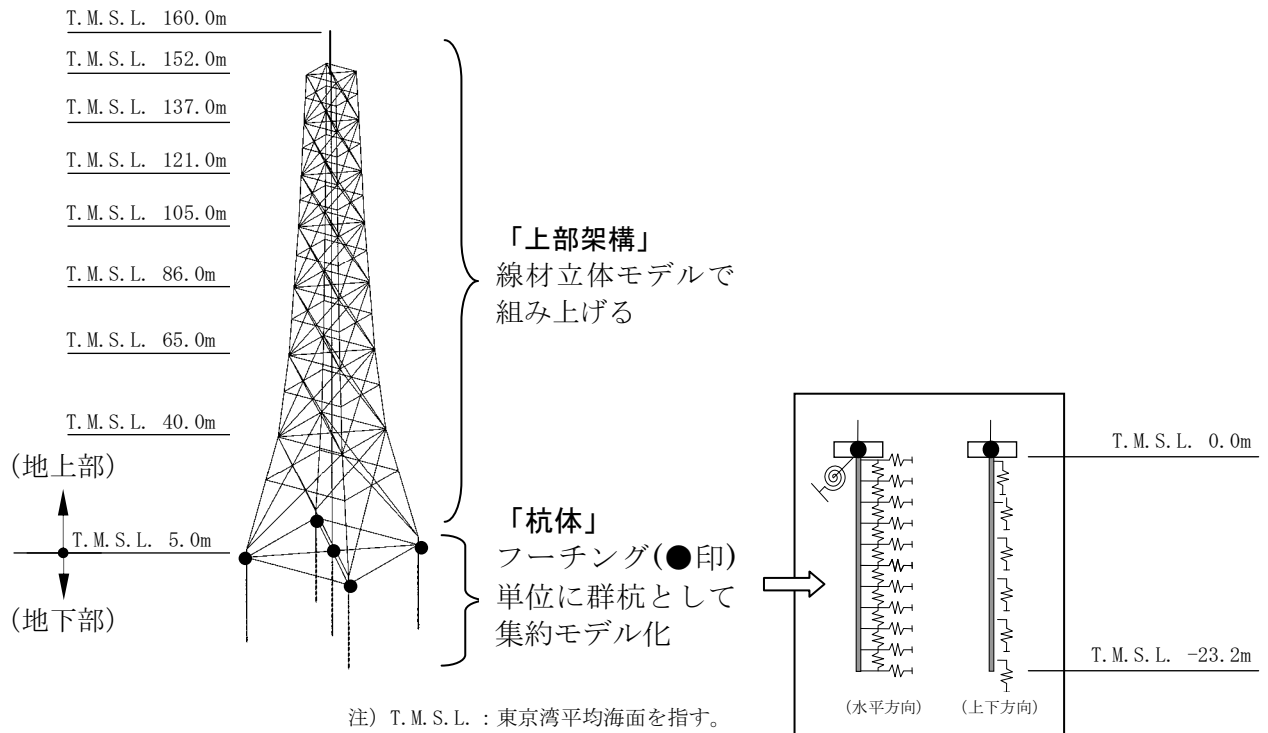
参図-8.1に排気筒の地震応答解析モデル図を示す。

杭頭付近の目視点検結果（ひび割れ箇所、ひび割れ発生状況）を参図-8.2、参図-8.3および参表-8.1に示す。その結果、杭頭の鋼板巻き（ $t=12\text{mm}$ ）部分との境界付近に $0.1\sim 2.2\text{mm}$ 程度のひび割れが数本確認されている。

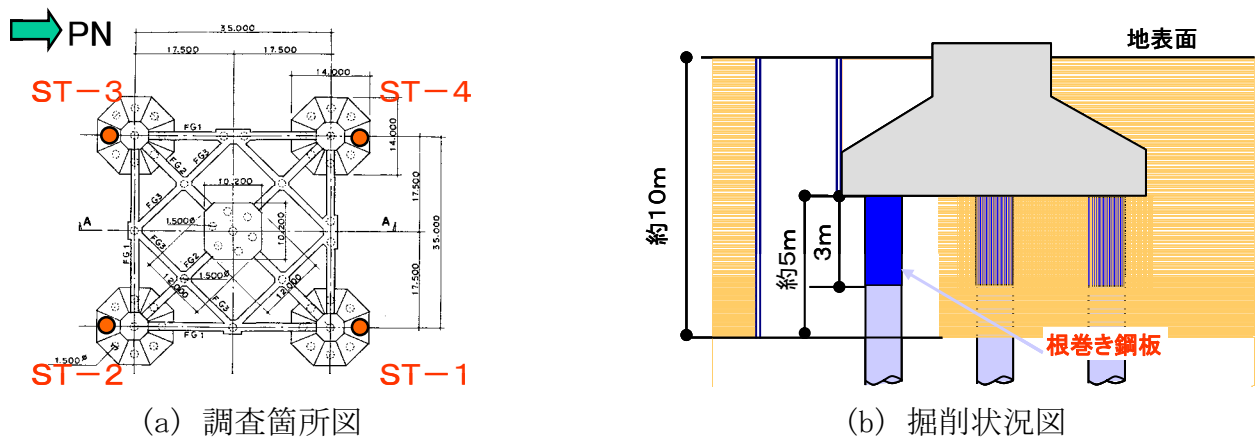
次に地震応答解析から求めたひび割れが確認された付近の杭の応答曲げモーメントや応答軸力を曲げモーメント-曲率($M-\phi$)関係図と軸力-曲げモーメント相関図にプロットして参図-8.4に示す。その結果、コンクリートのひび割れ点に相当する第一折れ点を超過し、鉄筋降伏点に相当する第二折れ点までの中間的な応答を呈している。

以上の杭頭付近の目視点検結果と地震応答解析結果とを比較した結果、両者の結果はほぼ対応する結果であると判断される。

なお、杭の曲げモーメント-曲率($M-\phi$)関係は、（社）日本電気協会編『乾式キャスト貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針』（JEAG4616-2003）に基づき設定している。また、 $N-M$ 相関図は日本建築学会編『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』（1991年）の15条（柱）の円形断面に基づき設定している。



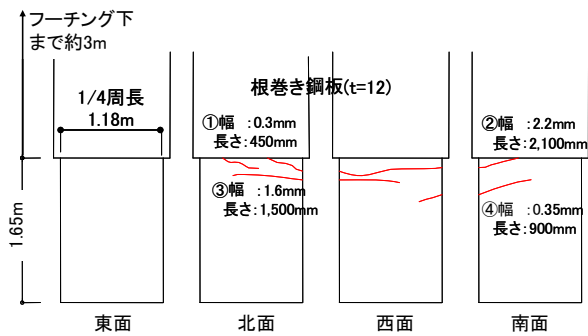
参図-8.1 排気筒の地震応答解析モデル



参図-8.2 杭の調査箇所とその掘削状況の概要図

参表-8.1 杭頭付近に確認されたひび割れ状況のまとめ

調査箇所	ひび割れ本数 (本)	ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ長さ (m)	主なひび割れ発生面
S T - 1	損傷なし			
S T - 2	4	0.3~2.2	0.45~2.10	西
S T - 3	2	0.1	0.70~1.65	西
S T - 4	1	0.1	0.70	北

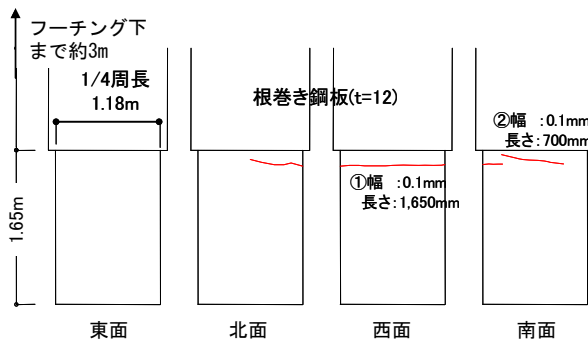


—ひび割れ状況図 (展開図)—

(位置記号: S T - 2)



—杭頭状況—



—ひび割れ状況図 (展開図)—

(位置記号: S T - 3)



—杭頭状況—

その他、S T - 4 にも軽微なひび割れ (0.1mm) が 1 本確認されている。(参表-8.1 参照)

参図-8.3 杭頭付近の最大ひび割れの発生状況

杭頭付近の地震応答解析結果の概要

■ 杭の骨格曲線の条件

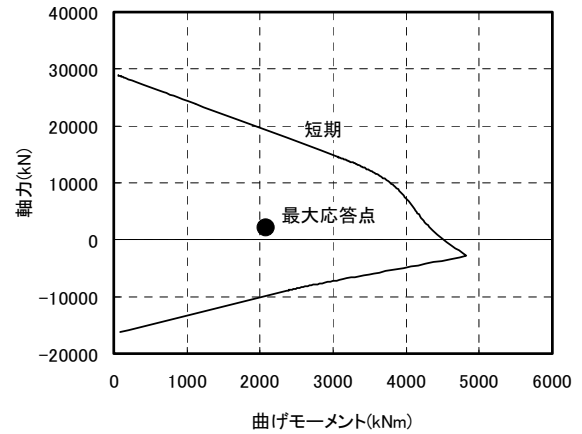
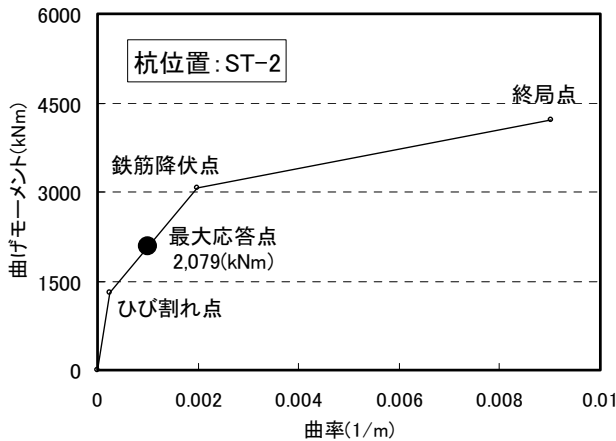
杭の曲げモーメント-曲率(M-φ)関係は、(社)日本電気協会編『乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針』(JEAG4616-2003)に基づき設定している。

- ・ 第1折れ点：軸力Nが加わる時にコンクリートの縁部がコンクリートの引張強度 $0.56\sqrt{F_c}$ に達した点 ($M_c = 0.56\sqrt{F_c} \cdot Z_e + N \cdot D/8$)
- ・ 第2折れ点：圧縮側あるいは引張側の縁鉄筋が降伏に達した点
- ・ 終局点：圧縮側コンクリートの圧壊に相当する点(コンクリートの限界圧縮ひずみ0.3%)

■ 杭のN-M相関図の条件

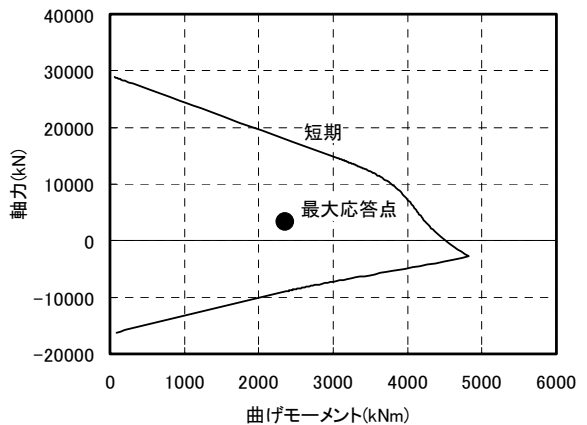
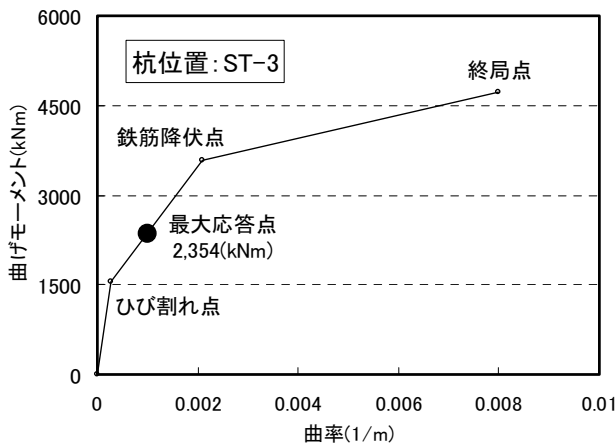
N-M相関図は日本建築学会編『鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説』(1991年)の15条(柱)の円形断面に基づき設定している。

- ・ コンクリートの短期許容圧縮応力度：11.75(N/mm²)
- ・ 鉄筋の短期許容圧縮応力度：345(N/mm²)
- ・ 鉄筋の短期許容引張応力度：345(N/mm²)



注) 最大応答点●：最大曲げモーメント発生時の曲げモーメントおよび軸力の点をプロット
(杭の位置記号：S T - 2にある1本あたりの応答結果)

(a) 杭のM-φ関係図と応答プロット点 (b) 杭のN-M相関図と応答プロット点



注) 最大応答点●：最大曲げモーメント発生時の曲げモーメントおよび軸力の点をプロット
(杭の位置記号：S T - 3にある1本あたりの応答結果)

(a) 杭のM-φ関係図と応答プロット点 (b) 杭のN-M相関図と応答プロット点

参図-8.4 地震応答解析から求まる杭頭付近の応答軸力～曲げモーメント関係 (EW方向)

参考資料 9 1号機解放基盤波を用いた排気筒の耐震健全性評価

「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」(平成20年9月22日補正、東京電力株式会社)に示されている、1号機原子炉建屋基礎版上の記録を用いて推定された解放基盤表面の地震動(以下、「1号機解放基盤波」という)を用いて1号機排気筒の健全性評価を行う。

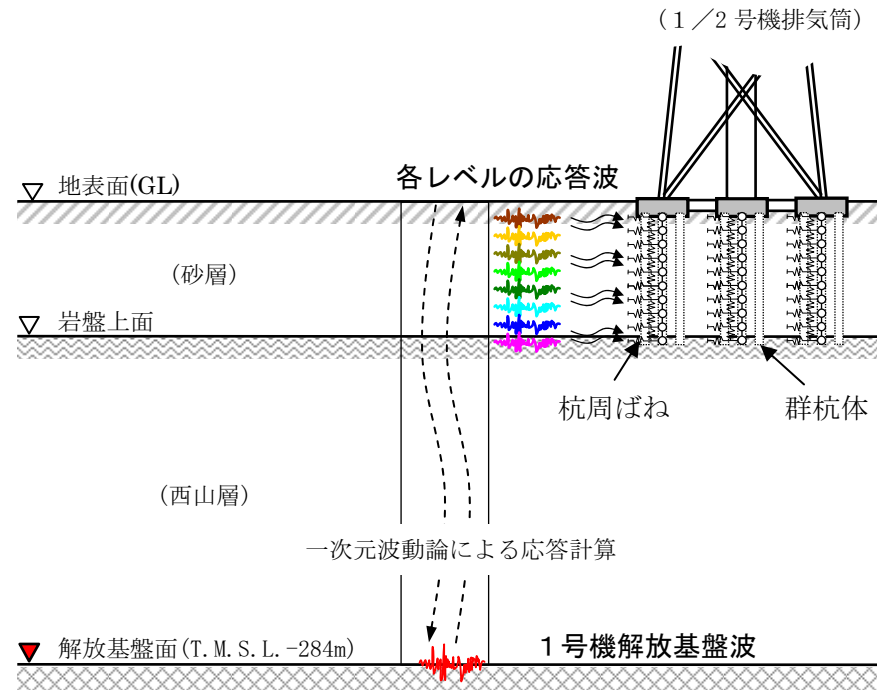
(1) 検討方法

地震応答解析における入力地震動を「1号機解放基盤波」から算定される杭一体型解析モデル各レベルにおける地震動とした。1号機解放基盤波を用いた地震応答解析のイメージを参図-9.1に示す。

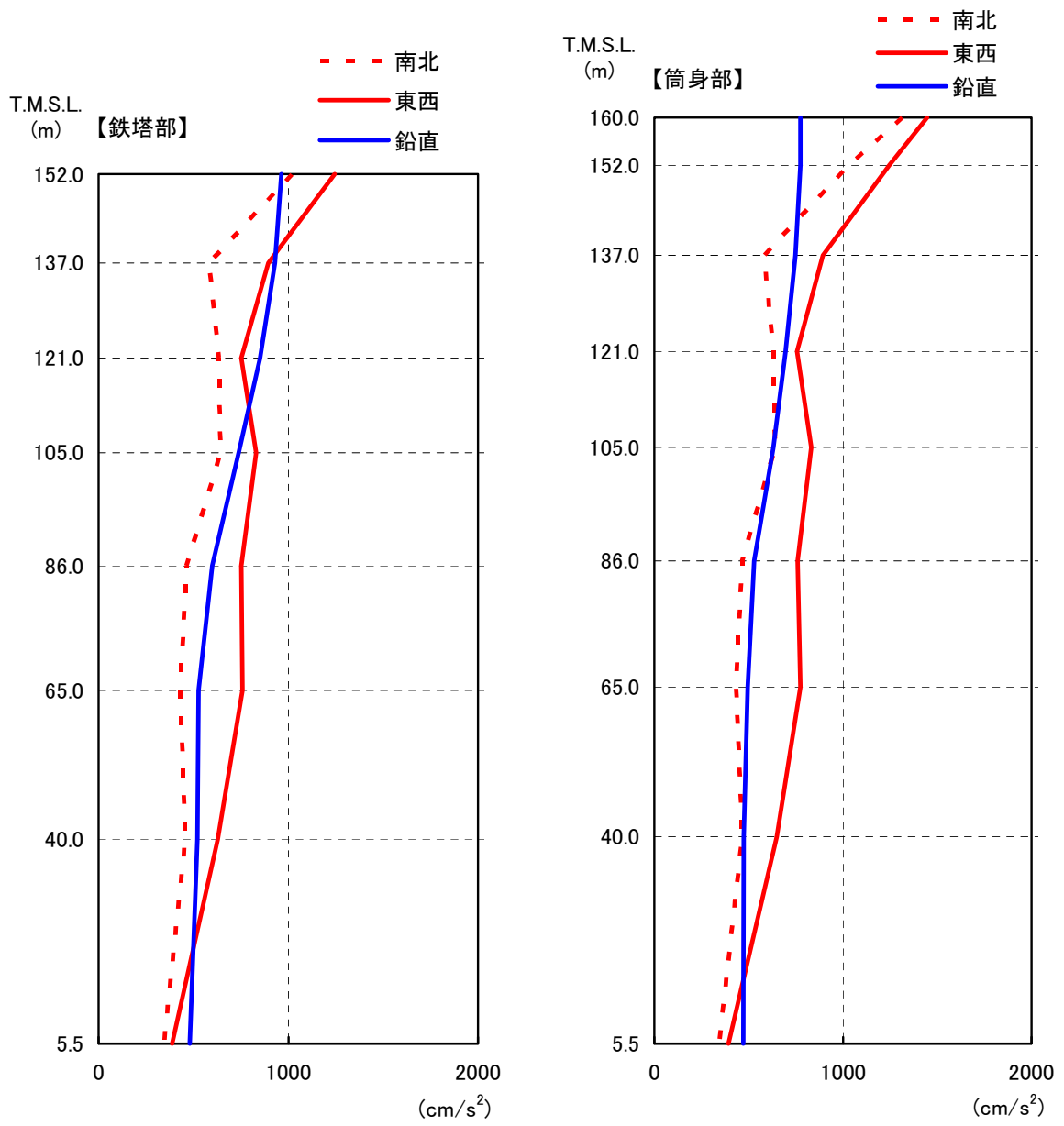
その他の検討条件は、報告書本編の「5.4. 排気筒の耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準と同一である。

(2) 地震応答解析結果

地震応答解析から求められた南北方向、東西方向、鉛直方向の最大応答加速度分布を参図-9.2に示す。



参図-9.1 1号機解放基盤波を用いた地震応答解析のイメージ



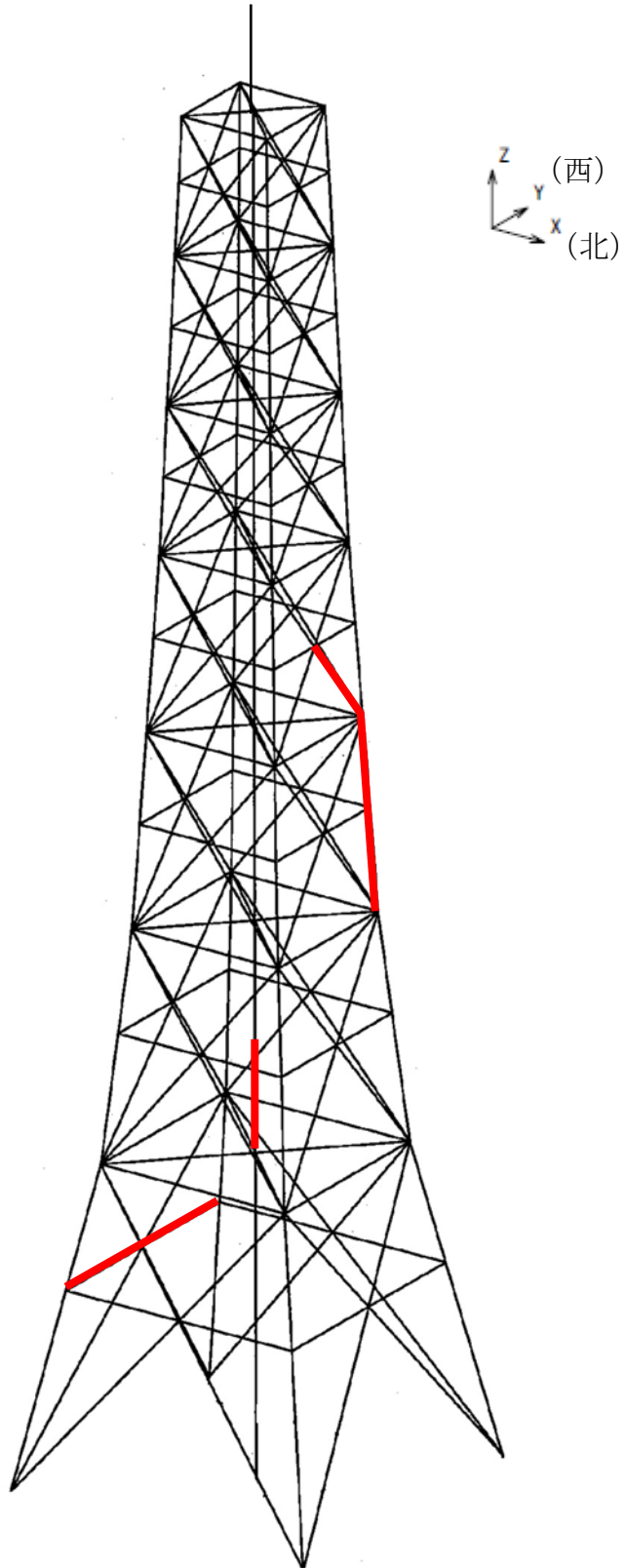
参図-9.2 排気筒 最大応答加速度

(3) 耐震健全性評価結果

a) 鉄塔部、筒身部

各部材の評価結果のうち、応力比が最大となる部位を参図-9.3 に、評価結果を参表-9.1 に示す。

排気筒について、各部材の軸力と曲げモーメントの組み合わせによる応力比は、評価基準値以下であり、弾性範囲にあると判断され、耐震健全性は確保されているものと評価した。



— : 最大応力発生位置 (部材種別毎) を示す。

参図-9.3 1 / 2号機排気筒の応答評価部位

参表-9.1 各部の最大応力比

箇所	部材	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	${}_s\sigma_c$ (N/mm ²)	${}_s\sigma_b$ (N/mm ²)	${}_s f_c$ (N/mm ²)	${}_s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{{}_s\sigma_c}{{}_s f_c} + \frac{{}_s\sigma_b}{{}_s f_b}$
鉄塔	主柱材	6285.6	103.2	472	10217	133.3	10.1	292.8	325.0	0.49
	斜材	962.4	—	99	967	97.3	—	287.0	—	0.34
	水平材	480.0	—	134	1465	35.9	—	166.1	—	0.22
筒身	1号機	2132.3	5520.2	1457	153091	14.6	36.1	180.0	193.0	0.27
	2号機	1594.0	2706.7	1073	91275	14.9	29.7	189.8	200.8	0.23

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント

A : 断面積

Z : 断面係数

${}_s f_c$: 許容圧縮応力度

${}_s f_b$: 許容曲げ応力度

${}_s \sigma_c$: 圧縮応力 (N/A)

${}_s \sigma_b$: 曲げ応力 (M/Z)

b) 杭の支持力の確認

参表-9.2 に上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重を示す。また、参表-9.3 および参表-9.4 に杭の支持力確認結果を示す。

参表-9.2 上部架構からフーチング基礎に伝達される荷重

		鉄塔部	筒身部	備考
上部から 伝達される 荷重	圧縮力 (kN/脚)	9610	6265	長期軸力含む
	引抜き力 (kN/脚)	7475	(生じない)	
	水平力 (kN/脚)	2904	342	南北方向及び 東西方向の ベクトル和
	曲げモーメント (kNm/脚)	274	6838	
杭支持力の 確認用の荷 重 (フーチン グ下面)	フーチング基礎下端位置に おける曲げモーメント* (kNm/脚)	16247	8204	南北方向及び 東西方向の ベクトル和
	フーチング基礎廻り自重 (kN/脚)	20603	10836	基礎梁及び 土被り重量含む

注) *: 水平力×フーチング基礎高さ (鉄塔部 5.5m、筒身部 4.0m) + 曲げモーメント

参表-9.3 杭の鉛直支持力等の確認 (鉄塔部)

検定項目	発生応力	評価基準値	$\frac{\text{発生応力}}{\text{評価基準値}}$
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	7475 (最大引抜き力)	20603 (抵抗力*1)	0.36
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	4131 (最大圧縮力)	5883 *2 (短期許容支持力)	0.70

注) *1: フーチング+基礎梁+土被り

*2: 杭の先端支持力

参表-9.4 杭の鉛直支持力等の確認 (筒身部)

検定項目	発生応力	評価基準値	$\frac{\text{発生応力}}{\text{評価基準値}}$
全体引抜き力の確認 (kN/脚)	— (引抜きは生じない)	10836 (抵抗力*1)	—
杭の支持力の確認 (最外縁杭: kN/本)	3075 (最大圧縮力)	5883 *2 (短期許容支持力)	0.52

注) *1: フーチング+基礎梁+土被り

*2: 杭の先端支持力

c) 非常用ガス処理系用排気筒

① 筒身部

参表-9.5 に筒身の変位を、参表-9.6 および参表-9.7 に SGTS 用排気筒応力および評価結果を示す。

SGTS 用排気筒の応力比は評価基準値以下であり、耐震健全性は確保されているものと評価した。

参表-9.5 筒身の変位

支持点	標高 T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果 (mm)
TOP	160.0	492
A	152.0	448
B	137.0	367
C	121.0	284
D	105.0	207
E	86.0	128
F	65.0	63
G	40.0	24

参表-9.6 SGTS 用排気筒の評価結果 (1号機)

支持点 T. M. S. L. (m)	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	${}_s \sigma_c$ (N/mm ²)	${}_s \sigma_b$ (N/mm ²)	${}_s f_c$ (N/mm ²)	${}_s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{{}_s \sigma_c}{{}_s f_c} + \frac{{}_s \sigma_b}{{}_s f_b}$
160.0	10.1	0.8	94.0	920	1.1	0.9	210	235	0.01
152.0	27.8	0.8			3.0	0.9	217		0.02
137.0	46.8	1.2			5.0	1.3	215		0.03
121.0	65.3	2.0			6.9	2.2	215		0.04
105.0	87.2	2.0			9.3	2.2	208		0.05
86.0	110.3	4.5			11.7	4.9	202		0.08
65.0	136.3	4.5			14.5	4.9	208		0.09
40.0	172.1	3.0			18.3	3.3	204		0.10

参表-9.7 SGTS 用排気筒の評価結果 (2号機)

支持点 T. M. S. L. (m)	N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	${}_s \sigma_c$ (N/mm ²)	${}_s \sigma_b$ (N/mm ²)	${}_s f_c$ (N/mm ²)	${}_s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{{}_s \sigma_c}{{}_s f_c} + \frac{{}_s \sigma_b}{{}_s f_b}$
160.0	10.1	0.8	94.0	920	1.1	0.9	210	235	0.01
152.0	27.8	0.8			3.0	0.9	217		0.02
137.0	46.8	1.2			5.0	1.3	215		0.03
121.0	65.3	2.0			6.9	2.2	215		0.04
105.0	87.2	2.1			9.3	2.2	208		0.05
86.0	110.3	4.5			11.7	4.9	202		0.08
65.0	136.3	4.5			14.5	4.9	208		0.09
40.0	172.1	3.0			18.3	3.3	204		0.10

- 記号の説明
- N : 軸力 (圧縮を正とする。)
 - M : 曲げモーメント
 - A : 断面積
 - Z : 断面係数
 - ${}_s f_c$: 許容圧縮応力度
 - ${}_s f_b$: 許容曲げ応力度
 - ${}_s \sigma_c$: 圧縮応力 (N/A)
 - ${}_s \sigma_b$: 曲げ応力 (M/Z)

② 支持部

評価結果を参表-9.8、参表-9.9に示す。

支持部の応力比は、評価基準値以下にあり、弾性範囲にあると判断されるとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。

参表-9.8 SGTS 用排気筒支持部材の評価結果（1号機）

N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s f_c$ (N/mm ²)	$s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c}{s f_c} + \frac{s\sigma_b}{s f_b}$
4.2	2.5	22.1	102	2.0	24.6	220	235	0.12

参表-9.9 SGTS 用排気筒支持部材の評価結果（2号機）

N (kN)	M (kNm)	A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	Z ($\times 10^3 \text{mm}^3$)	$s\sigma_c$ (N/mm ²)	$s\sigma_b$ (N/mm ²)	$s f_c$ (N/mm ²)	$s f_b$ (N/mm ²)	$\frac{s\sigma_c}{s f_c} + \frac{s\sigma_b}{s f_b}$
4.1	2.4	22.1	102	1.9	23.6	221	235	0.11

