

本資料のうち、枠囲みの内容は当社の商業機密又は防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-4_改 13
提出年月日	2021年11月11日

補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について

目 次

1. 概要	1
2. 波及的影響に関する評価方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 下位クラス施設の抽出方法	4
2.3 影響評価方法	5
2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方	5
3. 事象検討	7
3.1 別記2に記載された事項に基づく事象検討	7
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	8
3.2.1 被害事例とその要因の整理	8
3.2.2 追加考慮すべき事象の検討	9
3.3 津波、火災及び溢水による影響評価	10
3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価	10
3.5 液状化による影響評価	10
4. 上位クラス施設の確認	11
5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法	22
5.1 相対変位又は不等沈下による影響	22
5.2 接続部における相互影響	26
5.3 建屋内における施設の損傷、転倒、落下等による影響	35
5.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響	37
6. 下位クラス施設の検討結果	39
6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果	39
6.1.1 抽出手順	39
6.1.2 下位クラス施設の抽出結果	39
6.1.3 影響評価結果	39
6.2 接続部における相互影響検討結果	47
6.2.1 抽出手順	47
6.2.2 接続部の抽出結果及び影響評価対象の選定結果	47
6.2.3 影響評価結果	47
6.3 建屋内における施設の損傷、転倒、落下等による影響検討結果	68
6.3.1 抽出手順	68
6.3.2 下位クラス施設の抽出結果	68
6.3.3 耐震評価結果	68
6.4 建屋外における施設の損傷、転倒、落下等による影響検討結果	119
6.4.1 抽出手順	119
6.4.2 下位クラス施設の抽出結果	119
6.4.3 耐震評価結果	119

添 付 資 料

- 添付資料 1-1 波及的影響評価に係る現地調査の実施要領
- 添付資料 1-2 波及的影響評価に係る現地調査の実績
- 添付資料 1-3 波及的影響評価に係る現地調査記録
- 添付資料 2-1 原子力発電所における地震被害事例の要因整理
- 添付資料 2-2 東北地方太平洋沖地震時の女川原子力発電所における地震被害事例の要因整理
- 添付資料 3 周辺斜面の崩壊等による上位クラス施設への影響
- 添付資料 4 上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について
- 添付資料 5 設置、撤去又は移設予定施設に対する波及的影響評価の考え方について
- 添付資料 6 原子炉補機冷却海水系通水機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 添付資料 7 防潮堤・防潮壁への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 添付資料 8 下位クラス施設の損傷による機械的荷重等の影響について
- 添付資料 9 制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機のプールライニング部への影響検討
- 添付資料 10 逆流防止設備への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 参考資料 1 下位クラス配管の損傷形態の検討について
- 参考資料 2 設置変更許可時からの相違点について

: 今回提出範囲

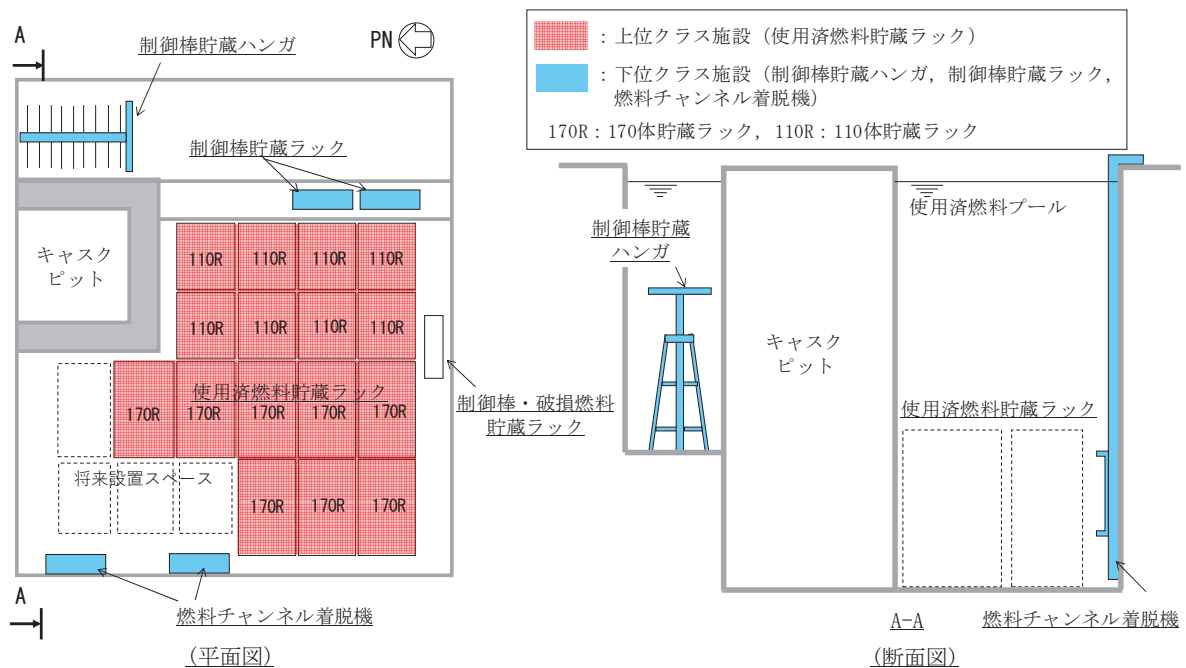
制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機のプールライニング部への影響検討

1. 概要

添付 9-1 図に示すとおり、使用済燃料プール内に下位クラス施設である制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機が設置されている。

制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機については、地震時に損傷し転倒した場合、上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックに影響を及ぼす可能性があるため、波及的影響評価の対象としており、その結果については「VI-2-11-2-13 制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書」及び「VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」にて示している。一方、制御棒貯蔵ハンガについては、使用済燃料貯蔵ラックとの間にキャスクピットが存在することから、仮に地震時に転倒した場合でも、使用済燃料貯蔵ラックに倒れ込む可能性がないと考え波及的影響評価の対象から除外している。

これらの設備については、耐震評価の有無に関わらず、地震時に床面及び壁面のアンカー部が損傷した場合、プールライニングに影響を及ぼす可能性があることから、その影響について検討した結果を以下に示す。



