

【添付－ 3】

伊方発電所 3 号機
応答倍率法による評価について

平成 2 1 年 1 2 月
四国電力株式会社

【 目 次 】

1 . 概 要	1
2 . 応答倍率法による評価	2
3 . 評価結果の安全性	4
4 . まとめ	27
5 . 別 添	28

1. 概 要

新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告（伊方3号機））では、機器・配管系設備の評価手法として、応答倍率法を適用している。

以下に、応答倍率法による評価および評価結果の安全性について、検討した結果を整理する。

本資料における検討概要を以下に示す。

- ・ 応答倍率法による評価

- ・ 評価結果の安全性（応答比：SRSS/絶対値和，鉛直下向き）
 - a. 各種「応答比」算定法による比較検討
 - b. 既往評価結果（工認時の耐震計算書）等における荷重分析を踏まえた考察
 - c. 応答比「SRSS/絶対値和，鉛直下向き」の詳細分析
 - d. 中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対する適用性検討

- ・ まとめ

- ・ 別 添
 - 『応答倍率法に対する基本的な考え方』

2. 応答倍率法による評価

中間報告（伊方3号機）では、基準地震動 S_2 に基づく既往評価（工認時の耐震計算）時の発生荷重（絶対値和法）の基準地震動 S_s 入力時の発生荷重（SRSS法）に対する「荷重増倍率（荷重比）」に相当する「応答比」を既往評価結果（工認時の耐震計算結果）^{（注1）}に乗じて発生値を求める「応答倍率法」を適用している。

（図－1参照）

応答倍率法は、既往評価（工認時の耐震計算書）で求められた応力等^{（注2）}を用いた簡便な評価手法である。

既往評価において、地震と地震以外の成分が分解されているものは地震成分のみに応答比を乗じ（方法①）、分解されていないものは分解せずにそのまま応答比を乗じて発生値を算出（方法②）している。

「応答比」は「荷重比」であり、地震時発生荷重は地震加速度に比例するため、「応答比」の算定に当たっては、地震時の荷重組合せ方法に対応した応答加速度比として計算している。

具体的には、機器・配管系の固有周期（振動モード）に対応する、基準地震動 S_s での床応答スペクトルにおける水平加速度と鉛直加速度の二乗和平方根（SRSS）と既往評価で用いた床応答スペクトルにおける水平加速度と鉛直加速度の絶対値和との比で評価している。

（図－2参照）

（注1）「構造A21-2-1：伊方発電所3号機 安全上重要な建物・構築物および機器・配管系の耐震安全性評価（補足説明）」（平成21年12月17日）に基づき、原子炉建屋耐震計算における入力データの誤り訂正後の工認モデルを用いて基準地震動 S_2 に対する床応答スペクトルを算定し、応答倍率法により推定した「訂正後の工認時評価結果」（以下、「既往評価結果」という。）を用いる。

（注2）耐震設計手法に関わるパラメータ（係数、解析手法）に個々の裕度を持っているため、設計手法全体として安全側の評価結果となっている。

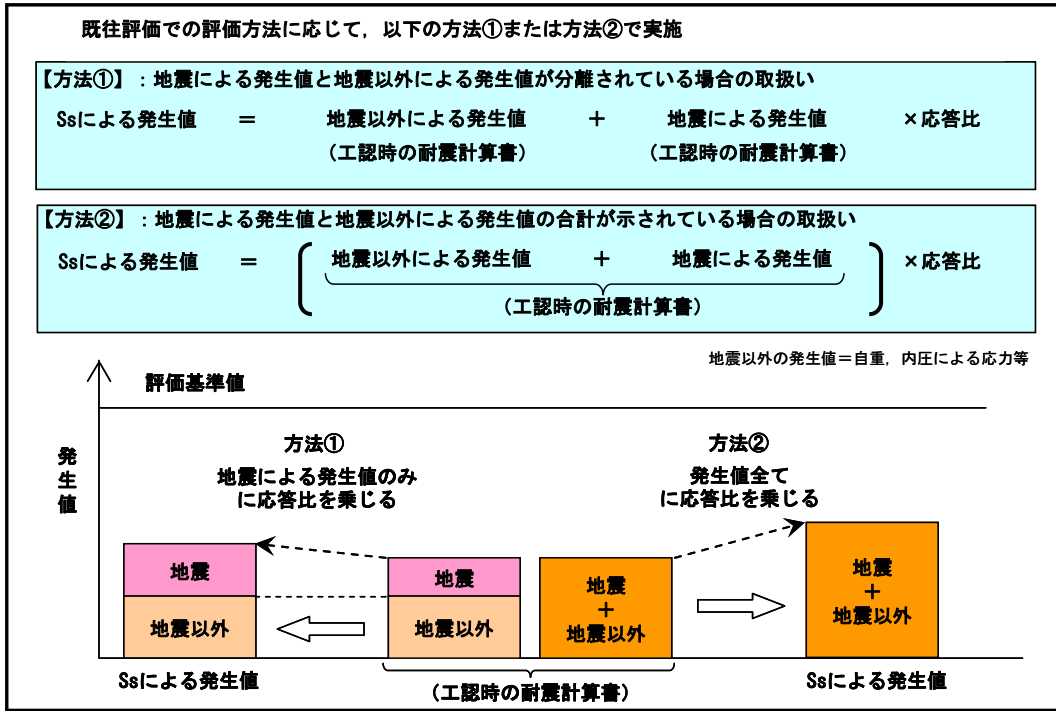
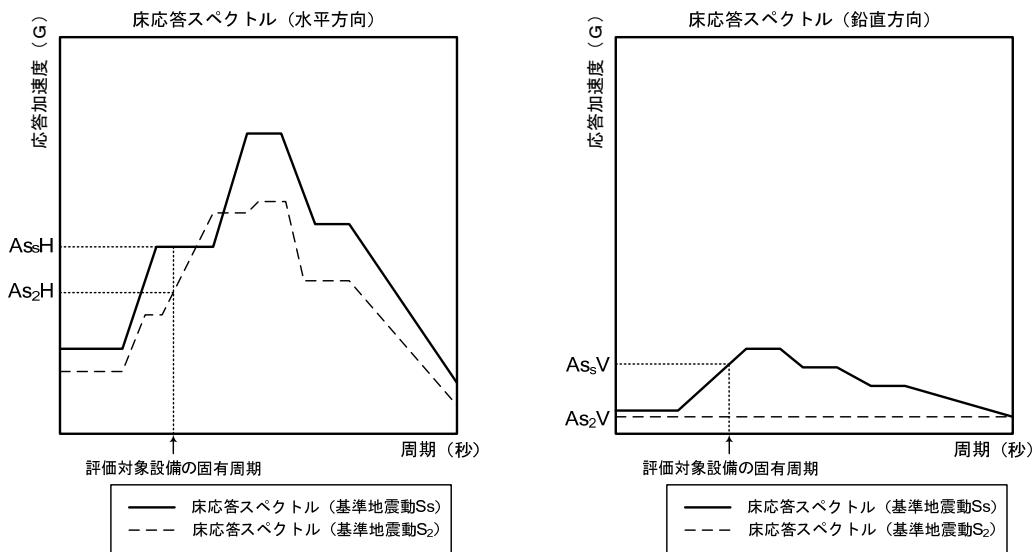


図 - 1 応答倍率法による評価



記号説明

As₁H: 基準地震動S_sによる応答加速度(水平方向)
 As₂H: 基準地震動S₂による応答加速度(水平方向)
 As₁V: 基準地震動S_sによる応答加速度(鉛直方向)
 As₂V: 基準地震動S₂による応答加速度(鉛直方向)

評価に保守性を持たせるため、多次の振動モードが存在する場合、振動モード毎にそれぞれ応答比を求め、その中で最大の応答比を評価に用いている。

【方法①】による場合： 応答比 = $\frac{SRSS}{\text{絶対値和}} = \frac{\sqrt{(As_{sH})^2 + (As_{sV})^2}}{As_{2H} + (As_{2V})}$

【方法②】による場合： 応答比 = $\frac{SRSS}{\text{絶対値和}} = \frac{\sqrt{(As_{sH})^2 + (1 + As_{sV})^2}}{As_{2H} + (1 + As_{2V})}$

「備考」
 剛領域の場合、As₂V以外も2割増しの応答加速度で計算する。

図 - 2 応答比の算出方法

3. 評価結果の安全性

a. 各種「応答比」算定法による比較検討

中間報告では、基準地震動 S_2 に基づく既往評価（工認時の耐震計算）時の発生荷重（絶対値和法）の基準地震動 S_s 入力時の発生荷重（SRSS 法）に対する「荷重増倍率（荷重比）」に相当する「応答比（SRSS／絶対値和）」を既往評価結果（工認時の耐震計算結果）に乗じて評価している。

（図－3（1/2）[ケース①，③] 参照）

また、参考までに、各種「応答比」算定法について、中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対する検討結果を整理した。

