

VI-2-5-4-2 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-2-1 原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却系ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横軸ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。
なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	77			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	100			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	120			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却系 ポンプ	S	原子炉建屋 (T. M. S. L. -8.2*1)	—*2	—*2	C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =0.91	C _V =1.02		77	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3 2
ポンプ取付ボルト (i=2)							6	3 2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _D (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					軸	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					軸直角	軸	

H _D (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=36$	$f_{ts1}=169^*$	$\sigma_{b1}=61$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=130$	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=1$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

10

1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.76	1.4
	鉛直方向	0.85	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却系 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建屋 (T. M. S. L. -8.2*1)	—*2	—*2	—	—	C _H =0.91	C _V =1.02		120	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
ポンプ取付ボルト (i=2)							6	2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=61$	$f_{ts1}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=146$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

12

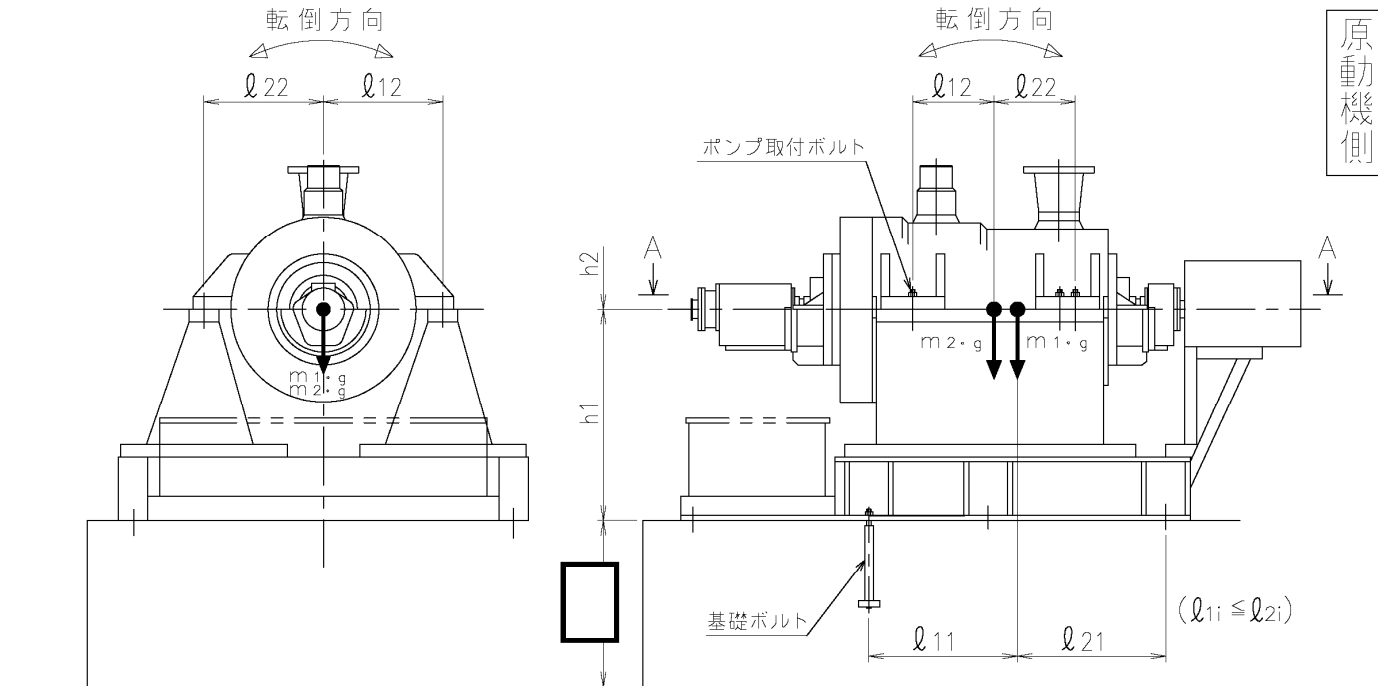
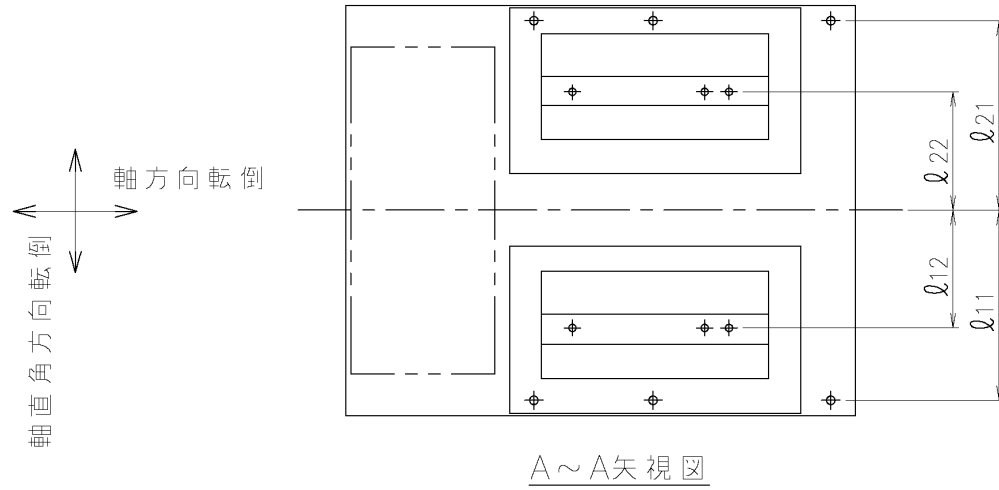
2.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.76	1.4
	鉛直方向	0.85	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-4-2-2 原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービン（以下「原子炉隔離時冷却系タービン」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系タービンは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却系タービンは、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系タービンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>タービンはタービンベースに固定され、タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>背圧式蒸気タービン</p>	<p>(単位:mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系タービンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系タービンの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-3のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系タービンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設／防止 (DB拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	100			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却系タービンの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却系タービンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
タービン	原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	水平	2.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系タービンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	原子炉建屋 T.M.S.L. -7.262 (T.M.S.L. -8.2*1)	—*2	—*2	C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =0.91	C _V =1.02		302	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							6	3	3
タービン取付ボルト (i=2)								2	2
							8	2	2
								2	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)					軸直角	軸		—
タービン取付ボルト (i=2)					軸直角	軸直角		

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
タービン取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1} = 27$	$f_{ts1} = 169^*$	$\sigma_{b1} = 46$	$f_{ts1} = 202^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 15$	$f_{sb1} = 130$	$\tau_{b1} = 20$	$f_{sb1} = 155$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2} = 30$	$f_{ts2} = 443^*$	$\sigma_{b2} = 45$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 8$	$f_{sb2} = 341$	$\tau_{b2} = 10$	$f_{sb2} = 342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用 タービン	水平方向	0.76	2.4
	鉛直方向	0.85	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却系ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建屋 T.M.S.L. -7.262 (T.M.S.L. -8.2*1)	—*2	—*2	—	—	C _H =0.91	C _V =1.02		302	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							6	—	3
タービン取付ボルト (i=2)								—	2
							8	—	2
								—	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—	—
タービン取付ボルト (i=2)			—		—	軸直角	—	

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
タービン取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 46$	$f_{ts1} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 20$	$f_{sb1} = 146$
タービン取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 45$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 10$	$f_{sb2} = 342$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

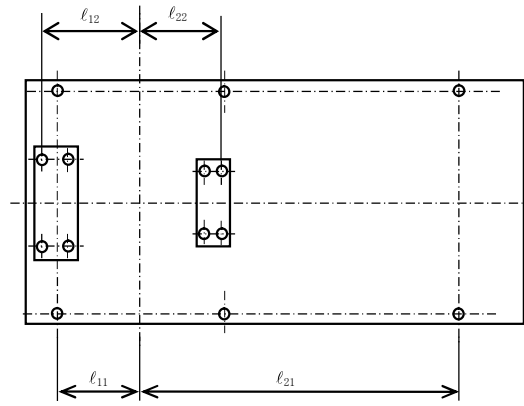
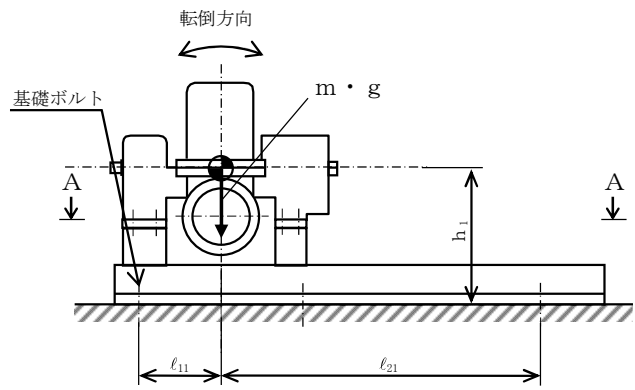
2.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

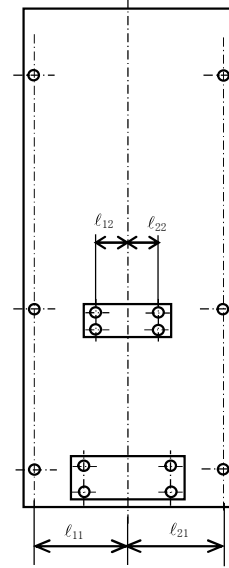
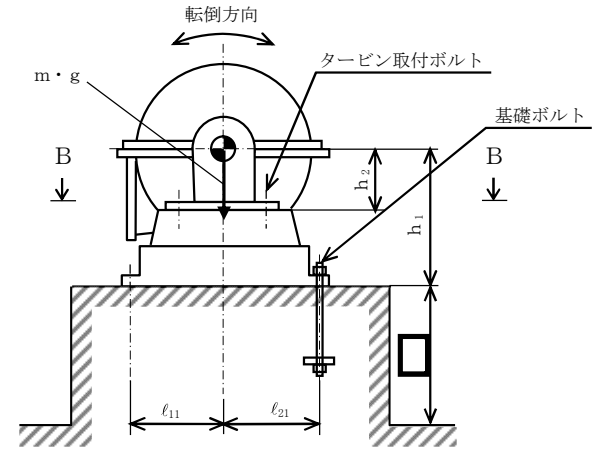
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用 タービン	水平方向	0.76	2.4
	鉛直方向	0.85	1.0

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



A~A 矢视图



B~B 矢视图

VI-2-5-4-2-3 原子炉隔離時冷却系ストレナの耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	15
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.6.1 応力評価点	19
4.6.2 応力計算方法	20
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
5. 評価結果	26
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26
6. 引用文献	27

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価により行う。

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナはサブプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及びストレーナ取付部ボルトにより据え付けられる。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒形の鋼製構造物である。</p>	mm above the strainer."/>
		(単位 : mm)

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

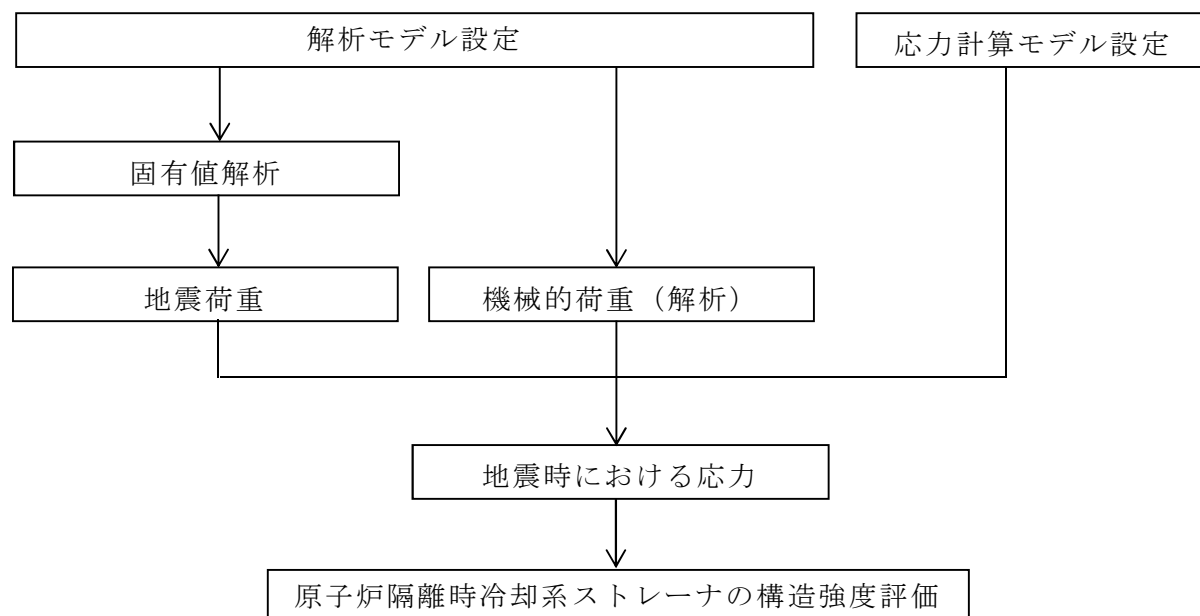


図 2-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・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 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について (内規) (平成 20・02・12 原院第 5 号 (平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定))

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D _i	各部位の直径 (i = 0, 1)	mm
d	孔径, ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f _t	ボルトの発生応力	MPa
L	長さ	mm
ℓ	ディスク間ギャップ, ボルトのZ軸からの距離	mm
M	モーメント	N・mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔 (中心間)	mm
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
t	板厚	mm
W	ストレーナに作用する荷重	—
X	軸直角方向 (水平)	—
Y	軸直角方向 (鉛直)	—
Z	軸方向	—
β	形状係数	—
σ _r	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位 ^{*1}
温度	°C	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
寸法	mm	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位 ^{*2}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
縦弾性係数	MPa	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は，小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力
設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位
を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品であるこし筒、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

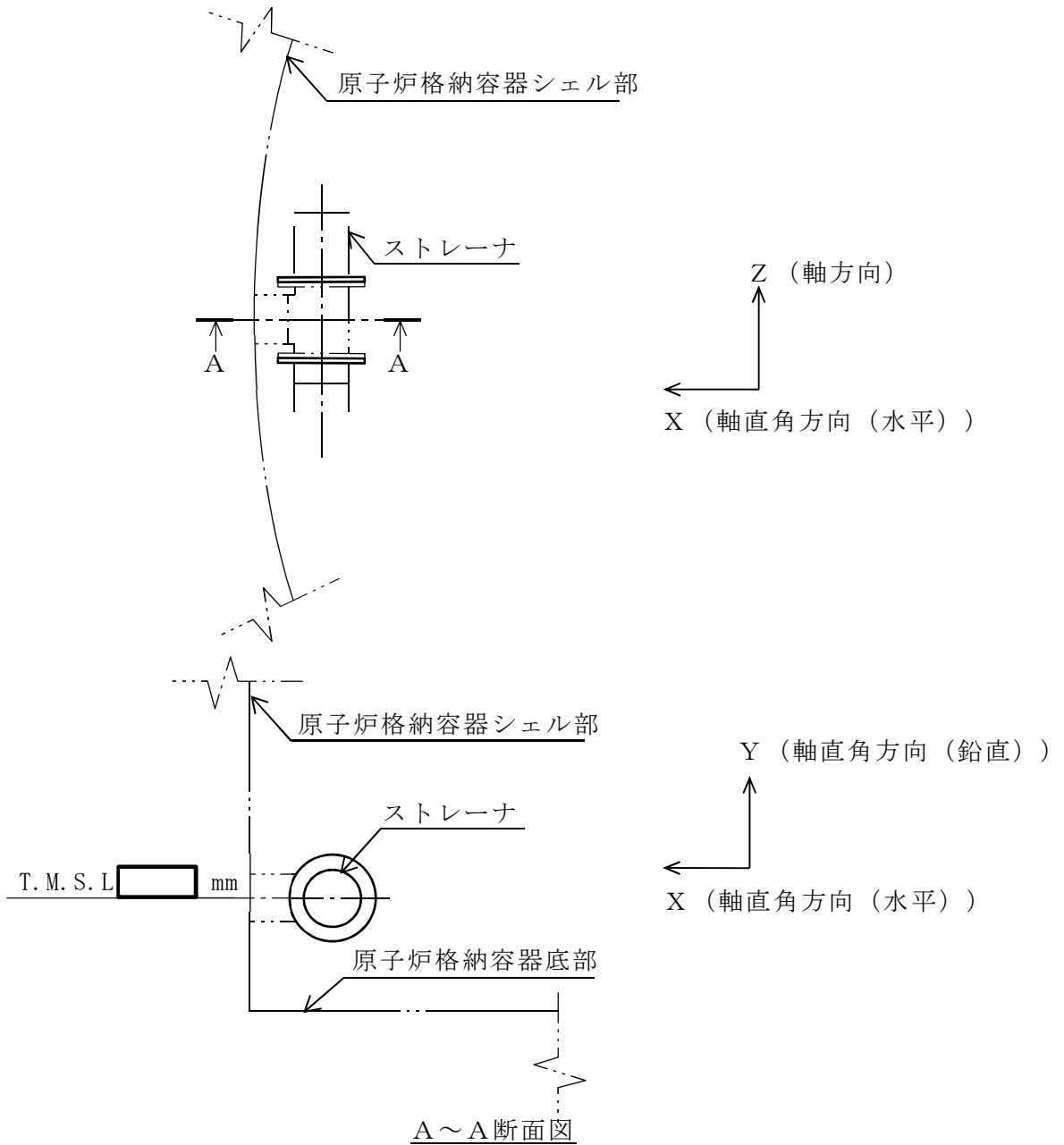
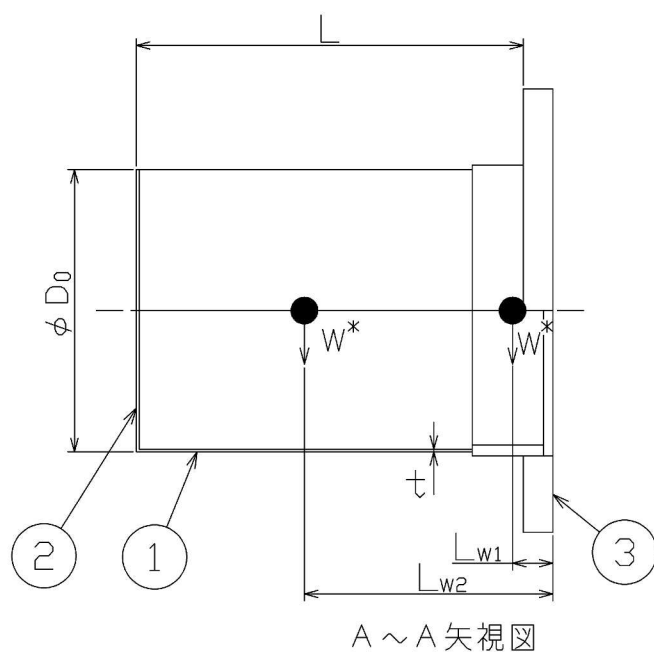


図 3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況



$D_0 =$ $L =$ $L_{w1} =$ $L_{w2} =$ $t =$
 $d =$ $P =$

① こし筒 ② 多孔プレート ③ フランジ (厚さ mm)

注記* : W (ストレーナに作用する荷重) の作用点を示す。

図 3-2 原子炉隔離時冷却系ストレーナの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 原子炉隔離時冷却系ストレーナは、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーに据付部材を介さずに、ストレーナ取付部ボルトにて直接接続されるものとする。
- (2) 地震力は、原子炉隔離時冷却系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平、鉛直）に作用するものとし、軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 及び表 4-5 に示す。なお、評価対象は、構造又は形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分小さいため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

- こし筒
- フランジ
- ストレーナ取付部ボルト



表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢAS
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	ⅢAS
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣAS

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	ⅣAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてⅣASの許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧荷重	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	Sd*荷重	Ss荷重	
DBA*1	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢAS
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣAS
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢAS
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣAS
	DBA-5	運転状態Ⅳ(L)	○		○					○		ⅢAS
SA*2	SA-1	運転状態Ⅴ(L)*3	○		○					○		ⅤAS*4
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)	○		○						○	ⅤAS*4

注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 120℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤASとしてⅣASの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2管及び重大事故等クラス2管）

許容応力状態	許容限界* ¹		
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力* ²
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。
Ⅳ _A S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)			

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4-5 許容応力 (クラス 2 耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト)

許容応力状態	許容限界
Ⅲ A S	$1.5 \cdot S$
Ⅳ A S	$2 \cdot S$
Ⅴ A S (Ⅴ A Sとして、Ⅳ A Sの許容限界を用いる。)	

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	104				
こし筒	[Redacted]	最高使用温度	104	[Redacted]			—
フランジ		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	104				—

表4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	120				
こし筒	[Redacted]	最高使用温度	120	[Redacted]			—
フランジ		最高使用温度	120				—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	120				—

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重による荷重を考慮する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナに付着する異物は想定しない。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 $W_1 = \boxed{} \text{ N}$

内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 $W_2 = \boxed{} \text{ N}$

(2) 差圧荷重

ストレーナ差圧による荷重*は、原子炉隔離時冷却系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

差圧荷重 $P_{\text{dif}} = \boxed{} \text{ MPa}$

注記*：差圧荷重は運転状態Ⅳ及びⅤの荷重の組合せ時に考慮する。

(3) 水力的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

逃がし安全弁作動時には、サプレッションチェンバ内の水中構造物に水力的動荷重が作用する。この荷重については、原子力安全委員会が策定した評価指針「BWR, MARK-II型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（以下「MARK-II動荷重指針」という。）に準じて荷重の評価を実施する。

MARK-II動荷重指針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナに加わる水力的動荷重を算出した結果を表4-8に示す。表4-8に示した荷重は、考慮すべき水力的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値であり、地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

また、原子炉隔離時冷却系ストレーナは、逃がし安全弁作動時荷重（以下「SRV荷重」という。）のうち、水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。

表4-8 水力的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

荷重名称	軸方向荷重 (N)	軸直角方向荷重 (N)
SRV荷重（運転時）*	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：方向は図3-1参照。ただし、軸直角方向（水平方向X及び鉛直方向Y）については、二乗和平方根としている。定常ドラッグ荷重と圧力荷重は方向毎に足し合わせるものとする。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応答解析に用いる、ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応答解析用モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、固有値及び荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各部の質量は、ティー及び原子炉格納容器貫通部については各節点に分布荷重として与え、ストレーナについては図 4-1 の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、内包水の影響を加味し、質量に含める。
- (5) 解析コードは「I SAP」及び「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

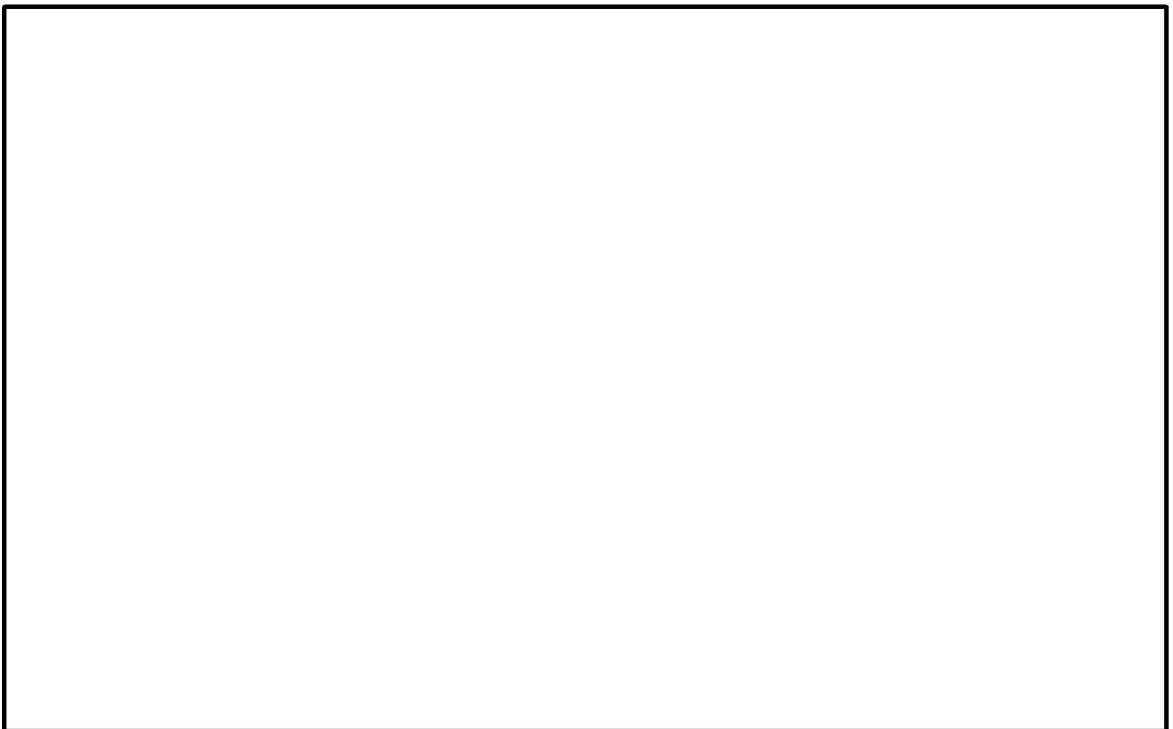


図 4-1 応答解析用モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-9 に示す。設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の固有周期は共に、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-9 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	Z 方向	
1 次	水平	0.006	—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお、図 3-1 に示すように、ストレーナの軸方向には水平方向の震度、軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため、軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4-12 に示す。

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/> (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =1.02	C _V =1.02

注記*：基準床レベルを示す。

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/> (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	—	—	C _H =1.02	C _V =1.02

注記*：基準床レベルを示す。

表 4-12 ストレーナに作用する地震力

取付け位置 T. M. S. L. <input type="text"/> m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
S _d *	0.58	0.77
S _s	1.02	1.45

注：方向は図 3-1 参照。

ただし、軸直角方向震度については、水平方向と鉛直方向の設計震度の二乗和平方根としている。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、フランジに円筒型のこし筒が取付く構造となっている。ここでは、こし筒とフランジの取付部、フランジ及びストレーナ取付部ボルトを応力評価点として選定し、評価を実施する。

応力評価点を表 4-13 及び図 4-2 に示す。

表 4-13 応力評価点

名称	応力評価点番号	応力評価点
こし筒	P1	こし筒とフランジの取付部
フランジ	P2	フランジ
ストレーナ取付部ボルト	P3	ストレーナ取付部ボルト

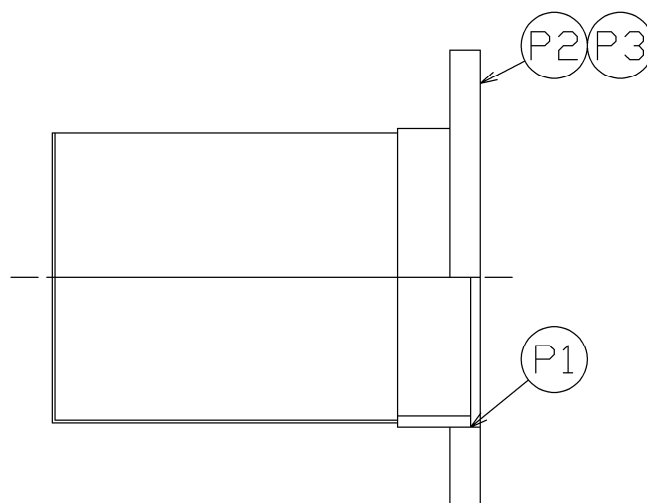


図 4-2 応力評価点

4.6.2 応力計算方法

応力計算方法について、以下に示す。なお、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1) こし筒（応力評価点 P1）

a. 差圧荷重による応力

円周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{2 \cdot t'}$$

ここに、

P_{dif} : 4.2.4 (2) に示す差圧荷重

D_0 : ストレーナ直径 = mm

t' : こし筒の等価板厚（設計・建設規格 PVE-3251 準用）

$$t' = \frac{P-d}{P} \cdot t$$

P : 孔の間隔（中心間） = mm

d : 孔径 = mm

t : 板厚 = mm

軸方向応力

$$\sigma_\ell = -\frac{P_{dif} \cdot D_0}{4 \cdot t'}$$

b. ストレーナに作用する荷重による応力

(a) 死荷重による荷重

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{YX} = W_1 \cdot L_w$$

軸直角方向荷重

$$F_{YX} = W_1$$

ここに、

W_1 : 4.2.4 (1) に示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 (N)

L_w : モーメントアーム = mm

(b) 地震荷重作用時荷重

軸方向荷重

$$F_Z = \pm C_A \cdot W_2$$

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{YX} = \pm C_R \cdot W_2 \cdot L_W$$

軸直角方向荷重

$$F_{YX} = \pm C_R \cdot W_2$$

ここに,

C_A : 表 4-12 に示す地震荷重作用時の軸方向震度

C_R : 表 4-12 に示す地震荷重作用時の軸直角方向震度

W_2 : 4.2.4 (1) に示す内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重 (N)

L_W : モーメントアーム

(c) 各荷重による応力

軸方向荷重による応力

$$\sigma = \frac{F_Z}{A}$$

ここに,

A : ストレーナ取付部円筒胴の断面積

$$A = \frac{\pi \cdot \{D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot t')^2\}}{4}$$

モーメントによる応力

$$\sigma_b = \frac{M_{YX}}{Z}$$

ここに,

Z : ストレーナ取付部円筒胴の断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot \{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t')^4\}}{32 \cdot D_0}$$

軸直角方向荷重による応力

$$\tau = \frac{F_{YX}}{A}$$

ここに,

A : ストレーナ取付部円筒胴の断面積

(2) フランジ (応力評価点 P2)

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部のフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

フランジを外周 (ボルト穴中心円直径) が固定された平板と考え、表 4-14 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献 (1) より、図 4-3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、

σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-14 に示すモーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = mm

b : フランジ内半径 = mm

t : フランジ板厚 = mm

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

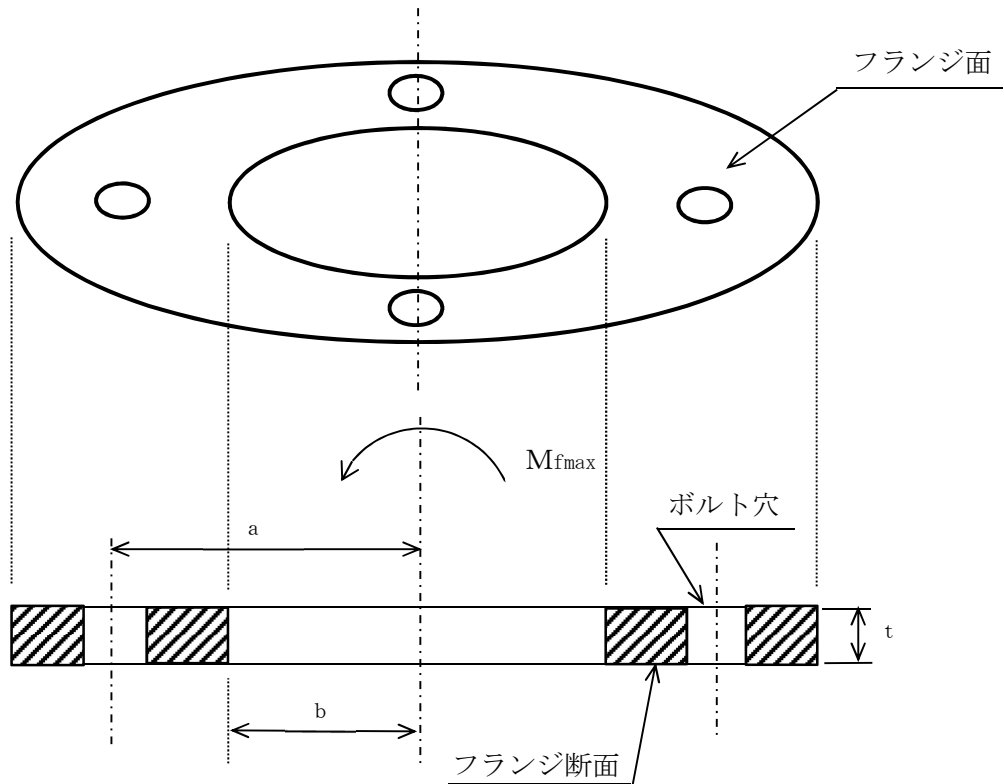


図 4-3 フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は、ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは、図 4-4 に示すように、ストレーナに作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり、フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4-14 に示す。