添付 9-1 図 使用済燃料プール内配置状況

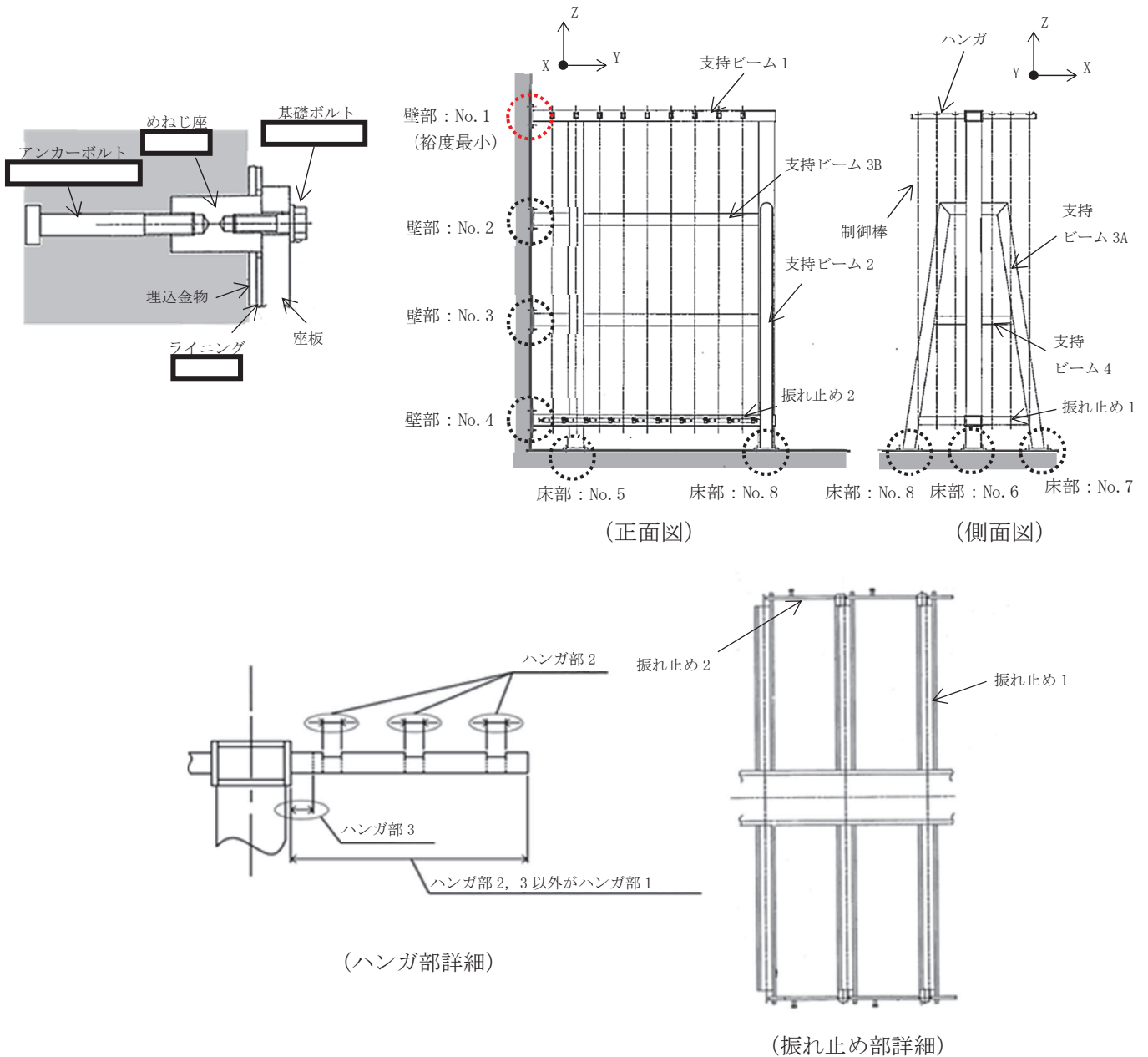
2. プールライニングへの影響検討

2.1 制御棒貯蔵ハンガ

2.1.1 影響検討方針

制御棒貯蔵ハンガの構造図を添付 9-2 図に示す。制御棒貯蔵ハンガは、床面及び壁面に基礎ボルト及びアンカーボルトにより固定されている。

地震時において、アンカーボルト及びコンクリート部に損傷が生じた場合、アンカーボルトには引き抜けが生じ、その結果、使用済燃料プールのバウンダリ機能へ影響を及ぼす可能性があることから、アンカー部について基準地震動 S_s に対する構造強度評価を行う。



添付9-2図 制御棒貯蔵ハンガ構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.2 影響検討条件

制御棒貯蔵ハンガのアンカー部に対して、添付9-1表に示す条件で基準地震動 S_s による耐震評価を実施した。

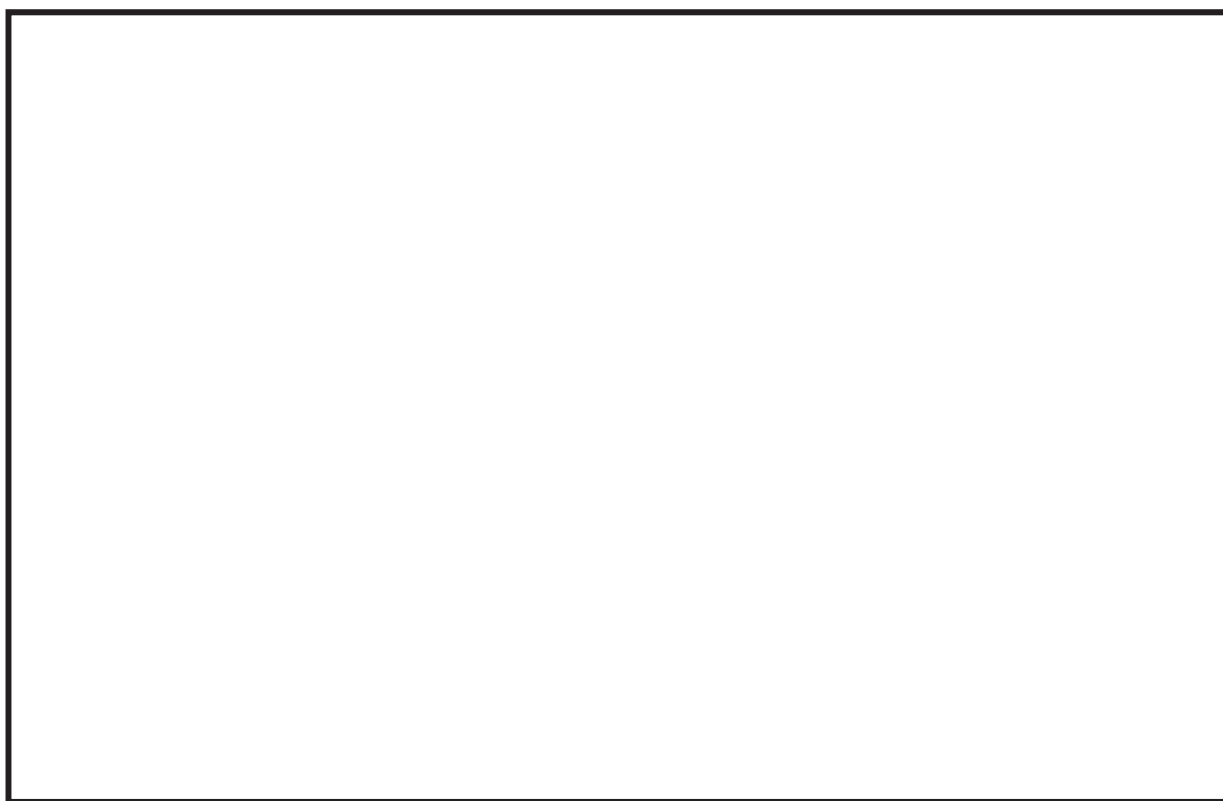
添付9-1表 制御棒貯蔵ハンガのアンカー部評価に適用する解析条件

項目		内容
地震条件		基準地震動 S_s による床応答曲線*
解析手法		スペクトルモーダル解析
解析コード		MSC NASTRAN
解析モデル		添付9-3図に示す解析モデル
減衰定数		1% (溶接構造物)
流体質量 の考慮	付加質量	有
	排除水体積質量による応答低減	有
地震荷重の組合せ		水平2方向及び鉛直1方向の地震荷重を考慮 荷重の組合せ方法はSRSS法
貯蔵本数		24本

注記*：添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定。

解析モデルのモデル図を添付9-3図に、解析モデルの概要を以下に示す。

- ・制御棒貯蔵ハンガの解析モデルは、はり要素を用いた3次元の有限要素モデルとする。
- ・制御棒貯蔵ハンガは、使用済燃料プールの床及び側壁に基礎ボルトで固定されることから、拘束条件はフレームの壁及び床への取付部を固定とする。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- ・制御棒貯蔵ハンガの質量には制御棒の質量、制御棒貯蔵ハンガ本体の質量に加えて、水中の振動を模擬するために制御棒及び制御棒貯蔵ハンガ部材の水の付加質量及び排除水体積質量による応答低減効果を考慮する。
- ・応答低減効果は、制御棒貯蔵ハンガを内筒、燃料プール壁面を外筒とみなした二重円筒モデルにおいて、外筒が内筒に対して十分に大きく無限水中にある仮定で評価を実施する。
- ・制御棒貯蔵ハンガ本体の質量は、質量密度と部材長さによって解析コードにより自動計算され各質点へ振り分けられる。一方、水の付加質量は添付9-3表等により方向別に異なることから解析コードの自動計算ではなく個別に計算を行う。これと同様に排除水体積質量も添付9-5表等により個別に計算を行う。算出した水の付加質量と排除水体積質量を解析モデル各質点の対角項又は非対角項に考慮して解析を実施する。