（図－3 参照）

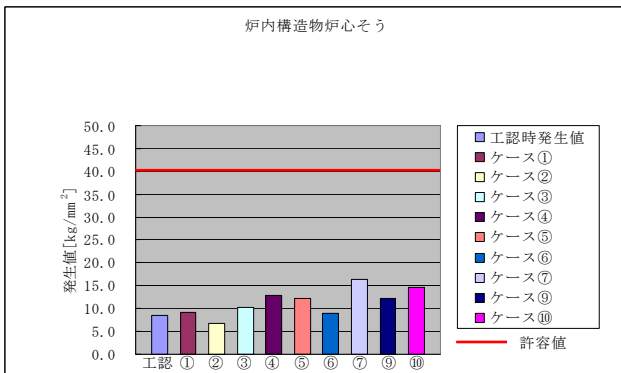
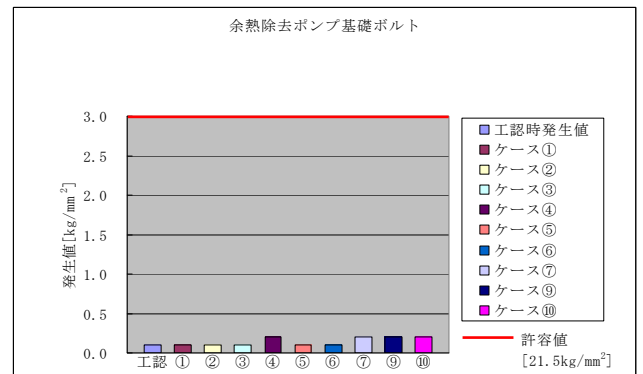
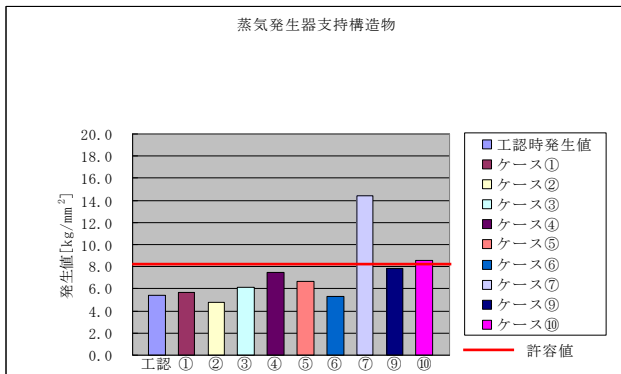
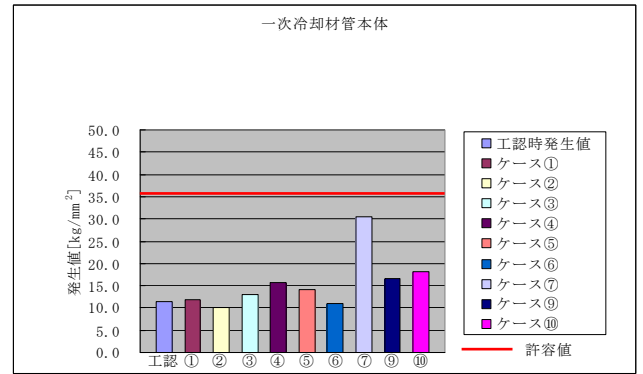
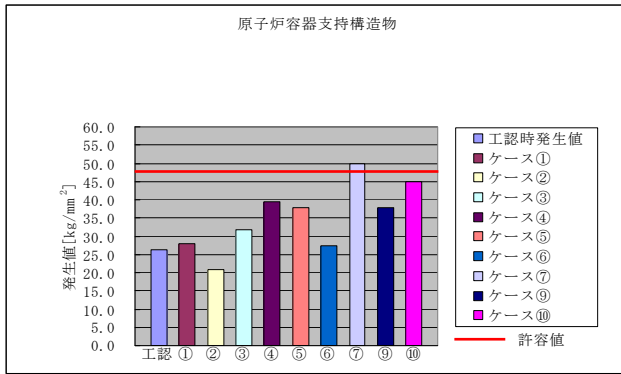
その結果、「鉛直方向応答加速度」に着目した応答比で評価するケース（図－3（2/2）[ケース⑦，⑧] 参照）が最も大きい評価結果を与えるが、評価対象施設によっては、非常に安全側の評価結果を与える場合があり、適用に際しては、既往評価結果（工認時の耐震計算書）等における耐震安全性評価に影響する荷重（地震荷重，それ以外）を分析し、どの荷重成分が評価結果に大きく影響するのを見極め、合理的に適用することが望ましいと考える。

	既往評価結果 (工認時の耐震 計算結果)	SRSS/絶対値和 (自重考慮 鉛直下向)	SRSS/絶対値和 (自重考慮 鉛直上向)	SRSS/絶対値和 (自重考慮無し)	SRSS/SRSS (自重考慮)	SRSS/SRSS (自重考慮無し)	水平方向のみ	鉛直方向のみ (自重考慮)	鉛直方向のみ (自重考慮無し)	絶対値和/絶対値和 (自重考慮)	絶対値和/絶対値和 (自重考慮無し)
		$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_y V)^2}}{(AS_x H) + (1 + AS_y V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 - AS_y V)^2}}{(AS_x H) + (1 - AS_y V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_y V)^2}}{(AS_x H) + (AS_y V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_y V)^2}}{\sqrt{(AS_x H)^2 + (1 + AS_y V)^2}}$	$\frac{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_y V)^2}}{\sqrt{(AS_x H)^2 + (AS_y V)^2}}$	$\frac{AS_x H}{AS_x H}$	$\frac{1 + AS_y V}{1 + AS_y V}$	$\frac{AS_y V}{AS_y V}$	$\frac{(AS_x H) + (1 + AS_y V)}{(AS_x H) + (1 + AS_y V)}$	$\frac{(AS_x H) + (AS_y V)}{(AS_x H) + (AS_y V)}$
①原子炉容器 (支持構造物)	応答比	-	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.064$	$\frac{\sqrt{(2.17)^2 + (1-1.46)^2}}{(2.08)+(1-0.29)} = 0.796$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.211$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.505$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.441$	$\frac{2.17}{2.08} = 1.044$	$\frac{1+1.46}{1+0.29} = 1.907$	$\frac{(1.31)+(1+1.46)}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.439$	$\frac{(1.31)+(1.46)}{(1.33)+(0.29)} = 1.710$
	発生値 [kg/mm ²]	26.2	27.9	20.9	31.8	39.5	37.8	27.4	50.0	37.8	44.9
	許容値 [kg/mm ²]	47.5	47.5								
②蒸気発生器 (支持構造物)	応答比	-	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1+2.43)^2}}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.039$	$\frac{\sqrt{(1.663)^2 + (1-2.43)^2}}{(1.839)+(1-0.29)} = 0.874$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{(2.71)+(0.29)} = 1.125$	$\frac{\sqrt{(2.32)^2 + (1+2.43)^2}}{\sqrt{(2.70)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.384$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{\sqrt{(2.71)^2 + (0.29)^2}} = 1.238$	$\frac{3.43}{3.56} = 0.964$	$\frac{1+2.43}{1+0.29} = 2.659$	$\frac{(2.34)+(1+2.43)}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.443$	$\frac{(2.34)+(2.43)}{(2.71)+(0.29)} = 1.590$
	発生値 [kg/mm ²]	5.4	5.7	4.8	6.1	7.5	6.7	5.3	14.4	7.8	8.6
	許容値 [kg/mm ²]	8.1	8.1								
③炉内構造物 (炉心そう)	応答比	-	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.064$	$\frac{\sqrt{(2.17)^2 + (1-1.46)^2}}{(2.08)+(1-0.29)} = 0.796$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.211$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1+1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.505$	$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (1.46)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.441$	$\frac{2.17}{2.08} = 1.044$	$\frac{1+1.46}{1+0.29} = 1.907$	$\frac{(1.31)+(1+1.46)}{(1.33)+(1+0.29)} = 1.439$	$\frac{(1.31)+(1.46)}{(1.33)+(0.29)} = 1.710$
	発生値 [kg/mm ²]	8.5	9.1	6.8	10.3	12.8	12.3	8.9	16.3	12.3	14.6
	許容値 [kg/mm ²]	39.9	39.9								
④一次冷却材管 (本体)	応答比	-	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (1+2.43)^2}}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.039$	$\frac{\sqrt{(1.663)^2 + (1-2.43)^2}}{(1.839)+(1-0.29)} = 0.874$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{(2.71)+(0.29)} = 1.125$	$\frac{\sqrt{(2.32)^2 + (1+2.43)^2}}{\sqrt{(2.70)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.384$	$\frac{\sqrt{(2.34)^2 + (2.43)^2}}{\sqrt{(2.71)^2 + (0.29)^2}} = 1.238$	$\frac{3.43}{3.56} = 0.964$	$\frac{1+2.43}{1+0.29} = 2.659$	$\frac{(2.34)+(1+2.43)}{(2.71)+(1+0.29)} = 1.443$	$\frac{(2.34)+(2.43)}{(2.71)+(0.29)} = 1.590$
	発生値 [kg/mm ²]	11.4	11.9	10.0	12.9	15.8	14.2	11.0	30.4	16.5	18.2
	許容値 [kg/mm ²]	35.5	35.5								
⑤余熱除去ポンプ (基礎ボルト/原動 機取付ボルト ^{※1})	応答比	-	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1+0.42)^2}}{(0.80)+(1+0.29)} = 0.767(1)$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1-0.42)^2}}{(0.80)+(1-0.29)} = 0.623$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (0.42)^2}}{(0.80)+(0.29)} = 0.781$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (1+0.42)^2}}{\sqrt{(0.80)^2 + (1+0.29)^2}} = 1.055$	$\frac{\sqrt{(0.74)^2 + (0.42)^2}}{\sqrt{(0.80)^2 + (0.29)^2}} = 1.000$	$\frac{0.74}{0.80} = 0.925$	$\frac{1+0.42}{1+0.29} = 1.101$	$\frac{(0.74)+(1+0.42)}{(0.80)+(1+0.29)} = 1.034$	$\frac{(0.74)+(0.42)}{(0.80)+(0.29)} = 1.065$
	発生値 [kg/mm ²]	0.1/1.0	0.1/1.0	0.1/0.7	0.1/0.8	0.2/1.1	0.1/1.0	0.1/1.0	0.2/1.2	0.2/1.1	0.2/1.1
	許容値 [kg/mm ²]	21.5	21.5								
⑥余熱除去設備配管 (本体)	応答比	-			$\frac{\sqrt{(3.25)^2 + (1.76)^2}}{(2.95)+(0.29)} = 1.141$		$\frac{\sqrt{(1.38)^2 + (1.76)^2}}{\sqrt{(1.72)^2 + (0.29)^2}} = 1.283$	$\frac{3.25}{2.95} = 1.102$		$\frac{1.76}{0.29} = 6.069$	$\frac{(1.38)+(1.76)}{(1.72)+(0.29)} = 1.563$
	発生値 [kg/mm ²]	16.2 ^{※2}			18.0		19.7	17.5		77.5	23.1
	許容値 [kg/mm ²]	35.0	35.0								
⑦原子炉格納容器 (本体)	応答比	-	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1+1.14)^2}}{(1.82)+(1+0.24)} = 0.854(1)$	$\frac{\sqrt{(3.52)^2 + (1-1.14)^2}}{(4.86)+(1-0.24)} = 0.627$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1.14)^2}}{(1.82)+(0.24)} = 0.915$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1+1.14)^2}}{\sqrt{(1.82)^2 + (1+0.24)^2}} = 1.187$	$\frac{\sqrt{(1.50)^2 + (1.14)^2}}{\sqrt{(1.82)^2 + (0.24)^2}} = 1.027$	$\frac{1.50}{1.82} = 0.825$	$\frac{1+1.14}{1+0.24} = 1.725$	$\frac{(1.50)+(1+1.14)}{(1.82)+(1+0.24)} = 1.190$	$\frac{(1.50)+(1.14)}{(1.82)+(0.24)} = 1.281$
	発生値 [kg/mm ²]	6.1	6.1	3.9	5.6	7.3	6.3	5.1	10.6	7.3	7.9
	許容値 [kg/mm ²]	35.8	35.8								
⑧制御棒挿入性 (動的機能維持)	応答比	-			$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (2.15)^2}}{(1.33)+(0.29)} = 1.555$		$\frac{\sqrt{(1.31)^2 + (2.15)^2}}{\sqrt{(1.33)^2 + (0.29)^2}} = 1.850$	$\frac{3.69}{3.14} = 1.176$		$\frac{2.15}{0.29} = 7.414$	$\frac{(1.31)+(2.15)}{(1.33)+(0.29)} = 2.136$
	発生値 [秒]	1.97			2.03		2.06	1.99		2.62	2.09
	許容値 [秒]	2.5	2.5								