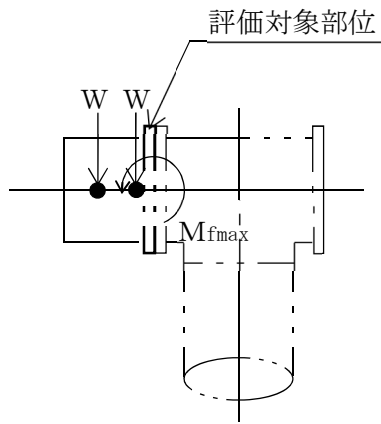


図 4-4 フランジに作用するモーメント

表 4-14 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	ストレーナ S_d * 地震荷重	
5	ストレーナ S_s 地震荷重	

(3) ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P3）

ストレーナ取付部ボルト（以下「ボルト」という。）には，表 4-14 に示すモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重により軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4-5 に示すフランジの中心を通る中立軸（Z 軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Z 軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトの Z 軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Z 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^n F_{tk} \cdot l_k$$

ここに，

- M_Z : Z 軸まわりのモーメント (N・mm)
- F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)
- l_k : 任意のボルト k における Z 軸からの距離 (mm)
- n : ボルトの本数 =

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

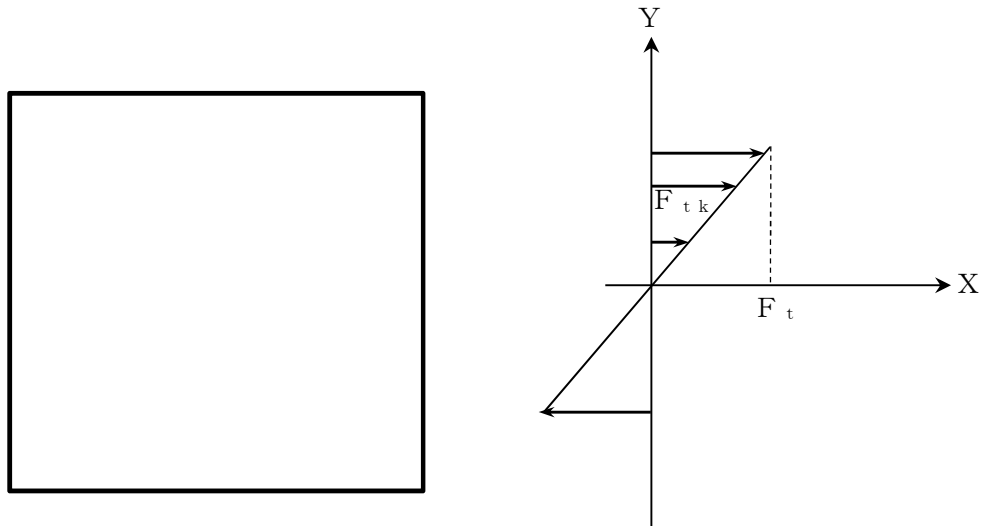


図 4-5 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また、ボルト軸力のZ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図4-5に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を F_t とすると、各ボルトに発生する軸力 F_{tk} は下記となる。

$$F_{tk} = F_t \cdot \frac{\ell_k}{D_1/2}$$

ここに、

F_t : 最大の軸力が発生するボルトの軸力 (N)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

D_1 : ボルト孔中心円直径 = mm

以上より、 n が偶数の場合、Z軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_z = \frac{2 \cdot F_t}{D_1} \cdot \sum_{k=1}^n \ell_k^2 = \frac{F_t \cdot D_1 \cdot n}{4}$$

ただし、

$$\ell_k = \frac{D_1}{2} \cdot \sin\left\{\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot (k-1)\right\}$$

よって、表4-14に示すモーメントから、ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t = \frac{4 \cdot M_{f \max}}{D_1 \cdot n}$$

したがって、ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_s} + \frac{F_{axl}}{A_s \cdot n}$$

ここに、

f_t : ボルトの発生応力 (MPa)

A_s : ボルトの有効断面積 = $\frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$ (mm²)

d_b : ボルトのねじ部谷径 = mm

F_{axl} : 表4-15に示す軸方向荷重 (N)

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は、4.6.2 (2) に示すフランジに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。

ボルトの設計荷重を表4-15に示す。

表 4-15 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	ストレーナ S d *地震荷重	
5	ストレーナ S s 地震荷重	

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4、表 4-5、表 4-6 及び表 4-7 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、各許容応力状態 III A S 及び IV A S で、発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態 V A S で、発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

- (1) WARREN C. YOUNG, “ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 8th Edition,
McGraw-Hill Professional Pub (2011/12)

【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	S	原子炉建屋 T. M. S. L. (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =1.02	C _V =1.02	104	—

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	L (mm)	D ₀ (mm)	L _{w1} (mm)	L _{w2} (mm)	t (mm)	d (mm)	P (mm)
[Redacted]							

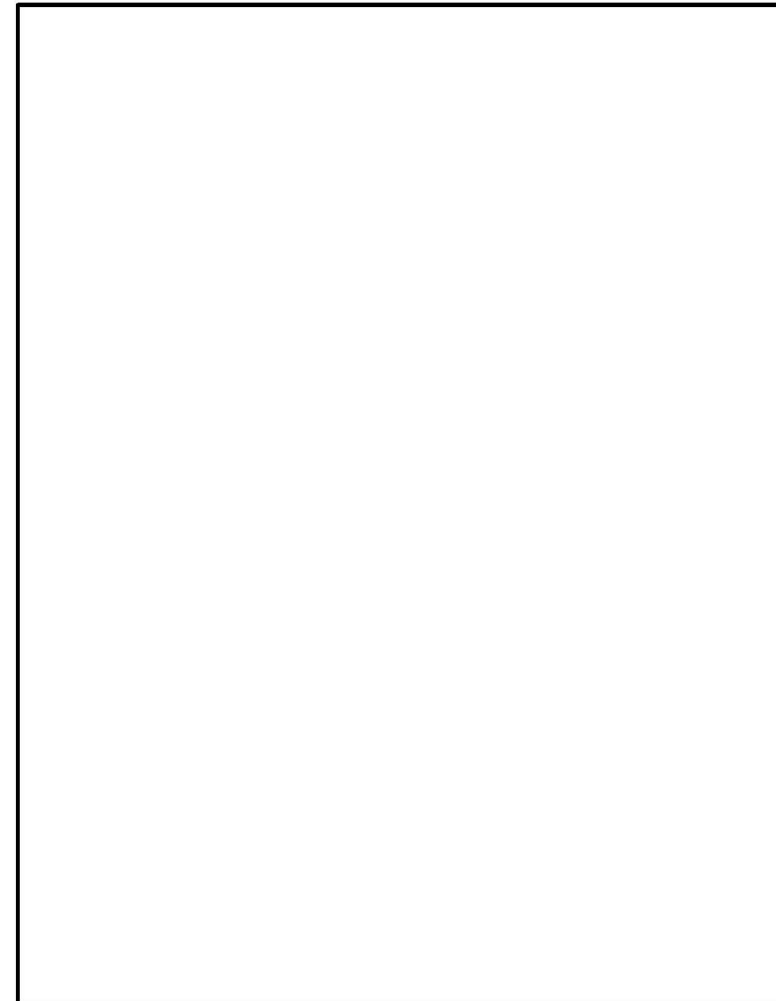
(単位 : MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
こし筒	[Redacted]				—
フランジ					—
ストレーナ 取付部ボルト					—

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナの材質	—	[Redacted]
原子炉隔離時冷却系ストレーナの質量	kg/個	
原子炉隔離時冷却系ストレーナの 内包水の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

断面積 A (mm ²)	断面係数 Z (mm ³)
[Redacted]	



1.3 計算数値

1.3.1 水力的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

荷重		軸方向荷重 (N)	軸直角方向荷重 (N)
1	S R V 荷重		

1.3.2 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	内包水を含めた自重 (N)	差圧 (MPa)

1.3.3 フランジの設計荷重

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	ストレーナ S d * 地震荷重	
5	ストレーナ S s 地震荷重	

1.3.4 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	S R V 荷重	
4	ストレーナ S d * 地震荷重	
5	ストレーナ S s 地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	水平	0.006

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
					算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ	算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	P1	こし筒とフランジ の取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	16		DBA-3	18		DBA-4
	P2	フランジ		曲げ応力	2		DBA-3	2		DBA-4
	P3	ストレーナ取付部ボルト		引張応力	2		DBA-3	2		DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	—	—	C _H = 1.02	C _V = 1.02	120	—

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m (kg)	L (mm)	D ₀ (mm)	L _{w1} (mm)	L _{w2} (mm)	t (mm)	d (mm)	P (mm)
[Redacted]							

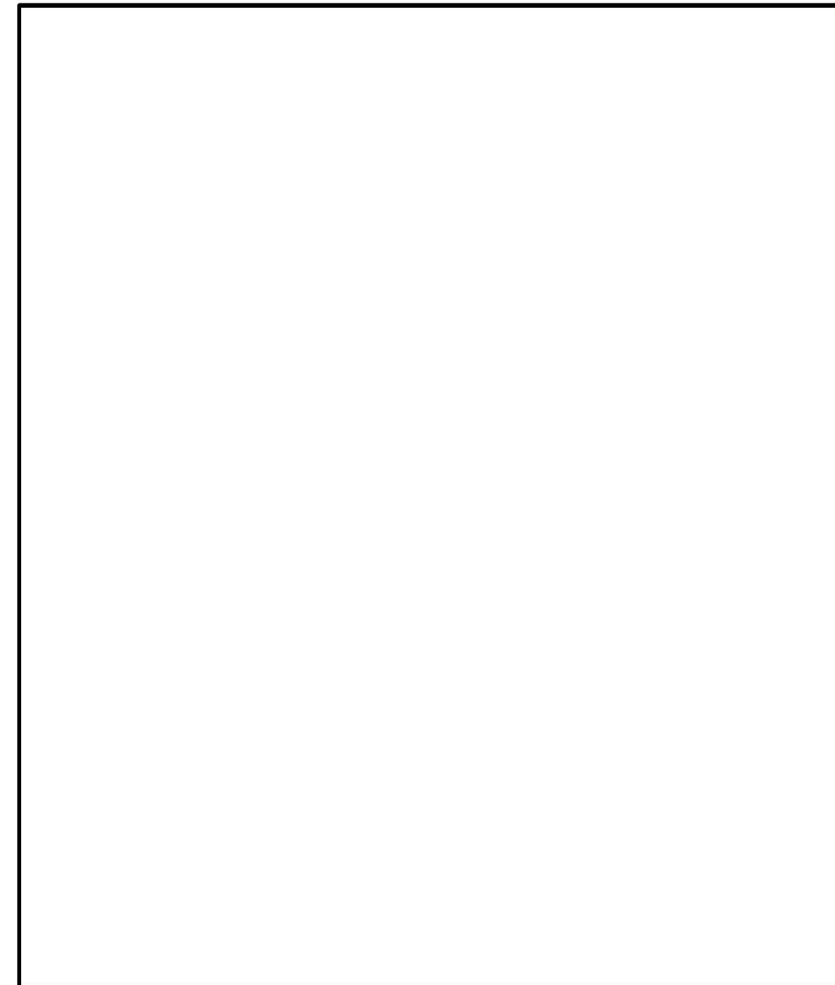
(単位：MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
こし筒	[Redacted]				—
フランジ					—
ストレーナ 取付部ボルト					—

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナの材質	—	[Redacted]
原子炉隔離時冷却系ストレーナの質量	kg/個	
原子炉隔離時冷却系ストレーナの 内包水の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

断面積Λ (mm ²)	断面係数Z (mm ³)
[Redacted]	



2.3 計算数値

2.3.1 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	内包水を 含めた自重 (N)	差圧 (MPa)

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	ストレーナ S s 地震荷重	

2.3.3 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧荷重	
3	ストレーナ S s 地震荷重	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	水平	0.006

2.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	V A S		
					算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	P1	こし筒とフランジの取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	10		SA-2
	P2	フランジ		曲げ応力	1		SA-2
	P3	ストレーナ取付部ボルト		引張応力	1		SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4-2-4 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	17
4.6.1 応力の計算方法	17
4.6.2 応力解析に用いるモーメント	17
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	18
5. 評価結果	19
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力評価により行う。

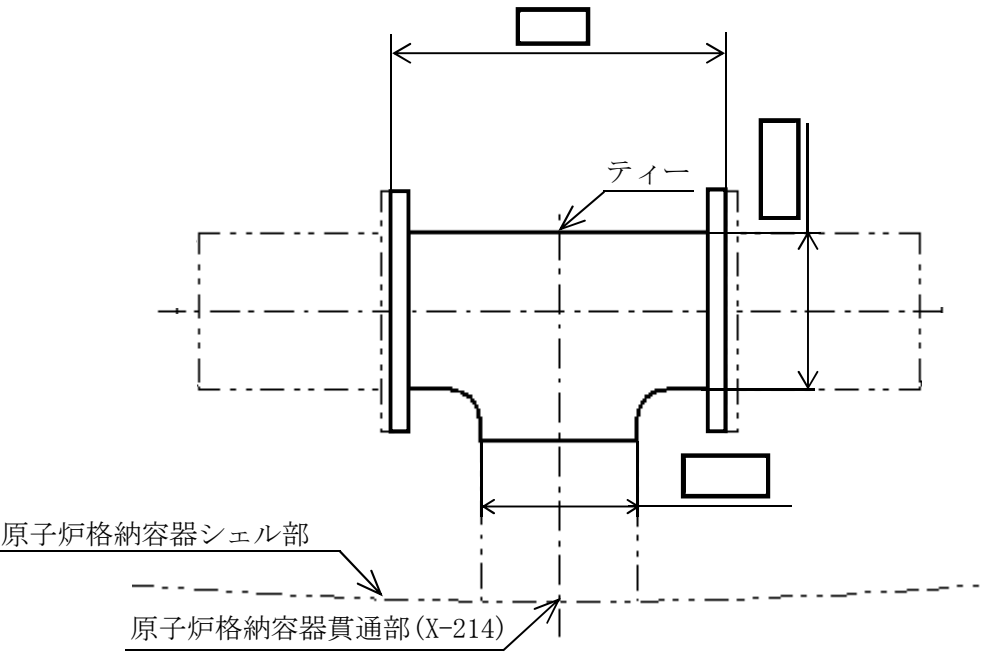
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナ部ティーは、サブプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。</p>	<p>ティー形の管継手</p>	 <p style="text-align: center;">原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティー (ストレーナ) (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価フローを図2-1に示す。

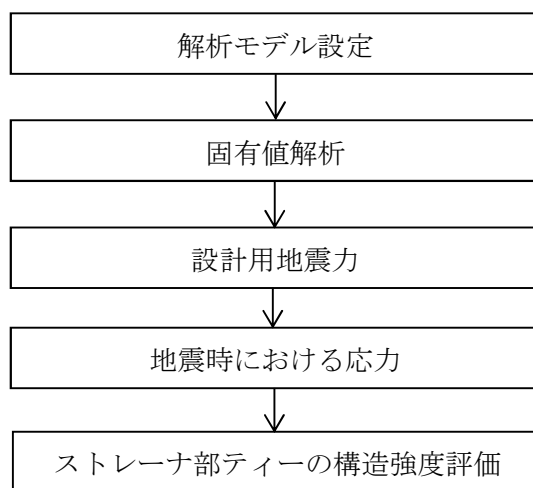


図2-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・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（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$S_{pr m}$	発生応力	MPa
P_m	内面に受ける最高の圧力	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (= <input type="text"/>)	—
B_{2b}	設計・建設規格 式 PPB-4. 29 により計算した分岐管の応力係数 $= 0.4 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格 式 PPB-4. 30 により計算した主管の応力係数 $= 0.5 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
M_{ab}	分岐管の機械的荷重 (自重その他の長期荷重に限る) により生じるモーメント	N・mm
M_{ar}	主管の機械的荷重 (自重その他の長期荷重に限る) により生じるモーメント	N・mm
M_{bb}	分岐管の機械的荷重 (逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期荷重に限る) により生じるモーメント	N・mm
M_{br}	主管の機械的荷重 (逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期荷重に限る) により生じるモーメント	N・mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm ³
Z_r	主管の断面係数	mm ³
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位* ¹
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ²
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁* ³
縦弾性係数	MPa	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
計算応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*3：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ティーについて実施する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーのフランジの評価は、ストレーナ側フランジと同じ板厚で設計しており（ティー側フランジ厚さ□mm、ストレーナ側フランジ厚さ□mm）、ティー側フランジにかかる荷重はストレーナ側フランジと同じであり、VI-2-5-4-2-3「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため、ここでは記載を省略する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図3-1及び表3-1に示す。

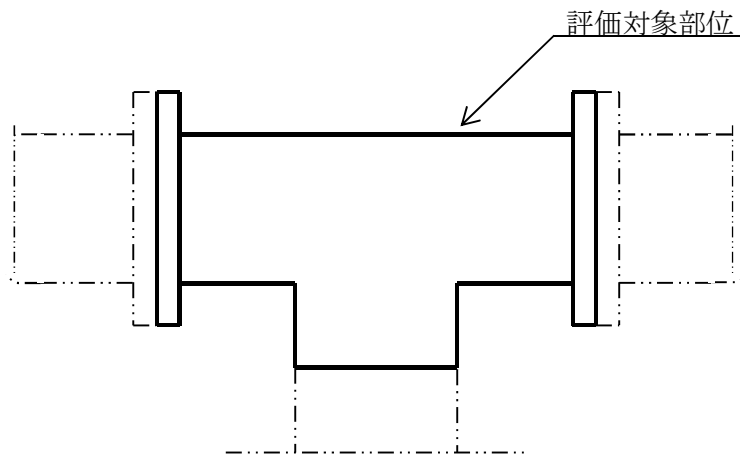


図3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状

表3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-214			

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ストレーナ部ティーは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。
- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。なお、評価対象は、基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー



表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	ⅣA S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V A S (V A SとしてⅣA S の許容限界を用いる)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d*荷重	S s荷重	
DBA* ¹	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢA S
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣA S
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢA S
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣA S
	DBA-5	運転状態Ⅳ(L)	○		○					○		ⅢA S
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ(L)* ³	○		○					○		ⅤA S* ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)	○		○						○	ⅤA S* ⁴

注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 120℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤA SとしてⅣA Sの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2，3管及び重大事故等クラス2管（クラス2，3管））

許容応力 状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2	一次+二次応力 +ピーク応力*2
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	S_y ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみ による疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以 下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い，疲 労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の変 動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)				

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
ティー		最高使用温度	104				—

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
ティー		最高使用温度	120				—

4.2.4 設計荷重

ストレーナ部に作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，ストレーナ部に作用する荷重を考慮する。なお，原子炉隔離時冷却系ストレーナに付着する異物は想定しない。

(1) 死荷重

ティーの評価点の死荷重を表 4-7 に示す。

表 4-7 死荷重

(単位：N)

部位	原子炉隔離時冷却系
ティー	

(2) 内圧

原子炉格納容器の最高使用圧力 MPa を内圧として考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはVI-2-5-4-2-3「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナ部から原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い、固有値及び荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており、付根部は完全拘束とする。
- (3) 各部の質量は、ティー及び原子炉格納容器貫通部については各節点に分布荷重として与え、ストレーナについては図4-1の△部に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサブプレッションプールに水没している機器であるため、応答解析では内包水の影響を加味し、質量に含める。
- (5) 解析コードは「I S A P」及び「M S C N A S T R A N」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図4-1 応答解析用モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の固有周期は共に、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-8 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	Z 方向	
1 次	水平	0.006	—	—	—

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/> (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	$C_H=0.58$	$C_V=0.50$	$C_H=1.02$	$C_V=1.02$

注記*：基準床レベルを示す。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/> (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	—	—	$C_H=1.02$	$C_V=1.02$

注記*：基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。

$$S_{prfm} = \frac{B_1 \cdot P_m \cdot D_0}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b}(M_{ab} + M_{bb})}{Z_b} + \frac{B_{2r}(M_{ar} + M_{br})}{Z_r}$$

4.6.2 応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは、主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは4.2.4項に示したようにストレナ部からの伝達される荷重を考慮し、分岐管のモーメントはストレナ部からの伝達荷重に加え、ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4-11 (1) 及び表 4-11 (2) に示す。ここでのモーメントとは、設計・建設規格 解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した3方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

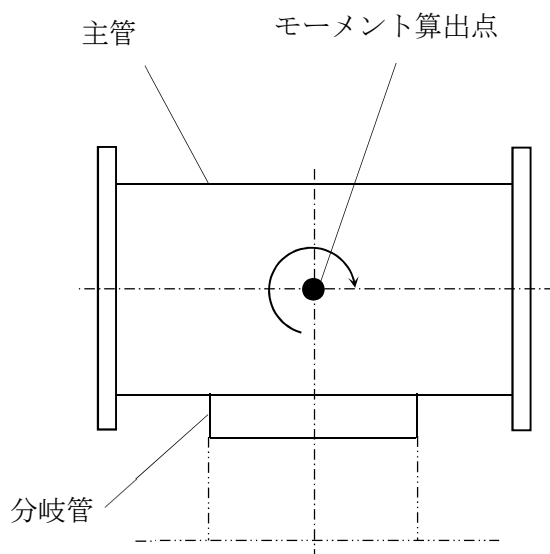


図 4-2 ティーのモーメント算出点

表 4-11 (1) ティーの設計荷重 (設計基準対象施設)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S R V 荷重		
4	S d *地震荷重		
5	S s 地震荷重		

表 4-11 (2) ティーの設計荷重 (重大事故等対処設備)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S s 地震荷重		

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4、表 4-5 及び表 4-6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、各許容応力状態ⅢA S 及びⅣA S で、発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態ⅤA S で、発生値が高い方の評価を記載している。

【原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	S	原子炉建屋 T. M. S. L. <input type="text"/> (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =1.02	C _V =1.02	104	—

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(単位：mm)

貫通部番号	部位	外径 D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-214	主管			
	分岐管			

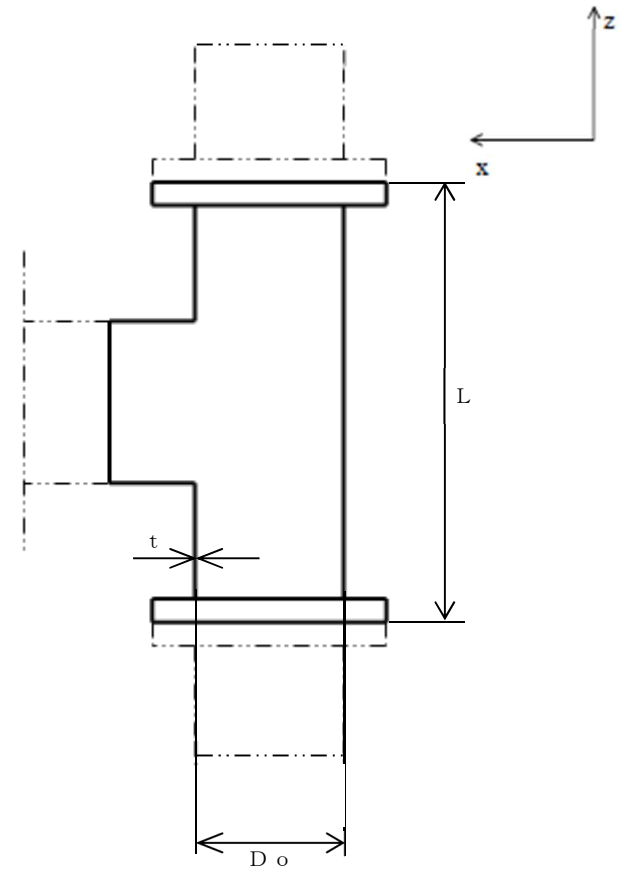
B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

(単位：MPa)

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y (RT)
ティー					—

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの内包水の質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	



1.3 計算数値

1.3.1 水力的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

(単位：N)

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	S R V 荷重			

1.3.2 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P _m (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S R V 荷重		
4	S _d *地震荷重		
5	S _s 地震荷重		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	水平	0.006

23

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
			計算 応力	許容 応力	荷重 合せ	計算 応力	許容 応力	荷重 合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー		一次応力	5	143	DBA-3	5	365	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレナ部タイ	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. (T. M. S. L. -1.700*)	0.006	0.05 以下	—	—	C _H =1.02	C _V =1.02	120	—

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

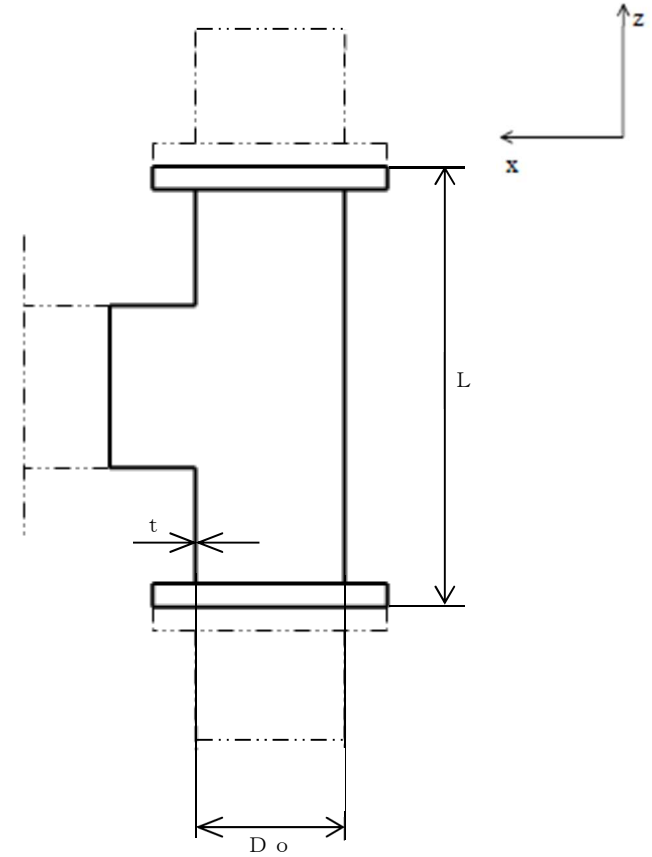
(単位: mm)

貫通部番号	部位	外径 D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-214	主管			
	分岐管			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

(単位: MPa)

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y (R T)
ティー					—



25

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの内包水の質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

2.3 計算数値

2.3.1 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P_m (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S s 地震荷重		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位 : s)

モード	方向	固有周期
1次モード	水平	0.006

2.4.2 応力

(単位 : MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	V A S		
			計算 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティール	<input type="text"/>	一次応力	5	360	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4-2-5 管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全7モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






(3) 弁

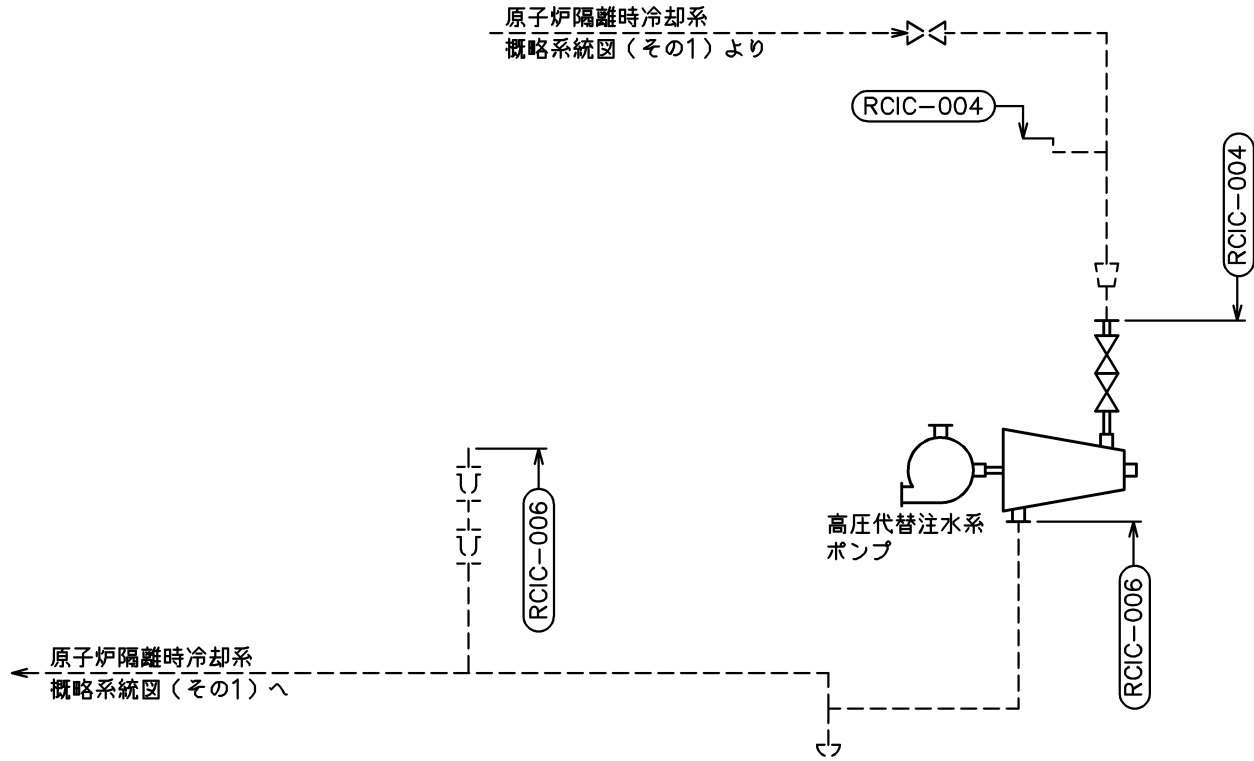
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


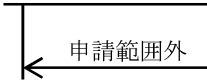
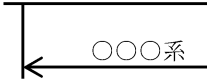


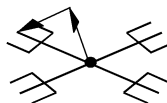
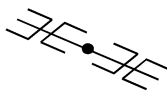

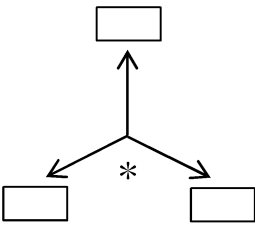
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



原子炉隔離時冷却系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

9

7

∞

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, 3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _{AS}
							Ⅱ _L +S _d	
							Ⅳ _L (L)+S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _{AS}
							Ⅱ _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	77	165.2	18.2	STS410	S	199840
2	8.62	302	165.2	14.3	STS410	S	184760

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6									
2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	803	804	805
	806														

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		11		18		25		32	
2		12		19		26		33	
3		13		20		27		34	
4		14		21		28		803	
5		15		22		29		804	
9		16		23		30		805	
10		17		24		31		806	

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
6	
7	
8	
53	
54	

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
4						
** 4 **						
9						
** 9 **						
** 12 **						
** 15 **						
19						
** 19 **						
24						
** 24 **						
28						
34						

--

K6 ① VI-2-5-4-2-5 (設) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
STS410	77	—	226	406	—
	302	—	182	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
RCIC-003	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
15 次							
16 次							
動的震度*2							
静的震度*3							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。
 *3： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
15 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{p r m}(S d)$ $S_{p r m}(S s)$	許容応力 S_y^* $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
R C I C - 0 0 3	III _A S	9	$S_{p r m}(S d)$	116	182	—	—	—
	IV _A S	9	$S_{p r m}(S s)$	210	363	—	—	—
	IV _A S	9	$S_n(S s)$	—	—	414	364	0.7639

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S_h$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-006-006S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100	VI-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算に ついて」参照		33	45
RCIC-006-236H	スプリングハンガ	VS30S-17			33	39
RCIC-006-035BA	ロッドレストレイント	RST-2			18	56

26

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RCIC-002-033A	アンカ	ラグ	SGV410	77	77	52	37	53	11	62	曲げ	251	477
RCIC-003-009R	レストレイント	Uプレート	SS400	302	3	88	8	—	—	—	せん断	58	97

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度* ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
E51-F001	止め弁	β (Ss)	2.5	1.1	6.0	6.0	—	—
E51-F004	止め弁	β (Ss)	4.0	1.4	6.0	6.0	—	—
E51-F036	止め弁	β (Ss)	2.2	1.1	6.0	6.0	—	—