添付9-3図 制御棒貯蔵ハンガの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から
公開できません。

付加質量及び排除水体積質量による応答低減効果について考え方を以下に示す。

(1) 解析モデルに考慮した付加質量

a. 制御棒貯蔵ハンガの付加質量

制御棒貯蔵ハンガの各部位の断面図を添付 9-4 図に示す。これらの部位に対して添付 9-2 表（機械工学便覧の付加質量）より、各部位の単位長さ当りの付加質量を計算した結果を添付 9-3 表及び添付 9-4 表に示す。添付 9-2 表に示す機械工学便覧の付加質量は方向によらず断面形状に応じて適用可能であり、同表の考え方を適用して算出した水平方向の結果が添付 9-3 表、鉛直方向の結果が添付 9-4 表となっている。

なお、各部材について軸方向は断面積が小さく影響が軽微であることから付加質量は考慮しない。また、水の密度 ρ_w は $1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$ とする。



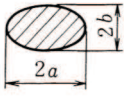


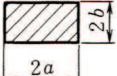

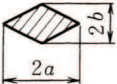



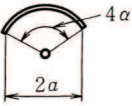





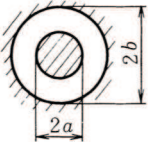

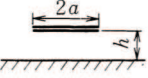

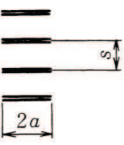



添付 9-4 図 制御棒貯蔵ハンガ 断面形状

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

添付 9-2 表 柱状物体の単位当たりの付加質量 (機械工学便覧抜粋)

表 13・2 柱状物体の単位長さ当たりの付加質量
(ρ は流体の密度)

断面形状	付加質量
円 	 $\pi\rho a^2$
だ円 	 $\pi\rho a^2$  $\pi\rho b^2$
長方形 	 $\pi K_1 \rho a^2$
ひし形 	 $\pi K_2 \rho a^2$
平板 	 $\pi\rho a^2$
円弧翼 	 $\frac{\pi\rho a^2}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos^2 \alpha}\right)$  $\frac{\pi\rho a^2}{2} \tan^2 \alpha$
ジェーコフスキー対称翼 	 $\frac{\pi\rho a^2}{4} \left(4 + \frac{k-2}{k+1}\right)$  $\frac{\pi\rho a^2}{4} (k-2)(k+1)$
同心固定同筒内の円 	 $\pi\rho a^2 \left(\frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2}\right)$
固定壁近くの平板 	 $\pi\rho a^2 K_3$
平板列 	 $\frac{2\rho s^2}{\pi} \log \left\{ \cosh \left(\frac{\pi a}{s} \right) \right\}$

備考

b/a	0	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10
K_1	1.00	1.14	1.21	1.36	1.51	1.70	1.98	2.23

b/a	0.5	1	2	5
K_2	0.85	0.76	0.67	0.61

$h/2a$	∞	2.5	0.5
K_3	1.00	1.03	1.165

添付 9-3 表 制御棒貯蔵ハンガ 付加質量 (水平方向)

部材	外形形状	方向	2a	2b	b/a (-)	K _i (-)	付加質量 (単位長さ当り) (kg/mm)
			(mm)	(mm)			
ハンガ部 1	長方形	X 方向	-	-	-	-	0
		Y 方向	0.89	$1.36 + (1.51 - 1.36) / (1 - 0.5) \times (0.89 - 0.5) = 1.48$	$(0.89 - 0.5) \times (0.89 - 0.5) = 1.48$	5.696×10^{-3}	
ハンガ部 2	長方形	X 方向	-	-	-	-	0
		Y 方向	1.13	$1.51 + (1.70 - 1.51) / (2 - 1) \times (1.13 - 1) = 1.53$	$(1.13 - 1) \times (1.13 - 1) = 1.53$	3.635×10^{-3}	
ハンガ部 3	長方形	X 方向	-	-	-	-	0
		Y 方向	0.89	$1.36 + (1.51 - 1.36) / (1 - 0.5) \times (0.89 - 0.5) = 1.48$	$(0.89 - 0.5) \times (0.89 - 0.5) = 1.48$	5.696×10^{-3}	
支持ビーム 1	長方形	X 方向	1.67	$1.51 + (1.70 - 1.51) / (2 - 1) \times (1.67 - 1) = 1.64$	$(1.67 - 1) \times (1.67 - 1) = 1.64$	2.898×10^{-2}	
		Y 方向	-	-	-	0	
支持ビーム 2	円	X 方向	-	-	-	-	3.675×10^{-2}
		Y 方向	-	-	-	-	3.675×10^{-2}
支持ビーム 3A*1,2	円	X 方向	-	-	-	-	2.143×10^{-2}
		Y 方向	-	-	-	-	2.143×10^{-2}
支持ビーム 3B	円	X 方向	-	-	-	-	2.143×10^{-2}
		Y 方向	-	-	-	-	0
支持ビーム 4	円	X 方向	-	-	-	-	0
		Y 方向	-	-	-	-	1.026×10^{-2}
振れ止め 1	長方形	X 方向	-	-	-	-	0
		Y 方向	1.48	$1.51 + (1.70 - 1.51) / (2 - 1) \times (1.48 - 1) = 1.60$	$(1.48 - 1) \times (1.48 - 1) = 1.60$	3.142×10^{-3}	
振れ止め 2	長方形	X 方向	0.24	$1.21 + (1.36 - 1.21) / (0.5 - 0.2) \times (0.24 - 0.2) = 1.23$	$(0.24 - 0.2) \times (0.24 - 0.2) = 1.23$	2.415×10^{-3}	
		Y 方向	-	-	-	0	

注記*1：斜材部の X 方向について要素長を YZ 平面に投影した長さとして付加質量を算出する。Y 方向は斜材部の長さで算出する。

*2：水平部は X 方向付加質量を考慮しない。

添付 9-4 表 制御棒貯蔵ハンガ 付加質量 (鉛直方向)

