

# 柏崎刈羽原子力発電所1・7号機

## 新潟県中越沖地震に対する 地震応答解析結果について

平成20年1月11日

東京電力株式会社



東京電力

---

# 地震応答解析の位置付け

## ■ 地震応答解析の目的

- ✓ 地震荷重を受けた設備に発生した応力について、妥当な範囲で実際の状態における評価を解析的手法により実施

## ■ 地震応答解析に用いる地震動

- ✓ 耐震小委第6回構造WGにて審議された1・7号機原子炉建屋の建屋応答を用いて、原子炉建屋内の設備について地震応答解析を実施

## ■ 地震応答解析の方法

- ✓ 平成19年11月9日の経済産業省の指示文書※1を受け、平成19年11月27日に点検・評価計画書※2を提出するとともに、第2回設備健全性評価SWGにて審議
- ✓ 上記SWGで審議された地震応答解析方法に基づき設備の地震応答解析を実施（参考資料参照）

※1 平成19・11・06原院第2号 新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について

※2 柏崎刈羽原子力発電所7号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書（1号機についても同様の点検・評価計画書を提出する予定）

---

# 7号機解析結果

# 7号機評価結果（主要設備の構造強度評価）

確認対象	固有周期※1	応力分類	算出値 (N/mm <sup>2</sup> ) ※2	許容応力(Ⅲ <sub>A</sub> S) (N/mm <sup>2</sup> ) ※2	評価方法※3
原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	0.07	引張	120	490	A
炉心支持構造物 (シュラウドサポート)	0.14	軸圧縮	40	240	B
残留熱除去系配管	0.21	一次	200※4	270	B
残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	0.05以下	せん断	10	350	A
主蒸気系配管	0.17	一次	140※4	280	B
原子炉格納容器 (ドライウェル)	0.43 (NS) ※5 0.42 (EW)	曲げ	30	260	A

		寿命初期	寿命中期	寿命末期	評価方法※3
燃料被覆管（支持格子間）	許容応力に対する比	0.35	0.21	0.22	B

※1 固有周期は水平方向，小数第3位を四捨五入したものを記載

※2 算定値は1桁目を切り上げ，許容応力は1桁目を切り捨てた数値を記載

※3 Aは「簡易評価」，Bは「設計時と同等の評価」を示す

※4 第2回設備健全性評価SWG（平成19年11月27日）に提示した値から変更（残留熱除去系配管：260N/mm<sup>2</sup>，主蒸気系配管：160N/mm<sup>2</sup>から変更，5頁に詳細説明）

※5 当該部位（ドライウェルヘッド部）は剛構造のため，格納容器全体の固有周期を記載

# 7号機評価結果（主要設備の動的機能維持評価）

確認対象	固有周期 <sup>※1</sup>	相対変位 (mm)	
		算出値 <sup>※2</sup>	機能確認済相対変位 <sup>※2</sup>
制御棒挿入性	0.21	10	40

確認対象	固有周期 <sup>※1</sup>	水平加速度 (G <sup>※3</sup> )		鉛直加速度 (G <sup>※3</sup> )	
		算出値 <sup>※4</sup>	機能確認済 加速度	算出値 <sup>※4</sup>	機能確認済 加速度
残留熱除去系ポンプ	0.05以下	0.4 <sup>※5</sup>	10.0	0.4 <sup>※5</sup>	1.0

※1 固有周期は水平方向，小数第3位を四捨五入したものを記載

※2 算出値は1桁目を切り上げ，機能確認済相対変位は1桁目を切り捨てた数値を記載

※3  $G=9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

※4 算出値は小数第2位を切り上げた数値を記載

※5 第2回設備健全性評価SWG（平成19年11月27日）に提示した値から変更（0.5から変更）。

床加速度の1.2倍を用いていたが，JEAG4601に従い床加速度の1.0倍を用いた。

【原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1991追補版）の記載】

動的機能維持評価の基本的な考え方

・剛な場合の静的応答解析は床加速度の1.0倍<sup>注)</sup>を用いる。

注) 強度設計では剛な場合の地震力として床加速度の1.2倍を用いて支持部の強度計算等を行っている。

## 第2回設備健全性評価SWG（平成19年11月27日）の値からの変更

### ■ 水平及び上下地震動による荷重の組合せを変更

	残留熱除去系配管			主蒸気系配管		
	設計時	11/27	今回	設計時	11/27	今回
水平地震動	動的(S2)	動的(中越沖地震)		動的(S2)	動的(中越沖地震)	
上下地震動	静的(0.29G)	動的(中越沖地震)		静的(0.29G)	動的(中越沖地震)	
水平・上下組合せ	絶対値和	絶対値和	SRSS	絶対値和	絶対値和	SRSS

#### ● 現行の耐震設計手法

動的な水平方向の地震による荷重と静的な上下方向の地震による荷重を絶対値和

#### ● 上下地震動を考慮した耐震設計手法

上下地震動を動的に扱い、一方、水平との組合せについてはSRSS(2乗和平方根)を用いることについて、時刻歴解析との比較検討などから、その妥当性が確認されている

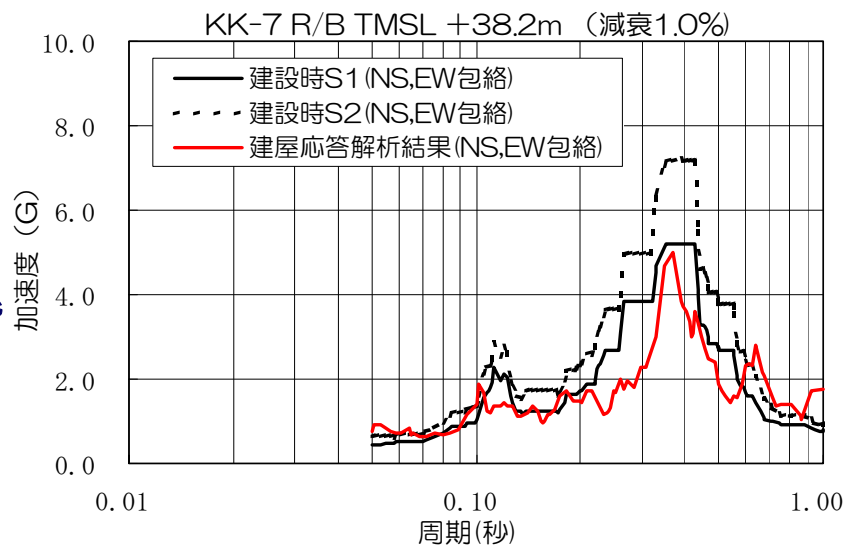
「(財)原子力発電技術機構(2001)耐震設計高度化調査 原子炉建屋・機器の水平・上下応答評価法の調査報告書」

上下の地震動を動的に扱っている本地震応答解析では、今後、水平・上下の荷重組合せにSRSSを用いる

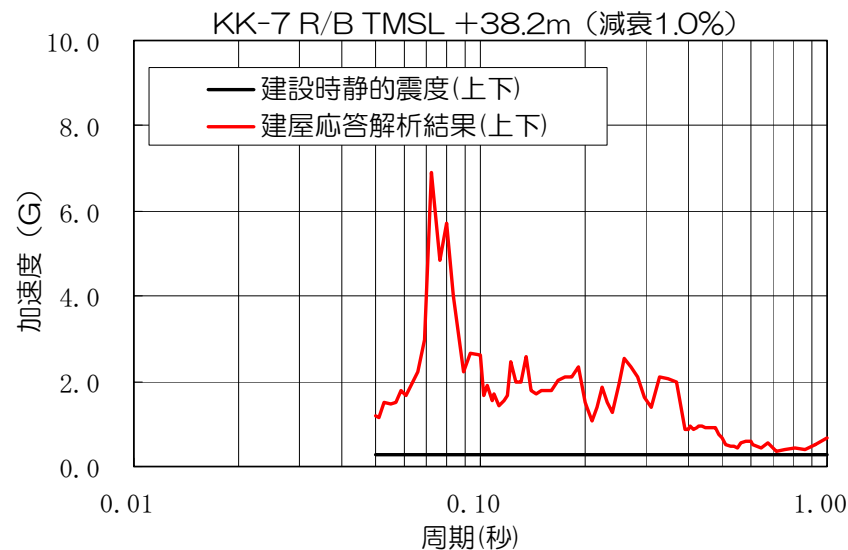
# 7号機原子炉建屋 床応答スペクトル (1/4)

天井  
クレーン階

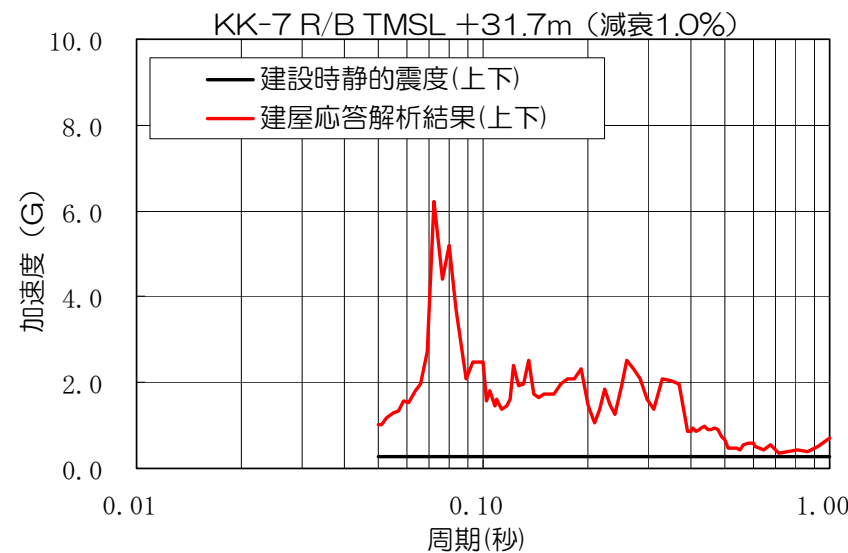
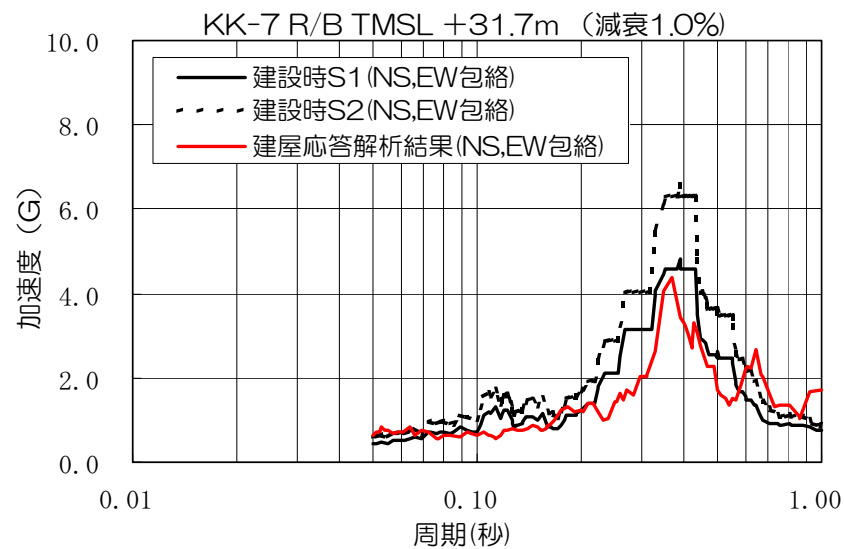
(水平方向)



(上下方向)



4階

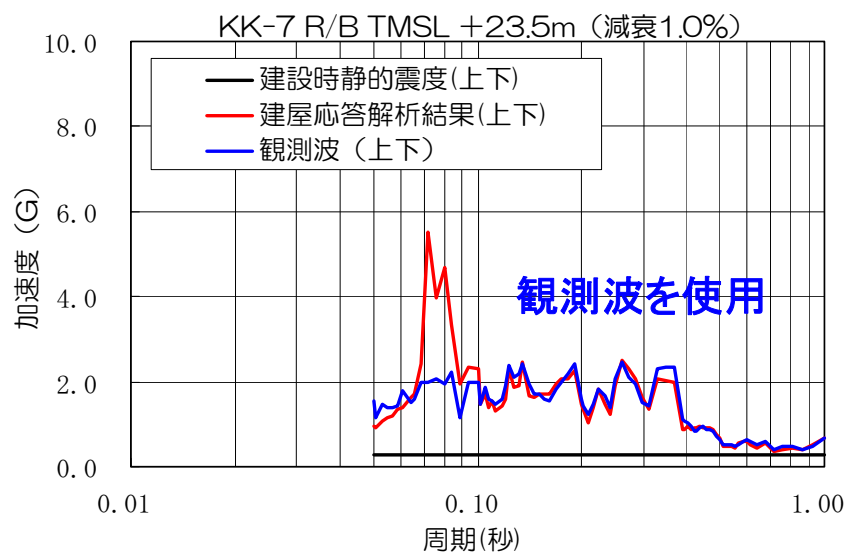
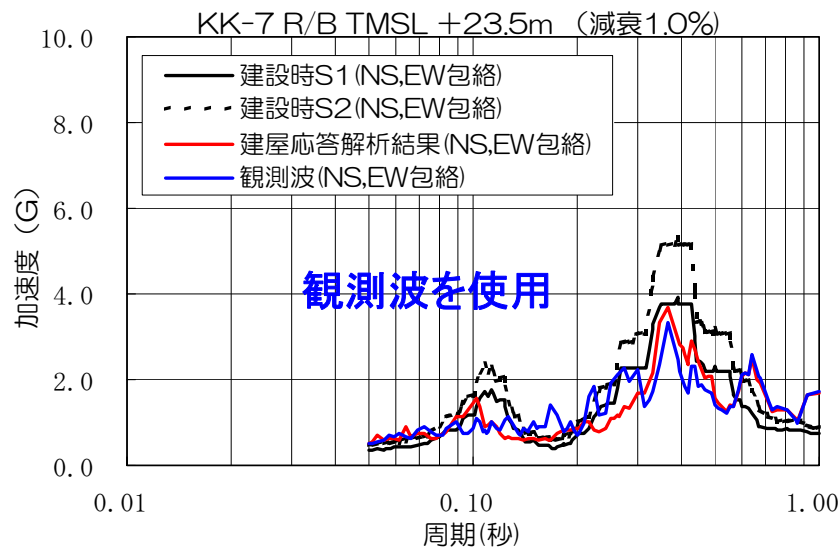


# 7号機原子炉建屋 床応答スペクトル (2/4)

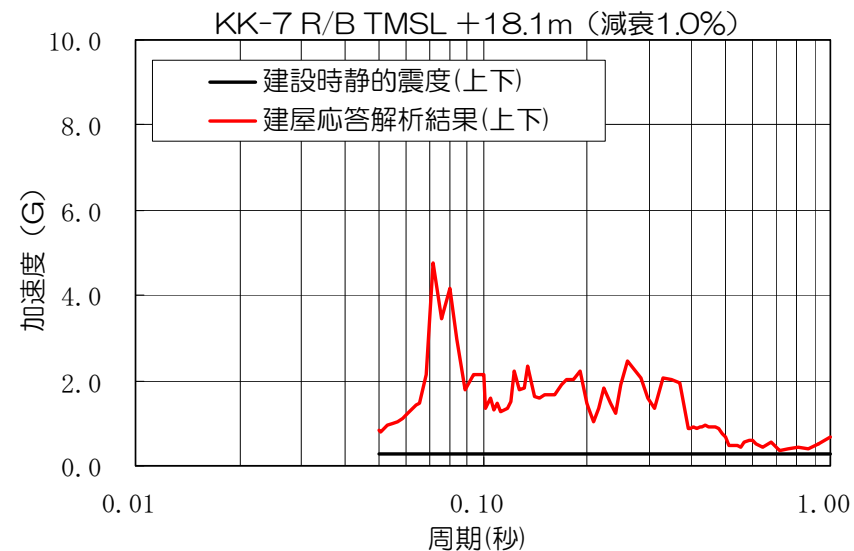
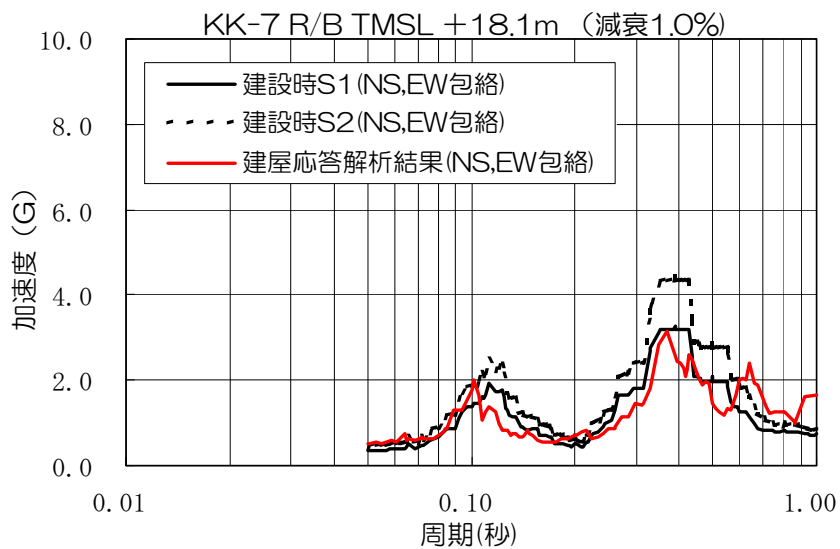
(水平方向)

(上下方向)

3階



2階

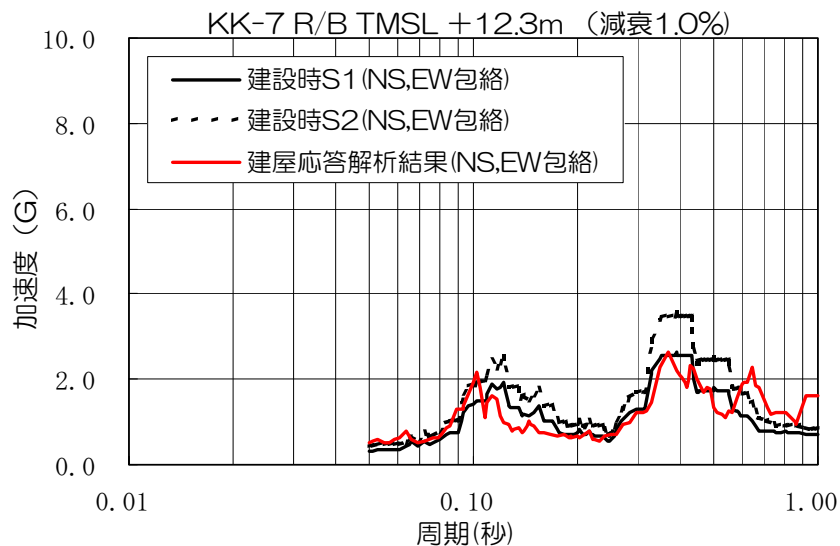




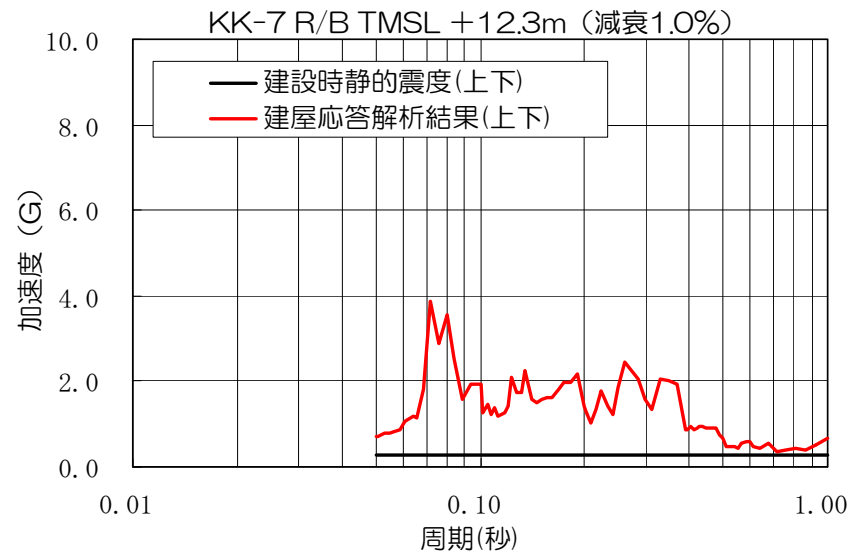
# 7号機原子炉建屋 床応答スペクトル (3/4)

