

新耐震指針に照らした耐震安全性評価 主要施設の耐震安全性

(美浜発電所1号機、大飯発電所3, 4号機、高浜発電所3, 4号機)

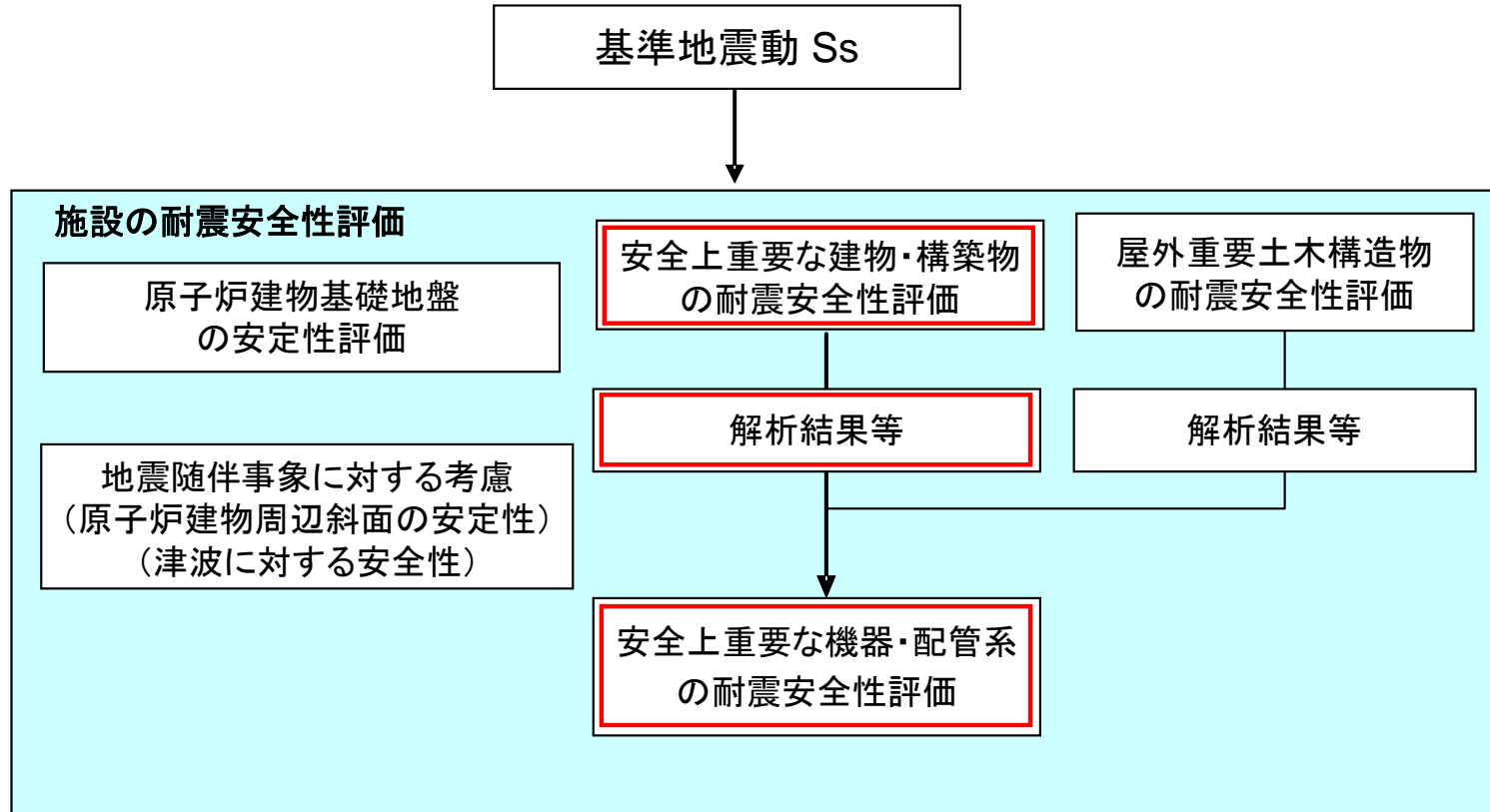
平成21年12月21日

関西電力株式会社

-
1. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ
 2. 施設の耐震安全性評価方針
 3. 主要施設の評価方法
 4. 安全上重要な主要施設の耐震安全性評価
 5. まとめ

1. 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ

(美浜、高浜、大飯発電所)



は中間報告対象

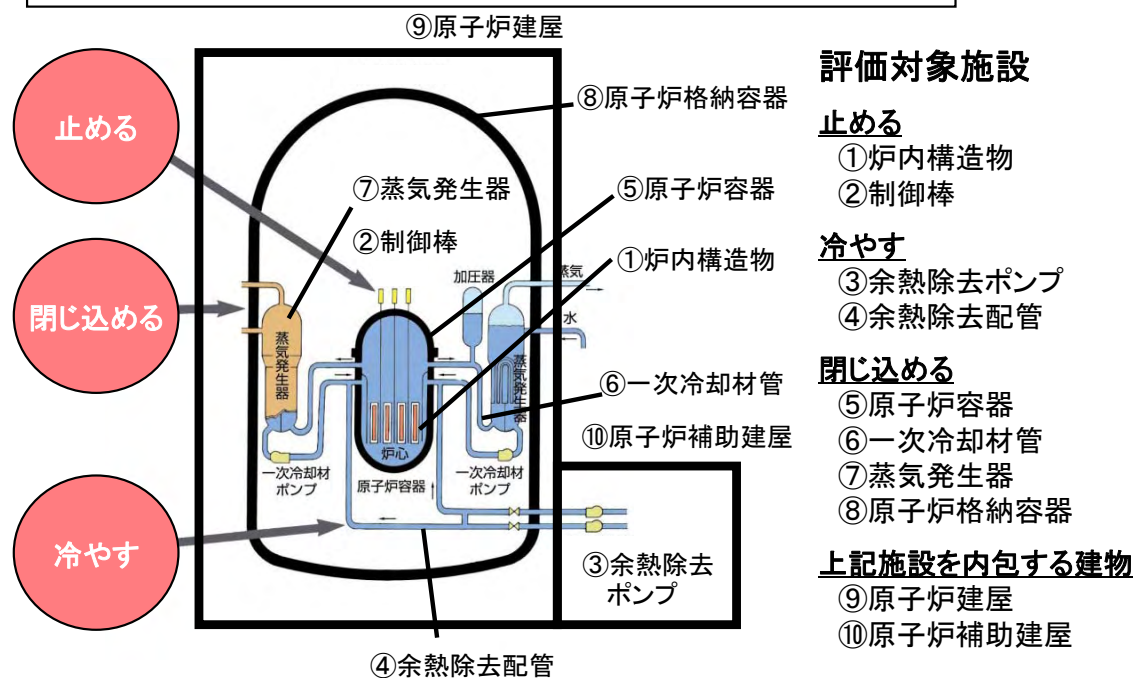
2. 施設の耐震安全性評価方針

[評価方針]

中間報告(追補版)における評価対象施設は、新耐震指針によるSクラスの施設のうち、原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係る安全上重要な機能を有する主要な施設を対象としている。

本資料では、応答スペクトルに基づく基準地震動 S_s (以下「**応答スペクトル波**」という。)及び断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s (以下「**断層モデル波**」という。)に対する評価結果について示す。

美浜1～3号機、大飯1～4号機、高浜1～4号機 (PWR)



[評価方法]

1. 建物・構築物の評価

基準地震動 S_s による時刻歴応答解析により求めた耐震壁の最大応答せん断ひずみと評価基準値を比較(⑨⑩)

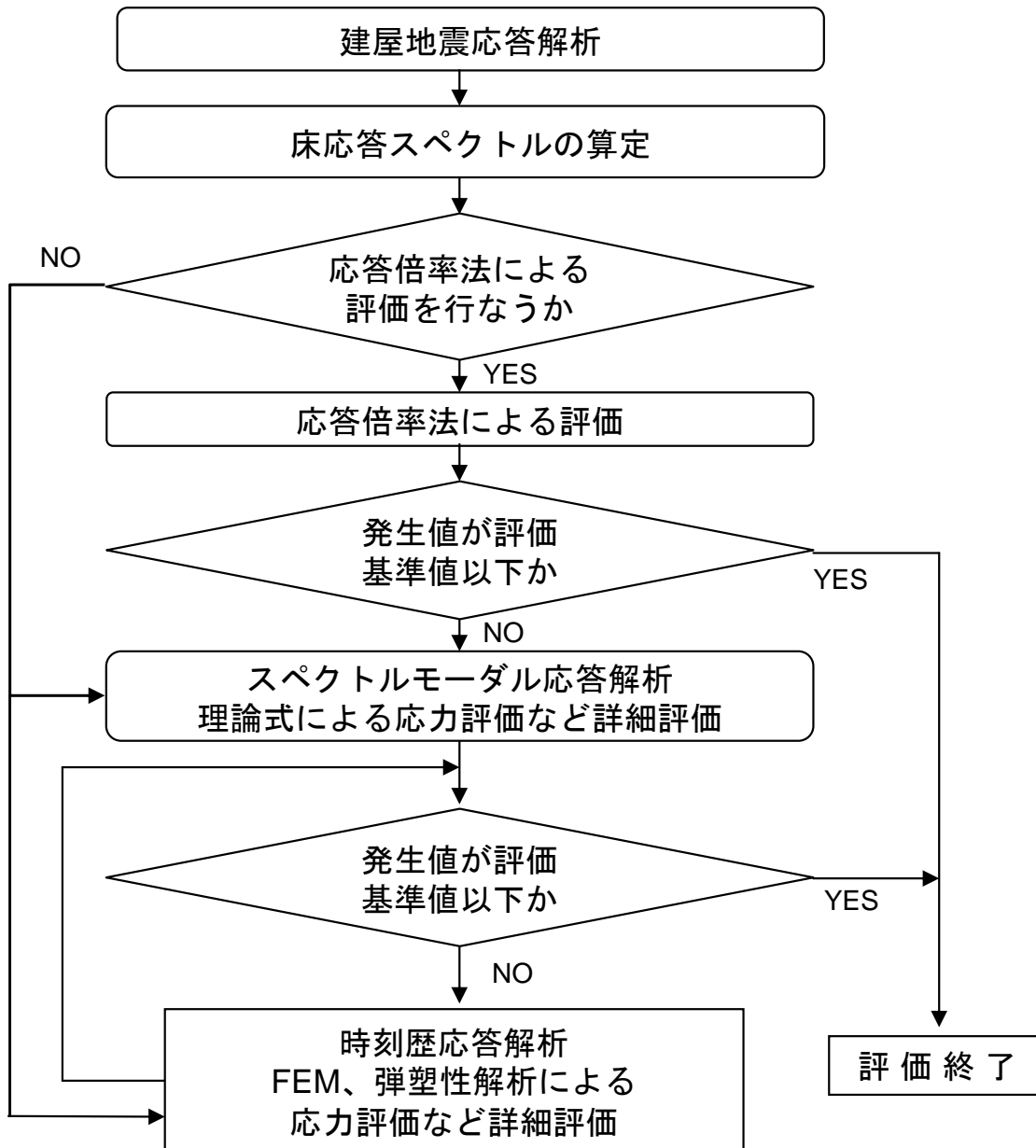
2. 機器・配管系の構造強度評価

基準地震動 S_s を想定した場合に施設に生じる応力(発生値)を算出し、評価基準値(材料毎に定められた許容応力)と比較(①③④⑤⑥⑦⑧)

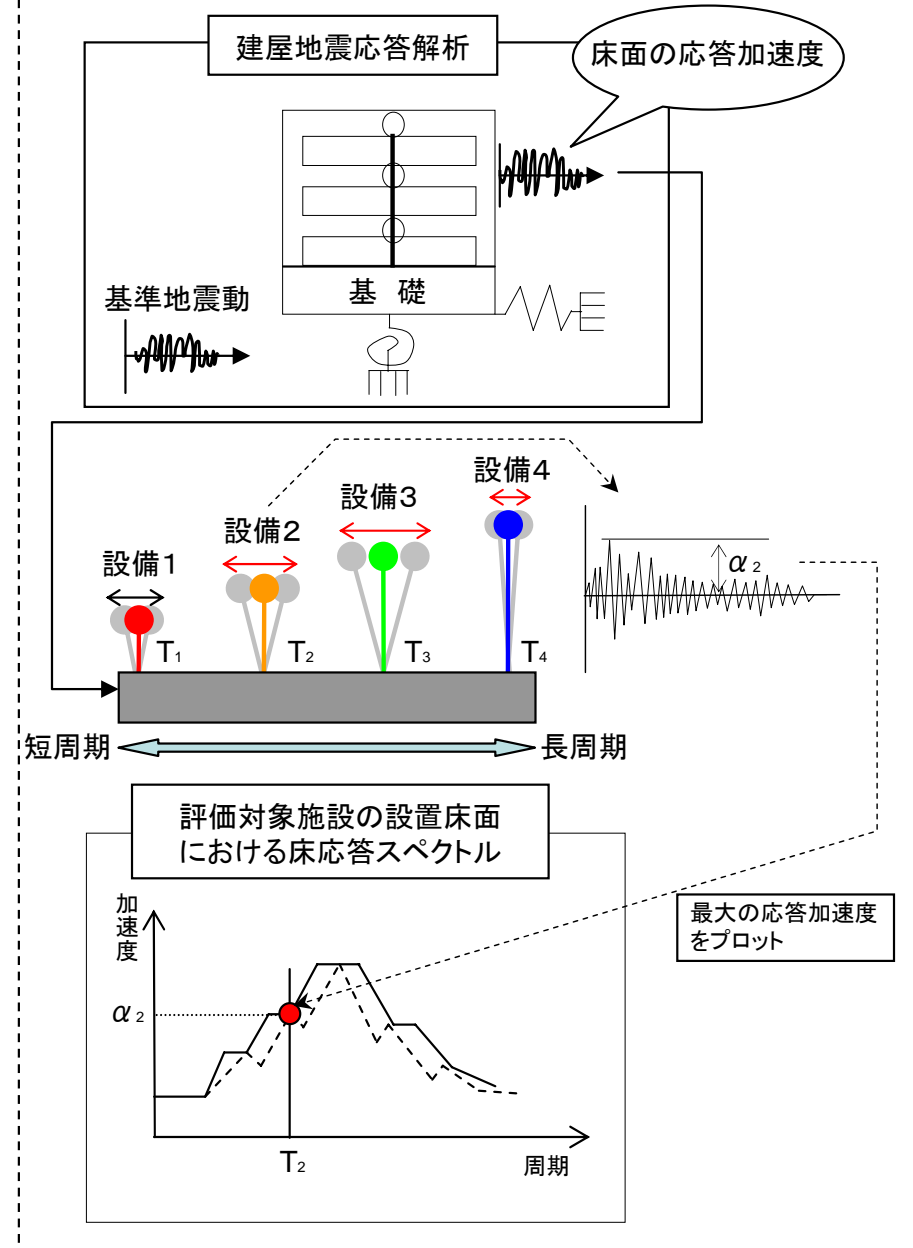
3. 機器・配管系の動的機能維持評価 (制御棒挿入性)

基準地震動 S_s を想定した場合の制御棒挿入時間を算定し、評価基準値と比較(②)