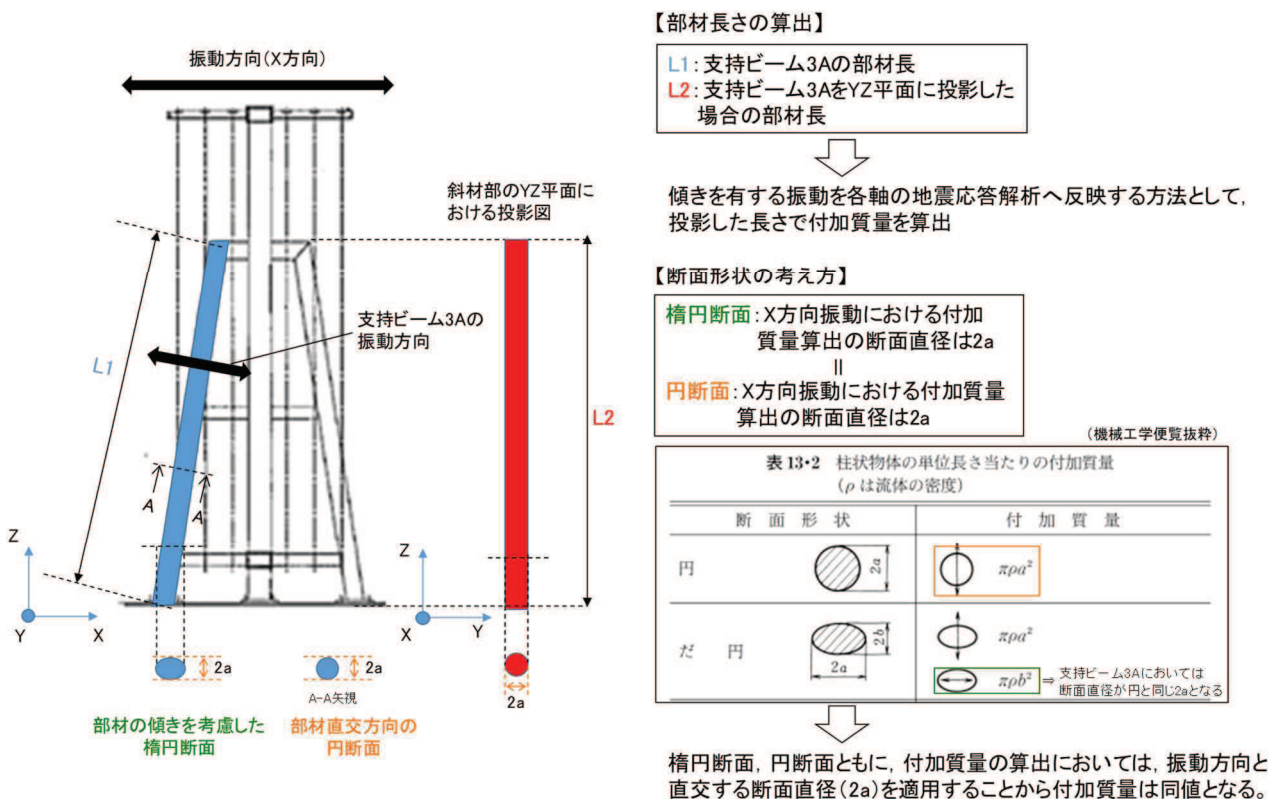
部材	外形形状	方向	2a (mm)	2b (mm)	b/a (-)	K_1 (-)	付加質量 (単位長さ当たり) (kg/mm)
ハンガ部 1 (板 1)	長方形	Z 方向			4.38	$1.70 + (1.98 - 1.70) / (5 - 2) \times (4.38 - 2) = 1.92$	3.860×10^{-4}
ハンガ部 1 (板 2)					4.38	$1.70 + (1.98 - 1.70) / (5 - 2) \times (4.38 - 2) = 1.92$	3.860×10^{-4}
ハンガ部 2 (板 1)	長方形	Z 方向			3.44	$1.70 + (1.98 - 1.70) / (5 - 2) \times (3.44 - 2) = 1.83$	3.679×10^{-4}
ハンガ部 2 (板 2)					3.44	$1.70 + (1.98 - 1.70) / (5 - 2) \times (3.44 - 2) = 1.83$	3.679×10^{-4}
ハンガ部 3	長方形	Z 方向			1.13	$1.51 + (1.70 - 1.51) / (2 - 1) \times (1.13 - 1) = 1.53$	4.619×10^{-3}
支持ビーム 1	長方形	Z 方向			0.60	$1.36 + (1.51 - 1.36) / (1 - 0.5) \times (0.60 - 0.5) = 1.39$	6.823×10^{-2}
支持ビーム 2	円	Z 方向			-	-	0
支持ビーム 3A*	円	Z 方向			-	-	2.143×10^{-2}
支持ビーム 3B	円	Z 方向			-	-	2.143×10^{-2}
支持ビーム 4	円	Z 方向			-	-	1.026×10^{-2}
振れ止め 1	長方形	Z 方向	0.68	$1.36 + (1.51 - 1.36) / (1 - 0.5) \times (0.68 - 0.5) = 1.41$	6.064×10^{-3}		
振れ止め 2	長方形	Z 方向	4.17	$1.70 + (1.98 - 1.70) / (5 - 2) \times (4.17 - 2) = 1.90$	2.149×10^{-4}		

注記* : 斜材部の Z 方向について要素長を X, Y 平面に投影した長さとして付加質量を算出する。

枠囲みの内書は商業機密の観点から公開できません。

制御棒貯蔵ハンガの部位のうち、支持ビーム 3A については添付 9-5 図に示すとおり、座標に対して傾きを有している。そこで、X 方向及び Z 方向の振動における付加質量を算出する場合、添付 9-5 図に示すとおり、各軸に直交する平面（X 軸の場合、YZ 平面）へ投影した長さで付加質量を算出している。支持ビーム 3A は図に示す部材直交方向に振動するため、この振動方向に対する付加質量を算出し評価へ考慮した場合、X 方向及び Z 方向それぞれに斜め方向振動時の付加質量が付与されるものと考えられる。そこで、支持ビーム 3A のような斜材に対しては、傾きを有する部材の振動に伴う付加質量を各軸の地震応答解析へ反映するために、投影した長さを適用して付加質量を算出しているものである。

また、X 方向への振動時には添付 9-5 図（左図）に示すとおり、座標系に直交する方向で断面形状を考慮すると楕円断面になるものの、図に示すとおり、X 方向振動における振動方向と直交する Y 方向の断面直径は楕円断面でも円断面でも同様となり、さらに付加質量算出式が同一となることから、算出される付加質量は同値となる。Z 方向震度においても同様の考え方により考慮する断面によらず付加質量は同値となる。



添付 9-5 図 斜材（支持ビーム 3A）に対する付加質量算出の考え方

b. 制御棒の付加質量

制御棒貯蔵ハンガに貯蔵する制御棒について、以下のとおり付加質量を算出する。
 X, Y 方向については、添付 9-6 図に示すとおり制御棒の断面は単純な矩形断面ではなく十字断面であることから、制御棒断面の外接円を考慮した円断面の式を用いて付加質量を算出している。

制御棒の X 及び Y 方向の付加質量 m_1

制御棒十字型断面の外接円直径 $a_1 = \square$ mm

長さ $h_1 = \square$ mm

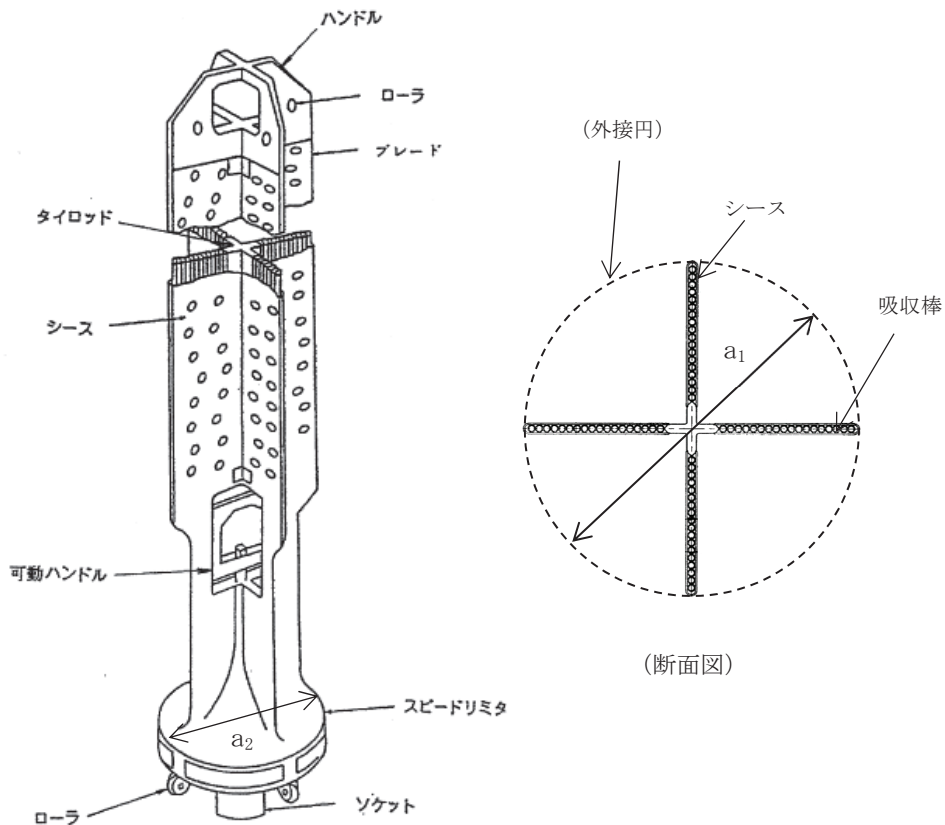
以上より $m_1 = \pi \times \rho_w \times (a_1/2)^2 \times h_1 = 207$ kg

