本資料のうち，枠囲みの内容は，
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所　工事計画審査資料	
資料番号	工認-461　改4
提出年月日	平成30年9月14日

Ⅴ-2-6-3-2-1　水圧制御ユニット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 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3. 評価部位 ····· 8
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
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 12
4.4 固有周期 ····· 14
4.5 設計用地震力 ····· 15
4.6 計算方法 ····· 16
4.7 計算条件 ····· 18
4.8 応力の評価 ····· 18
5. 機能維持評価 ····· 20
5.1 動的機能維持評価方法 ····· 20
6. 評価結果 ····· 20
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 20
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-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，水圧制御ユニット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。

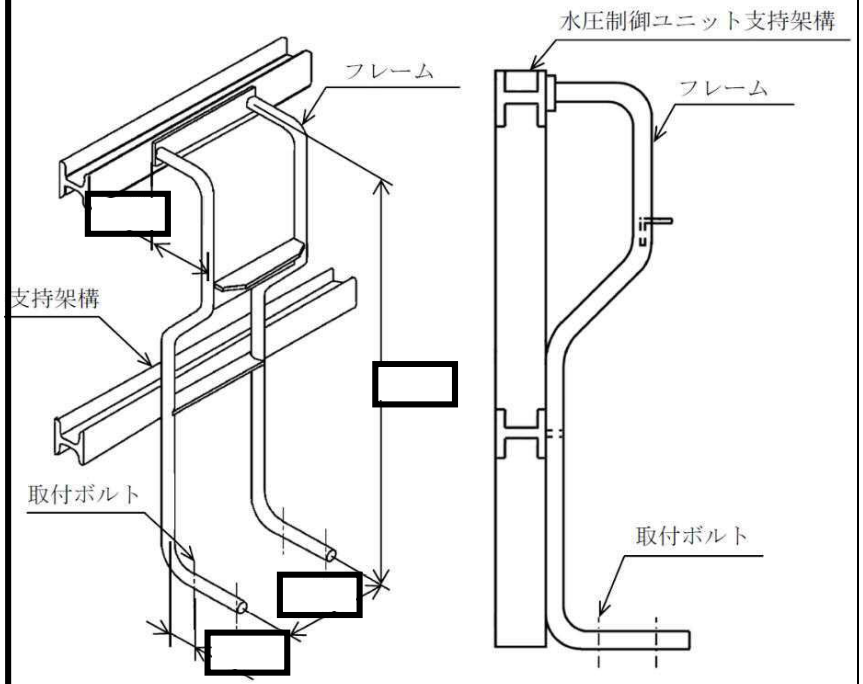
水圧制御ユニットは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

水圧制御ユニットの構造計画を表 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	
水圧制御ユニットのフレームは，十分剛な支持架構に取付ボルトにより固定されている。	配管ユニット，スクラム弁，セレクタ弁，スクラムパイロット弁，端子箱，アキュムレータ，窒素容器，計装ユニット等の水圧制御ユニット構成部品がフレームに固定された構造。	

（単位：mm）

2.2　評価方針

水圧制御ユニットの応力評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて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」にて示す水圧制御ユニットの部位を踏まえ「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。また，ＣＲＤスクラム弁の機能維持評価は，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針　4.1　動的機能維持　(2)　回転機器及び弁」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを，「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6.　評価結果」にて示す。

