

VI-3-3-6-2-10 圧力逃がし装置の強度計算書

目 次

VI-3-3-6-2-10-1 原子炉格納容器フィルタベント系の強度計算書

VI-3-3-6-2-10-1 原子炉格納容器フィルタベント系の強度計算書

## 目 次

- VI-3-3-6-2-10-1-1 フィルタ装置の強度計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-3-3-6-2-10-1-2 弁の強度計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-3-3-6-2-10-1-3 管の強度計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）

VI-3-3-6-2-10-1-1 フィルタ装置の強度計算書

(原子炉格納容器フィルタベント系)

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス 2 機器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の強度計算の基本方針」、「VI-3-2-8 重大事故等クラス 2 容器の強度計算方法」及び「VI-3-2-12 重大事故等クラス 2 支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (kPa)	温度 (℃)	圧力 (kPa)						温度 (℃)
フィルタ装置	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854	200	—	—	設計・建設 規格	—	SA-2

## 目次

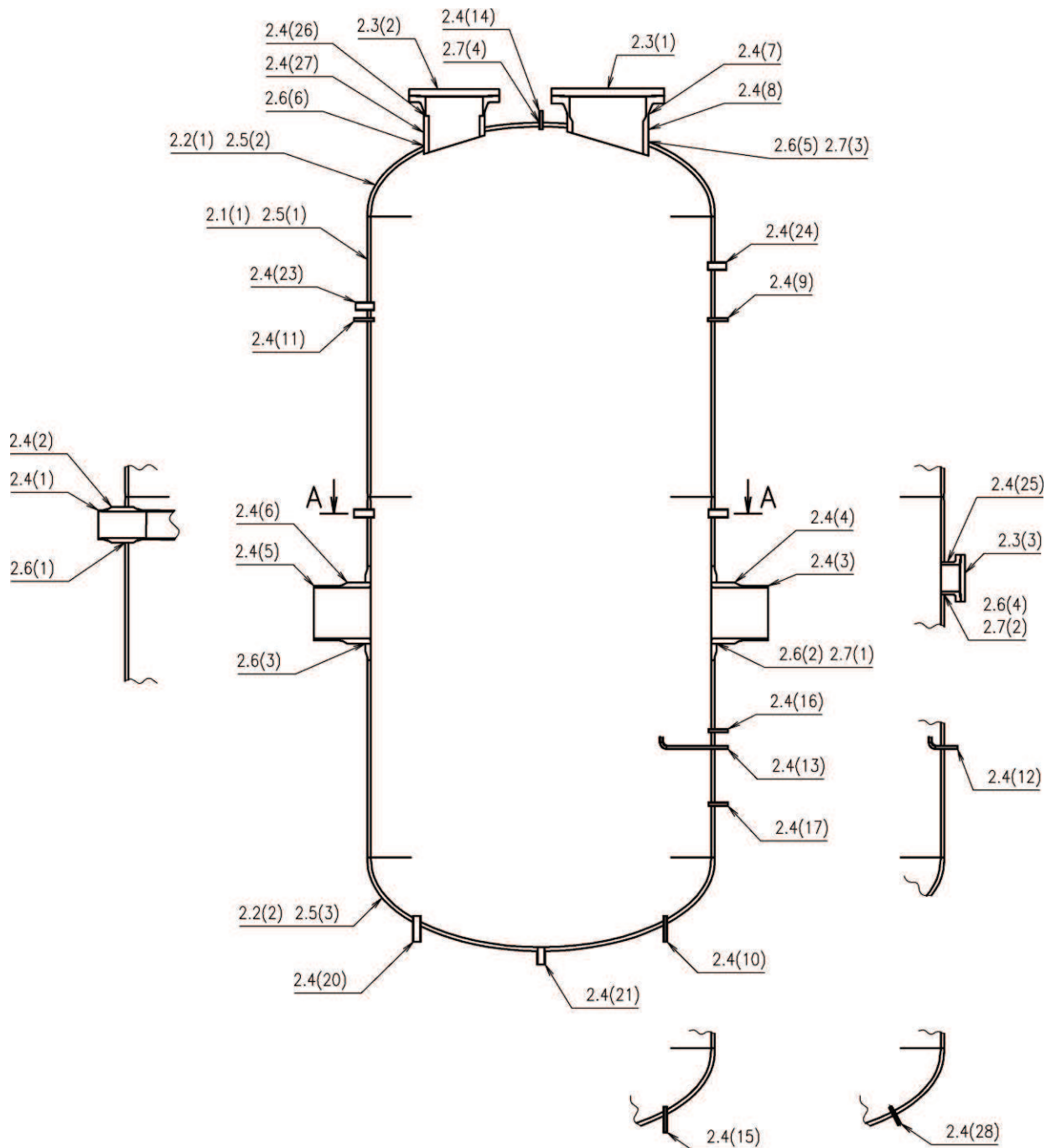
1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	2
2. 強度計算	3
2.1 容器の胴の厚さの計算	3
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	4
2.3 容器の平板の厚さの計算	6
2.4 容器の管台の厚さの計算	12
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	26
2.6 容器の穴の補強計算	29
2.7 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算	41
3. 支持構造物の強度計算書	43



1. 計算条件

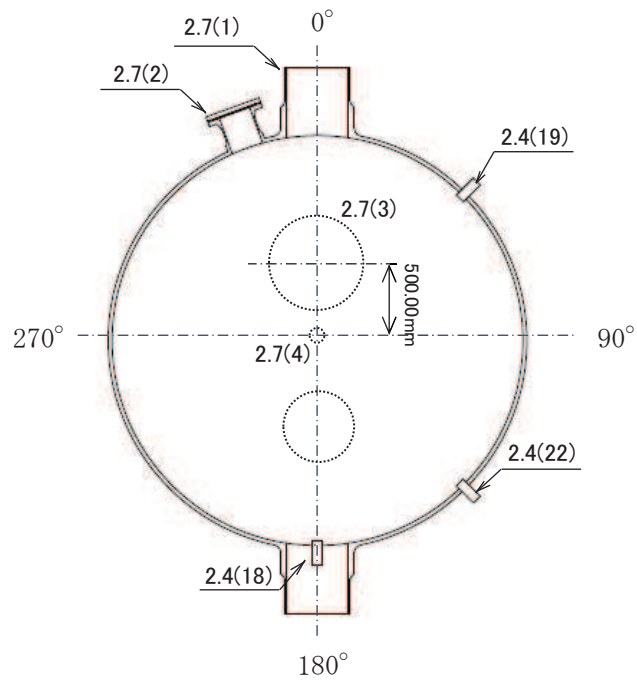
1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図



A-A矢視図

図 1-2 概要図

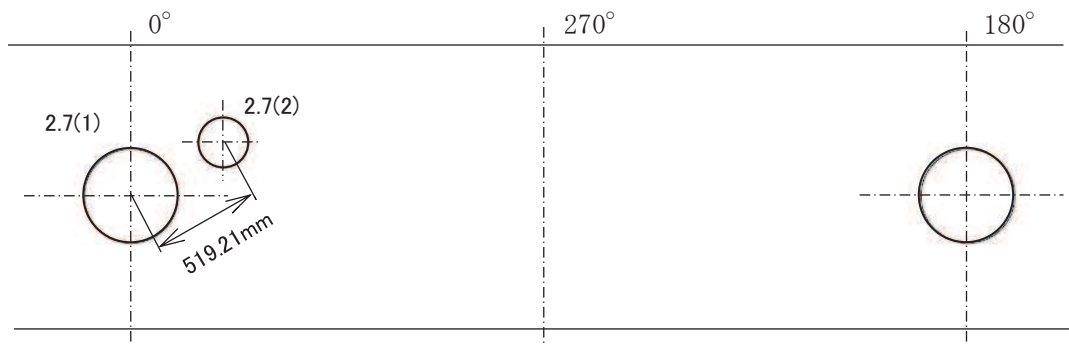


図 1-3 概要図

図中の番号は次ページ以降の  
計算項目番号を示す。

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	0.854
最高使用温度 (°C)	200

2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称	(1) 胴板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.50
必要厚さ	$t_2$	(mm)	10.23
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{s.o}$	(mm)	25.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 上部鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	2540.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	635.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 上部鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	$P$ (MPa)	0.854
最高使用温度	(°C)	200
胴の内径	$D_i$ (mm)	2550.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	107
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	10.23
必要厚さ	$t_2$ (mm)	10.15
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	30.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

容器の鏡板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(2) 下部鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	2540.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	635.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

(2) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(2) 下部鏡板
材料		SUS316L
最高使用圧力	$P$ (MPa)	0.854
最高使用温度	(°C)	200
胴の内径	$D_i$ (mm)	2550.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	107
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	10.23
必要厚さ	$t_2$ (mm)	10.15
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	10.23
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	30.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

O 2 © VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.3 容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) マンホール (N4)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(J I S B 8 2 6 5適用)

平板の厚さ

平板名称	(1) マンホール(N4)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	6.4			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S <sub>a</sub>	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub>	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	770.00	
ボルト呼び	M36			
ボルト本数	n		24	
ボルト谷径	d <sub>b</sub>	(mm)	31.670	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.891×10 <sup>4</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub>	(mm)	659.40	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	16.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub>	(mm)	8.00	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	7.13	
平板の径(ガスケットの有効径)	d = G	(mm)	645.14	
内圧による全荷重	W = H	(N)	2.792×10 <sup>5</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub>	(N)	3.532×10 <sup>5</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub>	(N)	9.953×10 <sup>5</sup>	
ボルトの 所要総有 効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	3.839×10 <sup>3</sup>
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	7.716×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub>	(mm <sup>2</sup> )	7.716×10 <sup>3</sup>
ボルト荷 重	使用状態	W <sub>o</sub>	(N)	3.532×10 <sup>5</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub>	(N)	1.717×10 <sup>6</sup>
	いずれか大きい値	F	(N)	1.717×10 <sup>6</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub>	(mm)	62.43	
取付け方法による係数	K		0.80	
必要厚さ	t	(mm)	51.40	
呼び厚さ	t <sub>p o</sub>	(mm)	57.50	
最小厚さ	t <sub>p</sub>	(mm)		
評価: t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(2) 換気口 (N32)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し



容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(JIS B 8265適用)

平板の厚さ

平板名称	(2) 換気口 (N32)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット (非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	6.4			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	$S_a$	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	$S_b$	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	605.00	
ボルト呼び	M30			
ボルト本数	n		20	
ボルト谷径	$d_b$	(mm)	26.211	
実際のボルト総有効断面積	$A_b$	(mm <sup>2</sup> )	$1.079 \times 10^4$	
ガスケット接触面の外径	$G_s$	(mm)	513.80	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	12.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	$b_o$	(mm)	6.00	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	6.00	
平板の径(ガスケットの有効径)	$d = G$	(mm)	501.80	
内圧による全荷重	$W = H$	(N)	$1.689 \times 10^5$	
使用状態での最小ボルト荷重	$W_{m1}$	(N)	$2.174 \times 10^5$	
ガスケット締付最小ボルト荷重	$W_{m2}$	(N)	$6.517 \times 10^5$	
ボルトの所要総有効断面積	使用状態	$A_{m1}$	(mm <sup>2</sup> )	$2.363 \times 10^3$
	ガスケット締付時	$A_{m2}$	(mm <sup>2</sup> )	$5.052 \times 10^3$
	いずれか大きい値	$A_m$	(mm <sup>2</sup> )	$5.052 \times 10^3$
ボルト荷重	使用状態	$W_o$	(N)	$2.174 \times 10^5$
	ガスケット締付時	$W_g$	(N)	$1.022 \times 10^6$
	いずれか大きい値	F	(N)	$1.022 \times 10^6$
モーメントアーム	$h_g$	(mm)	51.60	
取付け方法による係数	K		0.82	
必要厚さ	t	(mm)	40.65	
呼び厚さ	$t_{p0}$	(mm)	51.50	
最小厚さ	$t_p$	(mm)		
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の平板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVC-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(3) サンプルング(N29)
平板の取付け方法	(m)
平板の穴の有無	無し

容器の平板の厚さの計算

(2) 設計・建設規格 PVC-3310

(JIS B 8265適用)

平板の厚さ

平板名称	(3) サンプリング(N29)			
平板材料	SUS316L			
ボルト材料	SUS316			
ガスケット材料	渦巻形金属ガスケット(非石綿) (ステンレス鋼)			
ガスケット厚さ	4.5			
ガスケット座面の形状	1a			
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854	
最高使用温度		(°C)	200	
平板の許容引張応力	S	(MPa)	107	
ボルトの許容引張応力	常温(ガスケット締付時)(20°C)	S <sub>a</sub>	(MPa)	129
	最高使用温度(使用状態)	S <sub>b</sub>	(MPa)	92
ボルト中心円の直径	C	(mm)	305.00	
ボルト呼び	M22			
ボルト本数	n		12	
ボルト谷径	d <sub>b</sub>	(mm)	19.294	
実際のボルト総有効断面積	A <sub>b</sub>	(mm <sup>2</sup> )	3.508×10 <sup>3</sup>	
ガスケット接触面の外径	G <sub>s</sub>	(mm)	236.00	
ガスケット接触面の幅	N	(mm)	9.00	
ガスケット係数	m		3.00	
最小設計締付圧力	y	(MPa)	68.90	
ガスケット座の基本幅	b <sub>o</sub>	(mm)	4.50	
ガスケット座の有効幅	b	(mm)	4.50	
平板の径(ガスケットの有効径)	d = G	(mm)	227.00	
内圧による全荷重	W = H	(N)	3.456×10 <sup>4</sup>	
使用状態での最小ボルト荷重	W <sub>m1</sub>	(N)	5.101×10 <sup>4</sup>	
ガスケット締付最小ボルト荷重	W <sub>m2</sub>	(N)	2.211×10 <sup>5</sup>	
ボルトの 所要総有 効断面積	使用状態	A <sub>m1</sub>	(mm <sup>2</sup> )	554.4
	ガスケット締付時	A <sub>m2</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.714×10 <sup>3</sup>
	いずれか大きい値	A <sub>m</sub>	(mm <sup>2</sup> )	1.714×10 <sup>3</sup>
ボルト荷 重	使用状態	W <sub>o</sub>	(N)	5.101×10 <sup>4</sup>
	ガスケット締付時	W <sub>g</sub>	(N)	3.368×10 <sup>5</sup>
	いずれか大きい値	F	(N)	3.368×10 <sup>5</sup>
モーメントアーム	h <sub>g</sub>	(mm)	39.00	
取付け方法による係数	K		1.87	
必要厚さ	t	(mm)	27.77	
呼び厚さ	t <sub>p o</sub>	(mm)	34.70	
最小厚さ	t <sub>p</sub>	(mm)		
評価: t <sub>p</sub> ≥ t, よって十分である。				

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(1) ガス入口 (N1)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.86
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.86
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	8.20
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(2) ガス入口 (N1)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	267.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.07
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.07
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	33.75
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(3) ガス出口 (N2)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	406.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.62
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	t	(mm)	1.62
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(4) ガス出口 (N2)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	t	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	38.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(5) ガス出口 (N3)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	406.40
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.62
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.62
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(6) ガス出口 (N3)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	38.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算  
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(7) マンホール(N4)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	609.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	2.43
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	2.43
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	17.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(8) マンホール(N4)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	609.60
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	2.43
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	2.43
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	40.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(9) レベル計(N5)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(10) レベル計(N6)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(11) 圧力計(N8)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.11
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.11
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(12) ドレン(N16)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.11
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.11
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(13) ドレン(N17)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.11
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.11
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(14) ベント(N18)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.11
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.11
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(15) サンプリング(N19)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(16) レベル計(N33)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.11
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.11
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(17) レベル計(N34)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.11
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.11
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(18) 補給水ライン(N11)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.24
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.24
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(19) 薬液注入ライン(N13)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.24
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.24
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(20) 排水移送ライン(N14)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.24
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.24
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(21) ドレン(N15)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

管台名称	(22) 重大事故用給水ライン(N30)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.24
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.24
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(23) 連通管 (N28)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.24
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.24
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

管台名称	(24) 連通管 (N31)		
材料	SUS316LTP		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	60.50
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.24
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.24
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価:	$t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(25) サンプリング (N29)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	241.80
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.97
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.97
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	20.95
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(26) 換気口 (N32)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	14.30
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(27) 換気口 (N32)		
材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	457.20
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	1.82
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	1.82
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	38.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

管台名称	(28) 温度計 (N10)		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
外面に受ける最高の圧力	$P_e$	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
管台の外径	$D_o$	(mm)	25.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	—
B (付録材料図表 Part7 図 14 より)			8235
必要厚さ	$t_2$	(mm)	0.01
必要厚さ	$t_3$	(mm)	—
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	$t$	(mm)	0.01
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	9.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称			(1) 胴板
材料			SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度			(°C) 200
胴の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_s$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	ガス入口 (N1) (2.6(1)) ガス出口 (N2) (2.6(2)) ガス出口 (N3) (2.6(3)) サンプリング (N29) (2.6(4))		

O 2 © VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称	(2) 上部鏡板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_c$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	マンホール(N4) (2.6(5)) 換気口(N32) (2.6(6))		

O 2 © VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称	(3) 下部鏡板		
材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板のフランジ部の外径	D	(mm)	2600.00
許容引張応力	S	(MPa)	107
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$		(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	61.00
K			
$D \cdot t_c$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	200.00
補強を要しない穴の最大径		(mm)	200.00
評価：補強の計算を要する穴の名称	無し		

O 2 © VI-3-3-6-2-10-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-9

部材名称	(1) ガス入口 (N1)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	277.40
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.86
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$2.176 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	11.50 *
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	267.40
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.50
溶接寸法	$L_3$	(mm)	11.50
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	264.5
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$5.031 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ は安全側に $L_3$ と同じ値とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(1) ガス入口 (N1)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.544 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.196 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.196 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		
		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.378 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$2.378 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(2) ガス出口 (N2)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	467.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$6.011 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(2) ガス入口 (N2)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.019 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.699 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.699 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$3.888 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(3) ガス出口 (N3)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	467.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$6.011 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(3) ガス入口 (N3)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.019 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$1.699 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$1.699 \times 10^5$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$3.888 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-3

部材名称	(4) サンプルング(N29)		
胴板材料	SUS316L		
管台材料	SUS316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	251.80
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	2550.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	10.23
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.84
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$2.143 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	241.80
溶接寸法	$L_1$	(mm)	11.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	121.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$3.042 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(4) サンプルリング (N29)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	850.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.444 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$9.439 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$9.439 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	49
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	74
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	74
応力除去の有無		
		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.056 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 WELD-32

部材名称	(5) マンホール(N4)		
鏡板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板の許容引張応力	$S_c$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	609.60
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
鏡板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
鏡板の内面における長径の $K_1$ 倍	R	(mm)	2286.00
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$	(mm)	2540.00
鏡板の内面における短径	$D_{iS}$	(mm)	1270.00
長径と短径の比	$D_{iL}/D_{iS}$		2.00
係数	$K_1$		0.90
鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$	(mm)	9.13
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	2.19
穴の補強に必要な面積	$A_r$	( $mm^2$ )	$4.967 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0*
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	609.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	16.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0*
鏡板の有効補強面積	$A_1$	( $mm^2$ )	
管台の有効補強面積	$A_2$	( $mm^2$ )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	( $mm^2$ )	256.0
補強に有効な総面積	$A_0$	( $mm^2$ )	$1.028 \times 10^4$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ ， $L_3$ は安全側に0とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(5) マンホール(N4)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	846.66
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.796 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-1.245 \times 10^5$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-1.245 \times 10^5$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3240

参照附図 WELD-32

部材名称	(6) 換気口 (N32)		
鏡板材料	SUS316L		
管台材料	SUSF316L		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.854
最高使用温度		(°C)	200
鏡板の許容引張応力	$S_c$	(MPa)	107
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	107
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	457.20
鏡板の最小厚さ	$t_c$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
鏡板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
鏡板の内面における長径の $K_1$ 倍	R	(mm)	2286.00
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$	(mm)	2540.00
鏡板の内面における短径	$D_{iS}$	(mm)	1270.00
長径と短径の比	$D_{iL}/D_{iS}$		2.00
係数	$K_1$		0.90
鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$	(mm)	9.13
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	1.59
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	$3.606 \times 10^3$
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0*
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	457.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	16.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0*
鏡板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	256.0
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$8.315 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

注記\*： $Y_2$ ， $L_3$ は安全側に0とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(6) 換気口 (N32)	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	846.66
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$3.669 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-7.618 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-7.618 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		



2.7 2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

設計・建設規格 PVC-3162

管台名称		(1) ガス出口(N2)	(2) サンプルリング(N29)
穴の直径	$d_1$ (mm)		—
穴の直径	$d_2$ (mm)	—	
2つの穴の中心間に必要な距離	$d$ (mm)		
2つの穴の中心間の距離	$\varnothing$ (mm)	519.21	
穴の補強に必要な断面積	$A_{r1}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.039 \times 10^3$	—
穴の補強に必要な断面積	$A_{r2}$ (mm <sup>2</sup> )	—	$2.143 \times 10^3$
2つの穴の補強に必要な断面積の和の1/2	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$3.091 \times 10^3$	
2つの穴の間の強め材の断面積	$A_{rs}$ (mm <sup>2</sup> )	$3.729 \times 10^3$	
穴の内側溶け込み深さ	$L_{1i}$ (mm)	16.00	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{1o}$ (mm)	14.00	—
穴の内側溶け込み深さ	$L_{2i}$ (mm)	—	17.30
穴の外側溶け込み深さ	$L_{2o}$ (mm)	—	1.00
2つの穴の間及び強め材の断面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )		
2つの穴の間の胴板内に溶着された管壁の断面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )		
$A_1$ 及び $A_2$ の和	$A_d$ (mm <sup>2</sup> )	$4.333 \times 10^3$	
継目がない胴の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	10.23	
係数	$F$	1.00	
2つの穴の間に必要な胴の断面積	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$3.716 \times 10^3$	
評価： $\varnothing > d$ , $A_{rs} > A_r$ , $A_d > A_s$ よって十分である。			

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2つ以上の穴が接近しているときの補強計算

設計・建設規格 PVC-3162

管台名称		(3) マンホール(N4)	(4) ベント(N18)
穴の直径	$d_1$ (mm)		—
穴の直径	$d_2$ (mm)	—	
2つの穴の中心間に必要な距離	$d$ (mm)		
2つの穴の中心間の距離	$\varnothing$ (mm)	500.00	
穴の補強に必要な断面積	$A_{r1}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.967 \times 10^3$	—
穴の補強に必要な断面積	$A_{r2}$ (mm <sup>2</sup> )	—	199.0
2つの穴の補強に必要な断面積の和の1/2	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$2.583 \times 10^3$	
2つの穴の間の強め材の断面積	$A_{rs}$ (mm <sup>2</sup> )	$4.160 \times 10^3$	
穴の内側溶け込み深さ	$L_{1i}$ (mm)	—	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{1o}$ (mm)	—	—
穴の内側溶け込み深さ	$L_{2i}$ (mm)	—	—
穴の外側溶け込み深さ	$L_{2o}$ (mm)	—	—
2つの穴の間及び強め材の断面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )		
2つの穴の間の鏡板内に溶着された管壁の断面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )		
$A_1$ 及び $A_2$ の和	$A_d$ (mm <sup>2</sup> )	$3.904 \times 10^3$	
継目がない鏡板の計算上必要な厚さ	$t_{cr}$ (mm)	9.13	
係数	F	1.00	
2つの穴の間に必要な鏡板の断面積	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$3.195 \times 10^3$	
評価： $\varnothing > d$ , $A_{rs} > A_r$ , $A_d > A_s$ よって十分である。			

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

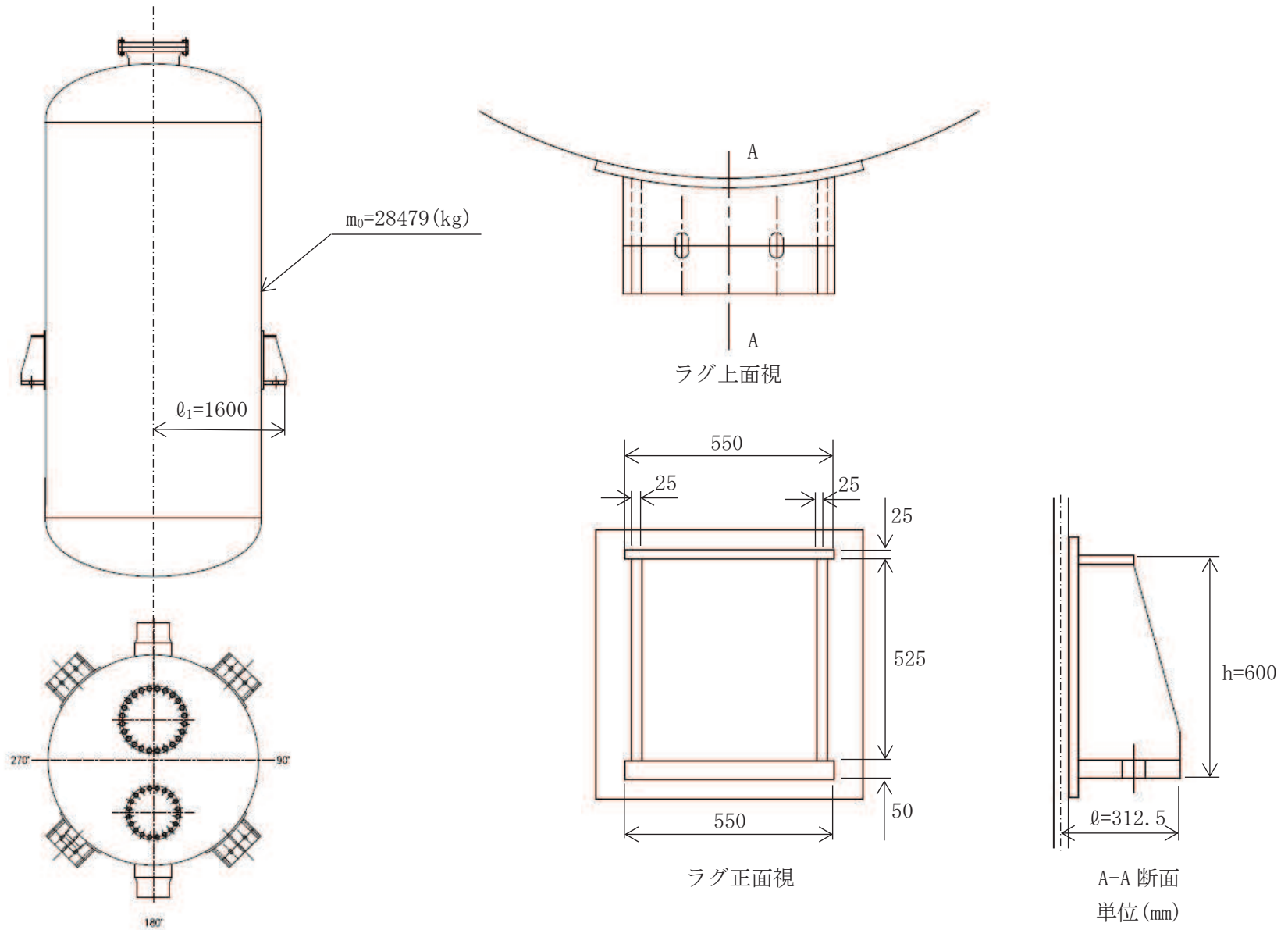
3. 支持構造物の強度計算書

(1) 一次せん断応力

種類	ラグ本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	せん断荷重 $F_s$ (N)	せん断断面積 $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	一次せん断応力 $\tau$ (MPa)	許容せん断応力 $f_s$ (MPa)	評価
ラグ支持たて置 円筒形容器	4	SUS316L	200	162				62	算出値は、許容値以下であるので強度は十分である。

(2) 一次曲げ応力評価

種類	ラグ本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	曲げモーメント $M$ (N・mm)	断面係数 $Z$ (mm <sup>3</sup> )	一次曲げ応力 $\sigma_b$ (MPa)	許容曲げ応力 $f_b$ (MPa)	評価
ラグ支持たて置 円筒形容器	4	SUS316L	200	162				108	算出値は、許容値以下であるので強度は十分である。



フィルタ装置 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-6-2-10-1-2 弁の強度計算書(原子炉格納容器フィルタベント系)

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-11 重大事故等クラス2 弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
T48-F043	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.427	171	0.854	200	—	H6告示	設計・建設規格	—	SA-2
T48-F044	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
T48-F045	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
T48-F046	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
T63-F001	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
T63-F002	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

## 目次

1. 重大事故等クラス2弁 .....	1
1.1 設計仕様 .....	2
1.2 強度計算書 .....	3



1. 重大事故等クラス 2 弁

1.1 設計仕様

系統：原子炉格納容器フィルタベント系

機器の区分		重大事故等クラス2弁			
弁番号	種類	呼び径 (A)	材料		
			弁箱	弁ふた	ボルト
T48-F043	止め弁	300	SCPH2	S25C	
T48-F044	止め弁	300	SCPH2	S25C	
T48-F045	止め弁	300	SCPH2	S25C	
T48-F046	止め弁	600	SCPH2	S25C	
T63-F001	止め弁	400	SCPH2	S25C	
T63-F002	止め弁	400	SCPH2	S25C	

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2 強度計算書

系統：原子炉格納容器フィルタベント系

弁番号	T48-F043	シート	1
-----	----------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	[ ]
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	9.6
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.1
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	[ ]
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)	[ ]		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	9.6	—		
$t_{ab}$ (mm)	[ ]			
$t_{af}$ (mm)	[ ]			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$1.677 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	13.7
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N·mm)	$2.297 \times 10^4$
$M_e$ (N·mm)		$H_G$ (N)	0
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	13.2
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N·mm)	0
フランジ		$H_T$ (N)	$1.325 \times 10^3$
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	17.4
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N·mm)	$2.309 \times 10^4$
		$M_o$ (N·mm)	$4.606 \times 10^4$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_g$ (N·mm)	$3.862 \times 10^5$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	1.92
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.19
$g_l$ (mm)		F	0.905
h (mm)		V	0.500
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.03551
材料		d (mm <sup>3</sup> )	29781
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.21
		T	1.54
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	U	3.45
		Y	3.14
n		Z	1.74
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	4
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	5
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	2
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	24
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	40
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	15
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$3.002 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	0		
$W_{m1}$ (N)	$3.002 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	0		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	17.35		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	17.35		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$3.002 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$2.925 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	[ ]
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	9.6
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.1
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	[ ]
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)	[ ]		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	9.6	—		
$t_{ab}$ (mm)	[ ]			
$t_{af}$ (mm)	[ ]			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$1.677 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	12.1
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N·mm)	$2.029 \times 10^4$
$M_e$ (N·mm)		$H_G$ (N)	0
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	14.1
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N·mm)	0
フランジ		$H_T$ (N)	893.2
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	17.0
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N·mm)	$1.521 \times 10^4$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_o$ (N·mm)	$3.550 \times 10^4$
		$M_g$ (N·mm)	$4.080 \times 10^5$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	2.30
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.19
$g_l$ (mm)		F	0.905
h (mm)		V	0.499
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.03565
材料		d (mm <sup>3</sup> )	23036
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.57
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	T	1.40
		U	2.72
		Y	2.48
n		Z	1.47
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	3
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	3
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	2
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	20
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	26
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	14
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$2.570 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	0		
$W_{m1}$ (N)	$2.570 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	0		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	14.86		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	14.86		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$2.570 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$2.904 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	[ ]
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	9.6
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.1
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	[ ]
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)	[ ]		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	9.6	—		
$t_{ab}$ (mm)	[ ]			
$t_{af}$ (mm)	[ ]			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$1.677 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	12.1
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N・mm)	$2.029 \times 10^4$
$M_e$ (N・mm)		$H_G$ (N)	0
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	14.1
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N・mm)	0
フランジ		$H_T$ (N)	893.2
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	17.0
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N・mm)	$1.521 \times 10^4$
		$M_o$ (N・mm)	$3.550 \times 10^4$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_g$ (N・mm)	$4.080 \times 10^5$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	2.30
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.19
$g_l$ (mm)		F	0.905
h (mm)		V	0.499
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.03565
材料		d (mm <sup>3</sup> )	23036
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.57
		T	1.40
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	U	2.72
		Y	2.48
n		Z	1.47
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	3
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	3
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	2
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	20
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	26
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	14
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$2.570 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	0		
$W_{m1}$ (N)	$2.570 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	0		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	14.86		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	14.86		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$2.570 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$2.904 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	[ ]
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	14.5
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.3
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	[ ]
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)	[ ]		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	14.5	—		
$t_{ab}$ (mm)	[ ]			
$t_{af}$ (mm)	[ ]			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$4.293 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	14.4
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N・mm)	$6.181 \times 10^4$
$M_e$ (N・mm)		$H_G$ (N)	0
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	19.1
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N・mm)	0
フランジ		$H_T$ (N)	$1.372 \times 10^3$
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	22.0
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N・mm)	$3.022 \times 10^4$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_o$ (N・mm)	$9.203 \times 10^4$
		$M_g$ (N・mm)	$1.602 \times 10^6$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	2.13
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.19
$g_l$ (mm)		F	0.907
h (mm)		V	0.511
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.02410
材料		d (mm <sup>3</sup> )	69173
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.57
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	T	1.46
		U	3.00
		Y	2.73
n		Z	1.57
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	3
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	2
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	1
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	28
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	28
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	18
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$5.665 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	0		
$W_{m1}$ (N)	$5.665 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	0		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	32.74		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	32.74		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$5.665 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$8.411 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	11.2
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.3
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)			評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	11.2	—		
$t_{ab}$ (mm)				
$t_{af}$ (mm)				
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$2.922 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	14.8
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N・mm)	$4.310 \times 10^4$
$M_e$ (N・mm)		$H_G$ (N)	$3.525 \times 10^3$
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	21.0
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N・mm)	$7.403 \times 10^4$
フランジ		$H_T$ (N)	652.6
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	22.8
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N・mm)	$1.485 \times 10^4$
		$M_o$ (N・mm)	$1.320 \times 10^5$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_g$ (N・mm)	$1.590 \times 10^6$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	2.42
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.00
$g_l$ (mm)		F	0.871
h (mm)		V	0.374
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.02824
材料		d (mm <sup>3</sup> )	43771
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.89
		T	1.36
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	U	2.56
		Y	2.33
n		Z	1.41
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	4
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	3
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	2
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	28
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	32
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	23
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$3.574 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	$3.525 \times 10^3$		
$W_{m1}$ (N)	$7.100 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	$4.740 \times 10^4$		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	41.04		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	274.0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	274.0		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$7.100 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$7.572 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

系統：原子炉格納容器フィルタベント系

弁番号	T63-F002	シート	1
-----	----------	-----	---

	設計・建設規格	告示 第501号		設計・建設規格
設計条件			ネック部の厚さ	
最高使用圧力 P (MPa)	0.854		$d_n$ (mm)	[ ]
最高使用温度 $T_m$ (°C)	200		$d_n / d_m$	
弁箱又は弁ふたの厚さ			$\ell$ (mm)	
弁箱材料	SCPH2		$t_{m1}$ (mm)	11.2
弁ふた材料	S25C		$t_{m2}$ (mm)	1.3
$P_1$ (MPa)	—	—	$t_{ma1}$ (mm)	[ ]
$P_2$ (MPa)	—	—	$t_{ma2}$ (mm)	
$d_m$ (mm)	[ ]		評価： $t_{ma1} \geq t_{m1}$ $t_{ma2} \geq t_{m2}$ よって十分である。	
$t_1$ (mm)	—	—		
$t_2$ (mm)	—	—		
$t$ (mm)	11.2	—		
$t_{ab}$ (mm)	[ ]			
$t_{af}$ (mm)	[ ]			
評価： $t_{ab} \geq t$ $t_{af} \geq t$ よって十分である。				

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-2 R 1 E

フランジ及びフランジボルトの応力解析			
設計条件		モーメントの計算	
$P_{FD}$ (MPa)	0.854	$H_D$ (N)	$2.922 \times 10^3$
$P_{eq}$ (MPa)	0.00	$h_D$ (mm)	14.8
$T_m$ (°C)	200	$M_D$ (N・mm)	$4.310 \times 10^4$
$M_e$ (N・mm)		$H_G$ (N)	$3.525 \times 10^3$
$F_e$ (N)		$h_G$ (mm)	21.0
フランジの形式	JIS B 8265 附属書3 図27)	$M_G$ (N・mm)	$7.403 \times 10^4$
フランジ		$H_T$ (N)	652.6
材料	SCPH2	$h_T$ (mm)	22.8
$\sigma_{fa}$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	120	$M_T$ (N・mm)	$1.485 \times 10^4$
		$M_o$ (N・mm)	$1.320 \times 10^5$
$\sigma_{fb}$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	120	$M_g$ (N・mm)	$1.590 \times 10^6$
		フランジの厚さと係数	
A (mm)		t (mm)	
B (mm)		K	2.42
C (mm)		$h_o$ (mm)	
$g_o$ (mm)		f	1.00
$g_l$ (mm)		F	0.871
h (mm)		V	0.374
ボルト		e (mm <sup>-1</sup> )	0.02824
材料		d (mm <sup>3</sup> )	43771
$\sigma_s$ (MPa) 常温 (ガスケット締付時) (20 °C)	173	L	1.89
		T	1.36
$\sigma_b$ (MPa) 最高使用温度 (使用状態)	173	U	2.56
		Y	2.33
n		Z	1.41
$d_b$ (mm)		応力の計算	
ガスケット		$\sigma_{Ho}$ (MPa)	4
材料		$\sigma_{Ro}$ (MPa)	3
ガスケット厚さ (mm)		$\sigma_{To}$ (MPa)	2
G (mm)		$\sigma_{Hg}$ (MPa)	28
m		$\sigma_{Rg}$ (MPa)	32
y (N/mm <sup>2</sup> )		$\sigma_{Tg}$ (MPa)	23
$b_o$ (mm)		応力の評価： $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ $\sigma_{To} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$  $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$ $\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$  よって十分である。	
b (mm)			
N (mm)			
$G_s$ (mm)			
ボルトの計算			
H (N)	$3.574 \times 10^3$		
$H_p$ (N)	$3.525 \times 10^3$		
$W_{m1}$ (N)	$7.100 \times 10^3$		
$W_{m2}$ (N)	$4.740 \times 10^4$		
$A_{m1}$ (mm <sup>2</sup> )	41.04		
$A_{m2}$ (mm <sup>2</sup> )	274.0		
$A_m$ (mm <sup>2</sup> )	274.0		
$A_b$ (mm <sup>2</sup> )			
$W_o$ (N)	$7.100 \times 10^3$		
$W_g$ (N)	$7.572 \times 10^4$		
評価： $A_m < A_b$		よって十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-3-6-2-10-1-3 管の強度計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）

## 目 次

- VI-3-3-6-2-10-1-3-1 管の基本板厚計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-3-3-6-2-10-1-3-2 管の応力計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）
- VI-3-3-6-2-10-1-3-3 管（可搬型）の強度評価書（原子炉格納容器フィルタベント系）



VI-3-3-6-2-10-1-3-1 管の基本板厚計算書

(原子炉格納容器フィルタベント系)

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス2 管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
2	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
3	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
4	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
5	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
6	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
7	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
8	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
9	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
10	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
11	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
12	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
13	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.20	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
14	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
15	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	0.854	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
16	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.00	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
17	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.00	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
18	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.00	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

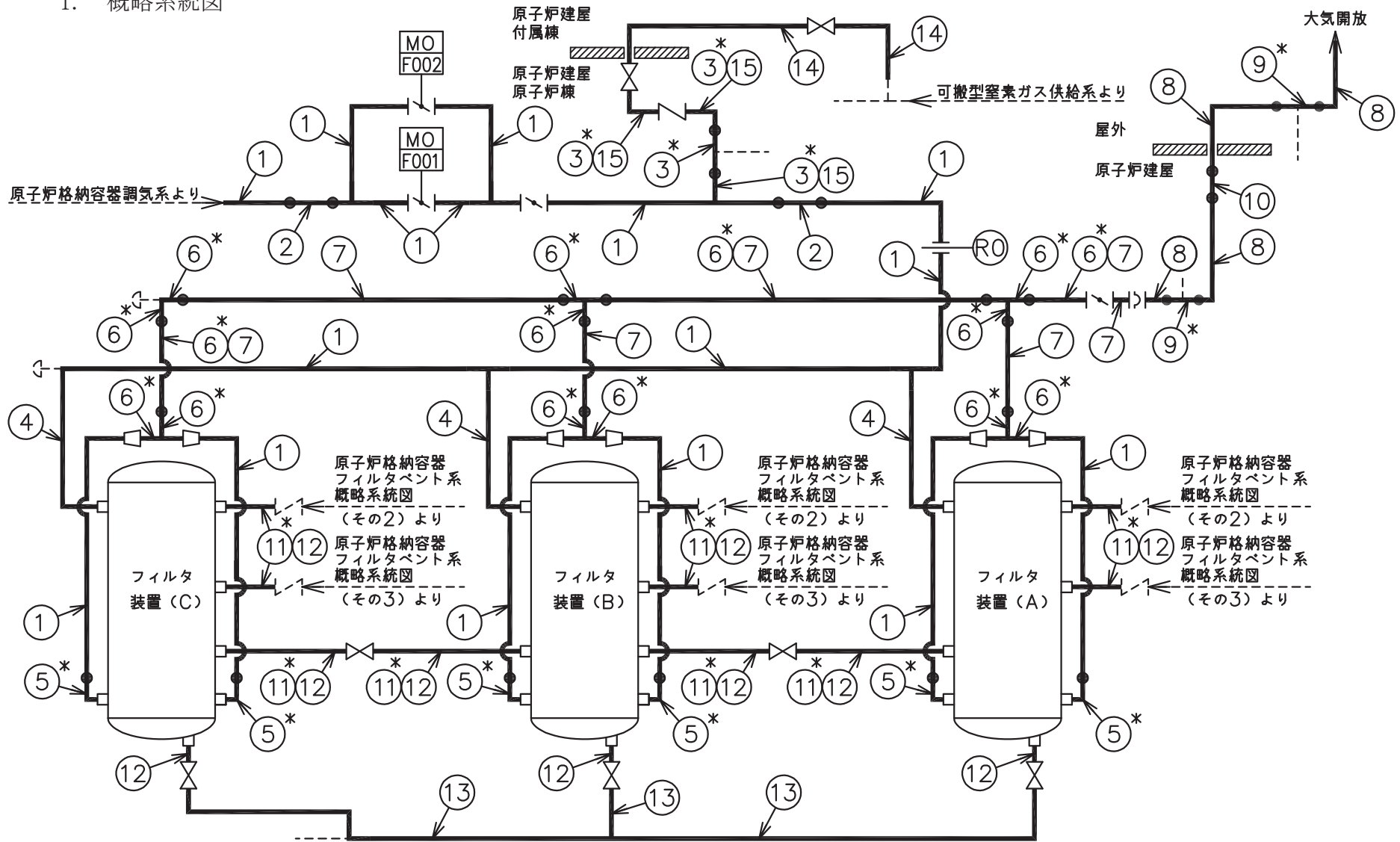
・適用規格の選定

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
2	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
3	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
4	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
5	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
6	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
7	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
8	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
9	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
10	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
11	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
12	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
13	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
14	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
15	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
16	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
17	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
18	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

目次

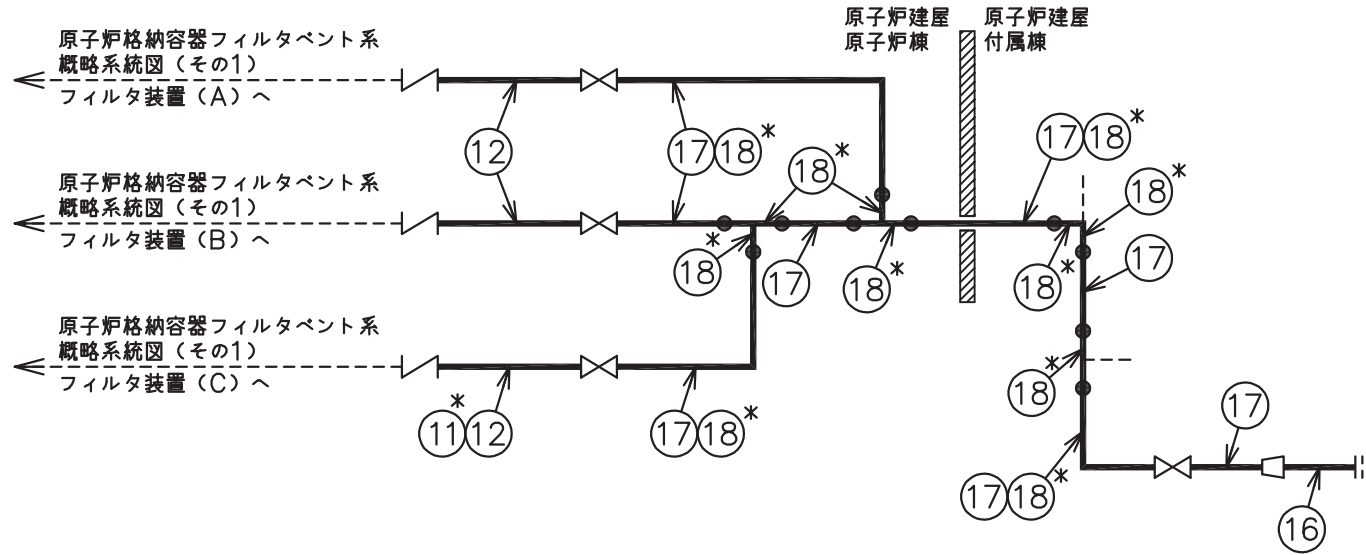
1. 概略系統図 .....	1
2. 管の強度計算書 .....	4

1. 概略系統図



注記\*：管継手

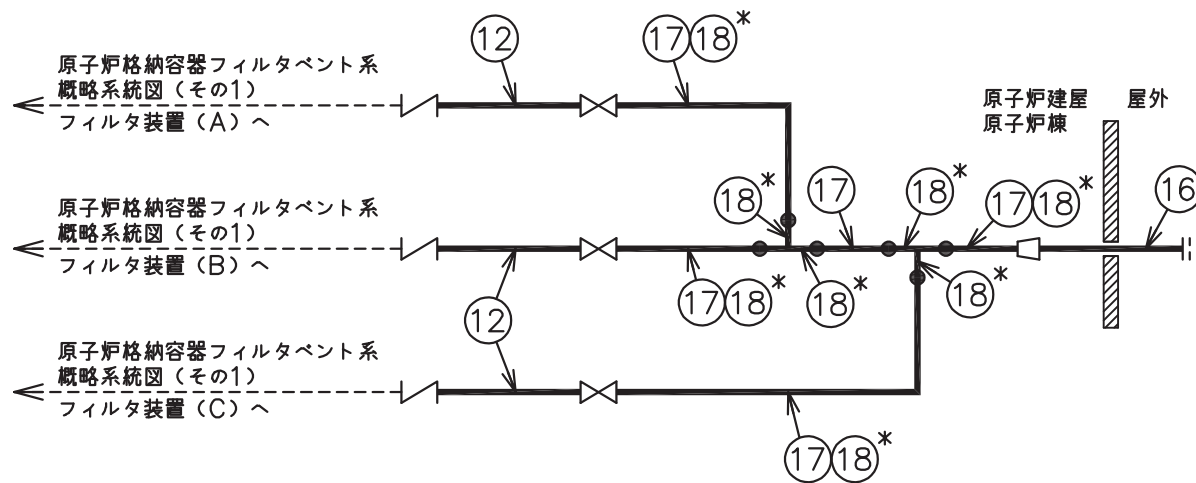
原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図 (その1)



注記\* : 管継手

原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図(その2)





注記\* : 管継手

原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図(その3)

2. 管の強度計算書（重大事故等クラス2管）

設計・建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	0.854	200	406.40	12.70	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	11.11	1.68	C	3.80
2	0.854	200	406.40	21.40	SF490A	S	2	123	1.00	12.5%	18.72	1.41	C	3.80
3	0.854	200	60.50	6.10	S25C	S	2	103	1.00			0.25	C	2.40
4	0.854	200	216.30	8.20	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	7.17	0.90	C	3.80
5	0.854	200	406.40	12.70	SUS316LTP	S	2	107	1.00	12.5%	11.11	1.62	A	1.62
6	0.854	200	508.00	15.10	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	13.21	2.10	C	3.80
7	0.854	200	508.00	15.10	SM400C	W	2	100	1.00			2.17	C	3.80
8	0.854	200	508.00	15.10	SUS316L	W	2	107	1.00			2.02	A	2.02
9	0.854	200	508.00	15.10	SUS316LTP	S	2	107	1.00	12.5%	13.21	2.02	A	2.02
10	0.854	200	508.00	26.20	SUSF316L	S	2	107	1.00	12.5%	22.92	2.02	A	2.02

評価：t<sub>s</sub> ≥ t<sub>r</sub>，よって十分である。

管の強度計算書（重大事故等クラス 2 管）

設計・建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
11	0.854	200	60.50	6.10	SUS316L	S	2	107	1.00			0.24	A	0.24
12	0.854	200	60.50	5.50	SUS316LTP	S	2	107	1.00	12.5%	4.81	0.24	A	0.24
13	1.20	200	60.50	5.50	SUS316LTP	S	2	107	1.00	12.5%	4.81	0.34	A	0.34
14	0.854	66	60.50	5.50	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	4.81	0.25	C	2.40
15	0.854	200	60.50	5.50	STS410	S	2	103	1.00	12.5%	4.81	0.25	C	2.40
16	2.00	66	76.30	5.20	SUS316LTP	S	2	108	1.00	12.5%	4.55	0.71	A	0.71
17	2.00	66	60.50	5.50	SUS316LTP	S	2	108	1.00	12.5%	4.81	0.56	A	0.56
18	2.00	66	60.50	6.10	SUS316L	S	2	108	1.00			0.56	A	0.56

評価：t<sub>s</sub> ≥ t<sub>r</sub>，よって十分である。

VI-3-3-6-2-10-1-3-2 管の応力計算書

(原子炉格納容器フィルタベント系)

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

応力計算 モデルNo.	既設 or 新設	施設時の 技術基準に 対象とする 施設の規定 があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認 における 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
FCVS-001	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-002	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-003	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
FCVS-004	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-101	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-105	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.0	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-106	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	2.0	66	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-108	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-109	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
KFCVS-111	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	854 (kPa)	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2
	新設	—	—	—	—	SA-2	—	—	—	1.2	200	—	—	設計・建設規格	—	SA-2

## 重大事故等対処設備

## 目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	8
3.1 設計条件	8
3.2 材料及び許容応力	11
4. 評価結果	12
5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	13



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づき、管の応力計算を実施した結果を示したものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。



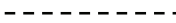
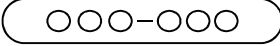

### (1) 管

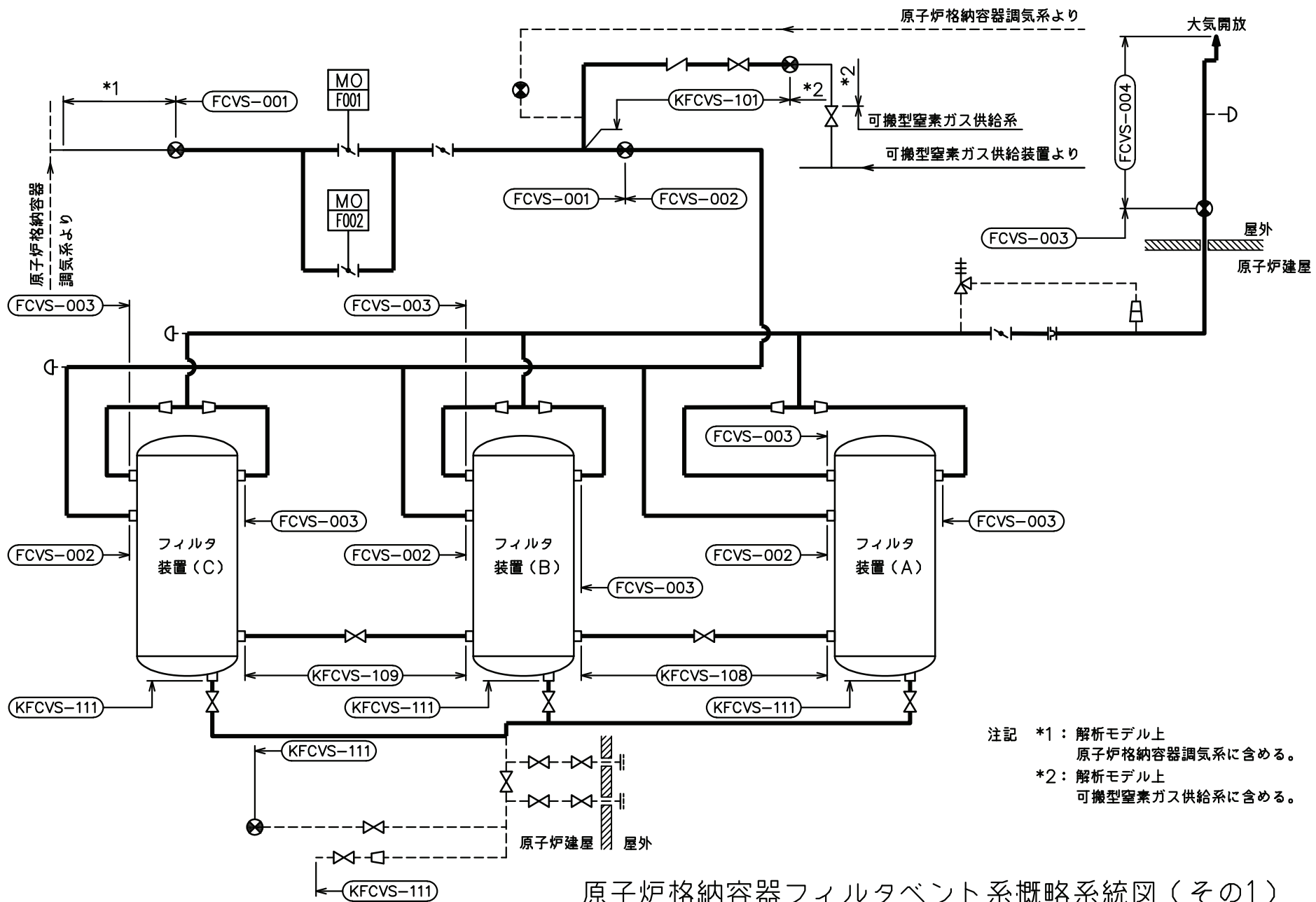
工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全10モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を5.に記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

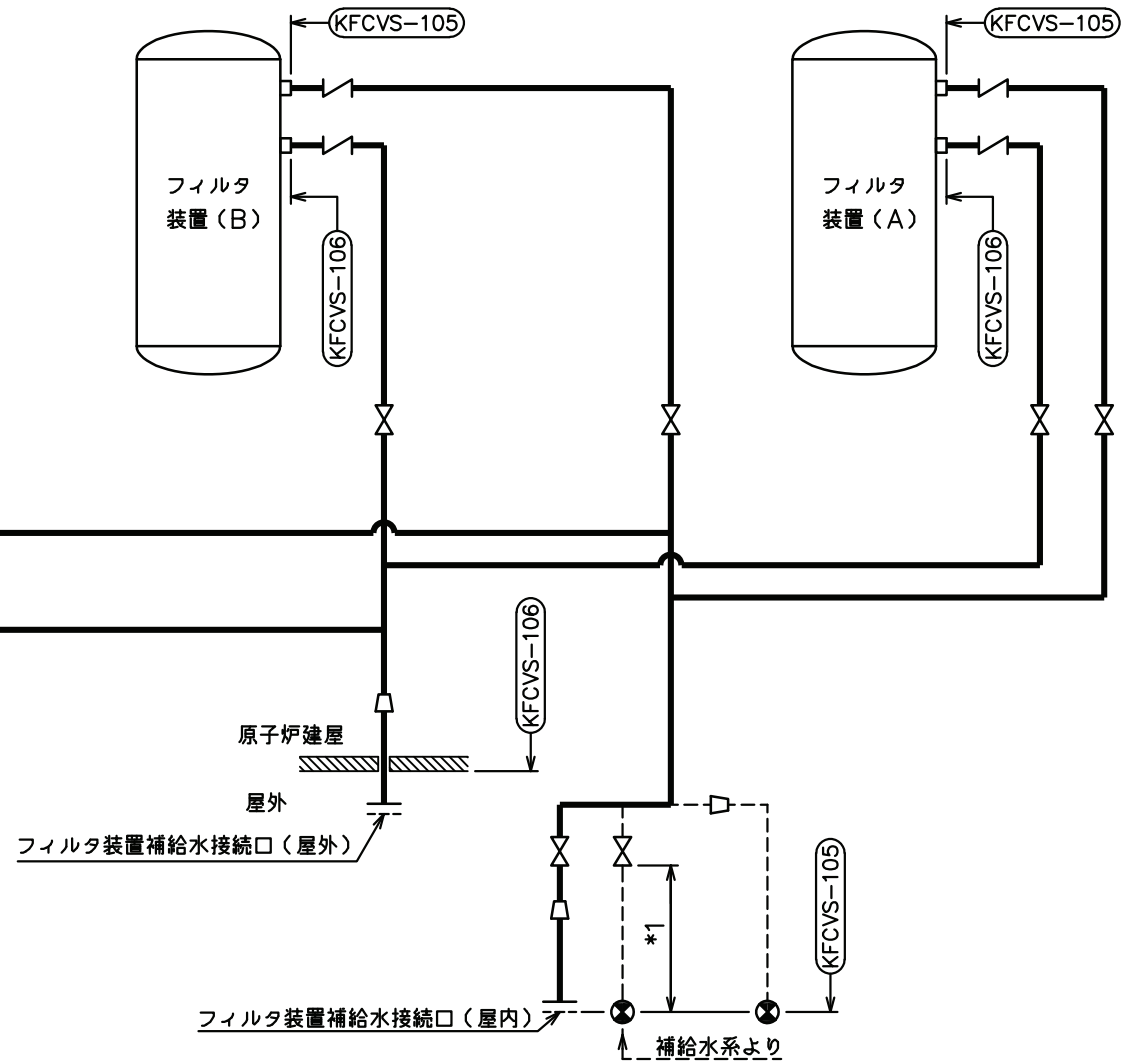
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	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



原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図(その1)


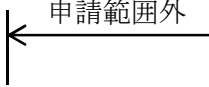


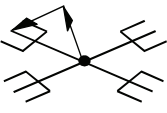
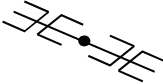


注記 \*1：補給水系  
解析モデル上本系統に含める。

原子炉格納容器フィルタベント系概略系統図（その2）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント                      (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>

9

鳥瞰図 FCVS-002-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 FCVS-002-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. 計算条件

#### 3.1 設計条件

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

鳥 瞰 図            F C V S - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	21.4	SF490A
2	854kPa (0.854MPa)	200	406.4	12.7	STS410
3	854kPa (0.854MPa)	200	216.3	8.2	STS410



設計条件

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2														
2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	
3	62	63	64	65	66	67										
	45	61	67	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
	81	82	83	84	85	86										

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		18		35		52		70	
2		19		36		53		71	
3		20		37		54		72	
4		21		38		55		73	
5		22		39		56		74	
6		23		40		57		75	
7		24		41		58		76	
8		25		42		59		77	
9		26		43		60		78	
10		27		44		61		79	
11		28		45		62		80	
12		29		46		63		81	
13		30		47		64		82	
14		31		48		65		83	
15		32		49		66		84	
16		33		50		67		85	
17		34		51		69		86	

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-3-3-2 (重) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F C V S - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
13						
16						
18						
** 21 **						
** 24 **						
29						
34						
39						
41						
47						
** 52 **						
** 55 **						
** 57 **						
** 63 **						
** 65 **						
74						
80						
86						

[Redacted box]

O 2 ⑥ VI-3-3-6-2-10-1-3-2(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.2 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。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)
		S <sub>h</sub>
SF490A	200	123
STS410	200	103

4. 評価結果

下表に示すとおり最大応力はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管  
設計・建設規格 PPC-3500による評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	最大応力 区分*	一次応力評価 (MPa)	
			計算応力 S p r m (1) S p r m (2)	許容応力 1. 5 ・ S h 1. 8 ・ S h
F C V S - 0 0 2	73	S p r m (1)	95	154
	73	S p r m (2)	96	185

注記 \* : S p r m (1), S p r m (2)はそれぞれ, 設計・建設規格 PPC-3520(1), (2)に基づき計算した一次応力を示す。

5. 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が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

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

No.	配管モデル	供用状態 (E) *1					供用状態 (E) *2				
		一次応力					一次応力				
		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
1	FCVS-001	10	21	154	7.33	—	10	22	185	8.40	—
2	FCVS-002	73	95	154	1.62	○	73	96	185	1.92	○
3	FCVS-003	22	43	160	3.72	—	22	44	192	4.36	—
4	FCVS-004	3	50	160	3.20	—	3	51	192	3.76	—
5	KFCVS-101	37	18	154	8.55	—	37	19	185	9.73	—
6	KFCVS-105	41	16	162	10.12	—	41	17	194	11.41	—
7	KFCVS-106	11	18	162	9.00	—	11	19	194	10.21	—
8	KFCVS-108	1	16	160	10.00	—	1	17	192	11.29	—
9	KFCVS-109	1	18	160	8.88	—	1	19	192	10.10	—
10	KFCVS-111	55	13	160	12.30	—	55	14	192	13.71	—

注記\*1：設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

\*2：設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

VI-3-3-6-2-10-1-3-3 管（可搬型）の強度評価書  
（原子炉格納容器フィルタベント系）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（送水用ホース（65A：20m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）
ホース	注水用ヘッドからフィルタ装置水補給接続口（屋外）又はフィルタ装置水補給接続口（屋内）に接続し、フィルタ装置へ送水するためのホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋内外で淡水を送水する。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6*	50*

注記 \*：重大事故等時の使用時の値。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	規格及び基準に基づく試験
SP-H-A	消防用のホースであり、火災等の災害時に被害を軽減するための送水ホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋内外で淡水又は海水を送水することを想定している。	ポリエステル， ポリウレタン	1.6	50	耐圧試験（試験圧力：まっすぐにした状態で3.2MPa，折り曲げた状態で2.2MPa，試験保持時間：5分間）を実施。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋内外で淡水を送水するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、消防用として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外での淡水又は海水の送水を想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースの型式については、「消防法」に基づくものとして承認又は届出されており、「消防法」に従った適切な材料が使用されていることを型式承認の結果又は届出番号により確認できる。

当該ホースの最高使用温度及び最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり、「消防法」に基づく「消防用ホースの技術上の規格を定める省令」で規定されている耐圧試験（試験圧力：まっすぐにした状態で3.2MPa，折り曲げた状態で2.2MPa，試験保持時間：5分間）と同等の試験に合格していることを検査成績書等で確認できることから、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書



## 目 次

- VI-3-3-7-1 非常用電源設備の強度に関する説明書
- VI-3-3-7-2 火災防護設備の強度に関する説明書
- VI-3-3-7-3 補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書

VI-3-3-7-1 非常用電源設備の強度に関する説明書

目 次

VI-3-3-7-1-1 非常用発電装置の強度計算書

VI-3-3-7-1-1 非常用発電装置の強度計算書

## 目 次

- VI-3-3-7-1-1-1 非常用ディーゼル発電設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-3 可搬型代替交流電源設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の強度計算書
- VI-3-3-7-1-1-5 可搬型窒素ガス供給装置発電設備の強度評価書

VI-3-3-7-1-1-1 非常用ディーゼル発電設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-7-1-1-1-1 空気だめの強度計算書（非常用ディーゼル発電設備）

VI-3-3-7-1-1-1-1 空気だめの強度計算書  
(非常用ディーゼル発電設備)



## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2 機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」, 「VI-3-2-12 重大事故等クラス2 支持構造物（容器）の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	90	3.24	90	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

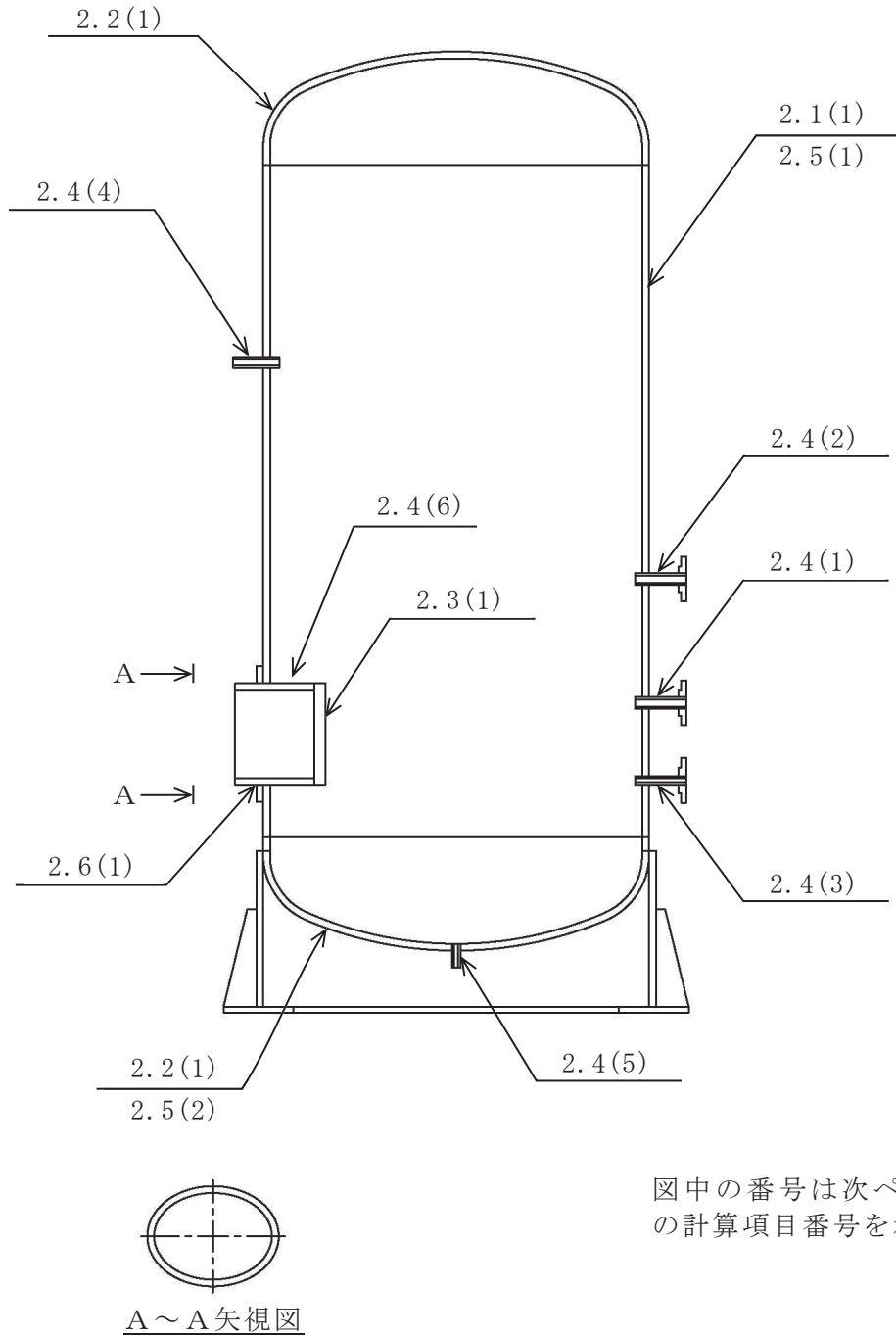
## 目次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	11
2.6 容器の穴の補強計算	13
3. 支持構造物の強度計算書	15

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	90

## 2. 強度計算

### 2.1 容器の胴の厚さの計算

(1)設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称			(1) 胴板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
胴の内径	$D_i$	(mm)	1200.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$	(mm)	16.47
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{so}$	(mm)	22.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1200.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	300.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ , よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	16.47
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.25
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8 項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称		(1) マンホール平板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
穴の長径	a (mm)	380.00
穴の短径	b (mm)	280.00
b / a		0.737
係数	c	7.45
許容引張応力	$\sigma_a$ (MPa)	120
必要厚さ	$t_1$ (mm)	30.88
必要厚さ	$t_2$ (mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	30.88
呼び厚さ	$t_{po}$ (mm)	36.00
最小厚さ	$t_p$ (mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。		

## 2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	48.60
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.76
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.20
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	60.50
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.94
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(3) 圧力計
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.43
必要厚さ	$t_3$	(mm)	1.70
$t_1, t_3$ の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(4) 安全弁
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(5) ドレン
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度		(°C)	90
管台の外径	$D_o$	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.43
必要厚さ	$t_3$	(mm)	1.70
$t_1, t_3$ の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	3.90
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R O

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(6) マンホール	
材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$ (MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時 (°C)	—
	外圧時 (°C)	90
管台の外径	$D_o$ (mm)	424.00
許容引張応力	S (MPa)	120
継手効率	$\eta$	—
継手の種類		—
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.54
必要厚さ	$t_3$ (mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	16.54
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R O

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称			(1) 胴板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
胴の外径	D	(mm)	1244.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$			
61, $d_{r1}$ の小さい値			61.00
K			
$D \cdot t_s$			
200, $d_{r2}$ の小さい値			91.87
補強を要しない穴の最大径			91.87
評価：補強の計算を要する穴の名称	マンホール (2.6(1))		

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	49.18
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-19'

部材名称	(1) マンホール	
胴板材料	SGV480	
管台材料	SGV480	
強め板材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	120
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	120
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	120
穴の径	d (mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$ (mm)	338.00
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	16.47
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	
補強の有効範囲	X (mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	
強め板の外径	$B_e$ (mm)	568.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	324.00
溶接寸法	$L_1$ (mm)	8.50
溶接寸法	$L_2$ (mm)	13.50
溶接寸法	$L_3$ (mm)	19.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	433.3
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$8.370 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ , よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



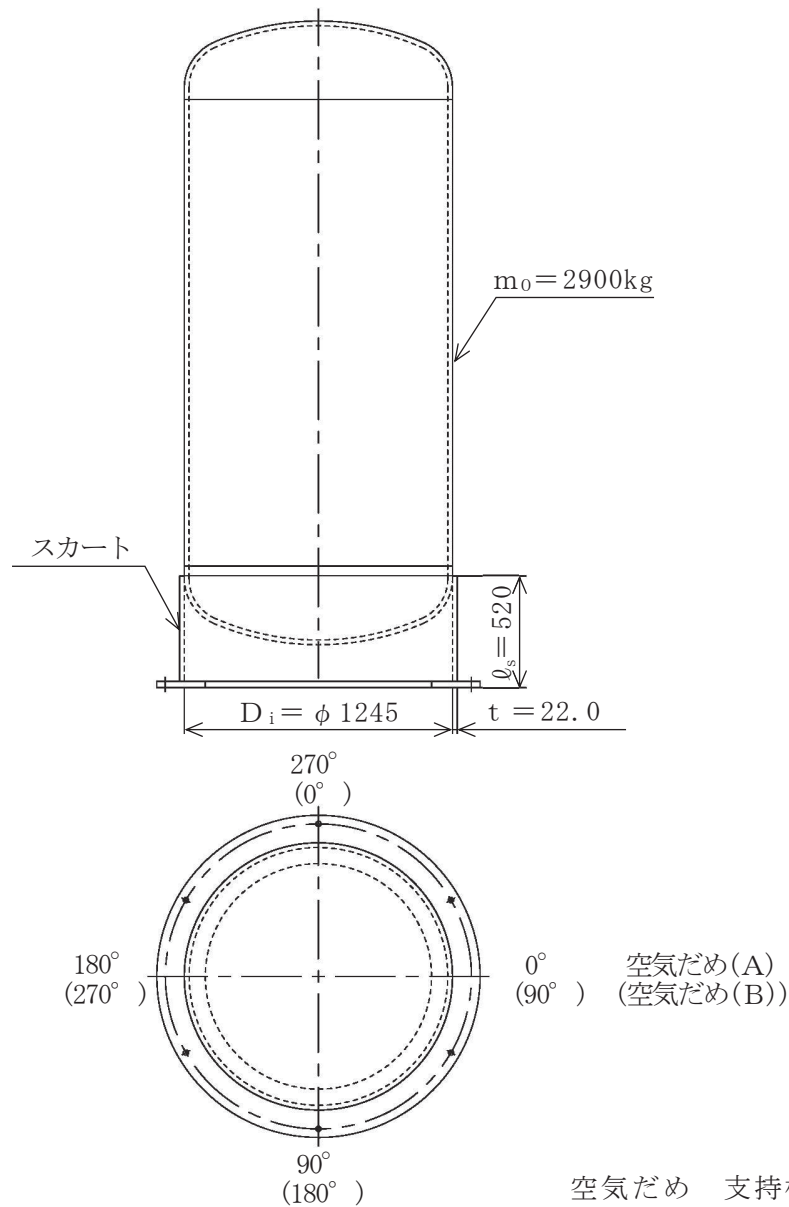
部材名称	(1) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ , よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$8.957 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	55
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	67
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	84
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	84
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.379 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.318 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$6.625 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.387 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$2.450 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ , $W_{ebp2} \geq W$ , $W_{ebp3} \geq W$ , $W_{ebp4} \geq W$ , $W_{ebp5} \geq W$ , $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 支持構造物の強度計算書

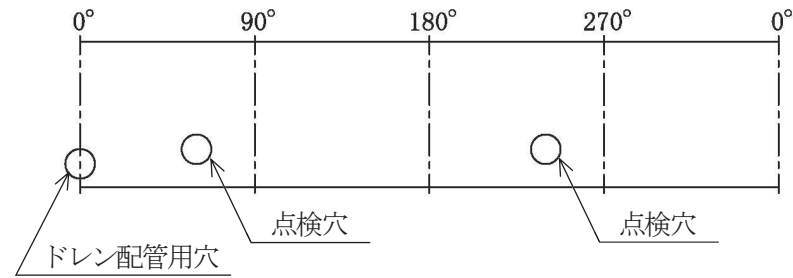
1. 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒形容器	—	SGV480	90	241		$8.083 \times 10^4$	1	160	$\sigma_c$ は、 $f_c$ 以下であるので、強度は十分である。

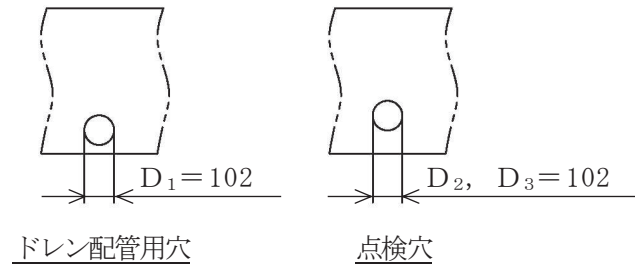
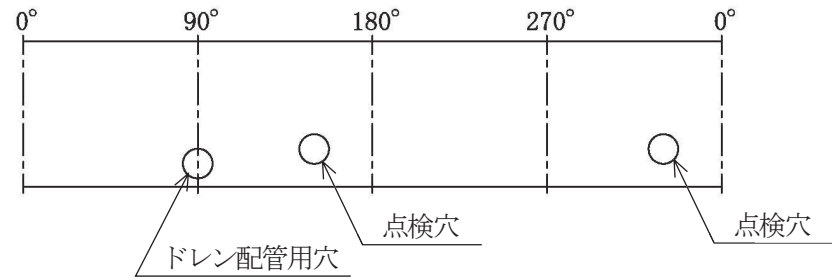


スカート穴径に関する情報

空気だめ (A)



空気だめ (B)



(単位 : mm)

空気だめ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-7-1-1-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の強度計算書

目 次

VI-3-3-7-1-1-2-1 空気だめの強度計算書（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備）

VI-3-3-7-1-1-2-1 空気だめの強度計算書  
(高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備)

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法」, 「VI-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物(容器)の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB 条件		SA 条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
空気だめ	既設	有	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	3.24	90	3.24	90	—	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2



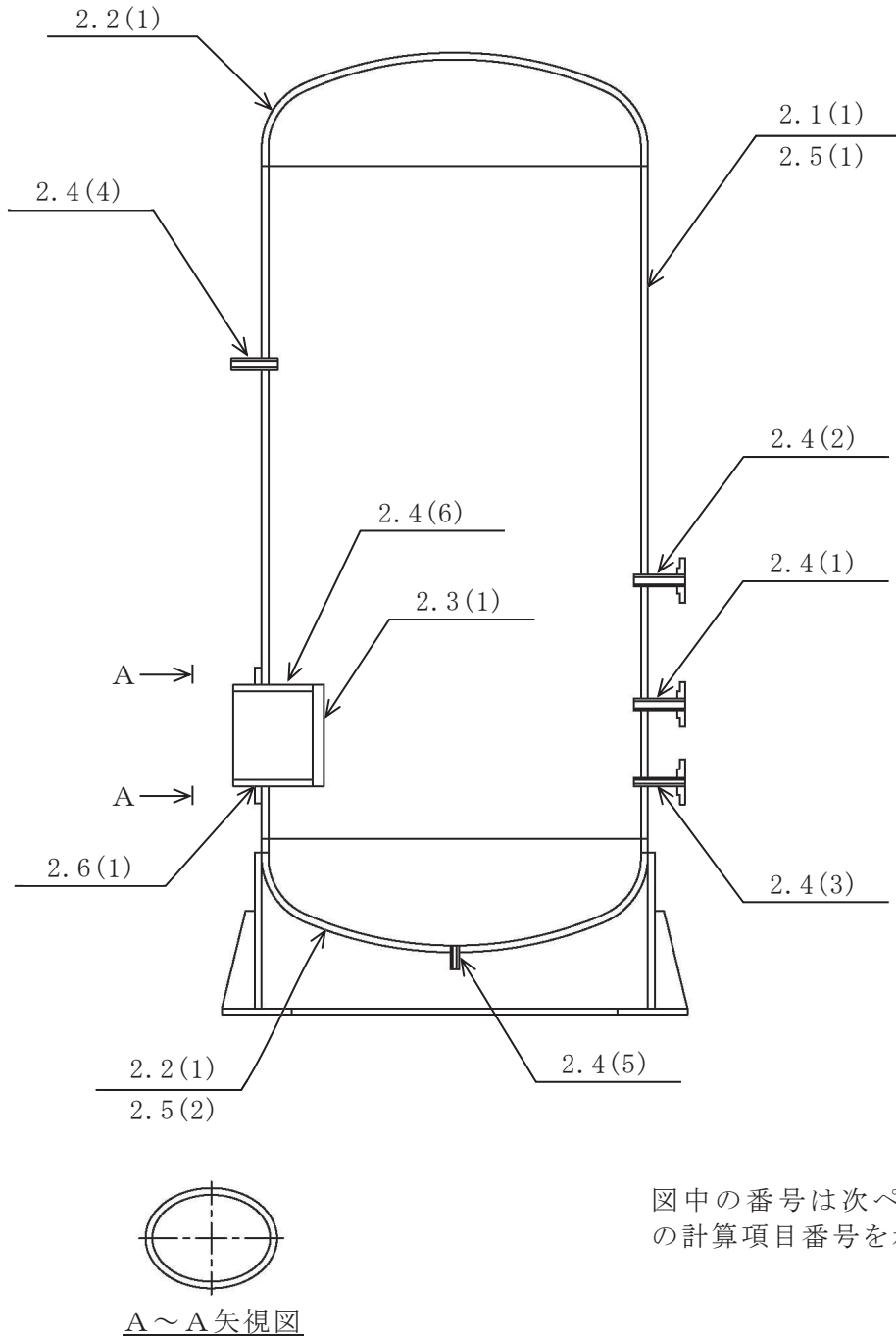
## 目次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	3
2.3 だ円形マンホール平板の計算	4
2.4 容器の管台の厚さの計算	5
2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	11
2.6 容器の穴の補強計算	13
3. 支持構造物の強度計算書	15

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	3.24
最高使用温度 (°C)	90

## 2. 強度計算

### 2.1 容器の胴の厚さの計算

(1)設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称		(1) 胴板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
許容引張応力	S (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.47
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{so}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 容器の鏡板の厚さの計算

### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

#### 鏡板の形状

鏡板名称		(1) 鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1200.00
鏡板の内面における短径の 1/2	$h$ (mm)	300.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ ，よって半だ円形鏡板である。		

### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

#### 鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	$P$ (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
半だ円形鏡板の形状による係数	$K$	1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	120
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	16.47
必要厚さ	$t_2$ (mm)	16.25
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	16.47
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	22.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ ，よって十分である。		

2.3 だ円形マンホール平板の計算

J I S B 8 2 0 1 6.6.8 項 マンホールカバーの最小厚さを適用する。

平板名称			(1) マンホール平板
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度			90
穴の長径	a	(mm)	380.00
穴の短径	b	(mm)	280.00
b / a			0.737
係数	c		7.45
許容引張応力	$\sigma_a$	(MPa)	120
必要厚さ	$t_1$	(mm)	30.88
必要厚さ	$t_2$	(mm)	14.00
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	30.88
呼び厚さ	$t_{po}$	(mm)	36.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。			

2.4 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 空気入口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	48.60
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.76
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.20
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(2) 空気出口
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	60.50
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.94
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	2.40
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	5.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(3) 圧力計
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	27.20
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(4) 安全弁
材料		STPT410-S
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	34.00
許容引張応力	S (MPa)	103
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.53
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	4.50
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	
評価： t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。		

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(5) ドレン
材料			STPT410-S
最高使用圧力	P	(MPa)	3.24
最高使用温度		(°C)	90
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	27.20
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	1.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	1.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	3.90
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称			(6) マンホール
材料			SGV480
最高使用圧力	P	(MPa)	—
外面に受ける最高の圧力	$P_e$	(MPa)	3.24
最高使用温度	内圧時	(°C)	—
	外圧時	(°C)	90
管台の外径	$D_o$	(mm)	424.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
継手効率	$\eta$		—
継手の種類			—
放射線検査の有無			—
必要厚さ	$t_2$	(mm)	16.54
必要厚さ	$t_3$	(mm)	3.80
$t_2, t_3$ の大きい値	t	(mm)	16.54
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	22.00
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R O

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.5 容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称		(1) 胴板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		有り
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	91.87
補強を要しない穴の最大径	(mm)	91.87
評価：補強の計算を要する穴の名称		マンホール (2.6(1))

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVC-3230(2)

鏡板名称		(2) 鏡板
材料		SGV480
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
鏡板のフランジ部の外径	D (mm)	1244.00
許容引張応力	S (MPa)	120
鏡板の最小厚さ	$t_c$ (mm)	
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_c) / 4$	(mm)	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		
$D \cdot t_c$	(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	49.18
補強を要しない穴の最大径	(mm)	61.00
評価：補強の計算を要する穴の名称		無し

O 2 ⑥ VI-3-3-7-1-1-2-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.6 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 WELD-19'

部材名称	(1) マンホール	
胴板材料	SGV480	
管台材料	SGV480	
強め板材料	SGV480	
最高使用圧力	P (MPa)	3.24
最高使用温度	(°C)	90
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	120
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	120
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	120
穴の径	d (mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$ (mm)	338.00
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	1200.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	16.47
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	
補強の有効範囲	X (mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	
強め板の外径	$B_e$ (mm)	568.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	324.00
溶接寸法	$L_1$ (mm)	8.50
溶接寸法	$L_2$ (mm)	13.50
溶接寸法	$L_3$ (mm)	19.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	433.3
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$ (mm <sup>2</sup> )	$8.370 \times 10^3$
補強： $A_0 > A_r$ 、よって十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(1) マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	500.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$8.957 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$ (MPa)	55
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$ (MPa)	67
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$ (MPa)	84
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$ (MPa)	84
応力除去の有無		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$	0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$	0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$	0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$	0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$ (N)	$2.379 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e2}$ (N)	$5.318 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$ (N)	$6.625 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$ (N)	$2.387 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$ (N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$ (N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$ (N)	$2.450 \times 10^6$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$ (N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$ (N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ ， $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。		

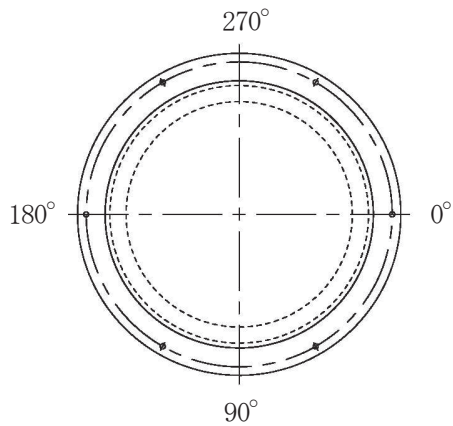
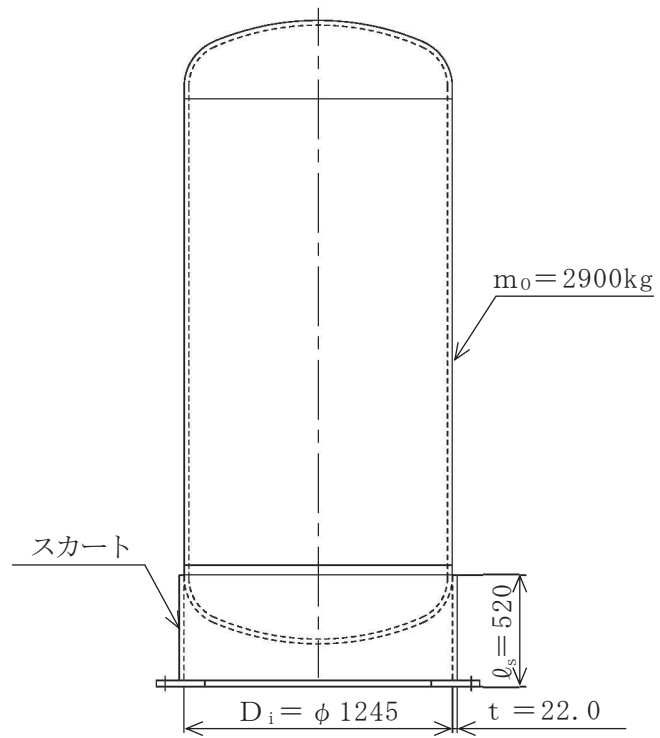
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 支持構造物の強度計算書

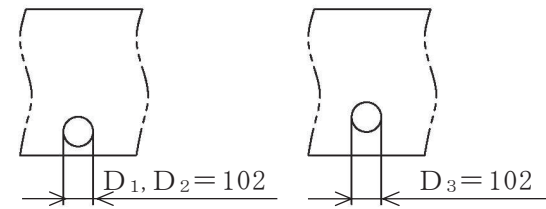
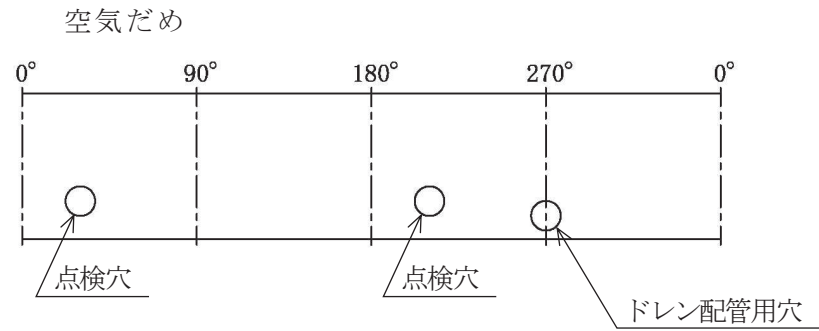
1. 一次圧縮応力評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 $F_c$ (N)	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	一次圧縮応力 $\sigma_c$ (MPa)	許容圧縮応力 $f_c$ (MPa)	評価
スカート支持 たて置円筒形容器	—	SGV480	90	241		$8.083 \times 10^4$	1	160	$\sigma_c$ は、 $f_c$ 以下であるので、強度は十分である。





スカートの穴径に関する情報



点検穴

ドレン配管用穴

(単位 : mm)

空気だめ 支持構造物の強度計算説明図

VI-3-3-7-1-1-3 可搬型代替交流電源設備の強度計算書

## 目 次

VI-3-3-7-1-1-3-1 電源車（冷却水ポンプ）の強度評価書

VI-3-3-7-1-1-3-2 電源車（燃料タンク）の強度評価書

VI-3-3-7-1-1-3-1 電源車（冷却水ポンプ）の強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））（電源車（冷却水ポンプ））

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的、使用環境及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量（kVA/個）
非常用発電装置 （可搬型）	可搬型代替交流電源設備及び可搬型代替直流電源設備として、設計基準事故対処設備の電源が喪失した場合に、重大事故等の対応に必要な負荷に電力を供給することを目的とする。使用環境として、屋外で使用する。	400

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量（kVA/個）	メーカー許容値（℃）	規格及び基準に基づく試験
内燃機関： TAD1641GE 発電機： E-AF	災害時等に使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋外で使用することを想定している。	400	固定子巻線：110 軸 受：45 潤滑油温度：120 冷却水温度：100 排 気 温 度：510	温度試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

電源車は、重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方、本メーカー規格及び基準は、災害時等に発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋外での使用を想定している。重大事故等時における電源車の使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3)：使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1435に規定される温度試験との比較、IとIIの使用条件の比較）

電源車は、JEM-1435（非常用陸用同期発電機－温度試験）で規定されている温度試験を実施し、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書により確認できる。メーカー許容値は、メーカーにて実績等により十分に検証された電源車各部の機能が保証される温度上昇限度である。

電源車の容量は、メーカー仕様で定める容量（400 kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の電源車は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、内燃機関、燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として、重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-3-2 電源車（燃料タンク）の強度評価書

## 一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

### (電源車 (燃料タンク))

電源車 (燃料タンク) は、電源車の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-7-1-1-3-1 電源車 (冷却水ポンプ) の強度評価書」に示すとおり、電源車 (燃料タンク) は、一般産業品としてメーカ規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-4 緊急時対策所ディーゼル発電設備の強度計算書



## 目 次

- VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車（緊急時対策所用）（冷却水ポンプ）の強度評価書
- VI-3-3-7-1-1-4-2 電源車（緊急時対策所用）（燃料タンク）の強度評価書
- VI-3-3-7-1-1-4-3 管（可搬型）の強度評価書（緊急時対策所ディーゼル発電設備）

VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車（緊急時対策所用）  
（冷却水ポンプ）の強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））（電源車（緊急時対策所用）（冷却水ポンプ））

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的、使用環境及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量（kVA/個）
非常用発電装置 （可搬型）	緊急時対策所ディーゼル発電設備として、重大事故等が発生した場合において緊急時対策所の機能及び居住性の維持に必要な電力を供給することを目的とする。使用環境として、屋外で使用する。	400

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量（kVA/個）	メーカー許容値（℃）	規格及び基準に基づく試験
内燃機関： TAD1641GE 発電機： E-AF	災害時等に使用する発電機として、定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。使用環境として、屋外で使用することを想定している。	400	固定子巻線：110 軸 受：45 潤滑油温度：120 冷却水温度：100 排 気 温 度：510	温度試験にて、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

電源車（緊急時対策所用）は、重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方、本メーカー規格及び基準は、災害時等に発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋外での使用を想定している。重大事故等時における電源車の使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3)：使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1435に規定される温度試験との比較、IとIIの使用条件の比較）

電源車（緊急時対策所用）は、JEM-1435（非常用陸用同期発電機－温度試験）で規定されている温度試験を実施し、定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書により確認できる。メーカー許容値は、メーカーにて実績等により十分に検証された電源車各部の機能が保証される温度上昇限度である。

電源車（緊急時対策所用）の容量は、メーカー仕様で定める容量（400 kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の電源車は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、内燃機関、燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として、重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-4-2 電源車（緊急時対策所用）  
（燃料タンク）の強度評価書

## 一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

(電源車 (緊急時対策所用) (燃料タンク))

電源車 (緊急時対策所用) (燃料タンク) は、電源車の附属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-7-1-1-4-1 電源車 (緊急時対策所用) (冷却水ポンプ) の強度評価書」に示すとおり、電源車 (緊急時対策所用) (燃料タンク) は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-4-3 管（可搬型）の強度評価書  
（緊急時対策所ディーゼル発電設備）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（給油用ホース（20A:7m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境，材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	給油口から電源車（緊急時対策所用）へ，燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.0*	80*

注記 \*：重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エースローリーホース	一般給油又は油圧配管用等のホースであり，灯油，軽油，重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として，屋内外で燃料を移送することを目的とする。	補強層入り多層ゴム	1.0	80	耐圧試験（試験圧力：2.0MPa，試験保持時間：30～60秒間）を実施

III. 確認項目

(a)：規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは，重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方，本メーカー規格及び基準は，一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は，本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2)：材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較，IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は，作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定している J I S K 6 3 4 9 「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり，鉱物性油類の輸送に使用するゴムホースについて規定している J I S K 6 3 4 3 「送油用ゴムホース」に規定されている耐圧試験（試験圧力；2種（最高使用圧力 1.0 MPa 以下）2.0 MPa）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は，耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J I S K 6 3 3 0 「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される耐圧保持時間）により確認している。一方，設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており，この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって，設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで，メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため，当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，使用材料の特性を踏まえた上で，重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-5 可搬型窒素ガス供給装置発電設備の強度評価書



## 目 次

VI-3-3-7-1-1-5-1 可搬型窒素ガス供給装置発電設備（冷却水ポンプ）の強度評価書

VI-3-3-7-1-1-5-2 可搬型窒素ガス供給装置発電設備（燃料タンク）の強度評価書

VI-3-3-7-1-1-5-1 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(冷却水ポンプ)の強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（非常用発電装置（可搬型））（可搬型窒素ガス供給装置発電設備（冷却水ポンプ））

I. 非常用発電装置（可搬型）の使用目的及び使用環境，使用条件

種類	使用目的及び使用環境	容量 (kVA/個)
非常用発電装置 （可搬型）	可搬型窒素ガス供給装置の非常用発電装置（可搬型）である。使用環境として，屋外で使用する。	200

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	容量 (kVA/個)	メーカー許容値 (°C)	規格及び基準に基づく試験
内燃機関： SAA6D125E-2-B 発電機：DF-2400K	災害時等に使用する発電機として，定格出力以内で必要な負荷に対し電力を供給するために使用される。 使用環境として，屋外で使用することを想定している。	200	固定子巻線：110 軸受：85 潤滑油温度：120 冷却水温度：99 排気温度：500	温度試験にて，定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを確認。

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

可搬型窒素ガス供給装置発電設備は，重大事故等時に屋外で非常用発電装置（可搬型）として使用される。一方，本メーカー規格及び基準は，災害時等に発電機として使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり，屋外での使用を想定している。重大事故等時における可搬型窒素ガス供給装置発電設備の使用目的及び使用環境は，本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-3) : 使用条件に対する強度の確認（IIとJEM-1398に規定される温度試験との比較，IとIIの使用条件の比較）

可搬型窒素ガス供給装置発電設備は，JEM-1398（ディーゼルエンジン駆動可搬形交流発電装置—温度試験）で規定されている温度試験を実施し，定格負荷状態における機械の各部の温度上昇がメーカー許容値以下であることを試験成績書により確認できる。メーカー許容値は，メーカーにて実績等により十分に検証された可搬型窒素ガス供給装置発電設備各部の機能が保証される温度上昇限度である。可搬型窒素ガス供給装置発電設備の容量は，メーカー仕様で定める容量（200 kVA/個）の範囲内である。

IV. 評価結果

上記の可搬型窒素ガス供給装置発電設備は，一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し，内燃機関，燃料タンク及び冷却水ポンプを含めた一体構造品の完成品として，重大事故等時における所要負荷において十分な強度を有している。

VI-3-3-7-1-1-5-2 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)の強度  
評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

(可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク))

可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)は、可搬型窒素ガス供給装置発電設備の付属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-7-1-1-5-1 可搬型窒素ガス供給装置発電設備(冷却水ポンプ)の強度評価書」に示すとおり、可搬型窒素ガス供給装置発電設備(燃料タンク)は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-2 火災防護設備の強度に関する説明書

目 次

- VI-3-3-7-2-1 消火水タンクの強度計算書
- VI-3-3-7-2-2 屋外消火系消火水タンクの強度計算書
- VI-3-3-7-2-3 管の基本板厚計算書（火災防護設備）

VI-3-3-7-2-1 消火水タンクの強度計算書



## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理表を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス	
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	DBクラス	SAクラス	条件アップの有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
消火水タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	静水頭	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

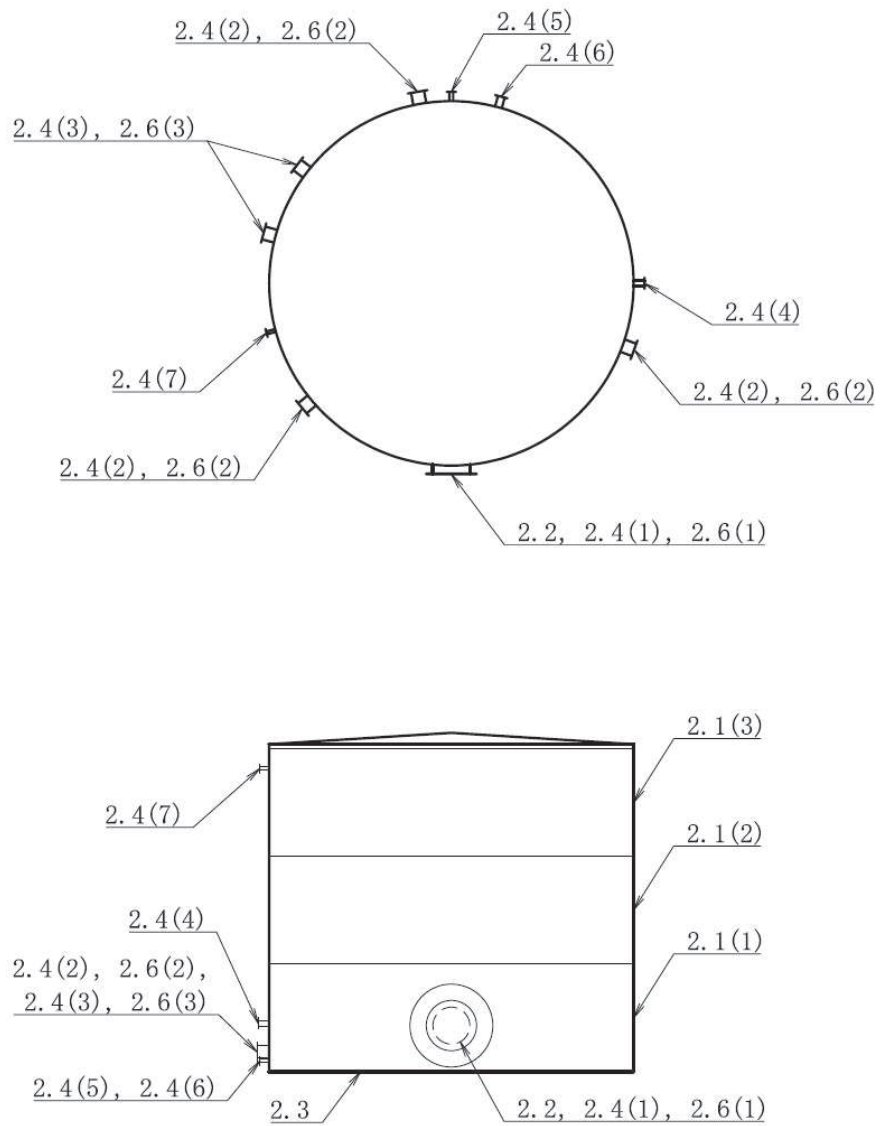
## 目次

1. 計算条件 .....	1
1.1 計算部位 .....	1
1.2 設計条件 .....	2
2. 強度計算 .....	3
2.1 開放タンクの胴の厚さの計算.....	3
2.2 開放タンクの平板の厚さの計算.....	6
2.3 開放タンクの底板の厚さの計算.....	7
2.4 開放タンクの管台の厚さの計算.....	8
2.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算.....	15
2.6 開放タンクの穴の補強計算 .....	16

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

## 1.2 設計条件

最高使用压力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	40

## 2. 強度計算

### 2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(1) 胴板最下段
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.94
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(2) 胴板 2 段目
材料		SS400
水頭	H (m)	2.8250
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.19
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(3) 胴板 3 段目
材料		SS400
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	0.45
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		



2.2 開放タンクの平板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) 側マンホールふた
平板の取付け方法	(a)
平板の穴の有無	無し

設計・建設規格 PVD-3310

平板の厚さ

平板名称	(1) 側マンホールふた
材料	SM400C
最高使用圧力	P (MPa) 0.05
最高使用温度	(°C) 40
許容引張応力	S (MPa) 100
取付け方法による係数	K 0.17
平板の径	d (mm) 768.00
必要厚さ	t (mm) 7.09
呼び厚さ	$t_{p0}$ (mm) 10.00
最小厚さ	$t_p$ (mm) 9.45
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。	

### 2.3 開放タンクの底板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960 準用)

底板の形：平板

(2) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970 準用)

底板名称		(1) 底板
材料		SM400C
必要厚さ	$t$ (mm)	3.00
呼び厚さ	$t_{bo}$ (mm)	9.00
最小厚さ	$t_b$ (mm)	8.35
評価： $t_b \geq t$ ，よって十分である。		

2.4 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(1) 側マンホール
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.6100
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.20
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	5.50
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(2) タンクヒータ用座
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1909
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(3) 消火ポンプ給水ノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1909
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(4) 消防車接続口ノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0739
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	7.60
最小厚さ	$t_n$ (mm)	6.65
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(5) オーバーフローノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(6) ドレンノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(7) 補給水ノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0384
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.20
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.10
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.46
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

2.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板最下段
補強の計算を要する 85mm を超える穴の名称	側マンホール (2.6(1)) タンクヒータ用座 (2.6(2)) 消火ポンプ給水ノズル (2.6(3))

2.6 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称			(1) 側マンホール
胴板材料			SS400
管台材料			SS400
強め板材料			SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度		(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	100
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	611.00
管台が取付く穴の径	$d_w$	(mm)	634.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	5.50
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.16
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	831.0
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	X	(mm)	1222.00
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1370.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	622.00
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	$2.468 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	144.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	$3.300 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$5.948 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ , よって十分である。			

管台名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00	
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$3.480 \times 10^5$	
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称		(2) タンクヒータ用座
胴板材料		SS400
管台材料		STPG370
強め板材料		SS400
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	194.08
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	228.30
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	266.1
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	X (mm)	388.16
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	480.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$ (mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	777.8
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	277.5
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	81.00
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	945.2
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$2.082 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ , よって十分である。		

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.304 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-18

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
胴板材料	SS400	
管台材料	STPG370	
強め板材料	SS400	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	194.08
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	228.30
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	266.1
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	X (mm)	388.16
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	13.50
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	480.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	777.8
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	556.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	945.2
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$2.396 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ , よって十分である。		

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.619 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		



VI-3-3-7-2-2 屋外消火系消火水タンクの強度計算書

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理表を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス	
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	DBクラス	SAクラス	条件アップの有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
No. 1 屋外消火系消火水タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	静水頭	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
No. 2 屋外消火系消火水タンク	新設	—	—	—	DB-3	—	—	静水頭	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

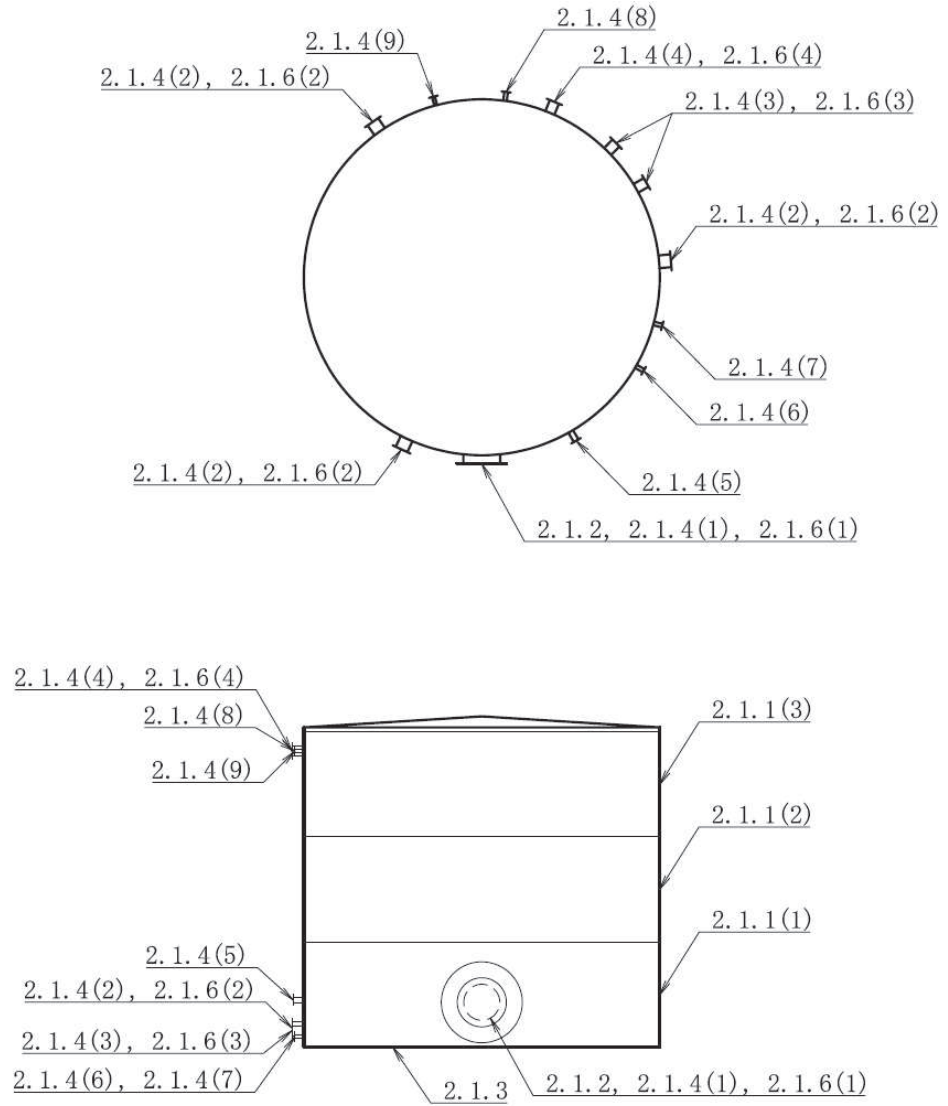
## 目次

1. 計算条件 .....	1
1.1 計算部位 .....	1
1.2 設計条件 .....	3
2. 強度計算 .....	4
2.1 No.1 屋外消火系消火水タンクの強度計算 .....	4
2.1.1 開放タンクの胴の厚さの計算 .....	4
2.1.2 開放タンクの平板の厚さの計算 .....	7
2.1.3 開放タンクの底板の厚さの計算 .....	8
2.1.4 開放タンクの管台の厚さの計算 .....	9
2.1.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算 .....	18
2.1.6 開放タンクの穴の補強計算 .....	19
2.2 No.2 屋外消火系消火水タンクの強度計算 .....	27
2.2.1 開放タンクの胴の厚さの計算 .....	27
2.2.2 開放タンクの平板の厚さの計算 .....	30
2.2.3 開放タンクの底板の厚さの計算 .....	31
2.2.4 開放タンクの管台の厚さの計算 .....	32
2.2.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算 .....	41
2.2.6 開放タンクの穴の補強計算 .....	42

1. 計算条件

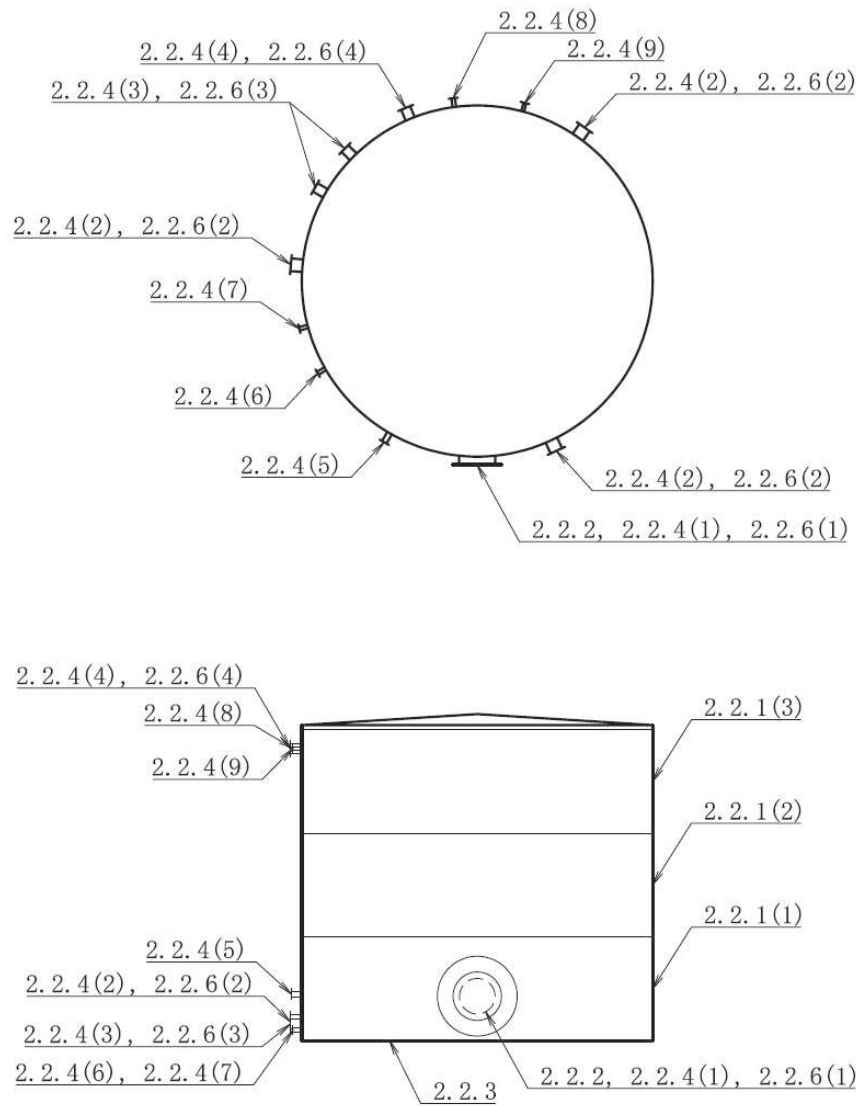
1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-1 No. 1 屋外消火系消火水タンク概要図



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図 1-2 No. 2 屋外消火系消火水タンク 概要図

## 1.2 設計条件

### (1) No.1 屋外消火系消火水タンク 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	40

### (2) No.2 屋外消火系消火水タンク 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	静水頭
最高使用温度 (°C)	40

2. 強度計算

2.1 No.1 屋外消火系消火水タンクの強度計算

2.1.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(1) 胴板最下段
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.94
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		



開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(2) 胴板 2 段目
材料		SS400
水頭	H (m)	2.8250
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.19
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(3) 胴板 3 段目
材料		SS400
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	0.45
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

2.1.2 開放タンクの平板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) 側マンホールふた
平板の取付け方法	(a)
平板の穴の有無	無し

設計・建設規格 PVD-3310

平板の厚さ

平板名称	(1) 側マンホールふた	
材料	SM400C	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
許容引張応力	S (MPa)	100
取付け方法による係数	K	0.17
平板の径	d (mm)	768.00
必要厚さ	t (mm)	7.09
呼び厚さ	$t_{p.o}$ (mm)	10.00
最小厚さ	$t_p$ (mm)	9.45
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。		

2.1.3 開放タンクの底板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960 準用)

底板の形：平板

(2) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970 準用)

底板名称		(1) 底板
材料		SM400C
必要厚さ	$t$ (mm)	3.00
呼び厚さ	$t_{bo}$ (mm)	9.00
最小厚さ	$t_b$ (mm)	8.35
評価： $t_b \geq t$ ，よって十分である。		

2.1.4 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(1) 側マンホール
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.6100
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.20
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	5.50
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1909
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1432
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.04
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	11.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(4) 消火ポンプ戻り管ノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1432
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	11.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(5) 消防車接続口ノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0739
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	7.60
最小厚さ	$t_n$ (mm)	6.65
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(6) オーバーフローノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(7) ドレンノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(8) 消火ポンプミニマムフローノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(9) 補給水ノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0384
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.20
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.10
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.46
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

2.1.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算  
 設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板最下段
補強の計算を要する 85mm を超える穴の名称	側マンホール (2.1.6(1)) タンクヒータ用座 (2.1.6(2)) 消火ポンプ給水ノズル (2.1.6(3))

胴板名称	(3) 胴板3段目
補強の計算を要する 85mm を超える穴の名称	消火ポンプ戻り管ノズル (2.1.6(4))

2.1.6 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称			(1) 側マンホール
胴板材料			SS400
管台材料			SS400
強め板材料			SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度			(°C) 40
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	100
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	611.00
管台が取付く穴の径	$d_w$	(mm)	634.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	5.50
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.16
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	831.0
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	X	(mm)	1222.00
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1370.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	622.00
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	$2.468 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	144.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	$3.300 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$5.948 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

管台名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00	
評価： $d \leq d_j$ ， よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$3.480 \times 10^5$	
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
評価： $W < 0$ ， よって溶接部の強度計算は必要ない。		



開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
胴板材料	SS400	
管台材料	STPG370	
強め板材料	SS400	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	194.08
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	228.30
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	266.1
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	X (mm)	388.16
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	480.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$ (mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	777.8
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	277.5
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	81.00
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	945.2
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$2.082 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ 、よって十分である。		

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.304 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-18

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
胴板材料	SS400	
管台材料	STPG370	
強め板材料	SS400	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	145.96
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	177.20
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	200.3
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	145.96
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	145.96
補強の有効範囲	X (mm)	291.92
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	13.50
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	584.2
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	482.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	697.0
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$1.880 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。		

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.296 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-3.432 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-3.432 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-18

管台名称			(4) 消火ポンプ戻り管ノズル
胴板材料			SS400
管台材料			STPG370
強め板材料			SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	0.01
最高使用温度		(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	145.96
管台が取付く穴の径	$d_w$	(mm)	177.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	9.62
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	0.31
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.01
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	45.67
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	145.96
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	145.96
補強の有効範囲	X	(mm)	291.92
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	13.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	736.1
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	482.9
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	697.0
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$2.033 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ 、よって十分である。			

管台名称	(4) 消火ポンプ戻り管ノズル	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.297 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-6.812 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-6.812 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

2.2 No.2 屋外消火系消火水タンクの強度計算

2.2.1 開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(1) 胴板最下段
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.94
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称		(2) 胴板 2 段目
材料		SS400
水頭	H (m)	2.8250
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	1.19
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		



開放タンクの胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称	(3) 胴板 3 段目	
材料	SS400	
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
胴の内径	$D_i$ (m)	6.00
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類	突合せ両側溶接	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$ (mm)	0.45
必要厚さ	$t_3$ (mm)	4.50
$t_1, t_2, t_3$ の大きい値	t (mm)	4.50
呼び厚さ	$t_{s.o}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。		

2.2.2 開放タンクの平板の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3310

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) 側マンホールふた
平板の取付け方法	(a)
平板の穴の有無	無し

設計・建設規格 PVD-3310

平板の厚さ

平板名称			(1) 側マンホールふた
材料			SM400C
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度		(°C)	40
許容引張応力	S	(MPa)	100
取付け方法による係数	K		0.17
平板の径	d	(mm)	768.00
必要厚さ	t	(mm)	7.09
呼び厚さ	$t_{p.o}$	(mm)	10.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	9.45
評価： $t_p \geq t$ ，よって十分である。			

2.2.3 開放タンクの底板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960 準用)

底板の形：平板

(2) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970 準用)

底板名称		(1) 底板
材料		SM400C
必要厚さ	$t$ (mm)	3.00
呼び厚さ	$t_{bo}$ (mm)	9.00
最小厚さ	$t_b$ (mm)	8.35
評価： $t_b \geq t$ ，よって十分である。		

2.2.4 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(1) 側マンホール
材料		SS400
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.6100
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	100
継手効率	$\eta$	0.70
継手の種類		突合せ両側溶接
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.20
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	6.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	5.50
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1909
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.05
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	12.70
最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1432
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.04
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	11.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(4) 消火ポンプ戻り管ノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.1432
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	11.00
最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称			(5) 消防車接続口ノズル
材料			STPG370
水頭	H	(m)	4.6000
最高使用温度			(°C) 40
管台の内径	$D_i$	(m)	0.0739
液体の比重	$\rho$		1.00
許容引張応力	S	(MPa)	93
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			無し
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$	(mm)	3.50
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	3.50
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	7.60
最小厚さ	$t_n$	(mm)	6.65
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			



開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(6) オーバーフローノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(7) ドレンノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	4.6000
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.02
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称	(8) 消火ポンプミニマムフローノズル	
材料	STPG370	
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0495
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	無し	
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.40
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.50
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.81
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

管台名称		(9) 補給水ノズル
材料		STPG370
水頭	H (m)	1.0500
最高使用温度	(°C)	40
管台の内径	$D_i$ (m)	0.0384
液体の比重	$\rho$	1.00
許容引張応力	S (MPa)	93
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		無し
必要厚さ	$t_1$ (mm)	0.01
必要厚さ	$t_2$ (mm)	2.20
$t_1, t_2$ の大きい値	t (mm)	2.20
呼び厚さ	$t_{no}$ (mm)	5.10
最小厚さ	$t_n$ (mm)	4.46
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。		

2.2.5 開放タンクの補強を要しない穴の最大径の計算

設計・建設規格 PVD-3511, PVD-3512

胴板名称	(1) 胴板最下段
補強の計算を要する 85mm を超える穴の名称	側マンホール (2.2.6(1)) タンクヒータ用座 (2.2.6(2)) 消火ポンプ給水ノズル (2.2.6(3))

胴板名称	(3) 胴板3段目
補強の計算を要する 85mm を超える穴の名称	消火ポンプ戻り管ノズル (2.2.6(4))

2.2.6 開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称			(1) 側マンホール
胴板材料			SS400
管台材料			SS400
強め板材料			SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	0.05
最高使用温度		(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	100
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	611.00
管台が取付く穴の径	$d_w$	(mm)	634.00
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	5.50
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.16
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	831.0
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	611.00
補強の有効範囲	X	(mm)	1222.00
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$	(mm)	1370.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	622.00
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	$2.468 \times 10^3$
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	144.2
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	36.00
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	$3.300 \times 10^3$
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$5.948 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

管台名称	(1) 側マンホール	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	1000.00	
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)	$3.480 \times 10^5$	
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	$-1.606 \times 10^5$	
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-12

管台名称	(2) タンクヒータ用座	
胴板材料	SS400	
管台材料	STPG370	
強め板材料	SS400	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	194.08
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	228.30
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	11.11
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.06
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	266.1
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	194.08
補強の有効範囲	X (mm)	388.16
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	0.00
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	480.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$ (mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	0.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	777.8
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	277.5
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	81.00
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	945.2
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$2.082 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ , よって十分である。		



管台名称	(2) タンクヒータ用座	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.304 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-4.673 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-18

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
胴板材料	SS400	
管台材料	STPG370	
強め板材料	SS400	
最高使用圧力	P (MPa)	0.05
最高使用温度	(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$ (MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$ (MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$ (MPa)	100
穴の径	d (mm)	145.96
管台が取付く穴の径	$d_w$ (mm)	177.20
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$ (mm)	9.62
胴板の継手効率	$\eta$	1.00
係数	F	1.00
胴の内径	$D_i$ (mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$ (mm)	1.36
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$ (mm)	0.04
穴の補強に必要な面積	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	200.3
補強の有効範囲	$X_1$ (mm)	145.96
補強の有効範囲	$X_2$ (mm)	145.96
補強の有効範囲	X (mm)	291.92
補強の有効範囲	$Y_1$ (mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$ (mm)	13.50
強め板の最小厚さ	$t_e$ (mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$ (mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$ (mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$ (mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$ (mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	584.2
管台の有効補強面積	$A_2$ (mm <sup>2</sup> )	482.1
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$ (mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$ (mm <sup>2</sup> )	697.0
補強に有効な総面積	$A_o$ (mm <sup>2</sup> )	$1.880 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ , よって十分である。		

管台名称	(3) 消火ポンプ給水ノズル	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.296 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-3.432 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-3.432 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

開放タンクの穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010, PVD-3510 (PVC-3160, PVC-3950 準用)

参照附図 WELD-18

管台名称			(4) 消火ポンプ戻り管ノズル
胴板材料			SS400
管台材料			STPG370
強め板材料			SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	0.01
最高使用温度		(°C)	40
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	93
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	145.96
管台が取付く穴の径	$d_w$	(mm)	177.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	5.40
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	9.62
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	6000.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	0.31
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	0.01
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	45.67
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	145.96
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	145.96
補強の有効範囲	X	(mm)	291.92
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	13.50
補強の有効範囲	$Y_2$	(mm)	13.50
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	5.50
強め板の外径	$B_e$	(mm)	400.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
溶接寸法	$L_3$	(mm)	9.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	736.1
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	482.9
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	697.0
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$2.033 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			

管台名称	(4) 消火ポンプ戻り管ノズル	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径	$d_j$ (mm)	1000.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重	$W_1$ (N)	$1.297 \times 10^5$
溶接部にかかる荷重	$W_2$ (N)	$-6.812 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$ (N)	$-6.812 \times 10^4$
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。		

VI-3-3-7-2-3 管の基本板厚計算書（火災防護設備）

## まえがき

本計算書は、添付書類「VI-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針」及び「VI-3-2-7 クラス3管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、添付書類「VI-3-2-1 強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

水消火設備

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する既設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1	既設	有	有	Non	DB-3	—	無	1.15	40	—	—	—	設計・建設規格	設計・建設規格	—	DB-3
1	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.15	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
2	既設	有	有	Non	DB-3	—	無	1.15	40	—	—	—	設計・建設規格	設計・建設規格	—	DB-3
3	既設	有	有	Non	DB-3	—	無	1.15	40	—	—	—	設計・建設規格	設計・建設規格	—	DB-3
4	既設	有	有	Non	DB-3	—	無	1.15	40	—	—	—	設計・建設規格	設計・建設規格	—	DB-3
4	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.15	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
5	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.37	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
6	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.37	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
E1	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.15	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
E2	新設	—	—	—	DB-3	—	—	1.37	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3



ハロンガス消火設備

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する既設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける評 価結果の 有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
1	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
2	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
3	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
4	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
5	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
6	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
7	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*
8	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
9	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
10	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
11	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
12	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

注記\* : DB クラス「—」である管については、保守的に評価クラス「DB-3」としてクラス3管の評価を行う。

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する既設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける評 価結果の 有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
13	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
14	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
15	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
16	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
17	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3
18	新設	—	—	—	DB-3	—	—	5.20	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3

ケーブルトレイ消火設備

管No.	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する既設 の規定が あるか	クラスアップするか				条件アップするか				既工認に おける評 価結果の 有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無	施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
								圧力 (MPa)	温度 (°C)	圧力 (MPa)						温度 (°C)
1	新設	—	—	—	DB-3 —*	—	—	4.6	40	—	—	—	—	設計・建設規格	—	DB-3*

注記\* : DB クラス「—」である管については、保守的に評価クラス「DB-3」としてクラス 3 管の評価を行う。

・適用規格の選定

水消火設備

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～6	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
E1～E2	伸縮継手の強度計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

ハロンガス消火設備

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1～18	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
SP1	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格
T1～T8	管の穴と補強計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

ケーブルトレイ消火設備

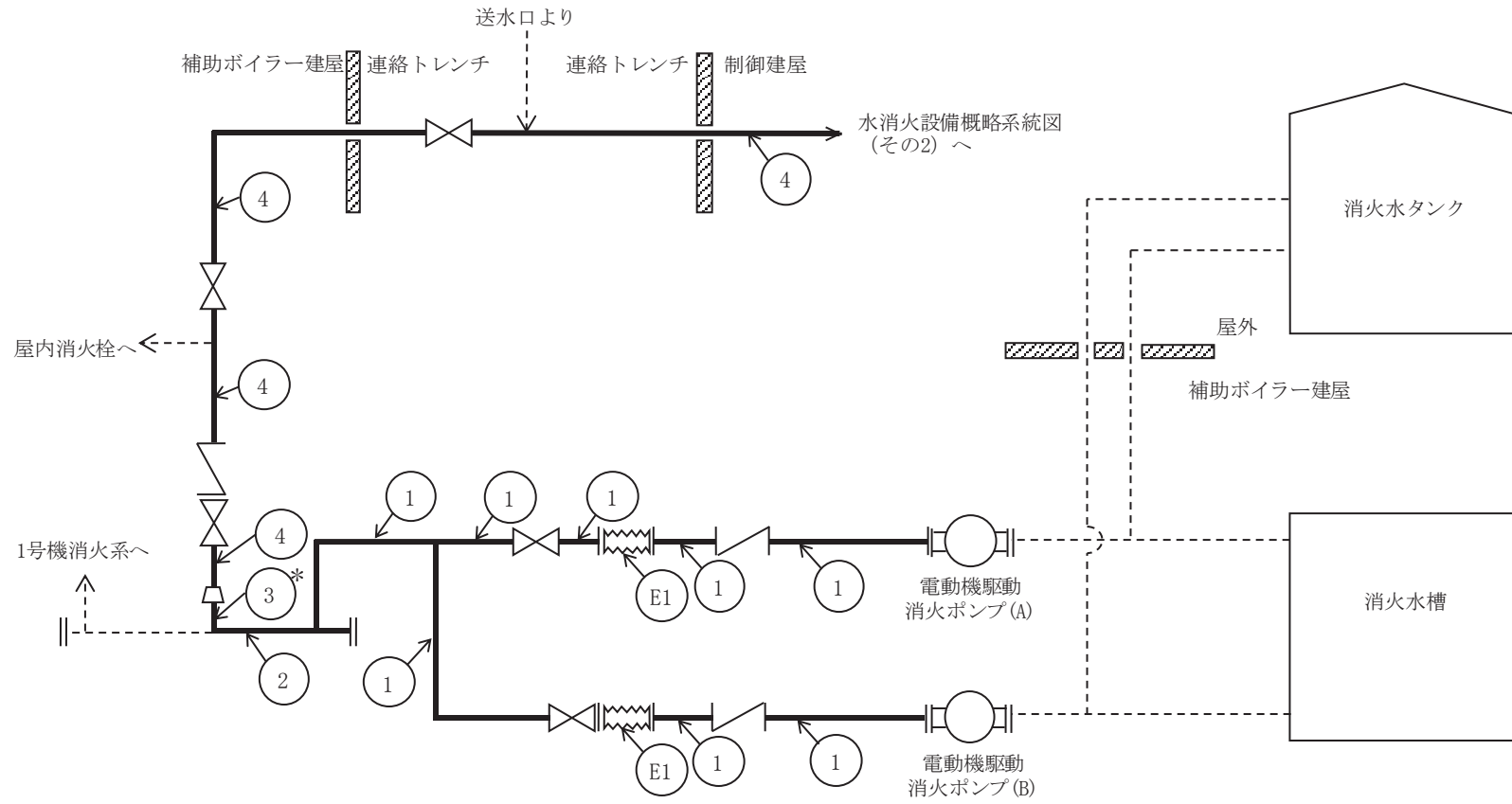
管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1	管の板厚計算	設計・建設規格	—	設計・建設規格

## 目次

1. 水消火設備	1
1.1 概略系統図	1
1.2 管の強度計算書	6
1.3 伸縮継手の強度計算書	7
2. ハロンガス消火設備	8
2.1 概略系統図	8
2.2 管の強度計算書	67
2.3 管の穴と補強計算書	69
3. ケーブルトレイ消火設備	78
3.1 概略系統図	78
3.2 管の強度計算書	192

1. 水消火設備

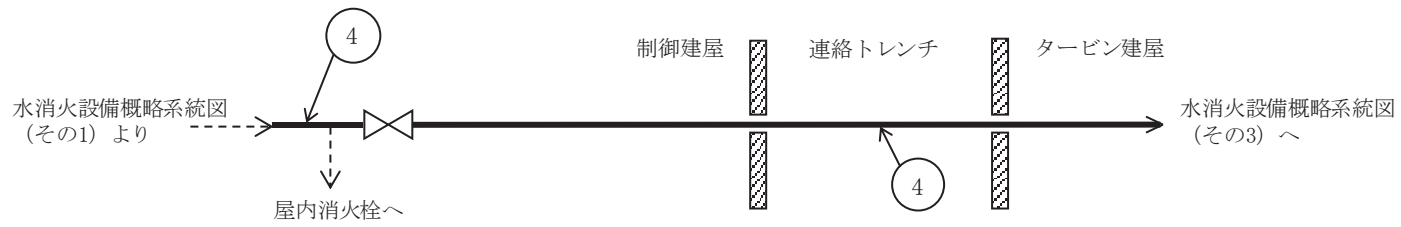
1.1 概略系統図

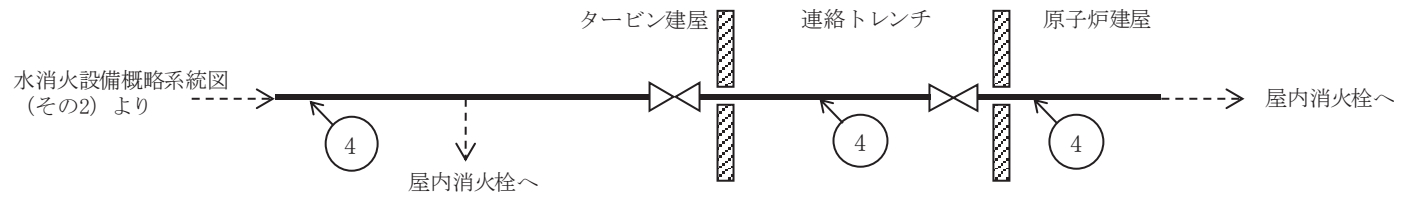


注記\* : 管継手

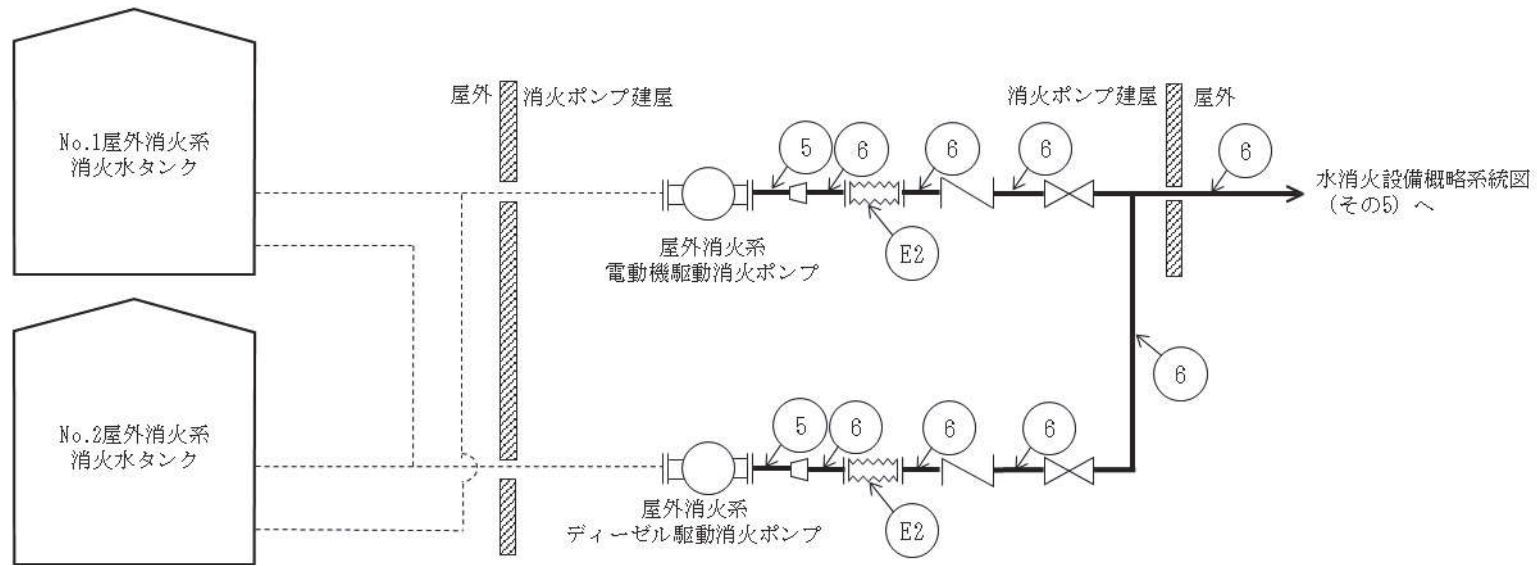
水消火設備概略系統図 (その1)

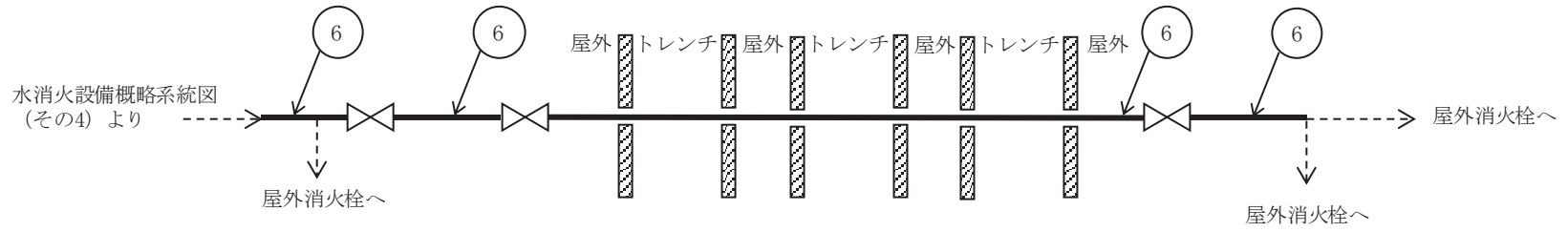
1











1.2 管の強度計算書 (クラス 3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	1.15	40	216.30	8.20	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	7.17	1.34	C	3.80
2	1.15	40	318.50	10.30	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	9.01	1.96	C	3.80
3	1.15	40	165.20	7.10	STPT370	S	3	93	1.00	12.5%	6.21	1.02	C	3.80
4	1.15	40	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	5.25	0.71	C	3.40
5	1.37	40	114.30	6.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	5.25	0.84	C	3.40
6	1.37	40	165.20	7.10	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	6.21	1.21	C	3.80

評価：  $t_s \geq t_r$ ， よって十分である。

1.3 伸縮継手の強度計算書 (クラス 3 管)

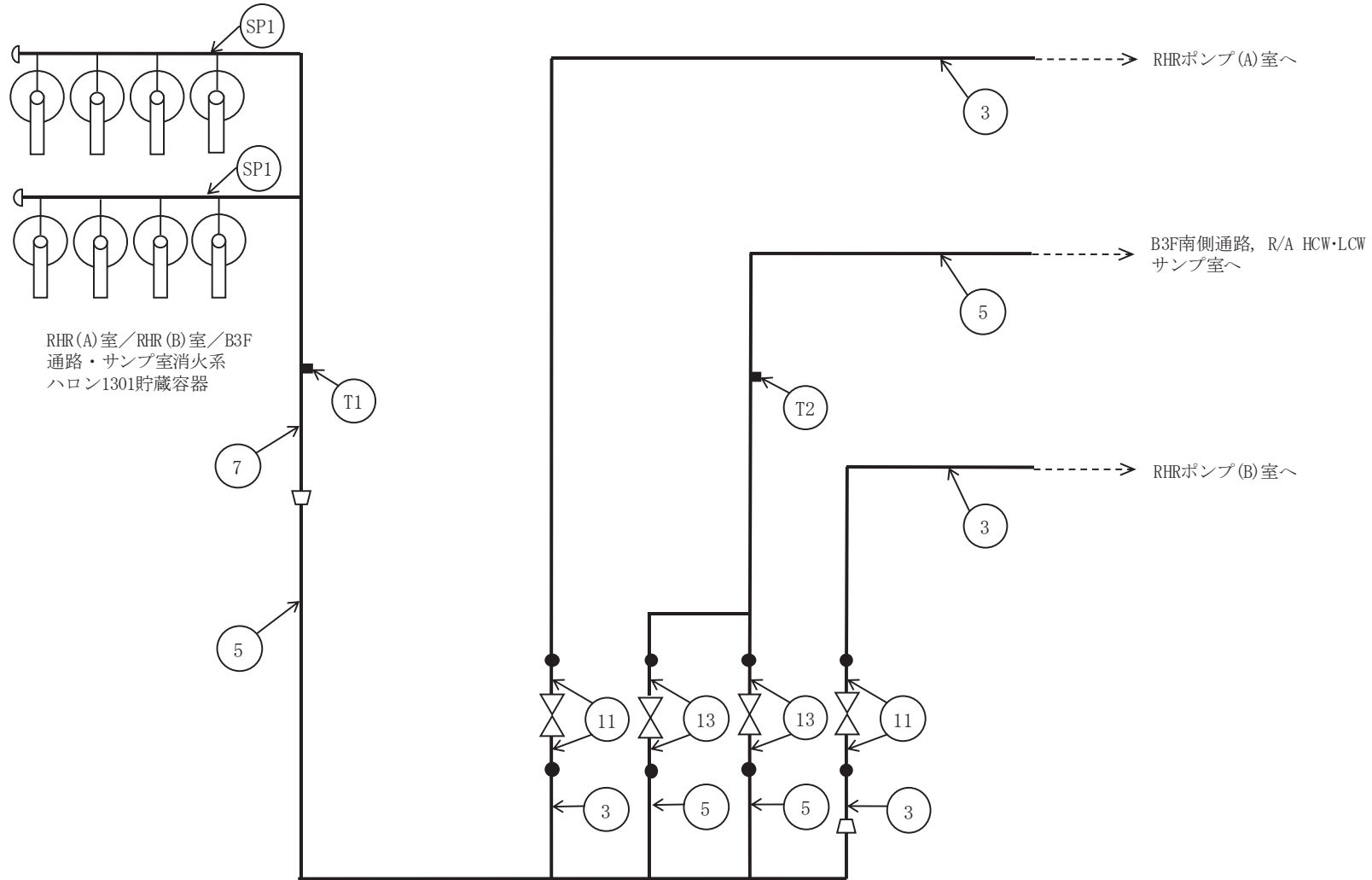
設計・建設規格 PPD-3416

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	縦弾性係数 E (MPa)	t (mm)	全伸縮量 $\delta$ (mm)	b (mm)	h (mm)	n	c	算 式	継手部応力 $\sigma$ (MPa)	N $\times 10^3$	Nr $\times 10^3$	U
E1	1.15	40	SUS304	194000	1.00	6.91	12.50	14.00	20	1	A	656	195.4	7.31	0.374
E2	1.37	40	SUS304	194000	1.00	1.44	12.50	14.00	14	1	A	296	316.0	7.31	0.024

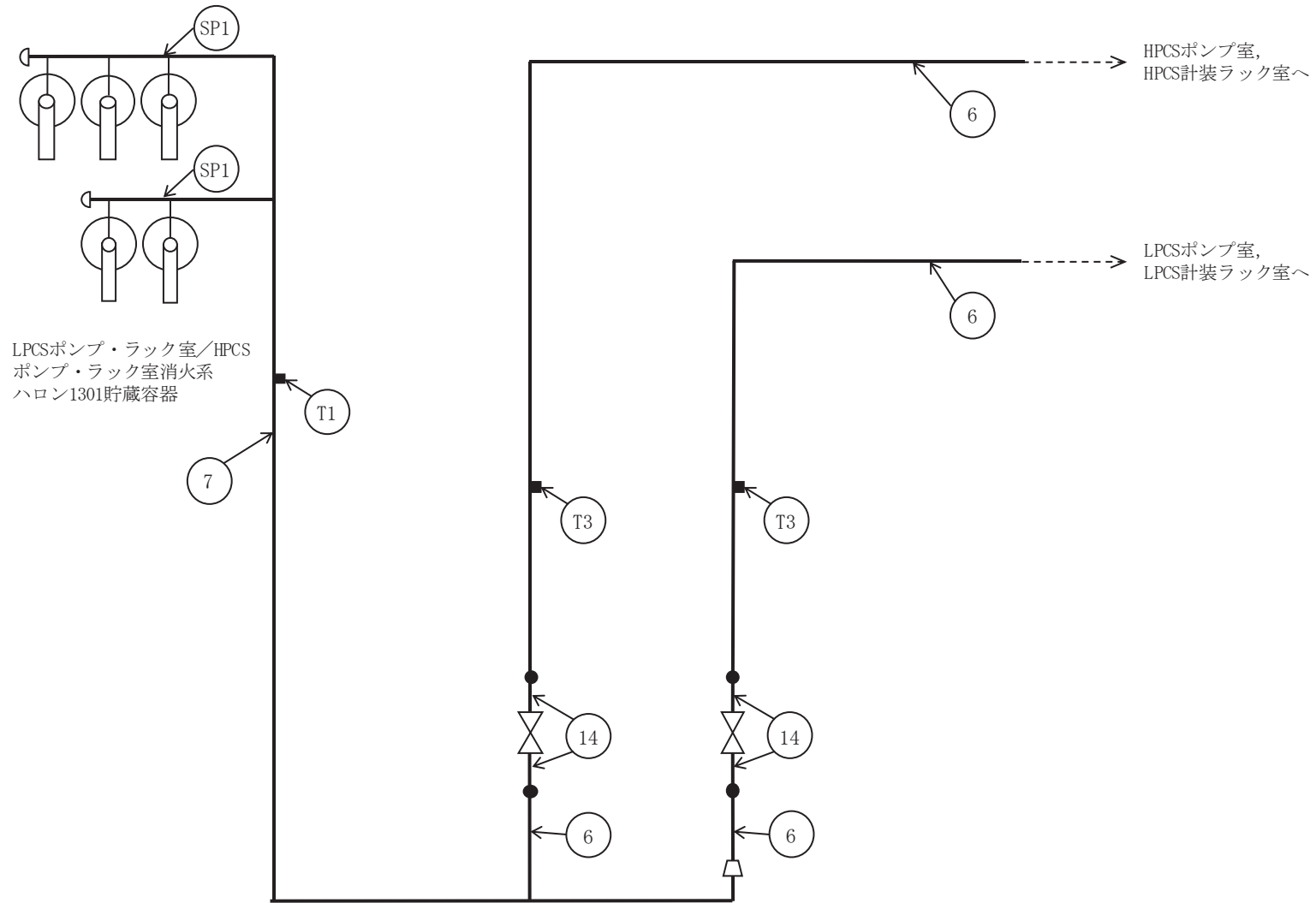
評価：U ≤ 1, よって十分である。

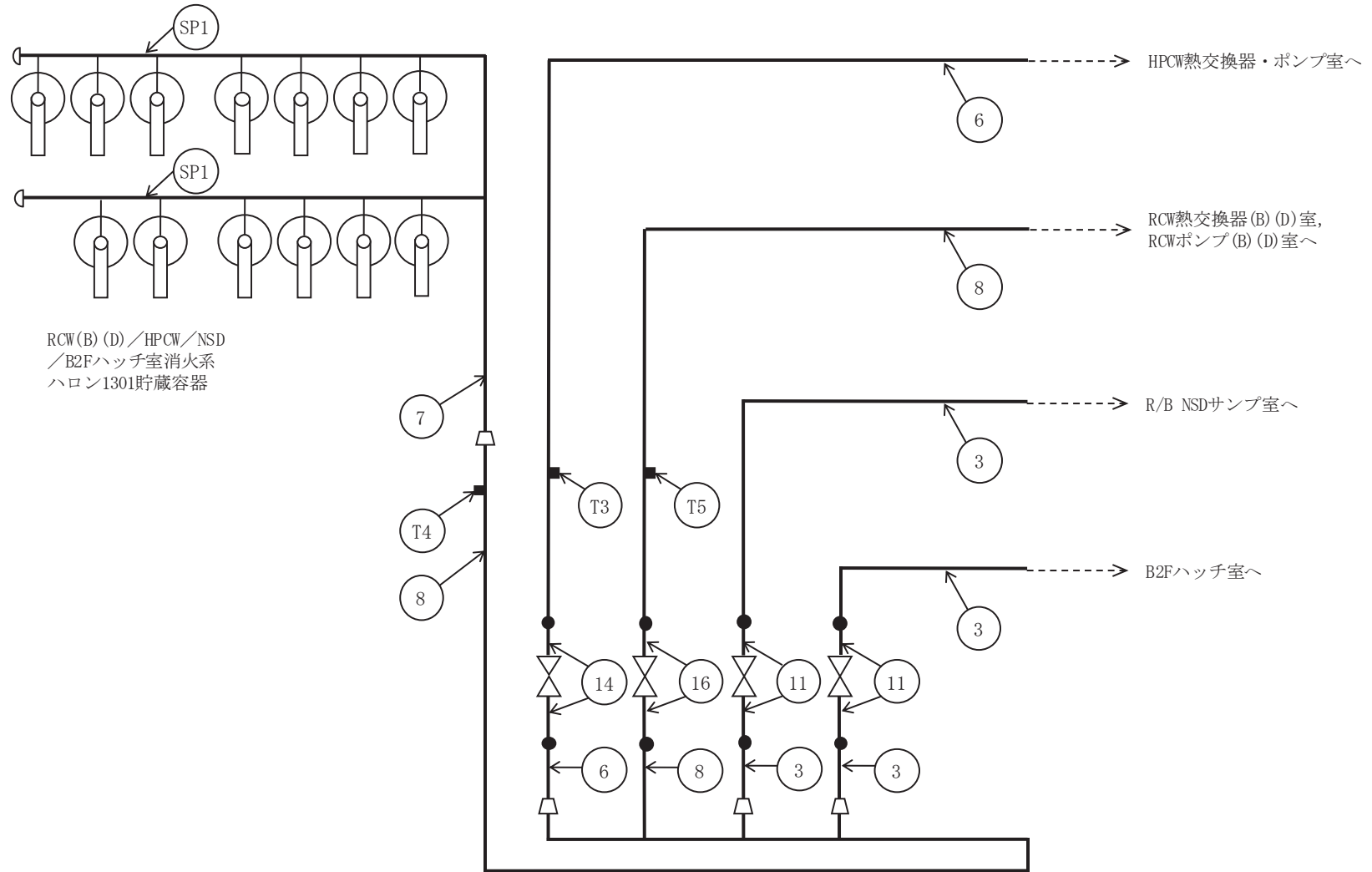
2. ハロンガス消火設備

2.1 概略系統図

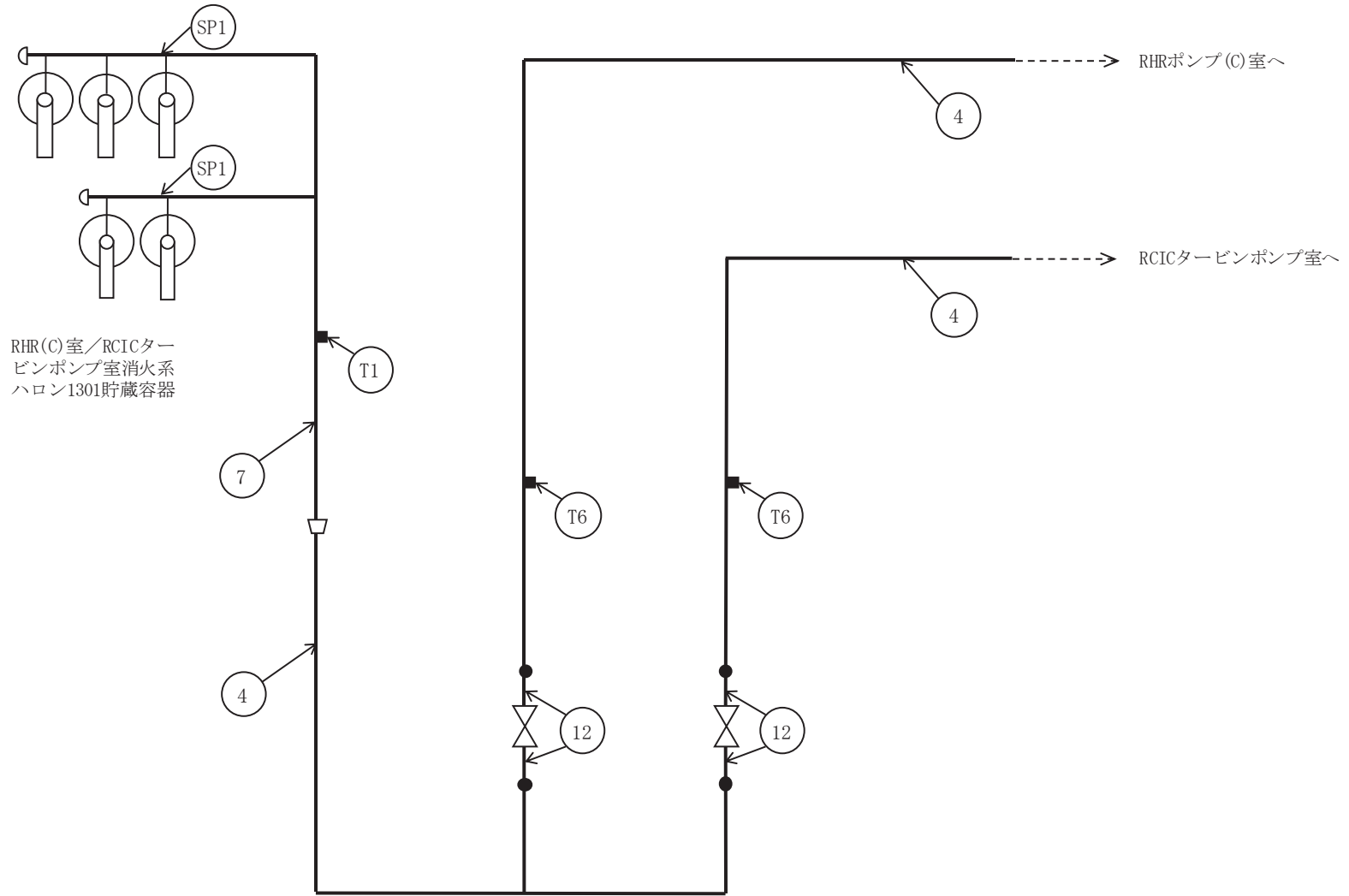


ハロンガス消火設備概略系統図 (その1)

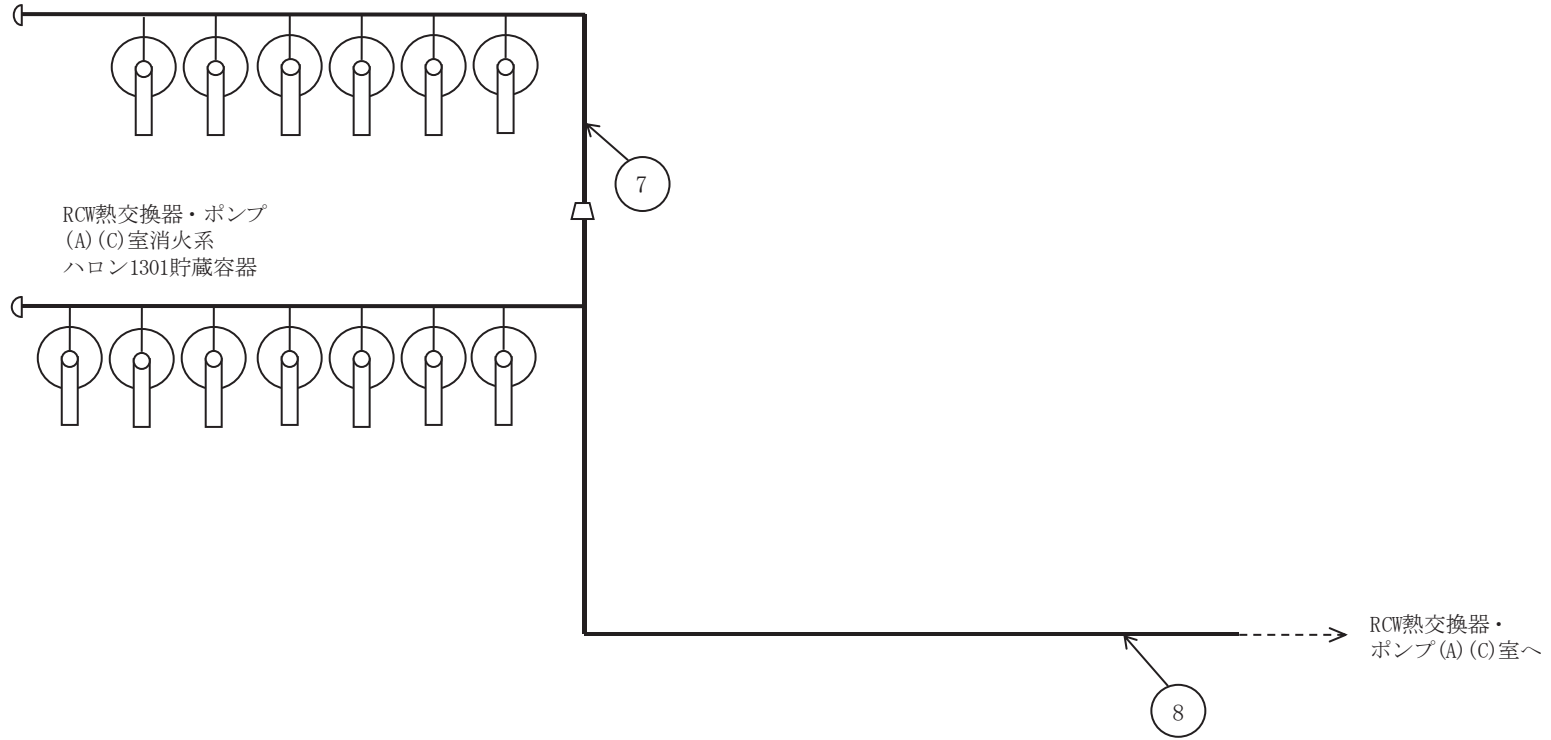


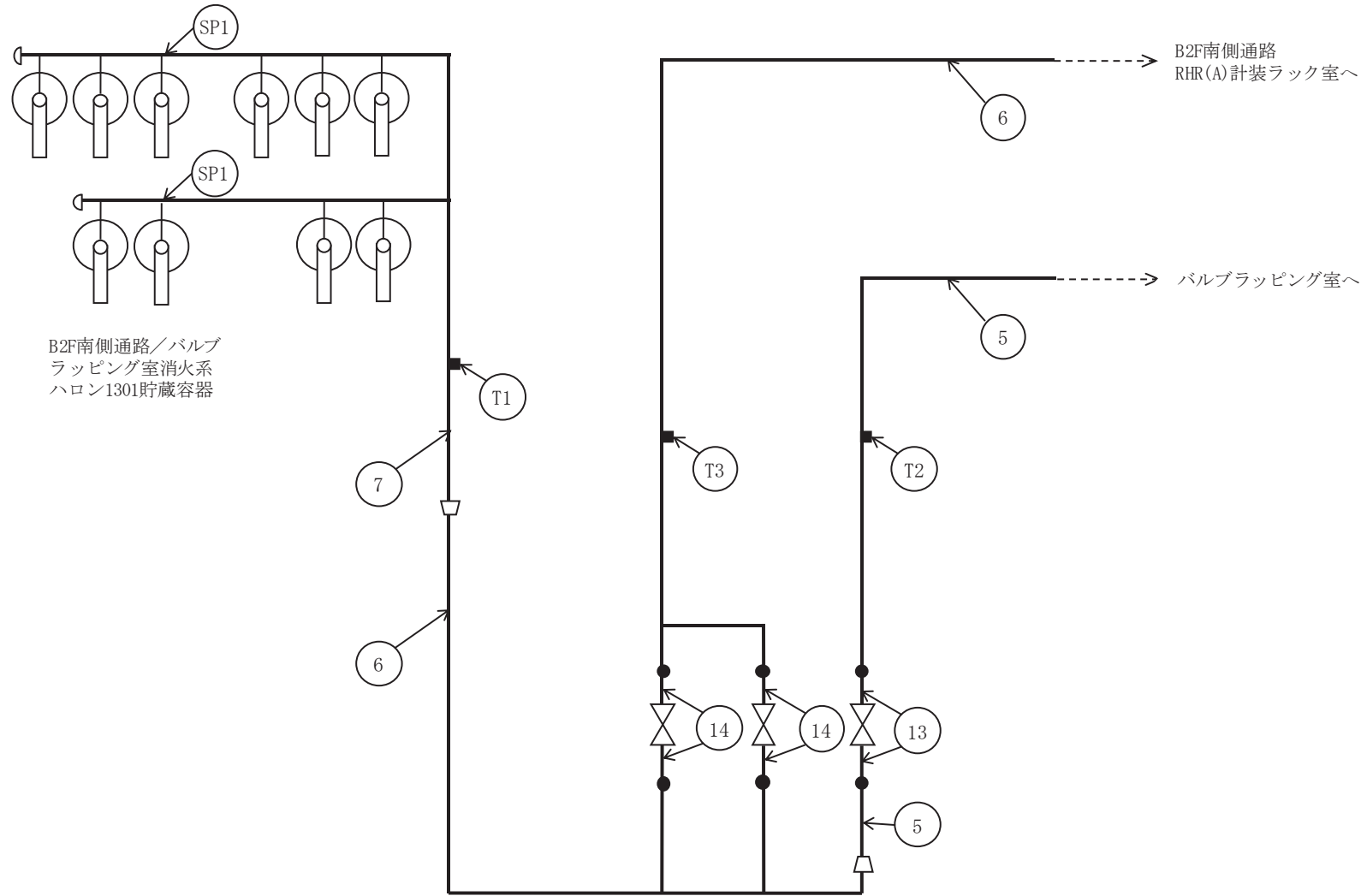


ハロンガス消火設備概略系統図 (その 3)

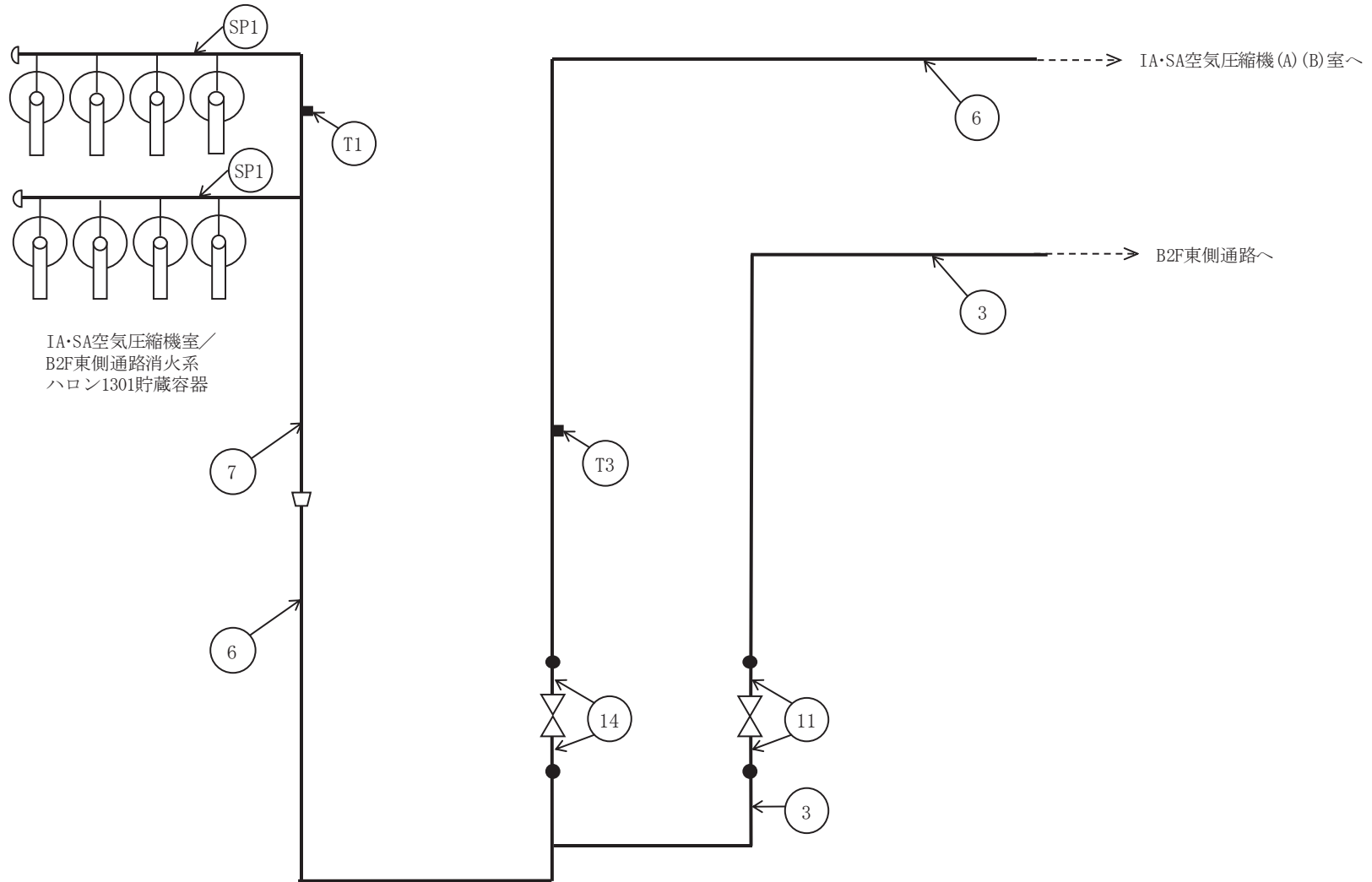




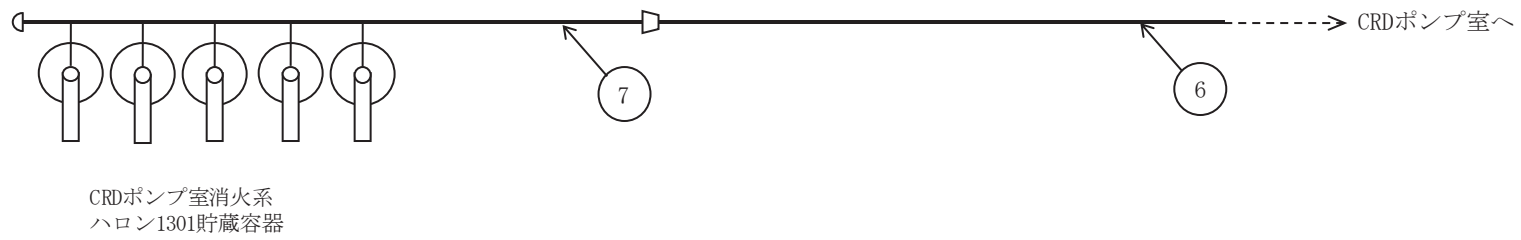


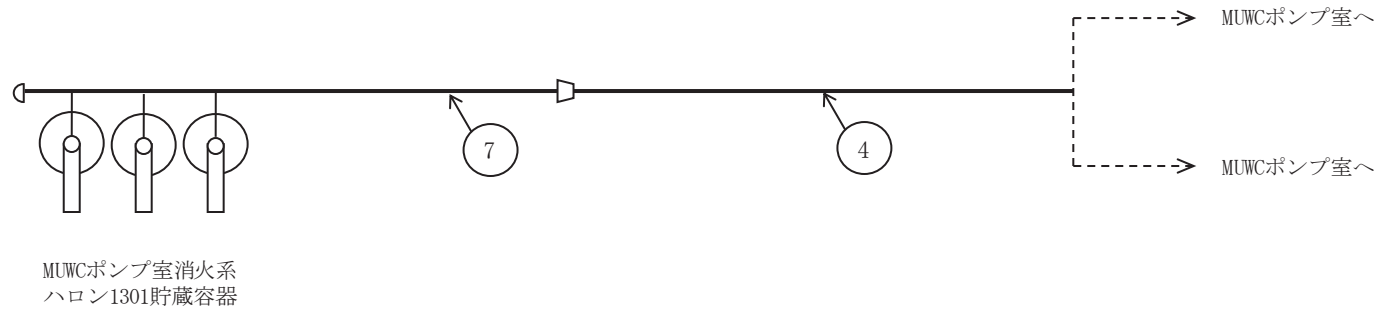


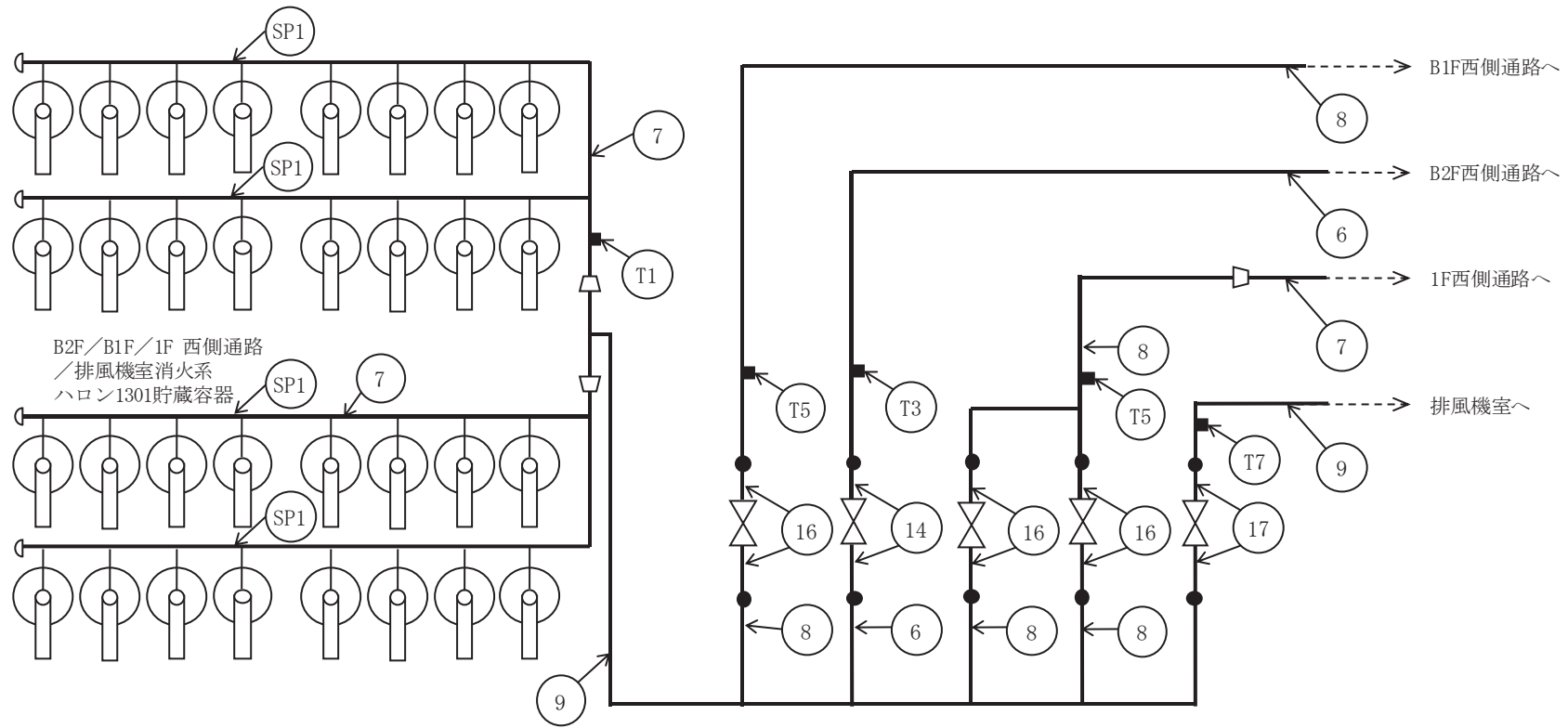
ハロンガス消火設備概略系統図 (その6)

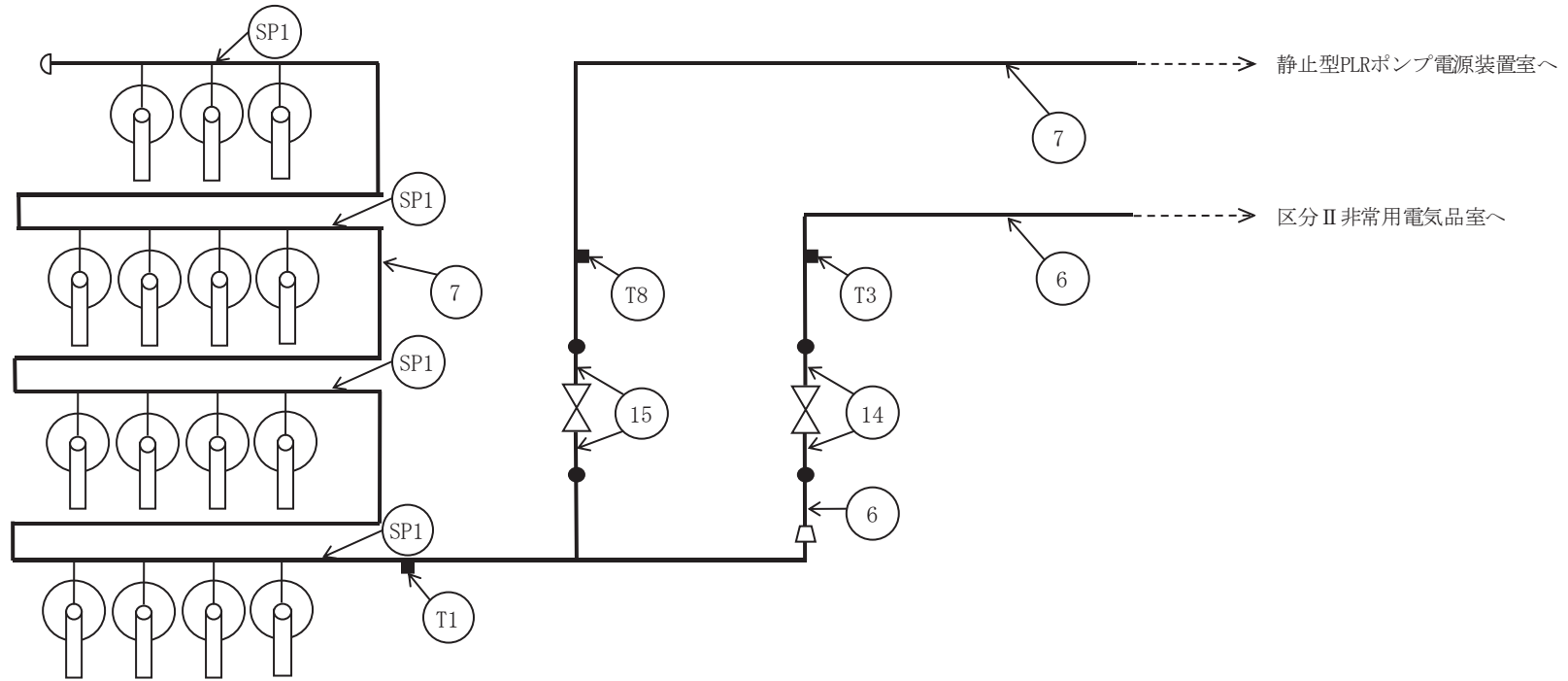


ハロンガス消火設備概略系統図 (その7)

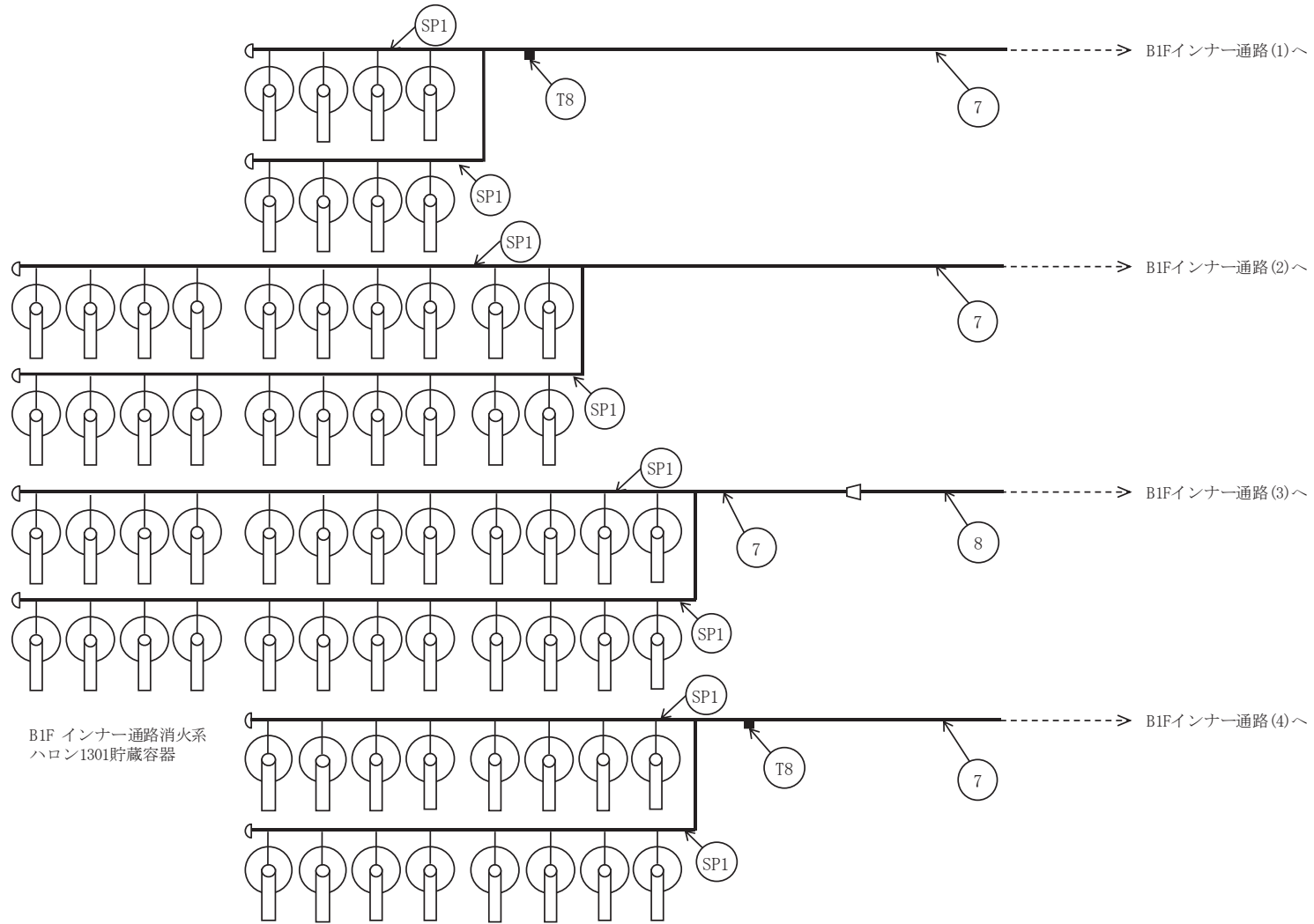








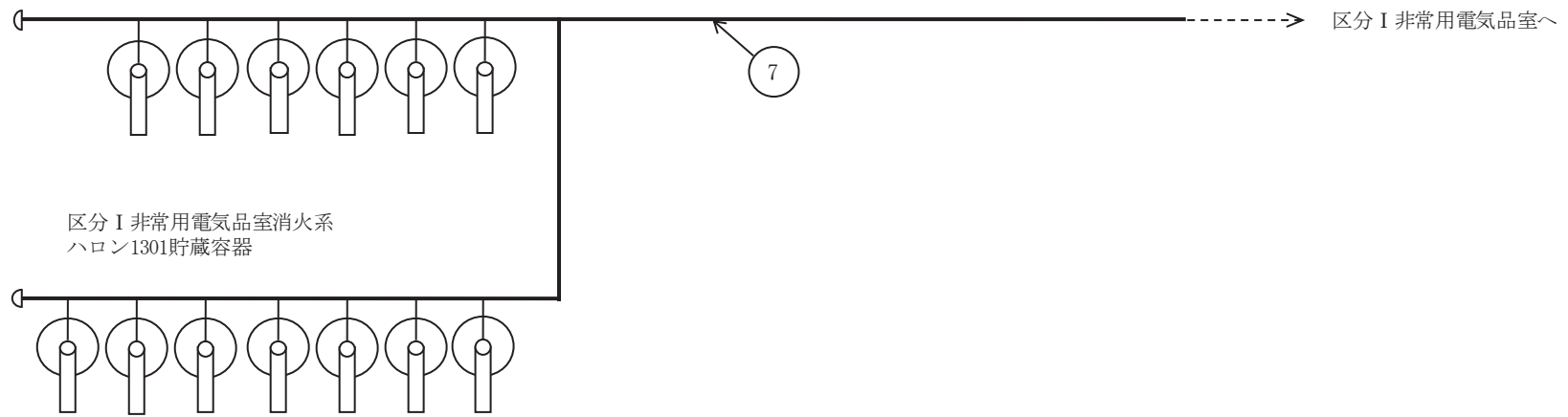
PLR-VVVF室／区分Ⅱ  
非常用電気品室消火系  
ハロン1301貯蔵容器