制御棒の Z 方向の付加質量 m_2

スピードリミッタ外形 $a_2 = \square$ mm

長さ $h_2 = \square$ mm

以上より、 $m_2 = \pi \times \rho_w \times (a_2/2)^2 \times h_2 = 11$ kg



添付 9-6 図 制御棒構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 解析モデルに考慮した排除水体積質量及び排除水体積質量による応答低減効果の分析
制御棒貯蔵ハンガの解析モデルに考慮した排除水体積質量について以下に示す。

a. 制御棒貯蔵ハンガの排除水体積質量

制御棒貯蔵ハンガの排除水体積質量の算出結果を添付 9-5 表に示す。なお、水の密度 ρ_w は $1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$ として算出する。

添付 9-5 表 制御棒貯蔵ハンガの排除水体積質量

部材	外形面積 (mm^2)	排除水体積質量 (単位長さ当り) (kg/mm)
ハンガ部 1	$(16+16) \times 70 = 2.240 \times 10^3$	2.240×10^{-3}
ハンガ部 2	$(16+16) \times 55 = 1.760 \times 10^3$	1.760×10^{-3}
ハンガ部 3	$62 \times 70 = 4.340 \times 10^3$	4.340×10^{-3}
支持ビーム 1	$250 \times 150 = 3.750 \times 10^4$	3.750×10^{-2}
支持ビーム 2	$216.3 \times 216.3 \times \pi / 4 = 3.675 \times 10^4$	3.675×10^{-2}
支持ビーム 3A	$165.2 \times 165.2 \times \pi / 4 = 2.143 \times 10^4$	2.143×10^{-2}
支持ビーム 3B	$165.2 \times 165.2 \times \pi / 4 = 2.143 \times 10^4$	2.143×10^{-2}
支持ビーム 4	$114.3 \times 114.3 \times \pi / 4 = 1.026 \times 10^4$	1.026×10^{-2}
振れ止め 1	$(12+12) \times 50 + 50 \times 12 = 1.800 \times 10^3$	1.800×10^{-3}
振れ止め 2	$12 \times 50 = 6.000 \times 10^2$	6.000×10^{-4}

b. 制御棒の排除水体積質量

制御棒の排除水体積質量の算出結果を以下に示す。なお、水の密度 ρ_w は $1.0 \times 10^{-6} \text{kg/mm}^3$ として算出する。

制御棒質量及び制御棒の材質 SUS316L の質量密度より制御棒体積を算出し、考慮すべき排除水体積質量を求める。

$$\text{制御棒重量 } M = 100 \text{ kg}$$

$$\text{SUS316L 密度 } \rho_{\text{SUS316L}} = 7.98 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

$$\text{制御棒体積 } V = 100 / (7.98 \times 10^{-6}) = 1.25 \times 10^7 \text{ mm}^3$$

以上より、

$$\text{制御棒の排除水体積質量 } M_d = V \times \rho_w = 12 \text{ kg}$$

上記のとおり算出した排除水体積質量を解析モデルに考慮することで、水中振動を模擬した解析となり付加質量のみを考慮した場合に比べて応答が低減する効果が得られる。

そこで、排除水体积質量による応答低減の効果を確認するため、「補足-600-40-40 耐震評価における流体中の構造物に対する付加質量及び応答低減効果の考慮」で整理している、付加質量を考慮した場合の入力加速度と付加質量及び応答低減効果を考慮した場合の入力加速度の比較を添付 9-6 表に示す。

添付 9-6 表 排除水体积質量による入力加速度への影響

	水中 (付加質量のみ考慮)	水中 (付加質量及び応答低減効果を考慮)	比率
入力加速度	α	$\frac{M_1 - M_d}{M_1 + M_{11}} \alpha$	$\frac{M_1 - M_d}{M_1 + M_{11}}$

M_1 : 質量

M_{11} : 付加質量

M_d : 排除水体积質量 (=水中での浮力と同等)

α : 加速度

排除水体积質量を考慮することで表中に記載の比率に相当する応答低減効果が得られることから、制御棒貯蔵ハンガにおける比率を算出した結果を以下に示す。

ハンガ本体の材質は SUS304 であることを考慮し、SUS304 の密度 $\rho_{\text{sus304}} = 7.93 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ 、水の密度 ρ_w は $1.0 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ 、ある部位の体積を V_m とした場合、質量 M_1 、排除水体积質量 M_d は以下のように表せる。

$$M_1 = \rho_{\text{sus304}} \cdot V_m = 7.93 \cdot V_m$$

$$M_{11} = \rho_w \cdot V_m = 1 \cdot V_m$$

$$M_d = \rho_w \cdot V_m = 1 \cdot V_m$$

上記を用いて添付 9-6 表の低減係数の比率を算出すると以下のとおり 0.776 となることから、応答低減効果によって、地震による発生荷重は約 22%低下することとなる。

$$\frac{M_1 - M_d}{M_1 + M_{11}} = \frac{7.93 V_m - V_m}{7.93 V_m + V_m} = \frac{6.93}{8.93} \doteq 0.776$$

