Ⅴ-2-11-2-2-5　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
3.　評価部位 ····· 10
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
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
4.7　計算条件 ····· 19
4.8　応力の評価 ····· 19
4.8.1　防護鋼板の応力評価 ····· 19
4.8.2　架構の応力評価 ····· 19
4.8.3　アンカボルトの評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 21
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 21
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，原子炉補機冷却海水系配管防護壁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確認することで，下部に設置された上位クラスである原子炉補機冷却海水系配管に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設置位置を図2－1に示す。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁は，上位クラス施設である原子炉補機冷却海水系配管の上部に設置されており，落下時に原子炉補機冷却海水系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

本資料では，図2－1に示す施設のうち，代表として原子炉補機冷却海水系配管防護壁(A)について示す。なお，原子炉補機冷却海水系配管防護壁(B)の評価結果については，「【原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震性についての計算結果】1.4.3　B系の評価結果」にて示す。

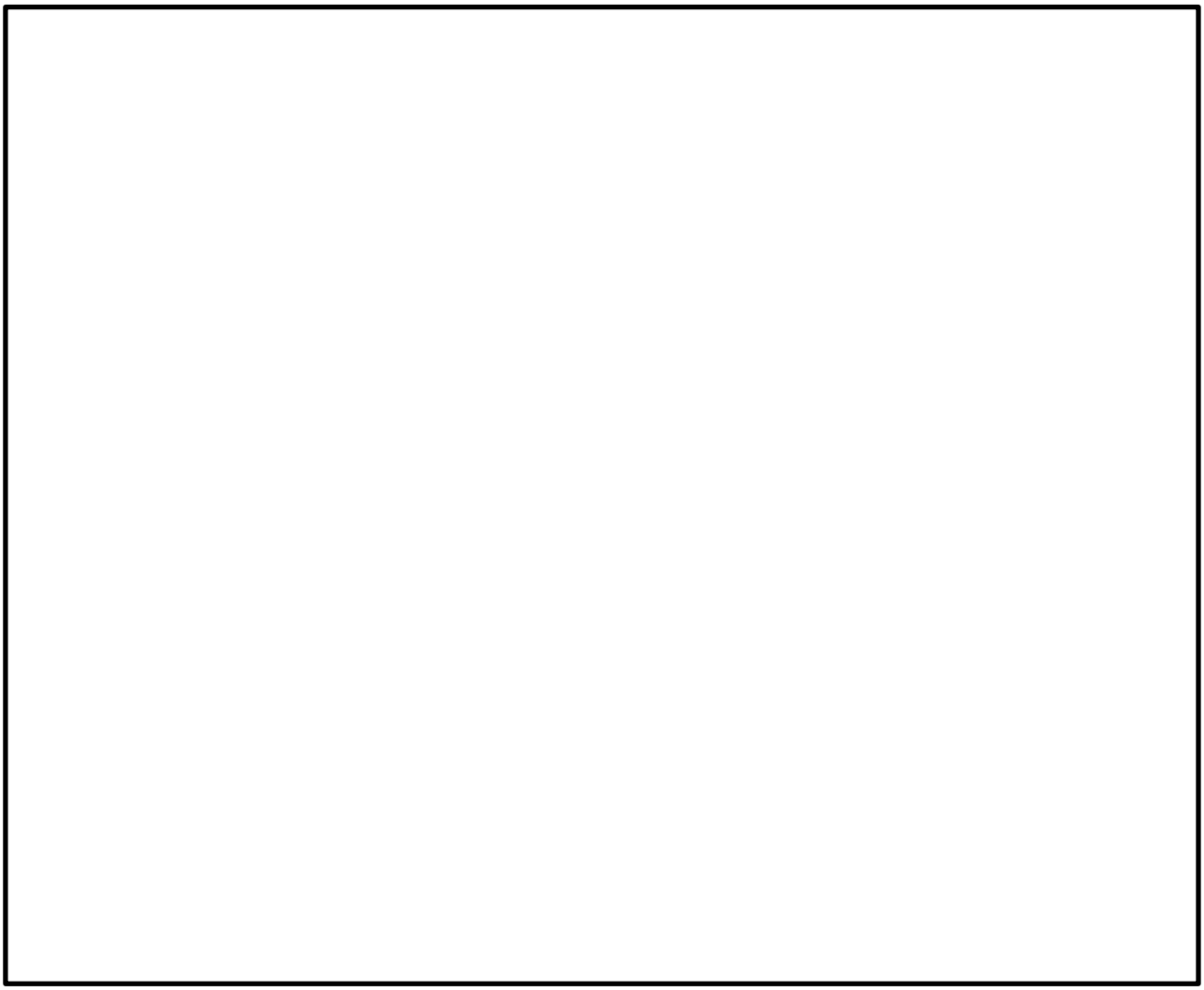
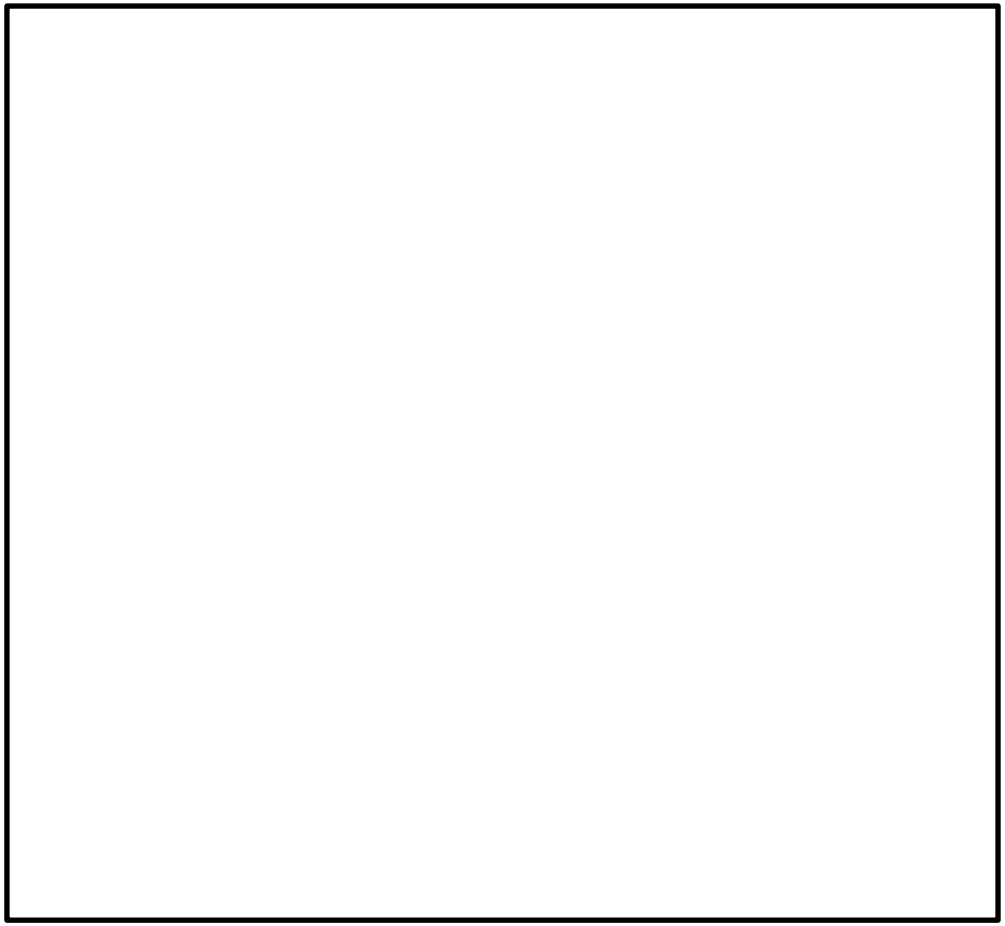


図2－1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の設置位置図

2.2　構造計画

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の構造計画を表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	
原子炉補機冷却海水系配管防護壁は，アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 原子炉補機冷却海水系配管防護壁(A)

2.3　評価方針

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す原子炉補機冷却海水系配管防護壁の部位を踏まえ，「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。

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価フローを図2－2に示す。

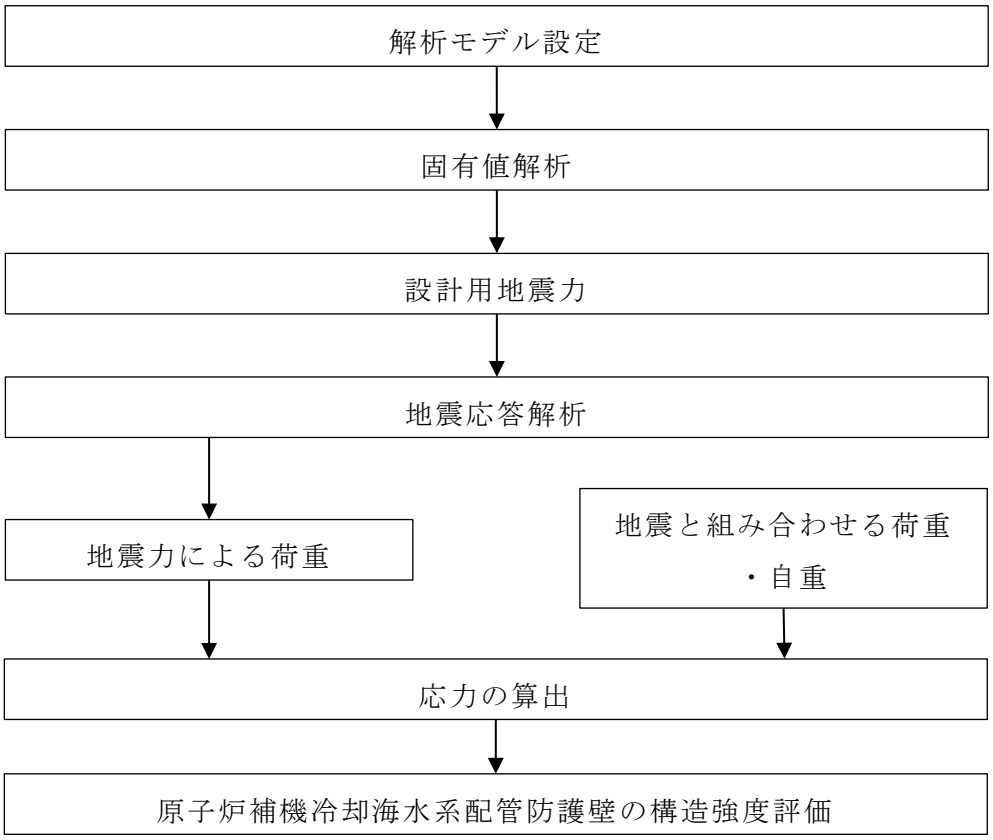


図2－2　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価フロー

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。

・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（(社) 日本電気協会）

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010年改定）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
$_{sc}a$	接着系アンカボルトの断面積	mm^2
A	架構の断面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_s	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm^2
A_{sy}	架構のせん断断面積（ｙ軸）	mm^2
A_{sz}	架構のせん断断面積（ｚ軸）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sx}	防護鋼板の膜力（ｘ軸）	N
F_{sy}	防護鋼板の膜力（ｙ軸）	N
F_{sxy}	防護鋼板のせん断力	N
f_b	架構の許容曲げ応力	MPa
f_c	架構の許容圧縮応力	MPa
f_s	架構の許容せん断応力	MPa
f_t	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
L_{ce}	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
M_y	架構の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	架構の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_{sx}	防護鋼板の曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_{sy}	防護鋼板の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_{sxy}	防護鋼板のねじりモーメント	N･mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と壁及び床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するアンカボルトの本数	—
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_b	鋼板の断面係数	mm^3
Z_y	架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構の断面係数（z軸）	mm^3
Z_t	鋼板のねじり断面係数	mm^3
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板の組合せ応力	MPa
σ_x，σ_y	互いに直交する垂直応力	MPa
N_c	架構の軸力（圧縮）	N
N_t	架構の軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の反力（x軸）	N
R_y	ベースプレート部の反力（y軸）	N
R_z	ベースプレート部の反力（z軸）	N
p	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの引張力	N
p_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容引張力	N
p_{a1}	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトのせん断力	N
q_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容せん断力	N
q_{a1}	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q_y	架構のせん断力（ｙ軸）	N
Q_z	架構のせん断力（ｚ軸）	N
ϕ_1	低減係数　長期：2/3　短期：1.0	—
ϕ_2	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
ϕ_3	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
α_n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数（ｎ＝1,2,3）	—
c_n	へりあき及びボルトピッチの1/2（ｎ＝1,2,3）	—
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）	MPa
τ_z	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）	MPa

2.6　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
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位*1
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*3	四捨五入	小数点以下第1位*2
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
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*5		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1　：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。

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

＊3　：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は，小数点以下第3位表示とする。

＊4　：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊5　：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位を切捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震評価は，「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，落下により，原子炉補機冷却海水系配管が損傷することを防止するため，防護鋼板，架構及びアンカボルトについて実施する。原子炉補機冷却海水系配管防護壁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)　原子炉補機冷却海水系配管防護壁の架構は，アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定されるものとする。

(2)　地震力は，原子炉補機冷却海水系配管防護壁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。

(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

原子炉補機冷却海水系配管防護壁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

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表4－3に示す。

アンカボルトの許容応力は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010年改定)」に基づき，算出したものを許容応力とする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却海水系配管防護壁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に示す。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	原子炉補機冷却海水系配管防護壁	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	原子炉補機冷却海水系配管防護壁	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	IV_AS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4－3　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	STKR400	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	STKR400	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

4.3　解析モデル及び諸元

原子炉補機冷却海水系配管防護壁の解析モデルを図4－1に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　原子炉補機冷却海水系配管防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。

(2)　拘束条件として，基礎部の各軸方向を固定する。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。

(3)　解析コード「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。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。

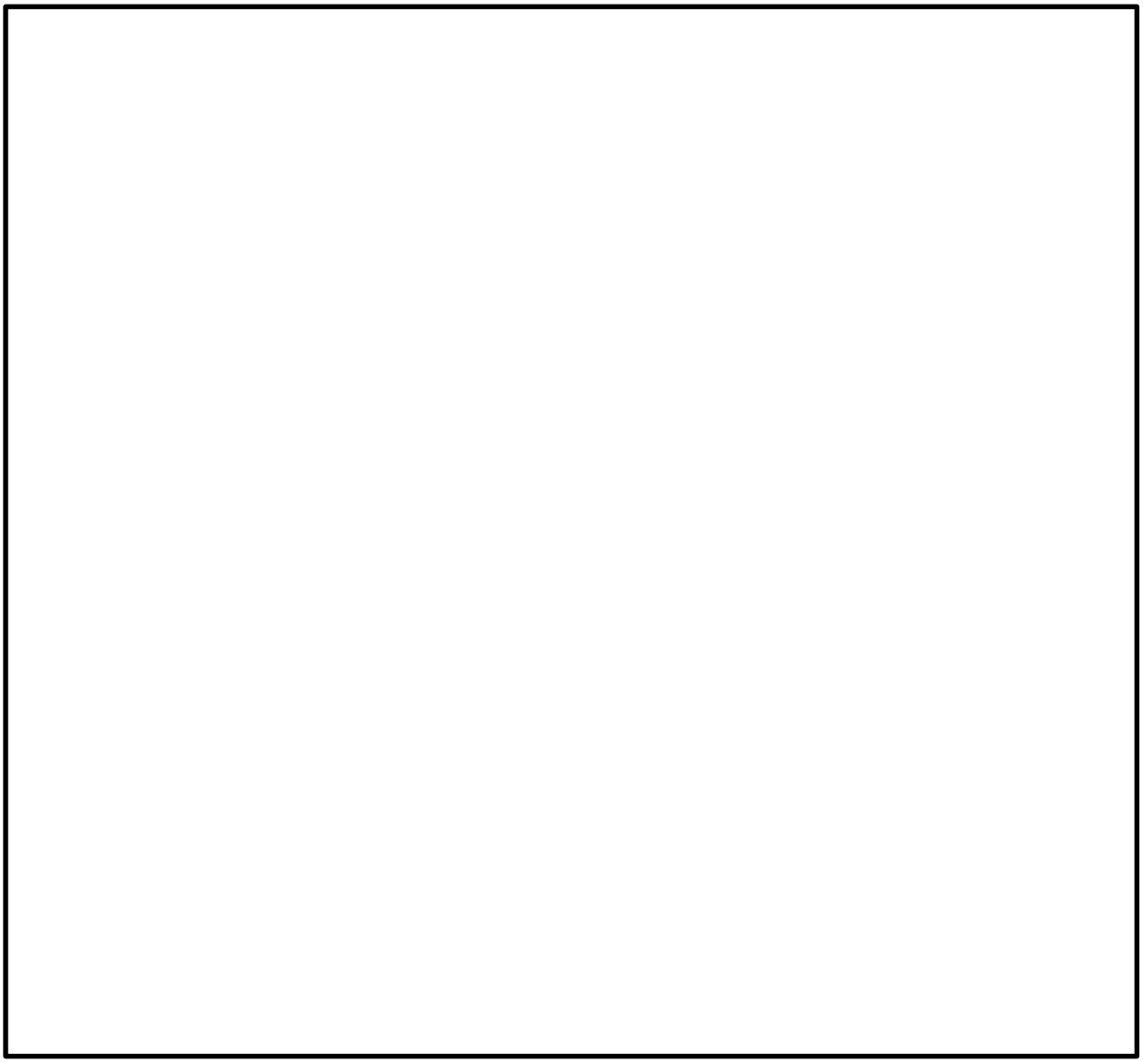


図4－1　原子炉補機冷却海水系配管防護壁(A)の解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4－6に示す。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4－6　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	水平	0.031	―	―	―
2	鉛直	0.017	―	―	―

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4－7及び表4－8に示す。

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，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。

表4－7　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)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
7号機タービン建屋 T.M.S.L.20.4 (T.M.S.L.12.3*)	0.031	0.017	C_H＝1.71	C_V＝0.99

注記＊：基準床レベルを示す。

表4－8　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)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
7号機タービン建屋 T.M.S.L.20.4 (T.M.S.L.12.3*)	0.031	0.017	C_H＝1.71	C_V＝0.99

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

(1)　防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素での膜力F_{sx}，F_{sy}，せん断力F_{sxy}，曲げモーメントM_{sx}，M_{sy}及びねじりモーメントM_{sxy}により組合せ応力を次のように求める。

a.　組合せ応力

$$\sigma=\sqrt{\sigma_x^{\,2}+\sigma_y^{\,2}-\sigma_x\cdot\sigma_y+3\tau^2}$$

ここで，

$$\sigma_x=\frac{F_{sx}}{A_S}\pm\frac{M_{sx}}{Z_b},\quad \sigma_y=\frac{F_{sy}}{A_S}\pm\frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau=\frac{F_{sxy}}{A_S}\pm\frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

(2)　架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_y，M_zにより各応力を次のように求める。

a.　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t=\frac{N_t}{A},\quad \sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

b.　せん断応力

$$\tau_k=\max(\tau_y,\ \tau_z)$$

$$\tau_y=\frac{Q_y}{A_{sy}},\quad \tau_z=\frac{Q_z}{A_{sz}}$$

c.　曲げ応力

$$\sigma_b=\sigma_{by}+\sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by}=\frac{M_y}{Z_y},\quad \sigma_{bz}=\frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*}+\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_b^*}\quad,\quad\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

(b) 引張り＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t^*}\quad,\quad\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b^*}\right)$$

(c) 曲げ＋せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t^*}\quad,\quad\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力R_x，R_y及びR_zにより各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p=R_x$$

b. せん断荷重

$$q=\sqrt{R_y^2+R_z^2}$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【原子炉補機冷却海水系配管防護壁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　防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力f_t以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.2　架構の応力評価

4.6.1(2)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，組合せ応力は1以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{1-0.4\cdot\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\dfrac{F^*}{\nu'}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\dfrac{F^*}{1.5\times\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}}$$

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

4.8.3　アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が1以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1}, p_{a3}] \cdot n_f$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}] \cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$

ただし，

$p_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{pa} \cdot {}_{sc}a$

$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$

$q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{qa} \cdot {}_{sc}a$

$q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_{qa} \cdot {}_{sc}a$

$q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc}$

ここで，

低減係数 ϕ_1，ϕ_2，ϕ_3は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$

$\alpha_n = 0.5\left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5$　（ｎ＝1,2,3）

なお，（c_n／L_e）≧1.0の場合は，（c_n／L_e）＝1.0，L_e≧10ｄの場合は，L_e＝10ｄとする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg}は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，カプセル方式・有機系の$10\sqrt{F_c/21}$とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geqq \frac{{}_s\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却海水系配管防護壁(A)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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【原子炉補機冷却海水系配管防護壁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)		基準地震動Ｓｓ		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		
原子炉補機冷却海水系配管防護壁	C	タービン建屋 T.M.S.L.20.4 (T.M.S.L. 12.3*)	0.031	0.017	C_H=1.71	C_V=0.99	—	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n	n_f

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
防護鋼板	SS400					—	—
架構	STKR400					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

材料	E (MPa)	ν '	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
STKR400 [redacted]	201667	0.3	[redacted]			411
STKR400 [redacted]	201667	0.3				694

	要素番号
	411, 694
材料	[redacted]
A (mm^2)	
Z_y (mm^3)	
Z_z (mm^3)	

1.3 計算数値

1.3.1 鋼板の荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F_{sx}	F_{sy}	F_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
802	－			

注：添字ｘ，ｙは要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント (単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_{sx}	M_{sy}	M_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
802	－			

注：添字ｘ，ｙは要素に与えられた座標軸。

1.3.3　架構の荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
694	－				
696	－				
411	－				

注：添字ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.4　架構のモーメント　　(単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_y	M_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
694	－		
696	－		
411	－		

注：添字ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.5　アンカボルトの荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	49			
－	2			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.6　アンカボルトに作用する力　　(単位：N)

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	49		
－	2		

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

モード	方向	固有周期
1	水平	0.031
2	鉛直	0.017

1.4.2　応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
					算出応力	許容応力	
防護鋼板	SS400	組合せ	802	－			
架構	STKR400	引張り	694	－			
		圧縮	694	－			
		せん断	696	－			
		曲げ	411	－			
		組合せ（圧縮＋曲げ）	411	－			単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）	411	－			単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）	411	－			単位：なし
アンカボルト	SS400	引張り	－	49			単位：N
		せん断	－	2			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）	－	49			単位：なし

すべて許容応力以下である。

1.4.3　B系の評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ		備考
			算出応力	許容応力	
防護鋼板	SS400	組合せ			
架構	STKR400	引張り			
		圧縮			
		せん断			
		曲げ			
		組合せ（圧縮＋曲げ）			単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）			単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）			単位：なし
アンカボルト	SS400	引張り			単位：N
		せん断			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）			単位：なし

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-11-2-3　中央制御室天井照明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　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 3
2.4　適用規格・基準等 ····· 4
2.5　記号の説明 ····· 5
2.6　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 ····· 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
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　固有周期 ····· 19
4.5　設計用地震力 ····· 26
4.6　計算方法 ····· 31
4.6.1　応力の計算方法 ····· 31
4.7　計算条件 ····· 33
4.8　応力の評価 ····· 34
4.8.1　天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D，CSチャンネルEまでの応力評価 ····· 34
4.8.2　M10灯具取付ボルトの応力評価 ····· 35
5.　評価結果 ····· 36
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 36
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 36

1.　概要

本資料は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，下位クラス設備である中央制御室天井照明が設計用地震動に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラス施設である中央運転監視盤，運転監視補助盤（以下「主盤等」という。）に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

中央制御室天井照明は，図2－1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である主盤等の上部に設置されており，落下時に主盤等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

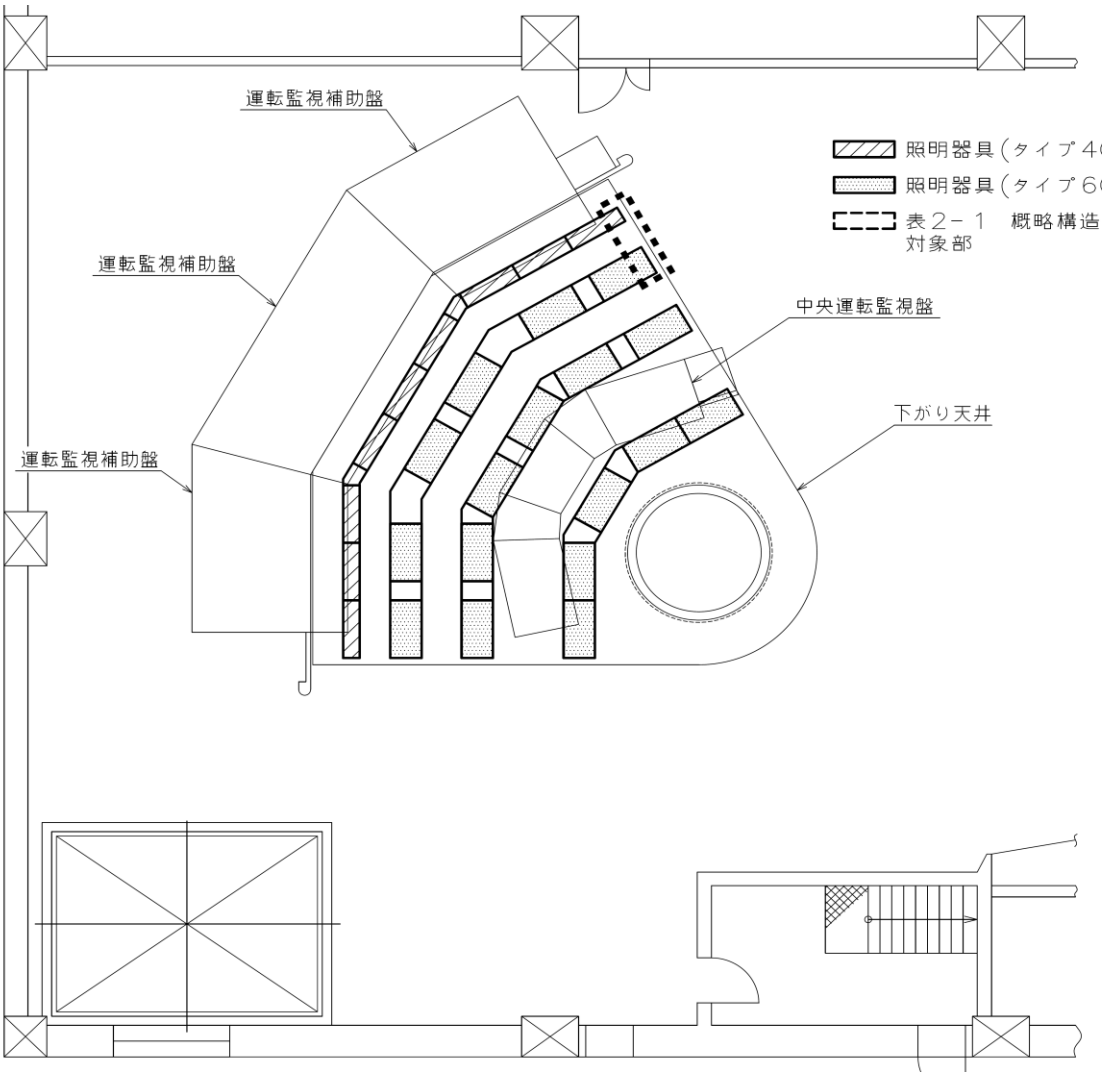
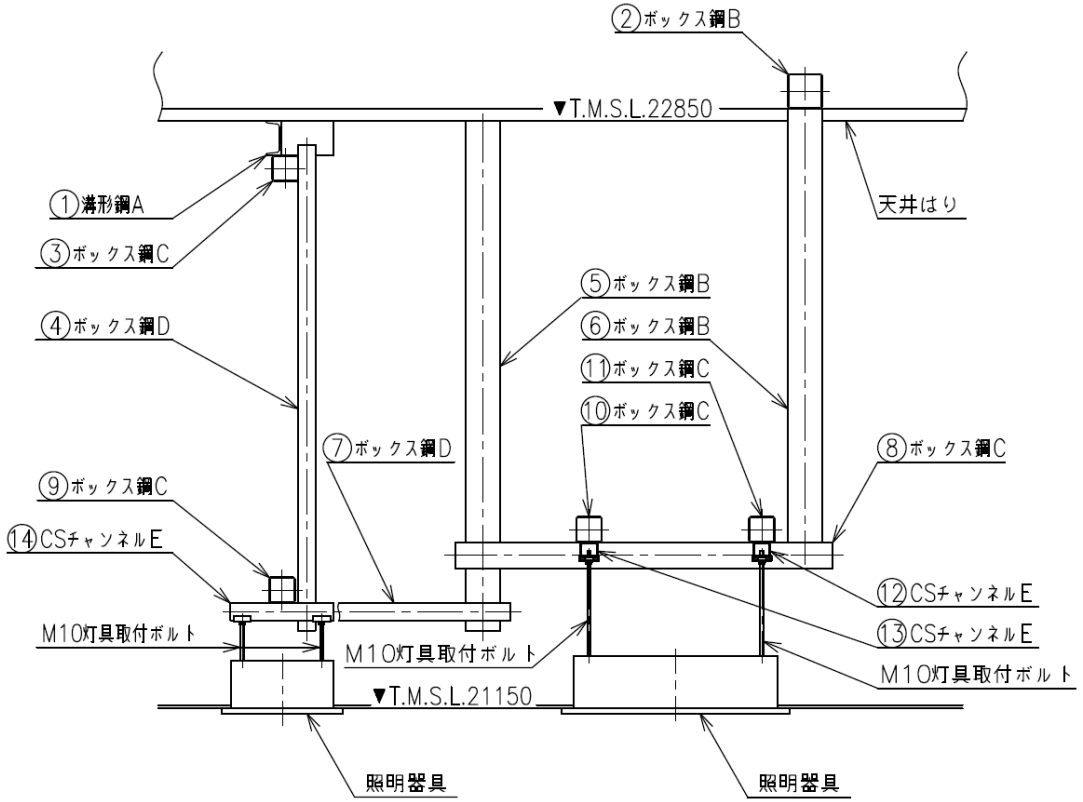


図2－1　中央制御室天井照明と主盤等の位置関係図

2.2　構造計画

中央制御室天井照明の構造計画を表 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	
中央制御室天井照明は，コントロール建屋 T.M.S.L.24.1m の天井はりに①溝形鋼 A を取付け，その①溝形鋼 A から下ろした④ボックス鋼 D と天井はりに取付けた②ボックス鋼 B から下ろした⑥ボックス鋼 B，天井はりから直接下ろした⑤ボックス鋼 B を柱材とし，それらに⑦～⑪ボックス鋼 C,D をはり材として取付けている。照明器具を支持する M10 灯具取付ボルトは⑨,⑩ボックス鋼 C に取付けた⑫～⑭CS チャンネル E から吊られている。 天井はりとの接続部及び各溝形鋼，ボックス鋼，CS チャンネルは溶接(完全拘束)されている。	吊り下げ型の照明装置	 (単位：mm)

2.3　評価方針

中央制御室天井照明の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.　耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す中央制御室天井照明の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において「4.4　固有周期」に示す固有振動数に基づく設計用地震力により応力等が許容限界内に収まることを，「4.6　計算方法」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。

天井はりを除く溝形鋼A，ボックス鋼B～D,CSチャンネルEは，中央制御室天井照明の構造上，一体構造物として3次元はりモデルによる解析を行う。

CSチャンネルEより下部は，解析により求められたM10灯具取付ボルトのCSチャンネルEへの取付位置における最大加速度による応力計算を行う。

中央制御室天井照明の耐震評価フローを図2－2に示す。

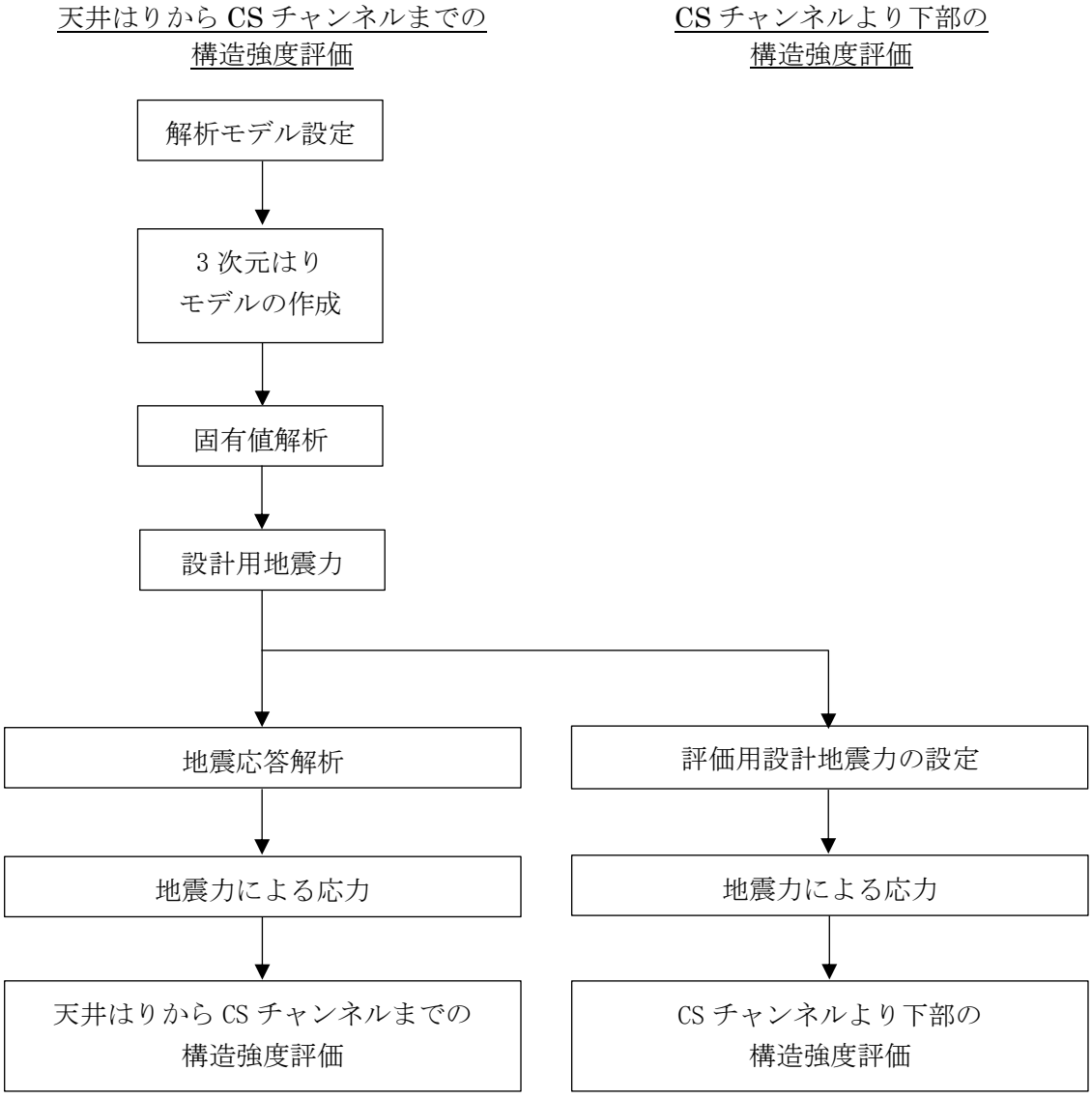


図2－2　中央制御室天井照明の耐震評価フロー

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。

・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（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針 ＪＥＡＧ４６０１-1991 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。）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
A_f	圧縮フランジの断面積	mm^2
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_x	X軸方向のせん断面積	mm^2
A_y	Y軸方向のせん断面積	mm^2
C_{H1}	天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D，CSチャンネルEまでの評価に用いる水平方向設計震度	—
C_{V1}	天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D，CSチャンネルEまでの評価に用いる鉛直方向設計震度	—
C_{H2}	CSチャンネルEより下部の評価に用いる水平方向設計震度	—
C_{V2}	CSチャンネルEより下部の評価に用いる鉛直方向設計震度	—
E	縦弾性係数	MPa
F *	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_c	許容圧縮応力（f_c*を1.5倍した値）	MPa
f_b	許容曲げ応力（f_b*を1.5倍した値）	MPa
f_s	許容せん断応力（f_s*を1.5倍した値）	MPa
f_t	許容組合せ応力（f_t*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	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
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	MPa
f_c *	一次応力における許容圧縮応力	MPa
f_b *	一次応力における許容曲げ応力	MPa
f_s *	一次応力における許容せん断応力	MPa
f_t *	一次応力における許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	はりのせい	mm
i	断面二次半径	mm
I_x	X軸まわりの断面二次モーメント	mm^4
I_y	Y軸まわりの断面二次モーメント	mm^4
J	ねじり剛性	mm^4
ℓ_b	圧縮フランジの支点間距離	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
M_{bx}	X軸まわり曲げモーメント	N・mm
M_{by}	Y軸まわり曲げモーメント	N・mm
M_t	軸方向ねじりモーメント	N・mm
N	軸力	N
Q_x	X軸方向のせん断力	N
Q_y	Y軸方向のせん断力	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
W	M10灯具取付ボルト1本当たりの荷重	N
Z_p	ねじり断面係数	mm^3
Z_x	X軸まわりの断面係数	mm^3
Z_y	Y軸まわりの断面係数	mm^3
Λ	限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
σ_c	発生圧縮応力	MPa
σ_{bx}	x軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ_{by}	y軸まわりの発生曲げ応力	MPa
σ_{tb}	一次応力評価における取付ボルトの引張応力	MPa
ρ_c	一次応力評価における圧縮応力	MPa
ρ_b	一次応力評価における曲げ応力	MPa
ρ_m	一次応力評価における組合せ応力	MPa
ρ_s	一次応力評価におけるせん断応力	MPa
τ_b	一次応力評価における取付ボルトのせん断応力	MPa
τ_p	発生せん断応力（ねじり）	MPa
τ_x	x軸まわりの発生せん断応力	MPa
τ_y	y軸まわりの発生せん断応力	MPa

2.6　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
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積	mm^2	小数点以下第2位	切捨て	小数点以下第1位*2
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

注記＊1：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。

＊2：設計上定める値が整数位の場合は，整数位表示とする。

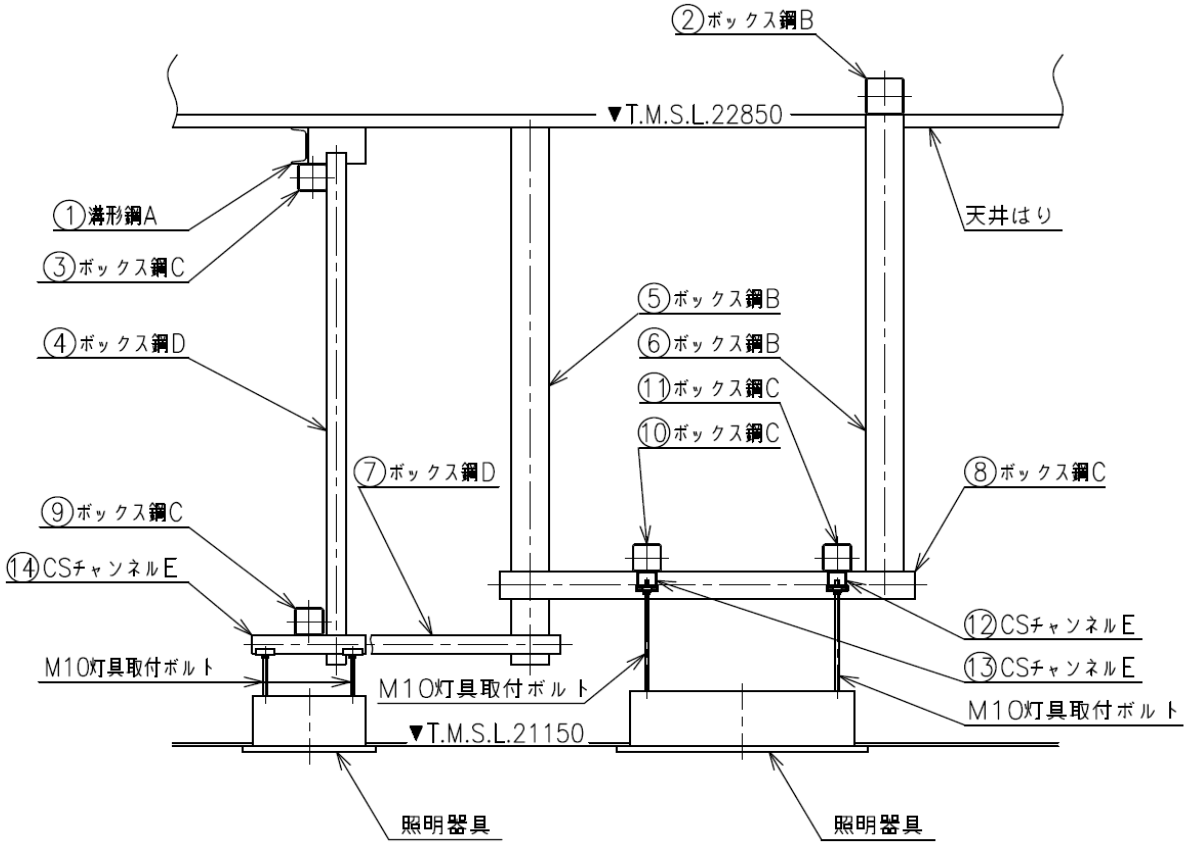
＊3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

中央制御室天井照明は，溝形鋼 A，ボックス鋼 B～D，CS チャンネル E，M10 灯具取付ボルトを介して建屋躯体部から吊り下げる構造となっている。よって，中央制御室天井照明が落下することにより，波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から，耐震評価上厳しくなる溝形鋼 A，ボックス鋼 B～D，CS チャンネル E，M10 灯具取付ボルトについて実施する。

耐震評価部位について，応力解析での耐震評価部位は，図 3－1 に示す①溝形鋼 A，②,⑤,⑥ボックス鋼 B，③,⑧～⑪ボックス鋼 C，④,⑦ボックス鋼 D，⑫～⑭CS チャンネル E とする。

CS チャンネル E より下部の耐震評価応力計算での評価対象部位は，図 3－1 に示す M10 灯具取付ボルトとする。



（単位：mm）

図 3－1　中央制御室天井照明器具の耐震評価部位

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) 中央制御室天井照明は，コントロール建屋躯体天井はりに溝形鋼，ボックス鋼，CS チャンネル，M10 灯具取付ボルトを介して設置されている。

(2) 中央制御室天井照明の質量には，耐震評価部位である M10 灯具取付ボルトに加えて照明器具及び電路類等の質量を考慮する。

(3) 地震力は，固有値解析結果を踏まえて設定するものとする。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(5) スペクトルモーダル法による応答解析を行い，算出された応力を用いて評価を行う。

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

中央制御室天井照明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

中央制御室天井照明の許容応力は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

中央制御室天井照明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 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 に示す。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	その他	中央制御室 天井照明	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	その他	中央制御室 天井照明	—	—*1	$D+P_D+M_D+S_s$ *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：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊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（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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	
	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
ⅣＡＳ	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）					

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)
溝形鋼 A	SS400	周囲環境温度	26	―	245	400	―
ボックス鋼 B	STKR400	周囲環境温度	26	―	245	400	―
ボックス鋼 C	STKR400	周囲環境温度	26	―	245	400	―
ボックス鋼 D	STKR400	周囲環境温度	26	―	245	400	―
CS チャンネル E	SS400	周囲環境温度	26	―	245	400	―
M10 灯具取付ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	26	―	245	400	―

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)
溝形鋼 A	SS400	周囲環境温度	50	—	241	394	—
ボックス鋼 B	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 C	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
ボックス鋼 D	STKR400	周囲環境温度	50	—	234	394	—
CS チャンネル E	SS400	周囲環境温度	50	—	241	394	—
M10 灯具取付ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—

4.3　解析モデル及び諸元

中央制御室天井照明の解析モデルを図 4－1，図 4－2 に示す。

(1)　評価対象部位をはり要素でモデル化した三次元 FEM モデルによって求める。

(2)　解析モデルの諸元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。また，断面性能を表 4－8 に示す。

(3)　解析モデルは，各部材を表 4－9 に示す要素を用いてモデル化する。なお，モデル化は基本部材の軸心で行うものとする。

(4)　各部材の拘束条件及び接合条件を以下に示す。各部材は接合部において変位と回転が拘束される完全拘束とする。

なお，M10 灯具取付ボルトは剛体として評価する。

・ コントロール建屋躯体天井はりと①溝形鋼 A　：完全拘束
・ コントロール建屋躯体天井はりと②ボックス鋼 B　：完全拘束
・ コントロール建屋躯体天井はりと⑤ボックス鋼 B　：完全拘束
・ ①溝形鋼 A と③ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ③ボックス鋼 C と④ボックス鋼 D　：完全拘束
・ ②ボックス鋼 B と⑥ボックス鋼 B　：完全拘束
・ ④ボックス鋼 D と⑦ボックス鋼 D　：完全拘束
・ ⑤ボックス鋼 B と⑦ボックス鋼 D　：完全拘束
・ ⑤ボックス鋼 B と⑧ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ⑥ボックス鋼 B と⑧ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ⑦ボックス鋼 D と⑨ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ⑧ボックス鋼 C と⑩ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ⑧ボックス鋼 C と⑪ボックス鋼 C　：完全拘束
・ ⑪ボックス鋼 C と⑫CS チャンネル E　：完全拘束
・ ⑩ボックス鋼 C と⑬CS チャンネル E　：完全拘束
・ ⑨ボックス鋼 C と⑭CS チャンネル E　：完全拘束

(5)　計算機コードは「ＮＳＡＦＥ ver.5」を使用し，固有値と各要素に発生する応力を求める。なお，評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機コード（解析コード）の概要」に示す。

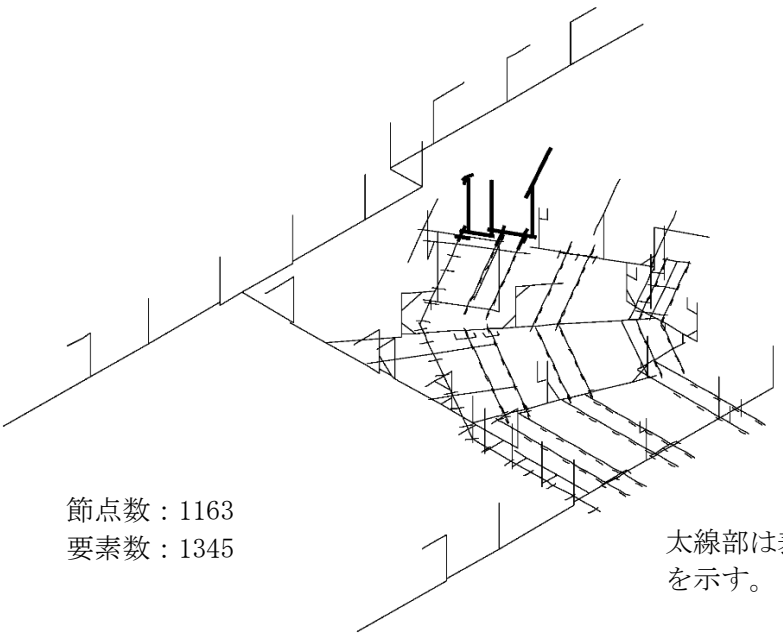


図 4－1　中央制御室天井照明の解析モデル(1)

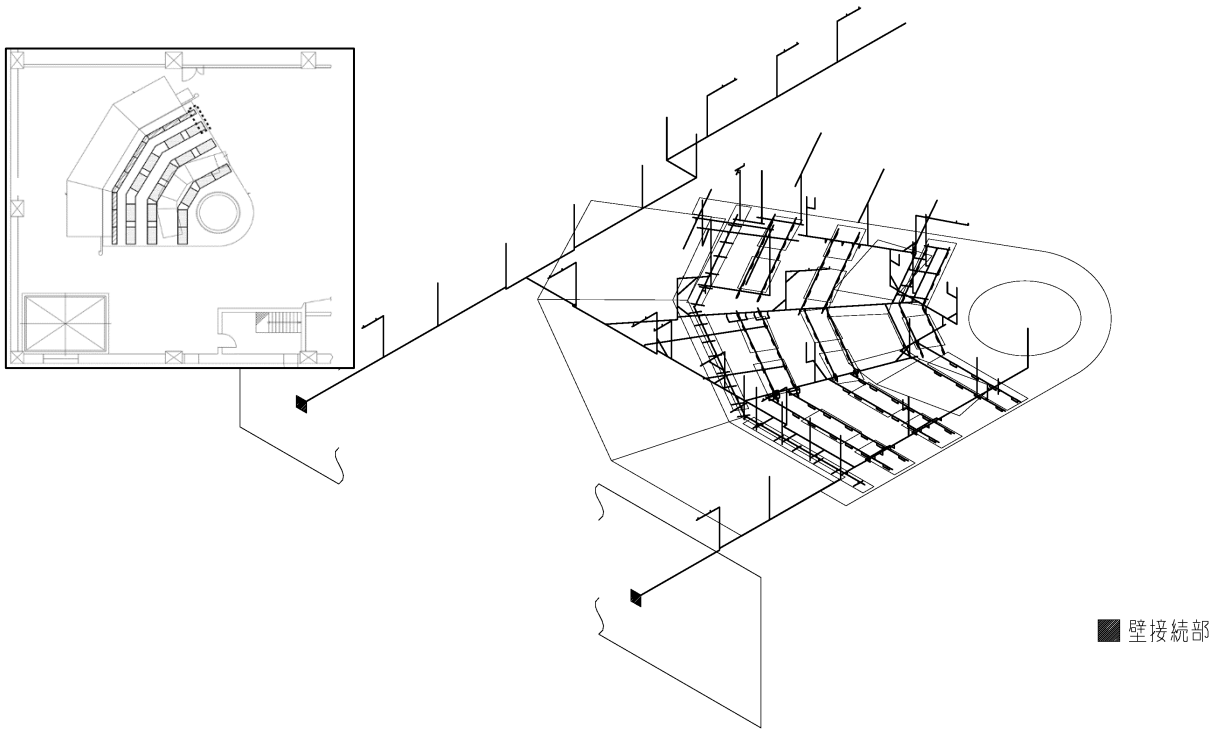


図 4－2　中央制御室天井照明の解析モデル(2)

表 4－6　解析モデル諸元（設計基準対象施設）

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STKR400 SS400
質量	m	kg	3112
温度条件 (周囲環境温度)	T	℃	26
縦弾性係数	E	MPa	202600
ポアソン比	ν	—	0.3

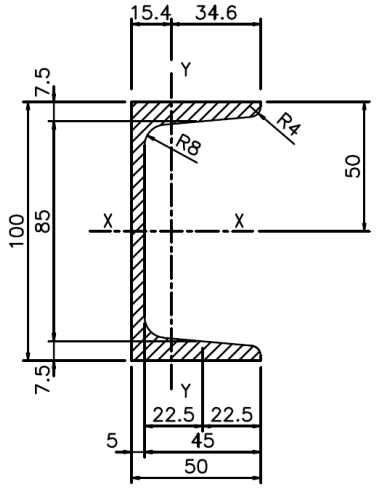
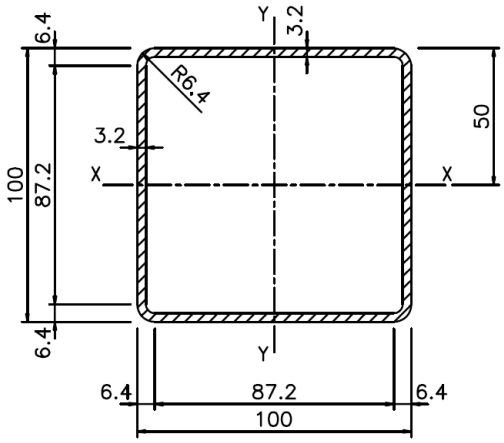
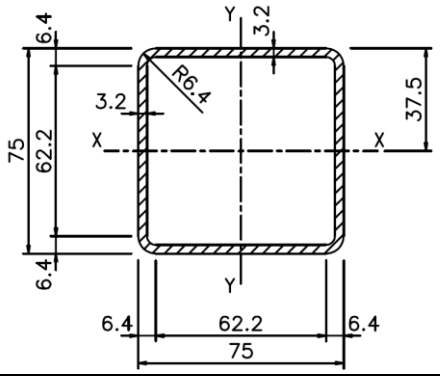
表 4－7　解析モデル諸元（重大事故等対処設備）

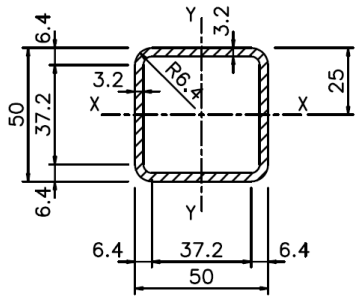
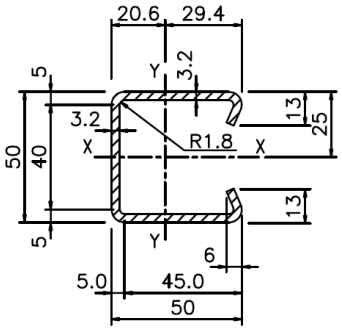
項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	STKR400 SS400
質量	m	kg	3112
温度条件 (周囲環境温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3

表 4－8　断面性能

計算手法	部位	使用鋼材	断面性能								
			断面積 A (mm^2)	せん断断面積		断面二次モーメント		ねじり剛性 J (mm^4)	断面係数		
				A_y (mm^2)	A_x (mm^2)	I_y (mm^4)	I_x (mm^4)		Z_y (mm^3)	Z_x (mm^3)	Z_p (mm^3)
応力解析	溝形鋼 A	100×50×5×7.5	1192	405.3	669.4	260000	1880000	17200	7520	37600	2290
	ボックス鋼 B	100×100×3.2	1213	558	558	1870000	1870000	2900000	37500	37500	59900
	ボックス鋼 C	75×75×3.2	892.7	398	398	755000	755000	1180000	20100	20100	32900
	ボックス鋼 D	50×50×3.2	572.7	238	238	204000	204000	328000	8160	8160	14000
	CS チャンネル E	50×50×3.2	489.8	128	256	148000	201000	1690	5040	8070	528
応力計算	M10 灯具取付ボルト	タイプ 4C	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—
		タイプ 6C	78.5	—	—	—	—	—	—	—	—

表 4－9　使用要素

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
溝形鋼 A	はり要素	SS400		
ボックス鋼 B	はり要素 柱要素	STKR400		
ボックス鋼 C	はり要素 柱要素	STKR400		

部位	使用要素	使用材料	使用断面	備考
ボックス鋼 D	はり要素 柱要素	STKR400		
CS チャンネル E	はり要素	SS400		
M10 灯具取付ボルト	—	SS400	—	質量のみ考慮
照明器具	—	—	—	質量のみ考慮

4.4　固有周期

固有値解析の結果として，設計基準対象施設の結果を表 4－10 に，重大事故等対処設備の結果を表 4－11 に，振動モードを図 4－3 から図 4－7 に示す。水平方向は，5 次モードで卓越し，固有周期が柔な領域にあることから，柔であることを確認した。

また，鉛直方向は，15 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 4－10　固有値解析結果（設計基準対象施設）

モード	卓越するモード*1	固有周期（s）	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1 次	―	0.102	0.156	0.000	0.000
2 次	―	0.078	0.428	0.245	0.056
3 次	―	0.072	0.004	0.024	0.103
4 次	―	0.066	0.306	0.480	0.018
5 次	水平	0.054	0.937	0.799	0.026
6 次	―	0.054	0.263	0.020	0.003
7 次	―	0.047	0.225	0.190	0.095
8 次	―	0.046	0.070	0.000	0.058
9 次	―	0.045	0.794	0.622	0.054
10 次	―	0.043	0.160	0.390	0.033
11 次	―	0.043	0.447	0.444	0.052
12 次	―	0.043	0.209	0.034	0.012
13 次	―	0.041	0.167	0.124	0.343
14 次	―	0.041	0.079	0.114	0.299
15 次	鉛直	0.039	0.075	0.236	0.460

注記＊1：刺激係数が最大となるものを，卓越する振動モードとして選定する。

＊2：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。

表 4－11　固有値解析結果（重大事故等対処設備）

モード	卓越するモード*1	固有周期（s）	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1 次	―	0.102	0.156	0.000	0.000
2 次	―	0.078	0.428	0.245	0.056
3 次	―	0.072	0.004	0.024	0.103
4 次	―	0.067	0.306	0.480	0.018
5 次	水平	0.055	0.937	0.799	0.026
6 次	―	0.054	0.263	0.020	0.003
7 次	―	0.047	0.225	0.190	0.095
8 次	―	0.046	0.070	0.000	0.058
9 次	―	0.045	0.794	0.622	0.054
10 次	―	0.044	0.160	0.390	0.033
11 次	―	0.043	0.447	0.444	0.052
12 次	―	0.043	0.209	0.034	0.012
13 次	―	0.041	0.167	0.124	0.342
14 次	―	0.041	0.079	0.114	0.299
15 次	鉛直	0.039	0.075	0.236	0.460

注記＊1：刺激係数が最大となるものを，卓越する振動モードとして選定する。

＊2：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。

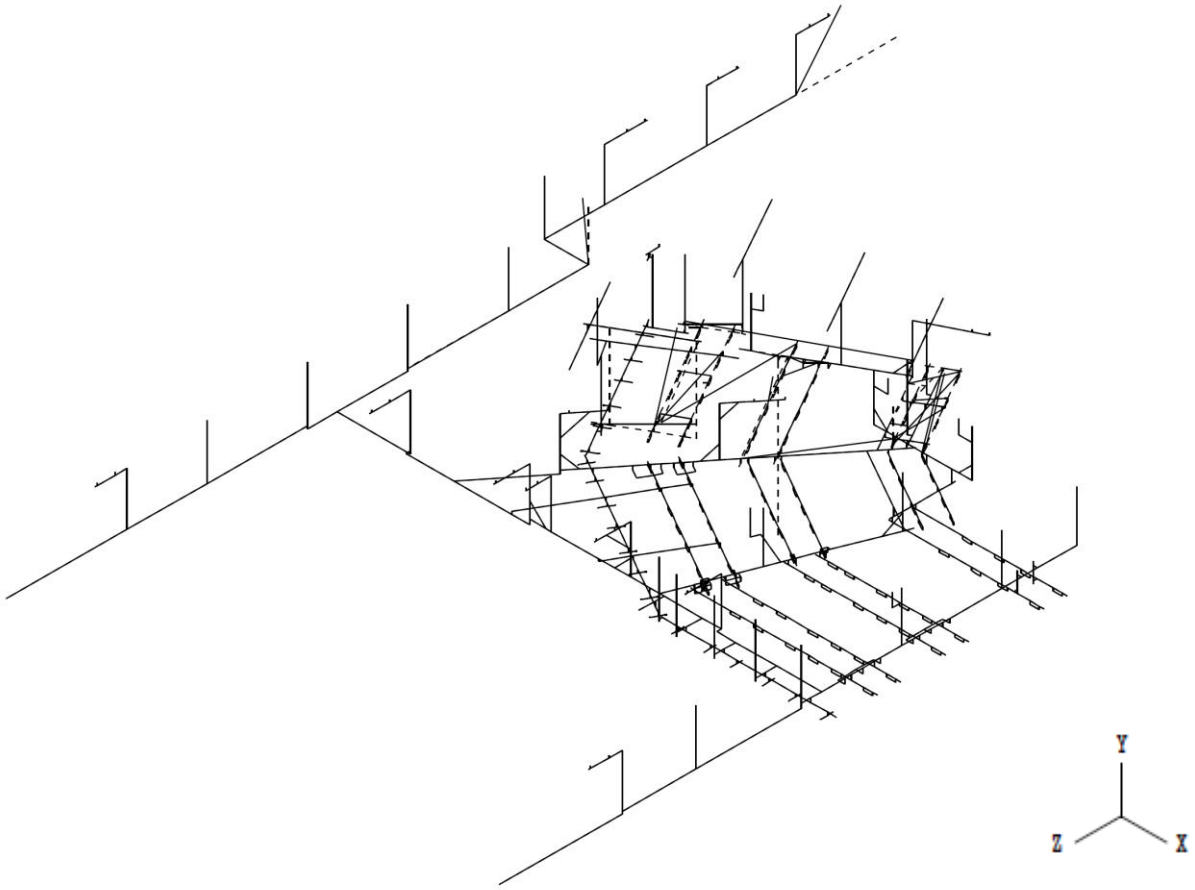


図 4－3　振動モード図（1 次モード　水平方向　0.102s）

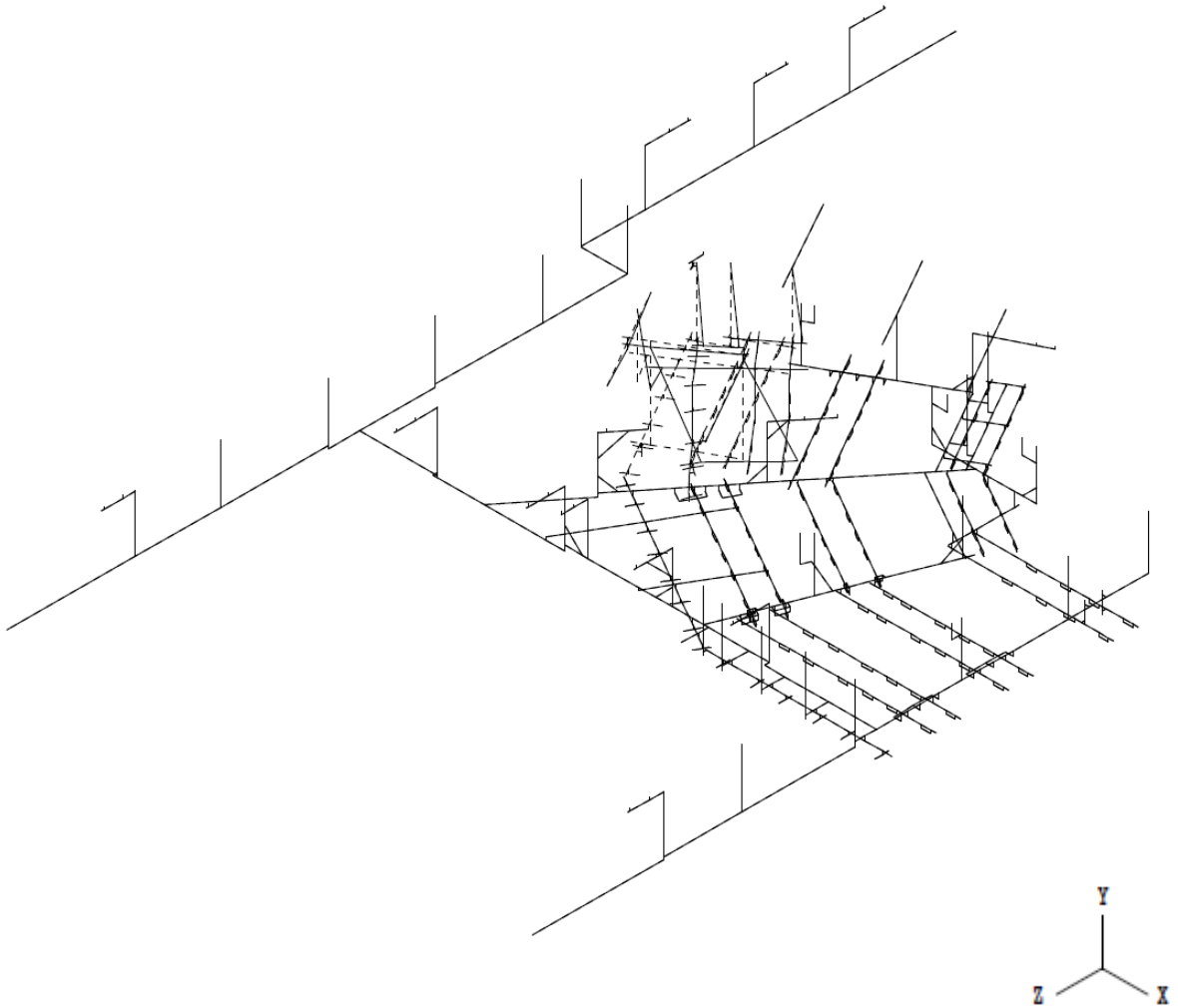


図 4－4　振動モード図（2 次モード　水平方向　0.078s）

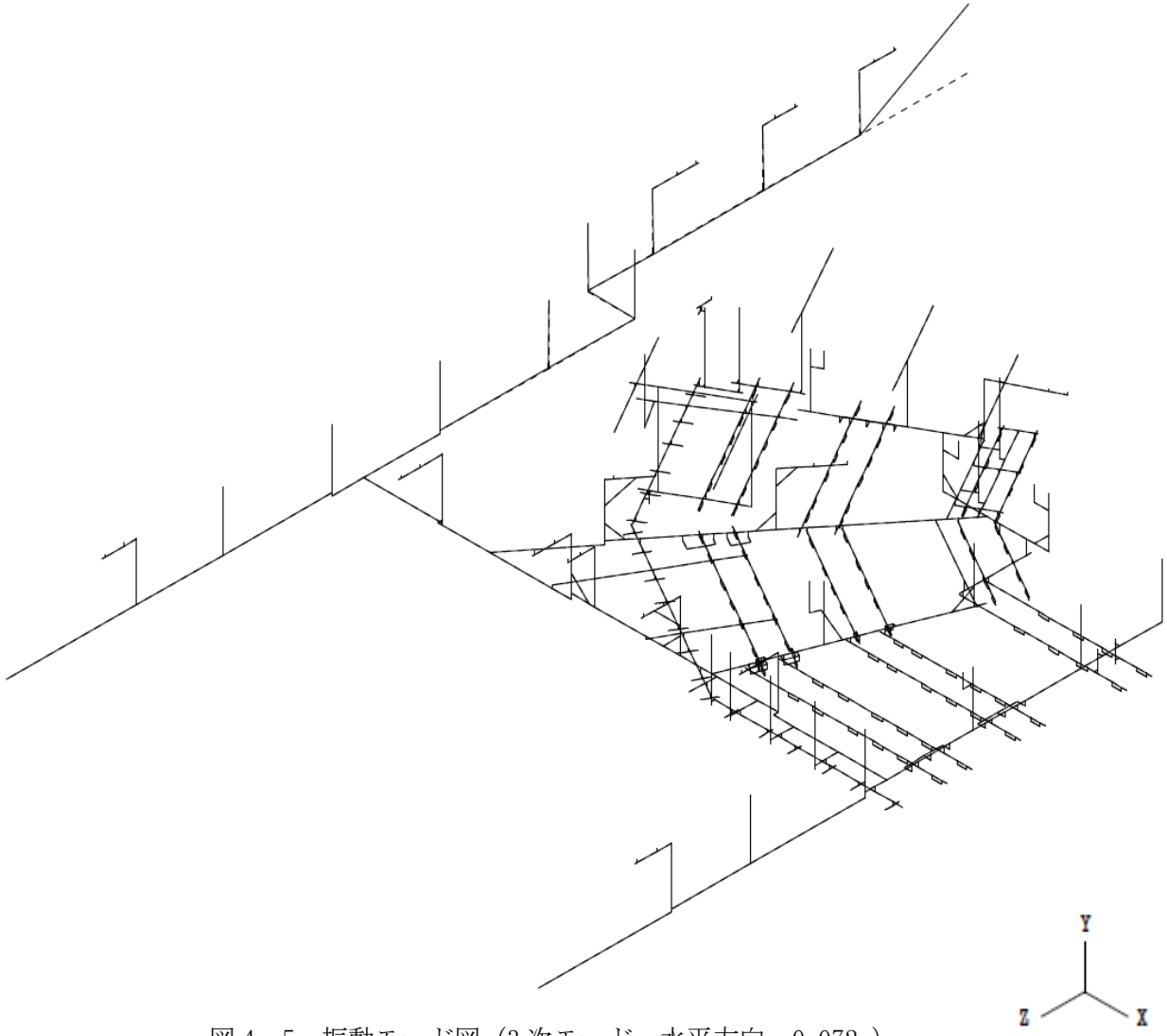


図 4－5　振動モード図（3 次モード　水平方向　0.072s）

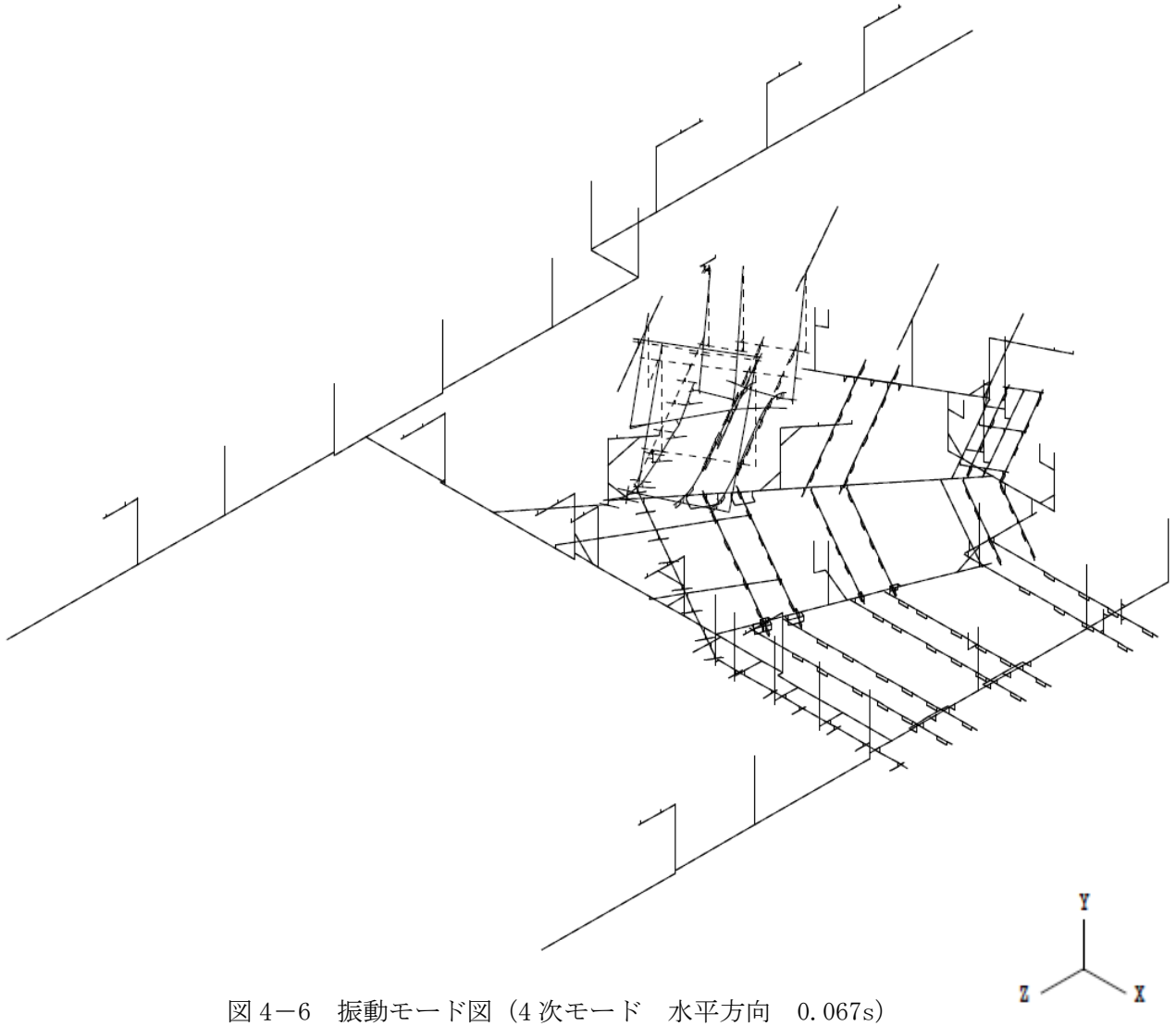


図 4－6　振動モード図（4 次モード　水平方向　0.067s）

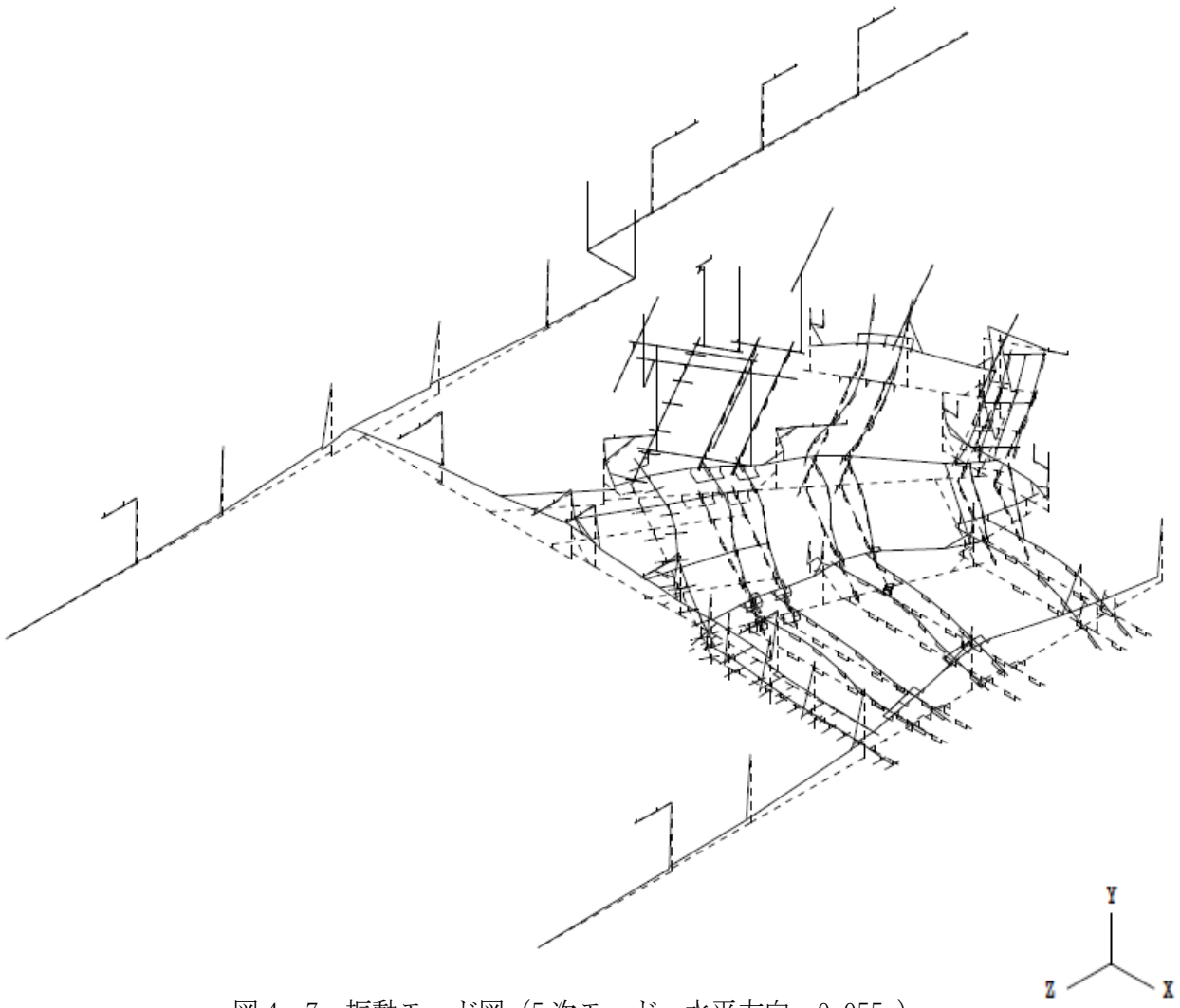


図 4－7　振動モード図（5 次モード　水平方向　0.055s）

4.5　設計用地震力

天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D,CSチャンネルEまでの評価に用いる設計用地震力を表4－12及び表4－13に，解析より求めたCSチャンネルEより下部の評価に用いる設計用地震力を表4－14及び表4－15に示す。

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，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。また，減衰定数は，Ⅴ-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。

なお，解析モデルに対する建屋からの地震力が入力される箇所は壁，天井との接続部であり，図4－8のようになる。

表4－12　天井はりからCSチャンネルまでの評価に用いる設計用地震力(設計基準対象施設)

据付場所及び床面高さ(m)		コントロール建屋　T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3*1)					
固有周期(s)		水平：0.054*2　　鉛直：0.05以下					
減衰定数(%)		水平：1.0　　鉛直：―					
地震力		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度			基準地震動Ｓｓ		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度*3		応答鉛直震度
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	0.102	―	―	―	4.18	4.18	―
2次	0.078	―	―	―	3.39	3.39	―
3次	0.072	―	―	―	3.39	3.39	―
4次	0.066	―	―	―	3.31	3.31	―
5次	0.054	―	―	―	2.74	2.74	―
6次	0.054	―	―	―	2.74	2.74	―
7次	0.047	―	―	―	2.73	2.73	―
動的地震力*4		―	―	―	1.88	1.71	1.15
静的地震力		―	―	―	―	―	―

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：5次固有周期について記載

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

＊4：Ｓｓ又はＳｄに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4－13　天井はりから CS チャンネルまでの評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		コントロール建屋　T.M.S.L. 24.1（T.M.S.L. 17.3*1）					
固有周期(s)		水平：0.055*2　　鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0　　鉛直：―					
地震力		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度			基準地震動Ｓｓ		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度*3		応答鉛直震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.102	―	―	―	4.18	4.18	―
2 次	0.078	―	―	―	3.39	3.39	―
3 次	0.072	―	―	―	3.39	3.39	―
4 次	0.067	―	―	―	3.34	3.34	―
5 次	0.055	―	―	―	2.74	2.74	―
6 次	0.054	―	―	―	2.74	2.74	―
7 次	0.047	―	―	―	2.73	2.73	―
動的地震力*4		―	―	―	1.88	1.71	1.15
静的地震力		―	―	―	―	―	―

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：5 次固有周期について記載
＊3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（Ｓｓ）より得られる震度を示す。
＊4：Ｓｓ又はＳｄに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4－14　CS チャンネルより下部の評価に用いる設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)	コントロール建屋　T.M.S.L. 24.1（T.M.S.L. 17.3*1）		
地震力	基準地震動Ｓｓ		
	応答水平震度*2		応答鉛直震度
	NS 方向	EW 方向	
	11.01	8.11	1.15

注記＊1：基準床レベルを示す。
　　＊2：灯具取付点の水平震度を示す。

表 4－15　CS チャンネルより下部の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)	コントロール建屋　T.M.S.L. 24.1（T.M.S.L. 17.3*1）		
地震力	基準地震動Ｓｓ		
	応答水平震度*2		応答鉛直震度
	NS 方向	EW 方向	
	11.02	8.15	1.15

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：灯具取付点の水平震度を示す。

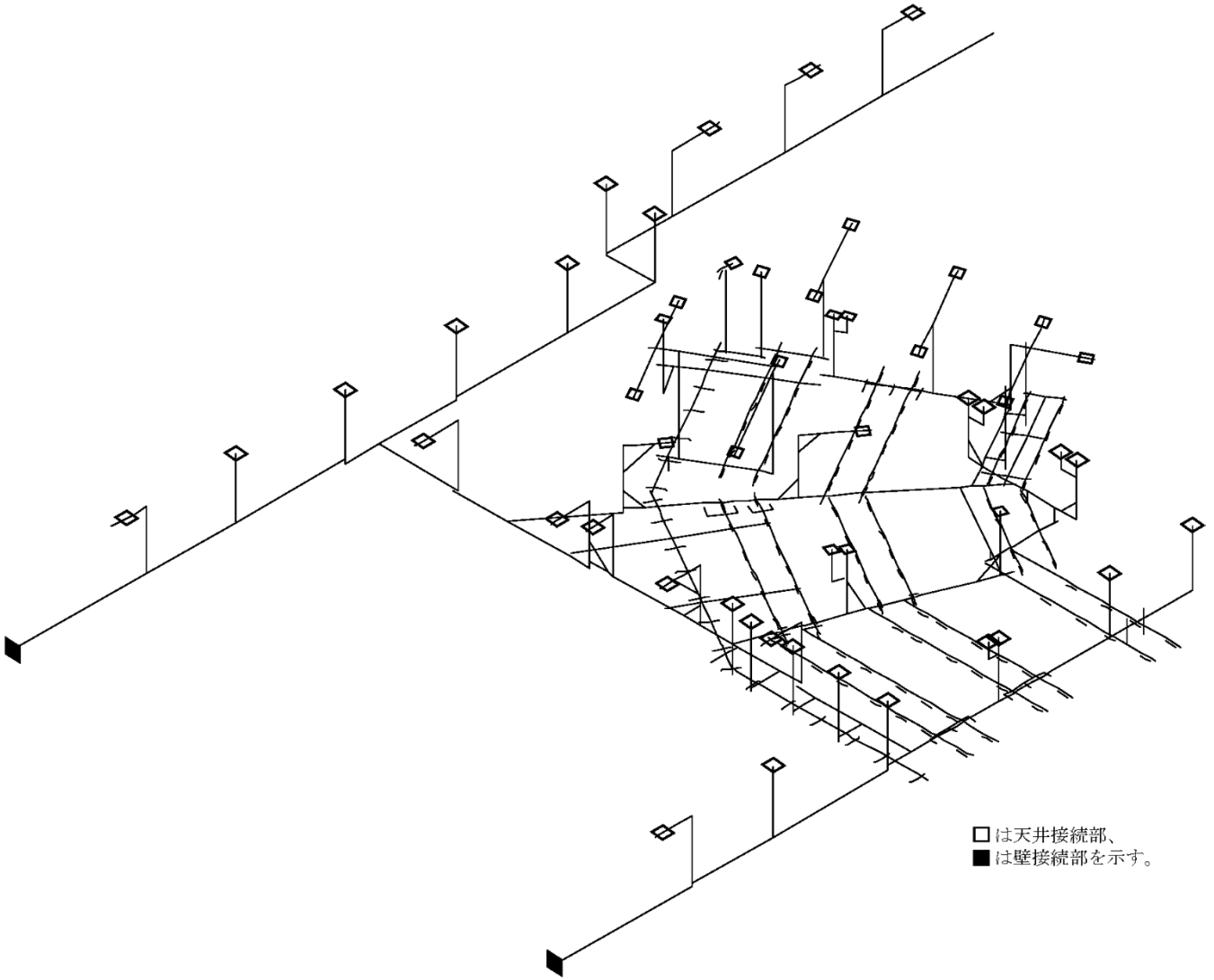


図 4－8　解析モデルに対する建屋からの地震力の伝搬イメージ

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D，CSチャンネルEまでの応力

解析による計算で得られる各要素端での圧縮応力，せん断応力，曲げ応力より各応力を次のように求める。

なおX方向，Y方向はそれぞれ表4－9の使用断面に示す方向とする。

(1)　圧縮応力

$$\rho_c = \left|\sigma_c\right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.1)$$

(a)　$\sigma_c = -N / A$

(2)　せん断応力

$$\rho_s = \mathrm{MAX}\left(\tau_x + \tau_p,\ \tau_y + \tau_p\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.2)$$

(a)　X方向　$\tau_x = Q_x / A_x$

(b)　Y方向　$\tau_y = Q_y / A_y$

(c)　ねじり　$\tau_p = M_t / Z_p$

(3)　曲げ応力

$$\rho_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.3)$$

(a)　$\sigma_{bx} = M_{bx} / Z_x$

(b)　$\sigma_{by} = M_{by} / Z_y$

(4)　組合せ応力

$$\rho_m = \sqrt{\left\{\left(\rho_c + \rho_b\right)^2 + 3\rho_s{}^2\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.4)$$

4.6.1.2　M10灯具取付ボルトの応力

M10灯具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)　引張応力

$$\sigma_{tb}=\frac{(1+C_{V2})\cdot W}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

(2)　せん断応力

$$\tau_b=\frac{C_{H2}\cdot W}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重は，以下の表 4－16 に示す。また，M10 灯具取付ボルトの応力計算に使用する条件を表 4－17 に示す。

表 4－16　各部品の質量一覧

部材	使用鋼材	単位長さ質量及び単位質量		物量		質量(kg)
溝形鋼 A	100×50×5×7.5	9.36	kg／m	1	m	3
ボックス鋼 B～K	100×100×3.2	9.52	kg／m	136	m	1295
ボックス鋼 C	75×75×3.2	7.01	kg／m	90	m	628
ボックス鋼 D	50×50×3.2	4.50	kg／m	17	m	77
CS チャンネル E	50×50×3.2	3.8	kg／m	26	m	96
照明器具	タイプ 4C	15	kg／灯	9	灯	135
	タイプ 6C	25	kg／灯	17	灯	425
電線管類	電線管，電線管付属品，電線	226	kg	1	式	226
その他サポート材	付属品	227	kg	1	式	227
合計						3112

表 4－17　M10 灯具取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値
M10 灯具取付ボルト 1 本当たりの荷重	W	N/本	49（タイプ 4C）
			74（タイプ 6C）
M10 灯具取付ボルトの断面積	A_b	mm^2	78.5
設計水平震度（設計基準対象施設）	C_{H2}	―	11.01
設計水平震度（重大事故等対処設備）	C_{H2}	―	11.02
設計鉛直震度（設計基準対象施設）	C_{V2}	―	1.15
設計鉛直震度（重大事故等対処設備）	C_{V2}	―	1.15

4.8　応力の評価

4.8.1　天井はりから溝形鋼A，ボックス鋼B～D，CSチャンネルEまでの応力評価

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。

	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容圧縮応力 f_c	(1)有効細長比≦限界細長比 $\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F^*}{\nu'}\cdot 1.5$ (2)有効細長比＞限界細長比 $0.277\cdot F^*\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	(1)みぞ形断面のもの $\frac{0.433\cdot E\cdot A_f}{\ell_b\cdot h}\cdot 1.5$ (2)みぞ形断面以外のもの $\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

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

基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合

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

$$\nu'=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \cdots\cdots (4.8.1.3)$$

4.8.2　M10 灯具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。

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

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。

	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

中央制御室天井照明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。

また，許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5－1 に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

中央制御室天井照明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。

また，許容応力に対する算出応力の割合が最も大きい箇所（裕度最小箇所）を図 5－2 に示す。

【中央制御室天井照明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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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*3	鉛直方向設計震度*3	
中央制御室天井照明	C	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3*1)	0.102	0.05以下	―	―	C_{H1}＝ 1.88 又は＊2	C_{V1}＝1.15	26
							C_{H2}＝11.01	C_{V2}＝1.15	

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

＊3：水平方向設計震度および鉛直方向設計震度における上段は天井はりからCSチャンネルまでの評価に用いる震度を示し，下段はCSチャンネルより下部の評価に用いる震度を示す。

1.2 結論

1.2.1 応力

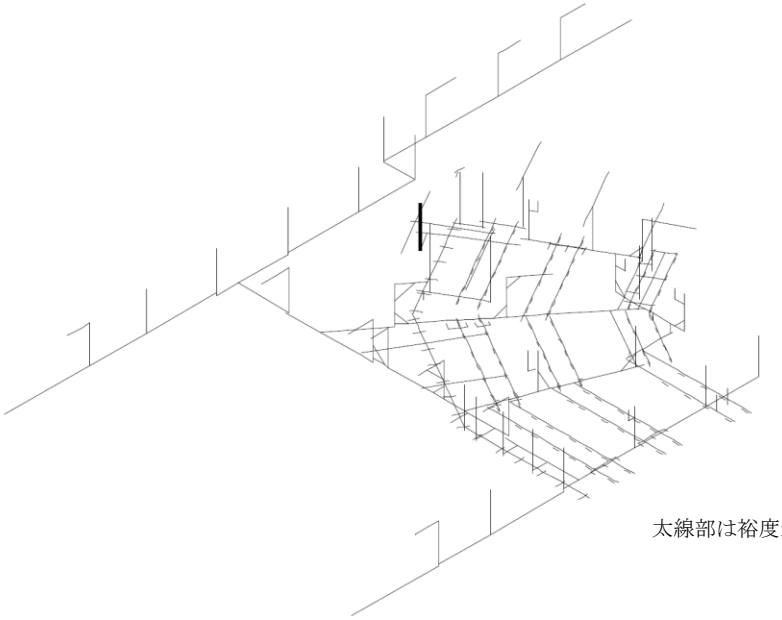
（単位：MPa）

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動Ｓｓ	
				算出応力	許容応力
溝形鋼A	SS400	100×50×5×7.5	圧縮	ρ_c ＝ 1 *1	f_c ＝ 246
			せん断	ρ_s ＝ 11	f_s ＝ 161
			曲げ	ρ_b ＝ 20	f_b ＝ 280
			組合せ	ρ_m ＝ 28	f_t ＝ 280
ボックス鋼B	STKR400	100×100×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 270
			せん断	ρ_s ＝ 9	f_s ＝ 161
			曲げ	ρ_b ＝ 121	f_b ＝ 280
			組合せ	ρ_m ＝ 124	f_t ＝ 280
ボックス鋼C	STKR400	75×75×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 268
			せん断	ρ_s ＝ 36	f_s ＝ 161
			曲げ	ρ_b ＝ 46	f_b ＝ 280
			組合せ	ρ_m ＝ 78	f_t ＝ 280
ボックス鋼D	STKR400	50×50×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 267
			せん断	ρ_s ＝ 40	f_s ＝ 161
			曲げ	ρ_b ＝ 40	f_b ＝ 280
			組合せ	ρ_m ＝ 80	f_t ＝ 280
CSﾁｬﾝﾈﾙE	SS400	50×50×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 7 *1	f_c ＝ 278
			せん断	ρ_s ＝ 6	f_s ＝ 161
			曲げ	ρ_b ＝ 23	f_b ＝ 280
			組合せ	ρ_m ＝ 32	f_t ＝ 280
M10灯具取付ボルト	SS400	タイプ4C	引張り	σ_{tb}＝2	f_{ts}＝ 210*2
			せん断	τ_b ＝7	f_{sb}＝ 161
		タイプ6C	引張り	σ_{tb}＝2	f_{ts}＝ 210*2
			せん断	τ_b ＝11	f_{sb}＝ 161

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}]



太線部は裕度最小箇所を示す。

図 5－1　裕度最小箇所（設計基準対象施設）

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		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*3	鉛直方向設計震度*3	
中央制御室天井照明	－	コントロール建屋 T.M.S.L. 24.1 (T.M.S.L. 17.3*1)	0.102	0.05以下	―	―	C_{H1}＝ 1.88 又は＊2	C_{V1}＝1.15	50
							C_{H2}＝11.01	C_{V2}＝1.15	

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

＊3：水平方向設計震度および鉛直方向設計震度における上段は天井はりからCSチャンネルまでの評価に用いる震度を示し，下段はCSチャンネルより下部の評価に用いる震度を示す。

2.2　結論

2.2.1　応力

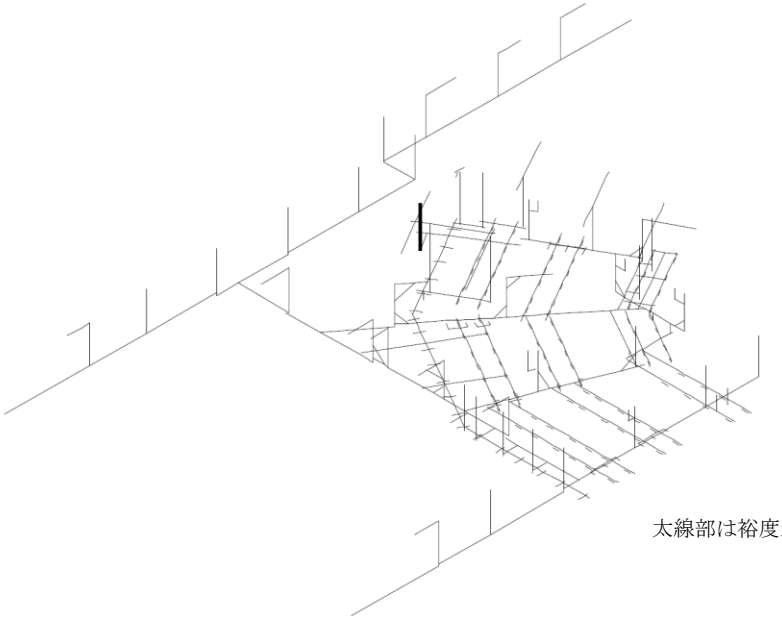
（単位：MPa）

部材	材料	使用鋼材	応力分類	基準地震動Ｓｓ	
				算出応力	許容応力
溝形鋼 A	SS400	100×50×5×7.5	圧縮	ρ_c ＝ 1 *1	f_c ＝ 242
			せん断	ρ_s ＝ 12	f_s ＝ 159
			曲げ	ρ_b ＝ 20	f_b ＝ 276
			組合せ	ρ_m ＝ 28	f_t ＝ 276
ボックス鋼 B	STKR400	100×100×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 266
			せん断	ρ_s ＝ 9	f_s ＝ 159
			曲げ	ρ_b ＝ 121	f_b ＝ 276
			組合せ	ρ_m ＝ 124	f_t ＝ 276
ボックス鋼 C	STKR400	75×75×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 264
			せん断	ρ_s ＝ 36	f_s ＝ 159
			曲げ	ρ_b ＝ 46	f_b ＝ 276
			組合せ	ρ_m ＝ 78	f_t ＝ 276
ボックス鋼 D	STKR400	50×50×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 2 *1	f_c ＝ 264
			せん断	ρ_s ＝ 40	f_s ＝ 159
			曲げ	ρ_b ＝ 40	f_b ＝ 276
			組合せ	ρ_m ＝ 80	f_t ＝ 276
CS ﾁｬﾝﾈﾙ E	SS400	50×50×3.2	圧縮	ρ_c ＝ 7 *1	f_c ＝ 274
			せん断	ρ_s ＝ 6	f_s ＝ 159
			曲げ	ρ_b ＝ 23	f_b ＝ 276
			組合せ	ρ_m ＝ 32	f_t ＝ 276
M10 灯具取付ボルト	SS400	タイプ 4C	引張り	σ_{tb}＝ 2	f_{ts}＝ 207*2
			せん断	τ_b ＝ 7	f_{sb}＝ 159
		タイプ 6C	引張り	σ_{tb}＝ 2	f_{ts}＝ 207*2
			せん断	τ_b ＝ 11	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：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$



太線部は裕度最小箇所を示す。

図 5－2　最小裕度箇所（重大事故等対処施設）

Ⅴ-2-11-2-4　原子炉建屋クレー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　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 3
2.4　適用規格・基準等 ····· 4
2.5　記号の説明 ····· 5
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 7
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 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件 ····· 10
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 15
4.4　固有周期 ····· 17
4.5　設計用地震力 ····· 18
4.6　計算方法 ····· 27
4.6.1　クレーン本体ガーダの応力の計算方法 ····· 27
4.6.2　脱線防止ラグの応力の計算方法 ····· 30
4.6.3　トロリストッパの応力の計算方法 ····· 31
4.6.4　浮上り量の計算方法 ····· 32
4.6.5　吊具の荷重計算方法 ····· 32
4.7　計算条件 ····· 32
4.8　応力の評価 ····· 33
4.8.1　クレーン本体ガーダの応力評価 ····· 33
4.8.2　脱線防止ラグの応力評価 ····· 33
4.8.3　トロリストッパの応力評価 ····· 33
4.8.4　浮上り量の評価 ····· 34
4.8.5　吊具の評価 ····· 34
5.　評価結果 ····· 35
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 35
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 35
6.　引用文献 ····· 35

付録1　時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討 ····· 42

1. 概要

本計算書は，Ｖ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき，下位クラス設備である原子炉建屋クレーン（Ｂクラス施設）が基準地震動Ｓｓに対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建屋クレーンは，原子炉建屋4階に設置される。原子炉建屋クレーンは，図2－1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料貯蔵プール上に移動可能であることから，転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料貯蔵プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

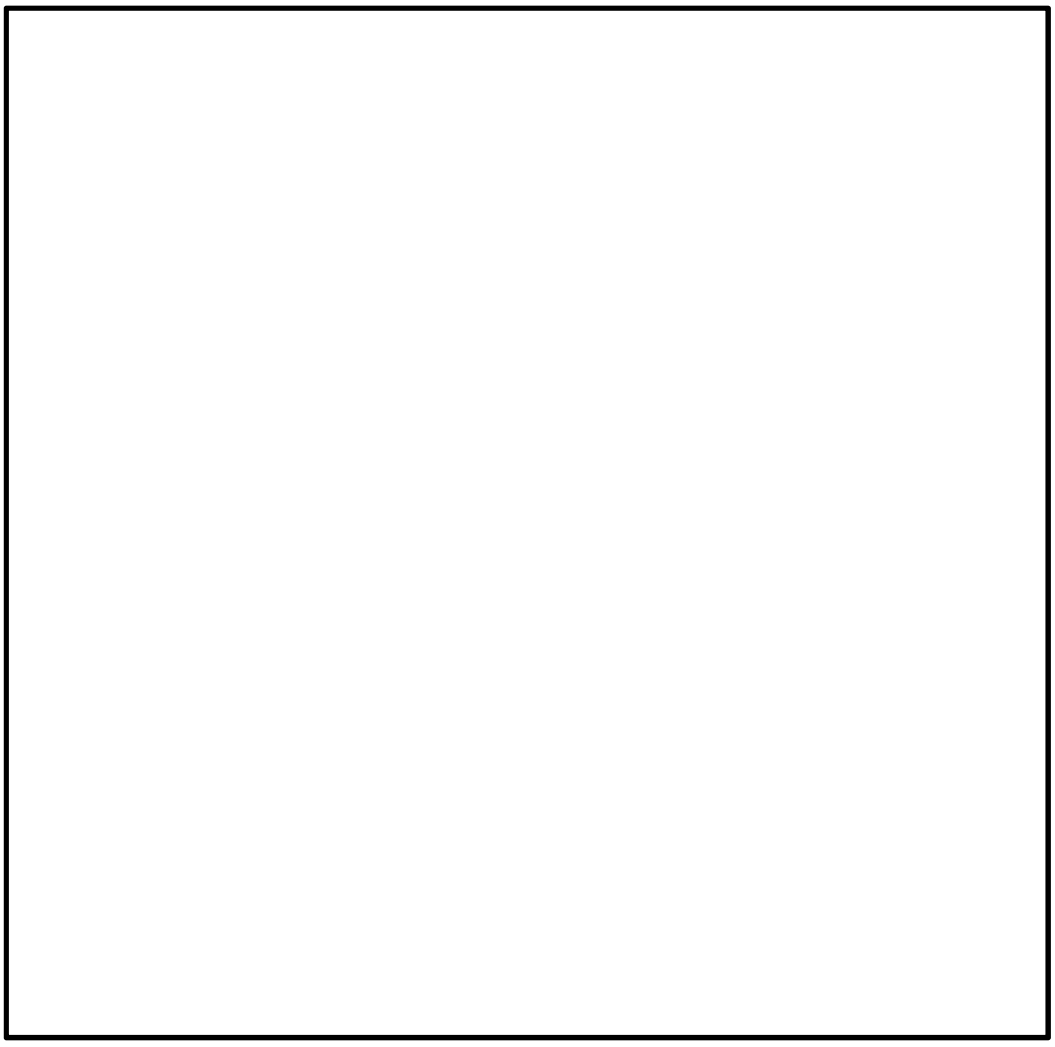
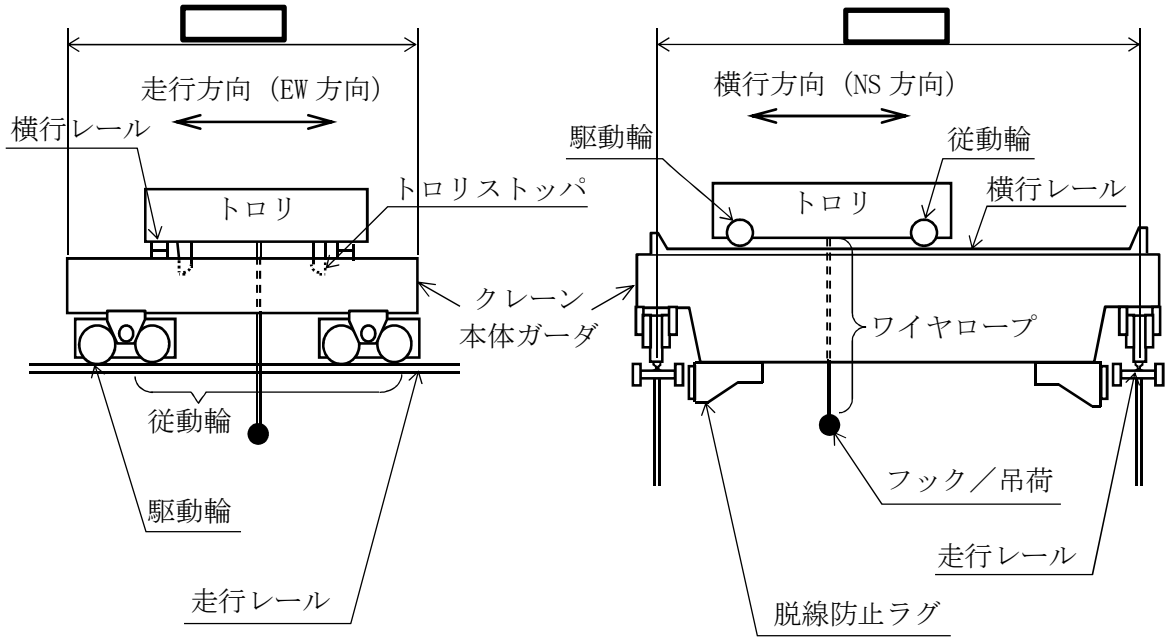


図2－1　原子炉建屋クレーンの位置関係図

2.2　構造計画

原子炉建屋クレーンの構造計画を表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	
原子炉建屋4階のクレーンガーダ上に設けた走行レール上をクレーン本体ガーダが走行し，クレーン本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが横行する。 クレーン本体ガーダは脱線防止ラグ，トロリはトロリストッパを走行部付近に備えており，各々浮き上がり代を設けた(鉛直方向の浮き上がりを拘束しない)構造である。 また，吊荷はトロリに設置されたワイヤロープ及びフックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。	クレーン本体ガーダ トロリ	 （単位：m）

2.3　評価方針

原子炉建屋クレーンの応力評価は，V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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，「2.2　構造計画」にて示す原子炉建屋クレーンの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」により算出した基準地震動Ｓｓによる荷重に基づく応力等が許容限界内に収まることを，「4.6　計算方法」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。

原子炉建屋クレーンの耐震評価フローを図2－2に示す。

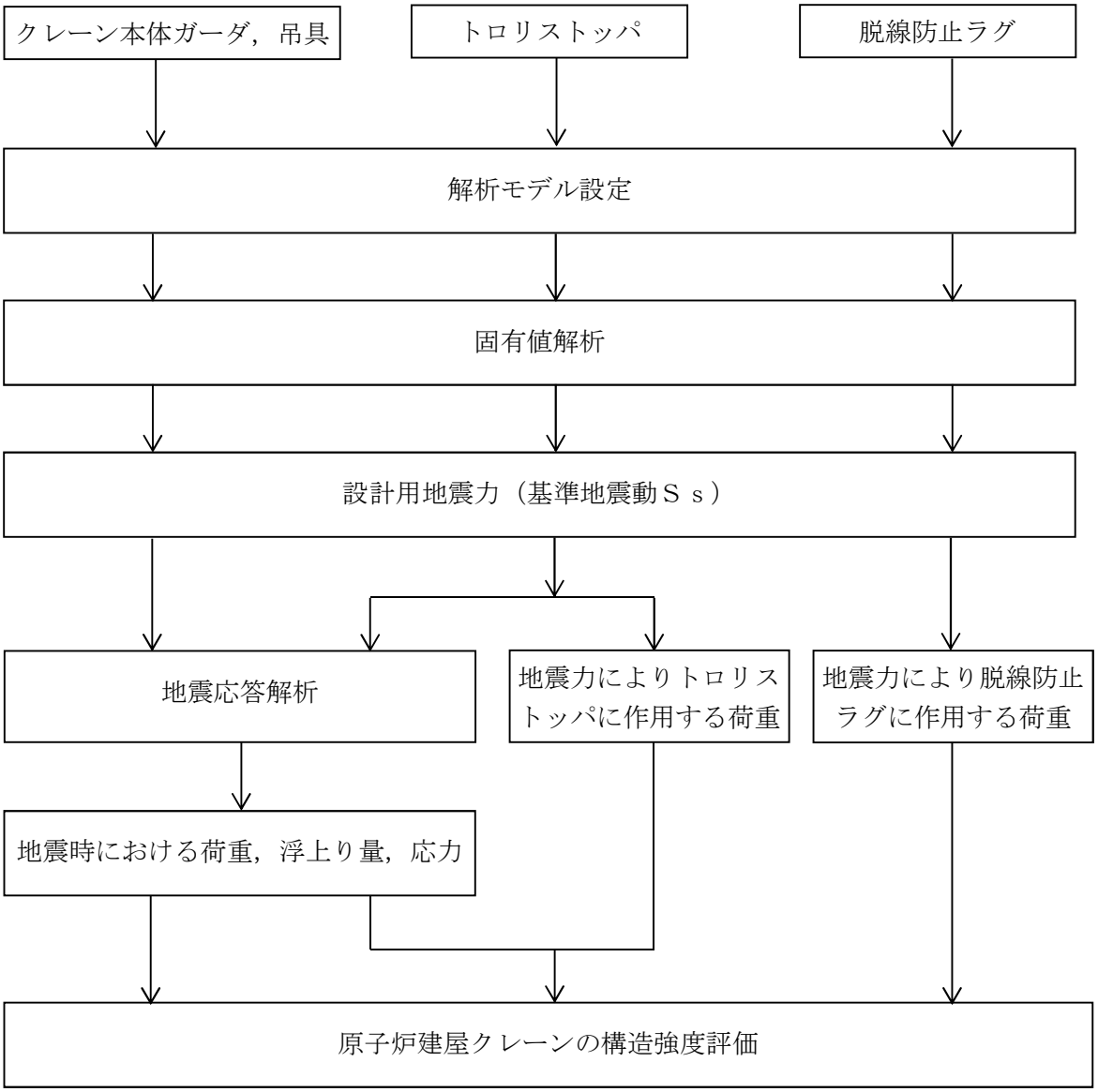


図2－2　原子炉建屋クレーンの耐震評価フロー

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。

・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（(社)日本電気協会）

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・クレーン構造規格（平成 15 年 12 月 19 日厚生労働省告示 399 号）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	脱線防止ラグの断面積	mm^2
A_2	トロリストッパの断面積	mm^2
A_V	ガーダ端部の主桁及び補桁の断面積	mm^2
C_H	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度（EW 方向）	―
C_{H1}	水平方向設計震度（NS 方向）	―
D	死荷重	N
E_G	クレーン本体ガーダの縦弾性係数	MPa
E_W	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F *	設計・建設規格　SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_1	脱線防止ラグ 1 個当たりに作用する力	N
F_2	トロリストッパ 1 個当たりに作用する力	N
f_c	脱線防止ラグの許容圧縮応力	MPa
f_s	ガーダ端部の許容せん断応力	MPa
f_{s1}	トロリストッパの許容せん断応力	MPa
f_t	ガーダ中央部の許容引張応力	MPa
f_{t1}	トロリストッパの許容引張応力	MPa
f_{t2}	トロリストッパの許容組合せ応力	MPa
f_{w1}	吊具（ワイヤロープ）の許容荷重	N
f_{w2}	吊具（フック）の許容荷重	N
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_g	ガーダの許容浮上り量	mm
H_t	トロリの許容浮上り量	mm
h_g	ガーダの浮上り量	mm
h_t	トロリの浮上り量	mm
L	トロリストッパ高さ	mm
ℓ_1	脱線防止ラグ鉛直材の長さ	mm
ℓ_2	脱線防止ラグ水平材の長さ	mm
ℓ_3	トロリストッパ水平材の長さ	mm
M	トロリストッパの曲げモーメント	N･mm
M_D	機械的荷重（設計基準対象施設）	N
M_H	ガーダ中央部の水平曲げモーメント	N･mm
M_{SAD}	機械的荷重（重大事故等対処設備）	N
M_V	ガーダ中央部の鉛直曲げモーメント	N･mm
m_G	ガーダ部全質量（サドル，ロッカービームを含む。）	kg
m_m	主巻定格荷重（質量）	kg
m_t	トロリ質量（ワイヤロープ及びフック含む。）	kg
P_D	最高使用圧力による荷重（設計基準対象施設）	N

記号	記号の説明	単位
P_{SAD}	設計圧力による荷重（重大事故等対処設備）	N
P_W	吊具（ワイヤロープ及びフック）に加わる荷重	N
Q	ガーダ端部のせん断力	N
S_s	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	N
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
t_1	脱線防止ラグ鉛直材の板厚	mm
t_2	脱線防止ラグ水平材の板厚	mm
t_3	トロリストッパ水平材の板厚	mm
Z	トロリストッパの断面係数	mm^3
Z_X	ガーダ中央部のＸ軸に関する断面係数	mm^3
Z_Y	ガーダ中央部のＹ軸に関する断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	―
Σm	クレーン総質量（m_t+m_G）	kg
σ_c	脱線防止ラグの圧縮応力	MPa
σ_{Ht}	M_Hによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_t	ガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t1}	トロリストッパの曲げ（引張）応力	MPa
σ_{t2}	トロリストッパの組合せ応力	MPa
σ_{Vt}	M_Vによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力	MPa
τ	ガーダ端部のせん断応力	MPa
τ_1	トロリストッパのせん断応力	MPa

2.6　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に示すとおりである。

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*1
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*2
	厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
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
算出応力		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：最大静止摩擦係数より求めた震度は，小数点以下第3位表示となる場合がある。

＊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

原子炉建屋クレーンの耐震評価は，「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，クレーン及び吊荷の落下により，上位クラス施設が損傷することを防止するために，クレーン本体ガーダ，脱線防止ラグ，トロリストッパ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）について実施する。原子炉建屋クレーン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)　構造概要

図4－1に構造概要図を示す。

耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

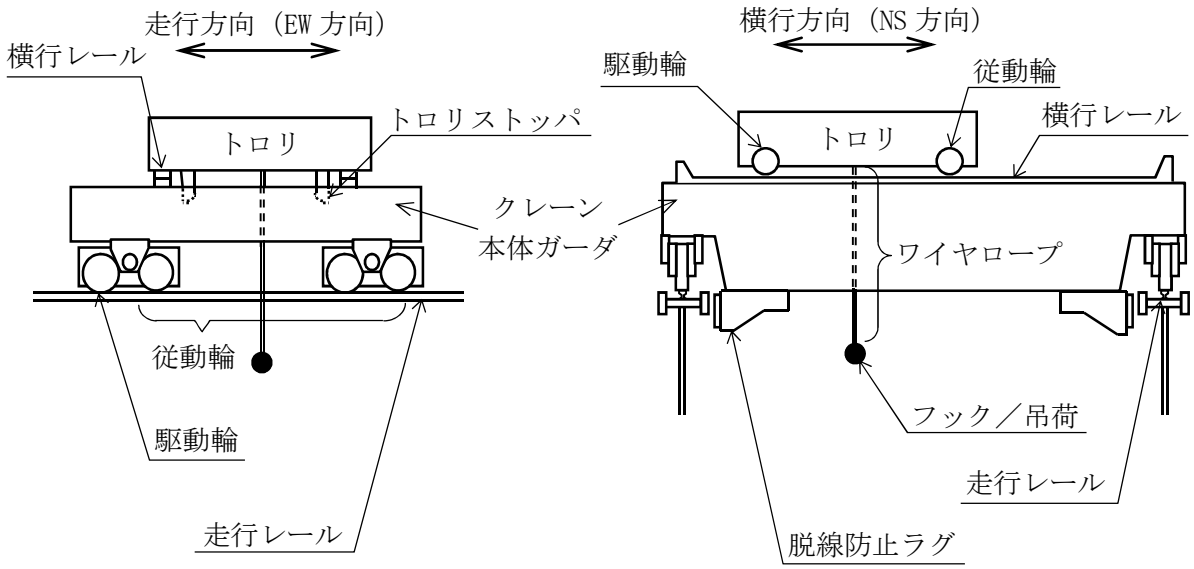


図4－1　構造概要図

(2)　走行方向（EW方向）水平力

a.　クレーンは，クレーン本体ガータ及びクレーン本体ガータを介してトロリが走行レール上に載っている構造で建屋とは固定されていないため，最大静止摩擦力以上の水平力が走行方向（EW方向）に加えられた場合，すべりが生じる。このため，クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

b.　クレーンの走行車輪は 8 個であり,そのうちの 2 個は駆動輪,他の 6 個が従動輪である。

c.　駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

d.　従動輪は，回転部分が連結されていないため，駆動輪のみで水平力を受ける。

e.　トロリは，走行方向（EW 方向）水平力が横行レールに対して直角方向であり，トロリがトロリストッパで拘束されているため，水平力がクレーン本体ガータに作用する。

(3)　横行方向（NS 方向）水平力

a.　ガーダ関係

横行方向（NS 方向）は，走行レールに対して直角方向であり，ガータが脱線防止ラグで拘束されているため，水平力がガーダに作用する。

b.　トロリ関係

(a)　トロリはガーダ上の横行レール上に載っている構造で，ガーダとは拘束されていないため，最大静止摩擦力以上の水平力がトロリに加えられた場合，すべりが生じる。このため，トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b)　トロリの横行車輪は 4 個であり，そのうちの 2 個は駆動輪，他の 2 個は従動輪である。

(c)　トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追随できず，最大静止摩擦力以上の力が加えられた場合，すべりが生じる。

(d)　トロリの従動輪は，回転部分が連結されていないので，駆動輪のみで水平力を受ける。

(4)　鉛直方向（UD方向）

クレーン及びトロリは，レール上にあり，鉛直下向き方向には建屋により支持される。鉛直上向き方向には固定されていないため，鉛直方向（UD 方向）には浮上りを考慮する。

(5)　評価ケース

表4－1に示すケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対しては，クレーンの運転状態と待機状態を想定しケース1～3について，重大事故等対処設備はクレーンの待機状態を想定しケース3について評価する。

表4－1　評価ケース

評価対象		クレーン本体ガーダ，浮上り量，吊具		
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●*	—	—
	端部	—	●*	○

●：吊荷有　○：吊荷無

注記＊：吊荷については，落下評価も実施する。

(6)　地震力

地震力は，原子炉建屋クレーン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，「基準地震動Ｓｓ」を用いる。クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量については，時刻歴加速度波による評価を実施する。また，脱線防止ラグ，トロリストッパについては，設計用地震力による評価を実施する。

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

原子炉建屋クレー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 4－2 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

原子炉建屋クレーンの許容応力は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

原子炉建屋クレーンの使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重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及び表4－6に，重大事故等対処設備に用いるものを表4－7に示す。

表 4－2　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建屋クレーン	B	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－3　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	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	原子炉建屋クレーン	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$Ⅴ_AS$（$Ⅴ_AS$として，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4－4　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）		
	一次応力		
	引張り	せん断	圧縮
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*	1.5・ｆｃ*
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 4－5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位		材料	温度条件（℃）		S（MPa）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
クレーン本体ガーダ	ガーダ中央部	SM490A（16mm＜厚さ≦40mm）	周囲環境温度	50	—	309	480	—
	ガーダ端部	SS400（厚さ≦16mm）	周囲環境温度	50	—	241	394	—
脱線防止ラグ			周囲環境温度	50	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	50	—			—

表 4－6　使用材料の許容荷重評価条件（設計基準対象施設）

評価部位	材料	温度条件（℃）		定格荷重（N）	安全率	許容荷重（N）
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	1.559×10^{6}	8.52	1.328×10^{7}
フック		周囲環境温度	50	1.471×10^{6}	8.12	1.194×10^{7}

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）

評価部位		材料	温度条件（℃）		S（MPa）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
クレーン本体ガーダ	ガーダ中央部	SM490A（16mm＜厚さ≦40mm）	周囲環境温度	100	—	283	441	—
	ガーダ端部	SS400（厚さ≦16mm）	周囲環境温度	100	—	221	373	—
脱線防止ラグ			周囲環境温度	100	—			—
トロリストッパ			周囲環境温度	100	—			—

4.3　解析モデル及び諸元

原子炉建屋クレーンの解析モデルを図 4－3 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【原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　クレーンは，はり要素を用いた有限要素モデルとし，クレーンの質量としてガーダ部，トロリ及び吊荷を考慮する。

(2)　クレーンと車輪部については，4.1(1)項にて示したクレーンの構造の特徴を踏まえて，解析の入力条件を以下のとおり設定する。

a.　クレーンのすべりを考慮した水平力の設定

最大静止摩擦力以上の力が加われば，車輪がレール上をすべることを考慮した水平力を設定する。ここで，最大静止摩擦係数を μ ＝0.3 とし，クレーン各構造部材に発生する水平力は，走行車輪の数と駆動輪の数との関係から以下に示す式から求める。

クレーン本体ガーダの走行方向（EW 方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{8} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.075$$

トロリの走行方向（NS 方向）に作用する水平力

$$\text{鉛直方向荷重} \times \mu \times \frac{2}{4} = \text{鉛直方向荷重} \times 0.15$$

b.　浮上りによる衝突の減衰

クレーン及びトロリの浮上りによる衝突の減衰は，引用文献(1)の試験にて得られた反発係数 e から換算した減衰比 h として，[　　]を用いる。反発係数 e と減衰比 h との関係式は次式に，関係図を図 4－2 に示す。

$$e = exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

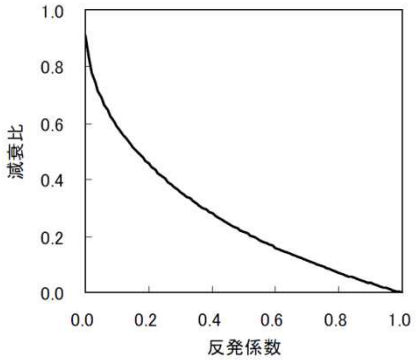


図4－2　反発係数と減衰比の関係

(3)　固有値解析及び地震応答解析には，解析コード「ＡＢＡＱＵＳ」を用いる。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。

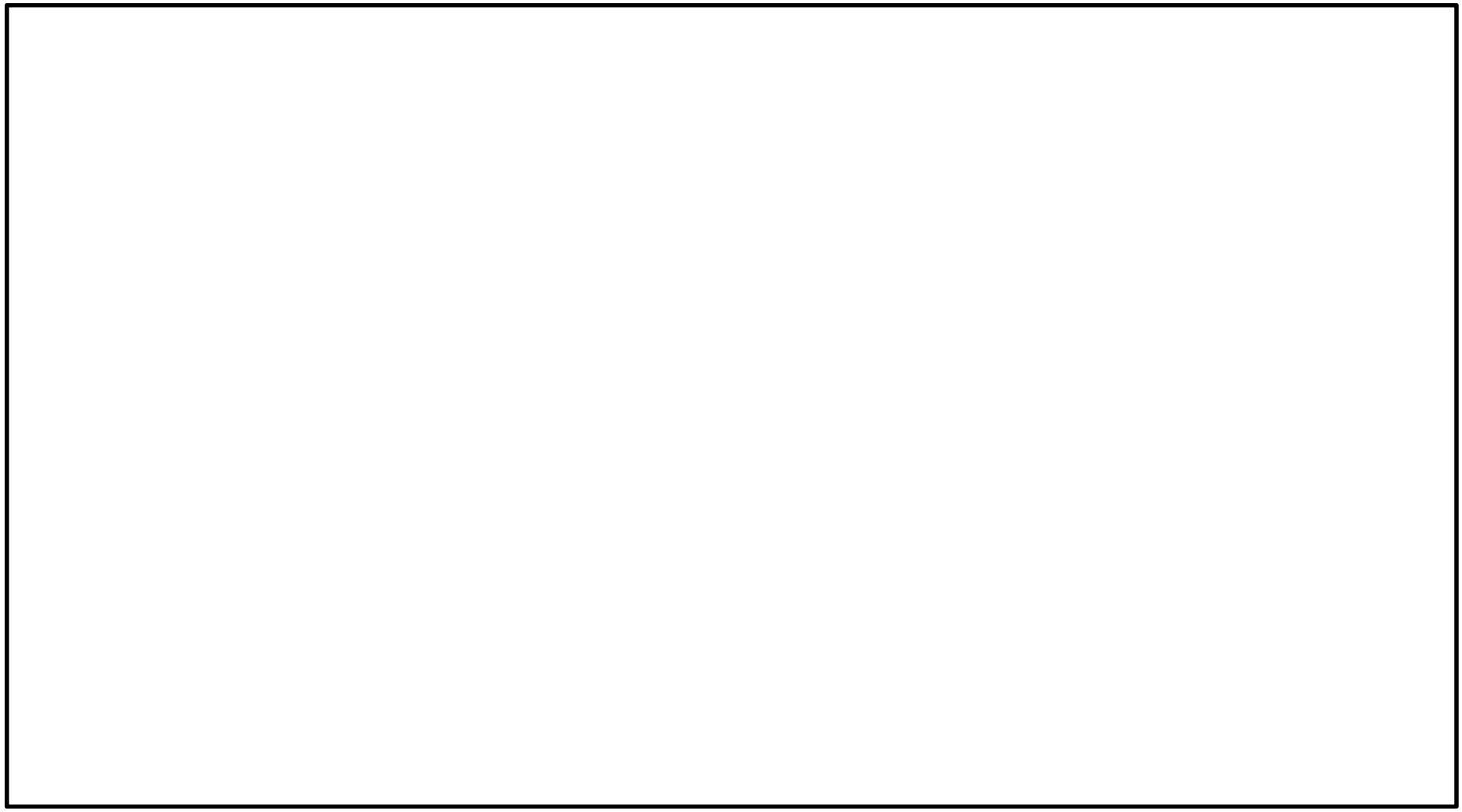


図4－3　原子炉建屋クレーン解析モデル（トロリ中央位置モデル）

4.4　固有周期

脱線防止ラグへの荷重算出に用いる設計震度を算定するために，クレーン横行方向（NS 方向）が卓越する 1 次固有周期を求める。設計基準対象施設としての検討ケース時における固有周期を表 4－8 に，重大事故等対象設備としての検討ケース時における固有周期を表 4－9 に示す。また，振動モード図について図 4－4 及び図 4－5 に示す。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　設計基準対象施設の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期（s）
横行方向（NS 方向）	T＝0.025

表 4－9　重大事故対処設備の検討ケース時の固有周期

方向	固有周期（s）
横行方向（NS 方向）	T＝0.019

図 4－4　設計基準対象施設の検討ケース時の振動モード図

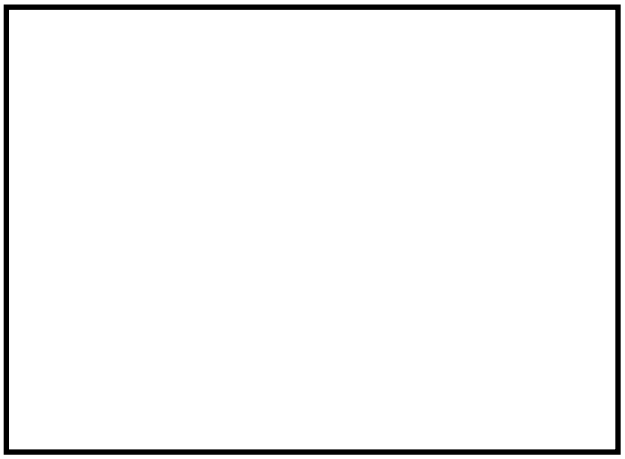


図 4－5　重大事故等対処設備の検討ケース時の振動モード図

4.5　設計用地震力

脱線防止ラグ及びトロリストッパの評価に用いる設計用地震力を表 4－10 及び表 4－11 に示す。「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，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。

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）			基準地震動Ｓｓ		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建屋 T.M.S.L.39.7*1	—*2	0.025*3	—*2	C_H＝0.075*4, *5	C_{H1}＝1.72*3	—*6

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期より設計震度を算出しないため，「—」と記載する。

＊3：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。また，脱線防止ラグの評価に適用する。

＊4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

＊5：トロリストッパの評価に適用する。

＊6：鉛直方向の設計震度は使用しないため，「—」と記載する。

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）			基準地震動Ｓｓ		
	水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度
	走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	
原子炉建屋 T.M.S.L.39.7*1	—*2	0.019*3	—*2	C_H＝0.075*4, *5	C_{H1}＝1.72*3	—*6

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期より設計震度を算出しないため，「—」と記載する。

＊3：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。また，脱線防止ラグの評価に適用する。

＊4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

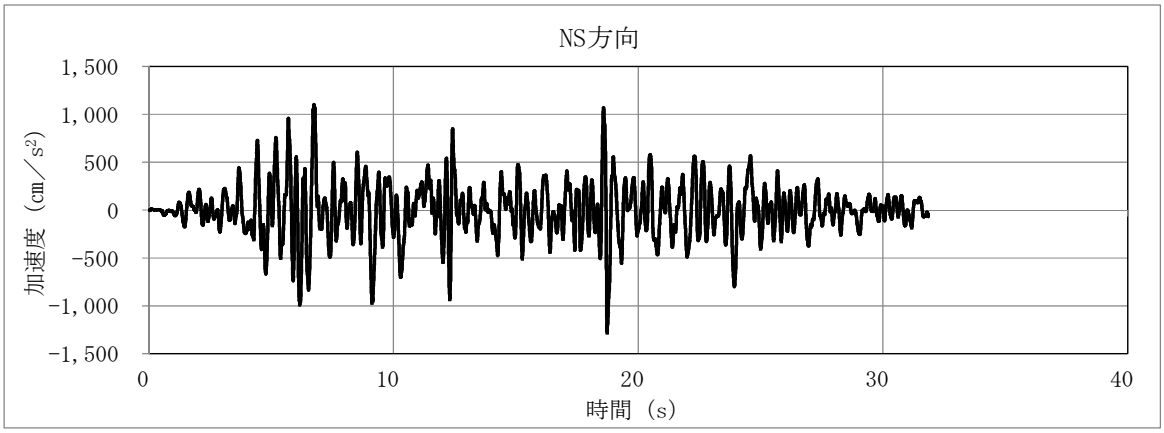
＊5：トロリストッパの評価に適用する。

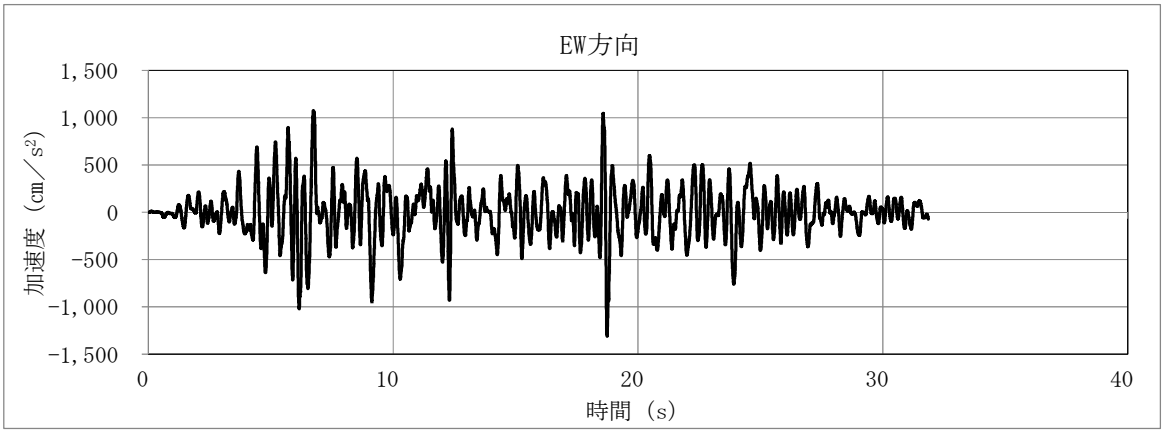
＊6：鉛直方向の設計震度は使用しないため，「—」と記載する。

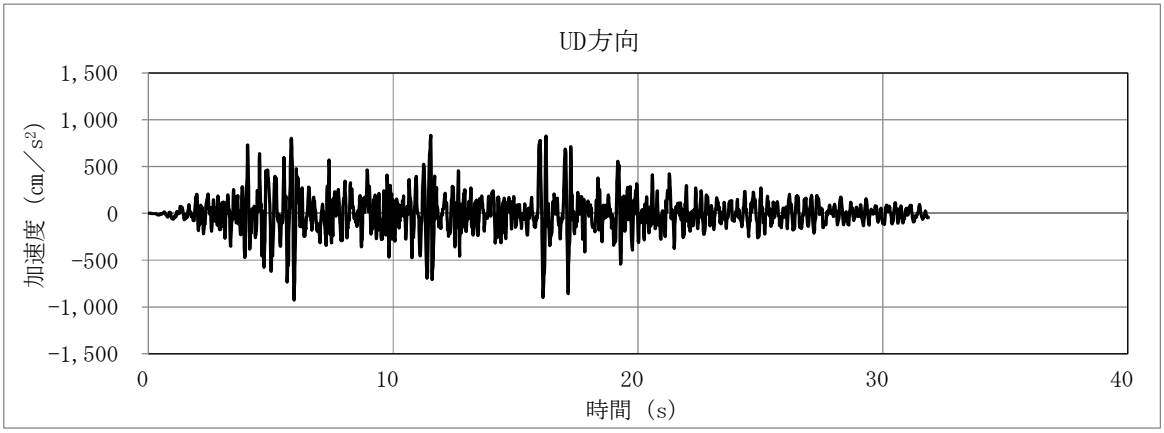
クレーン本体ガーダ及び吊具（ワイヤロープ及びフック）に作用する荷重並びにガーダ及びトロリの浮上り量に対する地震応答解析は，Ⅴ-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」で得られる原子炉建屋 T.M.S.L.39.7m の時刻歴加速度波を入力とし，水平 2 方向と鉛直方向地震力の同時入力により解析を実施する。時刻歴加速度波形を次頁以降の(1)～(8)に示す。

(1)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-1

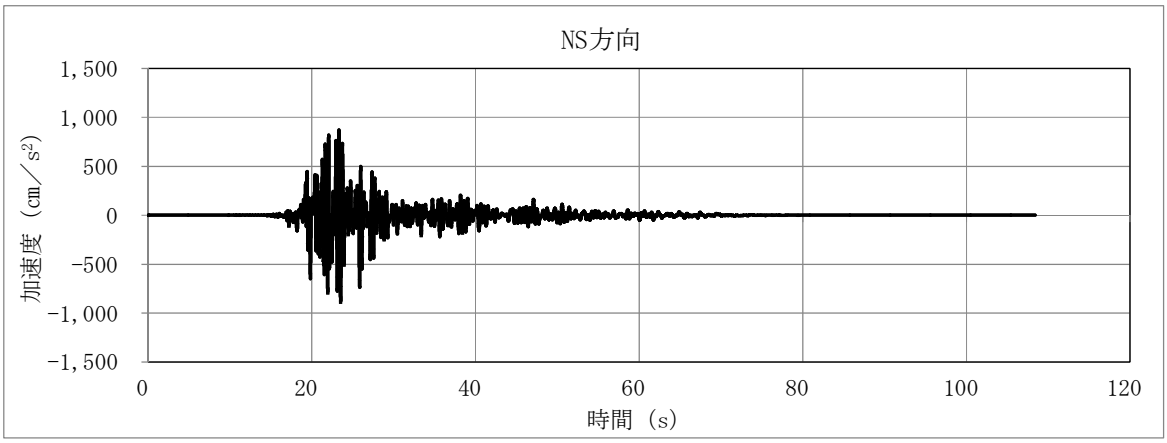


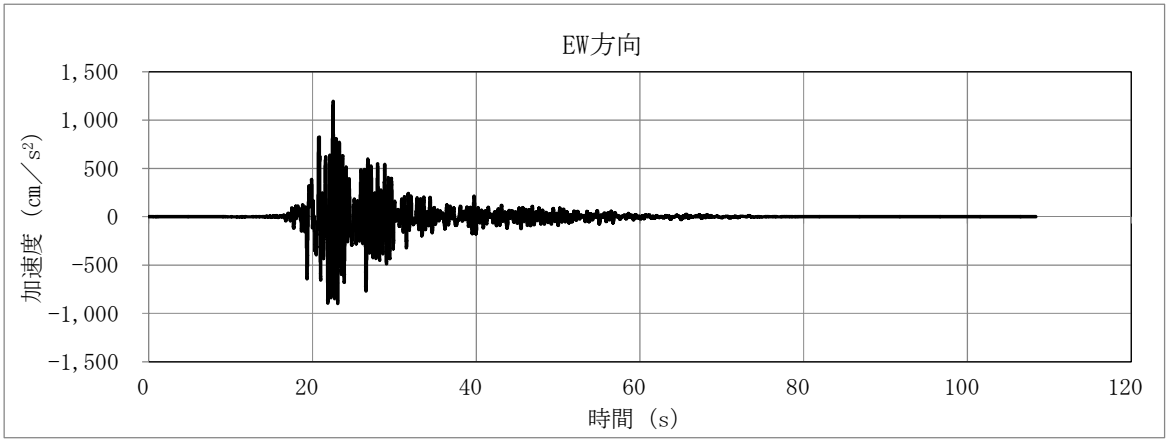


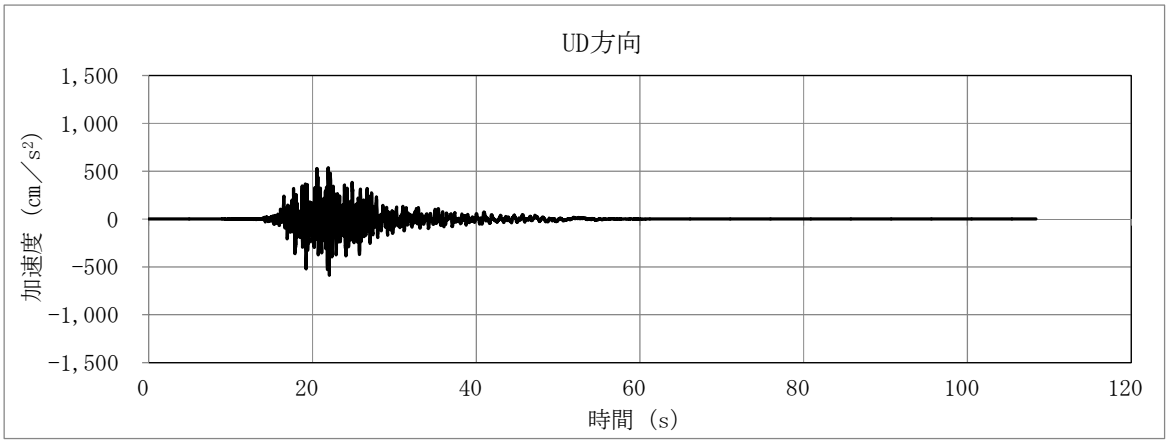


(2)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-2

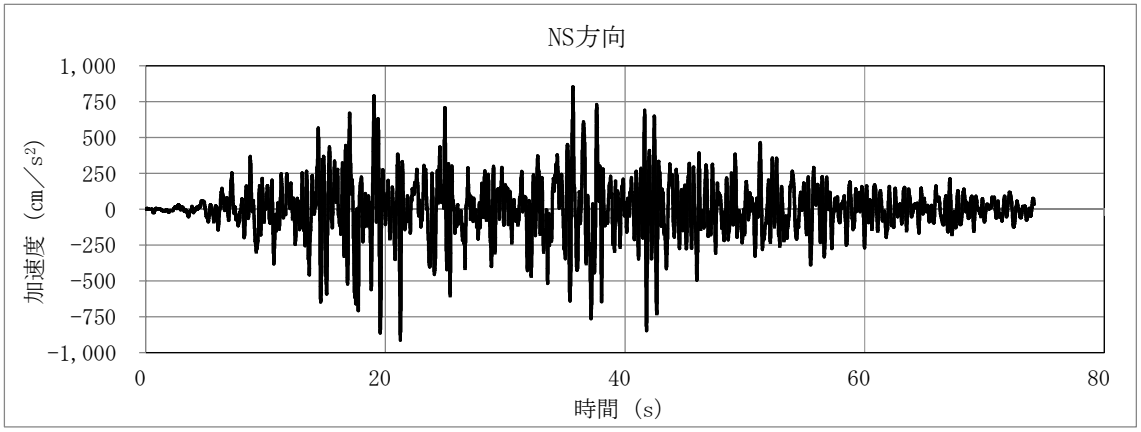


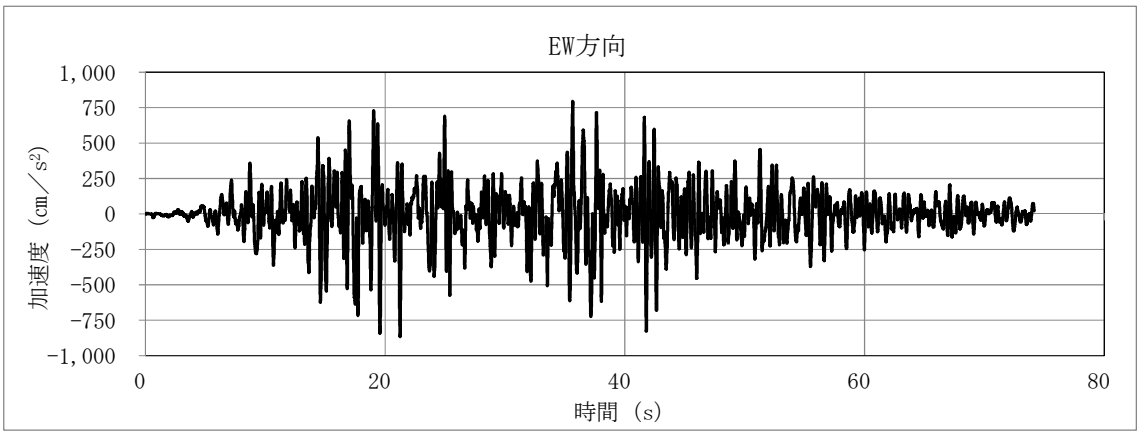


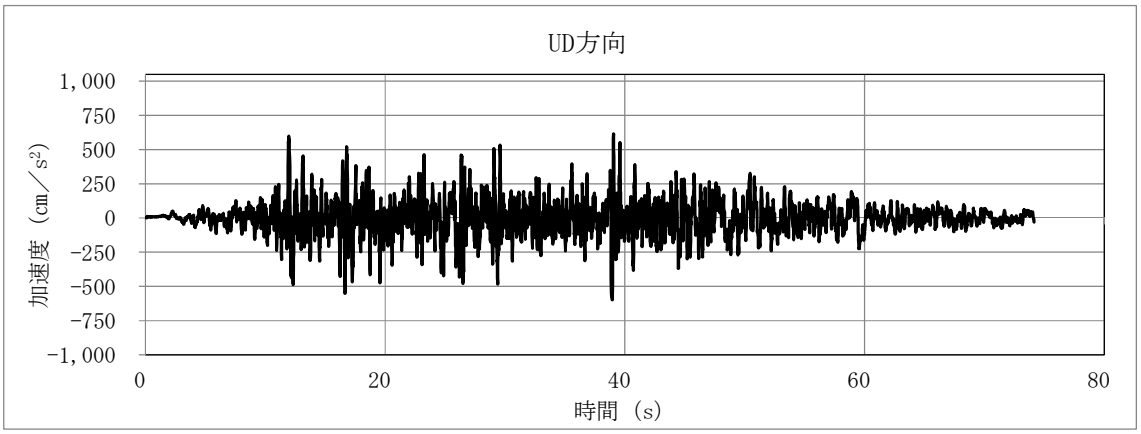


(3)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-3

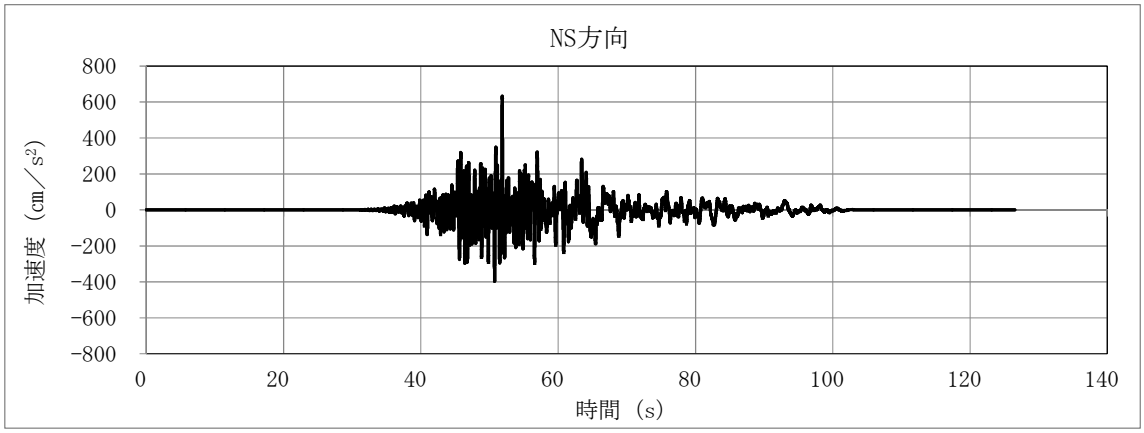


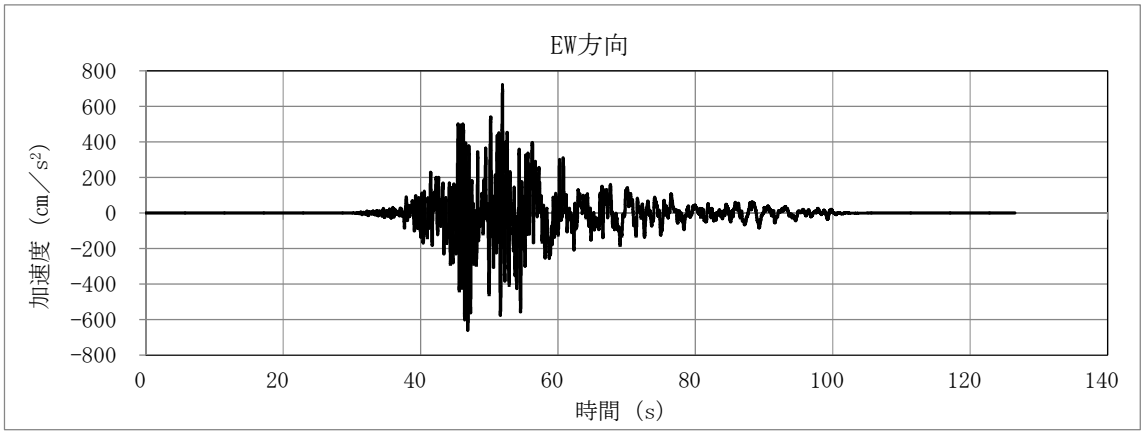


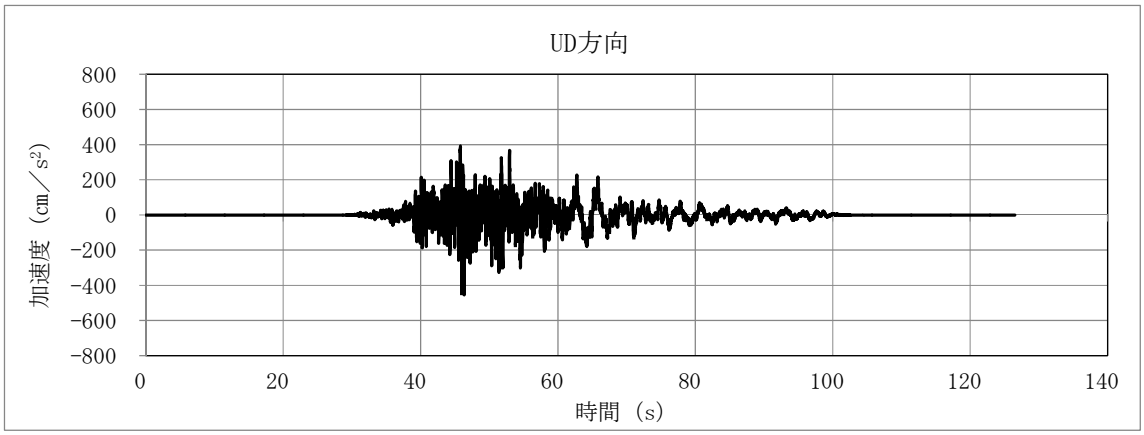


(4)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-4

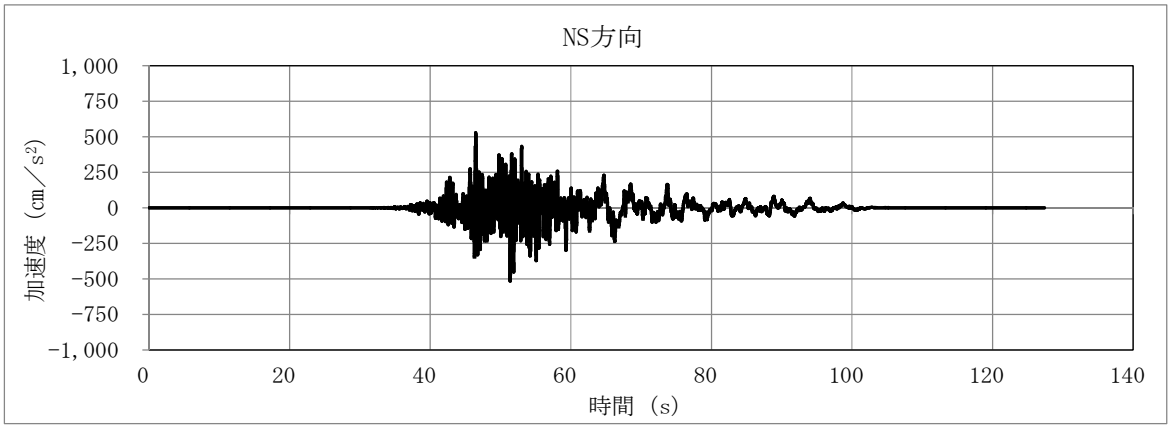


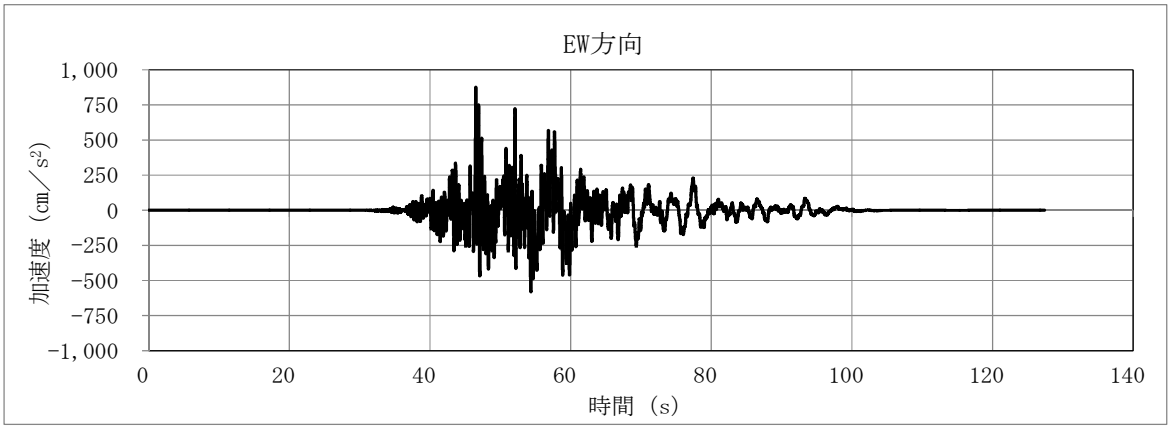


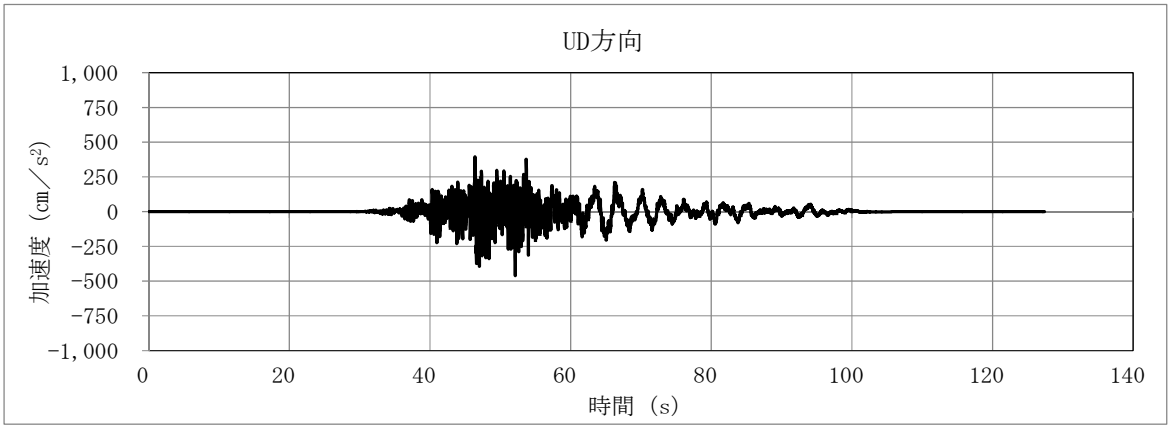


(5)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-5

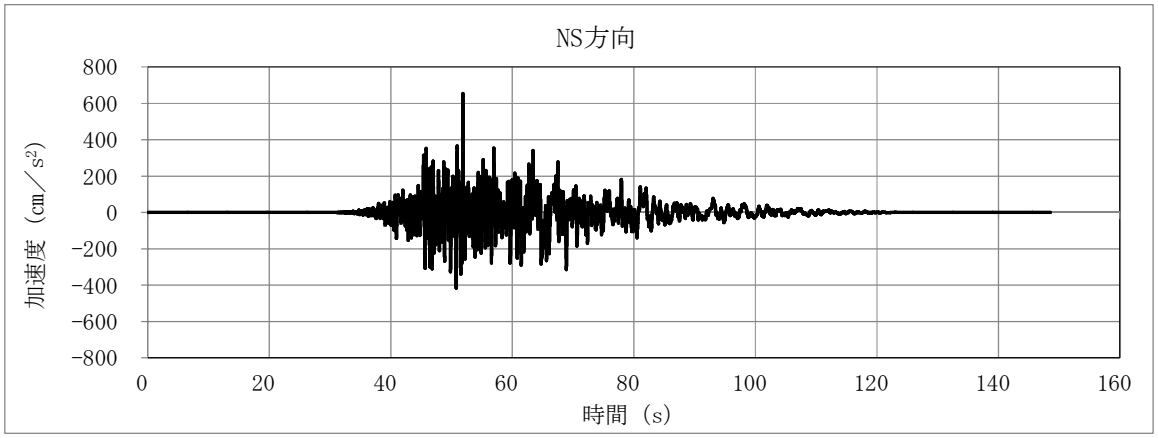


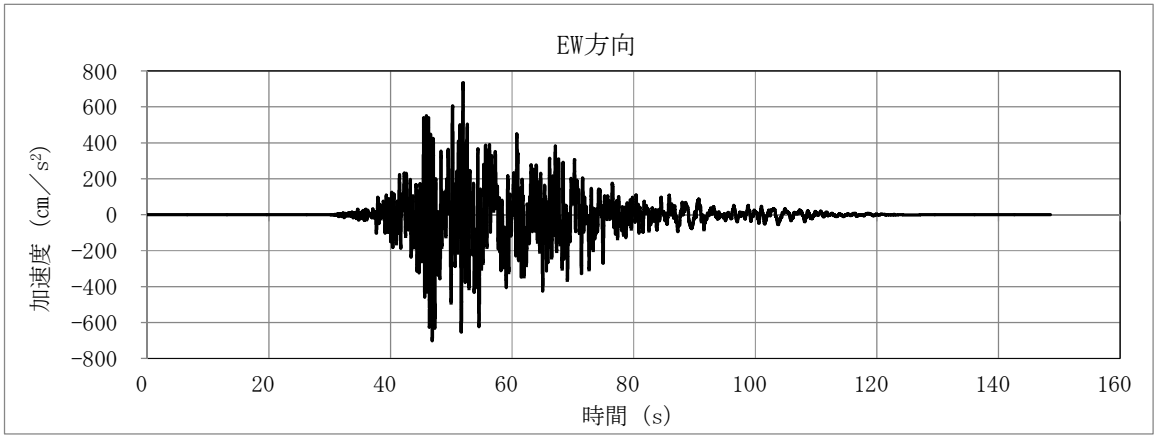


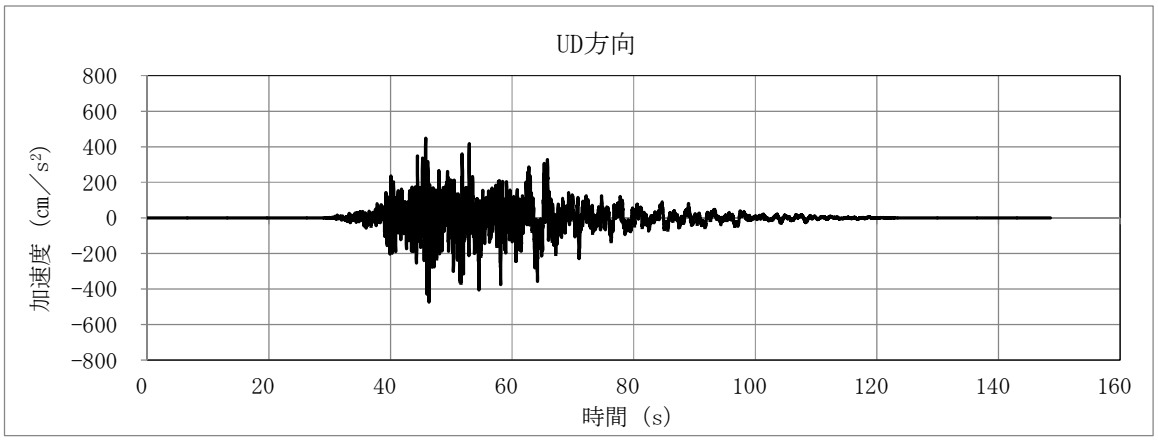


(6)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-6

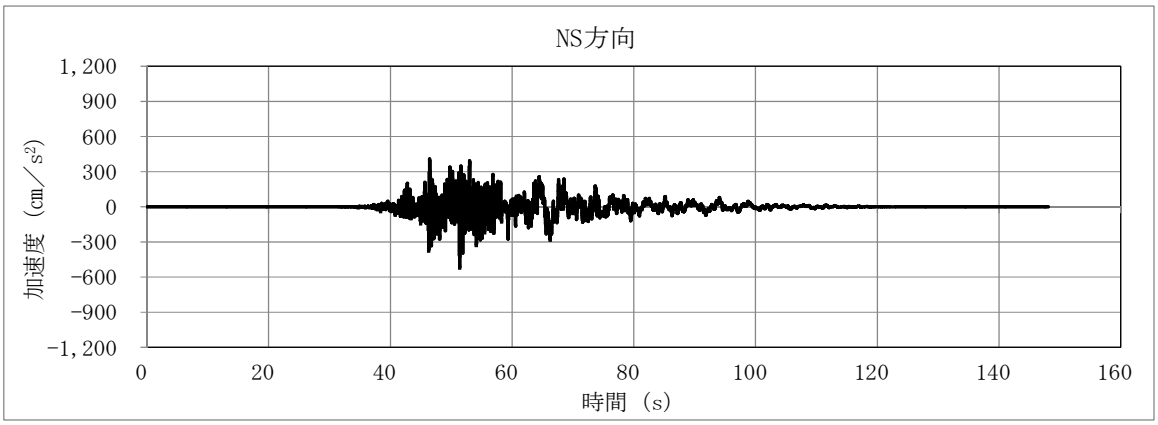


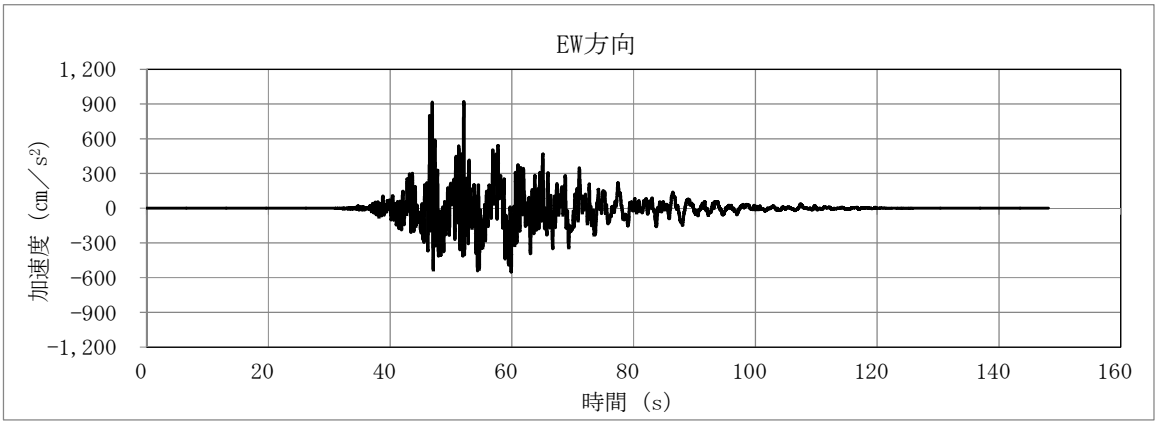


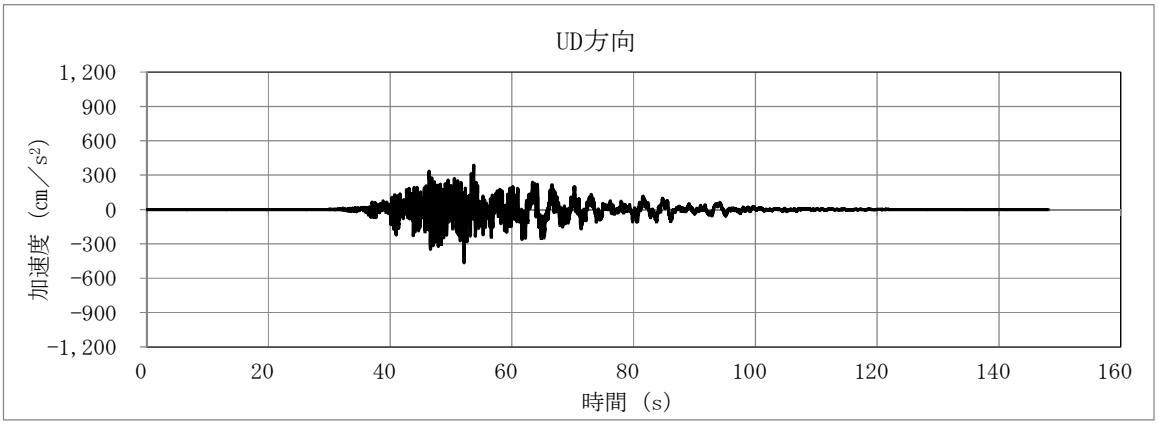


(7)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-7

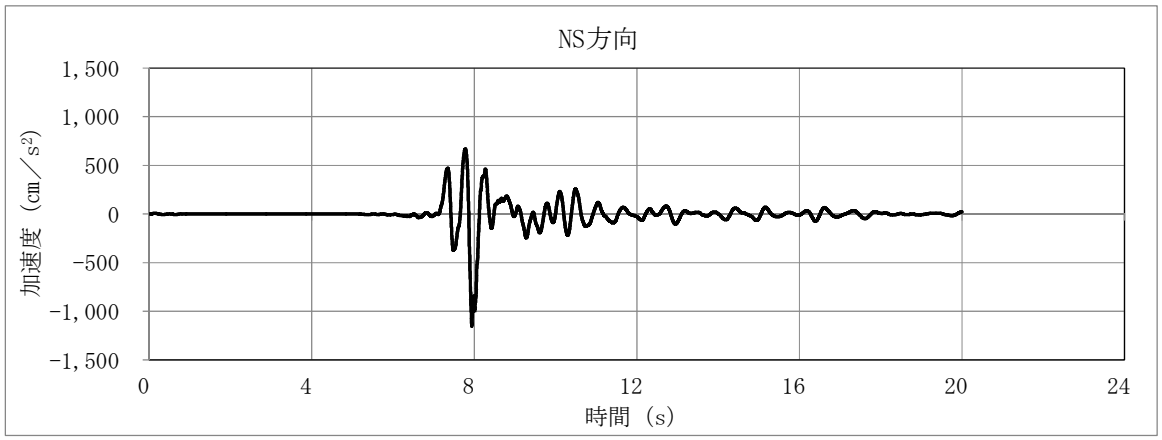


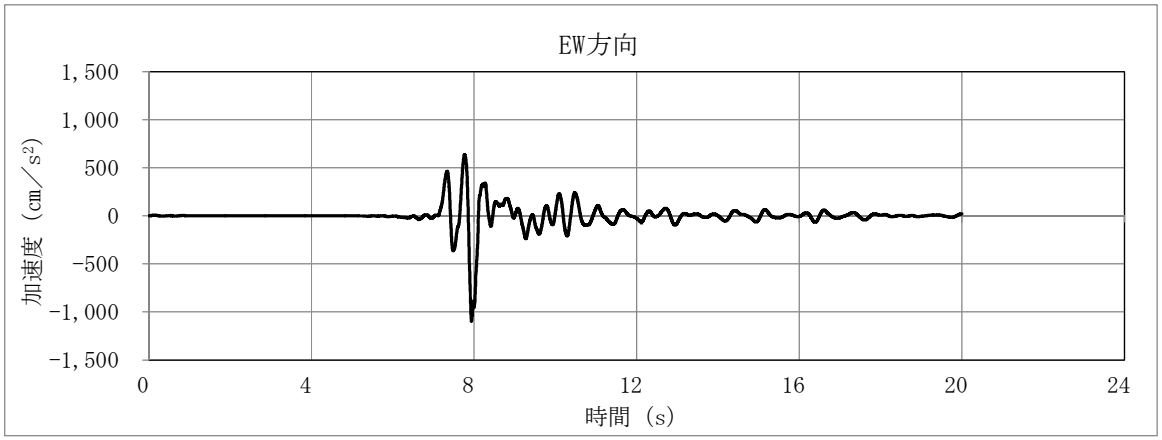


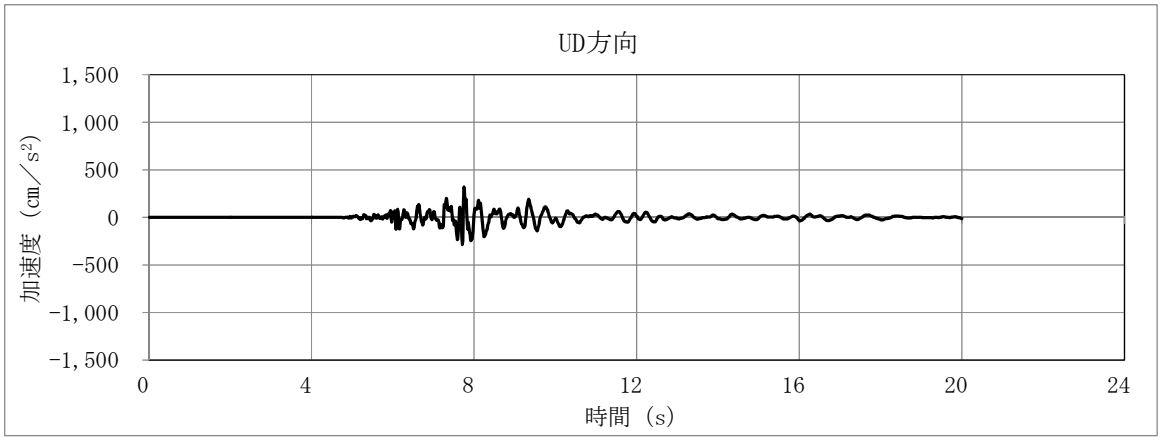


(8)　原子炉建屋の解析ケース：基本ケース

地震波：Ss-8







4.6　計算方法

4.6.1　クレーン本体ガーダの応力の計算方法

(1)　設計荷重

ガーダに加わる荷重を図 4－3 の解析モデルを用いて，直接積分法による時刻歴解析により求める。表 4－12 に解析モデルの概要を示す。

また，本評価の時刻歴解析には，付録 1 に示す時刻歴解析の保守性を考慮する。

表 4－12　解析モデルの概要

解析モデル			
構造物	クレーン本体ガーダ		
	トロリ		
	吊具	吊荷	
		ワイヤロープ	
車輪部	クレーン本体ガーダ車輪		
	トロリ車輪		
解析モデル図		図 4－3	

(2)　曲げ応力

ガーダに対する最大曲げ応力を図 4－6 を用いて計算する。

ガーダ中央部の鉛直曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力：σ_{Vt}

$$\sigma_{Vt}=\frac{M_V}{Z_X} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1)$$

ガーダ中央部の水平曲げモーメントによるガーダ中央部の曲げ（引張）応力：σ_{Ht}

$$\sigma_{Ht}=\frac{M_H}{Z_Y} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2)$$

ガーダ中央部の曲げ（引張）応力：σ_t

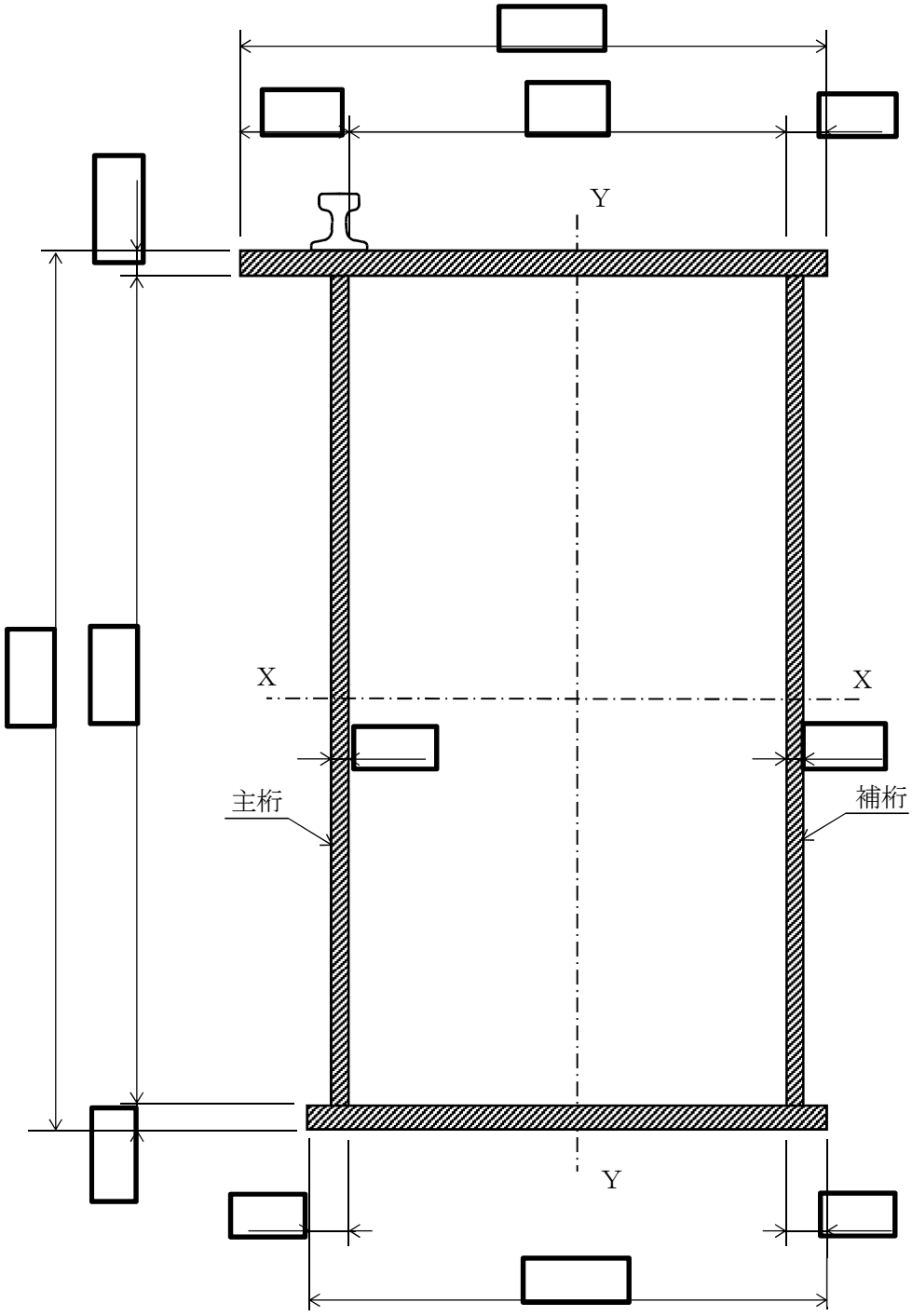
$$\sigma_t=\sigma_{Vt}+\sigma_{Ht} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3)$$

(3)　せん断応力

ガーダに対する最大のせん断応力を図 4－7 を用いて計算する。

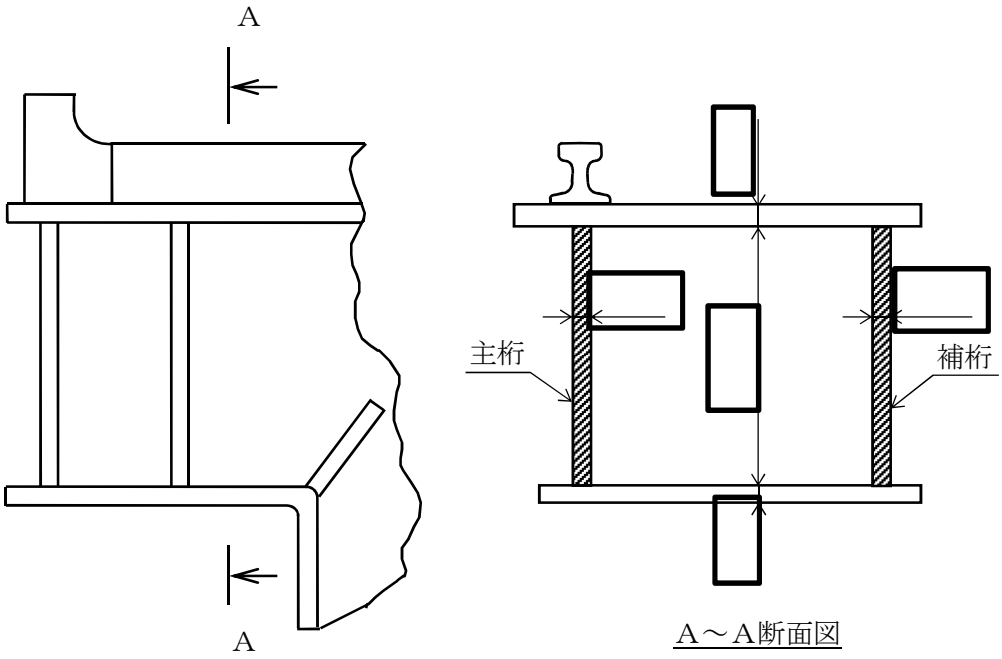
ガーダ端部のせん断応力：τ

$$\tau=\frac{Q}{A_V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4)$$



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4－6　ガーダ中央部詳細（単位：mm）

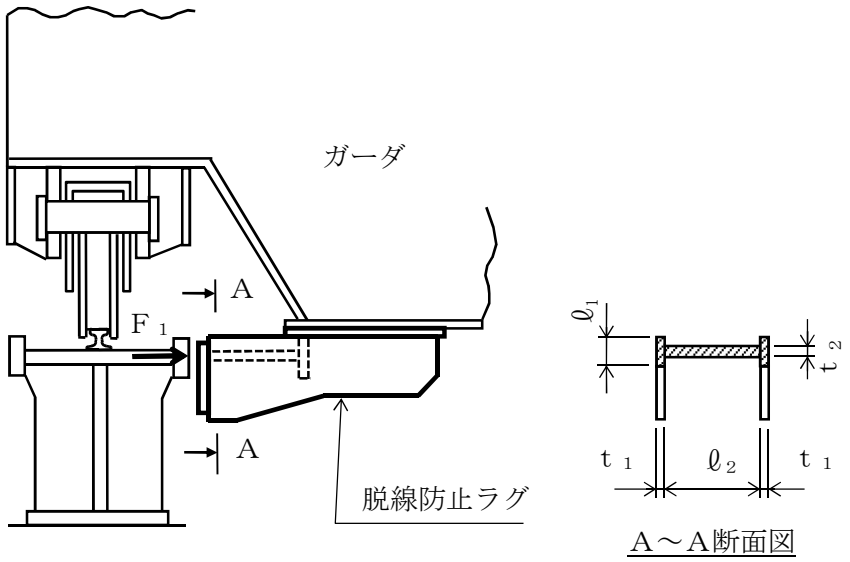


注：斜線部は評価部材を示す。

図 4－7　ガーダ端部詳細（単位：mm）

4.6.2　脱線防止ラグの応力の計算方法

脱線防止ラグには，自重及び水平方向地震（NS 方向）によって水平力が作用する。図 4－8 に脱線防止ラグの構造概要図を示す。



注：斜線部は評価部材を示す。

図 4－8　脱線防止ラグ

脱線防止ラグに生じる応力は，自重及び水平方向地震（NS 方向）による水平力を片側にある脱線防止ラグ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

脱線防止ラグ 1 個当たりに作用する力：F_1

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot \Sigma m \cdot g \cdot C_{H1} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.1)$$

脱線防止ラグの断面積：A_1

$$A_1 = 2 \cdot \ell_1 \cdot t_1 + t_2 \cdot \ell_2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.2)$$

脱線防止ラグの圧縮応力：σ_c

$$\sigma_C = \frac{F_1}{A_1} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.3)$$

4.6.3　トロリストッパの応力の計算方法

トロリストッパには，自重及び水平方向地震（EW 方向）によって水平力が作用する。図 4－9 にトロリストッパの構造概要図を示す。

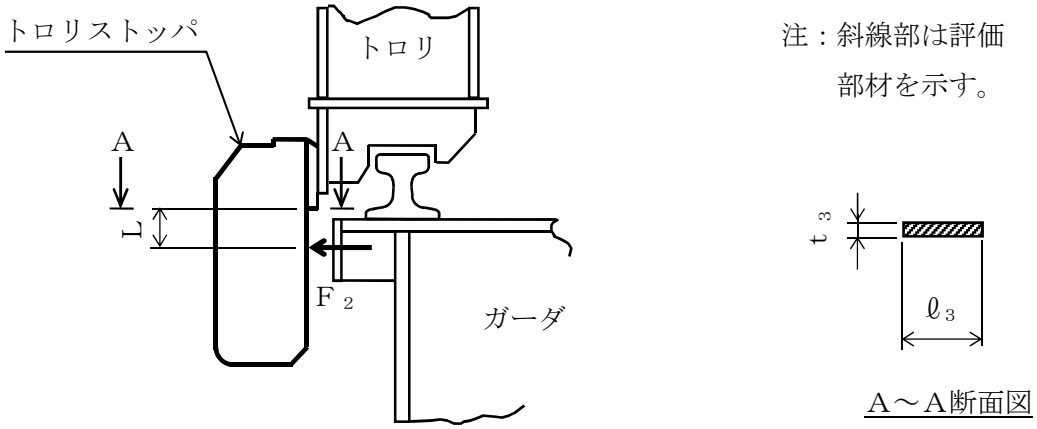


図 4－9　トロリストッパ

トロリストッパに生じる応力は，自重及び水平方向地震（EW 方向）による水平力を片側にあるトロリストッパ 2 個で受けるものとして理論式により計算する。

トロリストッパ 1 個当たりに作用する力：F_2

$$F_2=\frac{1}{2}\cdot m_t\cdot g\cdot C_H \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.1)$$