注記*：機能維持評価用加速度は、打ち切り振動数を 30Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	RCIC-001	12	40	226	5.65	—	35	55	365	6.63	—	35	159	452	2.84	—	—	—	—
2	RCIC-002	4	69	226	3.27	—	4	105	365	3.47	—	4	193	452	2.34	—	—	—	—
3	RCIC-003	9	116	182	1.56	○	9	210	363	1.72	○	9	414	364	0.87	○	9	0.7639	○
4	RCIC-004	103	112	182	1.62	—	103	175	363	2.07	—	103	265	364	1.37	—	—	—	—
5	RCIC-005	31	79	182	2.30	—	31	114	363	3.18	—	31	207	364	1.75	—	—	—	—
6	RCIC-006	23	58	209	3.60	—	23	90	363	4.03	—	1	184	418	2.27	—	—	—	—
7	RCIC-007	6	21	209	9.95	—	6	33	363	11.00	—	6	81	418	5.16	—	—	—	—

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	10
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	30
4.2.1 管の応力評価結果	30
4.2.2 支持構造物評価結果	31
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	32
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	33

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全7モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。




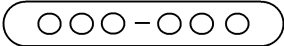

(3) 弁

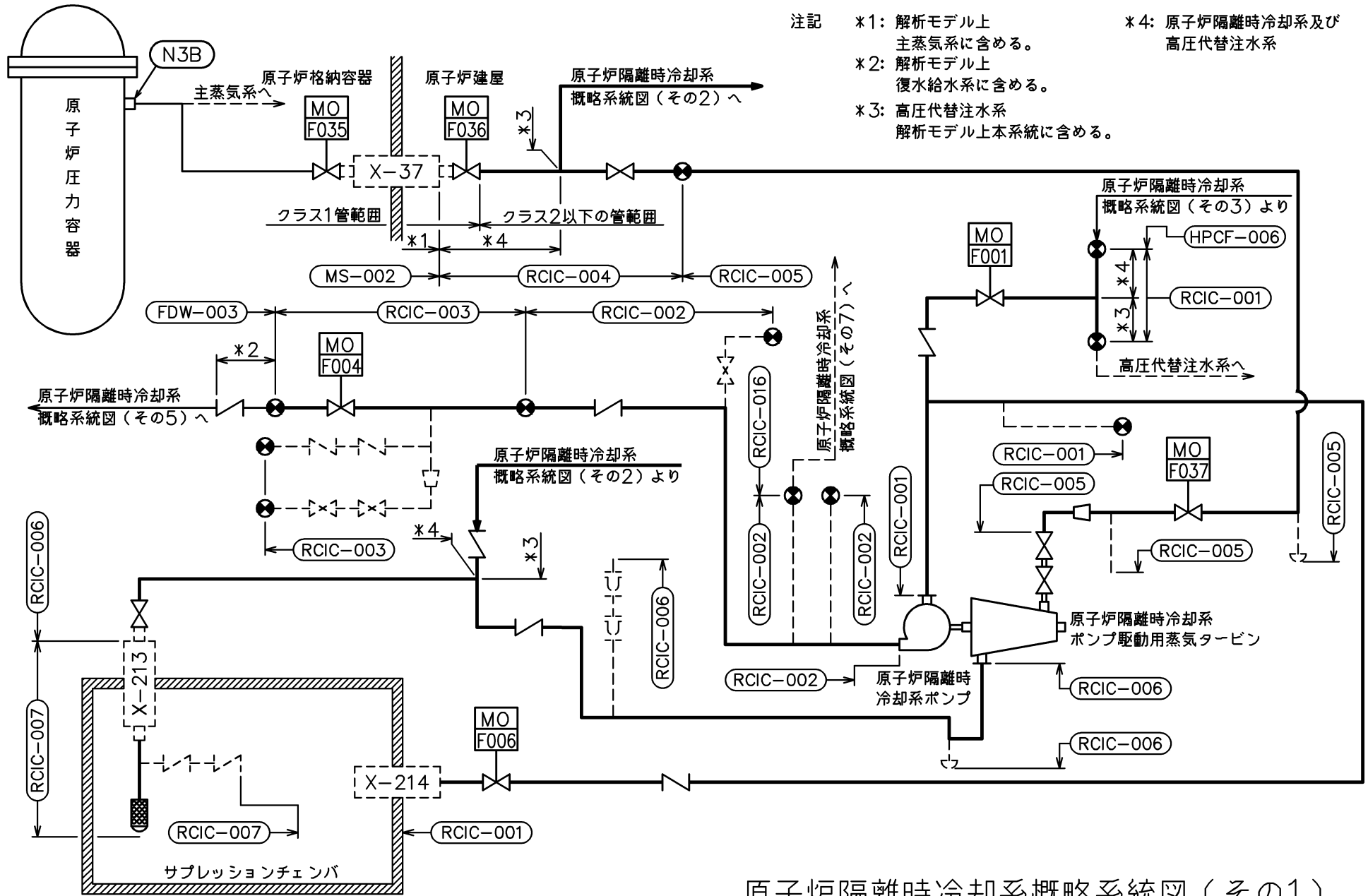
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

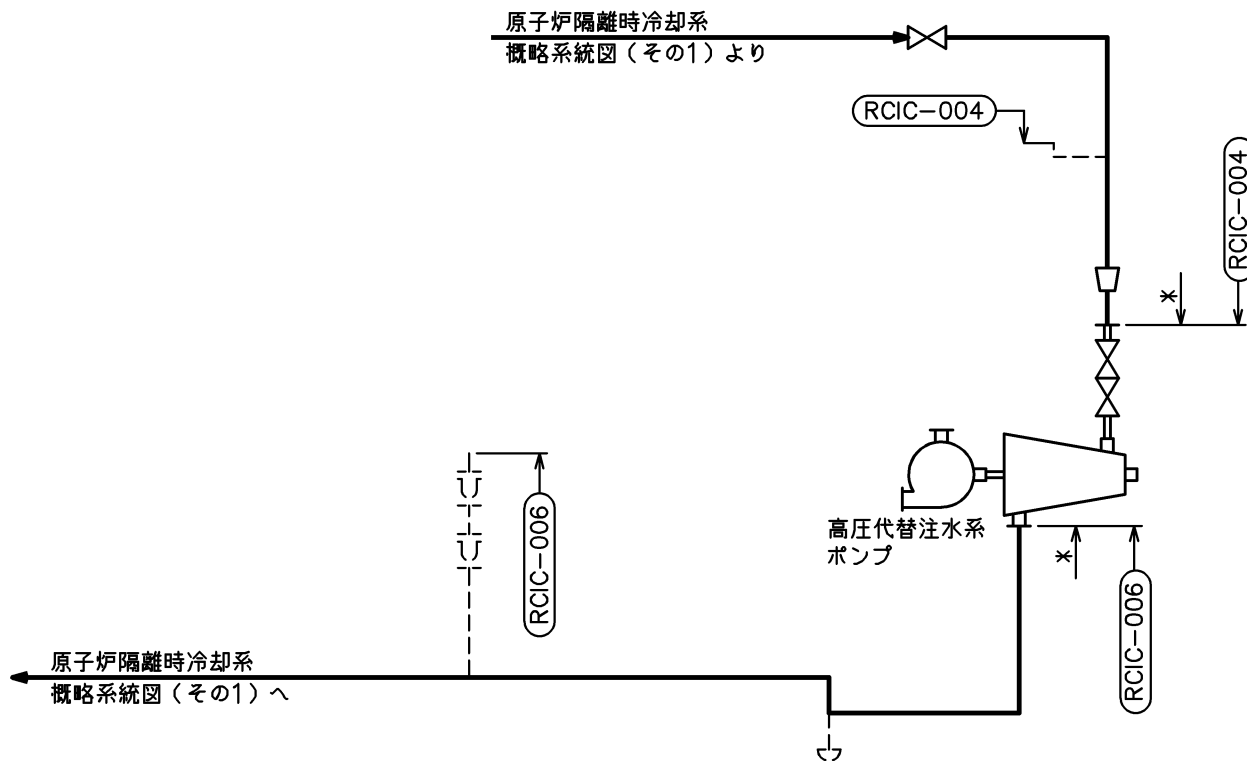
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



- 注記
- *1: 解析モデル上主蒸気系に含める。
 - *2: 解析モデル上復水給水系に含める。
 - *3: 高圧代替注水系解析モデル上本系統に含める。
 - *4: 原子炉隔離時冷却系及び高圧代替注水系

原子炉隔離時冷却系概略系統図(その1)

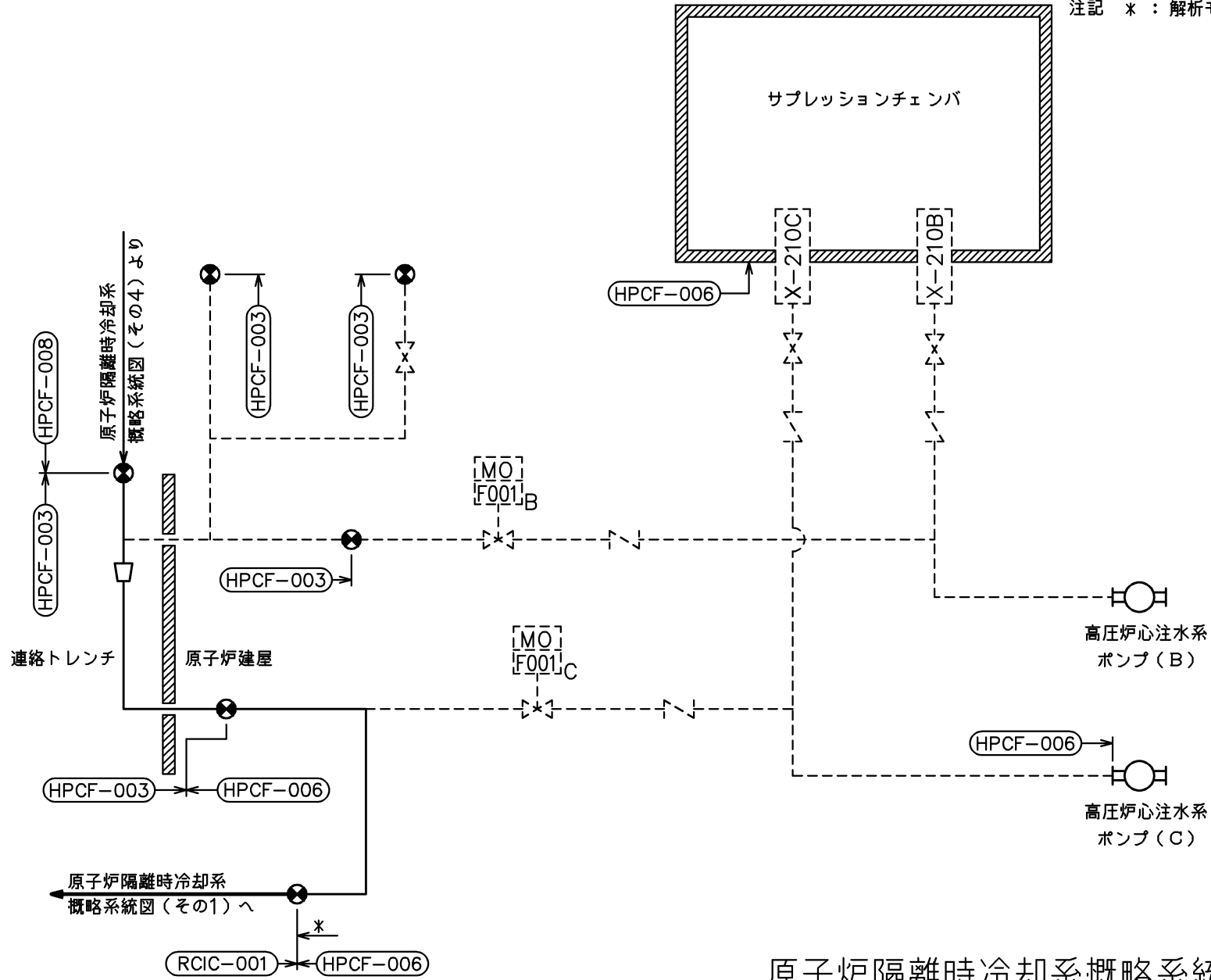
注記 * : 高压代替注水系
解析モデル上本系統に含める。



原子炉隔離時冷却系概略系統図(その2)

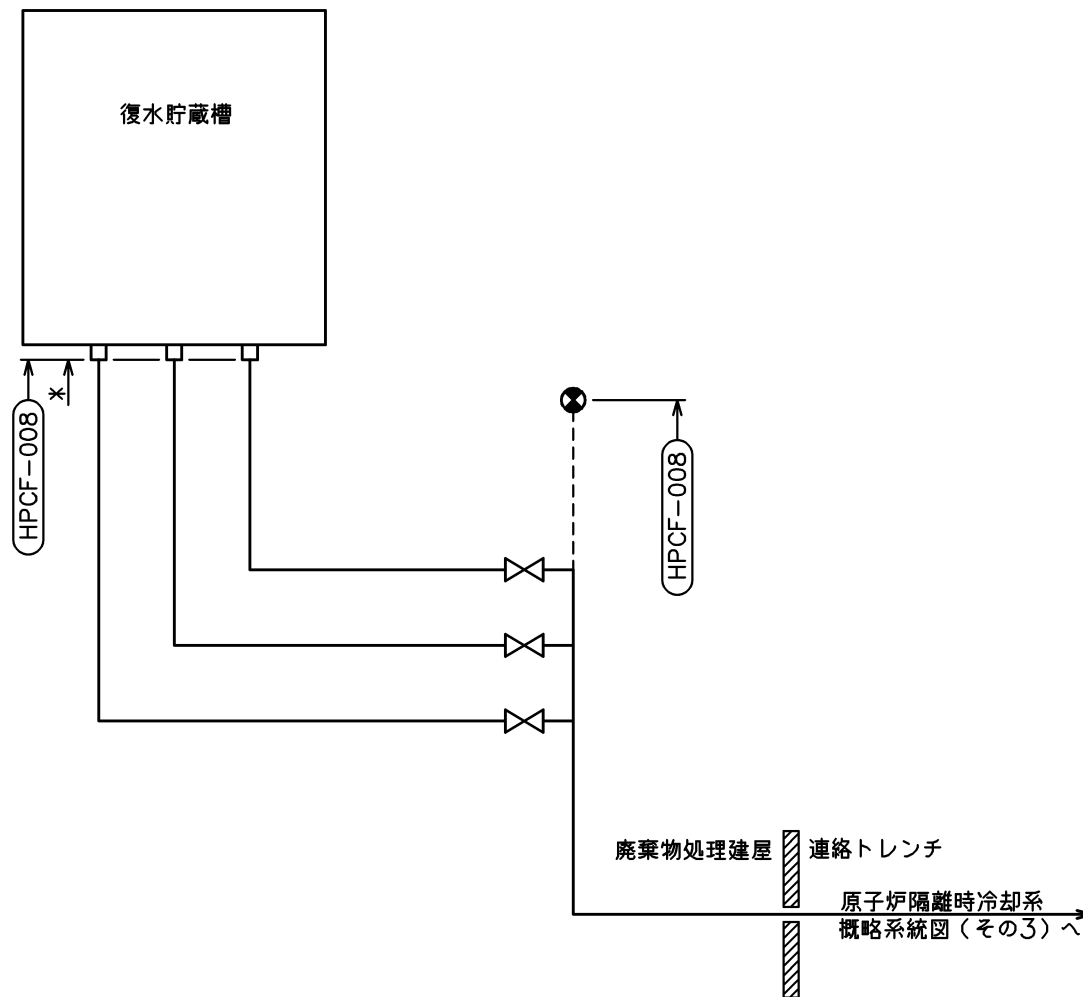
注記 * : 解析モデル上高圧炉心注水に含める。

5

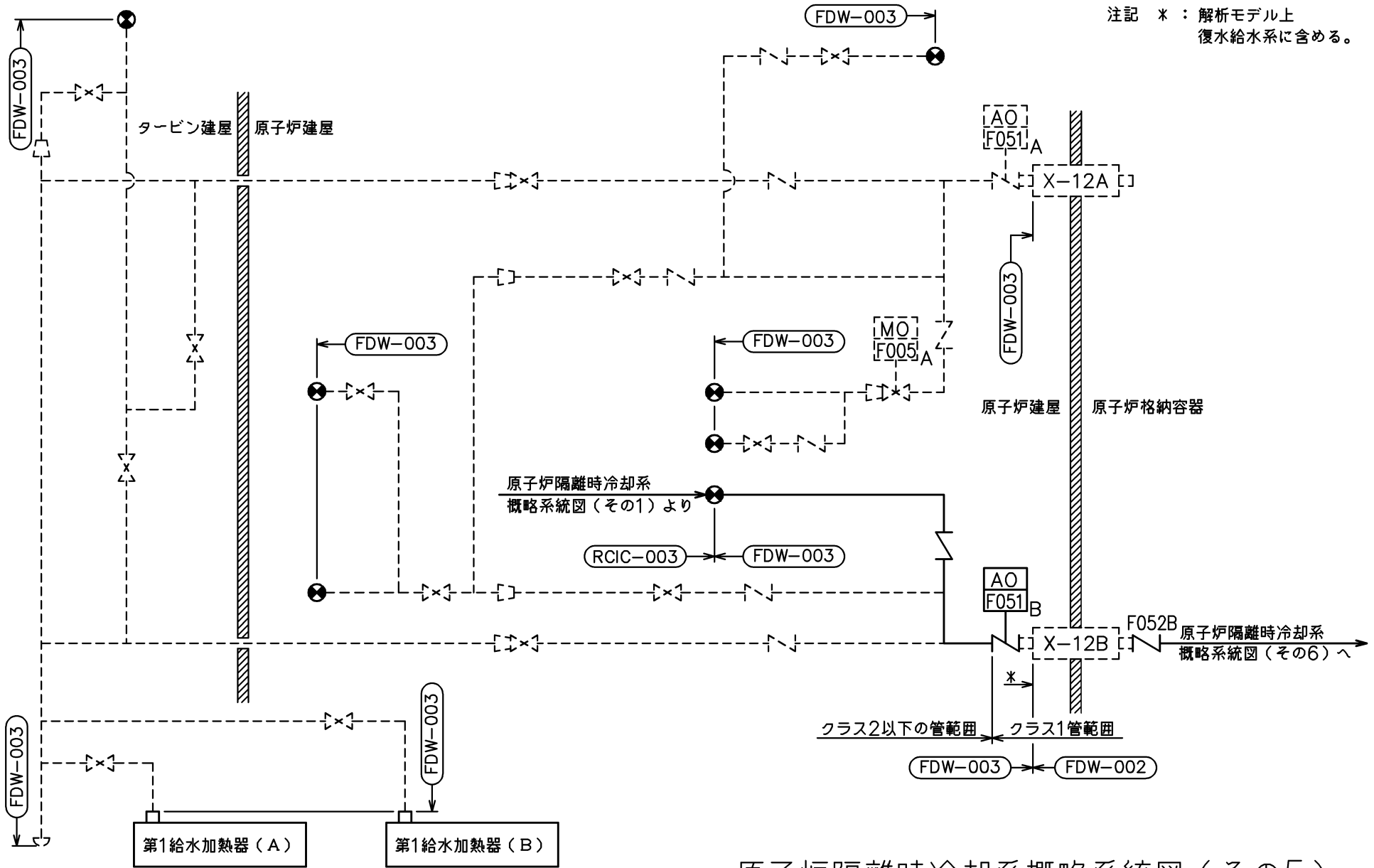


原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その3)

注記 * : 解析モデル上高圧炉心注水系に含める。

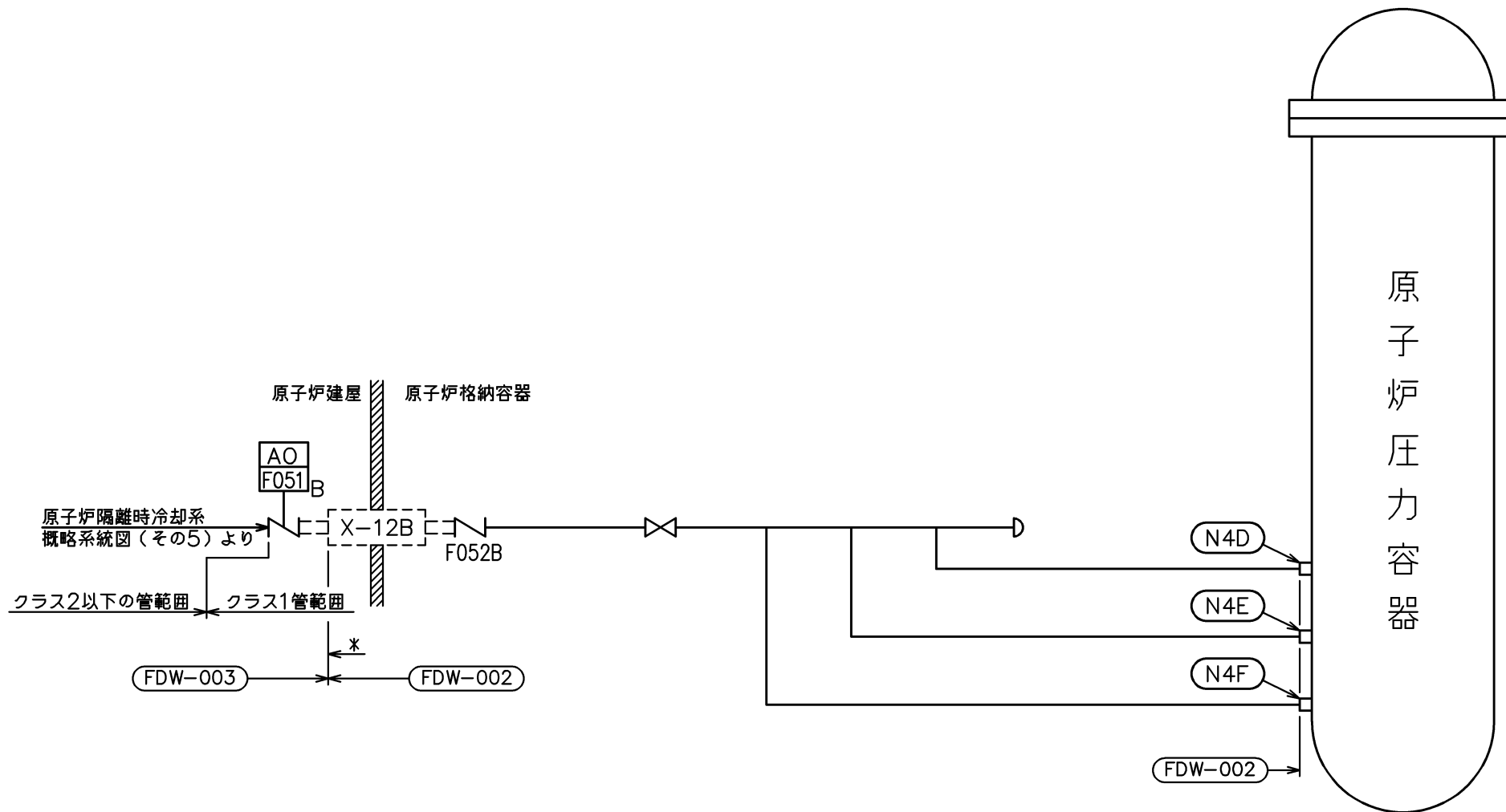


原子炉隔離時冷却系概略系統図(その4)



原子炉隔離時冷却系概略系統図(その5)


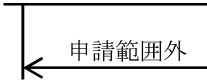
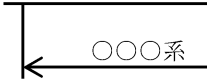


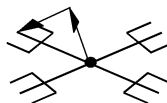
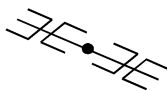

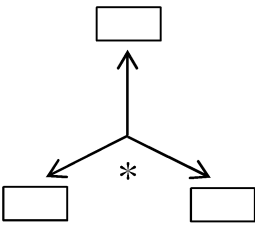
注記 * : 解析モデル上復水給水系に含める。



原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その6)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

11

12

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3,4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	S A	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
							$V_L (L) + S_d$	
							$V_L (LL) + S_s$	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高压代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備その他安全設備	高压代替注水系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設/防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期間荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	120	165.2	18.2	STS410	—	196400
2	8.62	302	165.2	14.3	STS410	—	184760

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点																
1	1	2	3	4	5	6											
2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	803	804	805		
	806																

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		11		18		25		32	
2		12		19		26		33	
3		13		20		27		34	
4		14		21		28		803	
5		15		22		29		804	
9		16		23		30		805	
10		17		24		31		806	

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
6	
7	
8	
53	
54	

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
4						
** 4 **						
9						
** 9 **						
** 12 **						
** 15 **						
19						
** 19 **						
24						
** 24 **						
28						
34						

--

K6 ① VI-2-5-4-2-5 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	120	—	217	404	—
	302	—	182	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
RCIC-003	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
15 次				
16 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
15 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

28

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
R C I C - 0 0 3	V _A S	9	$S_{pr m}(S_s)$	211	363	—	—	—
	V _A S	9	$S_n(S_s)$	—	—	416	364	0.7864

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-006-229S	メカニカルスナッパ	SMS-6-100	VI-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算に ついて」参照		34	90
RCIC-006-236H	スプリングハンガ	VS30S-17			33	39
RCIC-006-035BA	ロッドレストレイント	RST-2			18	56

31

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RCIC-002-033A	アンカ	ラグ	SGV410	120	77	52	37	52	11	62	曲げ	251	456
RCIC-003-009R	レストレイント	Uプレート	SS400	302	3	88	8	—	—	—	せん断	58	97

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 V _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	RCIC-001	12	54	365	6.75	—	35	155	434	2.80	—	—	—	—
2	RCIC-002	4	108	363	3.36	—	4	199	434	2.18	—	—	—	—
3	RCIC-003	9	211	363	1.72	○	9	416	364	0.87	○	9	0.7864	○
4	RCIC-004	110	203	363	1.78	—	110	332	364	1.09	—	—	—	—
5	RCIC-005	31	114	363	3.18	—	31	207	364	1.75	—	—	—	—
6	RCIC-006	23	90	363	4.03	—	1	184	418	2.27	—	—	—	—
7	RCIC-007	6	33	363	11.00	—	6	81	418	5.16	—	—	—	—
8	RCIC-015	20	58	320	5.51	—	20	140	386	2.75	—	—	—	—
9	RCIC-016	12	232	413	1.78	—	12	422	518	1.22	—	—	—	—
10	RCIC-017	87	48	315	6.56	—	87	99	370	3.73	—	—	—	—

VI-2-5-4-3 高压代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-3-1 高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
4.1.1 機能確認済加速度	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧代替注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

高圧代替注水系ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧代替注水系ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、構造強度評価はVI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。また、高圧代替注水系ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンが一体構造の横軸ポンプであるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧代替注水系ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横軸ポンプ)</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧代替注水系ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧代替注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧代替注水系ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧代替注水系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備 その他原子炉 注水設備	高压代替注水系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器安全設備	高压代替注水系ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS		
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	66	699	803	—
ポンプ取付ボルト	SNB7 相当 (径 ≤ 63mm)	最高使用温度	77	689	782	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧代替注水系ポンプの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震時の応答加速度が、動的機能維持確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

機能確認済加速度は、高圧代替注水系ポンプが、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンと一体構造の横軸ポンプであり、既往の研究によって機能維持が確認された適用機種と構造・作動原理が異なることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を動的機能確認済加速度とする。

4.1.1 機能確認済加速度

高圧代替注水系ポンプの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬した上で、当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する模擬地震波による加振試験において動的機能の健全性を確認した加速度とする。

機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
高圧代替注水系ポンプ	水平	□
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧代替注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧代替注水系ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. -0.68 (T. M. S. L. -1.7*1)	—*2	—*2	—	—	C _H =1.02	C _V =1.01	C _P =0.81	77	66

注記* 1: 基準床レベルを示す。

* 2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	φ _{1i} *1 (mm)	φ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1	
基礎ボルト (i=1)								12	6
								2	
ポンプ取付ボルト (i=2)								4	2
								2	

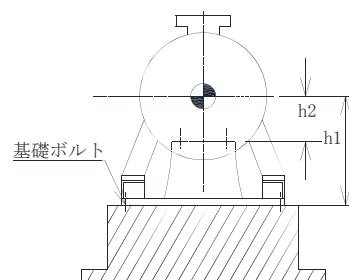
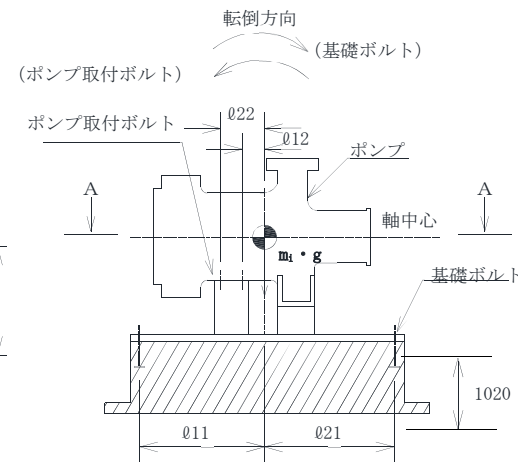
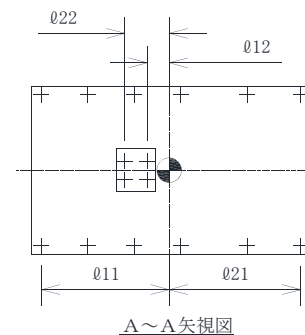
部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	699*2 (径≤63mm)	803*2 (径≤63mm)	—	562	—	軸方向	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	689*3 (径≤63mm)	782*3 (径≤63mm)	—	547	—	軸方向	—

H _p (μm)	N (rpm)

注記* 1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

* 2: 周囲環境温度で算出

* 3: 最高使用温度で算出



6

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=22$	$f_{ts1}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=324$
ポンプ取付ボルト (i=2)	SNB7 相当	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=73$	$f_{ts2}=410^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=316$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である

1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.85	
	鉛直方向	0.84	

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-5-4-3-2 管の耐震性についての計算書

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	8
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	28
3.5 設計用地震力	29
4. 解析結果及び評価	30
4.1 固有周期及び設計震度	30
4.2 評価結果	42
4.2.1 管の応力評価結果	42
4.2.2 支持構造物評価結果	44
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、高圧代替注水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。


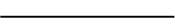
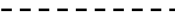
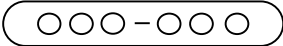

(3) 弁

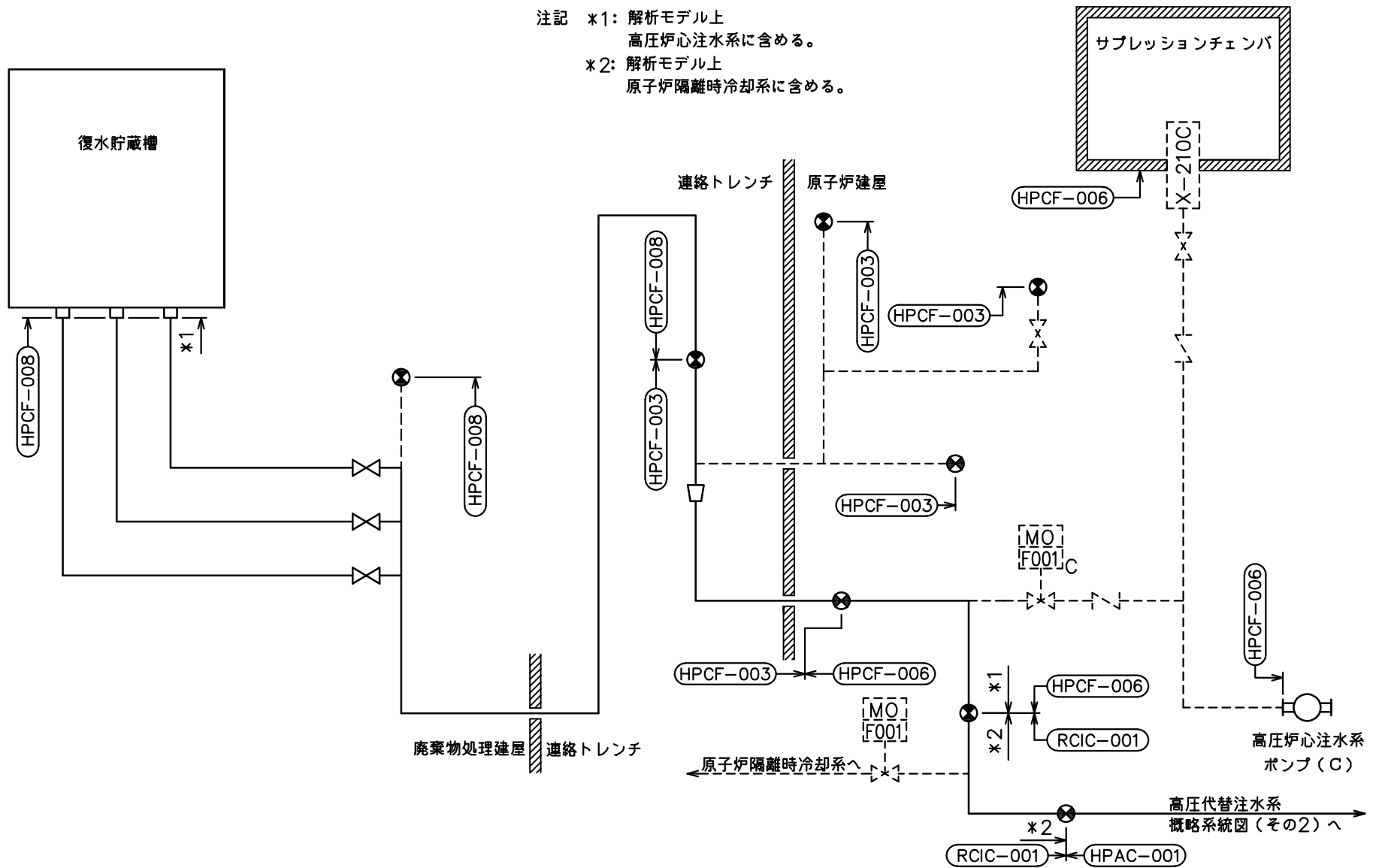
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