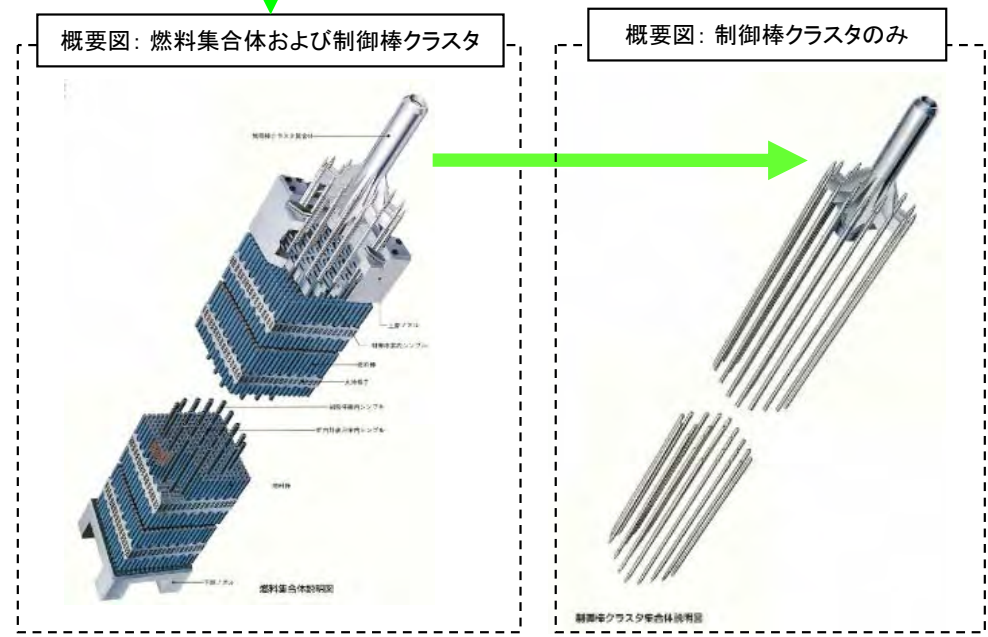
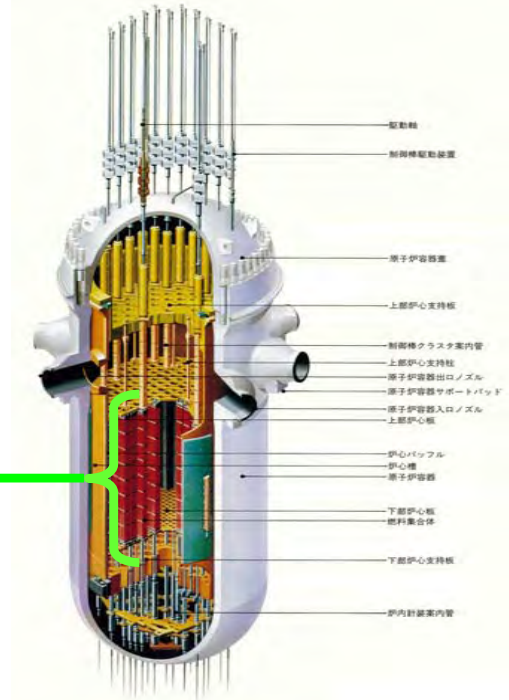
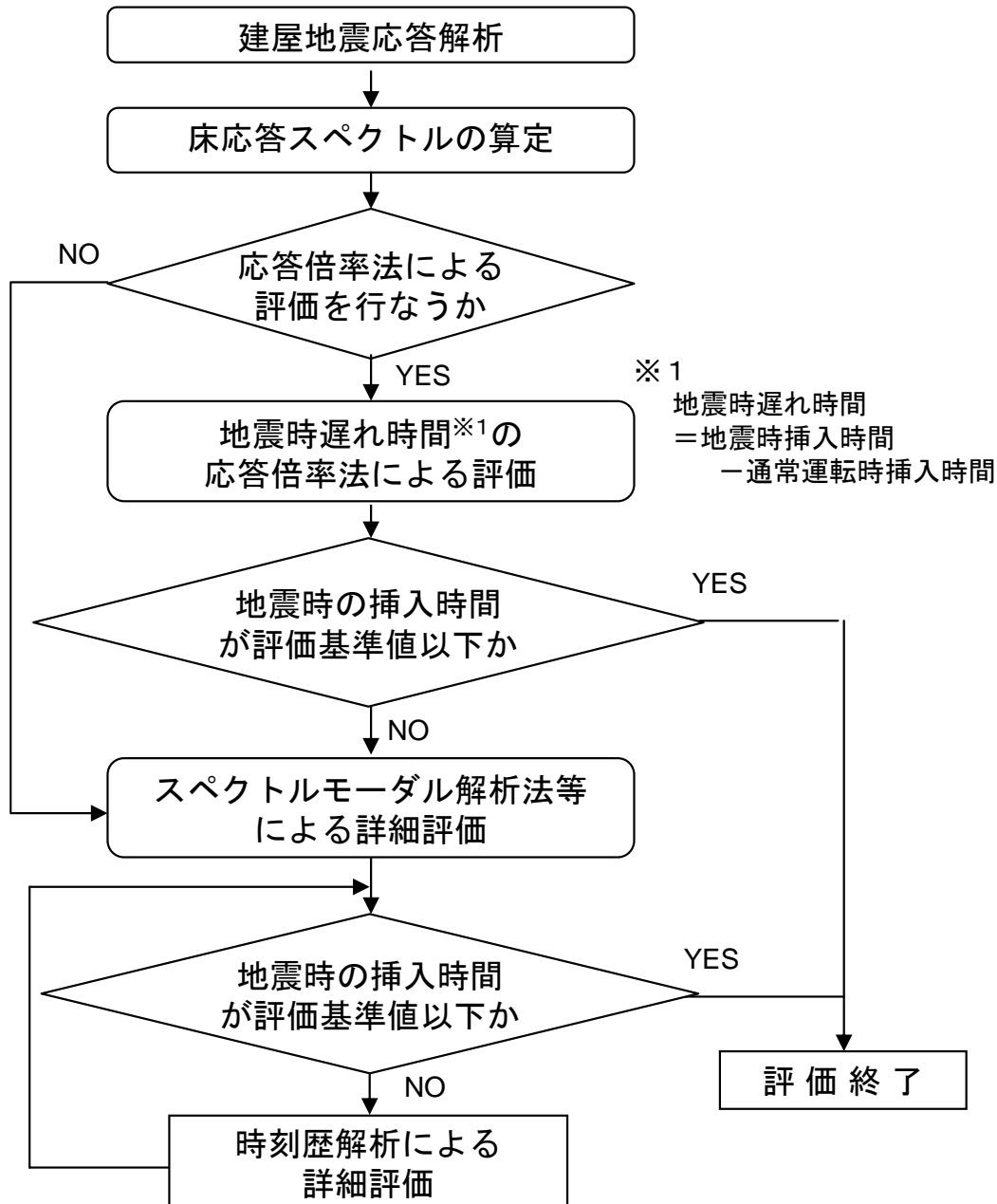
主要施設の構造強度評価の流れ



床応答スペクトルの算定



動的機能維持評価（制御棒挿入性）の流れ



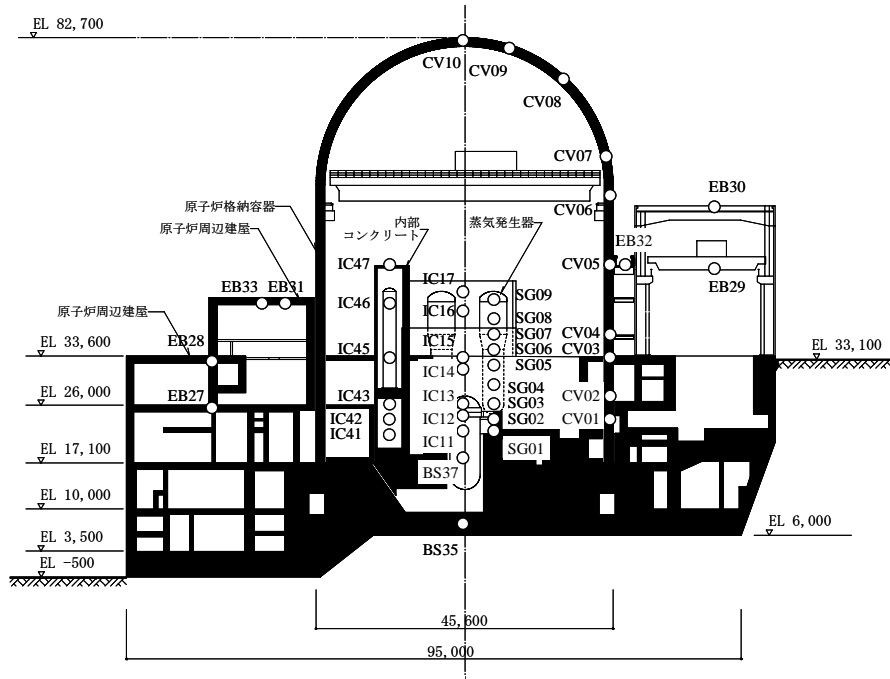
(主な構成設備の概要図)

4. 安全上重要な主要施設の耐震安全性評価

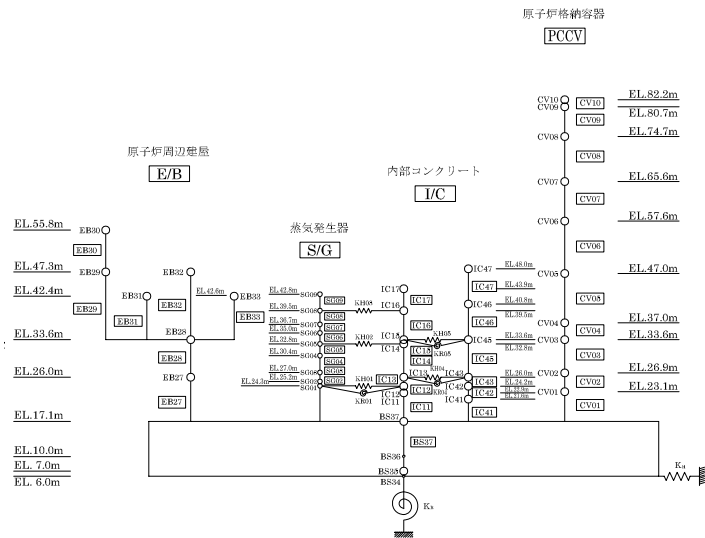
I. 建物・構築物の耐震安全性評価

II. 機器・配管系の耐震安全性評価

(注) 美浜発電所1号機、大飯発電所3, 4号機、高浜発電所3, 4号機は、いずれも主要施設の構成や解析モデル化の考え方等が同様であるため、本資料では構造Bサブグループに付議した内容から各施設1例を選定して記載した。



概略断面図 (解析モデルの概念図)



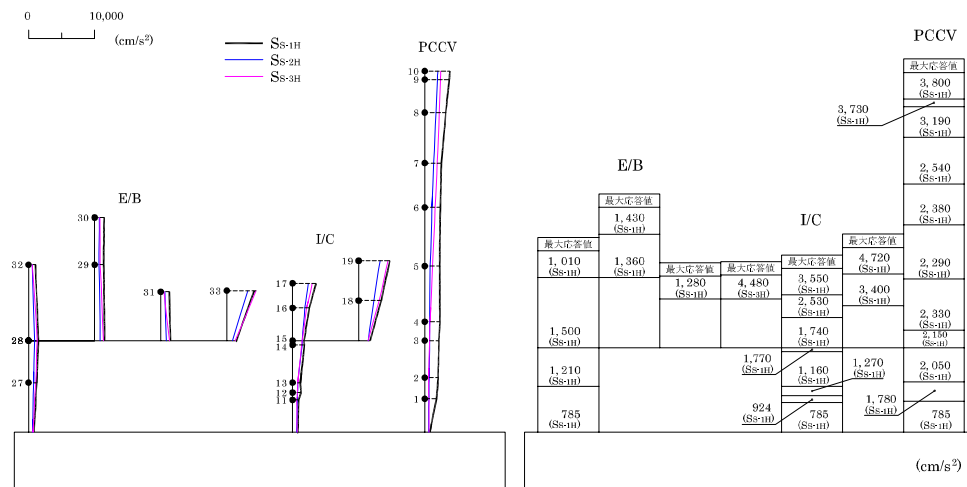
解析モデル

原子炉建屋の物性値

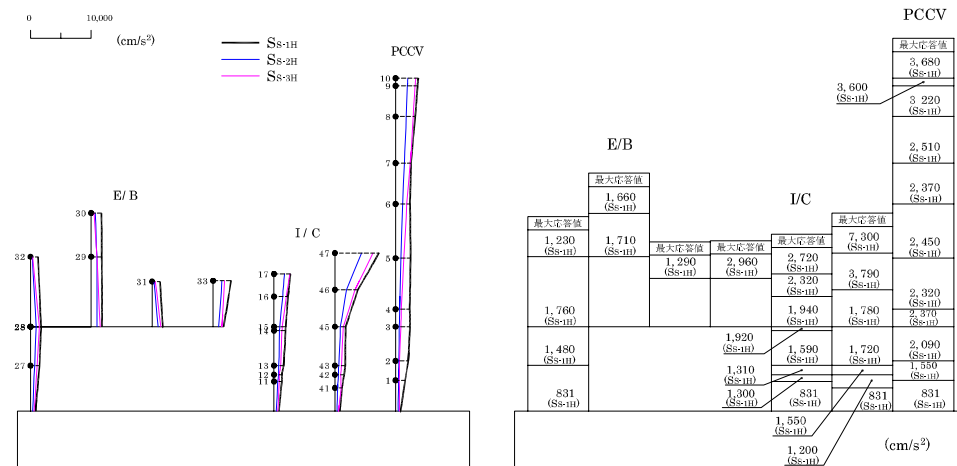
部 位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
原子炉格納容器 (C/V)	コンクリート: F _c =44.1 (N/mm ²) (F _c =450kgf/cm ²) 鉄筋: SD40 (SD390相当)	2.90 × 10 ⁴	1.21 × 10 ⁴	3
内部コンクリート (I/C) 原子炉周辺建屋 (E/B)	コンクリート: F _c =29.4 (N/mm ²) (F _c =300kgf/cm ²) 鉄筋: I/C SD40 (SD390相当) E/B SD35 (SD345相当)	2.43 × 10 ⁴	1.01 × 10 ⁴	5
原子炉周辺建屋 (E/B)	鉄骨: SM50 (SM490相当)	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2
蒸気発生器 (S/G)	SQV2A 部材: SG02	1.80 × 10 ⁵	6.92 × 10 ⁴	水平: 3 鉛直: 1
	SQV2B 部材: SG03~SG09	1.85 × 10 ⁵	7.12 × 10 ⁴	水平: 3 鉛直: 1

原子炉建屋の地盤定数

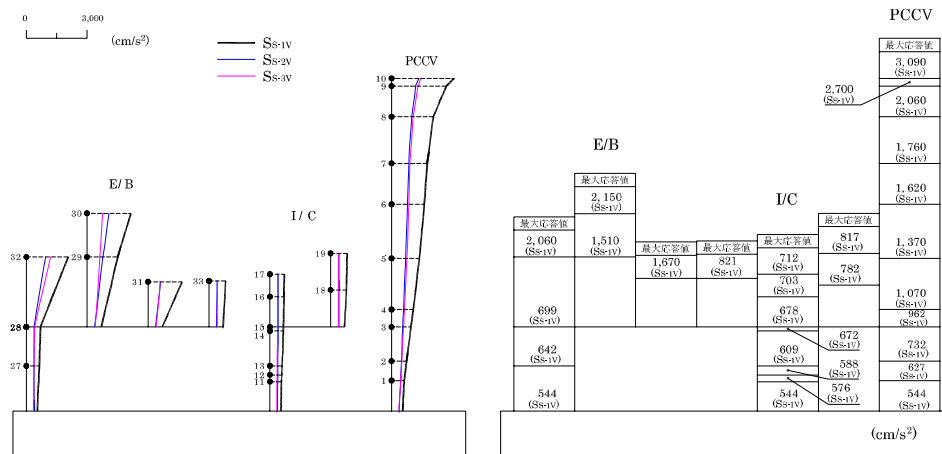
地層 EL. (m)	地盤せん断波 速度 V _s (m/s)	密度 ρ (t/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
-60以浅	2,240	2.7	0.35	1.35 × 10 ⁴	3.65 × 10 ⁴
-60以深	2,510	2.7	0.34	1.70 × 10 ⁴	4.56 × 10 ⁴



EW方向



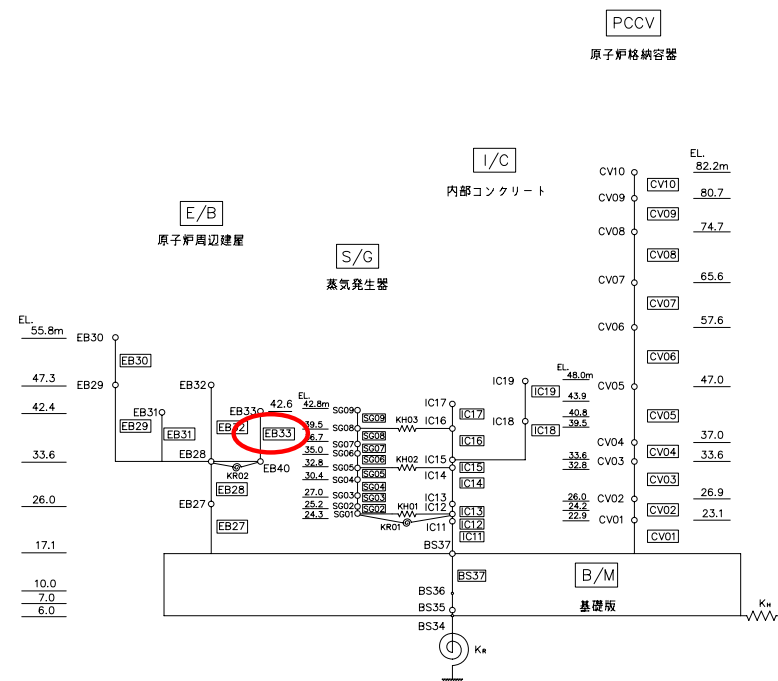
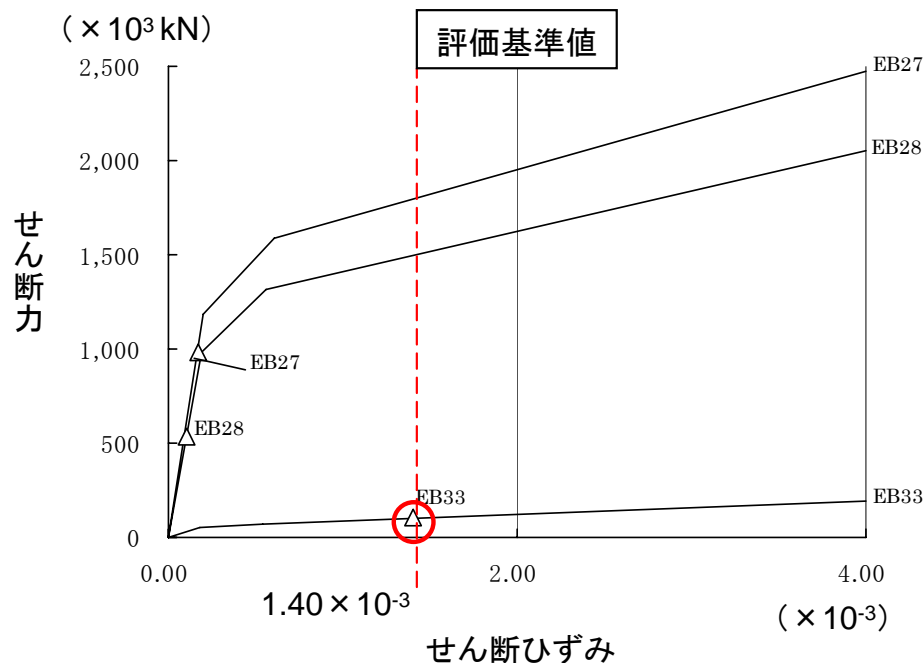
NS方向



鉛直方向

凡例

- 原子炉格納容器(PCCV)
- 内部コンクリート(I/C)
- 原子炉周辺建屋(E/B)