1階

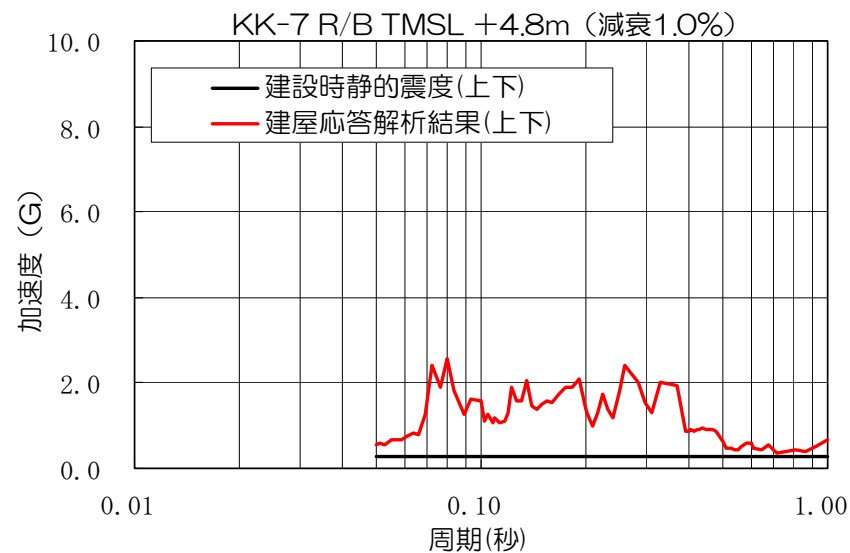
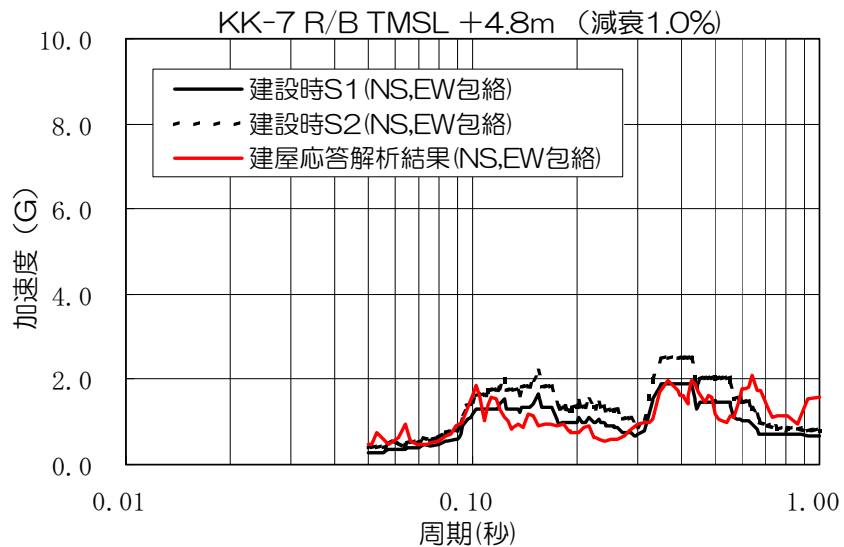
(水平方向)



(上下方向)



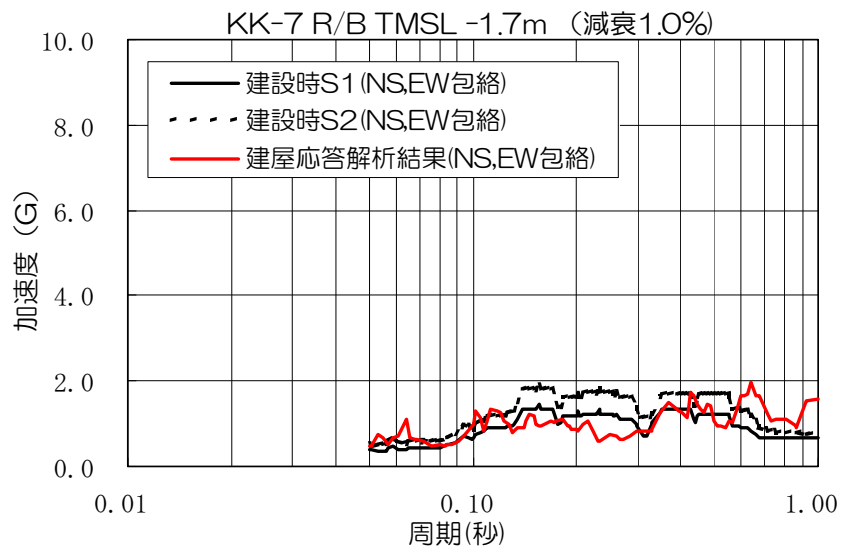
地下1階



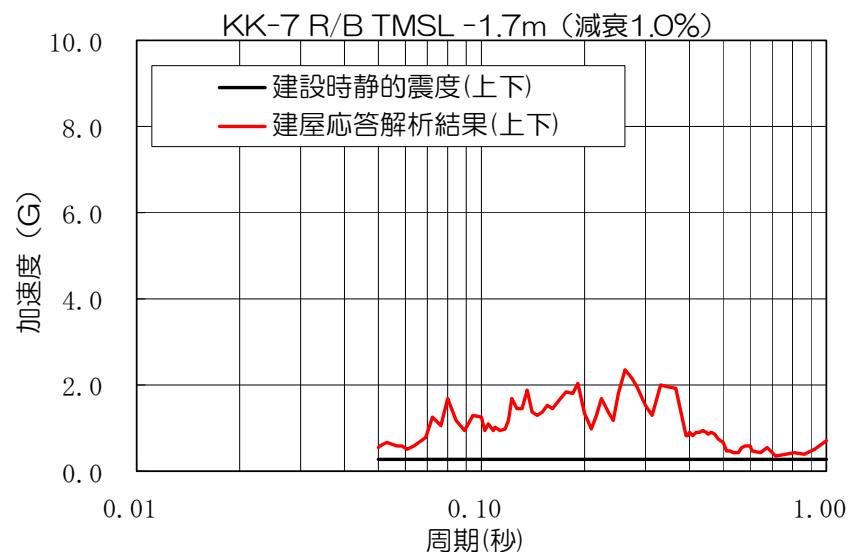
# 7号機原子炉建屋 床応答スペクトル (4/4)

地下  
2階

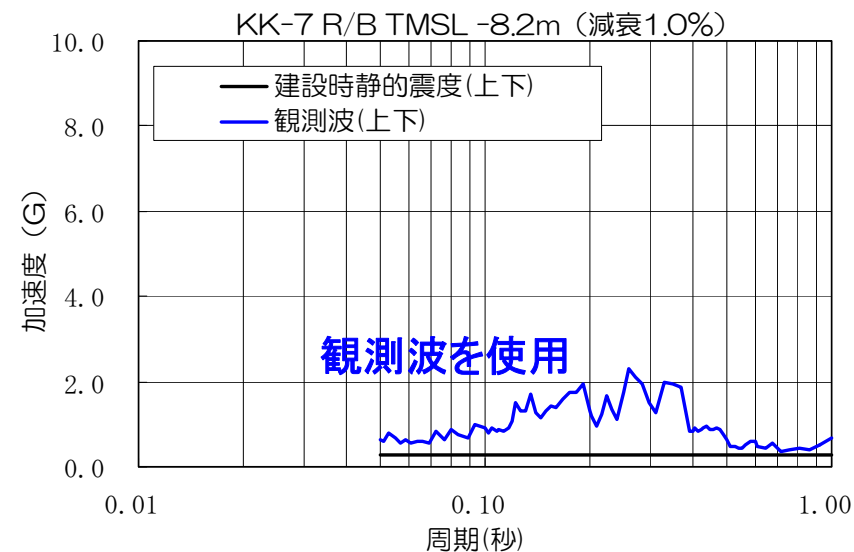
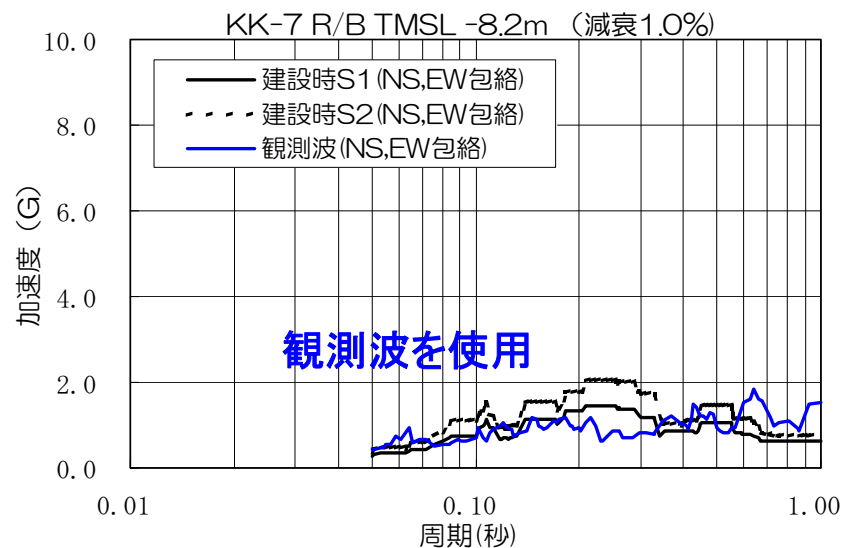
(水平方向)



(上下方向)



基礎版  
上



# 大型機器の地震応答解析用連成モデル（1 / 2）

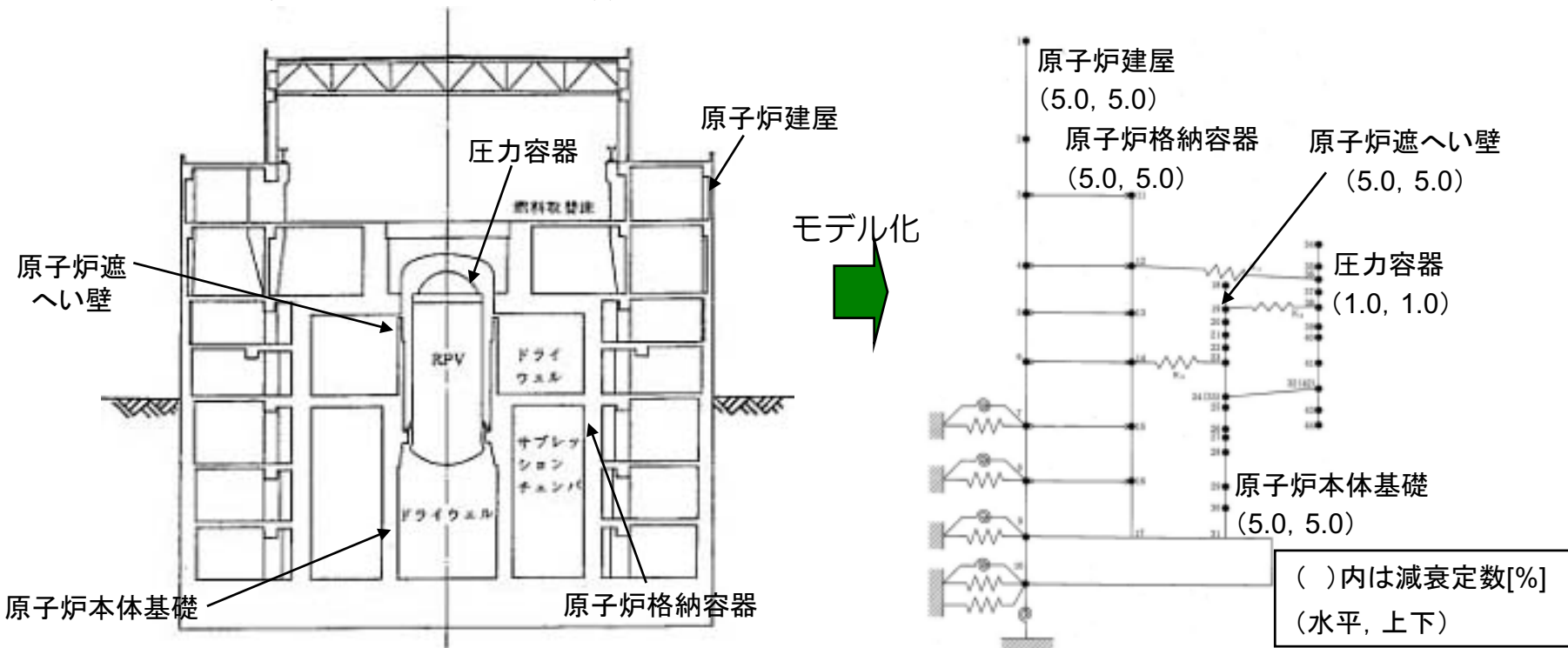
## ■ 大型機器⇒地盤・建屋との連成モデルにより時刻歴解析で地震応答を算定

### ● 工事計画認可に用いたモデルを基本

- ✓ コンクリートのヤング率の算出に実剛性を適用（設計時は設計基準強度）
- ✓ 耐震壁に加え補助壁も剛性に考慮（設計時は耐震壁のみ）

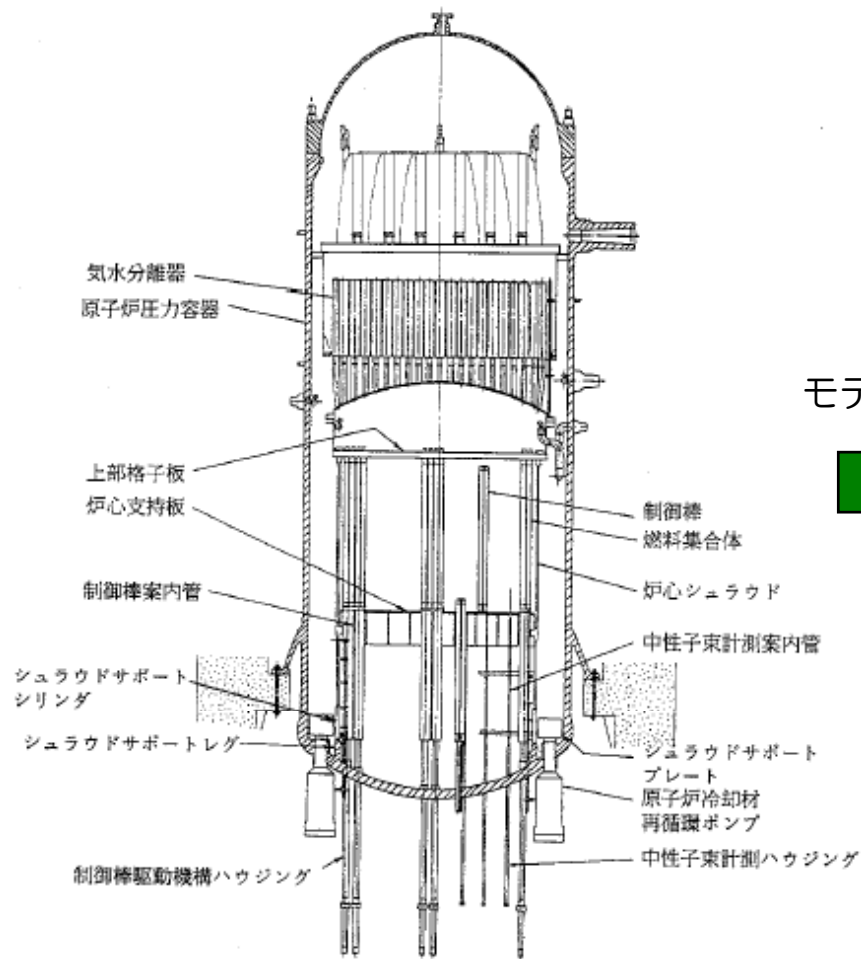
（原子炉格納容器 - 原子炉圧力容器 解析モデル）

- ✓ 原子炉しゃへい壁，原子炉本体基礎，原子炉圧力容器のモデル化

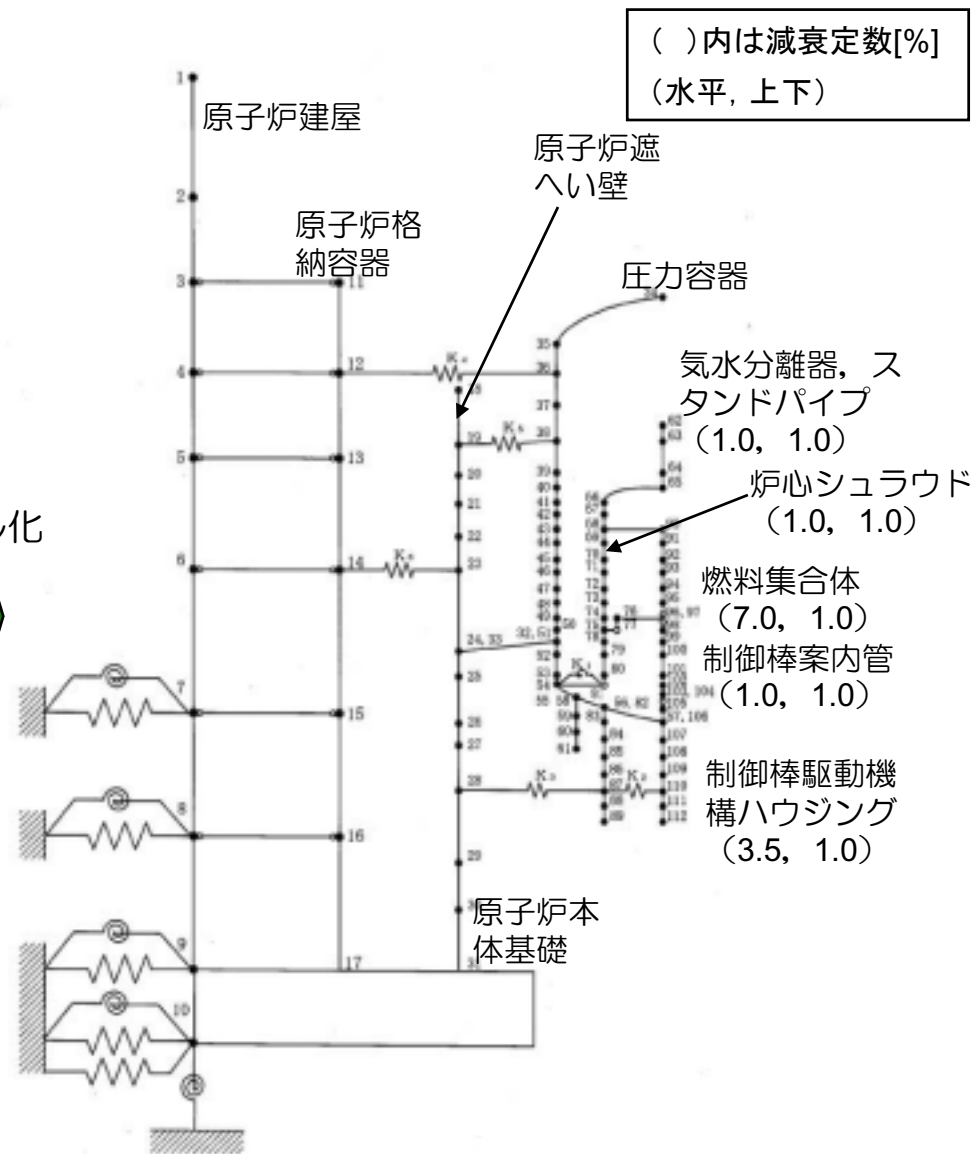


# 大型機器の地震応答解析用連成モデル (2/2)

(炉内構造物解析モデル)



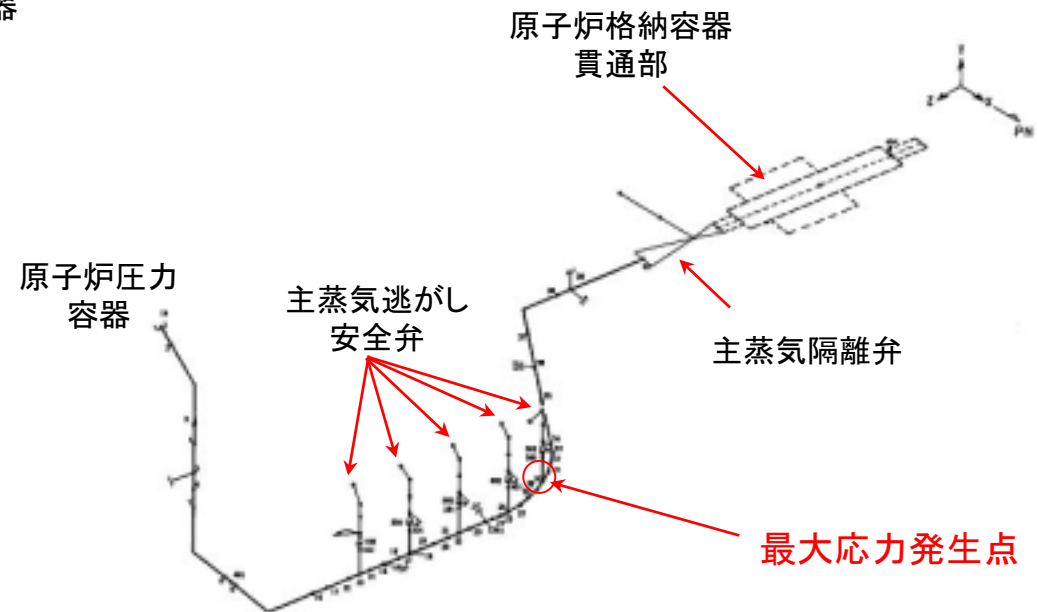
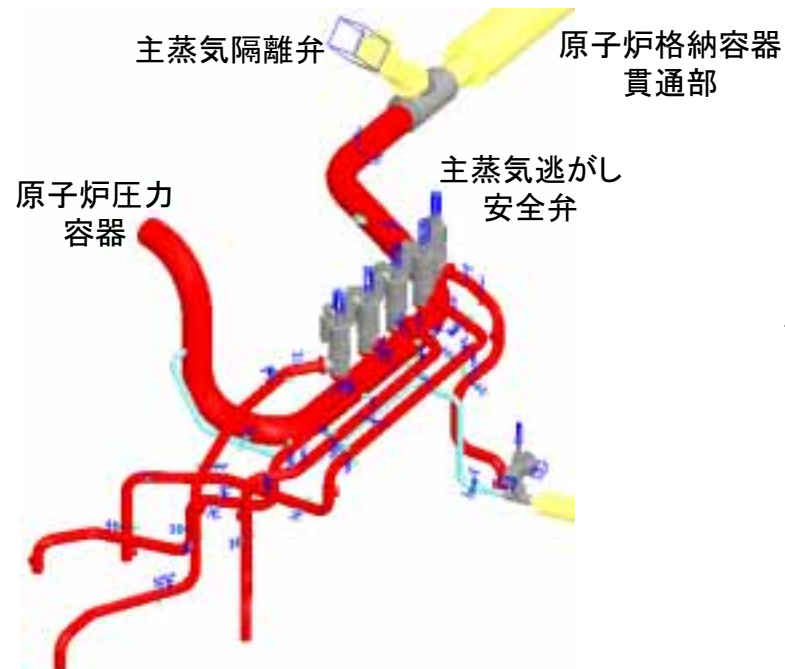
モデル化