トロリストッパの曲げモーメント：M

$$M=F_2\cdot L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.2)$$

トロリストッパの断面係数：Z

$$Z=\frac{t_3\cdot \ell_3^{\,2}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.3)$$

トロリストッパの曲げ（引張）応力：σ_{t1}

$$\sigma_{t1}=\frac{M}{Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.4)$$

トロリストッパの断面積：A_2

$$A_2=t_3\cdot \ell_3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.5)$$

トロリストッパのせん断応力：τ_1

$$\tau_1=\frac{F_2}{A_2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.6)$$

トロリストッパの組合せ応力：σ_{t2}

$$\sigma_{t2}=\sqrt{\sigma_{t1}^{\,2}+3\cdot \tau_1^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.3.7)$$

4.6.4　浮上り量の計算方法

(1)　クレーン本体ガーダの浮上り量

ガーダの浮上り量h_gを図4－3の解析モデルを用いて，直接積分法による時刻歴解析により求める。

(2)　トロリの浮上り量

トロリの浮上り量h_tを図4－3の解析モデルを用いて，直接積分法による時刻歴解析により求める。

4.6.5　吊具の荷重計算方法

吊具に加わる荷重Ｐwを図4－3の解析モデルを用いて，直接積分法による時刻歴解析により求める。

ワイヤロープ及びフックの計算に当たっては，以下の基本事項で行うものとする。

・吊荷荷重を受ける部位は，巻上ドラム，ワイヤロープ，フック，シーブ及びエコライザで，このうち吊荷を直接吊るもので，損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープ及びフックを評価対象とする。

・ワイヤロープに作用する荷重は，ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）及びフックブロック（動滑車）の回転により，自動的に荷重を吊合い状態に保つことから，評価では［　］掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして実施する。

・吊荷荷重算出の解析に当たっては，クレーン評価で実施の時刻歴解析の結果よりワイヤロープの鉛直方向の荷重を抽出し，その最大値を用いるものとする。

・ワイヤロープは，引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し，圧縮方向の荷重を受けない設定とする。このようなモデルにて時刻歴解析を実施することで，吊荷の浮上りを含めた挙動を模擬する。

・吊荷の質量は，クレーンの定格質量［　　］とする。

・鉛直方向の荷重を考える場合において，ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなり，吊荷の速度変化が大きくなることから，衝撃荷重が大きくなる。したがって，ワイヤロープの長さは保守的に運用上限位置での長さを用いることとする。

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（クレーン本体ガーダ，吊具）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【原子炉建屋クレー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。

4.8　応力の評価

4.8.1　クレーン本体ガーダの応力評価

4.6.1(2)項で求めたガーダ中央部の曲げ応力σ_tが，下記許容引張応力f_t以下であること。

4.6.1(3)項で求めたガーダ端部のせん断応力τが，下記許容せん断応力f_s以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組み合わせの場合
許容引張応力f_t	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容せん断応力f_s	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.8.2　脱線防止ラグの応力評価

4.6.2 項で求めた脱線防止ラグの圧縮応力σ_cが，下記許容圧縮応力f_C以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組み合わせの場合
許容圧縮応力f_c	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.3　トロリストッパの応力評価

4.6.3項で求めたトロリストッパの曲げ応力σ_{t1}，せん断応力τ_1及び組合せ応力σ_{t2}が，下記許容引張応力f_{t1}，許容せん断応力f_{s1}及び許容組合せ応力f_{t2}以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組み合わせの場合
許容引張応力f_{t1}	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容せん断応力f_{s1}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容組合せ応力f_{t2}	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.4　浮上り量の評価

(1)　クレーン本体ガーダの浮上り量の評価

4.6.4(1)項で求めたガーダの浮上り量h_gが，図4－10に示す許容浮上り量H_g以下であること。なお，H_gは脱線防止ラグがクレーンガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

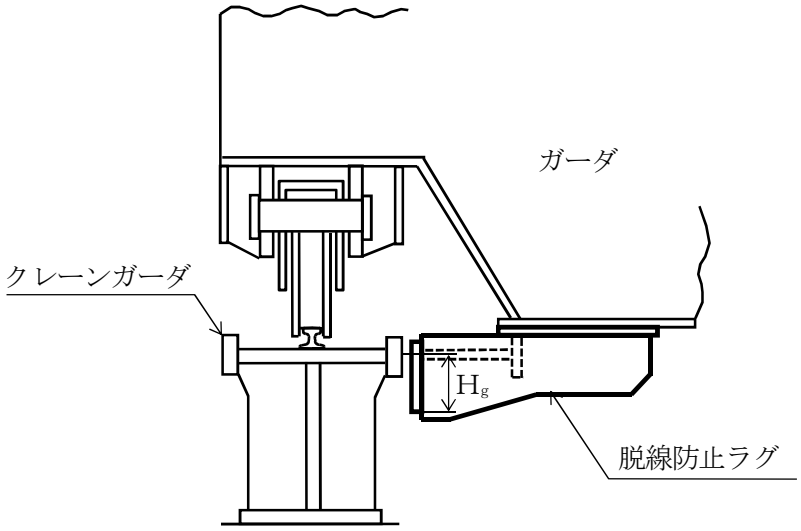


図4－10　許容浮上り量H_gの概要図

(2)　トロリの浮上り量の評価

4.6.4(2)項で求めたトロリの浮上り量h_tが，図4－11に示す許容浮上り量H_t以下であること。なお，H_tはトロリストッパがクレーン本体ガーダに対して全ての面で衝突可能な範囲として定めた値とする。

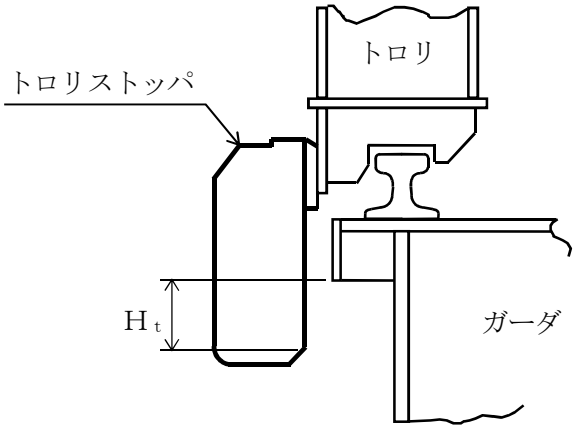


図4－11　許容浮上り量H_tの概要図

4.8.5　吊具の評価

4.6.5項で求めた吊具の荷重P_wが，許容荷重f_{w1}及びf_{w2}以下であること。

K7 ① V-2-11-2-4 R1

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

原子炉建屋クレー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，基準地震動Ｓｓ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。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

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，基準地震動Ｓｓ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.　引用文献

(1)　平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に関わる報告書（08 耐部報-0021，（独）原子力安全基盤機構）

【原子炉建屋クレー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)			基準地震動Ｓｓ			周囲環境温度 (℃)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋クレーン	B	原子炉建屋 T.M.S.L.39.7*1	—	0.025*2	—	C_H=0.075 *3, *4	C_{H1}=1.72 *2	—	50

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。また，脱線防止ラグの評価に適用する。

＊3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

＊4：トロリストッパの評価に適用する。

1.2 機器要目

m_G (kg)	m_t (kg)	m_m (kg)	Σm (kg)	M_V (N･mm)	M_H (N･mm)	Q (N)	E_G (MPa)	E_W (MPa)	ν

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)

L (mm)	A_V (mm^2)	A_1 (mm^2)	A_2 (mm^2)	Z_X (mm^3)	Z_Y (mm^3)	Z (mm^3)

注記＊：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ						脱線防止ラグ			トロリストッパ			吊具	
ガーダ中央部			ガーダ端部										
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	f_{w1} (N)	f_{w2} (N)
309 (16mm＜厚さ≦40mm)	480	336	241 (厚さ≦16mm)	394	275							1.328×10^7	1.194×10^7

1.3 計算数値

1.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 （単位：MPa）

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	σ_t ＝ 262	τ ＝ 89

曲げ応力，せん断応力は，表 4－1 の評価ケース No.1 の評価結果

1.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 （単位：MPa）

	圧縮応力
脱線防止ラグ	σ_C ＝ 134

圧縮応力は，表 4－1 の評価ケース No.1～3 の評価結果

1.3.3 トロリストッパに生じる応力 （単位：MPa）

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	σ_{t1} ＝ 55	τ_1 ＝ 7	σ_{t2} ＝ 56

曲げ応力，組合せ応力は，表 4－1 の評価ケース No.1 の評価結果

せん断応力は，表 4－1 の評価ケース No.1～3 の評価結果

1.3.4 浮上り量 （単位：mm）

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	h_g ＝ 41
トロリ	h_t ＝ 104

クレーン本体ガーダの浮上り量は，表 4－1 の評価ケース No.2 の評価結果

トロリの浮上り量は，表 4－1 の評価ケース No.1 の評価結果

1.3.5 吊荷荷重 （単位：N）

部材		算出荷重
吊具	ワイヤロープ	$P_W = 1.022 \times 10^7$
	フック	$P_W = 1.022 \times 10^7$

吊具は，表 4－1 の評価ケース No.2 の評価結果

1.4　評価結果

1.4.1　応力　　（単位：MPa）

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体ガーダ	中央部	SM490A (16mm＜厚さ≦40mm)	曲げ	σ_t ＝ 262	f_t ＝ 336
	端部	SS400 (厚さ≦16mm)	せん断	τ ＝ 89	f_S ＝ 158
脱線防止ラグ			圧縮	σ_C ＝ 134	f_C ＝ 275
トロリストッパ			曲げ	σ_{t1} ＝ 55	f_{t1} ＝ 275
			せん断	τ_1 ＝ 7	f_{S1} ＝ 158
			組合せ	σ_{t2} ＝ 56	f_{t2} ＝ 275

すべて許容応力以下である。

1.4.2　浮上り量　　（単位：mm）

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	h_g ＝ 41	H_g ＝ 200
トロリ	h_t ＝ 104	H_t ＝ 250

すべて許容浮上り量以下である。

1.4.3　吊荷荷重　　（単位：N）

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ		吊荷荷重	P_W ＝ 1.022×10^7	f_{W1} ＝ 1.328×10^7
	フック		吊荷荷重	P_W ＝ 1.022×10^7	f_{W2} ＝ 1.194×10^7

すべて許容荷重以下である。

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）			基準地震動Ｓｓ			周囲環境温度 (℃)
			水平方向		鉛直方向 (UD 方向)	水平方向設計震度		鉛直方向設計震度	
			走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)		
原子炉建屋クレーン	—	原子炉建屋 T.M.S.L.39.7*1	—	0.019*2	—	C_H=0.075 *3, *4	C_{H1}=1.72 *2	—	100

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。また，脱線防止ラグの評価に適用する。

＊3：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度

＊4：トロリストッパの評価に適用する。

2.2 機器要目

m_G (kg)	m_t (kg)	Σm (kg)	M_V (N･mm)	M_H (N･mm)	Q (N)	E_G (MPa)	E_W (MPa)	ν

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)

L (mm)	A_V (mm^2)	A_1 (mm^2)	A_2 (mm^2)	Z_X (mm^3)	Z_Y (mm^3)	Z (mm^3)

注記＊：トロリの浮上りを考慮した長さ。

クレーン本体ガーダ						脱線防止ラグ			トロリストッパ		
ガーダ中央部			ガーダ端部								
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
283 (16mm＜厚さ≦40mm)	441	308	221 (厚さ≦16mm)	373	261						

2.3 計算数値

2.3.1 クレーン本体ガーダに生じる応力 （単位：MPa）

	曲げ応力	せん断応力
クレーン本体ガーダ	σ_t ＝ 100	τ ＝ 55

曲げ応力，せん断応力は，表 4－1 の評価ケース No.3 の評価結果

2.3.2 脱線防止ラグに生じる応力 （単位：MPa）

	圧縮応力
脱線防止ラグ	σ_C ＝ 134

圧縮応力は，表 4－1 の評価ケース No.3 の評価結果

2.3.3 トロリストッパに生じる応力 （単位：MPa）

	曲げ応力	せん断応力	組合せ応力
トロリストッパ	σ_{t1} ＝ 35	τ_1 ＝ 7	σ_{t2} ＝ 37

曲げ応力，せん断応力，組合せ応力は，表 4－1 の評価ケース No.3 の評価結果

2.3.4 浮上り量 （単位：mm）

	浮上り量
クレーン本体ガーダ	h_g ＝ 29
トロリ	h_t ＝ 42

クレーン本体ガーダ及びトロリの浮上り量は，表 4－1 の評価ケース No.3 の評価結果

2.4　評価結果

2.4.1　応力　　（単位：MPa）

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
クレーン本体ガーダ	中央部	SM490A (16mm＜厚さ≦40mm)	曲げ	σ_t ＝ 100	f_t ＝ 308
	端部	SS400 (厚さ≦16mm)	せん断	τ ＝ 55	f_S ＝ 150
脱線防止ラグ			圧縮	σ_C ＝ 134	f_C ＝ 254
トロリストッパ			曲げ	σ_{t1} ＝ 35	f_{t1} ＝ 254
			せん断	τ_1 ＝ 7	f_{S1} ＝ 146
			組合せ	σ_{t2} ＝ 37	f_{t2} ＝ 254

すべて許容応力以下である。

2.4.2　浮上り量　　（単位：mm）

	浮上り量	許容浮上り量
クレーン本体ガーダ	h_g ＝ 29	H_g ＝ 200
トロリ	h_t ＝ 42	H_t ＝ 250

すべて許容浮上り量以下である。

付録１　時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討

Ｖ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示すように，設計用床応答曲線は建屋の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものを用いている。本評価では，設計用床応答曲線を用いない時刻歴解析手法を採用していることから，建屋の固有周期シフトに対する不確かさを考慮する必要がある。

本評価では，上記の不確かさの考慮として，固有周期シフトを考慮していない時刻歴加速度波による解析以外にＡＳＭＥ Boiler Pressure Vessel Code SECTION Ⅲ，DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening の規定を参考に時刻歴加速度波を時間軸方向に床応答曲線の拡幅の考慮分として±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。また，±10%シフトさせた設計用床応答曲線のピークにクレーンの固有周期が存在する場合は，ＡＳＭＥの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行う。

Ⅴ-2-11-2-5　燃料取替機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　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 3
2.4　適用規格・基準等 ····· 4
2.5　記号の説明 ····· 5
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
3.　評価部位 ····· 10
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 11
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 11
4.2.2　許容応力 ····· 11
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件 ····· 11
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 16
4.4　固有周期 ····· 18
4.5　設計用地震力 ····· 21
4.6　計算方法 ····· 23
4.6.1　燃料取替機構造物フレームの応力 ····· 23
4.6.2　脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力 ····· 25
4.6.3　吊具の荷重計算方法 ····· 38
4.6.4　吊具の応力計算方法 ····· 42
4.7　計算条件 ····· 43
4.8　応力の評価 ····· 43
4.8.1　燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力評価 ····· 43
4.8.2　脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価 ····· 43
4.8.3　先端金具の応力評価 ····· 43
4.8.4　ワイヤロープの評価 ····· 44
5.　評価結果 ····· 45
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 45
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 45

1. 概要

本計算書は，Ｖ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき，下位クラス設備である燃料取替機（Ｂクラス施設）が基準地震動Ｓｓに対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラスである使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

燃料取替機は原子炉建屋 4 階に設置される。燃料取替機は，図 2－1 の位置関係図に示すように，燃料交換時において，上位クラス施設である使用済燃料貯蔵ラックが設置された使用済燃料貯蔵プール上にて作業を実施することから，転倒又は落下により使用済燃料貯蔵ラック及び使用済燃料貯蔵プールに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

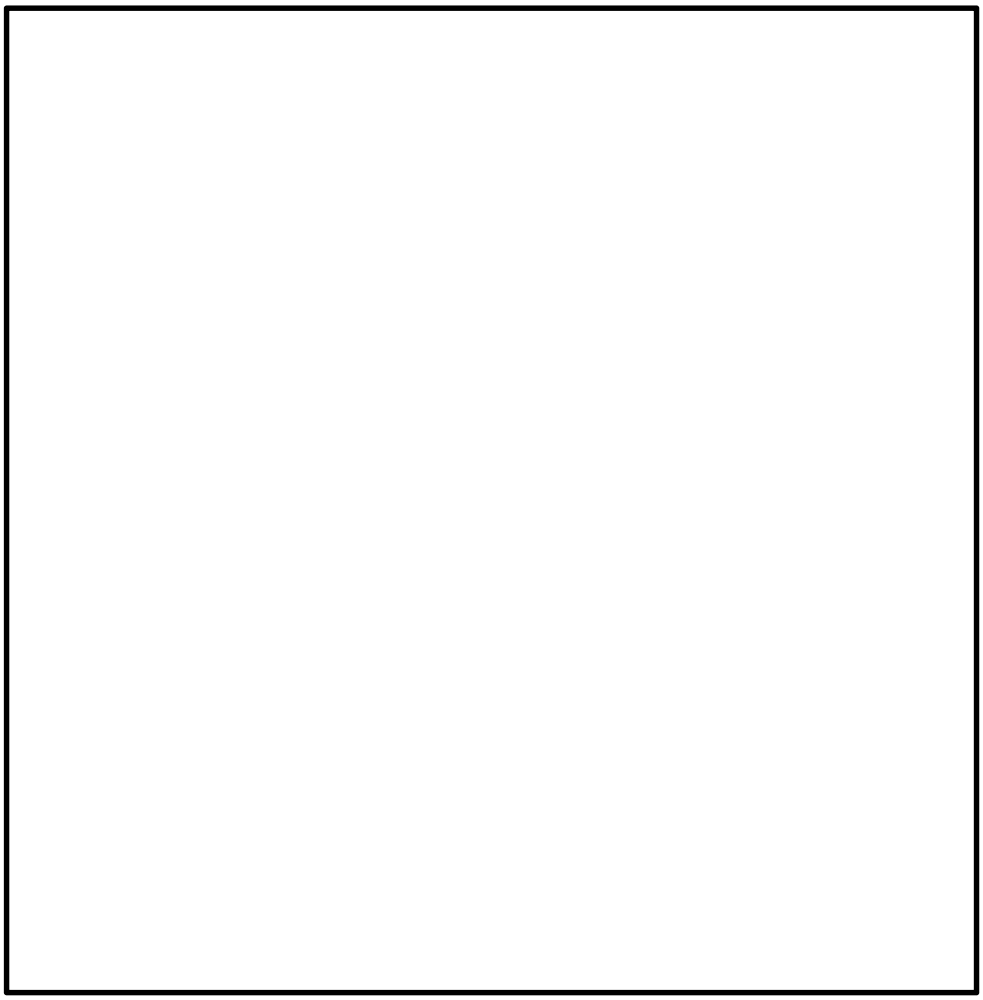
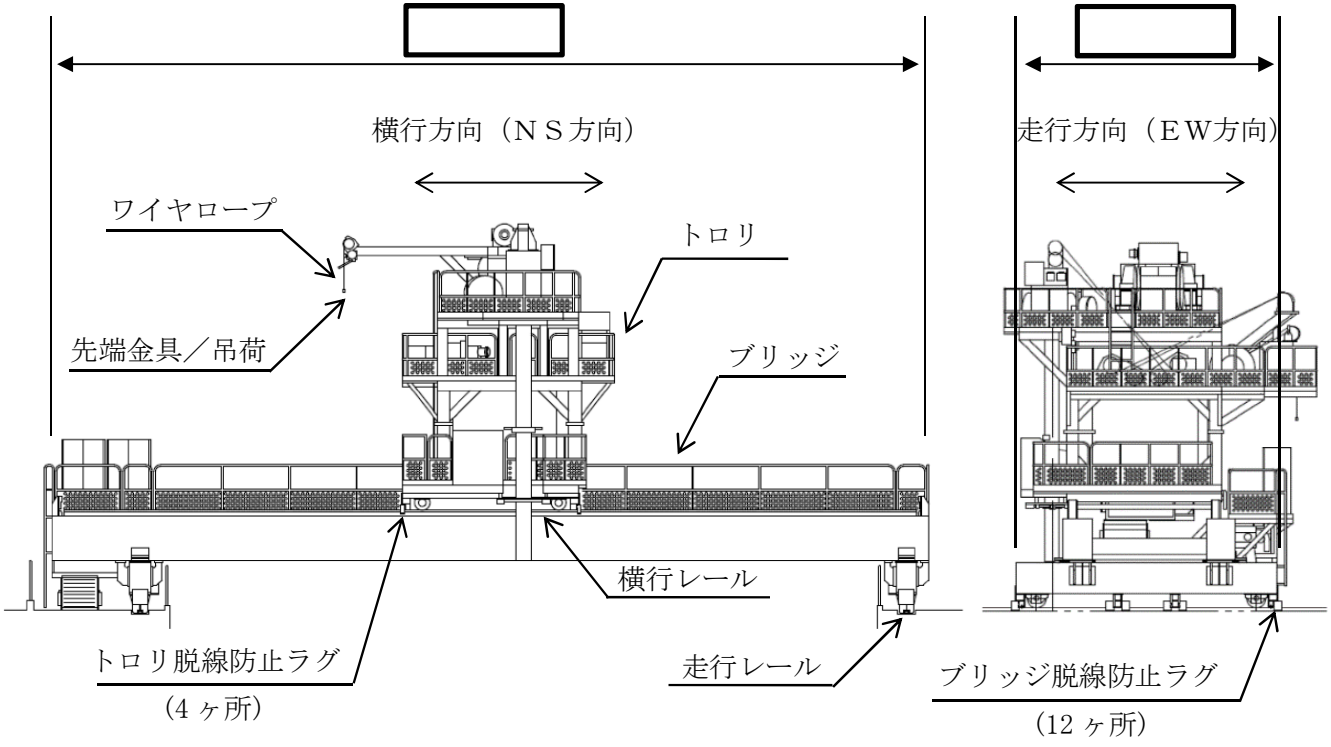


図 2－1　燃料取替機と使用済燃料貯蔵プール等の位置関係

2.2　構造計画

燃料取替機の構造計画を表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	
原子炉建屋4階に設けた走行レール上をブリッジが走行し，ブリッジ上部の横行レール上をトロリが横行する。 ブリッジ及びトロリは走行部付近に脱線防止ラグを備えており，各々レールを抱え込む構造である。 また吊荷はトロリに設置されたホイストからのワイヤロープ及び先端金具を介して吊上げ・吊下げ・移動を行う。	ブリッジ トロリ	

2.3　評価方針

燃料取替機の応力評価は，V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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，「2.2　構造計画」にて示す燃料取替機の部位を踏まえ「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基準地震動Ｓｓによる応力等が許容限界内に収まることを，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」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。

燃料取替機の耐震評価フローを図2－2に示す。

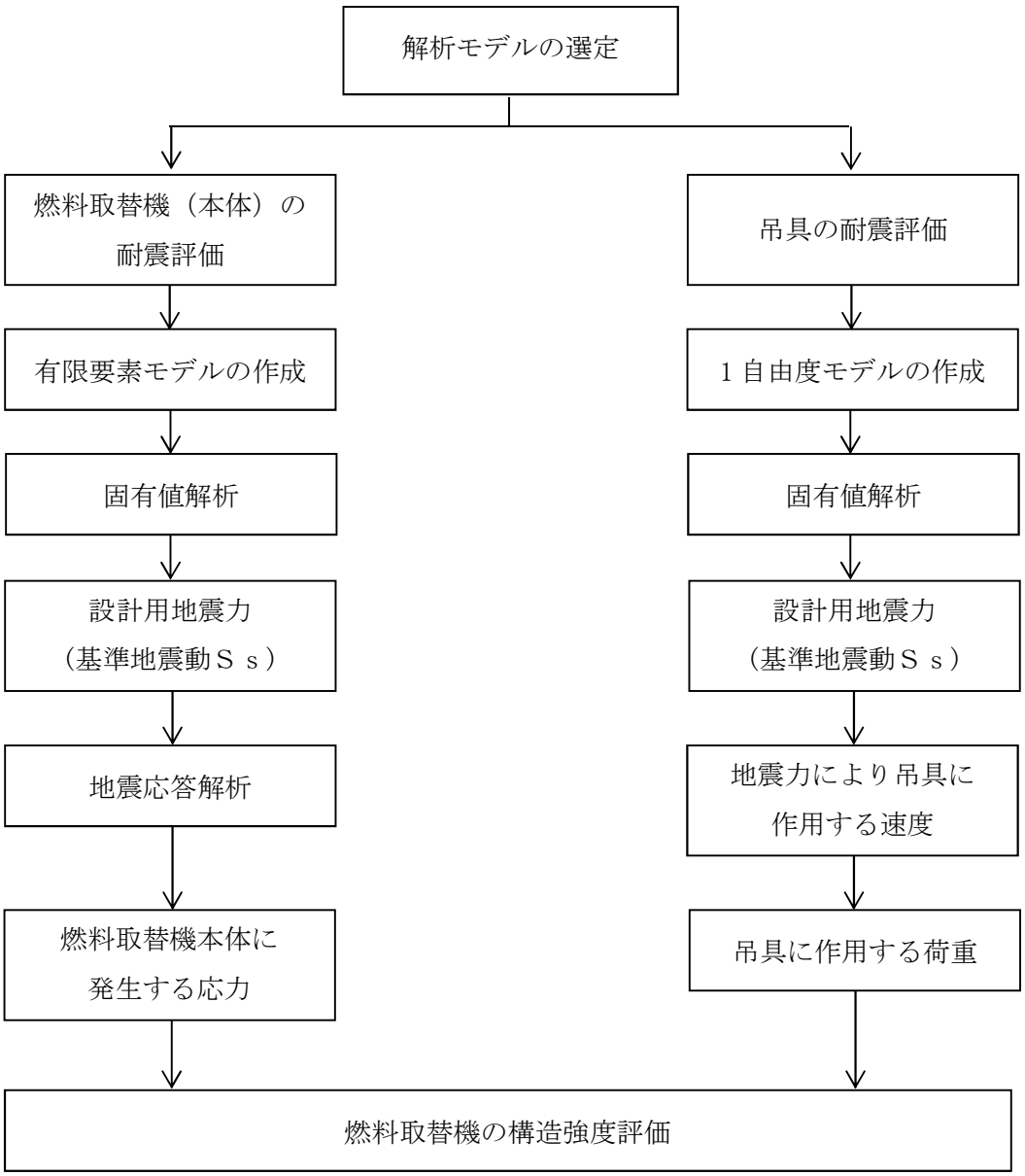


図2－2　燃料取替機の耐震評価フロー

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。

・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（(社)日本電気協会）

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{1F}	燃料取替機構造物フレームの断面積	mm^2
A_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面積	mm^2
A_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面積	mm^2
A_{3B}	走行レールC部の断面積	mm^2
A_{4B}	走行レールD部の断面積	mm^2
A_{bB}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト1本の断面積	mm^2
A_w	ワイヤロープ1本の断面積	mm^2
a_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の幅	mm
a_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の幅	mm
a_{3B}	走行レールC部の厚み	mm
a_{4B}	走行レールD部の厚み	mm
b_{1B}	負担力F_{HB}に対するブリッジ脱線防止ラグの負担長さ	mm
b_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグの走行レール面接触長さ	mm
b_{3B}	負担力F_{Vb}に対する走行レール頭部の負担長さ	mm
b_{4B}	負担力F_{HB}に対する走行レールウェブの負担長さ	mm
C_{H1}	水平方向設計震度	—
C_{H2}	最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの呼び径	mm
E	燃料取替機構造物フレームの縦弾性係数	MPa
E_w	ワイヤロープの縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_{HB}	ブリッジ脱線防止ラグ1ヶ所に作用する水平力	N
F_{HT}	トロリ脱線防止ラグ1ヶ所に作用する水平力	N
F_{VB}	ブリッジ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
F_{VT}	トロリ脱線防止ラグ一組に作用する鉛直力	N
F_{Vb}	ブリッジ脱線防止ラグ1個に作用する鉛直力	N
F_{Vt}	トロリ脱線防止ラグ1個に作用する鉛直力	N
F_x	燃料取替機構造物フレームに作用する軸力	N
F_y	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力（y方向）	N
F_z	燃料取替機構造物フレームに作用するせん断力（z方向）	N
F	吊荷の浮上り後の落下によりワイヤロープ，先端金具に発生する荷重	N
F_w	ワイヤロープ1本当たりに発生する支持荷重	N

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ根元部からF_{HB}作用点までの距離	mm
h_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグフック根元部からF_{Vb}作用点までの距離	mm
h_{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点（F_{Vb}）からＣ部までの距離（長さ）	mm
h_{4B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点（F_{HB}）からＤ部までの距離（高さ）	mm
k_w	ワイヤロープのばね定数	N/mm
L_{3B}	ブリッジ脱線防止ラグ作用点（F_{Vb}）からブリッジ脱線防止ラグ作用点（F_{HB}）までの距離（高さ）	mm
L_{4B}	走行レール端面から走行レール中心までの距離	mm
L_w	ワイヤロープ長さ	mm
M_x	燃料取替機構造物フレームのねじりモーメント	N･mm
M_y	燃料取替機構造物フレームのｙ軸周り曲げモーメント	N･mm
M_z	燃料取替機構造物フレームのｚ軸周り曲げモーメント	N･mm
M_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグＡ部の曲げモーメント	N･mm
M_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグＢ部の曲げモーメント	N･mm
M_{3B}	負担力F_{Vb}による走行レールＣ部の曲げモーメント	N･mm
M_{4B}	負担力F_{HB}による走行レールＤ部の曲げモーメント	N･mm
m_B	ブリッジ質量	kg
m_T	トロリ質量	kg
m_m	吊荷の質量	kg
n_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトの本数	―
n_w	ワイヤロープ本数	―
P_1 ～ P_{12}	地震力によりブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重	N
P_{13} ～ P_{16}	地震力によりトロリに加わる荷重	N
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
T_w	ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期	s
v_1	吊荷の最大速度	mm/s
v_2	トロリの最大速度	mm/s

記号	記号の説明	単位
Z_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_{3B}	走行レールC部の断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_{4B}	走行レールD部の断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_{p1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
Z_{p2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
Z_{p3B}	走行レールC部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
Z_{p4B}	走行レールD部の断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
Z_p	燃料取替機構造物フレームのねじり断面係数	mm^3
Z_y	燃料取替機構造物フレームのｙ軸周り断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_z	燃料取替機構造物フレームのｚ軸周り断面係数（設計基準対象施設）	mm^3
Z_{py}	燃料取替機構造物フレームのｙ軸周り断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
Z_{pz}	燃料取替機構造物フレームのｚ軸周り断面係数（重大事故等対処設備）	mm^3
σ_{1F}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{3B}	走行レールC部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{4B}	走行レールD部の曲げ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{p1F}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p3B}	走行レールC部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{p4B}	走行レールD部の曲げ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{c1F}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c3B}	走行レールC部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{c4B}	走行レールD部の組合せ応力（設計基準対象施設）	MPa
σ_{pc1F}	燃料取替機構造物フレームの組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc3B}	走行レールC部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pc4B}	走行レールD部の組合せ応力（重大事故等対処設備）	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_x	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（x方向）	MPa
σ_y	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（y方向）（設計基準対象施設）	MPa
σ_z	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（z方向）（設計基準対象施設）	MPa
σ_{py}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（y方向）（重大事故等対処設備）	MPa
σ_{pz}	燃料取替機構造物フレームの曲げ応力成分（z方向）（重大事故等対処設備）	MPa
σ_m	先端金具の引張応力	MPa
τ_{1F}	燃料取替機構造物フレームのせん断応力	MPa
τ_{1B}	ブリッジ脱線防止ラグA部のせん断応力	MPa
τ_{2B}	ブリッジ脱線防止ラグB部のせん断応力	MPa
τ_{3B}	走行レールC部のせん断応力	MPa
τ_{4B}	走行レールD部のせん断応力	MPa
τ_{bB}	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルトのせん断応力	MPa
τ_x	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（x方向）	MPa
τ_y	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（y方向）	MPa
τ_z	燃料取替機構造物フレームのせん断応力成分（z方向）	MPa
μ	最大静止摩擦係数	―
ν	燃料取替機構造物フレームのポアソン比	―

注1：記号右端添字に$_B$又は$_b$が付くものは，ブリッジ脱線防止ラグ及び走行レール評価用を代表で示したものであり，評価中のトロリ脱線防止ラグ及び横行レールについては$_B \rightarrow _T$又は$_b \rightarrow _t$に置き換えるものとする。

2.6　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
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
断面積		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
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

注記＊1：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。
また，小数点以下第2位の場合は，小数点以下第2位表示とする。

＊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

燃料取替機の耐震評価は，「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，燃料取替機及び吊荷の落下により，上位クラス設備が損傷することを防止するために，燃料取替機構造物フレーム，ブリッジ脱線防止ラグ，トロリ脱線防止ラグ，走行レール，横行レール及び吊具（ワイヤロープ及び先端金具）について実施する。燃料取替機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)　構造概要図を図4－1に示す。燃料取替機のブリッジ及びトロリは，各々走行レール及び横行レール上に載っているので地震時，走行方向に対しては，最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合にすべりを生じる。

ブリッジ及びトロリの車輪は各々4個であり，そのうち各々2個は摩擦を受ける駆動輪であり，他の2個は従動輪である。

ゆえに，最大静止摩擦係数をμ＝0.3とすれば，水平力は以下のとおりとなる。

水平力 ＝ 鉛直方向荷重×μ×2／4 ＝ 鉛直方向荷重×0.15

(2)　ブリッジ及びトロリは，走行方向に直角な方向に対しては，各々ブリッジ脱線防止ラグ及びトロリ脱線防止ラグによって荷重を支持する。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

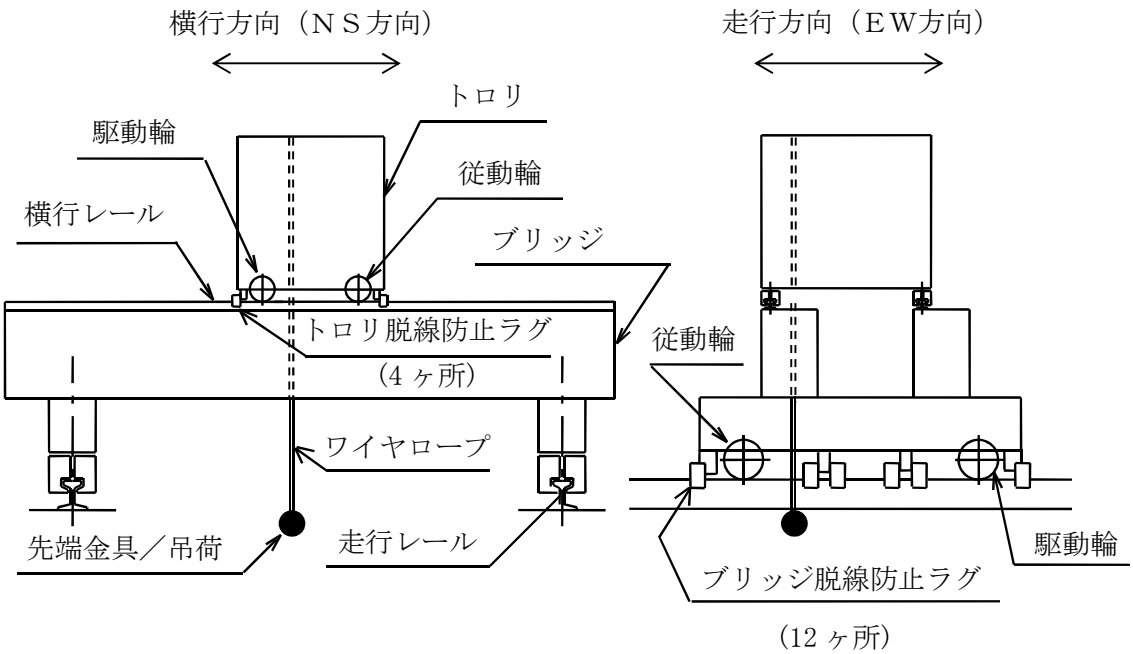


図4－1　構造概要図

(4) 評価ケース

表4－1に示す評価ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では，燃料取替機の運転状態を想定し，ケース1，2について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では，燃料取替機の待機状態を想定し，ケース3について評価する。

表4－1　評価ケース

評価対象		燃料取替機本体，吊具		燃料取替機本体
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●	―	―
	端部	―	●	○

●：吊荷有　○：吊荷無

(5) 評価方法

燃料取替機の評価は，スペクトルモーダル解析および静解析を用いる。

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

燃料取替機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4－2に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－3に示す。

4.2.2　許容応力

燃料取替機の許容応力は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4－4のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重評価条件

燃料取替機の使用材料の許容応力評価条件及び許容荷重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。

表４－２　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	B	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表４－３　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	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	燃料取扱設備	燃料取替機	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして，$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4－4　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 (ボルト等以外)			許容限界*2 (ボルト等)
	一次応力			一次応力
	引張り	せん断	曲げ	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_S^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_S^*$
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として，$Ⅳ_AS$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 4－5(1)　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位			材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	50	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			—
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	50	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	50	—			—
走行レール				周囲環境温度	50	—			—
横行レール				周囲環境温度	50	—			—
先端金具				周囲環境温度	50	—			—

注記＊：SS400 の値及び STKR400 の値において小さい方の値を記載

表 4－5(2)　使用材料の許容荷重評価条件（設計基準対象施設）

評価部位	材料	温度条件 (℃)		定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ		周囲環境温度	50	4.511×10^{3}	7.95	3.590×10^{4}

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）

評価部位			材料	温度条件（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
燃料取替機構造物フレーム				周囲環境温度	100	—			—
ブリッジ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	100	—			—
トロリ	脱線防止ラグ	本体		周囲環境温度	100	—			—
		取付ボルト		周囲環境温度	100	—			—
走行レール				周囲環境温度	100	—			—
横行レール				周囲環境温度	100	—			—

注記＊：SS400 の値及び STKR400 の値において小さい方の値を記載

4.3　解析モデル及び諸元

燃料取替機の解析モデルを図 4－2 に，解析モデルの概要を以下に示す。

また，機器諸元を本計算書の【燃料取替機の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　燃料取替機の耐震計算に用いる解析モデルは，はり要素を用いた有限要素モデルとする。

(2)　燃料取替機の質量としてブリッジ，トロリの構造物及び搭載機器を考える。ただし，ブリッジ計算モデルではトロリの質量を考慮していないが，ブリッジとトロリの結合は考慮したモデルとする。

(3)　境界条件として，燃料取替機本体ガーダ車輪／脱線防止ラグのＮＳ方向を拘束し，ＥＷ方向へはすべる条件とする。また，トロリ車輪／脱線防止ラグのＥＷ方向はガーダと結合し，ＮＳ方向へはすべる条件とする。ブリッジ及びトロリの鉛直上向き方向は，脱線防止ラグとレールの接触を模擬するため拘束とする。

(4)　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，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

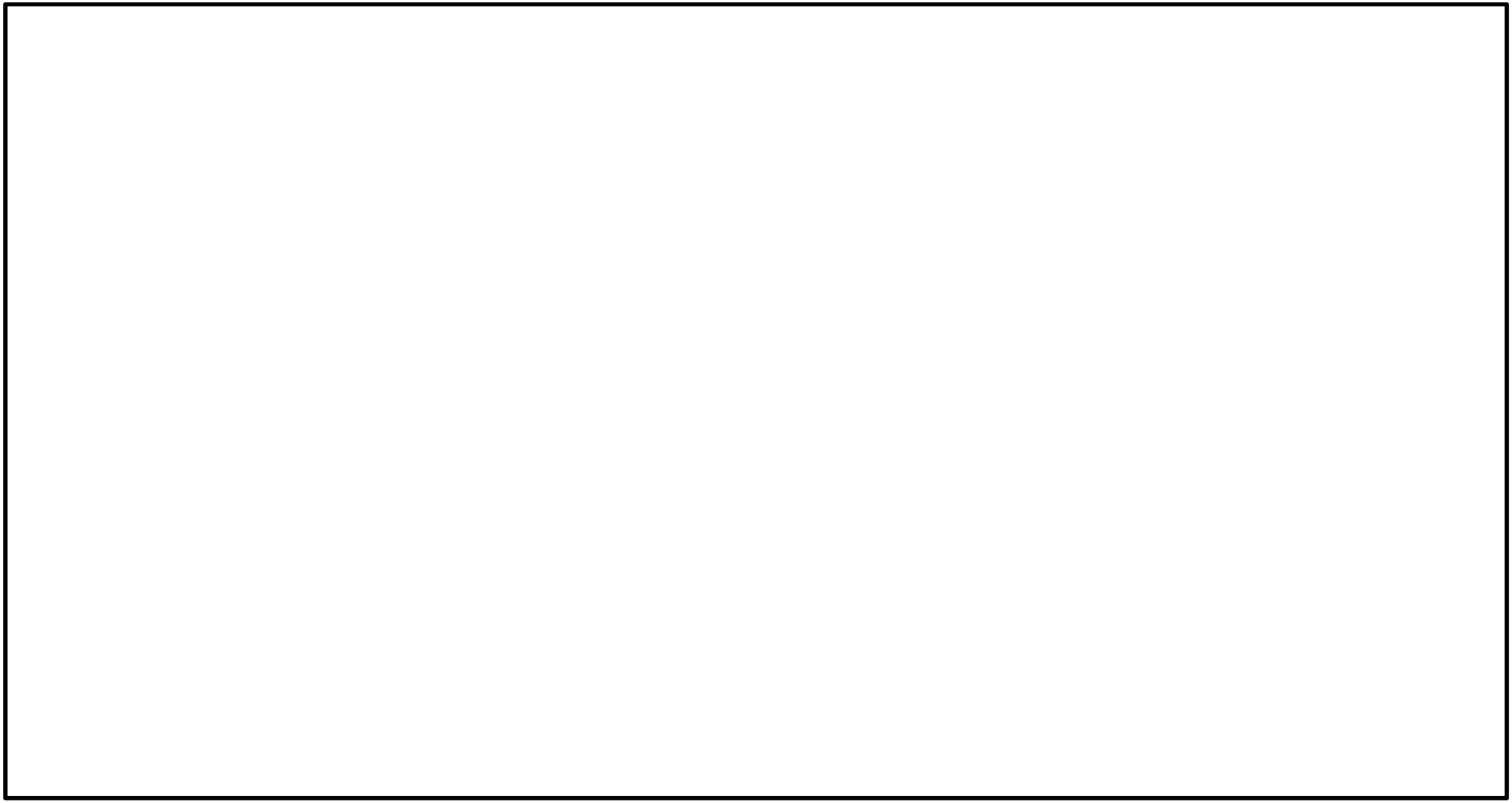


図4－2　燃料取替機計算モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4－7に示す。また，振動モード図を図4－3，及び図4－4に示す。

鉛直方向の固有値解析は，ブリッジ計算モデルにトロリ計算モデルを含めた燃料取替機計算モデルにて実施する。水平方向の固有値解析は，トロリは最大静止摩擦係数を超えるとブリッジ上のレールをすべり挙動を考慮した解析を実施することから，トロリによる固有周期への影響がないように，トロリの質量を考慮していないがブリッジとトロリの結合は考慮したブリッジ計算モデルのみで固有値解析を実施する。

表4－7(1)　固有値解析結果（トロリ位置：中央，燃料取替機計算モデル）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
1	水平（ＥＷ）	0.266	-0.03	-4.49	0.23
2	水平（ＮＳ）	0.149	3.80	-0.06	-0.97
3	鉛直	0.119	0.37	-0.51	-1.38
4	鉛直	0.112	-0.69	-1.71	-4.93
5	水平（ＥＷ）	0.105	-0.31	3.18	-2.65
6	水平（ＥＷ）	0.062	0.01	-1.02	-0.45
7	水平（ＮＳ）	0.052	-1.81	-0.27	0.12
8	水平（ＮＳ）	0.050	-3.78	0.11	-0.48
9	鉛直	0.045	—	—	—
10	水平（ＮＳ）	0.044	—	—	—

注：設計基準対象施設としての評価の場合

＊：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。

表4－7(2)　固有値解析結果（トロリ位置：中央，ブリッジ計算モデル）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
1	水平（ＥＷ）	0.092	0.05	-4.00	0.12
2	鉛直	0.067	-0.09	0.29	3.28
3	鉛直	0.055	0.12	0.18	-2.10
4	水平（ＮＳ）	0.049	—	—	—
5	鉛直	0.045	—	—	—

注：設計基準対象施設としての評価の場合

＊：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。

表4－7(3)　固有値解析結果（トロリ位置：端部，燃料取替機計算モデル）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
1	水平（ＥＷ）	0.170	2.01	-3.60	-0.32
2	水平（ＮＳ）	0.170	3.89	1.96	-0.54
3	水平（ＥＷ）	0.123	0.50	-0.84	-0.19
4	水平（ＥＷ）	0.091	0.02	-3.84	0.09
5	鉛直	0.066	0.64	0.32	4.00
6	鉛直	0.058	0.15	-0.86	1.85
7	鉛直	0.054	0.48	0.25	2.10
8	水平（ＮＳ）	0.049	—	—	—
9	鉛直	0.048	—	—	—

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

＊：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。

表4－7(4)　固有値解析結果（トロリ位置：端部，ブリッジ計算モデル）

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
1	水平（ＥＷ）	0.091	0.06	-4.01	0.09
2	鉛直	0.066	-0.08	0.21	3.40
3	鉛直	0.055	0.14	0.14	-1.90
4	水平（ＮＳ）	0.049	—	—	—
5	鉛直	0.045	—	—	—

注：重大事故等対処設備としての評価の場合

＊：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。

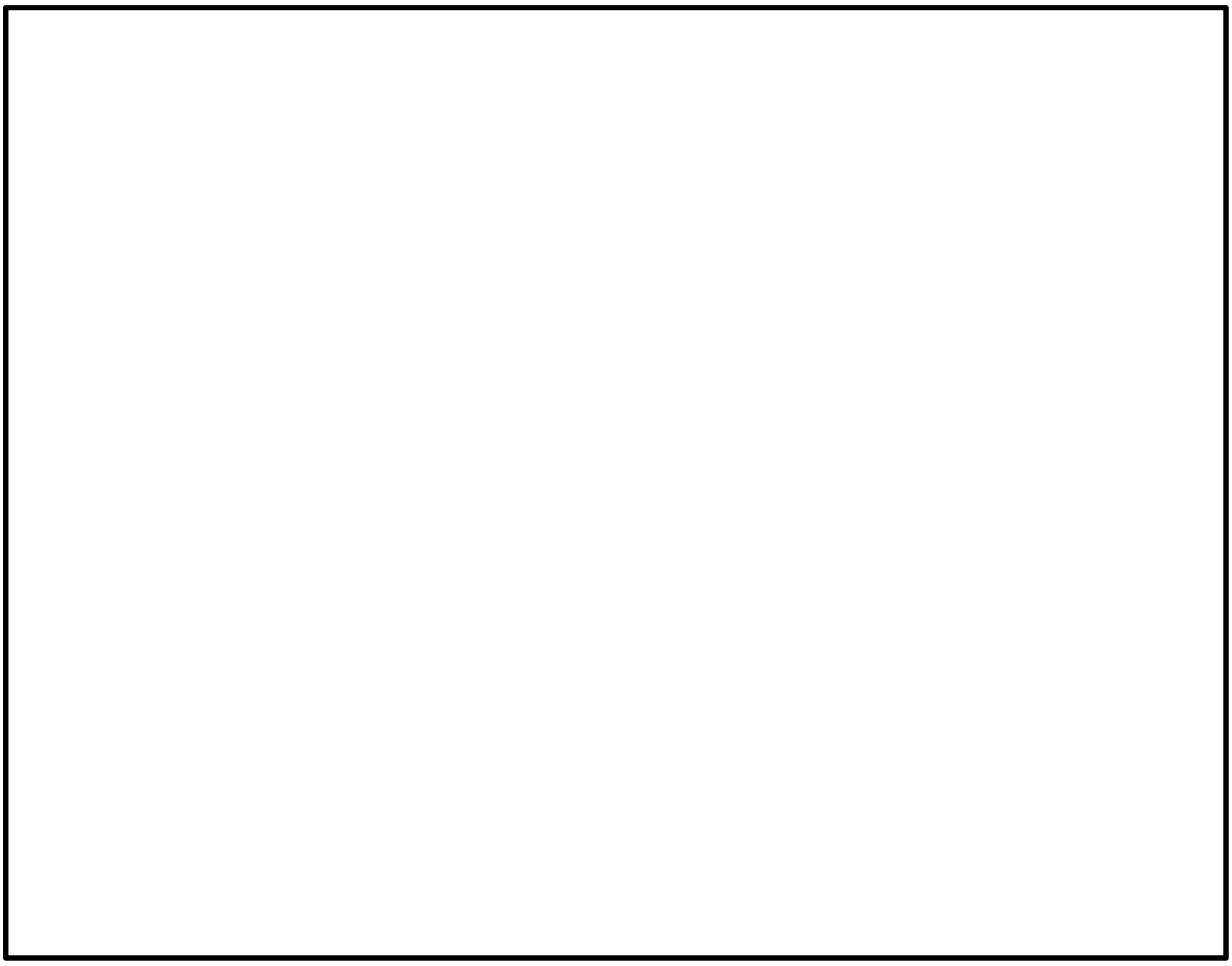


図 4－3　トロリ位置が中央の場合における振動モード図

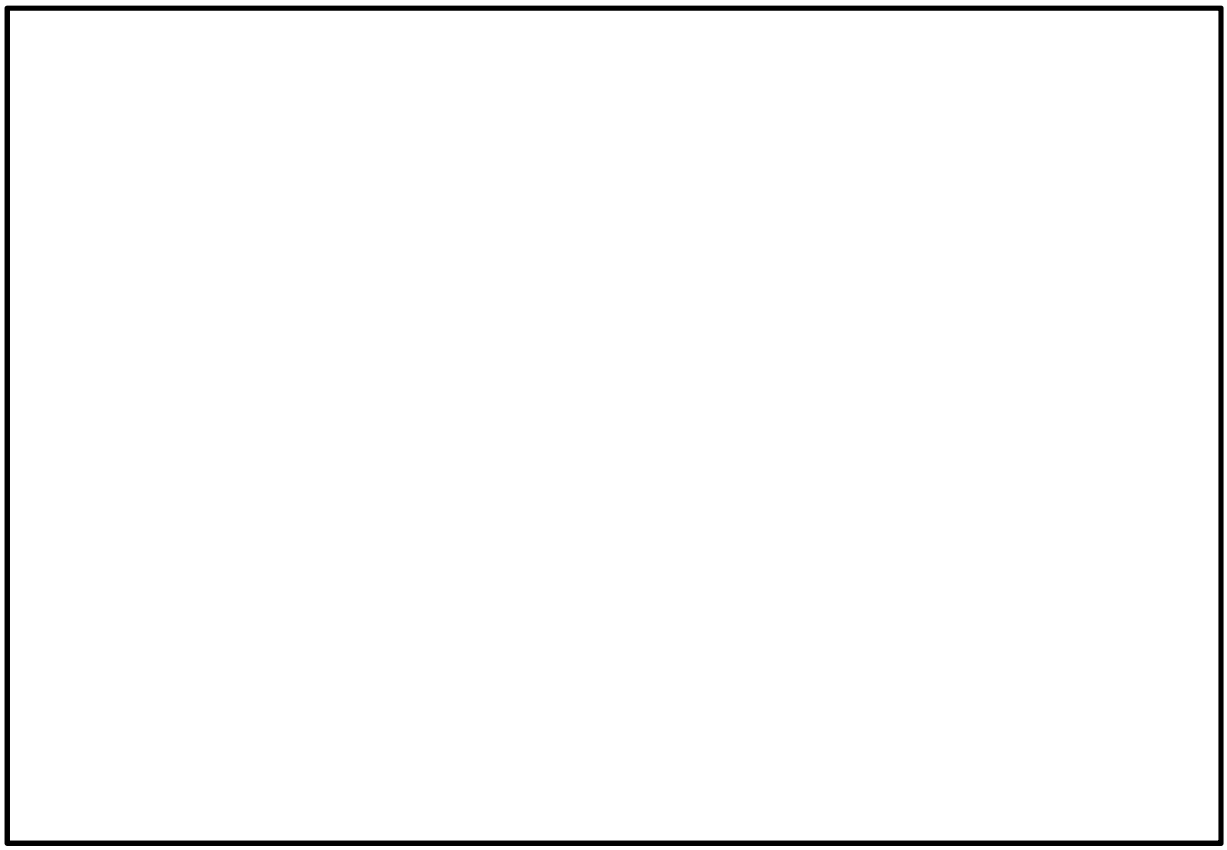


図 4－4　トロリ位置が端部の場合における振動モード図

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－8 及び表 4－9 に示す。基準地震動Ｓｓによる地震力は，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。減衰定数は，Ｖ-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。

表 4－8　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)		原子炉建屋　T.M.S.L. 31.7*1				
固有周期(s)		水平：0.049*2　　鉛直：0.112*2				
減衰定数(%)		水平：2.0　　鉛直：2.0(1.5)*3				
地震力		基準地震動Ｓｓ				
モード	固有周期(s)	応答水平震度*4				応答鉛直震度*4
		ブリッジ		トロリ		
		ＥＷ方向	ＮＳ方向	ＥＷ方向	ＮＳ方向	
1 次	0.266	—	—	—	—	4.85
2 次	0.149	—	—	—	—	2.61
3 次	0.119	—	—	—	—	2.92
4 次	0.112	—	—	—	—	2.95
5 次	0.105	—	—	—	—	2.92
6 次	0.062	—	—	—	—	1.95
7 次	0.052	—	—	—	—	1.40
8 次	0.050	—	—	—	—	1.40
9 次	0.045	—	—	—	—	—
動的地震力*5		C_{H2}＝0.15*6	C_{H1}＝1.38	C_{H2}＝0.15*6	C_{H2}＝0.15*6	1.15

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値。

＊3：（　）外は燃料取替機のトロリ位置が中央にある場合，（　）内は燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合。

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

＊5：Ｓｓに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

＊6：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

表 4－9　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)		原子炉建屋　T.M.S.L. 31.7*1				
固有周期(s)		水平：0.049*2　　鉛直：0.066*2				
減衰定数(%)		水平：2.0　　鉛直：1.5				
地震力		基準地震動Ｓｓ				
モード	固有周期(s)	応答水平震度*3				応答鉛直震度*3
		ブリッジ		トロリ		
		ＥＷ方向	ＮＳ方向	ＥＷ方向	ＮＳ方向	
1次	0.170	—	—	—	—	3.42
2次	0.170	—	—	—	—	3.42
3次	0.123	—	—	—	—	3.27
4次	0.091	—	—	—	—	2.70
5次	0.066	—	—	—	—	2.28
6次	0.058	—	—	—	—	1.74
7次	0.054	—	—	—	—	1.52
8次	0.049	—	—	—	—	—
動的地震力*4		C_{H2}＝0.15*5	C_{H1}＝1.38	C_{H2}＝0.15*5	C_{H2}＝0.15*5	1.15

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：トロリ位置が端部にある場合の値。

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

＊4：Ｓｓに基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

＊5：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

4.6　計算方法

4.6.1　燃料取替機構造物フレームの応力

(1)　計算方法

燃料取替機構造物フレームに加わる荷重は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a.　燃料取替機構造物フレームの応力

燃料取替機構造物フレームの応力を図 4－5 を用いて計算する。負担力は，並進力 F_x，F_y，F_z，モーメント力M_x，M_y，M_zとする。

(a)　応力成分

上記荷重による応力成分は次式となる。

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}\ ,\ \sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}\ ,\ \sigma_z = \frac{M_z}{Z_z} \quad \cdot\cdot \quad (4.6.1.1)$$

$$\tau_x = \frac{M_x}{Z_p}\ ,\ \tau_y = \frac{F_y}{A_{1F}}\ ,\ \tau_z = \frac{F_z}{A_{1F}} \quad \cdot\cdot \quad (4.6.1.2)$$

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{1F}}\ ,\ \sigma_{py} = \frac{M_y}{Z_{py}}\ ,\ \sigma_{pz} = \frac{M_z}{Z_{pz}} \quad \cdot\cdot \quad (4.6.1.3)$$

(b)　曲げ応力

曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1F} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \quad (4.6.1.4)$$

$$\sigma_{p1F} = \sigma_x + \sigma_{py} + \sigma_{pz} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \quad (4.6.1.5)$$

(c)　せん断応力

せん断応力は次式となる。

$$\left.\begin{array}{l} \sqrt{(\tau_x + \tau_y)^2 + \tau_z^2} \\ \sqrt{\tau_y^2 + (\tau_x + \tau_z)^2} \end{array}\right\} \text{大きい方} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \quad (4.6.1.6)$$

(d)　組合せ応力

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1F} = \sqrt{\sigma_{1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \quad (4.6.1.7)$$

$$\sigma_{pc1F} = \sqrt{\sigma_{p1F}^2 + 3 \cdot \tau_{1F}^2} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot \quad (4.6.1.8)$$

燃料取替機構造物フレームの最大応力発生部材を図 4－2 の ⓐ，ⓑ に示す。

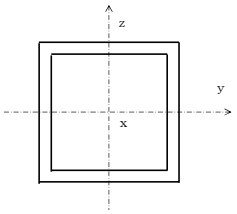


図 4－5(1)　トロリ一階柱

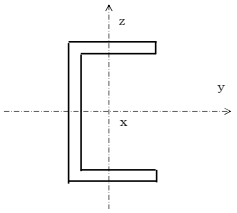


図 4－5(2)　プラットフォーム

4.6.2　脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力

(1)　計算方法（ブリッジ）

ブリッジ脱線防止ラグに加わる荷重（ P_1 ～ P_{12} ）は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a.　ブリッジ脱線防止ラグの応力

ブリッジ脱線防止ラグの応力を図 4−6 を用いて計算する。負担力は，P_1～P_{12} の平均の値をF_{HB}，及びF_{VB}とする。

鉛直力F_{VB}はラグ一組（2 個）に分散し，1 個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vb}=\frac{F_{VB}}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.1)$$

(a)　曲げ応力

・A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1B}=F_{HB}\cdot h_{1B}+F_{Vb}\cdot\left[h_{2B}+\frac{a_{1B}}{2}\right] \quad \cdots\cdots \quad (4.6.2.2)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1B}=\frac{a_{1B}^{2}\cdot b_{1B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.3)$$

$$Z_{p1B}=\frac{a_{1B}^{2}\cdot b_{1B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.4)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1B}=a_{1B}\cdot b_{1B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.5)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1B}=\frac{F_{Vb}}{A_{1B}}+\frac{M_{1B}}{Z_{1B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.6)$$

$$\sigma_{p1B}=\frac{F_{Vb}}{A_{1B}}+\frac{M_{1B}}{Z_{p1B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.7)$$

・B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2B}=F_{Vb}\cdot h_{2B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.8)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2B}=\frac{a_{2B}^{2}\cdot b_{2B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.9)$$

$$Z_{p2B}=\frac{a_{2B}^{2}\cdot b_{2B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.10)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2B}=\frac{M_{2B}}{Z_{2B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.11)$$

$$\sigma_{p2B}=\frac{M_{2B}}{Z_{p2B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.12)$$

(b) せん断応力

・A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1B}=a_{1B}\cdot b_{1B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.13)$$

負担力F_{HB}によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1B}=\frac{F_{HB}}{A_{1B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.14)$$

・B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2B}=a_{2B}\cdot b_{2B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.15)$$

負担力F_{Vb}によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2B}=\frac{F_{Vb}}{A_{2B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.16)$$

(c) 組合せ応力

・A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1B}=\sqrt{\sigma_{1B}^{2}+3\cdot\tau_{1B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.17)$$

$$\sigma_{pc1B}=\sqrt{\sigma_{p1B}^{2}+3\cdot\tau_{1B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.18)$$

・B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2B}=\sqrt{\sigma_{2B}^{2}+3\cdot\tau_{2B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.19)$$

$$\sigma_{pc2B}=\sqrt{\sigma_{p2B}^{2}+3\cdot\tau_{2B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.20)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{bB}=\frac{\pi}{4}\cdot d_{1B}^{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.21)$$

せん断力は，取付ボルトn_{1B}本で受けるものとし，ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bB}=\frac{\sqrt{F_{HB}^{2}+F_{Vb}^{2}}}{n_{1B}\cdot A_{bB}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.22)$$

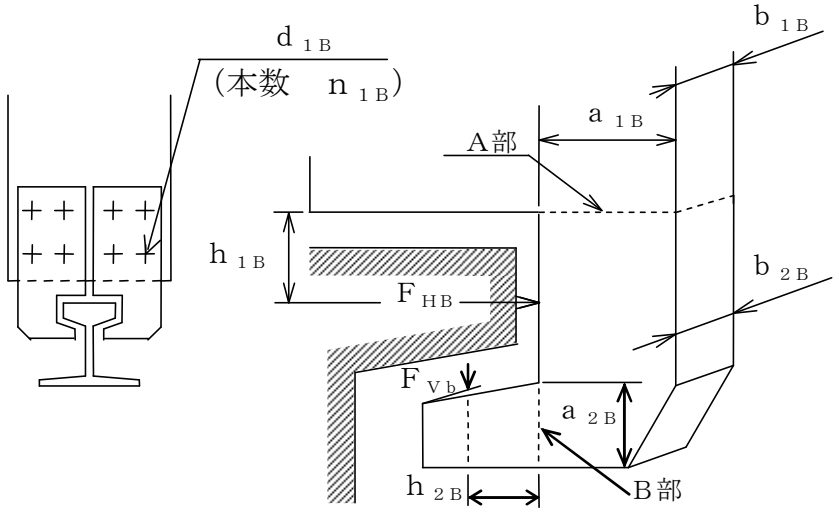


図4－6　ブリッジ脱線防止ラグ

b.　走行レールの応力

走行レールの応力評価は4.6.2(1)a項で求めた荷重（P_1～P_{12}）の平均の値をF_{HB}，及びF_{Vb}とする。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する鉛直力F_{Vb}は図4－7（ＢＶ） に示す斜線部のように走行レールに分散する。

ブリッジ脱線防止ラグに作用する水平力F_{HB}は図4－7（ＢＨ） に示す斜線部のように走行レールに分散する。

(a)　曲げ応力

・Ｃ部

幅は次式となる。

$$b_{3B}=b_{2B}+2\cdot(h_{3B}+L_{3B}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.23)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3B}=F_{Vb}\cdot h_{3B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.24)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3B}=\frac{a_{3B}^{2}\cdot b_{3B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.25)$$

$$Z_{p3B}=\frac{a_{3B}^{2}\cdot b_{3B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.26)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3B}=a_{3B}\cdot b_{3B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.27)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3B}=\frac{F_{HB}}{A_{3B}}+\frac{M_{3B}}{Z_{3B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.28)$$

$$\sigma_{p3B}=\frac{F_{HB}}{A_{3B}}+\frac{M_{3B}}{Z_{p3B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.29)$$

・D部

幅は次式となる。

$$b_{4B}=b_{2B}+2\cdot(h_{4B}+L_{4B}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.30)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4B}=F_{HB}\cdot h_{4B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.31)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4B}=\frac{a_{4B}^{2}\cdot b_{4B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.32)$$

$$Z_{p4B}=\frac{a_{4B}^{2}\cdot b_{4B}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.33)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4B}=a_{4B}\cdot b_{4B} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.34)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4B}=\frac{2\cdot F_{Vb}}{A_{4B}}+\frac{M_{4B}}{Z_{4B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.35)$$

$$\sigma_{p4B}=\frac{2\cdot F_{Vb}}{A_{4B}}+\frac{M_{4B}}{Z_{p4B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.36)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・C部

$$\tau_{3B}=\frac{F_{Vb}}{A_{3B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.37)$$

・D部

$$\tau_{4B}=\frac{F_{HB}}{A_{4B}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.38)$$

(c) 組合せ応力

・C部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3B}=\sqrt{\sigma_{3B}^{2}+3\cdot\tau_{3B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.39)$$

$$\sigma_{pc3B}=\sqrt{\sigma_{p3B}^{2}+3\cdot\tau_{3B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.40)$$

・D部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4B}=\sqrt{\sigma_{4B}^{2}+3\cdot\tau_{4B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.41)$$

$$\sigma_{pc4B}=\sqrt{\sigma_{p4B}^{2}+3\cdot\tau_{4B}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.42)$$

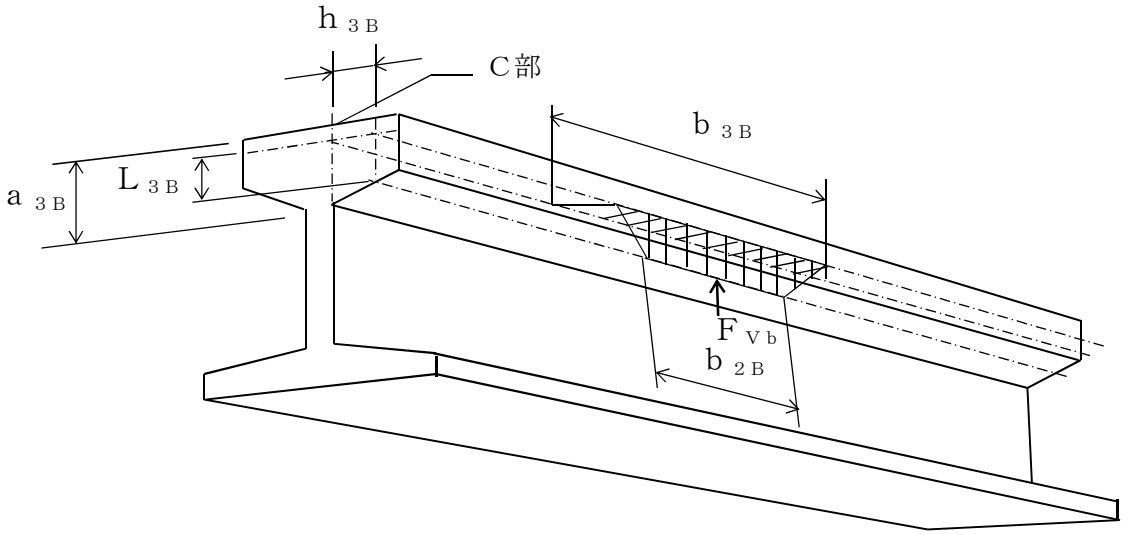


図4－7（BV）　走行レール

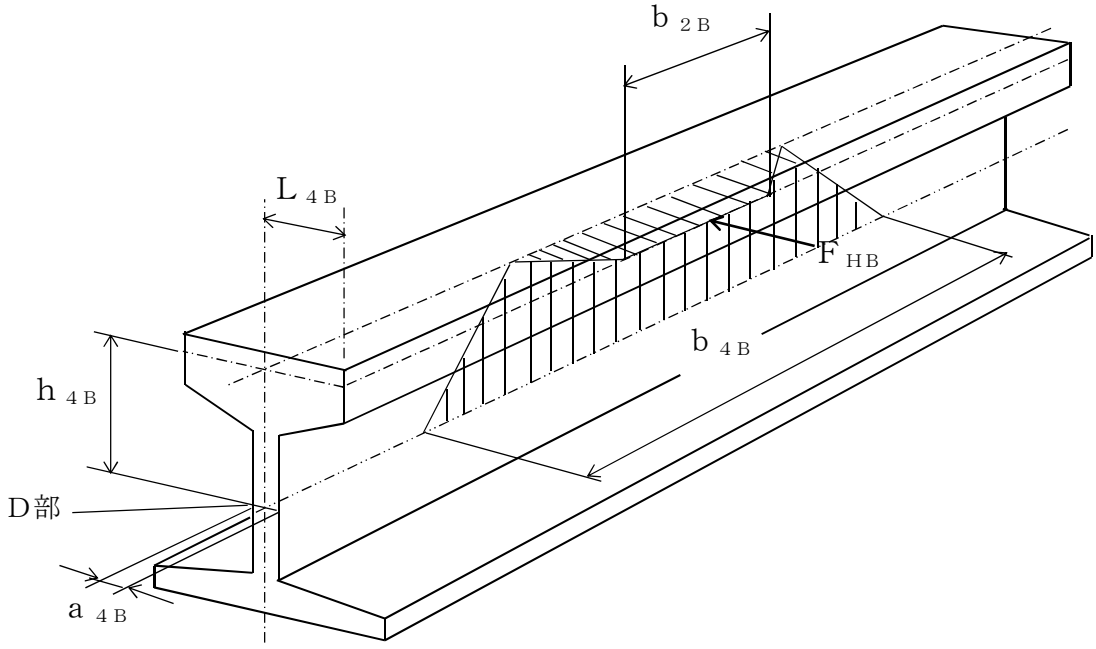


図4－7（BH）　走行レール

(2)　計算方法（トロリ）

トロリ脱線防止ラグに加わる荷重（ P_{13} ～ P_{16} ）は，スペクトルモーダル解析及び静解析により求める。

a.　トロリ脱線防止ラグの応力

トロリ脱線防止ラグの応力を図 4－9 を用いて計算する。負担力は， P_{13}～P_{16} の平均の値を F_{HT}，及び F_{VT} とする。

水平力 F_{HT} は図 4－8 に示すようにトロリ脱線防止ラグに分散する。

鉛直力 F_{VT} はラグ一組（2 個）に分散し，1 個当たりの負担力は次式となる。

$$F_{Vt}=\frac{F_{VT}}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.43)$$

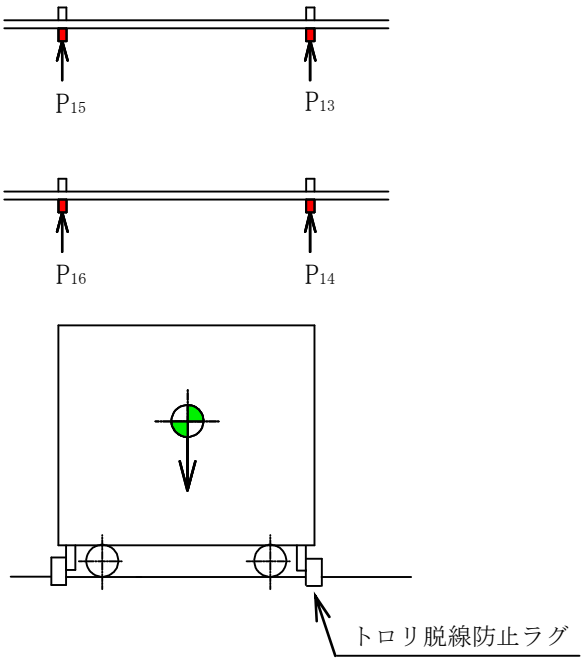


図 4－8　計算モデル

(a) 曲げ応力

・A部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{1T}=F_{HT}\cdot h_{1T}+F_{Vt}\cdot\left[h_{2T}+\frac{a_{1T}}{2}\right] \quad \cdots\cdots \quad (4.6.2.44)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{1T}=\frac{a_{1T}^{2}\cdot b_{1T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.45)$$

$$Z_{p1T}=\frac{a_{1T}^{2}\cdot b_{1T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.46)$$

断面積は次式となる。

$$A_{1T}=a_{1T}\cdot b_{1T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.47)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{1T}=\frac{F_{Vt}}{A_{1T}}+\frac{M_{1T}}{Z_{1T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.48)$$

$$\sigma_{p1T}=\frac{F_{Vt}}{A_{1T}}+\frac{M_{1T}}{Z_{p1T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.49)$$

・B部

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{2T}=F_{Vt}\cdot h_{2T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.50)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{2T}=\frac{a_{2T}^{2}\cdot b_{2T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.51)$$

$$Z_{p2T}=\frac{a_{2T}^{2}\cdot b_{2T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.52)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{2T}=\frac{M_{2T}}{Z_{2T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.53)$$

$$\sigma_{p2T}=\frac{M_{2T}}{Z_{p2T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.54)$$

(b) せん断応力

・A部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{1T}=a_{1T}\cdot b_{1T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.55)$$

負担力F_{HT}によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{1T}=\frac{F_{HT}}{A_{1T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.56)$$

・B部

せん断力を受ける断面積は次式となる。

$$A_{2T}=a_{2T}\cdot b_{2T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.57)$$

負担力F_{Vt}によるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{2T}=\frac{F_{Vt}}{A_{2T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.58)$$

(c) 組合せ応力

・A部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c1T}=\sqrt{\sigma_{1T}^{2}+3\cdot\tau_{1T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.59)$$

$$\sigma_{pc1T}=\sqrt{\sigma_{p1T}^{2}+3\cdot\tau_{1T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.60)$$

・B部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c2T}=\sqrt{\sigma_{2T}^{2}+3\cdot\tau_{2T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.61)$$

$$\sigma_{pc2T}=\sqrt{\sigma_{p2T}^{2}+3\cdot\tau_{2T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.62)$$

(d) 取付ボルトのせん断応力

せん断力を受けるボルト1本の断面積は次式となる。

$$A_{bT}=\frac{\pi}{4}\cdot d_{1T}^{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.63)$$

せん断力は，取付ボルトn_{1T}本で受けるものとし，ボルト1本にかかるせん断応力は次式となる。

$$\tau_{bT}=\frac{\sqrt{F_{HT}^{2}+F_{Vt}^{2}}}{n_{1T}\cdot A_{bT}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.64)$$

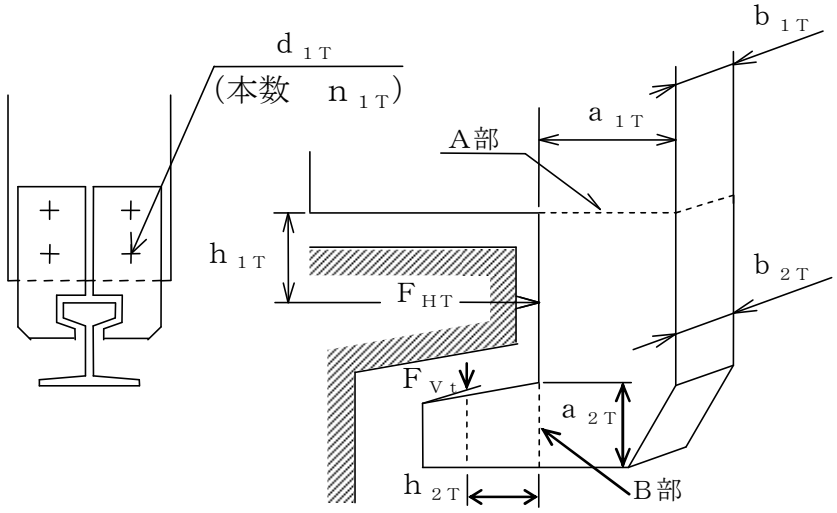


図 4－9　トロリ脱線防止ラグ

b.　横行レールの応力

横行レールの応力評価は 4.6.2(2)a 項で求めた荷重（P_{13}～P_{16}）の平均の値をF_{HT}，及びF_{Vt}とする。

トロリ脱線防止ラグに作用する鉛直力F_{Vt}は図 4－10（ＴＶ） に示す斜線部のように横行レールに分散する。

トロリ脱線防止ラグに作用する水平力F_{HT}は図 4－10（ＴＨ） に示す斜線部のように横行レールに分散する。

(a)　曲げ応力

・Ｃ部

幅は次式となる。

$$b_{3T}=b_{2T}+2\cdot(h_{3T}+L_{3T}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.65)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{3T}=F_{Vt}\cdot h_{3T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.66)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{3T}=\frac{a_{3T}^{2}\cdot b_{3T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.67)$$

$$Z_{p3T}=\frac{a_{3T}^{2}\cdot b_{3T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.68)$$

断面積は次式となる。

$$A_{3T}=a_{3T}\cdot b_{3T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.69)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{3T}=\frac{F_{HT}}{A_{3T}}+\frac{M_{3T}}{Z_{3T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.70)$$

$$\sigma_{p3T}=\frac{F_{HT}}{A_{3T}}+\frac{M_{3T}}{Z_{p3T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.71)$$

・D部

幅は次式となる。

$$b_{4T}=b_{2T}+2\cdot(h_{4T}+L_{4T}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.72)$$

曲げモーメントは次式となる。

$$M_{4T}=F_{HT}\cdot h_{4T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.73)$$

断面係数は次式となる。

$$Z_{4T}=\frac{a_{4T}^{2}\cdot b_{4T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.74)$$

$$Z_{p4T}=\frac{a_{4T}^{2}\cdot b_{4T}}{6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.75)$$

断面積は次式となる。

$$A_{4T}=a_{4T}\cdot b_{4T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.76)$$

したがって，曲げ応力は次式となる。

$$\sigma_{4T}=\frac{2\cdot F_{Vt}}{A_{4T}}+\frac{M_{4T}}{Z_{4T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.77)$$

$$\sigma_{p4T}=\frac{2\cdot F_{Vt}}{A_{4T}}+\frac{M_{4T}}{Z_{p4T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.78)$$

(b) せん断応力

せん断応力は次式となる。

・C部

$$\tau_{3T}=\frac{F_{Vt}}{A_{3T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.79)$$

・D部

$$\tau_{4T}=\frac{F_{HT}}{A_{4T}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.80)$$

(c) 組合せ応力

・C部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c3T}=\sqrt{\sigma_{3T}^{2}+3\cdot\tau_{3T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.81)$$

$$\sigma_{pc3T}=\sqrt{\sigma_{p3T}^{2}+3\cdot\tau_{3T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.82)$$

・D部

組合せ応力は次式となる。

$$\sigma_{c4T}=\sqrt{\sigma_{4T}^{2}+3\cdot\tau_{4T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.83)$$

$$\sigma_{pc4T}=\sqrt{\sigma_{p4T}^{2}+3\cdot\tau_{4T}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.2.84)$$

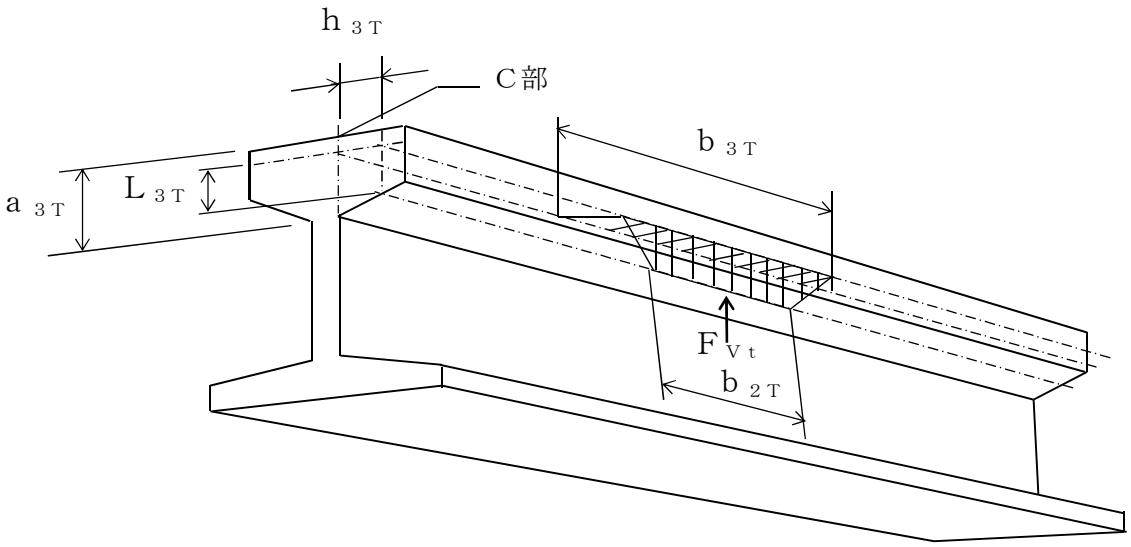


図 4－10（ＴＶ）　横行レール

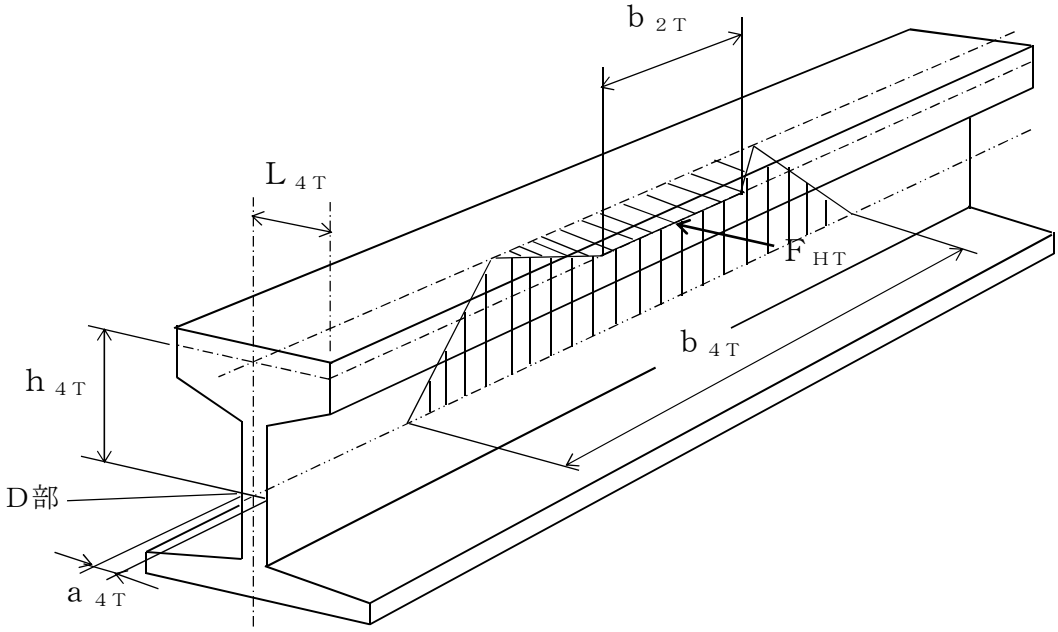


図 4－10（ＴＨ）　横行レール

4.6.3　吊具の荷重計算方法

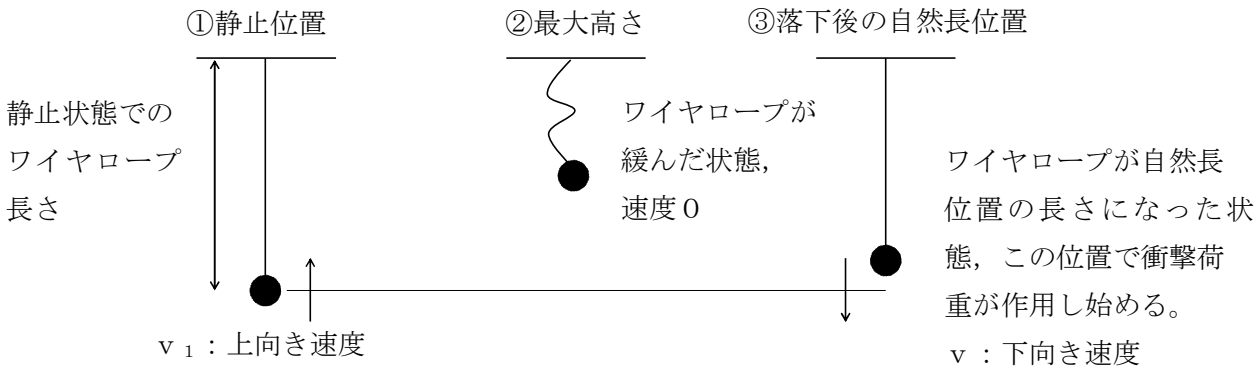
燃料取替機の吊荷荷重を受ける各部は，ブリッジ，トロリ，ワイヤロープ及び先端金具で，このうち吊荷を直接吊るもので，損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープと先端金具を評価対象とする。

ワイヤロープ及び先端金具の計算に当たっては，以下の基本事項で行うものとする。

・吊荷は水中にあり，実際の吊下げでは水の抵抗を受けるが，評価に当たっては，気中での吊下げを想定して保守的に水の抵抗はないものとして行う。
・燃料取替機及び吊荷の速度算出に当たっては，燃料取替機，吊荷質量及びワイヤロープ長さの評価条件を，固有周期と床応答曲線の関係から評価が厳しくなるように設定する。
　①ワイヤロープ長さは，固有周期に対する床応答特性（加速度）がより厳しくなる長さとする。評価に当たって，ここでのワイヤロープ長さは吊上げ上端位置とする。
　②吊荷の質量は，定格質量で評価を実施する。
・ワイヤロープ，先端金具の荷重は，吊荷を１自由度モデルにより求めた固有周期に対応する加速度，燃料取替機を 4.4 項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに，吊荷が一度浮上って落下したときの衝撃荷重を算出する。
・燃料取替機と吊荷の位相差が吊荷に及ぼす影響については，吊荷とは逆位相に生じる燃料取替機の速度を，吊荷に作用する相対速度として考慮する。
・衝撃荷重は，吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
・水平方向地震に伴い，吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが，その影響については，軽微であることから，評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

(1)　吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は，図 4－11 に示すように，鉛直方向に浮上り再び自然長位置に戻った瞬間から，吊具の衝撃荷重を与える。



○下向き速度ｖ

②，③まではエネルギー保存則より

下向き速度ｖは

$v < v_1$

となるが，保守的に

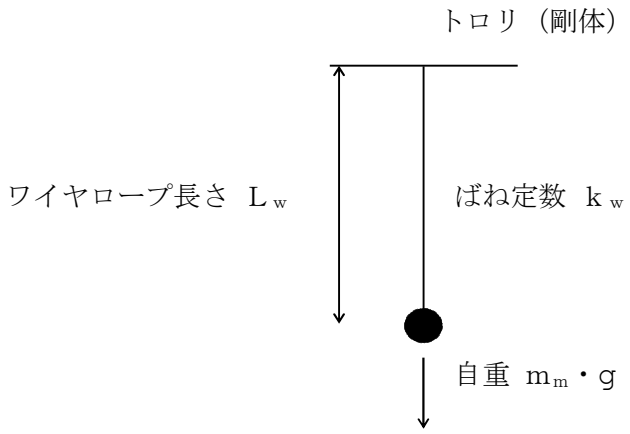
$v = v_1$

として評価を行う。

図 4－11　吊荷の浮上りの様子

(2)　吊荷の固有周期

以下のとおり，トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期T_wを算出する。



固有周期：　$T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\dfrac{m_m}{k_w}}$

ばね定数：　$k_w = \dfrac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$

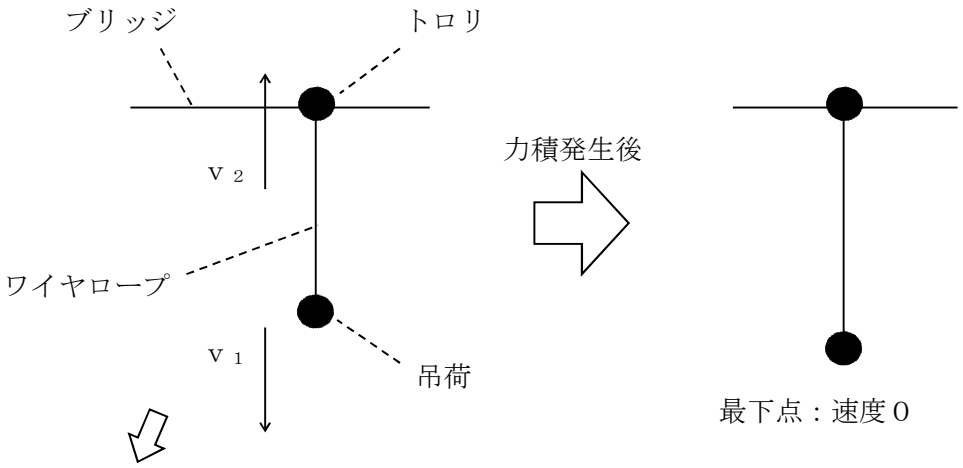
(3)　吊具に作用する衝撃荷重

以下のとおり，ワイヤロープ，先端金具に作用する荷重Ｆを算出する。

図 4－12 及び図 4－13 に示すように，ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることからv_1とv_2が同値にならないが，保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を 1 とすれば以下となる。

（力積）：$\int_0^{\frac{T}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt$

（吊荷の運動量の変化）：$m_m \cdot (v_1 + v_2)$



相対速度（$v_1 + v_2$）とする。

図 4－12　吊荷落下後の速度変化

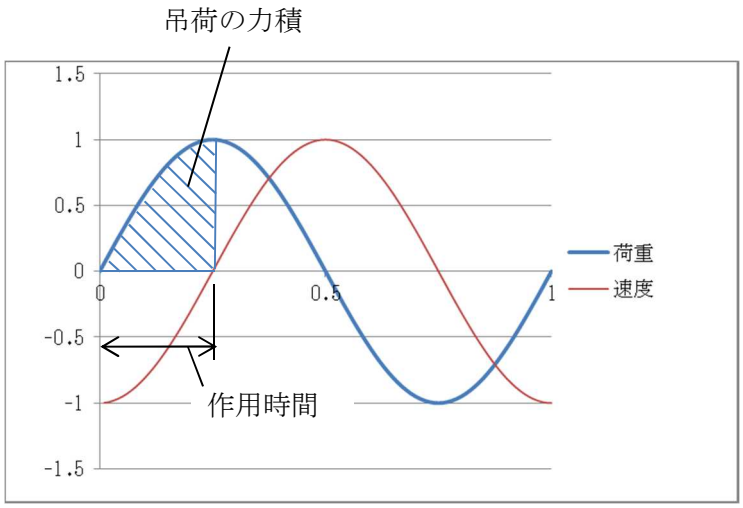


図 4－13　吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については，ワイヤロープが完全弾性体で，吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば，吊荷の固有周期T_wの4分の1となる。

以上から，運動量変化及び作用時間をもとに荷重は，自重分を追加して，以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m_m \cdot g$$

4.6.4　吊具の応力計算方法

ワイヤロープの支持荷重及び先端金具の応力を，図4－14を用いて計算する。

ワイヤロープの支持荷重は次式となる。

$$F_w = \frac{F}{n_w}$$

先端金具の応力は次式となる。

$$\sigma_m = \frac{F_w}{A_w}$$

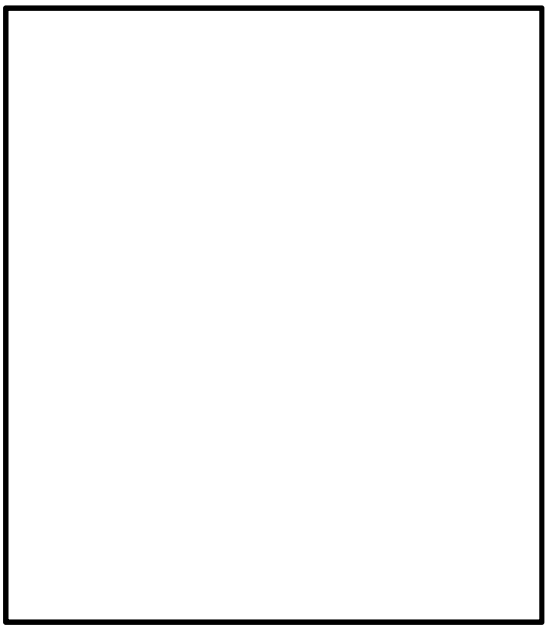


図4－14　ワイヤロープ及び先端金具

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の【燃料取替機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　燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの応力評価

4.6.1 項及び 4.6.2 項で求めた燃料取替機構造物フレーム，脱線防止ラグ，走行レール及び横行レールの各応力が次式より求めた許容応力以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_S	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2　脱線防止ラグ取付ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた脱線防止ラグ取付ボルトの応力が次式より求めた許容せん断応力以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_S	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.8.3　先端金具の応力評価

4.6.4 項で求めた先端金具の応力が次式より求めた許容引張応力以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$

4.8.4　ワイヤロープの評価

4.6.4 項で求めたワイヤロープの支持荷重が許容荷重以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

燃料取替機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，基準地震動Ｓｓ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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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，基準地震動Ｓｓ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。

【燃料取替機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	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ					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	
					ブリッジ		トロリ			
					ＥＷ方向	ＮＳ方向	ＥＷ方向	ＮＳ方向		
燃料取替機	B	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*1	0.049*2	0.112*2	C_{H2}＝0.15*3	C_{H1}＝1.38	C_{H2}＝0.15*3	C_{H2}＝0.15*3	C_V＝1.15 又は ＊4	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：評価上厳しくなるトロリ位置が中央にある場合の値。

＊3：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

＊4：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
2.312×10^5	8.820×10^4	1.426×10^4	9.642×10^6	1.082×10^7	7.742×10^7

F_{HB} (N)	F_{VB} (N)	F_{HT} (N)	F_{VT} (N)
2.245×10^5	6.492×10^4	4.310×10^4	1.083×10^5

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)

ν

(mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F} (mm^2)	A_{1B} (mm^2)	A_{2B} (mm^2)	A_{3B} (mm^2)	A_{4B} (mm^2)	A_{bB} (mm^2)	A_{1T} (mm^2)	A_{2T} (mm^2)	A_{3T} (mm^2)	A_{4T} (mm^2)	A_{bT} (mm^2)

Z_p (mm^3)	Z_y (mm^3)	Z_z (mm^3)	Z_{1B} (mm^3)	Z_{2B} (mm^3)	Z_{3B} (mm^3)	Z_{4B} (mm^3)	Z_{1T} (mm^3)	Z_{2T} (mm^3)	Z_{3T} (mm^3)	Z_{4T} (mm^3)

m_m (kg)	T_w (s)	L_w (mm)	A_w (mm^2)	E_w (MPa)	n_w

F_w (N)	k_w (N/mm)	v_1 (mm/s)	v_2 (mm/s)
3.234×10^4			

燃料取替機構造物フレーム		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

注記＊：

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

走行レール		横行レール	
S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

先端金具
S_u (MPa)

ワイヤロープ
F_w (N)
35900

1.3　結論

（単位：MPa）

部位			材料	応力		算出応力	許容応力
燃料取替機構造物フレーム				曲げ	σ_{1F}	230	275
				せん断	τ_{1F}	29	158
				組合せ	σ_{c1F}	235	275
ブリッジ	脱線防止ラグ	A部		曲げ	σ_{1B}	23	253
				せん断	τ_{1B}	11	146
				組合せ	σ_{c1B}	30	253
		取付ボルト		せん断	τ_{bB}	84	146
トロリ	脱線防止ラグ	B部		曲げ	σ_{2T}	82	253
				せん断	τ_{2T}	32	146
				組合せ	σ_{c2T}	99	253
		取付ボルト		せん断	τ_{bT}	111	158
走行レール		D部		曲げ	σ_{4B}	142	546
				せん断	τ_{4B}	13	315
				組合せ	σ_{c4B}	144	546
横行レール		D部		曲げ	σ_{4T}	393	483
				せん断	τ_{4T}	16	278
				組合せ	σ_{c4T}	393	483

すべて許容応力以下である。

（単位：N）

部位		材料	荷重	算出荷重	許容荷重
吊具	ワイヤロープ	[redacted]	支持荷重　F_w	32340	35900

許容荷重以下である。

（単位：MPa）

部位		材料	応力	算出応力	許容応力
吊具	先端金具	[redacted]	引張り　σ_m	286	378

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)		基準地震動Ｓｓ					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	
					ブリッジ		トロリ			
					ＥＷ方向	ＮＳ方向	ＥＷ方向	ＮＳ方向		
燃料取替機	―	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*1	0.049	0.066	C_{H2}＝0.15*2	C_{H1}＝1.38	C_{H2}＝0.15*2	C_{H2}＝0.15*2	C_V＝1.15 又は ＊3	100

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：この方向はすべりを生じ最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないため，最大静止摩擦係数により水平方向設計震度を求めた。

＊3：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 機器要目

m_B (kg)	m_T (kg)	n_{1B}	n_{1T}	E (MPa)

F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
3.617×10^3	1.272×10^3	3.195×10^3	5.878×10^2	1.615×10^6	5.380×10^5

F_{HB} (N)	F_{VB} (N)	F_{HT} (N)	F_{VT} (N)
9.951×10^4	9.615×10^3	2.283×10^4	1.935×10^4

a_{1B} (mm)	a_{2B} (mm)	a_{3B} (mm)	a_{4B} (mm)	b_{1B} (mm)	b_{2B} (mm)	b_{3B} (mm)	b_{4B} (mm)	d_{1B} (mm)	h_{1B} (mm)	h_{2B} (mm)	h_{3B} (mm)	h_{4B} (mm)	L_{3B} (mm)	L_{4B} (mm)

ν

a_{1T} (mm)	a_{2T} (mm)	a_{3T} (mm)	a_{4T} (mm)	b_{1T} (mm)	b_{2T} (mm)	b_{3T} (mm)	b_{4T} (mm)	d_{1T} (mm)	h_{1T} (mm)	h_{2T} (mm)	h_{3T} (mm)	h_{4T} (mm)	L_{3T} (mm)	L_{4T} (mm)

A_{1F} (mm^2)	A_{1B} (mm^2)	A_{2B} (mm^2)	A_{3B} (mm^2)	A_{4B} (mm^2)	A_{bB} (mm^2)	A_{1T} (mm^2)	A_{2T} (mm^2)	A_{3T} (mm^2)	A_{4T} (mm^2)	A_{bT} (mm^2)

Z_p (mm^3)	Z_{py} (mm^3)	Z_{pz} (mm^3)	Z_{p1B} (mm^3)	Z_{p2B} (mm^3)	Z_{p3B} (mm^3)	Z_{p4B} (mm^3)	Z_{p1T} (mm^3)	Z_{p2T} (mm^3)	Z_{p3T} (mm^3)	Z_{p4T} (mm^3)

燃料取替機構造物フレーム		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

注記＊：

ブリッジ脱線防止ラグ						トロリ脱線防止ラグ					
本体			取付ボルト			本体			取付ボルト		
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

走行レール		横行レール	
S_u (MPa)	F^* (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)

2.3　結論

（単位：MPa）

部位			材料	応力		算出応力	許容応力
燃料取替機構造物フレーム				曲げ	σ_{p1F}	107	261
				せん断	τ_{1F}	3	150
				組合せ	σ_{pc1F}	107	261
ブリッジ	脱線防止ラグ	A部		曲げ	σ_{p1B}	8	232
				せん断	τ_{1B}	5	133
				組合せ	σ_{pc1B}	12	232
		取付ボルト		せん断	τ_{bB}	37	133
トロリ	脱線防止ラグ	B部		曲げ	σ_{p2T}	15	232
				せん断	τ_{2T}	6	133
				組合せ	σ_{pc2T}	18	232
		取付ボルト		せん断	τ_{bT}	40	146
走行レール		D部		レール鋼	σ_{p4B}	62	546
					τ_{4B}	6	315
					σ_{pc4B}	63	546
横行レール		D部		レール鋼	σ_{p4T}	194	483
				せん断	τ_{4T}	9	278
				組合せ	σ_{pc4T}	195	483

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-11-2-6　原子炉遮蔽壁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　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 2
2.4　適用規格・基準等 ····· 2
2.5　記号の説明 ····· 4
3.　評価部位 ····· 5
4.　構造強度評価 ····· 6
4.1　構造強度評価方法 ····· 6
4.2　荷重の組合せ及び許容応力度 ····· 6
4.2.1　荷重の組合せ ····· 6
4.2.2　許容応力度 ····· 6
4.3　設計用地震力 ····· 7
4.4　計算方法 ····· 8
4.5　計算条件 ····· 9
4.5.1　原子炉遮蔽壁の応力計算条件 ····· 9
4.6　応力の評価 ····· 9
5.　評価結果 ····· 9
5.1　設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9
6.　参照図書 ····· 9

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき，下位クラス設備である原子炉遮蔽壁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確認することで，隣接している上位クラス施設である原子炉圧力容器に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。また，重大事故等時においても波及的影響を及ぼさないことを説明するため，重大事故等時を考慮した構造強度評価を示す。

なお，本計算書においては，新規制対応工認対象となる設計用地震力に対する評価について記載するものとし，前述の荷重を除く荷重による原子炉遮蔽壁の評価は，平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6675 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉遮蔽壁は，原子炉本体の基礎の上部に設置される。原子炉遮蔽壁は，図 2－1 の位置関係図に示すように，上位クラス施設である原子炉圧力容器の周辺に設置されており，損傷により原子炉圧力容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

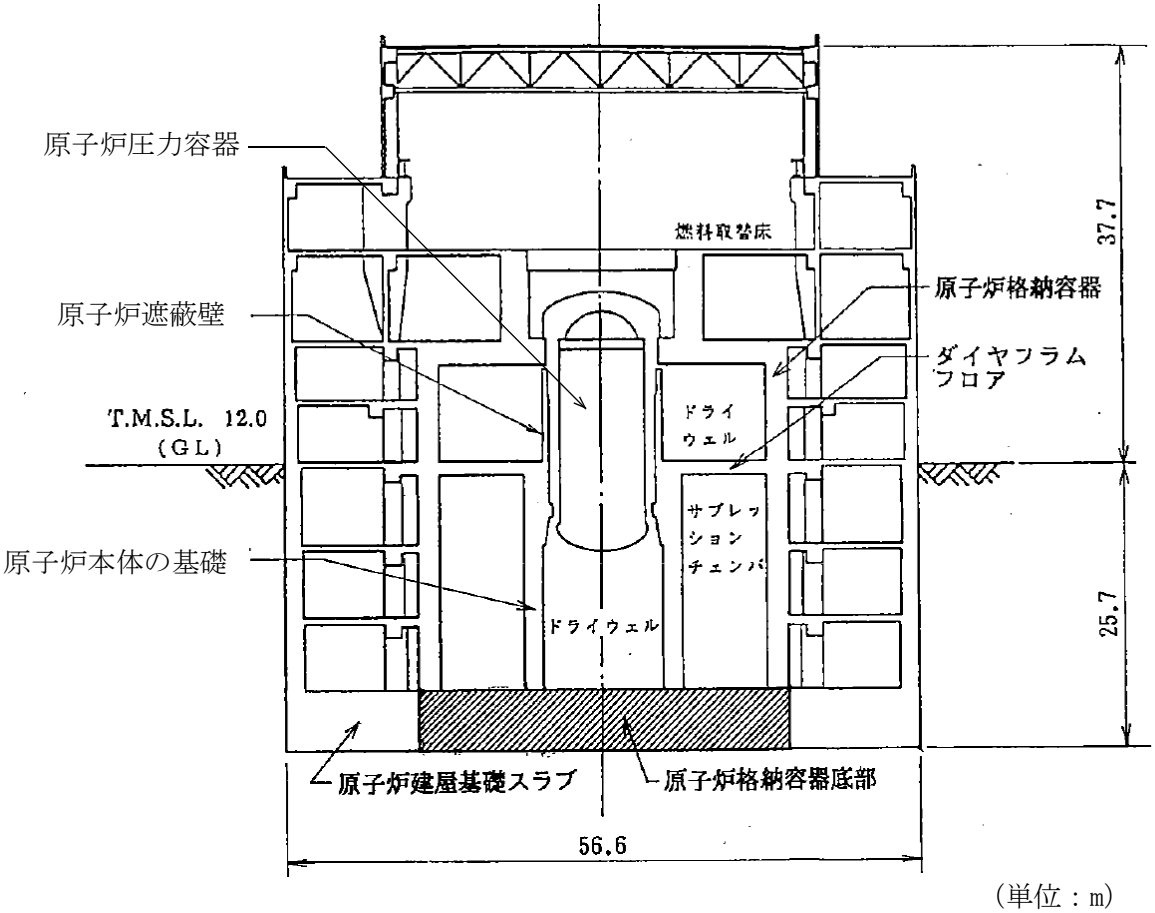


図 2－1　原子炉遮蔽壁の位置関係図

2.2　構造計画

原子炉遮蔽壁の構造計画を表 2－1 に示す。

2.3　評価方針

原子炉遮蔽壁の応力評価は，Ｖ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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，「3.　評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力度が許容限界内に収まることを，「4.　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。

原子炉遮蔽壁の耐震評価フローを図 2－2 に示す。

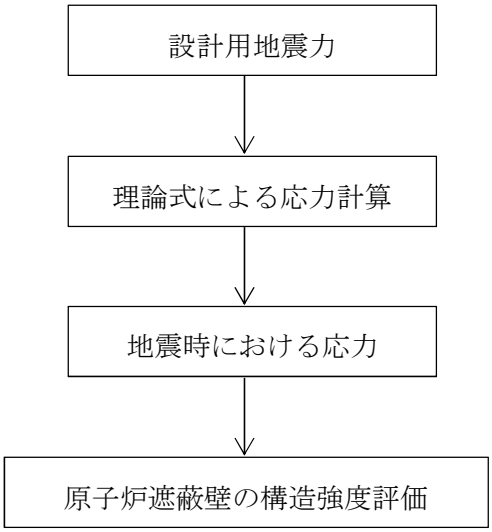


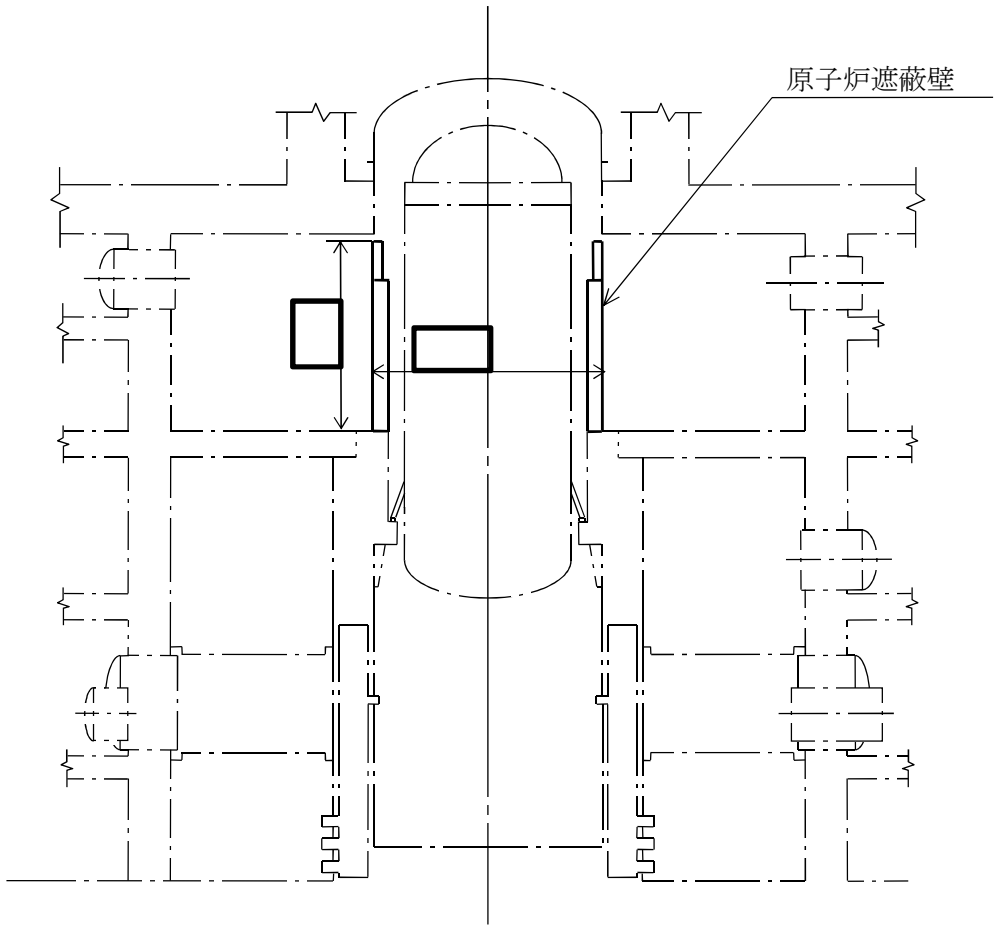
図 2－2　原子炉遮蔽壁の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用規格・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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984　（(社) 日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987　（(社) 日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版　（(社) 日本電気協会）
・鋼構造設計規準（日本建築学会　2005改定）

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	
基部は溶接により T.M.S.L.約 12.3m で原子炉本体の基礎に固定されている。 鉛直方向荷重及び水平方向荷重は原子炉本体の基礎を介して原子炉格納容器底部に伝達させる。	外径約□mm，壁厚約□mm 及び□mm，高さ□mm の原子炉圧力容器を取り囲む円筒形の壁であり，内外の鋼板及びその内部に充てんされたモルタルより構成されている。 なお，原子炉遮蔽壁のモルタルは，強度部材として考慮しない。	 （単位：mm）

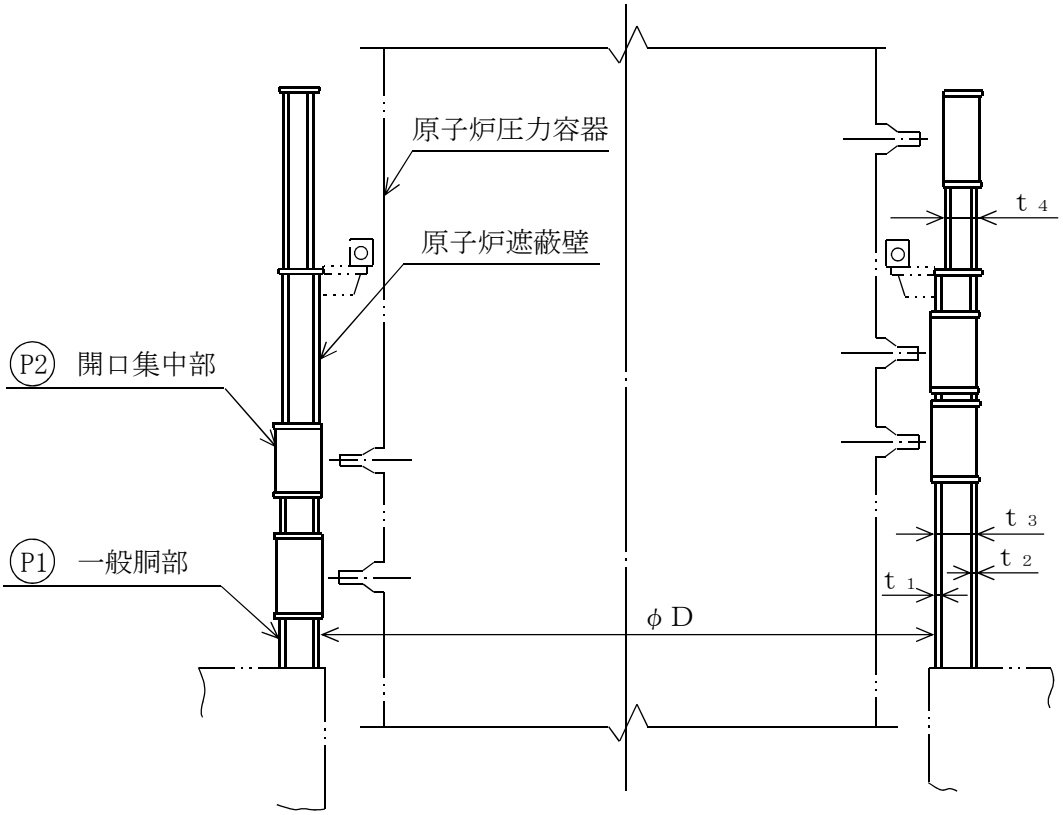
2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
D	死荷重，直径	—，mm
f_b	許容曲げ応力度	N/mm^2
f_c	許容圧縮応力度	N/mm^2
f_s	許容せん断応力度	N/mm^2
f_t	許容引張応力度	N/mm^2
F	許容応力度の基準値	N/mm^2
M	モーメント	N･mm
M_D	機械的荷重	—
M_{SAD}	機械的荷重（ＳＡ時）	—
P_D	圧力	—
P_{SAD}	圧力（ＳＡ時）	—
Q	せん断力	N
S_s	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—
t_i	原子炉遮蔽壁各部の厚さ（ｉ＝1，2，3…）	mm
W	鉛直荷重	N
W_D	死荷重	N
Z	断面係数	mm^3
σ	組合せ応力度	N/mm^2
σ_b	曲げ応力度	N/mm^2
σ_c	圧縮応力度	N/mm^2
τ	せん断応力度	N/mm^2

3. 評価部位

原子炉遮蔽壁の耐震評価は，「4.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる一般胴部及び開口集中部について実施する。

形状及び主要寸法を図 3－1 に，使用材料及び使用部位を表 3－1 に示す。



D
t 2
t 4
t 1
t 3

注：(P1)及び(P2)は応力評価点を示す。

図 3－1 原子炉遮蔽壁の形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3－1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
外側円筒鋼板 （原子炉格納容器側）		
内側円筒鋼板 （原子炉圧力容器側）		

K7 ① V-2-11-2-6 R1

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

(1)　地震力は，原子炉遮蔽壁に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(2)　耐震計算は，原子炉遮蔽壁の自重及びその他すべての付帯物の重量に加えて，地震荷重を考慮する。

(3)　設計基準対象施設としての評価及び重大事故等時を考慮した評価において，設計用地震力及び許容応力度の値が変わらないことから，同一の条件で構造強度評価を行う。

(4)　構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。

(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度

4.2.1　荷重の組合せ

原子炉遮蔽壁の荷重の組合せを表 4－1 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ

名称	荷重の組合せ
原子炉遮蔽壁	$D+P_D+M_D+S_s$ $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$

4.2.2　許容応力度

原子炉遮蔽壁の許容応力度は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

表 4－2　許容応力度

材料	基準値 F	短期許容応力度 (N/mm^2)			
		圧縮	曲げ	せん断	組合せ
[redacted]	[redacted]	1.5・f_c	1.5・f_b	1.5・f_s	1.5・f_t

注記＊：[redacted]

4.3　設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4－3 に示す。

原子炉遮蔽壁に加わる鉛直方向地震力及び水平方向地震力は，Ⅴ-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた基準地震動Ｓｓの応答値を用いる。

表 4－3　設計用地震力（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

耐震設計上の重要度分類	設備区分	設置高さ (m)	応力評価点	基準地震動Ｓｓ		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N･mm)	せん断力 Q (N)
B	生体遮蔽装置	T.M.S.L. 12.3	一般胴部	[redacted]	[redacted]	[redacted]
			開口集中部	[redacted]	[redacted]	[redacted]

4.4　計算方法

原子炉遮蔽壁の応力評価点は，原子炉遮蔽壁を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し，発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4－4 及び図 3－1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)に示すとおりである。

表 4－4　応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
Ｐ１	一般胴部
Ｐ２	開口集中部

4.5　計算条件

4.5.1　原子炉遮蔽壁の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉遮蔽壁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。

4.6　応力の評価

「4.4　計算方法」で求めた応力が許容応力度以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉遮蔽壁各部の評価結果を【原子炉遮蔽壁の耐震性についての計算結果】に示す。発生値は許容応力度を満足しており，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。

6.　参照図書

(1)　柏崎刈羽原子力発電所第７号機　第１回工事計画認可申請書

Ⅳ-2-6-1「原子炉しゃへい壁の耐震性についての計算書」

【原子炉遮蔽壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設及び重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	設置高さ (m)	応力評価点	基準地震動Ｓｓ		
				鉛直荷重 W (N)	モーメント M (N･mm)	せん断力 Q (N)
原子炉遮蔽壁	B	T.M.S.L. 12.3	一般胴部			
			開口集中部			

1.2 機器要目

W_D (N)	D (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	t_3 (mm)	t_4 (mm)	F (N/mm^2)	A (mm^2)		Z (mm^3)	
							一般胴部	開口集中部	一般胴部	開口集中部

1.3　結論

評価対象設備	評価部位		応力分類	発生値	許容応力度	判定
				N/mm^2	N/mm^2	
原子炉遮蔽壁	P1	一般胴部	圧縮応力度　σ c	12		○
			曲げ応力度　σ b	19		○
			せん断応力度　τ	9		○
			組合せ応力度　σ	35		○
	P2	開口集中部	圧縮応力度　σ c	34		○
			曲げ応力度　σ b	91		○
			せん断応力度　τ	27		○
			組合せ応力度　σ	134		○

すべて許容応力度以下である。

注記＊：組合せ応力度は，鋼構造設計規準に従い短期応力に対する許容引張応力度（1.5・ｆｔ）以下であること。

Ⅴ-2-11-2-7　原子炉ウェル遮蔽プラグ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　配置概要 ····· 1
2.2　構造概要 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 3
2.4　適用規格・基準等 ····· 4
3.　評価部位 ····· 5
4.　耐震評価 ····· 6
4.1　評価概要 ····· 6
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 6
4.2.1　荷重 ····· 6
4.2.2　荷重の組合せ ····· 7
4.3　評価基準値 ····· 8
4.4　使用材料及び材料の許容応力度 ····· 9
4.5　応力評価方法 ····· 10
4.6　計算条件 ····· 10
4.7　評価方法 ····· 10
5.　評価結果 ····· 11

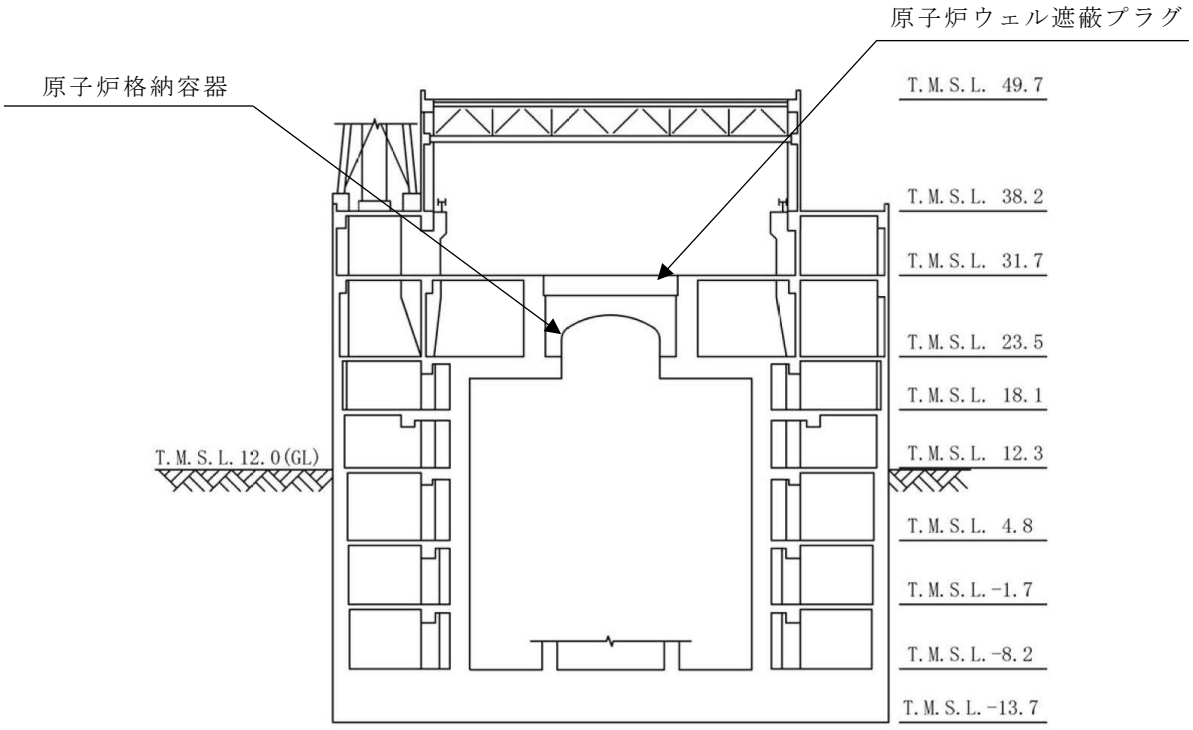
1. 概要

本資料は，V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，下位クラス施設である原子炉ウェル遮蔽プラグ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確認することで，下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉ウェル遮蔽プラグは，図2－1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である原子炉格納容器の上部に設置されており，落下時に原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図2－1　原子炉ウェル遮蔽プラグと原子炉格納容器の位置関係図（単位：m）

2.2　構造概要

図 2－2 に原子炉ウェル遮蔽プラグ概要図を示す。原子炉ウェル遮蔽プラグは，原子炉ウェル直上の燃料取替床（T.M.S.L. 31.7m）に設置された鉄筋コンクリート造の構造物である。

その大きさは，全体で最外径 13.16m，厚さ 1.855m の円盤状となっており，クレーンでの取外しを考慮して 5 分割で構成されている。

原子炉ウェル遮蔽プラグは，円盤外周部が原子炉ウェルに支持されている。

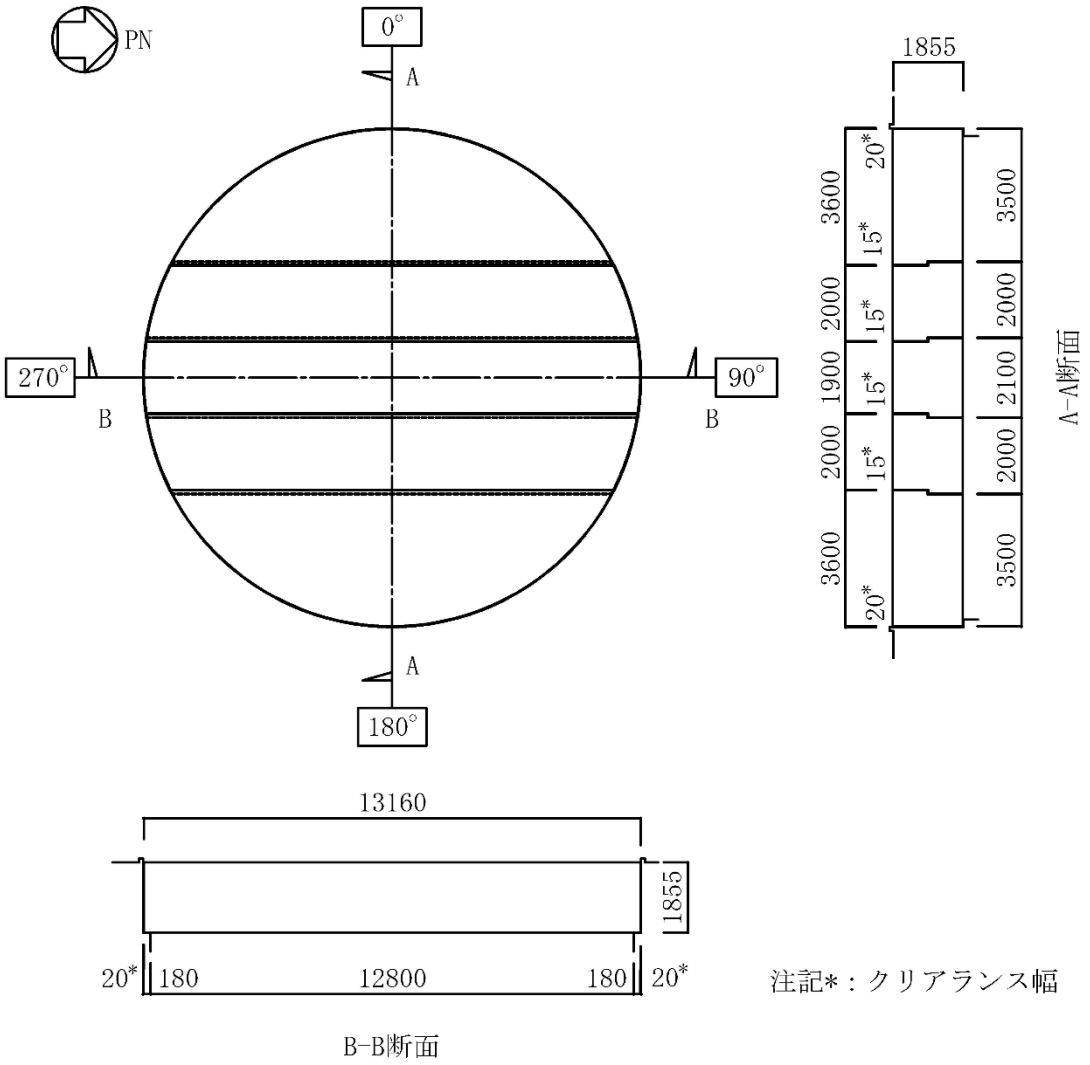


図 2－2　原子炉ウェル遮蔽プラグ概要図（単位：mm）

2.3　評価方針

原子炉ウェル遮蔽プラグの応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.　耐震評価方針」に従い実施する。

評価については,「2.2　構造概要」に示す原子炉ウェル遮蔽プラグの部位を踏まえ,「3.　評価部位」にて設定する部位において応力が評価基準値内に収まることを,「4. 耐震評価」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。地震荷重の設定については，Ⅴ-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」により得られた基準地震動Ｓｓによる結果を用いる。

原子炉ウェル遮蔽プラグの耐震評価フローを図 2－3 に示す。

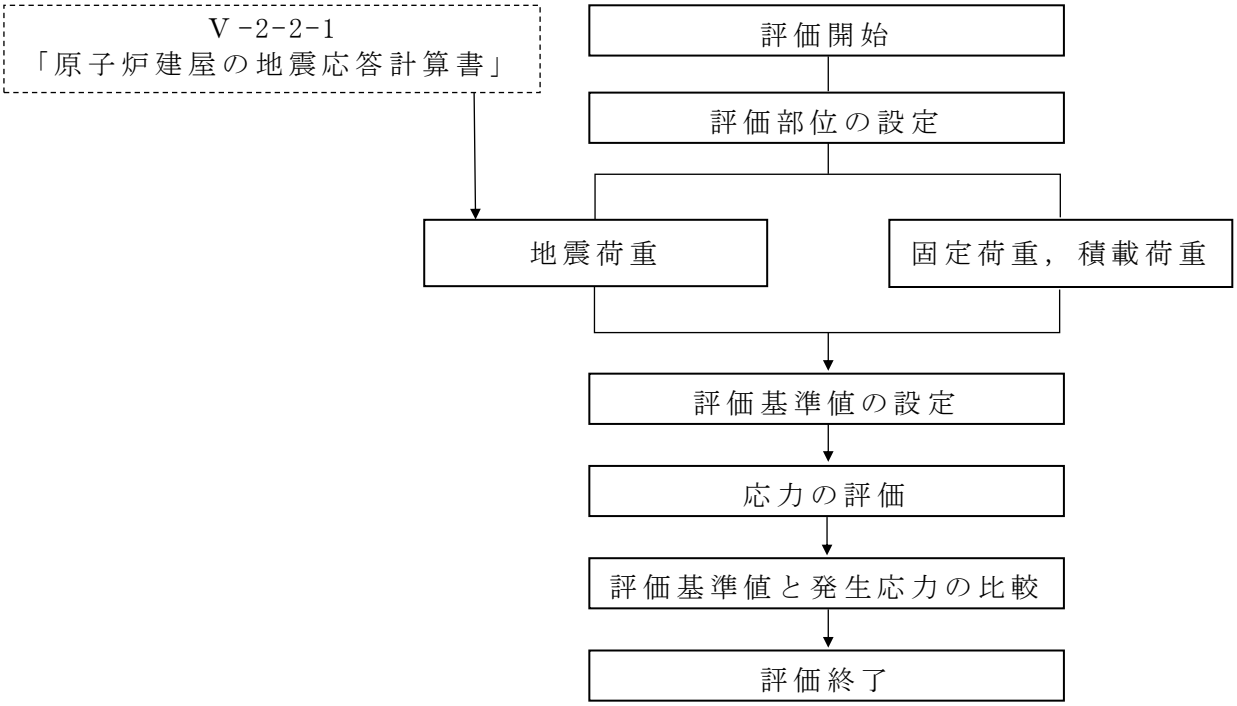


図 2－3　原子炉ウェル遮蔽プラグの耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用規格・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　－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，1999 改定）

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

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

3. 評価部位

原子炉ウェル遮蔽プラグが落下することにより，波及的影響を及ぼさないことを確認する観点から，原子炉ウェル遮蔽プラグ本体（以下「遮蔽プラグ本体」という。）及び原子炉建屋躯体の支持部（以下「支持部」という。）を評価部位として選定する。

評価部位を図 3－1 に示す。遮蔽プラグ本体は，原子炉建屋の躯体に端部で支持されているため，耐震評価は支持スパンが最も長い中央プラグについて評価を行う。

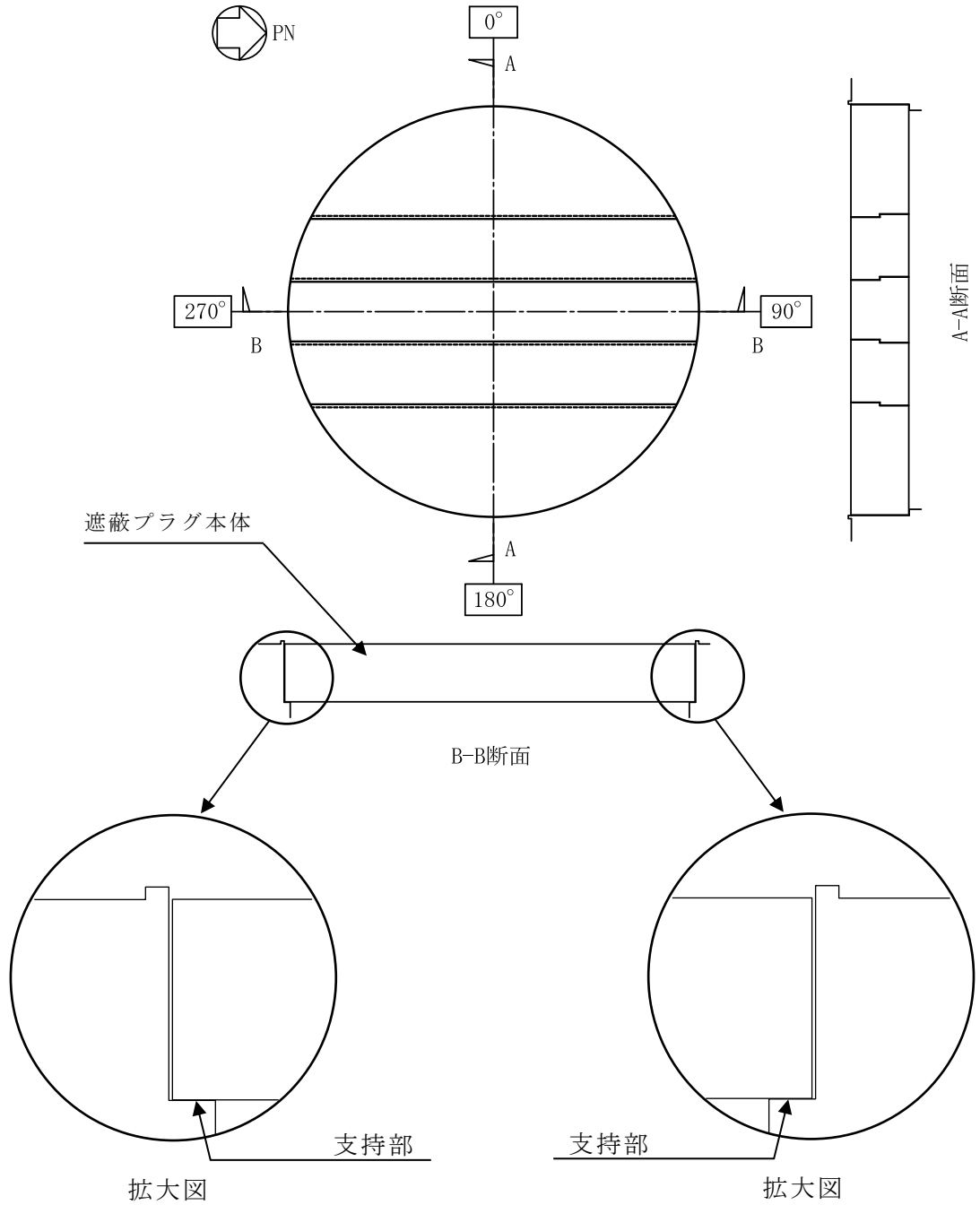


図 3－1　原子炉ウェル遮蔽プラグの評価部位

4.　耐震評価

4.1　評価概要

遮蔽プラグ本体及び支持部に対する評価方法を表 4－1 に示す。

評価用応力が評価基準値より小さいことを確認する。

表 4－1　評価方法

部位	評価用応力	評価基準値
遮蔽プラグ本体	曲げモーメント	許容曲げモーメント
	せん断力	許容せん断力
支持部	圧縮力	許容圧縮力

4.2　荷重及び荷重の組合せ

4.2.1　荷重

耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

(1)　固定荷重（G）

固定荷重として，遮蔽プラグ本体の自重を考慮する。

なお，遮蔽プラグ本体の単位体積重量は，鉄筋コンクリートの単位体積重量 24 kN/m^{3}に鉄板型枠等を考慮して 26 kN/m^{3}とする。

(2)　積載荷重（P）

積載荷重として，3 kN/m^{2}を考慮する。

(3)　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重として，基準地震動Ｓｓに伴う慣性力を考慮する。鉛直方向の慣性力により遮蔽プラグ本体に作用する地震荷重が面外方向に作用するのに対し，水平方向の慣性力により遮蔽プラグ本体に作用する水平荷重は剛性の高い面内方向に作用する。また，水平方向の慣性力が作用した際に遮蔽プラグ本体を支持する領域は，鉛直方向の慣性力が作用した際に遮蔽プラグ本体を支持する領域より広いことから，鉛直方向の慣性力に対して検討を行う。

地震荷重は遮蔽プラグ本体の固定荷重と積載荷重の和に評価用鉛直震度C_vを乗じた下式により算出する。

$$S_s = (G + P) \cdot C_v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.1)$$

評価用鉛直震度C_vは，Ⅴ-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」による基準地震動Ｓｓの地震応答解析結果から算出された，遮蔽プラグ本体の設置レベルにお

ける最大応答鉛直加速度から設定する。最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度C_vを表4－2に示す。

表4－2　最大応答鉛直加速度及び評価用鉛直震度

	最大応答鉛直加速度(m/s^2)						評価用鉛直震度C_v
	ケース1*1	ケース2*2	ケース3*2	ケース4*2	ケース5*2	最大値	
コンクリート剛性	実強度	実強度＋σ	実強度－σ	コア平均	実強度－2σ		
地盤剛性	標準地盤	標準地盤＋σ	標準地盤－σ	標準地盤	標準地盤		
算定結果	8.93	9.33	8.59	8.77	9.01	9.33	0.96

注記＊1：Ss-1～Ss-8の最大値

＊2：Ss-1～Ss-3，Ss-8の最大値

4.2.2　荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重の組合せを表4－3に示す。

表4－3　荷重の組合せ

荷重の組合せ
G＋P＋S s

4.3　評価基準値

評価に用いる許容荷重を以下に示す。

遮蔽プラグ本体の許容曲げモーメントM_a及び許容せん断力Q_aは下式により算出する。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j \quad \cdots\cdots (4.2)$$

$$Q_a = f_s \cdot B \cdot j \quad \cdots\cdots (4.3)$$

$$j = (7/8) \cdot d \quad \cdots\cdots (4.4)$$

ここで,

a_t　：引張鉄筋量(m^2)

f_t　：鉄筋の許容引張応力度（短期）(N/mm^2)

j　：曲げ材の応力中心距離(m)

f_s　：コンクリートの許容せん断応力度（短期）(N/mm^2)

B　：遮蔽プラグ本体部材幅(m)

d　：曲げ材の有効せい(m)

支持部の許容圧縮力N_aは，下式により算出する。

$$N_a = f_c \cdot A_c \quad \cdots\cdots (4.5)$$

$$A_c = B \cdot \ell \quad \cdots\cdots (4.6)$$

ここで,

f_c　：コンクリートの許容圧縮応力度（短期）(N/mm^2)

A_c　：支持部水平投影面積(m^2)

ℓ　：かかり代(m)

4.4　使用材料及び材料の許容応力度

コンクリートは普通コンクリートとし，設計基準強度Ｆ$_c$は 32.3 N/mm^{2}とする。鉄筋は SD35（SD345 相当）を使用する。各使用材料の許容応力度を表 4－4 及び表 4－5 に示す。

表 4－4　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

普通コンクリート	設計基準強度Ｆ$_c$	短期	
		圧縮ｆ$_c$	せん断ｆ$_s$
	32.3	21.5	1.21

表 4－5　鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

鉄筋	材料種別	短期
		引張ｆ$_t$
	SD35 （SD345 相当）	345

4.5　応力評価方法

遮蔽プラグ本体に生じる曲げモーメントM及びせん断力Qは，単純ばりとして下式により算出する。

$$M = (1/8) \cdot w \cdot L^2 \quad \cdots\cdots (4.7)$$

$$Q = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \cdots\cdots (4.8)$$

ここで，

w　：評価用荷重(kN/m)

L　：支持スパン(m)

支持部には，遮蔽プラグ本体からの反力が圧縮力として作用する。支持部に作用する圧縮力Nは，下式により算出する。

$$N = (1/2) \cdot w \cdot L \quad \cdots\cdots (4.9)$$

4.6　計算条件

評価基準値及び評価用応力の計算条件を表4－6に示す。

表4－6　評価基準値及び評価用応力の計算条件

a_t ($\times 10^{-2}m^2$)	d (m)	B (m)	ℓ (m)	w (kN/m)	L (m)
1.3398	1.29	2.10*1	0.18	210.86	13.16

注記＊1：許容せん断力Q_aの計算では，安全側に遮蔽プラグ本体の上端の部材幅1.90mを用いる。

4.7　評価方法

「4.5 応力評価方法」で求めた曲げモーメントM，せん断力Q及び支持部に作用する圧縮力Nが「4.3評価基準値」で求めた許容曲げモーメントM_a，許容せん断力Q_a及び許容圧縮力N_aより小さいことを確認する。

5. 評価結果

原子炉ウェル遮蔽プラグの耐震評価結果を表 5－1 に示す。各部の評価用応力は評価基準値を満足しており，下部に設置された上位クラス施設である原子炉格納容器に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5－1　原子炉ウェル遮蔽プラグの耐震評価結果

部位	応力	評価用応力	評価基準値
遮蔽プラグ本体	曲げモーメント(kN･m)	4560	5210
	せん断力(kN)	1390	2590
支持部	圧縮力(kN)	1390	8120

Ⅴ-2-11-2-8　耐火隔壁の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 6
2.3　評価方針 ····· 7
2.4　適用規格・基準等 ····· 8
2.5　記号の説明 ····· 9
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 11
3.　評価部位 ····· 12
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 12
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 12
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 12
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 12
4.2.2　許容応力 ····· 12
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 12
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 16
4.4　固有周期 ····· 18
4.4.1　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備） ····· 18
4.5　設計用地震力 ····· 21
4.6　計算方法 ····· 22
4.6.1　フレーム部材の応力計算方法 ····· 22
4.6.2　基礎ボルトの計算方法 ····· 23
4.7　計算条件 ····· 24
4.8　応力の評価 ····· 24
4.8.1　フレーム部材の応力評価 ····· 24
4.8.2　基礎ボルトの応力評価 ····· 25
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

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，耐火隔壁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確認することで，上位クラス施設に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

耐火隔壁は鋼製であり，原子炉建屋及びコントロール建屋に設置する。耐火隔壁の設置位置を図2－1～図2－4に示す。

本資料では，図2－1～図2－4に示す耐火隔壁のうち，構造強度評価の評価部位である基礎ボルトとフレーム部材の裕度が最も厳しい耐火隔壁を代表として，耐震性について示す。なお，その他の耐火隔壁の評価結果については「【耐火隔壁の耐震性についての計算結果】1.4.3 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果」にて示す。

対象とした耐火隔壁は，表2－1に示すように，上位クラス施設である中央制御室送風機・排風機の(A)号機および(B)号機の間に設置されており，耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）の転倒に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

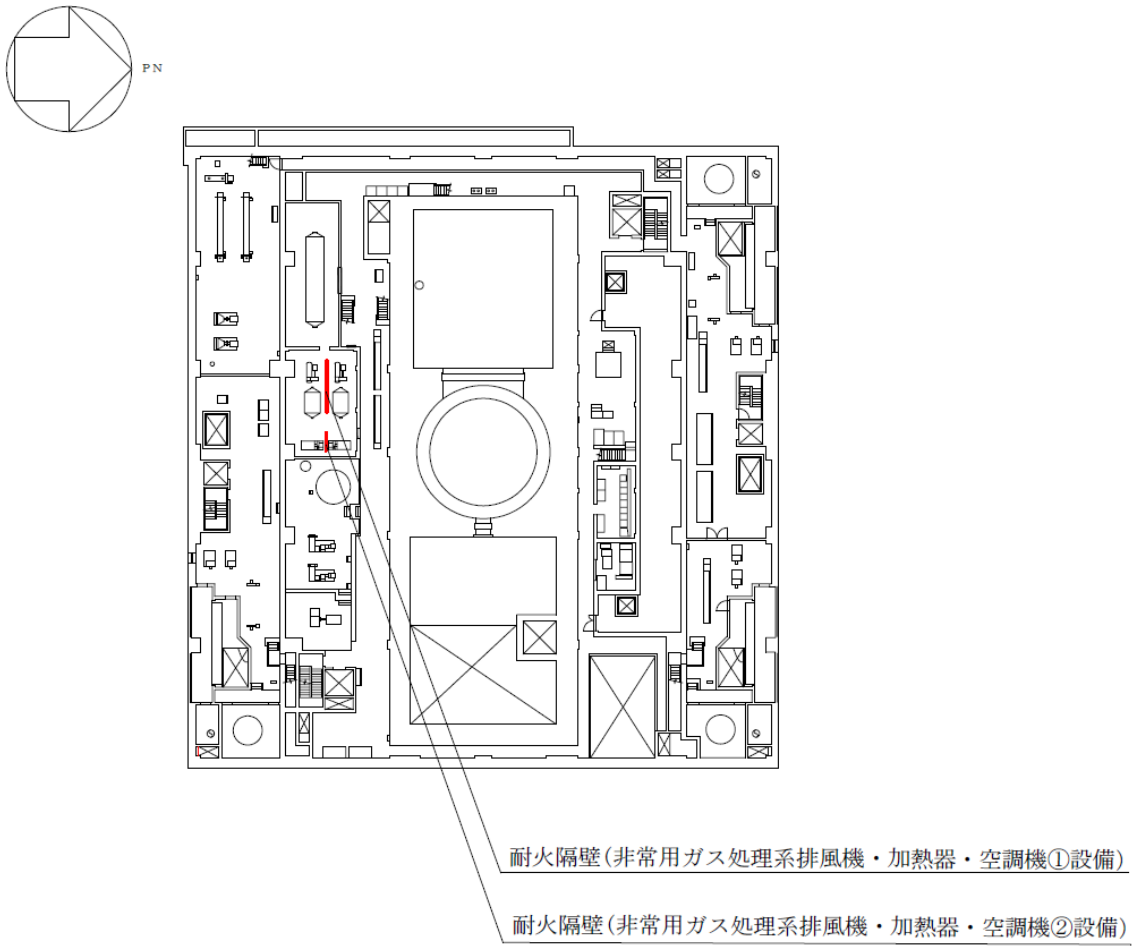
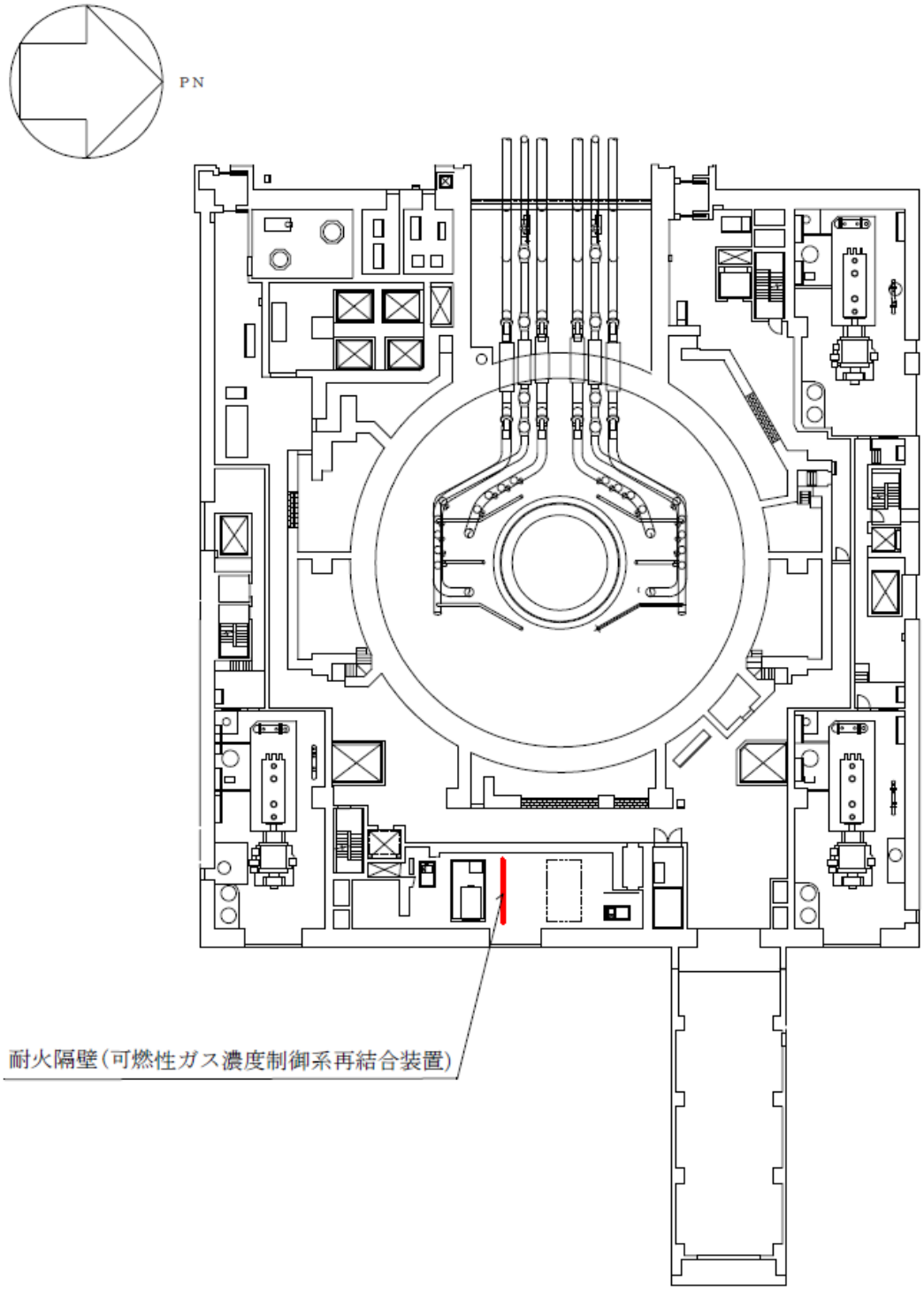


図2－1 耐火隔壁（非常用ガス処理系排風機・加熱器・空調機①設備，②設備）の設置位置



原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3 m

図2－2　耐火隔壁（可燃性ガス濃度制御系再結合装置）の設置位置

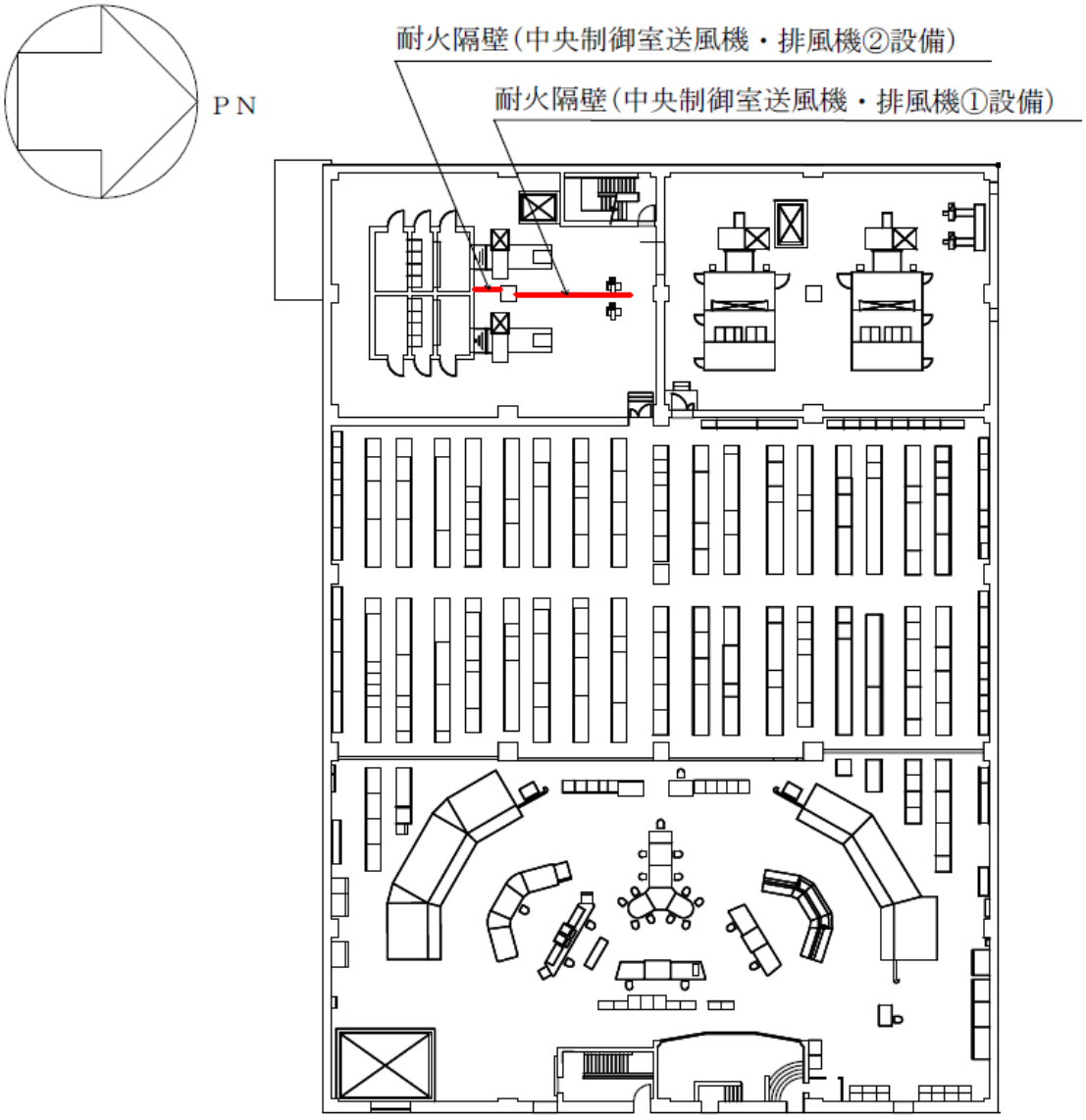
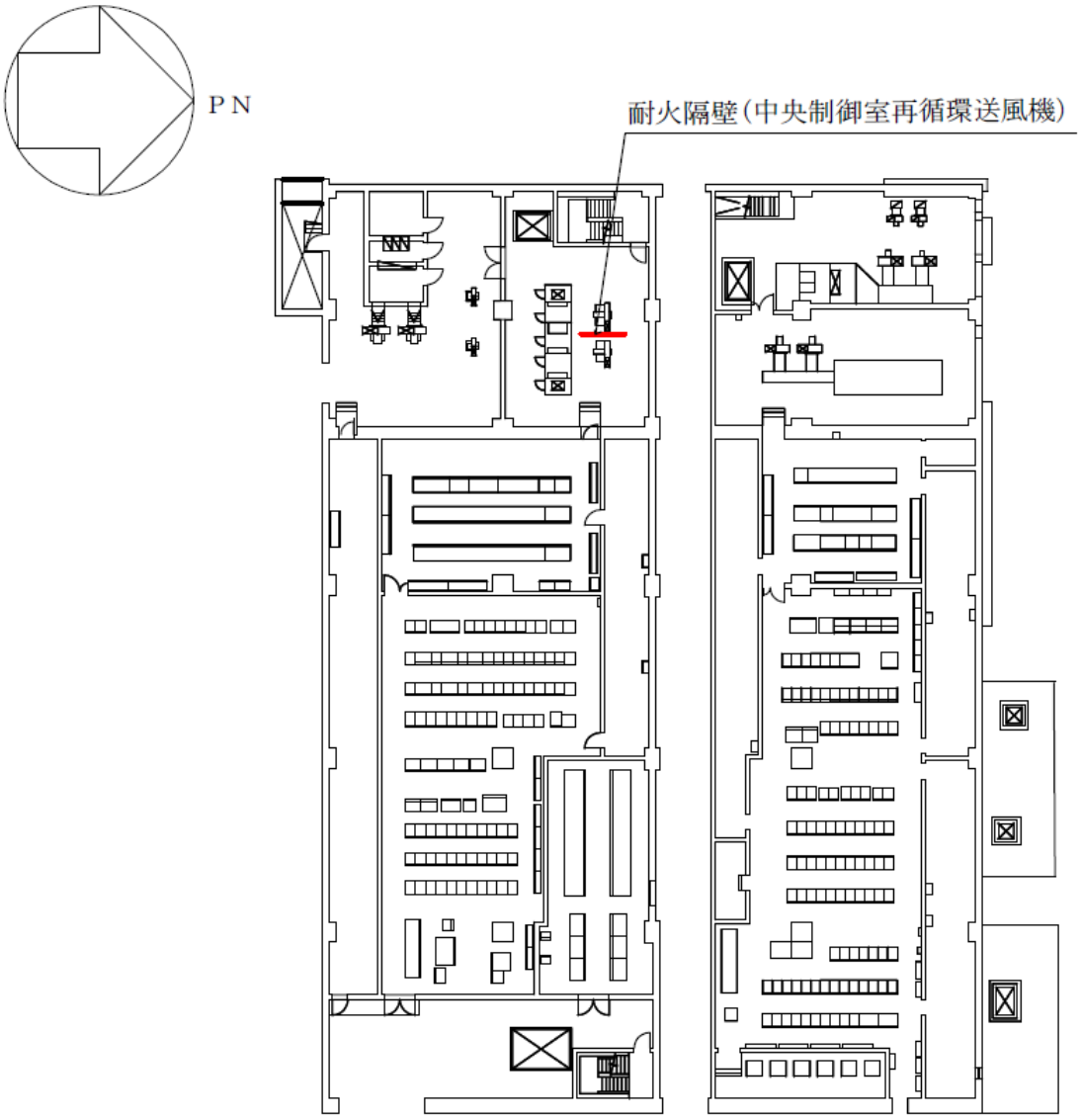


図2－3　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備，②設備）の設置位置



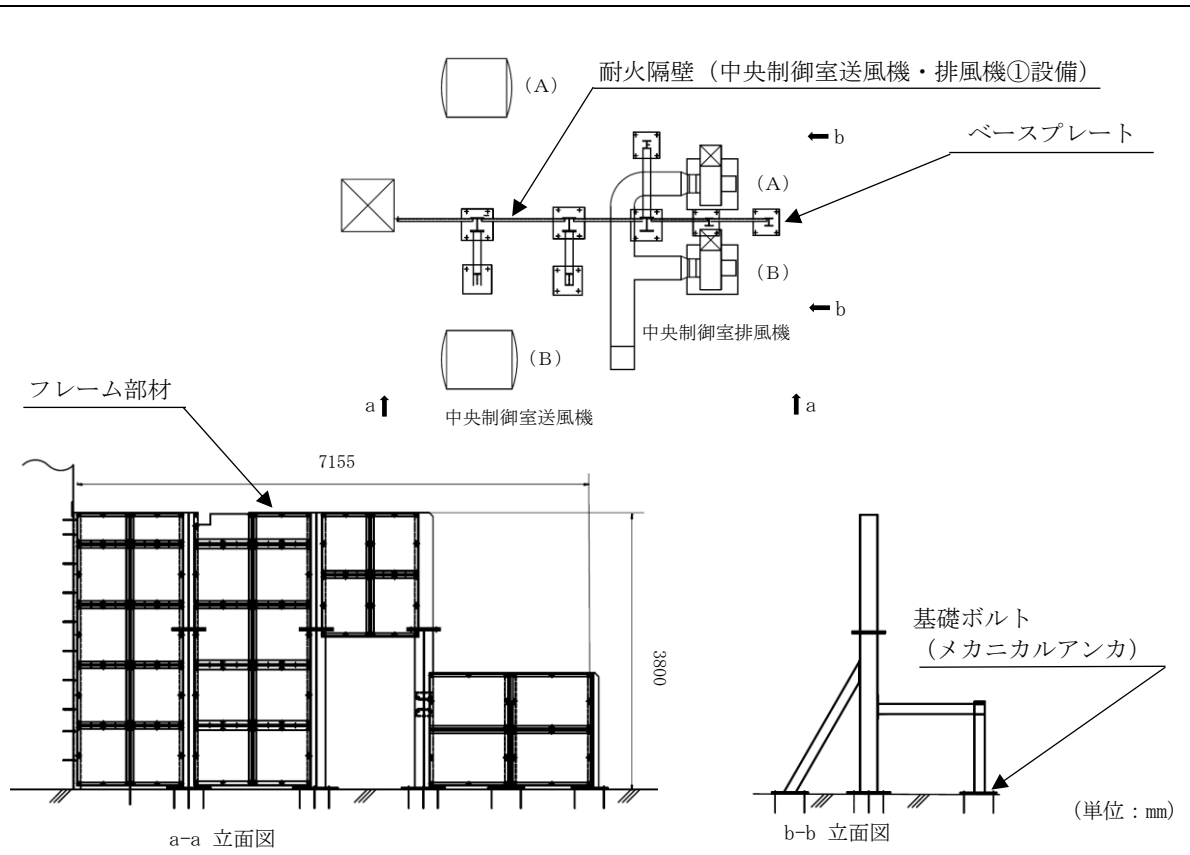
コントロール建屋 T.M.S.L. 12.3 m

図2－4　耐火隔壁（中央制御室再循環送風機）の設置位置

2.2　構造計画

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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	
耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）は，基礎ボルトにより建屋躯体である床及び柱に固定される。	耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は，鋼製のフレーム部材により支持し，鋼製のフレーム部材（支柱）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び柱に固定される。	 耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）

2.3　評価方針

耐火隔壁の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す耐火隔壁の部位を踏まえ，「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。

耐火隔壁の耐震評価フローを図2－5に示す。

図2－5　耐火隔壁の耐震評価フロー

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。

- 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（(社)日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社)日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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（日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- 鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005）
- 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定）
- 日本工業規格（ＪＩＳ）

2.5　記号の説明

表2－2　耐火隔壁の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A	引張力が作用するはりの断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの呼び径断面積	mm^2
A_{sy}	フレーム部材の有効せん断断面積（Y軸方向）	mm^2
A_{sz}	フレーム部材の有効せん断断面積（Z軸方向）	mm^2
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133に定める値	MPa
F_N	アンカー部に作用する引張力	N
F_{sx}	アンカー部に作用するx軸方向のせん断力	N
F_{sy}	アンカー部に作用するy軸方向のせん断力	N
f_b	フレーム部材の許容曲げ応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_s	フレーム部材の許容せん断応力	MPa
f_{sb}	ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	フレーム部材の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張応力について規定するボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張応力とせん断応力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l k	座屈長さ	mm
M_t	フレーム部材に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{tA}	アンカー部に作用するねじりモーメント	N・mm
M_{xA}	アンカー部に作用するX軸周りのモーメント	N・mm
M_y	フレーム部材に作用するY軸周りの曲げモーメント	N・mm
M_{yA}	アンカー部に作用するY軸周りの曲げモーメント	N・mm
M_z	フレーム部材に作用するZ軸周りの曲げモーメント	N・mm
N	基礎ボルト総本数	本
N_c	フレーム部材に作用する圧縮力	N
N_t	フレーム部材に作用する引張力	N
n_x	M_{xA}に対する基礎ボルトの列本数	本

記号	記号の説明	単位
n_y	M_{yA}に対する基礎ボルトの列本数	本
Q	基礎ボルト1本に作用するせん断力	N
Q_y	フレーム部材に作用するY軸方向のせん断力	N
Q_Z	フレーム部材に作用するZ軸方向のせん断力	N
r_x	M_{xA}に対するモーメントアーム	mm
r_y	M_{yA}に対するモーメントアーム	mm
ℓ	M_{tA}に対するモーメントアーム	mm
Ｓｕ	設計引張強さ	MPa
Ｓｙ	設計降伏点	MPa
Ｓｙ（ＲＴ）	40℃における設計降伏点	MPa
Ｔ	ボルト1本に作用する引張力	N
Z_p	フレーム部材のねじり断面係数	mm^3
Z_y	フレーム部材のY軸周りの断面係数	mm^3
Z_z	フレーム部材のZ軸周りの断面係数	mm^3
τ	フレーム部材に作用するせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルト1本に生じるせん断応力	MPa
σ_a	フレーム部材に生じる軸応力（σ_cとσ_tのいずれか大きい方）	MPa
σ_b	フレーム部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	フレーム部材に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	フレーム部材に生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	基礎ボルト1本に生じる引張応力	MPa

2.6　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2－3に示すとおりとする。

表2－3　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
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
断面係数	mm^3	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
フレーム部材の断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
寸法	mm	公称寸法を採用		
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
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
設計降伏点	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
設計引張り強さ	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
ボルトの軸部断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
裕度	－	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位

3.　評価部位

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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，耐震評価上厳しくなるフレーム部材及び基礎ボルトについて実施する。耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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)　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は，鋼製のフレーム部材により支持し，鋼製のフレーム部材（支柱）は基礎ボルトにより建屋躯体である床及び柱に固定される。

(2)　地震力は，耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし，組み合わせるものとする。

(3)　動的地震力による解析は固有値解析の結果，１次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度を静的に作用させた静的解析を行い，20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4)　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

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）の許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表4－3に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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に示す。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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	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
その他	耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4－3　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *3（ボルト等以外）				許容限界*2（ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張り	せん断	圧縮	曲げ	引張り	せん断
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*	1.5・f_c*	1.5・f_b*	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注記＊1 ：鋼構造設計規準 （日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。
＊2 ：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。
＊3 ：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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
フレーム部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	—	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	40	—	235	400	—

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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
フレーム部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	—	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	40	—	235	400	—

4.3　解析モデル及び諸元

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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，機器の諸元を本計算書の【耐火隔壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

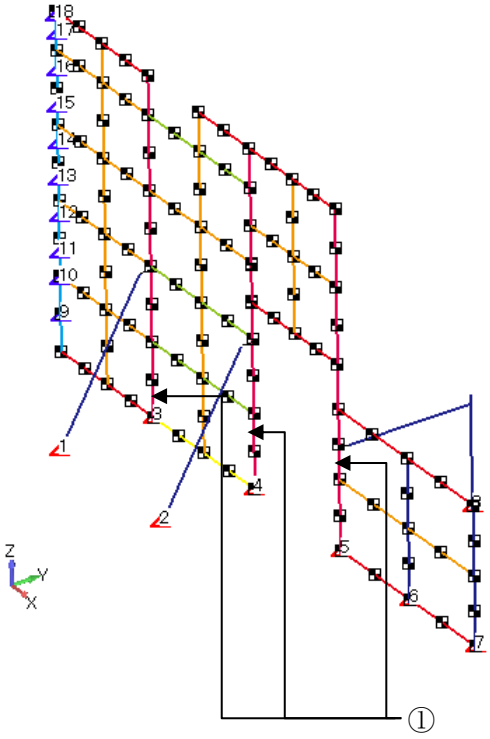
(1)　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）を構成するフレーム部材をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2)　拘束条件は，ベースプレート固定基礎ボルト位置において完全拘束とする。

(3)　モデルの全体重量については発泡性耐火被覆の重量を加味する。

(4)　解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」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。

部材リスト	材質	断面積
：L50x50x6	SS400	564.4mm^2
：2-L50x50x6	SS400	1129mm^2
：L65x65x6	SS400	752.7mm^2
：2-L65x65x6	SS400	1505mm^2
：L100x100x7	SS400	1362mm^2
：H150x150x7x10	SS400	3965mm^2
：H250x250x9x14	SS400	9143mm^2・・・①



①：H250x250x9x14 は上図の３か所のみ

図 4－1　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）解析モデル

4.4　固有周期

4.4.1　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）の固有値解析の結果を表4－6に示す。

表4－6　固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向
1次	水平	0.058	－	-0.730	－
2次	水平	0.052	－	-0.602	－
3次	水平	0.050	－	-0.262	－
4次	水平	0.047	－	－	－
1次	鉛直	0.004	－	－	－

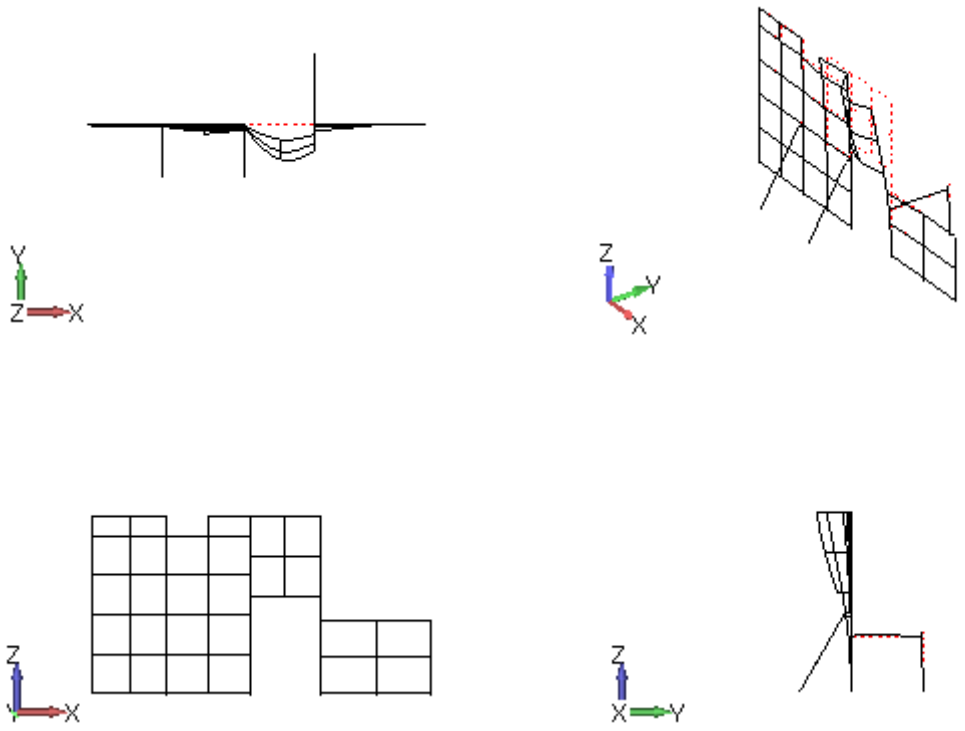


図 4－2　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）　1次固有振動モード図

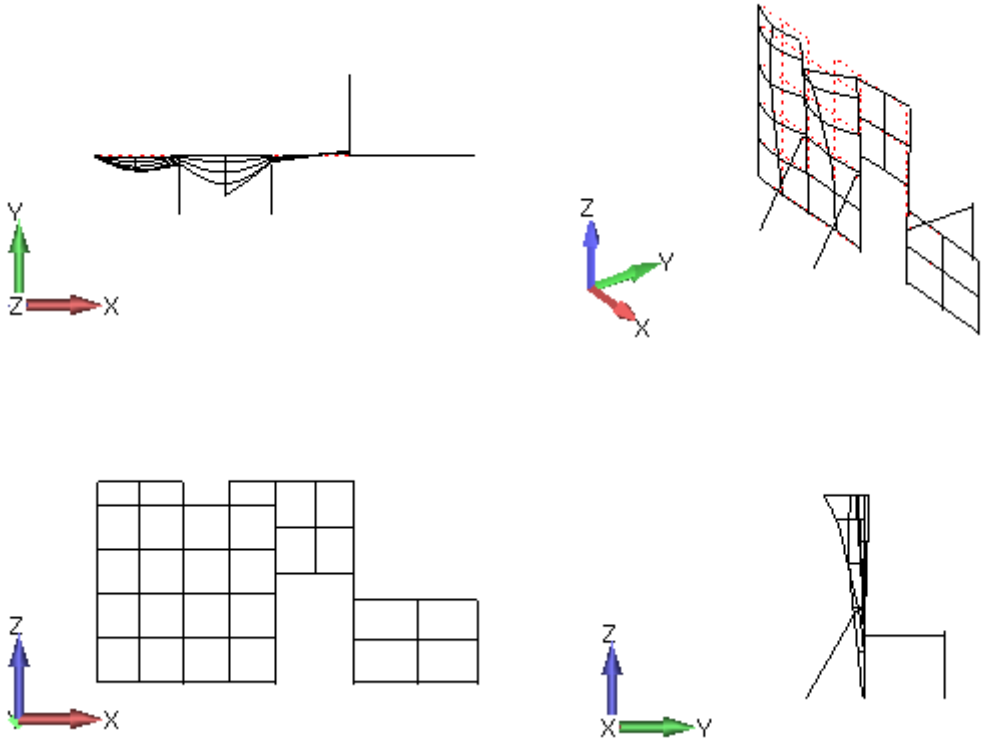


図 4－3　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）　2 次固有振動モード図

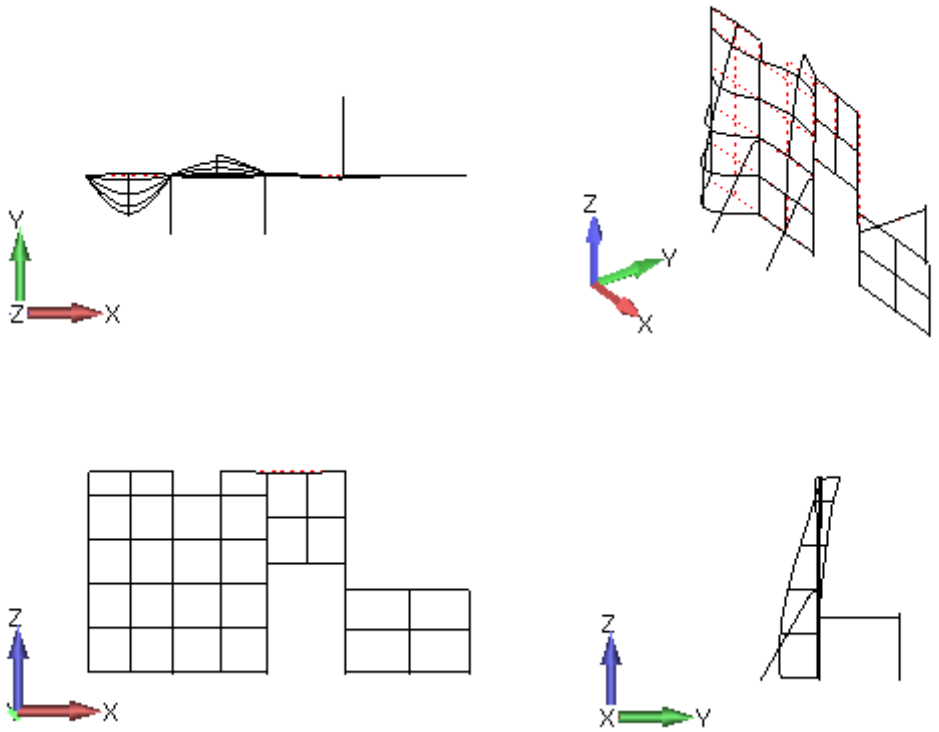


図 4－4　耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）　3 次固有振動モード図

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4－7に示す。

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，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。また，減衰定数はＶ-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。

表 4－7　設計用地震力

据付場所及び床面高さ(m)		コントロール建屋　T.M.S.L. 17.3(T.M.S.L. 24.1*1)					
固有周期(s)		水平：0.058*2　鉛直：0.004					
減衰定数(%)		水平：1.0　鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度			基準地震動Ｓｓ		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.058	－	－	－	2.94	2.94	2.45
2 次	0.052	－	－	－	2.69	2.69	2.28
3 次	0.050	－	－	－	2.81	2.81	2.03
4 次	0.047	－	－	－	2.73	2.73	1.83
動的地震力*4		－	－	－	1.88	1.88	1.15
静的地震力		－	－	－	－	－	－

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：１次固有周期について記載。

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

＊4：Ｓｓに基づく設計用最大応答加速度（1.2ZPA）より定めた震度を示す。

4.6　計算方法

4.6.1　フレーム部材の応力計算方法

モデルを用いて動的地震力に対する解析を行い，フレーム部材に生じる引張応力，圧縮応力，せん断応力，曲げ応力ならびに組合せ応力が，許容応力以下となることを確認する。

(1)　引張応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

(2)　圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

(3)　せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_y}{A_{sy}}\right)^2 + \left(\frac{Q_z}{A_{sz}}\right)^2} + \frac{M_t}{Z_p}$$

(4)　曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z}$$

(5)　組合せ応力

$$\frac{\sqrt{\left(|\sigma_a| + \sigma_{by} + \sigma_{bz}\right)^2 + 3\tau^2}}{f_t}$$

(6)　組合せ応力（引張り＋曲げ）

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}$$

(7)　組合せ応力（圧縮＋曲げ）

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$$

4.6.2　基礎ボルトの計算方法

基礎ボルト1本に生じる引張応力ならびにせん断応力が，許容応力以下となることを確認する。

(1)　引張応力

$$\sigma_{tb}=\frac{T}{A_b}$$

ここで,

$$T=\frac{F_N}{N}+\frac{M_x}{r_x\cdot n_x}+\frac{M_y}{r_y\cdot n_y}$$

(2)せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q}{A_b}$$

ここで,

$$Q=\frac{\sqrt{F_{sx}^{2}+F_{sy}^{2}}+\frac{M_t}{\ell}}{N}$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【耐火隔壁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　フレーム部材の応力評価

4.6.1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。

	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{1-0.4\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\dfrac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{l_k}{i}$$

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}}$$

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

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tA} は許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}]$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎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。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）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により波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【耐火隔壁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)		基準地震動Ｓｓ		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		
耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）	C	コントロール建屋 T.M.S.L 17.3 (T.M.S.L 24.1*1)	0.058	0.004	—*2	—*2	—	40

注記＊1 ：基準床レベルを示す
＊2 ：基準地震動Ｓｓに基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

部材	E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	Z_y (mm^3)	Z_z (mm^3)	A_{sy} (mm^2)	A_{sz} (mm^2)	l_k (mm)	i (mm)	Z_p (mm^3)
2-L50x50x6	2.020×10^5	245	400	280	1129	9722	7079	600	600	740	14.9	3456