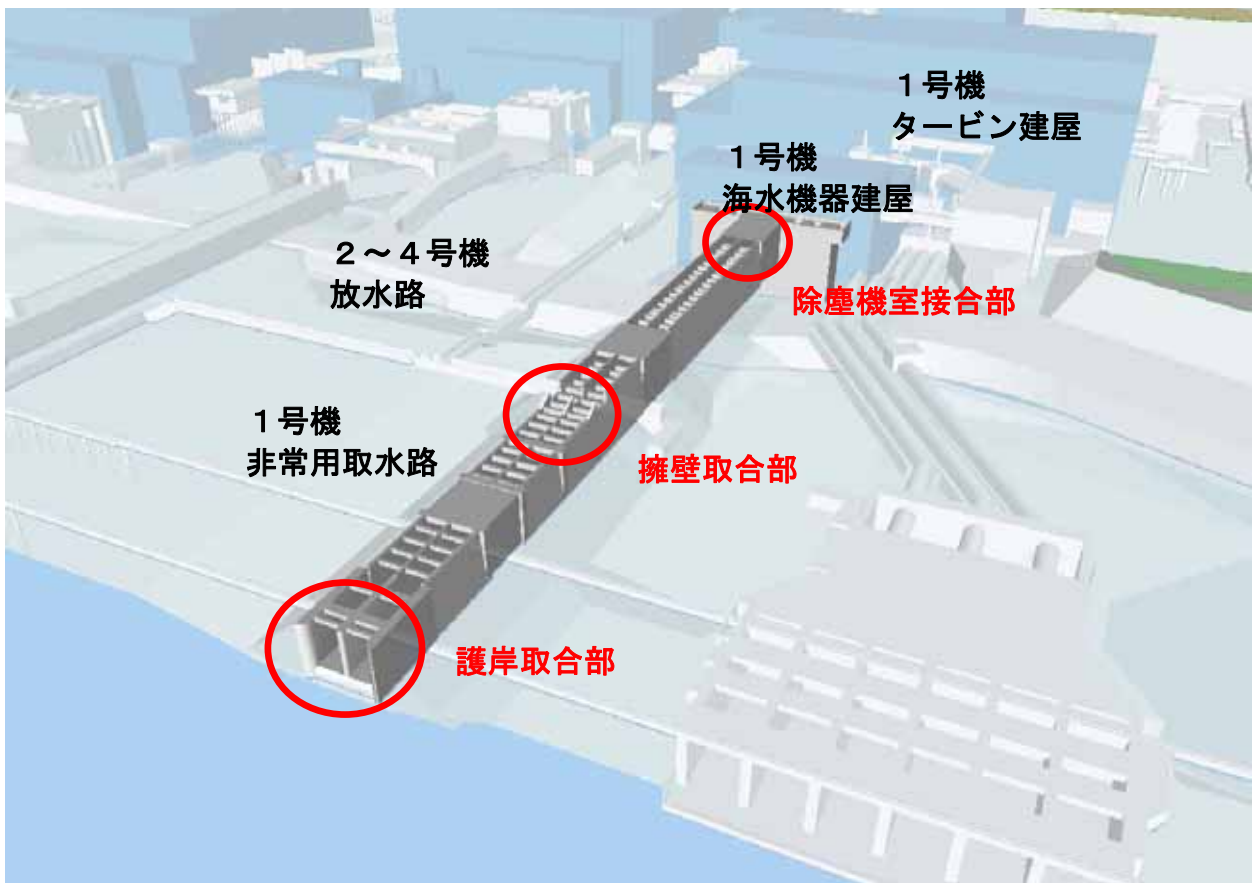
- 記号の説明
- N : 軸力（圧縮を正とする。）
 - M : 曲げモーメント
 - A : 断面積
 - Z : 断面係数
 - $s f_c$: 許容圧縮応力度
 - $s f_b$: 許容曲げ応力度
 - $s\sigma_c$: 圧縮応力 (N/A)
 - $s\sigma_b$: 曲げ応力 (M/Z)

参考資料 10 1号機非常用取水路護岸取合部および擁壁取合部のひび割れ、剥離・剥落
ならびに除塵機室接合部の沈下について

(1) はじめに

1号機非常用取水路は、新潟県中越沖地震によって、護岸取合部側壁および擁壁取合部側壁にひび割れおよび剥離・剥落が、また、除塵機室接合部において沈下が生じた（添付資料6）。

本資料では、これらの損傷の発生状況、原因の推定および補修・補強計画について述べる。

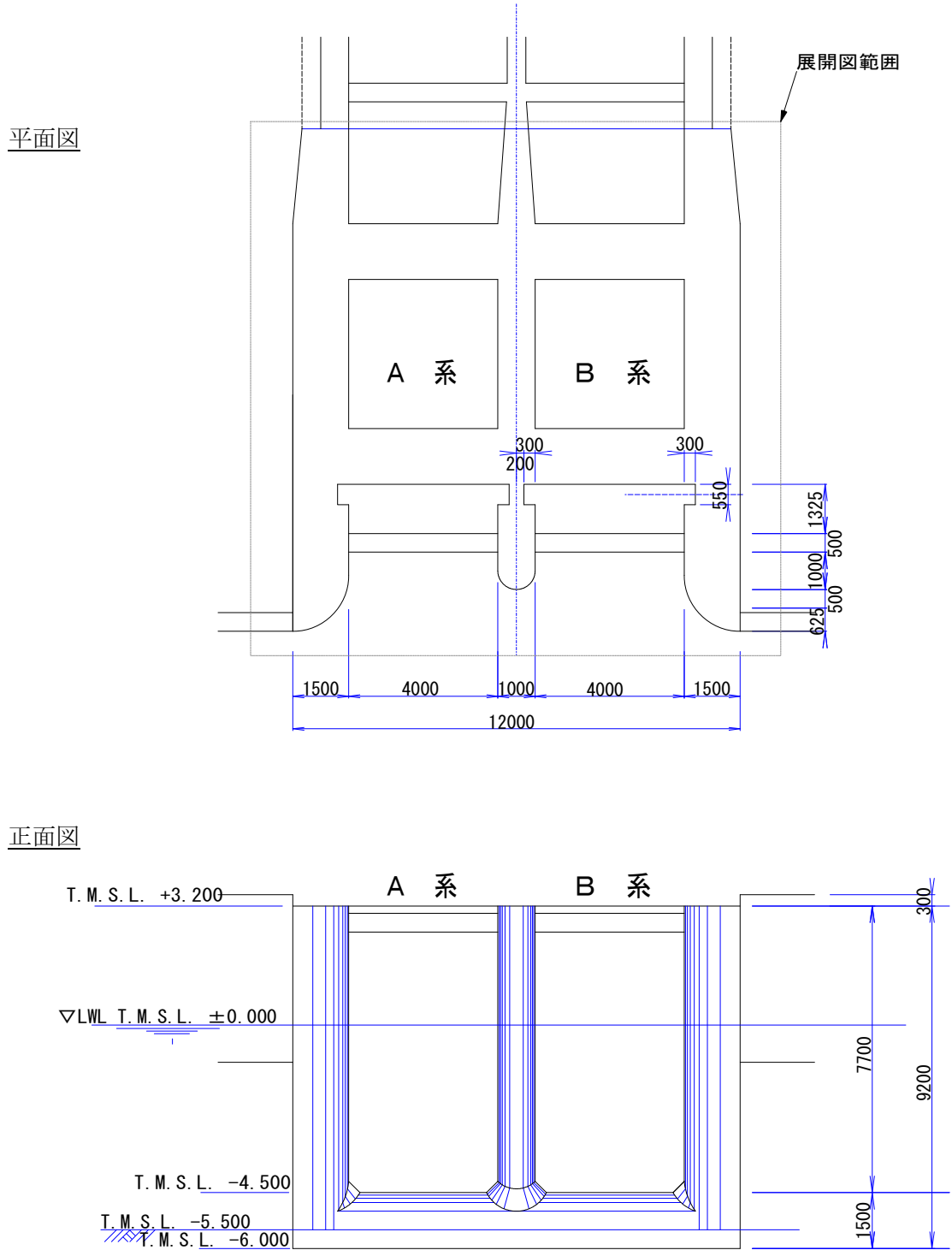


参図-10.1 1号機非常用取水路の全景

(2) 護岸取合部側壁のひび割れおよび剥離・剥落

a) 損傷の状況

参図-10.2～参図-10.4 に、損傷箇所の平面図・正面図、損傷展開図、鳥瞰図を、また参写真-10.1、参写真-10.2 に各部位の写真を示す。



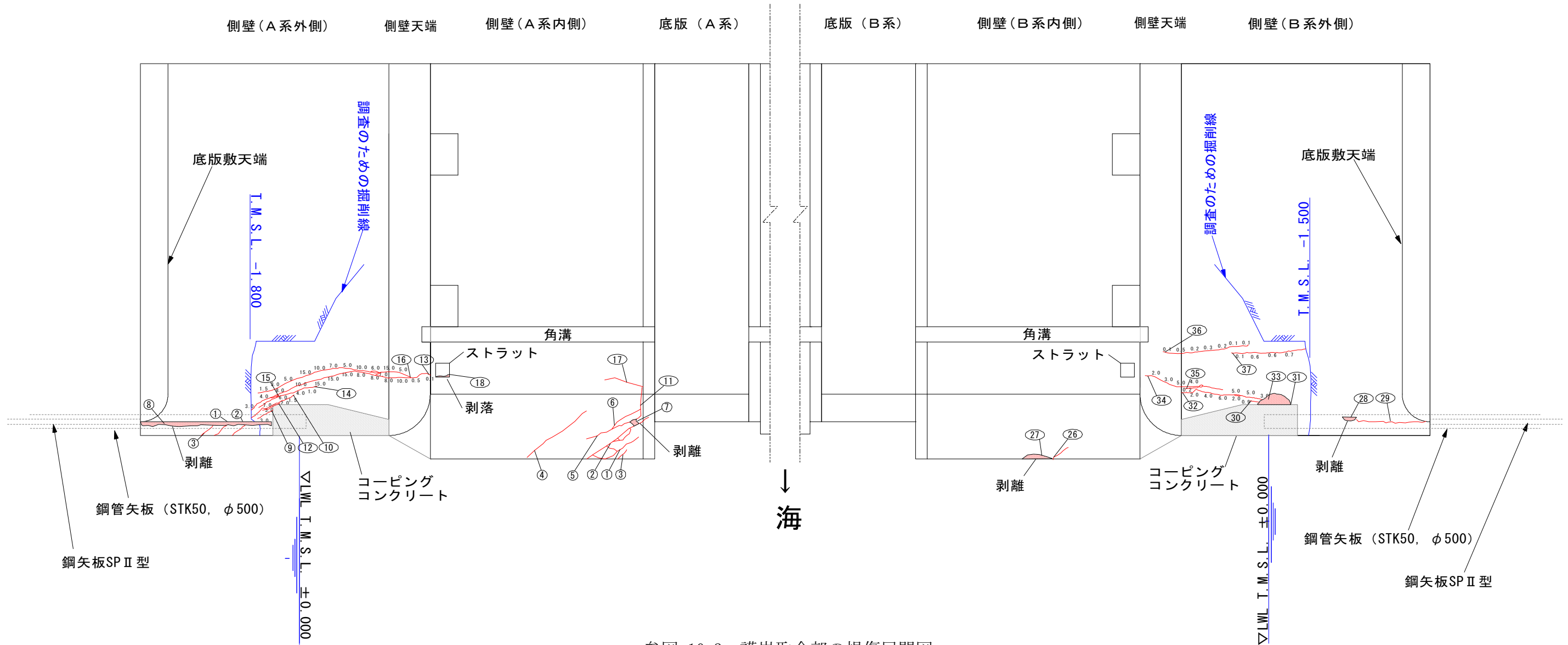
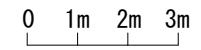
参図-10.2 護岸取合部の平面図・正面図

損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m ²)	
1	ひび割れ	2.3	5.0	-	段差10mm
2	ひび割れ	5.6	20.0	-	段差25mm
3	ひび割れ	1.2	7.0	-	段差15mm
4	ひび割れ	2.8	2.0	-	
5	ひび割れ	2.2	20.0	-	段差7mm
6	ひび割れ	1.3	3.0	-	
7	剥離・剥落	-	-	0.04	形状口0.20m×0.20m, t=1cm
8	剥離・剥落	-	-	0.90	形状口4.50m×0.20m, t=7cm
9	ひび割れ	0.7	3.0	-	
10	ひび割れ	1.9	2.0	-	
11	ひび割れ	1.1	4.0	-	

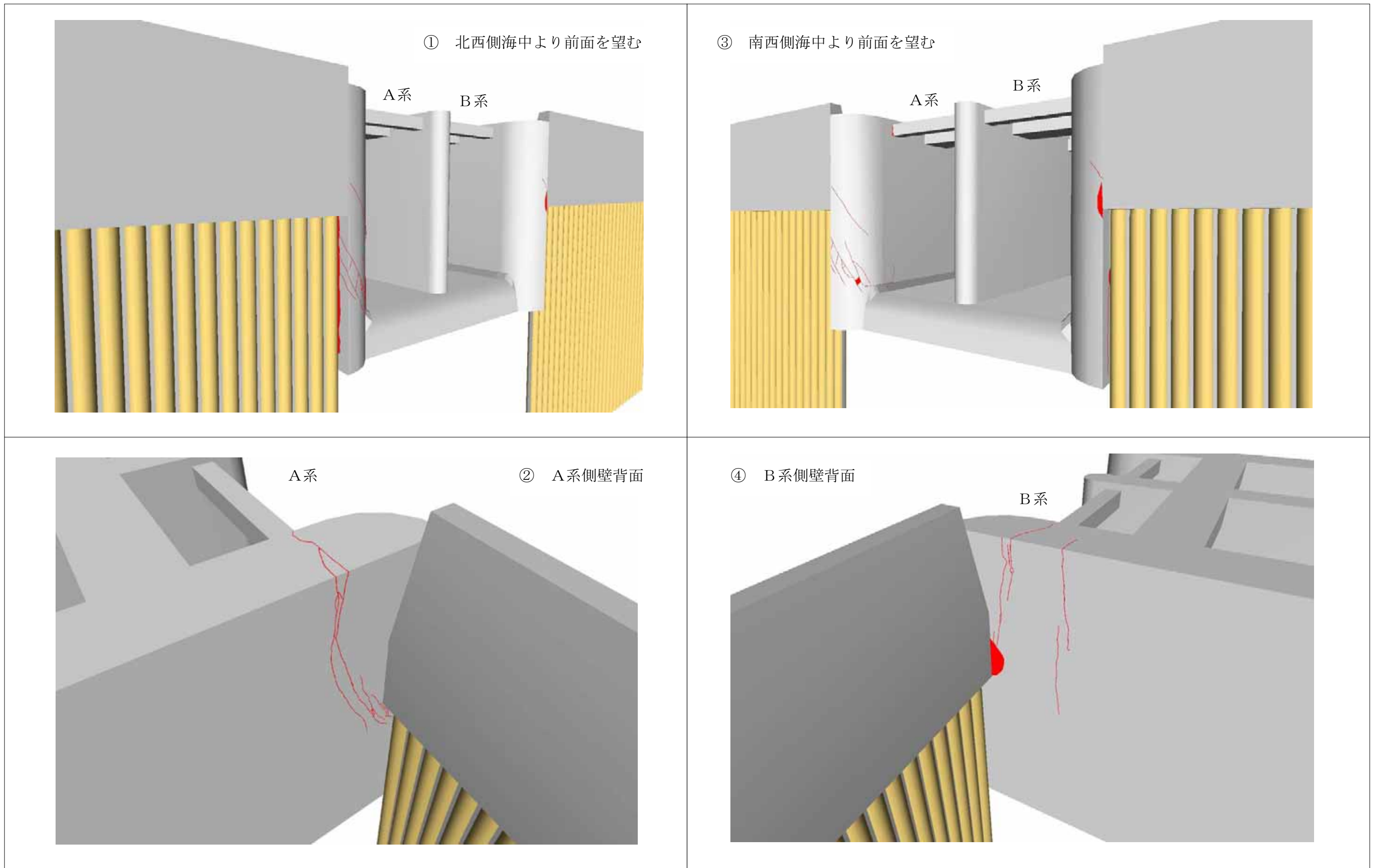
損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m ²)	
12	ひび割れ	0.8	3.0	-	
13	ひび割れ	7.0	15.0	-	
14	ひび割れ	2.3	7.0	-	
15	ひび割れ	0.5	3.0	-	
16	ひび割れ	6.4	15.0	-	
17	ひび割れ	1.5	4.0	-	段差3mm
18	剥離・剥落	-	-	0.02	形状口0.20m×0.10m, t=2cm

損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m ²)	
26	ひび割れ	0.8	5.0	-	
27	剥離・剥落	-	-	0.12	形状口1.10m×0.11m, t=15cm
28	剥離・剥落	-	-	0.03	形状口0.50m×0.06m, t=1.7cm
29	ひび割れ	2.7	7.0	-	段差13mm
30	ひび割れ	1.2	1.5	-	
31	剥離・剥落	-	-	0.33	形状口0.83m×0.40m, t=3cm
32	ひび割れ	3.8	6.0	-	
33	ひび割れ	0.4	0.3	-	
34	ひび割れ	3.2	5.0	-	
35	ひび割れ	0.5	0.2	-	
36	ひび割れ	3.2	0.6	-	

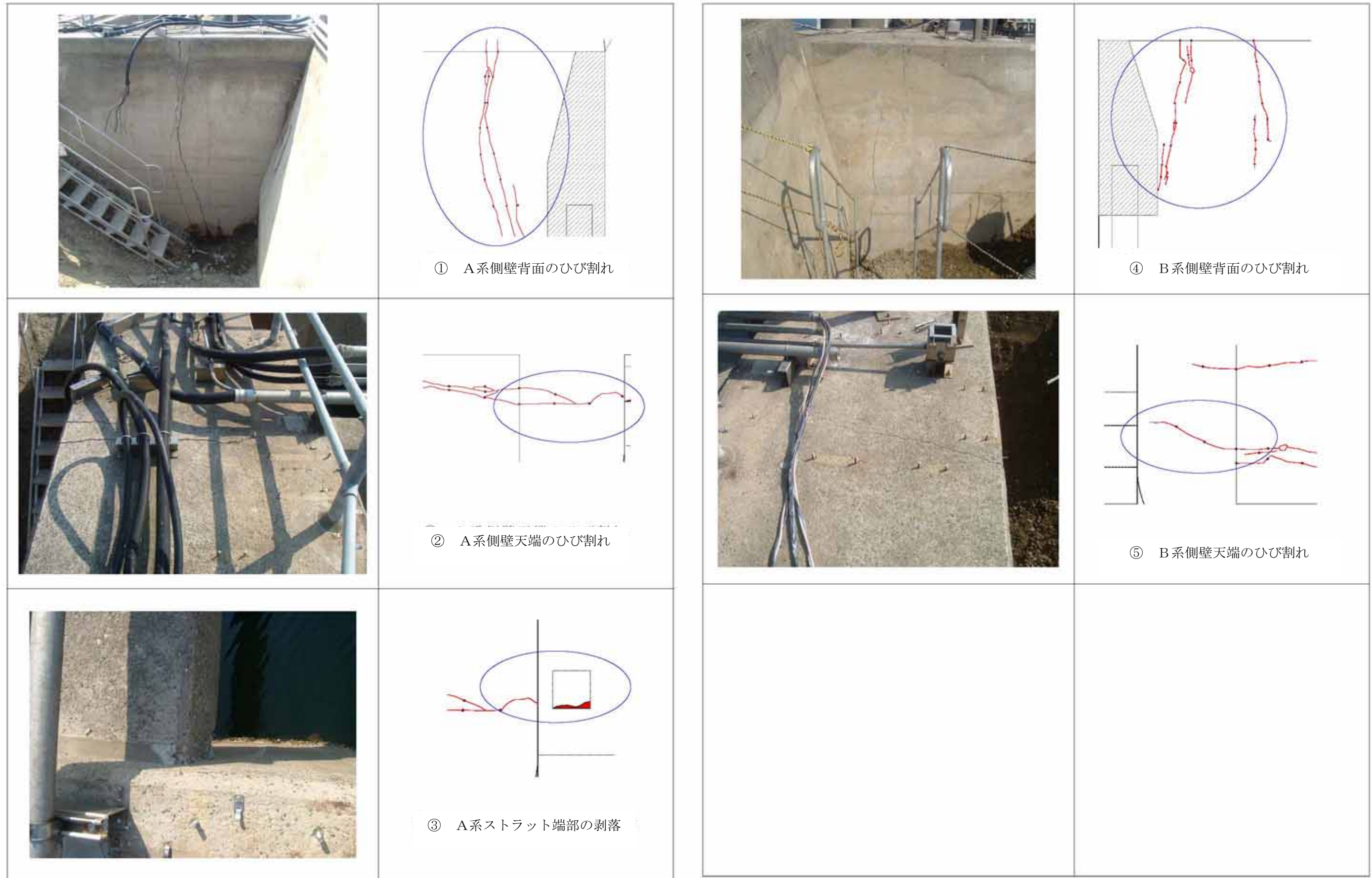
損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長 (m)	幅 (mm)	面積 (m ²)	
37	ひび割れ	2.8	0.6	-	



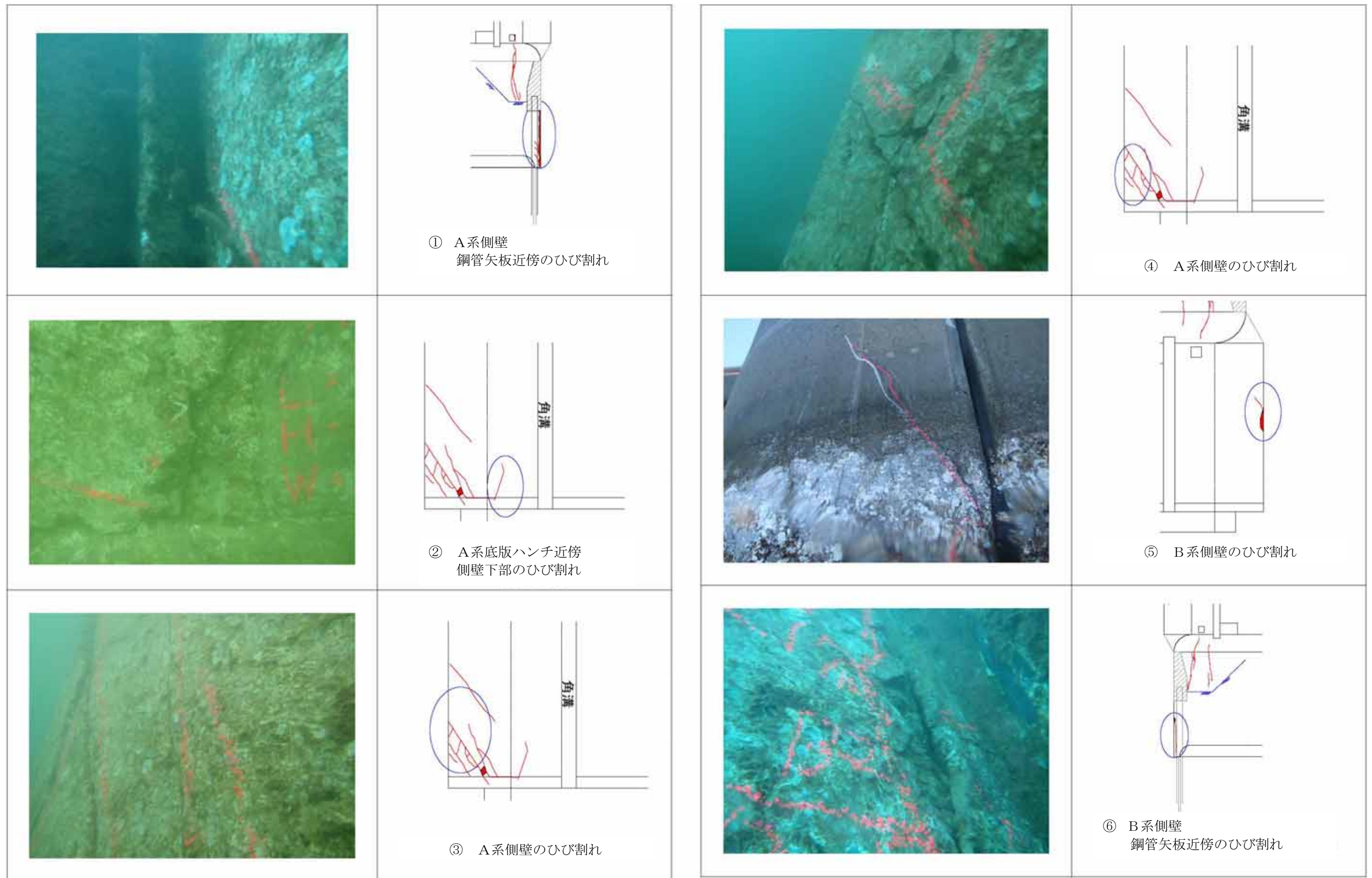
参図-10.3 護岸取合部の損傷展開図



参図-10.4 護岸取合部の鳥瞰図



参写真-10.1 護岸取合部の損傷状況（気中部）



参写真-10.2 護岸取合部の損傷状況（水中部）

非常用取水路天端や隔壁・側壁内面上部の目視点検が容易な範囲に加え、側壁背面については周辺地盤を掘削して、また、水中部については潜水調査により、損傷状況を確認した。

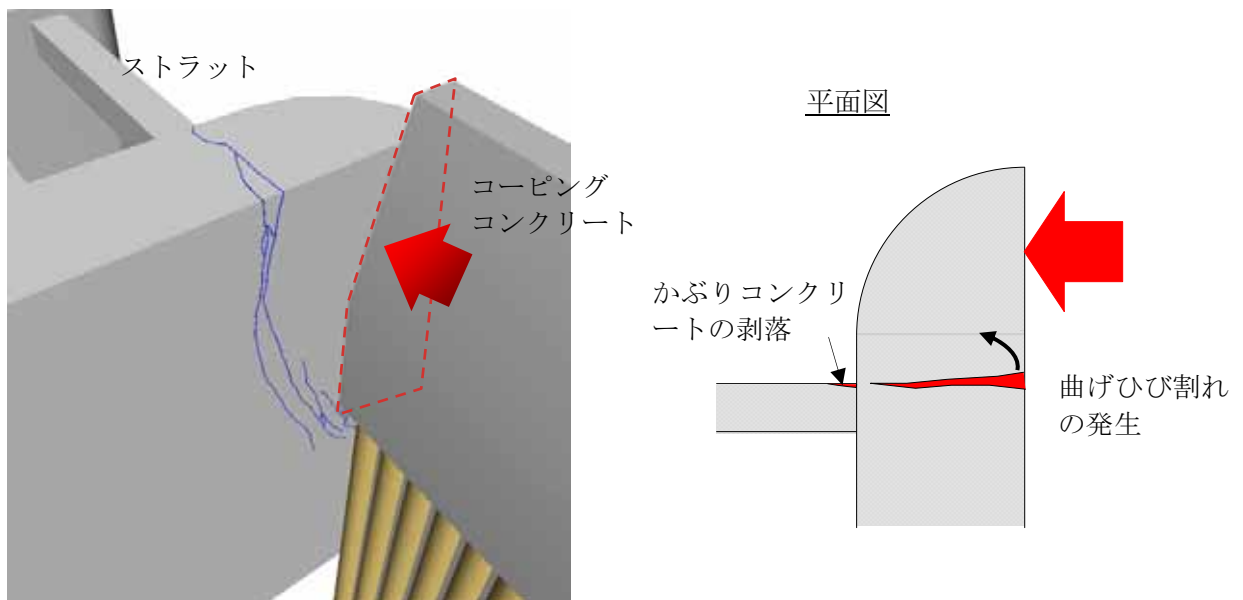
A系およびB系の側壁上部において、側壁背面からストラットの基部に向けて最大ひび割れ幅 15mm の取水路軸直交方向ひび割れが生じている。側壁上部のひび割れ幅はA系、B系ともに側壁背面が大きく、側壁内面においては目視ではひび割れを確認できない。このひび割れに連続して、A系の側壁下部（水中部）においては、最大ひび割れ幅 20mm の斜めひび割れが認められる。