水圧制御ユニット及びＣＲＤスクラム弁の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

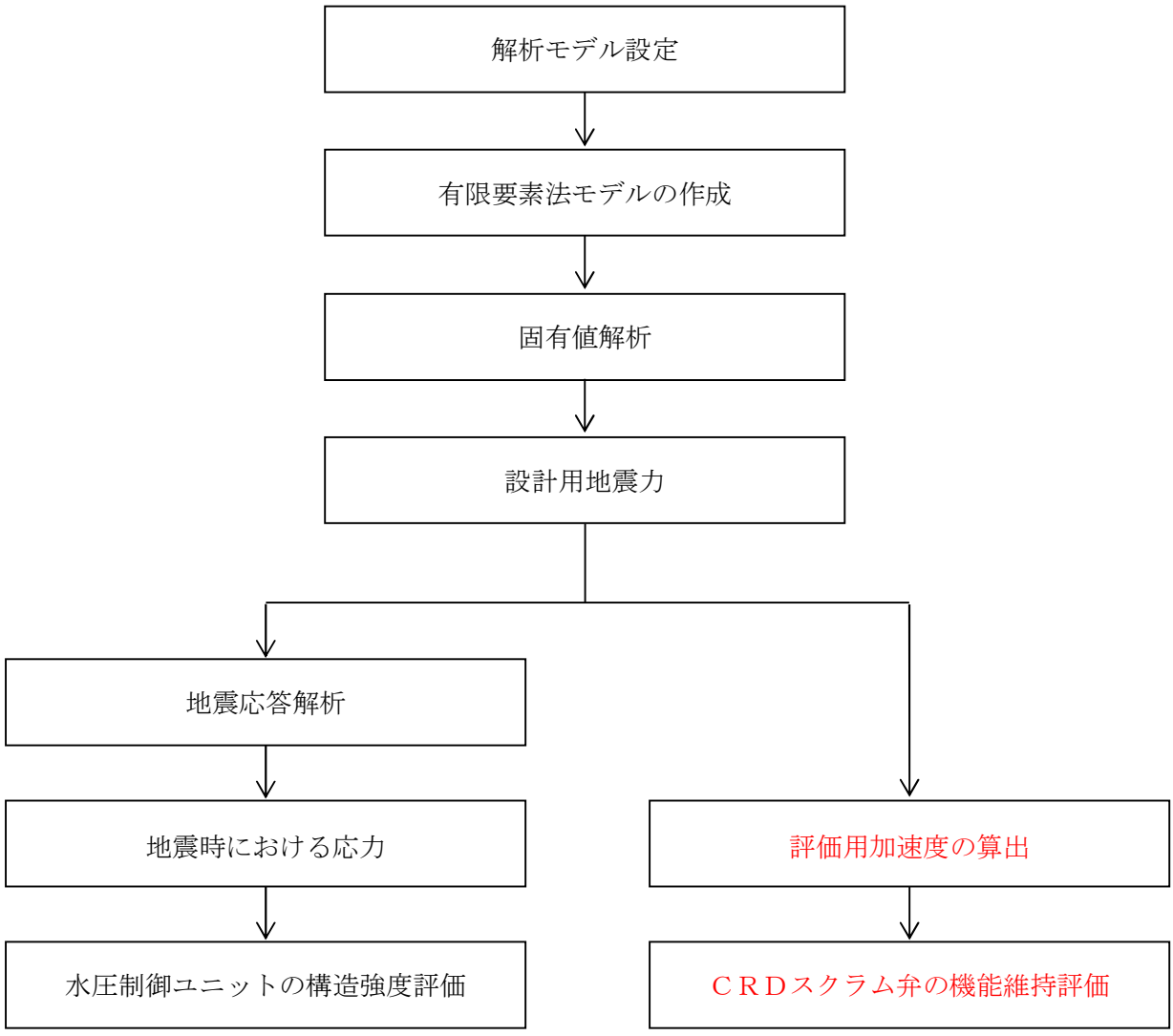


図 2-1　水圧制御ユニット及びＣＲＤスクラム弁の耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　発電用原子力設備規格　設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））　ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	フレームの断面積	mm^2
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
D_o	外径	mm
D_i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	F値を求める際において，設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力	N
F_x	フレームの軸力（x方向）	N
F_y	フレームのせん断力（y方向）	N
F_z	フレームのせん断力（z方向）	N
f_b	フレームの許容曲げ応力（f_bを1.5倍した値）	MPa
f_c	フレームの許容圧縮応力（f_cを1.5倍した値）	MPa
f_s	フレームの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力（f_sを1.5倍した値）	MPa
f_t	フレームの許容引張応力（f_tを1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力（f_tを1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
I_p	フレームの断面二次極モーメント	mm^4
I_y	フレームの断面二次モーメント（y軸）	mm^4
I_z	フレームの断面二次モーメント（z軸）	mm^4
i	断面二次半径	mm
ℓ	取付ボルト間の距離	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
M_x	フレームのねじりモーメント（x軸）	N･mm
M_y	フレームの曲げモーメント（y軸）	N･mm
M_z	フレームの曲げモーメント（z軸）	N･mm
m_i	荷重位置の質量（i＝a，b，c，d，e）	kg
Q_b	取付ボルトに作用するせん断力	N