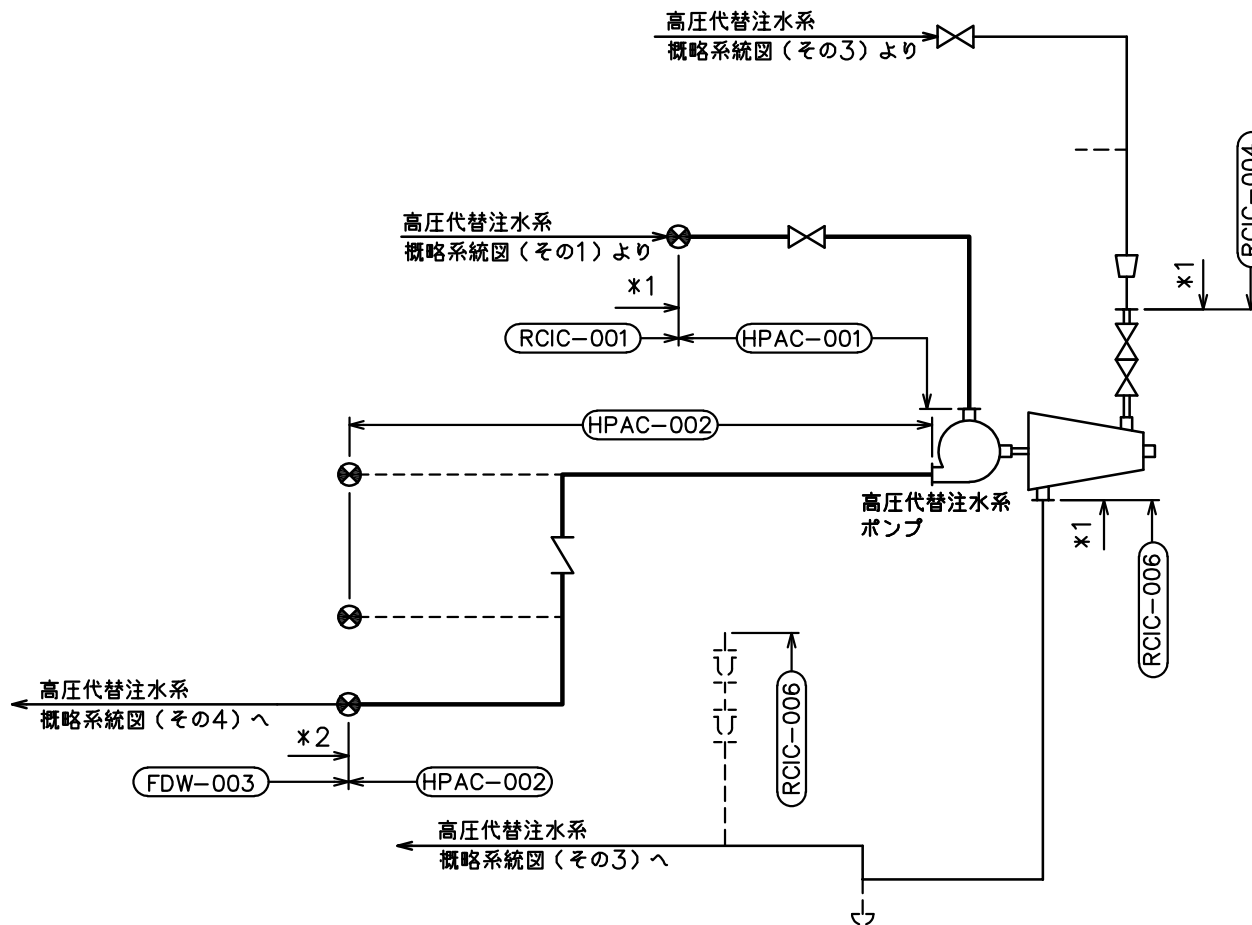
概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



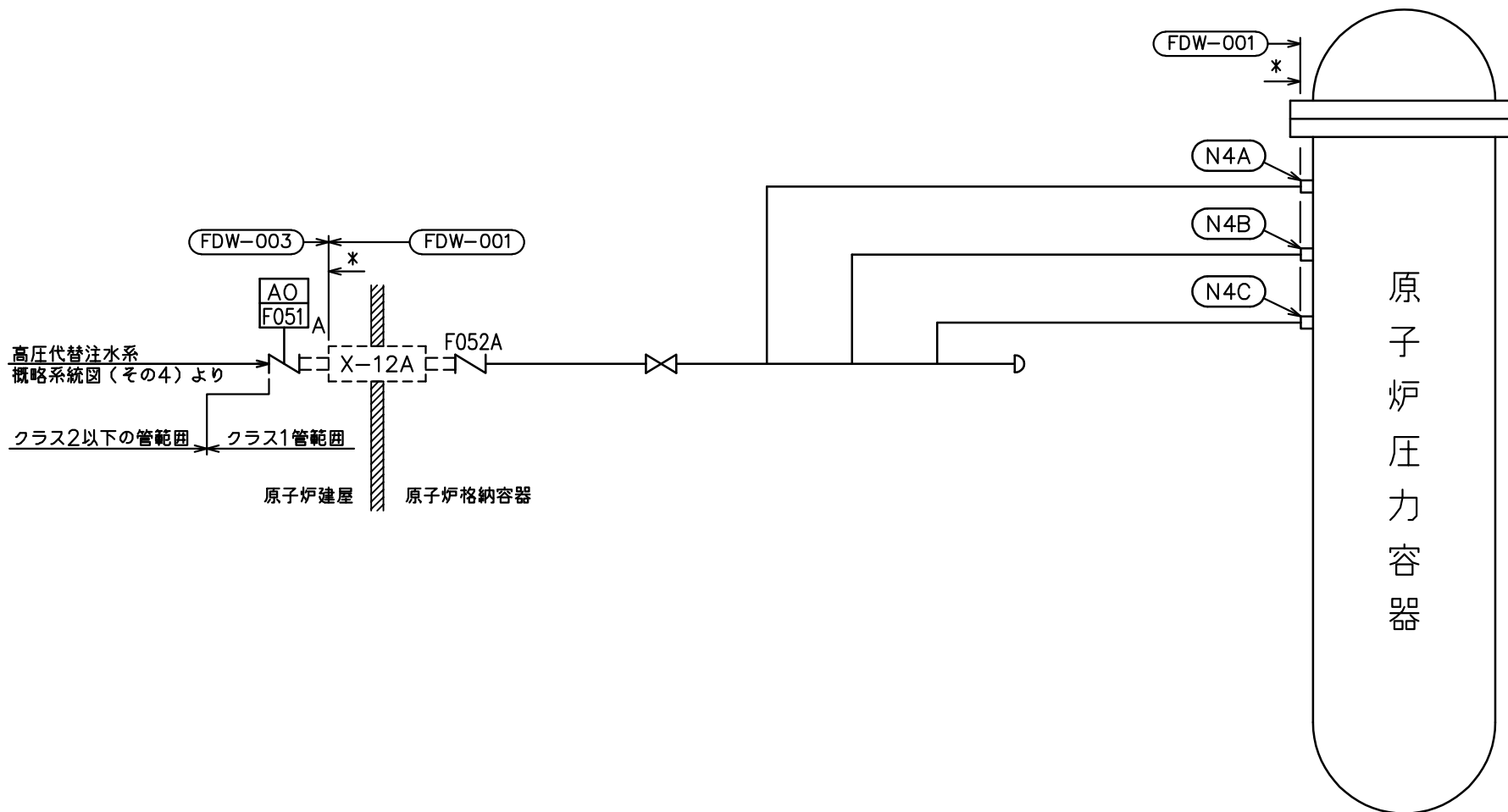
高圧代替注水系概略系統図(その1)

注記 *1: 解析モデル上
原子炉隔離時冷却系に含める。
*2: 解析モデル上
復水給水系に含める。



高压代替注水系概略系統図(その2)


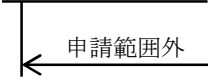
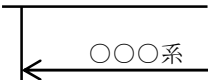


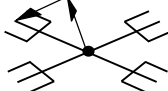
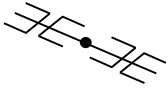

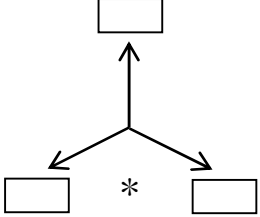
注記 *：解析モデル上
復水給水系に含める。



高圧代替注水系概略系統図 (その5)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

6

鳥瞰図	HPAC-001-1/2
-----	--------------

10

鳥瞰図 HPAC-001-2/2

12

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	V_{AS}
							$V_L (L) + S_d$	
							$V_L (LL) + S_s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	高压代替注水系	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	V_{AS}
							$V_L (L) + S_d$	
							$V_L (LL) + S_s$	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期間荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し，許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	—	191720
2	1.37	66	216.3	8.2	STS410	—	200360
3	1.37	77	216.3	8.2	STS410	—	199840

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	101												
2	32	33	34												
3	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	201	301	

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		11		21		31		44	
2		12		22		32		45	
3		13		23		33		46	
4		14		24		37		47	
5		15		25		38		101	
6		16		26		39		201	
7		17		27		40		301	
8		18		28		41			
9		19		29		42			
10		20		30		43			

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
34	
35	
36	

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	35			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
** 8 **						
10						
** 10 **						
17						
19						
23						
25						
33						
39						
43						
44						
47						

K6 ① VI-2-5-4-3-2 (重) R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.80	77	165.2	18.2	STS410	—	199840

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	42	43	44	45	46	47	49	50	51	52	53	54	55	56
	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	89	101	301	350	801
	802	811	812												

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		17		43		62		78	
2		18		44		63		79	
3		19		45		64		80	
4		20		46		65		81	
5		21		50		66		89	
6		22		51		67		101	
7		23		52		68		301	
8		24		53		69		350	
9		25		54		70		801	
10		26		55		71		802	
11		27		56		72		811	
12		28		57		73		812	
13		29		58		74			
14		30		59		75			
15		31		60		76			
16		42		61		77			

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
47	
48	
49	

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	48			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
4						
10						
11						
** 11 **						
** 14 **						
16						
18						
21						
27						
45						
50						
** 50 **						
59						
62						
74						
81						

--

K6 ① VI-2-5-4-3-2 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	66	—	231	407	—
	77	—	226	406	—
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
HPAC-001	原子炉建屋		
HPAC-002	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

33

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

35

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				
11 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 H P A C - 0 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次		[Blank area for data]	[Blank area for data]	[Blank area for data]
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

40

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
HPAC-001	VAS	2	$S_{pr m}(S_s)$	96	431	—	—	—
	VAS	2	$S_n(S_s)$	—	—	193	376	—

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
HPAC- 002	VAS	65	$S_{pr m}(S_s)$	87	365	—	—	—
	VAS	65	$S_n(S_s)$	—	—	136	452	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
HPAC-001-019BA	ロッドレストレイント	RTS-3	VI-2-1-12「配管及び支 持構造物の耐震計算につ いて」参照		10	45
HPAC-001-044H	スプリングハンガ	VS30B-12			7	8
HPAC-002-011SB	メカニカルスナッパ	SMS-3-100			16	45

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
HPAC-002-045R	レストレイント	Uプレート	SS400	77	18	0	25	—	—	—	曲げ	184	460
HPAC-002-081A	アンカ	ラグ	SGV410	77	48	20	19	8	19	19	曲げ	64	477

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	HPAC-001	2	96	431	4.48	—	2	193	376	1.94	○	—	—	—
2	HPAC-002	65	87	365	4.19	○	65	136	452	3.32	—	—	—	—

VI-2-5-4-4 低圧代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-4-1 管の耐震性についての計算書

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	10
3. 計算条件	17
3.1 計算方法	17
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	18
3.3 設計条件	19
3.4 材料及び許容応力	29
3.5 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	31
4.1 固有周期及び設計震度	31
4.2 評価結果	43
4.2.1 管の応力評価結果	43
4.2.2 支持構造物評価結果	45
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	46
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	47

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、低圧代替注水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 10 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



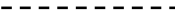
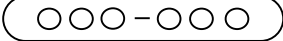

(3) 弁

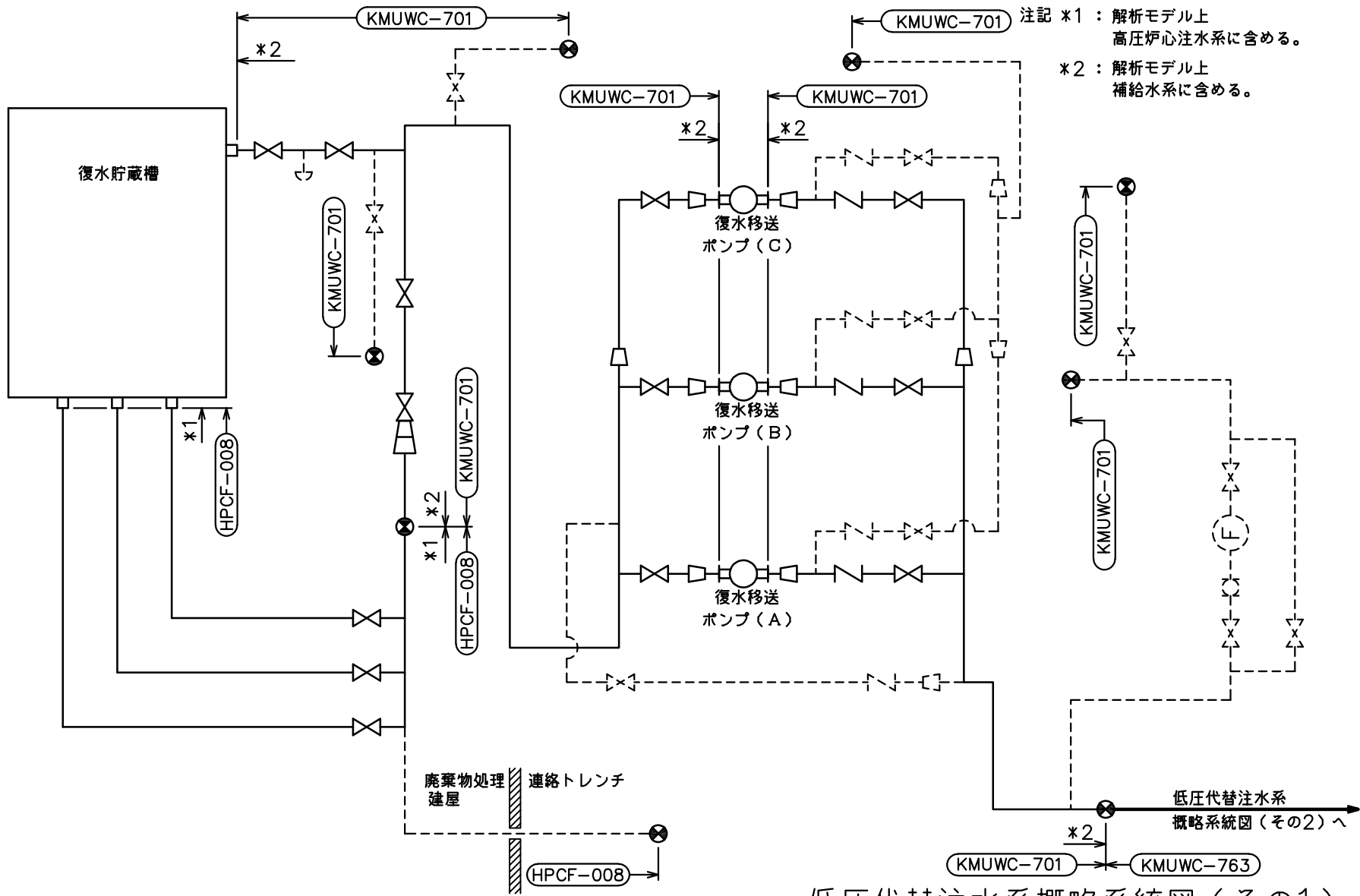
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

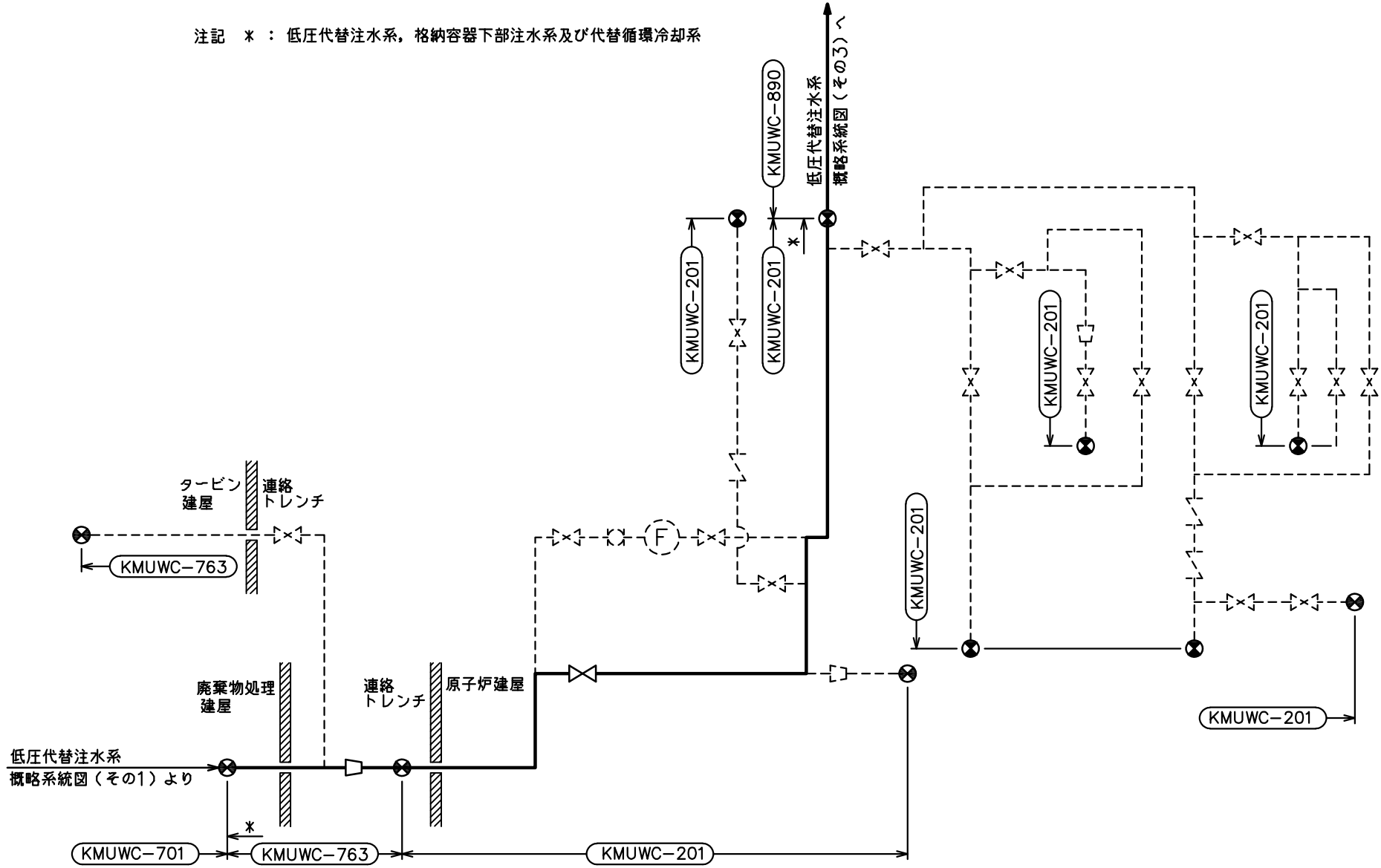
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



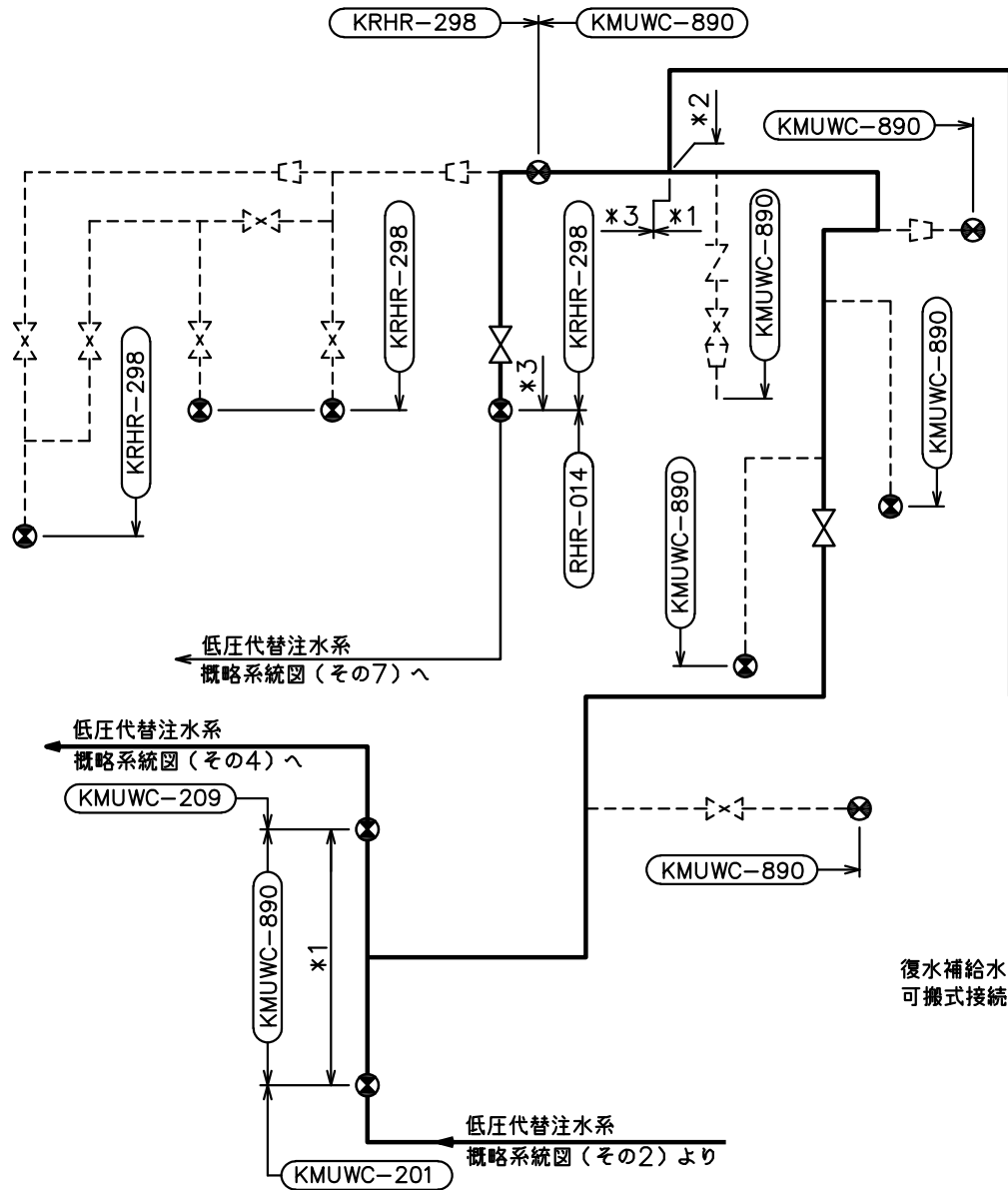
注記 *1 : 解析モデル上
 高压炉心注水系に含める。
 *2 : 解析モデル上
 補給水系に含める。

低压代替注水系概略系統図 (その1)

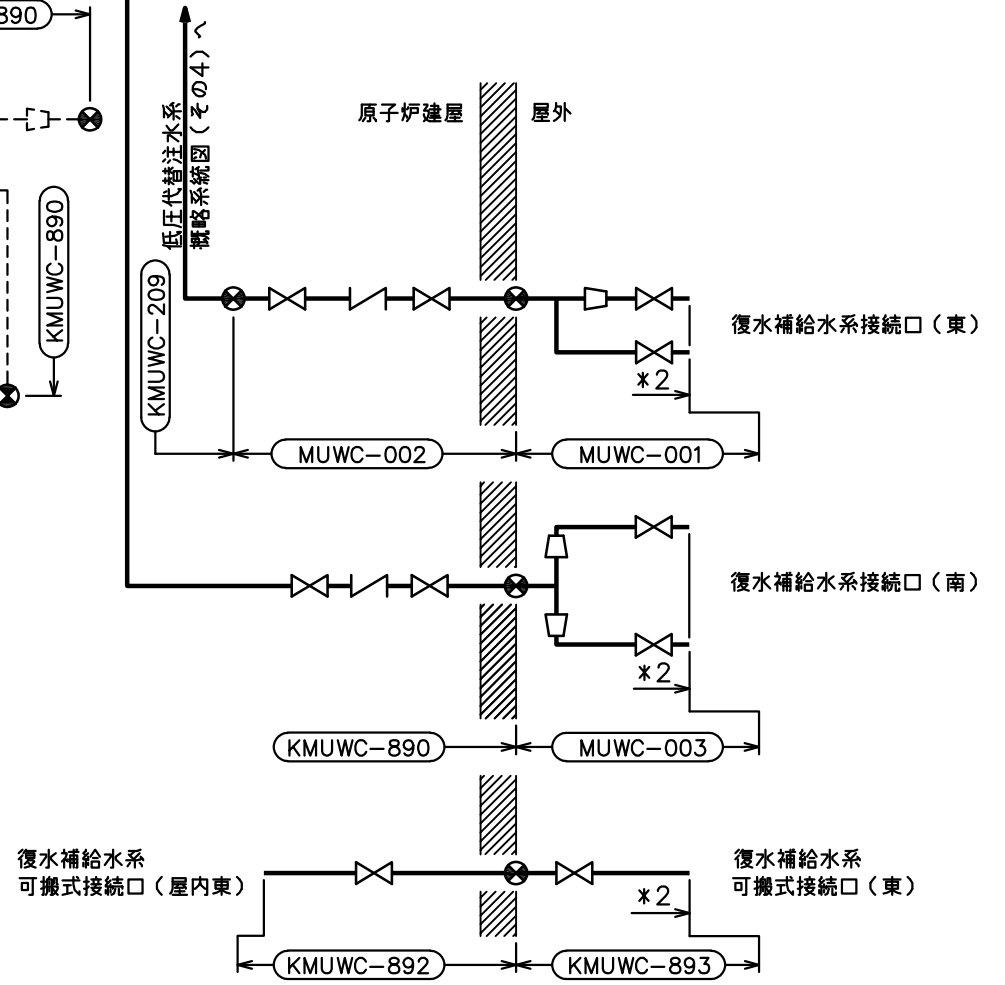
注記 * : 低圧代替注水系, 格納容器下部注水系及び代替循環冷却系



低圧代替注水系概略系統図(その2)

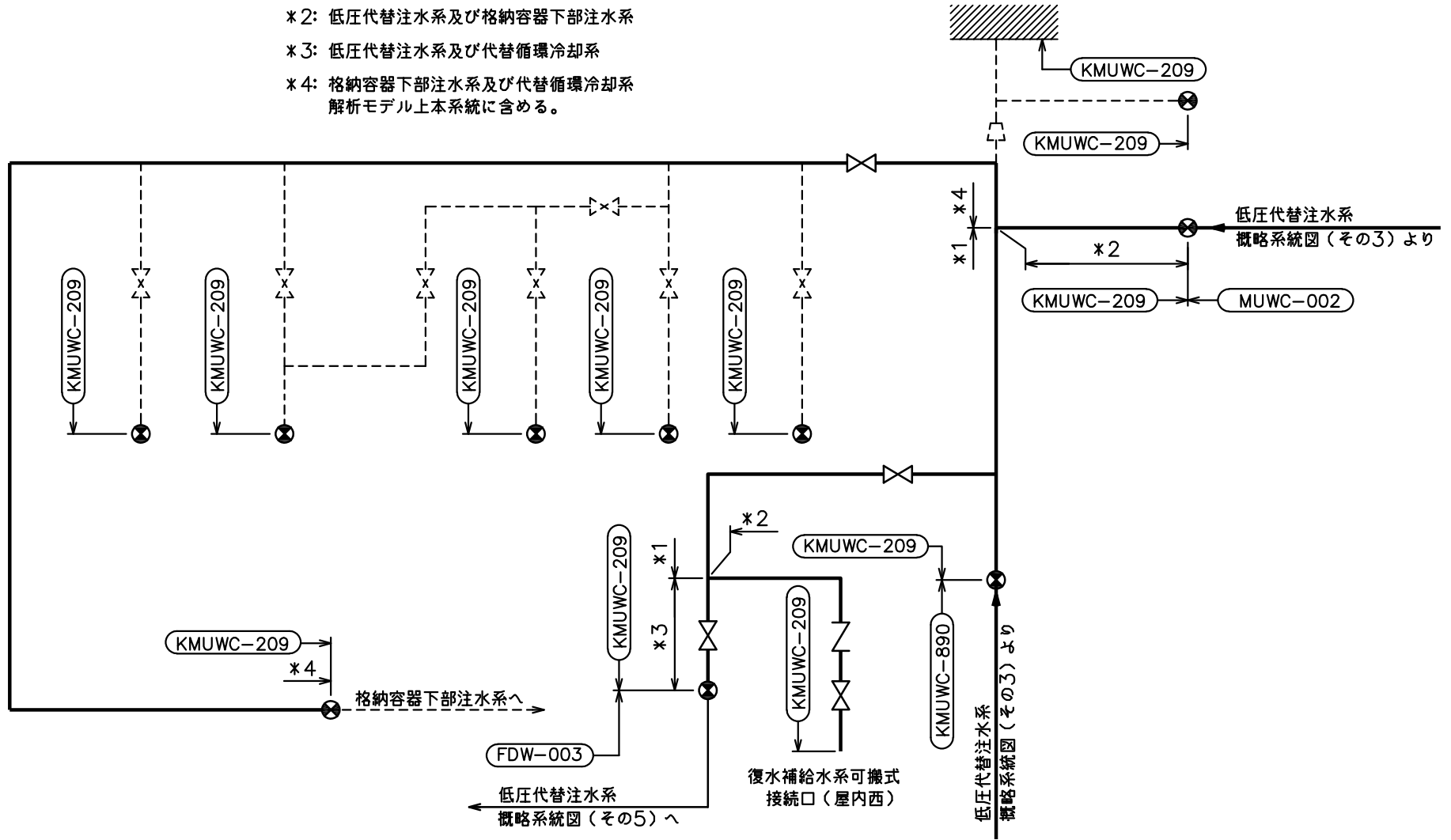


- 注記 *1: 低压代替注水系, 格納容器下部注水系及び代替循環冷却系
 *2: 低压代替注水系及び格納容器下部注水系
 *3: 低压代替注水系及び代替循環冷却系