また、最も海側に位置するストラットのA系側壁基部において、海側の面のかぶりコンクリートが厚さ 20mm 程度剥落している。

非常用取水路の一部には、上記のような局所的な損傷が認められるものの、設計上必要な取水量を流下させる通水断面が確保できていることから、取水機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

b) 原因の推定

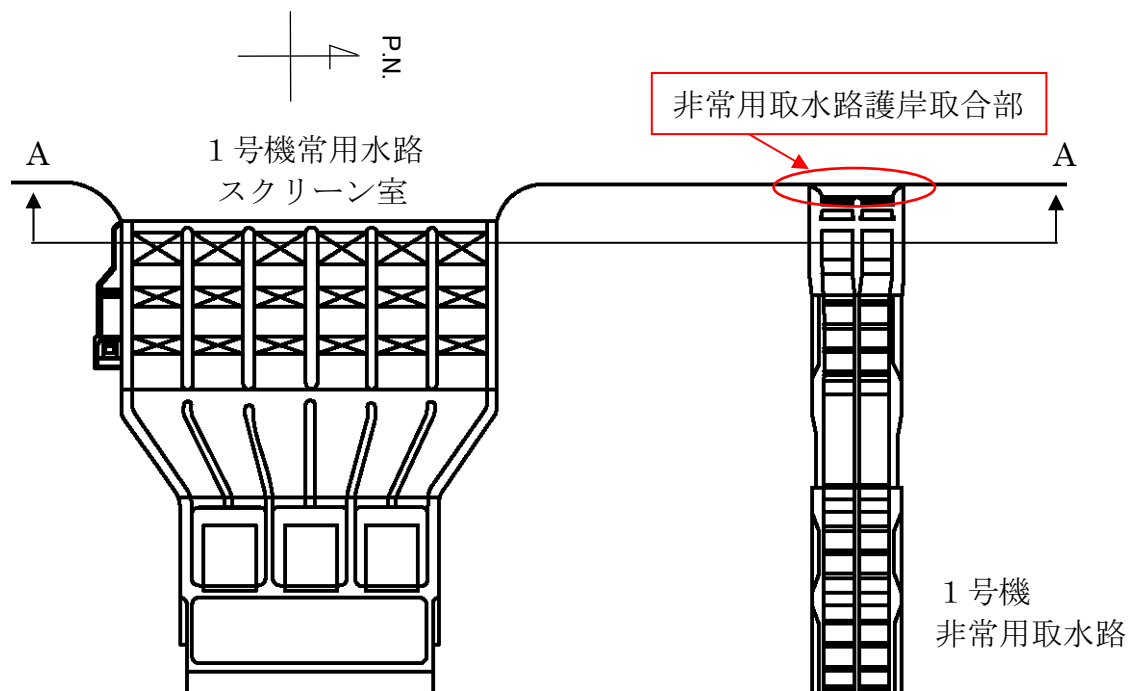
非常用取水路側壁の海側端部は、厚さ 10mm のアスファルト系緩衝材を介して鋼管矢板式護岸と接しており、護岸と非常用取水路の地震時相対変位によってコーピングコンクリートが取水路側壁を内面方向に支圧したためにひび割れが生じたものと考えられる（参図-10.5）。側壁上部のひび割れは、作用の支点となったと考えられるストラット取り付け部に向けて、部材に取水路軸直交方向にひび割れが生じていること、側壁内面よりも背面のひび割れ幅が大きいこと等から、曲げひび割れと推定される。



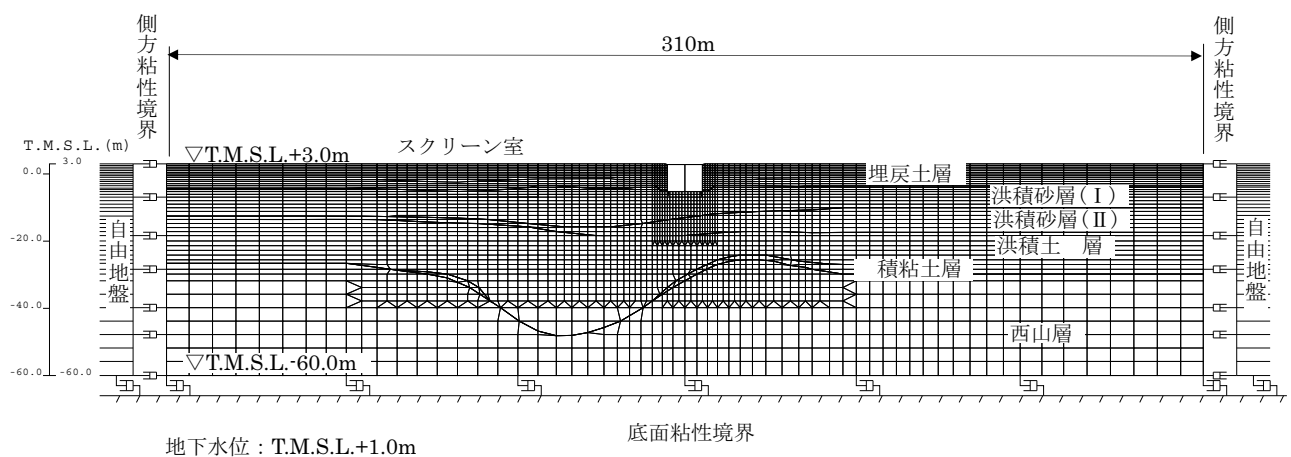
参図-10.5 ひび割れの発生機構

点検により確認されたひび割れの発生原因について検討するために、詳細解析を実施した。

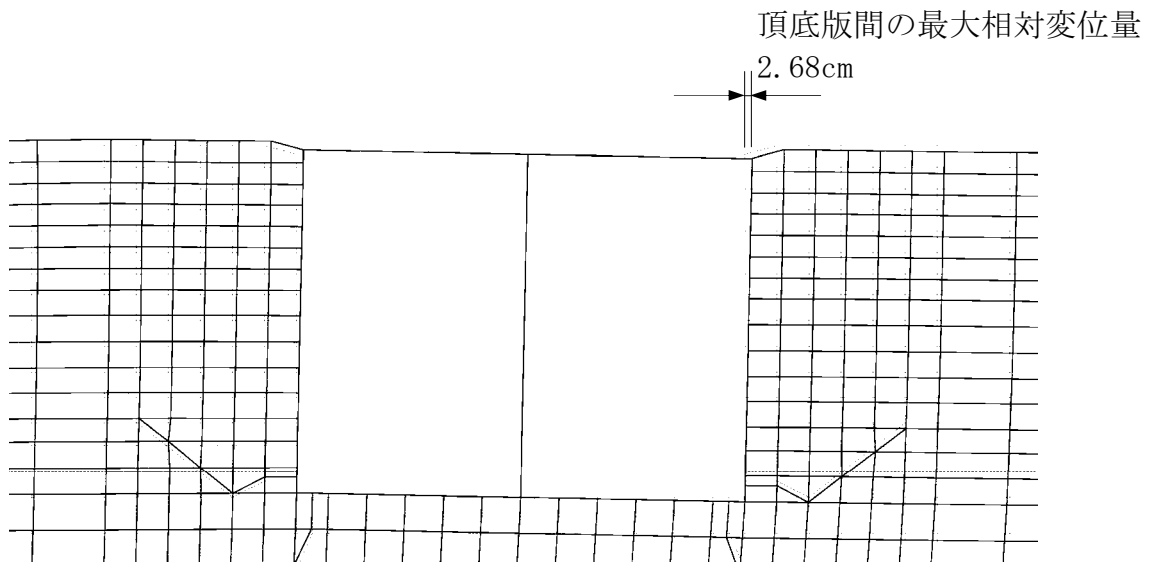
非常用取水路の地震時相対変位量を求めるために、参図-10.6 に示す汀線平行断面 (A-A 断面) の二次元解析モデル (参図-10.7) について地震時応答解析を実施した結果、非常用取水路の頂底版間最大相対変位量は約 3cm である (参図-10.8)。



参図-10.6 非常用取水路平面図

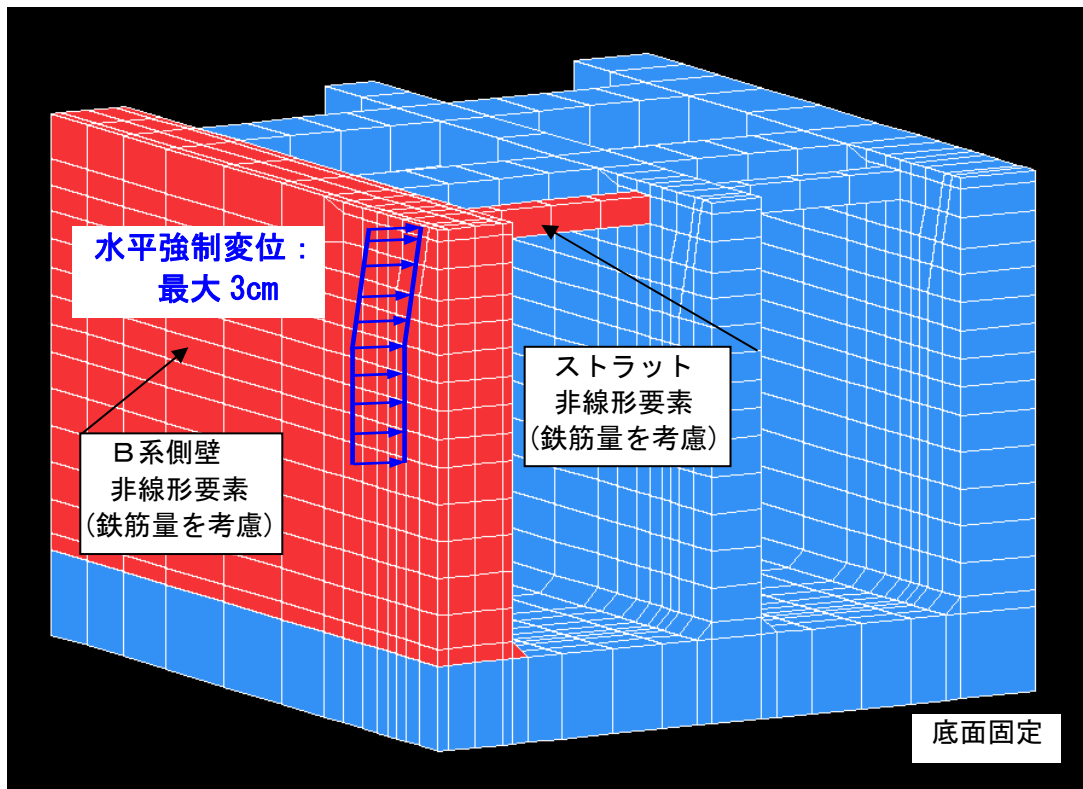


参図-10.7 非常用取水路 地震時応答解析モデル(A-A 断面)



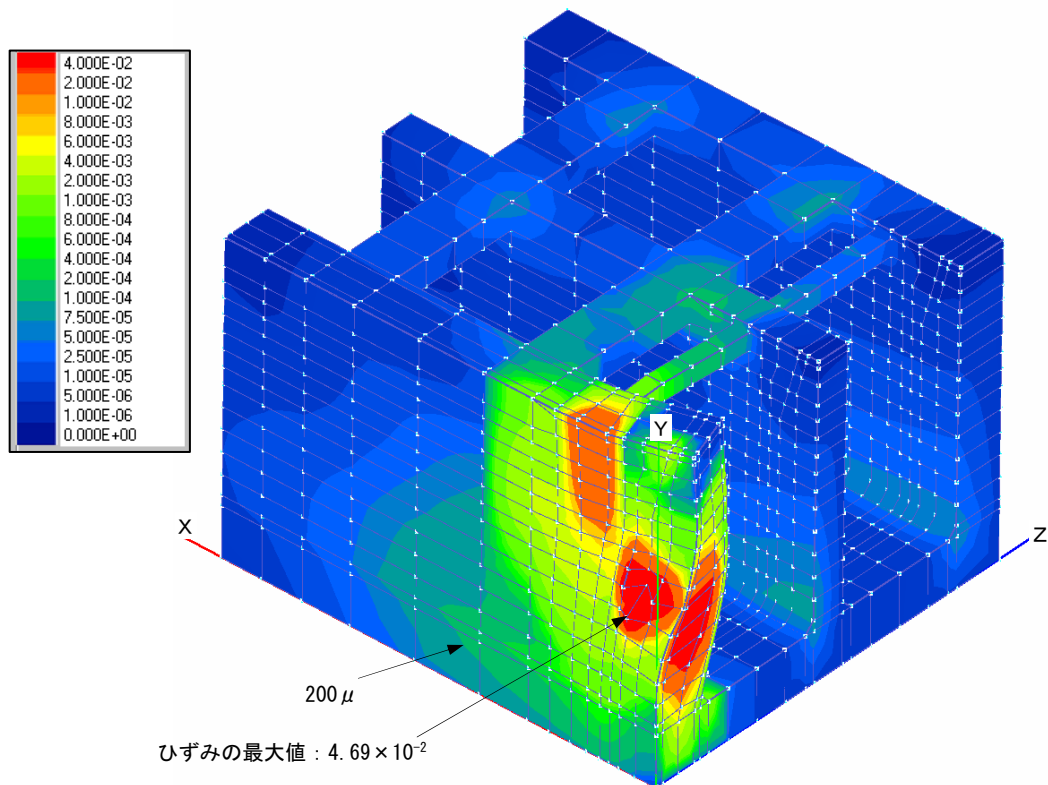
参図-10.8 最大変形時の変位分布図

次に、ひび割れの発生原因について検討するために、参図-10.9 に示す三次元解析モデルを用いて、取水路側壁のコーピングコンクリート接合部に強制変位を与える静的非線形解析を実施した。ここでは、前述で求めた最大相対変位量を強制変位として0.1cm ずつ3cm まで作用させた。



参図-10.9 1号機非常用取水路護岸取合部の三次元解析モデル図

解析により求めた変形図及び第一主ひずみ分布図を参図-10.10に示す。この図において、取水路側壁が内側に変形することにより、側壁上部ではストラットを支点とする曲げによるひずみが外面側に大きく発生し、側壁下部にもひずみが大きく発生しており、点検により確認された取水路側壁のひび割れ性状をよく現している。



参図-10.10 三次元解析結果(変形図および第一主ひずみ分布図)

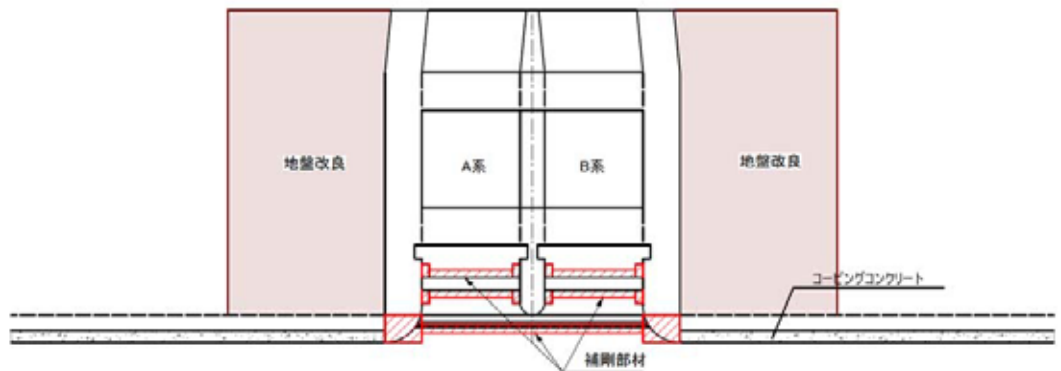
以上のことから、1号機非常用取水路護岸部側壁のひび割れは、取水路躯体と護岸の変位によって取水路側壁と護岸のコーピングコンクリートが接し、側壁が内側に支圧されたために生じたと推定される。

c) 補修・補強に関する計画

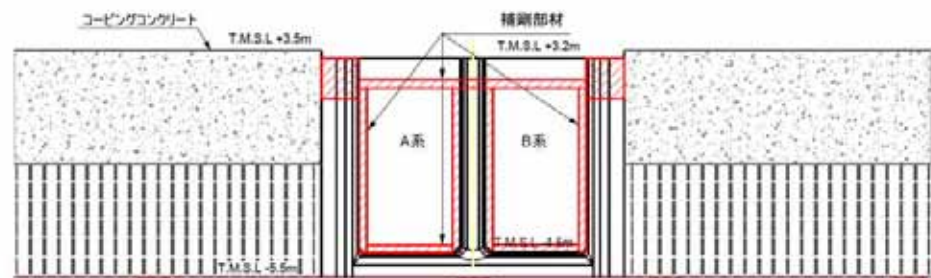
地下水位より下方の地盤の掘削を行い、ポンプで水を抜き、ひび割れ周辺を気中状態にする。ひび割れ周辺のコンクリートをはつきり、断面を修繕する。鉄筋には補修処理を施す。なお、地震の影響により鉄筋が損傷を受けている場合は、切断して補筋等により補修する。水中部については、水中施工用のひび割れ補修材を注入することにより断面を修繕する。

また、護岸取合部の断面剛性を高めるために取水路の海側端部に補剛部材を設置するとともに、取水路に影響を及ぼす側方地盤の地震時変形を低減するために護岸取合部周辺を地盤改良する（参図-10.11）。

平面図

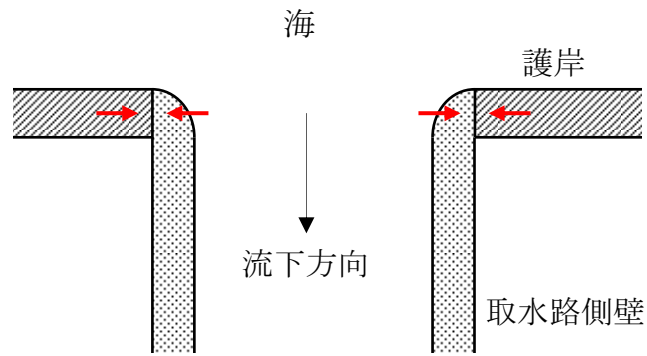


正面図

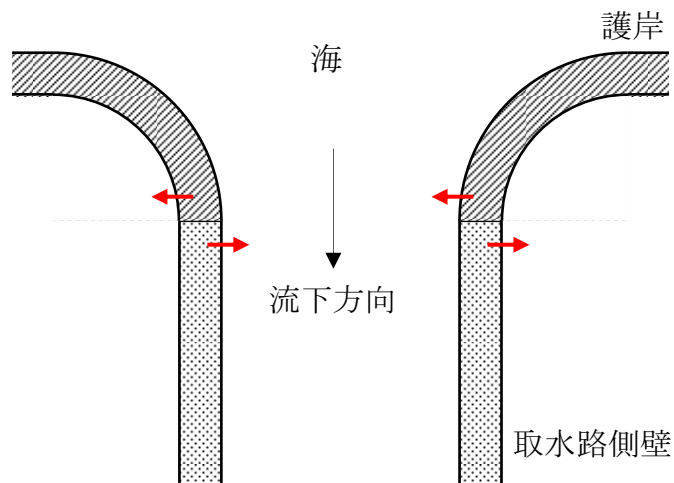


参図-10.11 護岸取合部の補強方針（概念図）

なお、1号機以外の非常用取水路の護岸取合部は、取水路側壁の背面に護岸が接していない（参図-10.12 参照）ことから、本号機にて確認されたような面外力による損傷は生じにくい構造となっている。



(a) 1号機非常用取水路護岸取合部（平面形状）



(b) 2～ 号機非常用取水路護岸取合部（平面形状）

参図-10.12 非常用取水路護岸取合部の構造（概念図）

(3) 擁壁取合部側壁のひび割れおよび剥離・剥落

a) 損傷の状況

参図-10.13 に損傷箇所の展開図を、また参写真-10.3 に各部位の写真を示す。

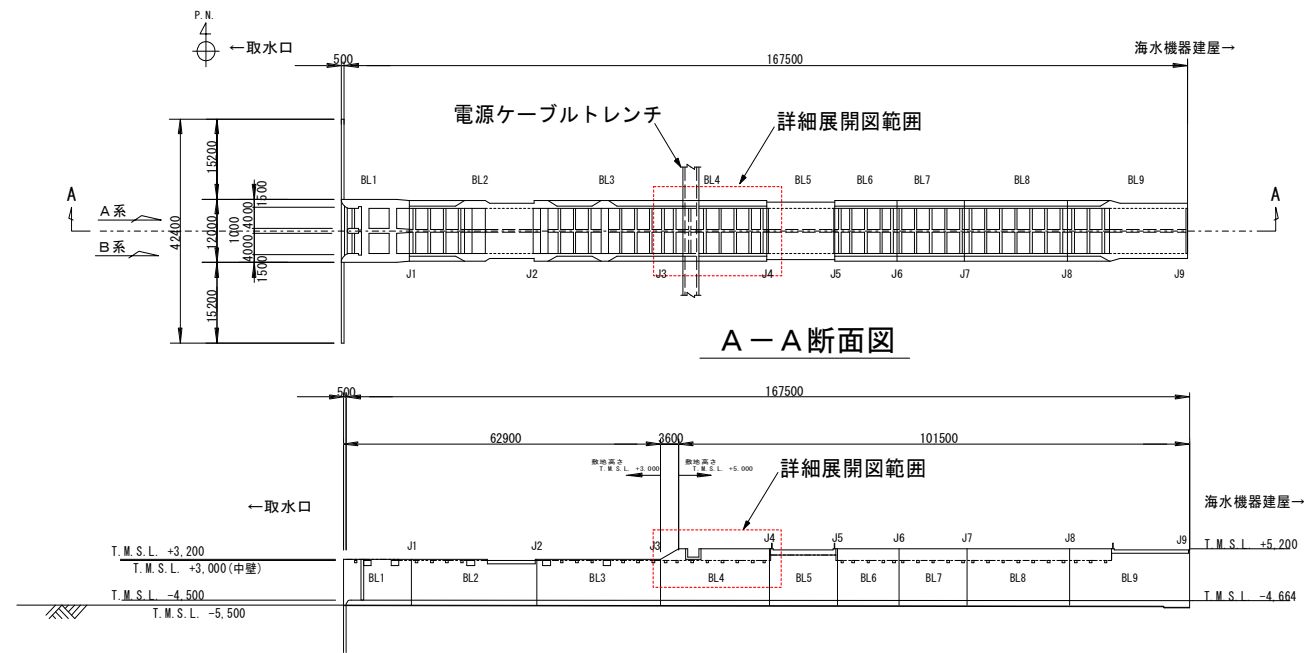
損傷発生部位は、T.M.S.L. +3.0m 盤と T.M.S.L. +5.0m 盤の境界部に位置し、法面ブロック積み擁壁と接している。擁壁より 1.3m 山側には、電 ケーブルトレンチ(耐震Cクラス構造物)が水路上部を横断して設置されており、側壁上部の損傷箇所は、トレンチに画された三角形状の土留壁として機能している。

側壁の損傷はB系側において しく、側壁背面から内面に向けて部材が変形し、コンクリートが圧壊するとともに主筋が している。A系においても側壁背面に最大幅 2.5mm のひび割れが生じている。取水路上部を横断する電 ケーブルトレンチは 30cm 程度北側に 動するとともに平面的に時計回りにわずかに回転し、B系においては海側側壁と、A系側壁においては山側側壁と接 している。

側壁のストラットより下部にはひび割れは認められないものの、B系側壁内面に最大厚さ 7cm、面積 4.7m²程度のかぶりコンクリートの剥離・剥落が生じている。

以上のように局所的な損傷は認められるものの、ひび割れの発生はストラットより上部に限られ、通水断面に及んでいないことから、取水機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。

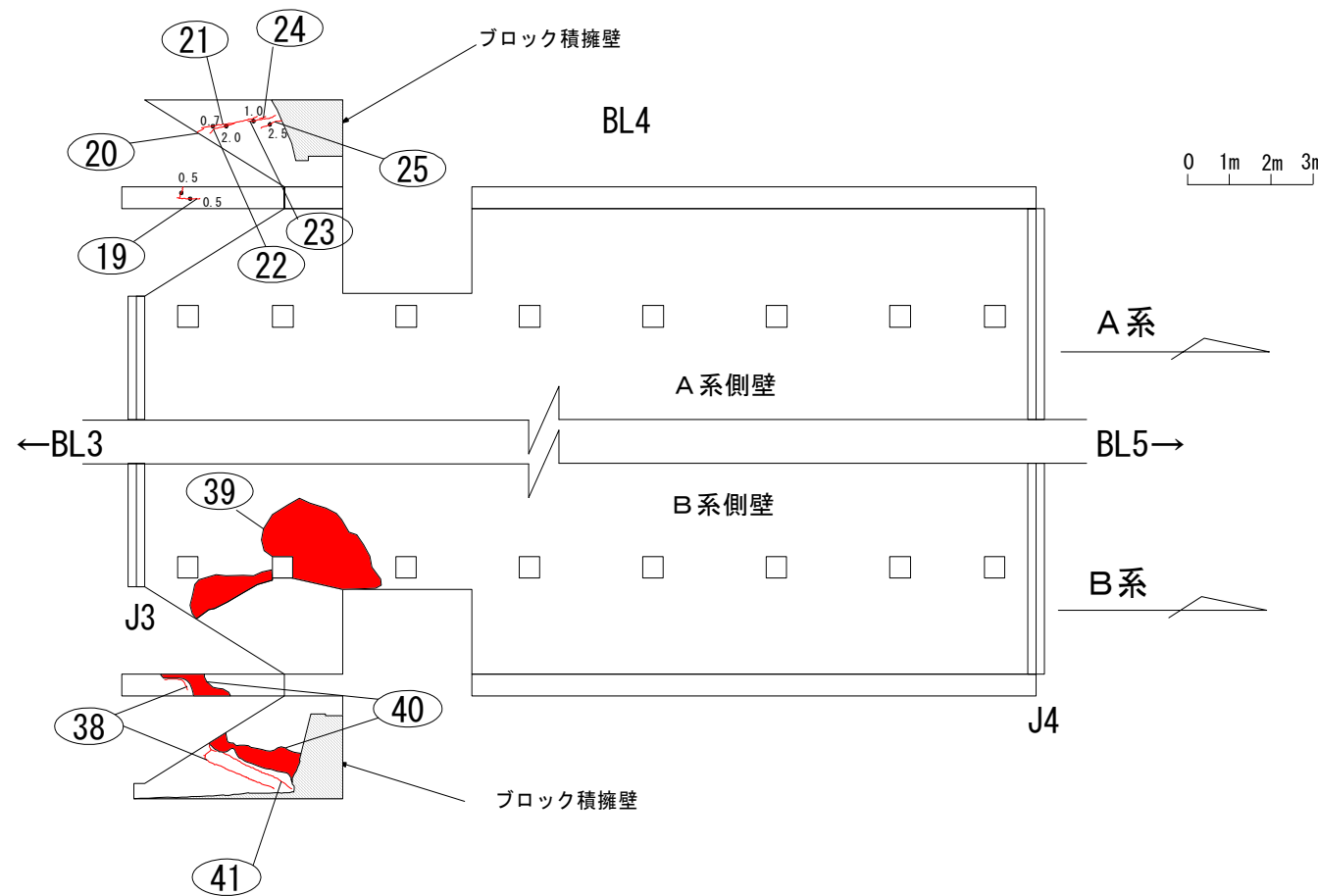
平面図



損傷一覧表

損傷No	損傷種類	諸元			備考
		延長(m)	幅(mm)	面積(m ²)	
19	ひび割れ	0.6	0.5	-	
20	ひび割れ	0.5	0.5	-	
21	ひび割れ	0.9	0.7	-	
22	ひび割れ	1.3	2.0	-	
23	ひび割れ	0.7	1.0	-	
24	ひび割れ	0.2	0.5	-	
25	ひび割れ	0.6	2.5	-	
38	ひび割れ	3.3	1.5	-	
39	剥離・剥落	-	-	4.70	形状□2.85m×1.65m, t=7cm
40	剥離・剥落	-	-	1.17	形状□2.28m×0.51m, t=5cm
41	ひび割れ	2.0	4.0	-	

BL4展開図



参図-10.13 擁壁取合部の損傷展開図



A系側壁背面



A系側壁内面



B系側壁背面



B系側壁内面

参写真-10.3 擁壁取合部の損傷状況

b) 原因の推定

A系、B系とも、側壁に接しているブロック積み擁壁およびその背後地盤が、側壁を内側に変形する方向に変位したために、側壁に背面からの面外荷重が作用し、ひび割れが生じたものと考えられる。このひび割れは、側壁内面よりも背面のひび割れ幅が大きいこと等から曲げひび割れと推定される。

さらに、B系においては、上記に加えて電 ケーブルトレンチの平面的な回転によって三角形状の擁壁が海側に され、曲げひび割れに沿って面内せん断されたものと考えられる（参図-10.14 参照）。



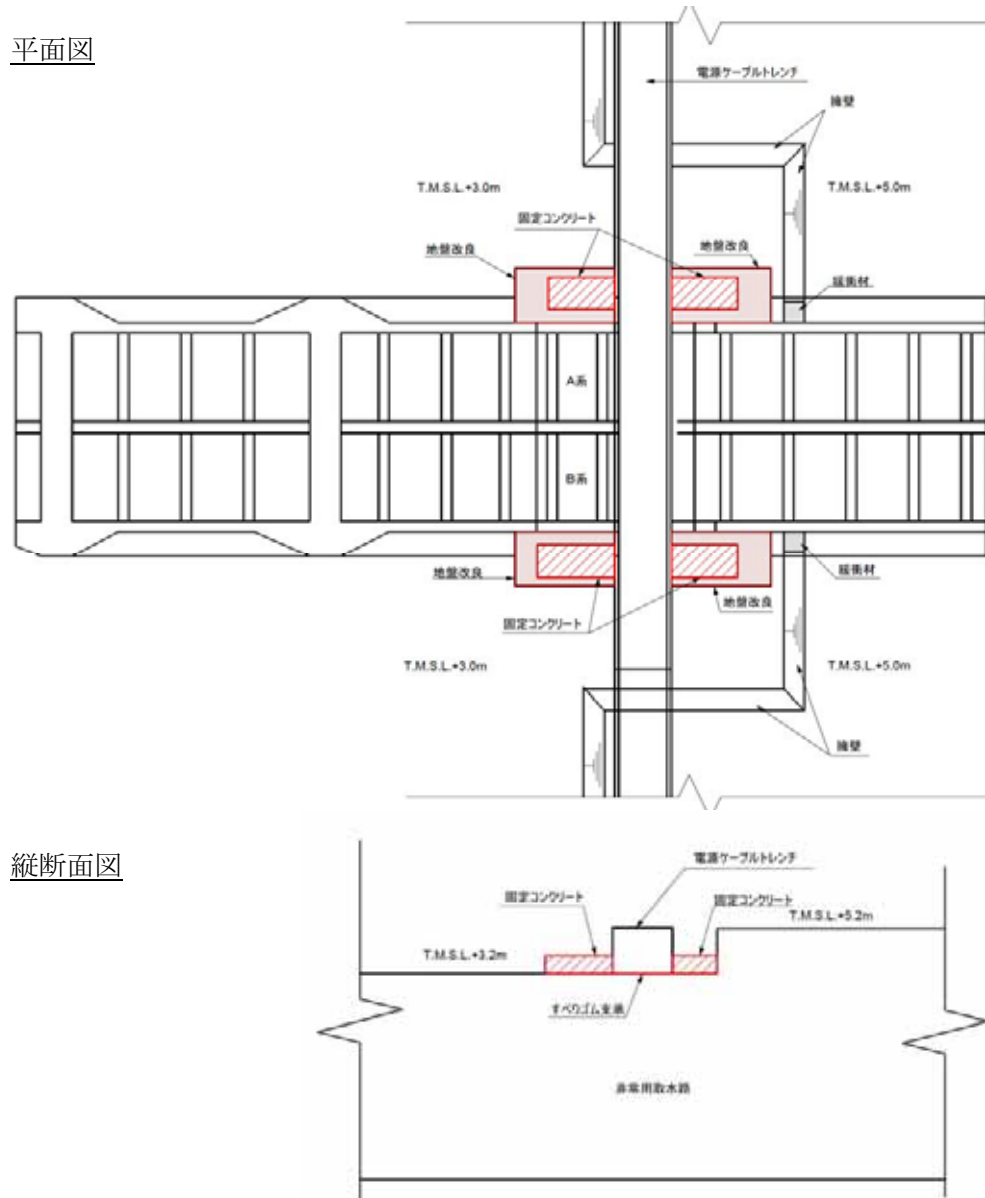
参図-10.14 擁壁取合部のひび割れの発生機構

c) 補修ならびに損傷原因の除去に関する方針

ブロック積み擁壁を除去して、水路側壁のうち損傷を受けた部位を除去し、鉄筋コンクリート部材を断面修繕する。

地震により一回と同様な損傷が生じないように、ブロック積み擁壁を山側に動させ、取水路側壁上部の三角形の土留壁を除去するとともに、ブロック積み擁壁と非常用取水路との接合位置には緩衝材を配置する。