1.2.2 基礎ボルト

部材	E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A_b (mm^2)	N (本)	n_x (本)	n_y (本)	r_x (mm)	r_y (mm)	ℓ (mm)
基礎ボルト (M16)	2.020×10^5	235	400	280	201.1	6	3	2	400	400	200

1.3　計算数値

1.3.1　フレーム部材の荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
2080	－	5.880×10^{3}	5.900×10^{3}	6.362×10^{2}	6.619×10^{2}

1.3.2　フレーム部材のモーメント　　(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M_y	M_z	M_t
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
2080	－	5.070×10^{5}	6.356×10^{5}	1.755×10^{-11}

1.3.3　基礎ボルトの荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	F_N	F_{sx}	F_{sy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	5	2.471×10^{3}	6.035×10^{3}	5.621×10^{3}

1.3.4　基礎ボルトのモーメント　　(単位：N・mm)

要素番号	節点番号	M_{xA}	M_{yA}	M_{tA}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	5	1.486×10^{7}	4.446×10^{6}	2.444×10^{4}

1.3.5　基礎ボルトに作用する力　　(単位：N)

要素番号	節点番号	T	Q
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	5	1.836×10^{4}	1.395×10^{3}

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

モード	固有周期	卓越方向
1	0.058	水平
2	0.052	水平
3	0.050	水平
4	0.047	水平

1.4.2　応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
					算出応力	許容応力	
フレーム部材 2-L50x50x6	SS400	引張り	2080	-	σ_t＝6	f_t＝280	
		圧縮	2080	-	σ_c＝6*1	f_c＝235	
		せん断	2080	-	τ＝2	f_s＝161	
		曲げ	2080	-	σ_b＝142	f_b＝280	
		組合せ	2080	-	0.53	1*3	単位：なし
		組合せ（引張＋曲げ）	2080	-	0.53	1*3	単位：なし
		組合せ（圧縮＋曲げ）	2080	-	0.53	1*3	単位：なし
基礎ボルト (M16)	SS400 相当	引張	-	5	σ_{tb}＝92	f_{ts}＝210*2	
		せん断	-	5	τ_b＝7	f_{sb}＝161	

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}]

＊3　：算出応力を裕度表記にしたため「1」を記載

1.4.3　代表機器の選定結果及び全機器の評価結果

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	対象	応力	基準地震動Ｓｓ			代表	備考
				算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度		
耐火隔壁（非常用ガス処理系排風機・加熱器・空調機①設備）	原子炉建屋 T.M.S.L　23.5*1	フレーム部材	曲げ	86	269	0.32		
		基礎ボルト	引張り	60	201	0.30		
耐火隔壁（非常用ガス処理系排風機・加熱器・空調機②設備）	原子炉建屋 T.M.S.L　23.5*1 T.M.S.L　31.7*1	フレーム部材	組合せ (圧縮＋曲げ)	－	－	0.24		単位：なし
		基礎ボルト	引張り	18	201	0.09		
耐火隔壁（可燃性ガス濃度制御系再結合装置）	原子炉建屋 T.M.S.L　12.3*1 T.M.S.L　18.1*1	フレーム部材	組合せ (圧縮＋曲げ)	－	－	0.46		単位：なし
		基礎ボルト	引張り	66	201	0.33		
耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機①設備）	コントロール建屋 T.M.S.L　17.3*1 T.M.S.L　24.1*1	フレーム部材	組合せ (圧縮＋曲げ)	－	－	0.53	○	単位：なし
		基礎ボルト	引張り	92	210	0.44	○	
耐火隔壁（中央制御室送風機・排風機②設備）	コントロール建屋 T.M.S.L　17.3*1 T.M.S.L　24.1*1	フレーム部材	曲げ	76	280	0.28		
		基礎ボルト	せん断	8	161	0.05		
耐火隔壁（中央制御室再循環送風機）	コントロール建屋 T.M.S.L　12.3*1	フレーム部材	組合せ (圧縮＋曲げ)	－	－	0.45		単位：なし
		基礎ボルト	引張り	36	210	0.18		

すべて許容応力以下である。

注記＊1 ：基準床レベルを示す

Ⅴ-2-12　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動 ····· 1
3.　各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果 · 1
3.1　建物・構築物 ····· 1
3.1.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出 ····· 1
3.1.2　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果 ···· 10
3.1.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針 ····· 12
3.1.4　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 ····· 13
3.2　機器・配管系 ····· 39
3.2.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出 ····· 39
3.2.2　建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出 ····· 40
3.2.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 ····· 41
3.2.4　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 ····· 41
3.2.5　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 ····· 41
3.2.6　まとめ ····· 42
3.3　屋外重要土木構造物 ····· 57
3.3.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 ····· 57
3.3.2　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果 ·· 76
3.3.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 ····· 85
3.3.4　まとめ ····· 99
3.4　津波防護施設,浸水防止設備及び津波監視設備 ····· 100
3.4.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出 ····· 100

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち「4.1　地震力の算定法（2）動的地震力」及び，Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき，水平2方向及び鉛直方向地震力により，施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には，基準地震動Ｓｓを用いる。基準地震動Ｓｓは，Ⅴ-2-1-2「基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄの策定概要」による。

ここで，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動Ｓｓは，複数の基準地震動Ｓｓにおける地震動の特性及び包絡関係を，施設の特性による影響も考慮した上で確認し，本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し，各建屋において，該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表3－1－1に示す。

(2) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は，荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表3－1－2及び3－1－3に示す。

なお，隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は，上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため，せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり，壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱，はり）を主たる評価対象部位とし，その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表3－1－1に示す耐震評価上の構成部位のうち，表3－1－2に示す荷重の組合せによる応答特性により，水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3－1－4に示す。

応答特性①－1「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」する部位とし

て，主排気筒の柱（隅部），原子炉建屋，原子炉建屋（大物搬入建屋），コントロール建屋，タービン建屋，緊急時対策所，廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ並びに原子炉建屋（大物搬入建屋），格納容器圧力逃がし装置基礎の杭基礎を抽出した。

また，応答特性①－2「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」する部位として原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール），廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽）の壁（一般部）並びに原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋，緊急時対策所，廃棄物処理建屋，サービス建屋及び5号機タービン建屋の壁（地下部）を抽出した。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表3－1－1に示す耐震評価上の構成部位のうち，荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について，表3－1－3に示す3次元的な応答特性により，水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3－1－5に示す。

応答特性②－1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として，原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②－2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として，抽出する部位はなかった。

表 3－1－1　建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール建屋	タービン建屋	緊急時対策所	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器圧力逃がし装置基礎	サービス建屋	5号機タービン建屋
		RC造，S造及びSRC造	RC造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	S造及びRC造	RC造	RC造	RC造，S造及びSRC造
柱	一般部	○	○	○	○	○	○*1	－	○	○
	隅部	○	○	○	○	○	○*2	－	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	－	－	○	○
はり	一般部	○	○	○	○	○	○	－	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	－	－	○	○
	鉄骨トラス	○	－	○	○	○	－	－	－	○
壁	一般部	○	○	○	○	○	－	○	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	－	－	○	○
	鉄骨ブレース	－	－	○	－	○	○	－	－	○
床屋根	一般部	○	○	○	○	○	－	－	○	○
基礎	基礎スラブ	○	○	○	○	○	－	○	○	○
	杭基礎	○	－	－	－	－	－	○	－	－

凡例　○：対象の構造部材あり
　　－：対象の部材なし
注記＊1：筒身を示す。
　　＊2：基礎立上り部を含む。

表 3－1－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性

（荷重の組合せによる応答特性）

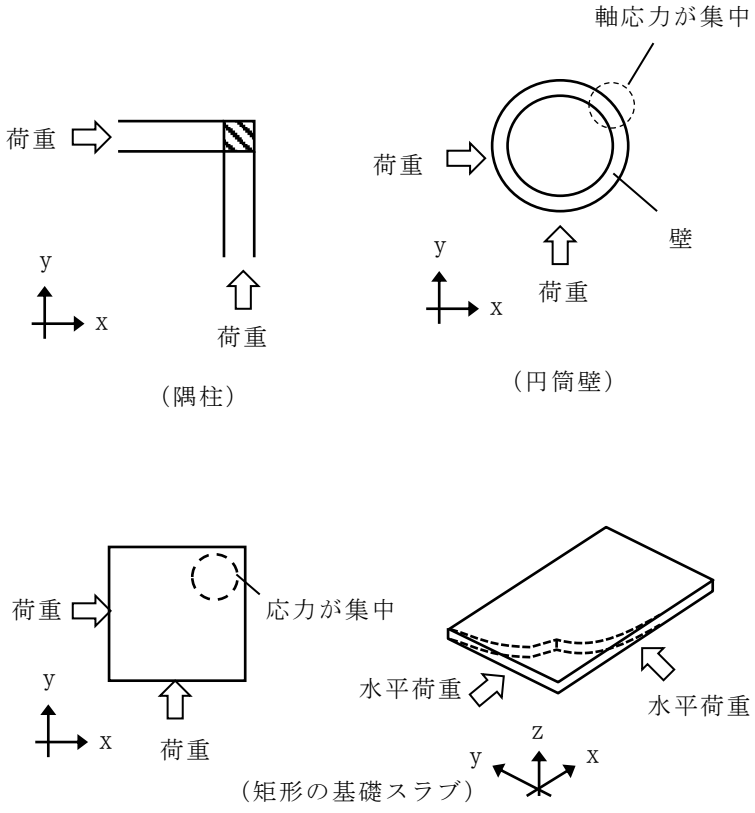
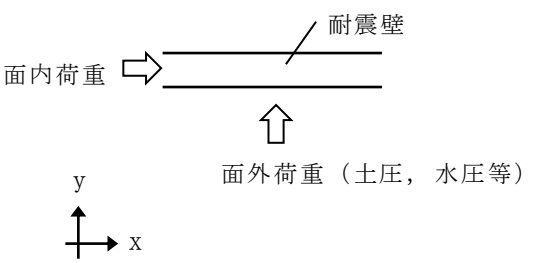
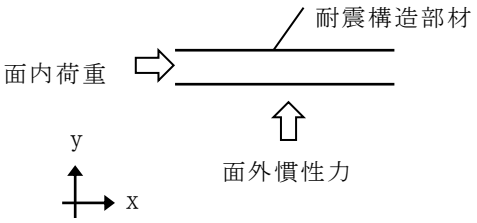
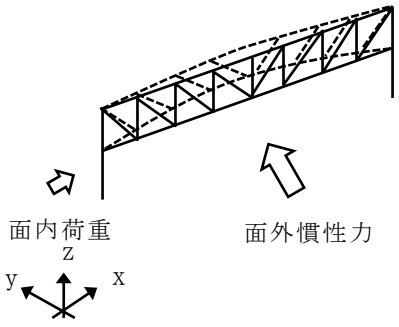
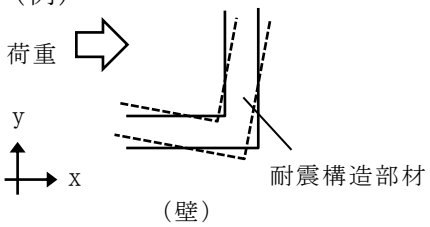
荷重の組合せによる応答特性		影響想定部位
①－1	直交する水平 2 方向の荷重が，応力として集中	応力の集中する隅柱等 （例） 
①－2	面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用	土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等 （例） 

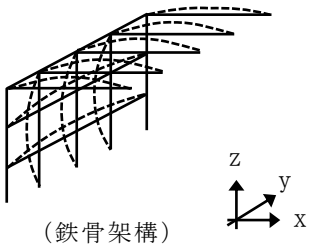
表 3－1－3　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性

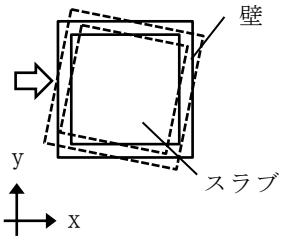
（3 次元的な応答特性）

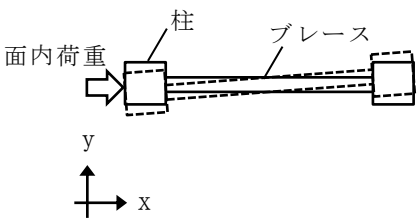
<table>
<tr><th colspan="2">3 次元的な応答特性</th><th>影響想定部位</th></tr>
<tr><td>②－1</td><td>面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい</td><td>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位
（例）
 

（耐震構造部材）
 

（鉄骨トラス）</td></tr>
<tr><td>②－2</td><td>加振方向以外の方向に励起される振動</td><td>塔状構造物等含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物
（例）
 

（壁）
 

（鉄骨架構）
 

（床・屋根）
 

（ブレース）</td></tr>
</table>

表3－1－4　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
（荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール建屋	タービン建屋	緊急時対策所	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器圧力逃がし装置基礎	サービス建屋	5号機タービン建屋
		RC造，S造及びSRC造	RC造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	S造及びRC造	RC造	RC造	RC造，S造及びSRC造
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	－	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	不要*1	該当なし	不要*1	①－1要	－	該当なし	不要*1
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	－	－	該当なし	該当なし
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	－	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	－	－	該当なし	該当なし
	鉄骨トラス	該当なし	－	該当なし	該当なし	該当なし	－	－	－	該当なし
壁	一般部	①－2要（使用済燃料貯蔵プール）	該当なし	該当なし	該当なし	①－2要(復水貯蔵槽)	－	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①－2要	①－2要	①－2要	①－2要	①－2要	－	－	①－2要	①－2要
	鉄骨ブレース	－	－	該当なし	－	該当なし	該当なし	－	－	該当なし
床屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	－	－	該当なし	該当なし
基礎	基礎スラブ	①－1要	①－1要	①－1要	①－1要	①－1要	－	①－1要	不要*2	不要*2
	杭基礎	①－1要（大物搬入建屋）	－	－	－	－	－	①－1要	－	－

凡例　要：評価必要
　　不要：評価不要
　　①－1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」
　　①－2：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」
注記＊1：鉄骨造部の隅柱については，応力の集中が考えられるが，下部に上位クラス施設がないため不要とする。
　　＊2：上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋は，衝突の有無の判断が基本となるため，せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり，耐震壁を主たる評価対象部位としている。そのため，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して，耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

表3－1－5　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出

(3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール建屋	タービン建屋	緊急時対策所	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器圧力逃がし装置基礎	サービス建屋	5号機タービン建屋
		RC造，S造及びSRC造	RC造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	RC造，S造及びSRC造	S造及びRC造	RC造	RC造	RC造，S造及びSRC造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	－	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	要	－	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	－	－	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	－	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	－	－	不要	不要
	鉄骨トラス	不要	－	不要	不要	不要	－	－	－	不要
壁	一般部	要（使用済燃料貯蔵プール） ②－1（燃料取替床レベル）	不要	不要*	不要*	要（復水貯蔵槽）	－	不要	不要	不要
	地下部	要	要	要	要	要	－	－	要	要
	鉄骨ブレース	－	－	不要*	－	不要*	不要	－	－	不要*
床屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	－	－	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	要	要	要	要	－	要	不要	不要
	杭基礎	要（大物搬入建屋）	－	－	－	－	－	要	－	－

凡例　要：荷重組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み
　　不要：評価不要
　　②－1：応答特性「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」
　　②－2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記＊：大スパン部については，面内荷重方向に加え，面外慣性力の影響が大きいと考えられるが，下部に上位クラス施設がないため不要とする。

(5)　3 次元 FEM モデルによる精査方法

上記(4)で抽出した 3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について，3 次元 FEM モデルにより精査を行う。精査方法を表 3－1－6 に示す。

②－1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については，原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対して 3 次元 FEM モデルによる精査を行う。

また，原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し，局所的な応答について，3 次元 FEM モデルによる精査を行う。精査は，地震応答解析により水平 2 方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

(6)　3 次元 FEM モデルによる精査結果

3 次元 FEM モデルによる精査の結果，建物・構築物の有している耐震性への影響が小さいことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表 3－1－6 に示す。

表 3－1－6　3 次元 FEM モデルを用いた精査

耐震評価部位		対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元モデルを用いた 精査方法	3次元モデルを用いた精査結果
壁	一般部	・原子炉建屋 (燃料取替床レベル)	②－1 (面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象に有する耐震性への影響が想定されないため抽出しない。
耐震評価 部位全般		・原子炉建屋	局所的な応答	同上	原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁では，面外方向に応答が増幅する傾向が確認されたものの，保守的な静的応力解析モデルを用いた評価により面外慣性力によって生じる応力が，許容値を超えないことを確認した。よって，水平2方向及び鉛直方向地震力による耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

3.1.2　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

(1)　建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を表3－1－7に示す。

応答特性①－1「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」する部位のうち，主排気筒の主柱材（基礎立上り部を含む）及び建屋規模が大きく，重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①－2「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，上部に床等の拘束がなく，面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）の壁（一般部）を代表として，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2)　機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から，機器・配管系への影響の可能性がある部位について検討した。

主排気筒の主柱材（基礎立上り部を含む）については，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため，機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋の基礎については，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため，機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）の壁（一般部）については，面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用する部位であり，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため，機器・配管系への影響の可能性はない。

表 3－1－7　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
①－1	柱	隅部	・主排気筒	主柱材（基礎立上り部を含む）を評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭基礎	・原子炉建屋 ・原子炉建屋（大物搬入建屋） ・コントロール建屋 ・タービン建屋 ・緊急時対策所 ・廃棄物処理建屋 ・格納容器圧力逃がし装置基礎	建屋規模が大きく，重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。
①－2	壁	水圧作用部 ・ 地下部	・原子炉建屋（壁地下部） ・原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール） ・コントロール建屋（壁地下部） ・タービン建屋（壁地下部） ・緊急時対策所（壁地下部） ・廃棄物処理建屋（壁地下部） ・廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽） ・サービス建屋（壁地下部） ・5号機タービン建屋（壁地下部）	施設の重要性，建屋規模及び構造特性を考慮し，上部に床等の拘束がなく，面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を代表として評価する。

凡例　①－1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が，応力として集中」

①－2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物。

3.1.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について,基準地震動Ｓｓを用い,水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価した。評価は従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果を用いた。

また，影響評価は，水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価，又は，基準地震動Ｓｓの各方向地震成分により，個別に計算した最大応答値を用い，水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として，米国Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に，組合せ係数法（1.0:0.4:0.4）に基づいた評価により実施した。

注記＊：Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

3.1.4　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1)　主排気筒の主柱材の評価

主排気筒の鉄塔のうち，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として，直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である鉄塔部主柱材及び基礎立上り部を対象に評価を行う。

評価に当たっては，基準地震動Ｓｓを用い，水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3 方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析を行い，主排気筒が有する耐震性に影響しないことを確認する。鉄塔部主柱材及び基礎（鉄塔部基礎ボルト及び鉄塔部基礎立上り部）の耐震性への影響については，基準地震動Ｓｓを 3 方向同時入力した地震応答解析の結果による各断面算定結果（検定値）が，1.0 を超えないことにより確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については，Ⅴ-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「主排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。主排気筒の概要図を図 3－1－1 及び図 3－1－2 に，解析モデルを図 3－1－3 に示す。

主排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は，Ss-1 による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル（T.M.S.L. 38.2m）における応答値を用いる。

主排気筒の耐震計算書による評価では，3 次元 FEM モデルを用いた上で，一部の地震動（Ss-1～Ss-8 のうち，Ss-2 及び Ss-4～Ss-7 が該当）については 3 方向同時入力を行っている。そのため，3 方向同時入力を行っていない基準地震動Ｓｓのうち，鉄塔部主柱材及び基礎への影響が大きい Ss-1 を検討に採用する。

地震動の入力方法は，主排気筒の耐震計算書に基づくものとする。

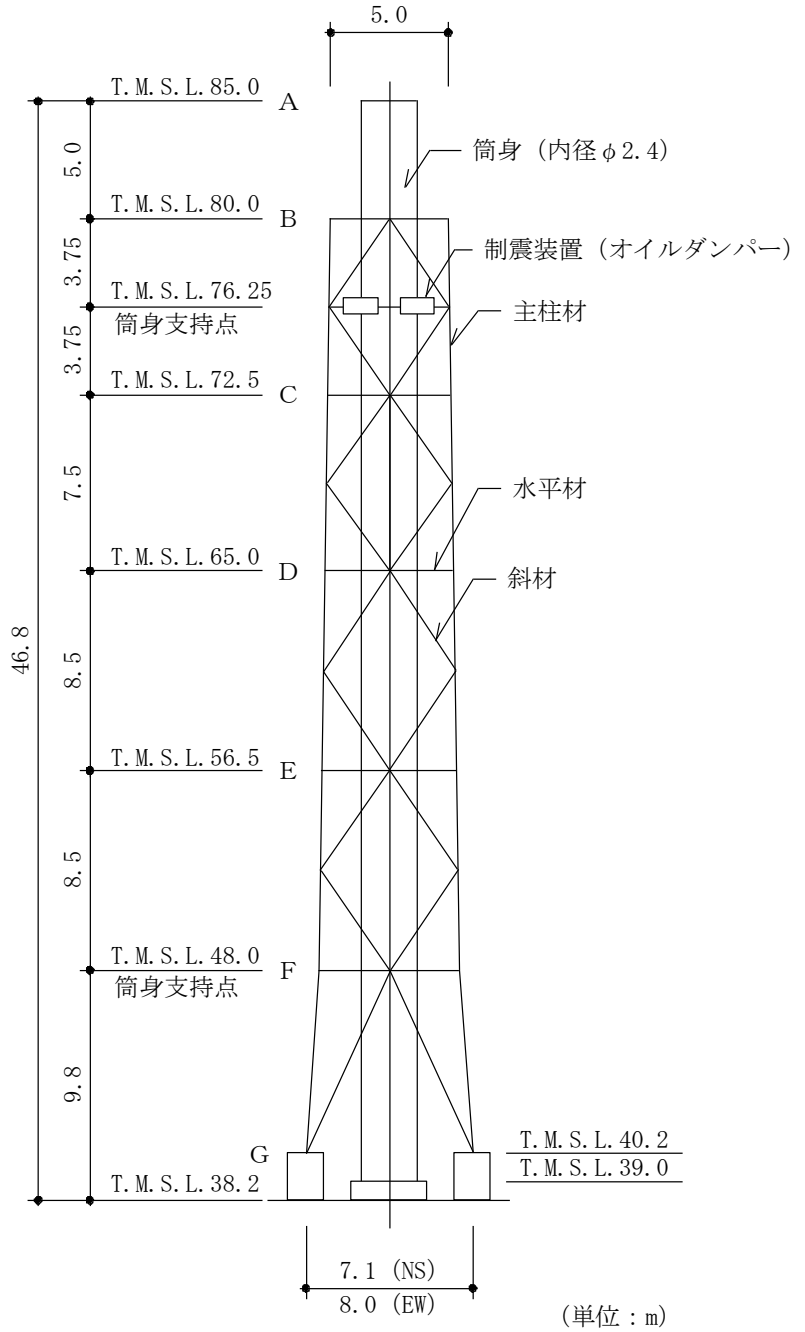
鋼材，コンクリート及び鉄筋の許容応力度は，主排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

使用材料の物性値は主排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3 方向同時入力時及び 2 方向同時入力時の鉄塔部主柱材の検定値を表 3－1－8 に，鉄塔部基礎ボルトの検定値を表 3－1－9 に，鉄塔部基礎立上り部の検定値を表 3－1－10 に示す。

評価の結果，2 方向同時入力時の検定値と比較し，3 方向同時入力時の検定値は増加傾向であるものの，各鉄塔部主柱材及び基礎の検定値が 1.0 を超えないことを確認した。

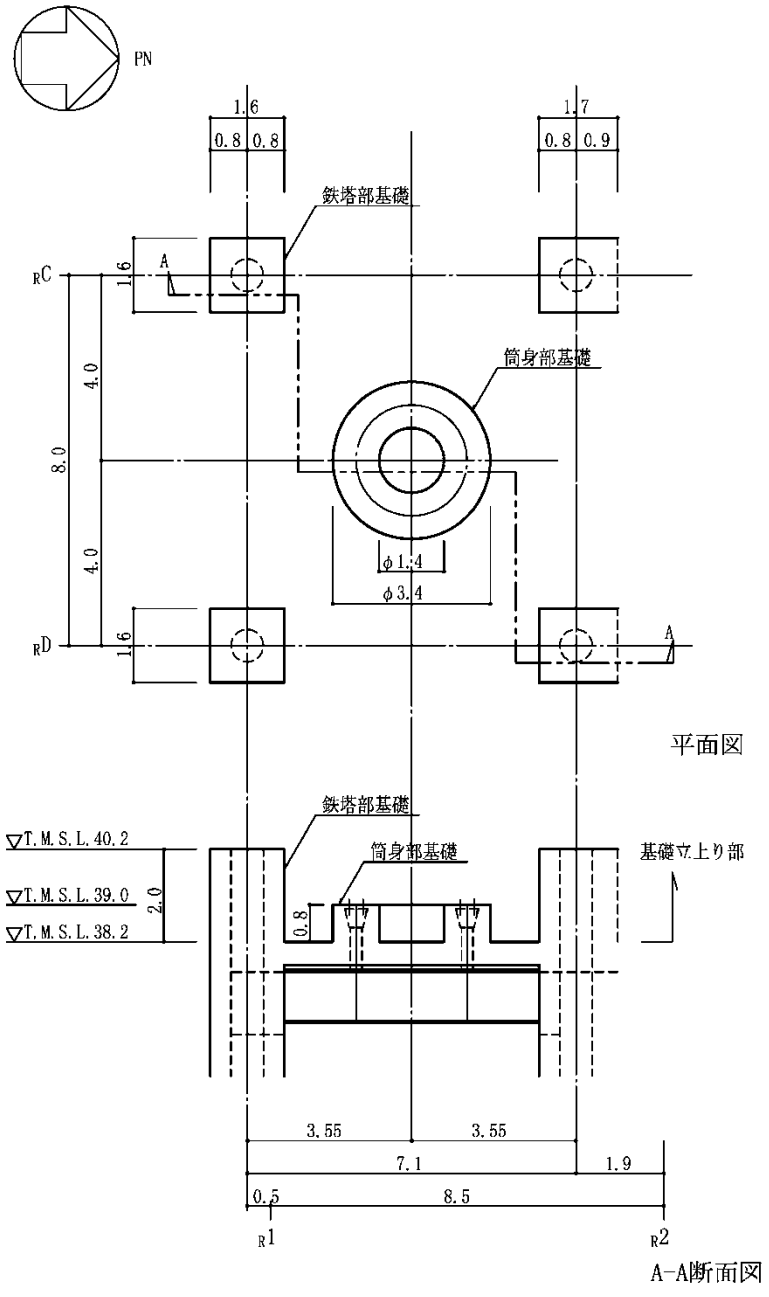
以上より，水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し，主排気筒の鉄塔部主柱材及び基礎が有する耐震性への影響が無いことを確認した。



部材リスト（単位：mm）				
主柱材	φ711.2×19	φ609.6×16	φ508.0×7.9	φ406.4×6.4
水平材	φ406.4×6.4	φ318.5×6	φ216.3×4.5	
斜材	φ558.8×16	φ406.4×12.7	φ355.6×7.9	φ267.4×6	φ216.3×4.5
筒身板厚	t=12	t=8			t=6
	STK490[STK50]*	STK400[STK41]	STK490[STK50]	SMA400A[SMA41A]

注記＊：［　］内は従来標記を示す。

図3－1－1　主排気筒概要図



（単位：m）

図 3－1－2　主排気筒の基礎の概要図

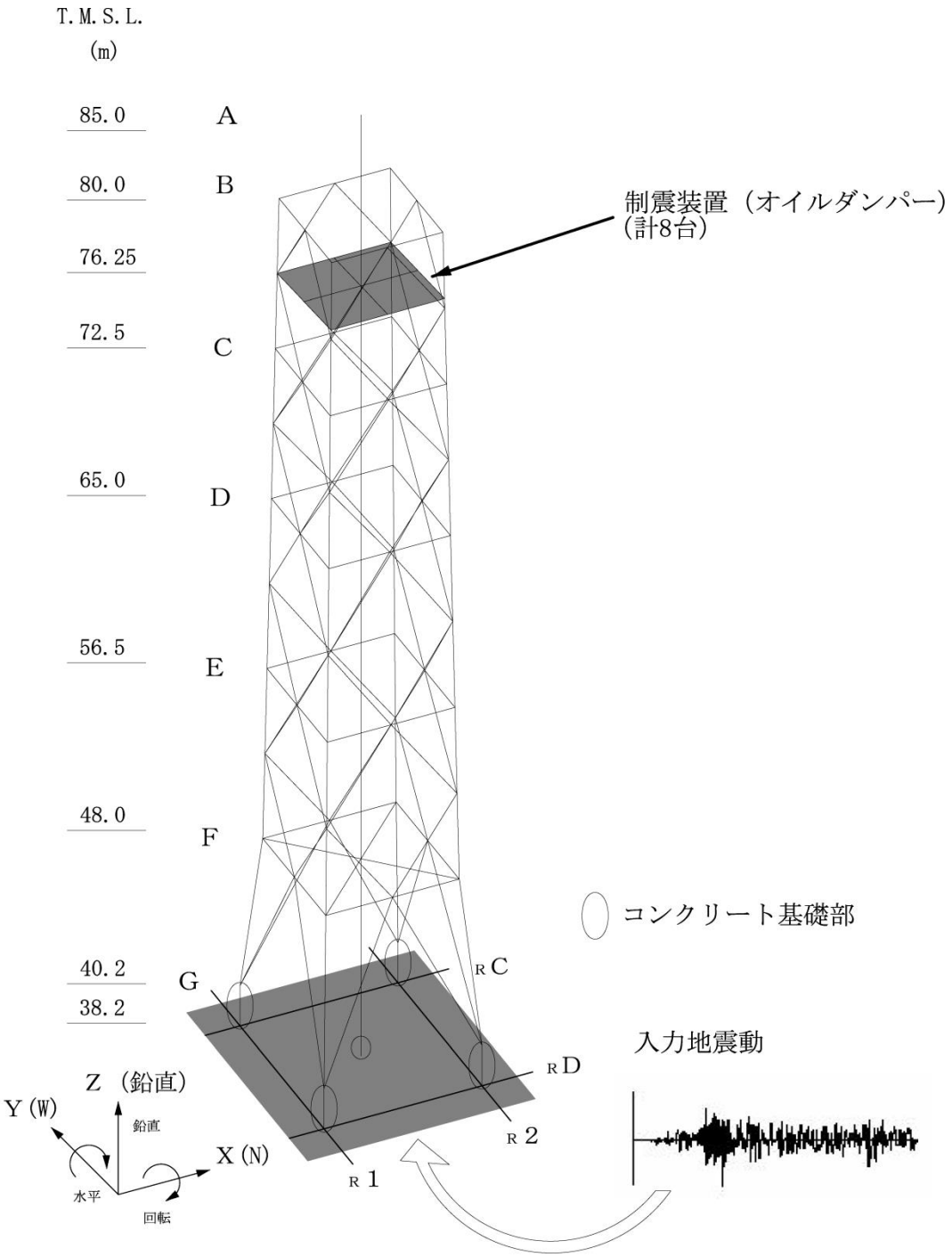


図 3－1－3　主排気筒の解析モデル

表 3－1－8　鉄塔部主柱材の検定値

部材間	使用部材 (STK490)	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
Ｂ－Ｃ	φ318.5× 6	0.14	0.13	0.17
Ｃ－Ｄ	φ406.4× 6.4	0.54	0.50	0.69
Ｄ－Ｅ	φ508.0× 7.9	0.62	0.60	0.79
Ｅ－Ｆ	φ609.6×16	0.62	0.55	0.80
Ｆ－Ｇ	φ711.2×19	0.52	0.50	0.67

表 3－1－9　鉄塔部基礎ボルトの検定値

評価 対象部位	評価項目	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
鉄塔部 基礎ボルト	引張応力度	0.55	0.48	0.74
	せん断応力度	0.18	0.15	0.23

表 3－1－10　鉄塔部基礎立上り部の検定値

評価 対象部位	評価項目	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
コンクリート (1.6m×1.6m*)	鉄筋コンクリート部 主筋の応力度	0.60	0.49	0.75
	コンクリートの せん断応力度	0.49	0.41	0.62
鉄骨柱 (φ711.2×22)	鉄骨柱の応力度	0.36	0.32	0.48

注記＊：基礎寸法は 2 種類（1.6m×1.6m 及び 1.6m×1.7m）あるが，
ここでは断面性能の低い基礎（1.6m×1.6m）を評価対象とする。

(2) 使用済燃料貯蔵プールの壁の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として，面内方向の荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁について，評価を行う。

評価に当たっては，Ｓｓ地震時に対して，3 次元 FEM モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について，許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については，Ⅴ-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」（以下「SFP の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 3－1－4 及び図 3－1－5 に，使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3－1－6 及び図 3－1－7 に示す。

荷重の組合せは，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は，SFP の耐震計算書の「3.3　許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデル概要図を図 3－1－8 に示す。解析モデルの詳細は，SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

Ｓｓ地震時の応力は，SFP の耐震計算書の「3.5.1　応力解析方法」に示す，次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

ＤＬ	：死荷重及び活荷重
P_1	：運転時圧力
H_1	：逃がし安全弁作動時荷重
K_{sSN}*	：S→N 方向　Ｓｓ地震荷重
K_{sWE}*	：W→E 方向　Ｓｓ地震荷重
K_{sDU}*	：鉛直方向　Ｓｓ地震荷重
R_s	：Ｓｓ地震時配管荷重
KH_{sWE}*	：W→E 方向　Ｓｓ地震時動水圧荷重
KH_{sSN}*	：S→N 方向　Ｓｓ地震時動水圧荷重

注記＊：計算上の座標軸を基準として，EW 方向は W→E 方向の加力，NS 方向は S→N 方向の加力，鉛直方向は上向きの加力を記載している。

使用済燃料貯蔵プールの壁の評価は，SFP の耐震計算書の「3.5.2　断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を以下に示す。

断面の評価結果を記載する要素は，軸力，曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋

及びコンクリートのひずみ，軸力による圧縮応力度，面内せん断応力度並びに面外せん応力度に対する評価において，発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3－1－9 及び図 3－1－10 に，評価結果を表 3－1－11 及び表 3－1－12 に示す。

Ｓｓ地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて，水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると，水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり，一部最大となる要素が変わるものもあるが，軸力，曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ，軸力による圧縮応力度，面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が，各許容値を超えないことを確認した。

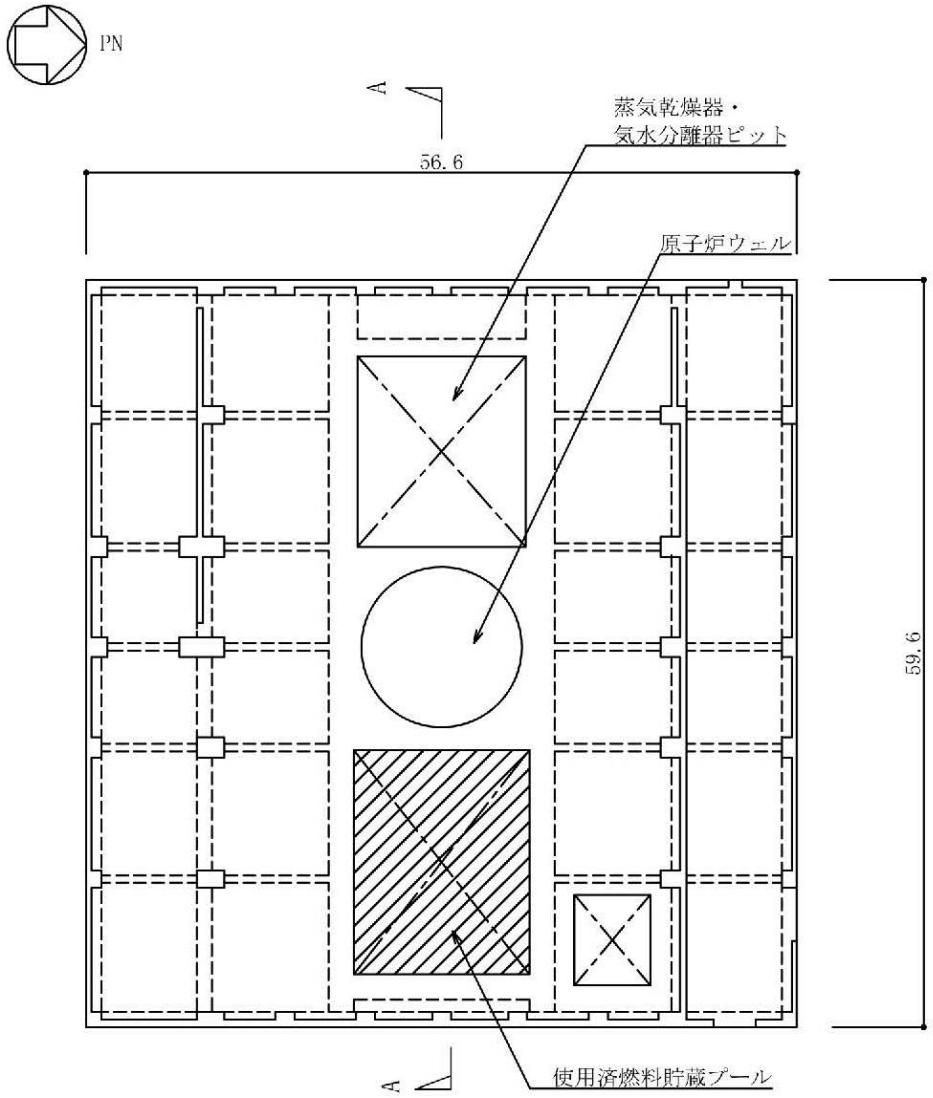
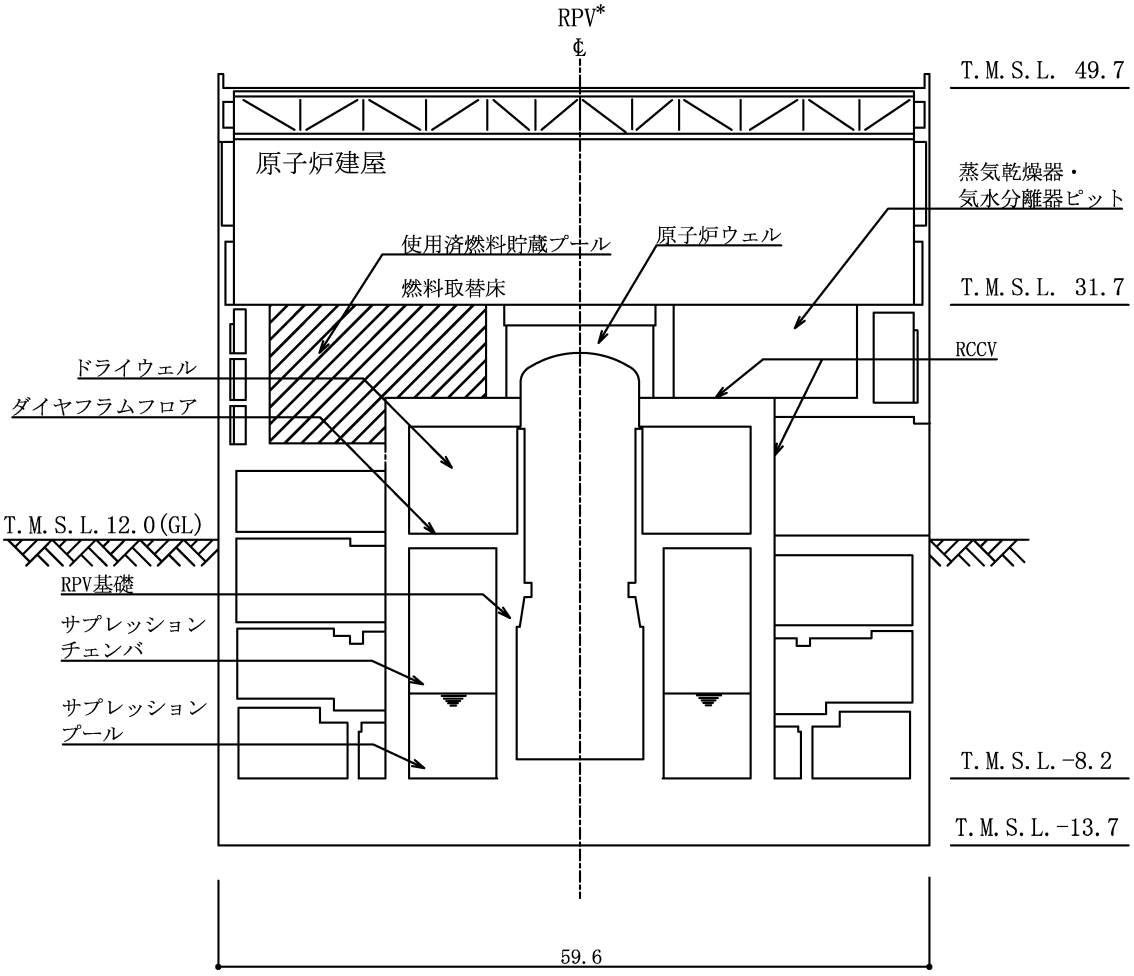


図 3－1－4　使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略平面図（T.M.S.L. 31.7m）

（単位：m）



注記＊：原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）

図 3－1－5　使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略断面図

（A-A 断面）（単位：m）

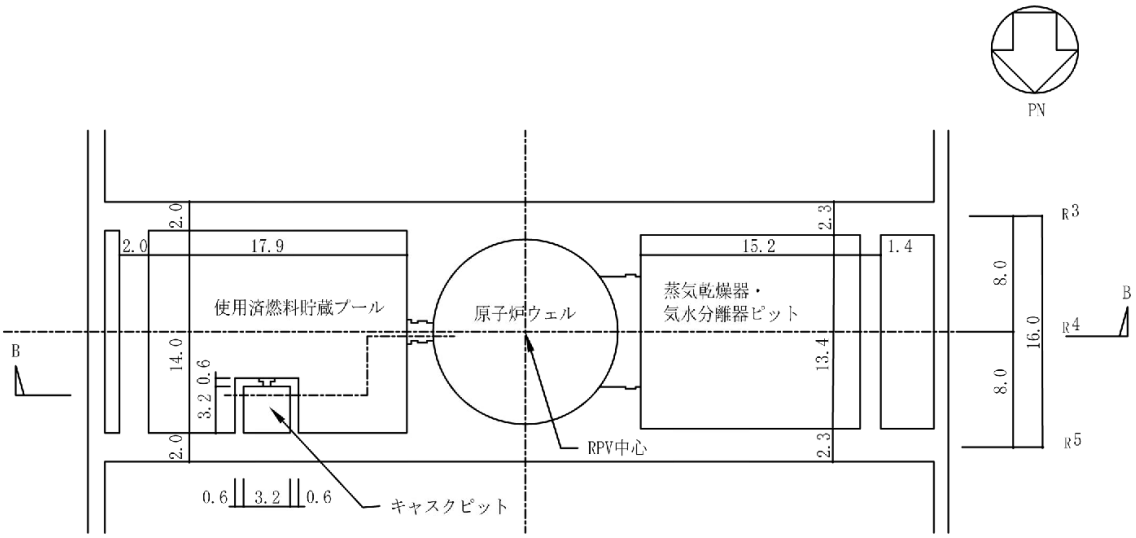


図 3－1－6　使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図（単位：m）

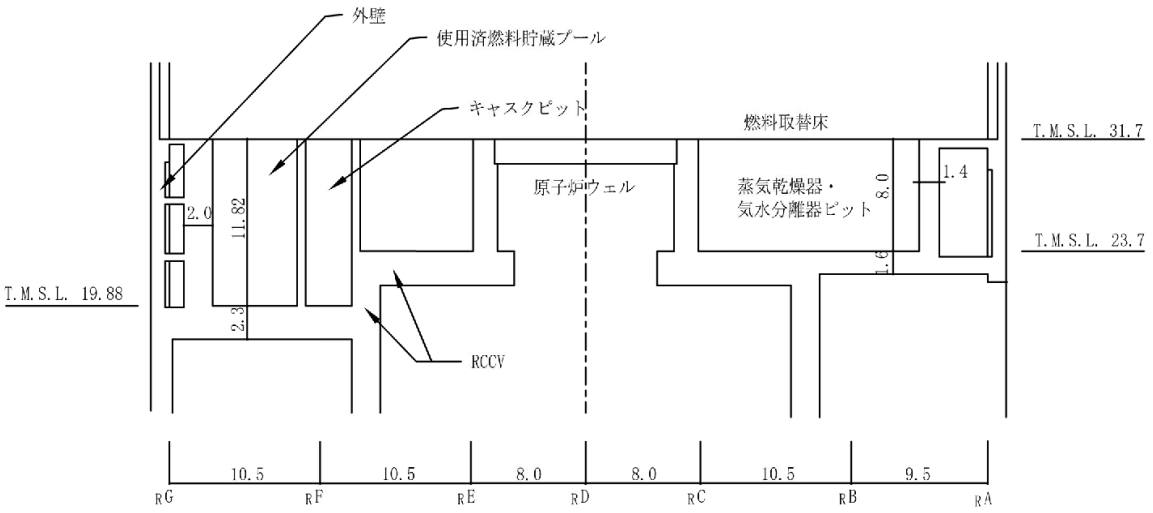
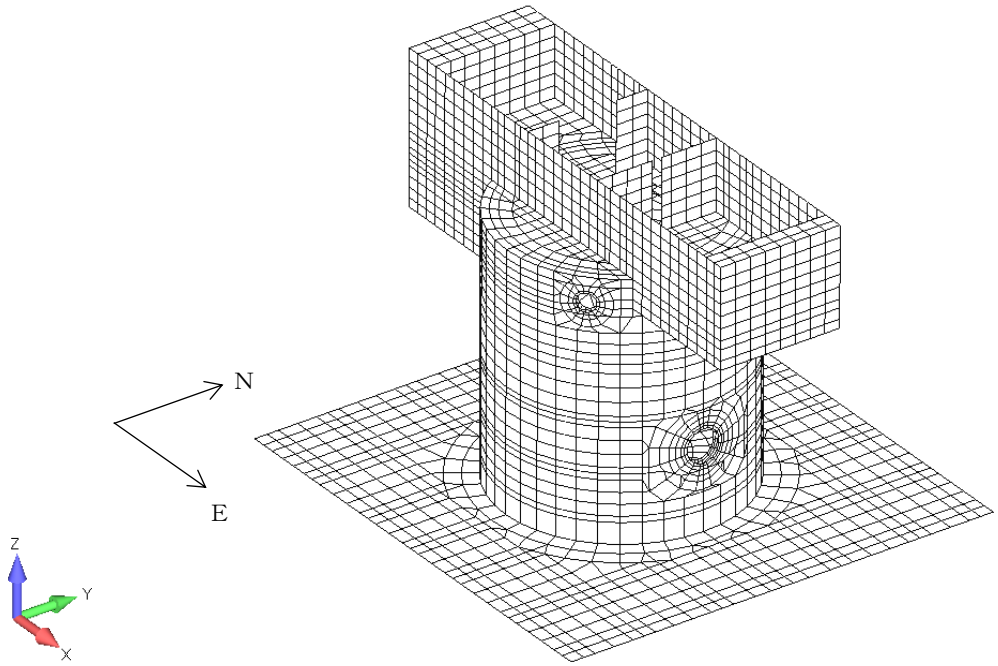
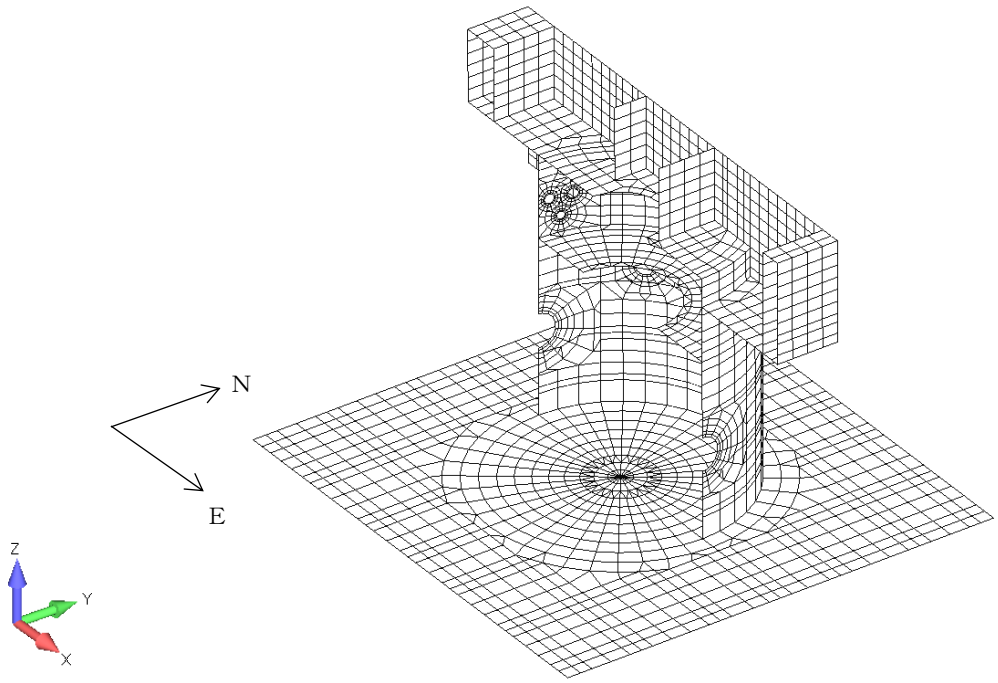


図 3－1－7　使用済燃料貯蔵プール周りの概略断面図
（B-B 断面）（単位：m）

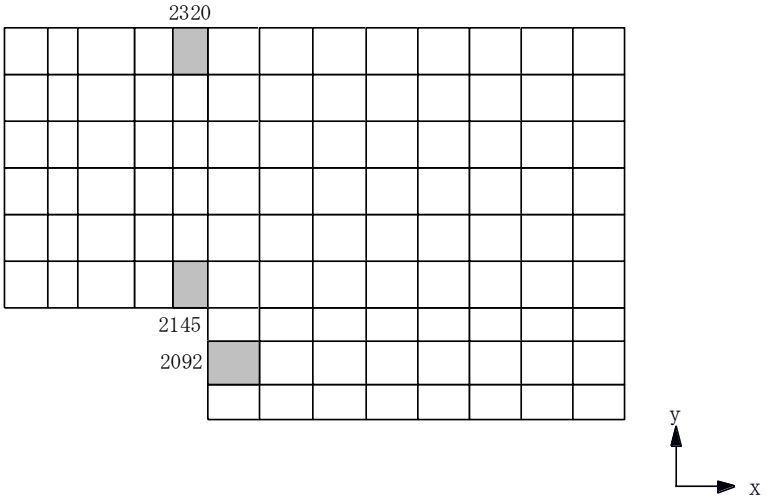


(a)　全体鳥瞰図

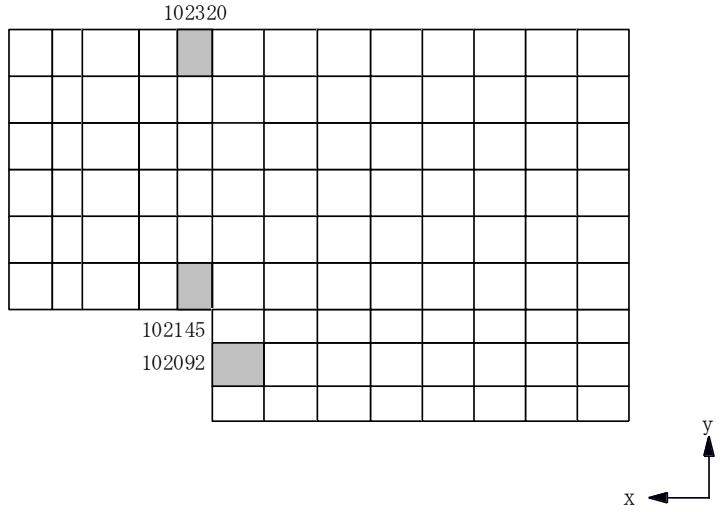


(b)　全体断面図（EW 方向断面）

図 3－1－8　解析モデル概要図

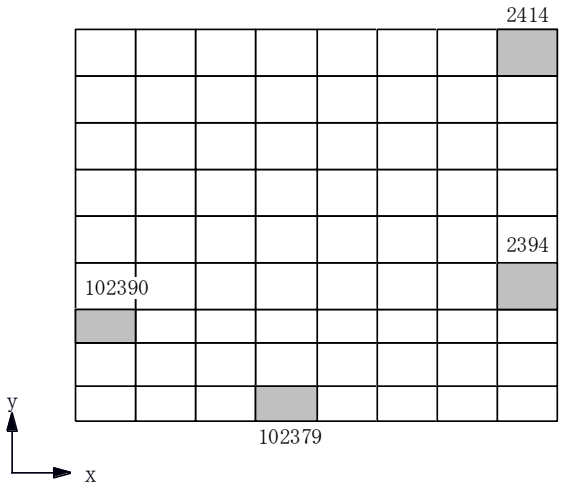


(a)　北側壁

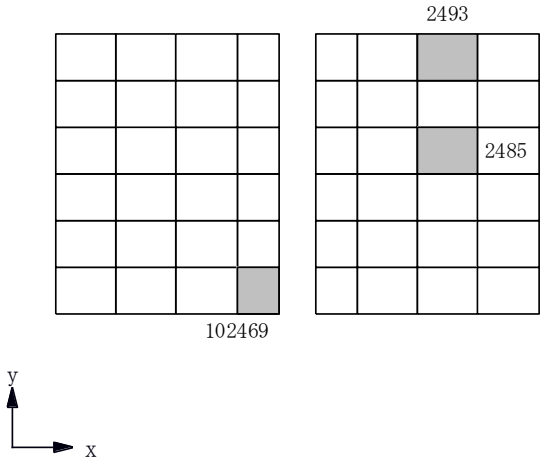


(b)　南側壁

図 3－1－9　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（水平 2 方向）（1/2）

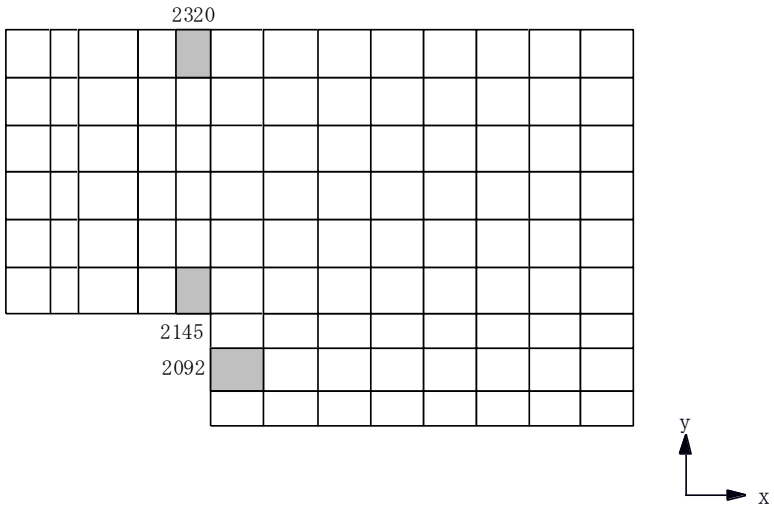


(c)　東側壁

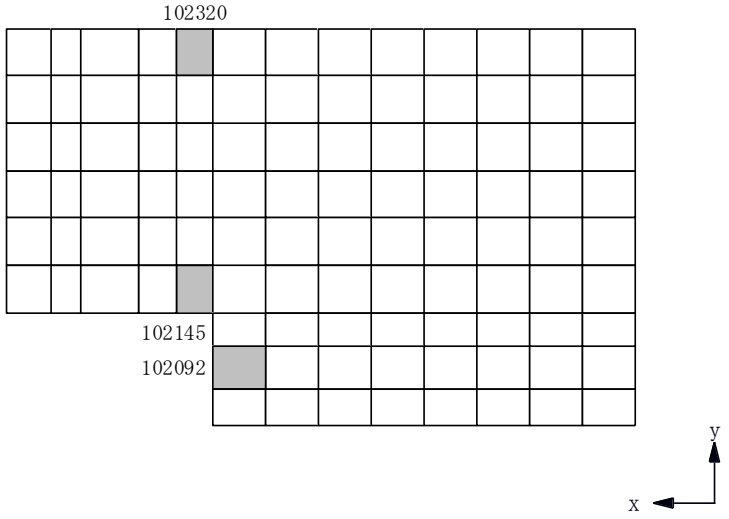


(d)　西側壁

図 3－1－9　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（水平 2 方向）（2/2）

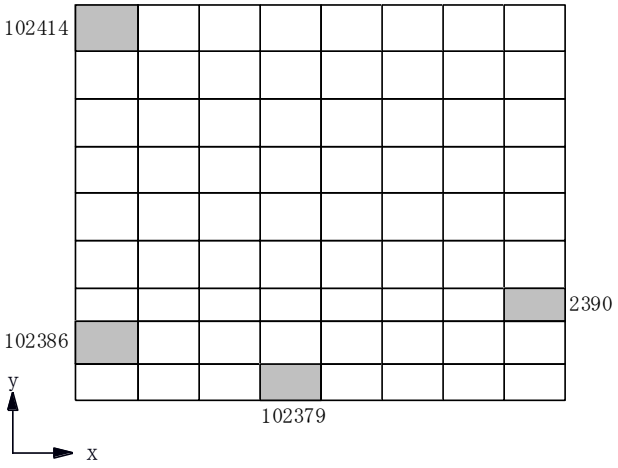


(a)　北側壁

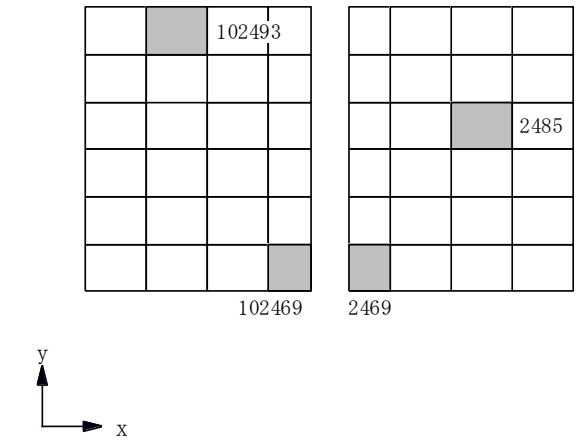


(b)　南側壁

図 3－1－10　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（水平１方向）（1/2）



(c)　東側壁



(d)　西側壁

図 3－1－10　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（水平 1 方向）（2/2）

表 3－1－11　使用済燃料貯蔵プールの壁の評価結果　Ｓｓ地震時（水平２方向）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
北側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	2145	5-10	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	水平	2320	5-15	0.549	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	2320	5-4	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2092	5-15	2.92	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	2145	5-9	0.966	1.96
南側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102145	5-14	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	水平	102320	5-16	0.548	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	102320	5-3	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	102092	5-16	2.91	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	102145	5-13	0.965	1.96
東側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102379	5-12	0.393	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102379	5-12	0.748	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	2414	5-14	1.22	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2394	5-10	1.00	3.74
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	102390	5-12	0.940	1.73
西側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102469	5-10	0.212	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102469	5-5	0.547	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	鉛直	102469	5-9	6.10	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2485	5-9	1.01	2.31
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	水平	2493	5-16	0.298	1.58

表 3－1－12　使用済燃料貯蔵プールの壁の評価結果　Ｓｓ地震時（水平１方向）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
北側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	2145	2-5	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	水平	2320	2-8	0.506	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	2320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2092	2-16	2.76	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	2145	2-5	0.914	2.08
南側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102145	2-7	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	水平	102320	2-8	0.504	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	102320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	102092	2-16	2.74	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	102145	2-7	0.912	2.08
東側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102379	2-6	0.391	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102379	2-6	0.742	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	水平	102414	2-5	1.13	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2390	2-5	1.00	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	鉛直	102386	2-6	0.926	1.75
西側壁	軸力＋曲げモーメント＋面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102469	2-5	0.207	3.00
		鉄筋引張ひずみ（$\times 10^{-3}$）	鉛直	102469	2-3	0.500	5.00
	軸力	圧縮応力度（N/mm^2）	鉛直	2469	2-7	5.90	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度（N/mm^2）	－	2485	2-5	0.974	2.33
	面外せん断力	面外せん断応力度（N/mm^2）	水平	102493	2-8	0.291	1.54

(3)　原子炉建屋の基礎スラブの評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として，直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である周辺部基礎について，評価を行う。

評価に当たっては，Ｓｓ地震時に対して，3 次元 FEM モデルの応力解析結果を用いた断面の評価について，許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については，Ⅴ-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」(以下「基礎スラブの耐震計算書」という。) に示すものと同一である。原子炉建屋基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図3－1－11及び図3－1－12に示す。

荷重の組合せは，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は，基礎スラブの耐震計算書の「4.3　許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデル図を図 3－1－13 に示す。解析モデルの詳細は，基礎スラブの耐震計算書の「4.4　解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

Ｓｓ地震時の応力は，基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1　応力解析方法」に示す，次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

ＤＬ	：死荷重及び活荷重
P_1	：運転時圧力
H_1	：逃がし安全弁作動時荷重
K_{sSN}*	：S→N 方向　Ｓｓ地震荷重
K_{sWE}*	：W→E 方向　Ｓｓ地震荷重
K_{sDU}*	：鉛直方向　Ｓｓ地震荷重
E_{sNS}	：NS 方向　Ｓｓ地震時土圧荷重
E_{sEW}	：EW 方向　Ｓｓ地震時土圧荷重

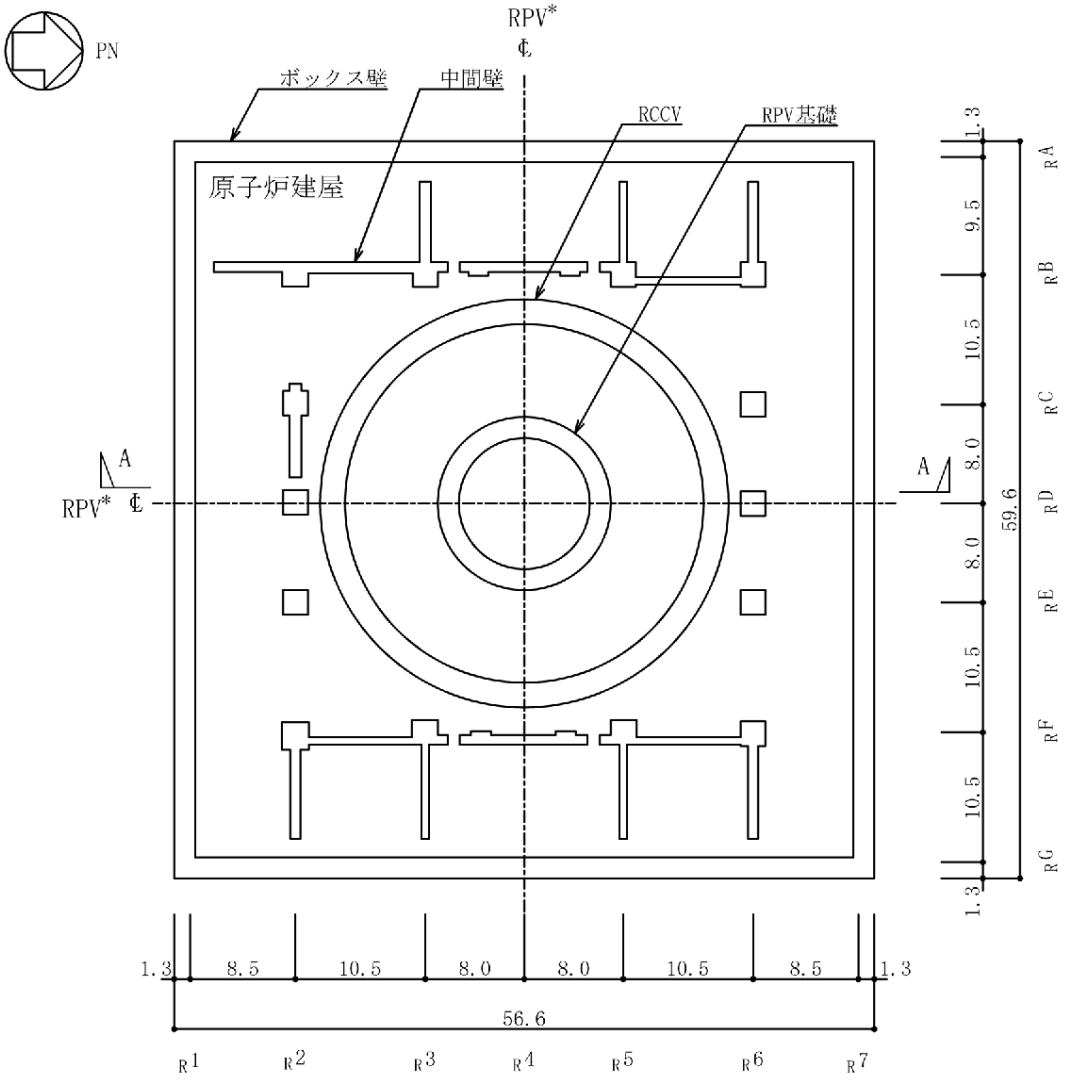
注記＊：計算上の座標軸を基準として，EW 方向は W→E 方向の加力，NS 方向は S→N 方向の加力，鉛直方向は上向きの加力を記載している。

断面の評価結果を以下に示す。断面の評価結果を記載する要素は，軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において，発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図3－1－14に，評価結果を表3－1－13に示す。

Ｓｓ地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて，水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると，水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり，一部最大となる要素が変わるものもあるが，軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコン

クリートのひずみ並びに面外せん断応力度が，各許容値を超えないことを確認した。



注記＊：原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）

図 3－1－11　原子炉建屋基礎スラブの概略平面図（T.M.S.L.-8.2m）（単位：m）

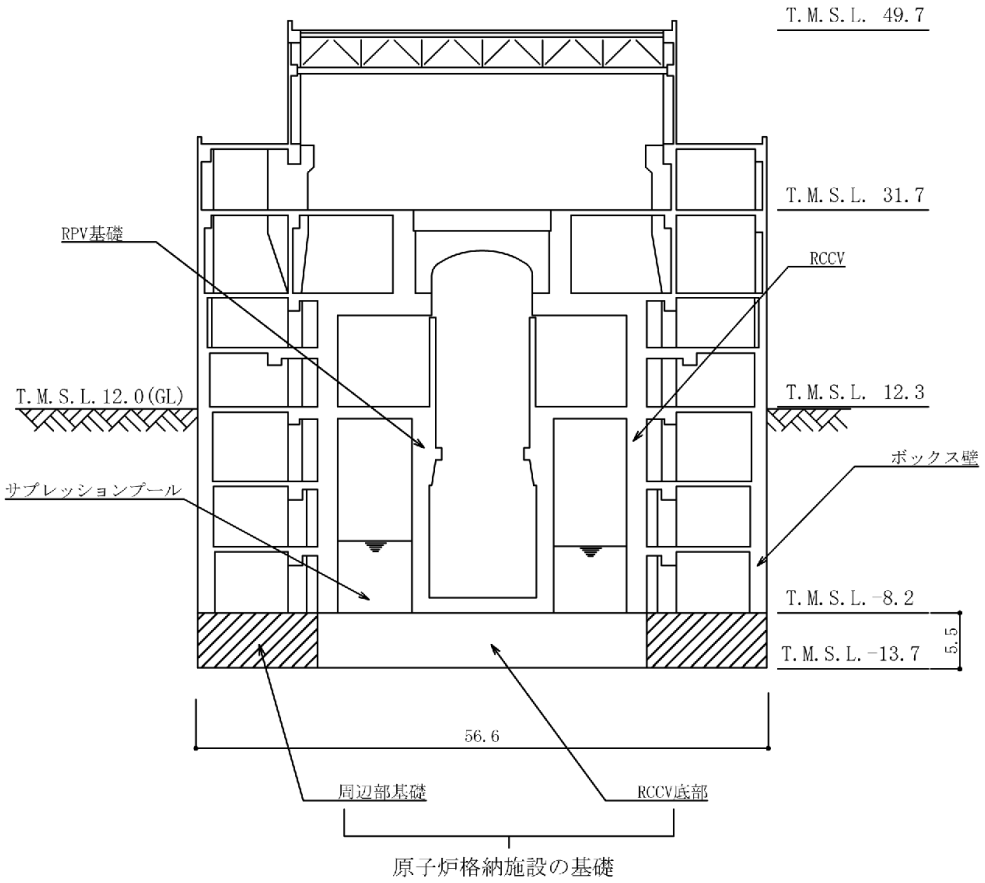
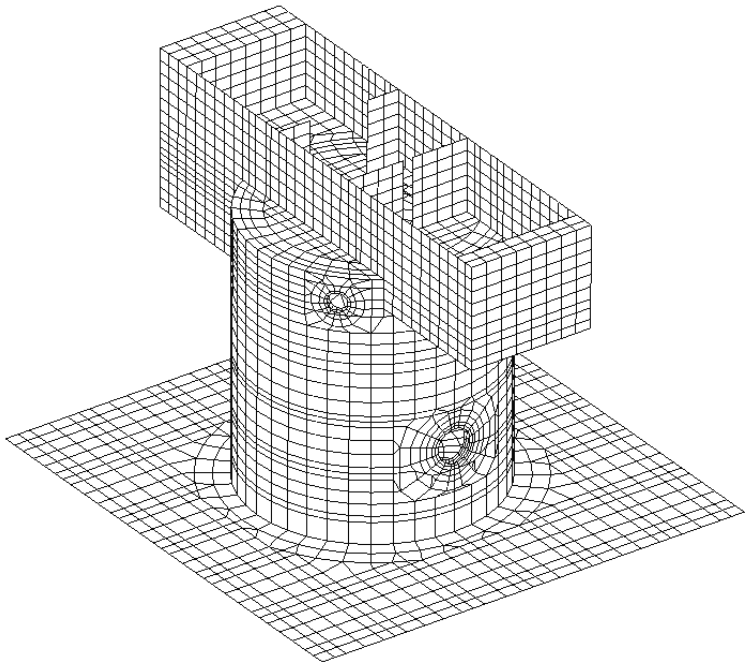
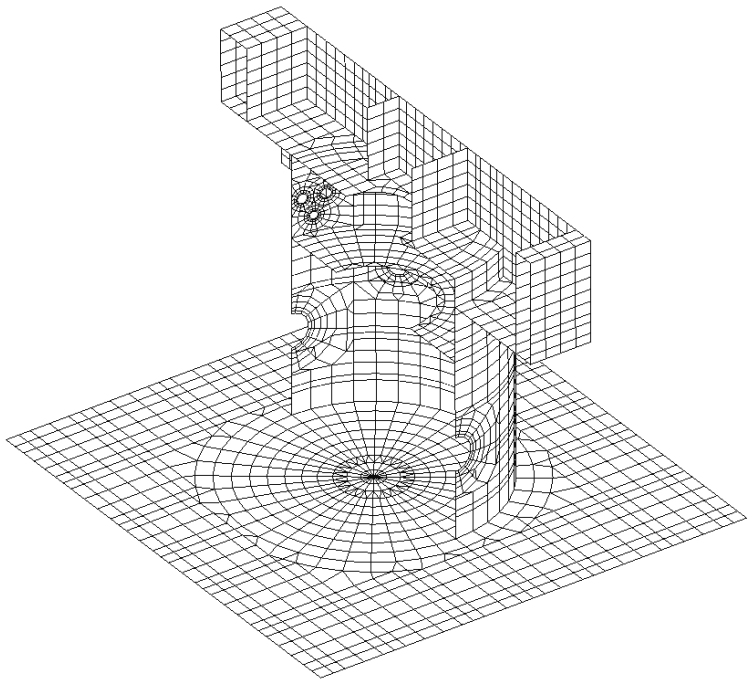


図 3－1－12　原子炉建屋基礎スラブの概略断面図（A-A 断面）（単位：m）

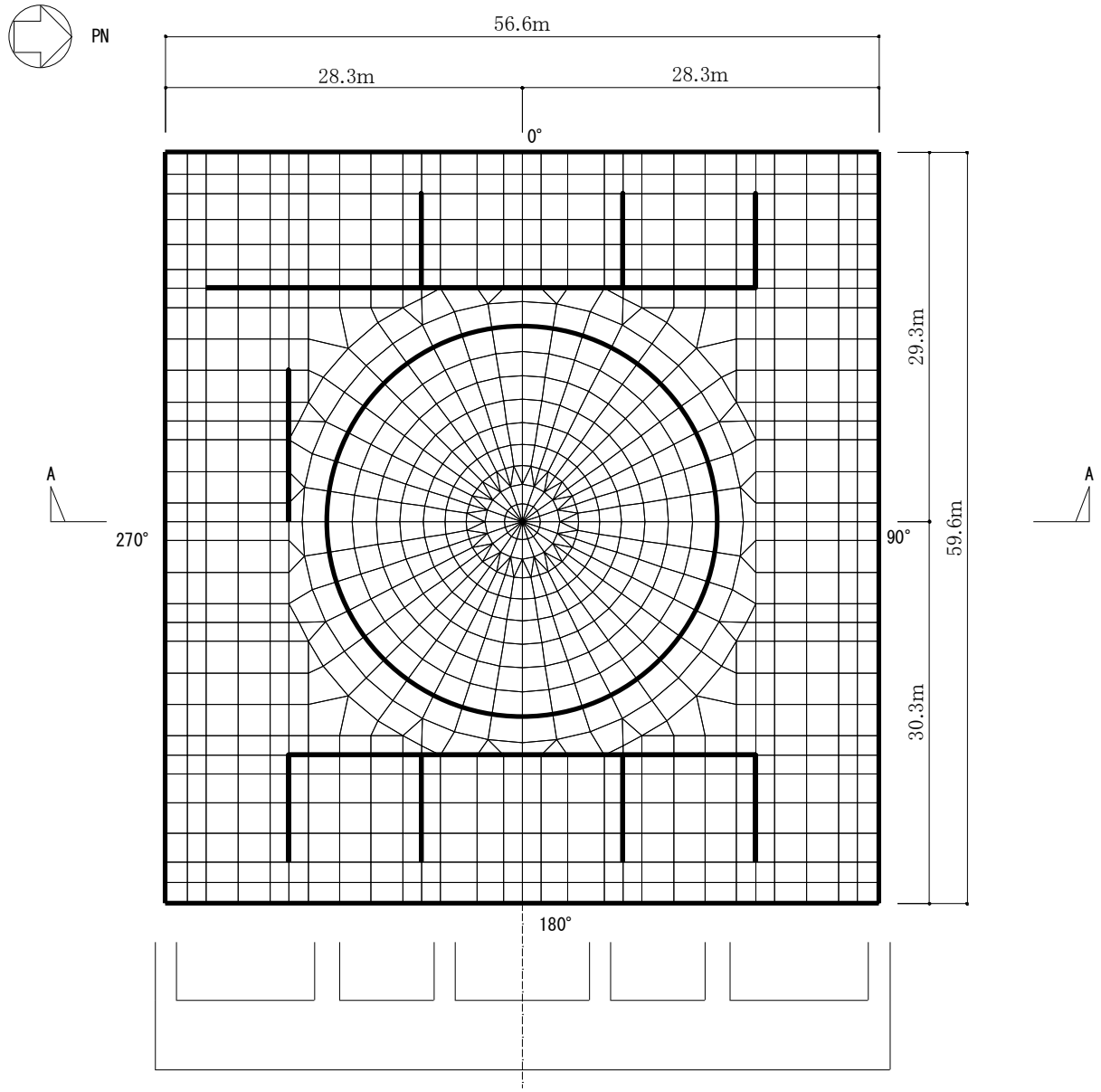


(a)　全体鳥瞰図



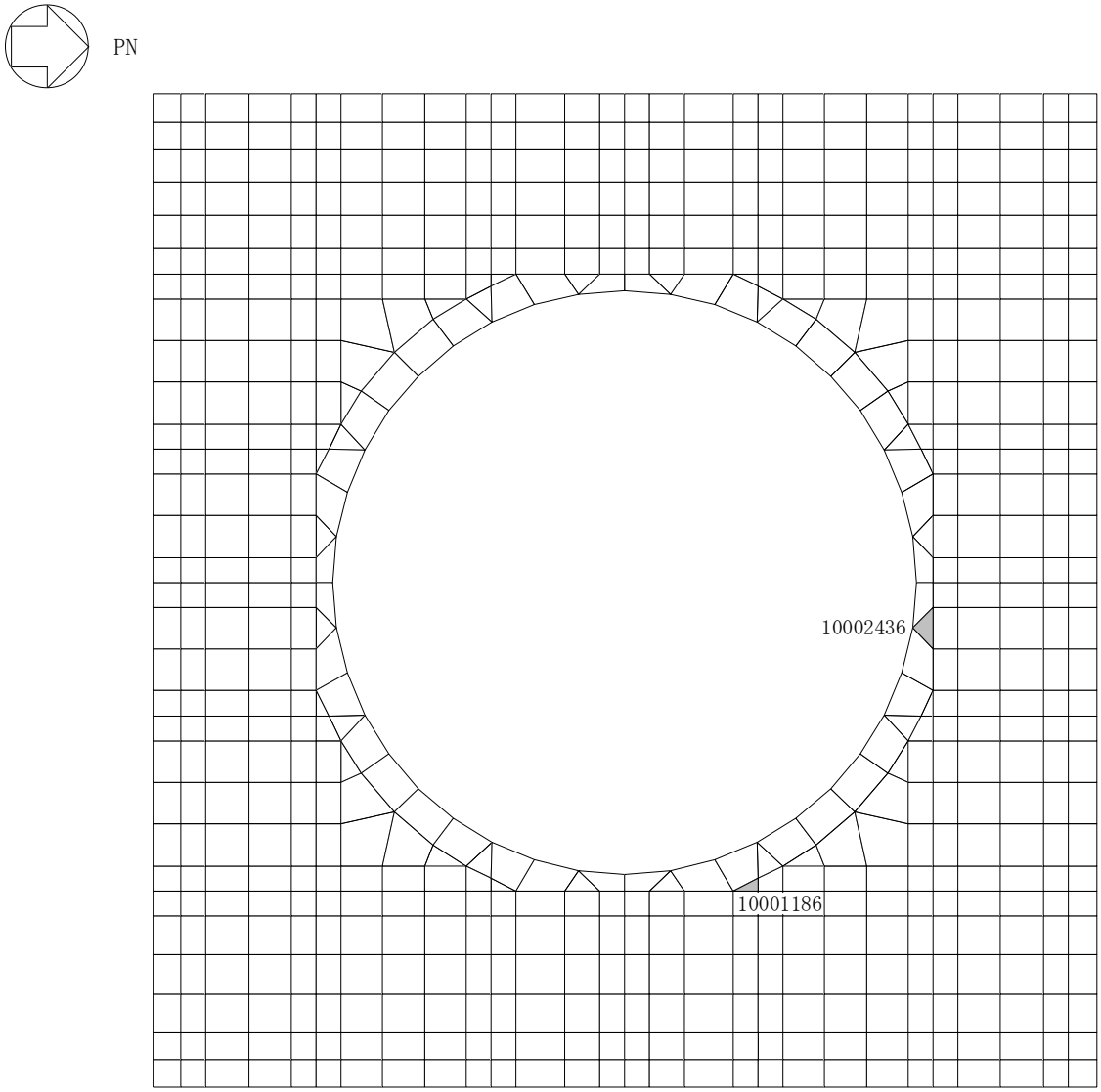
(b)　全体断面図

図 3－1－13　解析モデル（1/2）



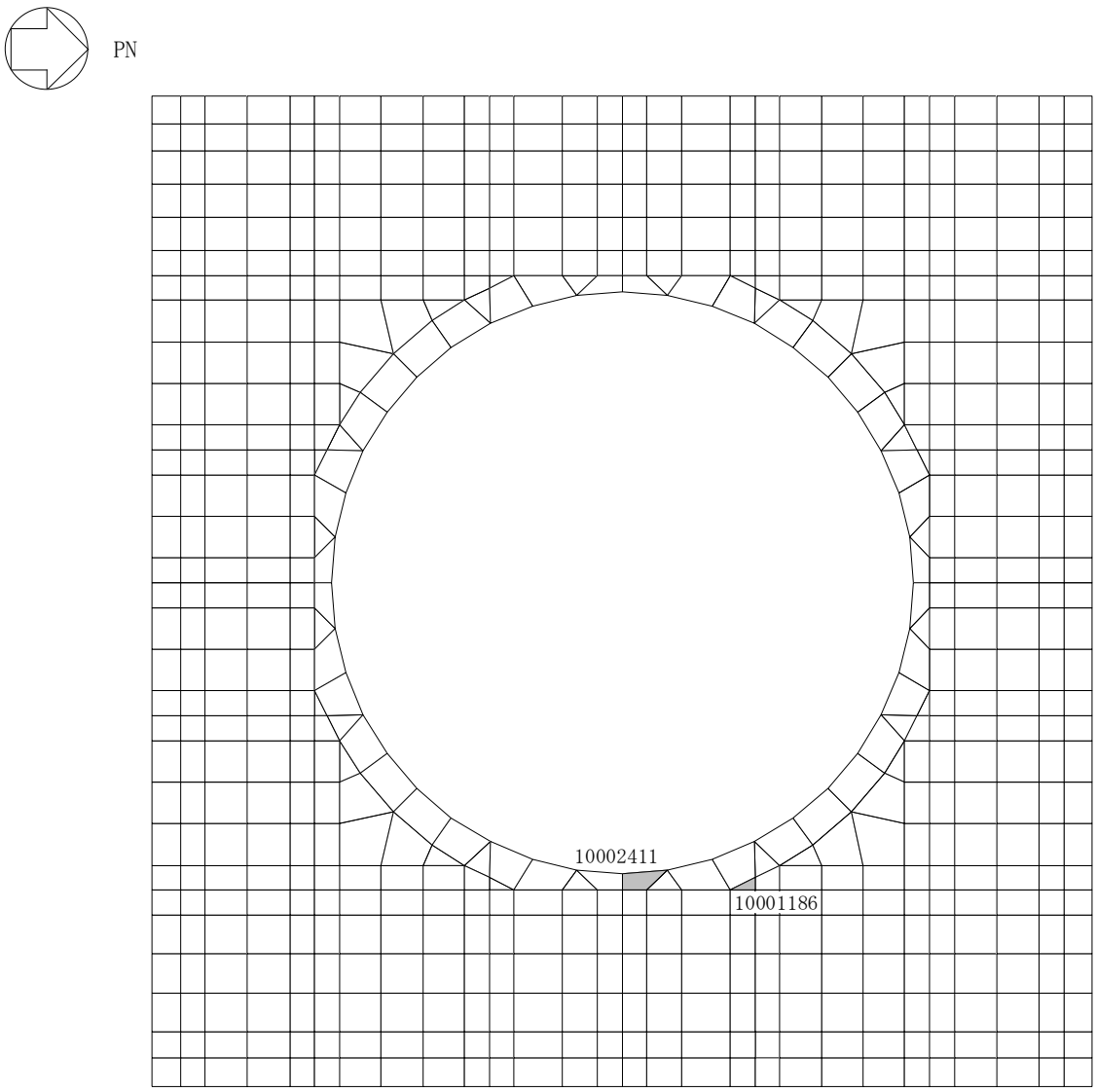
(c)　基礎スラブ要素分割図

図 3－1－13　解析モデル（2/2）



(a)　水平２方向

図３－１－14　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（1/2）



(b)　水平 1 方向

図 3－1－14　選定した要素の位置　Ｓｓ地震時（2/2）

表 3－1－13　周辺部基礎の評価結果　Ｓｓ地震時

(a)　水平 2 方向

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
軸力＋曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	3-1	0.277	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	3-1	0.238	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	10002436	3-1	2.46	3.01

(b)　水平 1 方向

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
軸力＋曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	2-1	0.264	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	2-1	0.228	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	10002411	2-2	2.36	3.01

3.2　機器・配管系

3.2.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を，表3－2－1に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位，応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を以下の項目より検討し，影響の可能性がある設備を抽出した。

(1)　水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて，更に水平直交方向に地震力が重畳した場合，水平2方向の地震力による影響を検討し，影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合は，水平2方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。なお，ここでの影響が軽微な設備とは，構造上の観点から発生応力への影響に着目し，その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが，水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については，個別に検討を行うこととする。

a.　水平2方向の地震力を受けた場合でも，その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置きの容器等は，水平2方向の地震力を想定した場合，水平1方向を拘束する構造であることや，水平各方向で振動性状及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより，特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため，水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても，同様の理由から水平1方向の地震力しか負担しないものを分類した。

b.　水平2方向の地震力を受けた場合，その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は，水平2方向の地震力を想定した場合，それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから，最大応力の発生箇所が異なり，水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても，同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり，水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

c.　水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震力による応力と同等と言えるもの

原子炉圧力容器スタビライザは，周方向8箇所を支持する構造で配置され，水平1方向の地震力を6体で支持する設計としており，水平2方向の地震力を想定した場合，地震力を負担する部位が増え，また，最大反力を受けもつ部位が異なることで，水平1方向の地震力による荷重と水平2方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり，水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等のものとして分類した。その他の設備についても，同様の理由から水平2方向の地震力を組み合わせても1方向の地震力による応力と同等と言えるものを分類した。

d.　従来評価において，保守性（水平2方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケットは，従来評価において，水平2方向地震を考慮した評価を行っているため，水平2方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他の設備についても，同様の理由から従来評価にて保守性を考慮しており，水平2方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器･配管系設備のうち,水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている設備は,評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方，3 次元的な広がりを持つ配管系等は，系全体として考えた場合，有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし，水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は，従来設計より 3 次元のモデル化を行っており，その振動モードは適切に考慮した評価としているため，この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)（2）において影響の可能性がある設備について，水平 2 方向の地震力が各方向 1：1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し，その増分により影響の程度を確認し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平1方向に対する水平2方向の地震力による発生値の増分の検討は，機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平2方向の地震力の組合せは米国Regulatory Guide 1.92の「2.Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮したSRSS法により組み合わせ，発生値の増分を算出する。増分の算出は，従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

・従来の評価データを用いた簡易的な算出では，地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせた後，地震以外による応力と組み合わせて算出する。

・設備（部位）によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため，上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは，水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。

・応答軸が明確な設備で，設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は，耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

3.2.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項及び 3.3 項における建物・構築物及び屋外重要土木構造物の影響評価において機

器・配管系への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

3.2.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.1項で検討した，水平2方向の地震力が重畳する観点，水平方向とその直行方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点，水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力増分の観点で，水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出した結果を表3-2-2に示す。

3.2.4　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.2.1項の観点から抽出される設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せは，米国Regulatory Guide 1.92の「2.Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮したSRSS法を適用する。

(1)　従来評価データを用いた算出

従来の水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて，以下の条件により水平2方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は，水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
・水平1方向と鉛直方向の地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を各方向で算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。
・水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を算出している設備は，鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合せて水平2方向を考慮した発生値の算出を行う。

また，算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

・発生値が地震以外の応力成分を含む場合，地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

3.2.5　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

3.2.1項の観点から3.2.3項で抽出した以下の設備に対して，3.2.4項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備（部位）毎に以下に示し，その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表3-2-3に示す。

a. 燃料集合体　燃料被覆管

従来設計では，地震応答解析により算定される水平各方向の最大応答変位及び最大応答加速度を用いた応力解析により評価部位の応力比を算定し，評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は，NS，EW 各方向の最大応答変位及び最大応答加速度をベクトル和により組み合わせた変位及び加速度を用いた応力解析により設計比を算定し，許容値を満足することを確認した。

b. 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)　ケーシング側付根 R 部

従来設計では，地震応答解析により算定される水平各方向の地震荷重を用いた発生値を算定し，評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は，水平 2 方向及び鉛直方向地震荷重を SRSS 法で組み合わせた一次＋二次応力が許容応力を上回ることから，簡易弾塑性解析により疲労累積係数を算定し，許容値を満足することを確認した。

c. ダイヤフラムフロア　鉄筋コンクリートスラブ放射方向

従来設計では，地震応答解析により算定される水平各方向の地震荷重を用いた発生値を算定し，評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は，従来の水平方向地震荷重を$\sqrt{2}$倍し，水平 2 方向を考慮した配管反力及びその他荷重と組み合わせることで算定し，許容値を満足することを確認した。

d. 静的触媒式水素再結合器　本体

従来設計では，水平各方向の最大応答加速度を用いた発生値を算定し，評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる発生値は，上記発生値を SRSS 法により組み合わせることで算定し，許容値を満足することを確認した。

e. 制御棒挿入性

従来設計では，地震応答解析により算定される水平各方向の最大相対変位を用いて評価を実施している。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価は，基準地震動毎に水平各方向の最大相対変位をベクトル和で組み合わせて算定した最大相対変位が機能確認済相対変位を満足することを確認した。

3.2.6 まとめ

機器・配管系において，水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について，従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果，従来設計の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し，設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は，水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため，従来設計の発生値をそのまま用いて水平2方向

及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており,以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

・従来設計の発生値（水平 1 方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ）に対して，係数（√2）を乗じて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため，係数を乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。

・従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平 2 方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力については，機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（1/11）

設備		部位
燃料集合体		燃料被覆管
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴上端 上部胴下端 下部胴上端
		炉心支持板支持面
	シュラウドサポート	レグ
		シリンダ プレート 下部胴
	上部格子板	リム胴板
		グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム 支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具
	制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部
原子炉圧力容器本体	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット
		蒸気乾燥器支持ブラケット
		給水スパージャブラケット 低圧注水スパージャブラケット
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器スカート	スカート
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト
原子炉圧力容器本体	胴板 下部鏡板	胴板 スカート付根部 球殻部
		球殻部と円錐部の接続部 ナックル部 ナックル部と円筒胴部の接続部
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ
		ハウジング 下部鏡板リガメント
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	ケーシング側付根 R 部 RIP ノズル溶接部 スタブと下部鏡板の接続部
		貫通孔スタブ

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（2/11）

設備		部位
原子炉圧力容器本体	主蒸気ノズル(N3) 給水ノズル(N4) 低圧注水ノズル(N6) 上蓋スプレイ・ベントノズル(N7) 原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8, N10) 計装ノズル(N12) 計装ノズル(N13) 計装ノズル(N14) ドレンノズル(N15) 高圧炉心注水ノズル(N16)	各部位
	原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル(N9) 炉心支持板差圧検出ノズル(N11)	ノズル
		肉盛溶接部
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング
	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート
		耐震用ブロックせん断面Ａ
		耐震用ブロック支圧面Ａ
		耐震用ブロック支圧面Ｂ
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位
	給水スパージャ 高圧炉心注水スパージャ 低圧注水スパージャ 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）	各部位
制御棒・破損燃料貯蔵ラック		ラック
		サポート 基礎ボルト（サポート部）
		基礎ボルト（底部）
使用済燃料貯蔵ラック		角管及びプレート シートプレート及びベース
		基礎ボルト

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（3/11）

設備	部位
使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA)	架構
	基礎ボルト
	サポート（上部）
	サポート（下部）
使用済燃料貯蔵プール水位・温度（SA 広域）	検出器
	検出器架台（基礎ボルト）
	検出器架台（部材）
	検出器サポート（上部）
	検出器サポート（下部）
監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
	カメラ架台
使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置	基礎ボルト
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト
横置円筒形容器	胴板
	脚
	基礎ボルト
横置円筒形容器 （原子炉補機冷却水系熱交換器）	胴板
	脚
	アンカボルト

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（4/11）

設備	部位
配管本体，サポート （多質点梁モデル解析）	配管本体
	サポート
ダクト本体，サポート	ダクト本体（矩形）
	ダクト本体（円形）
	サポート
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト
アキュムレータ	胴板
	脚
立形ポンプ（ピットバレル形ポンプ）	コラムパイプ バレルケーシング
	基礎ボルト 取付ボルト
立形ポンプ（立形斜流ポンプ）	コラムパイプ
	基礎ボルト 取付ボルト
ECCS ストレーナ	各部位（フランジ，取付ボルト以外）
	フランジ
	ストレーナ取付部ボルト
ECCS ストレーナ部ティー	ティー
ECCS ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ フランジ
スカート支持たて置円筒形容器	胴板
	スカート
	基礎ボルト
平底たて置円筒形容器	胴板
	基礎ボルト

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（5/11）

設備	部位
平底たて置円筒形容器 （第一ガスタービン発電機用燃料小出し槽）	胴板
	取付ボルト
	架台取付ボルト
ラグ支持たて置き円筒容器	胴板
	ラグ
	取付ボルト
伝送器（矩形床置）	基礎ボルト 取付ボルト
伝送器（矩形壁掛）	基礎ボルト 取付ボルト
伝送器（円形吊下）	取付ボルト
伝送器（円形壁掛）	取付ボルト
伝送器（サポート鋼材固定）	基礎ボルト 取付ボルト
	溶接部
制御棒駆動機構	スプールピース最小断面
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
核計装設備	各部位
電気盤（矩形床置）	基礎ボルト 取付ボルト
電気盤（矩形壁掛）	基礎ボルト 取付ボルト
通信連絡設備（床置アンテナ）	基礎ボルト
通信連絡設備（壁掛アンテナ）	基礎ボルト
通信連絡設備（パラボラアンテナ）	基礎ボルト
静的触媒式水素再結合器動作監視装置	基礎ボルト

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（6/11）

設備		部位
配管遮蔽		架台
		基礎ボルト
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ		ブレース
		ベース取付溶接部
		取付ボルト
原子炉格納容器	原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート
		ライナアンカ
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板	鏡板 鏡板のスリーブとの結合部 スリーブのフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート
		下部サポートパイプ
		ベアリングプレート ガセットプレート
		基礎ボルト
		コンクリート部

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（7/11）

設備		部位
原子炉格納容器	上部ドライウェル機器搬入用ハッチ サプレッションチェンバ出入口 上部ドライウェル所員用エアロック	円筒胴
		円筒胴のフランジプレートとの結合部
		フランジプレート
		ガセットプレート
		コンクリート部
	下部ドライウェル機器搬入用ハッチ 下部ドライウェル所員用エアロック	円筒胴
		円筒胴の鏡板との結合部
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ
		スリーブのフランジプレートとの結合部 端板
		フランジプレート ガセットプレート
		コンクリート部
	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ
		スリーブのフランジプレートとの結合部
		フランジプレート ガセットプレート
		コンクリート部
真空破壊弁		真空破壊弁パイプ
ダイヤフラムフロア		鉄筋コンクリートスラブ放射方向 鉄筋コンクリートスラブ円周方向
		鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時水平力伝達用シアプレート) 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部(地震時鉛直力伝達用シアプレート) 原子炉本体基礎接合部 (地震時水平力伝達用シアプレート)
		原子炉本体基礎接合部(半径方向水平力伝達用頭付きスタッド)

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（8/11）

設備	部位
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバスプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管
静的触媒式水素再結合器	本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
下部ドライウェルアクセストンネル	各部位
コリウムシールド	補強フレーム 縦材 水平材
	ガセットプレート
	ベースプレート
	アンカーボルト
	水平プレート
	鋼棒
	ボルト
遠隔手動操作設備	等速ジョイント
	ヘリカルパワードライブ取付ボルト
	ベアリングユニット取付ボルト
	基礎ボルト
遠隔手動弁操作設備遮蔽	架台
	基礎ボルト

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（9/11）

設備	部位
燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置	外梁
	ガイドレール 閂ピン
	ハンガーレール
	テーパブロック取付ボルト
	チェーン
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト
ガスタービン発電機	転倒評価
	取付ボルト
	発電機車フレーム
	制御車フレーム
	取付部上部（リンク機構）
	水平部材（リンク機構）
	下部取付ボルト（リンク機構）
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト
止水堰 （鋼板組合せ堰）	止水板
	梁材
	床アンカーボルト
	壁アンカーボルト
止水堰 （Ｌ型鋼製堰，鋼製落し込み型堰）	鋼製板
	アンカーボルト
止水堰 （鉄筋コンクリート製堰）	アンカーボルト及びアンカー筋
	縦筋
	堰底部のコンクリート

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（10/11）

設備	部位
床ドレンライン浸水防止治具 （フロート式治具）	弁本体
	フロートガイド
床ドレンライン浸水防止治具 （スプリング式治具）	本体・ガイド
	ばねガイド
	弁体
貫通部止水処置（モルタル）	モルタル
貫通部止水処置（鉄板）	鉄板
	配管と鉄板との溶接部
	鉄板とスリーブとの溶接部
貫通部止水処置（フラップゲート）	フラップゲートの 固定ボルト
貫通部止水処置（ケーブルトレイ金属ボックス）	ケーブルトレイ金属ボックスの固定ボルト
ボンベラック	ボンベラック
	溶接部
原子炉本体基礎	円筒部（内筒） 円筒部（外筒）
	たてリブ
	アンカボルト
	ベアリングプレート
	ブラケット部
竜巻防護設備	アンカボルト
	鋼板
	架構

表 3－2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（11/11）

設備	部位
中央制御室天井照明	溝形鋼
	ボックス鋼
	CS チャンネル
	取付ボルト
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	脱線防止ラグ
	トロリストッパ
	トロリ
	吊具
燃料取替機	構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)
	吊具
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部
耐火隔壁	フレーム部材
	基礎ボルト

表 3－2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（基準地震動Ｓｓ）

（凡例）○：影響の可能性あり
△：影響軽微

(1)　構造強度評価

設備（機種）及び部位	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1 項(1)水平 2 方向の地震力が重畳する観点及び(2)の観点水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点	3.2.1 項(3)水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
燃料集合体	○	○	影響評価結果は表 3－2－3 参照。
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)＊	△	○	影響評価結果は表 3－2－3 参照。
低圧注水ノズル(N6)	○	△	従来評価における設計荷重が，水平 2 方向の地震力を考慮した荷重を包絡する。
原子炉停止時冷却材出口ノズル(N8)	○	△	従来評価における設計荷重が，水平 2 方向の地震力を考慮した荷重を包絡する。
ダイヤフラムフロア＊	△	○	影響評価結果は表 3－2－3 参照。
静的触媒式水素再結合器	○	○	影響評価結果は表 3－2－3 参照。

注記＊　：水平 1 方向及び鉛直方向地震力による裕度（許容値／発生値）が 1.1 未満の設備（機種）及び部位。

（凡例）○：影響の可能性あり
△：影響軽微

(2)　機能維持評価

設備（機種）及び部位	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1 項(1)水平 2 方向の地震力が重畳する観点及び(2)の観点水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点	3.2.1 項(3)水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
制御棒挿入性	○	○	影響評価結果は表 3－2－3 参照。

表3－2－3　水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果（基準地震動Ｓｓ）

(1)　構造強度評価

評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性						備考
	評価部位	応力分類	1方向入力 発生値	2方向想定 発生値	許容値	判定	
燃料集合体	燃料被覆管	一次＋二次応力	0.76 (設計比)	0.81 (設計比)	1	○	単位：なし
原子炉冷却材再循環 ポンプ貫通孔(N1)	ケーシング側付根 R部	一次＋二次応力	532	0.692* (疲労累積係数)	552	○	単位：MPa
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリート スラブ放射方向	面外せん断力	1936	1945	2108	○	単位：N/mm
静的触媒水素再結合器	本体	一次応力（組合せ）	126	157	171	○	単位：MPa

注記＊　：2方向想定発生値（一次＋二次応力）が許容応力を上回ることから，簡易弾塑性解析による疲労累積係数が許容値を満たすことを確認。

(2)　機能維持評価

評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				備考
	1方向入力 相対変位	2方向想定 相対変位	確認済相対変位	判定	
制御棒挿入性	31.6	35.2	約40	○	単位：mm

3.3　屋外重要土木構造物

3.3.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1)　構造形式の分類

図3－3－1に屋外重要土木構造物の配置図を示す。

屋外重要土木構造物は，その構造形式より1)海水貯留堰，取水護岸，取水路，燃料移送系配管ダクトのような線状構造物，2)取水路（立坑部），補機冷却用海水取水路（立坑部）のような立坑構造物，3)スクリーン室，補機冷却用海水取水路，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような妻壁を有する箱型構造物，4)軽油タンク基礎，第一ガスタービン発電機基礎のような版基礎，5)軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト，第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような鋼管杭基礎，6)非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板のような壁構造物の６つに大別される。

屋外重要土木構造物の構造形式を表3－3－1に示す。

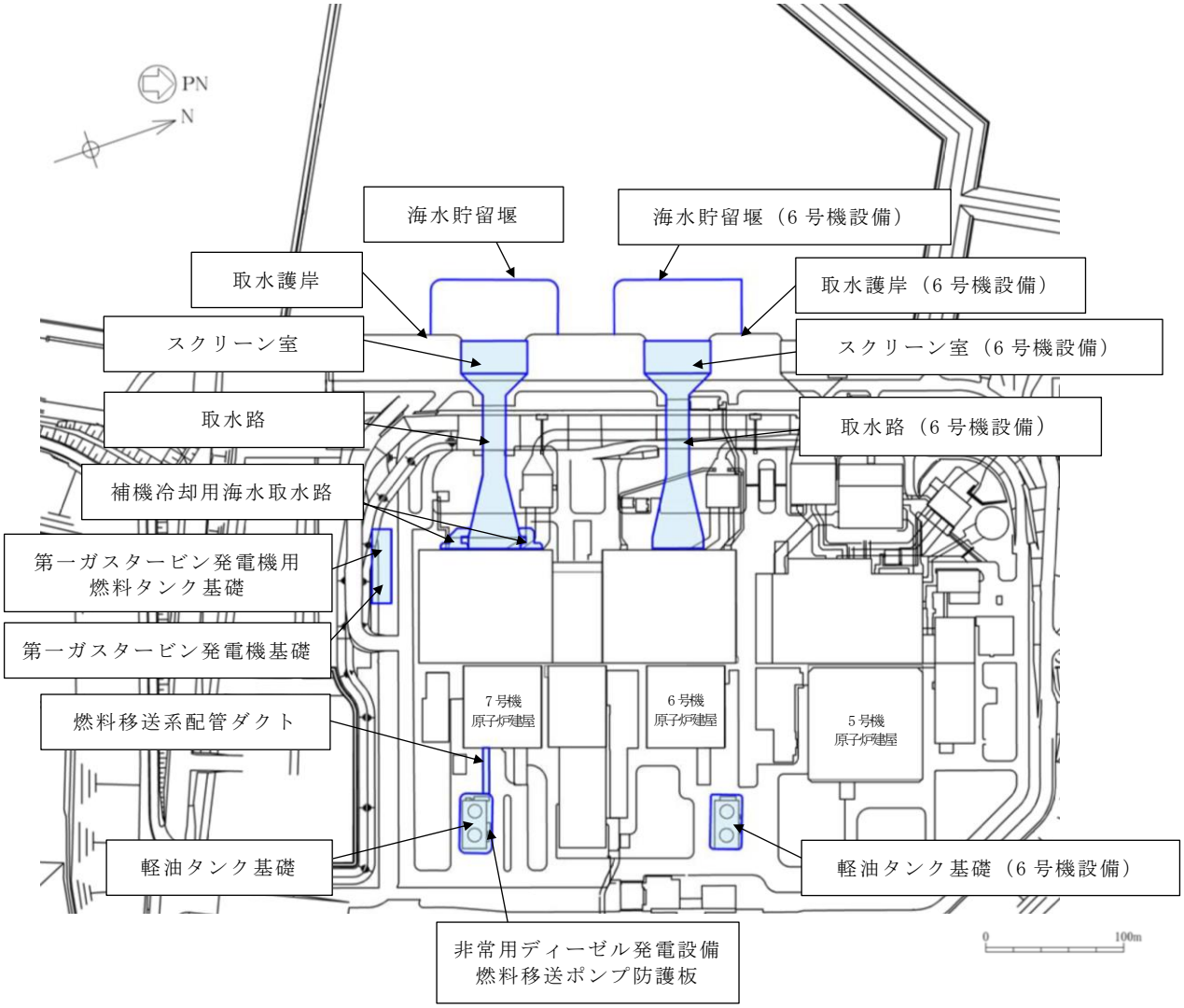


図 3－3－1　屋外重要土木構造物配置図

表3－3－1　屋外重要土木構造物の構造形式

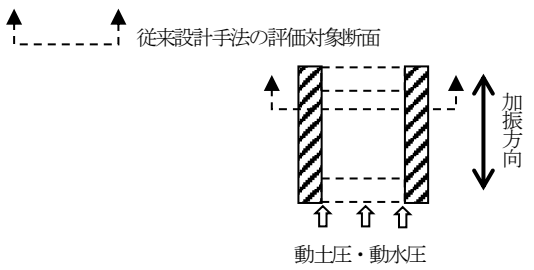
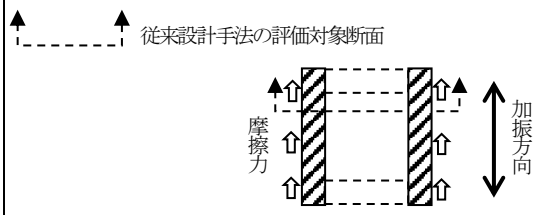
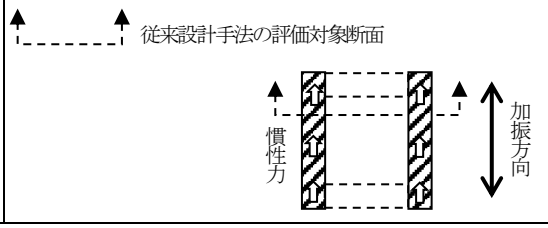
対象構造物		構造形式					
		1)線状構造物	2)立坑構造物	3)箱型構造物	4)版基礎	5)鋼管杭基礎	6)壁構造物
屋外重要土木構造物	海水貯留堰	○					
	取水護岸	○					
	スクリーン室			○			
	取水路	○	○				
	補機冷却用海水取水路		○	○			
	軽油タンク基礎（鉄筋コンクリート）				○		
	軽油タンク基礎（鋼管杭）					○	
	燃料移送系配管ダクト(鉄筋コンクリート)	○					
	燃料移送系配管ダクト（鋼管杭）					○	
	第一ガスタービン発電機基礎(鉄筋コンクリート)				○		
	第一ガスタービン発電機基礎(鋼管杭)					○	
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（鉄筋コンクリート）			○			
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（鋼管杭）					○	
	海水貯留堰（6号機設備）	○					
	取水護岸（6号機設備）	○					
	スクリーン室（6号機設備）			○			
	取水路（6号機設備）	○	○				
	軽油タンク基礎（6号機設備）（鉄筋コンクリート）				○		
	軽油タンク基礎（6号機設備）（鋼管杭）					○	
＊1	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板						○

注記＊1　：波及的影響防止のために耐震評価を行う土木構造物。

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表3－3－2に従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として，動土圧及び動水圧，摩擦力，慣性力が挙げられる。

表3－3－2　従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して，平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力	

注：　作用荷重のイメージ図は平面図を示す。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表3－3－3に，3.3.1(1)で整理した構造形式ごとに，3.3.1(2)で整理した荷重作用による影響程度を示す。

評価対象構造物のうち1)線状構造物，2)立坑構造物，3)箱型構造物の地震時の挙動は，躯体が主に地中に埋設されることから，周辺地盤の挙動に大きく影響される。3.3.1(2)で整理した荷重のうち②摩擦力や③慣性力は，①動土圧及び動水圧と比較するとその影響は小さいことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では，①動土圧及び動水圧による影響を考慮する。評価対象構造物のうち4)版基礎，5)鋼管杭基礎の地震時の挙動は，①動土圧及び動水圧による影響に加え，③慣性力に起因する上部工及び上載する機器等からの荷重に影響されることから，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では，①動土圧及び動水圧及び③慣性力による影響を考慮する。

線状構造物については，その構造上の特徴として，妻壁（評価対象断面に対して平行に配置される壁部材）等を有さない若しくは妻壁（小口）の面積が小さいことから，従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧は作用しない。

立坑構造物は，その構造形状の特徴として表3－3－3に示すように従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧が作用する。

箱型構造物は，妻壁等を有することから，従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧が作用する。

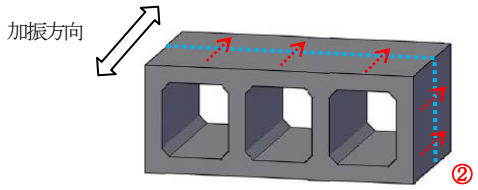
版基礎は，その構造形状の特徴として表3－3－3に示すように従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧が作用するとともに，③慣性力に起因する上部工及び上載する機器等からの荷重が作用する。

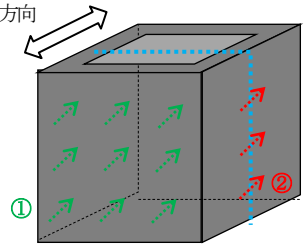
鋼管杭基礎については，互いに直交する断面に対して①動土圧及び動水圧による荷重が作用し，また，上部工との接合面に③慣性力に起因する上部工及び上載する機器等から伝わる荷重が作用する。

評価対象構造物のうち6)壁構造物は，地上構造物であることから，3.3.1(2)で整理した荷重のうち③慣性力による影響を考慮する。

以上のことから，荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として，地中埋設構造物のうち，従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①動土圧及び動水圧が作用する立坑構造物，箱型構造物を抽出する。また，①動土圧及び動水圧並びに③慣性力に起因する上部工及び上載する機器等から伝わる荷重が作用する版基礎及び鋼管杭基礎を抽出する。さらに，地上構造物である壁構造物も慣性力による影響が想定されるため，荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として抽出する。

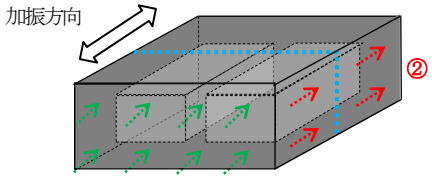
表3－3－3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出(1/3)

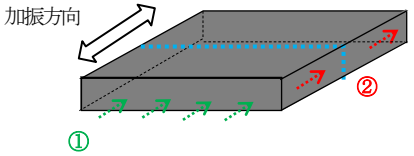
<table>
<tr><td>3.3.1(1)で整理した構造形式の分類（対象構造物）</td><td colspan="2">1)線状構造物
海水貯留堰，取水護岸，取水路，燃料移送系配管ダクト（鉄筋コンクリート）</td><td colspan="2">2)立坑構造物
取水路（立坑部），補機冷却用海水取水路（立坑部）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">3.3.1(2)で整理した荷重の作用状況</td><td colspan="2">従来設計手法における評価対象断面（弱軸断面方向）
 

注：③慣性力は全ての構造部材に作用</td><td colspan="2">従来設計手法での評価対象断面
 

注：③慣性力は全ての構造部材に作用</td></tr>
<tr><td>①動土圧及び動水圧</td><td>作用しない</td><td>①動土圧及び動水圧</td><td>主に胴体部に作用</td></tr>
<tr><td>②摩擦力</td><td>側壁，頂版に作用</td><td>②摩擦力</td><td>主に胴体部に作用</td></tr>
<tr><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</td><td colspan="2">従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず，①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。</td><td colspan="2">胴体部において，①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</td></tr>
<tr><td>抽出結果
（○影響検討実施）</td><td colspan="2">×</td><td colspan="2">○</td></tr>
</table>

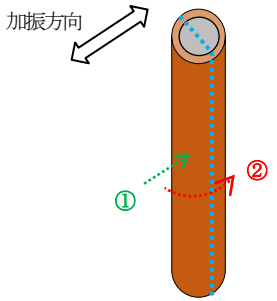
表3－3－3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出(2/3)

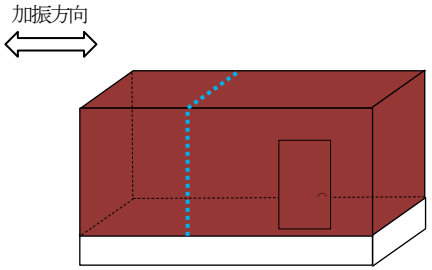
<table>
<tr><td>3.3.1(1)で整理した
構造形式の分類
(対象構造物)</td><td colspan="2">3)箱型構造物
スクリーン室，補機冷却用海水取水路，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（鉄筋コンクリート）</td><td colspan="2">4)版基礎
軽油タンク基礎（鉄筋コンクリート），第一ガスタービン発電機基礎（鉄筋コンクリート）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">3.3.1(2)で整理した
荷重の作用状況</td><td colspan="2">従来設計手法での評価対象断面（弱軸断面方向）
 

注：③慣性力は全ての部材に作用</td><td colspan="2">従来設計手法での評価対象断面
 

注：③慣性力は全ての部材に作用</td></tr>
<tr><td>①動土圧及び動水圧</td><td>主に妻壁に作用</td><td>①動土圧及び動水圧</td><td>主に基礎版部に作用</td></tr>
<tr><td>②摩擦力</td><td>側壁に作用</td><td>②摩擦力</td><td>主に基礎版部に作用</td></tr>
<tr><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</td><td colspan="2">従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材（妻壁）を有し，①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</td><td colspan="2">版基礎部において，①動土圧及び動水圧による荷重及び③慣性力に起因する上載する機器等からの荷重が作用するため影響大。</td></tr>
<tr><td>抽出結果
（○影響検討実施）</td><td colspan="2">○</td><td colspan="2">○</td></tr>
</table>

表3－3－3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出(3/3)

<table>
<tr><td>3.3.1(1)で整理した
構造形式の分類
（対象構造物）</td><td colspan="2">5)鋼管杭基礎
軽油タンク基礎（鋼管杭），燃料移送系配管ダクト（鋼管杭），第一ガスタービン発電機基礎（鋼管杭），第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（鋼管杭）</td><td colspan="2">6)壁構造物
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3.3.1(2)で整理した
荷重の作用状況</td><td colspan="2">従来設計手法での評価対象断面（弱軸断面方向）
 

注：③慣性力は全ての部材に作用</td><td colspan="2">従来設計手法での評価対象断面
 

注：③慣性力は全ての部材に作用</td></tr>
<tr><td>①動土圧及び動水圧</td><td>主に胴体部に作用</td><td>①動土圧及び動水圧</td><td>作用しない</td></tr>
<tr><td>②摩擦力</td><td>主に胴体部に作用</td><td>②摩擦力</td><td>作用しない</td></tr>
<tr><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td><td>③慣性力</td><td>全ての部材に作用</td></tr>
<tr><td>従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の影響程度</td><td colspan="2">鋼管杭基礎部において，①動土圧及び動水圧による荷重及び③慣性力に起因する上部工及び上載する機器等からの荷重に影響されるため影響大。</td><td colspan="2">地上構造物である壁構造物は，③慣性力による荷重の組合せによる影響が想定されるため影響大。</td></tr>
<tr><td>抽出結果
（○影響検討実施）</td><td colspan="2">○</td><td colspan="2">○</td></tr>
</table>

(4)　従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

(3)で抽出しなかった構造形式である線状構造物について，構造物ごとの平面図及び断面図を以下に示す。各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を抽出する。なお，海水貯留堰，取水護岸及び取水路は7号機設備と6号機設備で構造，地盤条件等に大きな差異は無いことから，代表して7号機設備の平面図及び断面図を示す。

a. 海水貯留堰【線状構造物】

図3－3－2及び図3－3－3に海水貯留堰の平面図及び断面図を示す。

各鋼管矢板は，継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており，軸方向の断面係数は，法線直角方向と比べて大きいことから，明確な強軸断面方向である。そのため，強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さいため，強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けない。

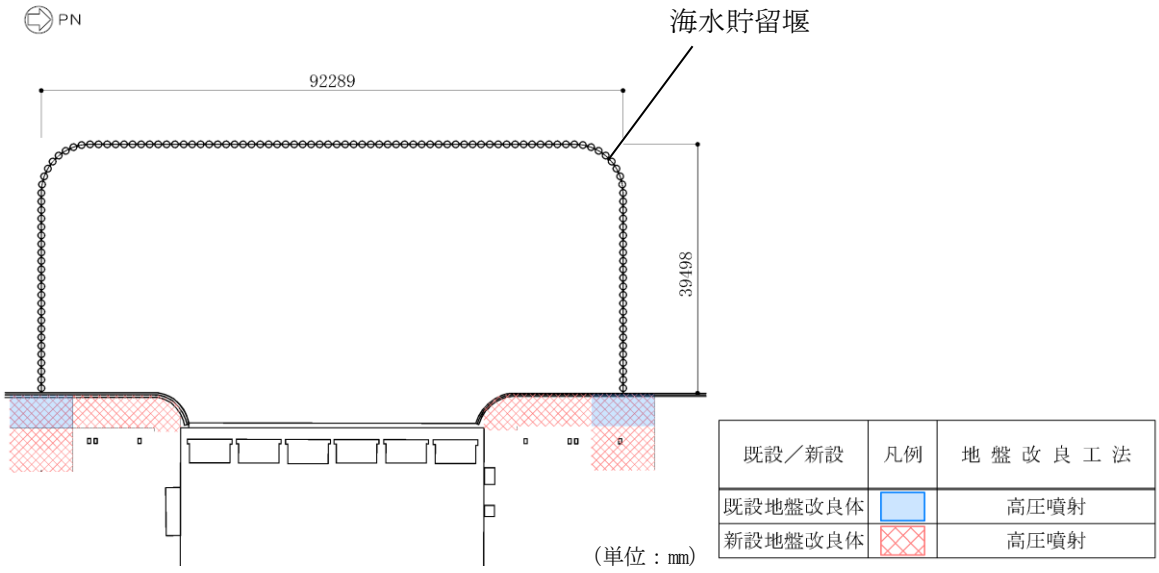


図3－3－2　海水貯留堰の平面図

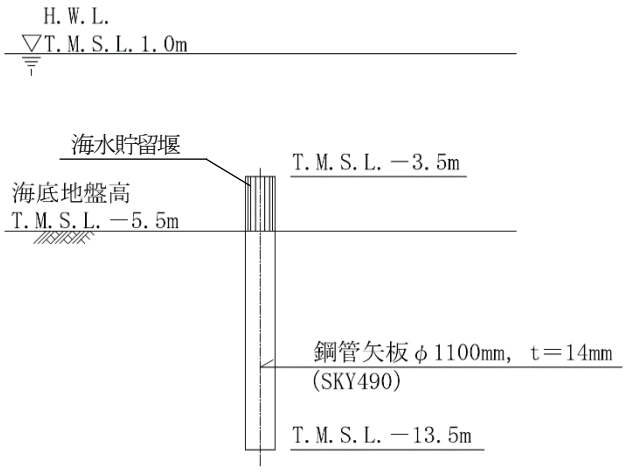


図3－3－3　海水貯留堰の断面図

b.　取水護岸【線状構造物】

図3－3－4及び図3－3－5に取水護岸の平面図及び断面図を示す。

取水護岸は，断面変化が無く直線状に設置される矢板構造物であることから，強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けない。

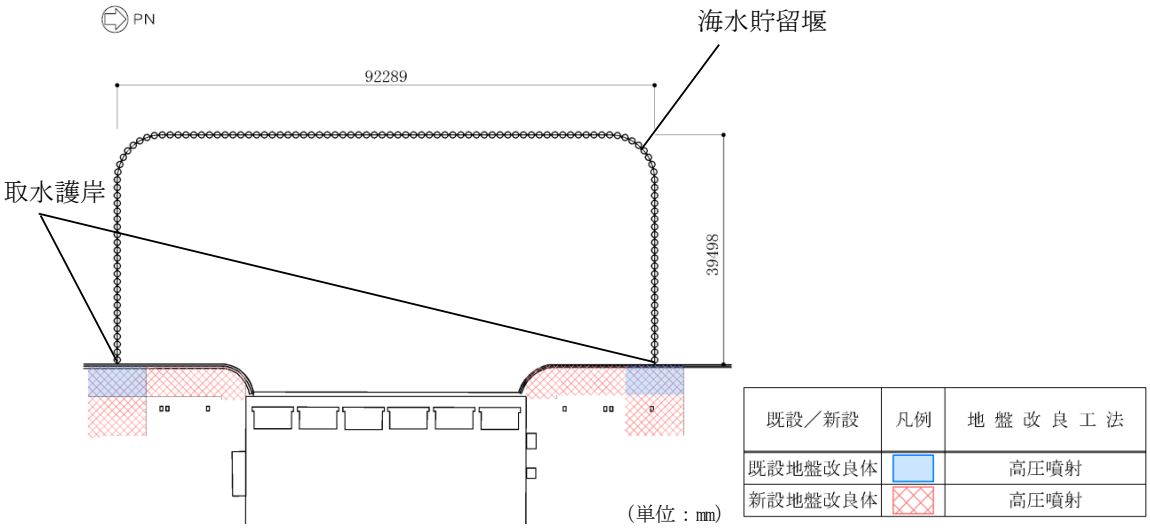


図3－3－4　取水護岸の平面図

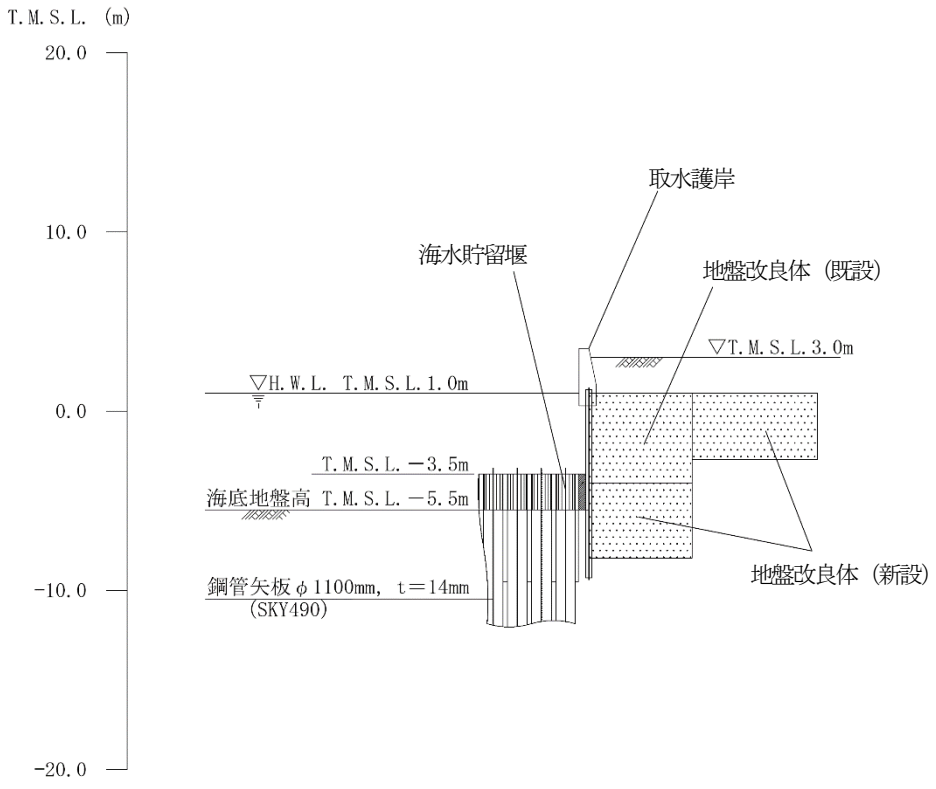
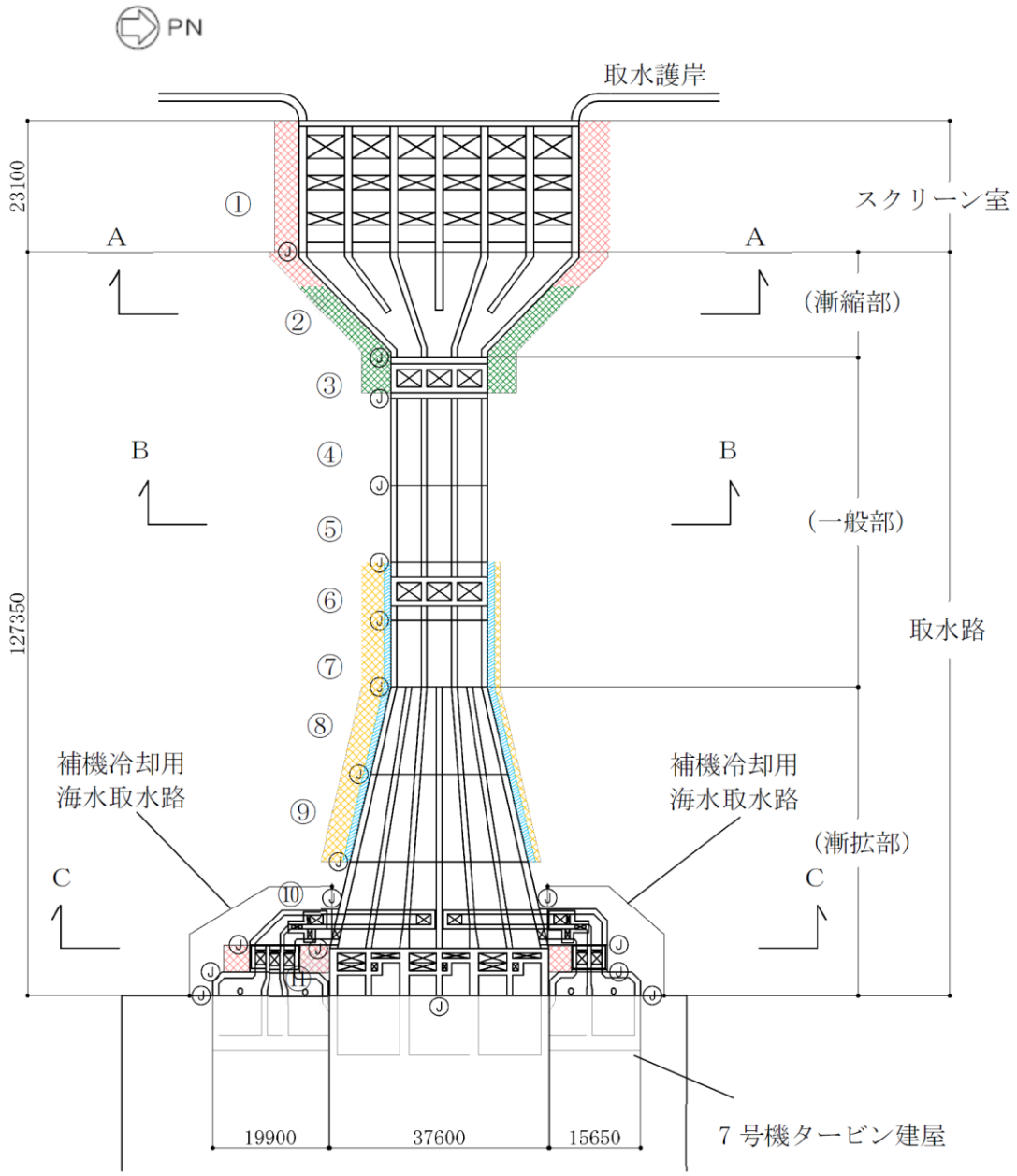


図3－3－5　取水護岸の断面図

c. 取水路【線状構造物】

図3－3－6～図3－3－9に取水路の平面図及び断面図を示す。

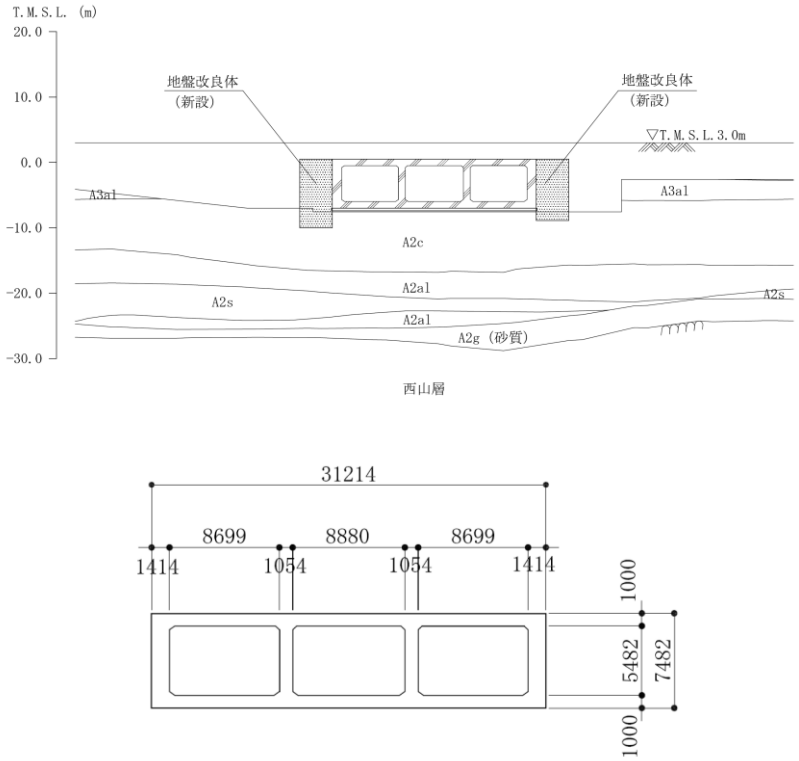
取水路のうち一般部については，断面変化が無く直線上に設置されるため，強軸断面方向の影響をほとんど受けない。また，取水路のうち漸縮部及び漸拡部については，断面変化があるものの断面が徐々に漸縮，漸拡していく形状であり，屈曲部は有さないため，強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないと考えられる。



(単位：mm)

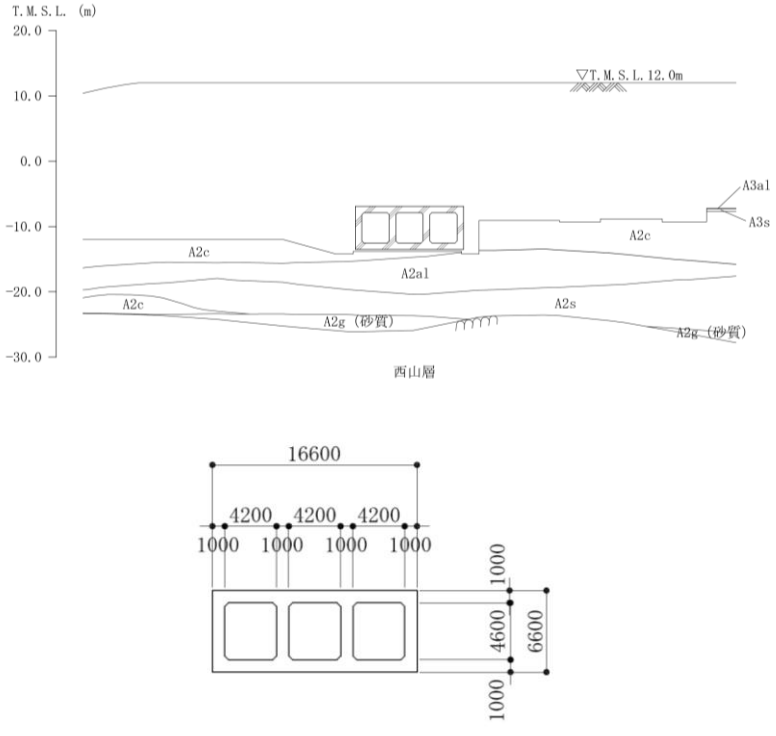
既設／新設	凡例	地 盤 改 良 工 法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 3－3－6　取水路の平面図



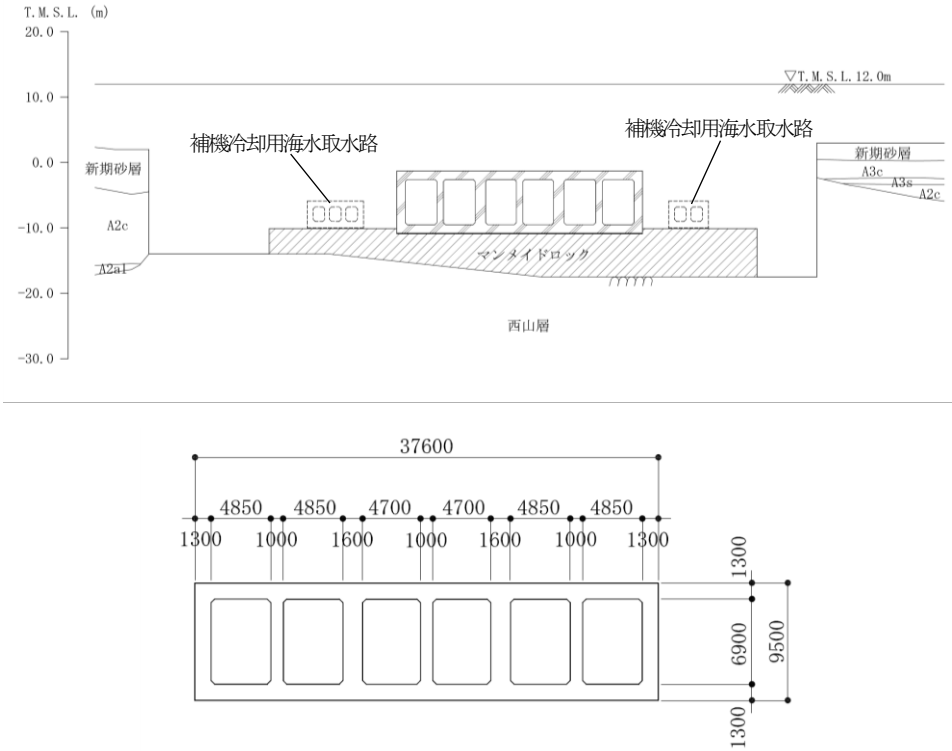
(単位：mm)

図3－3－7　取水路の断面図（漸縮部　A－A断面　ブロック②）



(単位：mm)

図3－3－8　取水路の断面図（一般部　B－B断面　ブロック⑤）



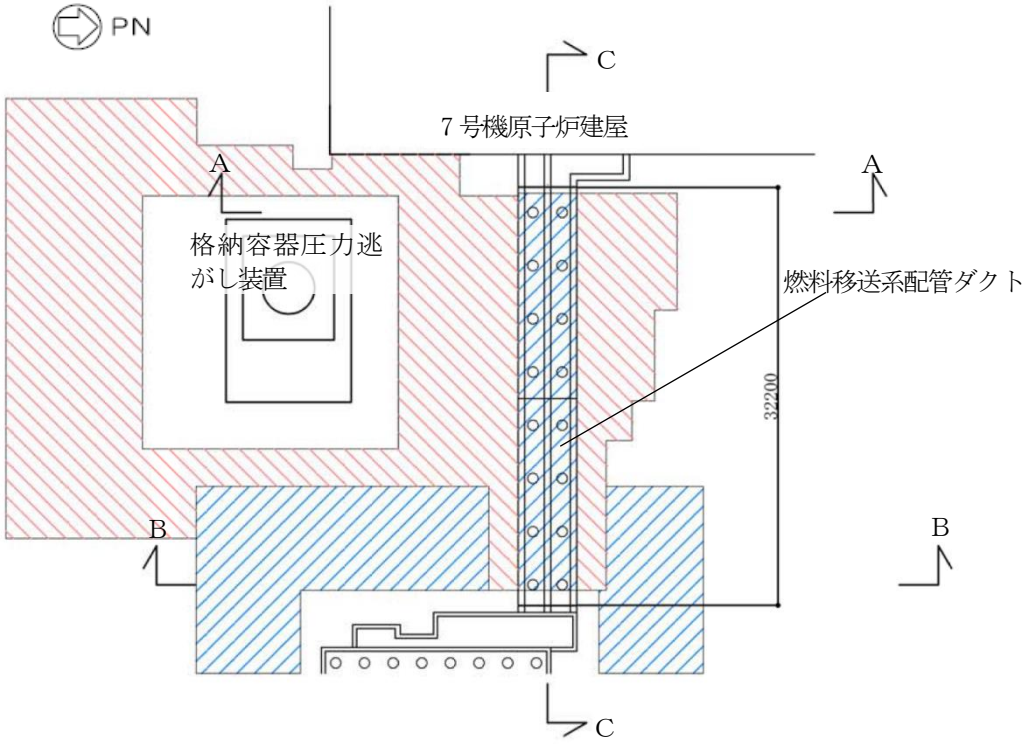
(単位：mm)

図3－3－9　取水路の断面図（漸拡部　C－C断面　ブロック⑩）

d.　燃料移送系配管ダクト【線状構造物】

図3－3－10～図3－3－12に燃料移送系配管ダクトの平面図及び断面図を示す。

燃料移送系配管ダクトは，断面変化が無く直線上に設置されるため，強軸断面方向の影響をほとんど受けない。

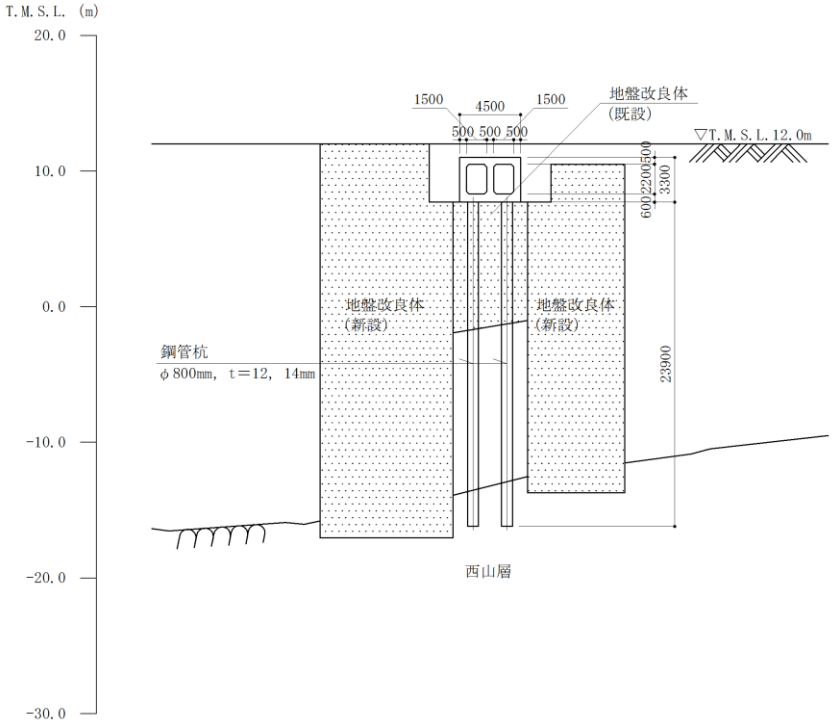


（単位：mm）

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換（CD掘削）
新設地盤改良体		置換（CD掘削）

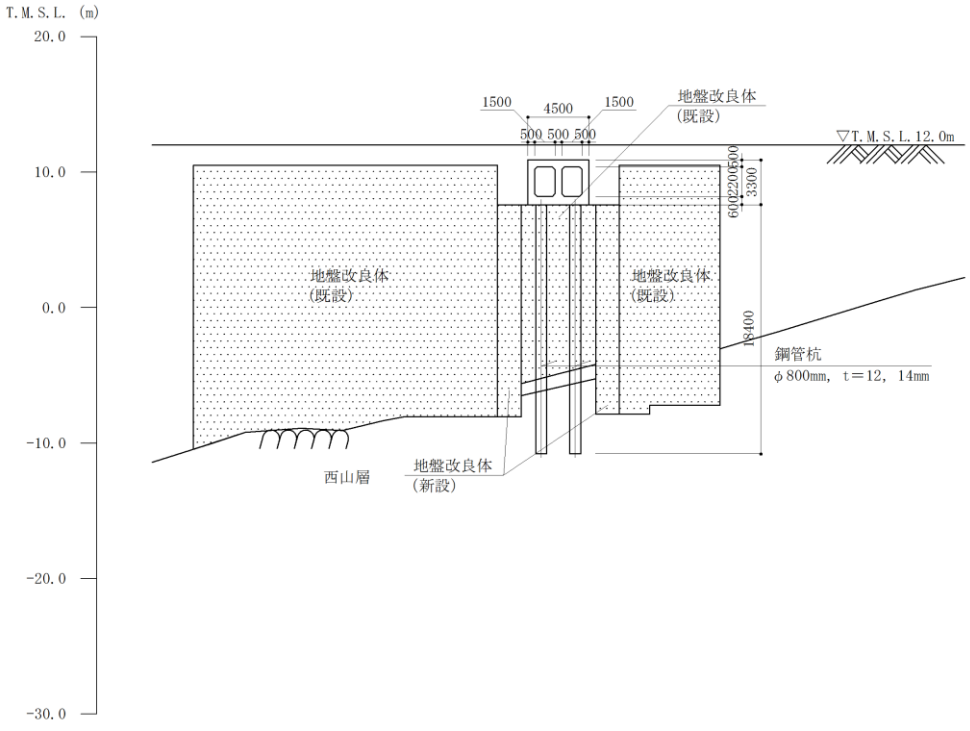
注　：置換工法（CD掘削）の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射または置換（開削）を適用

図3－3－10　燃料移送系配管ダクトの平面図



(単位：mm)

図3－3－11　燃料移送系配管ダクトの断面図（A－A断面）



(単位：mm)

図3－3－12　燃料移送系配管ダクトの断面図（B－B断面）

線状構造物として分類した海水貯留堰，取水護岸，取水路及び燃料移送系配管ダクトについて，各構造物の構造，地盤条件等を考慮した上で，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所を確認した。

その結果，これらの構造物については，従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

(5)　従来設計手法の妥当性確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では，図3－3－13に示すとおり，屈曲部における3次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず，評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計であり，十分に保守的な評価となっている。また，補機冷却用海水取水路は直接若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されており，躯体が底版で拘束されていることから，屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから，補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は，従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

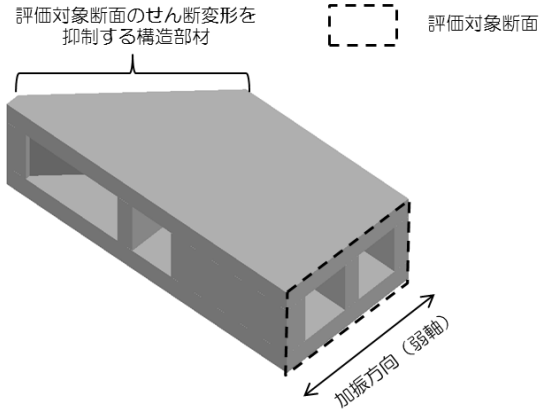


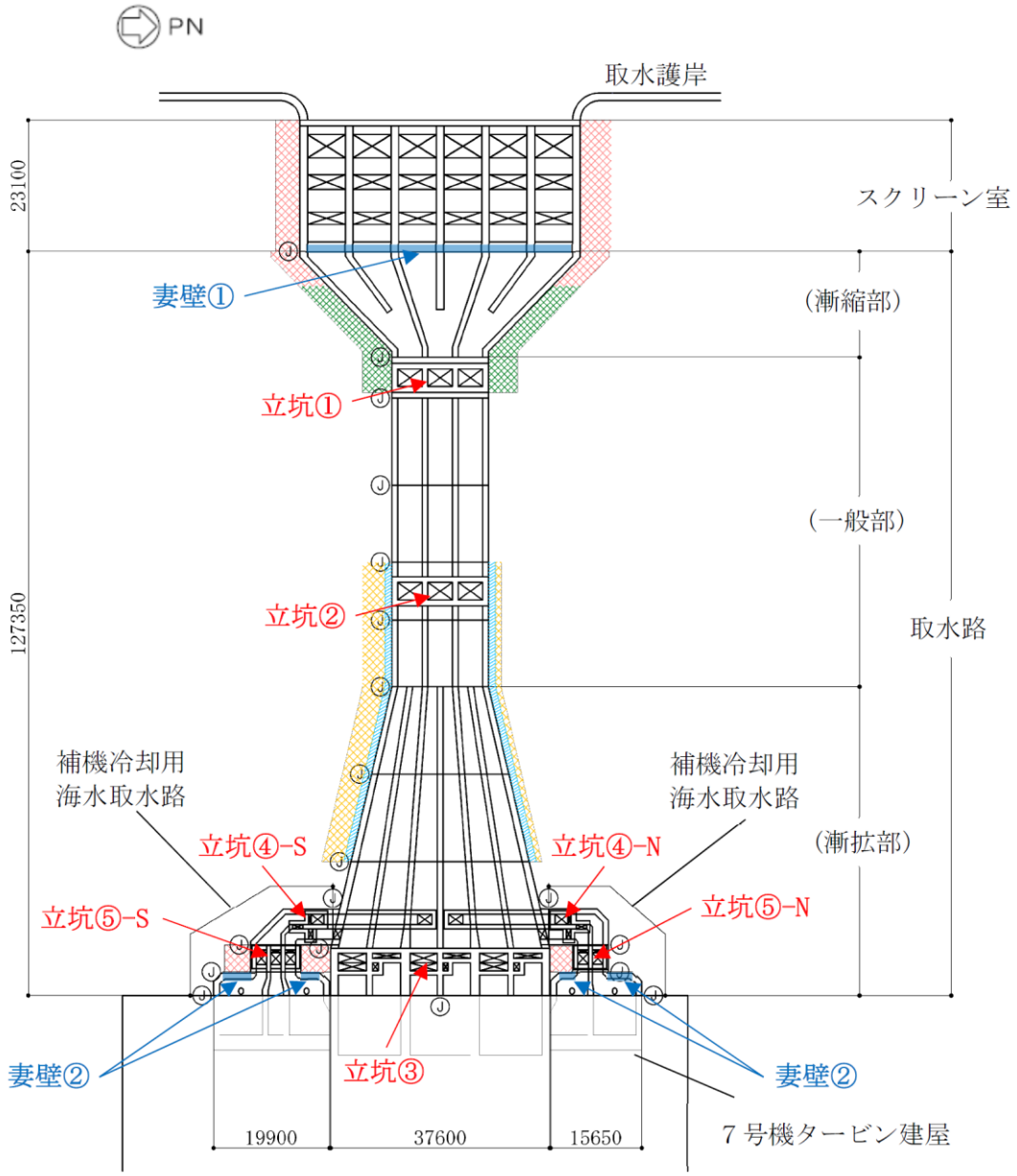
図3－3－13　屈曲部における3次元的な拘束効果

3.3.2　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出結果

3.3.1の検討を踏まえ，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を検討すべき構造形式として，構造及び作用荷重の観点から，立坑構造物，箱型構造物，版基礎，鋼管杭基礎及び壁構造物を抽出した。上記で抽出した構造形式ごとに代表構造物を選定し，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。以下に構造形式ごとの代表構造物の選定結果を示す。

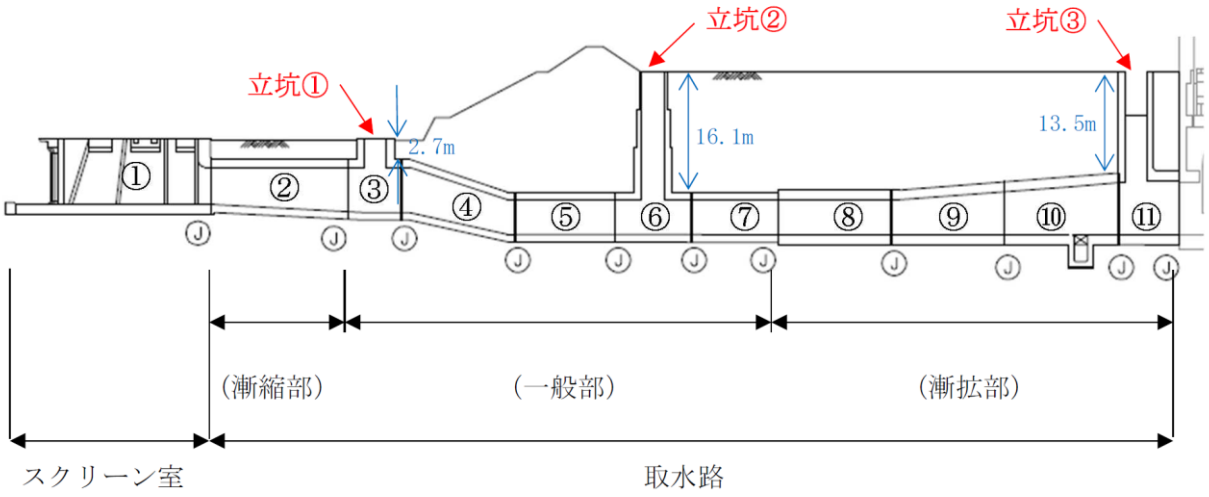
(1)　立坑構造物

図3－3－14～図3－3－16にスクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の立坑部の平面図及び縦断図を示す。立坑構造物の代表構造物は，V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「別紙　取水路立坑の健全性評価について」に示すとおり，7号機の立坑②とする。



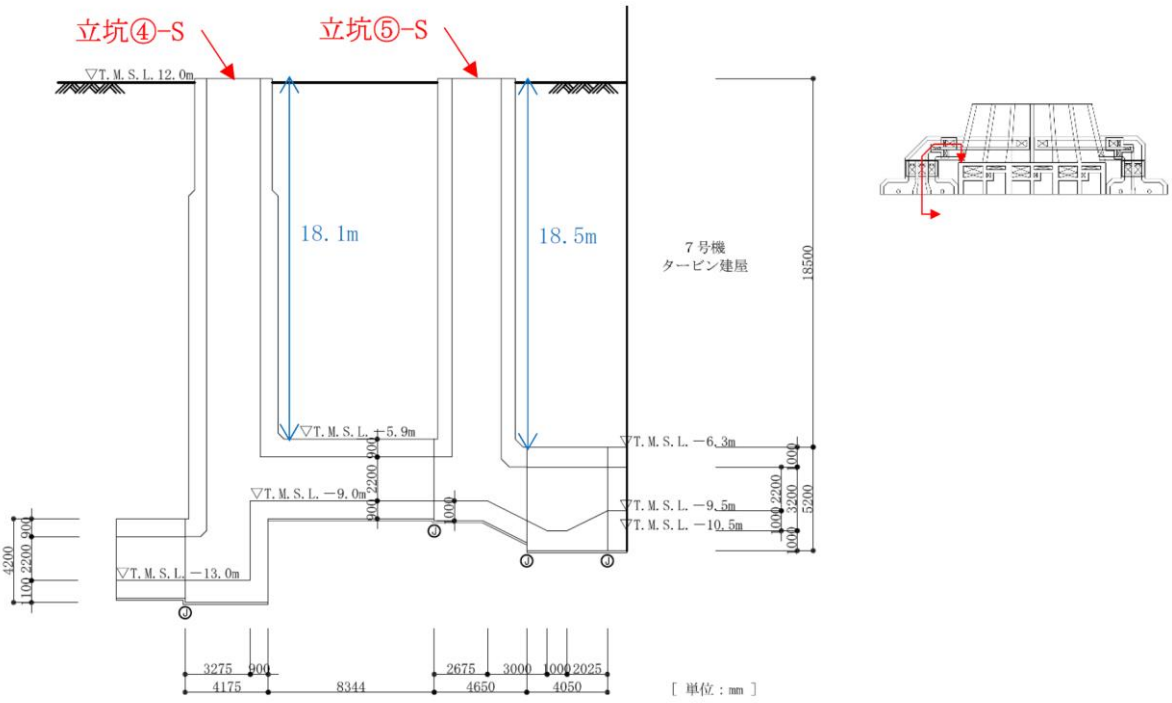
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図3－3－14　スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路立坑部及び妻壁部の平面図

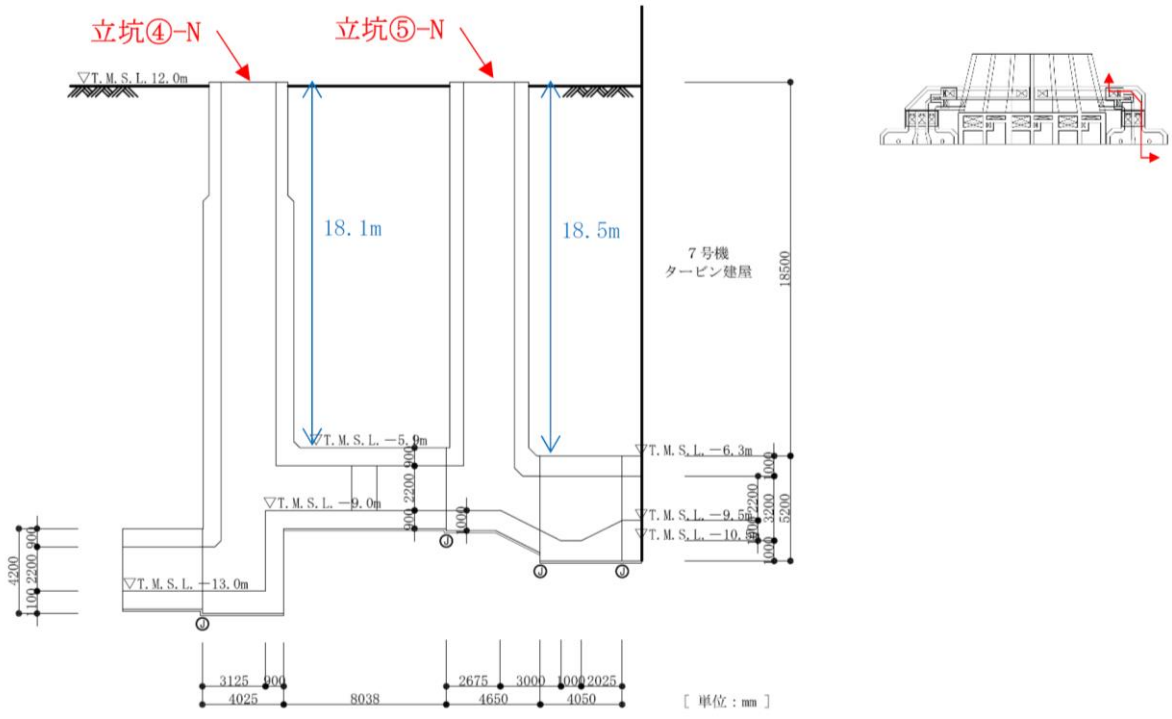


注：　Ⓙは耐震ジョイント

図3－3－15　スクリーン室，取水路立坑部　縦断図



(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図3－3－16　補機冷却用海水取水路縦断図

(2) 箱型構造物

図3－3－14に示すとおり，スクリーン室及び補機冷却用海水取水路には，スクリーン室の妻壁①と補機冷却用海水取水路の妻壁②が存在する。

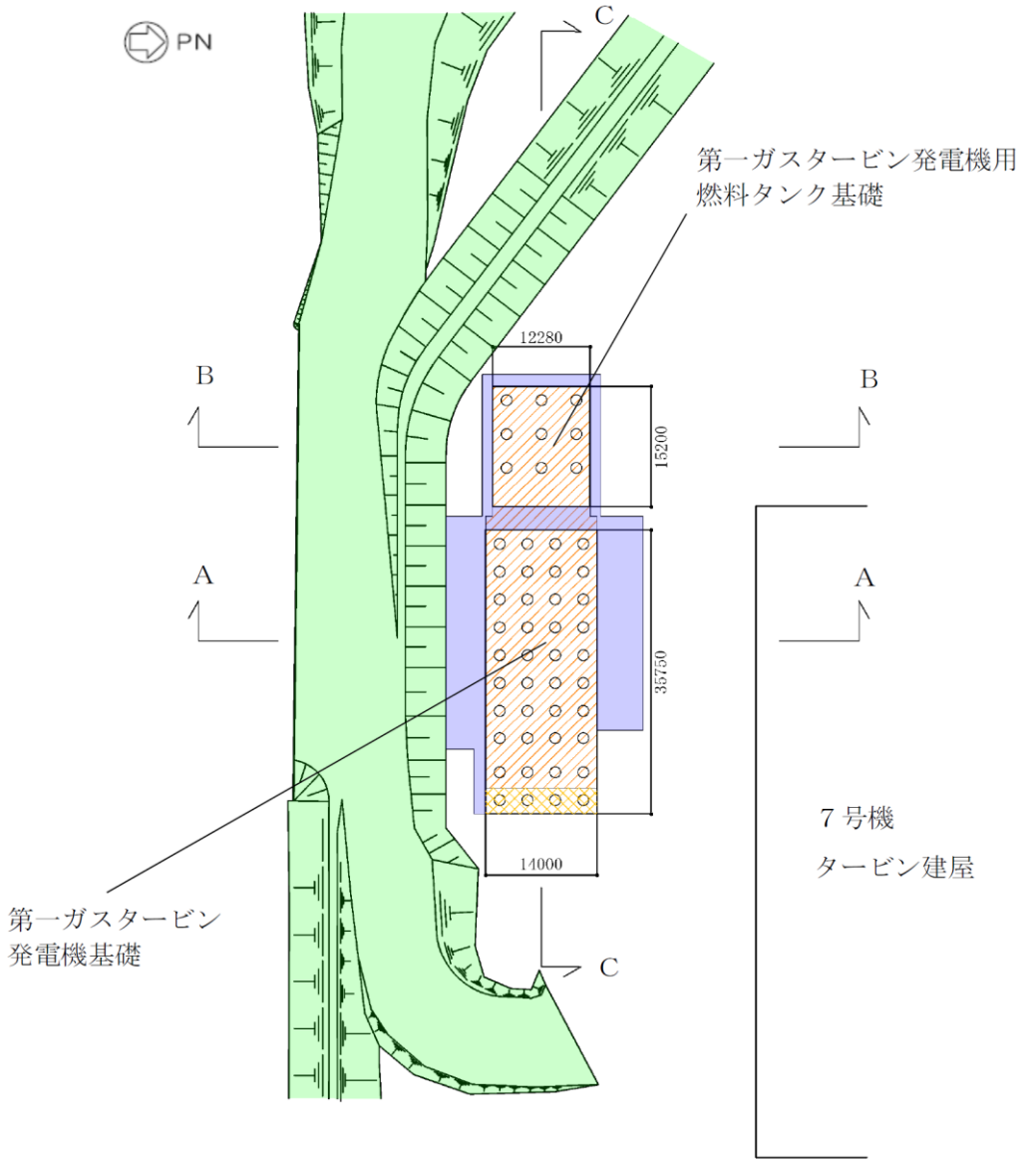
表3－3－4に示すとおり，妻壁①と比較し妻壁②は地表面からの設置位置が深く，妻壁部に作用する動土圧及び動水圧の影響が大きいことから，妻壁②を有する補機冷却用海水取水路を箱型構造物の代表構造物として選定する。

表3－3－4　妻壁の設置深さ*

妻壁	深さ(m)
①	2.5
②	22.5

注記＊　：地表面～妻壁下端の高さ。

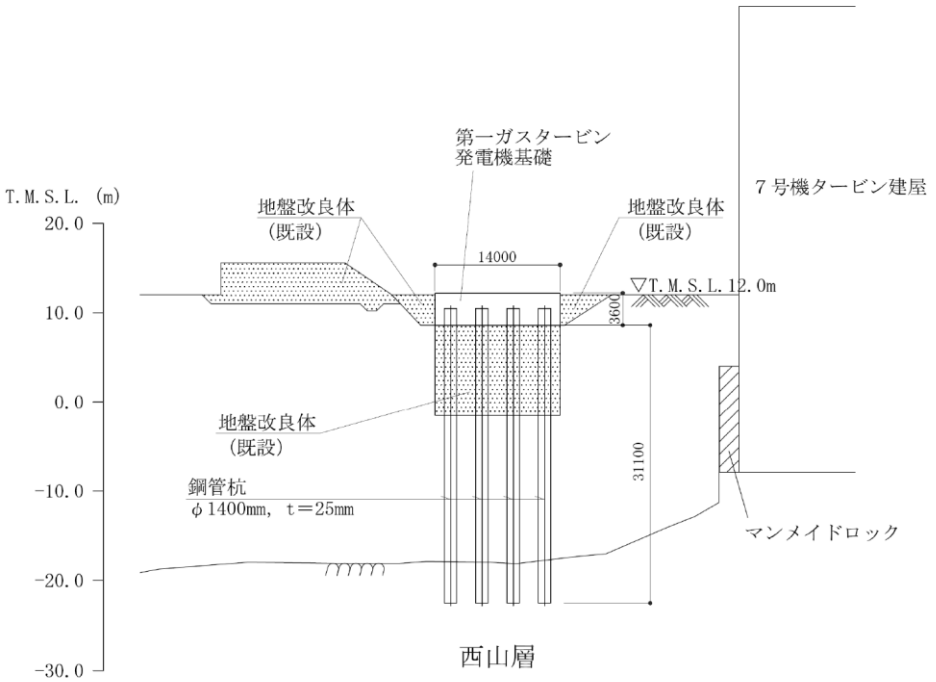
また，常設代替交流電源設備基礎の平面図及び断面図を図3－3－17～図3－3－20に示す。図3－3－19及び図3－3－20に示すとおり，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎（鉄筋コンクリート）についても，面積が大きい妻壁を有することから，箱型構造物の代表構造物として選定する。



（単位：mm）

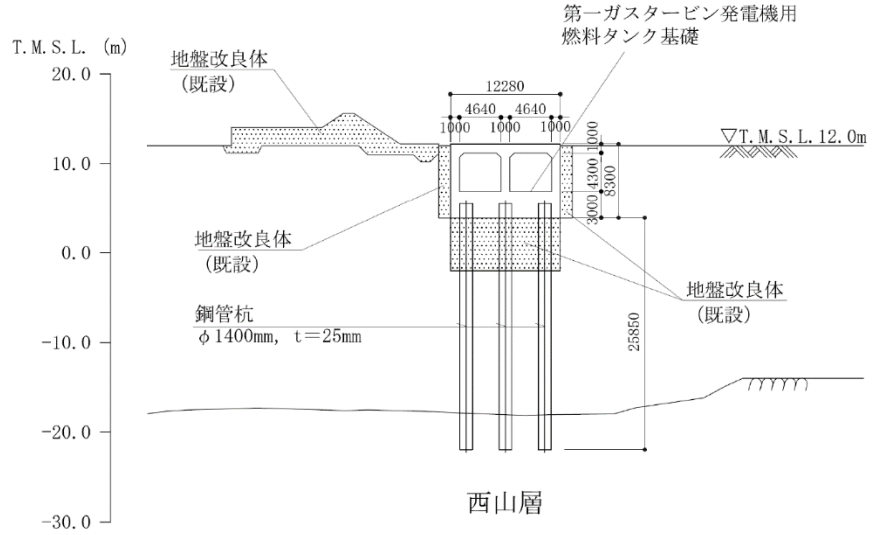
既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		機械撹拌
		土質安定処理土
		改良盛土
新設地盤改良体		機械撹拌

図3－3－17　常設代替交流電源設備基礎の平面図



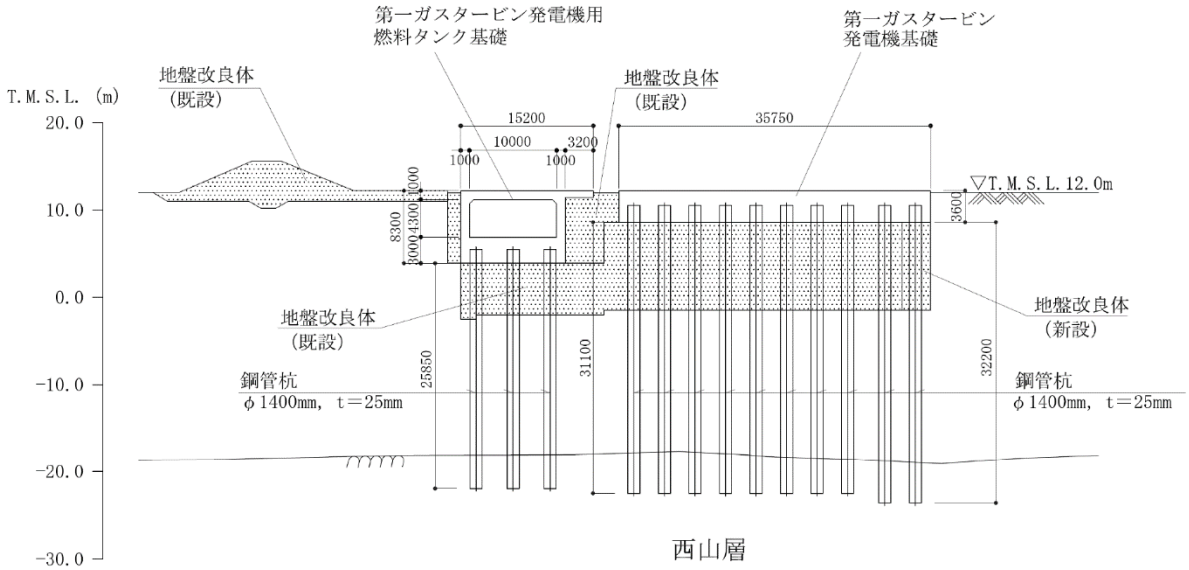
(単位：mm)

図3－3－18　常設代替交流電源設備基礎断面図（A－A断面）



(単位：mm)

図3－3－19　常設代替交流電源設備基礎断面図（B－B断面）



(単位：mm)

図3－3－20　常設代替交流電源設備基礎断面図（C－C断面）

(3) 版基礎

版基礎については，版基礎の寸法，仕様，上載荷重及び周辺地盤の状況が構造物ごとに異なるため，軽油タンク基礎，第一ガスタービン発電機基礎及び軽油タンク基礎（6 号機設備）の全ての構造物について影響評価を行う。

(4) 鋼管杭基礎

鋼管杭基礎については，鋼管杭の材質，杭径，杭間隔，長さ，上載荷重及び周辺地盤の状況が構造物ごとに異なり，定性的に代表構造物を選定することが困難であるため，各施設の耐震評価対象断面における鋼管杭の照査値（水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに基づく耐震評価結果）に基づき代表構造物を選定し，影響評価を行う。表 3－3－5 に鋼管杭基礎の代表構造物の選定結果を示す。表 3－3－5 より，鋼管杭の曲げ軸力及びせん断力照査全体のうち照査値が最も大きい軽油タンク基礎（6 号機設備）とせん断力照査値が最大となる第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎を代表構造物として選定する。なお，第一ガスタービン発電機基礎は，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎と比較しタービン建屋による変形抑制効果が期待出来ることから，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎を代表構造物として選定し，影響評価を行う。

表 3－3－5　鋼管杭基礎の代表構造物選定結果

構造形式	構造物名	最大照査値		選定結果	選定理由
		曲げ軸力照査	せん断力照査		
鋼管杭基礎	軽油タンク基礎	0.30	0.64		
	燃料移送系配管ダクト	0.10	0.35		
	第一ガスタービン発電機基礎	0.85	0.72		
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	0.73	0.87	○	せん断力照査値最大
	軽油タンク基礎（6 号機設備）	0.91	0.75	○	曲げ軸力照査値最大（全体最大）

(5) 壁構造物

壁構造物である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板については，慣性力による影響が想定されるため，影響評価を行う。

3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 立坑構造物

a. 評価方法

立坑構造物である取水路立坑は，図3－3－21に示すとおり，水路部と立坑部から構成される。このうち，立坑部については，V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「別紙 取水路立坑の健全性評価について」において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認していることから，当資料では水路部について水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施する。

水路部の評価は，水路部の弱軸断面方向（NS方向）及び強軸断面方向（EW方向）におけるそれぞれの2次元の地震応答解析にて，互いに干渉し合う断面力や応力を選定し，弱軸断面方向加振における部材照査において，強軸断面方向加振の影響を考慮し評価する。

強軸断面方向加振については，水路部の側壁及び隔壁が，強軸断面方向加振にて耐震壁としての役割を担うことから，当該構造部材を耐震壁と見なし，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）」（以下「ＲＣ規準」という。）に準拠し耐震評価を実施する。

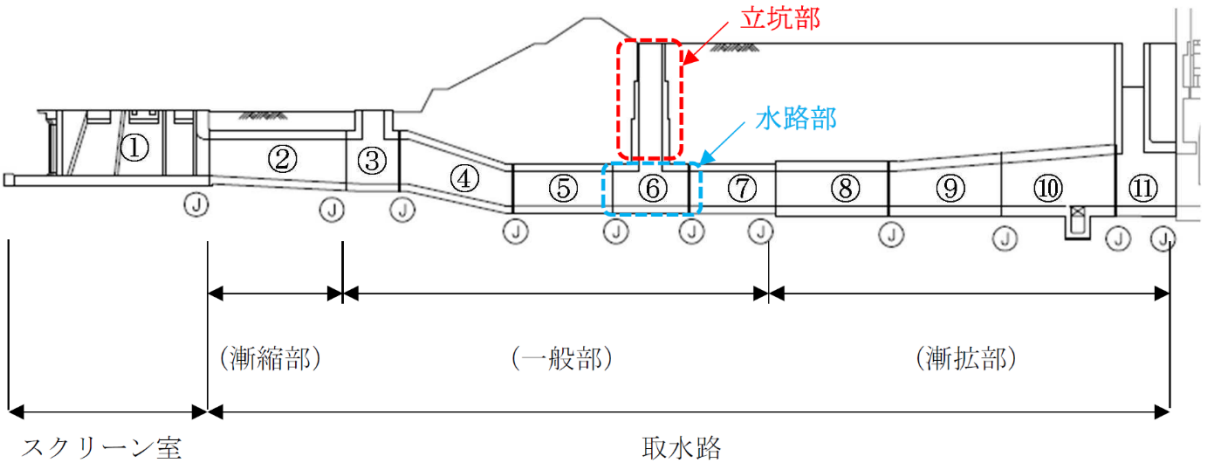
ＲＣ規準では，耐震壁に生じるせん断力（面内せん断）に対して，コンクリートのみで負担できるせん断耐力と，鉄筋のみで負担できるせん断耐力のいずれか大きい方を鉄筋コンクリートのせん断耐力として設定する。したがって，壁部材に生じるせん断力がコンクリートのみで負担できるせん断耐力以下であれば，鉄筋によるせん断負担は無く，鉄筋には応力が発生しないものとして取り扱う。

一方，強軸断面方向加振にて生じるせん断力を，水路部の側壁及び隔壁のコンクリートのみで負担できず，鉄筋に負担させる場合，図3－3－22に示すとおり，強軸断面方向加振にて発生する側壁及び隔壁の主筋の発生応力が，弱軸断面方向における構造部材の照査に影響を及ぼす可能性がある。

したがって，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては，強軸断面方向加振にて発生する応力を，弱軸断面方向における構造部材の照査に付加することで，その影響の有無を検討する。

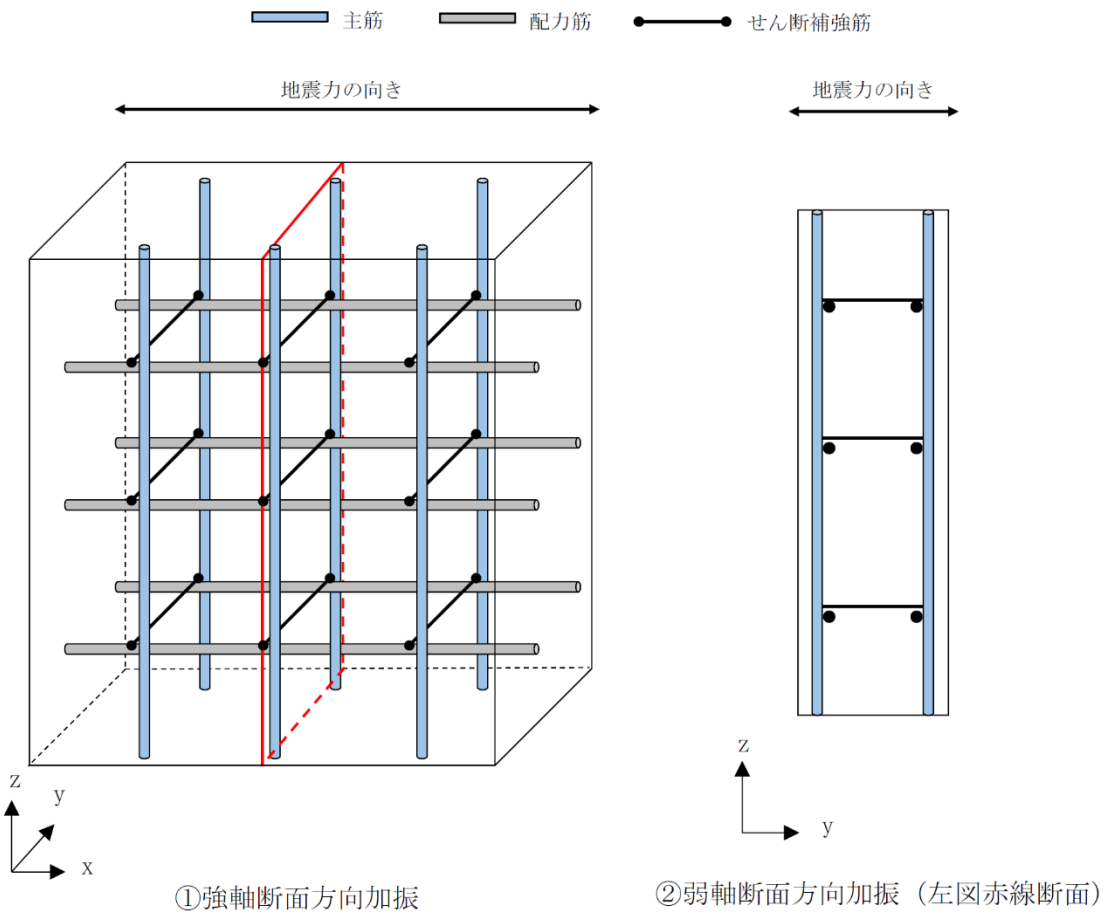
なお，弱軸断面方向及び強軸断面方向の地震応答解析では，保守的に両方向とも基準地震動Ｓｓを用いる。