□ : 中間報告記載値
 ※1 : 参考までに、ポンプ本体を除く支持構造物の評価結果を示す。
 ※2 : 訂正後の工認時評価結果による(工認時: 15.5)

ケース① ケース② ケース③ ケース④ ケース⑤ ケース⑥ ケース⑦ ケース⑧ ケース⑨ ケース⑩

図-3 (1/3) 各種「応答比」算定法による検討結果について



☆応答比ケース

ケース①

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

ケース④

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (1 + AS_2 V)^2}}$$

ケース⑦

$$\frac{1 + AS_s V}{1 + AS_2 V}$$

ケース⑩

$$\frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

ケース②

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 - AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 - AS_2 V)}$$

ケース⑤

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (AS_2 V)^2}}$$

ケース⑧

$$\frac{AS_s V}{AS_2 V}$$

ケース③

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

ケース⑥

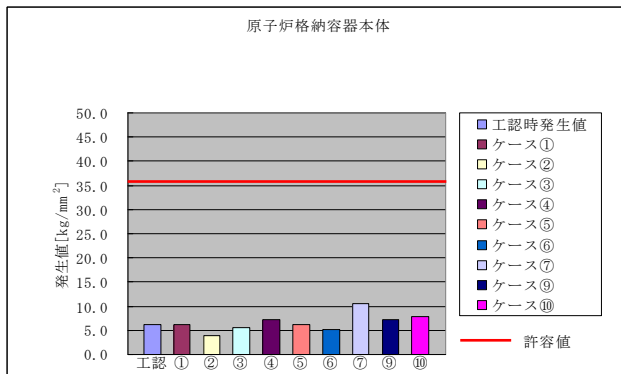
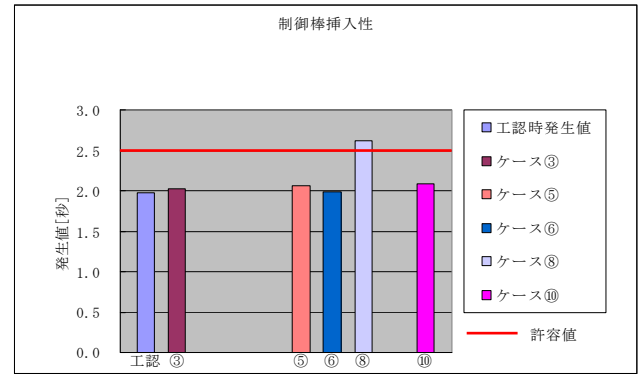
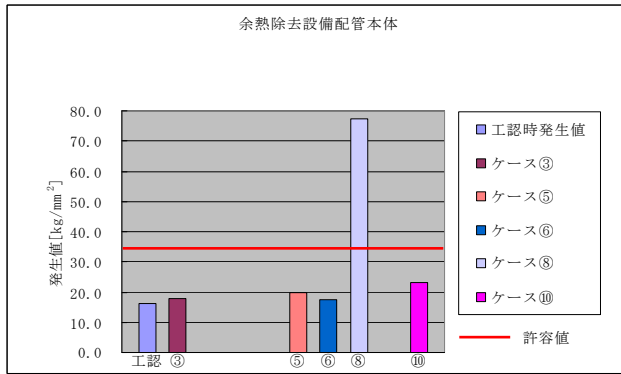
$$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$$

ケース⑨

$$\frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

ASsH: 基準地震動Ss (水平)
AS2H: 基準地震動S2 (水平)
ASsV: 基準地震動Ss (鉛直)
AS2V: 基準地震動S2 (鉛直)

図 - 3 (2 / 3) 各種「応答比」算定法による検討結果について



☆応答比ケース

ケース①

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

ケース④

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (1 + AS_2 V)^2}}$$

ケース⑦

$$\frac{1 + AS_s V}{1 + AS_2 V}$$

ケース⑩

$$\frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

ケース②

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 - AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 - AS_2 V)}$$

ケース⑤

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (AS_2 V)^2}}$$

ケース⑧

$$\frac{AS_2 V}{AS_2 V}$$

ケース③

$$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

ケース⑥

$$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$$

ケース⑨

$$\frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

AS_sH: 基準地震動S_s(水平)
 AS₂H: 基準地震動S₂(水平)
 AS_sV: 基準地震動S_s(鉛直)
 AS₂V: 基準地震動S₂(鉛直)

図-3 (3/3) 各種「応答比」算定法による検討結果について

b. 既往評価結果（工認時の耐震計算書）等における荷重分析
を踏まえた考察

中間報告（伊方3号機）の評価対象施設について、既往評価（工認時の耐震計算書）結果等に基づき、荷重分析（耐震安全性評価に影響する荷重（地震荷重，それ以外）を分析）し、「応答倍率法」による評価に及ぼす影響を考察した。

その結果，中間報告（伊方3号機）の評価対象施設については，以下のとおり整理されるため，「応答比（荷重比）」を応答加速度比「SRSS／絶対値和」で求めることは，安全側の評価結果を与えていることを確認した。（図－4^{（注）}，5参照）

《ケース1》

- ①「原子炉容器支持構造物（サポートシュー）」
- ②「蒸気発生器支持構造物（上部胴支持構造物ブラケット）」
- ⑦「原子炉格納容器（本体）」
- ⑧「制御棒（挿入性）」

これらの地震時発生荷重（制御棒（挿入性）については、燃料集合体変位）は、水平地震力の寄与が大きい（90%以上）ため、「応答比」算出に当たっては、水平地震力（水平方向応答加速度）のみに基づく方法が鉛直地震力（鉛直方向応答加速度）を考慮した場合より大きな応答比を与えるケースも考えられるが、これらの機器については、鉛直地震力も考慮した応答比の方が大きな値を与えることから、「SRSS／絶対値和」で評価した。

《ケース2》

- ④「一次冷却材管（本体）」

既往評価結果（工認時の耐震計算書）の地震時発生荷重は、「内圧による応力」の寄与が大きく（全体の5割程度）、また、当該部位の地震時発生荷重は、水平地震力の寄与が大きい（80%程度）ため、「応答比」算出に当たっては、水平地震力（水平方向応答加速度）のみに基づく方法が鉛直地震力（鉛直方向応答加速度）を考慮した場合より大きな応答比を与えるケースも考えられるが、本機器については、鉛直地震力も考慮し

た応答比の方が大きな値を与えることから、「SRSS／絶対値和」で評価した。

⑥「余熱除去設備配管（本体）」

既往評価結果（工認時の耐震計算書）では、「内圧による応力」と「それ以外の応力」に分離されている。したがって、地震時発生荷重は、「内圧による応力」（全体の3割程度）に「それ以外の応力」に「応答比」を乗じたものを加えて算出している。

なお、当該部位の地震時発生荷重は、水平地震力の寄与が大きい（90%程度）ため、「応答比」算出に当たっては、水平地震力（水平方向応答加速度）のみに基づく方法が鉛直地震力（鉛直方向応答加速度）を考慮した場合より大きな応答比を与えるケースも考えられるが、本機器については、鉛直地震力も考慮した応答比の方が大きな値を与えることから、「SRSS／絶対値和」で評価した。

《ケース3》

③「炉心支持構造物（炉心そうフランジ接続部）」

既往評価結果（工認時の耐震計算書）の地震時発生荷重は、「機械的荷重による応力」の寄与が大きく（全体の8割程度）、「応答倍率法」の評価では、水平および鉛直方向応答加速度の影響を総合的に考慮できる「SRSS／絶対値和」を既往評価結果にそのまま乗じて評価した。

《ケース4》

⑤「余熱除去ポンプ（基礎ボルト）」

既往評価結果（工認時の耐震計算書）では、基礎ボルトの引張応力は、地震時の転倒モーメントと自重による復元モーメントのバランスで決まっている。このうち、転倒モーメントに占める水平・鉛直地震荷重の比率は、それぞれ水平：約70%、鉛直：約30%程度である。

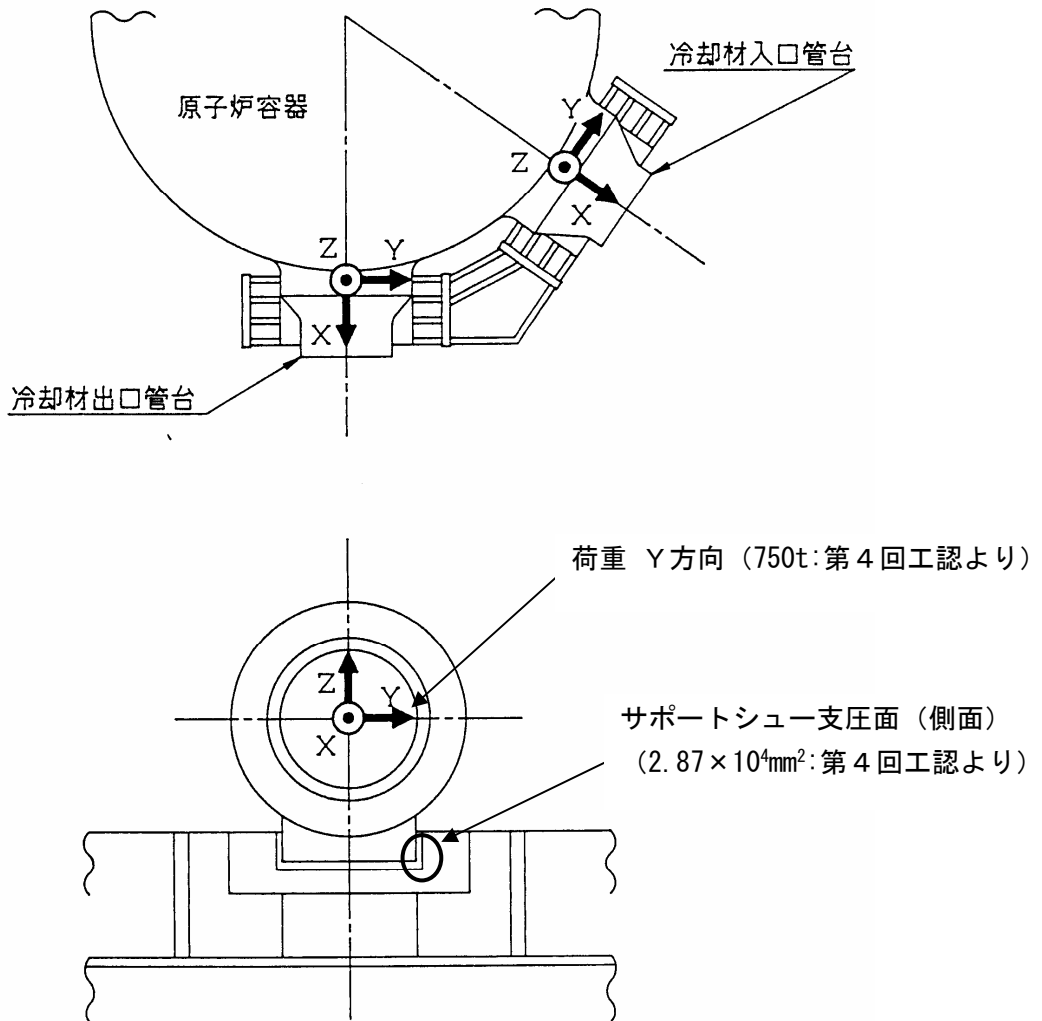
本設備は、設計時の耐震裕度が非常に大きい（許容値／ S_2 地震時発生応力 = $21.5[\text{kg}/\text{mm}^2]/0.1[\text{kg}/\text{mm}^2] \approx$ 約210倍程度）ため、「SRSS／絶対値和」を既往評価結果にそのまま乗じて評価した。