また、電ケーブルトレンチは非常用取水路の両側壁を間として水路上を横断するように構造を変更するものとし、電ケーブルトレンチと非常用取水路の間にはすべり支を設置する（参図-10.15）。



参図-10.15 擁壁取合部の補強方針（概念図）

(4) 除塵機室との接合部における段差

a) 損傷の状況

非常用取水路と除塵機室との接合部において、非常用取水路側が相対的に沈下するが発生した。B系取水路底版における耐震ジョイントのの最大値は110mmであった（添付資料6、参写真-10.4参照）。

なお、耐震ジョイントの変位量は限界値（び300mm、ずれ及び400mm）より小さく、設計上必要な取水量を流下できる通水断面が確保されていることから、回の地震により発生した除塵機室との接合部におけるは取水機能に影響を及ぼすものではないことを確認した。



参写真-10.4 除塵機室との接合部における

b) 原因の推定

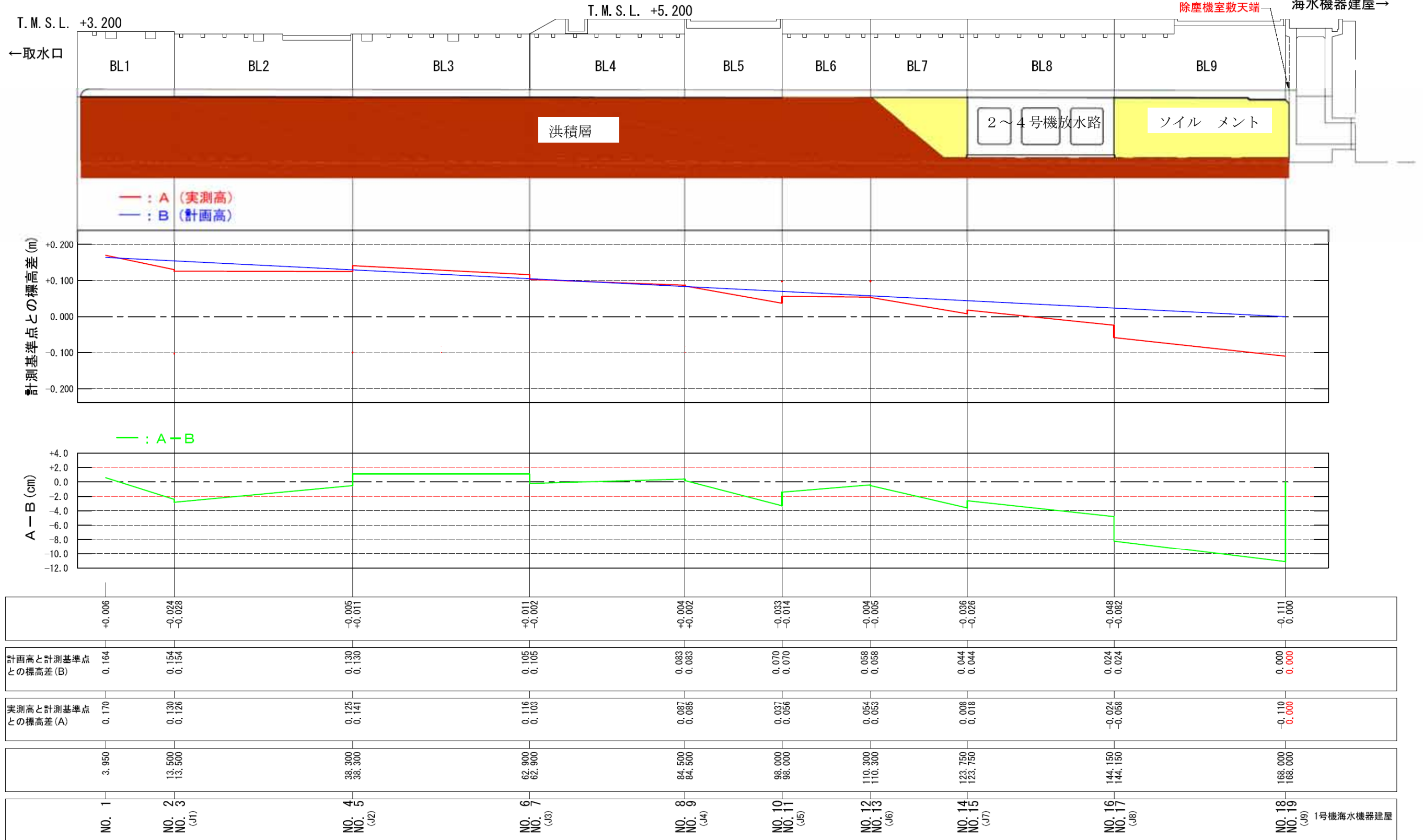
A系水路 高の鉛直変動量測量結果を参図-10.16に示す。計画高に比べて20mm程度の範囲を超える変位が生じている箇所は、Bより山側に限られており、取水路下方を交する2～4号機放水路の構築のために洪積層を掘削し、埋め戻した箇所と一致している。このことから、地震により埋戻土に大きなせん断ひずみが生じ、体積圧縮したために非常用取水路が沈下したものと考えられる。

1号機非常用取水路 (A系) 縦断面図

S=1/500 (H), S=1/10 (V), S=1/5 (A-B)

計測基準点 (0.000m)
除塵機室敷天端

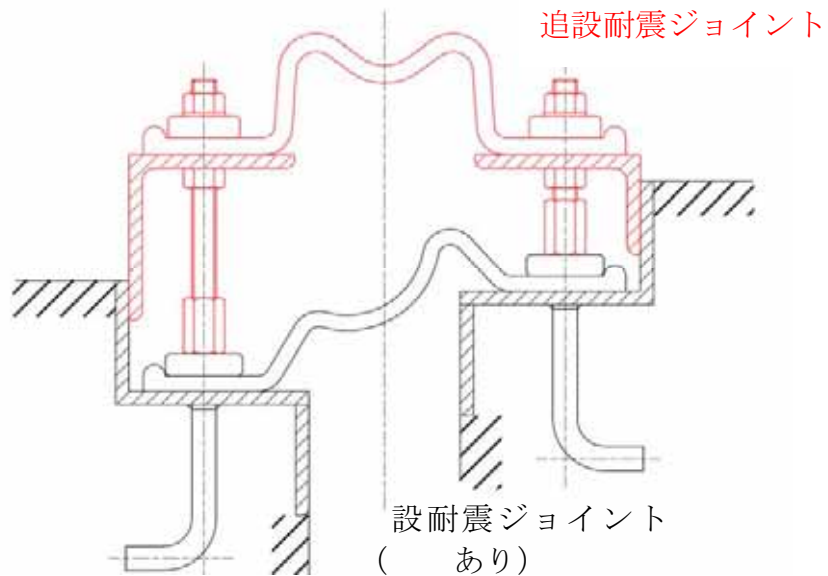
1号機
海水機器建屋→



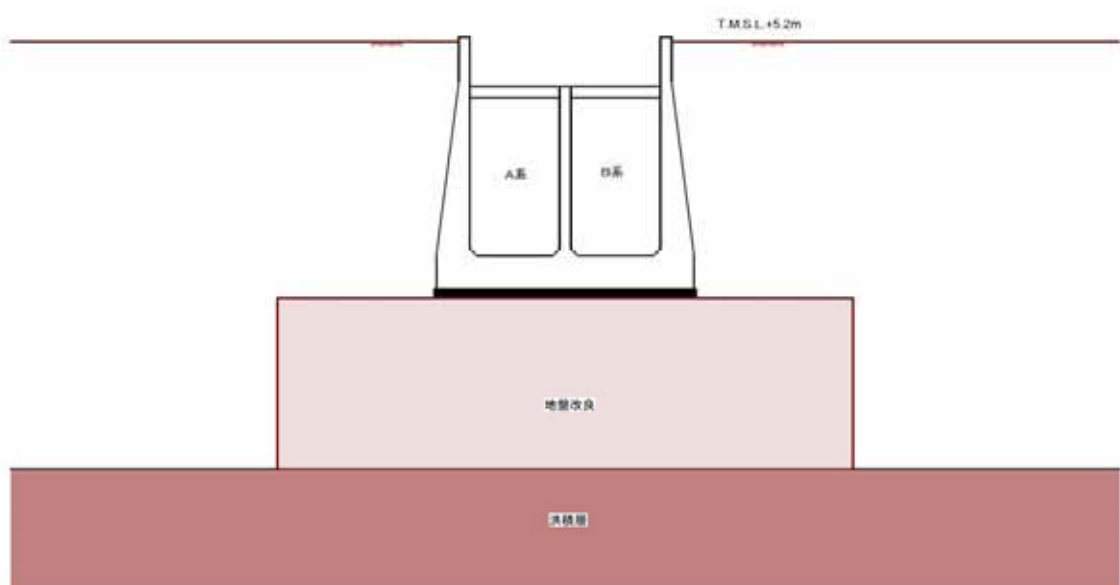
参図-10.16 B系水路 高の鉛直変動量測定結果

c) 補修ならびに損傷原因の除去に関する計画

耐震ジョイントの変位に対する余裕を回復するために、耐震ジョイントを追設（二重化）する（参図-10.17 参照）。また、ソイルメント置換箇所については、地震による体積圧縮による沈下を回復することを目的として、地盤改良を実施する（参図-10.18）。



参図-10.17 耐震ジョイント二重化方法（概念図）



参図-10.18 除塵機室接合部の沈下対策方針（概念図）

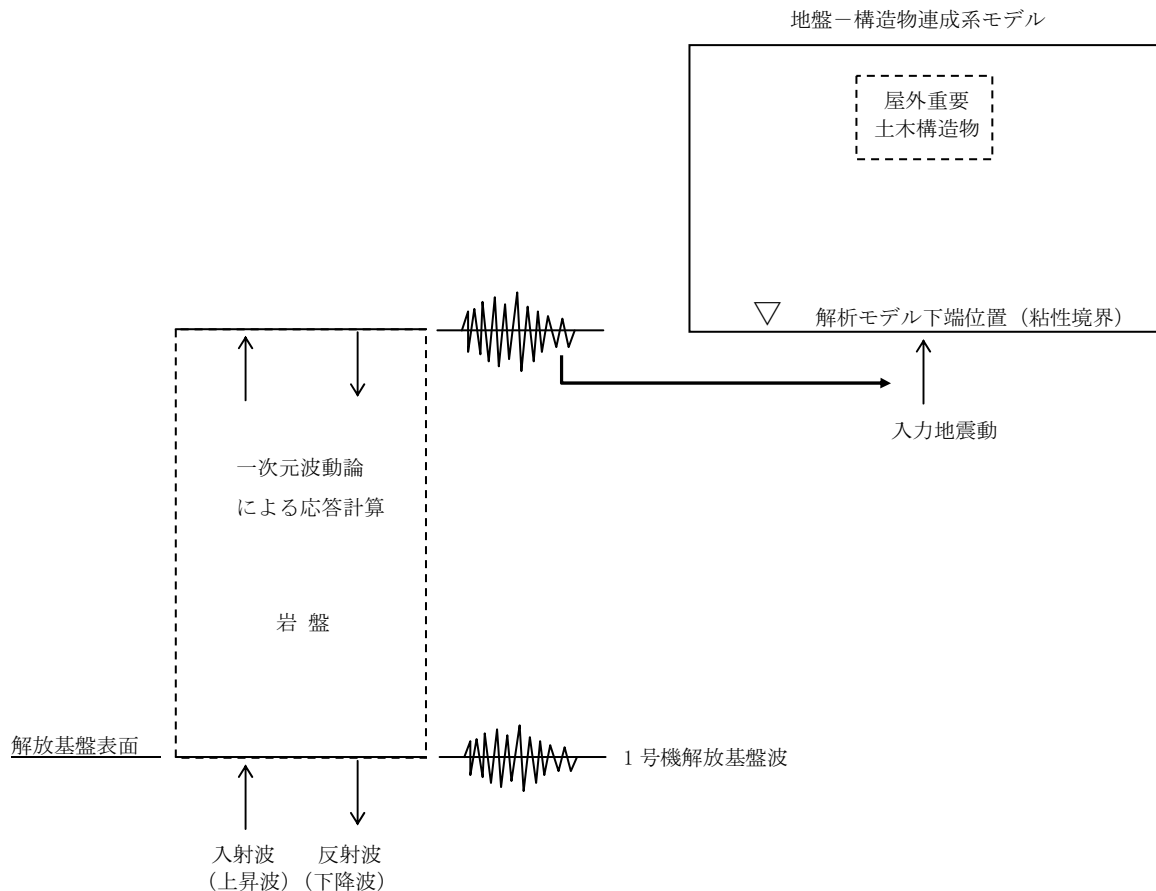
参考資料 11 1号機解放基盤波を用いた屋外重要土木構造物の耐震健全性評価

「柏崎刈羽原子力発電所における平成 19 年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」（平成 20 年 9 月 22 日補正、東京電力株式会社）に示されている、1号機原子炉建屋基礎版上の記録を用いて推定された解放基盤表面の地震動（以下、「1号機解放基盤波」という）を用いて1号機屋外重要土木構造物の耐震健全性評価を行う。

(1) 検討方法

「1号機解放基盤波」を用いて一次元波動論による地震応答解析を行い、地盤—構造物連成系の地震応答解析モデル下端位置で評価したものを入力地震動とする。入力地震動の作成方法の概念図を参図-11.1に示す。

その他の検討条件は、報告書本編の「5.5 屋外重要土木構造物の耐震健全性評価」に示された評価手順、地震応答解析手法、評価基準と同一である。



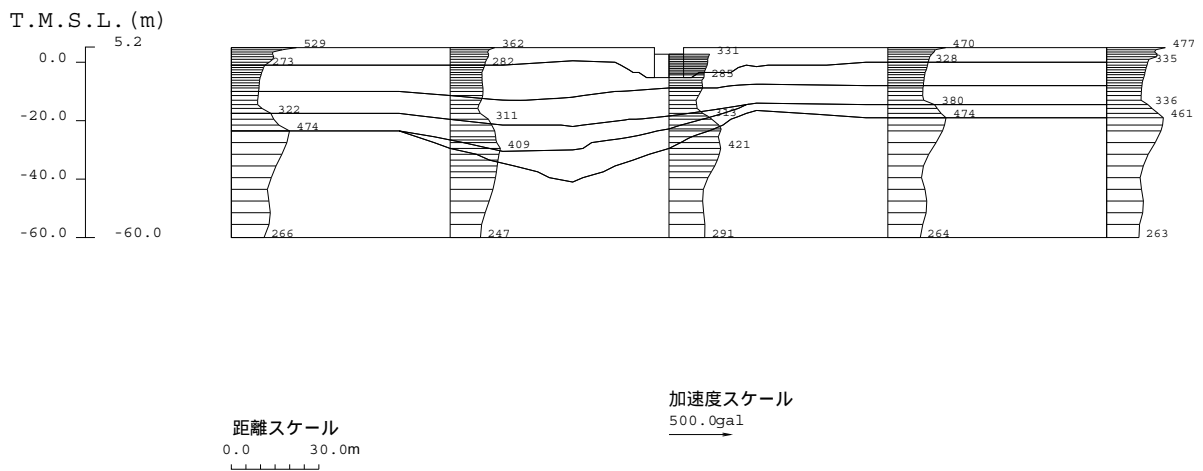
参図-11.1 入力地震動の作成方法の概念図

(2) 地震応答解析結果

a) 非常用取水路

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-11.2 に示す。

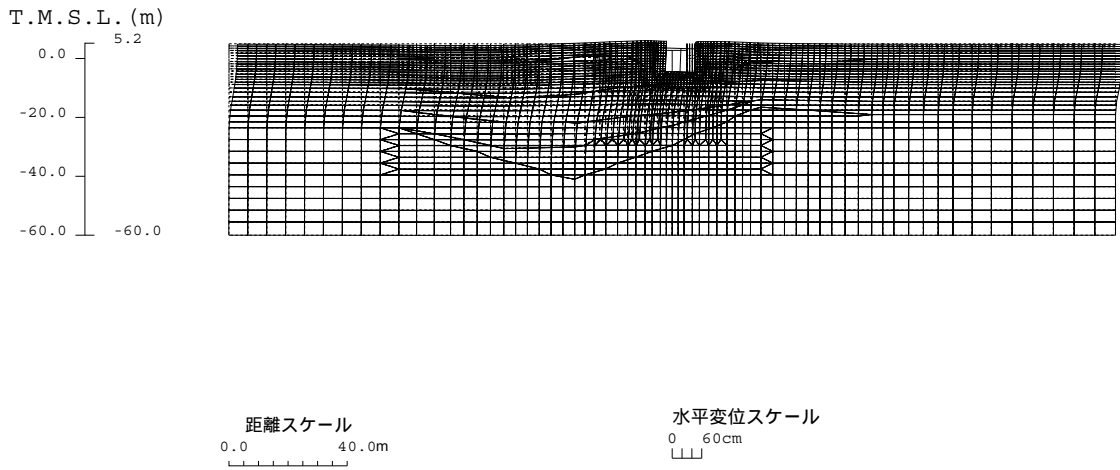
また、構造物頂底版間の最大相対変位および発生時刻を参表-11.1 に、最大相対変位発生時刻の変形図および加速度分布図を参図-11.3、参図-11.4 に示す。



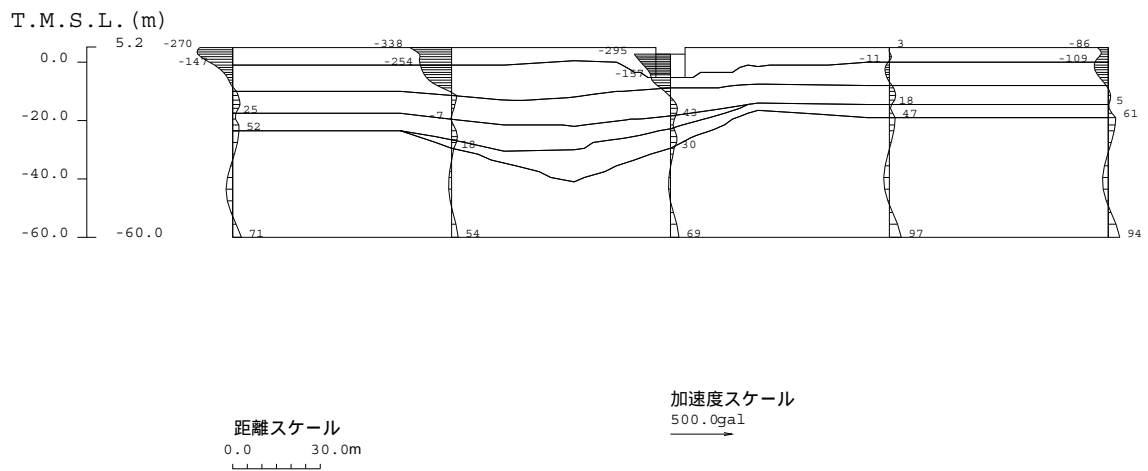
参図-11.2 非常用取水路 最大加速度分布図

参表-11.1 非常用取水路 頂底版間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
非常用取水路	5.2	4.64



参図-11.3 非常用取水路 変形図 (4.64 秒)

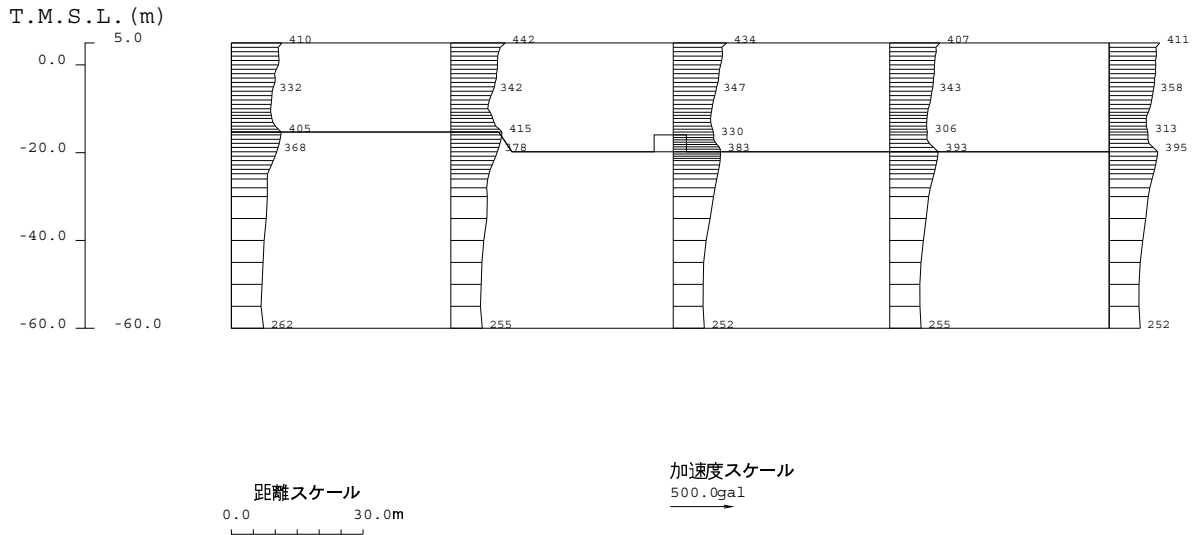


参図-11.4 非常用取水路 加速度分布図 (4.64 秒)

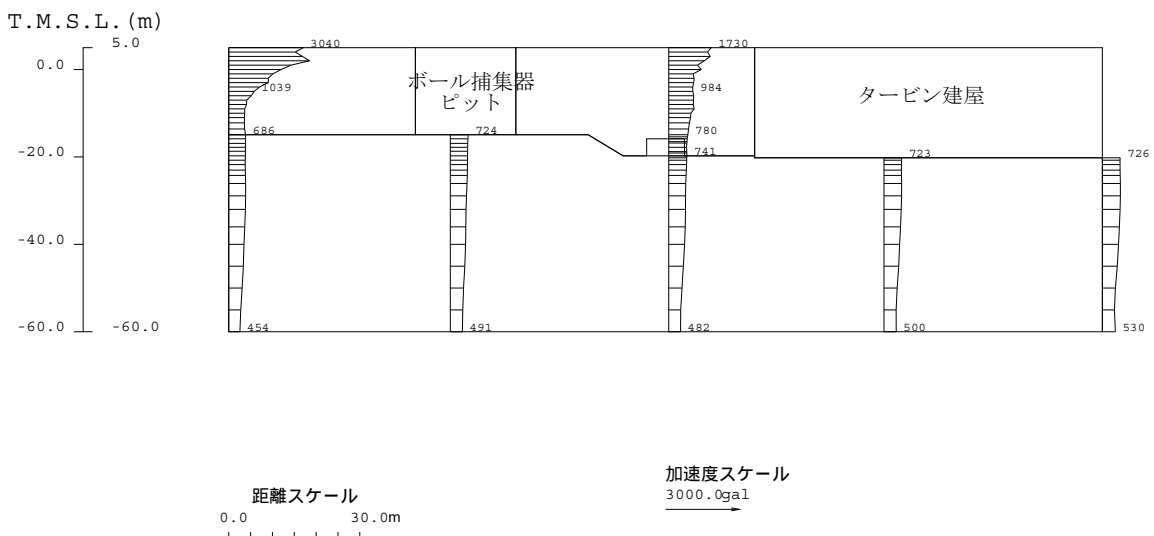
b) 原子炉補機冷却系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-11.5、参図-11.6 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-11.2 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参図-11.7～参図-11.10 に示す。



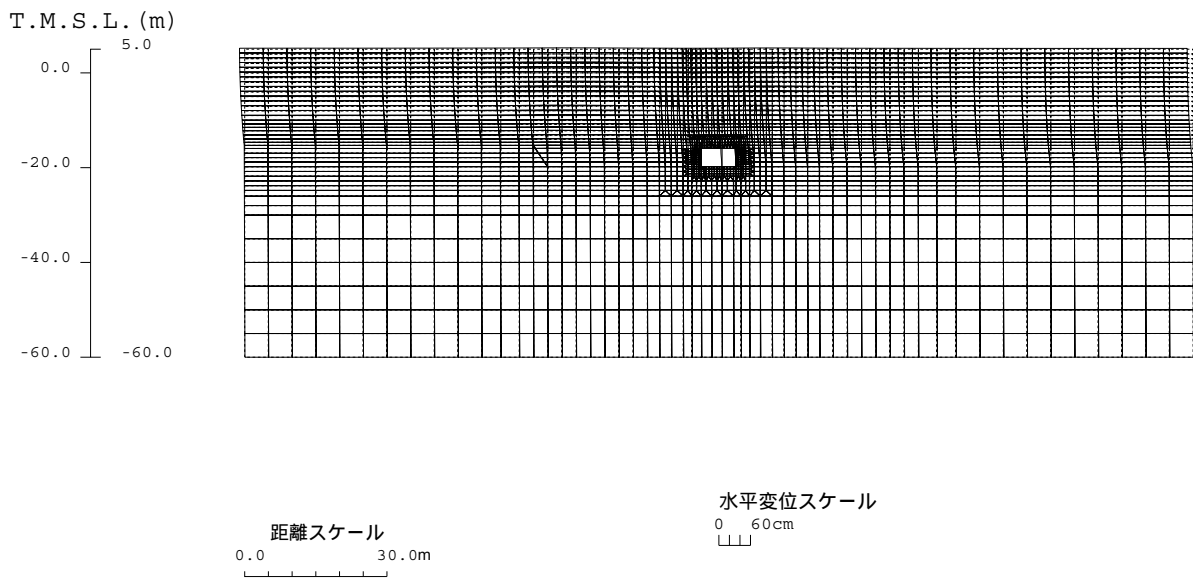
参図-11.5 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 最大加速度分布図



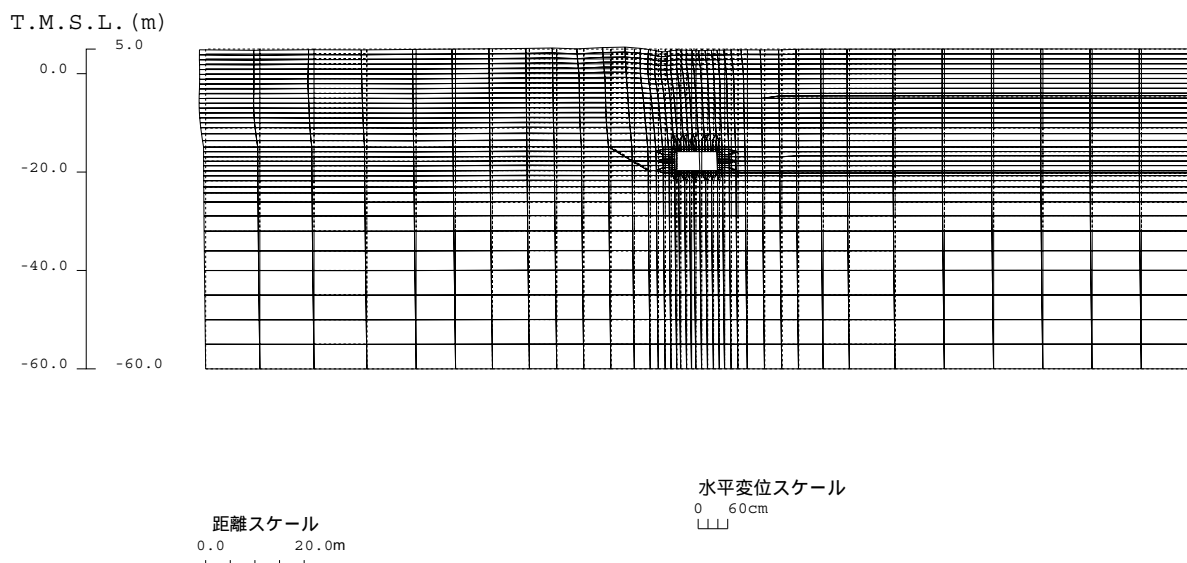
参図-11.6 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 最大加速度分布図