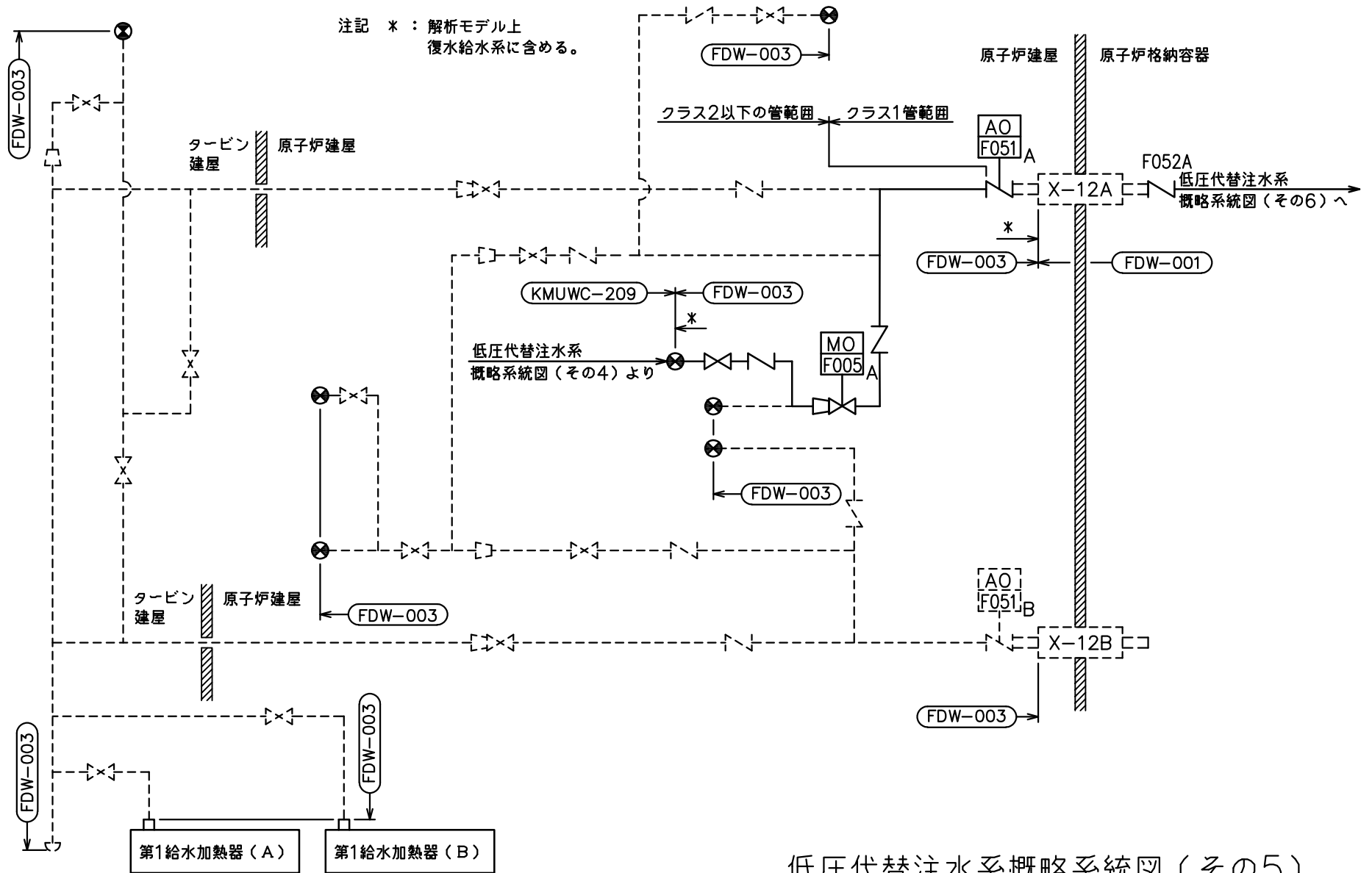


低压代替注水系概略系統図 (その3)

- 注記 *1: 低圧代替注水系, 格納容器下部注水系及び代替循環冷却系
 *2: 低圧代替注水系及び格納容器下部注水系
 *3: 低圧代替注水系及び代替循環冷却系
 *4: 格納容器下部注水系及び代替循環冷却系
 解析モデル上本系統に含める。

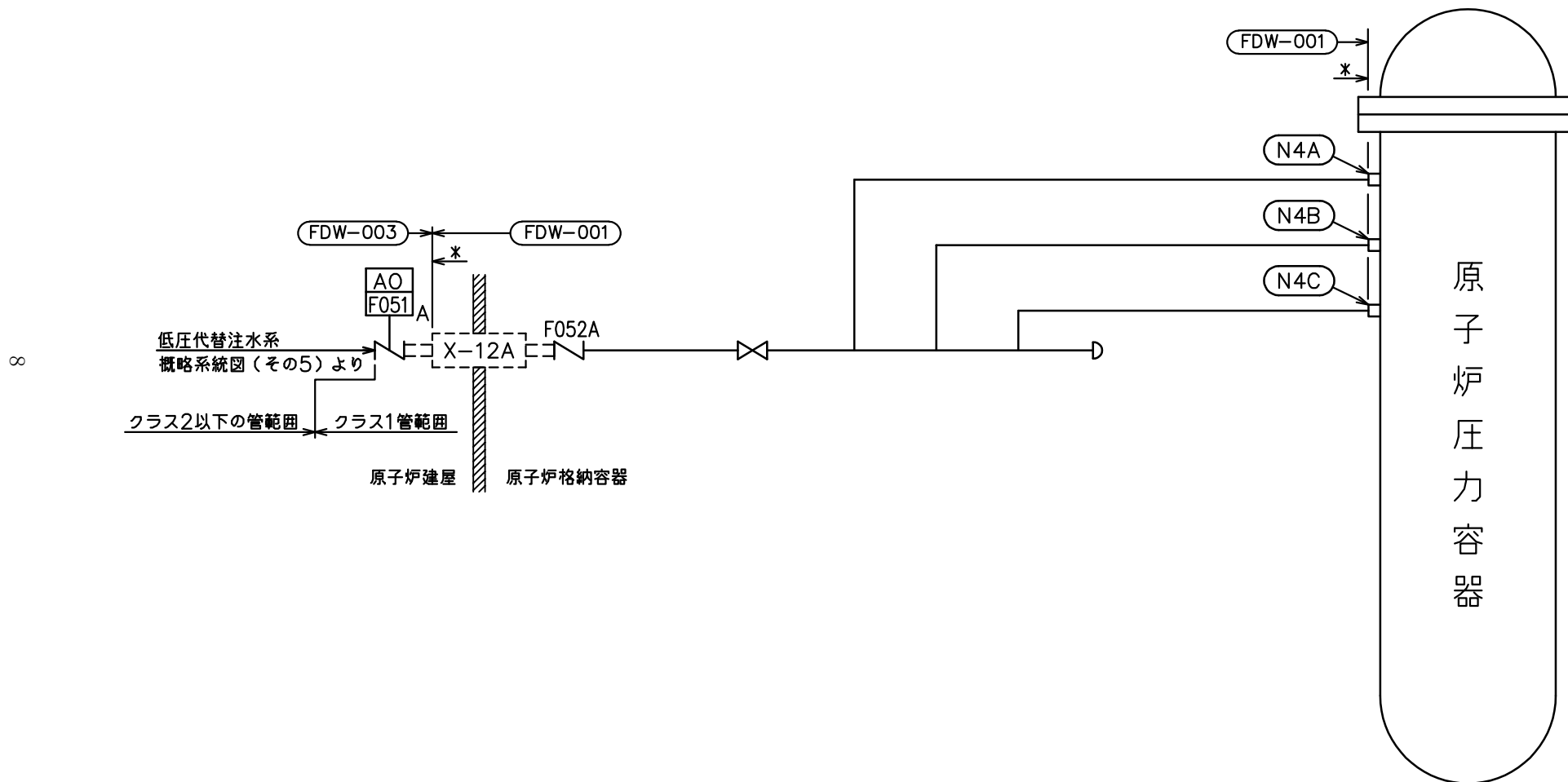


低圧代替注水系概略系統図(その4)



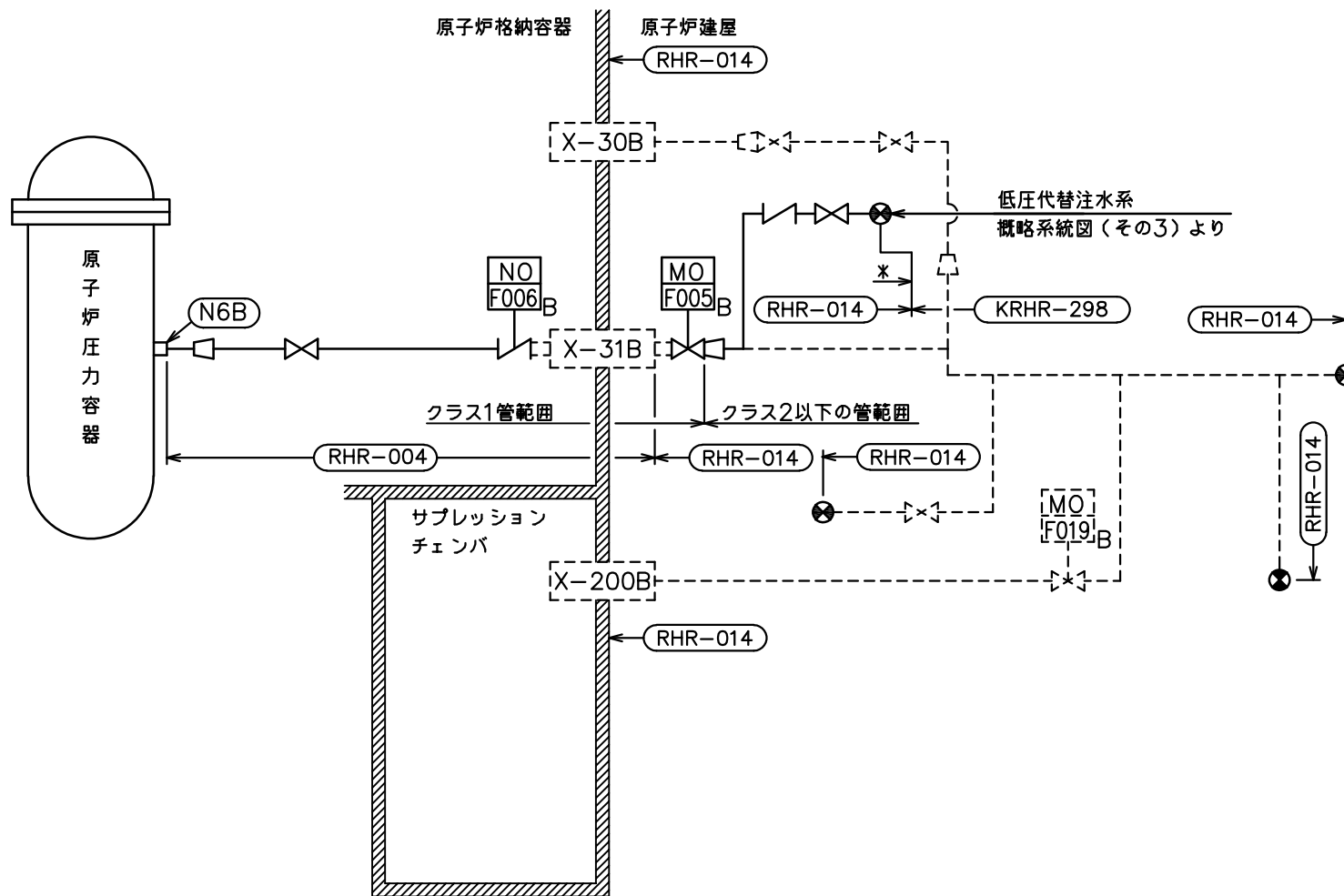
低压代替注水系概略系統図(その5)

注記 * : 解析モデル上
復水給水系に含める。



低圧代替注水系概略系統図(その6)


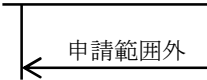
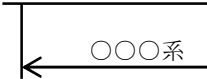


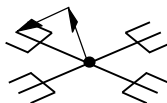
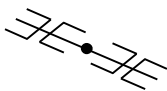

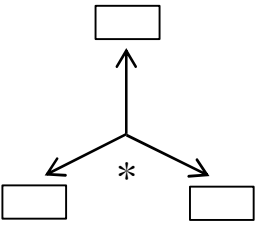
注記 * :解析モデル上
残留熱除去系に含める。

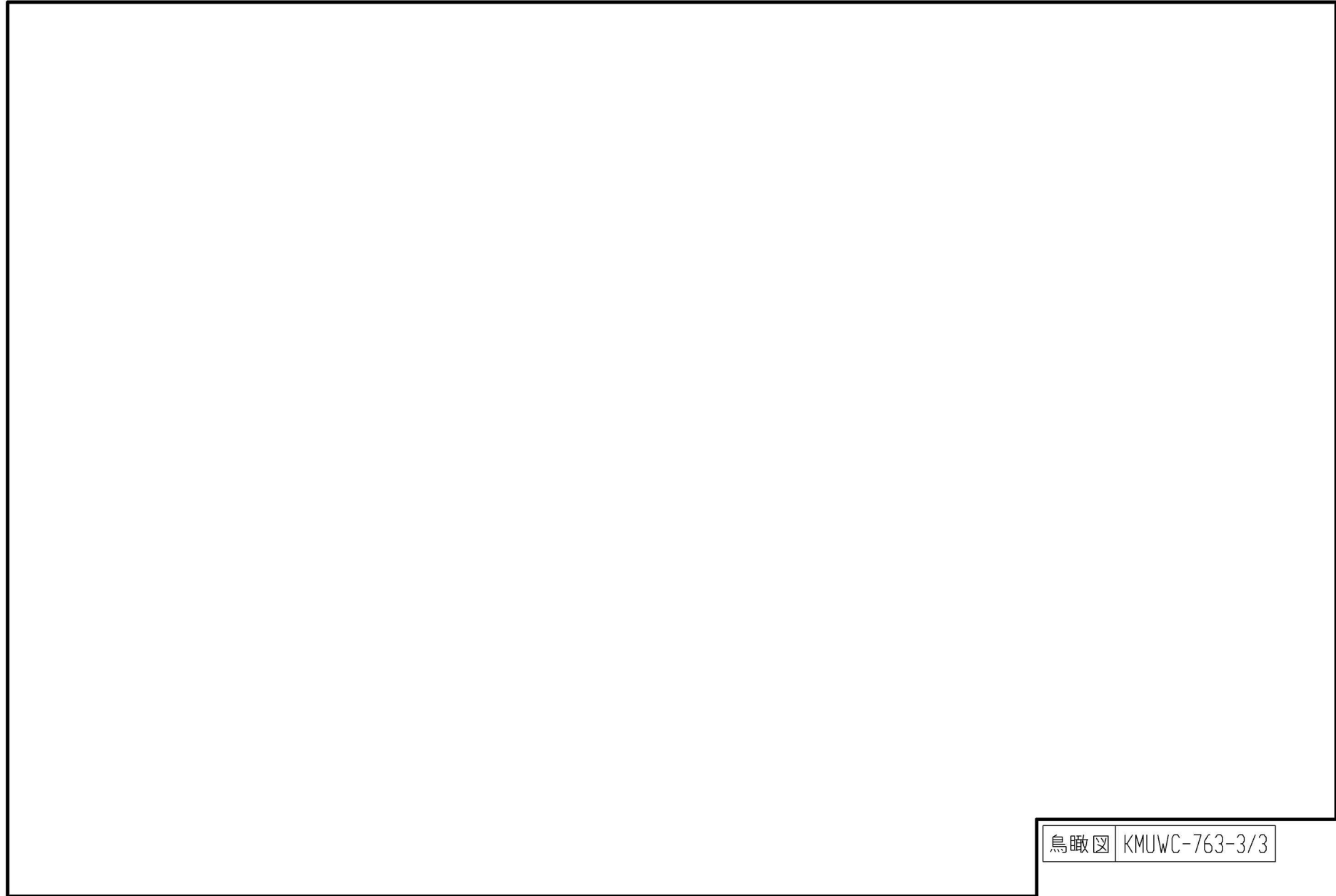


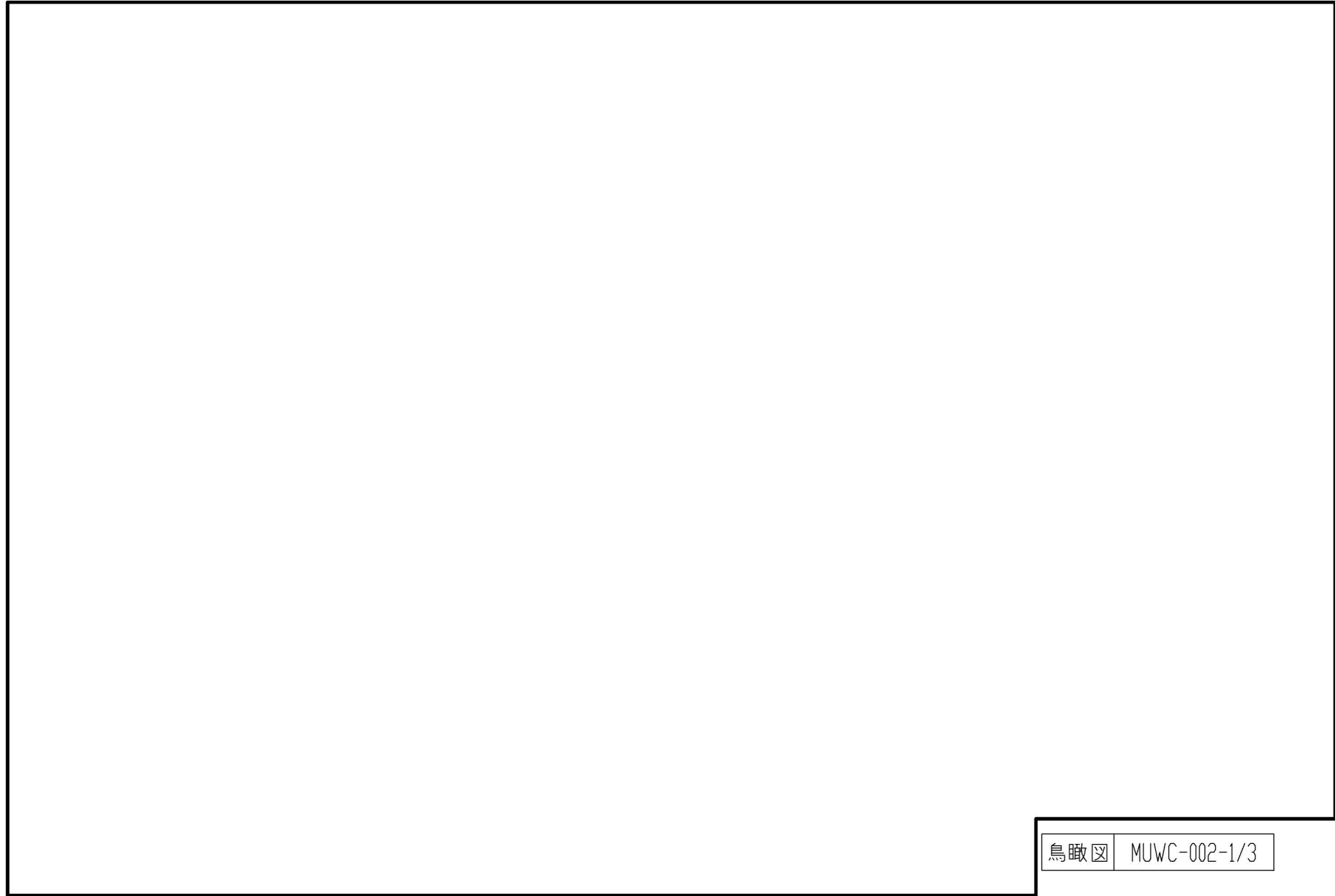
低圧代替注水系概略系統図 (その7)

2.2 鳥瞰図

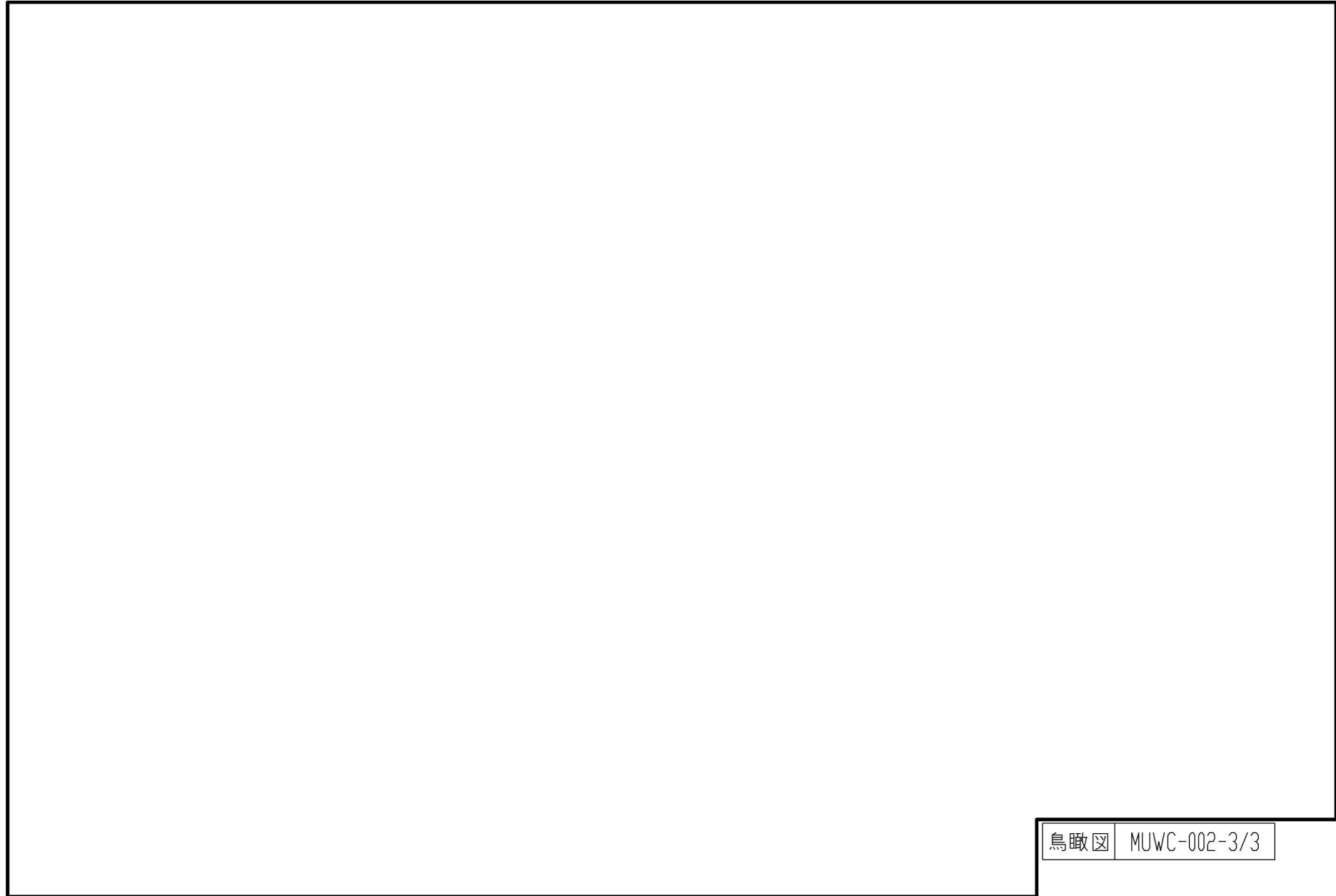
鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>





15



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
							$V_L(L) + S_d$	
							$V_L(LL) + S_s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	低圧代替注水系	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
							$V_L(L) + S_d$	
							$V_L(LL) + S_s$	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	格納容器 下部注水系	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	代替循環冷却系	S A	常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	代替格納容器 スプレイ冷却系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	-	$V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期間荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し，許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.70	85	267.4	9.3	STPT370	—	199200
2	1.70	85	267.4	9.3	STPT370	—	199200
3	1.70	85	216.3	8.2	STPT370	—	199200

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23							
2	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	901	
3	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
	65	66	68	801	802	968									

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 3

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		16		31		46		61	
2		17		32		47		62	
3		18		33		48		63	
4		19		34		49		64	
5		20		35		50		65	
6		21		36		51		66	
7		22		37		52		68	
8		23		38		53		801	
9		24		39		54		802	
10		25		40		55		901	
11		26		41		56		968	
12		27		42		57			
13		28		43		58			
14		29		44		59			
15		30		45		60			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
10						
12						
14						
16						
18						
26						
28						
31						
34						
37						
42						
47						
57						
63						
65						
901						
968						

K6 ① VI-2-5-4-4-1 (重) R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MUWC - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2.00	66	165.2	7.1	STPT370	—	200360

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 MUWC - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17
	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
	94	98	103	106	108	900									

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 MUWC-002

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		28		46		64		82	
2		29		47		65		83	
3		30		48		66		84	
6		31		49		67		85	
8		32		50		68		86	
9		33		51		69		87	
10		34		52		70		88	
11		35		53		71		89	
12		36		54		72		90	
16		37		55		73		91	
17		38		56		74		92	
18		39		57		75		93	
19		40		58		76		94	
20		41		59		77		98	
24		42		60		78		103	
25		43		61		79		106	
26		44		62		80		108	
27		45		63		81		900	

鳥 瞰 図 MUWC-002

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		13		21	
5		14		22	
7		15		23	
127					
128					

鳥 瞰 図 MUWC-002

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	5			
弁2	14			
弁3	22			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MUWC-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
6						
25						
31						
34						
40						
47						
52						
55						
58						
64						
66						
68						
75						
78						
81						
87						
90						
98						
103						
106						
108						
900						

K6 ① VI-2-5-4-4-1 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT370	66	—	199	360	—
	85	—	191	354	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
KMUWC-763	タービン建屋		
	廃棄物処理建屋		
MUWC-002	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KMUWC-763

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
26 次				
27 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 KMUWC-763

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
26 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

36

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MUWC-002

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
29 次				
30 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MUWC-002

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
29 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

40

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
KMUWC- 763	$V_A S$	58	$S_{pr m}(S_s)$	187	318	—	—	—
	$V_A S$	23	$S_n(S_s)$	—	—	406	382	0.4189

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
MUWC- 002	V _A S	900	$S_{pr m}(S_s)$	226	324	—	—	—
	V _A S	900	$S_n(S_s)$	—	—	398	398	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
MUWC-002-098B	ロッドレストレイント	RST-S2	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		6	20

45

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
KMUWC-201-001A	アンカ	ラグ	SGV410	85	33	26	168	49	70	5	曲げ	211	473
KMUWC-763-901R	レストレイント	架構	STKR400	66	0	4	122	—	—	—	組合せ	130	259

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	KMUWC-201	58	134	318	2.37	—	1	379	382	1.00	—	—	—	—
2	KMUWC-209	178	148	318	2.14	—	194	274	382	1.39	—	—	—	—
3	KMUWC-763	58	187	318	1.70	—	23	406	382	0.94	○	23	0.4189	○
4	KMUWC-890	40	101	318	3.14	—	40	190	382	2.01	—	—	—	—
5	KMUWC-892	901	31	324	10.45	—	901	24	398	16.58	—	—	—	—
6	KMUWC-893	9	40	324	8.10	—	9	42	398	9.47	—	—	—	—
7	KRHR-298	76	95	318	3.34	—	76	150	382	2.54	—	—	—	—

(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 労 累 積 係 数	代 表
8	MUWC-001	16	69	324	4.69	—	16	91	398	4.37	—	—	—	—
9	MUWC-002	900	226	324	1.43	○	900	398	398	1.00	—	—	—	—
10	MUWC-003	9	97	324	3.34	—	9	149	398	2.67	—	—	—	—

VI-2-5-4-5 水の供給設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-5-1 管の耐震性についての計算書

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	18
3.1 計算方法	18
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	19
3.3 設計条件	20
3.4 材料及び許容応力	29
3.5 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	31
4.1 固有周期及び設計震度	31
4.2 評価結果	37
4.2.1 管の応力評価結果	37
4.2.2 支持構造物評価結果	38
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	39
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	40

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、水の供給設備の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。


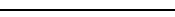
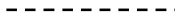


(3) 弁

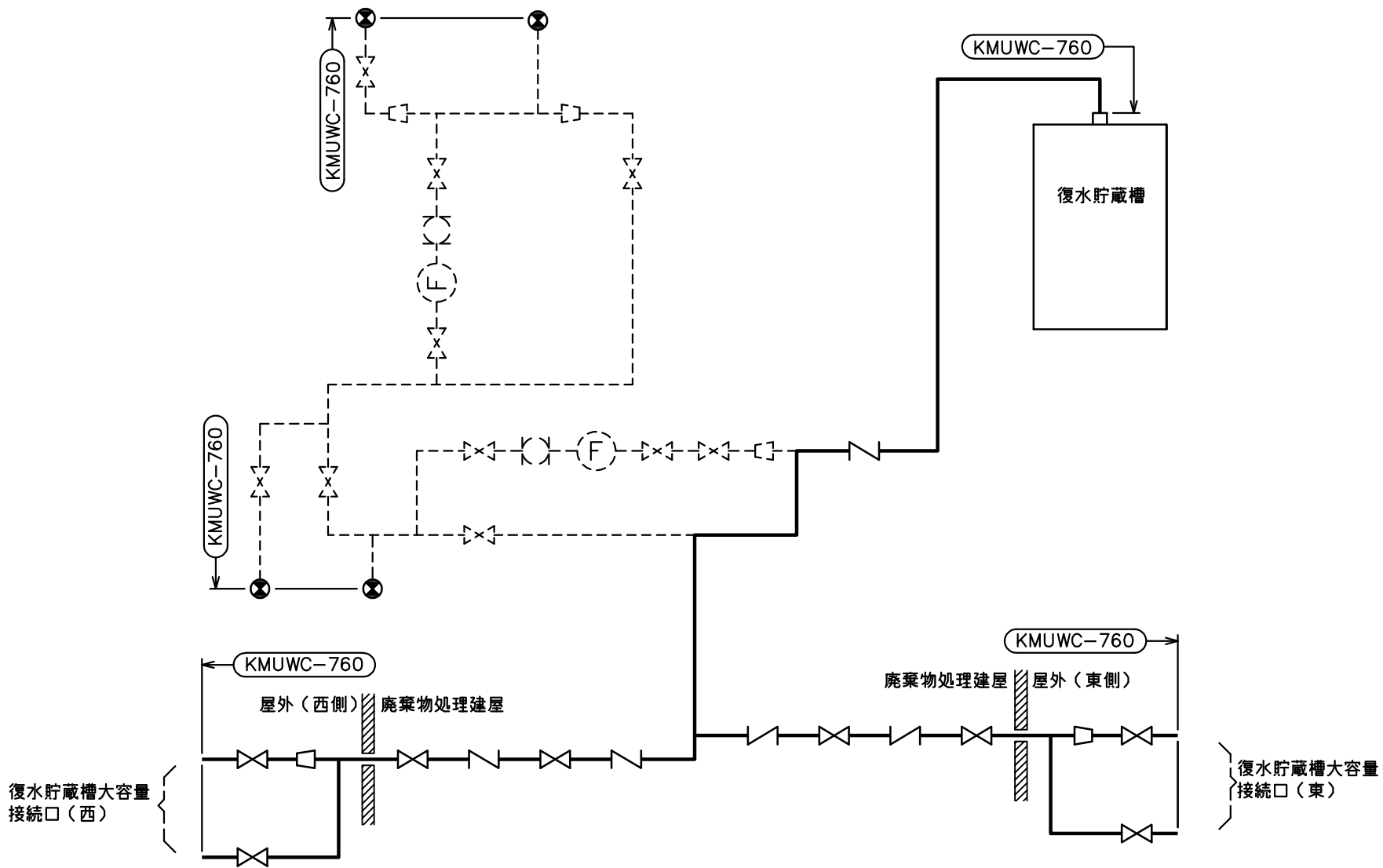
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