図3－3－23に水路部の水平2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価フローを示す。



注：　Ⓙは耐震ジョイントを示す

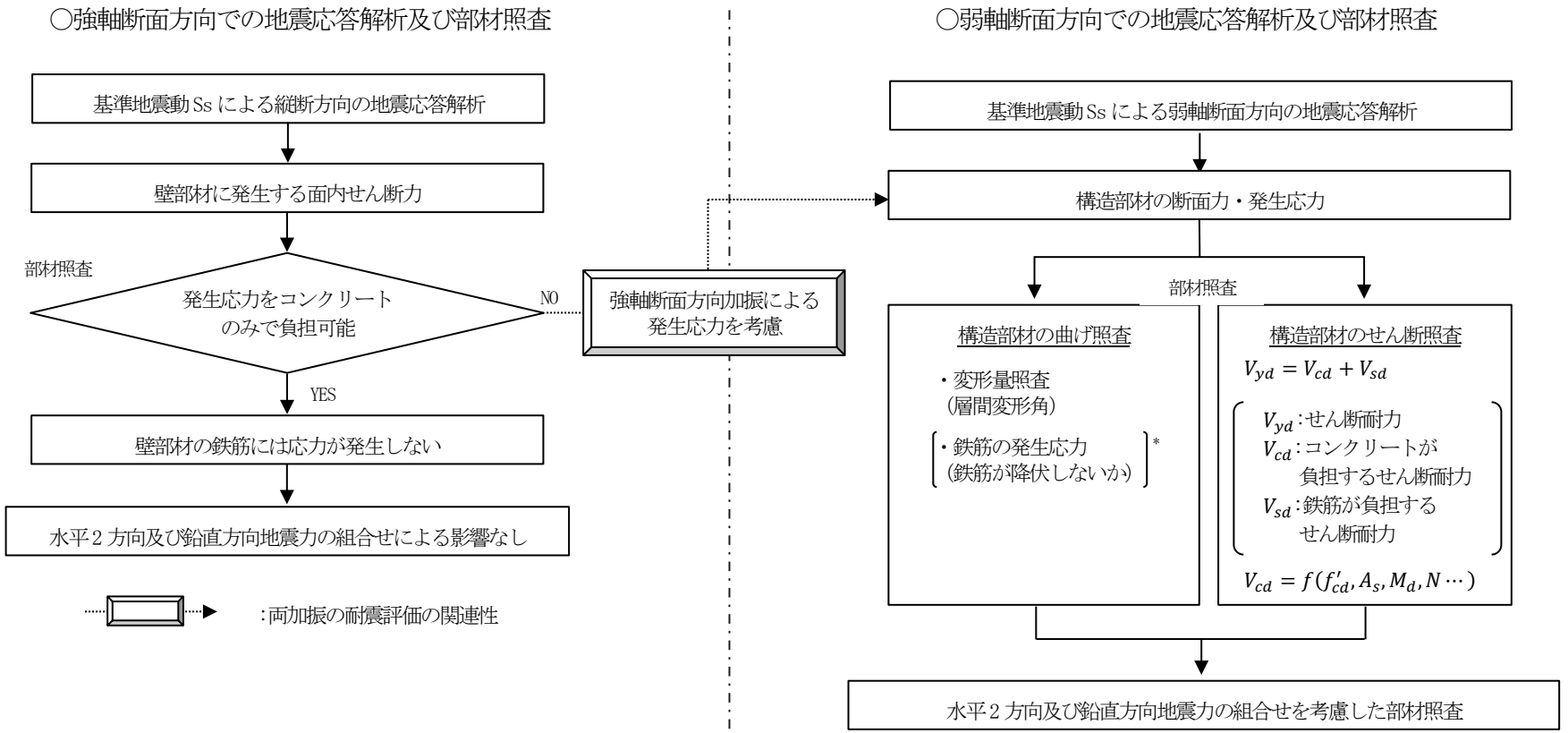
図3－3－21　取水路立坑の構造部位



		①強軸断面方向加振	②弱軸断面方向加振	備　考
断面力	My（y 軸まわりの曲げモーメント）	△	×	
	Mx（x 軸まわりの曲げモーメント）	×	○	
	Nz（鉛直方向軸力）	○	○	互いに干渉する可能性あり
	Qzx（zx 平面面内せん断）	○	×	
	Qz（z 方向面外せん断）	×	○	
応力	主筋	○	○	互いに干渉する可能性あり
	配力筋	○	×	
	せん断補強筋	×	○	

（凡例　○：発生する可能性あり，△：発生する可能性があるが極めて軽微，×：発生しない）

図 3－3－22　強軸断面方向加振及び弱軸断面方向加振において発生する断面力・応力



注記＊ ：鉄筋の応力度照査を行う場合。

図3－3－23　水路部の水平2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価フロー

b.　評価条件

(a)　地震応答解析手法

強軸断面方向（EW 方向）の地震応答解析手法は，Ⅴ-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「別紙　取水路立坑の健全性評価について」に示す地震応答解析手法と同様とする。

(b)　地震応答解析モデル

強軸断面方向（EW 方向）における地震応答解析モデルの設定は，Ⅴ-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「別紙　取水路立坑の健全性評価について」に示す強軸断面方向（EW 方向）の解析モデルと同様とする。

(c)　解析ケース

解析ケース及び地震動は，Ⅴ-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」に示す取水路（一般部）で実施している全ての解析ケース及び地震動とする。

(d)　許容限界

許容限界は，ＲＣ規準を参考に，以下の式で求まるコンクリートの許容せん断力（Q_1）から算定する短期許容せん断応力とする。

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s$$

ここで，

t ：壁板の厚さ

l ：壁部材の幅

f_s：コンクリートの短期許容せん断応力度

（（$\frac{F_c}{30}$ かつ $0.5+\frac{F_c}{100}$ 以下）の 1.5 倍）

c. 評価結果

強軸断面方向（EW 方向）にて側壁及び隔壁に発生するせん断応力及び許容せん断応力を表 3－3－6 に示す。

水路部の強軸断面方向(EW 方向)にて発生するせん断応力は,最大で 876kN/m^2 である。一方，ＲＣ規準によるコンクリートの許容せん断応力は，1088kN/m^2 であることから，壁部材に発生するせん断力はコンクリートの許容せん断応力を下回る。

したがって，強軸断面方向加振において壁部材に発生するせん断力はコンクリートのみで負担でき，壁部材の鉄筋には顕著な応力は発生しないことから，強軸断面方向加振にて壁部材に生じるせん断応力は，弱軸断面方向の耐震評価に影響を与えることはない。

表 3－3－6　側壁及び隔壁の面内せん断力に対する照査結果（水路部）

解析ケース	地震動	照査用 面内せん断応力 τ_{max} (kN/m^2)	短期許容せん断応力 Q (kN/m^2)	照査値 τ_{max}／Q
①	Ss-1＋＋	846	1088	0.78
	Ss-1－＋	822		0.76
	Ss-1＋－	865		0.80
	Ss-1－－	858		0.79
	Ss-2	740		0.69
	Ss-3＋＋	755		0.70
	Ss-3－＋	771		0.71
	Ss-3＋－	826		0.76
	Ss-3－－	798		0.74
	Ss-4	728		0.67
	Ss-5	687		0.64
	Ss-6	715		0.66
	Ss-7	695		0.64
	Ss-8＋＋	668		0.62
	Ss-8－＋	641		0.59
②	Ss-1－－	833		0.77
③	Ss-1－－	876		0.81
④	Ss-1－－	854		0.79
⑤	Ss-1－－	836		0.77

(2) 箱型構造物

補機冷却用海水取水路については，Ⅴ-2-10-3-1-8「補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算書」において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

(3) 版基礎

軽油タンク基礎，第一ガスタービン発電機基礎及び軽油タンク基礎（6号機設備）の鉄筋コンクリート部材については，Ⅴ-2-2-18「軽油タンク基礎の耐震性についての計算書」，Ⅴ-2-2-22「常設代替交流電源設備基礎の耐震性についての計算書」及びⅤ-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」において，水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，十分な構造強度を有していることを確認している。

(4) 鋼管杭基礎

a. 評価方法

鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，直交する水平2方向におけるそれぞれの2次元有効応力解析にて評価した同時刻の断面力を組み合わせて用いる。これにより算定した水平2方向及び鉛直方向地震力による応答が許容限界以下であることを確認する。

本検討において，軽油タンク基礎（6号機設備）は水平1方向の検討で照査値が卓越する曲げ軸力照査，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は同様にせん断力照査について水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

b. 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した照査値の算定方法

(a) 曲げ軸力照査

Ⅴ-2-2-24「軽油タンク基礎（6号機設備）の耐震性についての計算書」より，軽油タンク基礎（6号機設備）の鋼管杭の曲げ軸力照査において照査値が卓越する肉厚9mmの杭を検討対象とし，降伏モーメントに対する曲率を許容限界とする。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査値の算定式を以下に示す。

$$R_{\phi max} = \max\left(\frac{\phi(t)}{\phi_{y1}(t)}, \frac{\phi(t)}{\phi_{y2}(t)}\right)$$

ここで，

$R_{\phi max}$ ：曲げ軸力照査の時刻歴最大照査値

$\phi_{y1}(t)$：時刻tにおける1方向目の降伏モーメントに対する曲率

$\phi_{y2}(t)$：時刻tにおける2方向目の降伏モーメントに対する曲率

$\phi(t)$：時刻tにおける水平2方向及び鉛直方向地震力考慮した曲率

$$\phi(t) = \gamma_a \cdot \sqrt{(\phi_1(t))^2 + (\phi_2(t))^2}$$

γ_a ：構造解析係数（＝1.05）

$\phi_1(t)$：時刻tにおける1方向目の曲率

$\phi_2(t)$：時刻tにおける2方向目の曲率

(b) せん断力照査

V-2-2-22「常設代替交流電源設備基礎の耐震性についての計算書」より，キャスク指針に基づく終局せん断強度を許容限界とする。

水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮したせん断力照査値の算定式を以下に示す。

$$R_{Q_{max}} = \frac{Q(t)}{Q_u}$$

ここで，

$R_{Q_{max}}$：せん断力照査の時刻歴最大照査値

Q_u：終局せん断強度

$Q(t)$：時刻tにおける水平2方向及び鉛直方向地震力考慮したせん断力

$$Q(t)=\gamma_a \cdot \sqrt{(Q_1(t))^2+(Q_2(t))^2}$$

γ_a：構造解析係数（＝1.05）

$Q_1(t)$：時刻tにおける1方向目のせん断力

$Q_2(t)$：時刻tにおける2方向目のせん断力

c. 評価条件

(a) 地震応答解析

地震応答解析は，Ⅴ-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」及びⅤ-2-2-21「常設代替交流電源設備基礎の地震応答計算書」に示す方法と同様とする。

(b) 模擬地震動

鋼管杭基礎の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価では，全く同じ地震動が同時に水平2方向に発生することは現実的には考えにくいことから，鋼管杭基礎の水平1方向の照査において最大照査値となる断面に対して直交する方向には，位相の異なる模擬地震波を用いる。

(c) 検討ケースの及び地震波の選定

軽油タンク基礎（6号機設備）については，「Ｂ－Ｂ断面，解析ケース③，Ss-1－＋」で鋼管杭の曲げ軸力照査値が最大となるため，同解析ケース，地震波を検討対象とし，直交するＡ－Ａ断面に対して位相の異なる模擬地震波を用いる。

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎については，「Ｃ－Ｃ断面，解析ケース③，Ss-3＋＋」で鋼管杭のせん断力照査値が最大となるため，同解析ケース，地震波を検討対象とし，直交するＢ－Ｂ断面に対して位相の異なる模擬地震波を用いる。

d.　評価結果

(a)　軽油タンク基礎（6号機設備）

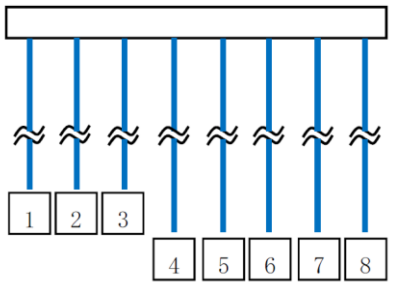
水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査値最大時の曲率を表3－3－7，抽出位置図を図3－3－24，水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した鋼管杭の曲げ軸力照査結果を表3－3－8に示す。水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも，照査用曲率が許容限界以下であることを確認した。

表3－3－7　水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲げ軸力照査値最大時の曲率

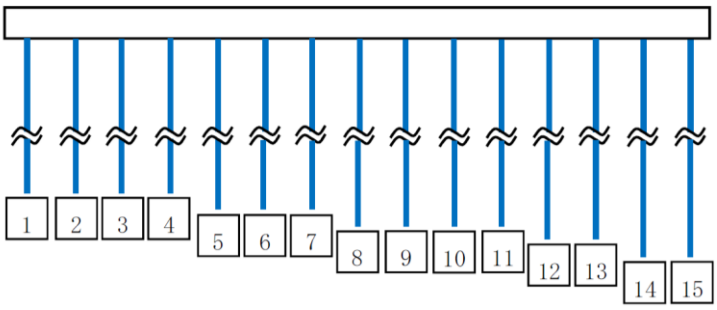
1方向目の曲率（A－A断面）		2方向目の曲率（B－B断面）		2方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲率*2
抽出位置*1	ϕ_1(t)（1／m）	抽出位置*1	ϕ_2(t)（1／m）	ϕ(t)（1／m）
2	6.87×10^{-4}	9	1.74×10^{-3}	1.97×10^{-3}

注記＊1　：抽出位置は下図に示す。

＊2　：構造解析係数γ_aを考慮。



A－A断面



B－B断面

図 3－3－24　抽出位置図

表 3－3－8　水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した鋼管杭の曲げ軸力照査結果

2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した曲率*1 ϕ (t) (1／m)	1 方向目の降伏モーメントに対する曲率*2（Ａ－Ａ断面） ϕ_{y1}(t) (1／m)	2 方向目の降伏モーメントに対する曲率*2（Ｂ－Ｂ断面） ϕ_{y2}(t) (1／m)	照査値 $R_{\phi max}$
1.97×10^{-3}	2.58×10^{-3}	2.08×10^{-3}	0.95

注記＊1 ：構造解析係数 γ_a を考慮。

＊2 ：部材係数 γ_b を考慮。

(b)　第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎

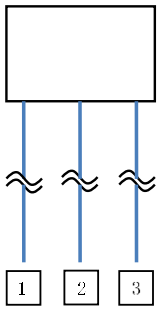
水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮したせん断力照査値最大時のせん断力を表3－3－9，抽出位置図を図3－3－25，水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した鋼管杭のせん断力照査結果を表3－3－10に示す。水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合でも，照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 3－3－9　水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮したせん断力照査値最大時のせん断力

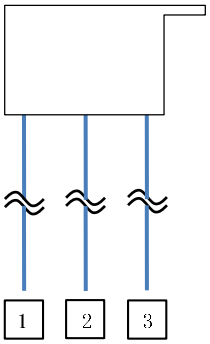
1 方向目のせん断力（Ｂ－Ｂ断面）		2 方向目のせん断力（Ｃ－Ｃ断面）		2 方向及び鉛直方向地震力を考慮したせん断力*2 Q（t）（kN）
抽出位置*1	Q_1(t)（kN）	抽出位置*1	Q_2(t)（kN）	
3	584	1	7091	7471

注記＊1　：抽出位置は下図に示す。

＊2　：構造解析係数γ_aを考慮。



Ｂ－Ｂ断面



Ｃ－Ｃ断面

図 3－3－25　抽出位置図

表 3－3－10　水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した鋼管杭のせん断力照査結果

2 方向及び 鉛直方向地震力を 考慮したせん断力*1 Q(t)（kN）	終局せん断強度*2 Q_u（kN）	照査値 R_{Qmax}
7471	8563	0.88

注記＊1 ：構造解析係数γ_aを考慮。

＊2 ：部材係数γ_bを考慮。

e.　機器・配管系への影響

軽油タンク基礎（6 号機設備）及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎については，機器・配管系を間接支持する構造物である。水平 2 方向の地震力が機器・配管系の床応答に与える影響については，構造物にねじれが発生する場合，応答に影響を与えると考えられる。

軽油タンク基礎（6 号機設備）については，構造物の周辺を取り囲むように地盤改良体が設置されており，地震力によるねじれは発生し難い構造であるため，直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。したがって，応答加速度についても，それぞれ独立と見なしても実用上は問題無いと判断できる。

第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎については，鉄筋コンクリート部材の底版が厚く全体の剛性が大きく，また，鉛直部材が左右対称に配置されており，地震力によるねじれは発生し難い構造であるため，直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。したがって，応答加速度についても，それぞれ独立と見なしても実用上は問題無いと判断できる。

以上のことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系への影響は無いと考えられる。

(5)　壁構造物

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板については，Ⅴ-2-11-2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震性についての計算書」において，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した耐震評価を実施し，上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認している。

3.3.4　まとめ

屋外重要土木構造物において，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性がある施設（部位）について，従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し，水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。

その結果，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生応力が許容値を満足し，施設が有する耐震性に影響のないことを確認した。

また,水平 2 方向の地震力の影響を受ける可能性があると判断した施設のうち,機器・配管系を間接支持する構造物である軽油タンク基礎（6 号機設備）及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎については，地震力によるねじれは発生し難い構造であるため，直交するそれぞれの方向の加振の影響は互いに顕著な影響を及ぼさないと考えられる。したがって，応答加速度についても，それぞれ独立と見なしても実用上は問題ないと判断できる。

以上のことから，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる機器・配管系への影響は無いと考えられる。

3.4　津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備

3.4.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出

(1)　評価対象となる施設の整理

津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価は，添付書類Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.1　建物・構築物」，「4.2　機器・配管系」又は「4.3　屋外重要土木構造物」に分類し評価を行っていることから，その分類を表3－4－1に示す。

表 3－4－1　津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の分類

No.	施設，設備分類	施設，設備名称	区分
1	津波防護施設	海水貯留堰	屋外重要 土木構造物
2	浸水防止設備	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板	建物・構築物
3	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(A)　閉止板	建物・構築物
4	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(B)　閉止板	建物・構築物
5	浸水防止設備	補機冷却用海水取水槽(C)　閉止板	建物・構築物
6	浸水防止設備	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）	建物・構築物
7	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　水密扉	建物・構築物
8	浸水防止設備	タービン建屋地下 2 階北西階段室 水密扉	建物・構築物
9	浸水防止設備	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 1	建物・構築物
10	浸水防止設備	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	建物・構築物
11	浸水防止設備	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室　水密扉 3	建物・構築物
12	浸水防止設備	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1	建物・構築物
13	浸水防止設備	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2	建物・構築物
14	浸水防止設備	タービン建屋地下中 2 階南西階段室 水密扉	建物・構築物
15	浸水防止設備	タービン建屋地下中 2 階北西階段室 水密扉	建物・構築物
16	浸水防止設備	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室　水密扉	建物・構築物
17	浸水防止設備	循環水配管メンテナンス室　水密扉 1	建物・構築物
18	浸水防止設備	循環水配管メンテナンス室　水密扉 2	建物・構築物
19	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　水密扉 2	建物・構築物
20	浸水防止設備	原子炉補機冷却水系 [redacted] 熱交換器・ポンプ室　水密扉	建物・構築物
21	浸水防止設備	床ドレンライン浸水防止治具	機器・配管系
22	浸水防止設備	貫通部止水処置	機器・配管系
23	津波監視設備	取水槽水位計	機器・配管系*1
24	津波監視設備	津波監視カメラ	機器・配管系*2

*1 ：表 3-2-1「伝送器（矩形壁掛）」に分類。

*2 ：表 3-2-1「監視カメラ」に分類。

Ⅴ-2-別添１　火災防護設備の耐震性に関する説明書

Ⅴ-2-別添 1-1　火災防護設備の耐震計算の方針

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　評価方針 ····· 2
2.2　評価対象設備 ····· 2
2.3　適用規格・基準等 ····· 23
2.4　記号の説明 ····· 24
2.5　計算精度と数値の丸め方 ····· 36
3.　評価部位 ····· 42
4.　固有周期 ····· 45
5.　構造強度評価 ····· 45
5.1　構造強度評価方法 ····· 45
5.1.1　火災感知器 ····· 45
5.1.2　火災受信機盤 ····· 45
5.1.3　ボンベラック ····· 46
5.1.4　選択弁 ····· 46
5.1.5　消火配管 ····· 46
5.1.6　制御盤 ····· 46
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 47
5.2.1　荷重の種類 ····· 47
5.2.2　荷重の組合せ ····· 47
5.2.3　許容応力 ····· 47
5.2.4　ボルトの許容引張応力 ····· 47
5.3　設計用地震力 ····· 51
5.4　計算方法 ····· 51
5.4.1　火災感知器の計算方法 ····· 51
5.4.1.1　熱感知器及び煙感知器 ····· 51
5.4.1.2　煙感知器（防爆型），熱感知器（防爆型），煙感知器（光電分離型），煙吸引式検出設備（防湿型），炎感知器及び熱感知カメラ ····· 53
5.4.1.3　煙吸引式検出設備 ····· 55
5.4.2　火災受信機盤の計算方法 ····· 56
5.4.3　ボンベラックの計算方法 ····· 57
5.4.4　選択弁ラックの計算方法 ····· 58
5.4.5　消火配管の計算方法 ····· 60
5.4.6　制御盤の計算方法 ····· 60
6.　機能維持評価 ····· 60
6.1　火災感知器 ····· 60
6.2　火災受信機盤 ····· 60
6.3　ボンベラック ····· 61

6.4　選択弁 ･･･ 61
6.5　制御盤 ･･･ 61

1. 概要

本資料は,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(以下「技術基準規則」という。）第 11 条及び第 52 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」が適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準」（平成 25 年 6 月 19 日制定）（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合する設計とするため，Ⅴ-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「Ⅴ-1-1-8」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が，火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は，Ⅴ-2-別添 1-2「火災感知器の耐震計算書」，Ⅴ-2-別添 1-3「火災受信機盤の耐震計算書」，Ⅴ-2-別添 1-4「ボンベラックの耐震計算書」，Ⅴ-2-別添 1-5「選択弁の耐震計算書」，Ⅴ-2-別添 1-6「消火配管の耐震計算書」及びⅤ-2-別添 1-7「制御盤の耐震計算書」に示すと共に，動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備に影響評価結果をⅤ-2-別添 1-8「火災防護設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

応力評価は，「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき，「3. 評価部位」にて設定する箇所において，「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が許容限界内に収まることを，「5. 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，機能維持評価は地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 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。

耐震評価フローを図 2－1 に示す。

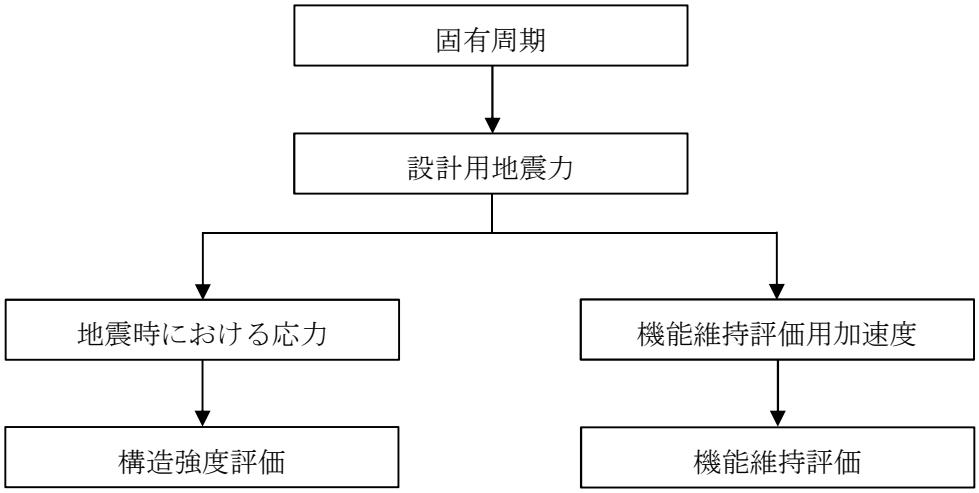


図 2－1 耐震評価フロー

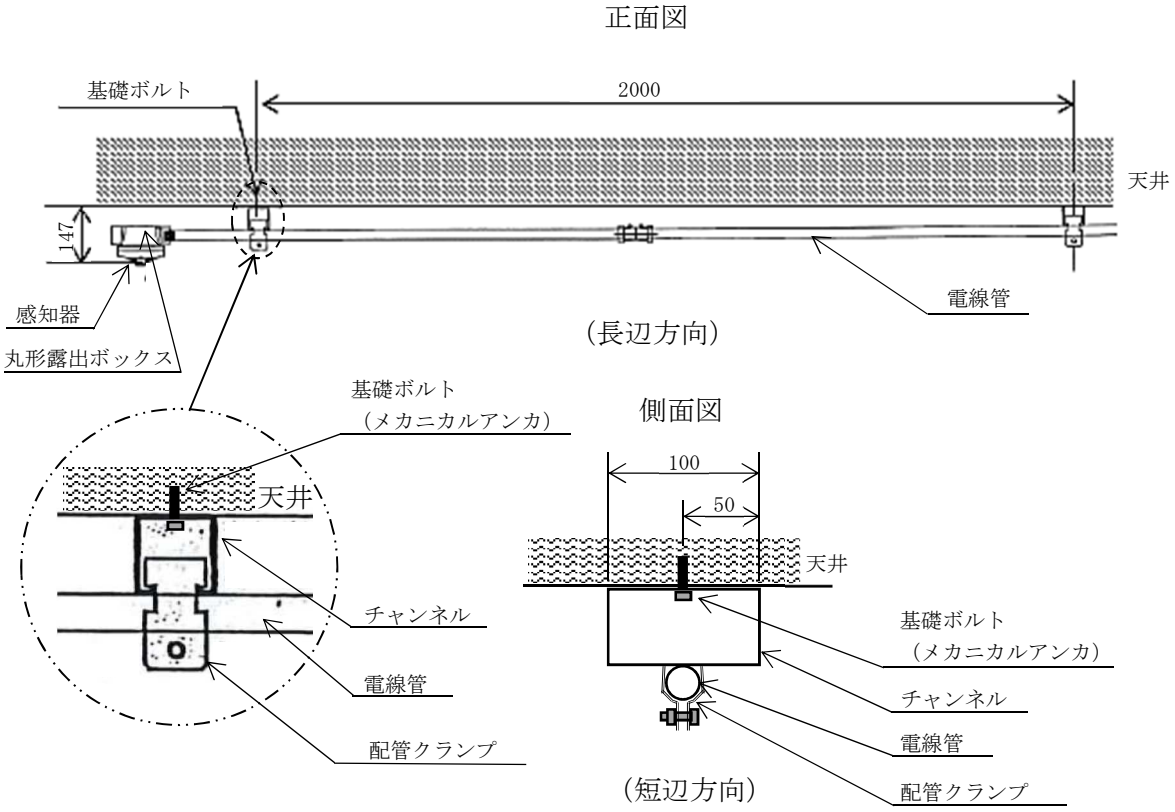
2.2 評価対象設備

評価対象設備は，V-1-1-8 のうち「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災感知器及び火災受信機盤並びにV-1-1-8 のうち「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうちボンベラック，選択弁，消火配管及び制御盤を対象とする。

火災感知設備の構造計画を表 2－1，表 2－2 に，消火設備の構造計画を表 2－3 から表 2－6 に示す。

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（1/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
熱感知器 煙感知器	熱感知器及び煙感知器は，丸形露出ボックスに取り付け，丸形露出ボックスに接続された電線管を配管クランプにてチャンネルに固定する。チャンネルは，基礎ボルトにより天井に固定する。	熱感知器 煙感知器 （天井取付形）	図 2－2



・熱感知器　約 0.16 kg
・煙感知器　約 0.16 kg

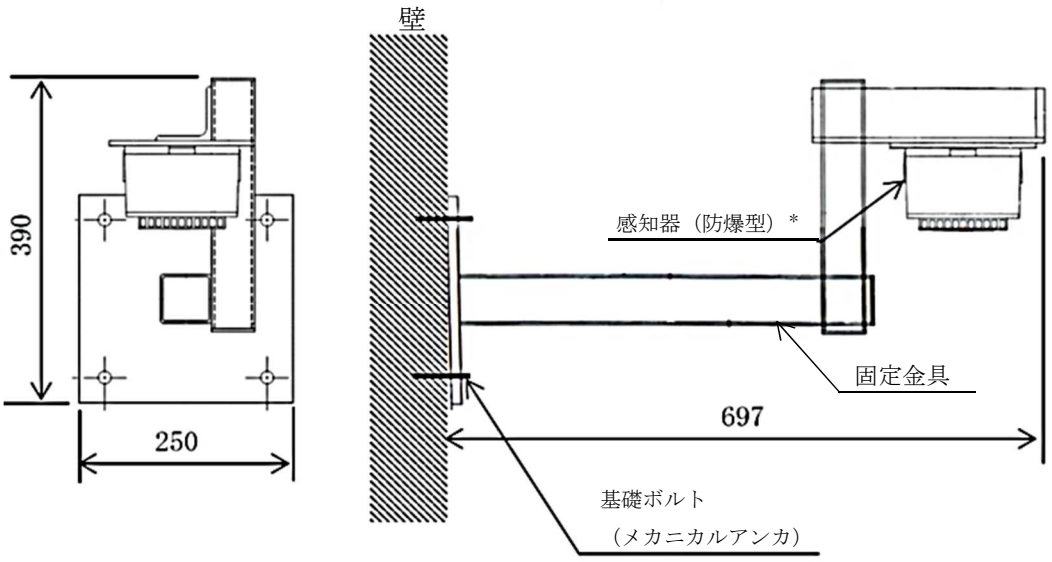
（単位：mm）

図 2－2　火災感知器（熱感知器及び煙感知器）の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（2/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
煙感知器（防爆型） 熱感知器（防爆型）	煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）は，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより壁に固定する。	煙感知器（防爆型） 熱感知器（防爆型） （壁掛形）	図 2－3

正面図　　側面図



（正面方向）　　（側面方向）

・煙感知器（防爆型）　約 3 kg
・熱感知器（防爆型）　約 0.95 kg

注記＊：図の感知器（防爆型）は，質量のより大きい煙感知器（防爆型）とする。

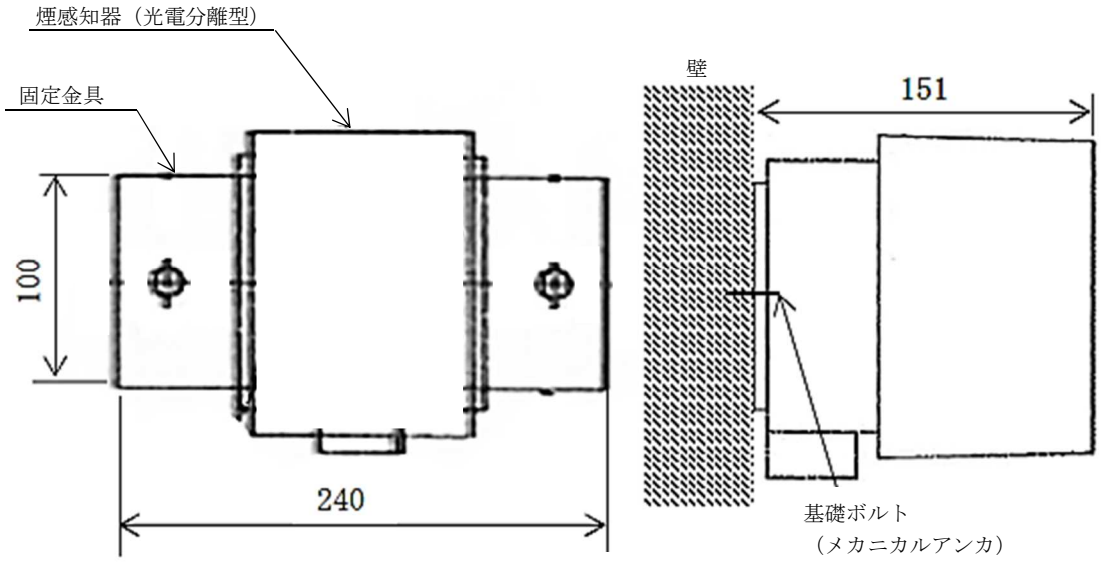
（単位：mm）

図 2－3　火災感知器（煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型））の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（3/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
煙感知器 （光電分離型）	煙感知器（光電分離型）は，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより壁に固定する。	煙感知器 （光電分離型） （壁掛形）	図 2－4

正面図　　側面図



（正面方向）　　（側面方向）

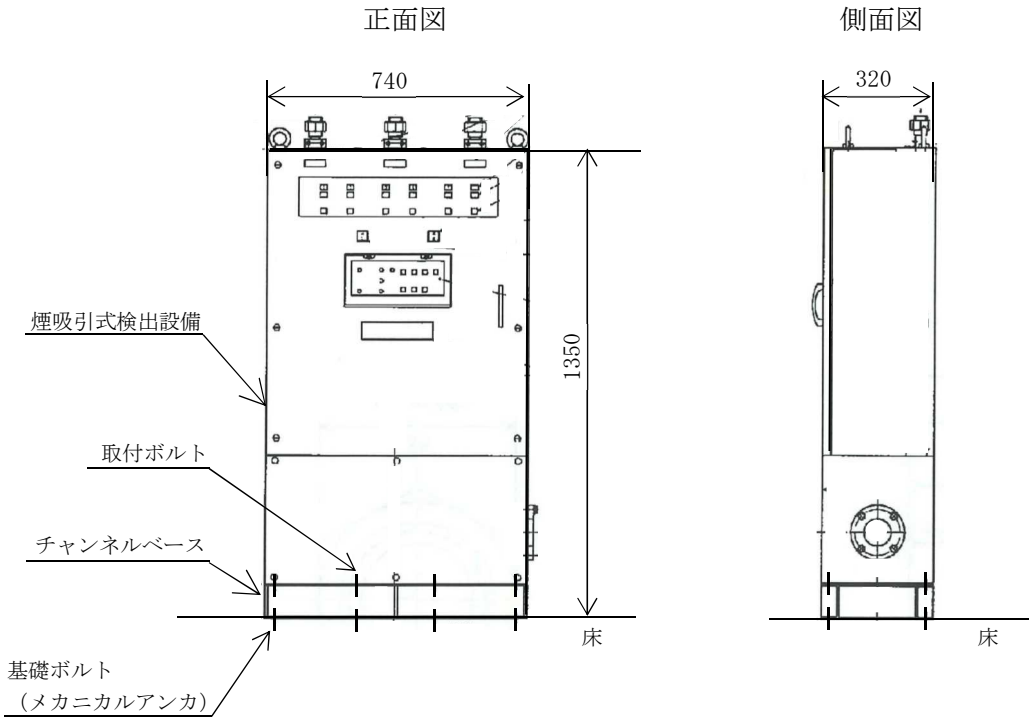
・煙感知器（光電分離型）　約 0.75 kg

（単位：mm）

図 2－4　火災感知器（煙感知器（光電分離型））の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（4/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
煙吸引式検出設備	煙吸引式検出設備は，取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け，チャンネルベースを基礎ボルトにより床に固定する。	煙吸引式検出設備 （直立形）	図 2－5



・煙吸引式検出設備　約 320 kg

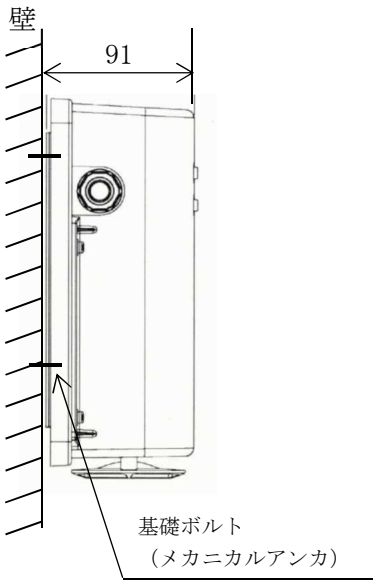
（単位：mm）

図 2－5　火災感知器（煙吸引式検出設備）の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（5/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
煙吸引式検出設備 （防湿型）	煙吸引式検出設備（防湿型）は，基礎ボルトにより壁に固定する。	煙吸引式検出設備 （防湿型） （壁掛形）	図 2－6

側面図



（側面方向）

正面図

（正面方向）

・煙吸引式検出設備（防湿型）　約 2.8 kg

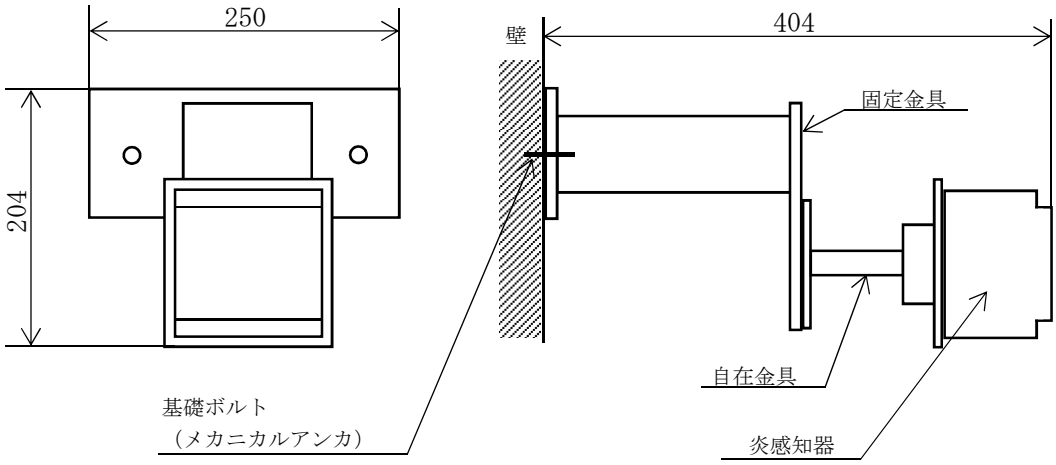
（単位：mm）

図 2－6　火災感知器（煙吸引式検出設備（防湿型））の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（6/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器	炎感知器は，自在金具に取り付け，自在金具を固定した固定金具を基礎ボルトにより壁に固定する。	炎感知器 （壁掛形）	図 2－7

正面図　　側面図



（正面方向）　　（側面方向）

・炎感知器　約 1.3 kg

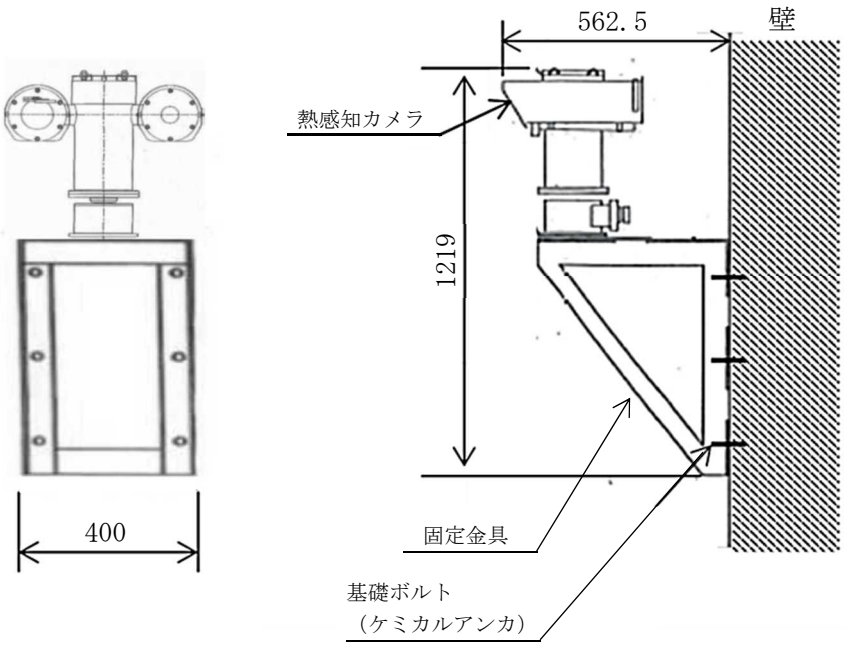
（単位：mm）

図 2－7　火災感知器（炎感知器）の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災感知器の構造計画（7/7）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
熱感知カメラ	熱感知カメラは，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより屋外の壁に固定する。	熱感知カメラ（壁掛形）	図 2－8

正面図　　側面図



（正面方向）　　（側面方向）

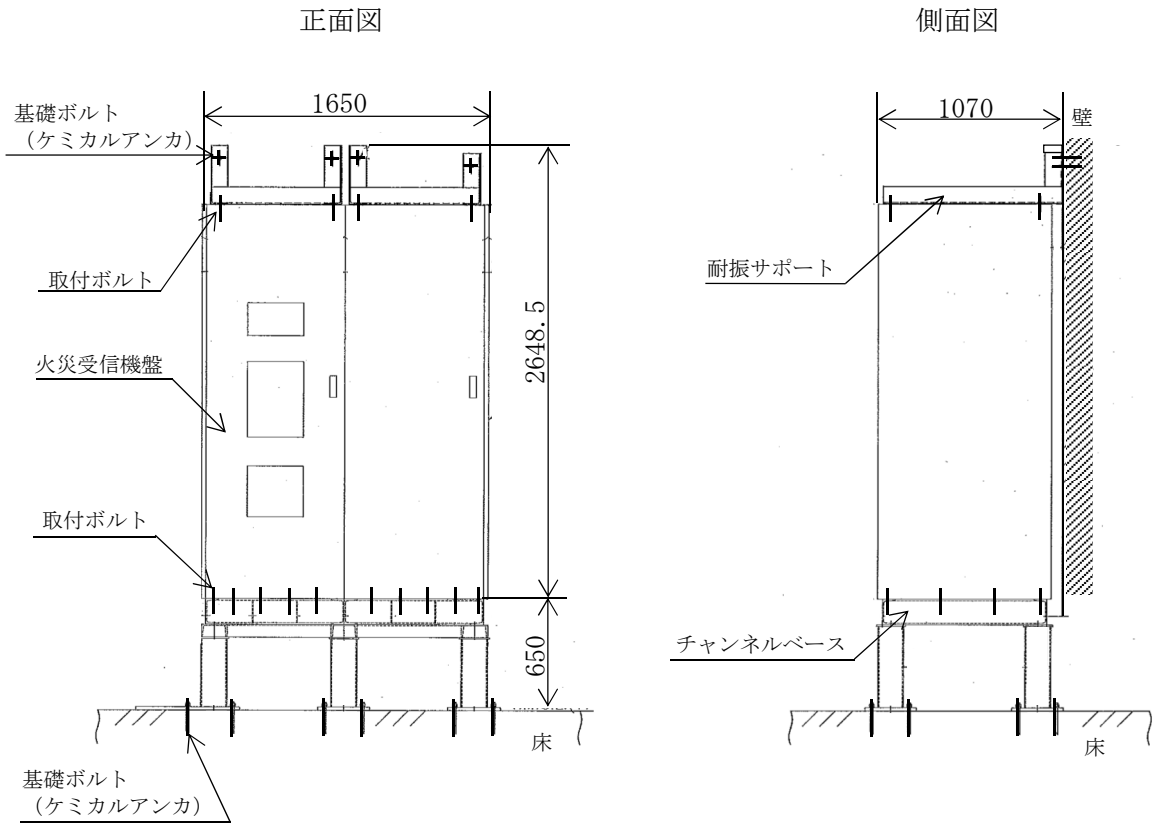
・熱感知カメラ　約 40 kg

（単位：mm）

図 2－8　火災感知器（熱感知カメラ）の概要図

表 2－2　火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤	火災受信機盤は，取付ボルトにて耐震サポート及びチャンネルベースに固定する。耐震サポートは，基礎ボルトにより基礎部である壁に固定し，チャンネルベースは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	火災受信機盤 （壁支持を含む 直立形）	図 2－9

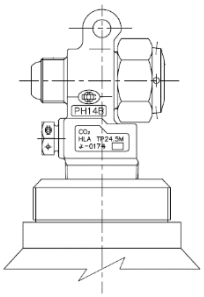


（単位：mm）

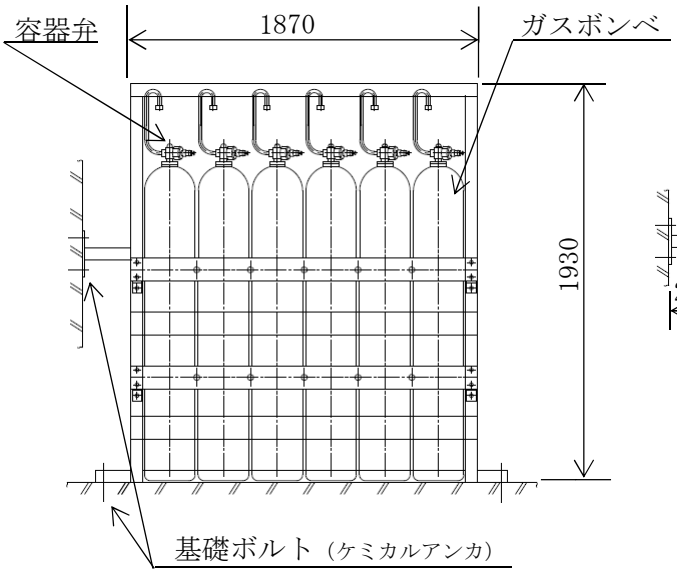
図 2－9　火災受信機盤の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画(1/8)

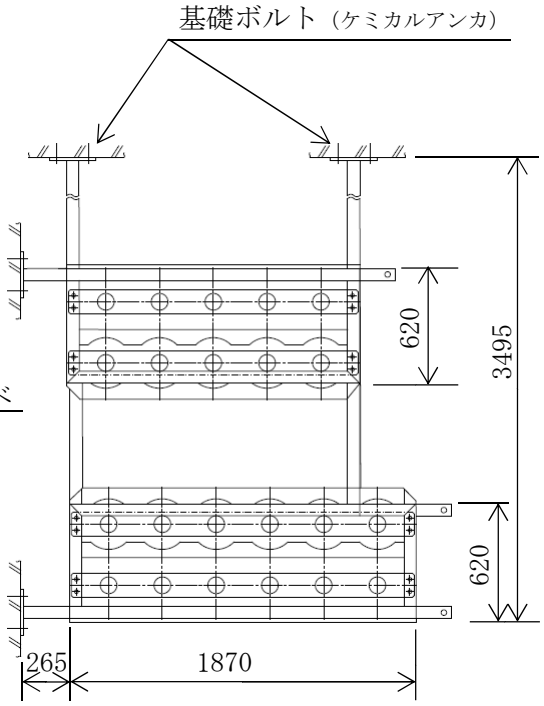
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （二酸化炭素消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁と床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （壁支持を含む 直立形）	図 2－10



容器弁外観図



6802 列 12 本用ボンベラック外観図



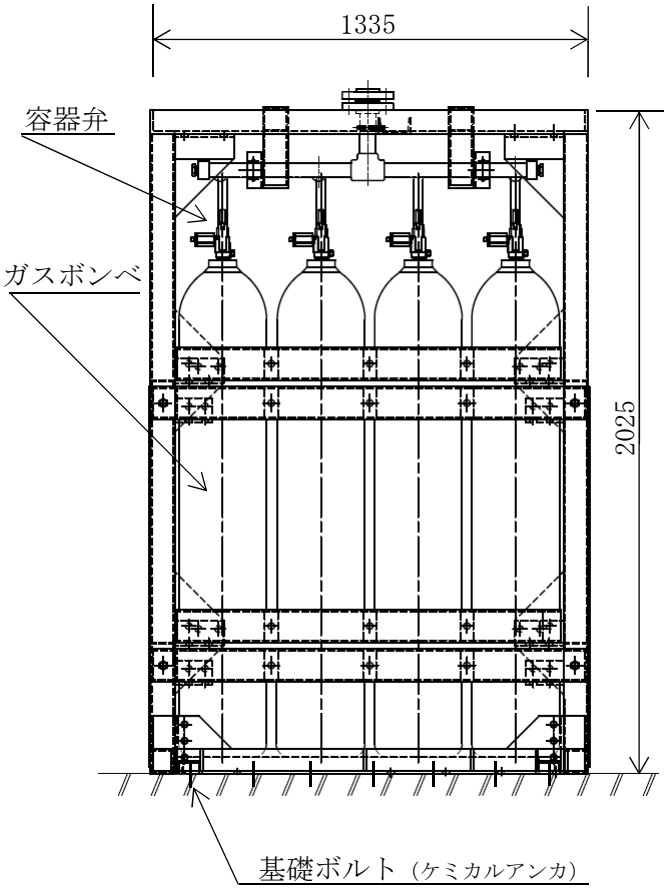
ボンベラック平面図
（6802 列 12 本用/6802 列 10 本用）

（単位：mm）

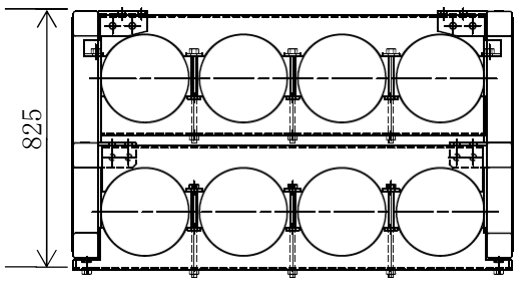
図 2－10　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画(2/8)

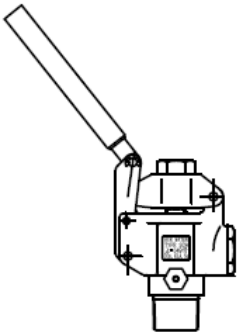
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （小空間固定式消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－11



68ℓ2 列 8 本用ボンベラック外観図



ボンベラック平面図



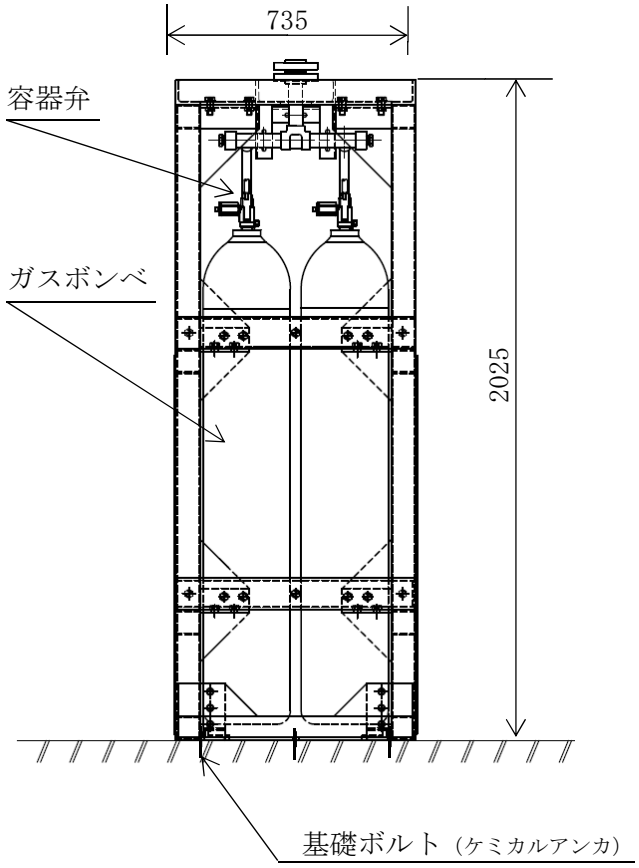
容器弁外観図

（単位：mm）

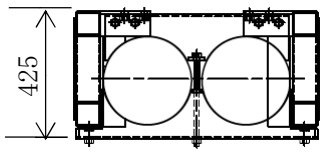
図 2－11　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画(3/8)

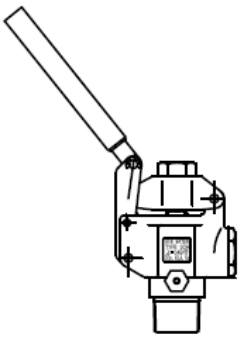
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （小空間固定式消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－12



68ℓ1 列 2 本用ボンベラック外観図



ボンベラック平面図



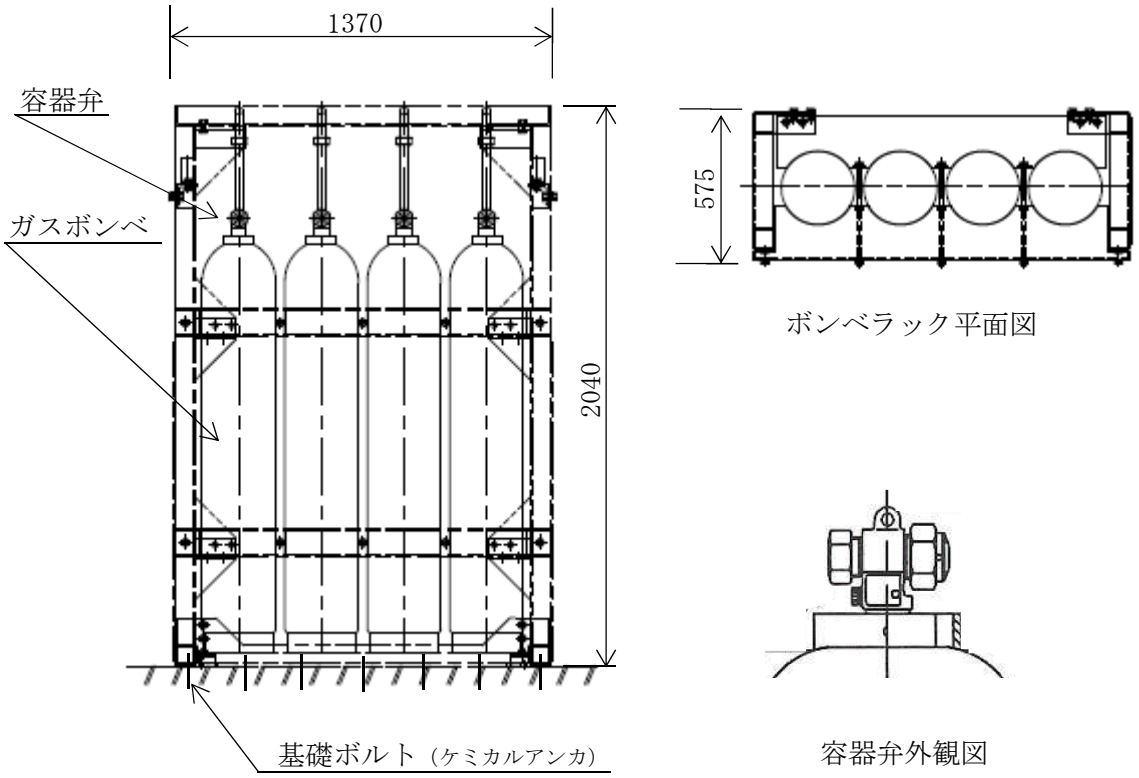
容器弁外観図

（単位：mm）

図 2－12　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画(4/8)

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック (SLC ポンプ・CRD ポンプ 局所消火設備)	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 (直立形)	図 2－13

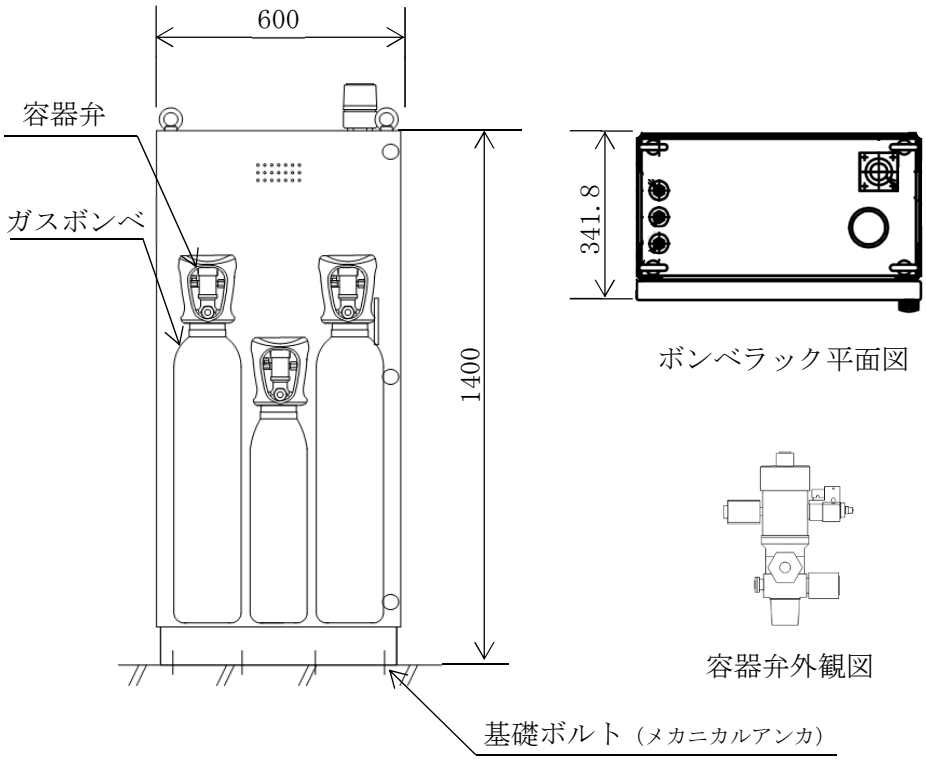


(単位：mm)

図 2－13　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（5/8）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （電源盤・制御盤 消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－14



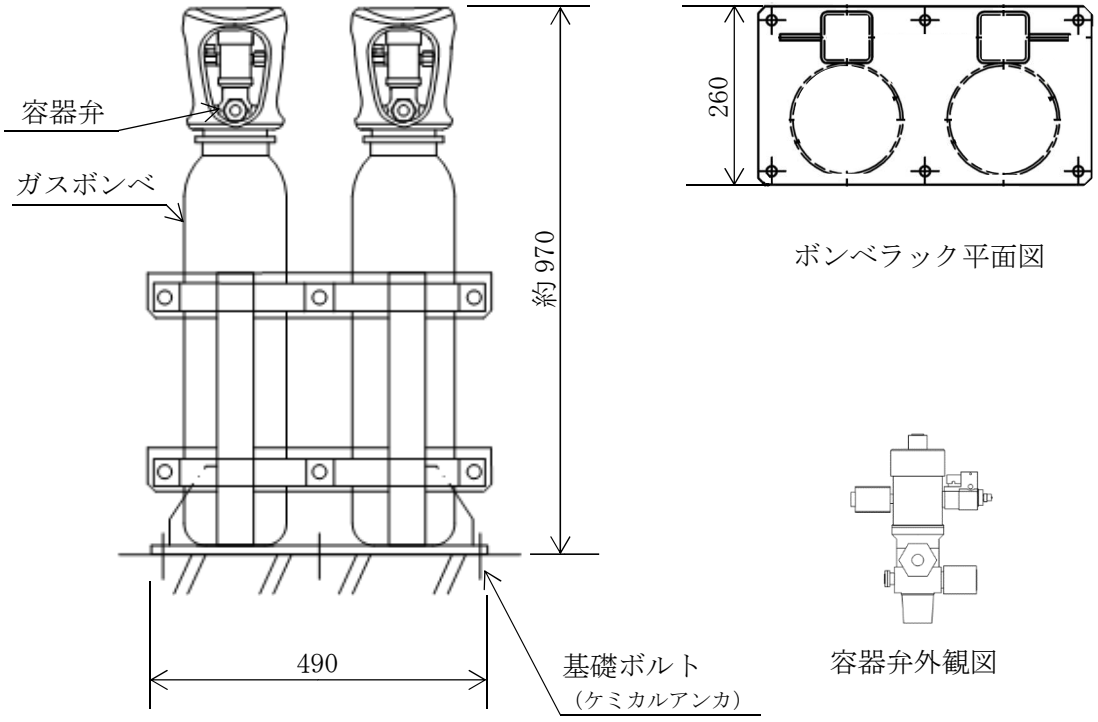
13.40,6.703 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－14　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（6/8）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （ケーブルトレイ 消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－15



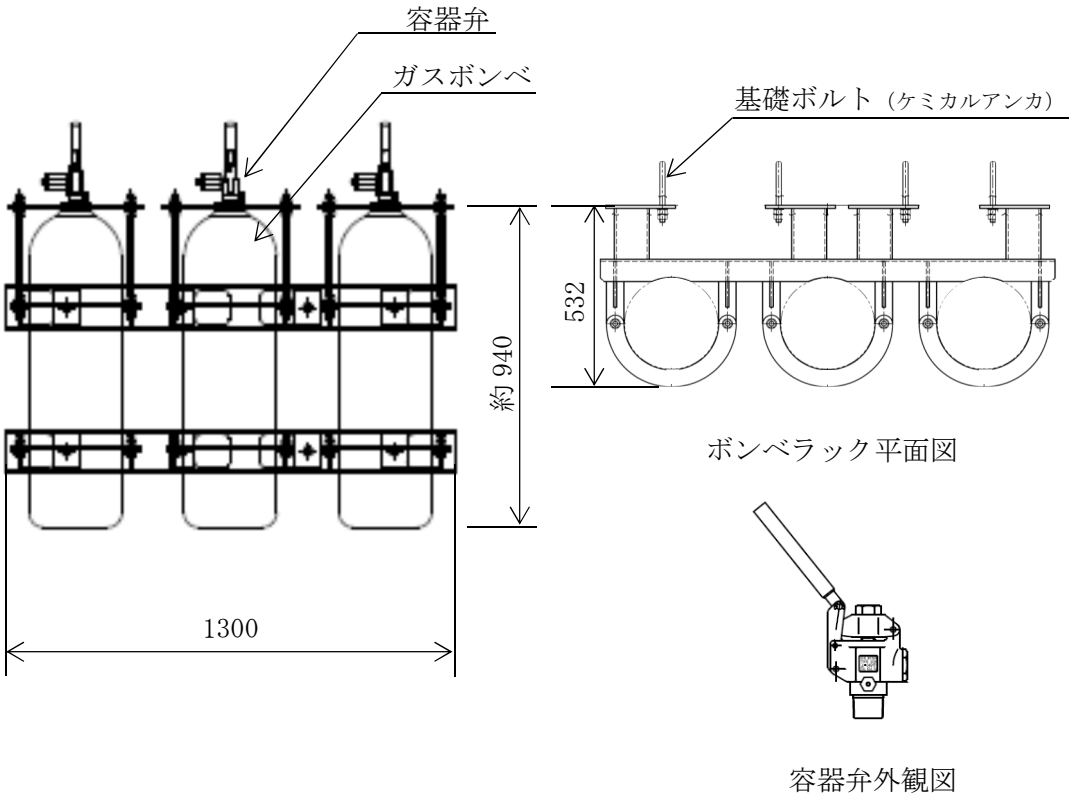
13.4ℓ床置 2 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－15　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（7/8）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （壁掛形）	図 2－16



ボンベラック平面図

容器弁外観図

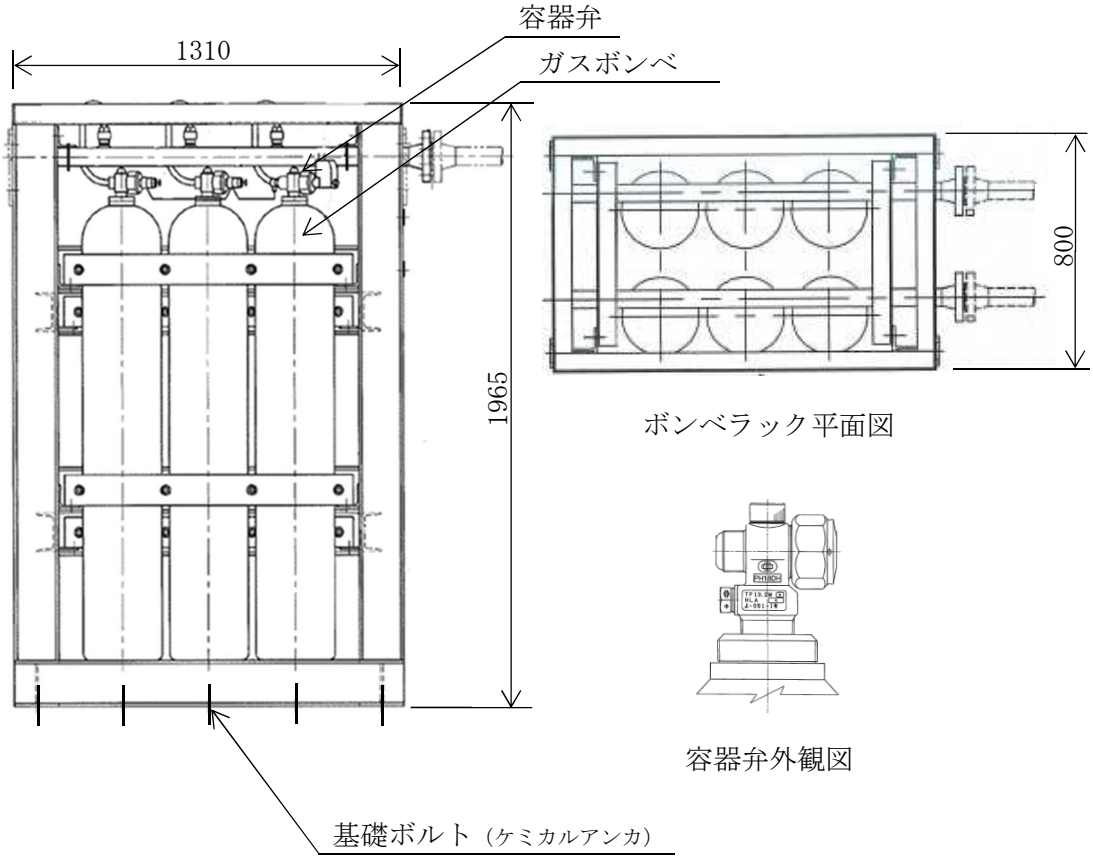
40ℓ壁掛 3 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－16　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（8/8）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	図 2－17



ボンベラック平面図

容器弁外観図

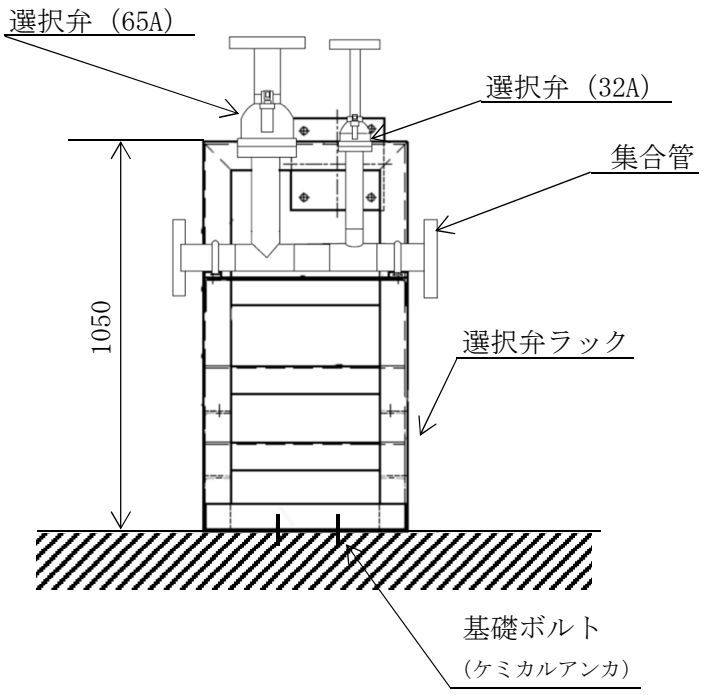
68ℓ2 列 6 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

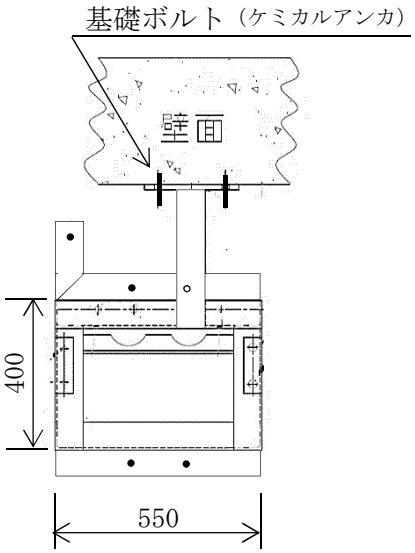
図 2－17　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の概要図

表 2－4　火災防護設備のうち選択弁の構造計画

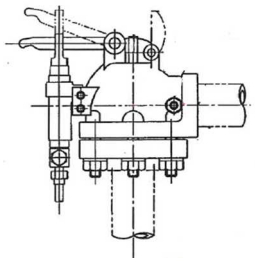
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
選択弁ラック （二酸化炭素消火設備）	選択弁は，集合管に取り付けて固定する。集合管は，選択弁ラックに固定し，選択弁ラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁と床に固定する。	選択弁，集合管及び選択弁ラック（壁支持を含む直立形）	図 2－18



選択弁ラック外観図



選択弁ラック平面図



選択弁外観図

（単位：mm）

図 2－18　選択弁ラック（二酸化炭素消火設備）の概要図

表 2－5　火災防護設備のうち消火配管の構造計画（1/2）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
消火配管 （電源盤・制御盤 消火設備）	消火配管は，配管の自在性を活かすため，Uボルトや U バンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置する。	消火配管	図 2－19

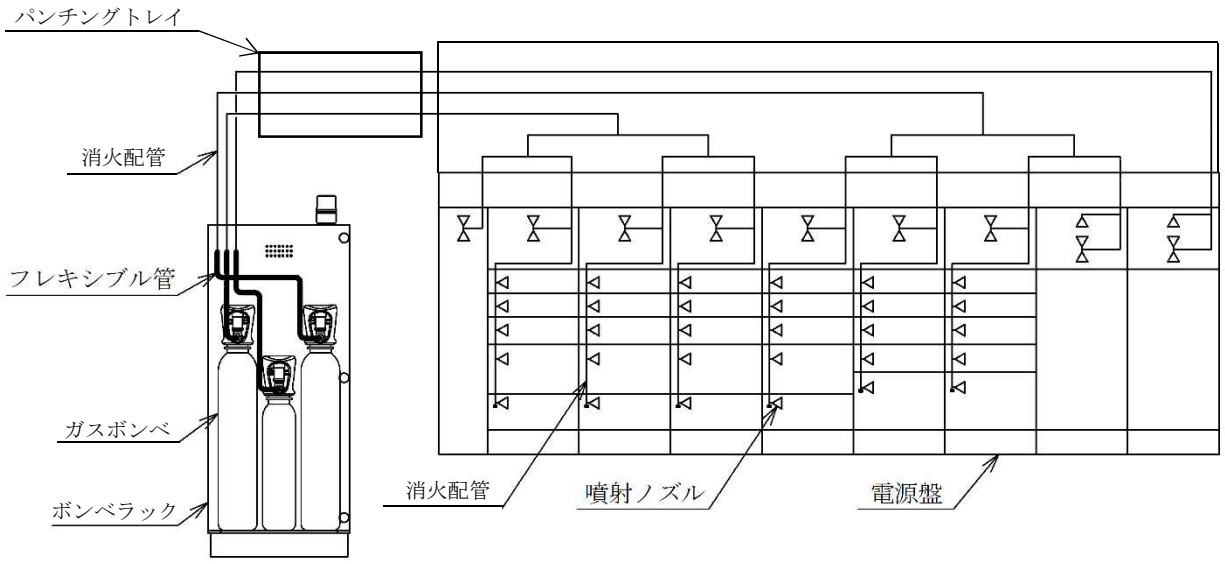


図 2－19　消火配管（電源盤・制御盤消火設備）の概要図

表 2－5　火災防護設備のうち消火配管の構造計画（2/2）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
消火配管 （ケーブルトレイ 消火設備）	消火配管はケーブルトレイ外において，配管の自在性を活かすため，Uボルトや U バンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置する。	消火配管	図 2－20

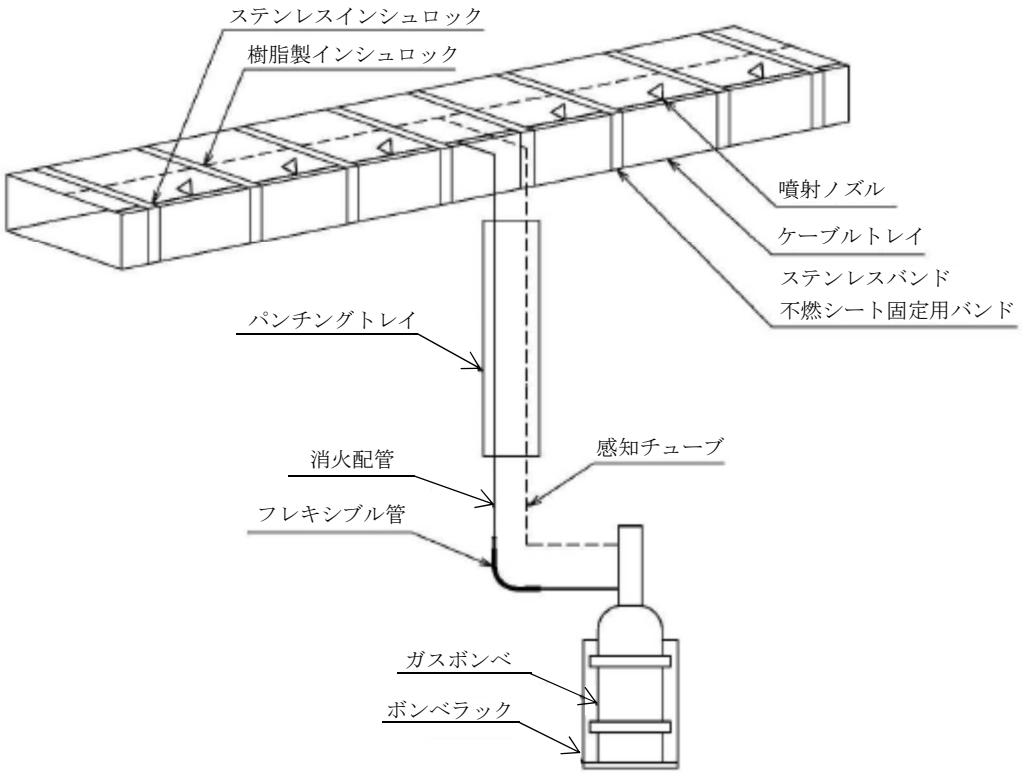
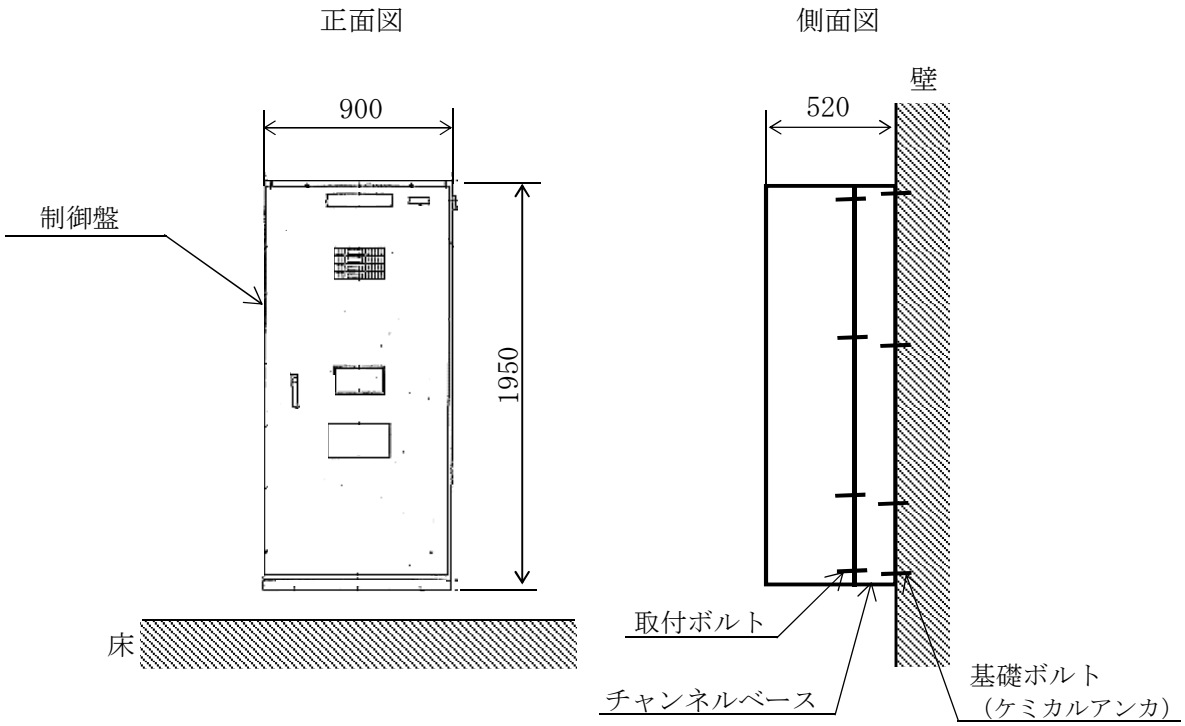


図 2－20　消火配管（ケーブルトレイ消火設備）の概要図

表 2－6　火災防護設備のうち制御盤の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御盤	制御盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	制御盤 （壁掛形）	図 2－21



（単位：mm）

図 2－21　制御盤の概要図

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　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６01－1991　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。）

・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005）

・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会　2010 年改定）

・日本工業規格（ＪＩＳ）

2.4　記号の説明

表 2－7　熱感知器及び煙感知器の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心と転倒支点間の水平方向距離*1, *3	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
m_i	機器の質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	―
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	―
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値*1	MPa
$S_{yi}(RT)$	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*1	MPa
π	円周率	―
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記＊1 ：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，$S_y(RT)$，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字 i の意味は，以下のとおりとする。

i ＝1：基礎ボルト

i ＝2：取付ボルト

＊2 ：h_i及びm_iの添字 i の意味は，以下のとおりとする。

i ＝1：据付面

i ＝2：取付面

＊3 ：$\ell_{1i} \geqq \ell_{2i}$

表 2－8　煙感知器（防爆型），熱感知器（防爆型），煙感知器（光電分離型），煙吸引式検出設備（防湿型），炎感知器及び熱感知カメラの応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心と転倒支点間の鉛直方向距離*1	mm
ℓ_{2i}	転倒支点と上側ボルト間の鉛直方向距離*1	mm
ℓ_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離*1	mm
m_i	機器の質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	—
n_{fVi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）*1	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）*1	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値*1	MPa
$S_{yi}(RT)$	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*1	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記＊1 ：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，F_{b1i}，F_{b2i}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，ℓ_{3i}，n_i，n_{fVi}，n_{fHi}，Q_{bi}，Q_{b1i}，Q_{b2i}，S_{ui}，S_{yi}，S_{yi}（RT），σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2 ：h_i及びm_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：取付面

表 2－9　煙吸引式検出設備の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*1, *3	mm
m_i	機器の質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	―
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*1	―
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値*1	MPa
S_{yi}（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*1	MPa
π	円周率	―
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記＊1 ：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，S_{yi}（RT），σ_{bi}及びτ_{bi}の添字 i の意味は，以下のとおりとする。

i＝1：基礎ボルト

i＝2：取付ボルト

＊2 ：h_i及びm_iの添字 i の意味は，以下のとおりとする。

i＝1：据付面

i＝2：取付面

＊3 ：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

表 2－10　火災受信機盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離（直立形）*1, *3	mm
ℓ_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）*1	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離（直立形）*1, *3	mm
ℓ_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）*1	mm
ℓ_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）*1	mm
m_i	運転時質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	―
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（直立形）*1	―
n_{fVi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）*1	―
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）*1	―
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値*1	MPa
$S_{yi}(RT)$	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*1	MPa
π	円周率	―
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記＊1 ：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，F_{b1i}，F_{b2i}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，ℓ_{3i}，n_i，n_{fi}，n_{fVi}，n_{fHi}，Q_{bi}，Q_{b1i}，Q_{b2i}，S_{ui}，S_{yi}，S_{yi}（ＲＴ），σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2 ：h_i及びm_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：取付面

＊3 ：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

表 2－11　ボンベラックの応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	基礎ボルト断面積	mm^2
F_s	基礎ボルトのせん断力	N
F_t	基礎ボルトの引張力	N
F_x	軸力	N
F_y	せん断力	N
F_z	せん断力	N
M_x	ねじりモーメント	N･mm
M_y	曲げモーメント	N･mm
Z_x	ねじり断面係数	mm^3
Z_y	断面係数	mm^3
A	軸方向断面積	mm^2
A_{sy}	ラック部材の有効せん断断面積（Y 軸方向）	mm^2
A_{sz}	ラック部材の有効せん断断面積（Z 軸方向）	mm^2
σ	ボンベラック部材の組合せ応力	MPa
σ_a	ボンベラック部材の引張応力	MPa
σ_b	ボンベラック部材の曲げ応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに発生する引張応力	MPa
τ	ボンベラック部材のせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa
τ_t	ねじりモーメントによるせん断応力	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
f_t	許容引張応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
E	ボンベラックの縦弾性係数	MPa
E_b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa

表 2－12　選択弁ラックの応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
d	ボルトの呼び径	mm
A_b	基礎ボルト断面積	mm^2
F_s	基礎ボルトのせん断力	N
F_t	基礎ボルトの引張力	N
F_x	軸力	N
F_y	せん断力	N
F_z	せん断力	N
M_x	ねじりモーメント	N･mm
M_y	曲げモーメント	N･mm
Z_x	ねじり断面係数	mm^3
Z_y	断面係数	mm^3
A	軸方向断面積	mm^2
A_{sy}	ラック部材の有効せん断断面積（Y 軸方向）	mm^2
A_{sz}	ラック部材の有効せん断断面積（Z 軸方向）	mm^2
σ	ラック部材の組合せ応力	MPa
σ_a	ラック部材の引張応力	MPa
σ_b	ラック部材の曲げ応力	MPa
σ_{bt}	基礎ボルトに発生する引張応力	MPa
τ	ラック部材のせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa
τ_t	ねじりモーメントによるせん断応力	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
f_t	許容引張応力	MPa
f_b	許容曲げ応力	MPa
f_s	許容せん断応力	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
E	ラックの縦弾性係数	MPa
E_b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa

表 2－13　消火配管の応力評価に使用する記号の定義

記号	記号の説明	単位
B_1, B_2, B_{2b}, B_{2r}	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次応力の計算に使用するもの）	—
C_2, C_{2b}, C_{2r}	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（一次＋二次応力の計算に使用するもの）	—
D_0	管の外径	mm
E	設計・建設規格　付録材料図表 Part6 表 1 に規定する縦弾性係数	MPa
i_1	応力係数で設計・建設規格　PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか大きい方の値	—
i_2	応力係数で設計・建設規格　PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか大きい方の値	—
K_2, K_{2b}, K_{2r}	設計・建設規格　PPB-3810 に規定する応力係数（ピーク応力の計算に使用するもの）	—
M_a	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N･mm
M_b	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N･mm
M_b^*	地震による慣性力により生じるモーメントの全振幅	N･mm
M_{bp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N･mm
M_{bs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N･mm
M_c	耐震性についての計算：地震による相対変位により生じるモーメントの全振幅	N･mm
M_{ip}	耐震性についての計算：管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N･mm
M_{is}	耐震性についての計算：管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N･mm
M_{rp}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重（地震による慣性力を含む）により生じるモーメント	N･mm

記号	記号の説明	単位
M_{rs}	耐震性についての計算：管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の地震による慣性力と相対変位により生じるモーメントの全振幅	N･mm 回
n_i	繰返し荷重 i の実際の繰返し回数	回
N_i	繰返し荷重 i に対し，設計・建設規格　PPB-3534 に従って算出された許容繰返し回数	回
P	耐震性についての計算：地震と組合せるべき運転状態における圧力	MPa
S_h	最高使用温度における設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に規定する材料の許容引張応力	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 1 に規定する材料の設計応力強さ	MPa
S_n	一次＋二次応力	MPa
S_p	ピーク応力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に規定する材料の設計降伏点	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に規定する材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
US_s	Ｓｓ地震動のみによる疲労累積係数	―
Z，Z_i	管の断面係数	mm^3
Z_b	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数	mm^3
Z_r	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数	mm^3
ε_e	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，弾性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_e = \bar{\sigma}^* / E$ $\bar{\sigma}^*$：弾性解析によるミーゼス相当応力	―
ε_{ep}	S_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して，材料の応力－ひずみ関係として，降伏応力をS_mの 1.5 倍の値とした弾完全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであり，次の計算式により計算した値 $\varepsilon_{ep} = \bar{\sigma} / E + \bar{\varepsilon}_p$ $\bar{\sigma}$：弾塑性解析によるミーゼス相当応力 $\bar{\varepsilon}_p$：弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	―

表 2－14　制御盤の応力評価に用いる記号の定義

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積*1	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d_i	ボルトの呼び径*1	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値*1	MPa
F_i^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値*1	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*1	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）*1	mm
ℓ_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）*1	mm
ℓ_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）*1	mm
m_i	運転時質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	―
n_{fVi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（鉛直方向）（壁掛形）*1	―
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（水平方向）（壁掛形）*1	―
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*1	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）*1	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値*1	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値*1	MPa
$S_{yi}(RT)$	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*1	MPa
π	円周率	―
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

注記＊1 ：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，F_{b1i}，F_{b2i}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，
ℓ_{3i}，n_i，n_{fVi}，n_{fHi}，Q_{bi}，Q_{b1i}，Q_{b2i}，S_{ui}，S_{yi}，
S_{yi}（ＲＴ），σ_{bi}及びτ_{bi}の添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：基礎ボルト

ｉ＝2：取付ボルト

＊2 ：h_i及びm_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：据付面

ｉ＝2：取付面

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2－15から表2－20に示すとおりである。

表2－15　火災感知器の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
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積	mm^2	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
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

注記＊1　：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。

＊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。

表 2－16　火災受信機盤の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
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積	mm^2	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
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

注記＊1 ：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。

＊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。

表 2－17　ボンベラックの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
刺激係数		—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	ガスボンベの厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 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
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
機能維持評価用加速度		$\times 9.8 m/s^2$	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度		$\times 9.8 m/s^2$	—	—	小数点以下第 2 位

注記＊1 ：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。

＊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。

表 2－18　選択弁ラックの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
刺激係数		—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	ガスボンベの厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 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
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
機能維持評価用加速度		×9.8m/s^2	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度		×9.8m/s^2	—	—	小数点以下第 2 位

注記＊1 ：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。

＊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。

表 2－19　消火配管の表示する数値の丸め方

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	変位量	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
計算条件	圧力	MPa	小数点第 3 位	四捨五入	小数点第 2 位*1
	温度	℃	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	厚さ	mm	小数点第 2 位	四捨五入	小数点第 1 位
	縦弾性係数	MPa	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	質量	kg	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第 1 位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	回転ばね定数	N･mm/rad	有効桁数 3 桁	四捨五入	有効桁数 2 桁
	方向余弦	―	小数点第 5 位	四捨五入	小数点第 4 位
	許容応力*2	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	減衰定数	%	―	―	小数点第 1 位
解析結果及び評価	固有周期	s	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	震度	―	小数点第 3 位	切上げ	小数点第 2 位
	刺激係数	―	小数点第 4 位	四捨五入	小数点第 3 位
	計算応力	MPa	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容応力*2	MPa	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	計算荷重	kN	小数点第 1 位	切上げ	整数位
	許容荷重	kN	小数点第 1 位	切捨て	整数位
	疲労累積係数	―	小数点第 5 位	切上げ	小数点第 4 位
	機能維持評価用加速度	×9.8m/s^2	小数点第 2 位	切上げ	小数点第 1 位
	機能確認済加速度	×9.8m/s^2	―	―	小数点第 1 位

注記＊1 ：必要に応じて小数点第 3 位表示とする。また，静水頭は「静水頭」と記載する。

＊2 ：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応力は，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。

表 2－20　制御盤の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
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*1
面積	mm^2	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
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

注記＊1 ：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。

＊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

火災防護設備の耐震評価は，「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，以下について評価を実施する。

(1) 火災感知器

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災感知器は，耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災感知器は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，火災感知器を固定する火災感知器の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{Ⅳ_A}$Ｓの許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(2) 火災受信機盤

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災受信機盤は，耐震性を有するコントロール建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災受信機盤は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，火災受信機盤を固定する火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{Ⅳ_A}$Ｓの許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(3) ボンベラック

a. ボンベラック及び基礎ボルト

ボンベラックは，耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ボンベラックは，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，ボンベラックの構成品であるボンベラック及び基礎ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(4) 選択弁

a. 選択弁ラック及び基礎ボルト

選択弁ラックは，耐震性を有する原子炉建屋にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

選択弁は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，選択弁の構成品である選択弁ラック及び基礎ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(5) 消火配管

a. 管及び支持構造物

消火配管（電源盤・制御盤消火設備及びケーブルトレイ消火設備を除く。）は，耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が，火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，管及び支持構造物の許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

消火配管のうち電源盤・制御盤消火設備及びケーブルトレイ消火設備は，配管の自在性を活かすため，消火配管をＵボルトやＵバンド等にて支持することなくパンチングトレイ内に設置することで基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(6) 制御盤

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

制御盤は，耐震性を有する原子炉建屋等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

制御盤は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，制御盤を固定する制御盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

4.　固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は，振動試験，3 次元多質点系はりモデル又は，はり・シェルモデルによる解析より求める。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

5.1.1　火災感知器

(1)　火災感知器の質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は火災感知器に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　火災感知器は基礎ボルト又は取付ボルトで固定されており，固定端とする。

(4)　天井取付形及び直立形の火災感知器については，図 5－1 及び図 5－3 における長辺方向及び短辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。壁掛形の火災感知器については，図 5－2 における正面方向及び側面方向*について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(5)　重心位置については，転倒方向を考慮して，計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

注記＊：壁掛形の火災感知器の転倒方向は，火災感知器を正面より見て左右に転倒する場合を正面方向転倒，前方に転倒する場合を側面方向転倒という。

5.1.2　火災受信機盤

火災受信機盤の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料 9　盤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。

5.1.3　ボンベラック

(1)　ボンベラックについては，3 次元多質点系はりモデル又は，はり・シェルモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

(2)　ガスボンベは，ボンベラックに固定され，ボンベラックは，基礎ボルトにより建屋躯体である壁若しくは床に固定される。

(3)　動的地震力による解析は固有値解析の結果，1 次固有振動数が 20Hz 以上の場合は剛構造として 1.2ZPA の加速度による静的解析を行い，20Hz 未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.1.4　選択弁

(1)　選択弁ラックについては，3 次元多質点系はりモデルによる固有値解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

(2)　選択弁は，集合管に固定され，選択弁ラックは，基礎ボルトにより建屋躯体である壁と床に固定される。

(3)　動的地震力による解析は固有値解析の結果，1 次固有振動数が 20Hz 以上の場合は剛構造として 1.2ZPA の加速度による静的解析を行い，20Hz 未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.1.5　消火配管

(1)　消火配管及び支持構造物の構造強度評価は，Ⅴ-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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

(2)　電源盤・制御盤消火設備及びケーブルトレイ消火設備の消火配管については，消火配管の自在性を活かした設置方法であり，解析による評価が困難であることから，加振試験を行い，加振試験後の外観検査及び気密試験による健全性の確認及び，設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により，耐震評価を実施する。

　耐震評価に用いる設置位置での加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とし，評価対象フロアは各消火配管の中で最上階に設置されたフロアを対象とするが，消火配管は建屋壁に支持されていることから，評価対象フロアの上下階のいずれか大きい方の応答加速度を適用する。

5.1.6　制御盤

　制御盤の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料 9　盤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。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の種類

荷重は，Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せは，火災起因の荷重は発生しないため，Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1　構造強度上の制限」に示す，機器，配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表5－1に示す。

5.2.3　許容応力

許容限界は，Ｖ-1-1-8の「5.1　火災感知設備について」及び「5.2　消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標に従い，評価対象部位ごとに設定する。

各評価項目の許容限界を，表5－2から表5－7に示す。

5.2.4　ボルトの許容引張応力

ボルトの許容引張応力f_{ts}を次式に示す。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.\ 2.\ 4.\ 1)$$

許容引張応力 f_{to}は下表による。

	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	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2}\cdot 1.5$

表 5－1　設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設分類	設備	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
ＤＢ	火災感知器	Ｃ	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ
	火災受信機盤	Ｃ	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ
	ボンベラック	Ｃ	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ
	選択弁	Ｃ	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ
	消火配管	Ｃ	クラス３管	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ
	制御盤	Ｃ	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋S_S	ⅣＡＳ

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5－2　火災感知器の許容限界

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・f_t*	1.5・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 5－3　火災受信機盤の許容限界

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・f_t*	1.5・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 5－4　ボンベラックの許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2 （部材）	許容限界*1，*2 （基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
ⅣAS	1.5・ｆ t*	1.5・ｆ t*	1.5・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 5－5　選択弁ラックの許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2 （部材）	許容限界*1，*2 （基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
ⅣAS	1.5・ｆ t*	1.5・ｆ t*	1.5・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 5－6　消火配管の許容限界

許容応力状態	許容限界		
	一次応力（曲げ応力含む）	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
ⅣAS	0.9Ｓu	Ｓs 地震動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 2Ｓy以下であれば，疲労解析は行わない。	

注記＊：2Ｓyを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし，Ｓyは2/3Ｓyと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5－7　制御盤の許容限界

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
$\mathrm{IV_AS}$	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*

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。

5.3　設計用地震力

地震力は，Ｖ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づく地震力又はそれを上回る地震力を設定する。

5.4　計算方法

5.4.1　火災感知器の計算方法

5.4.1.1　熱感知器及び煙感知器

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。重心位置については，電線管の自重が支配的であるため感知器の先端ではなく，電線管を支持する隣り合う支持点から水平方向に最も離れる支持点間の中心，天井面より鉛直方向に最も離れる感知器先端までの位置を重心として設定する。計算モデルを図 5－1 に示す。

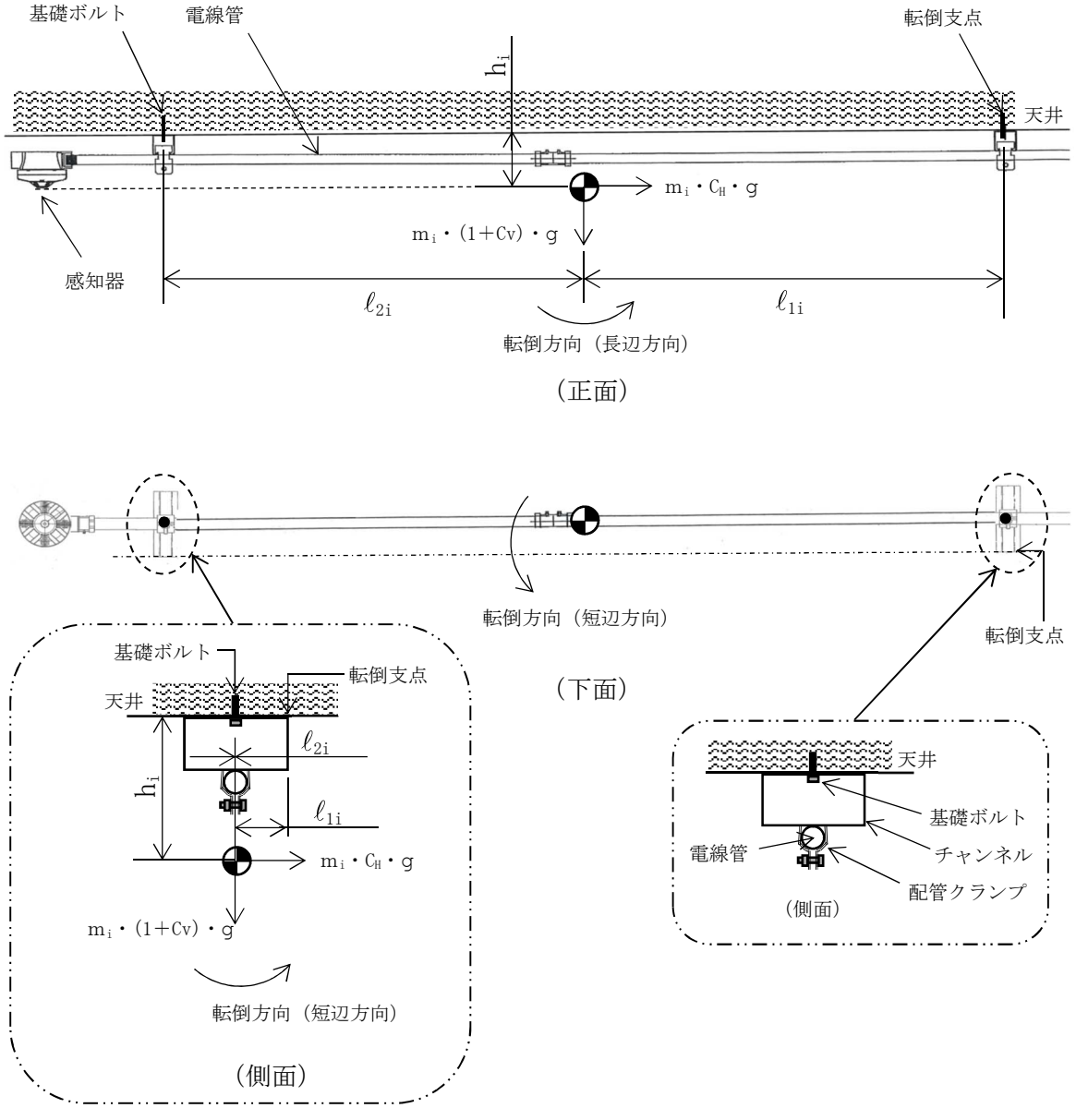


図 5－1　熱感知器及び煙感知器　計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5－1で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{bi}=\frac{m_i\cdot C_H\cdot h_i\cdot g+m_i\cdot(1+Cv)\cdot \ell_{1i}\cdot g}{n_{fi}\cdot(\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 1.\ 1)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 1.\ 2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は次式により求める。

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{\,2} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 1.\ 3)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi}=m_i\cdot C_H\cdot g \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 1.\ 4)$$

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 1.\ 5)$$

5.4.1.2　煙感知器（防爆型），熱感知器（防爆型），煙感知器（光電分離型），煙吸引式検出設備（防湿型），炎感知器及び熱感知カメラ

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図5－2に示す。

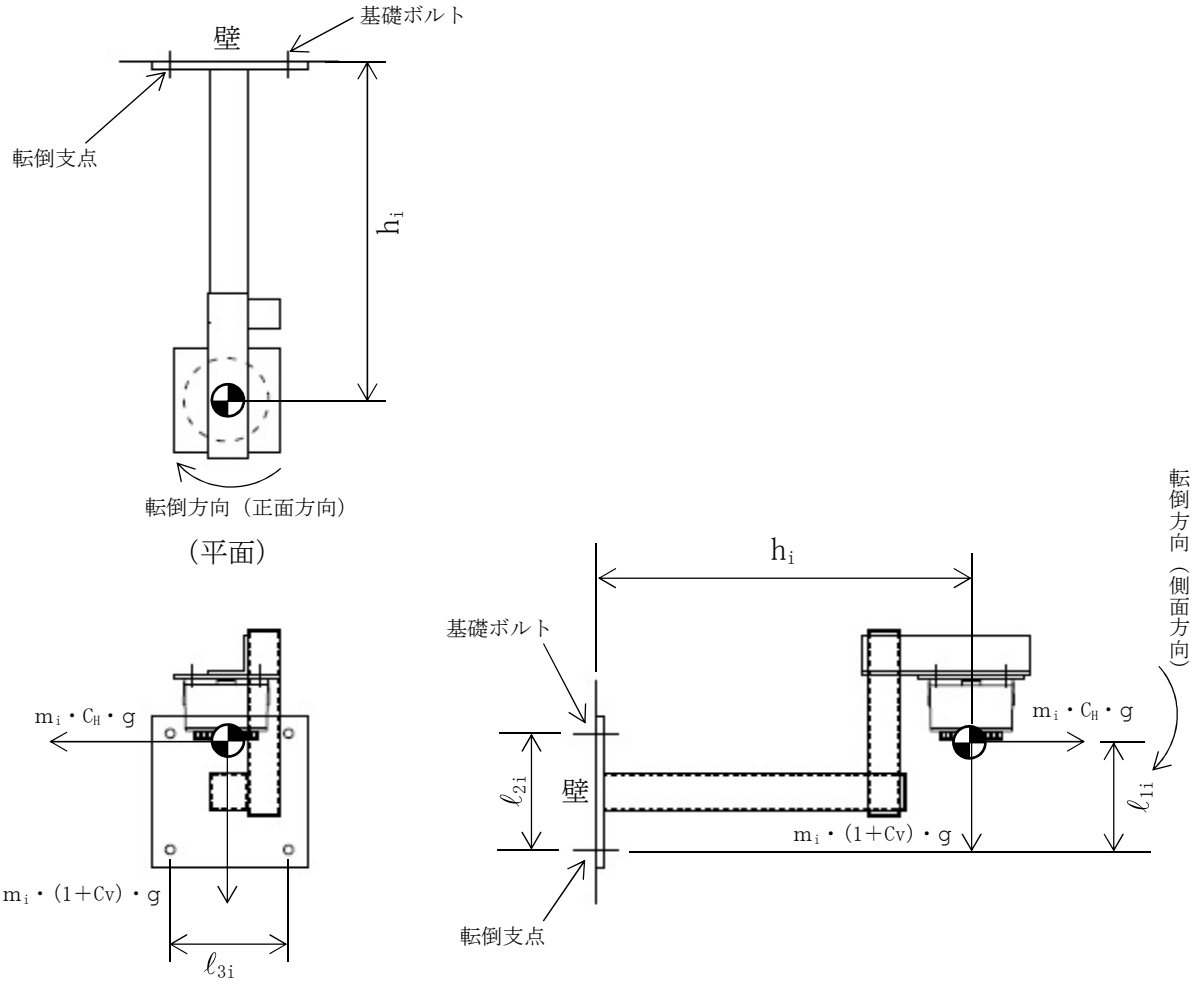


図5－2　煙感知器（防爆型），熱感知器（防爆型），煙感知器（光電分離型），煙吸引式検出設備（防湿型），炎感知器及び熱感知カメラ　計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5－2で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1i}=\frac{m_i\cdot(1+Cv)\cdot h_i\cdot g}{n_{fvi}\cdot \ell_{2i}}+\frac{m_i\cdot C_H\cdot h_i\cdot g}{n_{fHi}\cdot \ell_{3i}} \quad \cdot(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 1)$$

$$F_{b2i}=\frac{m_i\cdot(1+Cv)\cdot h_i\cdot g+m_i\cdot C_H\cdot \ell_{1i}\cdot g}{n_{fvi}\cdot \ell_{2i}} \quad \cdot(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 2)$$

$$F_{bi}=\mathrm{Max}(F_{b1i},\ F_{b2i}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 4)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は次式により求める。

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{\,2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 5)$$

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1i}=m_i\cdot C_H\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 6)$$

$$Q_{b2i}=m_i\cdot(1+C_V)\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 7)$$

$$Q_{bi}=\sqrt{(Q_{b1i})^2+(Q_{b2i})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 8)$$

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5.\ 4.\ 1.\ 2.\ 9)$$

5.4.1.3　煙吸引式検出設備

基礎ボルト及び取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。計算モデルを図 5－3 に示す。

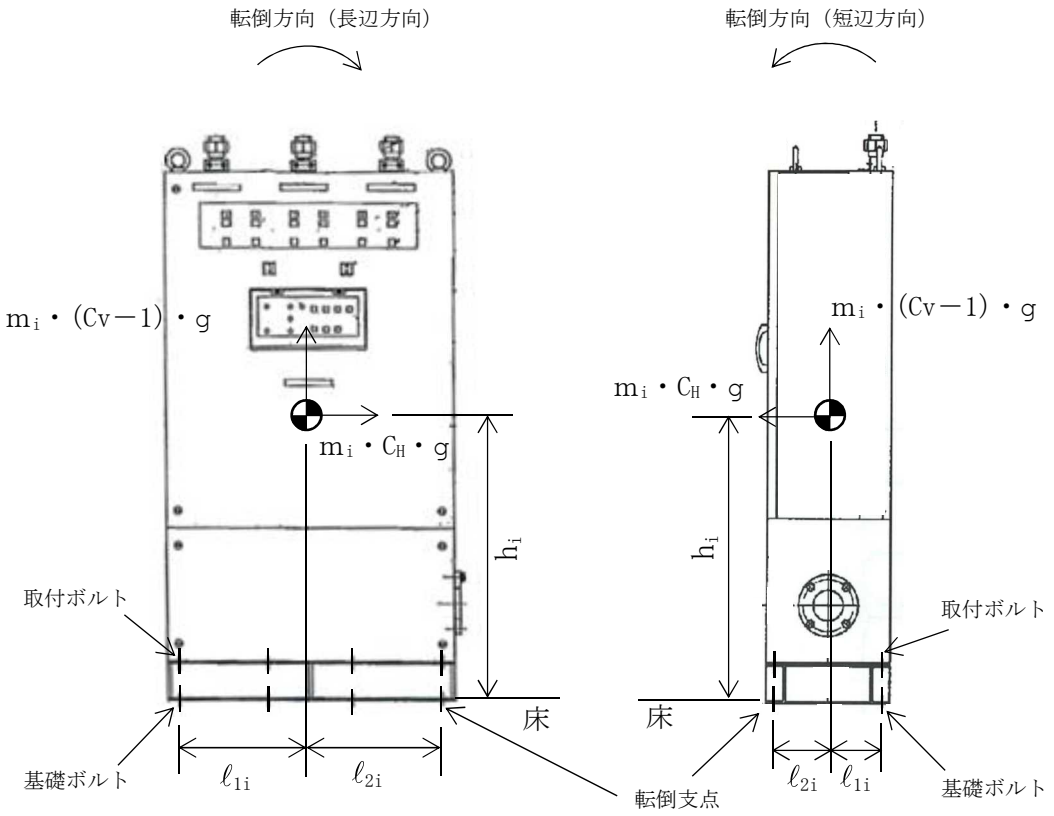


図 5－3　煙吸引式検出設備　計算モデル

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は，最も厳しい条件として，図5－3で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1i}=\frac{m_i\cdot C_H\cdot h_i\cdot g-m_i\cdot(1-Cv)\cdot \ell_{2i}\cdot g}{n_{fi}\cdot(\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdot(5.\ 4.\ 1.\ 3.\ 1)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 3.\ 2)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は次式により求める。

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{2} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 3.\ 3)$$

ただし，F_{bi}が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1i}=m_i\cdot C_H\cdot g \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 3.\ 4)$$

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5.\ 4.\ 1.\ 3.\ 5)$$

5.4.2 火災受信機盤の計算方法

火災受信機盤の計算方法は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料9　盤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。

5.4.3　ボンベラックの計算方法

ボンベラックについては，3次元多質点系はりモデル又は，はり・シェルモデルによる地震応答解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また，「2.2　評価対象設備」の表2－3に示すとおり，容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックを基礎ボルトにより据え付けるため，ボンベラック及び基礎ボルト，それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1)　ボンベラックの構造強度評価

a.　ボンベラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めたボンベラック部材の引張応力，曲げ応力及びせん断応力を用いて，以下の式によりボンベラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_a = \frac{F_x}{A} \quad \cdots\cdots (5.4.3.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_y}{Z_y} \quad \cdots\cdots (5.4.3.2)$$

せん断応力

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_{sy}} \quad \cdots\cdots (5.4.3.3)$$

$$\tau_z = \frac{F_z}{A_{sz}} \quad \cdots\cdots (5.4.3.4)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_y{}^2 + \tau_z{}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.3.5)$$

ねじり応力

$$\tau_t = \frac{M_x}{Z_x} \quad \cdots\cdots (5.4.3.6)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2} \quad \cdots\cdots (5.4.3.7)$$

(2)　基礎ボルトの構造強度評価

a.　基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{bt}=\frac{F_t}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.3.8)$$

b.　基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b=\frac{F_s}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.3.9)$$

5.4.4　選択弁ラックの計算方法

選択弁ラックについては，3次元多質点系はりモデルによる地震応答解析結果から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また，「2.2　評価対象設備」の表2－4に示すとおり，選択弁は，集合管に取り付けて固定する。集合管は，選択弁ラックに固定し，選択弁ラックを基礎ボルトにより据え付けるため，選択弁ラック及び基礎ボルト，それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1)　選択弁ラックの構造強度評価

a.　選択弁ラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めた選択弁ラック部材の引張応力，曲げ応力及びせん断応力を用いて，以下の式により選択弁ラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_a=\frac{F_x}{A} \quad \cdots\cdots (5.4.4.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b=\frac{M_y}{Z_y} \quad \cdots\cdots (5.4.4.2)$$

せん断応力

$$\tau_y = \frac{F_y}{A_{sy}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 3)$$

$$\tau_z = \frac{F_z}{A_{sz}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 4)$$

$$\tau = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 5)$$

ねじり応力

$$\tau_t = \frac{M_x}{Z_x} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 6)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3(\tau + \tau_t)^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 7)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{bt} = \frac{F_t}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 8)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_s}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5.\ 4.\ 4.\ 9)$$

5.4.5　消火配管の計算方法

管の構造強度評価は，Ⅴ-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」に記載の評価方法に基づき行う。（電源盤・制御盤消火設備及びケーブルトレイ消火設備の消火配管については，消火配管の自在性を活かした設置方法であり，解析による評価が困難であるため加振試験により耐震評価を行う。）

5.4.6　制御盤の計算方法

制御盤の計算方法は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料９　盤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。

6.　機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は，機能維持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及び電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.1　火災感知器

火災感知器は，機能維持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電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.2　火災受信機盤

火災受信機盤は，機能維持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電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.3　ボンベラック

ボンベラックのうち容器弁は，機能維持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を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.4　選択弁

選択弁は，機能維持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を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.5　制御盤

制御盤は，機能維持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電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

Ⅴ-2-別添 1-2　火災感知器の耐震計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 9
3.1　固有周期の確認方法 ····· 9
3.2　固有周期の確認結果 ····· 9
4.　構造強度評価 ····· 10
4.1　構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
4.3　計算条件 ····· 15
5.　機能維持評価 ····· 15
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 15
6.　評価結果 ····· 17
6.1　火災感知器の評価結果 ····· 17

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算方針」（以下「Ⅴ-2-別添 1-1」という。）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，火災感知器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

火災感知器の構造計画を表 2－1 から表 2－7 に示す。

表 2－1　熱感知器及び煙感知器の構造計画

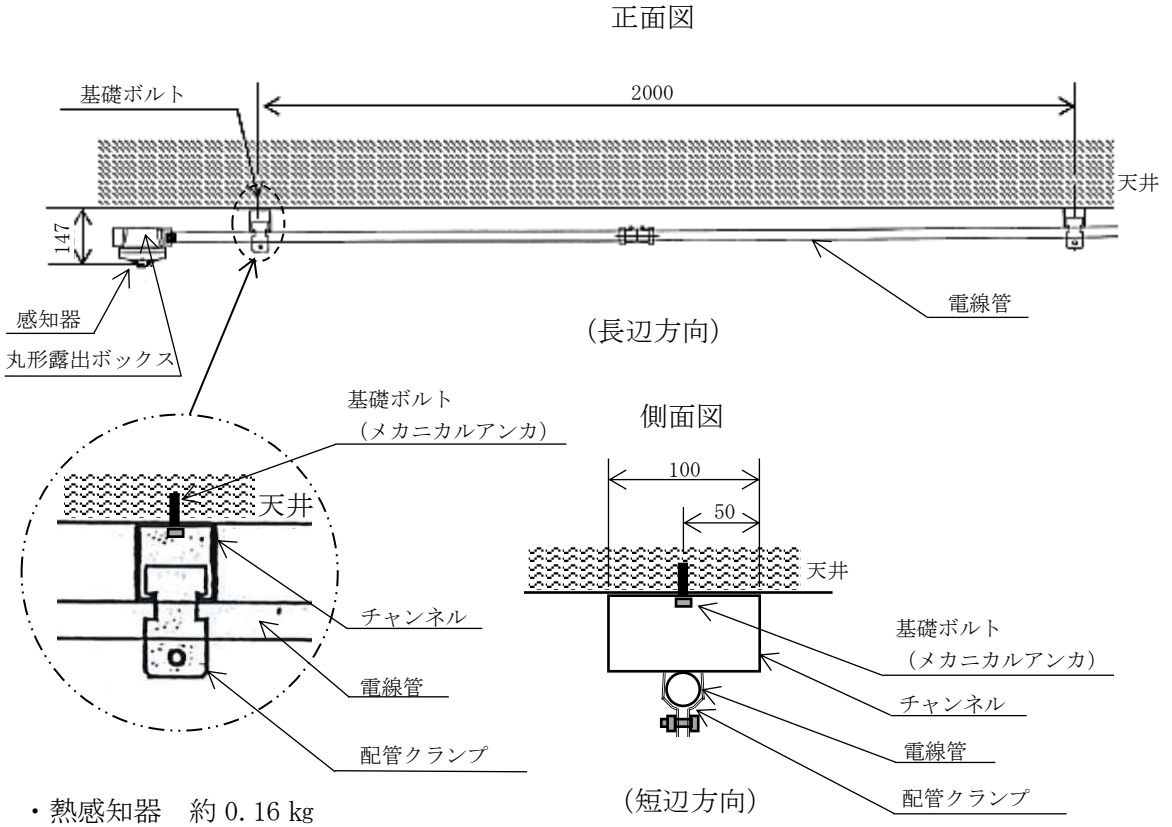
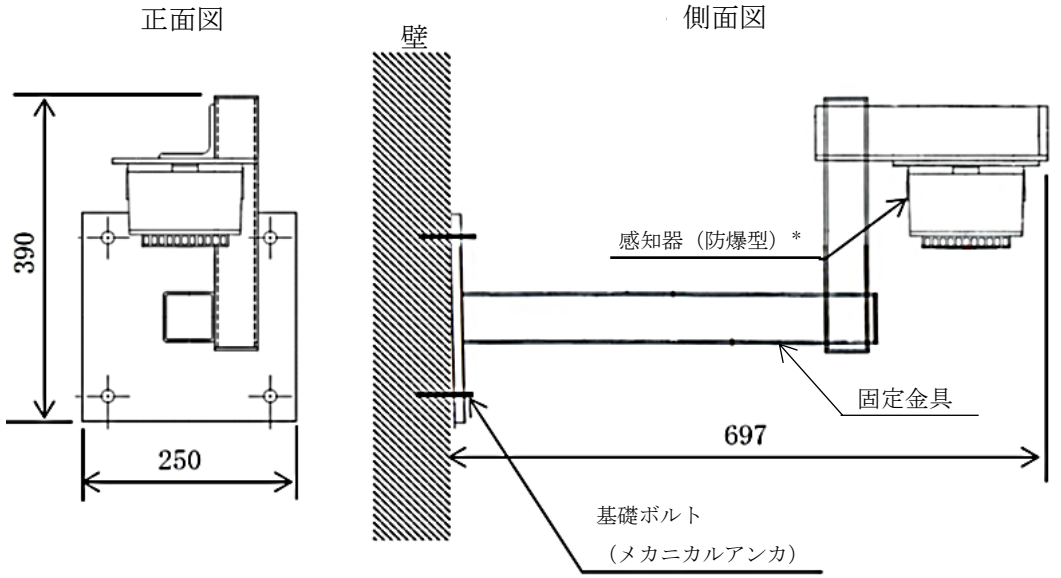
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
熱感知器及び煙感知器は，丸形露出ボックスに取り付け，丸形露出ボックスに接続された電線管を配管クランプにてチャンネルに固定する。チャンネルは，基礎ボルトにより基礎部である天井に固定する。	熱感知器 煙感知器 （天井取付形）	【熱感知器及び煙感知器】  ・熱感知器　約 0.16 kg ・煙感知器　約 0.16 kg （単位：mm）

表 2－2　煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）は，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	煙感知器（防爆型） 熱感知器（防爆型） （壁掛形）	【煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）】  （正面方向）　（側面方向） ・煙感知器（防爆型）　約 3 kg ・熱感知器（防爆型）　約 0.95 kg （単位：mm）

注記＊：図の感知器（防爆型）は，質量のより大きい煙感知器（防爆型）とする。

表 2－3　煙感知器（光電分離型）の構造計画

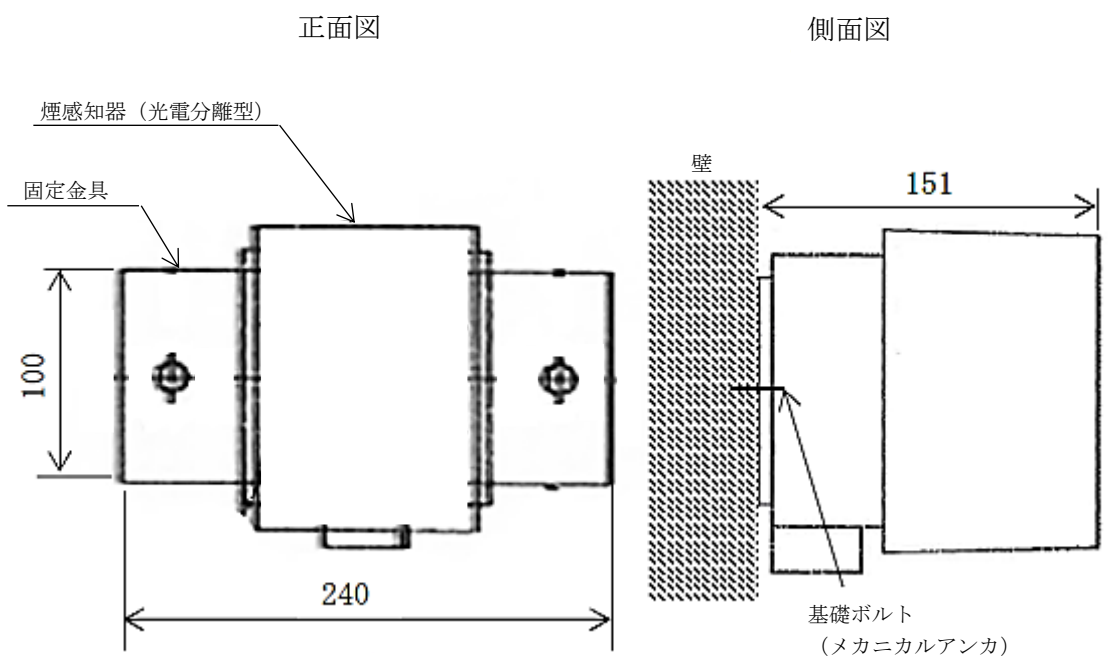
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
煙感知器（光電分離型）は，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	煙感知器 （光電分離型） （壁掛形）	【煙感知器（光電分離型）】  ・煙感知器（光電分離型）　約 0.75 kg （単位：mm）

表 2－4　煙吸引式検出設備の構造計画

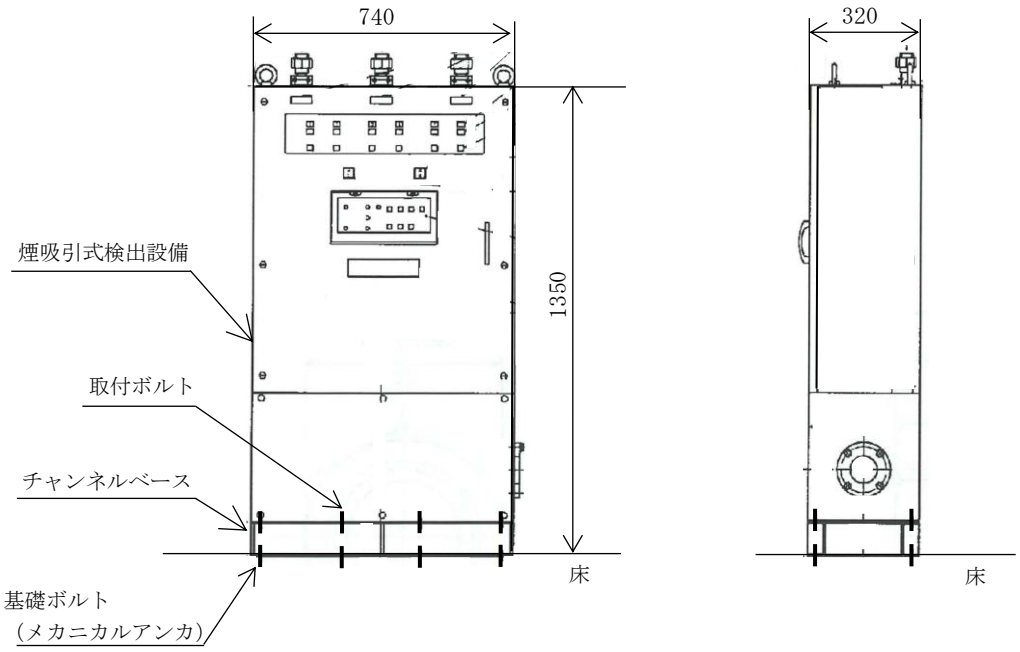
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
煙吸引式検出設備は，取付ボルトにてチャンネルベースに取り付け，チャンネルベースを基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	煙吸引式検出設備 （直立形）	【煙吸引式検出設備】 正面図　　側面図  （長辺方向）　　（短辺方向） ・煙吸引式検出設備　約 320 kg （単位：mm）

表 2－5　煙吸引式検出設備（防湿型）の構造計画

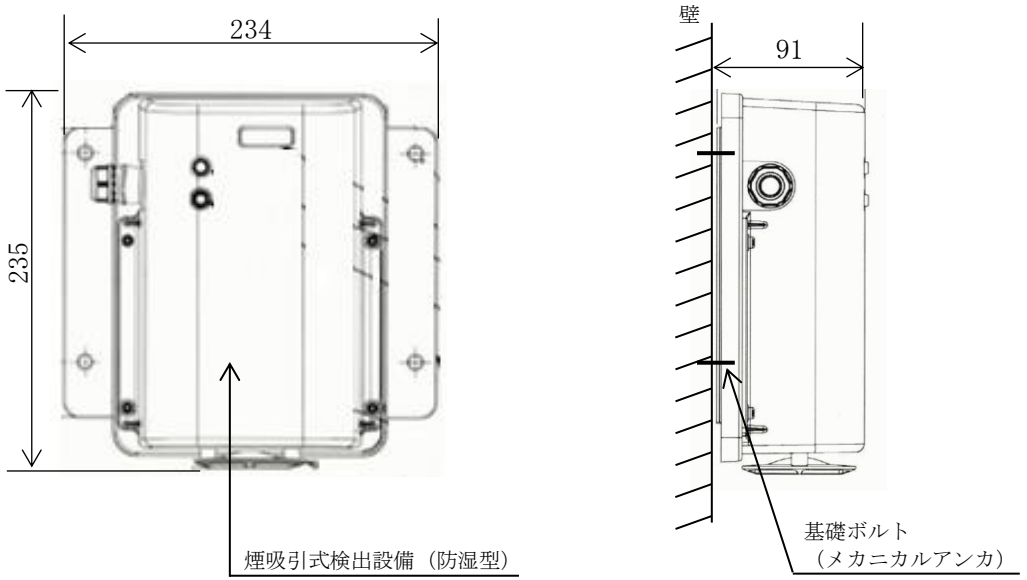
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
煙吸引式検出設備（防湿型）は，基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	煙吸引式検出設備 （防湿型） （壁掛形）	【煙吸引式検出設備（防湿型）】  ・煙吸引式検出設備（防湿型）　約 2.8 kg （単位：mm）

表 2－6　炎感知器の構造計画

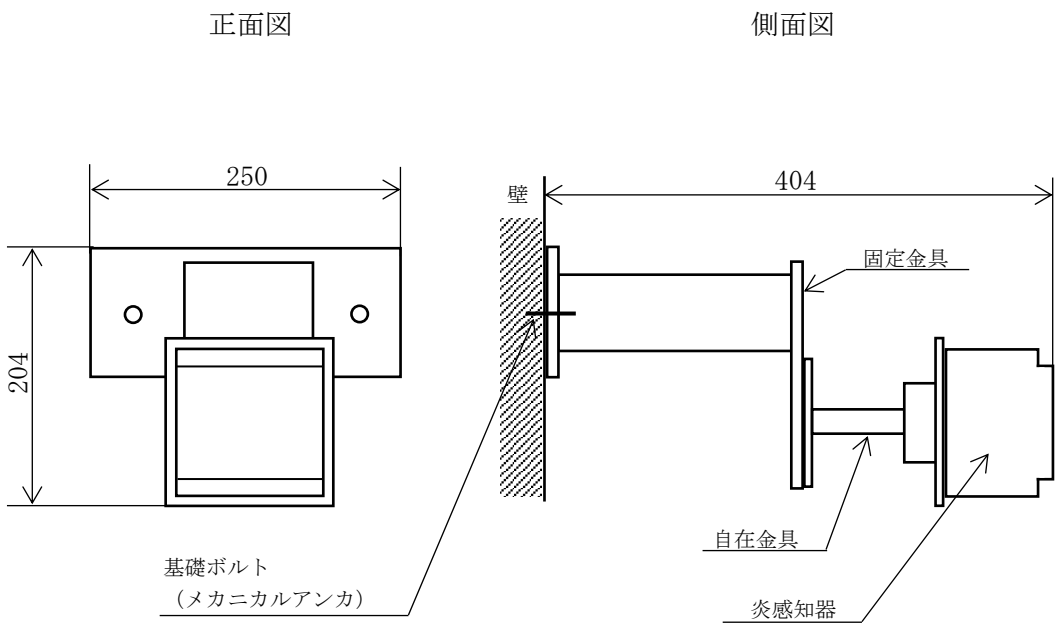
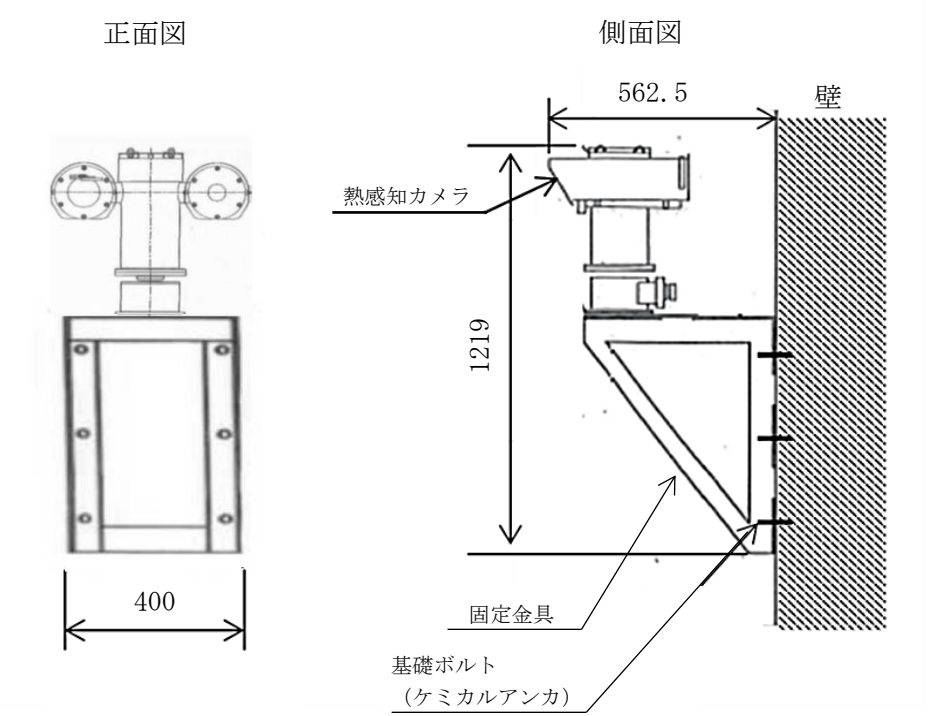
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
炎感知器は，自在金具に取り付け，自在金具を固定した固定金具を基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	炎感知器 （壁掛形）	【炎感知器】  ・炎感知器　約 1.3 kg （単位：mm）

表 2－7　熱感知カメラの構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
熱感知カメラは，固定金具に取り付け，固定金具を基礎ボルトにより基礎部である屋外の壁に固定する。	熱感知カメラ （壁掛形）	【熱感知カメラ】  （単位：mm） ・熱感知カメラ　40 kg

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。火災感知器の外形図を表 2－1 から表 2－7 の概略構造図に示す。

3.2　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3－1 から表 3－7 に示す。測定の結果，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 3－1　熱感知器及び煙感知器の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.033
鉛直	0.032

表 3－2　煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.030 以下
鉛直	0.030 以下

表 3－3　煙感知器（光電分離型）の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.030 以下
鉛直	0.030 以下

表 3－4　煙吸引式検出設備の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.033
鉛直	0.030 以下

表 3－5　煙吸引式検出設備（防湿型）の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.030 以下
鉛直	0.030 以下

表 3－6　炎感知器の固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.030 以下
鉛直	0.030 以下

表 3－7　熱感知カメラの固有周期　（単位：ｓ）

水平	0.046
鉛直	0.030 以下

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

火災感知器の構造強度評価は，Ⅴ-2 別添 1-1 に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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

火災感知器の荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 から表 4－7 に示す。

4.2.2　許容応力

火災感知器の許容応力は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき表 4－8 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

火災感知器の使用材料の許容応力評価条件を表 4－9 から表 4－15 に示す。

表 4－1　熱感知器及び煙感知器の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	熱感知器 煙感知器	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	煙感知器（防爆型） 熱感知器（防爆型）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－3　煙感知器（光電分離型）の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	煙感知器 （光電分離型）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－4　煙吸引式検出設備の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	煙吸引式検出設備	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－5　煙吸引式検出設備（防湿型）の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	煙吸引式検出設備（防湿型）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－6　炎感知器の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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	炎感知器	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－7　熱感知カメラの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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	熱感知カメラ	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－8　許容応力（その他の支持構造物）

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・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*

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 4－9　熱感知器及び煙感知器の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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－10　煙感知器（防爆型）及び熱感知器（防爆型）の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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－11　煙感知器（光電分離型）の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 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－12　煙吸引式検出設備の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―
取付ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－13　煙吸引式検出設備（防湿型）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－14　炎感知器の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 4－15　熱感知カメラの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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	40	215	400	―

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【火災感知器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。

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

火災感知器の電気的機能維持評価は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。

火災感知器の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき，同形式の火災感知器のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 から表 5－9 に示す。

表 5－1　熱感知器の機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
熱感知器	水平	4
	鉛直	3

表 5－2　煙感知器の機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
煙感知器	水平	4
	鉛直	3

表 5－3　煙感知器（防爆型）の機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
煙感知器（防爆型）	水平	10.00
	鉛直	5.00

表 5－4　熱感知器（防爆型）の機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
熱感知器（防爆型）	水平	10
	鉛直	10

表 5－5　煙感知器（光電分離型）の機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
煙感知器（光電分離型）	水平	10.00
	鉛直	5.00

表 5－6　煙吸引式検出設備の機能確認済加速度　　（×9.8m/s²）

評価部位	方向	機能確認済加速度
煙吸引式検出設備	水平	4.00
	鉛直	3.00

表 5－7　煙吸引式検出設備（防湿型）の機能確認済加速度　　（×9.8m/s²）

評価部位	方向	機能確認済加速度
煙吸引式検出設備（防湿型）	水平	5.0
	鉛直	5.0

表 5－8　炎感知器の機能確認済加速度　　（×9.8m/s²）

評価部位	方向	機能確認済加速度
炎感知器	水平	12.00
	鉛直	6.00

表 5－9　熱感知カメラの機能確認済加速度　　（×9.8m/s²）

評価部位	方向	機能確認済加速度
熱感知カメラ	水平	12.00
	鉛直	6.00

6. 評価結果

6.1 火災感知器の評価結果

火災感知器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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
熱感知器 煙感知器	C	原子炉建屋 T.M.S.L.38.2 (T.M.S.L.49.7*)	0.033	0.032	—	—	C_H=2.27	C_V=1.23	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*2
基礎ボルト (i=1)	6	147*1	50*1	0*1	8 (M8)	50.27	2	2
			1000*1	1000*1				1

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i=1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	短辺方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2 ：機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

（単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	261.9	―	133.6

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	―	―	σ_{bi}＝8	f_{tsi}＝154*
		せん断	―	―	τ_{bi}＝2	f_{sbi}＝118

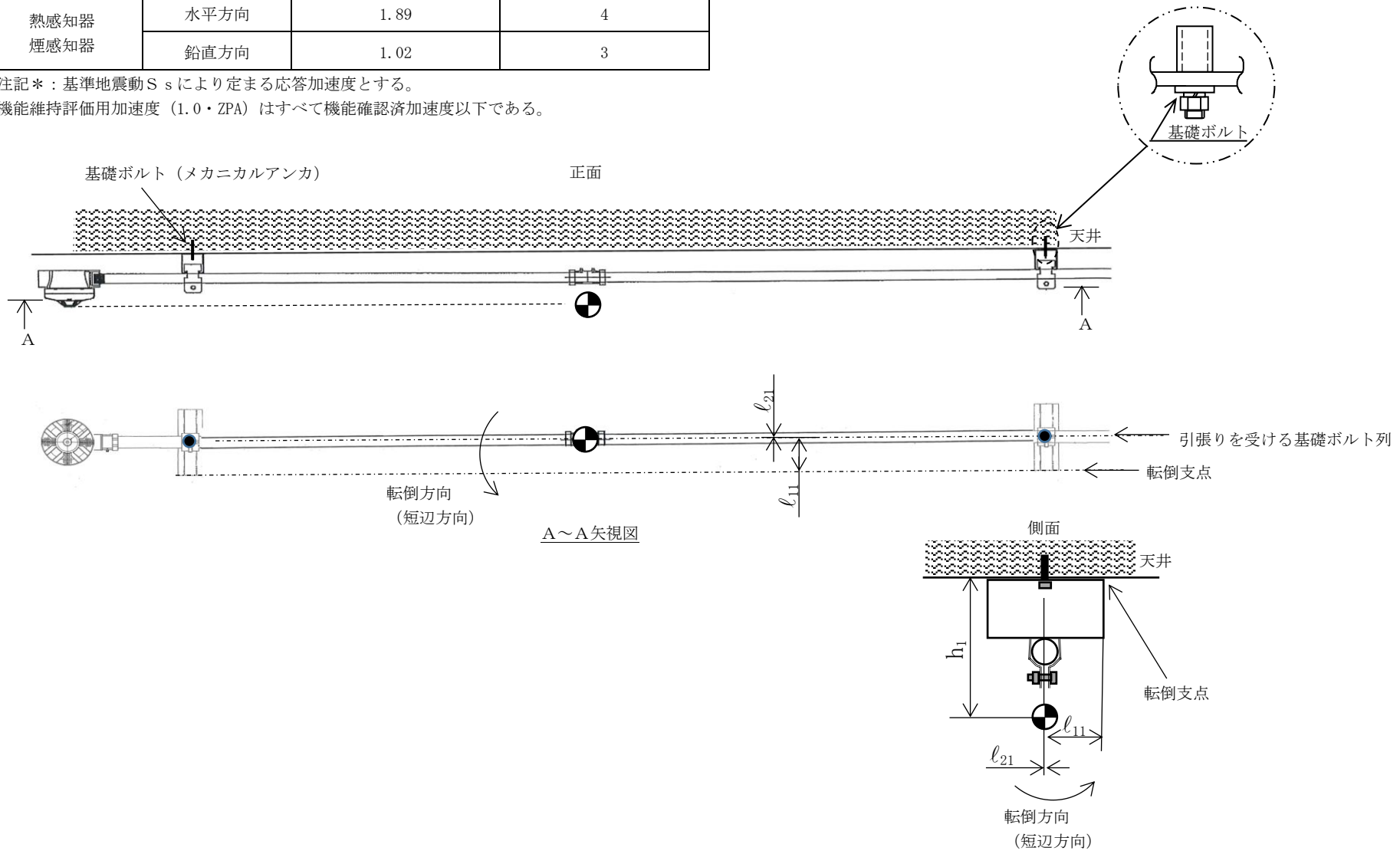
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
熱感知器 煙感知器	水平方向	1.89	4
	鉛直方向	1.02	3

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。



【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
煙感知器（防爆型） 熱感知器（防爆型）	C	原子炉建屋 T.M.S.L.31.7 (T.M.S.L.38.2*)	0.030 以下	0.030 以下	—	—	C_H=2.27	C_V=1.23	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	ℓ_{3i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}*2	n_{fHi}*2
基礎ボルト （ｉ＝1)	15*3	602*1	179*1	190	190	12 (M12)	113.1	4	2	2
			179*1	190	190				2	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト （ｉ＝1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	正面方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。
＊2 ：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。
＊3 ：熱感知器（防爆型）より重い煙感知器（防爆型）の質量を適用する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	1.049×10^{3}	―	468.1

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	―	―	$\sigma_{bi}=14$	$f_{tsi}=154$*
		せん断	―	―	$\tau_{bi}=2$	$f_{sbi}=118$

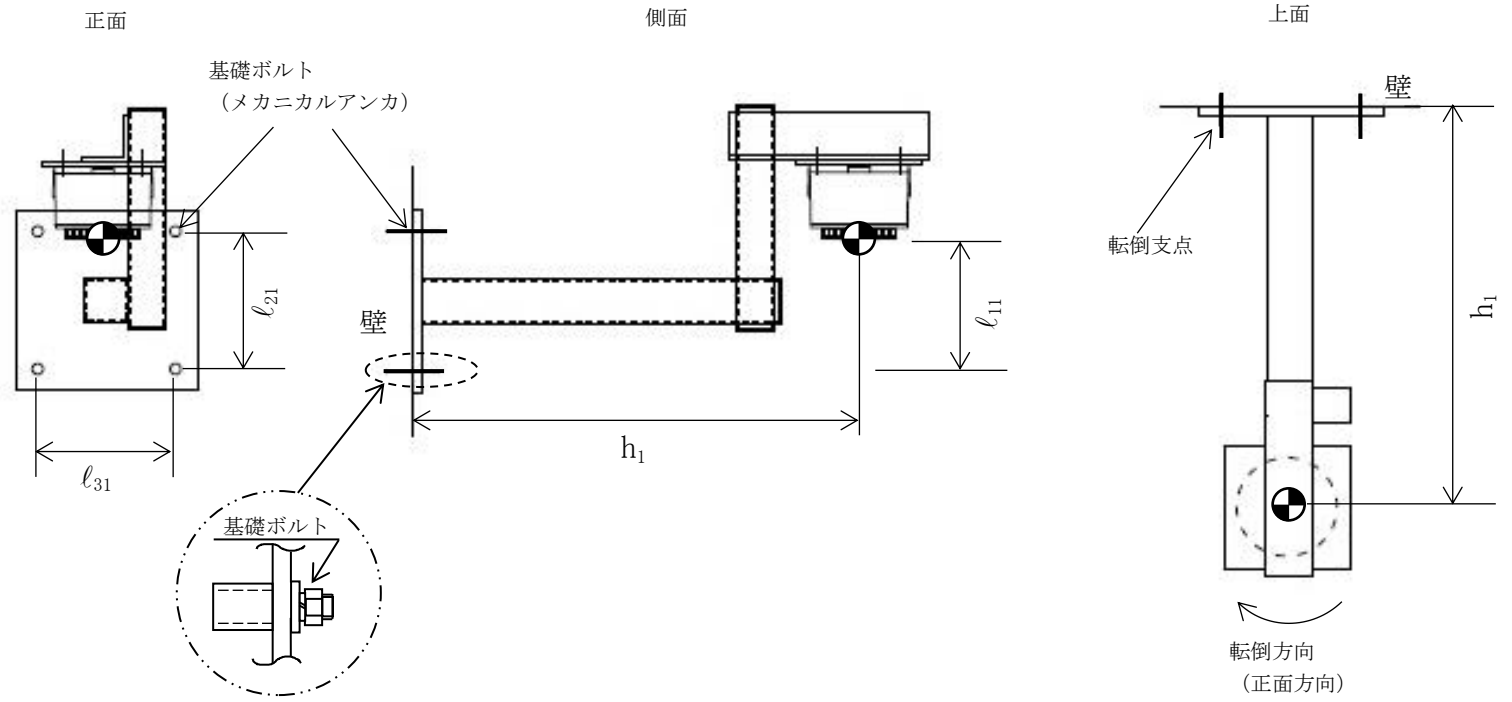
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
煙感知器（防爆型）	水平方向	1.36	10.00
	鉛直方向	0.99	5.00
熱感知器（防爆型）	水平方向	1.36	10
	鉛直方向	0.99	10

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。



【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
煙感知器 (光電分離型)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.38.2 (T.M.S.L.49.7*)	0.030 以下	0.030 以下	—	—	C_H=2.31	C_V=1.24	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	ℓ_{3i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fvi}*2	n_{fHi}*2
基礎ボルト (ｉ＝1)	3	151*1	50*1	50	190	10 (M10)	78.54	2	2	1
			50*1	50	190				2	1

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	正面方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2 ：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	153.5	―	94.68

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	―	―	σ_{bi}＝3	f_{tsi}＝154*
		せん断	―	―	τ_{bi}＝1	f_{sbi}＝118

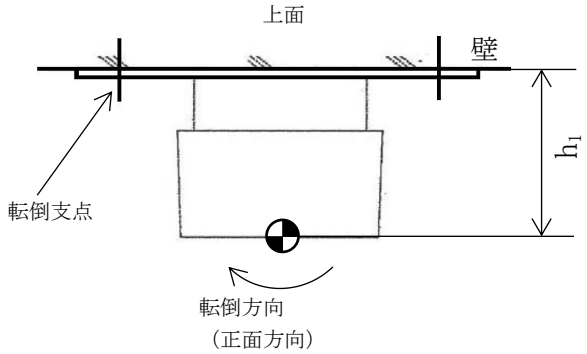
すべて許容応力以下である。

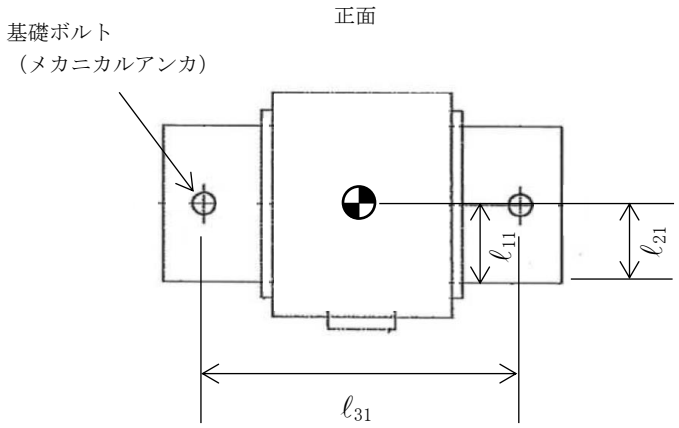
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

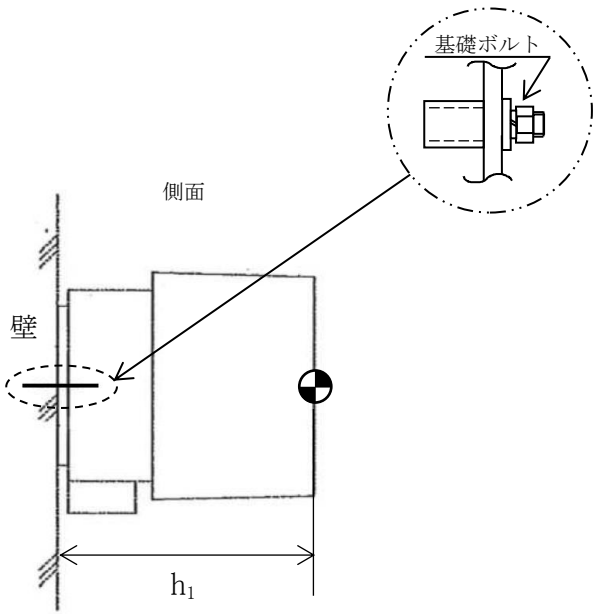
1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
煙感知器 (光電分離型)	水平方向	1.89	10.00
	鉛直方向	1.02	5.00

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。







【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
煙吸引式検出設備	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1*	0.033	0.030 以下	—	—	C_H=2.27	C_V=1.23	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*
基礎ボルト (ｉ=1)	320	700	132	148	16 (M16)	201.1	8	2
			334	346				4
取付ボルト (ｉ=2)	299	600	132	148	12 (M12)	113.1	8	2
			334	346				4

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ=1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	短辺方向
取付ボルト (ｉ=2)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	短辺方向

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	4.547×10^3	—	7.120×10^3
取付ボルト（ｉ＝2）	—	3.655×10^3	—	6.656×10^3

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{bi}=32$	$f_{tsi}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_{bi}=7$	$f_{sbi}=118$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{bi}=46$	$f_{tsi}=193$*
		せん断	—	—	$\tau_{bi}=11$	$f_{sbi}=148$

すべて許容応力以下である。

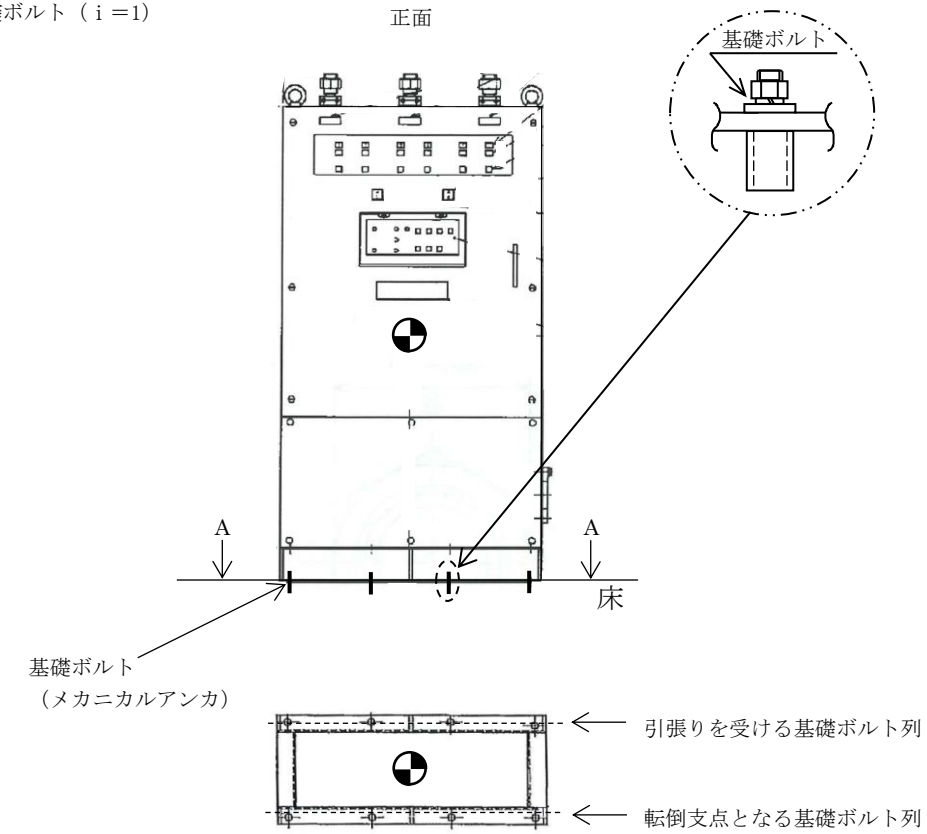
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s^2)

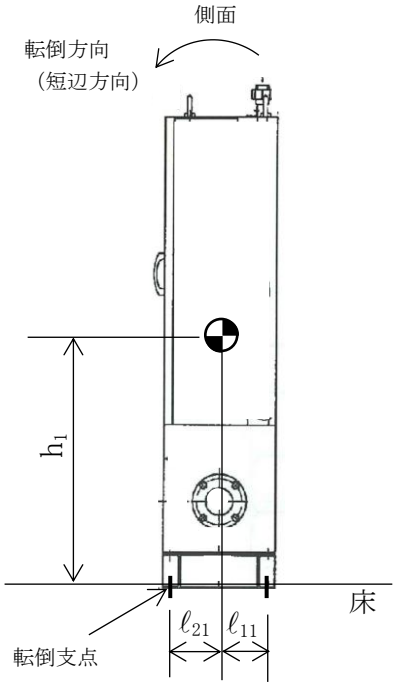
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
煙吸引式検出設備	水平方向	0.94	4.00
	鉛直方向	0.90	3.00

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

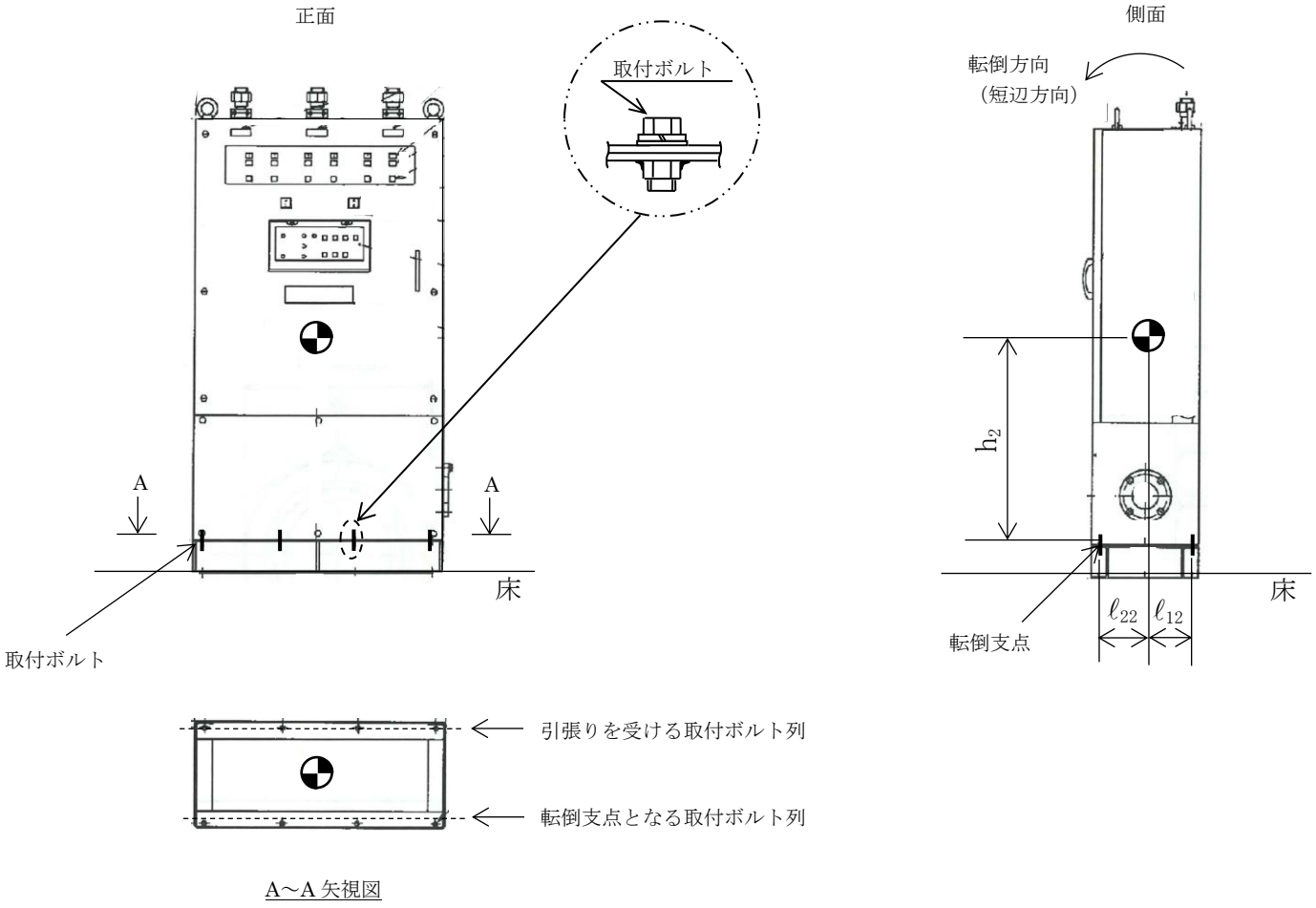
・基礎ボルト（ｉ＝1）



A～A 矢視図



・取付ボルト（ｉ＝2）



A～A 矢視図

【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
煙吸引式検出設備 (防湿型)	C	燃料移送系配管ダクト T.M.S.L.7.9 (T.M.S.L.10.65*)	0.030 以下	0.030 以下	—	—	C_H＝1.12	C_V＝1.02	40

注記＊：計算に使用した震度を示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} *2 (mm)	ℓ_{2i} *2 (mm)	ℓ_{3i} *2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fvi} *2	n_{fHi} *2
基礎ボルト (ｉ＝1)	3	91*1	168*1	131	208	8 (M8)	50.27	4	2	2
			168*1	131	208				2	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	側面方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2 ：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	41.77	―	67.95

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	―	―	σ_{bi}＝2	f_{tsi}＝154*
		せん断	―	―	τ_{bi}＝1	f_{sbi}＝119

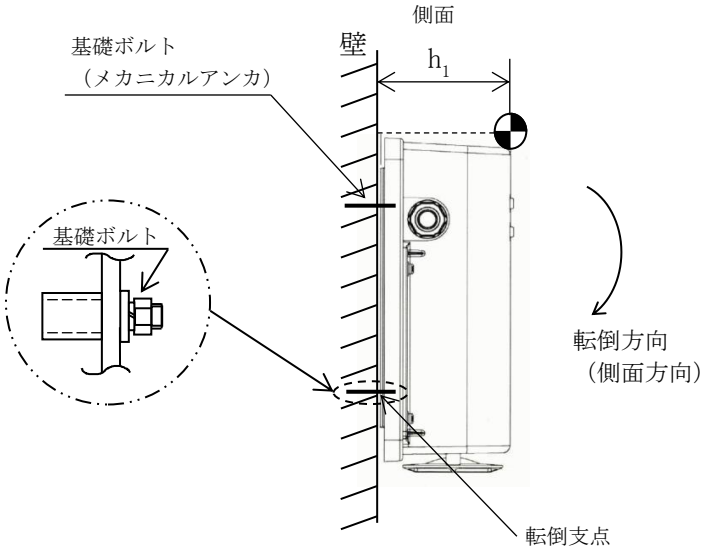
すべて許容応力以下である。

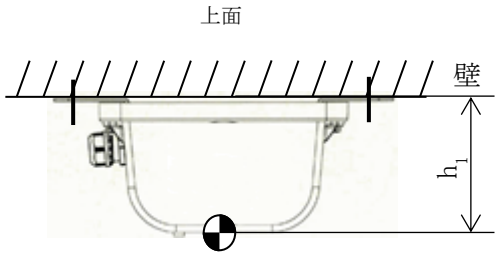
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

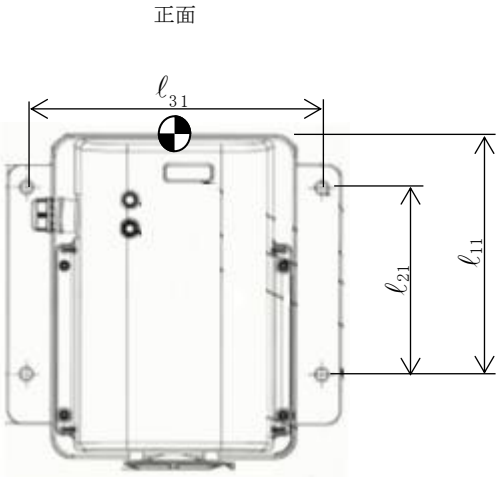
1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
煙吸引式検出設備 (防湿型)	水平方向	0.93	5.0
	鉛直方向	0.78	5.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。







【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
炎感知器	C	原子炉建屋 T.M.S.L.38.2 (T.M.S.L.49.7*)	0.030 以下	0.030 以下	—	—	C_H=2.27	C_V=1.23	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	ℓ_{3i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fvi}*2	n_{fHi}*2
基礎ボルト (i=1)	9	404*1	138*1	50	190	12 (M12)	113.1	2	2	1
			138*1	50	190				2	1

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i=1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	正面方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2 ：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 （単位：N）

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	1.221×10^{3}	—	280.9

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{bi}=16$	$f_{tsi}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_{bi}=2$	$f_{sbi}=119$

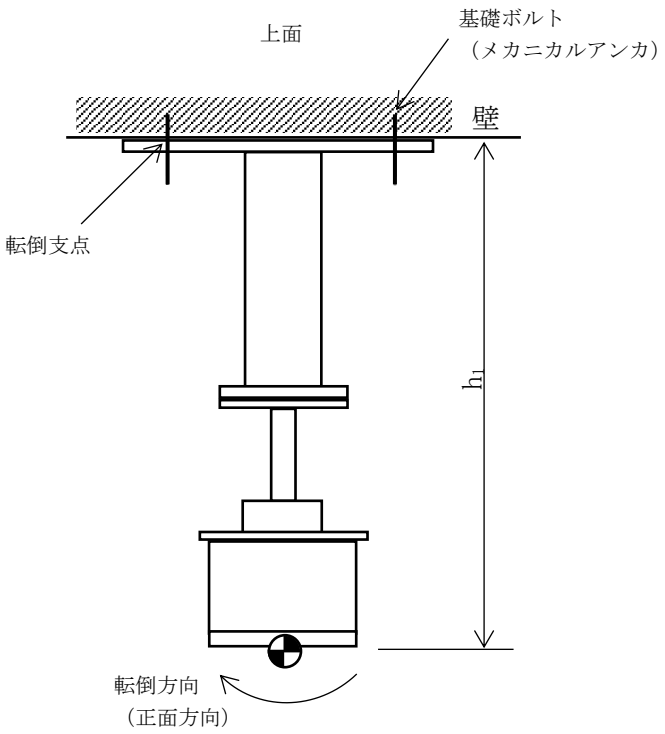
すべて許容応力以下である。

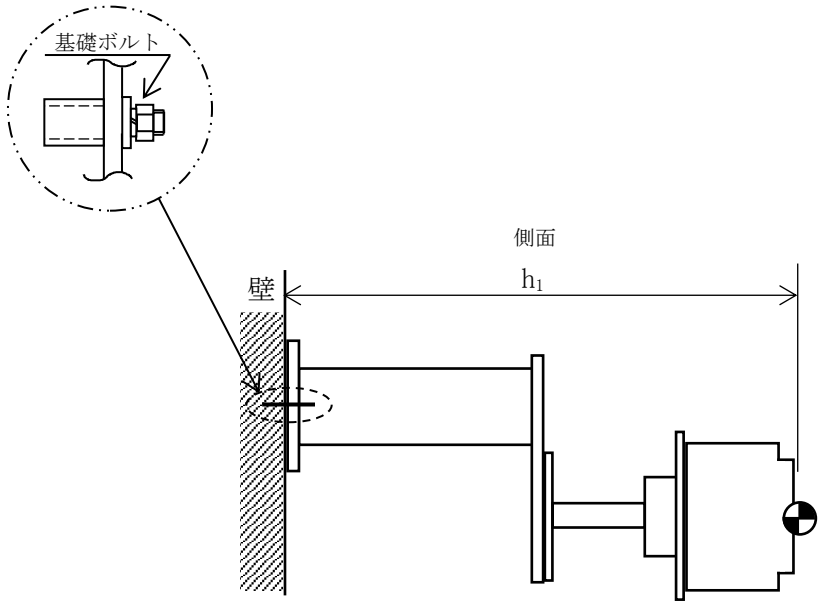
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

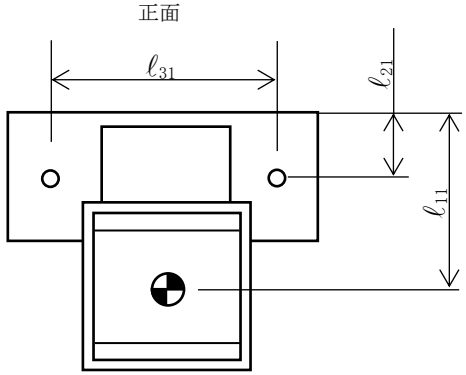
1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
炎感知器	水平方向	1.89	12.00
	鉛直方向	1.02	6.00

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。







【火災感知器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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
熱感知カメラ	C	原子炉建屋 T.M.S.L.38.2 (T.M.S.L.49.7*)	0.046	0.030 以下	—	—	C_H=3.61	C_V=2.30	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	ℓ_{3i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fvi}*2	n_{fHi}*2
基礎ボルト (i=1)	71	562.5*1	1119*1	500	330	16 (M16)	201.1	6	2	3
			1119*1	500	330				2	3

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i=1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	側面方向

注記＊1 ：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2 ：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	4.105×10^{3}	—	3.405×10^{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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{bi}=29$	$f_{tsi}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_{bi}=4$	$f_{sbi}=119$

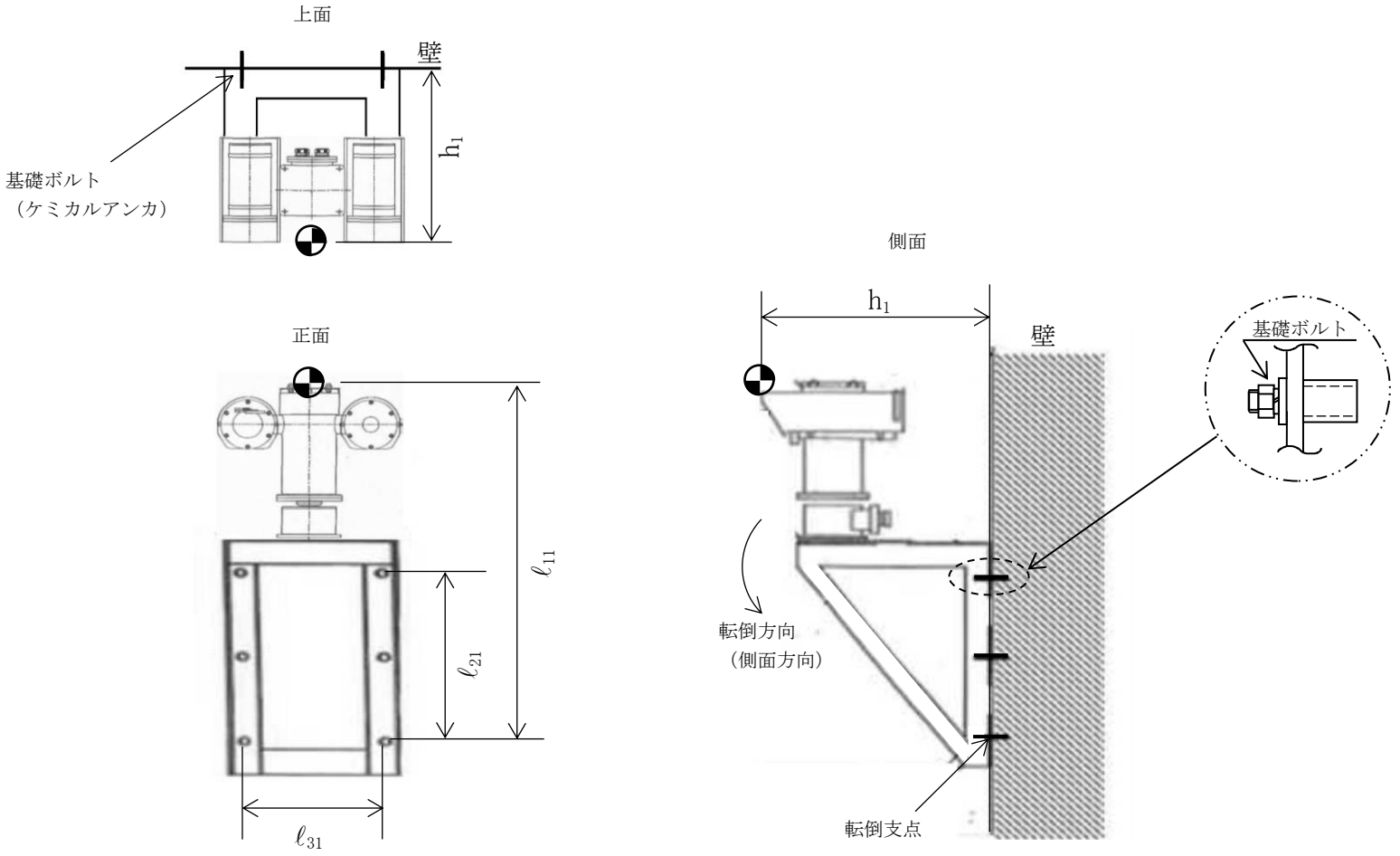
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
熱感知カメラ	水平方向	1.89	12.00
	鉛直方向	1.02	6.00

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。



Ⅴ-2-別添 1-3　火災受信機盤の耐震計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認方法 ····· 3
3.2　固有周期の確認結果 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 3
4.1　構造強度評価方法 ····· 3
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2　許容応力 ····· 3
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
4.3　計算条件 ····· 5
5.　機能維持評価 ····· 5
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 5
6.　評価結果 ····· 5
6.1　火災受信機盤の評価結果 ····· 5

1. 概要

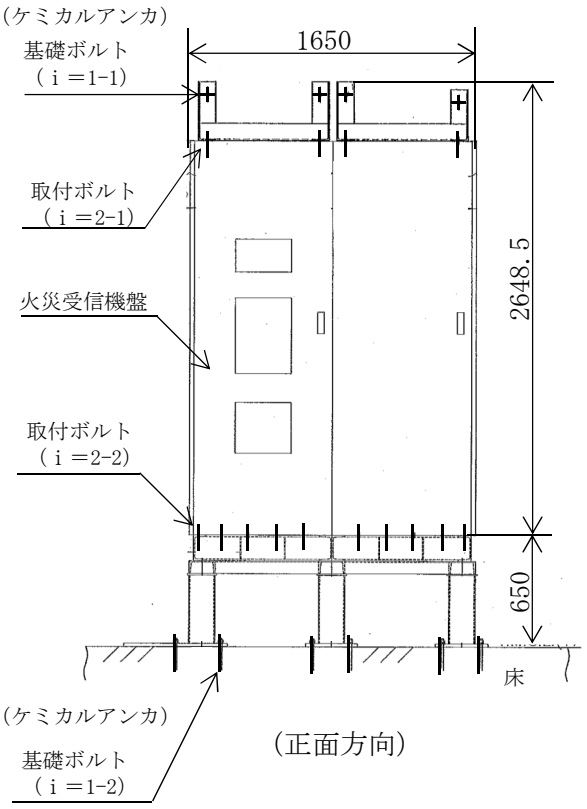
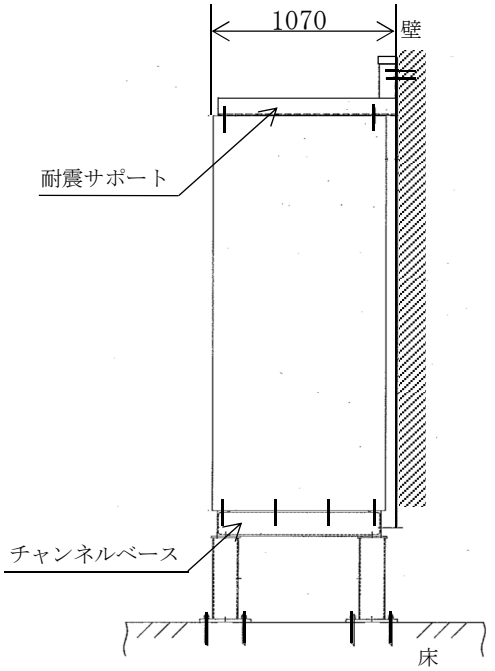
本計算書は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ⅴ-2-別添 1-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，火災受信機盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

火災受信機盤の構造計画を表 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	
火災受信機盤は，取付ボルトにて耐震サポート及びチャンネルベースに固定する。耐震サポートは，基礎ボルトにより基礎部である壁に固定し，チャンネルベースは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	火災受信機盤 （壁支持を含む 直立形）	【火災受信機盤】 正面図  （正面方向） 側面図  （側面方向） （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録解析する。火災受信機盤の外形図を表 2－1 の概略構造図に示す。

3.2　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。試験の結果，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 3－1　固有周期　（単位：s）

水平	0.019
鉛直	0.008

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

火災受信機盤の構造強度評価は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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

火災受信機盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力

火災受信機盤の許容応力は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

火災受信機盤の使用材料の許容応力評価条件を表 4－3 に示す。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	火災受信機盤	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4－2　許容応力（その他の支持構造物）

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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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4－3　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_y（MPa）	S_u（MPa）	$S_y(RT)$（MPa）
基礎ボルト	SS400（40mm＜径≦100mm）	周囲環境温度	40	215	400	—
取付ボルト	SS400（40mm＜径≦100mm）	周囲環境温度	40	215	400	—

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【火災受信機盤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。

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

火災受信機盤の電気的機能維持評価は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。

火災受信機盤の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき，同形式の火災受信機盤のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
火災受信機盤	水平	3
	鉛直	2

6.　評価結果

6.1　火災受信機盤の評価結果

火災受信機盤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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災受信機盤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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
火災受信機盤	C	コントロール建屋 T.M.S.L.17.3 (T.M.S.L.24.1*)	0.019	0.008	—	—	C_H＝1.88	C_V＝1.15	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fvi}*	n_{fHi}*	n_{fi}*
基礎ボルト (i＝1-1)	1436	538	1085	2574	1450	16 (M16)	201.1	4	3	1	—
			1085	2574	1450				3	1	—
基礎ボルト (i＝1-2)	1614	1735	493	557	—	16 (M16)	201.1	24	—	—	6
			860	860	—				—	—	4
取付ボルト (i＝2-1)	1350	1215	408	462	—	20 (M20)	314.2	8	—	—	4
			725	725	—				—	—	2
取付ボルト (i＝2-2)	1350	1085	408	472	—	16 (M16)	201.1	24	—	—	8
			765	765	—				—	—	2

注記＊：機器要目における基礎ボルト（i＝1-1）の上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。
基礎ボルト（i＝1-2），取付ボルト（i＝2-1）及び取付ボルト（i＝2-2）の上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1-1）	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	側面方向
基礎ボルト（ｉ＝1-2）	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	短辺方向
取付ボルト（ｉ＝2-1）	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	長辺方向
取付ボルト（ｉ＝2-2）	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	長辺方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}	Q_{bi}
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1-1）	1.193×10^{4}	4.022×10^{4}
基礎ボルト（ｉ＝1-2）	8.405×10^{3}	2.976×10^{4}
取付ボルト（ｉ＝2-1）	1.754×10^{4}	2.489×10^{4}
取付ボルト（ｉ＝2-2）	9.322×10^{3}	2.489×10^{4}

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1-1）	SS400	引張り	$\sigma_{b1-1}=84$	$f_{ts1-1}=126$*
		せん断	$\tau_{b1-1}=71$	$f_{sb1-1}=119$
基礎ボルト（ｉ＝1-2）	SS400	引張り	$\sigma_{b1-2}=60$	$f_{ts1-2}=154$*
		せん断	$\tau_{b1-2}=9$	$f_{sb1-2}=119$
取付ボルト（ｉ＝2-1）	SS400	引張り	$\sigma_{b2-1}=79$	$f_{ts2-1}=193$*
		せん断	$\tau_{b2-1}=15$	$f_{sb2-1}=148$
取付ボルト（ｉ＝2-2）	SS400	引張り	$\sigma_{b2-2}=66$	$f_{ts2-2}=193$*
		せん断	$\tau_{b2-2}=8$	$f_{sb2-2}=148$

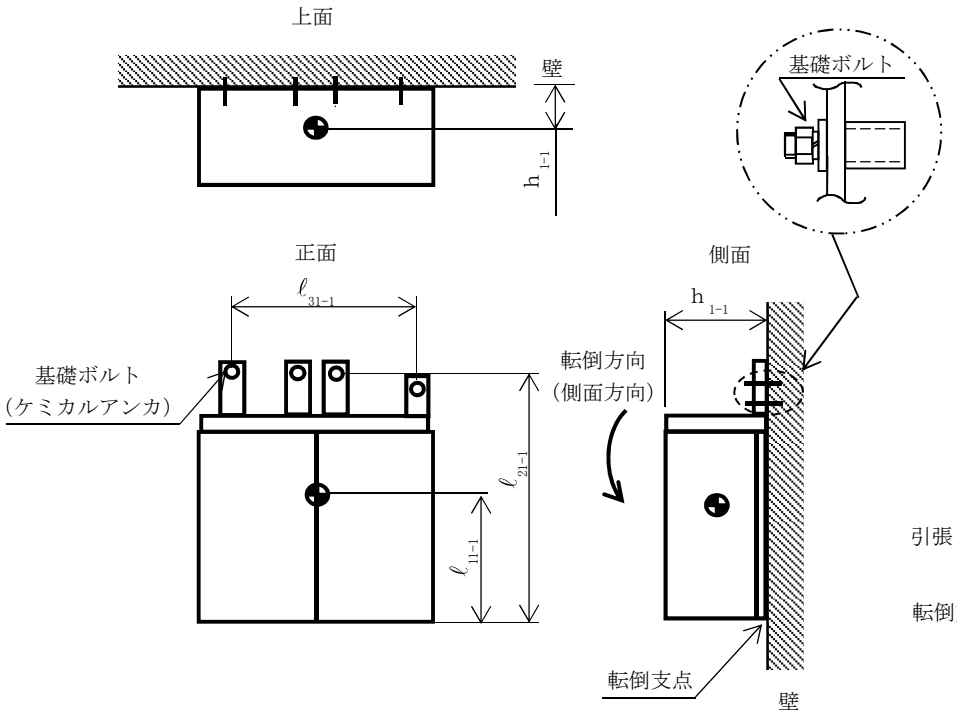
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

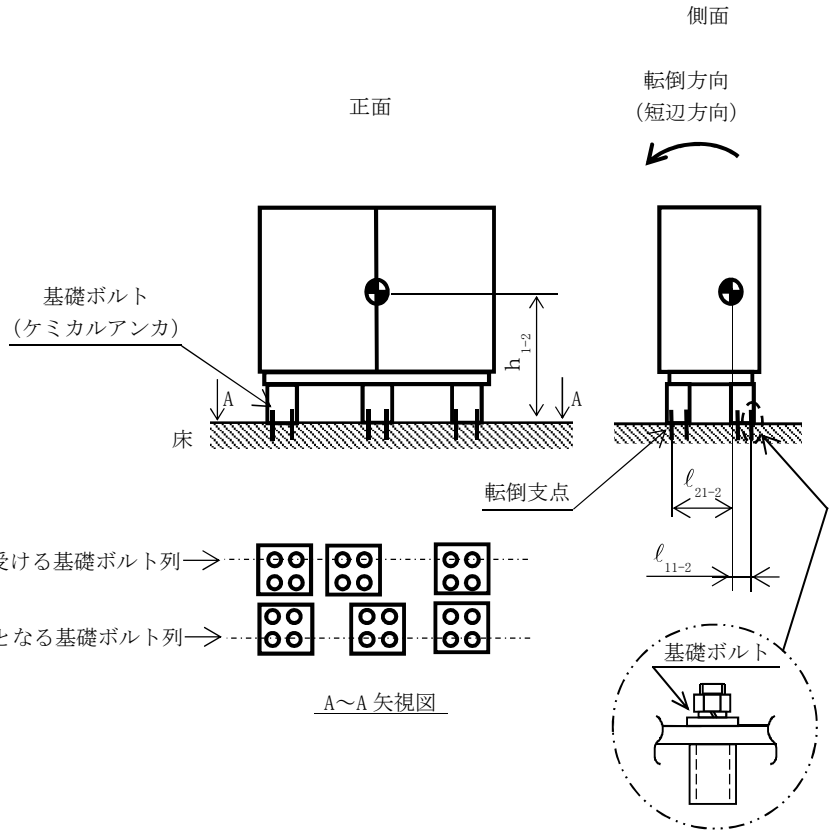
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災受信機盤	水平方向	1.57	3
	鉛直方向	0.96	2