参表-11.2 原子炉補機冷却系配管ダクト 頂底板間の最大相対変位

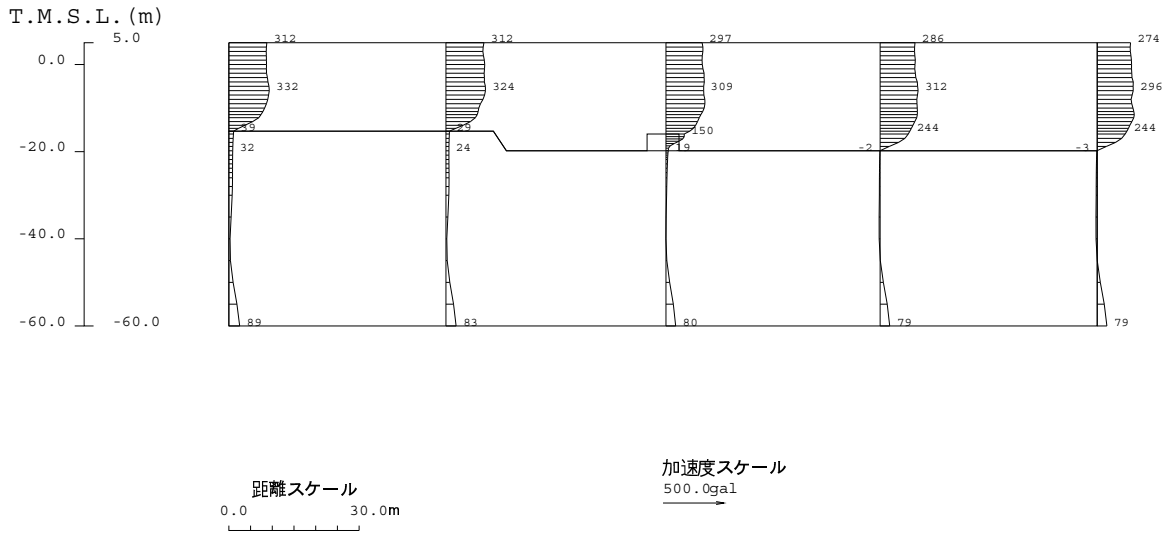
解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
原子炉補機冷却系配管ダクト (A系)	16.2	4.32
原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)	8.7	9.83



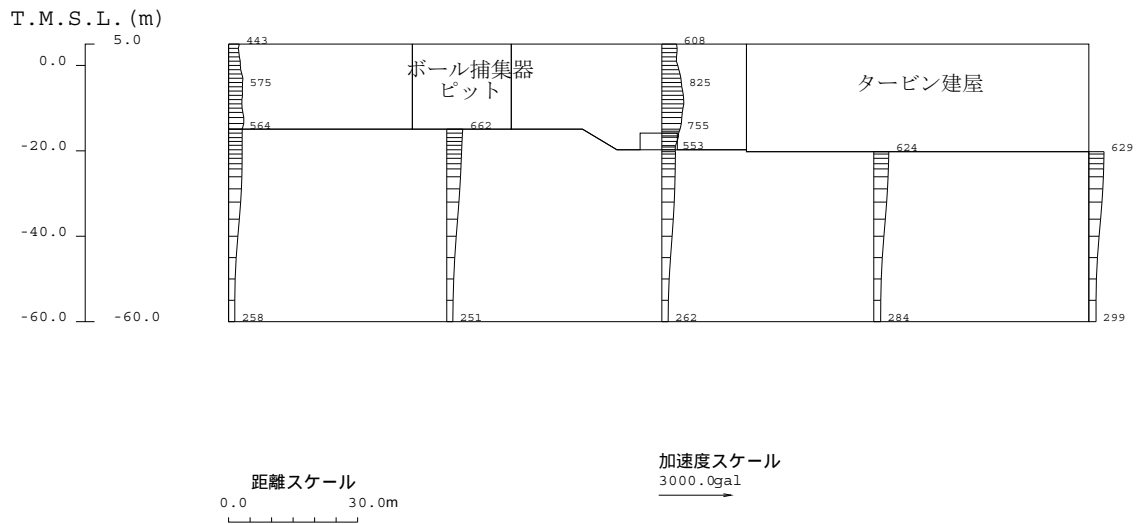
参図-11.7 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (4.32 秒)



参図-11.8 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (9.83 秒)



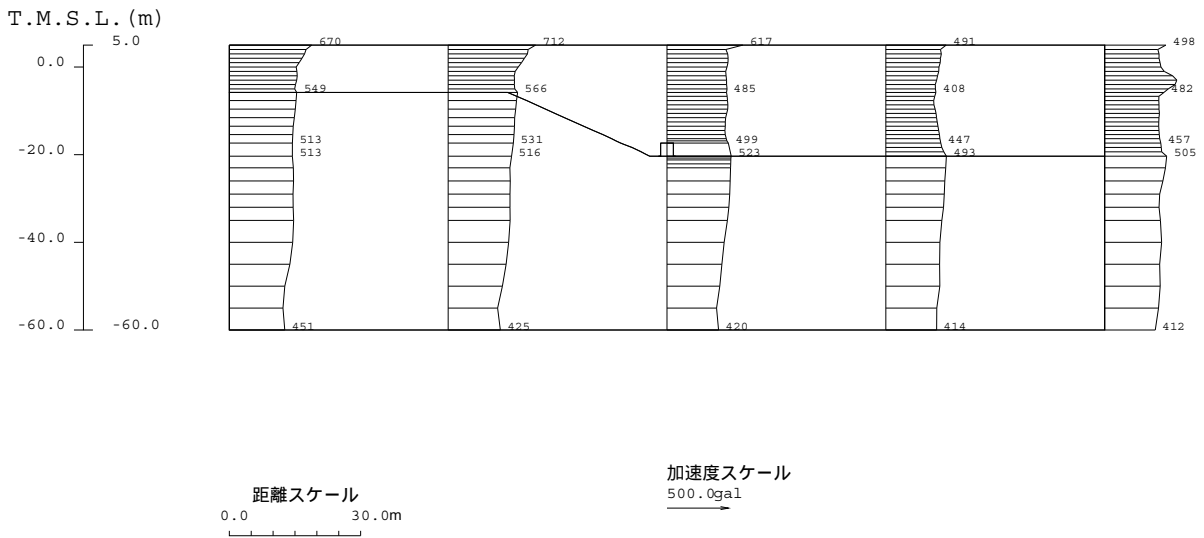
参図-11.9 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 加速度分布図 (4.32 秒)



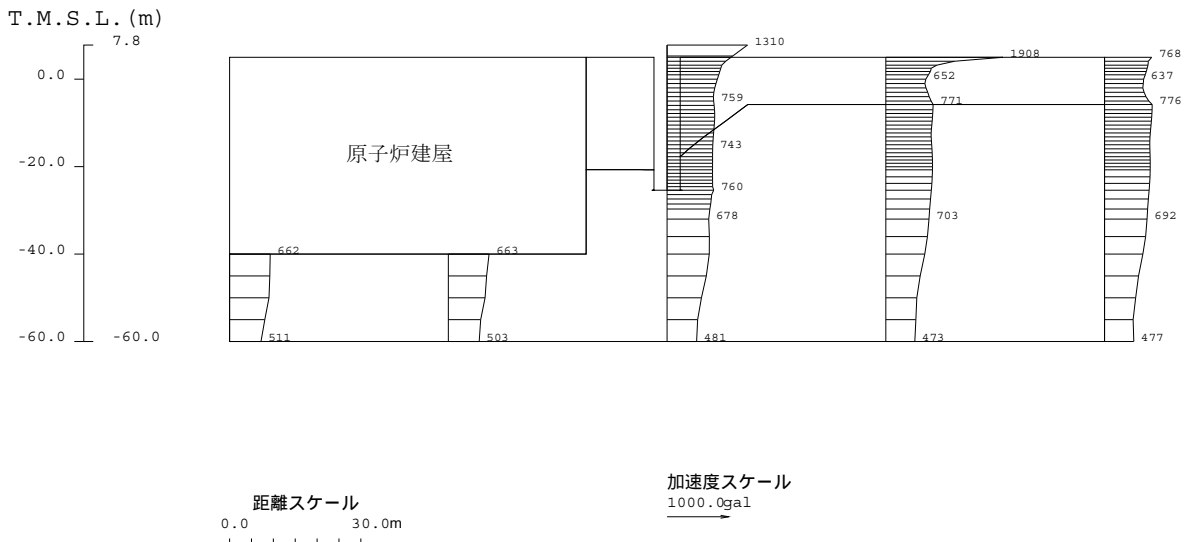
参図-11.10 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 加速度分布図 (9.83 秒)

c) 非常用ガス処理系配管ダクト

地震応答解析から求められる最大加速度分布図を参図-11. 11、参図-11. 12 に示す。
 また、構造物頂底板間の最大相対変位および発生時刻を参表-11. 3 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参図-11. 13～参図-11. 16 に示す。



参図-11. 11 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部） 最大加速度分布図

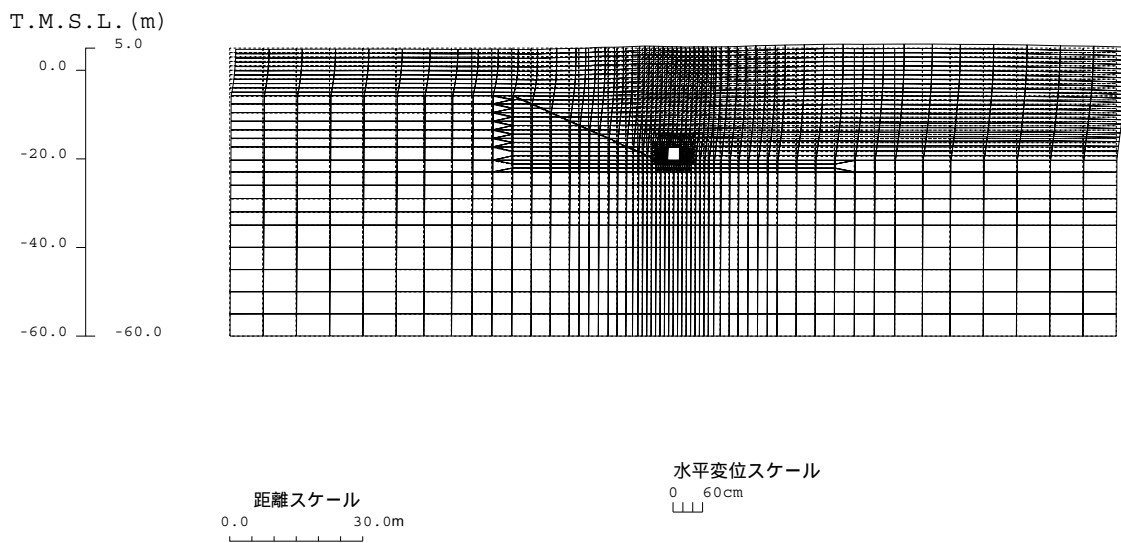


参図-11. 12 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部） 最大加速度分布図

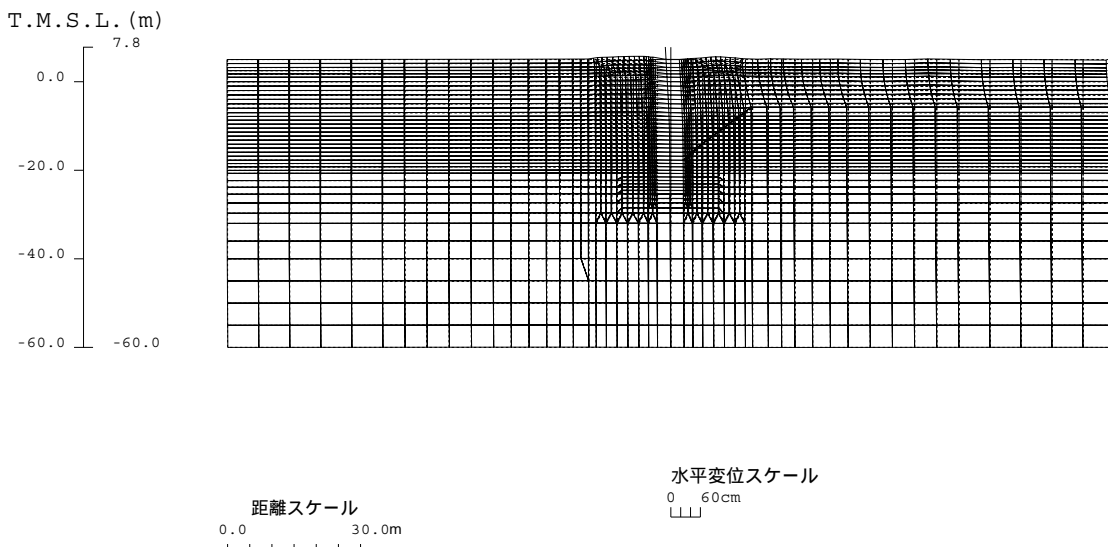
参表-11.3 非常用ガス処理系配管ダクト 頂底板間の最大相対変位

解析対象断面	最大相対変位 (mm)	時刻 (秒)
非常用ガス処理系配管ダクト (水平部)	8.6	9.90
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部)	96.8 ※	9.89

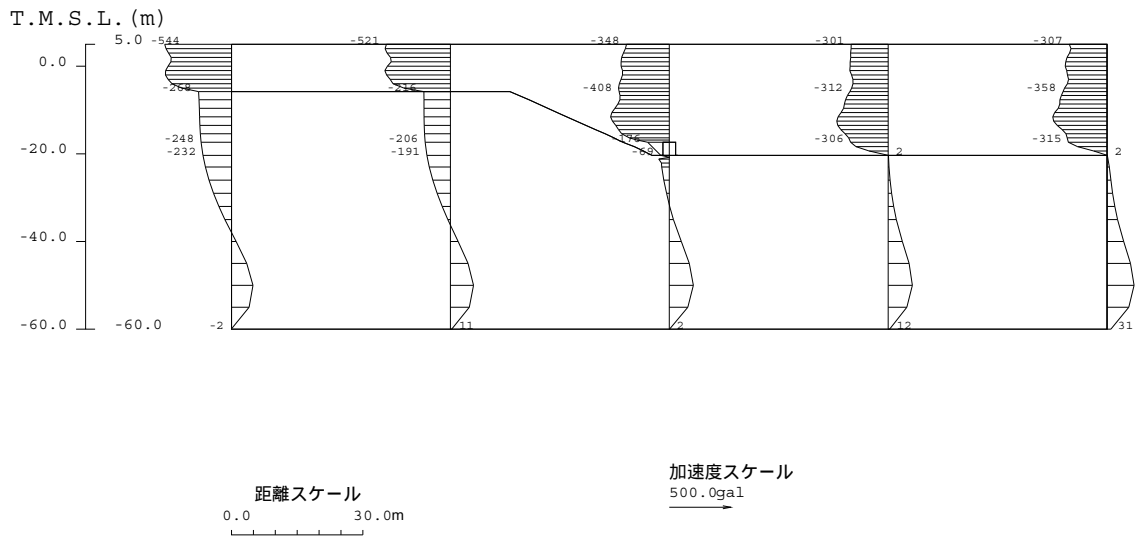
※非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) は天端—基部間



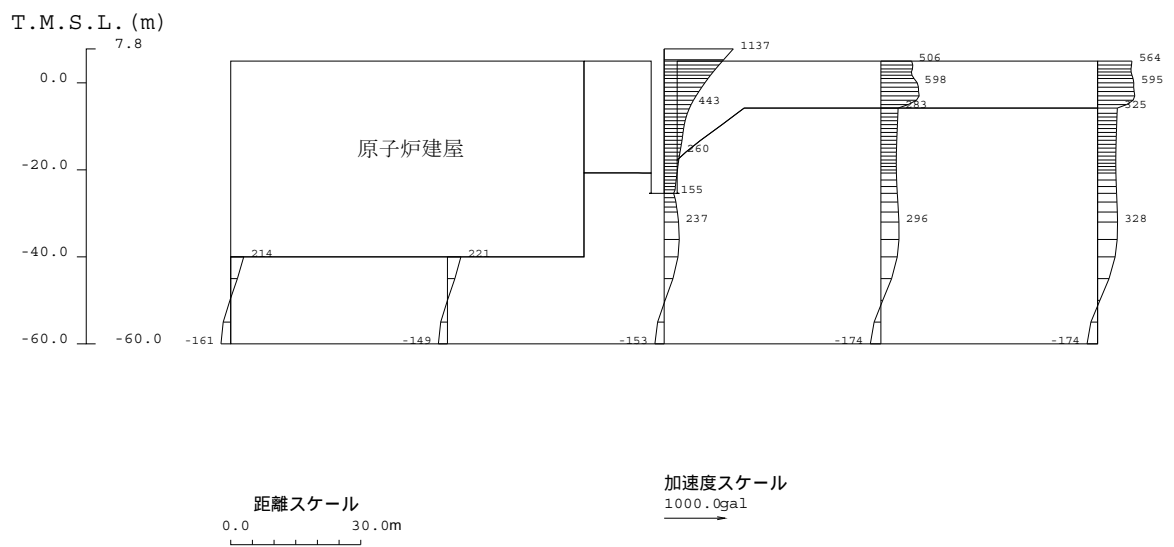
参図-11.13 非常用ガス処理系配管ダクト (水平部) 変形図 (9.90 秒)



参図-11.14 非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) 変形図 (9.89 秒)



参図-11.15 非常用ガス処理系配管ダクト（水平部）加速度分布図（9.90秒）



参図-11.16 非常用ガス処理系配管ダクト（鉛直部）加速度分布図（9.89秒）

(3) 耐震健全性評価結果

層間変形角および曲率による照査結果を参表-11.4、参表-11.5に示す。また、せん断力による照査結果を参表-11.6示す。層間変形角または曲率による照査の結果、評価位置において、照査用応答値（照査用層間変形角 R_d または照査用曲率 ϕ_d ）が評価基準値（限界層間変形角 R_u または限界曲率 ϕ_u ）を下回ることを、また、せん断力による照査の結果、評価位置において照査用応答値（照査用せん断力 V_d ）が評価基準値（せん断耐力 V_{yd} ）を下回ることを確認した。

以上のことから、曲げ、せん断のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有しており、耐震健全性は確保されているものと評価した。

参表-11.4 層間変形角による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 R_d	評価基準値 R_u	R_d/R_u
非常用取水路	頂版～底版	0.0653/100	1/100	0.065
原子炉補機冷却系 配管ダクト（A系）	頂版～底版	0.421/100	1/100	0.42
原子炉補機冷却系 配管ダクト（B系）	頂版～底版	0.224/100	1/100	0.22
非常用ガス処理系 配管ダクト（水平部）	頂版～底版	0.287/100	1/100	0.29

※ 非常用取水路のストラットについては、1本あたりの最大軸方向圧縮力に対して耐震健全性を確認
（照査用応答値 1647kN/評価基準値 13243kN=0.12）

参表-11.5 曲率による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 ϕ_d (1/m)	評価基準値 ϕ_u (1/m)	ϕ_d/ϕ_u
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸直交方向断面	円環部	0.000258	0.142	0.0018
	中空矩形部	0.000330	0.136	0.0024
非常用ガス処理系 配管ダクト（鉛直部） 軸方向断面	円環部	0.000429	0.0149	0.029
	中空矩形部	0.0000354	0.0255	0.0014

参表-11.6 セン断力による照査結果

解析対象断面	評価位置	照査用応答値 V_d (kN)	評価基準値 V_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
非常用取水路	底版	335	756	0.44
	側壁	361	974	0.37
	隔壁	55	540	0.10
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版	784	2000	0.39
	底版	524	968	0.54
	側壁	667	2564	0.26
	隔壁	422	606	0.70
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版	339	916	0.37
	底版	698	3201	0.22
	側壁	726	2165	0.34
	隔壁	314	566	0.55
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版	279	425	0.66
	底版	201	394	0.51
	側壁	533	897	0.59
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	100	363	0.28
	中空矩形部	526	1205	0.44
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	5175	8670	0.60
	中空矩形部	3761	20373	0.18

(参考)

原子炉建屋基礎版における観測波を入力条件とした解析（本編 5.5 参照）と、解放基盤波を入力条件とした解析（本参考資料）の比較を参表-11.7～参表-11.9 に示す。

参表-11.7 層間変形角による照査結果の比較

解析対象断面	評価位置	照査用応答値/評価基準値 R_d/R_u	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用取水路	頂版～底版	0.077	0.065
原子炉補機冷却系配管ダクト (A系)	頂版～底版	0.53	0.42
原子炉補機冷却系配管ダクト (B系)	頂版～底版	0.28	0.22
非常用ガス処理系配管ダクト (水平部)	頂版～底版	0.36	0.29

参表-11.8 曲率による照査結果の比較

解析対象断面	評価位置	照査用応答値/評価基準値 ϕ_d/ϕ_u	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	0.0020	0.0018
	中空矩形部	0.0023	0.0024
非常用ガス処理系配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	0.040	0.029
	中空矩形部	0.0017	0.0014

参表-11.9 せん断力による評価結果の比較

解析対象断面	評価位置	照査用応答値/評価基準値 V_d/V_{yd}	
		基礎版観測波	解放基盤波
非常用取水路	底版	0.42	0.44
	側壁	0.36	0.37
	隔壁	0.10	0.10
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	頂版	0.44	0.39
	底版	0.61	0.54
	側壁	0.28	0.26
	隔壁	0.70	0.70
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	頂版	0.36	0.37
	底版	0.39	0.22
	側壁	0.35	0.34
	隔壁	0.64	0.55
非常用ガス処理系 配管ダクト (水平部)	頂版	0.63	0.66
	底版	0.55	0.51
	側壁	0.64	0.59
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸直交方向断面	円環部	0.29	0.28
	中空矩形部	0.43	0.44
非常用ガス処理系 配管ダクト (鉛直部) 軸方向断面	円環部	0.79	0.60
	中空矩形部	0.22	0.18

参考資料 12 三次元地震応答解析による 1号機原子炉補機冷却系配管ダクトの耐震健全性評価について

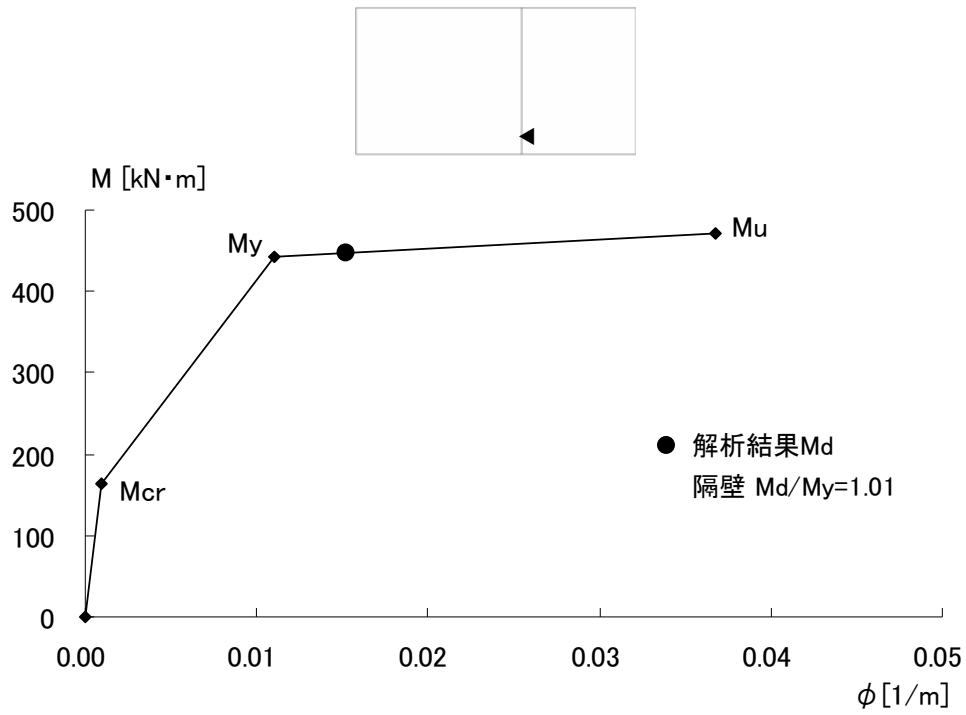
1号機原子炉補機冷却系配管ダクトについて、近接構造物による地盤変位抑制効果を考慮して、三次元地震応答解析を実施するとともに、曲げひび割れの発生の可能性について材料非線形解析による検討を実施し、それらの結果に基づいた耐震健全性評価を行う。

(1) 三次元地震応答解析による検討

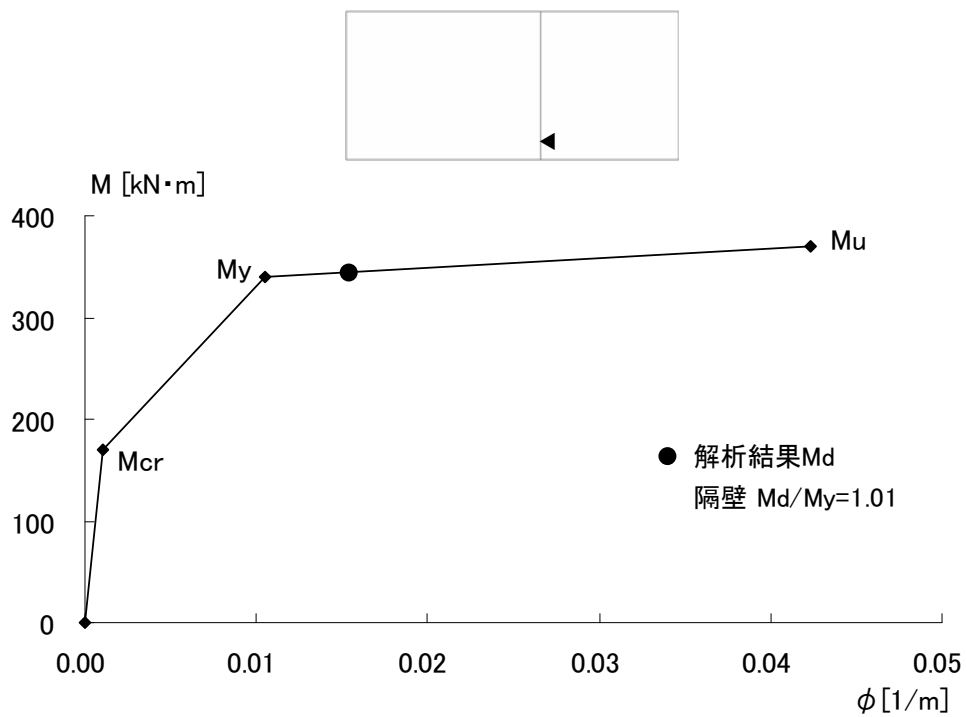
a) 検討目的

1号機原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）および同（B系）の二次元地震応答解析（本編 5.5 参照）について、鉛直部材のうち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 が最も大きい部位における最大応答値を $M-\phi$ スケルトン上にプロットした結果を参図-12.1 および参図-12.2 に示す。図中の M_{cr} はひび割れ発生曲げモーメントを、 M_u は最大曲げモーメントをそれぞれ表している。このように、二次元解析においてはA系、B系ともに鉄筋降伏に至る解析結果となる。

しかしながら、1号機原子炉補機冷却系配管ダクトはタービン建屋や海水機器建屋等に囲まれた狭隘な場所に設置されており、実際にはこれら近接構造物により周辺地盤の変位が抑制されているものと考えられる。そこで、この効果を直接的に考慮するために、二次元地震応答解析に代えて、三次元地震応答解析を実施する。



参図-12.1 原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）M- ϕ スケルトン



参図-12.2 原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）M- ϕ スケルトン

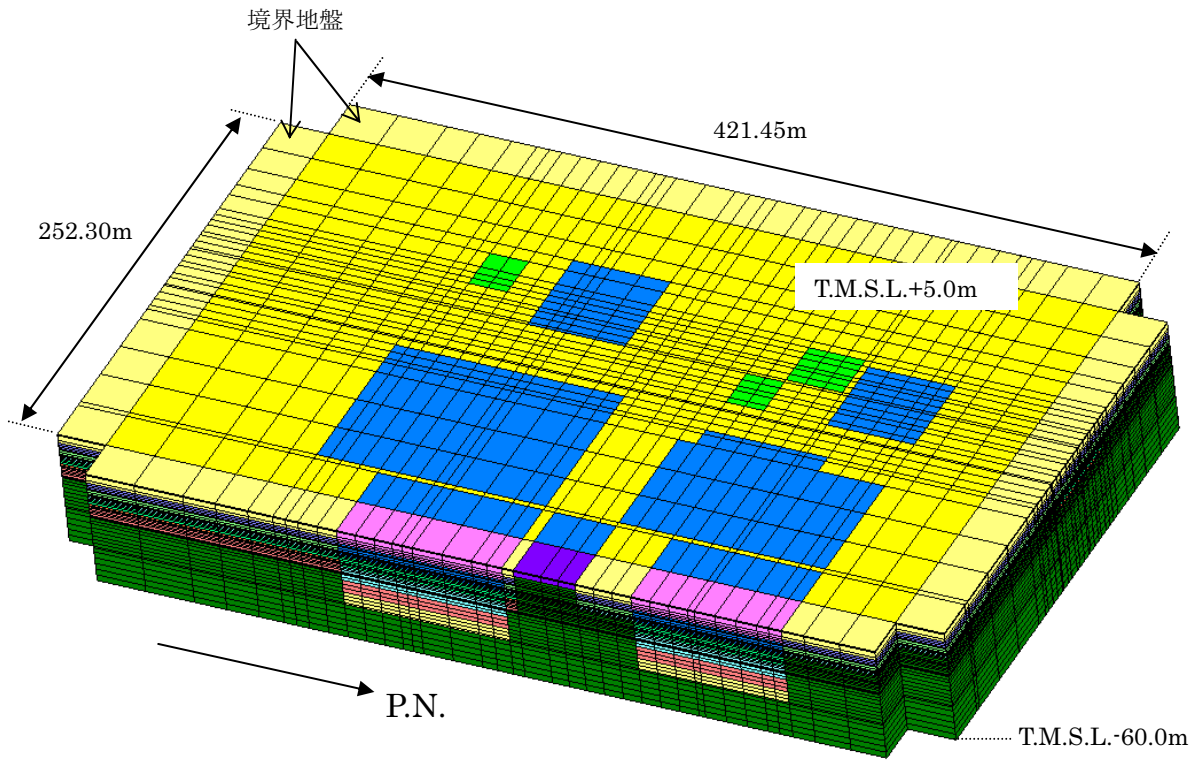
b) 検討方法

本編に示された評価手順、評価基準を基本とし、二次元地震応答解析にかえて三次元地震応答解析を適用する。

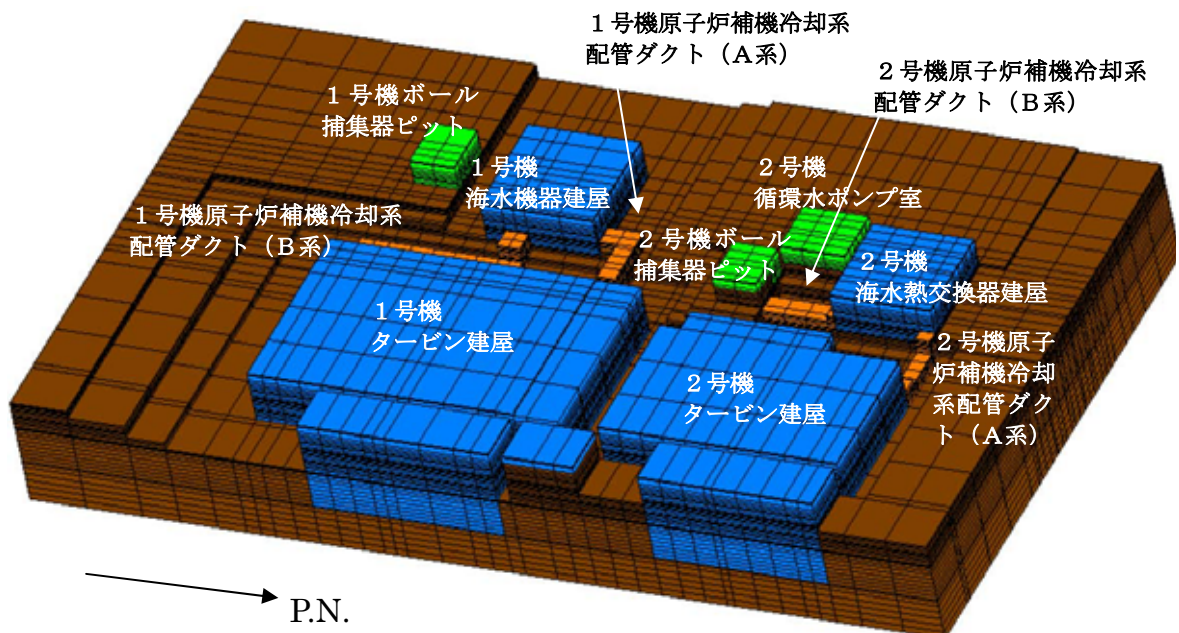
三次元地震応答解析手法の概要は次のとおりである。

原子炉補機冷却系配管ダクト、および、タービン建屋、海水機器建屋などの周辺構造物を三次元要素でモデル化し、三方向同時入力の地震応答解析を実施する。解析モデルを参図-12.3～参図-12.5に示す。