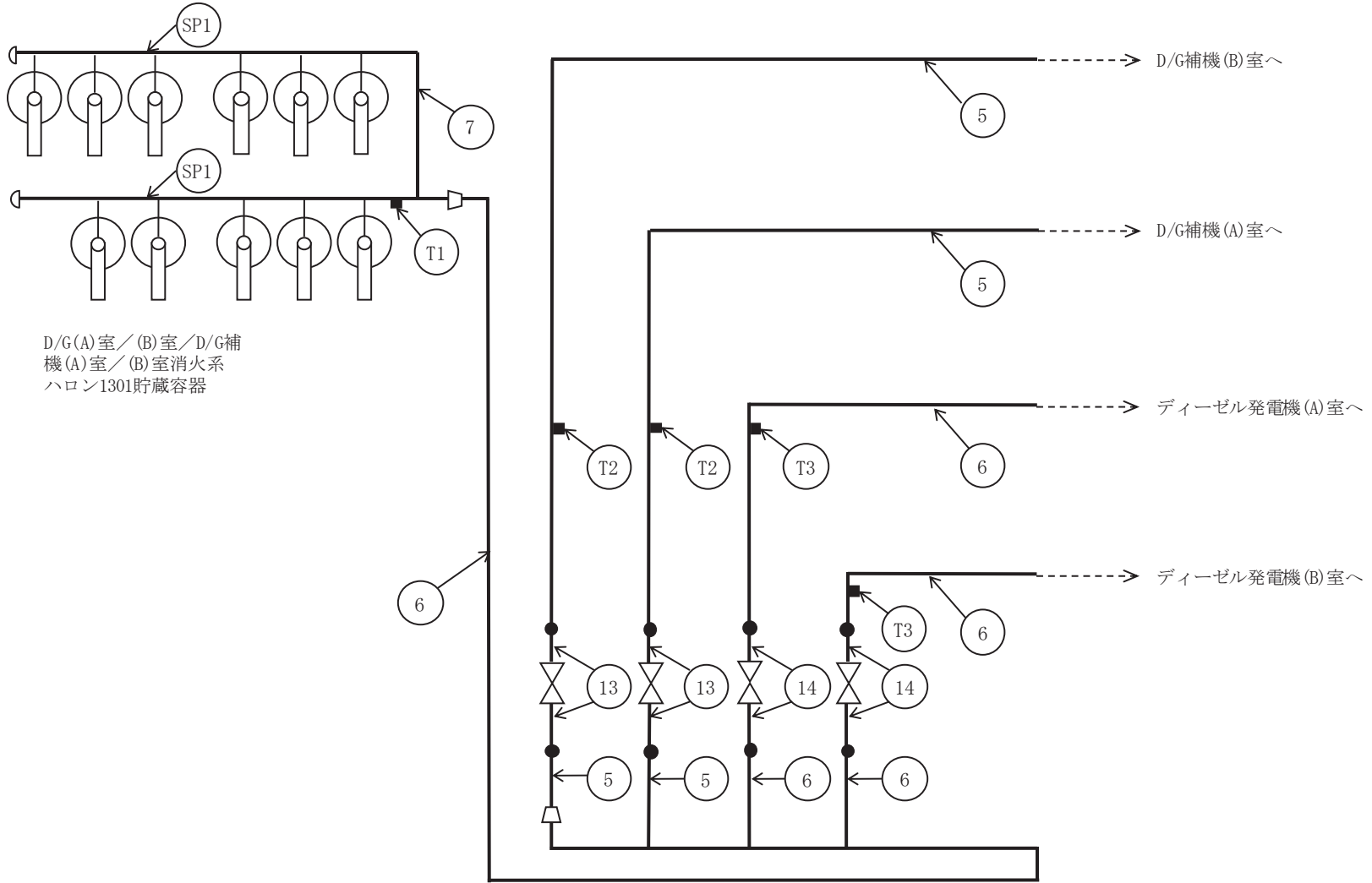




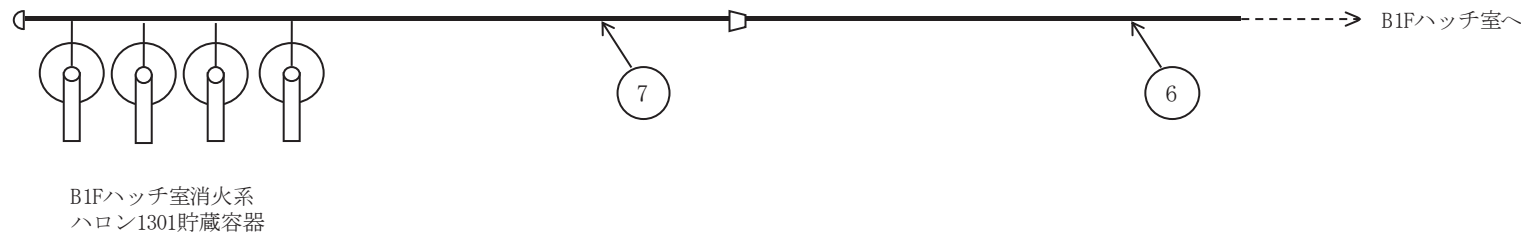


注記\* : 管継手

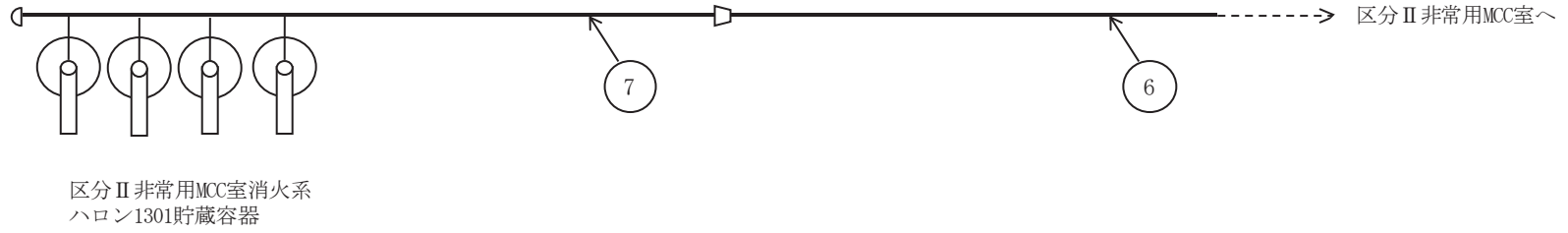




ハロンガス消火設備概略系統図 (その 15)









導電率計ラック室消火系  
ハロン1301貯蔵容器

注記\* : 管継手

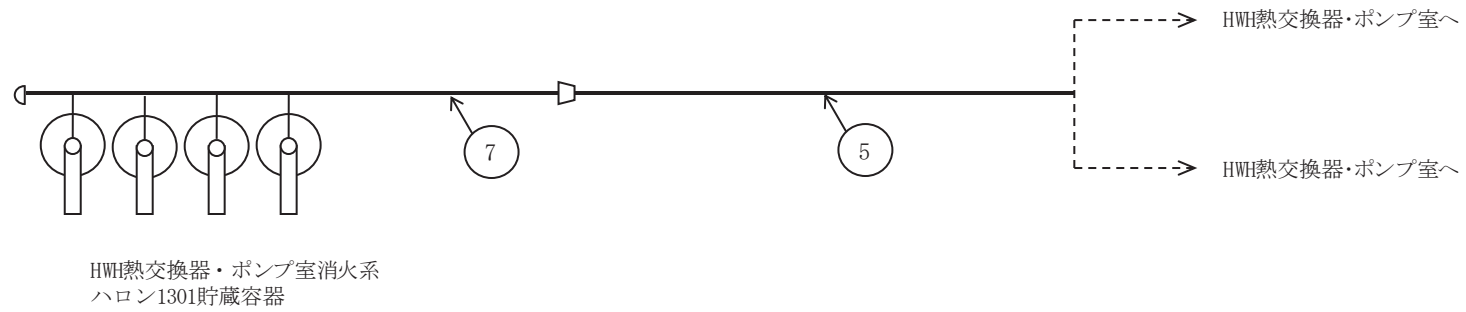
ハロンガス消火設備概略系統図 (その19)

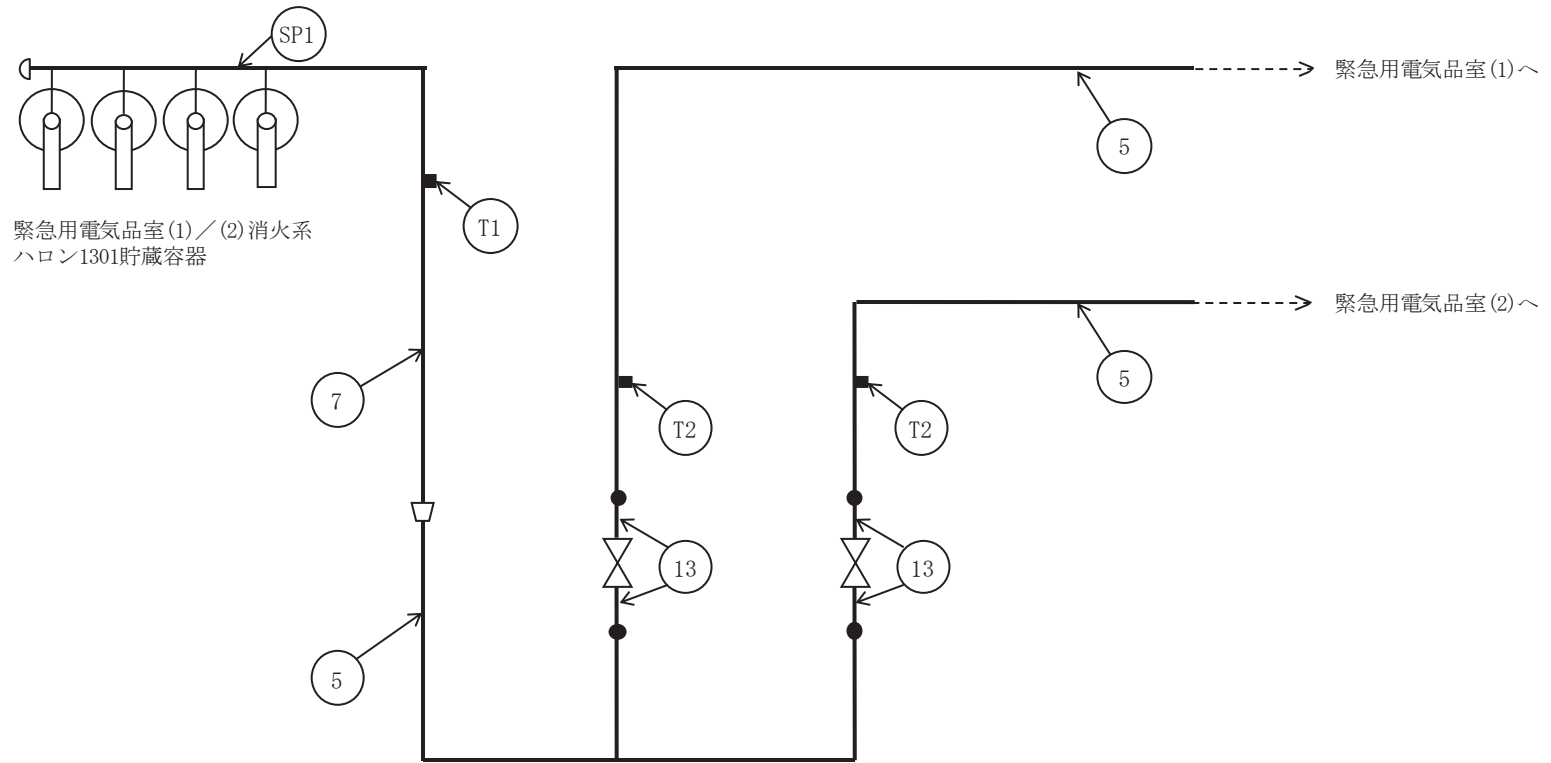


FPCポンプ(A)(B)室消火系  
ハロン1301貯蔵容器

注記\* : 管継手

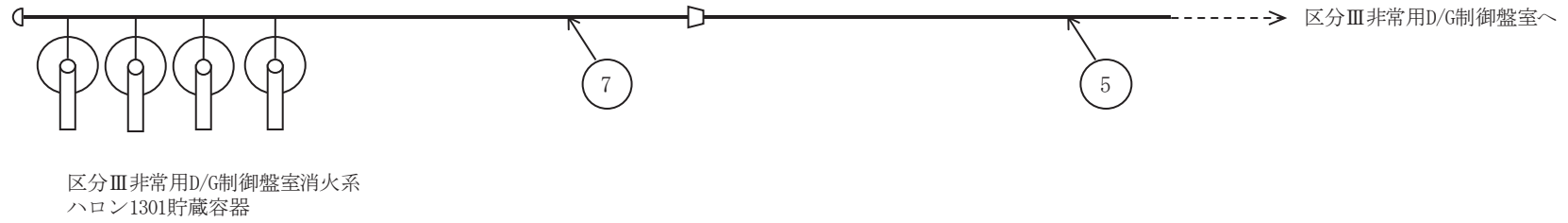


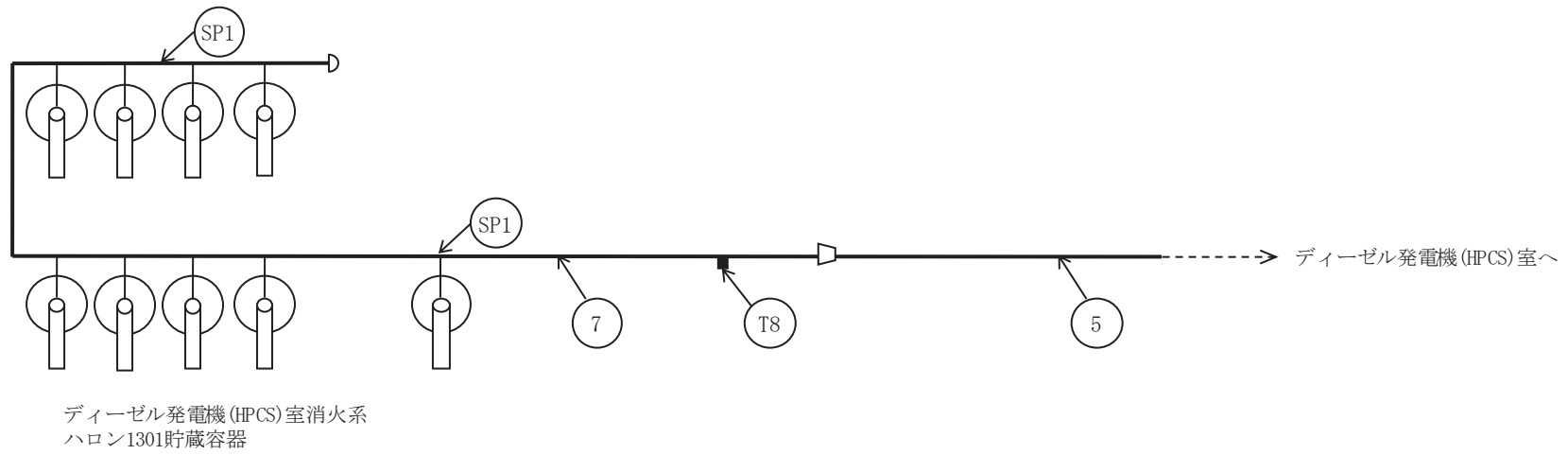


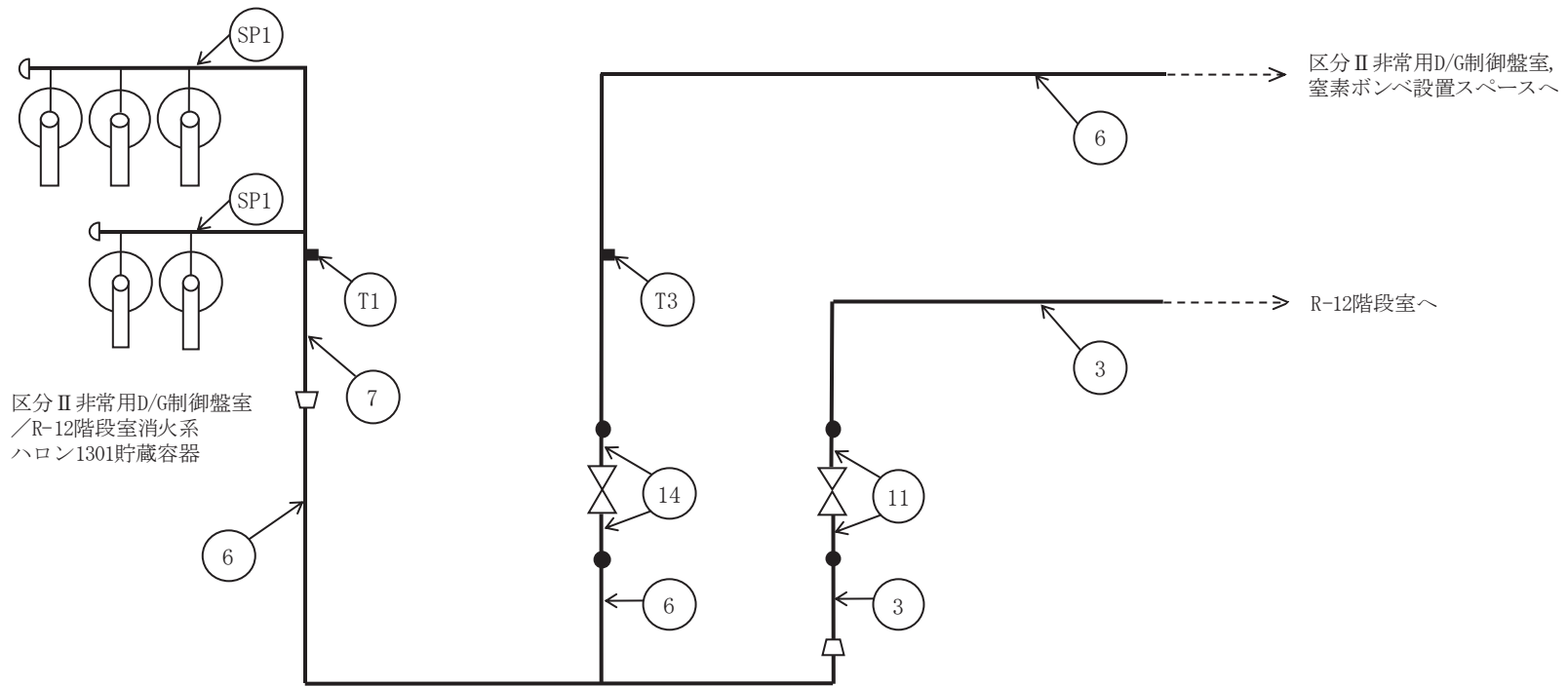


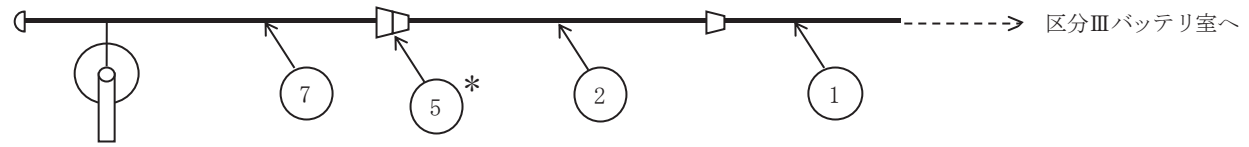


注記\*：管継手



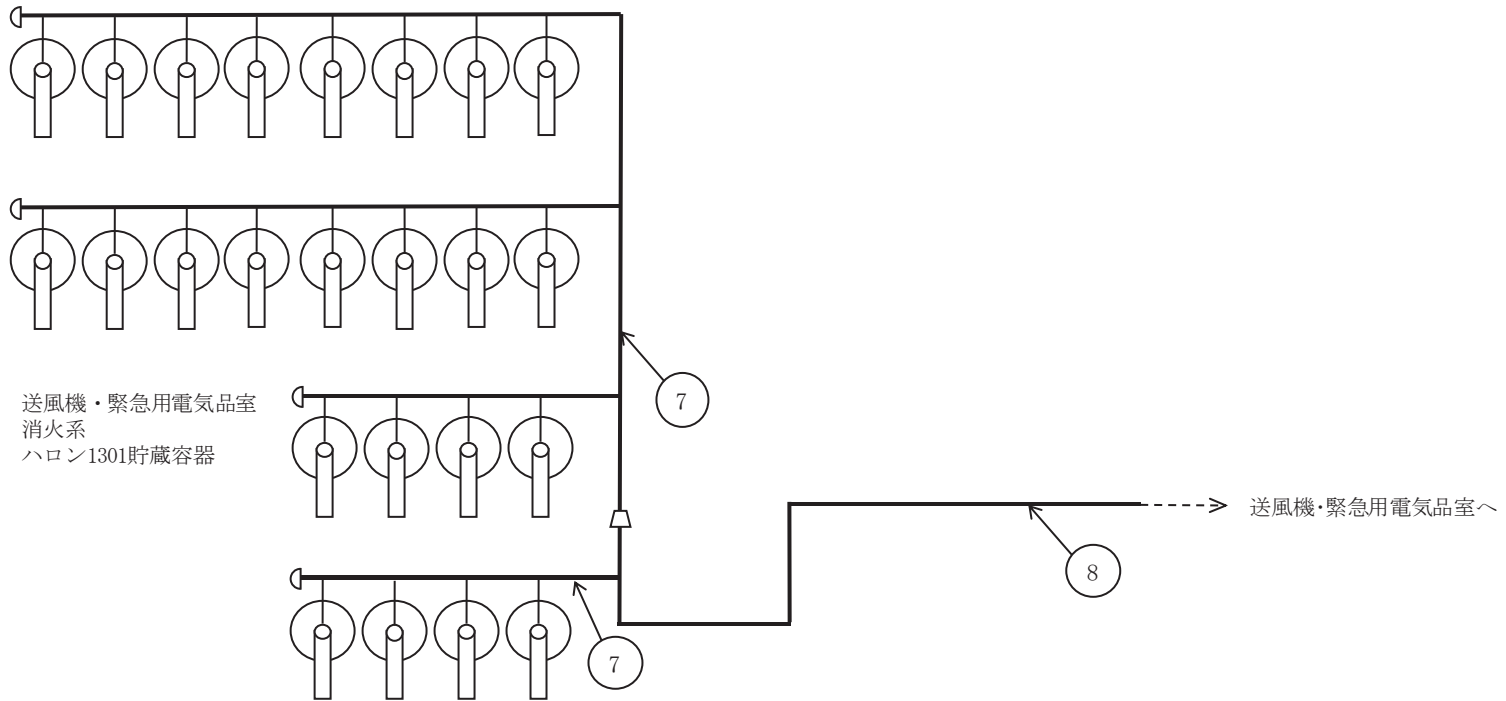






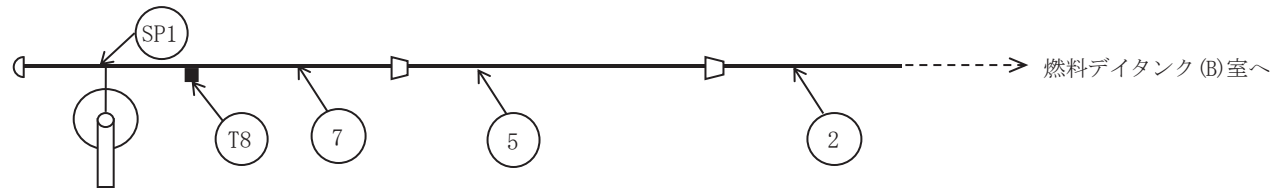
区分Ⅲバッテリー室消火系  
ハロン1301貯蔵容器

注記\*：管継手



ハロンガス消火設備概略系統図 (その 28)

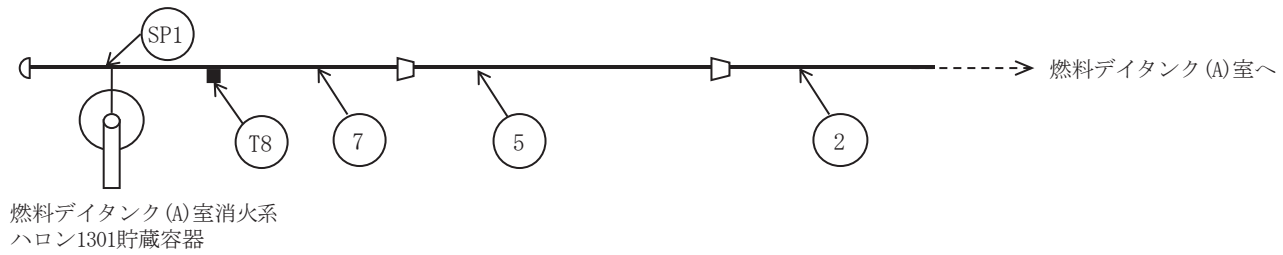


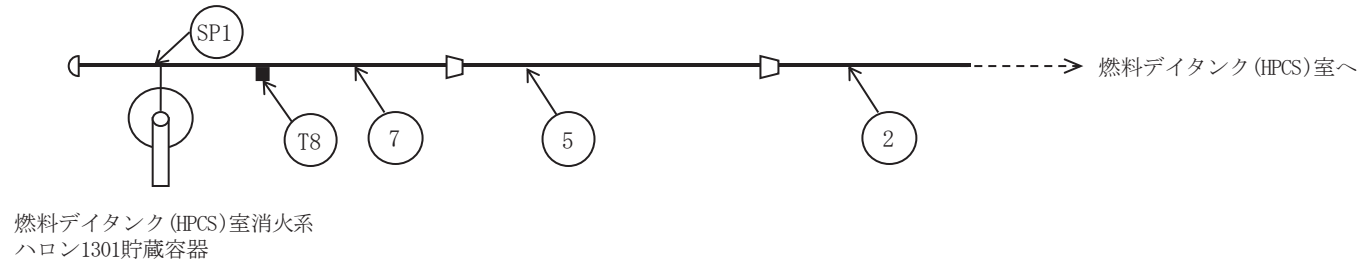


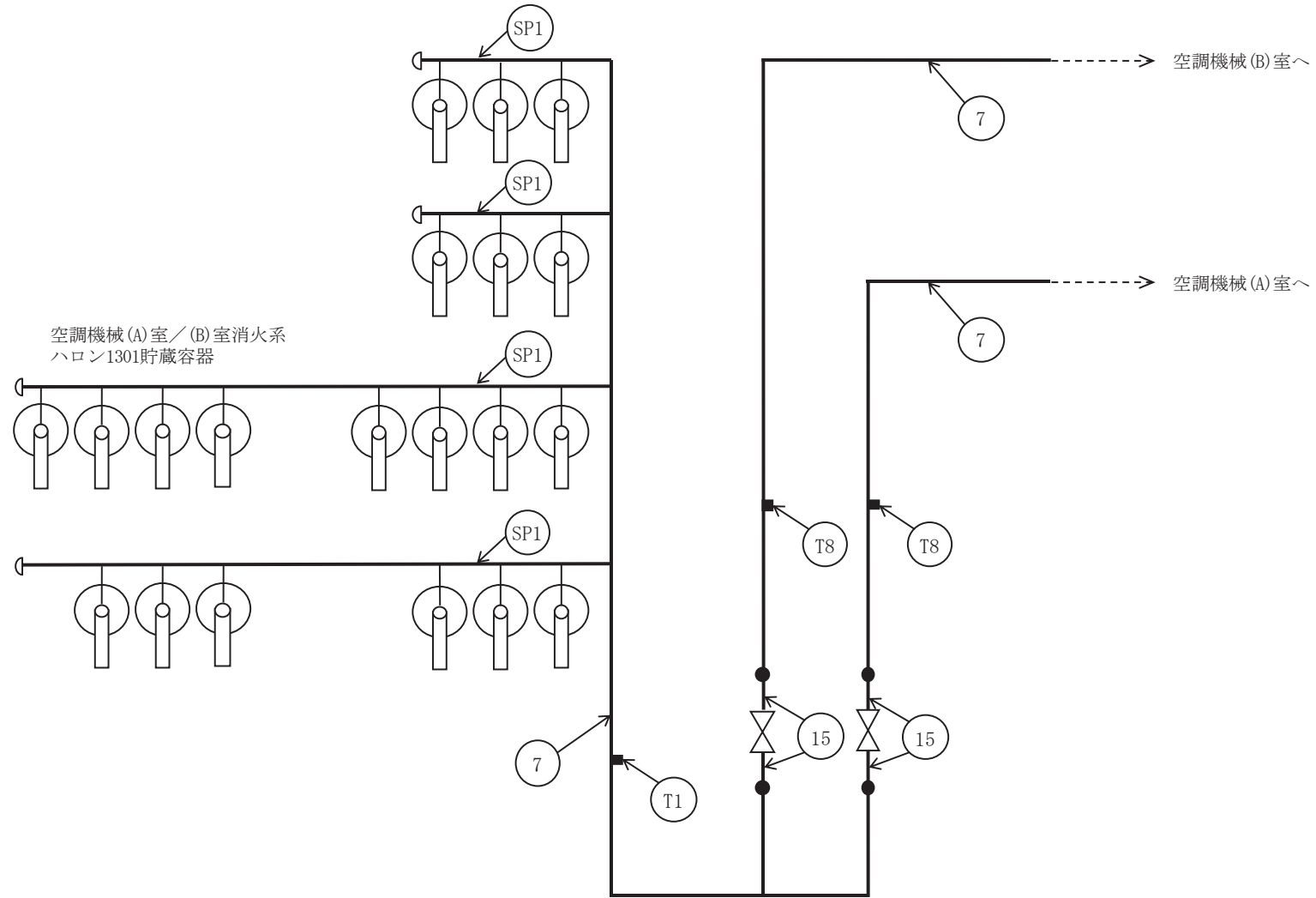
燃料デイトンク (B)室消火系  
ハロン1301貯蔵容器



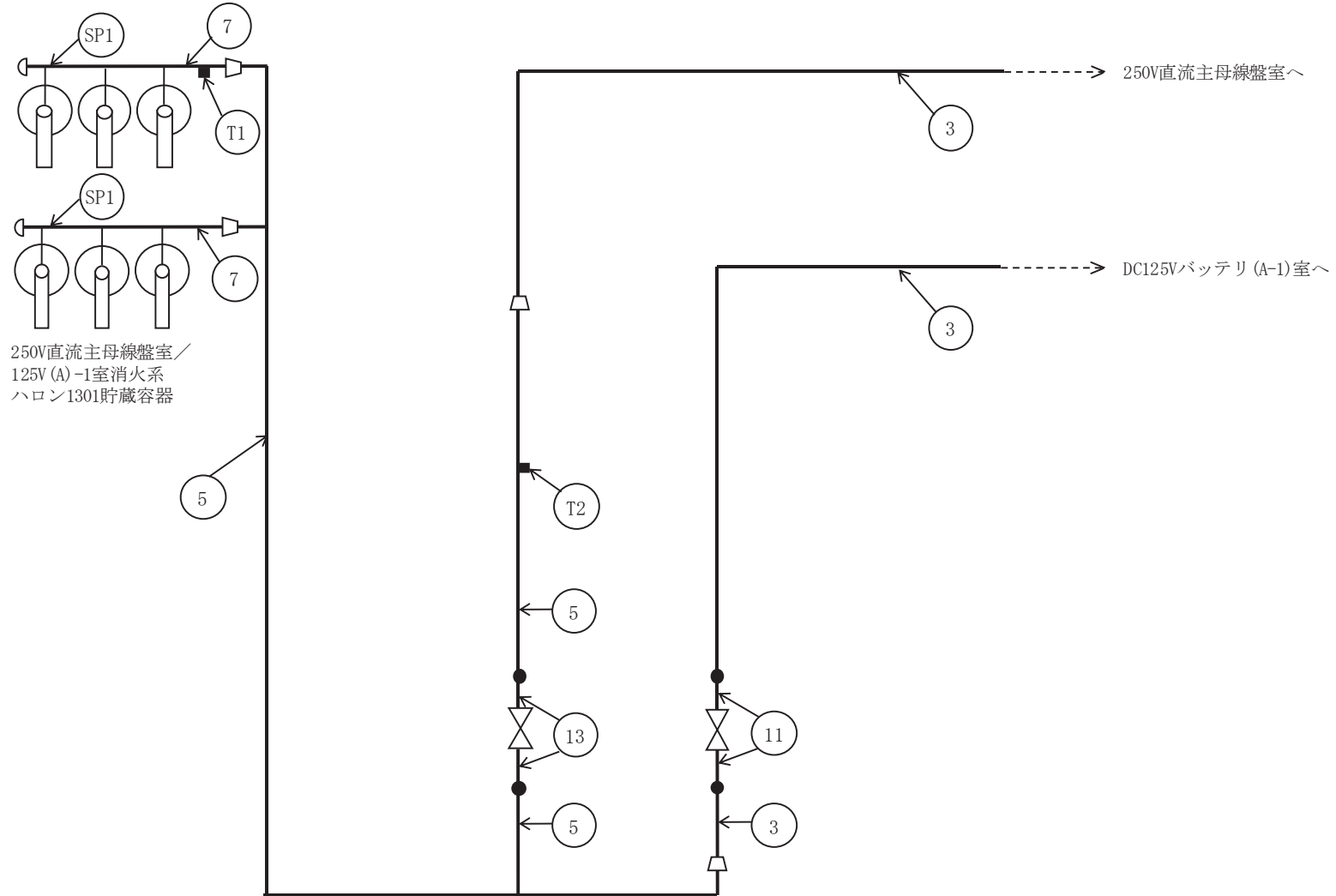


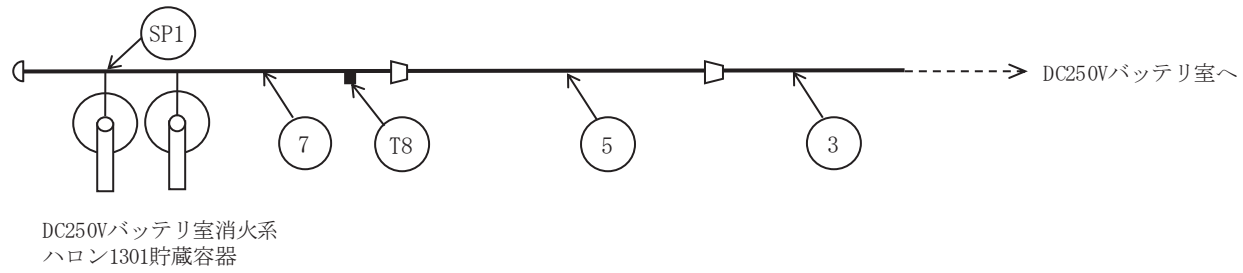




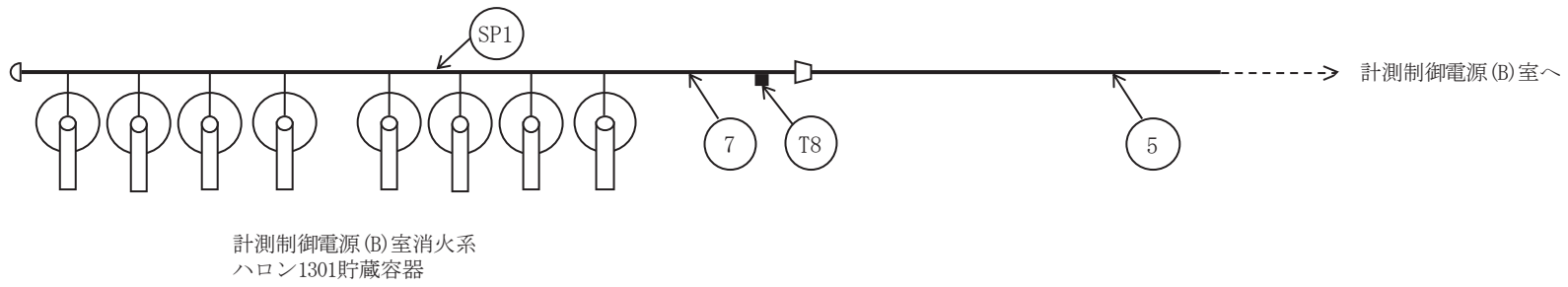


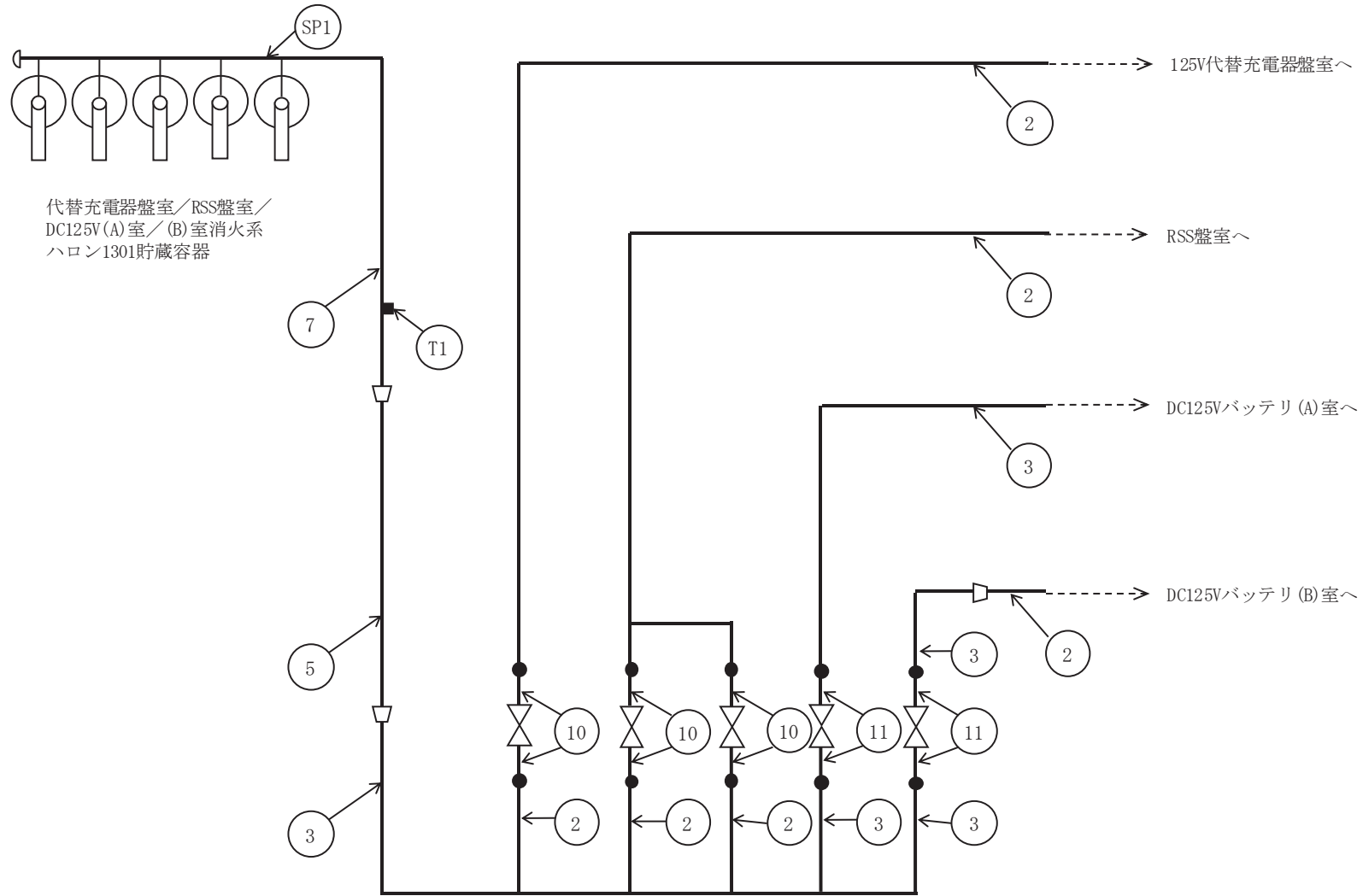
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 34)



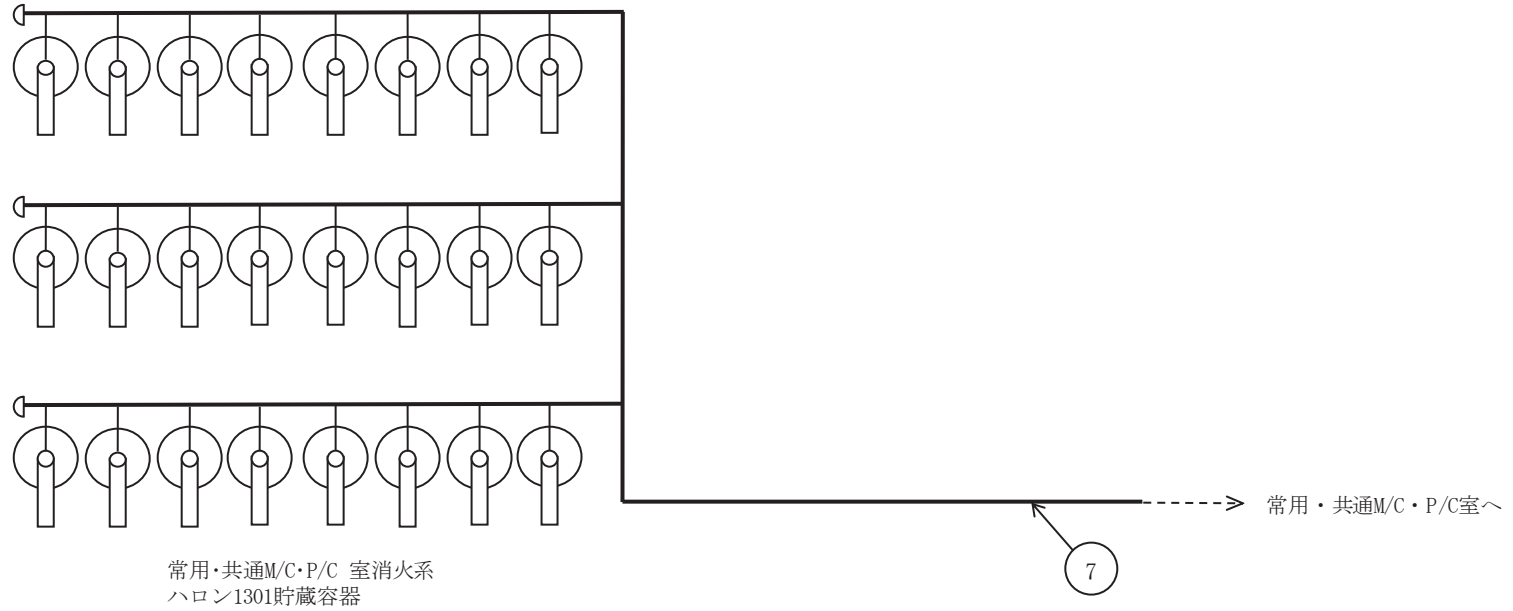


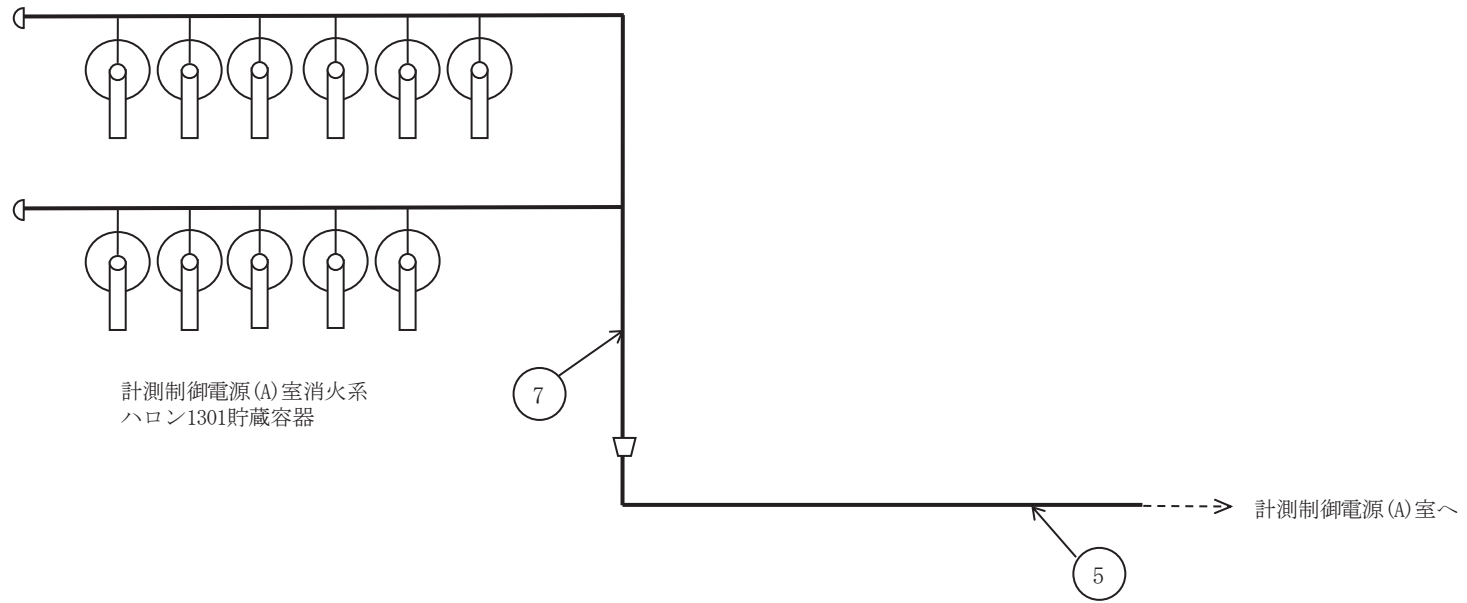


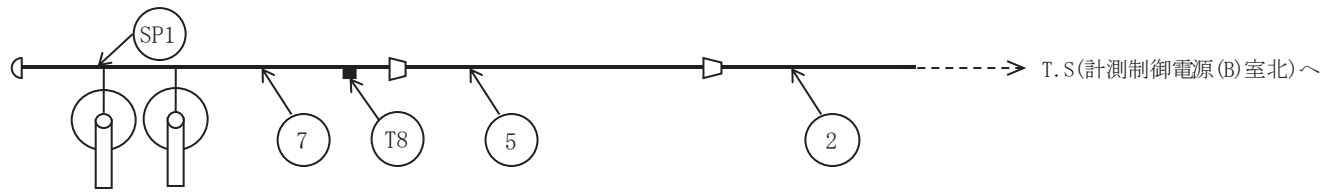




ハロンガス消火設備概略系統図 (その38)







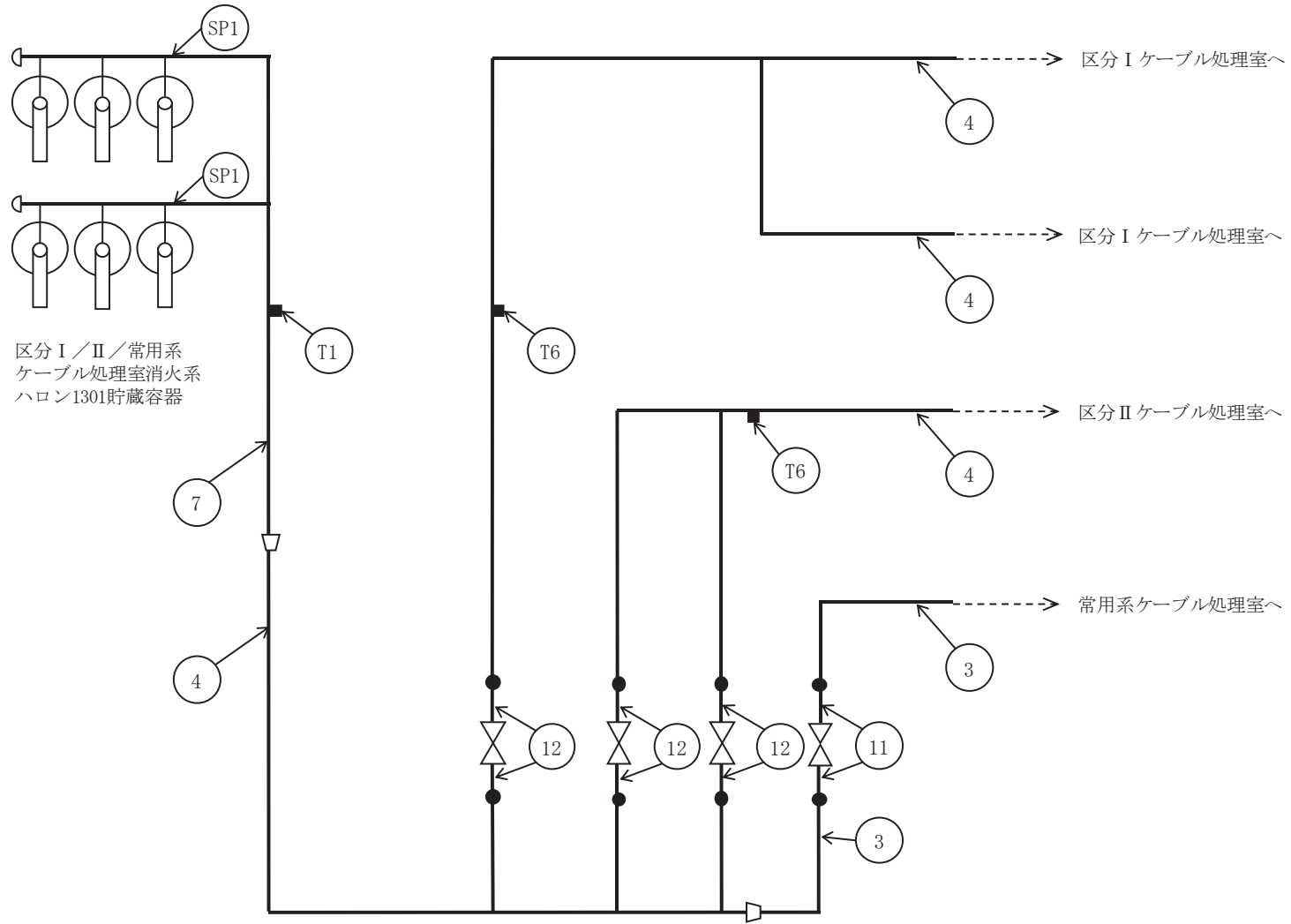
T.S(計測制御電源(B)室北)消火系  
ハロン1301貯蔵容器



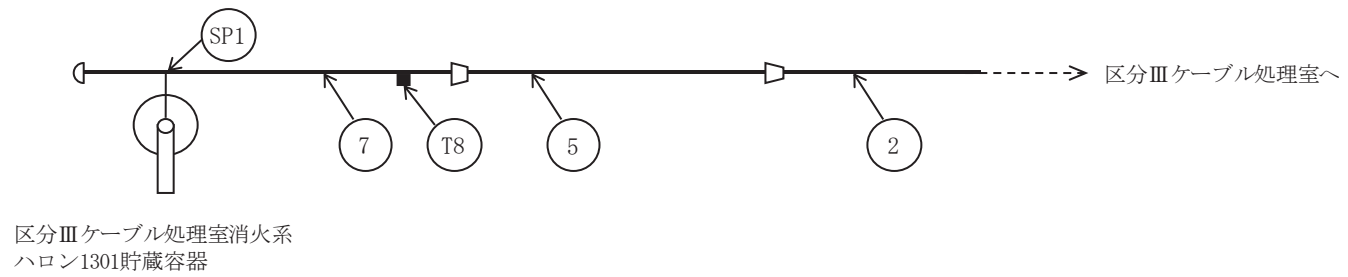
注記\* : 管継手

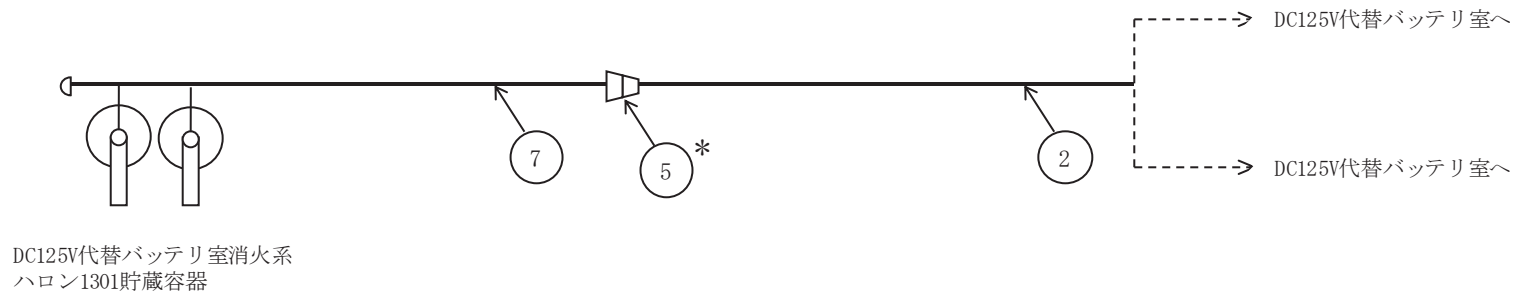


注記\* : 管継手

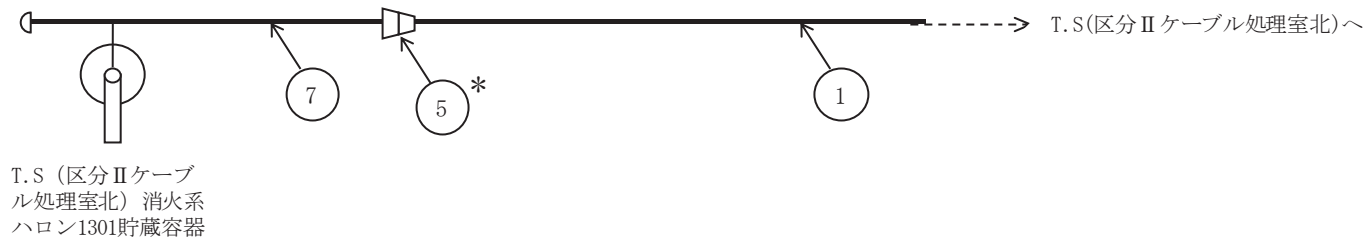




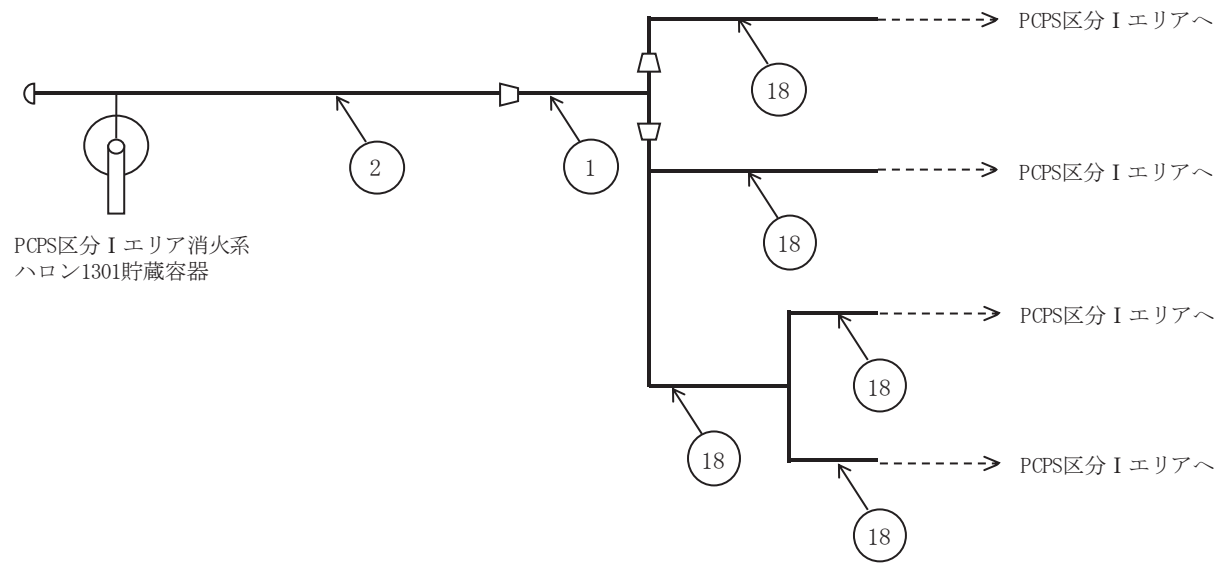


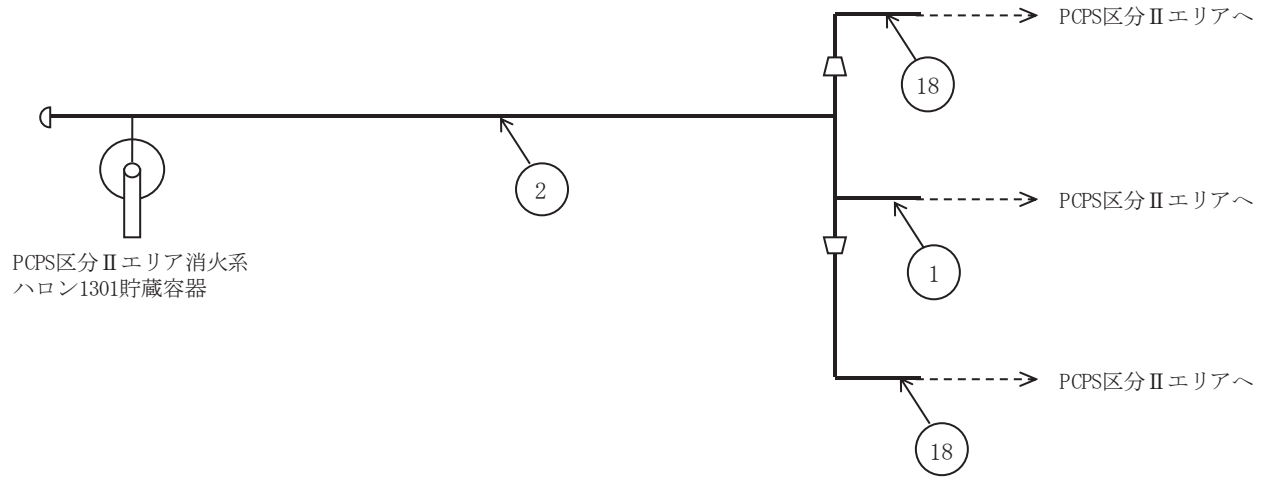


注記\*：管継手

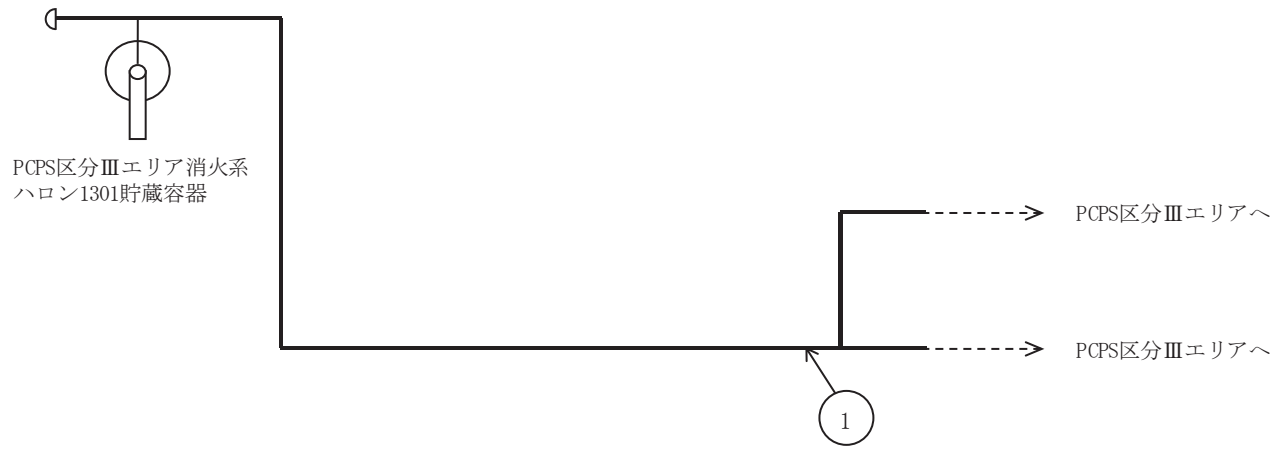


注記\* : 管継手





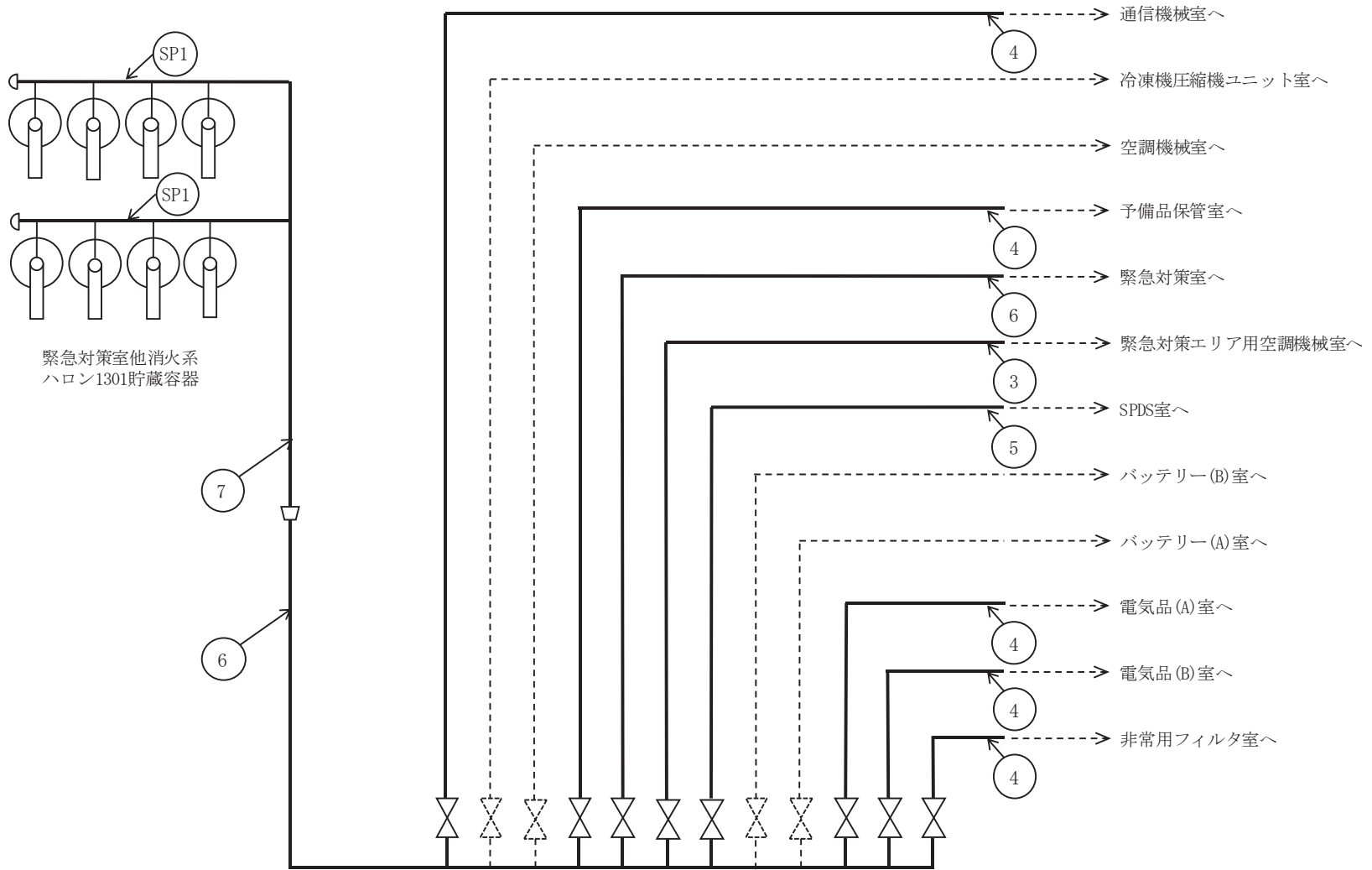
ハロンガス消火設備概略系統図 (その 49)





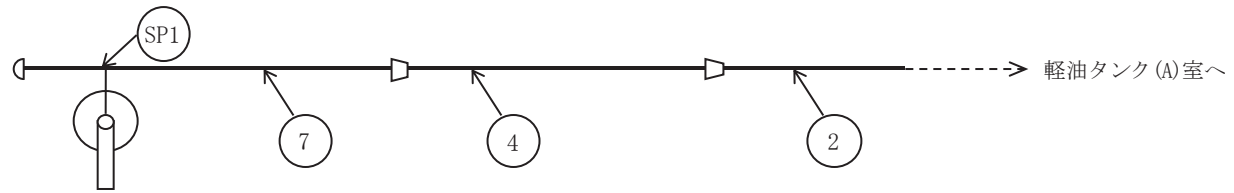
PCPS区分NONエリア消火系  
ハロン1301貯蔵容器



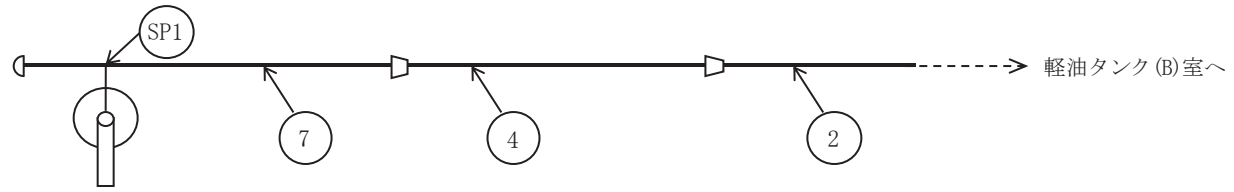


ハロンガス消火設備概略系統図 (その 52)

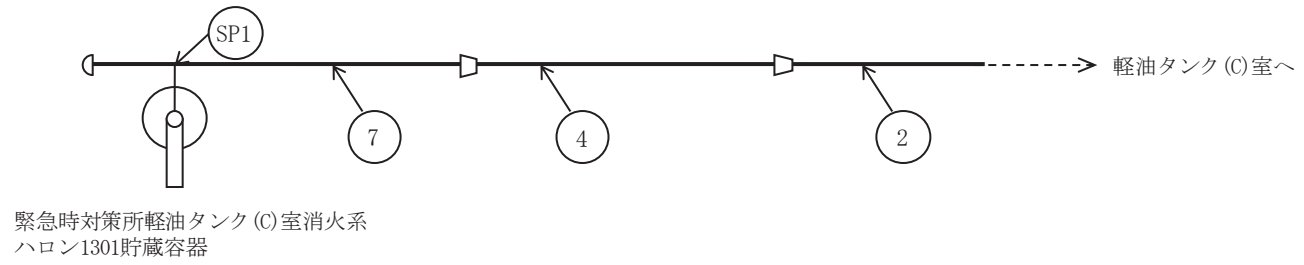


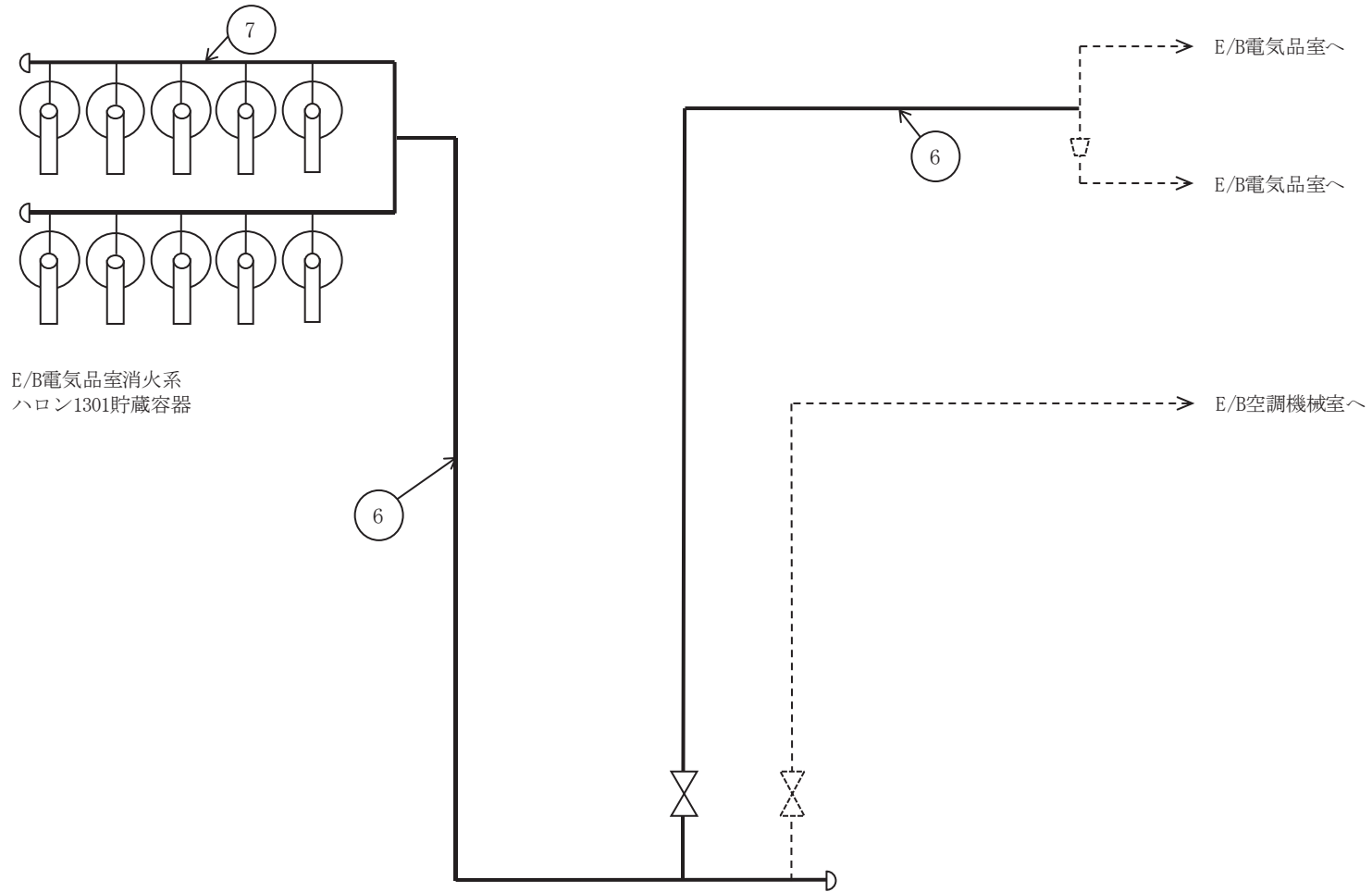


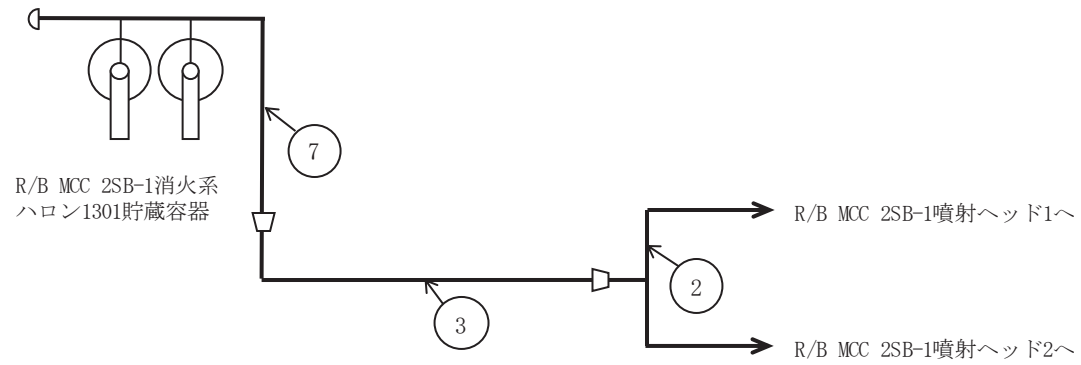
緊急時対策所軽油タンク (A)室消火系  
ハロン1301貯蔵容器

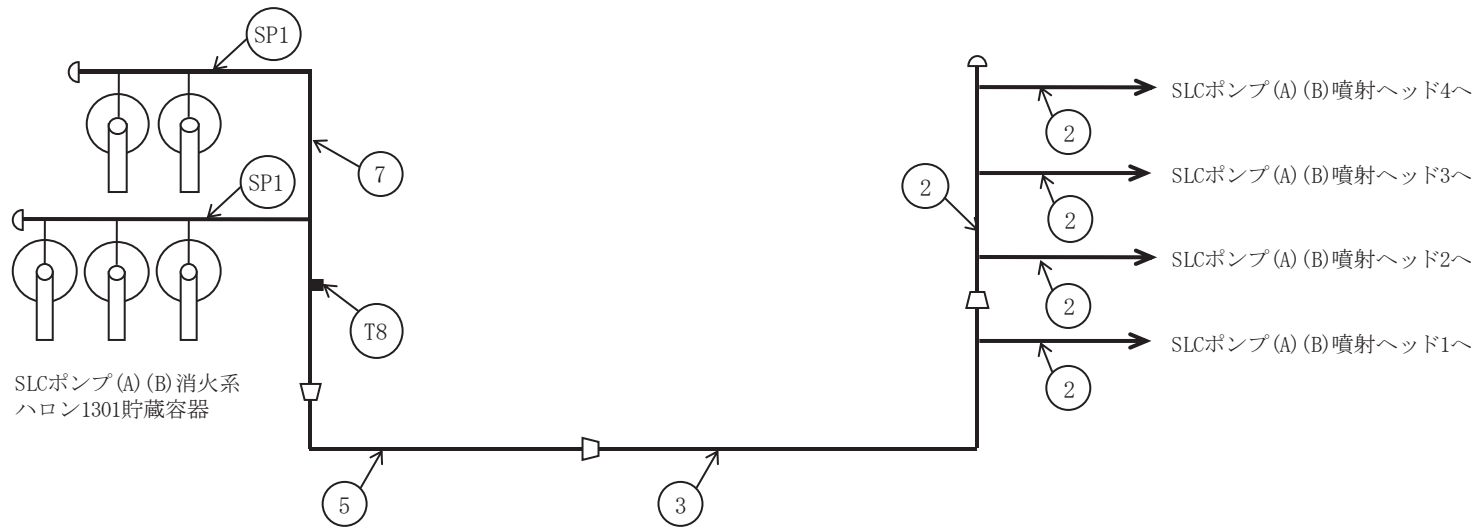


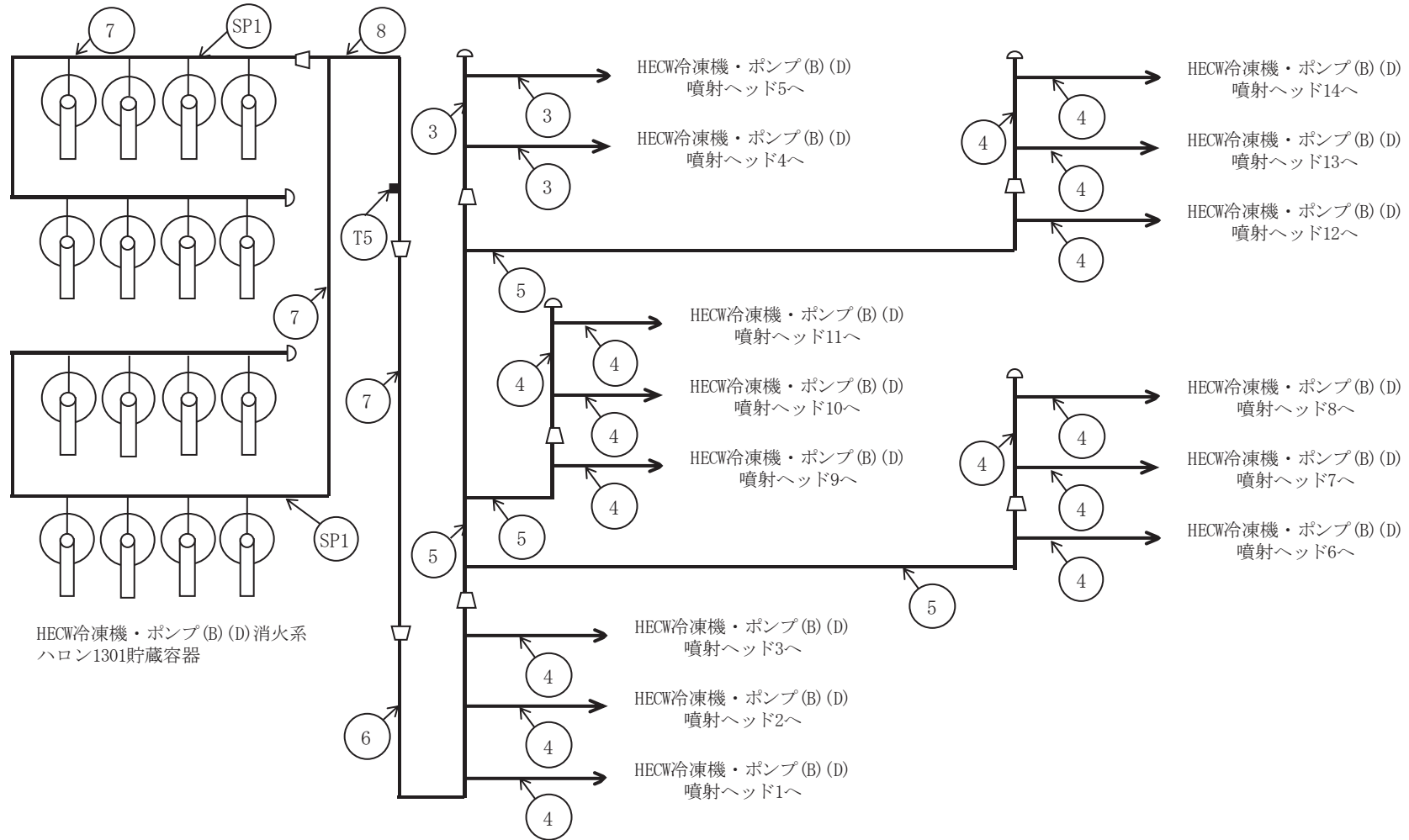
緊急時対策所軽油タンク (B)室消火系  
ハロン1301貯蔵容器











ハロンガス消火設備概略系統図 (その 59)

2.2 管の強度計算書 (クラス 3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	5.20	40	27.20	2.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.40	0.54	A	0.54
2	5.20	40	34.00	3.40	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.90	0.68	A	0.68
3	5.20	40	42.70	3.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.10	0.85	A	0.85
4	5.20	40	48.60	3.70	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.20	0.97	A	0.97
5	5.20	40	60.50	3.90	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	3.40	1.20	A	1.20
6	5.20	40	76.30	5.20	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5%	4.55	1.52	A	1.52
7	5.20	40	89.10	5.50	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5%	4.81	1.77	A	1.77
8	5.20	40	114.30	6.00	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5%	5.25	2.27	A	2.27
9	5.20	40	139.80	6.60	SUS304TP	S	3	129	1.00	12.5%	5.77	2.78	A	2.78

評価 :  $t_s \geq t_r$ , よって十分である。



NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
10	5.20	40	34.00	4.50	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	3.93	0.93	C	1.70
11	5.20	40	42.70	4.90	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	4.28	1.17	C	1.90
12	5.20	40	48.60	5.10	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	4.46	1.33	C	2.20
13	5.20	40	60.50	5.50	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	4.81	1.66	C	2.40
14	5.20	40	76.30	7.00	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	6.12	2.09	C	2.70
15	5.20	40	89.10	7.60	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	6.65	2.44	C	3.00
16	5.20	40	114.30	8.60	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	7.52	3.13	C	3.40
17	5.20	40	139.80	9.50	STPG370	S	3	93	1.00	12.5%	8.31	3.83	A	3.83
18	5.20	40	21.70	2.80	SUS304TP	S	3	129	1.00	0.50mm	2.30	0.43	A	0.43

評価：t<sub>s</sub> ≥ t<sub>r</sub>，よって十分である。

### 2.3 管の穴と補強計算書 (クラス3管)

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		SP1	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	89.10
	内径	$D_{ir}$ (mm)	78.10
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	5.50
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	4.81
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	42.70
	内径	$D_{ib}$ (mm)	26.00
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	8.35
穴の径	d (mm)	26.00	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	19.53	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	19.53	
K		0.4101	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	50.91	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	50.91	
評価: $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T1	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	89.10
	内径	$D_{ir}$ (mm)	78.10
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	5.50
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	4.81
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	22.50
	内径	$D_{ib}$ (mm)	14.30
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	4.10
穴の径	d (mm)	14.30	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	19.53	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	19.53	
K		0.4101	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	50.91	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	50.91	
評価: $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T2
形式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外径	$D_{or}$ (mm) 60.50
	内径	$D_{ir}$ (mm) 52.70
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 3.90
	厚さの負の許容差	$Q_r$ (mm) 0.50
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 3.40
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材料	SUS304
	外径	$D_{ob}$ (mm) 14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm) 7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 3.30
穴の径	d (mm)	7.80
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	13.18
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	13.18
K		0.3941
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	40.21
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	40.21
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。		

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T3
形式		A
最高使用圧力	P (MPa)	5.20
最高使用温度	(°C)	40
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90
主 管	材料	SUS304TP
	許容引張応力	$S_r$ (MPa) 129
	外径	$D_{or}$ (mm) 76.30
	内径	$D_{ir}$ (mm) 65.90
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm) 5.20
	厚さの負の許容差	$Q_r$ 12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm) 4.55
	継手効率	$\eta$ 1.00
管 台	材料	SUS304
	外径	$D_{ob}$ (mm) 14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm) 7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm) 3.30
穴の径	d (mm)	7.80
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	16.48
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	16.48
K		0.3714
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	48.47
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	48.47
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。		

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T4	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	114.30
	内径	$D_{ir}$ (mm)	102.30
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	6.00
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	5.25
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	22.50
	内径	$D_{ib}$ (mm)	14.30
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	4.10
穴の径	d (mm)	14.30	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	25.58	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	25.58	
K		0.4822	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	54.52	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	54.52	
評価: $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T5	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	114.30
	内径	$D_{ir}$ (mm)	102.30
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	6.00
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	5.25
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm)	7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	3.30
穴の径	d (mm)	7.80	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	25.58	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	25.58	
K		0.4822	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	54.52	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	54.52	
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

NO.		T6	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	48.60
	内径	$D_{ir}$ (mm)	41.20
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	3.70
	厚さの負の許容差	$Q_r$ (mm)	0.50
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	3.20
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm)	7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	3.30
穴の径	d (mm)	7.80	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	10.30	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	10.30	
K		0.3364	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	37.76	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	37.76	
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			



設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

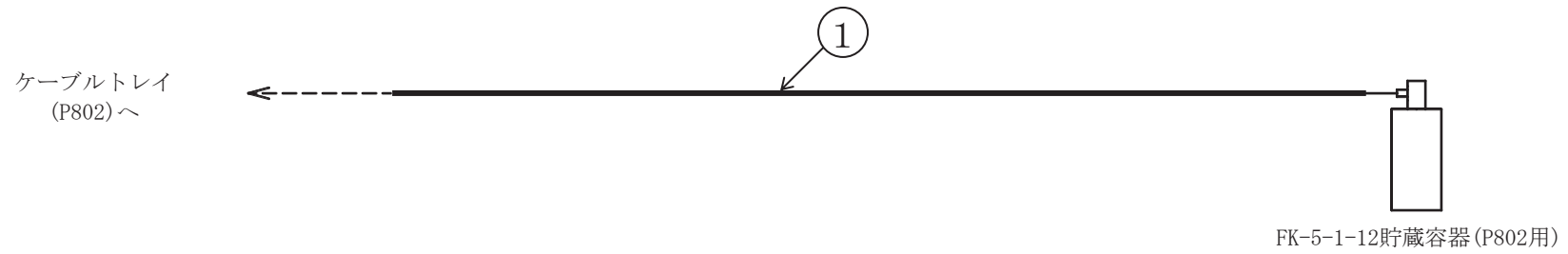
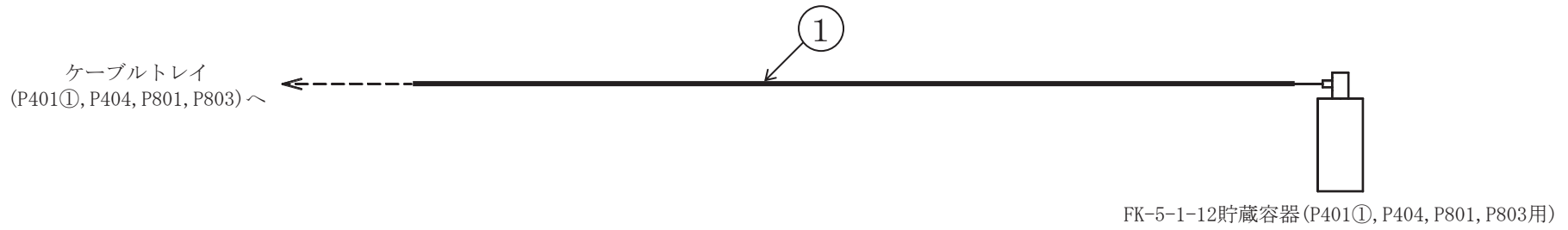
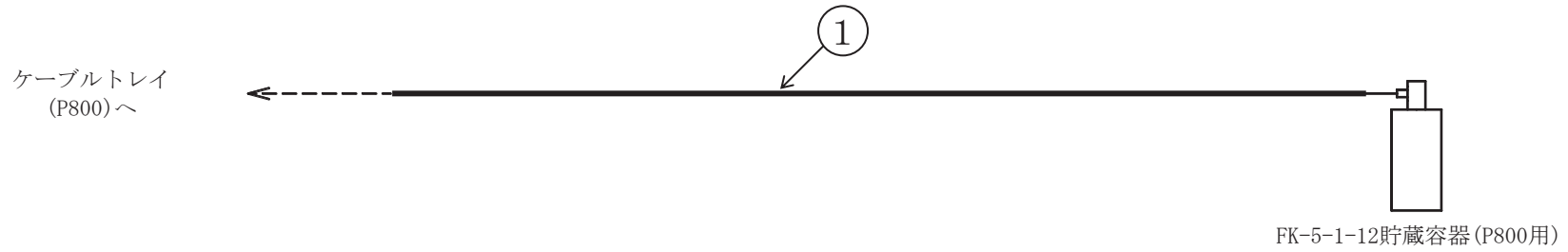
NO.		T7	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	139.80
	内径	$D_{ir}$ (mm)	126.60
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	6.60
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	5.77
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm)	7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	3.30
穴の径	d (mm)	7.80	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	31.65	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	31.65	
K		0.5362	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	58.02	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	58.02	
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

設計・建設規格 PPD-3420, PPD-3422

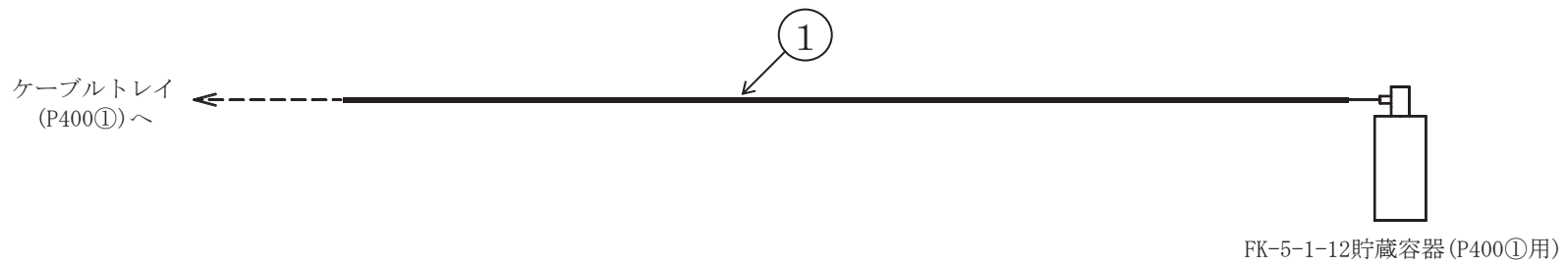
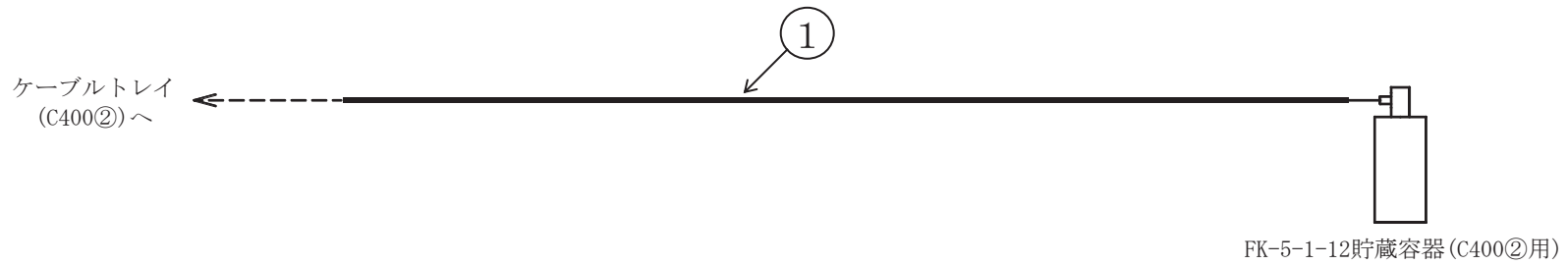
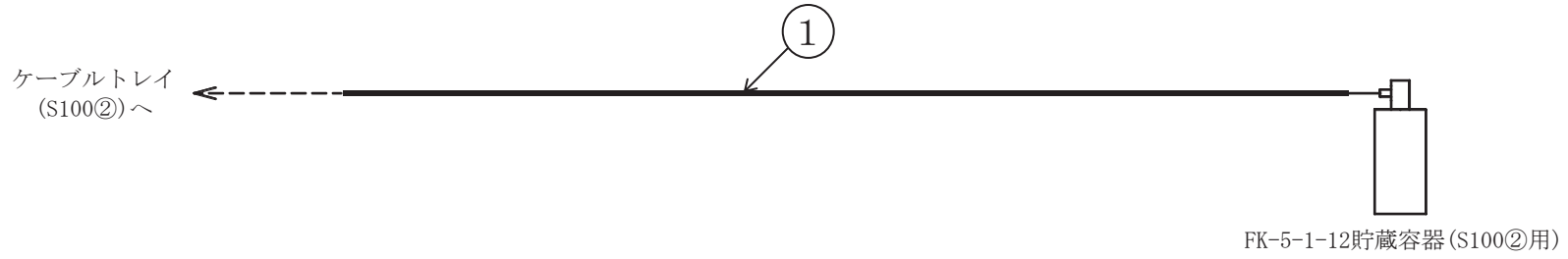
NO.		T8	
形式		A	
最高使用圧力	P (MPa)	5.20	
最高使用温度	(°C)	40	
主管と管台の角度	$\alpha$ (°)	90	
主 管	材料	SUS304TP	
	許容引張応力	$S_r$ (MPa)	129
	外径	$D_{or}$ (mm)	89.10
	内径	$D_{ir}$ (mm)	78.10
	公称厚さ	$t_{ro}$ (mm)	5.50
	厚さの負の許容差	$Q_r$	12.5%
	最小厚さ	$t_r$ (mm)	4.81
	継手効率	$\eta$	1.00
管 台	材料	SUS304	
	外径	$D_{ob}$ (mm)	14.40
	内径	$D_{ib}$ (mm)	7.80
	公称厚さ	$t_{bn}$ (mm)	3.30
穴の径	d (mm)	7.80	
$d_{r1} = D_{ir} / 4$	(mm)	19.53	
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	19.53	
K		0.4101	
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	50.91	
補強不要な穴の最大径	$d_{fr}$ (mm)	50.91	
評価： $d \leq d_{fr}$ よって管の穴の補強計算は必要ない。			

3. ケーブルトレイ消火設備

3.1 概略系統図

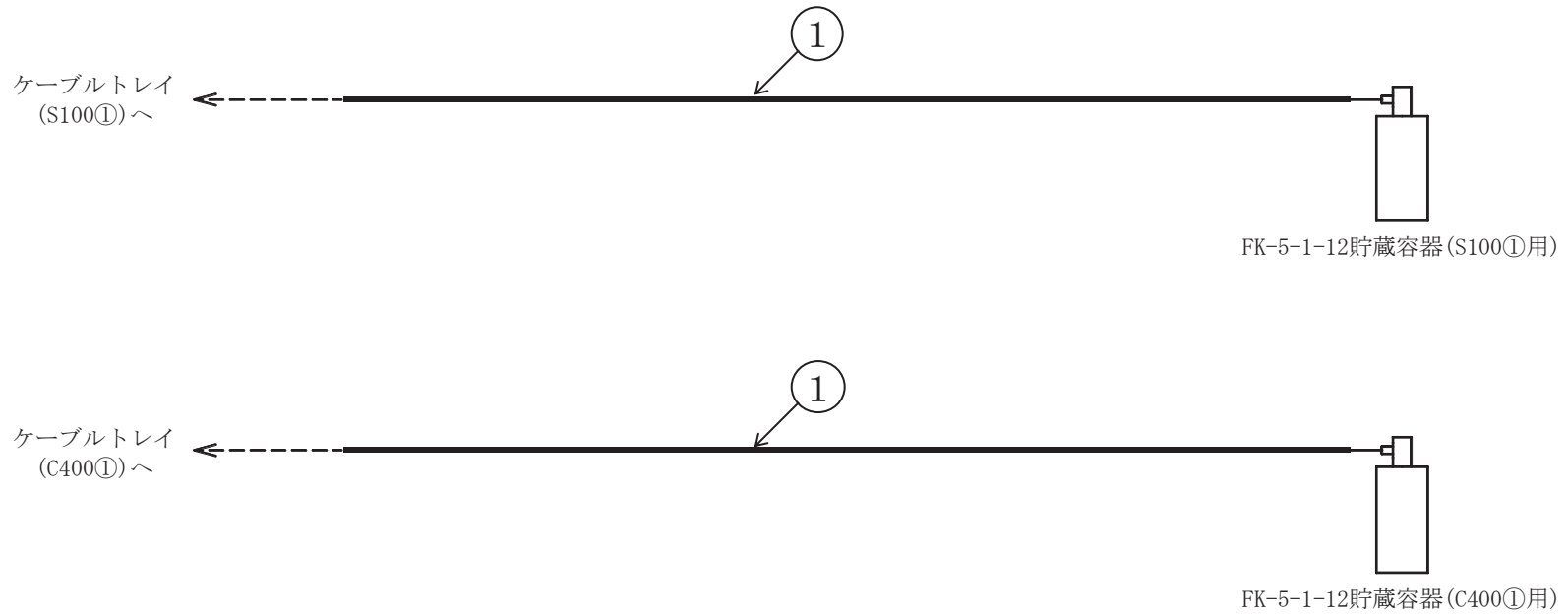


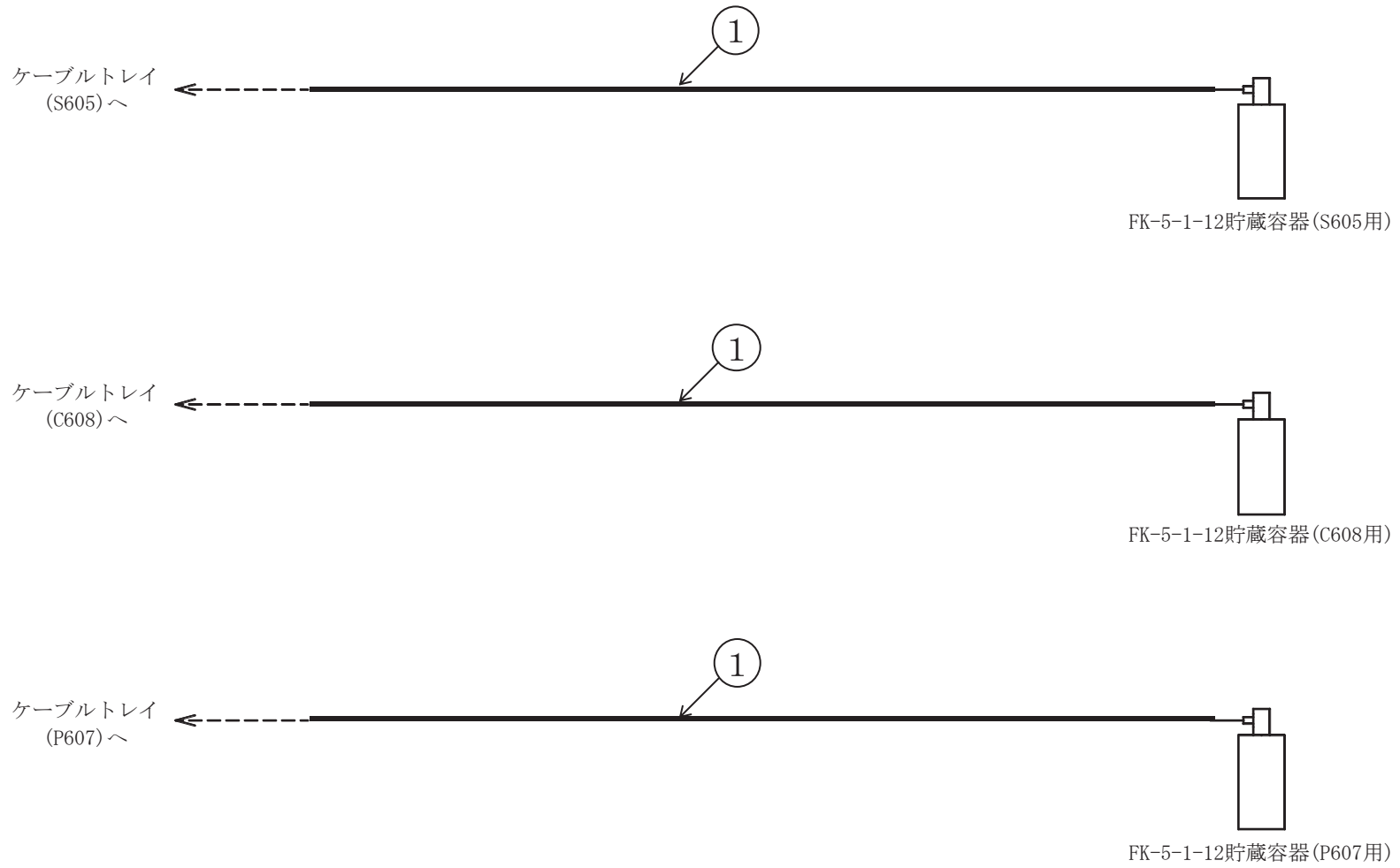
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 1)



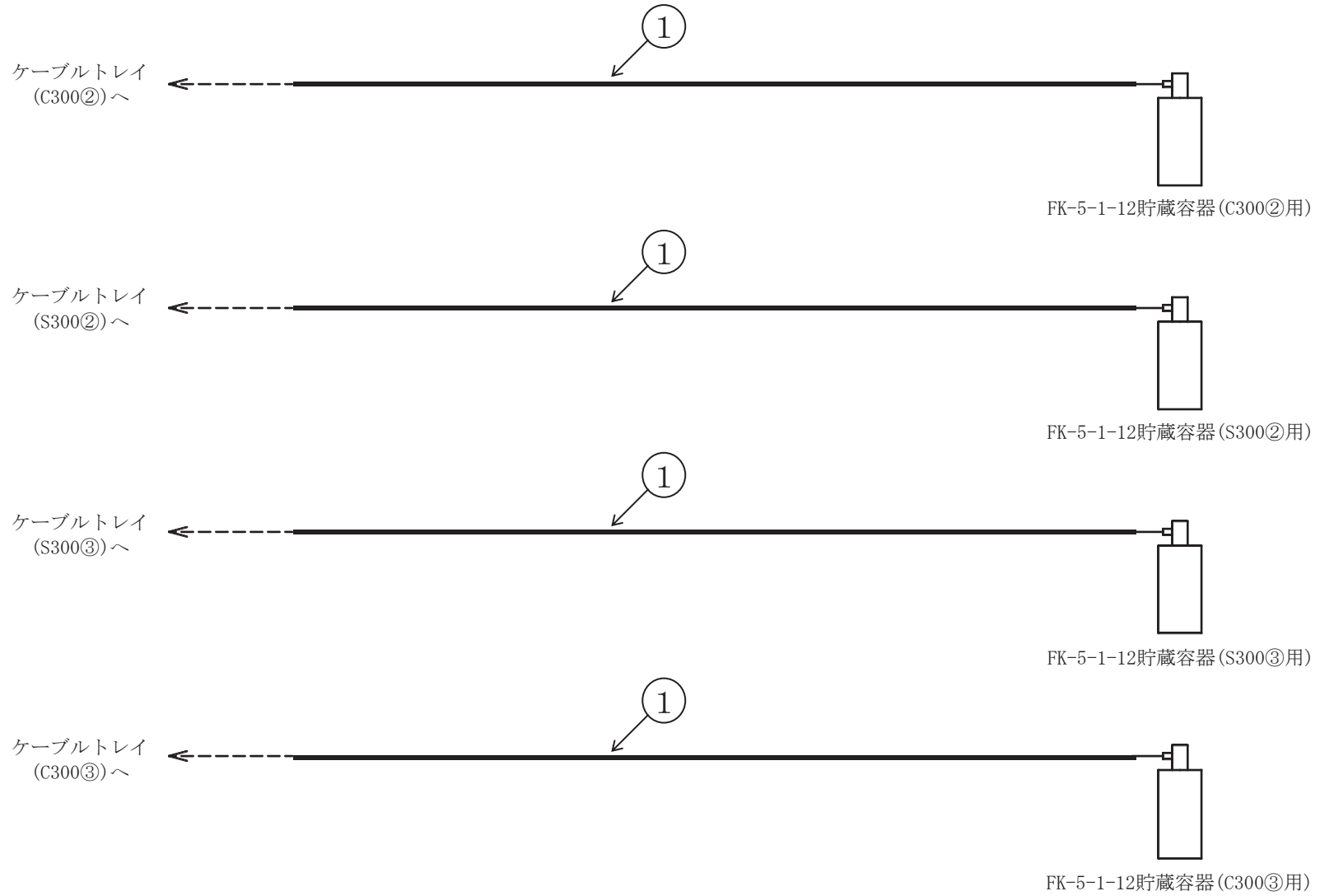
79

ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 2)

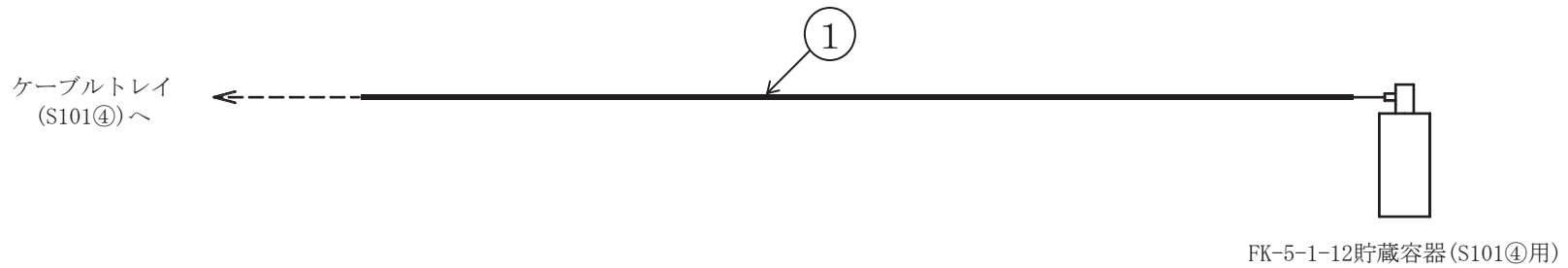
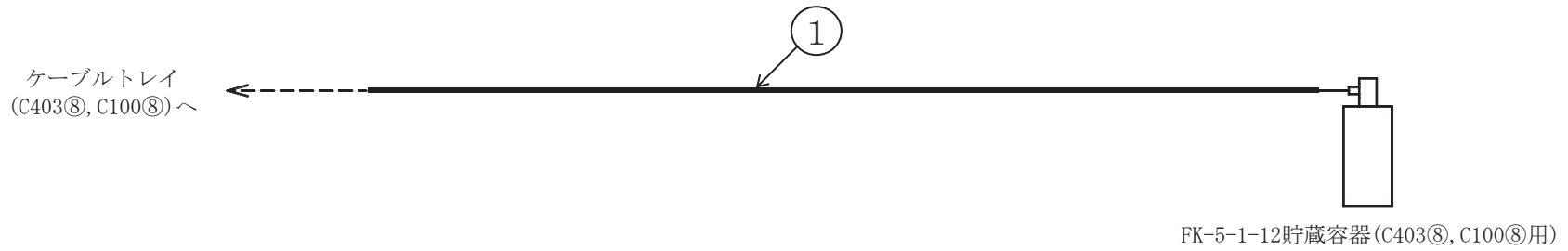
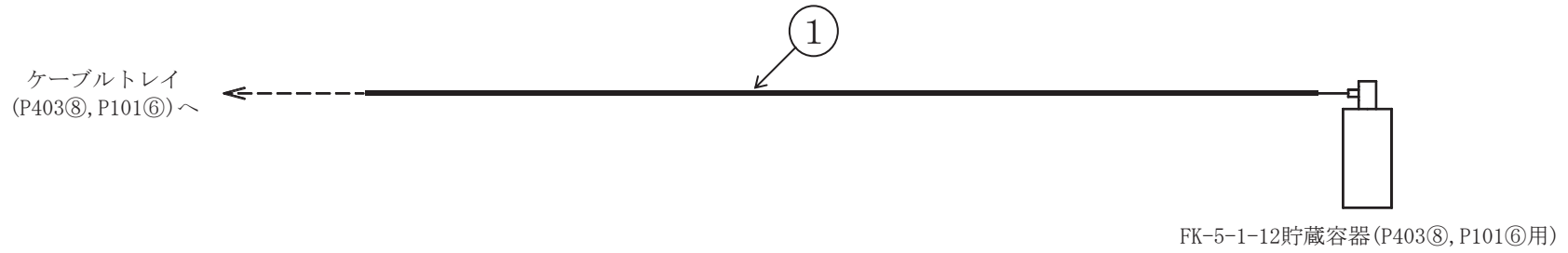




ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 4)

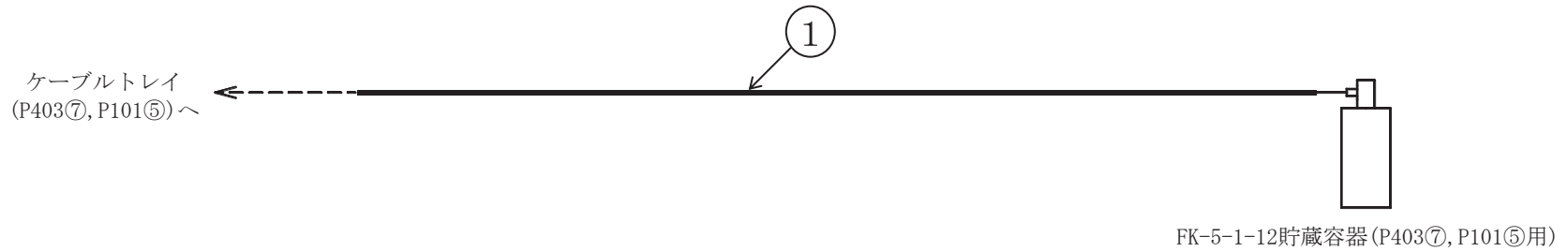
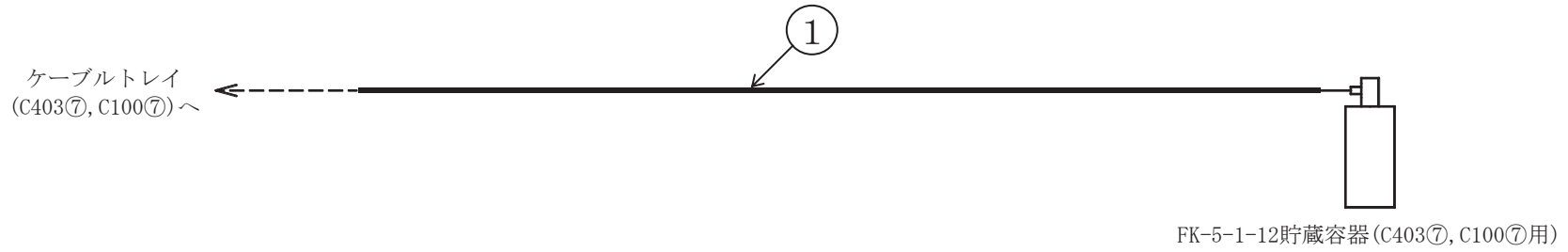
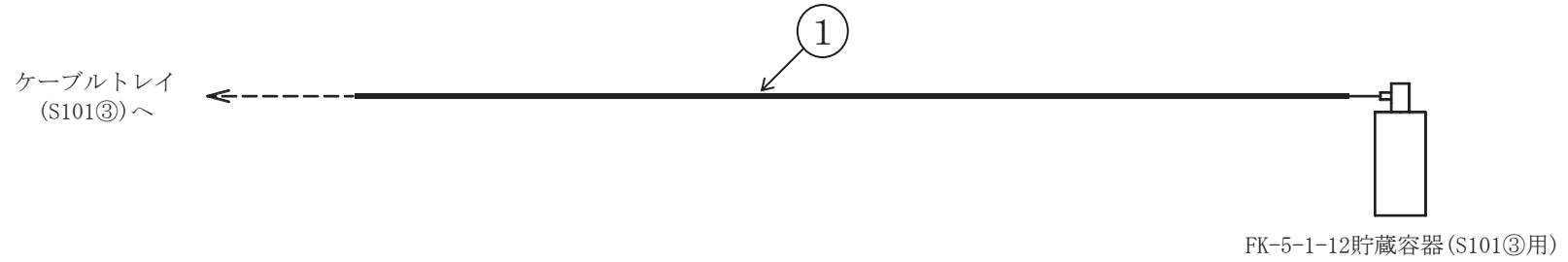


ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 5)

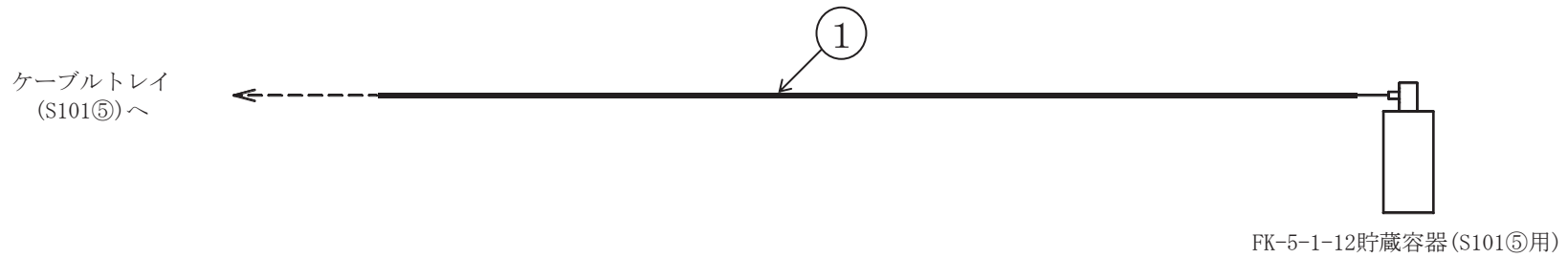
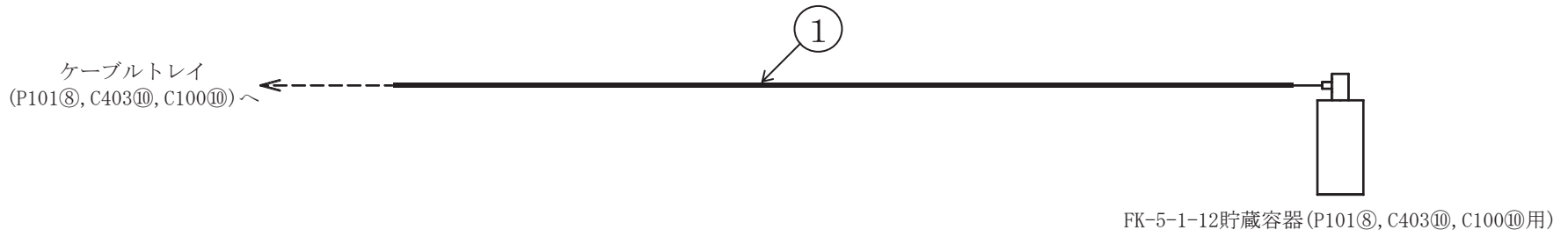
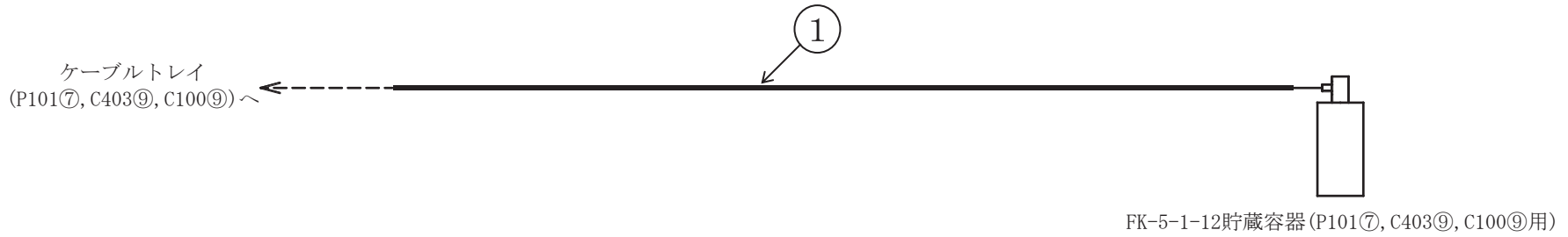


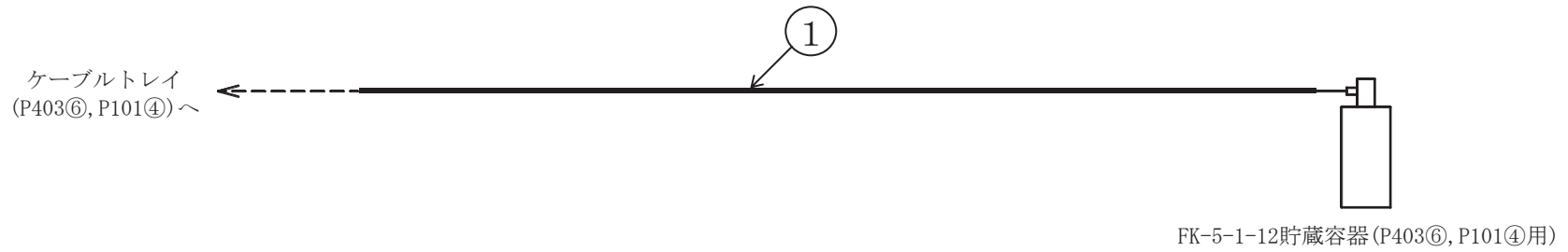
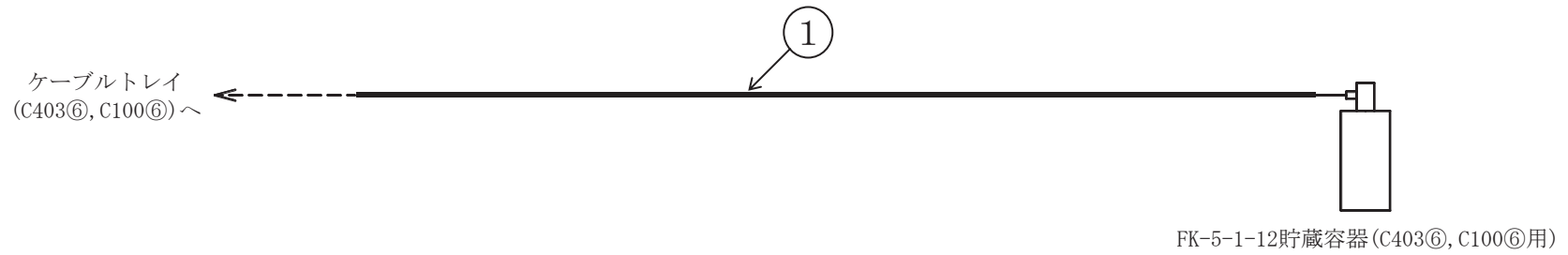
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 6)



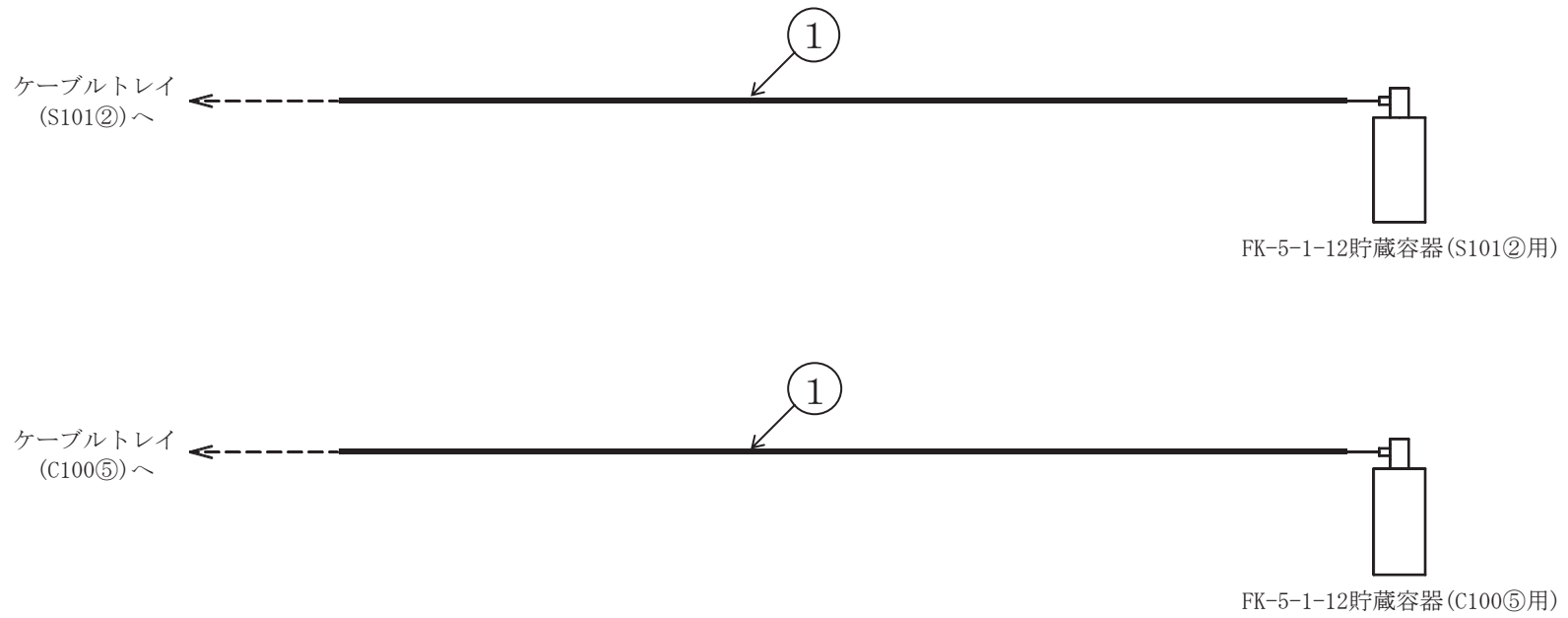


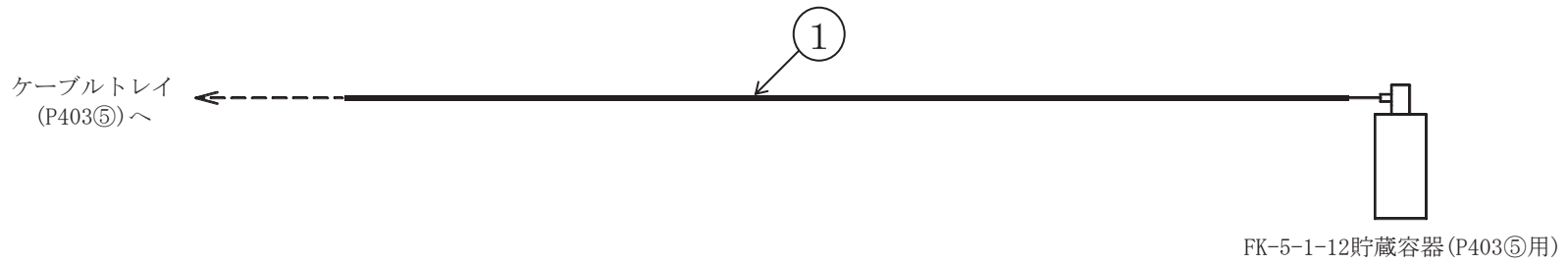
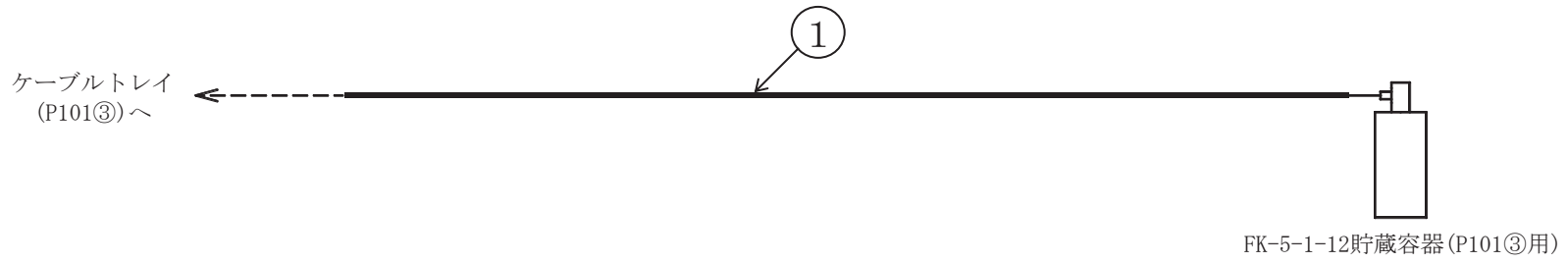
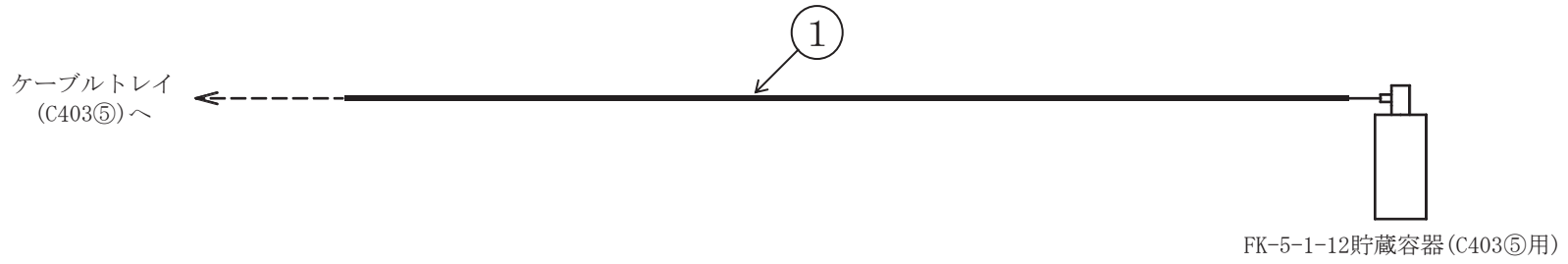
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 7)

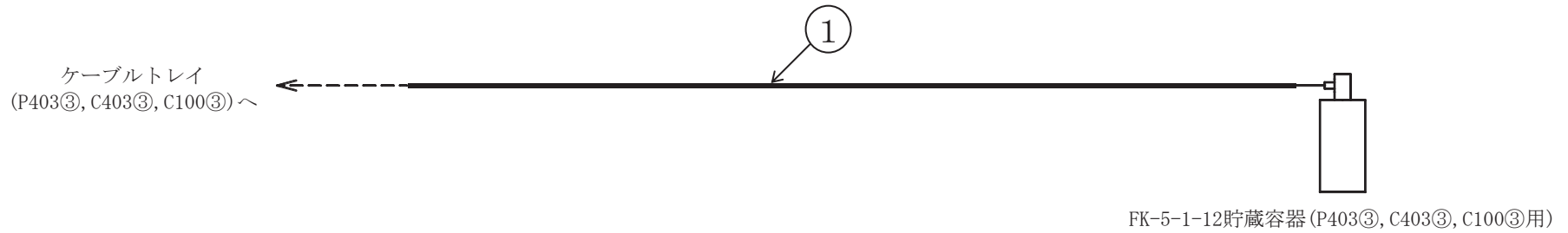
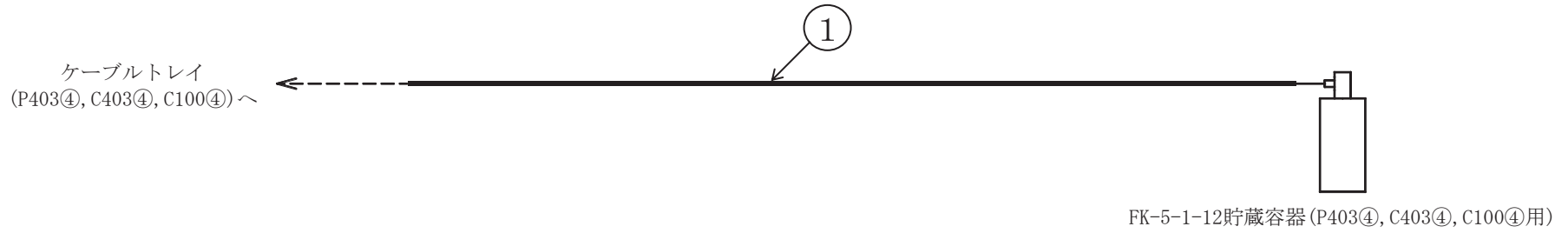
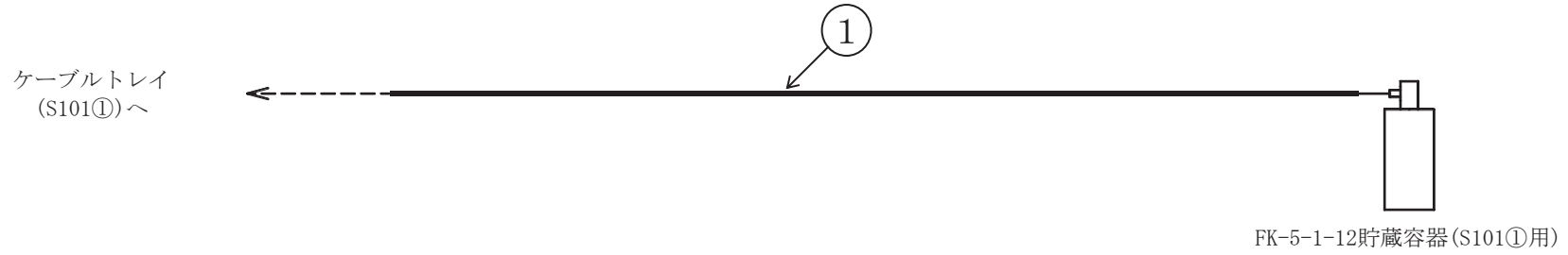


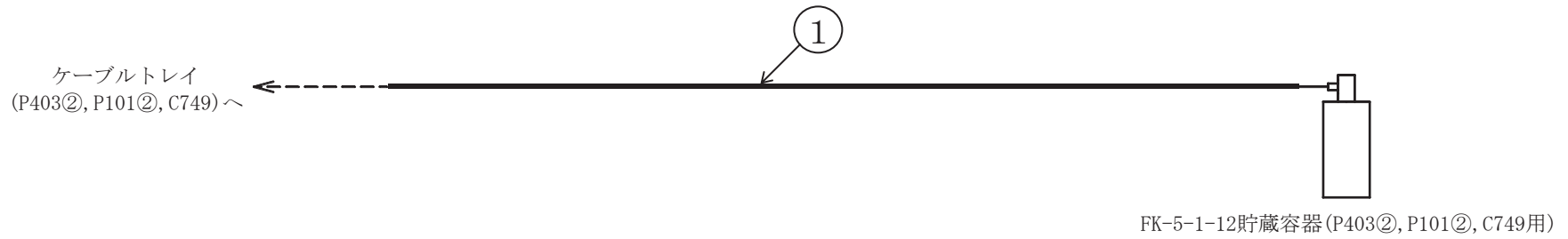
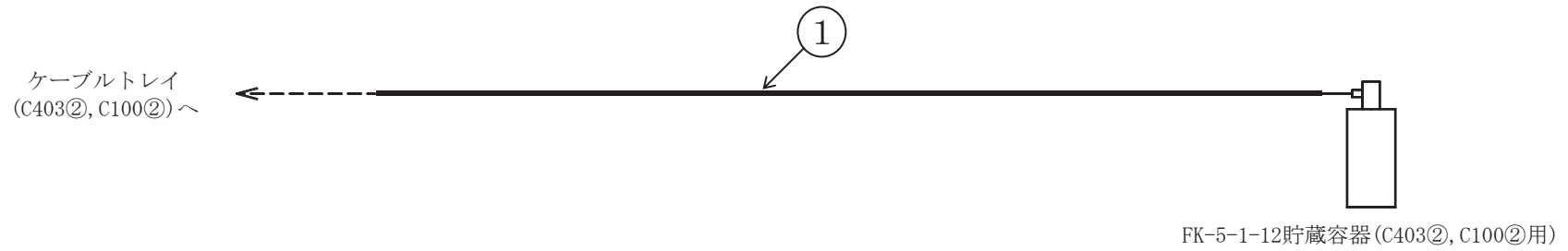


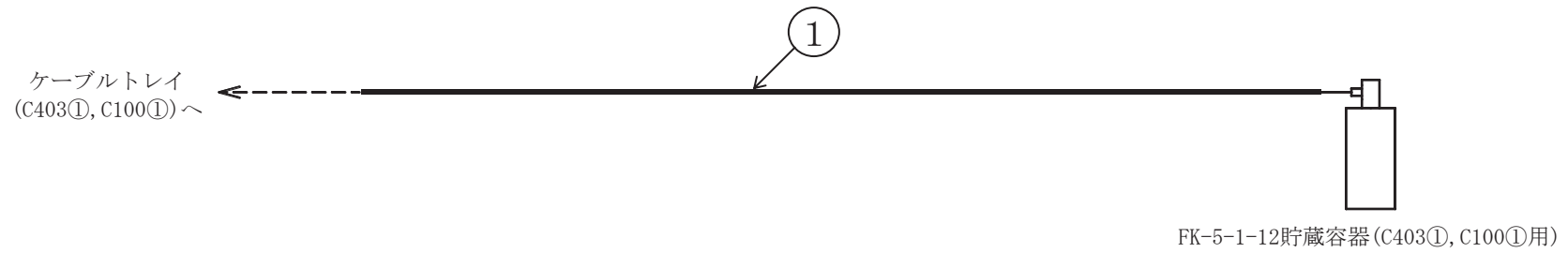
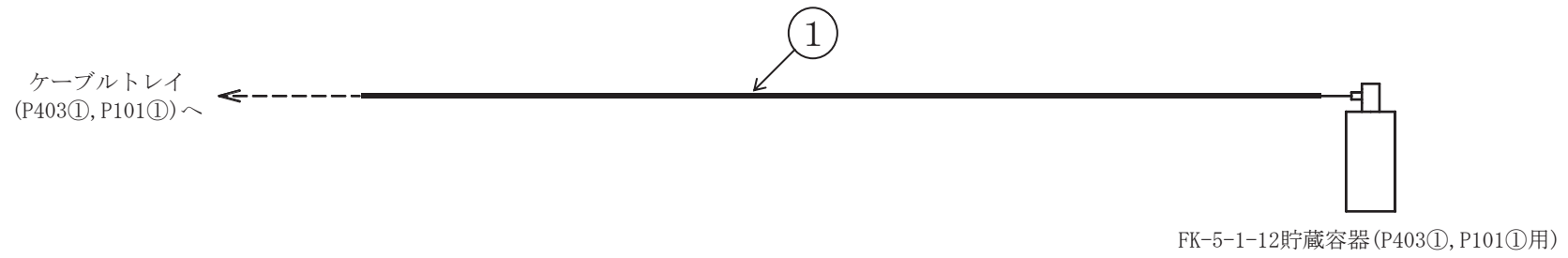
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 9)



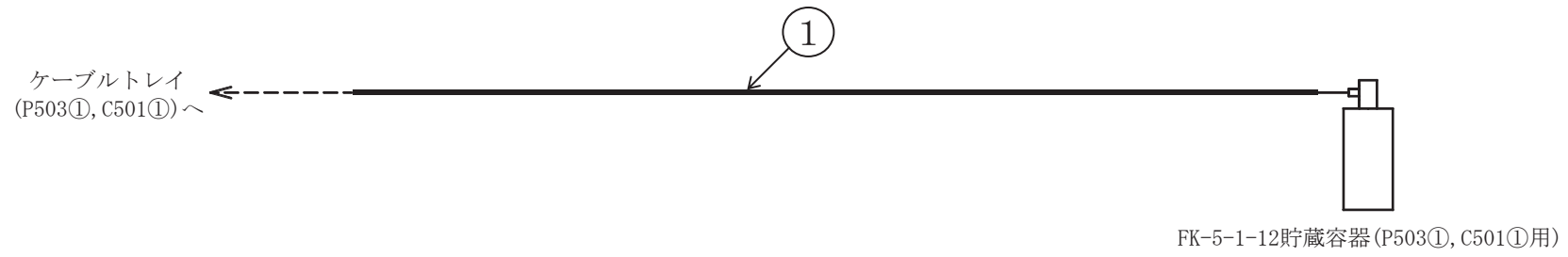


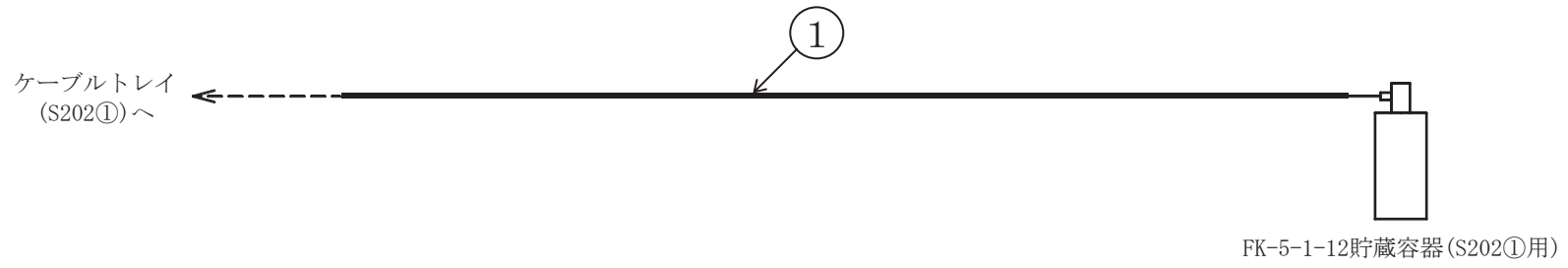


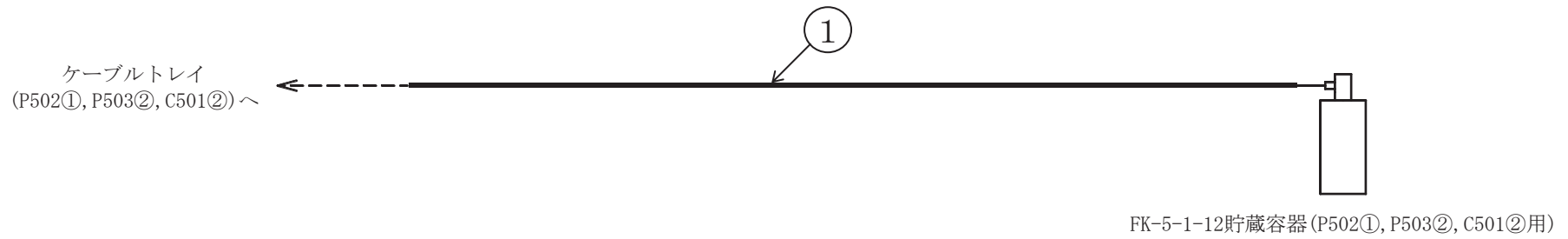




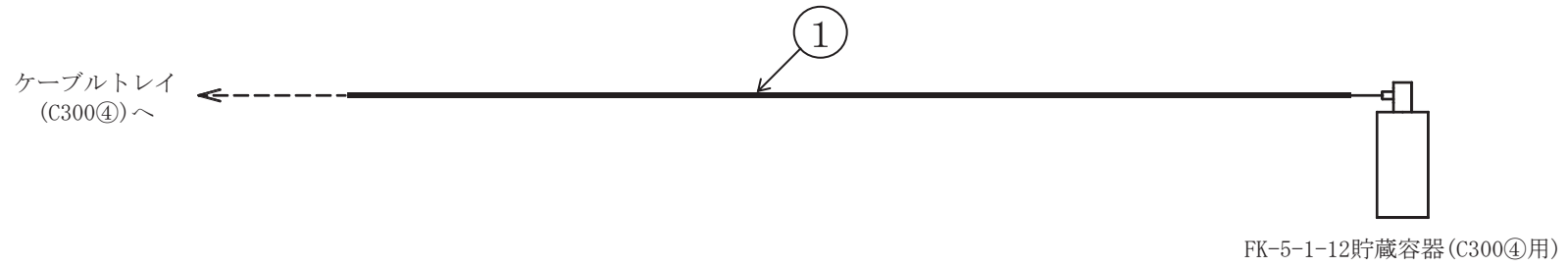
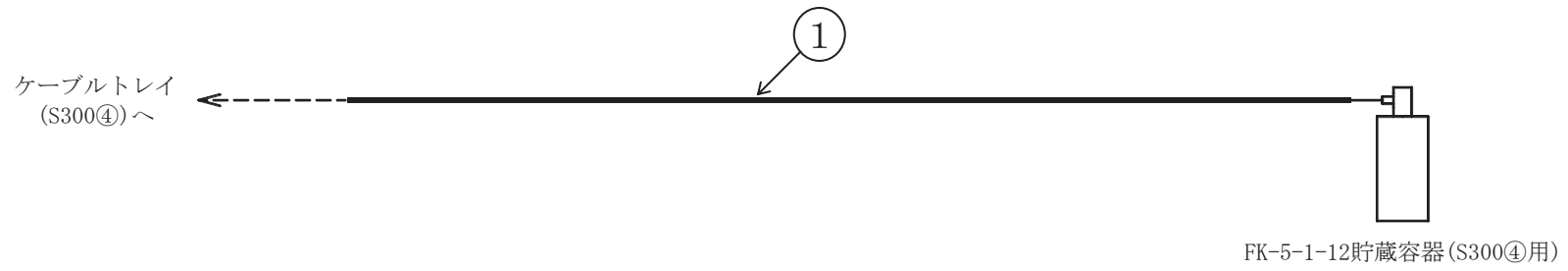


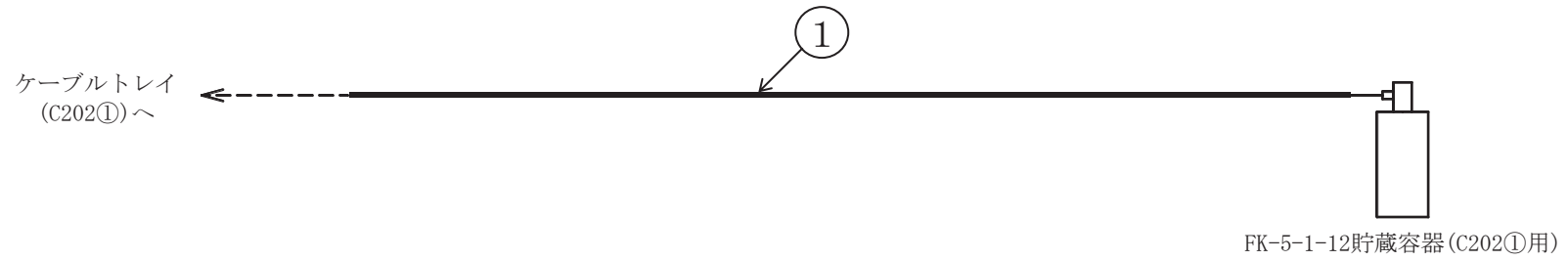
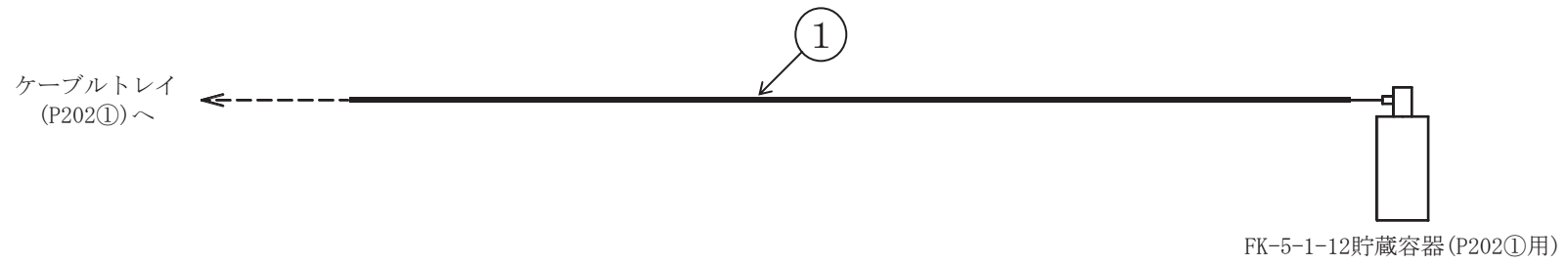


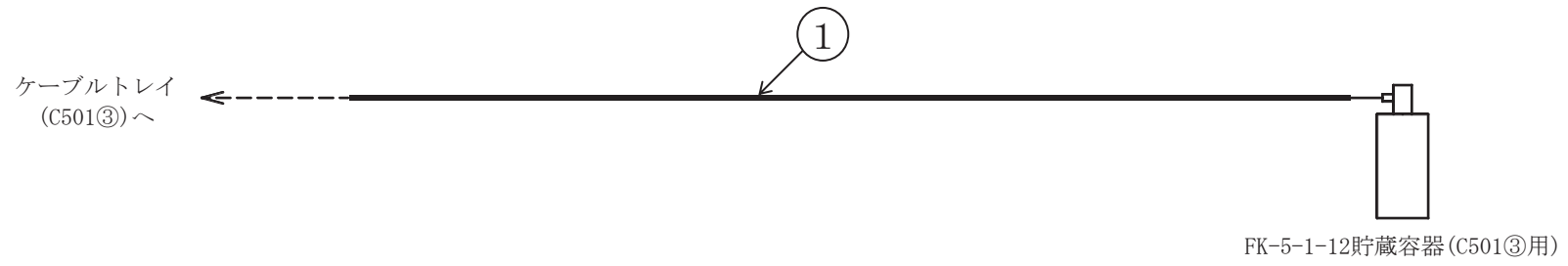
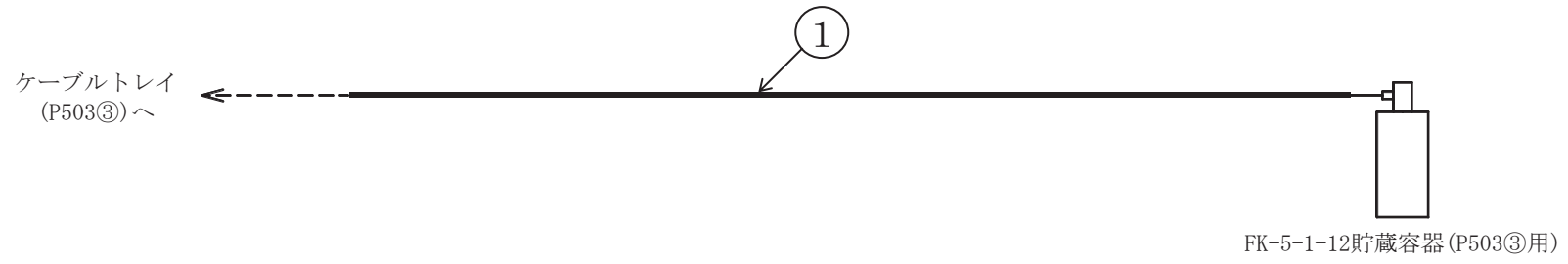
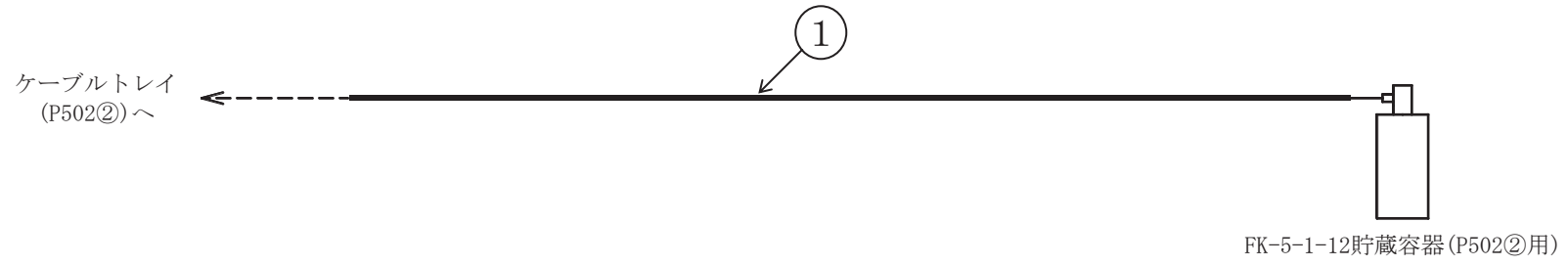


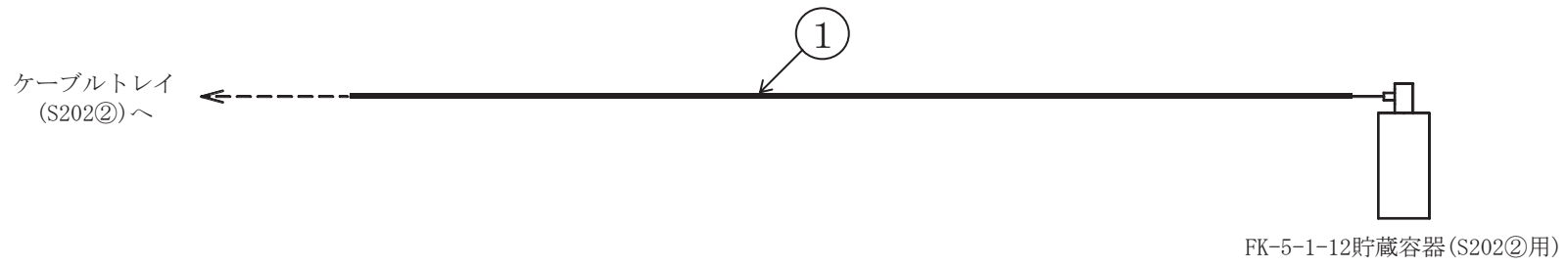


ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 17)

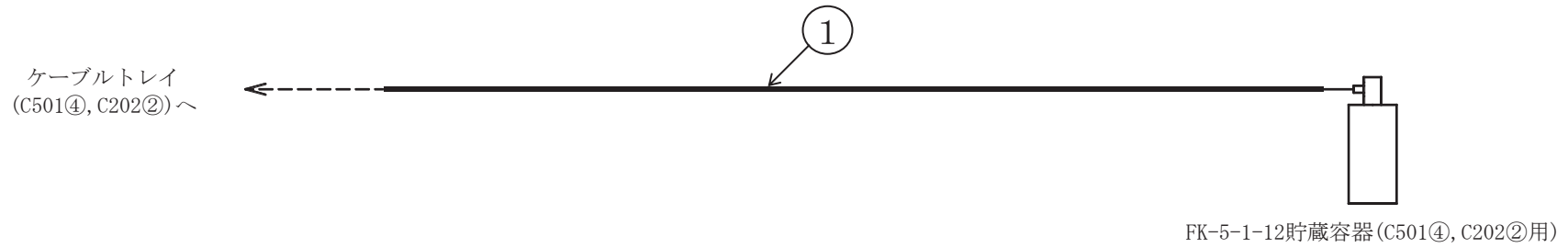
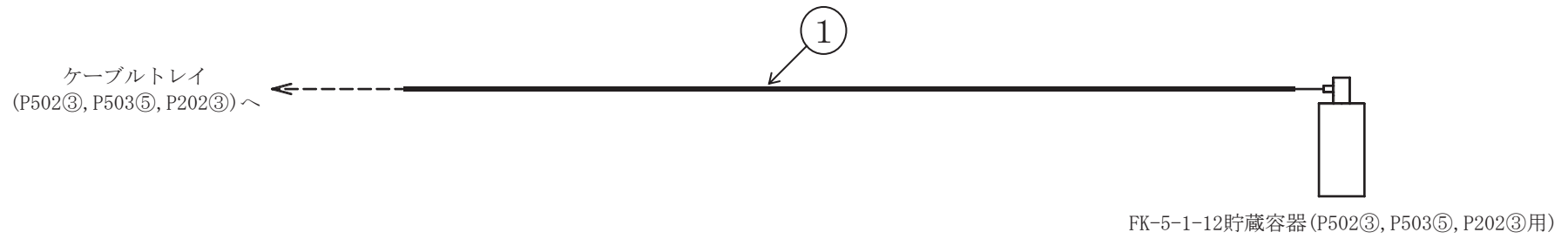








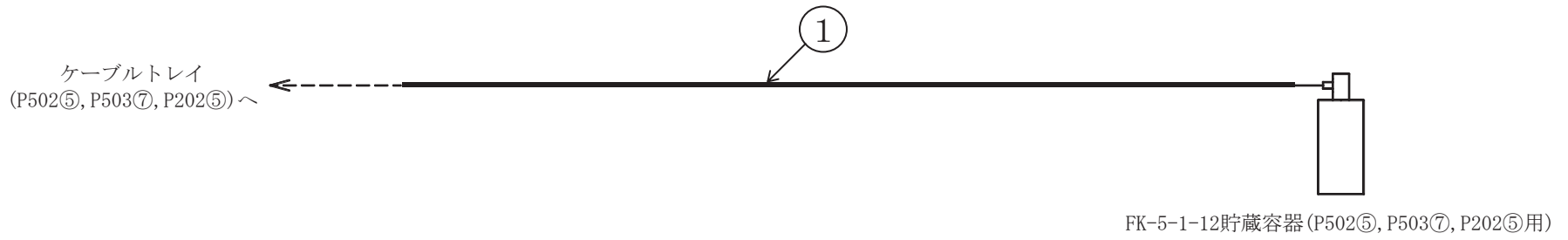
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 21)



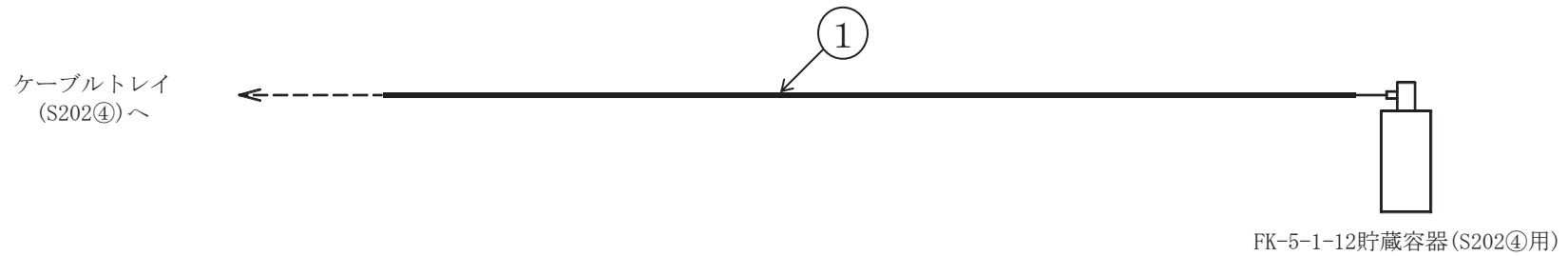
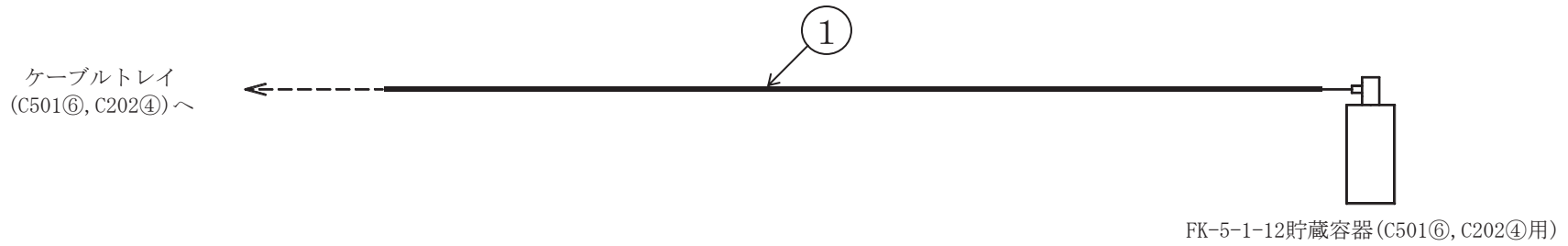
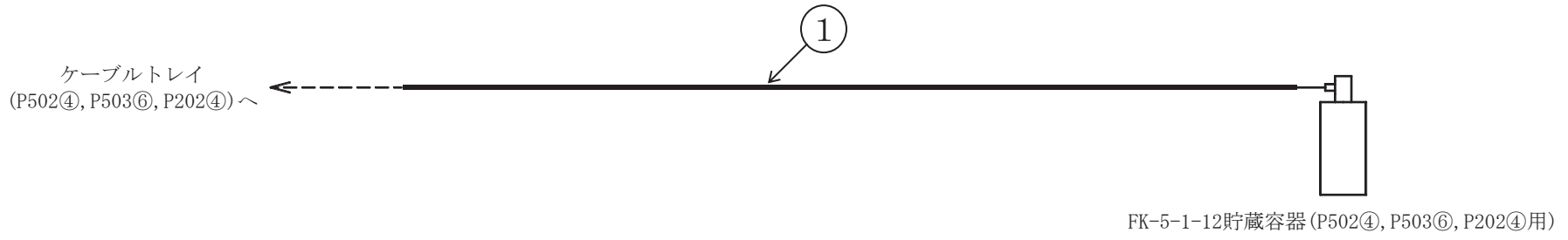
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 22)



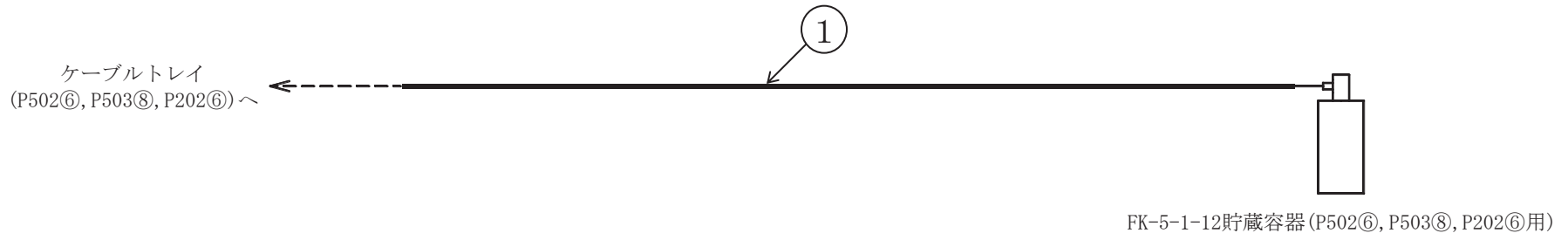
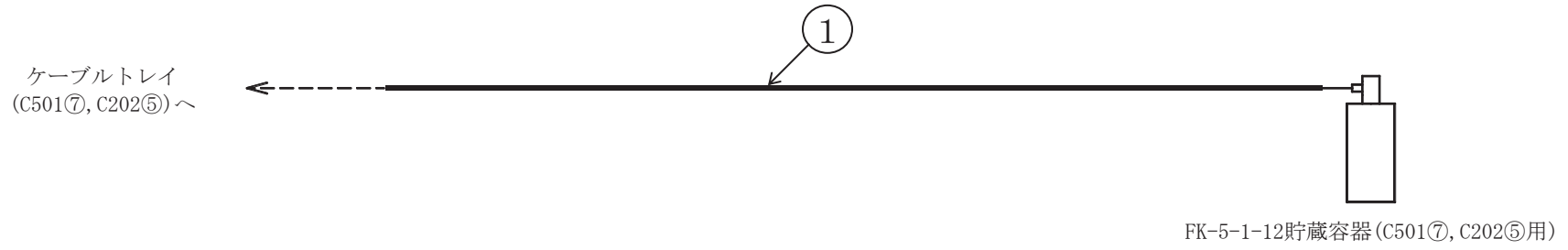
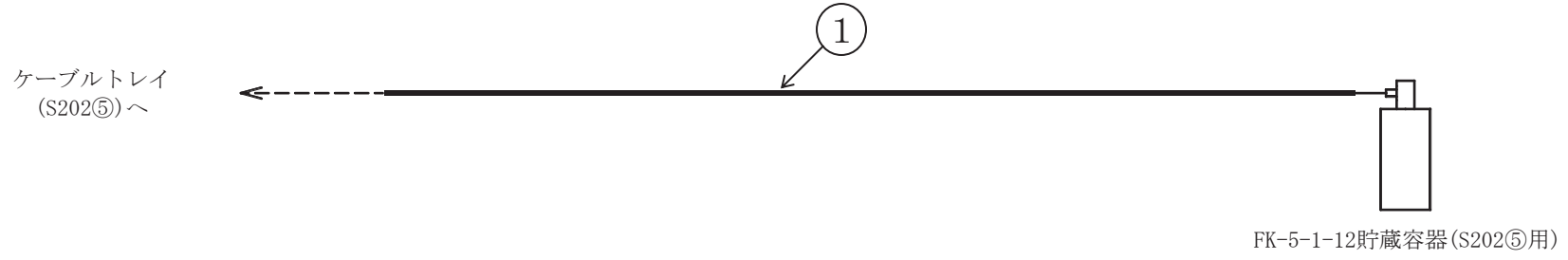
100

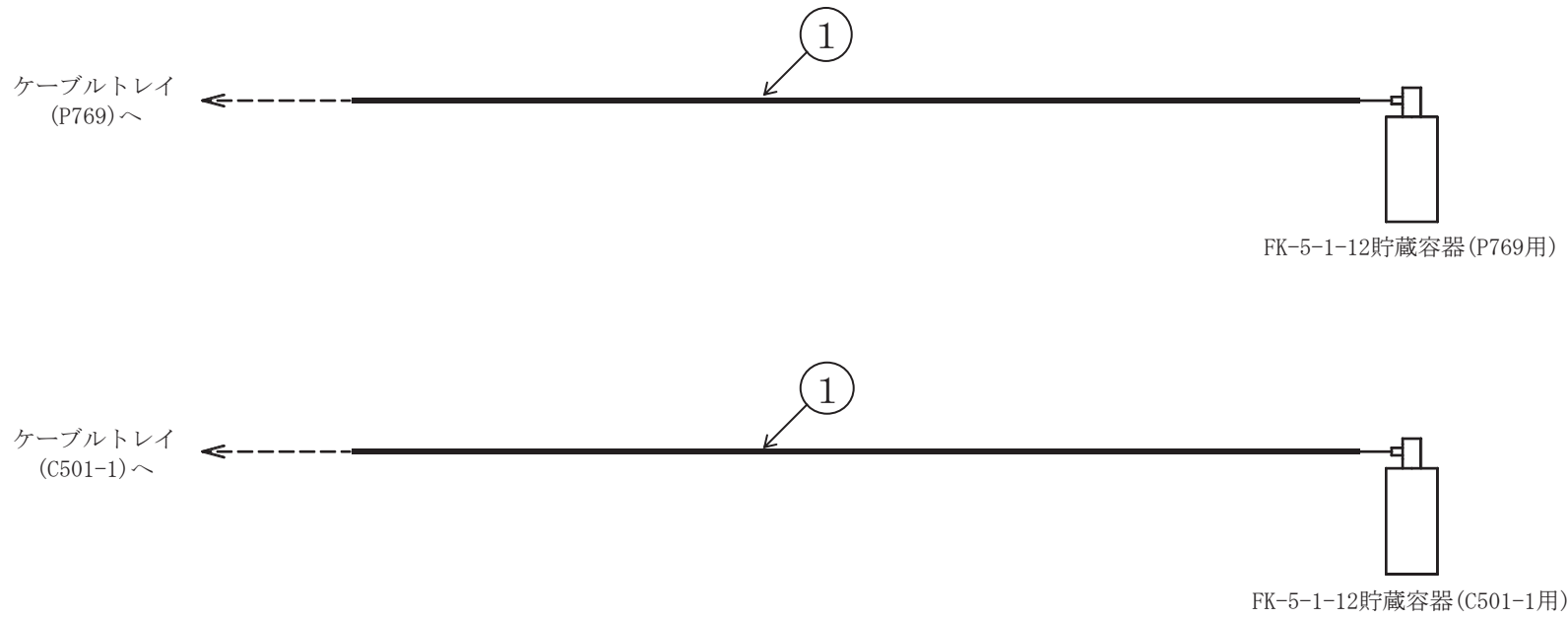


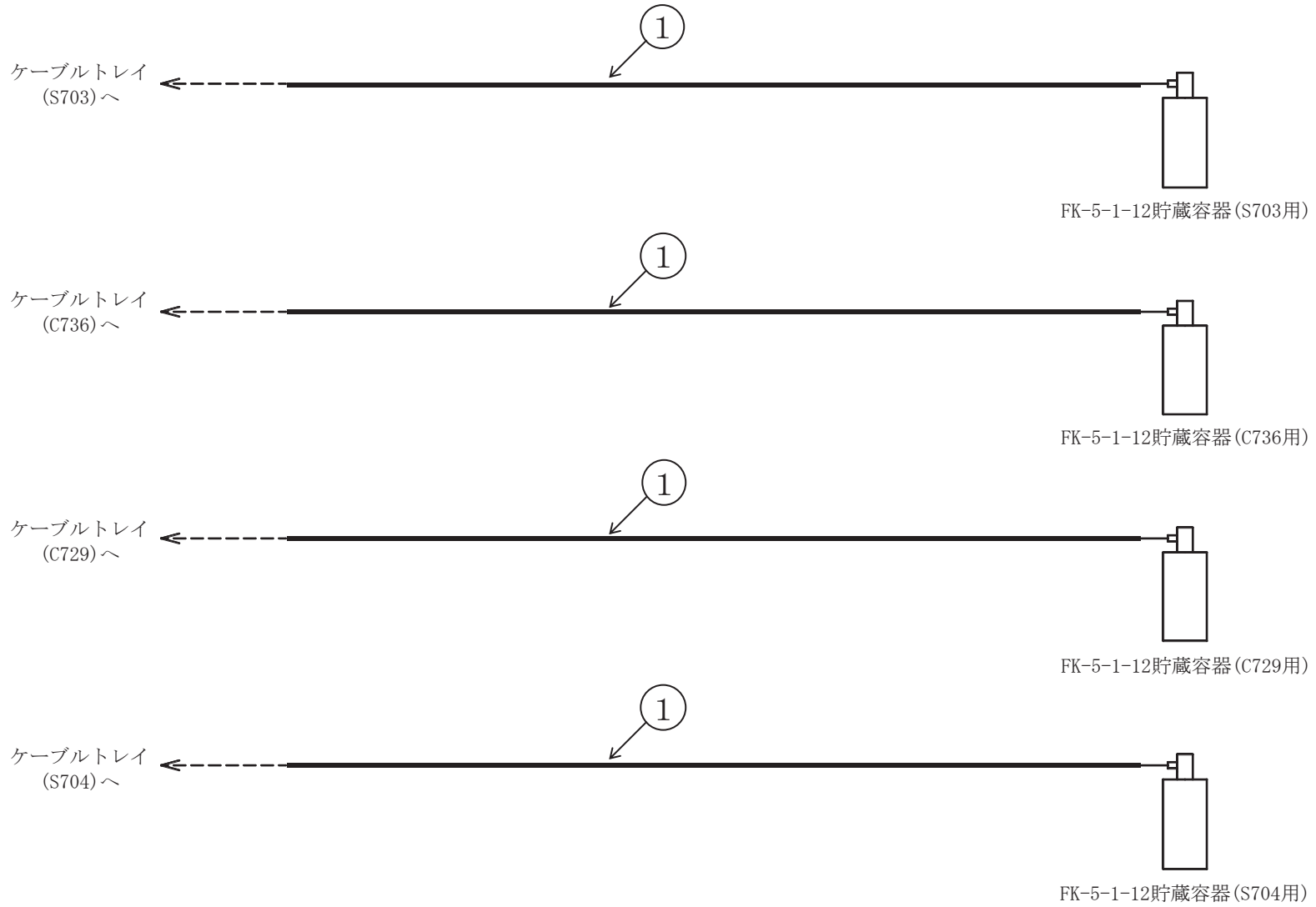
101



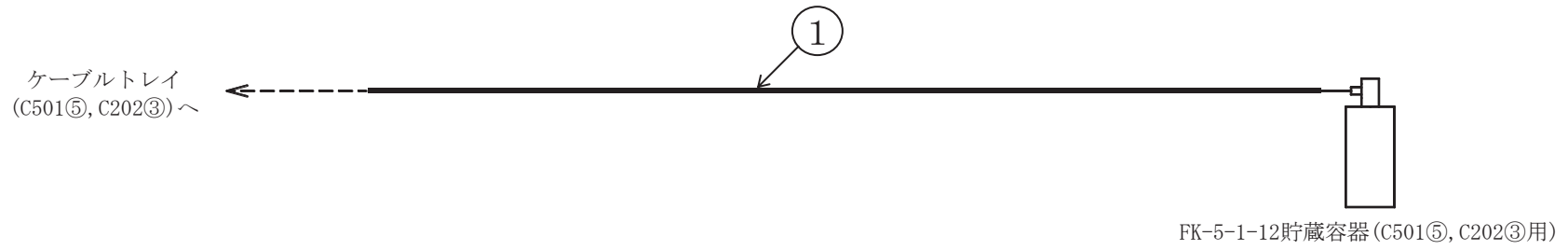
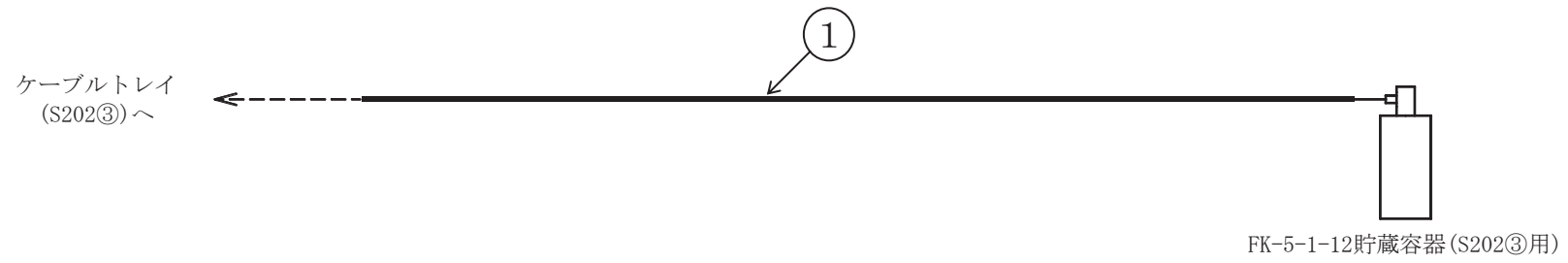
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 24)

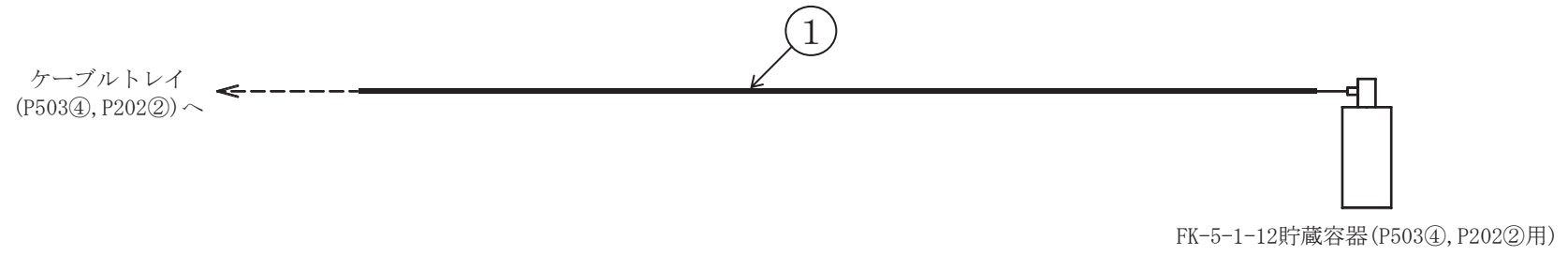


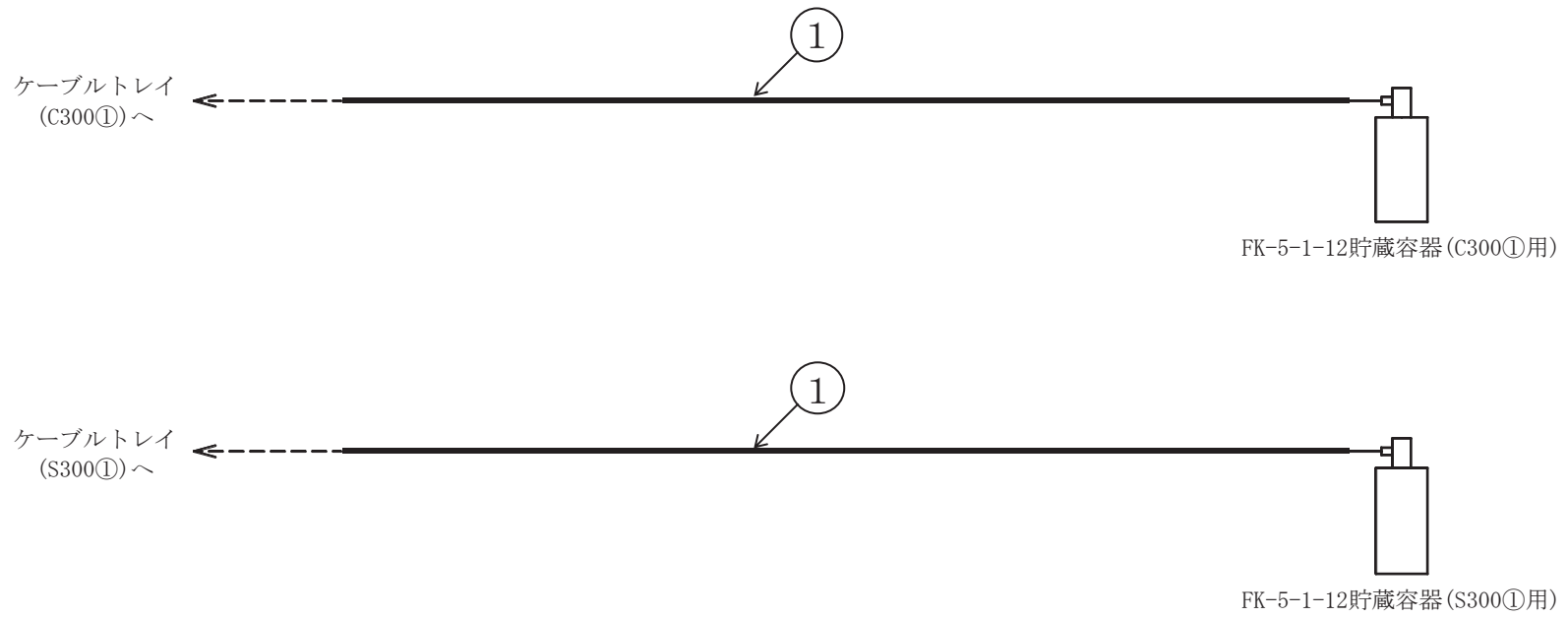




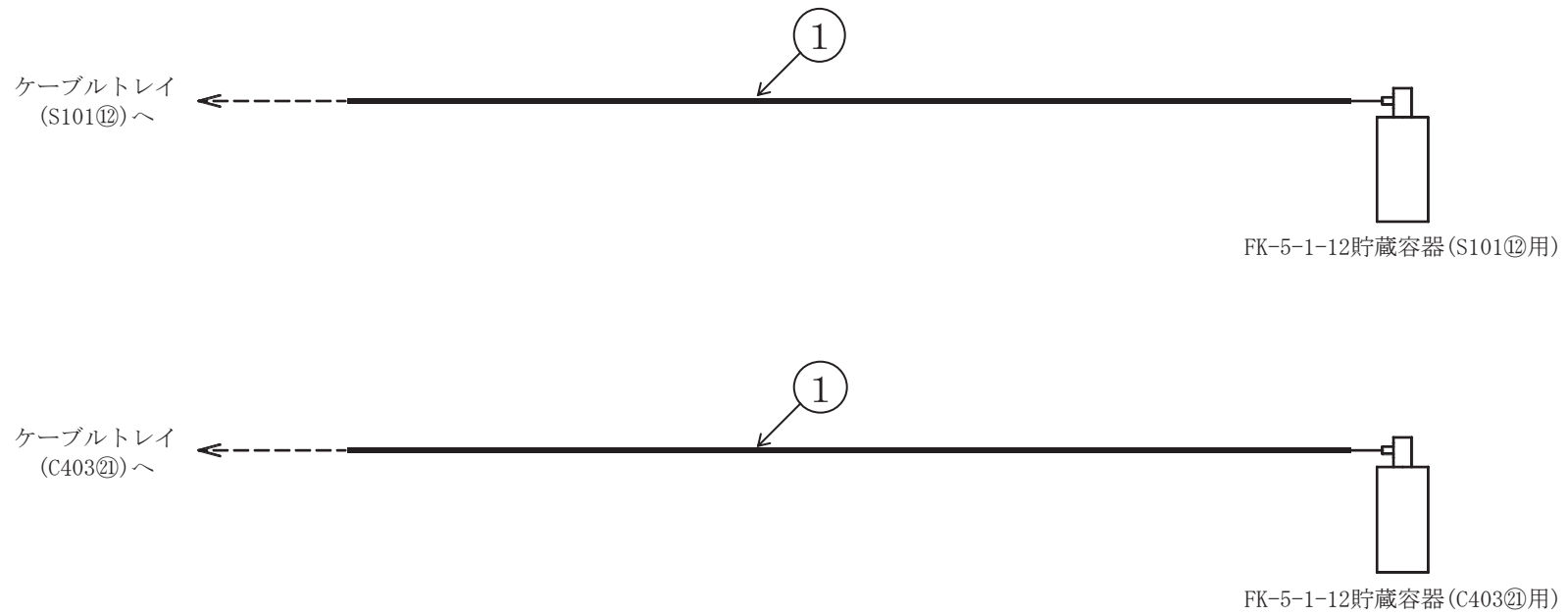
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 27)