(注)「構造 A 2 1 - 2 - 1 : 伊方発電所 3 号機 安全上重要な建物・構築物および機器・配管系の耐震安全性評価(補足説明)」(平成 21 年 12 月 17 日)に基づき、中間報告の評価対象設備のうち、原子炉補助建屋設置設備(⑤「余熱除去ポンプ」)を除く設備について、入力データの誤りによる影響を検討した結果、⑥「余熱除去設備配管」については、工認時評価結果の数値に影響があるものと判断している。

「図 4 工認耐震計算書における解析条件」は、合理的な応答比を算定するために、工認時の耐震設計において支配的な荷重成分(水平・鉛直地震、それ以外)を把握することを目的としている。⑥については、入力データの誤りにより水平地震力の若干の増幅が想定されるが、水平地震力の寄与が大きい(90%程度)という事実が変更となることはない。

したがって、図 4 では、⑥を含め、「工認時の耐震計算書」に基づき作成している。

① 原子炉容器支持構造物（サポートシュー：一次応力（支圧応力））

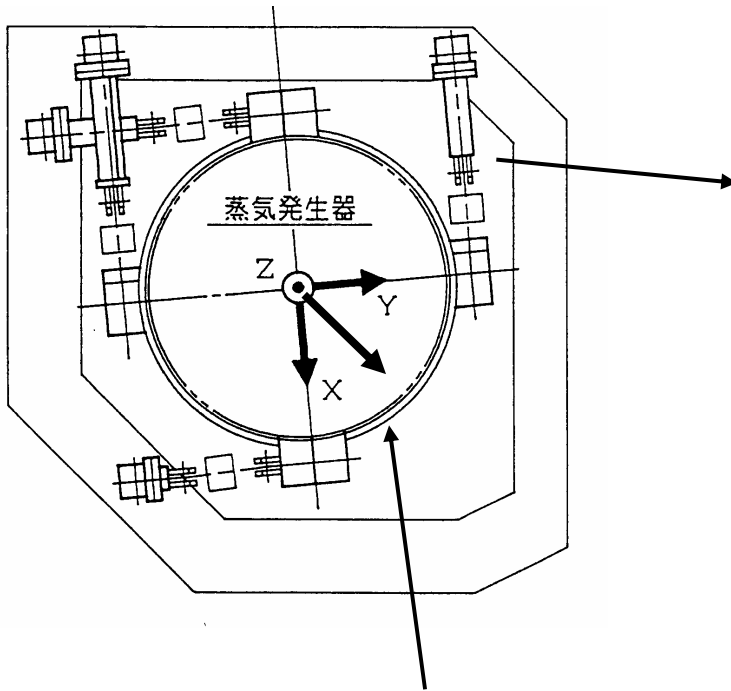


$$\text{支圧応力} = 750\text{t} / 2.87 \times 10^4 \text{mm}^2 = 26.13 \text{kg/mm}^2 [257 \text{MPa}]$$

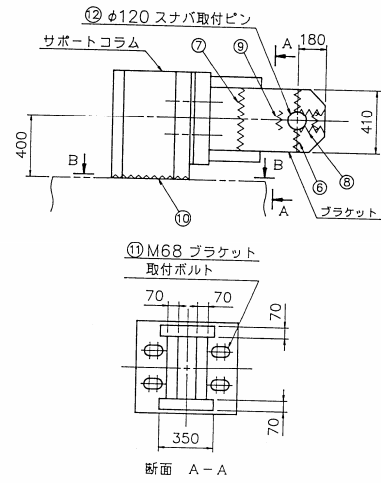
地震時発生応力は水平
方向地震荷重が支配的
($\approx 100\%$)

図-4 (1/8) 工認耐震計算書における解析条件

②蒸気発生器支持構造物（上部胴支持構造物サポートブラケット：一次応力（圧縮応力））



荷重 SRSS (X, Y)



サポートブラケット（評価断面⑦）

S2 地震における荷重（第7回工認より）

評価位置	荷重の種類	軸力[t]	
		FX	FY
上部胴支持構造物	X方向地震(A)	474.4	178.9
	X方向地震(B)	47.5	424.1
	X方向地震(C)	426.9	245.2
	Y方向地震(A)	259.5	449.9
	Y方向地震(B)	613.4	44.8
	Y方向地震(C)	354.0	405.8

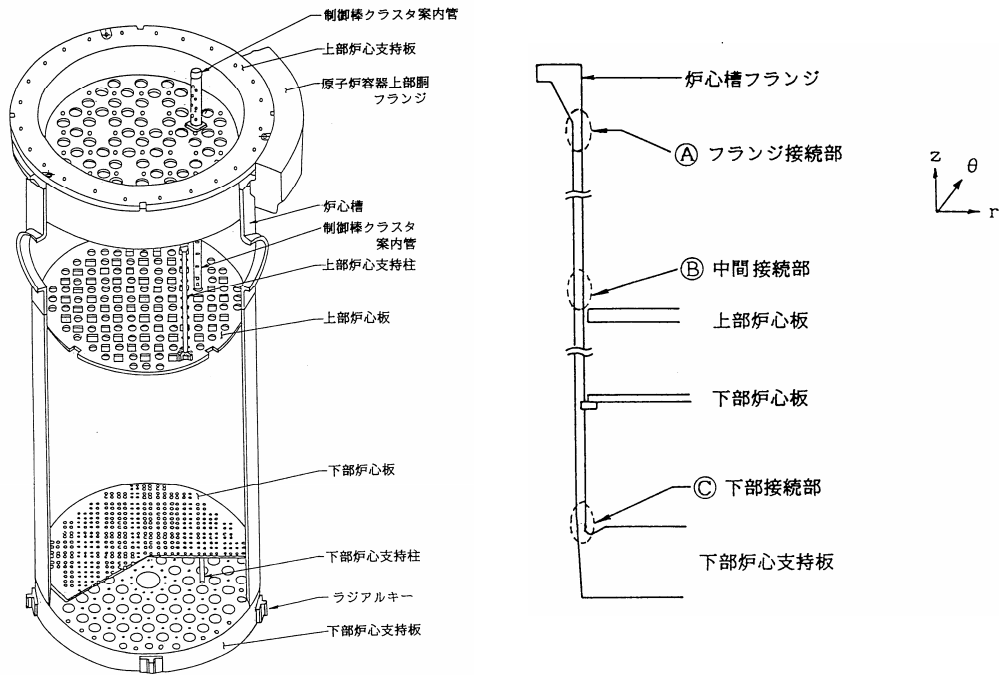
最大荷重 = $\sqrt{613.4^2 + 44.8^2} = 615.0[t]$ (S2 地震 Y方向 ループB)

サポートブラケット (⑦部) 断面積 = 57,400[mm²]
 圧縮応力 615[t]/2/57,400[mm²] = 5.35kg/mm²[53MPa]

地震時発生応力は水平方向地震荷重が支配的 (≒100%)

図-4 (2/8) 工認耐震計算書における解析条件

③炉内構造物（炉心そうフランジ接続部：一次応力）



炉心そうフランジ接続部の一次一般膜＋一次曲げ応力強さ（第7回工認より） [単位：kg/mm²]

応力評価位置	機械的荷重による応力				地震荷重による応力				主応力			応力強さ	許容値
	軸方向	周方向	径方向	せん断	軸方向	周方向	径方向	せん断	σ_1	σ_2	σ_3		
A	6.99	3.21	0.64	0.99	1.64	0.55	0.09	0.48	8.89	3.76	0.47	8.42	39.9

機械荷重および地震荷重それぞれについて下記式により主応力（3根）を算出

算出式（JEAG4601-1987（6.6.2-15式））

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_\theta + \sigma_\gamma)\sigma^2 + (\sigma_\theta\sigma_\gamma + \sigma_\gamma\sigma_x + \sigma_x\sigma_\theta - \tau_{x\theta}^2 - \tau_{x\gamma}^2 - \tau_{\theta\gamma}^2)\sigma - \sigma_x\sigma_\theta\sigma_\gamma + \sigma_x\tau_{\theta\gamma}^2 + \sigma_\theta\tau_{x\gamma}^2 + \sigma_\gamma\tau_{x\theta}^2 - 2\tau_{x\theta}\tau_{x\gamma}\tau_{\theta\gamma} = 0$$

- ・機械的荷重による主応力（炉内構造物，燃料集合体重量，スクラム荷重等を含む）

$$\sigma_1 = 7.14$$

$$\sigma_2 = 3.21$$

$$\sigma_3 = 0.49$$

$$\text{応力強さ } \sigma = -6.65(\sigma_3 - \sigma_1)$$

- ・地震荷重による主応力

$$\sigma_1 = 1.78$$

$$\sigma_2 = 0.55$$

$$\sigma_3 = -0.05$$

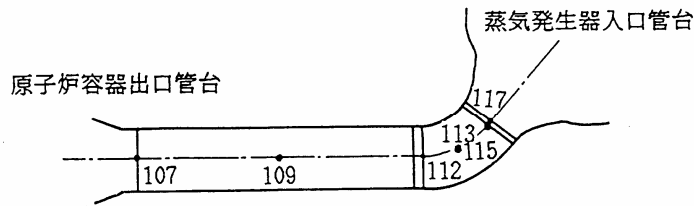
$$\text{応力強さ } \sigma = -1.83(\sigma_3 - \sigma_1)$$

機械的荷重が支配的
(≒80%)

合計応力に対する機械荷重による応力の割合 = $6.65 / (6.65 + 1.83) = 0.784$ 約 80%

図-4（3/8） 工認耐震計算書における解析条件

④一次冷却材管（本体：一次応力）



一次冷却材管部材力（第7回工認より）（単位：t・m）

評価位置	荷重の種類	曲げモーメント		
		Mx	My	Mz
112 ホットレグ	自重	0.1	10.6	0.6
	S2地震-Y方向	1.2	79.3	9.7

$$S = \frac{B_1 P D_o}{200 t} + \frac{B_2 M_{ip}}{Z_i}$$

$$= \frac{0.5 \times 181.1 \times 882}{200 \times 72.7} + \frac{2.226 \times 9.0497 \times 10^7}{3.4592 \times 10^7}$$

$$= 5.49 \text{ kg/mm}^2 \text{【内圧】} + 5.82 \text{ kg/mm}^2 \text{【自重および地震荷重】} = 11.31 \text{ kg/mm}^2 \text{【合計】}$$