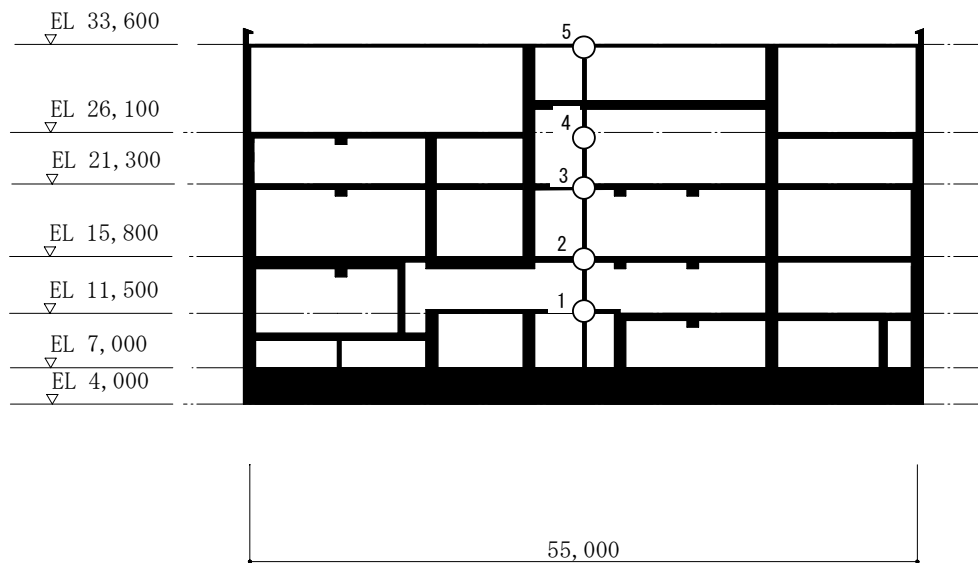


○ は最大ひずみ発生部位を示す。

Q-γ 関係と最大応答値(原子炉周辺建屋(E/B) EW方向 S_{S-3H})

各部位の最大応答値一覧

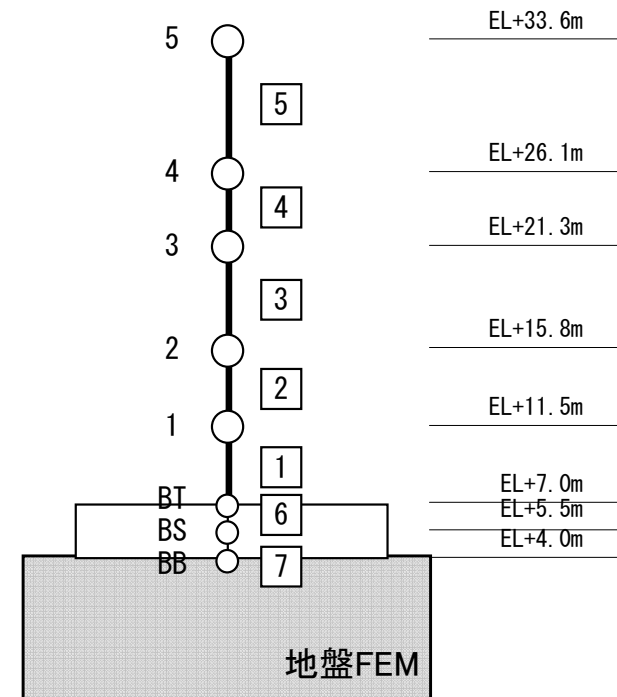
評価項目	方向	部位	評価結果		
			S_{S-1H}	S_{S-2H}	S_{S-3H}
せん断ひずみ $\gamma (\times 10^{-3})$	EW	PCCV	1.18 (CV01)	0.249 (CV01)	0.335 (CV01)
		I/C	0.836 (IC18)	0.276 (IC18)	0.772 (IC18)
		E/B	1.19 (EB33)	0.523 (EB33)	1.40 (EB33)
	NS	PCCV	1.19 (CV01)	0.242 (CV01)	0.454 (CV03)
		I/C	1.39 (IC46)	0.274 (IC12)	1.03 (IC46)
		E/B	0.235 (EB27)	0.129 (EB27)	0.200 (EB27)



(EW方向)

原子炉補助建屋の物性値

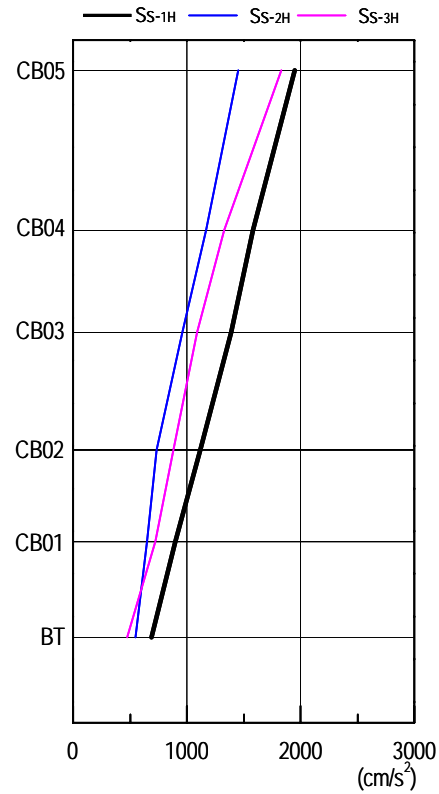
部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
原子炉補助建屋	コンクリート : Fc=29.4(N/mm ²) (Fc=300kgf/cm ²) 鉄筋 : SD35 (SD345 相当)	24.3×10 ³	10.1×10 ³	5



地震応答解析モデル(水平方向)

原子炉補助建屋地盤定数

地層 EL. (m)	地盤せん断波 速度 Vs (m/s)	密度 ρ (t/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
-60 以浅	2,240	2.7	0.35	13.5×10 ³	36.5×10 ³
-60 以深	2,510	2.7	0.34	17.0×10 ³	45.6×10 ³

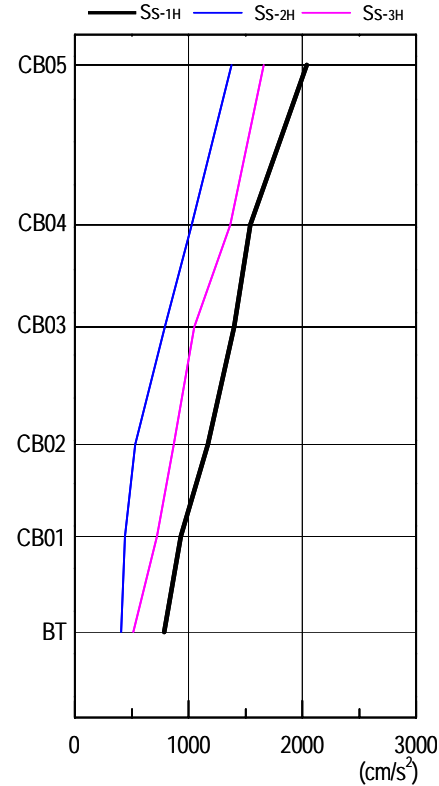


EW方向

最大応答値

1950	(SS-1H)
1580	(SS-1H)
1390	(SS-1H)
1120	(SS-1H)
898	(SS-1H)
691	(SS-1H)

(cm/s²)

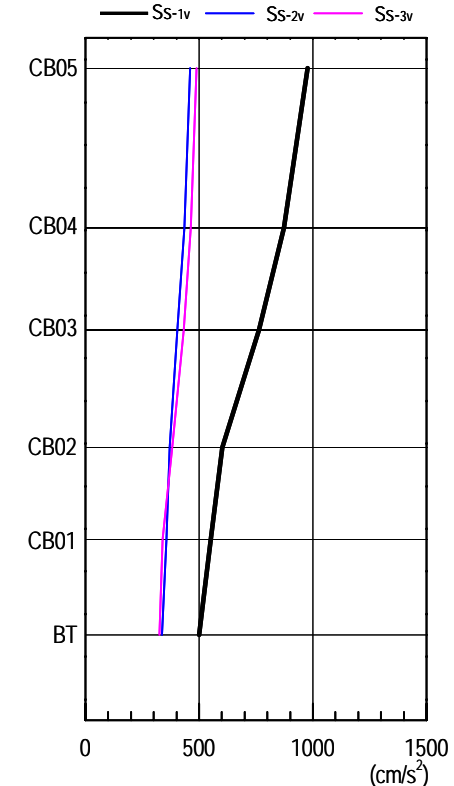


NS方向

最大応答値

2040	(SS-1H)
1540	(SS-1H)
1400	(SS-1H)
1170	(SS-1H)
930	(SS-1H)
784	(SS-1H)

(cm/s²)



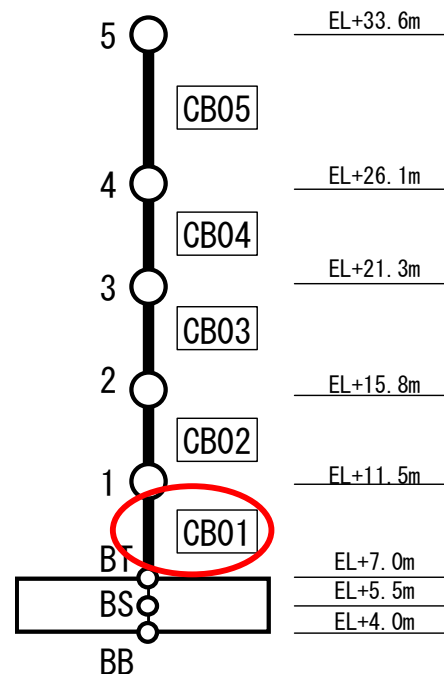
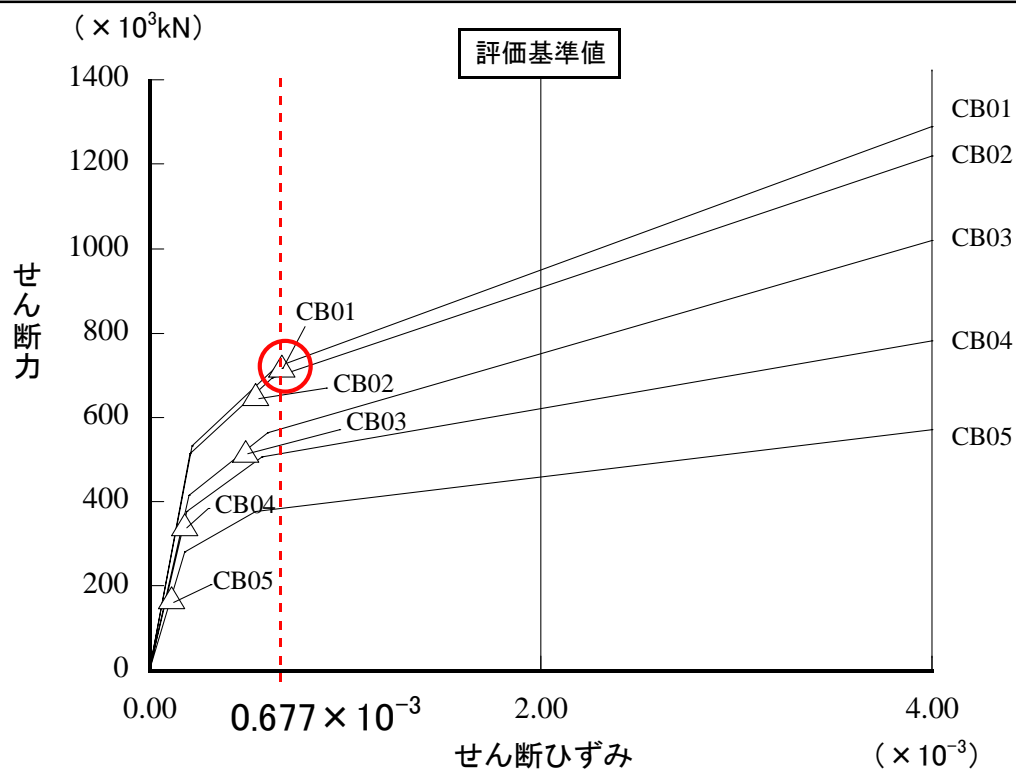
鉛直方向

最大応答値

977	(SS-1v)
873	(SS-1v)
762	(SS-1v)
601	(SS-1v)
551	(SS-1v)
499	(SS-1v)

(cm/s²)

地震応答解析結果(最大応答加速度)



○は最大ひずみ発生部位を示す。

(原子炉補助建屋 EW方向)

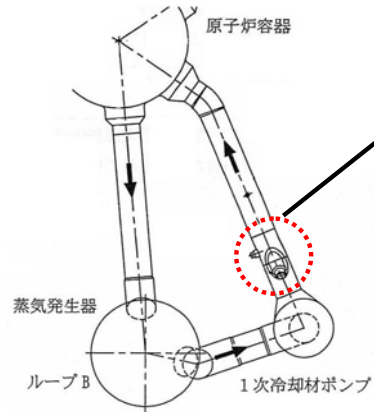
Q- γ 関係と最大応答値 (S_{S-1H})

最大応答値一覧

	方向	S_{S-1H}	S_{S-2H}	S_{S-3H}
せん断 ひずみ γ ($\times 10^{-3}$)	NS	0.582 (CB01)	0.176 (CB01)	0.294 (CB01)
	EW	0.677 (CB01)	0.221 (CB01)	0.314 (CB01)

一次冷却材管 (蓄圧注入管台)

(高浜3,4号機)

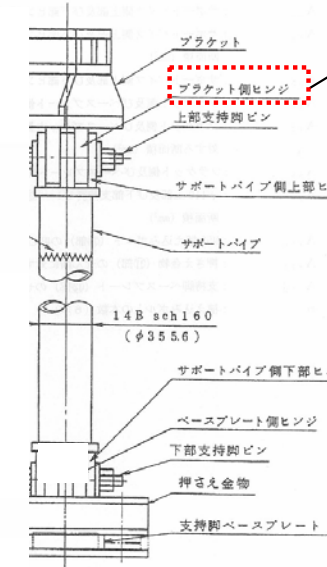


評価部位
(蓄圧注入管台)

評価部位の材質
SCS14A相当(ステンレス鋼)
温度条件 303.3°C

蒸気発生器 (支持脚)

(高浜3,4号機)

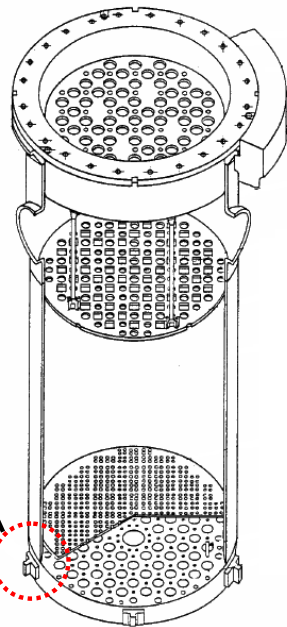


評価部位

評価部位の材質
SM490B相当(炭素鋼)
温度条件 90°C

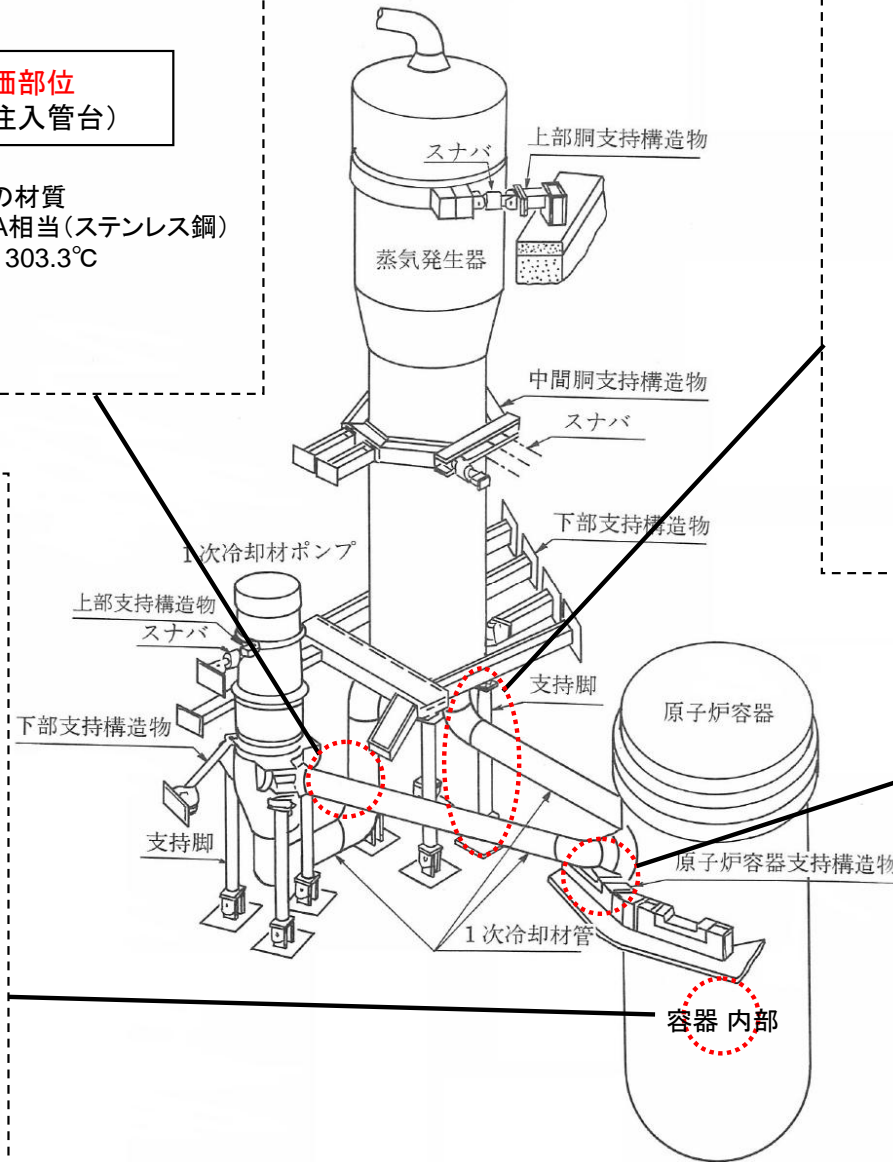
炉内構造物 (ラジアルサポート)

(高浜3,4号機)