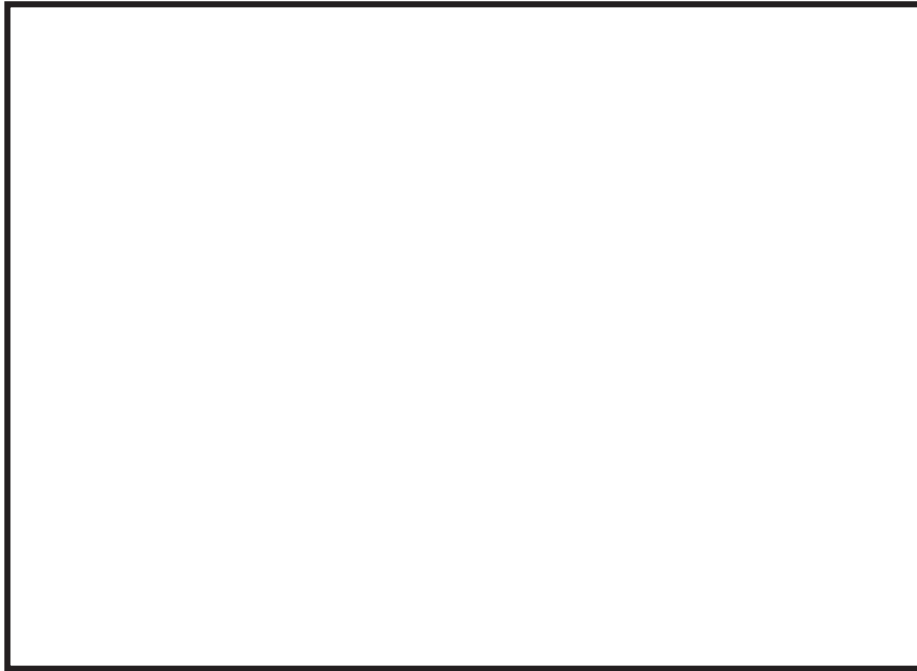
2.1.3 固有周期

固有値解析の結果を添付 9-7 表に、振動モード図を添付 9-7 図及び添付 9-8 図に示す。

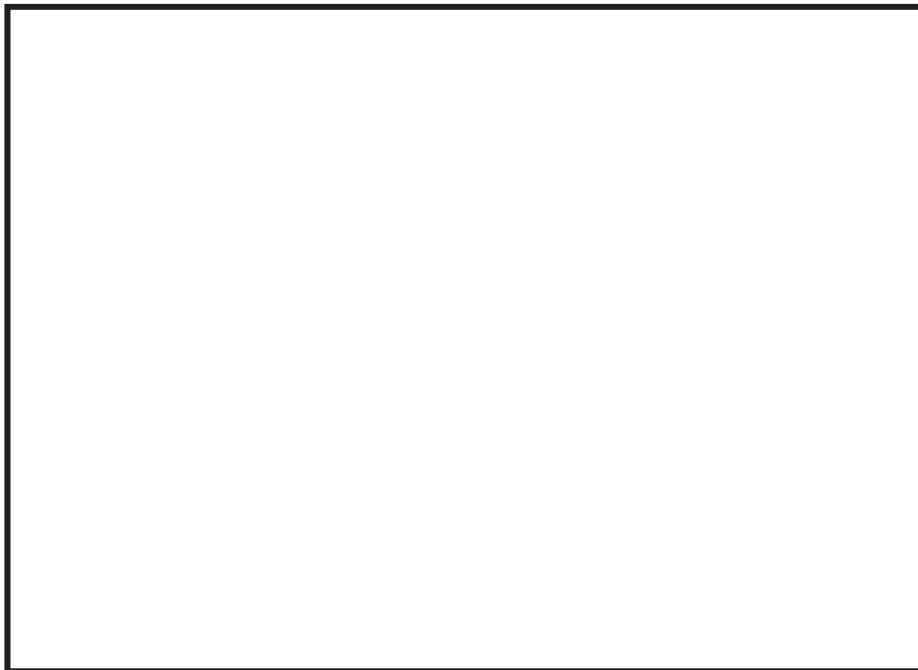
添付 9-7 表 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	
1 次	水平方向				
2 次	水平方向				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



添付 9-7 図 振動モード (1 次モード)



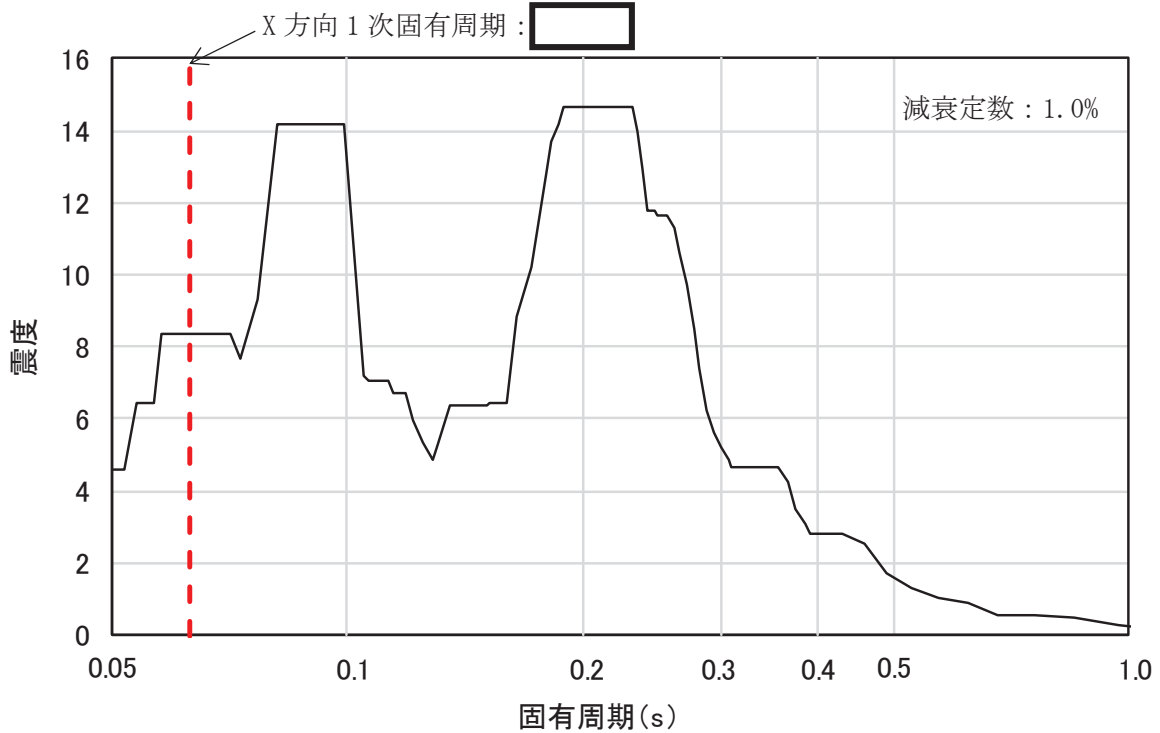
添付 9-8 図 振動モード (2 次モード)

枠囲みの内容は商業機密の観点から
公開できません。

2.1.4 設計用地震力

固有値解析の結果，X方向が柔であったことからX方向は添付9-9図に示す基準地震動S_sによる設計用床応答曲線を適用する。

剛であったY方向及びZ方向は添付9-8表に示す動的地震力を適用する。



注：原子炉建屋のO.P.33.20mとO.P.22.50mにおける方向別の地震波のうち，1次固有周期で最大震度となるS_s－F3を用いて，制御棒貯蔵ハンガの据付レベル(O.P.29.85m，添付9-2図壁部No.1のレベル)で線形補間した設計用床応答曲線

添付9-9図 制御棒貯蔵ハンガの影響検討に適用する設計用床応答曲線

添付9-8表 制御棒貯蔵ハンガの影響検討に適用する動的地震力

動的地震力	
Y方向 (NS方向)	Z方向 (UD方向)
1.80*	1.14*

注記*：X方向の地震波と合わせてS_s－F3の動的地震力を適用する。なお，震度についても，原子炉建屋のO.P.33.20mとO.P.22.50mの動的地震力を制御棒貯蔵ハンガの据付レベル(O.P.29.85m，添付9-2図壁部No.1のレベル)で線形補間した値を適用する。

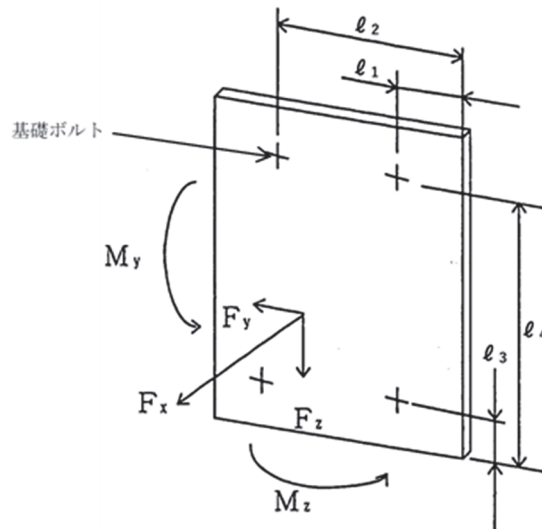
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.1.5 計算方法

アンカー部に作用する引張力F及びせん断力Wは、基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b 及びせん断応力 τ_b より求める。

なお、基礎ボルトの応力計算は、添付9-3図の解析モデルにて解析コード「MSC NASTRAN」を使用して行い、基礎ボルトに作用する引張力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z を求め、本項に示す計算方法に従って計算する。