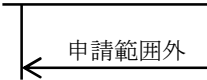
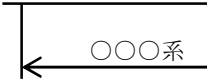


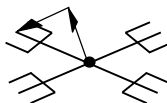
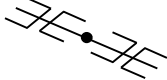

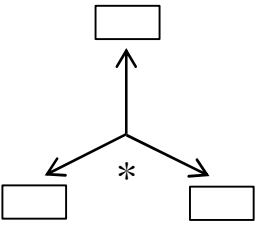
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



水の供給設備概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

5

9

7

8

6

10

15

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3	許容応力状態*4
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	水の供給設備	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}

注記*1：D Bは設計基準対象施設，S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態V_{A S}は許容応力状態IV_{A S}の許容限界を使用し，許容応力状態IV_{A S}として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 0

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	静水頭	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720
2	2.00	66	76.3	5.2	SUS304TP	—	191720
3	2.00	66	165.2	7.1	SUS304TP	—	191720

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 0

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	38	39	40	41	42	62	64	65	66	161	162	322	323	325	326
	327	328	330	331	332	333	334	335	336	477	478	480	481	482	539
	903	904													
2	169	170	171	173	174	175	177	337	338	339	340	341	343	344	345
	346	348	483	484	485	486	488	489	490	491	492	493	494	495	497
	498	499	500	501											
3	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204
	205	206	207	208	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
	221	222	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236
	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251
	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266
	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281
	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296
	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311
	312	313	314	315	316	317	318	319	320	346	347	348	349	350	351
	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366
	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381
	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396
	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411
	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426
427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	439	440	441	442	
443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	457	458	
459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	
474	475	815	816	817	818	819	820								

K6 ① VI-2-5-4-5-1 (重) R0

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 0

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
38		232		295		368		431	
39		233		296		369		432	
40		234		297		370		433	
41		235		298		371		434	
42		236		299		372		435	
65		237		300		373		436	
66		238		301		374		440	
161		239		302		375		441	
162		240		303		376		442	
169		241		304		377		443	
170		242		305		378		444	
174		243		306		379		445	
175		244		307		380		446	
176		245		308		381		447	
177		246		309		382		448	
178		247		310		383		449	
179		248		311		384		450	
180		249		312		385		451	
181		250		313		386		452	
182		251		314		387		453	
183		252		315		388		454	
184		253		316		389		458	
185		254		317		390		459	
186		255		318		391		460	
187		256		319		392		461	
188		257		326		393		462	
189		258		327		394		463	
190		259		328		395		464	
191		260		330		396		465	
192		261		331		397		466	
193		262		332		398		467	
194		263		333		399		468	
195		264		334		400		469	
196		265		335		401		470	
197		266		336		402		471	
198		267		337		403		472	
199		268		338		404		473	
200		269		339		405		474	
201		270		340		406		481	
202		271		344		407		482	
203		272		345		408		483	
204		273		346		409		484	
205		274		347		410		485	
206		275		348		411		489	
207		276		349		412		490	
211		277		350		413		491	
212		278		351		414		492	
213		279		352		415		493	
214		280		353		416		494	
215		281		354		417		498	

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 0

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
216		282		355		418		499	
217		283		356		419		500	
218		284		357		420		501	
219		285		358		421		539	
220		286		359		422		815	
221		287		360		423		816	
225		288		361		424		817	
226		289		362		425		818	
227		290		363		426		819	
228		291		364		427		820	
229		292		365		428		903	
230		293		366		429		904	
231		294		367		430			

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 0

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
62		171		208		222		320	
63		172		209		223		321	
64		173		210		224		322	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 1 0	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
323		341		437		455		475	
324		342		438		456		476	
325		343		439		457		477	

弁 1 1		弁 1 2		弁 1 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
478		488		495	
479		487		496	
480		486		497	

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 6 0

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	63			
弁2	172			
弁3	209			
弁4	223			
弁5	321			
弁6	324			
弁7	342			
弁8	438			
弁9	456			
弁10	476			
弁11	479			
弁12	487			
弁13	496			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 0

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
39						
170						
181						
183						
186						
188						
190						
192						
201						
203						
205						
211						
214						
216						
219						
225						
236						
239						
244						
246						
251						
253						
255						
257						
259						
261						
** 261 **						
263						
266						
271						
276						
279						
281						
286						
293						
** 293 **						
295						
297						

K6 ① VI-2-5-4-5-1 (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 0

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
304						
306						
308						
** 308 **						
314						
317						
319						
** 319 **						
326						
340						
344						
350						
353						
356						
359						
364						
367						
370						
372						
374						
376						
379						
382						
384						
387						
392						
395						
398						
400						
403						
408						
411						
415						
420						
425						
427						
432						
434						

K6 ① VI-2-5-4-5-1 (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 0

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
440						
447						
450						
458						
460						
467						
472						
474						
481						
489						
494						
498						
903						
904						

--

K6 ① VI-2-5-4-5-1 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
KMUWC-760	廃棄物処理建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KMUWC-760

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
60 次				
61 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 6 0

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
60 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

34

鳥瞰図 KMUWC-760

代表的振動モード図(2次)

35

鳥瞰図 KMUWC-760

代表的振動モード図(3次)

36

鳥瞰図 KMUWC-760

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
KMUWC- 760	$V_A S$	175	$S_{pr m}(S_s)$	97	431	—	—	—
	$V_A S$	175	$S_n(S_s)$	—	—	184	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

38

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
KMUWC-760-261R	レストレイント	ラグ	SUS304	66	29	5	6	—	—	—	曲げ	118	410

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	KMUWC-760	175	97	431	4.44	○	175	184	376	2.04	○	—	—	—

VI-2-5-5 原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1 補給水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1-1 復水移送ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	8
4.1 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、復水移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

復水移送ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、復水移送ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

復水移送ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>770 ポンプ取付ボルト ポンプ (軸端) 原動機取付ボルト 原動機 基礎ボルト</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

復水移送ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

復水移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

復水移送ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

復水移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【復水移送ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水 設備	復水移送ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	原子炉格納容 器安全設備 格納容器下部 注水系	復水移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
	原子炉格納容 器安全設備 代替格納容器 スプレイ冷却 系	復水移送ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

(続き)

原子炉格納 施設	原子炉格納容 器安全設備 代替循環冷却 系	復水移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
	原子炉格納容 器安全設備 低圧代替注水 系	復水移送ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1:「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

の 注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	85			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	66			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

復水移送ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

復水移送ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

復水移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【復水移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備
1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
復水移送ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建屋 T. M. S. L. -6.1*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.38	C _V =1.25		85	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

- 1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f_i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸	—

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し, 下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=155$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=179^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=138$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=18$	$f_{ts3}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=9$	$f_{sb3}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

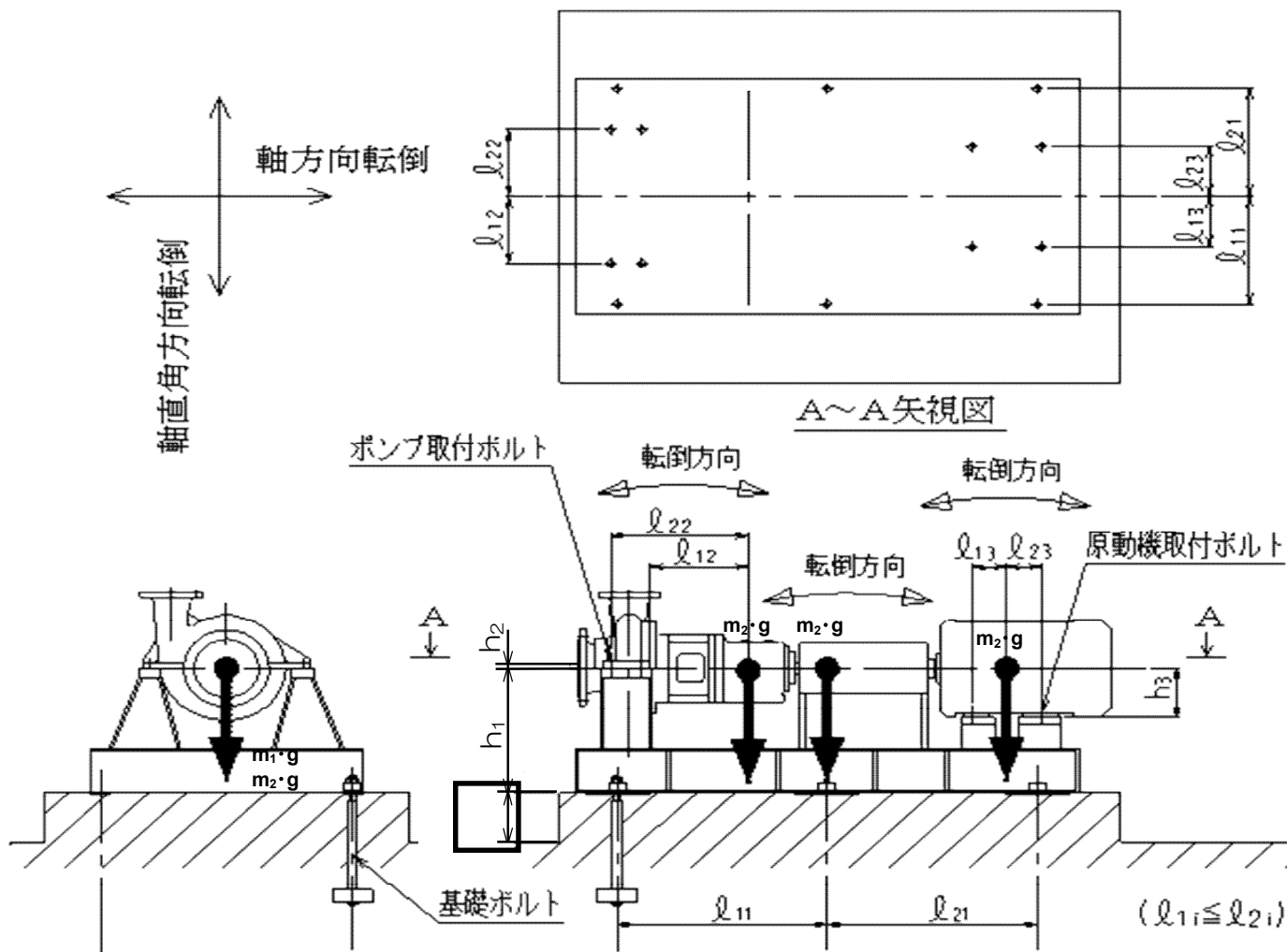
1.4.2 動的機能の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.89	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	0.89	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：基準地震動S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-5-1-2 復水貯蔵槽の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 応力解析による評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	10
3.2.1 荷重	10
3.2.2 荷重の組合せ	16
3.3 許容限界	17
3.4 解析モデル及び諸元	18
3.4.1 モデル化の基本方針	18
3.4.2 解析諸元	21
3.5 評価方法	22
3.5.1 応力解析方法	22
3.5.2 断面の評価方法	25
4. 応力解析による評価結果	27

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、復水貯蔵槽の地震時の構造強度の確認について説明するものであり、その評価は、応力解析による評価により行う。

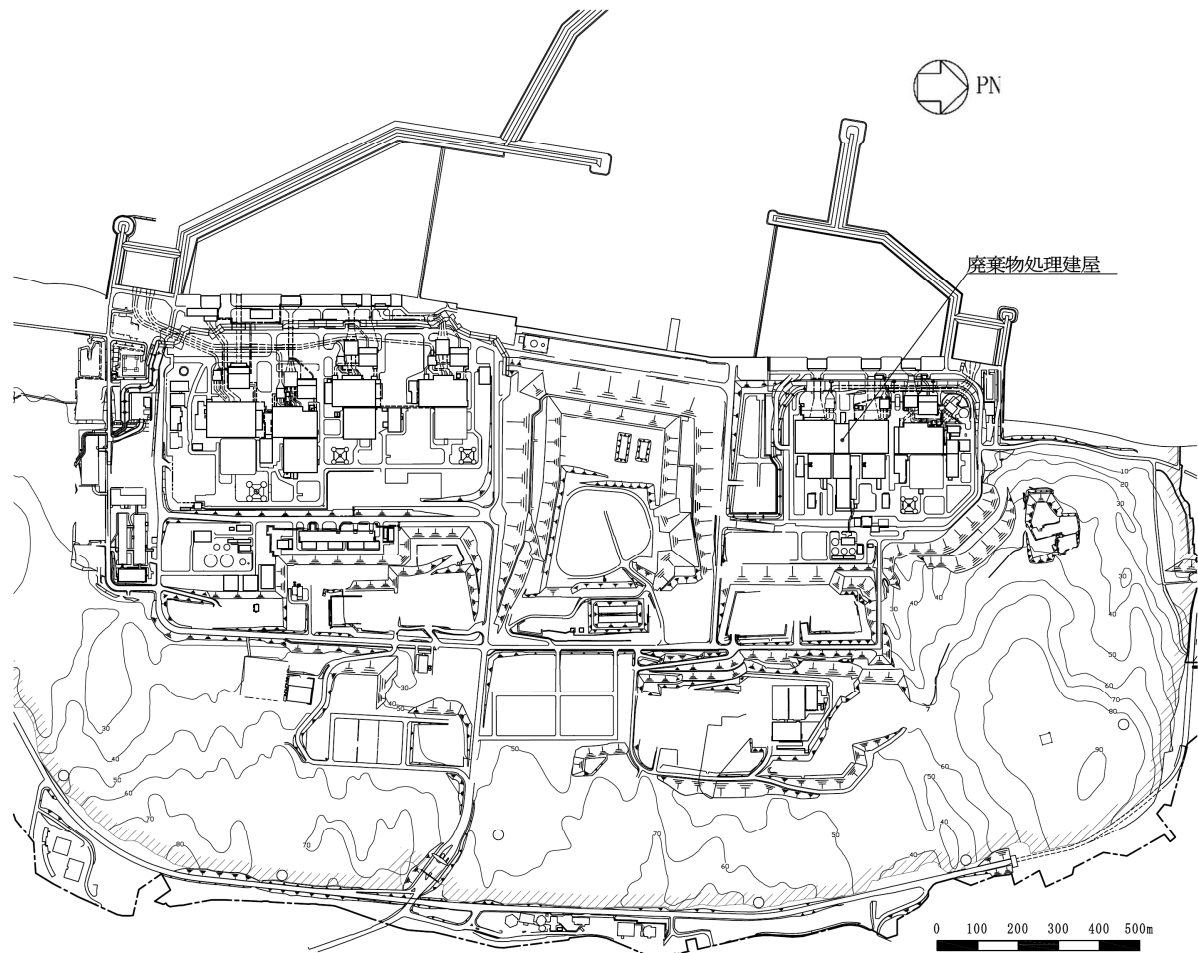
復水貯蔵槽は、設計基準対象施設においては「Bクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

復水貯蔵槽は廃棄物処理建屋の一部を構成している。復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋の設置位置を図 2-1 に示す。



K6 ① VI-2-5-5-1-2 R0

図 2-1 復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋の設置位置

2.2 構造概要

復水貯蔵槽は、廃棄物処理建屋の T.M.S.L.*-1.1m～T.M.S.L.16.1m に位置し、鉄筋コンクリート造により主要構造体を構成する。復水貯蔵槽底面及び壁面はステンレス鋼でライニングされており（以下「鋼製ライナ」という。）、鋼製ライナは耐漏洩機能を、鉄筋コンクリート部分は支持機能を有する。内包寸法は、11.85m（NS 方向）×11.50m（EW 方向）であり、廃棄物処理建屋と床スラブ及び壁を介して接続している。復水貯蔵槽を構成する壁の厚さは 0.9m～1.6m、底面スラブの厚さは 1.5m である。

復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

注記*：東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

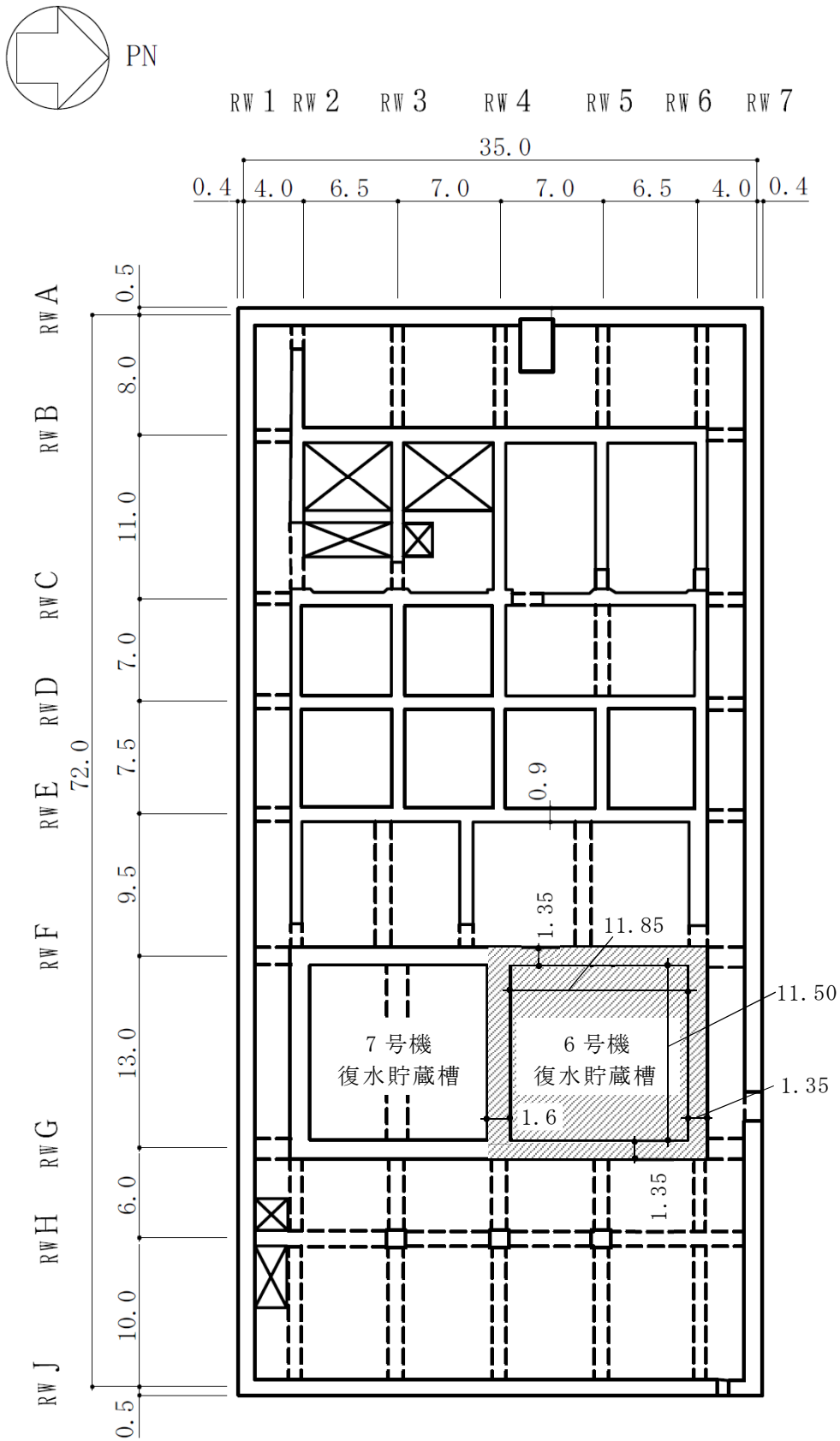


図 2-2 復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋の概略平面図
(B2F, T. M. S. L. -1.1m) (単位 : m)

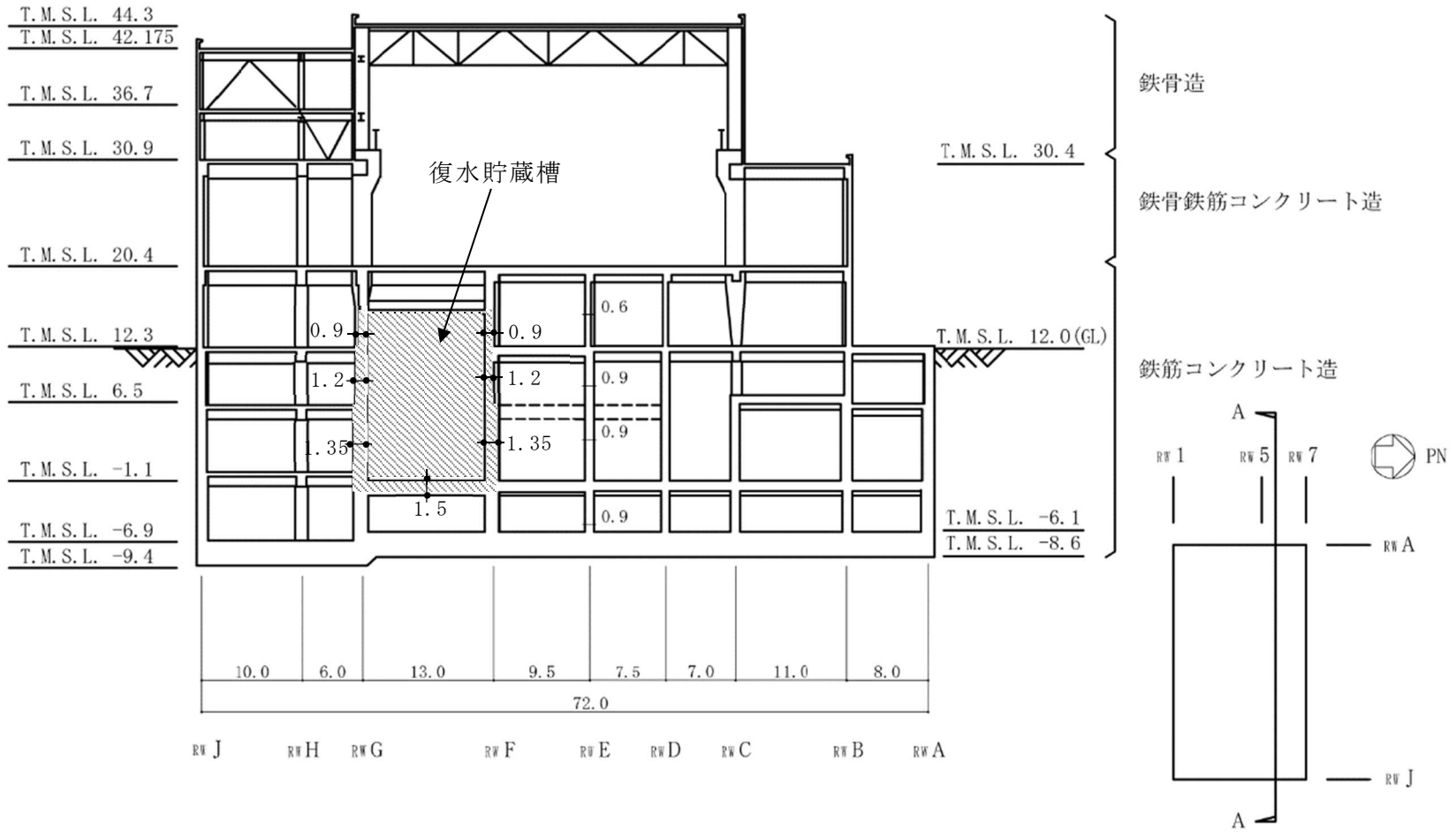


図 2-3 復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋の概略断面図 (単位 : m)

2.3 評価方針

復水貯蔵槽は、設計基準対象施設においては「Bクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

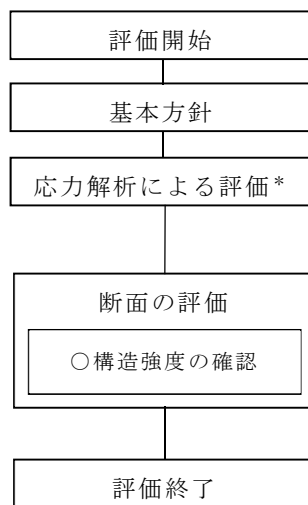
復水貯蔵槽の重大事故等対処施設の評価においては、基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対する評価を行うこととし、評価はVI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。復水貯蔵槽の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、復水貯蔵槽の地震時の構造強度の確認を行う。評価にあたっては、VI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。なお、復水貯蔵槽の地震時の構造強度の確認には、地震応答解析による評価においてせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価が必要であるが、復水貯蔵槽が廃棄物処理建屋の一部であることを踏まえ、復水貯蔵槽を含む廃棄物処理建屋全体としての評価結果をVI-2-2-12「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」に示すこととする。

なお、復水貯蔵槽の「Bクラスの施設」としての分類に応じた静的地震力に対する評価については、平成4年10月13日付け4資庁第8732号にて認可された工事計画の添付書類IV-2-2-2「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）による。

図2-4に復水貯蔵槽の評価フローを示す。

表2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース1 (設工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	標準地盤	基本ケース
②ケース2 (建屋剛性+ σ 及び地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (46.0N/mm ²)	標準地盤+ σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%及び 西山層+10%)	—
③ケース3 (建屋剛性- σ 及び地盤剛性- σ)	実強度- σ (40.2N/mm ²)	標準地盤- σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%及び 西山層-10%)	—
④ケース4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	標準地盤	—
⑤ケース5 (建屋剛性-2 σ)	実強度-2 σ (37.2N/mm ²)	標準地盤	—



注記*：VI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 復水貯蔵槽の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，1999改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005制定）（以下「RC-N規準」という。）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）
- ・ 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（（社）日本電気協会）

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

復水貯蔵槽の応力解析による評価対象部位は、復水貯蔵槽を構成する壁及び底面スラブとし、S s地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S s地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析にあたっては、VI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」及び既工認による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。また、断面の評価については、材料物性の不確かさを考慮する。図3-1に応力解析による評価フローを示す。

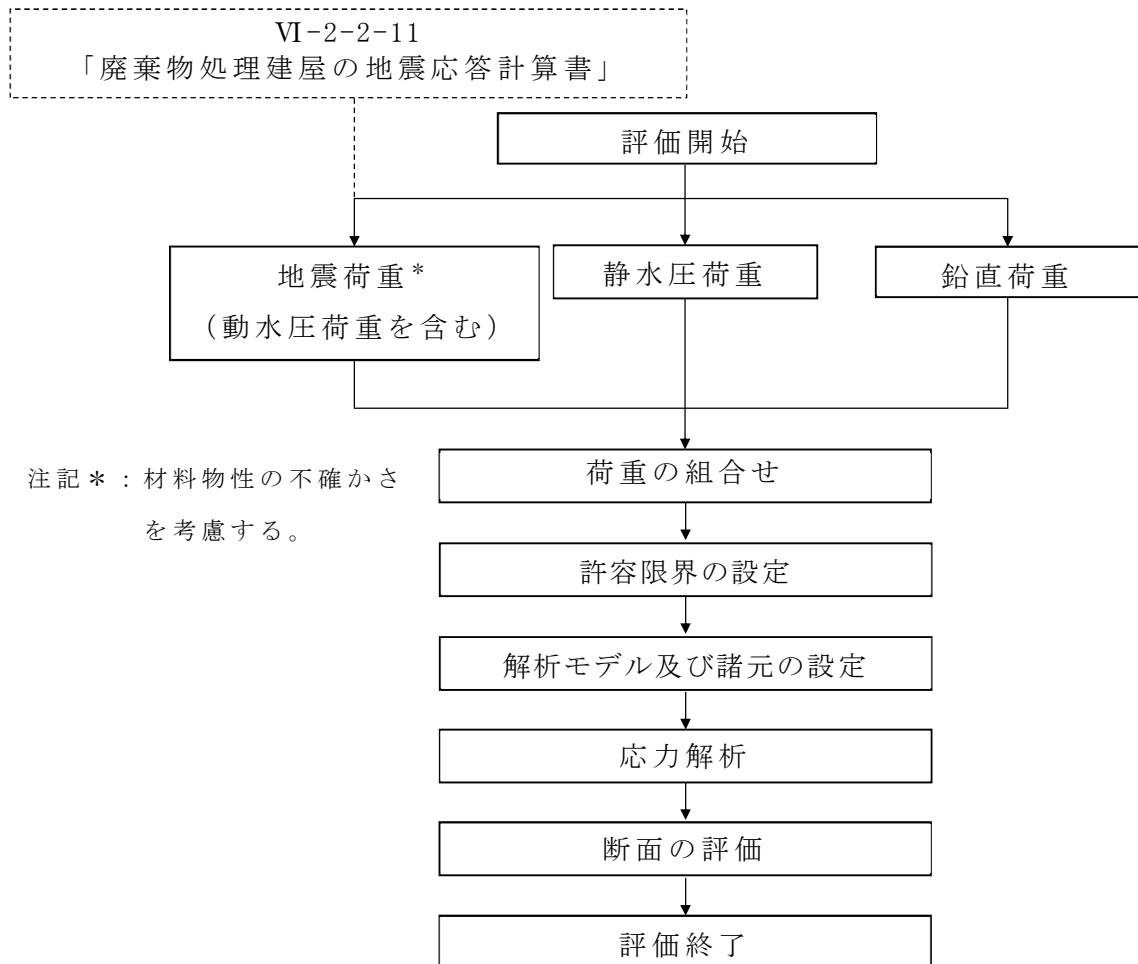


図3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 鉛直荷重 (V L)

鉛直荷重として、固定荷重、機器荷重、配管荷重、積載荷重及び積雪荷重を、既工認に基づき考慮する。なお、積雪量は 170cm とし、地震荷重と組み合わせるため、その 0.35 倍の積雪荷重を考慮する。

(2) 地震荷重

a. S s 地震荷重 (S s)

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び鉛直震度より設定する。地震荷重を表 3-1 及び表 3-2 に示す。また、地震応答解析モデルを図 3-2 に示す。

表 3-1 水平地震荷重

(a) NS 方向 (最大応答せん断力)

部材 番号	($\times 10^3 \text{kN}$)
1	81.6
2	30.6
3	116
4	118
5	56.0
6	254
7	372
8	490
9	617

(b) EW 方向 (最大応答せん断力)

部材 番号	($\times 10^3 \text{kN}$)
1	84.6
2	6.19
3	109
4	122
5	26.5
6	266
7	424
8	592
9	778

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した値を示す。

(c) NS 方向 (最大応答曲げモーメント)

部材 番号	($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)
1	5.13 6.34
2	1.97 4.70
3	10.4 12.1
4	17.7 22.8
5	6.22 11.1
6	34.6 52.1
7	56.3 73.6
8	77.3 110
9	111 140

(d) EW 方向 (最大応答曲げモーメント)

部材 番号	($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)
1	5.98 7.16
2	6.16 6.21
3	7.67 10.3
4	11.5 18.4
5	6.43 6.53
6	41.1 58.0
7	67.0 85.0
8	93.7 129
9	137 169

注：表中の値は材料物性の不確かさを考慮した値を示す。

表 3-2 鉛直地震荷重

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
-1.1~16.1	0.97

注：復水貯蔵槽が位置する T. M. S. L. -1.1~T. M. S. L. 16.1 における鉛直震度の値は部材番号 8~6 の最大値を採用しており、この値は材料物性の不確かさを考慮した値である。