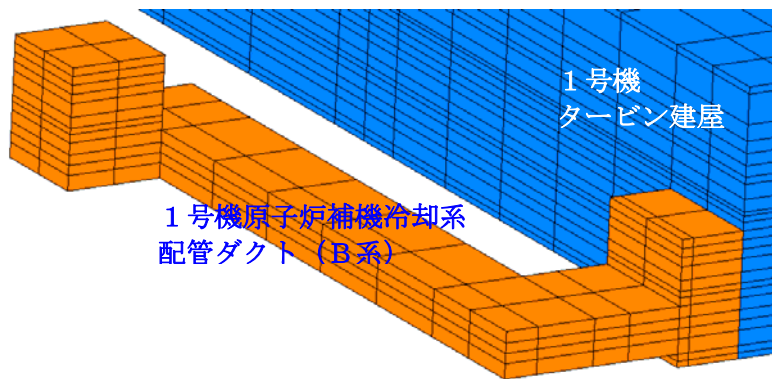
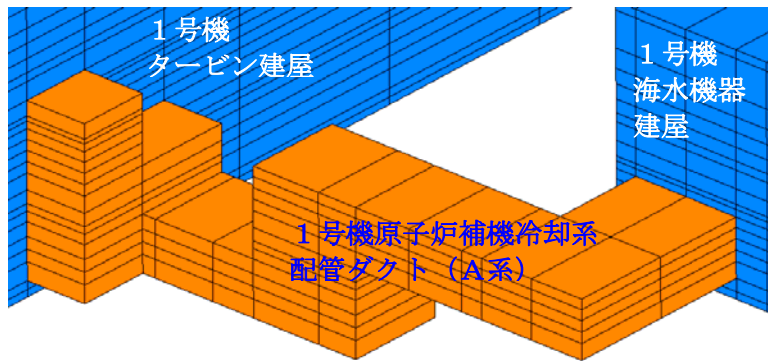
解析モデルにおいては地盤、構造物ともソリッド要素でモデル化する。検討対象構造物である原子炉補機冷却系配管ダクトは、軸直交方向のせん断剛性を有する等価剛性モデルとする。また、タービン建屋、原子炉建屋等のその他の構造物についてはN-S方向とE-W方向の平均せん断剛性による等価剛性モデルとする。地盤は非線形性を考慮する。1号機の他に、近接する2号機の構造物についても同様にモデル化し、境界条件は下方、側方とも粘性境界とする。



参図-12.3 解析モデル（全体図）



参図-12.4 解析モデル（構造物と西山層）



参図-12.5 検討対象構造物のモデル化

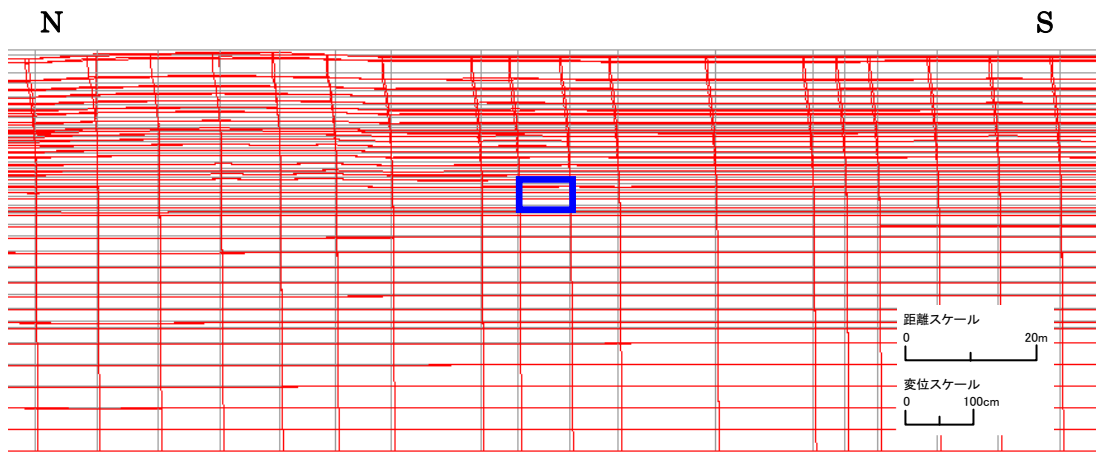
c) 地震応答解析結果

三次元地震応答解析による原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）の構造物頂底版間の最大層間変形角および発生時刻を、二次元地震応答解析の結果と比較して参表-12.1に示す。三次元解析による層間変形角は二次元解析よりも小さい。

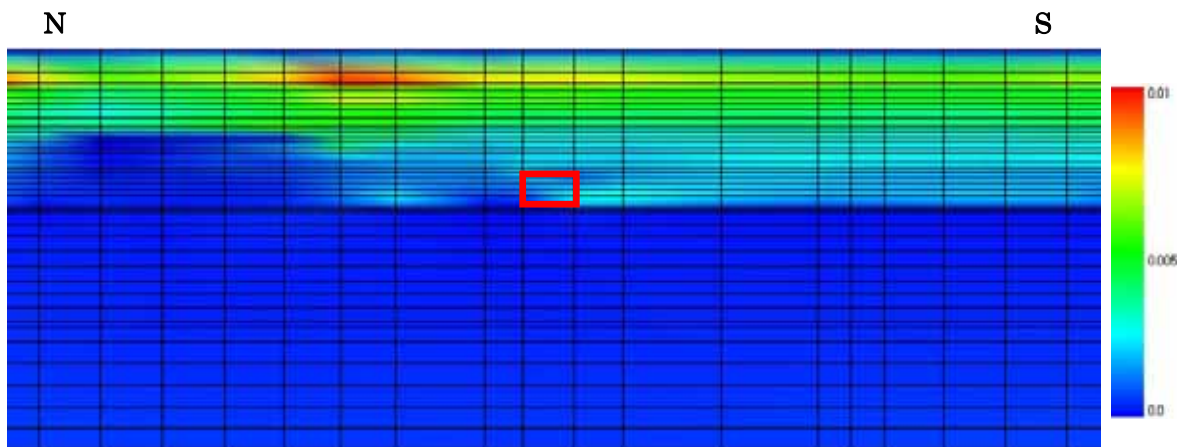
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）の層間変形角最大時の変形図およびせん断ひずみ分布図を参図-12.6、参図-12.7に、同（B系）の層間変形角最大時の変形図およびせん断ひずみ分布図を参図-12.8、参図-12.9にそれぞれ示す。

参表-12.1 最大層間変形角

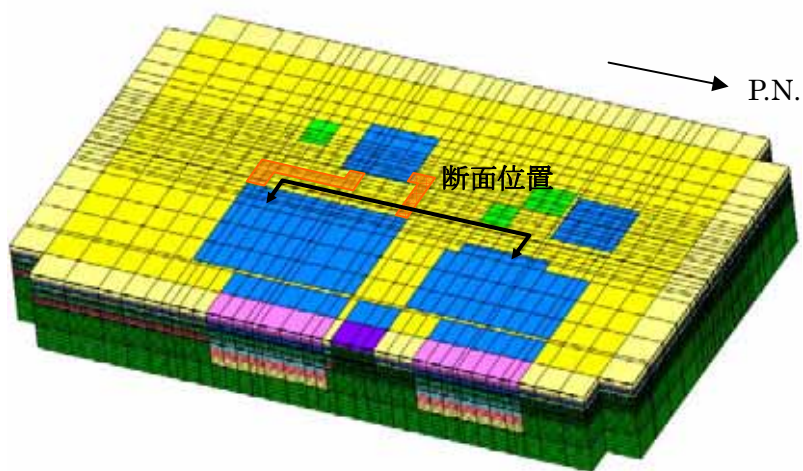
	三次元地震応答解析		二次元地震応答解析	
	最大層間変形角	時刻(秒)	最大層間変形角	時刻(秒)
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）	0.194/100	13.87	0.530/100	8.96
原子炉補機冷却系配管ダクト（B系）	0.251/100	14.48	0.282/100	14.47



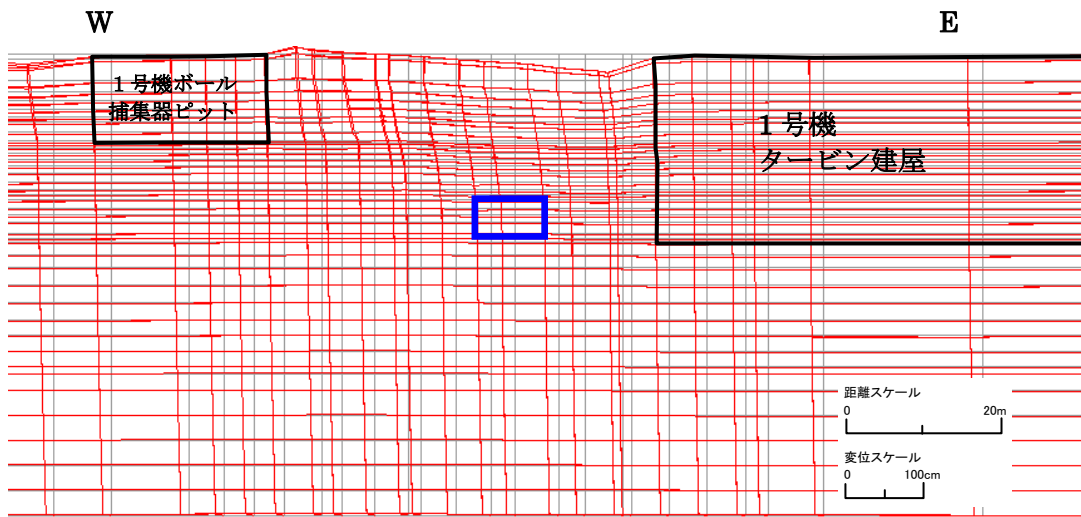
参図-12.6 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) 変形図 (13.87 秒)



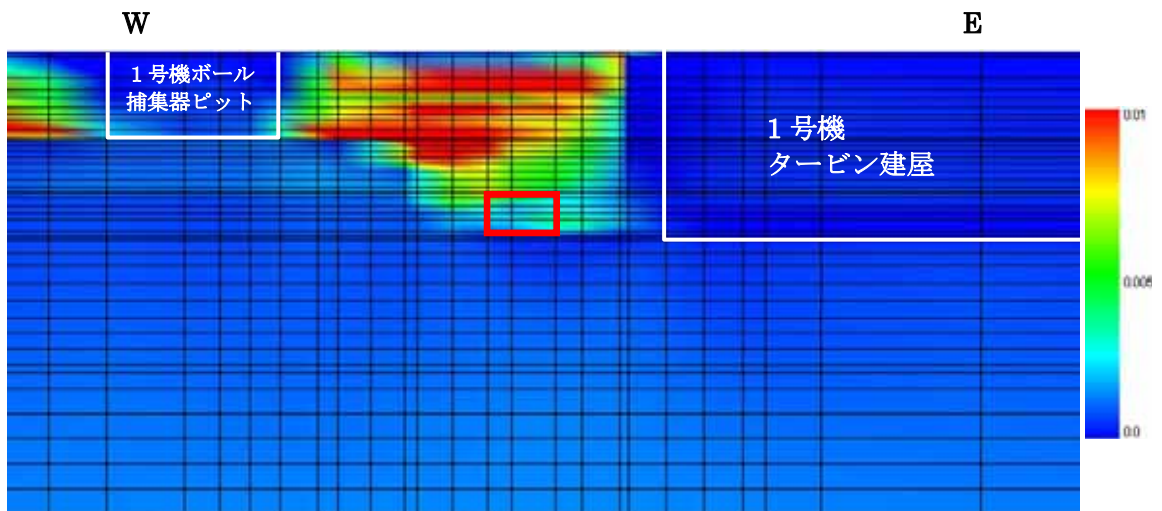
参図-12.7 原子炉補機冷却系配管ダクト (A系) せん断ひずみ分布図 (13.87 秒)



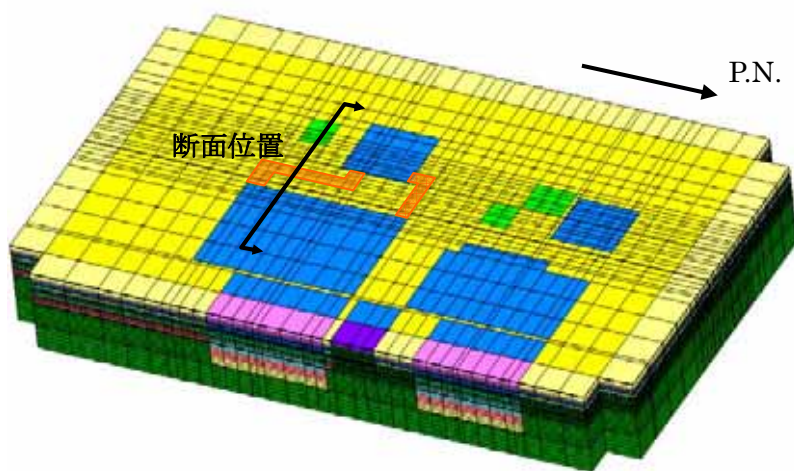
(断面位置)



参図-12.8 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) 変形図 (14.48 秒)



参図-12.9 原子炉補機冷却系配管ダクト (B系) せん断ひずみ分布図 (14.48 秒)



(断面位置)

(2) 曲げひび割れ発生の可能性に関する検討

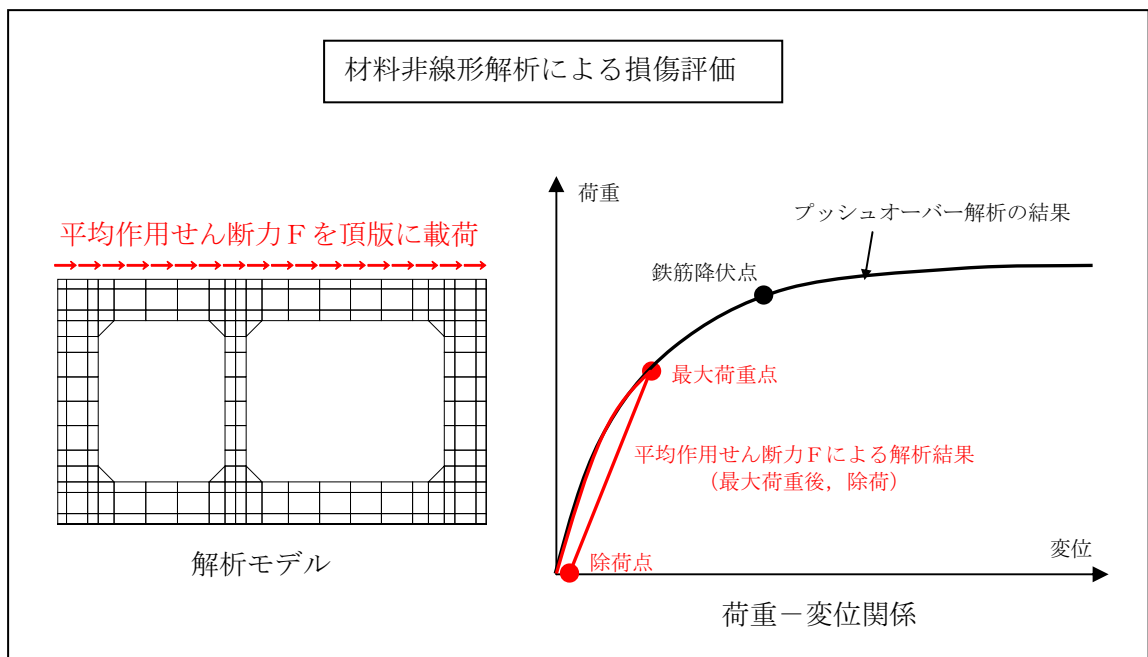
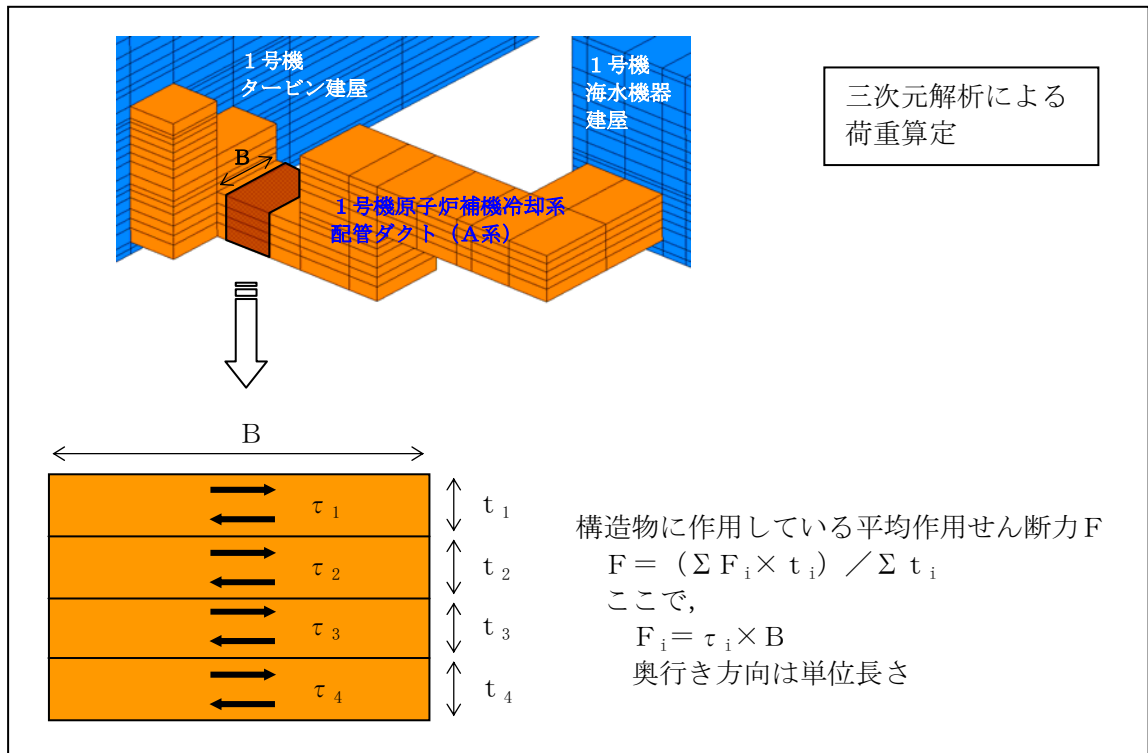
1号機原子炉補機冷却系配管ダクトにおける曲げひび割れ発生の可能性について、材料非線形解析を用いて詳細な検討を行う。

a) 検討方法

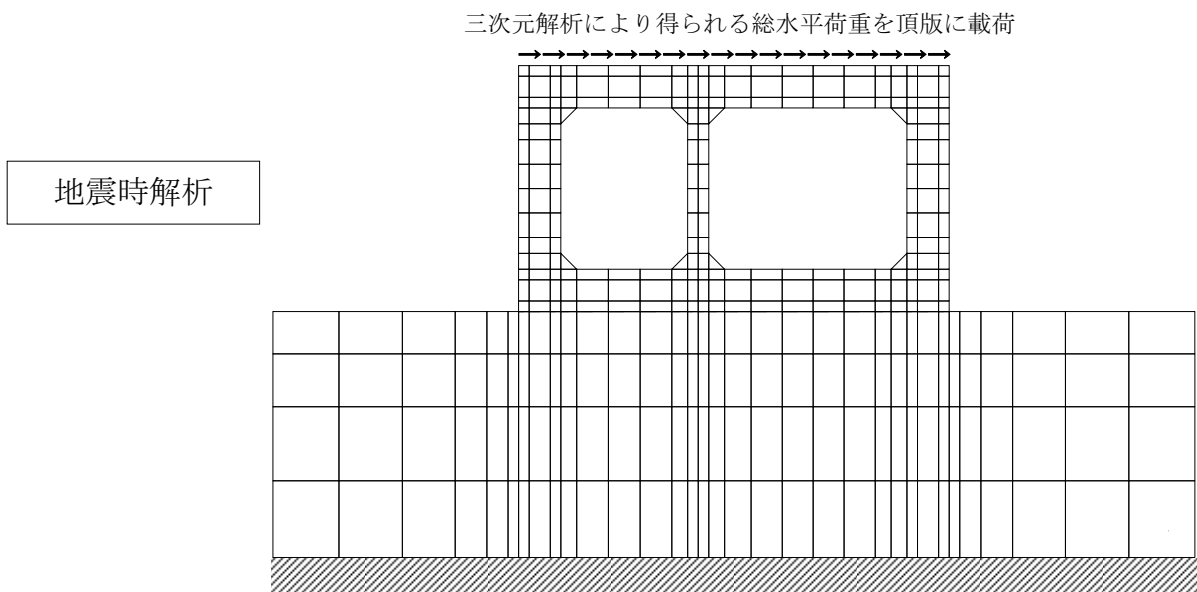
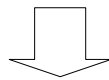
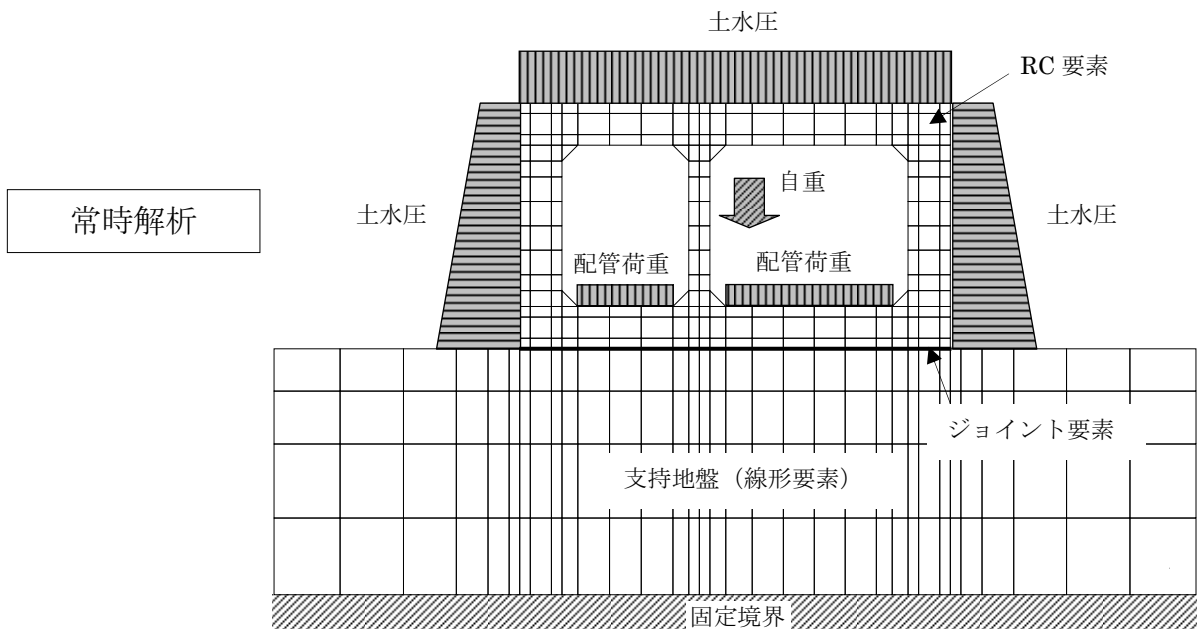
三次元地震応答解析により求めた水平荷重を頂版に載荷して、二次元構造物単体モデルの材料非線形解析を実施し、構造物の損傷状態を確認する。

「(1) 三次元地震応答解析による検討」に述べたとおり、三次元解析モデルにおいて原子炉補機冷却系配管ダクトは、軸直交断面方向のせん断剛性を有するソリッド要素でモデル化している。そこで、まず、層間変形角最大時のソリッド要素の発生せん断応力から、構造物に作用している水平荷重（平均作用せん断力）を算出する。次に、材料非線形を考慮した二次元構造物単体モデルの頂版に平均作用せん断力を載荷する解析を行い、要素平均ひずみから最大ひび割れ幅（最大荷重時）と残留ひび割れ幅（除荷時）を求める。

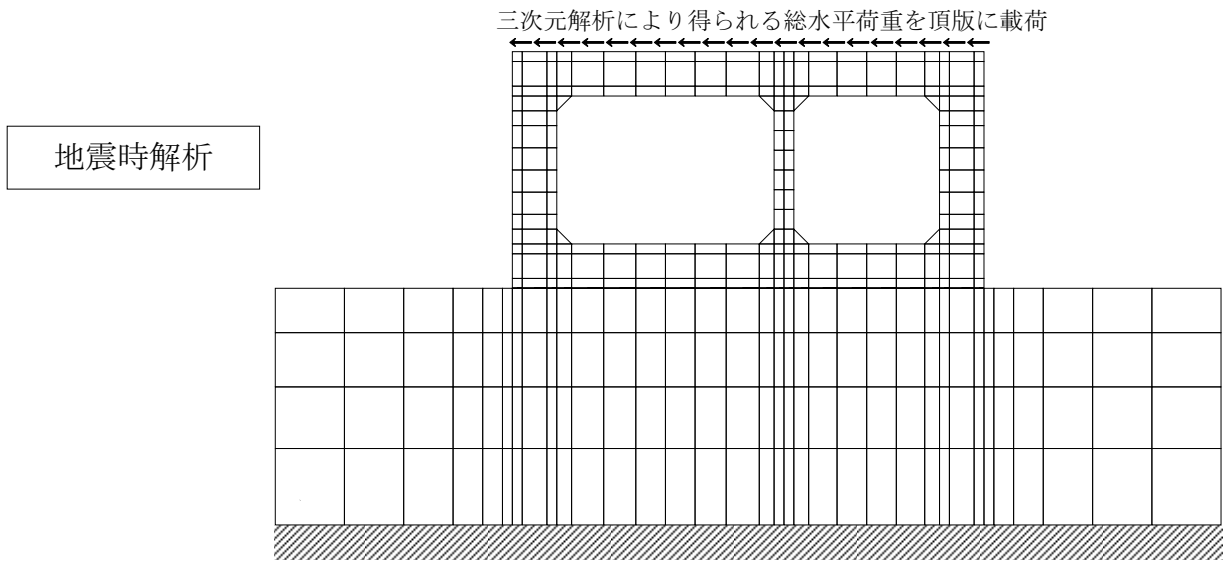
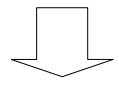
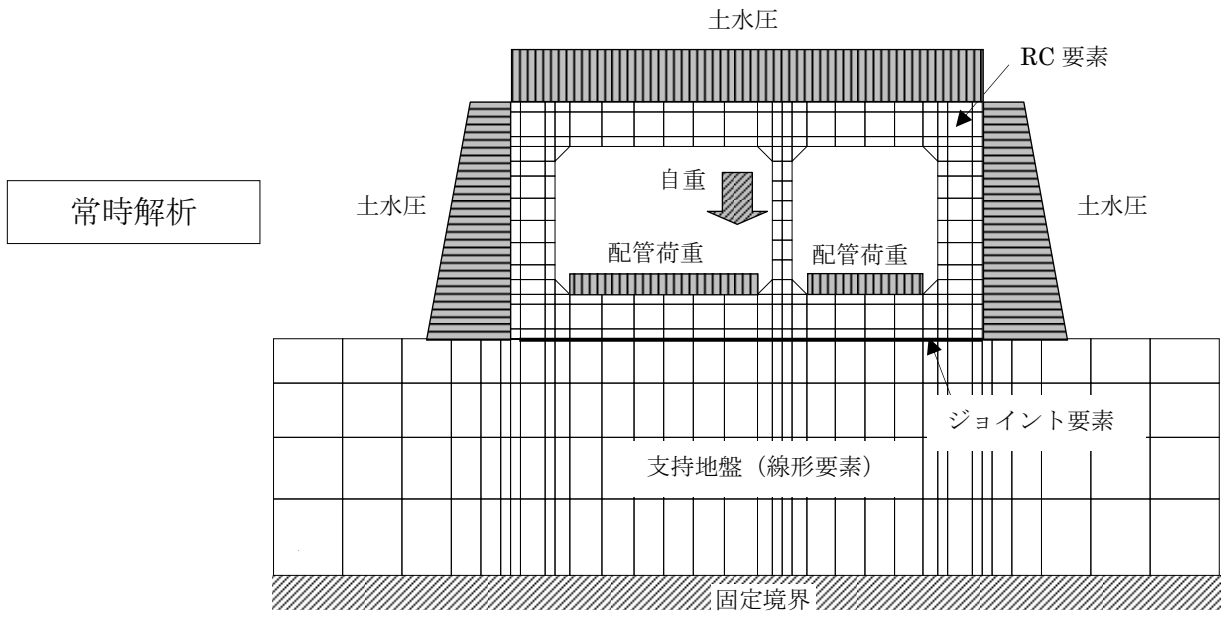
検討方法の概念を参図-12.10に、材料非線形解析に用いる構造物単体モデルおよび荷重載荷方法を参図-12.11および参図-12.12に、層間変形角最大時の平均作用せん断力を参表-12.2にそれぞれ示す。