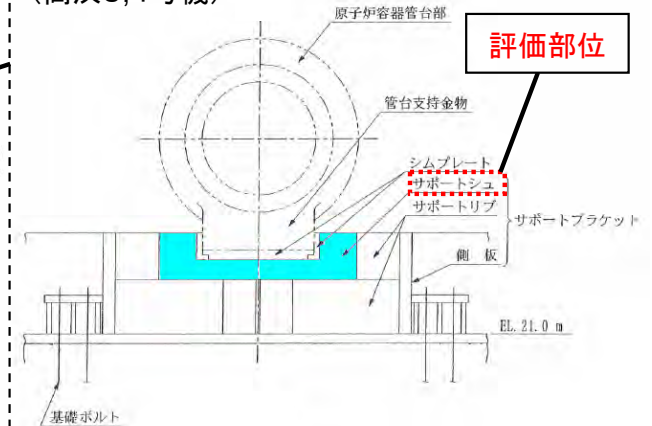
評価部位

評価部位の材質 SUSF304(ステンレス鋼)
温度条件 303.3°C



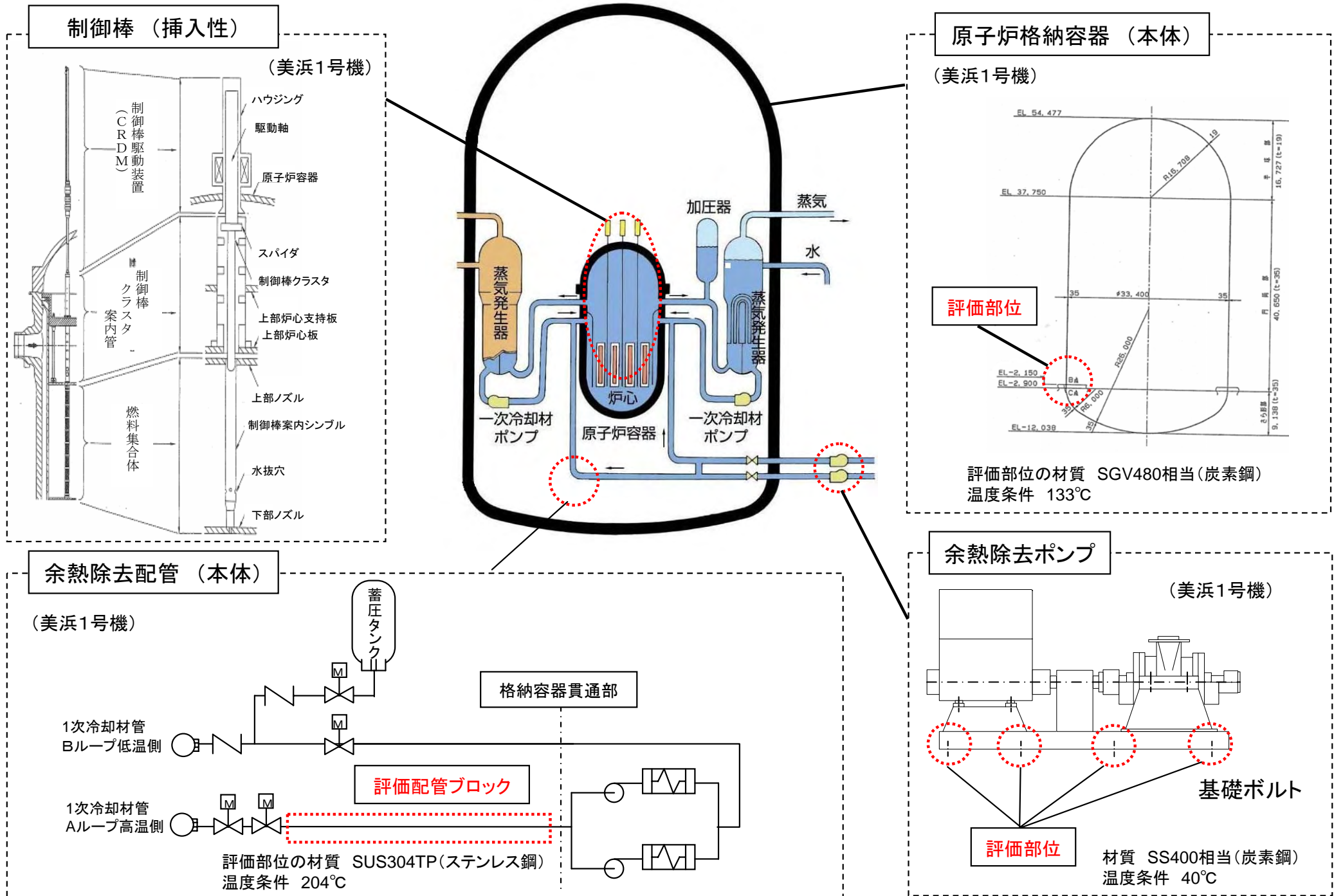
原子炉容器 (支持構造物)

(高浜3,4号機)

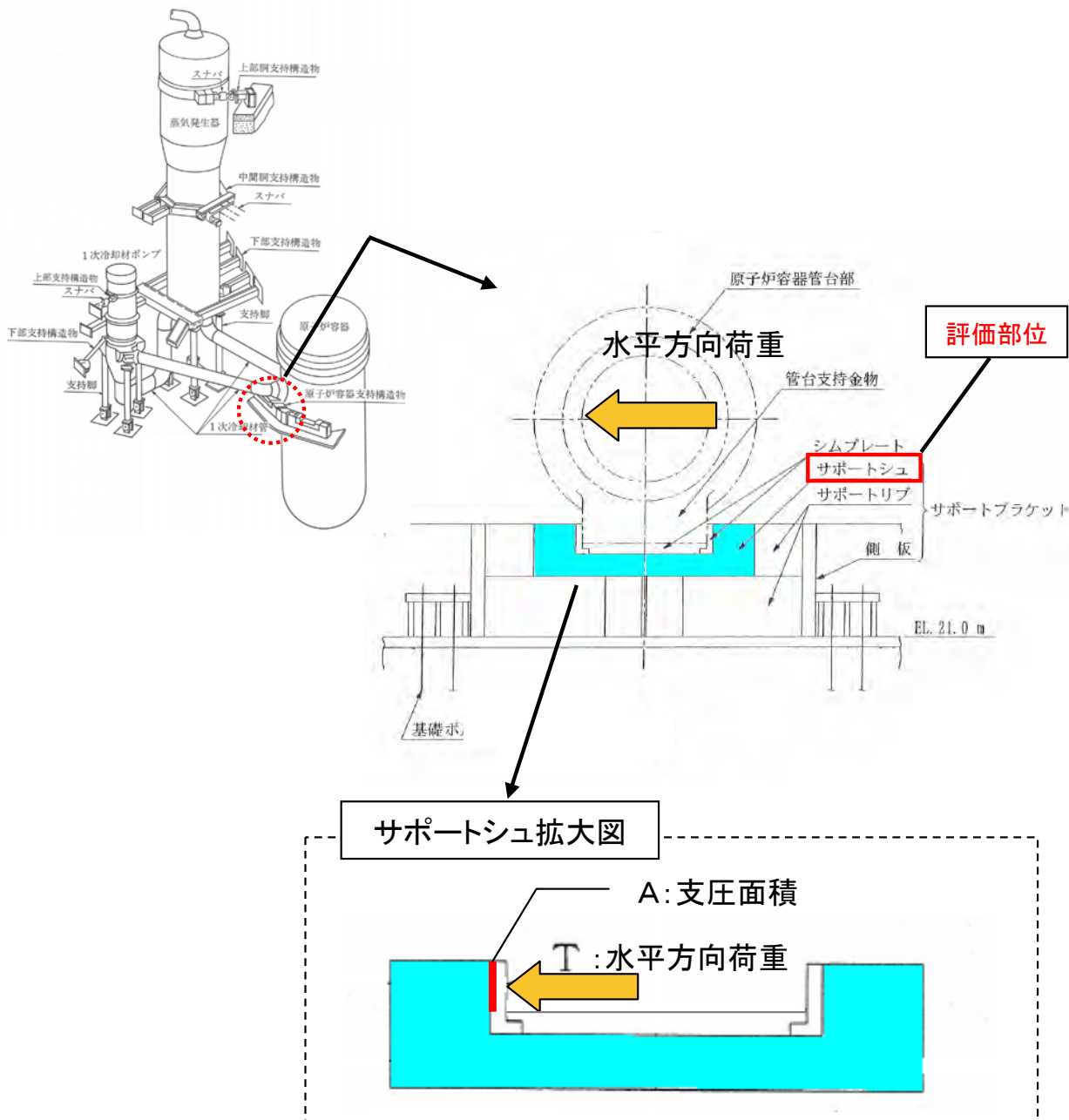


評価部位

評価部位の材質 SFVQ1A相当(低合金鋼)
温度条件 170°C



(高浜3, 4号機)



発生値(サポートシュ支圧応力)

3号機

T: 水平方向荷重 (5764kN)
 A: 支圧面積 (28700mm²)
 → σ (支圧応力: T/A) = **201MPa**

4号機

T: 水平方向荷重 (5968kN)
 A: 支圧面積 (28700mm²)
 → σ (支圧応力: T/A) = **208MPa**

評価部位

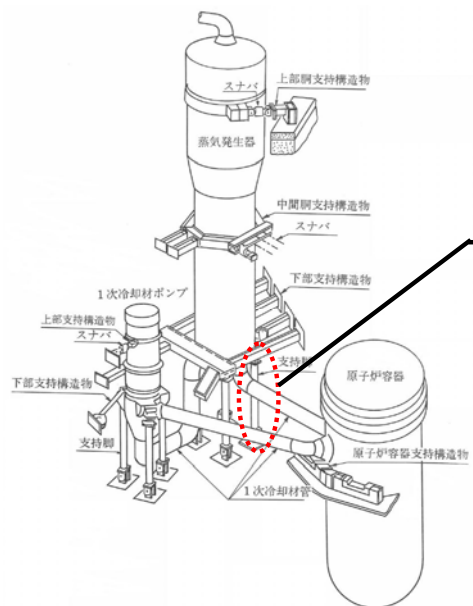
評価基準値

クラス1支持構造物の許容応力(一次応力(支圧))
 $1.5 f_p^* = 1.5 \times (F/1.1) = \mathbf{465MPa}$

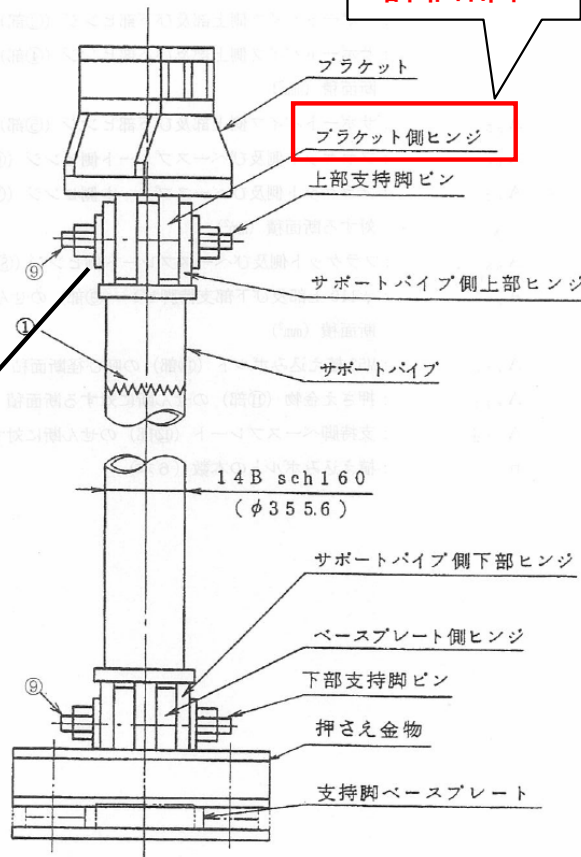
$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = 342MPa$
 材料: 圧力容器用調質型合金鋼鍛鋼品
 JIS G 3204(1988) SFVQ1A
 使用温度: 170°C
 → $S_y = 315MPa$, $S_u = 489MPa$
 (設計・建設規格第I編(2005)より)

	発生値	評価基準値
3号機	201MPa	465MPa
4号機	208MPa	

(高浜3, 4号機)

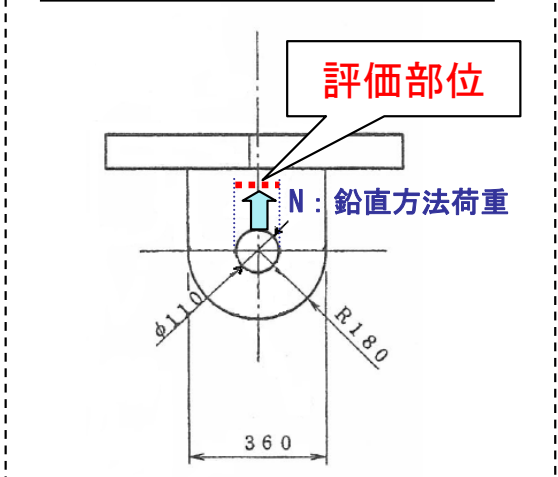


評価部位



ブラケット側ヒンジ拡大図

評価部位



発生値(ブラケット側ヒンジ支圧応力)

3号機
 N: 鉛直方向荷重(3896kN)
 A: 支圧面積19800(mm²)
 → σ_p (支圧応力: N/A) = **197MPa**

4号機
 N: 鉛直方向荷重(3895kN)
 A: 支圧面積19800(mm²)
 → σ_p (支圧応力: N/A) = **197MPa**

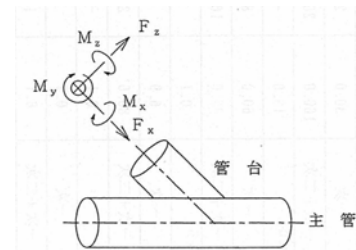
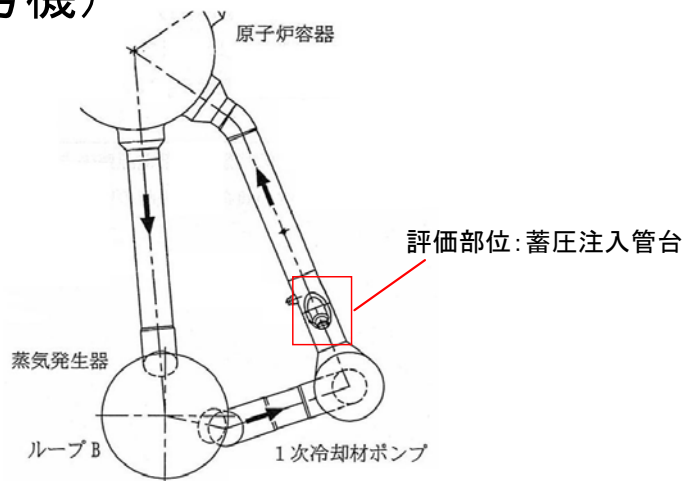
評価基準値

クラス1支持構造物の許容応力(一次応力(支圧))
 $1.5 f_p^* = 1.5 \times (F/1.1) = \mathbf{426MPa}$

$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = 313MPa$
 材料: 溶接構造用圧延鋼材
 JIS G 3106(2004) SM490B
 使用温度: 90°C
 → $S_y = 270MPa, S_u = 447MPa$
 (設計・建設規格第I編(2005)より)

	発生値	評価基準値
3号機	197MPa	426MPa
4号機	197MPa	

(高浜3, 4号機)

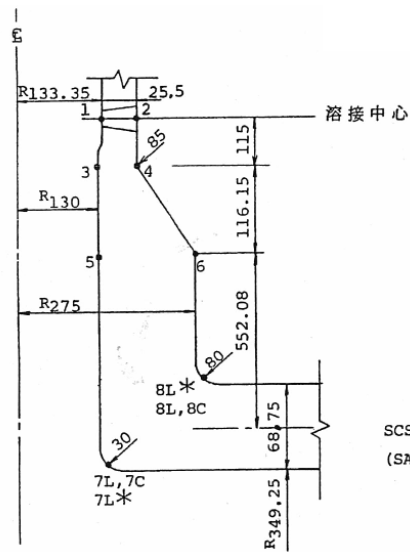


分岐管よりの外荷重(蓄圧注入管台)

		軸力(kN)			曲げモーメント(kN・m)		
		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
3号機	自重	19.0	-1.1	-21.0	3.8	1.3	-1.4
	地震荷重	60.0	88.0	59.0	110.0	120.0	79.0
4号機	自重	20.0	-1.1	-22.0	3.8	1.3	-1.4
	地震荷重	73.0	110.0	71.0	130.0	150.0	95.0

評価方法

分岐管の荷重を用い、クラス1容器の評価体系に基づき各評価部位の発生値を評価

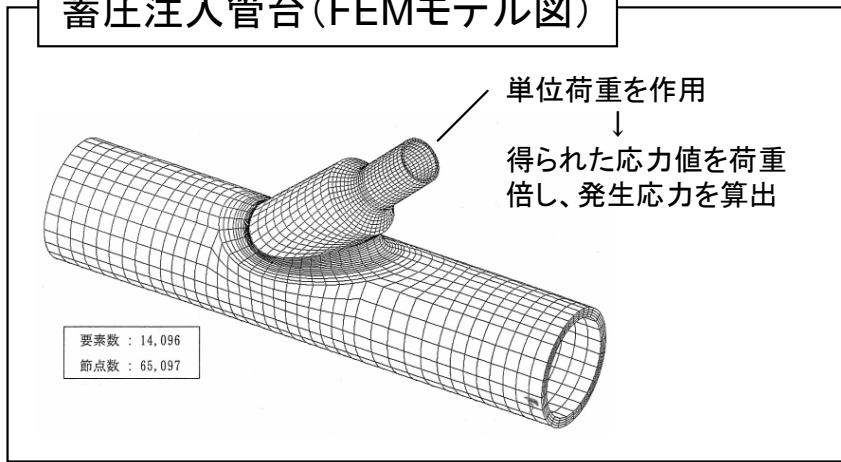


内圧による応力
(工認等既評価による値を使用)

+

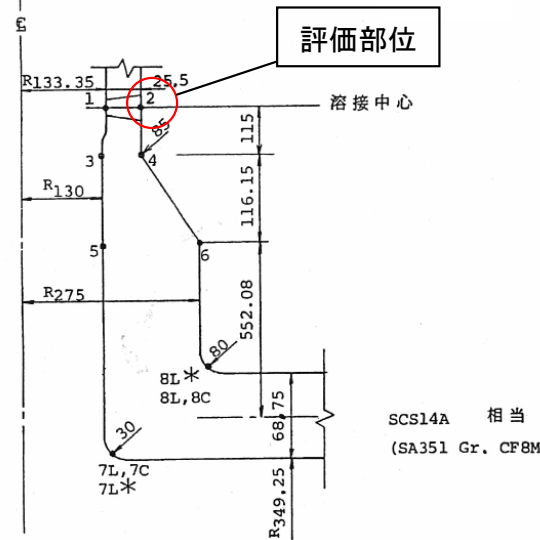
外荷重による応力
(有限要素法により算出)