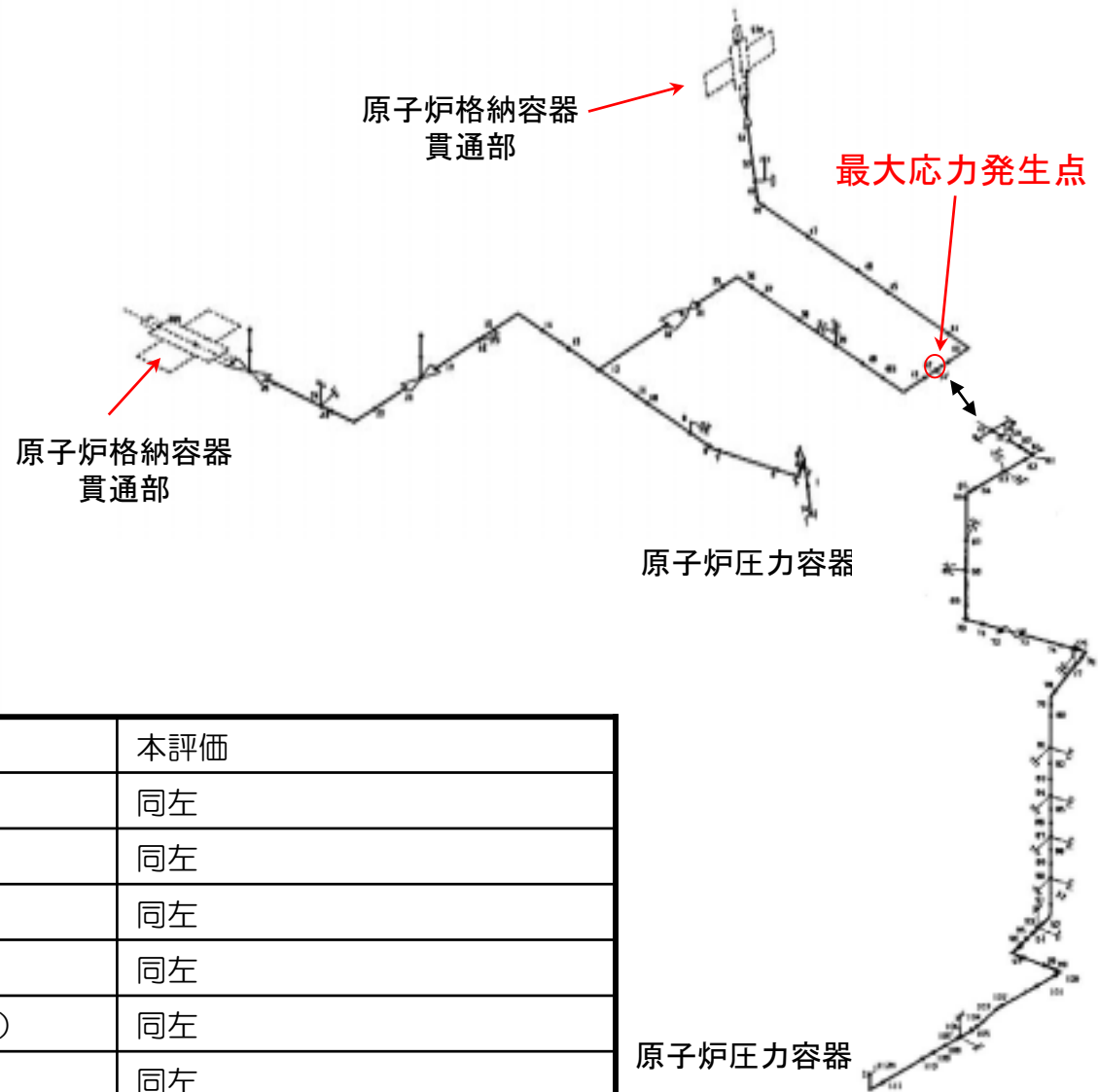
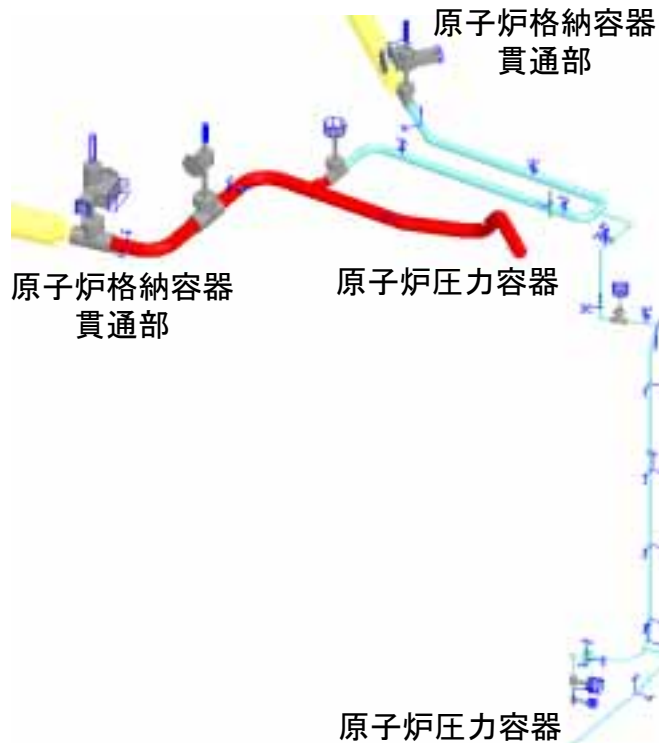
炉内構造物水平方向解析モデル(NS方向)

# 主蒸気系配管解析

○解析条件	設計時	本評価
圧力条件	87.90kg/cm <sup>2</sup>	同左
温度条件	302℃	同左
管外径	711.20mm (主管)	同左
管肉厚	35.70mm (主管)	同左
材料	STS480 (旧記号 STS49) (主管)	同左
減衰定数	2.0%	同左
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動



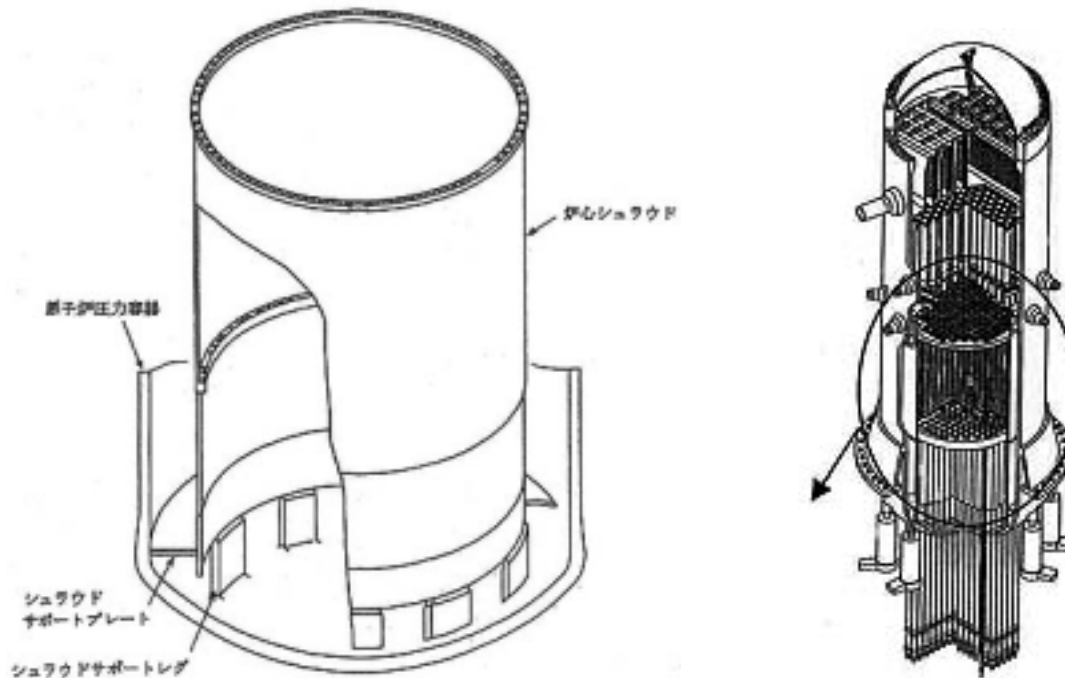
# 残留熱除去系配管解析



○解析条件	設計時	本評価
圧力条件	87.90kg/cm <sup>2</sup>	同左
温度条件	302℃	同左
管外径	216.30mm	同左
管肉厚	15.10mm	同左
材料	STS410 (旧記号 STS42)	同左
減衰定数	2.0%	同左
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動

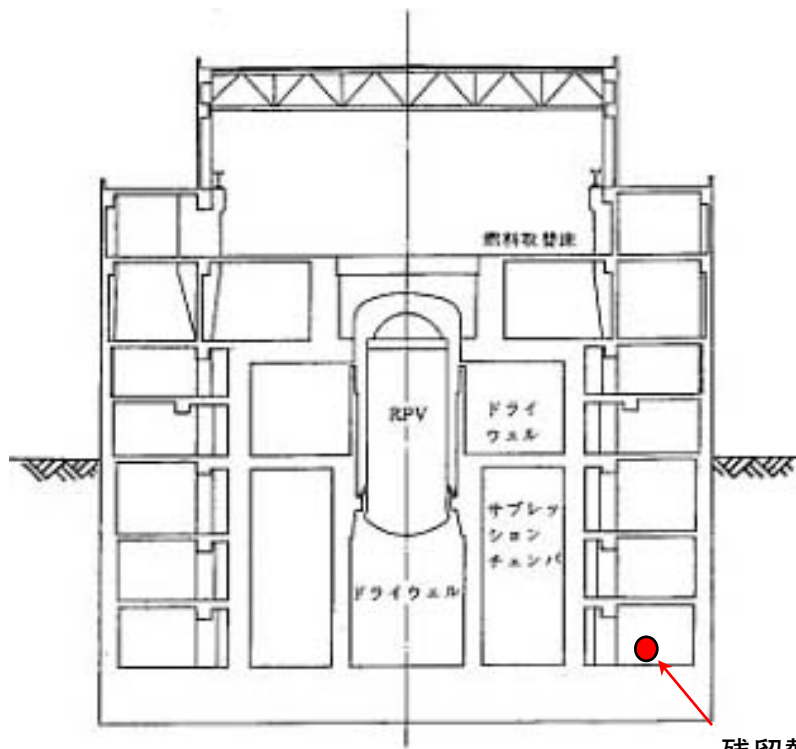
# シュラウドサポートレグ解析

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	299℃	同左
材料	NCF600-P	同左
入力条件	設計用地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力	シミュレーションによる地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力

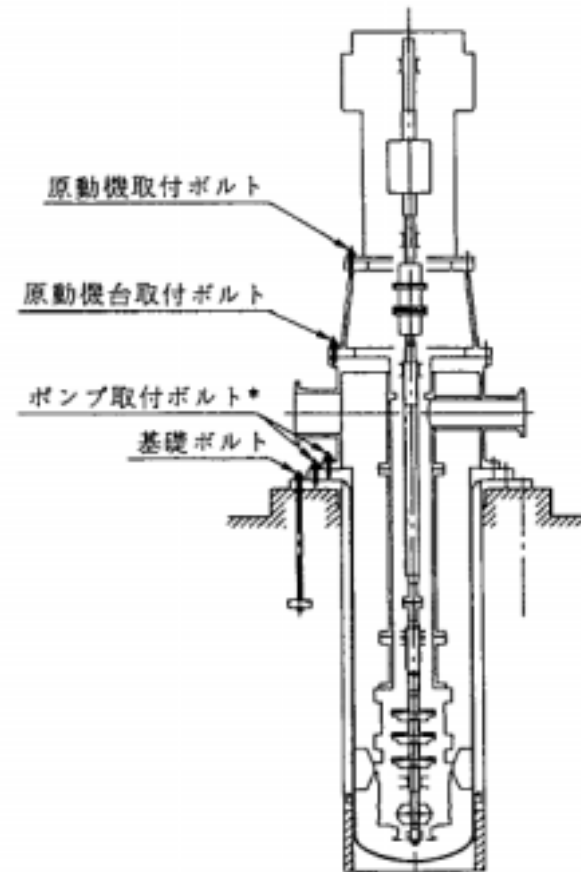


# 残留熱除去系ポンプ基礎ボルト評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	66℃	同左
材料	SCM435	同左
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動



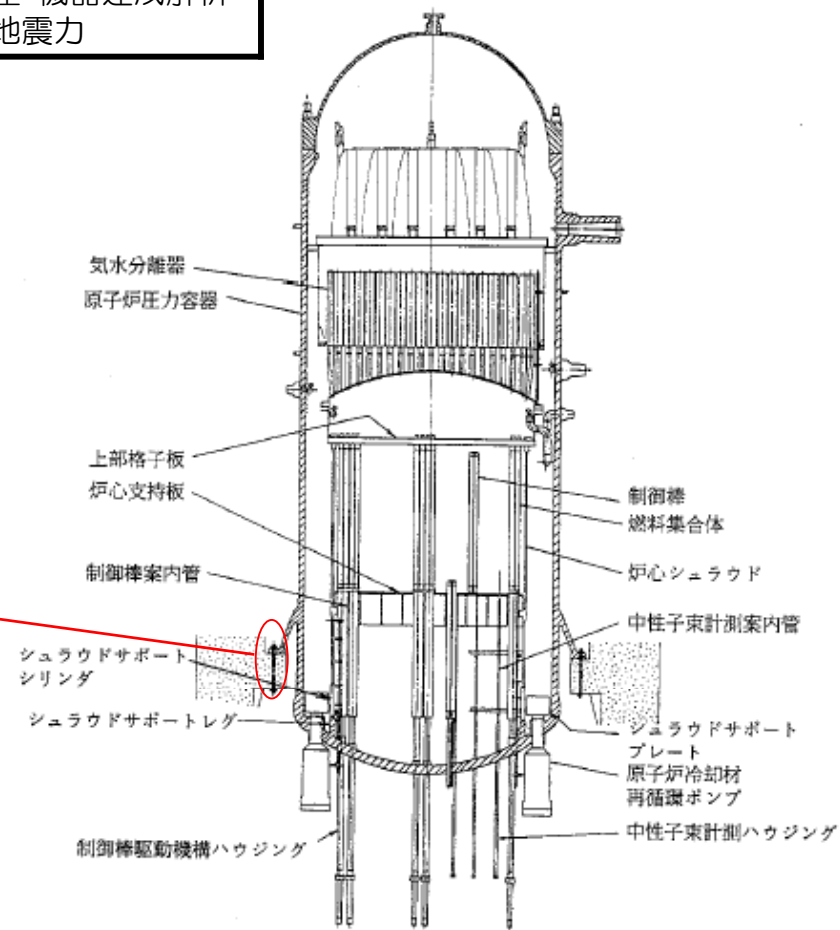
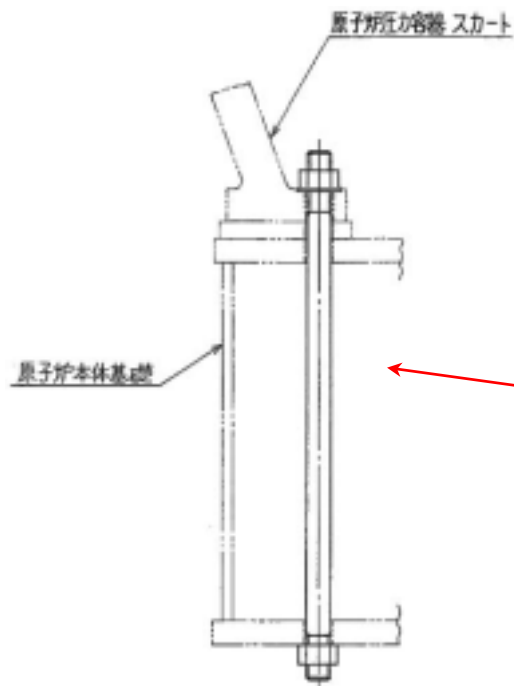
残留熱除去系ポンプ設置レベル





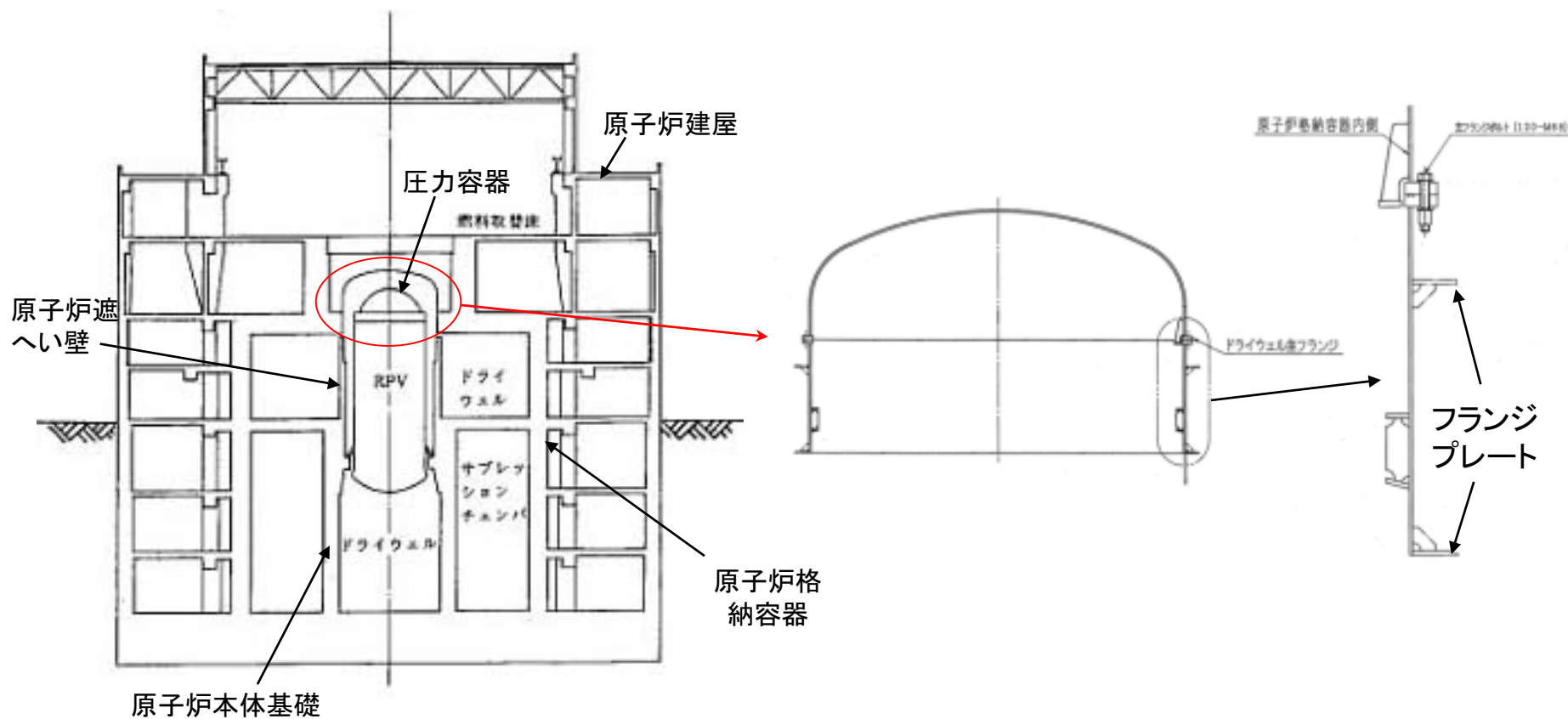
# 圧力容器基礎ボルト評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	57℃	同左
材料	SNCM439	同左
入力条件	設計用地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力	シミュレーションによる地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力



# 原子炉格納容器（ドライウェル）評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	171℃	同左
材料	SGV480（旧記号 SGV49）	同左
入力条件	設計用地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力	シミュレーションによる地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力



---

# 1号機解析結果

# 1号機評価結果（主要設備の構造強度評価）

確認対象	固有周期※1	応力分類	算出値 (N/mm <sup>2</sup> ) ※2	許容応力(Ⅲ <sub>A</sub> S) (N/mm <sup>2</sup> ) ※2, ※3	評価 方法※4
原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	0.11	組合せ	30	490	A
炉心支持構造物 (シュラウドサポート)	0.09	軸圧縮	50	230	B
残留熱除去系配管	0.09	一次	90	270	B
残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	0.05以下	引張	20	490	A
主蒸気系配管	0.12	一次	290	310	B
原子炉格納容器 (ドライウェル)	0.05以下	一次	30	340	A

※1 固有周期は水平方向，小数第3位を四捨五入したものを記載

※2 算定値は1桁目を切り上げ，許容応力は1桁目を切り捨てた数値を記載

※3 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）に従い，設計時より見直したものを記載

※4 Aは「簡易評価」，Bは「設計時と同等の評価」を示す

# 1号機評価結果（主要設備の動的機能維持評価）

確認対象	固有周期※1	水平加速度（G※2）		鉛直加速度（G※2）	
		算出値※3	機能確認済 加速度	算出値※3	機能確認済 加速度
残留熱除去系ポンプ	0.05以下	0.7	10.0	0.5	1.0

※1 固有周期は水平方向，小数第3位を四捨五入したものを記載

※2  $G=9.80665$  (m/s<sup>2</sup>)