基礎ボルトの荷重状態を添付9-10図に示す。



添付9-10図 基礎ボルトに作用する荷重の状態

(1) 基礎ボルトに生じる引張応力

曲げモーメント M_y 、 M_z により基礎ボルト1本に作用する最大引張力 N_m 及び引張力 F_x より基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、以下の式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_m}{A_b} + \frac{F_x}{n \cdot A_b}$$

ここで、

$$N_m = \frac{l_4 \cdot M_y}{2 \cdot (l_3^2 + l_4^2)} + \frac{l_2 \cdot M_z}{2 \cdot (l_1^2 + l_2^2)}$$

A_b : 基礎ボルトの断面積

l_1, l_2, l_3, l_4 : 基礎ボルトの中心より板先端までの距離

n : 基礎ボルトの本数

(2) 基礎ボルトに生じるせん断応力

せん断力 F_y 、 F_z により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、以下の式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n \cdot A_b}$$

A_b : 基礎ボルトの断面積

n : 基礎ボルトの本数

(3) アンカー部に作用する引張力

アンカー部に作用する引張力 F は、基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b より以下の式により求める。

$$F = \sigma_b \cdot A_b$$

A_b : 基礎ボルトの断面積

(4) アンカー部に作用するせん断力

アンカー部に作用するせん断力 W は、基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b より以下の式により求める。

$$W = \tau_b \cdot A_b$$

A_b : 基礎ボルトの断面積

(5) アンカーボルトに生じる引張応力

アンカー部に作用する引張力 F によりアンカーボルトに生じる引張応力 σ は、以下の式より求める。

$$\sigma = \frac{F}{A_{b1}}$$

A_{b1} : アンカーボルトの谷径断面積

(6) アンカーボルトに生じるせん断応力

アンカー部に作用するせん断力 W によりアンカーボルトに生じるせん断応力 τ は、以下の式より求める。

$$\tau = \frac{W}{A_{b1}}$$

A_{b1} : アンカーボルトの谷径断面積

(7) コンクリートの評価方法

原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版）に基づいたコンクリートの評価方法を以下に示す。また、評価に適用する諸元を添付 9-9 表に示す。

$$p \leq p_a = \text{M i n} (p_{a1}, p_{a2})$$

$$p_{a1} = 0.31 K_1 A_c \sqrt{F_c}$$

$$p_{a2} = K_2 \alpha A_o F_c$$

- p : 埋込ボルト 1 本当りの引張荷重 (N)
 p_a : 埋込ボルト 1 本当りのコンクリート部の許容引張荷重 (N)
 p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の埋込ボルト 1 本当りの許容引張荷重 (N)
 p_{a2} : 埋込ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の埋込ボルト 1 本当りの許容引張荷重 (N)
 K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 (0.6)
 K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 (0.75)
 F_c : コンクリート強度 設計基準強度 (32.4 N/mm²)
 A_c : 埋込ボルト 1 本当りのコンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)
 α : 支圧面積と有効投影面積から定まる係数 ($=\sqrt{A_c/A_o}$ かつ 10 以下)
 A_o : 支圧面積 (mm²)

添付9-9表 制御棒貯蔵ハンガのアンカー部評価に用いる諸元

記号	入力値
p_{a1}	220500 (N)
p_{a2}	137400 (N)
K_1	0.6
K_2	0.75
F_c	32.4 (N/mm ²)
A_c	
α	
A_o	

2.1.6 影響検討結果

2.1.2項に示す条件にて実施した制御棒貯蔵ハンガのアンカー部評価について、最も裕度が小さくなった壁部No.1 (添付9-2図参照) のアンカーボルトとコンクリートの結果を添付9-10表に示す。表に示すとおり、アンカーボルト、コンクリートいずれも地震時に損傷しないことを確認した。なお、本評価はアンカーボルトの破断に伴うライニングへの影響検討であることを踏まえて、アンカー部の許容限界には当該ボルトの材料検査書のSu値に基づく許容限界を適用している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

添付9-10表 制御棒貯蔵ハンガの耐震評価結果

評価対象部位	応力/荷重	発生値	許容限界
アンカーボルト	引張応力 (MPa)	403* ¹	462* ²
	せん断応力 (MPa)	46* ¹	266* ²
コンクリート	コーン状破壊 (N)	136100	220500
	支圧破壊 (N)	136100	137400

注記*1：アンカーボルトの谷径断面積で評価。

*2：当該アンカーボルトの材料検査書Su値に基づく許容限界。詳細な算出過程は以下のとおり。

【アンカーボルトの許容限界算出過程】

アンカーボルトの許容限界については、J S M E S N C 1 - 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 付録材料図表Part5 表9より、アンカーボルトの材料 に対する、評価温度（66℃）におけるSu値と室温相当（40℃）におけるSu値の比率xを算出する。

$$x = 1 - \frac{\text{}}{75 - 40} \times \frac{66 - 40}{\text{}} = \text{$$

算出した比率xを材料検査書に記載の当該材料のSu値に乗じることで、評価温度（66℃）に対する温度補正を行ったSu値としてアンカーボルトの許容限界に適用する。

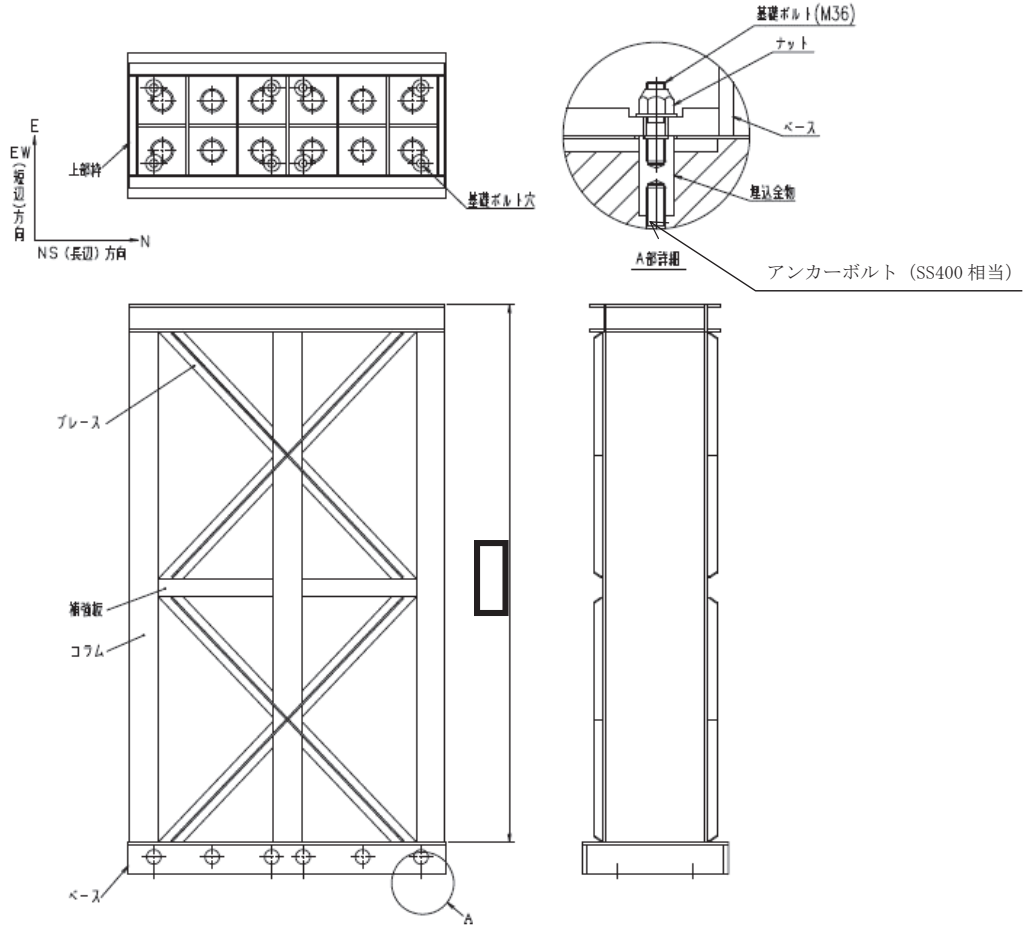
$$\text{許容限界} = \text{材料検査書 Su 値} \times x = \text{} = 462.0913 \approx 462$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 制御棒貯蔵ラック