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

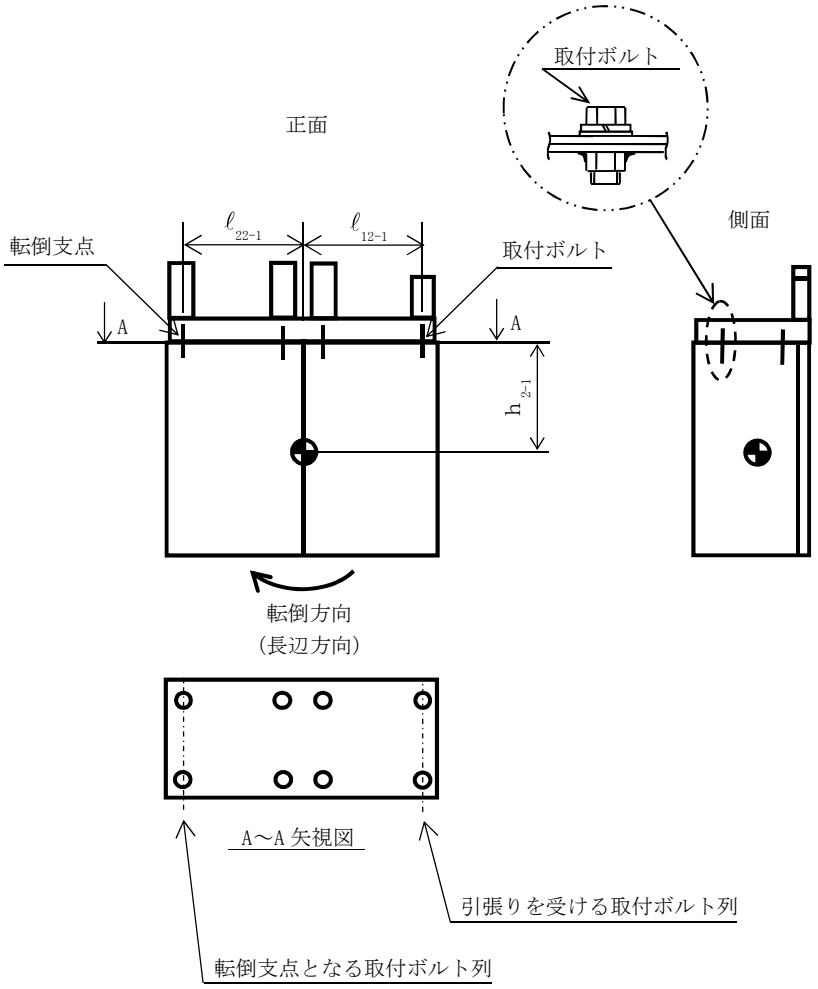
基礎ボルト（ｉ＝1-1）



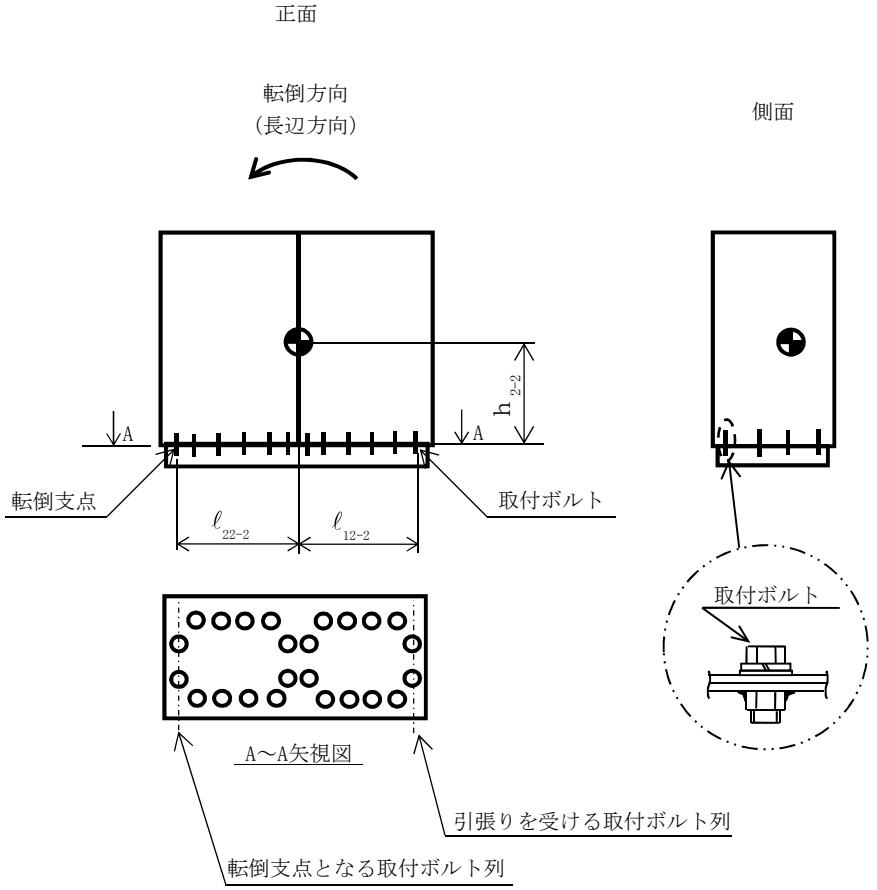
基礎ボルト（ｉ＝1-2）



取付ボルト（ｉ＝2-1）



取付ボルト（ｉ＝2-2）



Ⅴ-2-別添 1-4　ボンベラックの耐震計算書

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 ····· 10
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
3.1.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
3.1.2　許容応力 ····· 10
3.1.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
3.2　解析モデル及び諸元 ····· 14
3.3　固有周期 ····· 23
3.4　設計用地震力 ····· 25
3.5　計算条件 ····· 27
4.　機能維持評価 ····· 27
4.1　機能維持評価方法 ····· 27
5.　評価結果 ····· 28
5.1　ボンベラックの評価結果 ····· 28
5.2　容器弁の評価結果 ····· 28

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ⅴ-2-別添 1-1」という。）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，ボンベラック及び容器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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ボンベラック及び容器弁の構造計画を表 2－1 から表 2－7 に示す。

表 2－1　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の構造計画

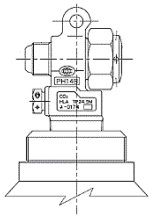
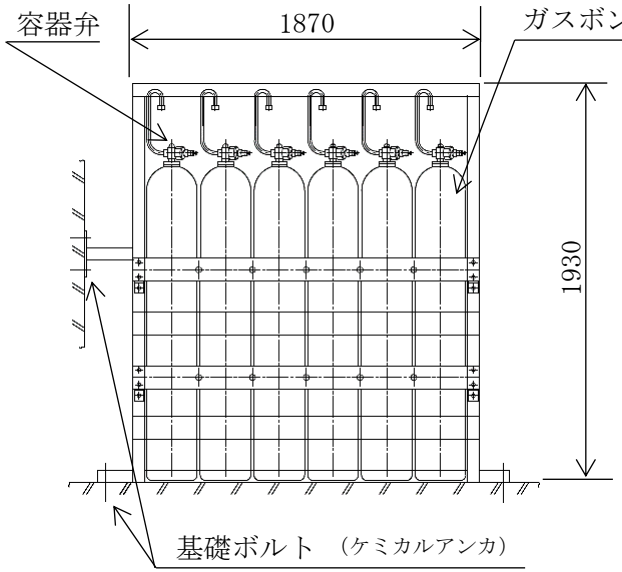
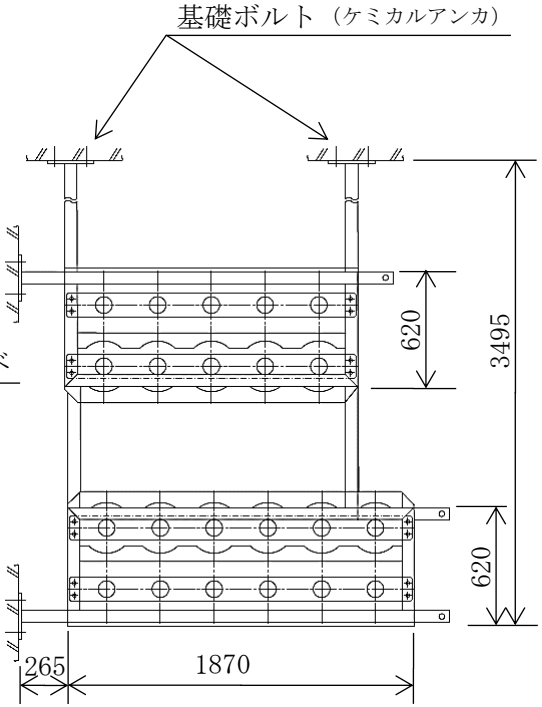
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁と床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （壁支持を含む 直立形）	 容器弁外観図  68ℓ2 列 12 本用ボンベラック外観図  ボンベラック平面図 （68ℓ2 列 12 本用/68ℓ2 列 10 本用） （単位：mm）

表 2－2　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の構造計画（1/2）

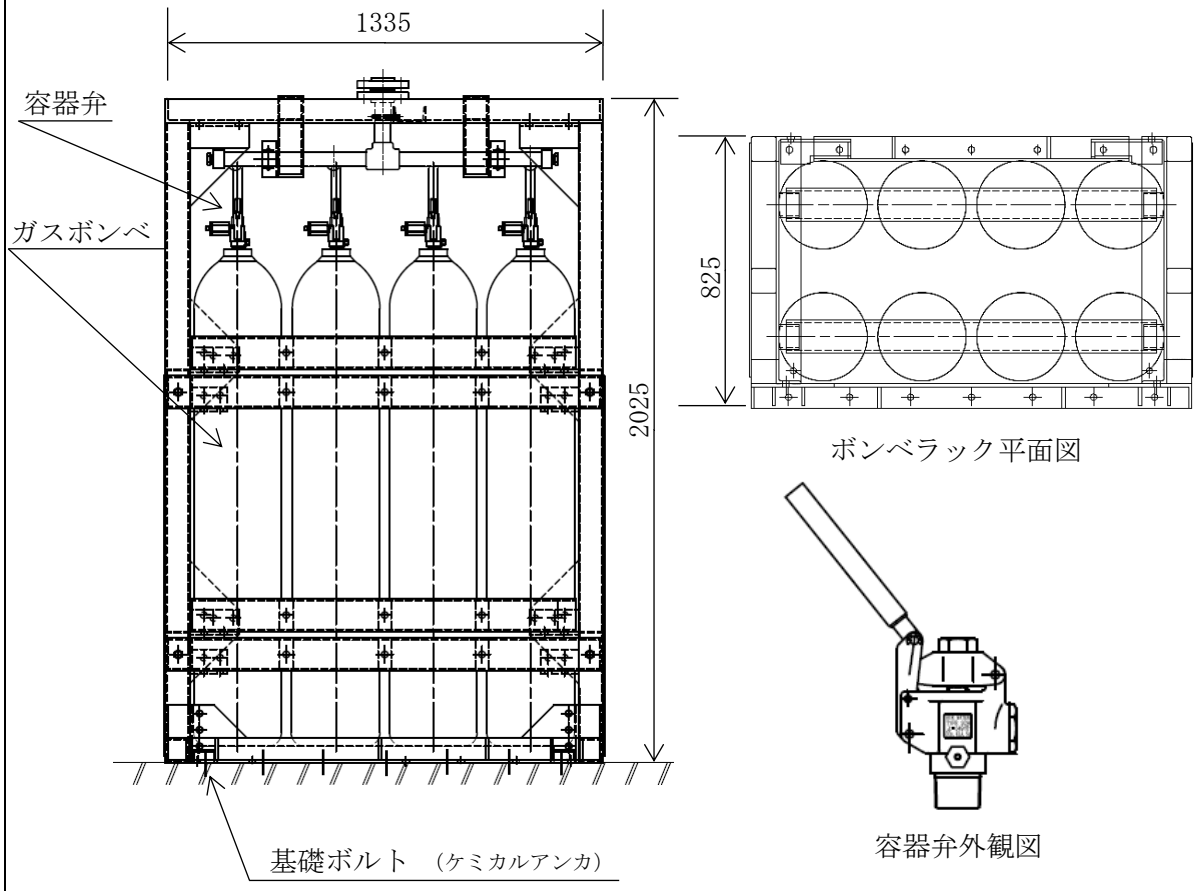
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	 ボンベラック平面図 容器弁外観図 68ℓ2 列 8 本用ボンベラック外観図 （単位：mm）

表 2－2　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の構造計画（2/2）

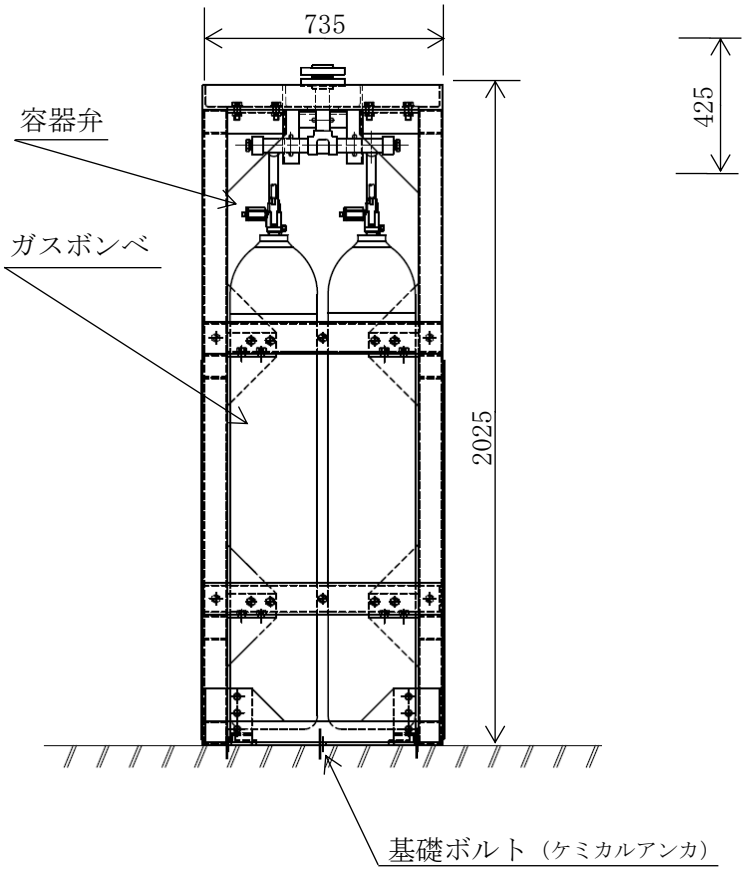
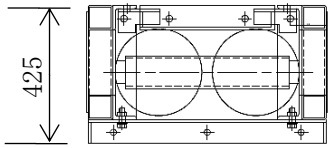
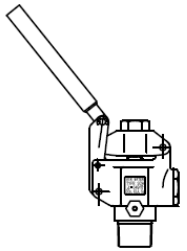
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	 6801 列 2 本用ボンベラック外観図  ボンベラック平面図  容器弁外観図 （単位：mm）

表 2－3　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の構造計画

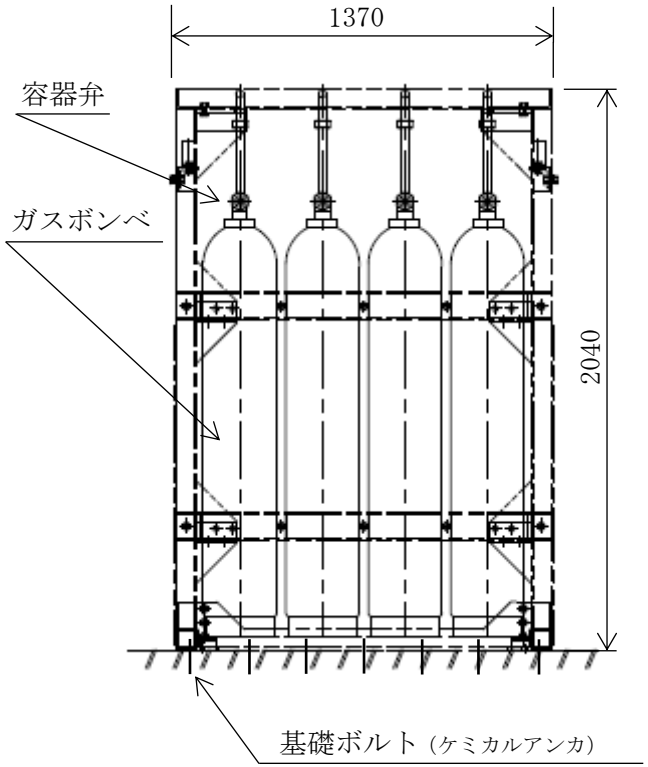
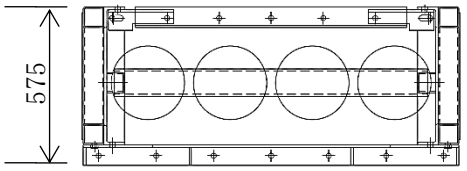
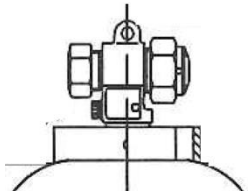
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	 7004 本用ボンベラック外観図  ボンベラック平面図  容器弁外観図 （単位：mm）

表 2－4　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の構造計画

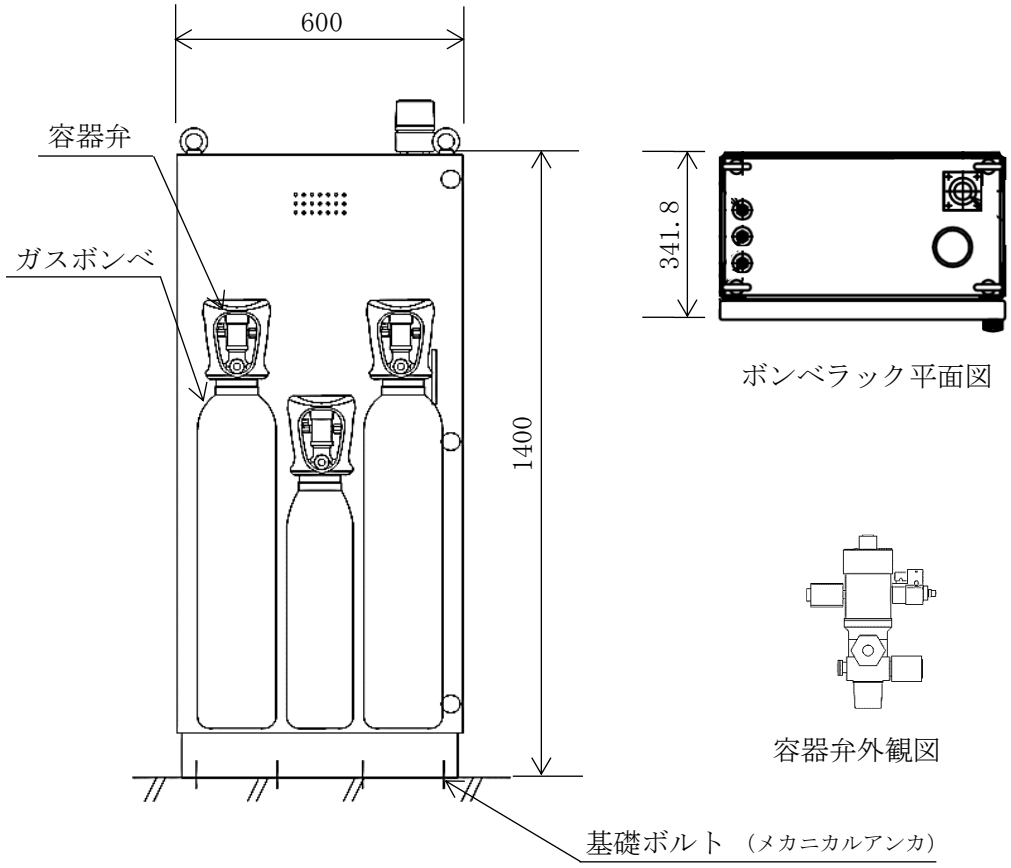
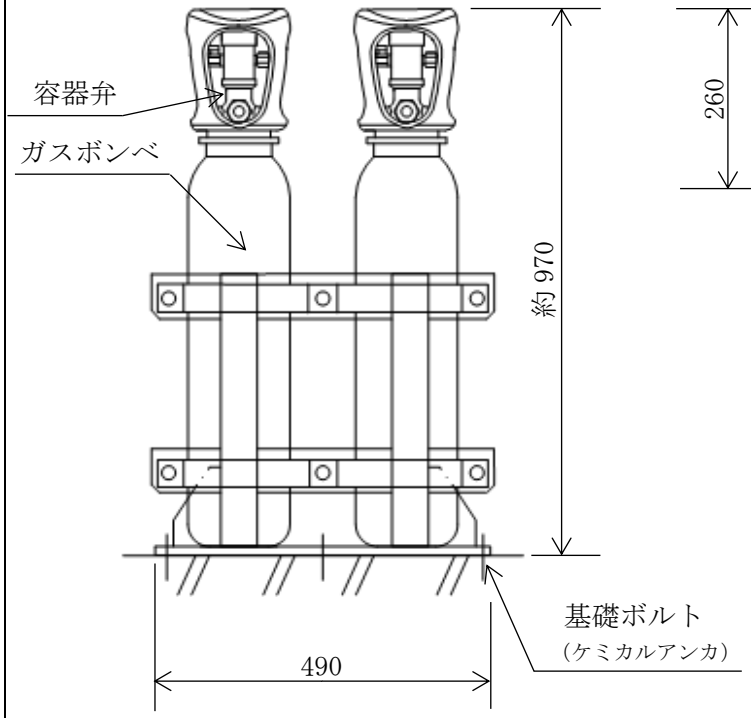
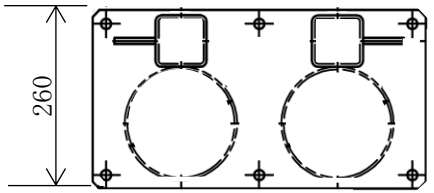
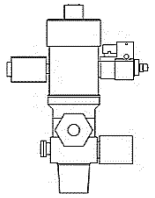
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	 13.4ℓ,6.7ℓ3 本用ボンベラック外観図 （単位：mm）

表 2－5　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	 13.4ℓ床置 2 本用ボンベラック外観図  ボンベラック平面図  容器弁外観図

（単位：mm）

表 2－6　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の構造計画

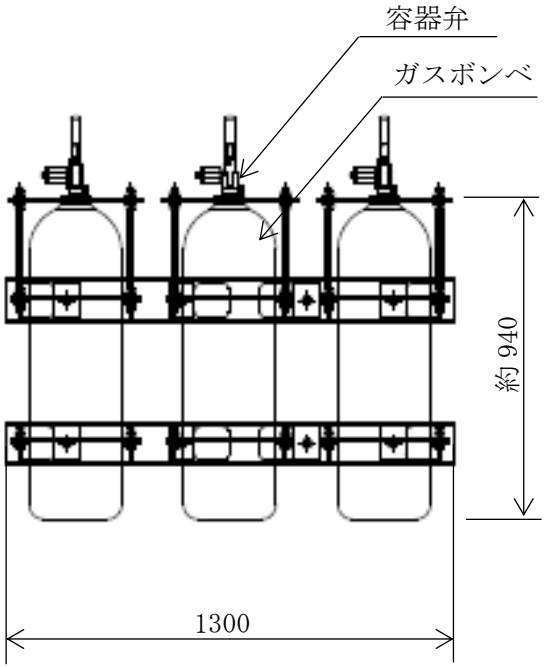
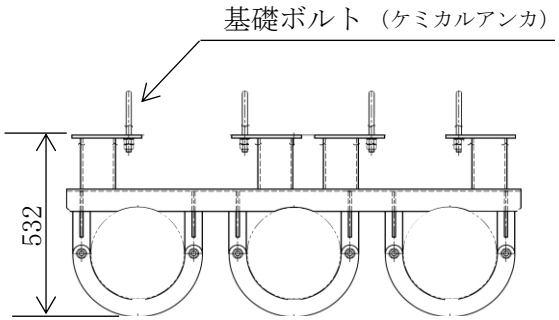
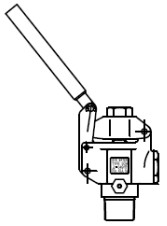
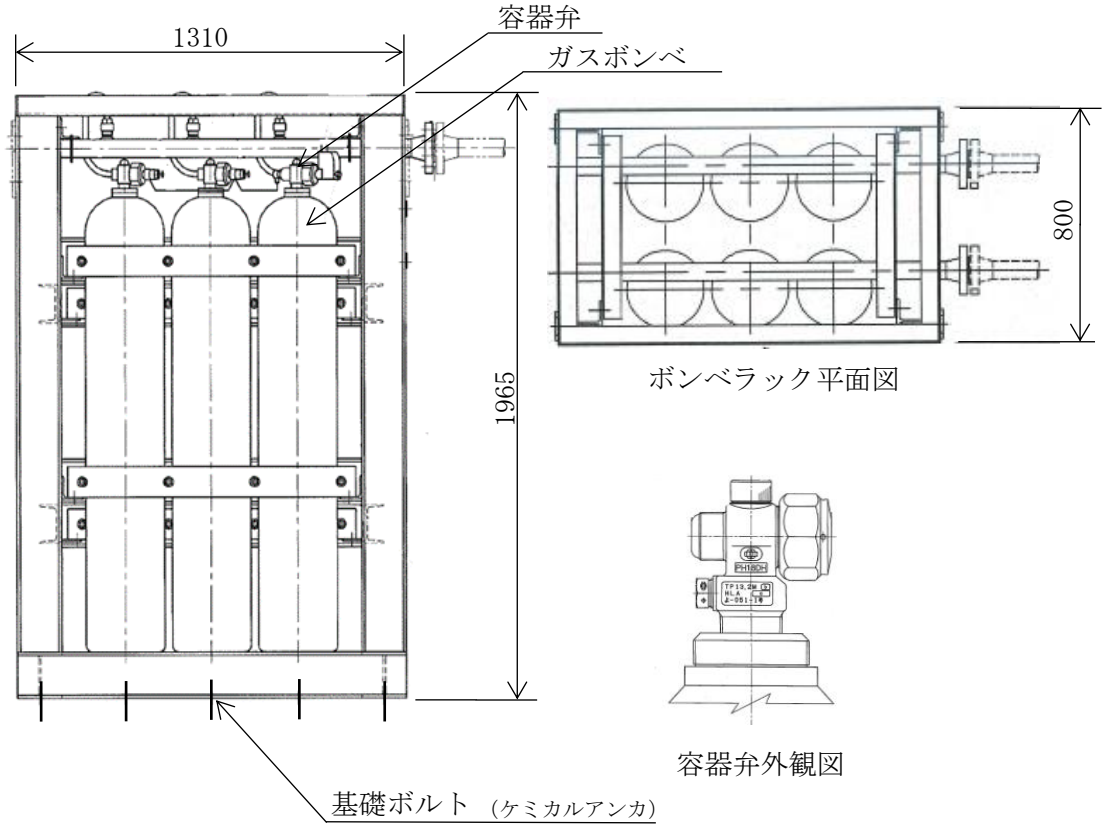
計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	ガスボンベ 及び容器弁 （壁掛形）	 40ℓ壁掛 3 本用ボンベラック外観図  ボンベラック平面図  容器弁外観図 （単位：mm）

表 2－7　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎･支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは，基礎ボルトにより基礎部である床に固定する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	 68ℓ2 列 6 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1　荷重の組合せ及び許容応力

3.1.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ボンベラックの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3－1 に示す。

3.1.2　許容応力

ボンベラックの許容応力は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき表 3－2 に示す。

3.1.3　使用材料の許容応力評価条件

ボンベラックの使用材料の許容応力評価条件を表 3－3 から表 3－9 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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	ボンベラック	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（部材）	許容限界*1, *2（基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_t*	1.5・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　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の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_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
ボンベラック	SS400（厚さ≦16mm）	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS400（径≦16mm）	周囲環境温度	40	245	400	—

表 3－4　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―

表 3－5　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	STKR400	周囲環境温度	40	245	400	―
	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―

表 3－6　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	STKR400	周囲環境温度	40	245	400	―
	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	―

表 3－7　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	STKR400	周囲環境温度	40	245	400	—
	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

表 3－8　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	STKR400	周囲環境温度	40	245	400	—
	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

表 3－9　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y(RT) (MPa)
ボンベラック	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

3.2　解析モデル及び諸元

ボンベラックの解析モデルを図 3－1 から図 3－8 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【ボンベラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　評価対象部位をはり要素又は，はり・シェル要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2)　拘束条件は，基礎ボルト部を並進 3 方向固定又は，並進 3 方向回転 3 方向固定とする。

(3)　解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」又は「ＮＡＰＦ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。

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。

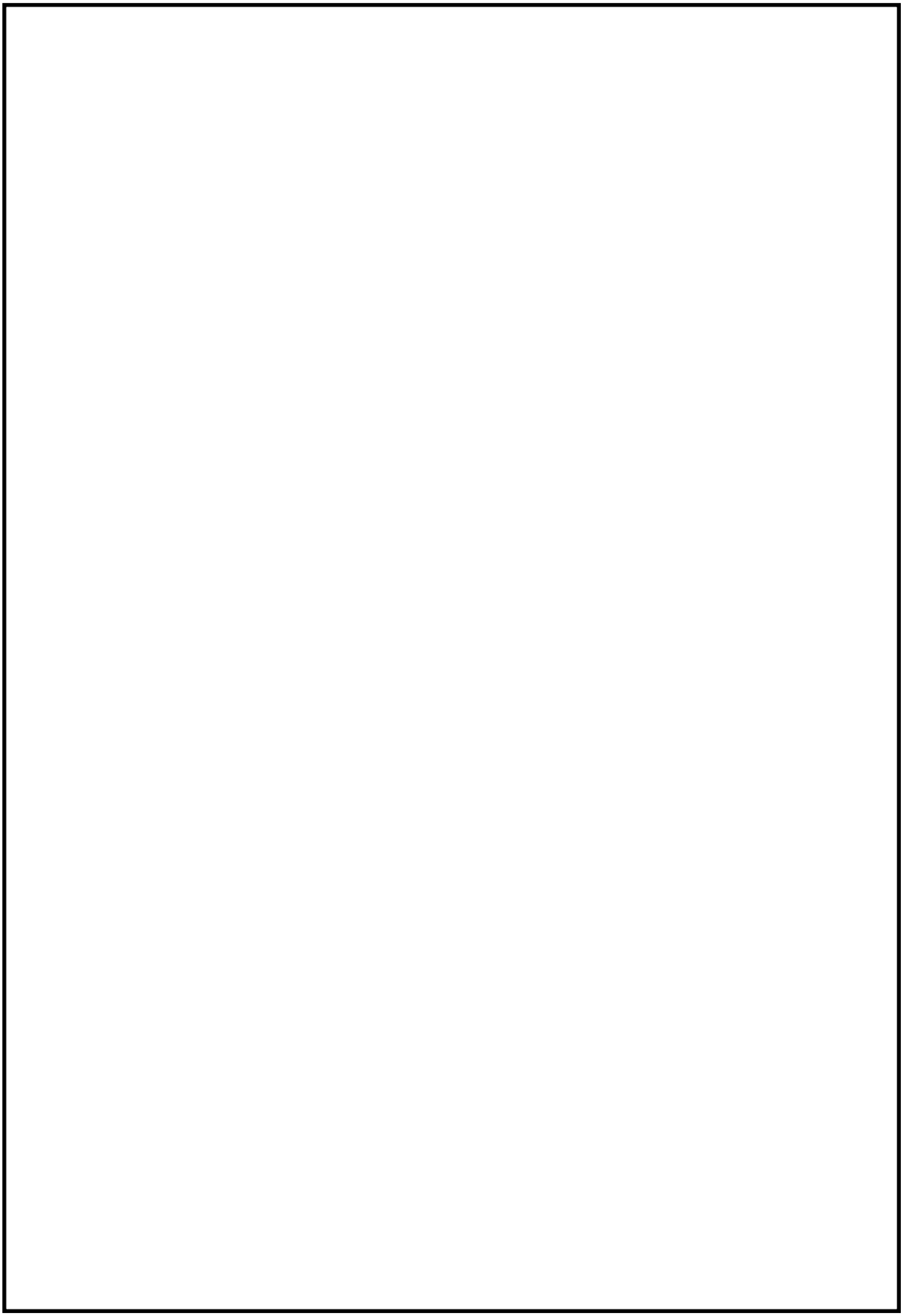


図 3－1　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の解析モデル

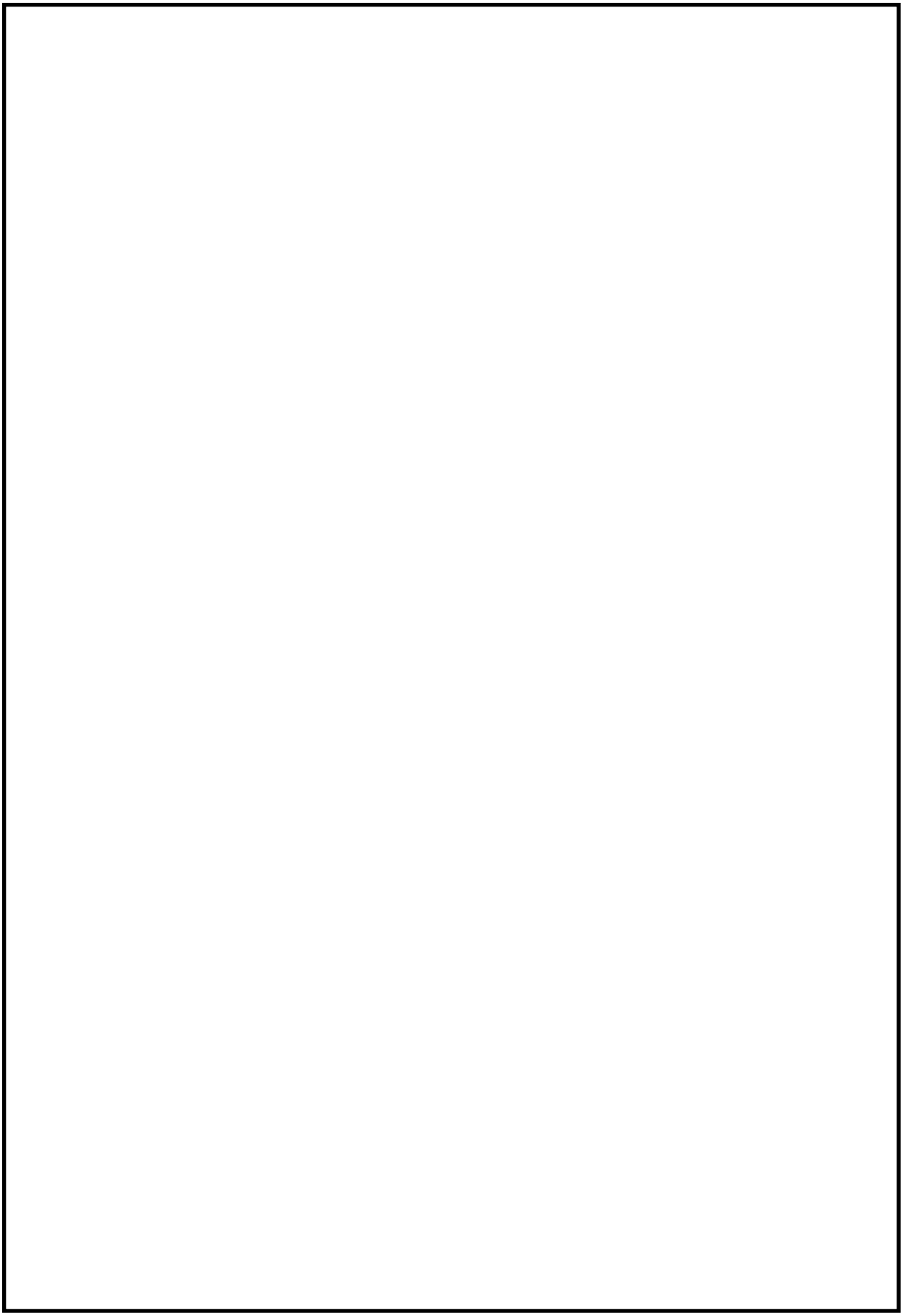


図 3－2　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の解析モデル（68ℓ2 列 8 本用）

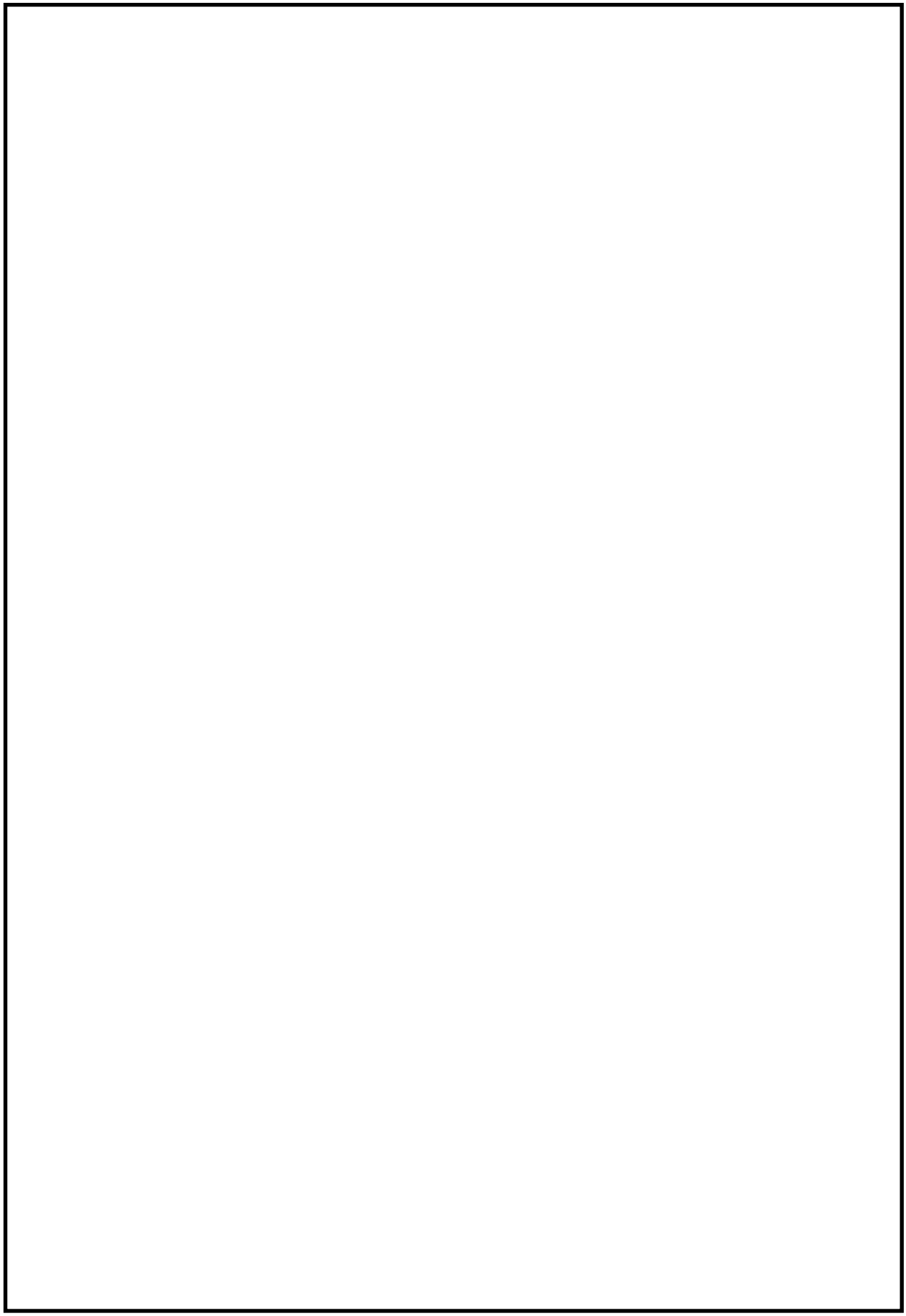


図 3－3　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の解析モデル（68ℓ1 列 2 本用）

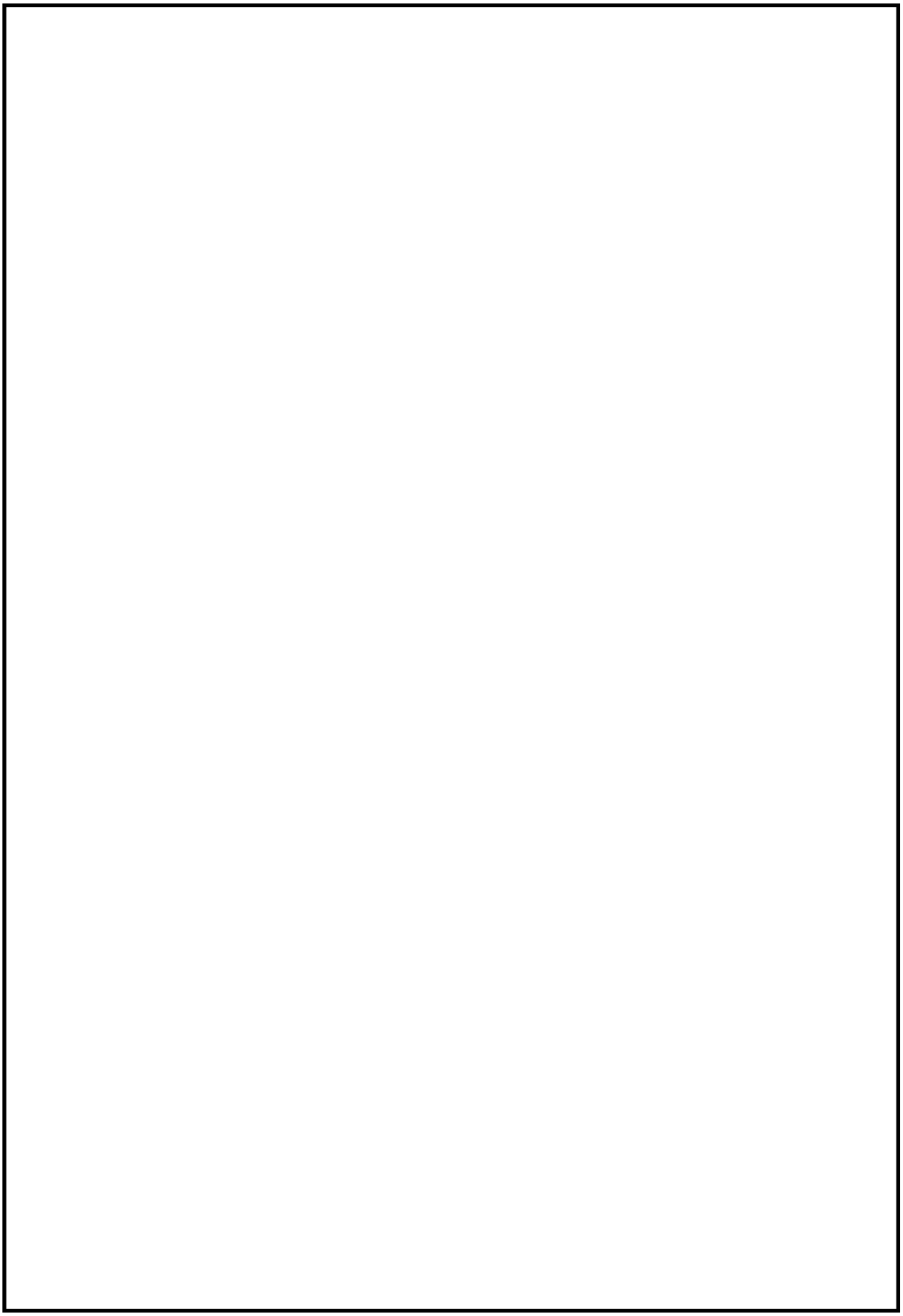


図 3－4　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の解析モデル

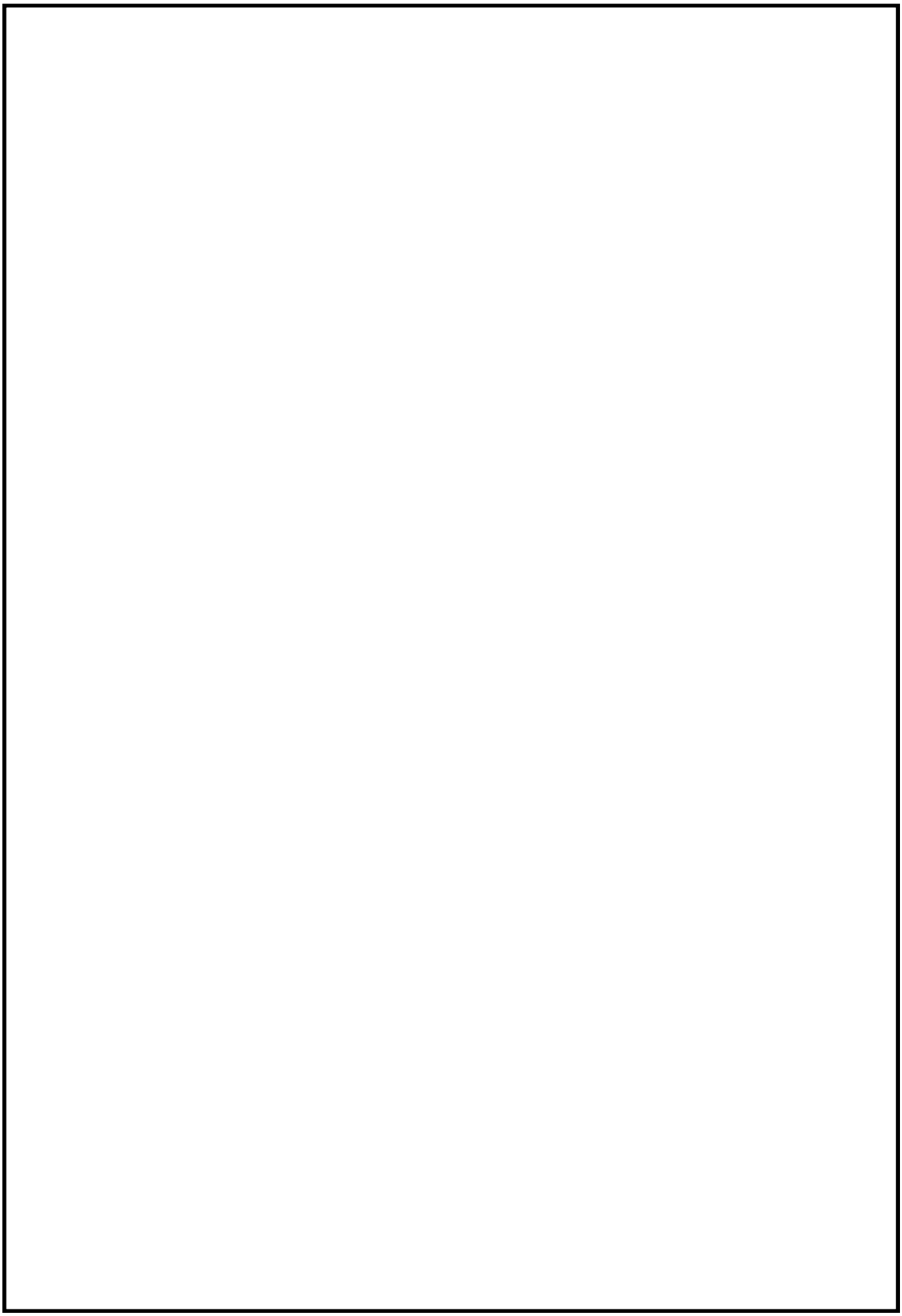


図 3－5　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の解析モデル

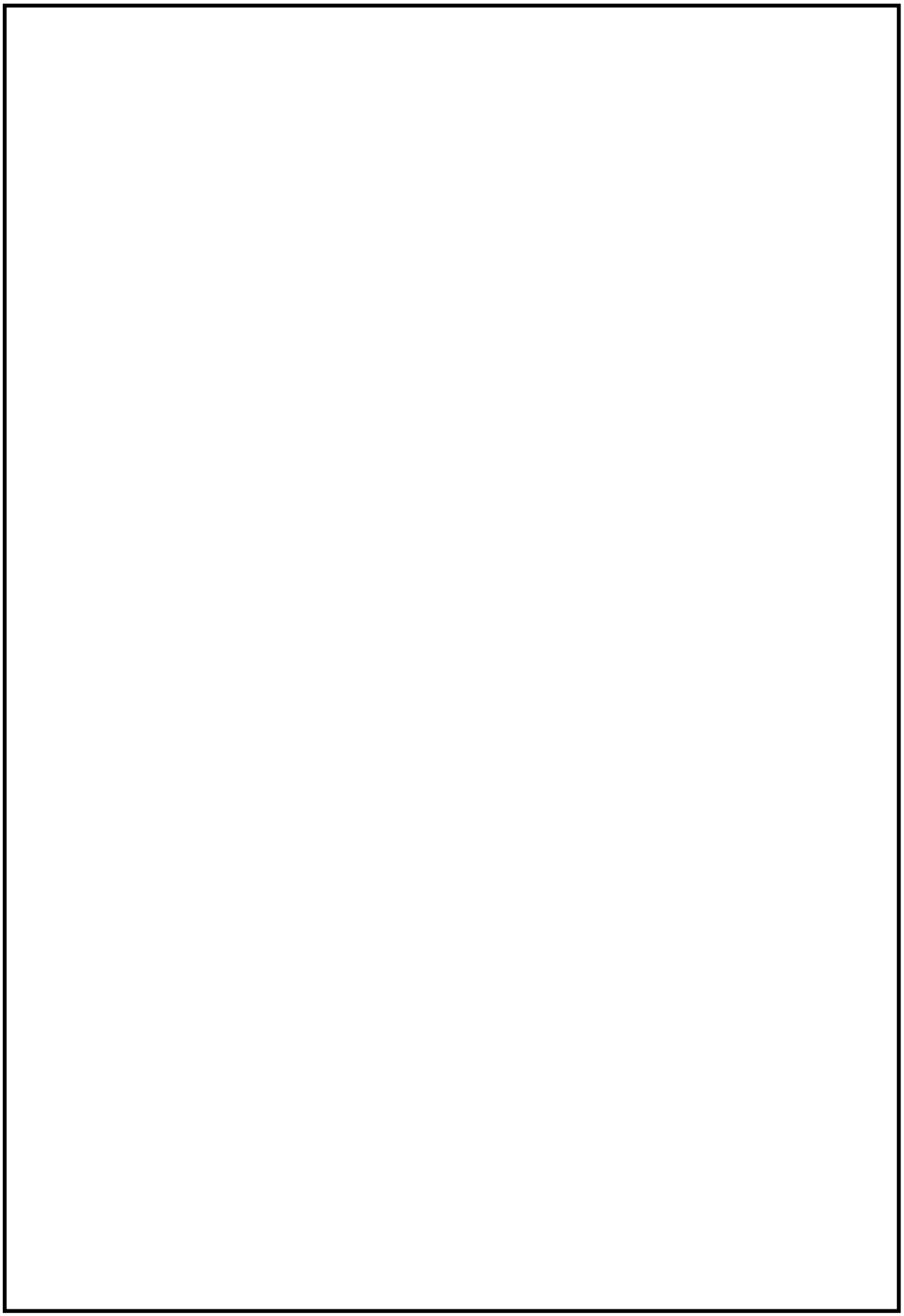


図 3－6　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の解析モデル

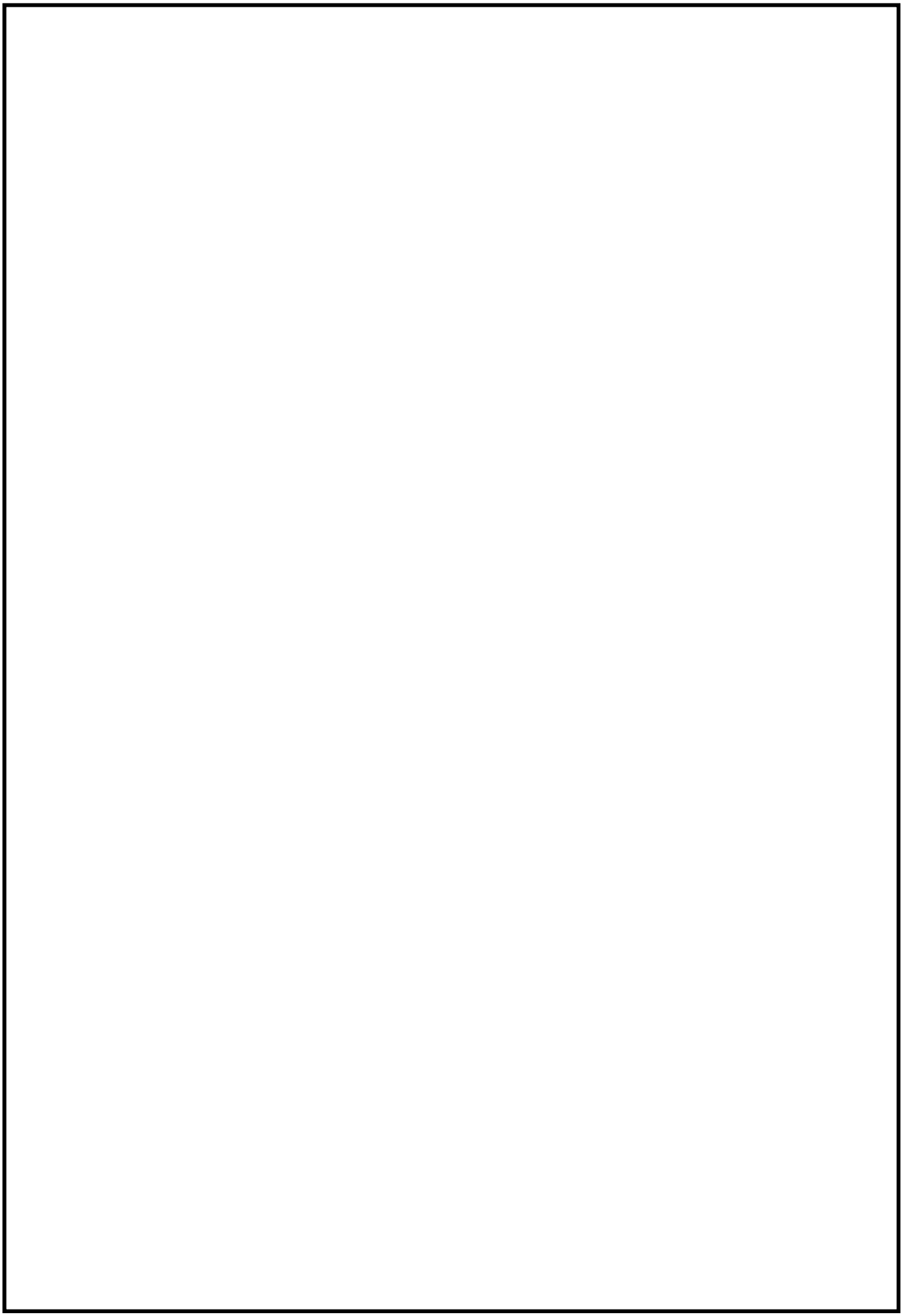


図 3－7　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の解析モデル

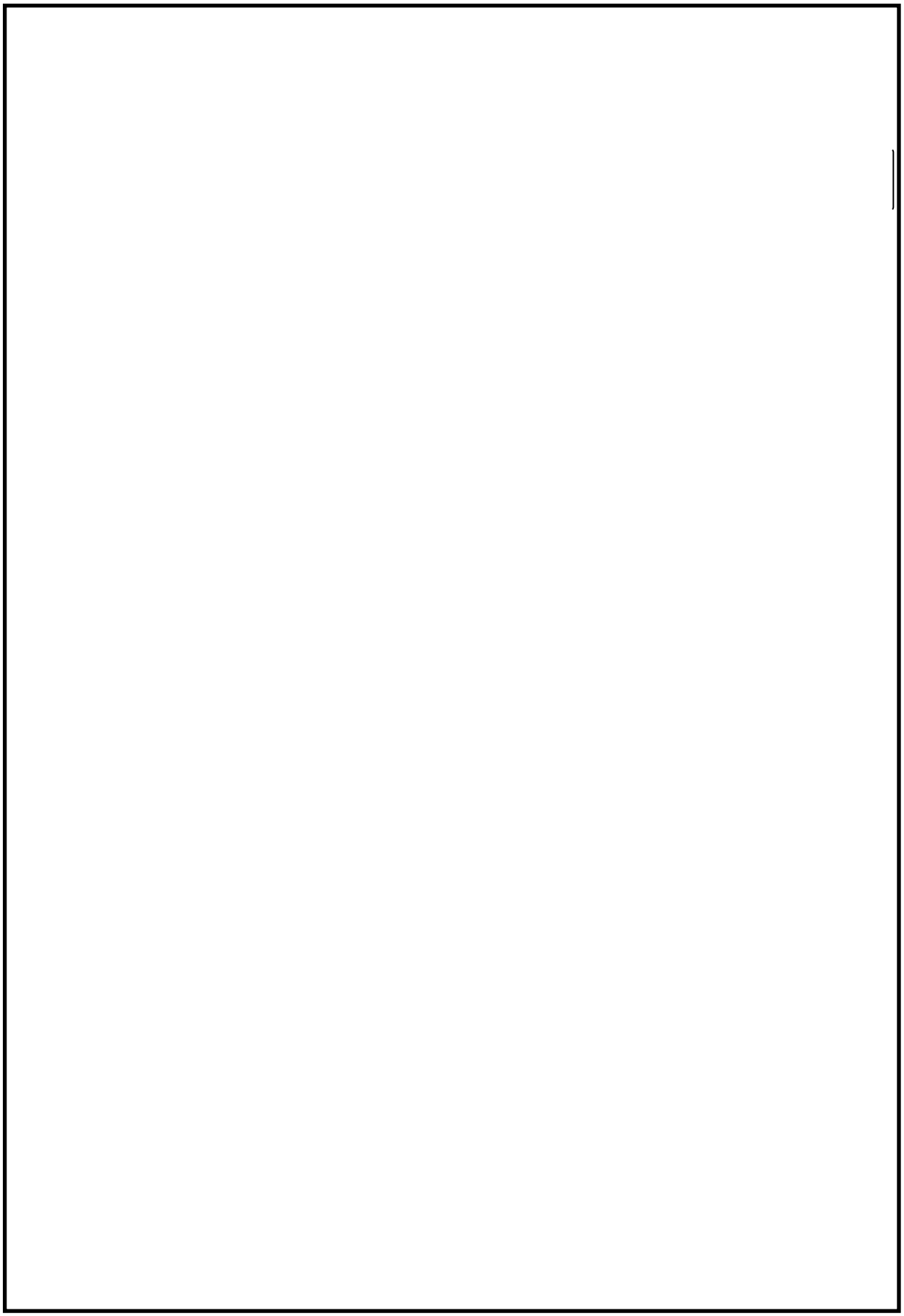


図 3－8　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の解析モデル

3.3　固有周期

固有値解析の結果を表3－10から表3－17に示す。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3－10　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.046	―	―	―

表3－11　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の固有値解析結果（68ℓ2列8本用）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.048	―	―	―

表3－12　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の固有値解析結果（68ℓ1列2本用）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.044	―	―	―

表3－13　ボンベラック（SLCポンプ・CRDポンプ局所消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.042	―	―	―

表3－14　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.026	―	―	―

表3－15　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.021	―	―	―

表 3－16　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1 次	水平	0.008	―	―	―

表 3－17　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1 次	水平	0.033	―	―	―

3.4　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3－18 から表 3－24 に示す。

表 3－18　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	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.18.1 (T.M.S.L.23.5*)	0.046	0.05 以下	C_H＝1.21	C_V＝1.12

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－19　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
廃棄物処理建屋 T.M.S.L.－6.1* (68ℓ2 列 8 本)	0.048	0.05 以下	C_H＝1.30	C_V＝1.08
原子炉建屋 T.M.S.L.4.8* (68ℓ1 列 2 本)	0.044	0.05 以下	C_H＝1.65	C_V＝1.16

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－20　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の
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)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	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.－8.2*	0.042	0.05 以下	C_H＝1.22	C_V＝1.13

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－21　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	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.18.1*	0.026	0.05 以下	C_H＝2.15	C_V＝1.89

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－22　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	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.18.1*	0.021	0.05 以下	C_H＝2.15	C_V＝1.89

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－23　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
コントロール建屋 T.M.S.L.12.3 (T.M.S.L.17.3*)	0.008	0.05 以下	C_H＝1.65	C_V＝1.12

注記＊：基準床レベルを示す。

表 3－24　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ(m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策所 T.M.S.L.27.8*	0.033	0.05 以下	C_H＝1.30	C_V＝1.13

注記＊：基準床レベルを示す。

3.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【ボンベラック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.　機能維持評価

4.1　機能維持評価方法

容器弁の機能維持評価方法は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。

容器弁の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき，正弦波加振試験又はサインビート波加振試験において動的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4－1 から表 4－7 に示す。

表 4－1　ボンベラック（二酸化炭素消火設備）の機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	4.0
	鉛直	3.0

表 4－2　ボンベラック（小空間固定式消火設備）の機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	10.0
	鉛直	10.0

表 4－3　ボンベラック（SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備）の機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	10.0
	鉛直	10.0

表 4－4　ボンベラック（電源盤・制御盤消火設備）の機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	3.10
	鉛直	2.30

表 4－5　ボンベラック（ケーブルトレイ消火設備）の機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	3.10
	鉛直	2.30

表 4－6　ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）の
機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	3.10
	鉛直	2.30

表 4－7　ボンベラック（5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備）の
機能確認済加速度（×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
容器弁	水平	3
	鉛直	2

5.　評価結果

5.1　ボンベラックの評価結果

ボンベラック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。

5.2　容器弁の評価結果

容器弁の耐震評価結果を以下に示す。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して動的機能が維持されていることを確認した。

(1)　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。

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (二酸化炭素消火設備)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1 (T.M.S.L.23.5*)	0.046	0.05 以下	C_H＝1.21	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
201667	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト (M16)

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
201667	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	2.644×10^3	1.387×10^3

1.2.3　基礎ボルト（M12）

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
201667	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	12 (M12)	113.1	1.353×10^3	2.699×10^3

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位		材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック（二酸化炭素消火設備）	ボンベラック部材		SS400	組合せ応力	σ ＝166	f_t＝244
	基礎ボルト	M16	SS400	引張応力	σ_{bt}＝7	f_{ts}＝210*
				せん断応力	τ_b＝14	f_{sb}＝161
		M12	SS400	引張応力	σ_{bt}＝24	f_{ts}＝210*
				せん断応力	τ_b＝12	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	1.01	4.0
	鉛直方向	0.93	3.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量 (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
L-65×65×6.0	SS400	7.850×10^{-6}	5.910×10^{-3}	40	201667	0.3
C-125×65×6.0	SS400	7.850×10^{-6}	1.340×10^{-2}	40	201667	0.3
L-50×50×6.0	SS400	7.850×10^{-6}	4.430×10^{-3}	40	201667	0.3
P-270.0×7.0	SMn433	1.464×10^{-5}	8.467×10^{-2}	40	200667	0.3
C-125×63×6×6	SS400	7.850×10^{-6}	1.126×10^{-2}	40	201667	0.3
C-125×45×6×6	SS400	7.850×10^{-6}	9.570×10^{-3}	40	201667	0.3
R-130×6	SS400	7.850×10^{-6}	6.130×10^{-3}	40	201667	0.3
C-125×53×6×6	SS400	7.850×10^{-6}	1.032×10^{-2}	40	201667	0.3

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (小空間固定式消火設備) (68ℓ2 列 8 本用)	C	廃棄物処理建屋 T.M.S.L. －6.1*	0.048	0.05 以下	C_H＝1.30	C_V＝1.08	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	7.222×10^3	1.389×10^4

1.3　構造強度評価結果

（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック （小空間固定式消火設備） （68ø2 列 8 本用）	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝150	f_t＝280
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝69	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝36	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果

（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	0.89	10.0
	鉛直方向	0.87	10.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量* (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
鋼板　t4.5	SS400	7.850×10^{-6}	3.533×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t9.0	SS400	7.850×10^{-6}	7.065×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	4.710×10^{-5}	40	202000	0.3
□75×t4.5	STKR400	7.850×10^{-6}	9.553×10^{-3}	40	202000	0.3
□75×t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	1.300×10^{-2}	40	202000	0.3
L75×75×9	SS400	7.850×10^{-6}	9.970×10^{-3}	40	202000	0.3
L50×50×6	SS400	7.850×10^{-6}	4.427×10^{-3}	40	202000	0.3
C100×50	SS400	7.850×10^{-6}	9.342×10^{-3}	40	202000	0.3
C75×30×6	SS400	7.850×10^{-6}	5.793×10^{-3}	40	202000	0.3
C75×26×6	SS400	7.850×10^{-6}	5.417×10^{-3}	40	202000	0.3
PL110× t 6	SS400	7.850×10^{-6}	5.181×10^{-3}	40	202000	0.3
PL400× t 9	SS400	7.850×10^{-6}	2.826×10^{-2}	40	202000	0.3
M16(φ13.835)	SS400	7.850×10^{-6}	1.180×10^{-3}	40	202000	0.3
φ267.4×t6	STH12	1.735×10^{-5}	8.548×10^{-2}	40	201000	0.3

注記＊：鋼板の単位質量は kg/mm^2

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (小空間固定式消火設備) (68ℓ1 列 2 本用)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.4.8*	0.044	0.05 以下	C_H＝1.65	C_V＝1.16	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	8.413×10^3	1.259×10^4

1.3　構造強度評価結果　　(単位：MPa)

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (小空間固定式消火設備) (68ℓ1 列 2 本用)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝187	f_t＝280
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝63	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝42	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	0.83	10.0
	鉛直方向	0.84	10.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量* (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
鋼板　t4.5	SS400	7.850×10^{-6}	3.533×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t9.0	SS400	7.850×10^{-6}	7.065×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	4.710×10^{-5}	40	202000	0.3
□75×t4.5	STKR400	7.850×10^{-6}	9.553×10^{-3}	40	202000	0.3
□75×t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	1.300×10^{-2}	40	202000	0.3
L75×75×9	SS400	7.850×10^{-6}	9.970×10^{-3}	40	202000	0.3
L50×50×6	SS400	7.850×10^{-6}	4.427×10^{-3}	40	202000	0.3
C100×50	SS400	7.850×10^{-6}	9.342×10^{-3}	40	202000	0.3
C75×30×6	SS400	7.850×10^{-6}	5.793×10^{-3}	40	202000	0.3
C75×26×6	SS400	7.850×10^{-6}	5.417×10^{-3}	40	202000	0.3
PL110× t 6	SS400	7.850×10^{-6}	5.181×10^{-3}	40	202000	0.3
PL400× t 9	SS400	7.850×10^{-6}	2.826×10^{-2}	40	202000	0.3
M16(φ13.835)	SS400	7.850×10^{-6}	1.180×10^{-3}	40	202000	0.3
φ267.4×t6	STH12	1.735×10^{-5}	8.548×10^{-2}	40	201000	0.3

注記＊：鋼板の単位質量は kg/mm^2

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備)	C	原子炉建屋 T.M.S.L. −8.2*	0.042	0.05 以下	C_H＝1.22	C_V＝1.13	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa※)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	4.806×10^3	1.267×10^4

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝181	f_t＝280
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝63	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝24	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	0.74	10.0
	鉛直方向	0.84	10.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量* (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
鋼板　t4.5	SS400	7.850×10^{-6}	3.533×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t9.0	SS400	7.850×10^{-6}	7.065×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	4.710×10^{-5}	40	202000	0.3
□75×t4.5	STKR400	7.850×10^{-6}	9.553×10^{-3}	40	202000	0.3
L75×75×9	SS400	7.850×10^{-6}	9.970×10^{-3}	40	202000	0.3
C100×50	SS400	7.850×10^{-6}	9.342×10^{-3}	40	202000	0.3
PL110× t 6	SS400	7.850×10^{-6}	5.181×10^{-3}	40	202000	0.3
M16(φ13.835)	SS400	7.850×10^{-6}	1.180×10^{-3}	40	202000	0.3
φ267.4×t6.17	SM520B	1.969×10^{-5}	9.971×10^{-2}	40	202000	0.3

注記＊：鋼板の単位質量は kg/mm^2

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (電源盤・制御盤消火設備)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1*	0.026	0.05 以下	C_H＝2.15	C_V＝1.89	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	1.534×10^3	1.174×10^4

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック （電源盤・制御盤消火設備）	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝107	f_t＝280
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝59	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝8	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	0.94	3.10
	鉛直方向	0.90	2.30

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量 (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
L75×75×4.5t	SS400	7.850×10^{-6}	5.140×10^{-3}	40	202000	0.3
L75×50×4.5t	SS400	7.850×10^{-6}	4.257×10^{-3}	40	202000	0.3
L50×35×4.5t	SS400	7.850×10^{-6}	2.844×10^{-3}	40	202000	0.3
L25×25×3.2t	SS400	7.850×10^{-6}	1.176×10^{-3}	40	202000	0.3
L50×50×4.5t	SS400	7.850×10^{-6}	3.374×10^{-3}	40	202000	0.3
C75×75×4.5t	SS400	7.850×10^{-6}	7.630×10^{-3}	40	202000	0.3
PL44×4.5	SS400	7.850×10^{-6}	1.554×10^{-3}	40	202000	0.3
PL75×4.5	SS400	7.850×10^{-6}	2.649×10^{-3}	40	202000	0.3
PL38×9.0	SS400	7.850×10^{-6}	2.685×10^{-3}	40	202000	0.3
PL50×9.0	SS400	7.850×10^{-6}	3.533×10^{-3}	40	202000	0.3
C100×50×5×7.5	SS400	7.850×10^{-6}	9.342×10^{-3}	40	202000	0.3
PL53×6.0	SS400	7.850×10^{-6}	2.496×10^{-3}	40	202000	0.3
φ21.7×2.8t	SGP	7.850×10^{-6}	1.305×10^{-3}	40	202000	0.3
M12	SS400	7.850×10^{-6}	8.878×10^{-4}	40	202000	0.3
PL50×6	SS400	7.850×10^{-6}	2.355×10^{-3}	40	202000	0.3
φ165.2×t3.6	STH12	2.196×10^{-5}	4.014×10^{-2}	40	201000	0.3
φ140.0×t3.1	STH12	2.237×10^{-5}	2.982×10^{-2}	40	201000	0.3

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (ケーブルトレイ消火設備)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1*	0.021	0.05 以下	C_H＝2.15	C_V＝1.89	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	12 (M12)	113.1	439.1	1.481×10^3

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック （ケーブルトレイ消火設備）	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝36	f_t＝280
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝15	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝5	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	0.94	3.10
	鉛直方向	0.90	2.30

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量 (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
□75×75×4.5	STKR400	7.850×10^{-6}	9.553×10^{-3}	40	202000	0.3
L75×75×9	SS400	7.850×10^{-6}	9.970×10^{-3}	40	202000	0.3
PL50×6	SS400	7.850×10^{-6}	2.355×10^{-3}	40	202000	0.3
φ165.2×t3.6	STH12	2.196×10^{-5}	4.014×10^{-2}	40	201000	0.3

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック（中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備）	C	コントロール建屋 T.M.S.L.12.3 (T.M.S.L.17.3*)	0.008	0.05 以下	C_H＝1.65	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
201667	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
201667	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	4.111×10^3	3.246×10^3

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック （中央制御室床下フリーアクセス フロア消火設備）	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝246	f_t＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝17	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝21	f_{sb}＝160

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	1.37	3.10
	鉛直方向	0.93	2.30

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
質量	m	kg	118
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量* (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
鋼板　t9.0	SS400	7.94×10^{-6}	—	40	201667	0.3
鋼板　t6.0	SS400	7.94×10^{-6}	—	40	201667	0.3
C125×65×6×8	SS400	7.94×10^{-6}	—	40	201667	0.3
□100×100×t6	STKR400	7.94×10^{-6}	—	40	201667	0.3

注記＊：鋼板の単位質量は kg/mm^2

【ボンベラック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)		基準地震動Ｓｓ		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	
ボンベラック (5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備)	C	緊急時対策所 T.M.S.L.27.8*	0.033	0.05 以下	C_H＝1.30	C_V＝1.13	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
202000	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	4.958×10^3	5.715×10^3

1.3　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	0.165	1*1
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝29	f_{ts}＝210*2
			せん断応力	τ_b＝25	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊1 ：発生応力を裕度表記にしたため，許容応力を「1」として記載

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

1.4　動的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁	水平方向	1.08	3
	鉛直方向	0.94	2

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量* (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
鋼板　t7.0	SS400	7.850×10^{-6}	5.495×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t10.0	SS400	7.850×10^{-6}	7.850×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t6.0	SS400	7.850×10^{-6}	4.710×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t5.0	SS400	7.850×10^{-6}	3.925×10^{-5}	40	202000	0.3
鋼板　t7.5	SS400	7.850×10^{-6}	5.888×10^{-5}	40	202000	0.3
H150×150×7×10	SS400	7.850×10^{-6}	3.109×10^{-2}	40	202000	0.3
L65×65×6	SS400	7.850×10^{-6}	5.911×10^{-3}	40	202000	0.3
C125×65×6×8	SS400	7.850×10^{-6}	1.342×10^{-2}	40	202000	0.3
FB50×6	SS400	7.850×10^{-6}	2.355×10^{-3}	40	202000	0.3
M12	S45C	7.850×10^{-6}	6.296×10^{-4}	40	201000	0.3
φ265×t5.5	SMn433	1.785×10^{-5}	8.004×10^{-2}	40	201000	0.3

注記＊：鋼板の単位質量は kg/mm^2

Ⅴ-2-別添 1-5　選択弁の耐震計算書

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　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.1.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
3.1.2　許容応力 ····· 3
3.1.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
3.2　解析モデル及び諸元 ····· 5
3.3　固有周期 ····· 6
3.4　設計用地震力 ····· 6
3.5　計算条件 ····· 6
4.　機能維持評価 ····· 7
4.1　機能維持評価方法 ····· 7
5.　評価結果 ····· 7
5.1　選択弁ラックの評価結果 ····· 7
5.2　選択弁の評価結果 ····· 7

1. 概要

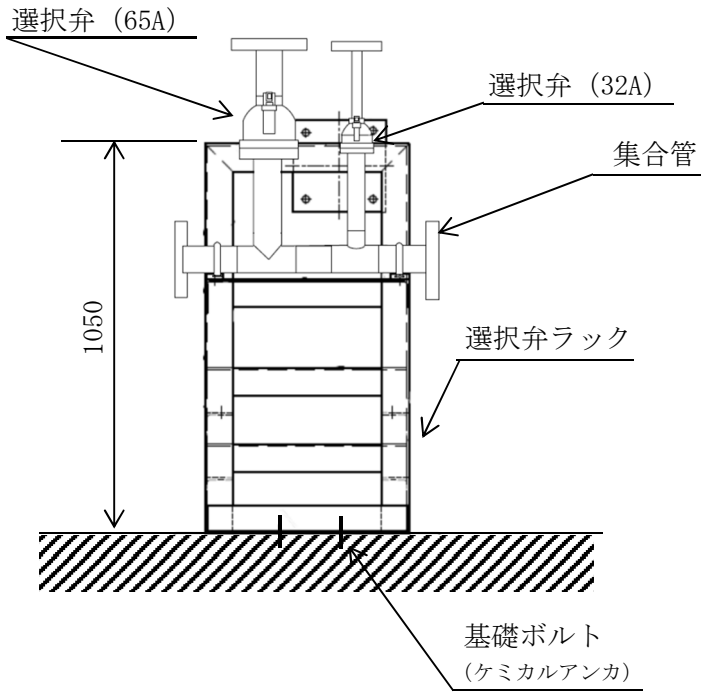
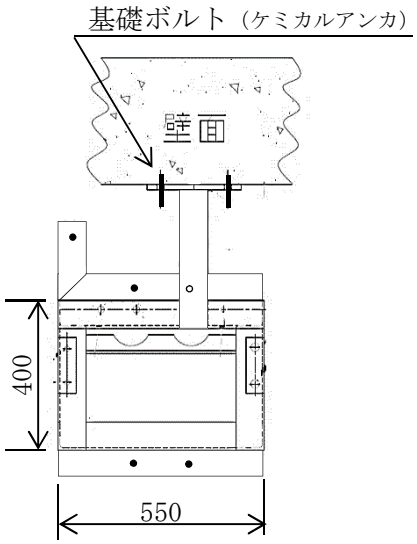
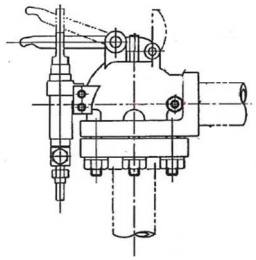
本計算書は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ⅴ-2-別添 1-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，選択弁ラック及び選択弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

選択弁ラック及び選択弁の構造計画を表 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	
選択弁は，集合管に取り付けて固定する。集合管は，選択弁ラックに固定し，選択弁ラックは，基礎ボルトにより基礎部である壁と床に固定する。	選択弁， 集合管及び 選択弁ラック (壁支持を含む 直立形)	 選択弁ラック外観図  選択弁ラック平面図  選択弁外観図

3.　構造強度評価

3.1　荷重の組合せ及び許容応力

3.1.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

選択弁ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3－1 に示す。

3.1.2　許容応力

選択弁ラックの許容応力は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき表 3－2 に示す。

3.1.3　使用材料の許容応力評価条件

選択弁ラックの使用材料の許容応力評価条件を表 3－3 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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	選択弁ラック （二酸化炭素消火設備）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （部材）	許容限界*1, *2 （基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
$Ⅳ_AS$	$1.5・f_t$*	$1.5・f_t$*	$1.5・f_s$*

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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
選択弁ラック	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

3.2　解析モデル及び諸元

選択弁ラックの解析モデルを図3－1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【選択弁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　評価対象部位をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2)　拘束条件は，基礎ボルト部を並進3方向拘束とする。

(3)　解析コードは，「ＮＡＰＦ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。

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。

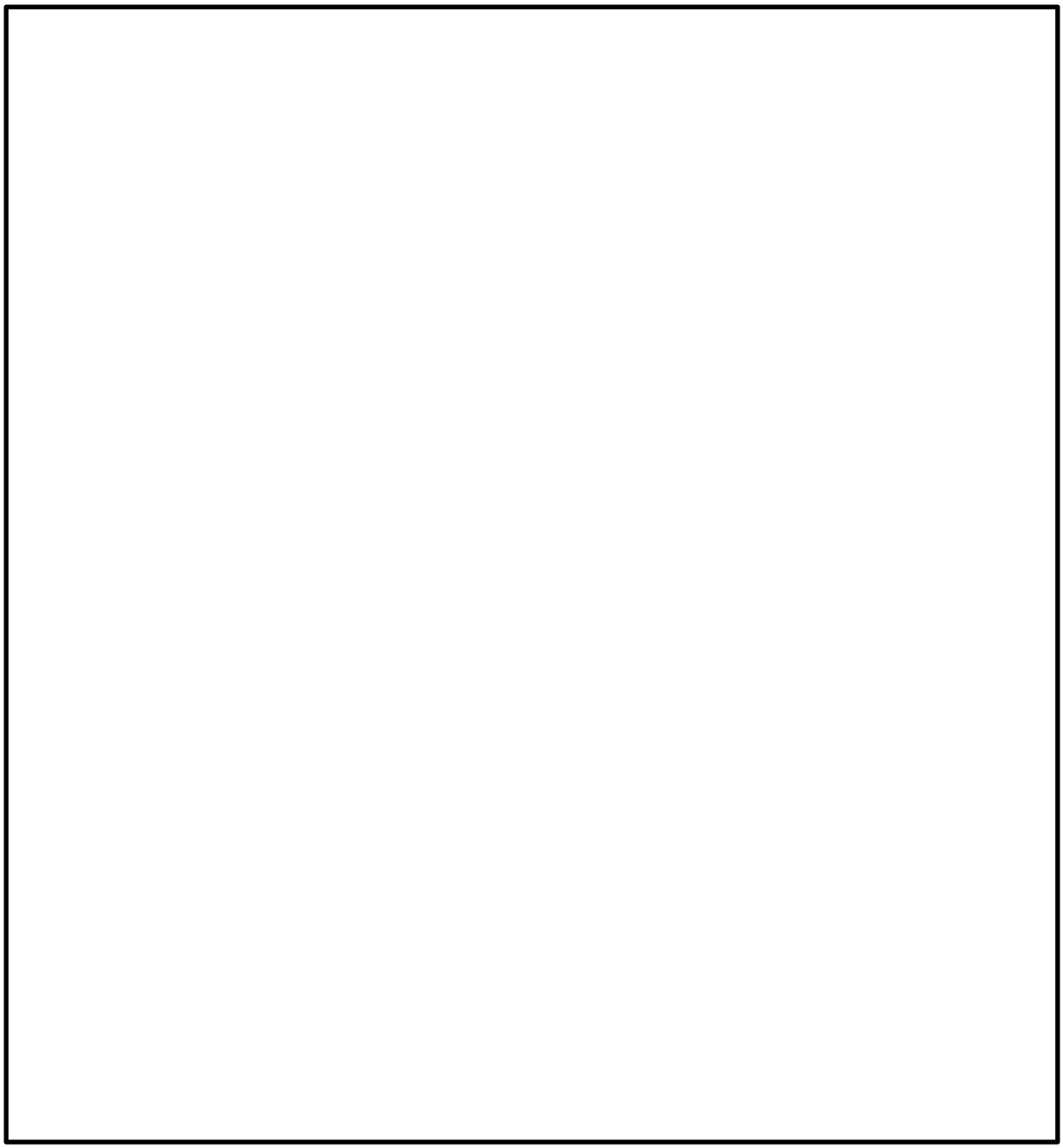


図3－1　選択弁ラック（二酸化炭素消火設備）の解析モデル

3.3　固有周期

固有値解析の結果を表3－4に示す。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3－4　固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
			水平方向		鉛直方向
			短辺方向	長辺方向	
1次	水平	0.008	―	―	―

3.4　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表3－5に示す。

表3－5　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)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	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.18.1 (T.M.S.L.23.5*)	0.008	0.05以下	C_H＝1.21	C_V＝1.12

注記＊：基準床レベルを示す。

3.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【選択弁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. 機能維持評価

4.1 機能維持評価方法

選択弁の機能維持評価方法は，V-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。

選択弁の機能確認済加速度は，V-2-別添 1-1 に基づき，サインビート波加振試験において動的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

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/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
選択弁 32A	水平	4.0
	鉛直	3.0
選択弁 65A	水平	4.0
	鉛直	3.0

5. 評価結果

5.1 選択弁ラックの評価結果

選択弁ラック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。

5.2 選択弁の評価結果

選択弁の耐震評価結果を以下に示す。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して動的機能が維持されていることを確認した。

(1) 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。

【選択弁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)		基準地震動Ｓｓ		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	
選択弁ラック (二酸化炭素消火設備)	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1 (T.M.S.L.23.5*)	0.008	0.05 以下	C_H＝1.21	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 選択弁ラック

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F * (MPa)
201667	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

1.2.2 基礎ボルト

E_b (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F * (MPa)	d (mm)	A_b (mm^2)	F_s (N)	F_t (N)
201667	245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201.1	2.877×10^3	8.438×10^3

1.3　構造強度評価結果

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
選択弁ラック （二酸化炭素消火設備）	選択弁ラック部材	SS400	組合せ応力	σ ＝175	f_t＝244
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{bt}＝15	f_{ts}＝210*
			せん断応力	τ_b＝42	f_{sb}＝161

発生応力はすべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4　動的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
選択弁 32A	水平方向	1.01	4.0
	鉛直方向	0.93	3.0
選択弁 65A	水平方向	1.01	4.0
	鉛直方向	0.93	3.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

1.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
要素数	—	個	
節点数	—	個	

部材	材質	密度 (kg/mm^3)	単位質量 (kg/mm)	温度条件 (周囲環境温度) (℃)	縦弾性係数 (MPa)	ポアソン比 (—)
L75×75×6.0t	SS400	7.850×10^{-6}	6.850×10^{-3}	40	201667	0.3
R-50×6	SS400	7.850×10^{-6}	2.360×10^{-3}	40	201667	0.3
L50×50×6.0t	SS400	7.850×10^{-6}	4.430×10^{-3}	40	201667	0.3
C75×40×5.0t	SS400	7.850×10^{-6}	6.920×10^{-3}	40	201667	0.3

Ⅴ-2-別添 1-6　消火配管の耐震計算書

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
2.1.1　二酸化炭素消火設備 ····· 3
2.1.2　小空間固定式消火設備 ····· 5
2.1.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備 ····· 97
2.1.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備 ····· 101
2.1.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備 ····· 102
2.2　鳥瞰図 ····· 104
2.2.1　二酸化炭素消火設備 ····· 105
2.2.2　小空間固定式消火設備 ····· 106
2.2.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備 ····· 108
2.2.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備 ····· 110
2.2.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備 ····· 123
3.　計算条件 ····· 124
3.1　計算方法 ····· 124
3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 124
3.3　設計条件 ····· 125
3.3.1　二酸化炭素消火設備 ····· 125
3.3.2　小空間固定式消火設備 ····· 128
3.3.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備 ····· 132
3.3.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備 ····· 136
3.3.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備 ····· 145
3.4　材料及び許容応力 ····· 147
3.5　設計用地震力 ····· 147
4.　解析結果及び評価 ····· 148
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 148
4.1.1　二酸化炭素消火設備 ····· 148
4.1.2　小空間固定式消火設備 ····· 153
4.1.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備 ····· 157
4.1.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備 ····· 159
4.1.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備 ····· 164
4.2　評価結果 ····· 169
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 169
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 174

4.2.3　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果　…………………… 177
4.2.4　耐震評価結果　…………………………………………………… 189

1. 概要

本計算書は，Ｖ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ｖ-2-別添 1-1」という。）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，管及び支持構造物が設計用地震力に対して十分な構造強度又は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

工事計画記載範囲の管のうち，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 4.2.3 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごと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) 耐震評価

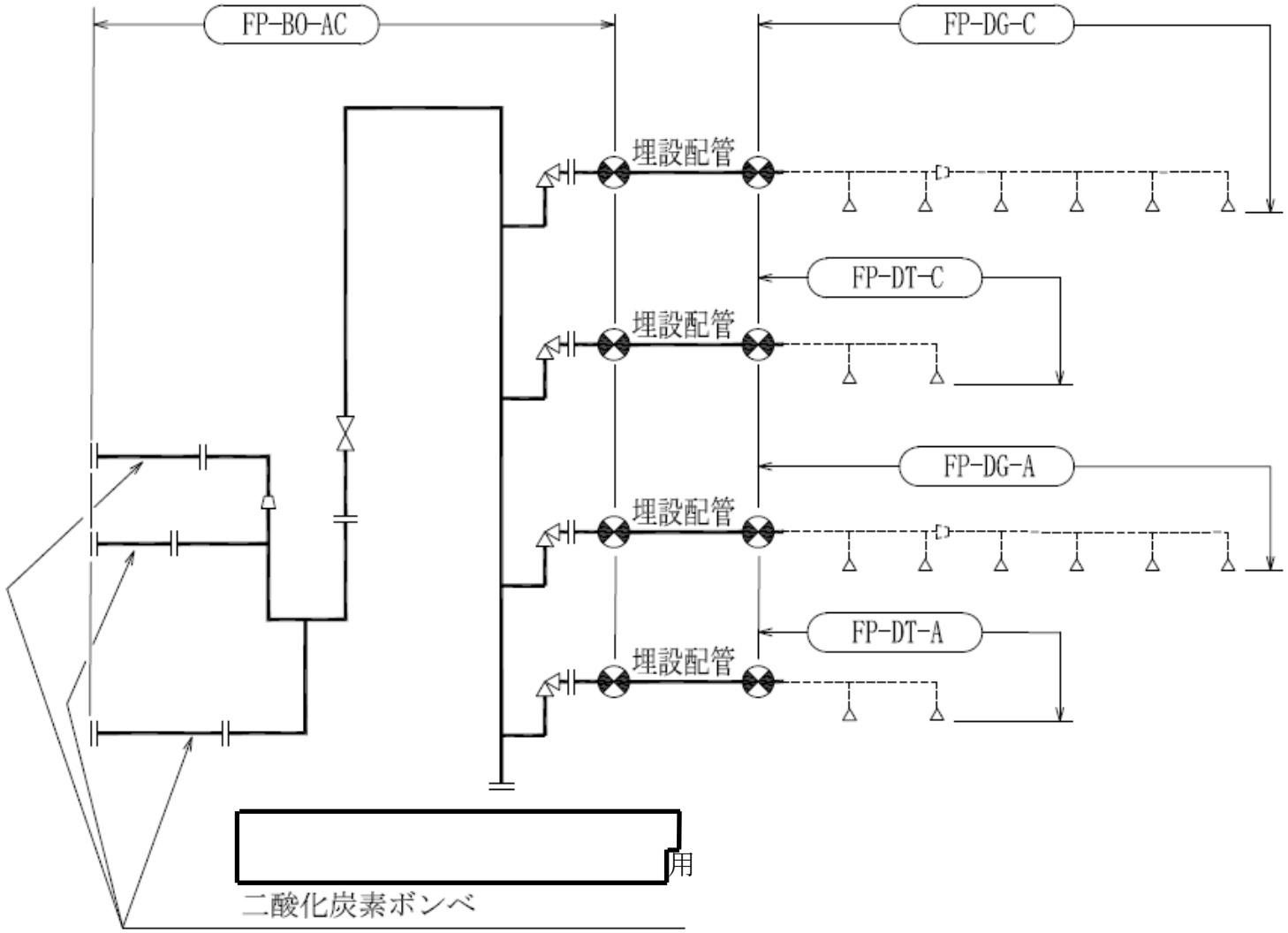
消火配管のうち,電源盤・制御盤消火設備及びケーブルトレイ消火設備については,基準地震動Ｓｓによる耐震性を有していることを消火配管設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較により評価する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

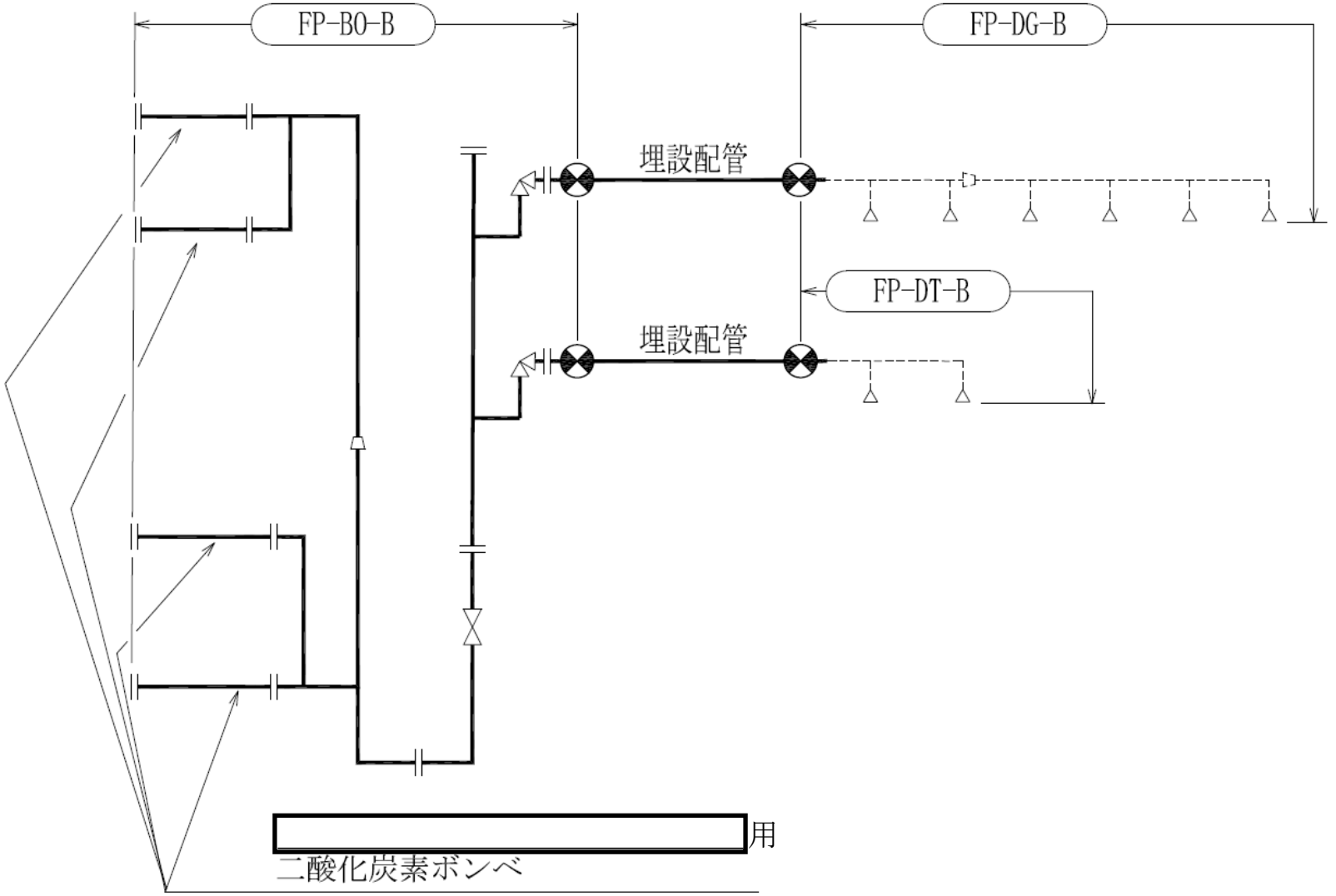
2.1　概略系統図

記号	内容
━━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
―――――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号
⊗	アンカ
△	噴射ヘッド