参図-12.10 検討方法の概念



参図-12.11 材料非線形解析に用いる構造物単体モデル
(原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



参図-12.12 材料非線形解析に用いる構造物単体モデル
(原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))

参表-12.2 層間変形角最大時の平均作用せん断力

	平均作用せん断力 (kN)	時刻 (秒)
原子炉補機冷却系 配管ダクト (A系)	954	13.87
原子炉補機冷却系 配管ダクト (B系)	1460	14.48

b) 材料非線形解析結果

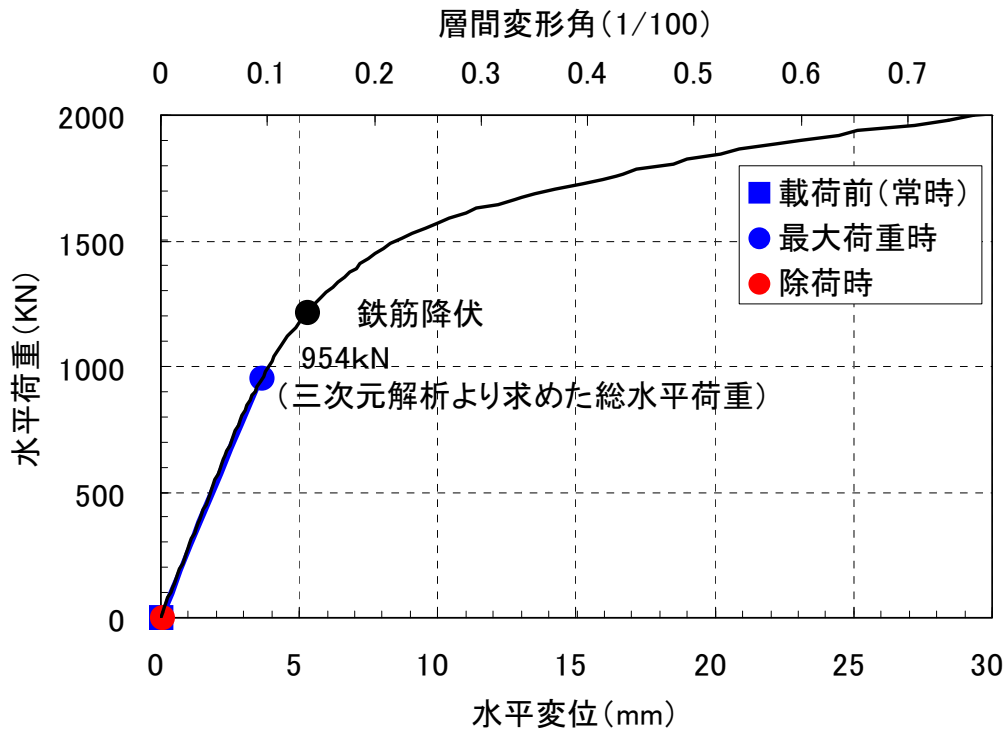
構造物単体モデルの材料非線形解析においては、常時荷重を載荷した後、三次元地震応答解析により求めた平均作用せん断力を構造物単体モデルの頂版各節点に一樣に分布させて一方向に漸増載荷し、最大荷重に達してから除荷した。

荷重－変位関係を参図-12.13、参図-12.14に、最大荷重載荷時および除荷後のひび割れ図を参図-12.15、参図-12.16に示す。原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）とも、鉄筋降伏には至っていない。

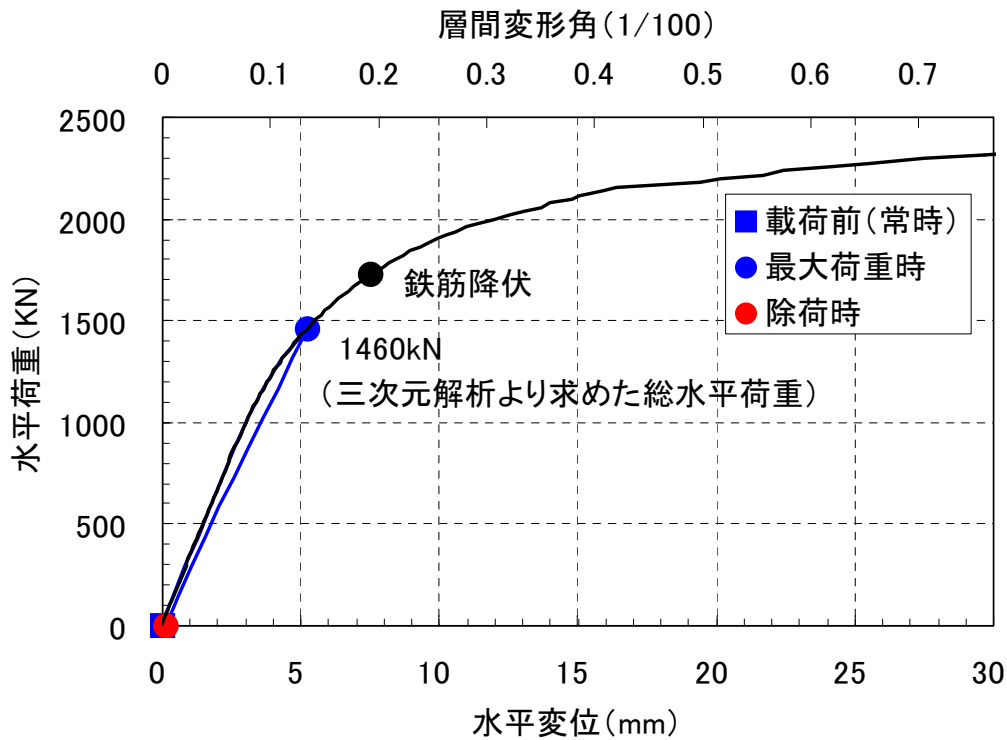
原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）の隔壁では最大荷重時に最大 53μ の要素平均ひずみが生じ、コンクリート標準示方書（設計編、土木学会、2007）に示された曲げひび割れ幅算定式に基づきひび割れ幅を求めると、最大 0.03mm 程度となる。同様に、同（B系）の隔壁では最大ひずみ 198μ 、最大ひび割れ幅 0.11mm となる。

1号機原子炉補機冷却系配管ダクトの場合、土かぶりが約 20m あり、鉛直部材に高い軸圧縮応力（ $3.7\sim 4.6\text{N/mm}^2$ 程度）が作用しているため、除荷後の要素平均ひずみは圧縮となり、引張ひずみは発生しない。

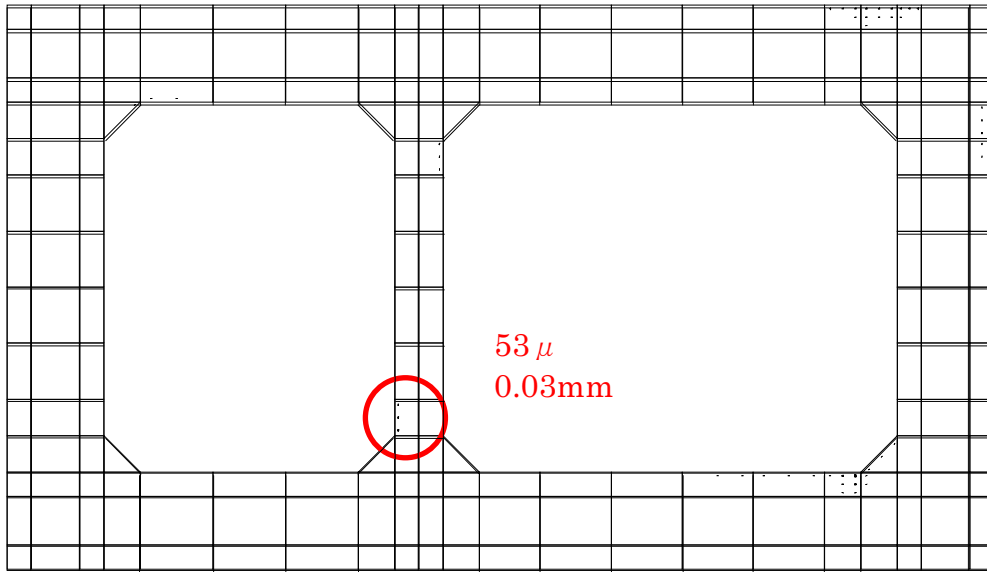
隔壁下端部のRC要素の要素平均応力－ひずみ関係を参図-12.17、参図-12.18に示す。除荷後の要素平均ひずみは圧縮ひずみ状態になっている。



参図-12.13 荷重-変位関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))

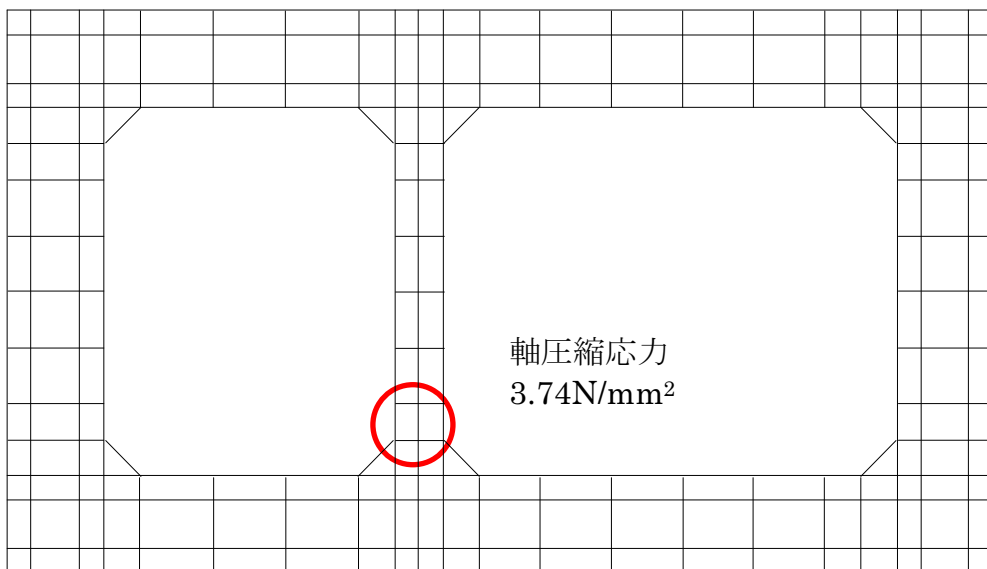


参図-12.14 荷重-変位関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))



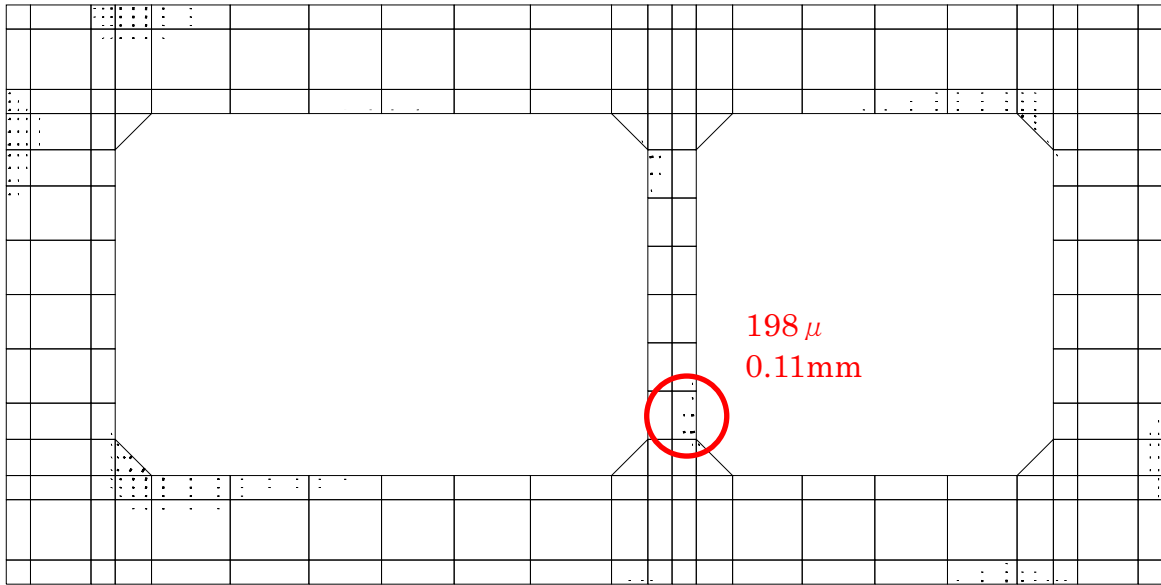
(a) 最大荷重時

残留ひずみは圧縮
(残留ひび割れなし)



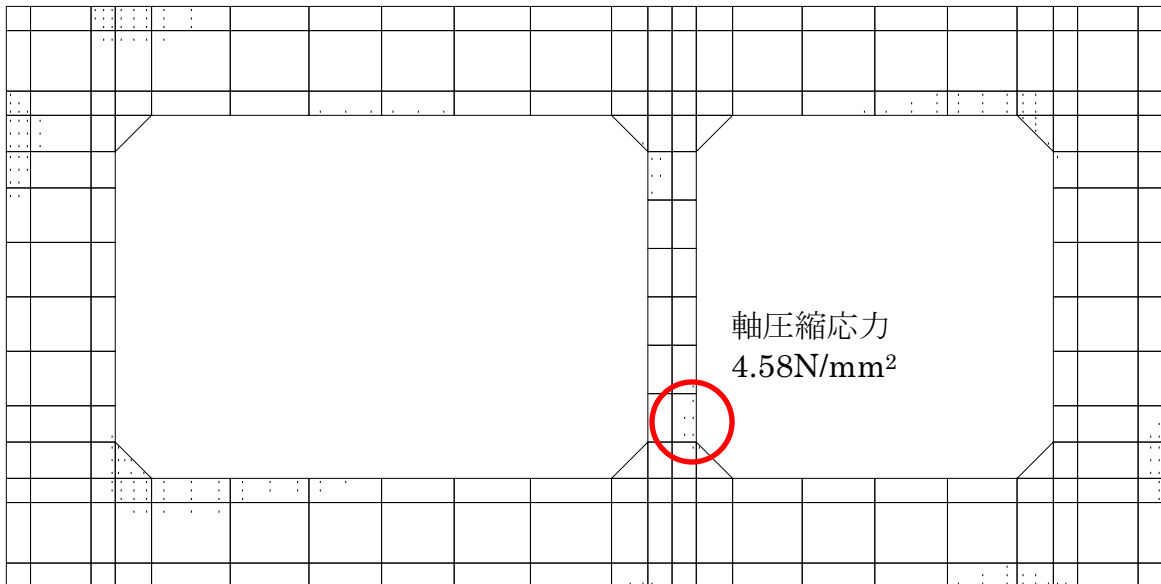
(b) 除荷時

参図-12.15 ひび割れ図 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



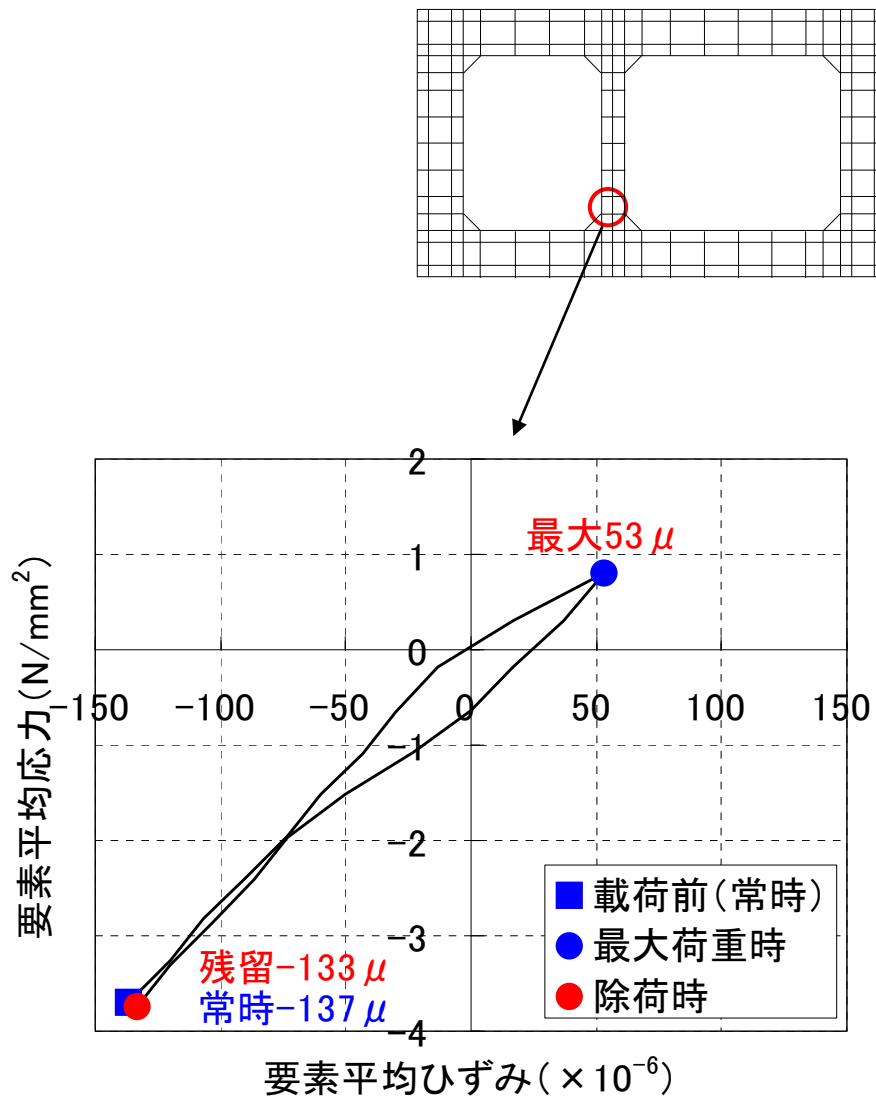
(a) 最大荷重時

残留ひずみは圧縮
(残留ひび割れなし)

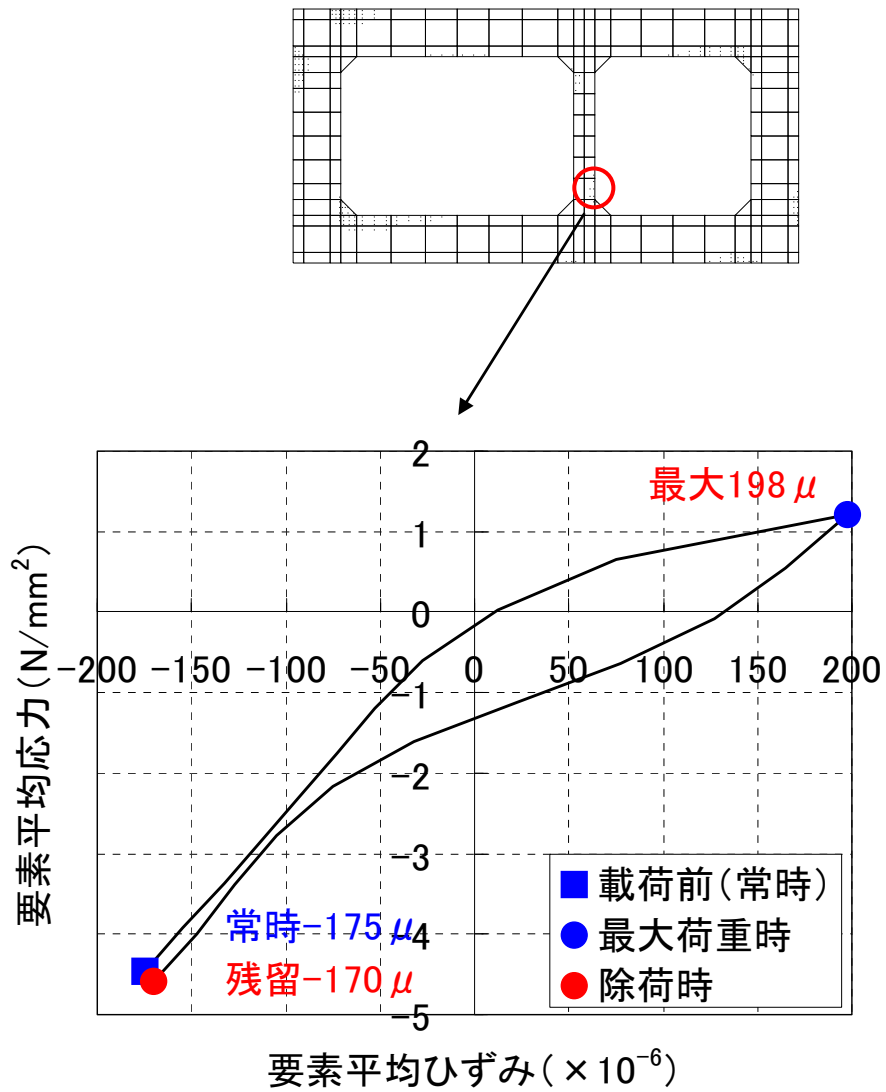


(b) 除荷時

参図-12.16 ひび割れ図 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))



参図-12.17 応力-ひずみ関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (A系))



参図-12.18 応力-ひずみ関係 (原子炉補機冷却系配管ダクト (B系))

(3) 耐震健全性評価結果

本編の二次元地震応答解析（部材非線形解析）では、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、また、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、曲げ、せん断のいずれも評価基準を満足するとともに裕度を有していることから、耐震健全性は確保されているものと評価した。

本資料では、1号機原子炉補機冷却系配管ダクトについて、近接構造物による地盤変位抑制効果を考慮して、三次元地震応答解析を実施するとともに、曲げひび割れの発生の可能性について材料非線形解析による検討を実施した。

検討の結果、原子炉補機冷却系配管ダクト（A系）、同（B系）とも、鉄筋降伏には至らない。局所的に0.1mm程度（瞬間最大値）の曲げひび割れが発生した可能性があるものの、当該構造物の土かぶりは約20mで、常時軸圧縮力が大きいことから、残留ひび割れが認められる程度には至っていないと考えられる。

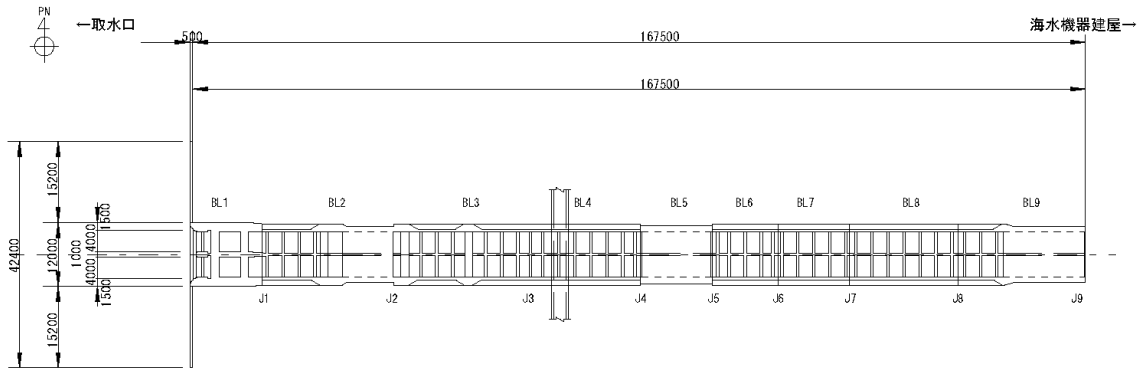
参考資料 13 1号機非常用取水路の軸方向の評価

(1) 軸方向におけるブロック分割の考え方

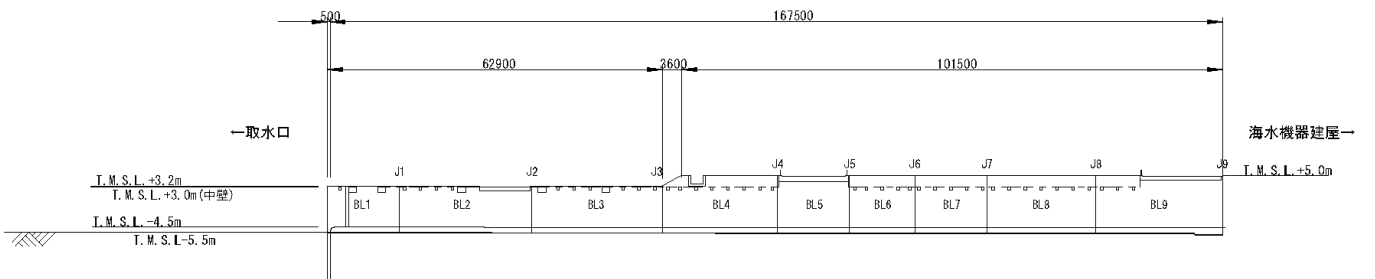
非常用取水路の設計では、取水路軸方向について構造的に問題となるような応力が生じないように、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントを設けている。

このような考え方に沿って、1号機非常用取水路は、参図-13.1 に示すようにブロック分割されている。なお、軸方向の長さが比較的長いブロックについては、概ね 25m 以下となるよう分割されている。