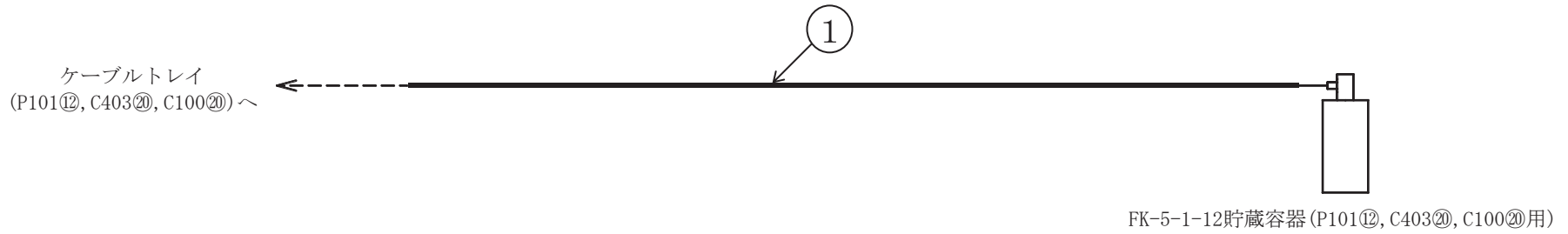
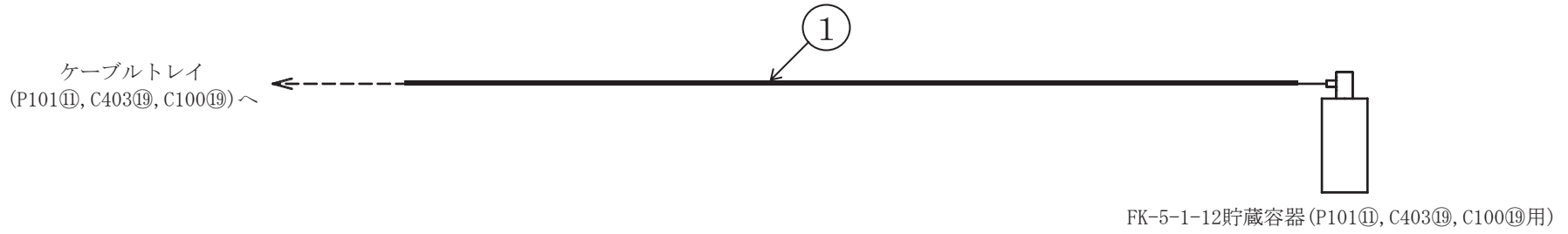
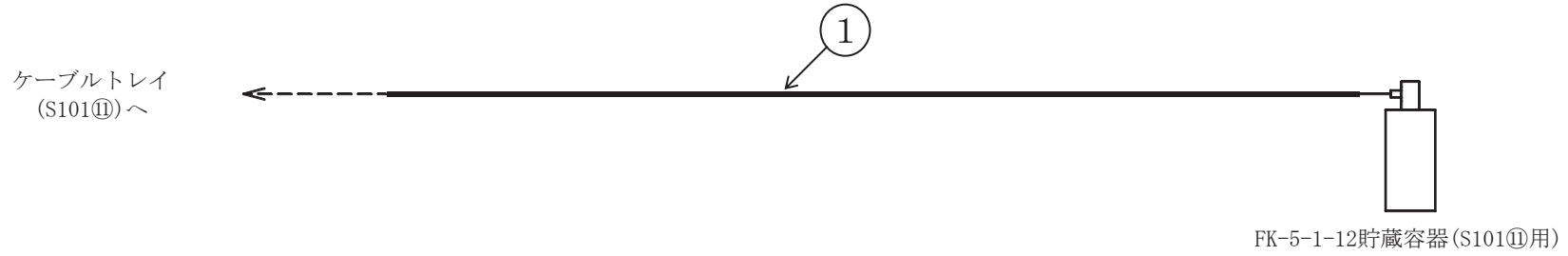






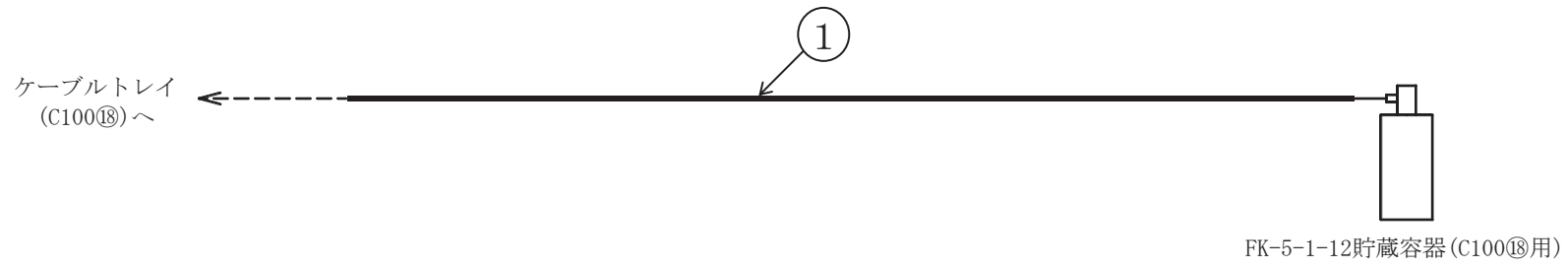
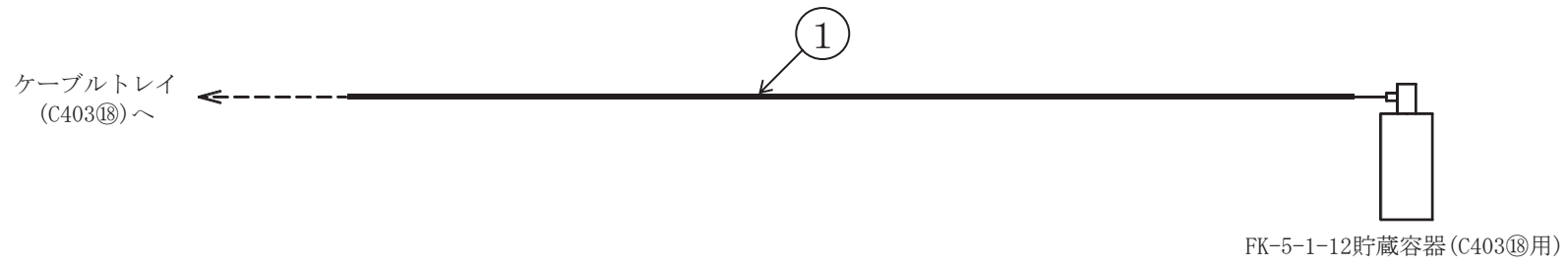
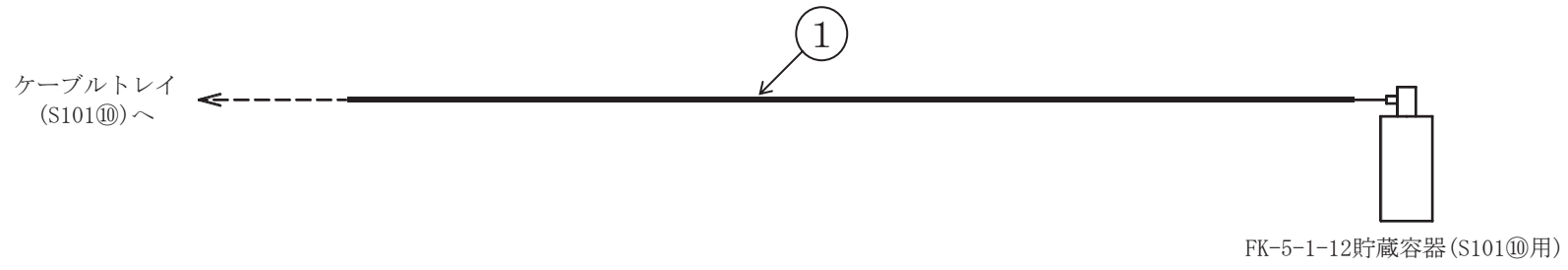


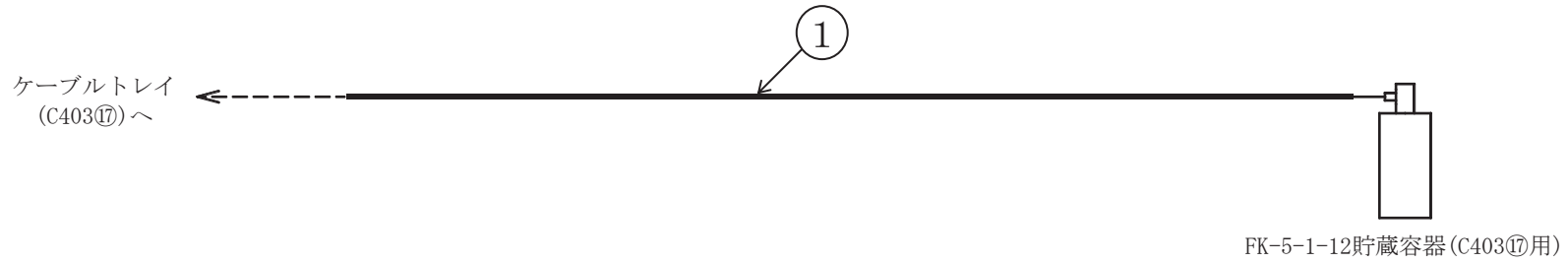
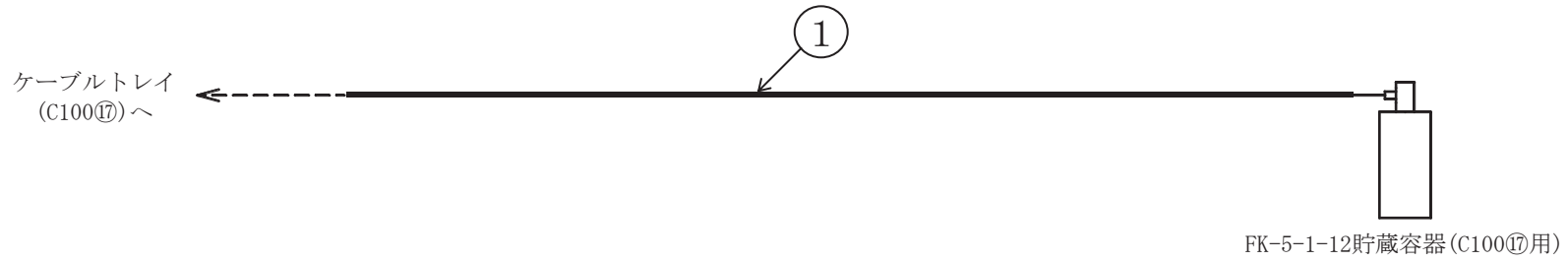
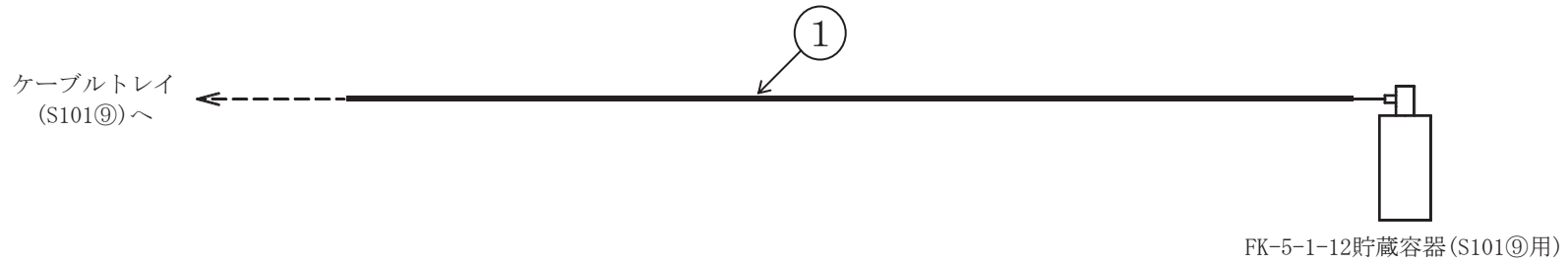




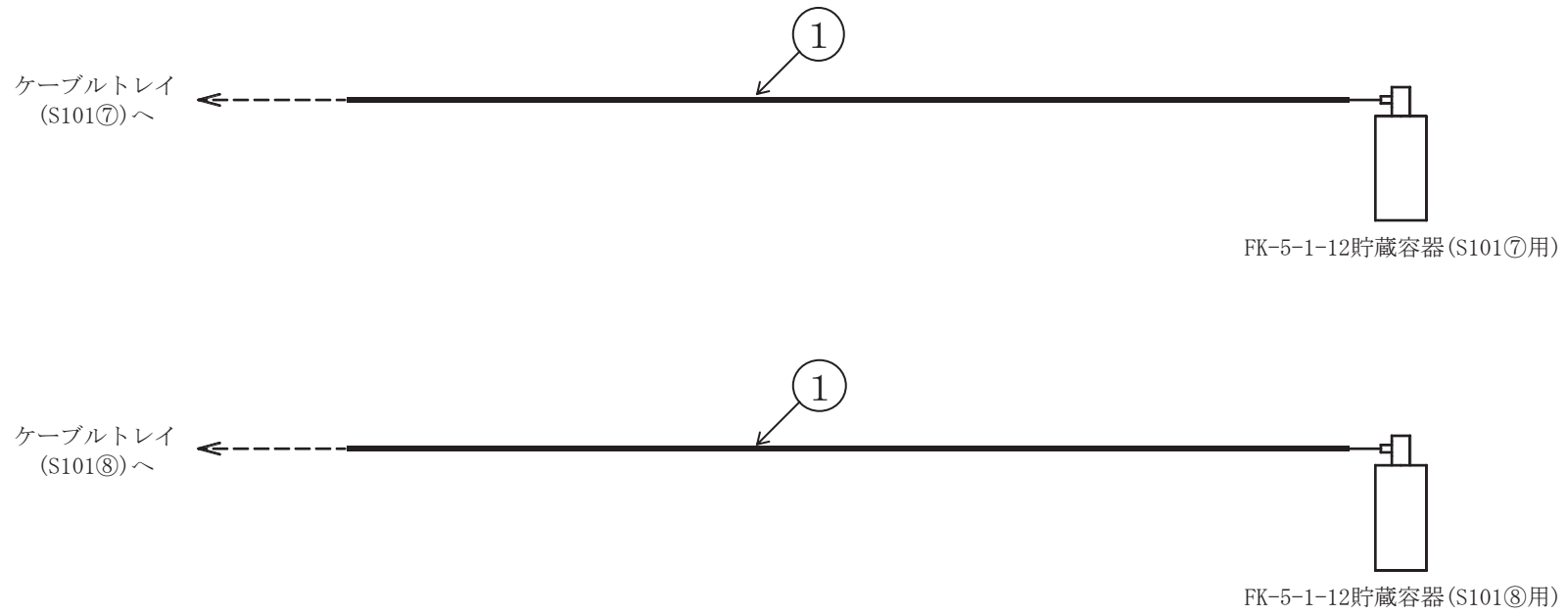
109

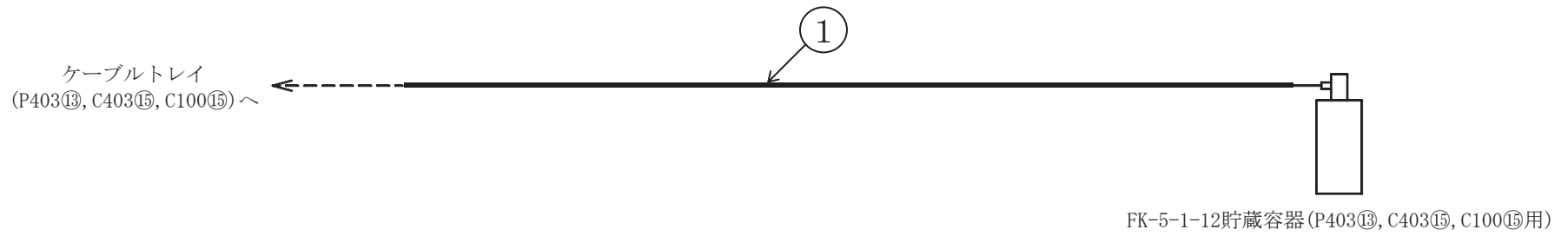
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 32)



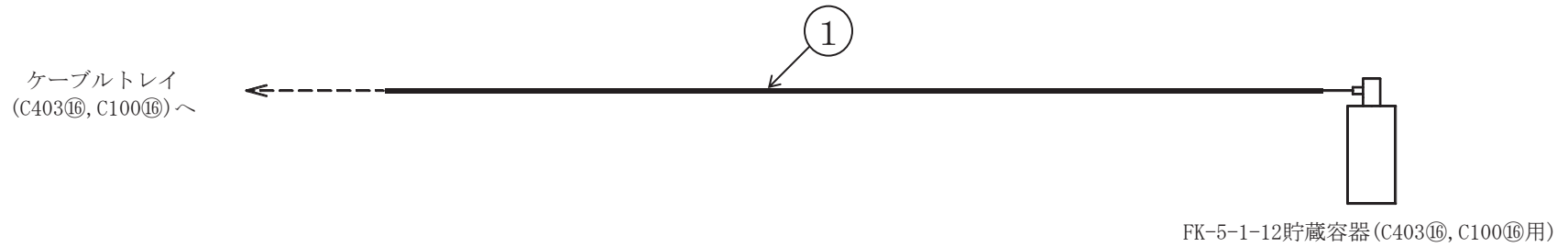
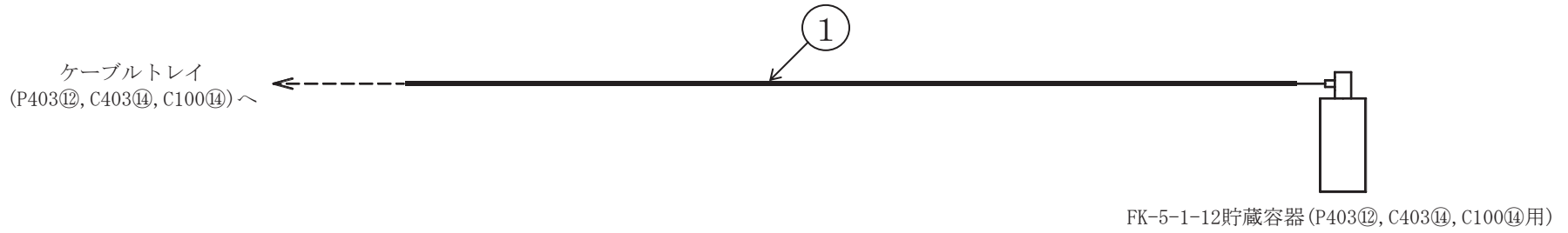
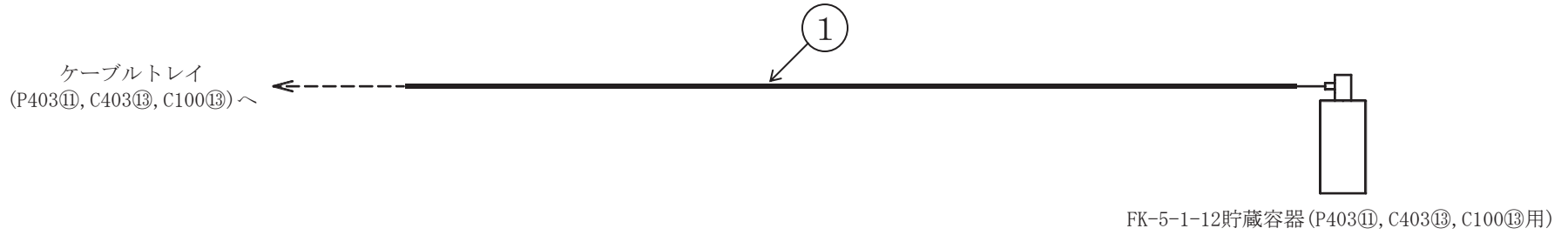


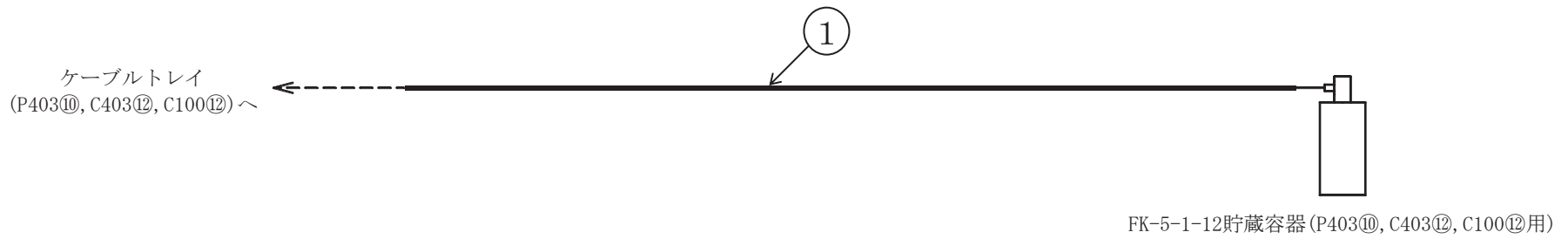
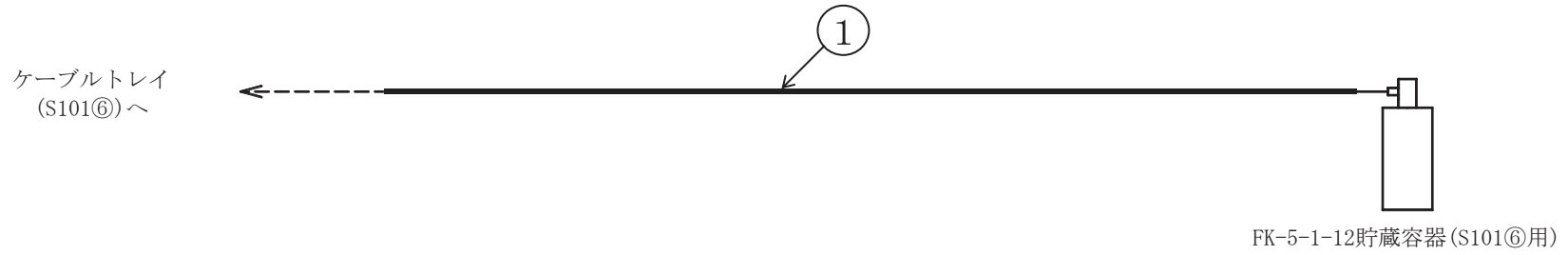
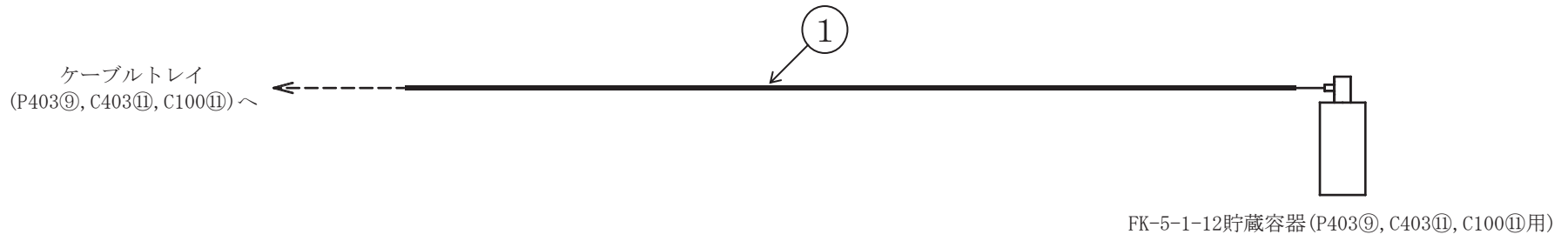
III



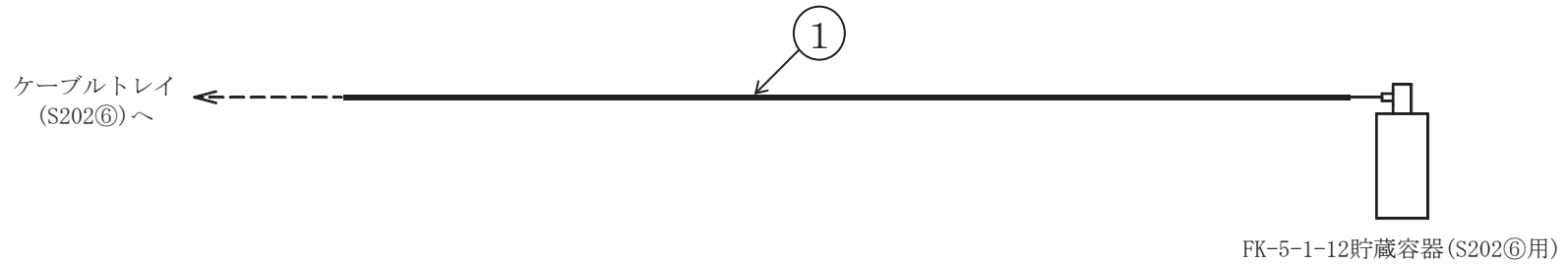
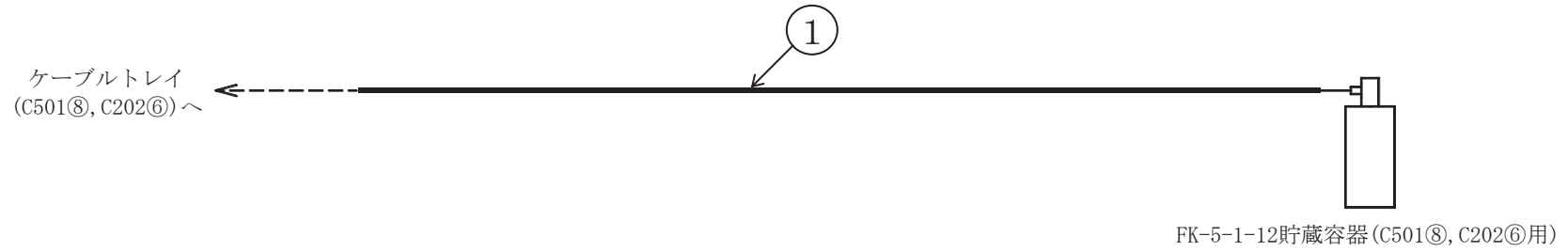
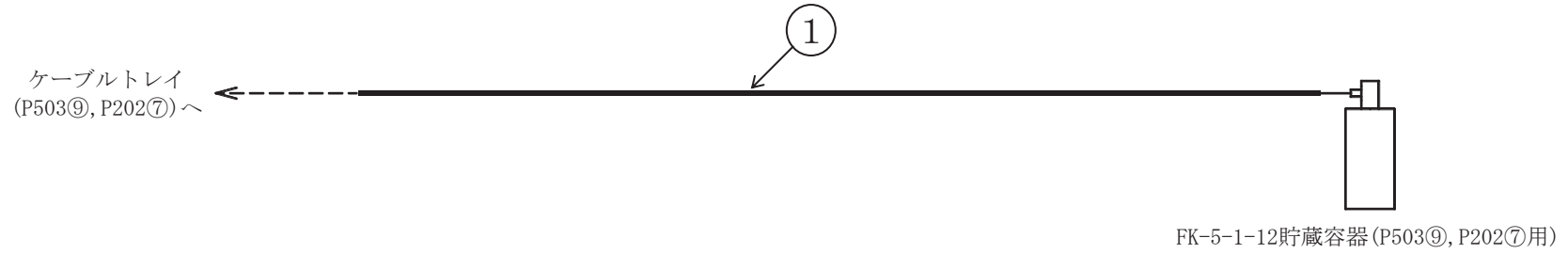


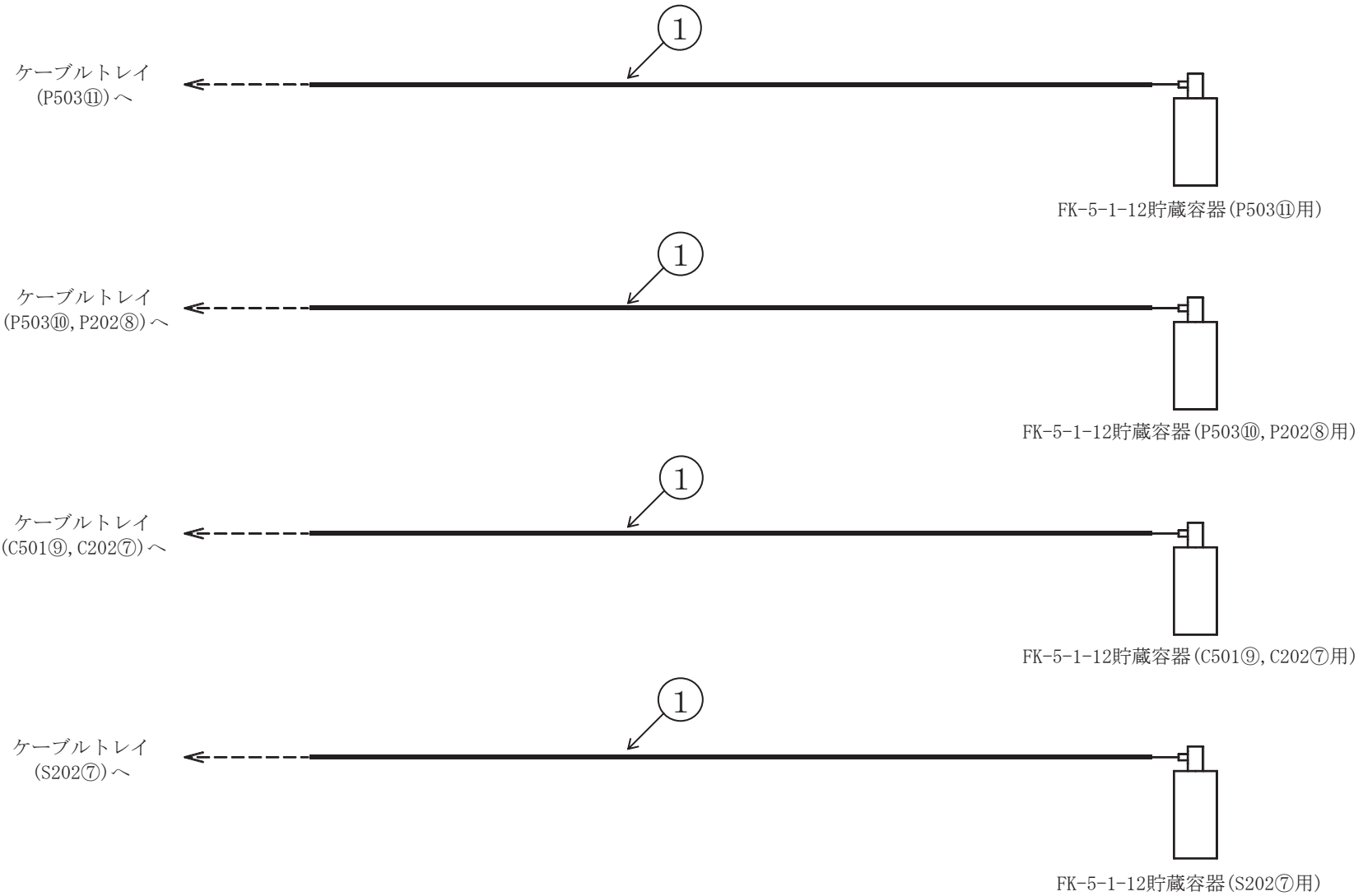
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 36)



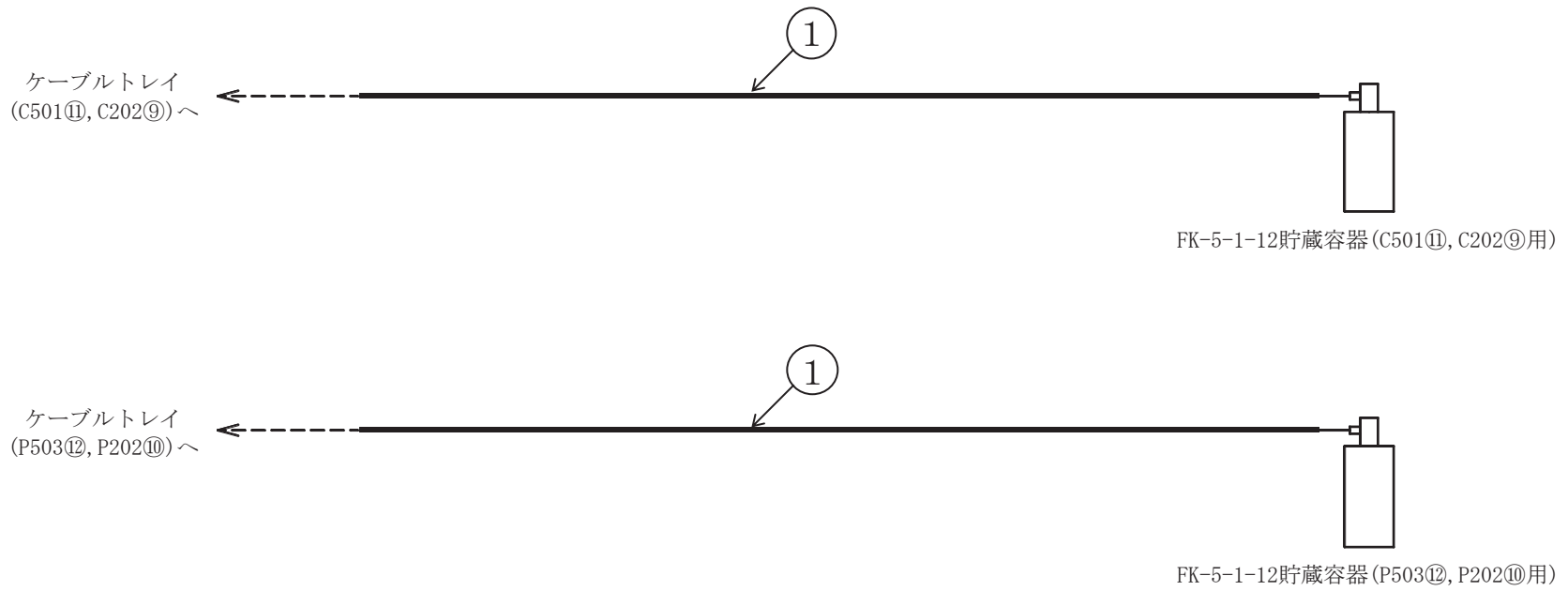


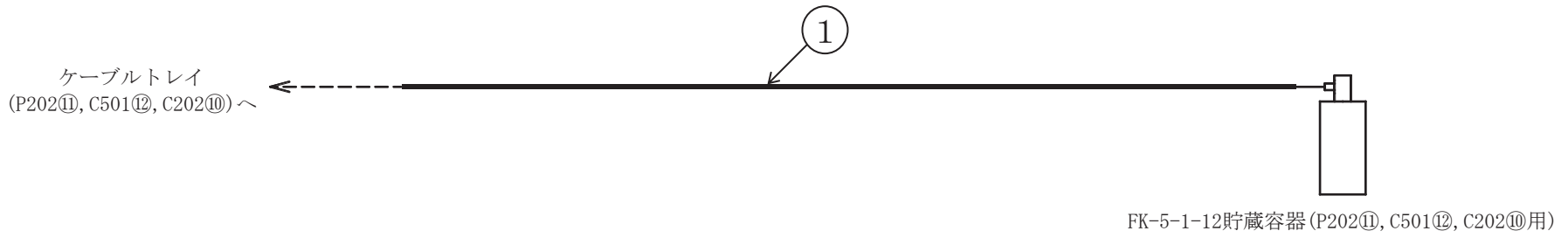
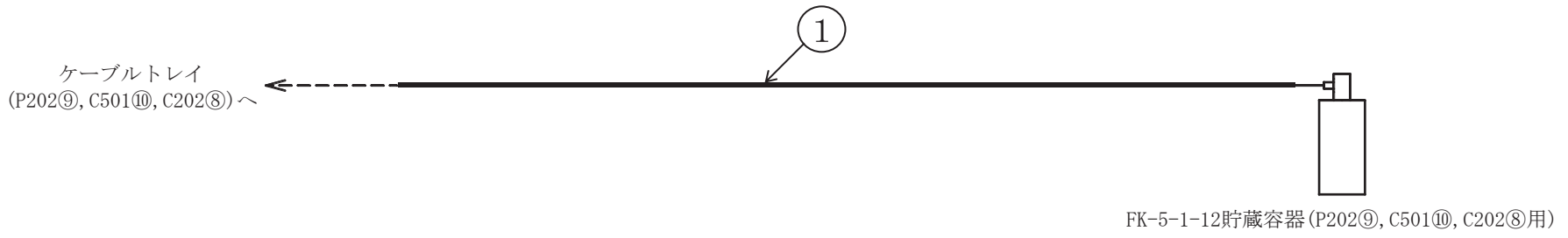
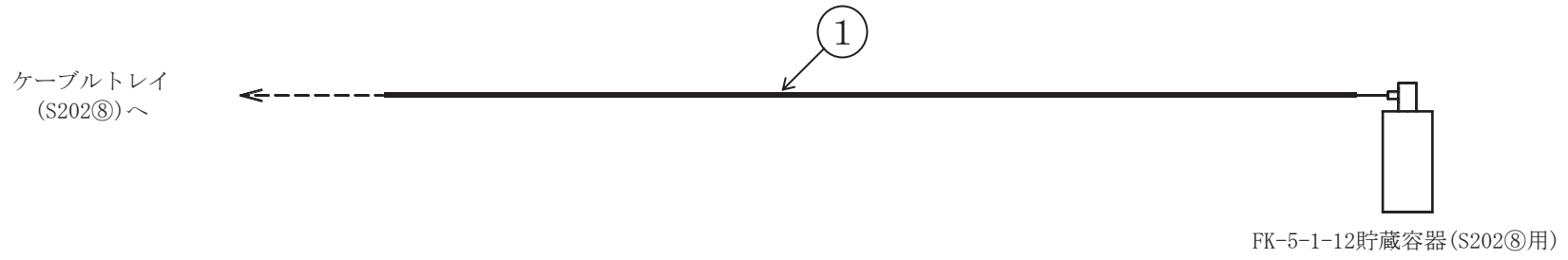


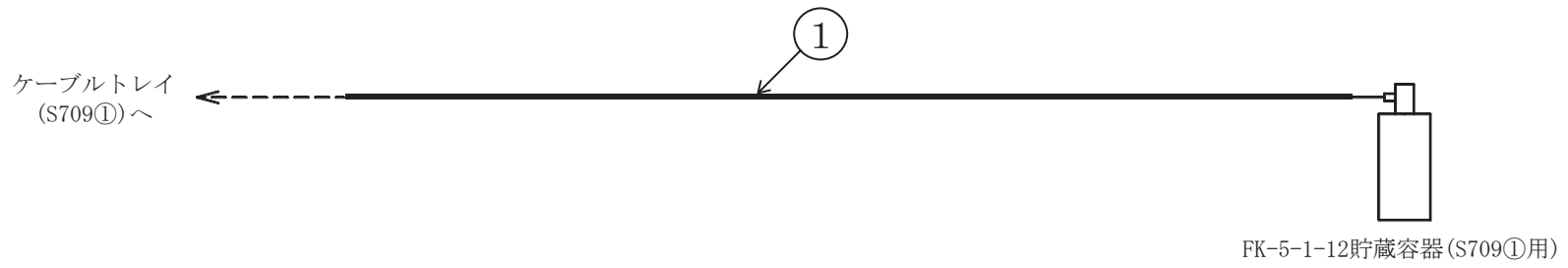




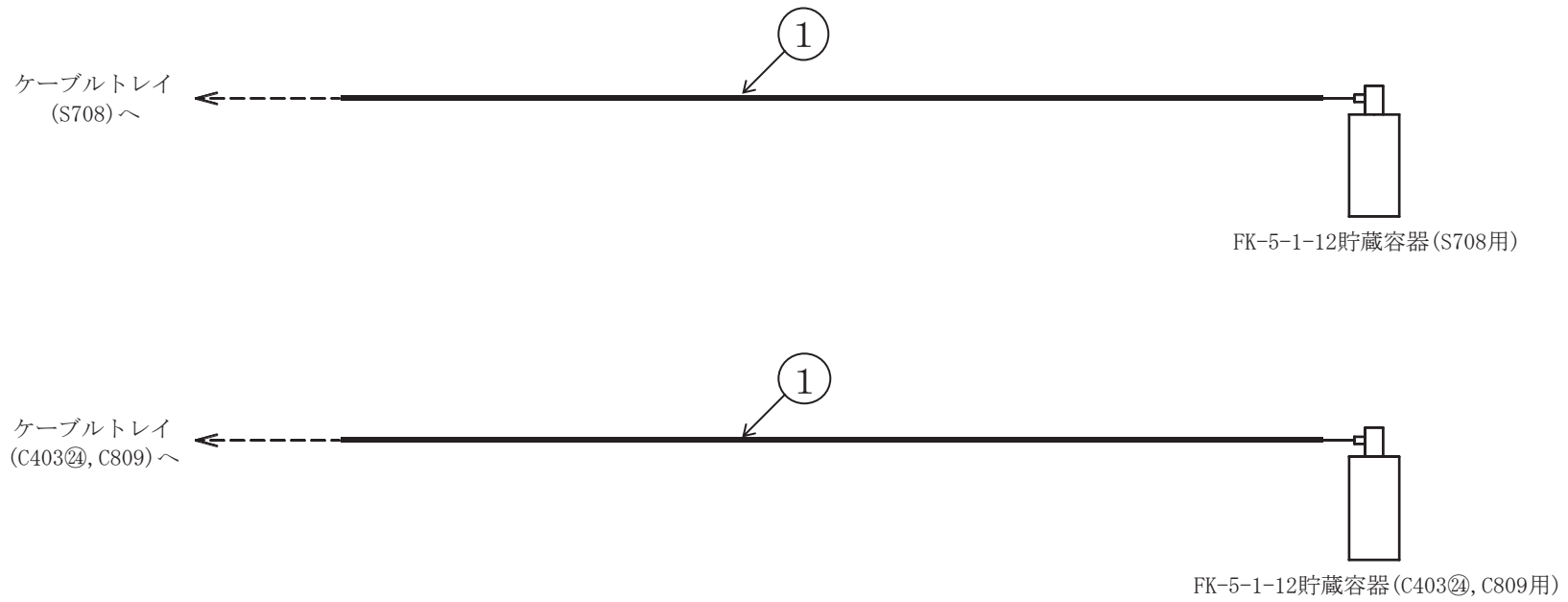
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 40)

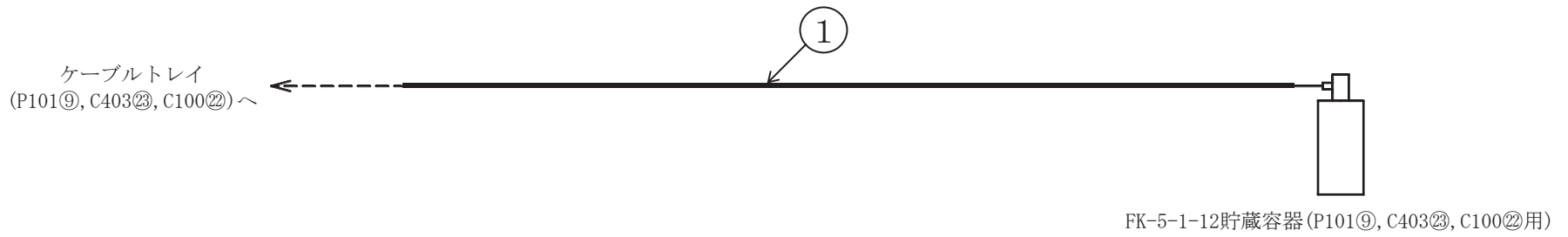


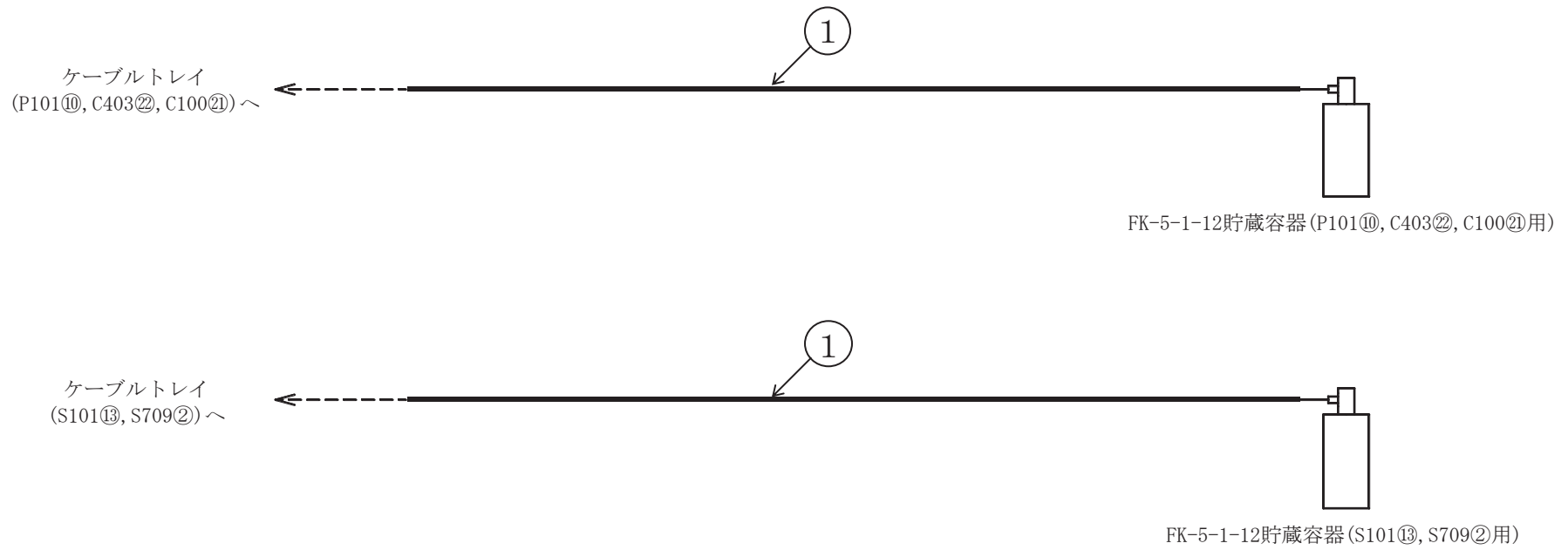




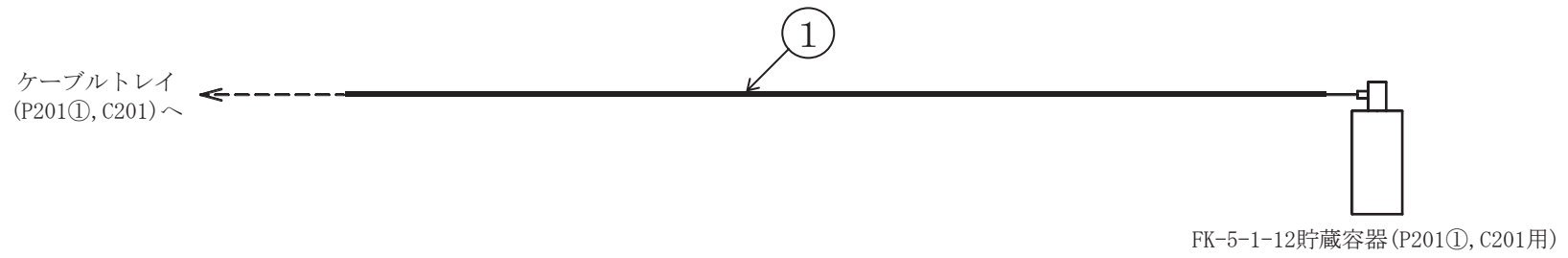
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 43)

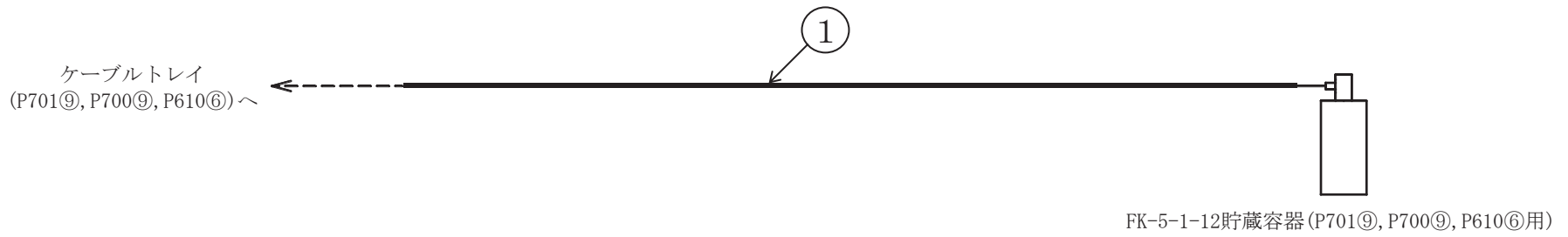




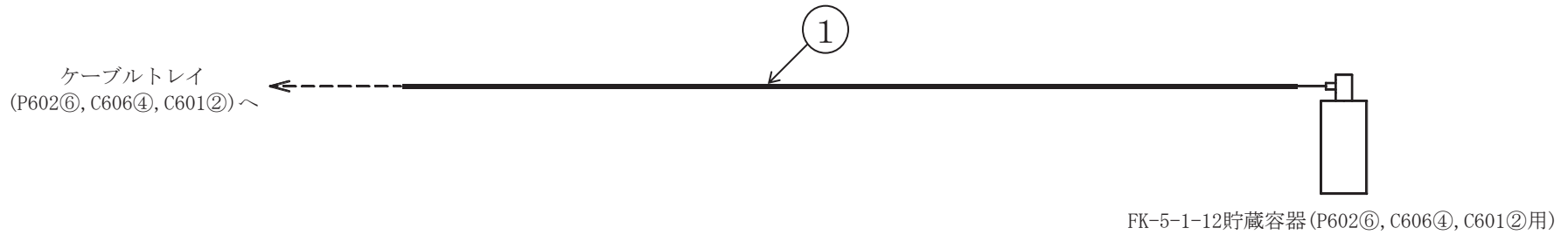
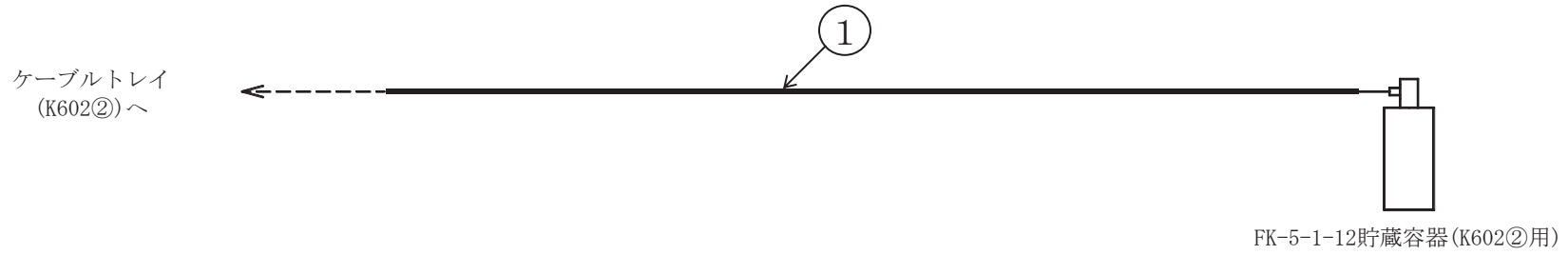
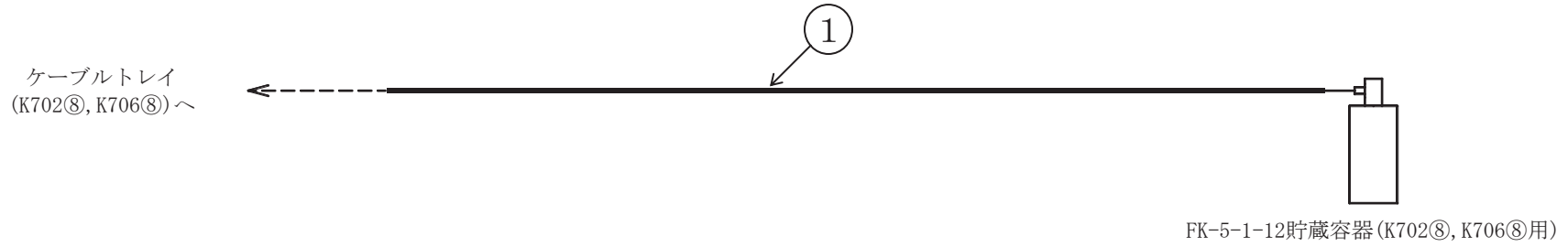


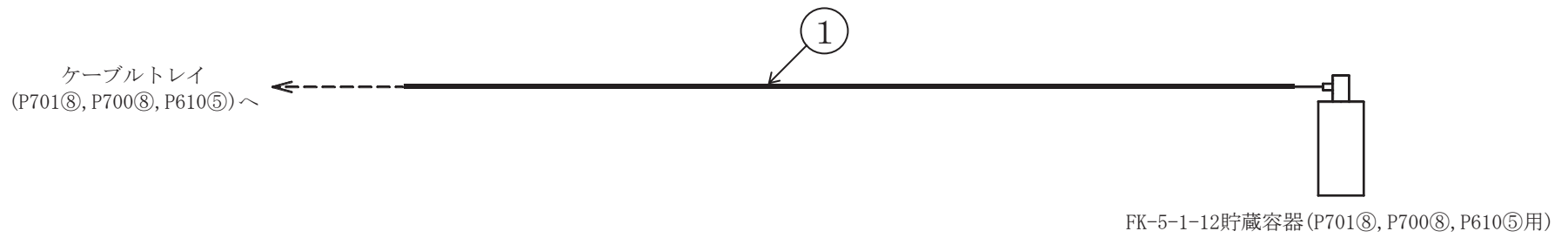


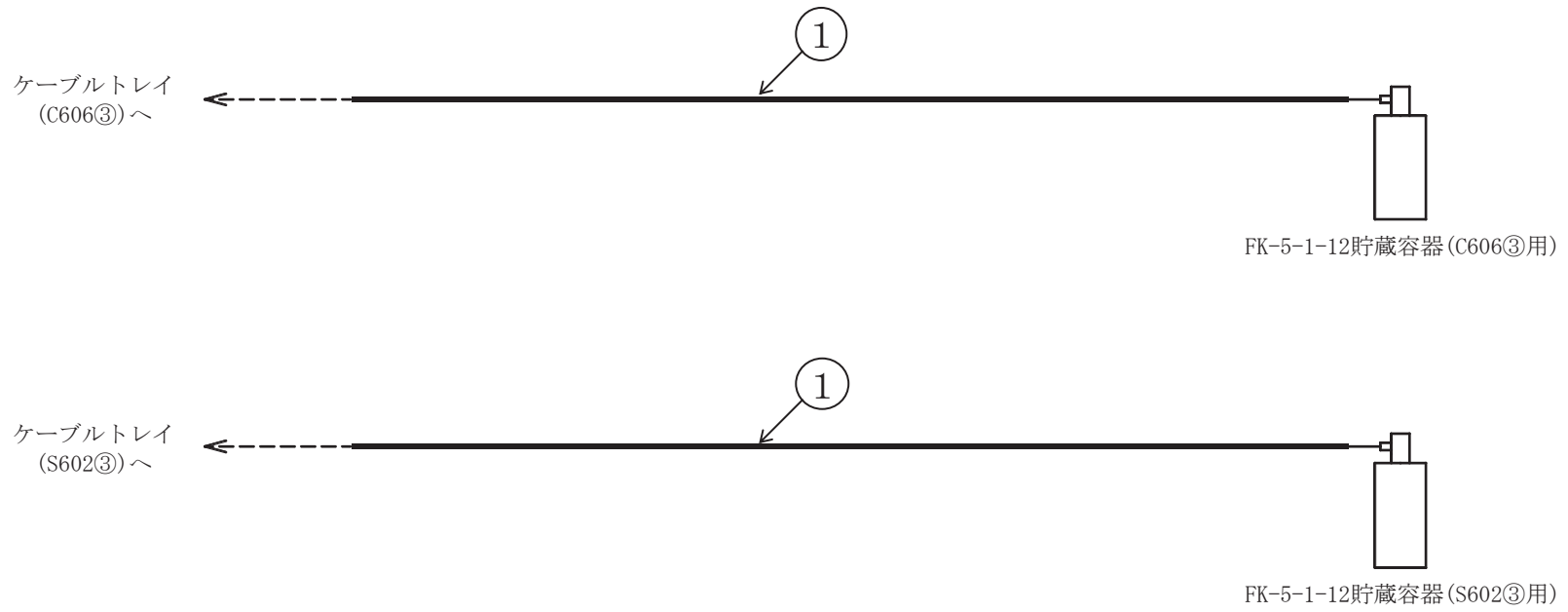


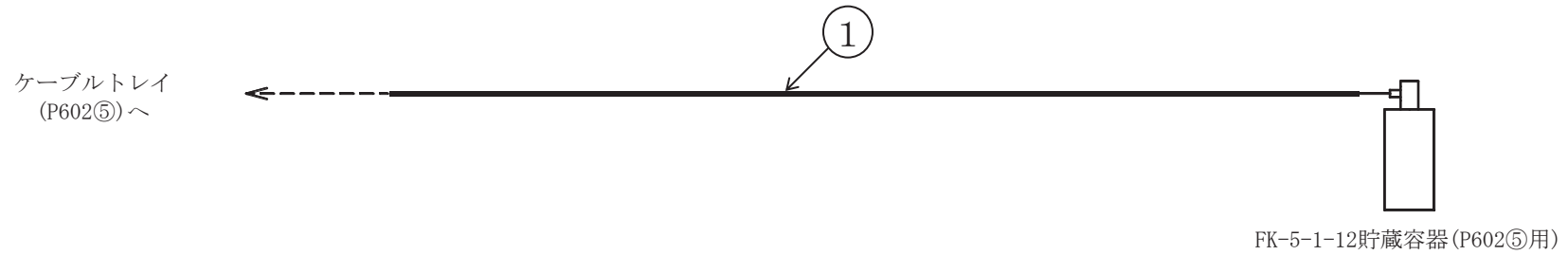
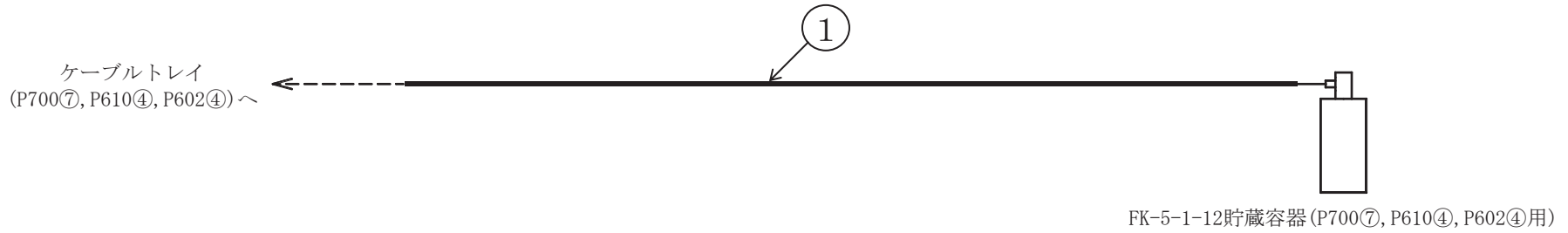
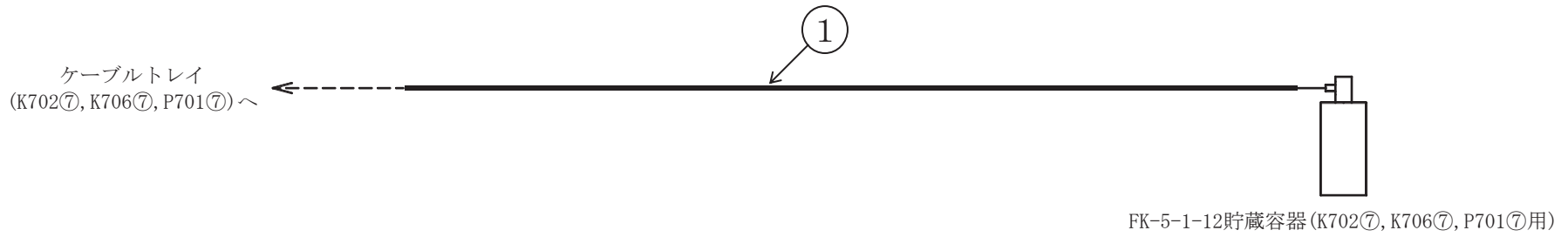


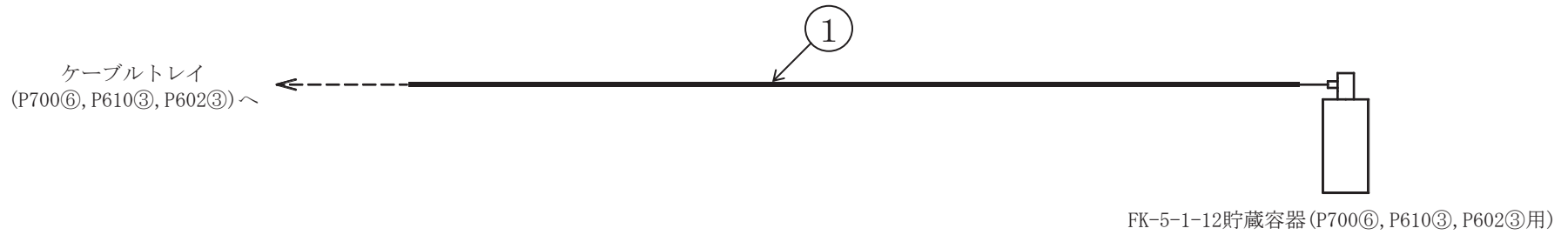
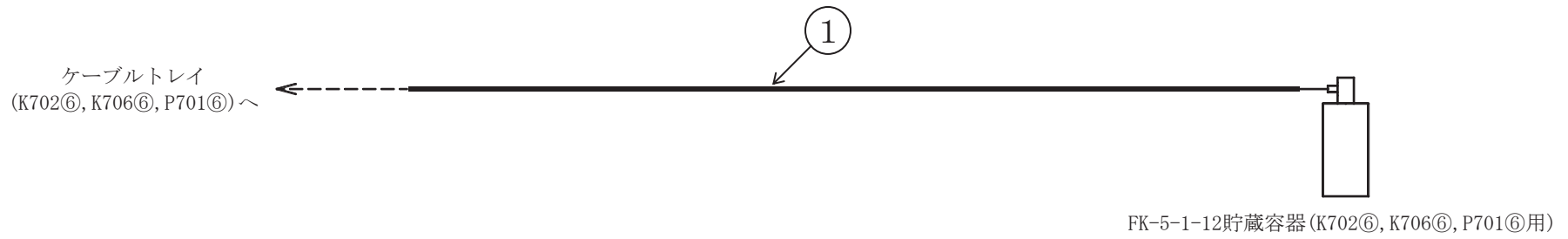
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 48)



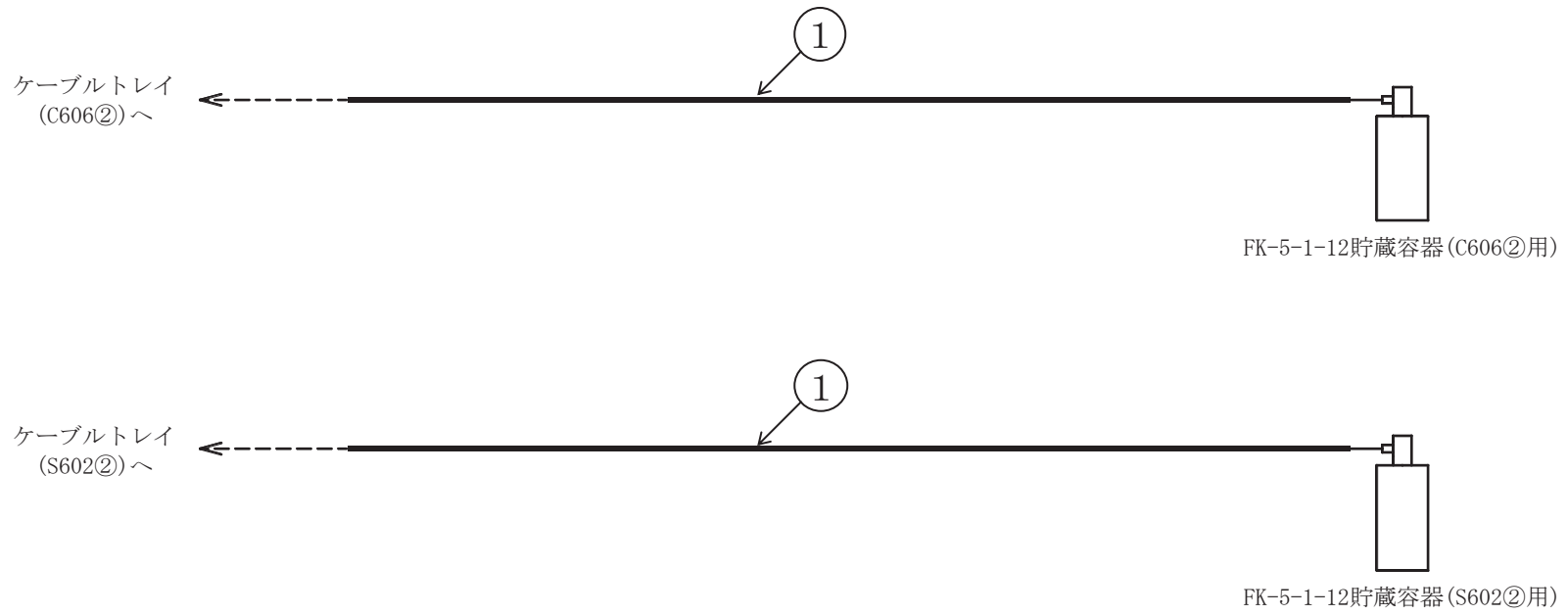




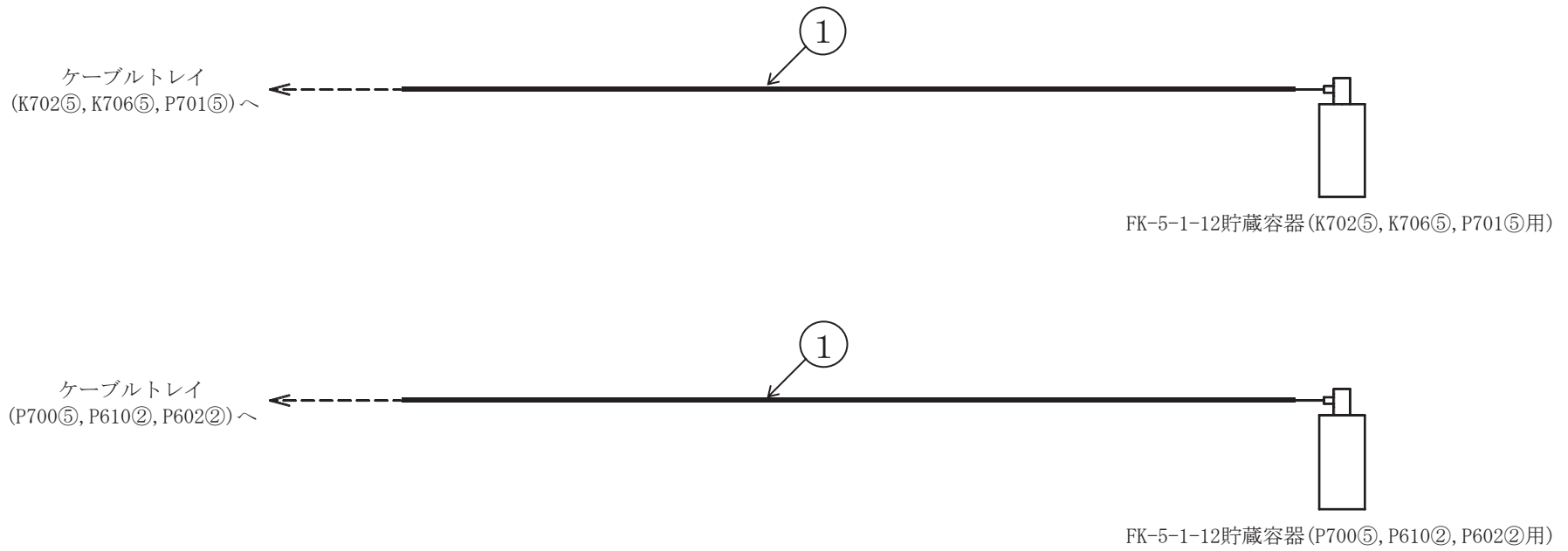


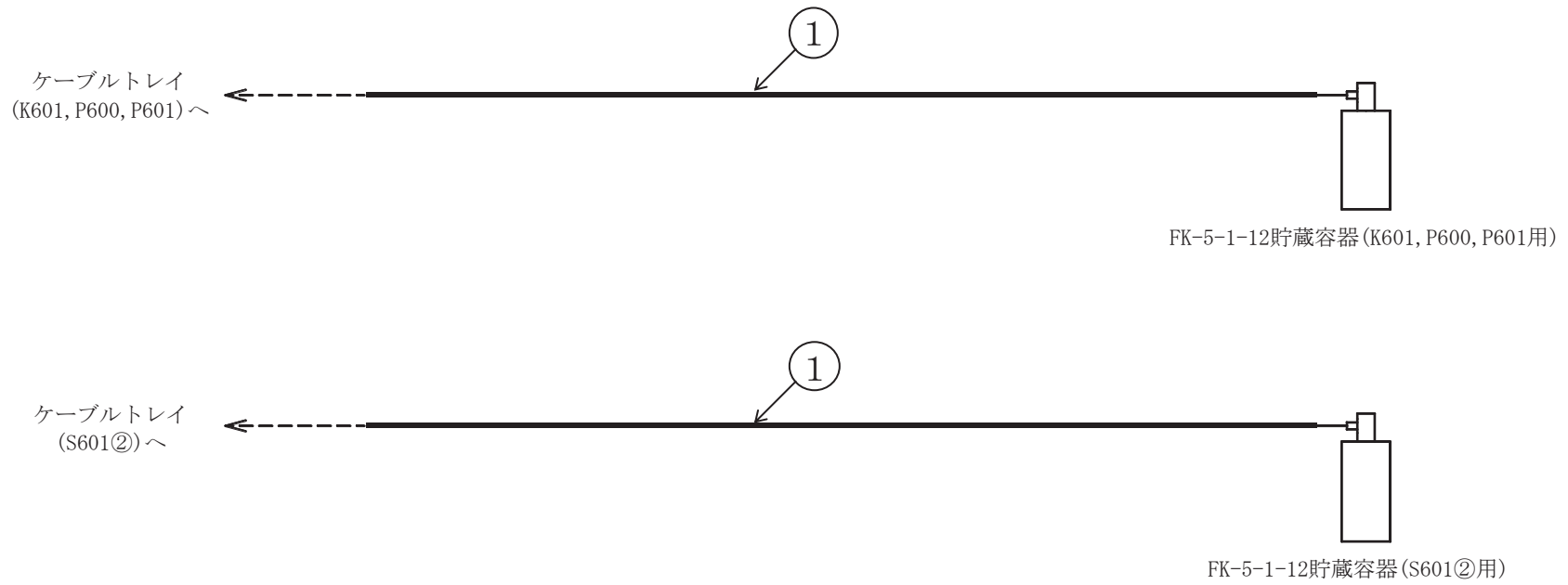


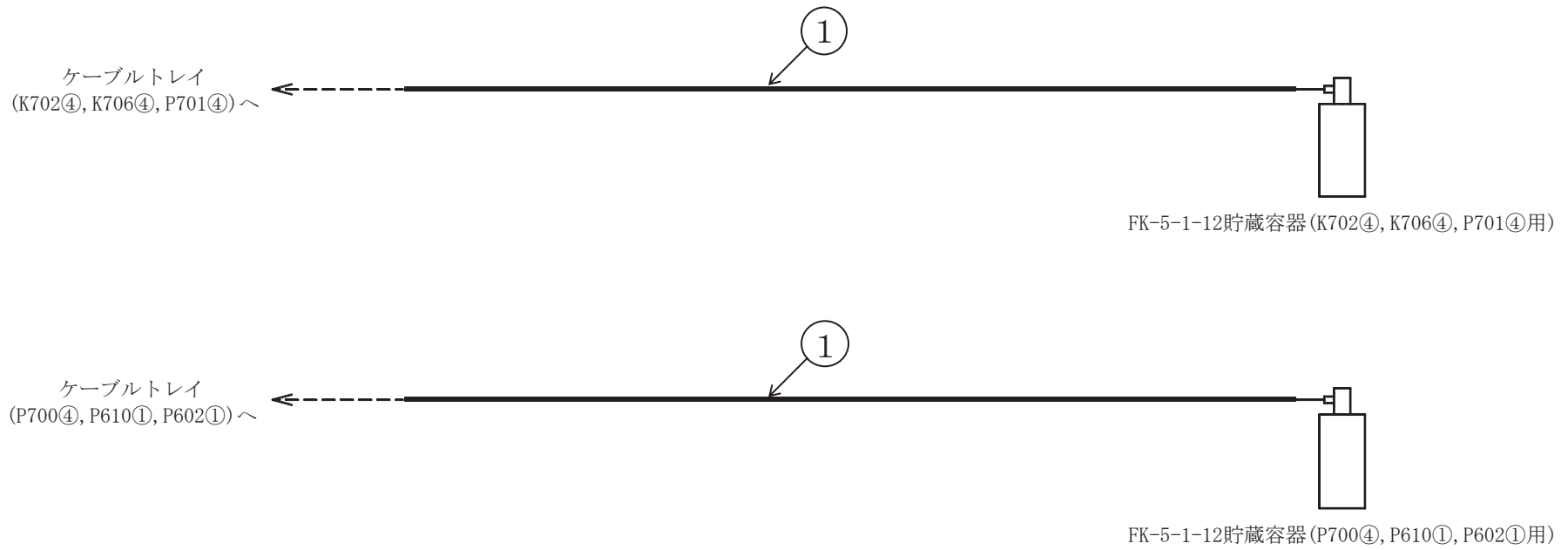
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 53)



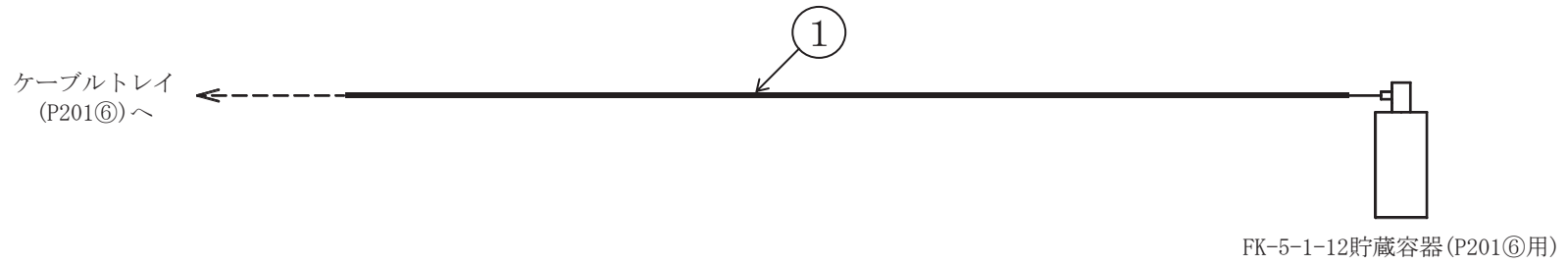




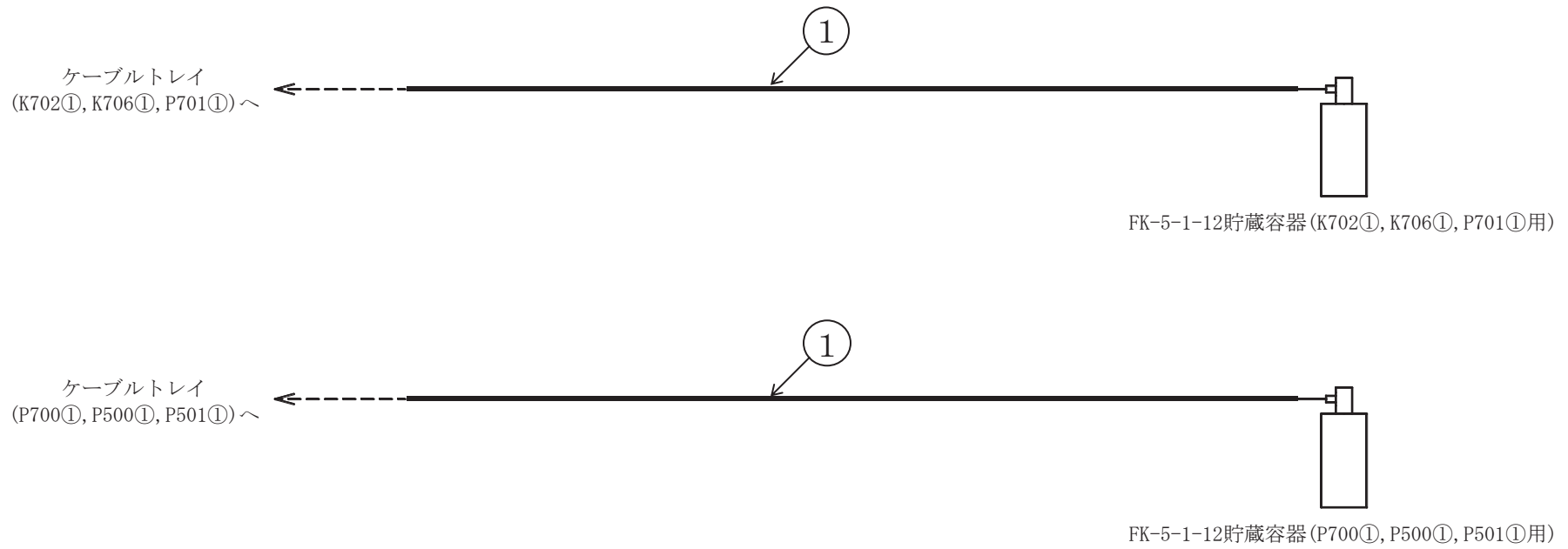


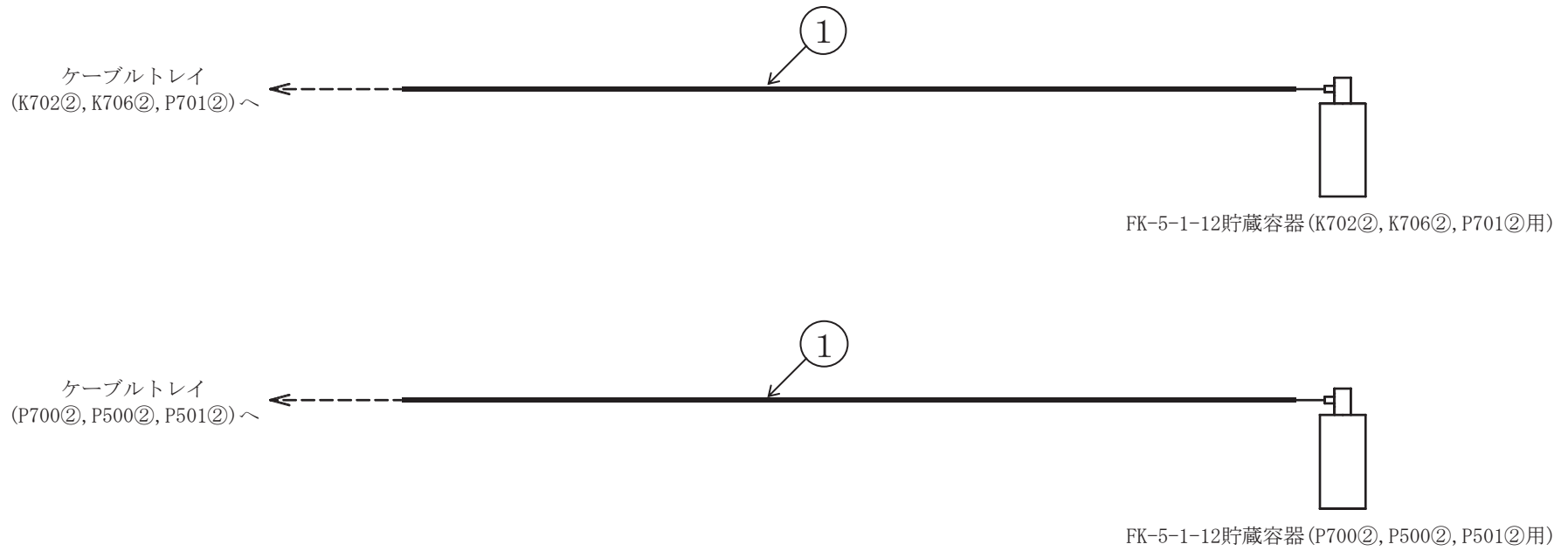


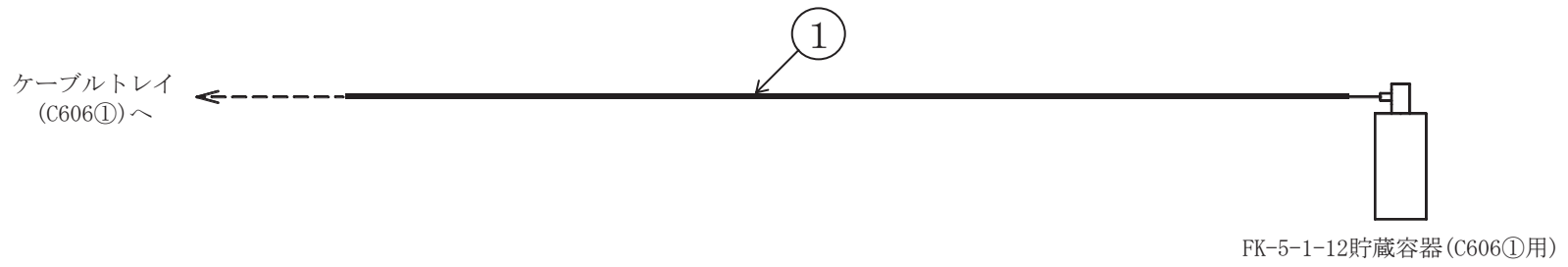
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 57)



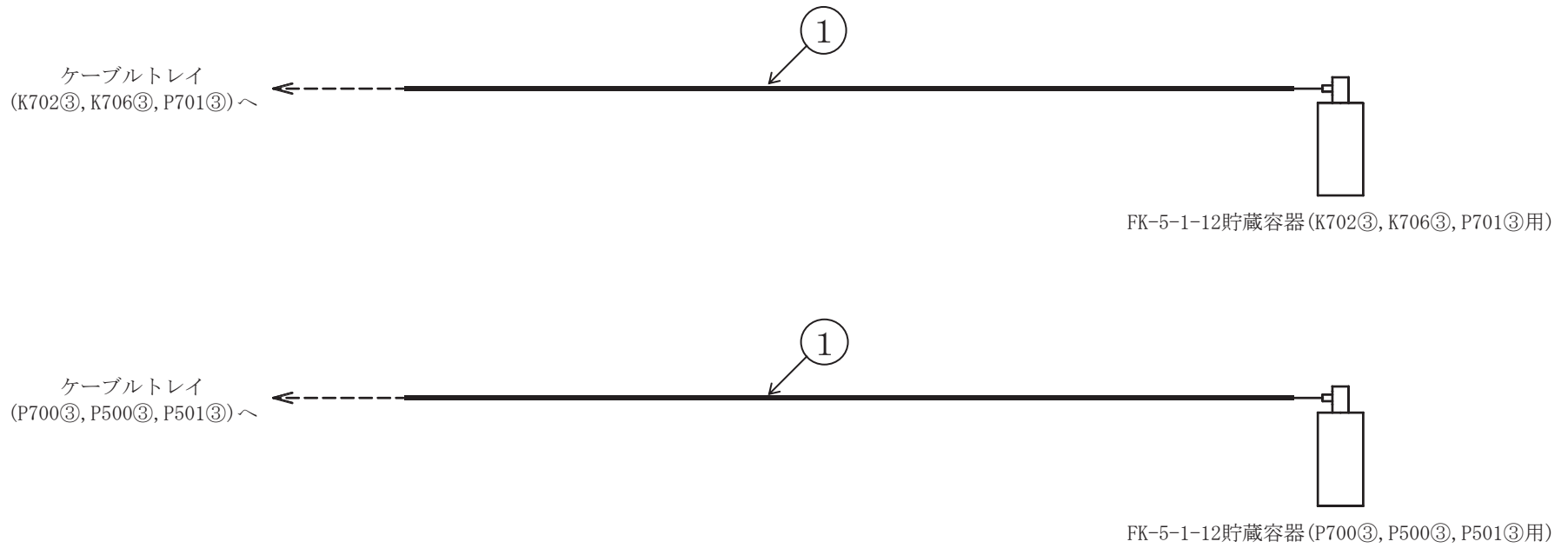
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 58)



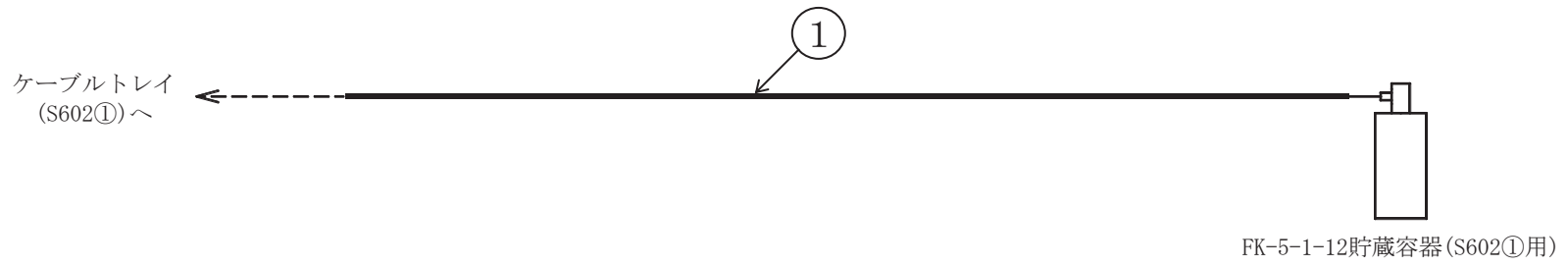


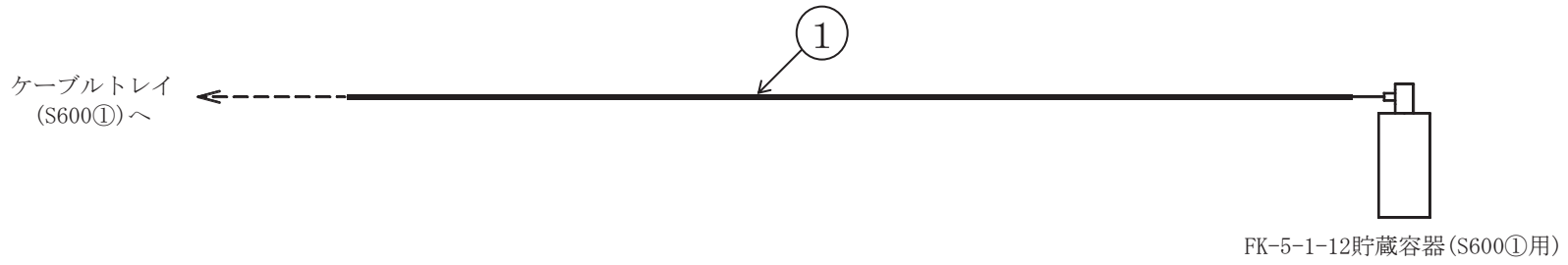
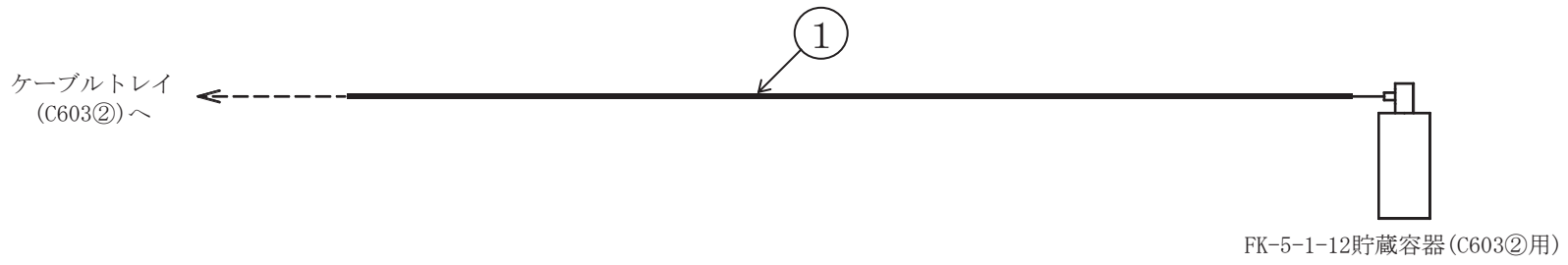
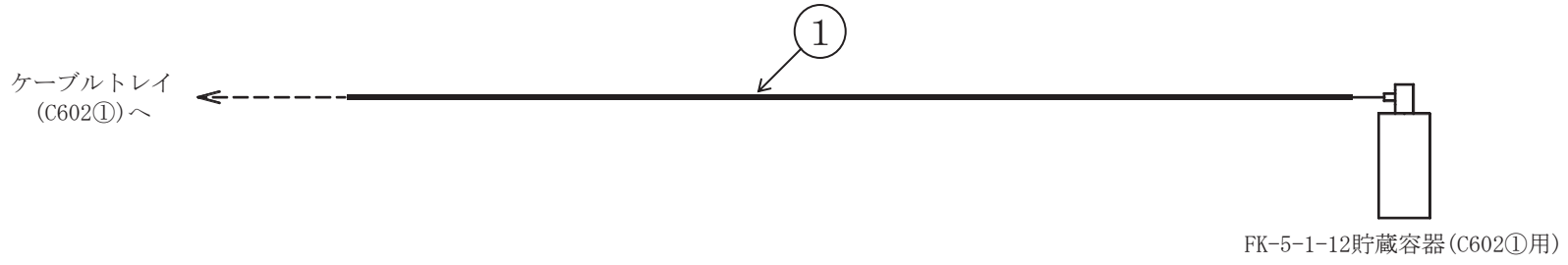


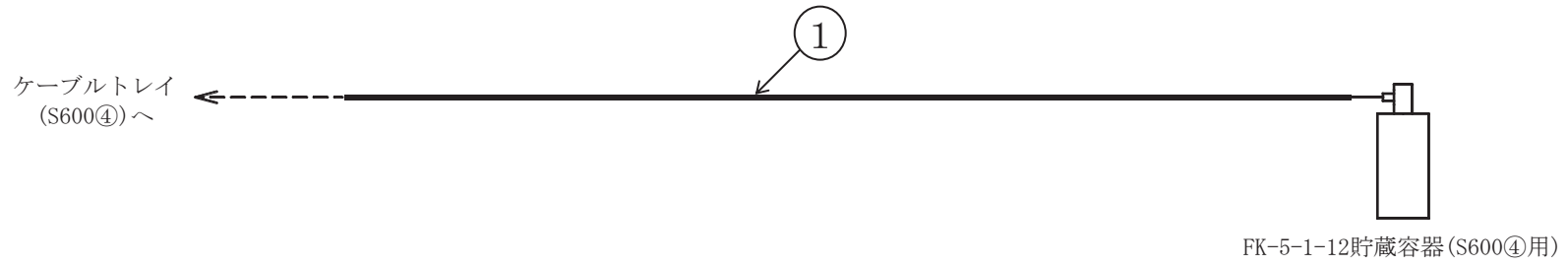
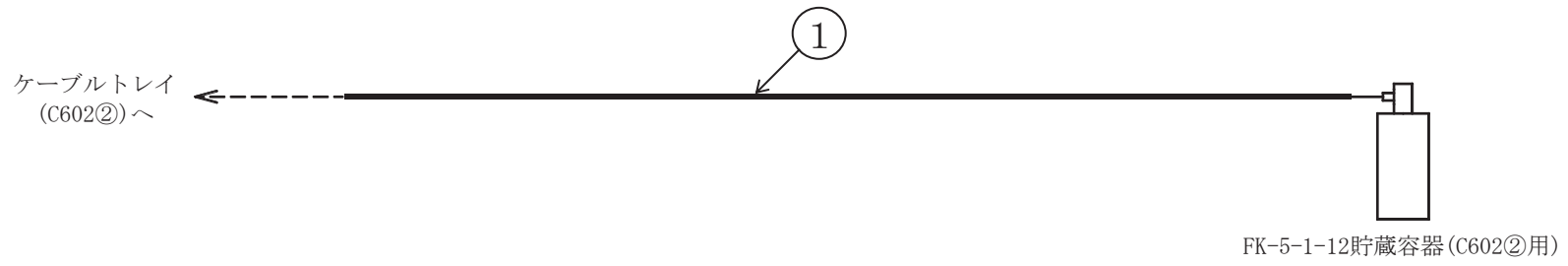
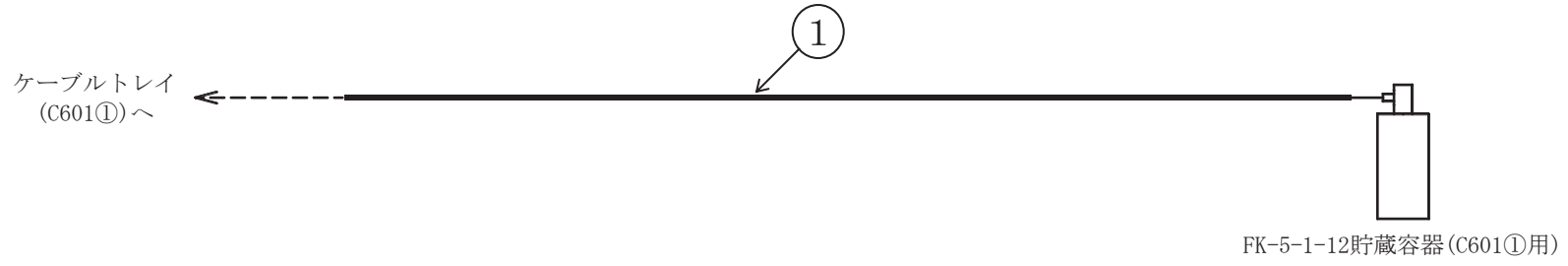
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 61)



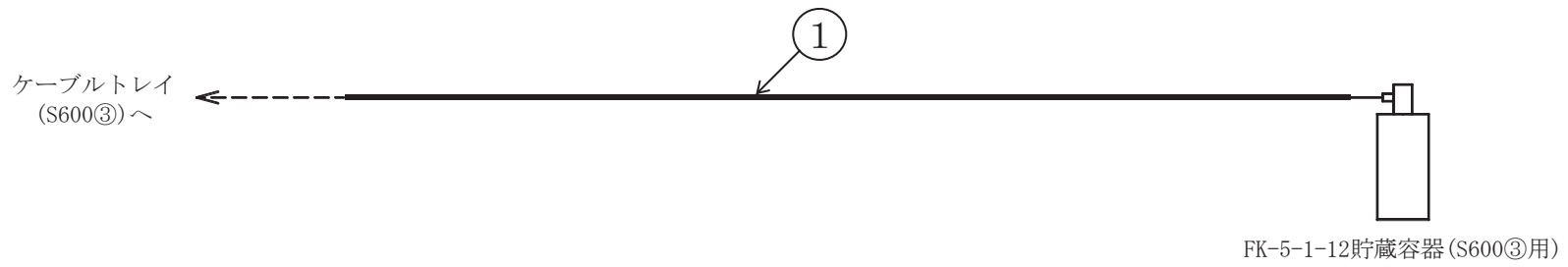


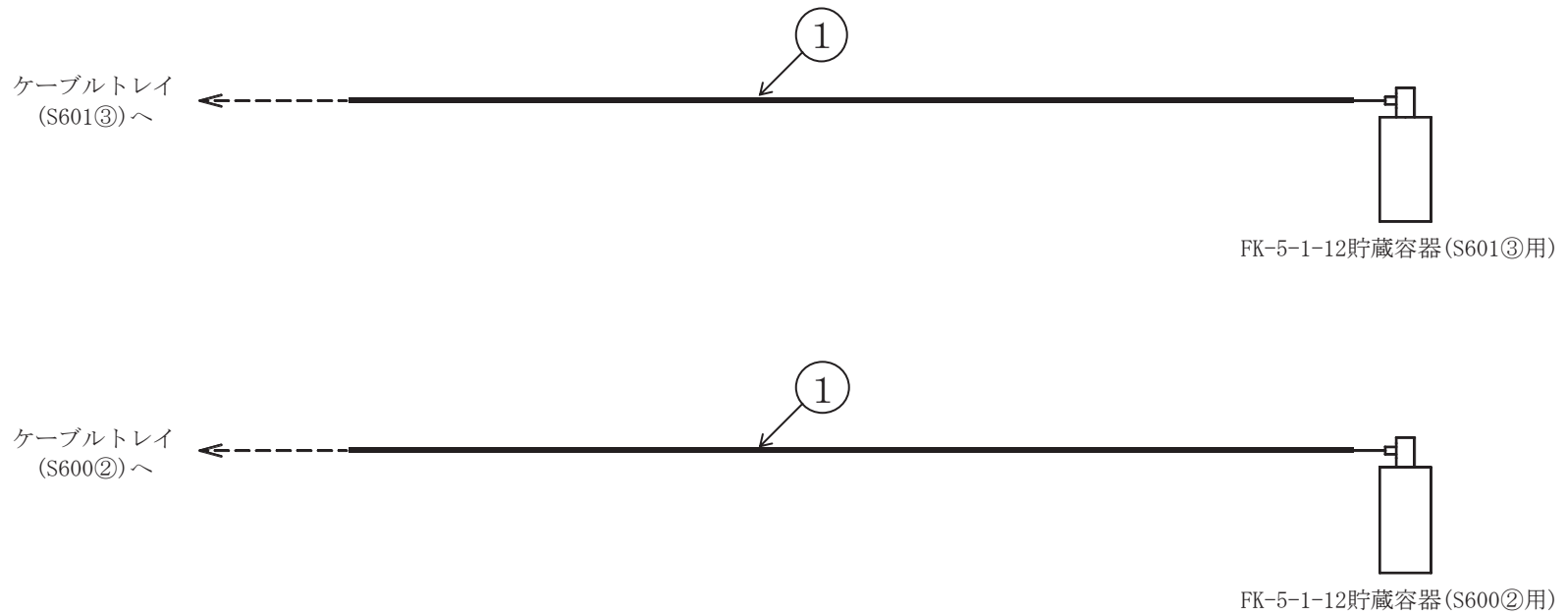


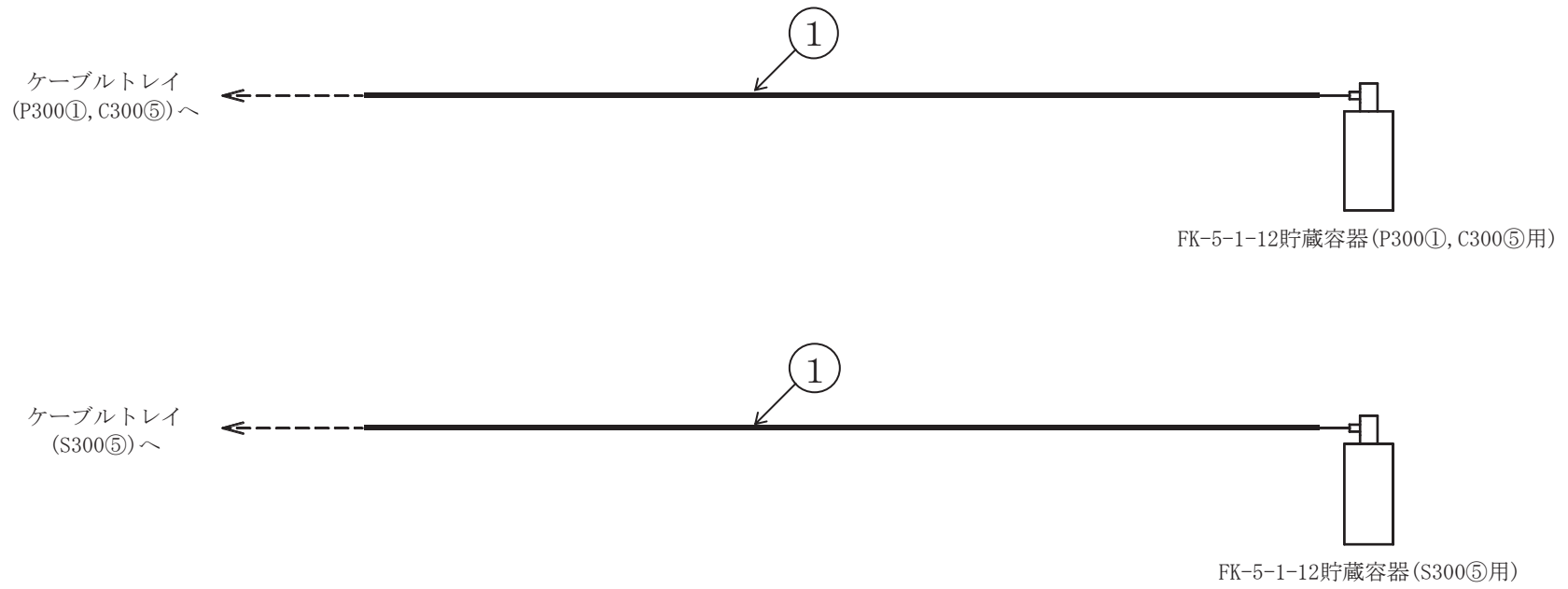


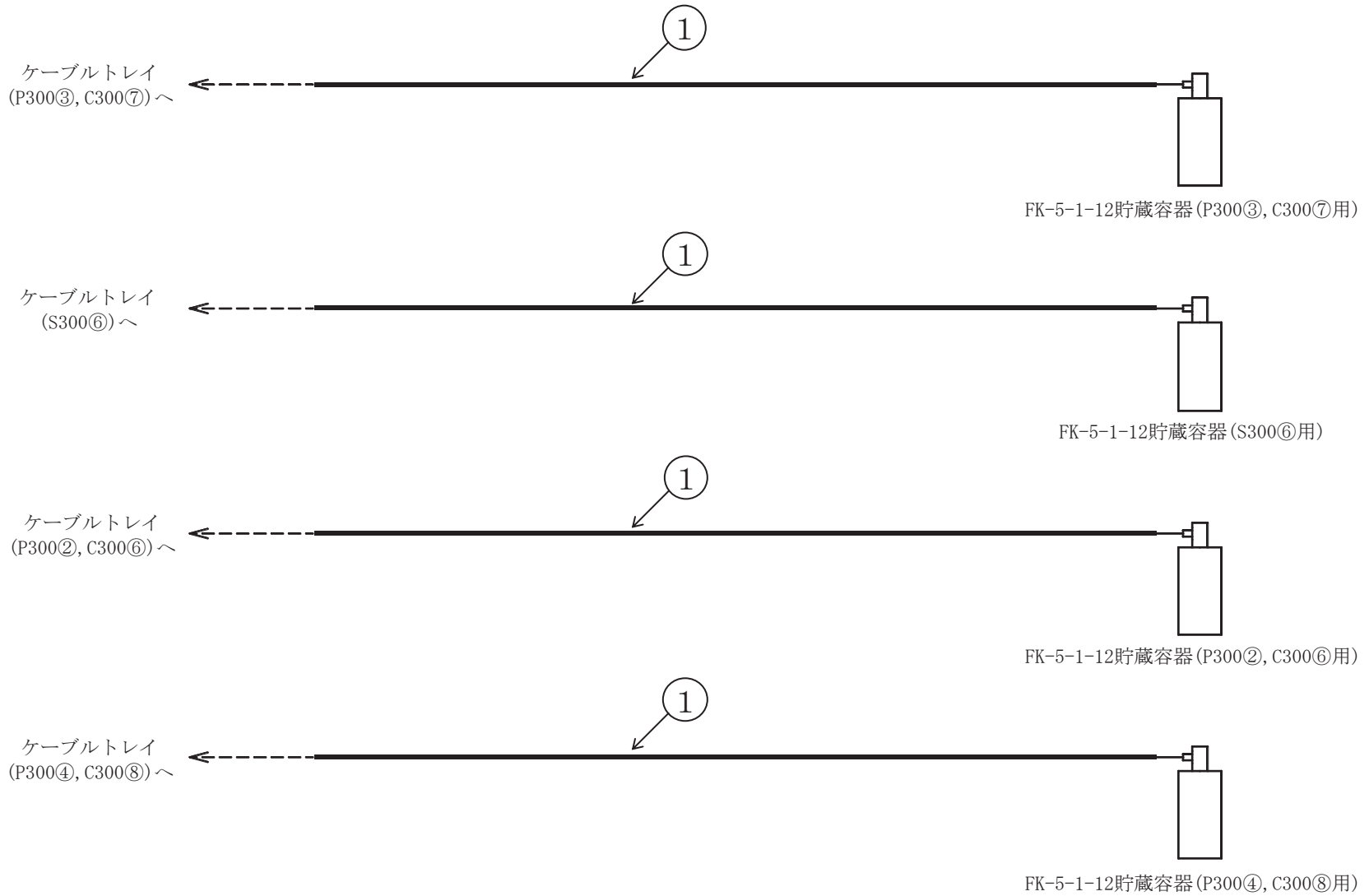


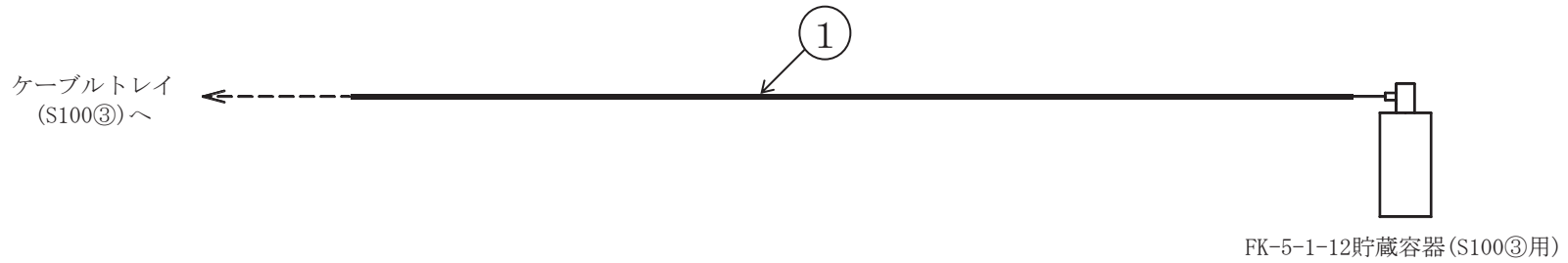
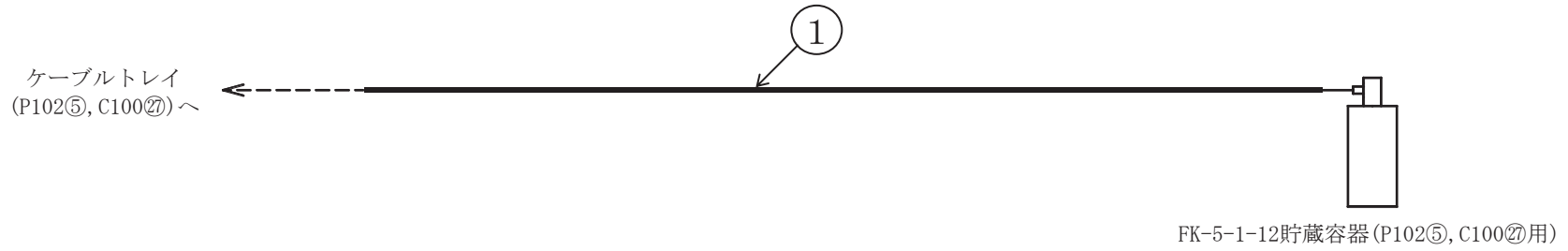
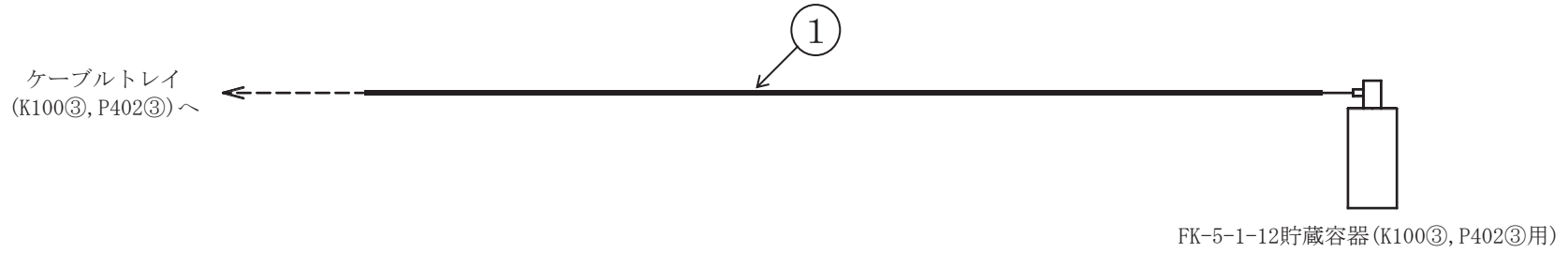
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 65)



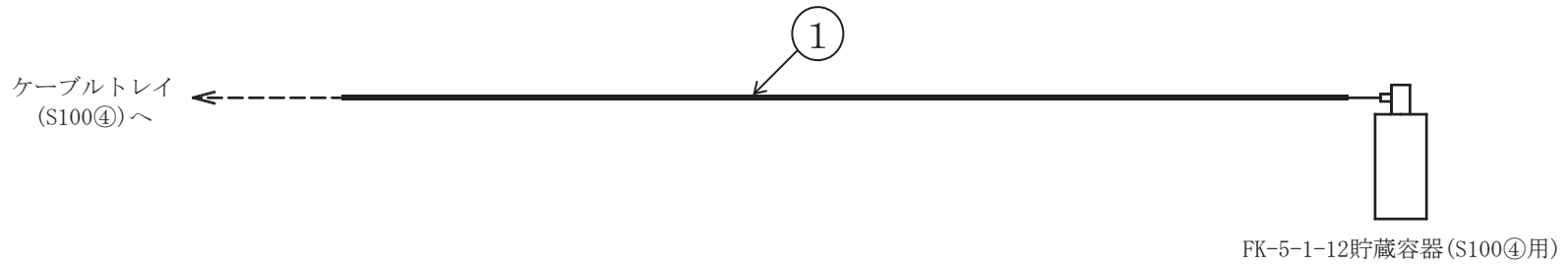
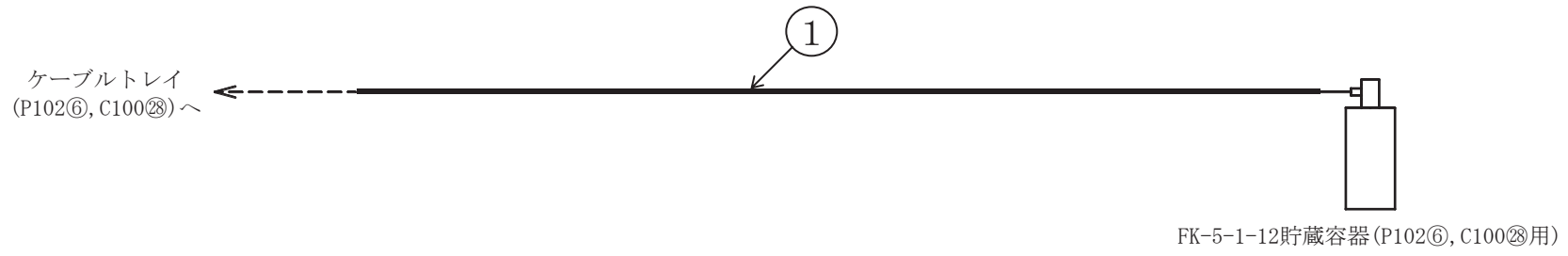
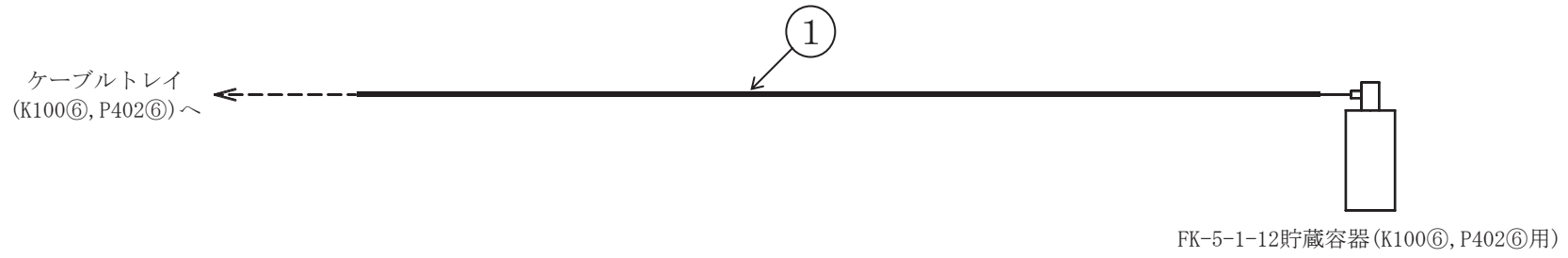


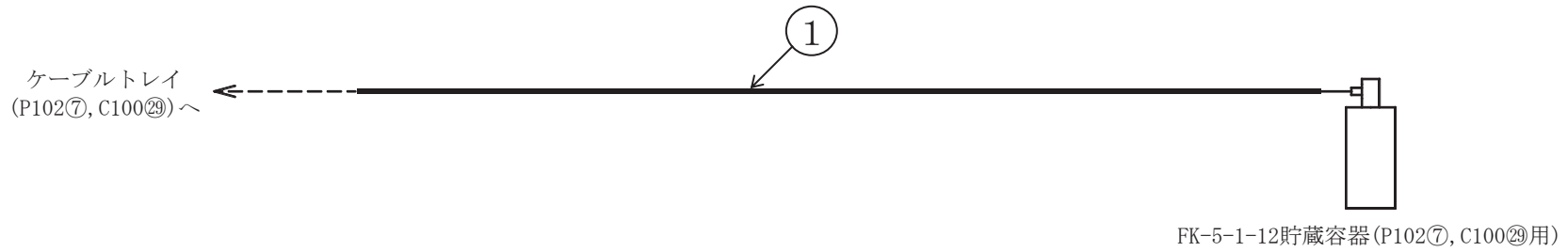
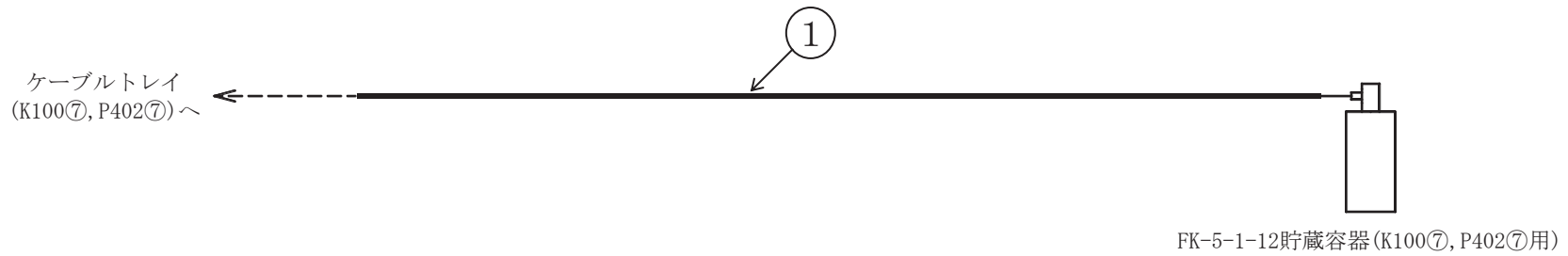






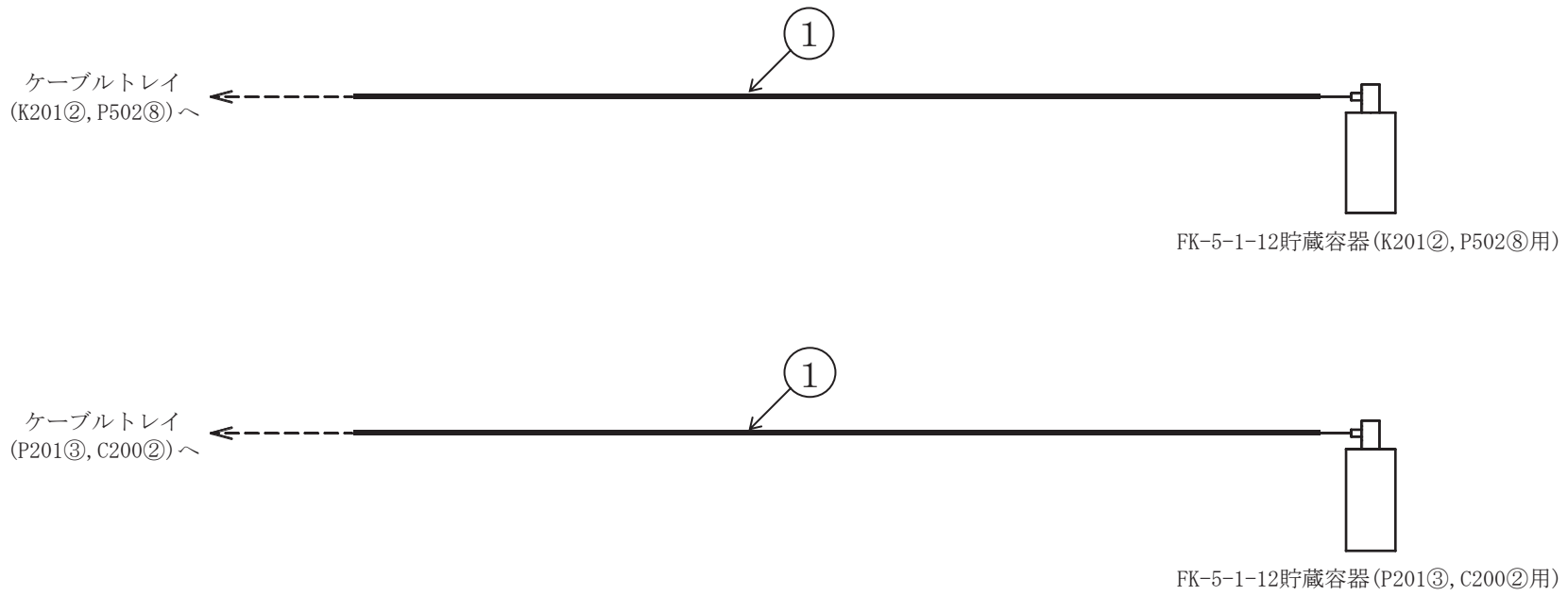




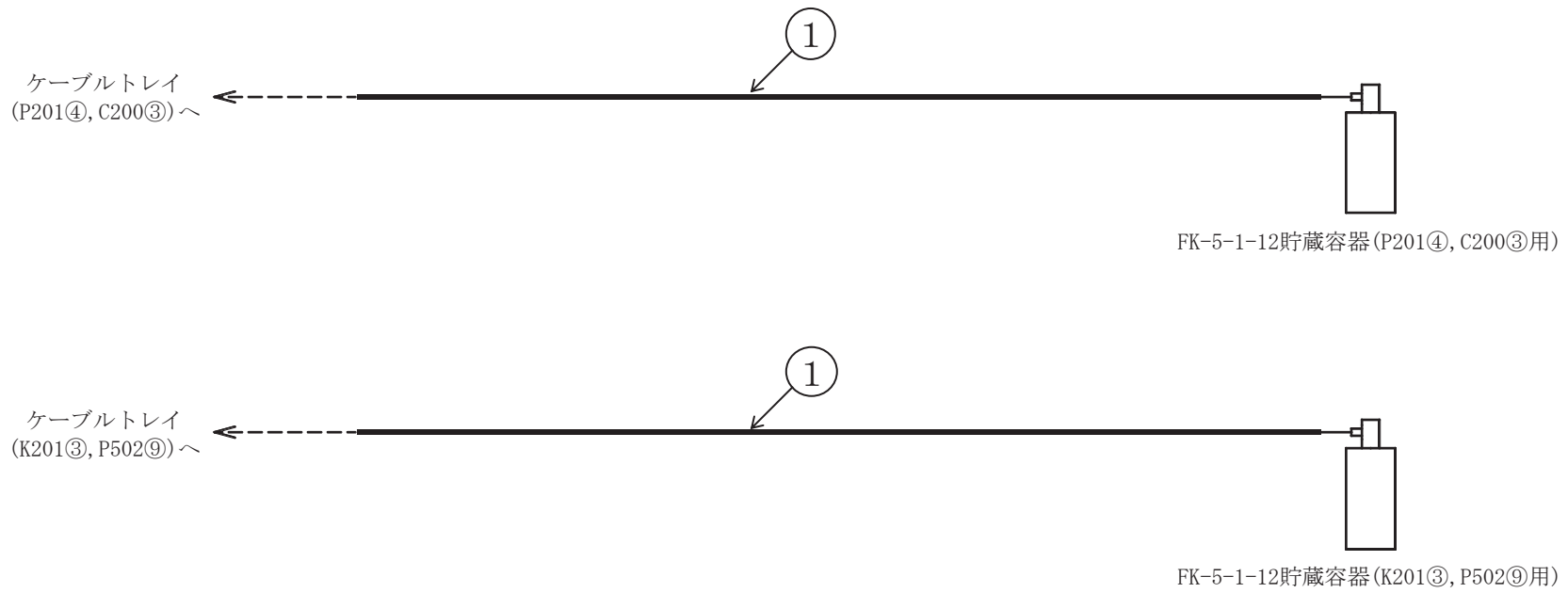


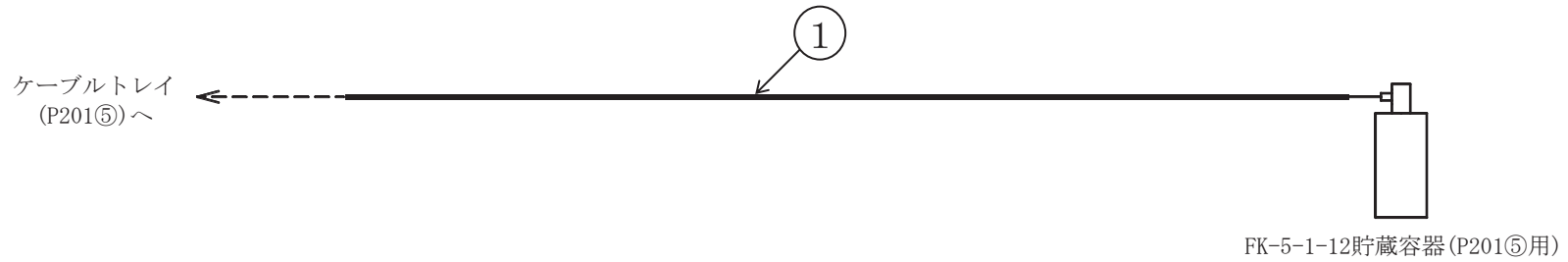
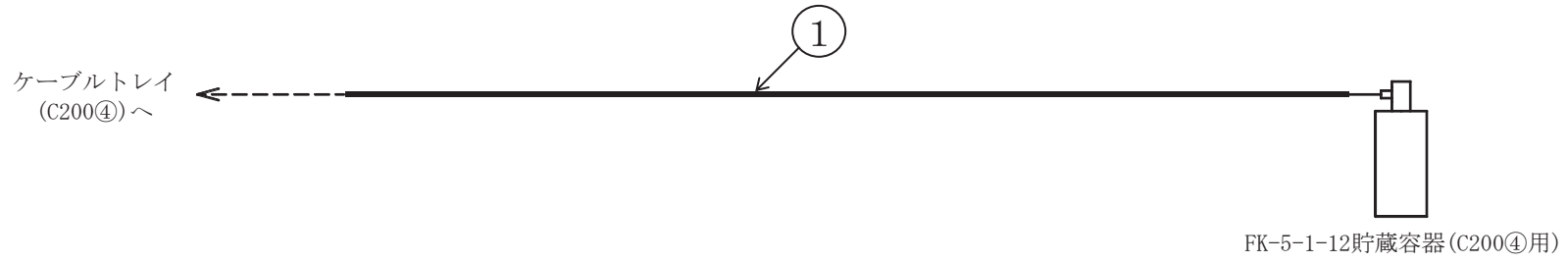
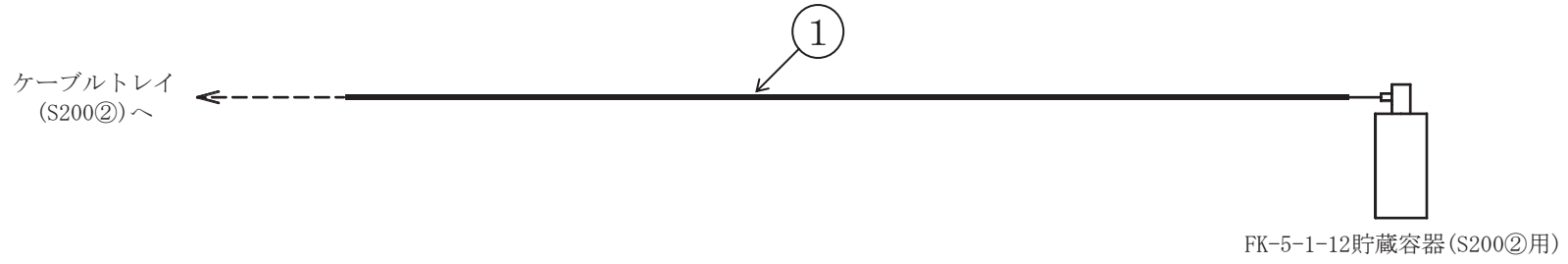
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 72)

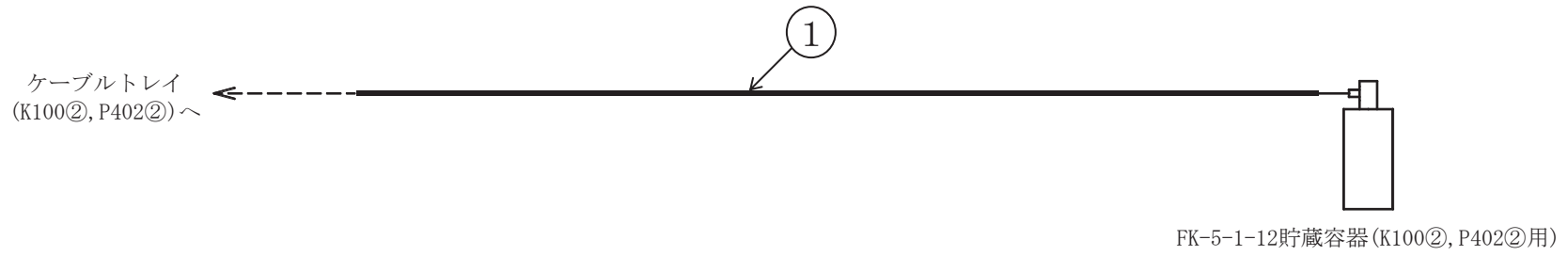
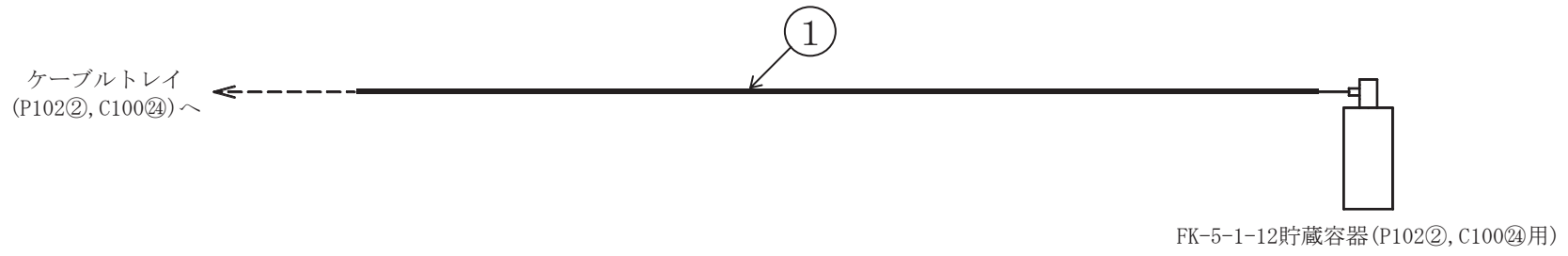
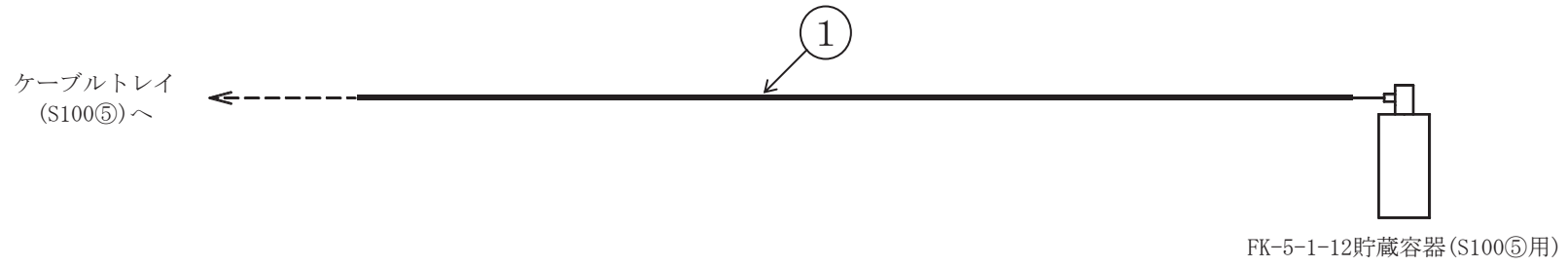
150

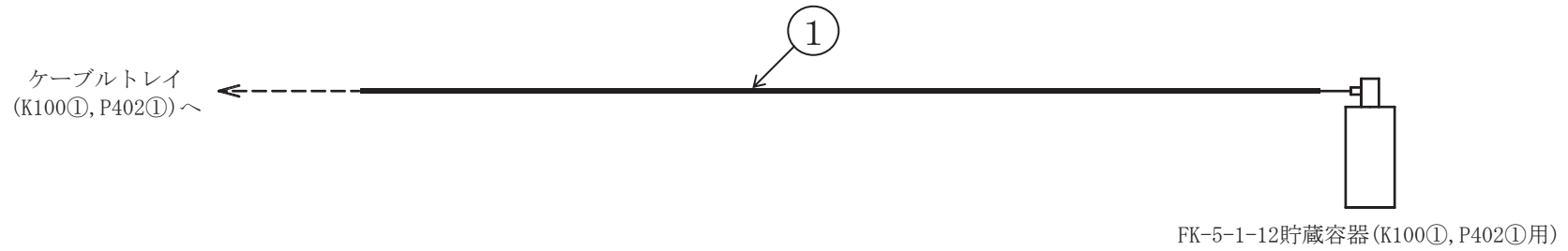
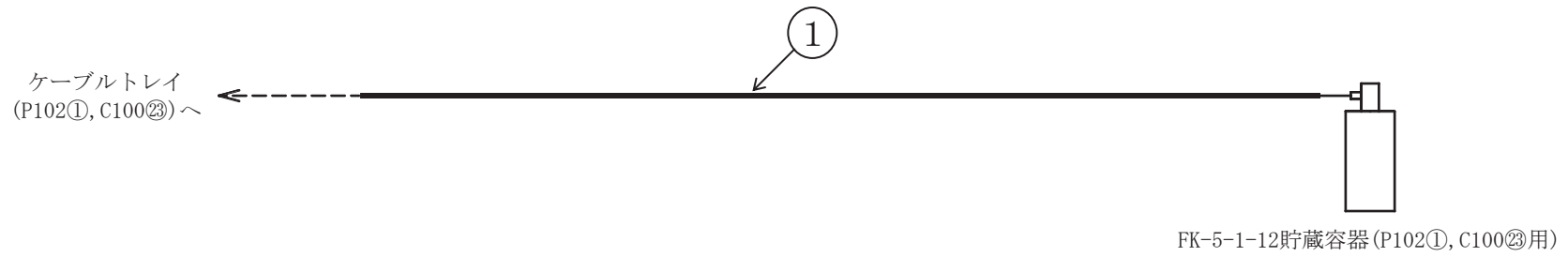


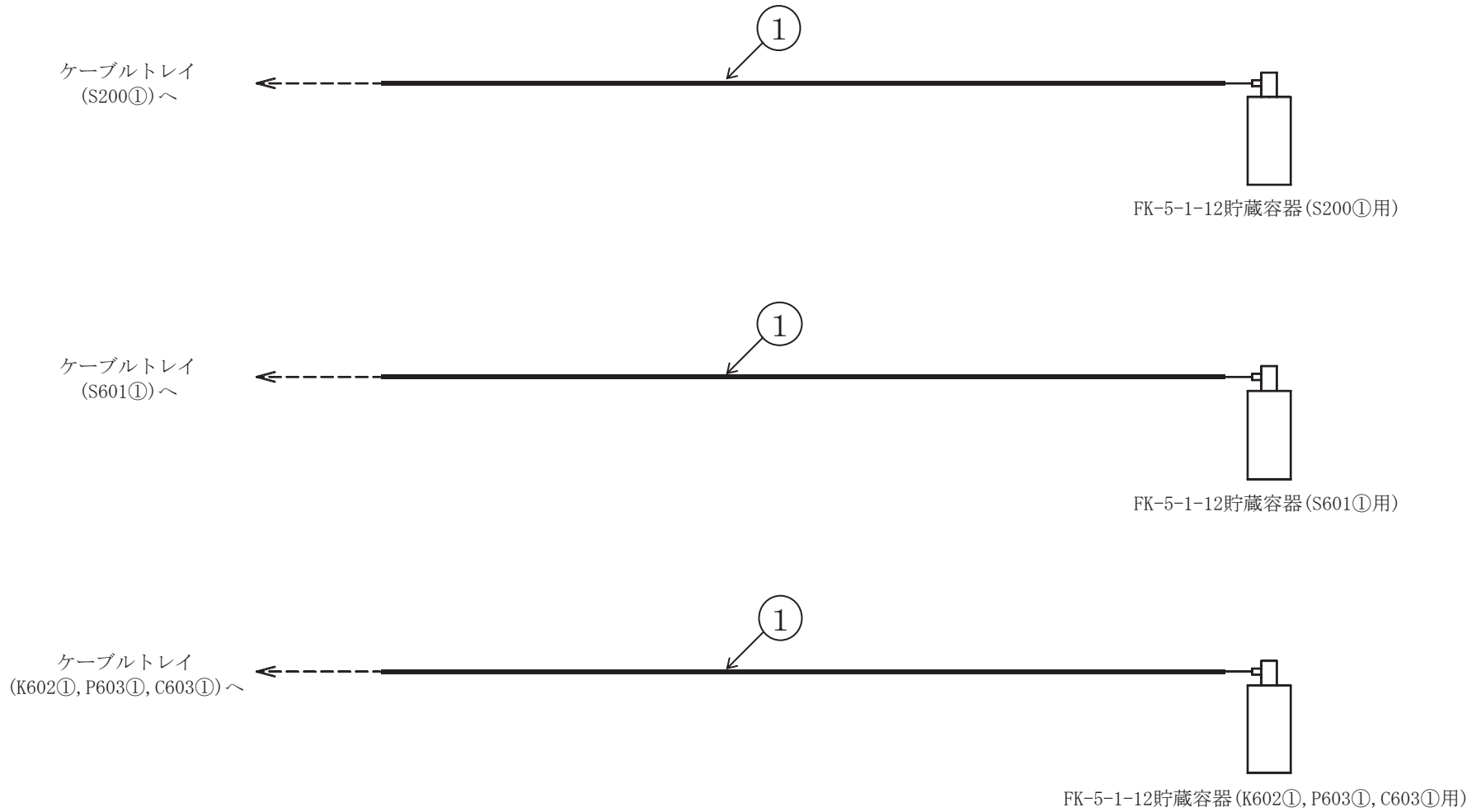
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 73)





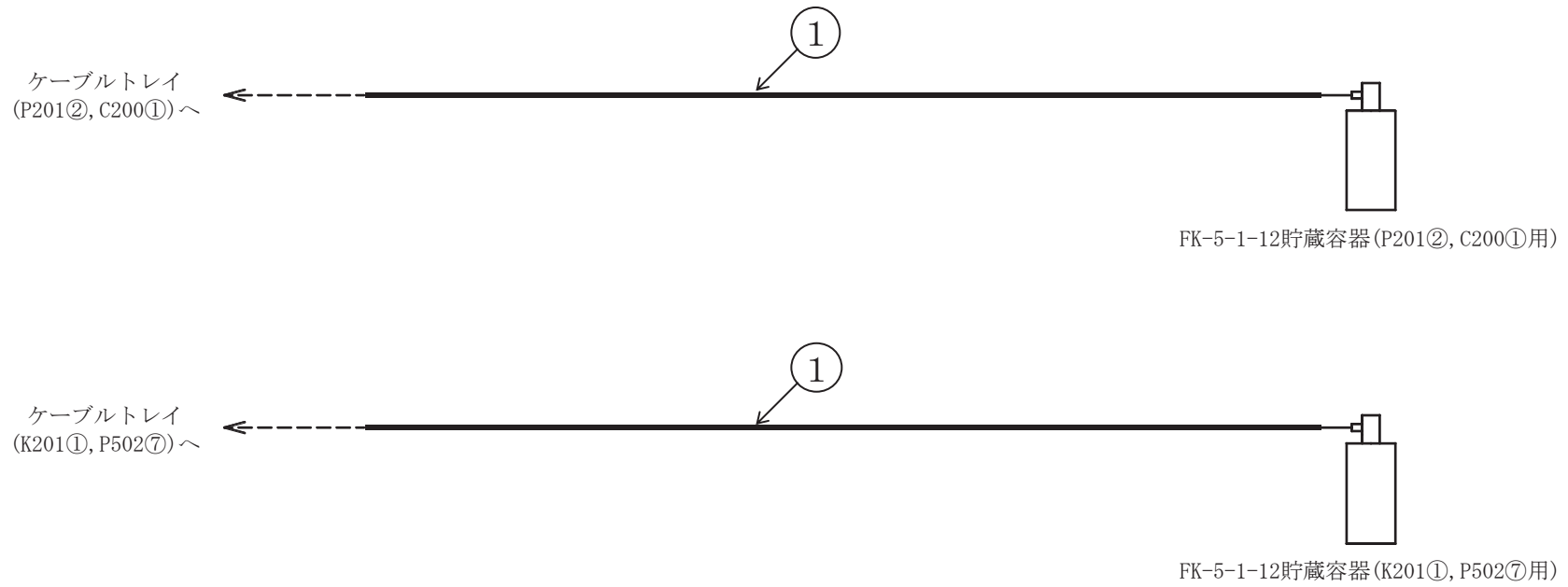


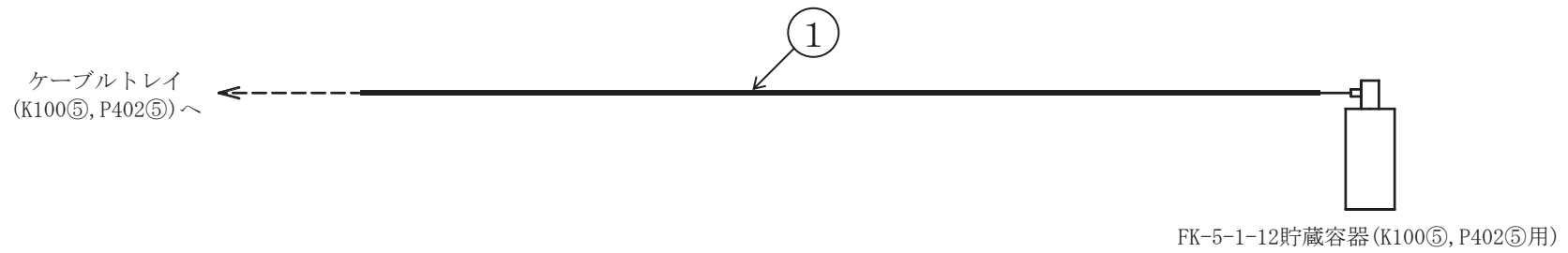
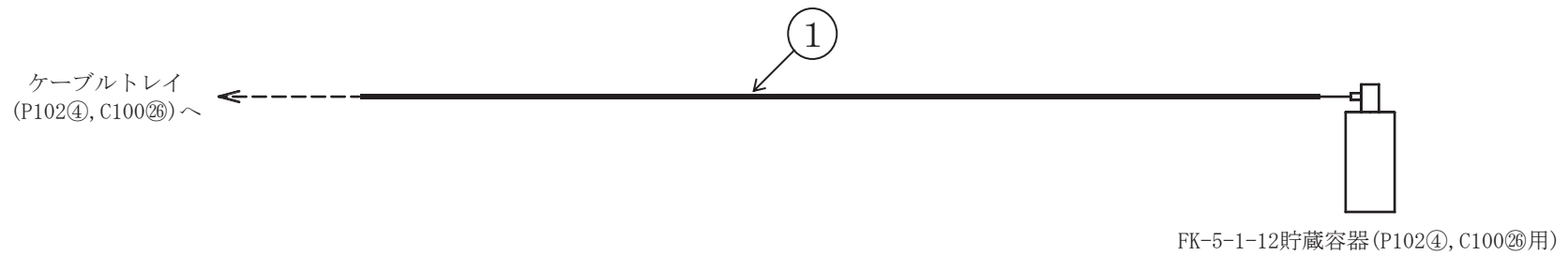


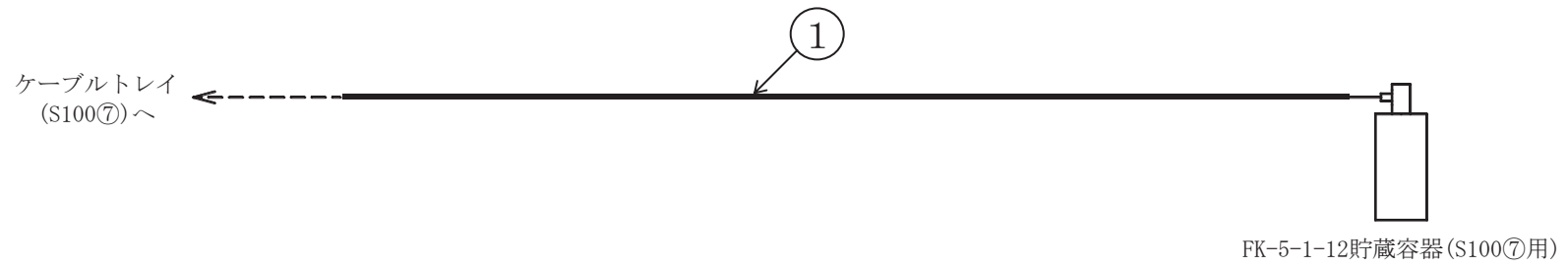


ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 78)

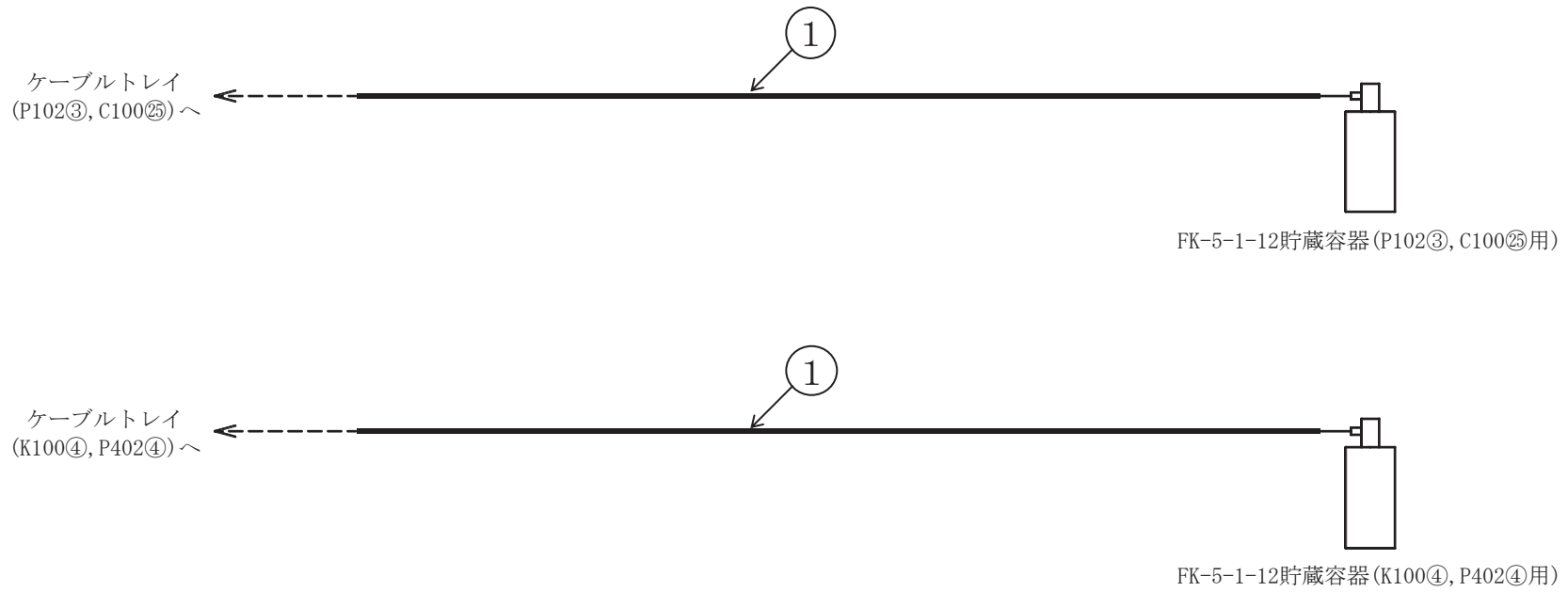


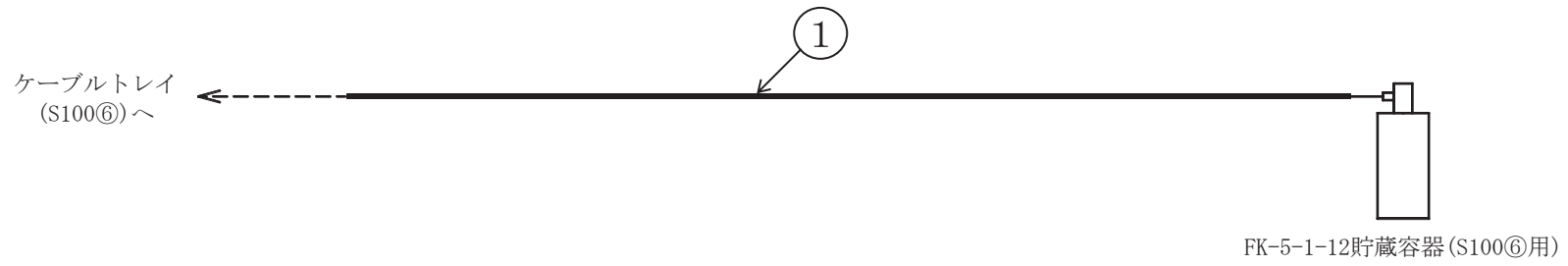


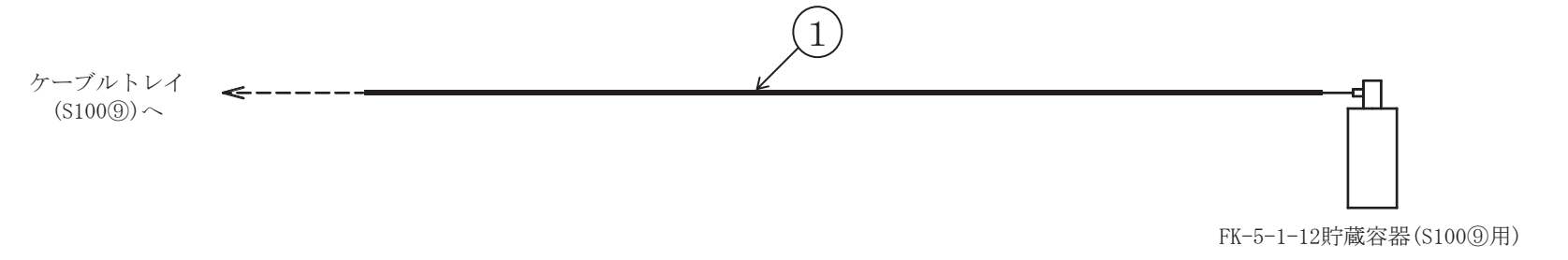
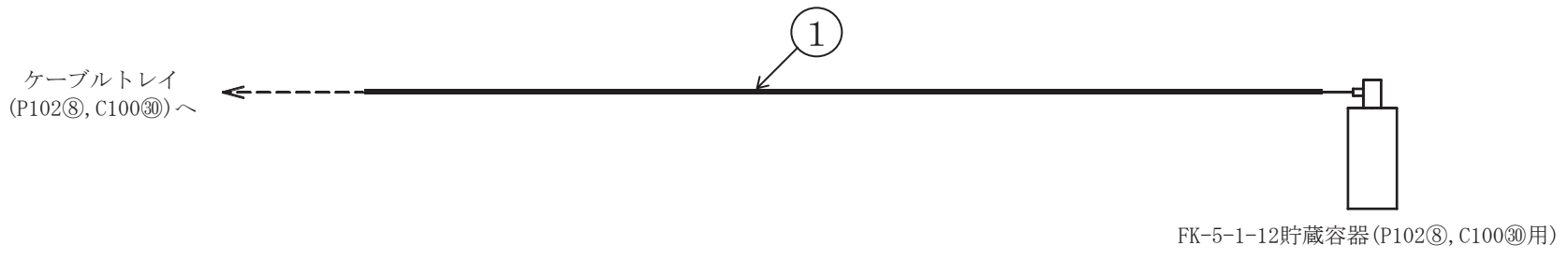
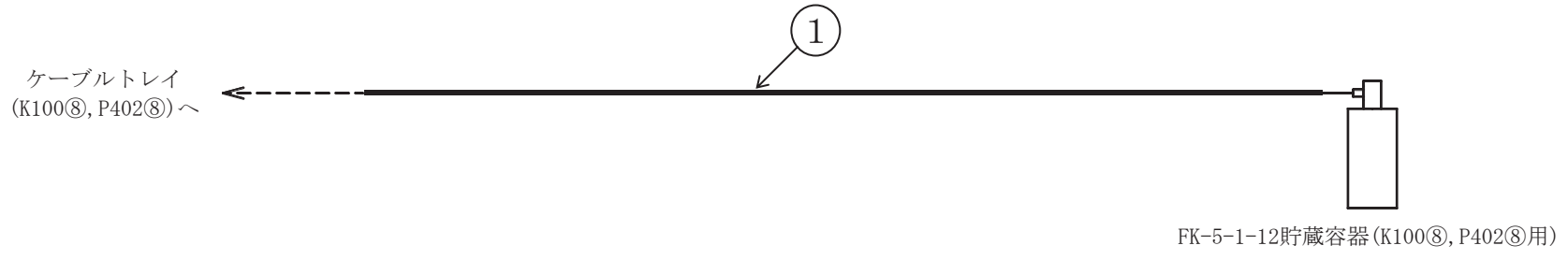


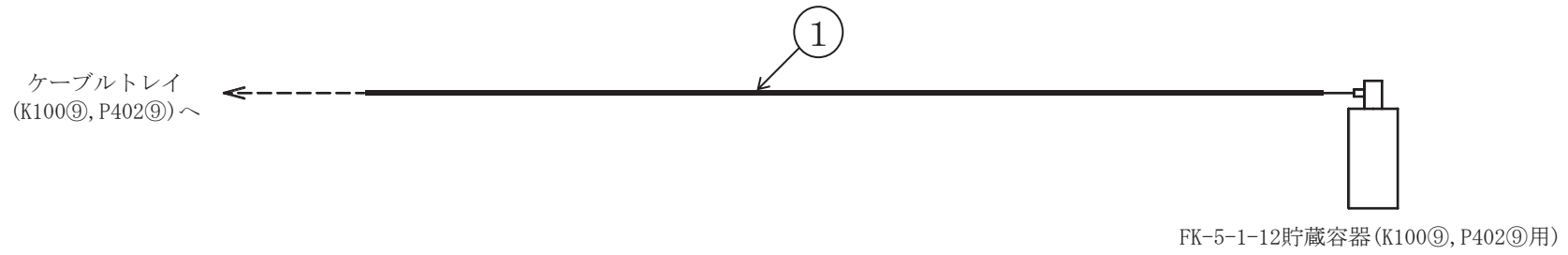
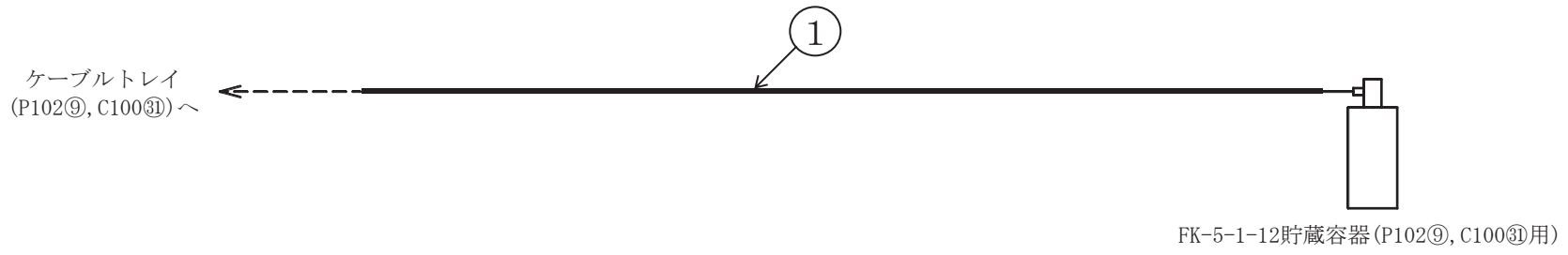
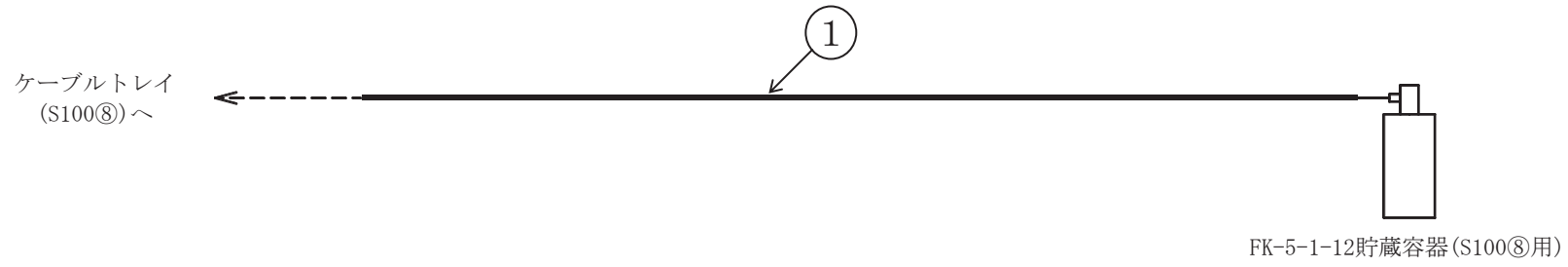


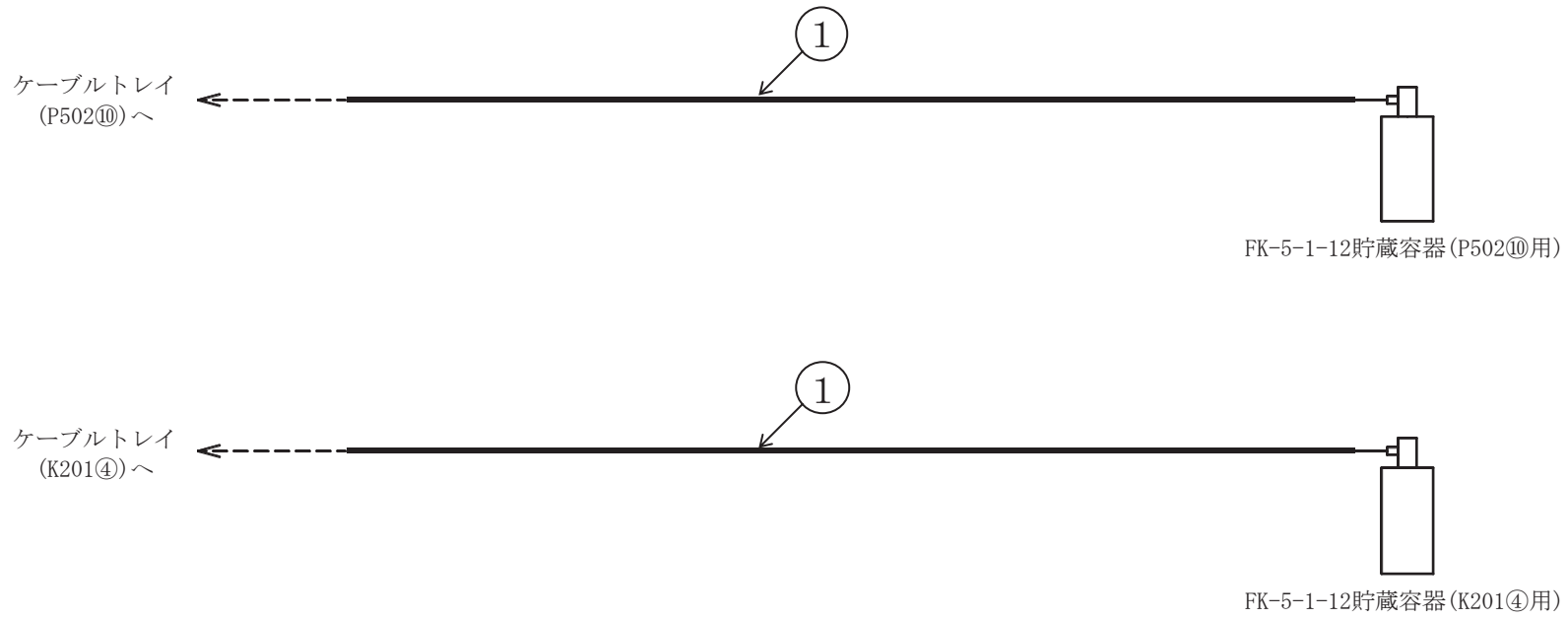
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 81)



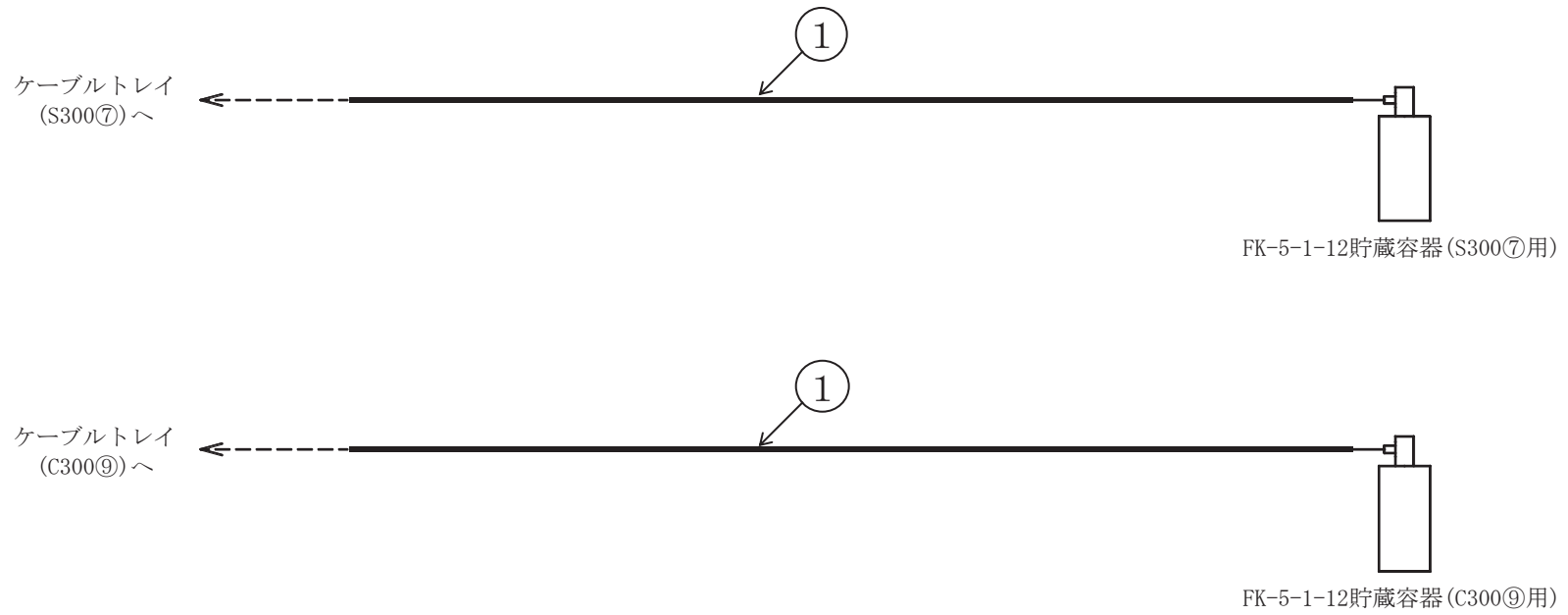


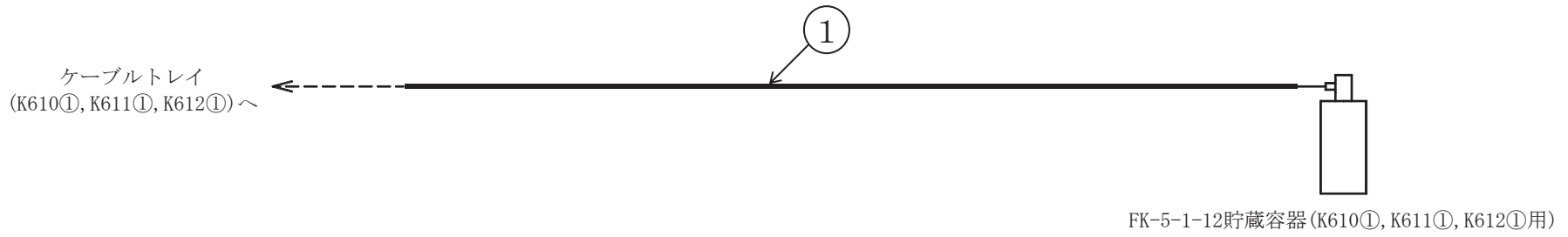
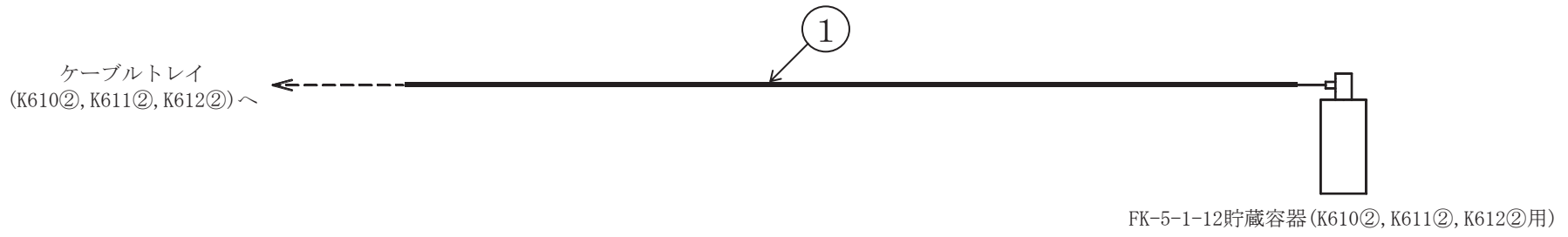
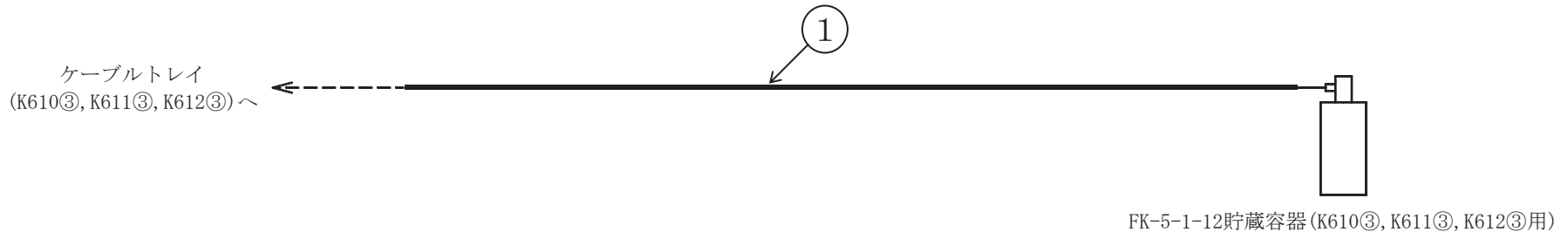




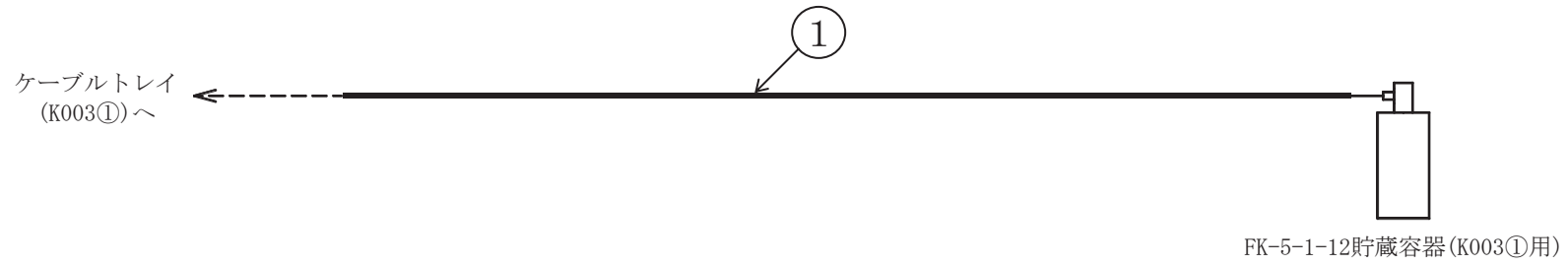


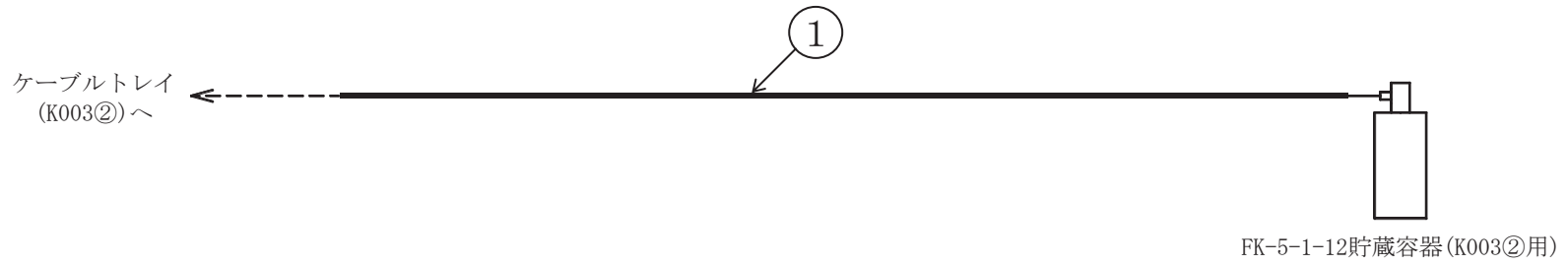


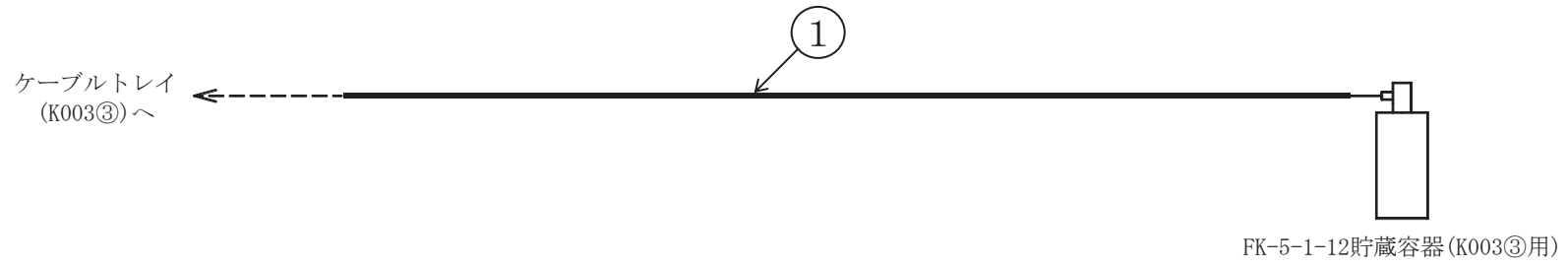




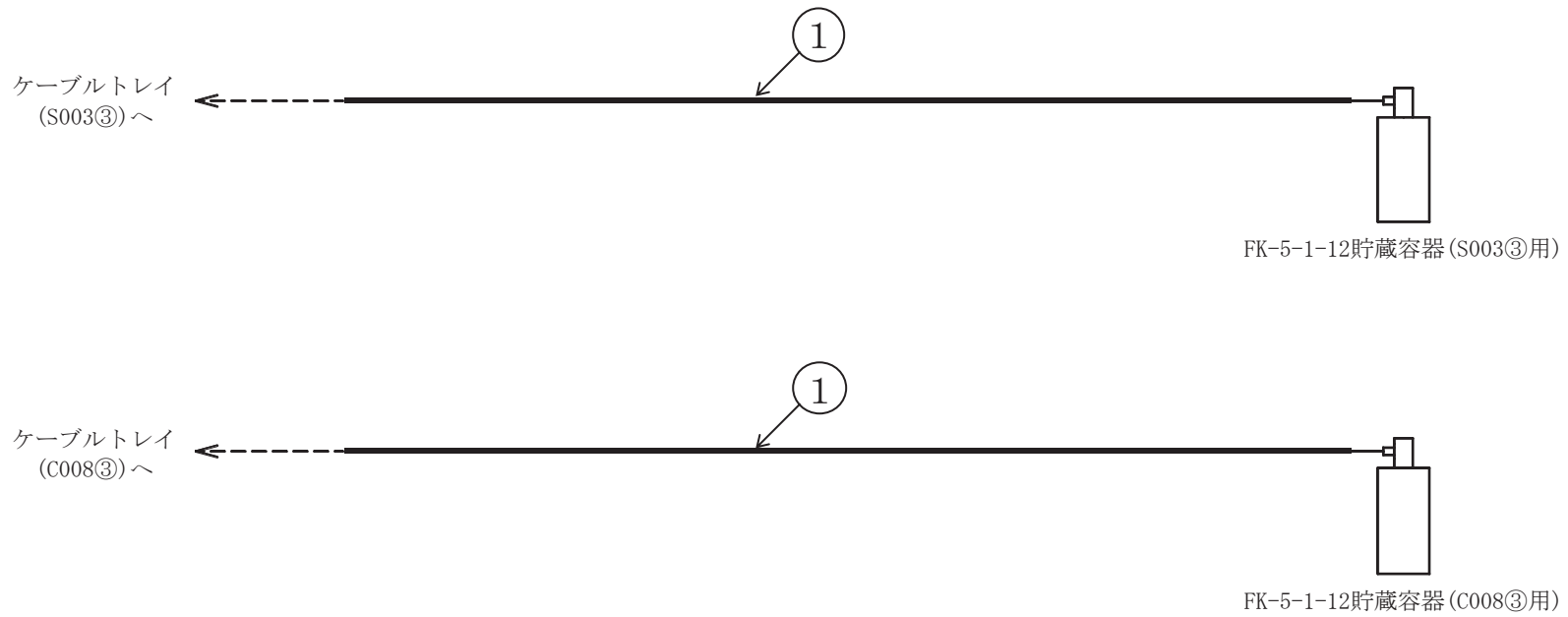
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 88)