2.1.1　二酸化炭素消火設備

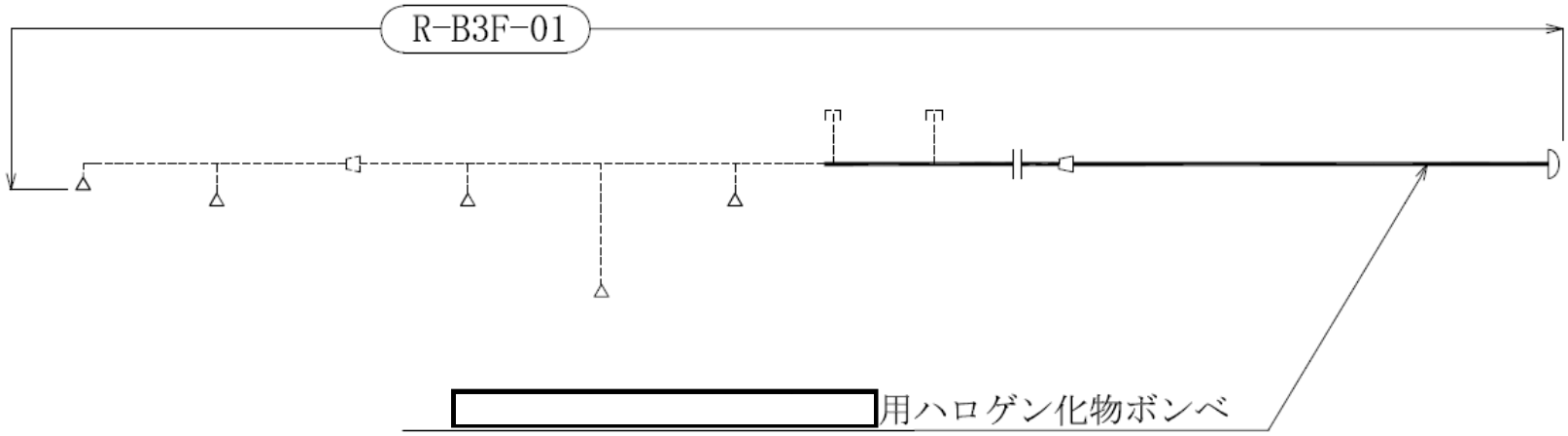


二酸化炭素消火設備概略系統図（その 1）

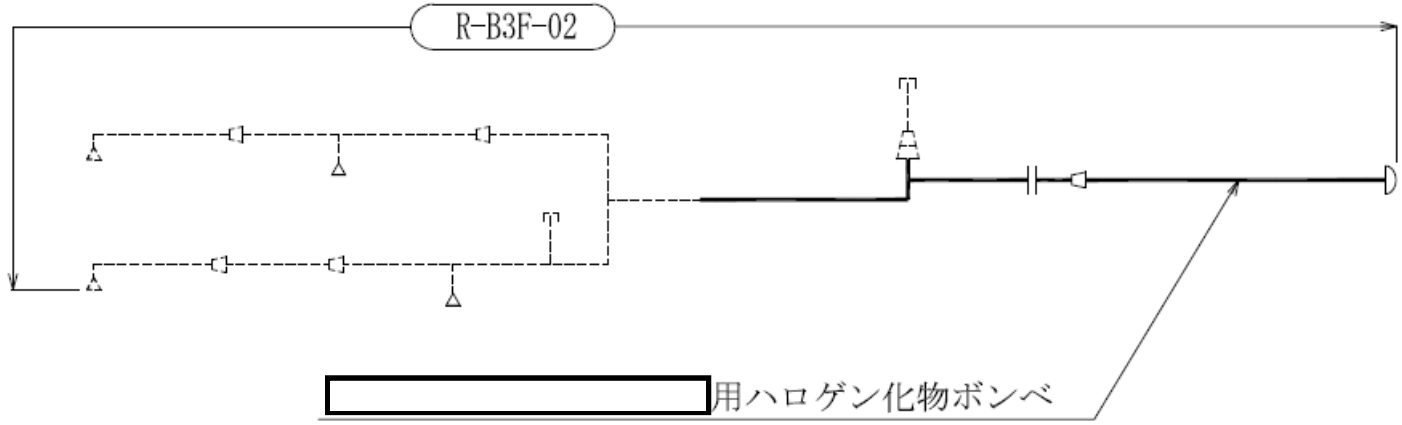


二酸化炭素消火設備概略系統図（その 2）

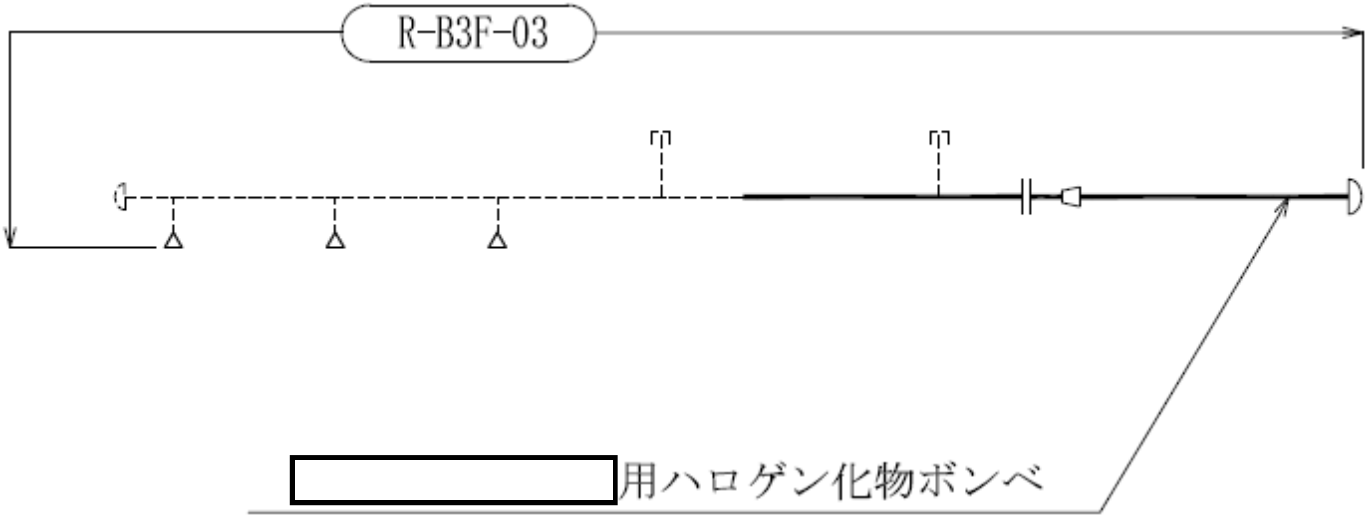
2.1.2　小空間固定式消火設備



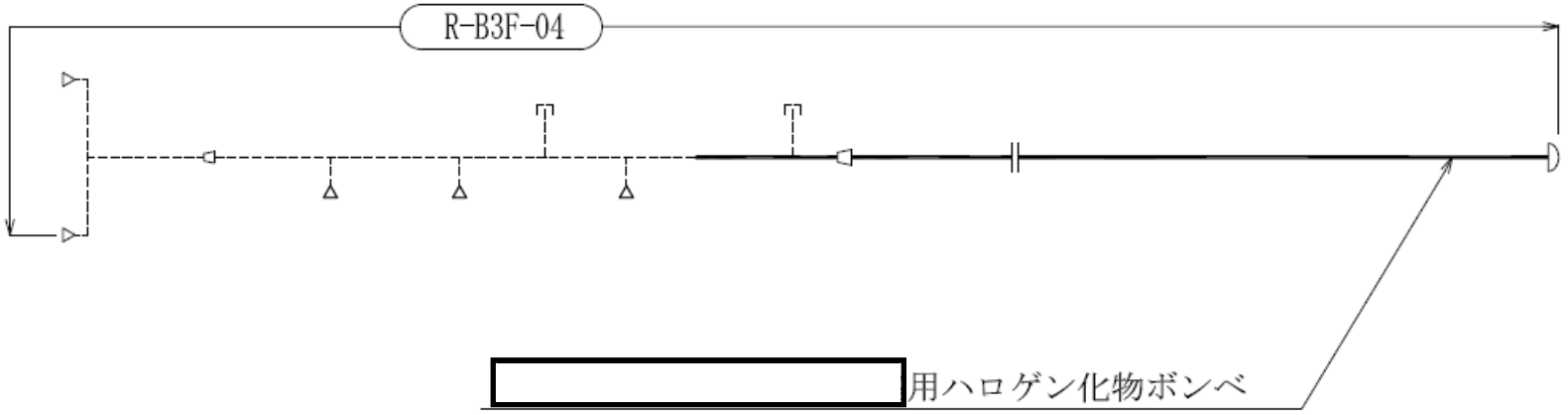
小空間固定式消火設備概略系統図（その 1）



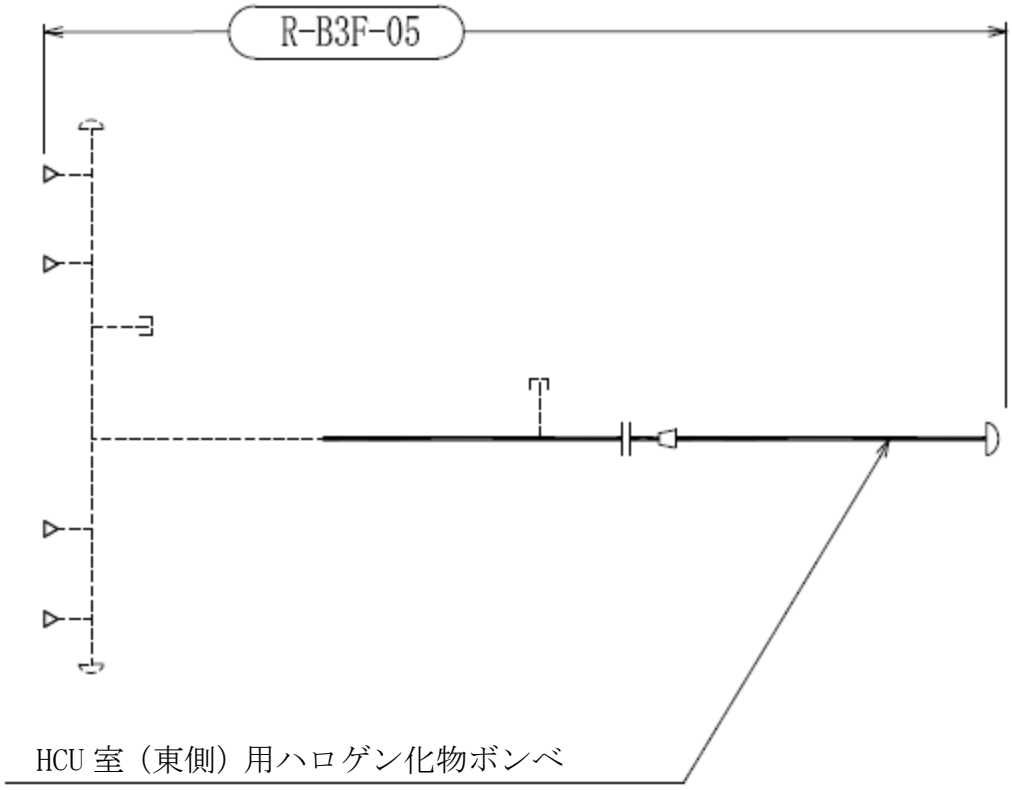
小空間固定式消火設備概略系統図（その 2）



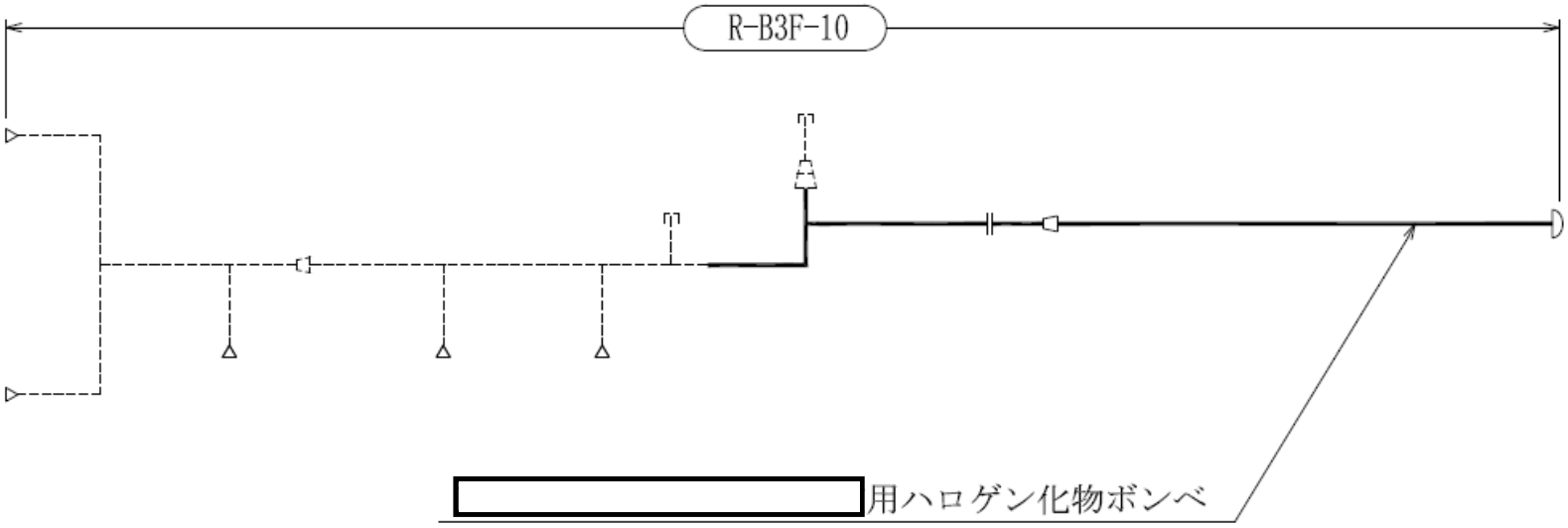
小空間固定式消火設備概略系統図（その 3）



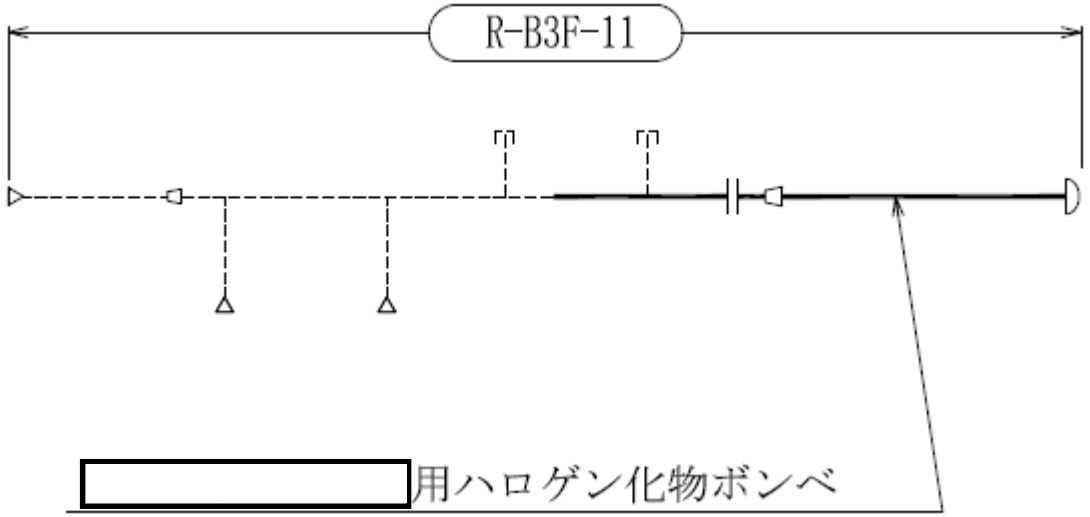
小空間固定式消火設備概略系統図（その 4）



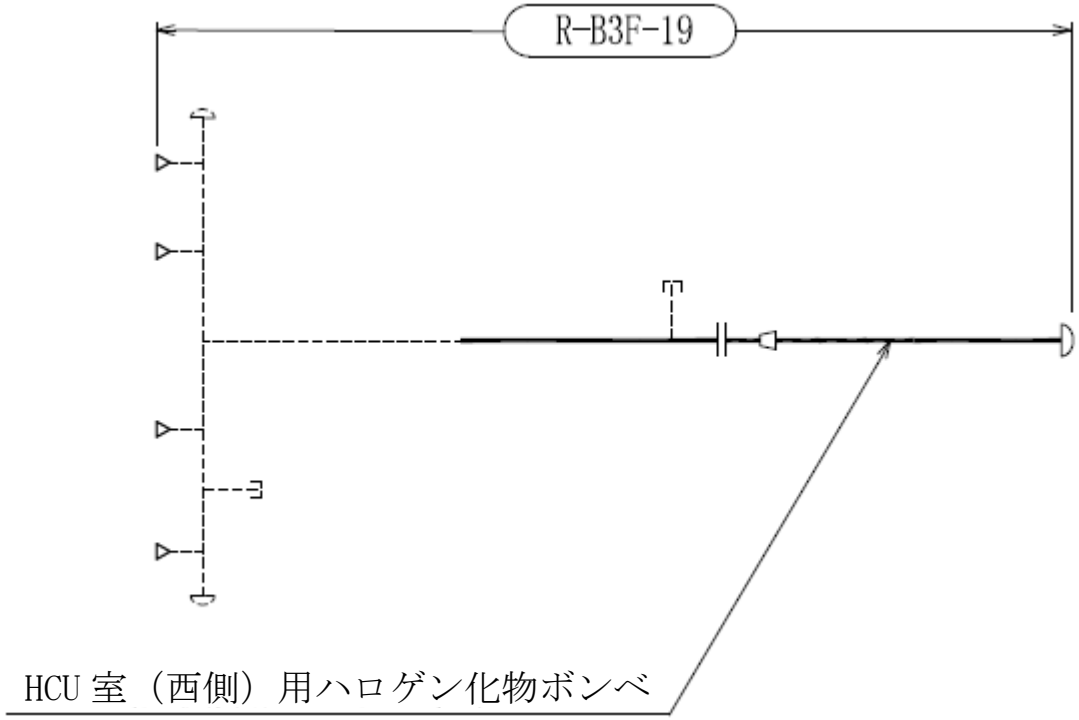
小空間固定式消火設備概略系統図（その 5）



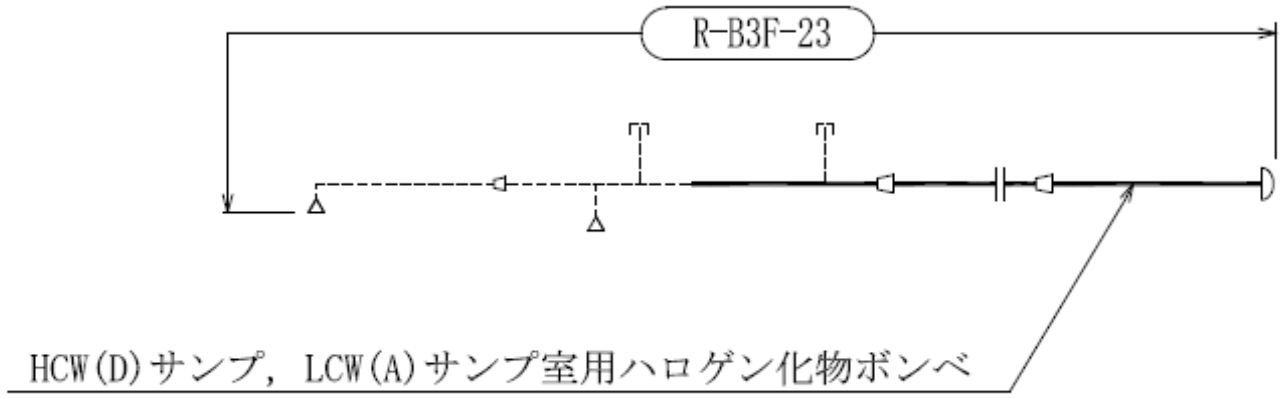
小空間固定式消火設備概略系統図（その 6）



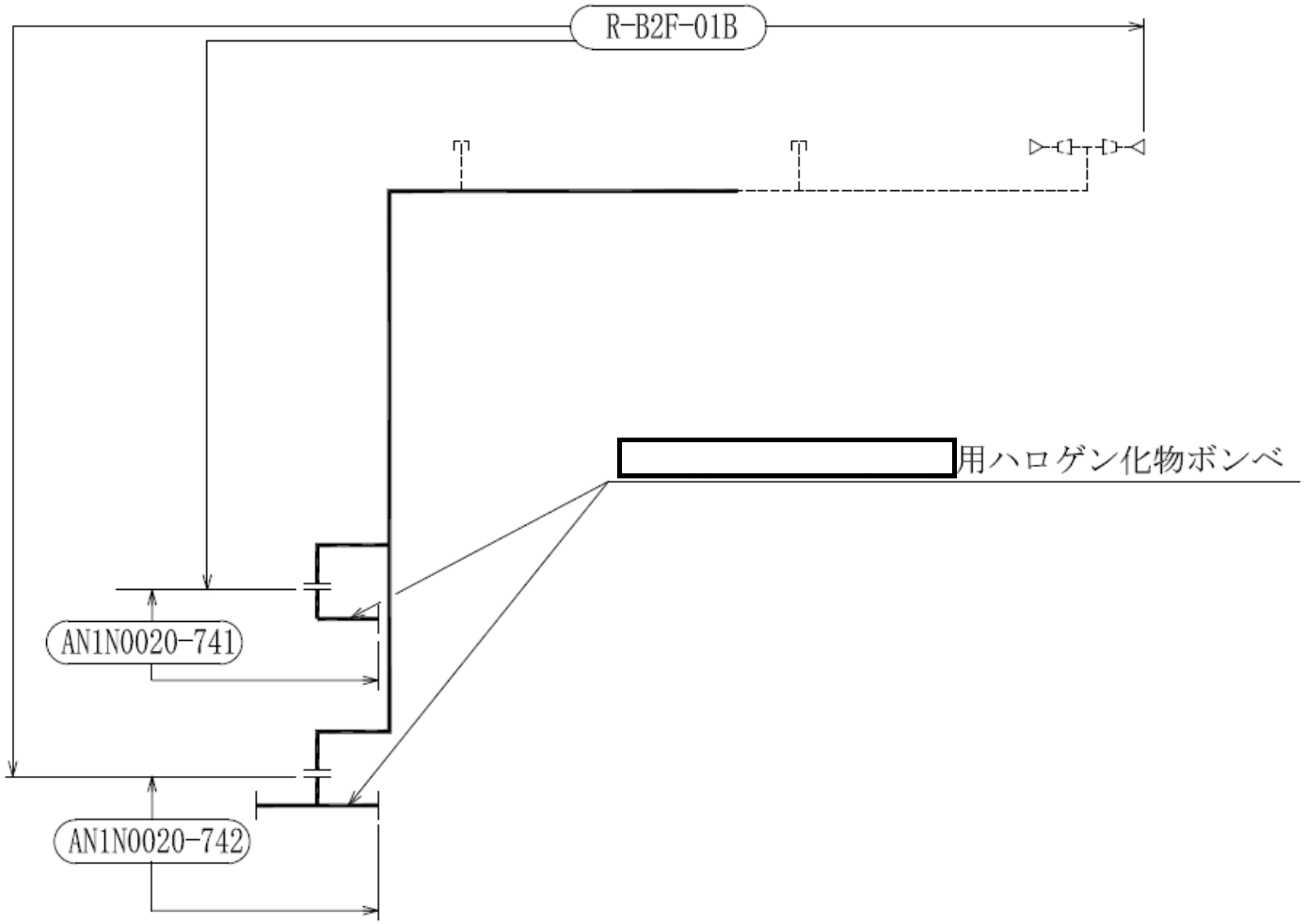
小空間固定式消火設備概略系統図（その 7）



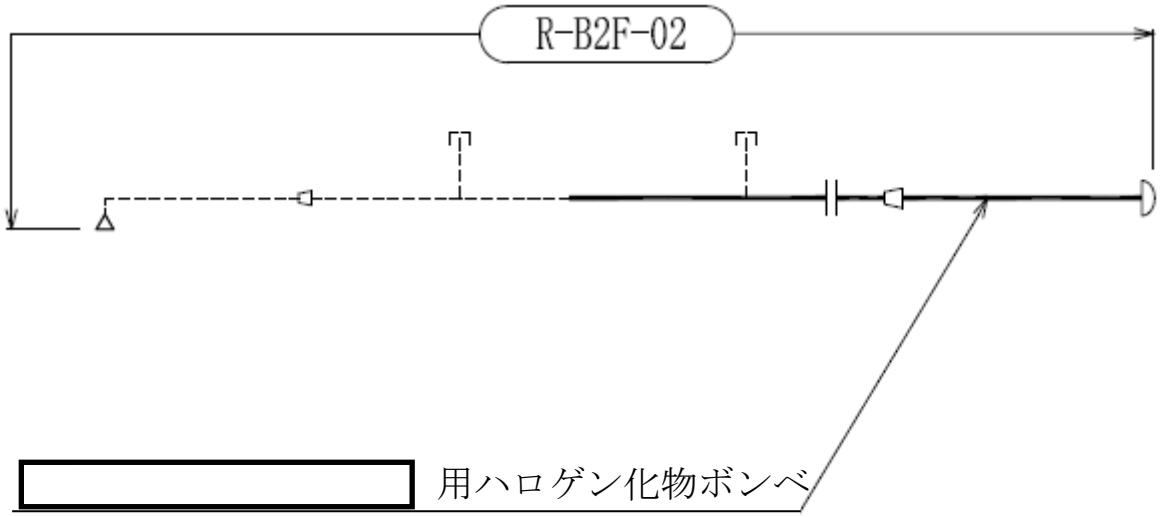
小空間固定式消火設備概略系統図（その 8）



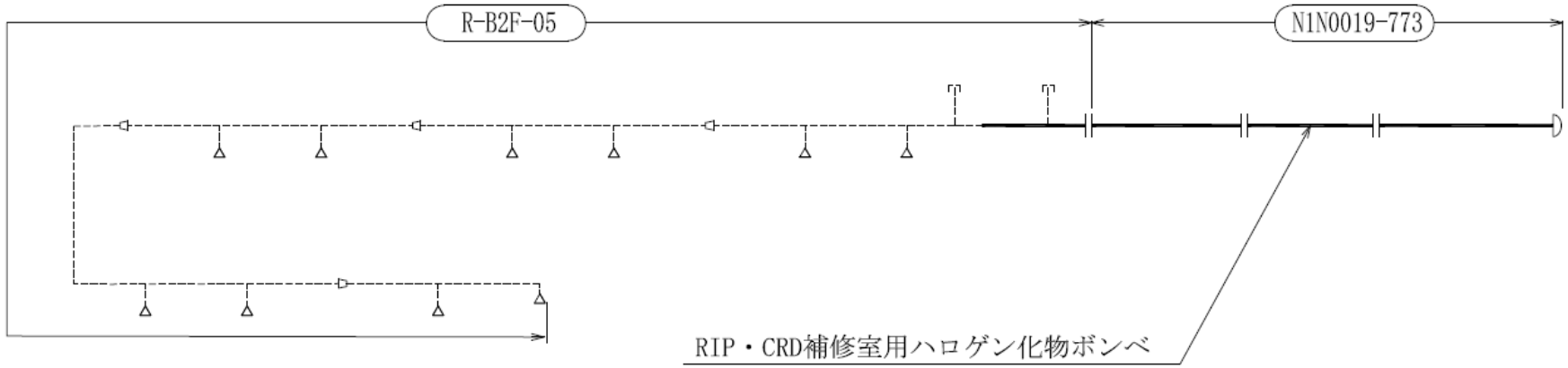
小空間固定式消火設備概略系統図（その 9）



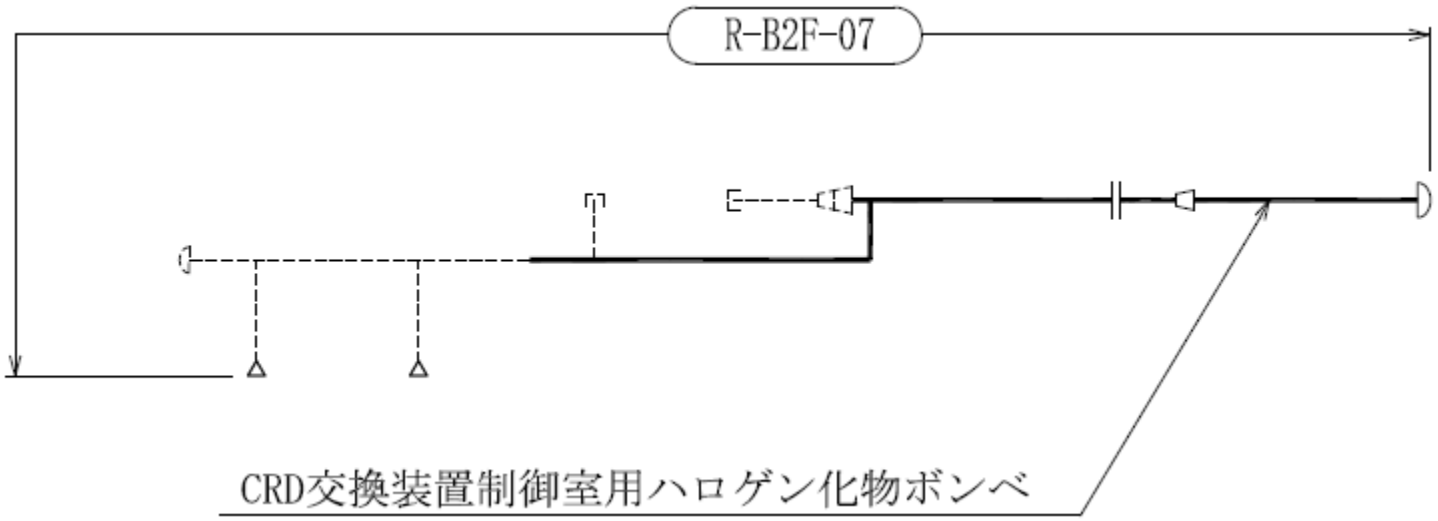
小空間固定式消火設備概略系統図（その 10）



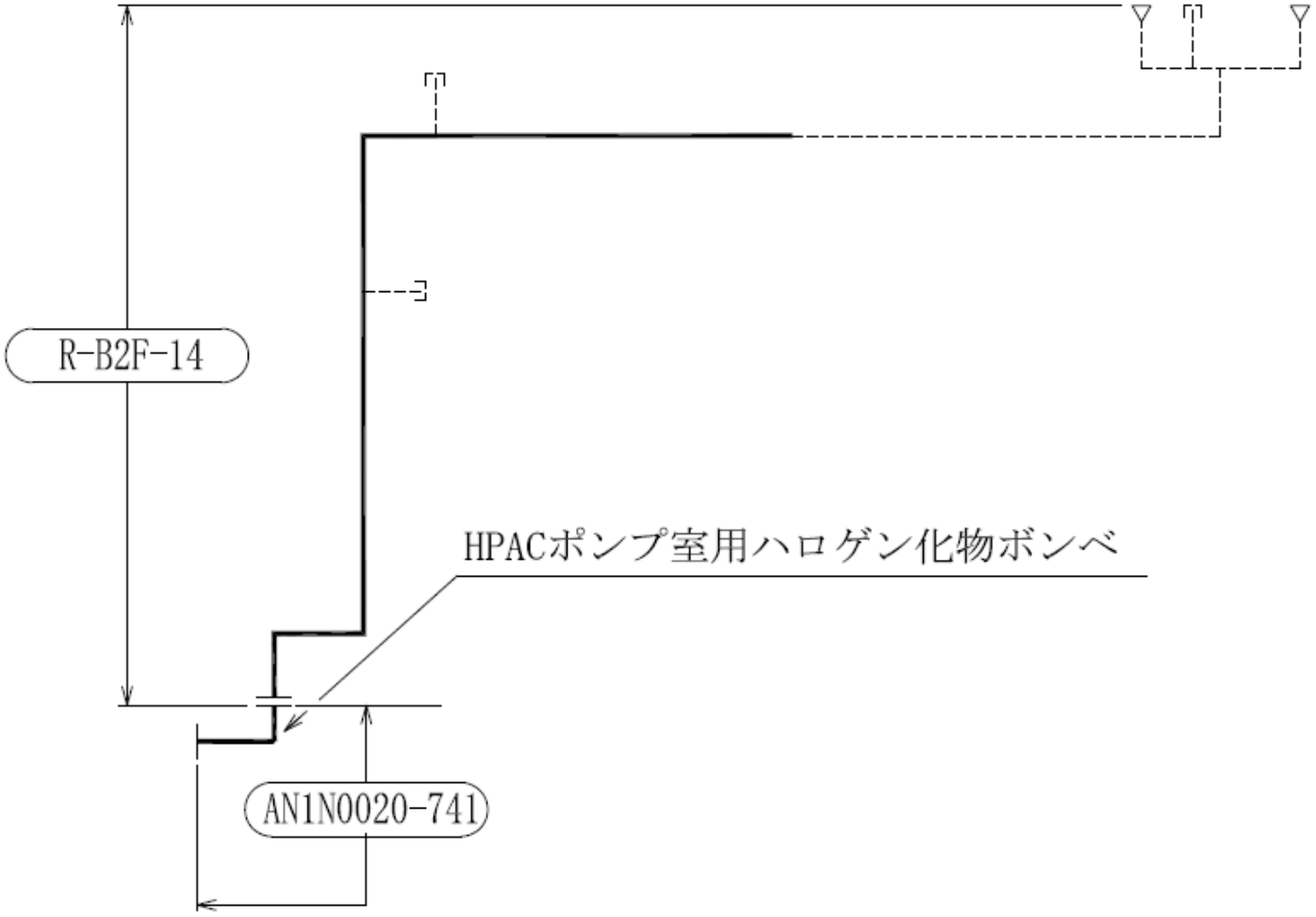
小空間固定式消火設備概略系統図（その 11）



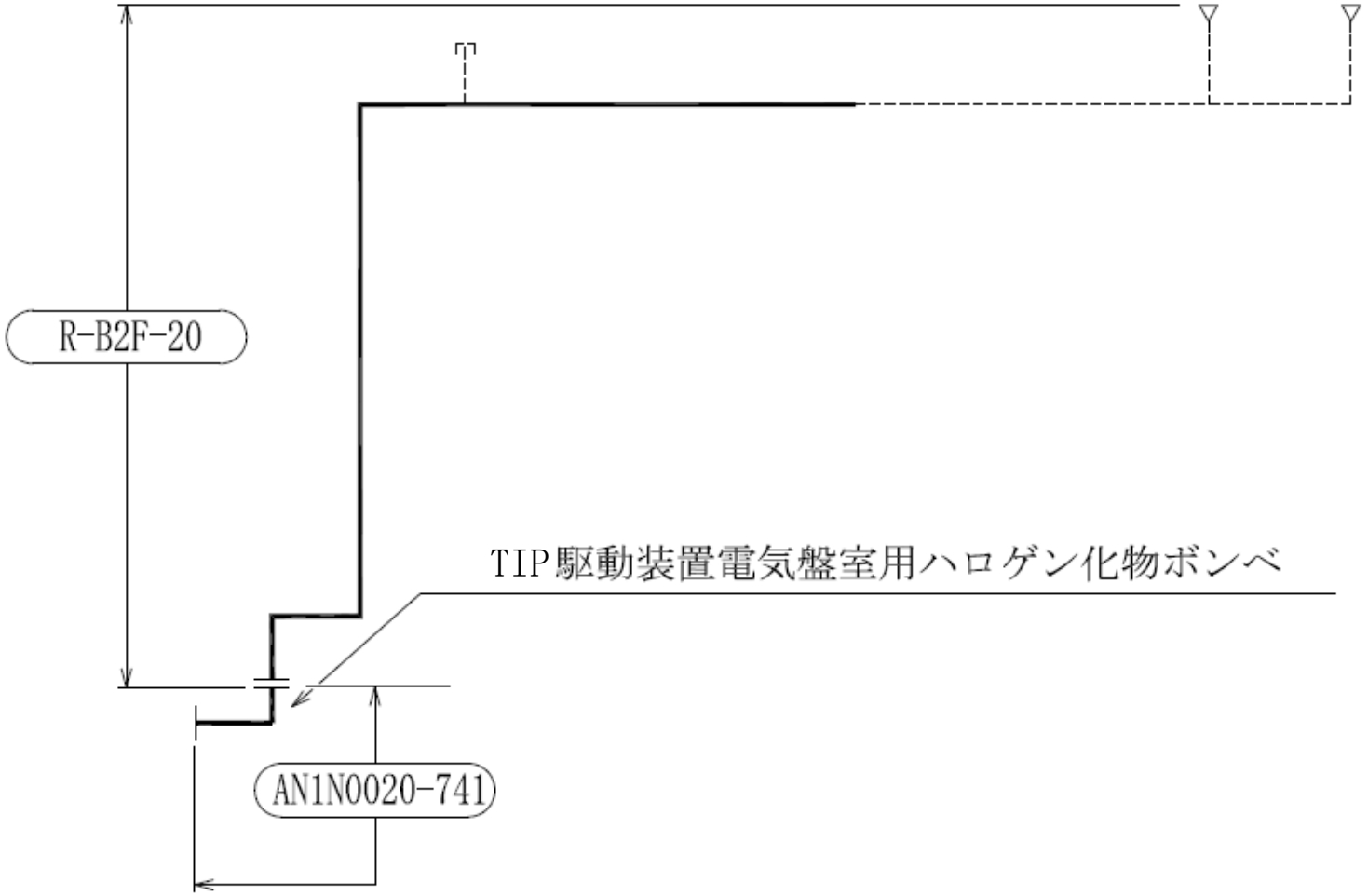
小空間固定式消火設備概略系統図（その 12）



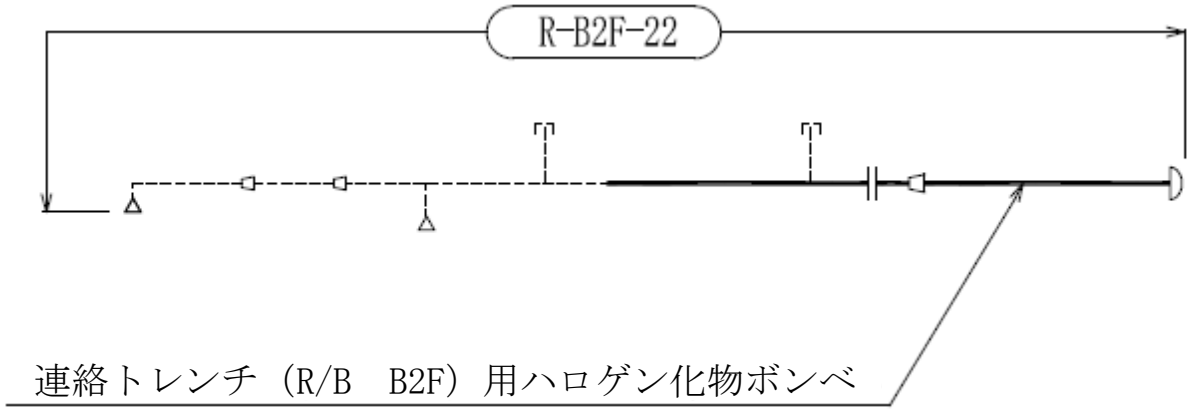
小空間固定式消火設備概略系統図（その 13）



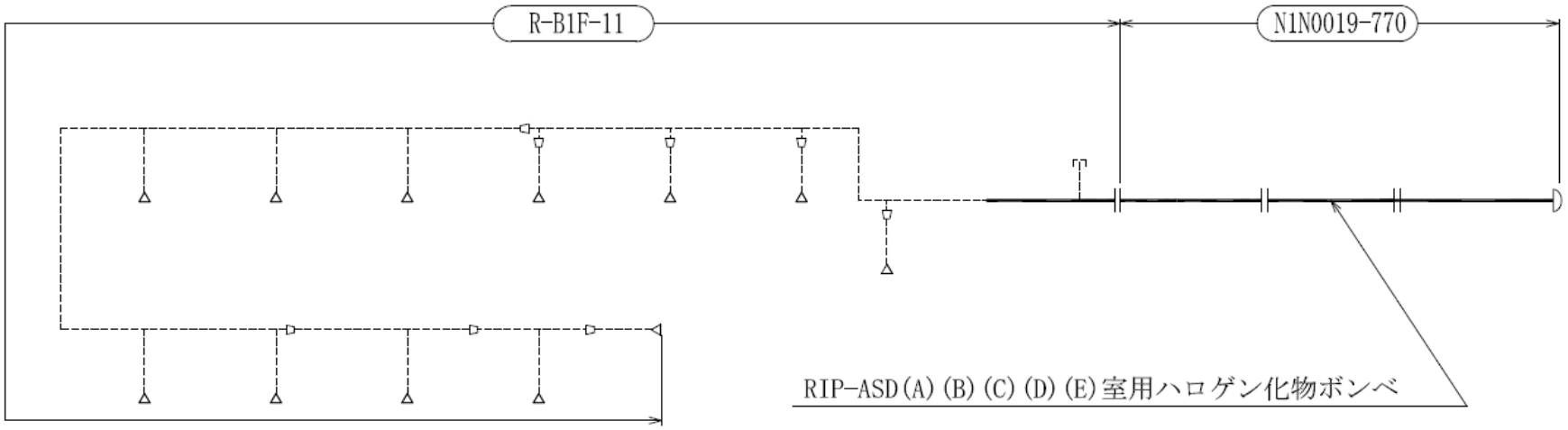
小空間固定式消火設備概略系統図（その 14）



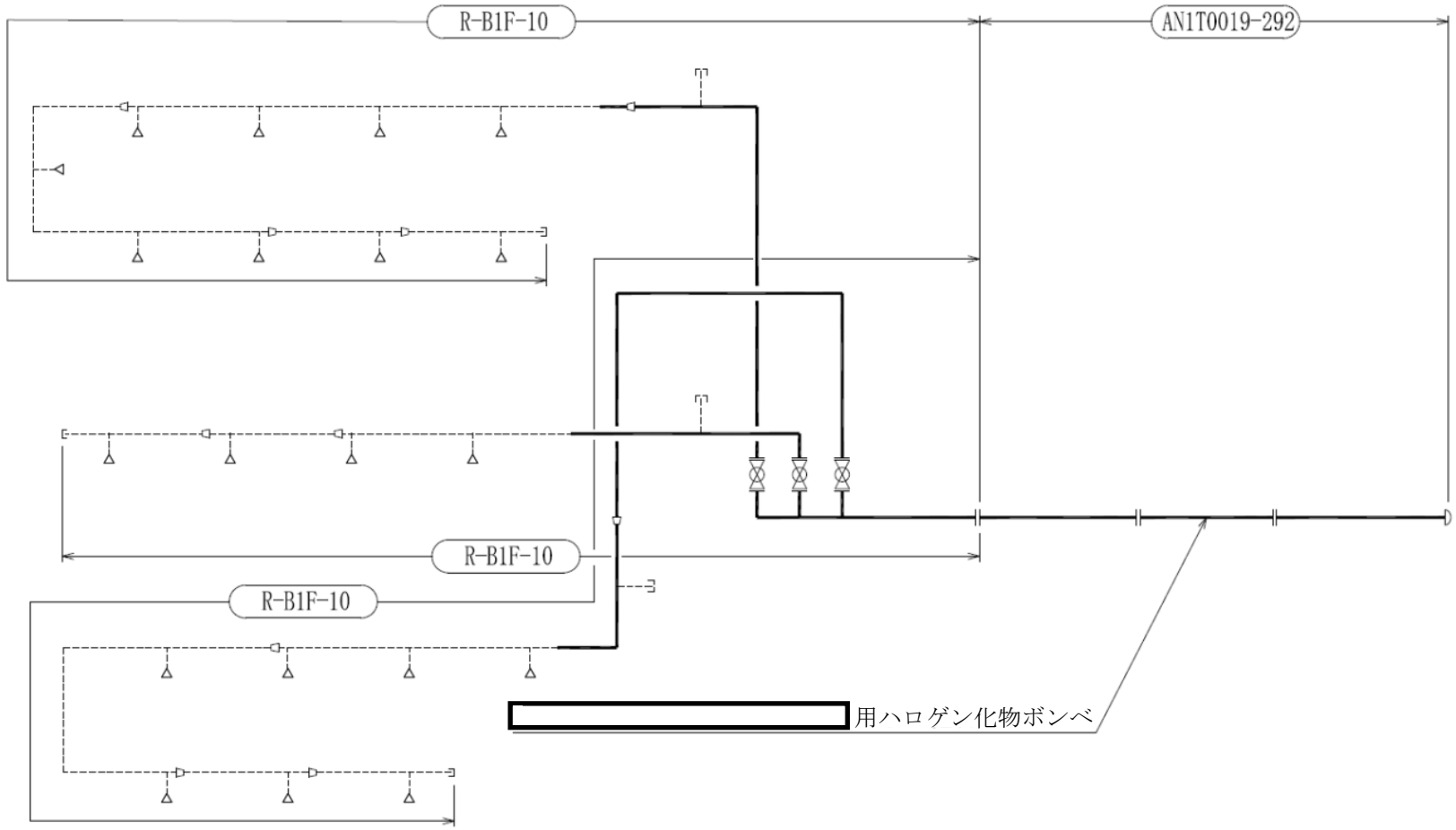
小空間固定式消火設備概略系統図（その 15）



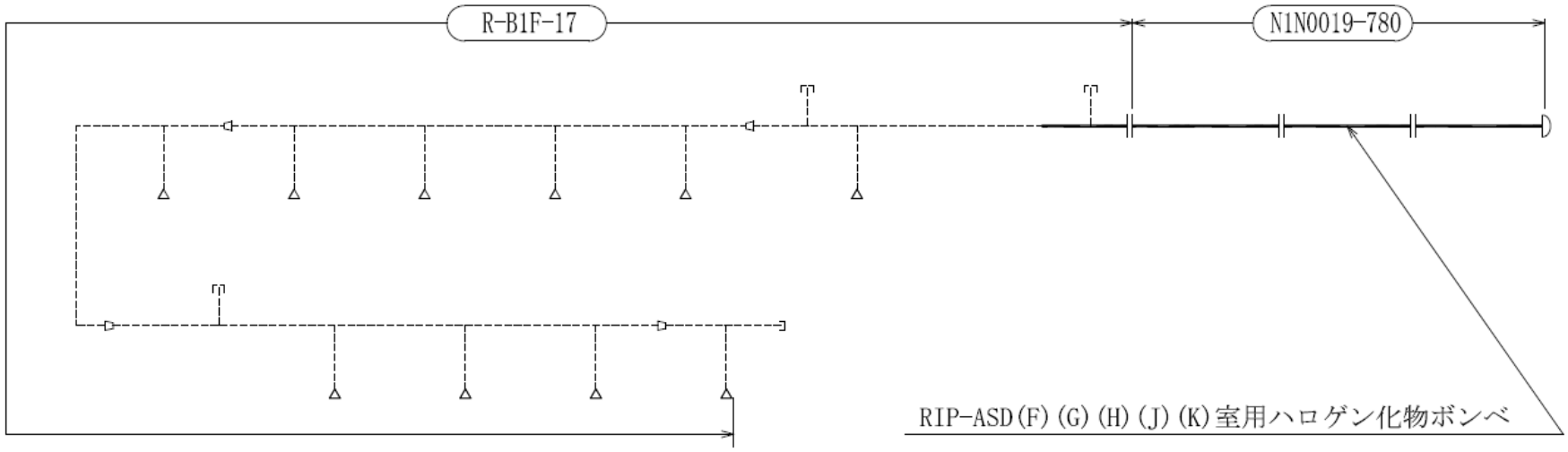
小空間固定式消火設備概略系統図（その 16）



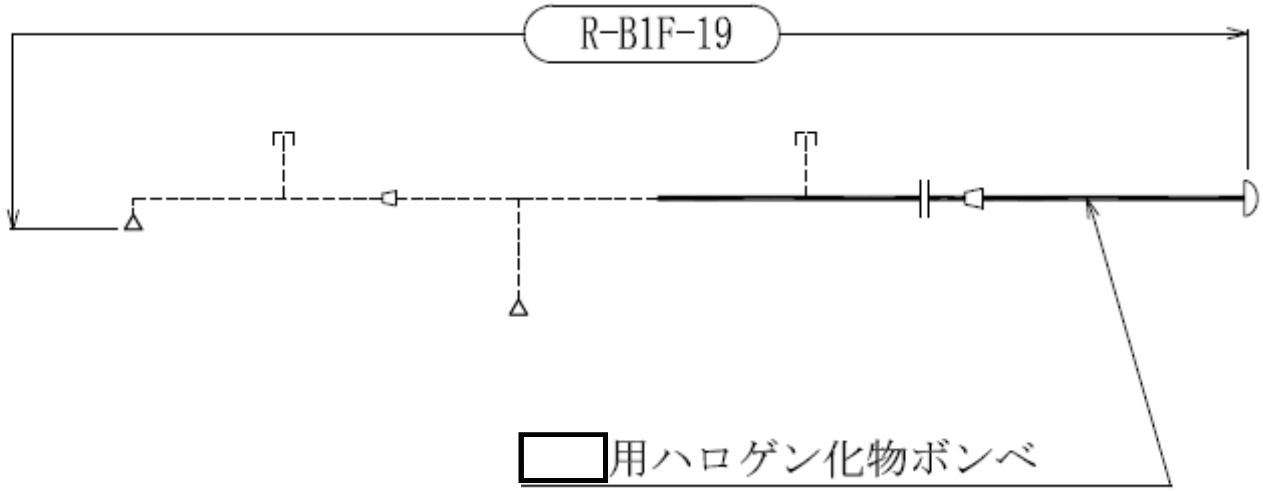
小空間固定式消火設備概略系統図（その 17）



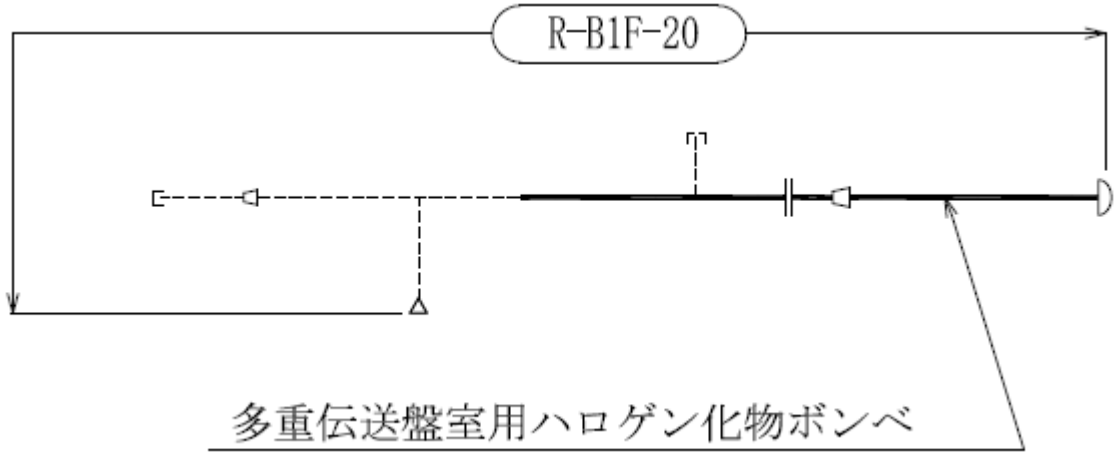
小空間固定式消火設備概略系統図（その 18）



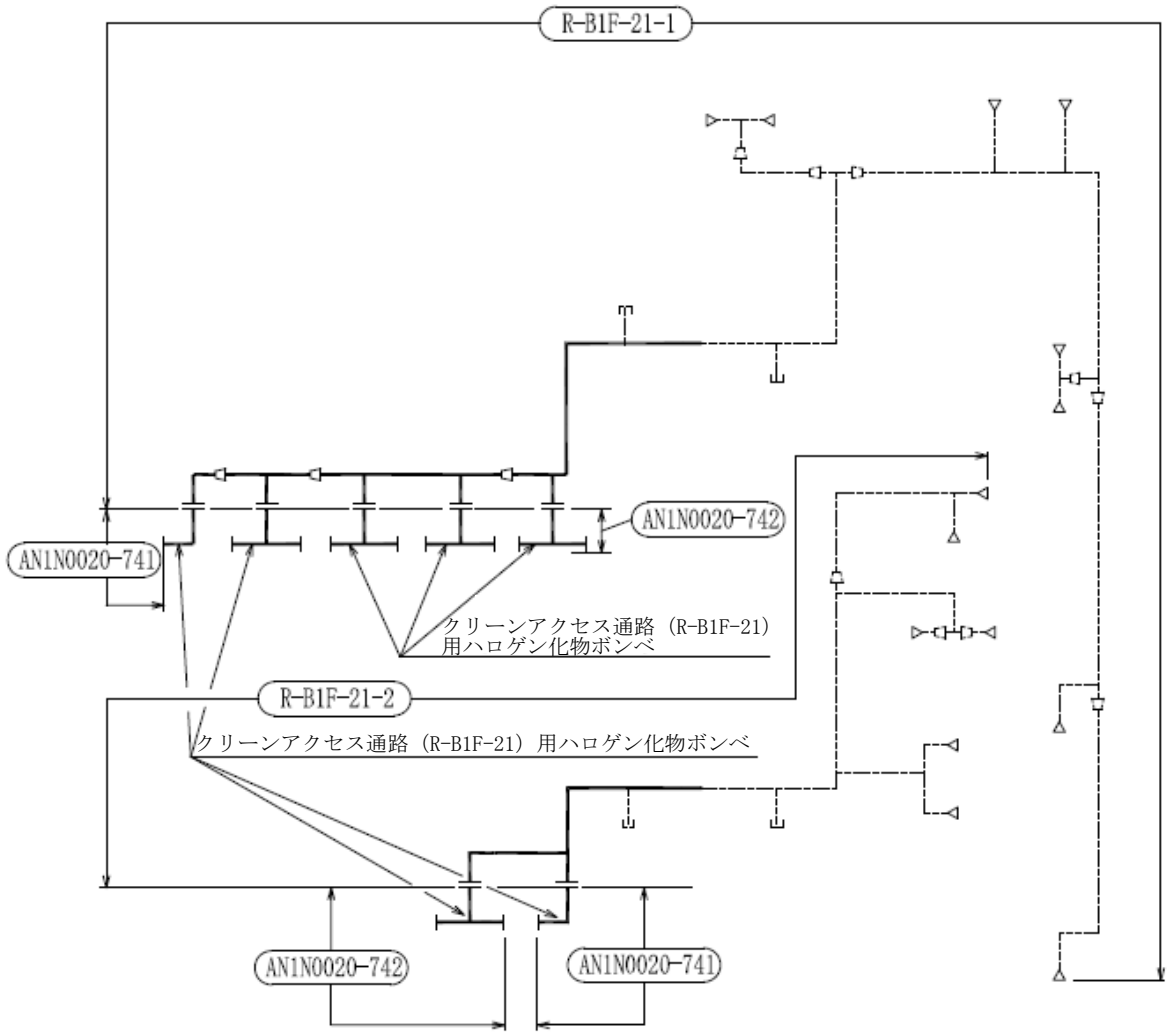
小空間固定式消火設備概略系統図（その 19）



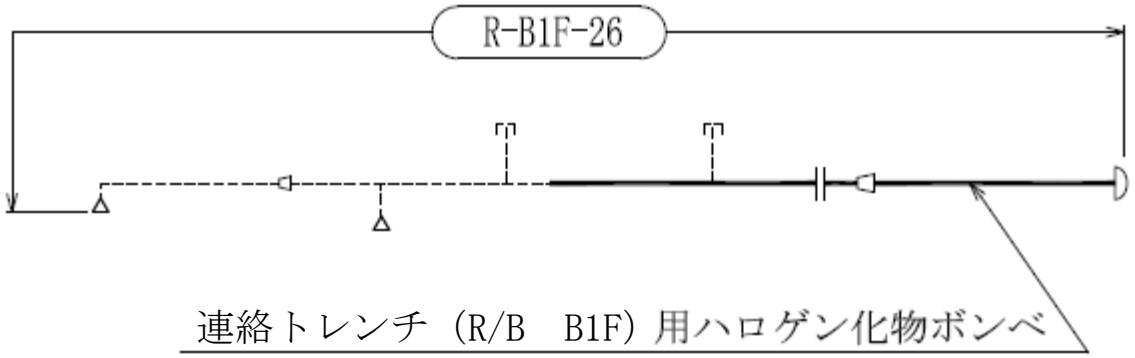
小空間固定式消火設備概略系統図（その 20）



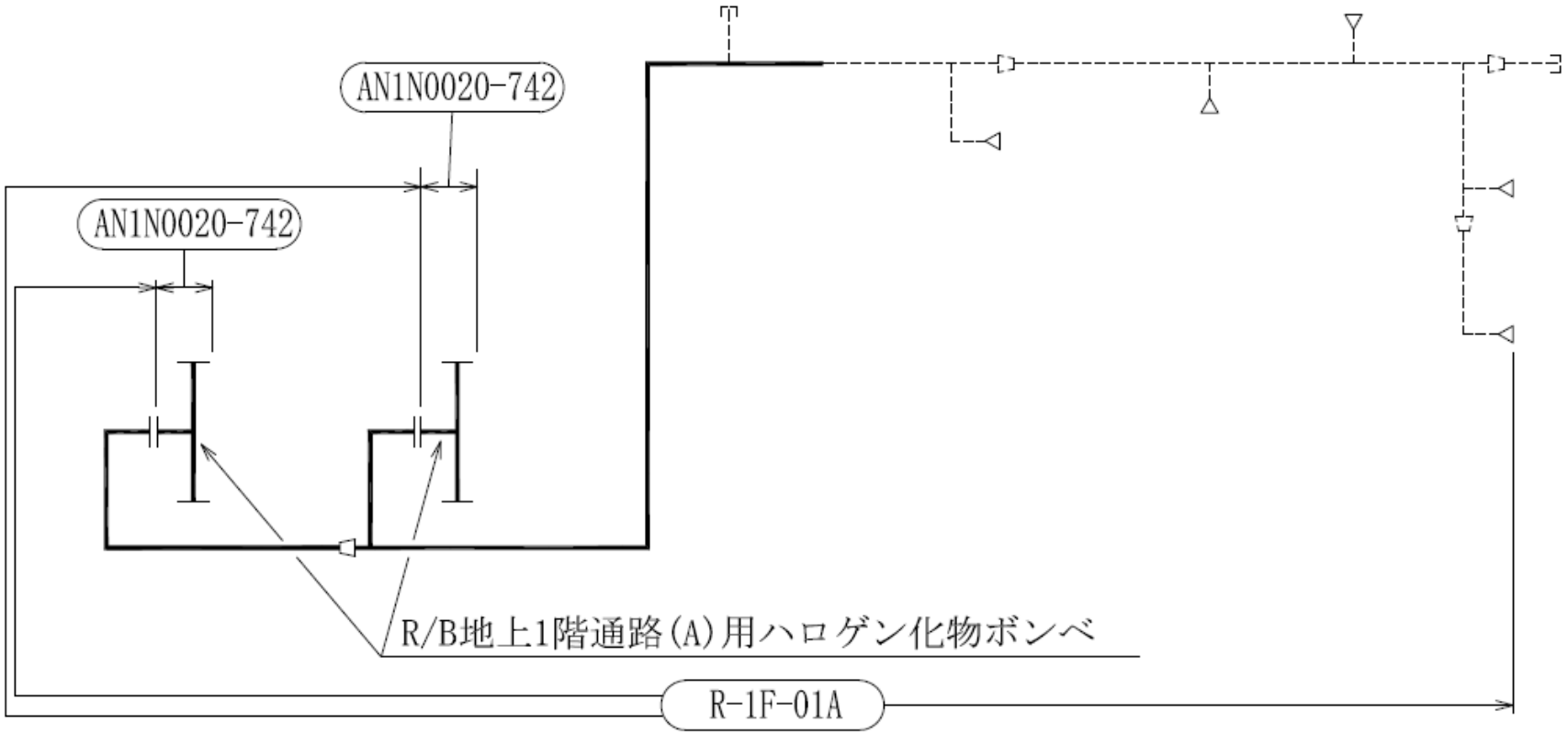
小空間固定式消火設備概略系統図（その 21）



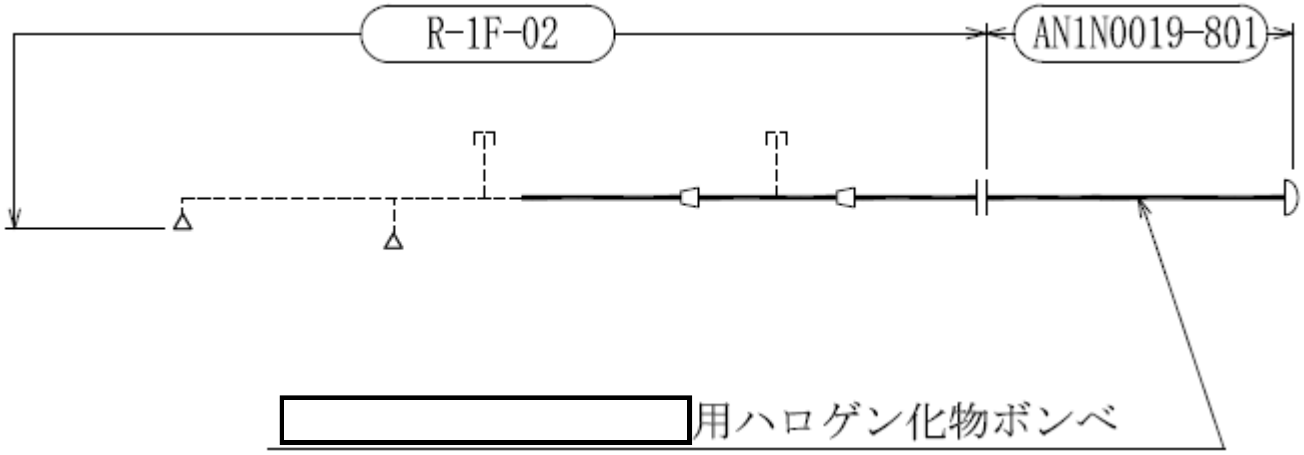
小空間固定式消火設備概略系統図（その 22）



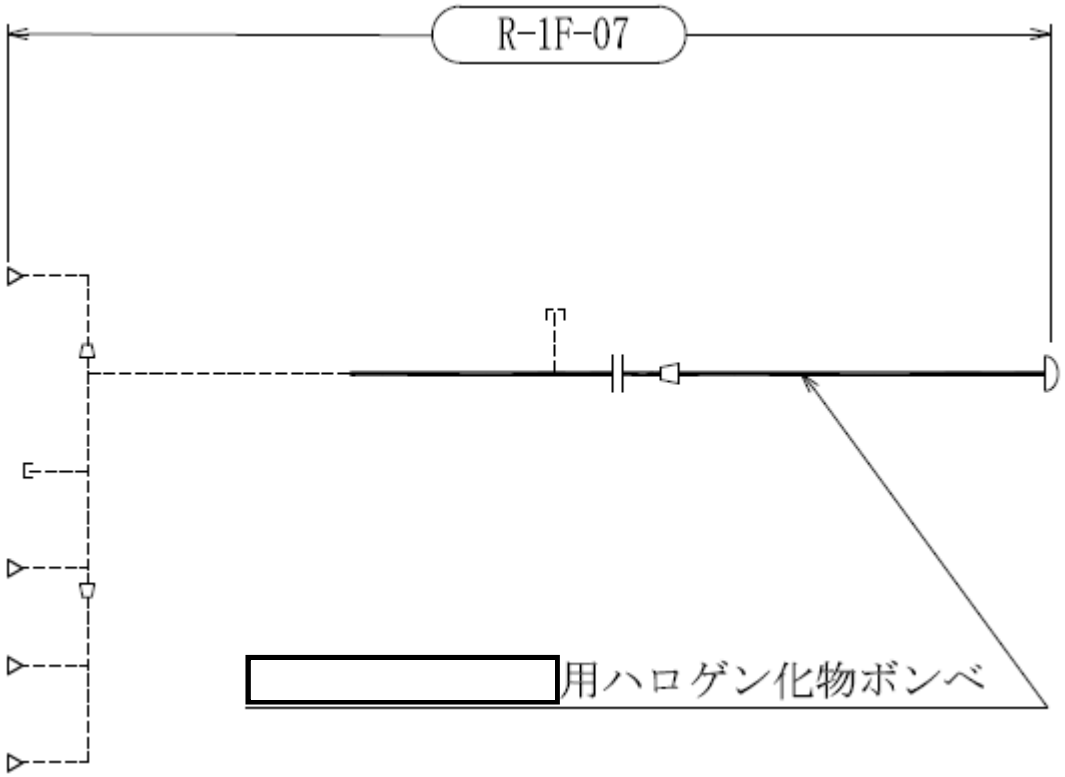
小空間固定式消火設備概略系統図（その 23）



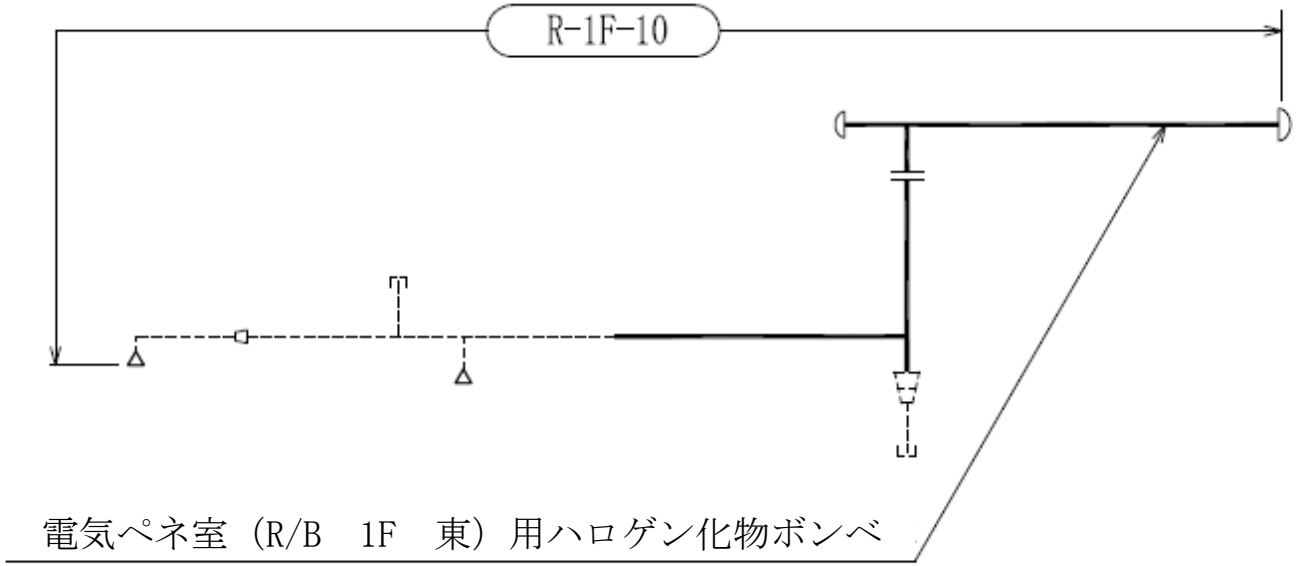
小空間固定式消火設備概略系統図（その 24）



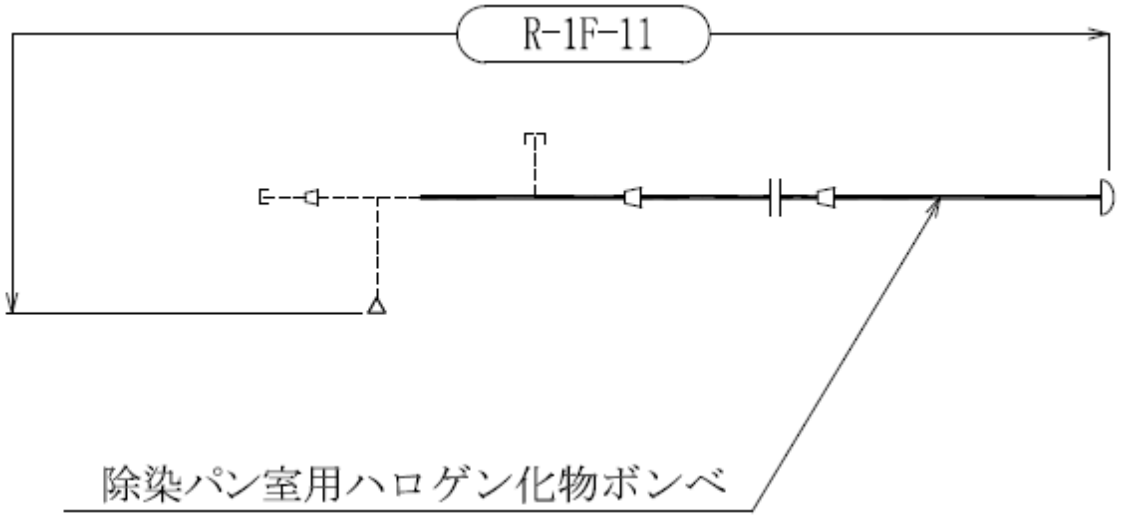
小空間固定式消火設備概略系統図（その 25）



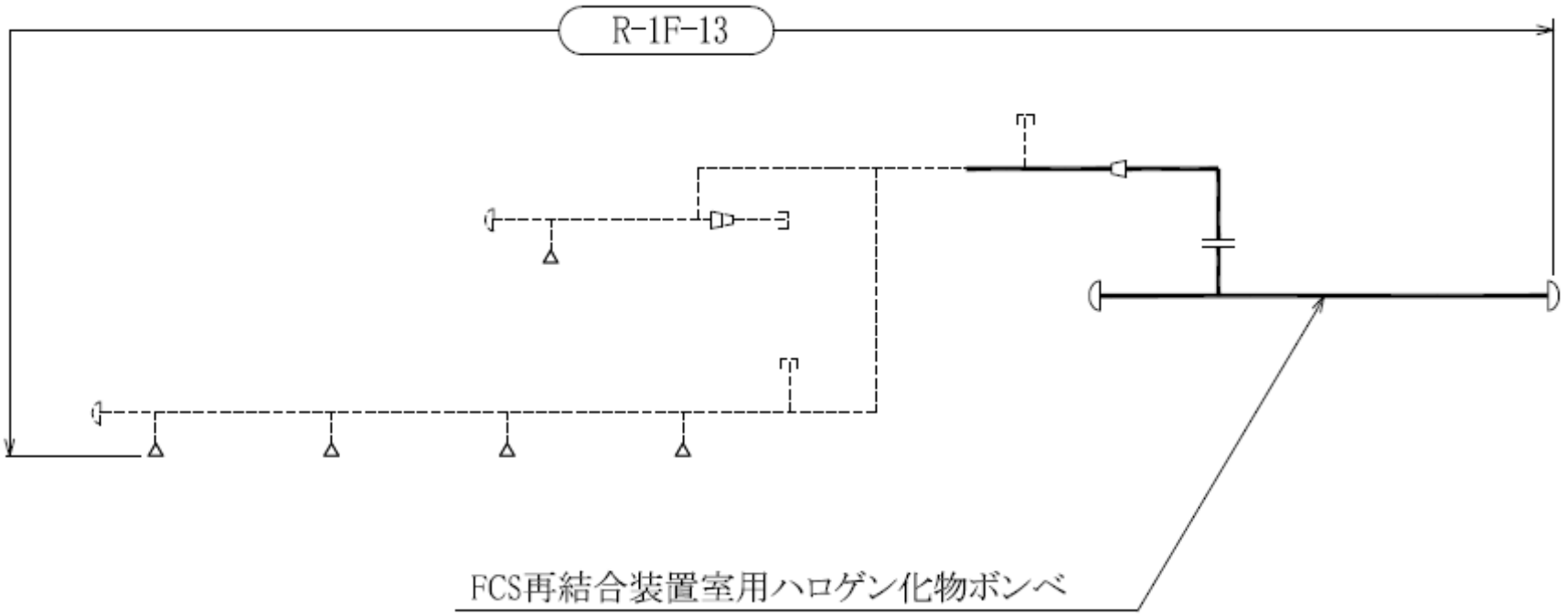
小空間固定式消火設備概略系統図（その 26）



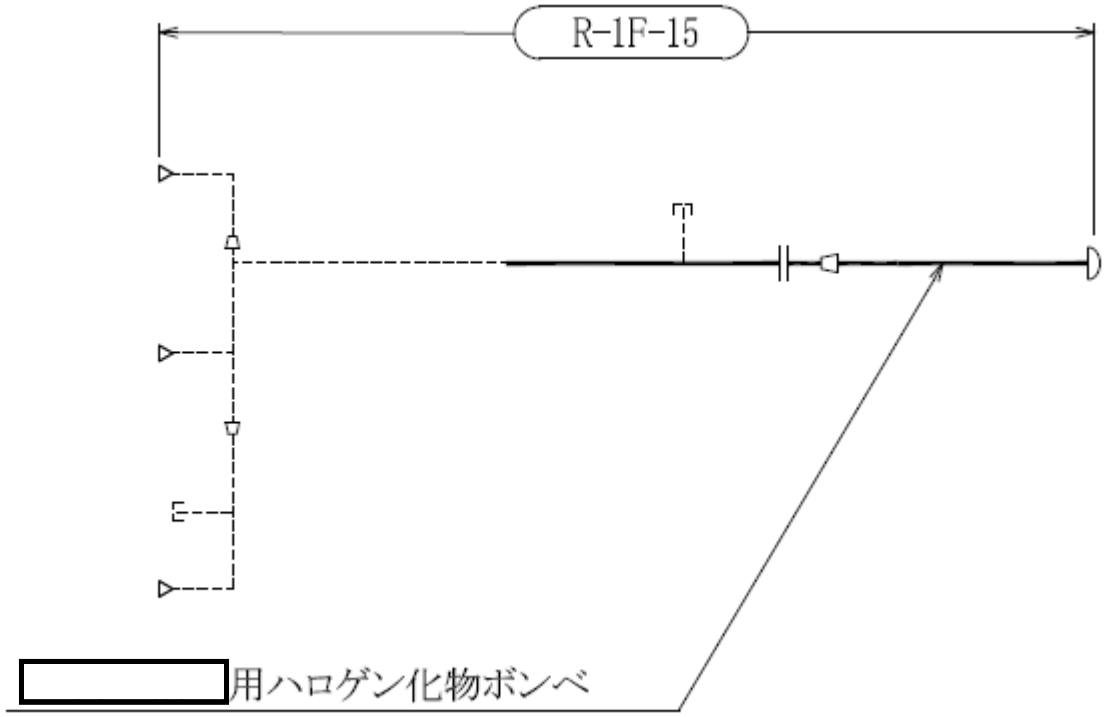
小空間固定式消火設備概略系統図（その 27）



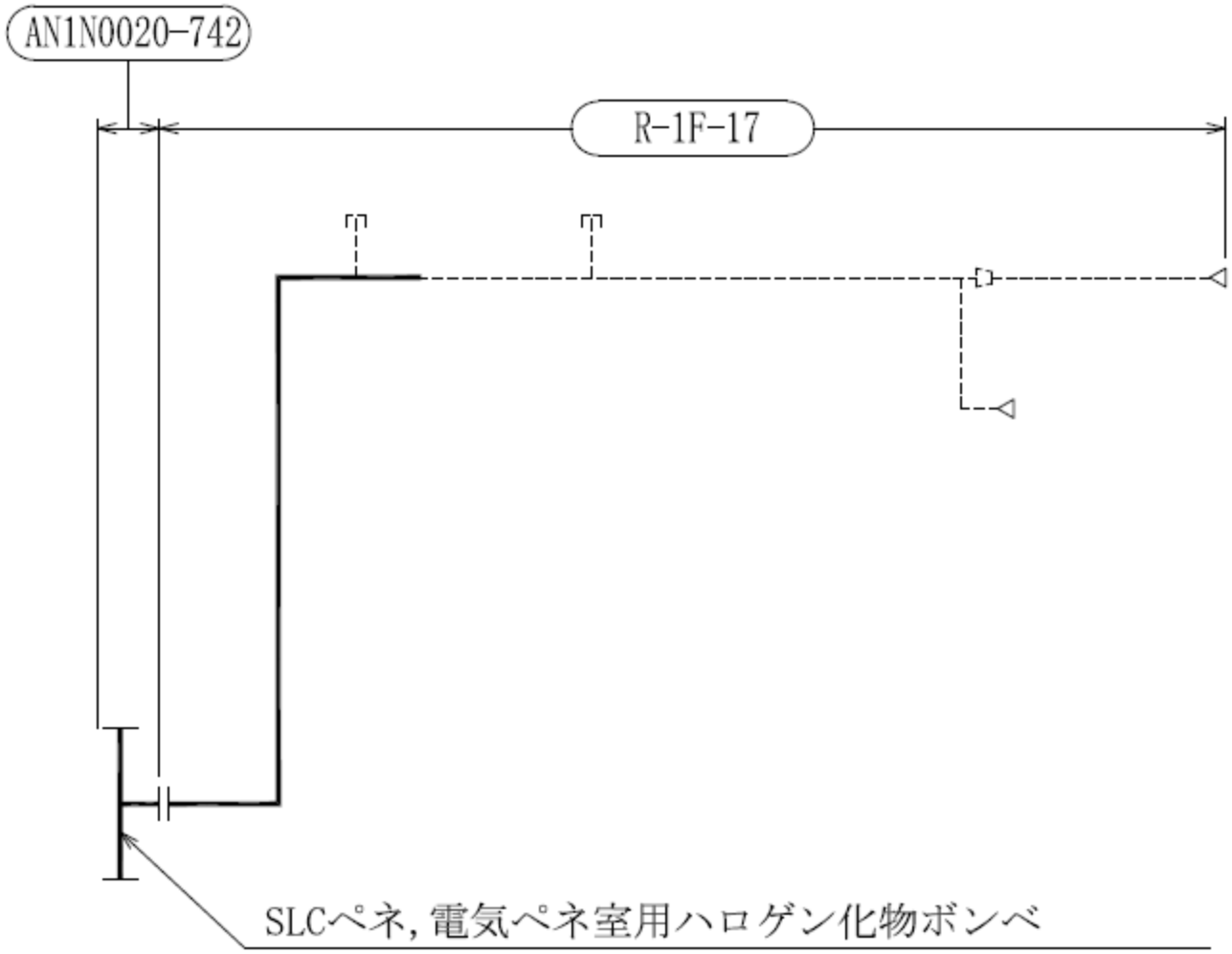
小空間固定式消火設備概略系統図（その 28）



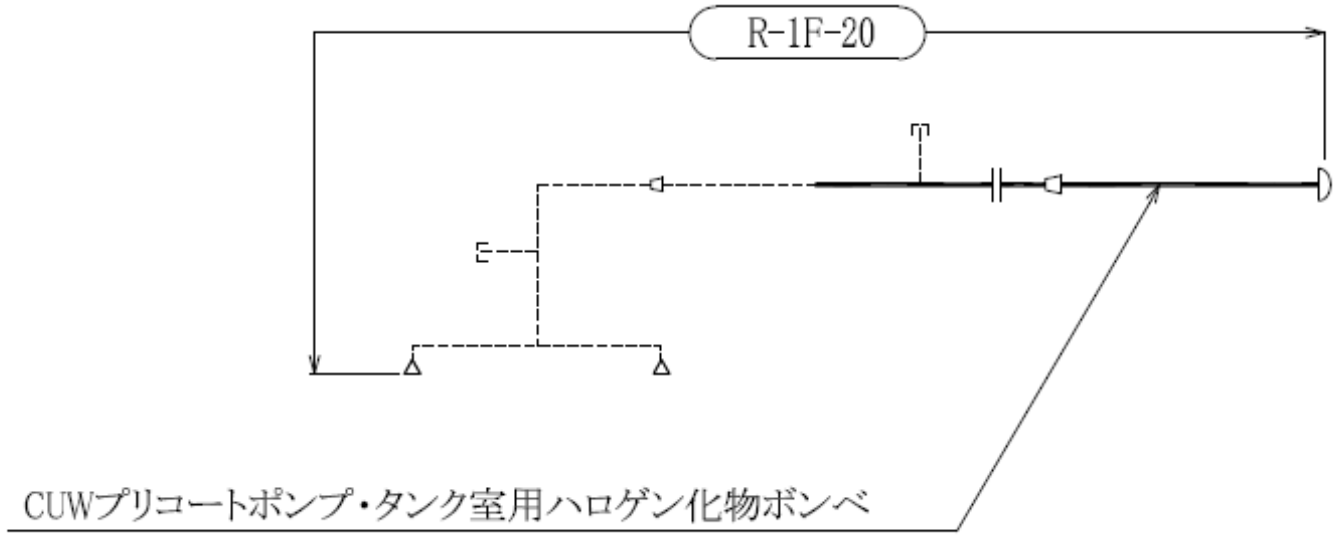
小空間固定式消火設備概略系統図（その 29）



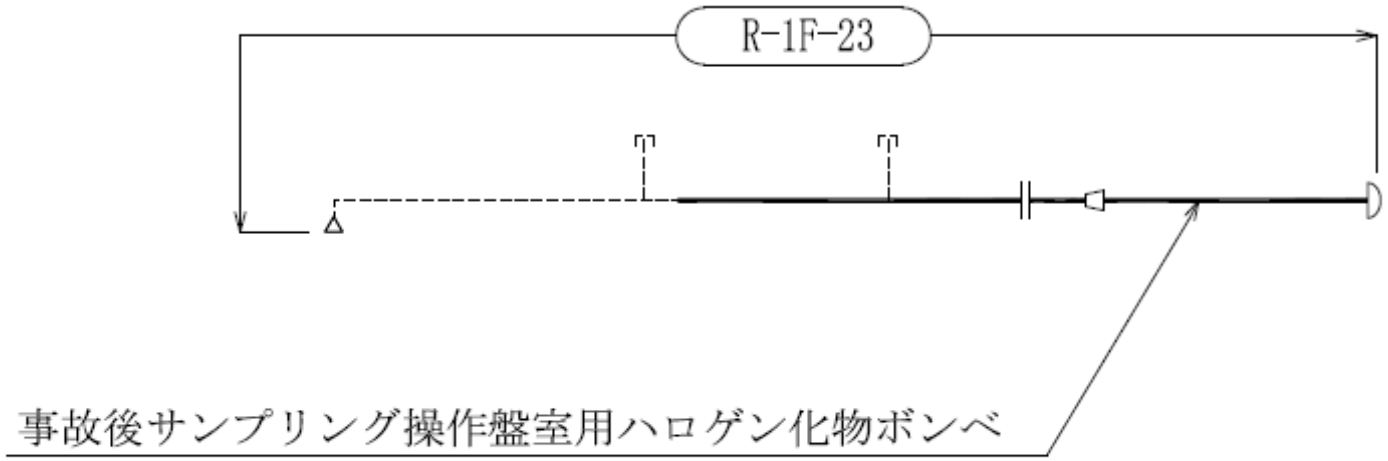
小空間固定式消火設備概略系統図（その 30）



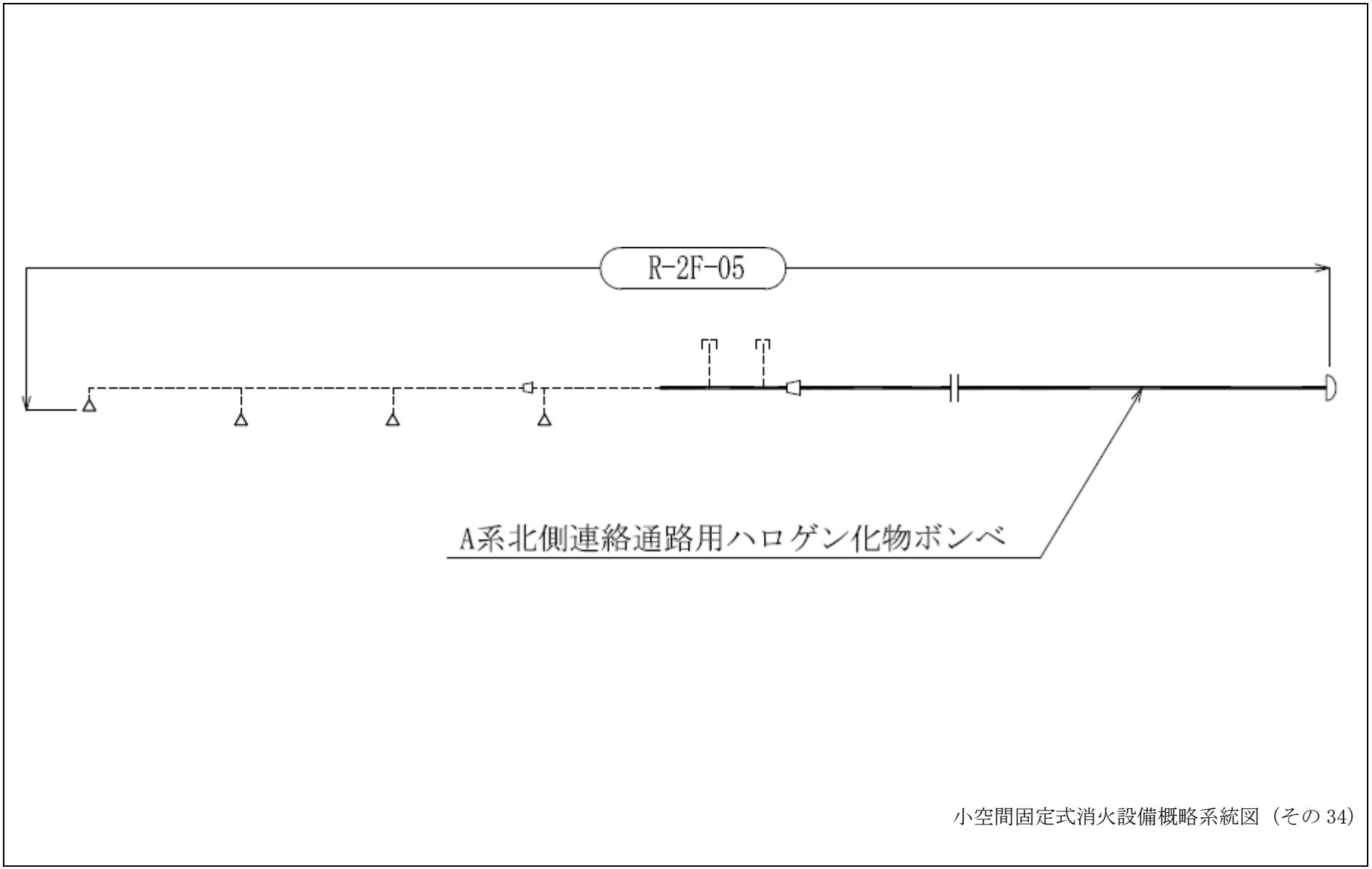
小空間固定式消火設備概略系統図（その 31）



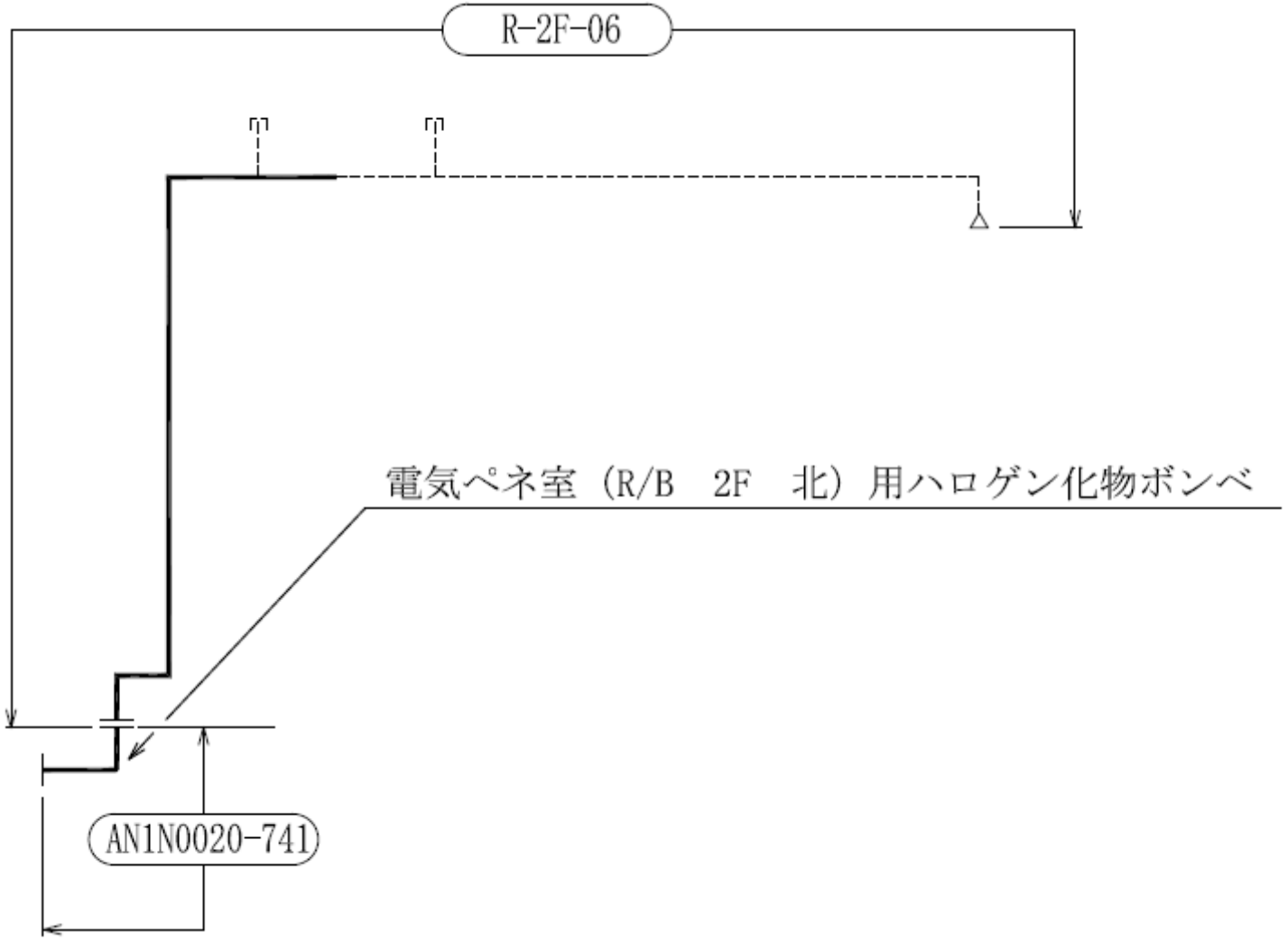
小空間固定式消火設備概略系統図（その 32）



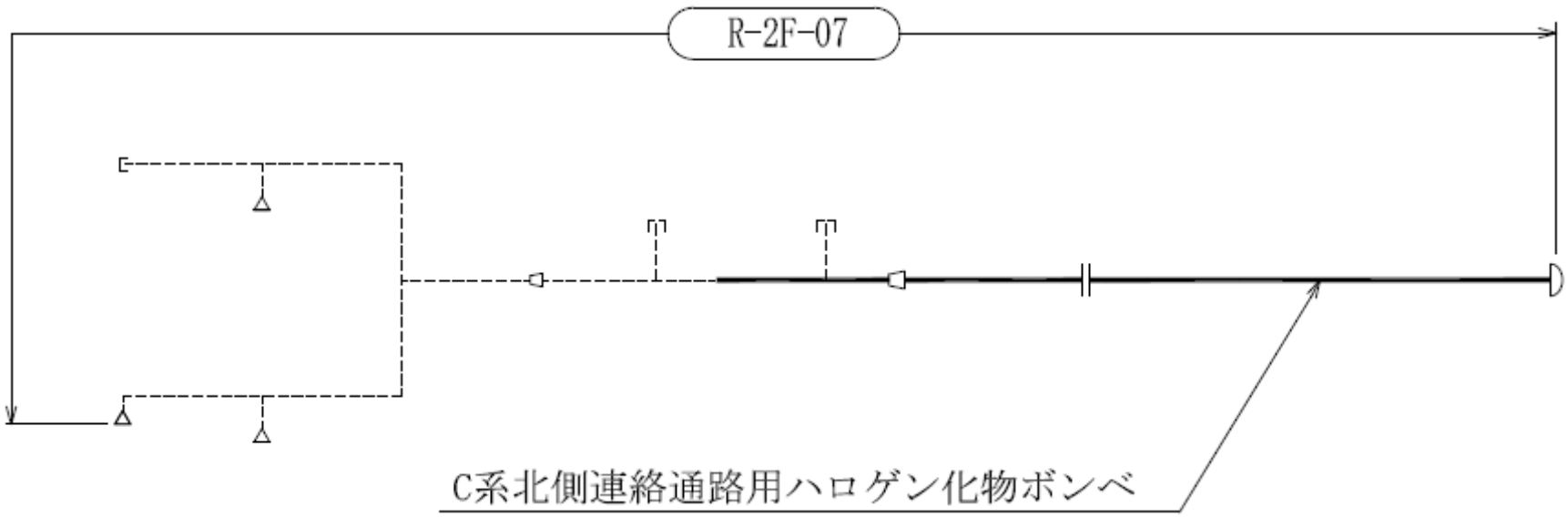
小空間固定式消火設備概略系統図（その 33）



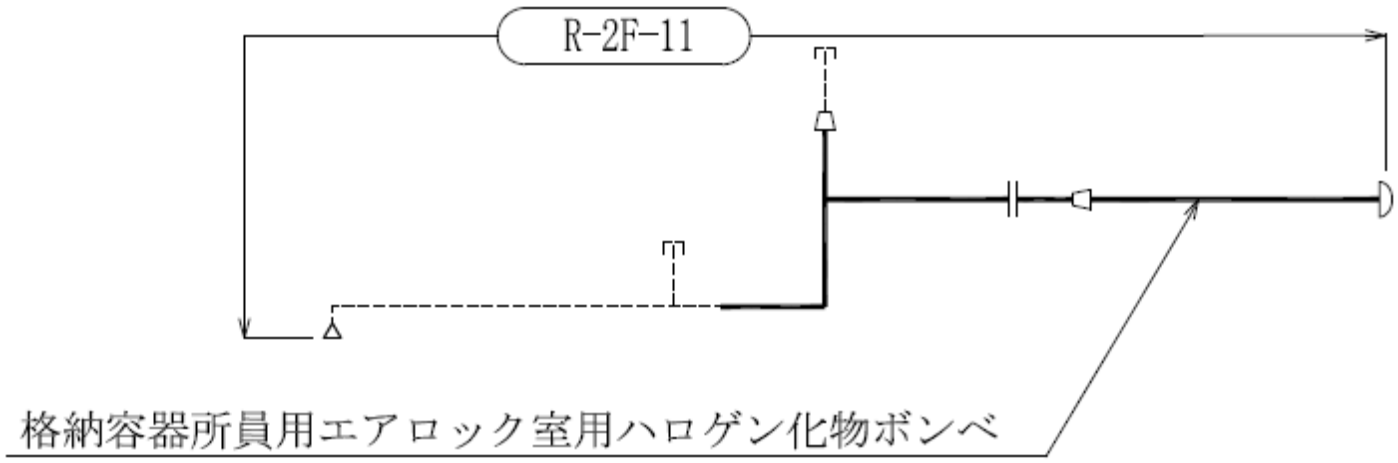
小空間固定式消火設備概略系統図（その 34）



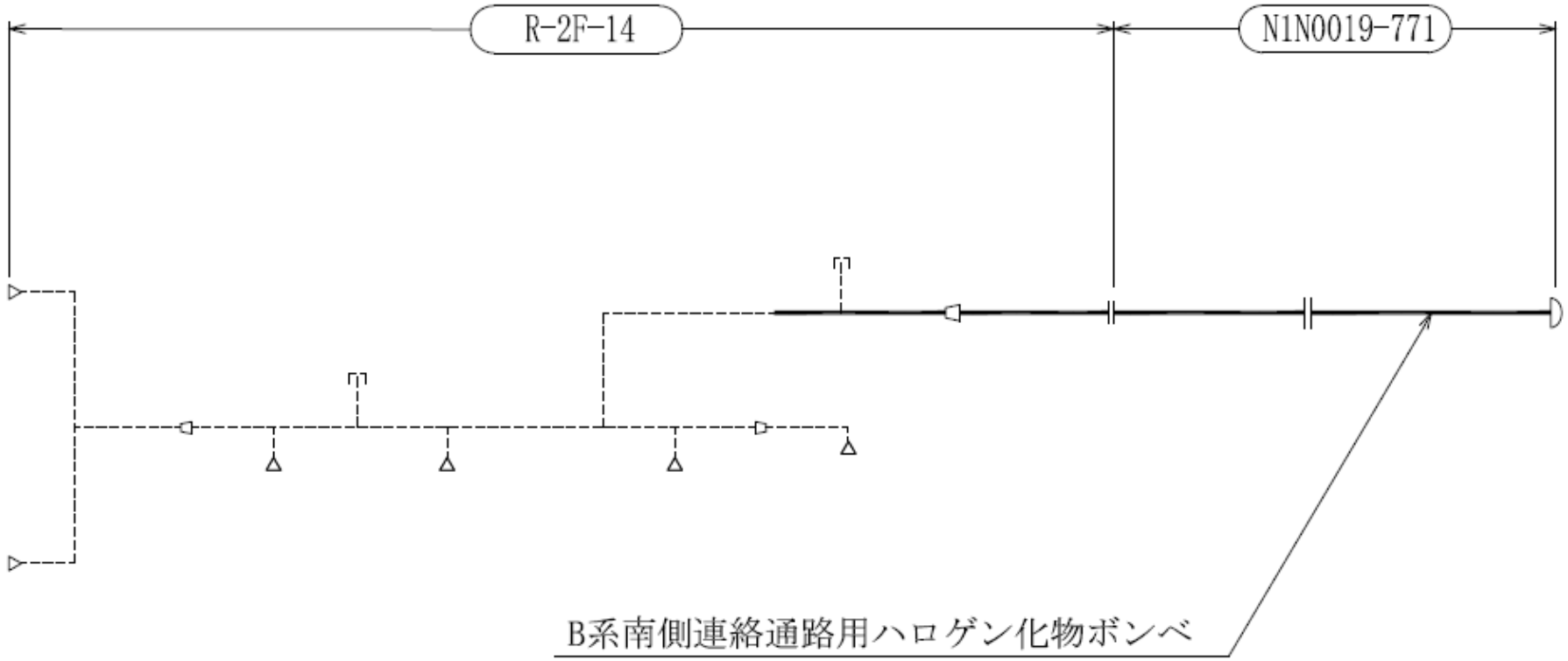
小空間固定式消火設備概略系統図（その 35）



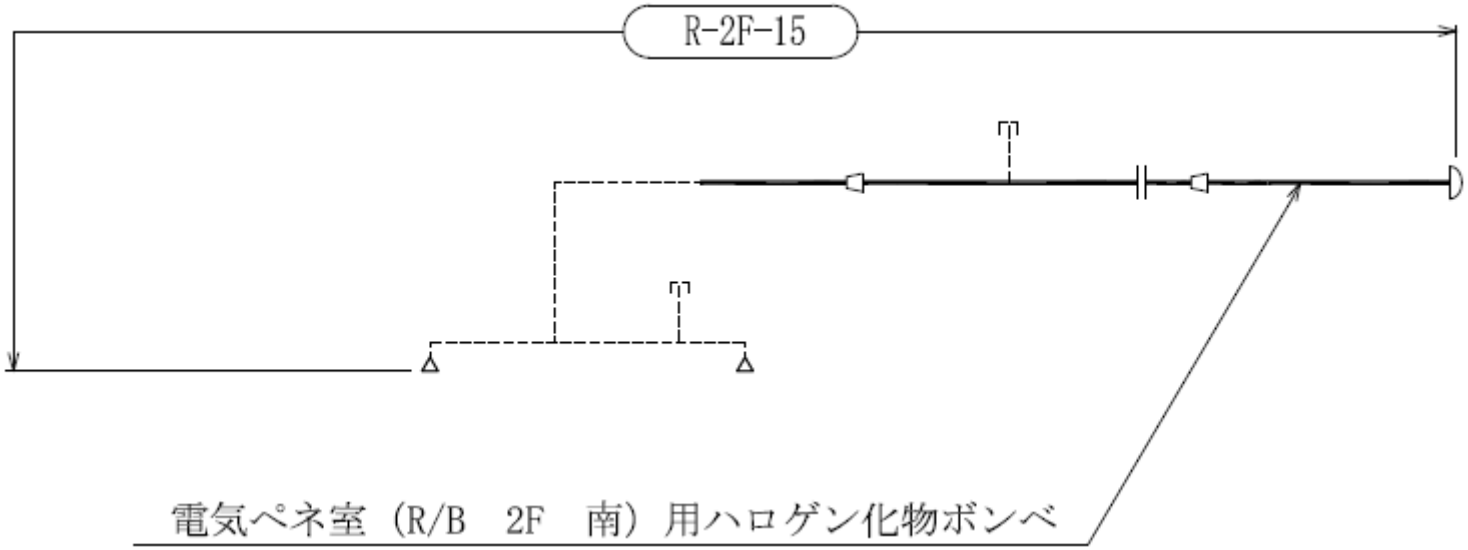
小空間固定式消火設備概略系統図（その 36）



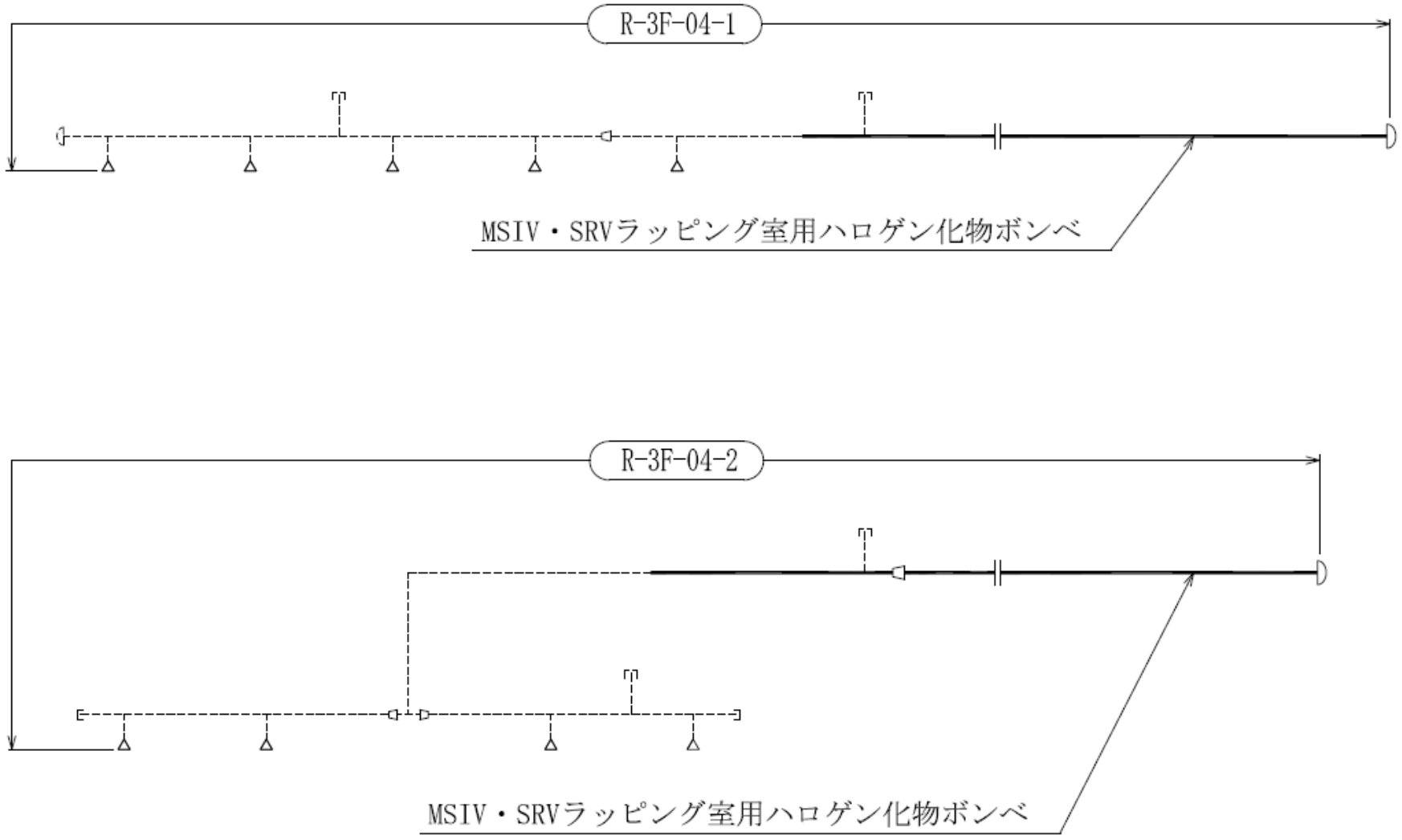
小空間固定式消火設備概略系統図（その 37）



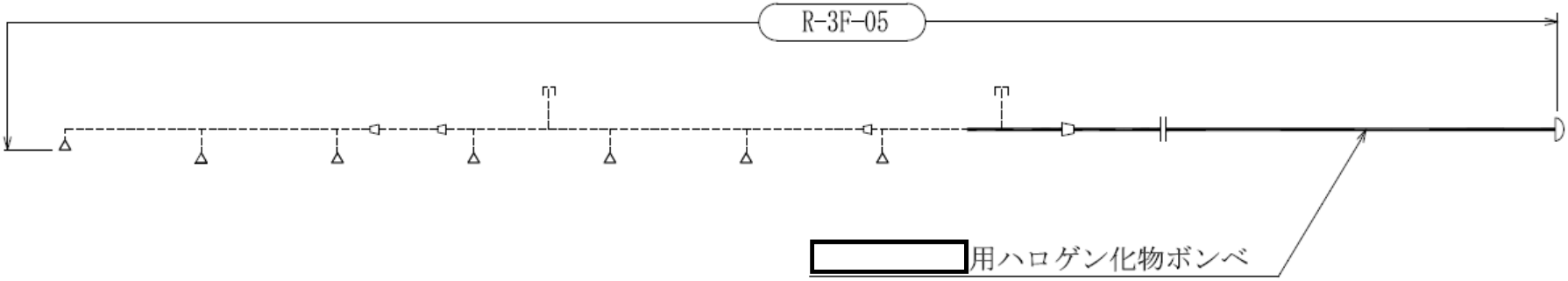
小空間固定式消火設備概略系統図（その 38）



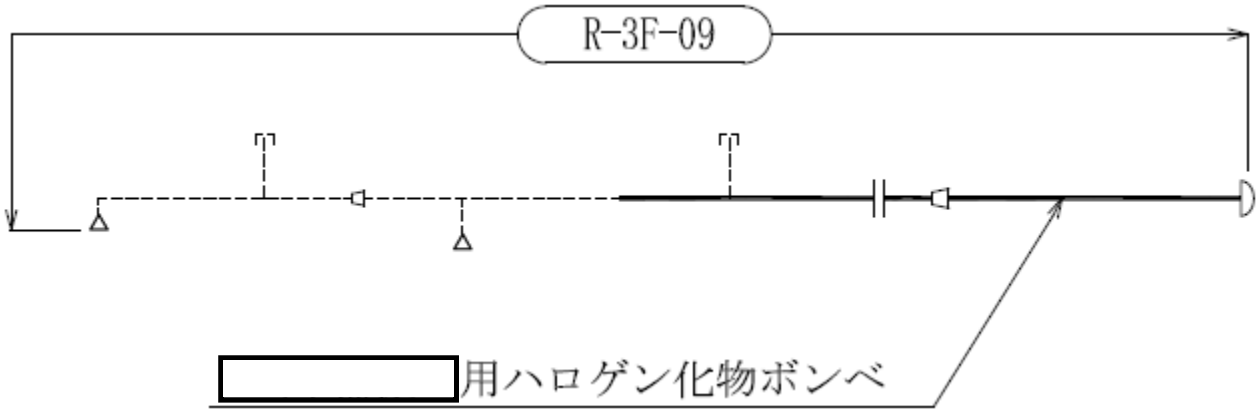
小空間固定式消火設備概略系統図（その 39）



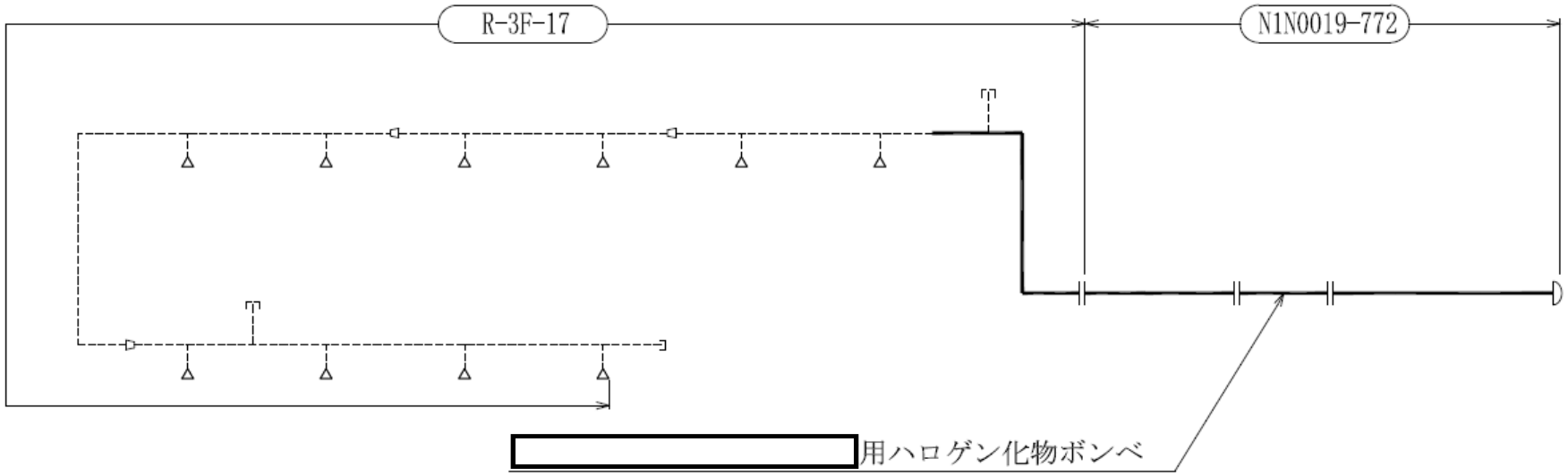
小空間固定式消火設備概略系統図（その 40）



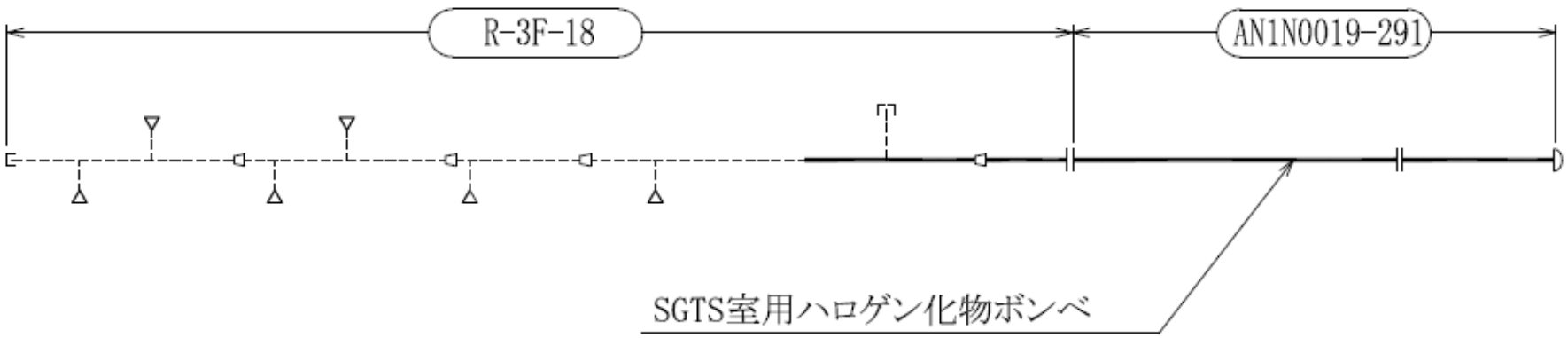
小空間固定式消火設備概略系統図（その 41）



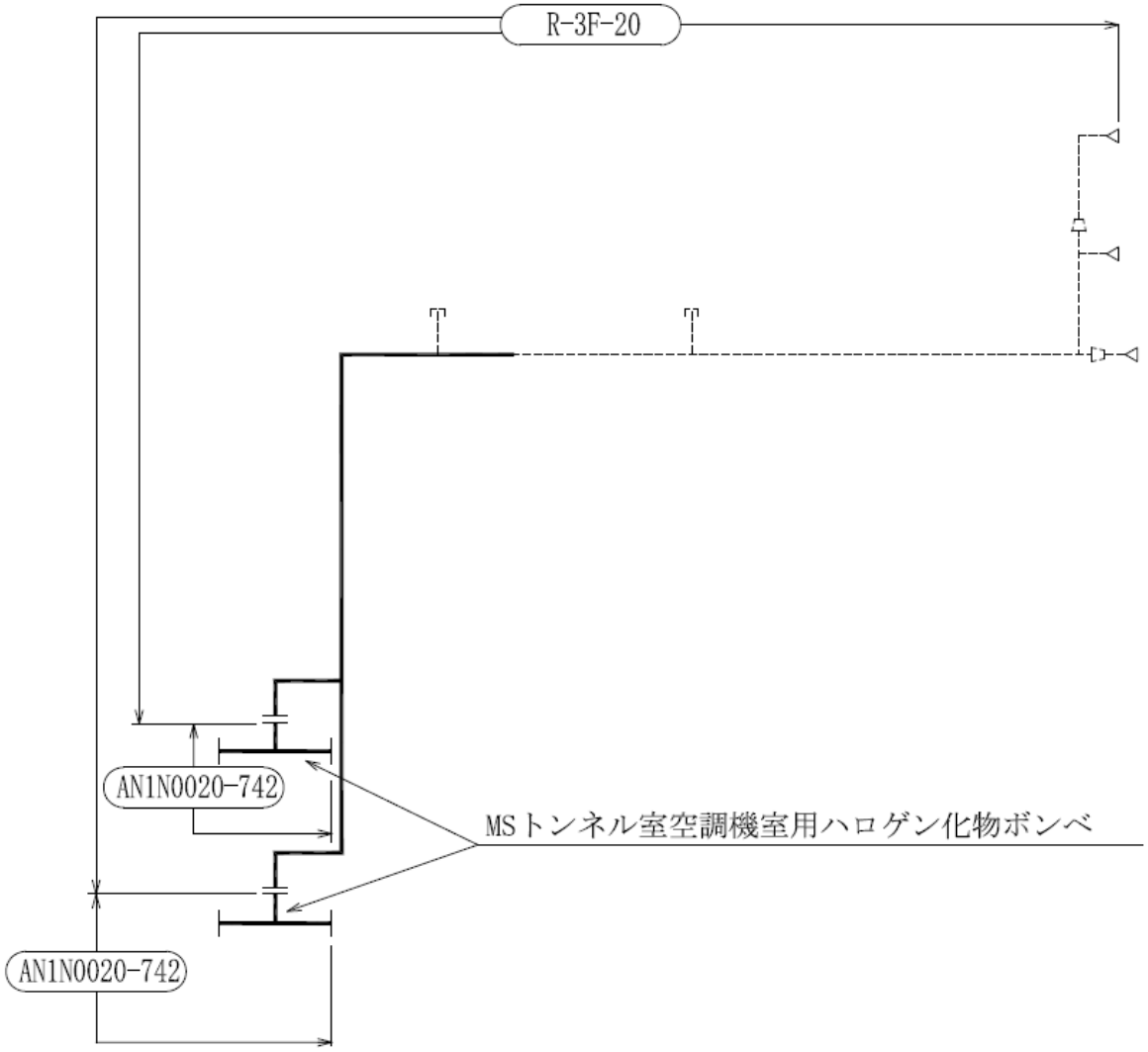
小空間固定式消火設備概略系統図（その 42）



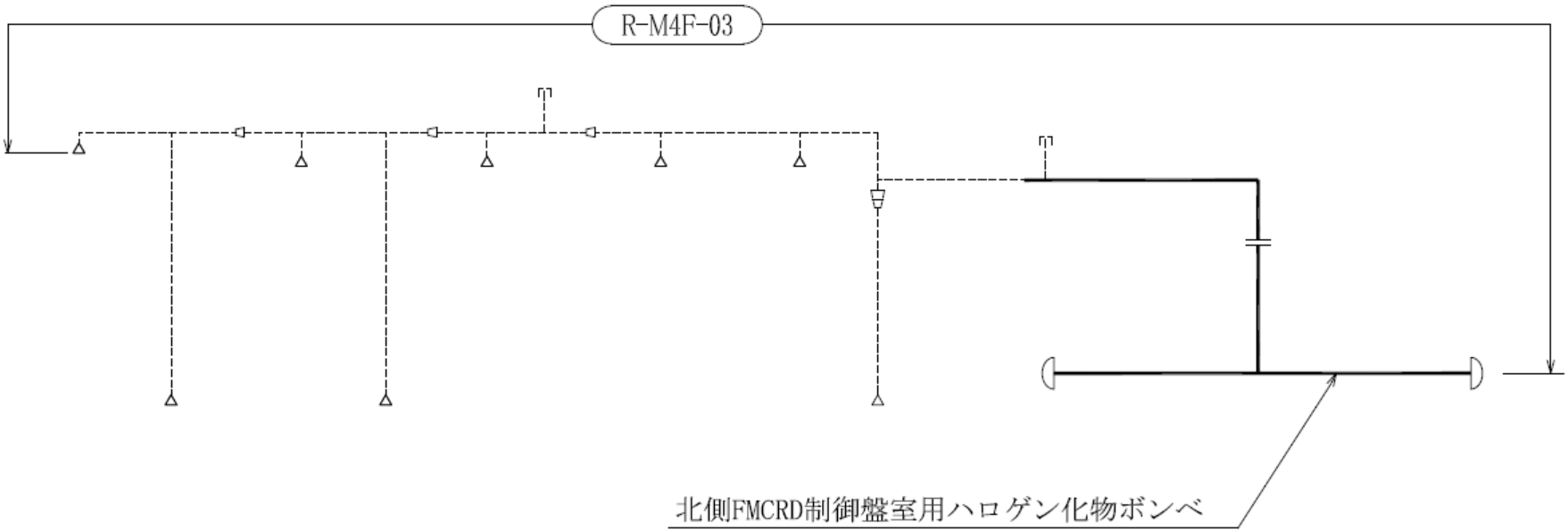
小空間固定式消火設備概略系統図（その 43）



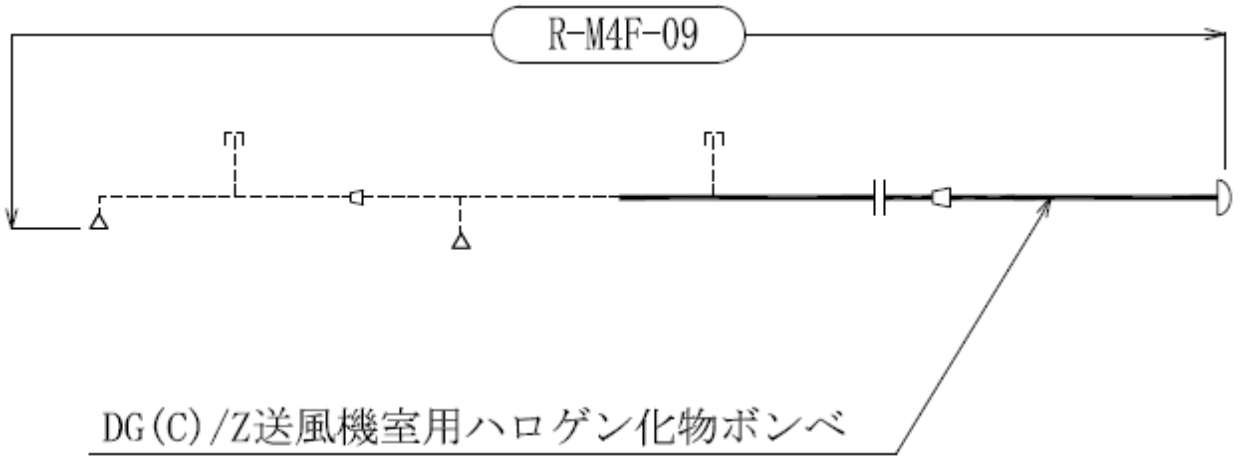
小空間固定式消火設備概略系統図（その 44）



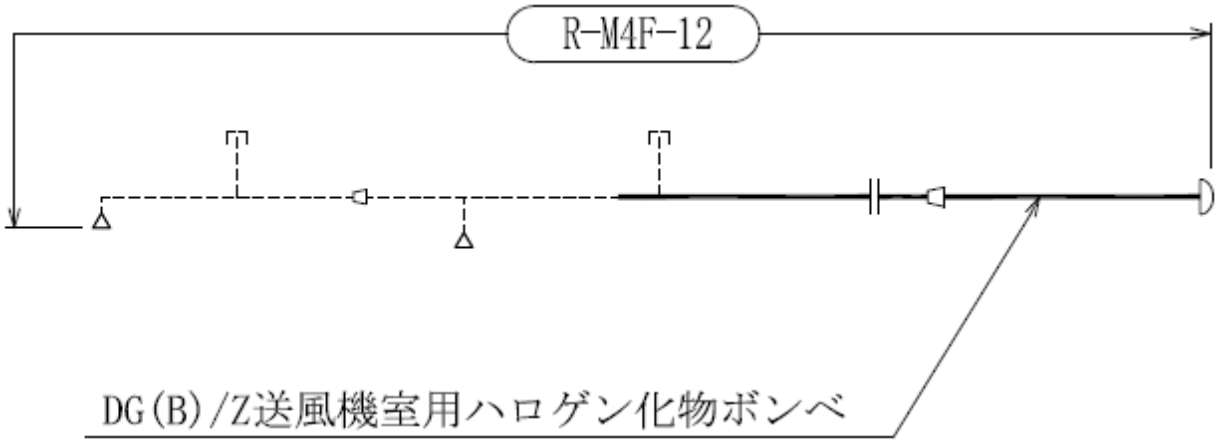
小空間固定式消火設備概略系統図（その 45）



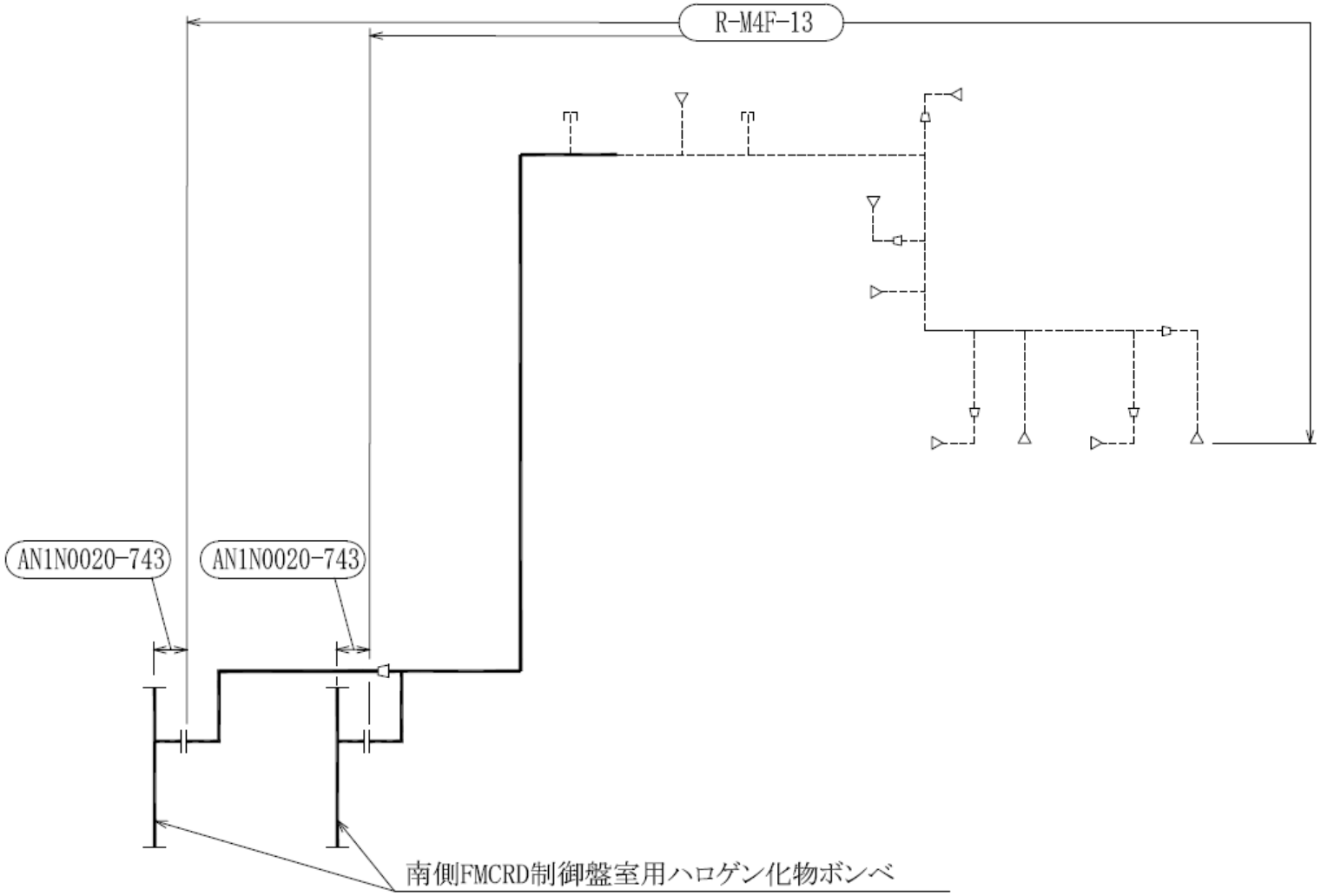
小空間固定式消火設備概略系統図（その 46）



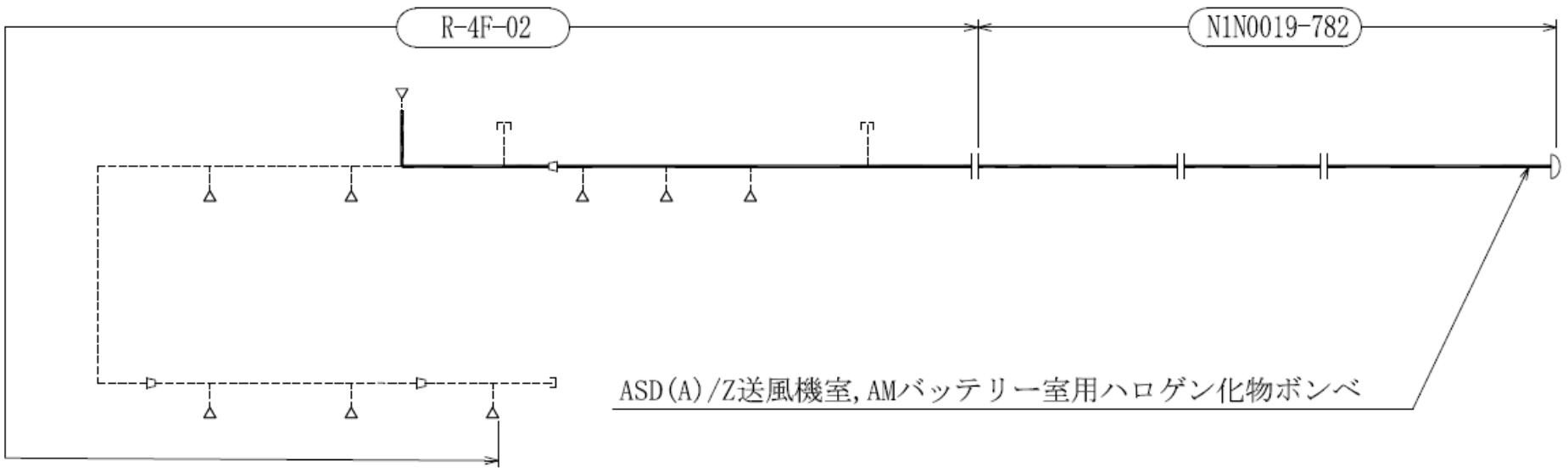
小空間固定式消火設備概略系統図（その 47）



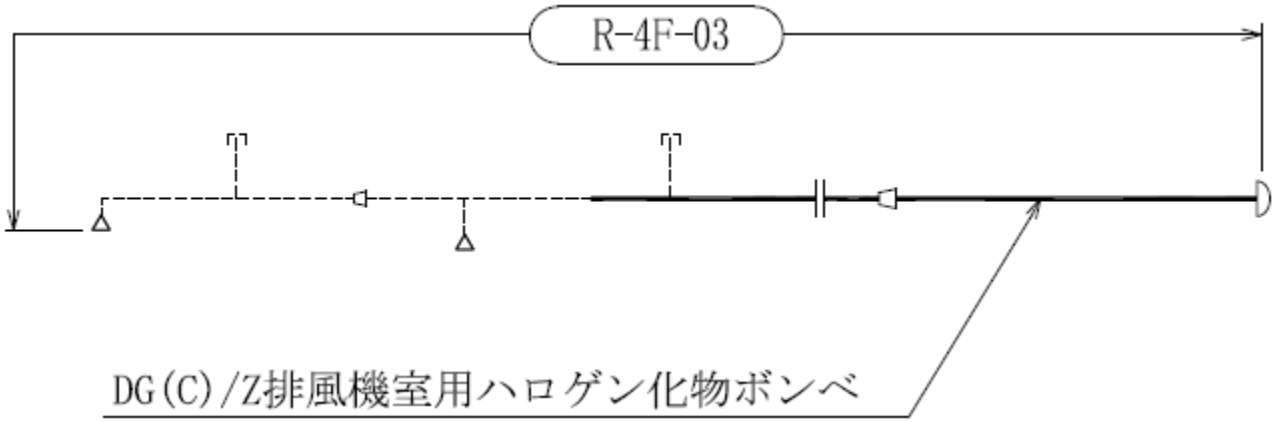
小空間固定式消火設備概略系統図（その 48）



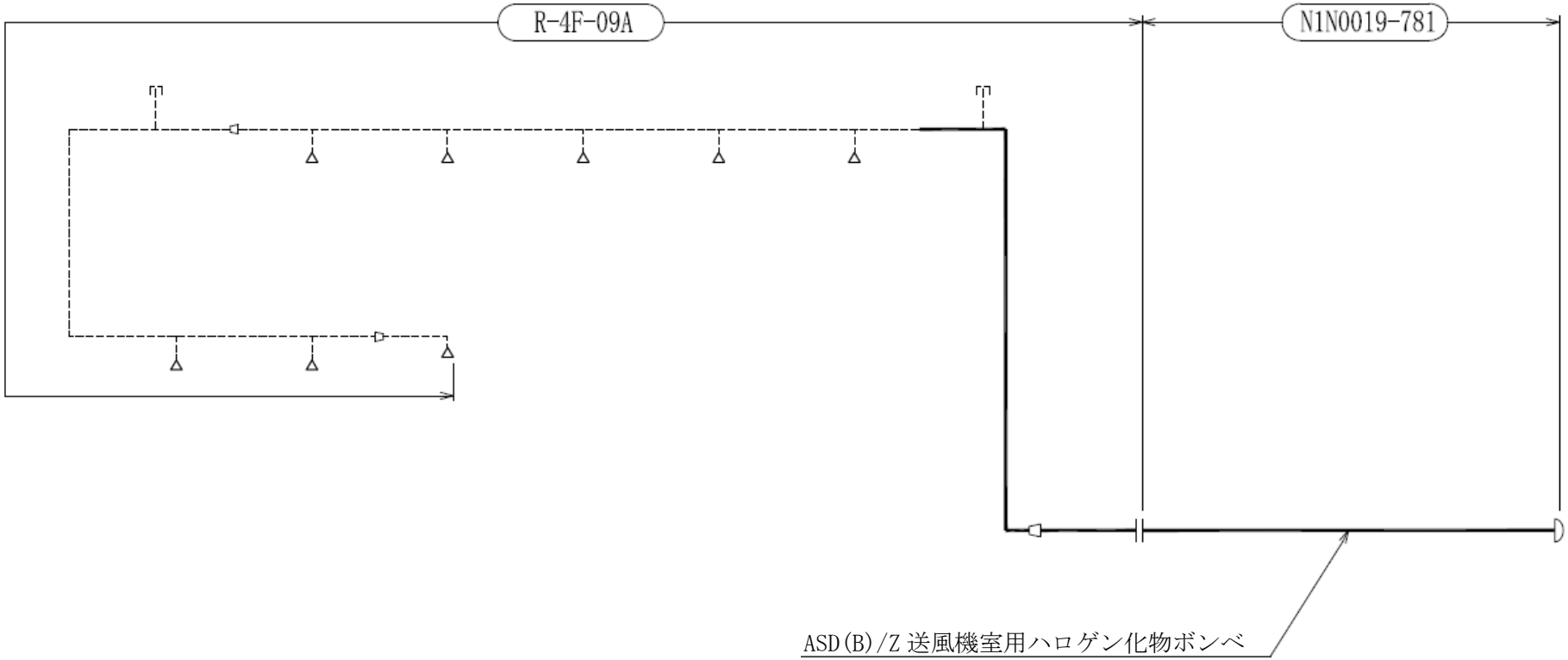
小空間固定式消火設備概略系統図（その 49）



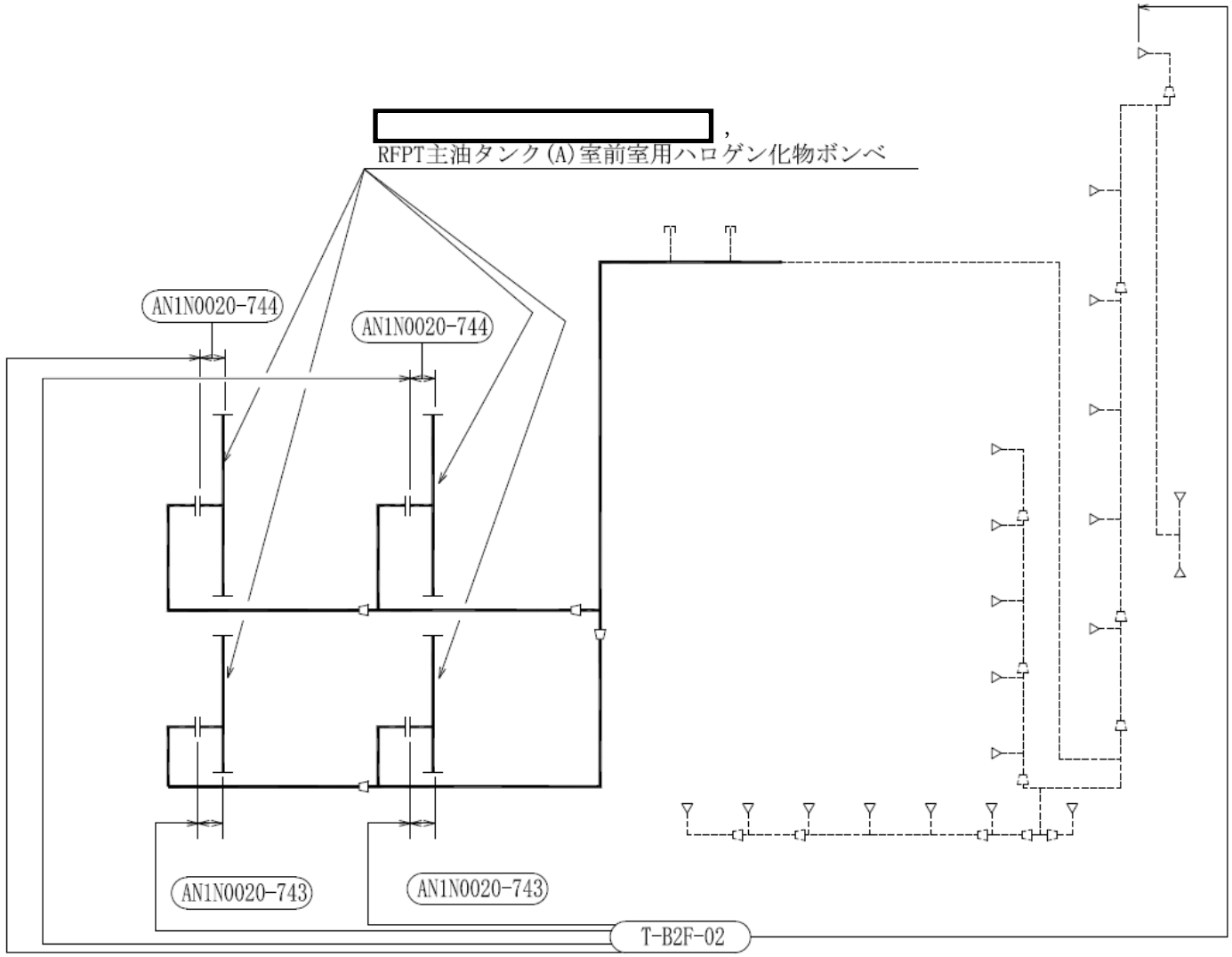
小空間固定式消火設備概略系統図（その 50）



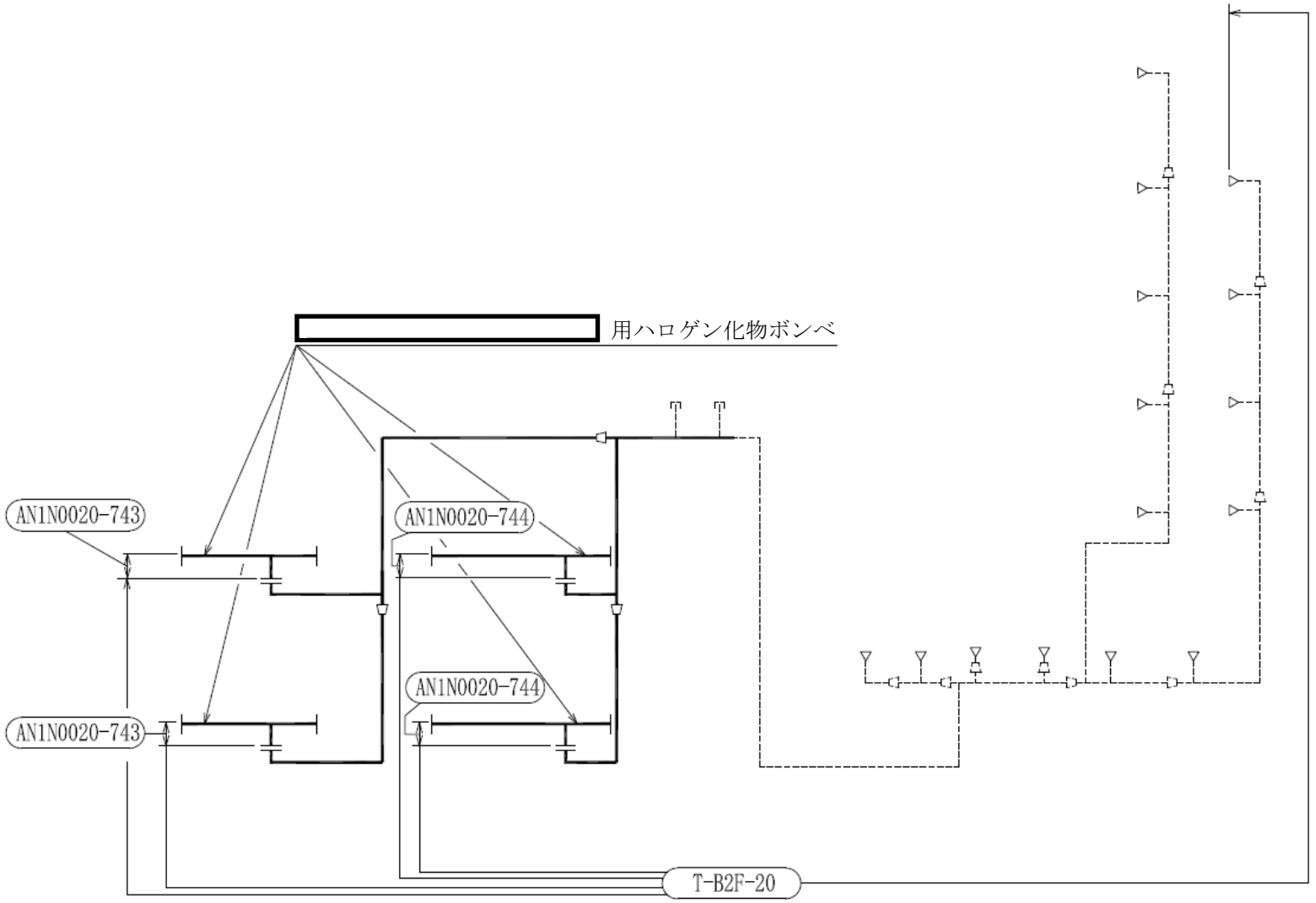
小空間固定式消火設備概略系統図（その 51）



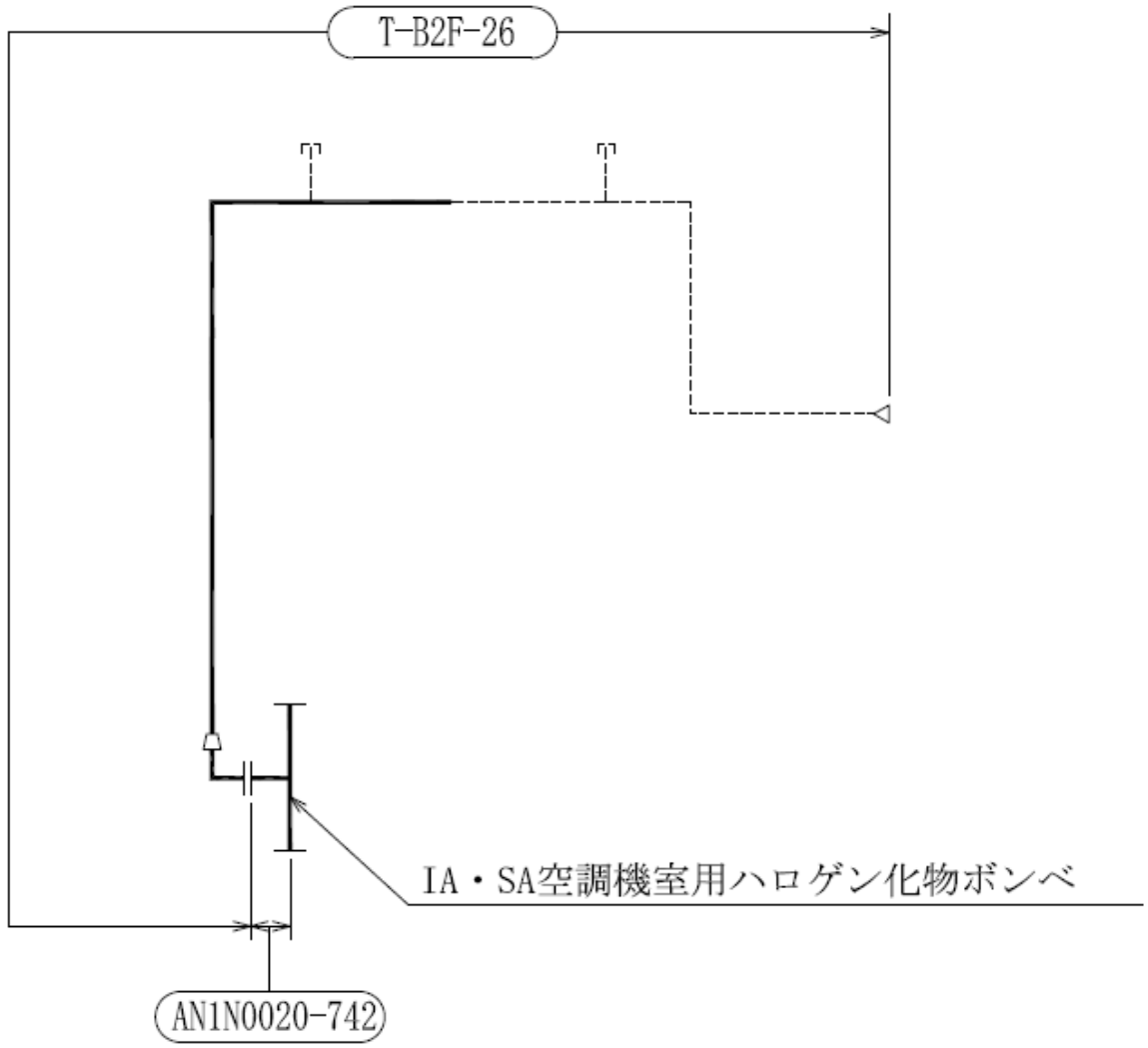
小空間固定式消火設備概略系統図（その 52）



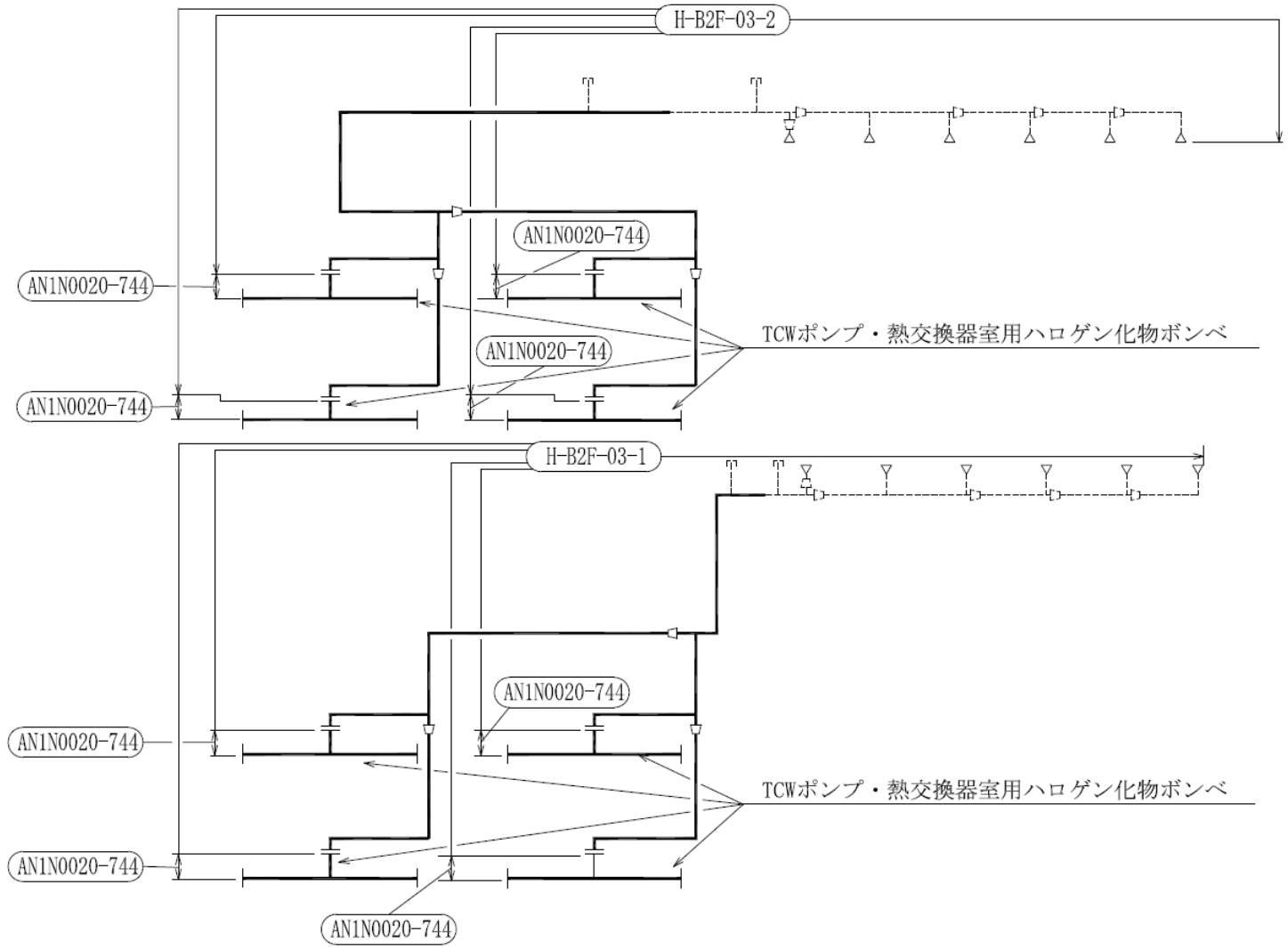
小空間固定式消火設備概略系統図（その 53）



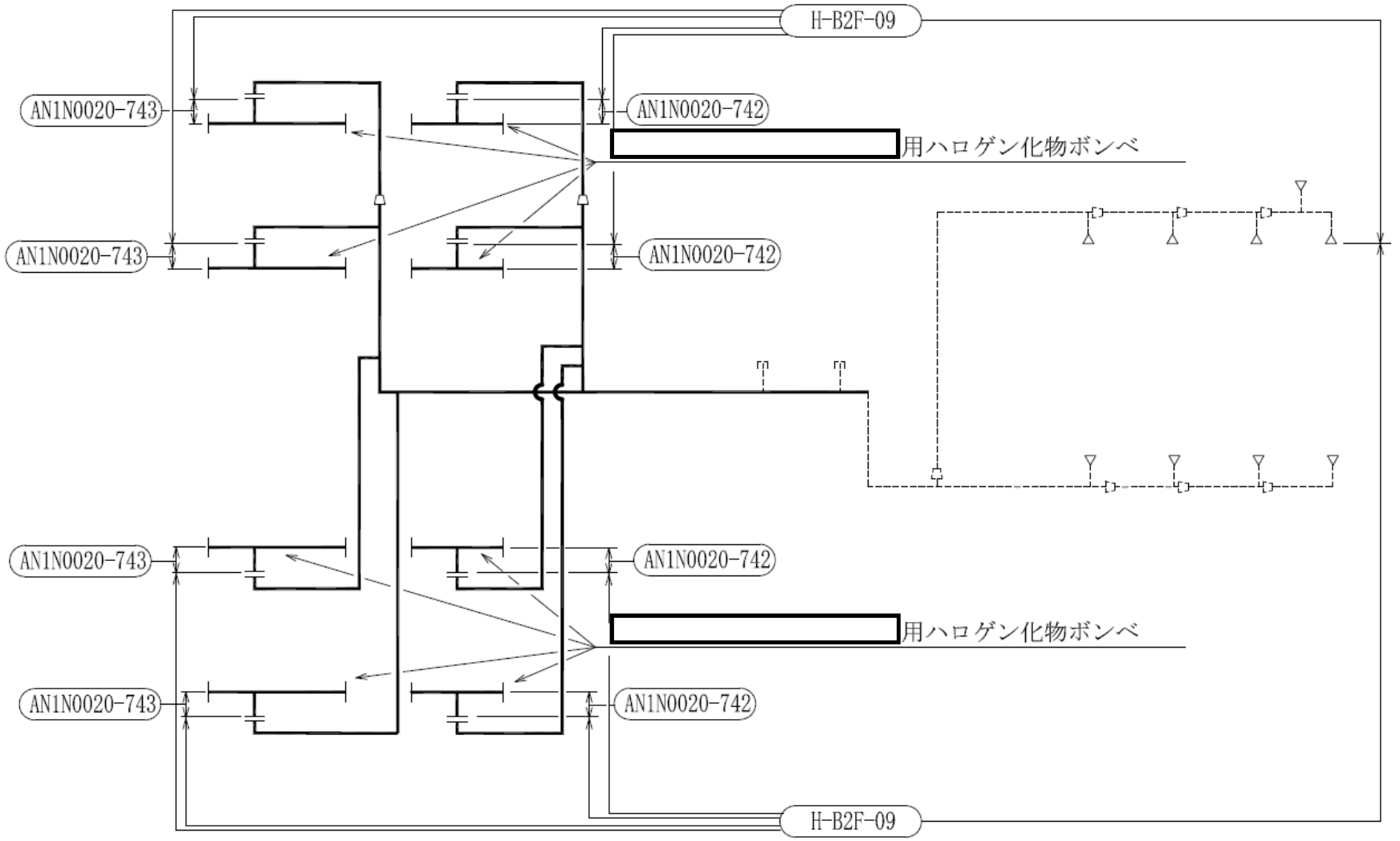
小空間固定式消火設備概略系統図（その 54）



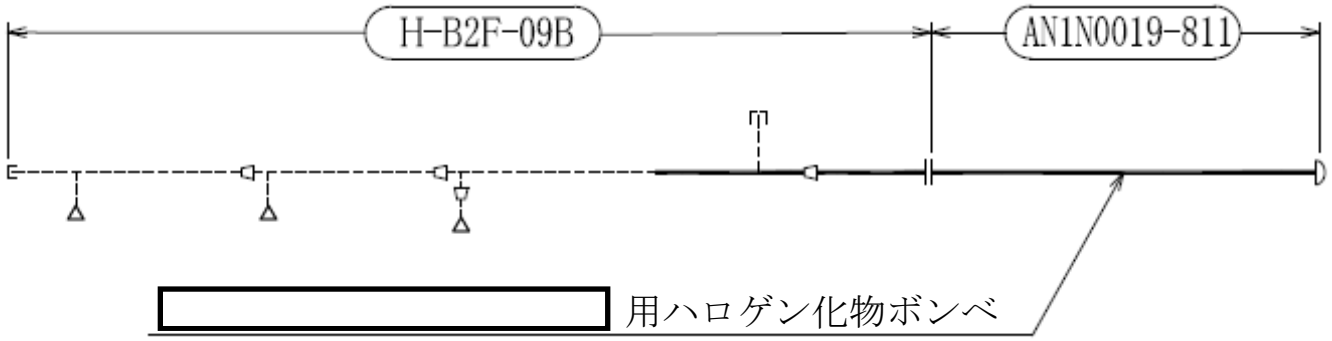
小空間固定式消火設備概略系統図（その 55）



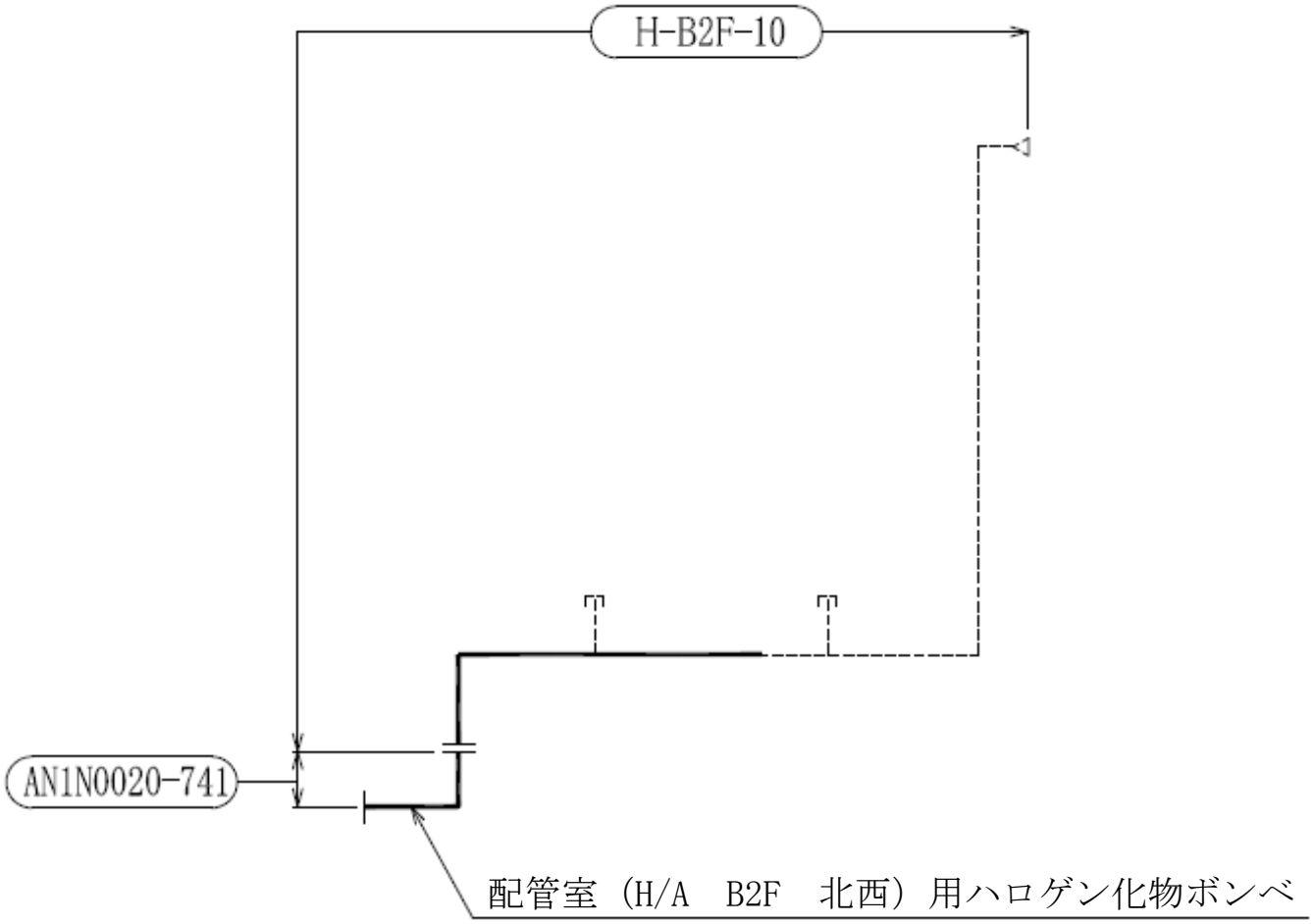
小空間固定式消火設備概略系統図（その 56）



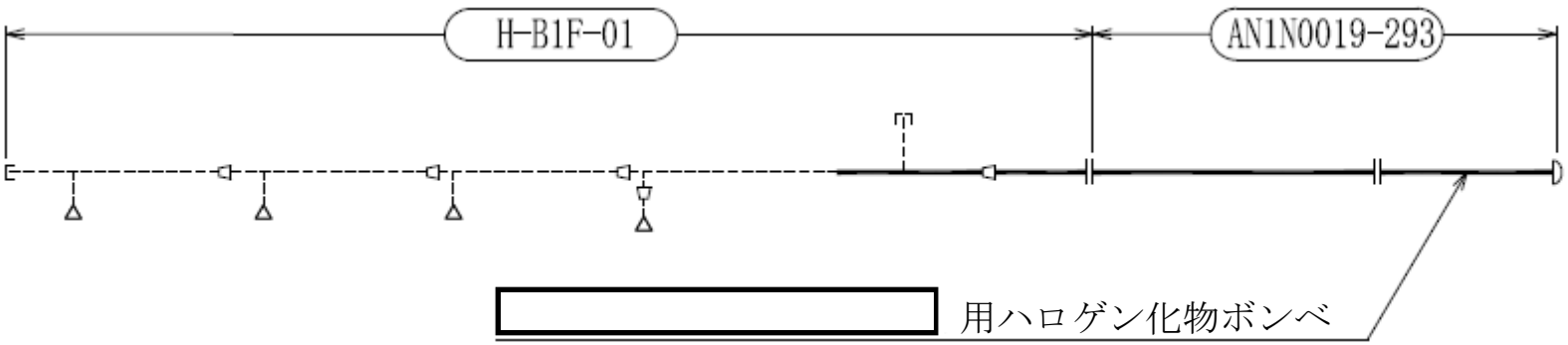
小空間固定式消火設備概略系統図（その 57）



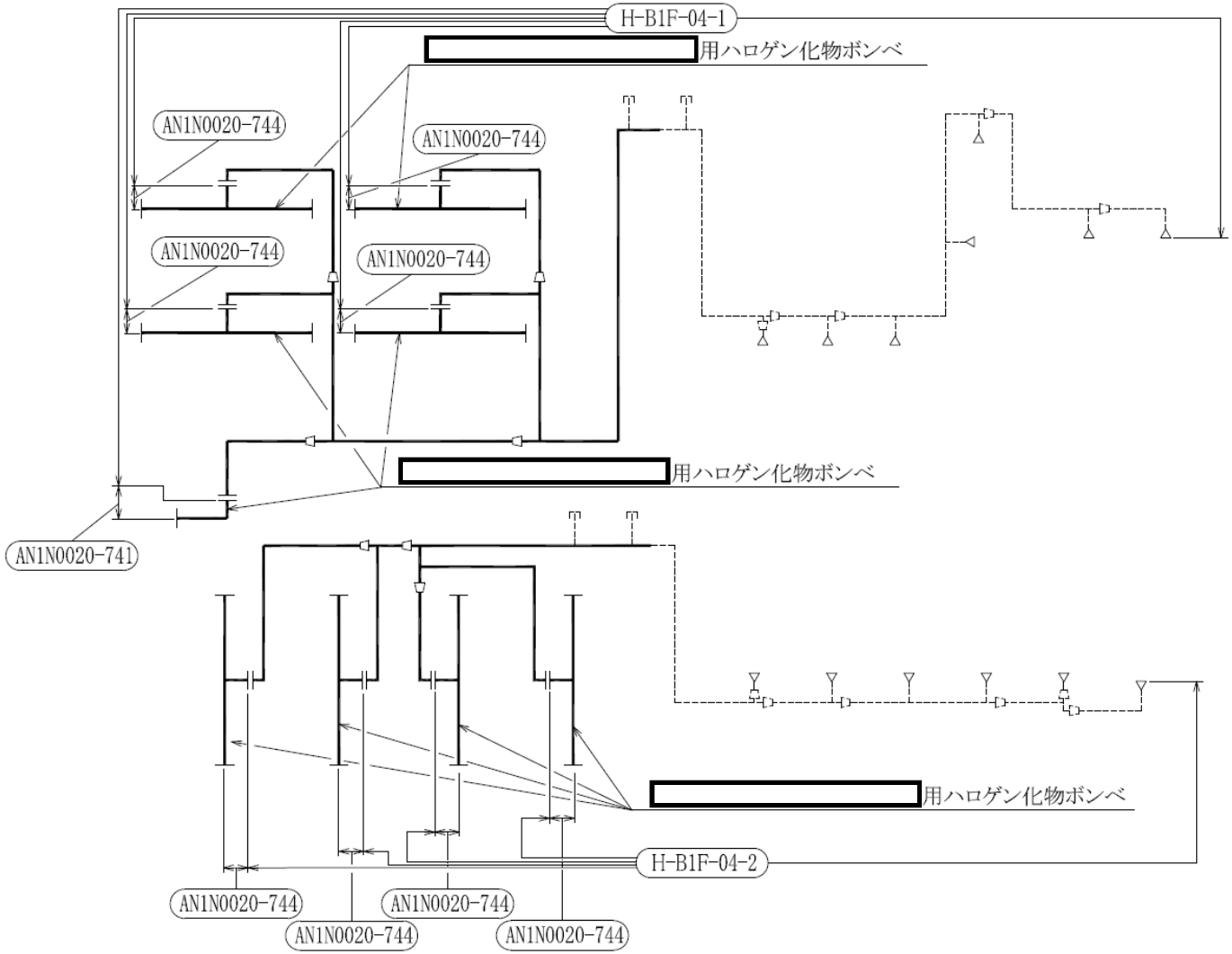
小空間固定式消火設備概略系統図（その 58）



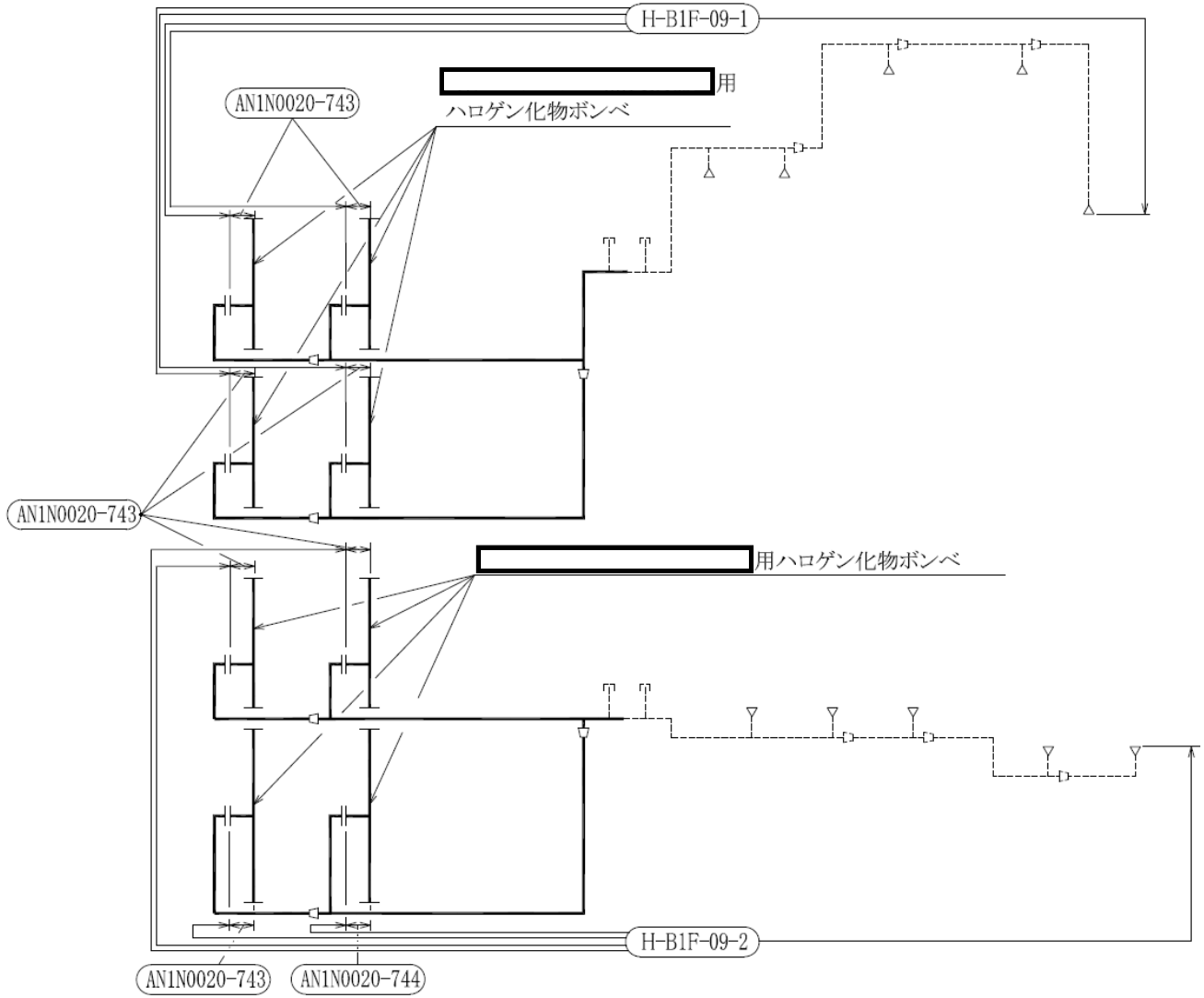
小空間固定式消火設備概略系統図（その 59）



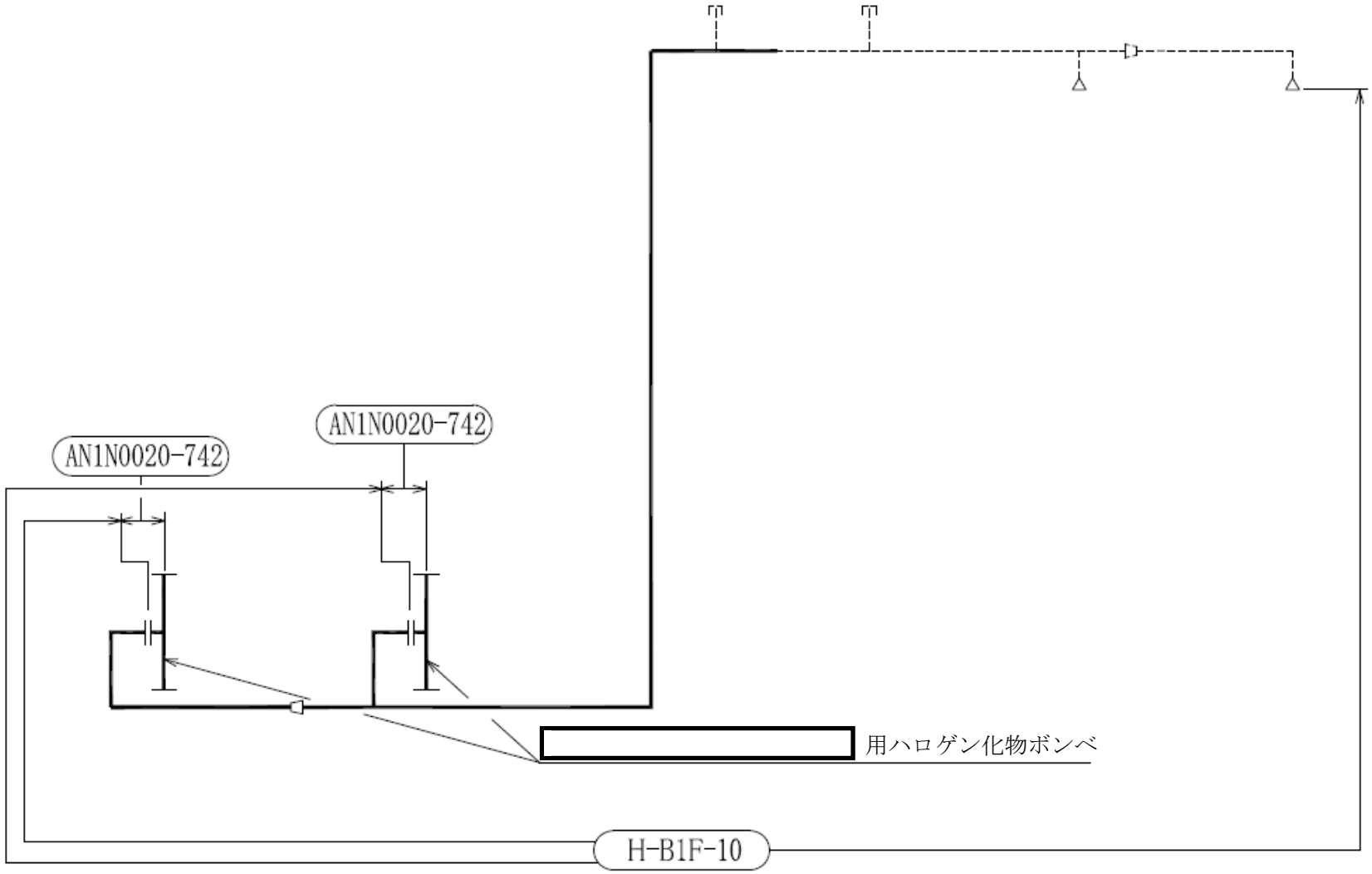
小空間固定式消火設備概略系統図（その 60）



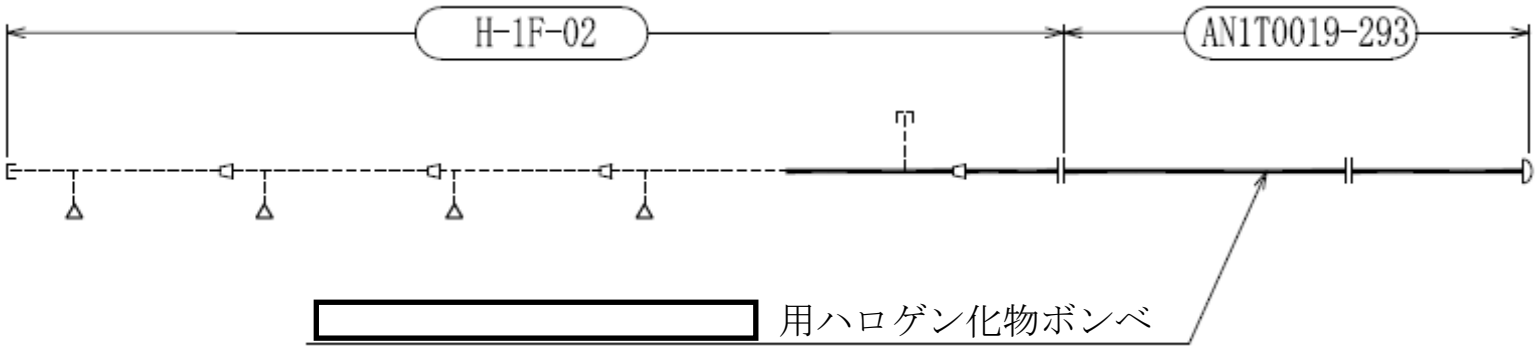
小空間固定式消火設備概略系統図（その 61）



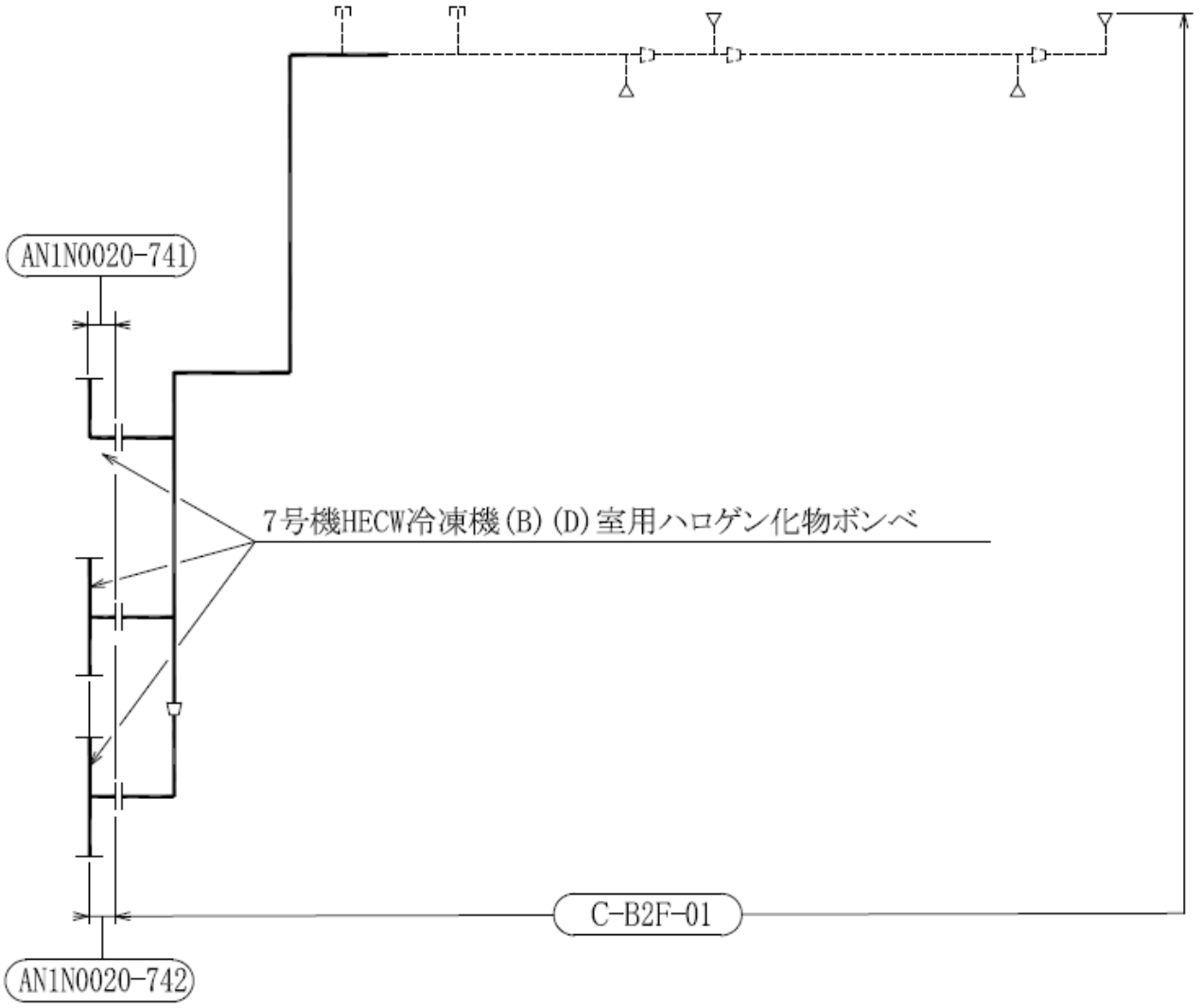
小空間固定式消火設備概略系統図（その 62）



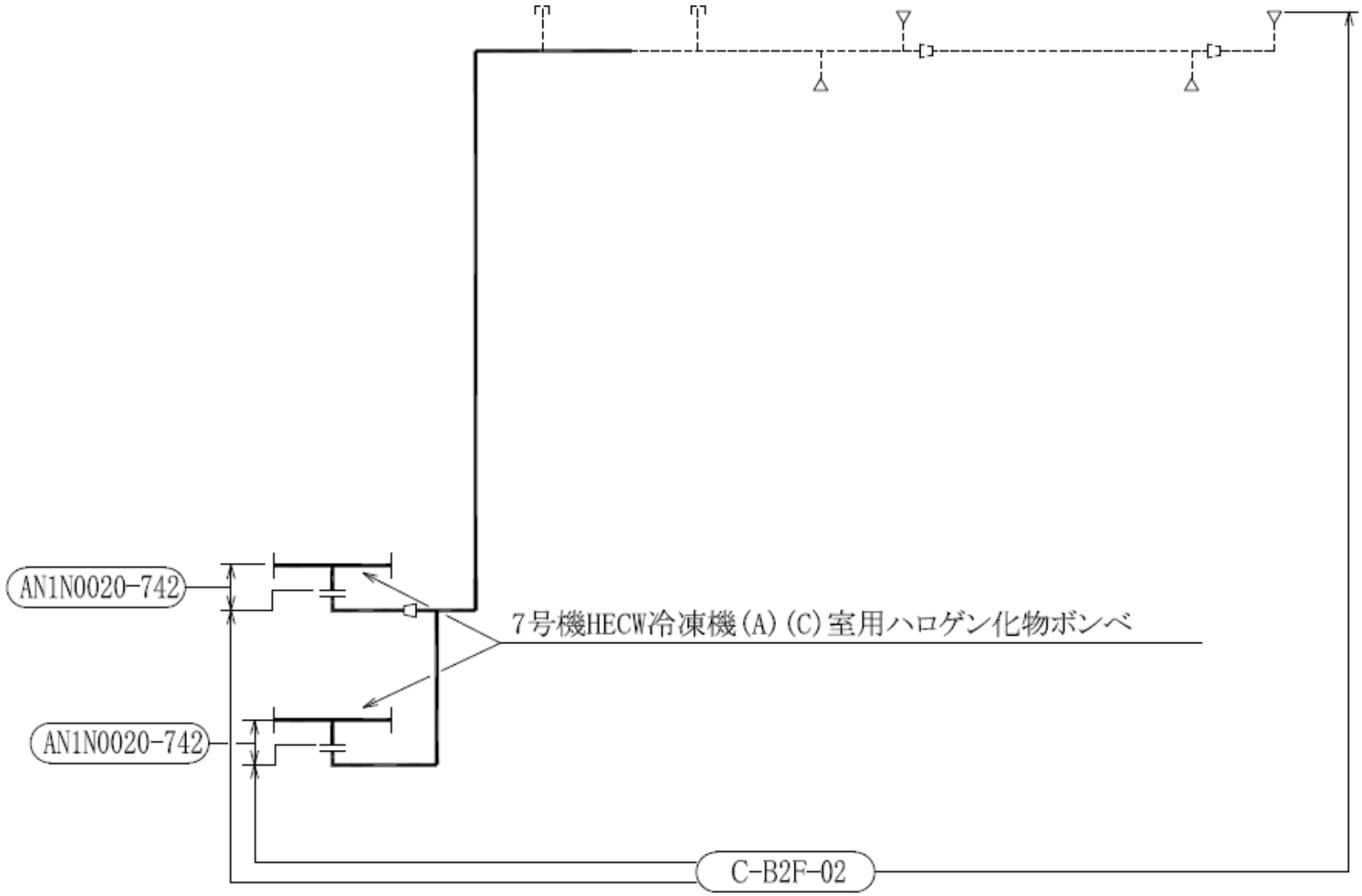
小空間固定式消火設備概略系統図（その 63）



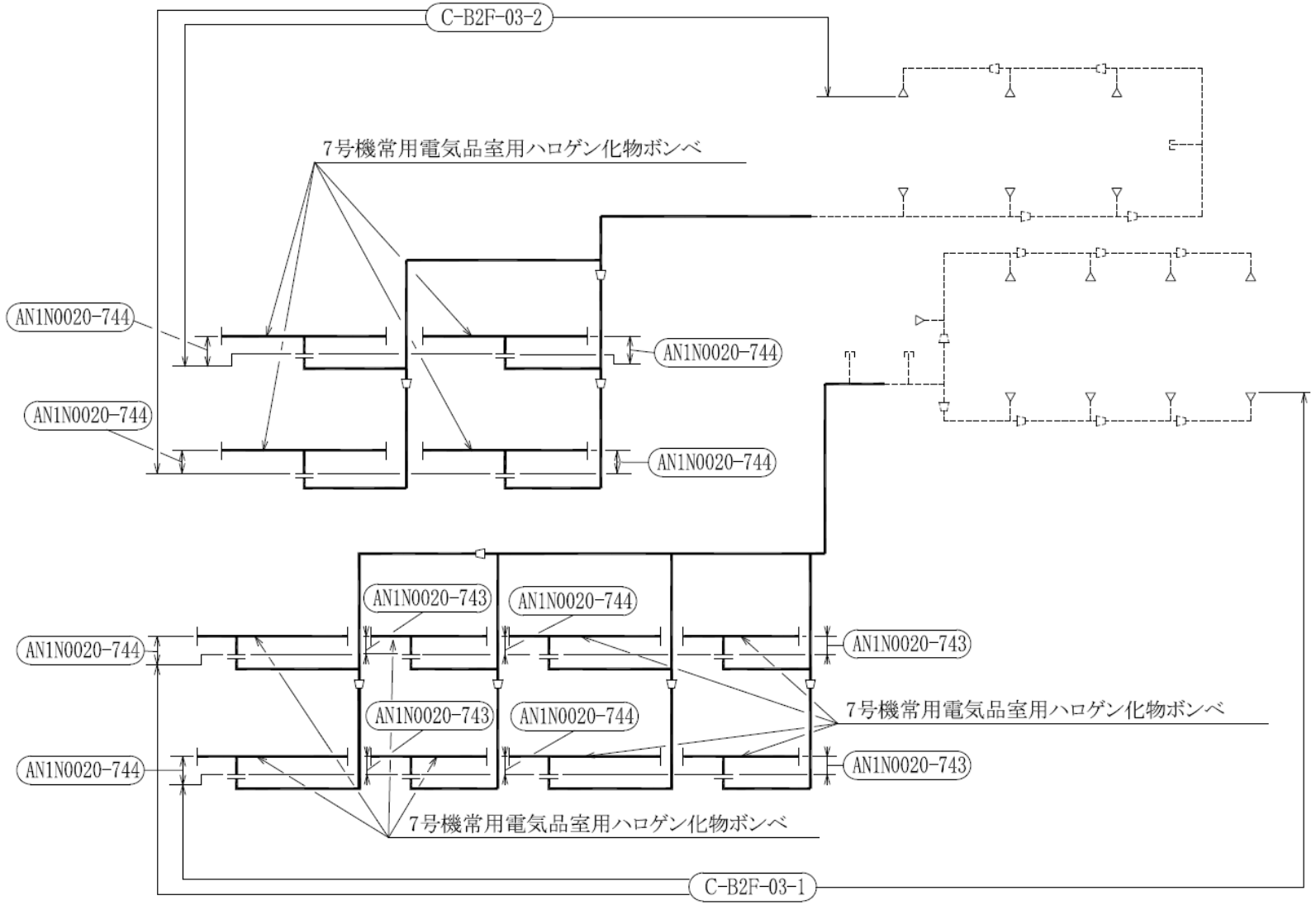
小空間固定式消火設備概略系統図（その 64）



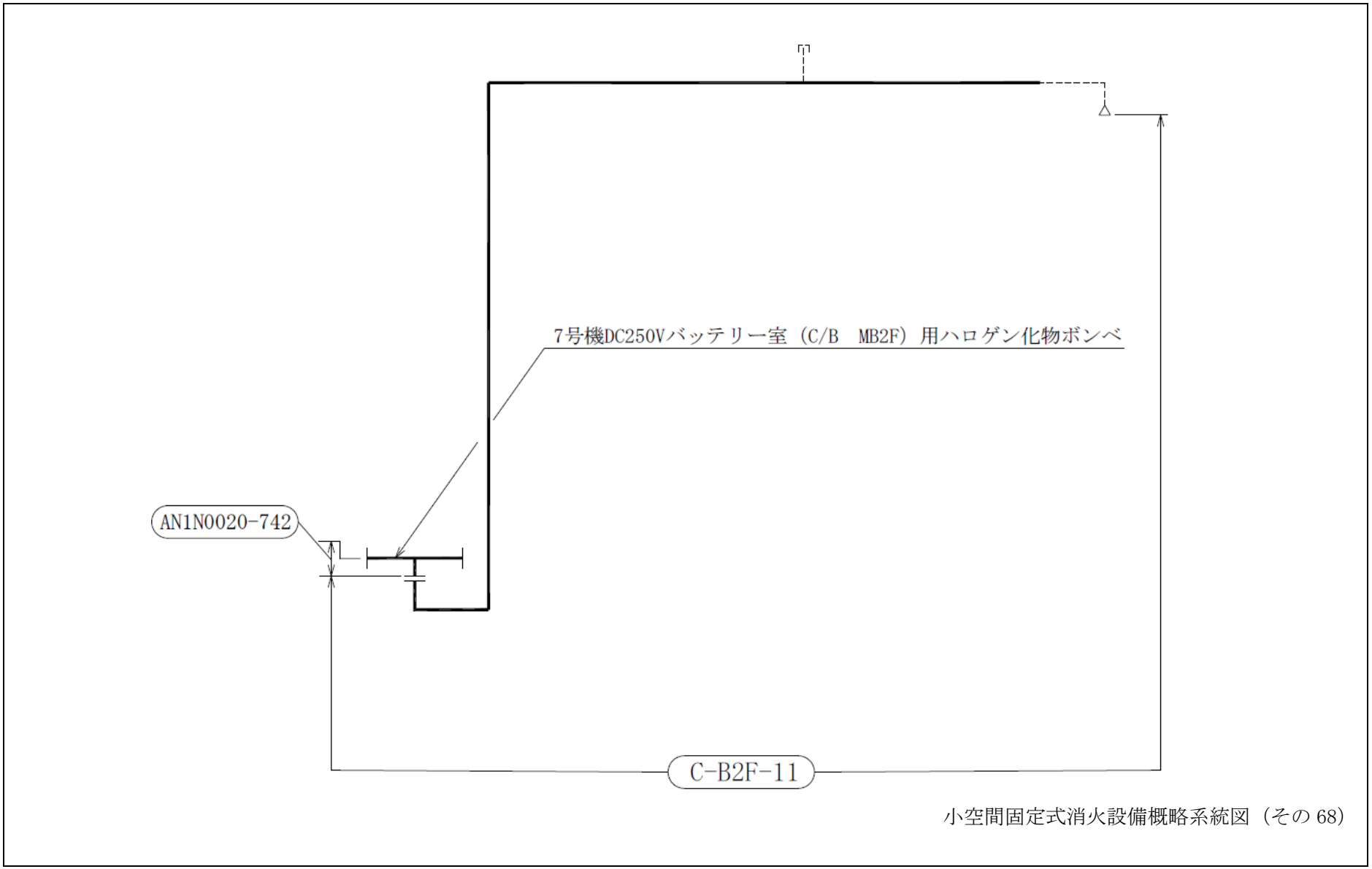
小空間固定式消火設備概略系統図（その 65）



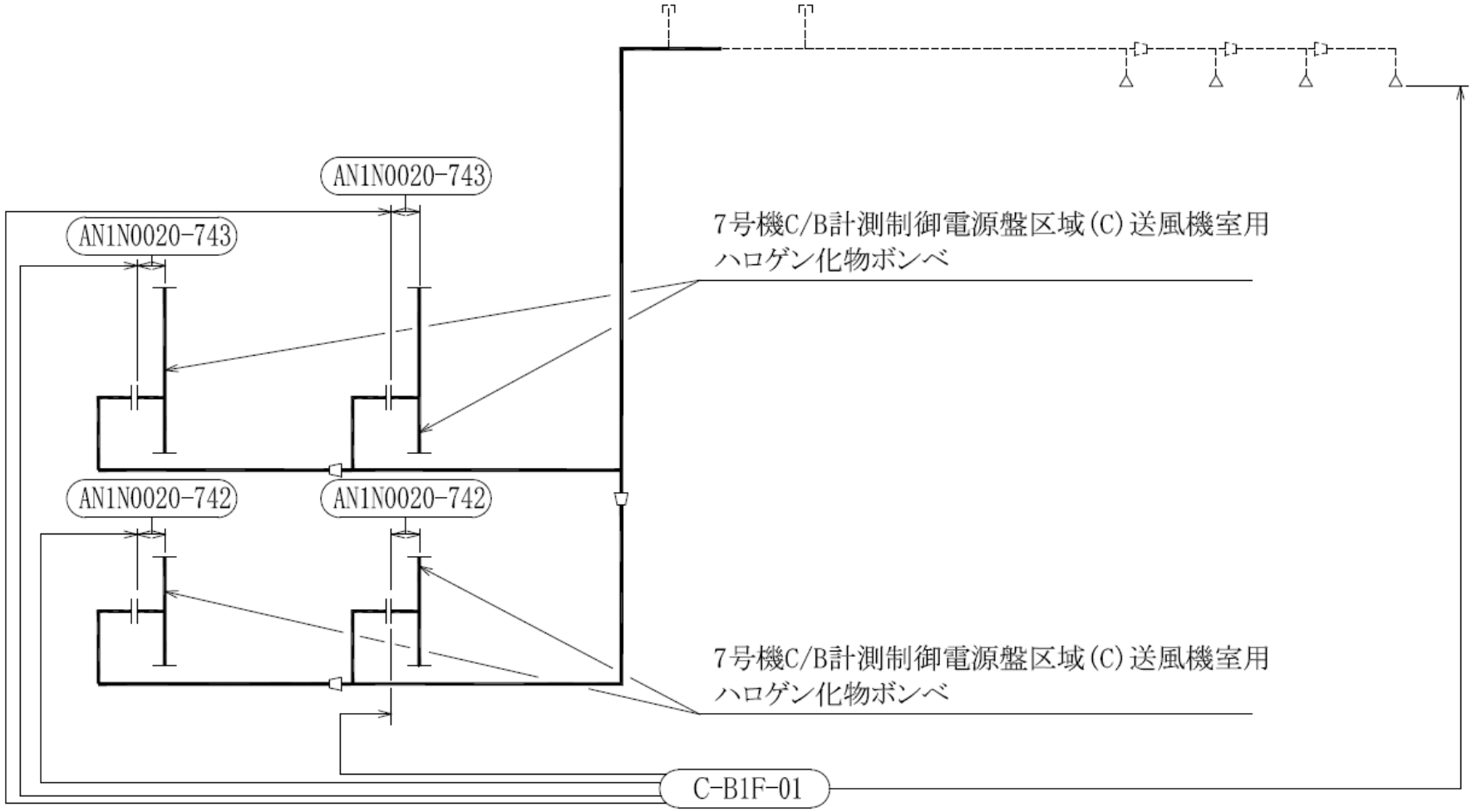
小空間固定式消火設備概略系統図（その 66）



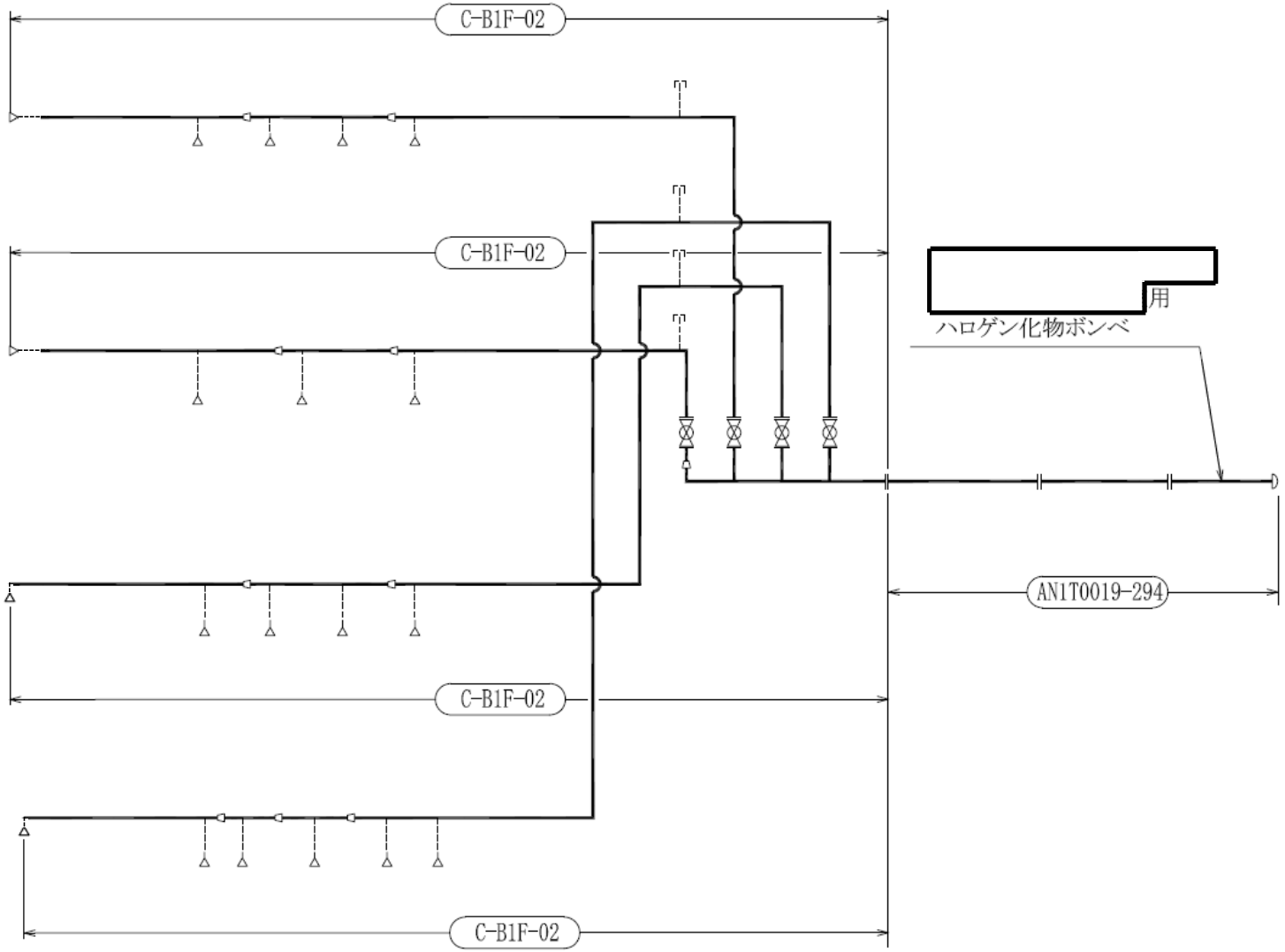
小空間固定式消火設備概略系統図（その 67）



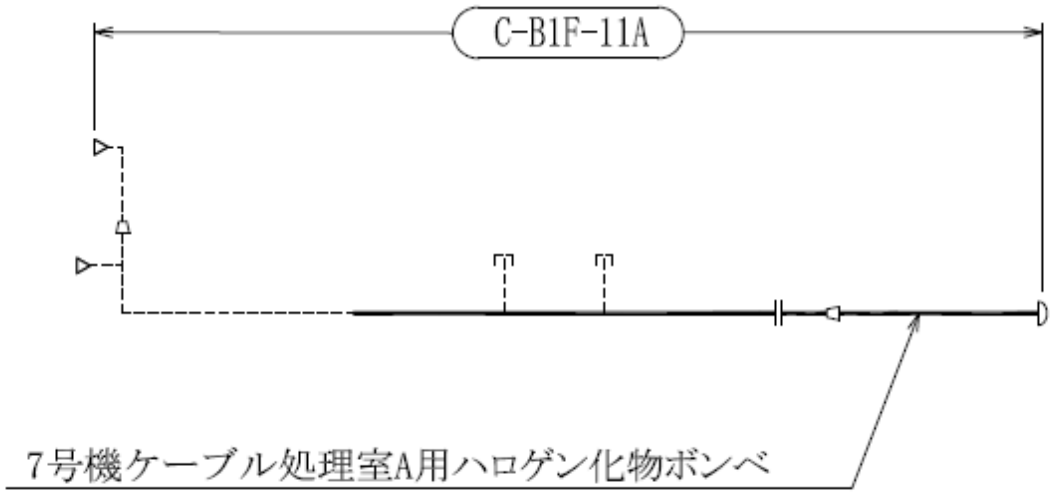
小空間固定式消火設備概略系統図（その 68）



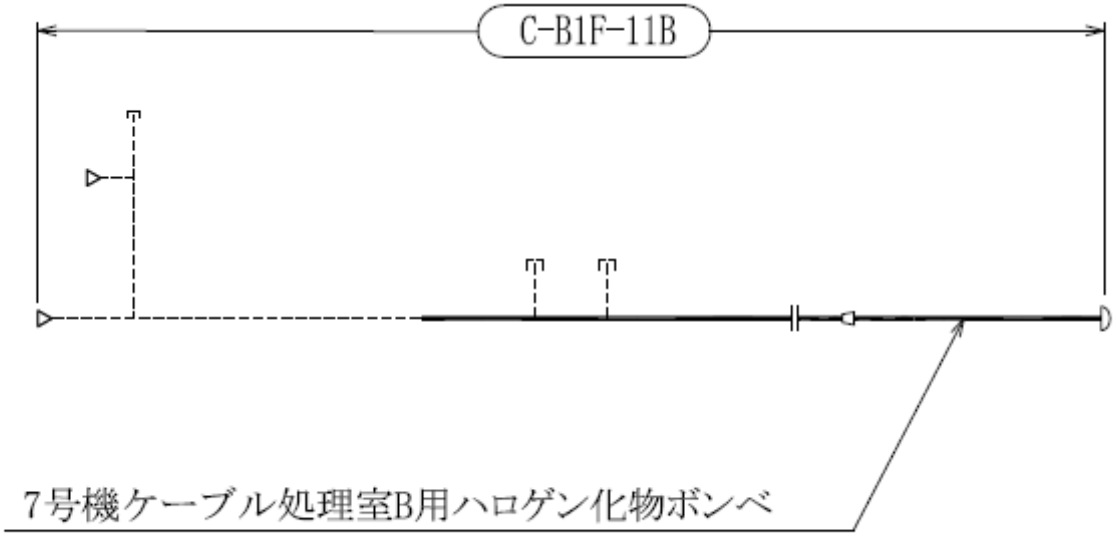
小空間固定式消火設備概略系統図（その 69）



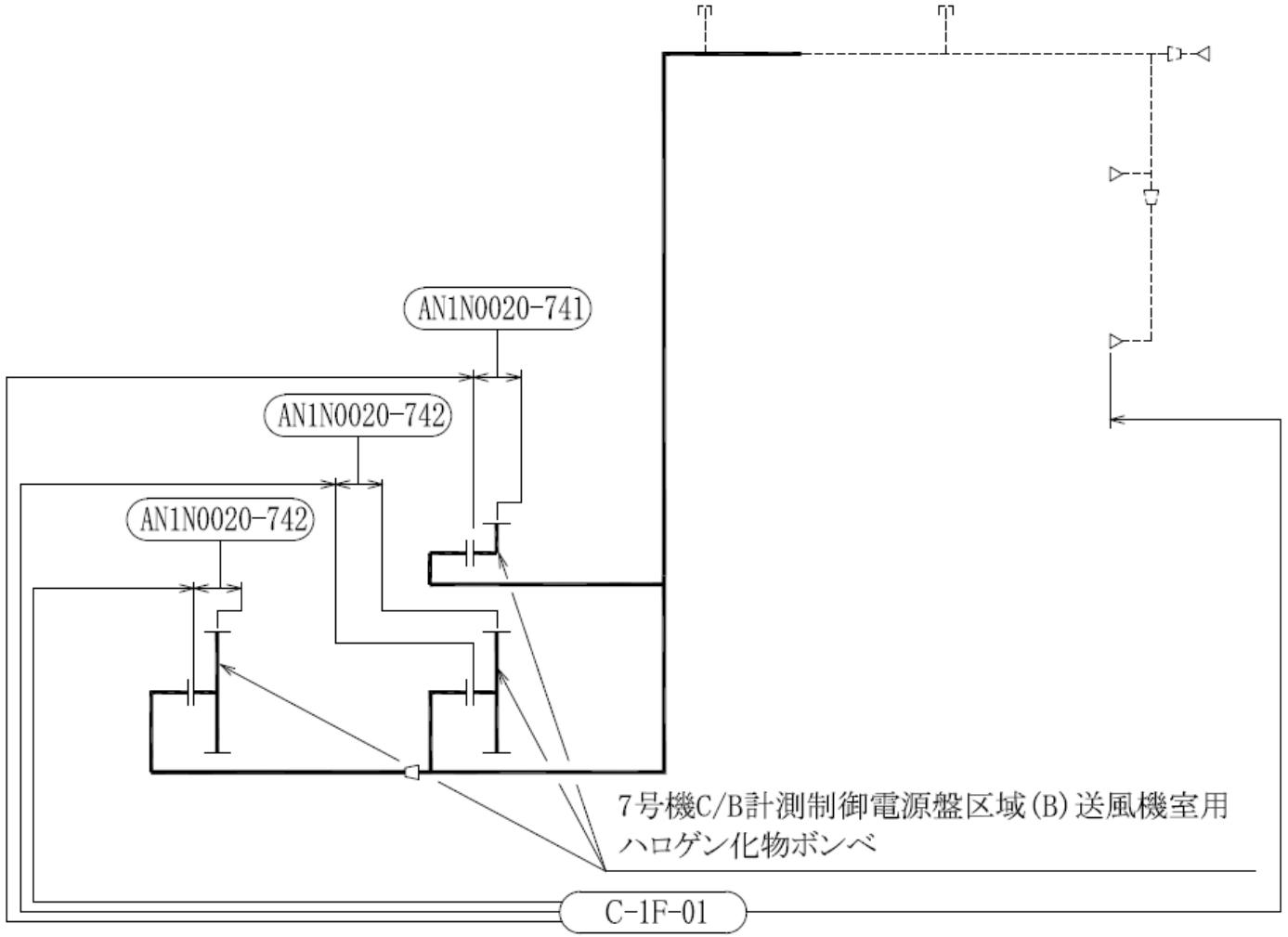
小空間固定式消火設備概略系統図（その 70）



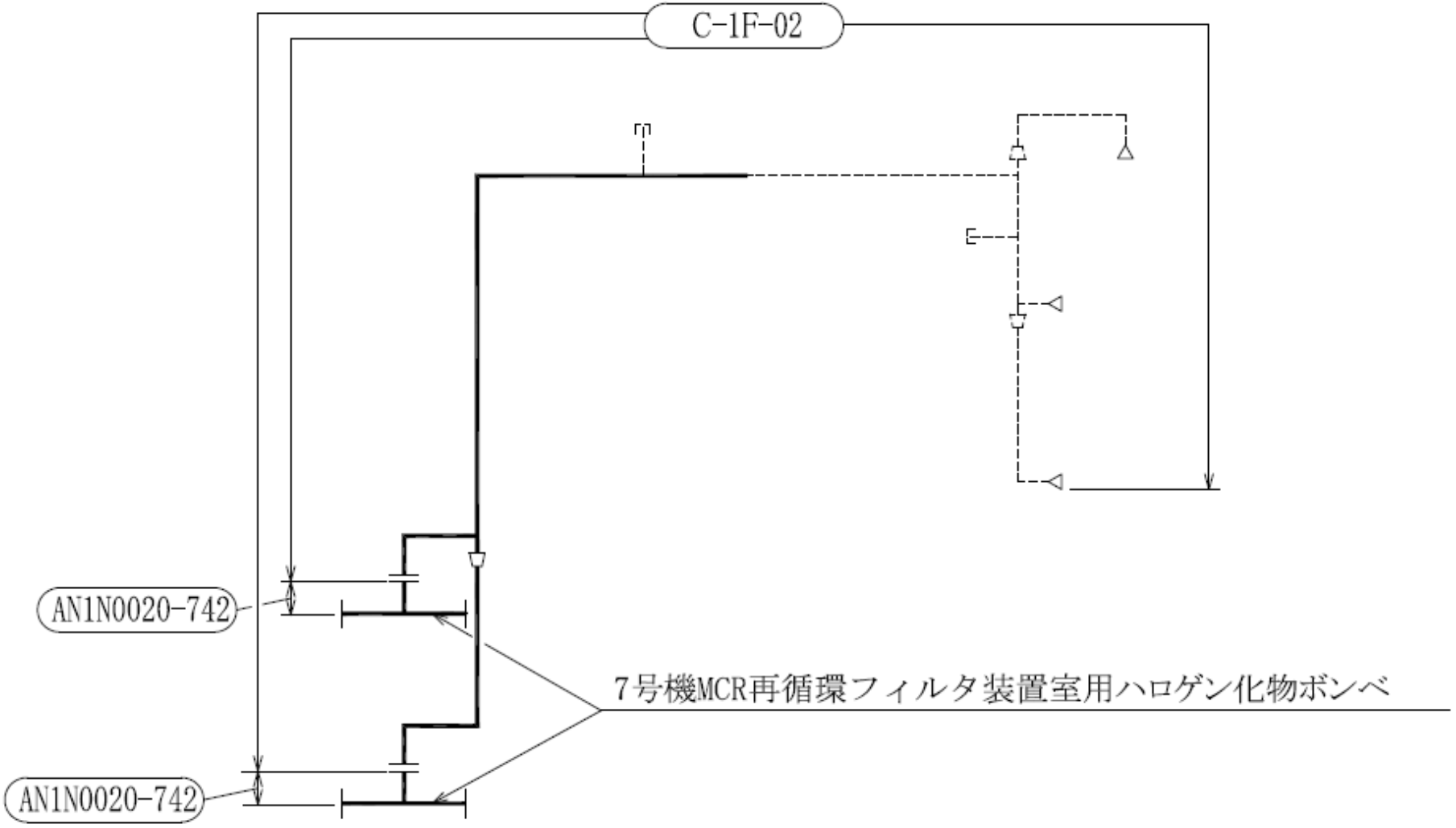
小空間固定式消火設備概略系統図（その 71）



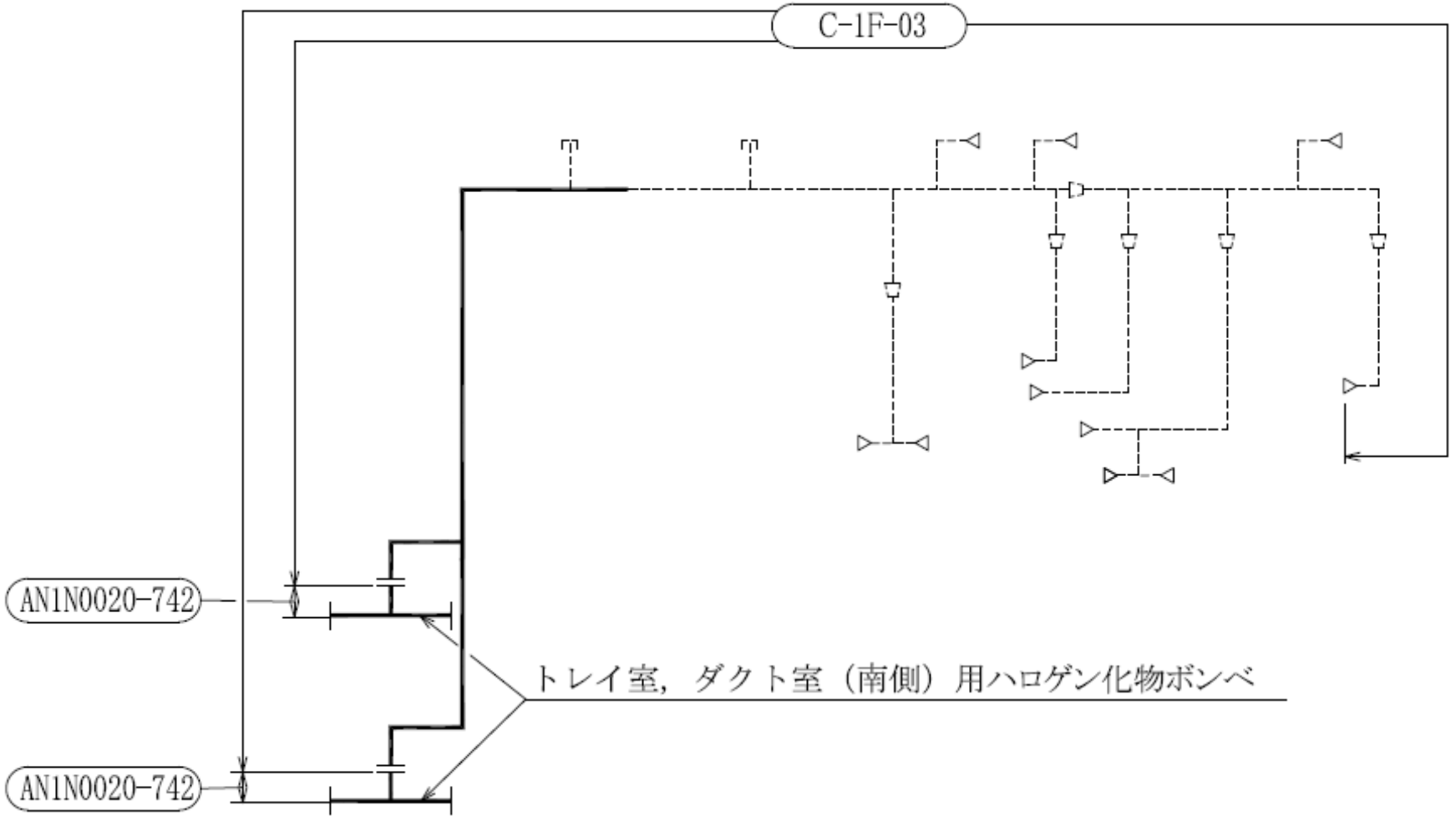
小空間固定式消火設備概略系統図（その 72）



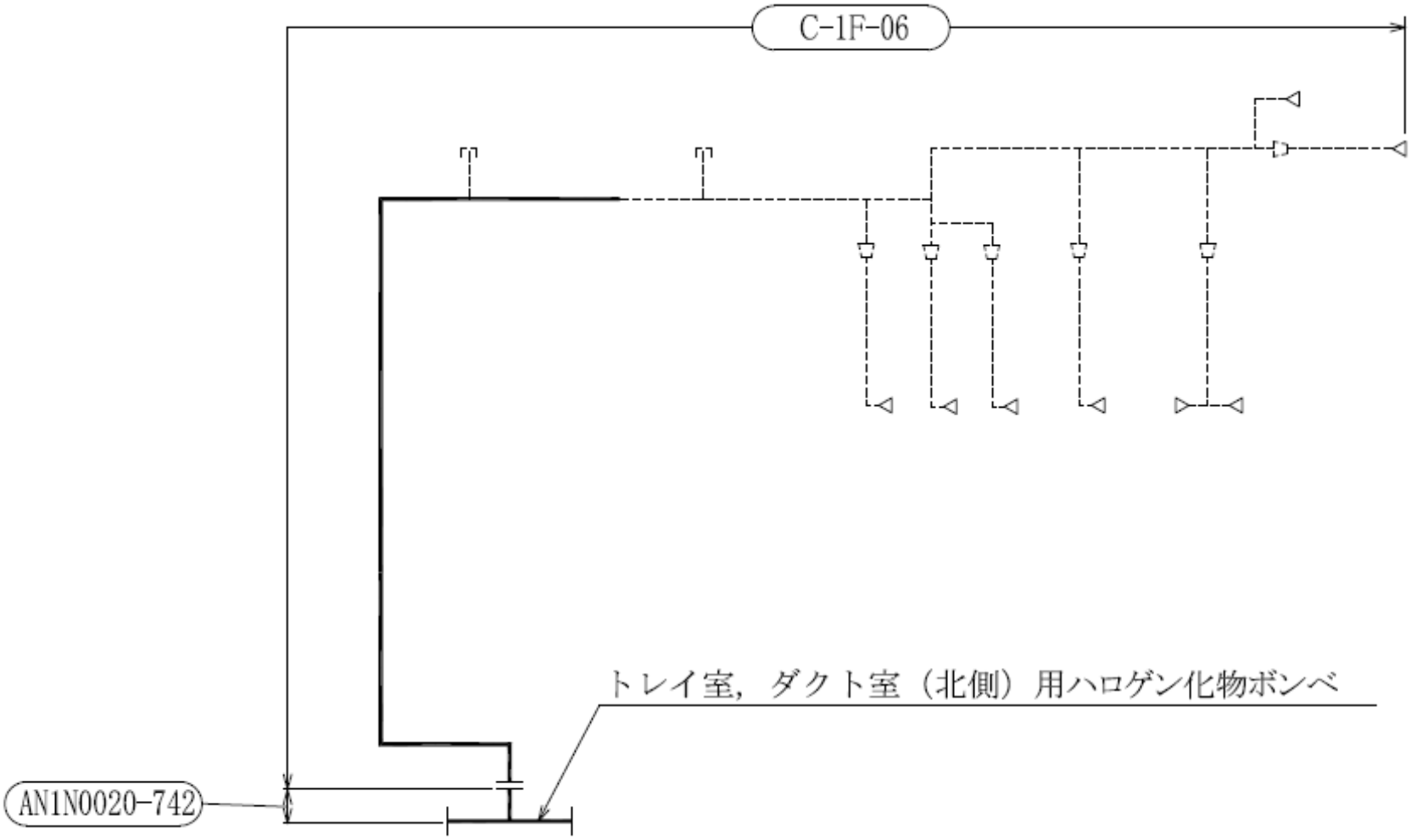
小空間固定式消火設備概略系統図（その 73）



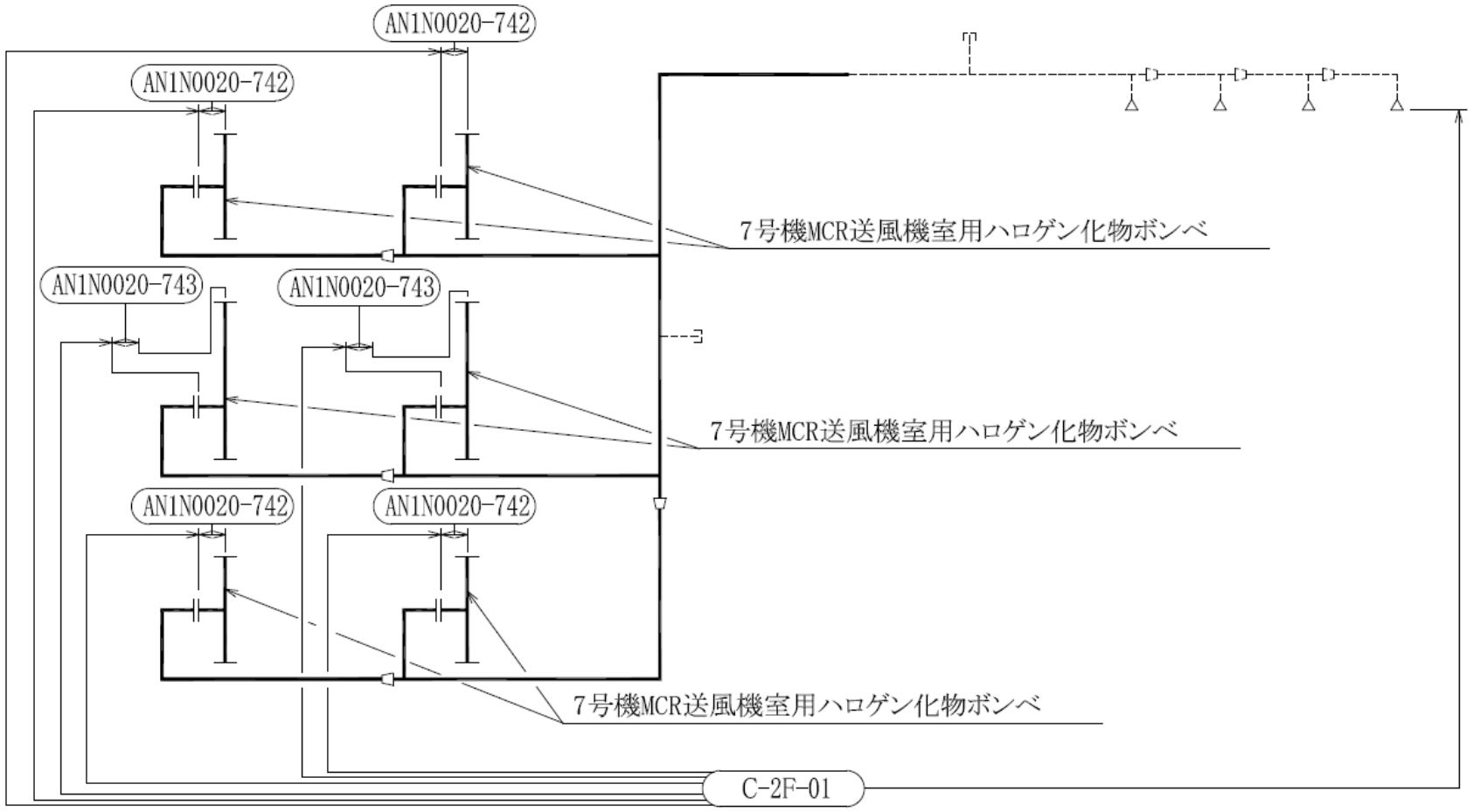
小空間固定式消火設備概略系統図（その 74）



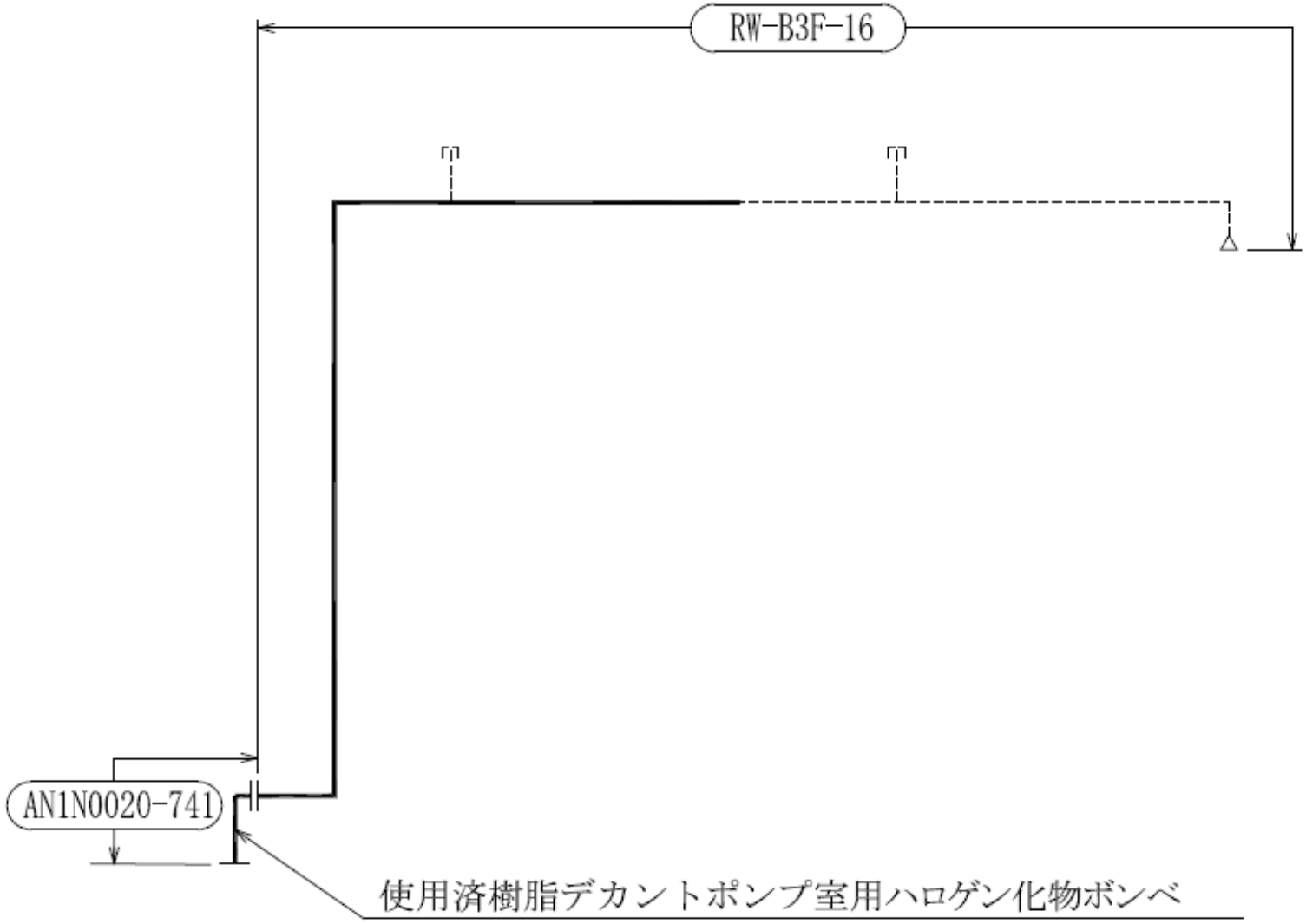
小空間固定式消火設備概略系統図（その 75）



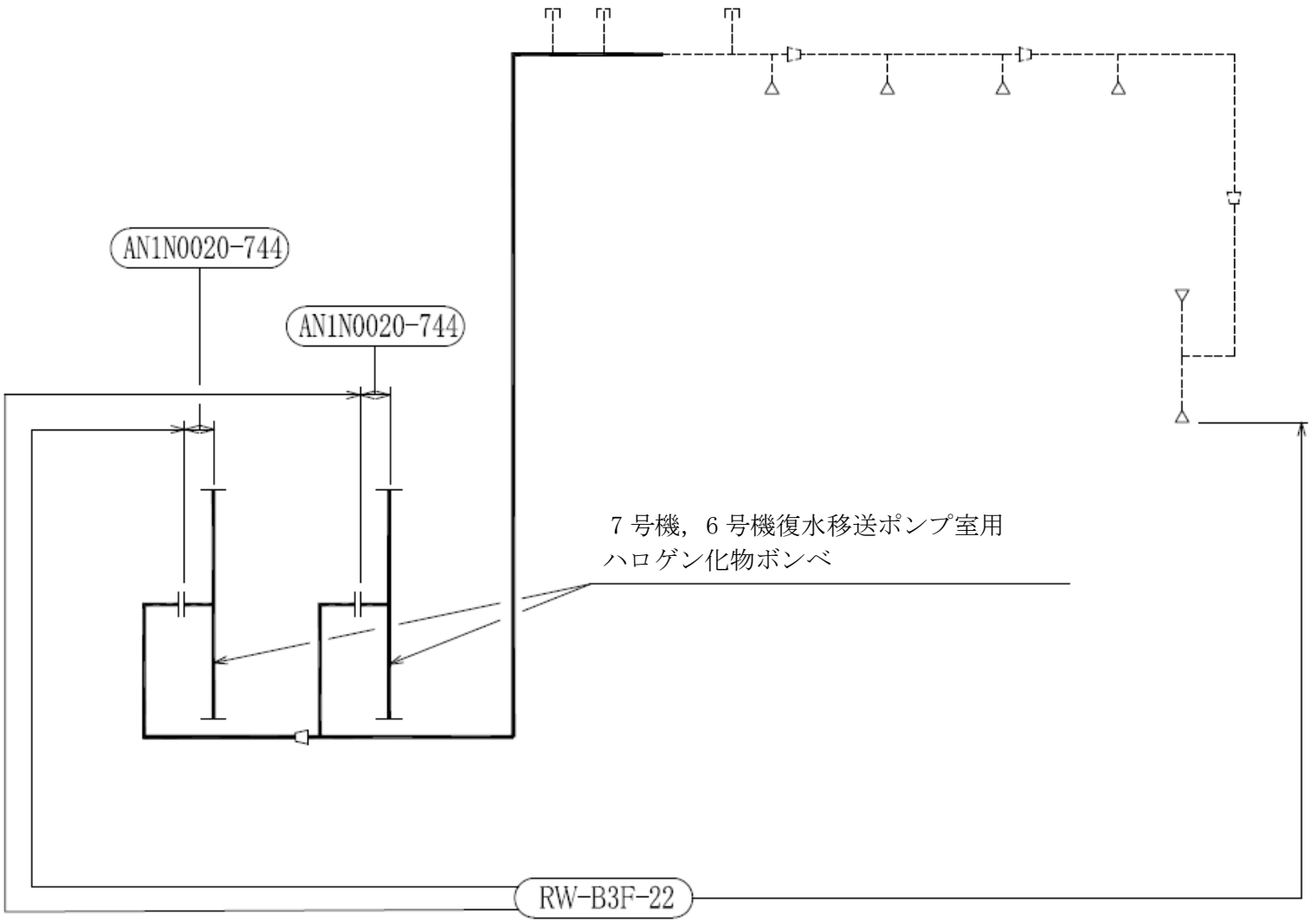
小空間固定式消火設備概略系統図（その 76）



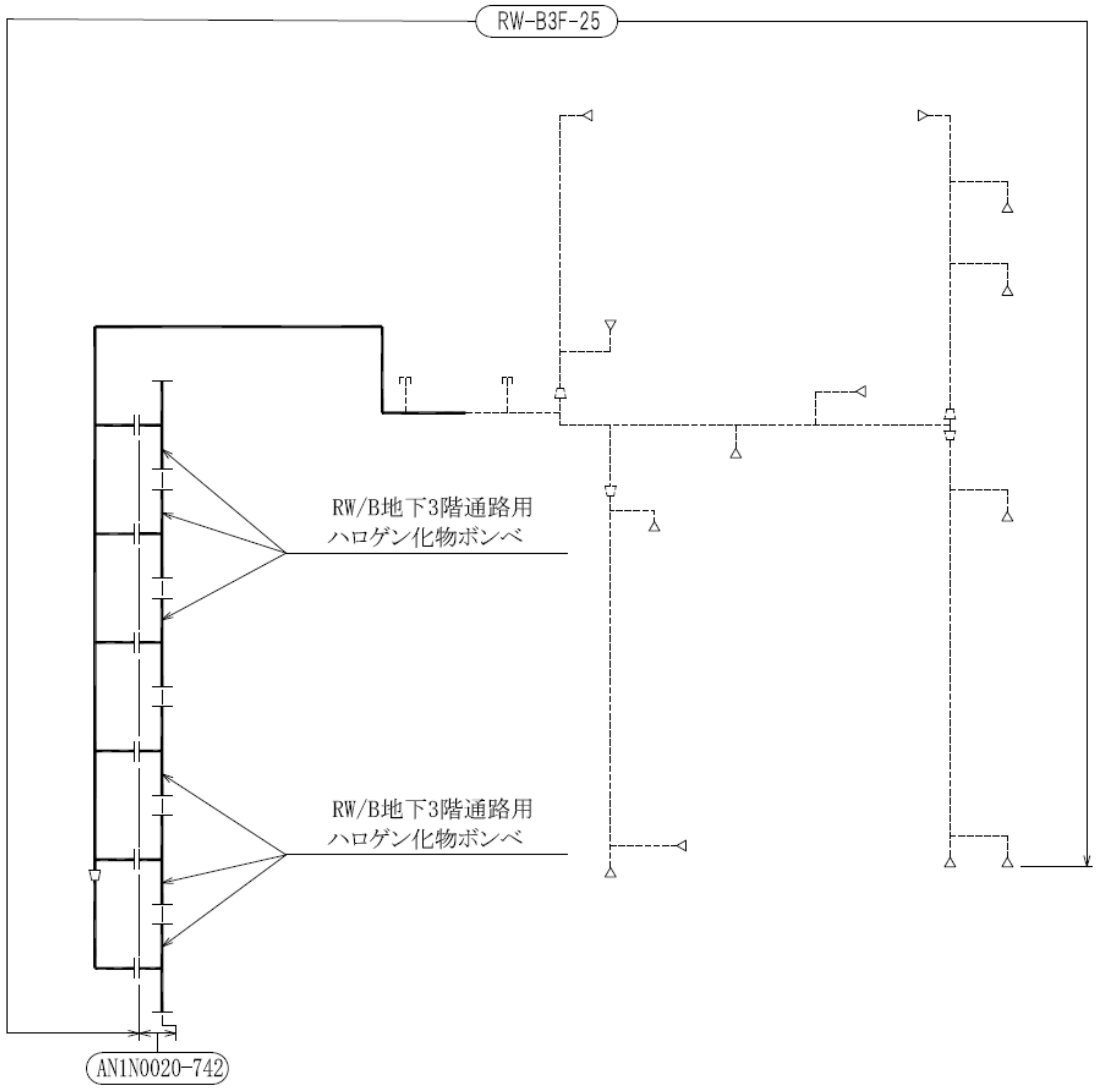
小空間固定式消火設備概略系統図（その 77）



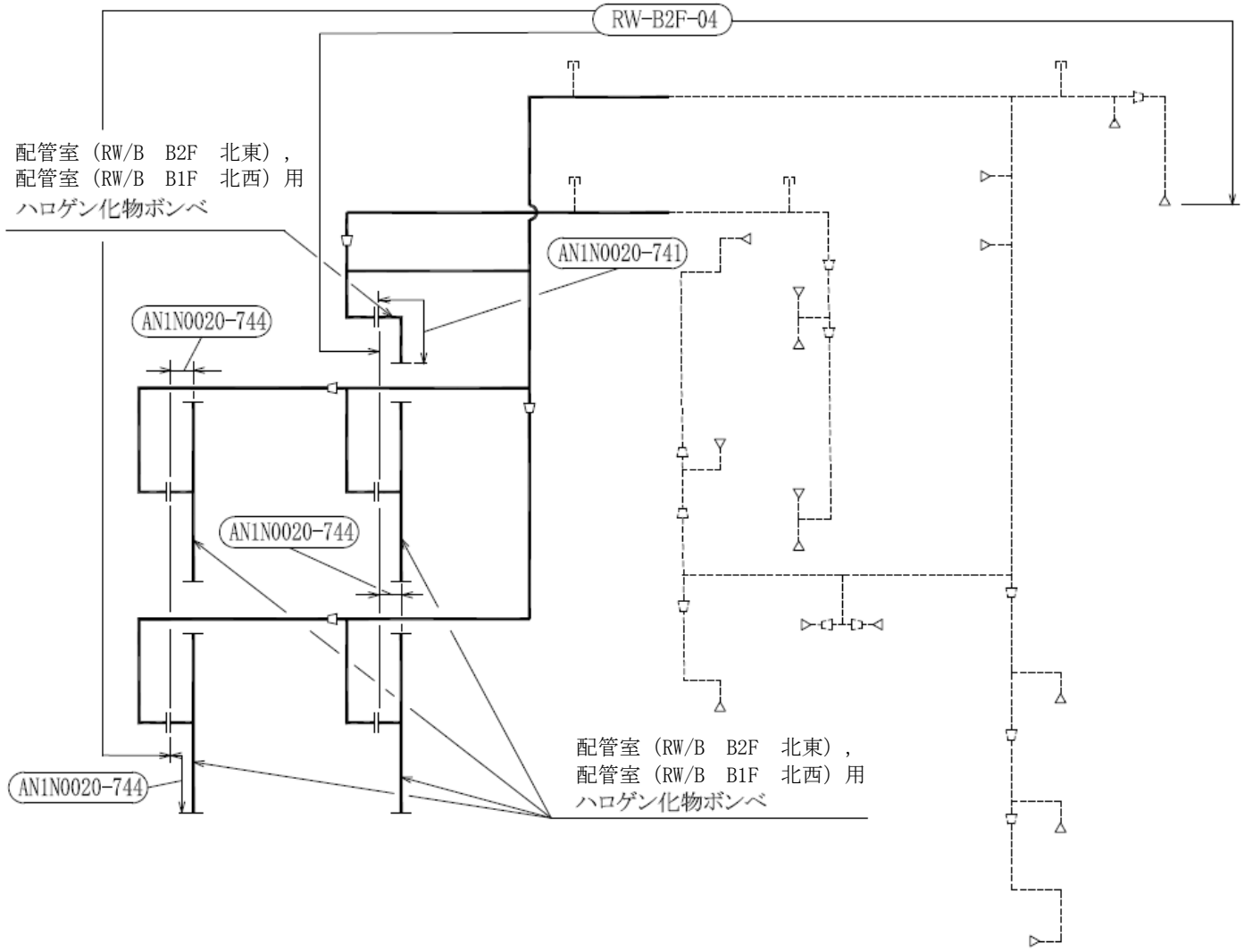
小空間固定式消火設備概略系統図（その 78）



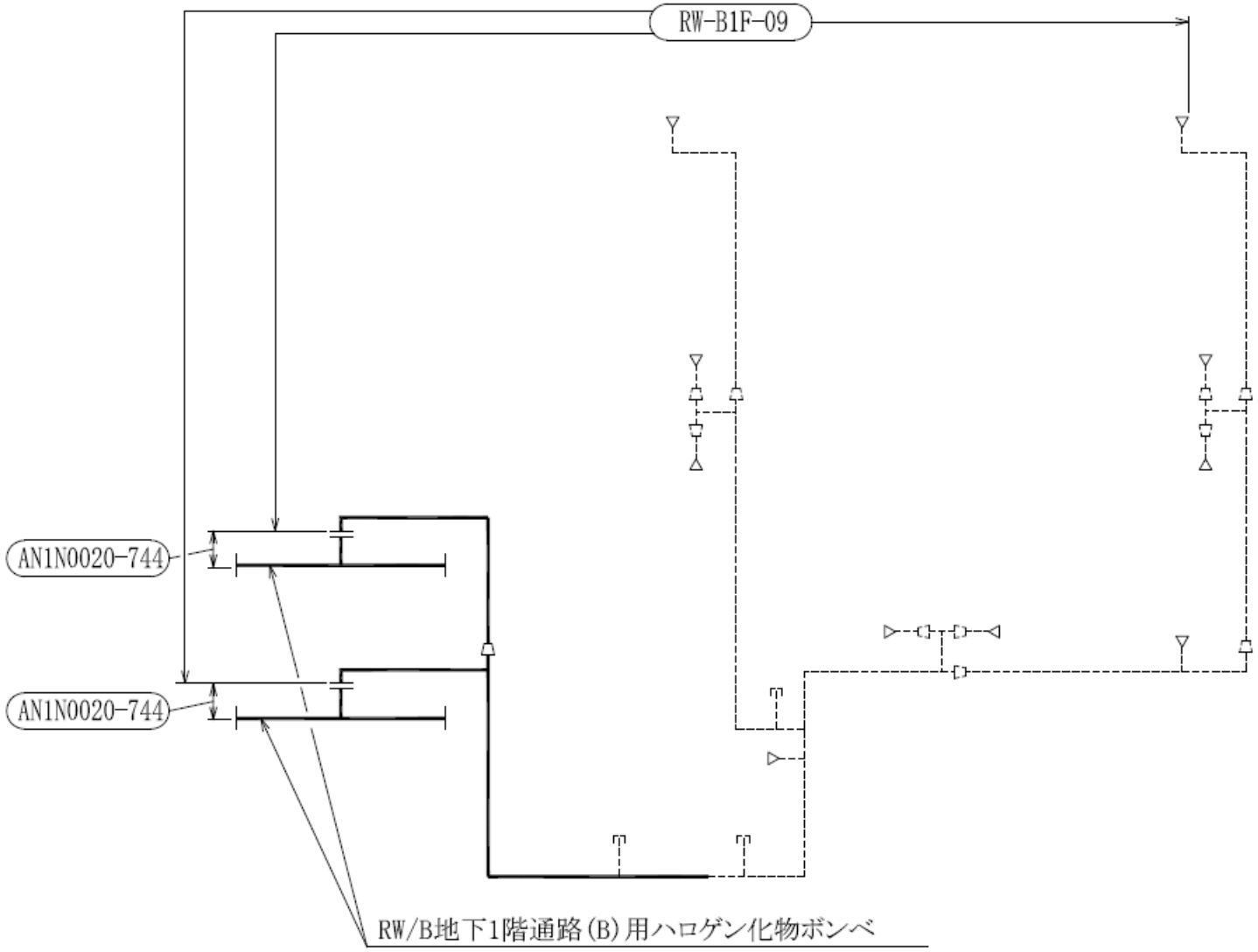
小空間固定式消火設備概略系統図（その 79）



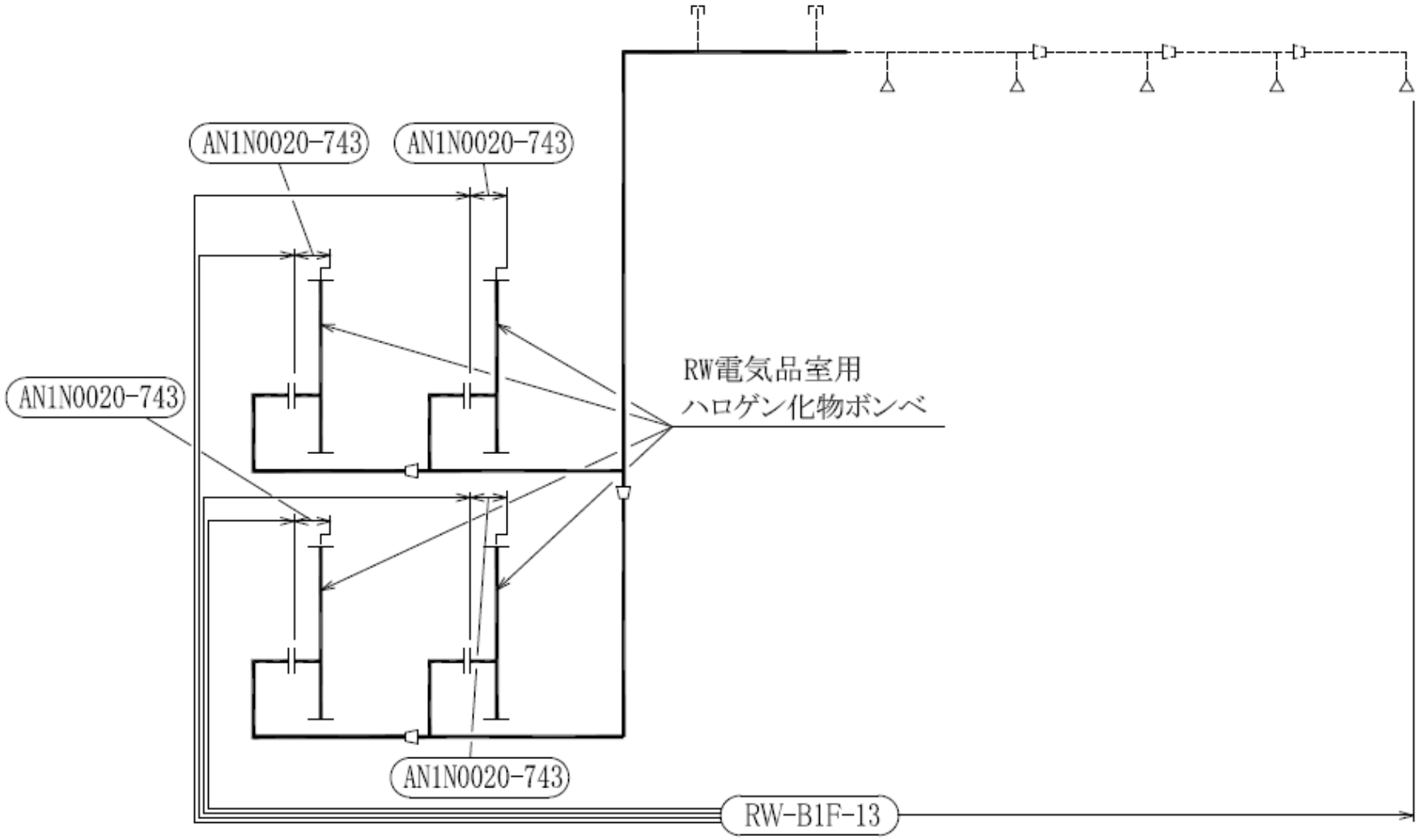
小空間固定式消火設備概略系統図（その 80）



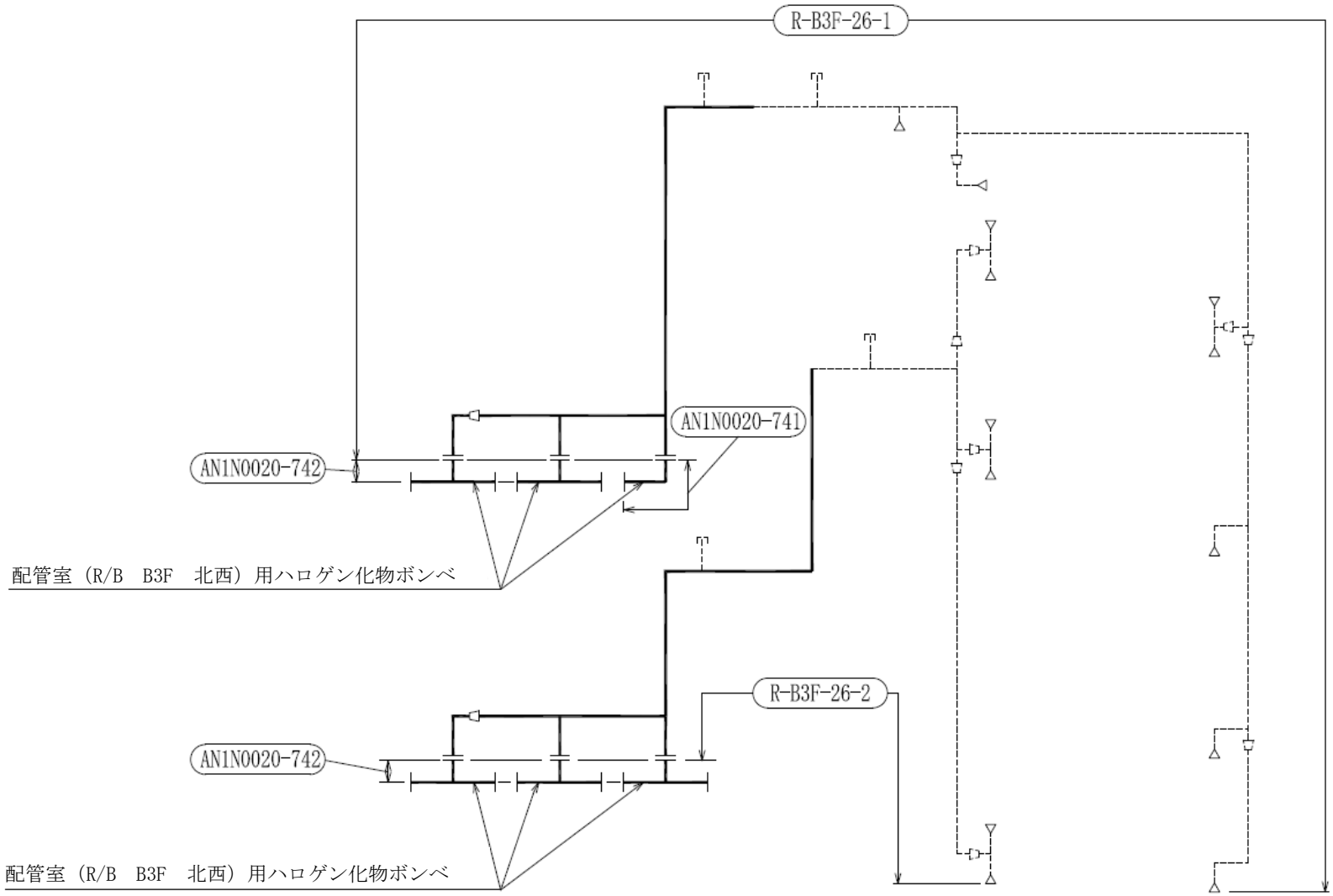
小空間固定式消火設備概略系統図（その 81）



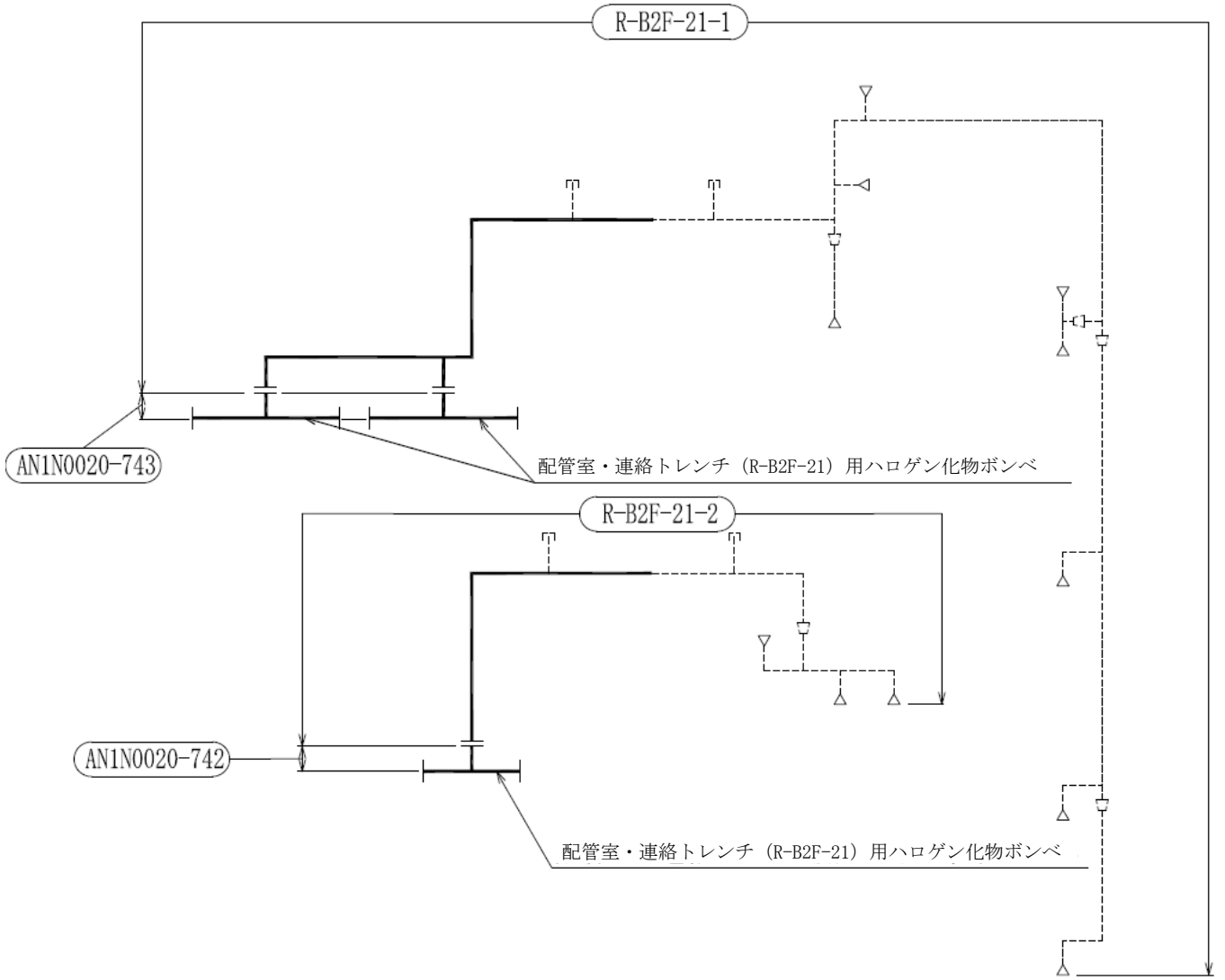
小空間固定式消火設備概略系統図（その 82）



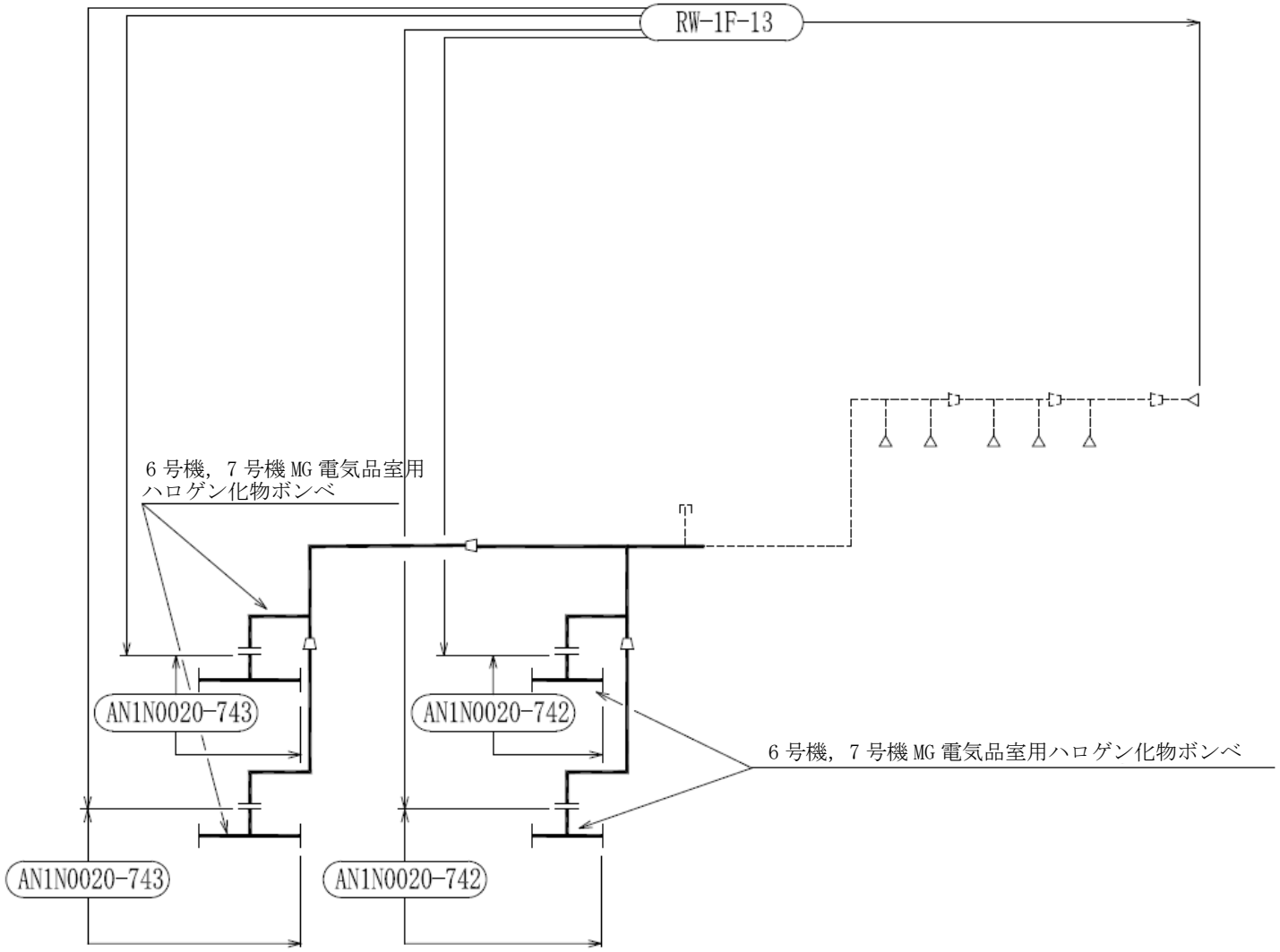
小空間固定式消火設備概略系統図（その 83）



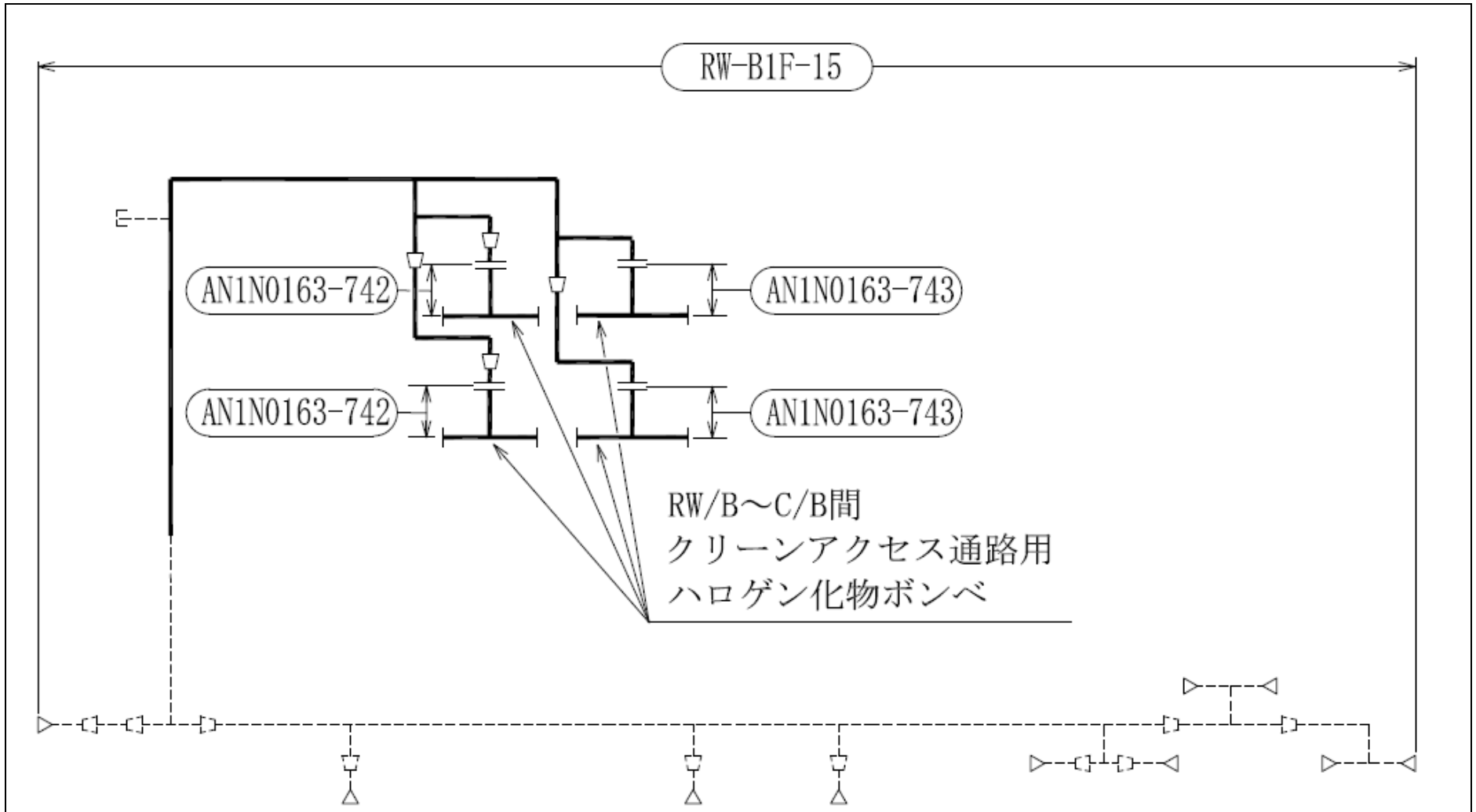
小空間固定式消火設備概略系統図（その 84）



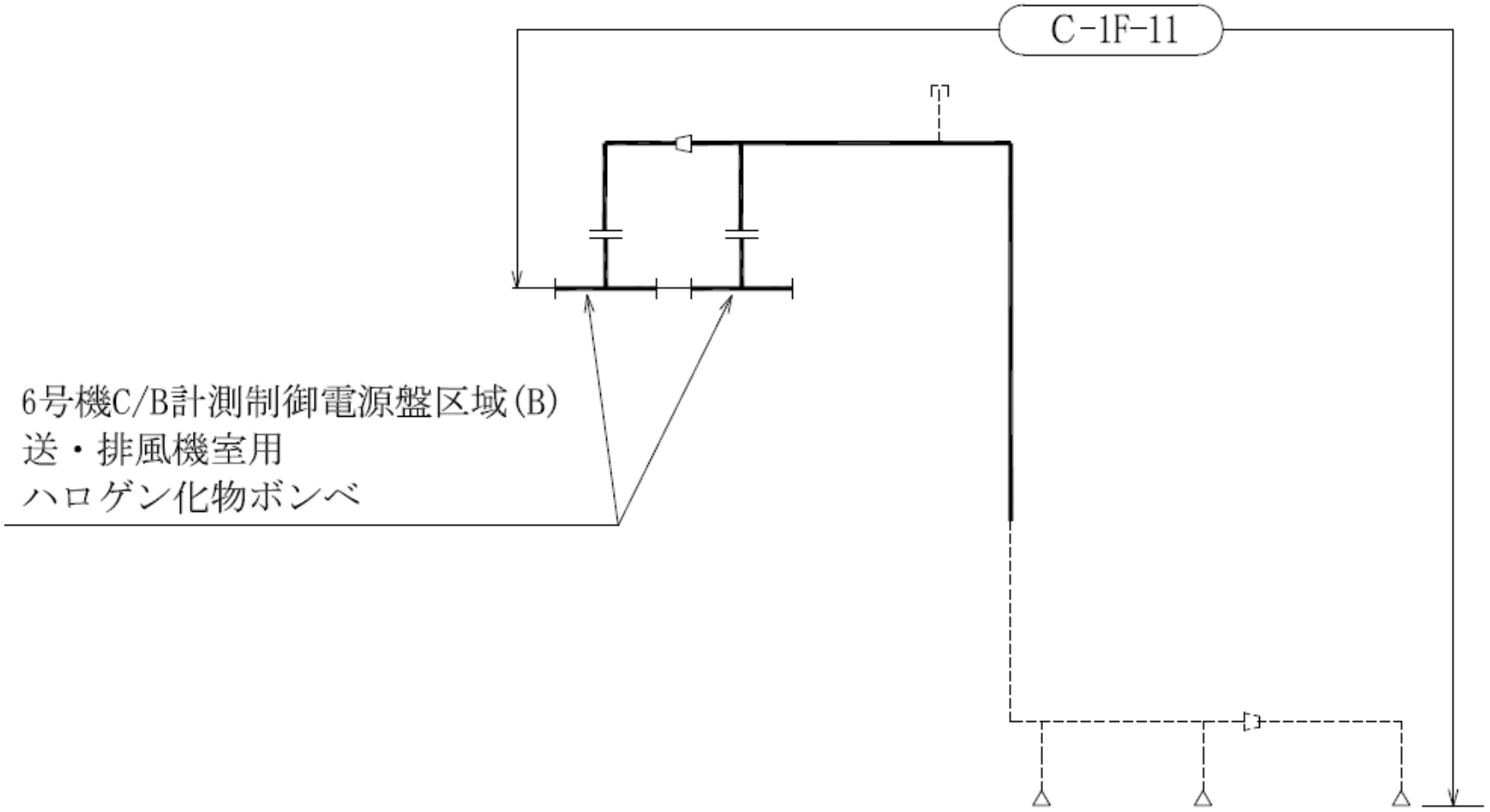
小空間固定式消火設備概略系統図（その 85）



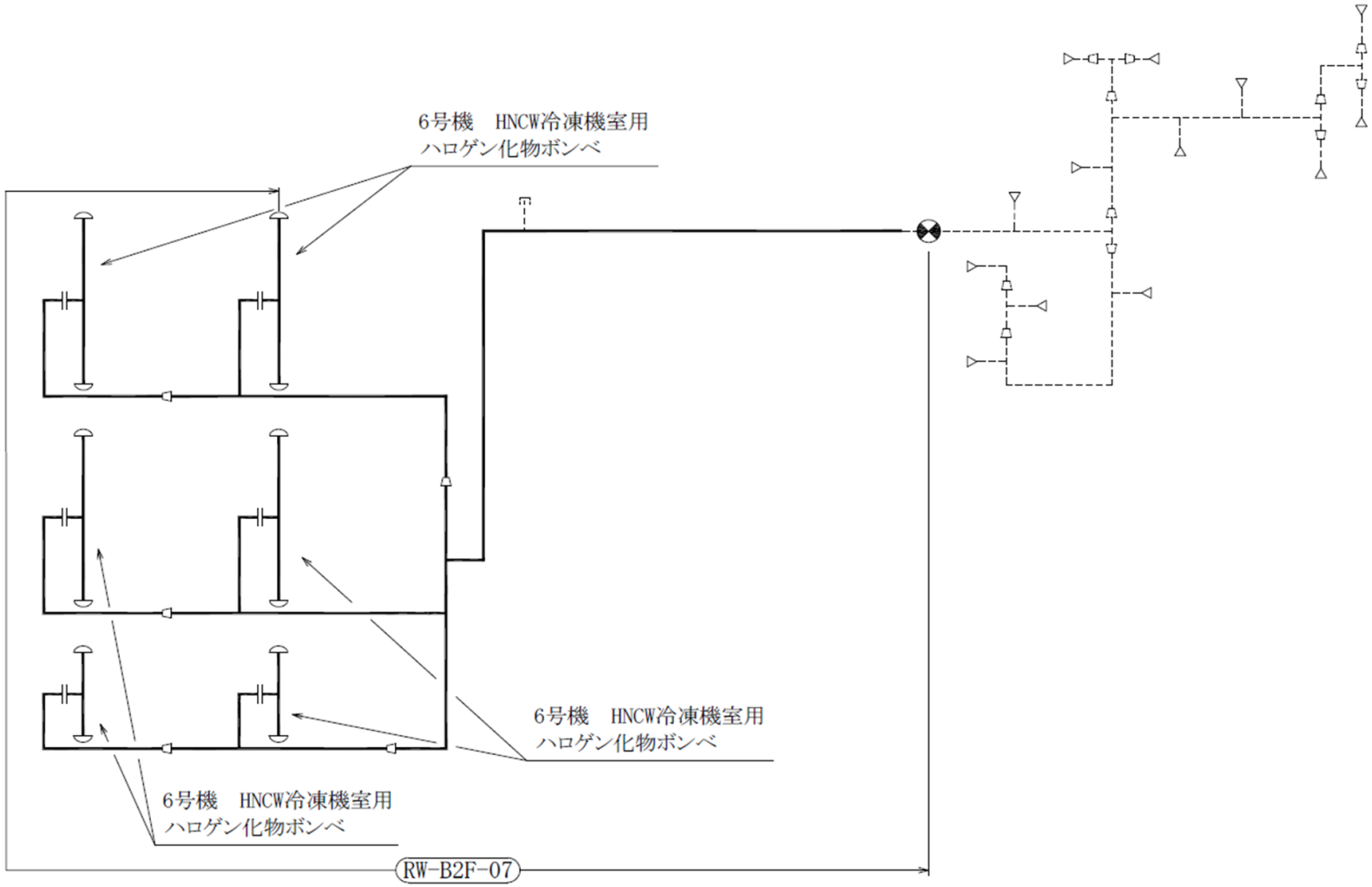
小空間固定式消火設備概略系統図（その 86）



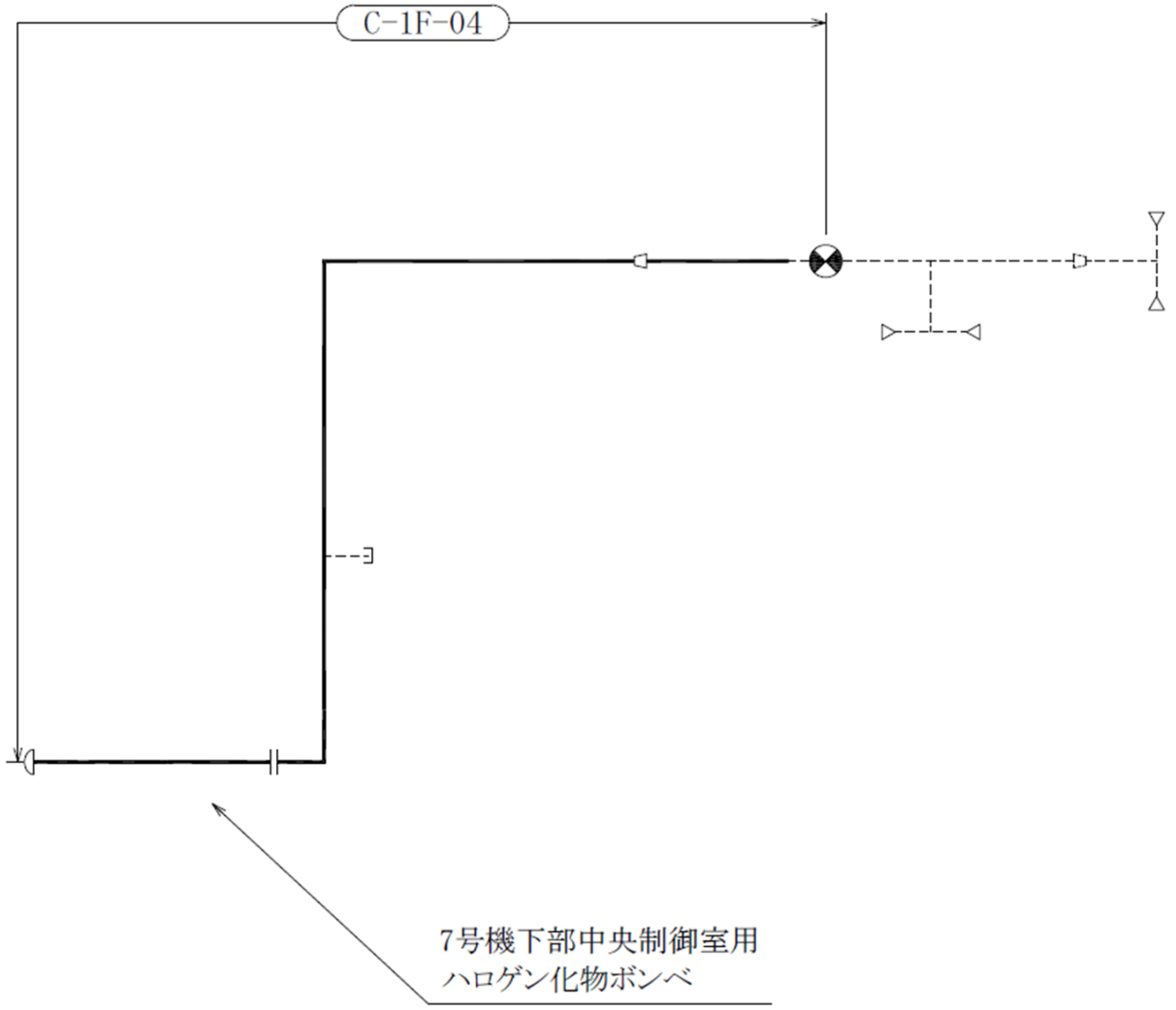
小空間固定式消火設備概略系統図（その 87）



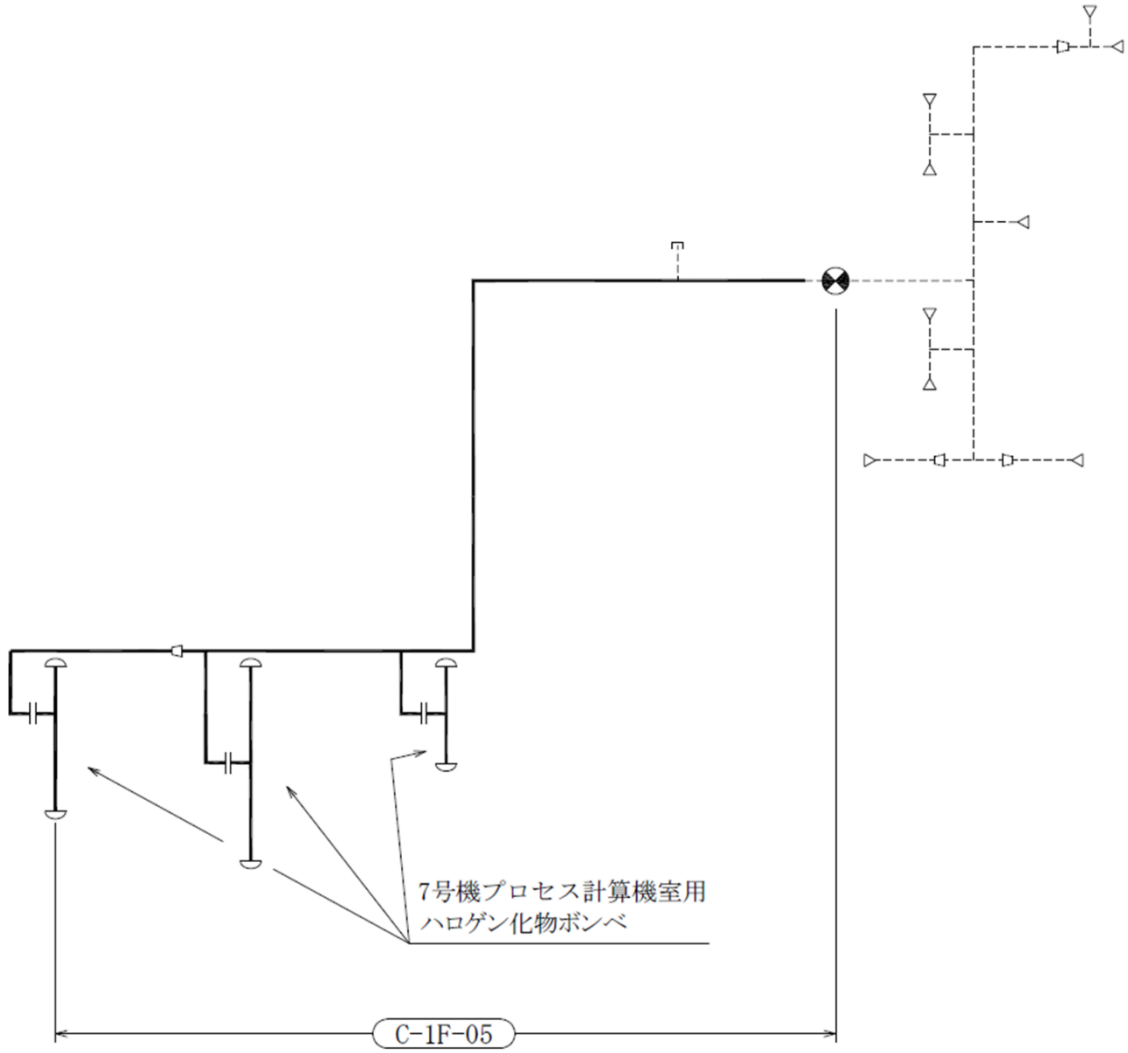
小空間固定式消火設備概略系統図（その 88）



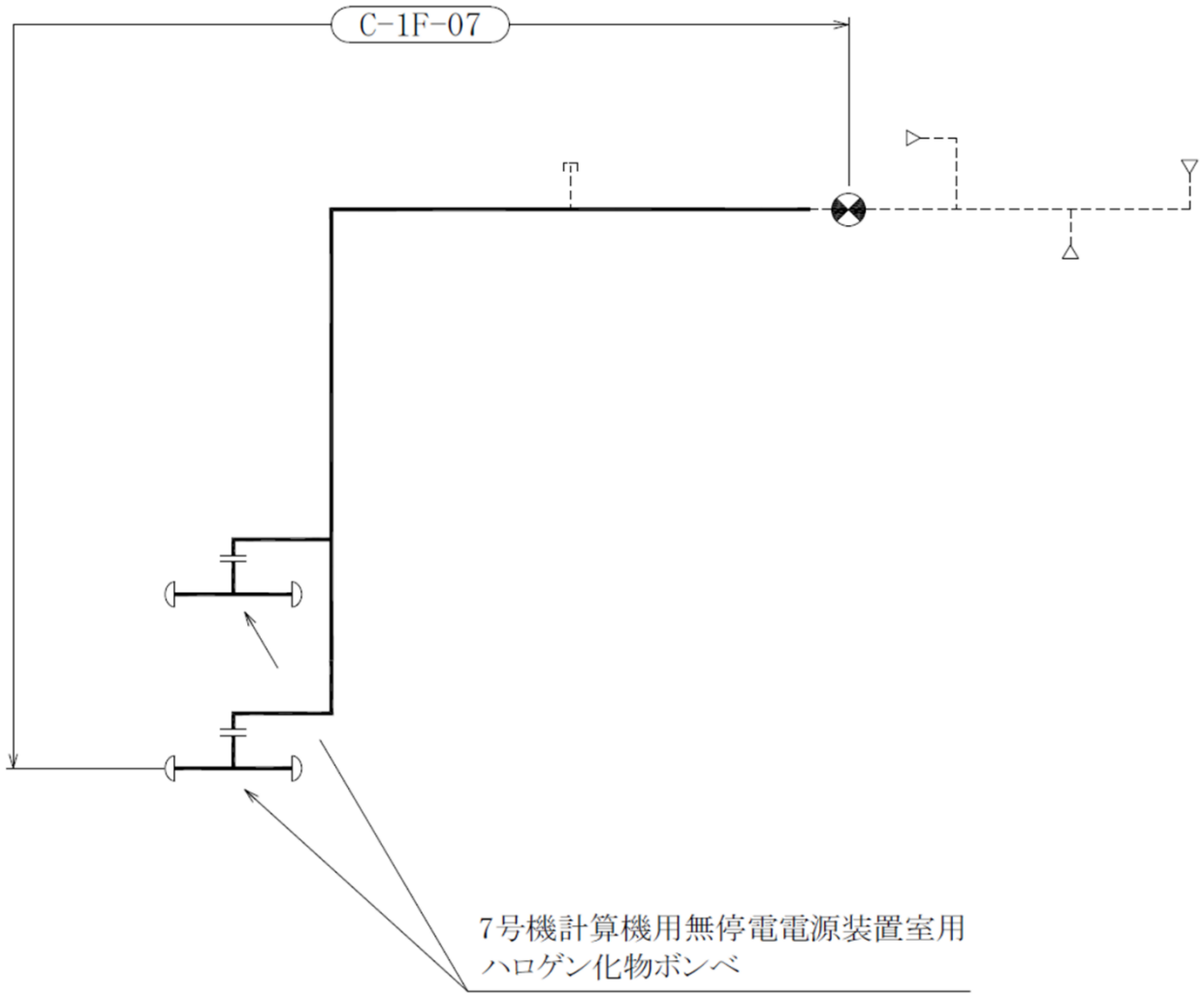
小空間固定式消火設備概略系統図（その 89）



小空間固定式消火設備概略系統図（その 90）

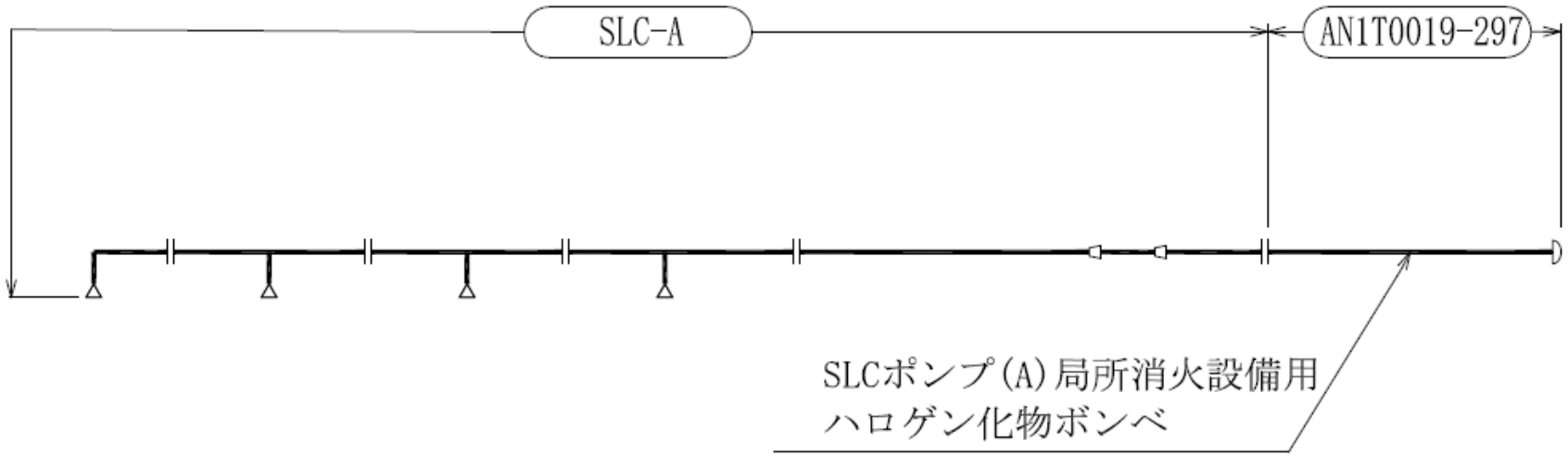


小空間固定式消火設備概略系統図（その 91）

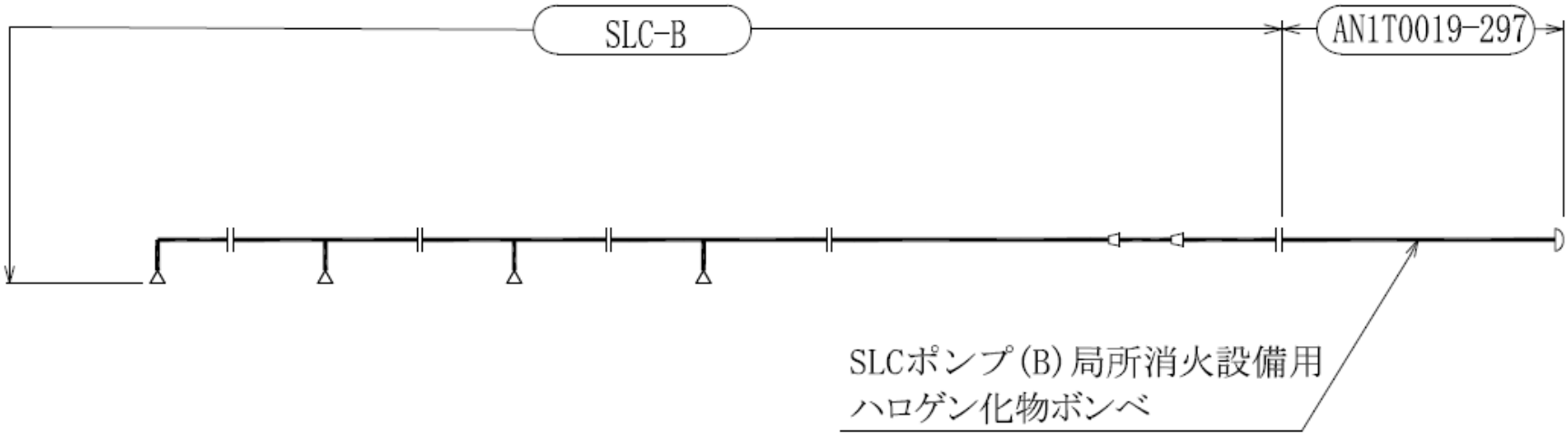


小空間固定式消火設備概略系統図（その 92）

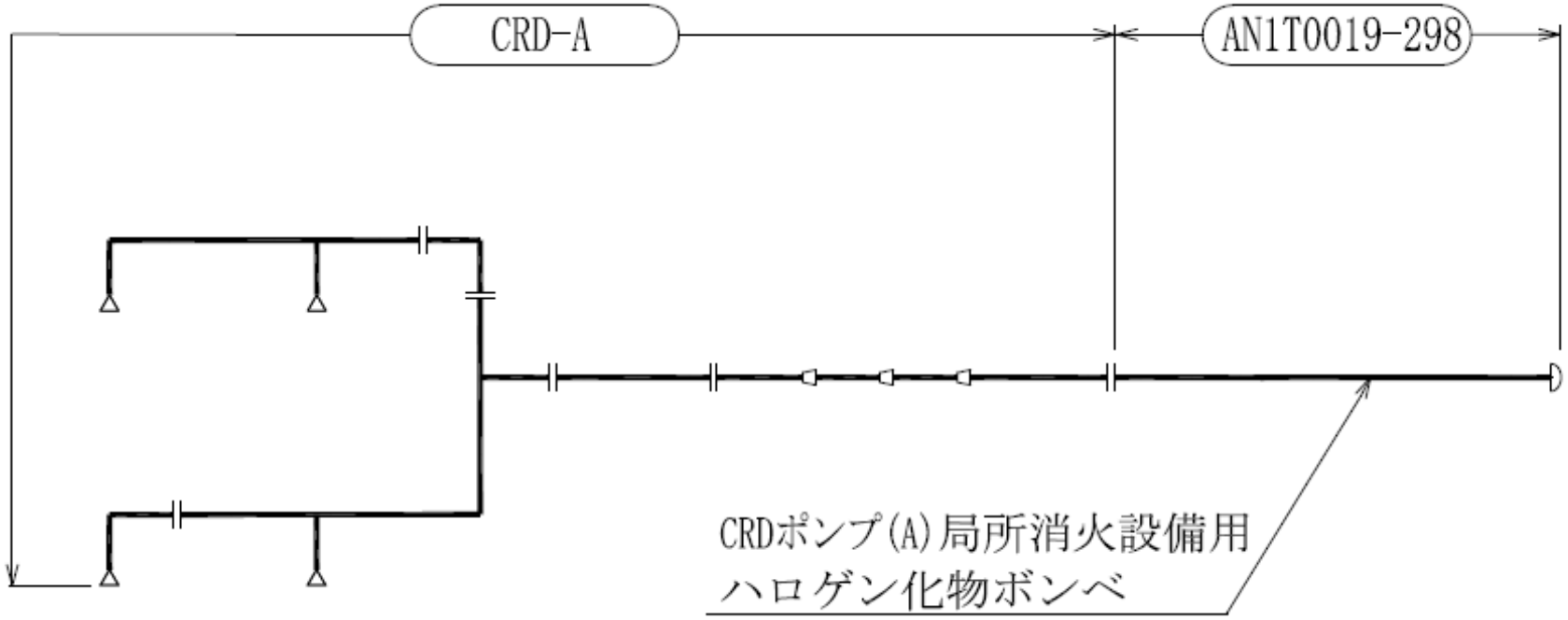
2.1.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備



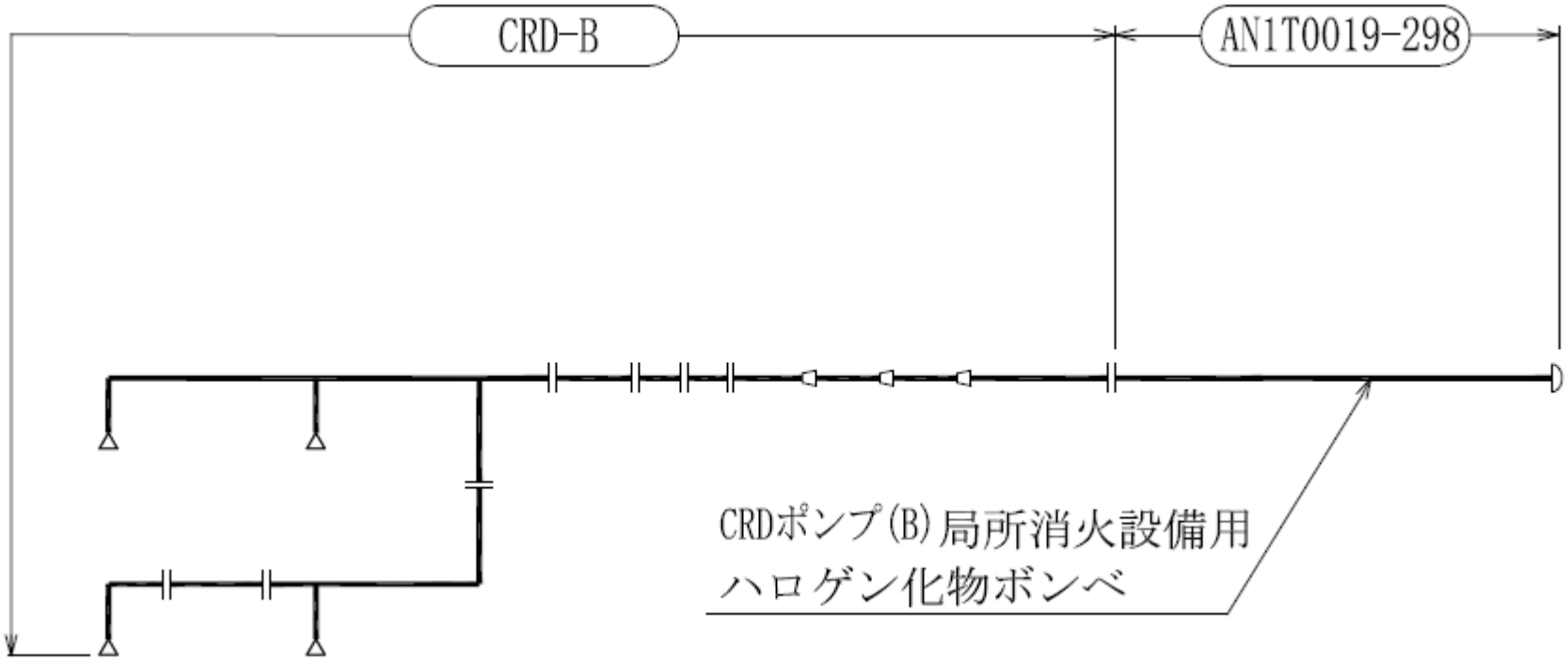
SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備概略系統図（その 1）



SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備概略系統図（その 2）

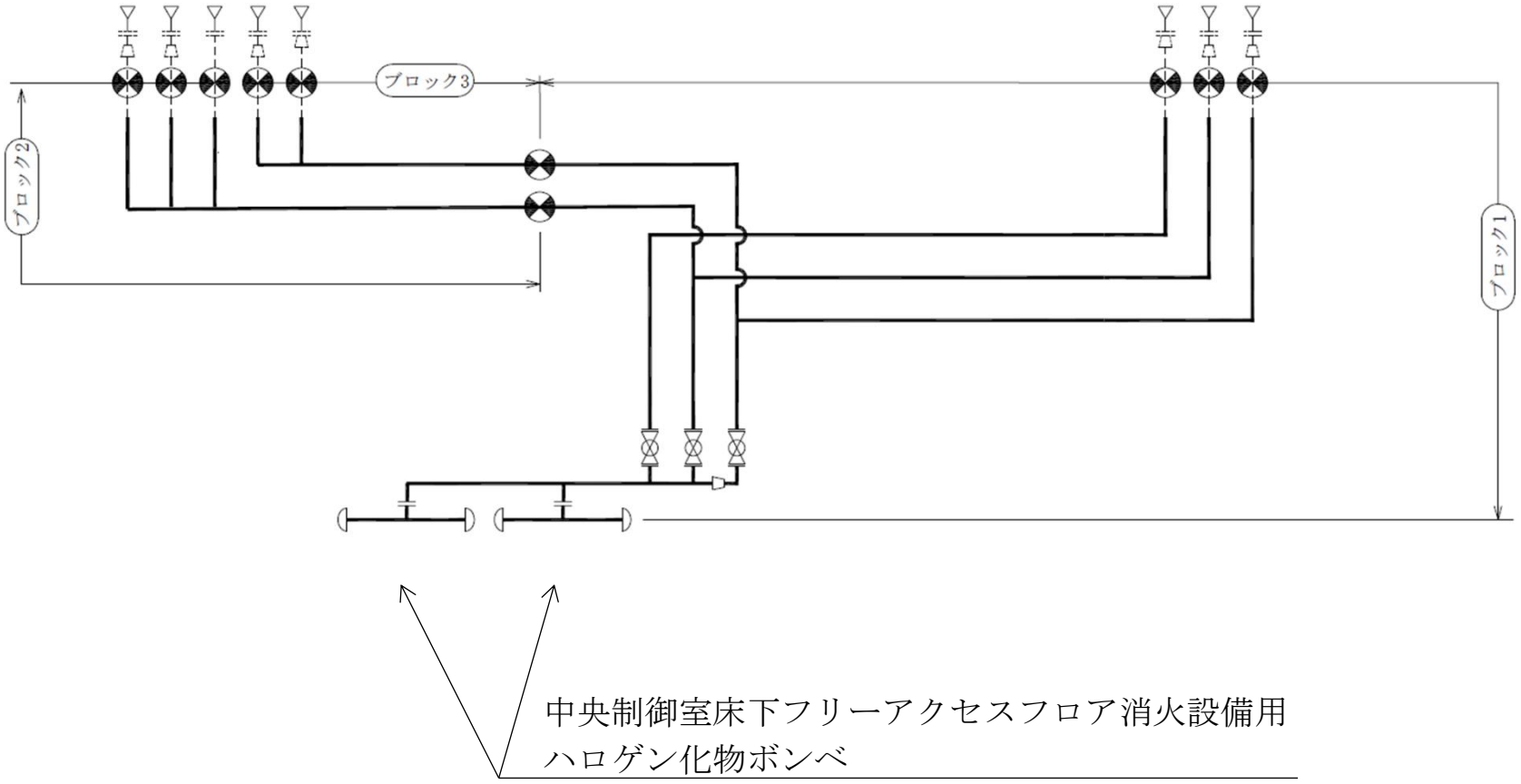


SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備概略系統図（その 3）



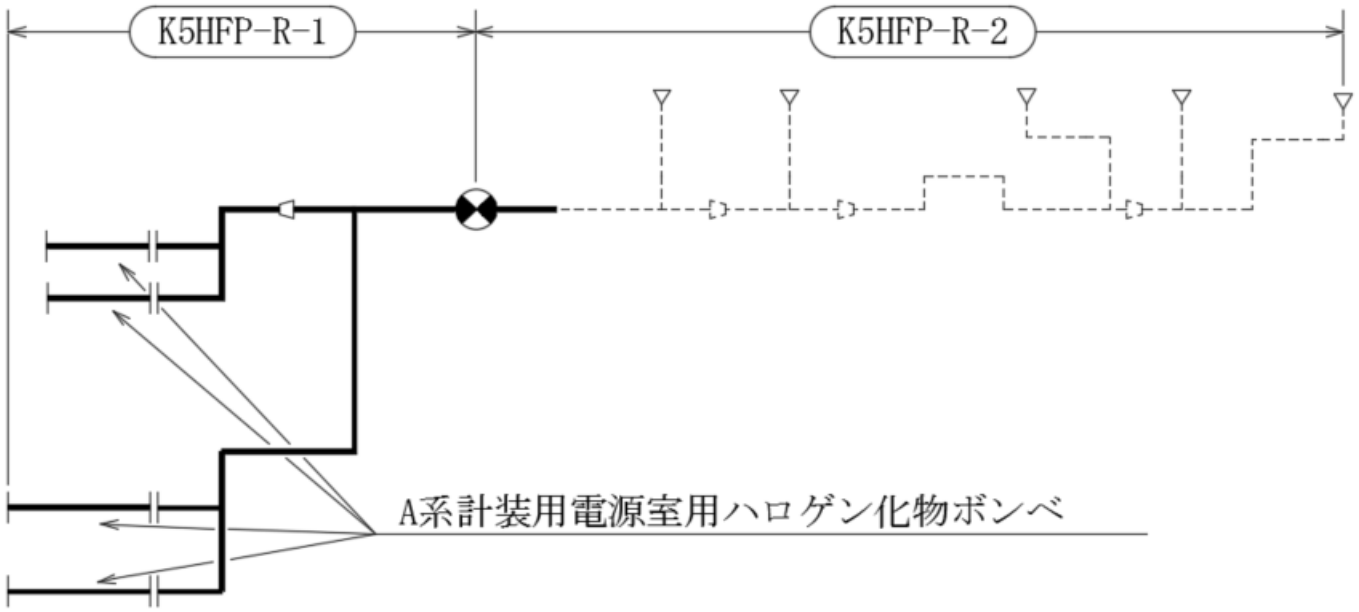
SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備概略系統図（その 4）

2.1.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

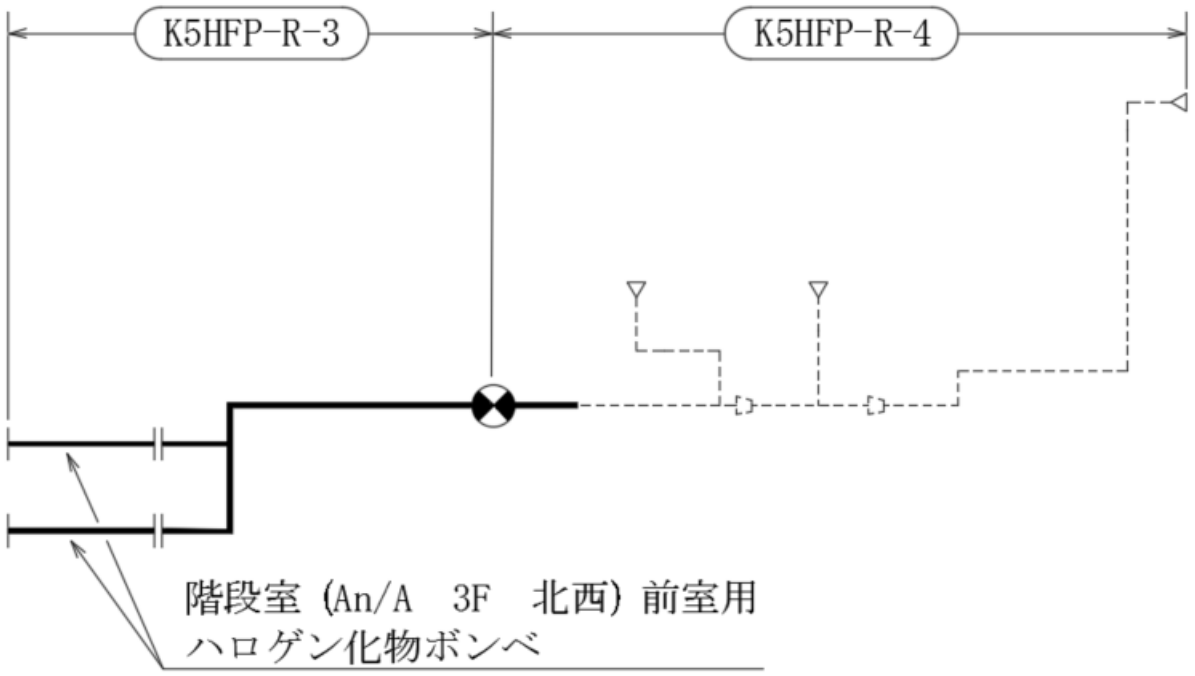


中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備概略系統図

2.1.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備



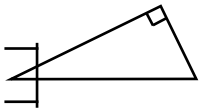
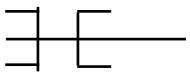
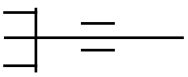
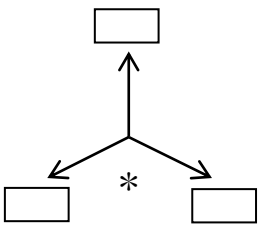
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備概略系統図（その 1）



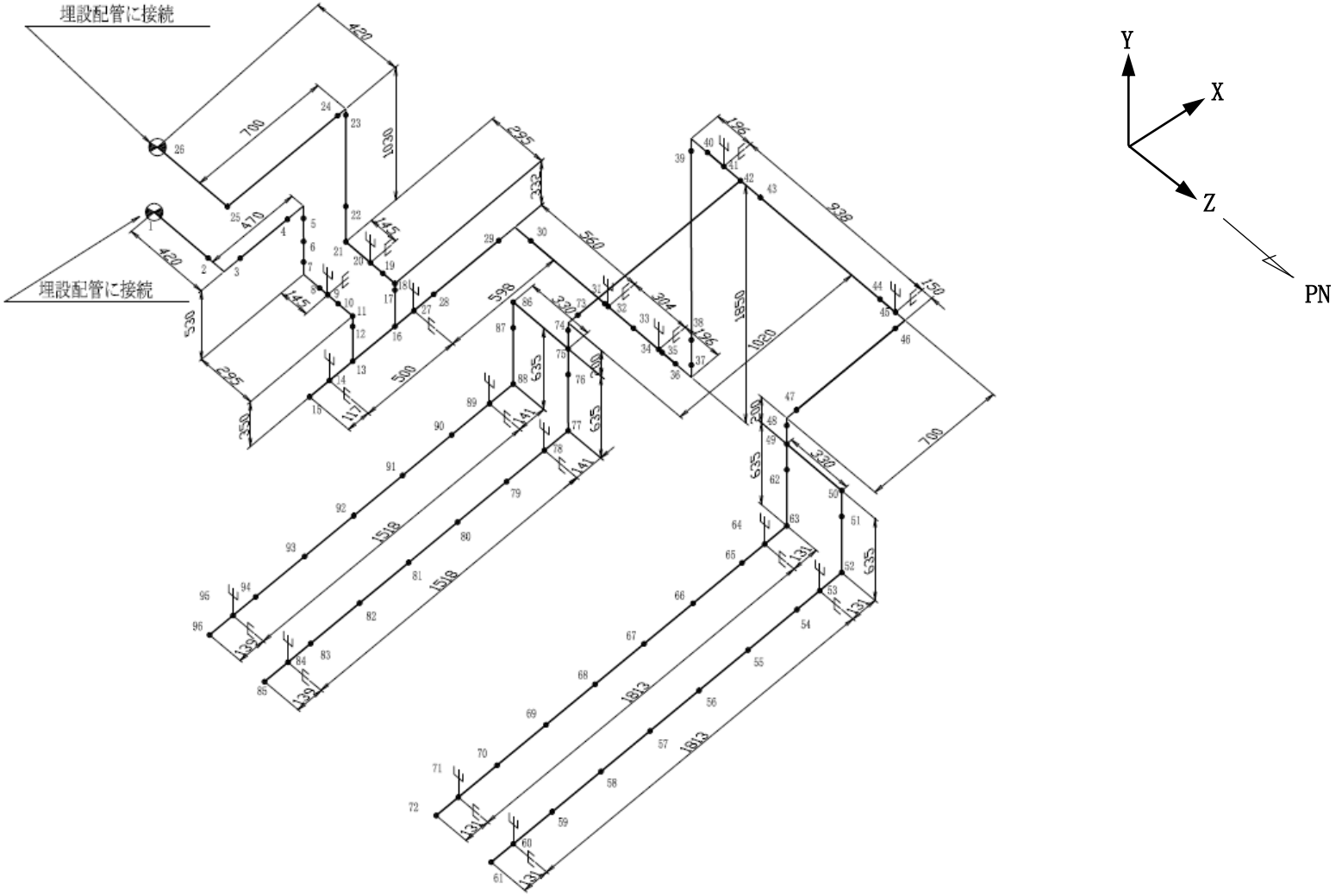
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備概略系統図（その 2）

2.2　鳥瞰図

評価結果記載の解析モデル図を添付する。鳥瞰図に示す記号例を下表に示す。

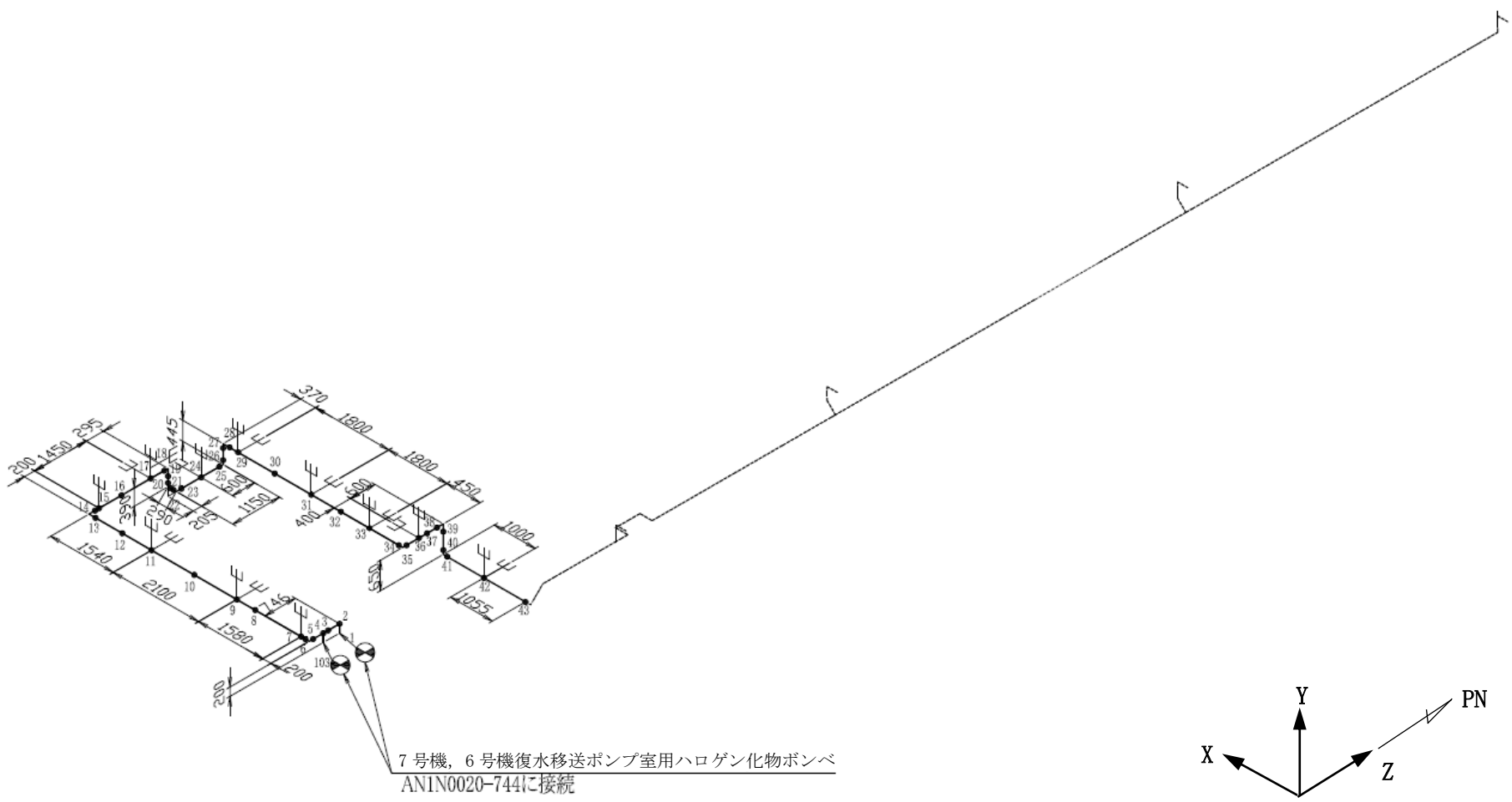
記号	内容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント（本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(㎜) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。） 注：鳥瞰図中の寸法の単位は㎜である。

2.2.1　二酸化炭素消火設備

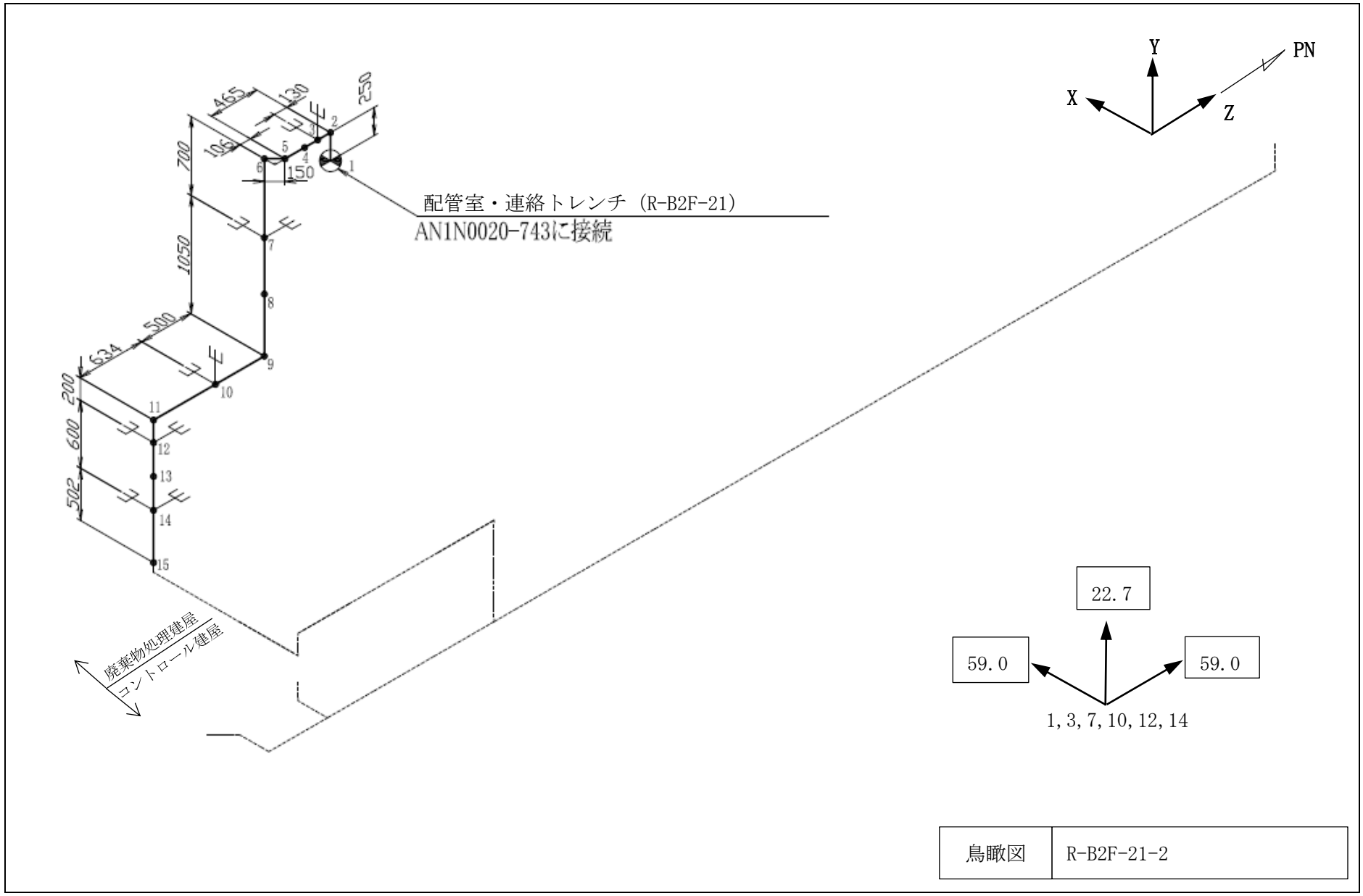


鳥瞰図	FP-B0-B

2.2.2　小空間固定式消火設備

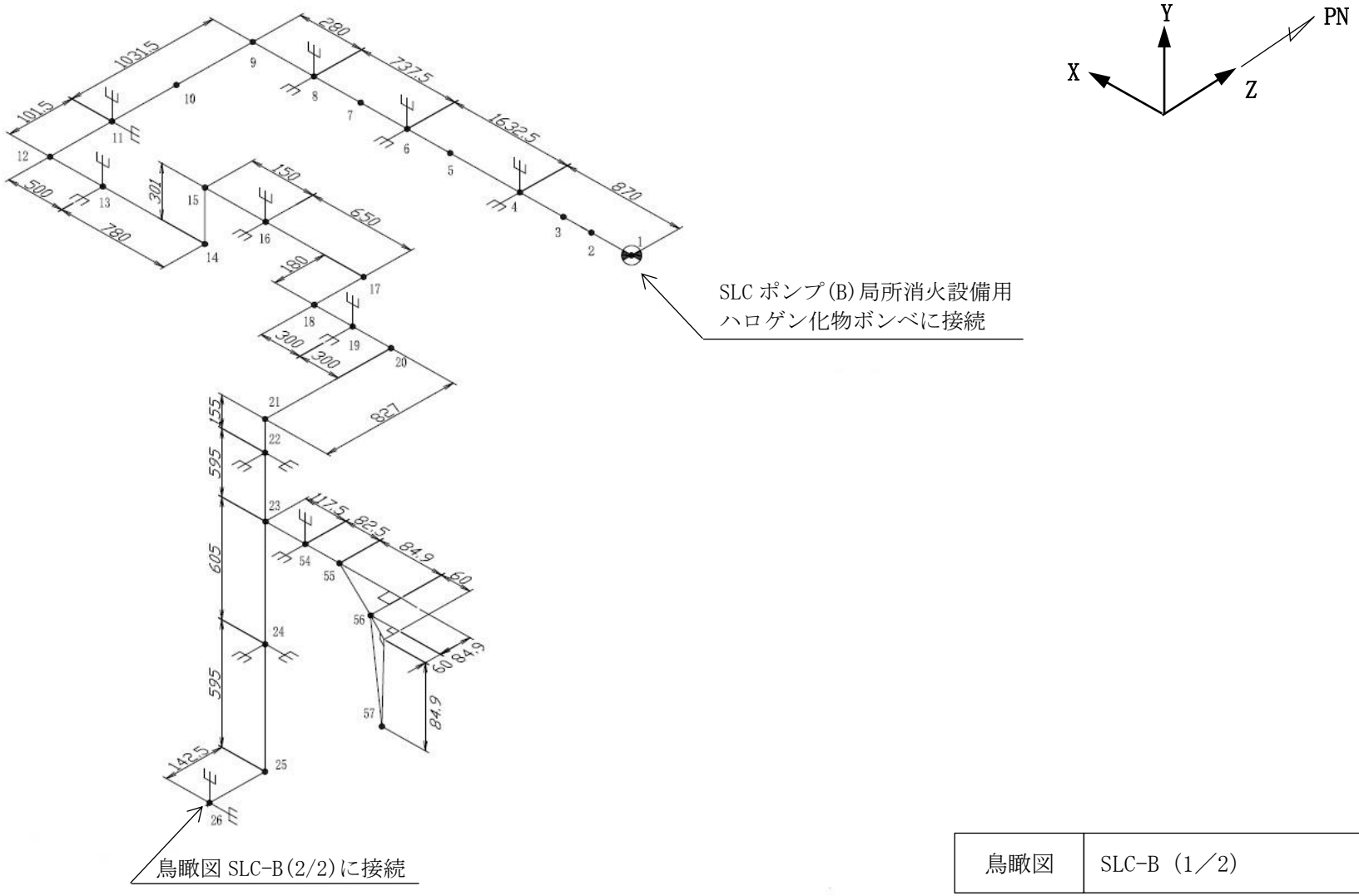


鳥瞰図	RW-B3F-22

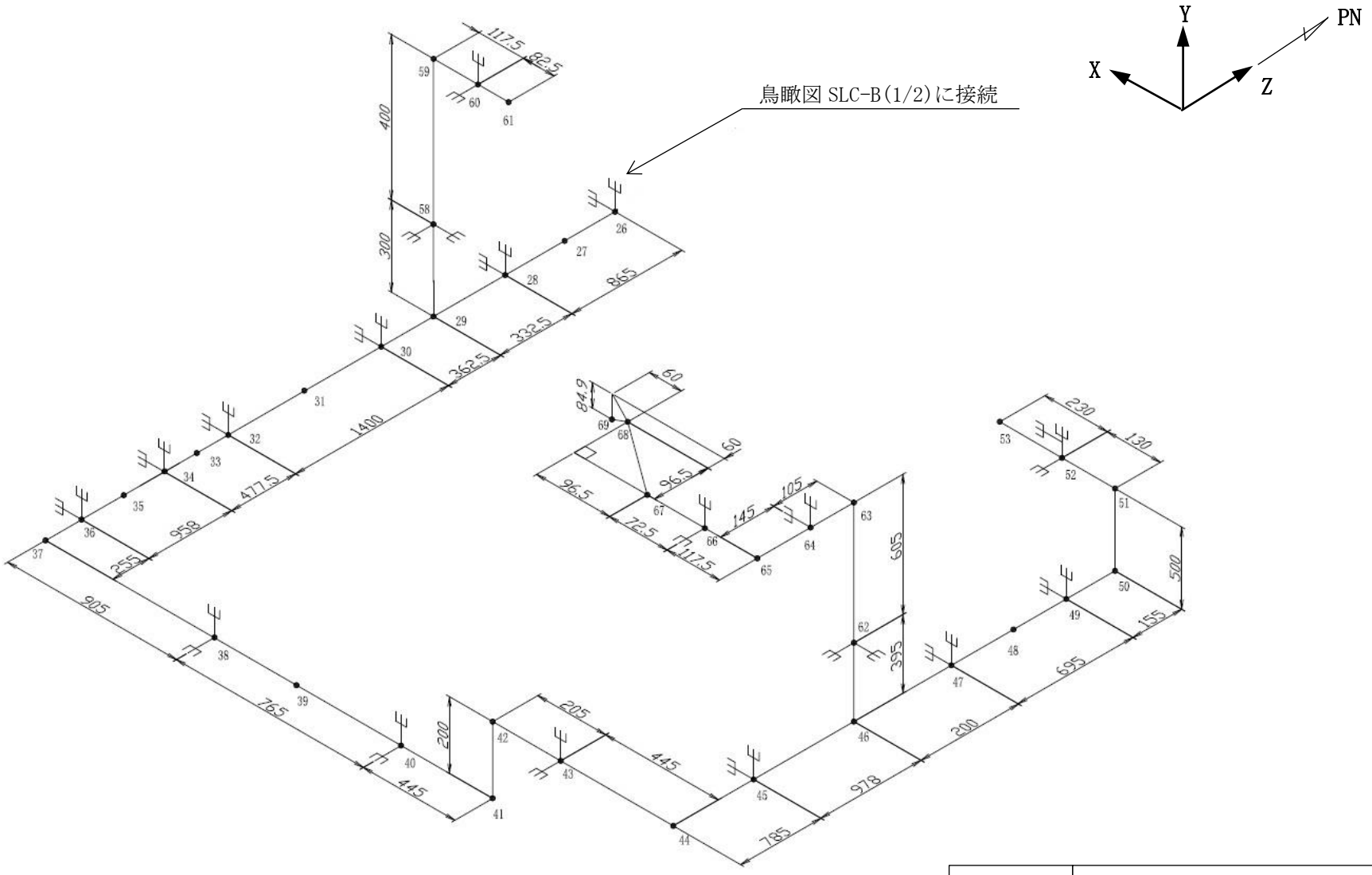

Y
X
Z
PN
465
130
250
700
105
150
1050
500
634
200
600
502
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
配管室・連絡トレンチ（R-B2F-21）
AN1N0020-743に接続
廃棄物処理建屋
コントロール建屋
22.7
59.0
59.0
1, 3, 7, 10, 12, 14

鳥瞰図	R-B2F-21-2

2.2.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

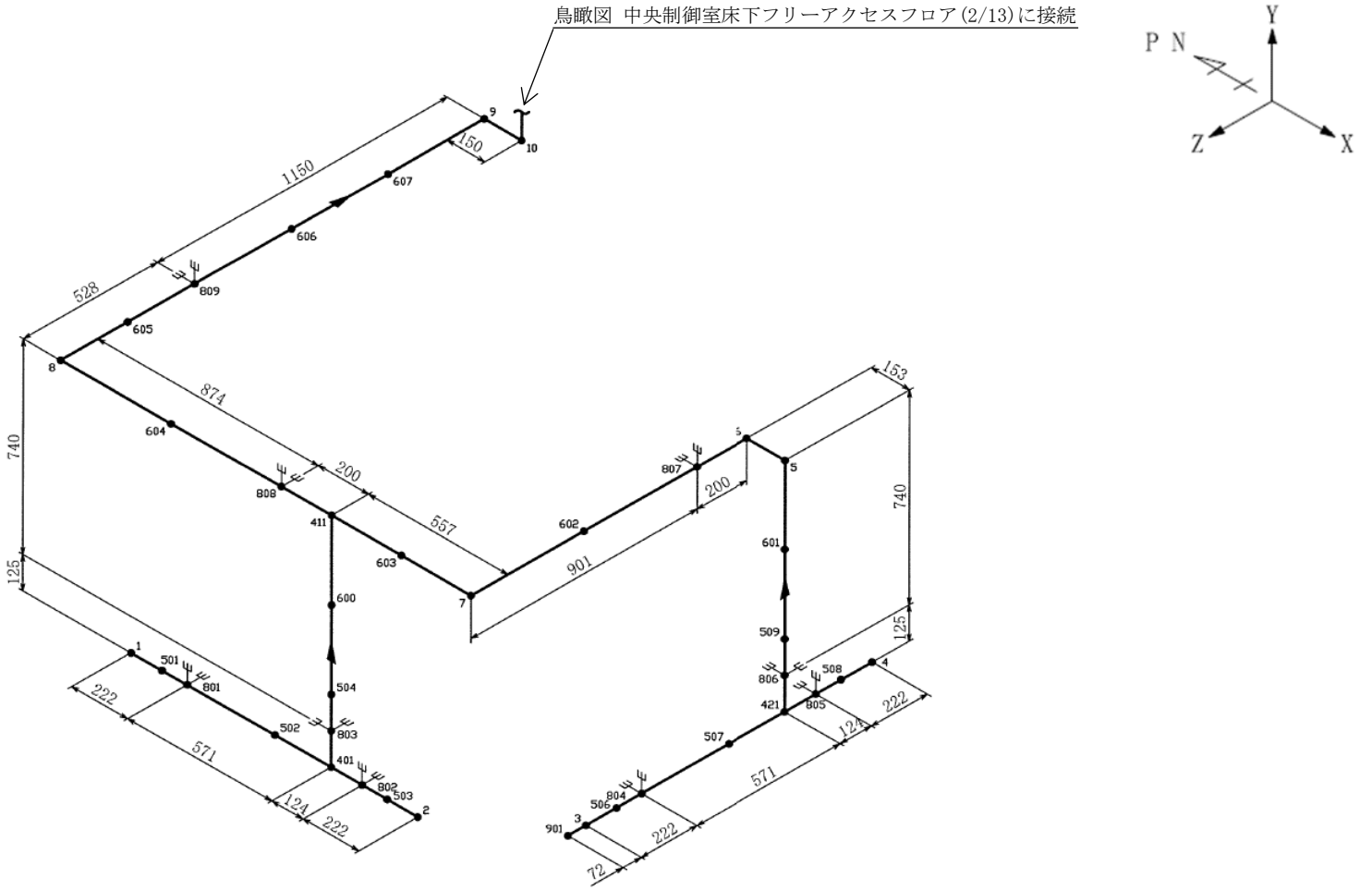


鳥瞰図	SLC-B (1／2)

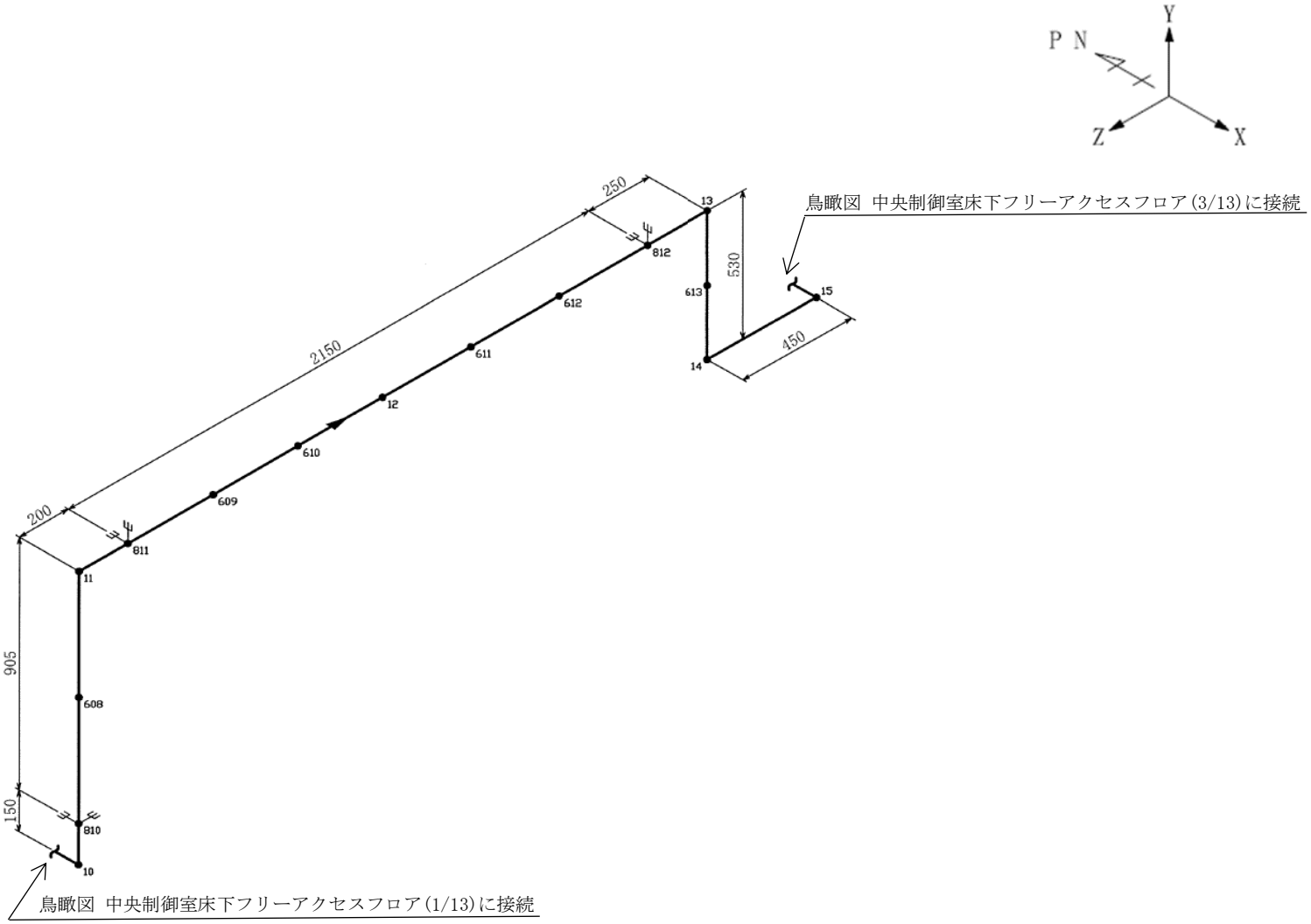

鳥瞰図 SLC-B(1/2)に接続
Y
X
Z
PN
117.5
82.5
400
300
865
332.5
362.5
1400
477.5
958
255
905
765
445
200
205
445
785
978
200
695
155
500
230
130
84.9
60
60
96.5
96.5
72.5
117.5
145
105
605
395

鳥瞰図	SLC-B (2／2)

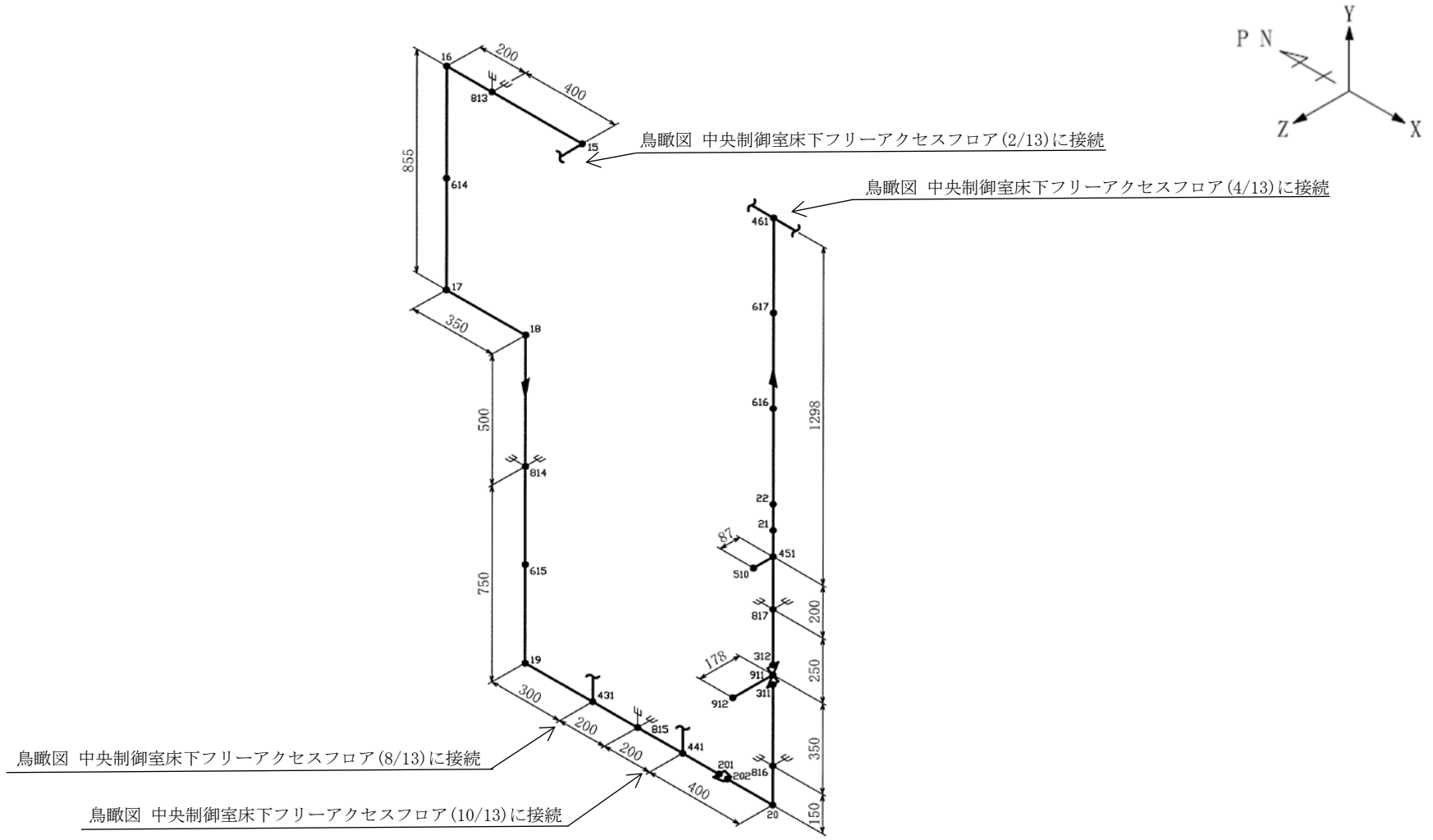
2.2.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備



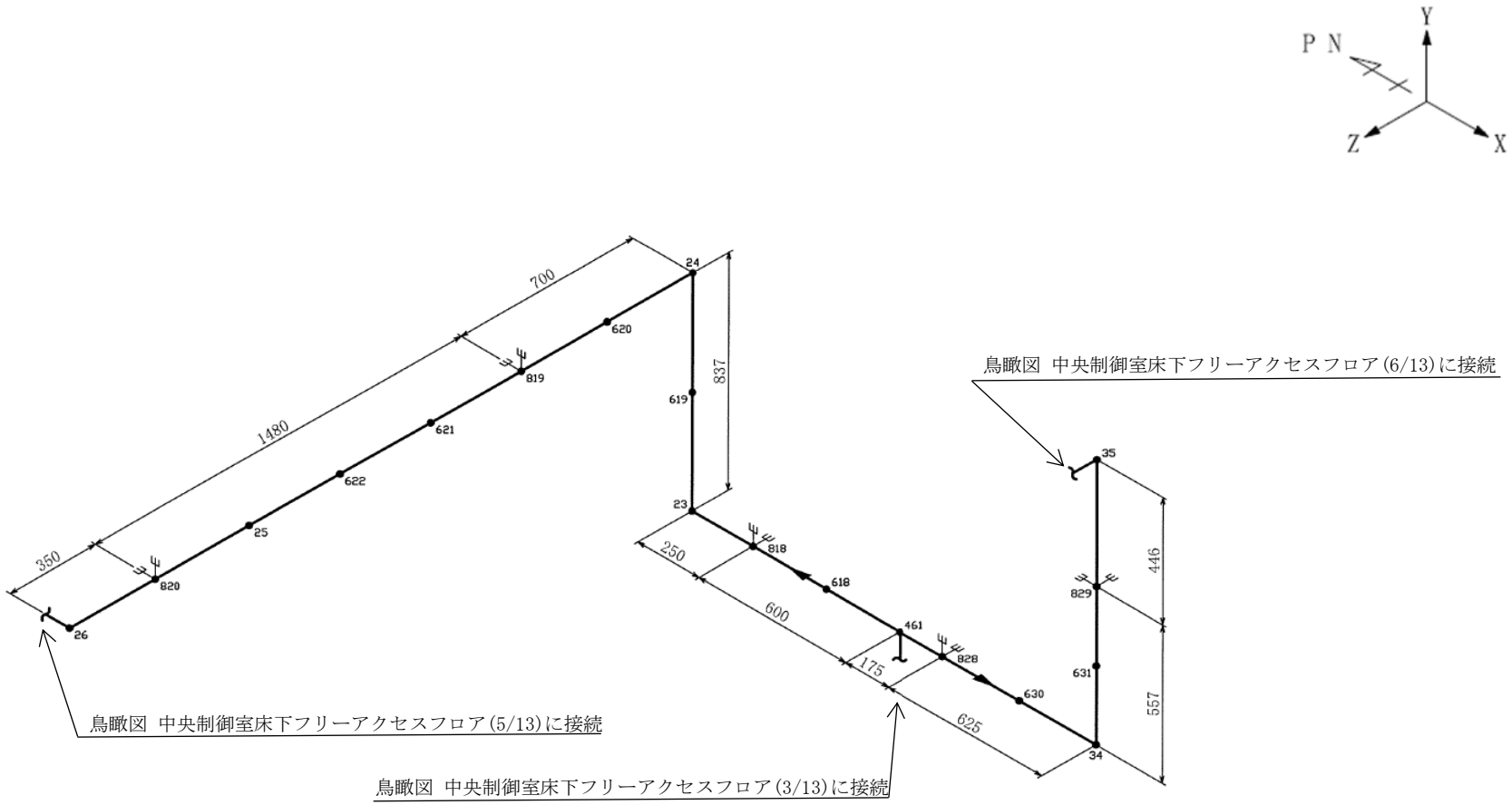
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（1／13）



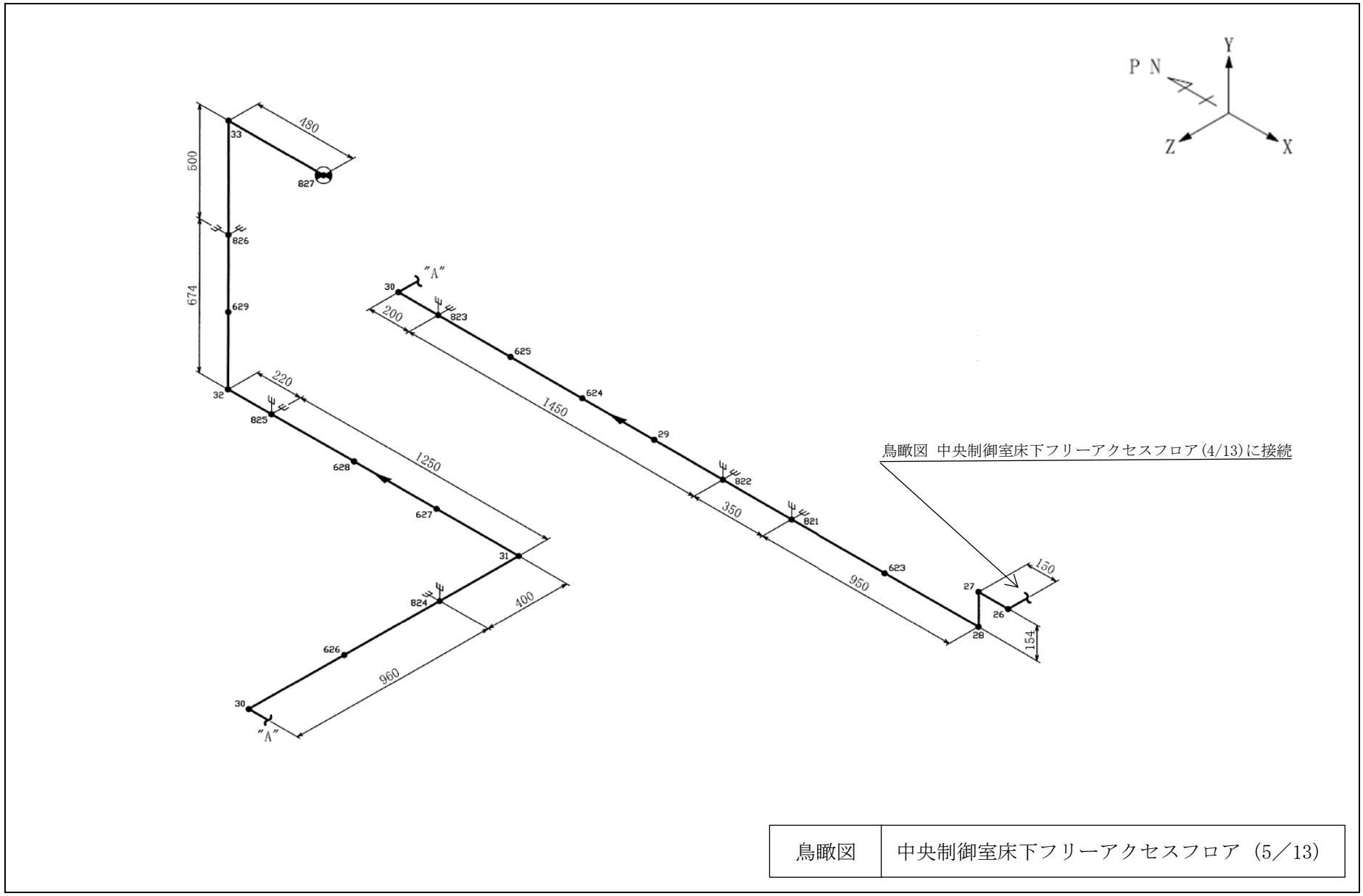
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア (2／13)



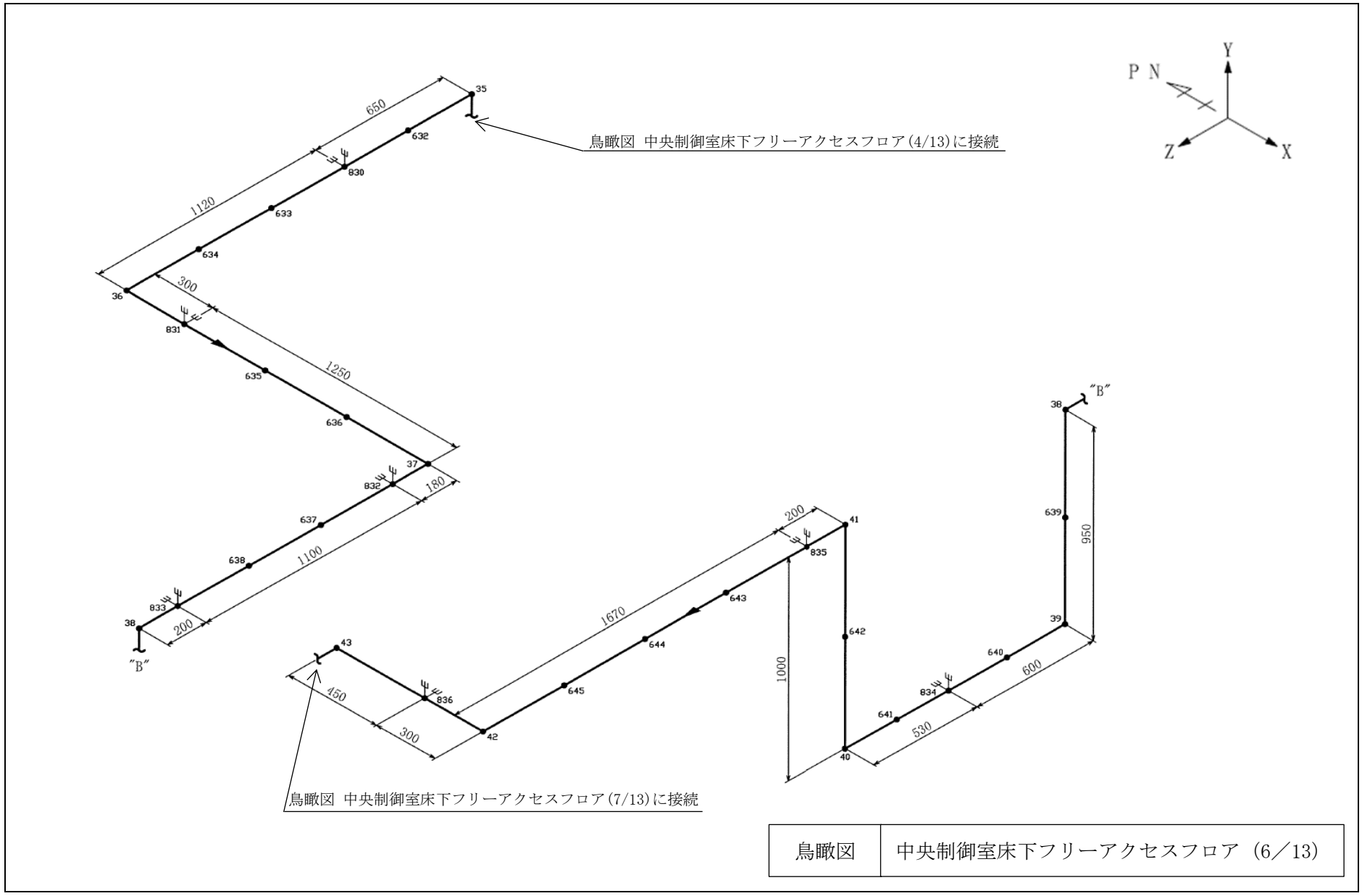
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア (3／13)



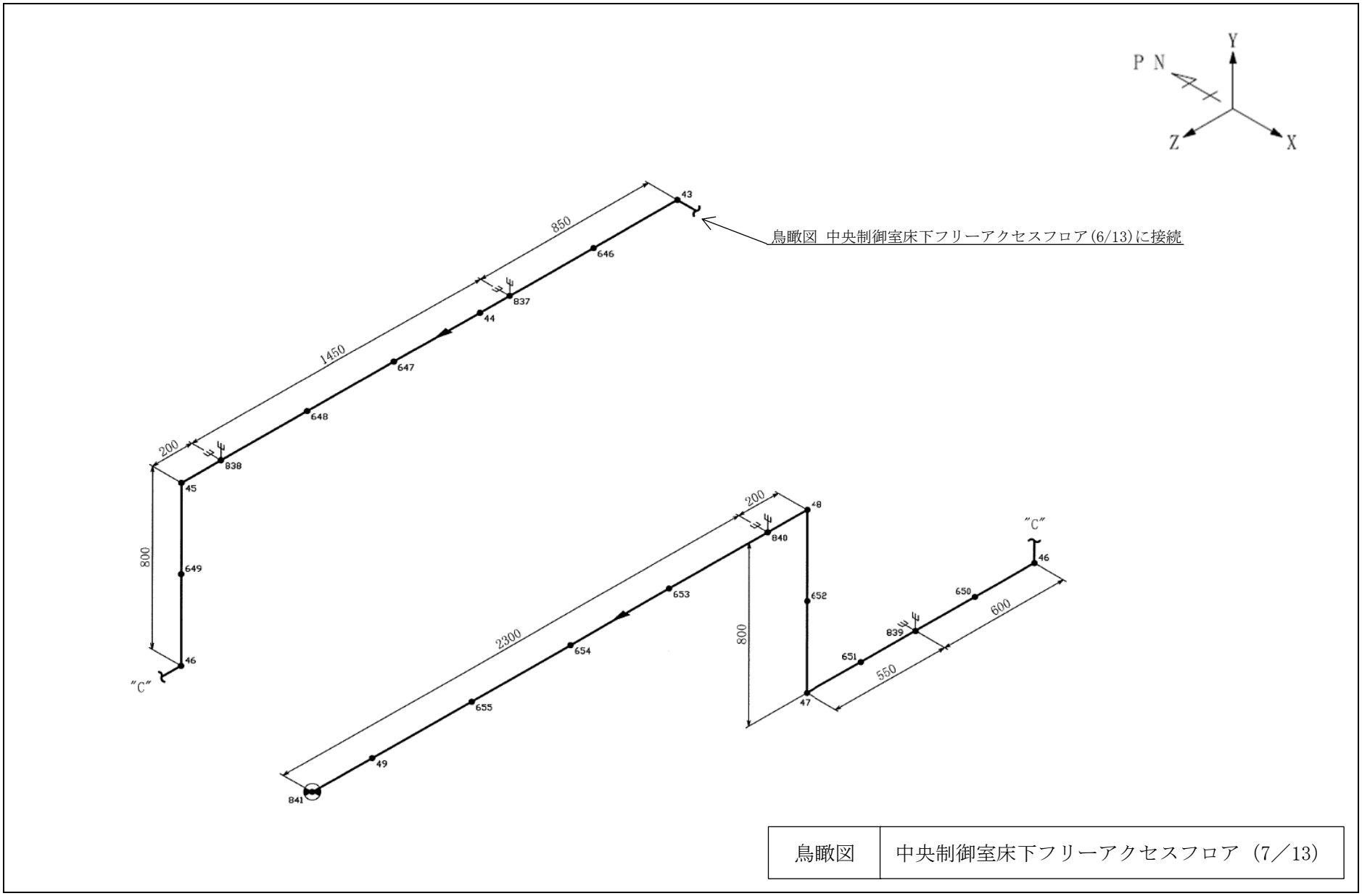
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア (4／13)



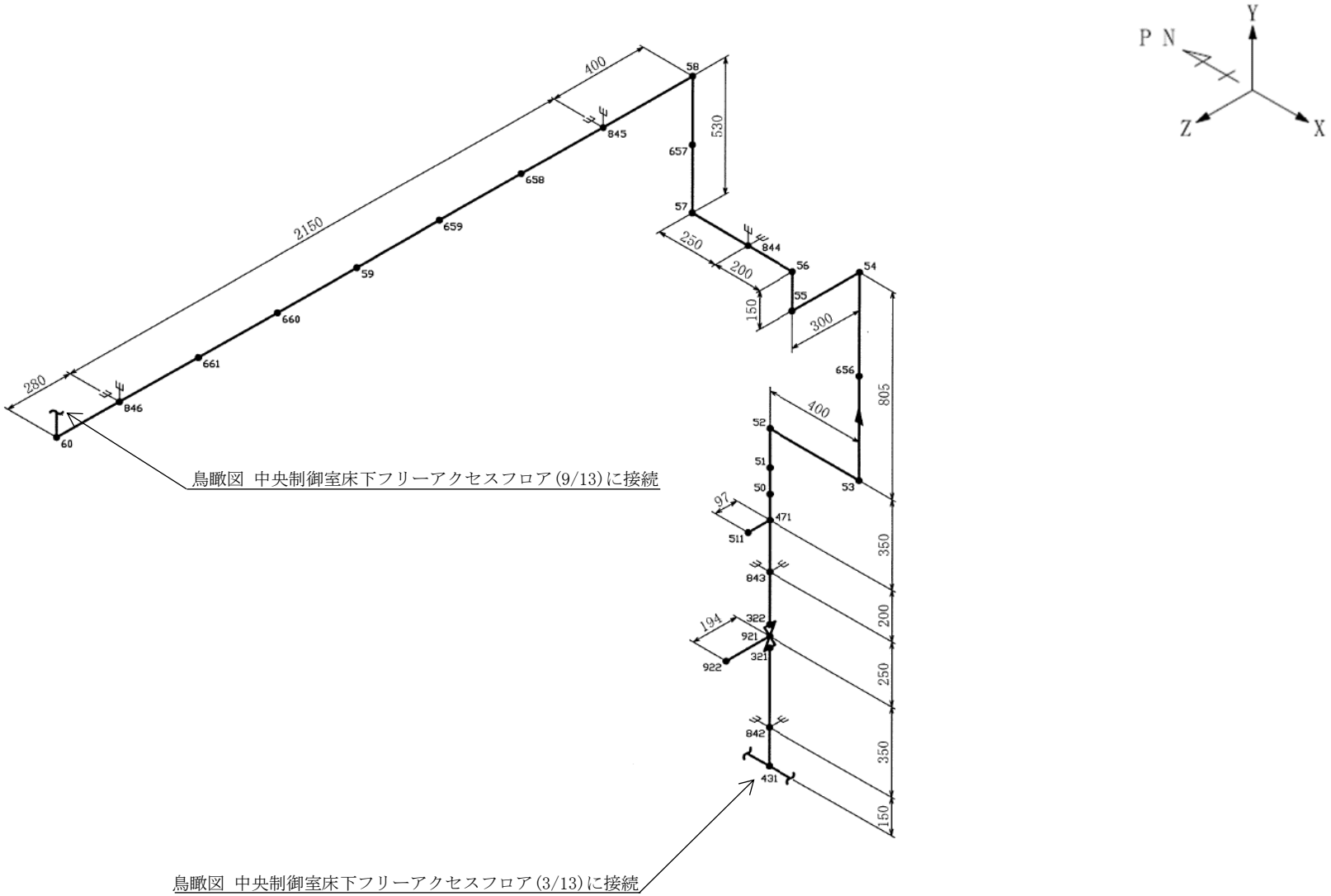
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（5／13）



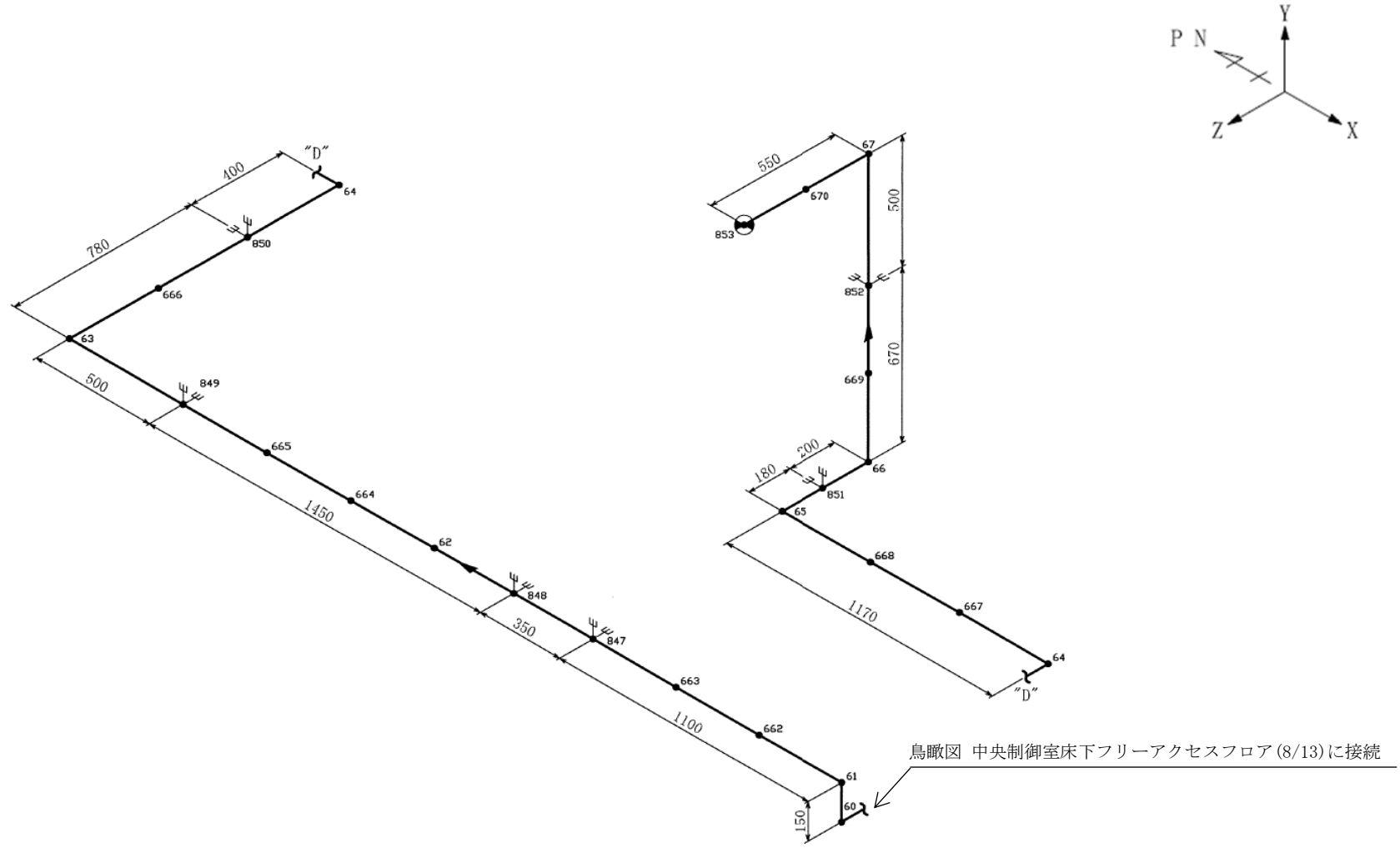
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（6／13）



鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（7／13）

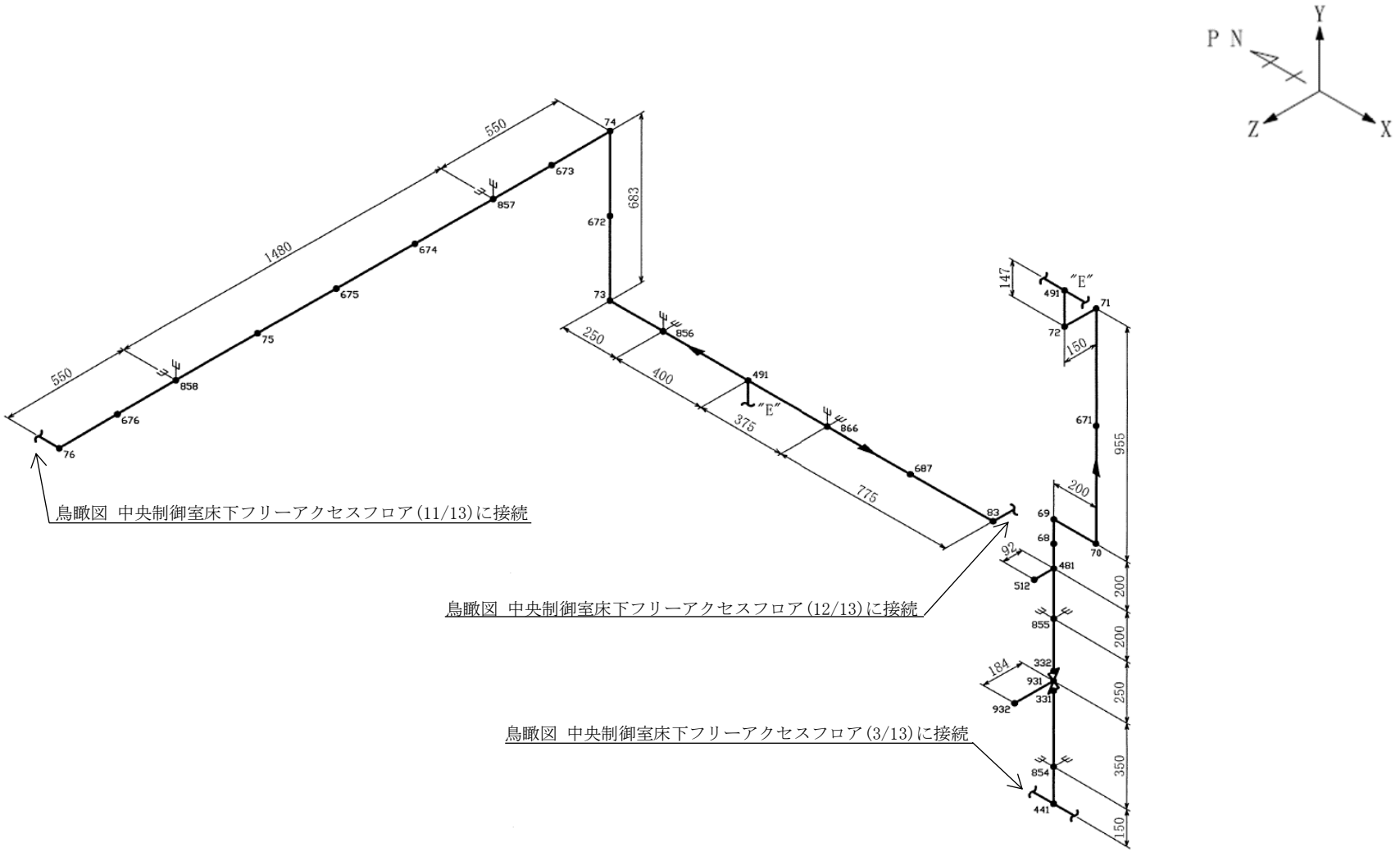


鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（8／13）

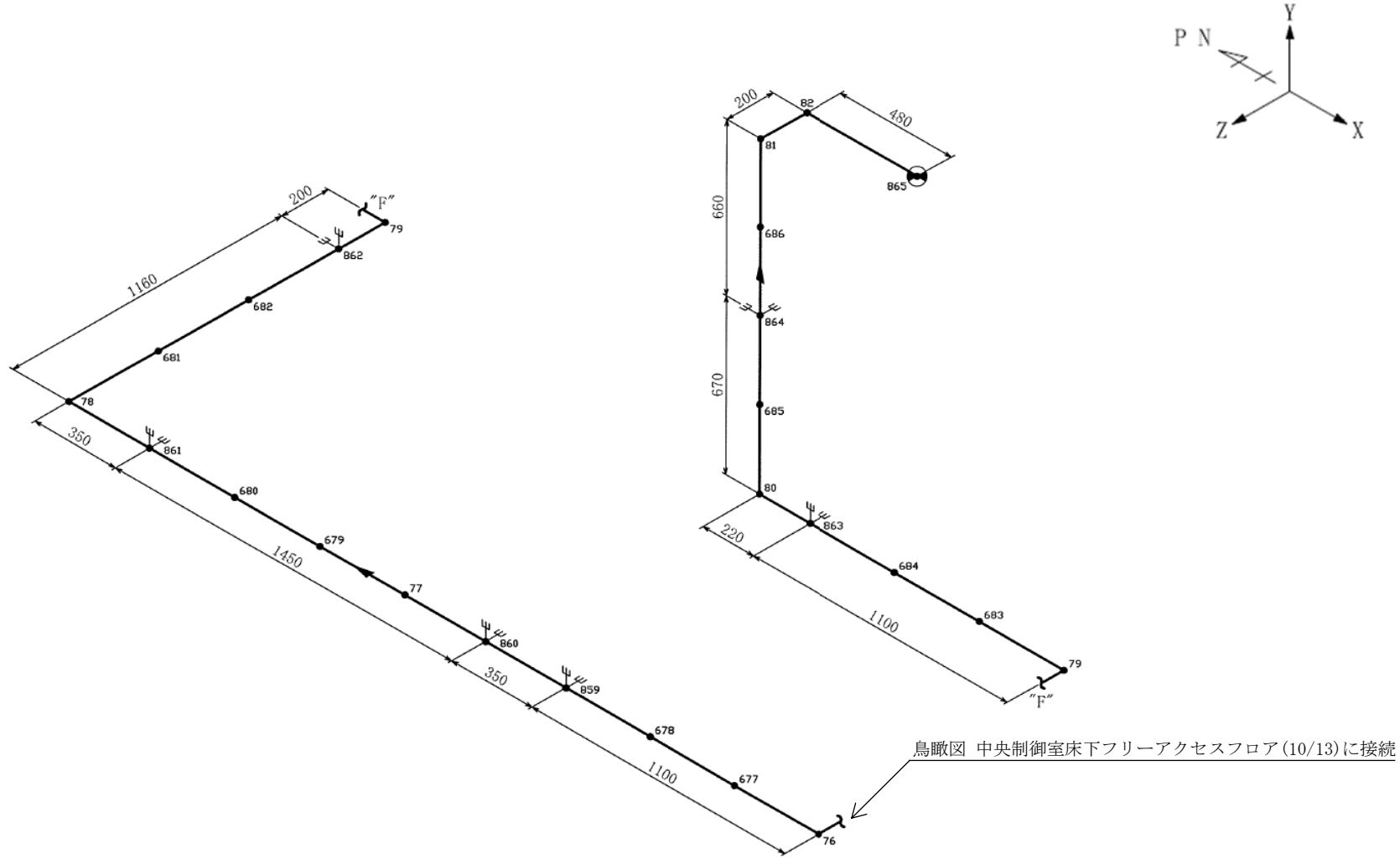


鳥瞰図 中央制御室床下フリーアクセスフロア(8/13)に接続

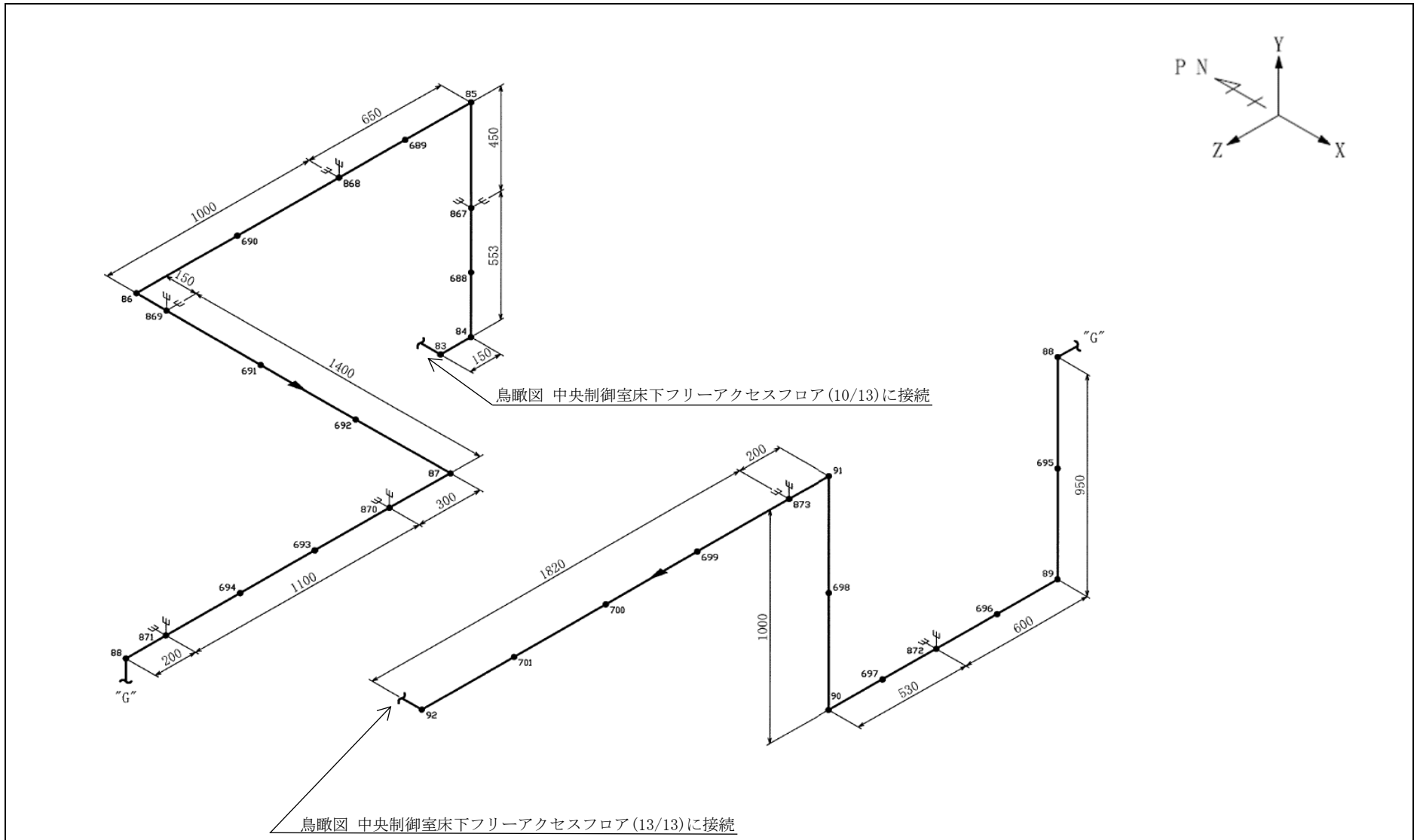
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（9／13）



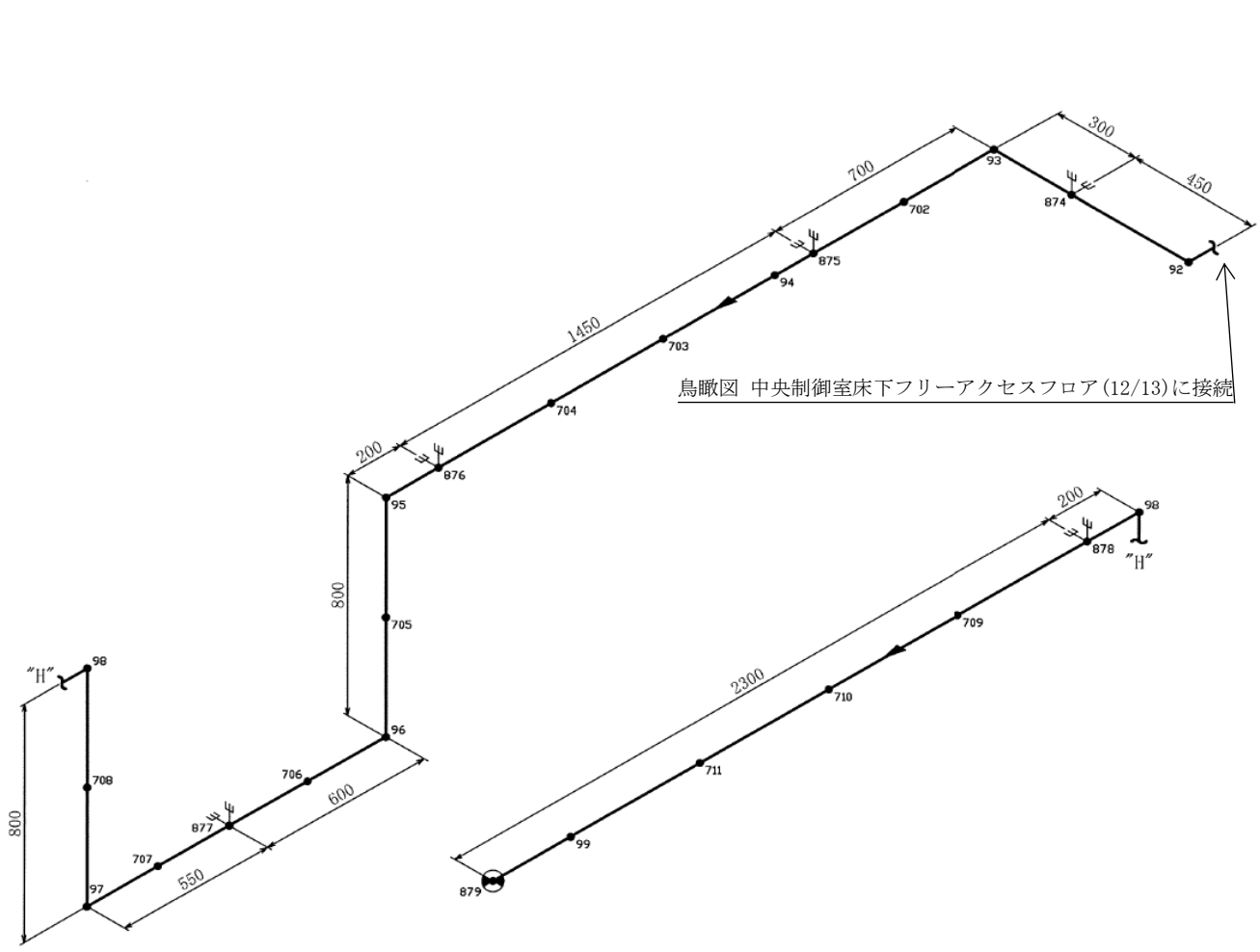
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（10／13）



鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（11／13）

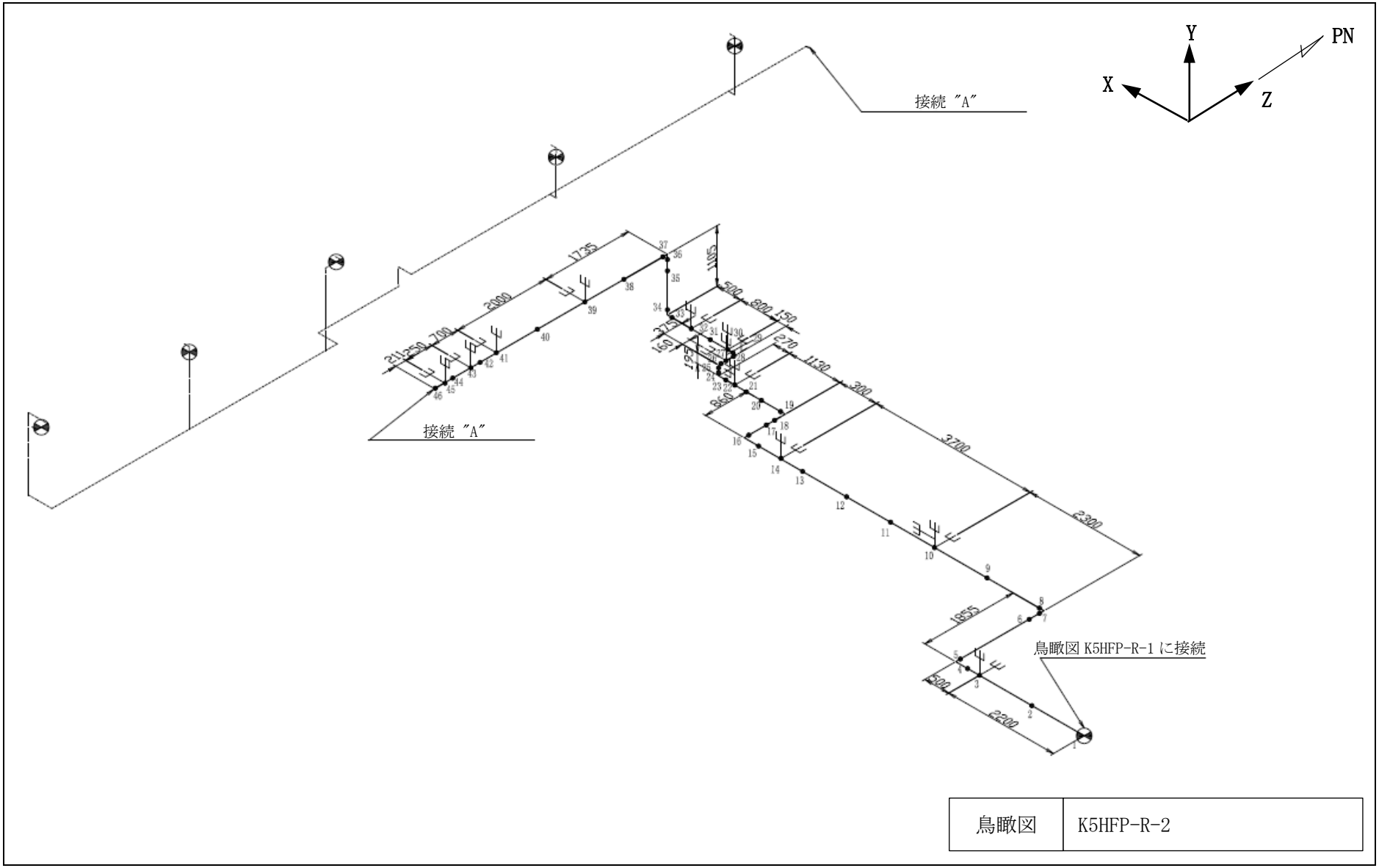


鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（12／13）



鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア（13／13）

2.2.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備



鳥瞰図	K5HFP-R-2

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震設計の方針」に記載の評価方法に基づき行う。計算機コードは，「ＮｕＰＩＡＳ」又は「ＭＳＡＰ」を使用し，計算機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	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	消火系	ＤＢ	―	クラス３管	Ｃ	$D+P_D+M_D+S_S$	$Ⅳ_AS$

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 ：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番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

3.3.1　二酸化炭素消火設備

鳥瞰図　FP-BO-B

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～16,27～43	10.79	40	76.3	7.0	STPG370	C	201667
2	43～49,73～75	10.79	40	48.6	5.1	STPG370	C	201667
3	17～26,49～72,75～96	10.79	40	42.7	4.9	STPG370	C	201667

配管の付加質量

鳥瞰図　FP-B0-B

質量	対応する評価点
0 kg/m	1～96

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

フランジの質量

鳥瞰図　FP-B0-B

質量	対応する評価点
37 kg	15
34 kg	6,28,38
10 kg	22,51,62,76,87
12 kg	61
11 kg	72,85,96
6 kg	17

弁部の質量

鳥瞰図　FP-B0-B

質量	対応する評価点
41 kg	10～12
7 kg	18
38 kg	31～35

弁部の寸法

鳥瞰図　FP-B0-B

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
10～12	91.0	9.0	168
17～19	42.7	4.9	122
31～35	91.0	9.0	345

支持点のばね定数

鳥瞰図　FP-B0-B

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	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
26	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
9	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
20	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
14	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
27	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
41	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
44	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
53	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
60	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
64	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
71	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
78	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
84	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
89	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
95	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
32	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
34	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—

3.3.2　小空間固定式消火設備

鳥瞰図　RW-B3F-22

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～3,103	5.20	40	48.6	3.7	SUS304TP	C	193667
2	3～43	5.20	40	76.3	5.2	SUS304TP	C	193667

配管の付加質量

鳥瞰図　RW-B3F-22

質量	対応する評価点
2 kg/m	1～3,103
5 kg/m	3～43

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

支持点のばね定数

鳥瞰図　RW-B3F-22

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	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
7	—	1.0×10^{12}	—	—	—	—
9	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
11	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
15	—	1.0×10^{12}	—	—	—	—
17	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
24	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
29	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
31	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
33	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
36	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
42	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
103	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}

鳥瞰図　R-B2F-21-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～15	5.20	40	42.7	3.6	SUS304TP	C	193667

配管の付加質量

鳥瞰図　R-B2F-21-2

質量	対応する評価点
0 kg/m	1～15

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

支持点のばね定数

鳥瞰図　R-B2F-21-2

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	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
3	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
7	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
10	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
12	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
14	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—

3.3.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

鳥瞰図　SLC-B

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～2	5.20	40	89.1	5.5	SUS304TP	C	193667
2	2～3	5.20	40	60.5	3.9	SUS304TP	C	193667
3	3～69	5.20	40	34.0	3.4	SUS304TP	C	193667

配管の付加質量

鳥瞰図　SLC-B

質量	対応する評価点
8 kg/m	1～2
3 kg/m	2～3
1 kg/m	3～69

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

フランジの質量

鳥瞰図　SLC-B

質量	対応する評価点
9 kg	19,28,34,47

支持点のばね定数

鳥瞰図　SLC-B

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	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
4	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
6	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
8	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
11	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
13	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
16	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
19	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
22	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
24	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
26	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
28	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
30	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
32	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
34	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
38	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
40	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
47	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
49	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
52	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
54	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
58	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
60	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—

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
62	1.0×10^{12}	—	1.0×10^{12}	—	—	—
64	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
66	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
36	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
43	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
45	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—

3.3.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	401, 803, 504, 600, 411 421, 806, 509, 601, 5 6, 807, 602, 7, 603 808, 604, 8, 605, 809 606, 607, 9, 10, 810 608, 11, 811, 609, 610 12, 611, 612, 812, 13 613, 14, 15, 813, 16 614, 17, 18, 814, 615 19, 431, 815, 441, 201 842, 321, 921, 322, 843 471, 50, 922, 511	5.20	40	[redacted]	[redacted]	STPG370-S	C	202000
2	50, 51, 52, 53, 656 54, 55, 56, 844, 57 657, 58, 845, 658, 659 59, 660, 661, 846, 60 61, 662, 663, 847, 848 62, 664, 665, 849, 63 666, 850, 64, 667, 668	5.20	40	[redacted]	[redacted]	SUS304TP-S	C	194000

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
2	65, 851, 66, 669, 852 67, 670, 853	5.20	40			SUS304TP-S	C	194000
3	1, 501, 801, 502, 401 802, 503, 2, 901, 3 506, 804, 507, 421, 805 508, 4, 441, 854, 331 931, 332, 855, 481, 68 932, 512	5.20	40			STPG370-S	C	202000
4	68, 69, 70, 671, 71 72, 491, 856, 73, 672 74, 673, 857, 674, 675 75, 858, 676, 76, 677 678, 859, 860, 77, 679 680, 861, 78, 681, 682 862, 79, 683, 684, 863 80, 685, 864, 686, 81 82, 865, 866, 687, 83 84, 688, 867, 85, 689 868, 690, 86, 869, 691 692, 87, 870, 693, 694 871, 88, 695, 89, 696	5.20	40			SUS304TP-S	C	194000

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
4	872, 697, 90, 698, 91 873, 699, 700, 701, 92 874, 93, 702, 875, 94 703, 704, 876, 95, 705 96, 706, 877, 707, 97 708, 98, 878, 709, 710 711, 99, 879	5.20	40	[redacted]	[redacted]	SUS304TP-S	C	194000
5	202, 20, 816, 311, 911 312, 817, 451, 21, 912 510	5.20	40	[redacted]	[redacted]	STPG370-S	C	202000
6	21, 22, 616, 617, 461 618, 818, 23, 619, 24 620, 819, 621, 622, 25 820, 26, 27, 28, 623 821, 822, 29, 624, 625 823, 30, 626, 824, 31 627, 628, 825, 32, 629 826, 33, 827, 828, 630 34, 631, 829, 35, 632 830, 633, 634, 36, 831 635, 636, 37, 832, 637	5.20	40	[redacted]	[redacted]	SUS304TP-S	C	194000

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
6	638, 833, 38, 639, 39 640, 834, 641, 40, 642 41, 835, 643, 644, 645 42, 836, 43, 646, 837 44, 647, 648, 838, 45 649, 46, 650, 839, 651 47, 652, 48, 840, 653 654, 655, 49, 841	5.20	40	[redacted]	[redacted]	SUS304TP-S	C	194000

配管の付加質量

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

質量	対応する評価点
7kg/m	401, 803, 504, 600, 411, 421, 806, 509, 601, 5, 6, 807 602, 7, 603, 808, 604, 8, 605, 809, 606, 607, 9, 10 810, 608, 11, 811, 609, 610, 12, 611, 612, 812, 13, 613 14, 15, 813, 16, 614, 17, 18, 814, 615, 19, 431, 815 441, 201, 202, 842, 321, 921, 322, 843, 471, 50, 922, 511
6kg/m	50, 51, 52, 53, 656, 54, 55, 56, 844, 57, 657, 58 845, 658, 659, 59, 660, 661, 846, 60, 61, 662, 663, 847 848, 62, 664, 665, 849, 63, 666, 850, 64, 667, 668, 65 851, 66, 669, 852, 67, 670, 853
6kg/m	1, 501, 801, 502, 401, 802, 503, 2, 901, 3, 506, 804 507, 421, 805, 508, 4, 441, 854, 331, 931, 332, 855, 481 68, 932, 512
5kg/m	68, 69, 70, 671, 71, 72, 491, 856, 73, 672, 74, 673 857, 674, 675, 75, 858, 676, 76, 677, 678, 859, 860, 77 679, 680, 861, 78, 681, 682, 862, 79, 683, 684, 863, 80 685, 864, 686, 81, 82, 865, 866, 687, 83, 84, 688, 867 85, 689, 868, 690, 86, 869, 691, 692, 87, 870, 693, 694 871, 88, 695, 89, 696, 872, 697, 90, 698, 91, 873, 699 700, 701, 92, 874, 93, 702, 875, 94, 703, 704, 876, 95 705, 96, 706, 877, 707, 97, 708, 98, 878, 709, 710, 711 99, 879
4kg/m	202, 20, 816, 311, 911, 312, 817, 451, 21, 912, 510 21, 22, 616, 617, 461, 618, 818, 23, 619, 24, 620, 819 621, 622, 25, 820, 26, 27, 28, 623, 821, 822, 29, 624 625, 823, 30, 626, 824, 31, 627, 628, 825, 32, 629, 826 33, 827, 828, 630, 34, 631, 829, 35, 632, 830, 633, 634 36, 831, 635, 636, 37, 832, 637, 638, 833, 38, 639, 39 640, 834, 641, 40, 642, 41, 835, 643, 644, 645, 42, 836 43, 646, 837, 44, 647, 648, 838, 45, 649, 46, 650, 839 651, 47, 652, 48, 840, 653, 654, 655, 49, 841

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

フランジの質量

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

質量	対応する評価点
1 kg	501，502，503，506，507，508，510，511，512
8 kg	504，509

弁の質量

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

質量	対応する評価点
1 kg	901
7 kg	911
4 kg	912，922，932
12 kg	921
8 kg	931

支持点のばね定数

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

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
801	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
802	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
803	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
804	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
805	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
806	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
807	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
808	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
809	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