曲げモーメントの比で自重および地震荷重による応力分の比を算出する。

- ①合計曲げモーメント $\sqrt{(0.1+1.2)^2 + (10.6+79.3)^2 + (0.6+9.7)^2} = 90.497 \text{ (t}\cdot\text{m)}$ 【100%】
- ②自重による曲げモーメント $\sqrt{0.1^2 + 10.6^2 + 0.6^2} = 10.617 \text{ (t}\cdot\text{m)}$ 【11.7%】
- ③地震(水平+鉛直)による曲げモーメント $\sqrt{1.2^2 + 79.3^2 + 9.7^2} = 79.900 \text{ (t}\cdot\text{m)}$ 【④+⑤=88.3%】
- ④鉛直地震による曲げモーメント(推定) $10.617 \times 0.29 = 3.079 \text{ (t}\cdot\text{m)}$ 【3.4%】
- ⑤水平地震による曲げモーメント(推定) $79.900 - 3.079 = 76.821 \text{ (t}\cdot\text{m)}$ 【84.9%】

まとめ

(1) 自重および地震荷重による応力の比(モーメント比)

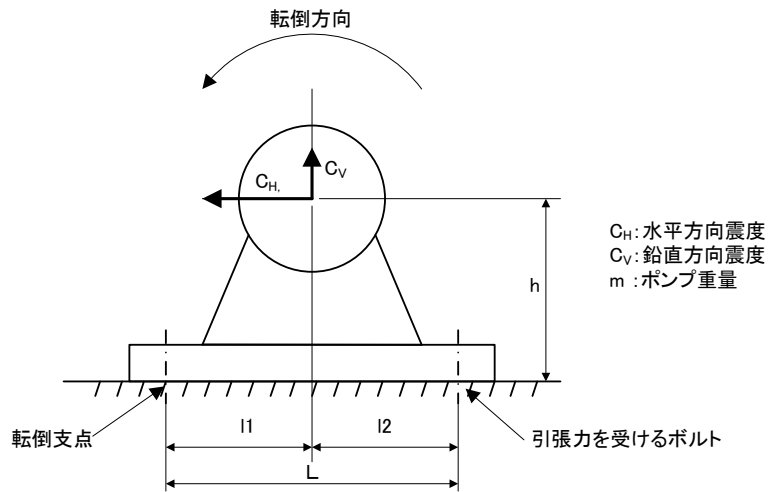
自重 : 11.7%
 水平地震 : 84.9%
 鉛直地震 : 3.4%

地震時発生応力は水平
 方向地震荷重が支配的
 (≒80%)

図-4 (4/8) 工認耐震計算書における解析条件

⑤余熱除去ポンプ（基礎ボルト：一次応力（引張応力））

工認時の耐震計算書



転倒モーメントの算出
 水平方向地震力による転倒モーメント $M_1 = m \times C_H \times h$
 鉛直方向(上向き)地震力による転倒モーメント $M_2 = m \times C_V \times l_1$
 ポンプ自重による復元モーメント $M_F = m \times 1G \times l_1$
 転倒モーメント $M = M_1 + M_2 - M_F$

基礎ボルト引張力Fの算出
 [転倒モーメントM/転倒半径L]

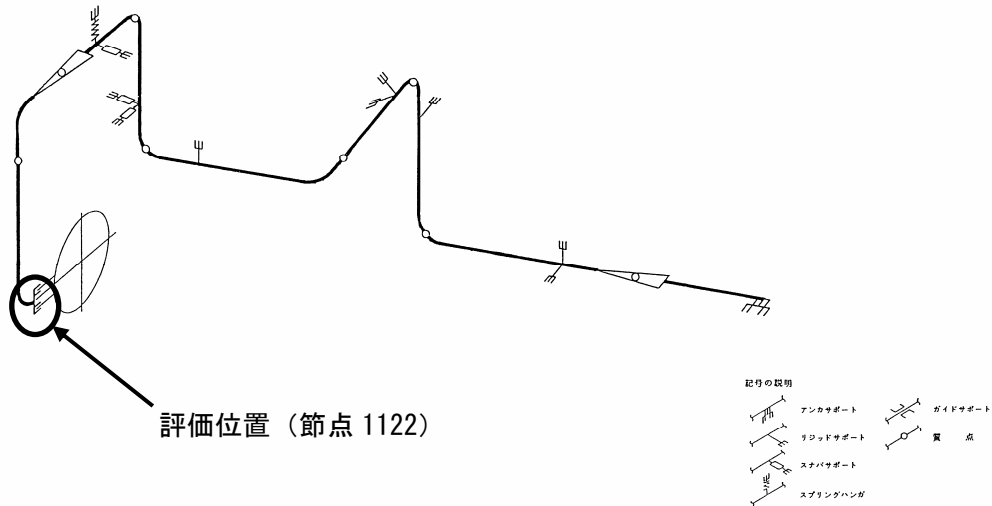
基礎ボルト引張応力の算出
 [F/(ボルト本数×ボルト断面積)]

工認時発生応力
 (引張応力)

余熱除去ポンプの基礎ボルト（引張応力）の評価については、既往評価結果（工認耐震計算書）より、
 転倒モーメントに占める水平・鉛直地震荷重の比率は、水平：71.8%，鉛直：28.2% [合計：100%] 程
 度である。

図-4 (5/8) 工認耐震計算書における解析条件

⑥余熱除去設備配管（本体：一次応力）



余熱除去設備配管の一次応力（第8回工認より） [kg/mm²]

節点番号	一 次 応 力			許容値
	圧力による 応力	自重及び地震 による応力	合計応力	
1122	4.11	11.38	15.5	35.0

①平成20年度社内検討結果（詳細解析）における自重による応力 約 1.1 kg/mm² 【9.7%】

②自重(1G)による応力から工認時鉛直震度(0.29G)による応力を比例計算にて推測
 $1.1 \times 0.29 = \text{約 } 0.32 \text{ kg/mm}^2$ 【2.8%】

③水平地震による応力 = $11.38 - 1.1 - 0.32 = \text{約 } 9.96 \text{ kg/mm}^2$ 【87.5%】

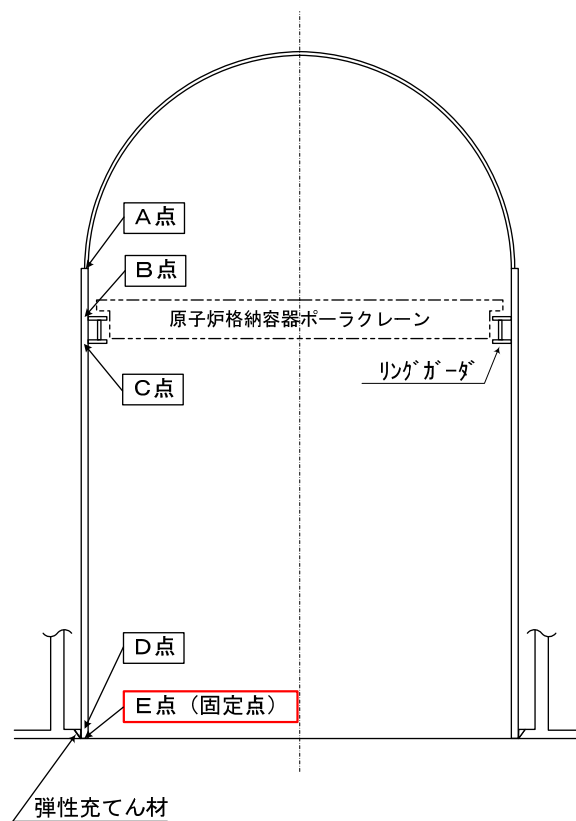
まとめ

(1) 自重および地震荷重による応力の比

自重 : 9.7%
 水平地震 : 87.5%
 鉛直地震 : 2.8%

地震時発生応力は水平
 方向地震荷重が支配的
 (≒90%)

⑦原子炉格納容器本体（E点（固定点）：一次応力）



S2地震における荷重（第3回工認より）

評価点	曲げモーメント ($\times 10^8 \text{kg}\cdot\text{mm}$)	軸力 ($\times 10^3 \text{kg}$)	
		自重分	鉛直地震分 ^{※1}
E点	2980	3303.2	796.1

※1 鉛直地震分の軸力=自重 $\times 0.241$ （鉛直震度）

応力の計算

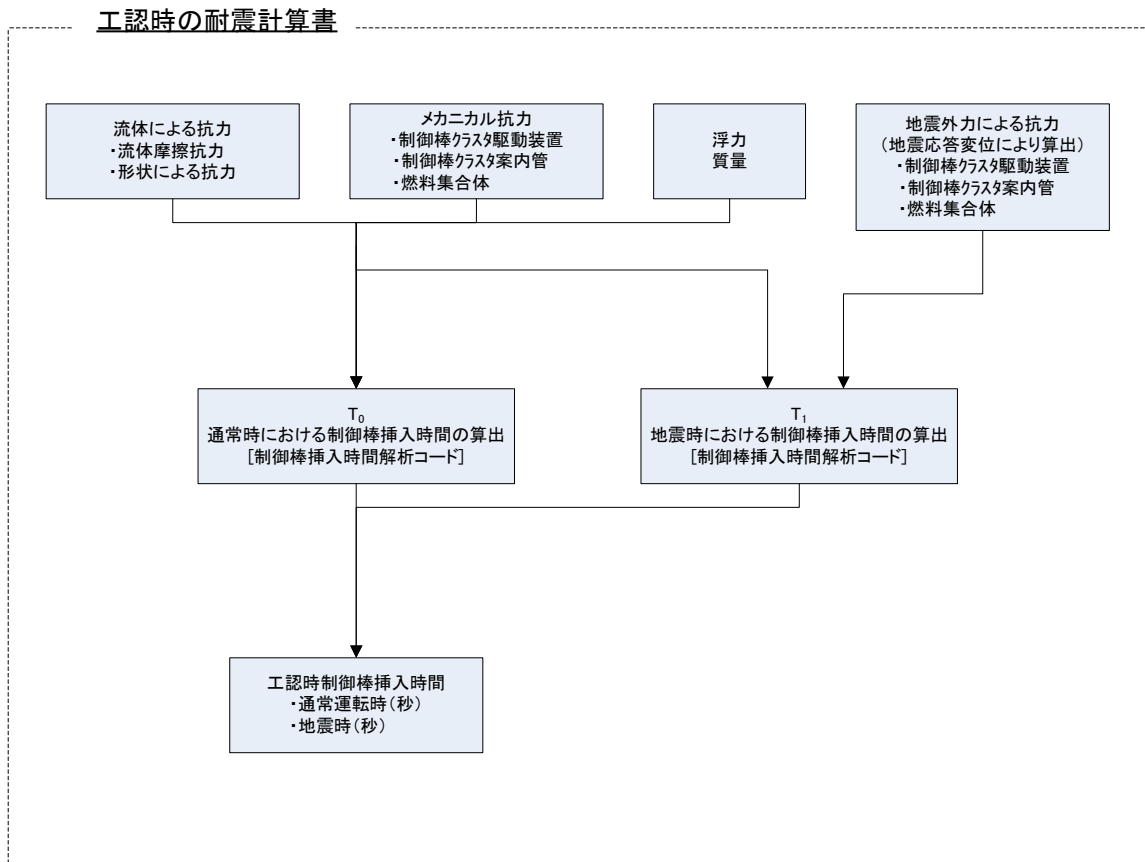
原子炉格納容器の断面積 $A = 5.598 \times 10^6 \text{mm}^2$
 原子炉格納容器の断面係数 $Z = 5.598 \times 10^{10} \text{mm}^3$