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（ＲＴ）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40 ℃における値	MPa
Ｘ，Ｙ，Ｚ	絶対（節点）座標軸	－
ｘ，ｙ，ｚ	局所（要素）座標軸	－
Z_p	フレームのねじり断面係数	mm^3
Z_y	フレームの断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	フレームの断面係数（ｚ軸）	mm^3
Λ	フレームの限界細長比	－
λ	フレームの有効細長比	－
ν	座屈に対する安全率	－
σ_b	フレームに生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレームに生じる圧縮応力	MPa
σ_f	フレームに生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	フレームに生じる引張応力又は圧縮応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	フレームに生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	フレームに生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は 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
温度		℃	—	—	整数位*1
質量		kg	—	—	整数位又は 小数点以下第 1 位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 又は第 3 位	四捨五入	小数点以下第 1 位 又は第 2 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
座屈の評価		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

＊3：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引張強さ及び降伏点は，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

水圧制御ユニットの耐震評価は，「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，フレーム及び取付ボルトについて実施する。なお，水圧制御ユニットは，構造物として十分な剛性を有しており，支持構造物であるフレーム及び取付ボルトが健全であればスクラム機能を維持できるため，フレーム及び取付ボルトを評価対象とする。水圧制御ユニットの耐震評価部位については，表 2-1 の概略構造図に示す。

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) 水圧制御ユニットのフレームは，十分剛な水圧制御ユニット支持架構に取付ボルトにより固定されるものとする。

(2) 水圧制御ユニットの質量には，フレーム自身の質量のほか，配管ユニット，スクラム弁，セレクタ弁，スクラムパイロット弁，端子箱，アキュムレータ，窒素容器，計装ユニット及びそれらに内包する水の質量を考慮する。

(3) 地震力は，水圧制御ユニットに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(5) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

水圧制御ユニット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。

4.2.2 許容応力

水圧制御ユニットの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

水圧制御ユニット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 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 示す。

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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御系統施設	制御材駆動装置	水圧制御ユニット	S	クラス２支持構造物	$D+P_D+M_D+S_d$*	$Ⅲ_AS$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

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
計測制御系統施設	制御材駆動装置	水圧制御ユニット	常設耐震/防止	重大事故等クラス２支持構造物	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$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　許容応力（クラス２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（ボルト等以外）		許容限界*1,*2（ボルト等）	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*	1.5・f_t*	1.5・f_s*
VAS（VASとしてⅣAS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 4-4　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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	205	365	—
		周囲環境温度		—	241	394	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

表 4-5　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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
フレーム		周囲環境温度		—	189	357	—
		周囲環境温度		—	234	385	—
取付ボルト		周囲環境温度		—	225	385	—

4.3　解析モデル及び諸元

水圧制御ユニットの解析モデルを図 4-1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4-6 に示す。

(1)　図 4-1 中〇内の数字は部材番号（要素番号），数字は節点番号を示す。

(2)　図 4-1 中の ◓ は荷重位置を示し，m_a，m_b は [redacted] kg，m_c は [redacted] kg，m_d は [redacted] kg，m_e は [redacted] kg であり，総質量は [redacted] kg である。

(3)　図 4-1 中実線はフレーム部材，点線はフレーム部と荷重位置の質量m_a～m_eとを結ぶ要素を示す。

(4)　拘束条件は，ＨＣＵフレーム下端と上端を固定（ボルトによる固定）とする。ＨＣＵフレーム中段をフレーム軸方向自由，フレーム軸直角方向固定（Ｕボルトによる固定）とする。

(5)　部材の応力算出に必要な機器要目を表 4-7 に示す。

(6)　解析コードは，「ＳＡＰ－Ⅳ」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，添付書類「Ⅴ－5－3　計算機プログラム（解析コード）の概要　・ＳＡＰ－Ⅳ」に示す。

表 4-6　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	[redacted]
	－	－	
質量	m_a	kg	
	m_b	kg	
	m_c	kg	
	m_d	kg	
	m_e	kg	
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