平面図



縦断面図



J: 耐震ジョイント

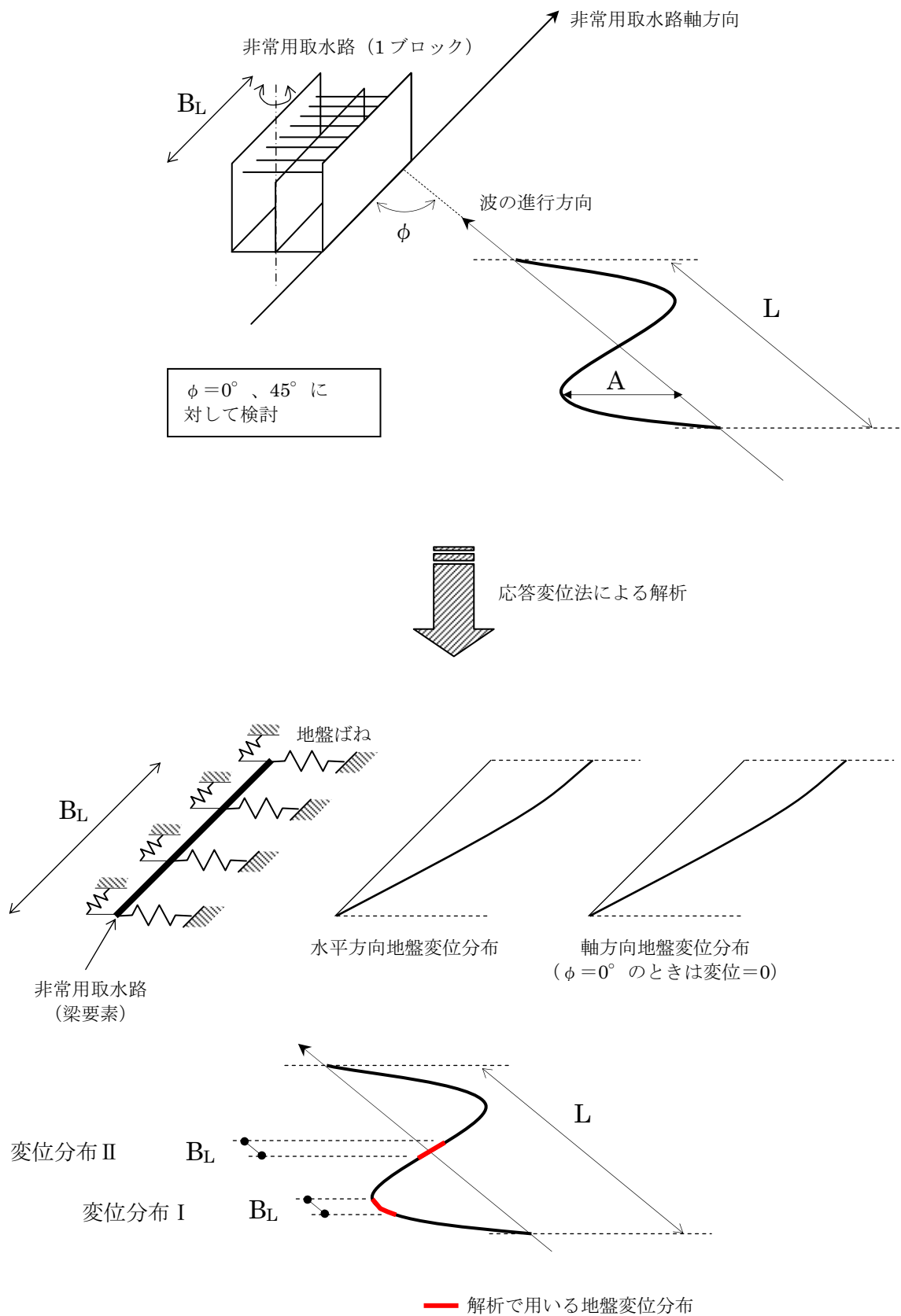
参図-13.1 1号機非常用取水路のブロック分割

(2) 応力度に関する評価

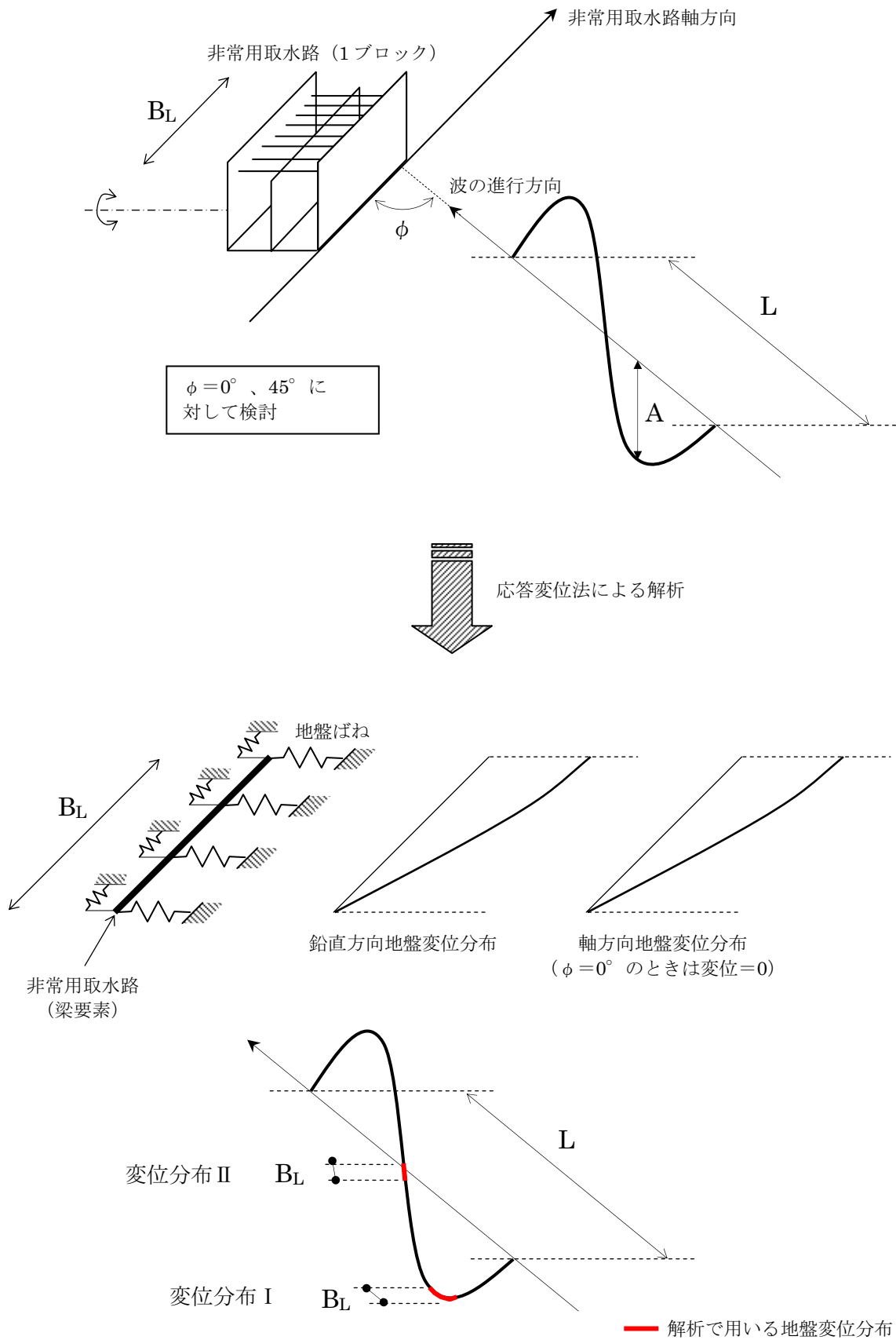
(1)で述べたとおり、軸方向のブロック間には耐震ジョイントが設けられ、軸方向に応力が伝達しない設計となっている。そこで、軸方向の応力度の評価にあたっては、単独のブロックでの解析を行い、そこで得られた断面力に基づいて応力度を評価する。

評価対象は、非常用取水路とし、ブロック長については、非常用取水路の最も長いブロック長である24.8mとした。これは、ブロック長が長いほど軸方向の曲げ剛性は低くなり、曲げ応力度の照査がより厳しくなることを考慮したものである。

検討方法の概念は参図-13.2に示すとおりであり、梁要素と地盤ばねからなる非常用取水路1ブロックの解析モデルに、静的に地盤変位分布（水平方向および鉛直方向）を与えて断面力を算出し、応力度を照査する。

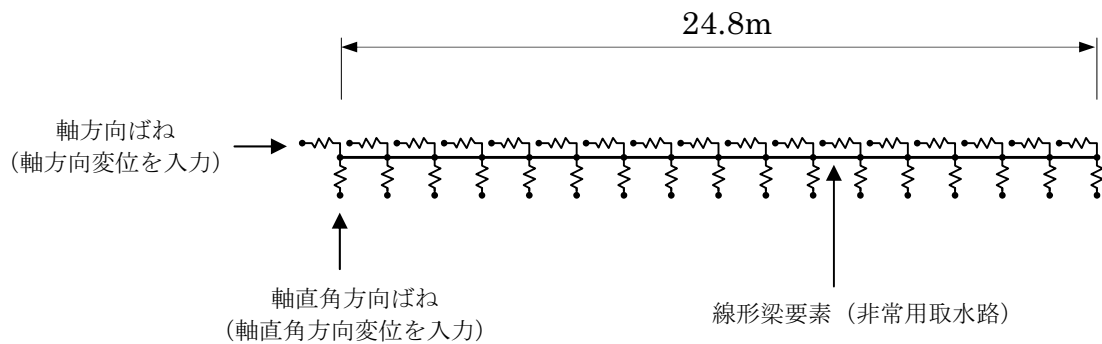


参図-13.2(a) 軸方向の検討方法の概念 (水平方向)



参図-13.2(b) 軸方向の検討方法の概念 (鉛直方向)

解析モデルを参図-13.3 に示す。構造物の全長は、非常用取水路の最大ブロック長を参照して 24.8m とする。地盤ばねは「道路橋示方書・同解説 下部構造編、日本道路協会、平成 14 年 3 月」の考え方に従い、地盤物性値から推定される地盤反力係数を用いて、経験式に基づき算定する。解析に用いた諸定数を参表-13.1 に示す。



※ 別途算定した変位分布に従い、軸直角方向変位および軸方向の変位を各節点の地盤ばねを介して入力。

参図-13.3 解析モデル

参表-13.1 解析に用いた諸定数

	ヤング率 E (kN/mm ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)	断面積 A (m ²)	軸方向 ばね定数 K ₁ (kN/m)	軸直角方向 ばね定数 K ₂ (kN/m)
水平変位 入力モデル	33.8	581.0	38.2	4.69×10 ⁴	6.78×10 ⁴
鉛直変位 入力モデル	33.8	340.6	38.2	4.69×10 ⁴	5.74×10 ⁴

※K₁、K₂は単位長さあたりのばね定数

地盤ばねに与える地盤変位は、「共同溝設計指針、日本道路協会、昭和 61 年 3 月」の考え方に従い、以下のとおり算出する。

非常用取水路における地盤の波長と最大変位振幅を参表-13.2 に示す。

$$\text{波長 } L = \frac{2L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L_1 = V_{DS} \times T_S, \quad L_2 = V_{BS} \times T_S$$

ここに、

V_{DS} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

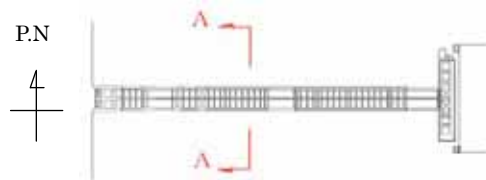
V_{BS} : 基盤のせん断弾性波速度 (m/s)

T_S : 表層地盤の固有周期 (s)

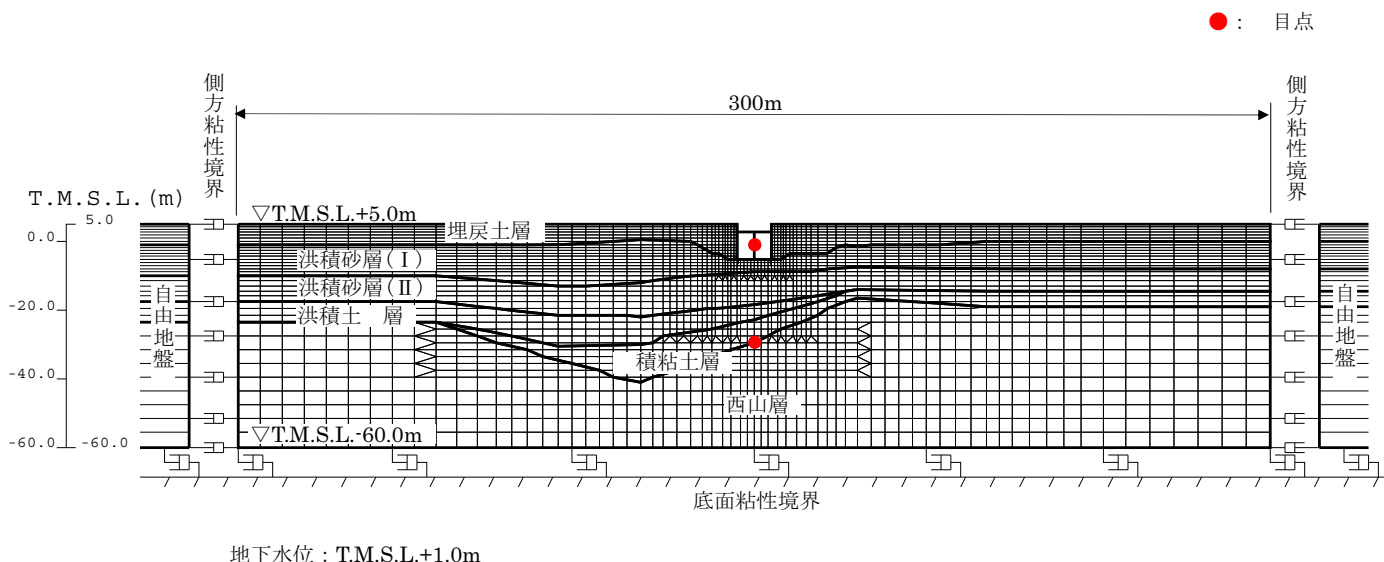
最大変位振幅 A : 非常用取水路の二次元地盤—構造物連成モデル部材非線形解析 (本編 5.5 参照) における構造物高さ中心—西山層上面間の最大相対変位 (水平方向および鉛直方向) (参図-13.4)

参表-13.2 非常用取水路における地盤の波長と最大変位振幅

	波長 L (m)	最大変位振幅 A (mm)
水平方向	251.4	199
鉛直方向	251.4	55.6



断面図



参図-13.4 非常用取水路高さ中心-西山層上面間の最大相対変位算出位置

解析モデルに作用させる変位分布は、構造物の軸方向と波の進行方向がなす角を 0° と 45° に仮定し、参図-13.2 のように水平変位および鉛直変位についてそれぞれ 2 種類の変位分布を設定する。変位分布 I は変位の変化率が大きくなり、変位分布 II はブロック両端の相対変位が大きくなる。

曲げ・軸力による照査結果を参表-13.3 に、せん断力による照査結果を参表-13.4 に示す。軸方向に発生する応力はコンクリート引張強度に対して最大で $1/14$ 程度であり、発生せん断力もせん断耐力に対して十分に小さい。

なお、1号機非常用取水路のコンクリート躯体の目視点検結果によれば、軸方向の曲げおよびせん断に起因するひび割れおよび剥離・剥落は認められず、上記の解析による評価は点検結果と整合している。

参表-13.3 曲げ・軸力による照査結果

	構造物と地震波 進行方向のなす 角度 ϕ (°)	変位 分布	発生応力度 σ_d (N/mm ²)	コンクリート 引張強度 t (N/mm ²)	σ_d / t
水平方向 変位	0	I	0.0840	3.29	0.026
		II	0.00154	3.29	0.00047
	45	I	0.0309	3.29	0.0094
		II	0.233	3.29	0.071
鉛直方向 変位	0	I	0.0468	3.29	0.014
		II	0.000860	3.29	0.00026
	45	I	0.0169	3.29	0.0051
		II	0.0652	3.29	0.020

参表-13.4 せん断力による照査結果

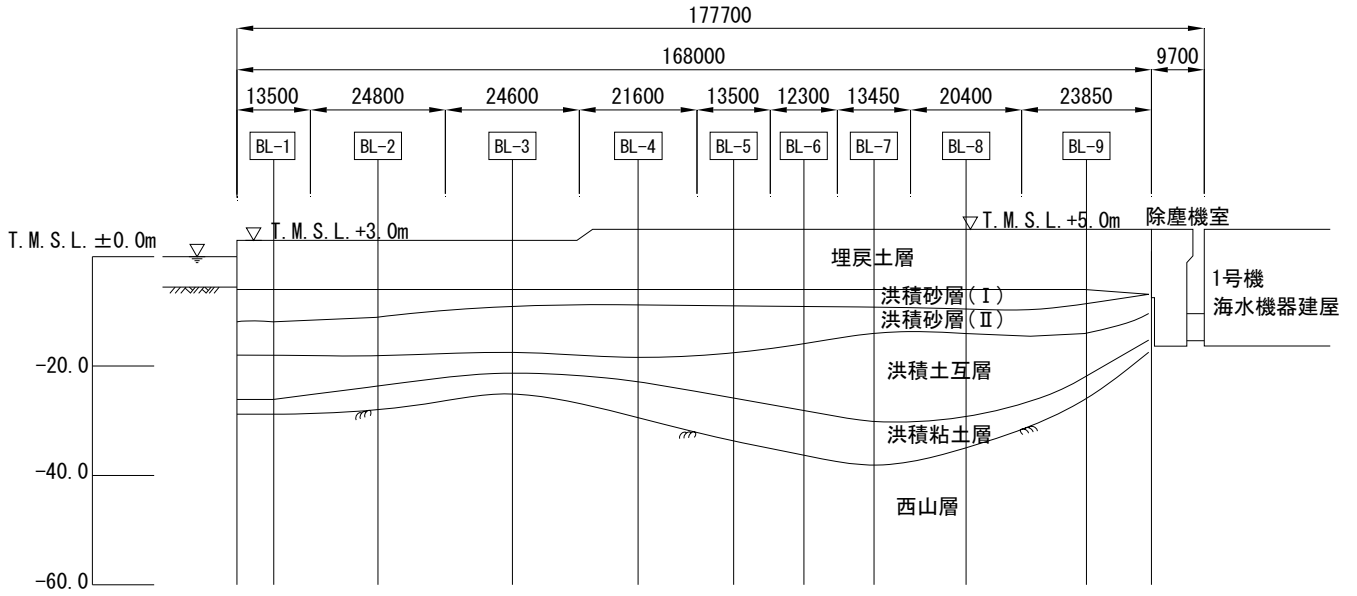
	構造物と地震波 進行方向のなす 角度 ϕ (°)	変位 分布	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	V_d / V_{yd}
水平方向 変位	0	I	1040	34300	0.030
		II	42.5	34300	0.0012
	45	I	368	31900	0.012
		II	10.7	30100	0.00035
鉛直方向 変位	0	I	245	104000	0.0024
		II	10.1	104000	0.000097
	45	I	87.0	103000	0.00085
		II	2.44	102000	0.000024

(3) ブロック間相対変位量に関する評価

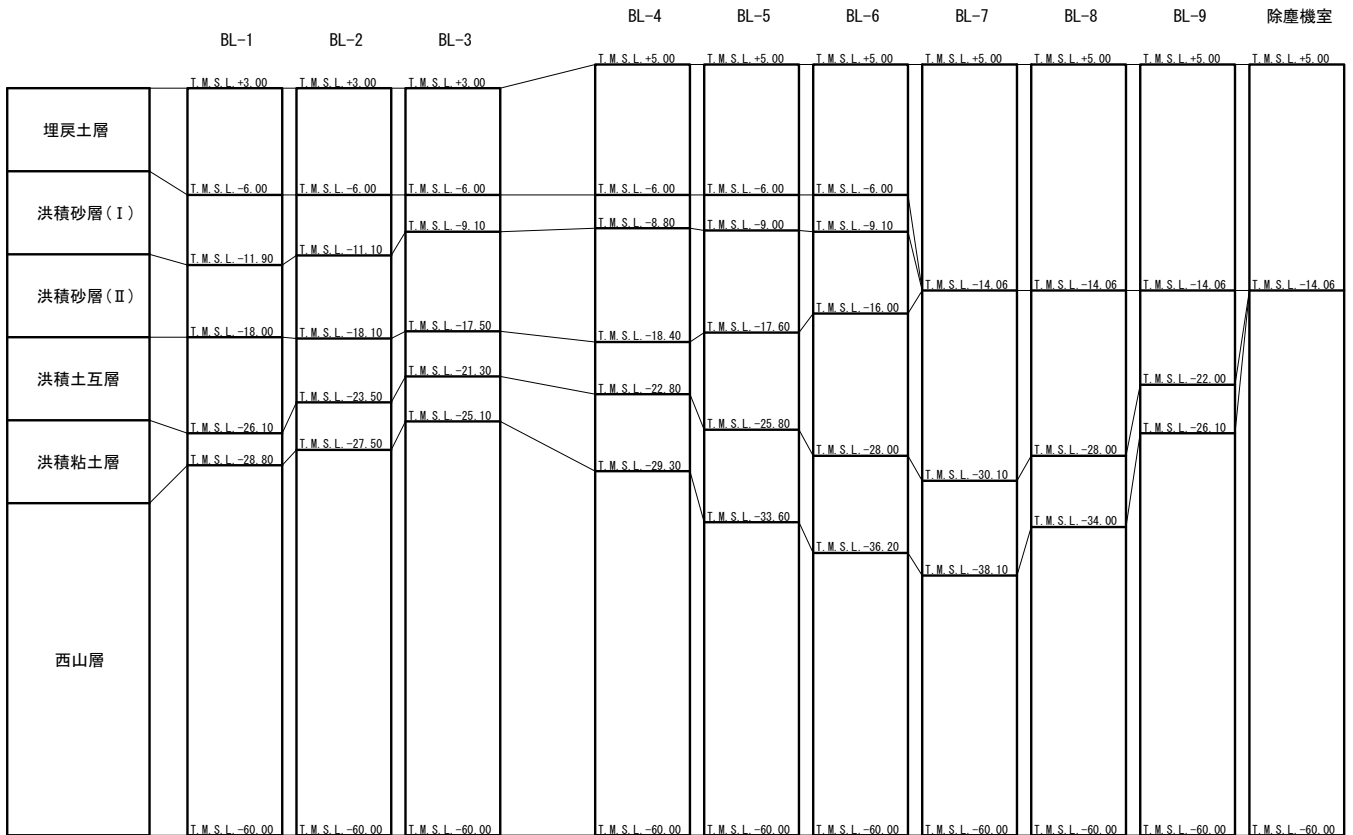
非常用取水路のブロック間相対変位の検討結果を以下に示す。ブロック間相対変位は地盤の非線形性を考慮した一次元地震応答解析によって検討するものとし、解析に用いる地盤モデルは、参図-13.5 に示す地質縦断図に基づいて非常用取水路の各ブロック間ごとに作成している。一次元地盤モデルを参図-13.6 に示す。

ブロック間の相対変位量は、地震応答解析結果から、各ブロックの構造物設置レベル (T. M. S. L. -6.0m) の変位時刻を算出し、接するブロックの変位時刻からブロック間の相対変位時刻を算出することによって評価する。

一次元地震応答解析の結果から算出した各ブロック間の最大相対変位量を参表-13.5 に示す。接するブロック間の最大相対変位量は、地表面レベルが 3m から 5m に変化する BL-3 と BL-4 の間、地層構成が比較的大きく変化する BL-8 と BL-9 の間、および BL-9 と除塵機室の間で大きい。いずれのブロック間の最大相対変位量も、耐震ジョイントの限界性能 (び 300mm、ずれ 400mm) を上回らないことを確認した。



参図-13.5 地質縦断図



参図-13.6 一次元地盤モデル

参表-13.5 ブロック間最大相対変位量

単位 [mm]

間	軸方向		軸直交方向	
	最大水平 相対変位	最大鉛直 相対変位	最大水平 相対変位	最大鉛直 相対変位
[BL-1]-[BL-2]	31.0	0.1	18.0	0.1
[BL-2]-[BL-3]	56.0	0.2	31.3	0.2
[BL-3]-[BL-4]	118	0.5	70.4	0.6
[BL-4]-[BL-5]	68.0	0.4	39.0	0.3
[BL-5]-[BL-6]	36.0	0.2	21.0	0.2
[BL-6]-[BL-7]	62.1	0.2	13.0	0.2
[BL-7]-[BL-8]	69.0	0.3	47.0	0.2
[BL-8]-[BL-9]	118	0.7	97.3	0.6
[BL-9]-[除塵機室]	182	0.9	118	0.8

(4) まとめ

1号機非常用取水路について、軸方向の応力度と、ブロック間相対変位量について検討を行った。

軸方向に発生する応力はコンクリート引張強度に対して十分に小さく、発生せん断力もせん断耐力に比べて十分に小さいことを確認した。

また、接するブロック間の相対変位により、取水機能に影響が及ばないことを確認した。

参考資料14 地震応答解析結果に基づく地盤支持力の評価

(1) 原子炉建屋・タービン建屋・海水機器建屋

原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づく入力地震動を用いた地震応答解析結果^{※1}に基づく原子炉建屋・タービン建屋・海水機器建屋の接地圧を参表-14.1～3に示す。地盤の短期許容支持力度は、原子炉建屋は 3922kN/m^2 (400tf/m^2)、タービン建屋および海水機器建屋は 3628kN/m^2 (370tf/m^2) であり、地震時接地圧に対して十分な余裕がある。

※1 水平地震動による応力と鉛直地震動による応力とを組み合わせる。

参表-14.1 地震応答解析結果に基づく接地圧（原子炉建屋）

原子炉建屋	南北	東西	反力分布図
鉛直力 N(kN)	6,057,643	5,001,945	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">[南北方向]</div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">[東西方向]</div> </div> </div>
転倒モーメント M($\times 10^5$ kN・m)	471.54	855.64	
最大接地圧※ (kN/m ²)	1,198	1,410	

※：地盤の短期許容支持力度 3,922kN/m²

参表-14.2 地震応答解析結果に基づく接地圧（タービン建屋）

タービン建屋	南北	東西	反力分布図
鉛直力 N(kN)	4,233,743	4,347,155	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">[南北方向]</div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 10px;">[東西方向]</div> </div> </div>
転倒モーメント M($\times 10^5$ kN・m)	332.18	532.21	
最大接地圧※ (kN/m ²)	443	624	

※：地盤の短期許容支持力度 3,628kN/m²

参表-14.3 地震応答解析結果に基づく接地圧（海水機器建屋）

海水機器建屋	南北	東西	反力分布図
鉛直力 N (kN)	533,725	551,075	[南北方向] 52.0m 341 kN/m ²
転倒モーメント M (×10 ⁵ kN・m)	33.25	42.48	[東西方向] 388 kN/m ²
最大接地圧※ (kN/m ²)	341	388	

※：地盤の短期許容支持力度 3,628kN/m²

(2) 屋外重要土木構造物

原子炉建屋基礎版上の観測記録に基づく入力地震動を用いた地震応答解析結果における、屋外重要土木構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力（V）および設置地盤の極限支持力（ Q_u ）を参表-14.4 に示す。支持層が洪積層である非常用取水路の極限支持力は、「道路橋示方書・同解説 下部構造編、日本道路協会、平成14年3月」に基づき算定し、また、支持層が西山層である原子炉補機冷却系配管ダクトおよび非常用ガス処理系配管ダクトの極限支持力は、原位置岩盤支持力試験の最大荷重に基づき設定した。非常用取水路、原子炉補機冷却系海水配管ダクト（A系）、同（B系）および非常用ガス処理系配管ダクトの各断面において、鉛直方向の合力は設置地盤の極限支持力を下回ることを確認した。

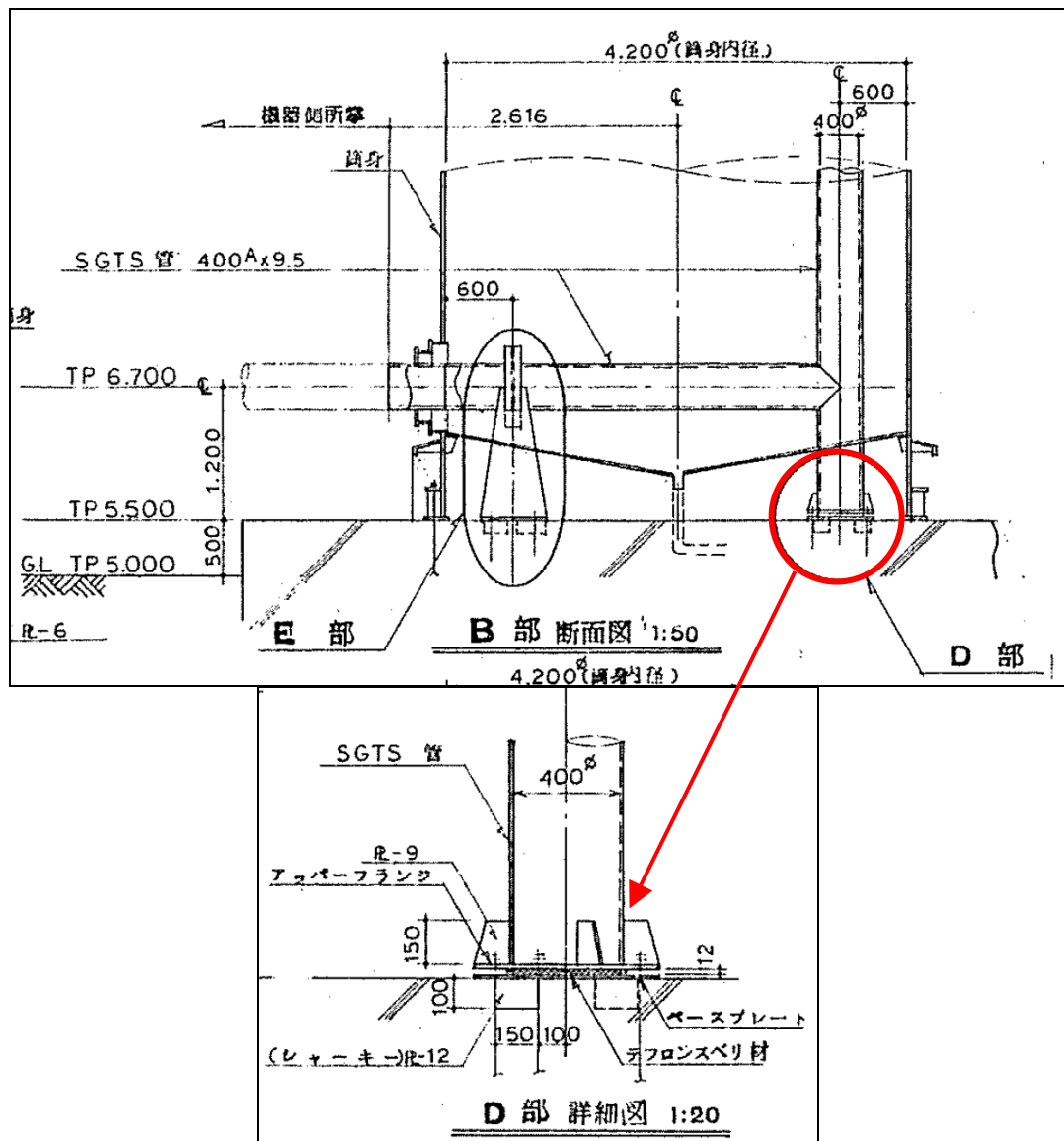
参表-14.4 極限支持力に関する検討結果

	鉛直力 [※] V (kN)	極限支持力 [※] Q_u (kN)	Q_u/V
非常用取水路	2,490	27,400	11
原子炉補機冷却用配管ダクト（A系）	4,290	60,400	14
原子炉補機冷却用配管ダクト（B系）	5,450	70,800	13
非常用ガス処理系配管ダクト	1,770	26,700	15

※ 鉛直力（V）および極限支持力（ Q_u ）は奥行き1m当りの値である。

参考資料 15 非常用ガス処理系用排気筒脚部のコンクリートの評価について

非常用ガス処理系 (SGTS) 用排気筒は、熱による変形を考慮し、上下方向は拘束せず、水平方向のみを拘束した構造となっている。また、SGTS 用排気筒脚部は、参図-15. 1 に示すとおり、筒身基礎にベースプレートとアンカーボルトによって直接支持されており、自重や地震時に発生する応力を筒身基礎に伝達できる構造となっている。したがって、SGTS 用排気筒による軸力が全て筒身基礎に作用することとなり、当該部位について健全性評価を行う。



参図-15. 1 1号機 SGTS 用排気筒脚部詳細図 (建設時設計図より抜粋)

新潟県中越沖地震に対する健全性評価にあたっては、SGTS 用排気筒について地震力を上向きと下向きに検討している。

上向きに地震力を考慮した場合の断面検討用軸力は 118.0kN であり、引張力は作用していない。また、軸力の大きな下向きの地震力を考慮した場合の断面検討用軸力は 167.8kN であり、ベースプレート下面に発生する応力は 0.51N/mm^2 となる。これに対して、コンクリートの短期許容応力度は 29.4N/mm^2 であり、健全性は確保されているものと評価できる。