地震時発生応力は水平
 方向地震荷重が支配的
 （≒90%）

曲げモーメント（水平地震）による応力 $2980 \times 108 / 5.598 \times 10^{10} = 5.32 \text{ kg/mm}^2$ (87.9%)
 軸力（自重）による応力 $3303.2 \times 103 / 5.598 \times 10^6 = 0.59 \text{ kg/mm}^2$ (9.7%)
 軸力（鉛直地震）による応力 $796.1 \times 103 / 5.598 \times 10^6 = 0.142 \text{ kg/mm}^2$ (2.4%)
 合計応力 = 6.1 kg/mm^2 (60MPa)

図-4（7/8） 工認耐震計算書における解析条件

⑧制御棒（挿入性）



地震力が制御棒挿入性に与える影響については、解析および試験から水平地震力が支配的であることが確認されている。

燃料集合体および制御棒駆動装置等の案内経路の機器が、水平方向振動により変位すると、制御棒がそれらの機器と接触する。その時に鉛直動による地震力が作用すると、制御棒に対して上向きまたは下向きの摩擦力が抵抗力として作用する。また、鉛直地震力は、制御棒案内経路にあたる機器を上下に振動させ、自重落下する制御棒に対しても、内部流体を介して慣性力が作用する。

しかし、いずれも鉛直方向の交番荷重となるため、制御棒挿入性への影響は水平地震力に比べて十分小さいと考えられる。

図－４（８／８） 工認耐震計算書における解析条件

応答倍率の算出について

①原子炉容器支持構造物（サポートシユール：支圧応力）

	中間報告における応答比	現実的な応答比
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{AS_2 H + (1 + AS_2 V)}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	1.064	1.044

②蒸気発生器支持構造物（上部胴支持構造物サポートブラケット：圧縮応力）

	中間報告における応答比	現実的な応答比
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{AS_2 H + (1 + AS_2 V)}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	1.039	0.964

④一次冷却材管（本体）

	中間報告における応答比	現実的な応答比
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{AS_2 H + (1 + AS_2 V)}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	1.039	0.964

⑥余熱除去設備配管（本体）

	中間報告における応答比	現実的な応答比
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{AS_2 H + AS_2 V}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	1.141	1.102

⑦原子炉格納容器本体

	中間報告における応答比	現実的な応答比（応力比）
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{AS_2 H + (1 + AS_2 V)}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	0.854 (1.0)	0.825

⑧制御棒挿入性

	中間報告における応答比	現実的な応答比
応答比算出式	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{AS_2 H + AS_2 V}$	$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$
応答比	1.555	1.176

図－5 「応答比（SRSS/絶対値和）」の安全性について

c. 応答比「SRSS/絶対値和，鉛直下向き」の詳細分析

- 1) 図－1，2に示す「方法①，②」で算出される応答比について，入力地震動の変更および荷重評価手法の変更による影響が，それぞれどの程度であるか分析を行った。（図－6参照）

応答比	A：入力地震動の変更	B：荷重評価手法の変更
-----	------------	-------------

・ 方法① $= \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)} = \frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_2 H) + (AS_2 V)} \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (AS_s V)}$

・ 方法② $= \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)} = \frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)} \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$

その結果，応答比の算定において，入力地震動が大きくなる（基準地震動 S_2 から S_s に変更）影響は，A項（絶対値和ベースの比較） > 1 であり，応答比算定に反映されていると考える。

しかしながら，荷重評価手法の変更（工認時：絶対値和→新指針 BC 時：SRSS）による影響（B項 < 1 ）により，結果として「応答比」が1を下回るケースが発生することが確認された。

- 2) 1) 項の検討に加えて，「方法②」において，「自重項（+1）」の影響を定量的に検討した。

「方法②」において，基準地震動 S_2 から S_s に変更となった場合，鉛直地震動の寄与は，相対的に自重項（+1）に比較して無視できない（ $1 / AS_s V < 1$ ）ものとなるが，これら評価対象施設の地震時発生荷重は，水平地震力もしくはその他荷重の寄与が大きいため，評価結果には大きく影響しないと考えられる。（図－4，7参照）

また，参考までに自重項（+1）を考慮しない応答比（SRSS/絶対和値）での評価結果を確認したが，いずれも許容値を満足している。（応答比：図－6（方法①）参照，評価結果：図－3（1/2）[ケース③]参照）

さらに、既往評価結果（工認時の耐震計算書）等における荷重分析結果（水平・鉛直地震，自重，その他の荷重比率を検討）を踏まえ，それぞれの荷重成分毎に応答比（加速度比）を求め，基準地震動 S_s に対する評価結果を簡易的に推定した。

（図－８参照）

その結果，図－８に示す評価対象施設については，中間報告の評価結果を下回っていることを確認できた。

a.～c. 項の検討結果より，中間報告（伊方３号機）の評価対象施設に対しては，工事計画認可申請時の耐震設計および耐震バックチェック評価時の荷重評価の考え方に基づく「応答比：SRSS/絶対値和，鉛直下向き」での評価は，安全側の評価結果になっていると考えられる。

評価対象施設	基準地震動	方向	応答加速度 (G)	方法①			方法②		
				A : 入力地震動の変更 S _s /S ₂ 【絶対値和/絶対値和】	B : 荷重評価手法の変更 新指針BC時/工認時 【SRSS/絶対値和】	応答比 A × B	A : 入力地震動の変更 S _s /S ₂ 【絶対値和/絶対値和】	B : 荷重評価手法の変更 新指針BC時/工認時 【SRSS/絶対値和】	応答比 A × B
				$\frac{(AS_s H) + (AS_s V)}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (AS_s V)}$		$\frac{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$	$\frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_s H) + (1 + AS_s V)}$	
①原子炉容器 (支持構造物)	S _s	水平 (AS _s H)	1.31	1.710	0.708	1.211	1.439	0.739	1.064
		鉛直 (AS _s V)	1.46						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	1.33	1.590	0.707	1.125	1.443	0.720	1.039
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
②蒸気発生器 (支持構造物)	S _s	水平 (AS _s H)	2.34	1.710	0.708	1.211	1.439	0.739	1.064
		鉛直 (AS _s V)	2.43						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	2.71	1.590	0.707	1.125	1.443	0.720	1.039
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
③炉内構造物 (炉心そう)	S _s	水平 (AS _s H)	1.31	1.710	0.708	1.211	1.439	0.739	1.064
		鉛直 (AS _s V)	1.46						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	1.33	1.590	0.707	1.125	1.443	0.720	1.039
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
④一次冷却材管 (本体)	S _s	水平 (AS _s H)	2.34	1.710	0.708	1.211	1.439	0.739	1.064
		鉛直 (AS _s V)	2.43						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	2.71	1.590	0.707	1.125	1.443	0.720	1.039
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
⑤余熱除去ポンプ (基礎ボルト) (原動機取付ボルト)	S _s	水平 (AS _s H)	0.74	1.065	0.734	0.781	1.034	0.741	0.767
		鉛直 (AS _s V)	0.42						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	0.80	1.546	0.738	1.141	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
⑥余熱除去設備配管 (本体)	S _s	水平 (AS _s H)	3.25	1.281	0.714	0.915	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS _s V)	1.76						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	2.95	1.281	0.714	0.915	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						
⑦原子炉格納容器 (本体)	S _s	水平 (AS _s H)	1.50	2.136	0.728	1.555	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS _s V)	1.14						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	1.82	2.136	0.728	1.555	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS ₂ V)	0.241						
⑧制御棒挿入性 (動的機能維持)	S _s	水平 (AS _s H)	1.31	2.136	0.728	1.555	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS _s V)	2.15						
	S ₂	水平 (AS ₂ H)	1.33	2.136	0.728	1.555	1.190	0.718	0.855
		鉛直 (AS ₂ V)	0.29						

 : 中間報告では「方法②」に基づく評価を行っているが、参考までに評価した。
 : 中間報告では「方法①」に基づく評価を行っている。

図 - 6 「応答比 (SRSS/絶対値和)」 の分析結果について

評価対象施設	応力（荷重）比率 [%]		基準地震動	方向	応答 ^{※3} 加速度 (G)	水平地震動の増倍率 (新指針BC時/工認時)	鉛直地震動の増倍率 (新指針BC時/工認時)	工認時の鉛直荷重比率 (自重/鉛直地震)	新指針BC時の鉛直荷重比率 (自重/鉛直地震)
						$\frac{AS_s H}{AS_2 H}$	$\frac{AS_s V}{AS_2 V}$	$\frac{1}{AS_2 V}$	$\frac{1}{AS_s V}$
①原子炉容器 (支持構造物)	水平地震	100	S _s	水平(AS _s H)	2.17	1.044	5.035	3.449	0.685
	鉛直地震	0		鉛直(AS _s V)	1.46				
	自重	0	S ₂	水平(AS ₂ H)	2.08				
	その他 ^{※1}	0		鉛直(AS ₂ V)	0.29				
②蒸気発生器 (支持構造物)	水平地震	100	S _s	水平(AS _s H)	3.43	0.964	8.380	3.449	0.412
	鉛直地震	0		鉛直(AS _s V)	2.43				
	自重	0	S ₂	水平(AS ₂ H)	3.56				
	その他 ^{※1}	0		鉛直(AS ₂ V)	0.29				
③炉内構造物 (炉心そう)	地震荷重	20	S _s	水平(AS _s H)	2.17	1.044	5.035	3.449	0.685
				鉛直(AS _s V)	1.46				
	その他 ^{※1}	80	S ₂	水平(AS ₂ H)	2.08				
				鉛直(AS ₂ V)	0.29				
④一次冷却材管 (本体)	水平地震	43.6	S _s	水平(AS _s H)	3.43	0.964	8.380	3.449	0.412
	鉛直地震	1.8		鉛直(AS _s V)	2.43				
	自重	6	S ₂	水平(AS ₂ H)	3.56				
	その他 ^{※1}	48.6		鉛直(AS ₂ V)	0.29				
⑤余熱除去ポンプ (基礎ボルト) [※] <small>※：原動機取付ボルトについても増倍率は同様</small>	水平地震 ^{※2}	71.8	S _s	水平(AS _s H)	0.74	0.925	1.449	3.449	2.381
	鉛直地震 ^{※2}	28.2		鉛直(AS _s V)	0.42				
	自重 ^{※2}	-97.1	S ₂	水平(AS ₂ H)	0.80				
	その他 ^{※1}	0		鉛直(AS ₂ V)	0.29				
⑦原子炉格納容器 (本体)	水平地震	87.9	S _s	水平(AS _s H)	1.50	0.825	4.731	4.150	0.878
	鉛直地震	2.4		鉛直(AS _s V)	1.14				
	自重	9.7	S ₂	水平(AS ₂ H)	1.82				
	その他 ^{※1}	0		鉛直(AS ₂ V)	0.241				