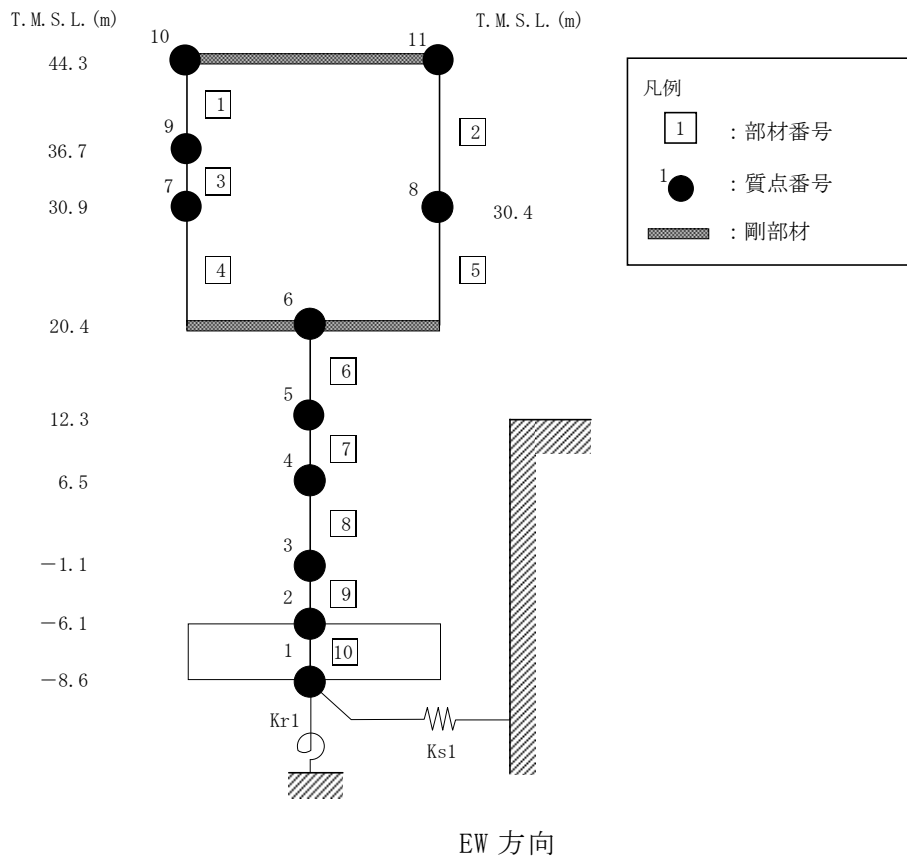
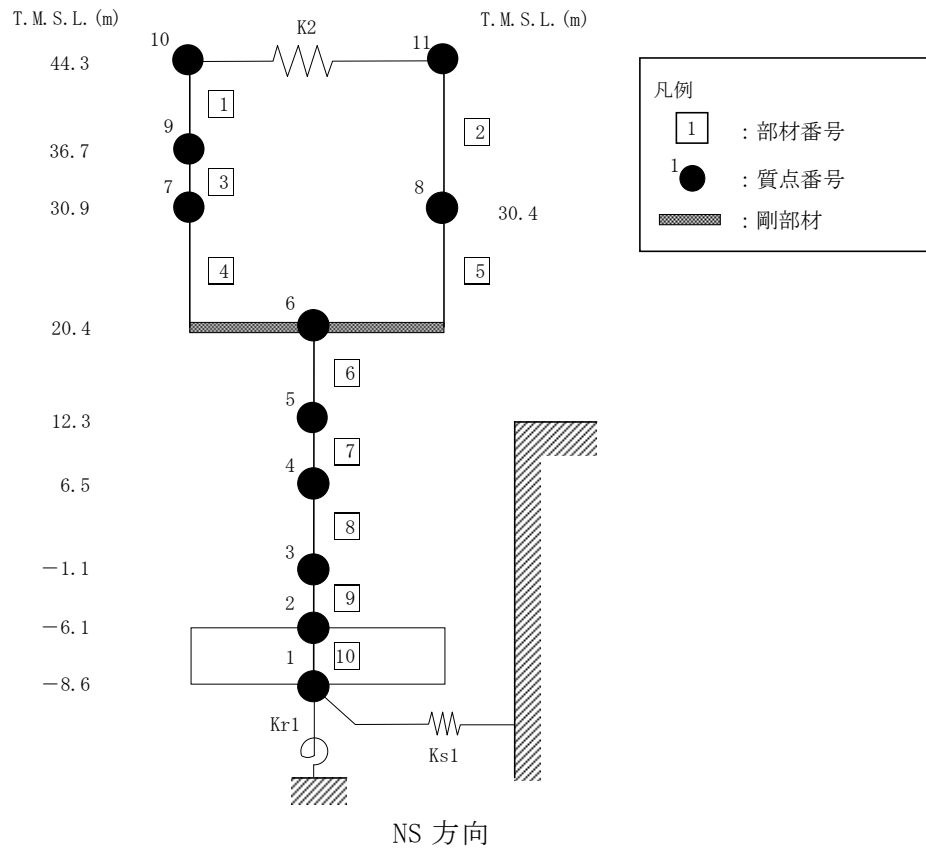


図 3-2 地震応答解析モデル (水平方向)

b. 動水圧荷重 (H d)

動水圧荷重は、「J E A G 4 6 0 1-1987」における Housner 理論に基づき、VI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す基準地震動 S_s による地震応答解析結果から衝撃圧及び揺動圧を算定する。動水圧荷重を図 3-3 に示す。

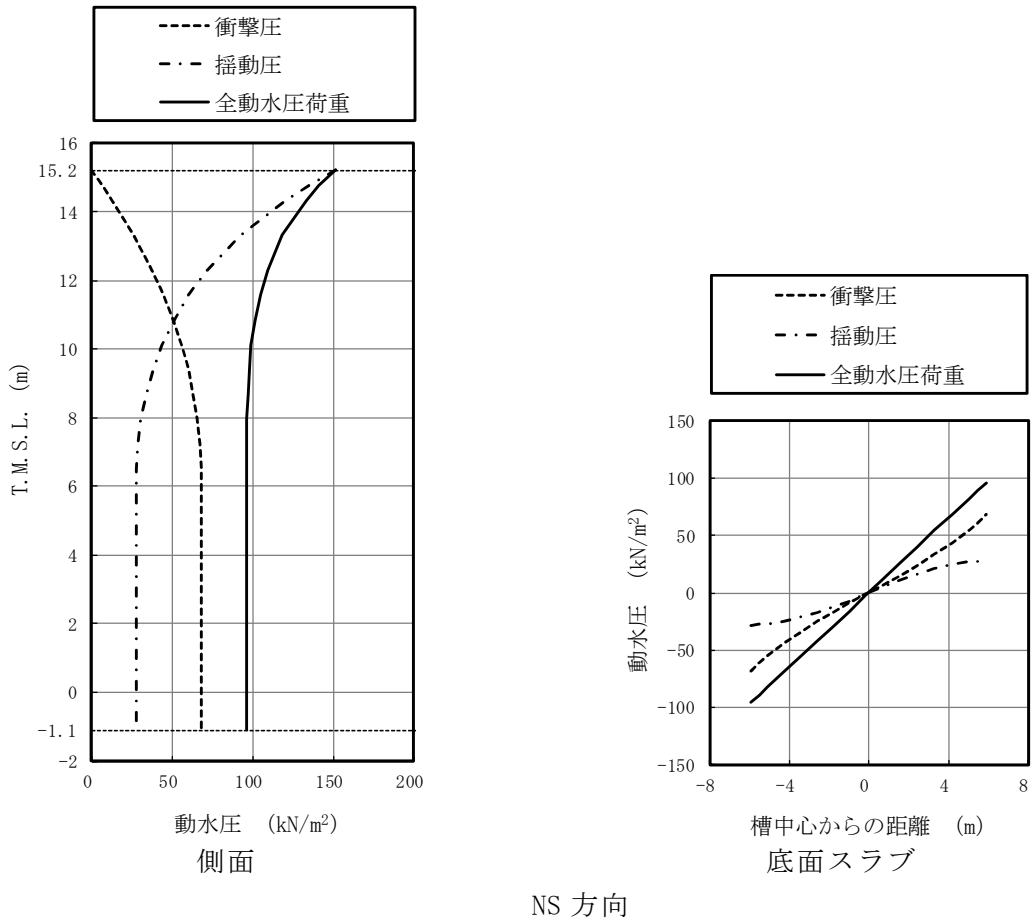
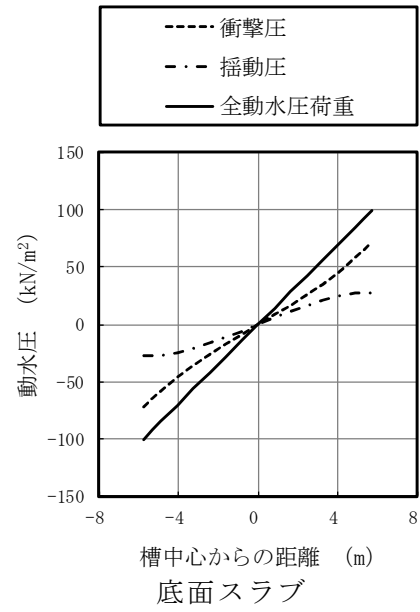
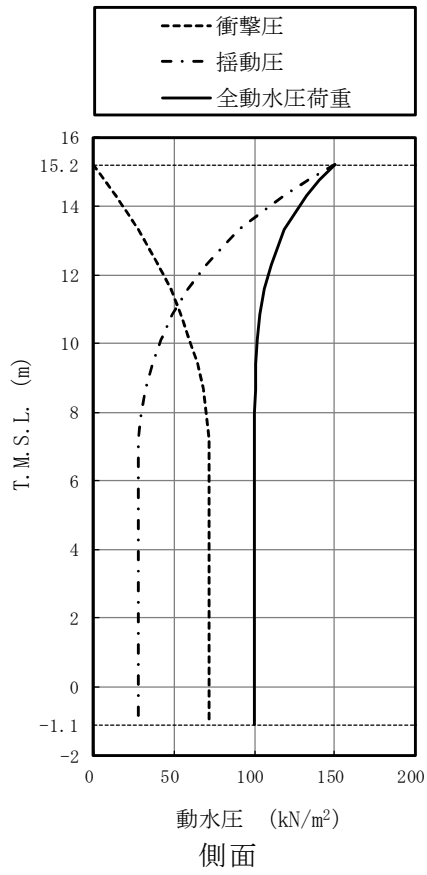


図 3-3 動水圧荷重 (1/2)



EW 方向

図 3-3 動水圧荷重 (2/2)

(3) 静水圧荷重 (H s)

静水圧荷重について、水位は T. M. S. L. 15.2m とし、図 3-4 のとおり設定する。
 底面スラブには T. M. S. L. -1.1m における静水圧荷重 176kN/m² を鉛直下方向に設定する。

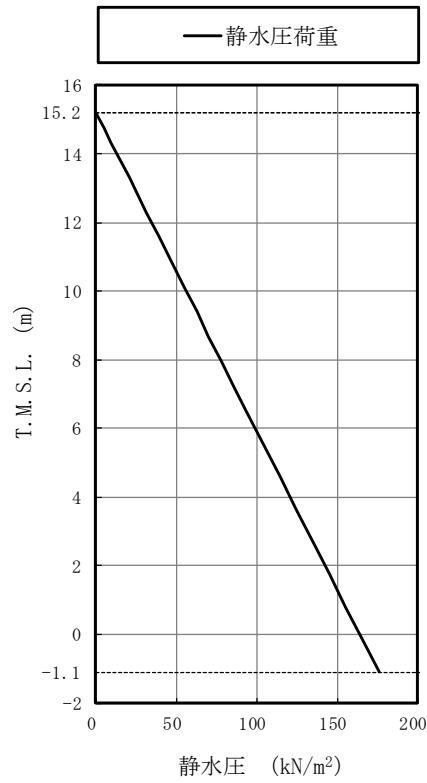


図 3-4 静水圧荷重

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	V L + S s + H s + H d

V L : 鉛直荷重

S s : S s 地震荷重

H s : 静水圧荷重

H d : 動水圧荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価における復水貯蔵槽の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限の方針に基づき、表3-4のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表3-5及び表3-6に示す。

表3-4 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	壁及び 底面スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」における短期許容応力度*

注記*：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

表3-5 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
32.3	21.5	1.21

表3-6 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	面外せん断補強
SD35 (SD345相当)	345	345

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

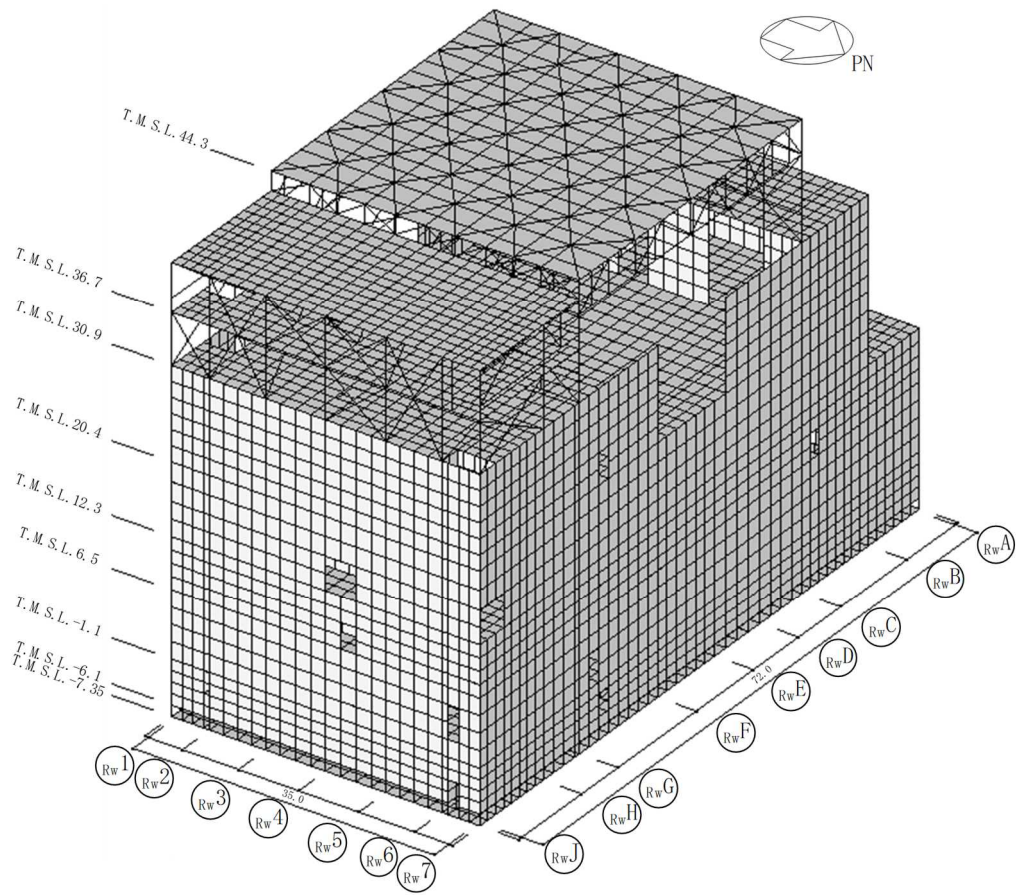
解析モデルは、復水貯蔵槽の周辺構造の剛性を考慮するために、廃棄物処理建屋全体をモデル化する。解析モデルを図 3-5 に示す。

(2) 使用要素

復水貯蔵槽を構成する壁及び底面スラブを含む建屋の壁及びスラブについてはシェル要素とし、柱及びはりはり要素とする。解析モデルの節点数は 15483、要素数は 22215 である。

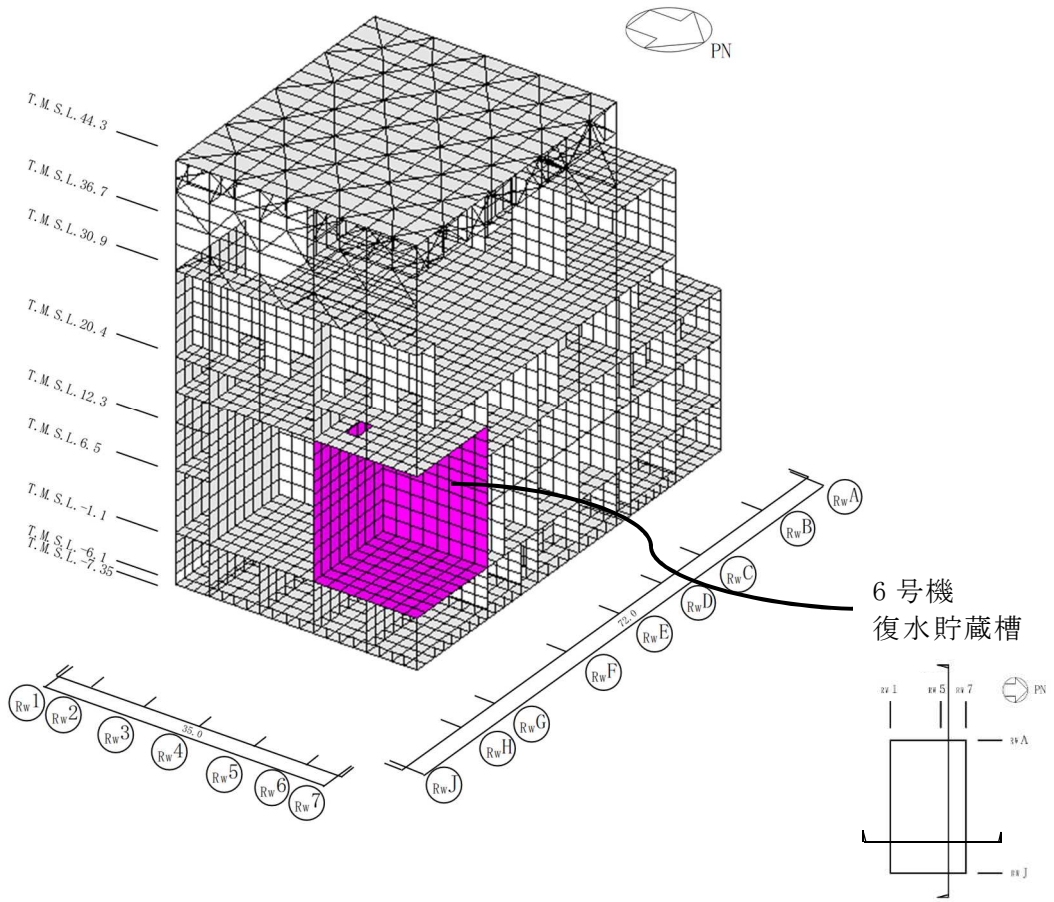
(3) 境界条件

復水貯蔵槽を内包する廃棄物処理建屋の基礎スラブ底面に、VI-2-2-11「廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

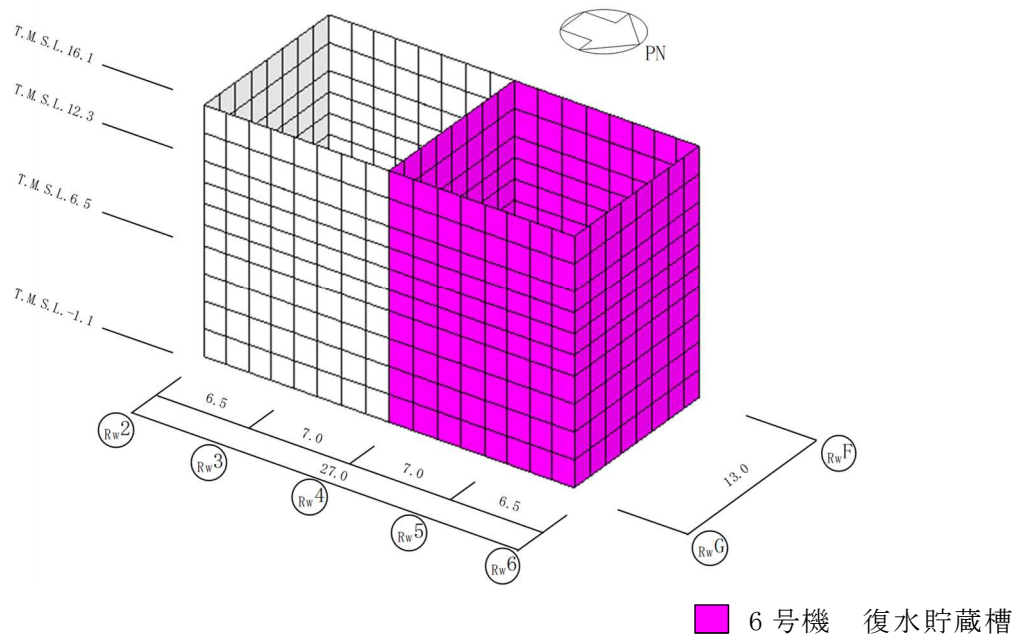


(a) 廃棄物処理建屋の全体鳥瞰図

図 3-5 解析モデル (1/2) (単位 : m)



(b) 廃棄物処理建屋の断面鳥瞰図



(c) 復水貯蔵槽部分の鳥瞰図

図 3-5 解析モデル (2/2) (単位 : m)

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7 コンクリートの物性値

諸元	物性値
ヤング係数 (N/mm ²)	2.88×10 ⁴ *
ポアソン比	0.2

注記*：剛性はコンクリートの実強度（43.1N/mm²）に基づく。

表 3-8 鉄筋の物性値

諸元	物性値
鋼材種	SD35 (SD345 相当)
ヤング係数 (N/mm ²)	2.05×10 ⁵

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

復水貯蔵槽について、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

V_L	: 鉛直荷重
$S_{S_{SN}}$: 水平地震荷重 (S→N 方向)
$S_{S_{NS}}$: 水平地震荷重 (N→S 方向)
$S_{S_{WE}}$: 水平地震荷重 (W→E 方向)
$S_{S_{EW}}$: 水平地震荷重 (E→W 方向)
K_v	: 鉛直震度
$H_{S_{SL}}$: 静水圧荷重 (スラブ)
$H_{S_{WA}}$: 静水圧荷重 (壁)
$H_{d_{SN}}$: 動水圧荷重 (S→N 方向)
$H_{d_{NS}}$: 動水圧荷重 (N→S 方向)
$H_{d_{WE}}$: 動水圧荷重 (W→E 方向)
$H_{d_{EW}}$: 動水圧荷重 (E→W 方向)

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-9 に示す。

水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会) 」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。なお、誘発上下動を考慮しない組合せ係数法が保守的な評価となることを確認しているため、復水貯蔵槽の応力解析においては、誘発上下動を考慮しないこととした。

表 3-9 荷重の組合せケース

ケース No.	水平：鉛直	鉛直震度	荷重の組合せケース
1	1.0 : 0.4	下向き	$(1.0+0.4K_v) V L + S_{S S N}$ $+ (1.0+0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d S N}$
2		上向き	$(1.0-0.4K_v) V L + S_{S S N}$ $+ (1.0-0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d S N}$
3		下向き	$(1.0+0.4K_v) V L + S_{S N S}$ $+ (1.0+0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d N S}$
4		上向き	$(1.0-0.4K_v) V L + S_{S N S}$ $+ (1.0-0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d N S}$
5		下向き	$(1.0+0.4K_v) V L + S_{S W E}$ $+ (1.0+0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d W E}$
6		上向き	$(1.0-0.4K_v) V L + S_{S W E}$ $+ (1.0-0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d W E}$
7		下向き	$(1.0+0.4K_v) V L + S_{S E W}$ $+ (1.0+0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d E W}$
8		上向き	$(1.0-0.4K_v) V L + S_{S E W}$ $+ (1.0-0.4K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + H_{d E W}$
9	0.4 : 1.0	下向き	$(1.0+K_v) V L + 0.4 S_{S S N}$ $+ (1.0+K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d S N}$
10		上向き	$(1.0-K_v) V L + 0.4 S_{S S N}$ $+ (1.0-K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d S N}$
11		下向き	$(1.0+K_v) V L + 0.4 S_{S N S}$ $+ (1.0+K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d N S}$
12		上向き	$(1.0-K_v) V L + 0.4 S_{S N S}$ $+ (1.0-K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d N S}$
13		下向き	$(1.0+K_v) V L + 0.4 S_{S W E}$ $+ (1.0+K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d W E}$
14		上向き	$(1.0-K_v) V L + 0.4 S_{S W E}$ $+ (1.0-K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d W E}$
15		下向き	$(1.0+K_v) V L + 0.4 S_{S E W}$ $+ (1.0+K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d E W}$
16		上向き	$(1.0-K_v) V L + 0.4 S_{S E W}$ $+ (1.0-K_v) H_{S S L} + H_{S W A} + 0.4 H_{d E W}$

(3) 荷重の入力方法

a. S_s 地震荷重

水平地震力については，各階のせん断力及び曲げモーメントを各床レベルに面荷重又は節点荷重として入力する。

鉛直地震力については，基準地震動 S_s に対する地震応答解析により求まる最大応答軸力から地震時の鉛直震度を求め，FEM モデルの常時の鉛直荷重及び復水貯蔵槽の底面スラブに作用する静水圧荷重に荷重係数として乗じる。なお，常時の鉛直荷重は単位体積重量，面荷重として入力する。

b. 静水圧荷重及び動水圧荷重

図 3-3 及び図 3-4 に示す静水圧荷重及び動水圧荷重を，壁及び底面スラブに面荷重として入力する。

c. S_s 地震荷重，静水圧荷重及び動水圧荷重以外の荷重

S_s 地震荷重，静水圧荷重及び動水圧荷重以外の荷重については，FEM モデルの各節点又は各要素に，節点荷重又は面荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

(1) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

各断面は、鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として評価し、評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量と、面内せん断力による必要鉄筋量の和が設計配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量(A)は、「RC-N 規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の軸力及び曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量(A_t)を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量(A_s)により、下式によって算定する。ただし、面内せん断力に対しては、コンクリートの許容応力を超えなければ必要鉄筋量を加算しない。

$$A = A_t + A_s / 2 \dots\dots\dots (3. 1)$$

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (3. 2)$$

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力(N)
- b : 断面の幅(mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値(mm)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 3-5 に示す値
(N/mm²)
- α : 許容せん断力の割増し係数
(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。また、引張軸力が 2N/mm² を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1} \dots\dots\dots (3. 3)$$

- M : 曲げモーメント(N・mm)
- Q : せん断力(N)
- d : 断面の有効せい(mm)

${}_w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 3-6 に示す値
(N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x} \dots\dots\dots (3. 4)$$

- a_w : せん断補強筋の断面積(mm²)
- x : せん断補強筋の間隔(mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

4. 応力解析による評価結果

復水貯蔵槽の配筋一覧を表 4-1～表 4-3 に，配筋領域図を図 4-1～図 4-5 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を，以下のとおり選定する。

軸力，曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価並びに面外せん断力に対する評価については，発生値に対する許容限界の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

評価結果を表 4-4 に，最大値発生位置を図 4-6～図 4-8 に示す。

S s 地震時において，軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋量と面内せん断力による必要鉄筋量の和が設計配筋量を超えないこと並びに面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-1 復水貯蔵槽の配筋（壁）

領域	通り芯	T. M. S. L. (m)	板厚 (m)	配筋*		断面積 (mm ² /m)
				1 段目	2 段目	
領域 A	R _w F 通り壁	12.3~16.1	0.90	D29@200	D29@200	6420
領域 B	R _w G 通り壁 R _w 2 通り壁	6.5~12.3	1.20	D32@200	D32@200	7940
領域 C	R _w 6 通り壁	-1.1~6.5	1.35	D35@200	D35@200	9570
領域 D	R _w 4 通り壁	-1.1~16.1	1.60	D38@200	D38@200	11400

注記*：縦筋及び横筋並びに内側及び外側は、同一配筋。

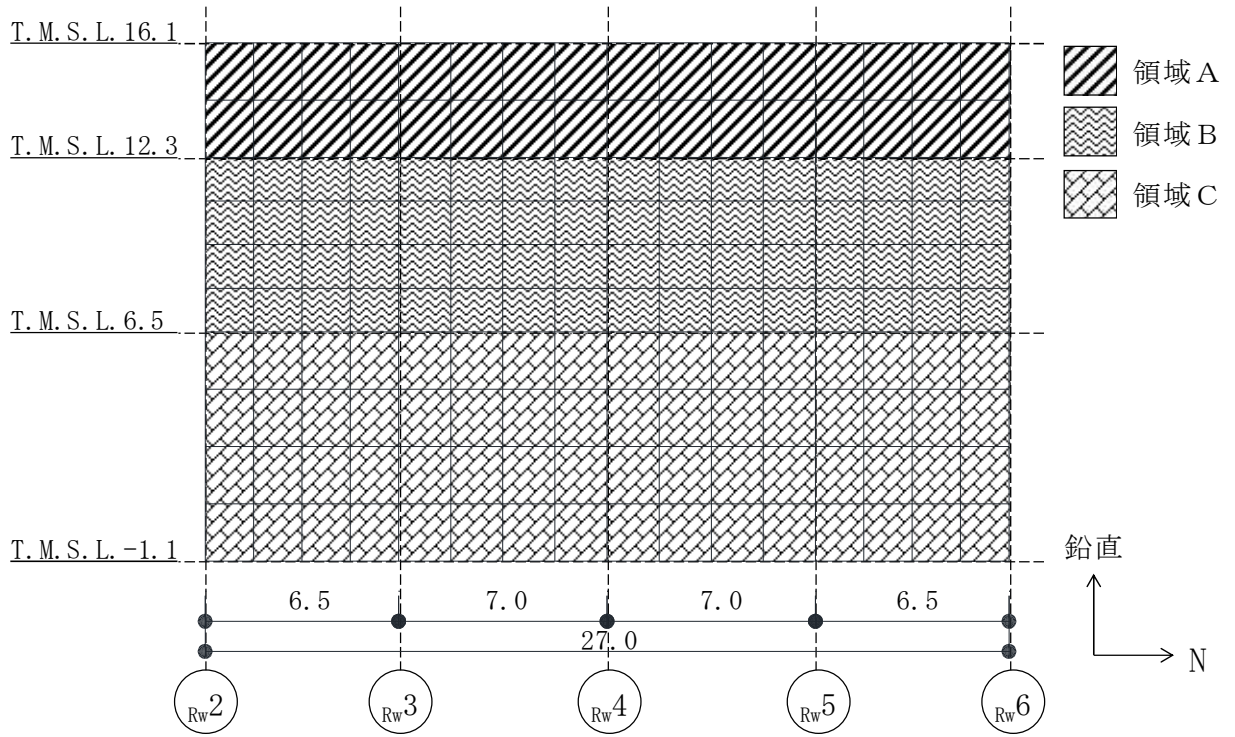


図 4-1 復水貯蔵槽の配筋領域図 (R_wF 通り壁, R_wG 通り壁) (単位 : m)

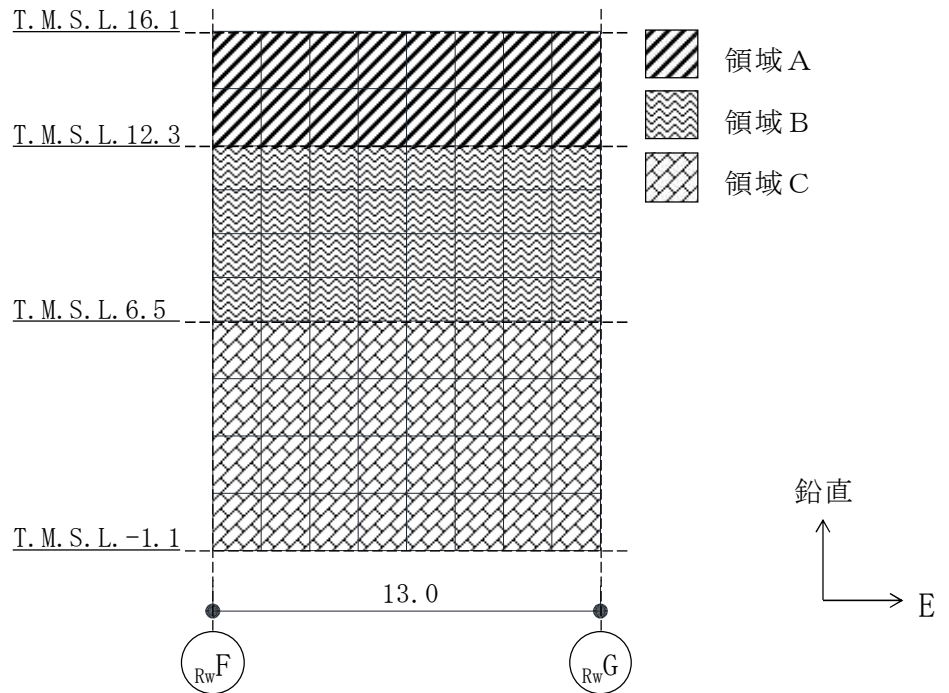


図 4-2 復水貯蔵槽の配筋領域図 (R_w2 通り壁, R_w6 通り壁) (単位 : m)