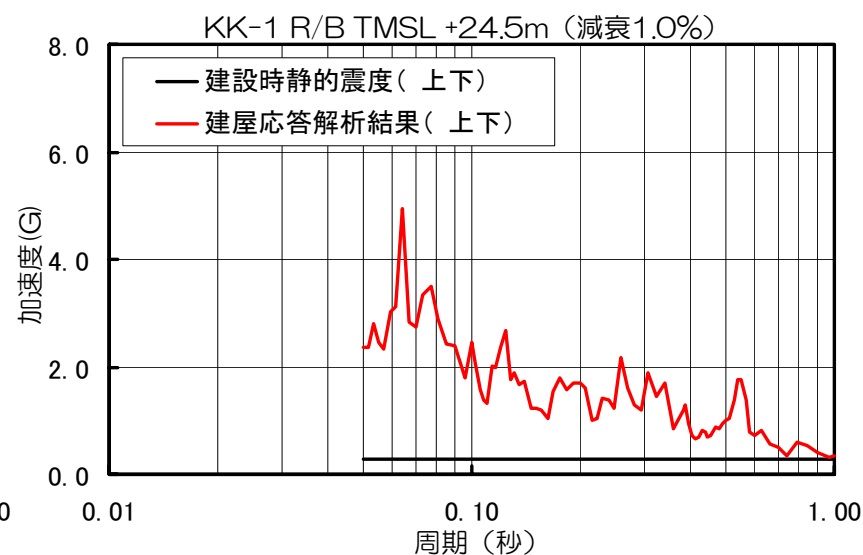
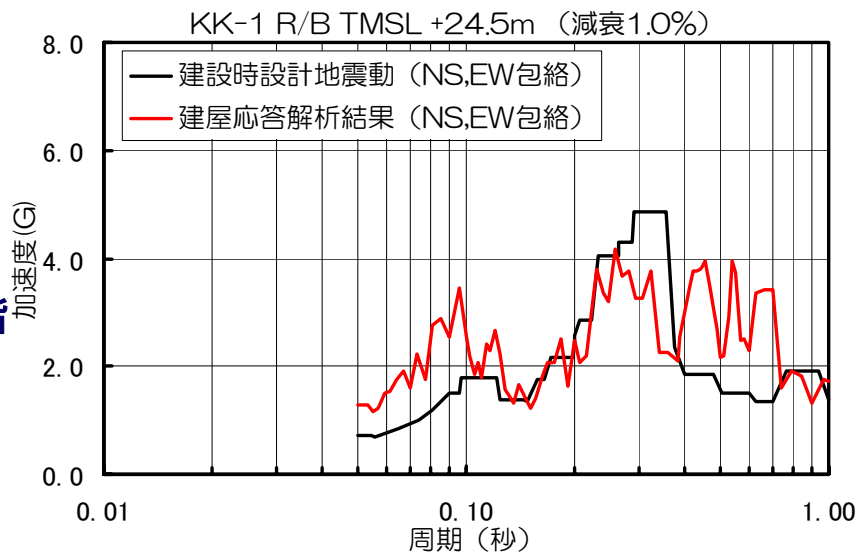
※3 算出値は小数第2位を切り上げた数値を記載

# 1号機原子炉建屋 床応答スペクトル (1/5)

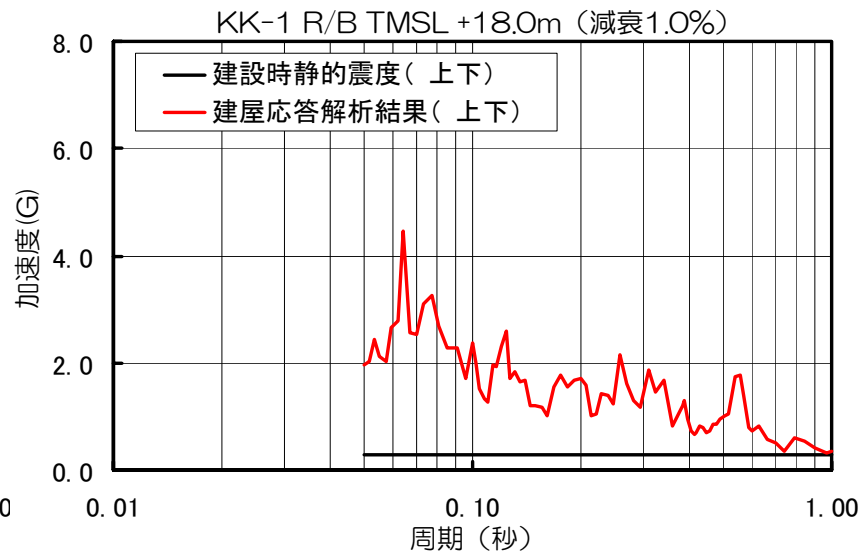
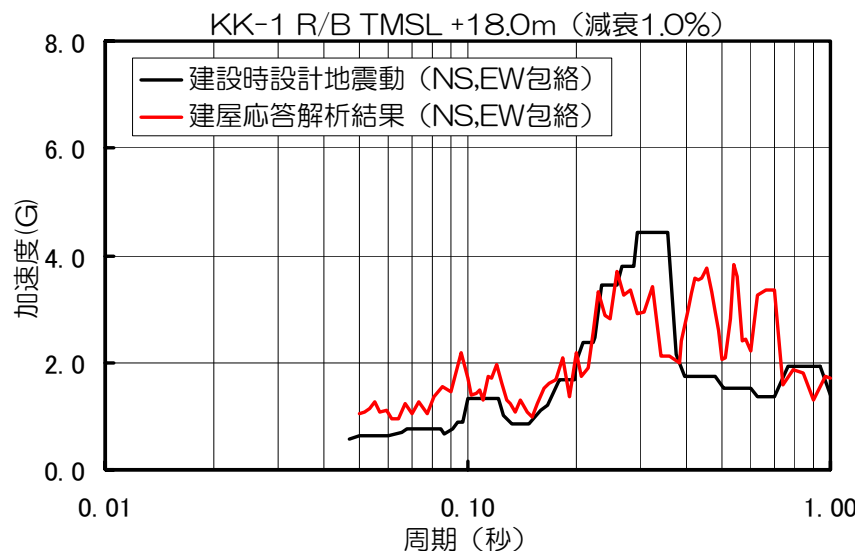
(水平方向)

(上下方向)

天井  
クレーン階



3階

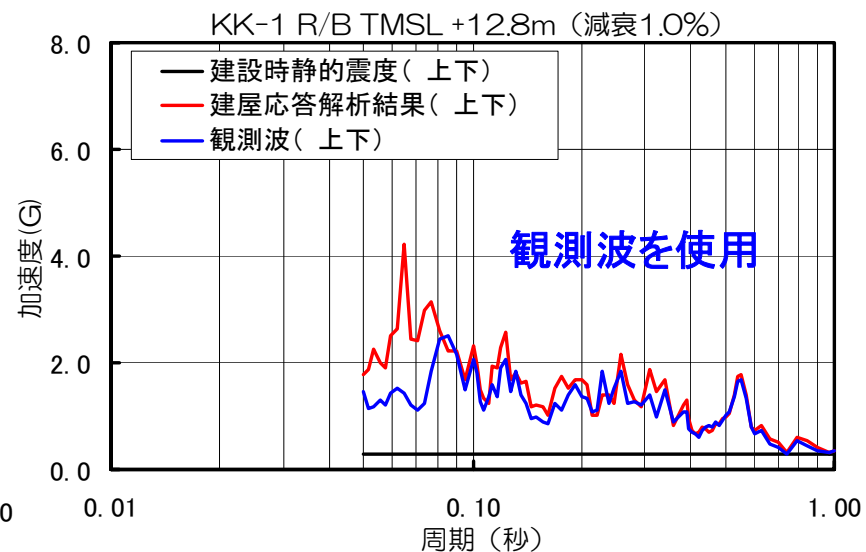
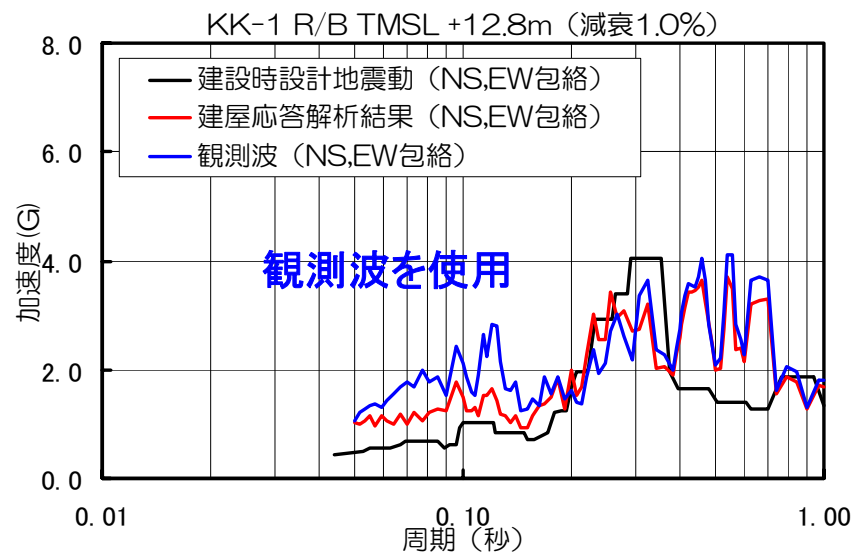


# 1号機原子炉建屋 床応答スペクトル (2/5)

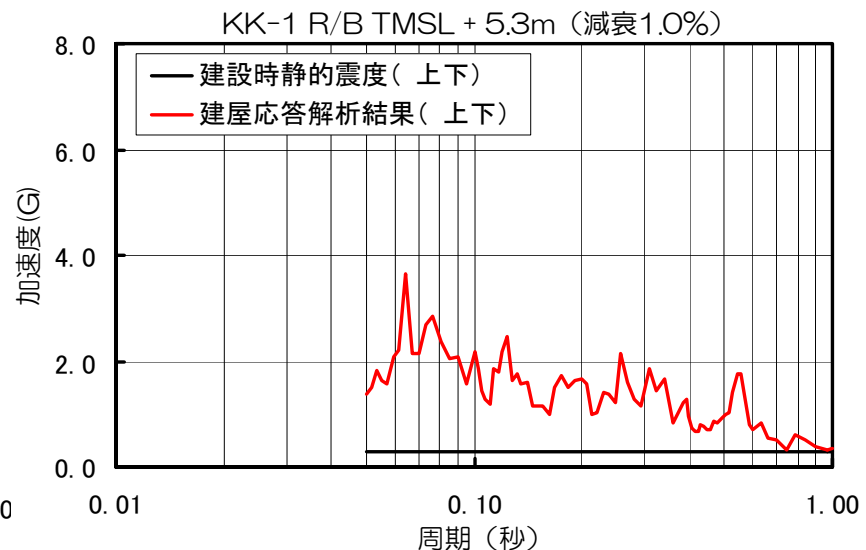
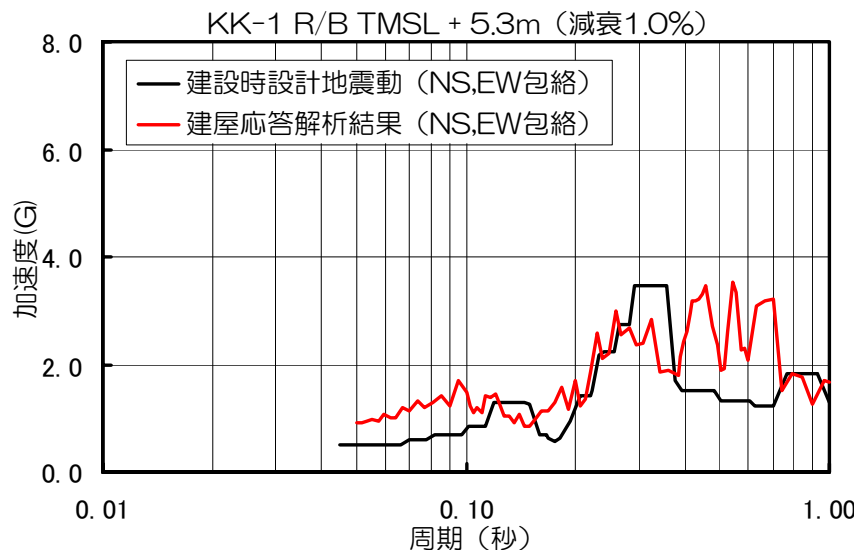
(水平方向)

(上下方向)

2階



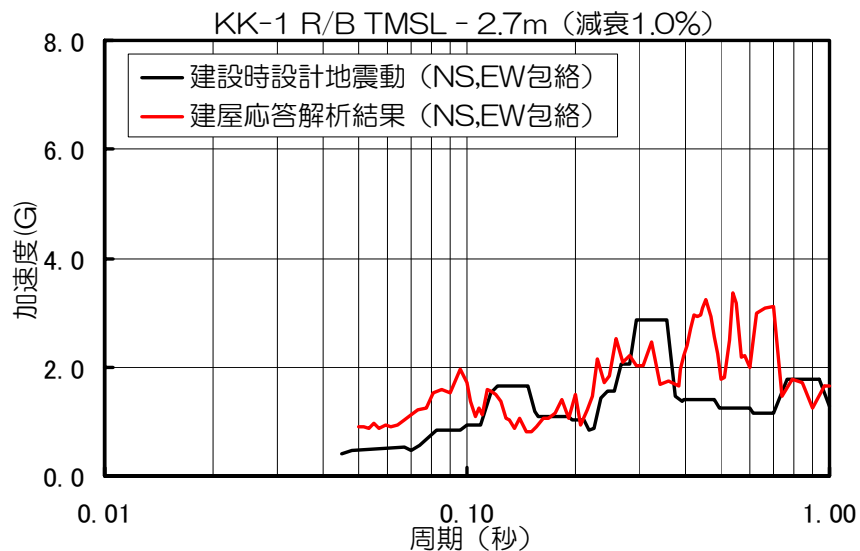
1階



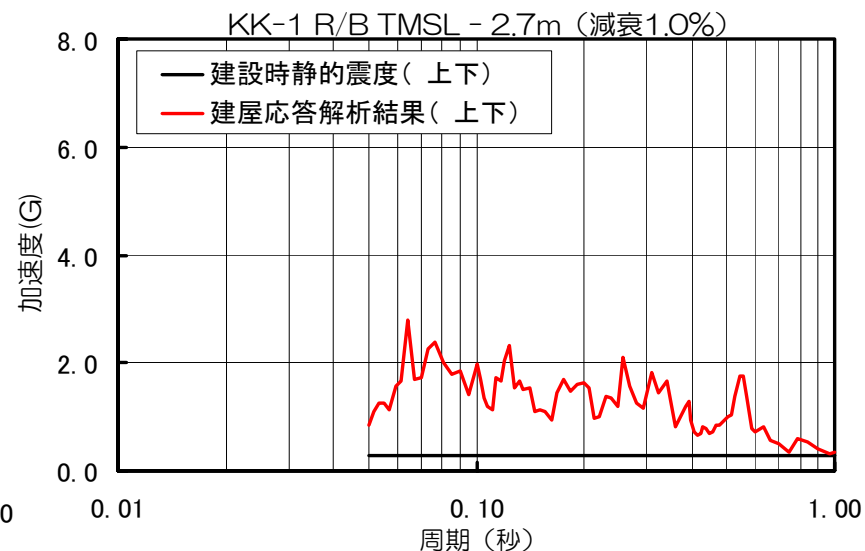
# 1号機原子炉建屋 床応答スペクトル (3/5)

地下  
1階

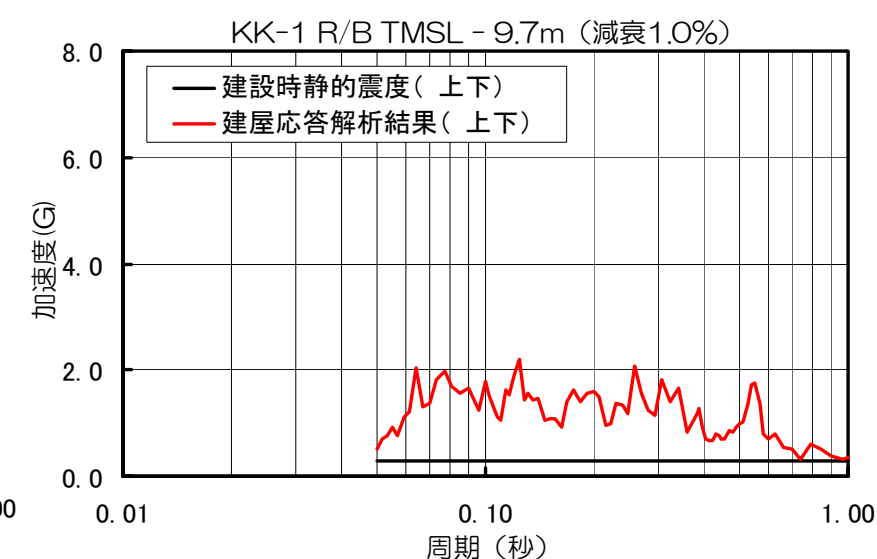
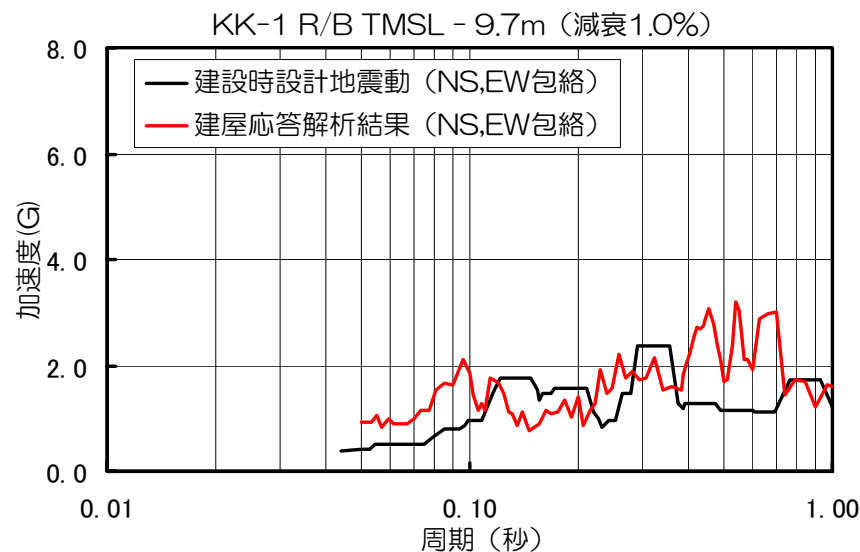
(水平方向)



(上下方向)



地下  
2階



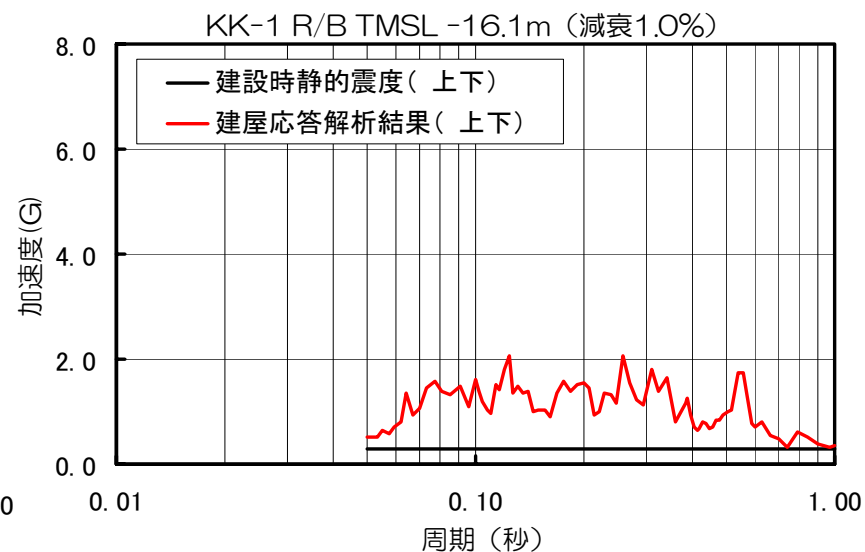
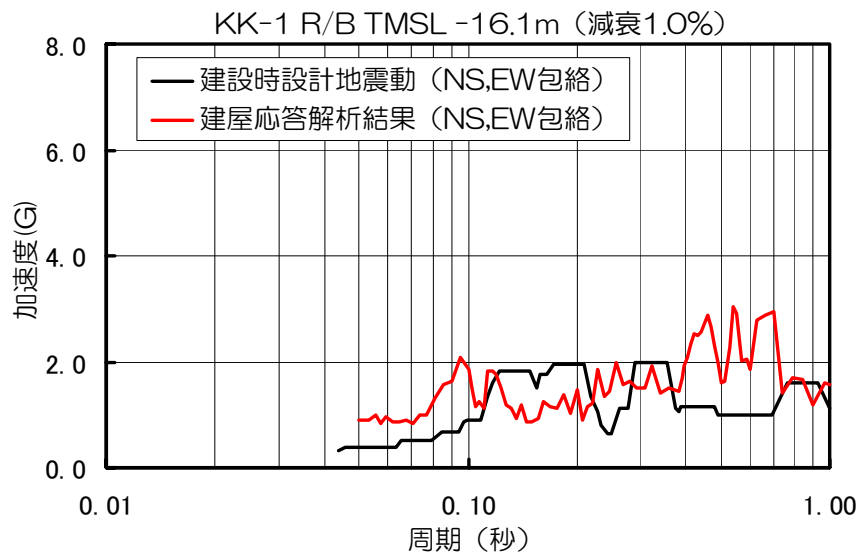