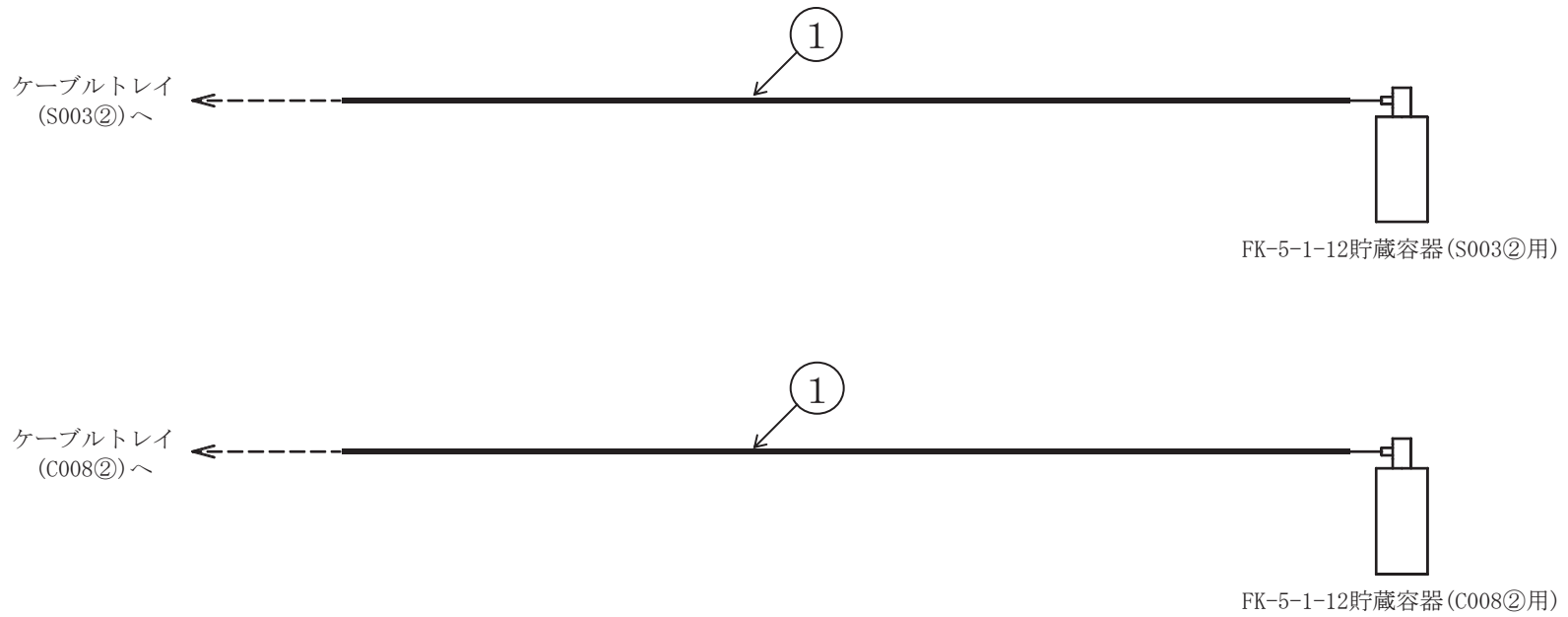


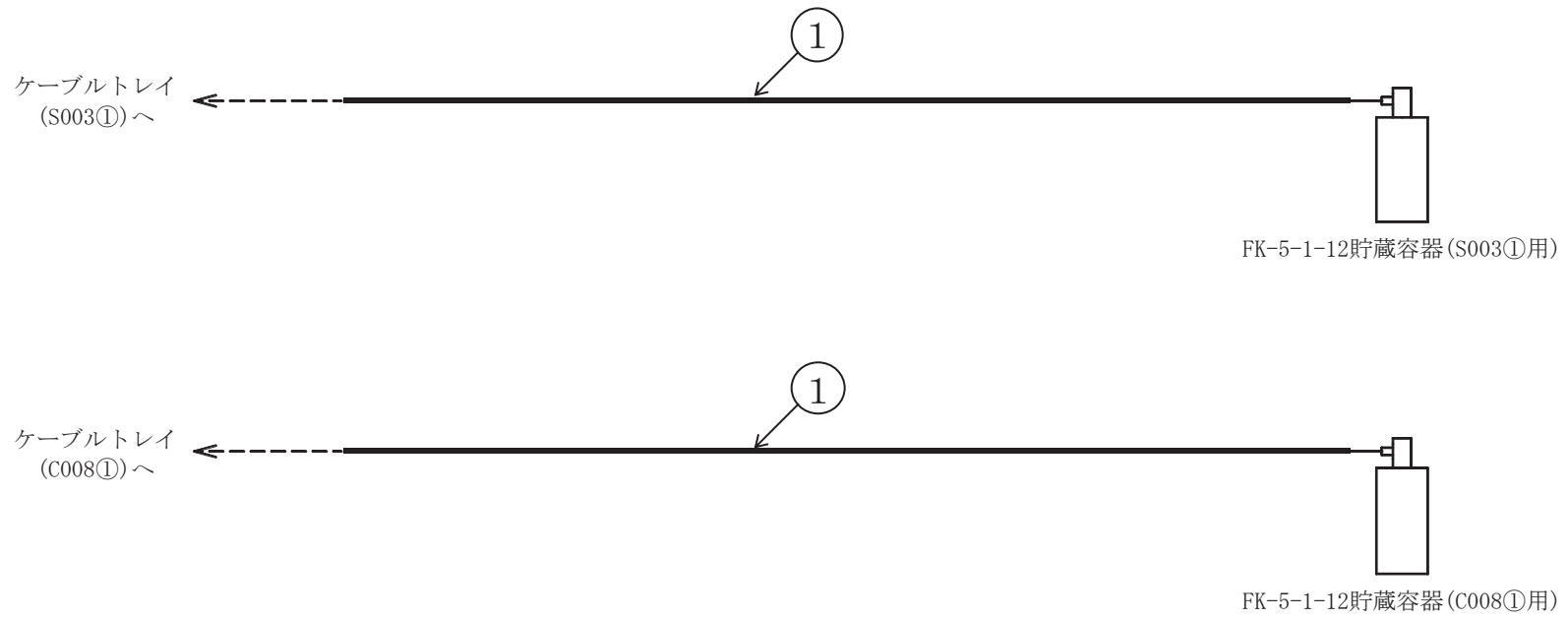


ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 91)



ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 92)

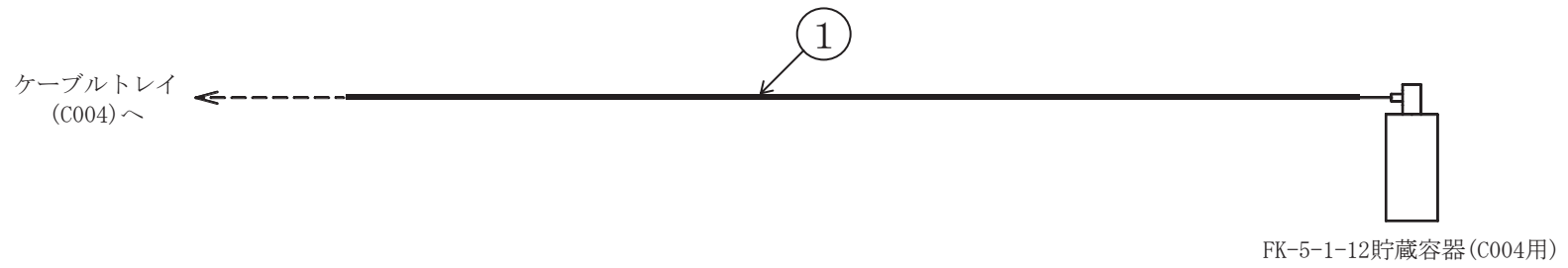


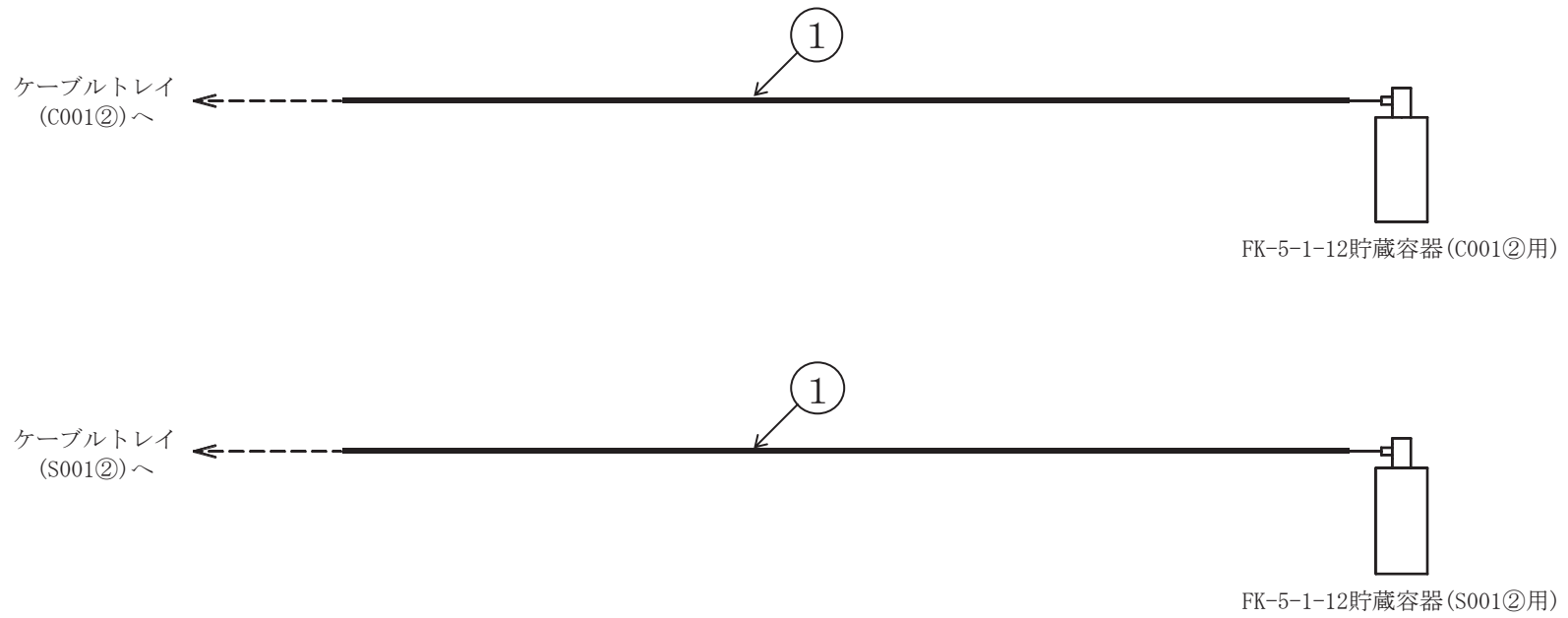


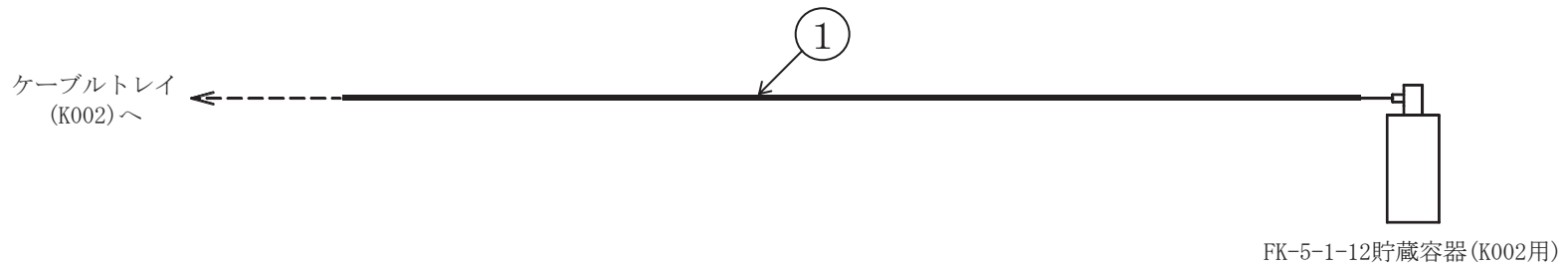
171

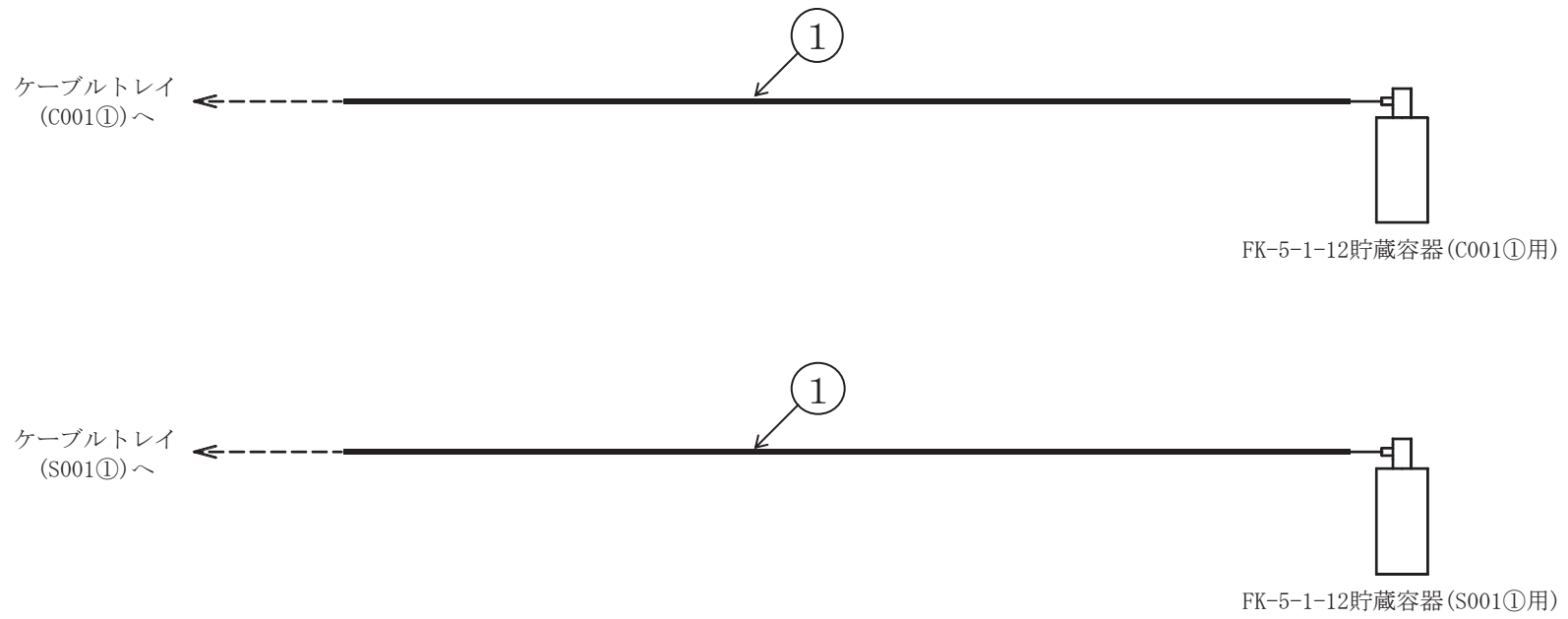
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 94)

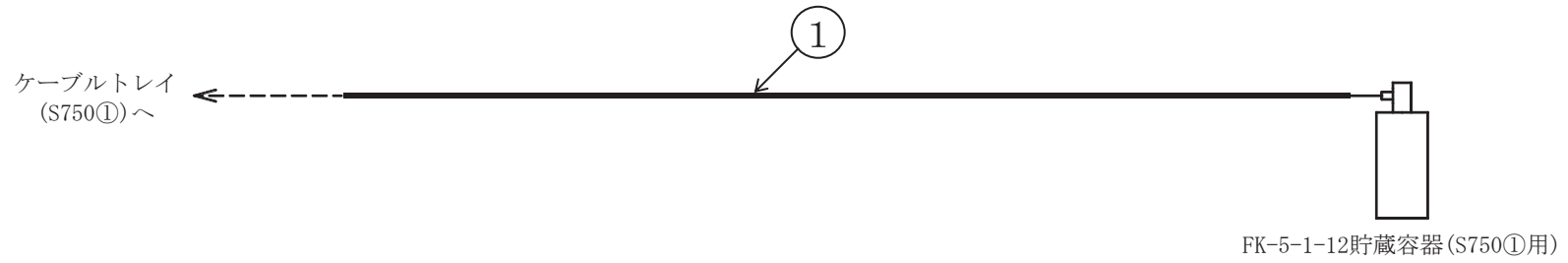
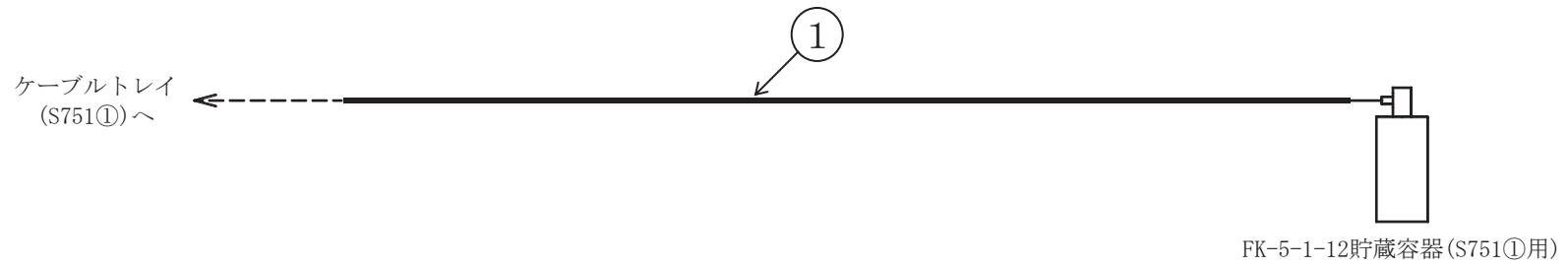


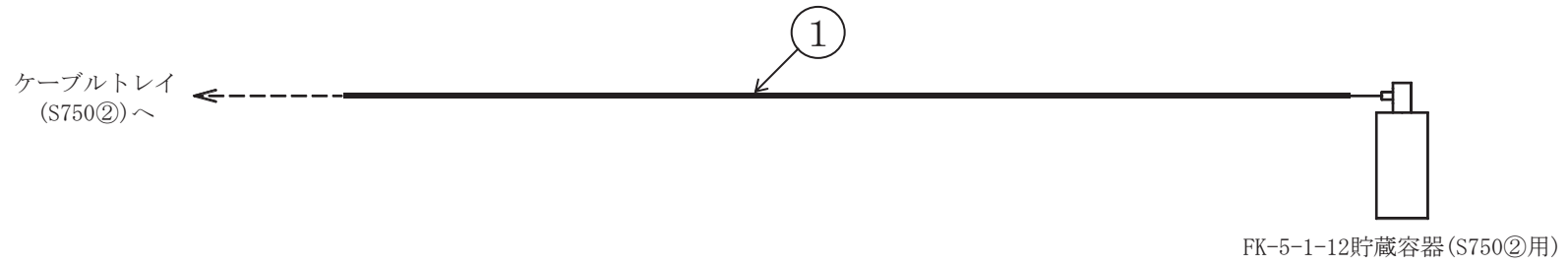




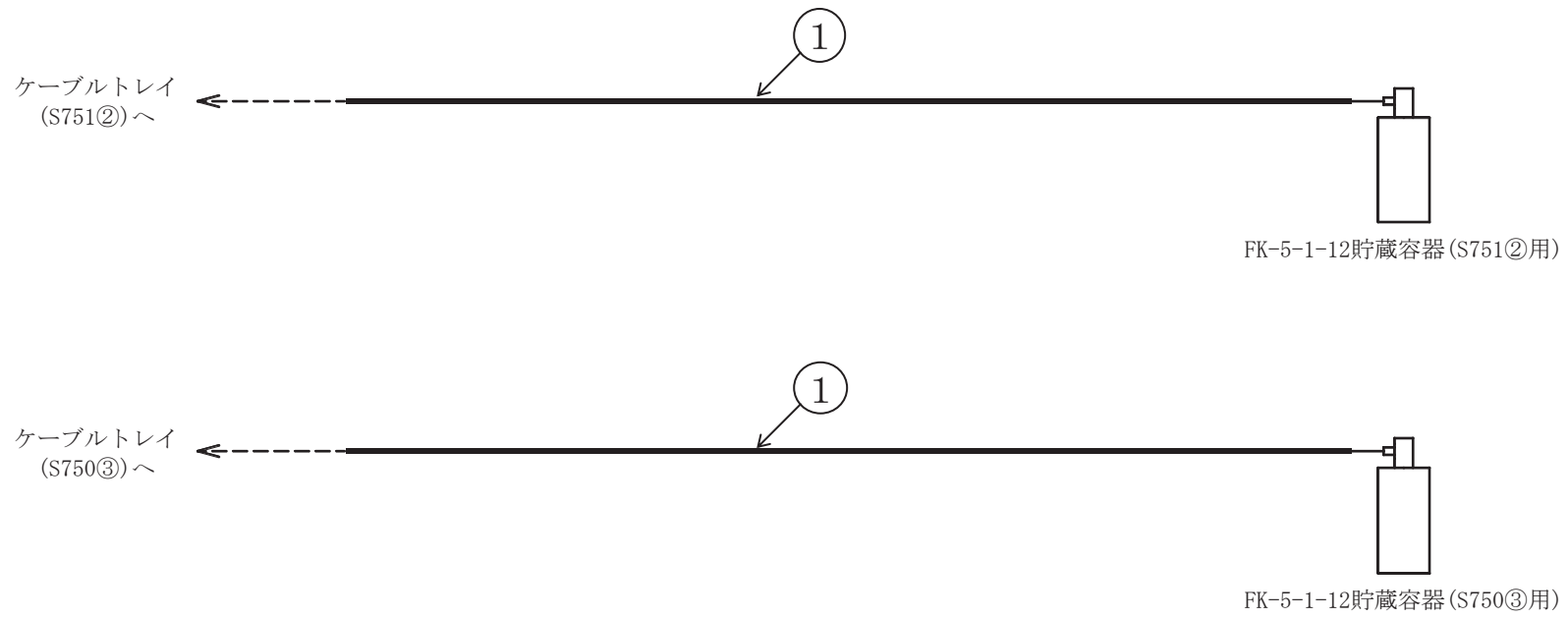


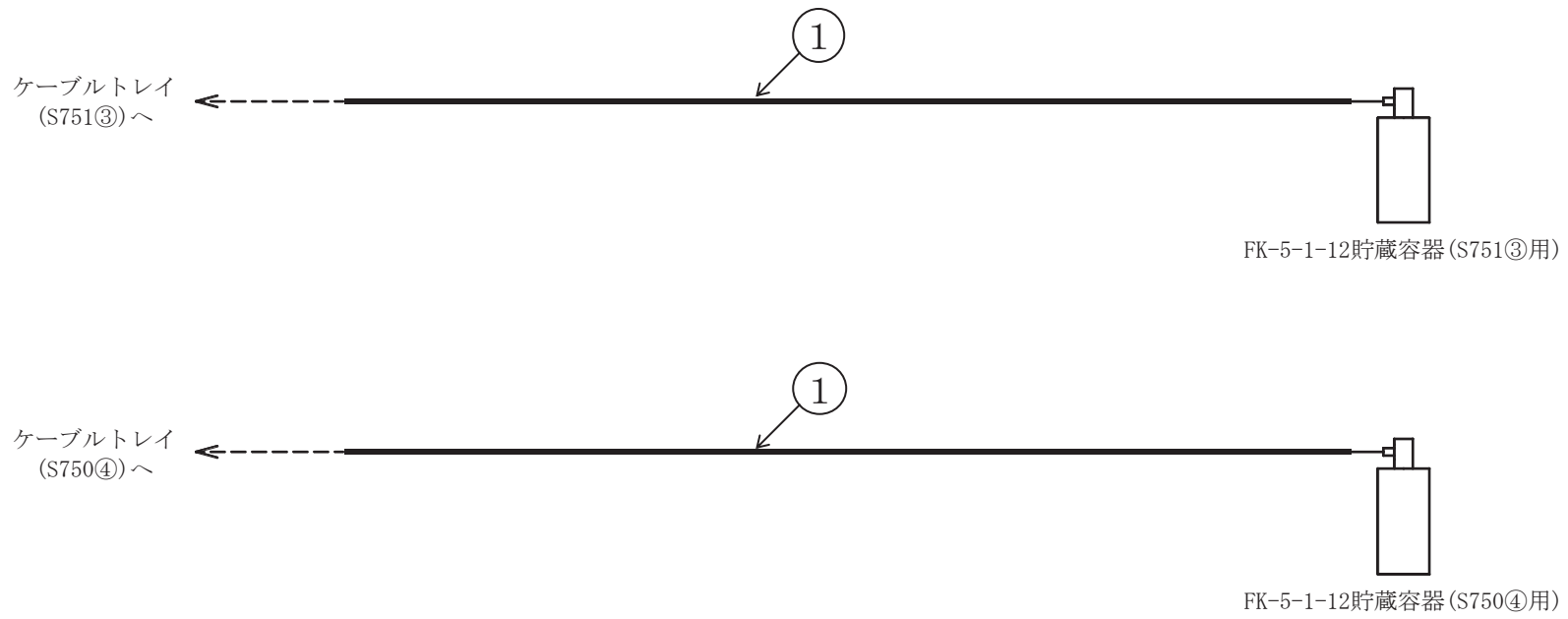




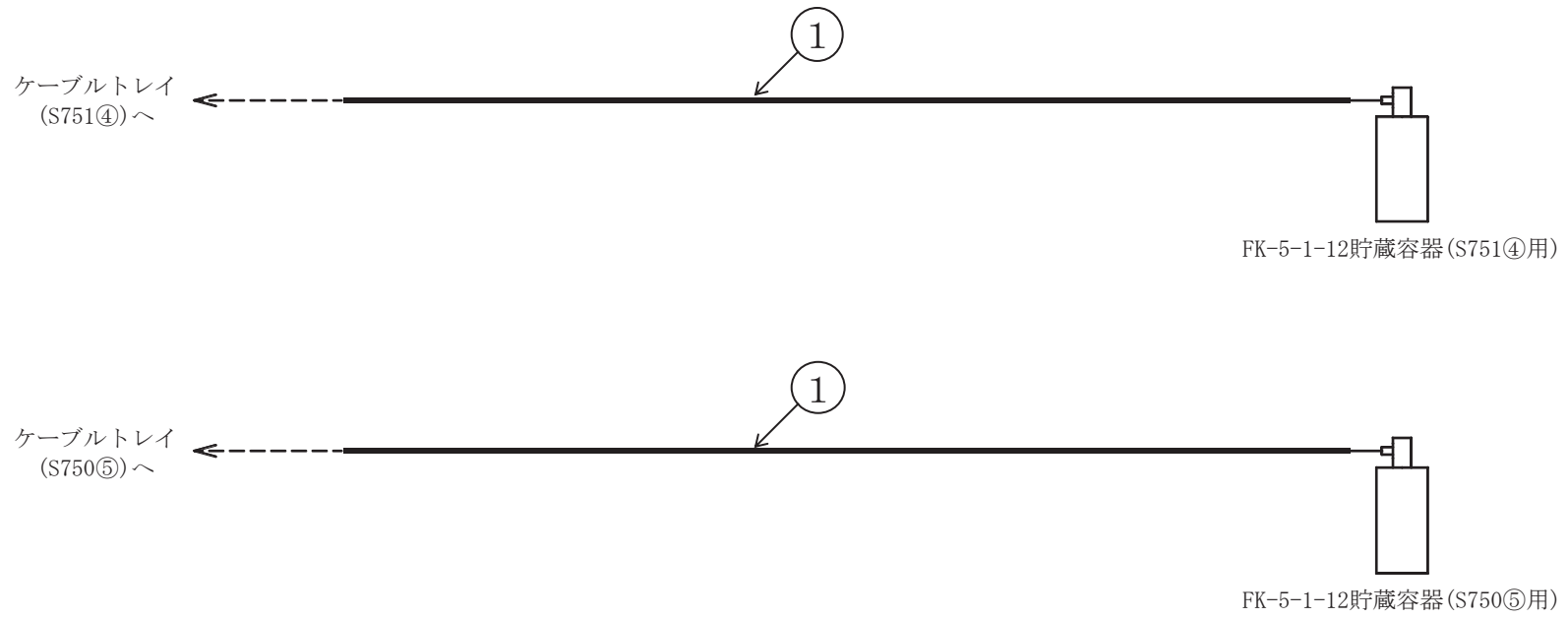


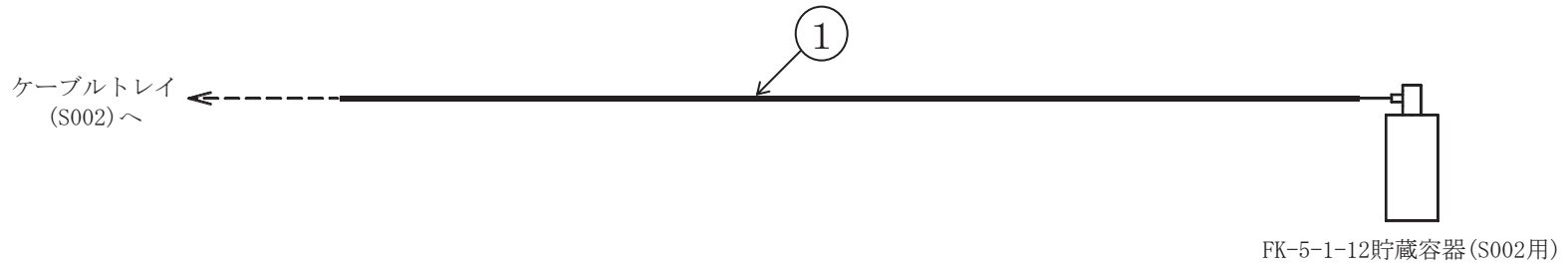
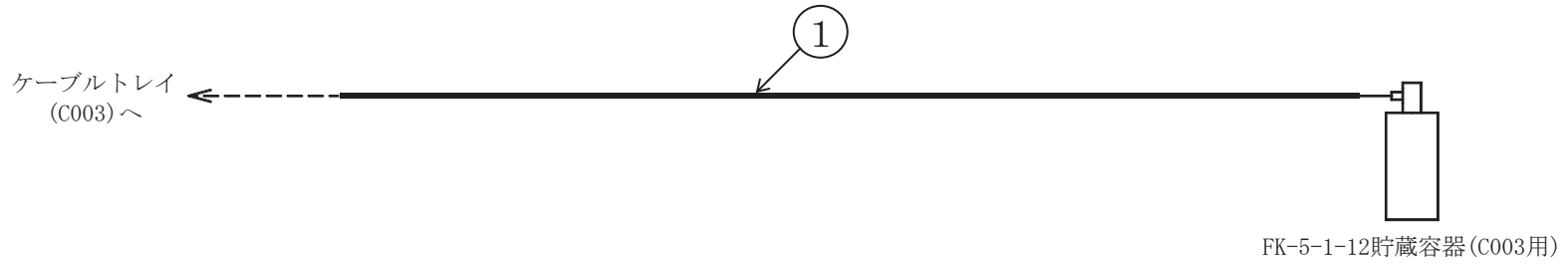
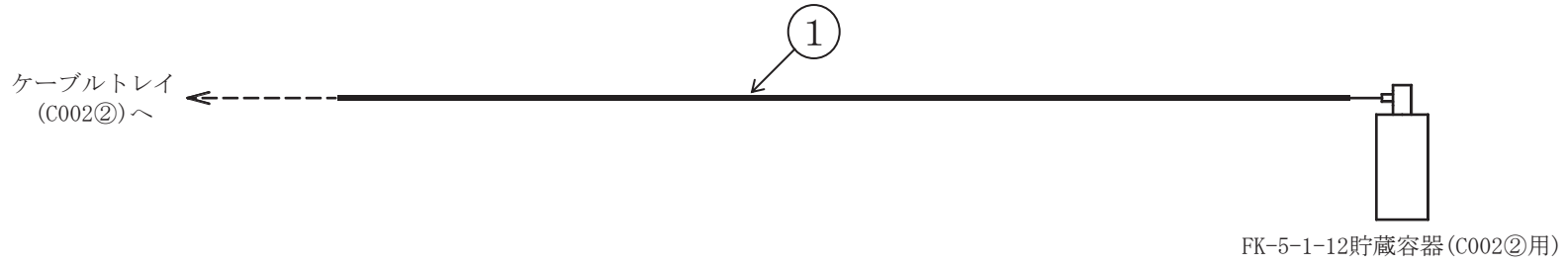
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 100)

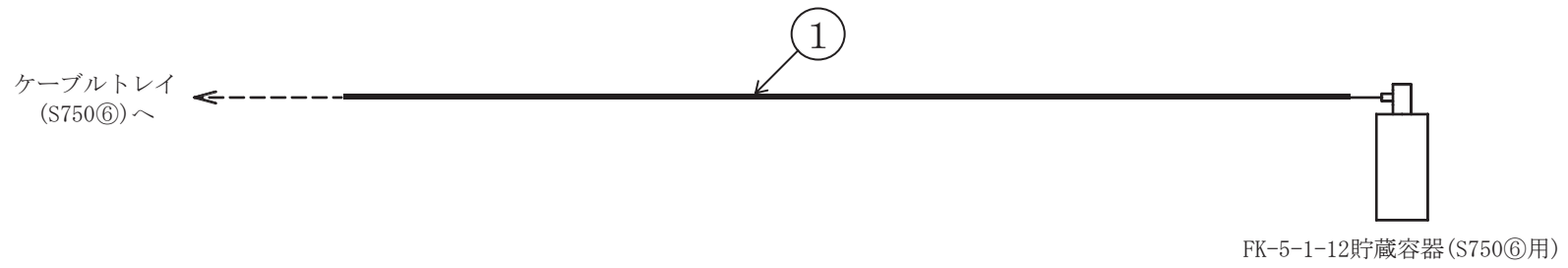


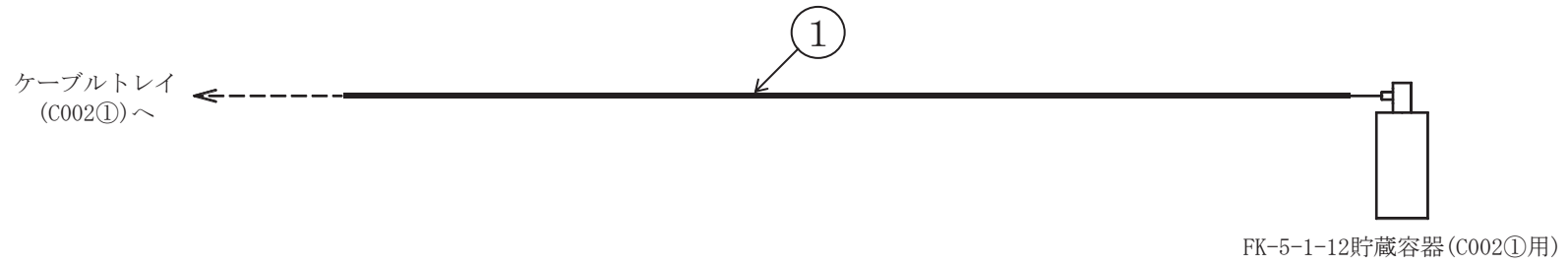


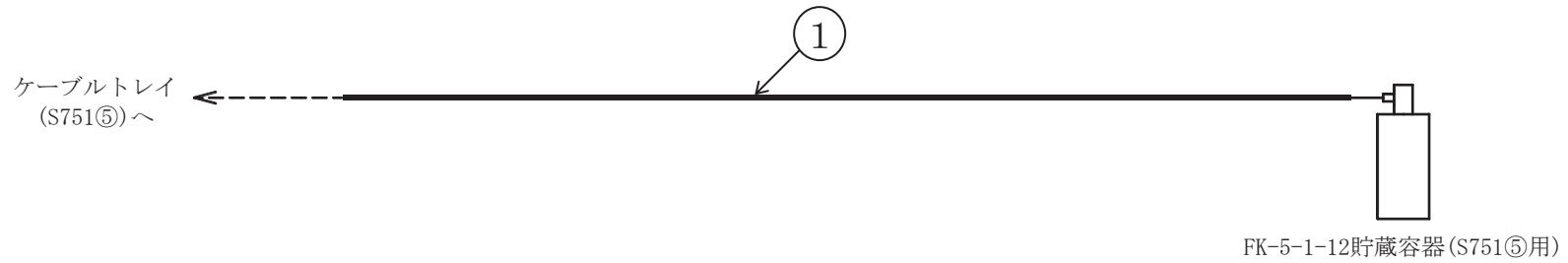
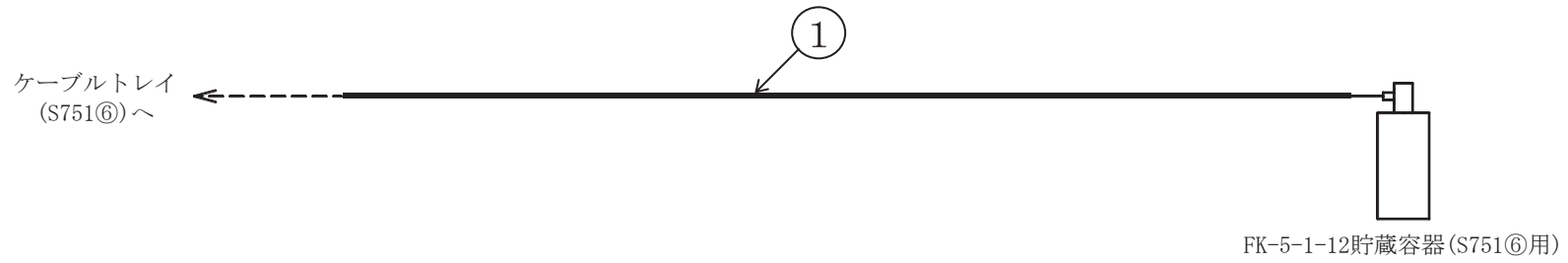
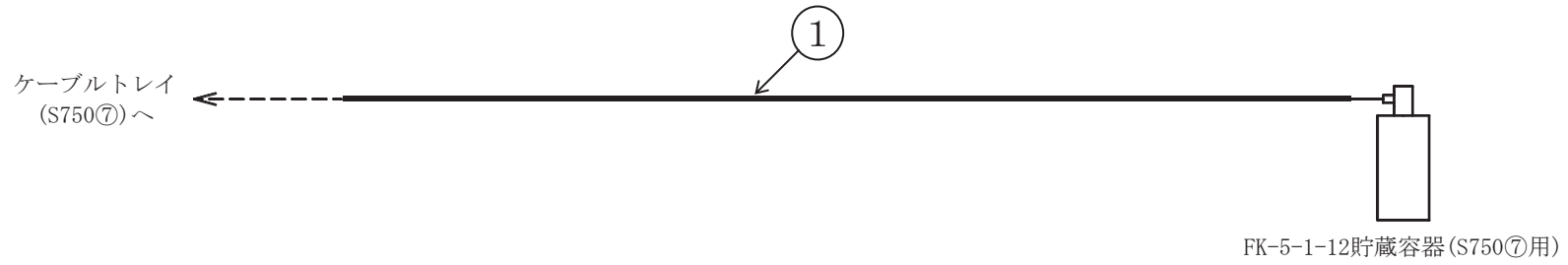




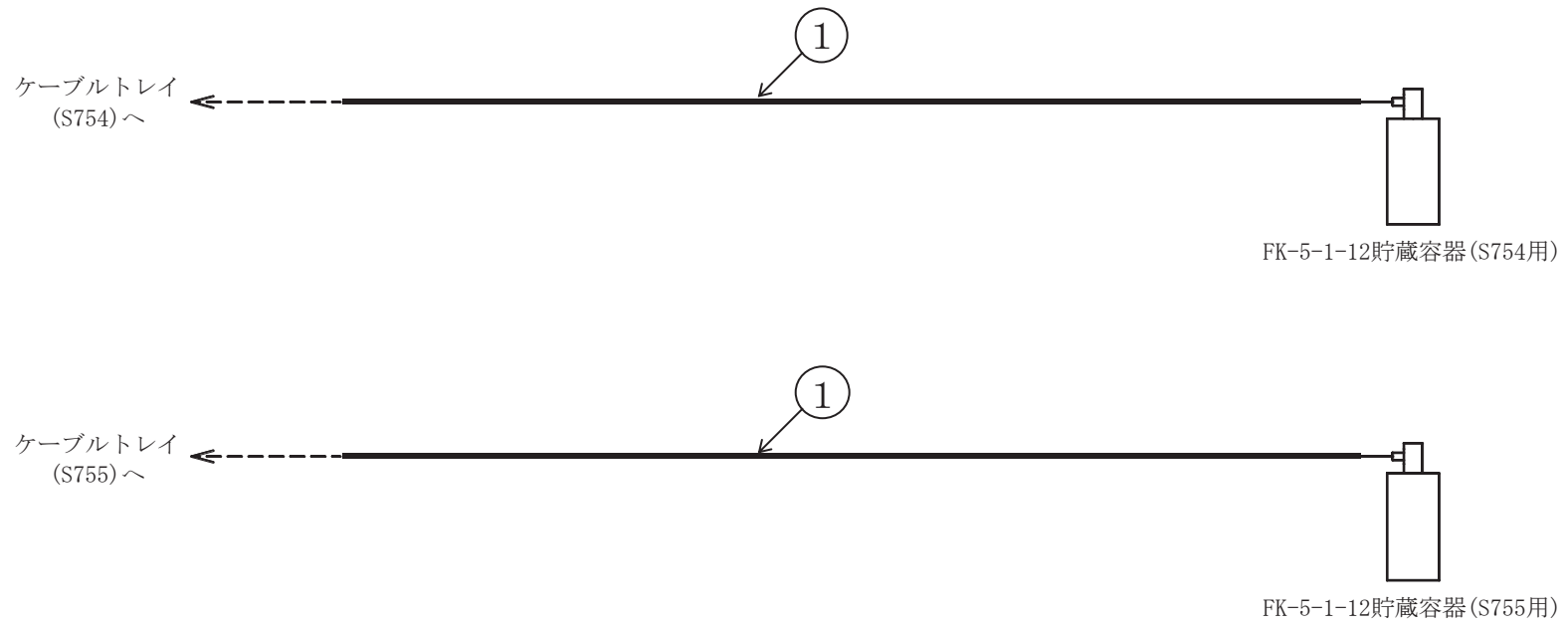


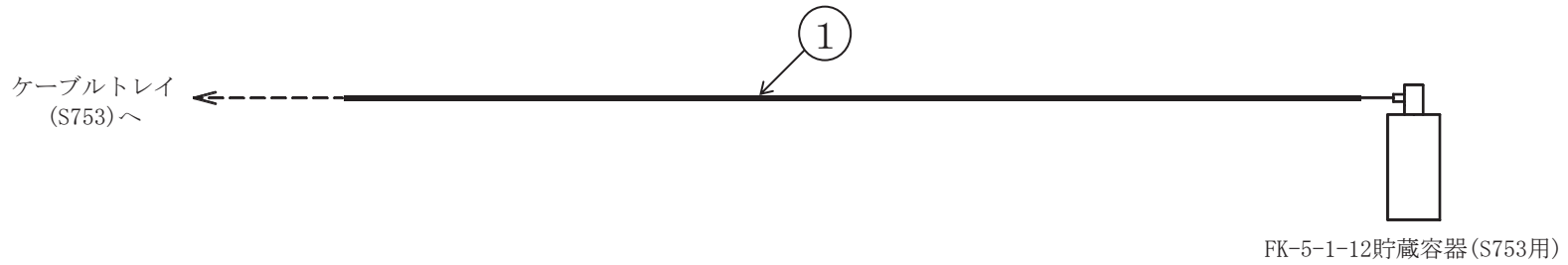
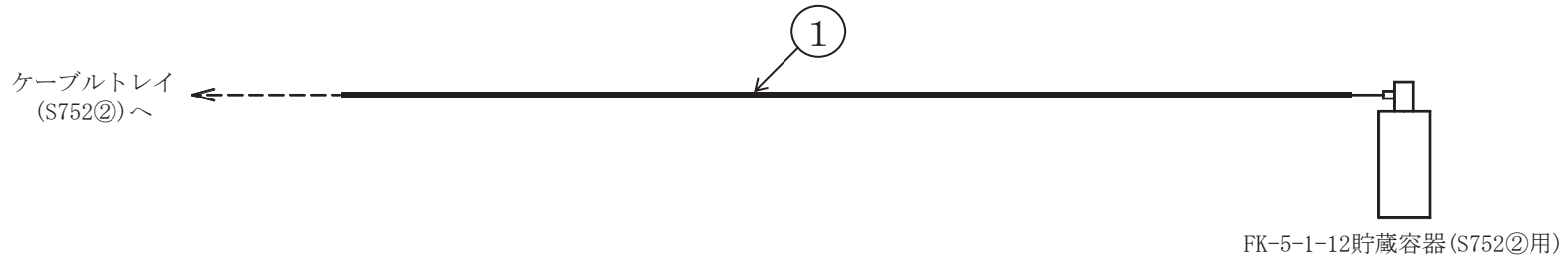
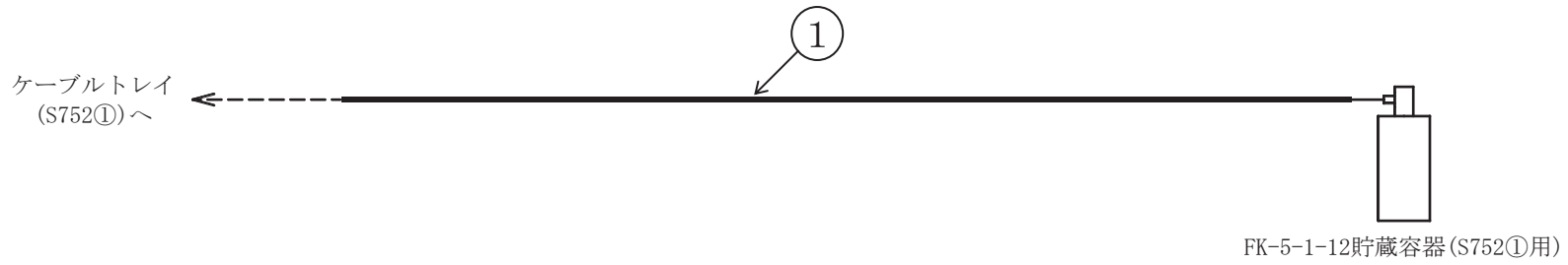


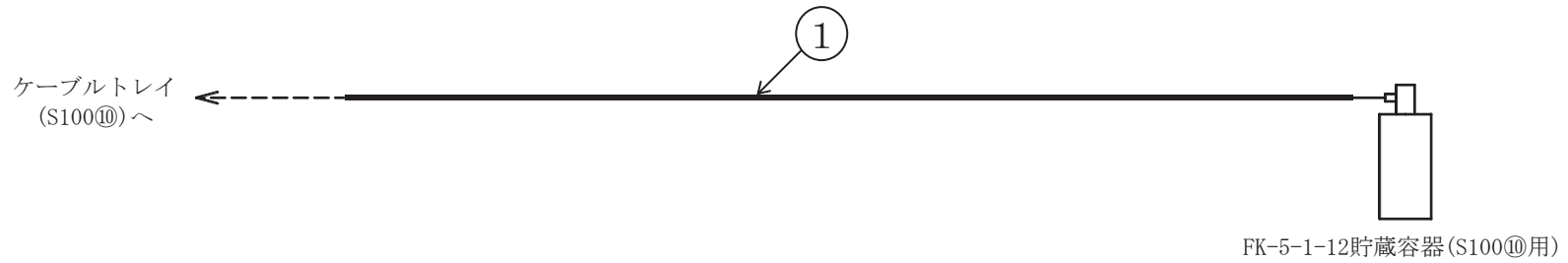
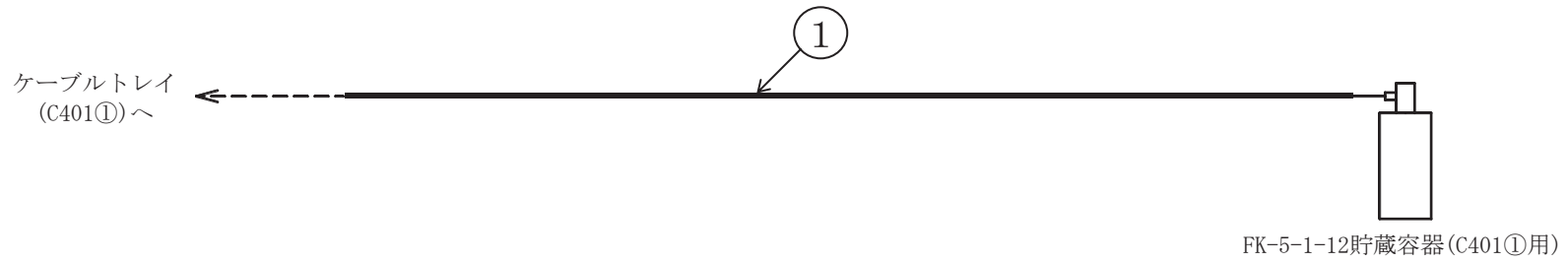
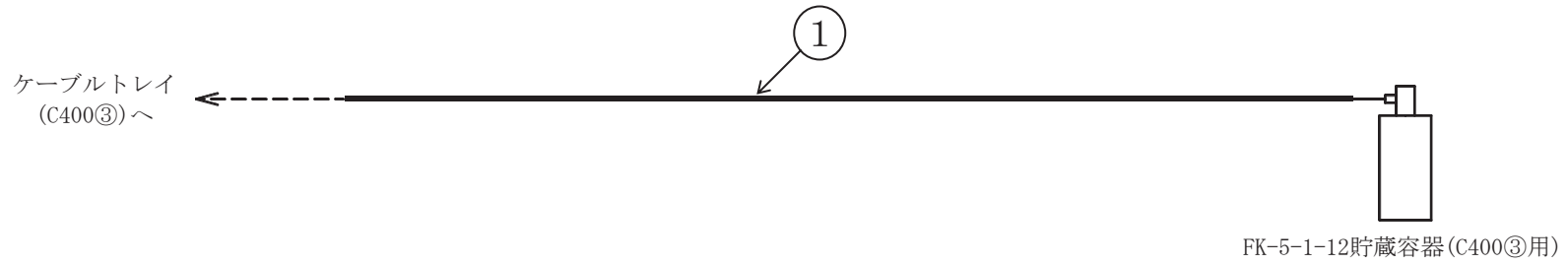




ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 107)

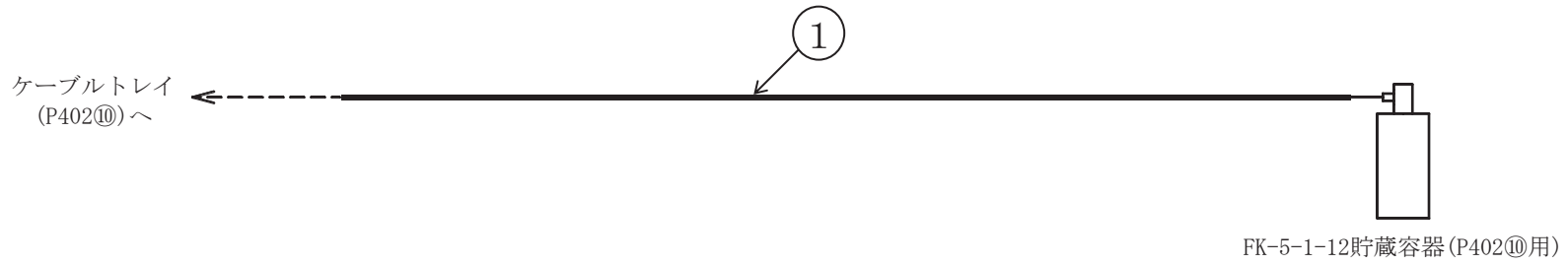
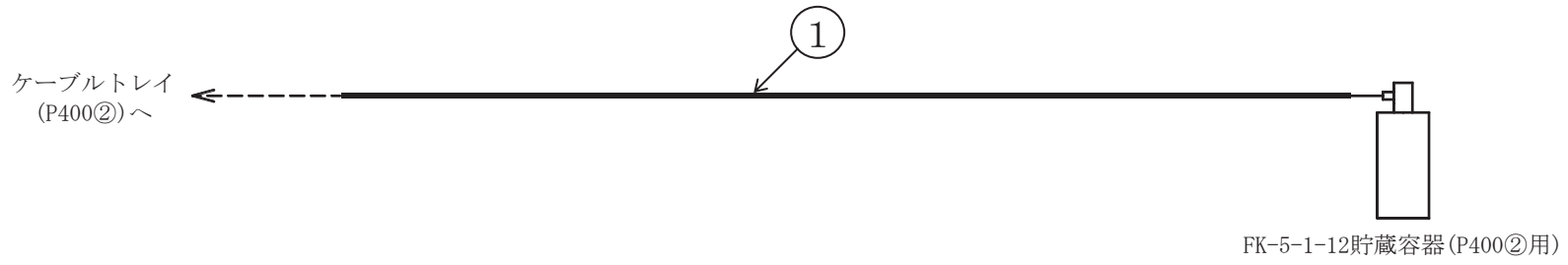
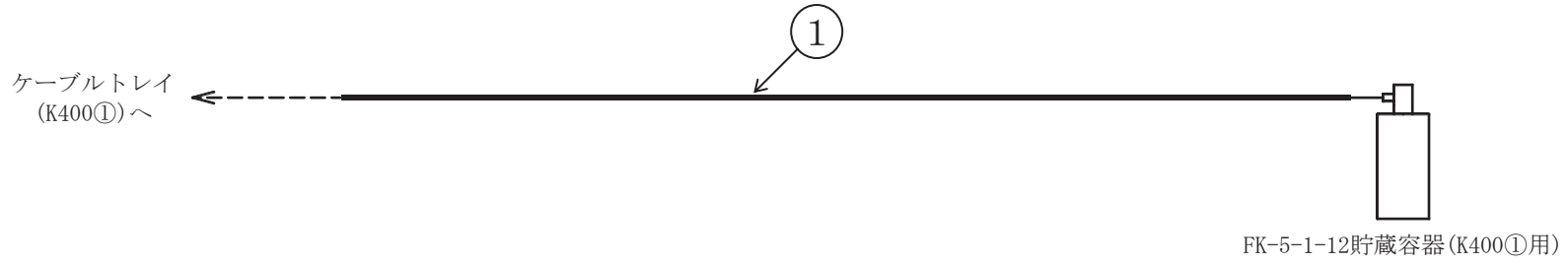


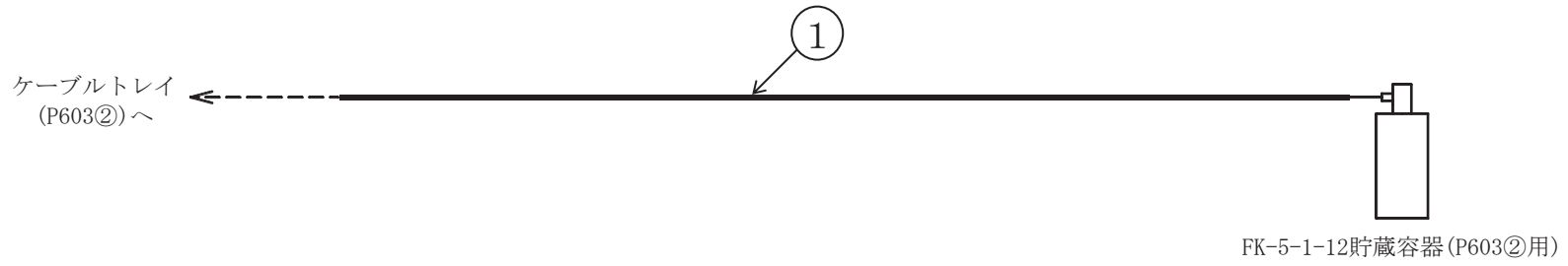
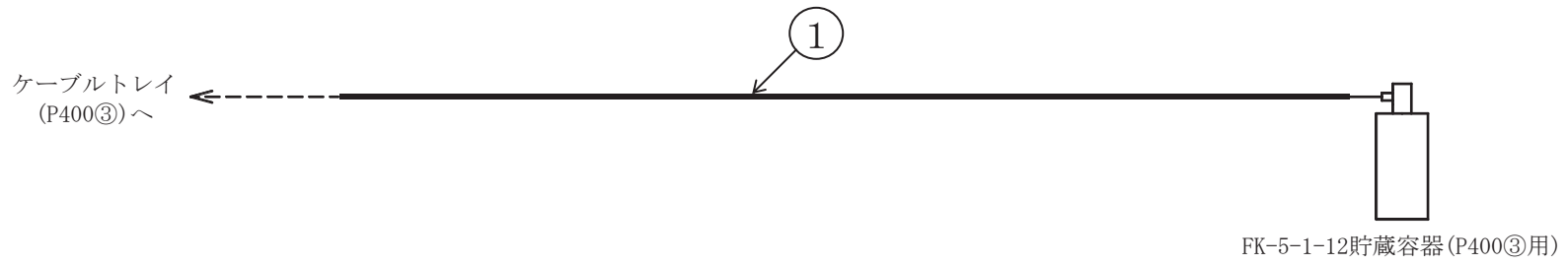
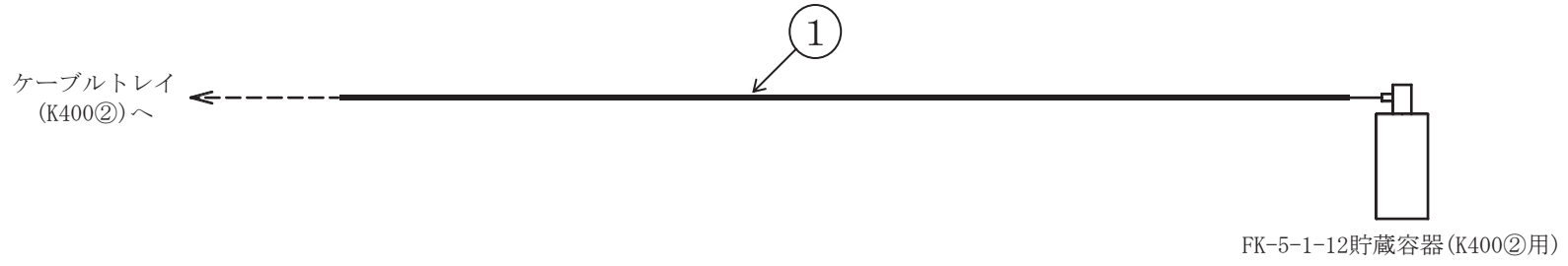


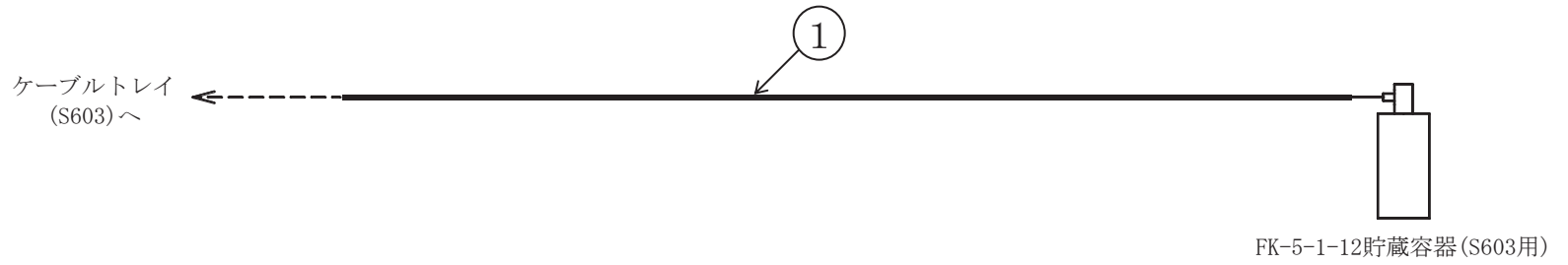
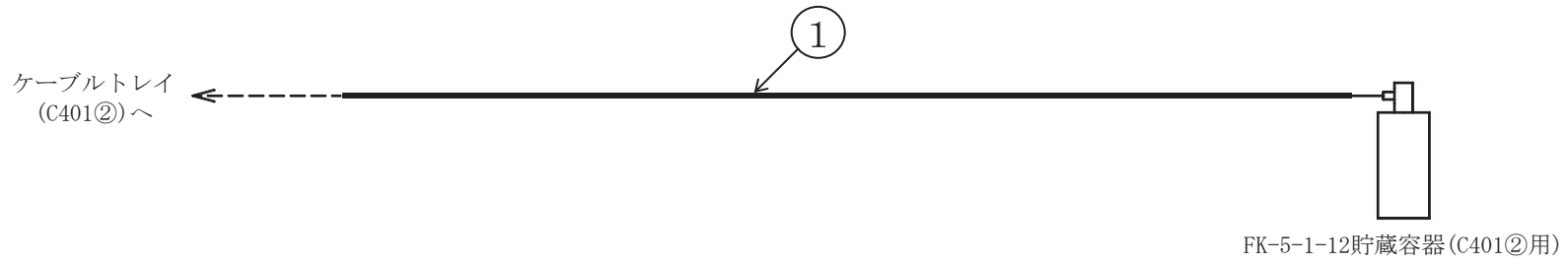
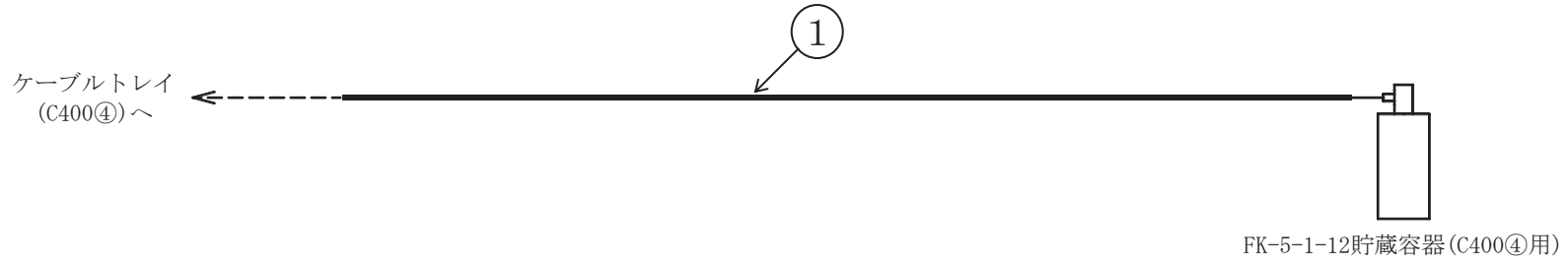


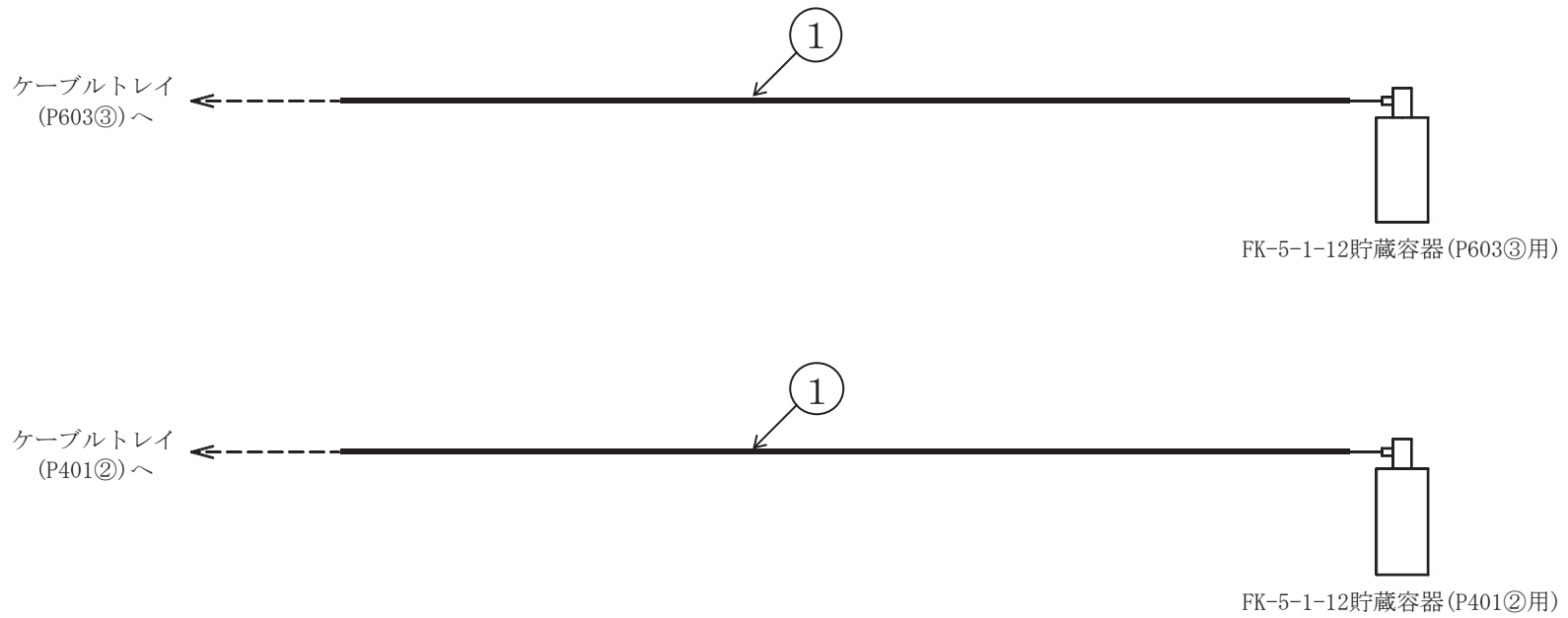
ケーブルトレイ消火設備概略系統図 (その 110)











3.2 管の強度計算書 (クラス 3 管)

設計・建設規格 PPD-3411

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	外径 D <sub>o</sub> (mm)	公称厚さ (mm)	材 料	製 法	ク ラ ス	S (MPa)	$\eta$	Q	t <sub>s</sub> (mm)	t (mm)	算 式	t <sub>r</sub> (mm)
1	4.60	40			C1220T	S	3	41					A	

評価：  $t_s \geq t_r$ ， よって十分である。

VI-3-3-7-3 補機駆動用燃料設備の強度に関する説明書

目 次

VI-3-3-7-3-1 燃料設備の強度計算書

VI-3-3-7-3-1 燃料設備の強度計算書



## 目 次

- VI-3-3-7-3-1-1 大容量送水ポンプ（タイプⅠ）（燃料タンク）の強度評価書
- VI-3-3-7-3-1-2 大容量送水ポンプ（タイプⅡ）（燃料タンク）の強度評価書
- VI-3-3-7-3-1-3 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット（燃料タンク）の強度評価書
- VI-3-3-7-3-1-4 タンクローリの強度評価書
- VI-3-3-7-3-1-5 管（可搬型）の強度評価書（燃料設備）

VI-3-3-7-3-1-1 大容量送水ポンプ(タイプ I)(燃料タンク)の強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

(大容量送水ポンプ(タイプ I)(燃料タンク))

大容量送水ポンプ(タイプ I)(燃料タンク)は、大容量送水ポンプ(タイプ I)の付属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-2-2-2-1 大容量送水ポンプ(タイプ I)の強度評価書」に示すとおり、大容量送水ポンプ(タイプ I)(燃料タンク)は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-3-1-2 大容量送水ポンプ(タイプⅡ)(燃料タンク)の強度評価書

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

(大容量送水ポンプ(タイプⅡ)(燃料タンク))

大容量送水ポンプ(タイプⅡ)(燃料タンク)は、大容量送水ポンプ(タイプⅡ)の付属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-6-2-8-2-1 大容量送水ポンプ(タイプⅡ)の強度評価書」に示すとおり、大容量送水ポンプ(タイプⅡ)(燃料タンク)は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-3-1-3 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット  
(燃料タンク)の強度評価書

## 一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果

(原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット(燃料タンク))

原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット(燃料タンク)は、原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの付属機器であり、一体構造品の完成品として一般産業品の規格及び基準により強度評価を実施している。添付書類「VI-3-3-3-6-3-1 原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット(熱交換器)の強度評価書」に示すとおり、原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット(燃料タンク)は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、重大事故等時における使用条件において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-3-1-4 タンクローリの強度評価書



一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（法令又は公的な規格）（タンクローリ）

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)
横置だ円形	重大事故等が発生した場合において、非常用ディーゼル発電設備軽油タンク及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク又はガスタービン発電設備軽油タンクから電源車(燃料タンク)、大容量送水ポンプ(タイプI)(燃料タンク)等へ燃料を補給するためのタンクローリとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を貯蔵、運搬する。	(胴板 (上板)) SS400 相当 (KCP-SS400) (胴板, 鏡板) SAPH400 (マンホールふた) SAPH400	24*	40*

注記\* : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. 法令又は公的な規格に規定されている事項

規格及び基準	「消防法（昭和23年7月24日法律第186号）」（以下「消防法」という。）に基づく「危険物の規制に関する政令」				
機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
移動タンク貯蔵所	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的とする。使用環境として、屋外で重油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	厚さ3.2mm以上の鋼板又はこれと同等以上の機械的性質を有する材料	—	—	圧力タンクを除くタンクにあつては水圧試験（試験圧力：70kPa、試験保持時間：10分）に合格したものに、タンク検査済証の交付がなされる。

III. メーカー仕様

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (kPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
TKG-FC9JDAA	車両に固定されたタンクにおいて危険物を貯蔵し、又は取り扱う貯蔵所として使用することを目的としている。使用環境として、屋外で軽油等の危険物を貯蔵、運搬することを想定している。	(胴板 (上板)) SS400 相当 (KCP-SS400) (胴板, 鏡板) SAPH400 (マンホールふた) SAPH400	24*	—	市町村長等又は行政機関による水圧試験（試験圧力：70kPa、試験保持時間：10分間）に合格している。

注記\* : 安全装置の作動圧の最高値を示す。

IV. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該タンクは、重大事故等時に燃料補給用のタンクローリとして屋外で使用される。一方、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」は、危険物の貯蔵又は取り扱いに関する技術上の規格を定めた一般産業品に対する規格であり、移動タンク貯蔵所は屋外で危険物を貯蔵、運搬することを想定している。重大事故等時における当該タンクの使用目的及び使用環境は、本規格で定める使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-1) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIとIIIの材料及び試験条件の比較、IとIIIの使用条件の比較）

当該タンクには「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った厚さ3.2mm以上の鋼板又はこれと同等以上の機械的性質を有する材料が使用されていることを行政機関によるタンク検査済証により確認

できる。当該タンクの最高使用温度の 40℃は屋外で使用するタンクローリであることから想定内である。また、最高使用圧力はメーカー仕様の範囲内であり、「消防法」に基づく「危険物の規制に関する政令」に従った試験に合格していることを行政機関によるタンク検査済証により確認できることから、当該タンクは要求される強度を有している。

#### V. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品として「消防法」（「危険物の規制に関する政令」含む。）に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-3-7-3-1-5 管（可搬型）の強度評価書（燃料設備）

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（軽油払出用ホース（外径 63mm:2m））

I. 重大事故等クラス 3 機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	非常用ディーゼル発電設備軽油タンク及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク又はガスタービン発電設備軽油タンクとタンクローリを接続するホースであり、タンクローリ又はガスタービン発電設備へ燃料を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	0.39*	70*

注記\* : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
FC ローリーホース (2B)	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	0.39	70	耐圧試験（試験圧力：0.6MPa，試験保持時間：3分間）を実施

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（I と II の使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（II と公的な規格等の材料及び試験条件の比較，I と II の使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定している J I S K 6 3 4 9 「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×1.5 倍）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書等により確認できる。耐圧試験による機器の健全性は、耐圧部全体に圧力が負荷される適切な試験保持時間（J I S K 6 3 3 0 「ゴム及びプラスチックホース試験方法」で規定される試験保持時間：30 秒～60 秒間）により確認している。なお、設計・建設規格のクラス 3 機器の最高許容耐圧試験圧力は機器の応力制限（降伏点）を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐圧試験圧力は最高使用圧力の 1.5 倍の 106% を超えないこととしている。一方、設計・建設規格のクラス 3 機器の設計許容応力は降伏点に対して 5/8 を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって、設計・建設規格 PHT-2311 で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス 3 機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

一般産業品の規格及び基準への適合性確認結果（メーカー規格及び基準）（給油用ホース（φ25:50m））

I. 重大事故等クラス3機器の使用目的及び使用環境、材料及び使用条件

種類	使用目的及び使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
ホース	タンクローリから電源車(燃料タンク)、大容量送水ポンプ(タイプI)(燃料タンク)等へ燃料を補給するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋外で燃料を移送する。	補強層入り多層ゴム	1.00*	80*

注記\* : 重大事故等時における使用時の値を示す。

II. メーカー規格及び基準に規定されている事項（メーカー仕様）

機器名	使用目的及び想定している使用環境	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	規格及び基準に基づく試験
エースローリ ホース (1B)	一般給油用又は油圧配管用等のホースであり、灯油、軽油、重油を移送するホースとして使用することを目的とする。使用環境として、屋内外で燃料を移送することを想定している。	補強層入り多層ゴム	1.00	80	耐圧試験（試験圧力：2.0MPa、試験保持時間：5分間）を実施

III. 確認項目

(a) : 規格及び基準が妥当であることの確認（IとIIの使用目的及び使用環境の比較）

当該ホースは、重大事故等時に屋外で燃料を移送するためのホースである。一方、本メーカー規格及び基準は、一般給油用のホースとして使用することを目的とした一般産業品に対する規格であり、屋内外で燃料を移送することを想定している。重大事故等時における当該ホースの使用目的及び使用環境は、本規格の使用目的及び想定している使用環境の範囲内である。

(b-2) : 材料が適切であること及び使用条件に対する強度の確認（IIと公的な規格等の材料及び試験条件の比較、IとIIの使用条件の比較）

当該ホースに使用されている材料は、作動油を流すことに使用するゴムホースについて規定しているJIS K 6349「液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース」で使用可能な材料とされている繊維等で補強されたゴムと同種類の材料である。

当該ホースの最高使用圧力及び最高使用温度はメーカー仕様の範囲内であり、ゴム及びプラスチックホースについて規定しているJIS K 6330「ゴム及びプラスチックホース試験方法」に規定されている耐圧試験（試験圧力：最高使用圧力×2倍 試験保持時間：30秒～60秒間）と同等の試験条件の耐圧試験に合格していることを検査成績書により確認できる。一方、設計・建設規格のクラス3機器の設計許容応力は降伏点に対して5/8を基準にしており、この設計許容応力以下となる必要板厚は最高使用圧力を条件として評価式により求めている。よって、設計・建設規格PHT-2311で規定されている耐圧試験と同等の試験条件の耐圧試験に合格することで、メーカー規格及び基準の設計が設計・建設規格と同等の裕度を有しているとみなせるため、当該ホースは要求される強度を有している。

IV. 評価結果

上記の重大事故等クラス3機器は、一般産業品としてメーカー規格及び基準に適合し、使用材料の特性を踏まえた上で、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が負荷された状態において要求される強度を有している。

VI-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目 次

- VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-2 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-5 復水貯蔵タンクの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-7 排気筒の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-8 換気空調設備の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
- VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
- VI-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
- VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
- VI-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針



## 目 次

1.	概要	1
2.	強度評価の基本方針	1
2.1	評価対象施設	1
2.2	評価方針	2
2.2.1	評価の分類	2
3.	構造強度設計	6
3.1	構造強度の設計方針	6
3.2	機能維持の方針	10
4.	荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	70
4.1	荷重及び荷重の組合せ	70
4.2	許容限界	86
4.2.1	建屋・構造物	87
4.2.2	機器・配管系	88
5.	強度評価方法	108
5.1	建屋・構造物に関する評価式	108
5.1.1	鉄筋コンクリート造構造物	108
5.1.2	鋼製構造物	111
5.1.3	排気筒	116
5.2	機器・配管系に関する評価式	118
5.2.1	衝突評価が必要な機器	118
5.2.2	ポンプ	119
5.2.3	容器	130
5.2.4	配管及び弁	147
5.2.5	換気空調設備	151
5.2.6	海水ポンプ室門型クレーン	167
6.	適用規格	172

## 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 7 条及びその「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」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第 54 条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-2-3-3」という。）に基づき、竜巻の影響を考慮する施設が、設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-2-3-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

なお、竜巻防護ネットや竜巻防護鋼板等の防護対策施設の設計方針については、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」に示し、屋外重大事故等対処設備に設置する固縛装置の設計方針については、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示す。具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。その他の竜巻の影響を考慮する施設の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」から添付書類「VI-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書」に示す。

## 2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重を適切に組み合わせた荷重により生じる応力等が「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す計算方法を使用し、「6. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

### 2.1 評価対象施設

VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度設計上の性能目標を設定している竜巻の影響を考慮する施設を強度評価の対象とする。強度評価を行うにあたり、評価対象施設を以下のとおり分類することとし、表 2-1 に示す。

- (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設のうち，屋内の竜巻より防護すべき施設を防護する外殻となる，竜巻より防護すべき施設を内包する施設とする。

(2) 屋外の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，屋外の外部事象防護対象施設とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設とする。

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

設計竜巻による荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を維持する必要がある，外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設とする。

## 2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため，「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに，竜巻に対する強度評価を実施する。

強度評価の評価方針は，それぞれ「2.2.1(1) 衝突評価」の方針，「2.2.1(2) 構造強度評価」の方針及び「2.2.1(3) 動的機能維持評価」の方針に分類でき，評価対象施設はこれらの評価を実施する。

外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度評価は，防護措置として設置する防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価を踏まえたものであるため，防護対策施設，竜巻より防護すべき施設を内包する施設について示したうえで，外部事象防護対象施設及び外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設について示す。

### 2.2.1 評価の分類

#### (1) 衝突評価

衝突評価は，竜巻による設計飛来物による衝撃荷重に対する直接的な影響の評価として，評価対象施設が，貫通，貫入，ひずみの変形が生じた場合においても，当該施設の機能を維持可能な状態に留めることを確認する評価とする。

評価対象施設の構造及び当該施設の機能を考慮し，飛来物の衝突により想定される損傷モードを以下のとおり分類し，それぞれの評価方針を設定する。

##### a. 建屋・構造物

###### (a) 貫通

###### (b) ひずみ

b. 機器・配管系

- (a) 貫入
- (b) ひずみ

(2) 構造強度評価

構造強度評価は、竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重により生じる応力等に対し，評価対象施設及びその支持構造物が，当該施設の機能を維持可能な構造強度を有することを確認する評価とする。構造強度評価は，構造強度により閉止性及び開閉機能を確保することの評価を含む。

構造強度評価は，評価対象施設の構造を考慮し，以下の分類ごとに評価方針を設定する。

a. 建屋・構造物

以下の「(a) 鉄筋コンクリート造構造物」及び「(b) 鋼製構造物」は，構造を踏まえた評価項目を抽出し分類する。

(a) 鉄筋コンクリート造構造物

- イ. 裏面剥離
- ロ. 転倒及び脱落
- ハ. 変形

(b) 鋼製構造物

- イ. 転倒及び脱落
- ロ. 変形

(c) 排気筒

b. 機器・配管系

- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ
- (b) 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ
- (c) 高圧炉心スプレー補機冷却海水系ストレーナ
- (d) 復水貯蔵タンク
- (e) 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）
- (f) 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）
- (g) ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）
- (h) 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））
- (i) ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

- (j) 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）
  - (k) 海水ポンプ室門型クレーン
  - (l) 非常用ディーゼル発電設備排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器」という。）
  - (m) 非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管，非常用ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管，非常用ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクミスト配管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト配管（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管」という。）
  - (n) 軽油タンクベント配管
- (3) 動的機能維持評価
- 動的機能維持評価は，設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後において，評価対象施設のうちポンプ等の動的機器が，当該施設の動的機能を維持可能なことを確認する評価とする。
- a. 機器・配管系
- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ
  - (b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

表 2-1 強度評価における施設分類

強度評価における分類	施設名称
(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉建屋*</li> <li>・タービン建屋</li> <li>・制御建屋</li> <li>・軽油タンク室</li> <li>・軽油タンク室 (H)</li> </ul>
(2) 屋外の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ</li> <li>・復水貯蔵タンク</li> <li>・排気筒</li> <li>・配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)</li> <li>・非常用ガス処理系 (屋外配管)</li> </ul>
(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系 (ファン, ダクト, ダンパ)</li> <li>・隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁, 原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系))</li> <li>・軽油タンク (燃料移送ポンプ等を含む。)</li> </ul>
<p>(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <p>a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <p>b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設</p>	<p>a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・補助ボイラー建屋</li> <li>・第1号機制御建屋</li> <li>・サイトバンカ建屋</li> <li>・海水ポンプ室門型クレーン</li> </ul> <p>b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 排気消音器</li> <li>・非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 付属ミスト配管</li> <li>・軽油タンクベント配管</li> </ul>

注記 \* : 原子炉建屋は屋外の外部事象防護対象施設であるが, 竜巻より防護すべき施設を内包する機能も有することから, 強度評価においては「竜巻より防護すべき施設を内包する施設」の分類で評価する。

### 3. 構造強度設計

VI-1-1-2-3-1 で設定している設計竜巻に対し、「2.1 評価対象施設」で設定している施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-2-3-3 の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえ、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、各施設の構造強度を維持するように構造設計と評価方針を設定する。

#### 3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」で設定している評価対象施設分類ごとに示す。

##### (1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋、軽油タンク室及び軽油タンク室(H)は、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」及び「3.4(3)性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突することを防止するために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を設計飛来物が貫通せず、また、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落が生じない設計とする。また、原子炉建屋は上記に加え、放射性物質の閉じ込め機能を維持するために、設計飛来物が建屋の外殻を構成する部材を貫通せず、また裏面剥離が生じず、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「4.3 気密性の維持」を踏まえ、屋根スラブ及び耐震壁に生じる応力やひずみが、おおむね弾性状態にとどまる設計とする。

##### (2) 屋外の外部事象防護対象施設

###### a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

原子炉補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに、ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し、主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。また、海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

###### b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び

性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定するとともに、ポンプの機能維持に必要な付属品を本体にボルト固定し、主要な構造部材が海水の送水機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。また、海水を送水するための動的機能を維持する設計とする。

c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ストレーナに接続する配管を海水ポンプ室床面にてサポートで支持し、主要な構造部材が海中の固形物を除去する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

d. 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクは、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が炉心冷却のための水源を保有する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。また、設計飛来物による衝撃荷重に対し、変形が生じた場合においても、炉心冷却のための水源を保有する機能を維持可能な状態に留まる設計とする。

e. 排気筒

排気筒は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、鉄塔で支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

f. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室床面に設けたコンクリート基礎、支持架構に固定又は壁面にサポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

g. 非常用ガス処理系（屋外配管）

非常用ガス処理系（屋外配管）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(1)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏



まえ、設計竜巻よる荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋壁面にサポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

- a. 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋及び制御建屋の壁面等にサポートで支持し、主要な構造部材が流路を確保する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

- b. ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系のダクトに固定し、開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

- c. 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は，VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、中央制御室換気空調系及び原子炉建屋原子炉棟換気空調系のダクトに固定し、開閉可能な機能及び閉止性の維持を考慮して主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

- d. ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，VI-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉建屋及び制御建屋の床面等に基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が中央制御室，計測制御電源設備及び非

常用ディーゼル発電機の冷却に必要な風量を送風する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

e. 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）

軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1(2)c. 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に設けた基礎に固定し、非常用高圧母線へ7日間の電源供給が継続できるよう燃料補給を行う機能を維持することを考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有する設計とする。

「(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設」の屋内の外部事象防護対象施設の設計フローを図3-1に示す。

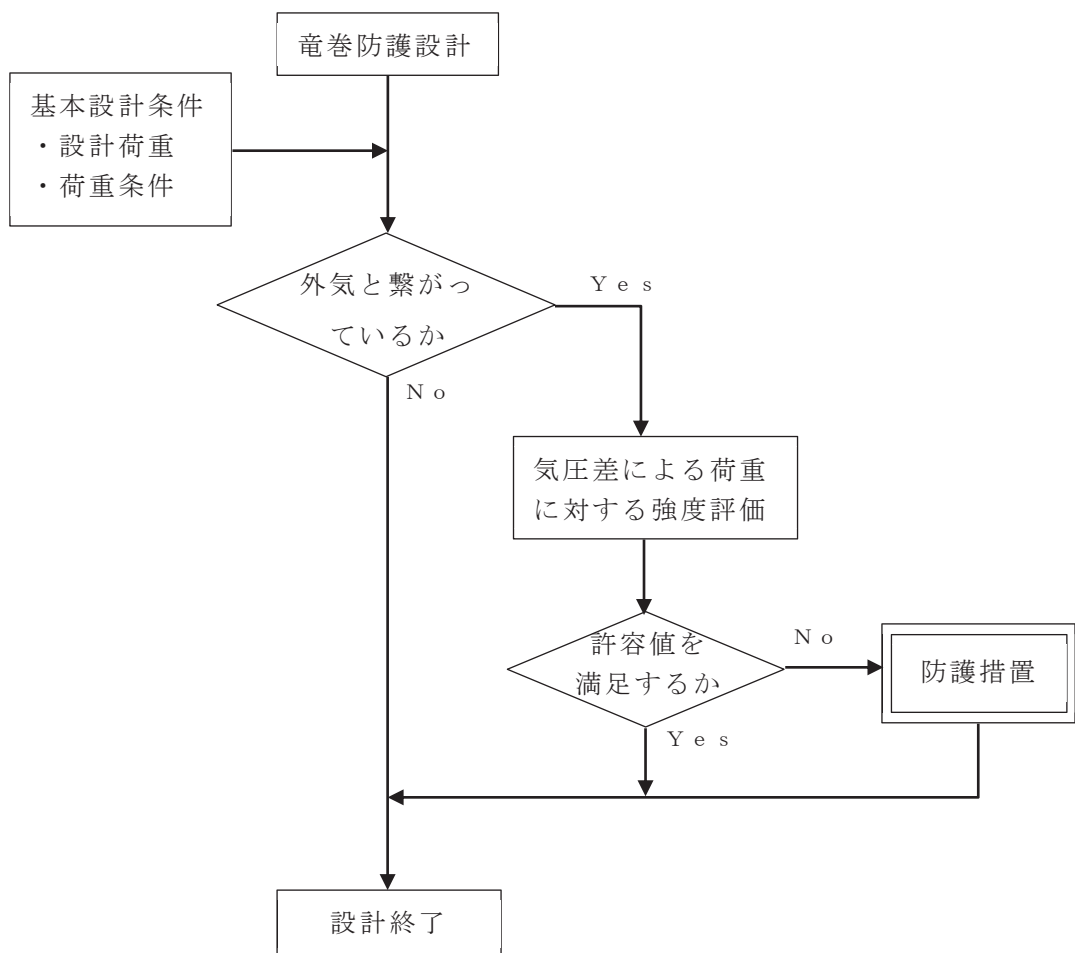


図 3-1 屋内の外部事象防護対象施設の設計フロー

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建屋及び制御建屋に接触による影響を及ぼさない設計とする。

(b) 海水ポンプ室門型クレーン

海水ポンプ室門型クレーンは，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，外部事象防護対象施設に接触による影響を及ぼさない設計とする。

b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，排気機能を維持するために，原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定し，主要な構造部材が排気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

(b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は，VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，通気機能を維持するために，サポートによる支持で建屋壁面や軽油タンク室等に固定し，主要な構造部材が通気機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために，「3.1 構造強度の設計方針」に示す設計方針を踏まえ，VI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を適切に

考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 竜巻より防護すべき施設を内包する施設

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の機能維持の方針は、施設の設置状況に応じ、以下の方針とする。

a. 建屋（原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋）

(a) 構造設計

建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

建屋に作用する荷重は、外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁又は鉄骨架構を介し、直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

建屋の構造計画を表 3-1 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

建屋の衝突評価については、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、設計飛来物による衝撃荷重に対し、当該部材が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

最小厚さ以上であることの確認ができない屋根スラブ及び壁面については、鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

建屋の構造強度評価については、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として、設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部材自体の脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、外殻となる屋根スラブ及び壁面のうち、コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。最小厚さ以上であることの確認ができない場合は、屋根スラブ及び壁面のデッキプレートに終局状態に至るような

ひずみが生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

また、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブのスタッド及び構造躯体に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないことを計算及び解析により確認する。評価方法としては、「5.1.2(3) 強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力並びに建屋の地震応答解析モデルを用いて算出したせん断ひずみ又は層間変形角を基に評価を行う。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外壳となる扉については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、表面鋼板、芯材及びカンヌキの破断による転倒及び脱落を生じないことを計算又は解析により確認する。

表 3-1 建屋の構造計画(1/6)

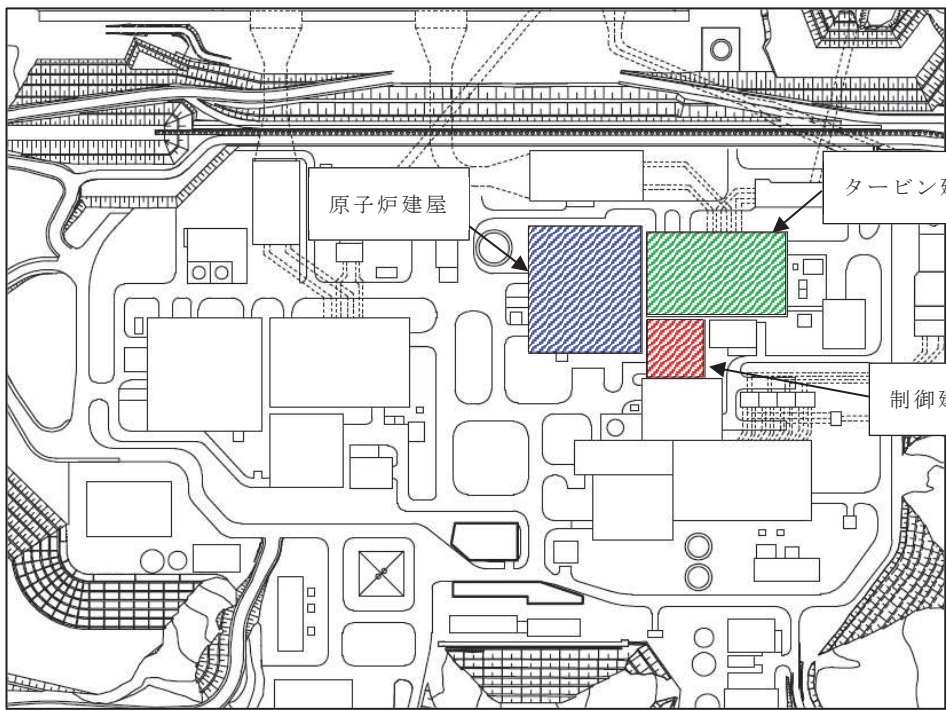

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	【位置】			

表 3-1 建屋の構造計画 (2/6)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋	鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造) で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

表 3-1 建屋の構造計画(3/6)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

〇2 ⑥ VI-3-別添1-1 R4

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1 建屋の構造計画(4/6)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋			

02 ⑥ VI-3-別添1-1 R4

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



表 3-1 建屋の構造計画 (5/6)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
タービン建屋	鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(東西方向断面)</p> <p>(南北方向断面)</p>

表 3-1 建屋の構造計画 (6/6)

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
制御建屋	鉄筋コンクリート 造（一部鉄骨造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p style="text-align: right;">0.P. 29.15 0.P. 22.95 0.P. 19.5 0.P. 15.0 0.P. 8.0 0.P. 1.5 0.P. -1.5</p> <p style="text-align: center;">39.00</p> <p style="text-align: right;">(単位：m)</p> <p style="text-align: center;">(東西方向断面)</p>
			<p style="text-align: right;">0.P. 29.15 0.P. 22.95 0.P. 19.5 0.P. 15.0 0.P. 8.0 0.P. 1.5</p> <p style="text-align: center;">40.00</p> <p style="text-align: right;">(単位：m)</p> <p style="text-align: center;">(南北方向断面)</p>

b. 構造物（軽油タンク室及び軽油タンク室（H））

(a) 構造設計

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部には頂版及び開口が露出し、露出する開口部には鋼製ハッチを設置する構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に作用する荷重は、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、直接岩盤等に支持する基礎版へ伝達する構造とする。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造計画を表 3-2 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の衝突評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、地上に露出した頂版及び鋼製ハッチの上蓋が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」及び「5.1.2(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造強度評価については、設計竜巻による気圧差荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、頂版が、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の構造計画(1/3)


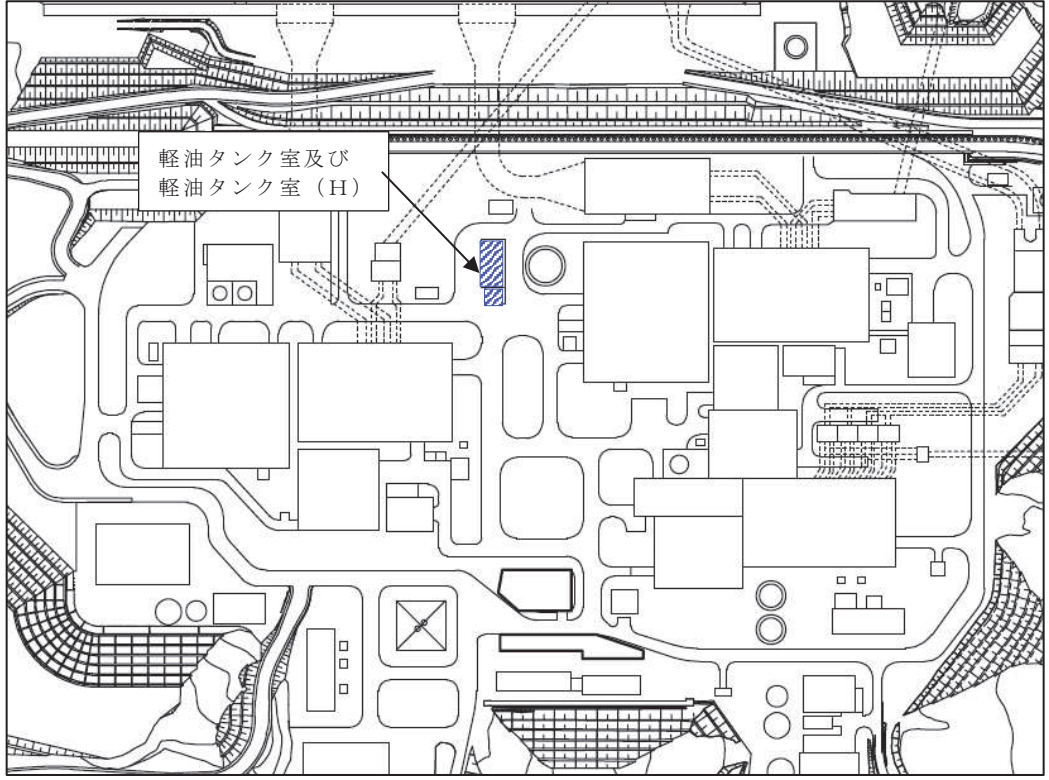
施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
構造物	【位置】			PN 
				

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) の構造計画 (2/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油タンク室	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び開口部は鋼製ハッチにより構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎版へ伝達する設計とする。</p>	<div style="text-align: right;"> <p>鋼製ハッチ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ : 1300 × 1300 開口部</li> <li>☒ : 800 × 800 開口部①*</li> <li>☒ : 800 × 800 開口部②*</li> </ul> </div> <p style="text-align: right;">← 軽油タンク室</p> <p>注記 * : 800 × 800 開口部には 2 種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用</p> <p>(平面図)</p> <p>(東西方向断面図)</p> <p>(南北方向断面図)</p>

表 3-2 軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) の構造計画 (3/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油タンク室 (H)	<p>地下に埋設された外殻の躯体を鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する頂版及び開口部は鋼製ハッチにより構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鉄筋コンクリート造の頂版及び鋼製ハッチに作用し、鉄筋コンクリート造の躯体を介し、基礎版へ伝達する設計とする。</p>	<p>鋼製ハッチ  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; text-align: center; vertical-align: middle;">X</span> : 1300×1300 開口部  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; text-align: center; vertical-align: middle;">●</span> : 800×800 開口部</p> <p>PN </p> <p>軽油タンク室 (H)  (平面図)</p> <p>(東西方向断面図)</p> <p>(南北方向断面図)</p>

(2) 屋外の外部事象防護対象施設

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ

(a) 構造設計

原子炉補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、電動機はポンプの上の電動機台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。また、作用する荷重については、各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画を表 3-3 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、原子炉補機冷却海水ポンプの最小肉厚部が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、原子炉補機冷却海水ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-3 原子炉補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>原子炉補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
原子炉補機冷却海水ポンプ	鋼製の立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
原子炉補機冷却海水ポンプ電動機	鋼製の電動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（電動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	



b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

(a) 構造設計

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に電動機を取り付け、電動機によりポンプの軸を回転させる構造とする。

ポンプはコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、電動機はポンプの上の電動機台にボルトで結合する構造とする。端子箱等のポンプの機能維持に必要な付属品は、電動機にボルトで結合する。また、作用する荷重については、各取付ボルトを介して接続する構造部材に伝達し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画を表 3-4 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの最小肉厚部が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び各取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

ハ. 動的機能維持評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.2(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した荷重を基に評価を行う。

表 3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	鋼製の立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ電動機	鋼製の電動機フレームに付属品が取り付けられた構造	ポンプの上にボルト（電動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

c. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

(a) 構造設計

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、鋼製のたて置き円筒形容器を主体構造とし、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管を海水ポンプ室床面にてサポートで支持する構造とする。

また、作用する荷重については、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを介して接続する配管に作用するものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造計画を表 3-5 に示す。

(b) 評価方針

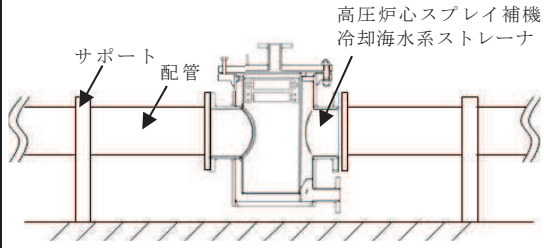
イ. 衝突評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの最小肉厚部から計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(1)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する設計としている。</p>			
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	鋼製のたて置き円筒形の容器で構成する。	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの接続配管の両端をサポートによって支持する。	

d. 復水貯蔵タンク

(a) 構造設計

復水貯蔵タンクは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

復水貯蔵タンクは、平底たて置円筒形容器を主体構造とし、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、胴板を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

復水貯蔵タンクの構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

復水貯蔵タンクの衝突評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、復水貯蔵タンクの外殻を構成する部材が、終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出したひずみを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

復水貯蔵タンクの構造強度評価については、設計竜巻による風荷重、気圧差荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、復水貯蔵タンクの機能維持に必要な胴板及び基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(2)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-6 復水貯蔵タンクの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>復水貯蔵タンクは、復水貯蔵タンクエリアに設置する設計としている。</p>			
復水貯蔵タンク	<p>平底たて置円筒形容器として鋼製の胴板、及び屋根板にて構成する。</p>	<p>コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。</p>	<p>(正面図)</p> <p>(基礎図)</p>

e. 排気筒

(a) 構造設計

排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

排気筒の筒身は、鋼管を主体構造とし、筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する構造とする。また、作用する荷重については、筒身及び鉄塔を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

排気筒の構造計画を表 3-7 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

排気筒の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物の衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、筒身及び鉄塔に生じる応力が許容限界以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.3(3) 強度評価方法」に示すとおり、FEMを用いた解析により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-7 排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>排気筒は、屋外に設置する設計としている。</p>			
排気筒	鋼管で構成する。	筒身を支持する鉄塔にサポート及びダンパで支持する。	<p>The diagram illustrates a tall, slender lattice tower structure. It features two vertical shafts, labeled '第2号機筒身' (No. 2 Machine Shaft) and '第3号機筒身' (No. 3 Machine Shaft), which are supported by a central lattice tower labeled '鉄塔' (Iron Tower). The tower is divided into several sections, with key heights marked on the left side: O.P.174.8m at the top, O.P.161.8m, O.P.134.8m, O.P.74.8m, O.P.41.8m, and O.P.14.8m at the base. The structure is supported by a central lattice tower and includes dampers for stability.</p>



f. 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

(a) 構造設計

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、鋼製の配管本体及び弁を主体構造とし、支持構造物により床及び壁等に支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の衝突評価については、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物の衝撃荷重に対し、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の最小肉厚部から計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.1(3) 強度評価方法」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力及び気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-8 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）は、海水ポンプ室補機ポンプエリアの床及び壁等で支持する設計としている。</p>			
<p>配管及び弁 （原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）</p>	<p>鋼製の配管本体及び弁で構成する。</p>	<p>配管本体及び弁は、支持構造物により床及び壁等から支持する。</p>	

g. 非常用ガス処理系（屋外配管）

(a) 構造設計

非常用ガス処理系（屋外配管）は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ガス処理系（屋外配管）は、鋼製の配管を主体構造とし、支持構造物により建屋壁等に支持する構造とする。また、作用する荷重については、配管に作用する構造とする。

非常用ガス処理系（屋外配管）の構造計画を表 3-9 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

非常用ガス処理系（屋外配管）の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-9 非常用ガス処理系（屋外配管）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>非常用ガス処理系（屋外配管）は、原子炉建屋壁面等で支持する設計としている。</p>			
非常用ガス処理系（屋外配管）	鋼製の配管で構成する。	非常用ガス処理系（屋外配管）は、支持構造物により建屋壁等から支持する。	

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a. 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，鋼製のダクトを主体構造とし，支持構造物により建屋壁，床及び梁等に支持する構造とする。また，作用する荷重については，ダクト鋼板に作用する構造とする。

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-10 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）を構成するダクト鋼板に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，ダクト形状で評価方法を分類し「5.2.5(1)a.(c) 強度評価方法」及び「5.2.5(1)b.(c) 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-10 角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）</p>	<p>鋼製のダクトで構成する。</p>	<p>ダクトは，支持構造物により建屋壁，床及び梁等から支持する。</p>	<p><b>【角ダクト】</b></p> <p><b>【丸ダクト】</b></p>

- b. 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））

(a) 構造設計

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

隔離弁は，弁箱，弁体及び弁棒で構成し，接続ダクトで支持する構造とする。内部の弁体，弁棒が回転することにより弁の開閉動作を行う構造とし，閉止時には，上流と下流の圧力差が気密性を有する弁の耐圧部に作用する構造とする。

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造計画を表3-11に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造強度評価については，開閉可能な機能及び閉止性を考慮して，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(2)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-11 隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁，原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））</p>	<p>弁箱，弁体及び弁棒で構成する。</p>	<p>接続ダクトで支持する。</p>	

c. ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ファンは流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び電動機からの回転力を伝達する主軸で形成し，床に基礎ボルトで支持する構造とする。

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-12 に示す。

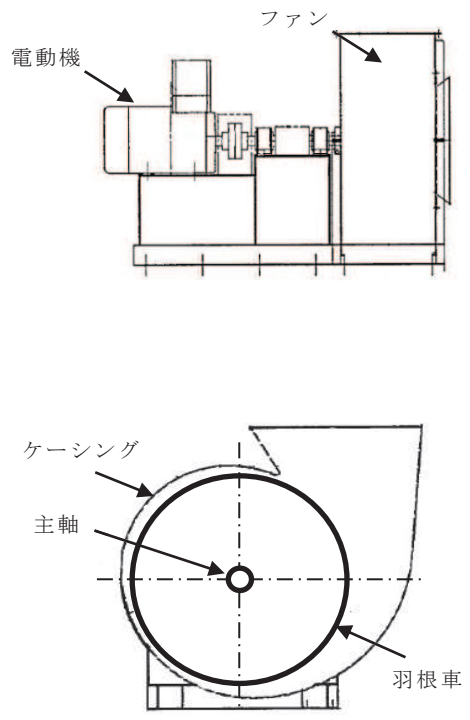
(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(3)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。



表 3-12 ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋内（原子炉建屋，制御建屋）に設置する設計としている。</p>			
<p>ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）</p>	<p>ケーシング及びケーシング内の主軸，羽根車で構成する。</p>	<p>床に基礎ボルトで支持する。</p>	

d. ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）

(a) 構造設計

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

ダンパは，ケーシング，ベーン及びシャフトで構成し，接続ダクトで支持する構造とする。また，作用する荷重については，ケーシング及びベーンに作用し，ベーンを介してシャフトに伝達する構造とする。

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画を表 3-13 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価については，設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，発生する応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.5(4)c. 強度評価方法」に示すとおり，評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-13 ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）は，十分な強度を有する建屋（原子炉建屋，制御建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）</p>	<p>ケーシング，ベーン及びシャフトで構成する。</p>	<p>接続ダクトで支持する構造とする。</p>	

e. 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）

(a) 構造設計

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

軽油タンクは、大気開放型の鋼製の横置円筒形容器を主体構造とし、地下に埋設された軽油タンク室内に設置し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、軽油タンクベント配管を通じて軽油タンク本体に作用する構造とする。

燃料移送ポンプ等は、鋼製の燃料移送ポンプ及び配管を主体構造とし、軽油タンク室内に設置し、コンクリート基礎にサポート又は基礎ボルト等で固定する構造とする。また、作用する荷重については、燃料移送ポンプ及び配管本体に作用する構造とする。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造計画を表3-14に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

軽油タンクの構造強度評価については、設計竜巻の気圧差による荷重に対し、軽油タンク本体に生じる応力が許容外圧以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(3)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した許容外圧を基に評価を行う。

燃料移送ポンプ等の構造強度評価については、設計竜巻の気圧差荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、燃料移送ポンプ及び配管に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(3)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-14 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b></p> <p>軽油タンク，燃料移送ポンプ及び配管は，地下に埋設された燃料移送ポンプ室内に設置する設計としている。</p>			
軽油タンク	鋼製の鏡板及び胴板で構成する横置円筒形容器で構成する。	容器底部をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
燃料移送ポンプ等	鋼製の燃料移送ポンプ及び配管で構成する。	ポンプ及び配管をコンクリート基礎に基礎ボルト又はサポートで固定する。	

(4) 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

a. 機械的影響を及ぼす可能性がある施設

(a) 補助ボイラー建屋

イ. 構造設計

補助ボイラー建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

補助ボイラー建屋、タービン建屋及び制御建屋はそれぞれ構造的に独立した建物である。

補助ボイラー建屋は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

補助ボイラー建屋の構造計画を表 3-15 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

補助ボイラー建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、補助ボイラー建屋がタービン建屋及び制御建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては、各建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の最大相対変位を基に評価を行う。

表 3-15 補助ボイラー建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				

表 3-15 補助ボイラー建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
補助ボイラー建屋	鉄筋コンクリート構造(一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造)で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(南北方向断面)</p> <p>(東西方向断面)</p>



(b) 第1号機制御建屋

イ. 構造設計

第1号機制御建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

第1号機制御建屋及び制御建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。

第1号機制御建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

第1号機制御建屋の構造計画を表3-16に示す。

ロ. 評価方針

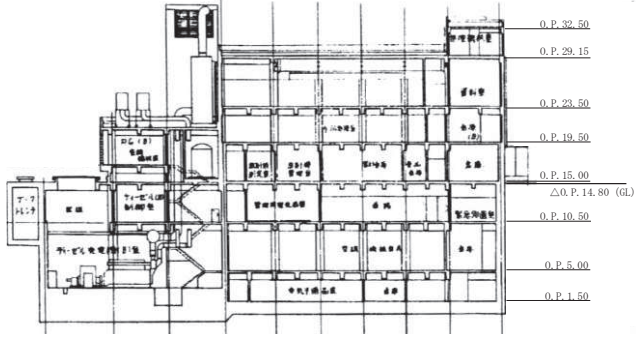
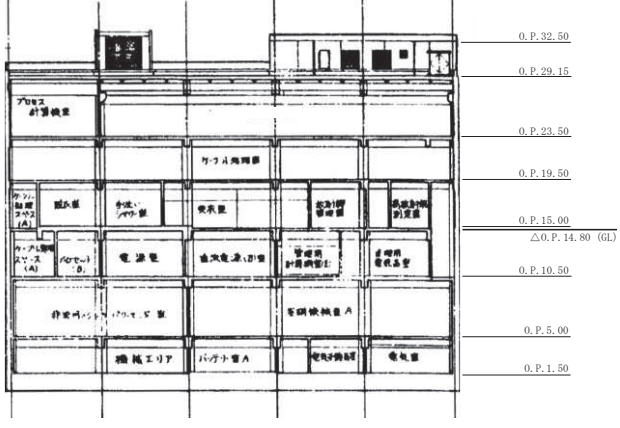
(イ) 構造強度評価

第1号機制御建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、第1号機制御建屋が制御建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としては第1号機制御建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の最大相対変位を基に評価を行う。

表 3-16 第 1 号機制御建屋の構造計画 (1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				

表 3-16 第 1 号機制御建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
第 1 号機 制御建屋	鉄筋コン クリート 造(一部鉄 骨造)で構 成する。	荷重は建屋 の外殻を構 成する屋根 及び外壁に 作用し、基 礎版へ伝達 する構造と する。	 <p>(南北方向断面)</p>  <p>(東西方向断面)</p>

(c) サイトバンカ建屋

イ. 構造設計

サイトバンカ建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

サイトバンカ建屋及びタービン建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。

サイトバンカ建屋は鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。

サイトバンカ建屋の構造計画を表 3-17 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

サイトバンカ建屋の構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、サイトバンカ建屋がタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算により確認する。評価方法としてはサイトバンカ建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した層間変形角及び各建屋間の最大相対変位を基に評価を行う。

表 3-17 サイトバンカ建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋				<p>The diagram is a detailed structural plan of a building complex. It features several interconnected structures. A prominent feature is a long, narrow building at the top labeled 'サイトバンカ建屋' (Site Bank Building). Below it, a larger, more complex structure is labeled 'タービン建屋' (Turbine Building). A specific area within the turbine building is highlighted with blue diagonal hatching. The plan includes various rooms, corridors, and structural elements like walls and columns. In the top right corner, there is a north arrow symbol with the letters 'PN' next to it.</p>

表 3-17 サイトバンカ建屋の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
サイトバンカ建屋	鉄筋コンクリート構造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、基礎版へ伝達する構造とする。	<p>(南北方向断面)</p> <p>(東西方向断面)</p>

(d) 海水ポンプ室門型クレーン

イ. 構造設計

海水ポンプ室門型クレーンは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

海水ポンプ室門型クレーンは、海水ポンプ室エリアに設置している門型クレーンであり、停留位置において海水ポンプ室門型クレーンに作用する荷重は、エンドストoppa及びエンドストoppaを支持する基礎ボルトに伝達する構造とする。

海水ポンプ室門型クレーンの構造計画を表 3-18 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価については、設計竜巻の風荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、海水ポンプ室門型クレーン停留位置においてエンドストoppa及び基礎ボルトにより海水ポンプ室門型クレーンに転倒が生じないことを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.6(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-18 海水ポンプ室門型クレーンの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプ室門型クレーン	門型クレーン	屋外の海水ポンプ室エリアに設置している門型クレーンであり、停留位置においてエンドストップで固定する。	<p>(停留位置)</p> <p>トロリ</p> <p>ガード</p> <p>脚部</p> <p>エンドストップ</p> <p>基礎ボルト</p>



b. 機能的影響を及ぼす可能性がある施設

- (a) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器

イ. 構造設計

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は、鋼製の胴板を主体構造とし、原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定する構造とする。また、作用する荷重については、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の中間台を介し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造計画を表 3-19 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価については、設計竜巻の風荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.3(4)c. 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-19 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
排気消音器の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。） 排気消音器	鋼製の胴板で構成する。	原子炉建屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を基礎ボルトで固定する。	

- (b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管

イ. 構造設計

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の設計方針及びVI-1-1-2-3-1の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、鋼製の配管を主体構造とし、サポートによる支持で建屋壁面や軽油タンク室等に固定する構造とする。また、作用する荷重については、配管本体に作用する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造計画を表 3-20 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力、気圧差及びその他考慮すべき荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.2.4(3) 強度評価方法」に示すとおり、評価式により算出した応力を基に評価を行う。

表 3-20 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
 付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管	鋼製の配管で構成する。	サポートによる支持で建屋壁面等に固定する。	
軽油タンクベント配管			

「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計と作用する荷重の伝達を基に，表 3-21 に示すとおり評価対象部位を設定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(1/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋	屋根スラブ(デッキプレートを含む。)スタッド壁面(デッキプレートを含む。)構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への竜巻による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、屋根スラブを固定するスタッド及び構造躯体を評価対象部位として選定する。
		衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる竜巻の影響に対する防護を期待する扉の表面鋼板を評価対象部位として選定する。	
		構造強度	転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、竜巻の影響に対する防護を期待する扉の表面鋼板、芯材及びカンヌキを評価対象部位として選定する。	
		扉の表面鋼板, 芯材及びカンヌキ			

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (2/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	タービン 建屋 制御建屋	屋根スラブ(デッキプレートを含む。) スタッド 壁面 構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、竜巻より防護すべき施設が設置されている区画の屋根スラブ及び壁面を評価対象部位として選定する。
				転倒及び脱落	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計竜巻による荷重の作用を考慮し、当該部の転倒及び脱落が生じないことを確認するため、屋根スラブを固定するスタッド及び構造躯体を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (3/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	軽油タンク室 及び軽油タンク室 (H)	鋼製ハッチの上蓋	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である鋼製ハッチの上蓋を評価対象部位として選定する。
		頂版	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に貫通が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。
			構造強度	裏面剥離	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部の脱落による影響が生じないことを確認するため、外部に露出している部位である頂版を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(4/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し、ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 電動機フレーム	構造強度	立形ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、基礎ボルト、本体各部取付ボルト及び主要構造部材である電動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	立形ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	外殻に面する部分への設計飛来物の衝突を考慮し、ポンプ据付面より上部の全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、ポンプを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		基礎ボルト 取付ボルト 電動機フレーム	構造強度	立形ポンプ	設計竜巻による荷重の影響を受けるポンプ据付面より上部の各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じるため、基礎ボルト、本体各部取付ボルト及び主要構造部材である電動機フレームを評価対象部位として選定する。
		軸受部	機能維持	立形ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、動的機能維持に必要な軸受部を評価対象部位として選定する。



表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (5/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	外殻を構成する部材	衝突	貫入	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し、外殻に面する部材に貫通が生じないことを確認するため、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを構成する部材のうち外殻に面する部材を評価対象部位として選定する。
		接続配管	構造強度	配管	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは接続する配管によって支持する構造であるため、配管を評価対象部位として選定する。
	復水貯蔵タンク	胴板 屋根板	衝突	ひずみ	復水貯蔵タンクの外殻を構成する部材への設計飛来物の衝突を考慮し、復水貯蔵タンクの胴板及び屋根板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認するため、胴板及び屋根板を評価対象部位として選定する。
		胴板 基礎ボルト	構造強度	平底たて置 円筒形容器	設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は、胴板を介して基礎ボルトに作用する。これらは、外荷重として作用する地震荷重と同様なものであるため、J E A G 4 6 0 1 の平底たて置円筒形容器の計算方法を準用し、胴板及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (6/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
屋外の外部事象防護対象施設	排気筒	筒身, 支持鉄塔	構造強度	排気筒	設計竜巻の風圧力による荷重は, 筒身及び鉄塔に作用するため, これらを実評価対象部位として選定する。
	配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)	外殻を構成する部材	衝突	貫入	配管の全方向からの飛来物を考慮し, 貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として配管の最小板厚部を実評価対象部位として選定する。
		配管本体	構造強度	配管及び弁	設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は, 配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため, 配管本体を実評価対象部位として選定する。
	非常用ガス処理系 (屋外配管)	配管本体	構造強度	配管	設計竜巻の風圧力による荷重は, 非常用ガス処理系 (屋外配管) の配管本体に作用するため, 配管本体を実評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(7/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋内の外気と繋がっている外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ダクト鋼板	構造強度	ダクト	換気空調系のダクトは、建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、設計竜巻の気圧差による荷重が考えられるため、ダクト本体の鋼板部を評価対象部位として選定する。
	ダンパ（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング ベーン シャフト	構造強度	ダンパ	換気空調系のダクトは、建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、閉止しているダンパには、設計竜巻の気圧差による荷重がケーシング、ベーン及びシャフトに作用することから、ケーシング、ベーン及びシャフトを評価対象部位として選定する。
	隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	隔離弁	換気空調系の隔離弁は、建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが、設計竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから、耐圧部である弁箱、弁体及び弁棒を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(8/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
屋内の外気と繋がっている外部事象防護対象施設	ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	ケーシング	構造強度	ファン	換気空調系のファンは，建屋内に設置されていることから設計竜巻の風圧力による荷重は直接受けないが，設計竜巻の気圧差による荷重が耐圧部に作用することから，耐圧部であるケーシングを評価対象部位として選定する。
	軽油タンク	胴板	構造強度	横置円筒形容器	軽油タンクは，設計竜巻の気圧差による荷重が軽油タンクベント配管を通じてタンク本体に作用することから，軽油タンクの胴板を評価対象部位として選定する。
	燃料移送ポンプ及び配管	配管本体	構造強度	配管	燃料移送ポンプ及び配管は，設計竜巻の気圧差による荷重が，燃料移送ポンプのケーシング及び接続する配管に作用するが，ポンプケーシングと比較して断面積が小さく，発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (9/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目 分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、補助ボイラー建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	第 1 号機制御建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、第 1 号機制御建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。
	サイトバンカ建屋	構造躯体	構造強度	変形	竜巻より防護すべき施設を内包する施設への接触による波及的影響を考慮し、サイトバンカ建屋の構造躯体である耐震壁を評価対象部位として選定する。

表 3-21 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (10/10)

分類	施設名称	評価対象部位	評価項目	評価項目分類	選定理由
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	海水ポンプ室門型クレーン	エンドストップ 基礎ボルト	構造強度	門型クレーン	海水ポンプ室への海水ポンプ室門型クレーンの転倒による波及的影響を考慮して、エンドストップ及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電設備（高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器	基礎ボルト	構造強度	消音器	設計竜巻による荷重の影響を受ける消音器据付面より上部の各部位のうち、排気消音器の転倒による閉塞により、非常用ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、発生する応力が厳しくなる基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	非常用ディーゼル発電設備（高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	配管本体	構造強度	配管及び弁	設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、配管仕様と支持間隔による受圧面積に応じて配管本体に作用するため、配管本体を評価対象部位として選定する。

#### 4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

##### 4.1 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-2-3-1 の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

###### (1) 荷重の種類

###### a. 常時作用する荷重 (F<sub>d</sub>)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重、水頭圧及び上載荷重とする。

###### b. 竜巻による荷重 (W<sub>T</sub>)

竜巻による荷重は、設計竜巻の以下の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 4-1 に示す。

###### ・ 竜巻の最大気圧低下量 (ΔP)

フジタモデルにおける竜巻の最大気圧低下量は、流れの連続式と運動量保存則から導出される以下の圧力ポアソン方程式を用いる。

$$\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left( U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} \right)$$

ρ : 空気密度 (kg/m<sup>3</sup>)

p : 圧力 (N/mm<sup>2</sup>)

x : 座標 (—)

U : 風速ベクトル (—)

ν : 動粘性係数 (m<sup>2</sup>/s)

###### ・ 竜巻の最大接線風速 (V<sub>Rm</sub>)

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V<sub>D</sub> : 竜巻の最大風速 (m/s)

V<sub>T</sub> : 竜巻の移動速度 (m/s)

###### ・ 竜巻の移動速度 (V<sub>T</sub>)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V<sub>D</sub> : 竜巻の最大風速 (m/s)

表 4-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、竜巻の最大風速による荷重である。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる竜巻の影響を考慮する施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数 ( $G$ ) は設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から、施設の形状によらず「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して、 $G = 1.0$  とする。空気密度 ( $\rho$ ) は「REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1」(米国原子力規制委員会) より  $\rho = 1.226\text{kg/m}^3$  とする。

設計用速度圧については施設の形状に影響を受けないため、設計竜巻の設計用速度圧 ( $q$ ) は施設の形状によらず  $q = 6130\text{N/m}^2$  と設定する。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける設備及び竜巻より防護すべき施設を内包する施設の建屋の壁、屋根等においては、竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設 (通気がない施設) については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし設定することを基本とする。

部分的に閉じた施設 (通気がある施設等) については、施設の構造健全性を評価する上で厳しくなるよう作用する荷重を設定する。

気圧差による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設の部位ごとに荷重を算出する。

最大気圧低下量 ( $\Delta P$ ) は圧力ポアソン方程式から、 $\Delta P = 7600\text{N/m}^2$  とする。

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物である鋼製材の衝突による影響が大きくなる向きで外部事象防護対象施設等に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。衝突評価においても、設計



飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

設計飛来物の寸法、質量及び飛来速度を表 4-2 に示す。設計飛来物の飛来速度については、設置（変更）許可を受けたとおり設定する。なお、鉛直方向の飛来速度については、敷地内の高台から設計飛来物が到達する対象施設に対して、高台を考慮した鉛直速度を解析コード「TONBOS」を用いて算出して設定する。対象施設に適用する鉛直方向の飛来速度を表 4-3、強度評価の対象施設と鋼製材の鉛直速度の関係を表 4-4、強度評価の対象施設と砂利の鉛直速度の関係を表 4-5 及び各高台からの設計飛来物（鋼製材、砂利）の飛散範囲を図 4-1 にそれぞれ示す。評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・TONBOS」に示す。

表 4-2 設計飛来物の諸元

項目	飛来物の種類	
	鋼製材	砂利
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
質量 (kg)	135	0.2
水平方向の飛来速度 (m/s)	46.6	59.3
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	16.7～34.7* <sup>1</sup>	22.6～37.9* <sup>1</sup>

注記 \*1：敷地内の高台を考慮して設定する。なお、鋼製材及び砂利の飛来速度 34.7m/s 及び 37.9m/s については、高台から防潮堤に対する飛来速度を示す。

表 4-3 対象施設に適用する鉛直方向の飛来速度

強度評価の対象施設* <sup>1</sup>	鋼製材 [m/s]	砂利 [m/s]	設計飛来物が到達する高台の位置* <sup>3</sup>	
			鋼製材	砂利
原子炉建屋，制御建屋及び海水ポンプ室門型クレーン	16.7	36.3	—* <sup>4</sup>	① (O. P. 56m)
タービン建屋，補助ボイラー建屋及びサイトバンカ建屋	32.9	36.3	① (O. P. 56m)	① (O. P. 56m)
第1号機制御建屋	31.1	36.3	⑧ (O. P. 50m)	① (O. P. 56m)
軽油タンク室及び軽油タンク室(H)，復水貯蔵タンク	16.7	22.6	—* <sup>4</sup>	—* <sup>4</sup>
原子炉補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ，高圧炉心スプレー補機冷却海水系ストレーナ，配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ周り)	—* <sup>2</sup>	27.2* <sup>5</sup>	—* <sup>2</sup>	—* <sup>4</sup>
排気筒	31.1	34.6	⑧ (O. P. 50m)	⑧ (O. P. 50m)

注記 \*1：対象施設は，強度評価の対象施設のうち，飛来物による衝撃荷重を考慮する施設について示す

\*2：竜巻防護ネット設置により鋼製材は到達しない

\*3：番号は図 4-1 の高台のうち，設計飛来物が到達する最も高い高台の位置を示す

\*4：高台から設計飛来物が飛散しても対象施設に到達しないことから高台高さを設定しない

\*5：海水ポンプ室補機ポンプエリアの地上面から底面までの深さを考慮して速度を設定

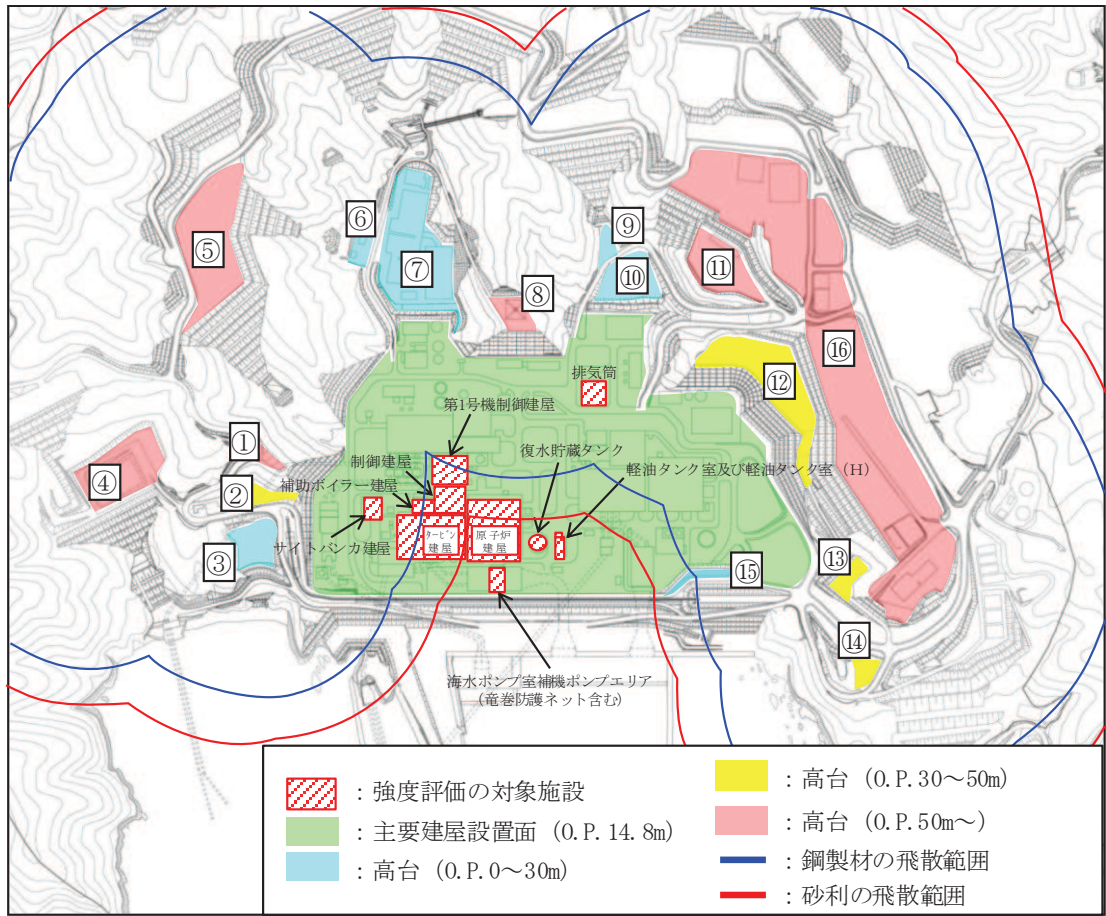


図 4-1 各高台からの設計飛来物（鋼製材，砂利）の飛散範囲

表 4-4 強度評価の対象施設と鋼製材の鉛直速度の関係

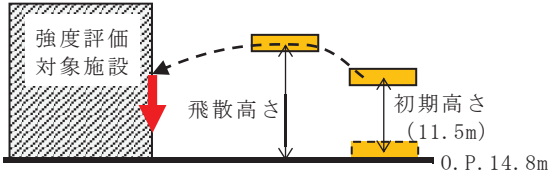
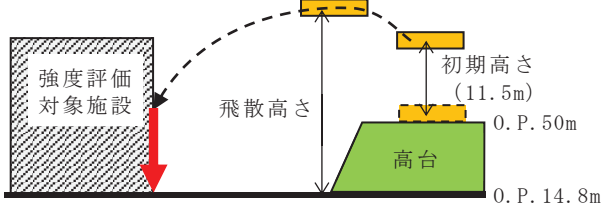
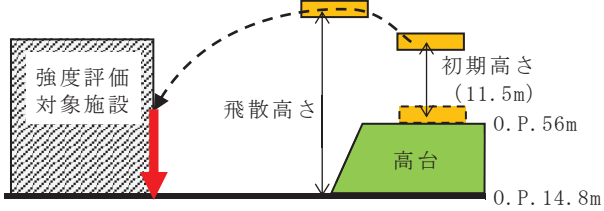
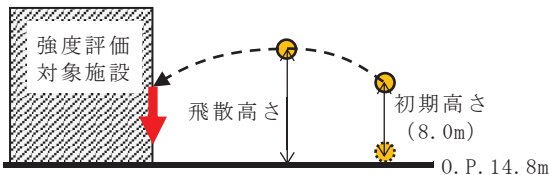
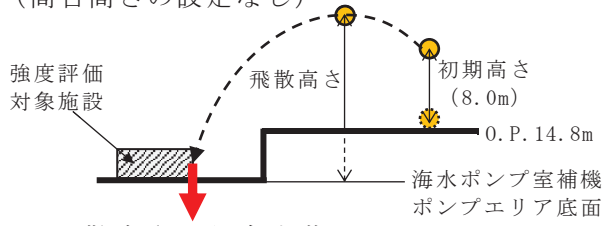
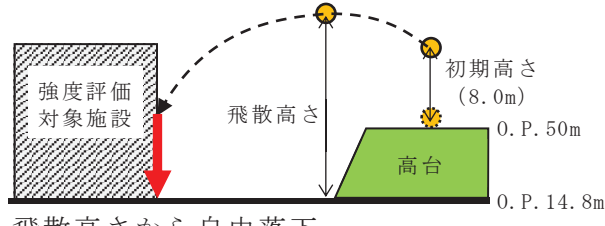
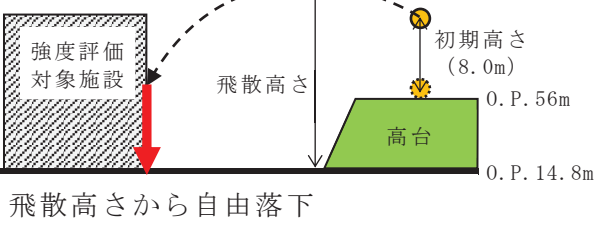
強度評価の対象施設	鉛直速度 [m/s]	高台 位置	鉛直速度の設定方法
原子炉建屋，制御建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室(H)，復水貯蔵タンク及び海水ポンプ室門型クレーン	16.7	—	<p>・高台から鋼製材が到達しない場合 (高台高さの設定なし)</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：16.7m/s</p>
排気筒及び第1号機制御建屋	31.1	⑧	<p>・高台から鋼製材が到達する場合</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：31.1m/s</p>
タービン建屋，補助ボイラー建屋及びサイトバンカ建屋	32.9	①	<p>・高台から鋼製材が到達する場合</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：32.9m/s</p>

表 4-5 強度評価の対象施設と砂利の鉛直速度の関係

強度評価の対象施設	鉛直速度 [m/s]	高台 位置	鉛直速度の設定方法
軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) , 復水貯蔵タンク	22.6	—	<p>・高台から砂利が到達しない場合 (高台高さの設定なし)</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：22.6m/s</p>
原子炉補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ, 配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り)	27.2*1	—	<p>・高台から砂利が到達しない場合 (高台高さの設定なし)</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：27.2m/s</p>
排気筒	34.6	⑧	<p>・高台から砂利が到達する場合</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：34.6m/s</p>
原子炉建屋, 制御建屋, タービン建屋, 補助ボイラー建屋, サイトバンカ建屋, 第1号機制御建屋及び海水ポンプ室門型クレーン	36.3	①	<p>・高台から砂利が到達する場合</p>  <p>飛散高さから自由落下 した場合の鉛直速度：36.3m/s</p>

注記 \*1: 海水ポンプ室補機ポンプエリアの地上面から底面までの深さを考慮して速度を設定

c. 運転時に作用する荷重 ( $F_P$ )

運転時の状態で作用する荷重として、配管等にかかる内圧やポンプのスラスト荷重等の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は、気圧差による荷重( $W_P$ )を考慮した複合荷重 $W_{T1}$ 並びに設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_W$ )、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重 $W_{T2}$ を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には $W_{T1}$ 及び $W_{T2}$ の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ適切な組合せを設定する。施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を以下に示す。

a. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設 (表 4-6(1/5))

設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) については、地下埋設されていることから、設計竜巻の風圧力は考慮しない。

b. 屋外の外部事象防護対象施設 (表 4-6(2/5), 3/5))

屋外の外部事象防護対象施設のうち、原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ、配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り) に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、竜巻防護ネットを通過する設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ、配管及び弁 (原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り) には運転時にスラスト荷重や内圧等が作用するため、運転時の状態で作用する荷重も考慮する。

排気筒に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。排気筒筒身に関しては、設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはないことから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

非常用ガス処理系 (屋外配管) に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ガス処理系 (屋外配管) は屋外

施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。非常用ガス処理系（屋外配管）は設計飛来物の衝突により貫通することを考慮しても、閉塞することはないことから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。なお、設計飛来物の衝突により貫通した場合には、補修等の対応を行う運用とする。

復水貯蔵タンクに関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。復水貯蔵タンクは大気開放型のタンクであることから気圧差による荷重は考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については、気圧差同様考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設（表 4-6(4/5)）

外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設である中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系のダクト、ダンパ及びファン並びに中央制御室換気空調系及び原子炉建屋原子炉棟換気空調系の隔離弁は建屋内に設置しているため、設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが、外気と繋がっているため、施設に作用する気圧差による荷重及び常時作用する荷重を組み合わせることを基本とする。運転時の状態で作用する荷重に関しては、気圧差の影響を受ける状態として、外気と繋がるダンパや隔離弁が気圧差により閉止することで、外気と隔離された区画に気圧差が加わる場合を想定しているため、運転時の状態で作用する荷重は組み合わせない。また、ファンの自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから、自重を考慮しない。

軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）は、軽油タンク室及び軽油タンク室(H)内に設置しているため設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重は考慮しないが、外気と繋がっているため気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。軽油タンクについては、運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

d. 外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設（表 4-6(5/5)）

機械的影響を及ぼす可能性がある施設のうち、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については作用しないため考慮しない。

海水ポンプ室門型クレーンに関しては、設計竜巻による風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。運転時の状態で作用する荷重については、作用しないため考慮しない。海水ポンプ室門型クレーンは屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。

機能的影響を及ぼす可能性がある施設のうち、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は、排気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。また、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。運転時の状態で作用する荷重については評価対象部位に対し作用しないため考慮しない。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管に関しては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及び常時作用する荷重の組合せを基本とする。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管には運転時に内圧が作用するため、運転時の状態で作用する荷重も考慮する。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は通気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の通気箇所から通気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

上記の施設分類ごとの荷重の組合せの考え方を踏まえ、各評価対象施設における評価項目ごとの荷重の組合せを表 4-6 に示す。



表 4-6 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(1/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重(W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重(W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重(W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重(F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋, タービン建屋及び制御建屋	衝突	○*	—	○*	○*	○*	○	—
		構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	軽油タンク室及び軽油タンク室(H)	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	—	—	—	—	○	○	—

(○：考慮する荷重を示す。)

注記\*：「設計飛来物の貫通を生じない最小厚さであること」の確認においては考慮しない。

表 4-6 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(2/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による 荷重(W <sub>w</sub> )	気圧差による 荷重(W <sub>p</sub> )	飛来物による 衝撃荷重(W <sub>M</sub> )	運転時の状態で 作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭 圧	上載 荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
		機能維持	—	—	—	○	○	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
		機能維持	—	—	—	○	○	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-6 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (3/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の外部事象防護対象施設	復水貯蔵タンク	衝突	○	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	○	—	○	—	○	—
	排気筒	構造強度	○	—	—	○	—	○	—
	配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○
	非常用ガス処理系（屋外配管）	構造強度	○	—	—	○	—	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-6 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ(4/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による 荷重(W <sub>w</sub> )	気圧差による 荷重(W <sub>p</sub> )	飛来物による 衝撃荷重(W <sub>M</sub> )	運転時の状態で 作用する荷重 (F <sub>P</sub> )
			自重	水頭圧	上 載 荷 重				
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	ファン（中央制御室換気空調系，原子炉補機室換気空調系，計測制御電源室換気空調系）	構造強度	—	—	—	—	○	—	—
	軽油タンク	構造強度	—	—	—	—	○	—	—
	燃料移送ポンプ及び配管	構造強度	○	—	—	—	○	—	○

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-6 竜巻の影響を考慮する施設の荷重の組合せ (5/5)

分類	強度評価の対象施設	評価項目	荷重						
			常時作用する荷重 (F <sub>d</sub> )			風圧力による荷重 (W <sub>w</sub> )	気圧差による荷重 (W <sub>p</sub> )	飛来物による衝撃荷重 (W <sub>M</sub> )	運転時の状態で作用する荷重 (F <sub>p</sub> )
			自重	水頭圧	上載荷重				
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋, 第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋	構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	海水ポンプ室門型クレーン	構造強度	○	—	—	○	—	○	—
	非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 排気消音器	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	非常用ディーゼル発電設備 (高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。) 付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	構造強度	○	—	—	○	○	—	○

(○ : 考慮する荷重を示す。)

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-7 に示す。

表 4-7 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	施設の受圧面積
C	—	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
V <sub>Rm</sub>	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W <sub>M</sub>	N	飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
ΔP	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量

b. 自重による荷重の算出

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 (W<sub>W</sub>)

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）」及び「日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(b) 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

飛来物による衝撃荷重は、飛来物が衝突する竜巻の影響を考慮する施設、評価対象部位及び評価方法に応じて適切に設定する必要があるため、個別計算書にその算出方法を含めて記載する。

評価条件を表 4-8 に示す。

表 4-8 評価条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響 係数 $G$ (-)	設計用 速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )	最大接線 風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	1.226	1.0	6130	85	7600

#### 4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価項目ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価項目ごとの許容限界を表 4-10 に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価項目ごとに許容限界を定める。

「原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)」、 「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1991 追補版)」(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)を準用できる施設については、J E A G 4 6 0 1に基づき「J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下「設計・建設規格」という。)の付録材料図表及びJ I Sの材料物性値により許容限界を算出している。その他施設や衝撃荷重のみを考慮する施設については、設計・建設規格や既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、設計・建設規格の適用を受ける機器であって、供用状態に応じた許容値の規定が設計・建設規格にないものは機能維持の評価方針を考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づいた許容限界を設定する。

#### 4.2.1 建屋・構造物

##### (1) 許容限界の設定

###### a. 衝突評価

###### (a) 貫通 (表 4-10 (1/9), (2/9), (3/9))

建屋・構造物の衝突による貫通評価においては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であ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、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材の最小厚さを許容限界として設定する。

###### (b) ひずみ (表 4-10 (1/9))

建屋・構造物の衝突による貫通評価のうち、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることの確認ができない建屋の屋根スラブ及び外壁においては、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブ及び外壁の鉄筋又はデッキプレートが終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、鉄筋又はデッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。鉄筋の破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ), デッキプレートの破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ) を許容限界とする。

###### b. 構造強度評価

###### (a) 裏面剥離 (表 4-10 (1/9), (3/9))

設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であ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、施設の最小部材厚さを許容限界として設定する。また、許容限界を超えた場合は、裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、デッキプレートの破断ひずみを許容限界として設定する。デッキプレートの破断ひずみは、J I S 規格値/TF (  ) を許容限界とする。

###### (b) 転倒及び脱落 (表 4-10 (1/9), (2/9))

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計及び原子炉建屋の放射性物質の閉じ込め機能を維持する設計とするために、構造躯体のうち耐震壁に終局状態に至るようなひずみが生じない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、コンクリートの終局せん断ひずみに基づく制限値を許容限界として設定する。制限値はJ E A G 4 6 0 1に基づき $2.0 \times 10^{-3}$ とする。また、構造躯体のうち鉄骨架構に終局状態に至るような変形が生じない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、「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」（以下「技術基準解説書」という。）に基づく層間変形角の制限値を許容限界として設定する。

屋根スラブのスタッドについては、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力を許容限界として設定する。

扉の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、表面鋼板、芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算又は解析により確認する設計方針としていることを踏まえ、鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは、J I S規格値/TF ( ) を許容限界とする。

また、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、カンヌキの破断による転倒及び脱落を生じないことを計算又は解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準・同解説—許容応力度設計法—」に準じた短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 構造躯体の変形（表 4-10 (8/9)）

外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性のある施設については、設計竜巻による荷重及びその他の荷重に対し、補助ボイラー建屋がタービン建屋及び制御建屋に、第1号機制御建屋が制御建屋に、サイトバンカ建屋がタービン建屋に接触する変形を生じないことを計算及び解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、各建屋との離隔距離及び「技術基準解説書」に基づく層間変形角の制限値を許容限界として設定する。

(d) 排気筒（表 4-10 (6/9)）

排気筒の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、構造物全体が倒壊し、流路を確保する機能を維持するために筒身及び鉄塔が、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、「容器構造設計指針」等に応じた材料強度を許容限界として設定する。

#### 4.2.2 機器・配管系

(1) 許容限界の設定

a. 衝突評価

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(a) 貫入 (表 4-10 (4/9) ~ (6/9))

衝突による貫入評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じない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、部材厚さを許容限界として設定する。ただし、耐圧部については部材厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界として設定する。

(b) ひずみ (表 4-10 (5/9))

衝突によるひずみ評価においては、設計飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、復水貯蔵タンク胴板及び屋根板の破断ひずみを許容限界として設定する。復水貯蔵タンク胴板及び屋根板の破断ひずみは、J I S 規格値 / TF ( ) を許容限界とする。

b. 構造強度評価

(a) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ (表 4-10 (4/9))

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ポンプ及びポンプの機能維持に必要な付属品を支持する基礎ボルト、取付ボルト並びにポンプの機能維持に必要な付属品を支持する電動機フレームが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態 III A S の許容応力を許容限界として設定する。

(b) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ (表 4-10 (5/9))

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ストレーナに接続する配管が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針をしていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態 III A S の許容応力を許容限界として設定する。

(c) 復水貯蔵タンク (表 4-10 (5/9))

復水貯蔵タンクの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、復水貯蔵タンクを構成する胴板及び基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態

Ⅲ<sub>A</sub>S 及び座屈に対する評価式を満足する許容応力を許容限界として設定する。

(d) 配管及び弁 (表 4-10 (6/9), (9/9))

配管及び弁の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。

(e) 非常用ガス処理系 (屋外配管) (表 4-10 (6/9))

非常用ガス処理系 (屋外配管) の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、配管本体が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。

(f) 角ダクト及び丸ダクト (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系) (表 4-10 (7/9))

角ダクト及び丸ダクト (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系) の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ダクトを構成するダクト鋼板が、おおむね弾性状態に留ま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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S 及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(g) 隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系)) (表 4-10 (7/9))

隔離弁 (中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁 (原子炉建屋原子炉棟換気空調系)) の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、隔離弁が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界として設定する。

(h) ファン (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系) (表 4-10 (7/9))

ファン (中央制御室換気空調系, 計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系) の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ファンのケーシングが、おおむね弾性状態に留

ま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、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

- (i) ダンパ（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）（表 4-10 (7/9)）

ダンパ（中央制御室換気空調系、計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、ダンパを構成するケーシング、ベーン及びシャフトが、おおむね弾性状態に留ま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、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

- (j) 軽油タンク（燃料移送ポンプ等を含む。）（表 4-10 (7/9)）

軽油タンクの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重に対し、軽油タンクが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、「設計・建設規格 PVC-3122 円筒形の胴の厚さの規定」のうち、(PVC-5)に示される外面に受ける最高の圧力を許容限界として設定する。

燃料移送ポンプの配管の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対して、燃料移送ポンプの配管が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

- (k) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器（表 4-10 (9/9)）

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気消音器を構成する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのない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、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

- (l) 海水ポンプ室門型クレーン（表 4-10 (8/9)）

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価においては、設計竜巻の風圧力、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、エンドストップ及び基礎ボルトが、塑性域に達しても必要な機能が損なわれず、外部事象防

護対象施設に接触による影響を及ぼさない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、J E A G 4 6 0 1等に準じて許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

c. 動的機能維持評価

- (a) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ（表4-10 (4/9)）

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価においては、ポンプの軸受部は、設計竜巻の風圧力による荷重、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を維持可能な許容荷重以下であ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、軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界として設定する。

(2) 許容限界設定方法

- a. 記号の定義

許容限界式に使用する記号を表4-9に示す。

表 4-9 許容限界式に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
B	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図3に規定される値
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴外形
E	MPa	ヤング率
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される値
f <sub>b</sub>	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
f <sub>b</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点の1.2倍」と読み替えて算出した値
f <sub>c</sub>	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
f <sub>t</sub> '	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表Part5 表8に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表Part5 表8に規

定する材料の設計降伏点の1.2倍」と読み替えて算出した値

表 4-9 許容限界式に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$I$	$mm^4$	断面二次モーメント
$k_p$	—	座屈係数
$M$	$N \cdot mm$	ダクトに作用する曲げモーメント
$M_{crip}$	$N \cdot mm$	クリッピング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
$M_p$	$N \cdot mm$	自重により作用する曲げモーメント
$n$	—	座屈モードの次数
$P_a$	MPa	許容外圧
$r$	mm	丸ダクトのダクト半径
$R_B$	mm	胴平均半径
$t$	mm	ダクト板厚又は円筒胴の計算厚さ
$\pi$	—	円周率
$\nu$	—	ポアソン比
$Z_c$	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
$\alpha_1$	—	安全率
$\beta$	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
$\eta$	—	$R_B / t$
$\eta_1$	—	$1200 \times g / F$
$\eta_2$	—	$8000 \times g / F$
$\eta_3$	—	$9600 \times g / F$
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_{crip}$	MPa	クリッピング座屈が発生する際に生じる周方向応力
$\sigma_{crip1}$	MPa	外圧により生じる周方向応力
$\sigma_{p1}$	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
$\sigma_{p2}$	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
$\sigma_t$	MPa	平均引張応力
${}_c\sigma_b$	MPa	圧縮側曲げ応力
${}_t\sigma_b$	MPa	引張側曲げ応力
$\sigma_w$	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
$\sigma_{xb}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力

表 4-9 許容限界式に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\sigma_{xc}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_y$	MPa	y 方向応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$\phi_b(x)$	—	座屈応力 $f_b$ を算出する際の関数
$\phi_c(x)$	—	座屈応力 $f_c$ を算出する際の関数

b. 許容限界式

(a) 支持構造物の許容限界式

イ. ボルト

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  $f_{ts}$  は以下のとおり。

$$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\} \quad (\text{許容応力状態 III}_{AS})$$

$$\text{Min} \{1.5 f_t', (2.1 f_t' - 1.6 \tau)\} \quad (\text{許容応力状態 IV}_{AS})$$

(b) 復水貯蔵タンクの許容限界式

イ. 胴板

胴板について、以下の式により座屈評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xc}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xb}}{f_b} \leq 1$$

(イ) 軸圧縮荷重により生じる座屈応力  $f_c$  は、次の式で算出する。

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{F - \phi_c(\eta_2)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(ロ) 曲げモーメントにより生じる座屈応力  $f_b$  は、次の式で算出する。

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{F - \phi_b(\eta_3)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(ハ) 安全率  $\alpha_1$

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで,

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \cdot g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \cdot g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \cdot g}{F}$$

(c) 角ダクトの許容限界式

イ. 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメントMと発生応力  $\sigma_{p2}$  の関係は以下の式で表される。



ここで

$$I = \frac{(a + 2 \cdot t) \cdot (b + 2 \cdot t)^3 - a \cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力  $\sigma_{p1}$  と長期荷重（自重）による発生応力  $\sigma_{p2}$  の和  $\sigma_w$  が許容応力  $\sigma_y$  に達した時に座屈が生じ



ることから、長期荷重により発生する曲げモーメント $M_p$ が、許容応力 $\sigma_y$ と短期荷重による発生応力 $\sigma_{p1}$ の差 $(\sigma_y - \sigma_{p1})$ から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。



(d) 丸ダクトの許容限界式

イ. 外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は、クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{crip}$ を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{crip}$ は、円筒かくの座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{crip} = \frac{k_p \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4 \cdot (1 + \beta^2)^2 \cdot (0.5 + \beta^2)}$$

$$\beta = \frac{c \cdot n}{\pi \cdot r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{r \cdot t} \sqrt{1 - \nu^2}$$

ここで、座屈モードの次数 $n$ は、 $k_p$ が最小となる時の次数とする。

ロ. 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメント $M_p$ と外圧 $\Delta P$ （設計竜巻の気圧低下量）の組合せが、下式を満足させるものとする。



ここで、自重による曲げによってクリッピング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント $M_{c r i p}$ は、下式より算出する。



(e) 軽油タンクの許容限界式

イ. 外圧に対する許容限界

気圧差による荷重は、軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え、軽油タンクの強度が担保される許容外圧を以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

(f) 海水ポンプ室門型クレーンの許容限界式

イ. エンドストップに対する許容限界

引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力について、以下の式により評価する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 \cdot f_t'} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b'} \leq 1$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 施設ごとの許容限界(1/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位		評価項目	機能損傷モード		許容限界
						応力等の状態	限界状態	
竜巻より防護すべき施設を内包する施設	原子炉建屋, タービン建屋 及び制御建屋	$W_M$	屋根スラブ, 壁面		衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_M$ $F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ, 壁面			変形	貫通	鉄筋の発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ), デッキプレートの発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ) 以下とする。
		$W_M$	屋根スラブ, 壁面		構造強度	変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_M$ $F_d + W_T (W_w, W_M)$	屋根スラブ, 壁面 (デッキプレートを含む)			変形	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	デッキプレートの発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( ) 以下とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_P)$	スタッド			引張		発生荷重が, 「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力を許容限界として設定する。
		$W_w + W_T (W_P, W_M)$	構造躯体	耐震壁		変形	部材の破断による転倒及び脱落	コンクリートのせん断ひずみが制限値 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) 以下とする。
鉄骨架構	変形が「技術基準解説書」に基づく層間変形角以下とする。							

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 施設ごとの許容限界 (2/9)

施設分類	施設名称	荷重の 組合せ	評価対象部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻 より防護す べき施設を 内包する 施設	原子炉建屋	$W_M$	扉 (表面鋼板)	衝突	変形	貫通	対象部位の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_T (W_w, W_M)$	扉 (表面鋼板, 芯材)	構造 強度	変形	部材の破断による転倒及び脱落	対象部位の発生ひずみが, J I S 規格値 / TF ( <input type="text"/> ) 以下とする。
		$W_P$	扉 (カンヌキ)		曲げ, せん断, 組合せ	部材の降伏	「鋼構造設計規準・同解説」の短期許容応力度以下とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 施設ごとの許容限界(3/9)

施設分類	施設名称	荷重の 組合せ	評価対象部位	評価 項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
竜巻より 内包防護 すべき施設	軽油タンク室 軽油タンク室 (H)	$W_M$	鋼製ハッチの上蓋	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$W_M$	頂版	衝突	変形	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$W_T (W_P, W_M)$		構造強度	変形	裏面剥離	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。

表 4-10 施設ごとの許容限界(4/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	原子炉補機冷却海水ポンプ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
			電動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
	$W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。	
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
			電動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
	$W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	軸受部	機能維持	接触	軸と軸受が接触する	軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下とする。	

表 4-10 施設ごとの許容限界(5/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未滿とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	接続配管	構造強度	一次（膜+曲げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	復水貯蔵タンク	$F_d + W_M$	胴板 屋根板	衝突	変形	ひずみ	胴板及び屋根板の発生ひずみが J I S 規格値 / TF ( ) を考慮した値以下とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_M)$	胴板 基礎ボルト	構造強度	一次一般膜, 組合せ, 座屈 引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 4-10 施設ごとの許容限界(6/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	$W_M$	外殻を構成する部材	衝突	変形	貫入	評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未滿とする。
		$F_d + W_T (W_W, W_P, W_M) + F_P$	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	非常用ガス処理系（屋外配管）	$F_d + W_W$	配管本体	構造強度	一次（膜＋曲げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	排気筒	$F_d + W_T (W_W, W_M)$	筒身 鉄塔	構造強度	組合せ	部材の降伏	「容器構造設計基準」等に準じて断面算定を行う。



表 4-10 施設ごとの許容限界(7/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト及び丸ダクト（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	$F_d + W_P$	ダクト鋼板（本体）	構造強度	曲げ，座屈	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S及び座屈に対する評価式を満足する許容応力以下又はクリッピング座屈に応じた許容応力以下とする。
	ダンパ（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	$F_d + W_P$	ケーシング	構造強度	曲げ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
			ベーン		曲げ		
			シャフト		せん断		
	隔離弁（中央制御室換気空調系隔離弁及び原子炉棟給排気隔離弁（原子炉建屋原子炉棟換気空調系））	$F_d + W_P$	弁箱	構造強度	周方向応力	部材の降伏	弾性範囲内である部材の降伏応力を許容限界とする。
			弁体		曲げ	部材の降伏	
			弁棒		せん断	部材の降伏	
ファン（中央制御室換気空調系，計測制御電源室換気空調系及び原子炉補機室換気空調系）	$W_P$	ケーシング	構造強度	周方向応力	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。	
軽油タンク	$W_P$	タンク	構造強度	外圧	部材の降伏	「設計・建設規格 PVC-3122 円筒形の胴の厚さの規定」のうち，(PVC-5)に示される外面に受ける最高の圧力以下とする。	
燃料移送ポンプ及び配管	$F_d + W_P + F_P$	配管本体	構造強度	曲げ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。	

表 4-10 施設ごとの許容限界(8/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	補助ボイラー建屋, 第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋	$F_d + W_T (W_w, W_p, W_m)$	構造躯体	構造強度	変形	接触	隣接する建屋との相対変位が, 各建屋との離隔距離以下とする。
	海水ポンプ室門型クレーン	$F_d + W_T (W_w, W_m)$	エンドストッパ 基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 曲げ, 組合せ 引張, せん断, 組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。

表 4-10 施設ごとの許容限界(9/9)

施設分類	施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	評価項目	機能損傷モード		許容限界
					応力等の状態	限界状態	
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備を含む。)排気消音器	$F_d + W_w$	基礎ボルト	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
	非常用ディーゼル発電設備(高圧炉心スプレイス系ディーゼル発電設備を含む。)付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管	$F_d + W_T (W_w, W_P) + F_P$	配管本体	構造強度	一次(膜+曲げ)	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。

表 4-11 クラス 1・クラス 2, 3・その他の支持構造物の許容応力

許容応力 状態	許容応力*1 *2 *3 (ボルト以外)				許容応力*2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 f_t'$	$1.5 f_s'$	$1.5 f_c'$	$1.5 f_b'$	$1.5 f_t'$	$1.5 f_s'$

注記 \*1:「鋼構造設計規準 S I 単位版」(2002 年日本建築学会)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。

表 4-12 クラス 2, 3 容器の許容応力

許容応力 状態	許容応力		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$	左欄の 1.5 倍の値	$2 S_y$

表 4-13 クラス 2, 3 配管の許容応力

許容応力 状態	許容応力	
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$ ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2S としてもよい	$S_y$ ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については 1.2S としてもよい

表 4-14 クラス 2 ポンプの許容応力

許容応力 状態	許容応力
	一次一般膜応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$

## 5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」を参照して、設計竜巻による荷重は地震荷重と同様に施設に作用する場合は、地震荷重と同様に外力として評価をするため、J E A G 4 6 0 1 を適用可能とする。ただし、閉じた施設となる屋外配管等については、その施設の大きさ及び形状を考慮した上で、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として評価する。

風圧力による荷重の影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風圧力による荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの 1/2 に集中荷重として作用するものとする。

設計竜巻による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設のうち、強度評価方法として、ポンプ、容器及び建屋等の定式化された評価式を用いた解析法を以下に示す。

ただし、以下に示す強度評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

### 5.1 建屋・構造物に関する評価式

#### 5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物

##### (1) 評価条件

- a. 貫通限界厚さは、NEI07-13に示されているDegen式を用いて算定する。  
Degen式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正NDRC式を用いて算定する。
- b. 裏面剥離限界厚さは、NEI07-13に示されているChang式を用い算定する。
- c. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。

##### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表5-1 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋 タービン建屋 制御建屋	屋根スラブ 壁面 構造躯体 スタッド	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
軽油タンク室 軽油タンク室 (H)	頂版	貫通 裏面剥離
補助ボイラー建屋 第1号機制御建屋 サイトバンカ建屋	構造躯体	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-2に、Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表5-3に、力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（屋根スラブ及びスタッド）を表5-4に示す。

表5-2 Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	飛来物直径密度 $D = W / d^3$	
d	cm	飛来物の（等価）直径	
e	cm	貫通限界厚さ（コンクリート）	
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
		屋根	飛来物の衝突速度（垂直）
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α <sub>e</sub>	—	低減係数	

表5-3 Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	飛来物の（等価）直径
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度
S	cm	裏面剥離限界厚さ
V	m/s	外壁 飛来物の衝突速度（水平）
		屋根 飛来物の衝突速度（垂直）
$V_0$	m/s	飛来物基準速度
W	kgf	飛来物重量
$\alpha_s$	—	低減係数

表5-4 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号  
(屋根スラブ及びスタッド)

記号	単位	定義
L	m	屋根スラブの支持スパン
M	kN・m	屋根スラブに生じる単位幅の曲げモーメント
p	mm	スタッドの間隔
Q	kN/m	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力
T	kN	スタッドに生じる引張力
$\omega_d$	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
$\omega_T$	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ( $=\max\{\omega_{T1}, \omega_{T2}\}$ )
$\omega_{T1}$	kN/m	複合荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	複合荷重 $W_{T2}$ による単位幅あたりの荷重 (設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は考慮しない)

b. 評価方法

(a) Degen式による貫通限界厚さの算定

Degen式を以下に示す。

$X/d \leq 1.52$ の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

$1.52 \leq X/d \leq 13.42$ の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29(X/d)\} \cdot d$$

(b) Chang式による裏面剥離限界厚さの算定

Chang式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_s \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{0.0980}\right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

(c) 力学における標準式による荷重及び応力の算定

イ. 屋根スラブに生じる単位幅の曲げモーメント

$$M = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L^2}{8}$$

ロ. 屋根スラブに生じる単位幅のせん断力

$$Q = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L}{2}$$

ハ. スタッドに生じる引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

5.1.2 鋼製構造物

(1) 評価条件

- a. 飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算定する。
- b. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算定する。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-5に示す。



表5-5 評価対象部位及び評価内容

施設名称	評価対象部位	評価内容
原子炉建屋	扉（表面鋼板）	貫通，転倒及び脱落
	扉（芯材）	転倒及び脱落
	扉（カンヌキ）	転倒及び脱落
軽油タンク室及び軽油タンク室（H）	鋼製ハッチの上蓋	貫通

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-6に，力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（扉）を表5-7に示す。

表5-6 BRL式による貫入限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	設計飛来物の（等価）面積
d	cm	設計飛来物の（等価）直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	設計飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ
V	m/s	設計飛来物の衝突速度
$\pi$	—	円周率

表5-7 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号（扉）

記号	単位	定義
$L_k$	m	軸支持間距離（カンヌキ）
$L_p$	m	軸支持間距離（カンヌキ受けピン）
$M_k$	kN	カンヌキに生じる曲げモーメント
$M_p$	kN	カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント
$n$	本	カンヌキ本数
$Q_k$	kN	カンヌキに生じるせん断力
$Q_p$	kN	カンヌキ受けピンに生じるせん断力
$R$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
$T$	kN	カンヌキ受けボルトに生じる引張力
$W_p$	N	気圧差による荷重
$\sigma$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度
$\tau$	kN	カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度
$A_2$	mm <sup>2</sup>	カンヌキ 1 本あたりの断面積
$Z$	mm <sup>3</sup>	カンヌキ 1 本あたりの断面係数

b. 評価方法

(a) BRL式による貫通限界厚さの算定

BRL式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで等価直径  $d$  は下式のとおり。

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

(b) 力学における標準式による荷重及び応力の算定

標準式を以下に示す。

イ. カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重

$$R = \frac{W_p}{n}$$

ロ. カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma = \frac{R \cdot L_k}{Z}$$

ハ. カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{R}{A_2}$$

二. 片開き扉の扉支持部材に生じる荷重

片開き扉の扉支持部材のうち、カンヌキ部はカンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する竜巻の気圧差による荷重による反力から、各部材に発生する荷重を算定する。

片開き扉のカンヌキ部に生じる荷重の例を図 5-1 に示す。

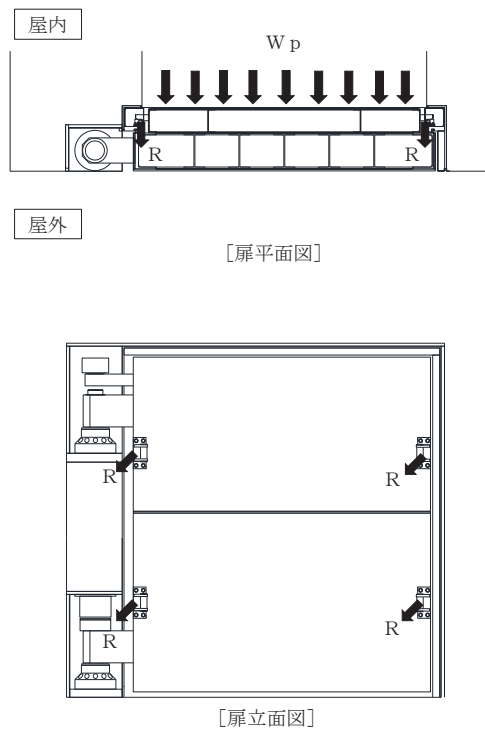


図 5-1 カンヌキ部に生じる荷重の例

(イ) カンヌキ

カンヌキ部の詳細図を図5-2に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント $M_k$ 及びせん断力 $Q_k$ は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

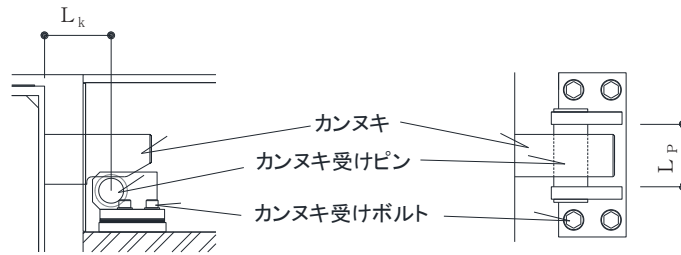


図5-2 カンヌキ部詳細図

(ロ) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント $M_p$ とせん断力 $Q_p$ は次式により算定する。

$$M_p = \frac{R \cdot L_p}{4}$$

$$Q_p = R$$

(ハ) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力 $T$ は以下のとおりである。

$$T = R$$

### 5.1.3 排気筒

#### (1) 評価条件

排気筒の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため、施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際、設計竜巻による飛来物が衝突する部材については、飛来物による損傷及び変形を考慮できるモデルとする。

排気筒のモデル図を図5-3に示す。

- b. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

#### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-8に示す。

表5-8 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
筒身	・ 組合せ（圧縮＋曲げ） ・ せん断
鉄塔	・ 組合せ（圧縮＋曲げ）

#### (3) 強度評価方法

- a. 記号の定義

排気筒の強度評価に用いる記号を表5-9に示す。

表5-9 排気筒の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$c f_{c r}$	$N/mm^2$	許容圧縮応力度（短期許容応力度）
$b f_{c r}$	$N/mm^2$	許容曲げ応力度（短期許容応力度）
$s f_{c r}$	$N/mm^2$	許容せん断応力度（短期許容応力度）
$f_c$	$N/mm^2$	許容圧縮応力度（材料強度）
$f_b$	$N/mm^2$	許容曲げ応力度（材料強度）
$\sigma_c$	$N/mm^2$	圧縮応力度
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\tau$	$N/mm^2$	せん断応力度

b. 計算モデル

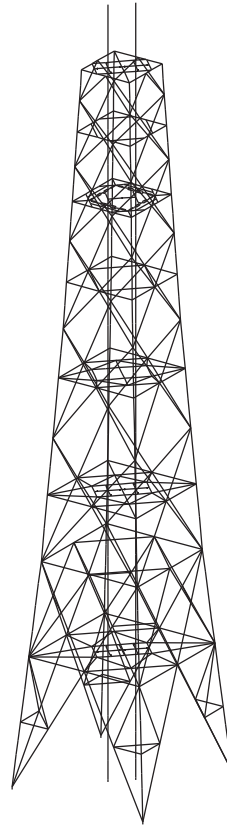


図 5-3 排気筒のモデル図

c. 評価方法

(a) 応力評価方法

排気筒について、3次元FEMを用いた弾性応力解析を実施する。

(b) 評価方法

排気筒の断面の評価に用いる応力及び変形については、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）を組み合わせることにより算定する。

イ. 筒身板に対する断面の評価方法

(イ) 応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、「容器構造設計指針・同解説」に準拠して行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}} \leq 1$$

かつ

$$\frac{\tau}{f_{cr}} \leq 1$$

ロ. 鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

(イ) 応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、「建築基準法施行令第 90 条, 第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

(ロ) 機能維持検討時に対する材料強度

機能維持検討時は、「平 12 建告第 2464 号」に準拠し、材料強度 F 値を 1.1 倍した値を用いて算出した許容応力度に対して、部材に発生する応力が超えないことを確認する。

## 5.2 機器・配管系に関する評価式

### 5.2.1 衝突評価が必要な機器

(1) 評価条件

衝突評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 貫通計算においては、評価対象部位に飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-10に示す。

表 5-10 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
飛来物が衝突する可能性がある部位のうち、最小板厚部等、貫通によって当該施設が機能喪失する可能性がある箇所	衝突による貫通力

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

衝突評価に用いる記号を表5-11に示す。

表5-11 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	m	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

## b. 評価方法

## (a) BRL式による貫通限界厚さの算出

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

## 5.2.2 ポンプ

## (1) 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

## a. 評価条件

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 応力計算において、1質点系モデルとし、J E A G 4 6 0 1 の立形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位を図5-4に示す。また、ポンプ部及び電動機部の応力計算モデル図を図5-5に示す。

- (b) たわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端までと、電動機台上端から電動機までの片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。

たわみ量計算モデル図を図5-6に示す。



(c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-12に示す。

表5-12 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
基礎ボルト，取付ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ
電動機フレーム	・曲げ
軸受部	・曲げ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表5-13及び表5-14に示す。

表5-13 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度  
評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
$C_p$	—	ポンプ振動による震度
$D_1$	mm	電動機フレーム外寸（原子炉補機冷却海水ポンプ）
$D_2$	mm	電動機フレーム外径（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
$D_i$	mm	ボルトのピッチ円の直径
$d_1$	mm	電動機フレーム内寸（原子炉補機冷却海水ポンプ）
$d_2$	mm	電動機フレーム内径（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ）
$F_{bi}$	N	ボルトに作用する引張力
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$H$	N	自重による荷重
$H_P$	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
$H_M$	mm	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
$h$	mm	重心と支点間の距離
$h_p$	μm	予想最大全振幅
$L_1$	mm	支点と評価ボルト間の距離
$L_H$	mm	基準面から重心位置までの距離
$M$	N・mm	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	N・mm	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	kg	ポンプスラスト
$m_i$	kg	ボルトに加わる機器質量
$N$	rpm	回転数（同期）
$n_i$	—	ボルトの本数
$P$	kW	ポンプ出力
$Q_{bi}$	N	ボルトに働くせん断力
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$\pi$	—	円周率
$Z$	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\sigma$	MPa	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bi}$	MPa	ボルトに発生する引張応力

表5-14 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\tau$	MPa	せん断応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$a$	mm	部材間の長さ
$E$	MPa	縦弾性係数
$h'$	mm	基準点から作用点までの距離
$I$	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
$i$	rad	傾斜
$M$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W'$	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
$W''$	N	発生荷重
$x'$	mm	評価対象部位から支点までの距離
$y$	mm	たわみ量
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

(b) 計算モデル

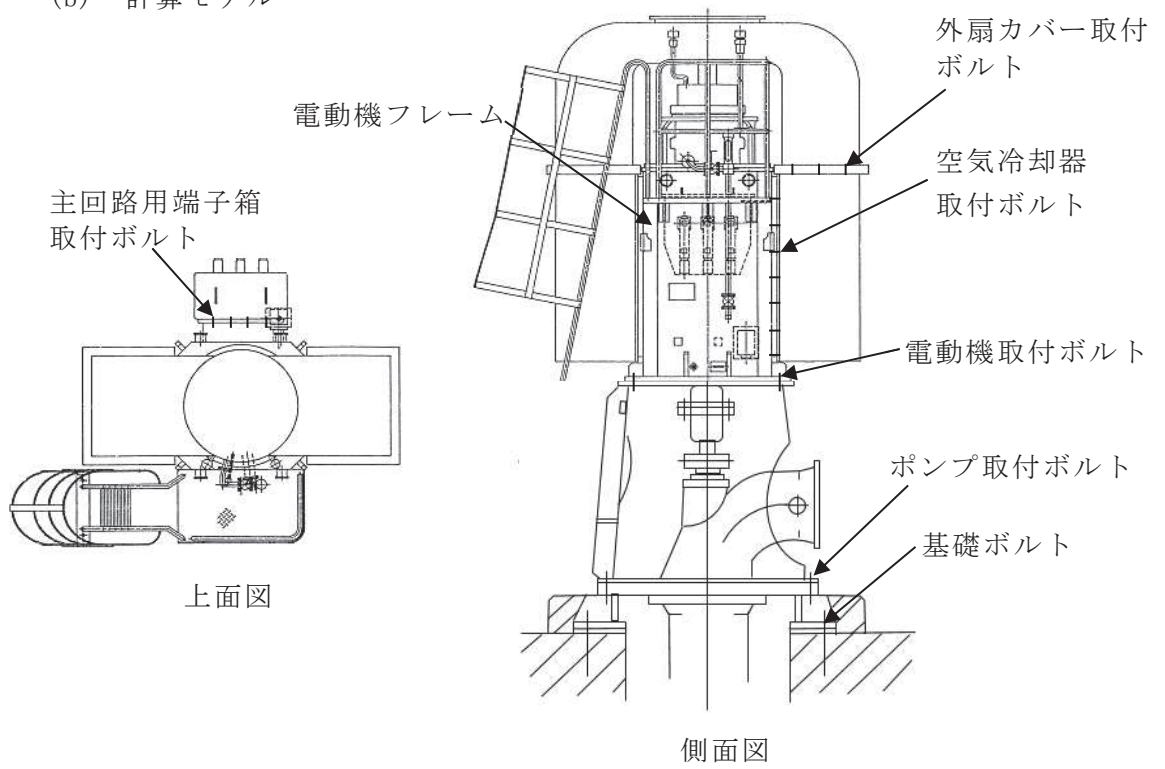


図 5-4(1/2) 原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位

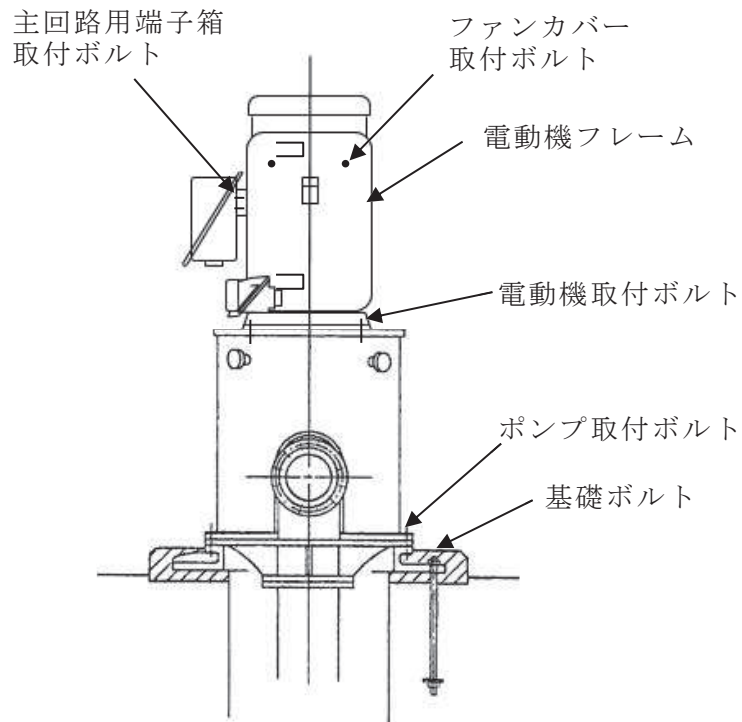


図 5-4(2/2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価対象部位

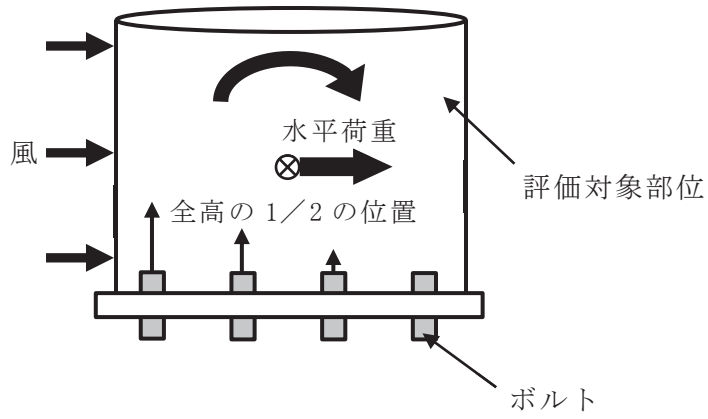


図 5-5(1/2) 応力計算モデル図 (ポンプ部)

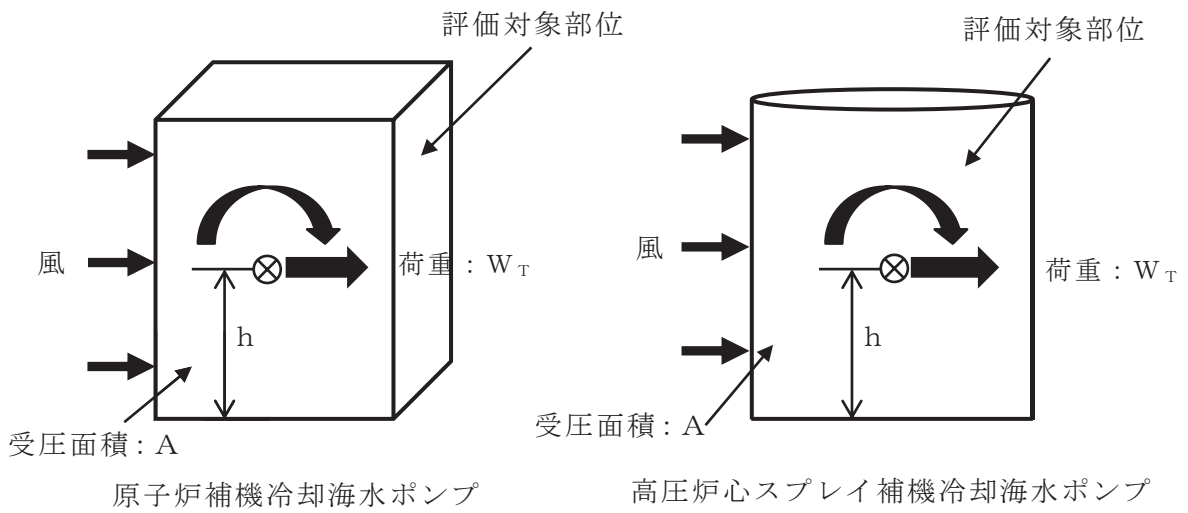


図 5-5(2/2) 応力計算モデル図 (電動機部)