蓄圧注入管台(FEMモデル図)



算出した外荷重による応力と内圧による応力を合計

↓
応力強さを算出

	高浜3号機	高浜4号機
評価部位	蓄圧注入管台 	
発生値	一次応力(膜+曲げ) 159MPa	一次応力(膜+曲げ) 180MPa
評価基準値	クラス1容器の許容応力(一次応力(膜+曲げ)) $\alpha \times \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ = 383MPa 材料: ステンレス鋼鋳鋼品 JIS G 5121(2003) SCS14A 温度: 303.3°C → $S_m=119\text{MPa}$ 、 $S_u=420\text{MPa}$ (設計・建設規格第I編(2005)より)	

$$\alpha = \min\left(\frac{32(1 - (d_i/d_o)^3)}{6\pi(1 - (d_i/d_o)^2)}, 1.5\right) = 1.37$$

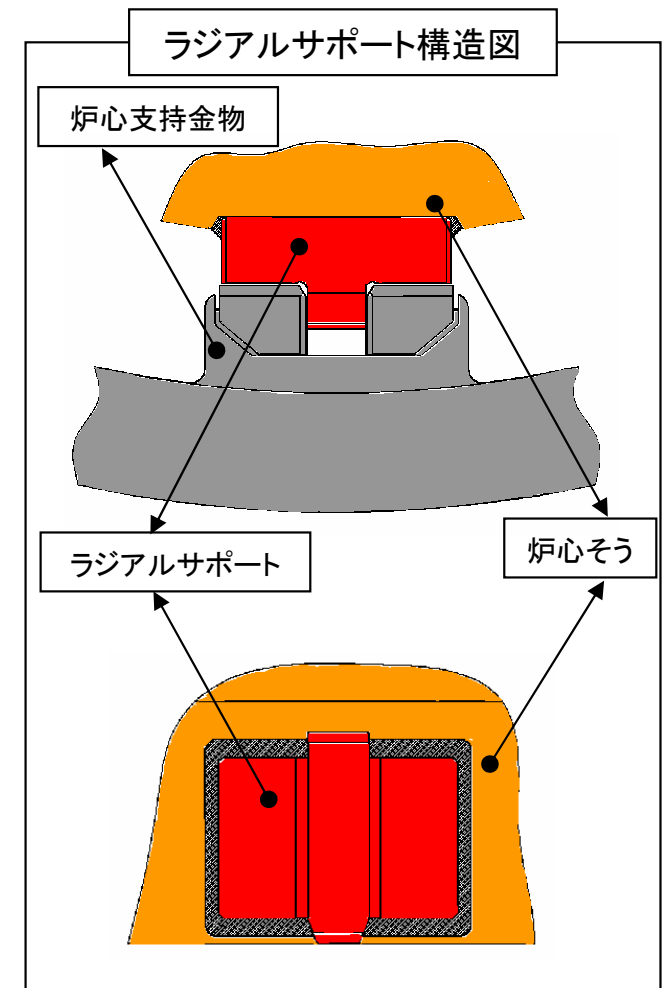
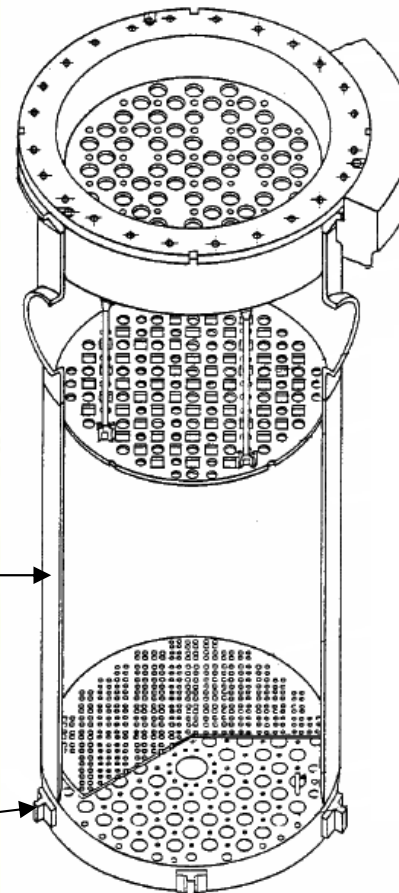
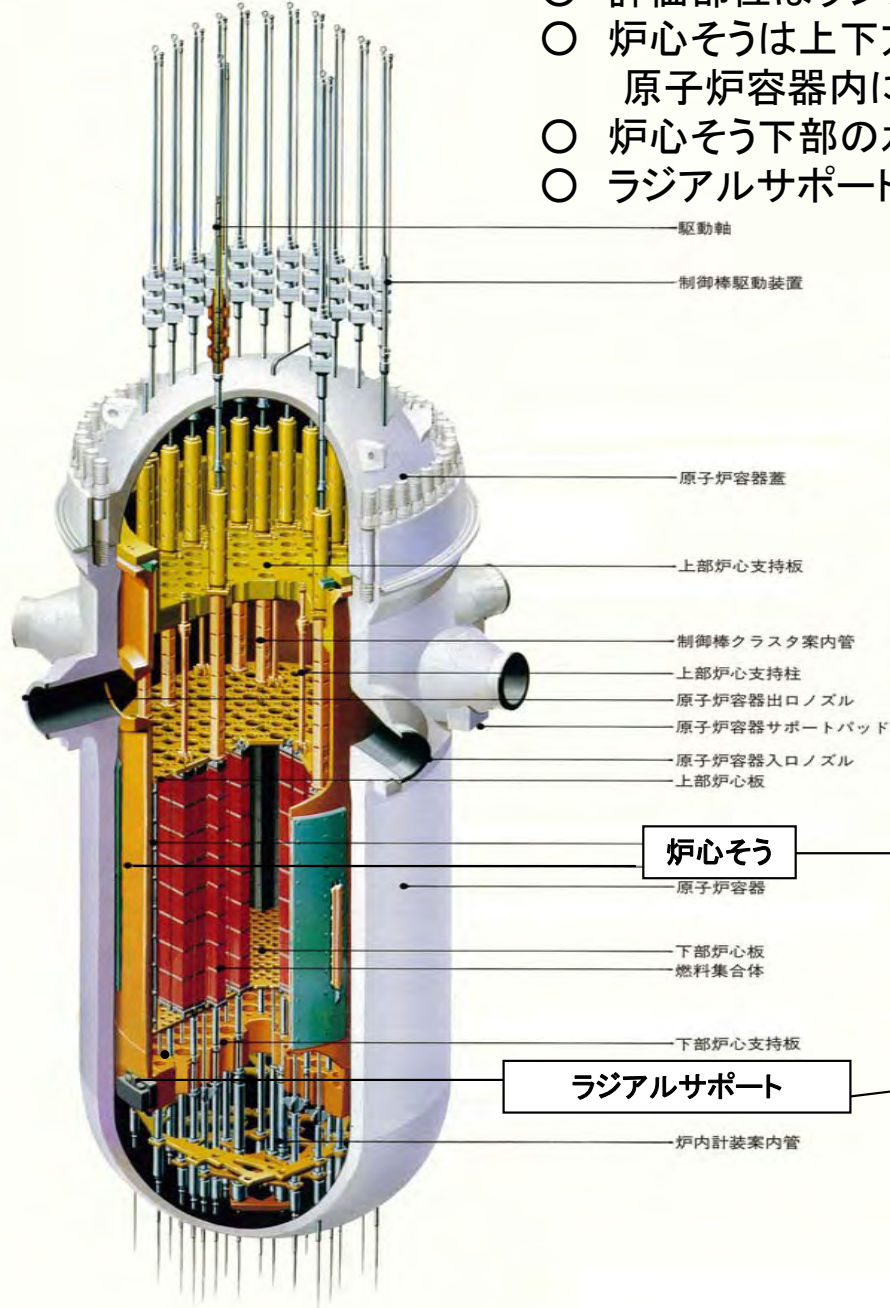
$d_i=266.7\text{mm}$ 、 $d_o=317.7\text{mm}$

S_m : 設計応力強さ、 S_u : 許容引張り強さ

α は応力解析による純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれかの小さいほうの値

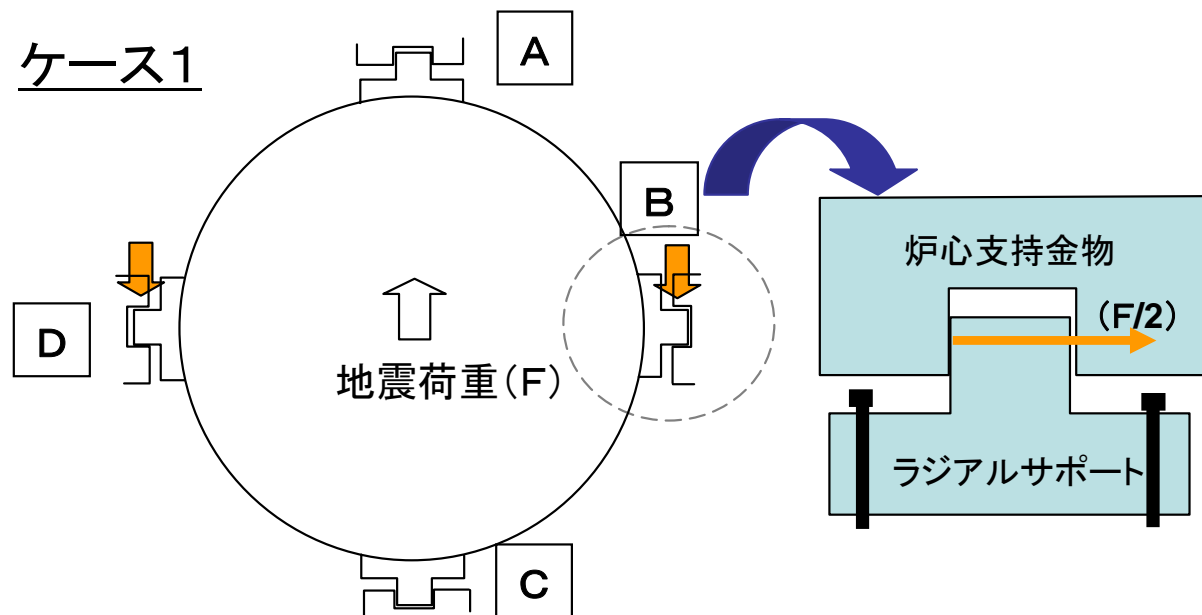
(高浜3. 4号機)

- 評価部位はラジアルサポート
- 炉心そうは上下方向の熱伸びを吸収するため、原子炉容器蓋フランジで固定され原子炉容器内に吊り下げられている
- 炉心そう下部の水平方向をラジアルサポートで支持する
- ラジアルサポートは炉心そう側がキー(凸)、原子炉容器側がキー溝(凹)構造

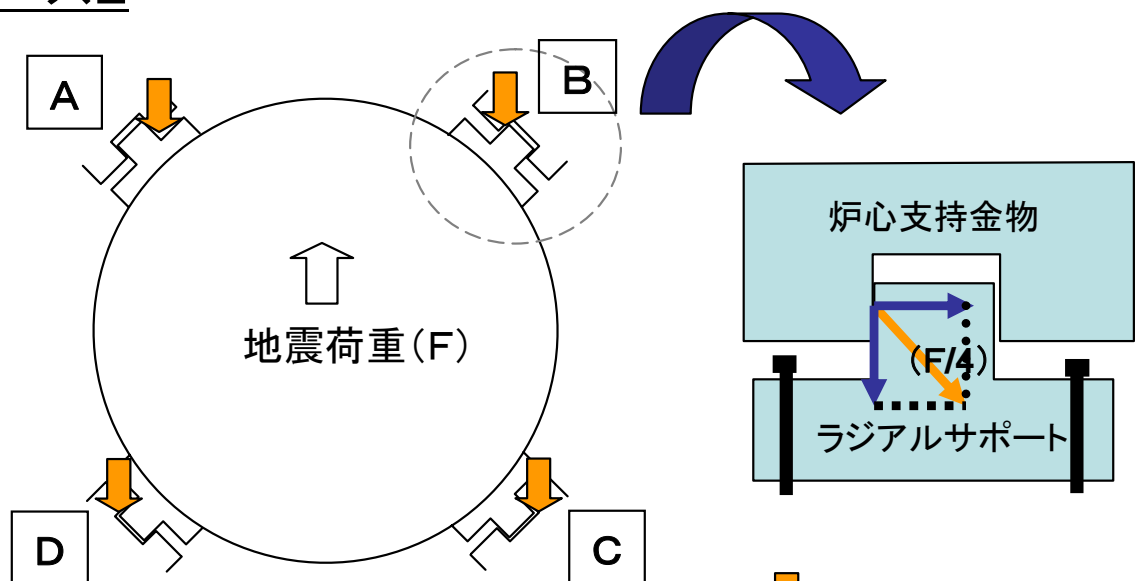


(高浜3, 4号機)

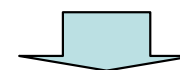
ケース1



ケース2



- ①ケース1がサポート2箇所で荷重分担するのに対し、ケース2はサポート4箇所で荷重分担する。
- ②ケース2は斜め方向に荷重がかかるため、炉心そう水平方向の荷重成分がさらに小さくなる



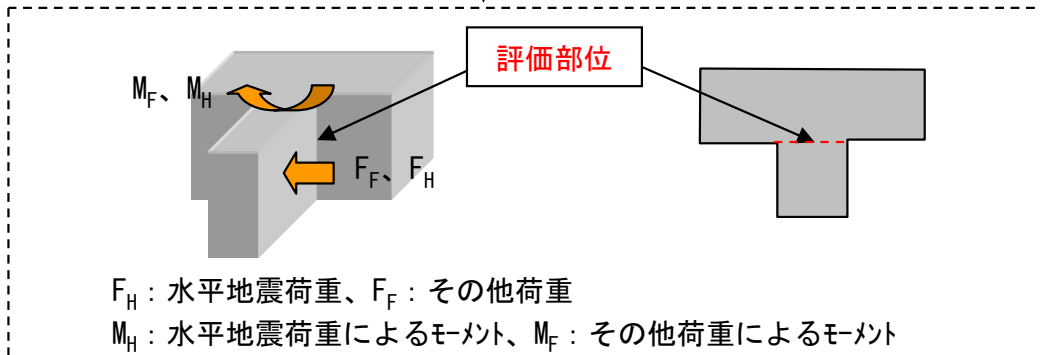
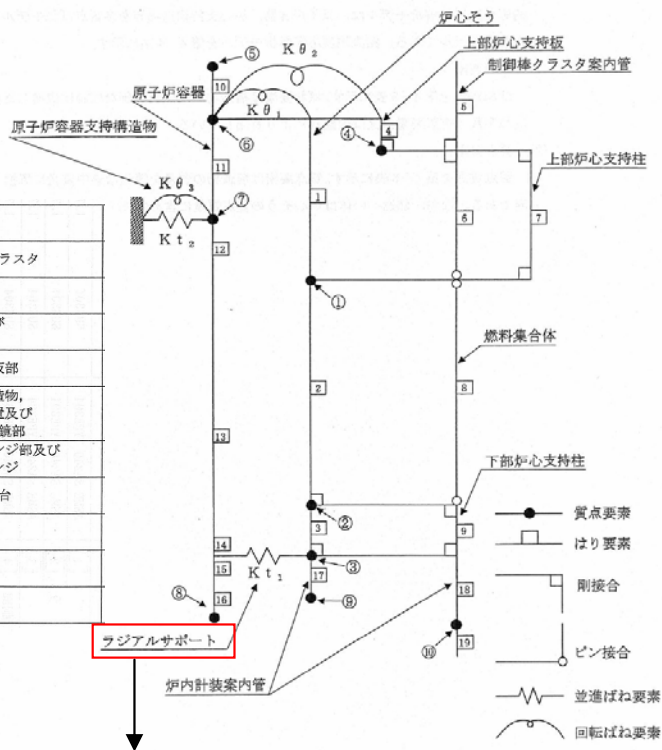
より厳しいケース1で評価を行う

↓: 地震荷重
(ラジアルサポートに作用する反力)

(高浜3, 4号機)

地震応答解析	原子炉容器・炉内構造物・燃料集合体連成モデルにより、スペクトルモーダル解析
床応答曲線	内部コンクリートEL.21.0M(1%)
応力評価	理論式により応力値を算定し評価基準値と比較

質点番号	部材
①	上部炉心板及び制御棒クラスタ
②	下部炉心板
③	下部炉心支持板及びラジアルサポート
④	上部炉心支持板の円板部
⑤	原子炉容器蓋一体化構造物、制御棒クラスタ駆動装置及び原子炉容器上部ふたの鍍部
⑥	原子炉容器上部ふたのフランジ部及び上部炉心支持板フランジ
⑦	入口管台及び出口管台
⑧	下部鏡板
⑨	上部連接板
⑩	下部連接板



発生値

水平地震荷重による応力

$$\tau_{SH} = \frac{F_H}{A} = 46.6MPa$$

$$\sigma_{bSH} = \frac{M_H}{Z} = 156.9MPa$$

その他荷重による応力

$$\tau_{FM} = \frac{F_F}{A} = 4.1MPa$$

$$\sigma_{bFM} = \frac{M_F}{Z} = 13.8MPa$$

A: 断面積、Z: 断面係数

主応力

$$\sigma_{S1} = \frac{\sigma_{SX}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{SX}}{2}\right)^2 + \tau_{SXY}^2} = 184.6MPa$$

$$\sigma_{SX} = \sigma_{bSH} + \sigma_{bFM}$$

$$\tau_{SXY} = \tau_{SH} + \tau_{FM}$$

$$\sigma_{S2} = \frac{\sigma_{SX}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{SX}}{2}\right)^2 + \tau_{SXY}^2} = -13.9MPa, \sigma_{S3} = 0MPa$$