※1：その他とは、地震荷重および自重による応力以外（内圧、機械荷重等）をいう。

※2：転倒モーメントに占める水平・鉛直地震荷重の比率を示す。なお、自重は復元モーメントとして、転倒モーメントを相殺する効果がある。

※3：鉛直方向応答加速度の取扱い

工認時；基準地震動S₂の最大加速度振幅の1/2の値として求めた鉛直震度に基づく。

なお、鉛直震度は高さ方向に一定として扱い、機器・配管系の評価では20%増しとした震度を用いる。

新指針BC時；機器・配管系の評価では、基準地震動S_sに対する鉛直方向床応答スペクトルに基づく動的地震力を用いる。

図 - 7 「自重項 (+ 1)」の分析結果について

評価対象施設	工認時発生値 [kg/mm ²]	許容値 [kg/mm ²]	応力(荷重)比率 [%]		①工認発生値× 比率[kg/mm ²]	②応答 倍率 ^{※2}	①×②	簡易評価 結果 ^{※5}	中間報告値 [kg/mm ²]
			水平地震	鉛直地震					
①原子炉容器 (支持構造物)	26.2	47.5	水平地震	100	26.2	1.044	27.35	27.35	27.9
			鉛直地震	0	0.0	5.035	0.00		
			自重	0	0.0	1.000	0.00		
			その他 ^{※1}	0	0.0	1.000	0.00		
			合計	100	26.2		27.35		
②蒸気発生器 (支持構造物)	5.4	8.1	水平地震	100	5.4	0.964	5.21	5.21	5.7
			鉛直地震	0	0.0	8.380	0.00		
			自重	0	0.0	1.000	0.00		
			その他 ^{※1}	0	0.0	1.000	0.00		
			合計	100	5.4		5.21		
④一次冷却材管 (本体)	11.4	35.5	水平地震	43.6	4.97	0.964	4.79	5.09	11.9
			鉛直地震	1.8	0.21	8.380	1.72		
			自重	6.0	0.68	1.000	0.68		
			その他 ^{※1}	48.6	5.54	1.000	5.54		
			合計	100	11.40		12.74		
⑤-1余熱除去ポンプ (基礎ボルト)	0.1	21.5	水平地震	71.8	2.57	0.925	2.38	2.79	0.1
			鉛直地震	28.2	1.01	1.449	1.46		
			自重	-97.1	-3.48	1.000	-3.48		
			その他 ^{※1}	0	0.00	1.000	0.00		
			合計	2.9	0.10		0.36		
⑤-2余熱除去ポンプ (原動機取付ボルト)	1.0	21.5	水平地震	82.1	2.14	0.925	1.98	2.10	1.0
			鉛直地震	17.9	0.47	1.449	0.68		
			自重	-61.7	-1.61	1.000	-1.61		
			その他 ^{※1}	0	0.00	1.000	0.00		
			合計	38.3	1.00		1.05		
⑦原子炉格納容器 (本体)	6.1	35.8	水平地震	87.9	5.36	0.825	4.42	4.48	5.3 (6.1) ^{※4}
			鉛直地震	2.4	0.15	4.731	0.69		
			自重	9.7	0.59	1.000	0.59		
			その他 ^{※1}	0.0	0.00	1.000	0.00		
			合計	100	6.10		5.71		

※1：その他とは、地震荷重および自重による応力以外（内圧、機械荷重等）をいう。

※2：水平、鉛直それぞれの応答倍率（水平＝AS_sH/AS₂H、鉛直＝AS_sV/AS₂V）

※3：転倒モーメント<自重による復元モーメントのため、基礎ボルトに引張応力は発生しない。

※4：応答比が1以下のため1として計算。

※5：簡易式による推定値

$$\sqrt{\left(\sigma_H \times \frac{AS_s H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(\sigma_V \times \frac{AS_s V}{AS_2 V}\right)^2} + \sigma_L$$
 計算過程における端数処理を考慮
 σ_H ：工認時発生応力（水平地震力による応力）
 σ_V ：工認時発生応力（鉛直地震力による応力）
 σ_L ：工認時発生応力（自重+その他による応力）

『備考』

③炉内構造物（炉心そう）：既往評価結果から水平・鉛直地震荷重の分解ができないため記載していない。

図－8 荷重成分毎の比率および応答倍率を考慮した簡易評価結果

d. 中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対する適用性検討

中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対して、既往評価結果（工認時の耐震計算書）を分析して地震時発生荷重を推定し、水平および鉛直方向荷重の割合（寄与率）に応じて、基準地震動 S_s に対する評価結果を簡易的に推定した。

さらに、各種「応答比」算定法を適用した結果との比較を行い、それぞれの「応答比」算定法の適用範囲について検討した。

（図－9参照）

中間報告（伊方3号機）の評価対象施設の既往評価（工認時の耐震計算書）結果等に基づく荷重分析結果（b.項）より、鉛直地震力による荷重割合（寄与率）は最大でも20%程度（自重分考慮）と推定され、地震時発生荷重は水平地震力が支配的と考えられる。

今回の新耐震指針に照らした耐震安全性評価（中間報告：伊方3号機）においては、鉛直方向の地震荷重が静的震度から鉛直地震動に基づく評価に変更となるため、既往評価結果に比べて、鉛直方向荷重の割合（寄与率）が大きい領域で「応答倍率法」を適用することになる可能性がある。

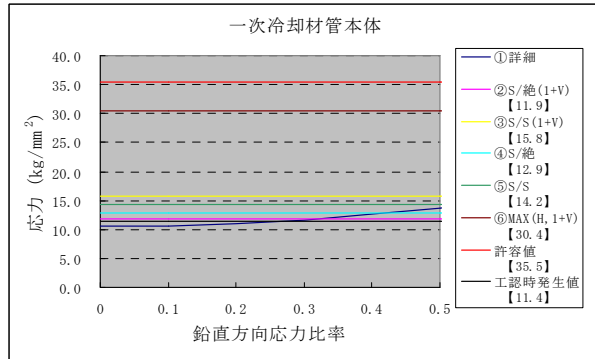
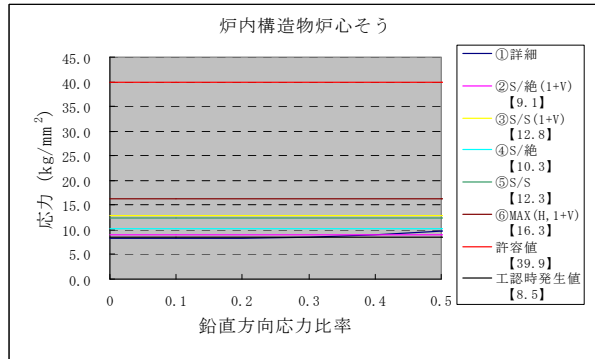
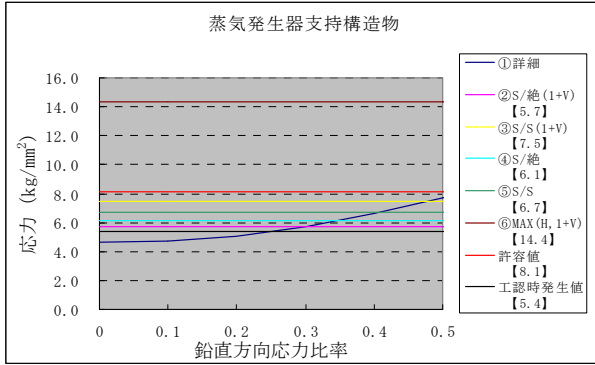
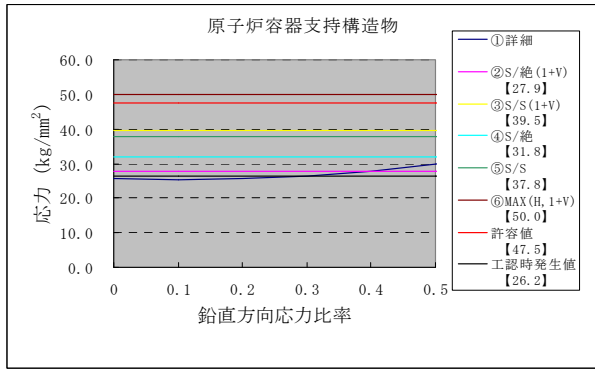
しかしながら、鉛直方向荷重の影響が大きく現れる設備は、例えば、鉛直方向支持スパンの長いクレーン類等、耐震安全性評価に際して、その構造形状から容易に振動特性を推定可能であり、設計上の実務として、影響程度を適切に考慮した評価が行われる。

（今回の中間報告（伊方3号機）の評価対象施設（評価部位）で該当するものはない。）

中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対しては、水平・鉛直方向の荷重分析結果より、工認設計および耐震バックチェック評価時の荷重評価の考え方に基づく「応答比：SRSS/絶対値和、鉛直下向き」手法が適用可能であり、詳細評価（簡易式による推定値）に比較して安全側の結果を与えることが確認された。

本手法の適用性については、評価対象施設の既往評価（工認時の耐震計算書）結果等に基づく荷重分析結果も踏まえた上で、慎重な判断が必要と考える。

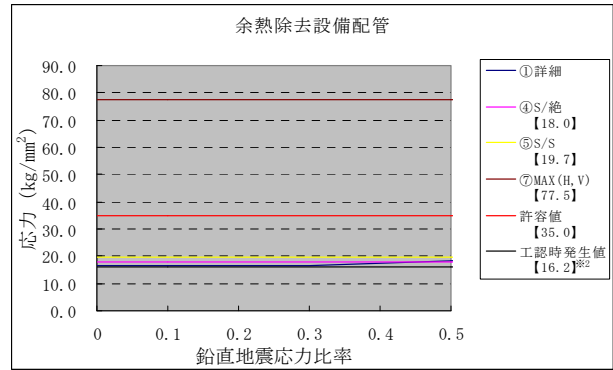
しかしながら、中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対する検討結果より、地震時発生荷重として水平地震力が支配的な機器に対しては、適用できると考えられる。