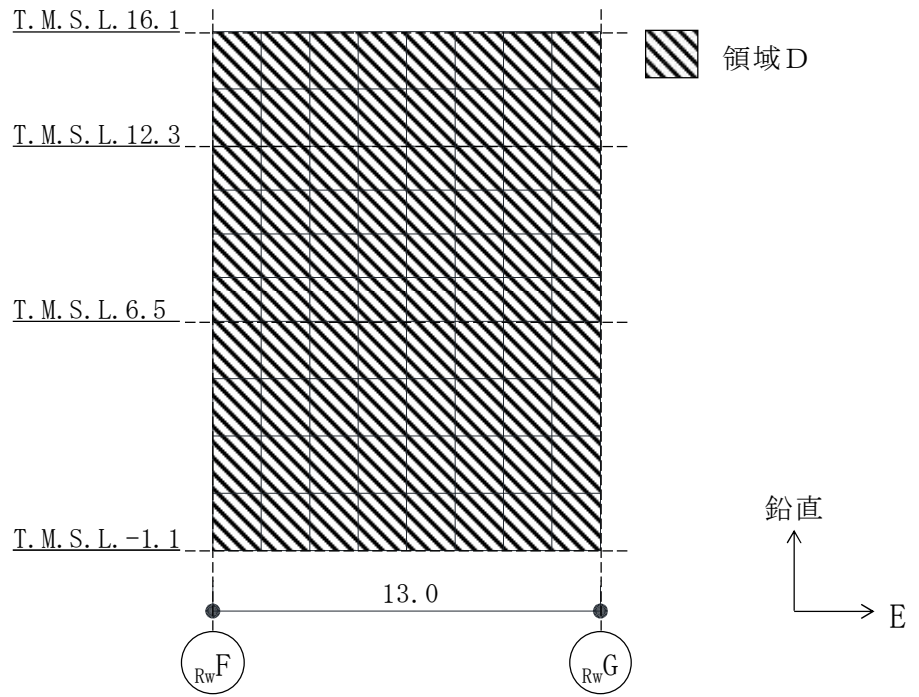


図 4-3 復水貯蔵槽の配筋領域図 (Rw4 通り壁) (単位 : m)

表 4-2 復水貯蔵槽の配筋（底面スラブ，主筋）

領域	板厚 (m)	配筋*		断面積 (mm ² /m)
		1 段目	2 段目	
領域 E	1.50	D35@200	D35@200	9570

注記*：上ば筋及び下ば筋並びに NS 方向及び EW 方向は，同一配筋。

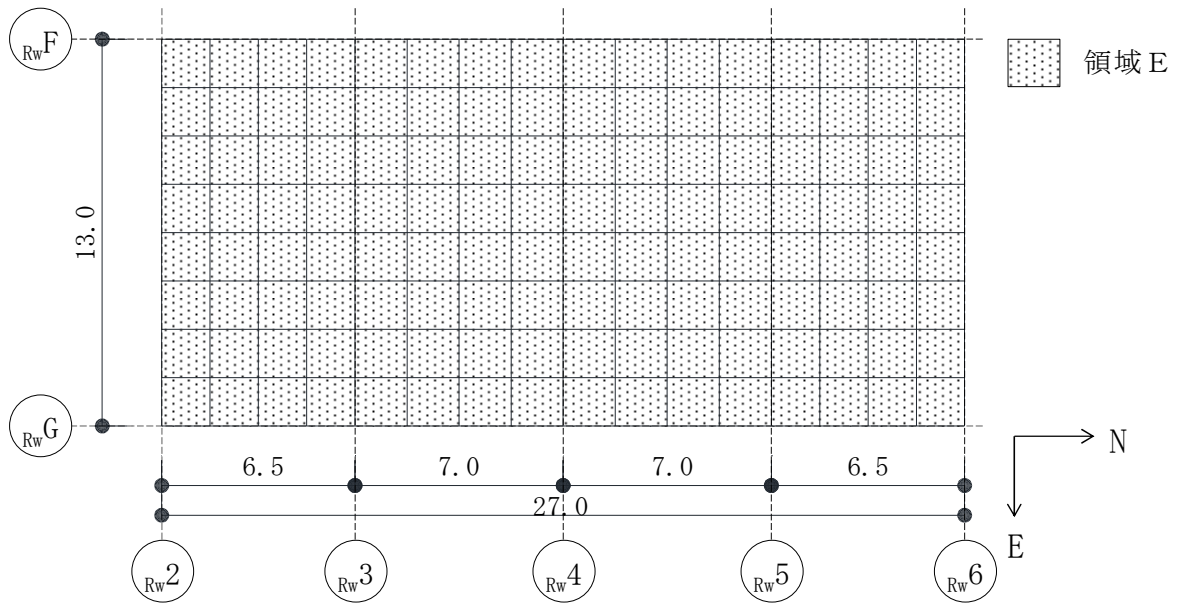


図 4-4 復水貯蔵槽の配筋領域図（底面スラブ，主筋）（単位：m）

表 4-3 復水貯蔵槽の配筋（底面スラブ，せん断補強筋）

領域	鉄筋	ピッチ	断面積 (mm ² /m)
領域 F	D19	@200×@400	3588

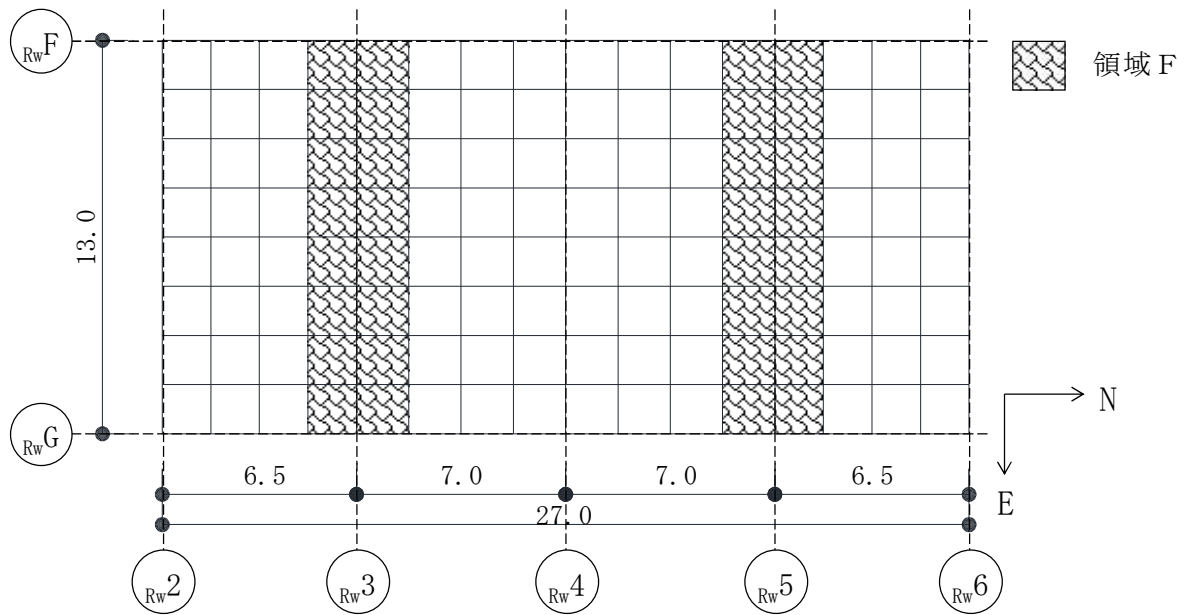


図 4-5 復水貯蔵槽の配筋領域図（底面スラブ，せん断補強筋）（単位：m）

表 4-4 評価結果

項目		方向	評価項目	要素番号	組合せケース	解析結果	許容限界
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	壁	縦	必要鉄筋量 (mm ² /m)	22766	4	8872	9570
		横		22803	4	9206	9570
	底面 スラブ	NS		10735	3	4887	9570
		EW		10810	5	5271	9570
面外せん断力	壁	縦	面外せん断力 (kN/m)	22359	7	873	2551
		横		22823	5	996	2561
	底面 スラブ	NS		10711	3	1369	2881
		EW		10814	5	1430	2881

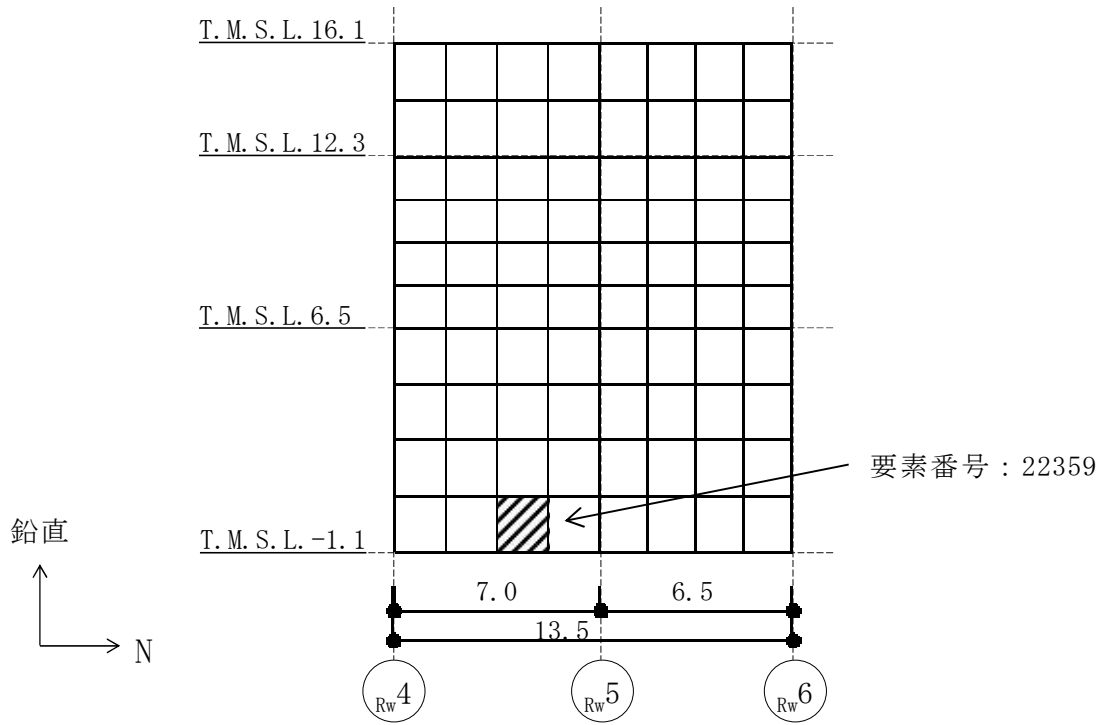


図 4-6 最大値発生位置 (R_wF 通り壁) (単位 : m)

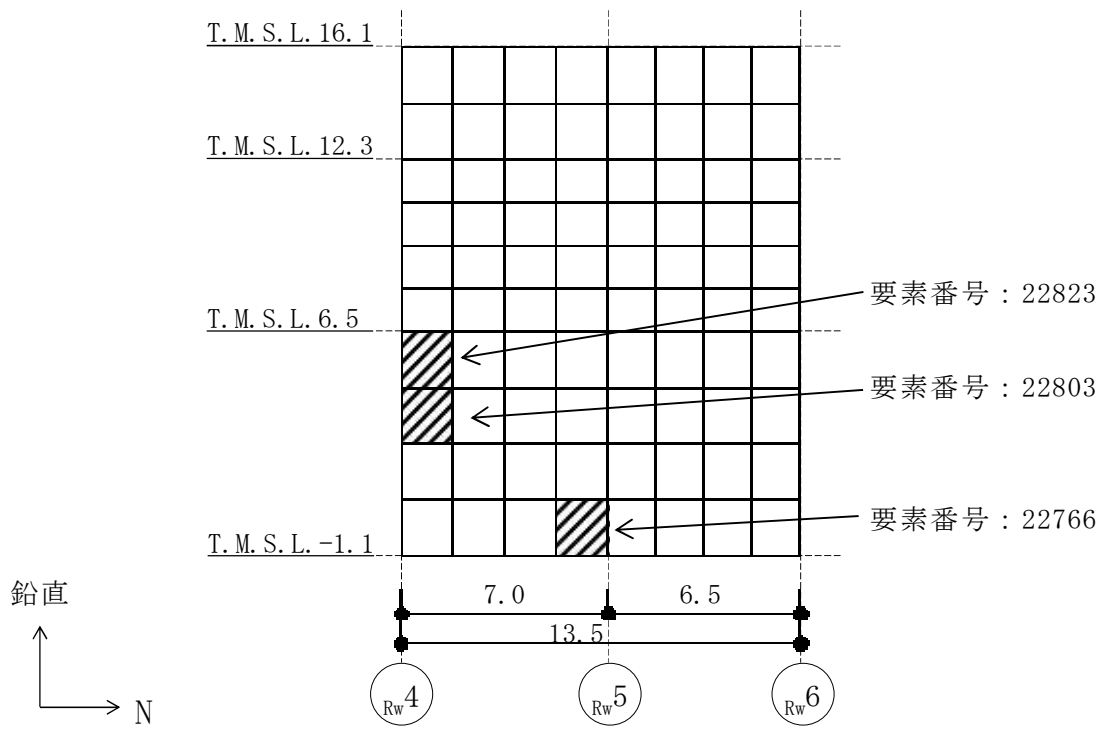


図 4-7 最大値発生位置 (R_wG 通り壁) (単位 : m)

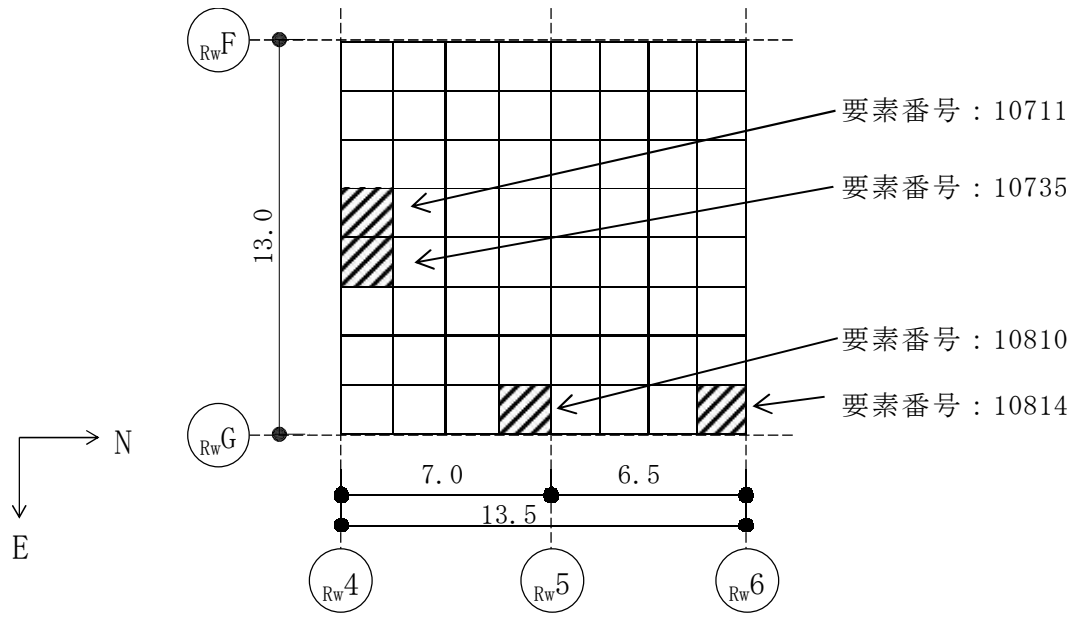


図 4-8 最大値発生位置 (底面スラブ) (単位 : m)

VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	20
3.1 計算方法	20
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3 設計条件	22
3.4 材料及び許容応力	29
3.5 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	31
4.1 固有周期及び設計震度	31
4.2 評価結果	37
4.2.1 管の応力評価結果	37
4.2.2 支持構造物評価結果	38
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	39
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	40

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、補給水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



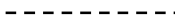
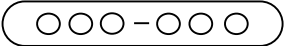

(3) 弁

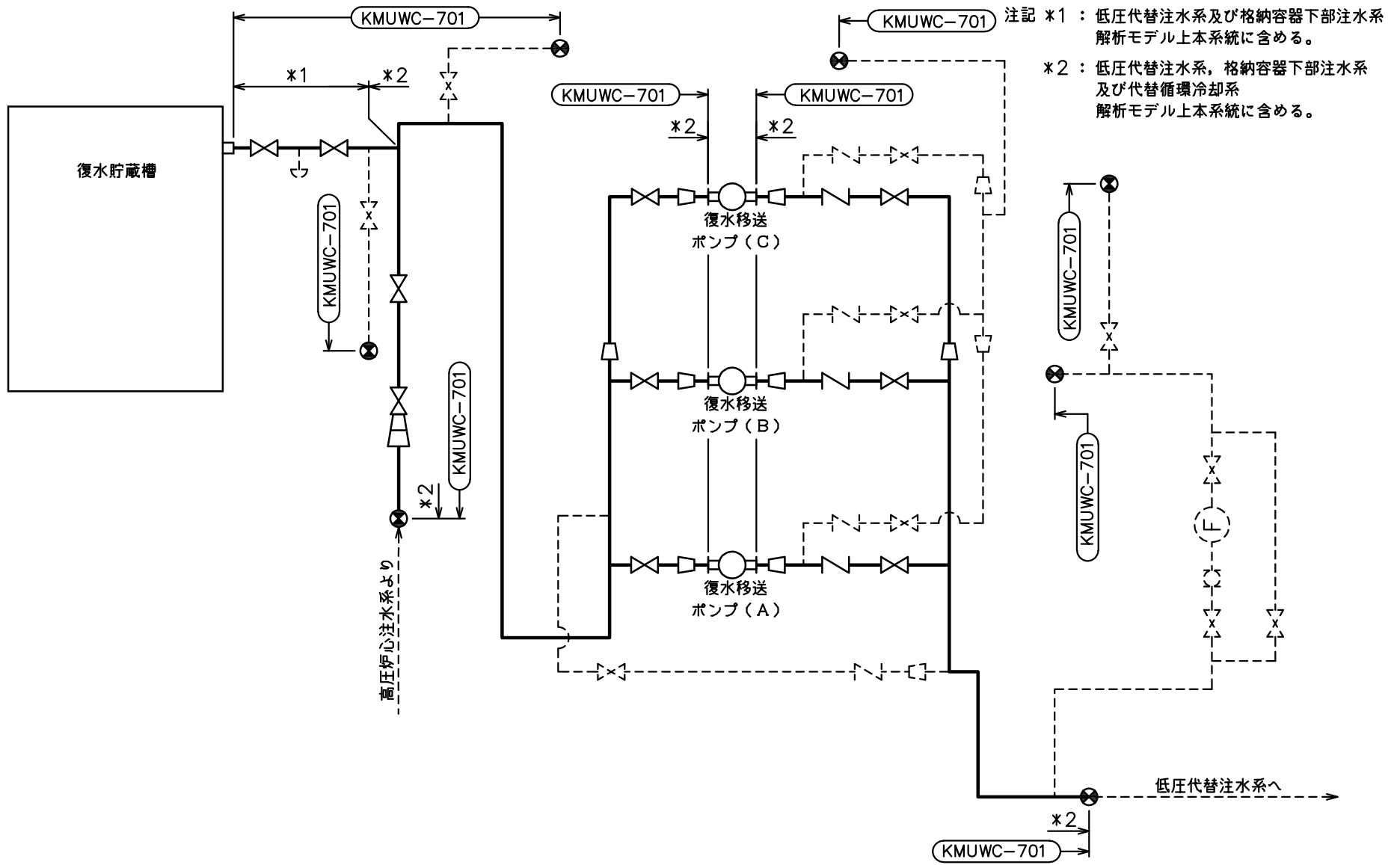
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


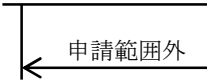
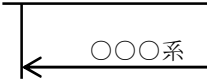


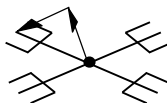
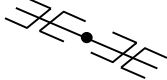

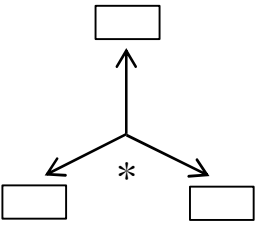
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



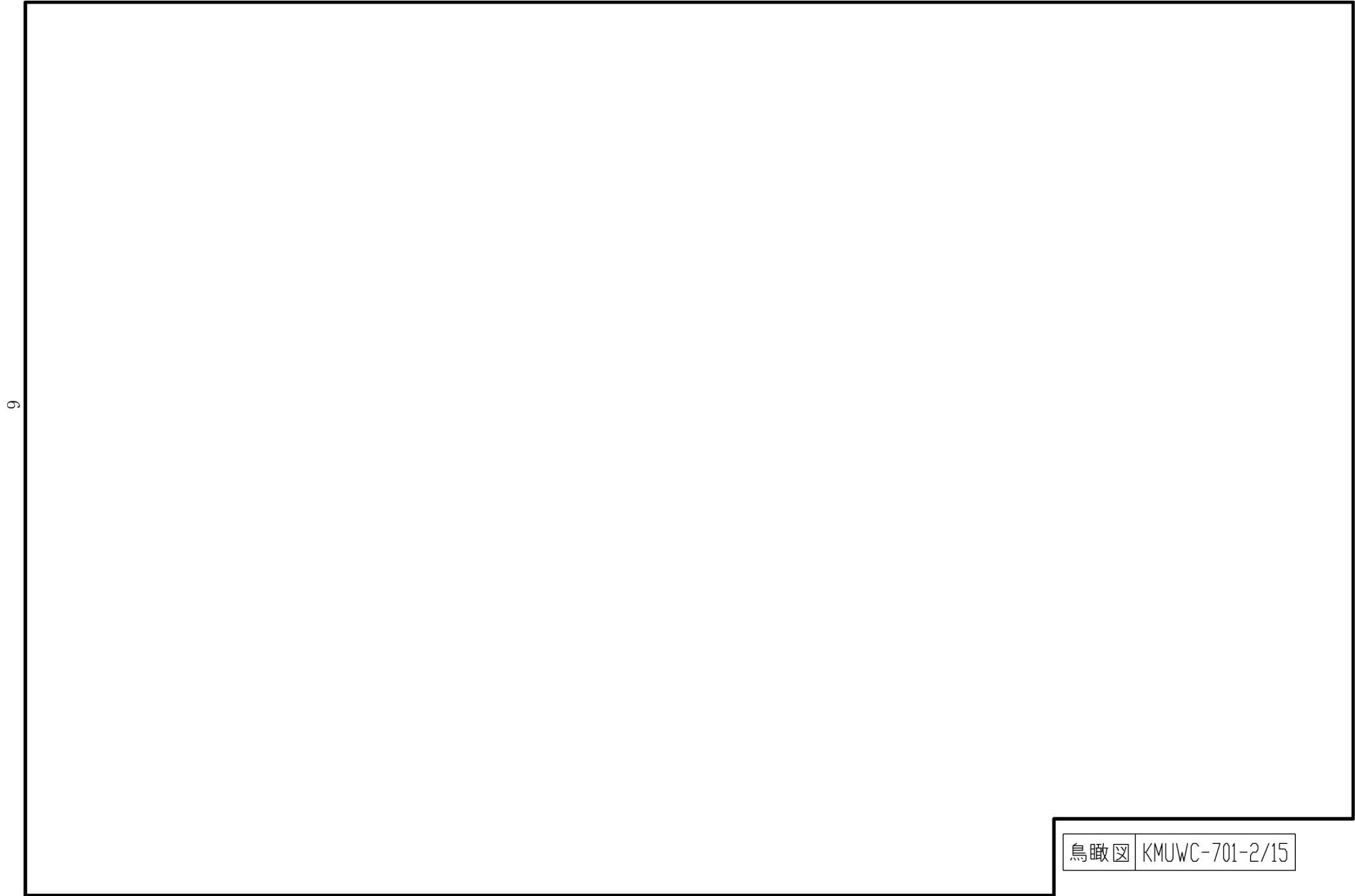
補給水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

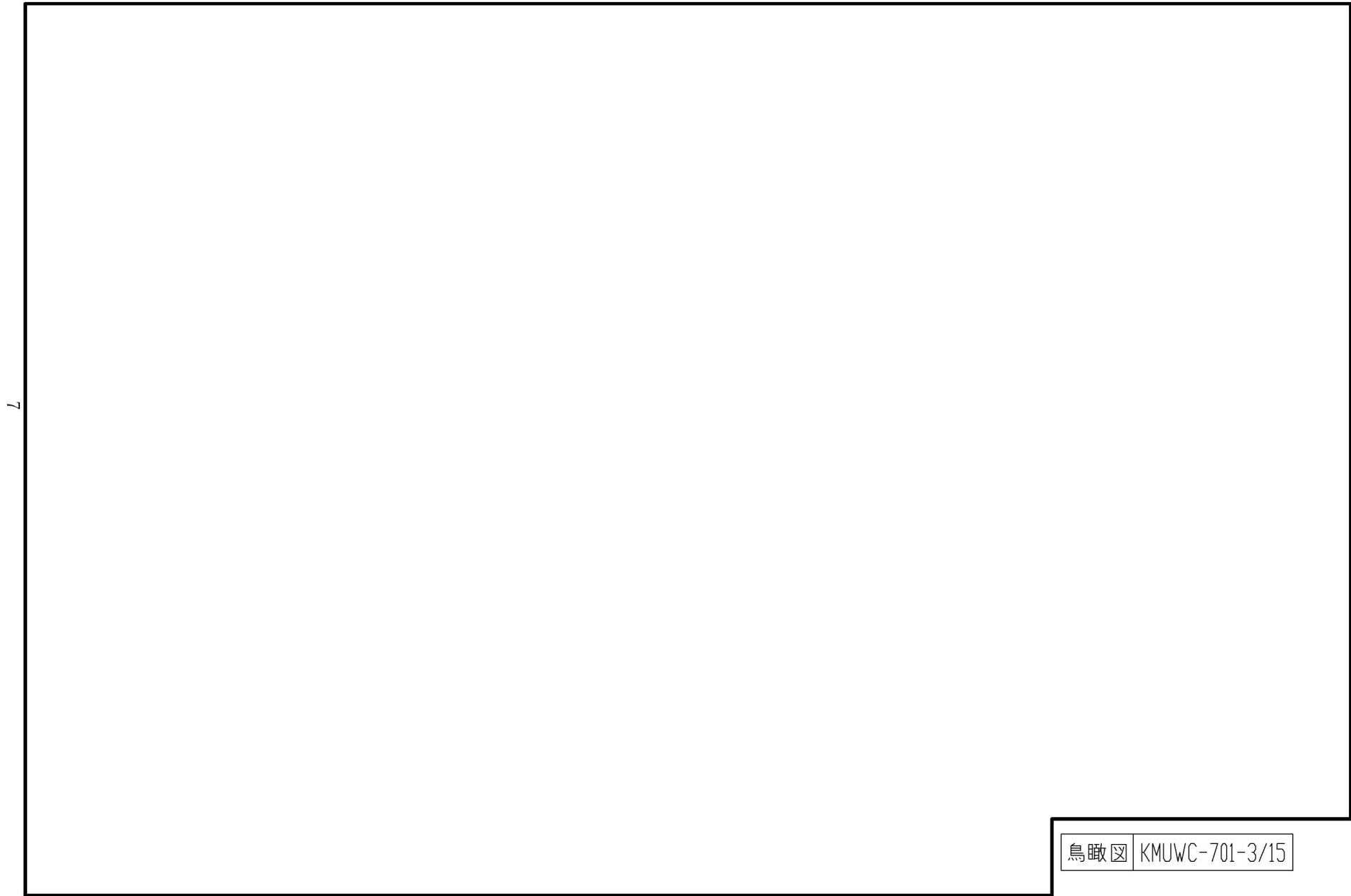
記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

5



9

鳥瞰図 KMUWC-701-2/15



∞

6

10

12

15

18

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3	許容応力状態*4
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	低圧代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	格納容器 下部注水系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	代替格納容器 スプレイ冷却系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他安全設備	代替循環冷却系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	V _{L+S s}	V _{A S}

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態V_{A S}は許容応力状態IV_{A S}の許容限界を使用し，許容応力状態IV_{A S}として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	静水頭	66	267.4	9.3	SUS304TP	—	191720
2	1.37	66	267.4	9.3	SUS304TP	—	191720
3	1.37	85	267.4	9.3	SUS304TP	—	190600
4	1.37	85	267.4	9.3	STPT370	—	199200
5	1.37	85	216.3	8.2	STPT370	—	199200
6	1.37	85	165.2	7.1	STPT370	—	199200
7	1.70	85	267.4	9.3	STPT370	—	199200
8	1.70	85	165.2	7.1	STPT370	—	199200
9	1.70	85	114.3	6.0	STPT370	—	199200
10	1.37	85	508.0	9.5	SUS304	—	190600
11	1.37	85	318.5	10.3	SUS304	—	190600
12	1.37	85	318.5	10.3	SUS304TP	—	190600

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
13	1.37	85	267.4	9.3	SUS304TP	—	190600

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 0 1

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	4	5	6	7	8	237	901	913					
2	11	12	13	14	15	17	18	20	21	241	245	426	427	428	429
	431	432	433	434	435	436	437	803	812						
3	26	27	28	29	30	31	32	33	34	68	403	404	406	407	408
	409	410	411	412	413	414	415	416	437	520	805	806			
4	34	35	36	37	39	40	41	44	45	46	47	265			
5	36	45	47	48	49	50	51	53	54	55	56	57	58	263	264
	267	268	269	270	271	272	273	275	278	279	281	282	283	284	285
	286	288	297												
6	58	59	60	61	273	274	276	277	288	289	290	291			
7	19	38	42	43	62	139	140	141	143	144	145	146	147	148	150
	151	152	153	154	156	157	211	213	216	217	219	220	221	223	224
	225	807	808	809											
8	10	16	129	142	193	194	195	197	199	203	204	207	208	209	210
	211	216	220	296	298	299	300	301	303	304	306	307	314	316	317
	318	319	321	322	324	325									
9	188	189	190	191	193	292	293	294	295	296	309	310	311	312	314
10	238	239	243												
11	239	244													
12	244	246													
13	246	401													

K6 ① VI-2-5-5-1-3 (重) R0

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 0 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		43		156		269		316	
2		44		157		270		317	
4		45		188		271		318	
5		46		189		272		325	
6		47		190		273		407	
7		48		191		274		408	
10		49		193		275		409	
12		50		194		276		410	
13		54		195		277		411	
14		55		197		278		412	
15		56		208		282		413	
16		57		209		283		414	
17		58		210		284		415	
18		59		211		285		416	
19		60		213		286		426	
20		61		216		288		427	
21		62		217		289		428	
26		68		219		290		432	
27		129		220		291		433	
28		139		221		292		434	
29		140		223		293		435	
30		141		224		294		436	
31		142		225		295		437	
32		143		237		296		520	
33		144		238		297		803	
34		145		239		298		805	
35		146		241		299		806	
36		147		243		300		807	
37		148		244		307		808	
38		150		245		309		809	
39		151		246		310		812	
40		152		263		311		901	
41		153		265		312		913	
42		154		268		314			

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 0 1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
8						204		264	
9						205		266	
11						207		267	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 1 0	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
279		301		304		319		322	
280		302		305		320		323	
281		303		306		321		324	

弁 1 1		弁 1 2		弁 1 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
401		404		429	
402		405		430	
403		406		431	
417		419		438	
418		420		439	

鳥 瞰 図 K M U W C - 7 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	9			
弁2	52			
弁3	201			
弁4	205			
弁5	266			
弁6	280			
弁7	302			
弁8	305			
弁9	320			
弁10	323			
弁11	402			
弁12	405			
弁13	430			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 KMUWC - 7 0 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
10						
16						
19						
27						
38						
42						
43						
61						
68						
129						
142						
146						
151						
188						
237						
241						
243						
245						
265						
269						
275						
277						
286						
291						
292						
297						
309						
409						
428						
436						
901						
** 901 **						
913						



K6 ① VI-2-5-5-1-3 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT370	85	—	191	354	—
SUS304	85	—	178	456	—
SUS304TP	66	—	188	479	—
	85	—	178	456	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
KMUWC-701	廃棄物処理建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KMUWC-701

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
49 次				
50 次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 KMUWC-701

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
49 次				

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。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

35

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
KMUWC- 701	$V_A S$	211	$S_{pr m}(S_s)$	123	318	—	—	—
	$V_A S$	211	$S_n(S_s)$	—	—	228	382	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
KMUWC-701-243A	アンカ	ラグ	SUS304	85	200	70	74	76	106	56	曲げ	96	473
KMUWC-701-146R	レストレイント	Uプレート	SS400	85	49	0	37	—	—	—	曲げ	178	454

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	KMUWC-701	211	123	318	2.58	○	211	228	382	1.67	○	—	—	—