2.2.1 影響検討方針

制御棒貯蔵ラックについては、基準地震動 S_s に対する構造健全性を添付書類「VI-2-11-2-13 制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書」において示している。ただし、地震時に添付 9-11 図に示すアンカーボルト及びびコンクリート部に損傷が生じた場合、使用済燃料プールのバウンダリ機能へ影響を及ぼす可能性があることからアンカー部について基準地震動 S_s に対する構造強度評価を行う。



添付 9-11 図 制御棒貯蔵ラック構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.2 影響検討条件

添付書類「VI-2-11-2-13 制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書」に示す、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を用いて評価を行う。

アンカーボルトについては同計算書の基礎ボルトの評価に用いている荷重を適用して応力を算出する。許容限界は基礎ボルトと同様に設計・建設規格等の規格に基づいて算出している。また、コンクリートの評価も同様に、基礎ボルトの評価に用いている荷重を適用し、許容限界については 2.1.5 項に記載の評価式より算出する。コンクリートの評価に適用する諸元を添付 9-11 表に示す。

添付9-11表 制御棒貯蔵ラックのアンカー部評価に用いる諸元

記号	入力値
P_{a1}	292800 (N)
P_{a2}	329900 (N)
K_1	0.6
K_2	0.75
F_c	32.4 (N/mm ²)
A_c	
α	
A_o	

2.2.3 影響検討結果

制御棒貯蔵ラックのアンカー部評価について、アンカーボルトとコンクリートの評価結果を添付9-12表に示す。表に示すとおり、アンカーボルト、コンクリートいずれも地震時に損傷しないことを確認した。

添付9-12表 制御棒貯蔵ラックの耐震評価結果

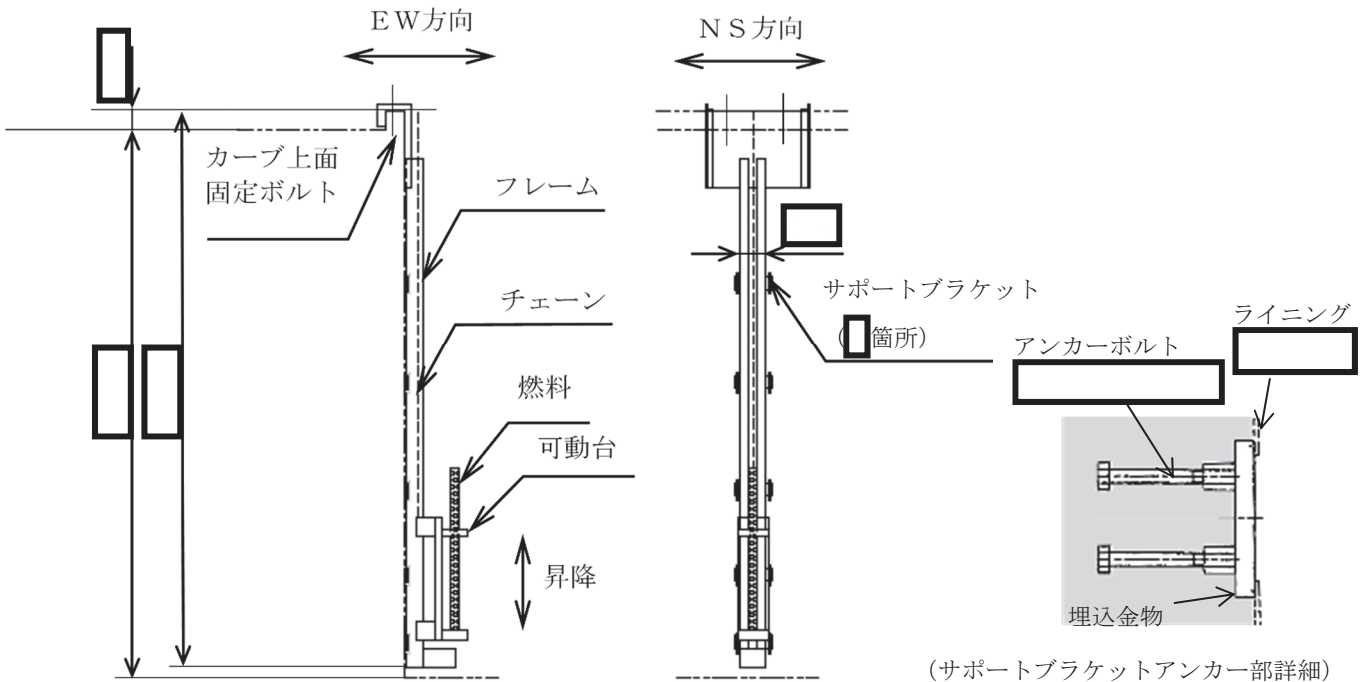
評価対象部位	応力/荷重	発生値	許容限界
アンカーボルト	引張応力 (MPa)	198	217
	せん断応力 (MPa)	23	167
コンクリート	コーン状破壊 (N)	201600	292800
	支圧破壊 (N)	201600	329900

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 燃料チャンネル着脱機

2.3.1 影響検討方針

燃料チャンネル着脱機については、基準地震動 S_s に対する構造健全性を添付書類「VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」において示している。ただし、地震時に添付 9-12 図に示すアンカーボルト及びコンクリート部に損傷が生じた場合、使用済燃料プールのバウンダリ機能へ影響を及ぼす可能性があることからアンカー一部について基準地震動 S_s に対する構造強度評価を行う。



添付 9-12 図 燃料チャンネル着脱機構造図

2.3.2 影響検討条件

添付書類「VI-2-11-2-14 燃料チャンネル着脱機の耐震性についての計算書」に示す、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果を用いて評価を行う。

アンカーボルトについては同計算書の基礎ボルトの評価に用いている荷重を適用して応力を算出する。許容限界は基礎ボルトと同様に設計建設規格等の規格に基づいて算出している。また、コンクリートの評価も同様に、基礎ボルトの評価に用いている荷重を適用し、許容限界については 2.1.5 項に記載の評価式より算出する。コンクリートの評価に適用する諸元を添付 9-12 表に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

添付9-12表 燃料チャンネル着脱機のアンカー部評価に用いる諸元

記号	入力値
P_{a1}	30029 (N)
P_{a2}	93641 (N)
K_1	0.45
K_2	0.75
F_c	32.4 (N/mm ²)
A_c	
α	
A_o	

2.3.3 影響検討結果

燃料チャンネル着脱機のサポートブラケットのアンカー部評価について、アンカーボルトとコンクリートの評価結果を添付9-13表に示す。表に示すとおり、アンカーボルト、コンクリートいずれも地震時に損傷しないことを確認した。

添付9-13表 燃料チャンネル着脱機の耐震評価結果

評価対象部位	応力/荷重	発生値	許容限界
アンカーボルト	引張応力 (MPa)	16	202
	せん断応力 (MPa)	16	155
コンクリート	コーン状破壊 (N)	4886	30029
	支圧破壊 (N)	4886	93641

3. まとめ

制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラック及び燃料チャンネル着脱機について、地震時にアンカー一部が損傷してプールライニングに影響を及ぼす可能性があることから、基準地震動 S_s に対して耐震評価を実施した。この結果より、各設備のアンカー部が地震時に損傷して、使用済燃料プールのバウンダリ機能へ波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。