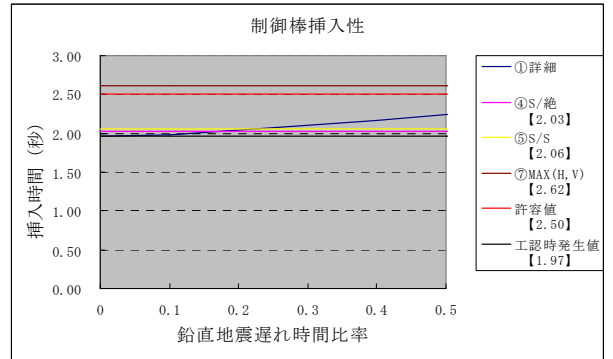
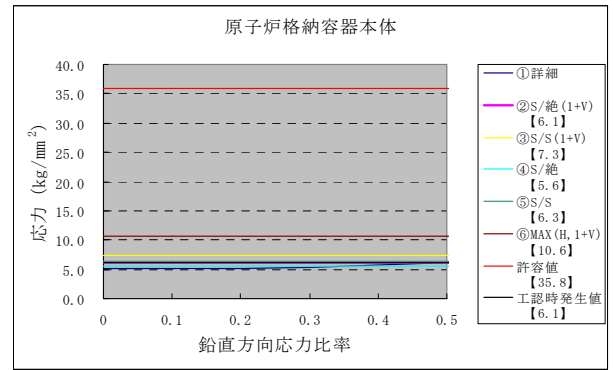
余熱除去ポンプ (kg/mm²)

評価方法	基礎ボルト	原動機取付ボルト
①詳細	—※1	0.5
②S/絶(1+V)	0.1	1.0
③S/S(1+V)	0.2	1.1
④S/絶	0.1	0.8
⑤S/S	0.1	1.0
⑥MAX(H, 1+V)	0.2	1.2
許容値	21.5	21.5
工認時発生値	0.1	1.0

※1：転倒モーメント<自重による復元モーメントのため基礎ボルトに引張応力は発生しない。



※2：訂正後の工認時評価結果による（工認時：15.5）



『記号解説』

①詳細（簡易式による推定値）

$$\sqrt{\left(\sigma_H \times \frac{AS_s H}{AS_2 H}\right)^2 + \left(\sigma_V \times \frac{AS_s V}{AS_2 V}\right)^2} + \sigma_L$$

※余熱除去ポンプは規格に当てはめて計算実施

②S/絶(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (1 + AS_2 V)}$$

③S/S(1+V)

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (1 + AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (1 + AS_2 V)^2}}$$

④S/絶

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{(AS_2 H) + (AS_2 V)}$$

⑤S/S

$$\sigma \times \frac{\sqrt{(AS_s H)^2 + (AS_s V)^2}}{\sqrt{(AS_2 H)^2 + (AS_2 V)^2}}$$

⑥MAX(H, 1+V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{(1 + AS_s V)}{(1 + AS_2 V)} \right) \times \sigma$$

⑦MAX(H, V)

$$\text{MAX} \left(\frac{AS_s H}{AS_2 H}, \frac{AS_s V}{AS_2 V} \right) \times \sigma$$

AS₂H: 基準地震動S2 (水平)
 AS_sH: 基準地震動SS (水平)
 AS₂V: 基準地震動S2 (鉛直)
 AS_sV: 基準地震動SS (鉛直)
 σ : 工認時発生応力 (合計)
 σ_H : 工認時発生応力 (水平地震力による応力)
 σ_V : 工認時発生応力 (鉛直地震力による応力)
 σ_L : 工認時発生応力 (自重+その他による応力)

図-9 各種「応答比」算定法における適用可能範囲について

4. まとめ

以上の検討結果より、中間報告（伊方3号機）の評価対象施設に対しては、工事計画認可申請時の耐震設計および耐震バックチェック評価時の荷重評価の考え方に基づく「応答比：SRSS/絶対値和，鉛直下向き」による評価手法は、ある評価条件で基準地震動 S_s による発生値が評価基準値を超えないことを効率よく判断する観点では妥当と考える。

なお、耐震安全性評価手法として、評価対象施設の既往評価結果等に基づく応答倍率法を適用する場合，既往評価（工認時の耐震計算書）結果等に基づく荷重分析結果も踏まえた上で，適切な「応答比」算定法を選択することで，合理的な評価が可能と考える。

5. 別 添

『応答倍率法に対する基本的な考え方』

1. 応答倍率法とは

新耐震指針に照らした耐震安全性評価において，設計条件（荷重，応力等）から基準地震動 S_s による評価条件への倍率を算定して設計条件に乗じることによって，評価基準値を超えるかどうかの判定を行っており，この評価手法を「応答倍率法」という。

したがって，設計ベースで厳密に耐震裕度^(注)の確認を行うものではなく，地震応答加速度（床応答曲線），荷重に基づき発生値が評価基準値を超えないことを効率よく判断することに主眼を置いた評価手法である。

（注）耐震裕度 = 評価基準値 / 基準地震動 S_s による発生値

2. 応答倍率法の適用範囲

新耐震指針に照らした耐震安全性評価において，「応答倍率法」の適用に際して，以下のケース分類に基づき，実機評価への適用を判断している。（第1表参照）

（1）設計時の耐震裕度が比較的大きい設備

加速度（震度）を用いて設計している設備のうち，設計時の耐震裕度^(注)が比較的大きいものについては，応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。

（注）設計時の耐震裕度 = 評価基準値 / 基準地震動 S_2 による発生値
[例えば，ポンプ・ファン等回転機器および圧力容器の基礎ボルト，圧力容器の胴板等の評価について該当する場合が多い。]

（2）応答倍率法で比較的精度良く耐震裕度の確認が期待できる設備

① 荷重データに基づく応答倍率法による評価が可能な設備

機器・配管系設備の基準地震動 S_s による地震応答解析結果より，評価荷重（モーメント，せん断力，軸力）が算

定されていれば，これら荷重データに基づく応答倍率法で比較的精度良く発生値（発生応力）の予測が可能であり，必ずしも耐震裕度が大きくない設備についても，応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。

[例えば，建屋・機器連成解析結果より，正確な地震応答荷重が算定できる原子炉格納容器の胴板等の評価について該当する場合が多い。]

②地震時の応答挙動（荷重，変位）が入力加速度と比例関係にある設備

加速度（震度）を用いて設計している設備のうち，規格計算式およびスペクトルモーダル法（多質点系における多次のモード重畳を考慮した線形応答解析手法）により設計している設備については，加速度から規格式等に基づき地震力を算定しており，加速度データに基づく応答倍率法で評価可能であり，ある程度耐震裕度が大きい設備については，応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。

[例えば，配管，容器，熱交換器・ファン・ポンプ等の回転機器および重機器支持構造物の評価について該当する場合が多い。]

また，地震時の制御棒挿入性評価における挿入時間遅れは，燃料集合体等の水平方向地震時応答変位量（地震外力による抗力に関係）と相関があり，それらはある範囲までは地震力に比例することから，応答倍率法による評価が可能と判断する。なお，鉛直地震力が制御棒挿入性に与える影響は，解析および試験結果より水平地震力に比べ十分小さいと判断している。

なお，応答倍率法の適用に際しては，既往評価（工認時の耐震計算書）結果等に基づく荷重分析結果も踏まえた上で，適切な「応答比」算定法を選択することで，合理的な評価が可能と考える。

3. 応答倍率法による評価結果の妥当性について

応答倍率法の適用範囲として、2. 項に示す(1) 評価基準値に対して大きな余裕がある中での適用、あるいは、(2) 比較的精度良く評価を行える設備への適用としていることから、地震応答加速度(床応答曲線)、荷重に基づき発生値が評価基準値を超えないことを効率よく判断する観点では妥当な評価結果を与えると考える。

しかしながら、適用する「応答比」算定法によっては、厳密な耐震裕度^(注)の確認が困難となるケースが否定できないことから、耐震裕度が小さい設備に対しては、正確な耐震裕度を把握する観点から、本報告等においては、必要に応じて、詳細評価を実施することが望ましいと考える。

(注) 耐震裕度 = 評価基準値 / 基準地震動 S_s による発生値

第 1 表 応答倍率法の適用範囲に関する整理（中間報告（伊方 3 号機））

応答倍率法の適用範囲	応答倍率法の適用に当たってのスタンス	中間報告（伊方 3 号機）の 評価対象施設に対する整理	備 考
設計時の耐震裕度が比較的 大きい設備	<p>加速度（震度）を用いて設計している設備のうち、設計時の耐震裕度^{（注）}が比較的大きいものについては、応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。</p> <p>（注）設計時の耐震裕度 ＝評価基準値／基準地震動 S_2 による発生値</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・炉内構造物（炉心支持構造物：炉心そうフランジ接続部（耐震裕度：約 5 倍程度）） ・一次冷却材管（本体（耐震裕度：約 3 倍程度）） ・余熱除去ポンプの基礎ボルト（耐震裕度：約 210 倍程度） 原動機取付ボルト（耐震裕度：約 21 倍程度） ・余熱除去設備配管（本体（耐震裕度：約 2 倍程度）） ・原子炉格納容器（本体（耐震裕度：約 5 倍程度）） 	
<p>応答倍率法で比較的精度良く耐震裕度の確認が期待できる設備</p> <p>①荷重データに基づく応答倍率法による評価が可能な設備</p>	<p>機器・配管系設備の基準地震動 S_s による地震応答解析結果より、評価荷重（モーメント、せん断力、軸力）が算定されていれば、これら荷重データに基づく応答倍率法で比較的精度良く発生値（発生応力）の予測が可能であり、必ずしも耐震裕度が大きくない設備についても、応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。</p>	<p>－（適用施設なし）</p>	
<p>応答倍率法で比較的精度良く耐震裕度の確認が期待できる設備</p> <p>②地震時の応答挙動（荷重、変位）が入力加速度と比例関係にある設備</p>	<p>加速度（震度）を用いて設計している設備のうち、規格計算式およびスペクトルモーダル法（多質点系における多次のモード重畳を考慮した線形応答解析手法）により設計している設備については、加速度から規格式等に基づき地震力を算定しており、加速度データに基づく応答倍率法で評価可能であり、ある程度耐震裕度が大きい設備については、応答倍率法にて評価基準値を超えないとの判断が可能である。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉容器支持構造物（サポートシュー） ・蒸気発生器支持構造物（上部胴支持構造物ブラケット） ・一次冷却材管（本体） ・余熱除去設備配管（本体） ・制御棒（挿入性評価） 	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒（挿入性評価）については、本報告時に詳細評価を実施予定