応力強さ

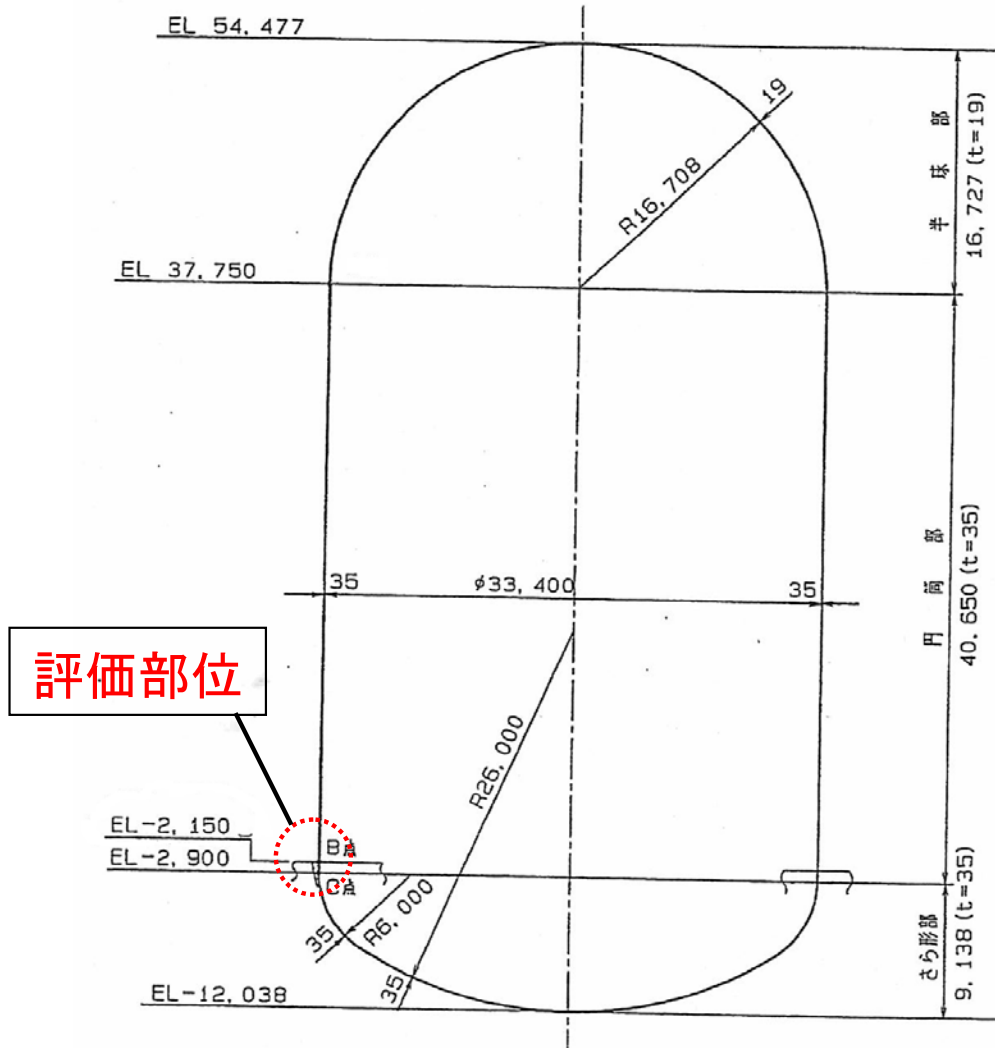
$$\sigma_{Sint} = |\sigma_{S1} - \sigma_{S2}| = 199MPa$$

評価基準値

炉心支持構造物の許容応力(一次一般膜+一次曲げ応力)
 $= 1.5 \times \min(2.4Sm, 2/3Su) = 372MPa$

材料: SUSF304;
 圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品JISG3214(1991)
 温度: 303.3°C
 $\rightarrow Sm=114MPa, Su=372MPa$
 (設計・建設規格第I編(2005)より)

(美浜1号機)



発生値

既往評価による発生値 × 応答比 =
 $34 \times 1.596 = \mathbf{54MPa}$

(応答比は次頁にて算定)

評価基準値

クラスMC容器の許容応力(一次応力(膜+曲げ))
 $\alpha \times \min(0.6S_u, S_y) = 1.2 \times 234$
=280MPa

材料: 中・常温圧力容器用炭素鋼鋼板

JIS G 3118(2000) SGV480

使用温度: 133°C

→ $S_y=234MPa$, $S_u=426MPa$

$$\alpha = \min\left(\frac{32(1-Y^3)}{6\pi(1-Y^4)}, 1.5\right) = 1.2$$

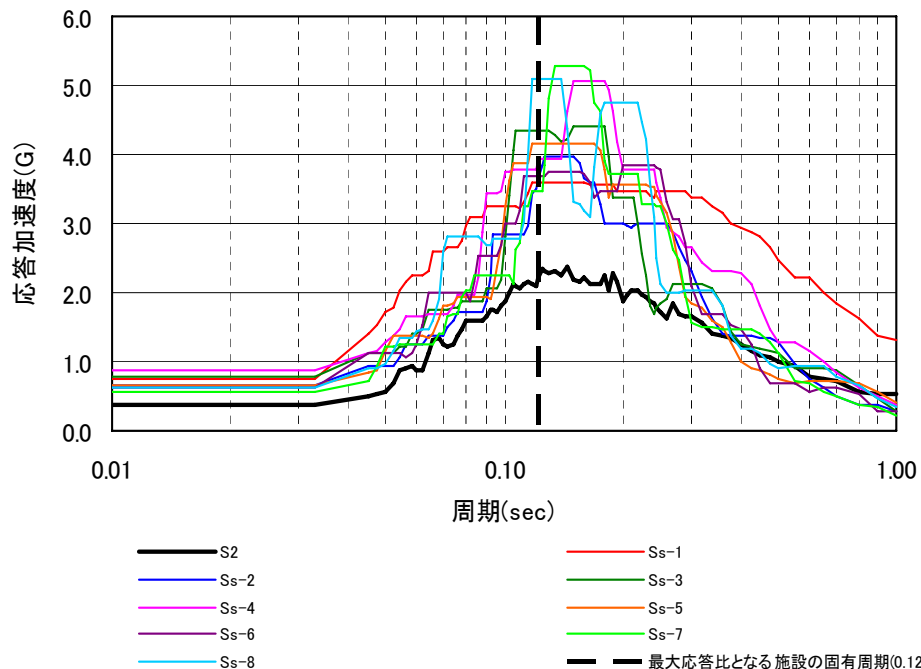
$Y=di/d_o$

d_i : 円筒断面の内径 (33,400mm)

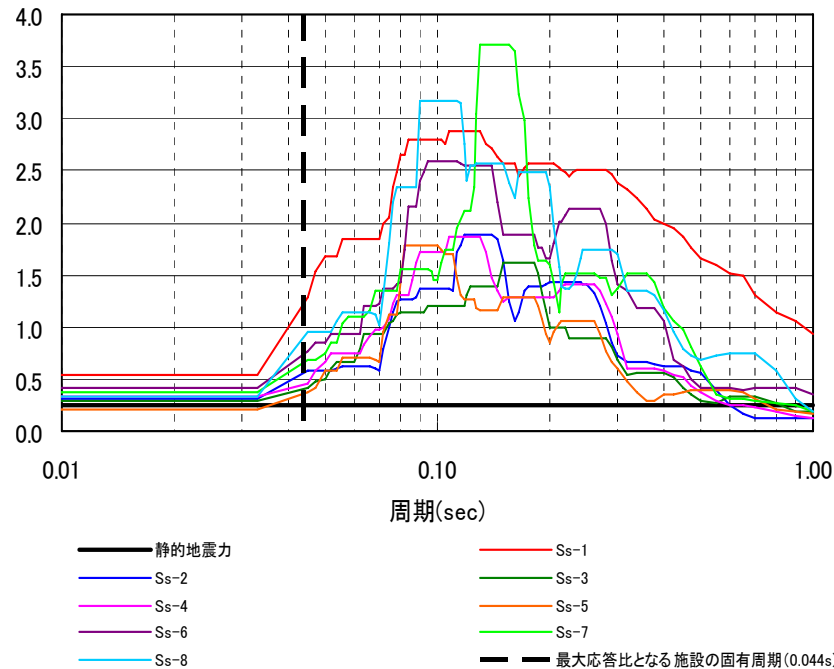
d_o : 円筒断面の外径 (33,470mm)

(美浜1号機)

床応答スペクトル[水平方向:減衰定数1%]



床応答スペクトル[鉛直方向:減衰定数1%]



基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

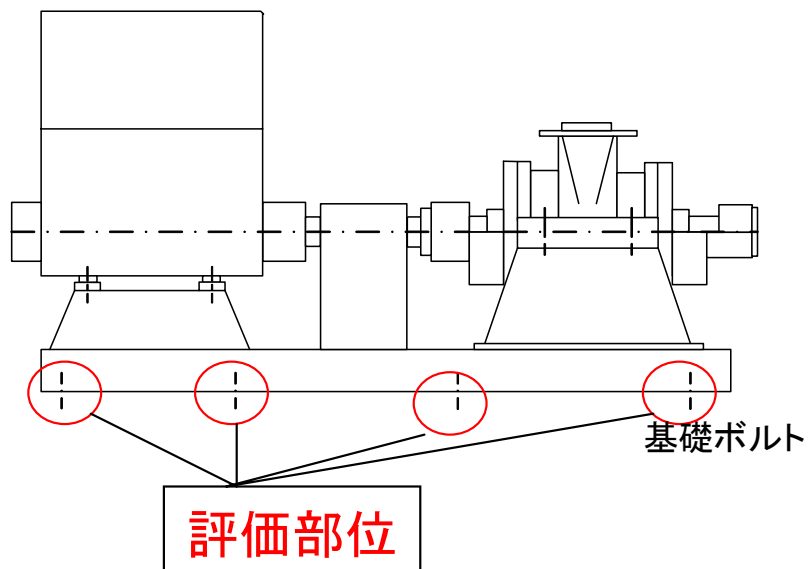
$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対値和}} = \frac{\sqrt{(A_{Ss}H)^2 + (1 + A_{Ss}V)^2}}{A_{S2}H + (1 + A_{S2}V)} = \frac{\sqrt{(5.09)^2 + (1 + 0.92)^2}}{2.17 + (1 + 0.24)} = 1.596$$

$$\begin{aligned} \text{基準地震動Ssによる発生値} &= \text{地震および地震以外による発生値} \times \text{応答比} \\ &= 34 \times 1.596 = 54 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

記号説明
 A_{Ss}H: 基準地震動Ss(水平)
 A_{S2}H: 基準地震動S₂(水平)
 A_{Ss}V: 基準地震動Ss(鉛直)
 A_{S2}V: 旧指針(静的地震)(鉛直)

基準地震動Ssによる発生値 54 [MPa] < 評価基準値 280 [MPa] 発生値は評価基準値を下回る

(美浜1号機)



発生値

$$\text{既往評価による発生値} \times \text{応答比} = 11 \times 1.000 = \underline{\underline{11\text{MPa}}}$$

(応答比は次頁にて算定)

評価基準値

その他の支持構造物(ボルト材)の許容応力
(引張応力)

$$f_t^* = 1.5 \times F/2 = \underline{\underline{210\text{MPa}}}$$

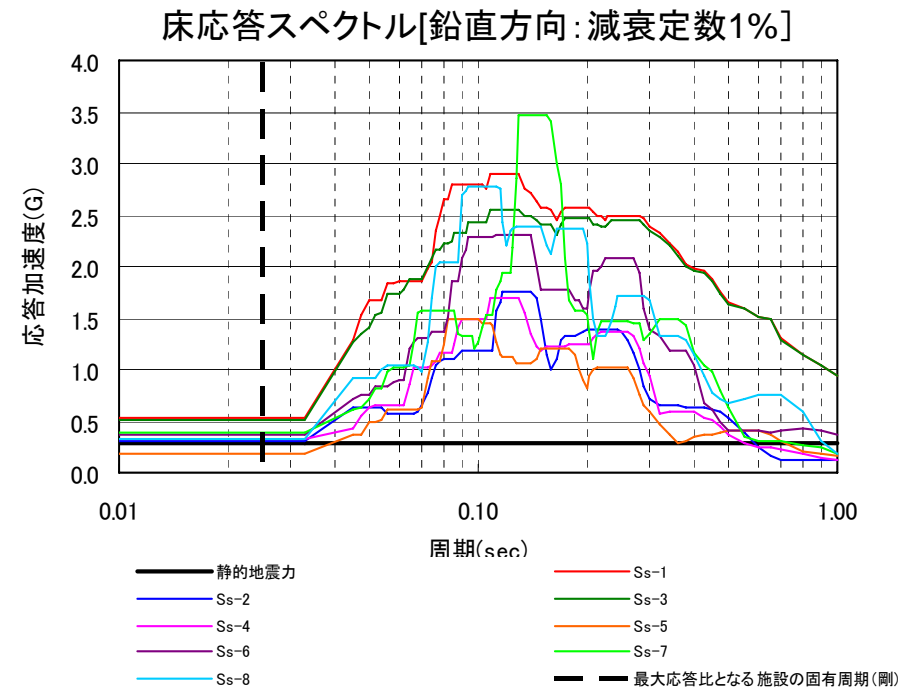
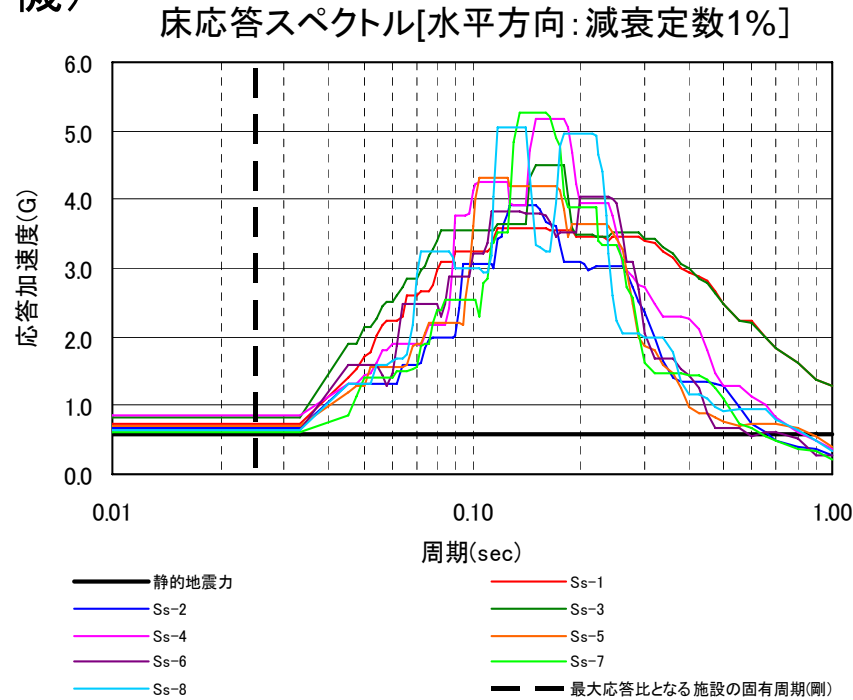
$$F = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = 280$$

ボルト材料: SS400

温度条件: 40°C

$$\rightarrow S_y = 235\text{MPa}, S_u = 400\text{MPa}$$

(美浜1号機)



基準地震動Ssによる発生値の算出および評価基準値との比較

$$\text{応答比} = \frac{\text{二乗和平方根}}{\text{絶対値和}} = \frac{\sqrt{(A_{Ss}H)^2 + (1 + A_{Ss}V)^2}}{A_{S2}H + (1 + A_{S2}V)} = \frac{\sqrt{(0.92)^2 + (1 + 0.61)^2}}{0.576 + (1 + 0.288)} < 1$$

基準地震動Ssによる発生値 = 地震および地震以外による発生値 × 応答比

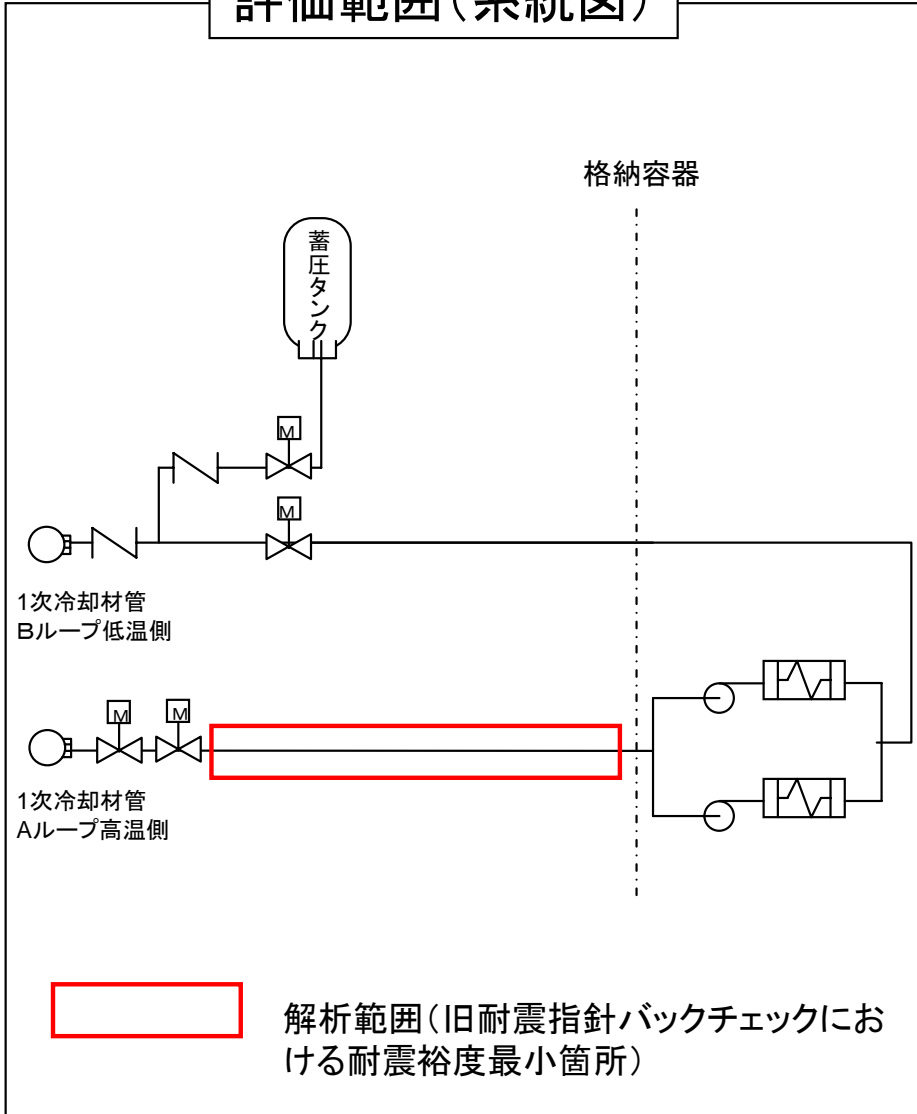
$$= 11 \times 1.000 = 11 \text{ [MPa]}$$