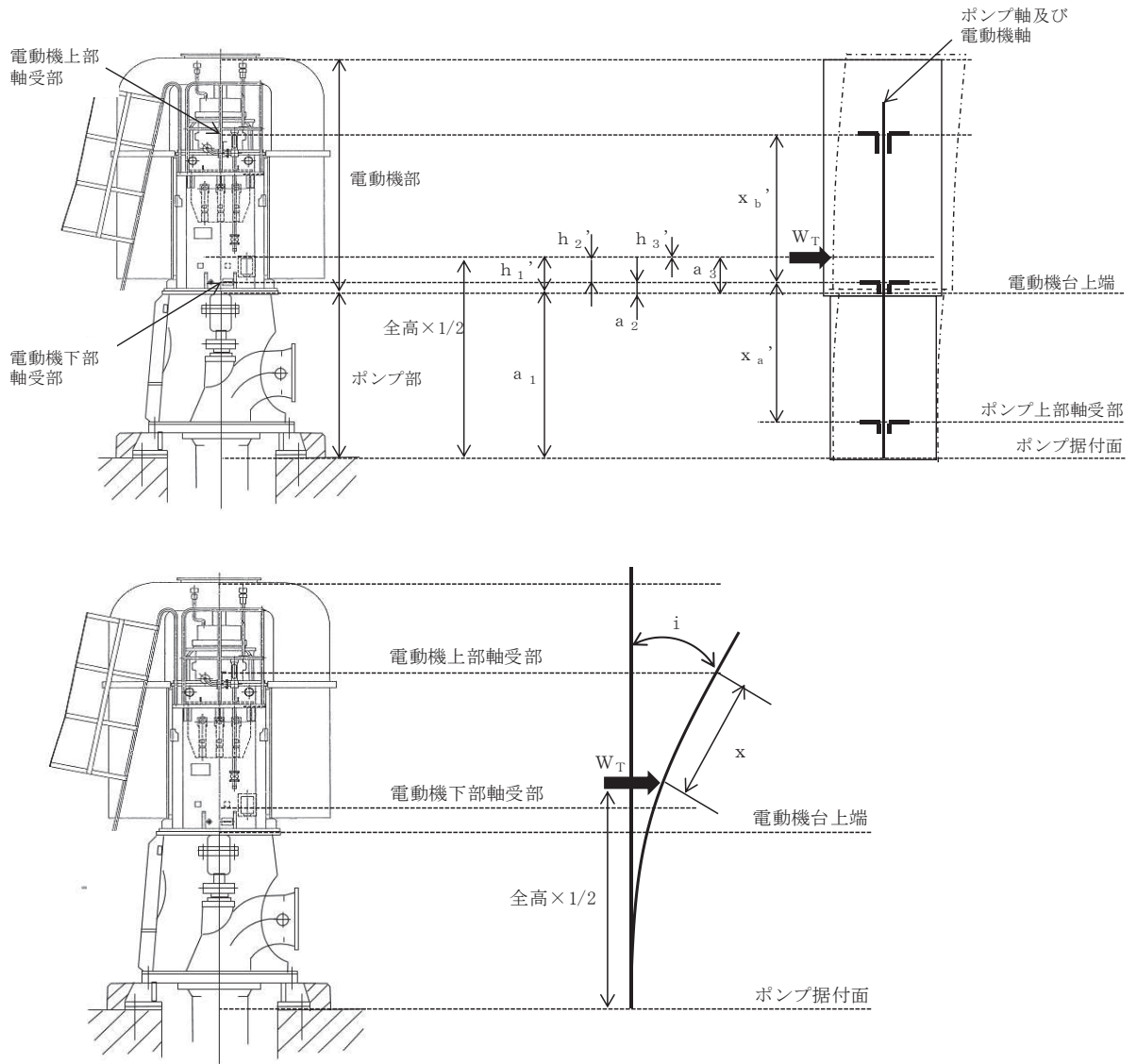


図 5-6(1/2) 原子炉補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

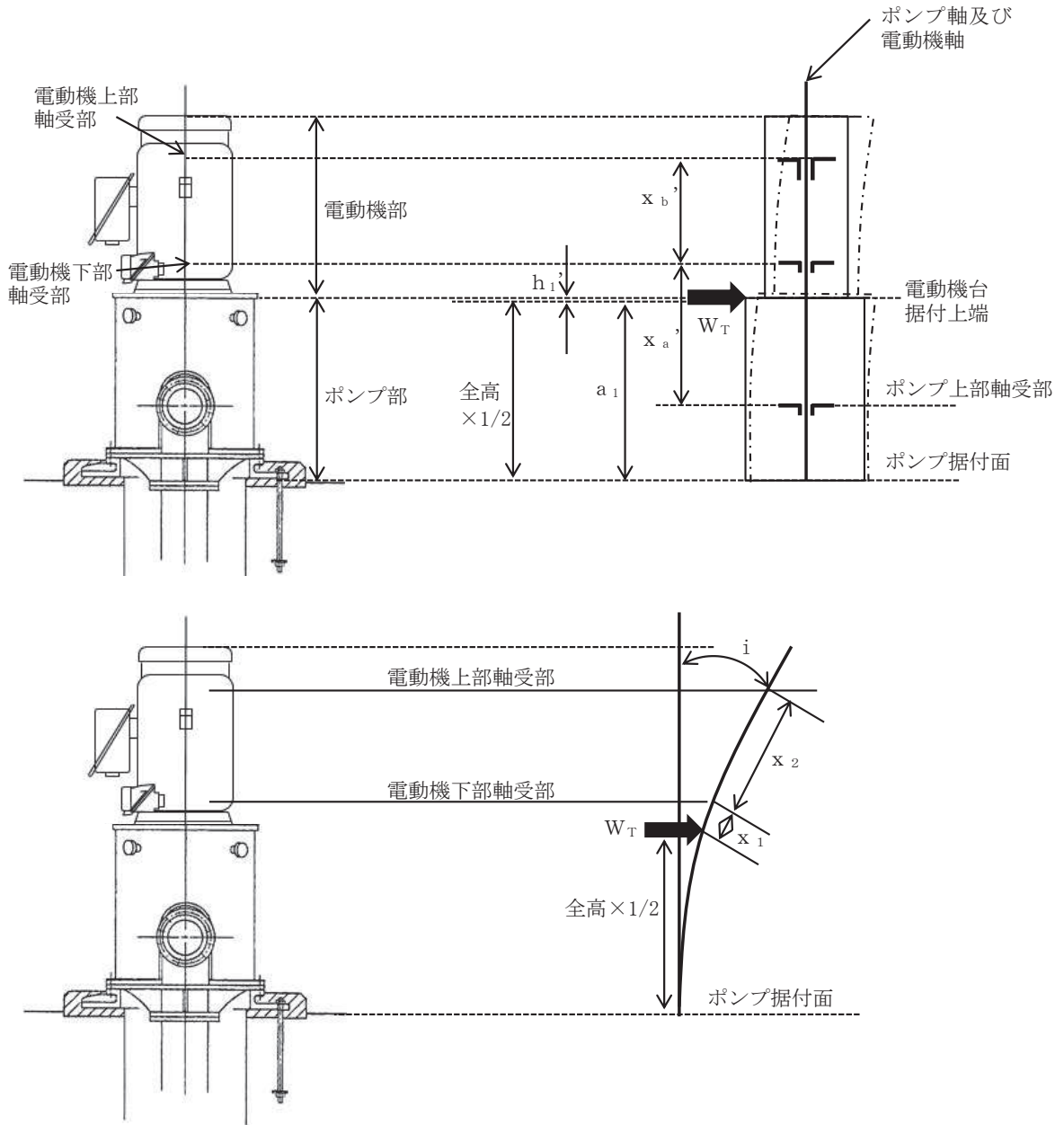


図 5-6(2/2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 応力の算出

(イ) ポンプ部

【基礎ボルト，ポンプ取付ボルト及び電動機取付ボルト】

・風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

・引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{W_{T2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s)(1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで，ポンプ振動による震度  $C_p$  は，

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし， $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので，以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

・せん断応力  $\tau_{bi}$

【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで，ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

【基礎ボルト】

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_b}$$



(ロ) 電動機部

【電動機フレーム】

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・曲げ応力

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで、原子炉補機冷却海水ポンプのとき

$$Z = \frac{1}{6} \cdot \frac{D_1^4 - d_1^4}{D_1}$$

高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプのとき

$$Z = \frac{\pi \cdot (D_2^4 - d_2^4)}{32 \cdot D_2}$$

【主回路用端子箱取付ボルト部、空気冷却器取付ボルト部（原子炉補機冷却海水ポンプ）及びファンカバー取付ボルト部（高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ）】

・引張応力

(i) 風圧力及び自重により生じる曲げモーメントM

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで、

$$Q_{bi} = W_T + H$$

【外扇カバー取付ボルト部（原子炉補機冷却海水ポンプ）】

・引張応力

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_i \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{W_T}{A_b \cdot n_i}$$

ロ. たわみ量及び発生荷重の計算

(イ) たわみ量の算出

たわみ量の算出において、竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい部位を包絡するような面積を設定し水平荷重W'を算出する。

$$W' = W_{T2}$$

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量yと傾斜iを算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(ロ) 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重W''は次式より計算する。

$$\delta = \text{評価対象部位の変位量} - \text{支点の変位量}$$

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

### 5.2.3 容器

#### (1) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ

##### a. 評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

(a) 設計竜巻による荷重、内圧及び自重に対して、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管はサポートによって支持されており、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重及び受圧面積を考慮した風圧力による荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重については、配管に集中荷重として作用するものとする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの計算モデル図を図5-7に示す。

(b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-15に示す。

表5-15 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
配管	一次応力（膜＋曲げ）

##### c. 強度評価方法

###### (a) 記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価に用いる記号を表5-16に示す。

表 5-16 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2/m$	単位長さ当たりの配管の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	ストレーナの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	$m/s^2$	重力加速度
L	m	配管の支持間隔
M	$N \cdot m$	風荷重により作用する曲げモーメント
$m_1$	$kg/m$	単位長さ当たりの配管の質量
$m_2$	kg	ストレーナの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
t	mm	板厚
$W_{W1}$	$N/m$	単位長さ当たりの配管が受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$W_{W2}$	N	ストレーナが受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$w_1$	$N/m$	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
$w_2$	N	ストレーナの自重による荷重
Z	$mm^3$	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{W1}$	MPa	配管に生じる風圧力による応力
$\sigma_{W2}$	MPa	ストレーナに生じる風圧力による応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

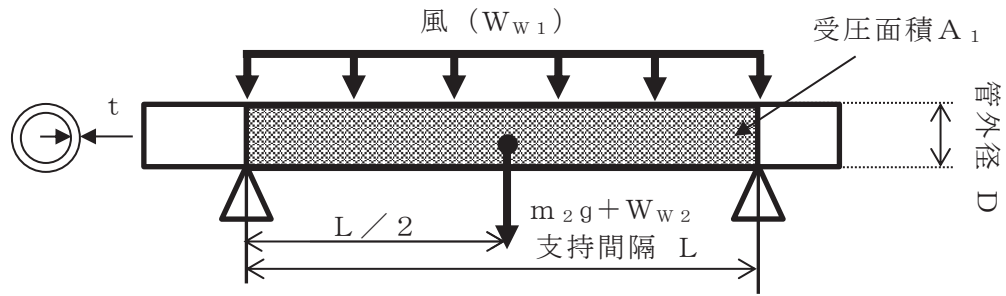


図5-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 竜巻による応力計算

(イ) 風圧力により生じる応力

① 配管

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{W1} = \frac{M}{Z} = \frac{W_{W1} \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

$$W_{W1} = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$$

② ストレーナ

ストレーナが受ける風圧力による荷重が配管の中央に集中荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{W2} = \frac{W_{W2} \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$W_{W2} = q \cdot G \cdot C \cdot A_2$$

(ロ) 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{W1} + \sigma_{W2} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

#### ロ. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{\text{自重}} = \frac{w_1 \cdot L^2}{8 \cdot Z} + \frac{w_2 \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$w_1 = m_1 \cdot g$$

$$w_2 = m_2 \cdot g$$

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT2}$$

### (2) 復水貯蔵タンク

#### a. 評価条件

復水貯蔵タンクの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 設計竜巻による荷重、水頭圧及び自重に対する、胴板及び基礎ボルトの構造強度を1質点系モデルとし、J E A G 4 6 0 1の平底たて置円筒形容器の計算方法を準用し評価を行う。なお、1質点系モデルの強度計算において、評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。

復水貯蔵タンクの計算モデル図を図5-8に示す。

- (b) 自重については、設計荷重の抗力として作用する場合は質量が小さい方が安全側の評価となることから、基礎ボルトの構造強度評価においては、空質量による評価を実施する。
- (c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-17に示す。

表5-17 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
胴板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次一般膜</li> <li>・組合せ</li> <li>・座屈</li> </ul>
基礎ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引張</li> <li>・せん断</li> <li>・組合せ</li> </ul>

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号を表5-18に示す。

表5-18 復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$A_b$	mm <sup>2</sup>	基礎ボルト呼び径断面積
$C_c$	—	基礎ボルト計算における係数
$C_t$	—	基礎ボルト計算における係数
$D_c$	mm	基礎ボルトピッチ円直径
$D_i$	mm	胴内径
$D_{bi}$	mm	ベースプレート内径
$D_{bo}$	mm	ベースプレート外径
$e$	—	基礎ボルト計算における係数
$F_c$	N	基礎に作用する圧縮力
$F_t$	N	基礎ボルトに作用する引張力
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$H_h$	mm	液面高さ
$k$	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
$l_g$	mm	胴板高さの 1/2
$l_M$	mm	胴板最上部の高さ
$l_1, l_2$	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
$M_{T2}$	N・mm	設計竜巻による複合荷重により作用するモーメント
$m_e$	kg	空質量

表5-18 復水貯蔵タンクの構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$n$	—	基礎ボルト本数
$s$	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
$t$	mm	胴板厚
$t_1$	mm	基礎ボルト面積相当板幅
$t_2$	mm	圧縮側基礎相当幅
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$W_M$	N	竜巻飛来物による衝撃荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + W_M$ )
$z$	—	基礎ボルト計算における係数
$\alpha_2$	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度
$\pi$	—	円周率
$\rho_w$	—	保有水の比重
$\sigma_1$	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	基礎に生じる圧縮応力
$\sigma_x$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和
$\sigma_{x2}$	MPa	自重 (空質量) により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	設計竜巻により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{xb}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_\phi$	MPa	胴に生じる周方向応力の和
$\sigma_{\phi1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\tau$	MPa	設計竜巻により胴に生じるせん断応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力



(b) 計算モデル

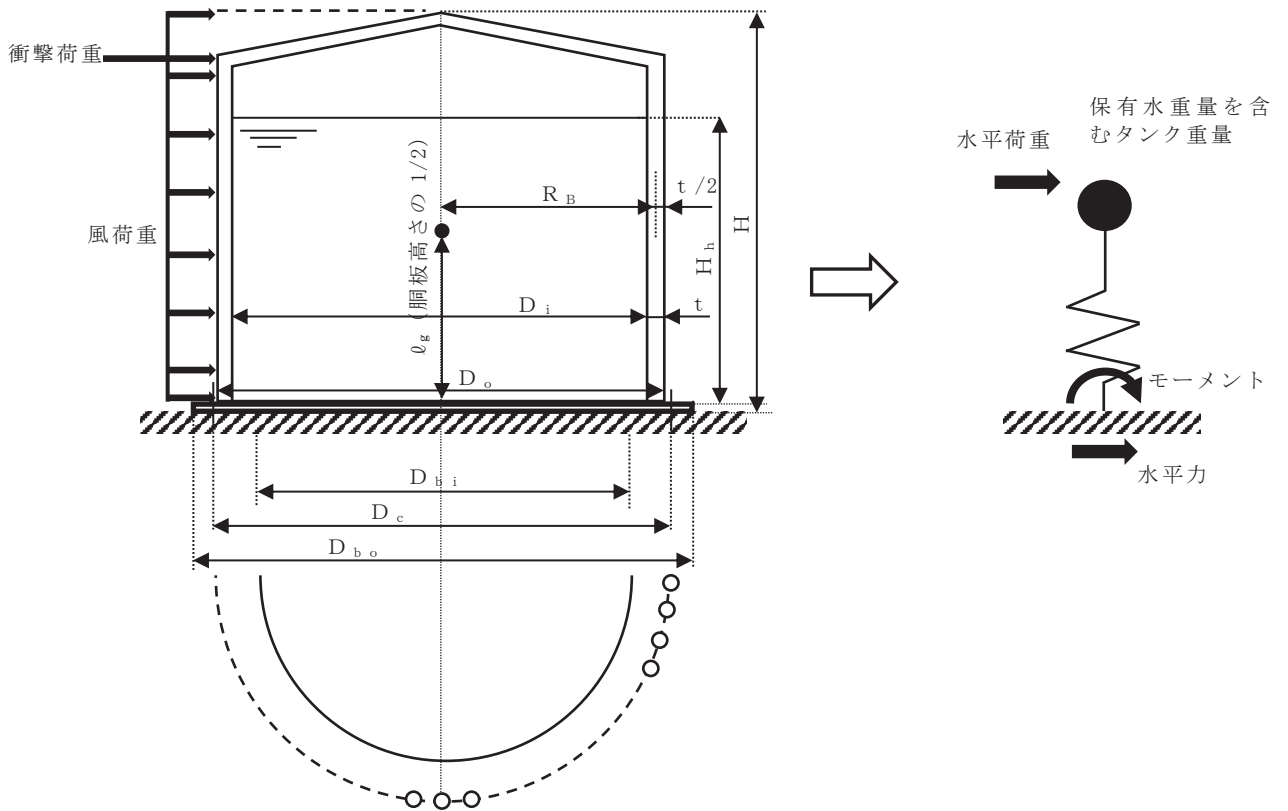


図 5-8 復水貯蔵タンクの計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 設計竜巻により発生するモーメント

設計竜巻により作用するモーメント  $M_{T2}$  は以下のようにして計算する。

$$M_{T2} = W_W \cdot l_g + W_M \cdot l_M$$

ロ. 胴に生じる応力

(イ) 静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho_W \cdot H_h \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

(ロ) 胴の自重（空質量）により生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

(ハ) 設計竜巻により胴に生じる応力

設計竜巻により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot M_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

設計竜巻により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2 \cdot W_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

(二) 組合せ応力

胴に生じる周方向応力の和

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和

$$\sigma_x = \sigma_{x2} + \sigma_{x4}$$

胴に生じる組合せ一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_x + \sigma_{\phi}) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_{\phi})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

(ホ) 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xc} = \sigma_{x2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xb} = \sigma_{x4}$$

ハ. 基礎ボルト評価

(イ) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{W_{T2}}{n \cdot A_b}$$

(ロ) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha_2$ が $\pi$ に等しくなったときであり、 $\alpha_2$ を $\pi$ に近づけた場合の値  $e=0.75$  及び  $z=0.25$  を  $F_t$  を求める式に代入し、得られる  $F_t$  の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力は作用しているので以下の計算を行う。

転倒モーメント  $M_{T2}$  が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重

と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図 5-9 に示す。

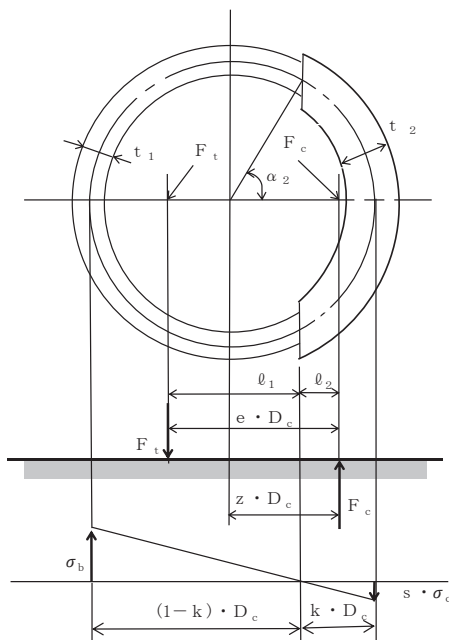


図 5-9 基礎の荷重説明図

$\sigma_b$ ,  $\sigma_c$  を仮定して係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

$\alpha_2$  を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k)$$

各定数  $e$ ,  $z$ ,  $C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha_2 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{M_{T2} - m_e \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_e \cdot g$$

$\sigma_b$ ,  $\sigma_c$  を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1$$

(3) 軽油タンク及び燃料移送ポンプ等

a. 評価条件

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 軽油タンクは、軽油タンク室内に設置されていることを考慮し、設計竜巻の気圧差による荷重に対する胴板の構造強度について、「設計・建設規格PVC-3122 円筒形の胴の厚さの規定」の評価方法により評価を行う。軽油タンクの計算モデル図を図5-10に示す。
- (b) 燃料移送ポンプの配管は、設計竜巻の気圧差による荷重、内圧及び自重による荷重を受ける単純支持梁とし、機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。燃料移送ポンプの配管の計算モデル図を図5-11に示す。
- (c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-19に示す。

表 5-19 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
胴板	許容外圧
配管	一次応力（膜＋曲げ）

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号を表5-20及び表5-21にそれぞれ示す。

表 5-20 軽油タンクの構造強度評価に用いる記号

起号	単位	定義
B	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図3に規定される値
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴外径
h	mm	鏡板の深さ
L	mm	外圧を保持する胴の設計長さ
P <sub>a</sub>	MPa	許容外圧
t	mm	円筒胴の計算厚さ

表5-21 燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
L	m	配管の支持間隔
m	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
P	MPa	内圧
t	mm	板厚
w	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

(b) 計算モデル

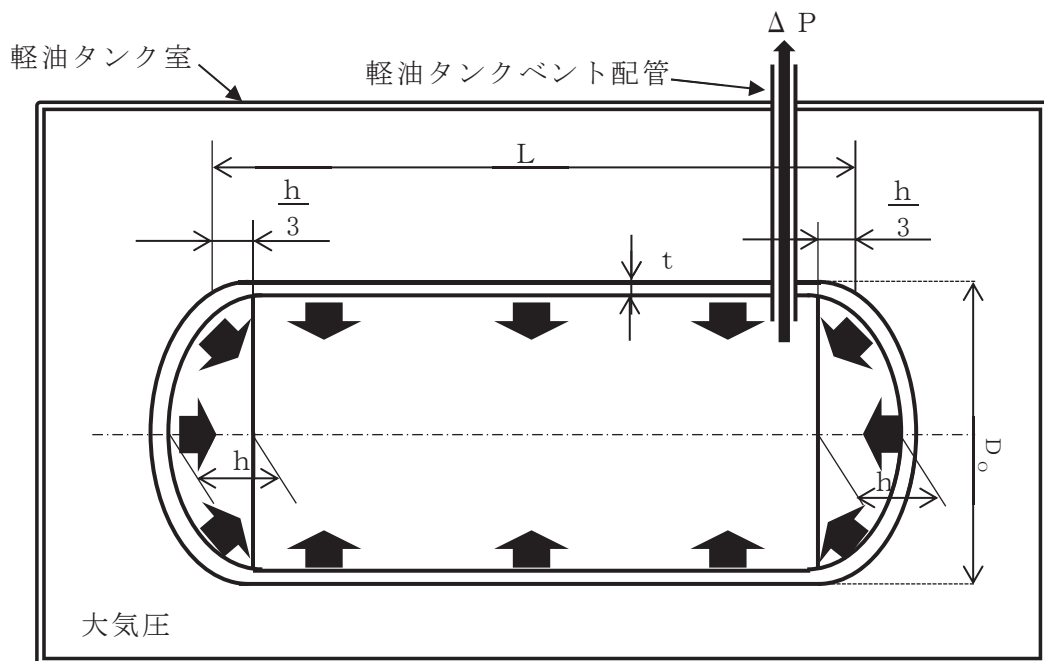


図 5-10 軽油タンクの計算モデル図

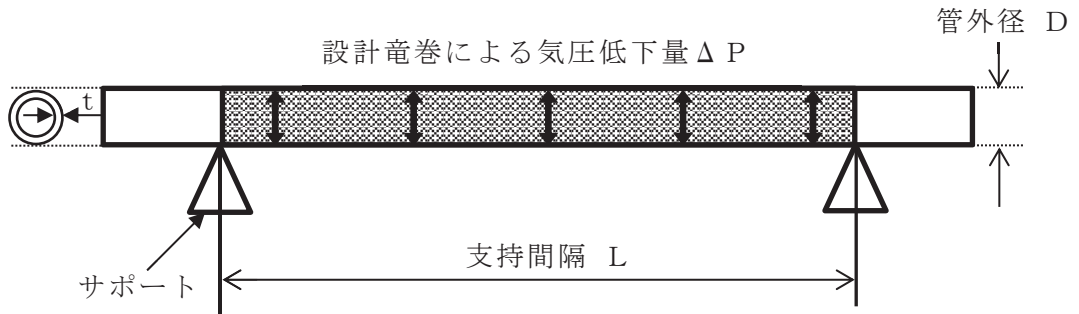


図 5-11 燃料移送ポンプ等の計算モデル図

(c) 評価方法

イ. 軽油タンク

気圧差による荷重は、軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え、軽油タンクの強度が担保される許容外圧を以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

ロ. 配管

(イ) 設計竜巻の気圧差により生じる応力計算

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

(ロ) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

したがって、気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力と自重による荷重により生じる曲げ応力とを足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma$  を算出する。

$$\sigma = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WP}}$$

(4) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
排気消音器

a. 評価条件

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 設計竜巻の風圧力による荷重に自重を加えた荷重に対する、基礎ボルトの構造健全性を1質点系モデルとし、計算モデルが類似している J E A G 4 6 0 1 の横形ポンプの計算方法を参考に評価を行う。なお、1質点系モデルの強度計算において、評価上高さの1/2に集中荷重として作用するものとする。
- (b) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の転倒による閉塞により、ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる基礎ボルトを評価対象部位として設定する。排気消音器の計算モデル図を図5-12に示す。
- (c) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-22に示す。

表5-22 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
基礎ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引張</li> <li>・せん断</li> <li>・組合せ</li> </ul>



c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価に用いる記号を表5-23に示す。

表5-23 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルトの軸断面積
$d$	$\text{mm}$	ボルト呼び径
$F_{bA}$	$\text{N}$	ボルトに対する軸方向応力評価における引張力
$F_{bH}$	$\text{N}$	ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度
$h$	$\text{mm}$	排気消音器重心高さ
$L_{gH}$	$\text{mm}$	重心からボルト間の軸直角方向水平距離
$L_H$	$\text{mm}$	支点からボルト間の軸直角方向水平距離
$L_{gA}$	$\text{mm}$	重心からボルト間の軸方向水平距離
$L_A$	$\text{mm}$	支点からボルト間の軸方向水平距離
$m$	$\text{kg}$	排気消音器の質量
$N$	-	ボルトの本数
$n_{fA}$	-	軸方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$n_{fH}$	-	軸直角方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$Q_b$	$\text{N}$	ボルトに対するせん断力
$W_T$	$\text{N}$	設計竜巻による複合荷重
$\pi$	-	円周率
$\sigma_{bA}$	$\text{MPa}$	軸方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\sigma_{bH}$	$\text{MPa}$	軸直角方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\tau$	$\text{MPa}$	ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

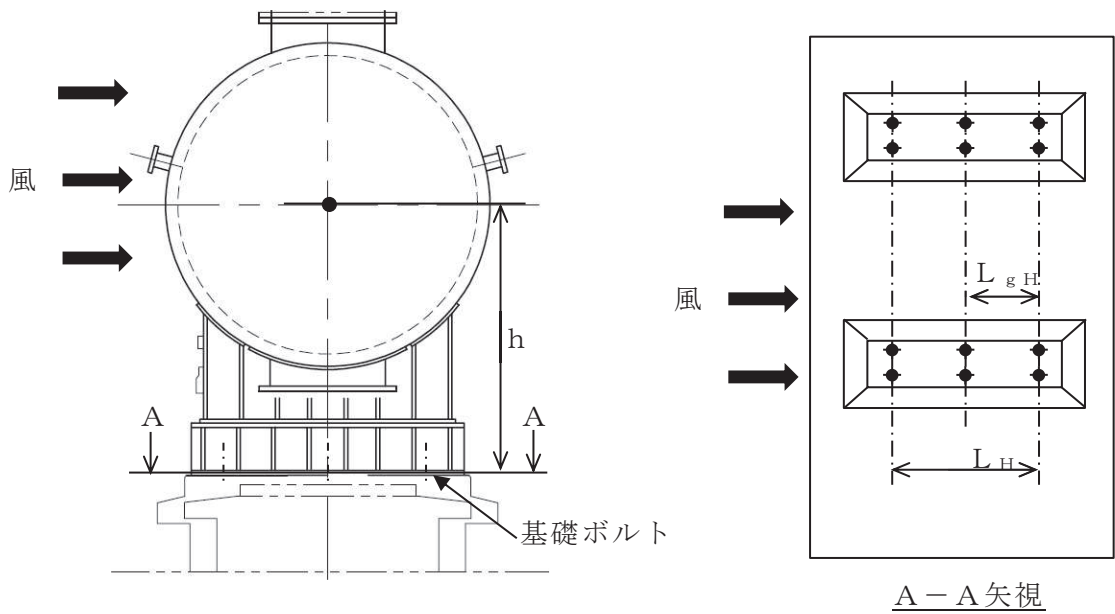


図5-12(1/2) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸直角方向）

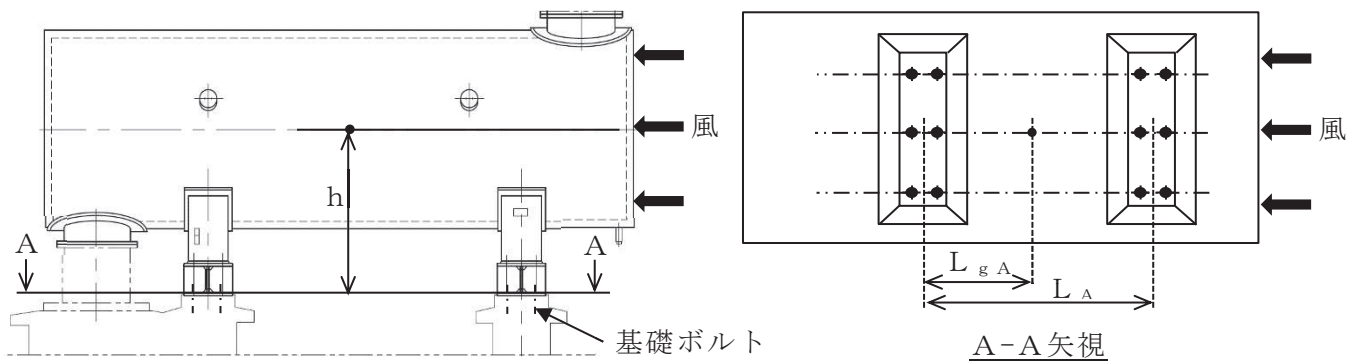


図5-12(2/2) 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸方向）

(c) 評価方法

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-12 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 軸直角方向

- ・ 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gH}}{n_{fH} \cdot L_H}$$

- ・ 引張応力

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(ロ) 軸方向

- ・ 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gA}}{n_{fA} \cdot L_A}$$

- ・ 引張応力

$$\sigma_{bA} = \frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

ロ. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(イ) せん断力

$$Q_b = W_T$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

#### 5.2.4 配管及び弁

##### (1) 評価条件

配管及び弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁とし、機械工学便覧の計算方法を参考に評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。配管の計算モデル図を図5-13及び図5-14に示す。
- b. 弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく、配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。
- c. サポート（配管支持構造物）については、建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。
- d. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-24に示す。

表5-24 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
配管本体	一次応力（膜＋曲げ）

##### (3) 強度評価方法

###### a. 記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表5-25に示す。

表5-25 配管及び弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	mm <sup>2</sup>	単位長さ当たりの施設の受圧面積
D	mm	管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
t	mm	板厚
W <sub>w</sub>	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
Δ P	MPa	設計竜巻の気圧低下量
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>WW</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

## b. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

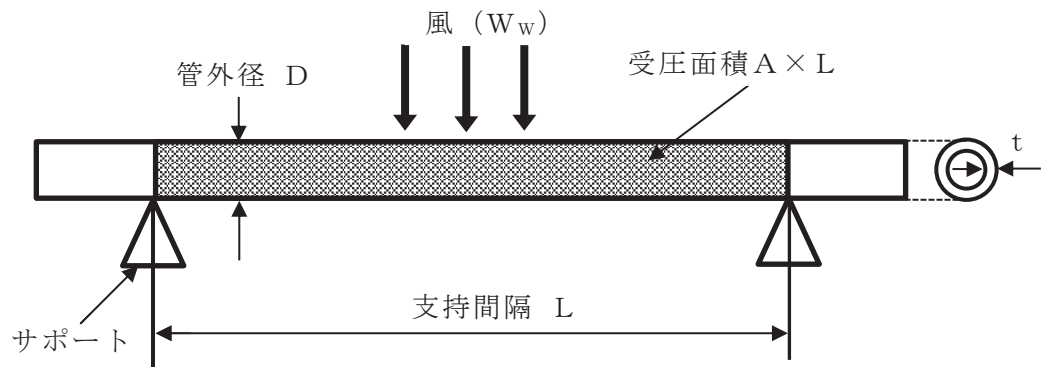


図 5-13 配管の計算モデル図（両端支持形状）

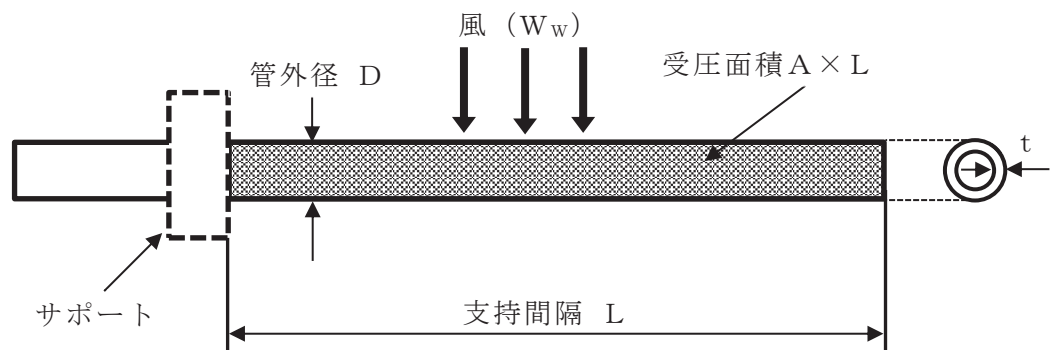


図 5-14 配管の計算モデル図（片持ち形状）

c. 評価方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

・ 両端支持形状

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・ 片持ち支持形状

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は，気圧が低下した分，内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて，その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，イ.，ロ. 項の複合荷重により生じる応力  $\sigma_{WT1}$  及び  $\sigma_{WT2}$  は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として，配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は，以下の式により算定する。

・ 両端支持形状

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・ 片持ち支持形状

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ，配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

### 5.2.5 換気空調設備

#### (1) ダクト

##### a. 角ダクト

##### (a) 評価条件

角ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

イ. 角ダクトは、任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関しては、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトの計算モデル図を図5-15に示す。

ロ. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

##### (b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-26に示す。

表 5-26 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
ダクト鋼板 (本体)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げ</li> <li>・ 座屈</li> </ul>

##### (c) 強度評価方法

##### イ. 記号の定義

角ダクトの構造強度評価に用いる記号を表5-27に示す。

表5-27 角ダクトの構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
$D_p$	$\text{kg/m}^2$	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
g	$\text{m/s}^2$	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
$M_p$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	自重により作用する曲げモーメント



表5-27 角ダクトの構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$P$	MPa	ダクトにかかる外圧
$t$	mm	ダクト板厚
$\delta_{max}$	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\mu$	kg/m	ダクト単位重量
$\nu$	—	ポアソン比
$\sigma_{max}$	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{p1}$	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
$\sigma_y$	MPa	許容応力

ロ. 計算モデル

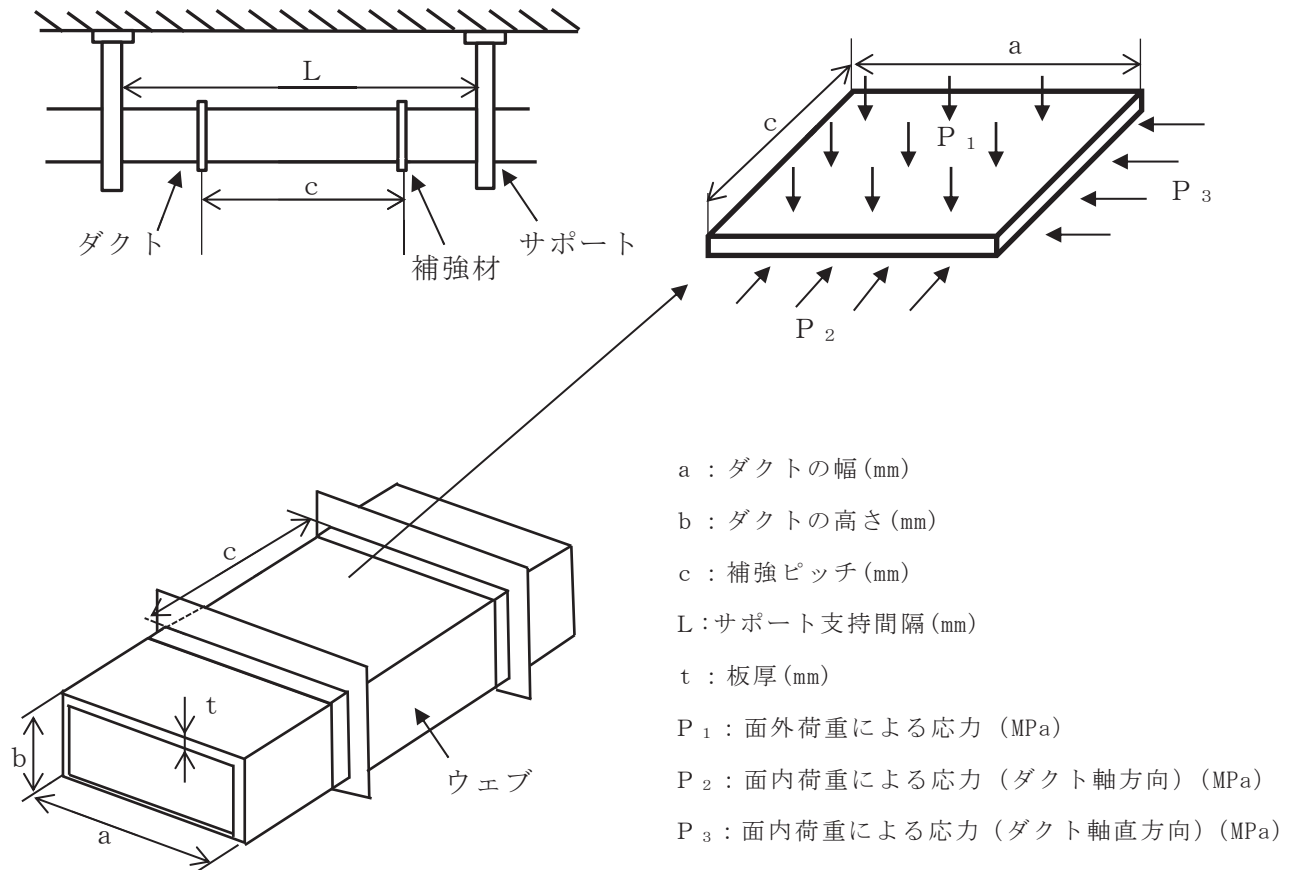


図5-15 角ダクトの計算モデル図

ハ. 評価方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差が影響するので、

$$P = \Delta P$$

(イ) 面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{max}$  とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量  $\delta_{max}$  との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2) \cdot \delta_{\max} + 4 \cdot t}{a^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{\max} + 4 \cdot t)}{c^2} \right\} \dots (1)$$

$$\frac{256 \cdot (1-\nu^2) \cdot (P + g \cdot D_p)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{a^2 \cdot c^2} + (3-\nu^2) \cdot \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \cdot \left( \frac{\delta_{\max}}{t} \right)^3 \dots (2)$$

式 (2) より得られる  $\delta_{\max}$  の値を式 (1) へ代入し、 $\sigma_{\max}$  を算出する。

(ロ) 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鶴戸口の式を準用する。

- ・ 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち、長方形板の弾性座屈の式より算出する。



- ・ 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは、以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

b. 丸ダクト

(a) 評価条件

丸ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- イ. 丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。  
丸ダクトの計算モデル図を図 5-16 に示す。
- ロ. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-28に示す。

表5-28 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
ダクト鋼板 (本体)	・周方向応力 ・座屈

(c) 強度評価方法

イ. 記号の定義

丸ダクトの構造強度評価に用いる記号を表 5-29 に示す。

表5-29 丸ダクトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M <sub>p</sub>	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
Δ P	MPa	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
σ <sub>cripl</sub>	MPa	外圧により生じる周方向応力

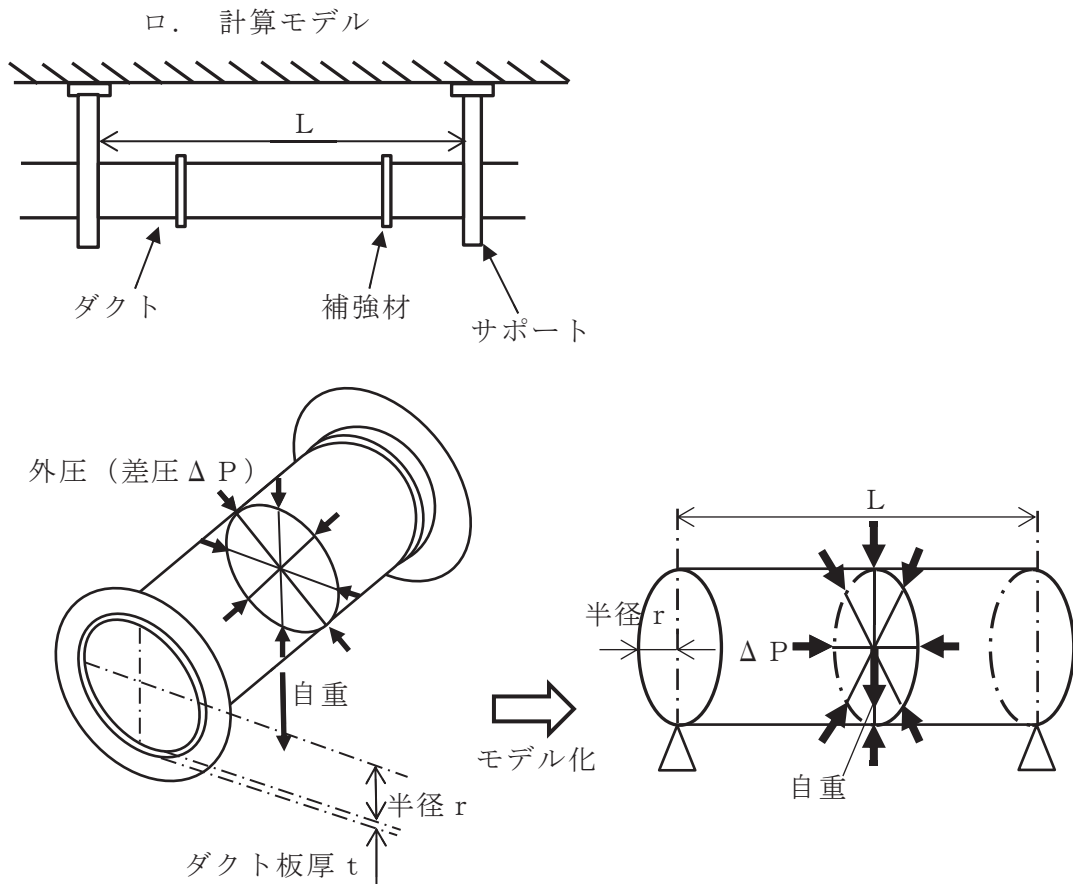


図5-16 丸ダクトの計算モデル図

ハ. 評価方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

(イ) 外圧により生じる周方向応力  $\sigma_{cripl}$

$$\sigma_{cripl} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(ロ) 自重により作用する曲げモーメント  $M_p$

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

(2) 隔離弁

a. 評価条件

隔離弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

(a) 弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。弁箱の計算モデル図を図5-17に示す。

(b) 弁体は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし、計

算を行う。弁体のモデル図を図5-18に示す。

(c) 弁体に受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について、計算を行う。弁棒の計算モデル図を図5-19に示す。

(d) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-30に示す。

表5-30 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	評価内容
バタフライ弁	弁箱	周方向応力
	弁体	曲げ
	弁棒	せん断

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

隔離弁の構造強度評価に用いる記号を表5-31に示す。

表5-31 隔離弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_s$	$m^2$	弁棒の断面積
$A_v$	$m^2$	弁体の受圧面積
$a$	mm	弁体の半径
$d$	mm	弁棒の直径
$F_1$	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
$F_2$	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$h$	mm	弁体の板厚
$m_v$	kg	弁体自重
$m_s$	kg	弁棒自重
$P_1$	MPa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
$P_2$	MPa	自重により弁体に受ける応力
$p_v$	MPa	弁体に受ける応力
$p_s$	N	弁棒に受ける荷重
$r$	mm	内半径
$t$	mm	板厚
$\pi$	—	円周率
$\tau$	MPa	弁棒に対するせん断応力
$\sigma_{max}$	MPa	弁体に対する曲げ応力
$\sigma_\theta$	MPa	周方向応力
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量

## (b) 評価方法

## イ. 弁箱

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

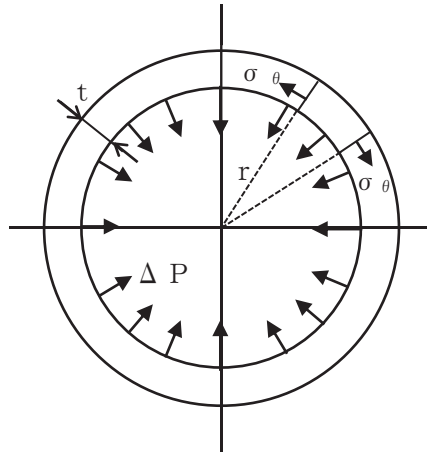


図 5-17 弁箱の計算モデル図

ロ. 弁体

弁体に作用する曲げ応力を，機械工学便覧の計算式を準用し計算する。  
計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体を受ける応力  $P_1$  及び自重により弁体を受ける応力  $P_2$  は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで

$$A_v = \frac{\pi}{4} \cdot (2a)^2$$

弁体を受ける応力  $p_v$  は次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$



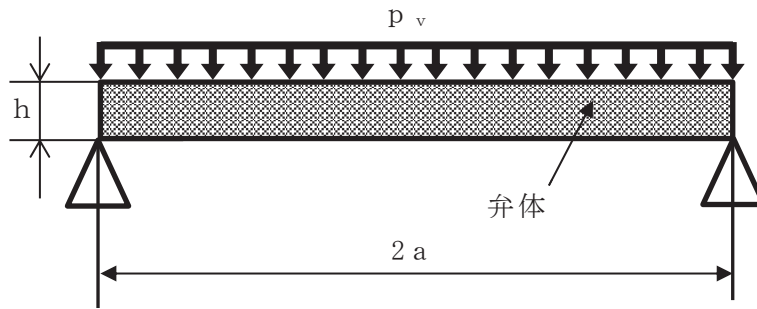


図 5-18 弁体の計算モデル図

ハ. 弁棒

弁棒に作用するせん断応力を, 機械工学便覧の計算式を準用し計算する。計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重  $F_1$  及び弁体及び弁棒自重により弁棒に受ける荷重  $F_2$  は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重  $p_s$  は次による。

$$p_s = F_1 + F_2$$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{2 \cdot A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

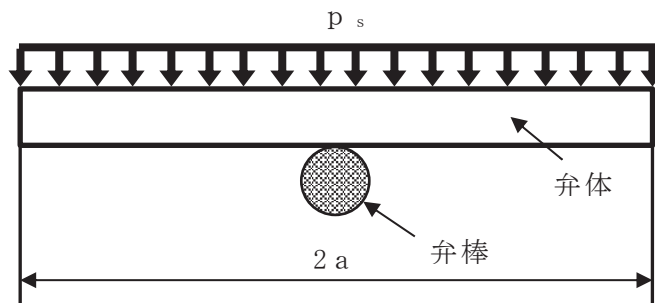


図 5-19 弁棒の計算モデル図

(3) ファン

a. 評価条件

ファンの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) ファンの計算モデルは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。ファンケーシングの計算モデル図を図5-20に示す。
- (b) 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-32に示す。

表5-32 評価対象部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	評価内容
ファン	ケーシング	周方向応力

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ファンの構造強度評価に用いる記号を表5-33に示す。

表5-33 ファンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
r	mm	ケーシング内半径
t	mm	ケーシング板厚
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_{\theta}$	MPa	周方向応力

(b) 評価方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

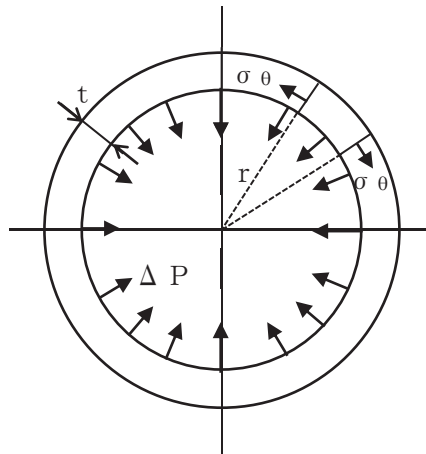


図 5-20 ファンケーシングの計算モデル図

(4) ダンパ

a. 評価条件

ダンパの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) ケーシングは、ケーシング板材を4辺に分割し、その1辺を同等の断面性能を持つ単純支持梁として計算を行う。ケーシングの計算モデル図を図5-21に示す。
- (b) ベーンは、4辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし、曲げ応力による計算を行う。ベーンの計算モデル図を図5-22に示す。
- (c) シャフトは、内部圧力及び自重により発生する荷重がシャフトに均等に作用するものとし、シャフト断面についてせん断力による評価を行う。シャフトの計算モデル図を図5-23に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-34に示す。

表5-34 評価対象部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	評価内容
ダンパ	ケーシング	曲げ
	ベーン	曲げ
	シャフト	せん断

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ダンパの構造強度評価に用いる記号を表5-35に示す。

表5-35 ダンパの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_s$	$\text{mm}^2$	シャフト断面積
$E$	MPa	ヤング率
$e_c$	mm	ケーシングにおける断面の重心高さ
$F_{1b}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	ベーンの内部圧力による分布荷重
$F_{1c}$	$\text{N}/\text{mm}$	ケーシングの内部圧力による分布荷重
$F_{1s}$	N	内部圧力によりシャフトにかかるせん断荷重
$F_{2b}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	ベーンの自重による分布荷重
$F_{2c}$	$\text{N}/\text{mm}$	ケーシングの自重による分布荷重
$F_{2s}$	N	ベーンの自重によりシャフトにかかるせん断荷重
$g$	$\text{m}/\text{s}^2$	重力加速度
$H_b$	mm	ベーン幅
$I_c$	$\text{mm}^4$	ケーシングの断面二次モーメント
$L_c$	mm	面間寸法
$L_s$	mm	シャフト直径
$\ell_b$	mm	ベーン長さ
$\ell_c$	mm	ケーシング長さ
$M_c$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ケーシングに作用する最大曲げモーメント
$m_b$	kg	ベーン質量
$m_c$	kg	ケーシング質量
$P$	MPa	内部圧力
$t_b$	mm	ベーン板厚
$Z_c$	$\text{mm}^3$	ケーシングの断面係数
$\delta_{bmax}$	mm	面外荷重によるベーンの最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\nu$	—	ポアソン比
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{bmax}$	MPa	ベーンの中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{cmax}$	MPa	ケーシングに生じる最大曲げ応力
$\sigma_{smax}$	MPa	シャフトに生じる最大せん断応力

(b) 計算モデル

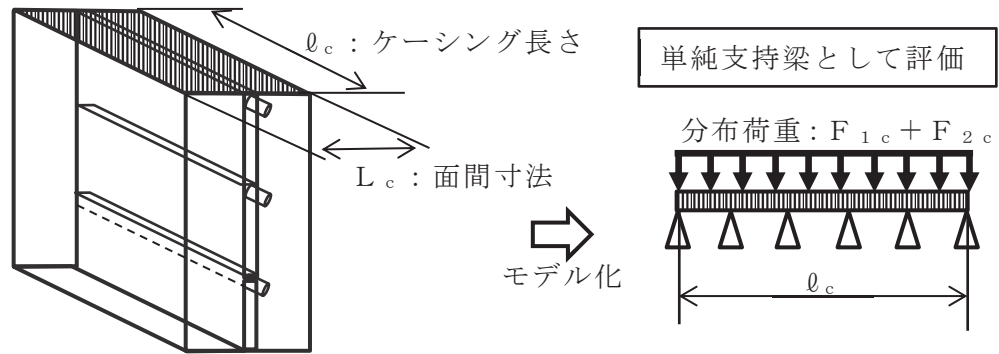


図 5-21 ケーシングの計算モデル図

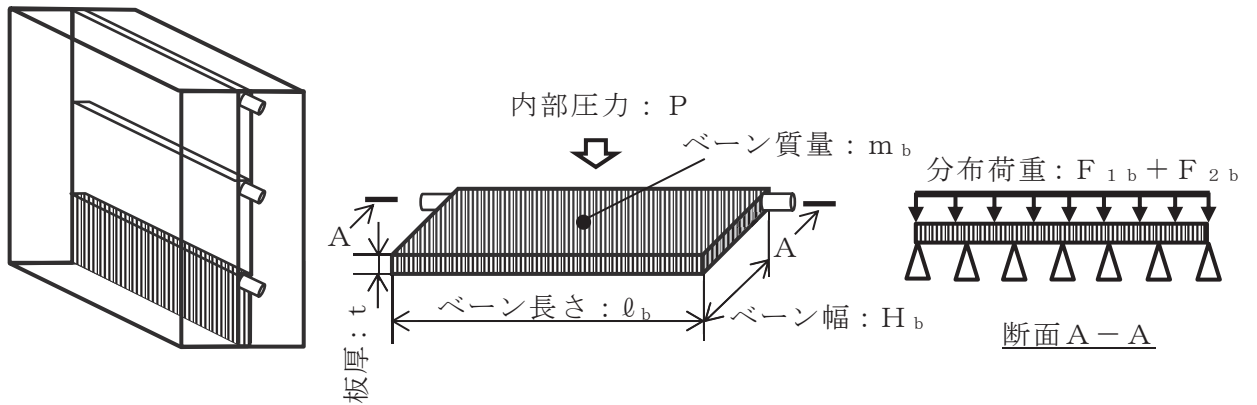


図 5-22 バレーンの計算モデル図

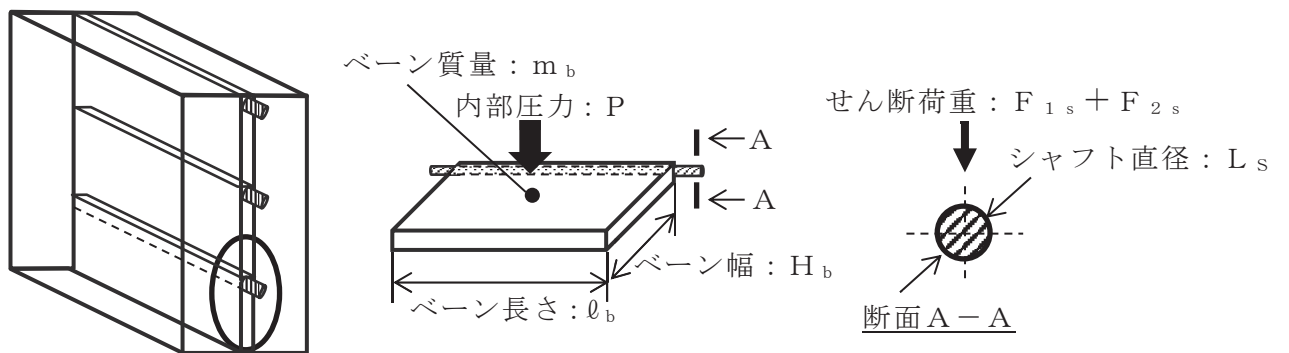


図 5-23 シャフトの計算モデル図

(c) 評価方法

内部圧力は、設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので、

$$P = \Delta P$$

イ. ケーシング

ケーシングに作用する最大曲げモーメント

$$M_c = \frac{\ell_c^2 (F_{1c} + F_{2c})}{8}$$

ここで、

$$F_{1c} = P \cdot L_c$$

$$F_{2c} = \frac{m_c \cdot g}{\ell_c}$$

ケーシングに生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{cmax} = \frac{M_c}{Z_c}$$

$$Z_c = \frac{I_c}{e_c}$$

ロ. ベーン

ベーンに生じる発生応力は、4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において、中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{bmax}$  とその面外荷重によるベーン最大変位量  $\delta_{bmax}$  との関係は、以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{bmax} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{bmax}}{8 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left\{ \frac{(2 - \nu^2) \cdot \delta_{bmax} + 4 \cdot t_b}{\ell_b^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{bmax} + 4 \cdot t_b)}{H_b^2} \right\} \dots (1)$$

$$\frac{256 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (F_{1b} + F_{2b})}{\pi^6 \cdot E \cdot t_b^4} = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{1}{\ell_b^2} + \frac{1}{H_b^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{bmax}}{t_b} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{\ell_b^2 \cdot H_b^2} + (3 - \nu^2) \cdot \left( \frac{1}{\ell_b^4} + \frac{1}{H_b^4} \right) \right\} \cdot \left( \frac{\delta_{bmax}}{t_b} \right)^3 \dots (2)$$

ここで、

$$F_{1b} = P$$

$$F_{2b} = \frac{m_b \cdot g}{\ell_b \cdot H_b}$$

式(2)より得られる  $\delta_{bmax}$  の値を式(1)へ代入し、 $\sigma_{bmax}$  を算出する。

ハ. シャフト

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax} = \frac{F_{1s} + F_{2s}}{2A_s}$$

ここで、

$$F_{1s} = P \cdot H_b \cdot \ell_b$$

$$F_{2s} = m_b \cdot g$$

$$A_s = \left( \frac{L_s}{2} \right)^2 \cdot \pi$$

## 5.2.6 海水ポンプ室門型クレーン

### (1) 評価条件

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 設計竜巻の風圧力による荷重及び自重により発生するモーメントに対する、海水ポンプ室門型クレーンのエンドストップの構造健全性を1質点系モデルとし、計算モデルが類似している J E A G 4 6 0 1 の支持構造物の計算方法を参考に評価を行う。なお、設計飛来物による衝撃荷重は、2基あるエンドストップのうち1基を損傷させたモデルとして考慮する。また、1質点系モデルの強度計算において、海水ポンプ室門型クレーンとエンドストップのピン支持点に集中荷重として作用するものとする。
- b. 海水ポンプ室門型クレーンの転倒により外部事象防護対象施設に接触することによる波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、海水ポンプ室門型クレーンを停留位置にとどめるために、海水ポンプ室門型クレーンの転倒モーメントを受けるエンドストップ及びエンドストップを支持する基礎ボルトを評価対象部位として設定する。
- c. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-36に示す。

表5-36 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
エンドストップ	引張, せん断, 曲げ, 組合せ
基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ

### (3) 強度評価方法

#### a. 記号の定義

海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価に用いる記号を表 5-37 に示す。



表 5-37 海水ポンプ室門型クレーンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	ボルト軸部断面積
$A_{bt}$	$\text{mm}^2$	ストッパ断面部材の引張応力計算に用いる断面積
$A_{cs}$	$\text{mm}^2$	ピン穴部のせん断応力計算に用いる断面積
$A_{ct}$	$\text{mm}^2$	ピン穴部の引張応力計算に用いる断面積
$A_{ps}$	$\text{mm}^2$	ピンのせん断応力計算に用いる断面積
$B$	mm	ピン穴部せん断断面寸法
$C$	mm	ピン穴部引張断面寸法
$D$	mm	ピン穴径
$d_b$	mm	ボルトの呼び径
$d_p$	mm	ピン直径
$F_b$	N	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)
$F_v$	N	エンドストッパに作用する鉛直方向荷重
$F_h$	N	エンドストッパに作用する水平方向荷重
$h_p$	mm	据付面からピン中心までの距離
$L_d$	mm	エンドストッパ断面部材とピン中心間の水平方向距離
$L_p$	mm	転倒支点とピン中心間の水平方向距離
$L_i$	mm	転倒支点とボルトの水平方向距離 * 1
$n$	—	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ボルトの本数
$Q_b$	N	ボルトに作用するせん断力
$T$	mm	ピン穴部部材板厚
$Z_b$	$\text{mm}^3$	エンドストッパ断面部材の断面係数
$\pi$	—	円周率
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	ピン穴部に生じる引張応力
$\sigma_d$	MPa	ストッパ断面部材に生じる引張応力
$\sigma_m$	MPa	ストッパ断面部材に生じる曲げ応力
$\tau_b$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$\tau_c$	MPa	ピン穴部に生じるせん断応力
$\tau_p$	MPa	ピンに生じるせん断応力

注記\* 1 :  $L_i$  の添え字  $i$  の意味は、転倒支点となるボルトより最も遠いボルトから  $i = 1, 2, 3$  とする。

b. 計算モデル

海水ポンプ室門型クレーンは停留位置において従動輪側がエンドストップとピン支持により固定されているため、風圧力による荷重が海水ポンプ室門型クレーンに一樣に作用して生じる転倒モーメントによる荷重を受ける支持構造物として評価を行う。

海水ポンプ室門型クレーンの計算モデルを図 5-24 に示す。

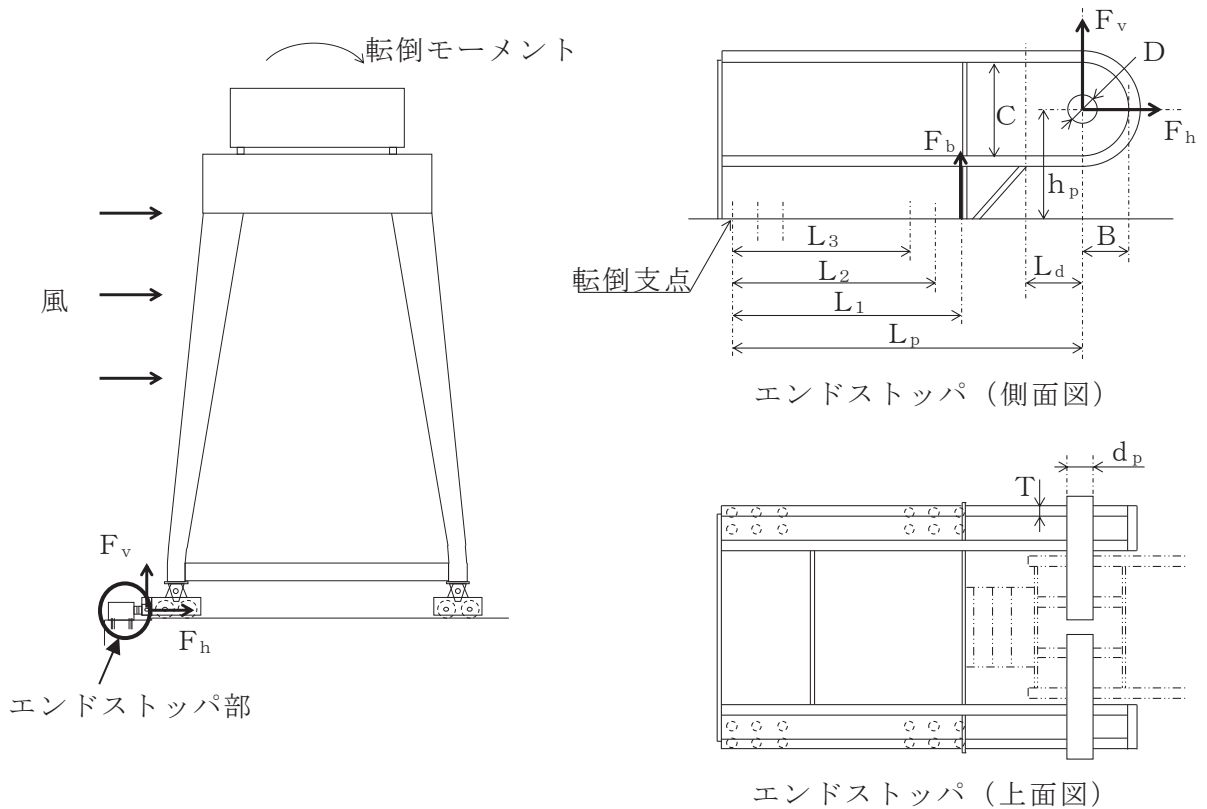


図 5-24 海水ポンプ室門型クレーンの計算モデル図

c. 評価方法

(a) エンドストッパ

イ. ピン穴部

(イ) 引張応力

ピン穴部に対する引張応力は以下の式により算定する。



ここで、



(ロ) せん断応力

ピン穴部に対するせん断応力は以下の式により算定する。



ここで、



ロ. ピン

ピンに対するせん断応力は以下の式により算定する。



ここで、



ハ. ストッパ断面部材

(イ) 引張応力

ストッパ断面部材に対する引張応力は以下の式により算定する。



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(ロ) 曲げ応力

ストッパ断面部材に対する曲げ応力は以下の式により算定する。



(b) 基礎ボルト

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最外列のボルトを支点とする転倒を考え、以下の式により算定する。

・引張力

$$F_b = \frac{L_1 \cdot (F_v \cdot h_p - F_h \cdot L_p)}{n_f \cdot (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}$$

・引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$$

ロ. せん断応力

基礎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、以下の式により算定する。

・せん断力

$$Q_b = F_h$$

・せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 6. 適用規格

VI-1-1-2-3-1においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、竜巻の影響を考慮する施設のうち防護対策施設及び屋外重大事故等対処設備の固縛装置を除く施設の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・ クレーン構造規格（平成7年12月26日労働省告示第134号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・ J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（昭和51年10月高温構造安全技術研究組合）
- ・ タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))
- ・ 日本建築学会 2005年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999年 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 2010年 容器構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築センター 1982年 煙突構造設計施工指針
- ・ 日本建築学会 2007年 煙突構造設計指針
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
- ・ 日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 日本溶接協会 2003年「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法, WES2808」

・日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計規準

VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書

## 目 次

1.	鉄筋コンクリート造構造物の強度計算	1
1.1	概要	1
1.2	基本方針	2
1.2.1	位置	2
1.2.2	構造概要	3
1.2.3	評価方針	14
1.2.4	適用規格	17
1.3	強度評価方法	18
1.3.1	記号の定義	18
1.3.2	評価対象部位	21
1.3.3	荷重及び荷重の組合せ	22
1.3.4	許容限界	26
1.3.5	評価方法	29
1.4	評価条件	58
1.4.1	貫通評価	58
1.4.2	裏面剥離評価	59
1.4.3	変形評価	61
1.5	強度評価結果	66
1.5.1	貫通評価	66
1.5.2	裏面剥離評価	67
1.5.3	変形評価	70
2.	鋼製構造物の強度計算	71
2.1	概要	71
2.2	基本方針	72
2.2.1	位置	72
2.2.2	構造概要	75
2.2.3	評価方針	78
2.2.4	適用規格	81
2.3	強度評価方法	82
2.3.1	記号の定義	82
2.3.2	評価対象部位	84



2.3.3	荷重及び荷重の組合せ .....	91
2.3.4	許容限界 .....	93
2.3.5	評価方法 .....	96
2.4	評価条件 .....	108
2.4.1	貫通評価 .....	108
2.4.2	変形評価 .....	108
2.4.3	応力評価 .....	109
2.5	強度評価結果 .....	110
2.5.1	貫通評価 .....	110
2.5.2	変形評価 .....	111
2.5.3	応力評価 .....	114

## 1. 鉄筋コンクリート造構造物の強度計算

### 1.1 概要

本章では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、鉄筋コンクリート造構造物である原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室（H）が，設計竜巻による設計飛来物の衝突に加え，風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても，竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう，内包する竜巻より防護すべき施設に設計飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

## 1.2 基本方針

添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、各施設の位置を「1.2.1 位置」に、構造概要を「1.2.2 構造概要」に、評価方針を「1.2.3 評価方針」に、適用規格を「1.2.4 適用規格」に示す。

### 1.2.1 位置

原子炉建屋，タービン建屋，制御建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置を図 1-1 に示す。

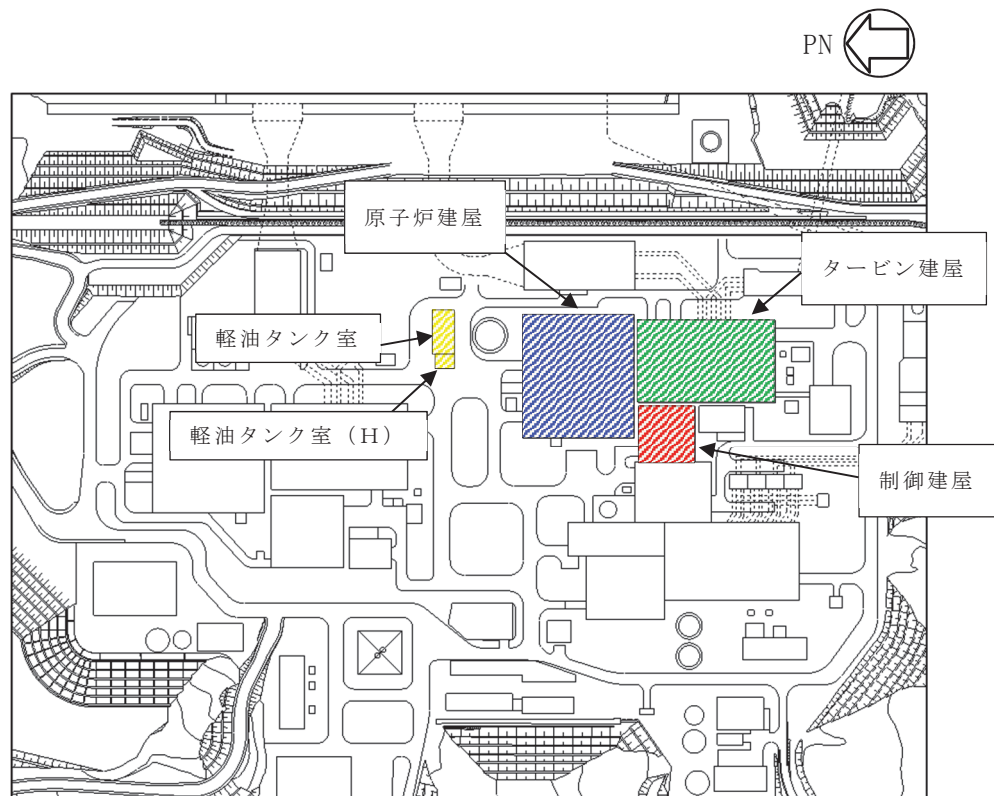


図 1-1 鉄筋コンクリート造建造物の位置図

### 1.2.2 構造概要

各施設の構造は、添付書類「IV-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

各施設は、主体構造が鉄筋コンクリート造であり、一部鉄骨鉄筋コンクリート造、または一部鉄骨造を有する構造である。

各施設の概略平面図及び評価対象部位の概略図を図 1-2～図 1-15 に示す。

また、タービン建屋については、隣接建屋と近接しており、外壁への設計飛来物衝突の可能性が極めて低い部位を評価対象外としている。離隔に係る詳細を図 1-6～図 1-8 に示す。

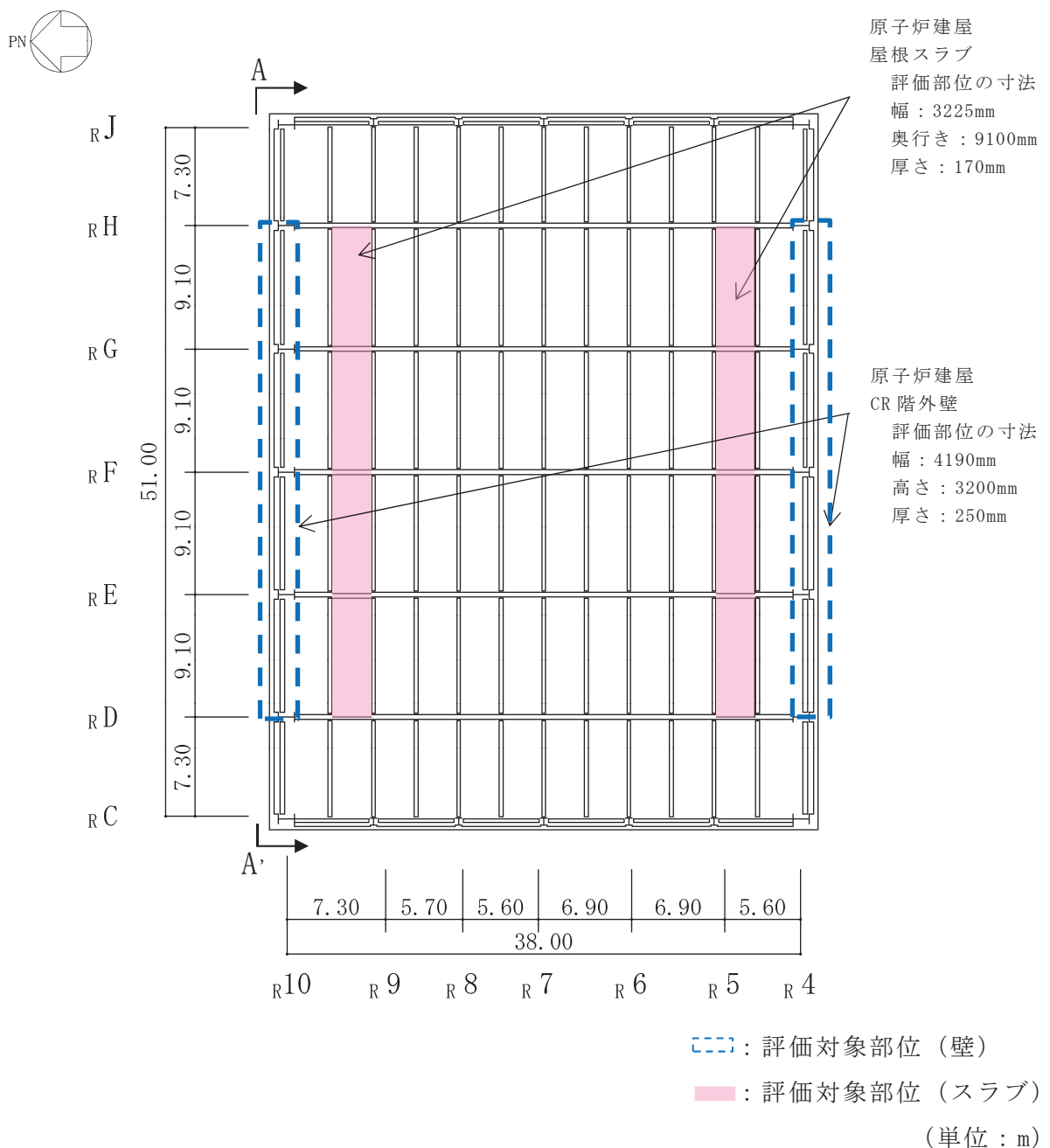


図 1-2 原子炉建屋の概略平面図 (O.P. 50.50m)

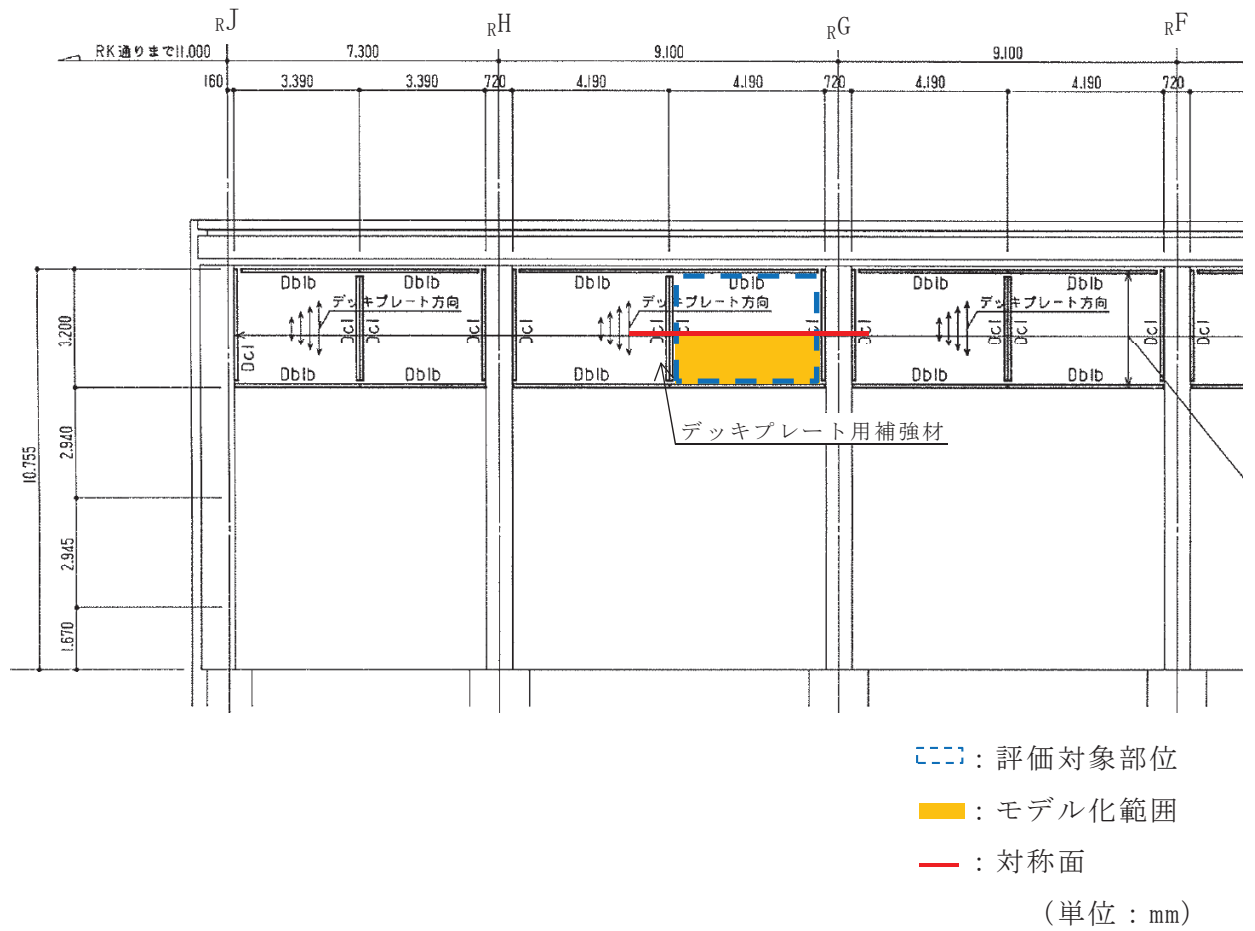
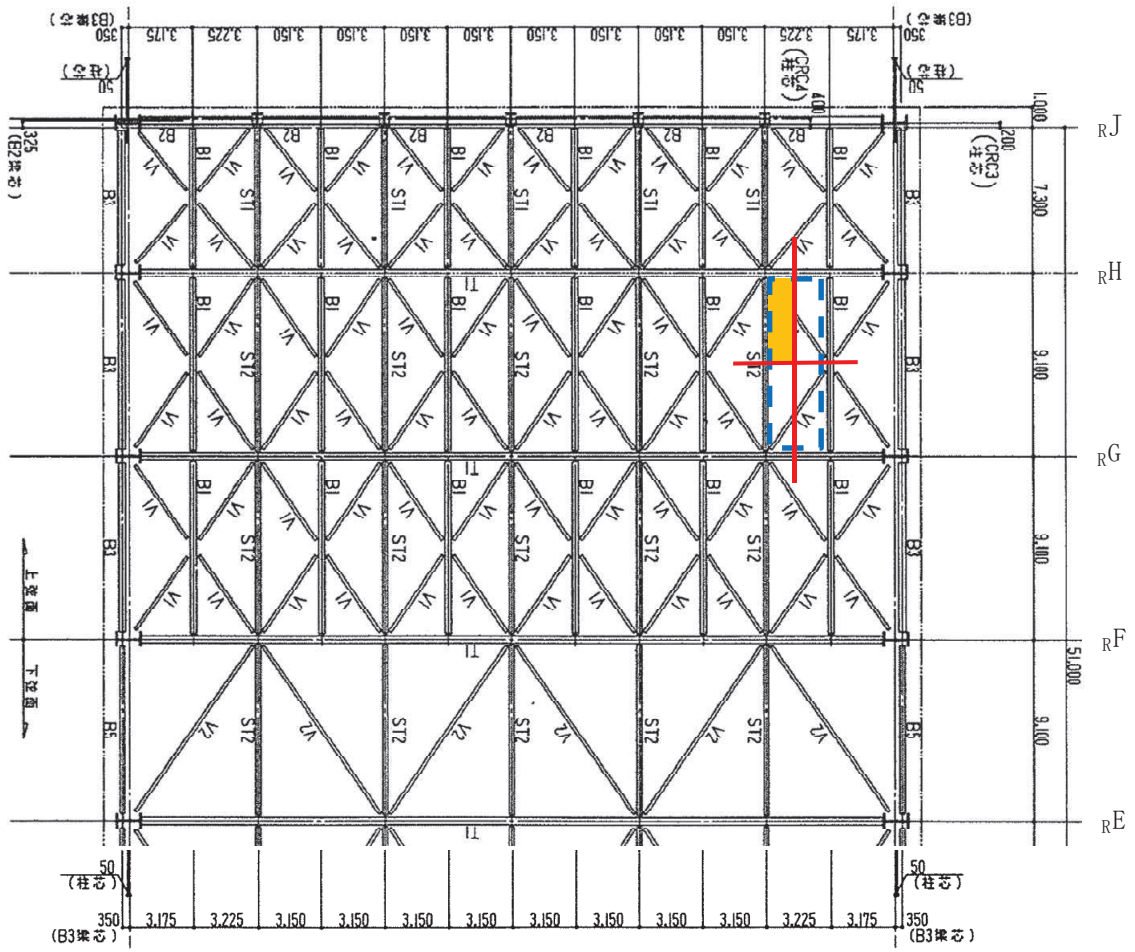


図 1-3 原子炉建屋 CR 階外壁の評価対象部位概略図 (A-A' 矢視図)



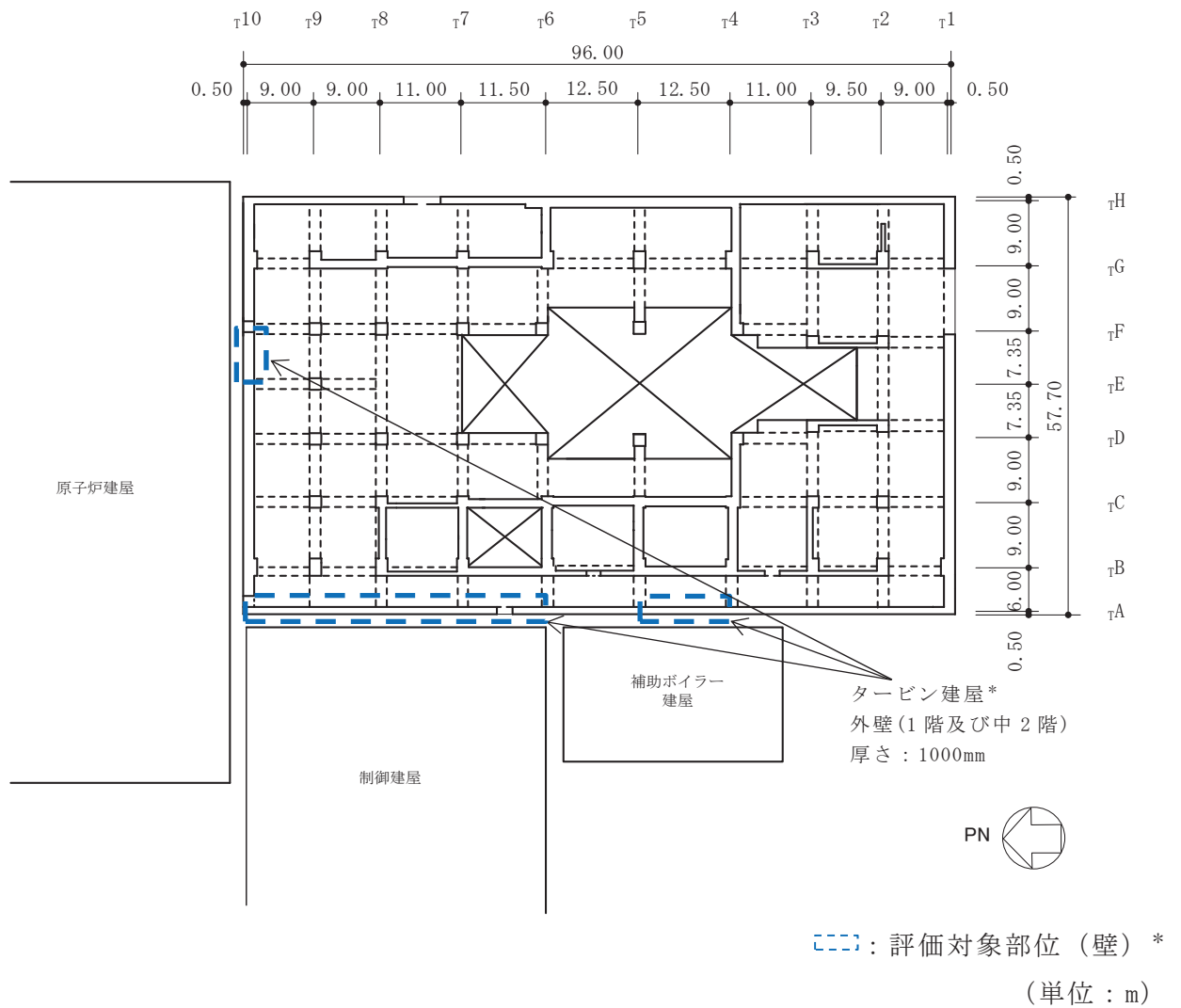
--- : 評価対象部位

■ : モデル化範囲

— : 対称面

(単位 : mm)

図 1-4 原子炉建屋 屋根スラブの評価対象部位概略図



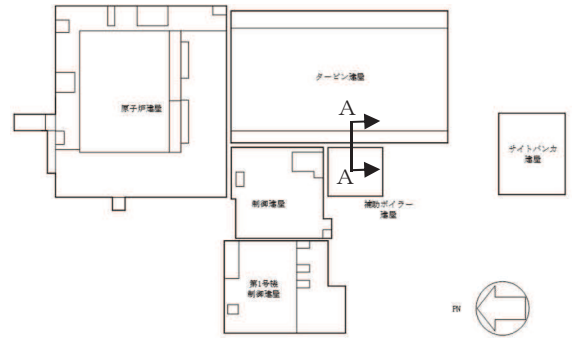
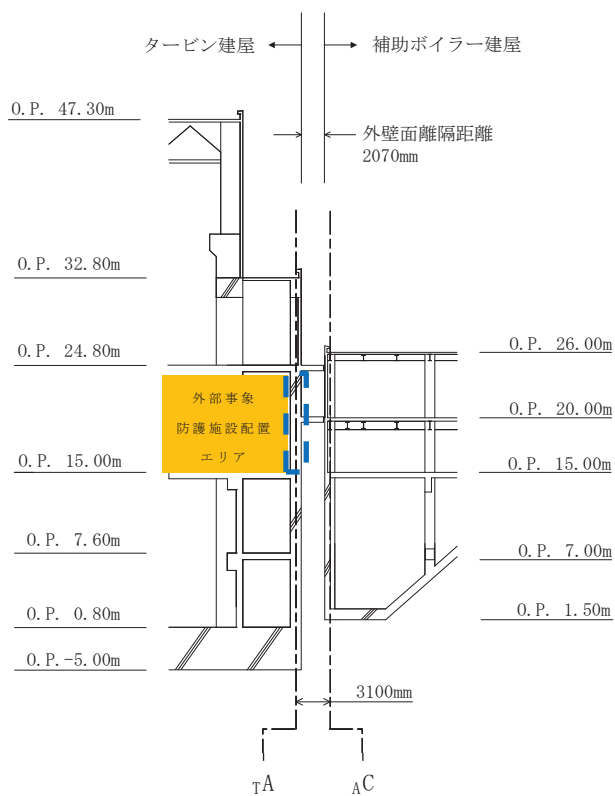
注記\* : 隣接建屋と近接しており, 外壁への設計飛来物衝突の可能性が極めて低いことから評価対象外とする。

補助ボイラー建屋との外壁面離隔距離 : 2070mm

制御建屋との外壁面離隔距離 : 2100mm

原子炉建屋との外壁面離隔距離 : 2100mm

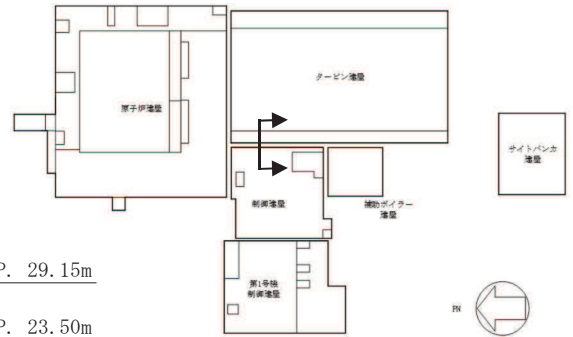
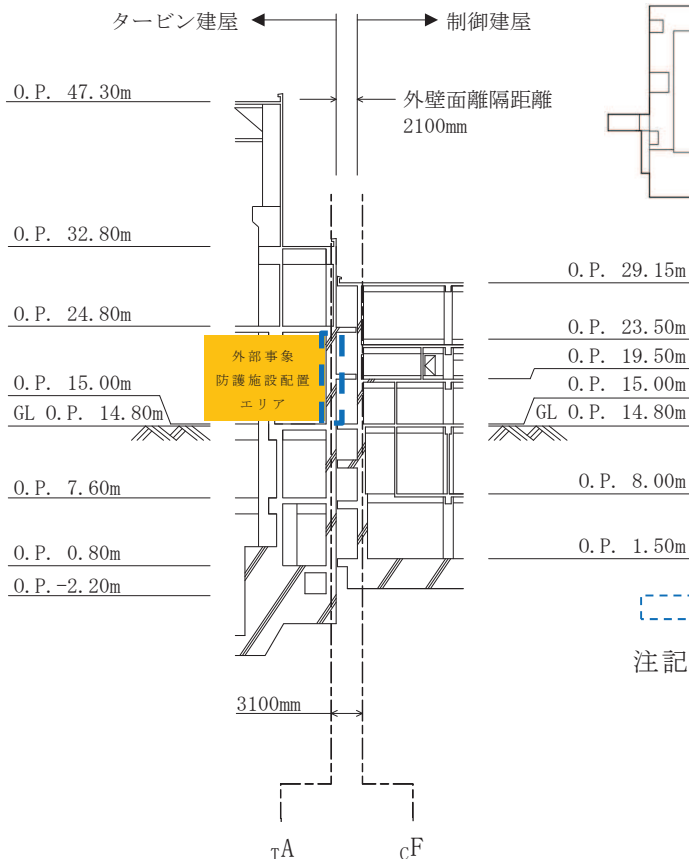
図 1-5 タービン建屋の概略平面図 (0. P. 15.00m)



〔 〕 : 評価対象部位 (壁) \*

注記\* : 隣接建屋と近接しており、  
外壁への設計飛来物衝突の  
可能性が極めて低いことか  
ら評価対象外とする。

図 1-6 タービン建屋と補助ボイラー建屋の離隔距離 (A-A 断面)



〔 〕 : 評価対象部位 (壁) \*

注記\* : 隣接建屋と近接しており、  
外壁への設計飛来物衝突の  
可能性が極めて低いことか  
ら評価対象外とする。

図 1-7 タービン建屋と制御建屋の離隔距離



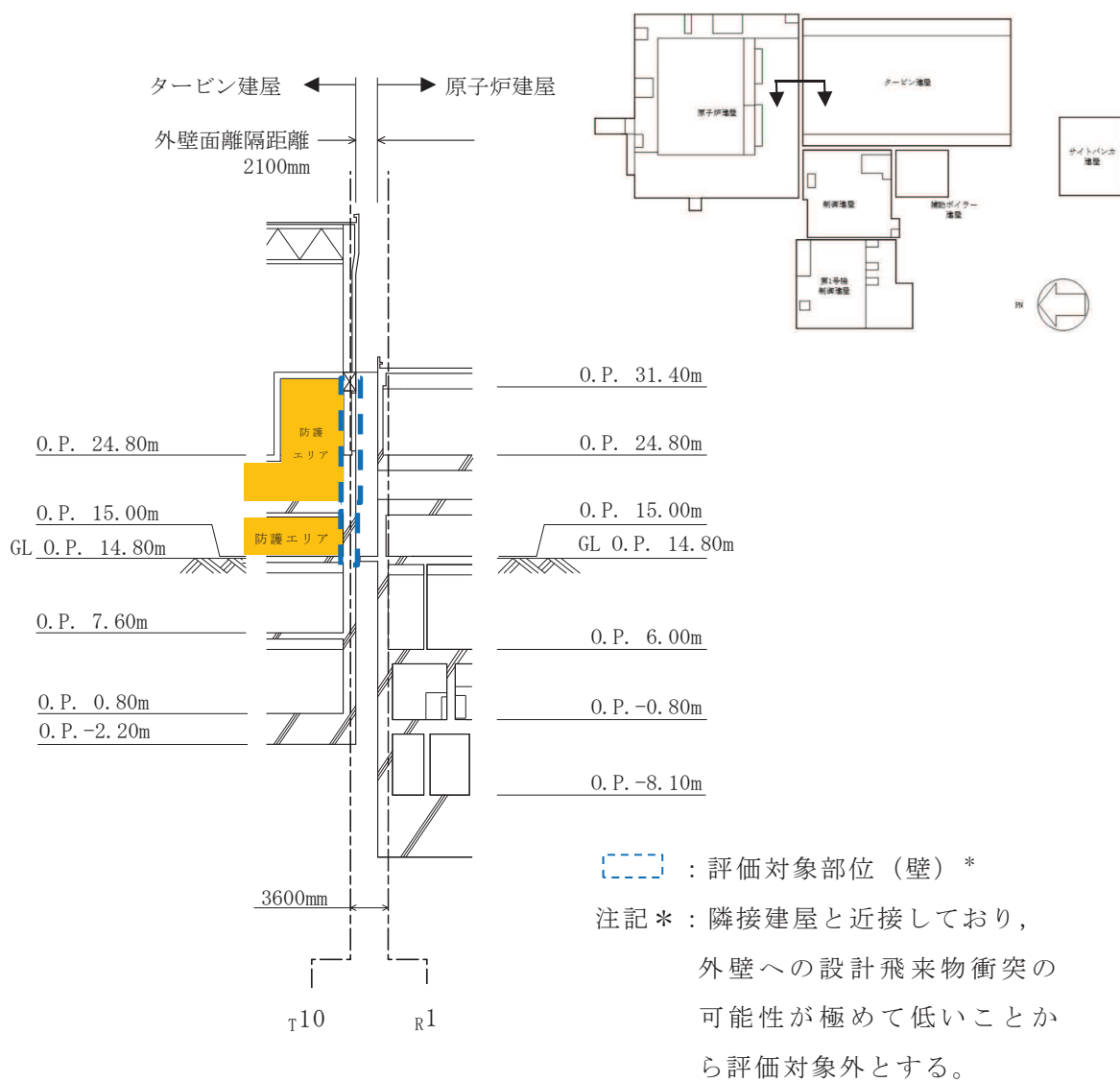


図 1-8 タービン建屋と原子炉建屋の離隔距離

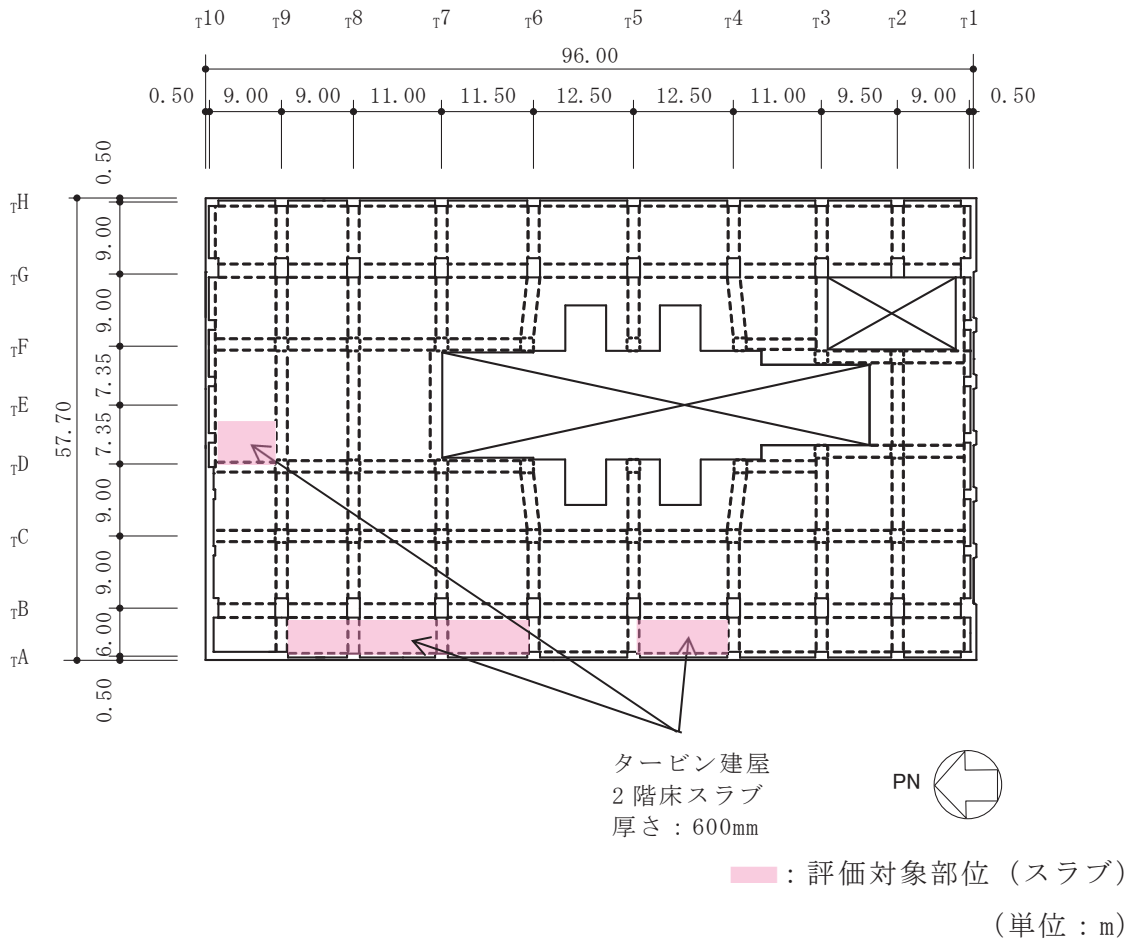


図 1-9 タービン建屋の概略平面図 (0. P. 24. 80m)

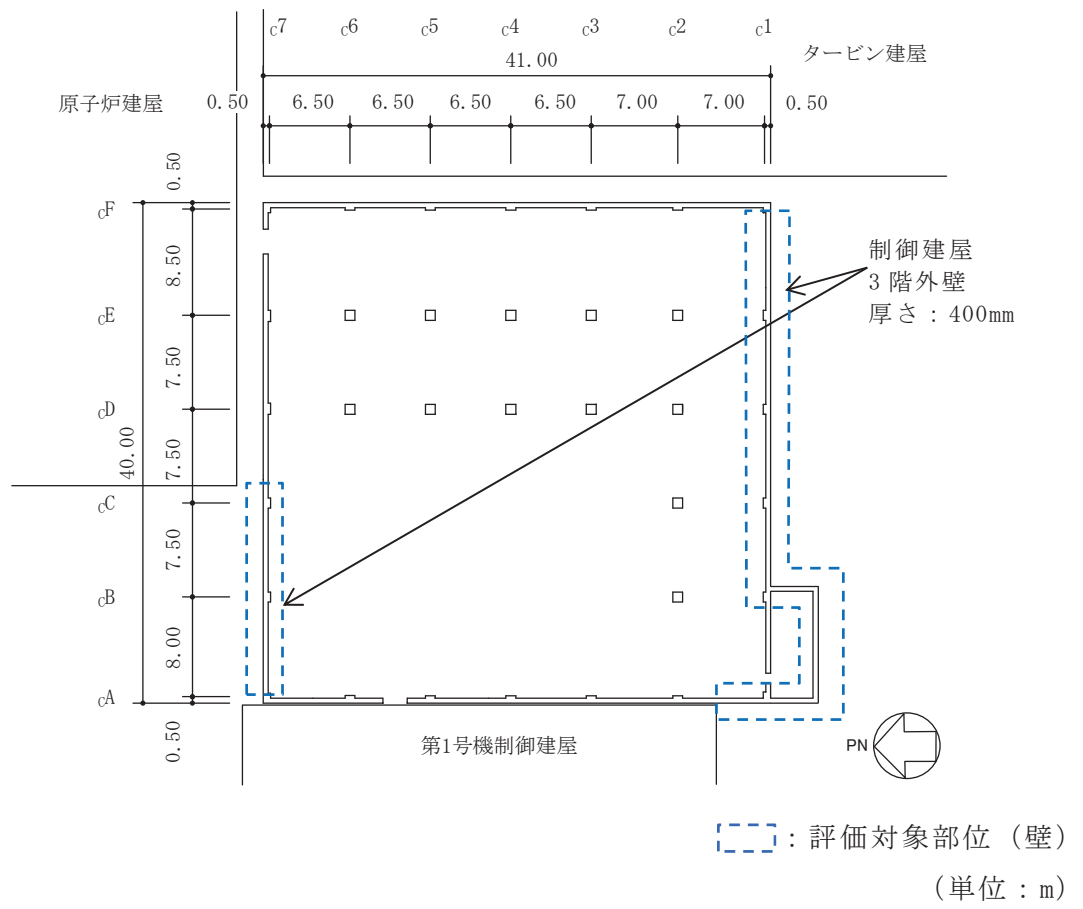


図 1-10 制御建屋の概略平面図 (0. P. 22. 95m)

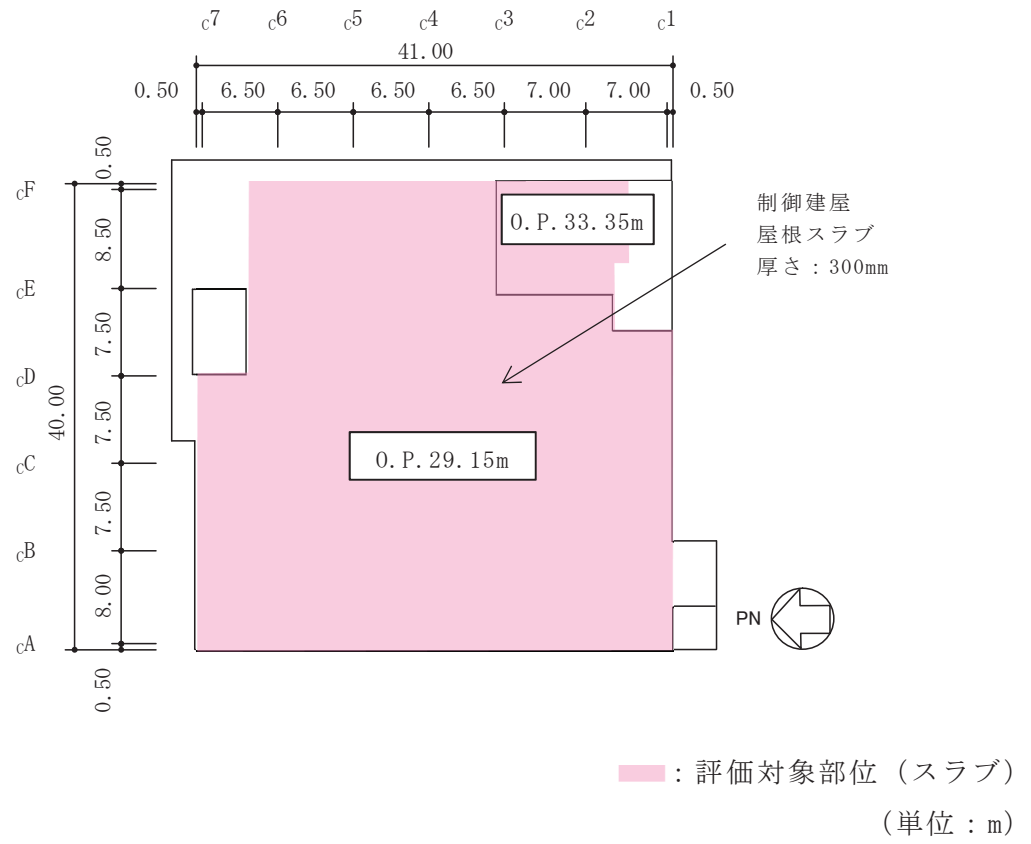
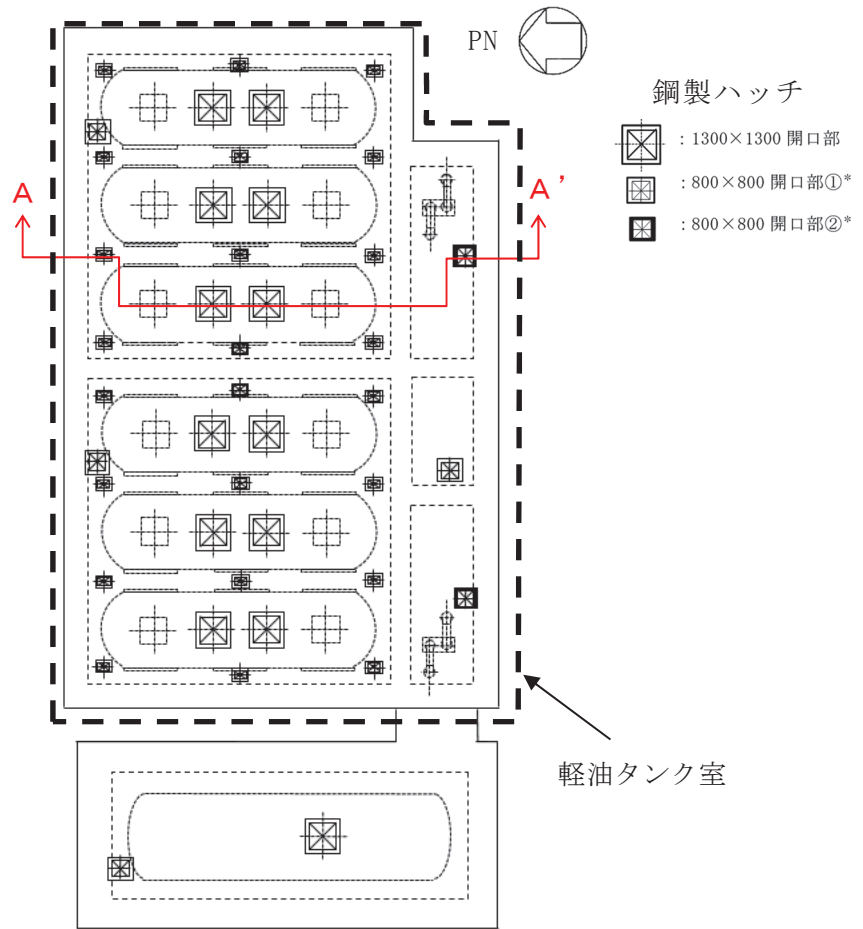


図 1-11 制御建屋の概略平面図 (O.P. 29.15m 及び O.P. 33.35m)



注記\* : 800×800開口部には2種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用

図 1-12 軽油タンク室の概略平面図 (O.P. 14.80m)

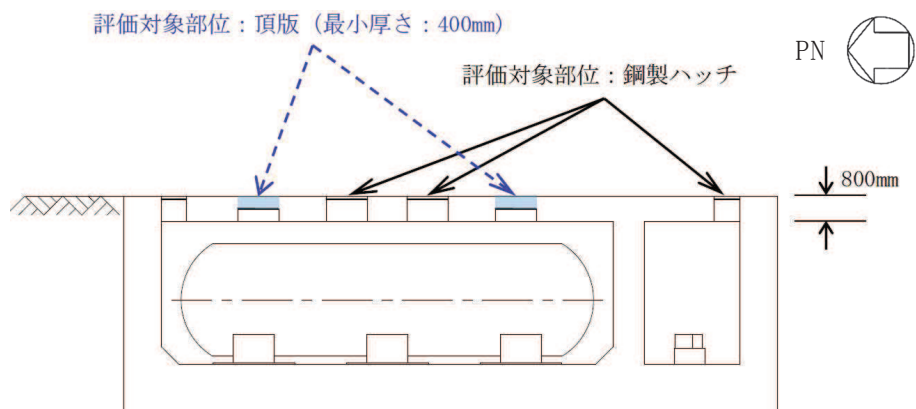


図 1-13 軽油タンク室の概略断面図 (A-A' 断面)

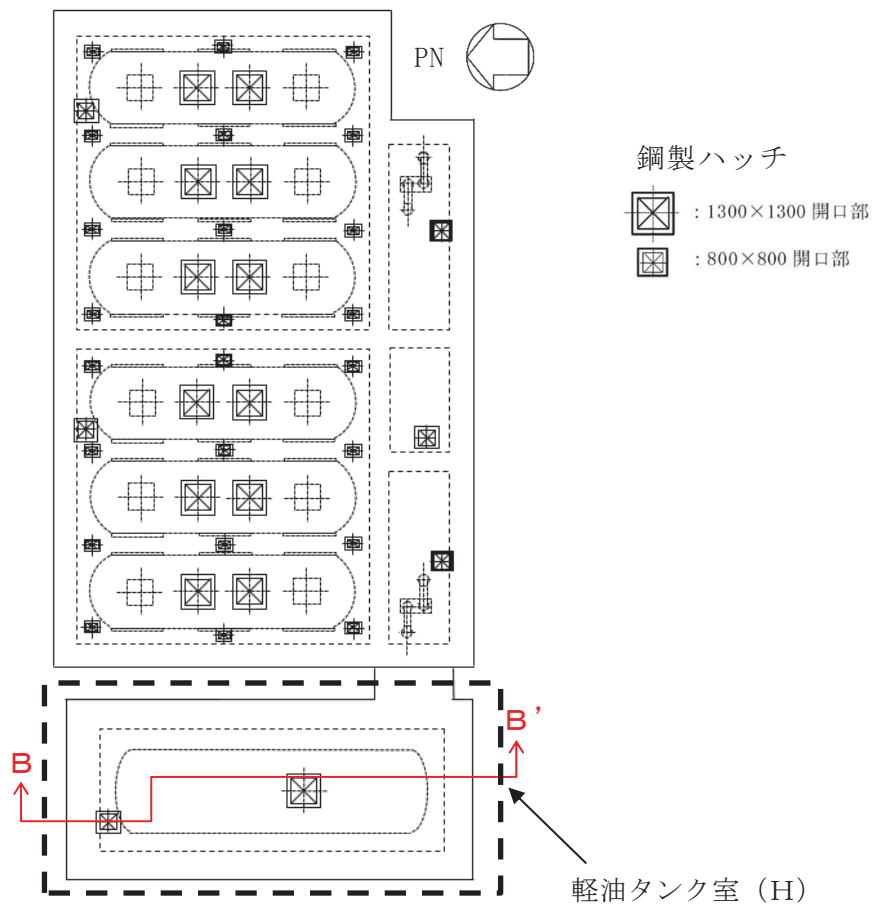


図 1-14 軽油タンク室 (H) の概略平面図 (O.P. 14.80m)

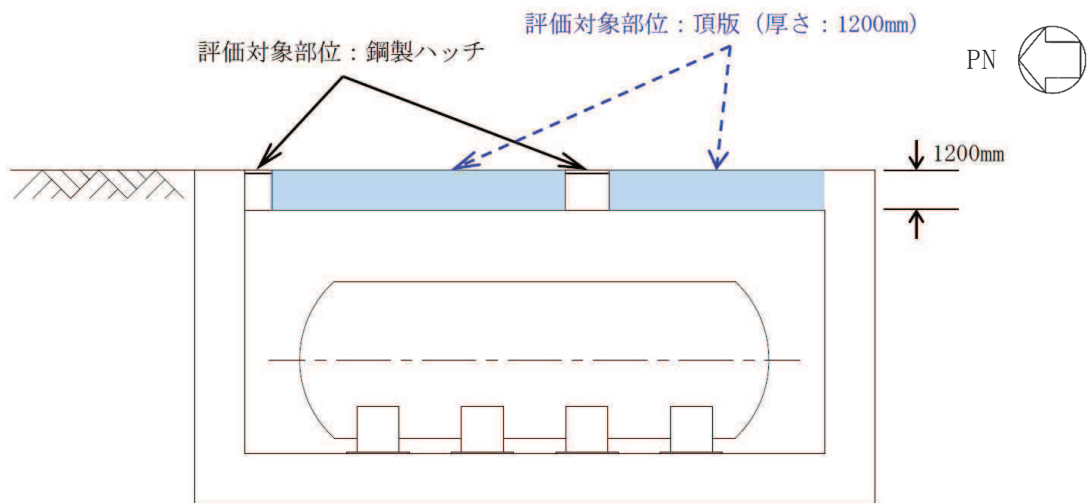


図 1-15 軽油タンク室 (H) の概略断面図 (B-B' 断面)

### 1.2.3 評価方針

各施設の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「1.3 強度評価方法」に示す方法により、「1.4 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「1.5 強度評価結果」にて確認する。

各施設の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として、施設の外殻を構成する部材に対する衝突評価を行う。また設計飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突もしくは接触する波及的な影響の構造強度評価として、施設の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響評価及び施設の外殻を構成する部材の転倒及び脱落並びに施設の変形の影響評価を行う。

各施設の強度評価フローを図 1-16 に示す。

#### (1) 衝突評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建屋の壁及びスラブ、並びにタンク室の頂版が、設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

評価には、「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8)」(以下「NEI07-13」という。)及び「タービンミサイル評価について(昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会)」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

#### (2) 構造強度評価

設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、竜巻より防護すべき施設を内包する施設の外殻を構成する部材である建屋の壁及びスラブ、並びにタンク室の頂版が、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

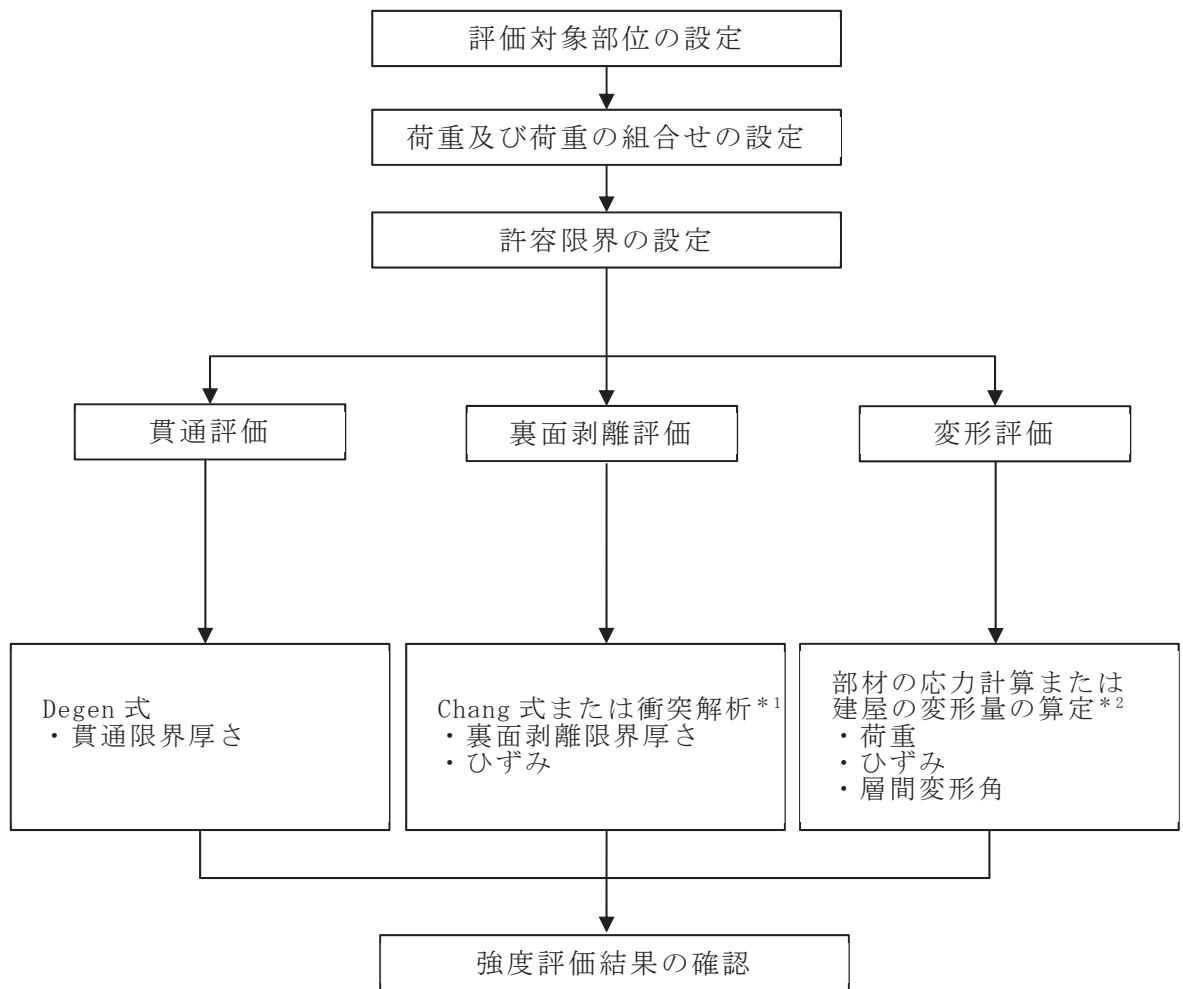
評価には、NEI07-13 にて示されている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

なお、施設の外殻を構成する部材のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散を生じない最小厚さ以上であることの確認が出来ない壁及びスラブにおいては、当該部材が裏面剥離に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

(以下「裏面剥離評価」という。)

また、建屋の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、屋根スラブのスタッド(以下「スタッド」という。)、耐震壁、鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構に終局状態に至るようなひずみ、変形または応力が生じないことを計算により確認する。(以下「変形評価」という。)





注記\*1 : 衝突解析については、解析コード「ABAQUS」により、評価対象部位を 3 次元 FEM モデルによりモデル化し評価を実施する。

\*2 : 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図 1-16 強度評価フロー

#### 1.2.4 適用規格

適用する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・ ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その 3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（昭和 51 年 10 月高温構造安全技術研究組合）
- ・ タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs（Nuclear Energy Institute 2011 Rev8（NEI07-13））
- ・ 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 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-
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
- ・ 日本機械学会 1987 年 新版機械工学便覧
- ・ 日本溶接協会 2003 年「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法，WES2808」

### 1.3 強度評価方法

#### 1.3.1 記号の定義

Degen 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 1-1 に、Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号を表 1-2 に、力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表 1-3 に示す。

表 1-1 Degen 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
W	kgf	設計飛来物重量	
d	cm	設計飛来物直径	
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W / d^3$ )	
e	cm	貫通限界厚さ	
$F_c$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
N	—	設計飛来物の形状係数	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)
		スラブ, 頂版	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)
X	cm	貫入深さ	
$\alpha_e$	—	低減係数	

表 1-2 Chang 式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
d	cm	設計飛来物直径	
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)
		スラブ, 頂版	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)
$V_0$	m/s	設計飛来物基準速度	
W	kgf	設計飛来物重量	
$\alpha_s$	—	低減係数	

表 1-3 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号 (1/2)  
(荷重算定用)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
W <sub>M</sub>	kN	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	kN	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	kN	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
ΔP	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度 (水平)
Δt	s	設計飛来物と被衝突体の接触時間
L <sub>1</sub>	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

表 1-3 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号 (2/2)  
(スタッド評価用)

記号	単位	定義
$A_c$	$\text{mm}^2$	コーン状破壊面の有効投影面積
$A_0$	$\text{mm}^2$	スタッド頭部の支圧面積
$a_{ca}$	$\text{mm}^2$	スタッドの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の smaller 方の値
$D$	$\text{mm}$	スタッドの頭部直径
$d$	$\text{mm}$	スタッドの軸部直径
$F_c$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの設計基準強度
$f_n$	$\text{N/mm}^2$	コンクリートの支圧強度
$l_e$	$\text{mm}$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ
$l_{ce}$	$\text{mm}$	スタッドの強度計算用埋込み長さ ( $l_{ce} = l_e$ )
$p_a$	$\text{kN}$	スタッド1本あたりの許容引張力
$p_{a1}$	$\text{kN}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力
$p_{a2}$	$\text{kN}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力
$p_{a3}$	$\text{kN}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド1本あたりの許容引張力
$c\sigma_t$	$\text{N/mm}^2$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
$s\sigma_{pa}$	$\text{N/mm}^2$	スタッドの引張強度
$s\sigma_y$	$\text{N/mm}^2$	スタッドの規格降伏点強度
$\Phi_1$	—	低減係数
$\Phi_2$	—	低減係数
$L$	$\text{m}$	デッキプレートの支持スパン
$p$	$\text{mm}$	スタッドの間隔
$Q$	$\text{kN/m}$	デッキプレートに生じる単位幅のせん断力
$T$	$\text{kN}$	スタッドに生じる引張力
$\omega_T$	$\text{kN/m}^2$	設計竜巻による荷重

### 1.3.2 評価対象部位

各施設の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて設定する。

評価対象部位は図 1-2～図 1-15 に示す通りとする。

#### (1) 貫通評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、外部事象防護対象施設を内包する区画のうち外殻を構成する部材及び、施設屋外からの設計飛来物の侵入を考慮した各施設の屋内の床スラブ、内壁の中から最も厚みが薄い箇所のうち部材長さ（支持スパン）が最長となる部位を評価対象部位として設定することとし、原子炉建屋については CR 階外壁及び屋根スラブを、タービン建屋については 2 階床スラブを、制御建屋については 3 階外壁及び屋根スラブを、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）については頂版を評価対象部位として設定する。なお、タービン建屋外壁については、評価対象エリアの外壁に隣接建屋が近接していることにより、設計飛来物の衝突の可能性が極めて低いことから評価対象外とする。

評価においては、各施設施設の評価対象部位の最小厚さが、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを計算により確認する。

#### (2) 裏面剥離評価

設計荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体が、脱落により竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない設計とするために、外殻を構成する部材及び、施設屋外からの設計飛来物の侵入を考慮した各施設の屋内の床スラブ、内壁の中から最も厚みが薄い箇所のうち部材長さ（支持スパン）が最長となる部位を評価対象部位として設定することとし、原子炉建屋については CR 階外壁及び屋根スラブを、タービン建屋については 2 階床スラブを、制御建屋については 3 階外壁及び屋根スラブを、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）については頂版を評価対象部位として設定する。なお、タービン建屋外壁については、評価対象エリアの外壁に隣接建屋が近接していることにより、飛来物衝突の可能性が低いことから評価対象外とする。

評価においては、各施設の評価対象部位の最小厚さが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回ることを計算により確認する。

なお、評価対象部位のうち、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない裏面剥離限界厚さを上回る旨を計算で確認出来ない原子炉建屋 CR 階外壁及び屋根スラブについては、衝突解析により評価を行う。

(3) 変形評価

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が外部事象防護対象施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、設計荷重が直接作用し、防護すべき施設の外殻となる壁及び屋根スラブを評価する。

壁については、原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋の耐震壁を評価対象部位として設定し、タービン建屋については鉄骨架構及び鉄骨鉄筋コンクリート架構も評価対象部位とする。

スラブについては、気圧差による荷重がスラブに作用しスタッドに伝達されることを踏まえて、屋根スラブにスタッドを用いる構造である原子炉建屋、タービン建屋及び制御建屋の屋根スラブのスタッドを評価対象部位とする。

なお、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）については、地中に埋設され竜巻の風荷重を受け難い構造であることから評価は不要とする。

1.3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 1-4 に示す。

表 1-4 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) には、部材の自重とする。

b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号），建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）」及び「日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A / 1000$$

ここで，

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

c. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重は，次式のとおり算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A / 1000$$

d. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) は，表 1-5 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。設計飛来物の材料定数を表 1-6 に示す。

なお，評価対象部位に設計飛来物が衝突した際に跳ね返らず，貫入する物として評価する。

表 1-5 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	46.6	16.7*1 32.9*2

注記\*1 : 原子炉建屋，制御建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室（H）における速度

\*2 : タービン建屋における速度

表 1-6 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	塑性硬化係数 E' (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼製材	245	206000	1260	0.3



(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せについては、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、設計飛来物による衝撃荷重，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。荷重の組合せを表 1-7 に示す。

表 1-7 荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位		設計飛来物の 衝突方向	荷重の組合せ*
貫通評価	Degen 式による評価			
	原子炉建屋	CR 階外壁	水平	$W_M$
		屋根スラブ	鉛直	
	タービン建屋	2 階床スラブ	鉛直	
	制御建屋	3 階外壁	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	軽油タンク室	頂版	鉛直	
軽油タンク室 (H)	頂版	鉛直		
裏面剥離評価	Chang 式による評価			
	タービン建屋	2 階床スラブ	鉛直	$W_M$
	制御建屋	3 階外壁	水平	
		屋根スラブ	鉛直	
	軽油タンク室	頂版	鉛直	
	軽油タンク室 (H)	頂版	鉛直	
	解析による評価			
	原子炉建屋	CR 階外壁	水平	$W_W + W_M + F_d$
屋根スラブ		鉛直	$W_M + F_d$	
変形評価	力学における標準式による評価			
	原子炉建屋 タービン建屋 制御建屋	屋根スラブの スタッド	-	$W_W + 0.5W_P + F_d$
	地震応答解析モデルを用いた静的評価			
	原子炉建屋	耐震壁	水平	$W_W + 0.5W_P + W_M$
	タービン建屋	耐震壁	水平	
		鉄骨架構	水平	
		鉄骨鉄筋 コンクリート架構	水平	
		制御建屋	耐震壁	

注記\* :  $W_W$  : 風圧力による荷重

$W_P$  : 気圧差による荷重

$W_M$  : 設計飛来物による衝撃荷重

$F_d$  : 常時作用する荷重

#### 1.3.4 許容限界

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の許容限界は、「1.3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて設定する。

##### (1) 貫通評価

貫通評価のうち、式による評価の許容限界は評価対象部位の最小厚さとする。

表 1-8 に設定した許容限界を示す。

表 1-8 貫通評価の許容限界（式による評価）

評価対象部位		許容限界 (cm)
原子炉建屋	CR 階外壁	25
	屋根スラブ	17
タービン建屋	2 階床スラブ	60
制御建屋	3 階外壁	40
	屋根スラブ	30
軽油タンク室	頂版	40
軽油タンク室 (H)	頂版	120

(2) 裏面剥離評価

裏面剥離評価の許容限界のうち、式による評価の許容限界は、貫通評価の許容限界である表 1-8 と同じとする。

裏面剥離評価のうち、式により算定する裏面剥離限界厚さが最小部材厚さを上回る場合における、解析による裏面剥離評価の許容限界を表 1-9 に示す。

設計飛来物が CR 階外壁及び屋根スラブへ直接衝突する場合の裏面剥離評価における許容限界は、デッキプレートの破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2.1(1) 許容限界の設定」に示すとおり、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI07-13 において TF (多軸性係数) を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として TF =  を考慮して設定する。

表 1-9 裏面剥離評価の許容限界 (解析による評価)

評価対象部位		材質	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
原子炉建屋	CR 階外壁 デッキプレート	SS400	
	屋根スラブ デッキプレート	SS400	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 変形評価

変形評価の許容限界を表 1-10 に示す。

表 1-10 変形評価の許容限界

評価対象部位		許容限界	
		項目	数値
原子炉建屋	屋根スラブ スタッド	「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同 解説」に基づく許容耐力	40.3 (kN/本) *2
タービン建屋	屋根スラブ スタッド	「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同 解説」に基づく許容耐力	39.9 (kN/本) *2
制御建屋	屋根スラブ スタッド	「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同 解説」に基づく許容耐力	41.0 (kN/本) *2
原子炉建屋	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$
タービン建屋	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$
	鉄骨鉄筋 コンクリート架構	最大層間変形角 *1	1/200
	鉄骨架構	最大層間変形角 *1	1/120
制御建屋	耐震壁	最大せん断ひずみ	$2.0 \times 10^{-3}$

注記\*1 : 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。) により設定。

\*2 : 各建屋スタッド設置部に生じる引張力の許容限界は、スタッド鋼材の降伏及びコンクリート躯体のコーン状破壊のうち、定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる。建屋ごとのスタッドの諸元は同一であるが、スタッドの配列状況が異なり、有効水平投影範囲が重なり合うことで、許容限界に参入する有効水平投影面積に差異が生じ、許容限界にばらつきが生じている。

### 1.3.5 評価方法

竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施し、構造強度評価として裏面剥離評価及び変形評価を実施する。

#### (1) 貫通評価

##### a. 式による評価

設計飛来物が各施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、NEI07-13 に示されている Degen 式を用いて算定する。Degen 式における貫入深さは、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている修正 NDRC 式を用いて算定する。

Degen 式を以下に示す。

1.52 ≤ X / d ≤ 13.42 の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{0.69 + 1.29 (X / d)\} \cdot d$$

X / d ≤ 1.52 の場合

$$e = \alpha_e \cdot \{2.2 (X / d) - 0.3 (X / d)^2\} \cdot d$$

修正 NDRC 式を以下に示す。

X / d ≤ 2.0 の場合

$$X / d = 2 \cdot \left\{ \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V / 1000)^{1.8} \right\}^{0.5}$$

X / d ≥ 2.0 の場合

$$X / d = \left( 12145 / \sqrt{F_c} \right) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V / 1000)^{1.8} + 1$$

#### (2) 裏面剥離評価

##### a. 式による評価

設計飛来物が各施設に衝突する場合の裏面剥離限界厚さを、NEI07-13 に示されている Chang 式を用いて算定する。

Chang 式を以下に示す。

$$S = 1.84 \cdot \alpha_s \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left( \frac{W \cdot V^2}{0.0980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

b. 外壁及び屋根スラブに対する衝突解析

設計飛来物に対して，Chang 式による裏面剥離限界厚さを満足しない原子炉建屋 CR 階外壁及び屋根スラブについては，設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ を考慮し，3次元 FEM モデルを用いた衝突解析により外壁及び屋根スラブのデッキプレートに生じるひずみを算出し，許容限界を超えないことを確認する。

衝突位置については，部材曲げによる変形量が最大になると考えられる中央部を選定した。衝突方向は，部材面に対して垂直とし，局所的な変形によって部材に生じるひずみが最も大きくなるように，飛来物の面積が最小の面（0.3m×0.2m）が衝突するケースを選定した。

なお，気圧差による荷重 $W_P$ については，衝撃荷重と逆方向に作用するため，保守的に考慮しない。

衝突解析には，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，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(a) 解析モデル及び諸元

イ. 原子炉建屋 CR 階外壁

原子炉建屋 CR 階外壁のモデル化範囲は，想定する荷重の伝達を考慮し，外壁を構成する鉄筋コンクリート及びデッキプレートとする。解析モデルは対称性を考慮して 1/2 モデルとする。コンクリートはソリッド要素，鉄筋は棒要素，デッキプレートはシェル要素でモデル化する。なお，デッキプレートはコンクリートと固着とする。原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデルの境界条件を表 1-11 及び図 1-17 に，解析モデル図を図 1-18 に示す。

表 1-11 原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデルの境界条件

項目		境界条件
原子炉建屋 CR 階外壁	外壁端部	対称境界部：対称境界 長辺：X 軸回転方向のみ自由 短辺：Y 軸回転方向のみ自由 隅角部：完全拘束

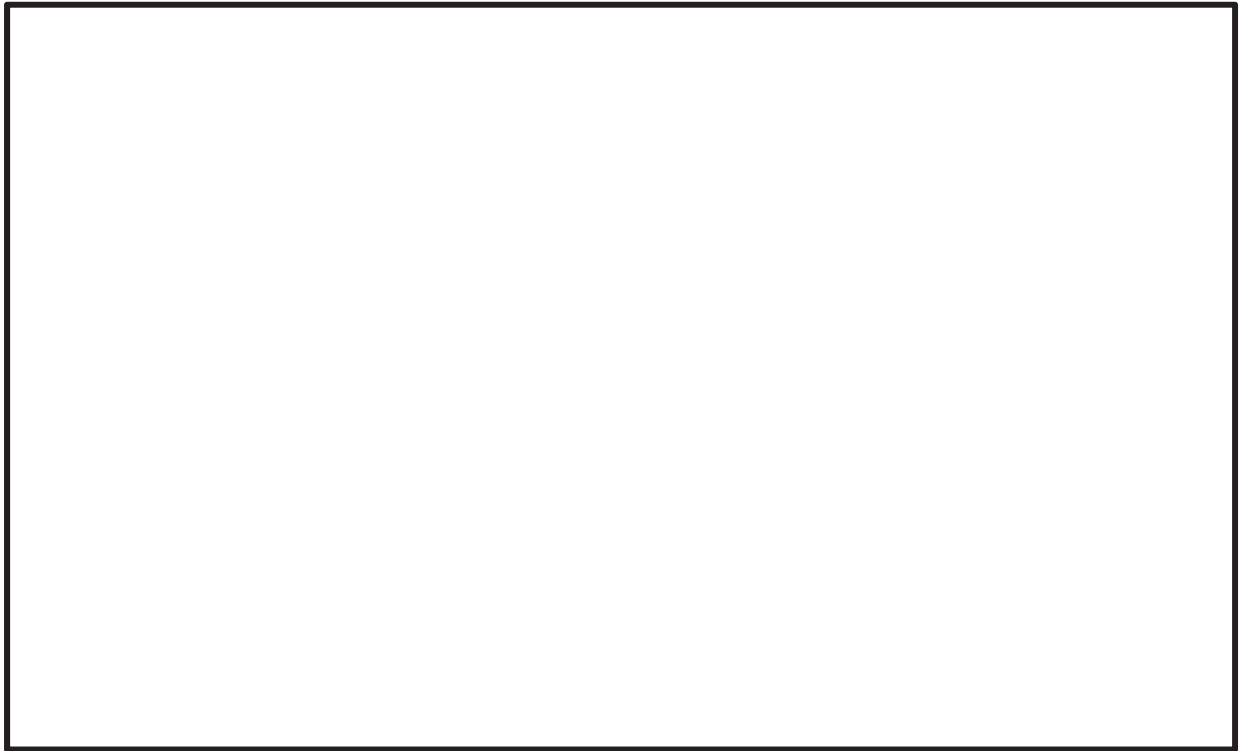


図 1-17 原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデルの境界条件

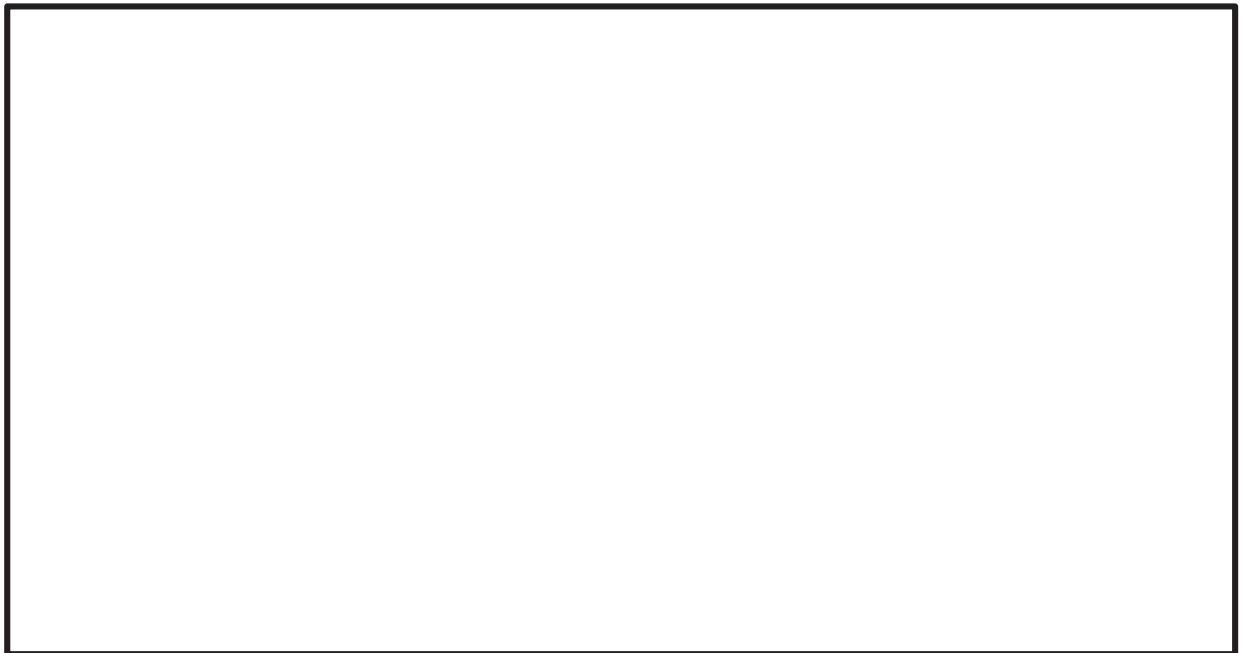
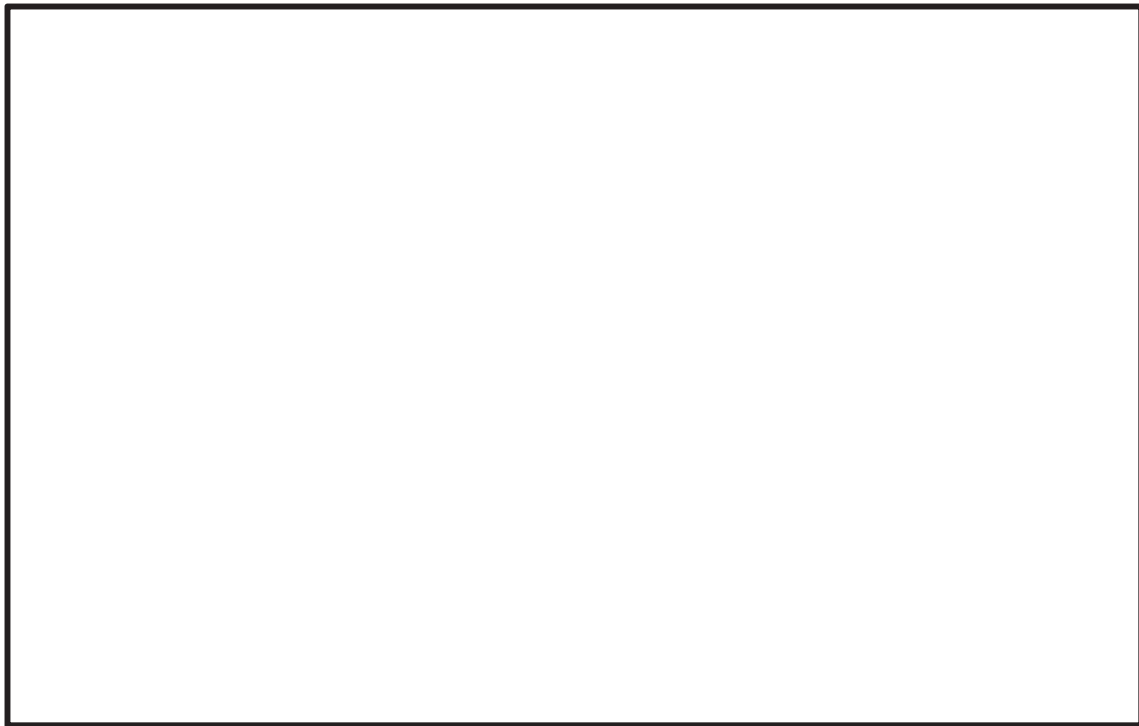


図 1-18 原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデル図 (1/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。





(単位：mm)

注記\* : 要素のメッシュを細分化している範囲について、試解析を複数回実施し、変形やひずみが大きくなる範囲を設定している。

図 1-18 原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデル図 (2/3)



(単位：mm)

図 1-18 原子炉建屋 CR 階外壁の解析モデル図 (3/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ロ. 原子炉建屋屋根スラブ

原子炉建屋屋根スラブのモデル化範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、スラブを構成する鉄筋コンクリート及びデッキプレートとする。解析モデルは対称性を考慮して1/4モデルとする。コンクリートはソリッド要素、鉄筋は棒要素、デッキプレートはシェル要素でモデル化する。なお、デッキプレートはコンクリートと固着とする。原子炉建屋屋根スラブの解析モデルの境界条件を表1-12及び図1-19に、解析モデル図を図1-20に示す。

表 1-12 原子炉建屋屋根スラブの解析モデルの境界条件

項目		境界条件
原子炉建屋 屋根スラブ	屋根スラブ端部	対称境界部：対称境界 短辺：X軸回転方向のみ自由 長辺：Y軸回転方向のみ自由 隅角部：完全拘束

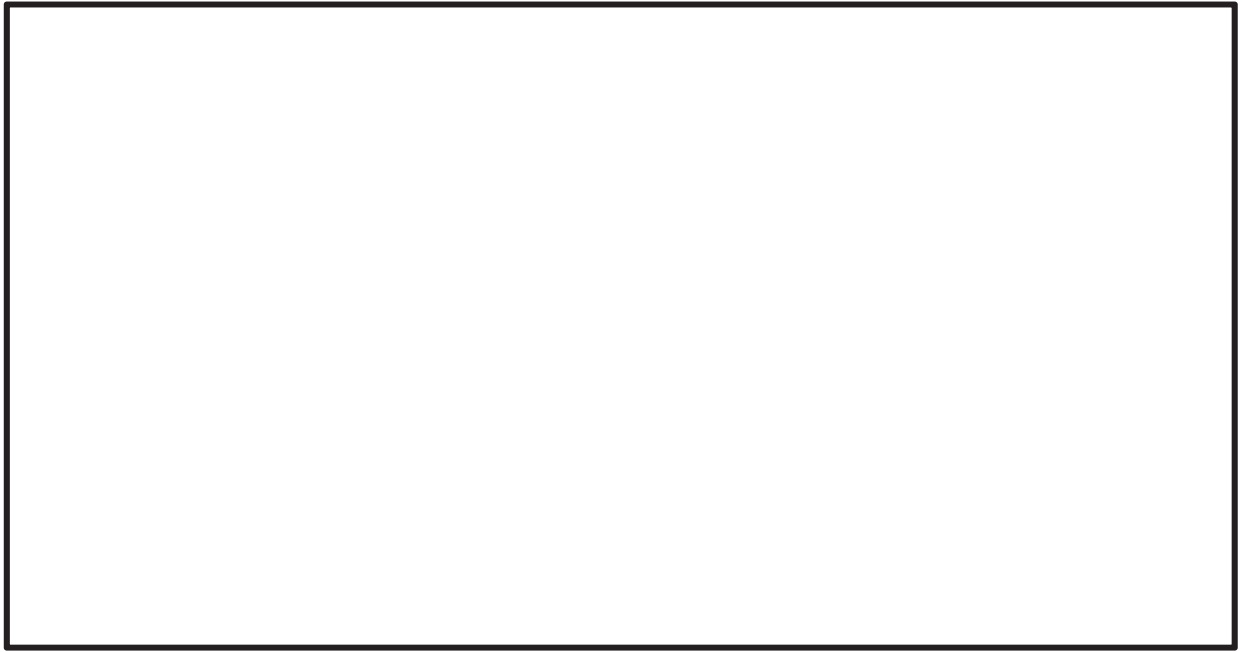
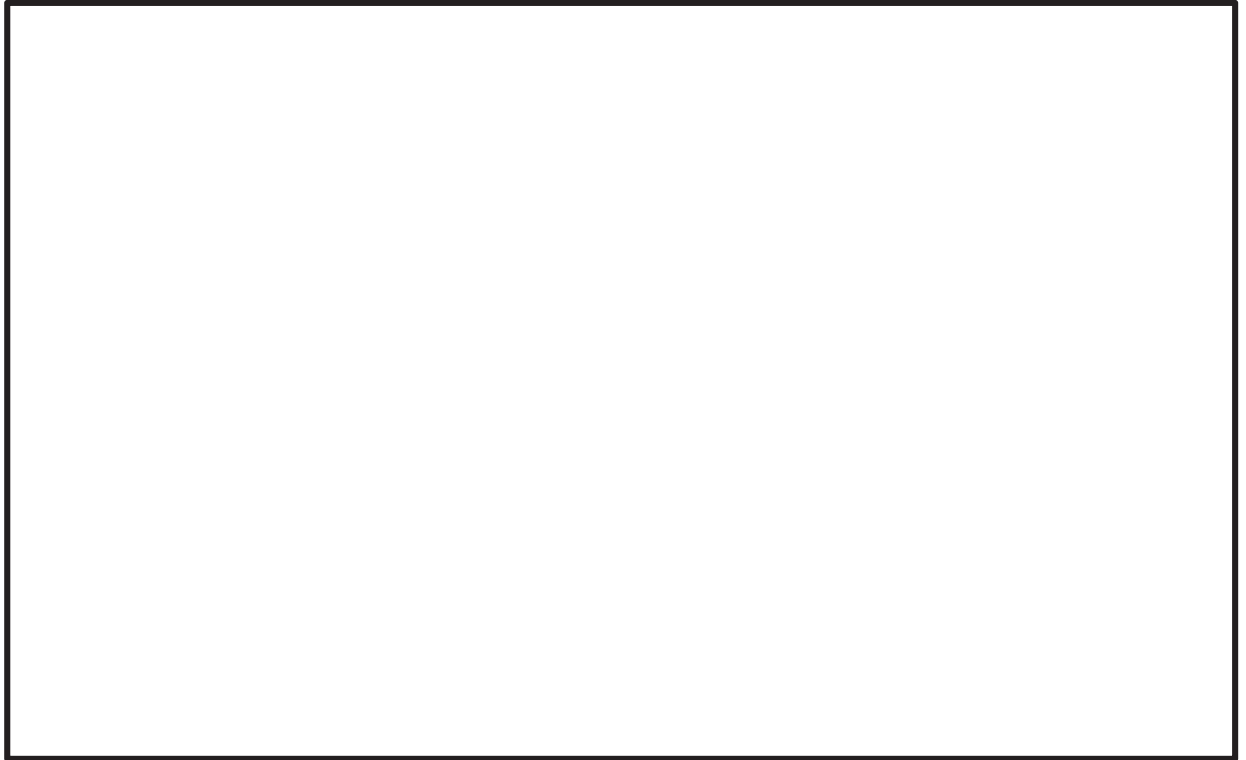


図 1-19 原子炉建屋屋根スラブの解析モデルの境界条件



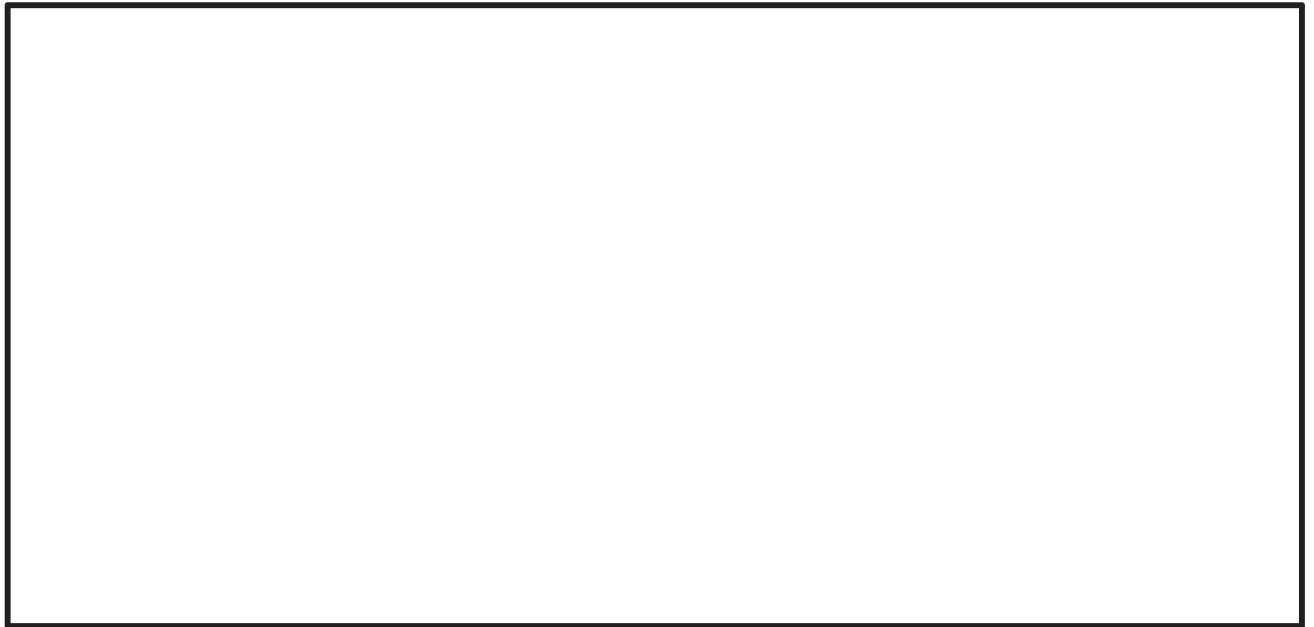
図 1-20 原子炉建屋屋根スラブの解析モデル図 (1/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(単位：mm)

図 1-20 原子炉建屋屋根スラブの解析モデル図 (2/3)



(単位：mm)

注記\* : 要素のメッシュを細分化している範囲について、試解析を複数回実施し、変形やひずみが大きくなる範囲を設定している。

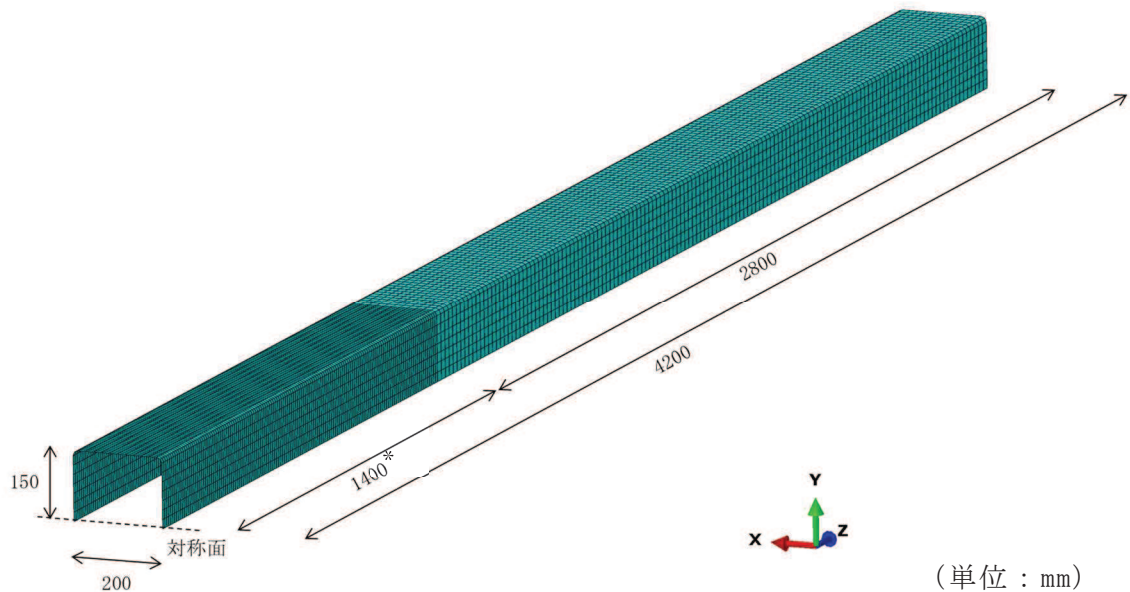
図 1-20 原子炉建屋屋根スラブの解析モデル図 (3/3)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ハ. 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材はシェル要素でモデル化する。衝突面側 1.4m の部分は要素サイズ 10mm を基本とし，以降の 2.8m は 20mm を基本としてモデル化する。

原子炉建屋 CR 階外壁用 1/2 モデルの設計飛来物モデルを図 1-21 に示す。



注記\* : 要素のメッシュを細分化している範囲について，試解析を複数回実施し，変形やひずみが大きくなる範囲を設定している。

図 1-21 設計飛来物の解析モデル図 (1/2 モデル)

(b) 材料定数

コンクリート，鉄筋及びデッキプレート の材料定数を表 1-13～表 1-15 に示す。設計飛来物の材料定数については，「1.3.3 荷重及び荷重の組合せ」の表 1-6 に示すとおり設定する。

表 1-13 コンクリートの材料定数

評価対象部位	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
原子炉建屋 CR 階外壁	32.4	25100	0.2	23
原子炉建屋 屋根スラブ				

表 1-14 鉄筋の材料定数

評価対象部位	種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
原子炉建屋 CR 階外壁	SD345	345	205000	0.3	77.0
原子炉建屋 屋根スラブ					

表 1-15 デッキプレートの材料定数

評価対象部位	種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
原子炉建屋 CR 階外壁	SS400	245	205000	0.3	77.0
原子炉建屋 屋根スラブ					

(c) 材料の非線形特性

コンクリートの応力-ひずみ関係は、コンクリートの特性を踏まえて圧縮側を 3 折れ線、引張側を 2 折れ線で近似する。コンクリートの圧縮強度には、NEI07-13 に基づき、動的増加率 1.25 を考慮する。コンクリートの圧縮強度及び引張強度を表 1-16 に示す。

鉄筋の応力-ひずみ関係は、第 1 折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第 2 折れ点を「引張強度-破断ひずみ」とするトリリニア型とする。鉄筋の破断ひずみは、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定する。降伏応力及び引張強度には、NEI07-13 に基づき、動的増加率（降伏応力：1.10、引張強度：1.05）を考慮する。TF（多軸性係数）については、鉄筋が一軸の部材であることを踏まえて□とする。

デッキプレートの応力-ひずみ関係は、第 1 折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第 2 折れ点を「引張強度-破断ひずみ」とするトリリニア型とする。降伏応力及び引張強度には、NEI07-13 に基づき、動的増加率（降伏応力：1.29、引張強度：1.10）を考慮する。デッキプレートの破断ひずみは、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定する。TF（多軸性係数）については、デッキプレートが薄板で構成される部材であることを踏まえて、NEI07-13 に基づき□とする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

飛来物である鋼製材の応力-ひずみ関係は、第1折れ点を「降伏応力-降伏ひずみ」、第2折れ点を「引張強度-破断ひずみ」とするトリリニア型とする。鋼製材の破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定する。鋼製材については変形速度が大きいため、時々刻々と変化するひずみ速度の効果を考慮し、次に示すCowper-Symondsの式を適用する。

$$\sigma_D = \sigma_s \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right\}$$

ここで、 $\sigma_D$ は動的応力、 $\sigma_s$ は静的応力、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度、C及びPはひずみ速度依存性パラメータを表す。

鉄筋、デッキプレート及び鋼製材の降伏強度及び引張強度を表1-17に示す。コンクリートの圧縮応力-圧縮ひずみ関係及び引張応力-ひび割れ幅関係並びに、鉄筋、デッキプレート及び鋼製材の応力-ひずみ関係をそれぞれ図1-22～図1-25に示す。

また、鋼製材のひずみ速度依存性パラメータを表1-18に示す。

表1-16 コンクリートの圧縮強度及び引張強度

評価対象部位	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	材料モデル	
		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
原子炉建屋 CR階外壁	32.4	40.5	3.24
原子炉建屋 屋根スラブ			

表1-17 鉄筋、デッキプレート及び鋼製材の降伏強度及び引張強度

種別	材質	規格値（公称応力）		材料モデル（真応力，真ひずみ）		
		降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破断 塑性ひずみ (-)
鉄筋	SD345	345	490	380	606	
デッキ プレート	SS400	245	400	316	485	
鋼製材	SS400	245	400	245	483	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

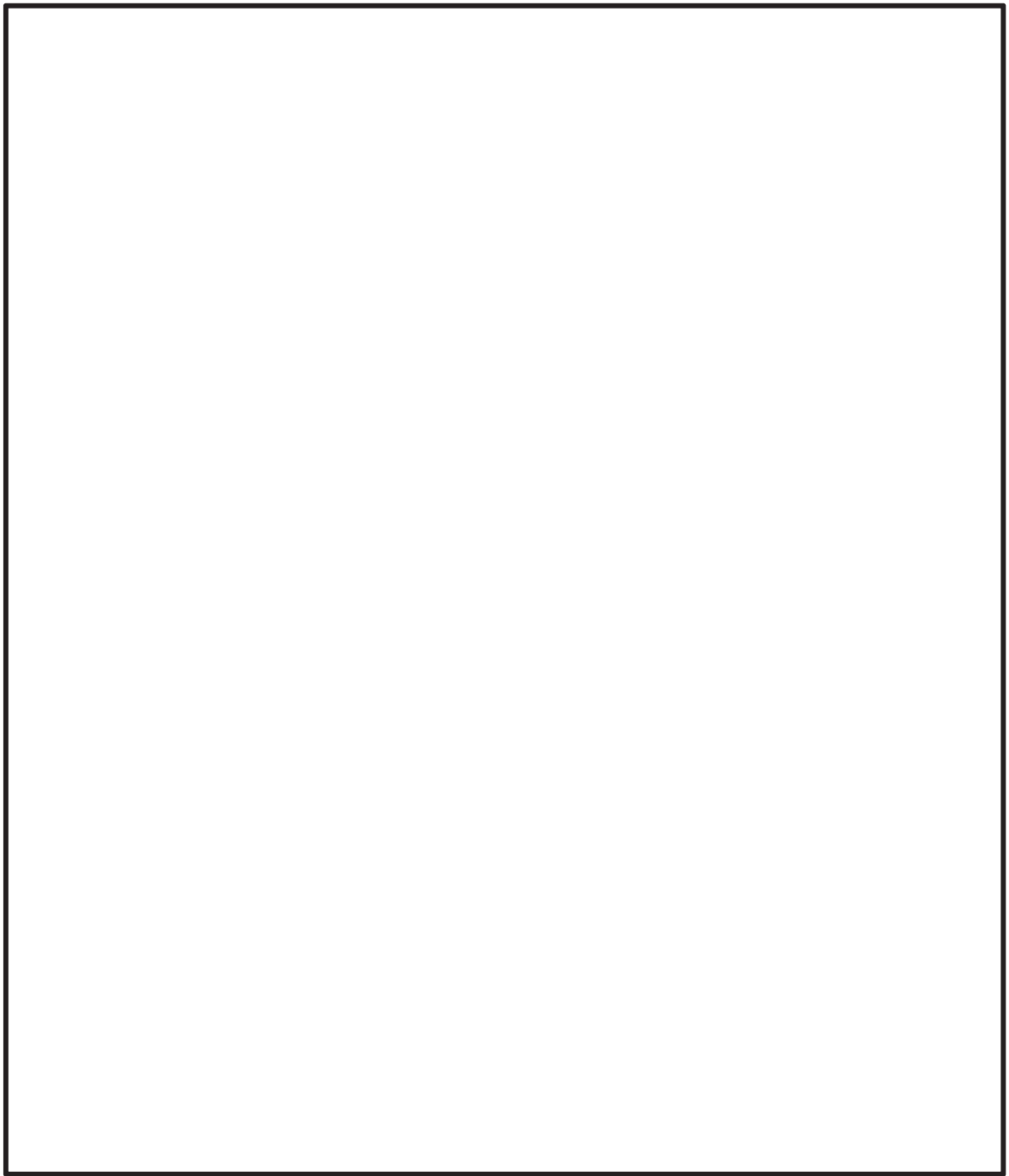


図 1-22 圧縮応力-圧縮ひずみ及び引張応力-ひび割れ幅関係 (コンクリート)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



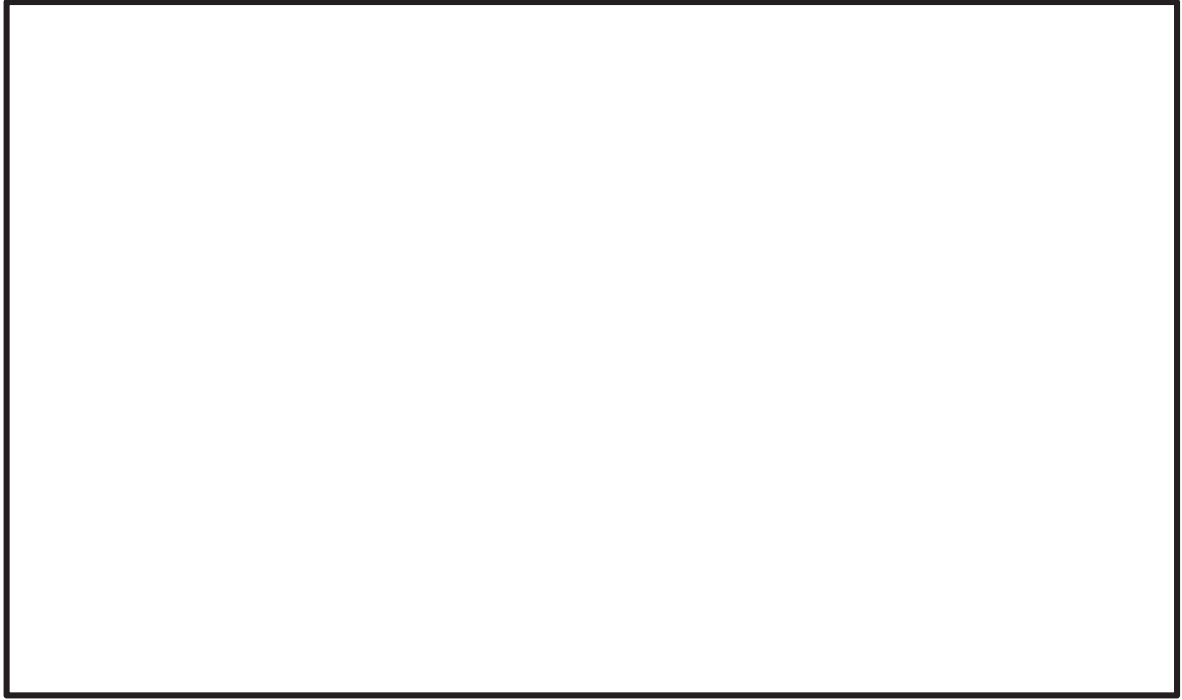


図 1-23 応力-ひずみ関係 (鉄筋)

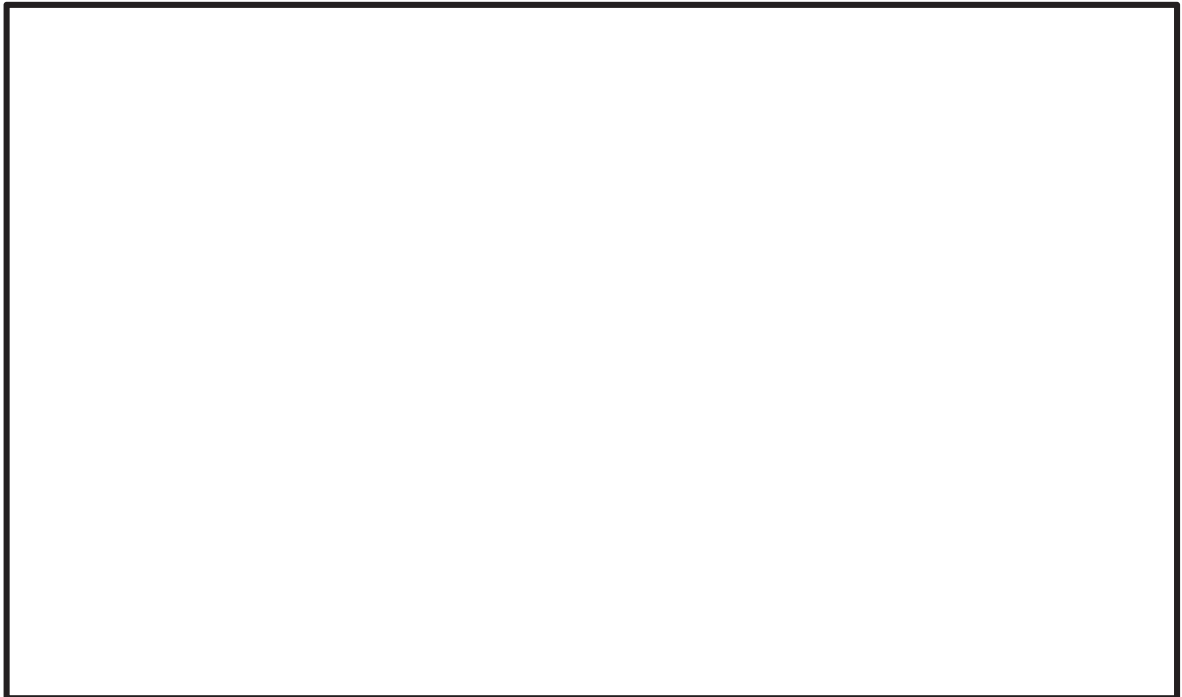


図 1-24 応力-ひずみ関係 (デッキプレート)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

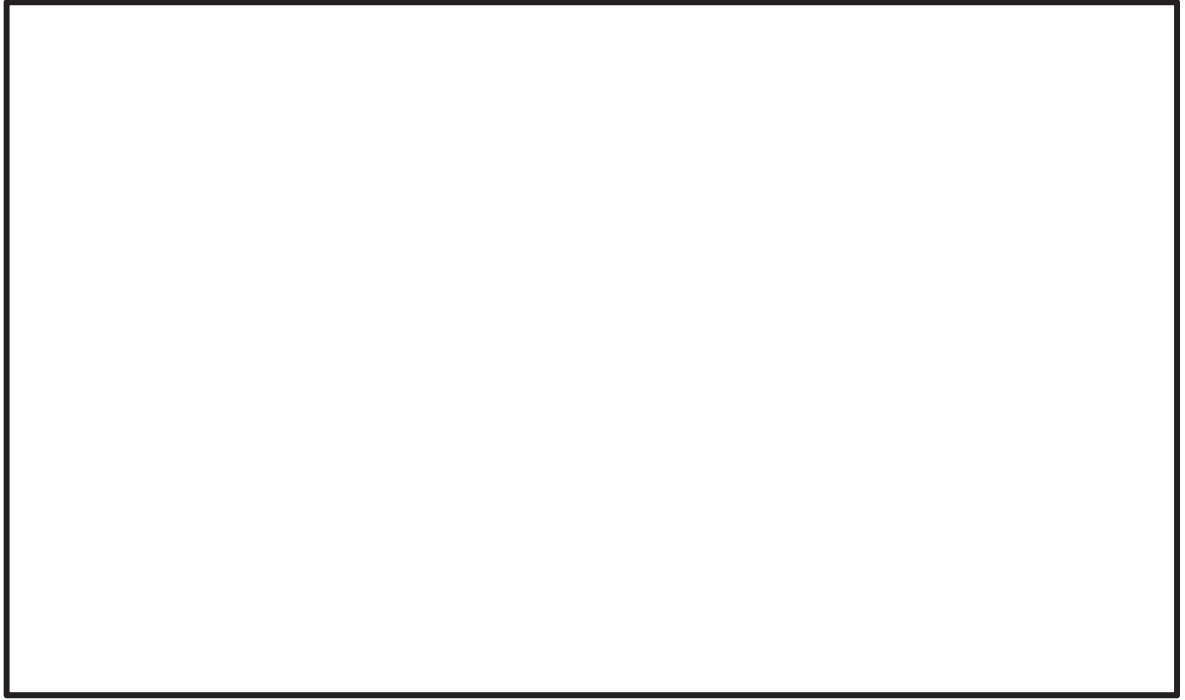


図 1-25 応力-ひずみ関係 (鋼製材)

表 1-18 ひずみ速度依存性パラメータ

	鋼製材
材料	SS400
C (s <sup>-1</sup> )	
P	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 変形評価

a. 耐震壁，鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の耐震壁に生じるひずみ並びにタービン建屋の鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構に生じる変形は，設計荷重による建屋のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）を用いて算定する。

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の地震応答解析モデル図を図 1-26～図 1-28 に，せん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）を表 1-19～表 1-24 に示す。原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋のせん断スケルトン曲線（ $\tau - \gamma$ 関係）は，添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」，添付書類「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性についての計算書」及び添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に示すものを用いる。

ただし，設計荷重による変形量の算定では，地盤と建屋の相互作用の影響は小さいと考えられることから，地盤ばねは考慮せず，1 階床位置で固定と仮定とする。

$E_c = 1.99 \times 10^4$ N/mm <sup>2</sup>
$7.94 \times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> (燃料取替床上部)
$2.52 \times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$ N/mm <sup>2</sup>
$3.41 \times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> (燃料取替床上部)
$1.05 \times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$ N/mm <sup>2</sup> (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> (追設ブレース)

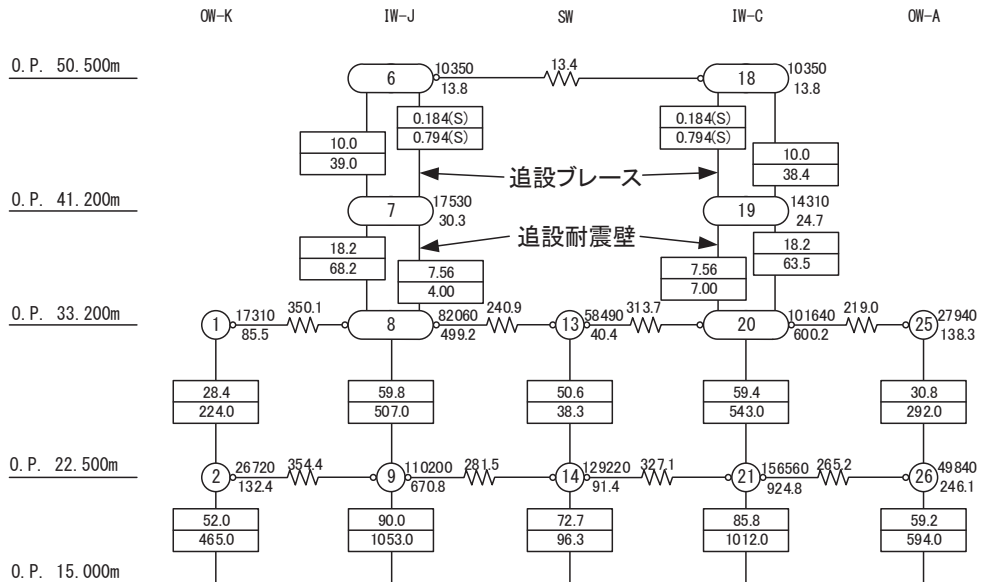
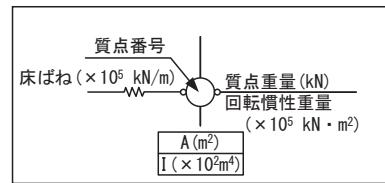


図 1-26 原子炉建屋の地震応答解析モデル図 (NS 方向) (1/2)

$E_c = 2.12 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
1.32 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> (燃料取替床上部)
2.52 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> (追設耐震壁)
$G_c = 9.10 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
5.69 × 10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> (燃料取替床上部)
1.05 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> (追設耐震壁)

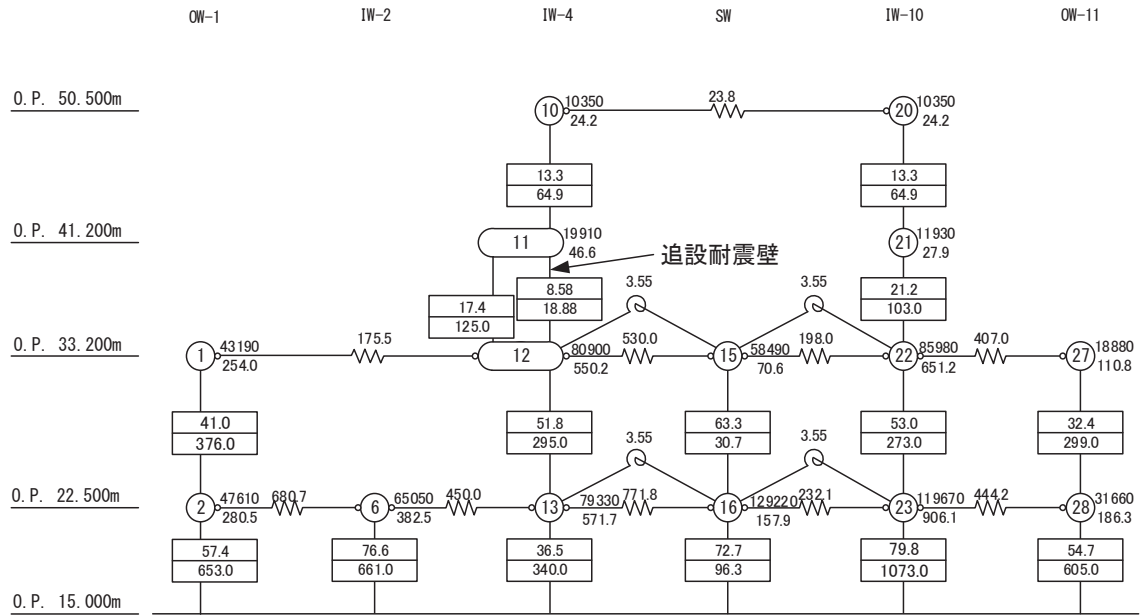
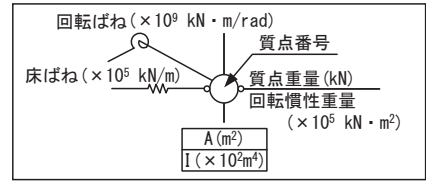


図 1-26 原子炉建屋の地震応答解析モデル図 (EW 方向) (2/2)

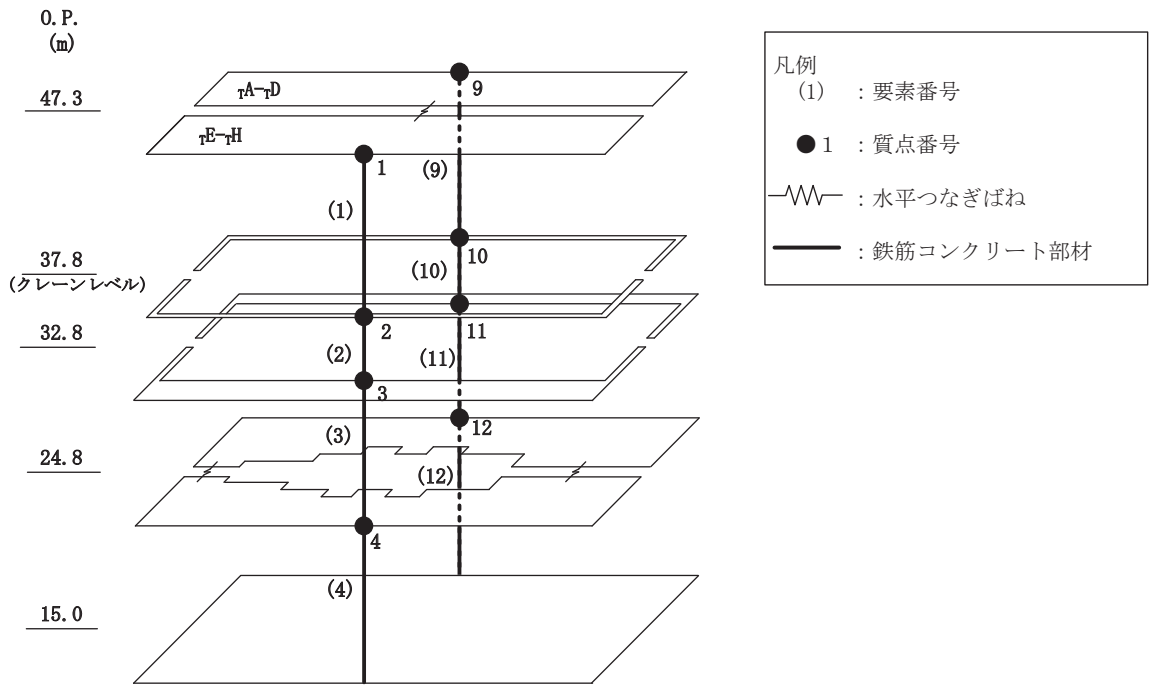


図 1-27 タービン建屋の地震応答解析モデル図 (NS 方向) (1/2)

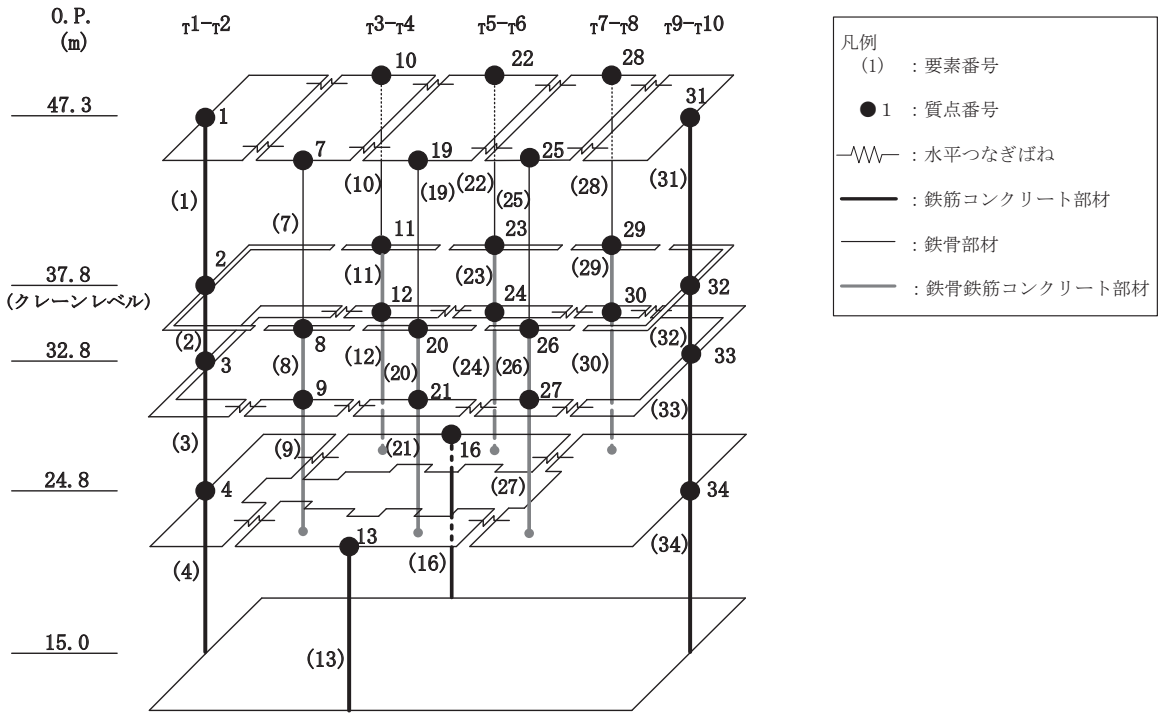


図 1-27 タービン建屋の地震応答解析モデル図 (EW 方向) (2/2)