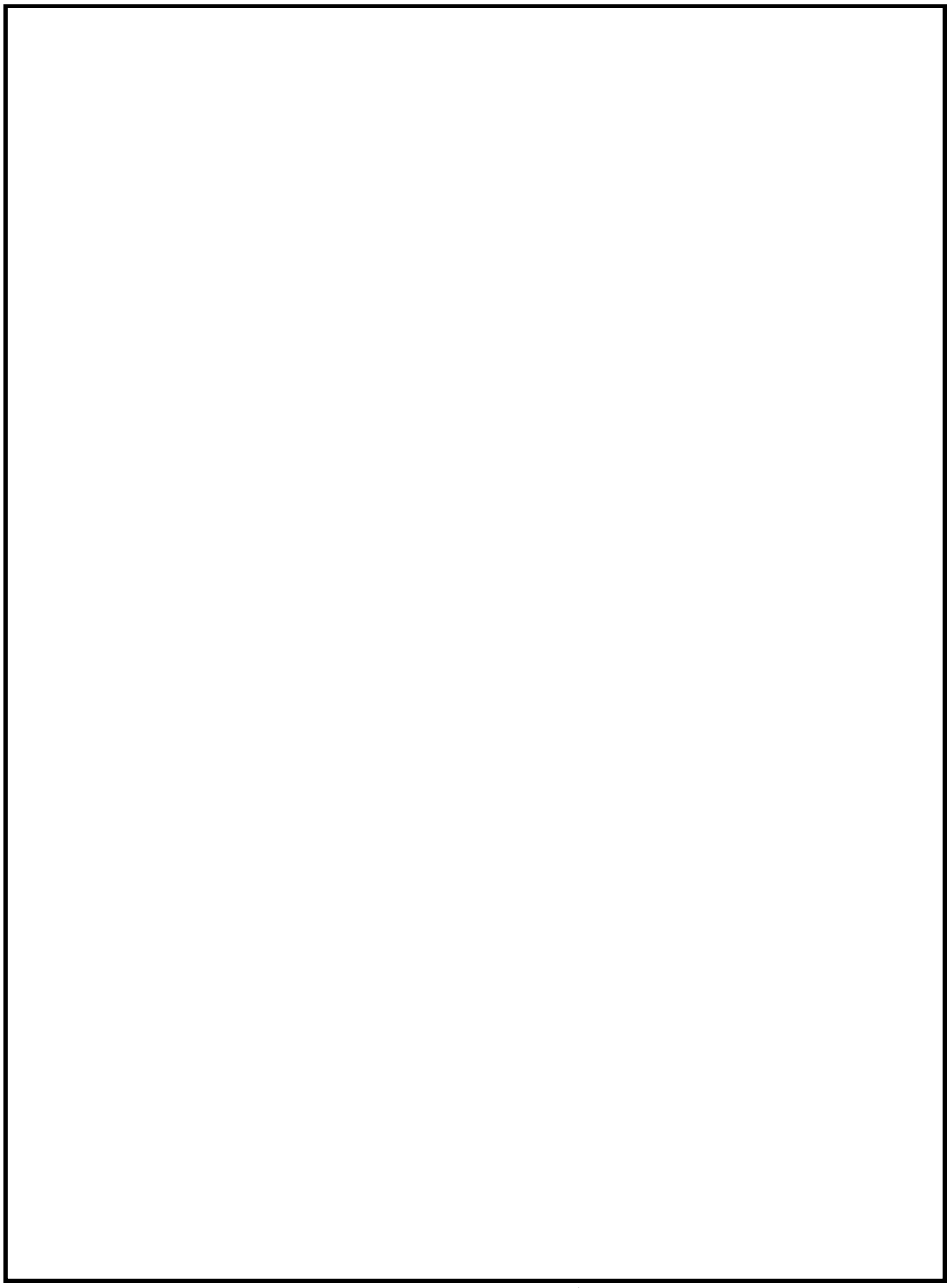
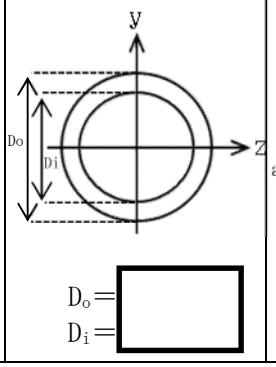
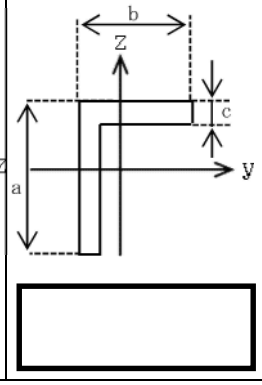
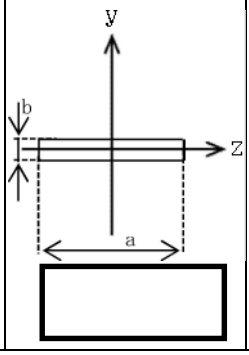
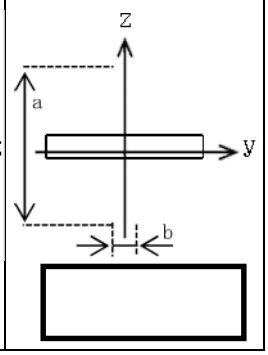