# 1号機原子炉建屋 床応答スペクトル (4/5)

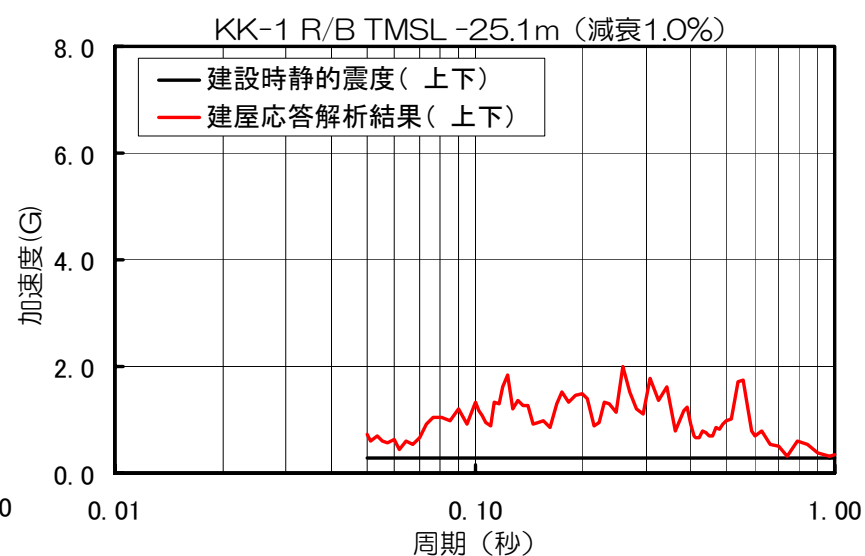
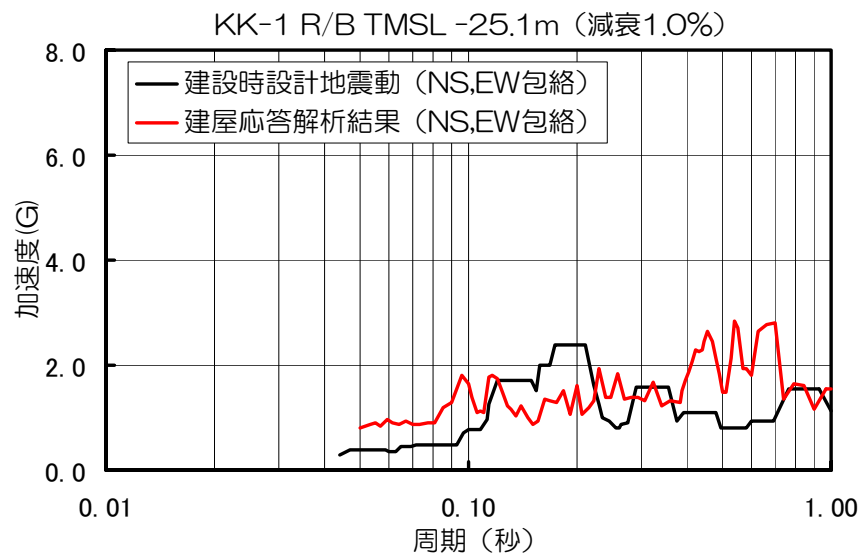
(水平方向)

(上下方向)

地下  
3階



地下  
4階

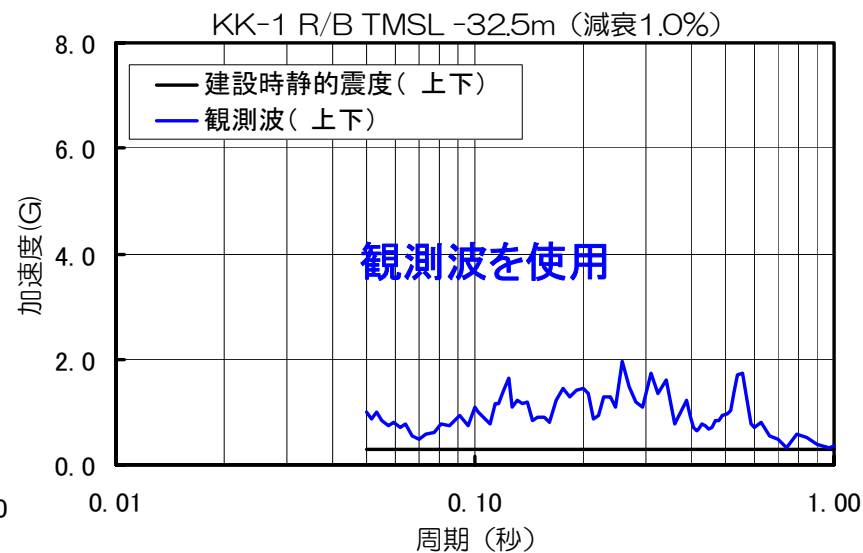
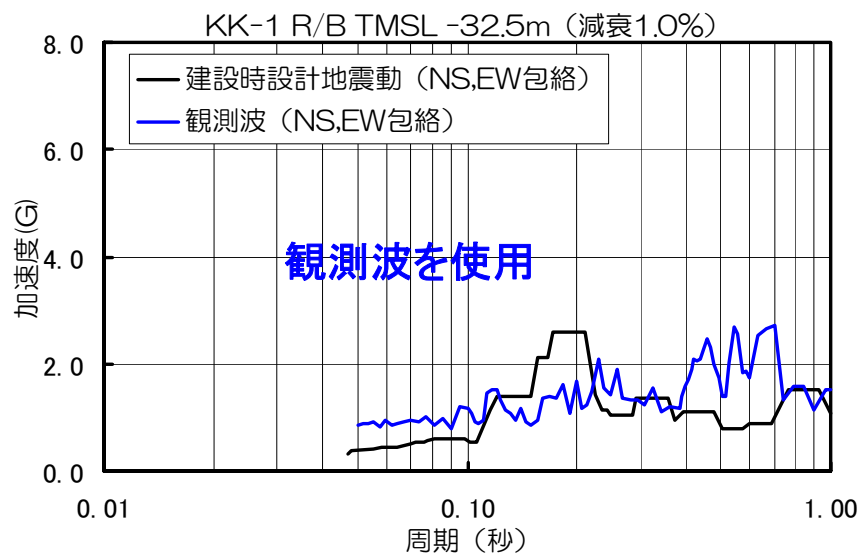


# 1号機原子炉建屋 床応答スペクトル (5/5)

(水平方向)

(上下方向)

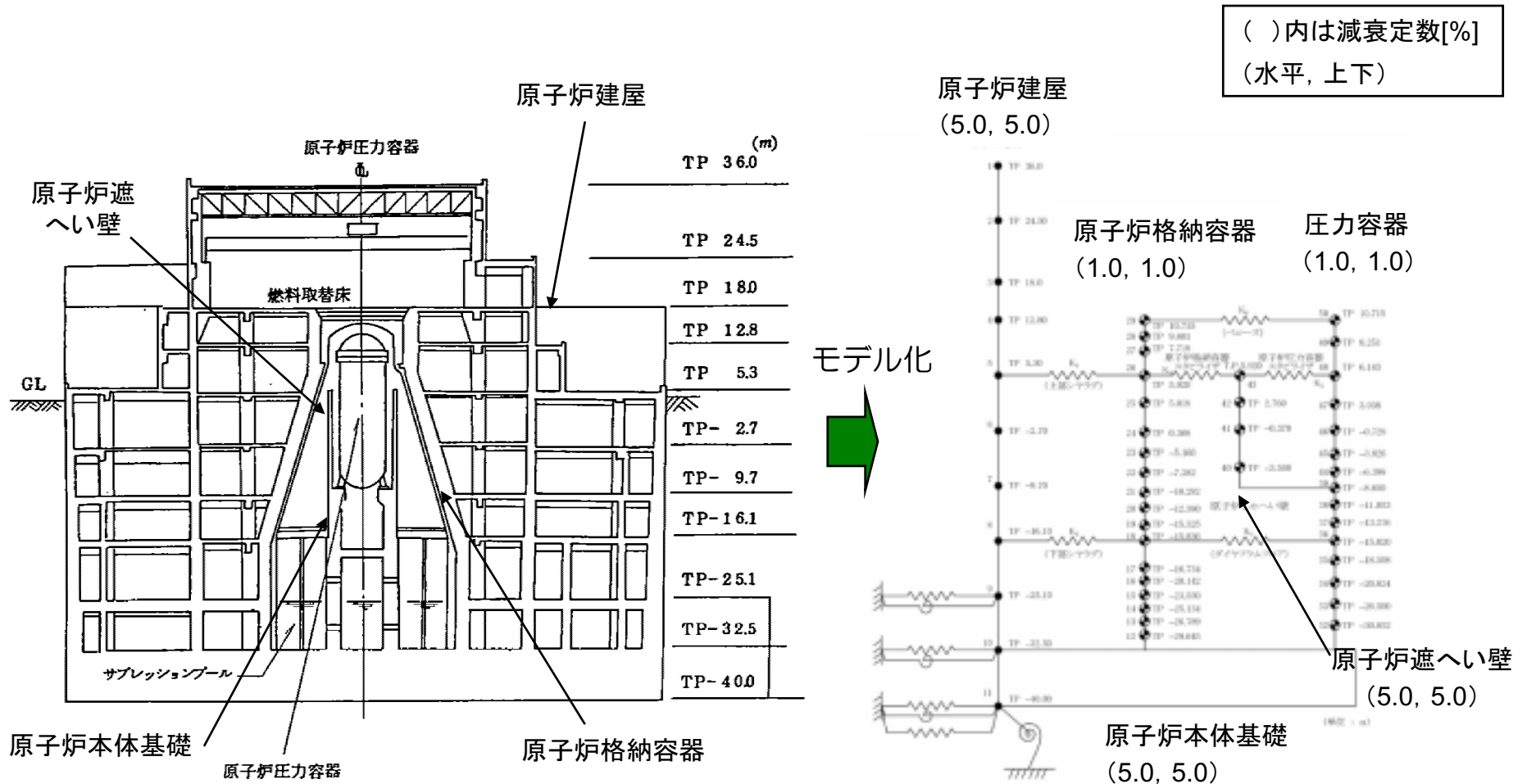
基礎版  
上



# 大型機器の地震応答解析用連成モデル (1 / 2)

(原子炉格納容器 - 原子炉圧力容器 解析モデル)

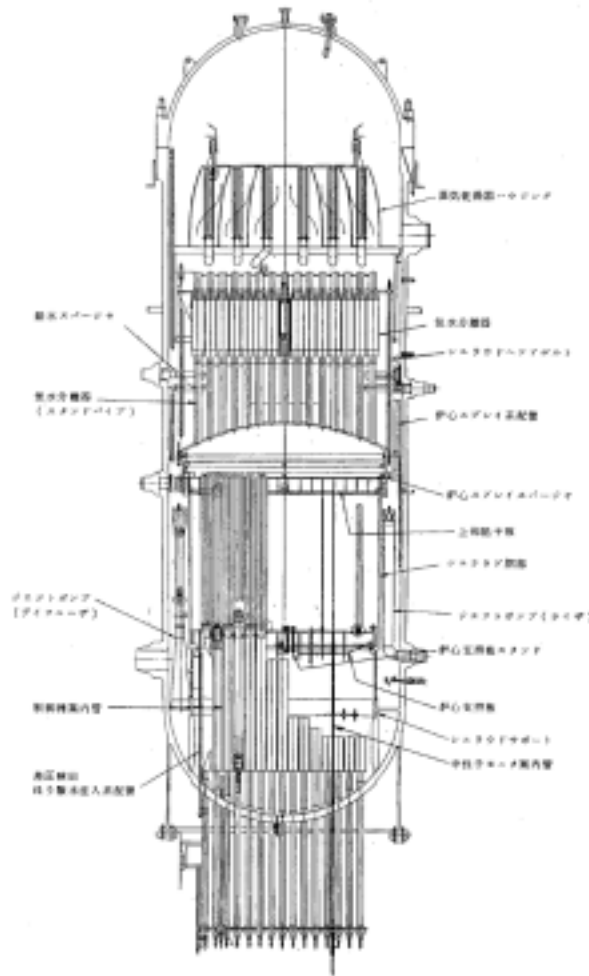
✓原子炉しゃへい壁, 原子炉本体基礎, 原子炉圧力容器のモデル化



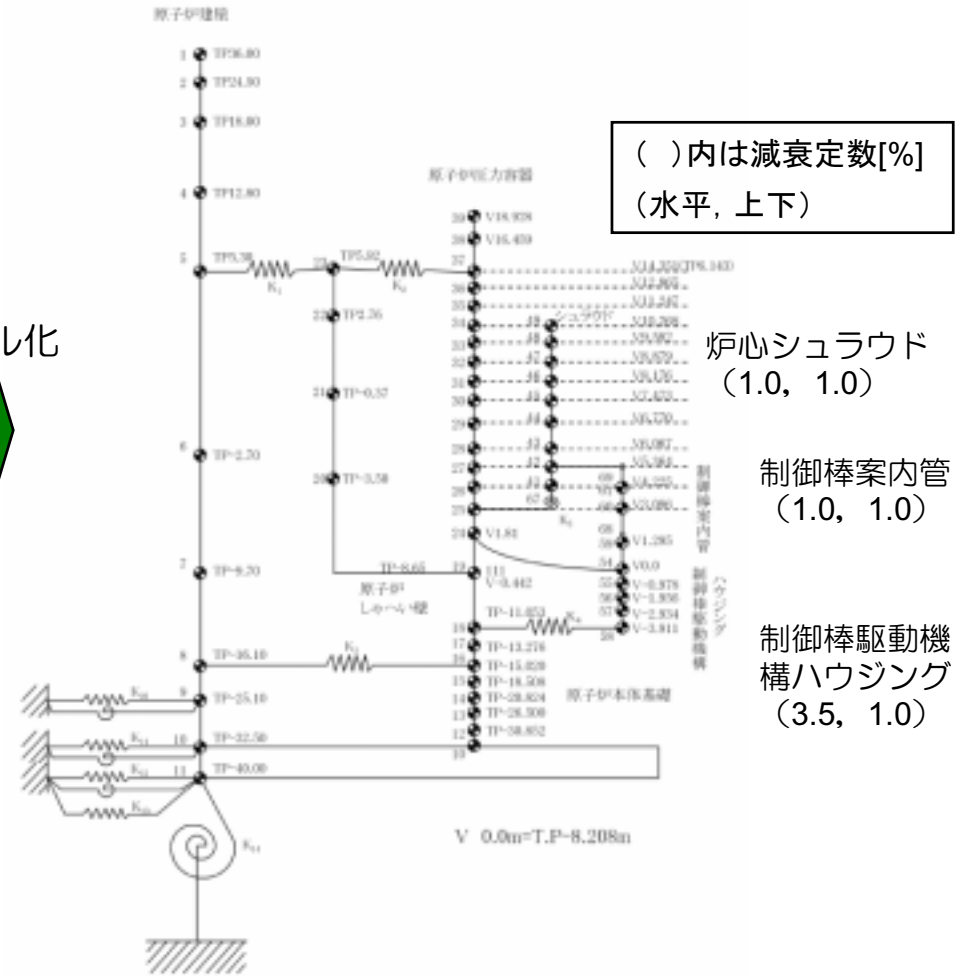
# 大型機器の地震応答解析用連成モデル (2/2)

(炉内構造物解析モデル)

定期検査時状態 (ウェル満水, PCVおよびRPVヘッドなし, 気水分離器およびシュラウドヘッドなし, 燃料集合体なし) における解析モデルとする。



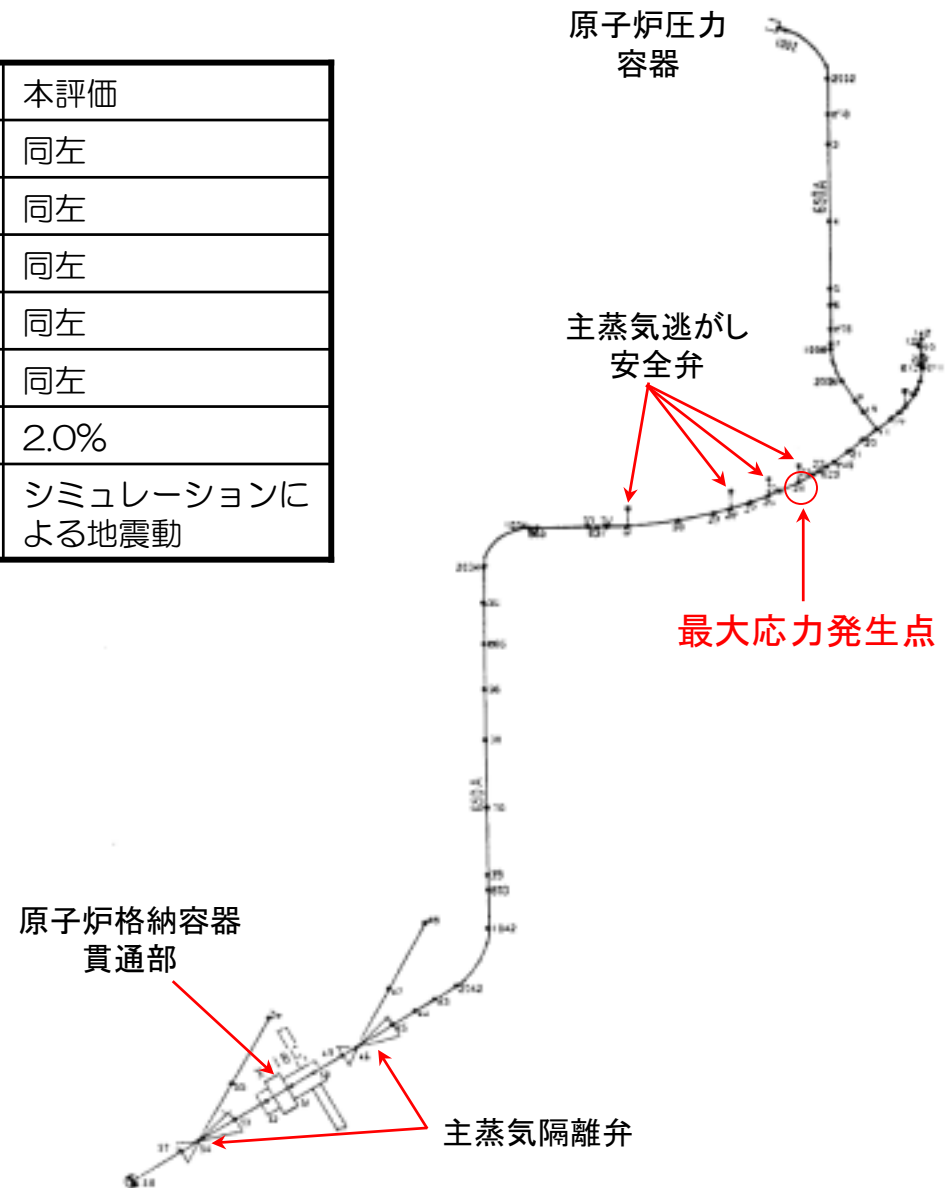
モデル化



炉内構造物 (定検状態) 水平方向解析モデル

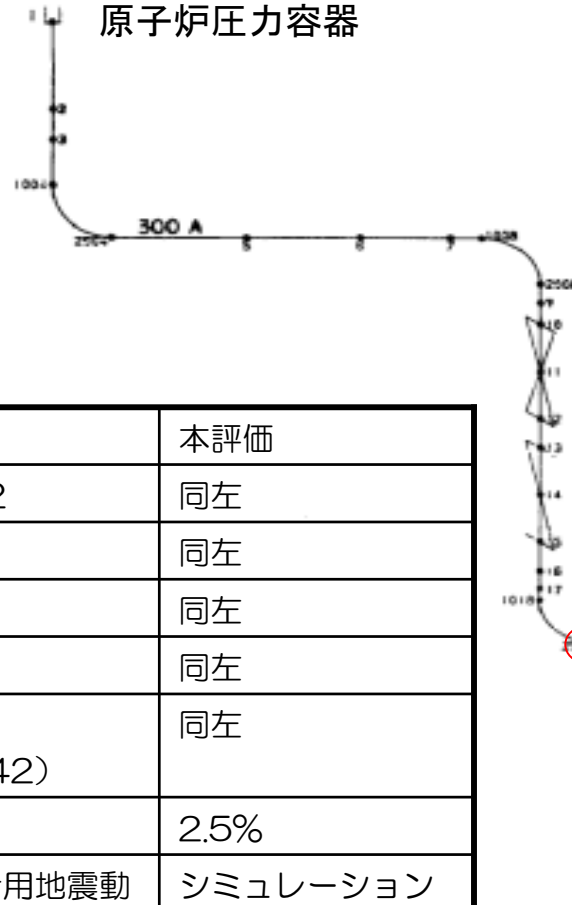
# 主蒸気系配管解析

○解析条件	設計時	本評価
圧力条件	87.90kg/cm <sup>2</sup>	同左
温度条件	302℃	同左
管外径	660.40mm (主管)	同左
管肉厚	33.30mm (主管)	同左
材料	STS480 (旧記号 STS49) (主管)	同左
減衰定数	0.5%	2.0%
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動



# 残留熱除去系配管解析

原子炉压力容器



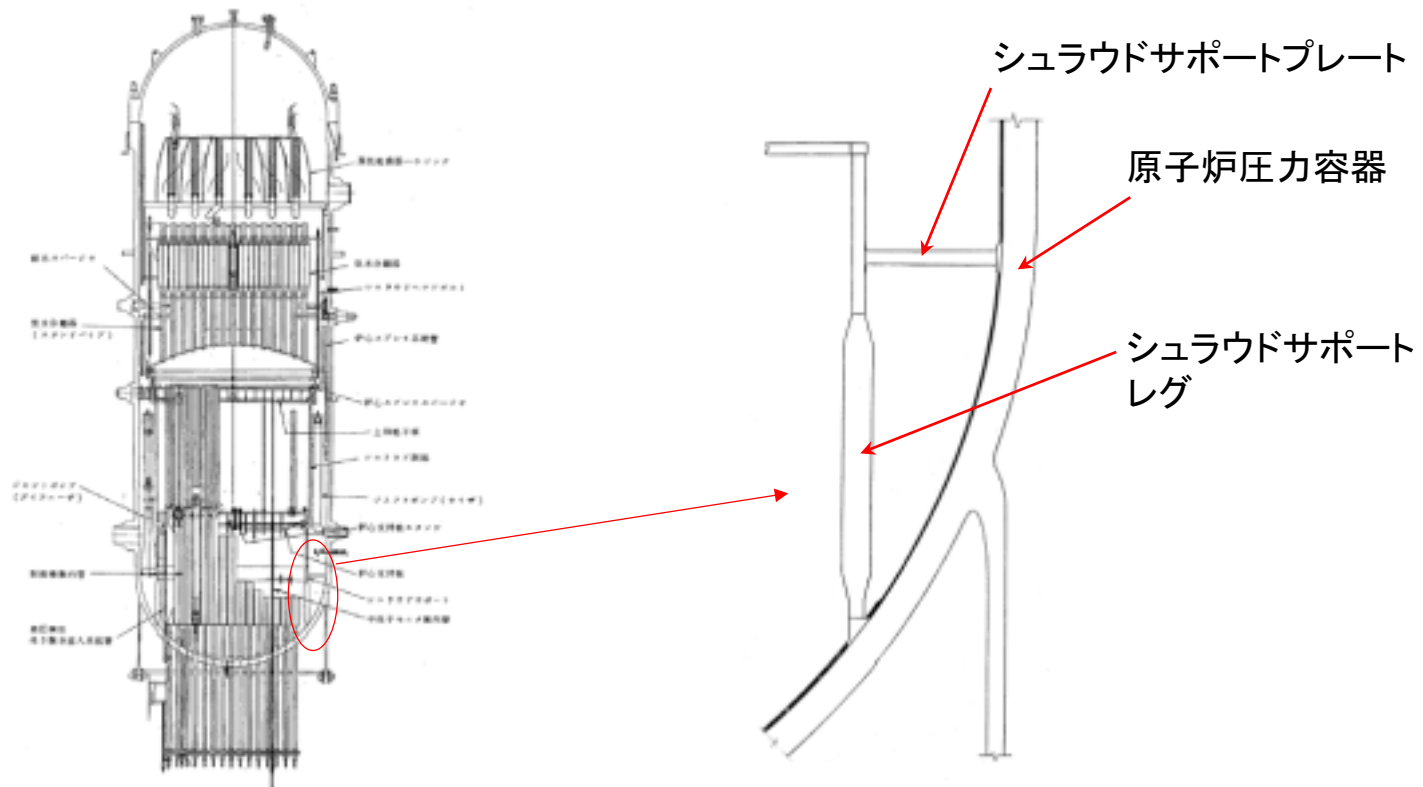
最大応力発生点

原子炉格納容器貫通部

○解析条件	設計時	本評価
圧力条件	87.90kg/cm <sup>2</sup>	同左
温度条件	302℃	同左
管外径	318.50mm	同左
管肉厚	21.40mm	同左
材料	STS410 (旧記号 STS42)	同左
減衰定数	0.5%	2.5%
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動