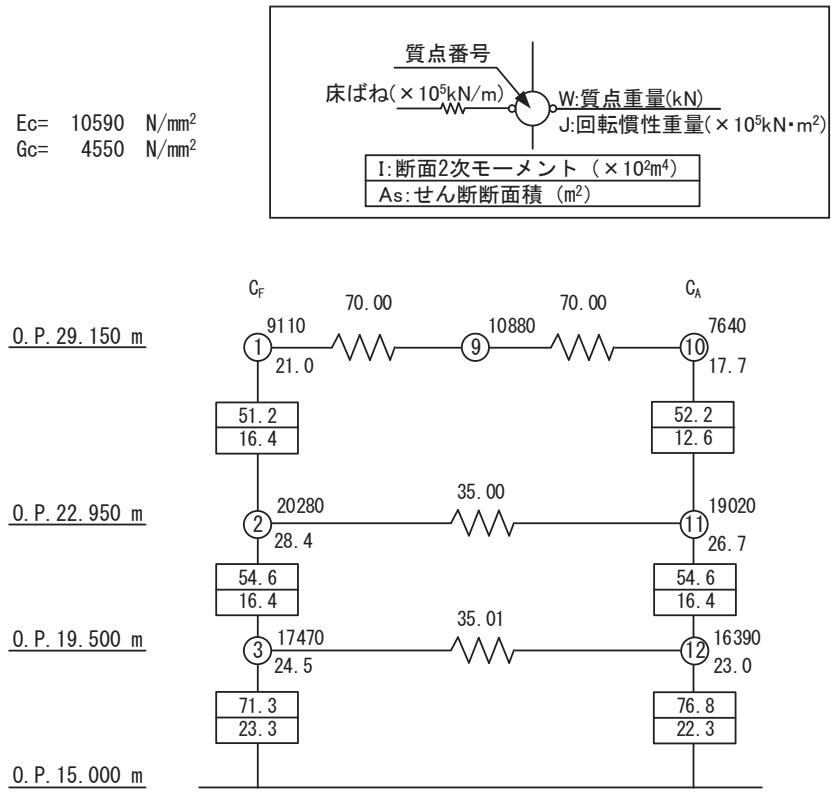


図 1-28 制御建屋の地震応答解析モデル図 (NS 方向) (1/2)



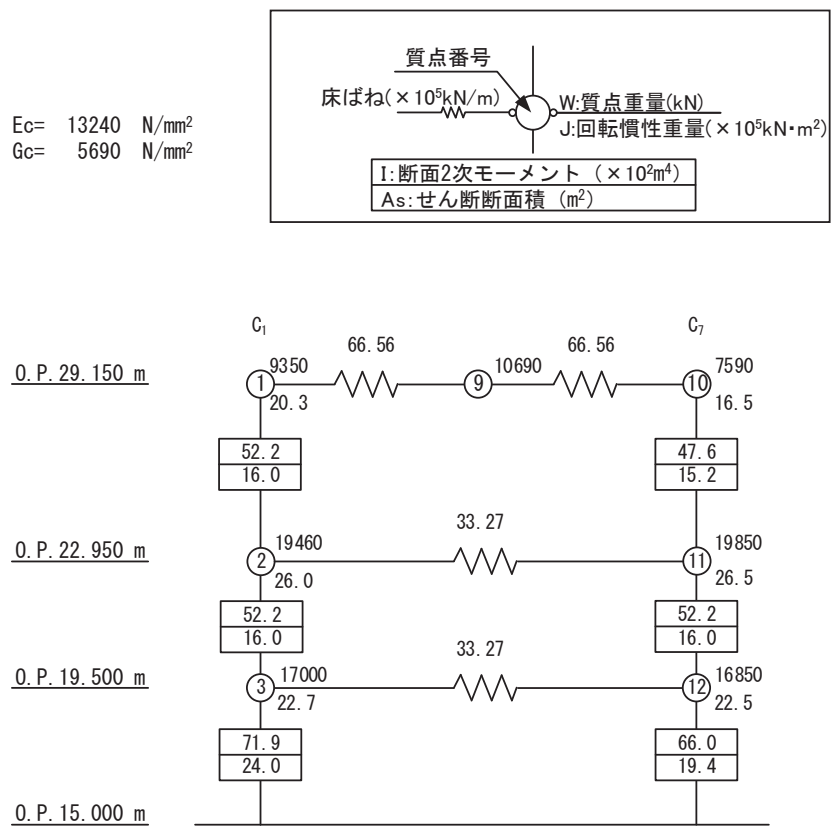


図 1-28 制御建屋の地震応答解析モデル図 (EW 方向) (2/2)

表 1-19 原子炉建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向) (1/2)

OW-K

0. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.14	2.68	6.44	0.250	0.523	4.00
22.5 ~ 15.0	2.22	2.79	6.44	0.260	0.544	4.00

IW-J

0. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
50.5 ~ 41.2	3.08	—	6.54	0.902	—	4.00
41.2 ~ 33.2 (追設)	1.83	2.47	4.43	0.174	0.523	4.00
41.2 ~ 33.2	3.05	—	6.37	0.894	—	4.00
33.2 ~ 22.5	2.26	2.83	6.46	0.265	0.553	4.00
22.5 ~ 15.0	2.37	2.97	6.53	0.278	0.581	4.00

SW

0. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.10	2.63	5.52	0.246	0.513	4.00
22.5 ~ 15.0	2.46	3.08	5.84	0.288	0.602	4.00

表 1-19 原子炉建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向) (2/2)

IW-C

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
50.5 ~ 41.2	3.08	—	6.54	0.902	—	4.00
41.2 ~ 33.2 (追設)	1.83	2.47	4.43	0.174	0.523	4.00
41.2 ~ 33.2	3.06	—	6.38	0.897	—	4.00
33.2 ~ 22.5	2.30	2.88	6.48	0.269	0.563	4.00
22.5 ~ 15.0	2.48	3.11	6.58	0.291	0.607	4.00

OW-A

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.19	2.75	6.44	0.257	0.537	4.00
22.5 ~ 15.0	2.31	2.90	6.47	0.271	0.567	4.00

表 1-20 原子炉建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW 方向) (1/2)

OW-1

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.15	2.75	6.21	0.237	0.537	4.00
22.5 ~ 15.0	2.33	2.97	6.47	0.256	0.581	4.00

IW-2

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
22.5 ~ 15.0	2.20	2.81	6.65	0.242	0.550	4.00

IW-4

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
50.5 ~ 41.2	2.49	2.65	6.28	0.438	0.517	4.00
41.2 ~ 33.2 (追設)	1.83	2.47	4.09	0.175	0.524	4.00
41.2 ~ 33.2	2.51	2.67	6.29	0.442	0.521	4.00
33.2 ~ 22.5	2.27	2.90	6.07	0.249	0.566	4.00
22.5 ~ 15.0	2.56	3.27	5.96	0.281	0.639	4.00

表 1-20 原子炉建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW 方向) (2/2)

SW

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.06	2.63	5.94	0.226	0.513	4.00
22.5 ~ 15.0	2.41	3.08	6.33	0.265	0.602	4.00

IW-10

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
50.5 ~ 41.2	2.49	2.65	6.28	0.438	0.517	4.00
41.2 ~ 33.2	2.48	2.64	6.32	0.436	0.515	4.00
33.2 ~ 22.5	2.23	2.85	6.11	0.245	0.557	4.00
22.5 ~ 15.0	2.37	3.04	6.50	0.261	0.593	4.00

OW-11

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
33.2 ~ 22.5	2.09	2.67	6.47	0.229	0.521	4.00
22.5 ~ 15.0	2.20	2.81	6.45	0.242	0.550	4.00

表 1-21 タービン建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

$\tau E - \tau H$

0. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.80	—	5.77	0.822	—	4.00
37.8 ~ 32.8	3.47	—	6.49	1.02	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.76	—	5.86	0.810	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.95	—	5.07	0.740	—	4.00

$\tau A - \tau D$

0. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.80	—	5.77	0.822	—	4.00
37.8 ~ 32.8	3.47	—	6.49	1.02	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.73	—	5.81	0.799	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.88	—	4.60	0.723	—	4.00

表 1-22 タービン建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW 方向)

$\tau 1-\tau 2$

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.63	—	5.95	0.662	—	4.00
37.8 ~ 32.8	2.96	—	6.44	0.744	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.83	—	6.44	0.710	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.82	—	5.88	0.621	—	4.00

$\tau 3-\tau 6$  ( $\tau H$  側)

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
24.8 ~ 15.0	2.79	—	3.85	0.613	—	4.00

$\tau 3-\tau 6$  ( $\tau A$  側)

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
24.8 ~ 15.0	2.81	—	3.52	0.617	—	4.00

$\tau 9-\tau 10$

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
47.3 ~ 37.8	2.63	—	5.95	0.662	—	4.00
37.8 ~ 32.8	2.96	—	6.43	0.743	—	4.00
32.8 ~ 24.8	2.76	—	6.01	0.694	—	4.00
24.8 ~ 15.0	2.87	—	5.49	0.631	—	4.00

表 1-23 制御建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (NS 方向)

CF

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.68	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00

CA

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 22.95	2.65	—	5.71	0.583	—	4.00
22.95 ~ 19.50	2.84	—	6.56	0.623	—	4.00
19.50 ~ 15.00	2.83	—	6.62	0.621	—	4.00

表 1-24 制御建屋のせん断スケルトン曲線 ( $\tau - \gamma$  関係) (EW 方向)

C1

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.70	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.60	0.446	0.527	4.00

C7

O. P. (m)	$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 22.95	2.41	2.56	5.68	0.423	0.500	4.00
22.95 ~ 19.50	2.55	2.71	6.56	0.448	0.529	4.00
19.50 ~ 15.00	2.54	2.70	6.61	0.446	0.527	4.00



設計荷重のうち、風圧力による荷重 $W_w$ は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 $W_p$ は、建屋の内部から外部に作用し、建屋の層全体の評価においては相殺される荷重であるが、保守的に風圧力による荷重 $W_w$ と同じ方向に作用すると見なす。

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は、各建屋の最上部に作用させる。地震応答解析モデルが多軸の場合には、各軸最上部の質点に $W_M$ を分配して評価する。衝撃荷重は、次式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製材の衝撃荷重 $W_M=1466\text{kN}$ を用いて評価する。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t / 1000 = m \cdot V^2 / L_1 / 1000$$

b. スタッド

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の屋根スラブについて，風圧力による荷重 $W_w$ ，気圧差による荷重 $W_p$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ によってスタッドに生じる引張力を算定し，許容限界を超えないことを確認する。スタッドに作用する引張力は，単位幅の屋根スラブに生じるせん断力を当該範囲のスタッドが均等に負担するものとして評価する。

スタッドに発生する引張力 $T$ の算定式を以下に示す。また，スタッドに作用する荷重の概要を図1-29に示す。

スタッド1本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

ここで， $Q = \omega_T \cdot L$

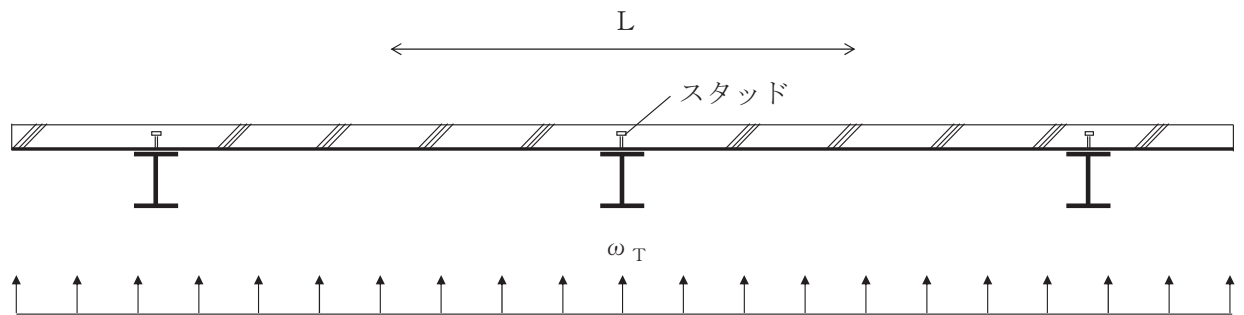


図1-29 スタッドに作用する荷重の概要

スタッドの許容引張力は「日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説」に準拠し，スタッドの降伏により定まる場合の許容引張力 $p_{a1}$ ，定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合の許容引張力 $p_{a2}$ ，コンクリートの支圧破壊により定まる場合の許容引張力 $p_{a3}$ のうち，最も小さい値とする。スタッドの許容引張力 $p_a$ の算定式を以下に示す。

$$p_a = \text{Min} \{ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} \}$$

$$\text{ここで，} \quad p_{a1} = \Phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot a_c \cdot a / 1000$$

$$p_{a2} = \Phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c / 1000$$

$$p_{a3} = f_n \cdot A_0 / 1000$$

## 1.4 評価条件

### 1.4.1 貫通評価

#### (1) 式による評価

貫通評価において、各施設の壁、スラブ及び頂版の貫通評価に用いる入力値を表 1-25 に示す。

表 1-25 貫通評価に用いる入力値 (1/2)

(原子炉建屋，制御建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室 (H))

記号	単位	定義		数値
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W / d^3$ )		$6.39 \times 10^{-3}$
d	cm	設計飛来物直径		27.6
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	壁面，スラブ	330
			頂版	240
N	—	設計飛来物の形状係数		1.14
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)	46.6
		スラブ，頂版	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)	16.7
W	kgf	設計飛来物重量		135
α <sub>e</sub>	—	低減係数		1.0

表 1-25 貫通評価に用いる入力値 (2/2)

(タービン建屋)

記号	単位	定義		数値
D	kgf/cm <sup>3</sup>	設計飛来物直径密度 ( $D = W / d^3$ )		$6.39 \times 10^{-3}$
d	cm	設計飛来物直径		27.6
F <sub>c</sub>	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	壁面，スラブ	330
N	—	設計飛来物の形状係数		1.14
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)	46.6
		スラブ	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)	32.9
W	kgf	設計飛来物重量		135
α <sub>e</sub>	—	低減係数		1.0

### 1.4.2 裏面剥離評価

#### (1) 式による評価

裏面剥離評価において、各施設の壁、スラブ及び頂版の裏面剥離評価に用いる入力値を表 1-26 に示す。

表 1-26 裏面剥離評価に用いる入力値 (1/2)  
(原子炉建屋, 制御建屋, 軽油タンク室及び軽油タンク室 (H))

記号	単位	定義		数値
d	cm	設計飛来物直径		27.6
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	壁面, スラブ	330
			頂版	240
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)	46.6
		スラブ, 頂版	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)	16.7
$V_0$	m/s	飛来物基準速度		60.96
W	kgf	設計飛来物重量		135
$\alpha_s$	—	低減係数		1.0

表 1-26 裏面剥離評価に用いる入力値 (2/2)  
(タービン建屋)

記号	単位	定義		数値
d	cm	設計飛来物直径		27.6
$f_c'$	kgf/cm <sup>2</sup>	コンクリートの設計基準強度	壁面, スラブ	330
			スラブ	32.9
V	m/s	壁面	設計飛来物の衝突速度 (水平)	46.6
		スラブ	設計飛来物の衝突速度 (鉛直)	32.9
$V_0$	m/s	飛来物基準速度		60.96
W	kgf	設計飛来物重量		135
$\alpha_s$	—	低減係数		1.0

#### (2) 原子炉建屋の CR 階外壁及び屋根スラブに対する衝突解析

原子炉建屋の CR 階外壁及び屋根スラブの裏面剥離評価における衝突解析は、屋根スラブの最大変形が生じると想定される評価対象の中央部に衝突するケースを設定する。

解析ケースを図 1-30 及び図 1-31 に示す。

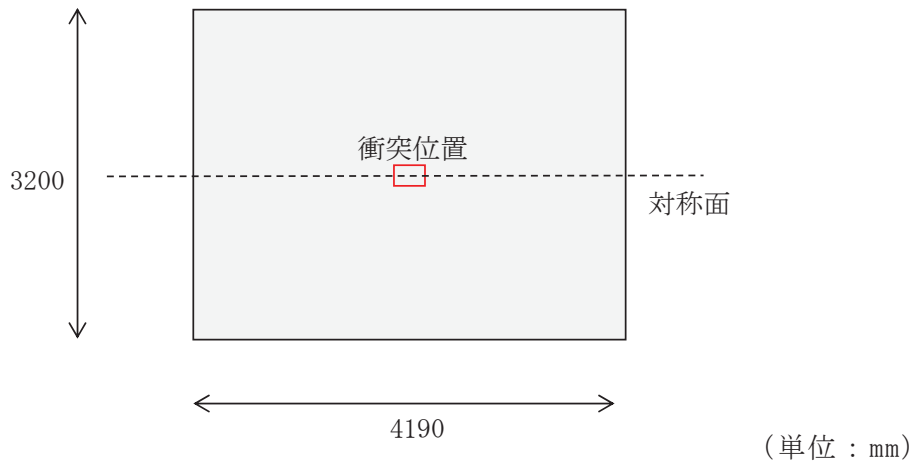


図 1-30 解析ケース (原子炉建屋 CR 階外壁)

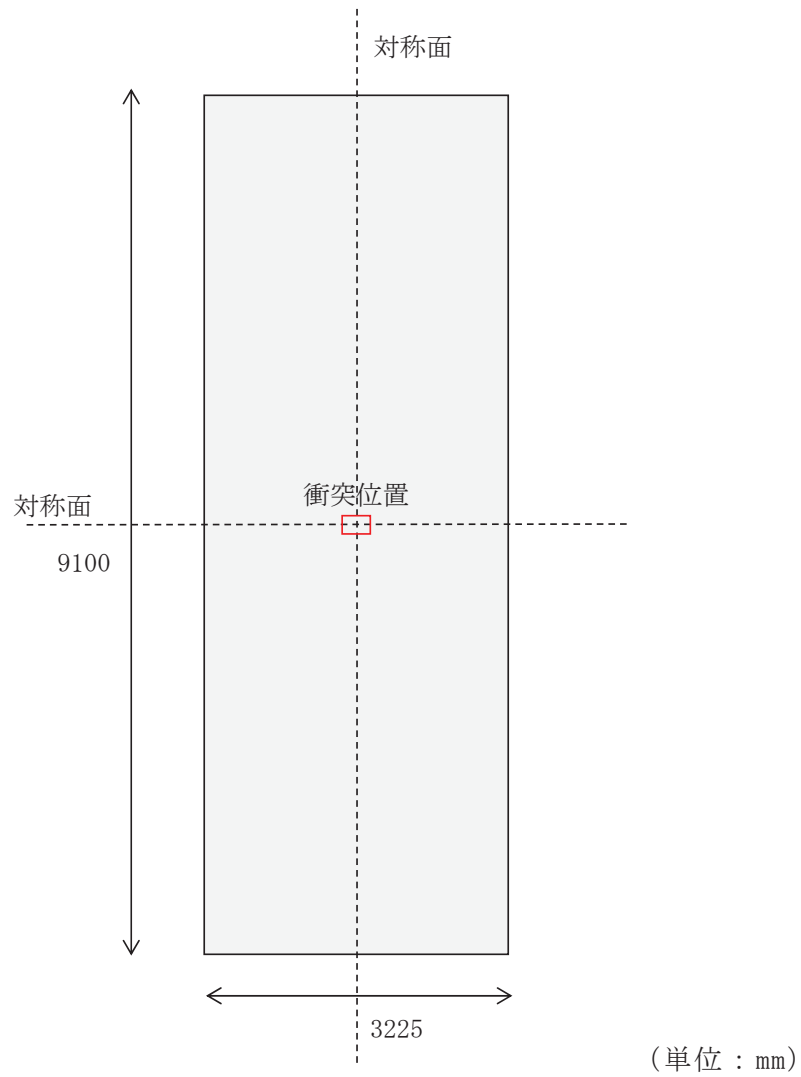


図 1-31 解析ケース (原子炉建屋屋根スラブ)

### 1.4.3 変形評価

#### (1) 耐震壁，鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の耐震壁並びにタービン建屋の鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構の変形評価に用いる条件を表 1-27～表 1-30 に示す。

表 1-27 設計飛来物による衝撃荷重の評価条件

記号	定義	数値	単位
$L_1$	設計飛来物の最も短い辺の全長	0.2	m
m	設計飛来物質量	135	kg
V	設計飛来物の衝突速度（水平）	46.6	m/s

表 1-28 原子炉建屋の変形評価の評価条件

O.P. (m)	位置	風力係数 $C^*$	受圧面積 A ( $m^2$ )	
			NS 方向	EW 方向
50.5～41.2	風上	1.0	559	429
	風下	1.0		
41.2～33.2	風上	1.0	511	361
	風下	1.0		
33.2～22.5	風上	1.0	872	920
	風下	1.0		
22.5～15.0	風上	1.0	665	725
	風下	1.0		

注記\* : 風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表 1-29 タービン建屋の変形評価の評価条件

O. P. (m)	位置	風力係数 C *	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			NS 方向	EW 方向
47.3~37.8	風上	1.0	484	1041
	風下	1.0		
37.8~32.8	風上	1.0	225	483
	風下	1.0		
32.8~24.8	風上	1.0	475	773
	風下	1.0		
24.8~15.0	風上	1.0	578	964
	風下	1.0		

注記\* : 風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表 1-30 制御建屋の変形評価の評価条件

O. P. (m)	位置	風力係数 C *	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			NS 方向	EW 方向
29.15~22.95	風上	1.0	370	411
	風下	1.0		
22.95~19.50	風上	1.0	145	155
	風下	1.0		
19.50~15.00	風上	1.0	189	202
	風下	1.0		

注記\* : 風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

(2) スタッド

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の屋根スラブのスタッドの変形評価に用いる条件を表 1-31 に示す。

表 1-31 スタッドの変形評価の評価条件 (1/3)  
(原子炉建屋)

記号	定義	数値	単位
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	34333	$\text{mm}^2$
$A_0$	スタッド頭部の支圧面積	459	$\text{mm}^2$
$a_c a$	スタッドの断面積で，軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	201	$\text{mm}^2$
$D$	スタッドの頭部直径	29	mm
$d$	スタッドの軸部直径	16	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	32.4	$\text{N}/\text{mm}^2$
$f_n$	コンクリートの支圧強度	194	$\text{N}/\text{mm}^2$
$l_e$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	92	mm
$p_a$	スタッド 1 本あたりの許容引張力	40.3	kN
$p_{a1}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	47.2	kN
$p_{a2}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド 1 本あたりの許容引張力	40.3	kN
$p_{a3}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド 1 本あたりの許容引張力	89.3	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリート引張強度	1.76	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\Phi_1$	低減係数	1.0	—
$\Phi_2$	低減係数	0.667	—
$p$	スタッドの間隔	200	mm
$T$	スタッドに生じる引張力	2.6	kN



表 1-31 スタッドの変形評価の評価条件 (2/3)  
(タービン建屋)

記号	定義	数値	単位
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	34014	$\text{mm}^2$
$A_0$	スタッド頭部の支圧面積	459	$\text{mm}^2$
$a_c a$	スタッドの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	201	$\text{mm}^2$
$D$	スタッドの頭部直径	29	mm
$d$	スタッドの軸部直径	16	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	32.4	$\text{N/mm}^2$
$f_n$	コンクリートの支圧強度	194	$\text{N/mm}^2$
$l_e$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	92	mm
$p_a$	スタッド1本あたりの許容引張力	39.9	kN
$p_{a1}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力	47.2	kN
$p_{a2}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力	39.9	kN
$p_{a3}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド1本あたりの許容引張力	89.3	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリート引張強度	1.76	$\text{N/mm}^2$
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	$\text{N/mm}^2$
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	$\text{N/mm}^2$
$\Phi_1$	低減係数	1.0	—
$\Phi_2$	低減係数	0.667	—
$p$	スタッドの間隔	200	mm
$T$	スタッドに生じる引張力	1.5	kN

表 1-31 スタッドの変形評価の評価条件 (3/3)  
(制御建屋)

記号	定義	数値	単位
$A_c$	コーン状破壊面の有効投影面積	34972	$\text{mm}^2$
$A_0$	スタッド頭部の支圧面積	459	$\text{mm}^2$
$a_c a$	スタッドの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	201	$\text{mm}^2$
$D$	スタッドの頭部直径	29	mm
$d$	スタッドの軸部直径	16	mm
$F_c$	コンクリートの設計基準強度	32.4	$\text{N}/\text{mm}^2$
$f_n$	コンクリートの支圧強度	194	$\text{N}/\text{mm}^2$
$l_e$	スタッドのコンクリート内への有効埋込み長さ	92	mm
$p_a$	スタッド1本あたりの許容引張力	41.0	kN
$p_{a1}$	スタッド鋼材の降伏により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力	47.2	kN
$p_{a2}$	定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のスタッド1本あたりの許容引張力	41.0	kN
$p_{a3}$	コンクリートの支圧破壊により定まるスタッド1本あたりの許容引張力	89.3	kN
$c \sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリート引張強度	1.76	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$s \sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	$\text{N}/\text{mm}^2$
$\Phi_1$	低減係数	1.0	—
$\Phi_2$	低減係数	0.667	—
$p$	スタッドの間隔	570	mm
$T$	スタッドに生じる引張力	0.5	kN

## 1.5 強度評価結果

### 1.5.1 貫通評価

式による評価にて算定した貫通評価結果を表 1-32 に示す。評価結果より、各施設の評価対象部位の許容限界が、設計飛来物による貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを確認した。

表 1-32 貫通評価結果（式による評価）

評価対象部位		設計飛来物	評価結果	許容限界
			(cm)	(cm)
原子炉建屋	CR 階外壁	鋼製材	22.5	25
	屋根スラブ		9.3	17
タービン建屋	2 階床スラブ		16.7	60
制御建屋	3 階外壁		22.5	40
	屋根スラブ		9.3	30
軽油タンク室	頂版		10.0	40
軽油タンク室 (H)	頂版		10.0	120

1.5.2 裏面剥離評価

式による評価にて算定した裏面剥離評価結果を表 1-33 に示す。

評価結果より、各施設の評価対象部位の許容限界が、設計飛来物による裏面剥離を生じない裏面剥離限界厚さを上回ることを確認した。

式による評価にて許容限界を満足しなかった原子炉建屋 CR 階外壁及び原子炉建屋屋根スラブについて、解析による評価の結果を表 1-34 及び図 1-32 に示す。

上記結果より、評価対象部位に設計飛来物による裏面剥離が生じないことを確認した。

表 1-33 裏面剥離評価結果（式による評価）

評価対象部位		設計飛来物	評価結果	許容限界
			(cm)	(cm)
タービン建屋	2 階床スラブ	鋼製材	29.8	60
制御建屋	3 階外壁		37.6	40
	屋上スラブ		18.9	30
軽油タンク室	頂版		21.5	40
軽油タンク室 (H)	頂版		21.5	120

表 1-34 裏面剥離評価結果（解析による評価）

評価対象部位		評価結果	許容限界
			鋼材の破断ひずみ
原子炉建屋 CR 階外壁	デッキプレート		
原子炉建屋 屋根スラブ			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

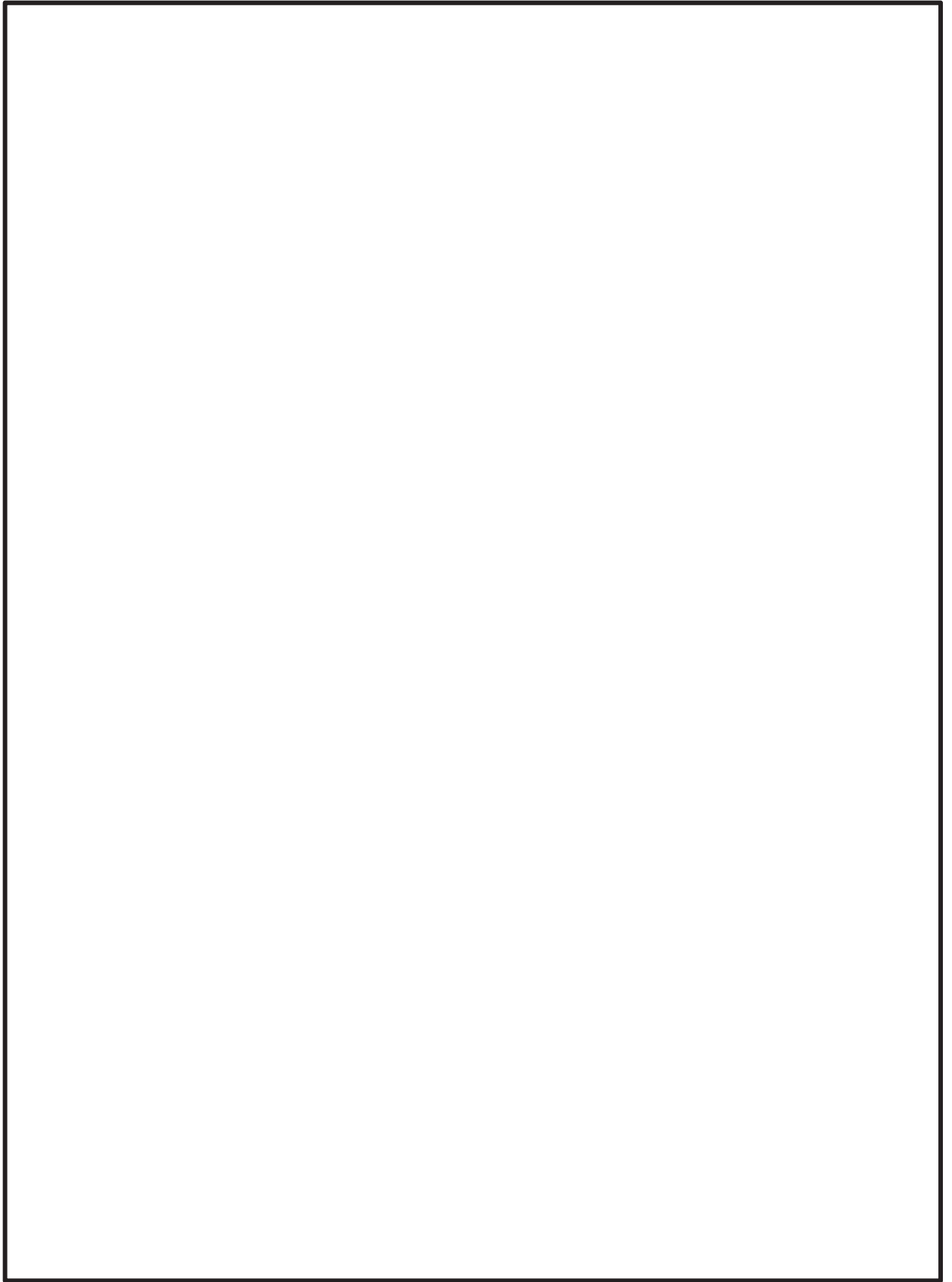


図 1-32 デッキプレートのひずみ分布図（原子炉建屋 CR 階外壁）（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

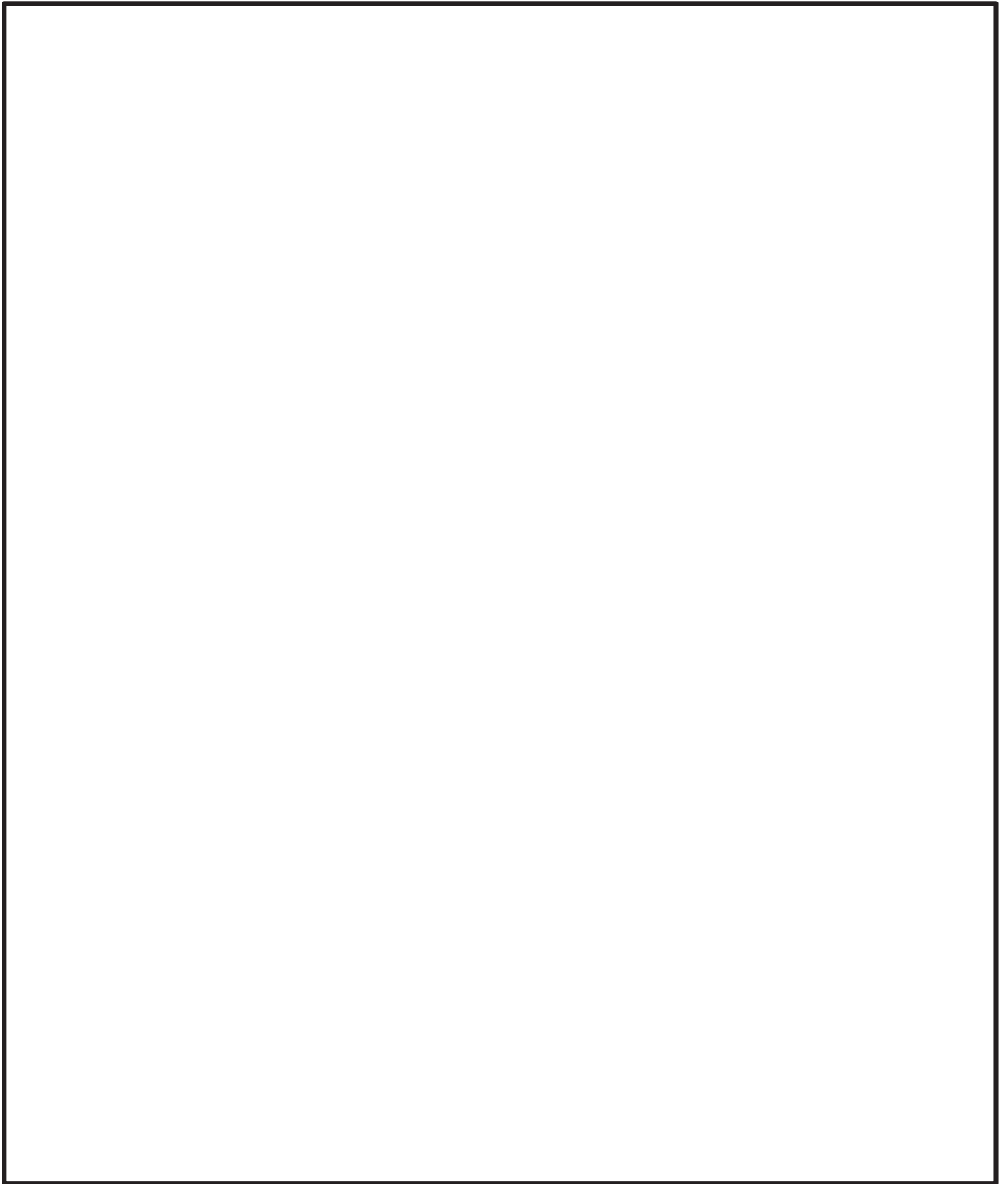


図 1-32 デッキプレートのひずみ分布図（原子炉建屋屋根スラブ）（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 1.5.3 変形評価

#### (1) 耐震壁，鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の耐震壁に生じるせん断ひずみ並びにタービン建屋の鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構に生じる層間変形角について評価した変形評価結果を表 1-35 に示す。

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の耐震壁に生じるひずみ並びにタービン建屋の鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構に生じる層間変形角が許容限界を超えないことを確認した。

表 1-35 変形評価結果（耐震壁，鉄骨鉄筋コンクリート架構及び鉄骨架構）

評価対象部位		評価結果	許容限界
原子炉建屋	耐震壁	$0.07 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
タービン建屋		$0.11 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
制御建屋		$0.04 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-3}$
タービン建屋	鉄骨鉄筋コンクリート架構	1/8772	1/200
	鉄骨架構	1/11494	1/120

注：NS 方向，EW 方向の評価結果のうち，最も厳しい部材の結果を記載する。

#### (2) スタッド

原子炉建屋，タービン建屋及び制御建屋の屋根スラブのスタッドについて評価した変形評価結果を表 1-36 に示す。

評価結果より，スタッドに生じる引張力が許容限界を超えないことを確認した。

表 1-36 変形評価結果（スタッド）

評価対象部位		評価結果		許容限界 (kN)
		項目	数値 (kN)	
原子炉建屋	屋根スラブ スタッド	引張力	2.6	40.3
タービン建屋	屋根スラブ スタッド	引張力	1.5	39.9
制御建屋	屋根スラブ スタッド	引張力	0.5	41.0

## 2. 鋼製構造物の強度計算

### 2.1 概要

本章では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、竜巻より防護すべき施設を内包する施設のうち、鋼製構造物である原子炉建屋の竜巻の影響に対する防護を期待する扉（以下「扉」という。）並びに軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の鋼製ハッチ（以下「鋼製ハッチ」という。）が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に加え、風圧力による荷重及び気圧差による荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、内包する竜巻より防護すべき施設に設計飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。



## 2.2 基本方針

添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、各施設の位置を「2.2.1 位置」に、構造概要を「2.2.2 構造概要」に、評価方針を「2.2.3 評価方針」に、適用規格を「2.2.4 適用規格」に示す。

### 2.2.1 位置

扉は原子炉建屋に設置する。鋼製ハッチは屋外の軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の頂版に設置する。原子炉建屋、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置を図 2-1 に、扉及び鋼製ハッチの設置位置を図 2-2、図 2-3 にそれぞれ示す。

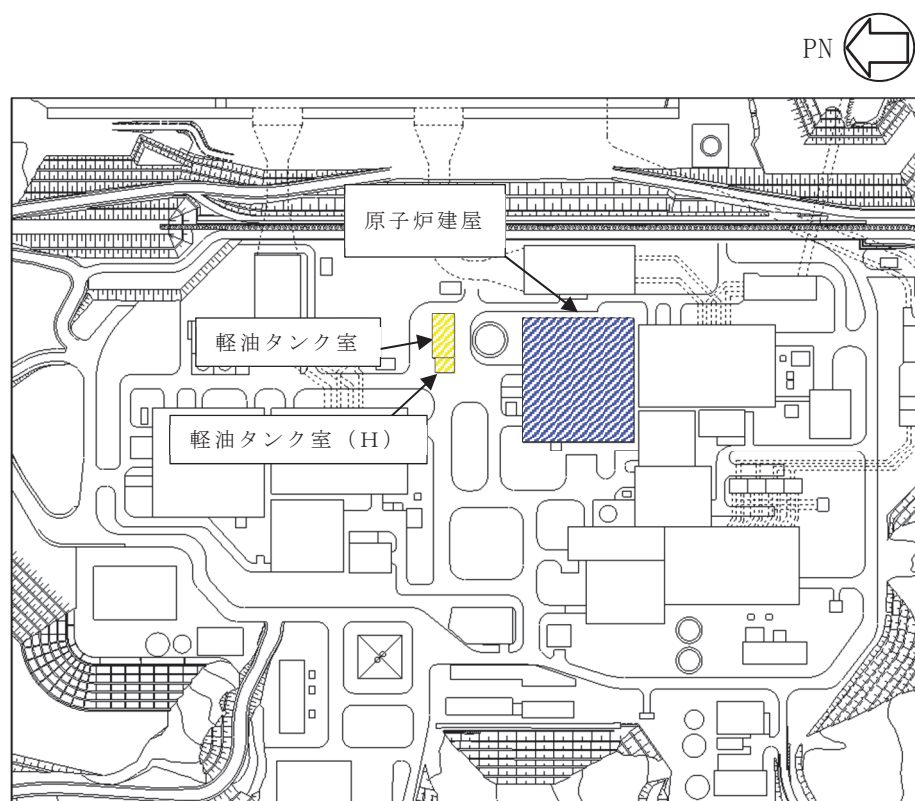
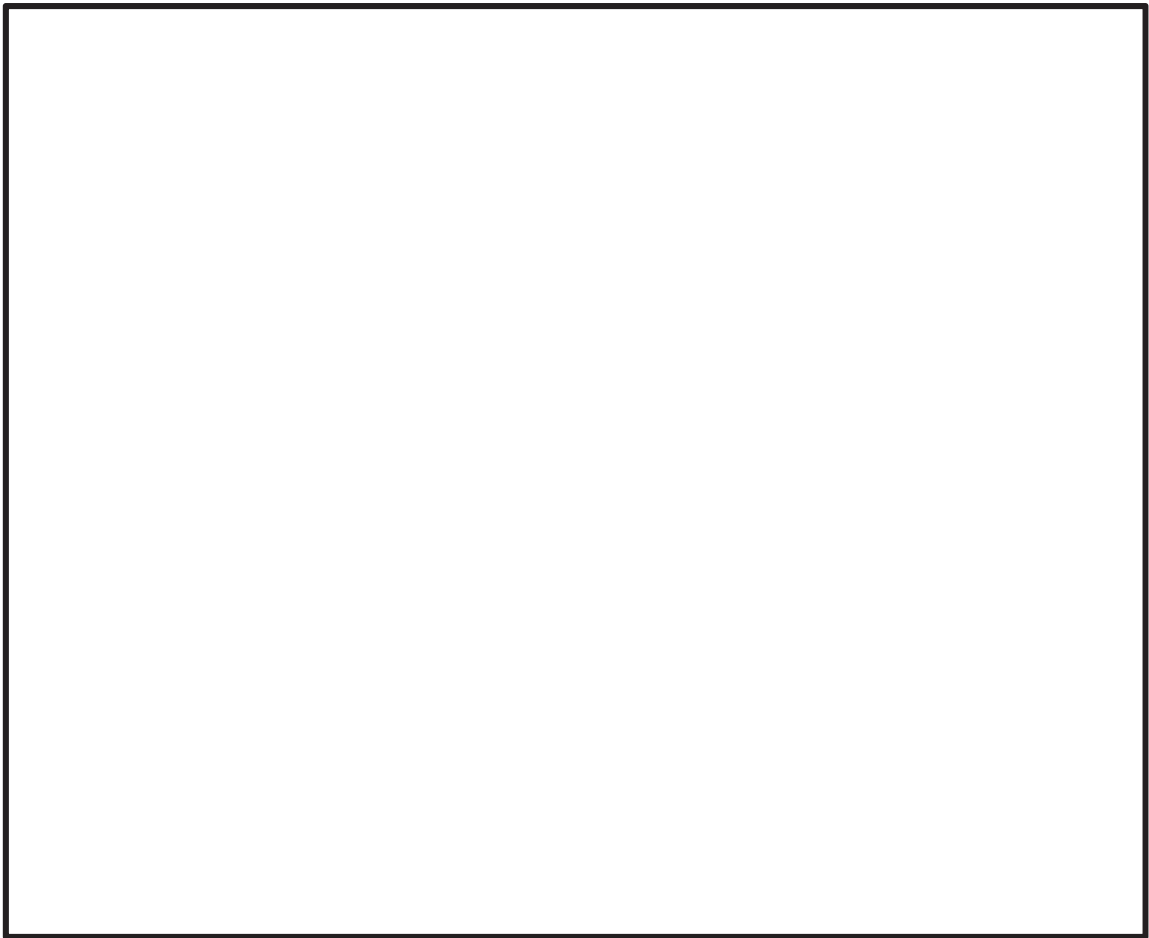


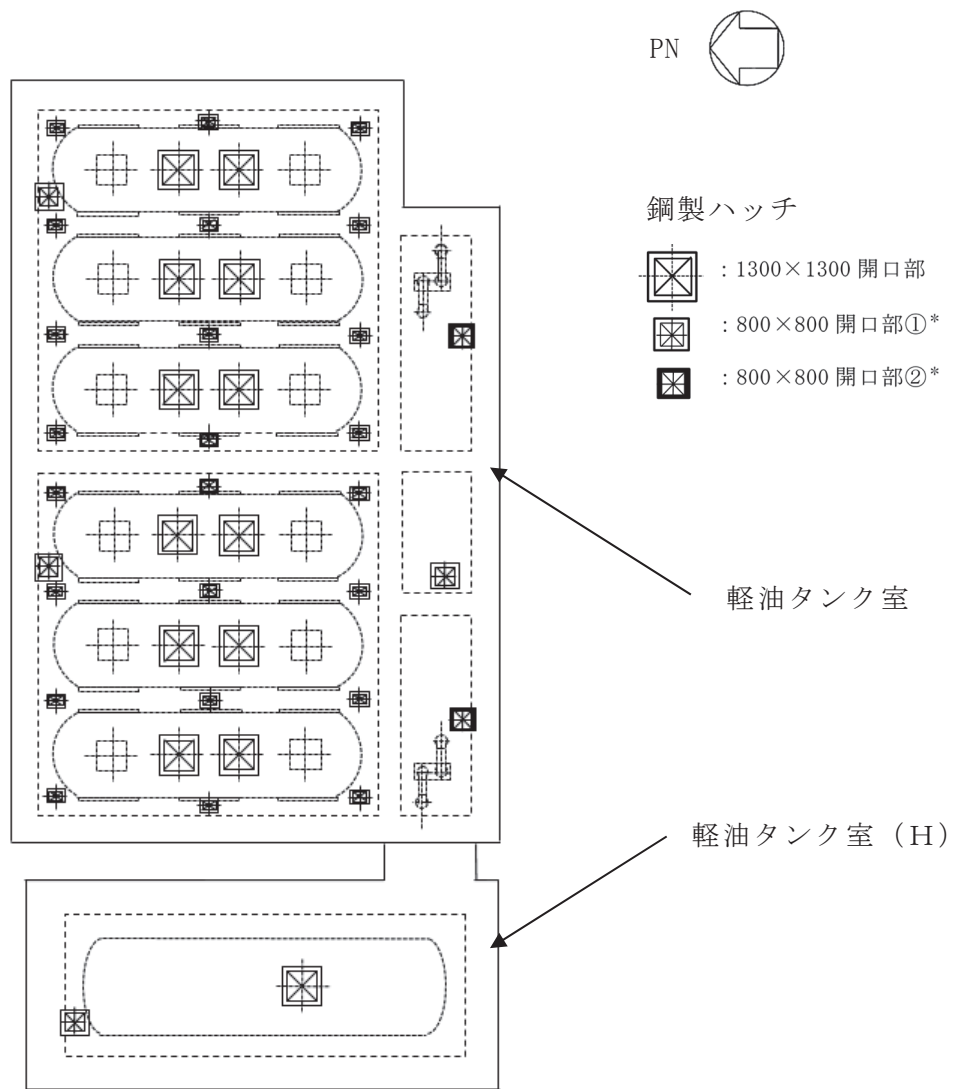
図 2-1 原子炉建屋，軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図



原子炉建屋 1 階 (O.P. 15.00m)

図 2-2 扉の位置図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



注記\* : 800×800開口部には2種類の形状の上蓋の鋼製ハッチを適用

軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) (O. P. 14. 80m)

図 2-3 鋼製ハッチの位置図

### 2.2.2 構造概要

扉及び鋼製ハッチの構造は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造設計を踏まえ、設定する。

扉は、表面鋼板、芯材等の鋼材を主構造とし、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠に対し、カンヌキによって扉本体を扉枠と固定することで支持する設計とする。

鋼製ハッチは、地下に埋設された軽油タンク室及び軽油タンク室（H）のうち地上部に露出した開口部に設置する。鋼製ハッチの上蓋は、取付枠を介して頂版上に設置する。

扉の構造図を図 2-4、鋼製ハッチの構造図を図 2-5 にそれぞれ示す。

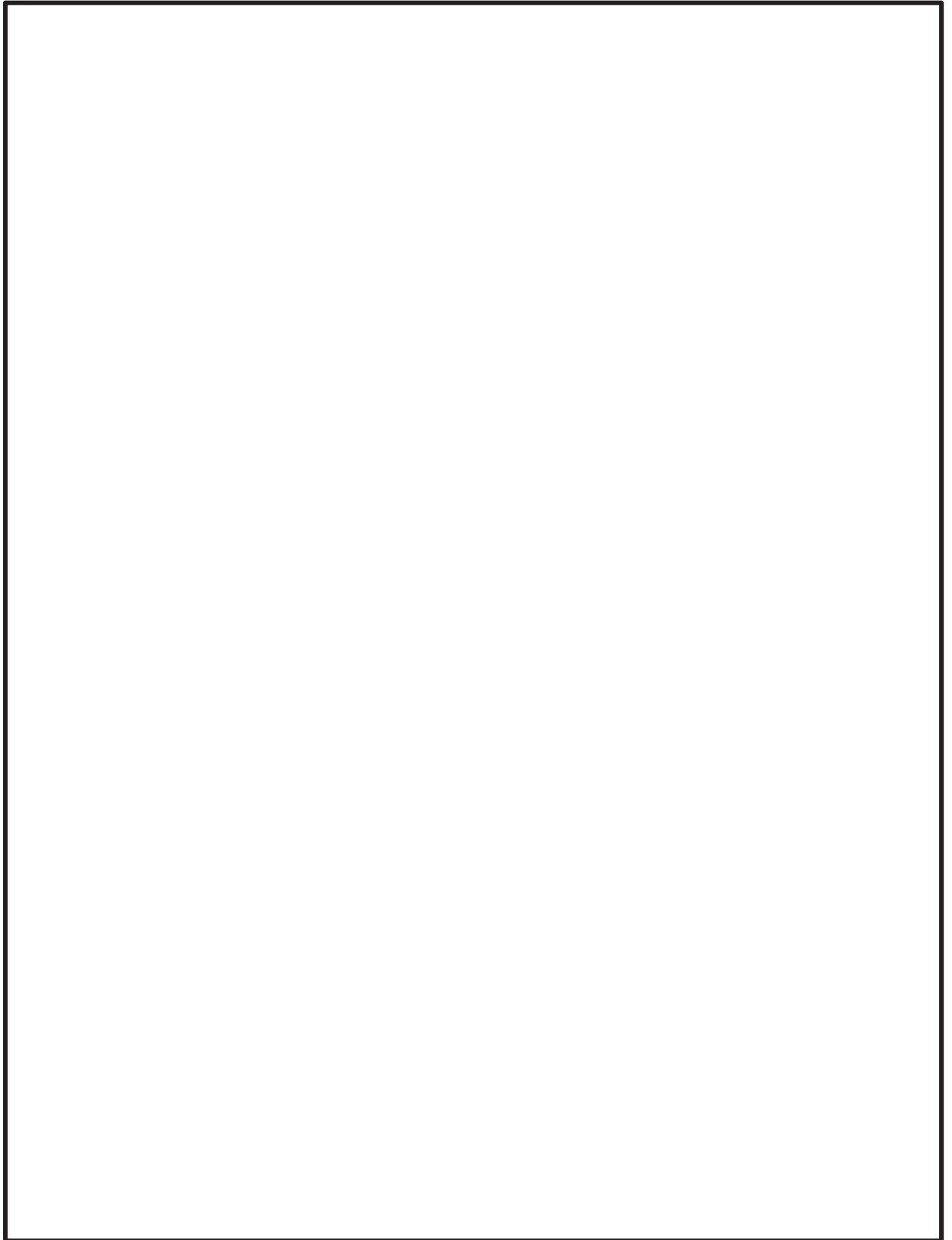


図 2-4 扉の構造図 (1/2)  
(例：原子炉建屋大物搬入口の扉)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

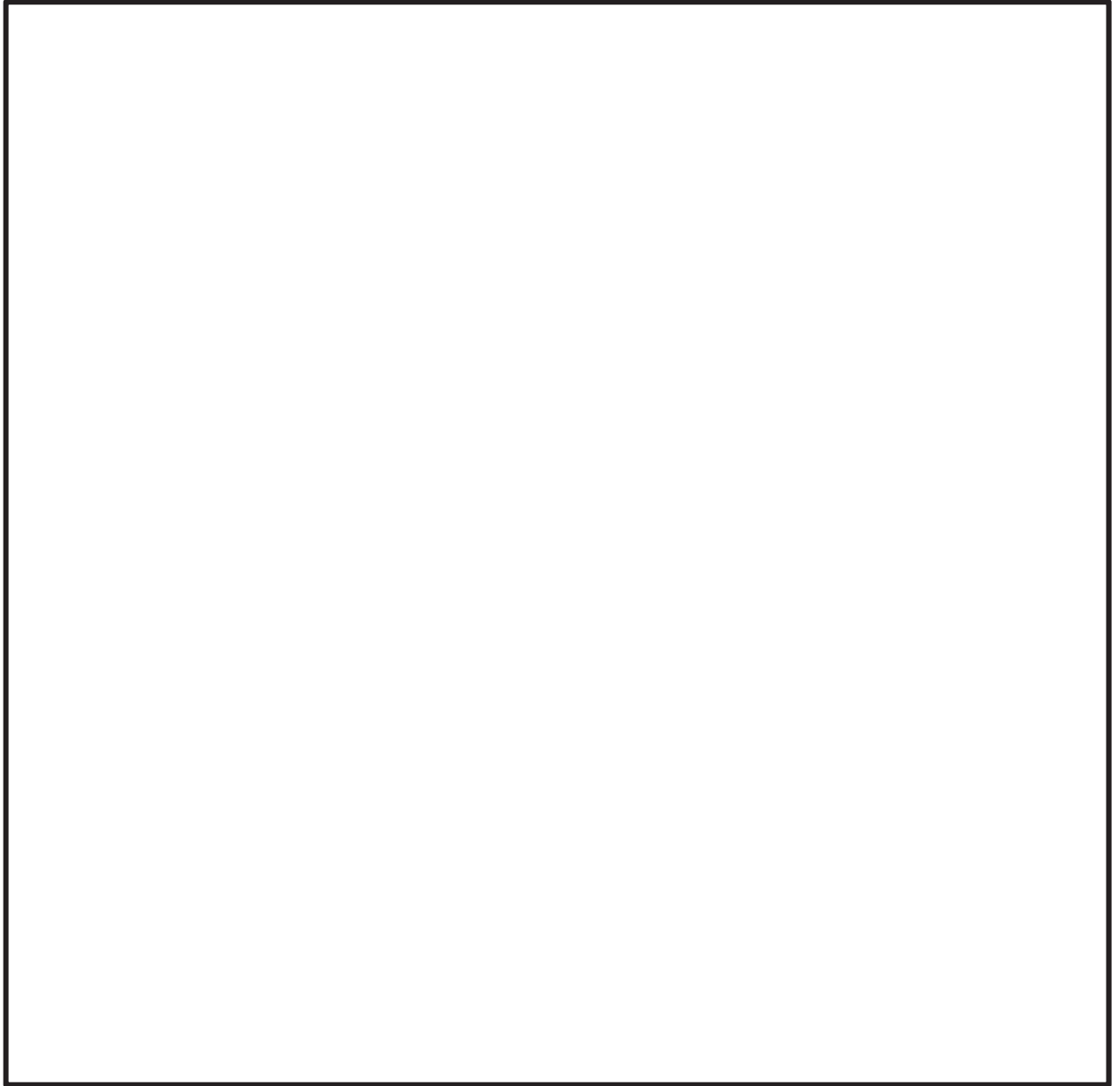


図 2-4 扉の構造図 (2/2)  
(例：原子炉建屋大物搬入口の扉)

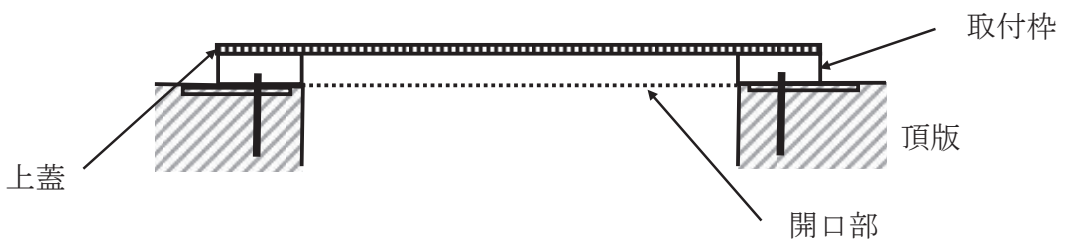


図 2-5 鋼製ハッチの構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.2.3 評価方針

扉及び鋼製ハッチの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「2.3 強度評価方法」に示す方法により、「2.4 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「2.5 強度評価結果」にて確認する。

扉及び鋼製ハッチの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する直接的な影響の評価として、扉及び鋼製ハッチに対する衝突評価及び扉自体が外部事象防護対象施設に衝突する波及的な影響の評価として扉の転倒及び脱落に対する構造強度評価を行う。扉の評価フローを図 2-6、鋼製ハッチの評価フローを図 2-7 に示す。

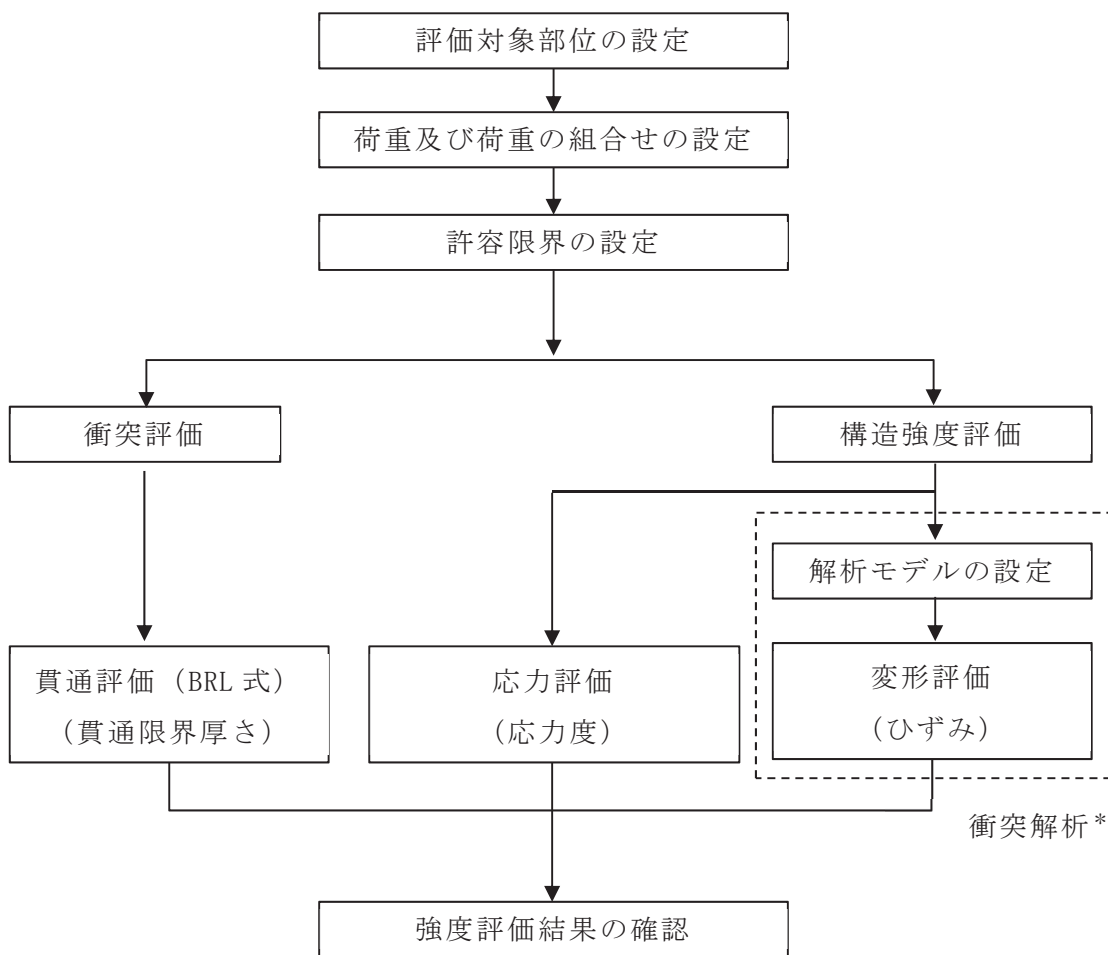
#### (1) 衝突評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の最小厚さが、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを計算により確認する。衝突評価には、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.1 建屋構造物に関する評価式」に示す評価式を用いる。（以下「貫通評価」という。）

(2) 構造強度評価

設計荷重に対し，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために，扉の表面鋼板と芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。(以下「変形評価」という。)

また，カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト（以下「カンヌキ部」という。）及び締付ボルトに生じる応力度が「鋼構造設計規準・同解説－許容応力度設計法－」及び J I S に基づき設定する短期許容応力度を超えないことを，力学における標準式による荷重の算定により確認する。(以下「応力評価」という。)



注記\* : 衝突解析においては，解析コード「LS-DYNA」を用いて 3 次元 FEM モデルによりモデル化し，表面鋼板及び芯材について評価を実施する。

図 2-6 扉の評価フロー



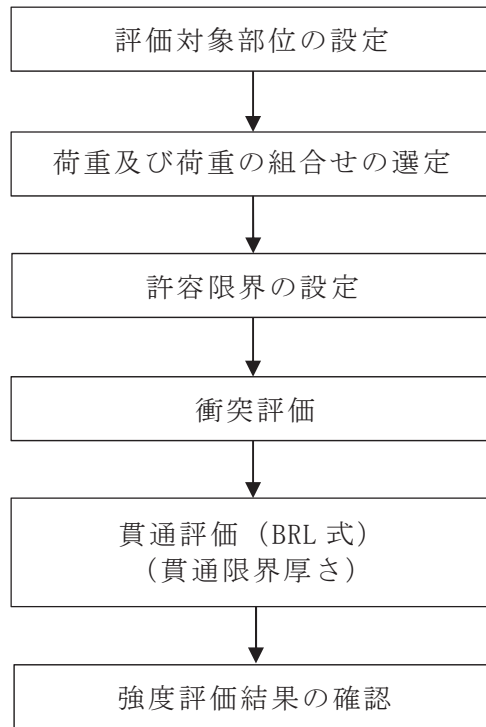


図 2-7 鋼製ハッチの評価フロー

#### 2.2.4 適用規格

適用する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その 3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（昭和 51 年 10 月高温構造安全技術研究組合）
- ・ タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))
- ・ 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計規準
- ・ 日本溶接協会 2003 年「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法，WES2808」

## 2.3 強度評価方法

### 2.3.1 記号の定義

BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号を表 2-1 に、力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-1 BRL 式による貫通限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義	
d	m	設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径	
K	—	鋼板の材質に関する係数	
M	kg	設計飛来物の質量	
T	m	鋼板の貫通限界厚さ	
V	m/s	扉	設計飛来物の衝突速度（水平）
		鋼製 ハッチ	設計飛来物の衝突速度（鉛直）
$\pi$	—	円周率	
A	m	設計飛来物の接触面積	

表 2-2 力学における標準式による荷重及び応力の算定に用いる記号

記号	単位	定義
$A_1$	$m^2$	表面表側鋼板（小扉）の受圧面積
$A_2$	$m^2$	表面表側鋼板（小扉及びパネル）の受圧面積
$A_3$	$mm^2$	カンヌキの断面積
$A_4$	$mm^2$	カンヌキ受けピンの断面積
$A_5$	$mm^2$	カンヌキ受けボルトの断面積
$A_6$	$mm^2$	締付ボルトの断面積
$C$	—	風力係数
$F_d$	N	常時作用する荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$L$	mm	カンヌキと扉枠の距離
$L_p$	mm	カンヌキ受けピンの軸支持間距離
$n$	本	カンヌキの本数
$n_b$	本	カンヌキ受けボルトの本数
$n_k$	本	締付ボルトの本数
$q$	Pa	設計用速度圧
$R$	N	カンヌキ 1 本あたりに生じる荷重
$R_b$	N	締付ボルト 1 本あたりに生じる荷重
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$W_M$	N	設計飛来物による衝撃荷重
$\Delta P$	$N/m^2$	最大気圧低下量
$W_{P1}$	N	小扉の気圧差による荷重
$W_{P2}$	N	小扉及びパネルの気圧差による荷重
$W_{W1}$	N	小扉の設計竜巻風圧力による荷重
$W_{W2}$	N	小扉及びパネルの設計竜巻風圧力による荷重
$Z$	$mm^3$	断面係数
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\sigma_T$	$N/mm^2$	引張応力度
$\tau$	$N/mm^2$	せん断応力度

### 2.3.2 評価対象部位

扉及び鋼製ハッチの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて設定する。扉の評価対象部位を図 2-8～図 2-9、鋼製ハッチの評価対象部位を図 2-10 に示す。

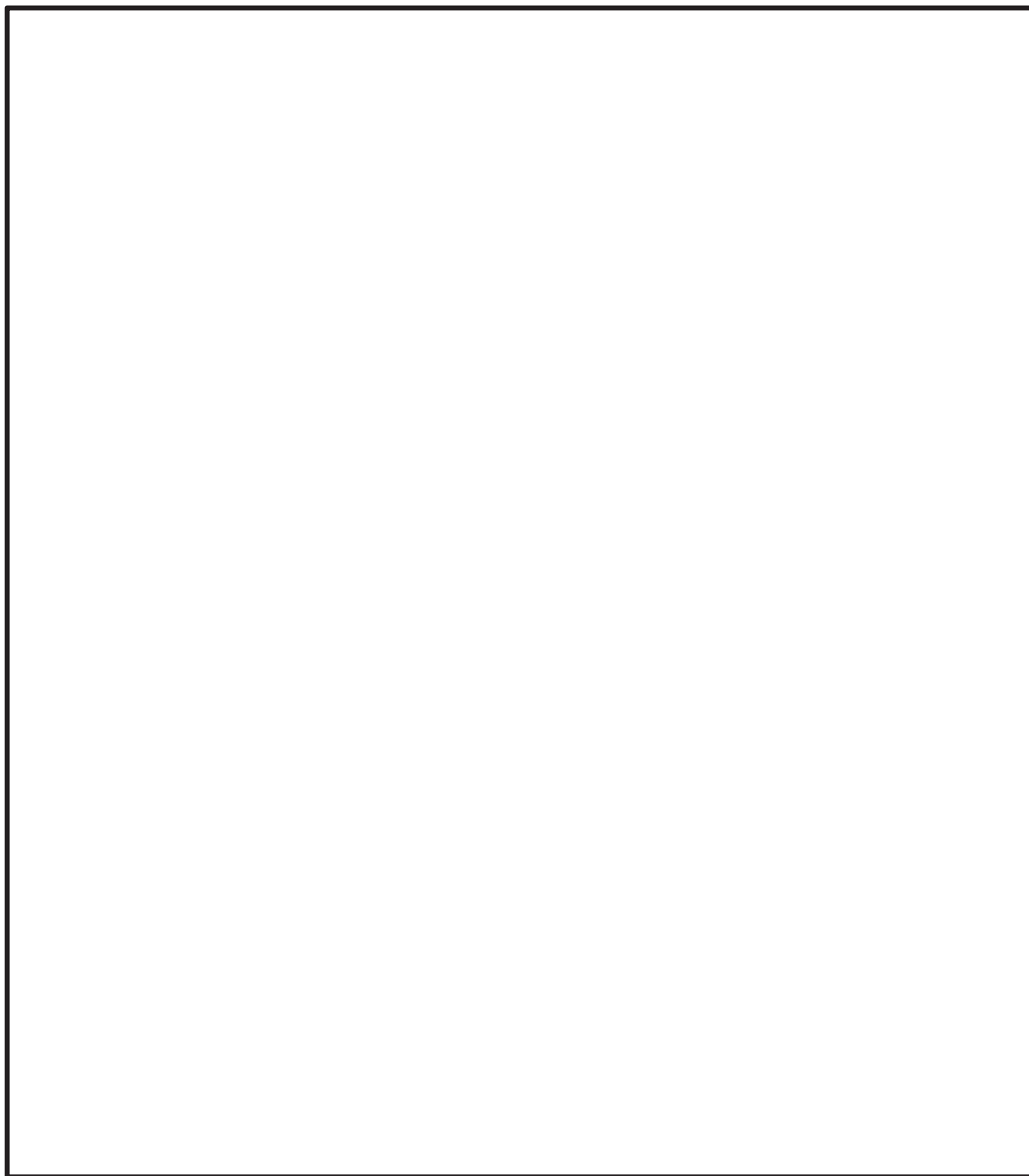


図 2-8 原子炉建屋大物搬入口の評価対象部位 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

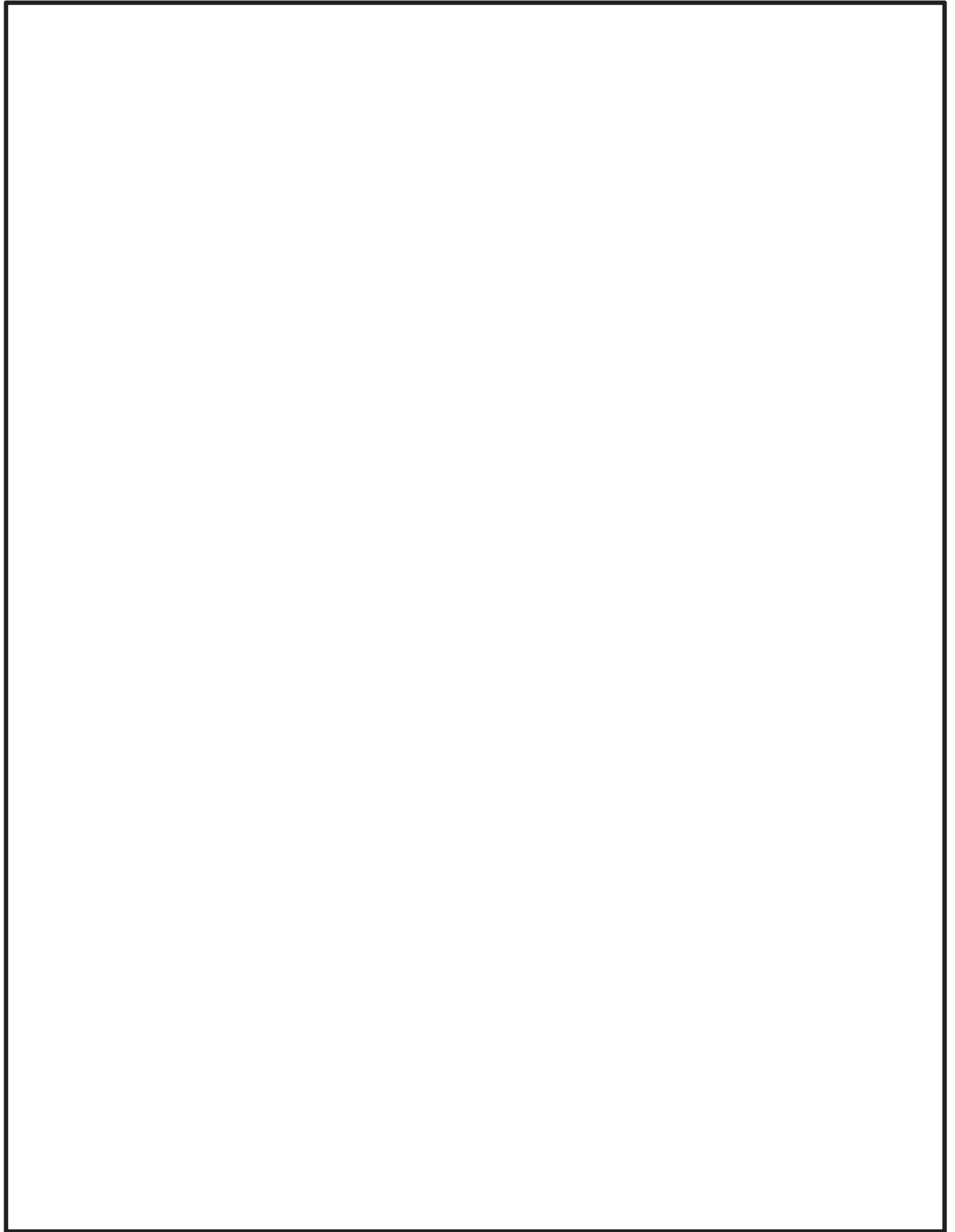


図 2-8 原子炉建屋大物搬入口の評価対象部位 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

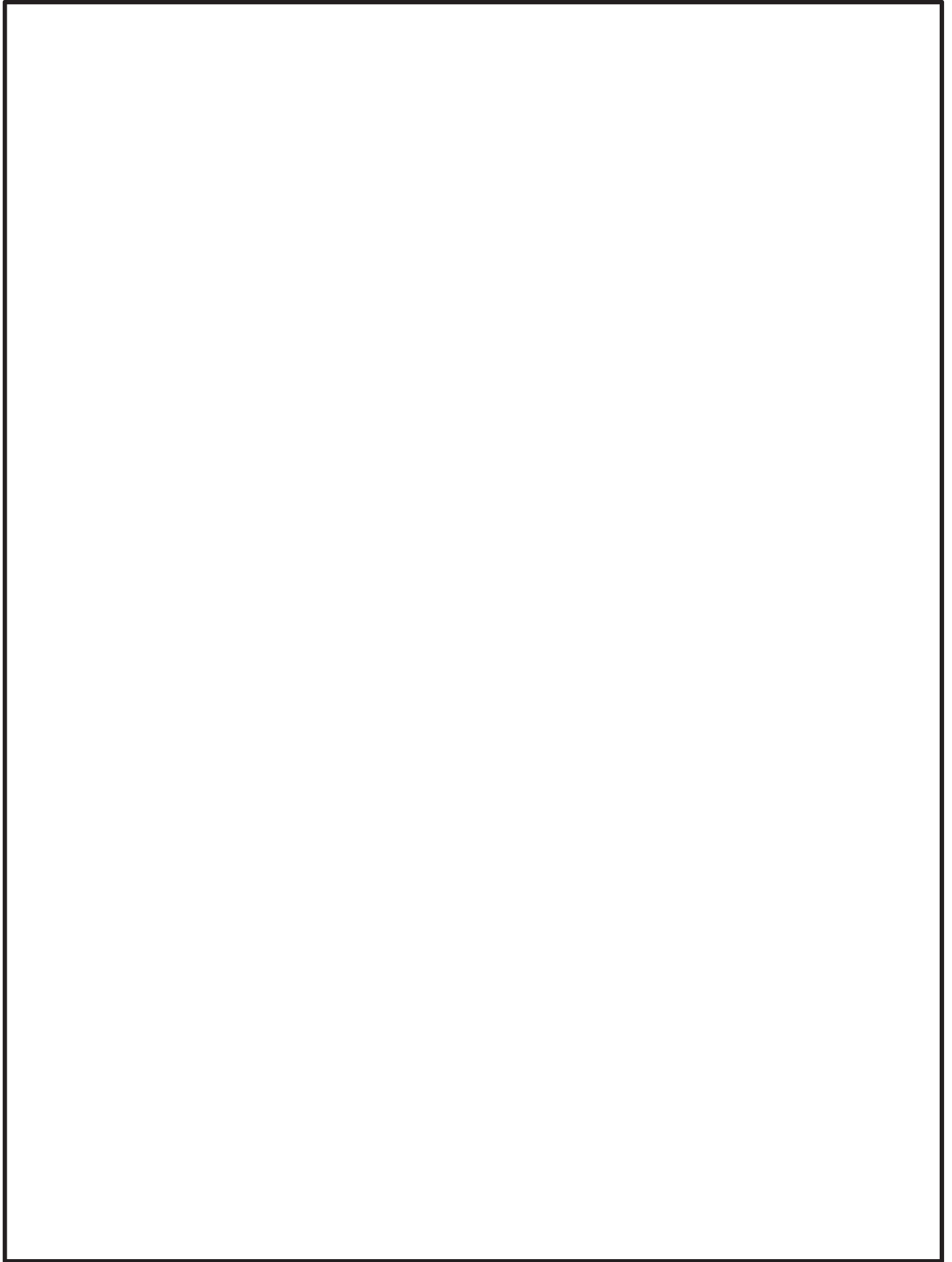


図 2-9 D/G (A)室防護扉の評価対象部位 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

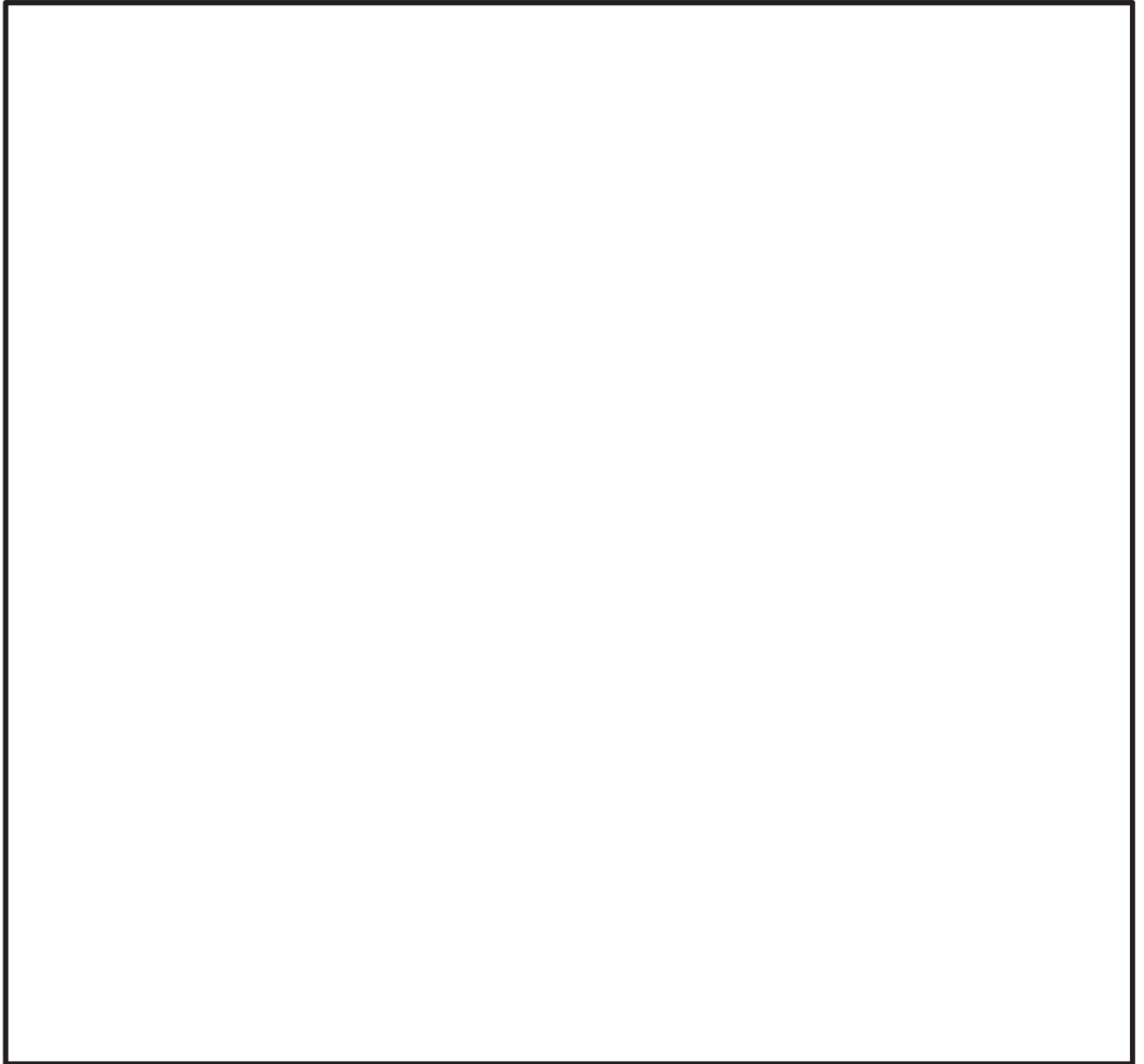


図 2-9 D/G (A)室防護扉の評価対象部位 (2/2)



図 2-10 鋼製ハッチの評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(1) 貫通評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の最小厚さが、設計飛来物の貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを計算により確認するものとし、扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋を評価対象部位として設定する。

(2) 変形評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体が、転倒及び脱落により外部事象防護対象施設へ接触等の影響を与えない設計とするために、扉の表面鋼板と芯材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。施設を構成する表面鋼板に作用する設計荷重は、芯材、ヒンジ、カンヌキ部及び締付ボルトに伝わりアンカーボルトにより固定された扉枠を介して建屋躯体に伝達されることから、これらの部材が評価対象部位として抽出される。

このうち、ヒンジ、カンヌキ部、締付ボルト及びアンカーボルトについては、外部から作用する設計荷重に対して直接的な伝達経路とならないこと、扉枠についてはアンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落は生じないことから、表面鋼板、芯材を評価対象部位として設定する。

ここで、評価対象とする扉は、表面鋼板の厚みが最も薄いもののうち、表面鋼板の面積が最大となる扉を代表として評価するものとし、原子炉建屋大物搬入口とする。

評価の対象とする扉の選定結果として、扉の表面鋼板の最小厚さと面積の一覧を表 2-3 に示す。

また、設計飛来物の衝突を考慮する場合、被衝突物の寸法が大きいほどたわみ量が大きくなる傾向にある。したがって、変形評価としては、評価対象となる表面鋼板の部材長さ（支持スパン）が最長となる扉中央部を選定する。

### (3) 応力評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体が、転倒及び脱落により外部事象防護対象施設へ接触等の影響を与えない設計とするために、カンヌキ部に生じる応力度が「鋼構造設計規準・同解説－許容応力度設計法－」及び J I S に基づき設定する短期許容応力度を超えないことを、力学における標準式による荷重の算定により確認する。

室内側から作用する荷重が芯材，表面鋼板に作用し，ヒンジ，カンヌキ部及びアンカーボルトにより固定された扉枠を介して建屋躯体に伝達されることから，これらの部材が評価対象部位として抽出される。

このうち，表面鋼板は対貫通性を考慮した厚板であり，またヒンジ，芯材については評価上期待しないこと，アンカーボルトにより固定された扉枠は建屋躯体に埋め込まれて一体化していることから，扉の閉止状態を維持するための支持部材であるカンヌキ部（カンヌキ及びカンヌキに作用する荷重を負担するカンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルト）を評価対象部位として設定する。

また，パネル付きの扉については，パネル（表面鋼板）の閉止状態を維持するための支持部材である締付ボルトも評価対象部位として設定する。

ここで，評価対象とする扉は，結果が厳しい評価対象部位を有する扉を代表として評価するものとし，D/G(A)室防護扉とする。

評価の対象とする扉の選定結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 評価の対象とする扉の選定結果

評価対象の扉		表面鋼板の仕様			カンヌキ の 本数 (本)	表面鋼板 の最小厚 さ (mm)	評価対象	
		幅 (mm)	高さ (mm)	面積 (m <sup>2</sup> )			変形 評価	応力 評価
D/G (A) 室 防護扉	パネル	3190	5130	16.36	48*	32		○
	小扉	1135	1960	2.22	4	32		○
東側共通通路 防護扉 (No. 1)		4950	4600	22.77	8	36		
東側共通通路 防護扉 (No. 2)		1129	1880	2.12	4	36		
D/G (H P C S) 室 防護扉		5230	5470	28.60	12	32		
D/G (B) 室 防護扉		5230	5470	28.60	12	32		
原子炉建屋大物搬入口		6920	6230	43.11	14	32	○	

注記\* : 締付ボルトの本数を示す

### 2.3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 2-4 に示す。

表 2-4 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

#### a. 風圧力による荷重 ( $W_W$ )

風圧力による荷重は、下式により算出する。

$$W_{W1} = q \cdot G \cdot C \cdot A_1 \quad \text{または} \quad W_{W2} = q \cdot G \cdot C \cdot A_2$$

設計用速度圧  $q$  は、下式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

#### b. 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_{P1} = \Delta P \cdot A_1 \quad \text{または} \quad W_{P2} = \Delta P \cdot A_2$$

#### c. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) は、表 2-5 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。ここで設計飛来物の衝突方向は、設備構造を踏まえて設定する。また、設計飛来物の材料定数を表 2-6 に示す。

表 2-5 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	46.6	16.7

表 2-6 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	塑性硬化係数 E' (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼製材	245	206000	1260	0.3

d. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) は、部材の自重とする。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せについては、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、風圧力による荷重、気圧差による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。荷重の組合せを表 2-7 に示す。

表 2-7 荷重の組合せ

評価内容	風圧力 による荷重 ( $W_w$ )	気圧差 による荷重 ( $W_p$ )	設計飛来物 による衝撃 荷重 ( $W_M$ )	常時作用 する荷重 ( $F_d$ )	荷重の組合せ
貫通評価	—	—	○	—	$W_M$
変形評価	○	—	○	○	$W_M + W_w + F_d$
応力評価	—	○	—	—	$W_p$

### 2.3.4 許容限界

扉及び鋼製ハッチの許容限界は、「2.3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて設定する。

#### (1) 評価対象部位の材料仕様

扉の材料仕様を表 2-8 に、鋼製ハッチの上蓋の材料仕様を表 2-9 にそれぞれ示す。

表 2-8 扉の材料仕様

評価対象部位	材質	仕様
表面鋼板	SS400	PL-32
芯材	SM490	[-600×300×25×36 H-600×300×25×36
カンヌキ	SUS304	φ 50
カンヌキ受けピン	S45C	φ 25
カンヌキ受けボルト	SCM435	M16
締付ボルト	SCM435	M20

表 2-9 鋼製ハッチの上蓋の材料仕様

開口部大きさ	材質	長辺 (mm)	短辺 (mm)	厚さ (mm)	
1300×1300	SUS304	1806	1530	16	
800×800	①	SUS304	1336	1030	16
	②	SUS304	1336	1070	16

- (2) 評価対象部位の材料定数  
扉の材料定数を表 2-10 に示す。

表 2-10 材料定数

材質	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	塑性硬化係数 E' (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
SS400	235	206000	2094	0.3
SM490	315	206000	2298	0.3

- (3) 許容限界  
a. 貫通評価  
扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の最小厚さを貫通評価の許容限界とする。  
表 2-11 に設定した許容限界を示す。

表 2-11 貫通評価の許容限界

評価対象部位		許容限界 (mm)	材質
扉	表面鋼板	32	SS400
鋼製ハッチ	上蓋	16	SUS304

b. 変形評価

設計飛来物が扉の表面鋼板へ直接衝突する場合の変形評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを基本として設定する。破断ひずみについては、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1.2 (1) 許容限界の設定」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI07-13においてTF(多軸性係数)を□とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=□を考慮して設定する。

設定した許容限界を表 2-12 に示す。

表 2-12 変形評価の許容限界

評価対象部位	材質	破断ひずみ*
表面鋼板	SS400	
芯材	SM490	

注記\* : 真ひずみ換算値

c. 応力評価

応力評価の許容限界を表 2-13 に示す。評価対象部位の材料仕様は表 2-8 に示すとおりとする。

応力評価におけるカンヌキ部の評価は、J I S及び「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-」に準じた短期許容応力度を許容限界として設定する。

表 2-13 応力評価の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度	
		曲げ・引張 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
カンヌキ	SUS304	205	118
カンヌキ受けピン	S45C	345	199
カンヌキ受けボルト	SCM435	854	—
締付ボルト	SCM435	728	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



### 2.3.5 評価方法

扉の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.1 構造強度の設計方針」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施し、構造強度評価として変形評価及び応力評価を実施する。

また、鋼製ハッチの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.1 構造強度の設計方針」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施する。

#### (1) 貫通評価

設計飛来物が扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋へ直接衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

BRL 式を以下に示す。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

ここで等価直径 d は下式の通りとする。

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

#### (2) 変形評価

変形評価に用いる評価対象部位に生じるひずみは、解析モデル及び材料の非線形特性を用いた衝突解析により評価する。

##### a. 解析モデル及び諸元

##### (a) 扉

扉の解析モデル化の範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、扉を構成する表面鋼板及び芯材とする。各部位はシェル要素でモデル化する。扉の解析モデルの境界条件を表 2-14 に、解析モデル図を図 2-11 に示す。

表 2-14 解析モデルの境界条件

項目		境界条件
扉	扉部材と建屋躯体	X 方向並進拘束
	扉部材とヒンジ	X, Y, Z 方向並進拘束

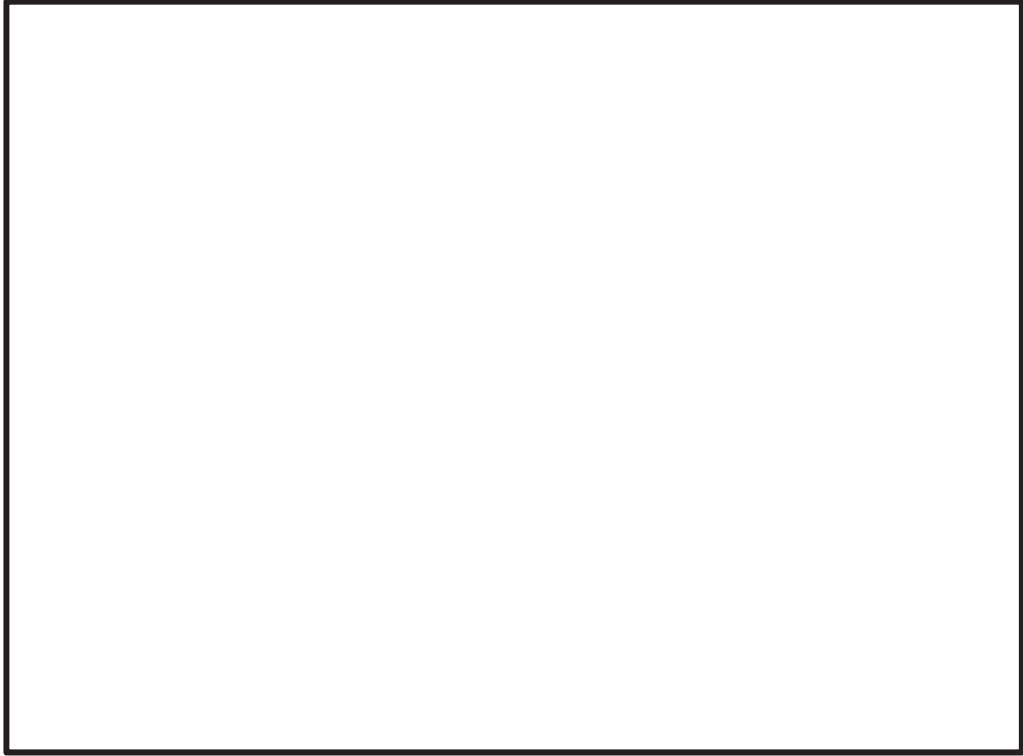


図 2-11 扉の解析モデル図（屋外側）（1/3）

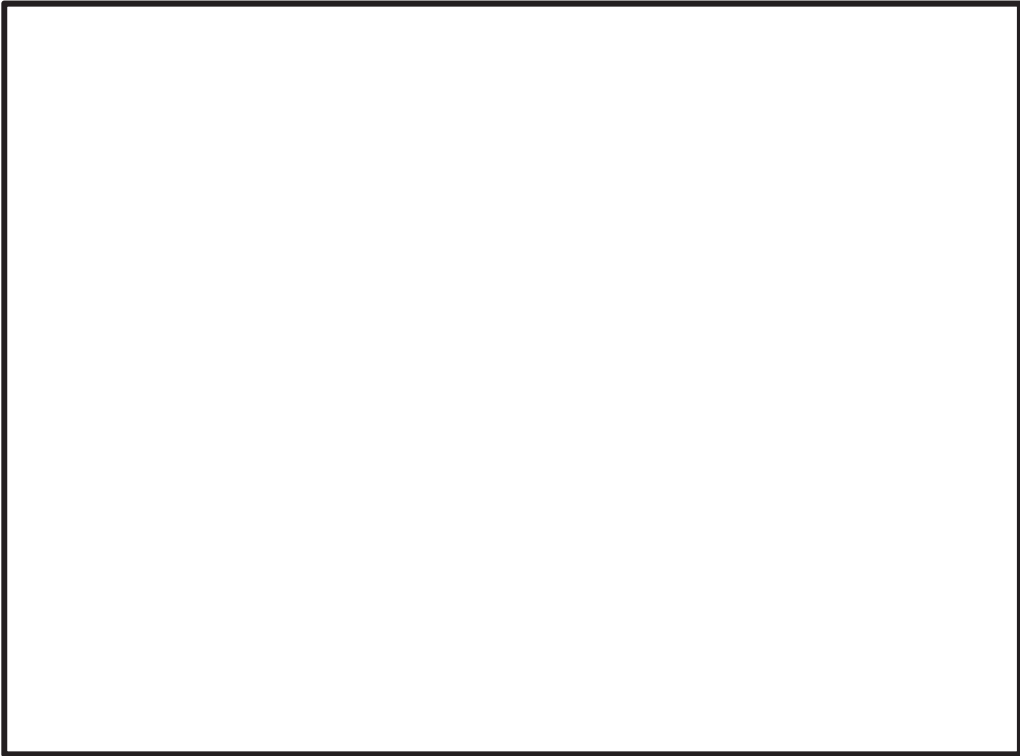
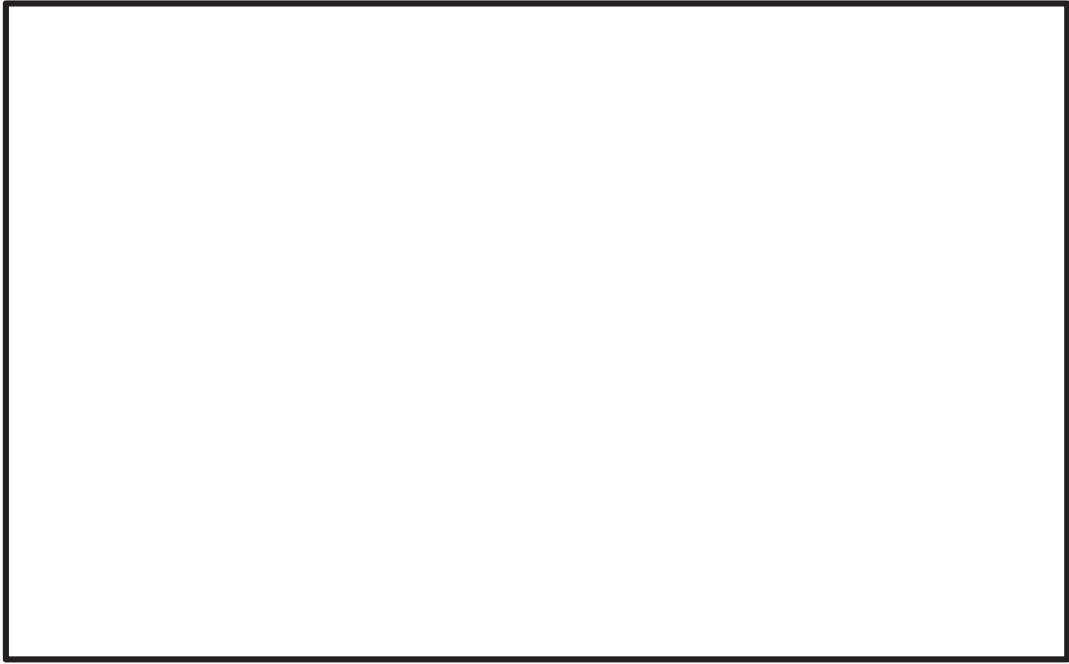


図 2-11 扉の解析モデル図（屋内側）（2/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



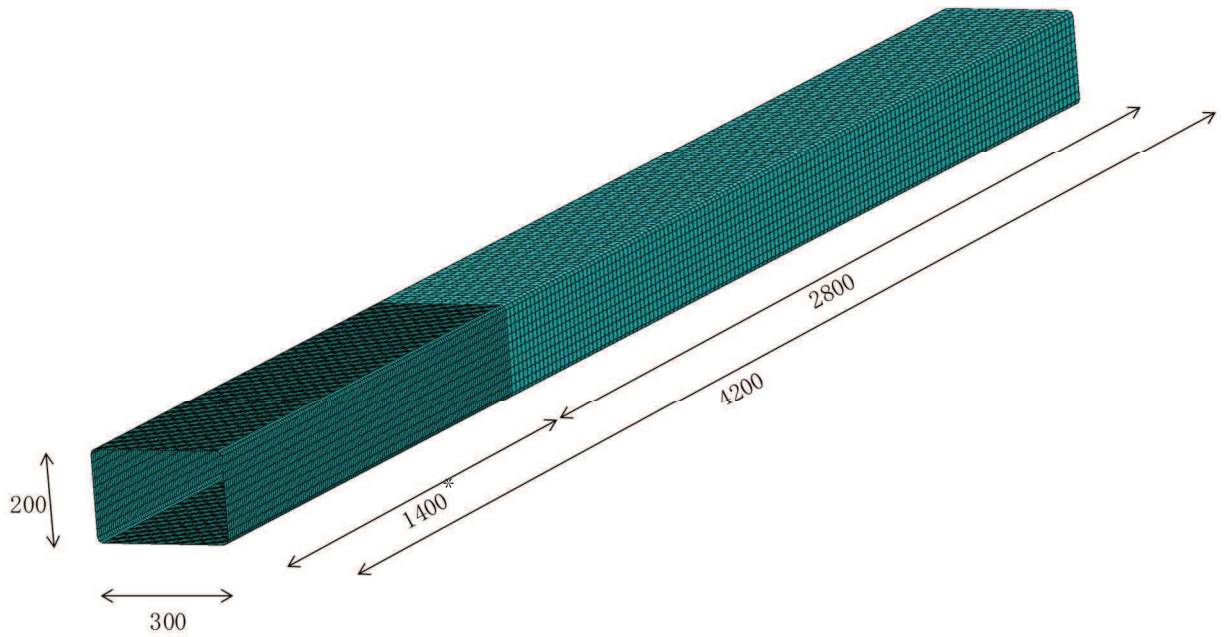
(単位：mm)

図 2-11 扉の解析モデル図（衝突部）（3/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(b) 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は、シェル要素でモデル化する。  
 設計飛来物の解析モデル図を図 2-12 に示す。



(単位：mm)

注記\* : 要素のメッシュを細分化している範囲について、試解析を複数回実施し、変形やひずみが大きくなる範囲を設定している。

図 2-12 設計飛来物の解析モデル図

b. 解析コード

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

c. 使用材料

扉に使用する鋼材の仕様については、「2.3.4(1) 評価対象部位の材料仕様」に示すとおり設定する。

## d. 材料定数

扉に使用する鋼材の材料定数については、「2.3.4(2) 評価対象部位の材料定数」に示すとおり設定する。

## e. 材料の非線形特性

## (a) 材料の応力－ひずみ関係

扉の材料モデルでは、鋼材の破断ひずみを設定し、破断ひずみを越えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。

材料の応力－ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数(2次勾配 $E'$ )は、表2-10に示す値とする。材料に適用する応力－ひずみ関係の概念図を図2-13に示す。

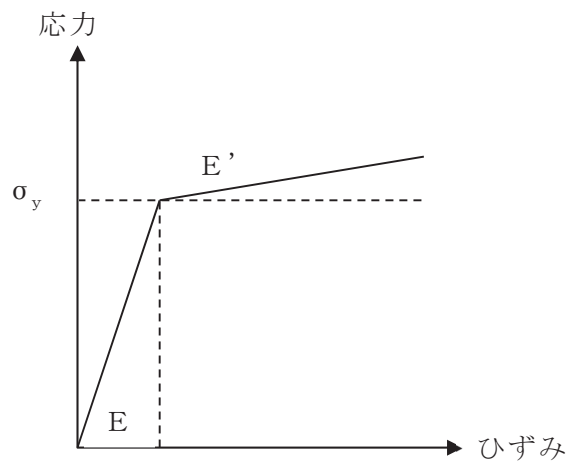


図 2-13 応力－ひずみ関係の概念図

(b) ひずみ速度効果

竜巻による設計飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す Cowper-Symonds の式を適用する。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right\}$$

ここで、 $\sigma_D$ は動的応力、 $\sigma_S$ は静的応力、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度、 $C$ 及び $P$ はひずみ速度依存性パラメータを表す。

ひずみ速度依存性パラメータを表 2-15 に示す。

表 2-15 ひずみ速度依存性パラメータ

	設計飛来物 鋼製材	扉	
		表面鋼板	芯材
材料	SS400	SS400	SM490
C (s <sup>-1</sup> )			
P			

(c) 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI07-13においてTF(多軸性係数)を□とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=□を考慮して設定する。設計飛来物の鋼製材は保守的に破断ひずみを超えても荷重を負担するものとする。

材料モデルにおける破断ひずみを表 2-16 に示す。

表 2-16 材料モデルにおける破断ひずみ

種別	材質	J I S 規格値 (下限値)	TF	破断ひずみ*
表面鋼板	SS400	0.21		
芯材	SM490	0.21		

注記\* : 真ひずみの換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 応力評価

気圧差による荷重 ( $W_p$ ) によりカンヌキ部及び締付ボルトに発生する応力度を算出し、許容限界を超えないことを確認する。

a. カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は気圧差による荷重 ( $W_p$ ) をカンヌキ部で負担した場合に生じる荷重  $R$  から算定する。

カンヌキ部に生じる荷重を図 2-14 に示す。

$$W_{P1} = \Delta P \cdot A_1$$

$$R = \frac{W_{P1}}{n}$$

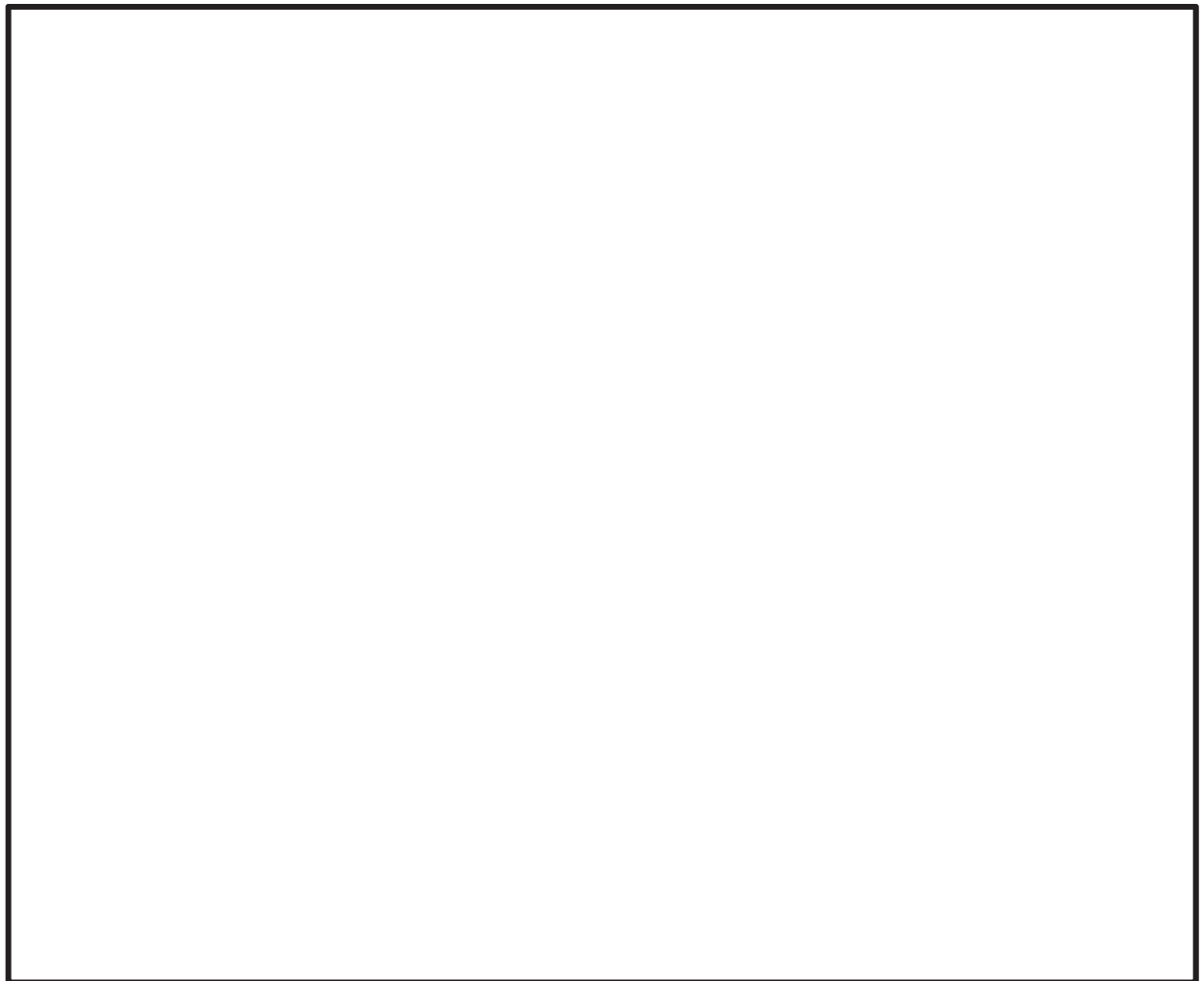


図 2-14 カンヌキ部に生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(a) カンヌキ

カンヌキ部の詳細図及びカンヌキの評価に用いるモデルの概念図を図 2-15 に示す。カンヌキに生じる曲げモーメント $M_k$ 及びせん断力 $Q_k$ は次式により算定する。

$$M_k = R \cdot L$$

$$Q_k = R$$

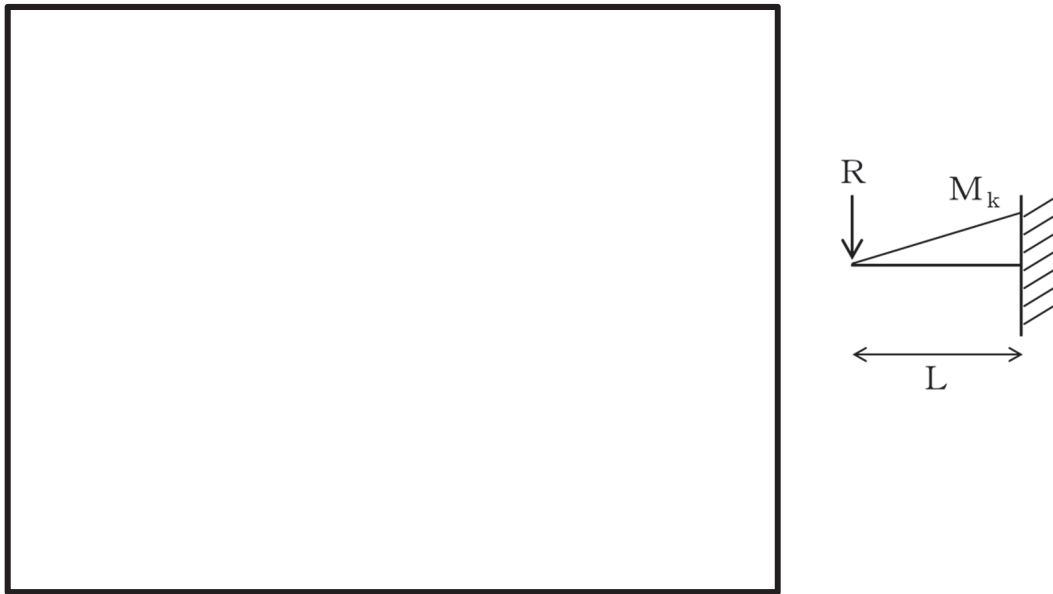


図 2-15 カンヌキ部の詳細図及びモデルの概念図 (A部)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルトの詳細図及びカンヌキ受けピンの評価に用いるモデルの概念図を図 2-16 に示す。カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント  $M_P$  及びせん断力  $Q_P$  は次式により算定する。

$$M_P = \frac{R \cdot L_P}{4}$$

$$Q_P = \frac{R}{2}$$

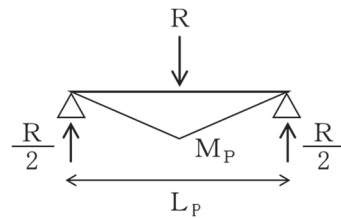


図 2-16 カンヌキ受けピン，カンヌキ受けボルトの詳細図及びモデルの概念図

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルト 1 本あたりに生じる引張力  $T$  は次式により算定する。

$$T = \frac{R}{n_b}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 締付ボルトに生じる荷重

締付ボルト 1 本あたりに生じる荷重は気圧差による荷重 ( $W_p$ ) を締付ボルトに作用する反力  $R_b$  から算定する。

締付ボルトに生じる荷重を図 2-17 に示す。

$$W_{P2} = \Delta P \cdot A_2$$

$$R_b = \frac{W_{P2}}{n_k}$$

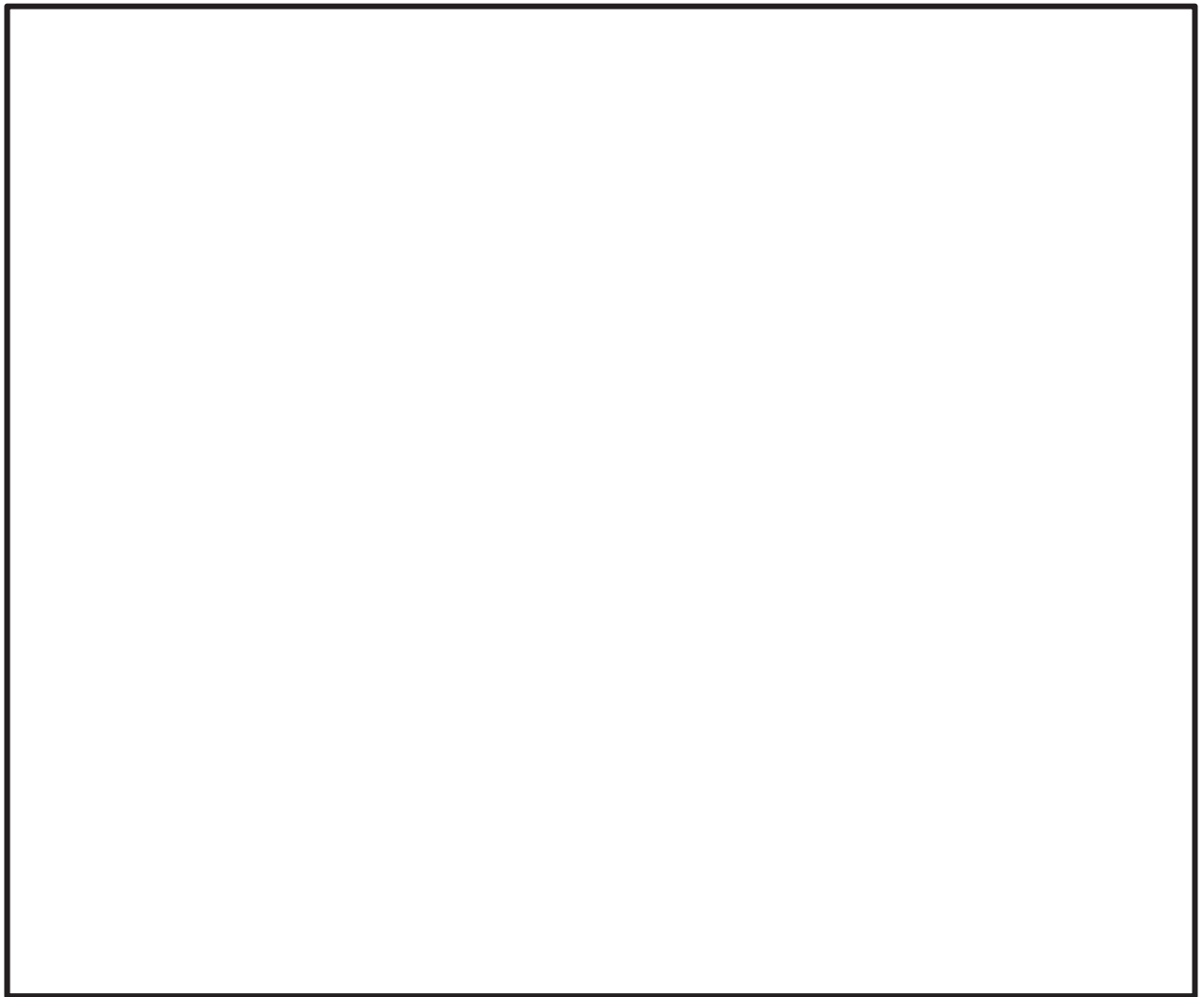


図 2-17 締付ボルトに生じる荷重

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

締付ボルトの詳細図を図 2-18 に示す。

締付ボルトに生じる引張力  $T$  は次式により算定する。

$$T = R_b$$

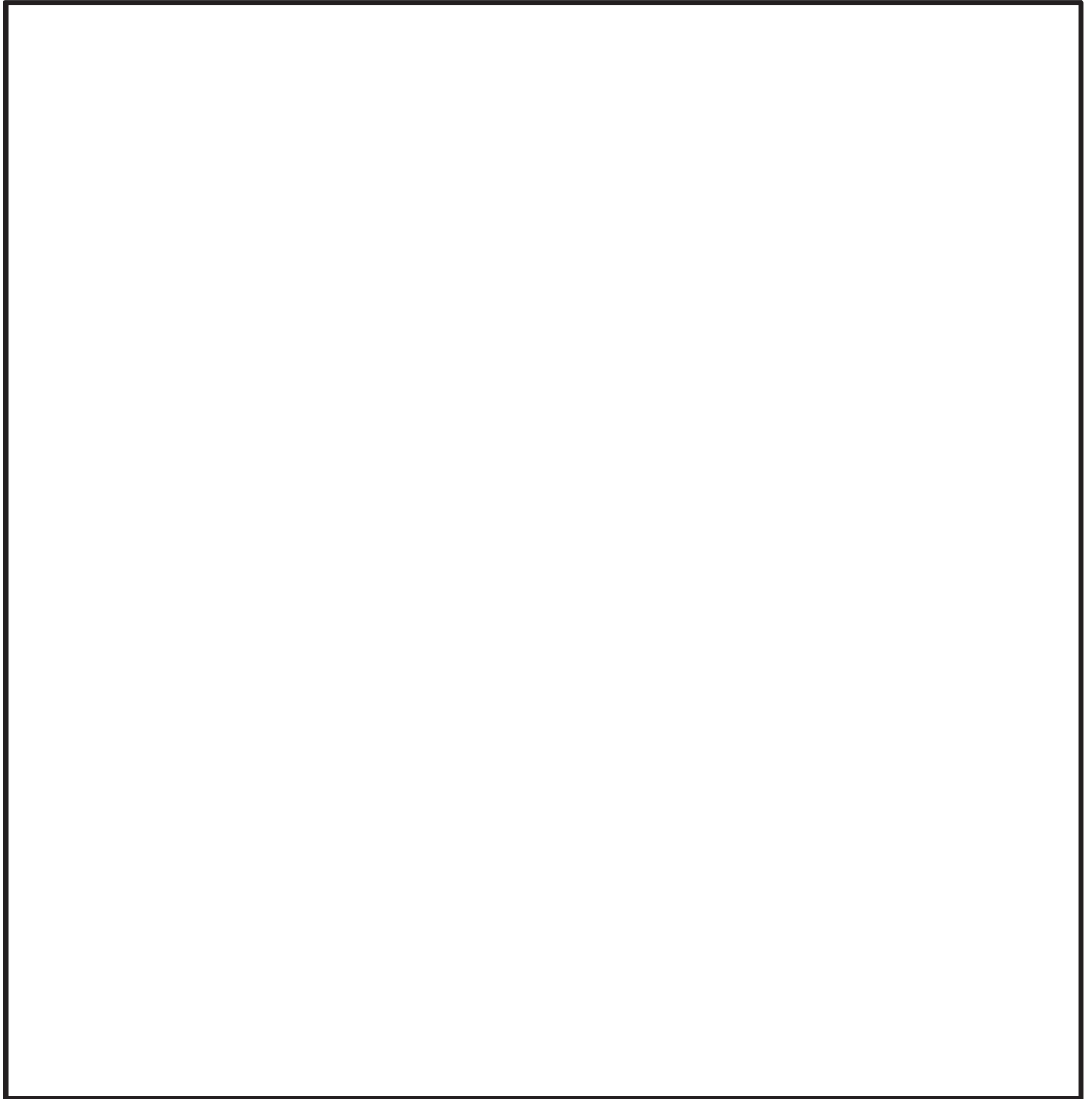


図 2-18 締付ボルトの詳細図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

c. 断面検定

カンヌキ部及び締付ボルトに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。カンヌキ部及び締付ボルトの許容限界を表 2-13 に示す。

(a) カンヌキ 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_k}{Z}$$

カンヌキ 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{Q_k}{A_3}$$

(b) カンヌキ受けピン 1 本あたりに生じる曲げ応力度

$$\sigma_b = \frac{M_p}{Z}$$

カンヌキ受けピン 1 本あたりに生じるせん断応力度

$$\tau = \frac{Q_p}{A_4}$$

(c) カンヌキ受けボルト 1 本あたりに生じる引張応力度

$$\sigma_T = \frac{T}{A_5}$$

(d) 締付ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度

$$\sigma_T = \frac{T}{A_6}$$

## 2.4 評価条件

### 2.4.1 貫通評価

貫通評価において、扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の貫通評価式に用いる評価条件を表 2-17 に示す。

表 2-17 扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の貫通評価に用いる評価条件

評価条件		数値
d (m)		0.07367
K		1.0
M (kg)		135
V (m/s)	水平方向	46.6
	鉛直方向	16.7

### 2.4.2 変形評価

扉の変形評価では、図 2-8 に示す扉に対して、最大変形が生じると想定される表面鋼板中央部に設計飛来物が衝突するケースを評価する。

解析ケースを表 2-18 に、設計飛来物の衝突イメージを図 2-19 に示す。

表 2-18 解析ケース（変形評価）

評価箇所	衝突箇所	設計飛来物の衝突方向	評価対象部材
扉	表面鋼板	水平	PL-32 [-600×300×25×36 H-600×300×25×36

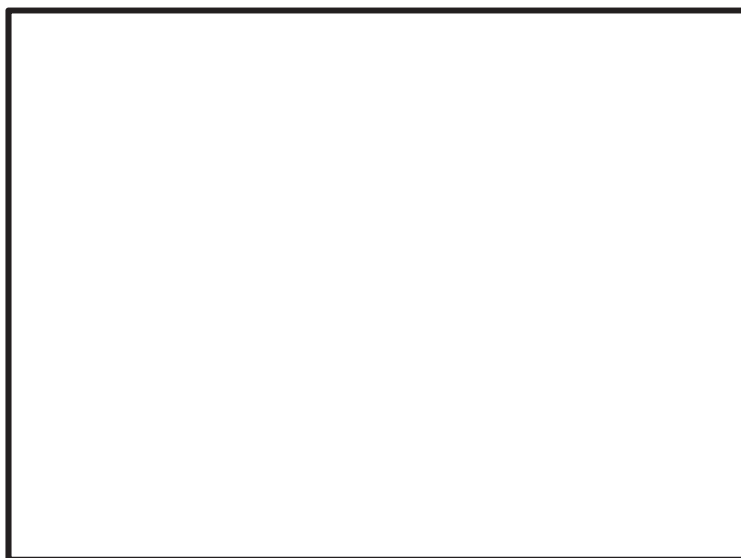


図 2-19 設計飛来物の衝突イメージ

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.4.3 応力評価

扉の応力評価に用いる条件を表 2-19 に示す。

表 2-19 応力評価に用いる評価条件 (D/G (A)防護扉)

記号	定義	数値	単位	
A <sub>1</sub>	表面鋼板 (小扉) の受圧面積	2.22	m <sup>2</sup>	
A <sub>2</sub>	表面鋼板 (小扉及びパネル) の受圧面積	16.36	mm <sup>2</sup>	
A <sub>3</sub>	カンヌキの断面積	1963	mm <sup>2</sup>	
A <sub>4</sub>	カンヌキ受けピンの断面積	490.9	mm <sup>2</sup>	
A <sub>5</sub>	カンヌキ受けボルトの断面積	157	mm <sup>2</sup>	
A <sub>6</sub>	締付ボルトの断面積	245	mm <sup>2</sup>	
L	カンヌキと扉枠の距離	91	mm	
L <sub>P</sub>	カンヌキ受けピンの軸支持間距離	72	mm	
n	カンヌキの本数	4	本	
n <sub>b</sub>	カンヌキ受けボルトの本数	2	本	
n <sub>k</sub>	締付ボルトの本数	48	本	
R	カンヌキ 1 本あたりに作用する荷重	4227	N	
R <sub>b</sub>	締付ボルト 1 本あたりに作用する荷重	2591	N	
ΔP	最大気圧低下量	7600	N/m <sup>2</sup>	
W <sub>P1</sub>	小扉に作用する気圧差荷重 (ΔP・A <sub>1</sub> )	16907	N	
W <sub>P2</sub>	小扉及びパネルに作用する気圧差荷重 (ΔP・A <sub>2</sub> )	124372	N	
Z	断面係数	カンヌキ	12270	mm <sup>3</sup>
		カンヌキ受けピン	1534	mm <sup>3</sup>

## 2.5 強度評価結果

### 2.5.1 貫通評価

竜巻発生時の扉の表面鋼板及び鋼製ハッチの上蓋の貫通限界厚さを表 2-20 に示す。

表 2-20 貫通限界厚さ

評価対象部位		貫通限界厚さ (mm)	備考
扉	表面鋼板	29.6	水平方向の飛来速度 46.6m/s の場合
鋼製ハッチ	上蓋	7.54	鉛直方向の飛来速度 16.7m/s の場合

扉及び鋼製ハッチの貫通評価結果として、貫通限界厚さと許容限界の比較を表 2-21 に示す。扉及び鋼製ハッチの評価対象部位の許容限界が、設計飛来物による貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを確認した。

表 2-21 貫通評価結果

評価対象部位		評価結果 (mm)	許容限界 (mm)
D/G (A) 室 防護扉	パネル	29.6	32
	小扉	29.6	32
東側共通通路 防護扉 (No. 1)		29.6	36
東側共通通路 防護扉 (No. 2)		29.6	36
D/G (H P C S) 室 防護扉		29.6	32
D/G (B) 室 防護扉		29.6	32
原子炉建屋 大物搬入口		29.6	32
軽油タンク室及び 軽油タンク室 (H) 鋼製ハッチ		7.54	16

### 2.5.2 変形評価

評価結果を表 2-22 並びに図 2-20 及び図 2-21 に示す。扉に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 2-22 評価結果

評価対象部位		評価結果	許容限界
扉	表面鋼板		
	芯材		



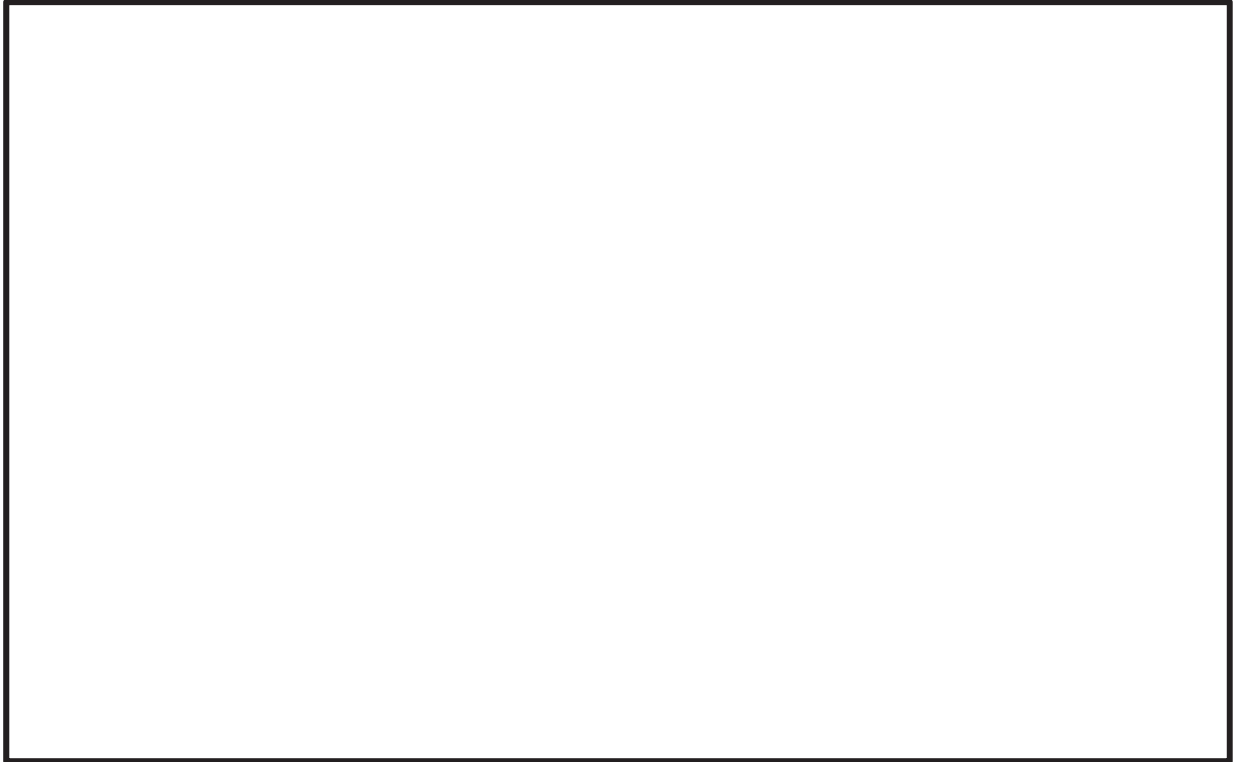


図 2-20 表面鋼板のひずみ分布図 (1/2)

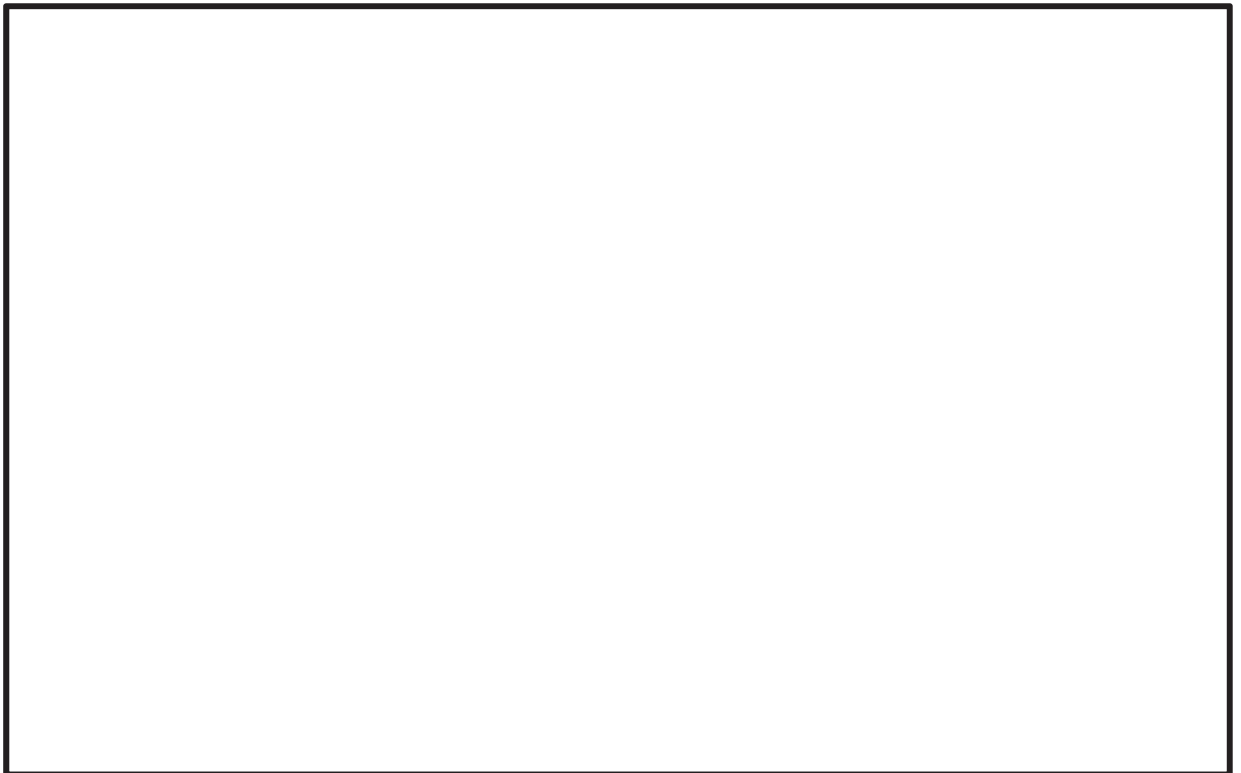


図 2-20 表面鋼板のひずみ分布図 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

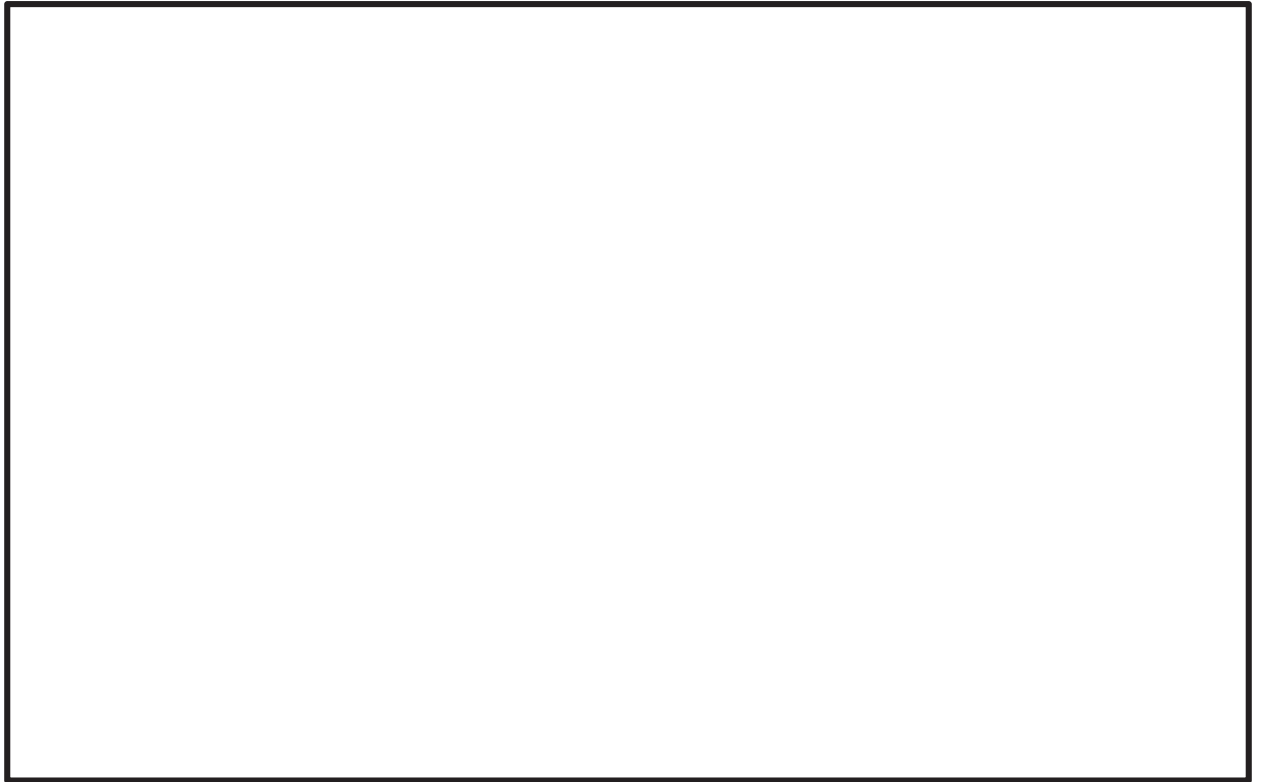


図 2-21 芯材のひずみ分布図 (1/2)

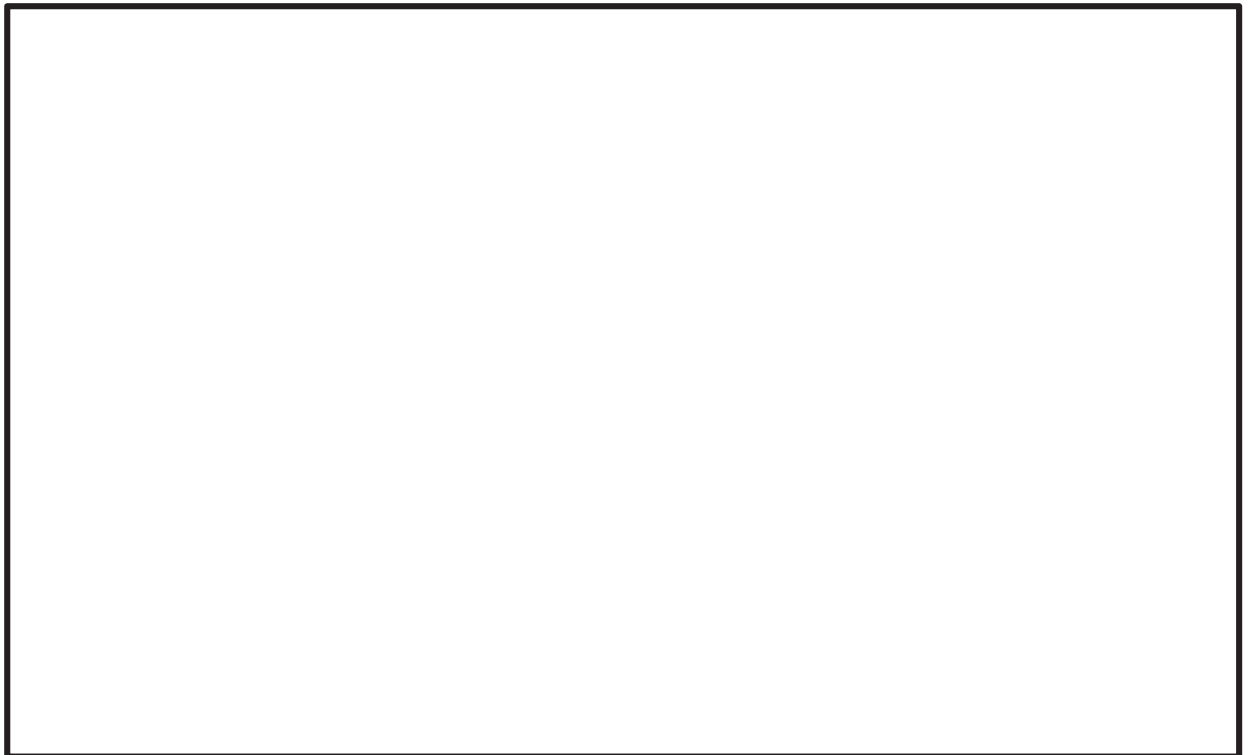


図 2-21 芯材のひずみ分布図 (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 2.5.3 応力評価

評価結果を表 2-23 に示す。扉のカンヌキ部及び締付ボルトに生じる応力度は、許容限界を超えないことを確認した。

表 2-23 評価結果

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

評価対象の扉 (D/G(A)室防護扉)	評価結果		許容限界
	項目	数値	
カンヌキ	曲げ応力度	32	205
	せん断応力度	3	118
カンヌキ受けピン	曲げ応力度	50	345
	せん断応力度	5	199
カンヌキ受けボルト	引張応力度	14	854
締付ボルト	引張応力度	11	728

VI-3-別添 1-1-2 原子炉補機冷却海水ポンプの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	18
4. 評価条件	32
5. 強度評価結果	35

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり原子炉補機冷却海水ポンプが竜巻時及び竜巻通過後においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

原子炉補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

原子炉補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図 2-1 に示す。

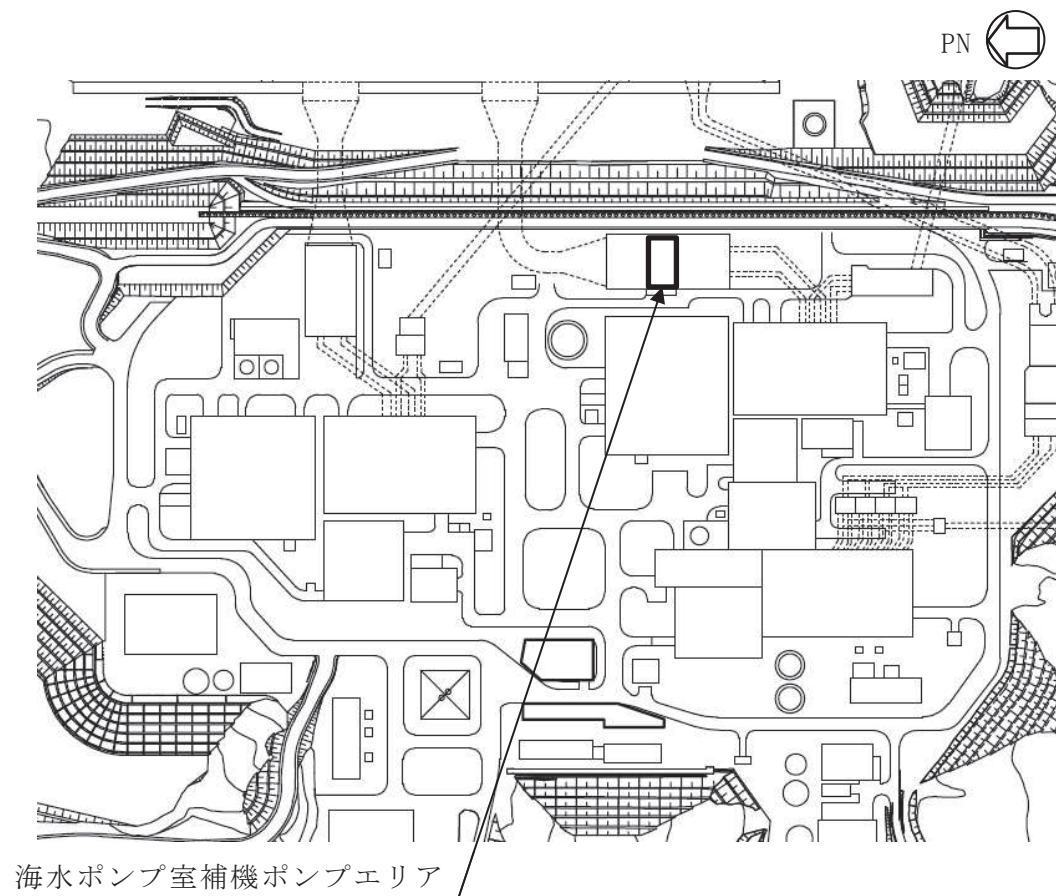


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

原子炉補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立型ポンプであり、同一設計の原子炉補機冷却海水ポンプを4台設置している。原子炉補機冷却海水ポンプ電動機の形状は、四角形を基本としたフレームに、外扇カバー、主回路用端子箱及び空気冷却器が付加された形態である。原子炉補機冷却海水ポンプの概要図を図 2-2 に示す。

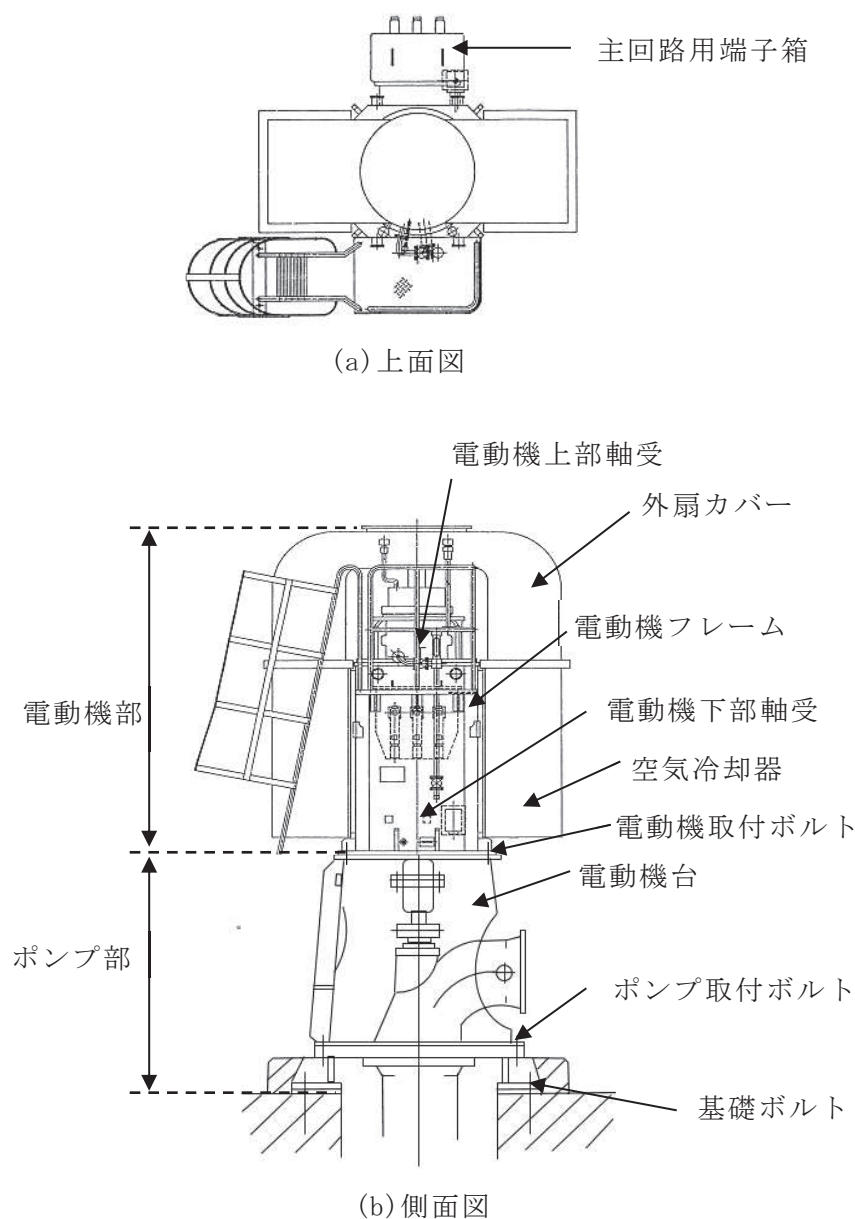


図 2-2 原子炉補機冷却海水ポンプの概要図

### 2.3 評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

原子炉補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価フローを図 2-3 に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

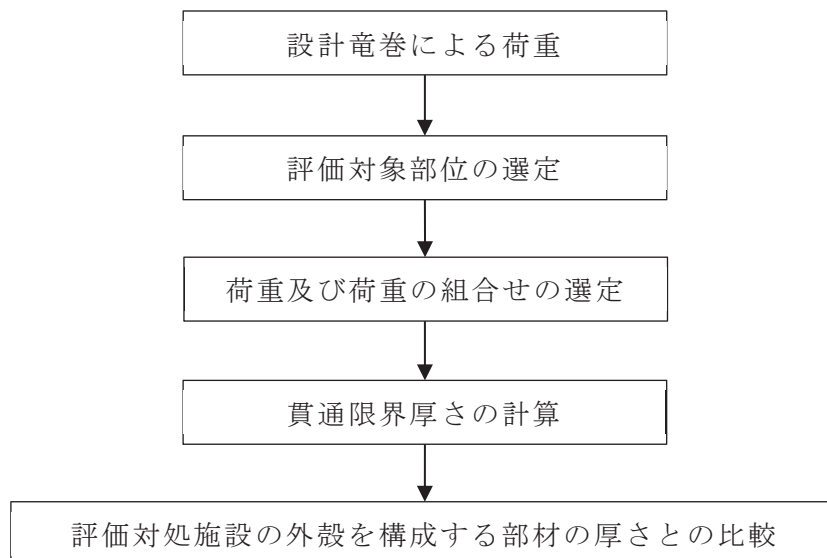


図 2-3 原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価フロー



(2) 構造強度評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価フローを図 2-4 に示す。構造強度評価においては、原子炉補機冷却海水ポンプに対して、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (J E A G 4 6 0 1・補-1984)」、「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1987)」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1-1991 追補版)」(以下「J E A G 4 6 0 1」という。)における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

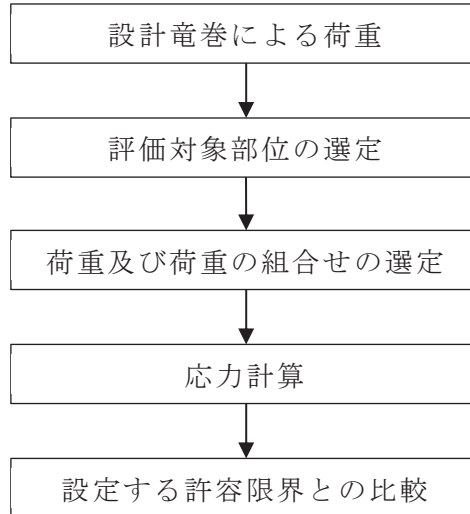


図 2-4 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価フロー

(3) 動的機能維持評価の評価方針

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。原子炉補機冷却海水ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、原子炉補機冷却海水ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容

荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

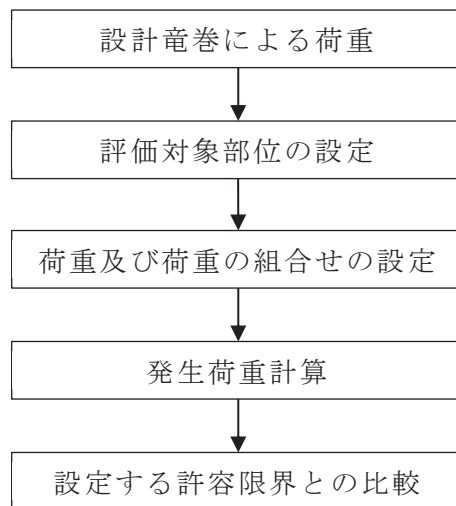


図 2-5 原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987 年 新版機械工学便覧

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

#### (1) 衝突評価の記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

表 3-2 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>11</sub>	m <sup>2</sup>	電動機台及び電動機フレームの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>12</sub>	m <sup>2</sup>	電動機フレームの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>13</sub>	m <sup>2</sup>	主回路用端子箱の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>14</sub>	m <sup>2</sup>	空気冷却器の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>15</sub>	m <sup>2</sup>	外扇カバーの受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>p</sub>	—	ポンプ振動による震度
D	mm	電動機フレーム外寸
D <sub>i</sub>	mm	ボルトのピッチ円の直径
d	mm	電動機フレーム内寸
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>bi</sub>	N	ボルトに作用する引張力
f <sub>b</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力
G	—	ガスト影響係数

表 3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$H$	$N$	自重による荷重
$H_P$	$mm$	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
$H_M$	$mm$	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
$h$	$mm$	重心と支点間の距離
$h_p$	$\mu m$	予想最大全振幅
$L_1$	$mm$	支点と評価ボルト間の距離
$L_H$	$mm$	基準面から重心位置までの距離
$M$	$N \cdot mm$	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	$N \cdot mm$	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	$kg$	ポンプスラスト
$m$	$kg$	質量
$m_i$	$kg$	ボルトに加わる機器質量
$N$	$rpm$	回転数 (同期)
$n_i$	—	ボルトの本数
$P$	$kW$	ポンプ出力
$Q_{bi}$	$N$	ボルトに働くせん断力
$q$	$MPa$	設計用速度圧
$S_y$	$MPa$	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	$MPa$	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
$W_T$	$N$	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	$N$	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	$N$	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_M$	$N$	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	$N$	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	$N$	設計竜巻の風圧力による荷重
$Z$	$mm^3$	断面係数
$\Delta P$	$MPa$	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\sigma$	$MPa$	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bi}$	$MPa$	ボルトに生じる引張応力
$\tau$	$MPa$	せん断応力
$\tau_{bi}$	$MPa$	ボルトに生じるせん断応力

表 3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	電動機台の受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
a	mm	部材間の長さ
a <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から電動機台上端までの長さ
a <sub>2</sub>	mm	電動機台上端から電動機下部軸受までの長さ
a <sub>3</sub>	mm	電動機台上端から荷重作用点までの長さ
b <sub>1</sub>	mm	回転子リブ幅 (短辺)
b <sub>2</sub>	mm	回転子リブ幅 (長辺)
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	回転子軸中心とリブ重心間の距離
d	mm	回転子コア径
D <sub>m</sub>	mm	電動機フレーム外寸
d <sub>m</sub>	mm	電動機フレーム内寸
D <sub>p</sub>	mm	電動機台外径
d <sub>p</sub>	mm	電動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>m</sub>	MPa	電動機フレームの縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	電動機台の縦弾性係数
E <sub>m</sub> '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から作用点までの距離
h <sub>1</sub> '	mm	電動機台上端から荷重作用点までの距離
h <sub>2</sub> '	mm	電動機下部軸受から荷重作用点までの距離
h <sub>3</sub> '	mm	荷重作用点から荷重作用点までの距離
h <sub>1</sub>	mm	回転子リブ高さ (長辺)
h <sub>2</sub>	mm	回転子リブ高さ (短辺)
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
I <sub>m</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機フレームの断面二次モーメント
I <sub>m</sub> '	mm <sup>4</sup>	回転子の断面二次モーメント
I <sub>p</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i <sub>1</sub>	rad	ポンプ据付面から電動機台上端部の傾斜
i <sub>3</sub>	rad	電動機台上端部から荷重作用点の傾斜

表 3-3 動的機能維持評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$i_4$	rad	荷重作用点の傾斜
$M$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_a$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_b$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$M_c$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$q$	MPa	設計用速度圧
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W'$	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
$W''$	N	発生荷重
$W_a''$	N	電動機下部軸受部の発生荷重
$W_b''$	N	電動機上部軸受部の発生荷重
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$x$	mm	荷重作用点から評価対象部位までの距離
$x'$	mm	評価対象部位から支点までの距離
$x_a'$	mm	ポンプ上部軸受部から電動機下部軸受部までの距離
$x_b'$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$y$	mm	たわみ量
$y_1$	mm	ポンプ据付面から電動機台上端部のたわみ量
$y_2$	mm	電動機台上端部から電動機下部軸受部のたわみ量
$y_3$	mm	電動機台上端部から荷重作用点のたわみ量
$y_4$	mm	荷重作用点のたわみ量
$y_5$	mm	荷重作用点から電動機上部軸受部のたわみ量
$y_a$	mm	電動機下部軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	電動機上部軸受部のたわみ量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

### 3.2 評価対象部位

原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、原子炉補機冷却海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

原子炉補機冷却海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路用端子箱を選定する。

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

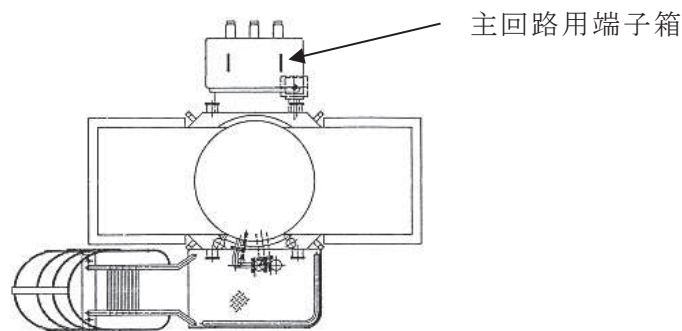


図 3-1 原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

##### a. ポンプ部

ポンプ部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して、基礎面及び電動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

##### b. 電動機部

電動機部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び付属品に作用し、電動機フレーム及び付属品を介して、付属品の取付部

を固定するボルトに作用する。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 電動機フレーム
- ・ 主回路用端子箱取付ボルト
- ・ 空気冷却器取付ボルト
- ・ 外扇カバー取付ボルト

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図 3-2、図 3-3 に示す。

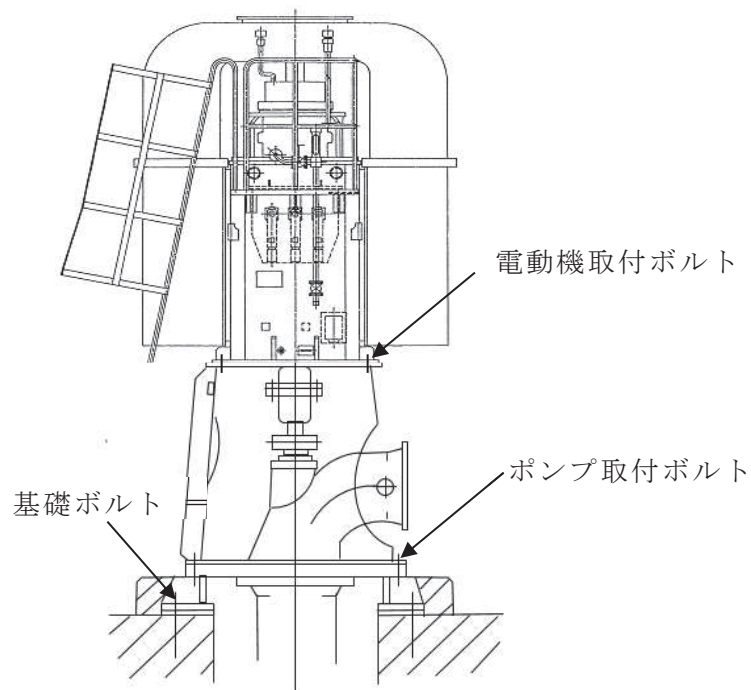


図 3-2 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価対象部位図（ポンプ部）



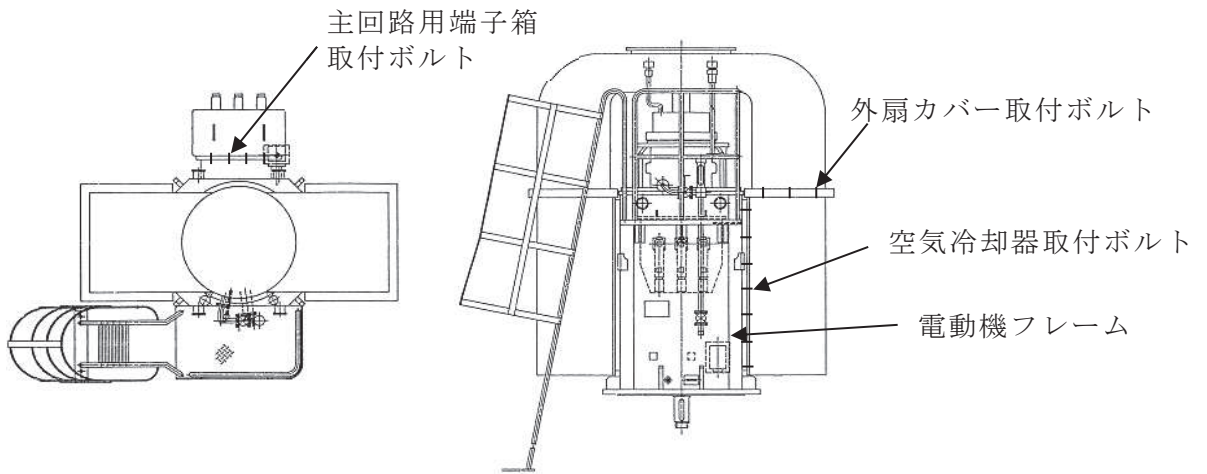


図 3-3 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価対象部位図（電動機部）

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻により荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・ 電動機下部軸受部
- ・ 電動機上部軸受部

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

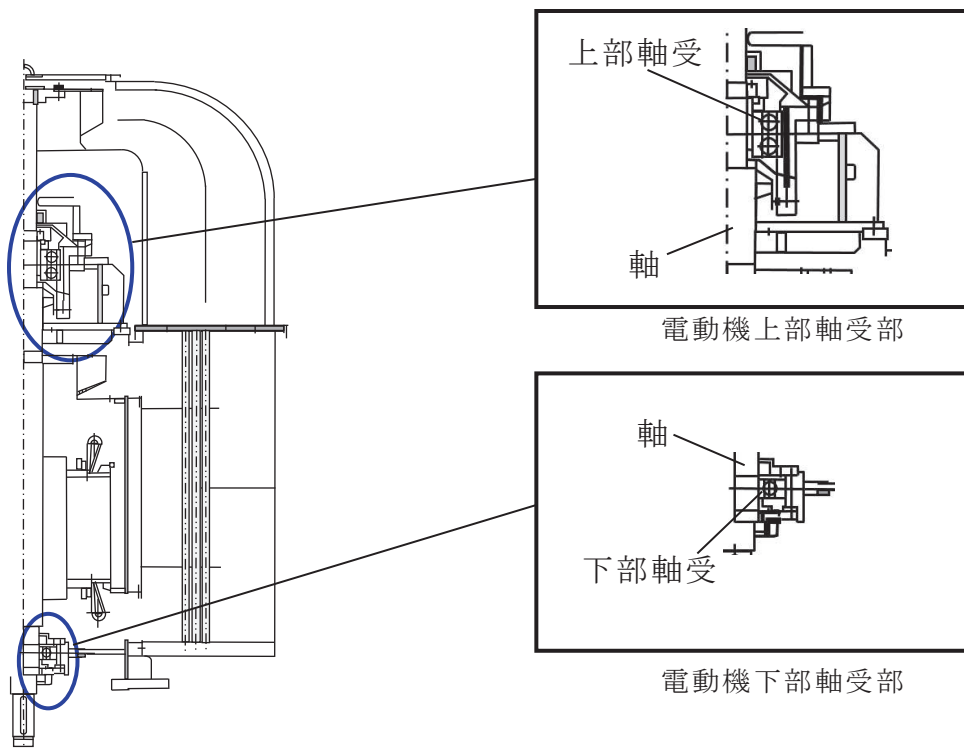


図 3-4 原子炉補機冷却海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40mm）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表 3-4、原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表 3-5 に示す。

表 3-4 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表 3-5 原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	原子炉補機冷却 海水ポンプ	主回路用端子箱	飛来物による衝撃 荷重

#### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

##### (b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重

に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 $W_w$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ )は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。なお、原子炉補機冷却海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため、複合荷重の選定において、 $W_{T2}$ としては気圧差を考慮するが、 $W_{T1}$ の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、鉛直下向きに作用するポンプスラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

ボルト材の構造強度評価において、水平方向に取り付けられている場合（主回路用端子箱取付ボルト及び空気冷却器取付ボルト）は、自重を考慮する。

原子炉補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部 事象防護対 象施設	原子炉補機 冷却海水ポ ンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	電動機取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				ポンプ取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
			電動機部	電動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				主回路用端子箱 取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
				空気冷却器取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
		外扇カバー取付 ボルト		①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
		動的 機能 維持 評価	電動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			電動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

### 3.4 許容限界

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力及び軸受部の接触面圧の許容荷重を用いる。

#### (1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表 3-7 に示す。

表 3-7 原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
原子炉補機冷却海水ポンプ	

#### (2) 構造強度評価における許容限界

原子炉補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5, 6 の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の周囲環境温度及び許容最高温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界を表 3-8、許容応力を表 3-9 に示す。

表 3-8 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
電動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	$1.5 f_b$

表 3-9 原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	1.5 f <sub>t</sub> (MPa)	1.5 f <sub>s</sub> (MPa)	1.5 f <sub>b</sub> (MPa)
電動機取付 ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
ポンプ取付 ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
基礎ボルト	SCM435	40* <sup>1</sup>	785	930	651	488	375	—
電動機フレーム	SS400	155* <sup>2</sup>	205	373	205	—	—	237
主回路用端子箱 取付ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—
空気冷却器取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—
外扇カバー取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	—

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: 電動機の耐熱クラス F 種における許容最高温度

(3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は、設計荷重により電動機フレームが変形する場合においても原子炉補機冷却海水ポンプの運転継続が可能であるように、「J I S B 1 5 1 8 転がり軸受の動定格荷重及び定格寿命の計算方法」の基本動定格荷重を基に設定する軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受部の接触面圧の許容荷重を表 3-10 に示す。

表 3-10 軸受部の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
電動機上部軸受部	
電動機下部軸受部	

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの衝突評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

##### (a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び電動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

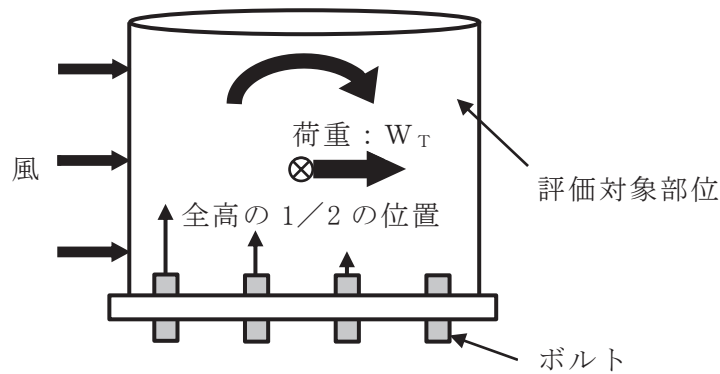


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

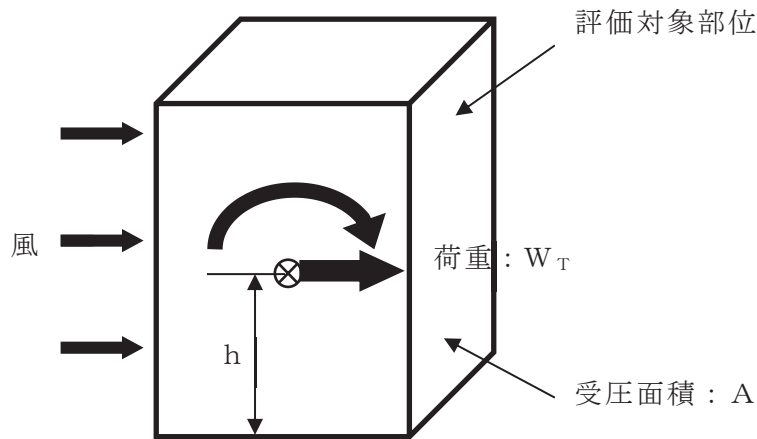


図 3-6 応力の計算モデル図 (電動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の電動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端まで（ポンプ部）と、電動機台上端から電動機まで（電動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は、電動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価し、電動機部については電動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体（電動機フレーム等）は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体（ポンプ軸及び電動機軸）は、風荷重を受けないため、変形せず、電動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。電動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。



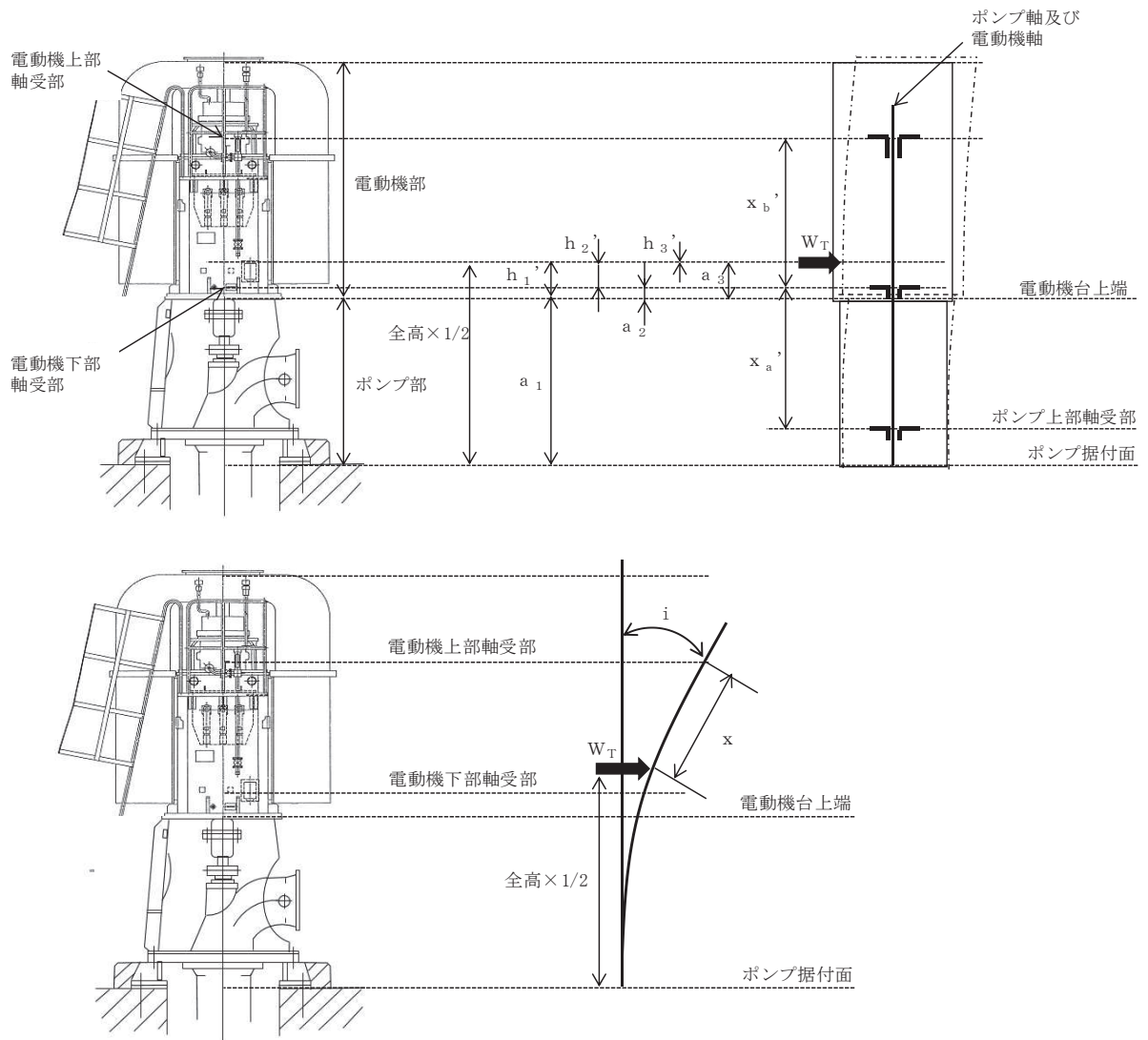


図 3-7 原子炉補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

電動機取付ボルト, ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの配置図を図 3-8～図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{W_{T2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで、ポンプ振動による震度  $C_p$  は、

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし、 $F_{bi} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bi} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau_{bi}$

**【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】**

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで、ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

**【基礎ボルト】**

$$Q_{bi} = W_{T2}$$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_b}$$

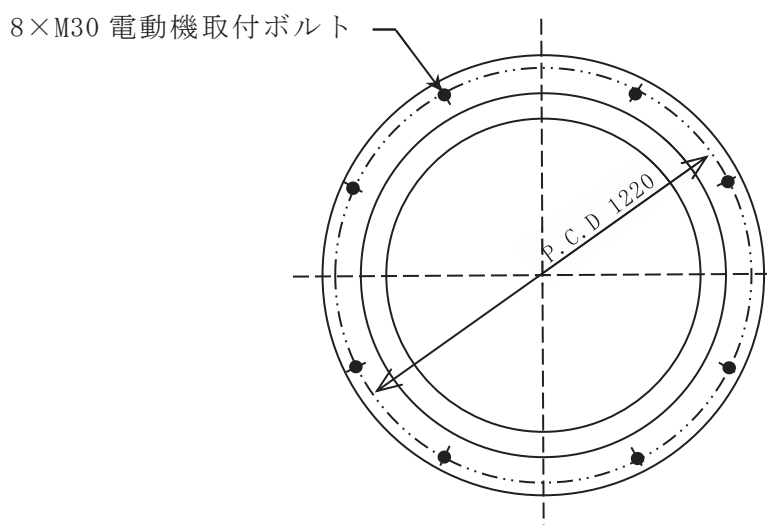


図 3-8 電動機取付ボルトの配置図

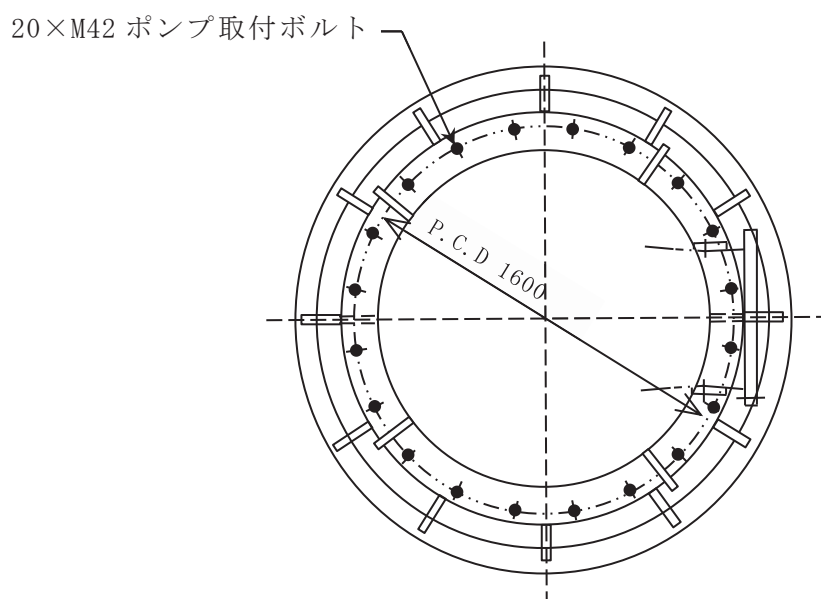


図 3-9 ポンプ取付ボルトの配置図

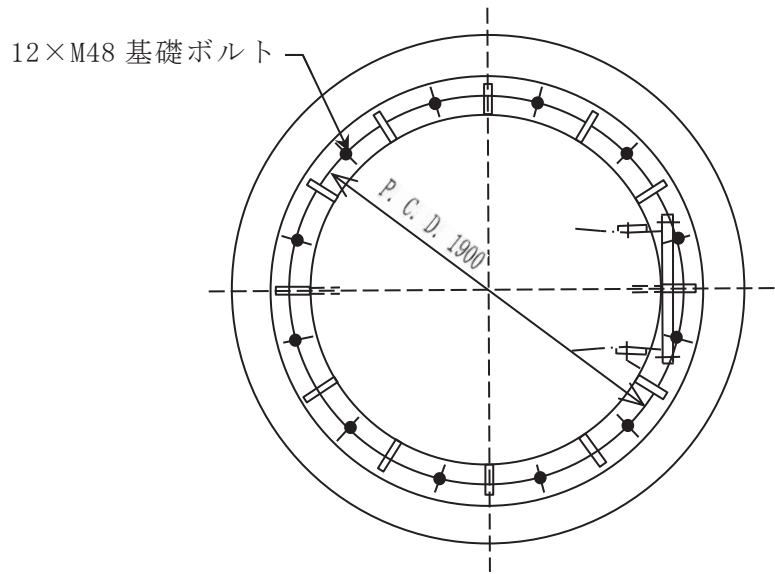


図 3-10 基礎ボルトの配置図

ロ. 電動機部

電動機フレーム，主回路用端子箱取付ボルト部，空気冷却器取付ボルト部及び外扇カバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

(イ) 電動機フレーム

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・ 曲げ応力

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{1}{6} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

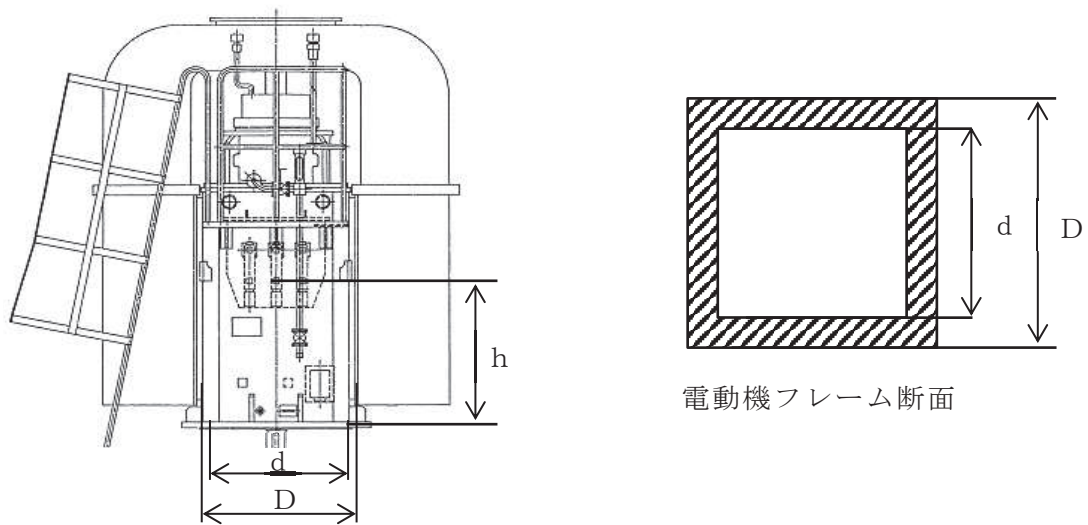


図 3-11 電動機フレーム詳細図

(ロ) 主回路用端子箱取付ボルト部及び空気冷却器取付ボルト部  
 主回路用端子箱取付ボルト部及び空気冷却器取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

(i) 風圧力及び自重に生じる曲げモーメントM

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで,

$$Q_{bi} = W_T + H$$

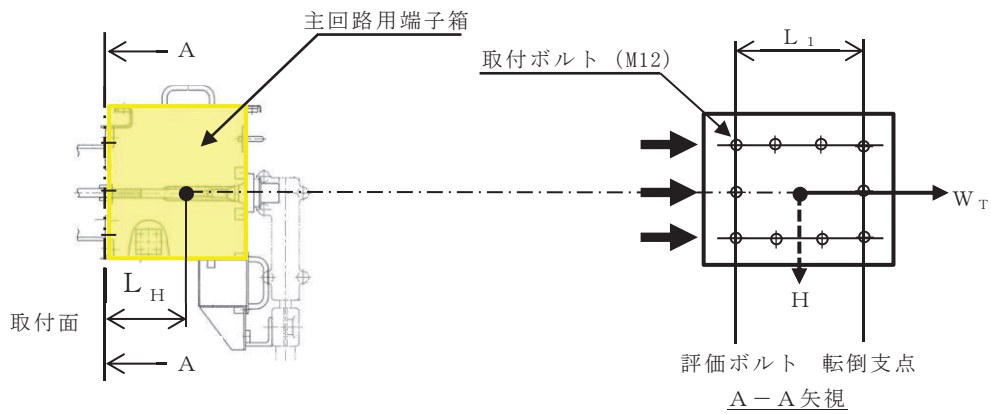


図 3-12 主回路用端子箱取付ボルト部詳細図

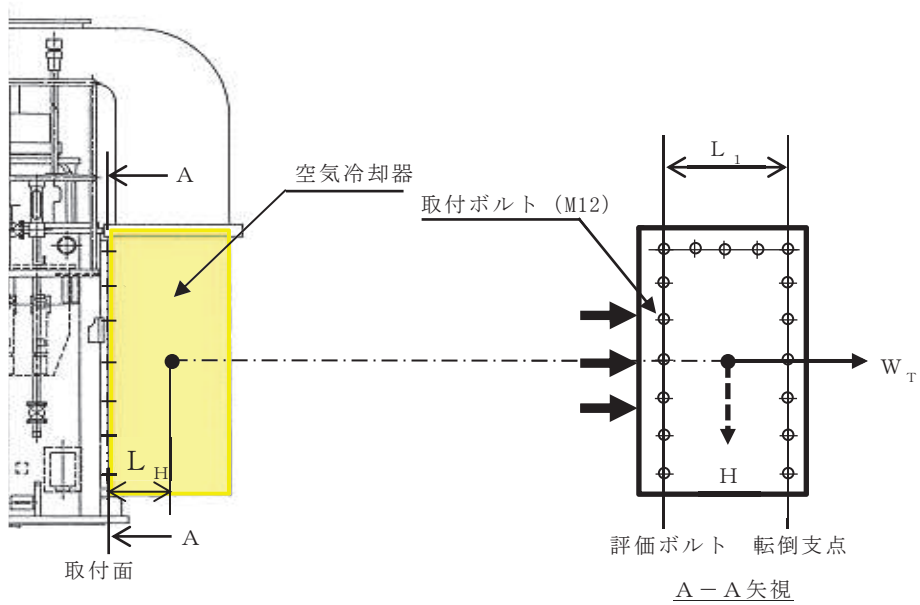


図 3-13 空気冷却器取付ボルト部詳細図

(ハ) 外扇カバー取付ボルト部

外扇カバー取付ボルトの応力算出方法を以下に示す。

(i) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{bi} = \frac{W_T}{A_b \cdot n_i}$$