810	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
811	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
812	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
813	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
814	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
815	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
816	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
817	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
818	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
819	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
820	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
821	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
822	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
823	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
824	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
825	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
826	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—

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
827	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}
828	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
829	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
830	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
831	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
832	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
833	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
834	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
835	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
836	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
837	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
838	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
839	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
840	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
841	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}
842	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
843	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
844	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
845	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
846	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
847	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
848	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
849	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
850	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
851	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
852	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
853	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}
854	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—

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
855	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
856	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
857	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
858	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
859	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
860	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
861	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
862	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
863	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
864	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
865	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}
866	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
867	9.8×10^{9}	—	9.8×10^{9}	—	—	—
868	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
869	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
870	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
871	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
872	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
873	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
874	—	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—
875	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
876	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
877	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
878	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	—	—	—	—
879	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{9}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}	9.8×10^{16}

3.3.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

鳥瞰図　K5HFP-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～46	5.20	40	76.3	5.2	SUS304TP	C	193667

配管の付加質量

鳥瞰図　K5HFP-R-2

質量	対応する評価点
5 kg/m	1～46

注：配管の付加質量は，保温等の配管に付加される重量を示す。

支持点のばね定数

鳥瞰図　K5HFP-R-2

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	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}
3	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
10	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
14	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
22	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
27	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
30	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
32	—	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—
39	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
41	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
43	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—
45	1.0×10^{12}	1.0×10^{12}	—	—	—	—

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	40	—	205	520	—
STPG370	40	—	215	370	—
SUS304TP-S	40	—	205	520	—
STPG370-S	40	—	215	370	—

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Ⅴ-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Ⅴ-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(%)
FP-B0-B	原子炉建屋	T.M.S.L.23.5	2.0
		T.M.S.L.18.1	
RW-B3F-22	廃棄物処理建屋	T.M.S.L.－1.1*	—
R-B2F-21-2	廃棄物処理建屋	T.M.S.L.12.3*	—
	コントロール建屋	T.M.S.L.6.5*	—
SLC-B	原子炉建屋	T.M.S.L.31.7*	—
中央制御室床下フリーアクセスフロア	コントロール建屋	T.M.S.L.17.3	2.0
		T.M.S.L.12.3	
K5HFP-R-2	緊急時対策所	T.M.S.L.33.0	2.0
		T.M.S.L.27.8	

注記＊：一次固有周期が 0.05s 以下であるため，配管設置高さを包絡する建屋標高の動的震度（Ｓｓ地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度）を用いる。

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

4.1.1　二酸化炭素消火設備

鳥瞰図　FP-B0-B

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.112	2.40	2.40	3.51
2 次	0.106	2.40	2.40	3.51
3 次	0.073	1.95	1.95	2.37
4 次	0.059	1.63	1.63	1.93
5 次	0.051	1.62	1.62	1.64
6 次*2	0.047	―	―	―
動的震度*3		1.51	1.51	1.38

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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　FP-B0-B

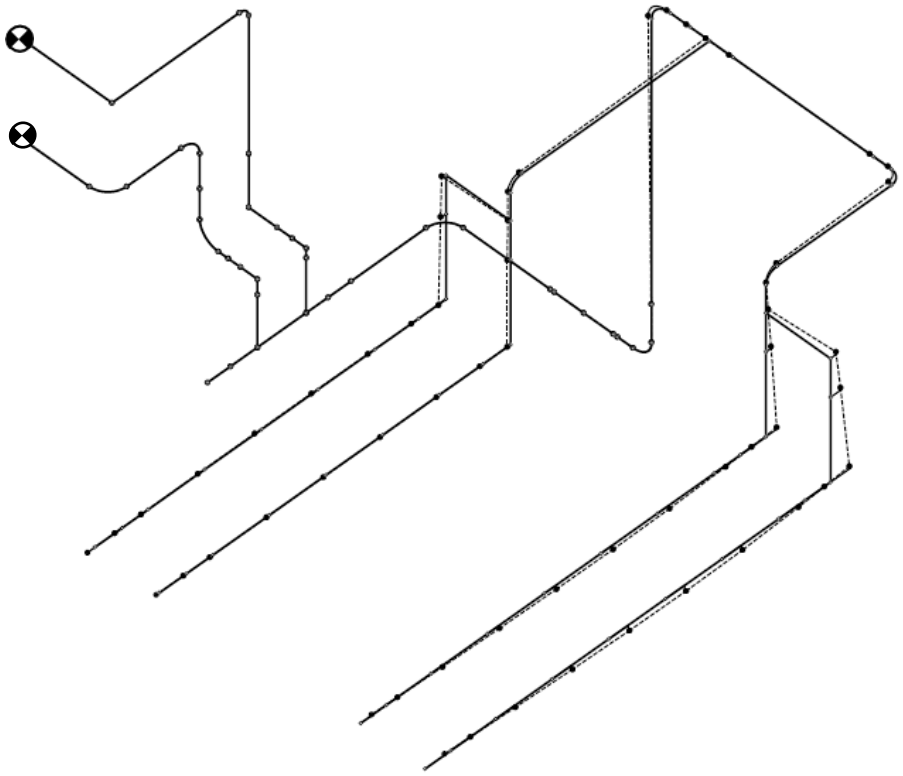
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		Ｘ方向	Ｙ方向	Ｚ方向
1 次	0.112	0.767	0.020	0.257
2 次	0.106	1.559	0.076	0.107
3 次	0.073	0.070	0.009	0.882
4 次	0.059	0.227	0.021	0.152
5 次	0.051	0.038	0.000	0.731

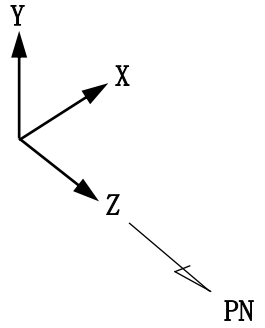
注記＊：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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。

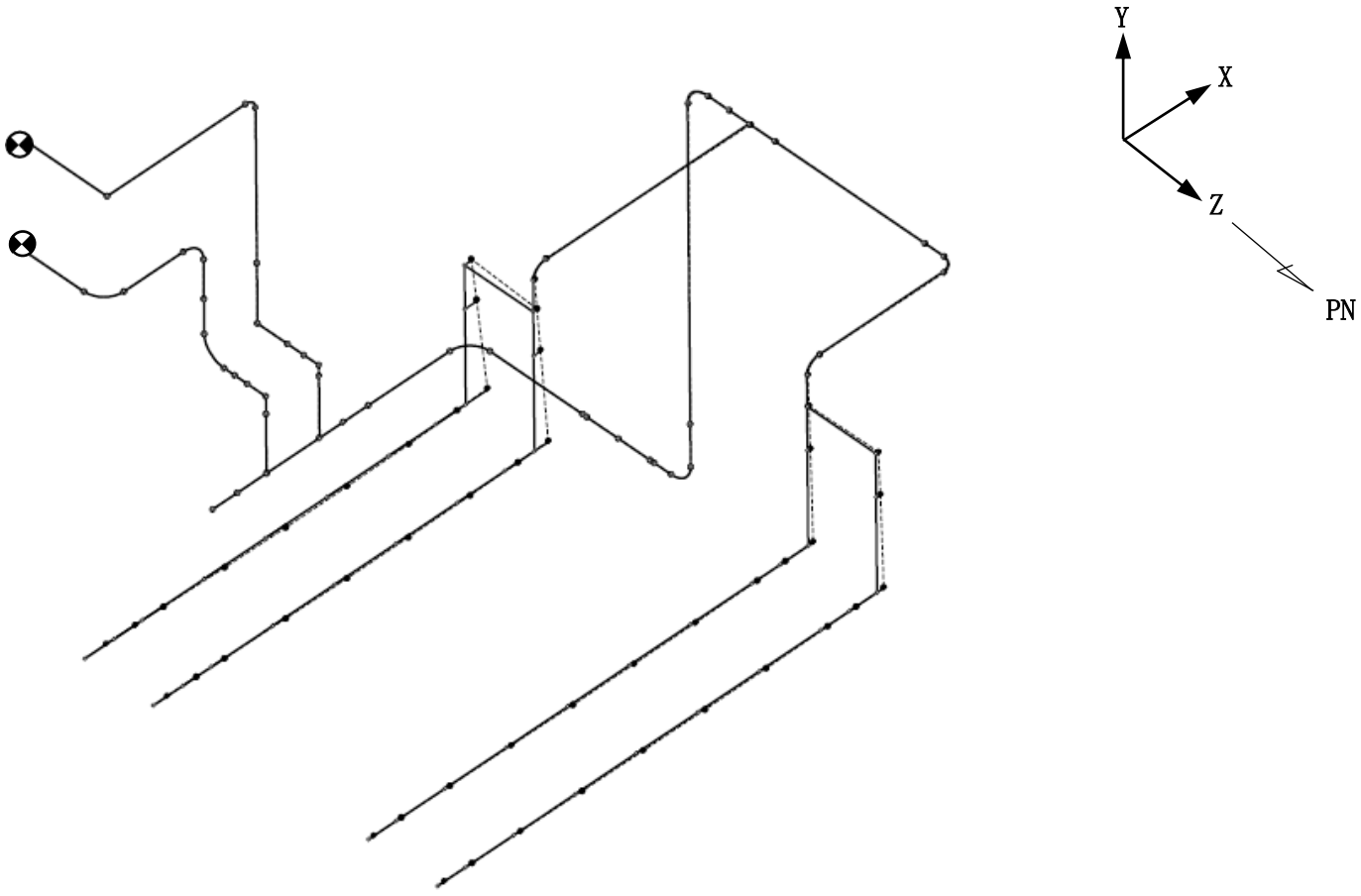
代表的振動モード図（1 次）





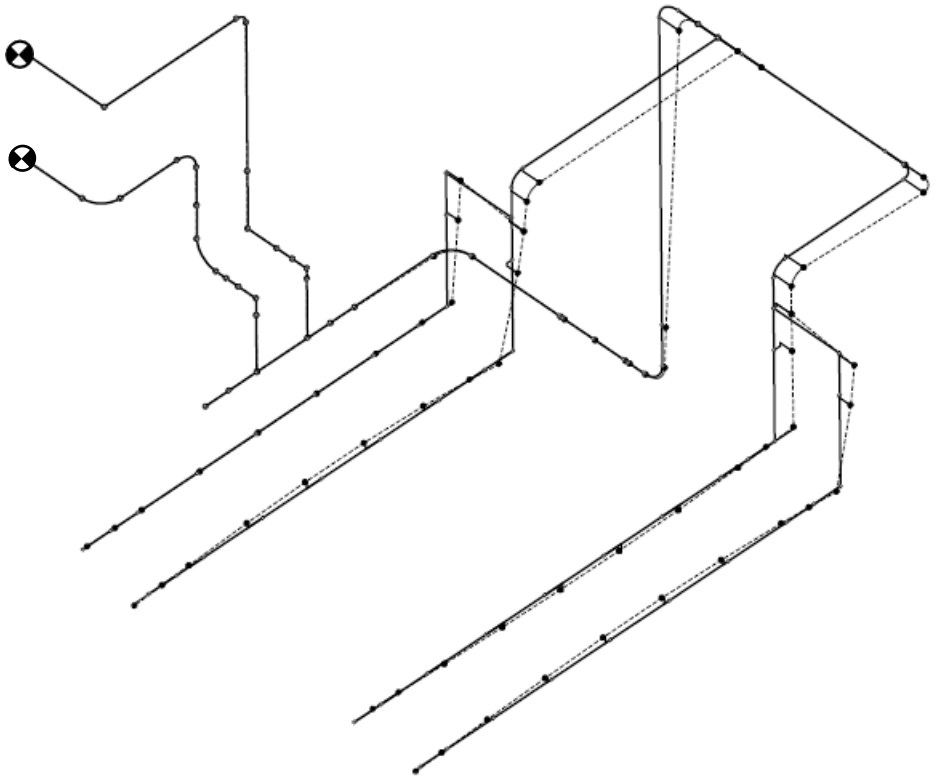
鳥瞰図	FP-B0-B

代表的振動モード図（2 次）



鳥瞰図	FP-B0-B

代表的振動モード図（3 次）



鳥瞰図	FP-B0-B

4.1.2　小空間固定式消火設備

鳥瞰図　RW-B3F-22

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.050	―	―	―
動的震度*3		1.45	1.45	1.29

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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　RW-B3F-22

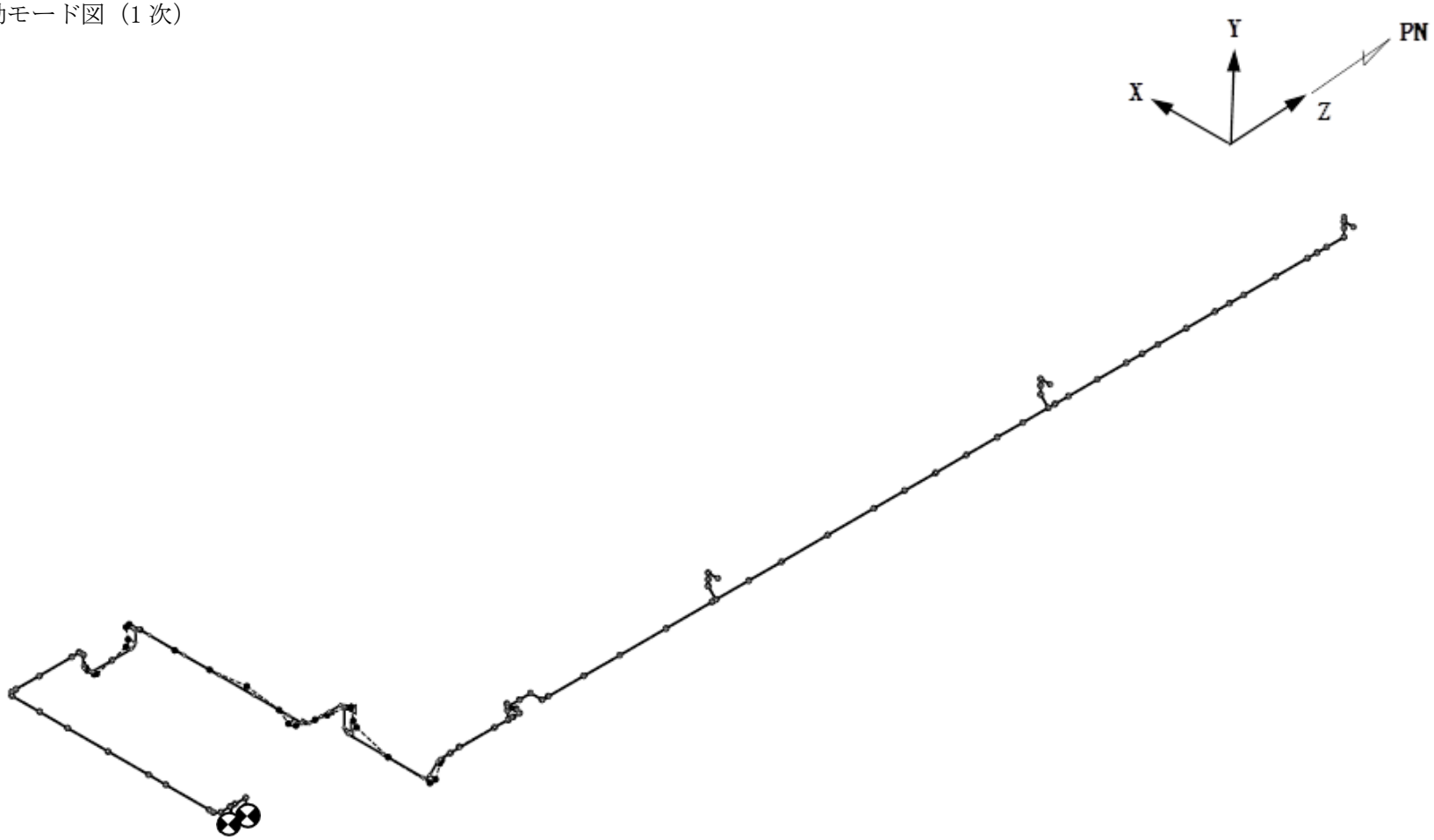
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		Ｘ方向	Ｙ方向	Ｚ方向
1次	0.050	―	―	―

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，1 次モードを代表とし，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）



鳥瞰図	RW-B3F-22

鳥瞰図　R-B2F-21-2

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.047	―	―	―
動的震度*3		1.86	1.86	1.36

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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-B2F-21-2

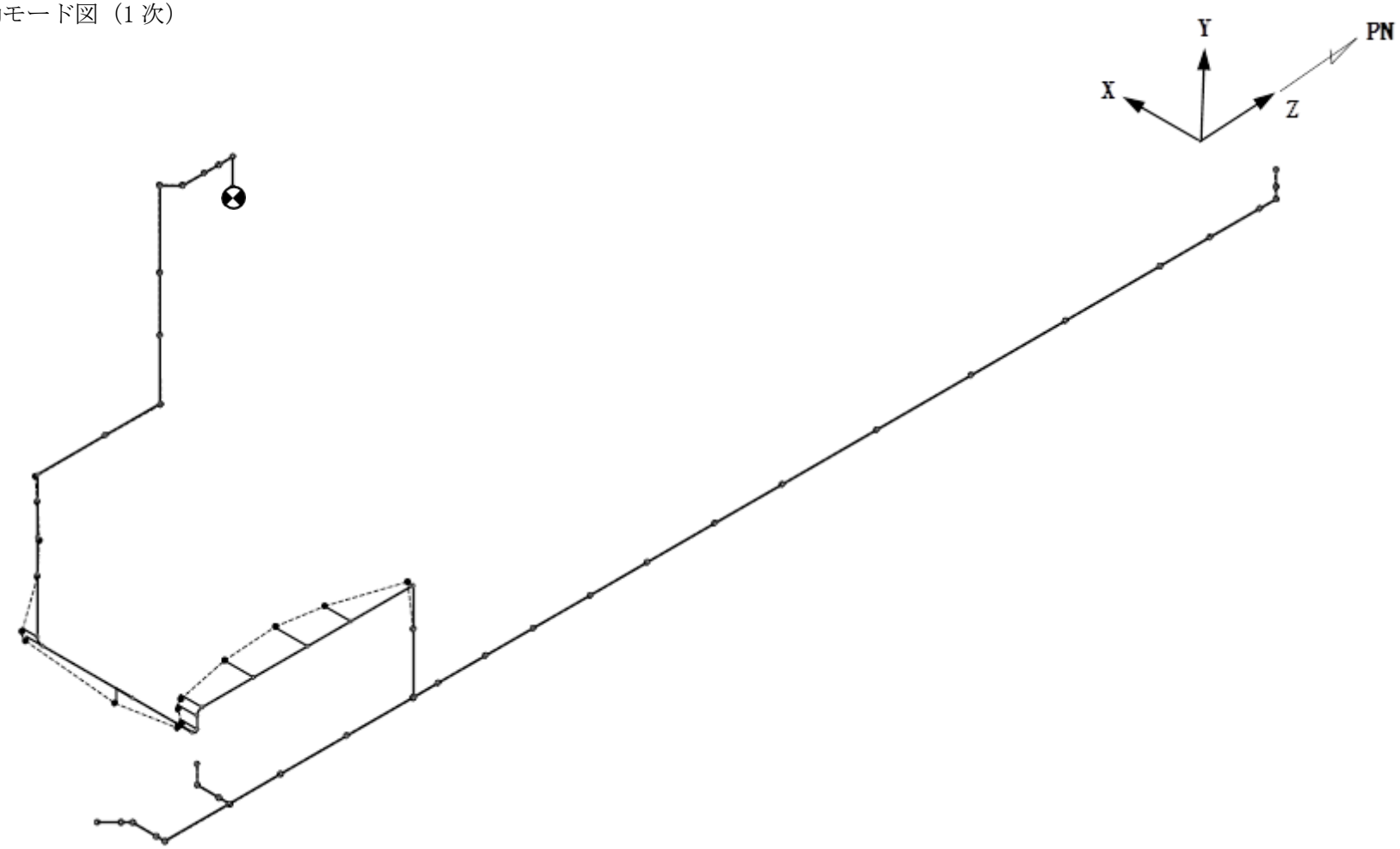
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		Ｘ方向	Ｙ方向	Ｚ方向
1次	0.047	―	―	―

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，1 次モードを代表とし，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）



鳥瞰図	R-B2F-21-2

4.1.3　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

鳥瞰図　SLC-B

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.038	―	―	―
動的震度*3		1.71	1.71	1.41

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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　SLC-B

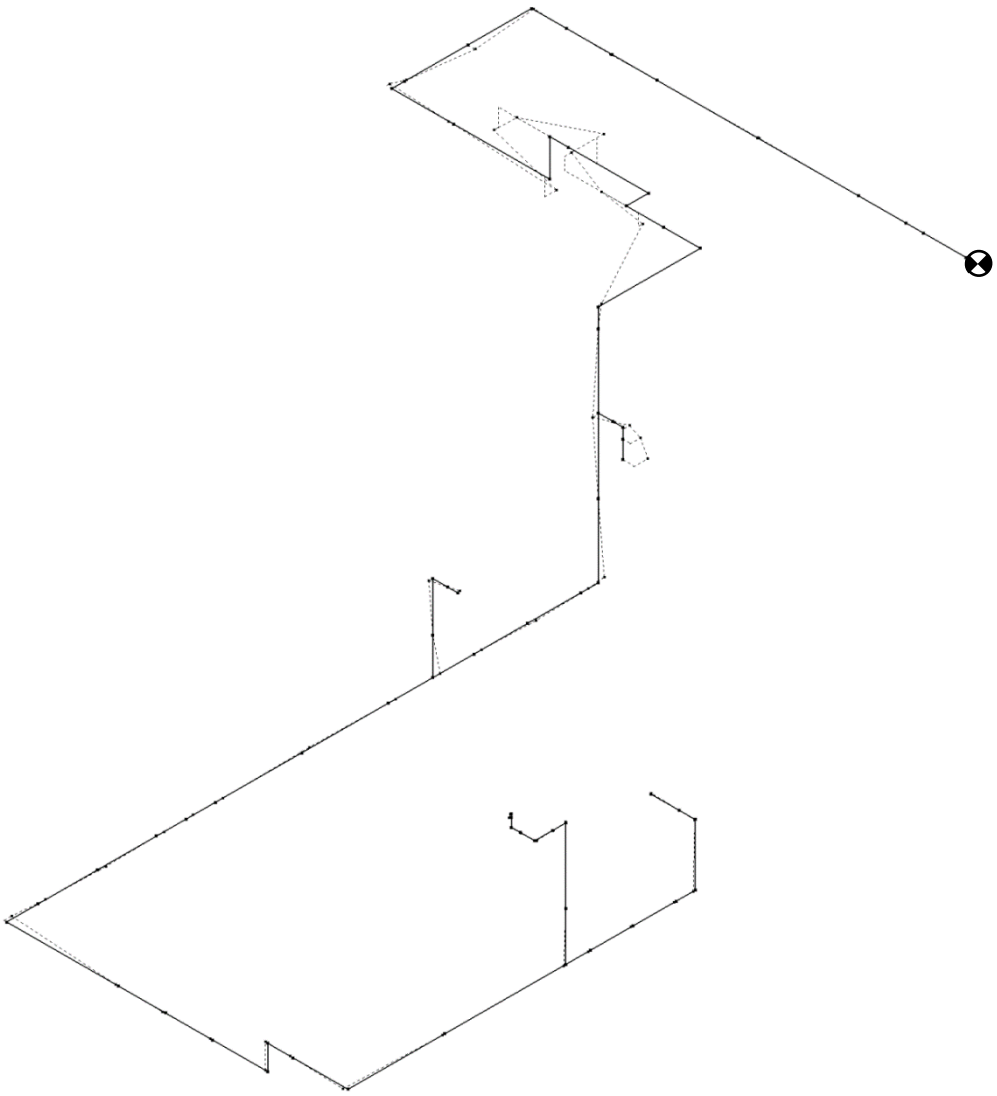
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		Ｘ方向	Ｙ方向	Ｚ方向
1 次	0.038	―	―	―

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，1 次モードを代表とし，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）



鳥瞰図	SLC-B

4.1.4　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

鳥瞰図　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.113	3.12	3.12	3.95
2 次	0.106	2.62	2.62	3.90
3 次	0.098	2.45	2.45	3.90
4 次	0.091	2.27	2.27	3.26
5 次	0.074	2.25	2.25	2.71
6 次	0.074	2.25	2.25	2.71
7 次	0.069	2.25	2.25	2.57
8 次	0.067	2.23	2.23	2.57
9 次	0.067	2.23	2.23	2.57
10 次	0.062	2.19	2.19	2.42
11 次	0.056	1.76	1.76	1.79
12 次	0.056	1.74	1.74	1.78
13 次	0.055	1.68	1.68	1.67
14 次	0.053	1.67	1.67	1.57
15 次	0.050	1.63	1.63	1.45
16 次*2	0.050	―	―	―
動的震度*3		1.65	1.65	1.12

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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　中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

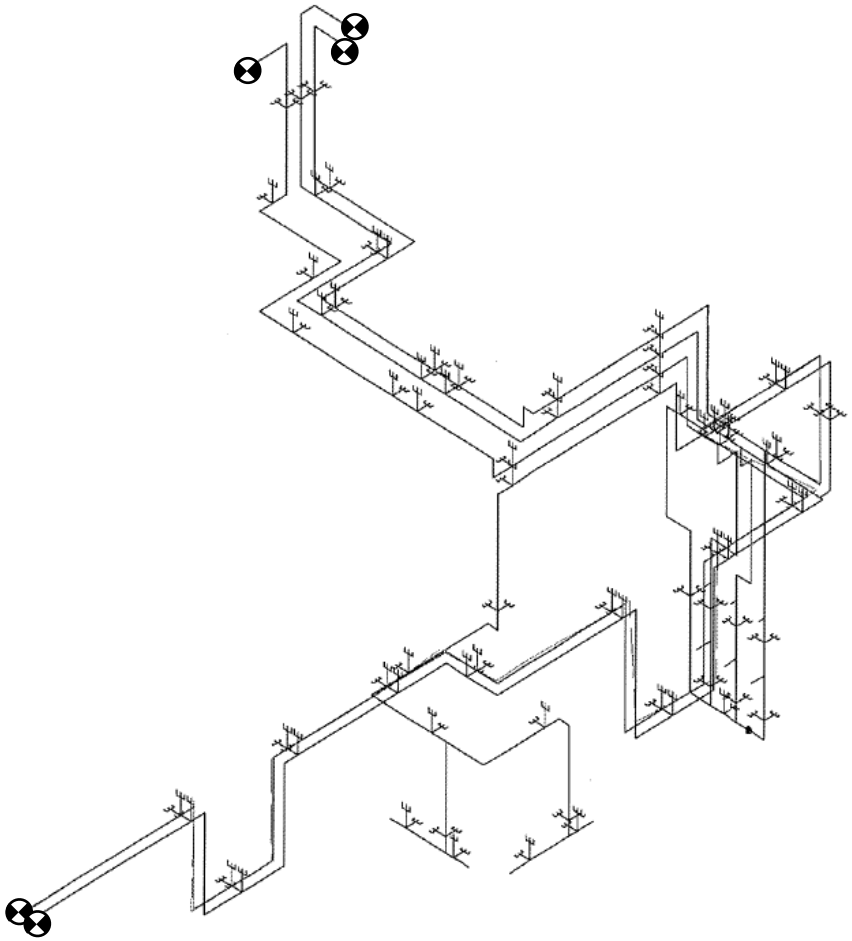
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.113	−0.169	0.015	−0.825
2次	0.106	−0.216	−0.008	−0.936
3次	0.098	−0.327	−0.015	0.953
4次	0.091	−0.659	−0.011	0.845
5次	0.074	−0.316	−0.006	−0.543
6次	0.074	−0.615	−0.008	0.589
7次	0.069	−0.313	0.064	0.437
8次	0.067	−0.875	−0.139	−0.184
9次	0.067	0.585	0.016	−0.644
10次	0.062	0.246	−0.035	0.041
11次	0.056	−0.055	−0.650	0.087
12次	0.056	−0.176	−0.022	−0.388
13次	0.055	0.752	0.087	0.160
14次	0.053	0.218	0.042	0.281
15次	0.050	0.050	0.172	0.488

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

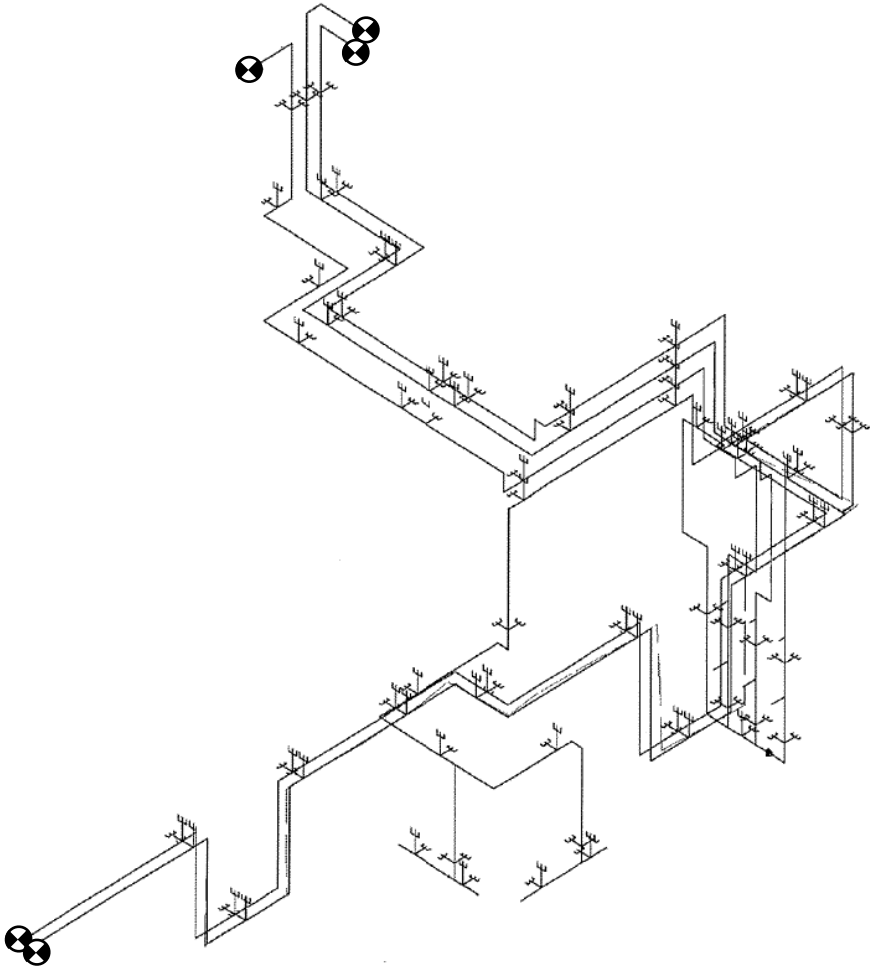
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1 次）



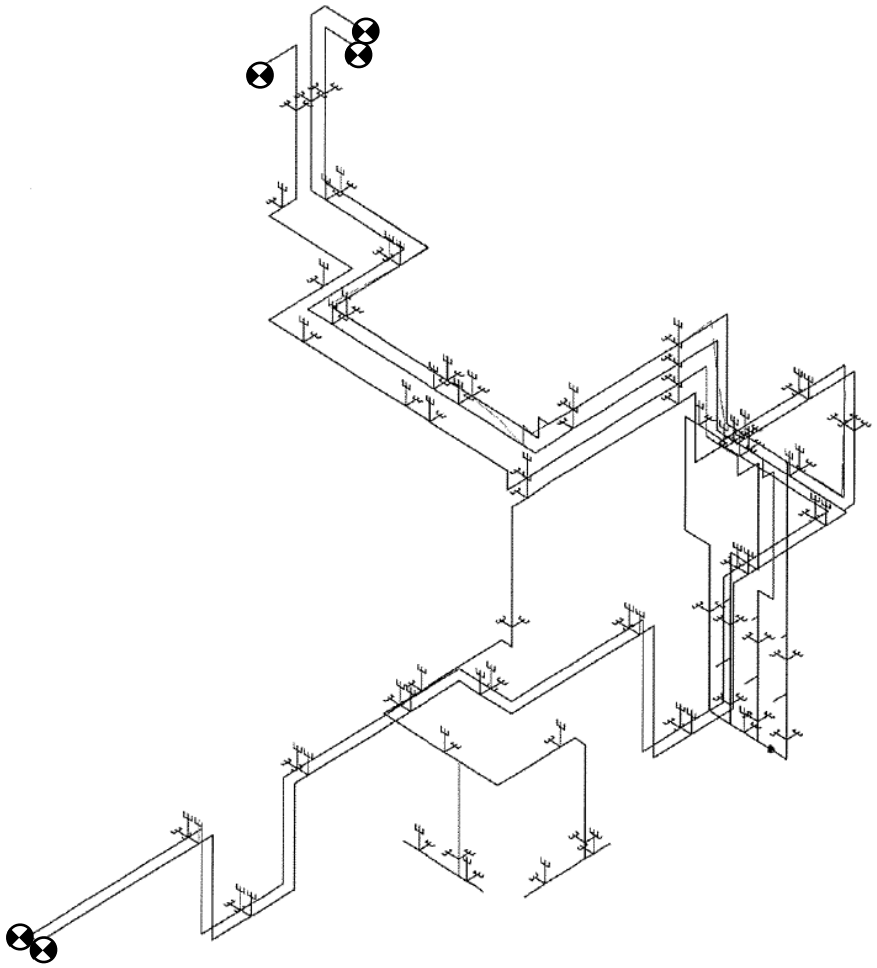
鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア

代表的振動モード図（2 次）



鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア

代表的振動モード図（3 次）



鳥瞰図	中央制御室床下フリーアクセスフロア

4.1.5　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

鳥瞰図　K5HFP-R-2

適用する地震動等		Ｓｓ		
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	0.153	3.98	3.98	5.28
2 次	0.073	3.12	3.12	5.64
3 次	0.065	2.96	2.96	5.52
4 次	0.064	2.89	2.89	5.44
5 次	0.062	2.86	2.86	5.37
6 次	0.062	2.89	2.89	5.31
7 次	0.060	2.92	2.92	5.14
8 次	0.060	2.92	2.92	5.12
9 次	0.058	2.94	2.94	4.26
10 次	0.058	2.95	2.95	4.23
11 次	0.051	2.83	2.83	3.04
12 次	0.050	2.85	2.85	3.03
13 次*2	0.049	―	―	―
動的震度*3		2.35	2.35	1.94

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 ：固有周期が 0.05s 以下であり剛である。

＊3 ：Ｓｓ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　K5HFP-R-2

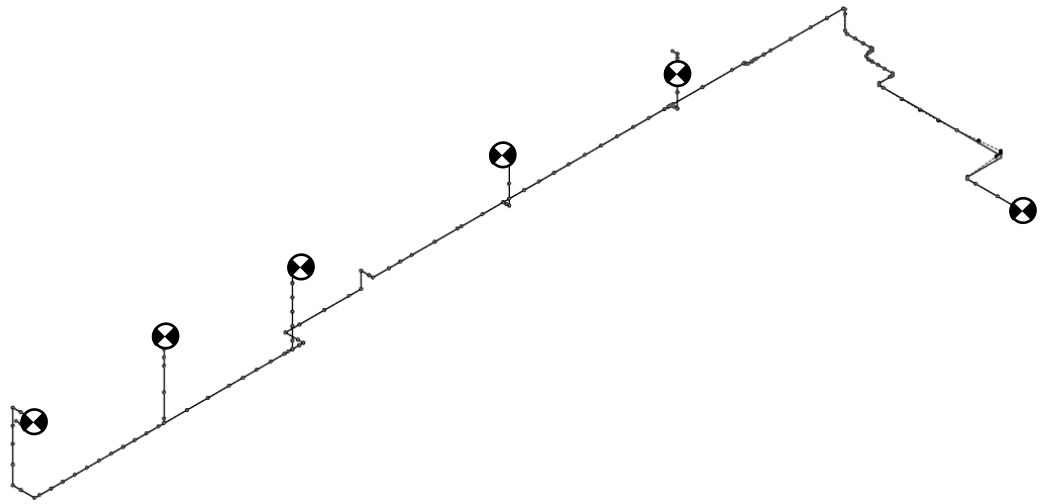
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.153	0.000	0.894	0.000
2次	0.073	0.431	0.070	0.141
3次	0.065	0.296	0.075	0.008
4次	0.064	0.102	0.352	0.020
5次	0.062	0.335	1.128	0.118
6次	0.062	0.844	0.425	0.055
7次	0.060	0.386	0.026	0.100
8次	0.060	0.072	0.174	0.801
9次	0.058	0.815	0.132	0.021
10次	0.058	0.259	0.791	0.020
11次	0.051	0.650	0.153	0.076
12次	0.050	0.073	0.000	0.015

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

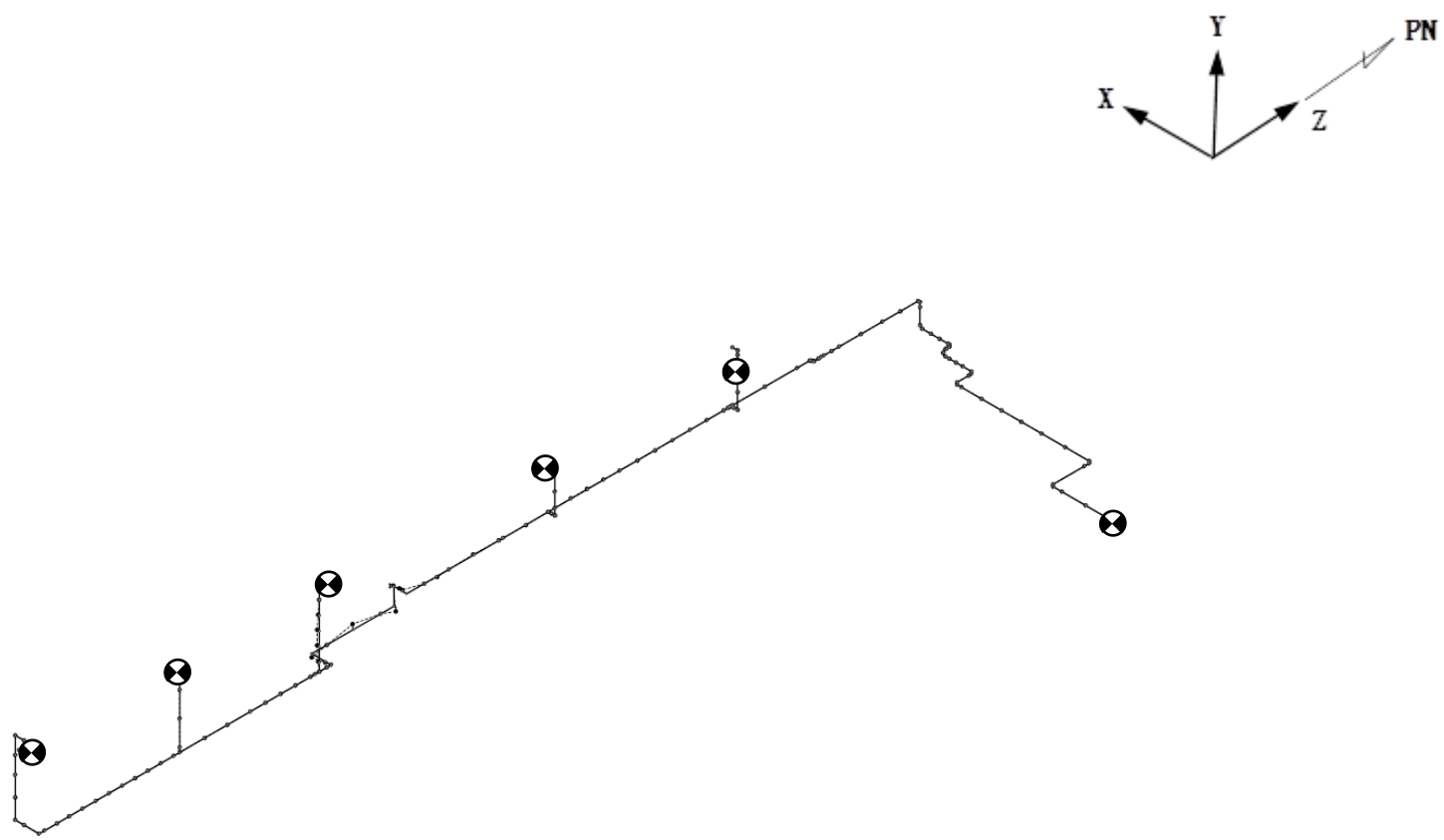
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1 次）



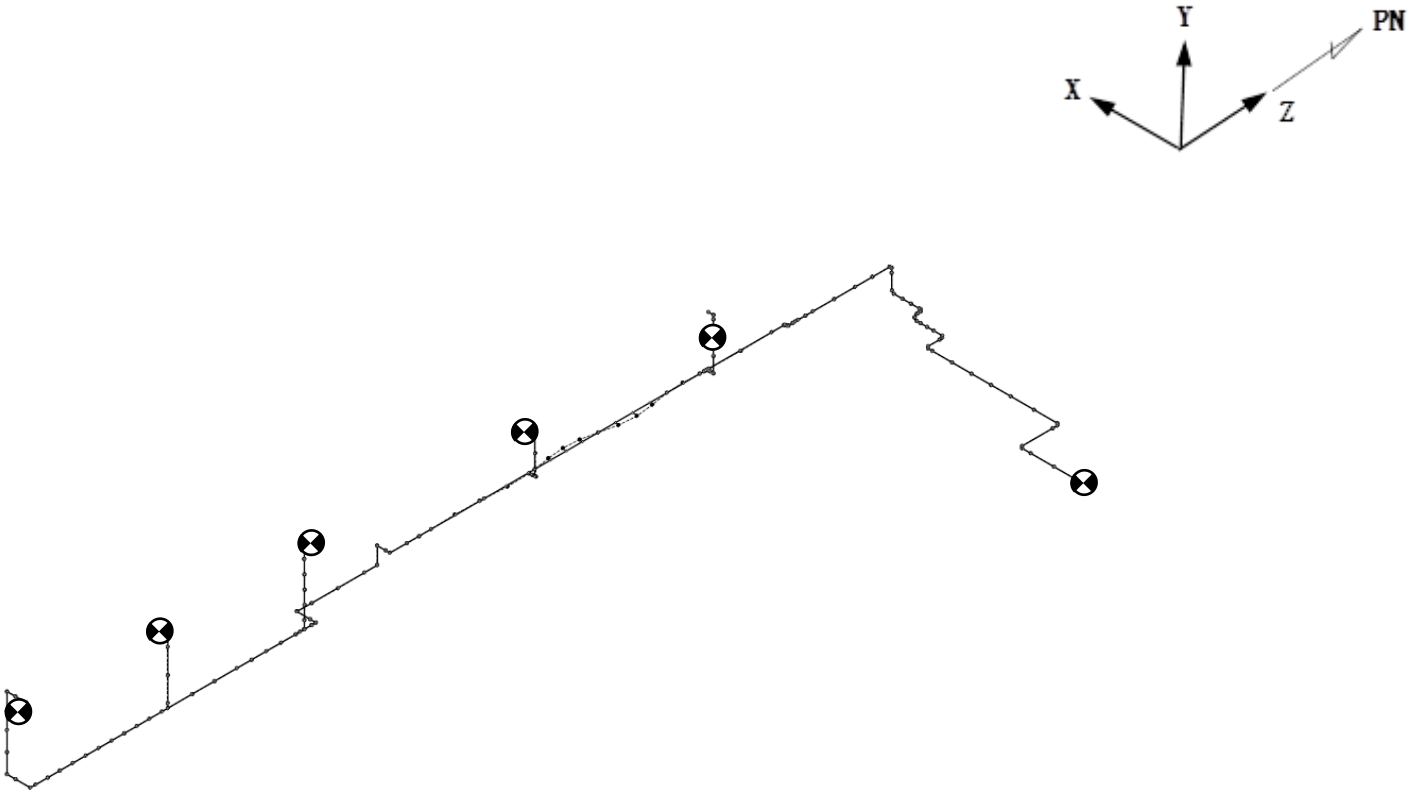
鳥瞰図	K5HFP-R-2

代表的振動モード図（2 次）



鳥瞰図	K5HFP-R-2

代表的振動モード図（3 次）



鳥瞰図	K5HFP-R-2

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。

(1)　二酸化炭素消火設備

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	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 Sprm(Ｓｓ)	許容応力 0.9Ｓｕ	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
FP-BO-B	$Ⅳ_{A}$Ｓ	88	Sprm(Ｓｓ)	146	333	—	—	—
	$Ⅳ_{A}$Ｓ	88	Ｓｎ(Ｓｓ)	—	—	238	430	—

(2) 小空間固定式消火設備

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	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 Sprm(Ｓｓ)	許容応力 0.9Ｓｕ	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
RW-B3F-22	$Ⅳ_{A}$Ｓ $Ⅳ_{A}$Ｓ	103 103	Sprm(Ｓｓ) Ｓｎ(Ｓｓ)	91 —	468 —	— 142	— 410	— —
R-B2F-21-2	$Ⅳ_{A}$Ｓ $Ⅳ_{A}$Ｓ	14 11	Sprm(Ｓｓ) Ｓｎ(Ｓｓ)	36 —	468 —	— 304	— 410	— —

(3)　SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	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 Sprm(Ｓｓ)	許容応力 0.9Ｓｕ	計算応力 Ｓｎ (Ｓｓ)	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
SLC-B	$Ⅳ_{A}$Ｓ	29	Sprm(Ｓｓ)	79	468	—	—	—
	$Ⅳ_{A}$Ｓ	29	Ｓｎ(Ｓｓ)	—	—	126	410	—

(4) 中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	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 Sprm(Ｓｓ)	許容応力 0.9Ｓｕ	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
中央制御室床下 フリーアクセス フロア	$Ⅳ_AS$ $Ⅳ_AS$	40 40	Sprm(Ｓｓ) Ｓｎ(Ｓｓ)	113 —	468 —	— 200	— 410	— —

(5)　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

クラス３管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	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 Sprm(Ｓｓ)	許容応力 0.9Ｓｕ	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
K5HFP-R-2	$\mathrm{IV_AS}$ $\mathrm{IV_AS}$	10 10	Sprm(Ｓｓ) Ｓｎ(Ｓｓ)	155 —	468 —	— 208	— 410	— —

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（℃）	評価結果	
					計算荷重（kN）	許容荷重（kN）
—	—	—	—	—	—	—

(1)　二酸化炭素消火設備

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（℃）	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			
PS-9	レストレイント	Uボルト	SS400	40	2	1	—	—	—	—	せん断	16	161

(2) 小空間固定式消火設備

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(℃)	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			
PS-06 (RW-B3F-22)	レストレイント	Uボルト	SUS304	40	2	1	—	—	—	—	せん断	12	142
PS-71 (R-B2F-21-2)	レストレイント	Uボルト	SUS304	40	0 1*	— —*	1 1*	—	—	—	せん断	9	142

注記＊：相対変位の反力値を示す。

(3) SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

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(℃)	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			
R-04	レストレイント	Uボルト	SUS304	40	1	0	—	—	—	—	せん断	5	142

(4) 中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

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(℃)	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			
RE-HFP-63209	レストレイント	Uボルト	SS400	40	—	2	1	—	—	—	組合せ	9	210
AN-HFP-63806	アンカ	ラグ	SUS304	40	1	1	1	1	1	1	組合せ	100	142

(5) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

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(℃)	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			
SP01-11	レストレイント	Uボルト	SUS304	40	3	2	2	—	—	—	組合せ	24	184
SP01-08	アンカ	プレート	SUS304	40	2	1	1	1	0	1	座屈(曲げ)	62	205

4.2.3　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，応力分類ごと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。

(1)　二酸化炭素消火設備

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３管）

No.	配管モデル	許容応力状態　IV_AS												
		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	FP-BO-AC	41	127	333	2.62	—	41	194	430	2.21	—	—	—	—
2	FP-BO-B	88	146	333	2.28	○	88	238	430	1.80	○	—	—	—
3	FP-DT-A	1	35	333	9.51	—	1	12	430	35.83	—	—	—	—
4	FP-DT-B	1	35	333	9.51	—	1	12	430	35.83	—	—	—	—
5	FP-DT-C	1	35	333	9.51	—	1	12	430	35.83	—	—	—	—
6	FP-DG-A	1	41	333	8.12	—	1	10	430	43.00	—	—	—	—
7	FP-DG-B	1	47	333	7.08	—	1	22	430	19.54	—	—	—	—
8	FP-DG-C	1	53	333	6.28	—	1	36	430	11.94	—	—	—	—

(2) 小空間固定式消火設備

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３管）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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	R-B3F-01	72	30	468	15.60	—	72	16	410	25.62	—	—	—	—
2	R-B3F-02	20	39	468	12.00	—	20	32	410	12.81	—	—	—	—
3	R-B3F-03	11	29	468	16.13	—	11	12	410	34.16	—	—	—	—
4	R-B3F-04	20	33	468	14.18	—	19	18	410	22.77	—	—	—	—
5	R-B3F-05	13	31	468	15.09	—	35	12	410	34.16	—	—	—	—
6	R-B3F-10	49	44	468	10.63	—	49	38	410	10.78	—	—	—	—
7	R-B3F-11	30	30	468	15.60	—	9	12	430	35.83	—	—	—	—
8	R-B3F-19	8	41	333	8.12	—	10	28	430	15.35	—	—	—	—
9	R-B3F-23	12	31	468	15.09	—	12	22	410	18.63	—	—	—	—
10	R-B2F-01B	1	26	468	18.00	—	31	16	410	25.62	—	—	—	—
11	R-B2F-02	20	32	468	14.62	—	20	22	410	18.63	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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
12	R-B2F-05	18	45	468	10.40	—	18	26	410	15.76	—	—	—	—
13	R-B2F-07	7	29	468	16.13	—	7	12	410	34.16	—	—	—	—
14	R-B2F-14	10	30	468	15.60	—	12	22	410	18.63	—	—	—	—
15	R-B2F-20	15	33	468	14.18	—	1	24	410	17.08	—	—	—	—
16	R-B2F-22	19	30	468	15.60	—	19	12	410	34.16	—	—	—	—
17	R-B1F-11	11	35	468	13.37	—	11	16	410	25.62	—	—	—	—
18	R-B1F-10	1	54	468	8.66	—	1	32	410	12.81	—	—	—	—
19	R-B1F-17	36	45	468	10.40	—	21	32	410	12.81	—	—	—	—
20	R-B1F-19	11	33	468	14.18	—	11	16	410	25.62	—	—	—	—
21	R-B1F-20	9	42	468	11.14	—	21	30	410	13.66	—	—	—	—
22	R-B1F-21-1	19	32	468	14.62	—	202	12	410	34.16	—	—	—	—
23	R-B1F-21-2	13	48	468	9.75	—	13	36	410	11.38	—	—	—	—
24	R-B1F-26	12	37	468	12.64	—	12	32	410	12.81	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $Ⅳ_AS$												
		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
25	R-1F-01A	22	50	468	9.36	—	22	58	410	7.06	—	—	—	—
26	R-1F-02	1	29	468	16.13	—	12	12	410	34.16	—	—	—	—
27	R-1F-07	13	33	468	14.18	—	13	26	410	15.76	—	—	—	—
28	R-1F-10	10	40	468	11.70	—	10	38	410	10.78	—	—	—	—
29	R-1F-11	11	28	468	16.71	—	11	14	410	29.28	—	—	—	—
30	R-1F-13	26	37	468	12.64	—	26	20	410	20.50	—	—	—	—
31	R-1F-15	11	32	468	14.62	—	11	24	410	17.08	—	—	—	—
32	R-1F-17	23	30	468	15.60	—	23	24	410	17.08	—	—	—	—
33	R-1F-20	10	28	468	16.71	—	10	12	410	34.16	—	—	—	—
34	R-1F-23	24	30	468	15.60	—	32	22	410	18.63	—	—	—	—
35	R-2F-05	24	43	468	10.88	—	24	40	410	10.25	—	—	—	—
36	R-2F-06	12	38	468	12.31	—	12	44	410	9.31	—	—	—	—
37	R-2F-07	18	30	468	15.60	—	26	12	410	34.16	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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
38	R-2F-11	12	38	468	12.31	—	12	34	410	12.05	—	—	—	—
39	R-2F-14	1	34	468	13.76	—	12	20	410	20.50	—	—	—	—
40	R-2F-15	28	29	468	16.13	—	10	14	410	29.28	—	—	—	—
41	R-3F-04-1	38	36	468	13.00	—	38	26	410	15.76	—	—	—	—
42	R-3F-04-2	17	38	468	12.31	—	17	28	410	14.64	—	—	—	—
43	R-3F-05	35	43	468	10.88	—	43	24	410	17.08	—	—	—	—
44	R-3F-09	16	34	468	13.76	—	16	20	410	20.50	—	—	—	—
45	R-3F-17	1	31	468	15.09	—	1	8	410	51.25	—	—	—	—
46	R-3F-18	1	40	468	11.70	—	1	26	410	15.76	—	—	—	—
47	R-3F-20	17	33	468	14.18	—	17	22	410	18.63	—	—	—	—
48	R-M4F-03	39	40	468	11.70	—	39	32	410	12.81	—	—	—	—
49	R-M4F-09	15	39	468	12.00	—	15	36	410	11.38	—	—	—	—
50	R-M4F-12	15	40	468	11.70	—	15	32	410	12.81	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $Ⅳ_AS$												
		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
51	R-M4F-13	20	45	468	10.40	—	16	32	410	12.81	—	—	—	—
52	R-4F-02	18	53	468	8.83	—	137	64	410	6.40	—	—	—	—
53	R-4F-03	26	29	468	16.13	—	26	16	410	25.62	—	—	—	—
54	R-4F-09A	17	35	468	13.37	—	17	20	410	20.50	—	—	—	—
55	T-B2F-02	5	42	468	11.14	—	321	26	410	15.76	—	—	—	—
56	T-B2F-20	19	34	468	13.76	—	297	16	410	25.62	—	—	—	—
57	T-B2F-26	23	46	468	10.17	—	21	48	410	8.54	—	—	—	—
58	H-B2F-03-1	134	36	468	13.00	—	13	22	410	18.63	—	—	—	—
59	H-B2F-03-2	179	40	468	11.70	—	179	36	410	11.38	—	—	—	—
60	H-B2F-09	35	34	468	13.76	—	172	26	410	15.76	—	—	—	—
61	H-B2F-09B	1	31	468	15.09	—	10	12	410	34.16	—	—	—	—
62	H-B2F-10	3	27	468	17.33	—	10	16	410	25.62	—	—	—	—
63	H-B1F-01	21	42	468	11.14	—	21	30	410	13.66	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $Ⅳ_AS$												
		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
64	H-B1F-04-1	186	88	468	5.31	—	186	136	410	3.01	—	—	—	—
65	H-B1F-04-2	207	50	468	9.36	—	207	60	410	6.83	—	—	—	—
66	H-B1F-09-1	17	37	468	12.64	—	153	36	410	11.38	—	—	—	—
67	H-B1F-09-2	157	41	468	11.41	—	157	42	410	9.76	—	—	—	—
68	H-B1F-10	14	48	468	9.75	—	14	32	410	12.81	—	—	—	—
69	H-1F-02	16	36	468	13.00	—	16	20	410	20.50	—	—	—	—
70	C-B2F-01	24	36	468	13.00	—	30	24	410	17.08	—	—	—	—
71	C-B2F-02	5	42	468	11.14	—	5	44	410	9.31	—	—	—	—
72	C-B2F-03-1	39	38	468	12.31	—	12	30	410	13.66	—	—	—	—
73	C-B2F-03-2	30	35	468	13.37	—	166	22	410	18.63	—	—	—	—
74	C-B2F-11	19	29	468	16.13	—	19	22	410	18.63	—	—	—	—
75	C-B1F-01	18	31	468	15.09	—	18	14	410	29.28	—	—	—	—
76	C-B1F-02	1	44	468	10.63	—	318	46	410	8.91	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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
77	C-B1F-11A	43	38	468	12.31	—	43	32	410	12.81	—	—	—	—
78	C-B1F-11B	13	69	468	6.78	—	13	88	410	4.65	—	—	—	—
79	C-1F-01	59	33	468	14.18	—	59	28	410	14.64	—	—	—	—
80	C-1F-02	20	32	468	14.62	—	20	22	410	18.63	—	—	—	—
81	C-1F-03	13	30	468	15.60	—	14	18	410	22.77	—	—	—	—
82	C-1F-06	1	28	468	16.71	—	1	20	410	20.50	—	—	—	—
83	C-2F-01	17	43	468	10.88	—	17	30	410	13.66	—	—	—	—
84	RW-B3F-16	14	34	468	13.76	—	14	36	410	11.38	—	—	—	—
85	RW-B3F-22	103	91	468	5.14	○	103	142	410	2.88	—	—	—	—
86	RW-B3F-25	241	39	468	12.00	—	241	42	410	9.76	—	—	—	—
87	RW-B2F-04	352	49	468	9.55	—	355	60	410	6.83	—	—	—	—
88	RW-B1F-09	1	37	468	12.64	—	1	34	410	12.05	—	—	—	—
89	RW-B1F-13	8	45	468	10.40	—	98	44	410	9.31	—	—	—	—