# シュラウドサポートレグ解析

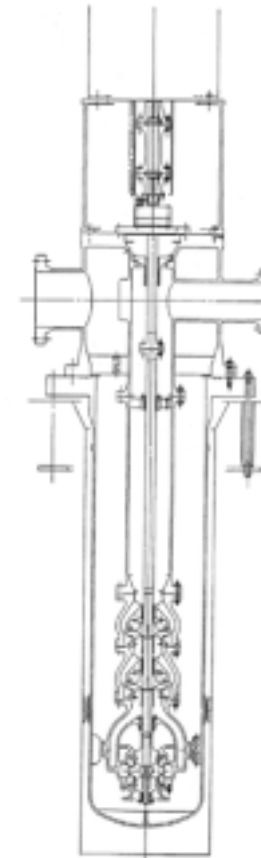
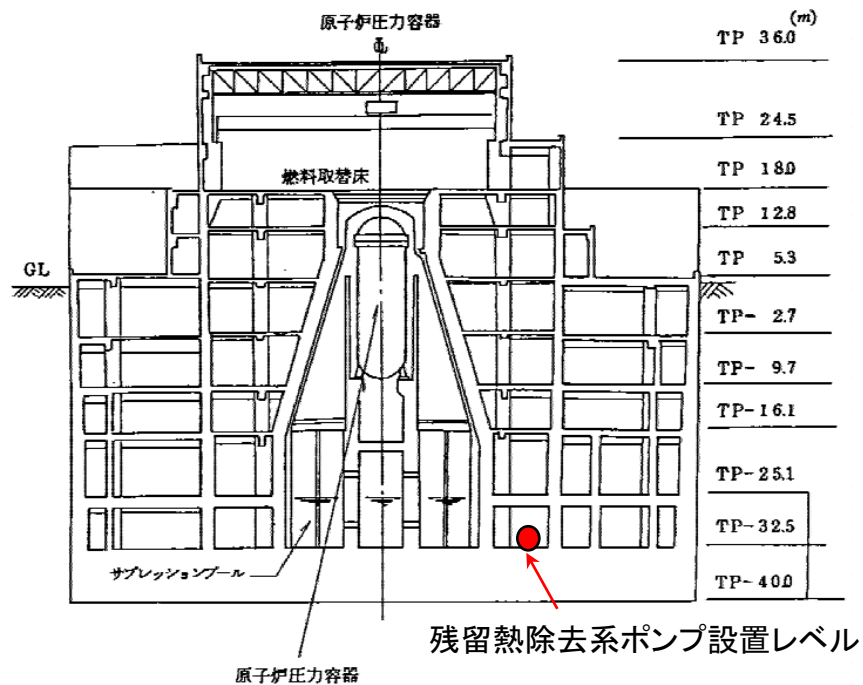
○解析条件	設計時	本評価
温度条件	297℃	同左
材料	NCF 1 -P (NCF600-P相当)	同左
入力条件	設計用地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力	シミュレーションによる地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力



# 残留熱除去系ポンプ基礎ボルト評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	—※	66℃
材料	SNCM439	同左
入力条件	静的震度, 設計用地震動	シミュレーションによる地震動

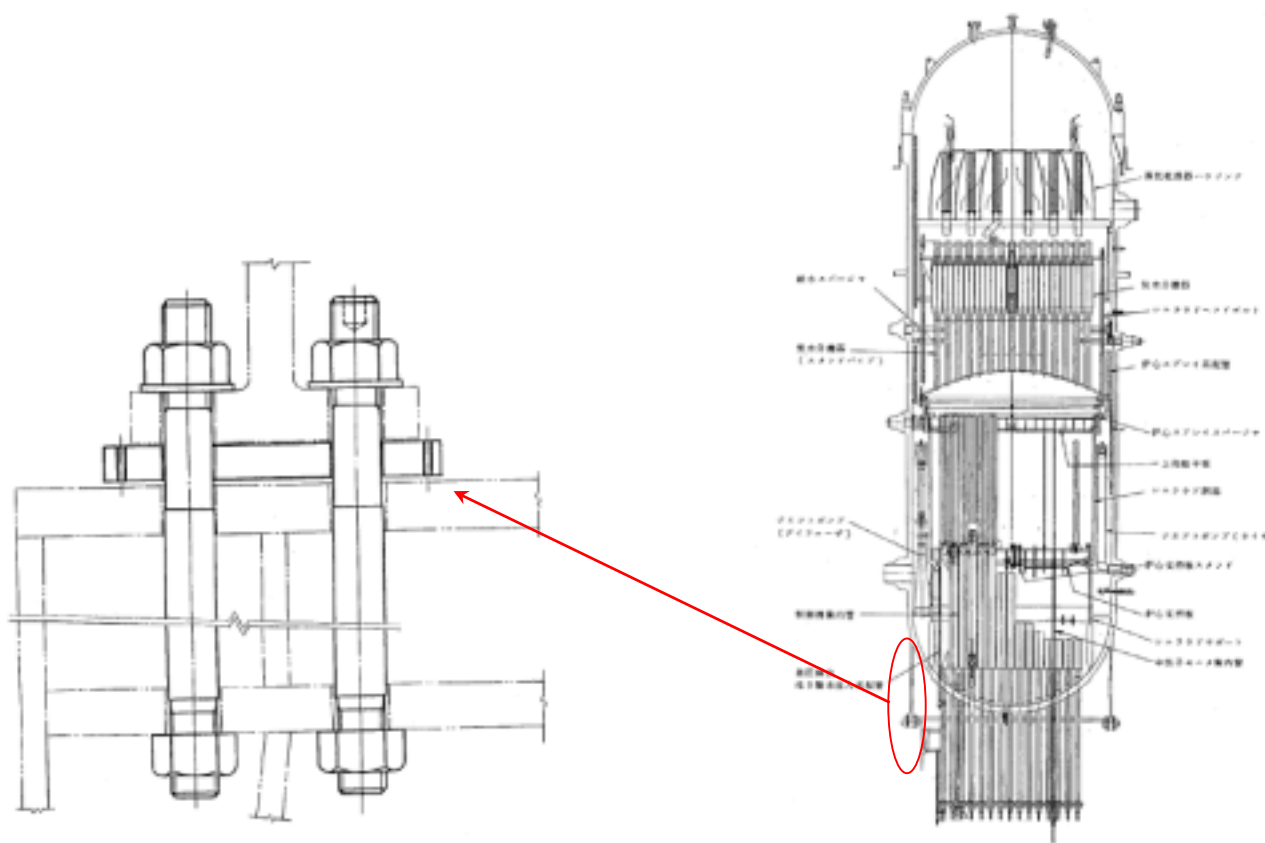
※鋼構造設計基準を使用しているため, 温度条件なし。





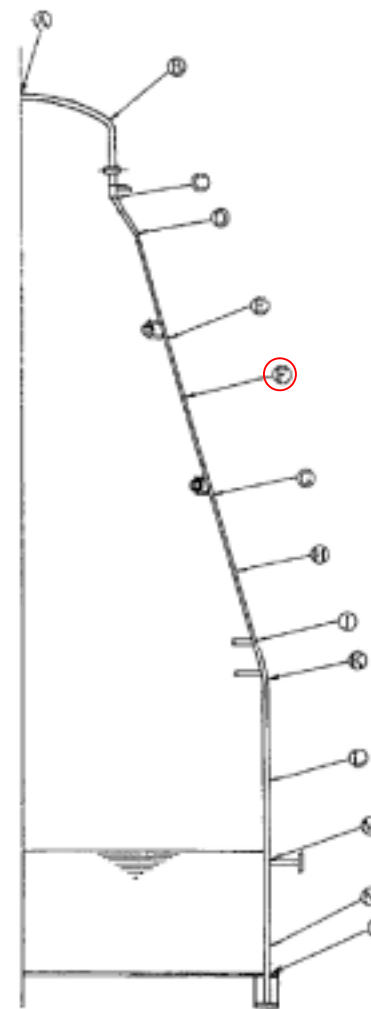
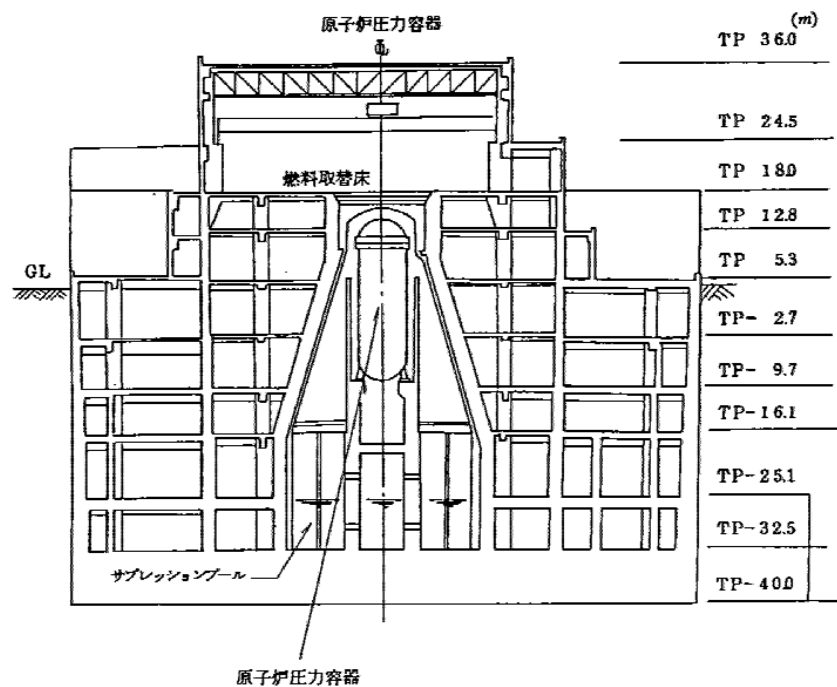
# 圧力容器基礎ボルト評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	57℃	同左
材料	SNCM439 (旧記号 SNCM8)	同左
入力条件	設計用地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力	シミュレーションによる地震動を用いた建屋-機器連成解析で算出された地震力



# 原子炉格納容器（ドライウェル）評価

○解析条件	設計時	本評価
温度条件	171℃	同左
材料	SGV480 (旧記号 SGV49)	同左
入力条件	設計用地震動を用いた 建屋-機器連成解析で算 出された地震力	シミュレーションによる 地震動を用いた建屋-機器 連成解析で算出された地 震力



# 配管系の減衰定数について

- 本地震応答解析では、試験等により妥当性が確認された下記減衰定数を適用

配管区分		減衰定数(%)	
		保温材有*	保温材無
I	スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、その支持具（スナバ又は架構レストレイント）の数が4個以上のもの	<u>3.0</u> (2.5)	2.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	<u>2.0</u> (1.5)	1.0
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	<u>3.0</u>	<u>2.0</u>
IV	配管区分I、IIおよびIIIに属さないもの	<u>1.5</u> (1.0)	0.5

※「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」から変更した箇所を下線で示す。また、変更前の値を括弧内に示す。

- 保温材の付加減衰定数

- ✓ 無機多孔質保温材→0.5%から1.0%に変更
- ✓ 金属保温が混在→配管全長に対する金属保温材の割合が40%以下の場合に限り1.0%の付加減衰を適用

- Uボルトを用いた配管系の減衰定数

- ✓ 配管自重を受けるUボルト支持具を4個以上有する配管系に対しては、減衰定数を2.0%に設定

参考資料：「配管系設計用減衰定数適正化に関する検討，第9回機器・配管系検討会資料No.9-3-2-2(5)」，  
(社)日本電気協会，2006年5月

---

# 地震応答解析の妥当性の検証

# 地震応答解析の妥当性の検証

---

## ■ 検証の目的

- ✓ 設備の地震応答解析に用いる建屋応答解析について観測波との相違が確認されるため、この相違が及ぼす設備の地震応答解析への影響度合いを検証（本評価は参考値扱い）

# 7号機の検証（1 / 2）

## ■ 検証方法

- 観測波が得られているR/B3階（TMSL+23.5m）において建屋応答解析結果と観測波の比率を求め、その他の階の建屋応答解析結果に比率を乗じ補正する
  - ✓ 水平については周期0.1～0.3秒の範囲で補正
  - ✓ 鉛直については周期0.1秒以下の範囲で補正
- 補正した建屋応答を用いて検証を実施

## ■ 検証対象の選定

- 水平方向については、周期0.1～0.3秒にて建屋応答解析結果が観測記録を下回っているため、1次固有周期がこの範囲にある設備のうち、解析結果が比較的厳しい設備を選定
  - ✓ 配管→残留熱除去系配管（解析結果が比較的厳しい配管を選定）

	1次応力※	許容値※
床応答スペクトル補正前	200 MPa	270 MPa
床応答スペクトル補正後	210 MPa	

※ 算定値は1桁目を切り上げ、許容応力は1桁目を切り捨てた数値を記載

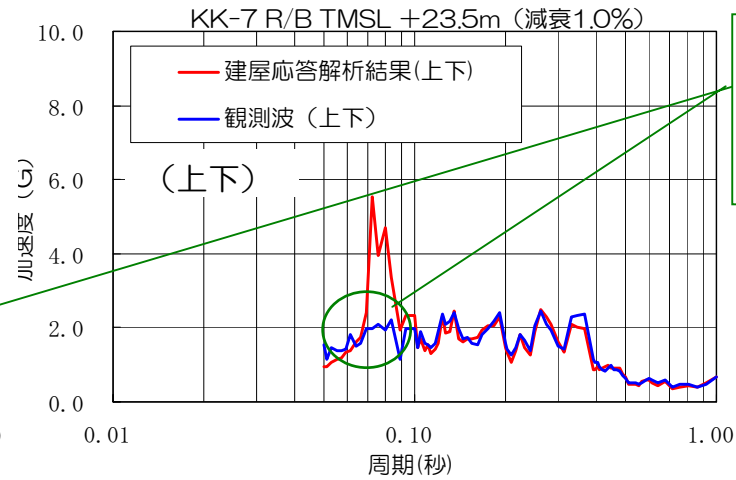
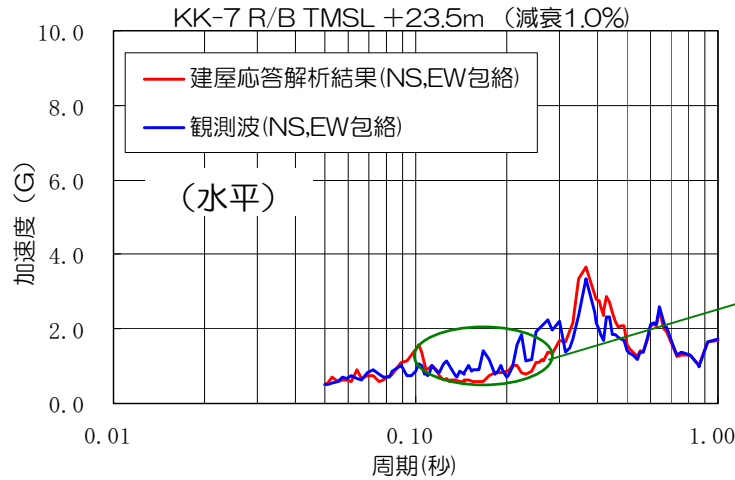
- ✓ 今後、その他の設備についても同様に解析結果が厳しい設備を選定し検証を実施

これらの設備の検証により、建屋応答解析と観測波の相違が大きな影響を及ぼさないことを確認し、建屋応答解析を用いた設備の地震応答解析の妥当性を確認

# 7号機の検証 (2/2)

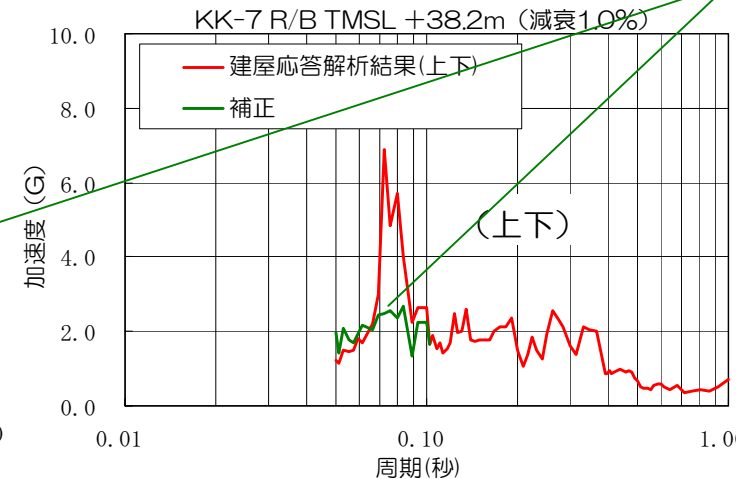
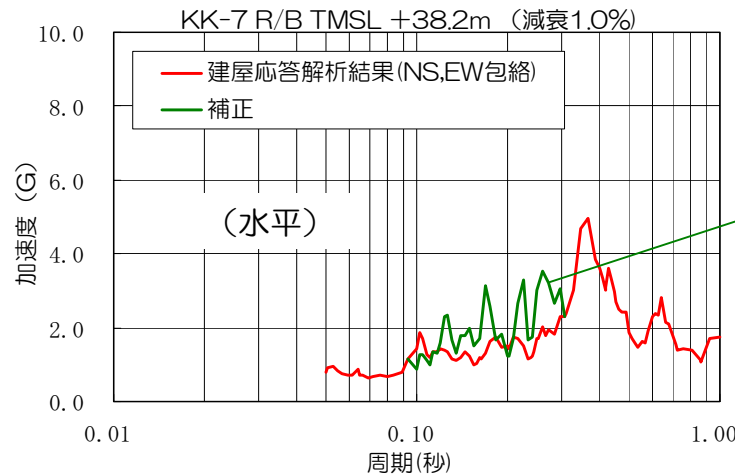
## 床応答スペクトルの補正例

(R/B3階 TMSL+23.5m)



この範囲で建屋  
応答解析結果と  
観測波との比率  
を求める

(天井クレーン階の補正例)

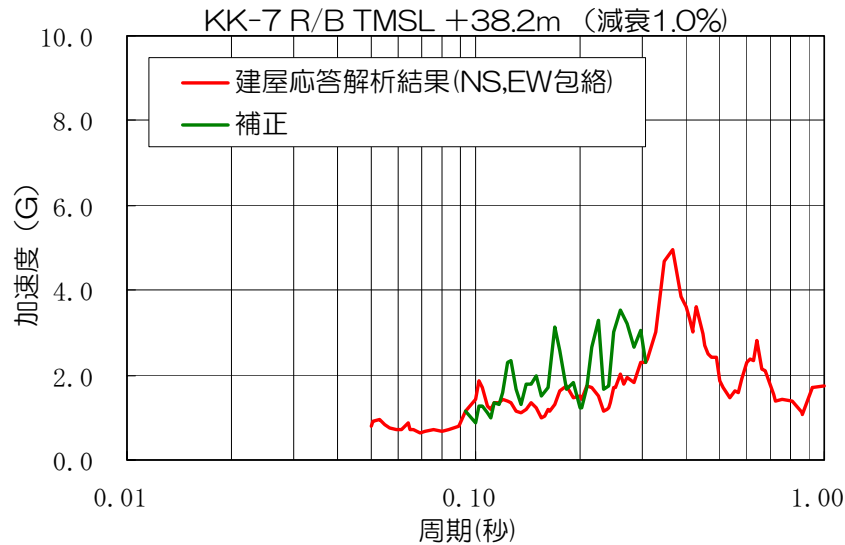


R/B3階にて求  
めた比率を乗じて  
床応答スペクトル  
を補正(他の階も  
同様に実施)