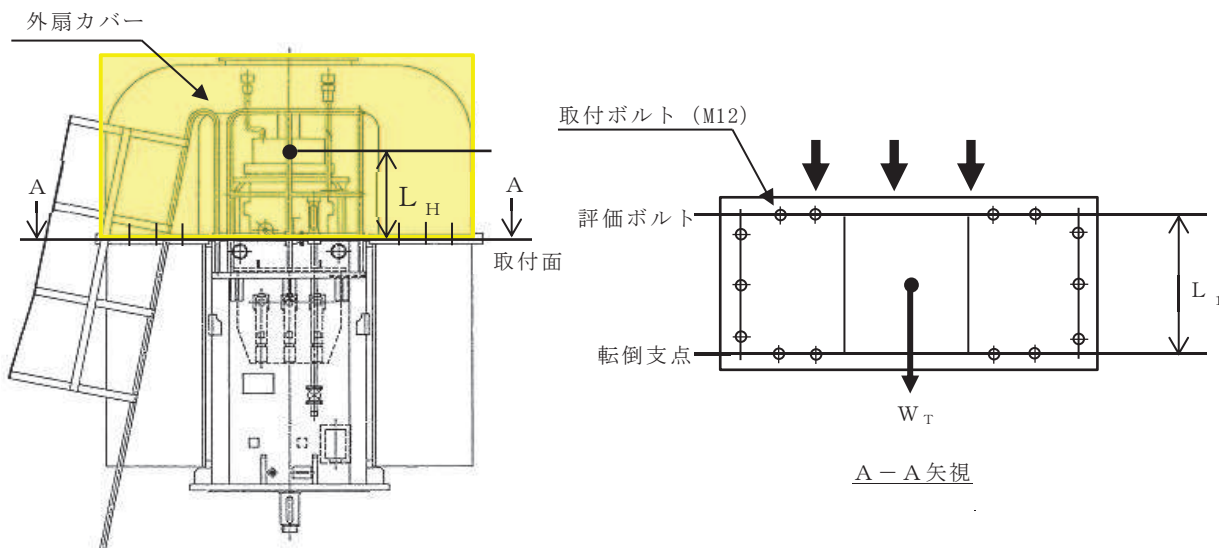


図 3-14 外扇カバー取付ボルト詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において、設計竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台とし、水平荷重  $W'$  は外扇カバー、空気冷却器、電動機フレーム及び電動機台に発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

$$W' = W_{T2}$$

風による水平荷重の受圧面積を図3-15に示す。

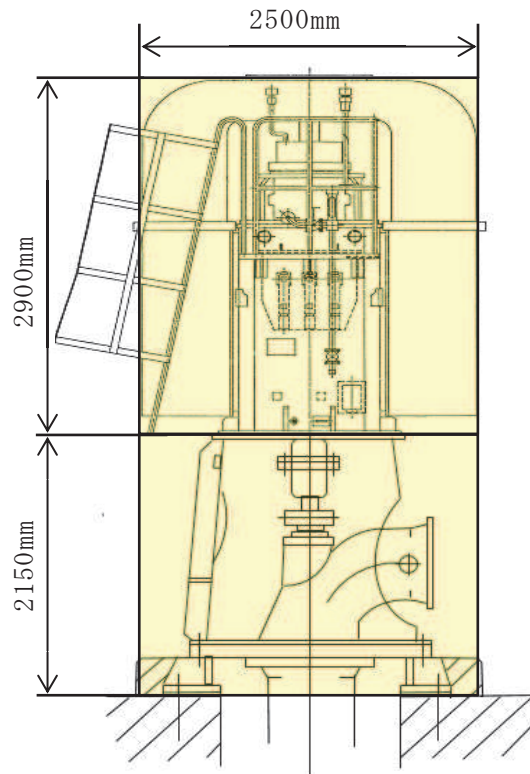


図 3-15 風による水平荷重の受圧面積

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量  $y$  と傾斜  $i$  を算出する。なお、荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(イ) 電動機下部軸受部

・ポンプ据付面から電動機台上端部のたわみ量  $y_1$ ，傾斜  $i_1$

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$



$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

ここで、電動機台の断面図を図3-16に示す。

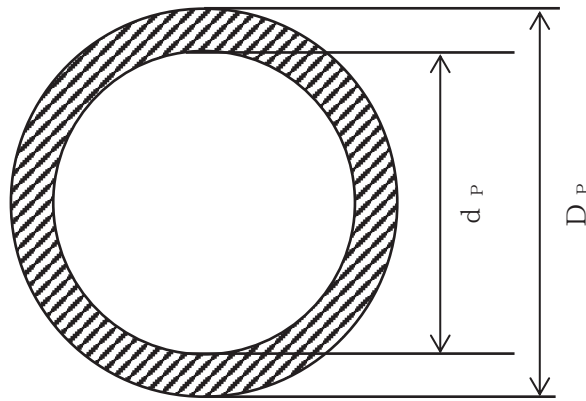


図 3-16 電動機台の断面図

円筒形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi \cdot (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・ 電動機台上端部から電動機下部軸受部のたわみ量  $y_2$

$$y_2 = \frac{M_b \cdot a_2^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_2^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_b = W' \cdot h_2'$$

ここで、電動機フレームの断面図を図 3-17 に示す。

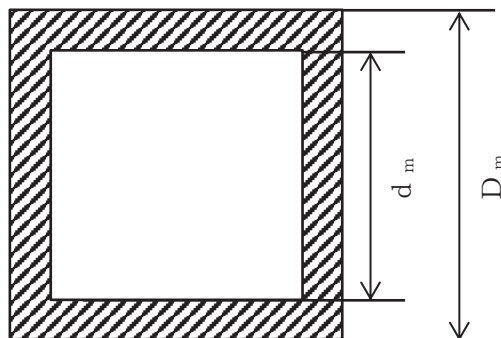


図 3-17 電動機フレームの断面図

四角形であるため、断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m = \frac{D_m^4 - d_m^4}{12}$$

よって、電動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

ここで、電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 3-18 に示す。

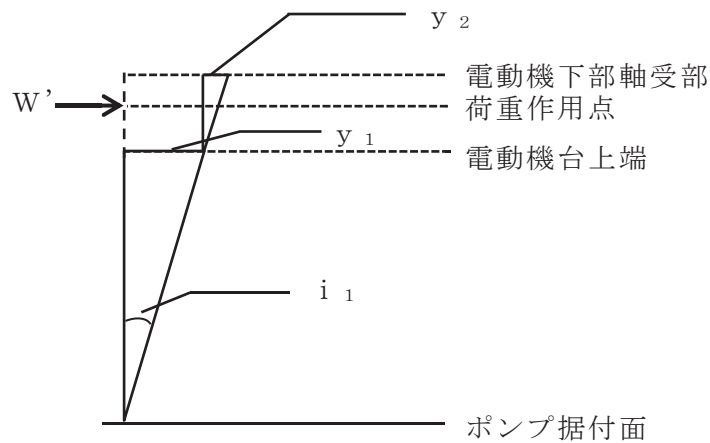


図 3-18 電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

(ロ) 電動機上部軸受部

- ・電動機台上端部から荷重作用点のたわみ量  $y_3$ ，傾斜  $i_3$

$$y_3 = \frac{M_c \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^3}{3 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$i_3 = \frac{M_c \cdot a_3}{E_m \cdot I_m} + \frac{W' \cdot a_3^2}{2 \cdot E_m \cdot I_m}$$

$$M_c = W' \cdot h_3'$$

よって、荷重作用点のたわみ量  $y_4$ ，傾斜  $i_4$

$$y_4 = y_1 + y_3$$

$$i_4 = i_1 + i_3$$

荷重作用点から電動機上部軸受部のたわみ量  $y_5$

$$y_5 = x \cdot \sin(i_4)$$

以上より，電動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_4 + y_5$$

ここで，電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図 3-19 に示す。

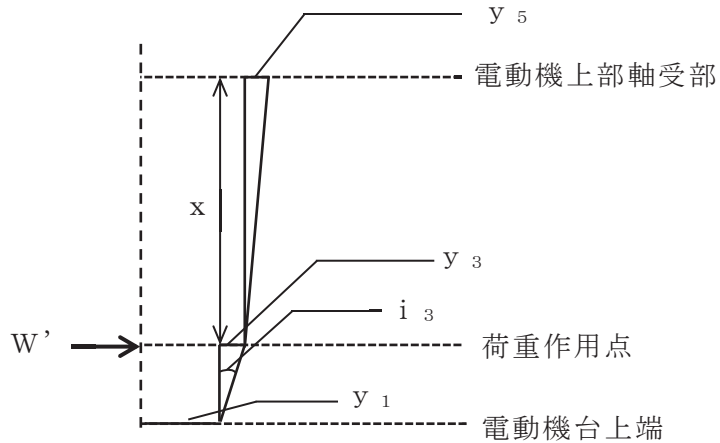


図 3-19 電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

ロ. 発生荷重の算出

軸受部において，フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し，発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重 $W''$  は次式より計算する。

$\delta$  = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また，発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

(イ) 電動機下部軸受部の発生荷重

$$W_a'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで， $\delta_a = y_a$

回転子（電動機部）の断面図を図3-20に示す。

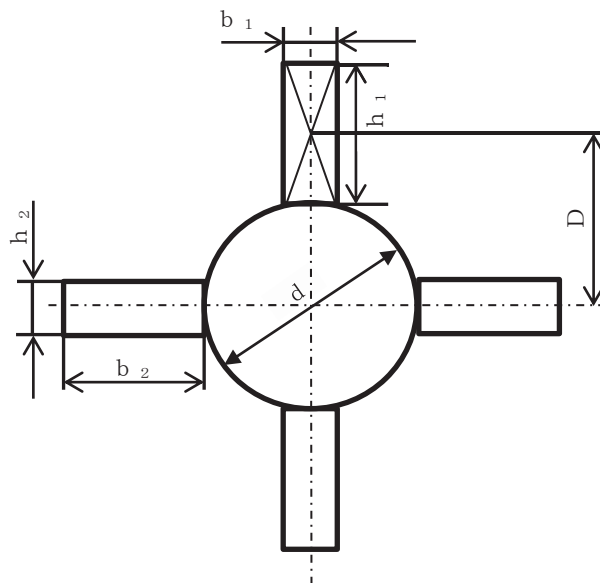


図 3-20 回転子（電動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + 2 \cdot \left\{ D^2 \cdot b_1 \cdot h_1 + \left( \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} \right) \right\} + 2 \cdot \left( \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} \right)$$

(ロ) 電動機上部軸受部の発生荷重

$$W_b'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで、 $\delta_b = y_b - y_a$

#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

G (-)	q (MPa)	$\Delta P$ (MPa)	$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	g ( $m/s^2$ )	$W_M$ (N)
1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	80	750	420	9.80665	0

表 4-2 評価条件 (電動機取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ
2.4	6900	4300	8	1220	7.25	M30

$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	$A_b$ ( $mm^2$ )
80	750	420	706.9

表 4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ
2.4	26300	4300	20	1600	12.63	M42

$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)	$A_b$ ( $mm^2$ )
80	750	420	1385

表 4-4 評価条件 (基礎ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	$D_i$ (mm)	ボルト サイズ
2.4	28300	4300	12	12.63	1900	M48

N (rpm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
750	1810

表 4-5 評価条件（電動機フレーム）

C (-)	h (mm)	D (mm)	d (mm)	A <sub>12</sub> (m <sup>2</sup> )
2.4	825			7.25

表 4-6 評価条件（主回路用端子箱取付ボルト）

C (-)	A <sub>13</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	m (kg)	n <sub>i</sub> * (-)
2.4	0.1980	M12	113.1	100	10 (3)

L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
245	560

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7 評価条件（空気冷却器取付ボルト）

C (-)	A <sub>14</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	m* <sup>1</sup> (kg)	n <sub>i</sub> * <sup>2</sup> (-)
2.4	2.403	M12	113.1	670	17 (7)

L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
322.5	800

注記 \*1 : 上載する外扇カバーの重量を含む

\*2 : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-8 評価条件（外扇カバー取付ボルト）

C (-)	A <sub>15</sub> (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub> * (-)	L <sub>H</sub> (mm)
2.4	2.813	M12	113.1	14 (4)	562.5

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

L <sub>1</sub> (mm)
840

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-9～表 4-15 に示す。

表 4-9 評価条件（たわみ量の算出）

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	G (-)	q (MPa)	Δ P (MPa)
2.4	12.63	1	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$

表 4-10 評価条件（電動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデル の材質	温度 (°C)	W <sub>M</sub> (N)	h <sub>1</sub> ' (mm)	h <sub>2</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)
SM400A	40	0	375	205	2150
SS400	155				

a <sub>2</sub> (mm)	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	E <sub>m</sub> (MPa)	I <sub>m</sub> (mm <sup>4</sup> )
170	202000	$1.598 \times 10^{10}$	195000	$5.840 \times 10^9$

表 4-11 評価条件（電動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計 算モデルの 材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>a</sub> ' (mm)	δ <sub>a</sub> (mm)
S35C	155	193000	$3.562 \times 10^8$	1945	0.3040

表 4-12 評価条件（電動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モ デルの材質	温度 (°C)	W <sub>M</sub> (N)	h <sub>3</sub> ' (mm)	a <sub>3</sub> (mm)	E <sub>m</sub> (MPa)
SS400	155	0	0	375	195000

$I_m$ ( $\text{mm}^4$ )
$5.840 \times 10^9$

表 4-13 評価条件（電動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算 モデルの材質	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$E_m'$ (MPa)	$I_m'$ ( $\text{mm}^4$ )	$x_b'$ (mm)	$\delta_b$ (mm)
S35C	155	193000	$3.562 \times 10^8$	1840	0.3959

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、原子炉補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果（砂利）

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材 の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
原子炉補機冷却海水ポンプ		1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 電動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

電動機取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表 5-3 評価結果（電動機取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	50	488
せん断	26	375
組合せ	50	488

b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（ポンプ取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	22	488
せん断	9	375
組合せ	22	488

c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	19	488
せん断	11	375
組合せ	19	488

d. 電動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

電動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（電動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	10	237

e. 主回路用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

主回路用端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（主回路用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	6	153
せん断	5	118
組合せ	6	153

f. 空気冷却器取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

空気冷却器取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（空気冷却器取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	26	153
せん断	27	118
組合せ	26	153

g. 外扇カバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

外扇カバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-9 評価結果（外扇カバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	77	153
せん断	33	118
組合せ	77	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 電動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

電動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（電動機下部軸受部）

発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
$8.512 \times 10^3$	

b. 電動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

電動機上部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-11 評価結果（電動機上部軸受部）

発生荷重 (N)	許容荷重 (N)
$1.309 \times 10^4$	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 1-1-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの  
強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	18
4. 評価条件	31
5. 強度評価結果	34

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプが竜巻時及び竜巻通過後においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

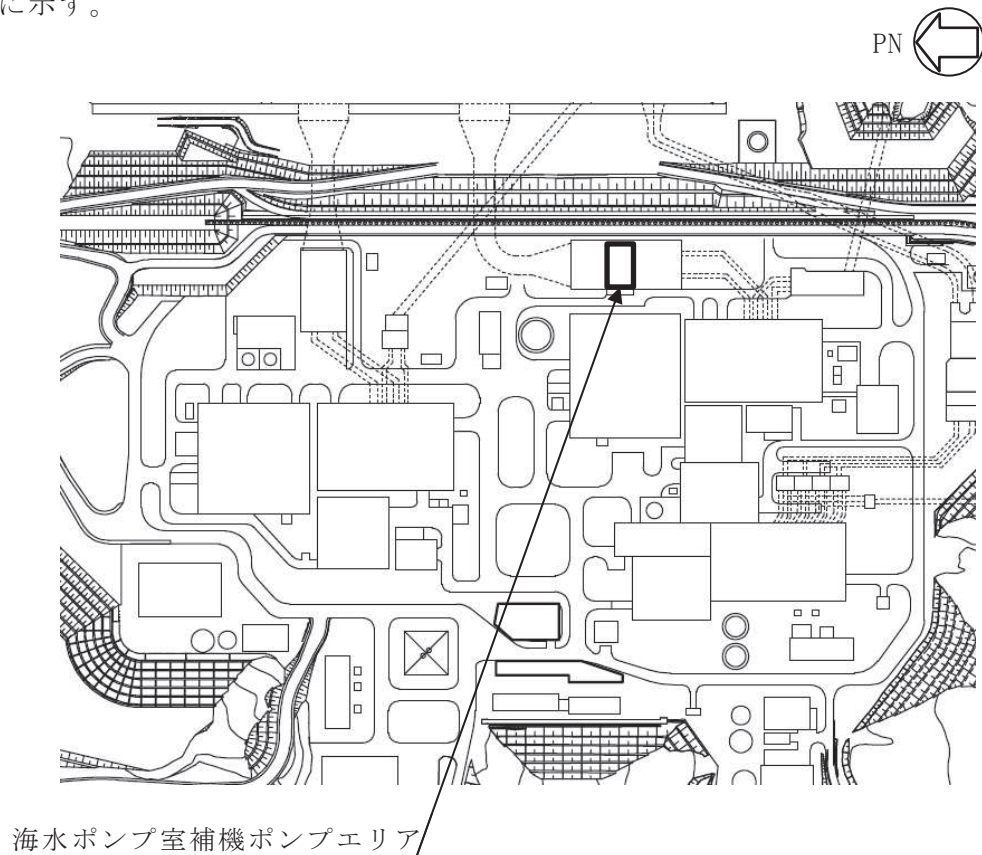


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機台までのポンプ部と、電動機台より上部の電動機部からなる立型ポンプである。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの形状は、円筒形を基本としたフレームに、主回路用端子箱等が付加された形態である。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要図を図2-2に示す。

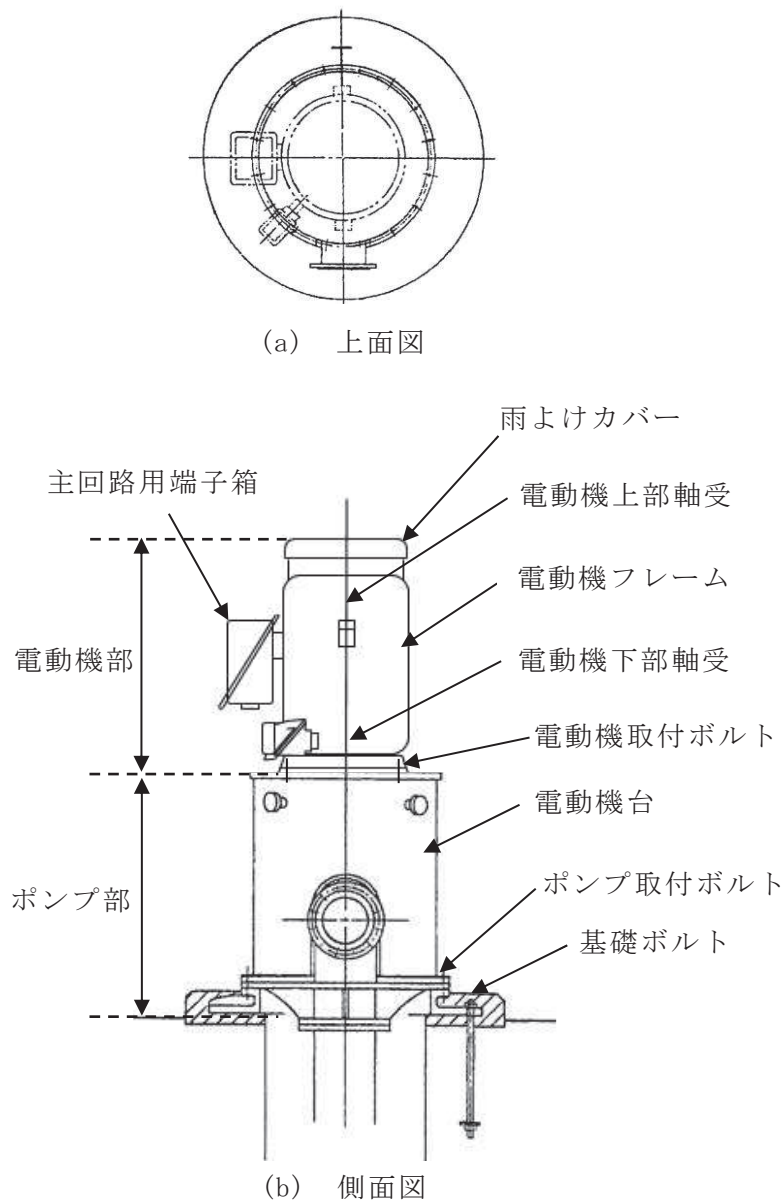


図 2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの概要図

### 2.3 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さとする。

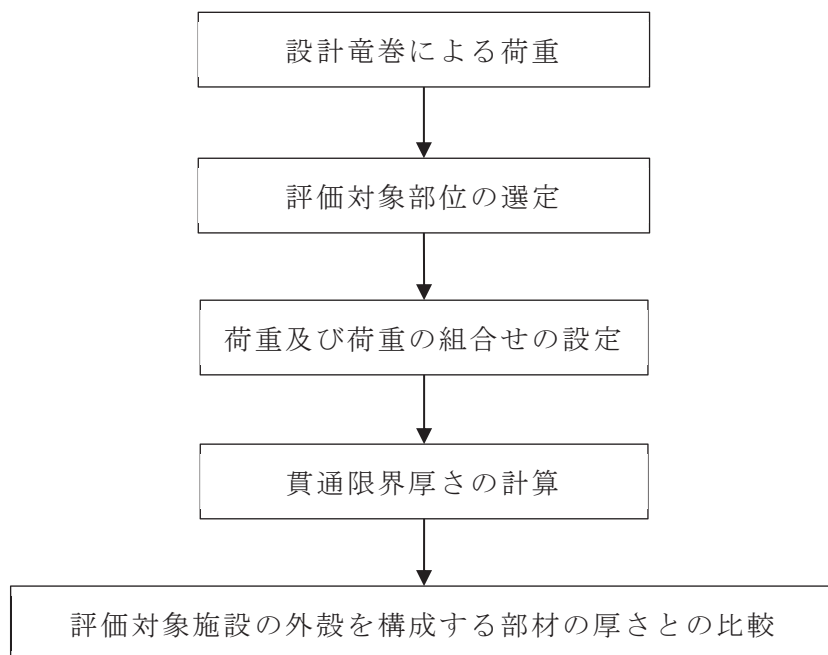


図 2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価フロー



## (2) 構造強度評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに対して、設計竜巻による荷重に運転時の状態で作用する荷重及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価において、その部材に対して応力が大きくなる方向から風が当たることを想定する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同等なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

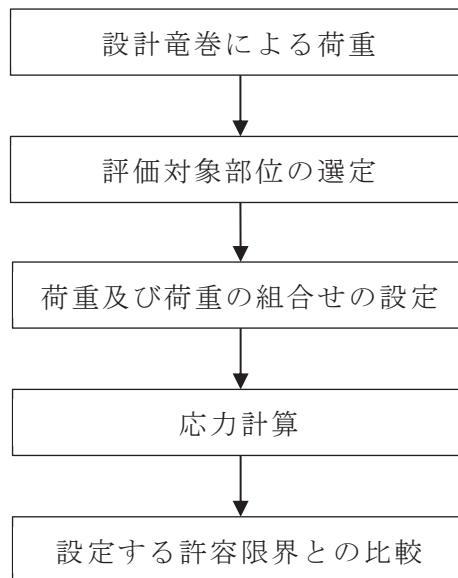


図2-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価フロー

### (3) 動的機能維持評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フローを図 2-5 に示す。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは動的機器であるため、構造強度評価に加え、軸受部の動的機能維持評価を行う。動的機能維持評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ据付面から上部の受圧面積が大きくなる方向から風が当たることを想定し、設計竜巻の風圧力による荷重を受けた際のフレーム変位により生じる軸受荷重が接触面圧の許容荷重以下であることを確認する。動的機能維持評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方法」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、軸受部の接触面圧の許容荷重とする。

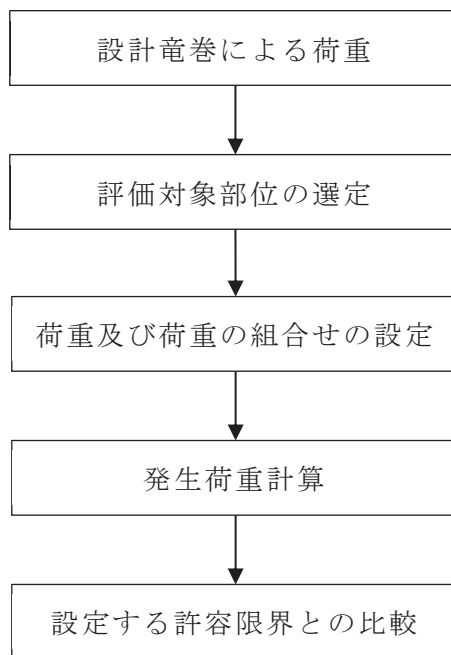


図2-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）

- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧
- ・J I S G 5 5 0 1 -1995 ねずみ鋳鉄品

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	mm	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

##### (2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる記号を表3-2及び表3-3に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>11</sub>	m <sup>2</sup>	電動機台及び電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>12</sub>	m <sup>2</sup>	電動機フレームの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>13</sub>	m <sup>2</sup>	主回路用端子箱の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>14</sub>	m <sup>2</sup>	ファンカバーの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>p</sub>	—	ポンプ振動による震度
D	mm	電動機フレーム外径
D <sub>i</sub>	mm	ボルトのピッチ円の直径
d	mm	電動機フレーム内径
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>bi</sub>	N	ボルトに作用する引張力
f <sub>b</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1 により規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	N	自重による荷重
H <sub>P</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機台高さ
H <sub>M</sub>	mm	風の受圧面積算出時の電動機フレーム高さ
h	mm	重心と支点間の距離
h <sub>p</sub>	μm	予想最大全振幅
L <sub>1</sub>	mm	支点と評価ボルト間の距離
L <sub>H</sub>	mm	基準面から重心位置までの距離

表3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
M	N・mm	設計竜巻により評価対象部位に作用するモーメント
$M_p$	N・mm	ポンプの回転により働くモーメント
$M_s$	kg	ポンプスラスト
m	kg	質量
$m_i$	kg	ボルトに加わる機器質量
N	rpm	回転数 (同期)
$n_i$	—	ボルトの本数
P	kW	ポンプ出力
$Q_{bi}$	N	ボルトに働くせん断力
q	MPa	設計用速度圧
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_w$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\sigma$	MPa	電動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bi}$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
a	mm	部材間の長さ
a <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までの長さ
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	回転子コア径
D <sub>p</sub>	mm	電動機台外径
d <sub>p</sub>	mm	電動機台内径
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	電動機台の縦弾性係数
E <sub>m</sub> '	MPa	回転子の縦弾性係数
G	—	ガスト影響係数
h'	mm	基準点から荷重作用点までの距離
h <sub>1</sub> '	mm	電動機台上端から荷重作用点までの距離
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
I <sub>m</sub> '	mm <sup>4</sup>	回転子の断面二次モーメント
I <sub>p</sub>	mm <sup>4</sup>	電動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i <sub>1</sub>	rad	ポンプ据付面から荷重作用点の傾斜
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M <sub>a</sub>	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	MPa	設計用速度圧
W <sub>T</sub>	N	設計竜巻による複合荷重
W <sub>T2</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T2</sub> = W <sub>w</sub> + 0.5・W <sub>p</sub> + W <sub>M</sub> )
W'	N	たわみ量及び発生荷重計算における設計竜巻による複合荷重
W''	N	発生荷重
W <sub>a</sub> ''	N	電動機下部軸受部の発生荷重
W <sub>b</sub> ''	N	電動機上部軸受部の発生荷重
W <sub>M</sub>	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
W <sub>p</sub>	N	設計竜巻の気圧差による荷重
W <sub>w</sub>	N	設計竜巻の風圧力による荷重
x'	mm	評価対象部位から支点までの距離
x <sub>1</sub>	mm	荷重作用点から電動機下部軸受部までの距離

表3-3 動的機能維持評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$x_2$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$x_{a'}$	mm	ポンプ上部軸受部から電動機下部軸受部までの距離
$x_{b'}$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までの距離
$y$	mm	たわみ量
$y_1$	mm	ポンプ据付面から荷重作用点までのたわみ量
$y_2$	mm	荷重作用点から電動機下部軸受部のたわみ量
$y_3$	mm	電動機下部軸受部から電動機上部軸受部までのたわみ量
$y_a$	mm	電動機下部軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	電動機上部軸受部のたわみ量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\delta$	mm	評価対象部位から支点までの変位量

### 3.2 評価対象部位

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ地上部の全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として最薄部となる主回路用端子箱及びファンカバーを選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

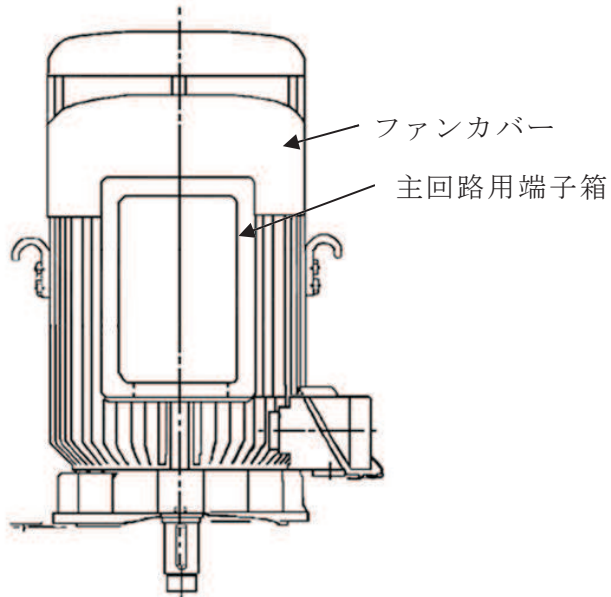


図3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

(2) 構造強度評価の評価対象部位

a. ポンプ部

ポンプ部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び電動機台に作用し、電動機台を介して、基礎面及び電動機部を固定しているボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることになる。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機取付ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・基礎ボルト

b. 電動機部

電動機部について、電動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、電動機フレーム及び付属品に作用し、電動機フレーム及び付属品を介して、付属品の取付部を固定するボルトに作用する。

このことから、以下の部位を構造強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機フレーム
- ・主回路用端子箱取付ボルト
- ・ファンカバー取付ボルト

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における評価対象部位を図3-2、図3-3に示す。



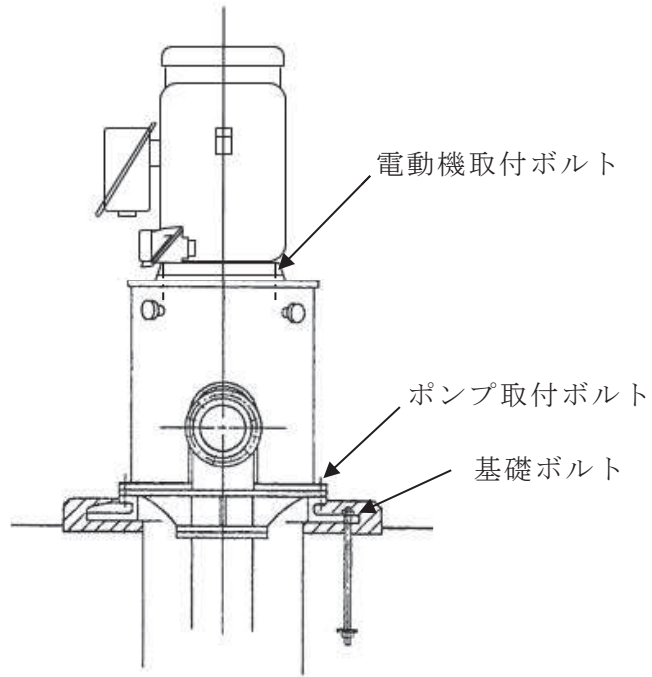


図 3-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価部位図（ポンプ部）

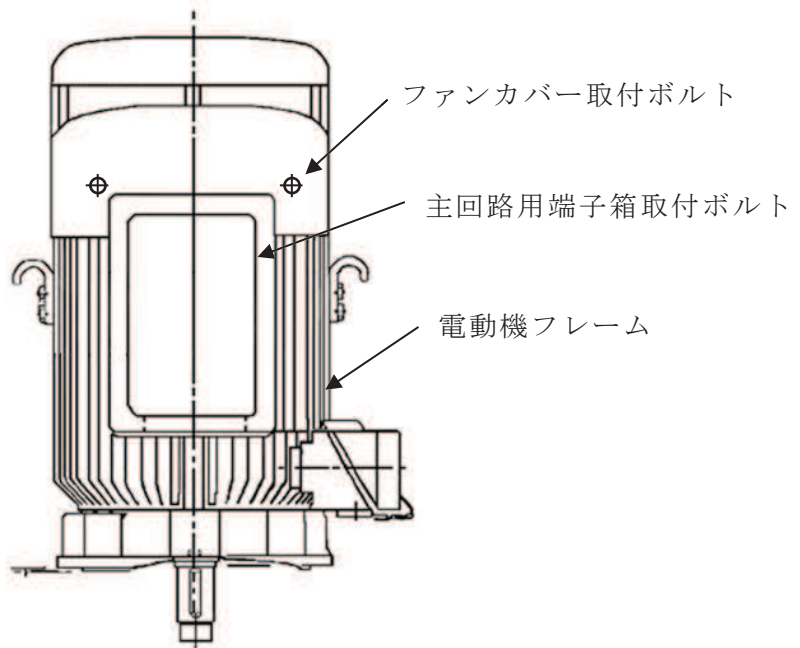


図 3-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価部位図（電動機部）

(3) 動的機能維持評価の評価対象部位

ポンプ据付面より上部に設計竜巻による荷重を受けた際に、電動機フレーム等が変位することにより軸と軸受が接触した場合に動的機能維持が困難となるため、以下の部位を動的機能維持評価の評価対象部位として選定する。

- ・電動機下部軸受部
- ・電動機上部軸受部

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価における評価対象部位を図 3-4 に示す。

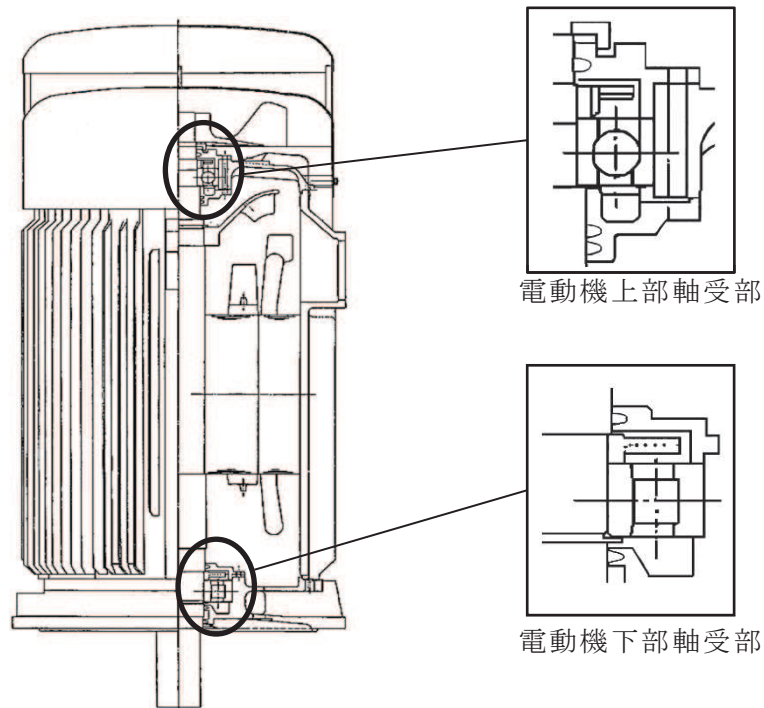


図 3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40mm）をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-4、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重を表3-5に示す。

表3-4 砂利の設計飛来物

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表3-5 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	・主回路用端子箱 ・ファンカバー	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価及び動的機能維持評価に用いる荷重を以下に示す。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$H = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減はないものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (b) 気圧差による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) は, 添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い, 算出する。なお, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプは気圧差が生じ難い構造であるため, 複合荷重の選定において,  $W_{T2}$  としては気圧差を考慮するが,  $W_{T1}$  の評価は実施しない。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては, 鉛直下向きに作用するポンプラスト荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは, 添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ, 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの評価対象部位に作用する荷重及び強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位		荷重	
屋外の外部 事象防護対 象施設	高圧炉心ス プレイ補機 冷却海水ポ ンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	電動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				ポンプ取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
				基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④ポンプスラスト荷重
			電動機部	電動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				主回路用端子箱 取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
				ファンカバー取付 ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重
		動的 機能 維持 評価	電動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			電動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

### 3.4 許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、外殻を構成する部材の厚さ、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ A Sの許容応力及び軸受部の接触面圧の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが、外殻を構成する部材の厚さ未満であることを許容限界とする。高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さを表3-7に示す。

表3-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	

(2) 構造強度評価における許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。なお、設計・建設規格 付録材料図表Part5の表に記載のない材料を用いている場合は、J I S G 5 5 0 1 (1995)「ねずみ鋳鉄品」(以下「J I S G 5 5 0 1」という。)の値を準用するものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界を表3-8、許容応力を表3-9に示す。

表3-8 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
ボルト	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min}(1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau))$
電動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次 応力	曲げ	$1.5 f_b$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-9 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材質	温度条件 [°C]	S <sub>y</sub> [MPa]	S <sub>u</sub> [MPa]	F [MPa]	1.5 f <sub>t</sub> [MPa]	1.5 f <sub>s</sub> [MPa]	1.5 f <sub>b</sub> [MPa]
電動機取付ボルト	SNCM439	40* <sup>1</sup>	885	980	686	514	396	-
ポンプ取付ボルト	SNCM439	40* <sup>1</sup>	885	980	686	514	396	-
基礎ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-
電動機フレーム	FC150* <sup>2</sup>	-	-	130	91	-	-	105
主回路用端子用箱 取付ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-
ファンカバー取付 ボルト	SUS304	40* <sup>1</sup>	205	520	205	153	118	-

注記 \*1: 周囲環境温度

\*2: J S M E 付録材料図表 Part5 の表に記載のない材料であるため, J I S G 5 5 0 1 の値を準用するものとする。

### (3) 動的機能維持評価における許容限界

動的機能維持評価における許容限界は, 設計荷重により電動機フレームが変形する場合においても高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの運転継続が可能であるように, 「J I S B 1 5 1 8 転がり軸受の動定格荷重及び定格寿命の計算方法」の基本動定格荷重を基に設定する軸受部の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。軸受部の接触面圧の許容荷重を表3-10に示す。

表3-10 軸受部の接触面圧の許容荷重

評価部位	許容荷重(N)
電動機上部軸受部	
電動機下部軸受部	

## 3.5 評価方法

### (1) 衝突評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの衝突評価は, 添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを, 「タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会)」

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(2) 構造強度評価及び動的機能維持評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a. 計算モデル

(a) 構造強度評価

計算モデルは1質点系モデルとし、ポンプ部は全高の1/2の位置に、電動機部は風圧力による荷重の作用中心に複合荷重が作用することとする。また、設計竜巻による風荷重はそれぞれの評価対象部位に対して発生応力が大きくなる方向から当たるものとする。ポンプ部及び電動機部の応力の計算モデル図を図3-5及び図3-6に示す。

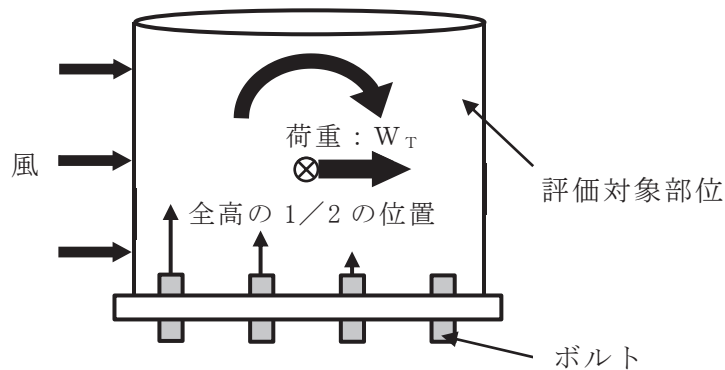


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

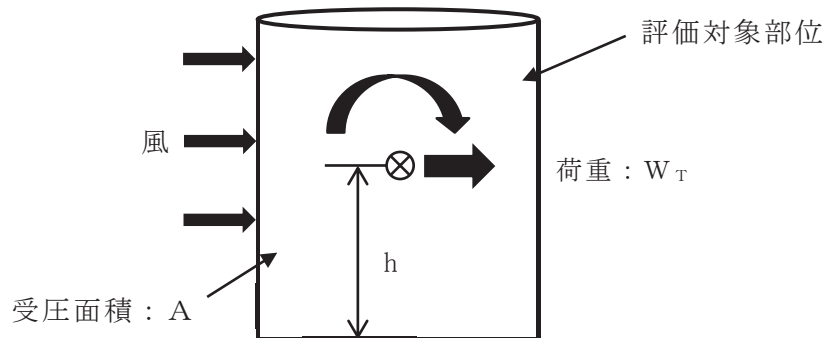


図 3-6 応力の計算モデル図 (電動機部)



(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の電動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から電動機台上端まで（ポンプ部）と、電動機台上端から電動機まで（電動機部）の片持ち梁と考え、違う断面性能の一軸中空形モデルで、荷重が全高の半分の位置に作用することとする。ポンプ部の断面性能は電動機台の断面性能を一様に有する単純円筒形モデルとして評価し、電動機部については電動機フレームの断面性能を用いて評価する。たわみ量計算モデル図を図3-7に示す。

ポンプ据付面より上部の静止体（電動機フレーム等）は、水平方向の複合荷重により、ポンプ据付面を固定端として一方向に変形する。一方、回転体（ポンプ軸及び電動機軸）は、風荷重を受けないため、変形せず、電動機上部から鉛直方向に吊り下げられた状態を維持する。電動機フレーム等の変形により、軸受反力が許容荷重を超えないことを確認する。

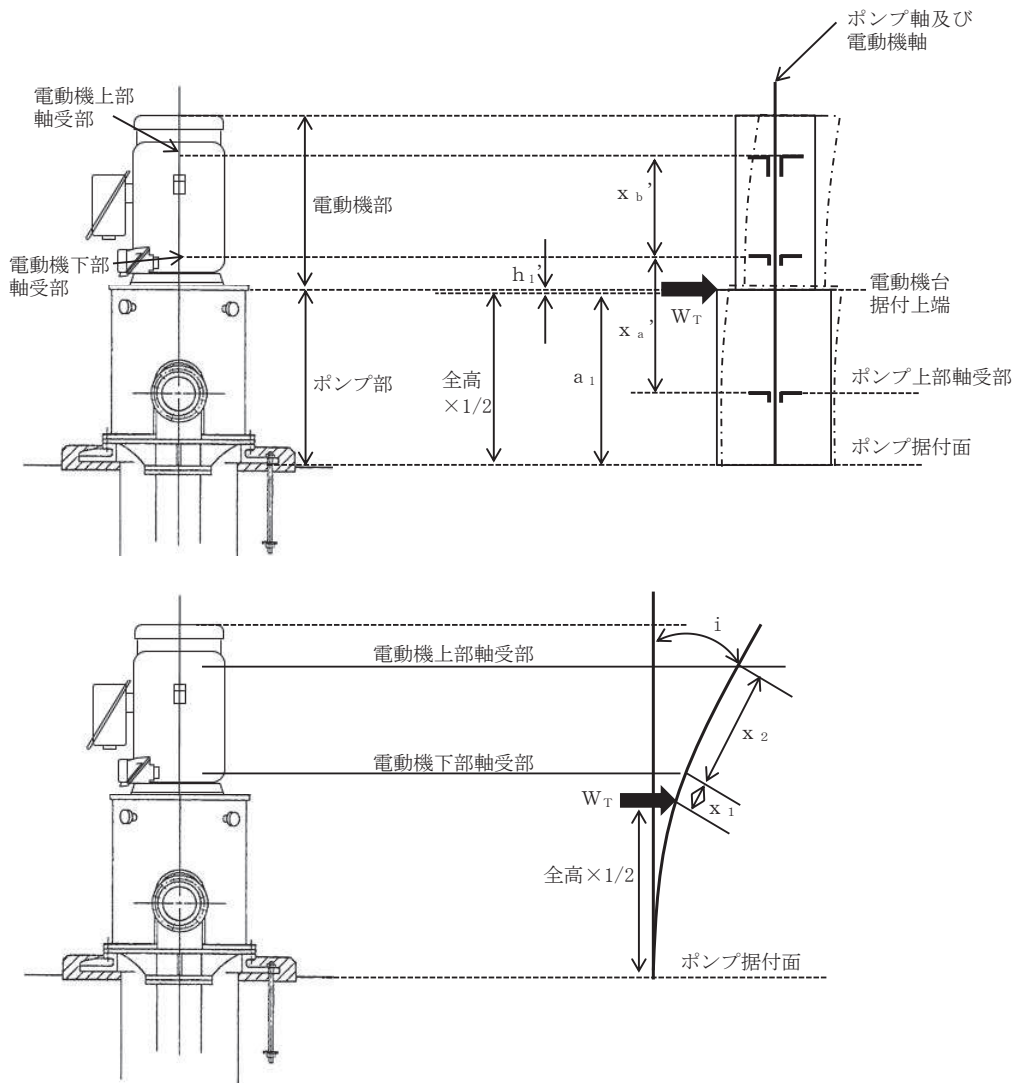


図 3-7 高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部（ボルト部）

電動機取付ボルト，ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの配置図を図 3-8～図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2}$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{b i} = \frac{W_{T 2} \cdot \frac{(H_M + H_P)}{2} - (m_i + M_s) \cdot (1 - C_p) \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_i \cdot D_i}$$

ここで、ポンプ振動による震度  $C_p$  は、

$$C_p = \frac{1}{2} \cdot h_p \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60} \right)^2 \cdot \frac{1}{g}$$

ただし、 $F_{b i} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{b i} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau_{b i}$

【電動機取付ボルト及びポンプ取付ボルト】

$$Q_{b i} = W_{T 2}$$

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i} + \frac{2 \cdot M_p}{D_i}}{n_i \cdot A_b}$$

ここで、ポンプの回転により働くモーメント  $M_p$  は

$$M_p = \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \cdot 10^6 \cdot P$$

【基礎ボルト】

$$Q_{b i} = W_{T 2}$$

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{n_i \cdot A_b}$$

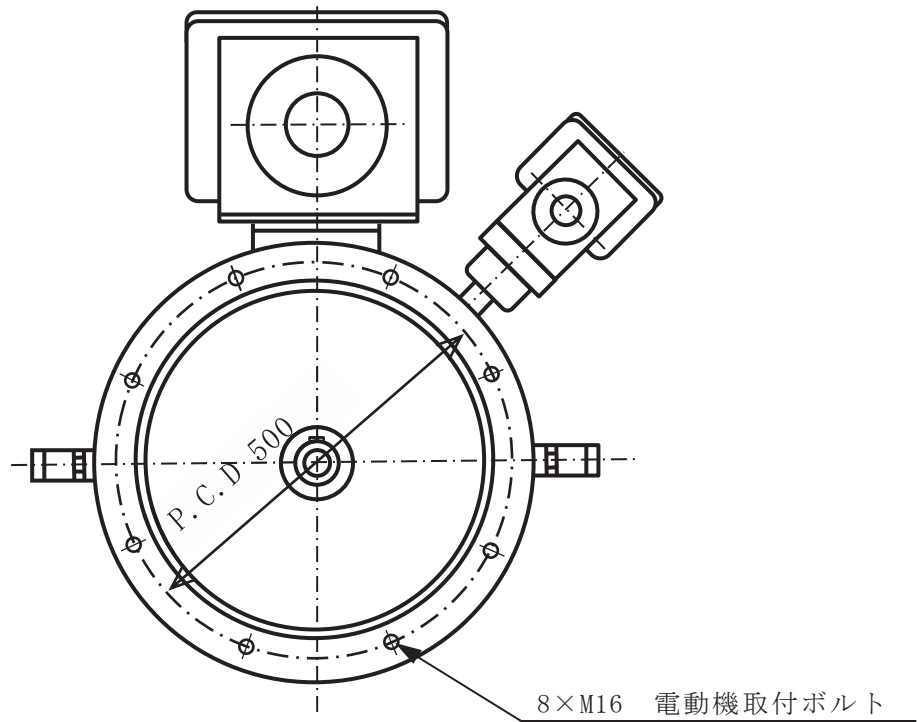


図 3-8 電動機取付ボルトの配置図

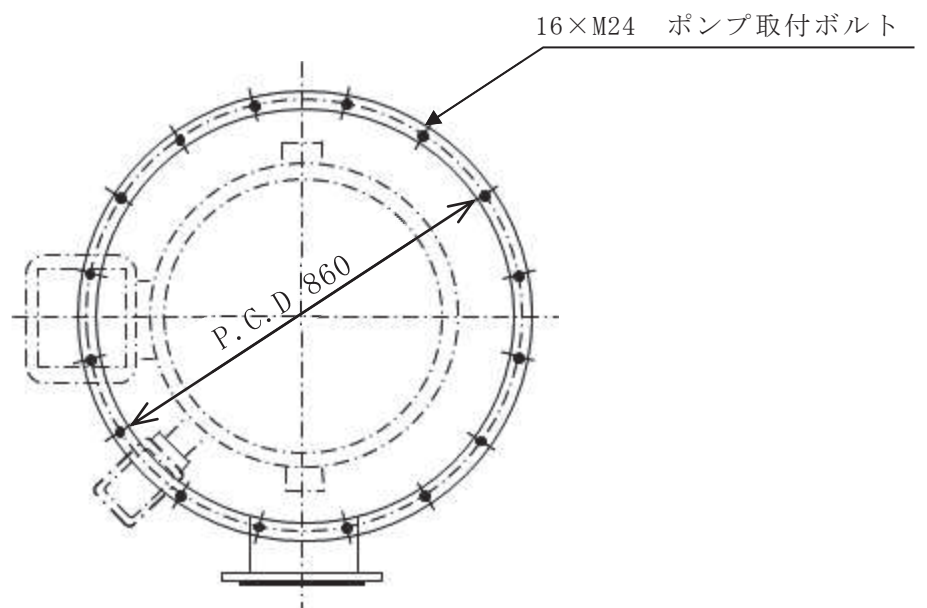


図 3-9 ポンプ取付ボルトの配置図

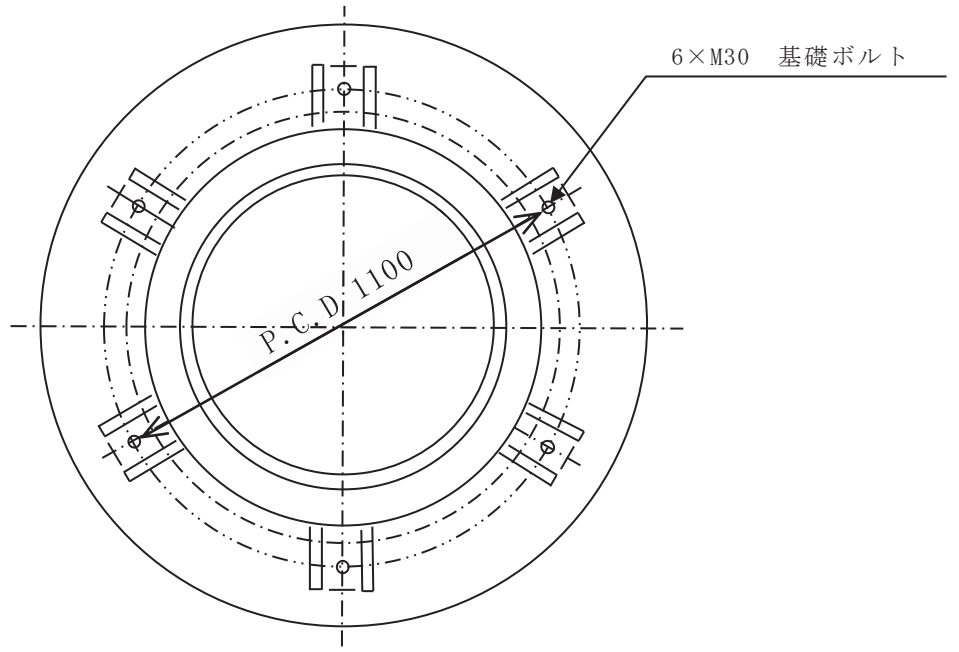


図 3-10 基礎ボルトの配置図

ロ. 電動機部

電動機フレーム，主回路用端子用箱取付ボルト部及びファンカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-13に示す。

(イ) 電動機フレーム

電動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・ 曲げ応力

(i) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot h$$

(ii) 曲げ応力  $\sigma$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

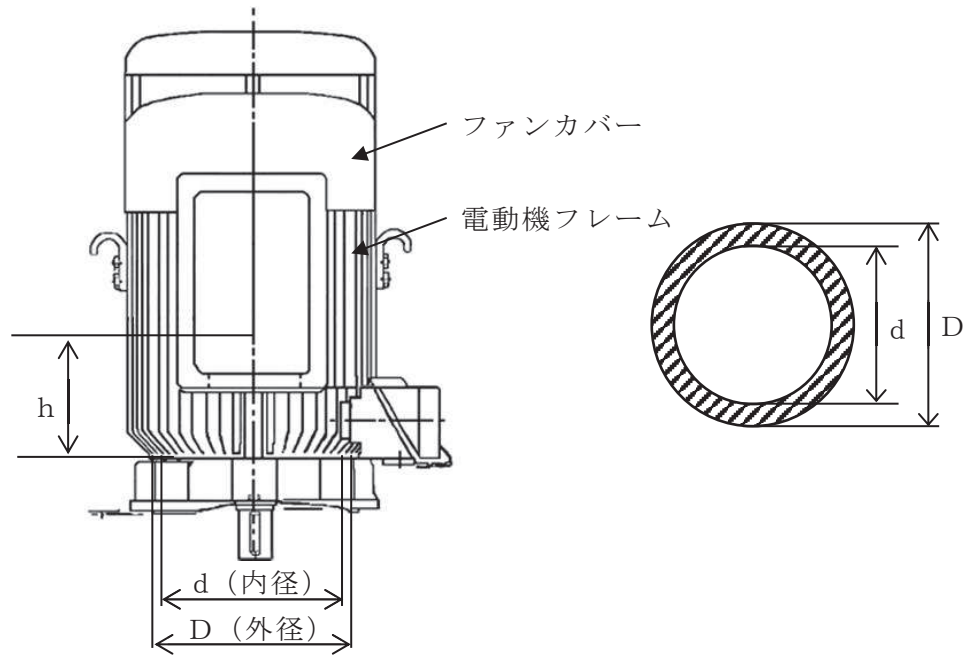


図 3-11 電動機フレーム詳細図

(ロ) 主回路用端子箱取付ボルト部，ファンカバー取付ボルト部  
 主回路用端子箱取付ボルト部及びファンカバー取付ボルトの応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

(i) 風圧力及び自重に生じる曲げモーメントM

$$M = (W_T + H) \cdot L_H$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bi}$

$$F_{bi} = \frac{M}{L_1 \cdot n_i}$$

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau_{bi}$

$$\tau_{b i} = \frac{Q_{b i}}{A_b \cdot n_i}$$

ここで、

$$Q_{b i} = W_T + H$$

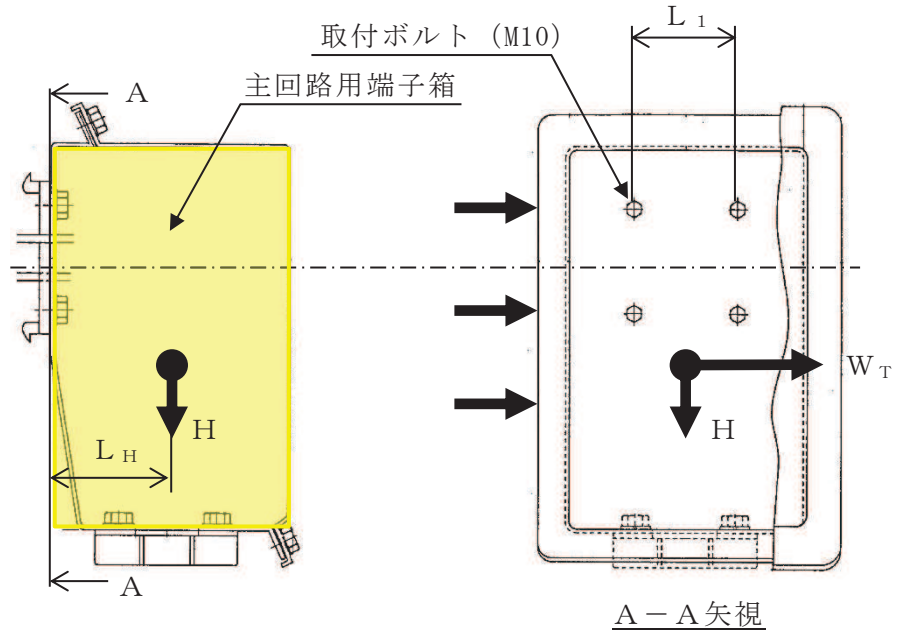


図 3-12 主回路用端子箱ボルト部詳細図

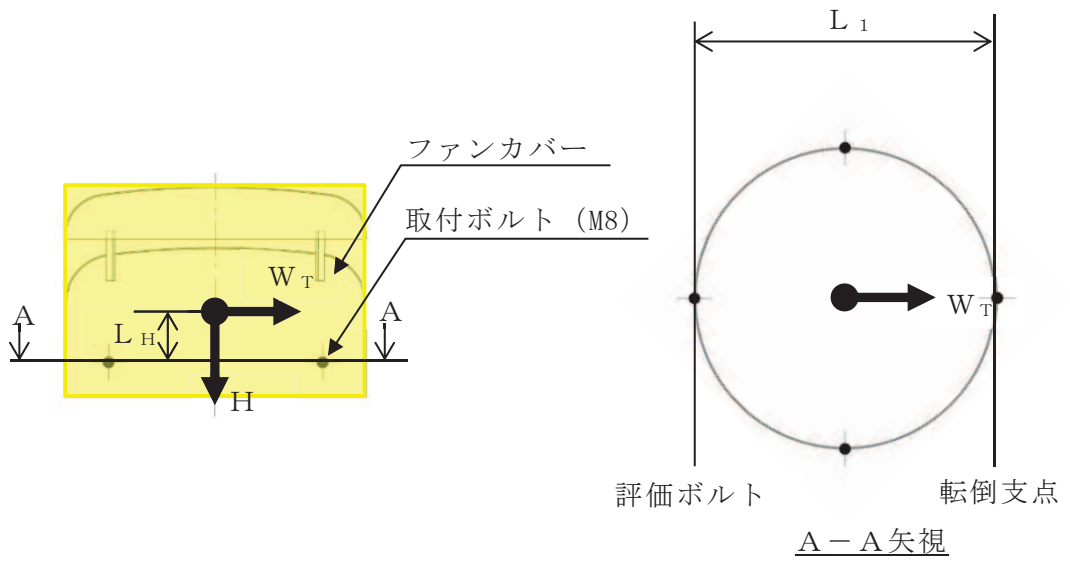


図 3-13 ファンカバー取付ボルト部詳細図

(b) 発生荷重の計算

イ. たわみ量の計算

たわみ量の算出において，設計竜巻による風圧力を受ける面は風の影響を受ける面積が大きい電動機台，電動機フレーム，主回路用端子箱及びファンカバーとし，水平荷重 $W'$  は電動機台，電動機フレーム，主回路用端子箱及びファンカバーに発生する水平荷重を包絡するような面積を設定し算出する。

$$W' = W_{T2}$$

風による水平荷重の受圧面積を図 3-14 に示す。

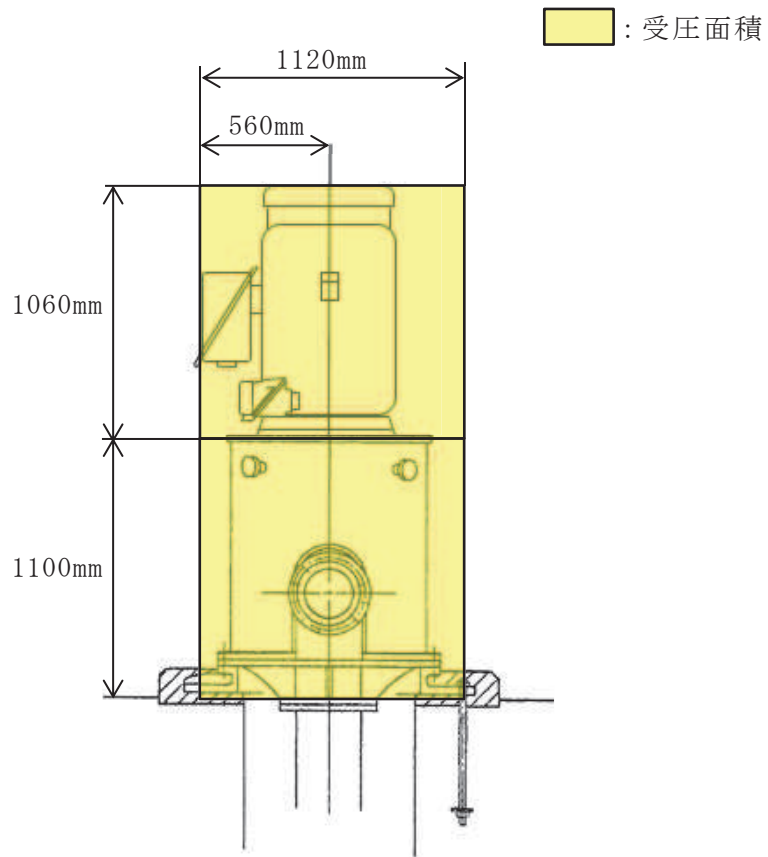


図 3-14 風による水平荷重の受圧面積

以下のミオソテスの方法より各評価対象部位のたわみ量 $y$ と傾斜 $i$ を算出する。なお，荷重は高さの半分の位置に作用することとする。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$



(イ) 電動機下部軸受部

・ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量  $y_1$ ，傾斜  $i_1$

$$y_1 = \frac{M_a \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^3}{3 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$i_1 = \frac{M_a \cdot a_1}{E_p \cdot I_p} + \frac{W' \cdot a_1^2}{2 \cdot E_p \cdot I_p}$$

$$M_a = W' \cdot h_1'$$

ここで，電動機台の断面図を図3-15に示す。

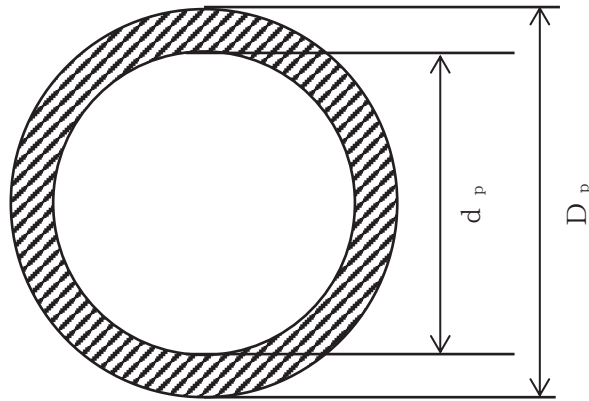


図 3-15 電動機台の断面図

円筒形であるため，断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_p = \frac{\pi \cdot (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・荷重作用点から電動機下部軸受部のたわみ量  $y_2$

$$y_2 = x_1 \cdot \sin(i_1)$$

以上より，電動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

ここで，電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図3-16に示す。

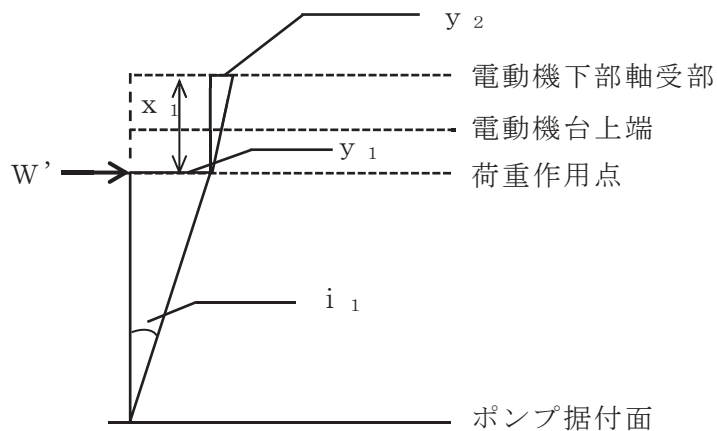


図3-16 電動機下部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

(ロ) 電動機上部軸受部

- ・ 電動機下部軸受部から電動機上部軸受部のたわみ量  $y_3$

$$y_3 = x_2 \cdot \sin(i_1)$$

以上より、電動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_a + y_3$$

ここで、電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図を図3-17に示す。

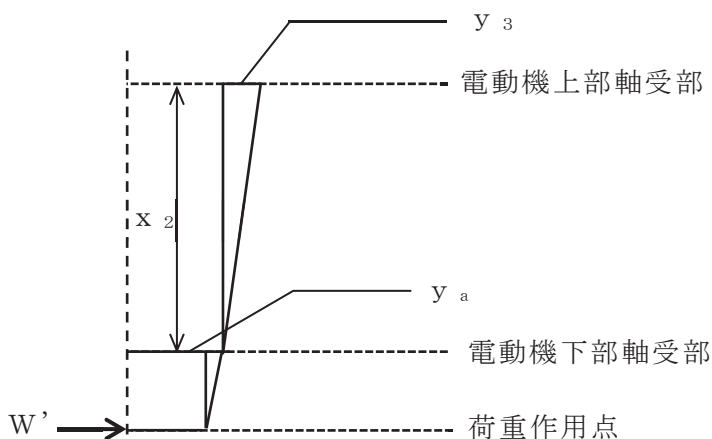


図3-17 電動機上部軸受部のたわみ量と傾斜計算モデル図

ロ. 発生荷重の算出

軸受部において、フレーム変位により作用する軸受反力と軸受許容荷重を比較し、発生荷重が許容荷重より小さいことを確認する。

発生荷重 $W''$  は次式より計算する。

$\delta$  = 評価対象部位の変位量 - 支点の変位量

また、発生荷重は

$$\delta = \frac{W'' \cdot x'^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

より

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

(イ) 電動機下部軸受部の発生荷重

$$W_a'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

回転子（電動機部）の断面図を図3-18に示す。

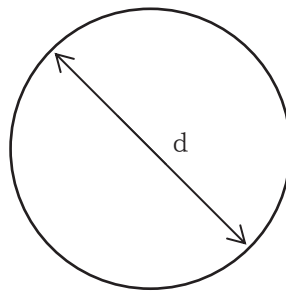


図3-18 回転子（電動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

(ロ) 電動機上部軸受部の発生荷重

$$W_b'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

ここで、 $\delta_b = y_b - y_a$

#### 4. 評価条件

##### (1) 構造強度評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-7 に示す。

表 4-1 評価条件

G (-)	q (MPa)	$\Delta P$ (MPa)	$h_p$ ( $\mu m$ )	N (rpm)	P (kW)
1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	60	1500	60

$W_M$ (N)	g ( $m/s^2$ )
0	9.80665

表 4-2 評価条件 (電動機取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )
1.2	800	2100	8	500	1.187

$H_M$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	201.1	M16

表 4-3 評価条件 (ポンプ取付ボルト)

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$D_i$ (mm)	$A_{11}$ ( $m^2$ )
1.2	5385	2100	16	860	2.419

$H_M$ (mm)	$H_P$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	1100	452.4	M24

表 4-4 評価条件（基礎ボルト）

C (-)	$m_i$ (kg)	$M_s$ (kg)	$n_i$ (-)	$A_{11}$ ( $m^2$ )	$D_i$ (mm)
1.2	5785	2100	6	2.419	1100

$H_M$ (mm)	$H_P$ (mm)	$A_b$ ( $mm^2$ )	ボルト サイズ
1060	1100	706.9	M30

表 4-5 評価条件（電動機フレーム）

C (-)	h (mm)	$A_{12}$ ( $m^2$ )	D (mm)	d (mm)
1.2	305.5	1.187		

表 4-6 評価条件（主回路用端子箱取付ボルト）

C (-)	$A_{13}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	$n_i^*$ (-)
2.4	0.1	M10	78.54	18	4 (2)

$L_H$ (mm)	$L_1$ (mm)
125	110

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

表 4-7 評価条件（ファンカバー取付ボルト）

C (-)	$A_{14}$ ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	$n_i^*$ (-)
1.2	0.2063	M8	50.27	16	4 (1)

$L_H$ (mm)	$L_1$ (mm)
165.5	543

注記 \* : ( ) 内の数字は引張応力計算の際に考慮したボルトの本数

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 動的機能維持評価の評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-8～表 4-12 に示す。

表 4-8 評価条件（たわみ量の算出）

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	G (-)	q (MPa)	Δ P (MPa)
1.2	2.419	1.0	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$

表 4-9 評価条件（電動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算 モデルの材質	温度 (°C)	q (MPa)	G (-)	Δ P (MPa)	W <sub>M</sub> (N)
SS400	40	$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0

h <sub>1</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )	x <sub>1</sub> (mm)	y <sub>a</sub> (mm)
20	1080	201000	$3.677 \times 10^9$	89.5	0.01776

表 4-10 評価条件（電動機下部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算 モデルの材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>a</sub> ' (mm)
S40C	155	193000	$5.967 \times 10^6$	764.5

表 4-11 評価条件（電動機上部軸受部（たわみ量の算出））

q (MPa)	G (-)	Δ P (MPa)	W <sub>M</sub> (N)	x <sub>2</sub> (mm)	i <sub>1</sub> (rad)
$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0	680	$2.212 \times 10^{-5}$

表 4-12 評価条件（電動機上部軸受部（発生荷重の算出））

発生荷重計算モ デルの材質	温度 (°C)	E <sub>m</sub> ' (MPa)	I <sub>m</sub> ' (mm <sup>4</sup> )	x <sub>b</sub> ' (mm)
S40C	155	193000	$5.967 \times 10^6$	680

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの外殻を構成する部材の厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
高圧炉心スプレイ補機 冷却海水ポンプ		1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 電動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

電動機取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 評価結果 (電動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	2	514
せん断	10	396
組合せ	2	514

b. ポンプ取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ポンプ取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-4 評価結果（ポンプ取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	-*	514
せん断	4	396
組合せ	-	514

注記 \*： $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

c. 基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

基礎ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	-*	153
せん断	7	118
組合せ	-	153

注記 \*： $F_{bi} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

d. 電動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

電動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（電動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
曲げ	2	105



e. 主回路用端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

主回路用端子箱取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（主回路用端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	153
せん断	7	118
組合せ	15	153

f. ファンカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

ファンカバー取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-8 評価結果（ファンカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張	15	153
せん断	13	118
組合せ	15	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 電動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-9 に示す。

電動機下部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-9 評価結果（電動機下部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
137.2	

b. 電動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

電動機上部軸受部の発生荷重は、許容荷重以下である。

表 5-10 評価結果（電動機上部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
165.1	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 1-1-4 高压炉心スプレイ補機冷却海水系  
ストレーナの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	16

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナが竜巻時及び竜巻通過後においても、海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置する。

海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図を図2-1に示す。

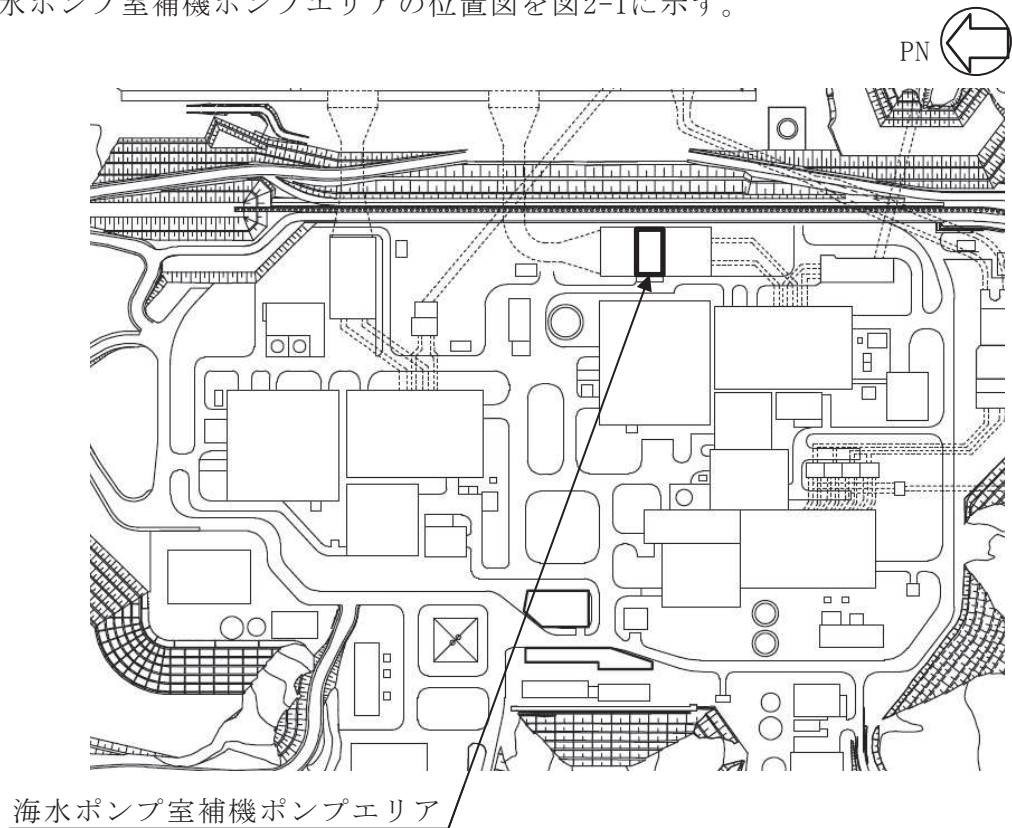


図 2-1 海水ポンプ室補機ポンプエリアの位置図

## 2.2 構造概要

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナは、鋼製の円筒形容器を主体構造とし、ストレーナの両端に接続する配管をサポートにより支持する構造であり、同一設計の高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナを2台設置している。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの概要図を図2-2に示す。

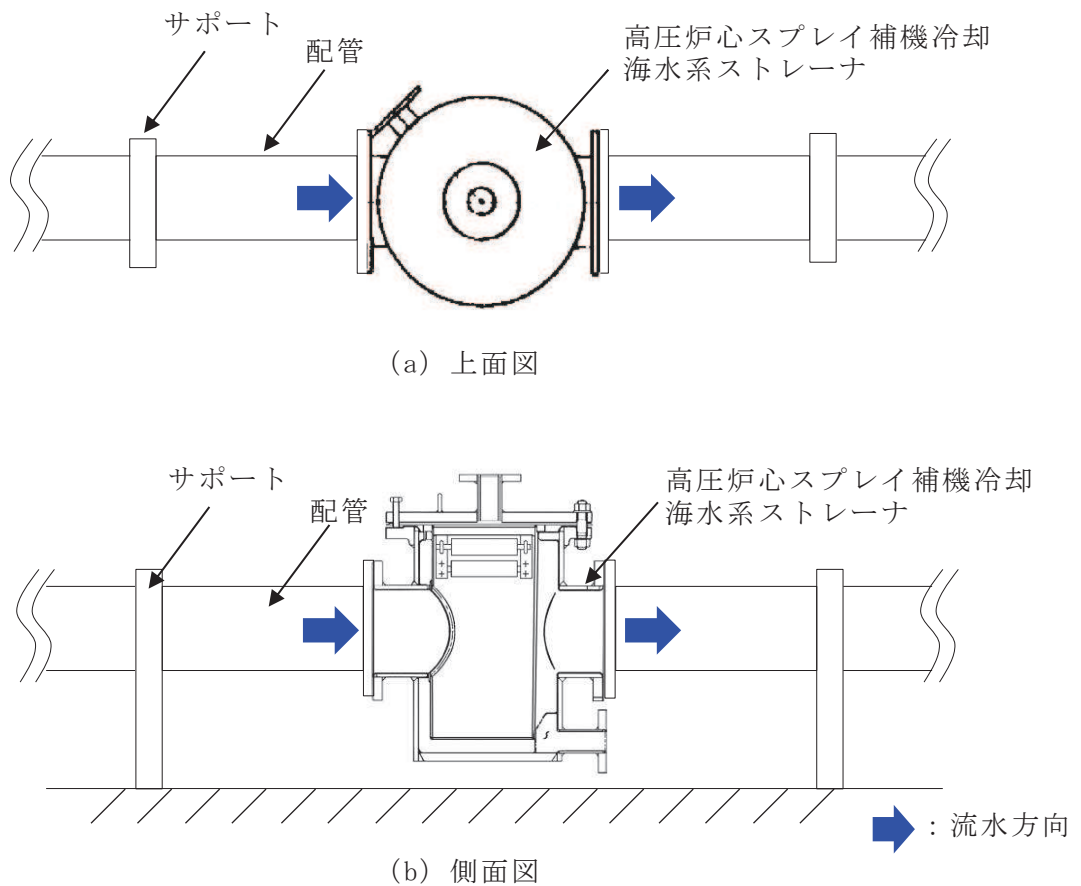


図 2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの概要図

## 2.3 評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価フローを図2-3に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

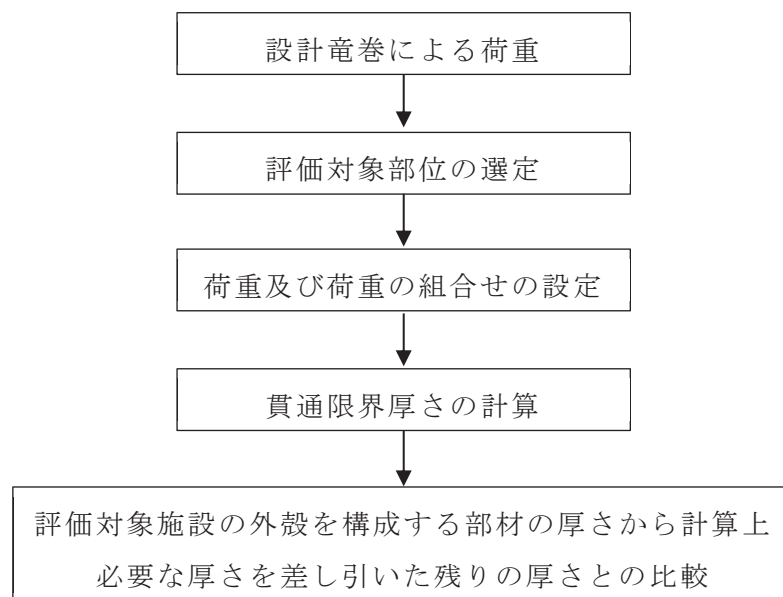


図2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価フローを図2-4に示す。構造強度評価においては、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに対して、設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

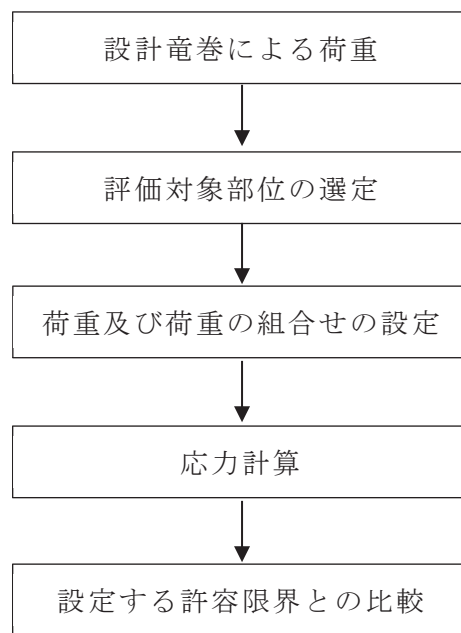


図2-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987 年 新版機械工学便覧



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
$D_i$	mm	胴の内径
$d$	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
$K$	—	鋼板の材質に関する係数
$M$	kg	評価において考慮する飛来物の質量
$P$	MPa	最高使用圧力
$S$	MPa	許容引張応力
$T$	mm	鋼板の貫通限界厚さ
$t$	mm	胴の計算上必要な厚さ
$v$	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
$\eta$	—	継手効率

##### (2) 構造強度評価の記号の定義

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$A$	$m^2$	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_1$	$m^2/m$	単位長さ当たりの配管の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$A_2$	$m^2$	ストレーナの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$D$	mm	管外径
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度

表3-2 構造強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
L	m	配管の支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg	質量
$m_1$	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
$m_2$	kg	ストレーナの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S	MPa	許容引張応力
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$W_P$	N	設計竜巻の気圧差による荷重
$W_W$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_{T1}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T1} = W_P$ )
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_{W1}$	N/m	単位長さ当たりの配管が受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$W_{W2}$	N	ストレーナが受ける設計竜巻の風圧力による荷重
$w_1$	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
$w_2$	N	ストレーナの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1},$ $\sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{W1}$	MPa	配管に生じる風圧力による応力
$\sigma_{W2}$	MPa	ストレーナに生じる風圧力による応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの全方向からの飛来物を考慮し、貫入により施設の機能が喪失する可能性がある箇所として胴板を選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

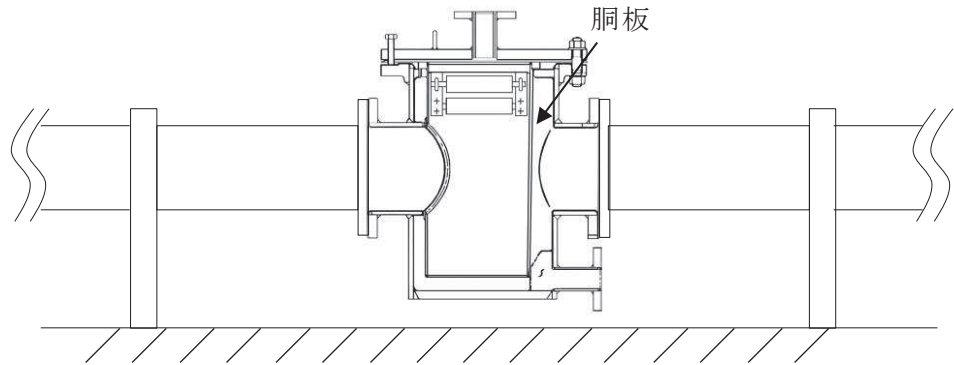


図 3-1 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価の評価対象部位

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ本体及び接続する配管に作用する。設計竜巻による荷重により発生する応力は、胴板と比較し断面積が小さく発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

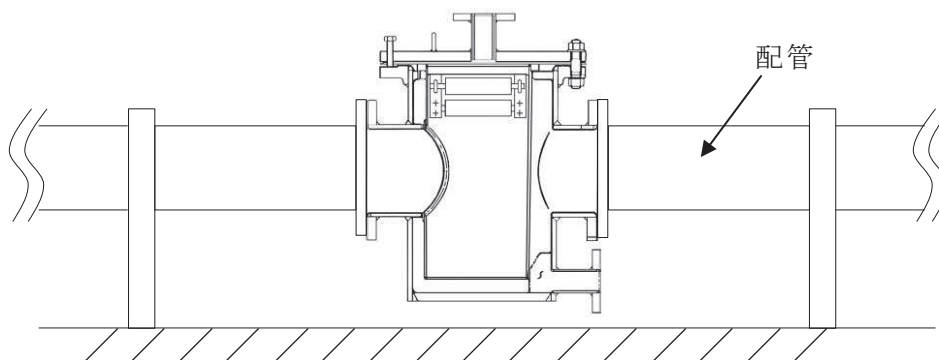


図 3-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40（mm））をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表3-3、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重を表3-4に示す。

表3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表3-4 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水系ストレーナ	胴板	飛来物による 衝撃荷重

#### (2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。  
自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。また、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_W$ )

風圧力による荷重 $W_W$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重 $W_P$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 構造強度評価の評価方法」に示す。

ハ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ )は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重として、内圧及び内包水の荷重を自重を含めて考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ設定する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	高圧炉心スプレイ補機 冷却海水系ストレーナ	配管	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧

3.4 許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及び J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを許容限界とする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナにおける計算上必要な厚さは、設計・建設規格 PVC-3120（胴の厚さの規定）に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	11.1	1.42	9.68

(2) 構造強度評価の許容限界

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、設計・建設規格付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界を表3-7、許容応力を表3-8に示す。

表3-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容限界

評価対象部位	許容応力状態	許容限界
		一次応力 (膜+曲げ)
配管	Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-8 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価における許容応力

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)
配管	STS410	50* <sup>1</sup>	239

注記 \*1: 最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの衝突評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価の評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナに接続する配管はサポートによって支持されており、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重及び受圧面積を考慮した風圧力による荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの自重については、配管に集中荷重として作用するものとする。評価モデル図を図3-3に示す。



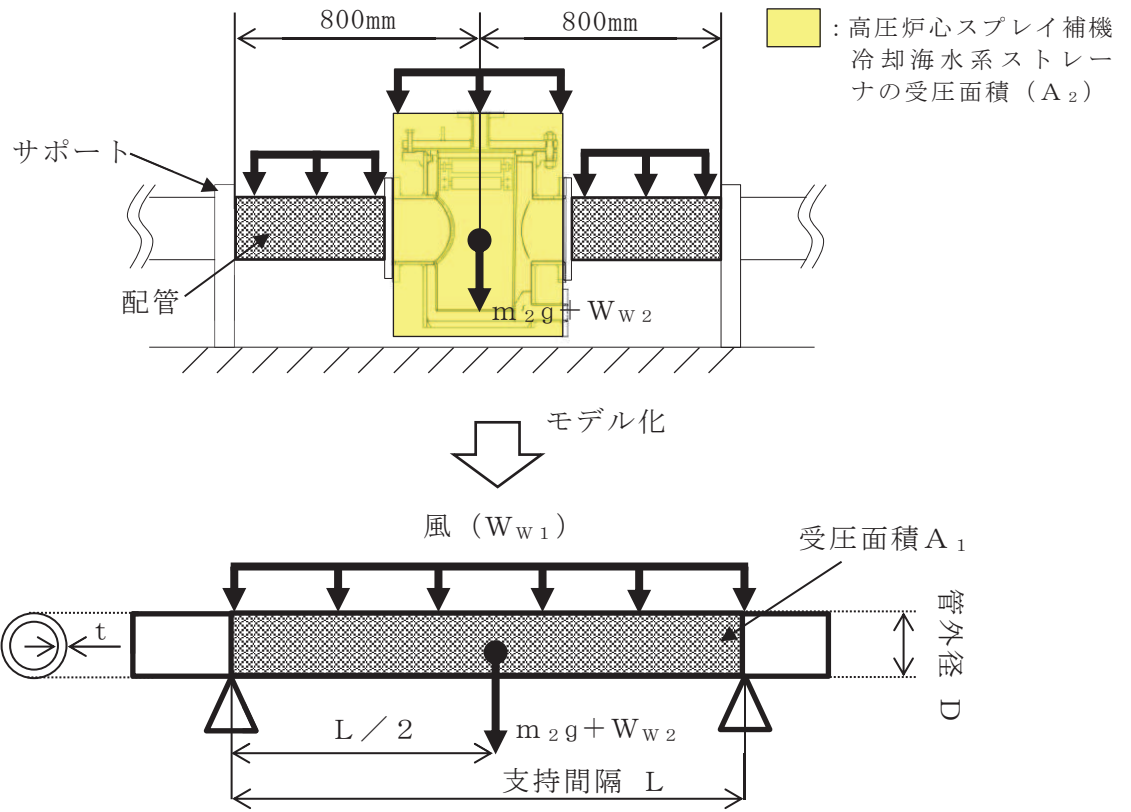


図 3-3 評価モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

(イ) 配管

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{w1} = \frac{M}{Z} = \frac{W_{w1} \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで，

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

$$W_{w1} = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$$

(ロ) ストレーナ

ストレーナが受ける風圧力による荷重が配管の中央に集中荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

$$\sigma_{w2} = \frac{W_{w2} \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$W_{w2} = q \cdot G \cdot C \cdot A_2$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{w1} + \sigma_{w2} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w_1 \cdot L^2}{8 \cdot Z} + \frac{w_2 \cdot L}{4 \cdot Z}$$

ここで、

$$w_1 = m_1 \cdot g$$

$$w_2 = m_2 \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (MPa)	G (-)	$\Delta P$ (MPa)	$W_M$ (N)	g (m/s <sup>2</sup> )
$6.13 \times 10^{-3}$	1.0	$7.6 \times 10^{-3}$	0	9.80665

表 4-2 評価条件 (衝突評価)

材料	P (MPa)	$D_i$ (mm)	S (MPa)	$\eta$ (-)
STPG370	0.78	333.4	93	1.0

表 4-3 評価条件 (構造強度評価)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	$m_1$ (kg/m)	$m_2$ (kg)
216.3	STS410	1.6	8.2	73.48	248

C (-)	$A_1$ (m <sup>2</sup> /m)	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	P (MPa)
1.2	0.2163	0.3982	0.78

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナの外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-2 外部事象防護対象施設の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ	9.68	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 構造強度評価結果 (配管)

D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
216.3	STS410	10	17	239

VI-3-別添 1-1-5 復水貯蔵タンクの強度計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	3
2.4	適用規格	5
3.	強度評価方法	6
3.1	記号の定義	6
3.2	評価対象部位	9
3.3	荷重及び荷重の組合せ	10
3.4	許容限界	12
3.5	評価方法	14
3.5.1	衝突評価	14
3.5.2	構造強度評価	18
4.	評価条件	24
4.1	衝突評価	24
4.2	構造強度評価	25
5.	強度評価結果	26
5.1	衝突評価結果	26
5.2	構造強度評価結果	30

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり復水貯蔵タンクが竜巻時及び竜巻通過後においても、炉心冷却のための水源を保有する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

復水貯蔵タンクについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、復水貯蔵タンクの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

復水貯蔵タンクは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、復水貯蔵タンクエリアに設置する。復水貯蔵タンクエリアの位置図を図2-1に示す。

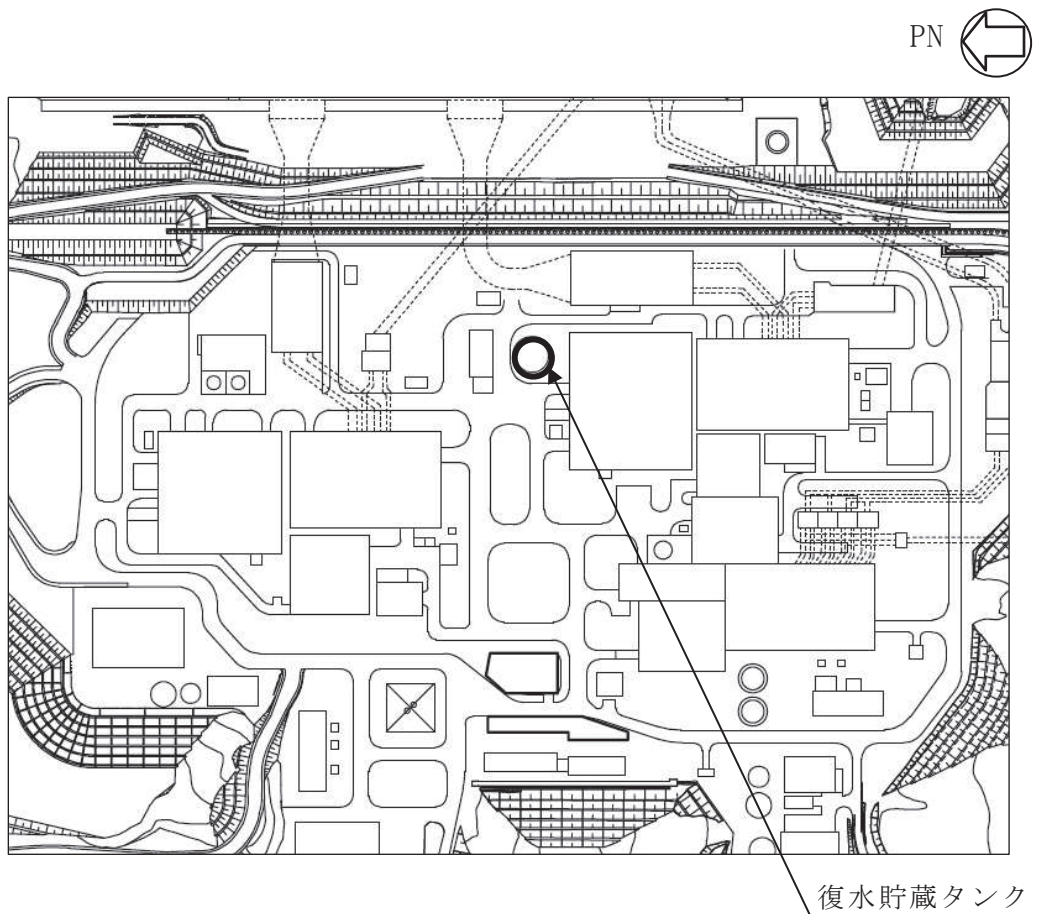


図 2-1 復水貯蔵タンクエリアの位置図

## 2.2 構造概要

復水貯蔵タンクについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

復水貯蔵タンクは円筒形の胴板と屋根板により構成され、基礎ボルトによりコンクリート基礎に固定された大気開放型の平底たて置円筒形容器である。復水貯蔵タンクの概要図を図2-2に示す。

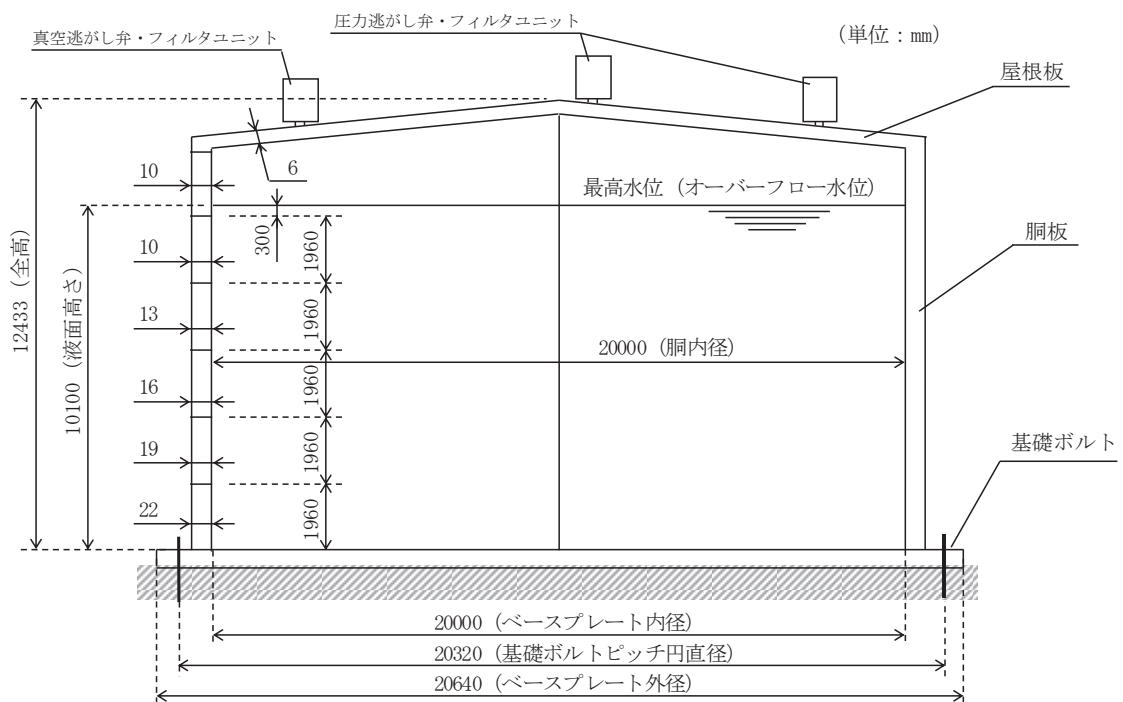


図 2-2 復水貯蔵タンクの概要図



### 2.3 評価方針

復水貯蔵タンクの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、復水貯蔵タンクの評価対象部位に作用するひずみ、応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

復水貯蔵タンクの強度評価フローを図2-3に示す。復水貯蔵タンクの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

衝突評価は、設計飛来物の衝突に対する影響の評価として、復水貯蔵タンクの外殻を構成する部材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。

#### (2) 構造強度評価の評価方針

復水貯蔵タンクの構造強度評価においては、設計荷重に対し、復水貯蔵タンクを構成する胴板及び基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。ただし、座屈評価においては、評価式を満足することを確認する。また、自重については、設計荷重の抗力として作用する場合は質量が小さい方が安全側の評価となることから、オーバーフロー水位時質量及び空質量を考慮した評価を実施する。各部材の構造強度評価には、設計荷重は水平方向より作用する荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の平底たて置円筒形容器の評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。復水貯蔵タンクの構造強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

「J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）付録材料図表Part5, 6の表にて許容応力を計算する際は、機器本体については最高使用温度、基礎ボルトについては周囲環境温度に応じた値を取るものとするが、温度が設計・建設規格付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

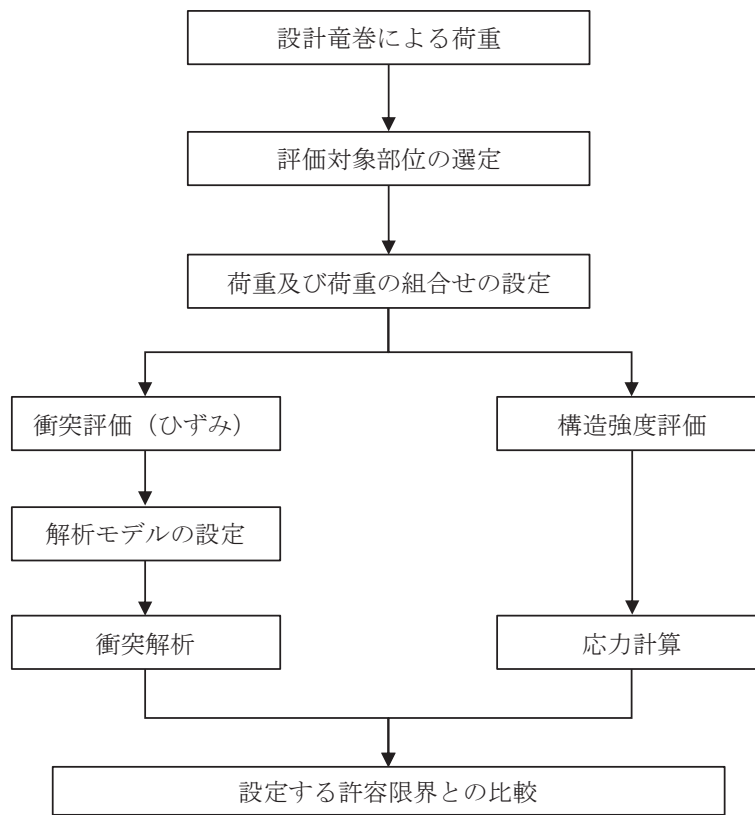


図 2-3 復水貯蔵タンクの強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13) )
- ・U.S.Nuclear Regulatory Commission:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	基礎ボルト呼び径断面積
C	—	風力係数
C <sub>c</sub>	—	基礎ボルト計算における係数
C <sub>t</sub>	—	基礎ボルト計算における係数
D <sub>c</sub>	mm	基礎ボルトピッチ円直径
D <sub>i</sub>	mm	胴内径
D <sub>b i</sub>	mm	ベースプレート内径
D <sub>b o</sub>	mm	ベースプレート外径
E	MPa	胴の縦弾性係数
e	—	基礎ボルト計算における係数
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1により規定される値
f <sub>b</sub>	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
F <sub>c</sub>	N	基礎に作用する圧縮力
f <sub>c</sub>	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容せん断応力
F <sub>t</sub>	N	基礎ボルトに作用する引張力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容引張応力
f <sub>t s</sub>	MPa	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	mm	容器高さ
H <sub>h</sub>	mm	液面高さ
k	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
L <sub>1</sub>	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

表 3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
$l_g$	mm	胴板高さの 1/2
$l_M$	mm	胴板最上部の高さ
$l_1, l_2$	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
$M_{T2}$	N・mm	設計竜巻による複合荷重により作用するモーメント
$m$	kg	設計飛来物質量
$m_e$	kg	空質量
$n$	—	基礎ボルト本数
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$R_B$	mm	胴平均半径
$S$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される許容引張応力
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$s$	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
$t$	mm	胴板厚
$t_1$	mm	基礎ボルト面積相当板幅
$t_2$	mm	圧縮側基礎相当幅
$V$	m/s	設計飛来物の衝突速度 (水平)
$W_w$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$W_M$	N	設計飛来物による衝撃荷重
$W_{T2}$	N	設計竜巻による複合荷重 ( $W_{T2} = W_w + W_M$ )
$z$	—	基礎ボルト計算における係数
$\alpha_1$	—	座屈応力に対する安全率
$\alpha_2$	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度
$\Delta t$	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間
$\eta$	—	$R_B / t$
$\eta_1$	—	$1200 \times g / F$
$\eta_2$	—	$8000 \times g / F$
$\eta_3$	—	$9600 \times g / F$
$\pi$	—	円周率

表 3-1 復水貯蔵タンクの強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\rho_w$	—	保有水の比重
$\sigma_1$	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	基礎に生じる圧縮応力
$\sigma_x$	MPa	胴に生じる軸方向応力の和
$\sigma_{x2}$	MPa	自重（空質量）により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	設計竜巻により胴に生じる軸方向応力
$\sigma_{xb}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xbs}$	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
$\sigma_{xc}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_{xcs}$	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_\phi$	MPa	胴に生じる周方向応力の和
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\tau$	MPa	設計竜巻により胴に生じるせん断応力
$\tau_b$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力
$\phi_b(x)$	—	座屈応力 $f_b$ を算出する際の関数
$\phi_c(x)$	—	座屈応力 $f_c$ を算出する際の関数

### 3.2 評価対象部位

復水貯蔵タンクの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

復水貯蔵タンクの外殻を構成する胴板及び屋根板への設計飛来物の衝突を考慮し、復水貯蔵タンク胴板及び屋根板が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認するため、胴板及び屋根板を評価対象部位として選定する。

設計飛来物の衝突を考慮する場合、設計飛来物が被衝突物へ及ぼす影響は接触面での局所的な大変形（又は破壊）挙動として現れると考えられる。被衝突物の剛性が高いほど飛来物が短時間で反跳し、衝突（接触）時間が短くなるため、被衝突物に伝達されるエネルギーは小さくなり、衝突部の損傷は小さくなる傾向となる。一方、被衝突物の剛性が低い（部材長が長い、板厚が薄い）場合、設計飛来物の衝突による損傷は大きくなる傾向となる。したがって、ひずみ評価における設計飛来物の衝突位置は、胴板及び屋根板の部材長さ（支持スパン）踏まえ、胴板中央及び屋根板中央部とし、衝突方向は、胴板は水平方向、屋根板は鉛直方向とする。また、胴板は上部にいくほど板厚が薄く剛性が小さくなると考えられるため、胴板が最も薄くかつ水源を保有する機能への影響を考慮し、オーバーフロー水位位置に衝突した場合についても評価を実施する。

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重は、胴板に作用し胴板を介して基礎ボルトに作用する。このことから、胴板及び基礎ボルトを評価対象部位とする。

復水貯蔵タンクの強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

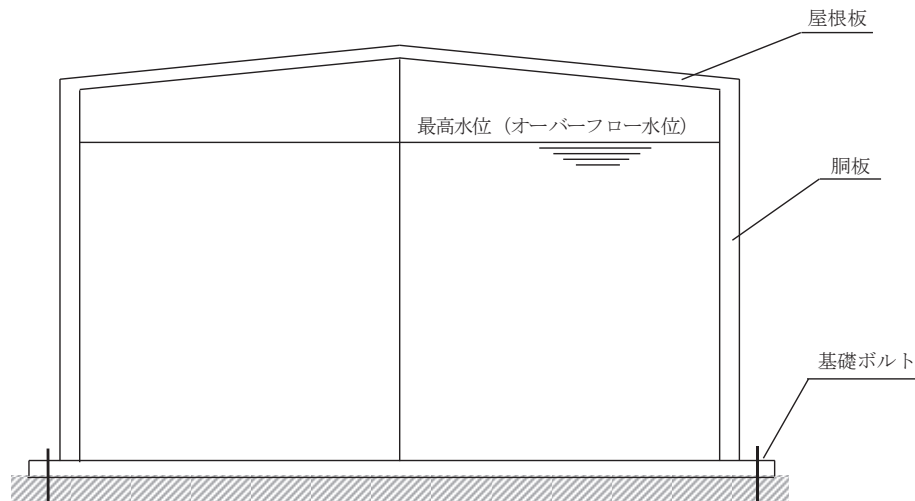


図3-1 復水貯蔵タンクの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価においては、設計飛来物である鋼製材の衝突による影響が大きくなる向きで復水貯蔵タンクに衝突した場合の衝撃荷重を考慮する。

鋼製材の諸元を表3-2、復水貯蔵タンクの衝突評価に用いる荷重を表3-3に示す。

表3-2 鋼製材の諸元

	鋼製材
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
水平方向の飛来速度 (m/s)	46.6
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	16.7

表3-3 復水貯蔵タンクの衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	復水貯蔵タンク	胴板 屋根板	設計飛来物による 衝撃荷重

#### (2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### (a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重及び水頭圧を考慮する。ただし、基礎ボルトの構造強度評価時には内包する水の荷重は考慮せず、空容器での評価とする。

##### (b) 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重を考慮する。

##### イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。



$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

復水貯蔵タンクは大気開放型のタンクであることから、気圧差による荷重は考慮しない。

ハ. 設計飛来物による衝撃荷重

構造強度評価においては、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した鋼製材の衝撃荷重 $W_M = 1466\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = \frac{m \cdot V}{\Delta t} = \frac{m \cdot V^2}{L_1}$$

ニ. 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_{T2}$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(2) 荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

$$W_{T2} = W_w + W_M$$

(c) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、復水貯蔵タンクの評価対象部位に対して設定する。

復水貯蔵タンクの胴板及び基礎ボルトには、自重、水頭圧、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重が作用する。復水貯蔵タンクの評価対象部位に作用する荷重及び構造強度評価にて考慮する荷重の組合せを表3-4に示す。

表 3-4 構造強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重の組合せ
屋外の外部事 象防護対象施 設	復水貯蔵タンク	胴板	①自重、水頭圧 ②風圧力による荷重 ③設計飛来物による衝撃荷重
		基礎ボルト	①自重、水頭圧 ②風圧力による荷重 ③設計飛来物による衝撃荷重

### 3.4 許容限界

復水貯蔵タンクの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、評価内容ごとに評価対象部位に応じて設定する。

#### (1) 衝突評価における許容限界

衝突評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみを設定する。破断ひずみについては、「3.5.1(2)d. 材料の非線形特性」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))」(以下「NEI07-13」という。)においてTF(多軸性係数)を□とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=□を考慮して設定する。

設定した許容限界を表3-5に示す。

表3-5 ひずみ評価の許容限界

評価対象部位	材質	破断ひずみ*
胴板, 屋根板	SUS304	

注記\* : 真ひずみ換算値

#### (2) 構造強度評価における許容限界

復水貯蔵タンクの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、胴板については「クラス2,3容器」、基礎ボルトについては「クラス2,3支持構造物」の許容限界を適用し、容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した許容応力を許容限界とする。また、座屈については評価式を満足することを確認する。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は、機器本体については最高使用温度、基礎ボルトについては周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

復水貯蔵タンクの構造強度評価における許容限界について、胴板の許容限界を表3-6に、基礎ボルトの許容限界を表3-7に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表3-6 胴板の許容限界

許容 応力 状態	温度 条件 (°C)	許容限界		
		一次一般膜	組合せ一次	座屈
Ⅲ <sub>A</sub> S	66*	S <sub>y</sub> と 0.6S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2Sとの大きい方。	左欄に同じ	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$

注記\*：最高使用温度

表3-7 基礎ボルトの許容限界

許容応力状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次応力	
		引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	40*	1.5 f <sub>t</sub>	1.5 f <sub>s</sub>

注記\*：周囲環境温度

引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 f<sub>ts</sub>は以下のとおり。

$$f_{ts} = \text{Min} \{ 1.5 f_t, 2.1 f_t - 1.6 \tau_b \}$$

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 衝突評価

##### (1) 衝突評価の評価方法

復水貯蔵タンクの衝突評価は、解析モデル及び材料の非線形特性を用いた衝突解析により評価する。なお、飛来物の短辺衝突による評価を実施する。

##### a. 解析モデル

##### (a) 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は、シェル要素でモデル化する。

設計飛来物の解析モデル図を図 3-2 に示す。

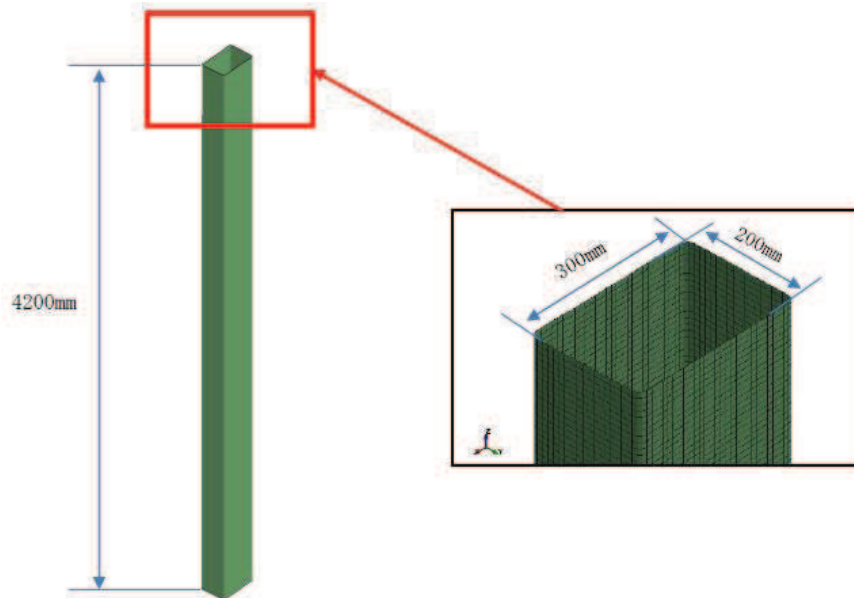


図3-2 設計飛来物の解析モデル図

##### (b) 復水貯蔵タンク

復水貯蔵タンクの解析モデル化の範囲は、復水貯蔵タンクを構成する胴板、屋根板、内部鉄骨及び支柱をシェル要素でモデル化する。復水貯蔵タンクの解析モデルの境界条件を表 3-8 に、復水貯蔵タンクの解析モデル図を図 3-3 に示す。

表 3-8 解析モデルの境界条件

項目	境界条件
復水貯蔵タンクと復水貯蔵タンク基礎	基礎ボルト位置節点にて X, Y, Z方向並進拘束

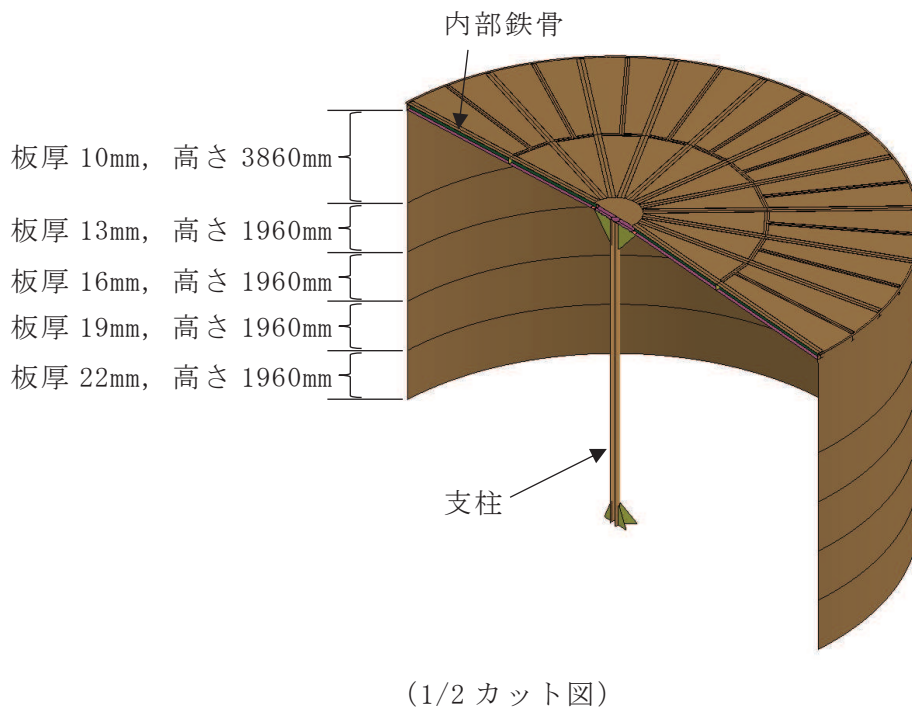
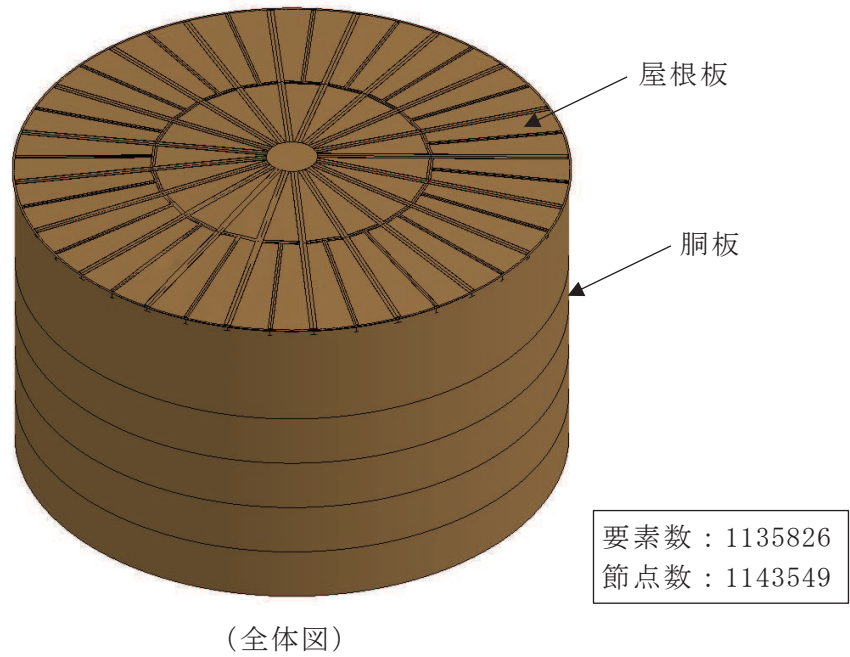


図 3-3 復水貯蔵タンクの解析モデル図

b. 解析コード

解析コード「LS-DYNA」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、「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

c. 材料定数

復水貯蔵タンクの材料定数を表 3-9 に示す。

表 3-9 モデル化する部材の材料定数

		材質	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	塑性硬化係数 E' (MPa)	ポアソン 比
復水貯蔵 タンク	胴板 屋根板 内部鉄骨 支柱	SUS304	188	192000	1437	0.3

d. 材料の非線形特性

(a) 材料の応力-ひずみ関係

材料の応力-ひずみ関係は、バイリニア型とする。

材料に適用する応力-ひずみ関係の概念図を図 3-4 に示す。

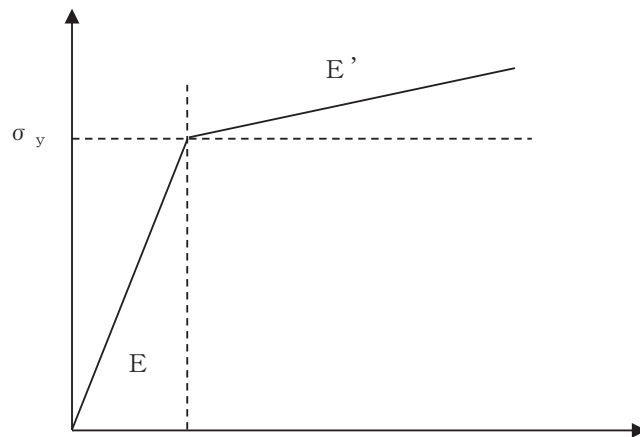


図 3-4 応力-ひずみ関係の概念図

(b) ひずみ速度効果

竜巻による設計飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、衝突時のひずみ速度による影響を Cowper-Symonds 式により考慮する。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{p}} \right\}$$

ここで、 $\sigma_D$ は動的応力、 $\sigma_S$ は静的応力、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度、 $C$ 及び $p$ はひずみ速度依存性のパラメータである。

ひずみ速度依存性パラメータを表 3-10 に示す。

表 3-10 ひずみ速度依存性パラメータ

	設計飛来物	復水貯蔵タンク
	鋼製材	胴板, 屋根板, 内部鉄骨, 支柱
材質	SS400	SUS304
C (1/s)		
p		

(c) 破断ひずみ

胴板及び屋根板の破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限值を基に設定する。また、NEI07-13 において TF (多軸性係数) を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として TF =  を考慮する。

胴板及び屋根板の破断ひずみを表 3-11 に示す。

表 3-11 破断ひずみ

評価対象部位	材質	J I S規格値 (下限値)	TF	破断ひずみ*
胴板, 屋根板	SUS304	0.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

注記\* : 真ひずみ換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5.2 構造強度評価

復水貯蔵タンクの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重，水頭圧及び自重に対する，胴板及び基礎ボルトの構造強度を1質点系モデルとして計算を行う。ここで，風荷重の作用点は胴板高さの1/2とし，設計飛来物による衝撃荷重に対しては，胴板頂部を作用点として考慮する。復水貯蔵タンクのモデル図を図3-5に示す。

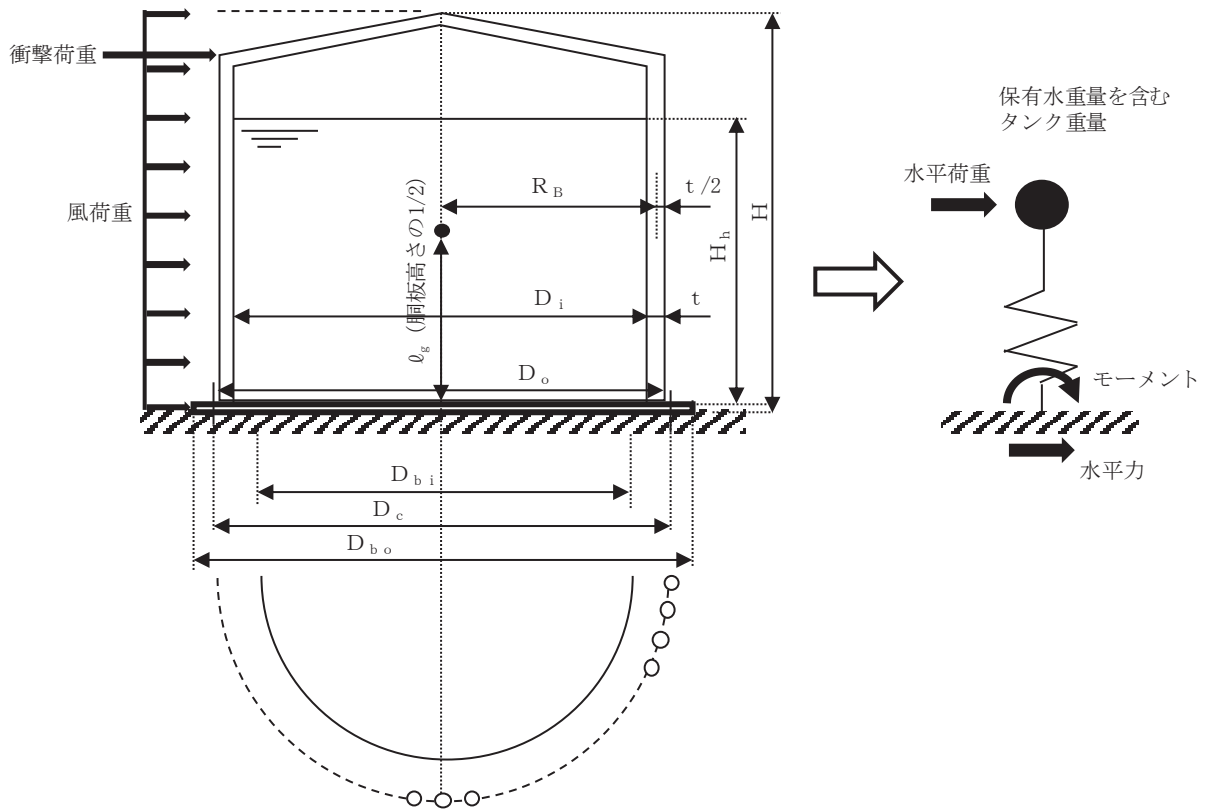


図3-5 復水貯蔵タンクモデル図



(2) 計算方法

- a. 設計竜巻により発生するモーメント

設計竜巻により作用するモーメント  $M_{T2}$  は以下の式により計算する。

$$M_{T2} = W_W \cdot \ell_g + W_M \cdot \ell_M$$

- b. 胴に生じる応力

- (a) 静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho_W \cdot H_h \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

- (b) 胴の自重（空質量）により生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

- (c) 設計竜巻により胴に生じる応力

設計竜巻により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot M_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

設計竜巻により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2 \cdot W_{T2}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

- (d) 組合せ応力

胴に生じる周方向応力の和

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

胴に生じる軸方向応力の和

$$\sigma_x = \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4}$$

胴に生じる組合せ一次応力

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_x + \sigma_{\phi}) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_{\phi})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

- (e) 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{x c} = \sigma_{x 2}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{x b} = \sigma_{x 4}$$

c. 胴板の座屈評価

胴板について、以下の式にて座屈評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$$

(a) 軸圧縮荷重により生じる座屈応力

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \{F - \phi_c(\eta_2)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(b) 曲げモーメントにより生じる座屈応力

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \{F - \phi_b(\eta_3)\} \cdot (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで、

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(c) 安全率  $\alpha_1$

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \cdot g} \cdot (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで、

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \cdot g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \cdot g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \cdot g}{F}$$

d. 基礎ボルト評価

(a) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{W_{T2}}{n \cdot A_b}$$

(b) 引張応力

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha_2$ が $\pi$ に等しくなったときであり、 $\alpha_2$ を $\pi$ に近づけた場合の値  $e=0.75$  を及び  $z=0.25$  を  $F_t$ を求める式に代入し、得られる  $F_t$ の値によって引張力の有無を次のように判断する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力は作用しているので以下の計算を行う。

転倒モーメント  $M_{T2}$  が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図 3-6 に示す。

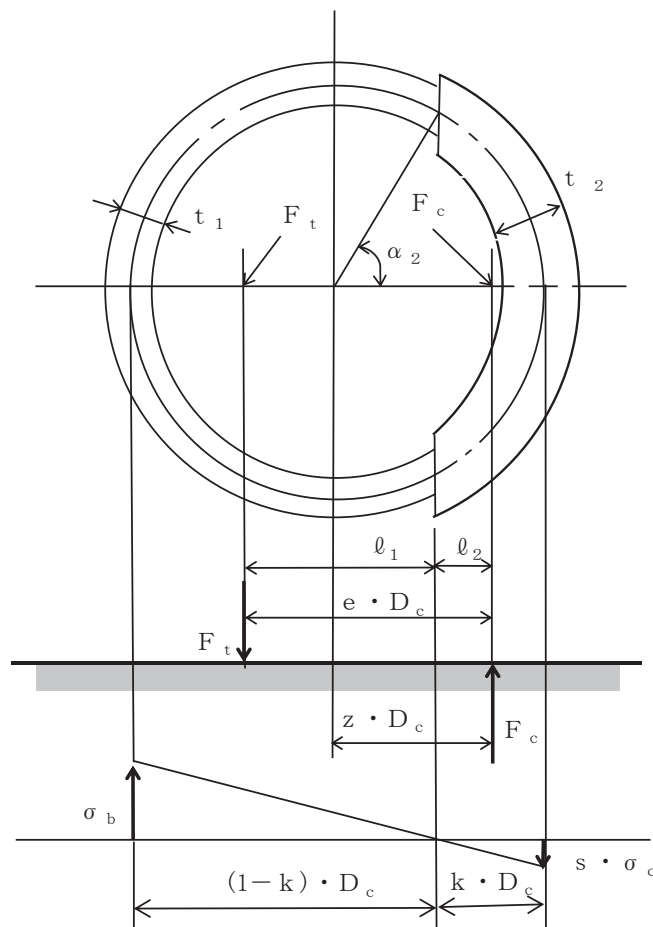


図 3-6 基礎の荷重説明図

イ.  $\sigma_b, \sigma_c$  を仮定して係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

ロ.  $\alpha_2$  を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k)$$

ハ. 各定数  $e, z, C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha_2 + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2 \}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

ニ. 各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{M_{T2} - m_e \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

$$F_c = F_t + m_e \cdot g$$

ホ.  $\sigma_b, \sigma_c$  を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{b_o} - D_{b_i}) - t_1$$

#### 4. 評価条件

##### 4.1 衝突評価

##### (1) ひずみ

復水貯蔵タンクのひずみ評価は、飛来物衝突による影響が大きいと考えられる部位及び衝突位置を考慮し、胴板の中央及びオーバーフロー水位位置並びに屋根板中央部（2ケース）に衝突するケースを想定する。

解析ケースを表 4-1 及び図 4-1 に示す。

表 4-1 解析ケース

衝突箇所		設計飛来物	衝突方向
復水貯蔵タンク	胴板中央	鋼製材	水平方向
	オーバーフロー水位		
	屋根板中央部-1		鉛直方向
	屋根板中央部-2		

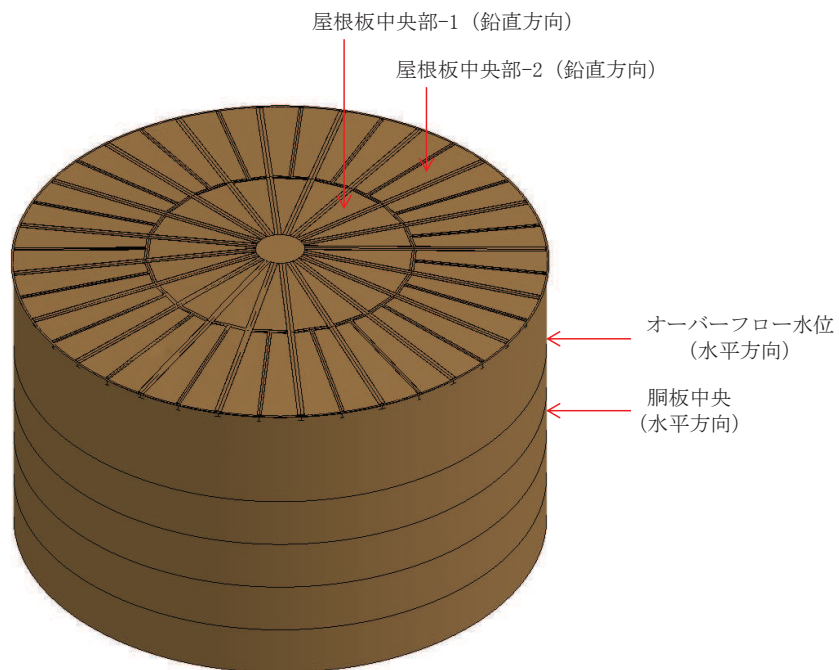


図 4-1 解析ケース

#### 4.2 構造強度評価

「3. 強度評価方法」のうち，構造強度評価に用いる評価条件を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

表 4-2 許容応力評価に用いる条件

材料	温度 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)
SUS304 (胴板)	66	188	479	205	-	-
SNB7 (基礎ボルト)	40	725	860	602	451	347

表 4-3 復水貯蔵タンクの入力条件

据付場所及び床 面高さ (m) * 1	構造概要	最高使用圧力 (MPa)	温度* 2 (°C)	$\rho_w$ (-)	g (m/s <sup>2</sup> )
屋外 O. P. 9. 50	平底たて置 円筒形	静水頭	①66	1. 0	9. 80665
			②40		

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	C (-)	H (mm)	$W_w$ (N)	$W_M$ (N)	$W_{T2}$ (N)
6130	1. 0	1. 2	12469	$1. 838 \times 10^6$	$1. 466 \times 10^6$	$3. 304 \times 10^6$

$m_e$ (kg)	$D_i$ (mm)	t (mm)	$\ell_g$ (mm)	$\ell_M$ (mm)	$H_h$ (mm)	$R_B$ (mm)	E (MPa)
242500	20000	22	6234. 5	11836	10100	10011	$1. 92 \times 10^5$

n (本)	ボルト サイズ	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	s (-)	$D_c$ (mm)	$D_{b_o}$ (mm)	$D_{b_i}$ (mm)
90	M60	2827	15	20320	20640	20000

注記 \* 1 : 基準床レベルを示す。

\* 2 : ①は胴板評価時，②は基礎ボルト評価時の値

5. 強度評価結果

5.1 衝突評価結果

ひずみの評価結果を表 5-1 及び図 5-1 から図 5-4 に示す。

胴板及び屋根板に発生するひずみは許容限界を超えない。

表 5-1 ひずみ評価結果

評価部位	衝突位置	ひずみ	
		評価結果	許容限界
胴板	胴板中央		
	オーバーフロー水位		
屋根板	屋根板中央部-1		
	屋根板中央部-2		



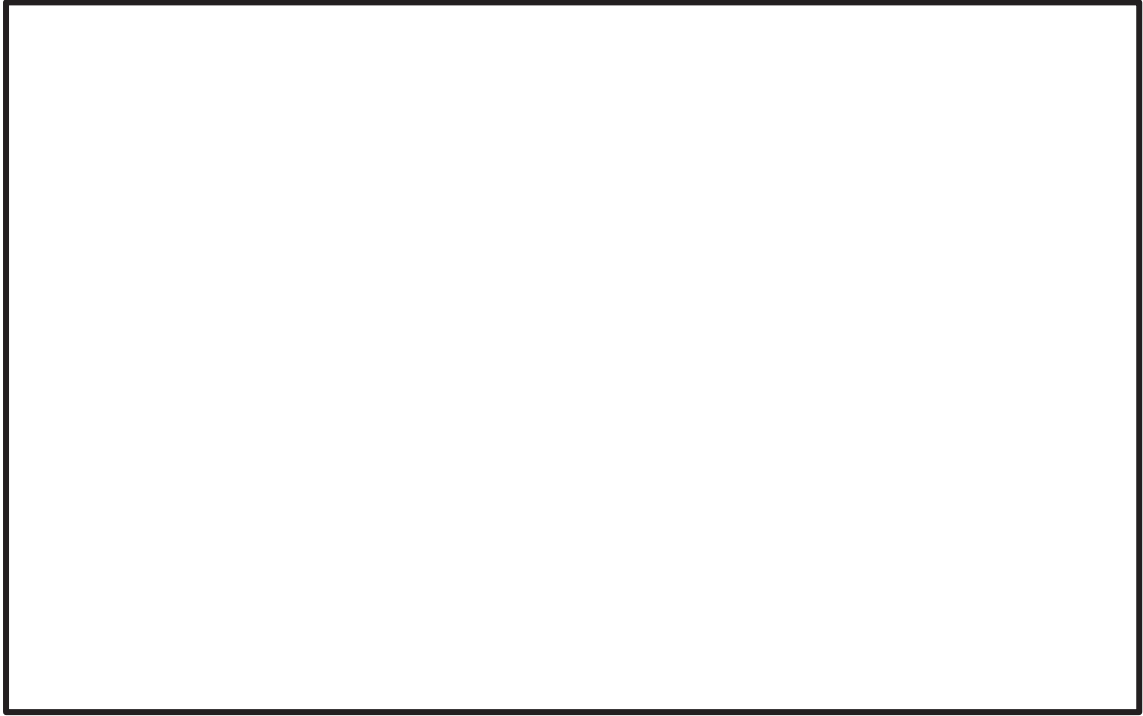


図 5-1 復水貯蔵タンクのひずみ分布図（胴板中央）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

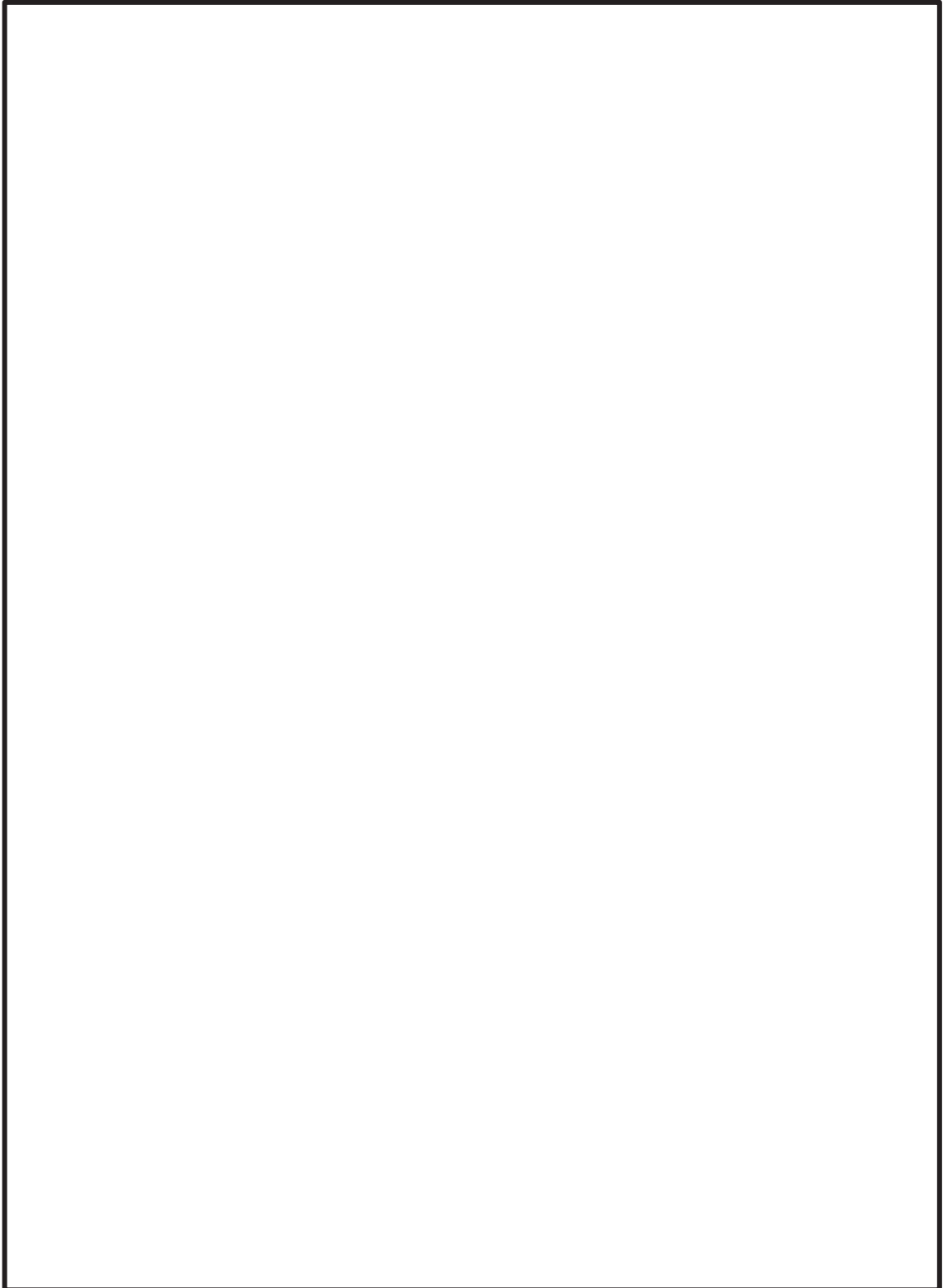


図 5-2 復水貯蔵タンクのひずみ分布図（オーバーフロー水位）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 5-3 復水貯蔵タンクのひずみ分布図（屋根板中央部-1）

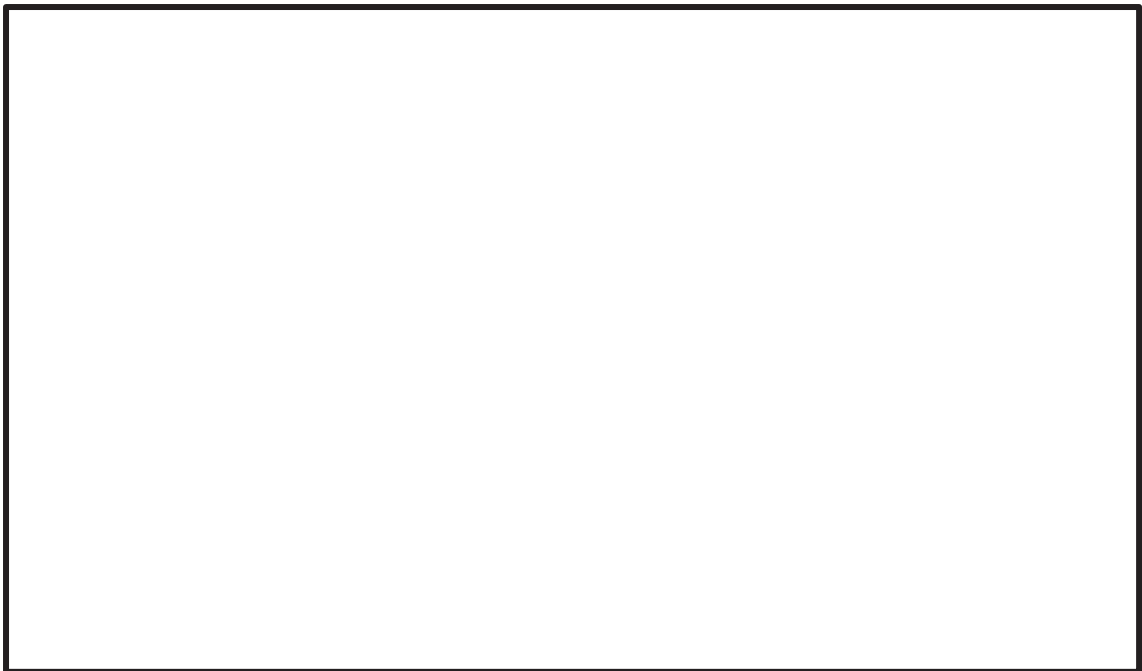


図 5-4 復水貯蔵タンクのひずみ分布図（屋根板中央部-2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5.2 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-2 に示す。

胴板，基礎ボルトに発生する応力は許容限界以下であり，また，座屈の評価の条件式を満足している。

表 5-2 構造強度評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
胴板	SUS304	一次一般膜	46	188	
		組合せ一次	46	188	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$		
			0.10		
基礎ボルト	SNB7	引張	8	451	
		せん断	13	347	
		組合せ	8	451	

VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	13
4. 評価条件	16
5. 強度評価結果	17

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外に設置している配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管及び弁の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

配管及び弁について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、配管及び弁の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

屋外に設置している配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図 2-1 に示す位置に設置する。

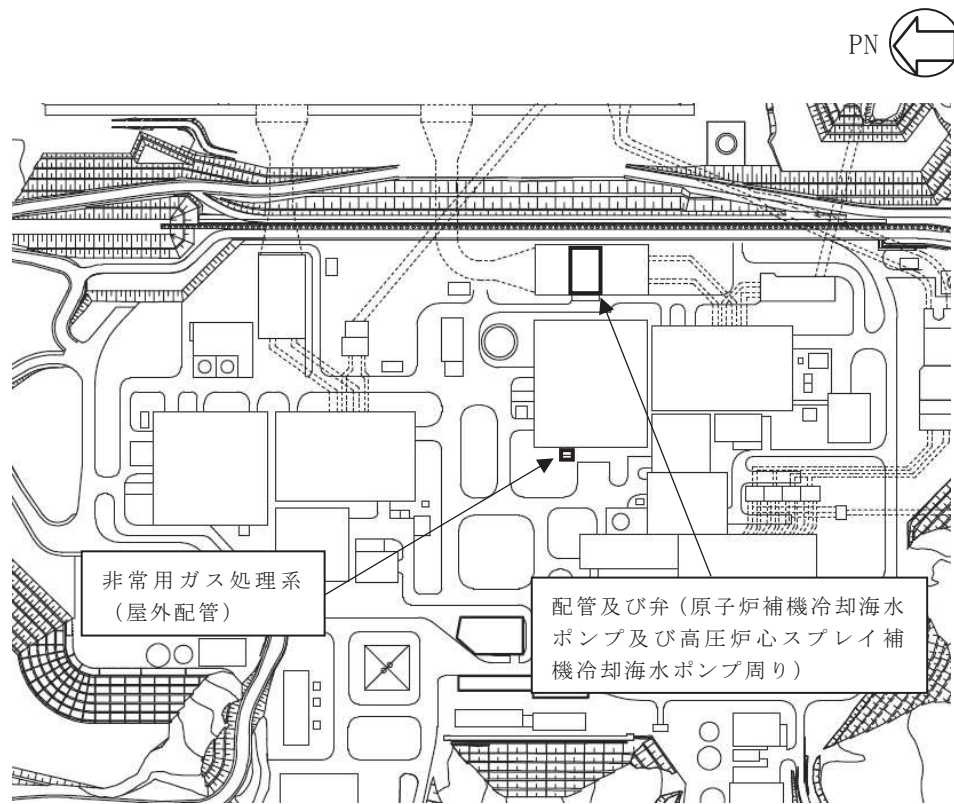


図 2-1 配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ周り）並びに非常用ガス処理系（屋外配管）の位置図

## 2.2 構造概要

配管及び弁について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造としている。配管及び弁の概要図を図 2-2 に、各エリアの配管及び弁の配置図を図 2-3、図 2-4 に示す。

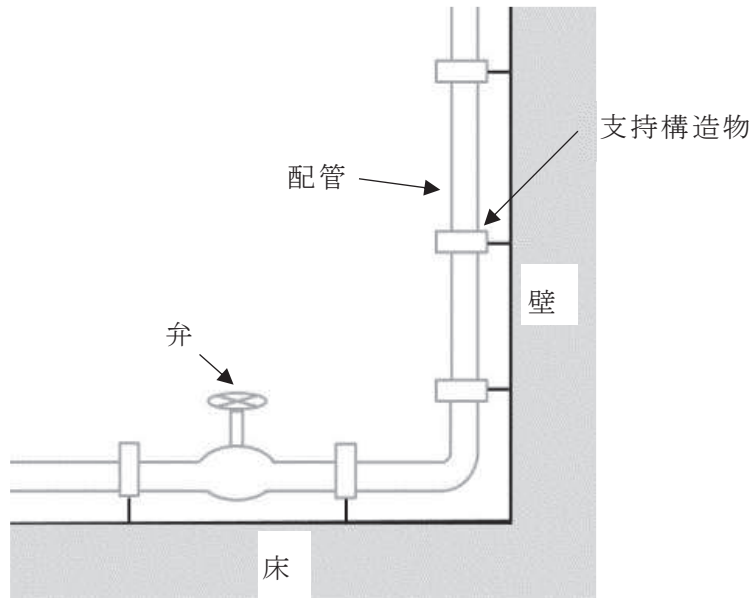


図 2-2 配管及び弁の概要図



図 2-3 原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り配管配置図



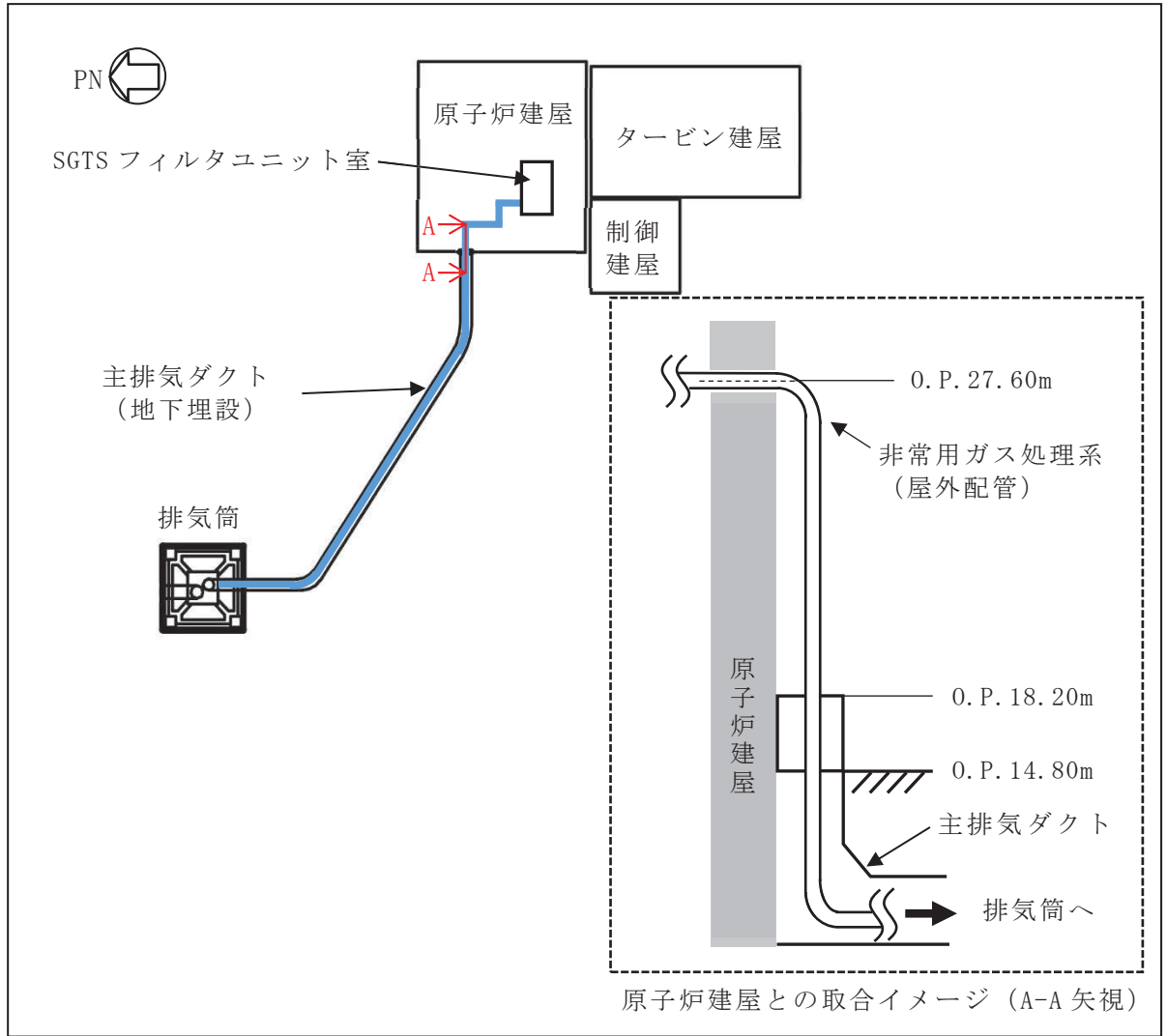


図 2-4 非常用ガス処理系（屋外配管）配管配置図

### 2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、配管及び弁の評価対象部位に作用する貫入及び応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

屋外の配管及び弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

#### (1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価フローを図 2-5 に示す。衝突評価においては、竜巻防護ネ

ットを設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。衝突評価では、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。配管及び弁の衝突評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

なお、非常用ガス処理系（屋外配管）が仮に飛来物による衝突によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され、閉塞することはないため、非常用ガス処理系（屋外配管）の衝突評価は行わない。

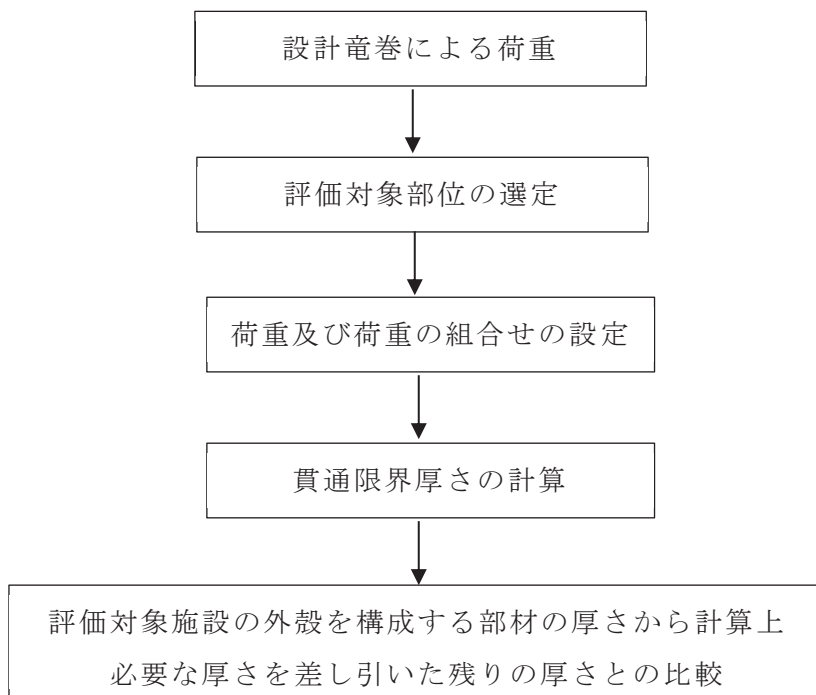


図2-5 配管及び弁の衝突評価フロー

## (2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価フローを図2-6に示す。構造強度評価において、配管及び弁に対し、設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の

「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

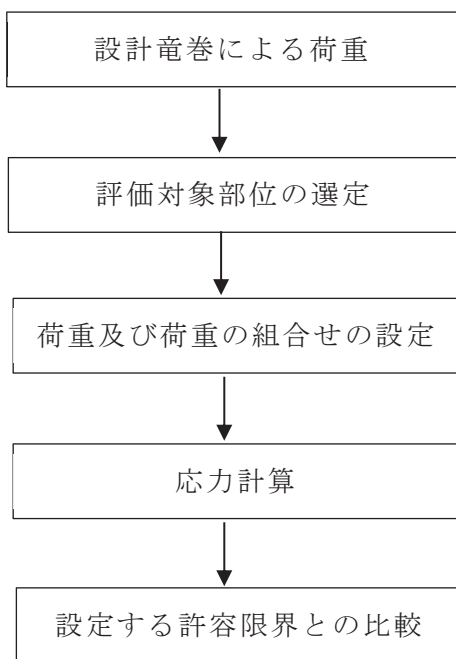


図2-6 配管及び弁の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987 年 新版機械工学便覧

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

##### (1) 衝突評価の記号の定義

配管及び弁の衝突評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 衝突評価に用いる記号

記号	単位	定義
$D_o$	mm	管の外径
$d$	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
$K$	—	鋼板の材質に関する係数
$M$	kg	評価において考慮する飛来物の質量
$P$	MPa	最高使用圧力
$S$	MPa	許容引張応力
$T$	mm	鋼板の貫通限界厚さ
$t$	mm	胴の計算上必要な厚さ
$v$	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度
$\eta$	—	継手効率

(2) 構造強度評価の記号の定義

配管及び弁の構造強度評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表3-2 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W <sub>w</sub>	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
σ <sub>1</sub> , σ <sub>2</sub>	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>WT1</sub> , σ <sub>WT2</sub>	MPa	複合荷重により生じる応力
σ <sub>ww</sub>	MPa	風圧力により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は，添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により，配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため，貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。弁が設置されている箇所においては，弁の板厚は配管の板厚に比べ厚く，配管の評価に包絡されるため，配管の評価のみ実施する。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図3-1に示す。

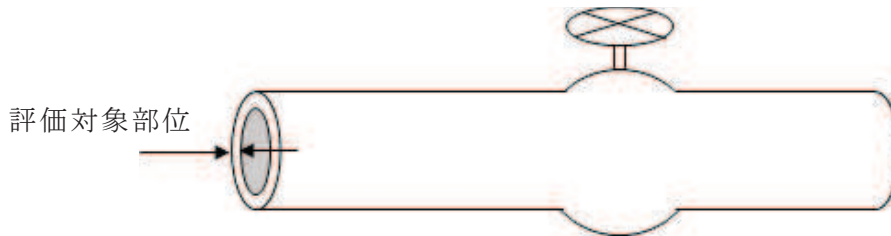


図3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

#### (2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は，配管本体に作用する。なお，弁を設置している箇所においては，弁の断面係数は配管に比べ大きく，配管の評価に包絡されるため配管の評価のみを実施する。サポート（配管支持構造物）については，建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。このことから，配管本体を評価対象部位として選定する。

配管及び弁の構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

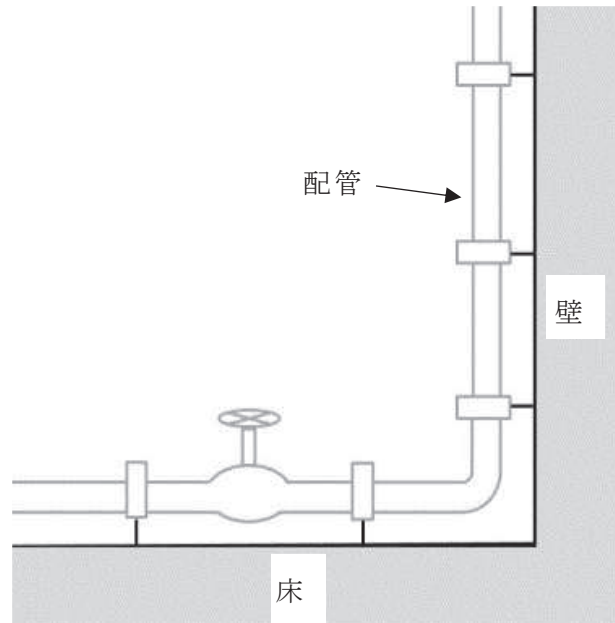


図 3-2 配管及び弁の構造強度評価の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法40（mm））をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を考慮する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

砂利の諸元を表 3-3、配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表 3-4 に示す。

表 3-3 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04	1.0	0.2	59.3	27.2

表 3-4 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	配管	飛来物による 衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。竜巻防護ネットによる風圧力の低減は無いものとして保守的な評価を行う。なお、非常用ガス処理系（屋外配管）は大口径の配管が開放された施設であるため、気圧差は発生しないことから気圧差による荷重は考慮しない。また、非常用ガス処理系（屋外配管）が仮に飛来物による衝突によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気され、閉塞することはないため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。さらに、竜巻防護ネットをすり抜ける極小飛来物である砂利による衝撃は瞬間的で、衝突時間が極めて短く、衝突される機器へ伝わる加速度が小さいことから、機器へ作用する荷重は構造強度に影響を与えないので設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

イ. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ロ. 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って、



気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(2) 構造強度評価の評価方法」に示す。

(c) 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。なお、非常用ガス処理系（屋外配管）の内圧については、気圧差同様考慮しない。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、配管及び弁の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-5に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象 防護対象施設	配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）	配管	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③自重 ④内圧
	非常用ガス処理系（屋外配管）	配管	①風圧力による荷重 ②自重

3.4 許容限界

配管及び弁の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ及び J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S の許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価における許容限界は、評価において考慮する飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認するため、評価式により算定した貫通限界厚さが配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であること

を許容限界とする。

配管及び弁（原子炉補機冷却海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）における計算上必要な厚さは、設計・建設規格 PPD-3411に基づき、以下の式より算出する。

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを表3-6に示す。

表3-6 配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.5	0.23	5.27
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.5	0.23	5.27

(2) 構造強度評価の許容限界

配管の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の構造強度評価における許容限界を表3-7、許容応力を表3-8に示す。

表 3-7 配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜+曲げ）
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-8 配管の許容応力

評価対象配管	材料	温度条件* (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S (MPa)
原子炉補機冷却海水ポンプ周り配管	SM400C	50	211	110
	STS410	50	239	103
高圧炉心スプレー補機冷却海水ポンプ周り配管	STS410	50	239	103
非常用ガス処理系（屋外配管）	STS410	140	215	103

注記 \*：最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

配管及び弁の衝突評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している衝突評価が必要な機器の評価式を用いる。

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられているBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### (2) 構造強度評価の評価方法

配管及び弁の構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。保温材を使用している配管については、保温材を含めた受圧面積を考慮して評価を行う。弁を設置

している場合はサポート支持間隔が短くなるため、弁を設置している場合の受圧面積は最大支持間隔での受圧面積に包絡される。

配管モデル図を図3-3に示す。

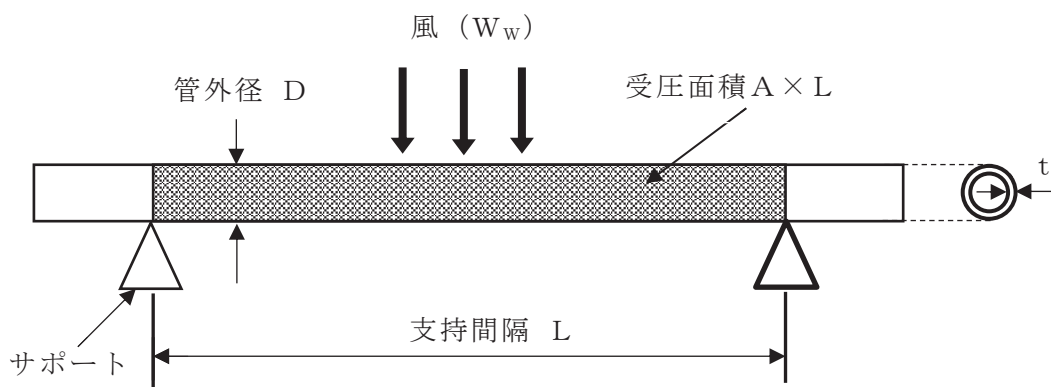


図 3-3 配管モデル図

b. 計算方法

(a) 竜巻による応力計算

イ. 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

ロ. 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が增加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{wp} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、イ.及びロ.項の複合荷重により生じる応力  $\sigma_{wt1}$  及び  $\sigma_{wt2}$  は以下の式により算出する。

$$\sigma_{wt1} = \sigma_{wp}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

(b) 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{\text{自重}} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 共通評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (MPa)	気圧低下量 $\Delta P$ (MPa)	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )
1	1.2	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665

表 4-2 評価条件（原子炉補機冷却海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
508.0	SM400C	14.7	9.5	330.4	0.6380	0.78
60.5	STS410	3.1	5.5	10.9	0.1105	0.78

表 4-3 評価条件（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り配管）

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
216.3	STS410	7.0	8.2	86.1	0.3463	0.78
60.5	STS410	2.0	5.5	15.1	0.1905	0.78

表 4-4 評価条件（非常用ガス処理系（屋外配管））

管外径 D (mm)	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当たりの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当たりの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)
318.5	STS410	15.4	10.3	78.3	0.3185

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	貫通限界厚さ T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表5-2に示す。

砂利の貫通限界厚さは、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。また、弁の板厚は配管に比べ厚いため、配管の評価に包絡される。

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	貫通限界厚さ T (mm)	結果
原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.27 (配管)	1.0	貫通しない
高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁	5.27 (配管)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁

構造強度評価結果を表5-3に示す。

原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。

また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の

評価に包絡される。

表 5-3 評価結果（原子炉補機冷却海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
508.0	SM400C	59	129	211
60.5	STS410	13	95	239

- b. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及び弁  
構造強度評価結果を表5-4に示す。

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁を設置している箇所においては、弁の断面係数は配管に比べ大きく配管の評価に包絡される。

表 5-4 評価結果（高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周り）

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
216.3	STS410	25	83	239
60.5	STS410	9	67	239

- c. 非常用ガス処理系（屋外配管）

構造強度評価結果を表5-5に示す。

非常用ガス処理系（屋外配管）に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（非常用ガス処理系（屋外配管））

管外径 D (mm)	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
318.5	STS410	31	124	215



VI-3-別添 1-1-7 排気筒の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	8
2.4 適用基準	10
3. 強度評価方法	11
3.1 評価対象部位	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	17
3.4 評価方法	19
4. 評価条件	37
5. 強度評価結果	54

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、第2号機及び第3号機排気筒（以下「排気筒」という。）が、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物の衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、排気筒の機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

排気筒について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」, 「2.2 構造計画」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用基準」を示す。

2.1 位置

排気筒の設置位置を図 2-1 に示す。



図 2-1 排気筒の設置位置

排気筒

## 2.2 構造計画

排気筒について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

排気筒は、地上からの高さ 160.0m、基部内径 3.7m、頂部内径 3.0m の鋼板製筒身 2 本を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた四角鉄塔支持形鋼管構造であり、第 2 号機排気筒と第 3 号機排気筒で支持構造物を共有する集合方式である。

筒身と鉄塔は 4 箇所 の支持点で接続される。O.P. 41.8m, O.P. 74.8m, O.P. 161.8m の 3 箇所は、水平方向固定・鉛直方向フリーの支持点構造で接続され、O.P. 134.8m の支持点は制震装置（オイルダンパ）で接続されている。

排気筒の概要図を図 2-2 及び図 2-3 に、排気筒基礎の概要図を図 2-4～図 2-6 に示す。

### 構造概要

- |        |  |
|--------|--|
| ・構造形式  | 四角鉄塔支持形鋼管構造（制震装置付）                               |
| ・排気筒高さ | 160.0m（O.P. 174.8m）                              |
| ・鉄塔高さ  | 147.0m（O.P. 161.8m）                              |
| ・筒身内径  | 頂部 3.0m<br>基部 3.7m                               |
| ・鉄塔幅   | 頂部 11.0m<br>根開き 30.0m                            |
| ・支持点位置 | O.P. 41.8m, O.P. 74.8m, O.P. 134.8m, O.P. 161.8m |
| ・基礎    | 鉄筋コンクリート造フーチング基礎                                 |

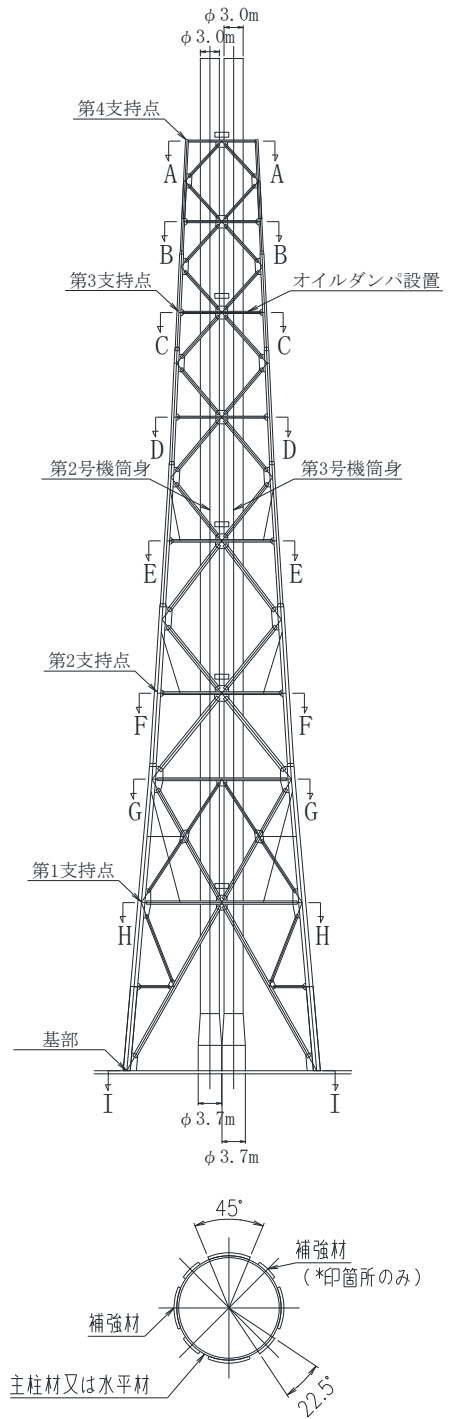
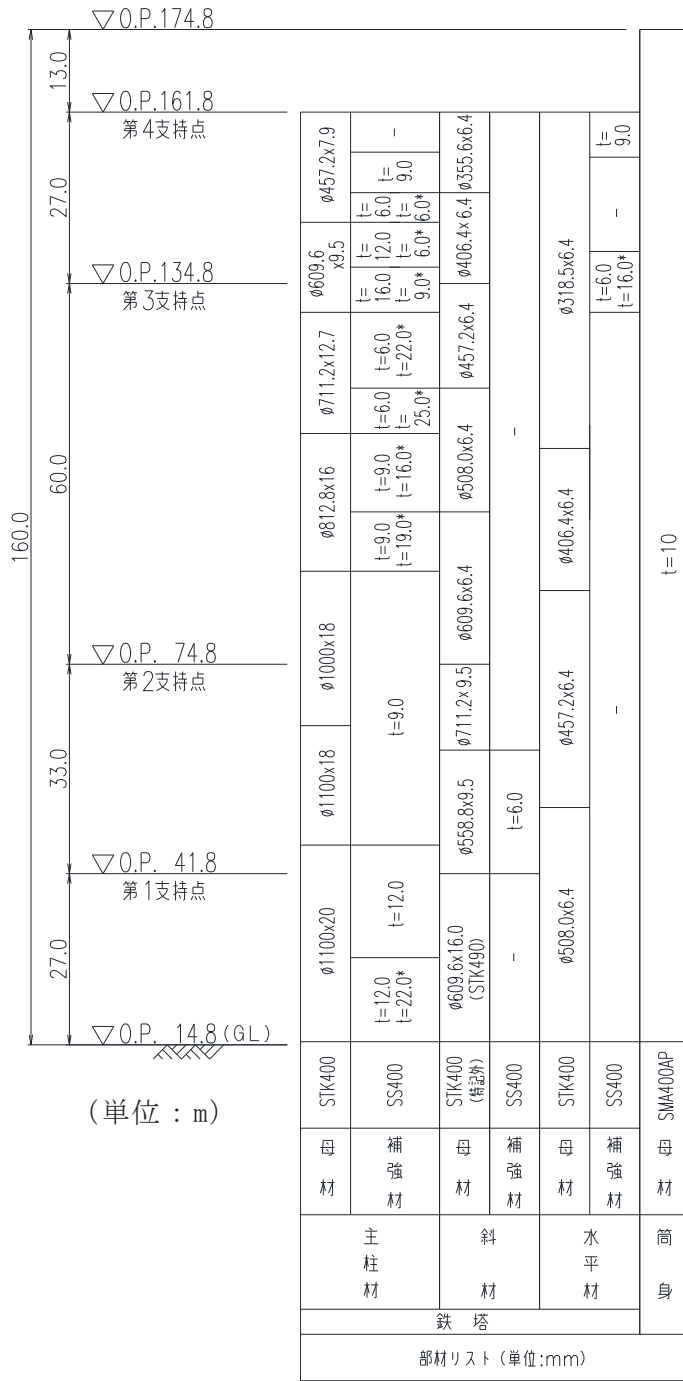


図 2-2 排気筒の概要図

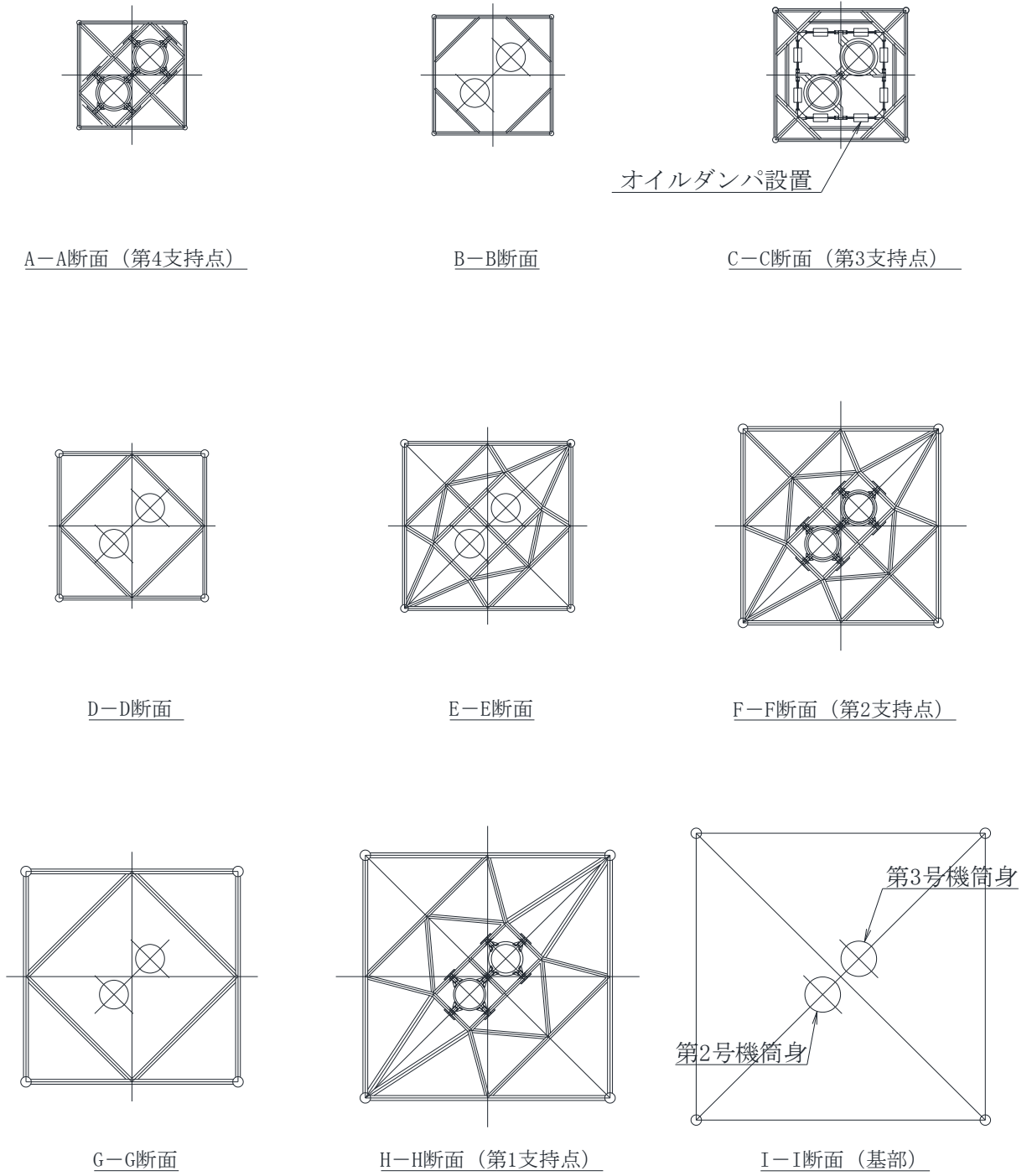


図 2-3 排気筒の概略平面図

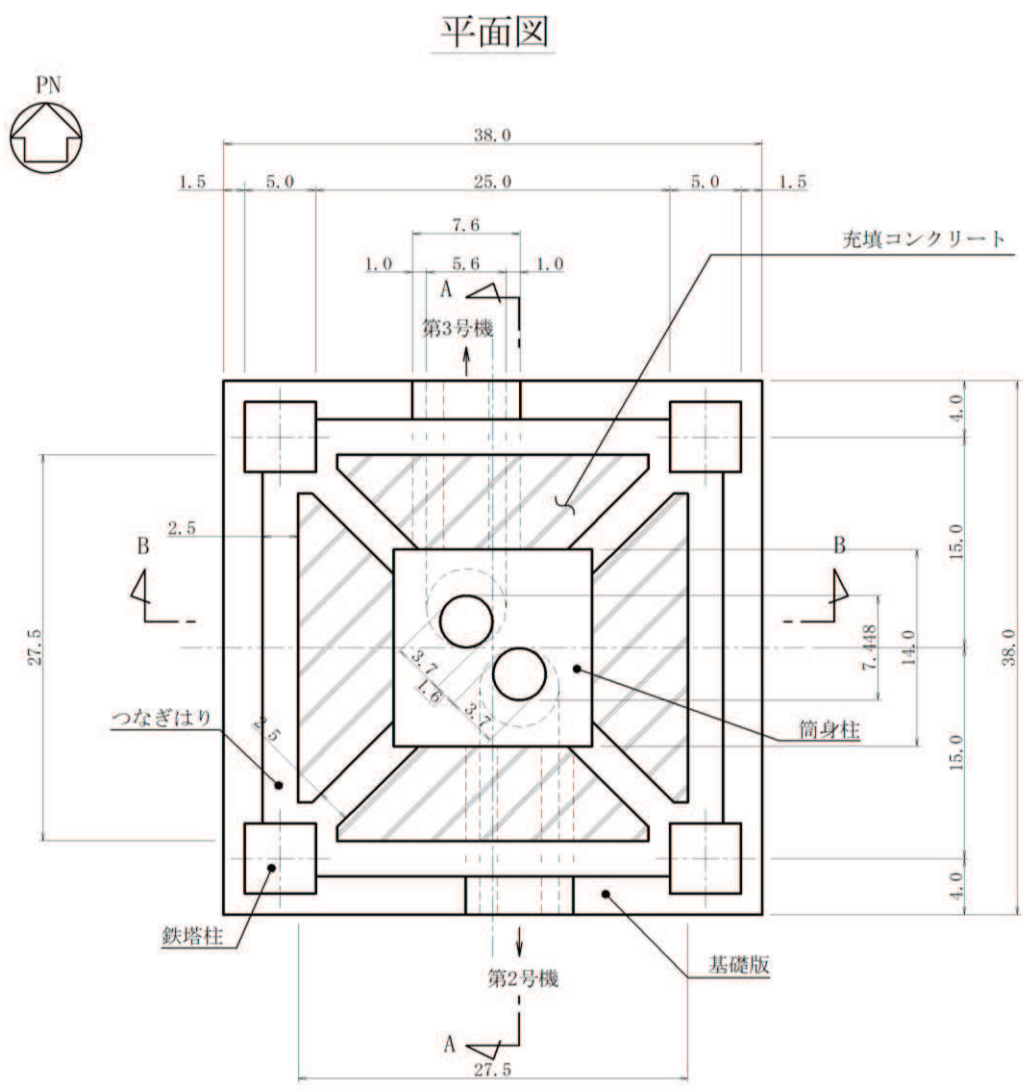


図 2-4 排気筒基礎平面図 (単位 : m)



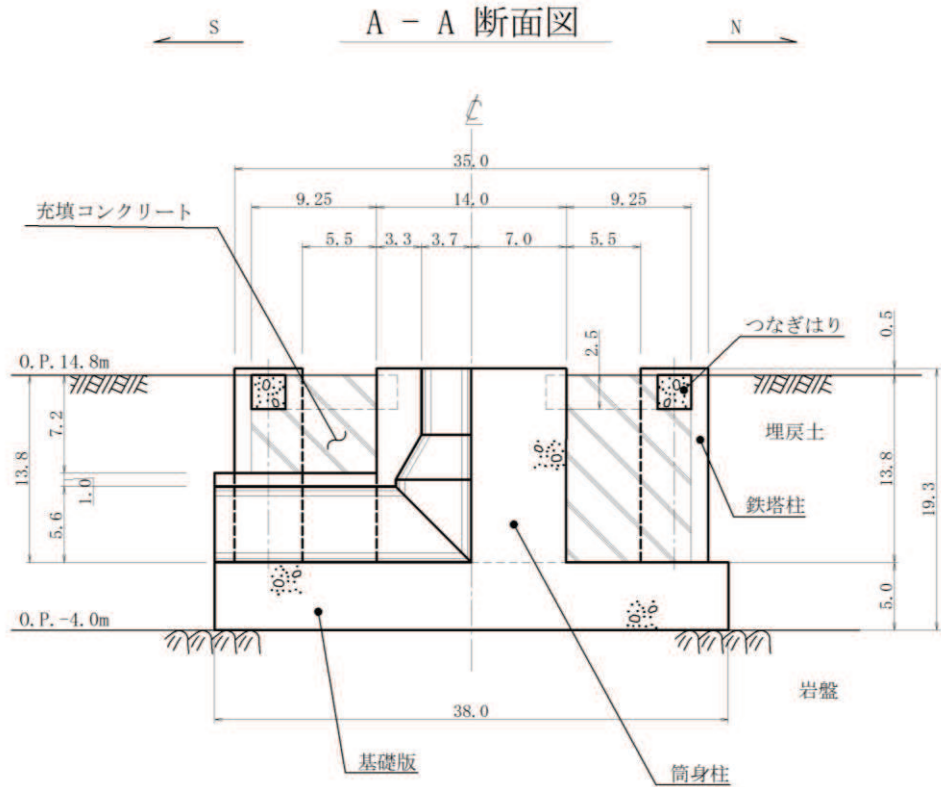


図 2-5 排気筒基礎断面図 (A-A 断面, NS 断面) (単位 : m)