図 4-1　水圧制御ユニット解析モデル（単位：mm）

表 4-7　部材の機器要目

材料				
対象要素	①—⑭	⑮—⑰	⑱—⑳	㉑—㉓
A （mm^2）				
I_y （mm^4）				
I_z （mm^4）				
I_p （mm^4）				
Z_y （mm^3）				
Z_z （mm^3）				
Z_p （mm^3）				
断面形状（mm）				

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4-8 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し，固有周期は 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	固有周期 (s)	卓越方向
1 次	0.009	水平

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，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

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 EL. 20.3*1	0.009	0.05 以下*2	C_H＝0.88	C_V＝0.62	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

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 EL. 20.3*1	0.009	0.05 以下*2	—	—	C_H＝1.55	C_V＝1.17

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　フレームの応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力F_x，せん断力F_y，F_z，ねじりモーメントM_x及び曲げモーメントM_y，M_zより各応力を次のように求める。

(1)　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_c = -\frac{|F_x|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

(2)　せん断応力

$$\tau = \mathrm{Max}\left\{\sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_z|}{A}\right)^2},\sqrt{\left(\frac{|F_z|}{A}+\frac{|M_x|}{Z_p}\right)^2+\left(\frac{|F_y|}{A}\right)^2}\right\} \quad \cdots (4.6.1.1.3)$$

(3)　曲げ応力

鋼管の場合は，

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{M_y}{Z_y}\right)^2+\left(\frac{M_z}{Z_z}\right)^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

形鋼の場合は，

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y}+\frac{|M_z|}{Z_z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

(4)　組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{{\sigma_{fa}}^2+3\cdot\tau^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

ここで，

$$\sigma_{fa} = \frac{|F_x|}{A}+\sigma_b \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

4.6.1.2　取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。

(1)　ボルト取付要領

水圧制御ユニットの取付ボルトの取付図を図 4-2 に示す。

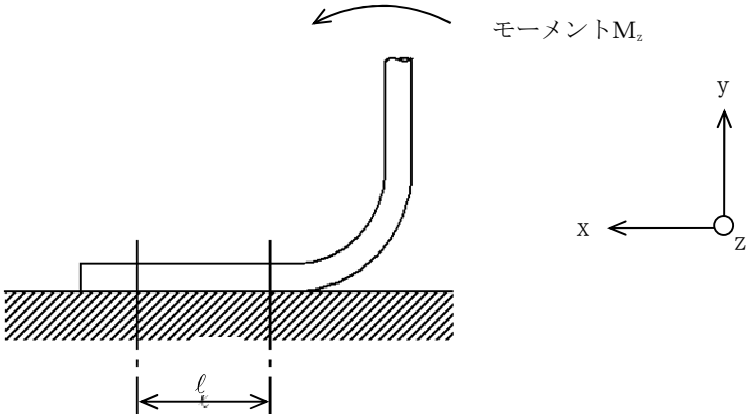


図 4-2　取付ボルトの取付図

(2)　引張応力

取付ボルトに対する引張応力は，ボルトの軸方向引張力F_yとモーメントM_zを考え，これを保守的にボルトで受けるものとして計算する。

a.　引張力

$$F_b = |F_y| + \frac{|M_z|}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

b.　引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

(3)　せん断応力

a.　せん断力

$$Q_b = \sqrt{|F_x|^2 + \left(|F_z| + \frac{|M_x|}{D_i} + \frac{|M_y|}{\ell}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.3)$$

b.　せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{2 \cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.4)$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（水圧制御ユニット）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【水圧制御ユニット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。

4.8　応力の評価

4.8.1　フレームの応力評価

(1)　4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，許容組合せ応力はf_t以下であること。

		弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t		$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	STPG38 （$\lambda \leqq \Lambda$）	$\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F}{\nu}\cdot 1.5$	$\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
	SS41 （$\lambda > \Lambda$）	$0.277\cdot F\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$	$0.277\cdot F^*\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s		$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b		$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i} \quad \cdots\cdots (4.8.1.1)$$

弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F}} \quad \cdots\cdots (4.8.1.2)$$

基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}} \quad \cdots\cdots (4.8.1.3)$$

$$\nu=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \cdots\cdots (4.8.1.4)$$

(2)　圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の応力は次式を満足すること。

$$\frac{|\sigma_c|}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b-|\sigma_c|}{f_t}\leqq 1 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.5)$$

4.8.2　取付ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた取付ボルトの引張応力σ_{tb}は次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表によること。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.2.1)$$

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

評価用加速度は，添付書類「Ⅴ-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，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の検討方針」による。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

水圧制御ユニット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。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

水圧制御ユニット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。

【水圧制御ユニット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	設計上の耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s) 水平方向	固有周期 (s) 鉛直方向	弾性設計用地震動Sd又は静的震度 水平方向設計震度	弾性設計用地震動Sd又は静的震度 鉛直方向設計震度	基準地震動Ss 水平方向設計震度	基準地震動Ss 鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
水圧制御ユニット	S	原子炉建屋 EL. 20.3*1	0.009	0.05以下*2	C_H=0.88	C_V=0.62	C_H=1.55	C_V=1.17	－	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であることを確認した。

1.2 機器要目

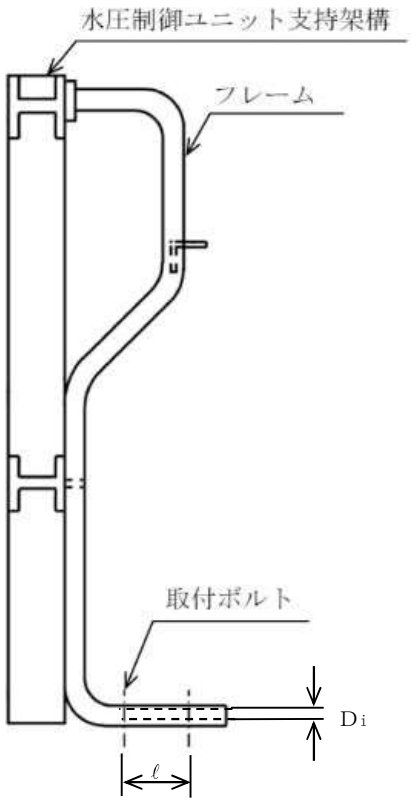
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	⑳						

	要素番号 ⑧⑩⑫	要素番号 ⑳
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		
Z_p (mm^3)		
材料		

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		205	365	205	246
		241	394	241	276
取付ボルト		231	394	231	276

注記 ＊1：弾性設計用地震動Sd又は静的震度による荷重との組合せの場合
＊2：基準地震動Ssによる荷重との組合せの場合



1.3 計算数値

1.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	弾性設計用地震動S_d又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2　取付ボルトの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	弾性設計用地震動S_d又は静的震度					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 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			
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力	要素番号	節点番号	算出応力	許容応力
フレーム		引張り	⑫	12	σ_t =1	f_t =205	⑫	12	σ_t =1	f_t =246
		圧縮	⑫	12	σ_c =1*1	f_c =183	⑫	12	σ_c =1*1	f_c =214
		せん断	⑩	10	τ =1	f_s =118	⑩	10	τ =2	f_s =142
		曲げ	⑧	10	σ_b =2	f_b =205	⑧	10	σ_b =3	f_b =246
		組合せ	⑧	10	σ_f =3	f_t =205	⑧	10	σ_f =3	f_t =246
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$		⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.01(無次元)				0.01(無次元)	
		引張り	⑳	20	σ_t =3	f_t =241	⑳	20	σ_t =4	f_t =276
		圧縮	⑳	20	σ_c =3*1	f_c =43	⑳	20	σ_c =4*1	f_c =43
		せん断	⑳	20	τ =7	f_s =139	⑳	20	τ =9	f_s =159
		曲げ	⑳	20	σ_b =49	f_b =241	⑳	20	σ_b =69	f_b =276
		組合せ	⑳	20	σ_f =53	f_t =241	⑳	20	σ_f =74	f_t =276
		圧縮と曲げの組合せ(座屈の評価)	⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$		⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.27(無次元)				0.34(無次元)	
取付ボルト		引張り	⑭	14	σ_{tb}=1	f_{ts}=173*2	⑬	13	σ_{tb}=1	f_{ts}=207*2
		せん断	⑭	14	τ_b =1	f_{sb}=133	⑭	14	τ_b =1	f_{sb}=159