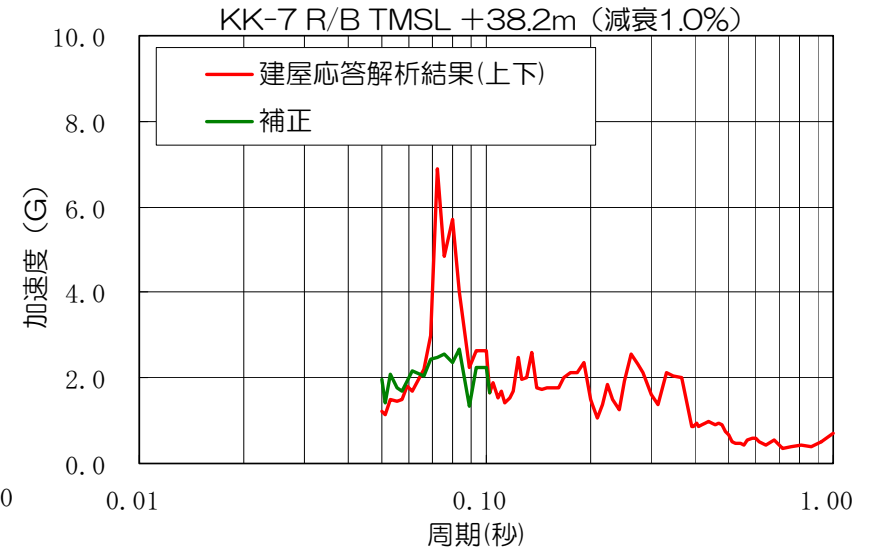
# 7号機R/B 床応答スペクトル補正例 (1 / 4)

天井  
クレーン階

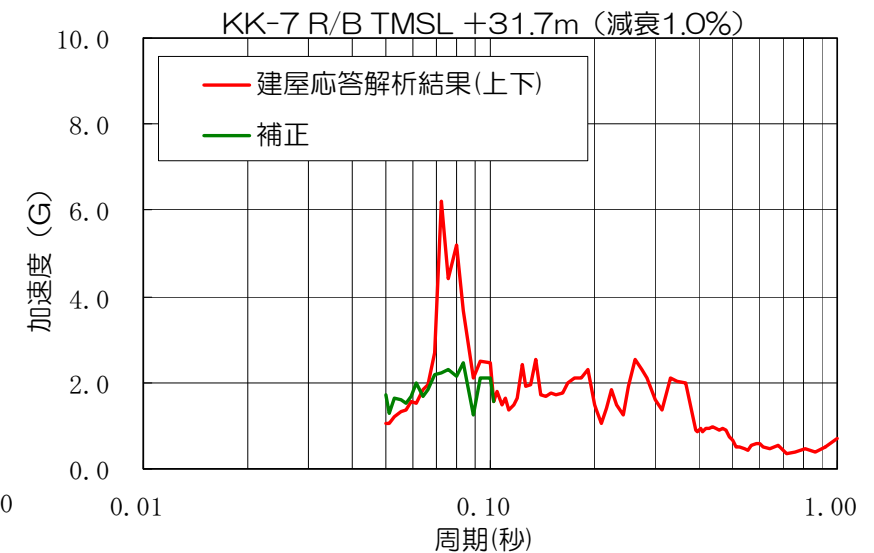
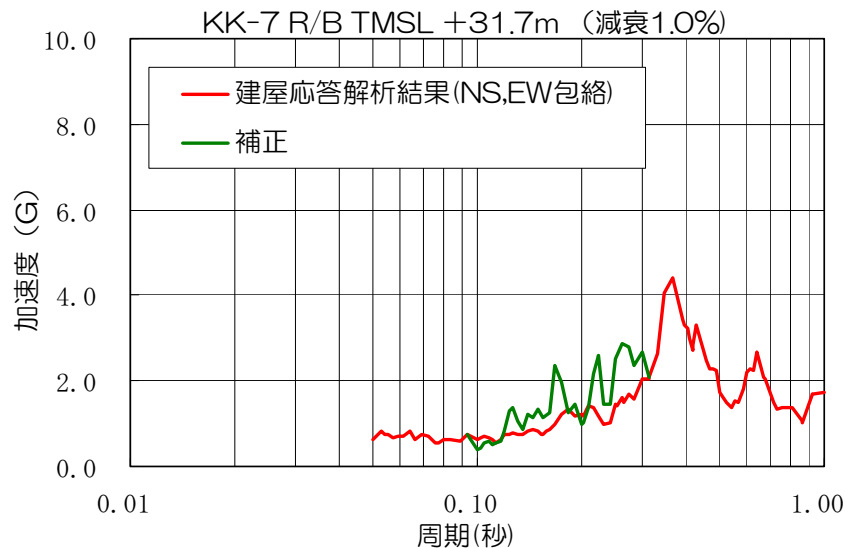
(水平方向)



(上下方向)



4階

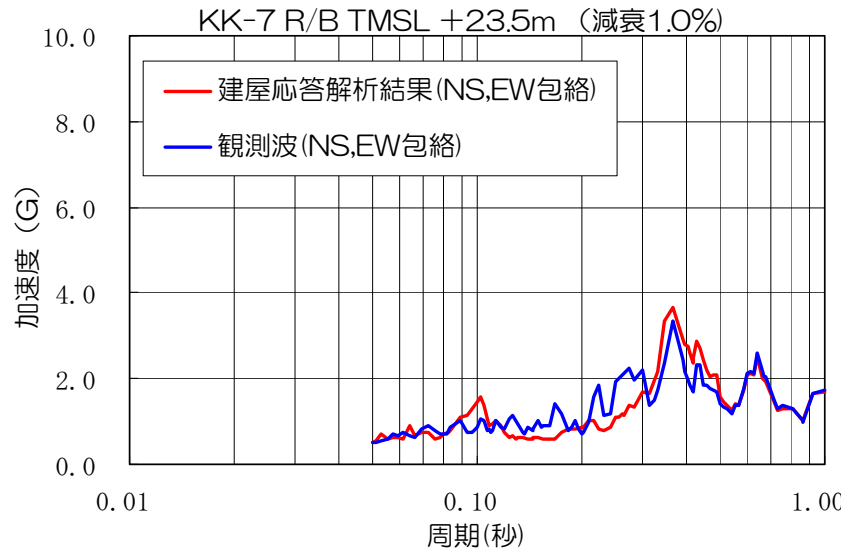




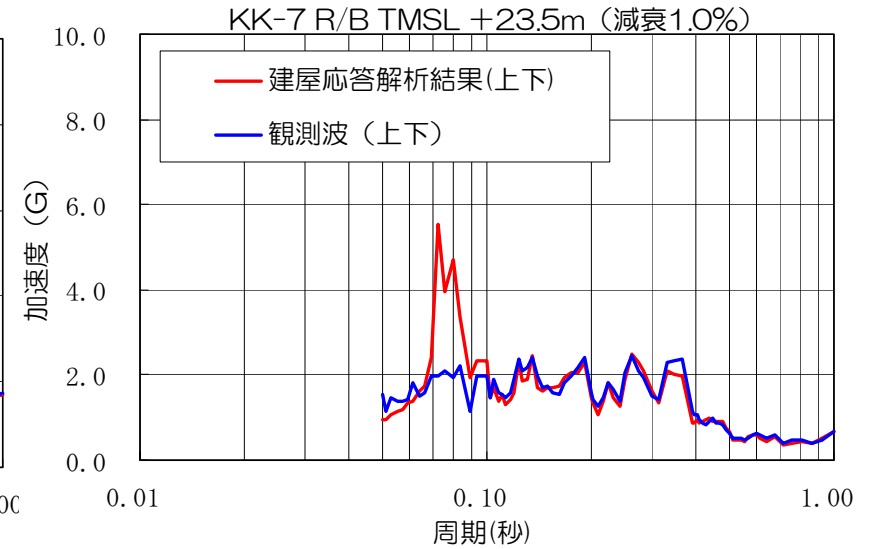
# 7号機R/B 床応答スペクトル補正例 (2/4)

3階

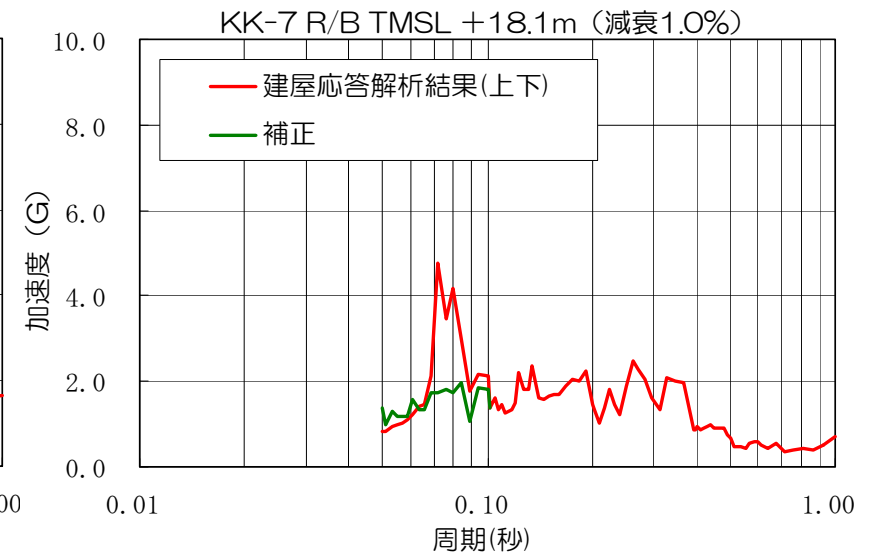
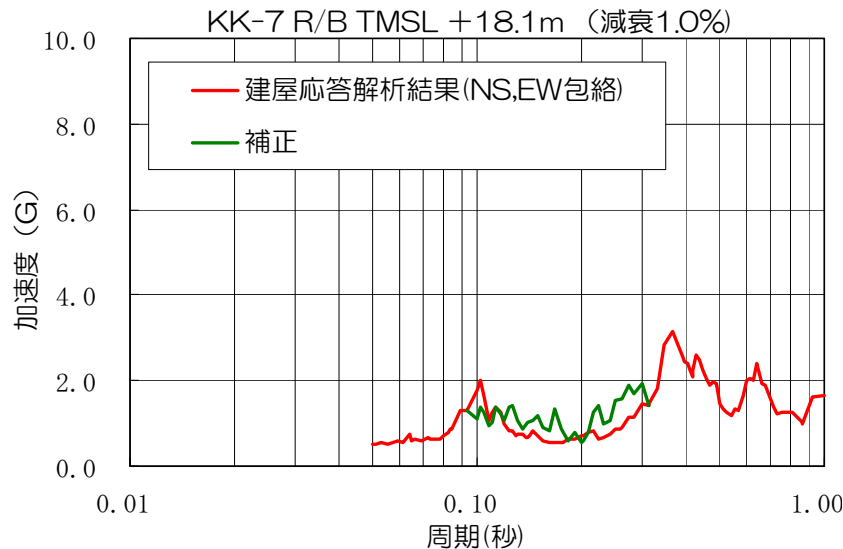
(水平方向)



(上下方向)



2階

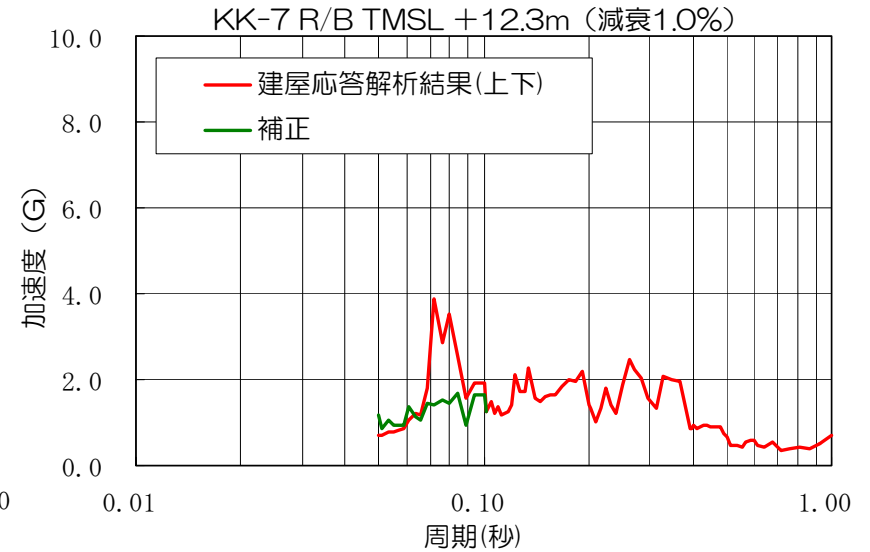
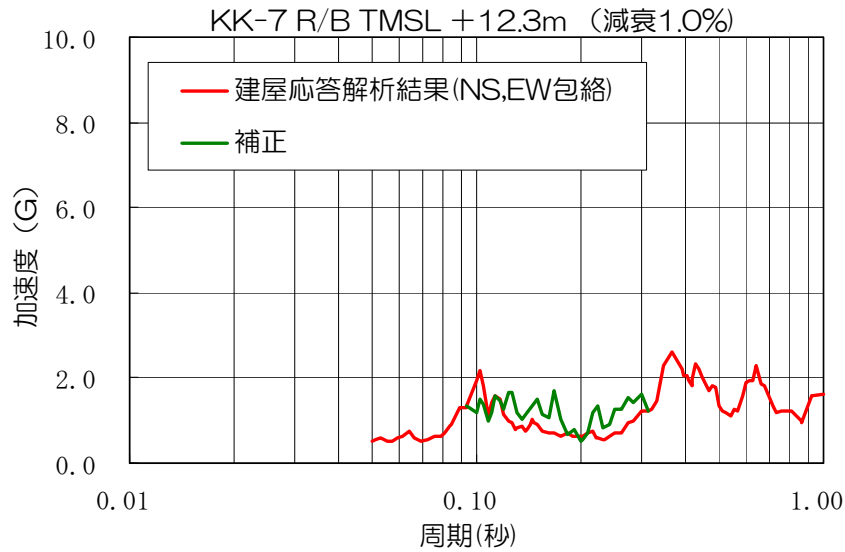


# 7号機R/B 床応答スペクトル補正例 (3/4)

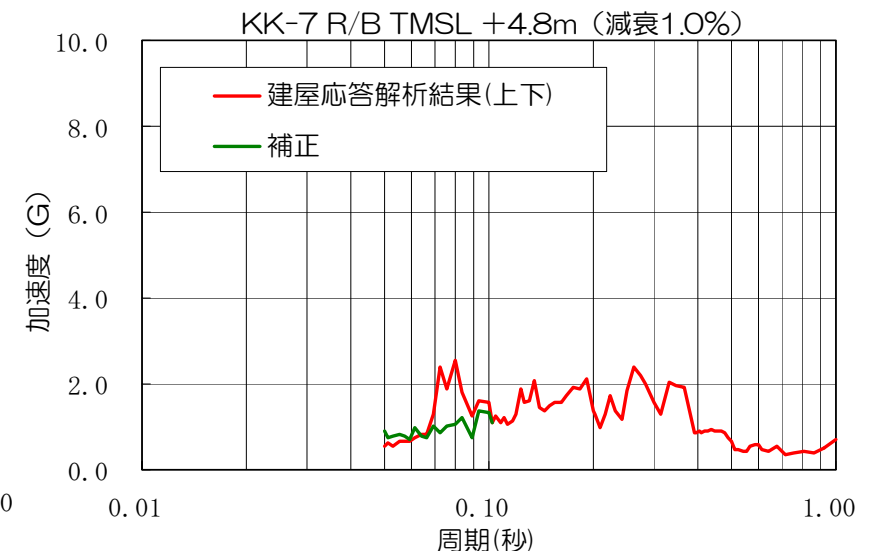
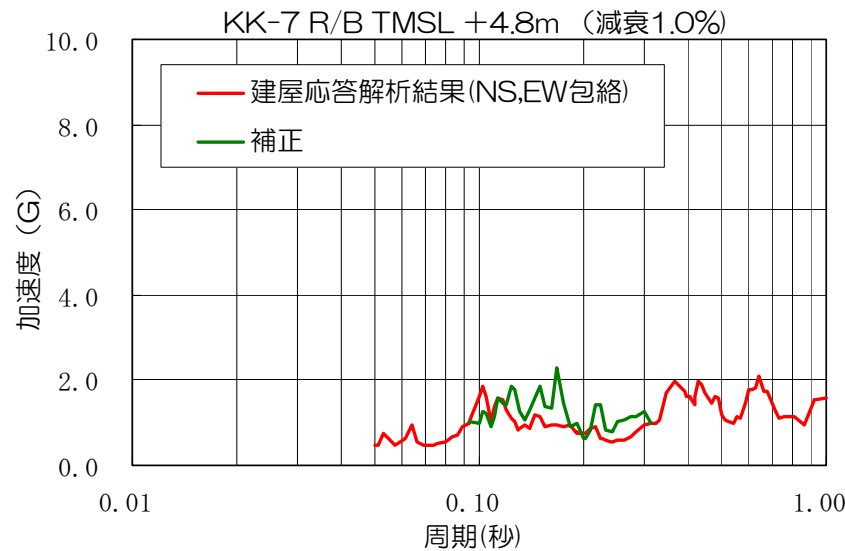
(水平方向)

(上下方向)

1階



地下  
1階

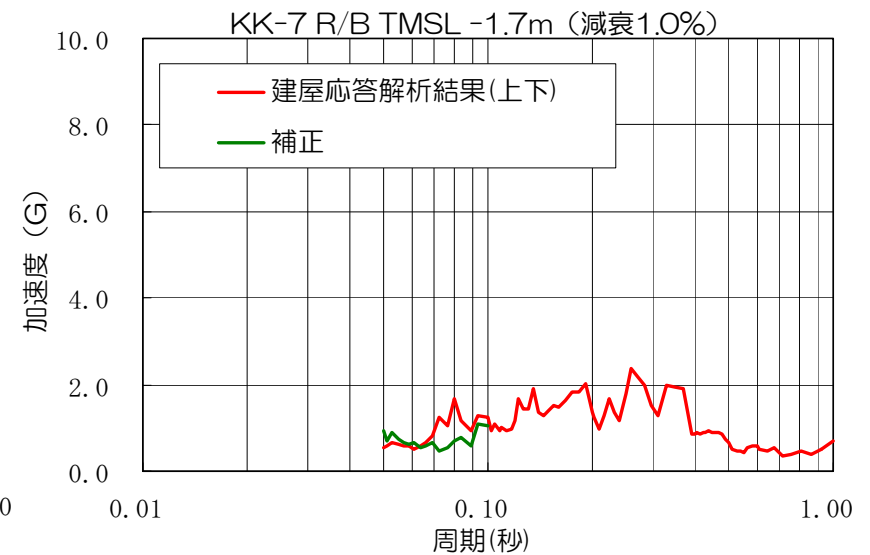
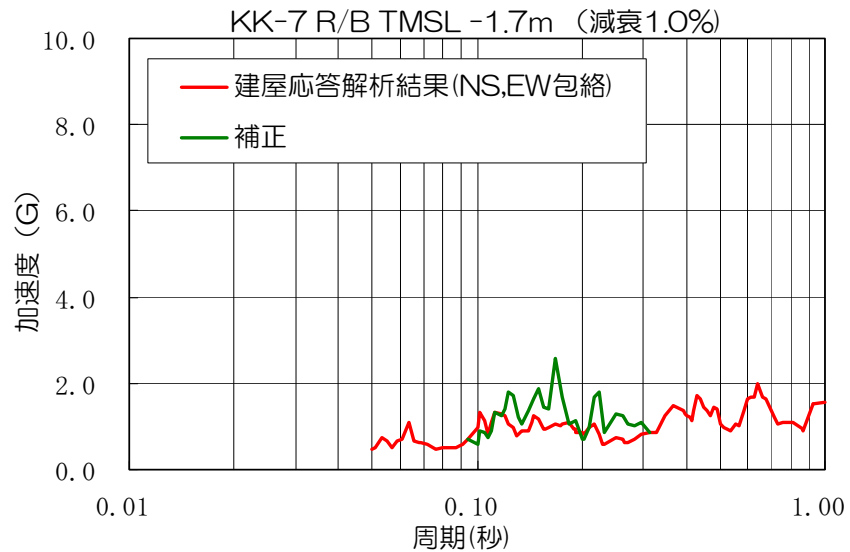


# 7号機R/B 床応答スペクトル補正例 (4/4)

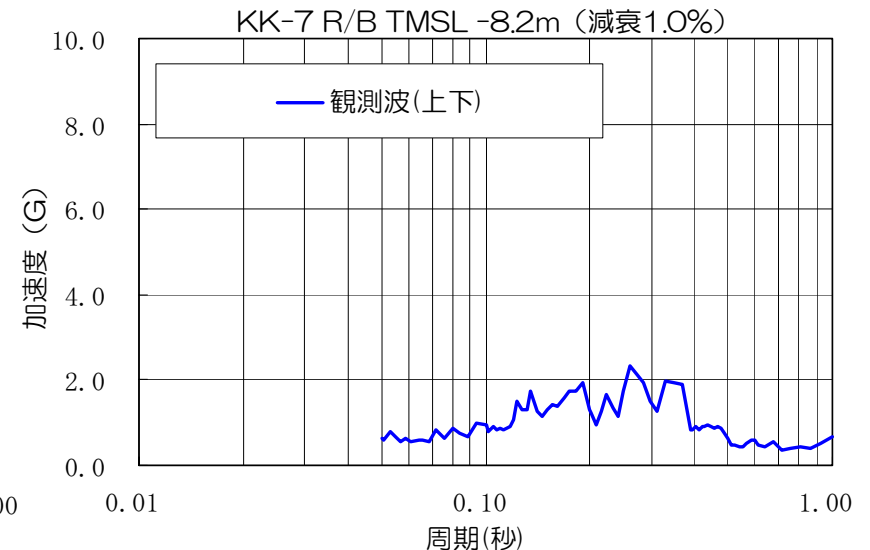
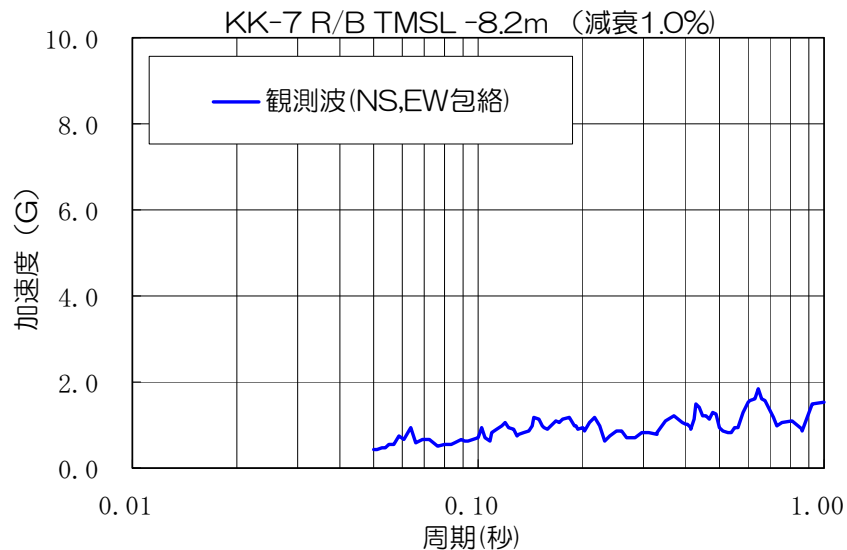
(水平方向)