記号説明
 A_{Ss}H: 基準地震動Ss(水平)
 A_{S2}H: 旧指針(静的地震)(水平)
 A_{Ss}V: 基準地震動Ss(鉛直)
 A_{S2}V: 旧指針(静的地震)(鉛直)

基準地震動Ssによる発生値 11 [MPa] < 評価基準値 210 [MPa] 発生値は評価基準値を下回る

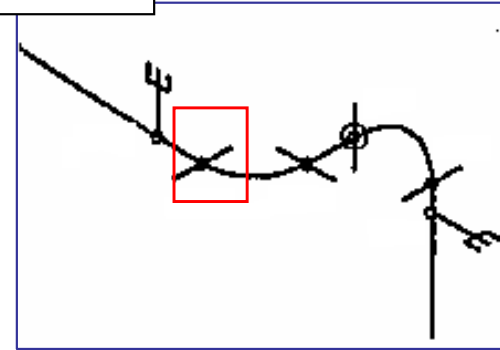
(美浜1号機)

評価範囲(系統図)



解析モデル

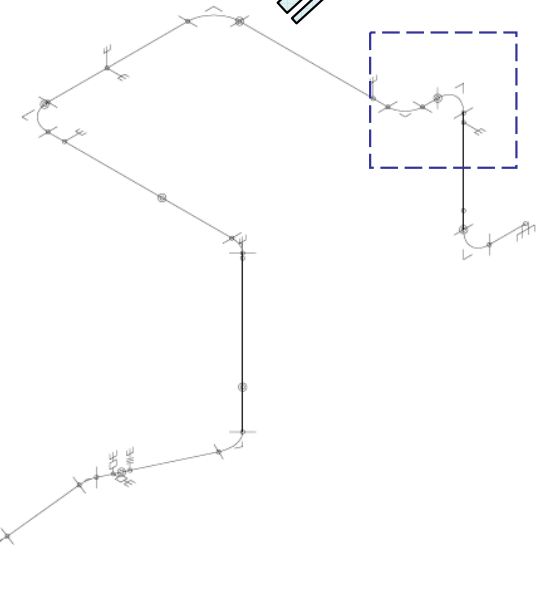
拡大図



- 評価用減衰定数1.0%
- ・スナバ2個
 - ・架構レストレイントなし
 - ・リジッドサポート3個
 - ・ハンガー1個
 - ・保温材なし

材質:SUS27TP

□ : 評価部位(耐震裕度最小箇所)

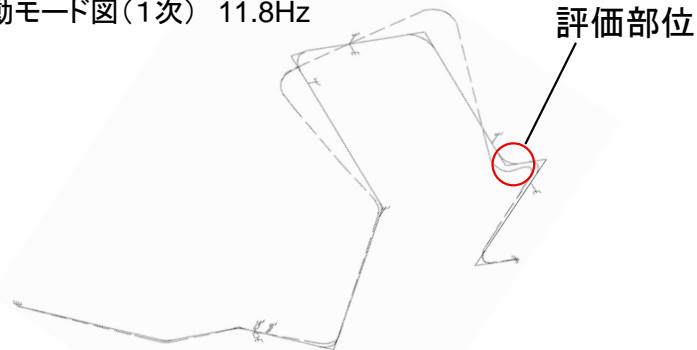


(美浜1号機)

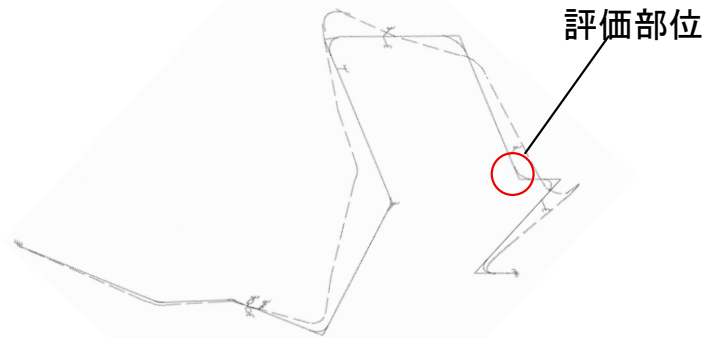
評価対象箇所における固有振動数

振動次数	固有振動数 (Hz)
1	11.8
2	16.3
3	21.4
4	22.1
5	24.0
6	32.0
7	37.9
8	39.5
9	41.4
10	53.1
11	65.3

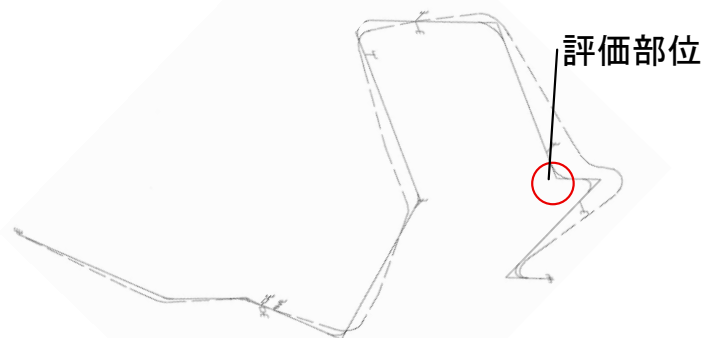
振動モード図(1次) 11.8Hz



振動モード図(2次) 16.3Hz



振動モード図(3次) 21.4Hz



発生値

Ss-1

曲げ応力を含む一次応力
(内圧、自重、地震による一次応力)

$$S_{prm} = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z} = \mathbf{52MPa}$$

P: 圧力、D₀: 管の外径、t: 管の厚さ、i₁: 応力係数、
M_a: 管の機械的荷重(長期荷重)により生ずるモーメント
M_b: 管の機械的荷重(短期荷重)により生ずるモーメント
Z: 管の断面係数

Ss-2~8

既往評価による発生値 × 応答比 =
52 × 1.0 = **52MPa**

評価基準値

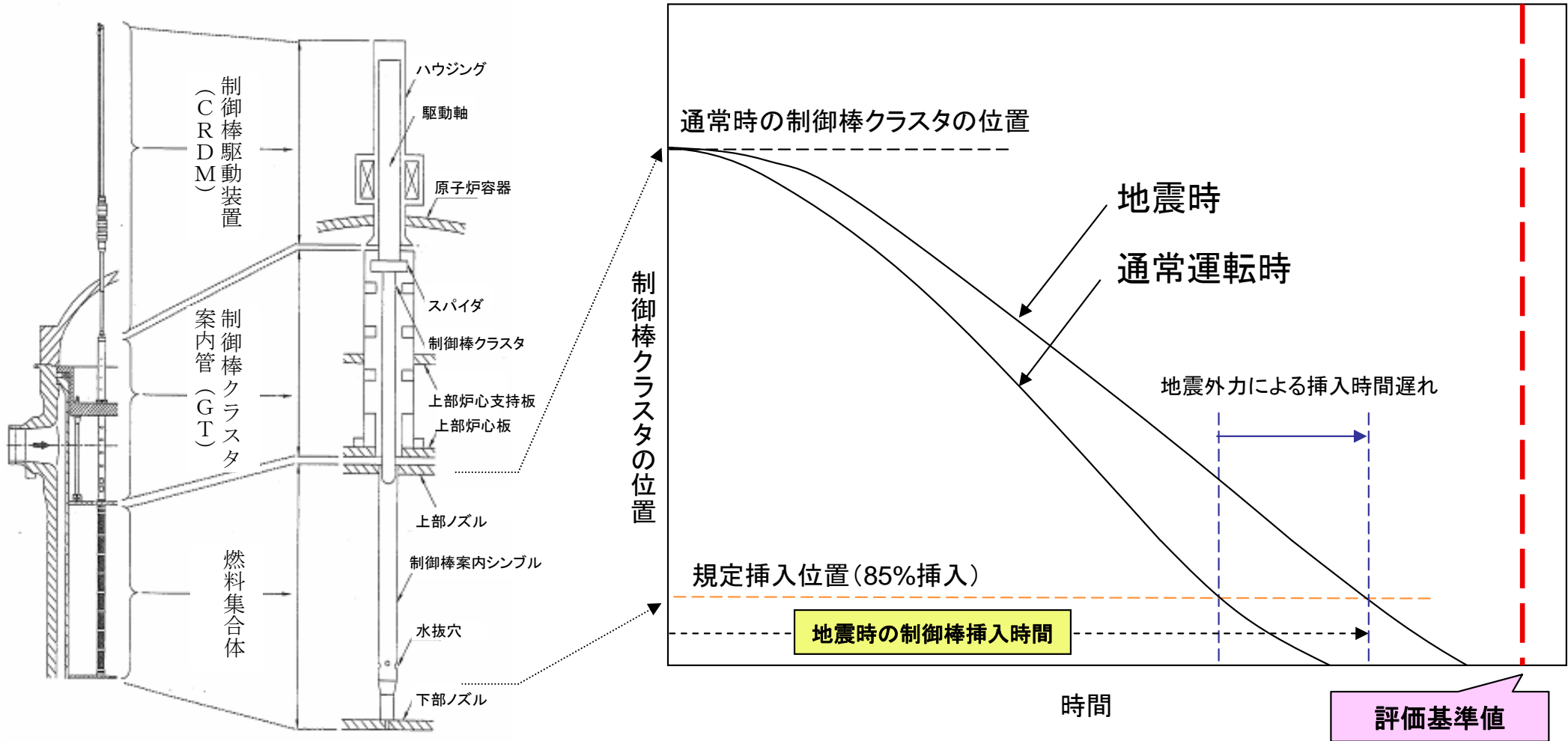
クラス2 配管の許容応力
(一次応力(曲げ応力含む))

0.9Su = **360MPa**

材料: 配管用ステンレス鋼管
JIS G 3459(2004) SUS304TP
最高使用温度: 204°C
→ Sy=143MPa、Su=401MPa
(設計・建設規格第I編(2005)より)

制御棒挿入性評価のイメージ図

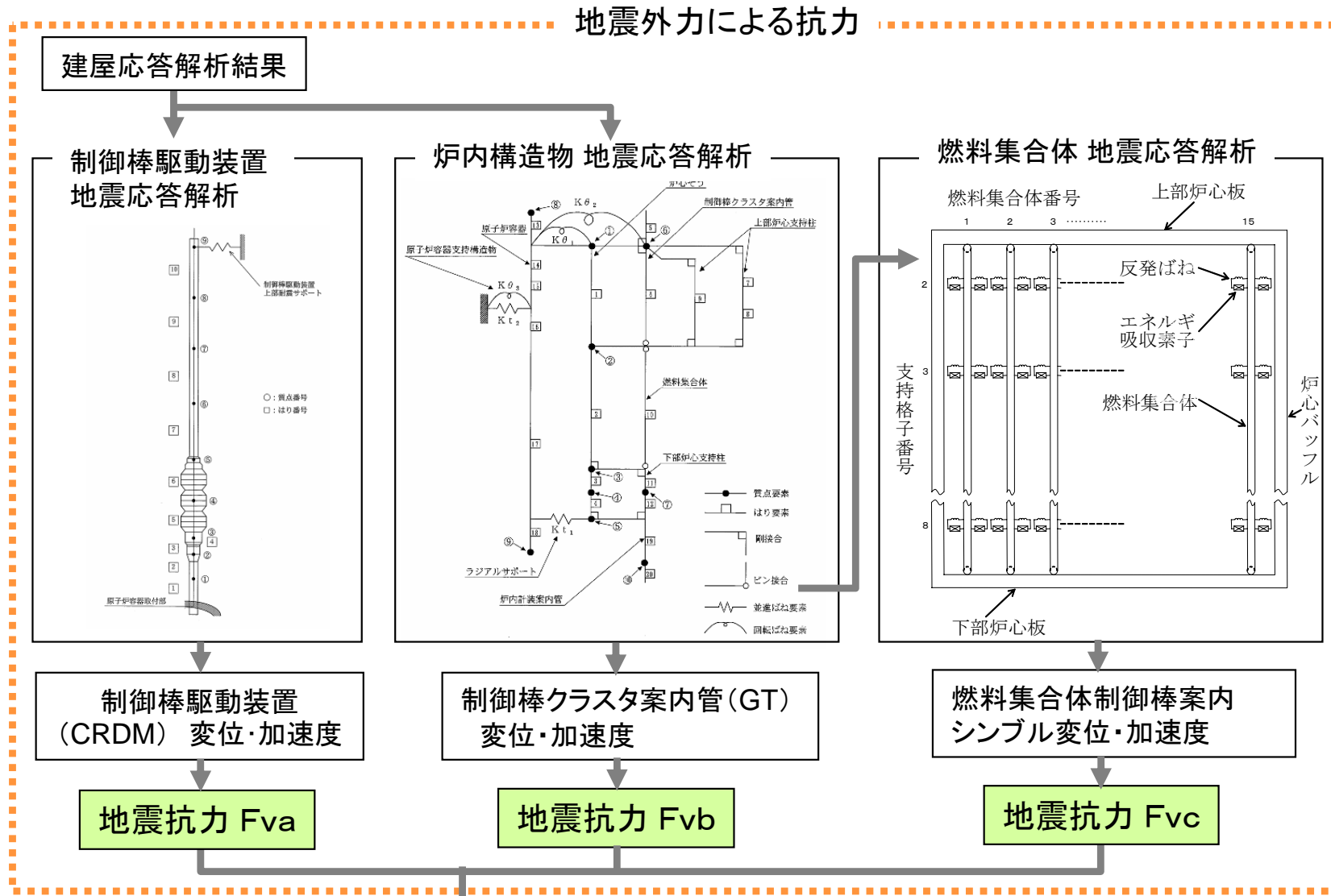
注: 下図はイメージしやすくするため、実際の計算出力結果の上下を反転させて表示



(制御棒挿入時間解析の概要)

- ・ 制御棒挿入時間の解析においては、制御棒クラスタが自重で落下するときに受ける各種の抗力を考慮して、落下開始から全スロークの85%挿入に至るまでの時間を算出する。
- ・ 地震時は地震力により挿入経路の各部の変形等により、制御棒クラスタが周囲に接触し、抗力が増加するため、その影響を考慮に入れる。

(解析の流れ)



制御棒クラスタの自重 $M \cdot g$

地震以外による抗力
流体抗力 F_f
メカニカル抗力 F_m
浮力 F_u

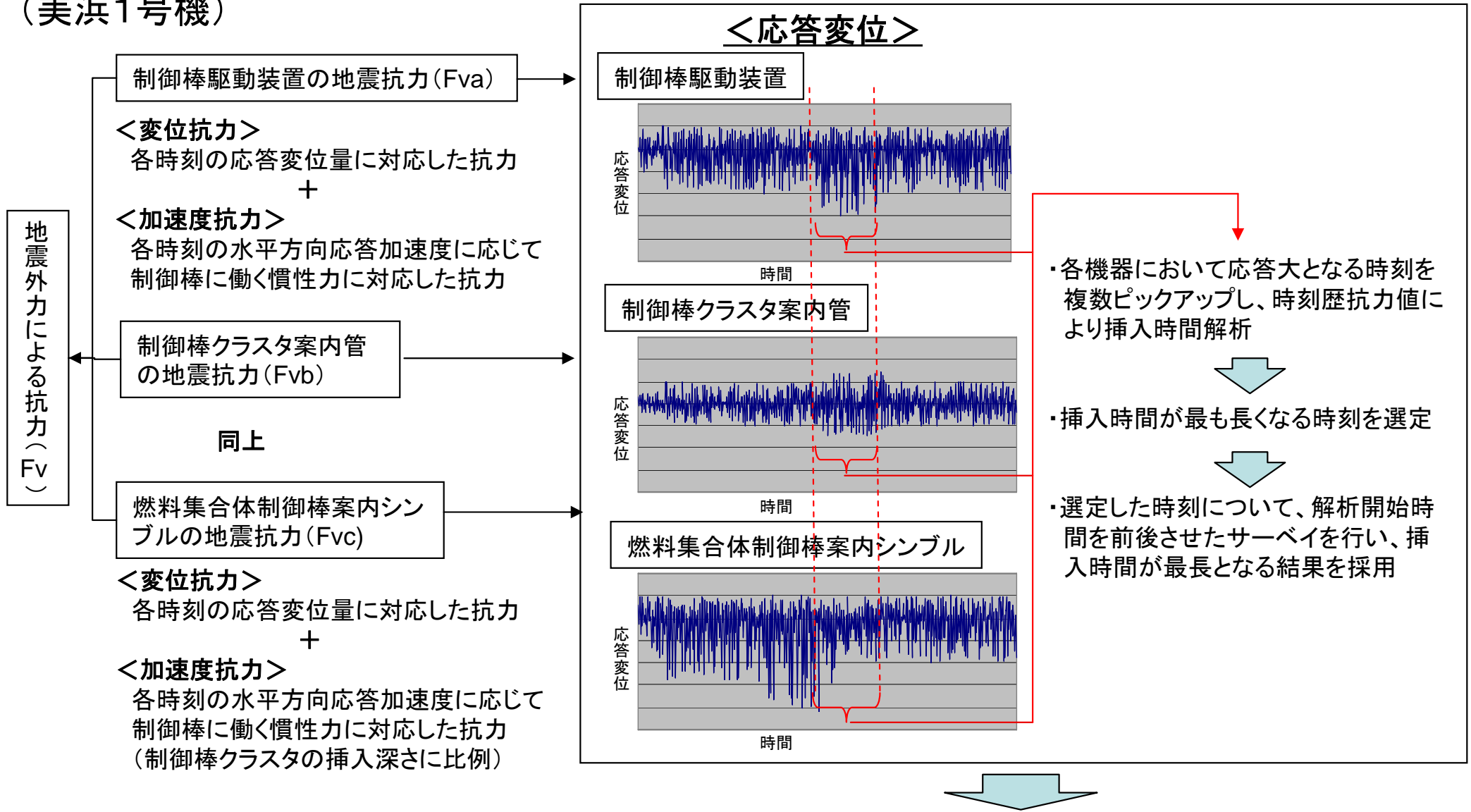
制御棒挿入時間解析

運動方程式
$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = M \cdot g - \{ F_f + F_m + F_u + F_v \}$$