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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
90	R-B3F-26-1	15	31	468	15.09	—	28	23	410	17.82	—	—	—	—
91	R-B3F-26-2	12	54	468	8.66	—	22	264	410	1.55	—	—	—	—
92	R-B2F-21-1	8	34	468	13.76	—	8	18	410	22.77	—	—	—	—
93	R-B2F-21-2	14	36	468	13.00	—	11	304	410	1.34	○	—	—	—
94	RW-1F-13	23	31	468	15.09	—	23	16	410	25.62	—	—	—	—
95	RW-B1F-15	32	47	468	9.95	—	32	52	410	7.88	—	—	—	—
96	C-1F-11	16	30	468	15.60	—	27	40	410	10.25	—	—	—	—
97	RW-B2F-07	42	47	468	9.95	—	42	34	410	12.05	—	—	—	—
98	C-1F-04	506	37	468	12.64	—	506	31	410	13.22	—	—	—	—
99	C-1F-05	401	62	333	5.37	—	401	85	430	5.05	—	—	—	—
100	C-1F-07	811	26	468	18.00	—	431	19	410	21.57	—	—	—	—

(3) SLC ポンプ・CRD ポンプ局所消火設備

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３管）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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	SLC-A	4	44	468	10.63	—	4	56	410	7.32	—	—	—	—
2	SLC-B	29	79	468	5.92	○	29	126	410	3.25	○	—	—	—
3	CRD-A	35	42	468	11.14	—	35	50	410	8.20	—	—	—	—
4	CRD-B	44	58	468	8.06	—	44	82	410	5.00	—	—	—	—

(4) 中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３管）

No.	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		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	ブロック 1	40	113	468	4.14	○	40	200	410	2.05	○	—	—	—
2	ブロック 2	801	79	468	5.92	—	1	102	410	4.01	—	—	—	—
3	ブロック 3	59	96	468	4.87	—	47	147	410	2.78	—	—	—	—

(5) 5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス３管）

No.	配管モデル	許容応力状態 $Ⅳ_AS$												
		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	K5HFP-R-1	20	41	468	11.41	—	20	32	410	12.81	—	—	—	—
2	K5HFP-R-2	10	155	468	3.01	○	10	208	410	1.97	○	—	—	—
3	K5HFP-R-3	10	43	468	10.88	—	10	28	410	14.64	—	—	—	—
4	K5HFP-R-4	7	95	468	4.92	—	7	110	410	3.72	—	—	—	—

4.2.4　耐震評価結果

(1)　電源盤・制御盤消火設備　設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較（×9.8m/s^2）

		設置位置での加速度*	加振台の最大加速度
消火配管	水平方向	1.38	
	鉛直方向	1.15	

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とし，評価対象フロアの上下階のいずれか大きい方の応答加速度を適用する。

(2)　ケーブルトレイ消火設備　設置位置での加速度と加振台の最大加速度との比較（×9.8m/s^2）

		設置位置での加速度*	加振台の最大加速度
消火配管	水平方向	1.63	
	鉛直方向	1.18	

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とし，評価対象フロアの上下階のいずれか大きい方の応答加速度を適用する。

Ⅴ-2-別添 1-7　制御盤の耐震計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認方法 ····· 3
3.2　固有周期の確認結果 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 3
4.1　構造強度評価方法 ····· 3
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 3
4.2.2　許容応力 ····· 3
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 3
4.3　計算条件 ····· 5
5.　機能維持評価 ····· 5
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 5
6.　評価結果 ····· 5
6.1　制御盤の評価結果 ····· 5

1. 概要

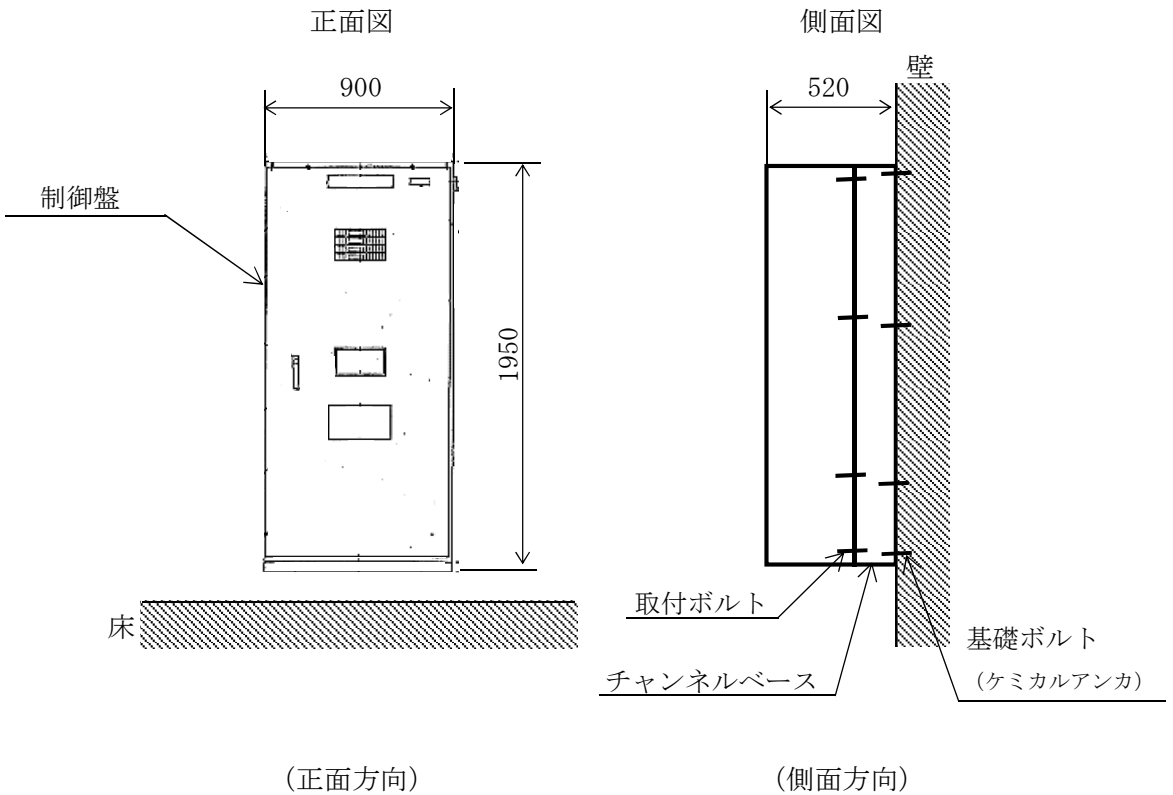
本計算書は，Ｖ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ｖ-2-別添 1-1」という。）にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御盤の構造計画を表 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	
制御盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに固定する。 チャンネルベースは基礎ボルトにより基礎部である壁に固定する。	制御盤 （壁掛形）	【制御盤】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。制御盤の外形図を表 2－1 の概略構造図に示す。

3.2　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。測定の結果，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 3－1　固有周期（単位：s）

水平	0.050以下
鉛直	0.050以下

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

制御盤の構造強度評価は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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

制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力

制御盤の許容応力は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

制御盤の使用材料の許容応力評価条件を表 4－3 に示す。

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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	制御盤	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4－2　許容応力（その他の支持構造物）

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・f_t*	1.5・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4－3　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_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
基礎ボルト	SS400（40mm＜径≦100mm）	周囲環境温度	40	215	400	—
取付ボルト	SS400（40mm＜径≦100mm）	周囲環境温度	40	215	400	—

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【制御盤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。

5.　機能維持評価

5.1　電気的機能維持評価方法

制御盤の電気的機能維持評価は，Ⅴ-2-別添 1-1 に記載の評価方法に基づき行う。

制御盤の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-別添 1-1 に基づき，同形式の制御盤のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度(×9.8m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
制御盤	水平	6.00
	鉛直	4.00

6.　評価結果

6.1　制御盤の評価結果

制御盤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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御盤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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
制御盤	C	原子炉建屋 T.M.S.L.18.1 (T.M.S.L.23.5*)	0.050以下	0.050以下	—	—	C_H＝2.27	C_V＝1.23	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*2 (mm)	ℓ_{2i}*2 (mm)	ℓ_{3i}*2 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}*2	n_{fHi}*2
基礎ボルト (i＝1)	467	520*1	1927*1	1904	854	12 (M12)	113.1	8	2	2
			1927*1	1904	854				2	2
取付ボルト (i＝2)	380	420*1	1920*1	1890	840	12 (M12)	113.1	8	2	2
			1920*1	1890	840				2	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (i＝1)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	側面方向
取付ボルト (i＝2)	215 (40mm＜径≦100mm)	400 (40mm＜径≦100mm)	—	258	—	側面方向

注記＊1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

＊2：機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bi}	Q_{bi}
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1)	6.655×10^{3}	1.457×10^{4}
取付ボルト（ｉ＝2)	5.220×10^{3}	1.186×10^{4}

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=84$	$f_{ts1}=154$*
		せん断	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト（ｉ＝2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=193$*
		せん断	$\tau_{b2}=19$	$f_{sb2}=148$

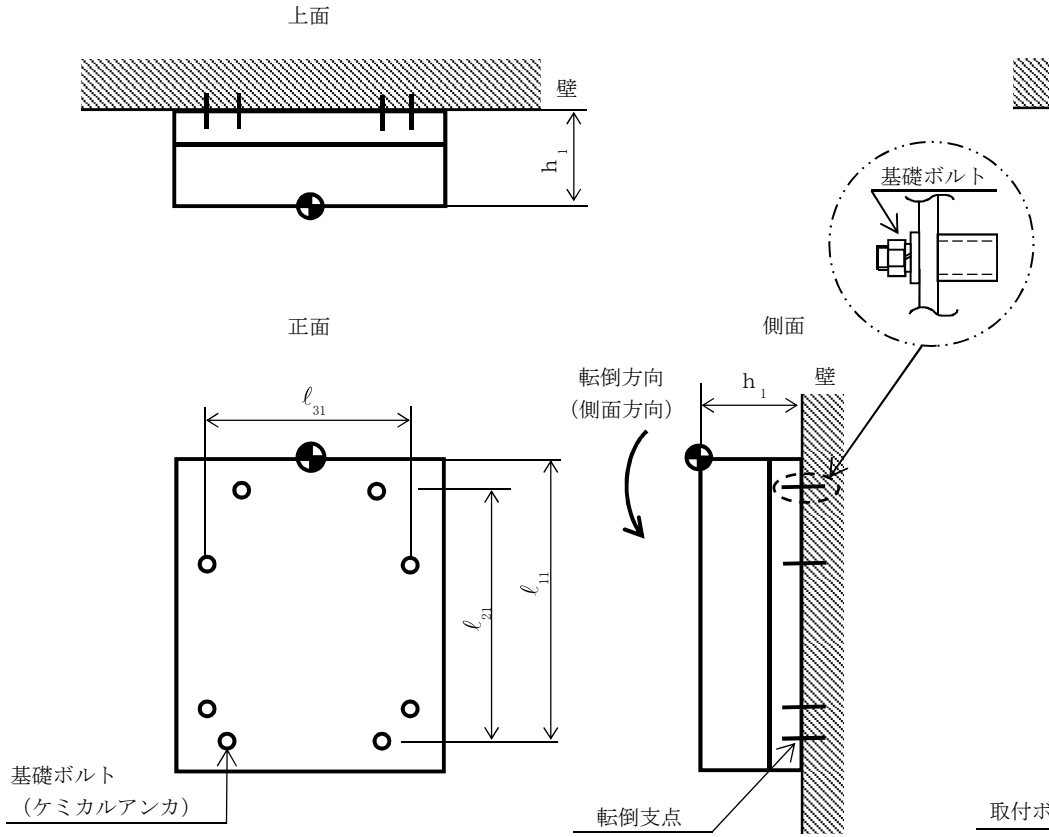
すべて許容応力以下である。　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8m/s^2)

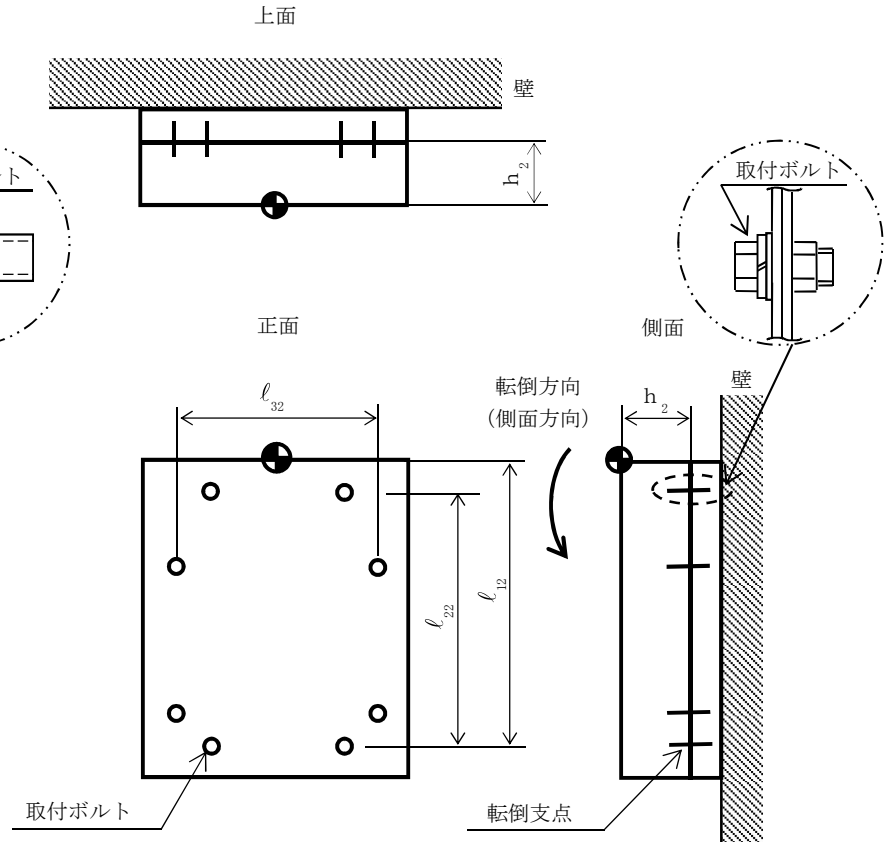
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御盤	水平方向	1.01	6.00
	鉛直方向	0.93	4.00

注記＊：基準地震動Ｓｓ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。

基礎ボルト（ｉ＝1)



取付ボルト（ｉ＝2)



Ⅴ-2-別添1-8　火災防護設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　影響評価 ····· 1
2.1　基本方針 ····· 1
2.2　評価条件及び評価方法 ····· 1
3.　評価結果 ····· 4
3.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出 ····· 4
3.2　建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果 ····· 4
3.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 ····· 4
3.4　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 ····· 4
3.5　まとめ ····· 5

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算方針」（以下「Ⅴ-2-別添 1-1」という。）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，火災防護設備について設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能，動的機能を有することを確認するため，動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

火災防護設備に関する，水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，添付書類Ⅴ-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて，設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

添付書類Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち，従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力の組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して設備の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し，設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図 2－1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

火災防護設備のうち，基準地震動Ｓｓによる地震力に対してその機能が維持できることを確認する設備を評価対象とする（図2－1①）。

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平2方向の地震力が重畳する観点，若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い，水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する（図2－1②）。

(3)　発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して，水平2方向の地震力が各方向1：1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して，水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また，建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討により，機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は，機器・配管系への影響を評価し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は，機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする（図2－1③）。

(4)　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

「(3)　発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備が有する耐震性への影響を確認する（図2－1④）。

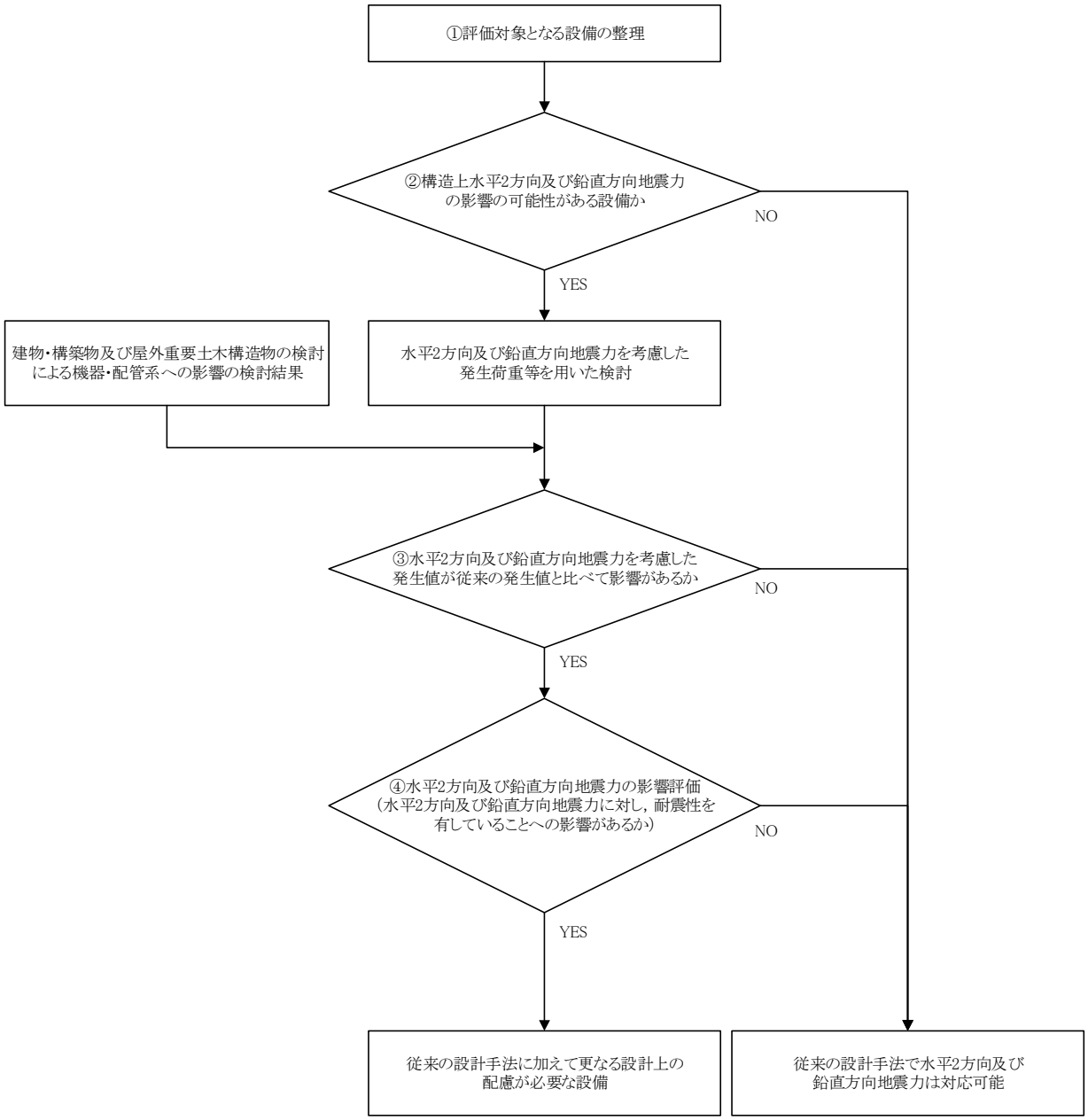


図 2－1　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3. 評価結果

3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備を表3－1に示す。添付書類Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ，評価対象設備の各評価部位，応力分類に対し構造上の特徴から，水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は，水平1方向の地震に加えて，さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合，水平2方向の地震力による影響を検討し，影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。なお，ここでの影響が軽微な設備とは，構造上の観点から発生応力への影響に着目し，その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが，水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の設備については，個別に検討を行うこととする。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性がある設備について，水平2方向の地震力が各方向1：1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の計算による発生値と比較し，その増分により影響の程度を確認し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において，火災防護設備への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表3－2にて抽出された設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を，添付書類Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して，設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表3－3に示す。

3.5　まとめ

火災防護設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも火災防護設備が有する耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表3－1　水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備

設備名称	評価部位
火災感知器	基礎ボルト 取付ボルト
火災受信機盤	基礎ボルト 取付ボルト
ボンベラック	ボンベラック部材 基礎ボルト
選択弁	選択弁ラック部材 基礎ボルト
消火配管	消火配管
制御盤	基礎ボルト 取付ボルト

表 3－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（1/2）

(1)　構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.1(1)水平 2 方向の地震力が重畳する観点（以下「重畳の観点」という。） ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（以下「ねじれ振動等の観点」という。） ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点（以下「増分の観点」という。） ○：影響あり ―：該当なし	抽出結果
火災感知器	△ （取付ボルト） 一次応力（引張）＊	×	―	火災感知器は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
火災受信機盤	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張）＊	×	―	火災受信機盤は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
ボンベラック	△ （ボンベラック部材） 一次応力（組合せ）＊	×	―	ボンベラックは，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
選択弁	△ （選択弁ラック部材） 一次応力（組合せ）＊	×	―	選択弁ラックは，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
消火配管	△ （配管本体） 一次＋二次応力＊	○	―	消火配管は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
制御盤	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張）＊	×	―	制御盤は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。

注記＊：Ⅴ-2-別添 1-2～7 の各耐震計算書のうち，評価上厳しい応力を記載する。

表 3－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（2/2）

(2)　機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)増分の観点 ○：影響あり ―：該当なし	検討結果
火災感知器	○	×	○	影響評価結果は表 3－4 参照
火災受信機盤	△	×	―	盤内に取り付けられている電気品は，基本的に 1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて，基本的には全て梁，扉等の強度部材に強固に固定されているため，器具の非線形応答はないと考えられる。したがって，電気品は水平 1 方向の地震力を負担し，他の水平方向の地震力は負担しないため，水平 2 方向入力の影響は軽微である。
容器弁	○	×	○	影響評価結果は表 3－4 参照
選択弁	○	×	○	影響評価結果は表 3－4 参照
制御盤	△	×	―	盤内に取り付けられている電気品は，基本的に 1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて，基本的には全て梁，扉等の強度部材に強固に固定されているため，器具の非線形応答はないと考えられる。したがって，電気品は水平 1 方向の地震力を負担し，他の水平方向の地震力は負担しないため，水平 2 方向入力の影響は軽微である。

表3－3　水平2方向及び鉛直方向地震力による機能維持評価結果（1/2）

（×9.8m/s^2）

設備名称		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				
		加速度評価部位	水平方向加速度			
			1方向入力発生加速度*1	2方向想定発生加速度*2	機能確認済加速度	判定
火災感知器	熱感知器	加振台への取付位置	1.89	2.68	4	○
	煙感知器	加振台への取付位置	1.89	2.68	4	○
	煙感知器（防爆型）	加振台への取付位置	1.36	1.93	10.00	○
	熱感知器（防爆型）	加振台への取付位置	1.36	1.93	10	○
	煙感知器（光電分離型）	加振台への取付位置	1.89	2.68	10.00	○
	煙吸引式検出設備	加振台への取付位置	0.94	1.33	4.00	○
	煙吸引式検出設備（防湿型）	加振台への取付位置	0.93	1.32	5.0	○
	炎感知器	加振台への取付位置	1.89	2.68	12.00	○
	熱感知カメラ	加振台への取付位置	1.89	2.68	12.00	○

2方向想定発生加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

注記＊1　：基準地震動Ｓｓによる地震力において発生する加速度を記載している。

＊2　：「1方向入力発生加速度」に対して，√2を乗じた値を記載している。

表 3－3　水平 2 方向及び鉛直方向地震力による機能維持評価結果（2/2）

（×9.8m/s²）

設備名称		水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				
		加速度評価部位	水平方向加速度			
			1 方向入力発生加速度*1	2 方向想定発生加速度*2	機能確認済加速度	判定
容器弁	二酸化炭素消火設備　容器弁	加振台への取付位置	1.01	1.43	4.0	○
	小空間固定式消火設備（68ℓ2 列 8 本）容器弁	加振台への取付位置	0.89	1.26	10.0	○
	小空間固定式消火設備（68ℓ1 列 2 本）容器弁	加振台への取付位置	0.83	1.18	10.0	○
	SLC ポンプ･CRD ポンプ局所消火設備容器弁	加振台への取付位置	0.74	1.05	10.0	○
	電源盤･制御盤消火設備　容器弁	加振台への取付位置	0.94	1.33	3.10	○
	ケーブルトレイ消火設備　容器弁	加振台への取付位置	0.94	1.33	3.10	○
	中央制御室床下フリーアクセスフロア消火設備　容器弁	加振台への取付位置	1.37	1.94	3.10	○
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所消火設備　容器弁	加振台への取付位置	1.08	1.53	3	○
選択弁	選択弁 32A	加振台への取付位置	1.01	1.43	4.0	○
	選択弁 65A	加振台への取付位置	1.01	1.43	4.0	○

2 方向想定発生加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

注記＊1 ：基準地震動Ｓｓによる地震力において発生する加速度を記載している。

＊2 ：「1 方向入力発生加速度」に対して，√2 を乗じた値を記載している。

Ⅴ-2-別添2　溢水防護に係る施設の耐震性に関する説明書

Ⅴ-2-別添 2-1　溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　耐震評価の基本方針 ····· 2
2.1　評価対象施設 ····· 2
2.1.1　耐震Ｂ，Ｃクラス機器 ····· 2
2.1.2　溢水防護に係る施設 ····· 2
3.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 ····· 6
3.1　荷重及び荷重の組合せ ····· 6
3.1.1　荷重の種類 ····· 6
3.1.2　荷重の組合せ ····· 6
3.2　許容限界 ····· 7
3.2.1　耐震Ｂ，Ｃクラス機器 ····· 7
3.2.2　溢水防護に係る施設 ····· 7
4.　耐震評価方法 ····· 8
4.1　地震応答解析 ····· 8
4.1.1　入力地震動 ····· 10
4.1.2　解析方法及び解析モデル ····· 10
4.1.3　設計用減衰定数 ····· 11
4.2　耐震評価 ····· 13
4.2.1　耐震評価方法 ····· 13
4.3　機能維持評価 ····· 14
4.3.1　動的機能の維持 ····· 14
4.3.2　電気的機能の維持 ····· 14
4.4　水平２方向及び鉛直方向地震力の考慮 ····· 15
5.　適用基準 ····· 15

1. 概要

本資料は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成25年6月28日原子力規制委員会規則第6号）（以下「技術基準規則」という。）」第12条及び第54条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため，Ⅴ-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちⅤ-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて耐震性を有することから溢水源として設定しないとした耐震Ｂ，Ｃクラス機器（以下「耐震Ｂ，Ｃクラス機器」という。）及び耐震Ｃクラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）が，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設への基準地震動Ｓｓによる地震力に対する耐震性の要求は，技術基準規則の第5条及び50条の対象ではない。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-2-別添2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」に，溢水防護に係る施設のうち循環水系隔離システム，タービン補機冷却海水系隔離システム（以下「漏えい検出器」という。），復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の具体的な計算の方法及び結果は，Ⅴ-2-別添2-4「循環水系隔離システムの耐震計算書」，Ⅴ-2-別添2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」，Ⅴ-2-別添2-6「タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震計算書」及びⅤ-2-別添2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」に示すとともに，動的地震力の水平２方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果は，Ⅴ-2-別添2-3「溢水防護に係る施設の水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

また，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，止水性の維持を期待する床ドレンライン浸水防止治具，貫通部止水処置の耐震性については，評価対象が同一であるⅤ-2-10-2-4-1「床ドレンライン浸水防止治具の耐震性についての計算書」及びⅤ-2-10-2-4-2「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」に示す。

なお，主要設備リストに記載する浸水防護に係る浸水防護施設となる閉止板，水密扉，水密扉付止水堰及び止水堰の基本方針書を，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示し，その耐震性についての計算書をⅤ-2-10-2-2-1「取水槽閉止板の耐震性についての計算書」，Ⅴ-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」，Ⅴ-2-10-2-3-2「水密扉付止水堰の耐震性についての計算書」及びⅤ-2-10-2-3-3「止水堰の耐震性についての計算書」に示す。

2.　耐震評価の基本方針

耐震評価は，「2.1　評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として，「3.1　荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動Ｓｓによる地震力と組み合わすべき他の荷重による組合せ荷重による応力又は荷重（以下「応力等」という。）が，「3.2　許容限界」で示す許容限界内にあることを，「4.　耐震評価方法」に示す評価方法を使用し，「5.　適用基準」で示す適用規格を用いて確認する。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，その機能を維持又は保持できる設計とすることを踏まえ，水平２方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて実施する。影響評価方法は「4.4　水平２方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1　評価対象施設

評価対象施設は，耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設（Ⅴ-2-10-2「浸水防護の耐震性に関する説明書」で評価する浸水防護施設を除く。以下同じ。）を対象とする。

2.1.1　耐震Ｂ，Ｃクラス機器

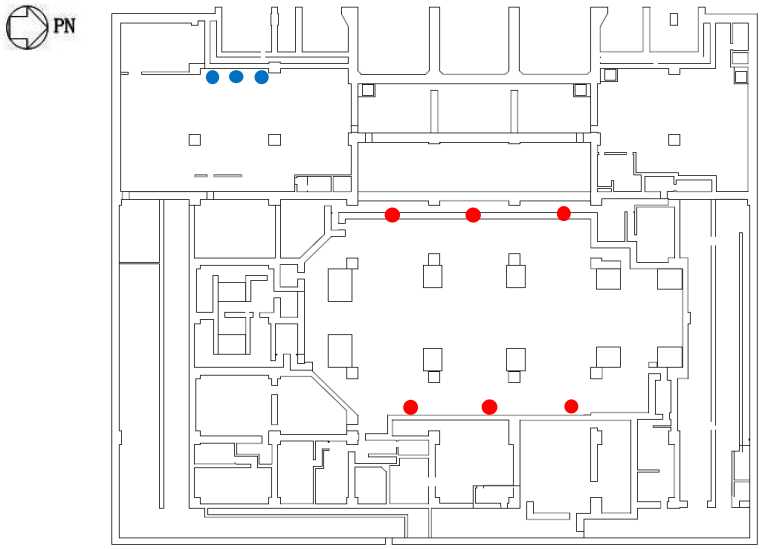
Ⅴ-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて溢水源となり得る流体を内包する機器のうち，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して溢水源として想定しない耐震性Ｂ，Ｃクラス機器を評価対象施設とする。

評価対象施設のポンプ，熱交換器等，配管，弁及び支持構造物の構造は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」にて示す各構造を踏まえ，応答性状を適切に評価することで適用する地震力に対して構造強度を有する構造とする。

2.1.2　溢水防護に係る施設

溢水防護に関する施設の構造計画を表2－1，表2－2，表2－3に示す。

表 2－1　構造計画（漏えい検出器）

<table>
<tr><td colspan="3">配置図</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 

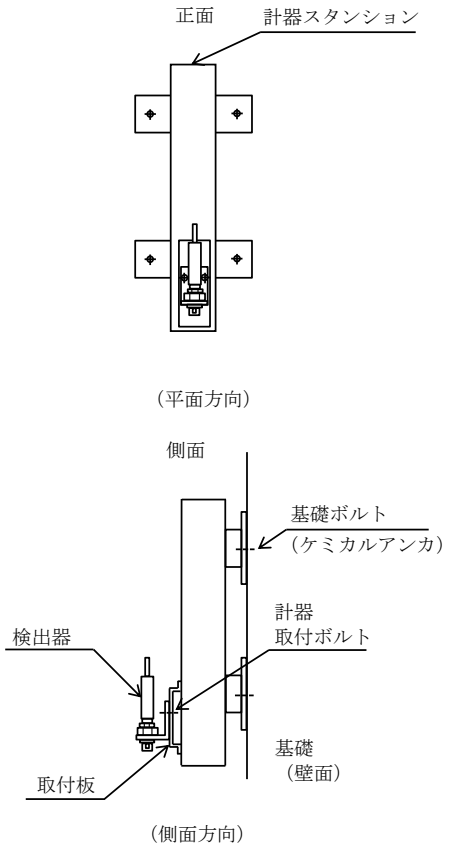
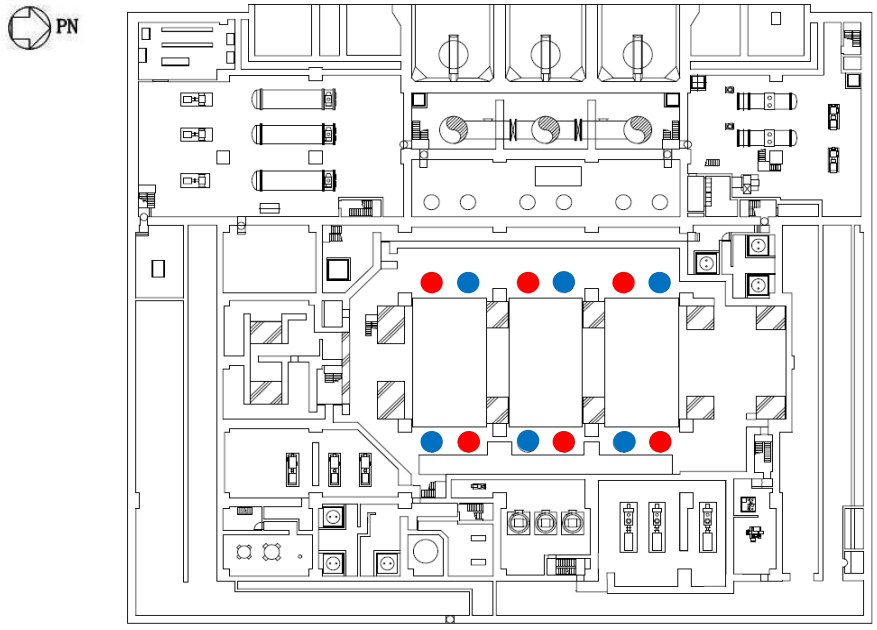
●：循環水系隔離システム漏えい検出器
●：タービン補機冷却海水系隔離システム漏えい検出器
タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">計画の概要</td><td rowspan="2">概略構造図</td></tr>
<tr><td>主体構造</td><td>支持構造</td></tr>
<tr><td>電極式水位検出器</td><td>検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，計器スタンションに固定される。
計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。</td><td> 
</td></tr>
</table>

表 2－2　構造計画（復水器水室出入口弁）

配置図



●：復水器水室入口弁
●：復水器水室出口弁

タービン建屋　T.M.S.L.－5100mm

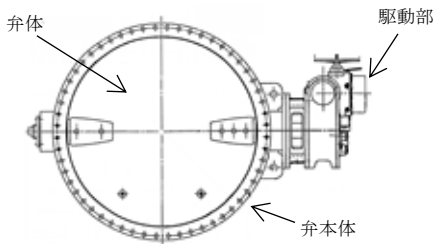
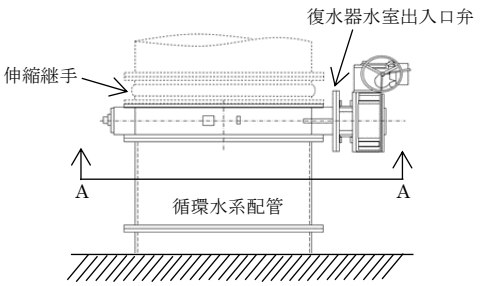
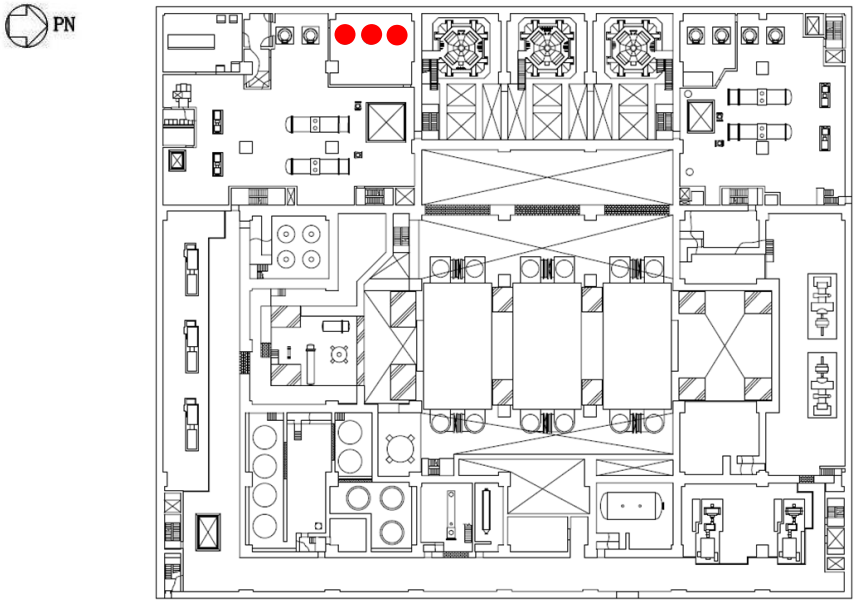
計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	循環水系配管にて固定する。	 A－A 断面図  弁設置位置図

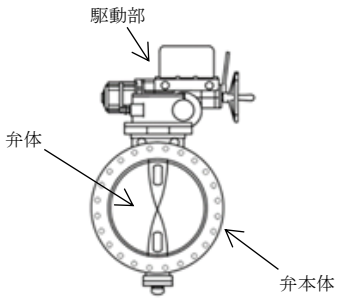
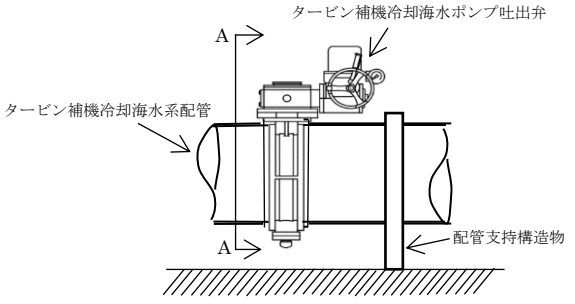
表 2－3　構造計画（タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁）

配置図



●：タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

タービン建屋　T.M.S.L.4900mm

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	タービン補機冷却海水系配管に固定される。配管については，床面に支持構造物にて固定する。	 A－A 断面図  弁設置位置図

3.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを，「3.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「3.2　許容限界」に示す。

3.1　荷重及び荷重の組合せ

3.1.1　荷重の種類

応力評価に用いる荷重は，溢水起因の荷重と組合せない*ため，以下の荷重を用いる。

(1)　常時作用する荷重（Ｄ）

死荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

(2)　内圧荷重（P_D）

内圧荷重は，当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3)　機械的荷重（M_D）

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4)　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重は，基準地震動Ｓｓにより定まる地震力とする。

3.1.2　荷重の組合せ

荷重の組合せは，溢水起因の荷重と組合せない*ため，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1　構造強度上の制限」に示す機器・配管系の荷重の組合せを踏まえて設定する。

注記＊：地震起因により発生する溢水は，地震後に作用するため，地震荷重と組合せない。なお，Ⅴ-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」にて溢水源として設定する想定破損による溢水及び消火水の放水による溢水の荷重は，地震起因による溢水と重畳しない。

3.2　許容限界

3.2.1　耐震Ｂ，Ｃクラス機器

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対する耐震性を有し，機器の破損により溢水源とならない設計とするため，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を準用する。

3.2.2　溢水防護に係る施設

溢水防護に係る施設の許容限界は，Ⅴ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び設計方針を踏まえて，評価部位ごとに，地震時及び地震後に機能維持が可能となるように設定する。

溢水防護に係る施設ごとの許容限界の詳細は，各計算書で評価部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し定める。

(1)　漏えい検出器

漏えい検出器の許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，地震後の循環水系配管及びタービン補機冷却海水系配管の漏えいを検出する機能の維持を考慮して，主要な構造部材が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため，漏えい検出器を固定する基礎ボルトは，「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に示している「その他の支持構造物」の許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を準用する。

評価部位ごとの許容限界を表3－1に示す。

表3－1　評価部位ごとの許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
漏えい検出器	Ｄ＋Ｓｓ	基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とする。

(2)　復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁の許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容限界を準用する。

(3)　タービン補機海水冷却ポンプ吐出弁

タービン補機海水冷却ポンプ吐出弁の許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，地震後の閉止する機能の維持を考慮して弁本体及び弁を支持する管，支持構造物が上記機能を維持可能な構造強度を有する設計とするため，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓの許容限界を準用する。

4.　耐震評価方法

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は，「4.1　地震応答解析」，「4.2 耐震評価」及び「4.3　機能維持評価」に従って実施する。

4.1　地震応答解析

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の地震応答解析は，「4.1.1　入力地震動」に示す入力地震動，「4.1.2 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法及び「4.1.3　設計用減衰定数」に示す減衰定数を用いて実施する。

図4－1に耐震Ｂ，Ｃクラス機器の地震応答解析の手順を示す。

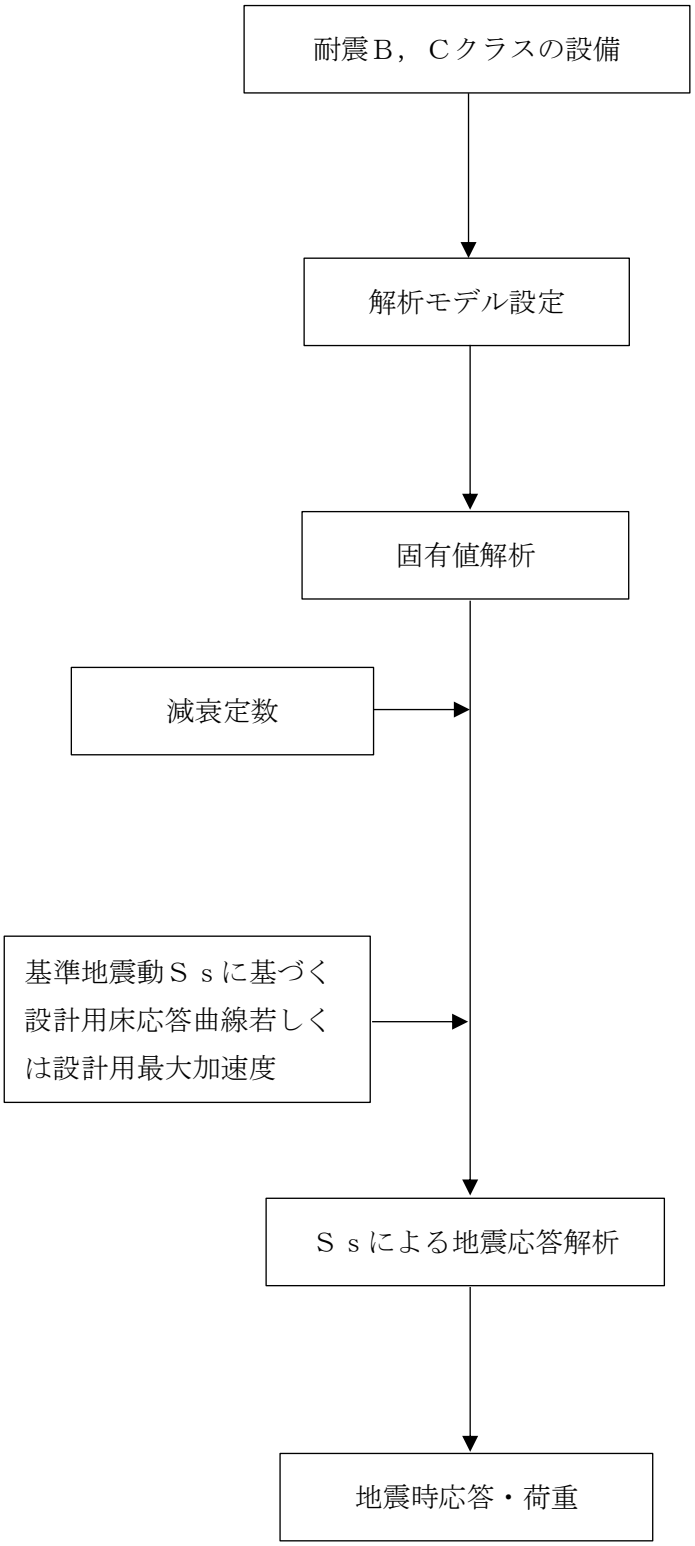


図4－1　耐震Ｂ，Ｃクラス機器の地震応答解析の手順

4.1.1　入力地震動

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設の地震応答解析に用いる入力地震動は，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。

4.1.2　解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては，地震応答解析手法の適用性及び適用限界を考慮のうえ，適切な解析法を選定するとともに，解析条件として考慮すべき減衰定数，剛性等，各種物性値は，適切な規格・基準，あるいは実験等の結果に基づき設定する。

機器の解析に当たっては，形状，構造特性等を考慮して，代表的な振動モードを適切に表現できるよう１質点系，多質点系モデル等に置換し，定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）又は，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

剛性の高い機器は，その機器の設置床面の設計用最大床加速度の1.2倍の加速度を震度として作用させて地震力を算出する。

配管系については，多質点系モデルに置換し，設計用床応答曲線を用いたスペクトルモーダル解析法により応答を求める。

なお，動的解析に用いる地震力は材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

(1)　解析方法

・定式化された評価式を用いた解析法（一般機器等）

・スペクトルモーダル解析法

(2)　解析モデル

代表的な機器・配管系の解析モデルを以下に示す。耐震評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

a.　一般機器

ポンプ，熱交換器等の一般の機器は，機器本体及び支持構造物の剛性をそれぞれ考慮し，原則として重心位置に質量を集中させた１質点系にモデル化する。

b.　配管

配管は３次元多質点はりモデルに置換する。

4.1.3　設計用減衰定数

地震応答解析に用いる減衰定数は，V2-1-6「地震応答解析の基本方針」に設定している，ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版に記載されている減衰定数又は試験等で妥当性が確認された値を用いる。具体的には表4－1に示す値を用いる。

表4－1　減衰定数

(1)　機器・配管系

対象設備	減衰定数（%）	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0*1
ボルト及びリベット構造物	2.0	2.0*1
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0*1
配管系	0.5～3.0*2, *3	0.5～3.0*1, *2, *3

注記＊1　：既往の研究等において，設備の地震入力方向の依存性や減衰特性について検討され妥当性が確認された値。

＊2　：既往の研究等において，試験及び解析等により妥当性が確認されている値。

＊3　：具体的な適用条件を「(2)　配管系の設計用減衰定数」に示す。

（参考文献）

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

(2) 配管系の減衰定数

配管区分		減衰定数*1（%）	
		保温材無	保温材有*2
Ⅰ	スナッバ及び架構レストレイント支持主体の配管系で，その支持具（スナッバ又は架構レストレイント）の数が4個以上*4のもの	2.0	3.0*3
Ⅱ	スナッバ，架構レストレイント，ロッドレストレイント，ハンガ等を有する配管系で，その支持具（アンカ及びUボルトを除く）数が４個以上*4で，配管区分Ⅰに属さないもの	1.0	2.0*3
Ⅲ	Uボルトを有する配管系で，架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上*4のもの	2.0*3	3.0*3
Ⅳ	配管区分Ⅰ，Ⅱ及びⅢに属さないもの	0.5	1.5*3

注記＊1 ：水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

＊2 ：金属保温材による付加減衰定数は，配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが，金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。

＊3 ：ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版で規定されている配管系の設計用減衰定数に，既往の研究等において妥当性が確認された値を反映

＊4 ：支持具の種類及び数は，アンカからアンカまでの独立した振動系について算定する。

(参考文献)

電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究（H12～H13）」

電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（H7～H10）」

4.2　耐震評価

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設の耐震評価は，「3.1　荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して，「4.1　地震応答解析」で示した地震応答解析により発生応力を算出し，「3.2　許容限界」にて設定している許容限界内にあることを確認する。評価手法は，定式化された評価式を用いた解析法又はスペクトルモーダル解析法により，ＪＥＡＧ４６０１－1987に基づき実施することを基本とする。

4.2.1　耐震評価方法

Ⅴ-2-別添2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」，Ⅴ-2-別添2-4「循環水系隔離システムの耐震計算書」，Ⅴ-2-別添2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」，Ⅴ-2-別添2-6「タービン補機冷却海水系隔離システムの耐震計算書」及びⅤ-2-別添2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」の評価方法について示す。

(1)　耐震Ｂ，Ｃクラス機器

評価対象の耐震Ｂ，Ｃクラス機器については，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」にて示す評価方法及び原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）に準拠した，評価方法により評価を行う。

なお，評価式が示されない機器については，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）に準拠した評価方法及び機械工学便覧に示される一般式を用いた評価を行う。

(2)　漏えい検出器

評価対象の漏えい検出器については，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

(3)　復水器水室出入口弁，タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

評価対象の復水器水室出入口弁及びタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については，Ⅴ-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」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

4.3　機能維持評価

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の方針は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1　構造強度上の制限」を準用する。

溢水防護に係る施設の溢水防護設計上の構造強度に係る機能維持の動的機能の維持，電気的機能の維持及び止水性の維持に係る耐震計算の方針は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」，「4.1　動的機能維持」及び「4.2　電気的機能維持」を準用する。

4.3.1　動的機能の維持

地震後に動的機能が要求される機器については，Ⅴ-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちⅤ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した機能維持評価用加速度が，機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1)　復水器水室出入口弁

復水器水室出入口弁は，地震後においても，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の弁の加振試験において，動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

(2)　タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は，地震後においても，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の弁の加振試験において，動的機能の健全性を確認した弁の加速度を適用する。

4.3.2　電気的機能の維持

地震後に電気的機能が要求される機器については，Ⅴ-1-1-9「発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書」のうちⅤ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している設備ごとの耐震設計上の性能目標を踏まえ，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した評価用加速度が，機能確認済加速度以下であることにより確認する。

(1)　漏えい検出器

漏えい検出器は，地震後においても，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，設計用最大応答加速度から求めた評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。

機能確認済加速度には，同型式の検出器の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した検出器の加速度を適用する。

4.4　水平２方向及び鉛直方向地震力の考慮

耐震Ｂ，Ｃクラス機器及び溢水防護に係る施設については，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震性を有することを確認している。

今回，新たに水平２方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから，これら設備についても水平２方向及び鉛直方向の組合せによる影響を評価する。

影響評価については，Ⅴ-2-1-8「水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2　機器・配管系」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

5.　適用基準

適用する規格，指針等を以下に示す。

(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年追補版を含む))ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005/2007　（日本機械学会）

(5)　機械工学便覧　基礎編　α2（日本機械学会）

(6)　機械工学便覧　基礎編　α3（日本機械学会）

Ⅴ-2-別添 2-2　溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 1
2.3　評価方針 ····· 1
2.4　適用基準 ····· 1
3.　評価部位 ····· 2
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 3
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 3
4.1.1　地震応答解析方法 ····· 3
4.1.2　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 4
4.2.1　荷重の種類 ····· 4
4.2.2　荷重の組合せ ····· 4
4.3　許容限界 ····· 5
4.4　計算方法 ····· 9
4.5　計算条件 ····· 10
5.　評価結果 ····· 12

1. 概要

本資料は，Ｖ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「2.　耐震評価の基本方針」に基づき，溢水源となり得る流体を内包する機器のうち溢水源として設定しない機器（以下「耐震Ｂ，Ｃクラス機器」という。）が，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，十分な耐震性を有することを説明するものである。その耐震評価は，応力評価により行う。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器は，設計基準対象施設においてはＢクラス施設又はＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2.　一般事項

2.1　配置概要

耐震Ｂ，Ｃクラス機器は，原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋に設置する。各機器の具体的な設置建屋及び設置高さは，表 4－1 に示し，設置建屋及び設置高さに応じた評価を行う。

2.2　構造計画

耐震Ｂ，Ｃクラス機器のうち熱交換器等（以下「容器類」という。），ポンプ（以下「ポンプ類」という。），配管，弁及び支持構造物の構造は，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法」を適用できる構造である。

2.3　評価方針

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の応力評価は，Ｖ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「3.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「3.2　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，耐震Ｂ，Ｃクラス機器の評価部位に作用する応力が許容限界内にあることを，本図書の「4.　地震応答解析及び構造強度評価」に示す方法により計算し，「5.　評価結果」にて確認する。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の容器類，ポンプ類，配管，弁及び支持構造物については，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法」にて示している構造と同様であることから，Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示している各機器，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の荷重の組合せを踏まえて，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法」等の評価式及び解析方法を用いて評価する。

2.4　適用基準

適用する規格，指針等を以下に示す。

(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 年追補版を含む))ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１-2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

(5)　機械工学便覧　基礎編　α3（日本機械学会）

(6) 機械工学便覧　基礎編　α2（日本機械学会）

3. 評価部位

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の評価部位は，容器類及びポンプ類については，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」等により，胴板，脚，台座及びボルトを評価部位とする。

配管，弁及び支持構造物については，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」により配管，弁及び支持構造物を評価部位とする。

評価結果は，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

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

4.1.1　地震応答解析方法

基準地震動Ｓｓによる設計用地震力は，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。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の地震応答解析は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「4.1　地震応答解析」にて設定している評価方針に従い実施する。

表 4－1 に各機器の設計震度を示す。

表 4－1　耐震 B，C クラス容器類及びポンプ類の設計震度

評価対象設備	設置建屋及び設置高さ（基準床レベル）T.M.S.L.（m）	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
制御棒駆動水ポンプ(A),(B)	原子炉建屋　-8.2	1.19	1.24
制御棒駆動水加熱器	原子炉建屋　-8.2	1.19	1.24
サクションフィルタ(A),(B)	原子炉建屋　-8.2	1.19	1.24
CRD アキュムレータ	原子炉建屋　-1.7	1.30	1.27
制御棒駆動水フィルタ(A),(B)	原子炉建屋　-1.7	1.64	0.72
サプレッションプール浄化用ポンプ	原子炉建屋　-8.2	1.19	1.24
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A),(B)	原子炉建屋　18.1	1.45	1.34
燃料プール冷却浄化系熱交換器(A),(B)	原子炉建屋　18.1	1.46	1.34
ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	原子炉建屋　38.2	2.03	1.45
タービン補機冷却海水系ポンプ(A)～(C)	タービン建屋　4.9	1.13	0.90
C/B 常用電気品区域給気処理装置冷却コイル	コントロール建屋　6.5	1.86	1.33

4.1.2　構造強度評価方法

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の応力評価は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「4.2　耐震評価」にて設定している評価方針を踏まえ，応力評価を実施する。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の応力評価は，本図書の「3.　評価部位」に示す評価部位に対し，「4.2　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3　許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，「4.4　計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2　荷重及び荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「3.1　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1　荷重の種類

応力評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

(1)　常時作用する荷重（Ｄ）

死荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重とする。

(2)　内圧荷重（P_D）

内圧荷重は，当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(3)　機械的荷重（M_D）

当該設備に設計上定められた機械的荷重

(4)　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重は，基準地震動Ｓｓにより定まる地震力とする。

4.2.2　荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは，各機器の評価部位ごとに設定する。荷重の組合せを表 4－2，表 4－3 及び表 4－4 に示す。なお，ポンプ類の評価部位はボルトのみのため，ポンプ類の荷重の組合せは表 4－4 による。

表 4－2　容器類の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
$Ⅳ_AS$	$D+P_D+M_D+S_s$	胴板

表 4－3　配管の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価部位
$\mathrm{IV_AS}$	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	配管，弁

表 4－4　支持構造物の荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	評価対象部位
$\mathrm{IV_AS}$	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	脚，台座， 支持構造物，ボルト

4.3　許容限界

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の評価の許容限界は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「3.2　許容限界」にて設定している許容限界に従って，本図書の「3.　評価部位」にて設定している評価部位ごとに，許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

各機器の評価部位ごとの許容限界を表 4－5，表 4－6 及び表 4－7 に，使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を表 4－8 に示す。

表 4－5　容器類の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容応 力状態	許容限界*1			
				一次一般 膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋ 二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
容器 類	Ｂ，Ｃ	D＋P_D＋M_D ＋Ｓｓ	$\mathrm{IV_AS}$	0.6・Ｓｕ	左欄の 1.5 倍 の値	*2 Ｓｓ地震動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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。	

注記＊1　：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。

＊2　：2・Ｓｙを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格　PVB-3300（PVB-3313 を除く。Ｓｍは 2／3・Ｓｙと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4－6　配管の許容限界

区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界			
				一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力	一次＋二次＋ピーク応力
配管	B，C	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	$\mathrm{IV_AS}$	0.6・Ｓｕ *1	左欄の 1.5 倍の値	Ｓｓ地震動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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。 *2	

注記＊1 :軸力による全断面平均応力については，許容応力状態$\mathrm{III_AS}$の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

＊2 :2・Ｓｙを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格　PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし，Ｓｍは 2／3・Ｓｙと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4－7　支持構造物の許容限界

耐震重要度分類	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2, *3（ボルト等以外）										許容限界*2, *4（ボルト等）		形式試験による場合
			一次応力					一次＋二次応力					一次応力		
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈*5	引張	せん断	許容荷重
B，C	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*	1.5・ｆｃ*	1.5・ｆｂ*	1.5・ｆｐ*	3・ｆｔ	3・ｆｓ*6	3・ｆｂ*7	1.5・ｆｐ*8	1.5・ｆｂ，1.5・ｆｓ又は1.5・ｆｃ*7, *8	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*	$T_L \cdot 0.6 \cdot \frac{Syd}{Syt}$
								（Ｓｓ地震動のみによる応力振幅について評価する。）							

注記＊1 ：鋼構造設計規準（日本建築学会　2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

＊2 ：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。

＊3 :耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

＊4 ：コンクリートに埋込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，ⅢＡＳの許容応力を一次引張応力に対してはｆｔ，一次せん断応力に対してはｆｓとして，また，ⅣＡＳ→ⅢＡＳとして応力評価を行う。

＊5 ：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあっては，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。

＊6 ：すみ肉溶接部にあっては最大応力に対して 1.5・ｆｓとする。

＊7 ：設計・建設規格　SSB－3121.1(4)により求めたｆｂとする。

＊8 ：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表 4－8　使用材料及び使用材料の許容応力評価条件

評価対象設備	評価部位	材料	温度条件(℃)	Ｓｙ(MPa)	Ｓｕ(MPa)
制御棒駆動水ポンプ(A),(B)	基礎ボルト	[redacted]	50	231	394
制御棒駆動水加熱器	胴板	SUS304	75	183	466
	脚	SS400	75	231	381
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
サクションフィルタ(A),(B)	胴板	SUS304	66	188	479
	脚	SUS304	50	198	504
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
CRD アキュムレータ	胴板	SUS304TP	66	188	479
	台座	SUS304	50	198	504
	固定ボルト	SS400	50	231	394
制御棒駆動水フィルタ(A),(B)	胴板	SUS304TP	66	188	479
サプレッションプール浄化用ポンプ	原動機取付ボルト	[redacted]	66	206	385
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A),(B)	原動機取付ボルト	[redacted]	66	206	385
燃料プール冷却浄化系熱交換器(A),(B)	胴板	SB410	70	210	398
	脚	SM400A	50	241	394
	基礎ボルト	SS400	50	231	394
ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	取付ボルト	SS400	70	204	383
タービン補機冷却海水系ポンプ(A)～(C)	基礎ボルト	SS400	50	211	394
C/B 常用電気品区域給気処理装置冷却コイル	取付ボルト	SS400	70	204	383

4.4　計算方法

(1)　溢水防護として要求する機能を踏まえ，V-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「3.2　許容限界」より，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震性が確保され溢水に至らないことを確認するために，許容応力状態Ⅳ$_{A}$Ｓで，許容限界を満足することを確認する。

(2)　減衰定数については，V-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「4.1.3 設計用減衰定数」に示す値を適用する。

(3)　評価に用いる解析コード及びその適用機器並びに使用目的を以下に記す。

耐震Ｂ，Ｃクラス機器の容器類及びポンプ類の固有値解析及び応力評価に用いる「ＭＳＣ ＮＡＳＴＲＡＮ」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」の「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。配管，弁及び支持構造物の固有値解析等に用いる「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」，「ＨＩＳＡＰ」，「ＩＳＡＰ-Ⅳ」，「ＳＡＰ-Ⅴ」，「Ｎ-ＤＡＰＳ3」，「ＳＴＲＵＣＴ」及び「ＳＯＬＶＥＲ」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」の「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」，「ＨＩＳＡＰ」，「ＩＳＡＰ-Ⅳ」，「ＳＡＰ-Ⅴ」，「N-ＤＡＰＳ3」，「ＳＴＲＵＣＴ」及び「ＳＯＬＶＥＲ」に示す。

応力評価は，V-2-1-14「計算書作成の方法」等の評価方法により評価を行う。

4.5 計算条件

三次元はりモデル解析により応力計算を行った配管について，解析モデル図を図 4－1 に示し，配管諸元の一覧表を表 4－9 に示す。

なお，図 4－1 及び表 4－9 は，表 5－2 で評価結果を示す純水補給水系を代表で示す。

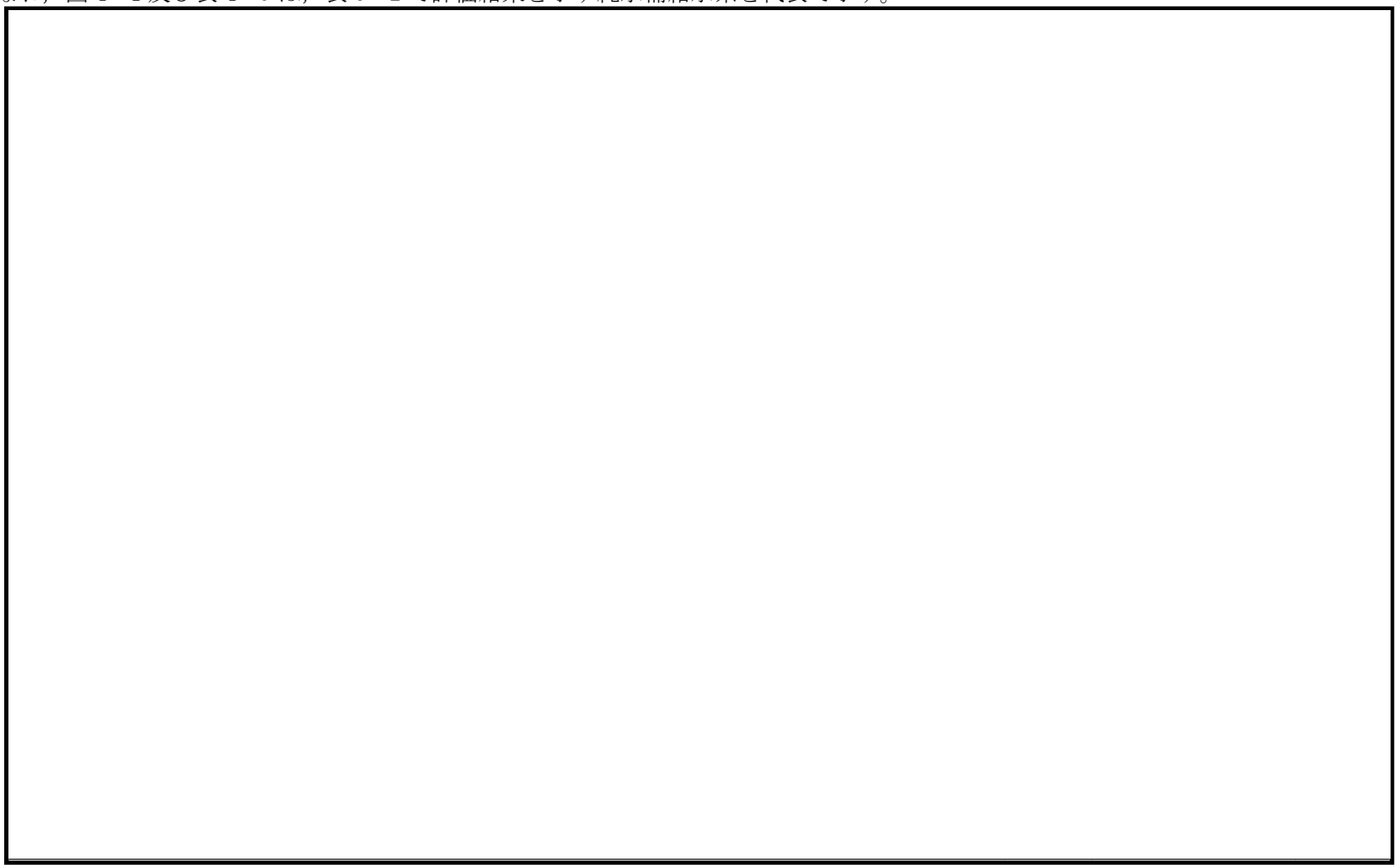


図 4－1　解析モデル図

表 4－9　配管諸元

鳥瞰図　MUWP-C-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～56A	1.37	66	139.8	6.6	SUS304TP	C	193667

5. 評価結果

表 5－1 及び表 5－2 に示す通り，耐震Ｂ，Ｃクラス機器が基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，耐震性を有することを確認した。
なお，表 5－1 及び表 5－2 においては，算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい箇所の結果について記載する。

表 5－1　基準地震動Ｓｓに対する容器類及びポンプ類の応力評価結果

区分	評価対象設備	耐震重要度分類	設置建屋	設置高さ(基準床ﾚﾍﾞﾙ) T.M.S.L.(m)	評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類・ポンプ類	制御棒駆動水ポンプ(A),(B)	B	原子炉建屋	-8.2	基礎ボルト	引張	61	207*
						せん断	27	159
	制御棒駆動水加熱器	B	原子炉建屋	-8.2	基礎ボルト	引張	107	207*
						せん断	20	159
	サクションフィルタ(A),(B)	B	原子炉建屋	-8.2	脚	組合せ	62	246
	CRD アキュムレータ	B	原子炉建屋	-1.7	固定ボルト	引張	116	166*
						せん断	77	159
	制御棒駆動水フィルタ(A),(B)	B	原子炉建屋	-1.7	胴板	一次一般膜	89	287
	サプレッションプール浄化用ポンプ	B	原子炉建屋	-8.2	原動機取付ボルト	引張	15	185*
						せん断	9	142
	燃料プール冷却浄化系ポンプ(A),(B)	B	原子炉建屋	18.1	原動機取付ボルト	引張	18	185*
						せん断	11	142
	燃料プール冷却浄化系熱交換器(A),(B)	B	原子炉建屋	18.1	基礎ボルト	引張	88	194*
						せん断	60	159
	ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	C	原子炉建屋	38.2	取付ボルト	引張	22	184*
						せん断	21	141
	タービン補機冷却海水系ポンプ(A)～(C)	C	タービン建屋	4.9	基礎ボルト	引張	48	190*
						せん断	45	146
	C/B 常用電気品区域給気処理装置冷却コイル	C	コントロール建屋	6.5	取付ボルト	引張	17	184*
						せん断	19	141

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

表 5－2　基準地震動Ｓｓに対する配管，弁及び支持構造物の応力評価結果(1/3)

区分	評価対象系統	設置建屋	設置高さ(基準床ﾚﾍﾞﾙ) T.M.S.L. (m)	耐震重要度分類	評価対象部位	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
配管・弁及び支持構造物	純水補給水系	原子炉建屋	-1.7 ～ 4.8	C	配管本体	一次＋二次(疲労)	420 (0.4229)	376 (1.0)
					支持構造物	曲げ	69	117
	制御棒駆動系	原子炉建屋	-8.2 ～ -1.7	B	配管本体	一次＋二次	368	376
					支持構造物	組合せ	142	268
	原子炉冷却材浄化系	原子炉建屋	12.3 ～ 18.1	B,C	配管本体	一次＋二次	349	364
					支持構造物	引張圧縮	27	336
	給水系	原子炉建屋	4.8 ～ 23.5	B	配管本体	一次＋二次	375	436
					支持構造物	荷重*	270* (kN)	600* (kN)
	消火系	原子炉建屋	12.3 ～ 18.1	C	配管本体	一次＋二次	159	376
					支持構造物	曲げ	49	117
	燃料プール冷却浄化系	原子炉建屋	18.1 ～ 23.5	B	配管本体	一次＋二次	342	376
					支持構造物	引張圧縮	25	408
	所内温水系	原子炉建屋	18.1 ～ 31.7	C	配管本体	一次＋二次(疲労)	391 (0.9091)	354 (1.0)
					支持構造物	引張圧縮	31	111
	非放射性ドレン移送系	原子炉建屋	4.8 ～ 12.3	C	配管本体	一次＋二次	286	462
					支持構造物	組合せ	18	268
	復水補給水系	原子炉建屋	-1.7 ～ 4.8	B	配管本体	一次＋二次	309	318
					支持構造物	曲げ	82	468
	原子炉補機冷却水系	原子炉建屋	-8.2 ～ 31.7	C	配管本体	一次＋二次	217	354
					支持構造物	引張圧縮	27	111

注記＊：支持装置の評価は定格荷重≧発生荷重を満たしていることを確認しているため，応力の種類は荷重とし，単位はkNとする。

表 5－2　基準地震動Ｓｓに対する配管，弁及び支持構造物の応力評価結果(2/3)

区分	評価対象系統	設置建屋	設置高さ（基準床ﾚﾍﾞﾙ）T.M.S.L.（m）	耐震重要度分類	評価対象部位	応力の種類	算出応力（MPa）	許容応力（MPa）
配管・弁及び支持構造物	放射性ドレン移送系	原子炉建屋	-8.2 ～ -1.7	B	配管本体	一次＋二次	327	376
					支持構造物	引張圧縮	18	408
	サプレッションプール浄化系	原子炉建屋	-1.7 ～ 4.8	B	配管本体	一次＋二次	351	462
					支持構造物	せん断	34	135
	換気空調補機常用冷却水系	原子炉建屋	23.5 ～ 31.7	C	配管本体	一次＋二次	411	458
					支持構造物	引張圧縮	41	465
	原子炉補機冷却水系	タービン建屋	-5.1 ～ 4.9	C	配管本体	一次＋二次	321	458
					支持構造物	組合せ	33	267
	消火系	タービン建屋	12.3 ～ 20.4	C	配管本体	一次＋二次	289	376
					支持構造物	組合せ	22	183
	非放射性ドレン移送系	タービン建屋	-1.1～12.3	C	配管本体	一次＋二次	265	378
					支持構造物	組合せ	80	245
	雑用水系	タービン建屋	-5.1～12.3	C	配管本体	一次＋二次	463	478
					支持構造物	組合せ	96	176
	鉄イオン注入系	タービン建屋	-1.1 ～ 12.3	C	配管本体	一次＋二次	279	430
					支持構造物	組合せ	61	124
	タービン補機冷却海水系	タービン建屋	-5.1 ～ 12.3	C	配管本体	一次＋二次	450	450
					支持構造物	組合せ	30	245
	消火系	コントロール建屋	6.5 ～ 24.1	C	配管本体	一次＋二次（疲労）	539 (0.8422)*	378 (1.0)
					支持構造物	組合せ	29	234

注記＊：個別に設定する等価繰り返し回数（80 回）を用いて評価を実施。

表 5－2　基準地震動Ｓｓに対する配管，弁及び支持構造物の応力評価結果(3/3)

区分	評価対象系統	設置建屋	設置高さ（基準床ﾚﾍﾞﾙ）T.M.S.L.（m）	耐震重要度分類	評価対象部位	応力の種類	算出応力（MPa）	許容応力（MPa）
配管・弁及び支持構造物	放射性ドレン移送系	コントロール建屋	12.3 ～ 17.3	B	配管本体	一次＋二次（疲労）	417 (0.6622)	318 (1.0)
					支持構造物	組合せ	296	410
	非放射性ドレン移送系	コントロール建屋	12.3 ～ 17.3	C	配管本体	一次＋二次（疲労）	682 (0.7921)＊	378 (1.0)
					支持構造物	組合せ	94	141
	純水補給水系	コントロール建屋	6.5 ～ 17.3	C	配管本体	一次＋二次（疲労）	404 (0.4202)	376 (1.0)
					支持構造物	せん断	75	118
	雑用水系	コントロール建屋	12.3 ～ 17.3	C	配管本体	一次＋二次（疲労）	491 (0.6780)＊	378 (1.0)
					支持構造物	組合せ	51	378
	タービン補機冷却水系	コントロール建屋	12.3 ～ 17.3	C	配管本体	一次＋二次（疲労）	471 (0.5840)＊	394 (1.0)
					支持構造物	組合せ	44	394
	所内用水系	コントロール建屋	6.5 ～ 12.3	C	配管本体	一次＋二次	207	280
					支持構造物	せん断	31	141
	換気空調補機常用冷却水系	コントロール建屋	1.0 ～ 6.5	C	配管本体	一次＋二次	359	370
					支持構造物	組合せ	2	183

注記＊：個別に設定する等価繰り返し回数（80 回）を用いて評価を実施。

Ⅴ-2-別添 2-3　溢水防護に係る施設の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果

目　次

1. 概要 …… 1
2. 影響評価 …… 1
2.1 基本方針 …… 1
2.2 評価条件及び評価方法 …… 1
2.3 評価結果 …… 4
2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の算出 …… 4
2.3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果 …… 4
2.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 …… 4
2.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果 …… 4
2.3.5 まとめ …… 5

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」の「2. 耐震評価の基本方針」に基づき，溢水防護に関する施設及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器について，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，耐震性を有することを確認しているため，動的地震動の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

溢水防護に関する施設及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器に関する，水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，Ⅴ-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて，設備が有する耐震性への影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

Ⅴ-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち，従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して，設備の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し，設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図 2－1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

溢水防護に関する設備及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器のうち，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して構造強度又は機能維持及び波及的影響を確認する設備を評価対象とする。(図 2－1①)

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点，若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い，水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。(図 2－1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して，水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また，建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において，機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は，機器・配管系への影響を評価し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。(図 2－1③)

(4)　2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3)　発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備が有する耐震性への影響を検討する。（図 2－1④）

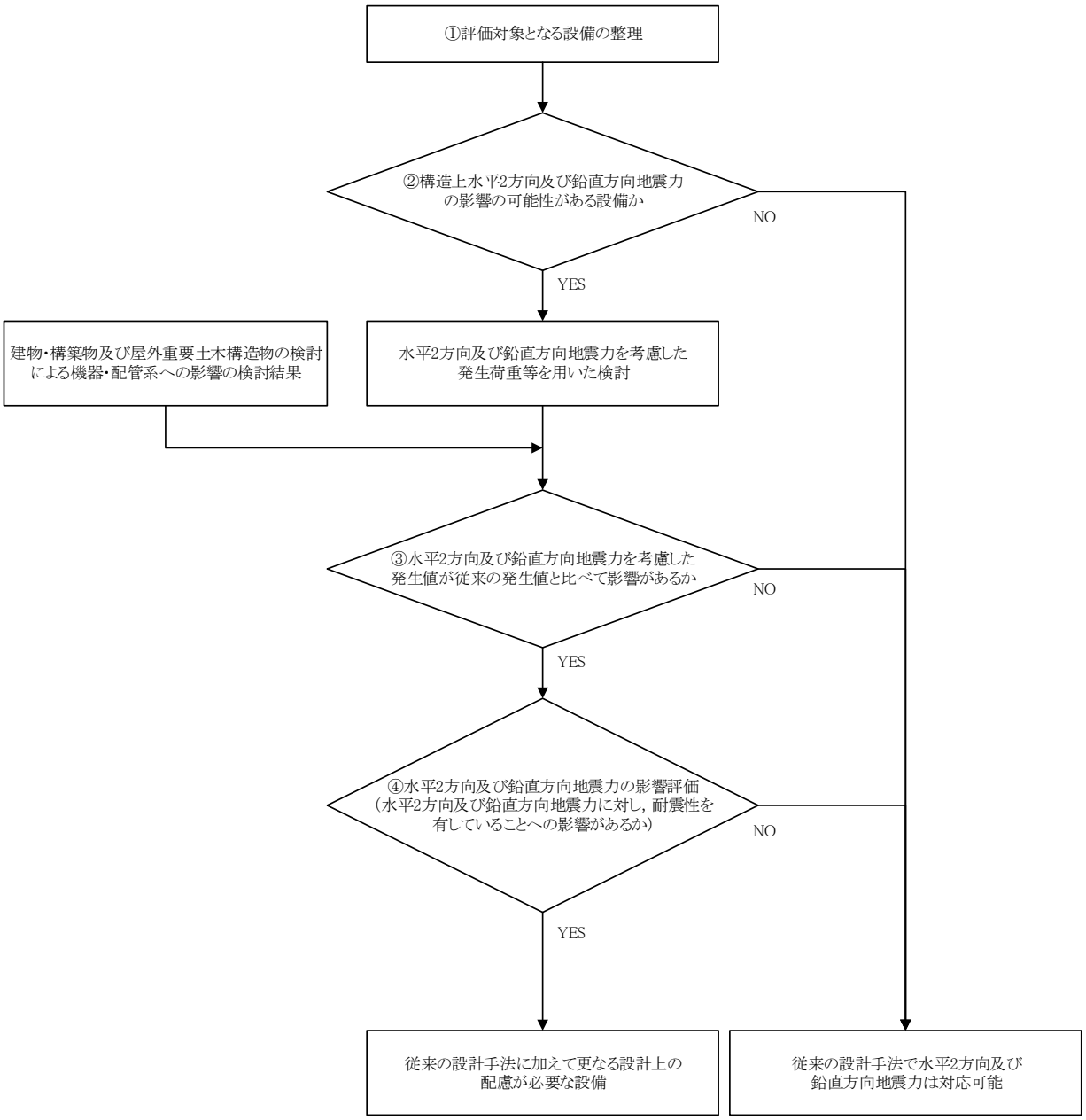


図 2－1　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

2.3　評価結果

2.3.1　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の算出

溢水防護に関する施設及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器の評価対象設備を表 2－1 に示す。Ⅴ-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2　機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ，評価対象設備の各評価部位及び応力分類に対し構造上の特徴から，水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備を抽出した。

(1)　水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は，水平1方向の地震力に加えて，さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合，水平2方向の地震力による影響を検討し，影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。抽出結果を表 2－2 に示す。なお，ここでの影響が軽微な設備とは，構造上の観点から発生応力への影響に着目し，その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが，水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が 1.1 未満の設備については，個別に検討を行うこととする。

(2)　水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出する。抽出結果を表 2－2 に示す。

(3)　水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1) 及び (2) において影響の可能性がある設備について，水平2方向の地震力が各方向 1：1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し，その増分により影響の程度を確認し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。抽出結果を表 2－2 に示す。

2.3.2　建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において，溢水防護に関する施設及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

2.3.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表 2－2 にて抽出された設備について，水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を，Ⅴ-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

2.3.4　水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「2.3.3　水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して，設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表 2－3

に示す。

2.3.5　まとめ

溢水防護に関する施設及び耐震Ｂ，Ｃクラス機器について，水平２方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも溢水防護に関する施設が有する耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平１方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（1／2）

(1)　構造強度評価対象設備

設備名称	評価対象部位
制御棒駆動水ポンプ(A),(B)	基礎ボルト
制御棒駆動水加熱器	基礎ボルト
サクションフィルタ(A),(B)	脚
CRD アキュムレータ	固定ボルト
制御棒駆動水フィルタ(A),(B)	胴板
サプレッションプール浄化用ポンプ	原動機取付ボルト
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A),(B)	原動機取付ボルト
燃料プール冷却浄化系熱交換器(A),(B)	基礎ボルト
ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	取付ボルト
タービン補機冷却海水系ポンプ(A)～(C)	基礎ボルト
C/B 常用電気品区域給気処理装置冷却コイル	取付ボルト
配管（純水補給水系）	配管本体
配管（制御棒駆動系）	配管本体
配管（原子炉冷却材浄化系）	配管本体
配管（給水系）	配管本体
配管（消火系）	配管本体
配管（燃料プール冷却浄化系）	配管本体
配管（所内温水系）	配管本体
配管（非放射性ドレン移送系）	配管本体
配管（復水補給水系）	配管本体
配管（原子炉補機冷却水系）	配管本体
配管（放射性ドレン移送系）	配管本体
配管（サプレッションプール浄化系）	配管本体
配管（換気空調補機常用冷却水系）	配管本体
配管（雑用水系）	配管本体
配管（鉄イオン注入系）	配管本体
配管（タービン補機冷却海水系）	配管本体
配管（タービン補機冷却水系）	配管本体
配管（所内用水系）	配管本体
配管（循環水系）	配管本体
循環水系隔離システム	基礎ボルト
タービン補機冷却海水系隔離システム	基礎ボルト

表 2－1　水平 2 方向入力の影響検討対象設備（2／2）

(2)　機能維持評価対象設備

設備名称	評価対象部位
循環水系隔離システム	漏えい検出器
タービン補機冷却海水系隔離システム	漏えい検出器
復水器水室入口弁	弁
復水器水室出口弁	弁
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	弁

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（1／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)　水平 2 方向の地震力が重畳する観点（以下「重畳の観点」という。） ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)　水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（以下「ねじれ振動等の観点」という。） ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)　水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点（以下「増分の観点」という。） ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
制御棒駆動水ポンプ (A),(B)	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	評価対象のボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため，影響は軽微となる。
制御棒駆動水加熱器	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	評価対象のボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため，影響は軽微となる。

注記＊：ボルトについては，Ⅴ-2-別添 2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」の表 5－1 及び表 5－2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい応力を記載する。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（2／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
サクション フィルタ (A),(B)	△ （脚） 一次応力（組合せ）	×	―	評価対象の脚部は矩形配置であり，評価対象部位において，水平 2 方向の地震力を受けた場合，最大応力の発生箇所が異なる構造である。したがって，水平 2 方向入力の影響は軽微である。
CRD アキュムレータ	△ （固定ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	評価対象のボルトは，水平方向荷重が作用しない構造であるため，鉛直方向荷重のみ作用する。したがって，水平 2 方向入力の影響はない。
制御棒駆動水 フィルタ (A),(B)	△ （胴板） 一次一般膜応力	×	―	プロセス配管に接続する構造であり，胴板は円筒形状である。評価部位は円形の一様断面であることから，水平地震動の方向ごとに最大応力点が異なる。したがって，水平 2 方向の地震力を組み合わせた場合でも水平 2 方向入力の影響は軽微である。
サプレッション プール 浄化用ポンプ	△ （原動機取付ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	評価対象のボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため，影響は軽微となる。

注記＊：ボルトについては，Ⅴ-2-別添 2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」の表 5－1 及び表 5－2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい応力を記載する。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（3／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
燃料プール冷却浄化系ポンプ(A),(B)	△ （原動機取付ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	評価対象のボルトは矩形配置であり，水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため，影響は軽微となる。
燃料プール冷却浄化系熱交換器(A),(B)	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張*）	×	―	水平 2 方向が同時に作用した場合においても，強軸と弱軸の関係が明確であり，斜め方向に変形するのではなく，支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため，最大応力発生部位は変わらない。したがって，水平 2 方向入力の影響は軽微である。
ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	○ （取付ボルト） 一次応力（せん断*）	×	○	評価結果は表 2－3 参照

注記＊：ボルトについては，Ⅴ-2-別添 2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」の表 5－1 及び表 5－2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい応力を記載する。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（4／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
タービン補機 冷却海水系 ポンプ(A)～(C)	△ (基礎ボルト) 一次応力（せん断*）	○	―	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果，水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより，水平 2 方向の地震を組み合わせた場合であっても一方向の地震による応力と同等といえるため，影響は軽微となる。 水平 2 方向入力によって，ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが，有意な応答ではないため，影響がないと考えられることから，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は軽微である。
C/B 常用電気品 区域給気処理 装置冷却コイル	○ (取付ボルト) 一次応力（せん断*）	×	○	評価結果は表 2－3 参照
配管 (純水補給水系)	△ (配管本体) 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

注記＊：ボルトについては，Ⅴ-2-別添 2-2「溢水源としない耐震Ｂ，Ｃクラス機器の耐震計算書」の表 5－1 及び表 5－2 に示す算出応力と許容応力を踏まえ，評価上厳しい応力を記載する。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（5／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （制御棒駆動系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （原子炉冷却材浄化系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （給水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（6／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重量の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （消火系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （燃料プール冷却浄化系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （所内温水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（7／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （非放射性ドレン移送系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （復水補給水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （原子炉補機冷却水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（8／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （放射性ドレン移送系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （サプレッションプール浄化系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （換気空調補機常用冷却水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（9／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （雑用水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （鉄イオン注入系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （タービン補機冷却海水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	―	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（10／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 （タービン補機冷却水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （所内用水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
配管 （循環水系）	△ （配管本体） 一次＋二次応力	○	—	配管系は，従来評価にて水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は，3 次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（11／12）

(1)構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
循環水系隔離システム	○ （基礎ボルト） 一次応力（引張）	×	○	評価結果は表 2－3 参照
	△ （基礎ボルト） 一次応力（せん断）	×	－	壁掛けのボルトは，壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため，水平 2 方向入力の影響はない。
タービン補機冷却海水系隔離システム	○ （基礎ボルト） 一次応力（引張）	×	○	評価結果は表 2－3 参照
	△ （基礎ボルト） 一次応力（せん断）	×	－	壁掛けのボルトは，壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため，水平 2 方向入力の影響はない。

表 2－2　水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（12／12）

(2)機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	2.3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	2.3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	2.3.1(3)増分の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
循環水系 隔離システム	△	×	－	各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため，水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。
タービン補機 冷却海水系 隔離システム	△	×	－	各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため，水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。
復水器水室入口弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。
復水器水室出口弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。
タービン補機 冷却海水ポンプ 吐出弁	△	×	－	従来評価で 2 方向合成応答加速度が試験にて確認した機能確認済加速度以下であることを確認している。

表 2－3　水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

(1)　構造強度評価　　(単位:MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	1 方向入力発生値*1	2 方向想定発生値*2	許容値	判定
ASD(A),(B)/Z 再循環冷却装置冷却コイル	取付ボルト	一次応力(せん断)	21	30	141	○
C/B 常用電気品区域給気処理装置冷却コイル	取付ボルト	一次応力(せん断)	19	27	141	○
循環水系隔離システム	基礎ボルト	一次応力(引張)	4	6	152	○
タービン補機冷却海水系隔離システム	基礎ボルト	一次応力(引張)	4	6	154	○

注記＊1 ：基準地震動Ｓｓによる地震力において発生する応力値を記載している。

＊2 :「1 方向入力発生値」に対して，√2 を乗じた値を記載している。

Ⅴ-2-別添 2-4　循環水系隔離システム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.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 4
4.2.2　許容応力 ····· 4
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 9

1. 概要

循環水系隔離システムは耐震Ｃクラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）であり，溢水防護に係わる施設の評価においては，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に基づき，機能を維持できることを確認する。

溢水防護に係る施設は基準地震動Ｓｓによる機能が要求されることから，本計算書はⅤ-2-1-1「耐震設計の基本方針」の「5.機能維持の基本方針」及び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及び機能維持の設計方針に基づき，循環水系隔離システムのうち，漏えい検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

漏えい検出器は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

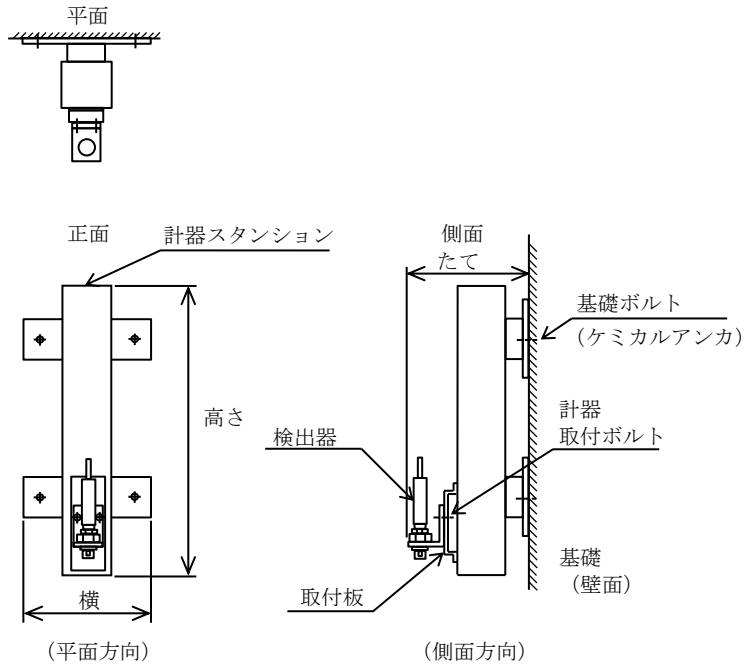
なお，漏えい検出器は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

漏えい検出器の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，取付板は，計器スタンションに固定される。
計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。</td><td>電極式水位検出器</td><td>【漏えい検出器】
 

（平面方向）　（側面方向）
<table>
<tr><th>機器名称</th><th>漏えい検出器
(N71-LE043A)</th><th>漏えい検出器
(N71-LE043B)</th><th>漏えい検出器
(N71-LE043C)</th><th>漏えい検出器
(N71-LE044A)</th><th>漏えい検出器
(N71-LE044B)</th><th>漏えい検出器
(N71-LE044C)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>260</td><td>260</td><td>260</td><td>260</td><td>260</td><td>310</td></tr>
<tr><td>横</td><td>250</td><td>250</td><td>250</td><td>250</td><td>250</td><td>250</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>550</td><td>550</td><td>550</td><td>550</td><td>550</td><td>550</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

プラスチックハンマ等により，当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ，振動計，分析器）により記録解析する。試験の結果，剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　（単位：s）

漏えい検出器 (N71-LE043A)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (N71-LE043B)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (N71-LE043C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (N71-LE044A)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (N71-LE044B)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (N71-LE044C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

漏えい検出器の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンション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。

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

漏えい検出器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 に示す。

4.2.2　許容応力

漏えい検出器の許容応力は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

漏えい検出器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 4－3 に示す。

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【漏えい検出器（N71-LE043A）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（N71-LE043B）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（N71-LE043C）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（N71-LE044A）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（N71-LE044B）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（N71-LE044C）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 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
その他発電用原子炉の附属施設	浸水防護施設	漏えい検出器	Ｃ（Ｓｓ）	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　許容応力（その他の支持構造物）

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・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*

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 4－3　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

漏えい検出器の電気的機能維持評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンション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。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE043A)	水平	
	鉛直	
漏えい検出器 (N71-LE043B)	水平	
	鉛直	
漏えい検出器 (N71-LE043C)	水平	
	鉛直	
漏えい検出器 (N71-LE044A)	水平	
	鉛直	
漏えい検出器 (N71-LE044B)	水平	
	鉛直	
漏えい検出器 (N71-LE044C)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

漏えい検出器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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【漏えい検出器（N71-LE043A）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE043A)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	253	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	―	―	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	―	―	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

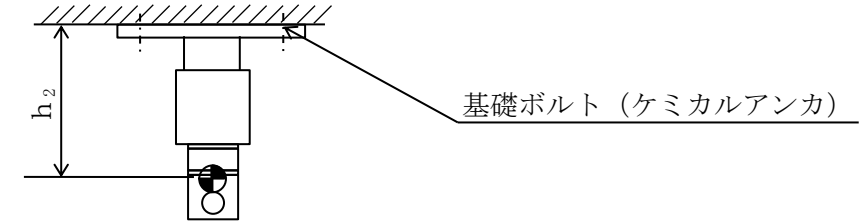
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s^2)

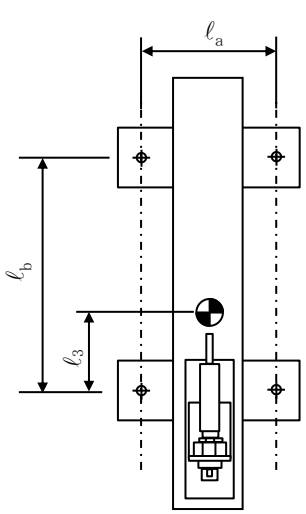
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE043A)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

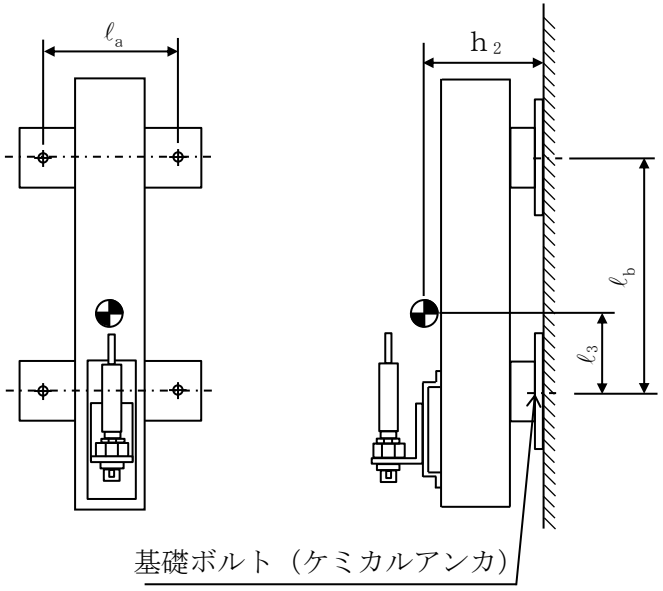
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

【漏えい検出器（N71-LE043B）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE043B)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	253	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

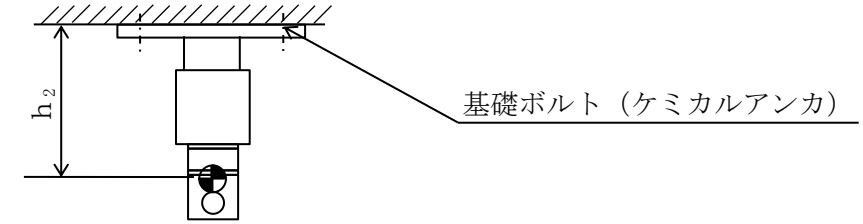
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

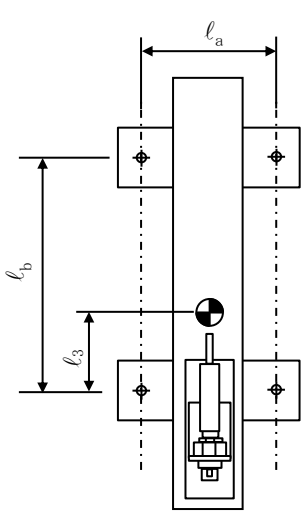
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE043B)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

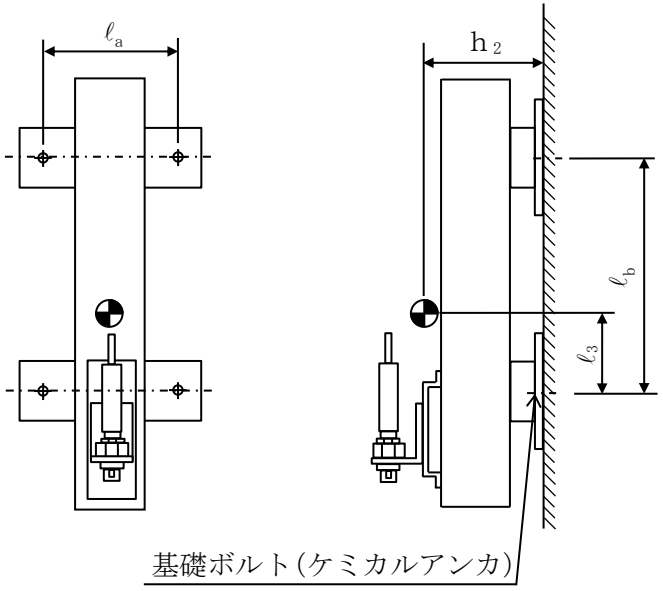
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

【漏えい検出器（N71-LE043C）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE043C)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	253	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

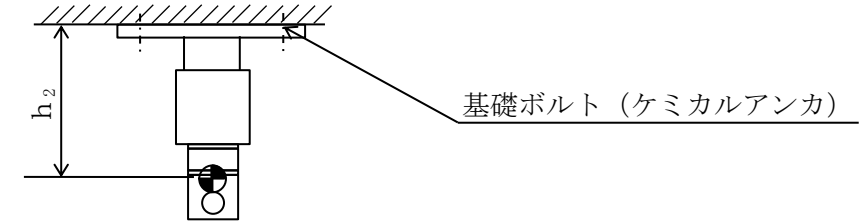
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

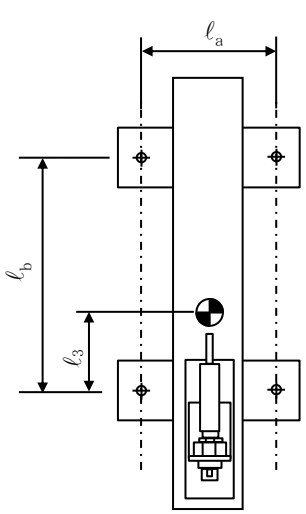
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE043C)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

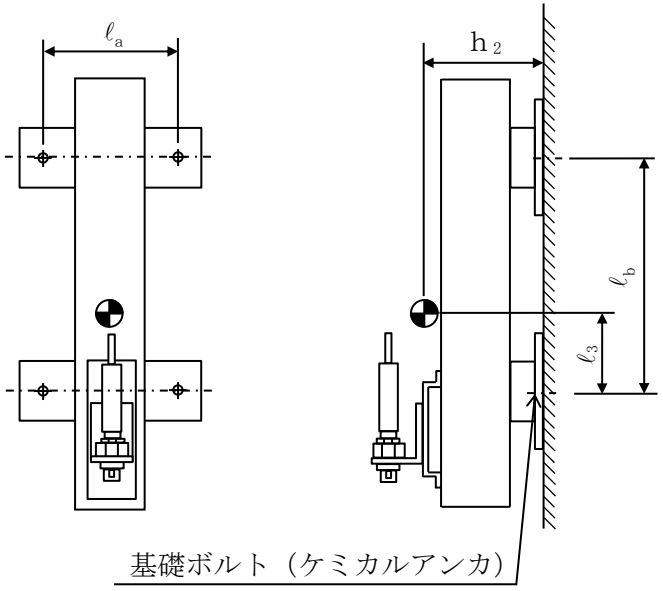
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

【漏えい検出器（N71-LE044A）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE044A)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	253	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

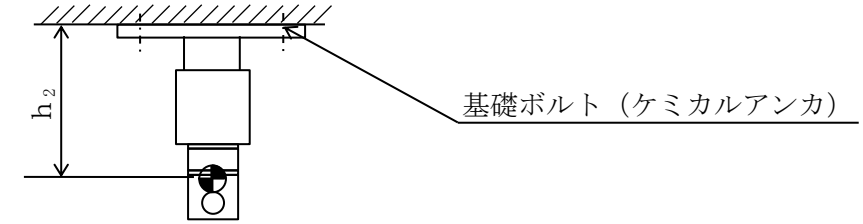
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

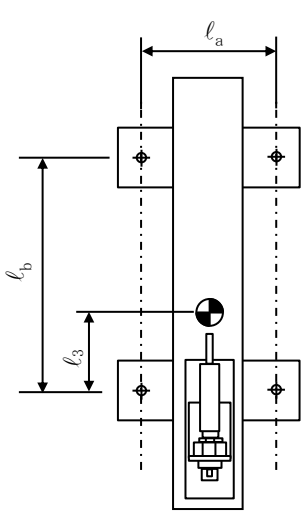
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE044A)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

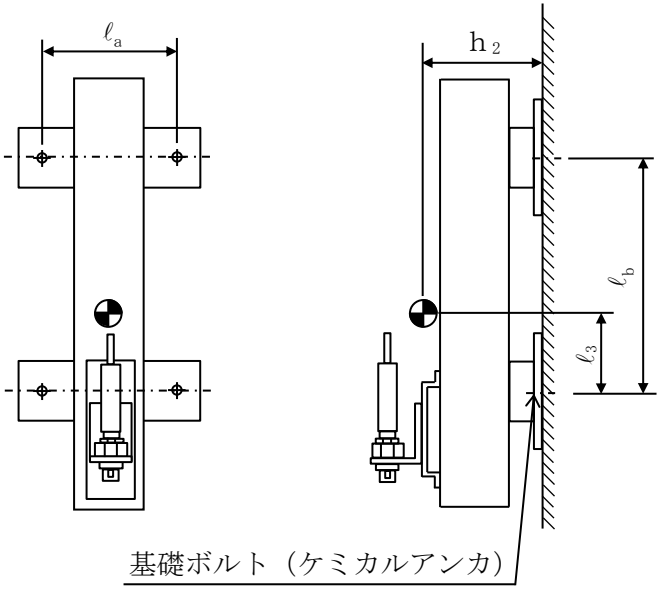
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

【漏えい検出器（N71-LE044B）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE044B)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	253	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

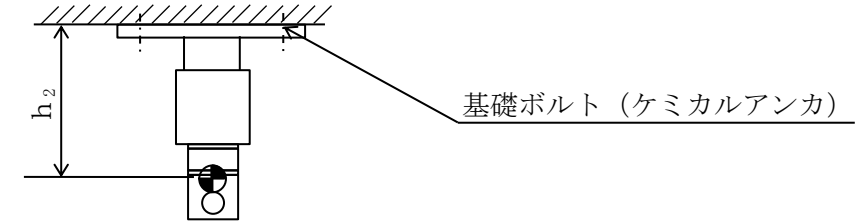
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s^2)

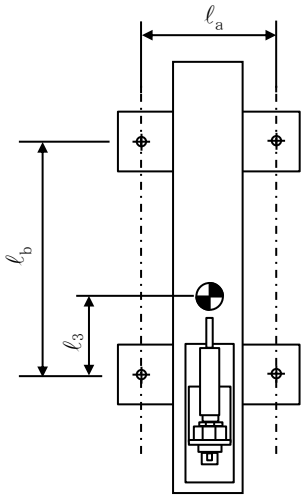
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE044B)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

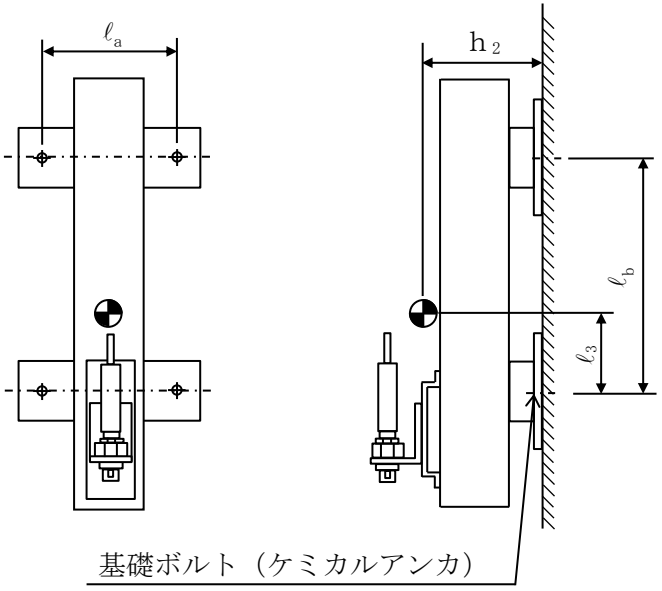
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

【漏えい検出器（N71-LE044C）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (N71-LE044C)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.28	C_V=1.12	50

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	225	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm＜径)	394 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	142	190	350	2	2	—	253	—	正面方向
	142	190	350	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=152$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

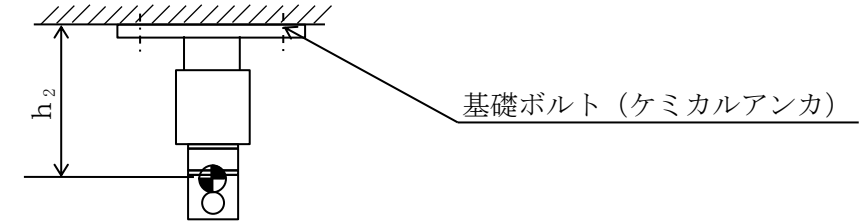
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

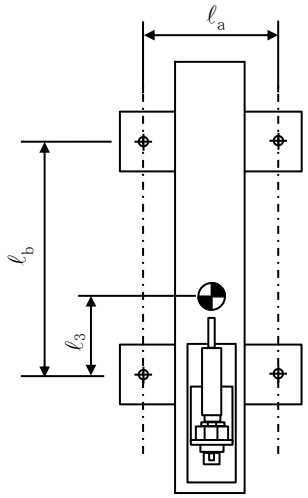
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (N71-LE044C)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

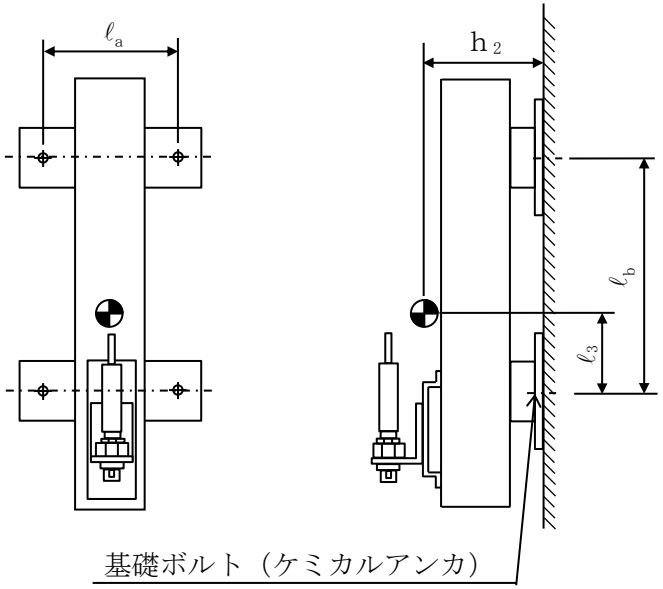
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



転倒方向



（正面方向）



（側面方向）

Ⅴ-2-別添 2-5　復水器水室出入口弁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 ····· 4
2.3　構造計画 ····· 6
3.　計算条件 ····· 7
3.1　計算方法 ····· 7
3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
3.3　設計条件 ····· 9
3.4　材料及び許容応力 ····· 13
3.5　設計用地震力 ····· 14
4.　解析結果及び評価 ····· 15
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 15
4.2　評価結果 ····· 20
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 20
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 21
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 22
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 23

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に従い，溢水量低減を目的として，復水器水室入口弁及び出口弁が基準地震動Ｓｓに対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

復水器水室出入口弁は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設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，復水器水室出入口弁は，循環水配管に設置される弁であり，配管と合わせて耐震評価を実施することから，Ⅴ-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。）に基づき評価を実施する。

評価結果記載方法は，以下に示すとおりである。

(1)　管

概略系統図に示す配管の評価対象部位のうち，各応力区分における最大応力評価点評価結果を記載する。また，全 12 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

対象配管の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持構造物の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

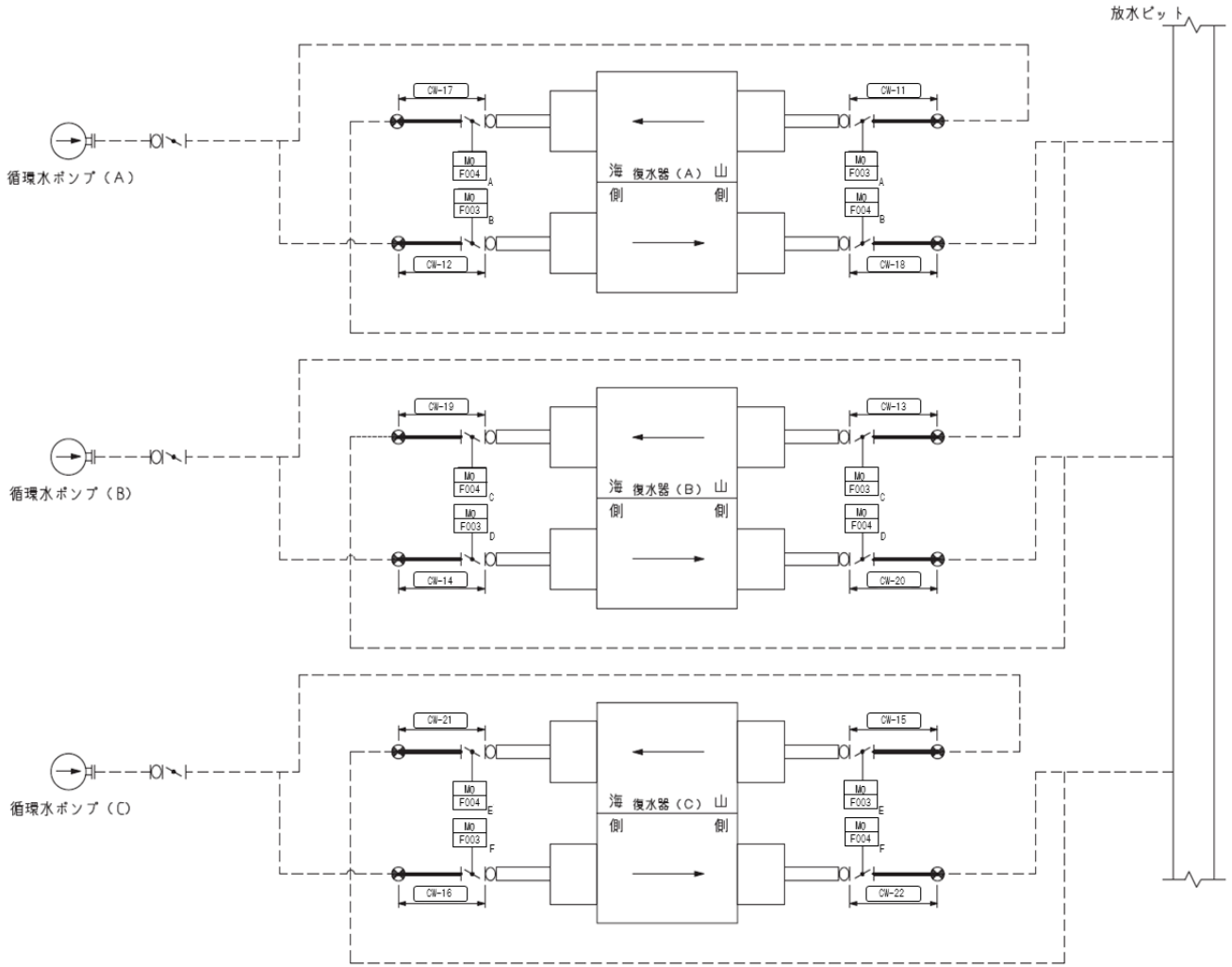
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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	内容
━━━━━━（太線）	本計算書に評価結果を添付する配管（基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
----------（破線）	本計算書に評価結果を添付しない配管で計算モデルの概略を示すために表記する配管
○○-○-○○	鳥瞰図番号
	アンカ

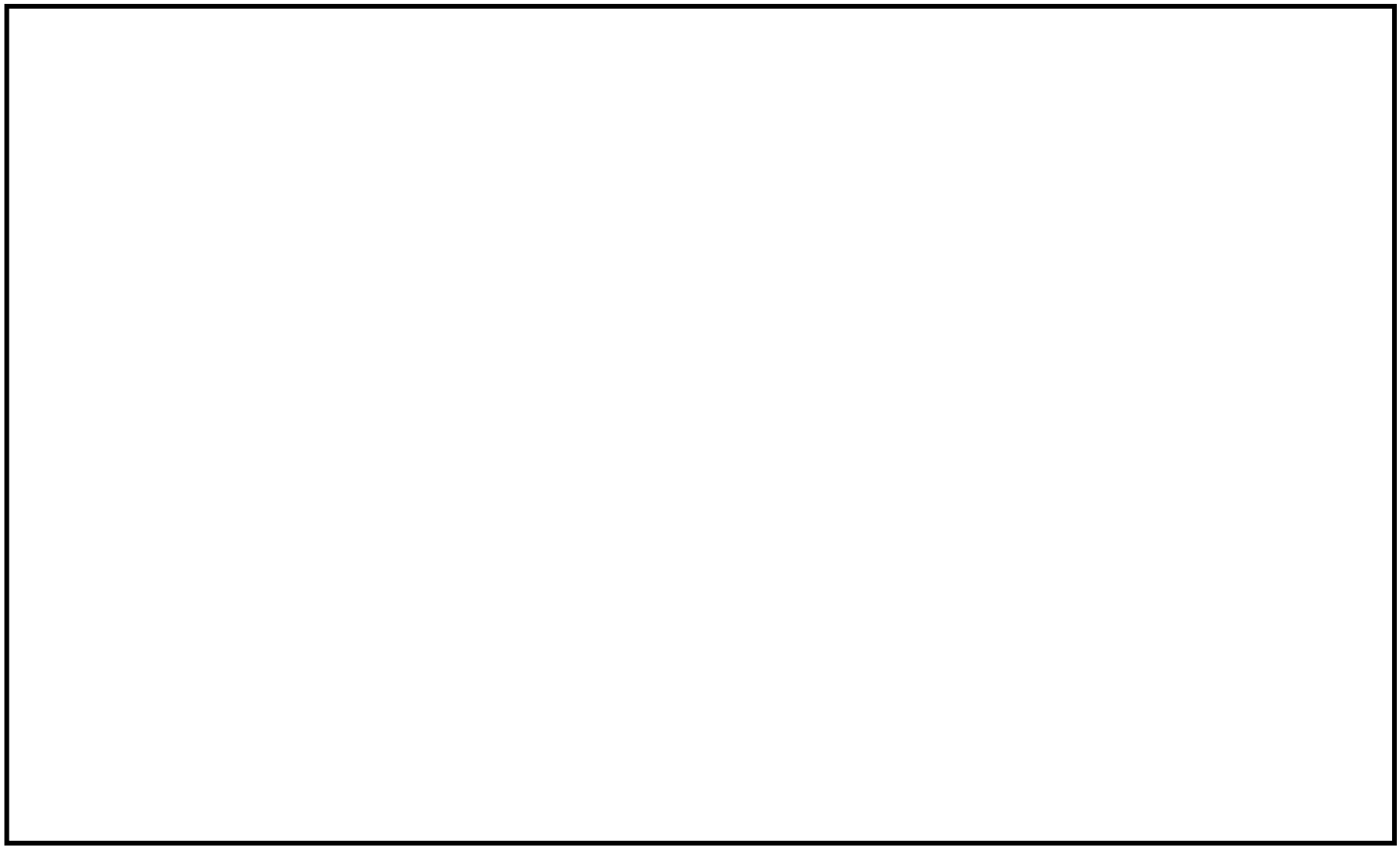

放水ピット
循環水ポンプ（A）
循環水ポンプ（B）
循環水ポンプ（C）
CW-17
CW-11
CW-12
CW-18
CW-19
CW-13
CW-14
CW-20
CW-21
CW-15
CW-16
CW-22
MO F004 A
MO F003 A
MO F003 B
MO F004 B
MO F004 C
MO F003 C
MO F003 D
MO F004 D
MO F004 E
MO F003 E
MO F003 F
MO F004 F
海側
復水器（A）
山側
復水器（B）
復水器（C）

循環水系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
━━━━━━（太線）	概略系統図記載の管のうち，本計算書に評価結果を添付する配管
ー ー ー ー ー ー ー（破線）	弁の質量分布をモデル化するために設定している梁要素
●	質点
	アンカ

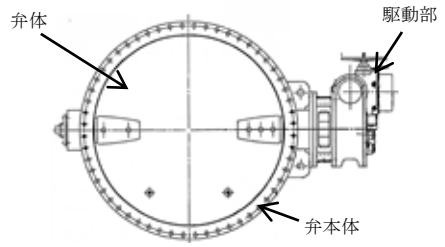
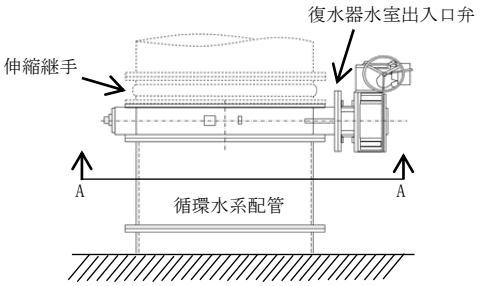


鳥瞰図	CW-11

2.3　構造計画

復水器水室出入口弁は，電動バタフライ弁であり，弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を下表に示す。

構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
復水器水室出入口弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	循環水配管に設置され，配管に支持される。	 A－A 断面図  弁設置位置図

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,「N-DAPS3」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
－	－	循環水系	ＤＢ	－	－	Ｃ	I_{L}＋Ｓｓ II_{L}＋Ｓｓ	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$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：運転状態の添字Ｌは荷重を示す。

＊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番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図　CW-11

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～3	0.52	40	2626.0	13.0	SS400	C	201667

フランジ部の質量

鳥瞰図　CW-11

質量	対応する評価点
1632kg	2
962kg	3

弁部の寸法

鳥瞰図　CW-11

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
3～5	2664.0	32.0	570	4～6	2664.0	32.0	1480
6～7	566.0	128.0	363	7～8	638.4	6.7	405
8～9	330.0	109.4	275				

弁部の質量

鳥瞰図　CW-11

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
962kg	3	9225kg	4
1991kg	5	560kg	6
515kg	7	2750kg	9

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
SS400	40	－	245	400	－
FCD450	40	－	280	450	－

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Ⅴ-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Ⅴ-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	減衰定数(%)
CW-11	タービン建屋	T.M.S.L.　-5100 mm	0.5

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CW-11

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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	0.113	－	－	－	3.38	3.38	5.12
2 次	0.110	－	－	－	3.38	3.38	5.12
3 次*4	0.029	－	－	－	－	－	－
動的震度*2		－	－	－	0.94	0.94	0.89
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：Ｓｄ又はＳｓ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。

＊3：3.6ＣⅠ及び1.2ＣⅤより定めた震度を示す。

＊4：2次までは固有周期が0.050sより長いモード，3次は固有周期が0.050s以下のモードを示す。

各モードに対応する刺激係数

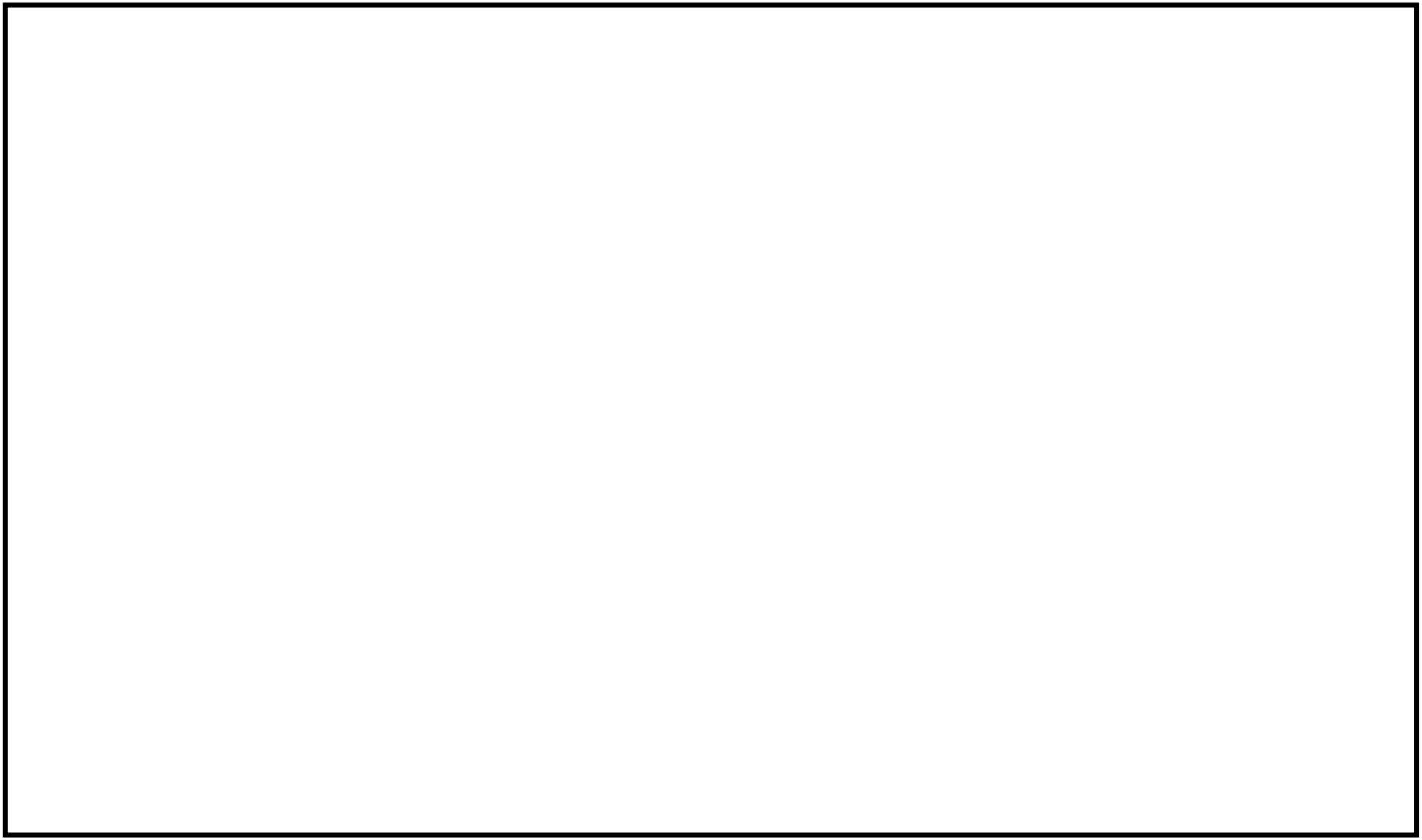
鳥瞰図　CW-11

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次	0.113	0.832	0.086	0.461
2 次	0.110	0.520	0.000	0.937

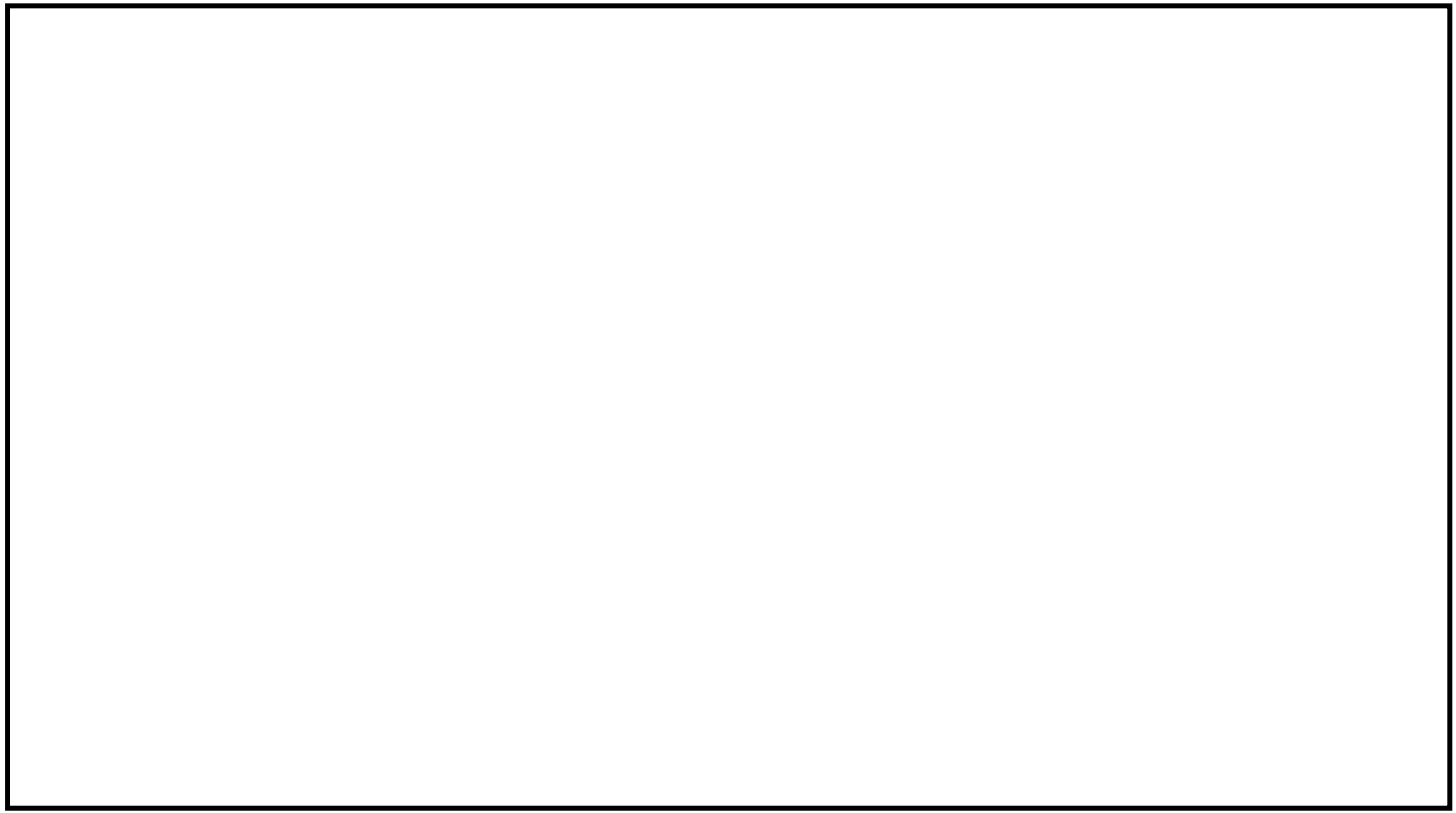
注記*：刺激係数は，固有ベクトルの最大値を１で正規化して得られる値を示す。

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。



鳥瞰図	CW-11



鳥瞰図	CW-11

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_{prm}（Ｓｄ） S_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 S_y[*1] S_y[*2]	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
CW-11	III_AＳ	2 2	S_{prm}（Ｓｓ） Ｓｎ（Ｓｓ）	110 —	245 —	— 158	— 490	— —

注記＊1：　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1.2S_hのうち大きい方の値とする。

＊2：Ｓｓ地震動に対し許容応力状態III_AＳの評価を行う。

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 (℃)	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 (℃)	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			
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

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* (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 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
N71-M0-F003A	電動バタフライ弁	β（Ｓｓ）	5.6	2.4	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，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　（クラス３管相当）

No.	配管モデル	許容応力状態　$\mathrm{III_AS}$												
		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	CW-11	2	110	245	2.22	○	2	158	490	3.10	○	－	－	－
2	CW-12	2	110	245	2.22	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
3	CW-13	2	110	245	2.22	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
4	CW-14	2	110	245	2.22	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
5	CW-15	2	110	245	2.22	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
6	CW-16	2	110	245	2.22	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
7	CW-17	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
8	CW-18	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
9	CW-19	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
10	CW-20	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
11	CW-21	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－
12	CW-22	2	96	245	2.55	－	2	158	490	3.10	－	－	－	－

Ⅴ-2-別添 2-6　タービン補機冷却海水系隔離システム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.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 4
4.2.2　許容応力 ····· 4
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 9

1. 概要

タービン補機冷却海水系隔離システムは耐震Ｃクラス機器で工事計画の基本設計方針に示す浸水防護施設の主要設備リストに記載のない浸水防護施設（以下「溢水防護に係る施設」という。）であり，溢水防護に係わる施設の評価においては，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に基づき，機能を維持できることを確認する。

溢水防護に係る施設は基準地震動Ｓｓによる機能が要求されることから，本計算書はⅤ-2-1-1「耐震設計の基本方針」の「5.機能維持の基本方針」及び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及び機能維持の設計方針に基づき，タービン補機冷却海水系隔離システムのうち，漏えい検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

漏えい検出器は，設計基準対象施設においてはＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，漏えい検出器は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンション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。

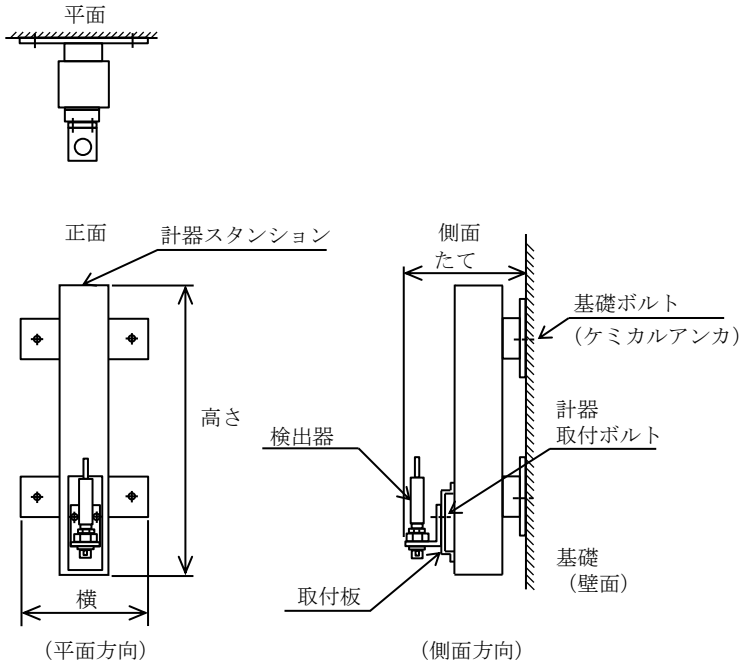
2. 一般事項

2.1 構造計画

漏えい検出器の構造計画を表 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	
検出器は，計器取付ボルトにより取付板に固定され，取付板は，計器スタンションに固定される。計器スタンションは，基礎に基礎ボルトで設置する。	電極式水位検出器	【漏えい検出器】



機器名称	漏えい検出器 (P42-LE021A)	漏えい検出器 (P42-LE021B)	漏えい検出器 (P42-LE021C)
たて	260	260	260
横	250	250	250
高さ	550	550	550

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

漏えい検出器の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つスタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表3－1に示す。

表3－1　固有周期　（単位：s）

漏えい検出器 (P42-LE021A)	水平	0.05以下
	鉛直	0.05以下
漏えい検出器 (P42-LE021B)	水平	0.05以下
	鉛直	0.05以下
漏えい検出器 (P42-LE021C)	水平	0.05以下
	鉛直	0.05以下

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

漏えい検出器の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンション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。

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

漏えい検出器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 に示す。

4.2.2　許容応力

漏えい検出器の許容応力は，Ⅴ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

漏えい検出器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 4－3 に示す。

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【漏えい検出器（P42-LE021A）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（P42-LE021B）の耐震性についての計算結果】，【漏えい検出器（P42-LE021C）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 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
その他発電用原子炉の附属施設	浸水防護施設	漏えい検出器	Ｃ（Ｓｓ）	—*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　許容応力（その他の支持構造物）

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・f_t^*	1.5・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 4－3　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

漏えい検出器の電気的機能維持評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-8　計器スタンション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。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
漏えい検出器 (P42-LE021A)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (P42-LE021B)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
漏えい検出器 (P42-LE021C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

漏えい検出器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電気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

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【漏えい検出器（P42-LE021A）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (P42-LE021A)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.28	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	215 (40mm＜径)	400 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	258	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

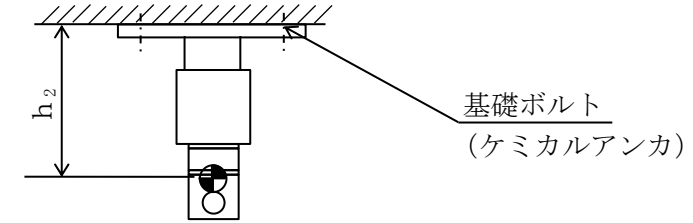
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

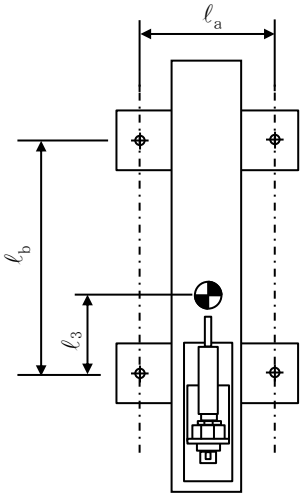
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (P42-LE021A)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

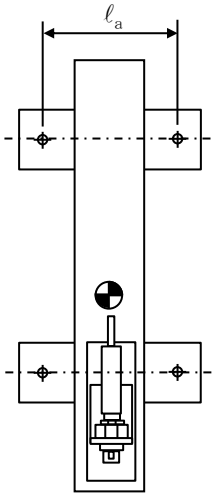
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

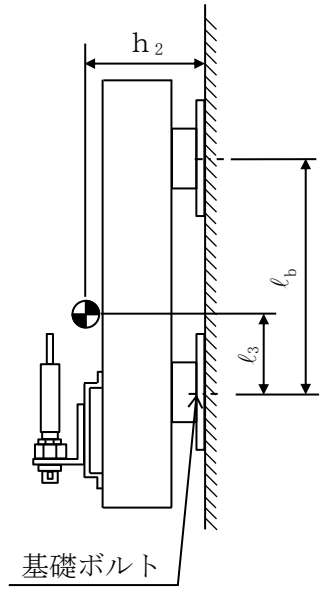


転倒方向



（正面方向）





（側面方向）

【漏えい検出器（P42-LE021B）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (P42-LE021B)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.28	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	215 (40mm＜径)	400 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F＊ (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	258	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

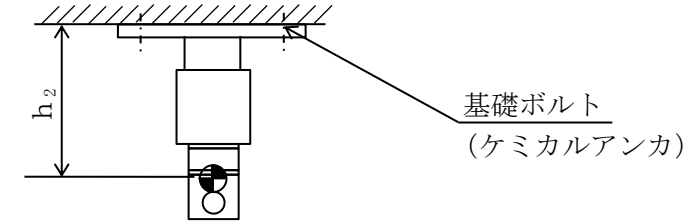
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s^2)

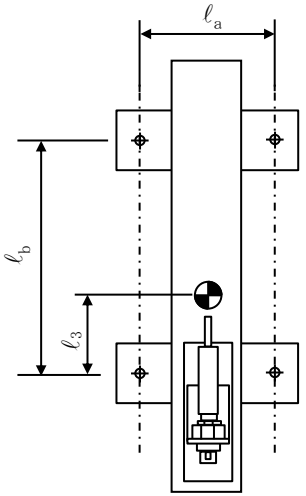
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (P42-LE021B)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

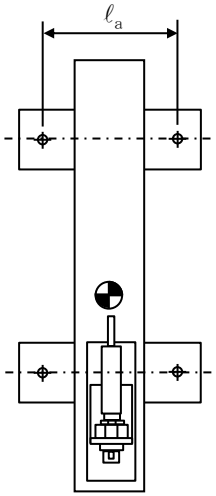
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。

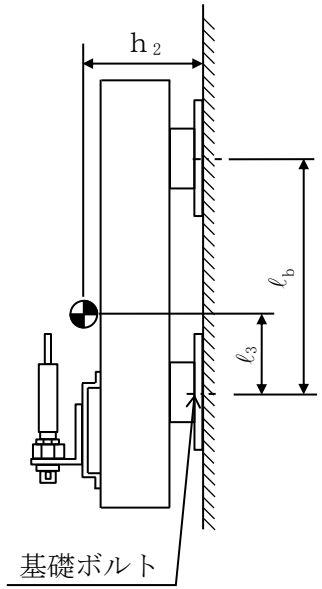


転倒方向



（正面方向）





（側面方向）

【漏えい検出器（P42-LE021C）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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	
漏えい検出器 (P42-LE021C)	Ｃ（Ｓｓ）	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100 (T.M.S.L. -1.100*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.28	C_V＝1.12	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 漏えい検出器

部材	m (kg)	h_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	n	S_y (MPa)	S_u (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	175	12 (M12)	113.1	4	215 (40mm＜径)	400 (40mm＜径)

部材	ℓ_3* (mm)	ℓ_a* (mm)	ℓ_b* (mm)	n_{fV}*	n_{fH}*	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	92	190	300	2	2	—	258	—	正面方向
	92	190	300	2	2				

注記＊：各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し，
下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=154$*
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

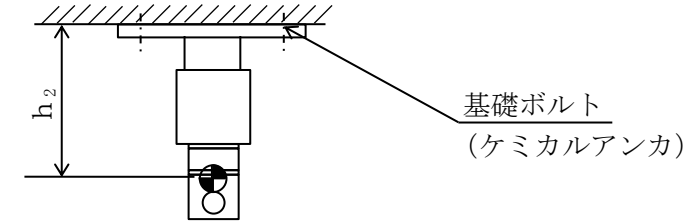
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s^2)

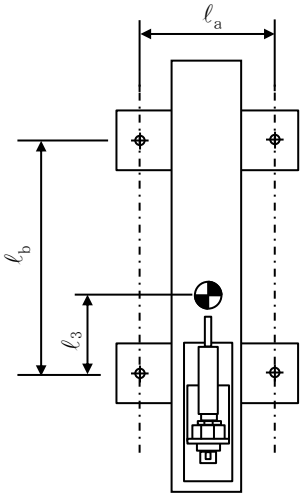
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検出器 (P42-LE021C)	水平方向	1.07	[redacted]
	鉛直方向	0.93	[redacted]

注記＊：基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度とする。

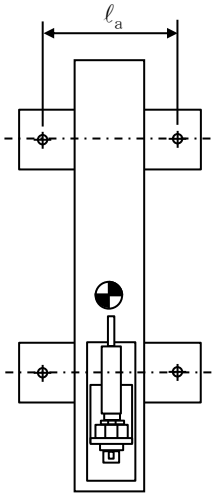
機能維持評価用加速度(1.0・ZPA)はすべて機能確認済加速度以下である。



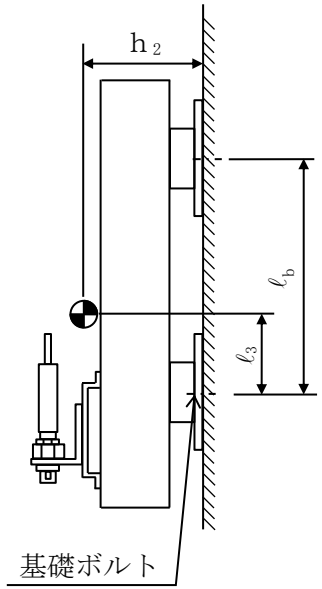
転倒方向



（正面方向）



（側面方向）



Ⅴ-2-別添 2-7　タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁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 ····· 4
2.3　構造計画 ····· 8
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 ····· 16
3.5　設計用地震力 ····· 17
4.　解析結果及び評価 ····· 18
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 18
4.2　評価結果 ····· 24
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 24
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 25
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 26
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 27

1. 概要

本資料は，Ｖ-2-別添 2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算書の方針」に従い，溢水量低減を目的として，タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が基準地震動Ｓｓに対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、設計基準対象施設においてはＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設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，タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は，タービン補機冷却海水系配管に設置される弁であり，配管と合わせて耐震評価を実施することから、Ｖ-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。）に基づき評価を実施する。

評価結果記載方法は，以下に示すとおりである。

(1)　管

概略系統図に示す配管の評価対象部位のうち，各応力区分における最大応力評価点評価結果を記載する。また，全３弁をひとつの配管系として解析モデルを作製し，各応力区分における許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる部位を代表として計算条件及び評価結果を記載する。

(2)　支持構造物

対象配管の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持構造物の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

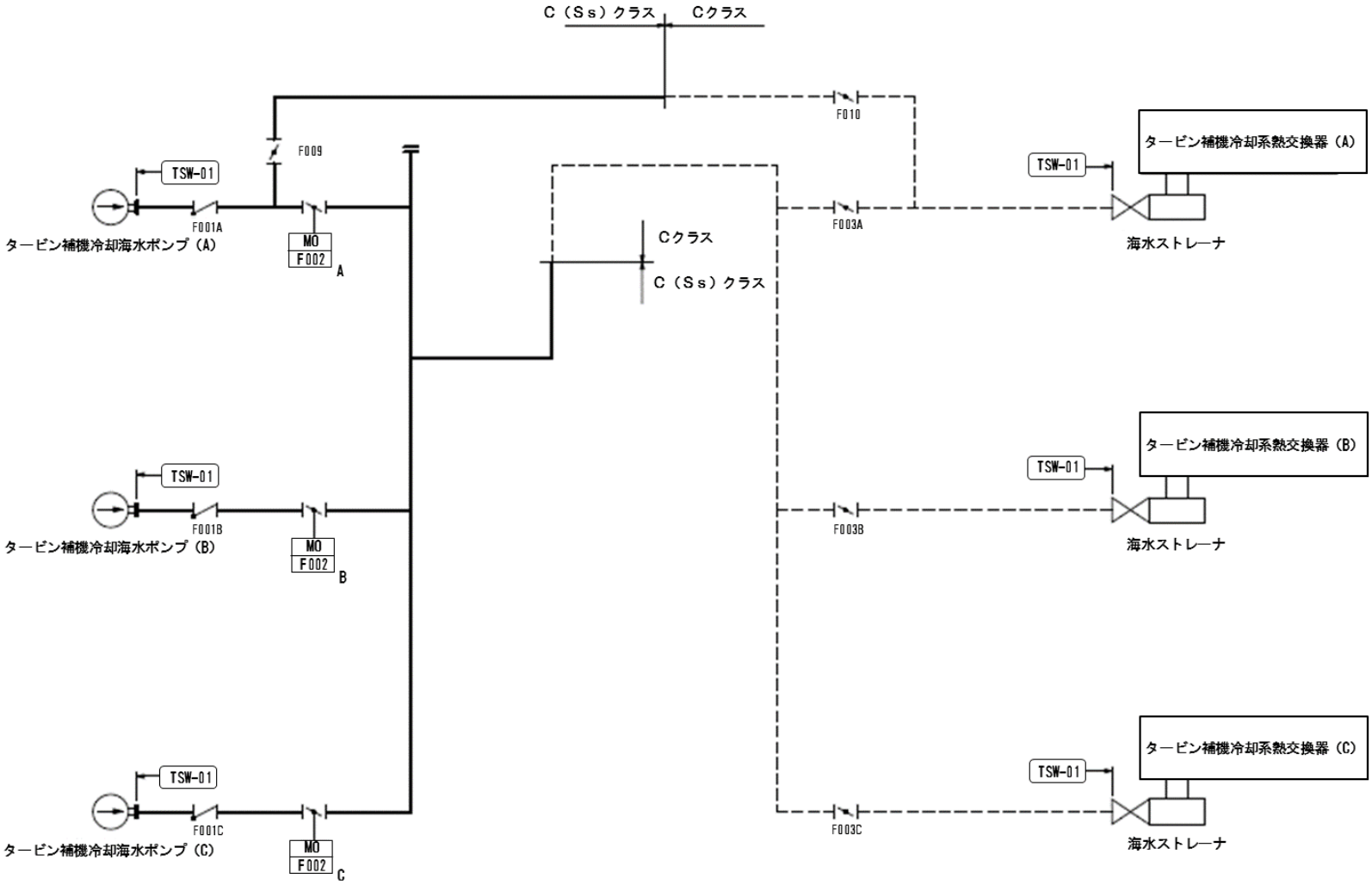
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

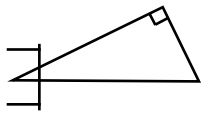
記号	内容
━━━━━━（太線）	本計算書に評価結果を添付する配管（基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
----------（破線）	本計算書に評価結果を添付しない配管で計算モデルの概略を示すために表記する配管
○○-○-○○	鳥瞰図番号

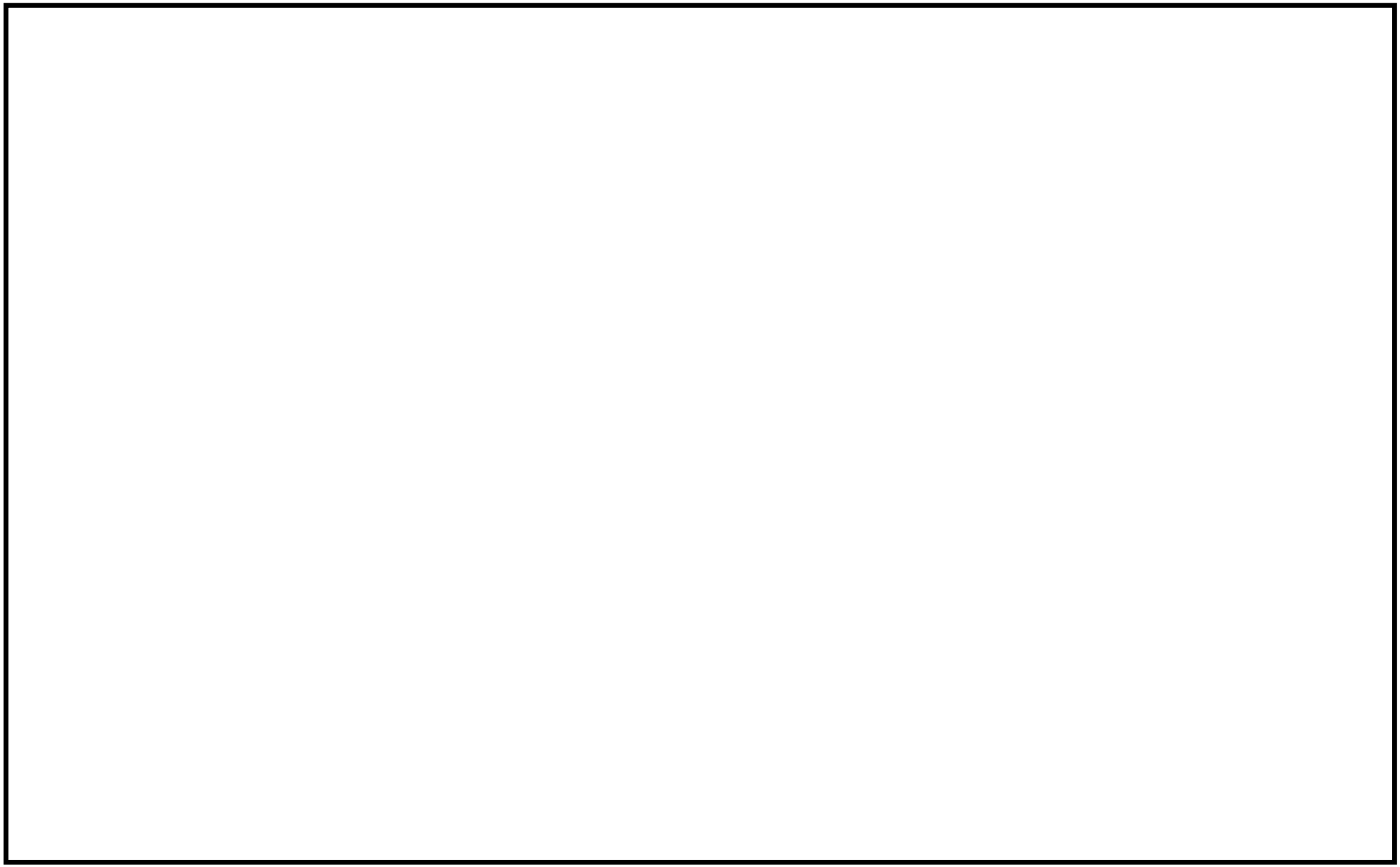


タービン補機冷却海水系概略系統図

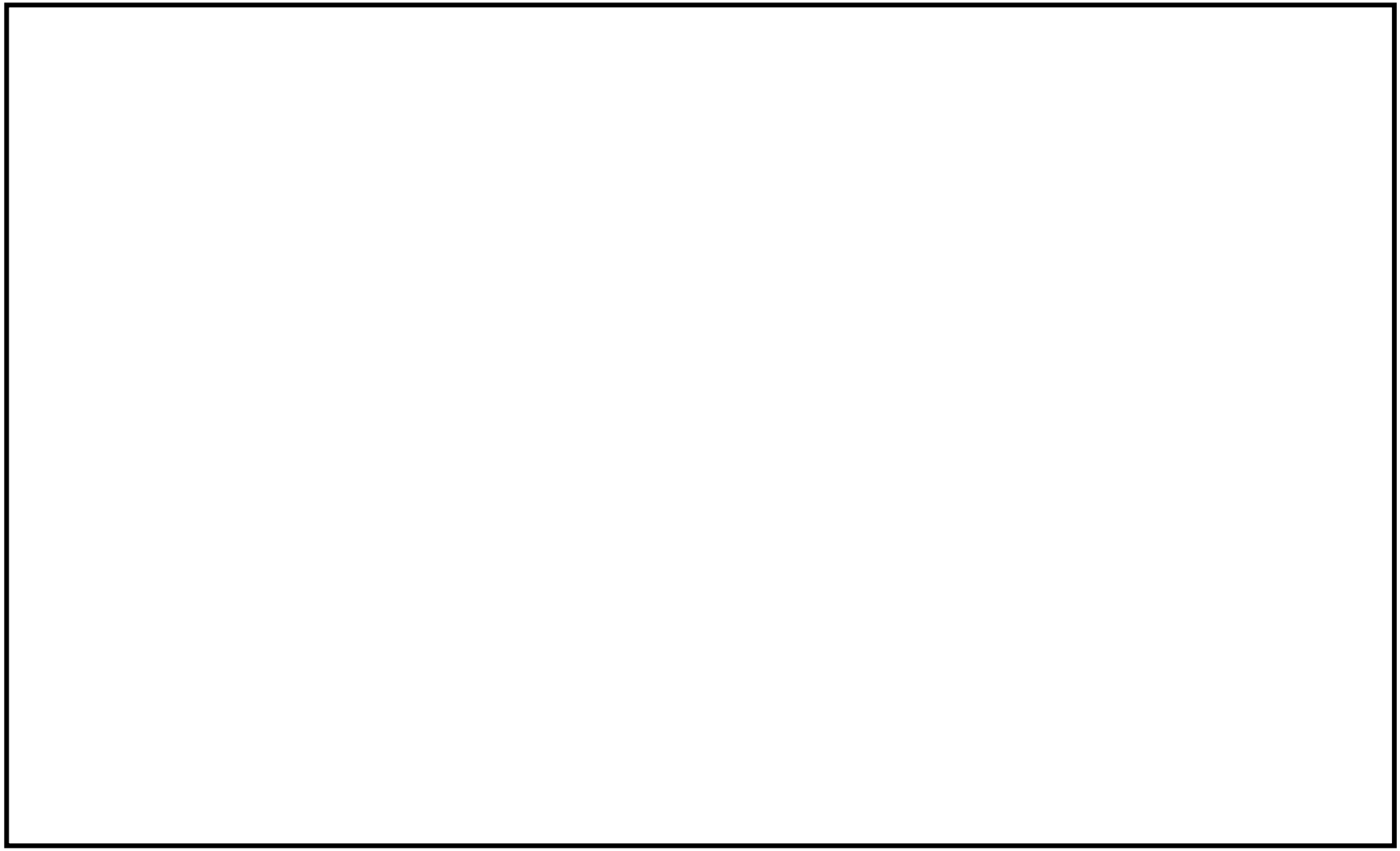
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

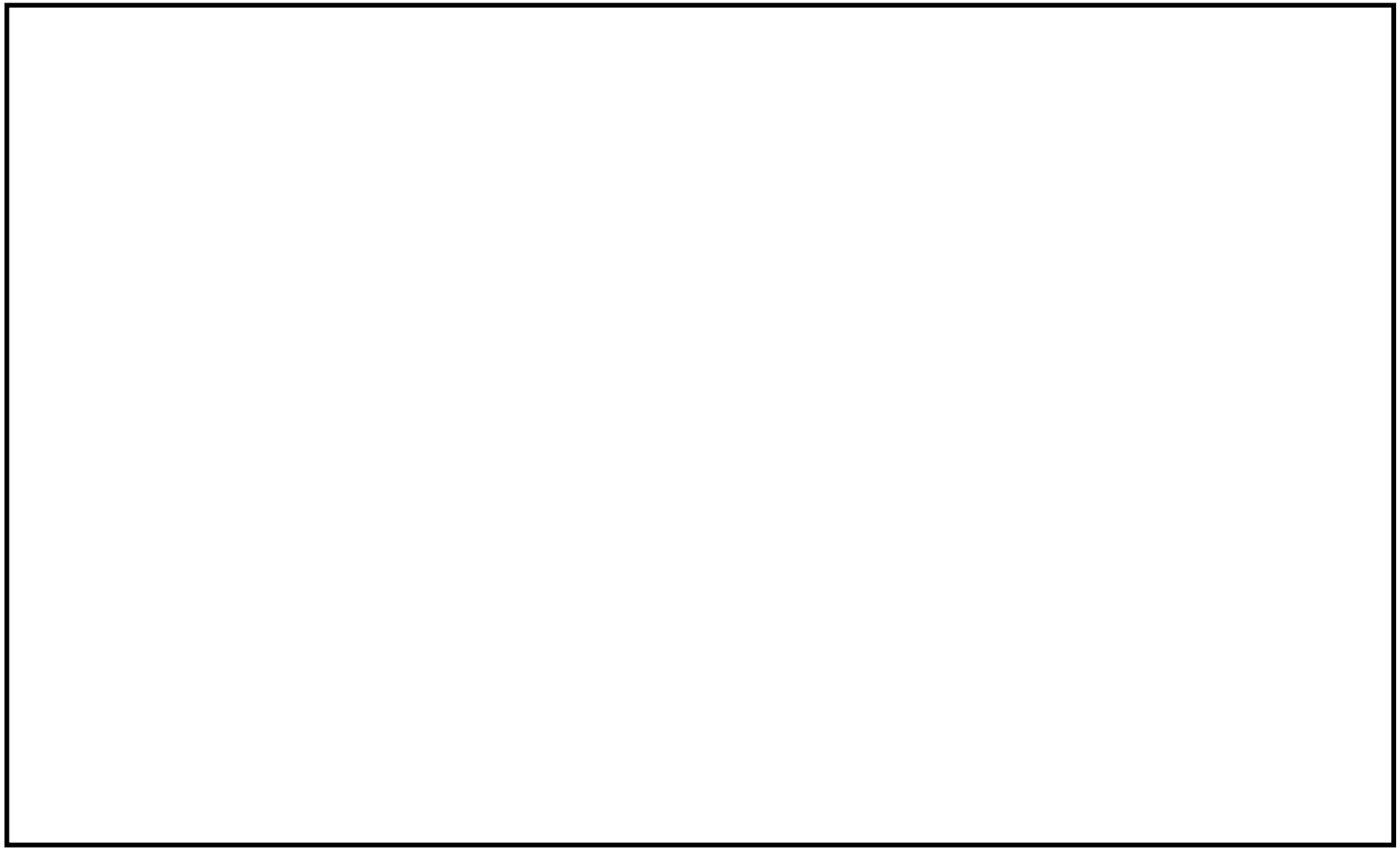
記号	内容
━━━━━━（太線）	概略系統図記載の管のうち，本計算書に評価結果を添付する配管
－－－－－－－（破線）	概略系統図記載の管のうち基準地震動Ｓｓに対し機能維持を期待しない範囲の管であって解析モデルの概略を示すために表記する配管
●	質点
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。）



鳥瞰図	TSW-01 (1/3)



鳥瞰図	TSW-01 (2/3)

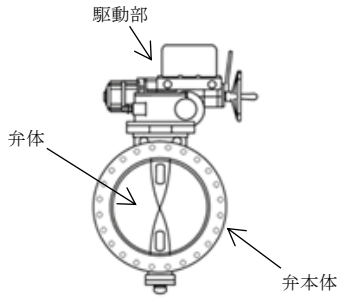
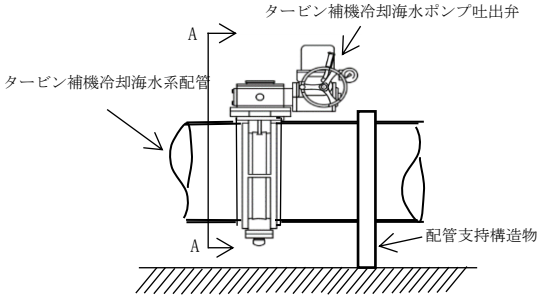


鳥瞰図	TSW-01 (3/3)

2.3　構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は，電動バタフライ弁であり，弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を下表に示す。

構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	タービン補機冷却海水系配管に設置され，配管にて支持される。 配管については，支持構造物にて支持される。	 A－A 断面図  弁設置位置図

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,「N-DAPS3」「STRUCT」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
－	－	タービン補機 冷却海水系	ＤＢ	－	－	Ｃ	I_{L}＋Ｓｓ	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓ
							II_{L}＋Ｓｓ	

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番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図　TSW-01

管番号	対応する 評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～3,4001～11 16～29N,14～38N	0.59	40	609.6	9.5	SM400B	C	202333
2	3～4001	0.59	40	609.6	9.5	STPY400	C	202333
3	12～15,13～41	0.59	40	863.6	12.7	SM400B	C	202333
4	4～103	0.59	40	558.8	9.5	STPY400	C	202333
5	103～88	0.59	40	558.8	9.5	SM400B	C	202333

フランジ部の質量

鳥瞰図　TSW-01

質量	対応する評価点
53kg	1N, 2, 3, 5, 9, 20, 24, 25, 26, 29N, 31, 35, 36, 37, 38N
105kg	4001, 1001, 1601, 1801, 2901, 5501
390kg	12
178kg	1201, 1301, 3801, 4201, 4301, 4501, 4701, 4901, 5101
99kg	9101, 9301, 9302, 9601, 9802
50kg	101, 103

弁部の寸法

鳥瞰図　TSW-01

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
5～9,20～24,31～35	609.6	9.5	240	2～3,25～26,36～37	609.6	152.4	1295
6～7,21～22,32～33	660.0	22.0	333	101～103	609.6	152.4	230
7～8,22～23,33～34	148.0	29.5	308				

弁部の質量

鳥瞰図　TSW-01

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
489kg	6,21,32	1980kg	2～3,25～26,36～37
71kg	7,22,33	575kg	101～103
260kg	8,23,34		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　TSW-01

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)
10		
19		
30		
41		
88		
91		
96		
1001		
9801		
** 382 **		

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
SM400B	40	－	245	400	－
STPY400	40	－	225	400	－
STKR400	60	－	223	389	－

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Ⅴ-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Ⅴ-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	減衰定数(%)
TSW-01	タービン建屋	T.M.S.L.　12300 mm	2.0
TSW-01	タービン建屋	T.M.S.L.　4900 mm	2.0
TSW-01	タービン建屋	T.M.S.L.　-1100 mm	2.0
TSW-01	タービン建屋	T.M.S.L.　-5100 mm	2.0

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 TSW-01

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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	0.102	－	－	－	2.88	2.88	3.18
2 次	0.081	－	－	－	1.96	1.96	2.11
3 次	0.065	－	－	－	1.68	1.68	1.83
4 次	0.064	－	－	－	1.75	1.75	1.83
5 次	0.062	－	－	－	1.77	1.77	1.71
6 次	0.061	－	－	－	1.77	1.77	1.58
7 次	0.058	－	－	－	1.83	1.83	1.35
8 次	0.055	－	－	－	1.77	1.77	1.23
9 次	0.048	―	―	―	―	―	―
動的震度*2		－	－	－	1.23	1.23	0.95
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：Ｓｄ又はＳｓ地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度(1.2ZPA)を示す。

＊3：3.6ＣⅠ及び1.2ＣⅤより定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

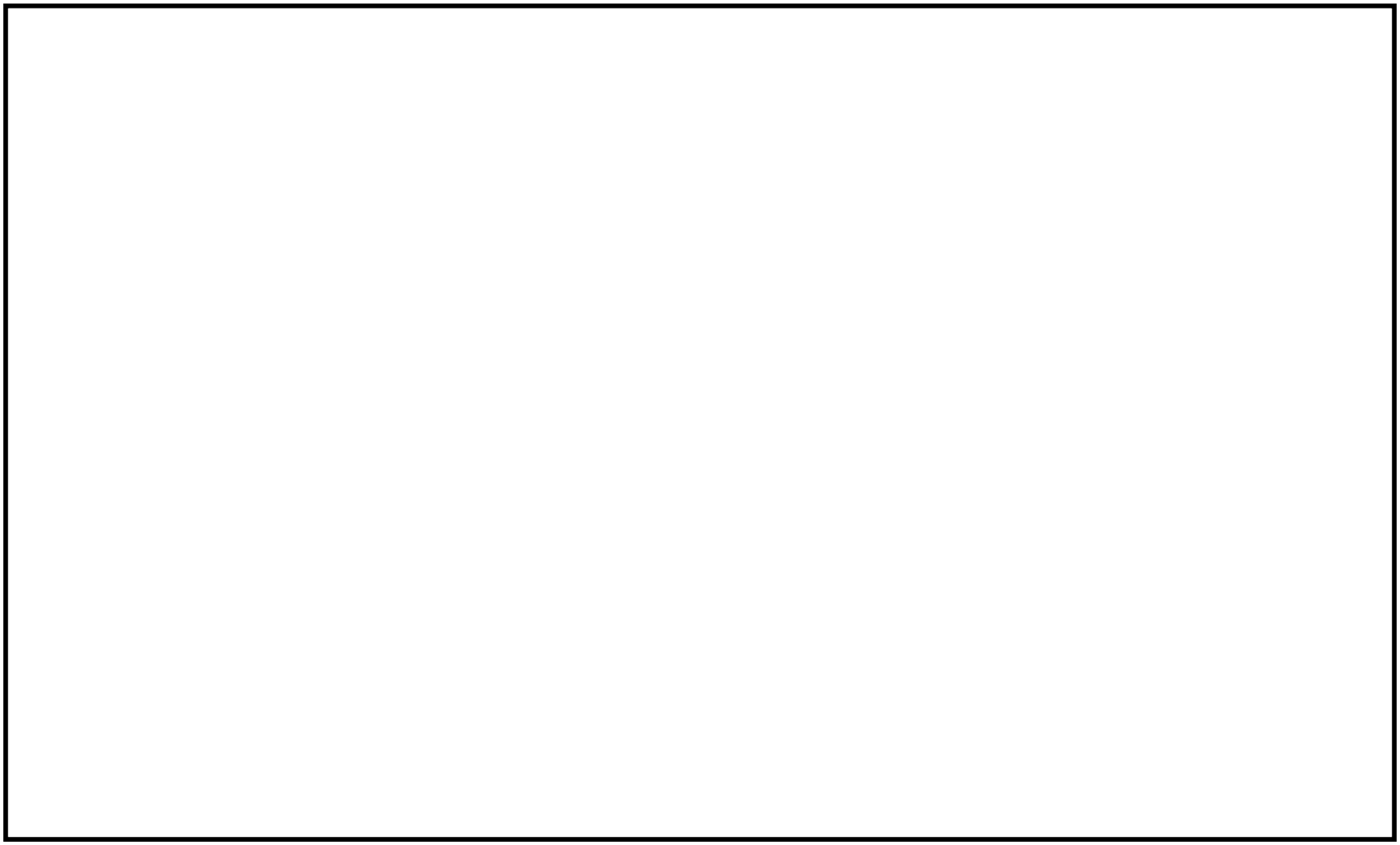
鳥瞰図　TSW-01

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次	0.102	0.233	0.032	1.038
2 次	0.081	0.437	1.104	0.401
3 次	0.065	0.219	1.010	0.018
4 次	0.064	0.152	1.079	0.673
5 次	0.062	1.038	0.357	0.184
6 次	0.061	0.869	0.434	0.090
7 次	0.058	0.436	1.268	0.767
8 次	0.055	0.403	0.530	0.186

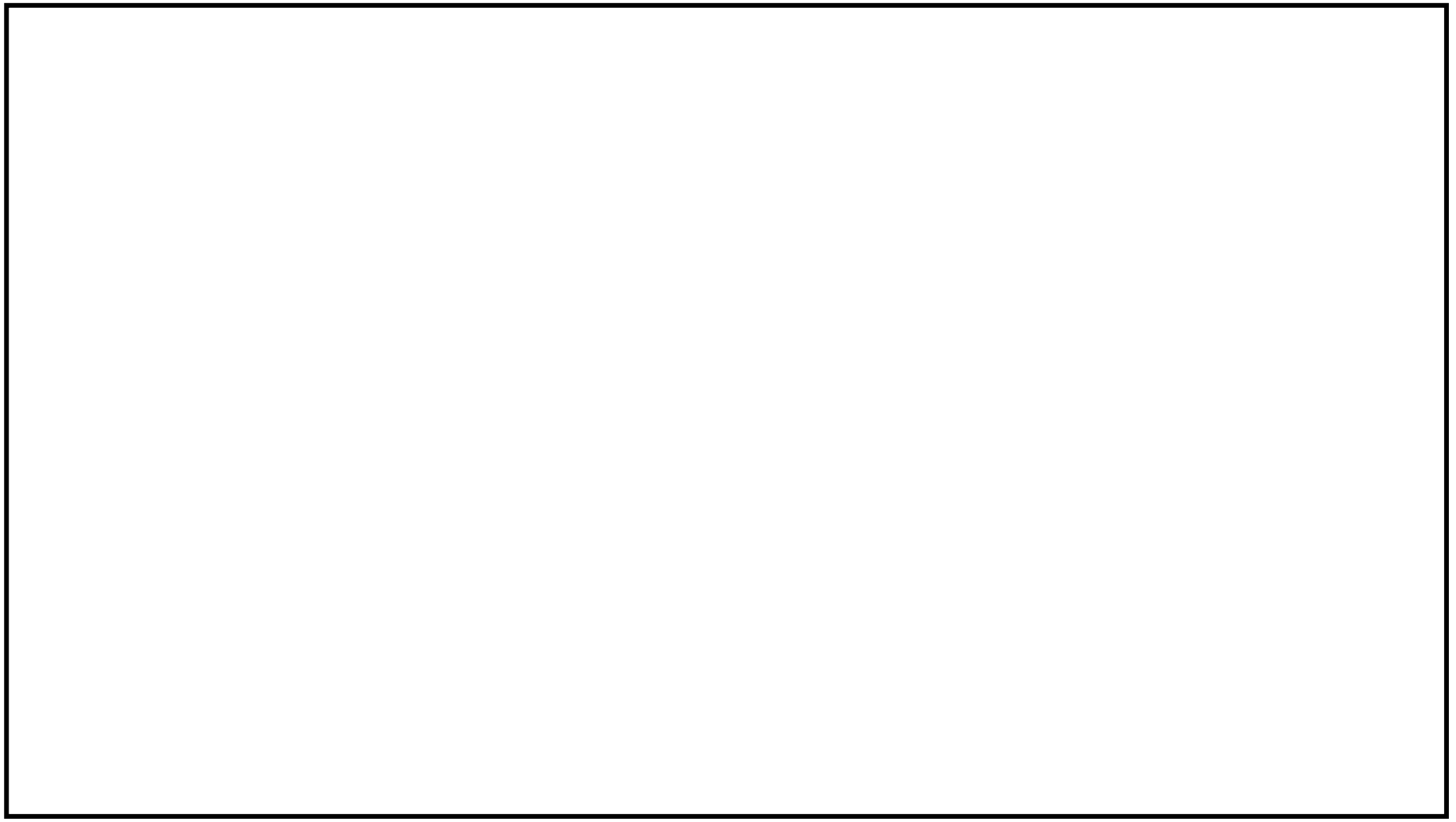
注記*：刺激係数は，固有ベクトルの最大値を１で正規化して得られる値を示す。

代表的振動モード図

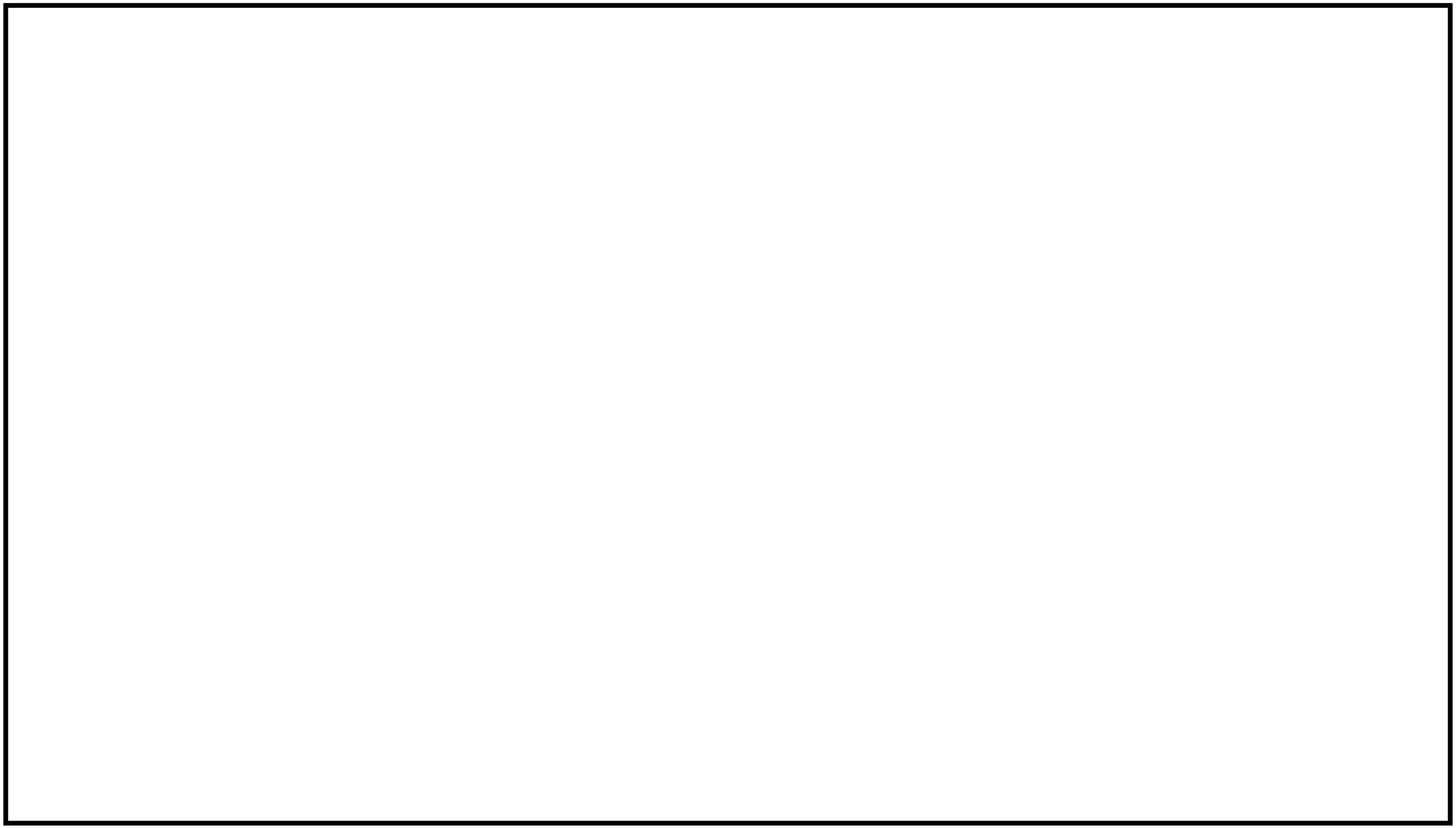
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	TSW-01-1



鳥瞰図	TSW-01-2



鳥瞰図	TSW-01-3

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_{prm}（Ｓｄ） S_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 S_y[*1] S_y[*2]	計算応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 2Ｓｙ	疲労累積係数 ＵＳｓ
TSW-01	$Ⅲ_AS$	4 4	S_{prm}（Ｓｓ） Ｓｎ（Ｓｓ）	134 —	225 —	— 450	— 450	— —

注記＊1：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 1.2S_h のうち大きい方の値とする。

＊2：Ｓｓ地震動に対し許容応力状態$Ⅲ_AS$の評価を行う

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）

支持点番号	種類	型式	材質	温度（℃）	評価結果	
					計算荷重（kN）	許容荷重（kN）
382	ロッドレストレイント	RTS10	Ⅴ-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		92	150

支持構造物評価結果（応力評価）

支持点番号	種類	型式	材質	温度（℃）	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			
41	レストレイント	－	STKR400	60	69	269	65	－	－	－	せん断	102	127

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* (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8 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
P42-M0-F002C	電動バタフライ弁	β（Ｓｓ）	1.3	1.3	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，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　(クラス３管相当)

No.	配管モデル	許容応力状態　ⅢＡＳ												
		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	TSW-01	4	134	225	1.67	○	4	450	450	1.00	○	－	－	－