すべて許容応力以下である。

注記 *1:絶対値を記載

*2:f_{ts}=Min[1.4・f_{to}−1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.2　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：126）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：127）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

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Sd又は静的震度		基準地震動Ss		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			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			
水圧制御ユニット	－(Ss)	原子炉建屋 EL. 20.3*1		0.05以下*2	－	－	C_H=1.55	C_V=1.17	－	－	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より 0.05 秒以下であることを確認した。

2.2 機器要目

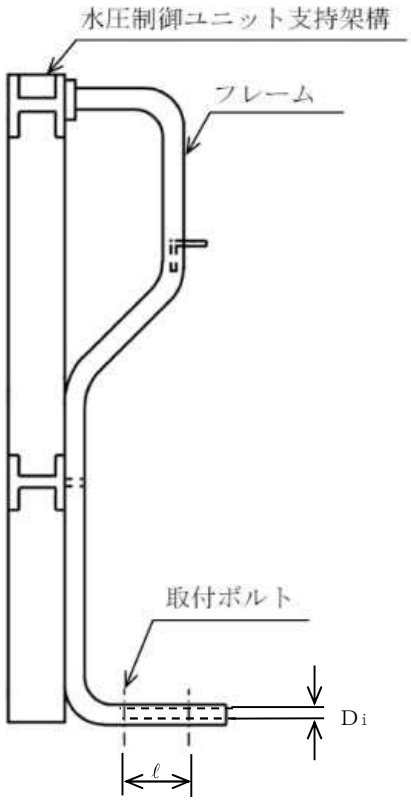
ℓ (mm)	A_b (mm^2)	D_i (mm)

材料	要素番号	E (MPa)	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	ν
STPG38	⑧						
	⑫						
SS41	⑳						

	要素番号	
	⑧ ⑩ ⑫	⑳
A (mm^2)		
Z_y (mm^3)		
Z_z (mm^3)		
Z_p (mm^3)		
材料		

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム		189	357	－	227
		234	385	－	270
取付ボルト		225	385	－	270

注記 ＊：基準地震動Ssによる荷重との組合せの場合



2.3 計算数値

2.3.1 フレームの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑧	10						
⑩	10						
⑫	12						
⑳	20						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 取付ボルトの荷重及びモーメント

要素番号	節点番号	基準地震動S_s					
		フレームの荷重			フレームのモーメント		
		F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
⑬	13						
⑭	14						

注：添え字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.4 結論

2.4.1 応力

（単位:MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ			
			要素番号	節点番号	算出応力	許容応力
フレーム		引張り	⑫	12	$\sigma_t=1$	$f_t=227$
		圧縮	⑫	12	$\sigma_c=1$*1	$f_c=200$
		せん断	⑩	10	$\tau=2$	$f_s=131$
		曲げ	⑧	10	$\sigma_b=3$	$f_b=227$
		組合せ	⑧	10	$\sigma_f=3$	$f_t=227$
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	⑧	10	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.02（無次元）	
		引張り	⑳	20	$\sigma_t=4$	$f_t=270$
		圧縮	⑳	20	$\sigma_c=4$*1	$f_c=43$
		せん断	⑳	20	$\tau=9$	$f_s=155$
		曲げ	⑳	20	$\sigma_b=69$	$f_b=270$
		組合せ	⑳	20	$\sigma_f=74$	$f_t=270$
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	⑳	20	$\frac{\lvert\sigma_c\rvert}{f_c}+\frac{\sigma_b}{f_b}\leqq 1$ かつ $\frac{\sigma_b-\lvert\sigma_c\rvert}{f_t}\leqq 1$	
					0.34（無次元）	
取付ボルト		引張り	⑬	13	$\sigma_{tb}=1$	$f_{ts}=202$*2
		せん断	⑭	14	$\tau_b=1$	$f_{sb}=155$

すべて許容応力以下である。

注記 *1：絶対値を記載

*2：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$より算出

2.4.2　動的機能の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：126）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0
ＣＲＤスクラム弁 （弁番号：127）	水平方向	1.29	6.0
	鉛直方向	0.98	6.0

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。