- M : 制御棒クラスタ質量
- x : 制御棒クラスタ挿入距離
- t : 制御棒クラスタ挿入時間
- g : 重力加速度
- F_f : 流体による抗力
- F_m : メカニカル抗力
- F_u : 浮力
- F_v : 地震外力による抗力 (=F_{va} + F_{vb} + F_{vc})

各抗力は実機制御棒挿入実験に基づき設定。また、本評価手法は多度津工学試験所の実証試験で検証されている。

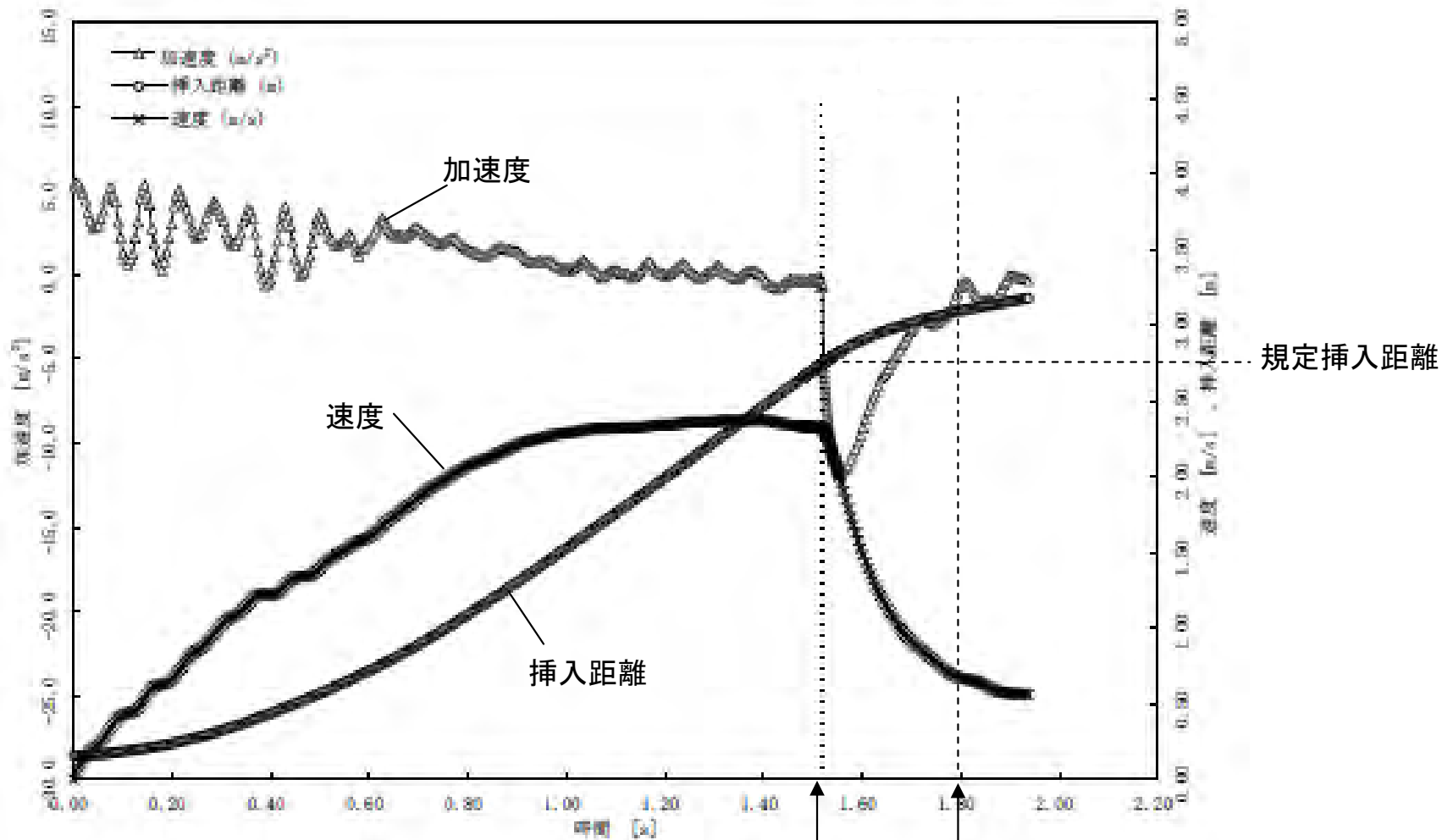
(美浜1号機)



各機器の時刻歴の応答変位から求められる抗力と、水平応答加速度から求められる抗力を、タイムステップ毎に考慮して挿入時間を算定

(参考) 高浜3/4号機については、応答変位の最大値に対応した抗力が常に働くと仮定した従来の方法(加速度抗力は不採用)により算出

(美浜1号機 挿入解析結果)



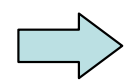
Ss-1による評価値 挿入時間**1.52秒**

制御棒挿入時間

評価基準値

Ss-2~8による評価値

$$\begin{array}{rcl}
 \text{既往評価による} & \times & \text{応答比} & + & \text{既往評価による} & = \\
 \text{遅れ時間(地震)} & & & & \text{挿入時間(地震以外)} & \\
 0.26 & \times & 1.417 & + & 1.26 & = \mathbf{1.63秒}
 \end{array}$$




評価基準値**1.80秒**以下である

○ 構造強度評価

評価対象	評価部位	評価項目と単位	1号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.656×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	時刻歴解析法
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.957×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	時刻歴解析法
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	121	166	○	応答倍率法
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	400	435	○	応答倍率法
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	254	348	○	応答倍率法
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	106	391	○	応答倍率法
原子炉格納容器	本体	応力(MPa)	54	280	○	応答倍率法
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	11	210	○	応答倍率法
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	52	360	○	スペクトルモーダル解析法

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	1号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	1.63	1.8	○	応答倍率法

 : 断層モデル波による発生値を示す

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認

○ 構造強度評価

(注) 構造Bサブグループには建屋までを説明済み

評価対象	評価部位	評価項目と単位	3, 4号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	1.40 × 10 ⁻³	2.00 × 10 ⁻³	○	時刻歴解析法
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.677 × 10 ⁻³	2.00 × 10 ⁻³	○	時刻歴解析法
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	154	465	○	応答倍率法
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	100	157	○	応答倍率法
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	183	348	○	応答倍率法
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	95	372	○	応答倍率法
原子炉格納容器	耐震壁	せん断ひずみ	1.19 ※1 × 10 ⁻³	2.00 ※1 × 10 ⁻³	○	時刻歴解析法
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	2	210	○	応答倍率法
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	195	379	○	スペクトルモーダル解析法

※1: プレストレストコンクリート製格納容器であり、耐震壁としてせん断ひずみで評価

断層モデル波による発生値を示す

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	3, 4号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	2.16	2.2	○	応答倍率法

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認

○ 構造強度評価

評価対象	評価部位	評価項目と単位	3, 4号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.816×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	時刻歴解析法
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.436×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	時刻歴解析法
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	208	465	○	時刻歴解析法
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	197	426	○	時刻歴解析法
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	180	383	○	スペクトルモーダル解析法
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	199	372	○	スペクトルモーダル解析法
原子炉格納容器	本体	応力(MPa)	130	280	○	時刻歴解析法
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	21	160	○	スペクトルモーダル解析法
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	98	342	○	スペクトルモーダル解析法

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	3, 4号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	1.75	2.2	○	スペクトルモーダル解析法 時刻歴解析法

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認

- ◆ 国の委員会において、原子力安全・保安院から示された「活断層等に係る評価の中間的整理(案)」等を踏まえ、基準地震動の見直しを実施した。
- ◆ その後、国の委員会等における審議を踏まえて地震動の再評価を行い、10月9日に基準地震動の見直し(追加)を国の委員会においてご説明した。
- ◆ 見直した基準地震動 S_s に対する主要施設の耐震安全性の評価を行い、耐震安全性が確保されていることを確認。順次、国の委員会においてご説明している。
- ◆ 今後も引き続き、国の委員会および福井県原子力安全専門委員会での審議に真摯に対応していく。
- ◆ また、耐震安全性評価と並行して進めている耐震裕度向上工事についても着実に取り組んでいく。

○ 構造強度評価

評価対象	評価部位	評価項目と単位	2号機				3号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法	発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	1.28×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]	1.11×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	1.48×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]	0.802×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	236	331	○	[応]	207	360	○	[応]
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	240	251	○	[応]	381	415	○	[応]
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	218	348	○	[応]	156	348	○	[応]
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	90	391	○	[応]	109	391	○	[応]
原子炉格納容器	本体	応力(MPa)	53	279	○	[応]	245	282	○	[応]
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	15	210	○	[応]	33	210	○	[応]
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	149	396	○	[応]	156	342	○	[応]

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	2号機				3号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法	発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	1.75	1.8	○	[応]	1.72	1.8	○	[応]

(評価手法の略語) [ス]: スペクトルモーダル解析法、[時]: 時刻歴解析法、[応]: 応答倍率法

■: 断層モデル波による発生値を示す(2号機、3号機についてはC断層による評価を記載)

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認


○ 構造強度評価

評価対象	評価部位	評価項目と単位	1, 2号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	1.29×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.756×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	278	385	○	[応]
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	193	426	○	[応]
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	164	348	○	[応]
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	58	372	○	[応]
原子炉格納容器	本体	応力(MPa)	27	238	○	[応]
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	45	210	○	[応]
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	319	333	○	[ス]

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	1, 2号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	2.00	2.2	○	[応]

(評価手法の略語) [ス]: スペクトルモーダル解析法、[時]: 時刻歴解析法、[応]: 応答倍率法

 : 断層モデル波による発生値を示す

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認

○ 構造強度評価

評価対象	評価部位	評価項目と単位	1号機				2号機			
			発生値	評価基準値	判定	評価手法	発生値	評価基準値	判定	評価手法
原子炉建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.690×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]	0.689×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉補助建屋	耐震壁	せん断ひずみ	0.194×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]	0.0970×10^{-3}	2.00×10^{-3}	○	[時]
原子炉容器	支持構造物	応力(MPa)	317	385	○	[応]	339	385	○	[応]
蒸気発生器	支持構造物	応力(MPa)	312	415	○	[応]	403	415	○	[応]
1次冷却材管	配管	応力(MPa)	244	348	○	[応]	250	348	○	[応]
炉内構造物	炉心そう	応力(MPa)	52	391	○	[応]	56	391	○	[応]
原子炉格納容器	本体	応力(MPa)	209	282	○	[応]	220	282	○	[応]
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	応力(MPa)	23	210	○	[応]	23	210	○	[応]
余熱除去配管	配管	応力(MPa)	92	342	○	[ス]	100	396	○	[ス]

○ 動的機能維持評価(制御棒挿入性)

評価対象	評価項目と単位	1号機				2号機			
		発生値	評価基準値	判定	評価手法	発生値	評価基準値	判定	評価手法
制御棒(挿入性)	挿入時間(秒)	1.73	1.8	○	[応]	1.77	1.8	○	[応]

(評価手法の略語) [ス]: スペクトルモーダル解析法、[時]: 時刻歴解析法、[応]: 応答倍率法

発生値はすべて評価基準値以下であり、耐震安全性を確保していることを確認

「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」に規定された値を基本とし、試験等で妥当性が確認された値も用いる。

PWR機器・配管系の減衰定数

対象施設 (JEAG4601での区分)		減衰定数(%)	
		水平方向	鉛直方向 ※1
原子炉容器 (溶接構造物)		1.0	1.0
蒸気発生器 (1次冷却設備(PWR))		3.0	1.0
炉内構造物 (溶接構造物)		1.0	1.0
一次冷却材管 (1次冷却設備(PWR))		3.0	1.0
余熱除去ポンプ (ポンプ・ファン等の機械装置)		1.0	1.0
余熱除去配管 (配管)		次ページ	次ページ
原子炉格納容器 (溶接構造物)		1.0	1.0
制御棒挿入性	制御棒駆動装置 (制御棒駆動装置(PWR))	5.0	1.0
	制御棒クラスタ案内管 (溶接構造物)	1.0	1.0
	燃料集合体 (燃料集合体(PWR))	※2	1.0

※1 参考文献

社団法人 日本電気協会

・水平及び鉛直方向の設計用減衰定数 第29回 耐震設計分科会資料No.29-4-5-8 平成20年1月18日

※2 PWR燃料集合体の減衰定数は、振動試験結果に基づいて、振幅依存性を持つものとして定めており、振幅が10mm程度では等価減衰定数は10～15%となる。ただし、応答倍率法で評価する場合は保守側に1%を適用。

(配管の減衰定数)

配管区分		設計用減衰定数 (%) ※1	
		保温材有※2	保温材無
I	スナッパ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(スナッパ又は架構レストレイント)の数が4個以上のもの	3.0 (2.5)	2.0
II	スナッパ、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	2.0 (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	3.0 (-)	2.0 (-)
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	1.5 (1.0)	0.5

※1 ()内の値はJEAG4601-1991 追補版における値を示す

※2 「保温材有」の値は、無機多孔質保温材による付加減衰定数として1.0%を考慮したものであり、金属保温材による付加減衰定数は、配管系における配管長さに対する金属保温材長さの割合が40%以下の場合に限り1.0%を適用し、金属保温材の使用割合が40%を超える配管の付加減衰定数は0.5%とする。

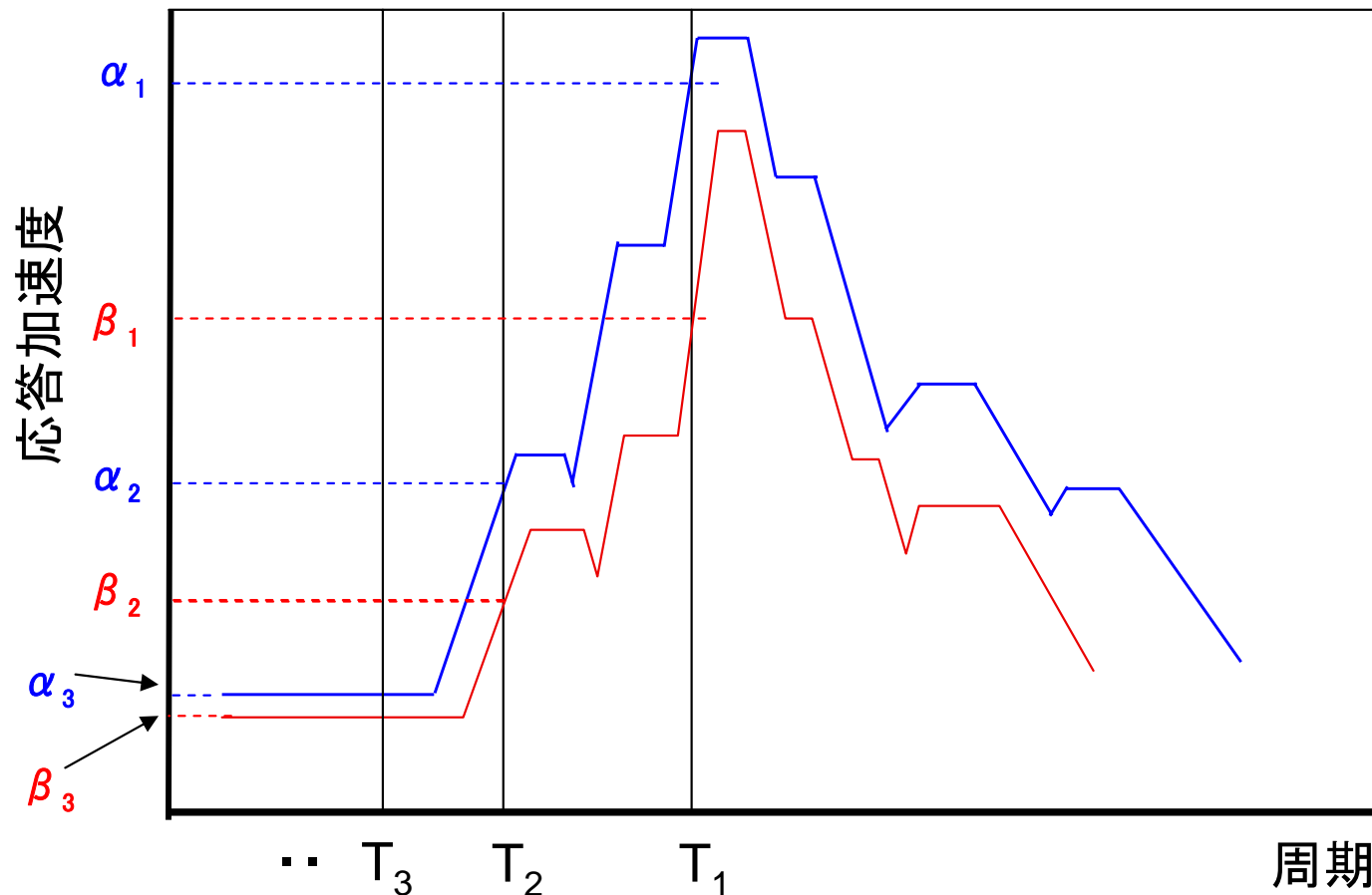
参考文献

社団法人 日本電気協会 水平及び鉛直方向の設計用減衰定数
第29回 耐震設計分科会資料No.29-4-5-8 平成20年1月18日

(応答倍率法の保守性確保のためのその他の配慮)

応答倍率法を用いる場合には保守性を持たせるため各モードごとに算定した応答比の最大値を応答比として用いる。

α_1/β_1 、 α_2/β_2 ・・・ α_n/β_n を算定し、その最大値を旧地震動に対する荷重、応力に乗じて、新地震動に対する荷重、応力を算定



- T_n : 評価対象施設のn次固有周期
- α_n : n次固有周期における新地震動に対する応答値
- β_n : n次固有周期における旧地震動に対する応答値