(上下方向)

地下  
2階



基礎版  
上



## 地震応答解析の方法について

(第2回設備健全性評価SWG 平成19年11月27日より抜粋)

# 地震応答解析の対象

---

- 重要度分類クラス1の設備、重要度分類クラス2の設備であって、耐震安全上重要度が高い設備（耐震クラスがAs、Aのもの及びその他動的地震動による耐震評価の対象としているもの）について評価を実施
- 解析対象設備の選定
  - 同一の設備が複数存在する場合は、据付床の床応答等を考慮して解析対象設備を選定
  - 配管系のように類似設備が多数存在する場合は、設計時の余裕度（算定応力と許容値の余裕等）、仕様、使用条件等の観点から解析対象設備を選定

# 地震応答解析に用いる建屋応答

## ■ 建屋応答加速度

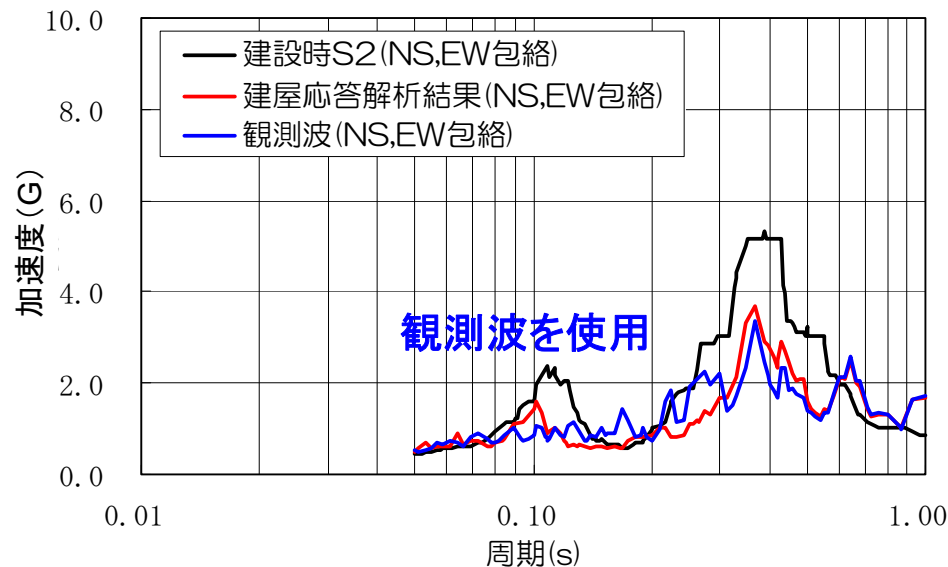
- 本地震が観測された階については観測記録を用いる
- それ以外の階については、観測記録をもとに建屋応答解析で算出された建屋応答加速度を用いる

## ■ 床応答スペクトル

- 設計時の床応答スペクトル
  - ✓ 建屋の地震応答の不確かさ（地盤特性，建屋剛性，地盤ばね定数の算出式および減衰定数，模擬地震波の位相特性等）をカバーするため拡幅（±10%）を実施
- 本評価における床応答スペクトル
  - ✓ 観測記録または観測記録にもとづく建屋応答解析による応答加速度を用いるため拡幅は行わない

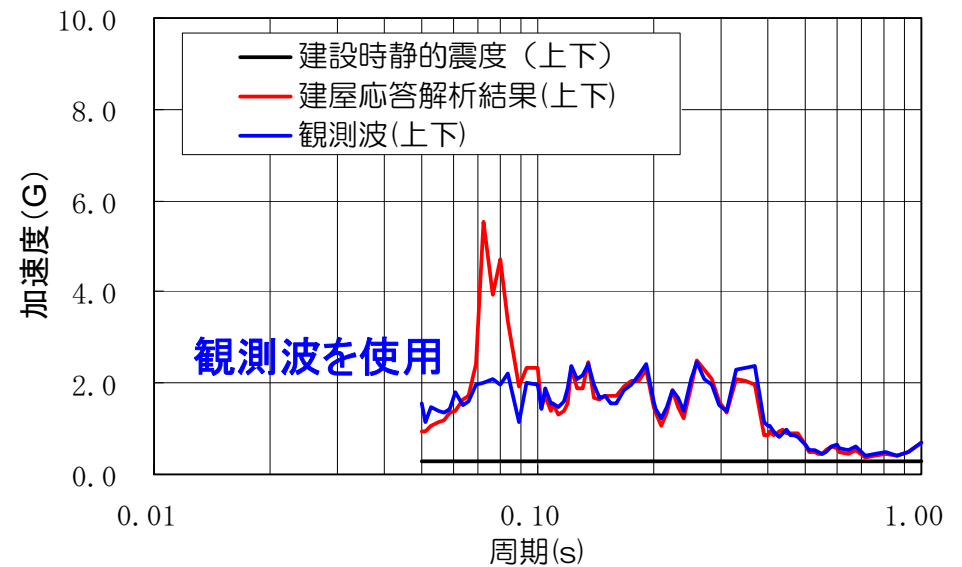
# 床応答スペクトル（原子炉建屋3階）

(水平方向)



原子炉建屋 23.5m 床応答スペクトル（減衰1.0%）

(上下方向)



原子炉建屋 23.5m 床応答スペクトル（減衰1.0%）

( $G=9.80665 \text{ m/s}^2$ )

# 地震応答解析の概要

## ■ 構造強度評価

- 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sを評価基準値とする
- 設備の評価箇所は以下の観点から選定
  - ✓ 地震力が大きく作用すると考えられる固定部（基礎ボルト，脚等）
  - ✓ 設計時応力の許容値に対する余裕度が比較的小さい部位

## ■ 動的機能維持評価

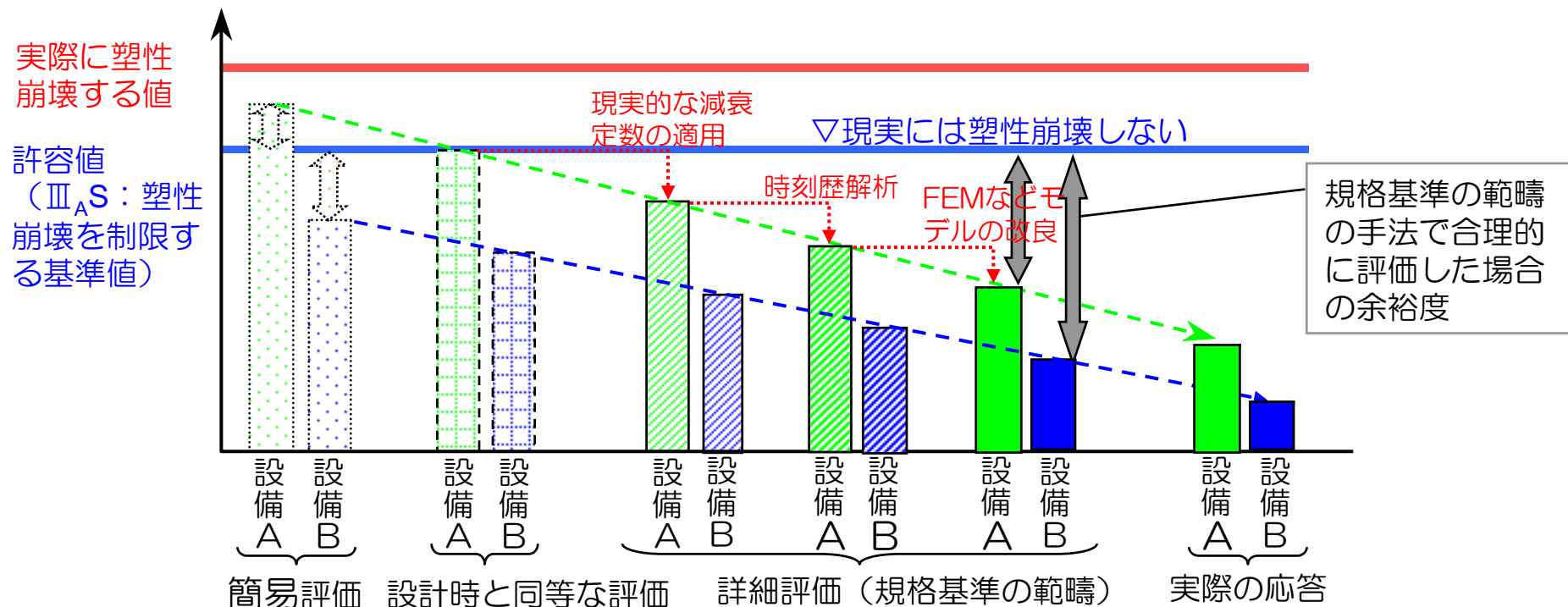
- ポンプ，弁および制御棒等の地震時の動的機能が要求される動的機器について，応答加速度と機能確認済加速度※との比較を基本として評価を行う
- 評価基準値
  - ✓ 機能確認済加速度は，JEAG4601-1991追補版に準拠するとともに，試験等で妥当性が確認された値も用いる

※立形ポンプ，横形ポンプおよびポンプ駆動用タービン，弁等，機種ごとに試験あるいは解析により，動的機能維持が確認された加速度



# 構造強度評価のイメージ

- 設計時の評価は，規格基準の範囲内で十分裕度をもって行われている
- 本構造強度評価においては，設計時と同等な評価を行うことを基本とするが，規格基準の範囲内でより合理的な評価を行うことも考慮する
  - ✓ 余裕度が比較的大きいものについては簡易評価を適用
  - ✓ 余裕度が比較的小さい設備については詳細評価を適用



# 構造強度評価の方法（1 / 6）

## ■ A. 簡易評価（応答倍率法等による評価）

- 大型機器（格納容器，圧力容器，炉内構造物）
  - ✓ 建屋－機器連成応答解析で地震力（加速度，せん断力，モーメント，軸力）を算出
  - ✓ 上記地震力と設計時の地震力との比を設計時の応力に乗じて評価基準値と比較
- 床置機器
  - ✓ 本地震と設計時のそれぞれの床応答スペクトルの比を設計時の応力に乗じて評価基準値と比較

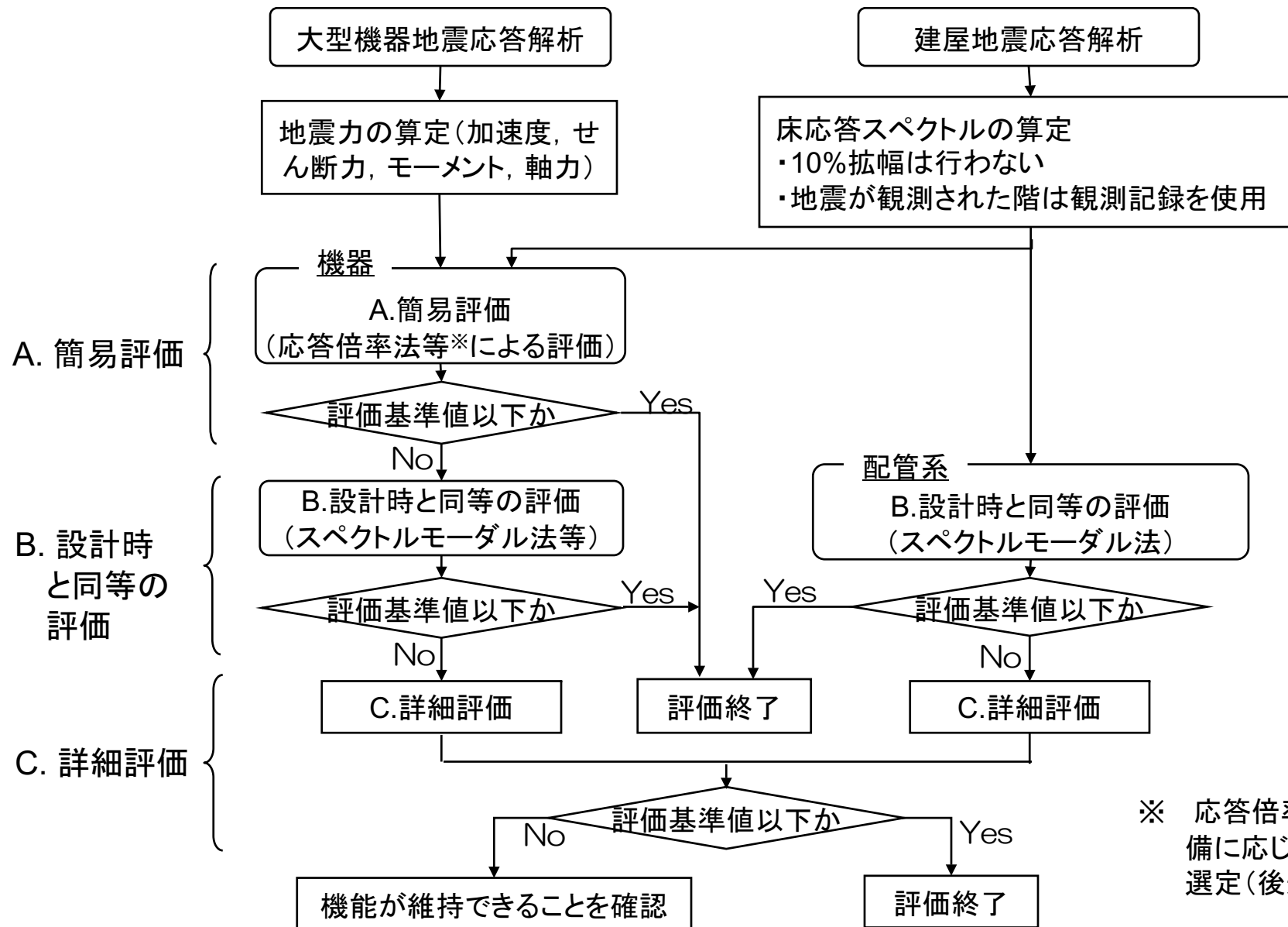
## ■ B. 設計時と同等な評価

- 大型機器，床置機器
  - ✓ 簡易評価で比較的余裕度が小さいと判断された設備は，設計時と同等の評価を行う
- 配管系
  - ✓ スペクトルモーダル法による解析を行い，算出値を評価基準値と比較

## ■ C. 詳細評価

- 設計時と同等な評価にて評価基準値を満足できない場合には，有限要素法の適用，時刻歴応答解析の実施，減衰定数の見直し等，規格基準の範囲内で詳細評価を行う

# 構造強度評価の方法 (2/6)



※ 応答倍率法は設備に応じた方法を選定(後述)

# 構造強度評価の方法（3／6）

## ■ 簡易評価（応答倍率法による評価）

- 地震観測記録にもとづく地震力による算出値は以下の方法で求める

✓ 地震観測記録に基づく地震力による算出値 =  $\frac{\text{設計時の応力}}{\text{（地震および地震以外の応力）}}$  × 応答比

✓ 地震観測記録に基づく地震力による算出値 =  $\frac{\text{設計時の応力} + \text{設計時の応力} \times \text{応答比}}{\text{（地震以外の応力）} \quad \text{（地震による応力）}}$

（応答比）

- ✓ 原子炉圧力容器や炉内構造物等，算出値を求めるにあたり加速度，せん断力，モーメント，軸力を用いる機器
  - 応答比 =  $\frac{\text{地震観測記録にもとづく地震力}}{\text{設計時の地震力}}$ との比  
（加速度，せん断力，モーメント，軸力毎に応答比を算定）
- ✓ ポンプの基礎ボルト等，算出値を求めるにあたり水平加速度，鉛直加速度を用いる機器
  - 応答比 =  $\frac{\sqrt{\text{地震観測記録にもとづく水平加速度}^2 + \text{鉛直加速度}^2}}{\sqrt{\text{設計時の水平加速度}^2 + \text{鉛直加速度}^2}}$ との比

# 構造強度評価の方法（4／6）

- 「設計時と同等な評価」において必要に応じ考慮する条件
  - 試験・研究等により妥当性が確認された評価手法，パラメータ
    - ✓ 設計用減衰定数（配管系，クレーン類が変更，次ページ参照）の見直し
    - ✓ 水平動的応答と鉛直動的応答の二乗和平方根法による組合せなど
  - 水平方向床応答スペクトルの扱い
    - ✓ NS方向，EW方向の床応答スペクトル別に評価
  - 解析モデルの精緻化
    - ✓ サポート剛性等の詳細条件の見直し
  - 運転状態の反映
    - ✓ 燃料装荷の有無等，運転状態を考慮した条件の適用
    - ✓ 運転状態の温度による許容応力の設定

# 構造強度評価の方法（5／6）

## ■ 試験，研究等により妥当性が確認された設計用減衰定数

対象設備	減衰定数（％）	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	<u>1.0</u>
ボルトおよびリベット構造物	2.0	<u>2.0</u>
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	<u>1.0</u>
電気盤	4.0	<u>1.0</u>
燃料集合体	7.0	<u>1.0</u>
制御棒駆動装置	3.5	<u>1.0</u>
配管系	<u>0.5～3.0</u>	<u>0.5～3.0</u>
使用済燃料貯蔵ラック	7.0	<u>1.0</u>
燃料取替機	<u>1.5～2.0</u>	<u>1.5～2.0</u>
原子炉建屋天井クレーン	<u>2.0</u>	<u>2.0</u>

※表中で下線部は，下記の検討により確認された減衰定数を示す。

- ✓ 「配管系設計用減衰定数適正化に関する検討，第9回機器・配管系検討会資料No.9-3-2-2(5)」，  
（社）日本電気協会，2006年5月
- ✓ 「クレーン類の設計用減衰定数に関する検討，第9回機器・配管系検討会資料No.9-3-2-2(2)」，  
（社）日本電気協会，2006年5月

# 構造強度評価の方法（6／6）

## ■ 「詳細評価」で必要に応じ考慮する条件

- 時刻歴解析

- ✓ スペクトルモーダル法に替え時刻歴解析を適用 } JEAG4601にて適用可

- 減衰定数の見直し

- ✓ 電力共研，自社研究等の成果の適用

- ✓ 消散エネルギー法による減衰の評価

- } 実験等に基づきその妥当性が確認された場合には適用可能（JEAG4601）

- 有限要素法の適用

- } JEAG4601にて適用可

# 動的機能維持評価の方法

## ■ 機能確認済加速度との比較

- 地震観測記録に基づき求めた設備の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認
  - ✓ 適用する機能確認済加速度
    - JEAG4601-1991 追補版
    - 試験等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに水平方向についても見直された値（現行JEAGは水平方向のみ規定）
- 制御棒の地震時挿入性については、地震時観測記録に基づく燃料集合体の相対変位が機能確認済相対変位以下であることを確認
  - ✓ 適用する機能確認済相対変位
    - ⇒試験により挿入性が確認された機能確認済相対変位



# 機能確認済加速度（1 / 2）

- 機能確認済加速度
  - ✓ ポンプ，ポンプ駆動用タービン，弁等の機種ごとに試験あるいは解析により，動的機能維持が確認された加速度
  - ✓ 機能確認済加速度は，振動台の制限で定まることが多く，設備機能維持が可能な最大加速度には余裕度が存在すると考えられる
- 機能確認済加速度は，JEAG4601-1991追補版に規定
  - ✓ 水平方向のみ。鉛直方向については規定されていない
  - ✓ 試験・研究等をもとに鉛直方向の機能確認済加速度を定めるとともに，水平方向についても見直した値を適用

（「水平・鉛直地震動に対する動的機器の地震時機能維持評価法の改定案について」，（社）日本電気協会，第15回機器・配管系検討会資料No. 15-4-4-2，平成18年9月11日）

種別	機種	加速度確認部位	機能確認済加速度※1	
			水平方向(G)	鉛直方向(G)
立形ポンプ	ピットバレル形ポンプ	コラム先端部	10.0	1.0
	立形斜流ポンプ			
	立形単段床置形ポンプ	ケツグ 下端部		
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2（軸直角方向）	1.0
	横形多段遠心式ポンプ		1.4（軸方向）	
ポンプ駆動用タービン	RCICタービン	重心位置	2.4	1.0

※1:「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」に追加および変更した箇所を下線で示す

# 機能確認済加速度（2 / 2）

種別	機種	加速度確認部位	機能確認済加速度※1	
			水平方向(G)	鉛直方向(G)
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	<u>1.0</u>
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			
ファン	遠心直結型ファン	軸受部およびメカニカルシグ	2.3	<u>1.0</u>
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	
非常用ディーゼル発電機	中速形ディーゼル機関	機関重心位置	1.1	<u>1.0</u>
		ガバナ取付位置	<u>1.8</u>	
往復動式ポンプ	横形3連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	<u>1.0</u>
弁（一般弁および特殊弁）	一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁、逆止弁）	駆動部	6.0	<u>6.0</u>
	主蒸気隔離弁		<u>10.0</u>	6.2
	主蒸気逃がし安全弁		<u>9.6</u>	6.1
	制御棒駆動系スクラム弁		<u>6.0</u>	<u>6.0</u>
制御棒挿入性		—	確認済相対変位 40mm以下※2	

※1:「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」に追加および変更した箇所を下線で示す

※2:挿入性試験により、規定時間内に制御棒が挿入されたことが確認された値