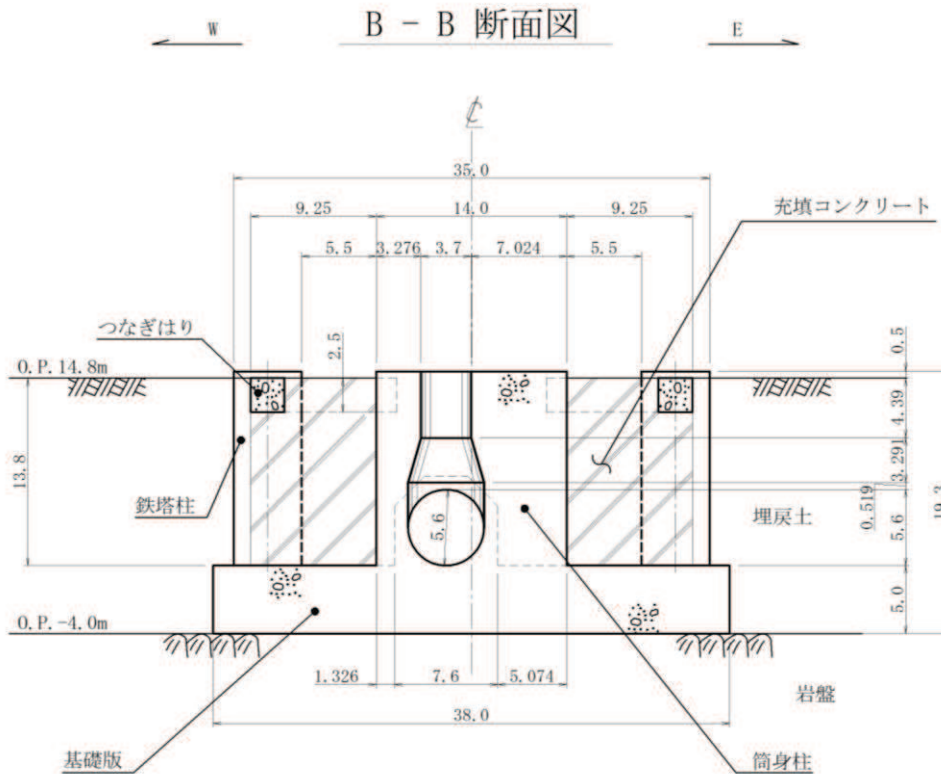


図 2-6 排気筒基礎断面図 (B-B 断面, EW 断面) (単位 : m)

### 2.3 評価方針

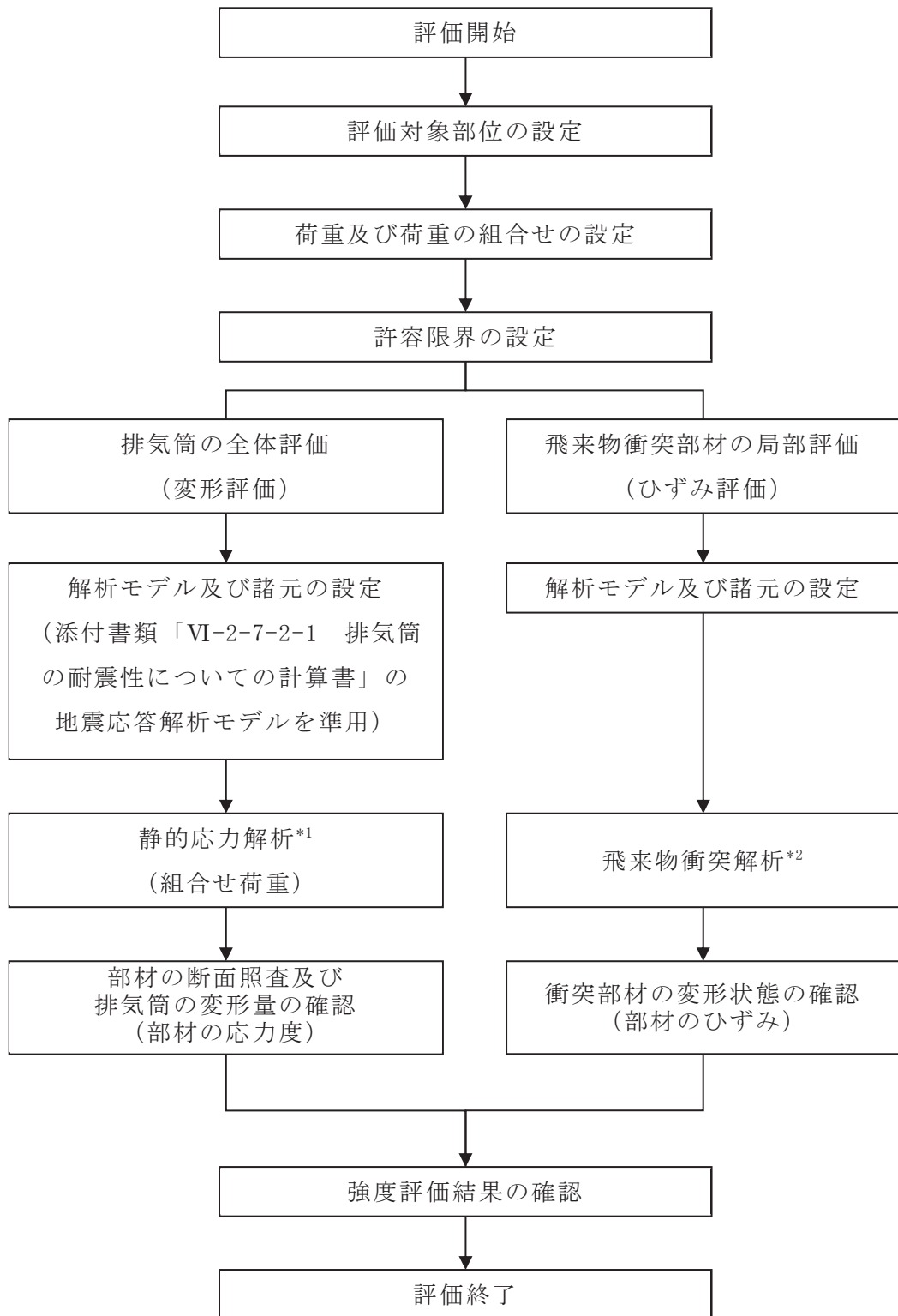
排気筒の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、排気筒の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組合せる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

具体的には、強度評価について、設計荷重が排気筒に作用した場合、排気筒の各評価対象部位に作用する応力度が「3.3 許容限界」に示す許容応力度を下回ることを確認する。また、排気筒は、筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、筒身、鉄塔部及び脚部を評価対象部位とする。ただし、排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材は、設計竜巻による設計飛来物が衝突することを考慮するため、その部材については終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

なお、排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化または設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく、筒身に損傷が生じた場合は安全上支障のない期間に補修する方針としていることから、排気筒の安全機能に対する影響はない。

排気筒の強度評価フローを図 2-7 に示す。



注記 \*1 : 静的応力解析については、解析コード「DYNA2E」により、三次元 FEM モデルを用いた評価を実施する。

\*2 : 飛来物衝突解析については、解析コード「LS-DYNA」により、材料非線形を考慮した衝突解析により評価を実施する。

図 2-7 排気筒の強度評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 日本建築学会 2010 年 容器構造設計指針・同解説（以下「容器構造設計指針」という。）
- ・ 日本建築学会 2007 年 煙突構造設計指針
- ・ 日本建築センター 1982 年 煙突構造設計施工指針
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 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 2005 年 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
- ・ 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))（以下「NEI07-13」という。）

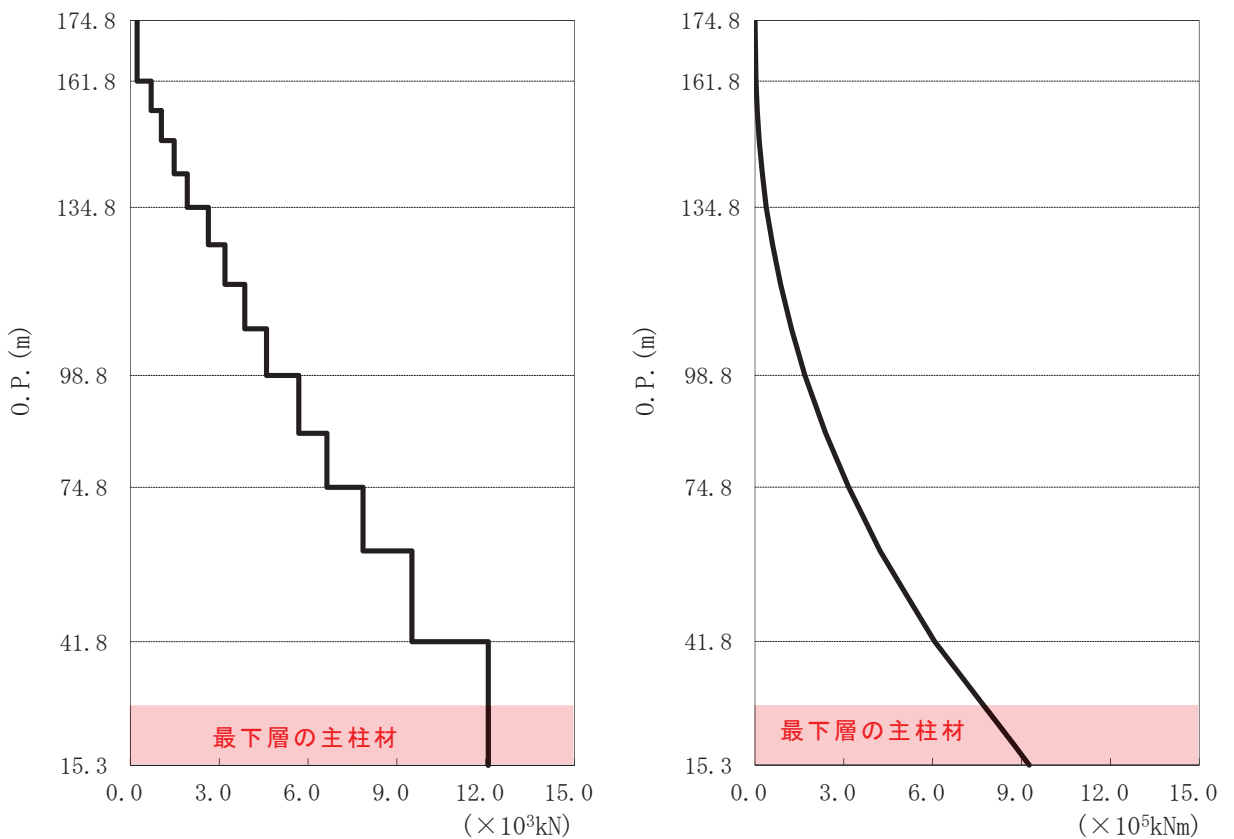
### 3. 強度評価方法

#### 3.1 評価対象部位

排気筒の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ筒身、鉄塔部及び脚部とする。

また、「2.3 評価方針」に示したとおり、鉄塔部材は設計飛来物の衝突を考慮する。衝突を評価する部材としては、鉄塔を構成する主要部材である支柱材とし、健全時において風圧力（「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重 $W_w$ ）を作用させた際に、排気筒全体のせん断力及び曲げモーメントが最大となる最下層とする。なお、最下層の支柱材は鉄塔基礎部に直接荷重を伝達する部材である。

健全時において風圧力を作用させた際の排気筒全体の最大せん断力分布及び最大曲げモーメント分布を図3-1に示す。



(最大せん断力分布)

(最大曲げモーメント分布)

図 3-1 排気筒全体の最大せん断力分布及び最大曲げモーメント分布  
(設計竜巻による荷重 $W_w$ のみを作用させた場合)

### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 固定荷重 (F<sub>d</sub>)

固定荷重として、持続的に生じる荷重である筒身及び鉄塔部の自重の他に、制震オイルダンパ、歩廊等の付属設備の荷重を考慮する。

##### b. 設計竜巻による荷重 (W<sub>w</sub>)

屋外の施設であるため風圧力による荷重を考慮する。設計竜巻の風圧力による荷重W<sub>w</sub>は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(1)b. (a) 風圧力による荷重」に基づき、以下の式から算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで、 } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2 \text{ とし}$$

W<sub>w</sub> : 設計竜巻の風圧力による荷重 (N)

q : 設計用速度圧 (N/m<sup>2</sup>) (q = 6130N/m<sup>2</sup>)

G : ガスト影響係数 (G = 1.0)

C : 風力係数

A : 筒身及び鉄塔部の見付面積 (m<sup>2</sup>)

ρ : 空気密度 (kg/m<sup>3</sup>) (ρ = 1.226kg/m<sup>3</sup>)

V<sub>D</sub> : 最大風速 (m/s) (V<sub>D</sub> = 100m/s)

設計竜巻の風圧力による荷重 $W_w$ の入力方法を図 3-2 に示す。風圧力による荷重 $W_w$ が作用する方向は、 $0^\circ$  方向及び  $45^\circ$  方向とする。ここで、風力係数 $C$ は「煙突構造設計施工指針」に基づき、表 3-1 の数値とする。鉄塔部材への荷重は、各レベルの水平力を、各部材の支配幅あたりに分配して設定する。

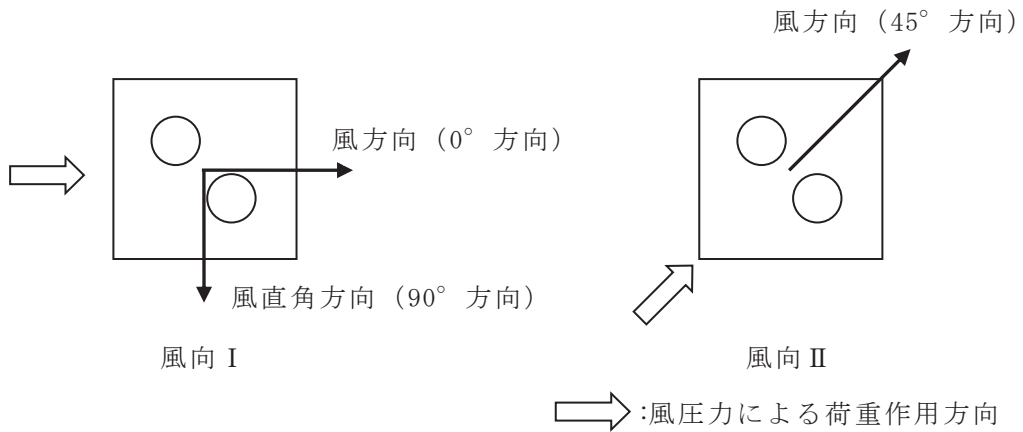


図 3-2 風圧力による荷重 $W_w$ の入力方法

表 3-1 風力係数

	風向 I	風向 II
筒身	風方向 0.5 風直角方向 0.7	風方向 0.75
鉄塔部	風方向 2.4	風方向 2.2

c. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重については、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(1)b.(c) 飛来物による衝撃荷重」に基づき、表 3-2 に諸元を示す設計飛来物の衝突を伴う荷重とする。

表3-2 鋼製材の諸元

	鋼製材
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
水平方向の飛来速度 (m/s)	46.6
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	16.7

(2) 荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重 $W_T$  ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ )は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い、算出する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

$W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ : 設計竜巻による複合荷重

$W_W$ : 設計竜巻の風圧力による荷重

$W_P$ : 設計竜巻の気圧差による荷重

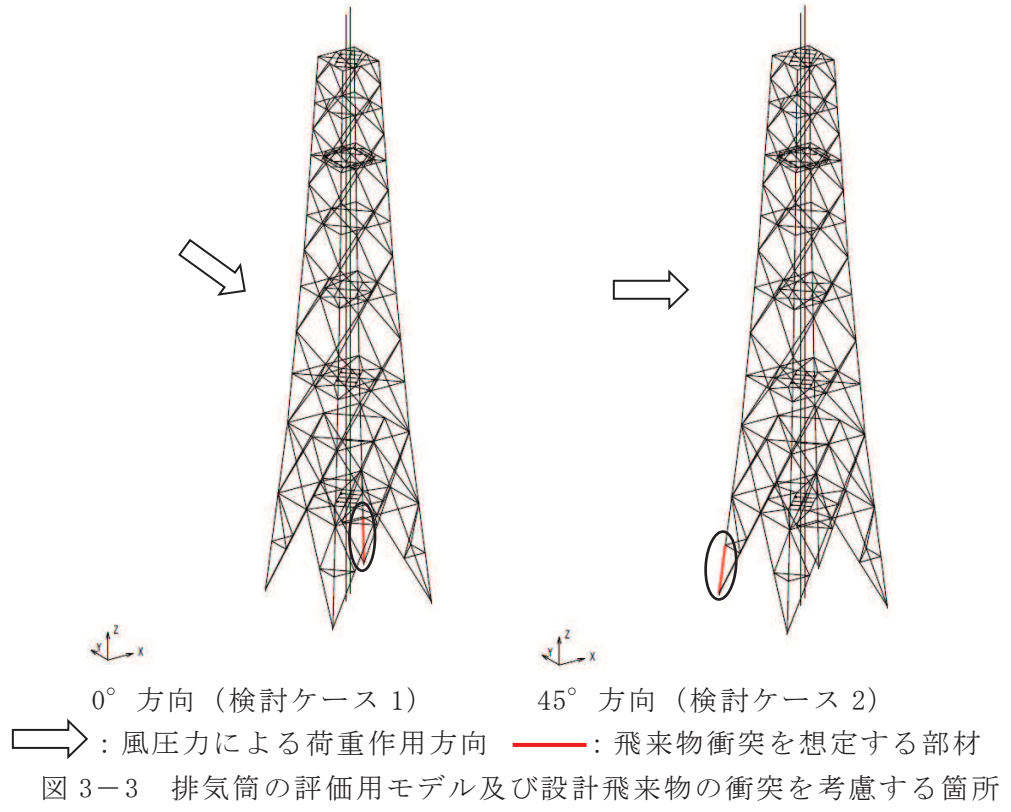
$W_M$ : 設計飛来物による衝撃荷重

排気筒は大気中に開かれており、排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ( $W_P = 0$ )。したがって、設計竜巻による複合荷重 $W_T$ は $W_{T1} = 0$  となり、 $W_{T2} = W_W + W_M$ とし、 $0^\circ$  方向と  $45^\circ$  方向の荷重に対して、固定荷重 ( $F_d$ ) を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

また、「3.1 評価対象部位」に示したとおり、設計飛来物の衝突を考慮する箇所については、鉄塔部の最下層支柱材とし、設計飛来物は  $0^\circ$  方向及び  $45^\circ$  方向から衝突するものとする。

排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する箇所を図 3-3 に示す。





設計竜巻の風圧力による荷重 $W_w$ の作用方向と設計飛来物による衝突荷重 $W_M$ の衝突方向を図3-4に示す。

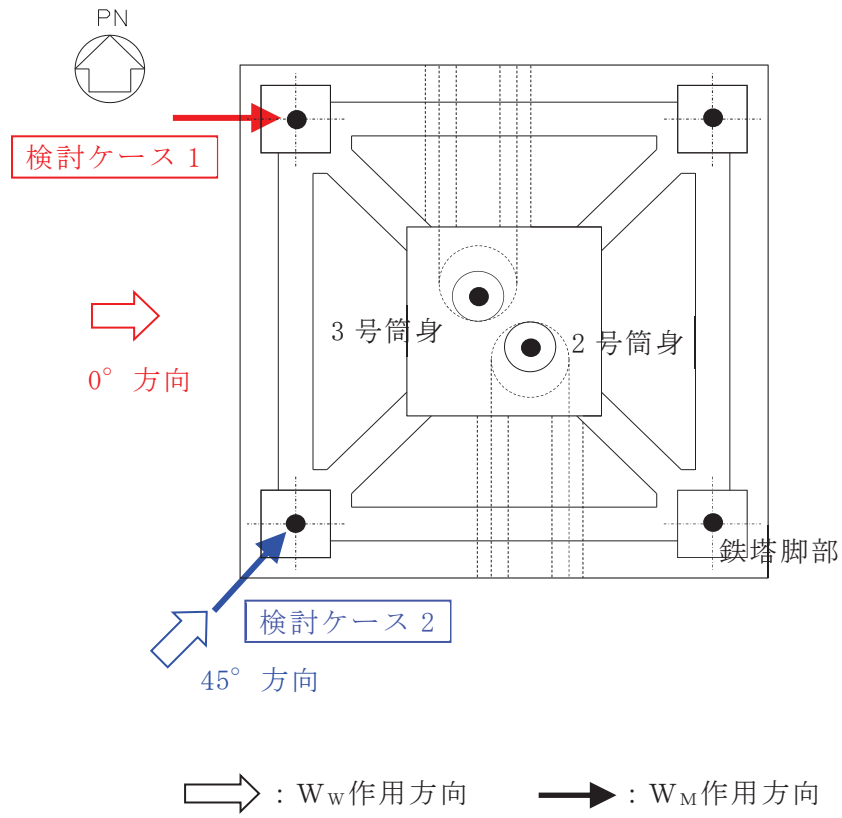


図3-4 複合荷重の作用方向

### 3.3 許容限界

筒身の鋼材については、J I S G 3 1 1 4「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」に規定される SMA400AP を使用する。

鉄塔の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 4 4 4「一般構造用炭素鋼鋼管」に規定される STK400、STK490 のいずれかを使用する。

筒身脚部、鉄塔脚部の鋼材は、J I S G 3 1 0 1「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS400、J I S G 3 1 0 6「溶接構造用圧延鋼材」に規定される SM400A のいずれかを使用する。なお、鉄塔脚部のアンカーボルトは、直径が 40mm を超える鋼材を使用する。

各使用材料の許容限界は許容応力度とし、表 3-3～表 3-6 に示す。なお、筒身受台及び鉄塔受台に使用する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  $20.5\text{N/mm}^2$ 、鉄筋は SD345 とする。

表3-3 鋼材の許容応力度

板厚	材質	基準強度 F 値 (単位: $\text{N/mm}^2$ )	許容応力度
$t \leq 40\text{mm}$	SS400, SMA400AP, STK400	235	「容器構造設計指針」又は 「鋼構造設計規準」に従っ て、左記 F 値より求める。
$t \leq 40\text{mm}$	STK490	325	

表3-4 筒身脚部、鉄塔脚部の許容応力度

板厚	材質	基準強度 F 値 (単位: $\text{N/mm}^2$ )	許容応力度
$t \leq 40\text{mm}^*$	SS400, SM400A	235	「鋼構造設計規準」に従っ て、左記 F 値より求める。
$t > 40\text{mm}^*$	SS400, SM400A	215	

注記\* : アンカーボルトは公称軸径を板厚と読み替える。

表 3-5 コンクリートの許容応力度 (単位：N/mm<sup>2</sup>)

	長期			短期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
$F_c = 20.5$	6.8	—	0.68	13.6	—	1.02

表 3-6 鉄筋の許容応力度 (単位：N/mm<sup>2</sup>)

	鉄筋径	長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D25 以下	215	195	345	345
	D29 以上	195			

また、設計飛来物の衝突を考慮する最下層支柱材の許容限界は、鋼材の破断ひずみを設定する。破断ひずみについては、「3.4 (3) d. 材料の非線形特性」に示すとおり、J I Sに規定されている伸びの下限值を基に設定するが、「NEI07-13」においてTF (多軸性係数) を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF =  を考慮して設定する。

設計飛来物の衝突を考慮する最下層支柱材の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 最下層支柱材の許容限界

評価対象部位	材質	破断ひずみ*
最下層支柱材	STK400, SS400	<input type="text" value="0.7"/>

注記\*：真ひずみ換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4 評価方法

#### (1) 応力評価方法

排気筒について、三次元 FEM モデルを用いた応力解析を実施する。評価用モデルは図 3-3 に示すとおり。

#### (2) 断面算定方法

排気筒の断面評価に用いる応力は、三次元 FEM モデルを用いた静的応力解析により得られた設計荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）から算定する。解析には、解析コード「DYNA2E Ver.7.2.63」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### a. 筒身

断面算定は「容器構造設計指針」に準拠して行うものとし、筒身に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断力に対して、下式を用いて行う。

$$\frac{\sigma_c}{c f_{cr}} + \frac{\sigma_b}{b f_{cr}} \leq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{\tau}{s f_{cr}} \leq 1.0$$

ここで、

- $\sigma_c$  : 平均圧縮応力度  $\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_b$  : 圧縮側曲げ応力度  $\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau$  : せん断応力度  $\tau = Q \cdot 10^3 / A_s$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $c f_{cr}$  : 圧縮材料強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $b f_{cr}$  : 曲げ材料強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $s f_{cr}$  : せん断材料強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $N$  : 軸力 (kN)
- $A$  : 円筒の断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $M$  : 曲げモーメント (kN・m)
- $Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)
- $Q$  : せん断力 (kN)
- $A_s$  : 円筒のせん断断面積  $A_s = A/2$  (mm<sup>2</sup>)

なお、材料強度は、「平 12 建告第 2464 号」に準拠し、材料強度 F 値を 1.1 倍した値を用いて許容応力度を算出し、部材に発生する応力が許容応力度を超えないことを確認する。また、断面評価において腐食代は考慮しない。

b. 鉄塔部材

断面算定は、「建築基準法施行令第 90 条, 第 96 条」及び「平 13 国交告第 1024 号」に準拠して行うものとし, 主要な鉄塔部材 (主柱材, 斜材, 水平材) に生じる軸力及び曲げモーメントに対して, 下式を用いて行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで,

$\sigma_c$  : 平均圧縮応力度  $\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : 曲げ応力度  $\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z$  (N/mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : 圧縮材料強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_b$  : 曲げ材料強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : 軸力 (kN)

$A$  : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

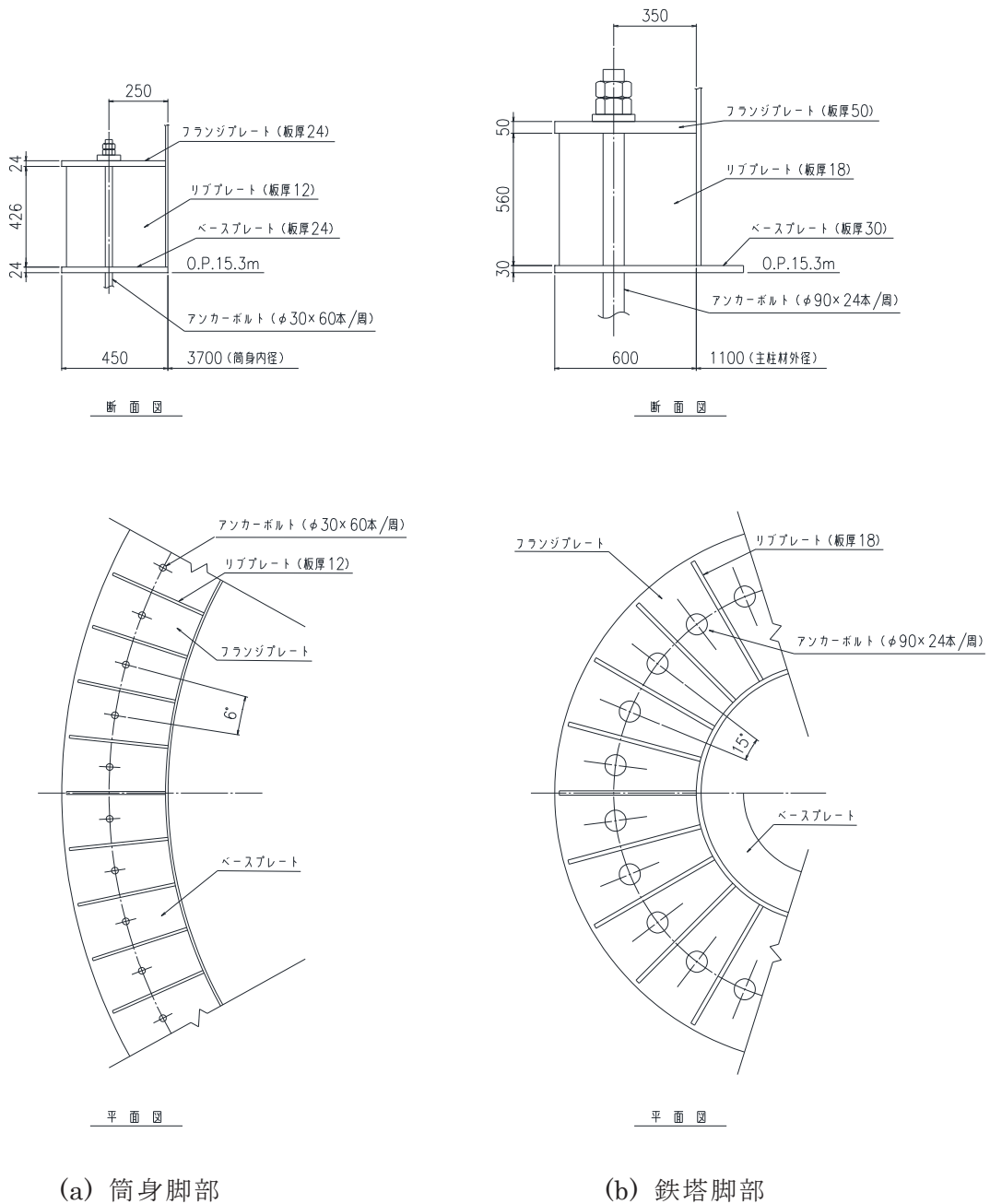
$M$  : 曲げモーメント (kN・m)

$Z$  : 断面係数 (mm<sup>3</sup>)

なお, 材料強度は, 「平 12 建告第 2464 号」に準拠し, 材料強度 F 値を 1.1 倍した値を用いて許容応力度を算出し, 部材に発生する応力が許容応力度を超えないことを確認する。また, 断面評価において腐食代は考慮しない。

c. 脚部

脚部（アンカーボルト、ベースプレート、フランジプレート及びリブプレート）の概要図を図 3-5 に示す。鋼材の許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に規定される短期応力に対する許容応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定する。コンクリートの許容応力度は、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に規定される短期許容応力度とする。断面評価において腐食代は考慮しない。筒身脚部及び鉄塔脚部の脚部評価用反力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。



注：板厚は使用板厚を示す。

図 3-5 脚部の概要図（単位：mm）

表 3-8 筒身脚部の評価用反力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 (0° 方向)	1574.24	0.00	518.25	5999.89
ケース 2 (45° 方向)	1574.24	0.00	463.88	5379.27

注記\* : 軸力 : 圧縮「+」, 引張「-」

表 3-9 鉄塔脚部の評価用反力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース 1 (0° 方向)	22019.70	-17539.63	5367.40	4717.71
ケース 2 (45° 方向)	23966.06	-19527.78	6080.36	4416.13

注記\* : 軸力 : 圧縮「+」, 引張「-」



## (a) アンカーボルトの引張応力度に対する検討

アンカーボルトに作用する引張力は脚部に作用する軸力と曲げモーメントの荷重状態に応じて算出する。

全てのアンカーボルトが引張状態となる場合、アンカーボルトの全数で引張力に抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力は次式の通り算定する。

$$P = N / n_0 + M / Z_b$$

ここに

$P$  : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)

$N$  : 軸力 (N)

$n_0$  : アンカーボルト本数 (本) ( $n_0$  = 筒身:60本, 鉄塔:24本)

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Z_b$  : アンカーボルト群の中心線周りの断面係数 (mm)

( $Z_b$  = 筒身:63000mm, 鉄塔:10800mm)

中立軸が断面内にあり一部のアンカーボルトが引張状態となる場合、断面内の圧縮荷重に対しては圧縮側にあるベースプレート下面のコンクリートで、引張力に対しては引張側にあるアンカーボルトで抵抗する。このときアンカーボルトに作用する引張力はベースプレートの平面形状を円環の鉄筋コンクリート断面とした応力算定式より求める。

アンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_t$$

ここに

$\sigma_t$  : アンカーボルトねじ部の引張応力度  $\sigma_t = P / A_e$  (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)

$A_e$  : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

( $A_e$  = 筒身:561mm<sup>2</sup>, 鉄塔:5590mm<sup>2</sup>)

$f_t$  : アンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」の鋼材の短期許容引張応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき  $F$  値×1.1 を適用して算定)

(b) アンカーボルトのせん断応力度に対する検討

せん断力とねじりモーメントの設計用反力に対してアンカーボルトに作用するせん断力を次式の通り算定する。

$$Q = S / n_o + T / Z_t$$

ここに

- Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)  
S : せん断力 (N)  
T : ねじりモーメント (N・mm)  
n<sub>o</sub> : アンカーボルト本数 (本) (n<sub>o</sub> = 筒身:60本, 鉄塔:24本)  
Z<sub>t</sub> : アンカーボルト群の中心周りの断面係数 (mm)  
(Z<sub>t</sub> = 筒身:126000mm, 鉄塔:21600mm)

アンカーボルトのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau \leq f_s$$

ここに

- $\tau$  : アンカーボルトねじ部のせん断応力度  $\tau = Q / A_e$  (N/mm<sup>2</sup>)  
Q : 1本当たりのアンカーボルトに作用するせん断力 (N)  
A<sub>e</sub> : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm<sup>2</sup>)  
f<sub>s</sub> : アンカーボルトの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
(「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)

(c) 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度に対する検討

引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの引張応力度が以下に示す引張応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_t \leq f_{ts}$$

ここに

$\sigma_t$  : アンカーボルトねじ部の引張応力度  $\sigma_t = P / A_e$  (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  : 1本当たりのアンカーボルトに作用する引張力 (N)

$A_e$  : アンカーボルトねじ部有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_{ts}$  : 引張力とせん断力を同時に受けるアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>) ,  $f_{ts} = 1.4 f_t - 1.6 \tau$  かつ,  $f_{ts} \leq f_t$

$f_t$  : (a)に規定するアンカーボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : (b)に規定するアンカーボルトねじ部のせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(d) コンクリートのコーン状破壊に対する検討

コンクリートのコーン状破壊に対する許容引張力は、アンカーボルトの引張力が以下に示すコンクリート部の引張力に対する許容値以下であることを確認する。

$$P \leq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$$

ここに、

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

$$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$$

ここに

- $P$  : (a)に規定するボルト 1 本当たりの引張荷重 (N)
- $p_a$  : アンカーボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N)
- $p_{a1}$  : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N)
- $p_{a2}$  : アンカーボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N)
- $K_1$  : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_1 = 2/3$ )
- $K_2$  : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 ( $K_2 = 1$ )
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_c$  : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\alpha_c$  : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数,  $\alpha_c = \sqrt{A_c / A_0}$   
で 6 を超える場合は 6
- $A_0$  : 支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

(e) コンクリートの圧縮応力度に対する検討

ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_c \leq f_c$$

ここに

$\sigma_c$  : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : コンクリートの短期許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の短期許容圧縮応力度)

(f) ベースプレートの面外曲げに対する検討

ベースプレートの下面にはコンクリートの圧縮応力度 ( $\sigma_c$ ) が等分布荷重として作用する (図 3-6)。リブプレート及び筒身, 又はリブプレート及び鉄塔の部材位置を固定とする 3 辺固定 1 辺自由板としてベースプレートの面外曲げ応力度を算定する。ベースプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Bb} \leq f_{b1}$$

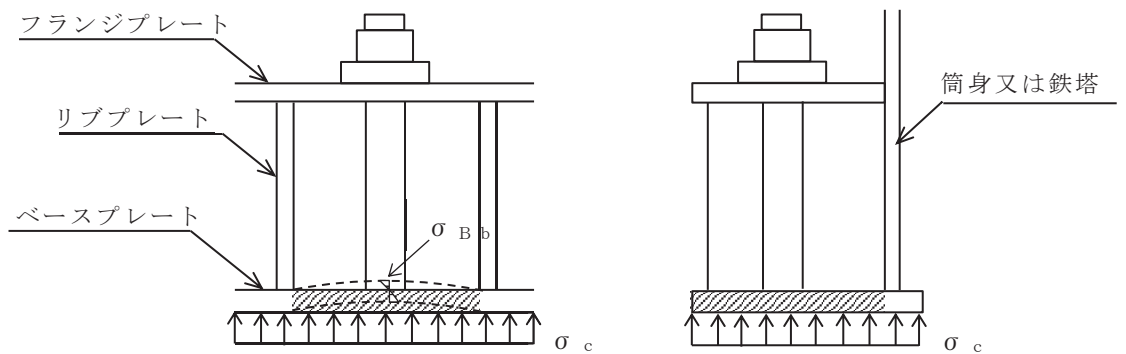
ここに

$\sigma_{Bb}$  : ベースプレートの面外の曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(等分布荷重を受ける 3 辺固定板 1 辺自由スラブの応力図より算定)

$f_{b1}$  : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定)



(a) 正面図

(b) 断面図

図 3-6 ベースプレート応力算定説明図

(g) フランジプレートの面外曲げに対する検討

フランジプレートにはアンカーボルトの引張力（P）が集中荷重として作用する（図 3-7）。リブプレート位置を固定とする 2 辺固定板（両端固定梁）としてフランジプレートの面外の曲げ応力度を算定する。フランジプレートの面外の曲げ応力度が以下に示す曲げ応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\sigma_{Fb} \leq f_{b1}$$

ここに

$\sigma_{Fb}$  : フランジプレートの面外曲げ応力度（N/mm<sup>2</sup>）  
（リブプレート間を梁スパンとする両端固定梁として算定）

$f_{b1}$  : 面外に曲げを受ける板の許容曲げ応力度（N/mm<sup>2</sup>）  
（「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」の面外に曲げを受ける板の短期許容曲げ応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定）

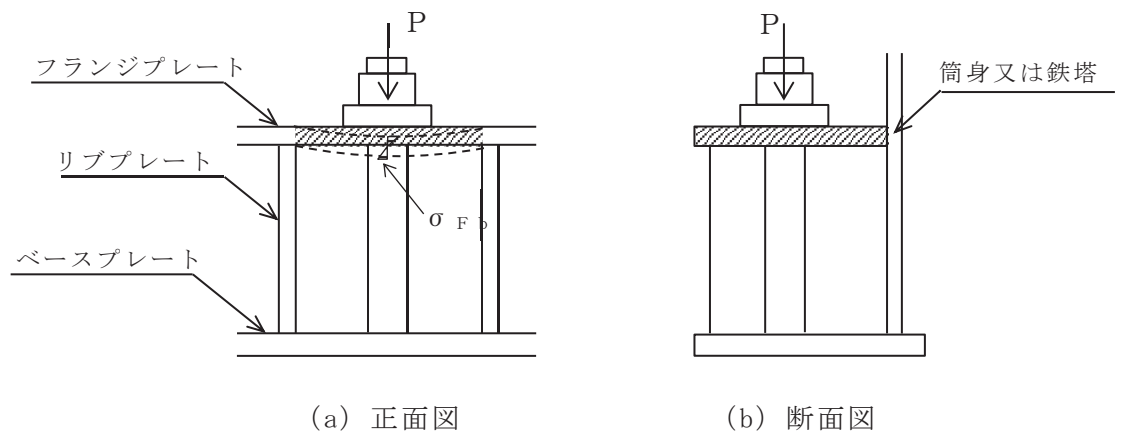


図 3-7 フランジプレート応力算定説明図

(h) リブプレートの圧縮応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（P）又はベースプレート下面からの圧縮力（ $\sigma_c$ ）によってリブプレートに圧縮応力度が作用する（図 3-8）。リブプレートの圧縮応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートの圧縮応力度が以下に示す圧縮応力度の許容値以下であることを確認する。

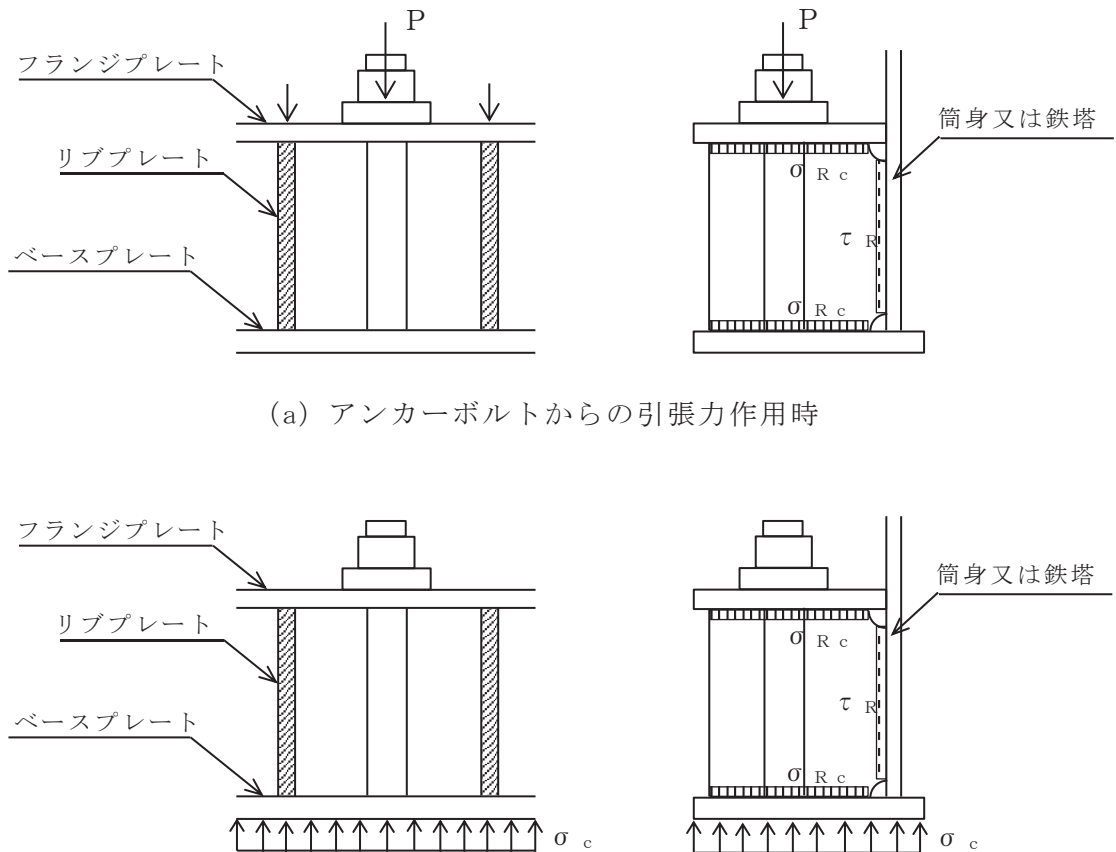
$$\sigma_{Rc} \leq f_c$$

ここに

$\sigma_{Rc}$  : リブプレートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : リブプレートの許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

(リブプレートは「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」の幅厚比制限を満足するものとし、 $f_c$ は「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 の値)



(a) アンカーボルトからの引張力作用時

(b) ベースプレート下面からの圧縮力作用時

図 3-8 リブプレート応力算定説明図

(i) リブプレートのせん断応力度に対する検討

アンカーボルトからの引張力（P）又はベースプレート下面からの圧縮力（ $\sigma_c$ ）によってリブプレートにせん断応力度が作用する（図 3-8）。リブプレートのせん断応力度はアンカーボルトの引張力とベースプレート下面のコンクリート圧縮応力度から求めた圧縮力を比較して大きい方の値を用いて算定する。リブプレートのせん断応力度が以下に示すせん断応力度の許容値以下であることを確認する。

$$\tau_R \leq f_s$$

ここに

$\tau_R$  : リブプレートのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$f_s$  : リブプレートの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

（「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」の鋼材の短期許容せん断応力度の評価式に「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値×1.1 を適用して算定）



(3) ひずみ評価方法

設計飛来物の衝突を考慮する最下層支柱材に生じるひずみは、材料非線形を考慮した衝突解析により評価する。

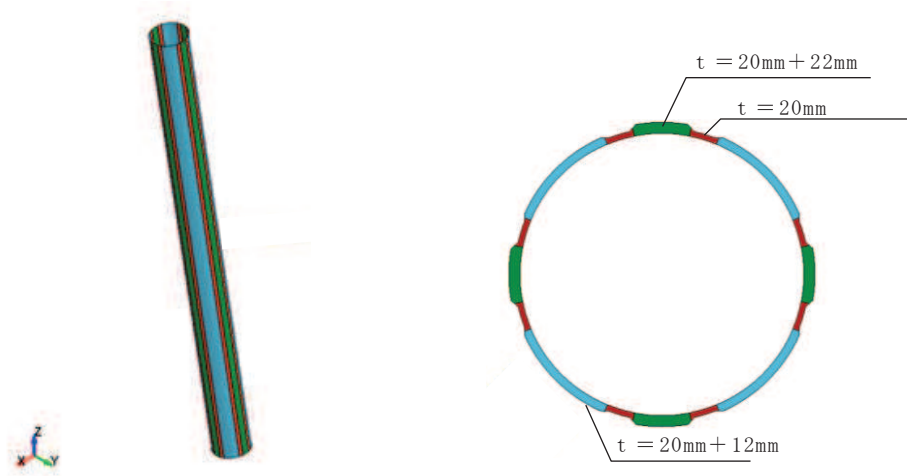
a. 解析モデル及び諸元

(a) 最下層支柱材

最下層支柱材は、シェル要素でモデル化する。最下層支柱材の諸元を表 3-10 に、解析モデルを図 3-9 に示す。

表 3-10 最下層支柱材の諸元

分類		使用部材 $\phi \times t$ (mm)	部材長 (mm)
鉄塔部	支柱材	1100.0×20.0 (補強材 $t = 12.0, 22.0$ )	13350.1



(a) 全体図

(b) 断面図

図 3-9 最下層支柱材の解析モデル

最下層支柱材の解析モデルの拘束条件として、三次元 FEM モデルの剛性を模擬した等価なバネ要素を支柱材の部材端部に設定する。具体的には、最下層支柱材の下端は排気筒基礎と鉄塔脚部部材により接合していることから固定条件とし、上端については、以下の手順によりバネ剛性を設定する。

- ① 最下層支柱材を除去した三次元 FEM モデルを作成する (図 3-10)。
- ② ①の三次元 FEM モデルを対象に、最下層支柱材の上端との境界節点に単位荷重 ( $P_x=1, P_y=1, P_z=1$ ) 及び単位モーメント ( $M_x=1, M_y=1, M_z=1$ ) を

それぞれ独立に負荷し，境界節点における変位及び回転角を個別に求める（図 3-10）。

- ③ ②で負荷した単位荷重及び単位モーメントを，境界節点で得られた変位及び回転角で除した値をバネ剛性とする（表 3-11）。

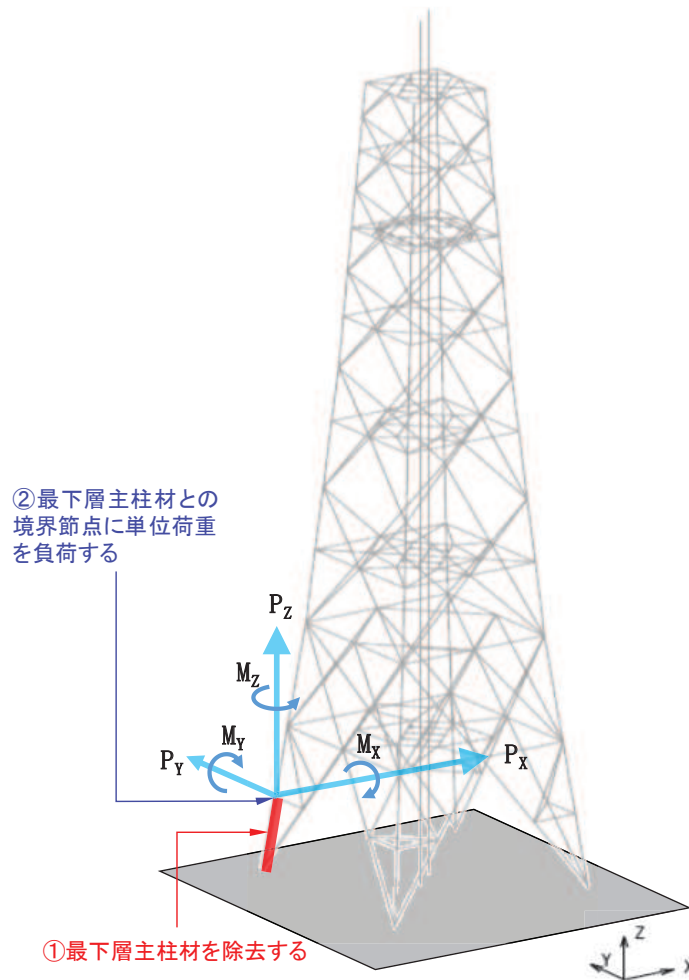


図 3-10 最下層支柱材の解析モデル上端のバネ剛性算定方法

表 3-11 最下層支柱材の解析モデル上端のバネ剛性

風向	バネ剛性	X 及び Y 方向（水平方向）	Z 方向（鉛直方向）
0°	並進 (N/mm)	$4.046 \times 10^4$	$1.027 \times 10^5$
	回転* (N・mm/rad)	$3.274 \times 10^{11}$	$5.417 \times 10^9$
45°	並進 (N/mm)	$3.870 \times 10^4$	$1.015 \times 10^5$
	回転* (N・mm/rad)	$3.243 \times 10^{11}$	$5.276 \times 10^9$

注記\*：回転方向のバネ剛性は，水平方向及び鉛直方向の軸周りの剛性を示す。

また、最下層支柱材の解析モデルの初期応力は、固定荷重を含む設計竜巻の風圧力による荷重 $W_w$ における三次元 FEM モデルの応力・変形状態を引き継ぐものとし、以下の手順により設定する。

- ① 健全時の三次元 FEM モデル（最下層支柱材は除去しない）に対して、固定荷重を含む設計竜巻の風圧力による荷重 $W_w$ を作用させて最下層支柱材の上端の変位を確認する。
- ② 最下層支柱材の解析モデル上端に、①の変位を強制変位とした静的解析を実施する（バネ剛性は表 3-11 の値を用いる）。なお、最下層支柱材の解析モデル下端は固定条件であるため、強制変位は考慮しない。
- ③ ②の静的解析で得られた最下層支柱材の上端の反力を抽出する。
- ④ 最下層支柱材の解析モデルに、③で抽出した反力を荷重として負荷した状態を初期応力状態とする（この初期応力状態で衝突解析を実施する）。

(b) 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は，シェル要素でモデル化する。  
設計飛来物の解析モデル図を図 3-11 に示す。

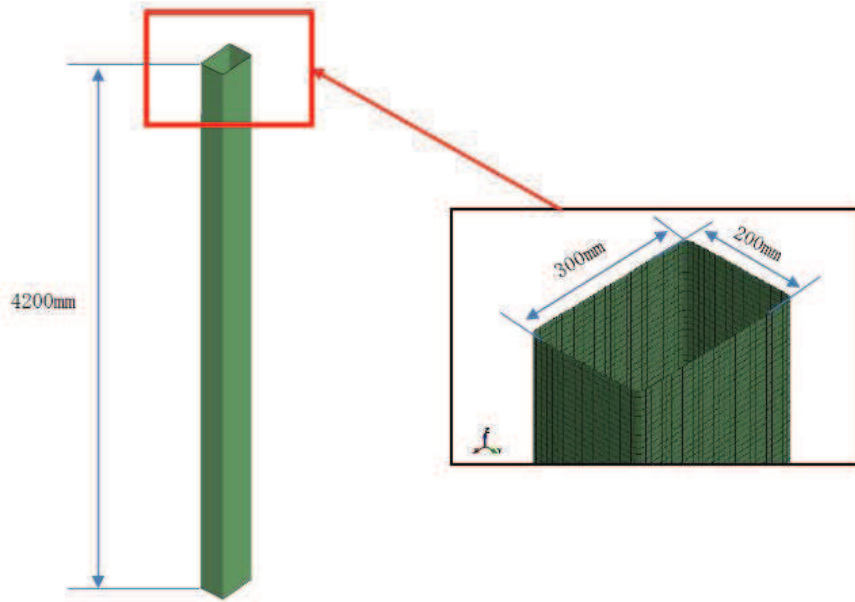


図3-11 設計飛来物の解析モデル図

b. 解析コード

解析コードは「LS-DYNA Ver. 971 R6.0.0」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

c. 使用材料及び材料定数

最下層支柱材に使用する使用材料及び材料定数については，表 3-12 に示すとおり設定する。

表 3-12 最下層支柱材の使用材料及び材料定数

分類		材質	縦弾性係数 E (MPa)	降伏点 $\sigma_y$ (MPa)	引張強さ $\sigma_u$ (MPa)	ポアソン 比
鉄塔 部	支柱 材	母材：	205000	235	400	0.3
		補強板：				
		STK400 SS400				

d. 材料の非線形特性

(a) 材料の応力－ひずみ関係

材料の応力－ひずみ関係は、バイリニア型とする。材料に適用する応力－ひずみ関係の概念図を図 3-12 に示す。

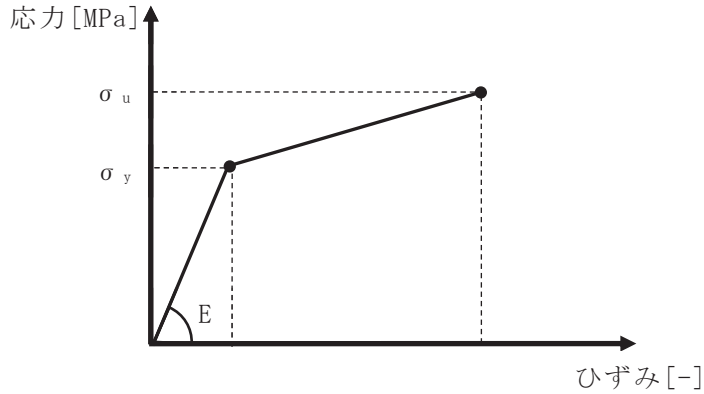


図 3-12 応力－ひずみ関係の概念図

(b) ひずみ速度依存性

竜巻による設計飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、衝突時のひずみ速度による影響を Cowper-Symonds 式により考慮する。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{p}} \right\}$$

ここで、各記号は以下のとおりである。

- $\sigma_D$  : 動的効果を考慮した降伏応力
- $\sigma_S$  : 静的降伏応力
- $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度
- $C$  : ひずみ速度依存性パラメータ
- $p$  : ひずみ速度依存性パラメータ

ひずみ速度依存性パラメータを表 3-13 に示す。

表 3-13 ひずみ速度依存性パラメータ

	設計飛来物	鉄塔部
	鋼製材	支柱材
材質	SS400	母材：STK400，補強板：SS400
C (1/s)		
p		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(c) 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI07-13」においてTF（多軸性係数）を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF= を考慮する。

最下層主柱材の破断ひずみを表 3-14 に示す。

表 3-14 破断ひずみ

評価対象部位	材質	J I S規格値 (下限値)	TF	破断ひずみ*
最下層主柱材	STK400 SS400	0.17		

注記\*：真ひずみ換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料諸元を表 4-1 に、排気筒（筒身及び鉄塔部）の使用部材を表 4-2～表 4-5 に、風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件を表 4-6 に、算出した風圧力による荷重 $W_w$ （筒身及び鉄塔部）を表 4-7 及び表 4-8 に示す。

表 4-1 評価対象部位の材料諸元

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	減衰定数 h (%)
筒身	鋼材	$2.05 \times 10^5$	0.3	1
鉄塔部				
基礎 (筒身受台) (鉄塔受台)	コンクリート $F_c = 20.5 \text{ N/mm}^2$ 鉄筋：SD345	$2.15 \times 10^4$	0.2	5

表 4-2 排気筒の使用部材 (筒身)

標高 O.P. (m)	筒身		断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	せん断 断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面 2 次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
174.8-24.3	3020	10	945.6	472.8	10700000	一般部
24.3-19.3	3720	10	1166	582.8	20100000	テーパ部 <sup>*1</sup>
19.3-15.3	3720	10	1166	582.8	20100000	拡幅部

注記\*1 : テーパー部の断面性能は区間の下端の外径を記載した。



表 4-3 排気筒の使用部材 (主柱材)

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	せん断 断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面 2 次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8-155.5	457.2	7.9	111.5	55.76	28100	
155.5-149.1	457.2	7.9	177.4	88.71	46100	補強材 (t = 9)
149.1-142.0	457.2	7.9	177.0	88.50	45700	補強材 (t = 6, t = 6)
142.0-134.8	609.6	9.5	325.3	162.6	151000	補強材 (t = 12, t = 6)
134.8-126.8	609.6	9.5	380.1	190.0	179000	補強材 (t = 16, t = 9)
126.8-118.3	711.2	12.7	473.0	236.5	299000	補強材 (t = 6, t = 22)
118.3-108.8	711.2	12.7	490.8	245.4	312000	補強材 (t = 6, t = 25)
108.8- 98.8	812.8	16	620.8	310.4	506000	補強材 (t = 9, t = 16)
98.8- 86.4	812.8	16	640.8	320.4	523000	補強材 (t = 9, t = 19)
86.4- 74.8	1000	18	698.0	349.0	851000	補強材 (t = 9)
74.8- 61.2	1000	18	698.0	349.0	851000	補強材 (t = 9)
61.2- 41.8	1100	18	768.6	384.3	1140000	補強材 (t = 9)
41.8- 28.6	1100	20	888.2	444.1	1310000	補強材 (t=12)
28.6- 15.3	1100	20	1082	541.0	1620000	補強材 (t=12, t=22)

表 4-4 排気筒の使用部材 (斜材)

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	せん断 断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面 2 次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8-155.5	355.6	6.4	70.21	35.11	10700	
155.5-149.1	355.6	6.4	70.21	35.11	10700	
149.1-142.0	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
142.0-134.8	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
134.8-126.8	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
126.8-118.3	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
118.3-108.8	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	
108.8- 98.8	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	
98.8- 86.4	609.6	6.4	121.3	60.64	55200	
86.4- 74.8	609.6	6.4	121.3	60.64	55200	
74.8- 61.2	711.2	9.5	209.4	104.7	129000	
61.2- 41.8	558.8	9.5	217.2	108.6	83100	補強材 (t = 6)
41.8- 15.3	609.6	16.0	298.4	149.2	132000	

表 4-5 排気筒の使用部材 (水平材)

標高 O.P. (m)	母材鋼管		断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	せん断 断面積 ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	断面 2 次 モーメント ( $\times 10^4 \text{mm}^4$ )	備考
	外径 (mm)	板厚 (mm)				
161.8	318.5	6.4	109.1	54.53	13900	補強材 (t = 9)
149.1	318.5	6.4	62.75	31.38	7640	
134.8	318.5	6.4	135.4	67.69	17600	補強材 (t = 6, t = 16)
118.3	318.5	6.4	62.75	31.38	7640	
98.8	406.4	6.4	80.43	40.21	16100	
74.8	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
61.2	457.2	6.4	90.64	45.32	23000	
41.8	508.0	6.4	100.9	50.43	31700	

表 4-6 風圧力による荷重 $W_w$ の算出に必要な条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト影響係数 $G$	構造物の高さ* $H$ (m)	設計用速度圧 $q$ (N/m <sup>2</sup> )
100	1.226	1.0	147	6130

注記\*：鉄塔部の高さを示す。

表 4-7 風圧力による荷重 $W_w$  (筒身)

標高 O.P. + (m)	風向 I						風向 II		
	0° 方向 (風方向)			90° 方向 (風直角方向)			45° 方向 (風方向)		
	風力係数 $C$	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風圧力に よる荷重 $W_w$ (kN)	風力係数 $C$	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風圧力に よる荷重 $W_w$ (kN)	風力係数 $C$	見付面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	風圧力に よる荷重 $W_w$ (kN)
174.8	0.50	42.70	130.9	0.70	42.70	183.3	0.75	42.70	196.4
161.8	0.50	59.61	182.8	0.70	59.61	255.8	0.75	59.61	274.1
155.5	0.50	39.22	120.3	0.70	39.22	168.3	0.75	39.22	180.4
149.1	0.50	41.70	127.9	0.70	41.70	179.0	0.75	41.70	191.8
142.0	0.50	44.17	135.4	0.70	44.17	189.6	0.75	44.17	203.1
134.8	0.50	46.93	143.9	0.70	46.93	201.4	0.75	46.93	215.8
126.8	0.50	50.94	156.2	0.70	50.94	218.6	0.75	50.94	234.2
118.3	0.50	55.58	170.4	0.70	55.58	238.5	0.75	55.58	255.6
108.8	0.50	60.24	184.7	0.70	60.24	258.5	0.75	60.24	277.0
98.8	0.50	69.16	212.0	0.70	69.16	296.8	0.75	69.16	318.0
86.4	0.50	74.10	227.2	0.70	74.10	318.0	0.75	74.10	340.7
74.8	0.50	77.74	238.3	0.70	77.74	333.6	0.75	77.74	357.5
61.2	0.50	101.89	312.3	0.70	101.89	437.3	0.75	101.89	468.5
41.8	0.50	141.83	434.8	0.70	141.83	608.6	0.75	141.83	652.1
15.3	0.50	90.93	278.8	0.70	90.93	390.2	0.75	90.93	418.1

表 4-8 風圧力による荷重 $W_w$  (鉄塔部)

標高 O.P. + (m)	風向 I			風向 II		
	0° 方向 (風方向)			45° 方向 (風方向)		
	風力係数 C	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力に よる荷重 $W_w$ (kN)	風力係数 C	見付面積 A (m <sup>2</sup> )	風圧力に よる荷重 $W_w$ (kN)
161.8	2.40	15.96	234.9	2.20	15.96	215.3
155.5	2.40	12.34	181.6	2.20	12.34	166.5
149.1	2.40	18.33	269.7	2.20	18.33	247.2
142.0	2.40	18.05	265.6	2.20	18.05	243.5
134.8	2.40	38.64	568.5	2.20	38.64	521.1
126.8	2.40	24.05	353.9	2.20	24.05	324.4
118.3	2.40	31.02	456.4	2.20	31.02	418.4
108.8	2.40	34.27	504.2	2.20	34.27	462.2
98.8	2.40	57.42	844.8	2.20	57.42	774.4
86.4	2.40	45.75	673.1	2.20	45.75	617.0
74.8	2.40	63.83	939.1	2.20	63.83	860.9
61.2	2.40	87.77	1291.3	2.20	87.77	1183.7
41.8	2.40	141.84	2086.8	2.20	141.84	1912.9
15.3	2.40	54.68	804.5	2.20	54.68	737.5

筒身脚部及び鉄塔脚部の各部位の評価条件を表 4-9～表 4-12 に示す。

表 4-9(1) 筒身脚部の評価条件 (ケース 1 (0° 方向)) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本あたり)	P	kN	96
	アンカーボルトのせん断力 (1 本あたり)	Q	kN	8.65
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A <sub>e</sub>	mm <sup>2</sup>	561
	アンカーボルトの引張応力度	$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	171.2
	アンカーボルトの許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	アンカーボルトのせん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	15.5
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f <sub>t s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本あたり)	A <sub>C</sub>	mm <sup>2</sup>	498684
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本あたり)	A <sub>o</sub>	mm <sup>2</sup>	44737
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本あたり)	p <sub>a</sub>	kN	466
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B <sub>b</sub>	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	2.1
	コンクリートの許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	13.6

表 4-9(2) 筒身脚部の評価条件 (ケース 1 (0° 方向)) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>b</sub>	mm	24
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M <sub>b</sub>	N・mm/mm	7541
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup> /mm	96.0
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Bb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	78.6
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SS400
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>f</sub>	mm	24
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M <sub>f</sub>	kN・mm	2640
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	30700
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Fb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	86.0
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>r</sub>	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P <sub>r</sub>	kN	204
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A <sub>r</sub>	mm <sup>2</sup>	4620
	リブプレートの断面積 (せん断面)	A <sub>rs</sub>	mm <sup>2</sup>	4272
	圧縮応力度	σ <sub>Rc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	44.2
	許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	せん断応力度	τ <sub>R</sub>	N/mm <sup>2</sup>	47.8
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} \sigma_{Bb} &= M_b / Z_b & \sigma_{Fb} &= M_f / Z_f \\ \sigma_{Rc} &= P_r / A_r & \tau_R &= P_r / A_{rs} \end{aligned}$$

表 4-10(1) 鉄塔脚部の評価条件 (ケース 1 (0° 方向)) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	215
	アンカーボルトの引張力 (1 本あたり)	P	kN	1168
	アンカーボルトのせん断力 (1 本あたり)	Q	kN	223.7
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A <sub>e</sub>	mm <sup>2</sup>	5590
	アンカーボルトの引張応力度	$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	209.0
	アンカーボルトの許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	236.5
	アンカーボルトのせん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	40.1
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f <sub>t s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	236.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本あたり)	A <sub>C</sub>	mm <sup>2</sup>	1080000
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本あたり)	A <sub>o</sub>	mm <sup>2</sup>	64292
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本あたり)	p <sub>a</sub>	kN	1513
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B <sub>b</sub>	mm	800
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	8.7
	コンクリートの許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	13.6



表 4-10(2) 鉄塔脚部の評価条件 (ケース 1 (0° 方向)) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SM400A
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>b</sub>	mm	30
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M <sub>b</sub>	N・mm/mm	34318
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup> /mm	150
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Bb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	228.8
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SM400A
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	215
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>f</sub>	mm	50
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M <sub>f</sub>	kN・mm	34456
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	173000
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Fb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	199.2
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	272.8
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>r</sub>	mm	18
	リブプレートに作用する圧縮力	P <sub>r</sub>	kN	1232
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A <sub>r</sub>	mm <sup>2</sup>	9810
	リブプレートの断面積 (せん断断面)	A <sub>rs</sub>	mm <sup>2</sup>	8820
	圧縮応力度	σ <sub>Rc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	125.6
	許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	せん断応力度	τ <sub>R</sub>	N/mm <sup>2</sup>	139.7
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 4-11(1) 筒身脚部の評価条件 (ケース 2 (45° 方向)) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	アンカーボルトの引張力 (1 本あたり)	P	kN	86
	アンカーボルトのせん断力 (1 本あたり)	Q	kN	7.74
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A <sub>e</sub>	mm <sup>2</sup>	561
	アンカーボルトの引張応力度	$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	153.3
	アンカーボルトの許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	アンカーボルトのせん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	13.8
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f <sub>t s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本あたり)	A <sub>C</sub>	mm <sup>2</sup>	498684
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本あたり)	A <sub>o</sub>	mm <sup>2</sup>	44737
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本あたり)	p <sub>a</sub>	kN	466
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B <sub>b</sub>	mm	450
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	1.8
	コンクリートの許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	13.6

表 4-11(2) 筒身脚部の評価条件 (ケース 2 (45° 方向)) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SS400
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>b</sub>	mm	24
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M <sub>b</sub>	N・mm/mm	6464
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup> /mm	96.0
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Bb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	67.4
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SS400
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>f</sub>	mm	24
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M <sub>f</sub>	kN・mm	2365
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	30700
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Fb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	77.1
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>r</sub>	mm	12
	リブプレートに作用する圧縮力	P <sub>r</sub>	kN	175
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A <sub>r</sub>	mm <sup>2</sup>	4620
	リブプレートの断面積 (せん断面)	A <sub>rs</sub>	mm <sup>2</sup>	4272
	圧縮応力度	σ <sub>Rc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	37.9
	許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	せん断応力度	τ <sub>R</sub>	N/mm <sup>2</sup>	41.0
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2

応力度の算出式は以下のとおりである。

$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

表 4-12(1) 鉄塔脚部の評価条件 (ケース 2 (45° 方向)) (1/2)

項目		記号	単位	数値
アンカーボルト の検討	アンカーボルトの材質	-	-	SS400
	アンカーボルトの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	215
	アンカーボルトの引張力 (1 本あたり)	P	kN	1223
	アンカーボルトのせん断力 (1 本あたり)	Q	kN	253.4
	アンカーボルトのねじ部有効断面積	A <sub>e</sub>	mm <sup>2</sup>	5590
	アンカーボルトの引張応力度	$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	218.8
	アンカーボルトの許容引張応力度	f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	236.5
	アンカーボルトのせん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	45.4
	アンカーボルトの許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	136.5
	アンカーボルトの許容引張応力度(せん断力との組合せ)	f <sub>t s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	236.5
コンクリートの コーン状破壊に 対する検討	コンクリートの基準強度	F <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	20.5
	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (1 本あたり)	A <sub>C</sub>	mm <sup>2</sup>	1080000
	アンカーボルト頭部の支圧面積 (1 本あたり)	A <sub>o</sub>	mm <sup>2</sup>	64292
	コンクリート部の許容引張荷重 (1 本あたり)	p <sub>a</sub>	kN	1513
コンクリートの 圧縮応力度に対 する検討	ベースプレートの幅	B <sub>b</sub>	mm	800
	ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度	$\sigma_c$	N/mm <sup>2</sup>	9.0
	コンクリートの許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	13.6

表 4-12(2) 鉄塔脚部の評価条件 (ケース 2 (45° 方向)) (2/2)

項目		記号	単位	数値
ベースプレートの面外曲げに対する検討	ベースプレートの材質	-	-	SM400A
	ベースプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	ベースプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>b</sub>	mm	30
	ベースプレートに作用する面外曲げモーメント (単位幅あたり)	M <sub>b</sub>	N・mm/mm	35501
	ベースプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数 (単位幅あたり)	Z <sub>b</sub>	mm <sup>3</sup> /mm	150
	ベースプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Bb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	236.7
	ベースプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	298.2
フランジプレートの面外曲げに対する検討	フランジプレートの材質	-	-	SM400A
	フランジプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	215
	フランジプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>f</sub>	mm	50
	フランジプレートに作用する面外曲げモーメント	M <sub>f</sub>	kN・mm	36079
	フランジプレートの面外曲げモーメントに対する断面係数	Z <sub>f</sub>	mm <sup>3</sup>	173000
	フランジプレートの面外曲げ応力度	σ <sub>Fb</sub>	N/mm <sup>2</sup>	208.6
	フランジプレートの許容面外曲げ応力度	f <sub>b1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	272.8
リブプレートの検討	リブプレートの材質	-	-	SS400
	リブプレートの基準強度	F	N/mm <sup>2</sup>	235
	リブプレートの板厚 (使用板厚)	t <sub>r</sub>	mm	18
	リブプレートに作用する圧縮力	P <sub>r</sub>	kN	1275
	リブプレートの断面積 (軸断面)	A <sub>r</sub>	mm <sup>2</sup>	9810
	リブプレートの断面積 (せん断断面)	A <sub>rs</sub>	mm <sup>2</sup>	8820
	圧縮応力度	σ <sub>Rc</sub>	N/mm <sup>2</sup>	130.0
	許容圧縮応力度	f <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	258.5
	せん断応力度	τ <sub>R</sub>	N/mm <sup>2</sup>	144.6
	許容せん断応力度	f <sub>s</sub>	N/mm <sup>2</sup>	149.2

応力度の算出式は以下のとおりである。

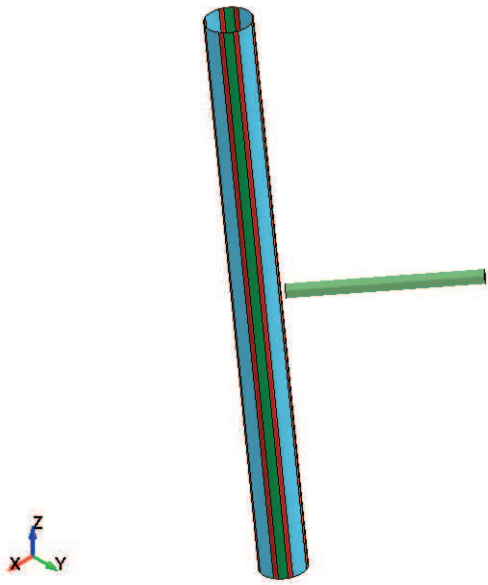
$$\sigma_{Bb} = M_b / Z_b \quad \sigma_{Fb} = M_f / Z_f$$

$$\sigma_{Rc} = P_r / A_r \quad \tau_R = P_r / A_{rs}$$

また、最下層支柱材を対象とした設計飛来物の衝突解析では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(1)b.(c) 飛来物による衝撃荷重」に基づき、表 4-13 及び図 4-1 のとおり衝突面最小及び衝突面最大ケースを実施し、衝突による影響が大きくなる向きで評価を行う。

表 4-13 解析ケース

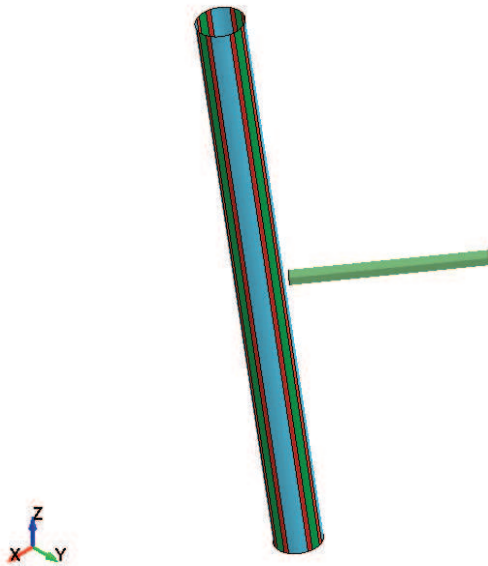
ケース番号	評価対象部位	風向	設計飛来物	衝突面	飛来速度	備考
1-1	最下層 支柱材	0°	角形鋼管	最小	46.6m/s	図 4-1(a)
1-2				最大		図 4-1(b)
2-1		45°	角形鋼管	最小		図 4-1(c)
2-2				最大		図 4-1(d)



(a) ケース 1-1  
(風向  $0^\circ$  , 衝突面最小)



(b) ケース 1-2  
(風向  $0^\circ$  , 衝突面最大)



(c) ケース 2-1  
(風向  $45^\circ$  , 衝突面最小)



(d) ケース 2-2  
(風向  $45^\circ$  , 衝突面最大)

図 4-1 衝突解析の解析モデル

## 5. 強度評価結果

「3.4 (2) 断面算定方法」に基づいた筒身及び鉄塔部の評価結果を表 5-1～表 5-10 に、脚筒身脚部及び鉄塔脚部の各部位の評価結果（発生応力/許容値）を表 5-11～表 5-14 に示す。

筒身，鉄塔部及び脚部について，いずれのケースにおいても最大検定値が 1.0 を超えず，許容値を満足していることを確認した。

また，設計飛来物による衝突を考慮する最下層支柱材のひずみの評価結果を表 5-15 に，各ケースのひずみ分布を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

いずれのケースにおいても最下層支柱材に生じるひずみは，許容限界を超えないことが確認された。



表 5-1 2号筒身の評価結果：ケース 1 (0° 方向)

標高 0. P. + (m)	検討応力			使用部材 (SMA400AP)		断面性能		応力度			許容応力度			応力評価	
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	筒身 内径 φ (mm)	板厚 t (mm)	断面積 A (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	圧縮 $\sigma_c = N/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\Sigma_b = M/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $\tau = 2Q/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $c f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $b f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $s f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c / c f_{cr}$ + $\sigma_b / b f_{cr}$	$\tau / s f_{cr}$
174.8	61.49	1464.07	112.62	3000.0	10.0	945.6	70900	0.65	20.65	2.38	198.4	212.2	52.8	0.101	0.046
161.8	152.79	1915.05	536.17	3000.0	10.0	945.6	70900	1.62	27.01	11.34	198.4	212.2	20.4	0.136	0.556
155.5	212.90	4683.97	432.74	3000.0	10.0	945.6	70900	2.25	66.06	9.15	198.4	212.2	20.4	0.323	0.449
149.1	276.74	6975.96	322.75	3000.0	10.0	945.6	70900	2.93	98.39	6.83	198.4	212.2	20.4	0.479	0.335
142.0	344.41	8460.70	206.28	3000.0	10.0	945.6	70900	3.64	119.33	4.36	198.4	212.2	20.4	0.581	0.214
134.8	491.29	9121.14	82.64	3000.0	10.0	945.6	70900	5.20	128.65	1.75	198.4	212.2	20.4	0.633	0.086
126.8	569.35	9121.14	52.12	3000.0	10.0	945.6	70900	6.02	128.65	1.10	198.4	212.2	20.4	0.637	0.055
118.3	654.47	8681.67	198.49	3000.0	10.0	945.6	70900	6.92	122.45	4.20	198.4	212.2	20.4	0.612	0.206
108.8	746.76	6798.44	357.31	3000.0	10.0	945.6	70900	7.90	95.89	7.56	198.4	212.2	20.4	0.492	0.371
98.8	837.67	3489.03	539.67	3000.0	10.0	945.6	70900	8.86	49.21	11.41	198.4	212.2	20.4	0.277	0.560
86.4	951.23	12008.30	735.07	3000.0	10.0	945.6	70900	10.06	169.37	15.55	198.4	212.2	20.4	0.849	0.763
74.8	1075.38	12008.30	577.88	3000.0	10.0	945.6	70900	11.37	169.37	12.22	198.4	212.2	33.1	0.856	0.370
61.2	1231.50	4169.28	309.41	3000.0	10.0	945.6	70900	13.02	58.81	6.54	198.4	212.2	33.1	0.343	0.198
41.8	1448.82	2202.59	288.28	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	31.07	6.10	198.4	212.2	37.0	0.224	0.165
28.6	1448.82	3390.90	288.28	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	47.83	6.10	198.4	212.2	37.0	0.303	0.165
24.3	1448.82	4812.65	288.28	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	44.98	4.95	178.2	196.0	31.6	0.300	0.157
19.3	1448.82	5956.85	288.28	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	55.67	4.95	178.2	196.0	31.6	0.354	0.157

表 5-2 3号筒身の評価結果：ケース 1 (0° 方向)

標高 O. P. + (m)	検討応力			使用部材 (SMA400AP)		断面性能		応力度			許容応力度			応力評価	
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	筒身 内径 $\phi$ (mm)	板厚 t (mm)	断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	圧縮 $\sigma_c = N/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $\tau = 2Q/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c / f_{cr}$ + $\sigma_b / f_{cr}$	$\tau / f_{cr}$
174.8	61.49	1464.07	112.62	3000.0	10.0	945.6	70900	0.65	20.65	2.38	198.4	212.2	52.8	0.101	0.046
161.8	152.79	1914.64	536.11	3000.0	10.0	945.6	70900	1.62	27.00	11.34	198.4	212.2	20.4	0.136	0.556
155.5	212.90	4683.15	432.68	3000.0	10.0	945.6	70900	2.25	66.05	9.15	198.4	212.2	20.4	0.323	0.449
149.1	276.74	6974.67	322.69	3000.0	10.0	945.6	70900	2.93	98.37	6.83	198.4	212.2	20.4	0.479	0.335
142.0	344.41	8458.93	206.22	3000.0	10.0	945.6	70900	3.64	119.31	4.36	198.4	212.2	20.4	0.581	0.214
134.8	491.29	9119.22	82.62	3000.0	10.0	945.6	70900	5.20	128.62	1.75	198.4	212.2	20.4	0.633	0.086
126.8	569.35	9119.22	52.15	3000.0	10.0	945.6	70900	6.02	128.62	1.10	198.4	212.2	20.4	0.637	0.055
118.3	654.48	8679.59	198.51	3000.0	10.0	945.6	70900	6.92	122.42	4.20	198.4	212.2	20.4	0.612	0.206
108.8	746.76	6796.20	357.33	3000.0	10.0	945.6	70900	7.90	95.86	7.56	198.4	212.2	20.4	0.492	0.371
98.8	837.67	3492.18	539.69	3000.0	10.0	945.6	70900	8.86	49.25	11.41	198.4	212.2	20.4	0.277	0.560
86.4	951.23	12011.48	735.10	3000.0	10.0	945.6	70900	10.06	169.41	15.55	198.4	212.2	20.4	0.850	0.763
74.8	1075.38	12011.48	578.31	3000.0	10.0	945.6	70900	11.37	169.41	12.23	198.4	212.2	33.1	0.856	0.370
61.2	1231.50	4166.45	309.86	3000.0	10.0	945.6	70900	13.02	58.77	6.55	198.4	212.2	33.1	0.343	0.198
41.8	1448.82	2215.21	290.47	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	31.24	6.14	198.4	212.2	37.0	0.225	0.167
28.6	1448.82	3413.59	290.47	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	48.15	6.14	198.4	212.2	37.0	0.305	0.167
24.3	1448.82	4846.72	290.47	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	45.30	4.99	178.2	196.0	31.6	0.301	0.158
19.3	1448.82	5999.89	290.47	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	56.07	4.99	178.2	196.0	31.6	0.356	0.158

表 5-3 主柱材の評価結果：ケース 1 (0° 方向)

標高 O.P.+ (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $\ell_k$ (mm)	細長比 $\lambda = \ell_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価  $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	35.56	24.02	457.2φ×7.9	111.5	1230	158	6316	40.0	3.2	19.5	245.7	258.5	0.089
155.5	1380.75	31.93	457.2φ×7.9 (補強材 t=9.0)	177.4	1930	161	6413	39.9	77.8	16.5	245.8	258.5	0.381
149.1	1423.48	30.75	457.2φ×7.9 (補強材 t=6.0, 6.0)	176.9	1940	160	7117	44.5	80.5	15.9	242.7	258.5	0.393
142.0	2962.89	115.64	609.6φ×9.5 (補強材 t=12.0, 6.0)	325.2	4760	215	7214	33.6	91.1	24.3	249.5	258.5	0.460
134.8	3116.86	176.72	609.6φ×9.5 (補強材 t=16.0, 9.0)	380.0	5560	216	8018	37.2	82.0	31.8	247.4	258.5	0.455
126.8	4966.35	188.27	711.2φ×12.7 (補強材 t=6.0, 22.0)	472.9	7910	251	8514	34.0	105.0	23.8	249.3	258.5	0.514
118.3	5057.37	187.09	711.2φ×12.7 (補強材 t=6.0, 25.0)	490.8	8180	251	9526	38.0	103.0	22.9	247.0	258.5	0.506
108.8	7283.03	322.78	812.8φ×16.0 (補強材 t=9.0, 16.0)	620.8	11900	285	10040	35.3	117.3	27.1	248.5	258.5	0.578
98.8	7445.71	354.60	812.8φ×16.0 (補強材 t=9.0, 19.0)	640.8	12300	285	12441	43.7	116.2	28.8	243.3	258.5	0.590
86.4	10351.42	354.60	1000.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	697.9	16700	349	11654	33.4	148.3	21.2	249.6	258.5	0.677
74.8	10588.75	279.34	1000.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	697.9	16700	349	13621	39.1	151.7	16.7	246.3	258.5	0.681
61.2	13238.91	97.95	1100.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	768.6	20300	384	19580	51.0	172.2	4.8	237.8	258.5	0.744
41.8	15040.21	670.57	1100.0φ×20.0 (補強材 t=12.0)	888.1	23300	384	13350	34.8	169.4	28.8	248.8	258.5	0.793
28.6	15038.13	810.67	1100.0φ×20.0 (補強材 t=12.0, 22.0)	1082	28300	386	13350	34.6	139.0	28.6	248.9	258.5	0.670*

注記\*：飛来物衝突部材を除く

表 5-4 斜材の評価結果：ケース 1 (0° 方向)

標高 O.P.+ (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $\ell_k$ (mm)	細長比 $\lambda = \ell_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価  $\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN·m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	487.54	0.00	355.6φ×6.4	70.21	602	123	8568	69.7	69.4	0.0	219.8	258.5	0.316
155.5	468.19	0.00	355.6φ×6.4	70.21	602	123	8640	70.3	66.7	0.0	219.1	258.5	0.305
149.1	570.73	0.00	406.4φ×6.4	80.42	791	141	9589	68.1	71.0	0.0	221.6	258.5	0.321
142.0	605.22	0.00	406.4φ×6.4	80.42	791	141	9660	68.6	75.3	0.0	221.0	258.5	0.341
134.8	823.56	0.00	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	10737	67.6	90.9	0.0	222.1	258.5	0.410
126.8	930.85	0.00	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	11112	69.9	102.7	0.0	219.6	258.5	0.468
118.3	1117.59	0.00	508.0φ×6.4	100.8	1240	177	12431	70.3	110.9	0.0	219.1	258.5	0.507
108.8	1124.67	0.00	508.0φ×6.4	100.8	1240	177	12822	72.5	111.6	0.0	216.6	258.5	0.516
98.8	1511.45	0.00	609.6φ×6.4	121.2	1800	213	15581	73.2	124.7	0.0	215.8	258.5	0.578
86.4	1448.92	0.00	609.6φ×6.4	121.2	1800	213	14963	70.3	119.5	0.0	219.1	258.5	0.546
74.8	2529.94	0.00	711.2φ×9.5	209.4	3620	248	17487	70.6	120.8	0.0	218.8	258.5	0.553
61.2	2576.14	20.39	558.8φ×9.5 (補強材 t=6.0)	217.1	2910	195	11997	61.6	118.7	7.0	228.3	258.5	0.547
52.2	2572.76	20.39	558.8φ×9.5 (補強材 t=6.0)	217.1	2910	195	11997	61.6	118.5	7.0	228.3	258.5	0.547
41.8	4606.44	35.82	609.6φ×16 (STK490)	298.3	4310	209	15269	73.1	154.4	8.3	276.4	357.5	0.582
28.6	4609.05	35.82	609.6φ×16 (STK490)	298.3	4310	209	15269	73.1	154.5	8.3	276.4	357.5	0.583
15.3													

表 5-5 水平材の評価結果：ケース 1 (0° 方向)

標高 O.P.+ (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $l_k$ (mm)	細長比 $\lambda = l_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価  $\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	613.30	51.06	318.5φ×6.4 (補強材 t=9.0)	109.0	823	112	7252	64.8	56.3	62.0	225.0	258.5	0.491
149.1	75.75	1.68	318.5φ×6.4	62.75	479	110	6099	55.5	12.1	3.5	233.9	258.5	0.066
134.8	165.16	4.44	318.5φ×6.4 (補強材 t=6.0, 16.0)	135.3	1000	113	6774	60.0	12.2	4.4	229.8	258.5	0.071
118.3	150.74	1.83	318.5φ×6.4	62.75	479	110	7552	68.7	24.0	3.8	220.9	258.5	0.124
98.8	184.22	2.64	406.4φ×6.4	80.42	791	141	8631	61.3	22.9	3.3	228.6	258.5	0.114
74.8	892.45	6.23	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	10144	63.8	98.5	6.2	226.1	258.5	0.460
61.2	1157.35	14.97	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	11000	69.2	127.7	15.0	220.4	258.5	0.638
41.8	1069.86	2.92	508.0φ×6.4	100.8	1240	177	12692	71.8	106.1	2.4	217.4	258.5	0.498

表 5-6 2号筒身の評価結果：ケース 2 (45° 方向)

標高 O. P. + (m)	検討応力			使用部材 (SMA400AP)		断面性能		応力度			許容応力度			応力評価	
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	筒身 内径 $\phi$ (mm)	板厚 t (mm)	断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	圧縮 $\sigma_c = N/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $\tau = 2Q/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $c f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $b f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $s f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c / c f_{cr}$ + $\sigma_b / b f_{cr}$	$\tau / s f_{cr}$
174.8	61.49	1276.60	98.20	3000.0	10.0	945.6	70900	0.65	18.01	2.08	198.4	212.2	52.8	0.089	0.040
161.8	152.79	1654.26	465.06	3000.0	10.0	945.6	70900	1.62	23.33	9.84	198.4	212.2	20.4	0.119	0.483
155.5	212.90	4052.85	374.86	3000.0	10.0	945.6	70900	2.25	57.16	7.93	198.4	212.2	20.4	0.281	0.389
149.1	276.74	6033.86	278.96	3000.0	10.0	945.6	70900	2.93	85.10	5.90	198.4	212.2	20.4	0.416	0.290
142.0	344.41	7310.84	177.41	3000.0	10.0	945.6	70900	3.64	103.11	3.75	198.4	212.2	20.4	0.505	0.184
134.8	491.29	7867.10	69.53	3000.0	10.0	945.6	70900	5.20	110.96	1.47	198.4	212.2	20.4	0.550	0.073
126.8	569.35	7867.10	47.57	3000.0	10.0	945.6	70900	6.02	110.96	1.01	198.4	212.2	20.4	0.554	0.050
118.3	654.48	7462.99	175.37	3000.0	10.0	945.6	70900	6.92	105.26	3.71	198.4	212.2	20.4	0.531	0.182
108.8	746.76	5796.23	313.87	3000.0	10.0	945.6	70900	7.90	81.75	6.64	198.4	212.2	20.4	0.426	0.326
98.8	837.67	3202.05	472.87	3000.0	10.0	945.6	70900	8.86	45.16	10.00	198.4	212.2	20.4	0.258	0.491
86.4	951.23	10668.80	643.22	3000.0	10.0	945.6	70900	10.06	150.48	13.60	198.4	212.2	20.4	0.760	0.667
74.8	1075.38	10668.80	502.87	3000.0	10.0	945.6	70900	11.37	150.48	10.64	198.4	212.2	33.1	0.767	0.322
61.2	1231.50	3846.49	268.62	3000.0	10.0	945.6	70900	13.02	54.25	5.68	198.4	212.2	33.1	0.322	0.172
41.8	1448.82	2002.78	254.83	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	28.25	5.39	198.4	212.2	37.0	0.211	0.146
28.6	1448.82	3085.81	254.83	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	43.52	5.39	198.4	212.2	37.0	0.283	0.146
24.3	1448.82	4359.95	254.83	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	40.75	4.37	178.2	196.0	31.6	0.278	0.139
19.3	1448.82	5379.27	254.83	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	50.27	4.37	178.2	196.0	31.6	0.327	0.139

表 5-7 3号筒身の評価結果：ケース 2 (45° 方向)

標高 O. P. + (m)	検討応力			使用部材 (SMA400AP)		断面性能		応力度			許容応力度			応力評価	
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	筒身 内径 φ (mm)	板厚 t (mm)	断面積 A (×10 <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z (×10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	圧縮 $\sigma_c = N/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $\tau = 2Q/A$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 $f_{cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c / f_{cr}$ + $\sigma_b / f_{cr}$	$\tau / f_{cr}$
174.8	61.49	1276.60	98.20	3000.0	10.0	945.6	70900	0.65	18.01	2.08	198.4	212.2	52.8	0.089	0.040
161.8	152.79	1654.27	465.06	3000.0	10.0	945.6	70900	1.62	23.33	9.84	198.4	212.2	20.4	0.119	0.483
155.5	212.90	4052.85	374.86	3000.0	10.0	945.6	70900	2.25	57.16	7.93	198.4	212.2	20.4	0.281	0.389
149.1	276.74	6033.86	278.96	3000.0	10.0	945.6	70900	2.93	85.10	5.90	198.4	212.2	20.4	0.416	0.290
142.0	344.41	7310.84	177.41	3000.0	10.0	945.6	70900	3.64	103.11	3.75	198.4	212.2	20.4	0.505	0.184
134.8	491.29	7867.11	69.53	3000.0	10.0	945.6	70900	5.20	110.96	1.47	198.4	212.2	20.4	0.550	0.073
126.8	569.35	7867.11	47.57	3000.0	10.0	945.6	70900	6.02	110.96	1.01	198.4	212.2	20.4	0.554	0.050
118.3	654.47	7463.00	175.37	3000.0	10.0	945.6	70900	6.92	105.26	3.71	198.4	212.2	20.4	0.531	0.182
108.8	746.76	5796.23	313.87	3000.0	10.0	945.6	70900	7.90	81.75	6.64	198.4	212.2	20.4	0.426	0.326
98.8	837.67	3202.05	472.87	3000.0	10.0	945.6	70900	8.86	45.16	10.00	198.4	212.2	20.4	0.258	0.491
86.4	951.23	10668.80	643.22	3000.0	10.0	945.6	70900	10.06	150.48	13.60	198.4	212.2	20.4	0.760	0.667
74.8	1075.38	10668.80	502.87	3000.0	10.0	945.6	70900	11.37	150.48	10.64	198.4	212.2	33.1	0.767	0.322
61.2	1231.50	3846.49	268.62	3000.0	10.0	945.6	70900	13.02	54.25	5.68	198.4	212.2	33.1	0.322	0.172
41.8	1448.82	2002.78	254.83	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	28.25	5.39	198.4	212.2	37.0	0.211	0.146
28.6	1448.82	3085.81	254.83	3000.0	10.0	945.6	70900	15.32	43.52	5.39	198.4	212.2	37.0	0.283	0.146
24.3	1448.82	4359.95	254.83	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	40.75	4.37	178.2	196.0	31.6	0.278	0.139
19.3	1448.82	5379.27	254.83	3700.0	10.0	1165	107000	12.44	50.27	4.37	178.2	196.0	31.6	0.327	0.139

表 5-8 主柱材の評価結果：ケース 2 (45° 方向)

標高 O.P.+ (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $\ell_k$ (mm)	細長比 $\Lambda = \ell_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価 $\frac{\sigma_c}{f_c} / \frac{\sigma_b}{f_b}$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 f <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	37.26	22.38	457.2φ×7.9	111.5	1230	158	6316	40.0	3.3	18.2	245.7	258.5	0.084
155.5	1292.94	28.29	457.2φ×7.9 (補強材 t=9.0)	177.4	1930	161	6413	39.9	72.9	14.7	245.8	258.5	0.354
149.1	1335.76	27.12	457.2φ×7.9 (補強材 t=6.0, 6.0)	176.9	1940	160	7117	44.5	75.5	14.0	242.7	258.5	0.366
142.0	2870.98	105.60	609.6φ×9.5 (補強材 t=12.0, 6.0)	325.2	4760	215	7214	33.6	88.3	22.2	249.5	258.5	0.440
134.8	3025.19	170.86	609.6φ×9.5 (補強材 t=16.0, 9.0)	380.0	5560	216	8018	37.2	79.6	30.7	247.4	258.5	0.441
126.8	5012.13	178.76	711.2φ×12.7 (補強材 t=6.0, 22.0)	472.9	7910	251	8514	34.0	106.0	22.6	249.3	258.5	0.513
118.3	5103.33	177.45	711.2φ×12.7 (補強材 t=6.0, 25.0)	490.8	8180	251	9526	38.0	104.0	21.7	247.0	258.5	0.505
108.8	7597.24	316.44	812.8φ×16.0 (補強材 t=9.0, 16.0)	620.8	11900	285	10040	35.3	122.4	26.6	248.5	258.5	0.596
98.8	7759.56	397.68	812.8φ×16.0 (補強材 t=9.0, 19.0)	640.8	12300	285	12441	43.7	121.1	32.3	243.3	258.5	0.623
86.4	11121.81	444.99	1000.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	697.9	16700	349	11654	33.4	159.4	26.6	249.6	258.5	0.742
74.8	11356.01	442.89	1000.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	697.9	16700	349	13621	39.1	162.7	26.5	246.3	258.5	0.764
61.2	14296.79	117.15	1100.0φ×18.0 (補強材 t=9.0)	768.6	20300	384	19580	51.0	186.0	5.8	237.8	258.5	0.805
41.8	16224.82	615.65	1100.0φ×20.0 (補強材 t=12.0)	888.1	23300	384	13350	34.8	182.7	26.4	248.8	258.5	0.837
28.6	16223.98	615.65	1100.0φ×20.0 (補強材 t=12.0, 22.0)	1082	28300	386	13350	34.6	149.9	21.8	248.9	258.5	0.687*

注記：\* 飛来物衝突部材を除く



表 5-9 斜材の評価結果：ケース 2 (45° 方向)

標高 O. P. + (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $l_k$ (mm)	細長比 $\lambda = l_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価  $\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN·m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	423.84	0.00	355.6 $\phi$ $\times$ 6.4	70.21	602	123	8568	69.7	60.4	0.0	219.8	258.5	0.275
155.5	438.04	0.00	355.6 $\phi$ $\times$ 6.4	70.21	602	123	8640	70.3	62.4	0.0	219.1	258.5	0.285
149.1	506.16	0.00	406.4 $\phi$ $\times$ 6.4	80.42	791	141	9589	68.1	62.9	0.0	221.6	258.5	0.285
142.0	509.51	0.00	406.4 $\phi$ $\times$ 6.4	80.42	791	141	9660	68.6	63.4	0.0	221.0	258.5	0.287
134.8	655.24	0.00	457.2 $\phi$ $\times$ 6.4	90.63	1000	159	10737	67.6	72.3	0.0	222.1	258.5	0.326
126.8	741.01	0.00	457.2 $\phi$ $\times$ 6.4	90.63	1000	159	11112	69.9	81.8	0.0	219.6	258.5	0.373
118.3	865.84	0.00	508.0 $\phi$ $\times$ 6.4	100.8	1240	177	12431	70.3	85.9	0.0	219.1	258.5	0.393
108.8	852.04	0.00	508.0 $\phi$ $\times$ 6.4	100.8	1240	177	12822	72.5	84.5	0.0	216.6	258.5	0.391
98.8	1107.80	0.00	609.6 $\phi$ $\times$ 6.4	121.2	1800	213	15581	73.2	91.4	0.0	215.8	258.5	0.424
86.4	1057.57	0.00	609.6 $\phi$ $\times$ 6.4	121.2	1800	213	14963	70.3	87.3	0.0	219.1	258.5	0.399
74.8	2039.51	0.00	711.2 $\phi$ $\times$ 9.5	209.4	3620	248	17487	70.6	97.4	0.0	218.8	258.5	0.446
61.2	2852.68	8.26	558.8 $\phi$ $\times$ 9.5 (補強材 t = 6.0)	217.1	2910	195	11997	61.6	131.4	2.8	228.3	258.5	0.587
52.2	2851.67	8.26	558.8 $\phi$ $\times$ 9.5 (補強材 t = 6.0)	217.1	2910	195	11997	61.6	131.4	2.8	228.3	258.5	0.587
41.8	4283.18	36.81	609.6 $\phi$ $\times$ 16 (STK490)	298.3	4310	209	15269	73.1	143.6	8.5	276.4	357.5	0.544
28.6	4364.62	36.81	609.6 $\phi$ $\times$ 16 (STK490)	298.3	4310	209	15269	73.1	146.3	8.5	276.4	357.5	0.554
15.3													

表 5-10 水平材の評価結果：ケース 2 (45° 方向)

標高 0. P. + (m)	検討応力		使用部材 (STK400)  (mm)	断面性能			座屈 長さ $\ell_k$ (mm)	細長比 $\lambda = \ell_k / i$	応力度		許容応力度		応力評価  $\sigma_c / f_c$ + $\sigma_b / f_b$
	軸力 N (kN)	曲げ モーメント M (kN・m)		断面積 A ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	断面 係数 Z ( $\times 10^3$ mm <sup>3</sup> )	断面 2 次 半径 i (mm)			圧縮 $\sigma_c = N / A$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $\sigma_b = M / Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 $f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ $f_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	
161.8	318.94	27.23	318.5φ×6.4 (補強材 t=9.0)	109.0	823	112	7252	64.8	29.3	33.1	225.0	258.5	0.259
149.1	51.57	2.04	318.5φ×6.4	62.75	479	110	6099	55.5	8.2	4.3	233.9	258.5	0.052
134.8	117.66	4.87	318.5φ×6.4 (補強材 t=6.0, 16.0)	135.3	1000	113	6774	60.0	8.7	4.9	229.8	258.5	0.057
118.3	118.36	2.04	318.5φ×6.4	62.75	479	110	7552	68.7	18.9	4.2	220.9	258.5	0.102
98.8	195.55	3.94	406.4φ×6.4	80.42	791	141	8631	61.3	24.3	5.0	228.6	258.5	0.126
74.8	461.97	4.74	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	10144	63.8	51.0	4.7	226.1	258.5	0.244
61.2	1182.94	12.08	457.2φ×6.4	90.63	1000	159	11000	69.2	130.5	12.1	220.4	258.5	0.639
41.8	945.09	7.32	508.0φ×6.4	100.8	1240	177	12692	71.8	93.8	5.9	217.4	258.5	0.455

表 5-11 筒身脚部の評価結果 (ケース 1(0° 方向))

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm <sup>2</sup>	171.2	258.5	0.67
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	15.5	149.2	0.11
	組合せ	N/mm <sup>2</sup>	171.2	258.5	0.67
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	43	466	0.10
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	2.1	13.6	0.16
ベースプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	78.6	298.2	0.27
フランジプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	86.0	298.2	0.29
リブプレート	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	44.2	258.5	0.18
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	47.8	149.2	0.33

注記\* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

表 5-12 鉄塔脚部の評価結果 (ケース 1(0° 方向))

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm <sup>2</sup>	209.0	236.5	0.89
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	40.1	136.5	0.30
	組合せ	N/mm <sup>2</sup>	209.0	236.5	0.89
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	1168	1513	0.78
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	8.7	13.6	0.64
ベースプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	228.8	298.2	0.77
フランジプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	199.2	272.8	0.74
リブプレート	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	125.6	258.5	0.49
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	139.7	149.2	0.94

注記\* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

表 5-13 筒身脚部の評価結果 (ケース 2(45° 方向))

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm <sup>2</sup>	153.3	258.5	0.60
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	13.8	149.2	0.10
	組合せ	N/mm <sup>2</sup>	153.3	258.5	0.60
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	35	466	0.08
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	1.8	13.6	0.14
ベースプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	67.4	298.2	0.23
フランジプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	77.1	298.2	0.26
リブプレート	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	37.9	258.5	0.15
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	41.0	149.2	0.28

注記\* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

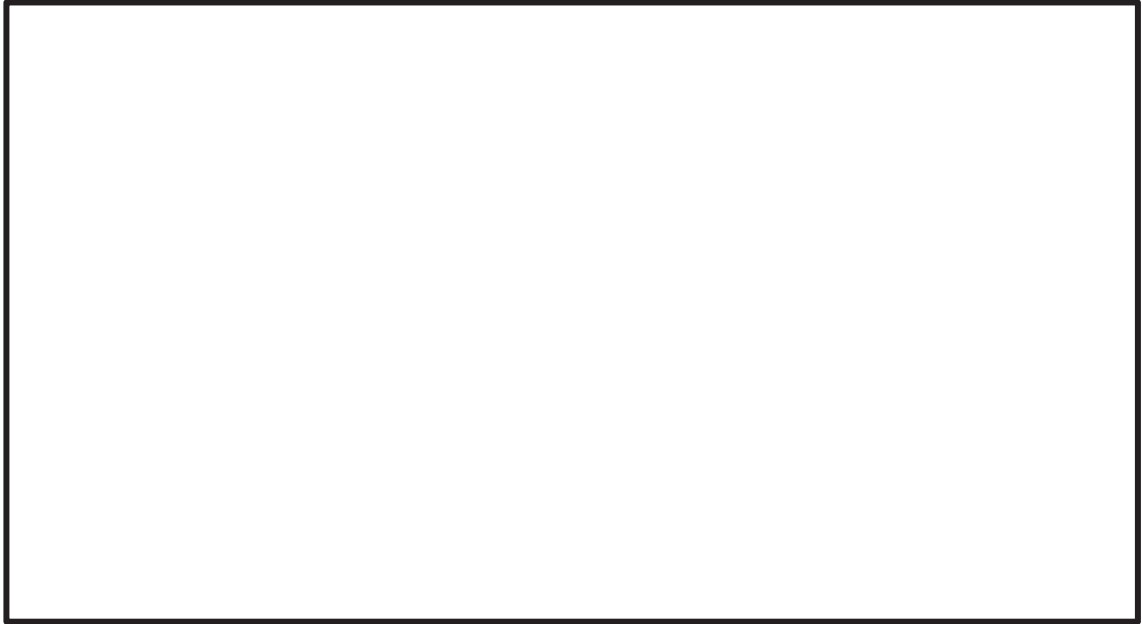
表 5-14 鉄塔脚部の評価結果 (ケース 2(45° 方向))

評価部位	応力分類	単位	発生応力	許容値	発生応力 / 許容値
アンカーボルト	引張	N/mm <sup>2</sup>	218.8	236.5	0.93
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	45.4	136.5	0.34
	組合せ	N/mm <sup>2</sup>	218.8	236.5	0.93
コンクリート (コーン状破壊)	引張*	kN	1223	1513	0.81
コンクリート (圧縮)	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	9.0	13.6	0.67
ベースプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	236.7	298.2	0.80
フランジプレート	面外曲げ	N/mm <sup>2</sup>	208.6	272.8	0.77
リブプレート	圧縮	N/mm <sup>2</sup>	130.0	258.5	0.51
	せん断	N/mm <sup>2</sup>	144.6	149.2	0.97

注記\* : アンカーボルト 1 本当たりの引張力

表 5-15 ひずみ評価結果

ケース 番号	検討部材	風向	衝突面	評価結果 最大ひずみ (a)	許容限界 破断ひずみ (b)	(a)/(b)
1-1	最下層	0°	最小			
1-2	支柱材		最大			
2-1	最下層	45°	最小			
2-2	支柱材		最大			



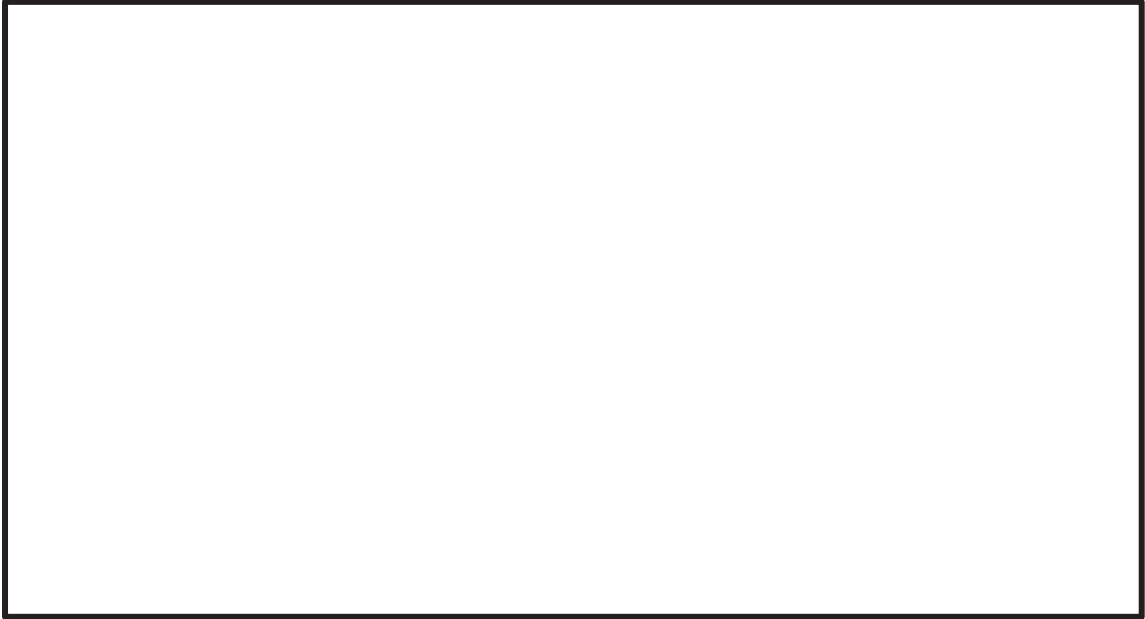
(a) ケース 1-1 (衝突面最小)



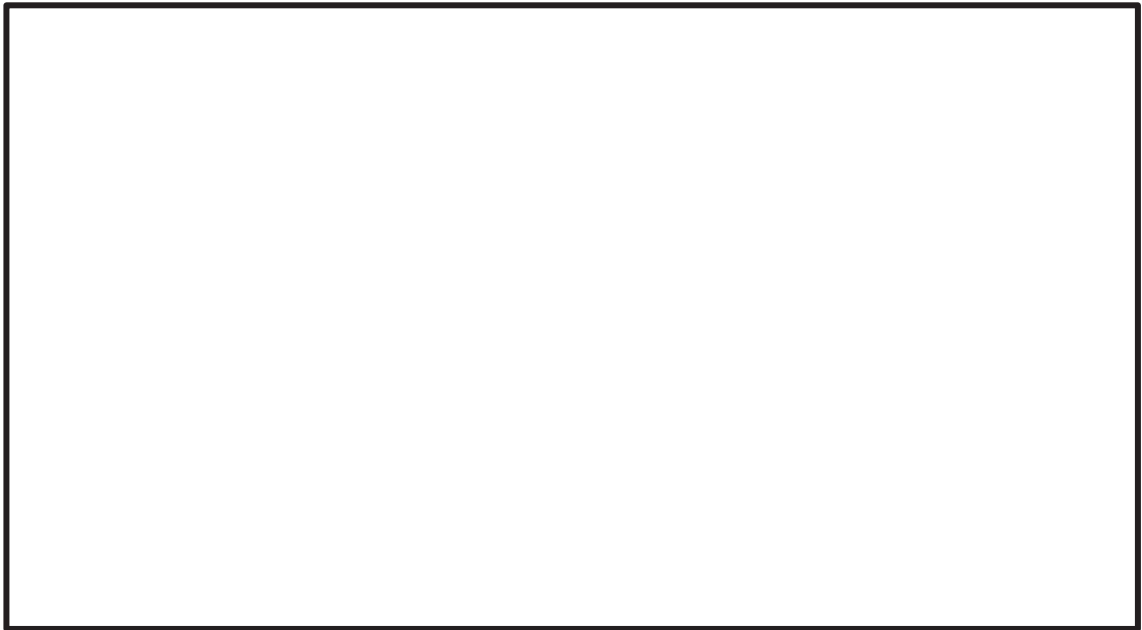
(b) ケース 1-2 (衝突面最大)

図 5-1 最下層支柱材のひずみ分布 (風向  $0^\circ$ )

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) ケース 2-1 (衝突面最小)



(b) ケース 2-2 (衝突面最大)

図 5-2 最下層主柱材のひずみ分布 (風向 45°)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 1-1-8 換気空調設備の強度計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格	10
3. 構造強度評価方法	10
3.1 記号の定義	10
3.2 評価対象部位	15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	18
3.4 許容限界	19
3.5 評価方法	25
4. 評価条件	36
5. 強度評価結果	40

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり角ダクト、丸ダクト、ダンパ、隔離弁及びファンが竜巻時及び竜巻通過後においても、その施設の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

角ダクト、丸ダクト、ダンパ、隔離弁及びファンについて、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、角ダクト、丸ダクト、ダンパ、隔離弁及びファンの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

角ダクト、丸ダクト、ダンパ、隔離弁及びファンは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、十分な強度を有する原子炉建屋内、制御建屋内に設置する。

原子炉建屋及び制御建屋の位置図を図 2-1 に、角ダクト、丸ダクト、ダンパ、隔離弁及びファンの各建屋内の配置図を図 2-2～図 2-4 にそれぞれ示す。

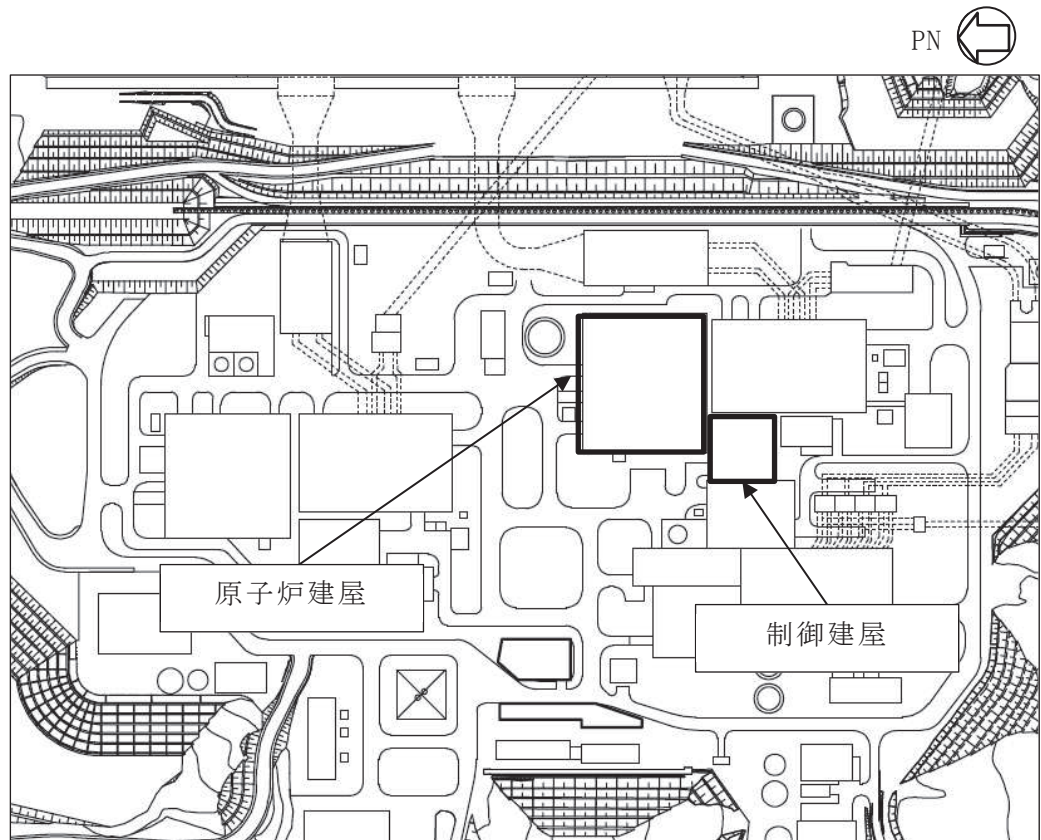


図 2-1 原子炉建屋及び制御建屋の位置図

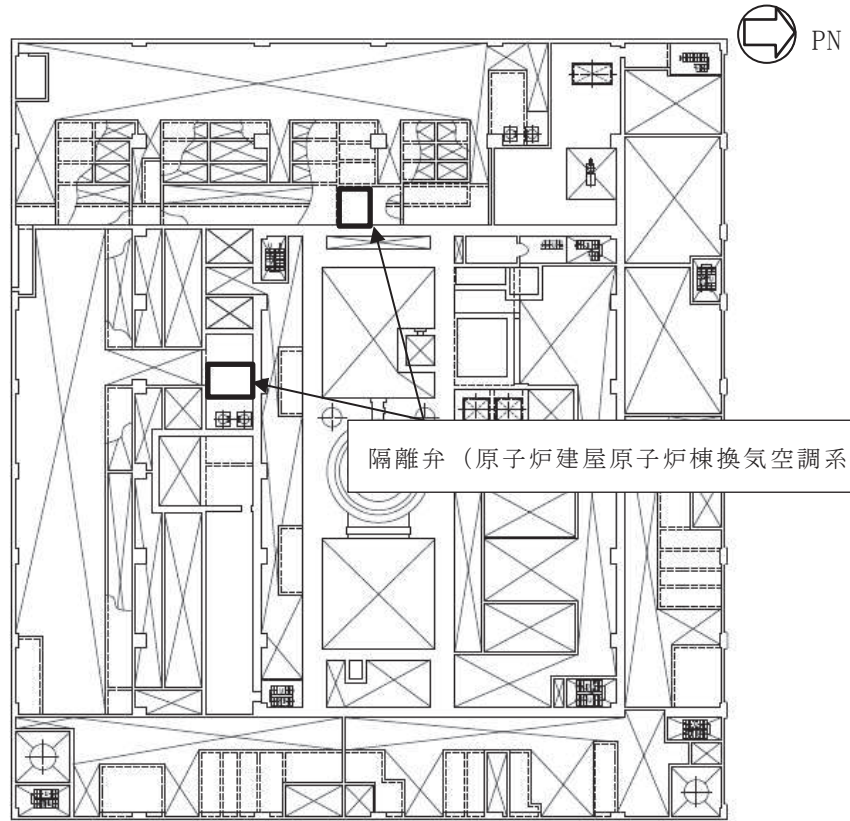


図 2-2 隔離弁の配置図 (原子炉建屋 M3F 0. P. 26. 30m~0. P. 31. 70m)

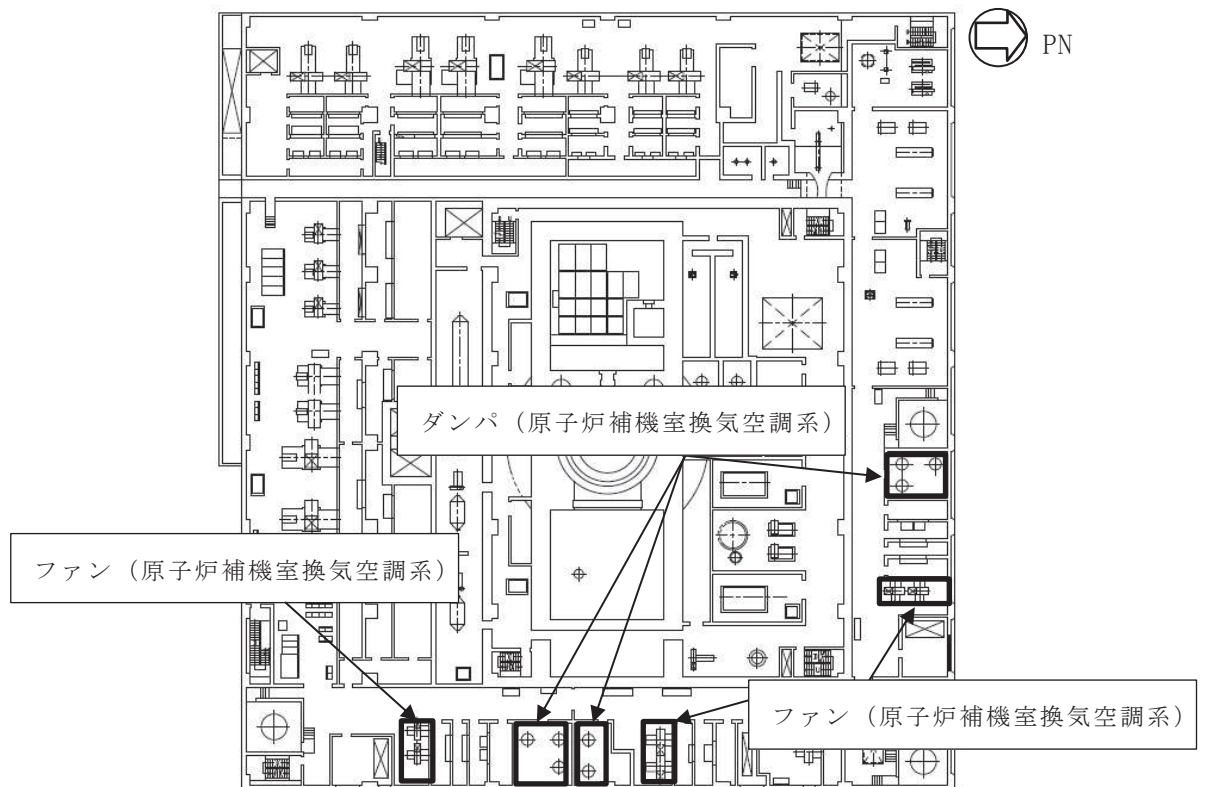


図 2-3 ダンパ及びファンの配置図 (原子炉建屋 2F 0. P. 22. 50m)

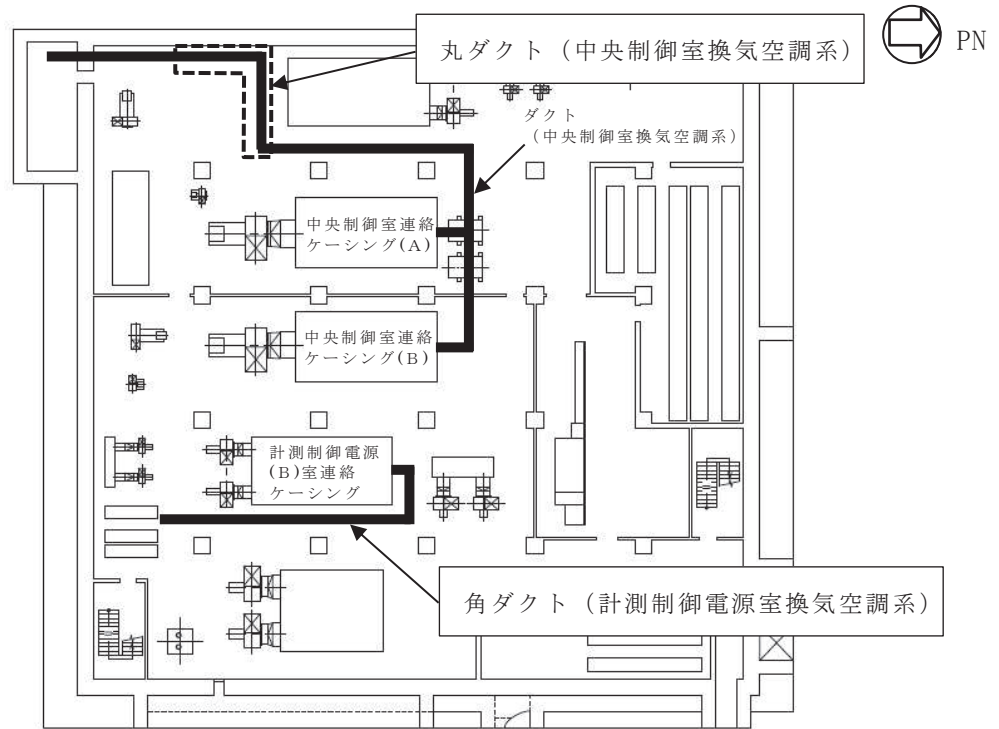


図 2-4 角ダクト及び丸ダクトの配置図 (制御建屋 B2F 0.P.1.50m)

## 2.2 構造概要

換気空調設備について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

### (1) 角ダクト及び丸ダクトの構造概要

角ダクトは、鋼板により構成される四角形断面のダクトであり、支持構造物により建屋壁、床及び梁等に支持する。

丸ダクトは、鋼板により構成される円筒形のダクトであり、支持構造物により建屋壁、床及び梁等に支持する。

角ダクトの概要図を図 2-5 に、丸ダクトの概要図を図 2-6 に示す。

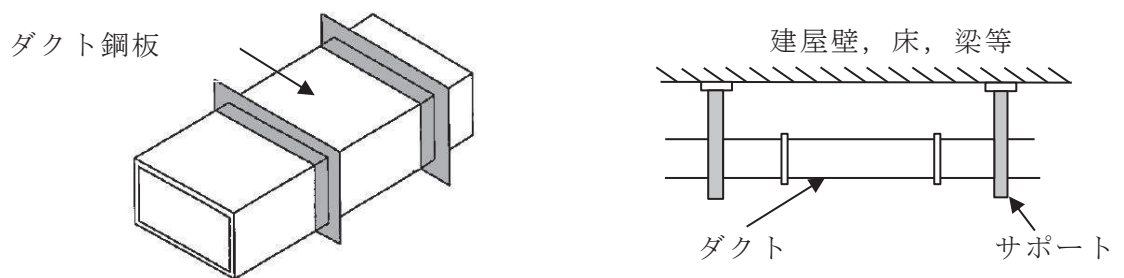


図 2-5 角ダクトの概要図

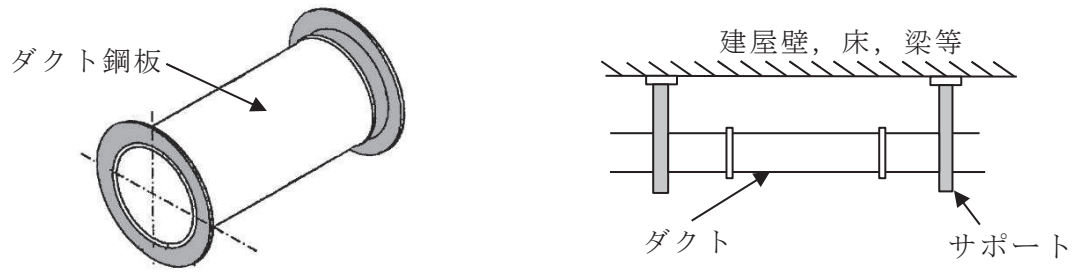


図 2-6 丸ダクトの概要図

(2) 隔離弁の構造概要

隔離弁は、鋼製の弁箱、弁体及び弁棒で構成し、接続ダクトにより支持する。  
 隔離弁の概要図を図 2-7 に示す。

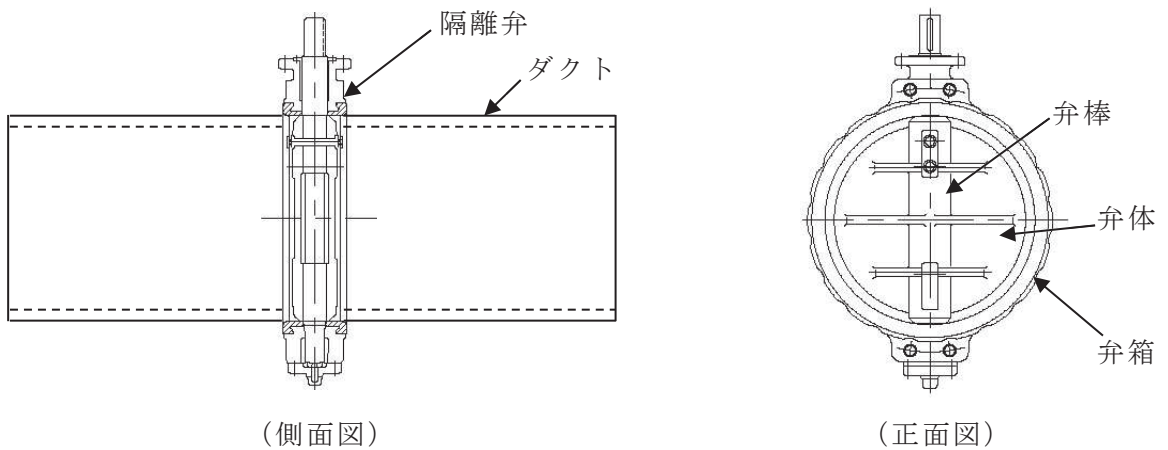


図 2-7 隔離弁の概要図

(3) ファンの構造概要

ファンは、流路を形成するケーシング、冷却するための空気を送り込む羽根車及び電動機から回転力を伝達する主軸で構成する。

ファンの概要図を図 2-8 に示す。

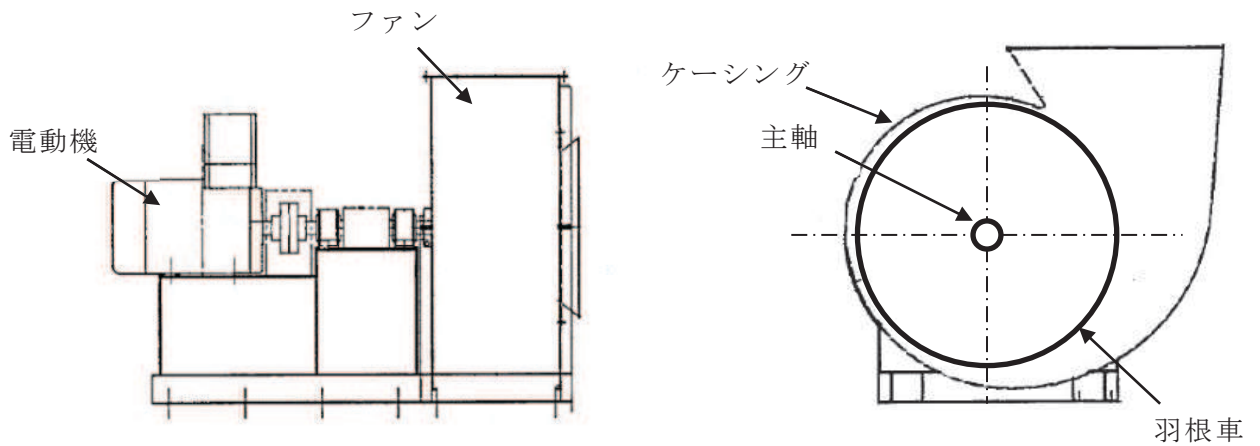


図 2-8 ファンの概要図

(4) ダンパ

ダンパは、鋼製のケーシング、ベーン及びシャフトで構成し、接続ダクトにより支持する。

ダンパの概要図を図 2-9 に示す。

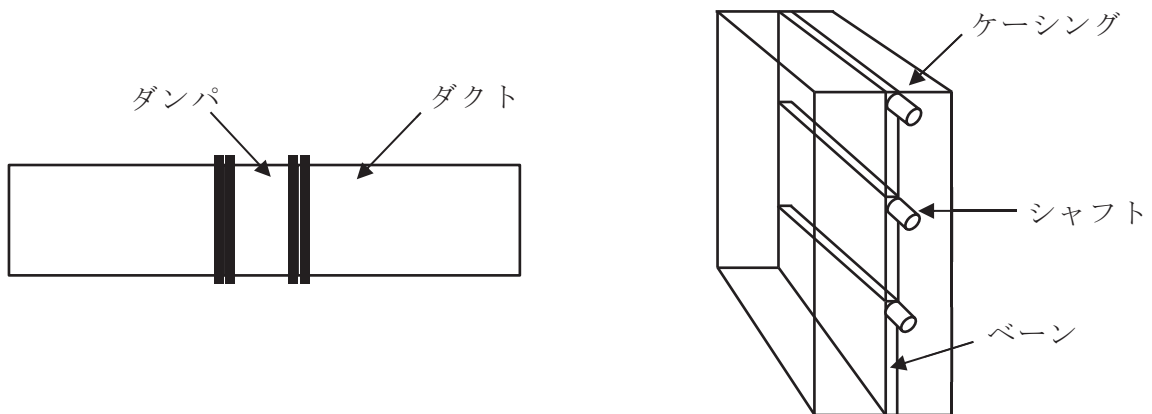


図 2-9 ダンパの概要図

2.3 評価方針

換気空調設備の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及びダンパの各評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 構造強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

(1) 角ダクト及び丸ダクトの評価方針

角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価フローを図 2-10 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

角ダクトの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

角ダクトの許容限界は、妥当な安全裕度を考慮して、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。ただし、座屈に対しては評価式を満足することを確認する。

丸ダクトの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、外圧により生じる周方向応力が許容応力以下であること及び長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により生じる応力が評価式を満足していることを確認する。構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

丸ダクトの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界であるクリッピング座屈の算出式に応じた値とする。

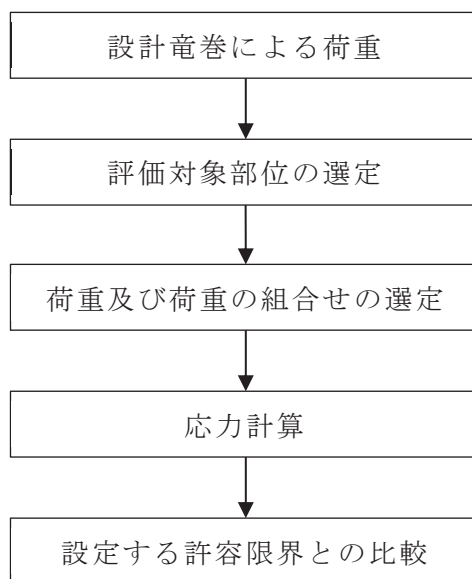


図 2-10 角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価フロー

(2) 隔離弁の評価方針

隔離弁の構造強度評価フローを図 2-11 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている，外気と繋がっている換気空調設備のうち，隔離弁の構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては，隔離弁に対して，設計竜巻の気圧差による荷重及び常時作用する荷重（自重）により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法を用いる。

隔離弁の許容限界は，添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である部材の降伏応力とする。



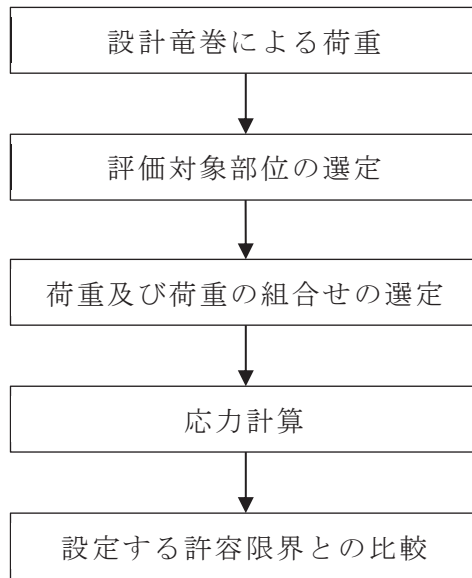


図 2-11 隔離弁の構造強度評価フロー

(3) ファンの評価方針

ファンの構造強度評価フローを図 2-12 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、ファンの構造強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては、ファンに対して、設計竜巻の気圧差による荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法を用いる。

ファンの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A S</sub>とする。

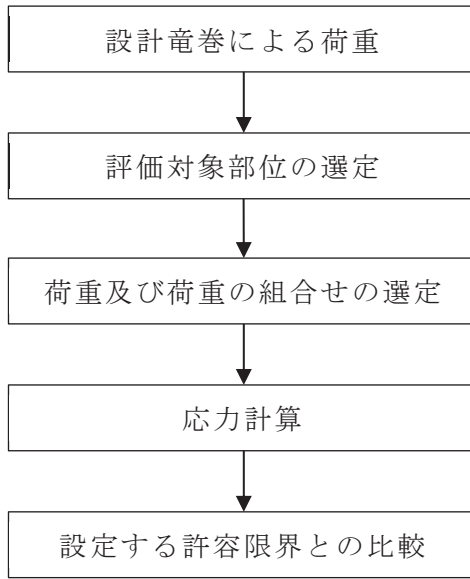


図 2-12 ファンの構造強度評価フロー

(4) ダンパの評価方針

ダンパの構造強度評価フローを図 2-13 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、ダンパの構造強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては、ダンパに対して、設計竜巻の気圧差による荷重及び常時作用する荷重（自重）により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法を用いる。

ダンパの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S とする。

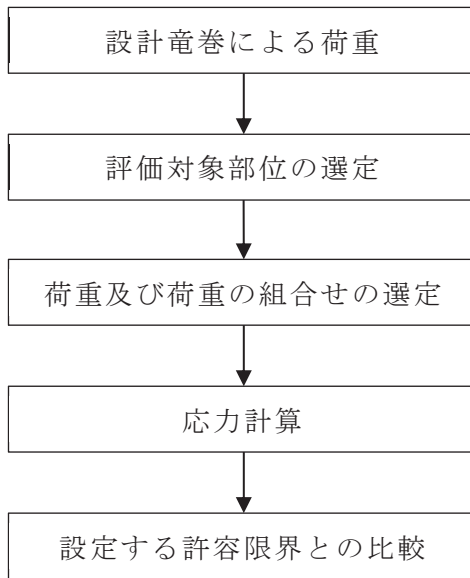


図 2-13 ダンパの構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧

## 3. 構造強度評価方法

### 3.1 記号の定義

#### (1) ダクト

##### a. 角ダクト

角ダクトの構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表 3-1 角ダクトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
$D_p$	$\text{kg/m}^2$	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
E	MPa	縦弾性係数
g	$\text{m/s}^2$	重力加速度
I	$\text{mm}^4$	断面二次モーメント
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ダクトに作用する曲げモーメント
$M_p$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	自重により作用する曲げモーメント
P	MPa	ダクトにかかる外圧
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	ダクト板厚
$\delta_{\text{max}}$	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\mu$	$\text{kg/m}$	ダクトの単位長さ当たりの重量
$\nu$	—	ポアソン比
$\sigma_{\text{max}}$	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{p1}$	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
$\sigma_{p2}$	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
$\sigma_w$	MPa	短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力と長期荷重（自重）による発生応力の和
$\sigma_y$	MPa	許容応力

b. 丸ダクト

丸ダクトの構造強度評価に用いる記号を表3-2に示す。

表3-2 丸ダクトの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	補強ピッチ
E	MPa	縦弾性係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
k <sub>p</sub>	—	座屈係数
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M <sub>crip</sub>	N・mm	クリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M <sub>p</sub>	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
n	—	座屈モードの次数
r	mm	丸ダクトのダクト半径
t	mm	ダクト板厚
Z <sub>c</sub>	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
β	—	円筒かくの座屈応力の式における係数
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクトの単位長さ当たりの質量
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
σ <sub>crip</sub>	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力
σ <sub>crip1</sub>	MPa	外圧により生じる周方向応力

(2) 隔離弁

隔離弁の構造強度評価に用いる記号を表3-3に示す。

表3-3 隔離弁の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_s$	$\text{mm}^2$	弁棒の断面積
$A_v$	$\text{mm}^2$	弁体の受圧面積
$a$	mm	弁体の半径
$d$	mm	弁棒の直径
$F_1$	N	設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重
$F_2$	N	弁体自重により弁棒に受ける荷重
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度
$h$	mm	弁体の板厚
$m_v$	kg	弁体自重
$m_s$	kg	弁棒自重
$P_1$	MPa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
$P_2$	MPa	自重により弁体に受ける応力
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$p_v$	MPa	弁体に受ける応力
$p_s$	N	弁棒に受ける荷重
$r$	mm	内半径
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$t$	mm	板厚
$\pi$	—	円周率
$\tau$	MPa	弁棒に対するせん断応力
$\sigma_{max}$	MPa	弁体に対する曲げ応力
$\sigma_\theta$	MPa	周方向応力

(3) ファン

ファンの構造強度評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表3-4 ファンの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$r$	mm	ケーシング内半径
$t$	mm	ケーシング板厚
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
$\sigma_\theta$	MPa	周方向応力

(4) ダンパ

ダンパの構造強度評価に用いる記号を表 3-5 に示す。

表 3-5 ダンパの構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$A_s$	mm <sup>2</sup>	シャフト断面積
$E$	MPa	縦弾性係数
$e_c$	mm	ケーシングにおける断面の重心高さ
$F_{1b}$	N/mm <sup>2</sup>	ベーンの内部圧力による分布荷重
$F_{1c}$	N/mm	ケーシングの内部圧力による分布荷重
$F_{1s}$	N	内部圧力によりシャフトにかかるせん断荷重
$F_{2b}$	N/mm <sup>2</sup>	ベーンの自重による分布荷重
$F_{2c}$	N/mm	ケーシングの自重による分布荷重
$F_{2s}$	N	ベーンの自重によりシャフトにかかるせん断荷重
$f_b$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力
$f_s$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
$H_b$	mm	ベーン幅
$I_c$	mm <sup>4</sup>	ケーシングの断面二次モーメント

表 3-5 ダンパの構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$L_c$	mm	面間寸法
$L_s$	mm	シャフト直径
$l_b$	mm	ベーン長さ
$l_c$	mm	ケーシング長さ
$M_c$	N・mm	ケーシングに作用する最大曲げモーメント
$m_b$	kg	ベーン質量
$m_c$	kg	ケーシング質量
$P$	MPa	内部圧力
$t_b$	mm	ベーン板厚
$Z_c$	mm <sup>3</sup>	ケーシングの断面係数
$\delta_{bmax}$	mm	面外荷重によるベーンの最大変位量
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\nu$	—	ポアソン比
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{bmax}$	MPa	ベーンの中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{cmax}$	MPa	ケーシングに生じる最大曲げ応力
$\sigma_{smax}$	MPa	シャフトに生じる最大せん断応力

### 3.2 評価対象部位

#### (1) ダクトの評価対象部位

角ダクト及び丸ダクトの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

##### a. 角ダクト

設計竜巻の気圧差による荷重は、角ダクト本体のダクト鋼板に作用する。このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。

角ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。



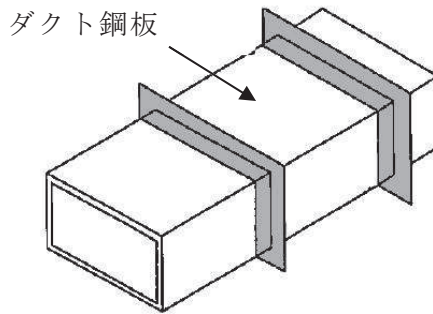


図3-1 角ダクトの評価対象部位

b. 丸ダクト

設計竜巻の気圧差による荷重は、丸ダクト本体のダクト鋼板に作用する。このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。

丸ダクトの構造強度評価における評価対象部位を図3-2に示す。

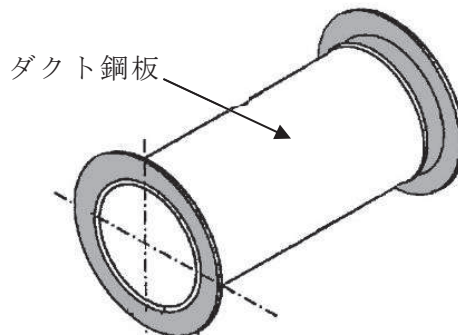


図3-2 丸ダクトの評価対象部位

(2) 隔離弁の評価対象部位

隔離弁の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

設計竜巻の気圧差による荷重は、隔離弁本体の耐圧部に作用する。このことから、耐圧部である弁箱、弁体、弁棒を評価対象部位として選定する。

隔離弁の構造強度評価における評価対象部位を図3-3に示す。

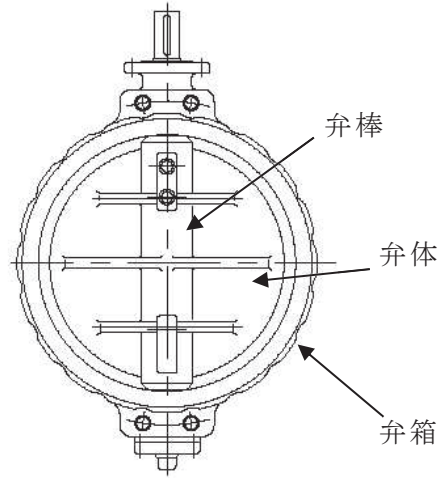


図 3-3 隔離弁の評価対象部位

(3) ファンの評価対象部位

ファンの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻の気圧差による荷重は、ファンのケーシングに作用する。このことから、ケーシングを評価対象部位として設定する。

ファンの構造強度評価における評価対象部位を図3-4に示す。

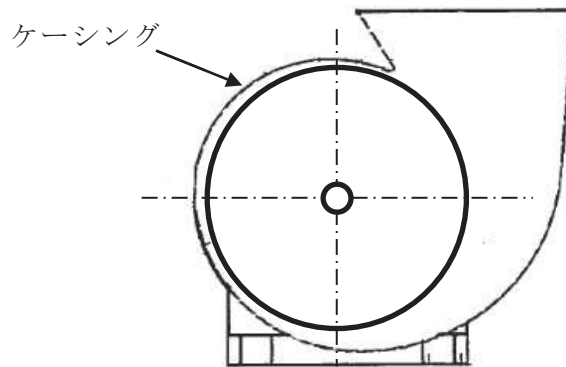


図3-4 ファンの評価対象部位

(4) ダンパの評価対象部位

ダンパの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻の気圧差による荷重は、ケーシング及びベーンに作用し、ベーンを介してシャフトに作用する。このことから、ケーシング、ベーン及びシャフトを評価対象部位として選定する。

ダンパの構造強度評価における評価対象部位を図3-5に示す。

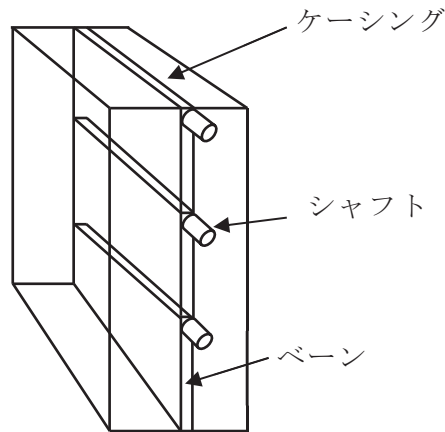


図3-5 ダンパの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 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踏まえ、換気空調設備の評価対象施設ごとに設定する。

(1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(a) 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。  
自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

(b) 設計竜巻による荷重

外気と繋がっている屋内の施設であるため、気圧差による荷重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、換気空調設備の評価対象部位ごとに設定する。

なお、ファンの自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから、自重を考慮しない。

構造強度評価の荷重の組合せを表3-6に示す。

表3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	角ダクト	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重
	丸ダクト	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重
	隔離弁	弁箱	①気圧差による荷重
		弁体 弁棒	①自重 ②気圧差による荷重
	ファン	ケーシング	①気圧差による荷重
	ダンパ	ケーシング シャフト ベーン	①自重 ②気圧差による荷重

3.4 許容限界

(1) ダクトの許容限界

a. 角ダクト

角ダクトの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえ、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

角ダクトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2, 3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ただし、妥当な安全裕度を考慮し、座屈を生じないように設定する許容限界は、座屈の算出式に応じた値を許容限界として設定する。J E A

G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、角ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a) 面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界

角ダクトの面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界を表3-7,許容応力を表3-8に示す。

表3-7 角ダクトの許容限界

状態	許容限界
	一次応力
	曲げ
許容応力状態 III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-8 角ダクトの許容応力

材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)
SGCC	40	205

(b) 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により発生する曲げモーメントMと発生応力σ<sub>p2</sub>の関係は以下の式で表される。



ここで、

$$I = \frac{(a + 2 \cdot t) \cdot (b + 2 \cdot t)^3 - a \cdot b^3}{12}$$

短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による発生応力σ<sub>p1</sub>と長期荷重（自重）による発生応力σ<sub>p2</sub>の和σ<sub>w</sub>が許容応力σ<sub>y</sub>に達した時に座屈が生じることか

ら、長期荷重により発生する曲げモーメント $M_p$ が、許容応力 $\sigma_y$ と短期荷重による発生応力 $\sigma_{p1}$ の差( $\sigma_y - \sigma_{p1}$ )から求まる長期荷重に対する許容曲げモーメント以下であることを確認する。



ここで、

$$\sigma_y = S_y$$

b. 丸ダクトの許容限界

丸ダクトの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえ、クリッピング座屈の算出式に応じた値とする。

丸ダクトの許容限界は、設計荷重に対して、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し、座屈を生じないこととするため、クリッピング座屈の算出式に応じた値を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、丸ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

(a) 外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は、クリッピング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） $\sigma_{crip}$ を超えないこととする。

外圧によるクリッピング座屈が発生する際に生じる周方向応力 $\sigma_{crip}$ は、円筒かくの座屈応力の式より算出する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

$$\sigma_{c r i p} = \frac{k_p \cdot \pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_p = \frac{(1 + \beta^2)^2}{0.5 + \beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4 \cdot (1 + \beta^2)^2 \cdot (0.5 + \beta^2)}$$

$$\beta = \frac{c \cdot n}{\pi \cdot r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{r \cdot t} \sqrt{1 - \nu^2}$$

ここで、座屈モードの次数  $n$  は、 $k_p$  が最小となる時の次数とする。

- (b) 長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）に対する許容限界

自重により作用する曲げモーメント  $M_p$  と外圧  $\Delta P$ （設計竜巻による気圧低下量）の組合せが、下式を満足させるものとする。



ここで、自重による曲げによってクリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント  $M_{c r i p}$  は、下式より算出する。



- (2) 隔離弁の許容限界

隔離弁の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえ、設定する。

隔離弁の許容限界は、設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、隔離弁の耐圧部に発生する応力に対して、部材の降伏応力  $S_y$  を許容限界とする。許容限界は、J E A G 4 6 0 1 に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、隔離弁の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載

の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

隔離弁の許容応力を表3-9に示す。

表3-9 隔離弁の許容応力

評価対象施設	評価対象部位	材質	温度条件(℃)	S <sub>y</sub> (MPa)
原子炉建屋原子炉棟 換気空調系隔離弁	弁箱	SM400B (16mmを超え40mm以下)	100	212
	弁体	SM400B (16mm以下)	100	221
	弁棒	SUS304	100	171

(3) ファンの許容限界

ファンの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえ、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

ファンの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2ポンプ」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、ファンの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ファンの許容限界を表3-10、許容応力を表3-11に示す。



表3-10 ファンの許容限界（ケーシング）

状態	許容限界
	一次一般膜応力
許容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> S	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$

表 3-11 ファンの許容応力（ケーシング）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)
ケーシング	SS400	40	245	400
	SS400	45	243	397

(4) ダンパの許容限界

ダンパの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえ、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

ダンパの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス1・クラス2, 3・その他の支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、ダンパの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ダンパの許容限界を表3-12、許容応力を表3-13～表3-15に示す。

表 3-12 ダンパの許容限界

状態	許容限界	
	一次応力	
	曲げ	せん断
許容応力状態 Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 f_b$	$1.5 f_s$

表 3-13 ダンパの許容応力（ケーシング）

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	$1.5 f_b$ (MPa)
ケーシング	SEHC	45	218
	SS400	40	282

表 3-14 ダンパの許容応力（ベーン）

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	$1.5 f_b$ (MPa)
ベーン	SEHC	45	218
	SS400	40	282

表 3-15 ダンパの許容応力（シャフト）

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	$1.5 f_s$ (MPa)
シャフト	SGD	45	135
	SGD	40	135

### 3.5 評価方法

#### (1) ダクトの評価方法

##### a. 角ダクト

角ダクトの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している角ダクトの評価式を用いる。

##### (a) 計算モデル

任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持長方形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。

角ダクトのモデル図を図3-6に示す。

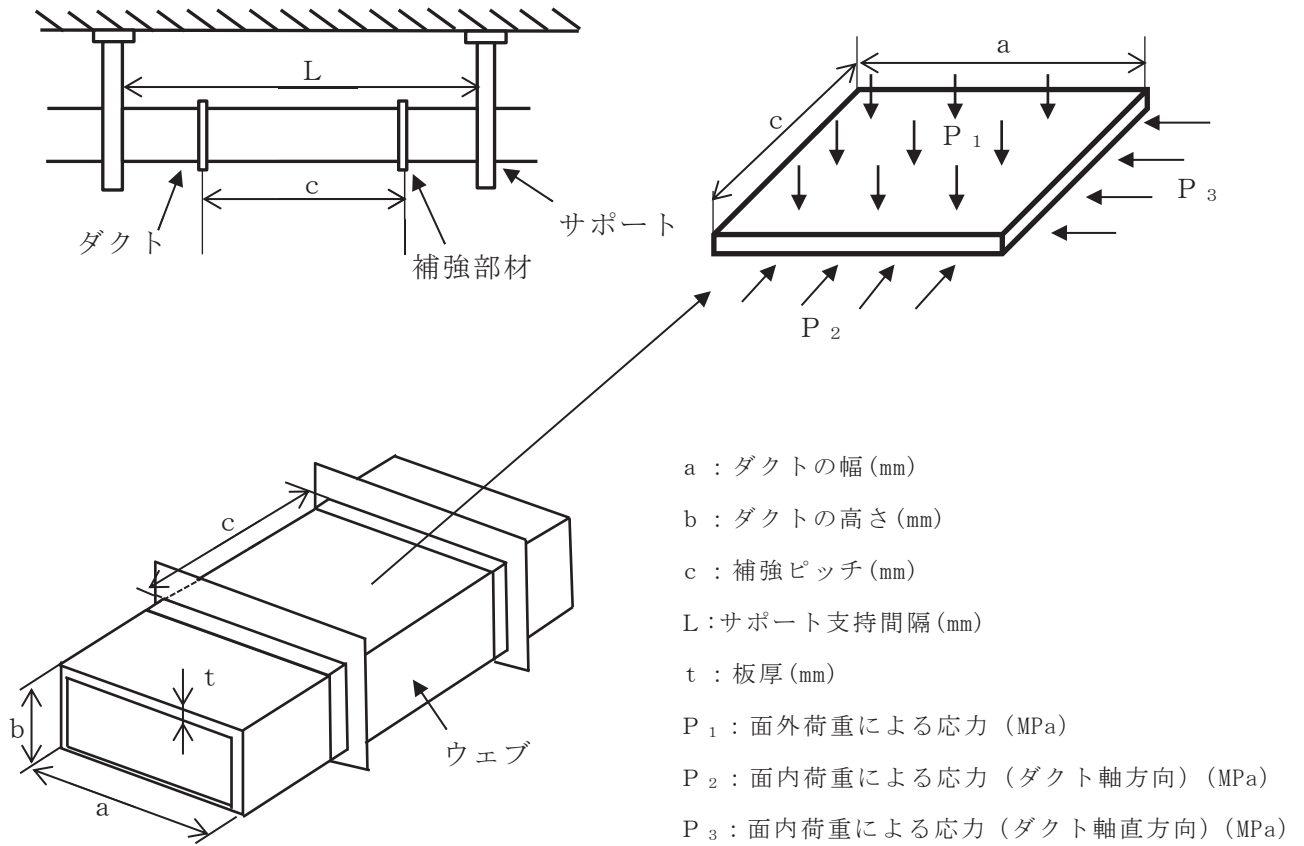


図3-6 角ダクトのモデル図

(b) 計算方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差が影響するので、

$$P = \Delta P$$

イ. 面外荷重による発生応力

4辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{max}$  とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量  $\delta_{max}$  との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{\max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{\max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2) \cdot \delta_{\max} + 4 \cdot t}{a^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{\max} + 4 \cdot t)}{c^2} \right\} \dots (3.1)$$

$$\frac{256 \cdot (1-\nu^2) \cdot (P + g \cdot D_p)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{a^2 \cdot c^2} + (3-\nu^2) \cdot \left( \frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \cdot \left( \frac{\delta_{\max}}{t} \right)^3 \dots (3.2)$$

式 (3.2) より得られる  $\delta_{\max}$  の値を式 (3.1) へ代入し、 $\sigma_{\max}$  を算出する。

ロ. 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鶴戸口の式を準用する。

(イ) 外圧による発生応力

薄肉構造物のうち、長方形板の弾性座屈の式より算出する。



(ロ) 自重による曲げモーメント

自重によりダクト鋼板に作用する曲げモーメントは、以下の式により算出する。

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

b. 丸ダクト

丸ダクトの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している丸ダクトの評価式を用いる。

(a) 計算モデル

丸ダクトは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。丸ダクトのモデル図を図3-7に示す。

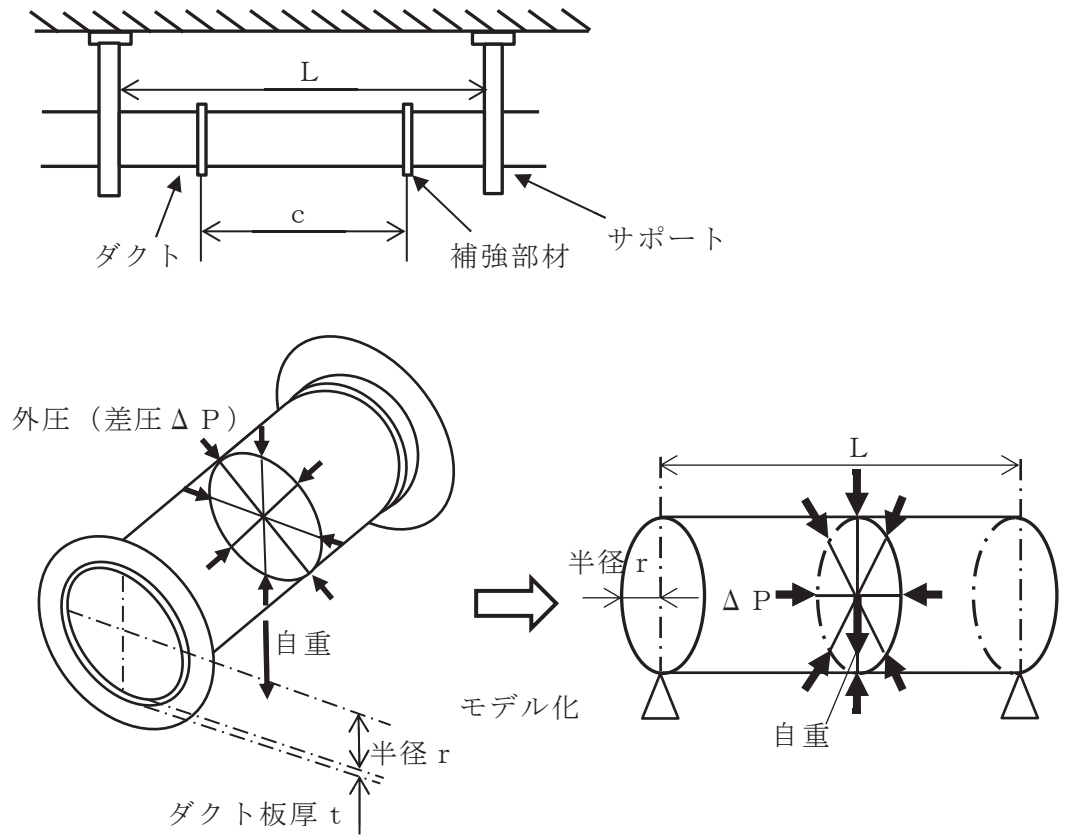


図3-7 丸ダクトのモデル図

(b) 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

イ. 外圧により生じる周方向応力  $\sigma_{cripl}$

$$\sigma_{cripl} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

ロ. 自重により作用する曲げモーメント  $M_p$

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

(2) 隔離弁の評価方法

隔離弁の構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している隔離弁の評価方法を用いる。

a. 弁箱

(a) 計算モデル

弁箱は両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。弁箱のモデル図を図3-8に示す。

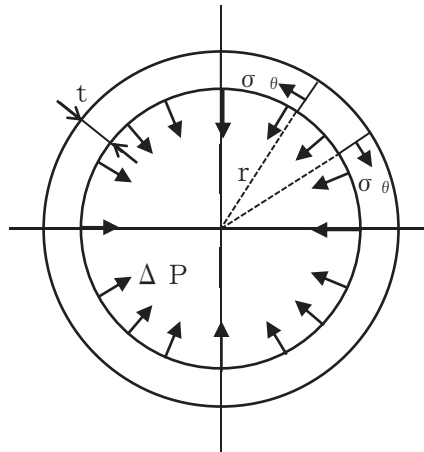


図3-8 弁箱のモデル図

(b) 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

b. 弁体

(a) 計算モデル

弁体は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とみなし、計算を行う。弁体のモデル図を図 3-9 に示す。

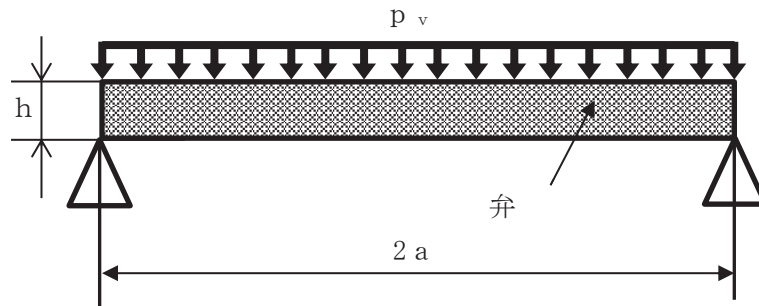


図3-9 弁体のモデル図

(b) 計算方法

弁体に作用する曲げ応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力  $P_1$  及び自重により弁体に受ける応力  $P_2$  は次による。

$$P_1 = \Delta P$$

$$P_2 = \frac{m_v \cdot g}{A_v}$$

ここで、

$$A_v = \frac{\pi}{4} \cdot (2a)^2$$

弁体に受ける応力  $p_v$  は次による。

$$p_v = P_1 + P_2$$

弁体に対する曲げ応力は次による。

$$\sigma_{\max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h^2}$$

c. 弁棒

(a) 計算モデル

弁体を受ける等分布荷重を支持する弁棒断面について、計算を行う。弁棒のモデル図を図3-10に示す。

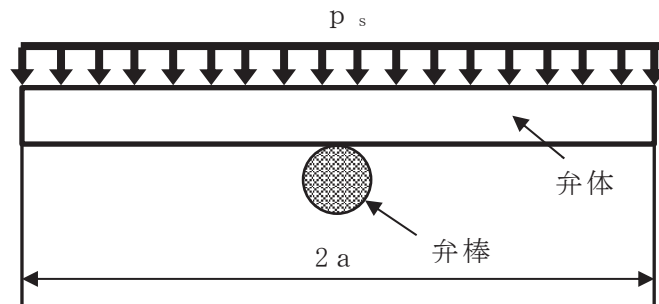


図3-10 弁棒のモデル図

(b) 計算方法

弁棒に作用するせん断応力の計算方法を以下に示す。

設計竜巻の気圧低下により弁棒に受ける荷重  $F_1$  及び弁体及び弁棒の自重により弁棒に受ける荷重  $F_2$  は次による。

$$F_1 = \Delta P \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2a)^2$$

$$F_2 = (m_v + m_s) \cdot g$$

弁棒に受ける荷重  $p_s$  は次による。

$$p_s = F_1 + F_2$$

弁棒に対するせん断応力は次による。

$$\tau = \frac{p_s}{2 \cdot A_s}$$

ここで、

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$



(3) ファンの評価方法

ファンの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

a. ケーシング

(a) 計算モデル

ケーシングは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。ファンケーシングのモデル図を図3-11に示す。

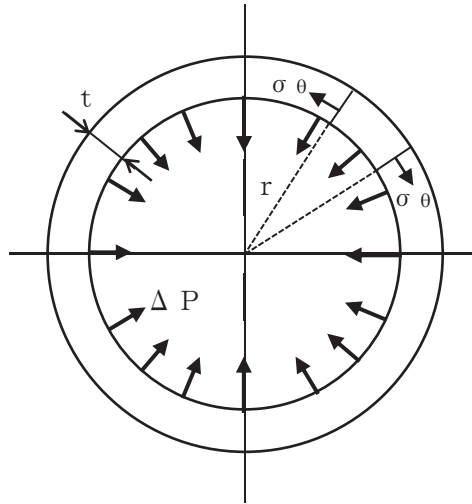


図3-11 ファンケーシングのモデル図

(b) 計算方法

計算式においては機械工学便覧及び「軽構造の理論とその応用（日本科学技術連盟(1966)）」に記載されている式を準用する。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(4) ダンパの評価方法

ダンパの構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているダンパの評価式を用いる。

a. ケーシング

(a) 計算モデル

ケーシングは、ケーシング板材を4辺に分割し、その1辺を同等の断面性能を持つ単純支持梁として計算を行う。ケーシングのモデル図を図3-12に示す。

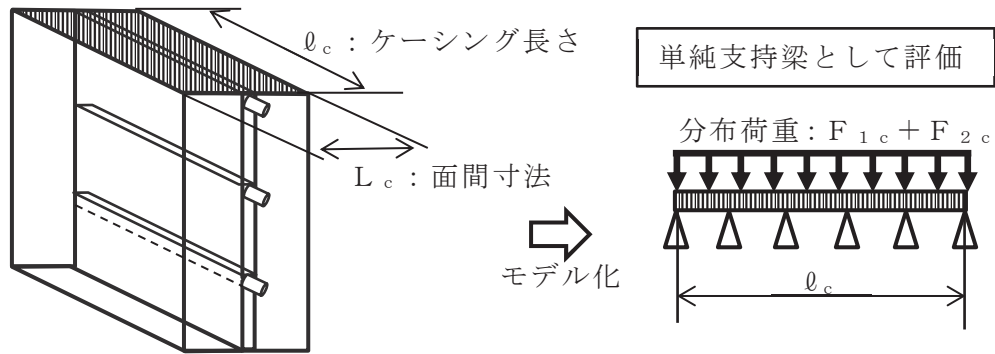


図3-12 ケーシングのモデル図

(b) 計算方法

内部圧力は、設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので、

$$P = \Delta P$$

イ. ケーシング

ケーシングに作用する最大曲げモーメント

$$M_c = \frac{\ell_c^2 \cdot (F_{1c} + F_{2c})}{8}$$

ここで、

$$F_{1c} = P \cdot L_c$$

$$F_{2c} = \frac{m_c \cdot g}{\ell_c}$$

ケーシングに生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{c \max} = \frac{M_c}{Z_c}$$

$$Z_c = \frac{I_c}{e_c}$$

b. ベーン

(a) 計算モデル

ベーンは、4辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし、曲げ応力による計算を行う。ベーンのモデル図を図3-13に示す。

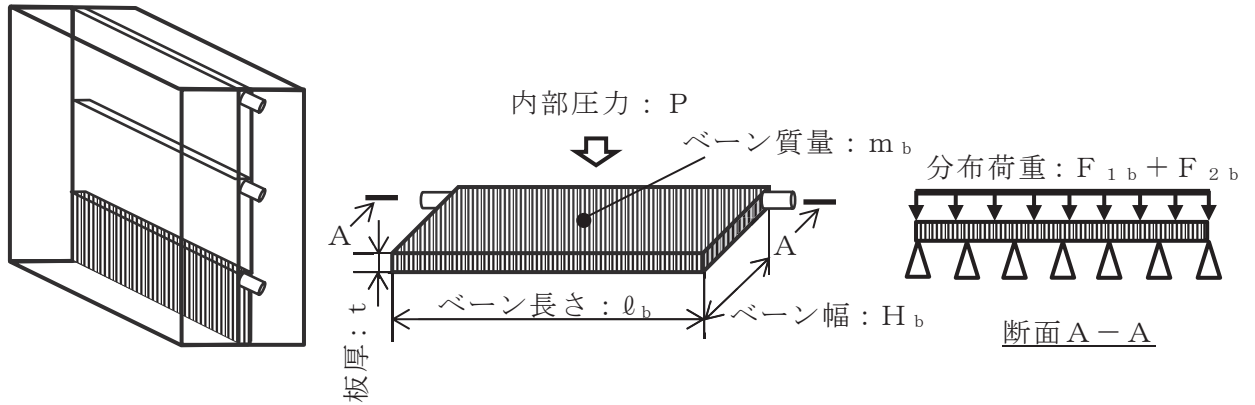


図3-13 ベーンのモデル図

(b) 計算方法

4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において、中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力  $\sigma_{bmax}$  とその面外荷重によるベーン最大変位量  $\delta_{bmax}$  との関係は、以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている 4 辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{bmax} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{bmax}}{8 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left\{ \frac{(2 - \nu^2) \cdot \delta_{bmax} + 4 \cdot t_b}{\ell_b^2} + \frac{\nu \cdot (\delta_{bmax} + 4 \cdot t_b)}{H_b^2} \right\} \dots (3.3)$$

$$\frac{256 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (F_{1b} + F_{2b})}{\pi^6 \cdot E \cdot t_b^4} = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{1}{\ell_b^2} + \frac{1}{H_b^2} \right)^2 \cdot \frac{\delta_{bmax}}{t_b} + \left\{ \frac{4 \cdot \nu}{\ell_b^2 \cdot H_b^2} + (3 - \nu^2) \cdot \left( \frac{1}{\ell_b^4} + \frac{1}{H_b^4} \right) \right\} \cdot \left( \frac{\delta_{bmax}}{t_b} \right)^3 \dots (3.4)$$

ここで、

$$F_{1b} = P$$

$$F_{2b} = \frac{m_b \cdot g}{\ell_b \cdot H_b}$$

式(3.4)より得られる  $\delta_{bmax}$  の値を式(3.3)へ代入し、 $\sigma_{bmax}$  を算出する。

c. シャフト

(a) 計算モデル

シャフトは、内部圧力及び自重により発生する荷重がシャフトに均等に作用するものとし、シャフト断面についてせん断力による評価を行う。シャフトのモデル図を図3-14に示す。

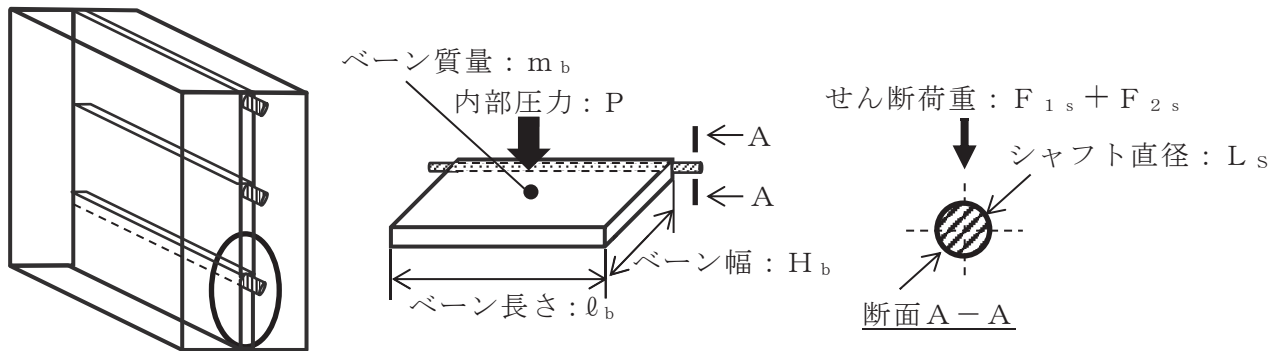


図3-14 シャフトのモデル図

(b) 計算方法

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax} = \frac{F_{1s} + F_{2s}}{2 \cdot A_s}$$

ここで、

$$F_{1s} = P \cdot H_b \cdot \ell_b$$

$$F_{2s} = m_b \cdot g$$

$$A_s = \left( \frac{L_s}{2} \right)^2 \cdot \pi$$

4. 評価条件

(1) 角ダクトの評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1に示す。

角ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは面外荷重であり、その発生応力比が最も厳しくなる系統の角ダクトについて記載する。

表 4-1 評価条件

系統		
計測制御電源室換気空調系		

Δ P (MPa)	g (m/s <sup>2</sup> )	ν (-)
7.6 × 10 <sup>-3</sup>	9.80665	0.3

a (mm)	b (mm)	t (mm)	c (mm)	L (mm)
450	400	0.5	1800	2500

μ (kg/m)	D <sub>p</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	材質	最高使用温度 (℃)	E (MPa)
14.3	3.925	SGCC	40	201700

(2) 丸ダクトの評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を表4-2に示す。

丸ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も厳しくなるのは周方向応力であるため、その発生応力比が最も厳しくなる系統の丸ダクトについて記載する。

表 4-2 評価条件

系統				
中央制御室換気空調系				

$\Delta P$ (MPa)	$g$ ( $m/s^2$ )	$\nu$ (-)	ダクトサイズ (mm)	$c$ (mm)
$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665	0.3	$\phi 550 \times 2.3$	900

L (mm)	$\mu$ (kg/m)	材質	最高使用温度 ( $^{\circ}C$ )	E (MPa)
1000	41.3	SS400	40	201700

(3) 隔離弁の評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を表4-3に示す。

隔離弁において、気圧差による荷重は弁箱、弁体及び弁棒にそれぞれ作用することから、発生応力比が最も厳しくなる系統の隔離弁について記載する。

表 4-3 評価条件

系統				
原子炉建屋原子炉棟換気空調系				

$\Delta P$ (MPa)	$r$ (mm)	$t$ (mm)	$a$ (mm)	$m_v$ (kg)
$7.6 \times 10^{-3}$	875	23	875	840

$m_s$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	$h$ (mm)	$d$ (mm)
230	9.80665	15	105

材質	最高使用温度 ( $^{\circ}C$ )
SM400B	100
SUS304	

(4) ファンの評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を表4-4に示す。

ファンにおいては、気圧差による荷重は、ファンケーシングに作用することから発生応力が最も厳しくなる系統のファンについて記載する。

表 4-4 評価条件

系統				
原子炉補機室換気空調系				
$\Delta P$ (MPa)	r (mm)	t (mm)	材質	最高使用温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$7.6 \times 10^{-3}$	942	4.5	SS400	40

(4) ダンパの評価条件

「3. 構造強度評価方法」に用いる評価条件を表4-5～表4-7に示す。

ダンパにおいては、外殻を構成するケーシングの発生応力が最も厳しくなる系統のダンパについて記載する。

表4-5 評価条件 (ケーシング)

系統				
原子炉補機室換気空調系				
$\Delta P$ (MPa)	$\ell_c$ (mm)	$L_c$ (mm)	$m_c$ (kg)	g ( $\text{m}/\text{s}^2$ )
$7.6 \times 10^{-3}$	1500	350	13.19	9.80665
$I_c$ ( $\text{mm}^4$ )	$e_c$ (mm)	材質	最高使用温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	
412800	43.22	SEHC	45	

表4-6 評価条件 (ベーン)

$\Delta P$ (MPa)	$t_b$ (mm)	$\ell_b$ (mm)	$\nu$ (-)	$H_b$ (mm)
$7.6 \times 10^{-3}$	2.3	638	0.3	234

$m_b$ (kg)	$g$ ( $m/s^2$ )	材質	最高使用温度 ( $^{\circ}C$ )	E (MPa)
2.868	9.80665	SEHC	45	201300

表4-7 評価条件 (シャフト)

$\Delta P$ (MPa)	$\ell_b$ (mm)	$m_b$ (kg)	$L_s$ (mm)	$H_b$ (mm)
$7.6 \times 10^{-3}$	638	2.868	20	234

$g$ ( $m/s^2$ )	材質	最高使用温度 ( $^{\circ}C$ )
9.80665	SGD	45



5. 強度評価結果

(1) ダクト

a. 角ダクト

角ダクトの構造強度評価結果を表5-1に示す。

ダクト鋼板に発生する応力は許容応力以下であり，また，自重（長期）＋設計竜巻による内外差圧（短期）による面内荷重による発生モーメントは許容応力以下である。

表 5-1 評価結果（角ダクト）

系統	ダクトサイズ (mm)
計測制御電源室換気空調系	450×400×0.5

面外荷重		外圧による面内荷重		長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧による面内荷重による発生モーメント）	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生値 (kN・mm)	許容値 (kN・mm)
121	205	23	205	110	1412

b. 丸ダクト

丸ダクトの構造強度評価結果を表5-2に示す。

ダクト鋼板に発生する周方向応力は許容応力以下であり，また，長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により発生する応力は許容応力以下である。

表 5-2 評価結果（丸ダクト）

系統	ダクトサイズ (mm)
中央制御室換気空調系	φ 550×2.3

気圧差により生じる周方向応力		長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による制限値	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	発生値 (-)	許容値 (-)
1	44	0.03	0.9

(2) 隔離弁

隔離弁の構造強度評価結果を表5-3～表5-5に示す。

弁箱，弁体，弁棒に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-3 評価結果（弁箱）

評価対象施設	弁箱に発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋原子炉棟換気 空調系隔離弁	1	212

表 5-4 評価結果（弁体）

評価対象施設	弁体に発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋原子炉棟換気 空調系隔離弁	47	221

表 5-5 評価結果（弁棒）

評価対象施設	弁棒に発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉建屋原子炉棟換気 空調系隔離弁	2	171

(3) ファン

ファンの構造強度評価結果を表5-6に示す。

ケーシングに発生する周方向応力は，許容応力以下である。

表 5-6 評価結果（ケーシング）

評価対象施設	ケーシングに発生する 周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機室換気空調系 ファン	2	240

(4) ダンパ

ダンパの構造強度評価結果を表5-7～表5-9に示す。

ケーシング、ベーン及びシャフトに発生する応力は、許容応力以下である。

表5-7 評価結果（ケーシング）

評価対象施設	ケーシングに発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機室換気空調系ダンパ	81	218

表5-8 評価結果（ベーン）

評価対象施設	ベーンに発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機室換気空調系ダンパ	58	218

表5-9 評価結果（シャフト）

評価対象施設	シャフトに発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原子炉補機室換気空調系ダンパ	2	135

VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
3.4 許容限界	9
3.5 評価方法	10
4. 評価条件	12
5. 強度評価結果	13

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等が、竜巻時及び竜巻通過後においても、非常用高圧母線へ7日間の電源供給が継続できるよう燃料補給を行う機能を維持することを考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンク室及び軽油タンク室（H）に設置する。

軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図を図 2-1、軽油タンクの配置図を図 2-2 に示す。

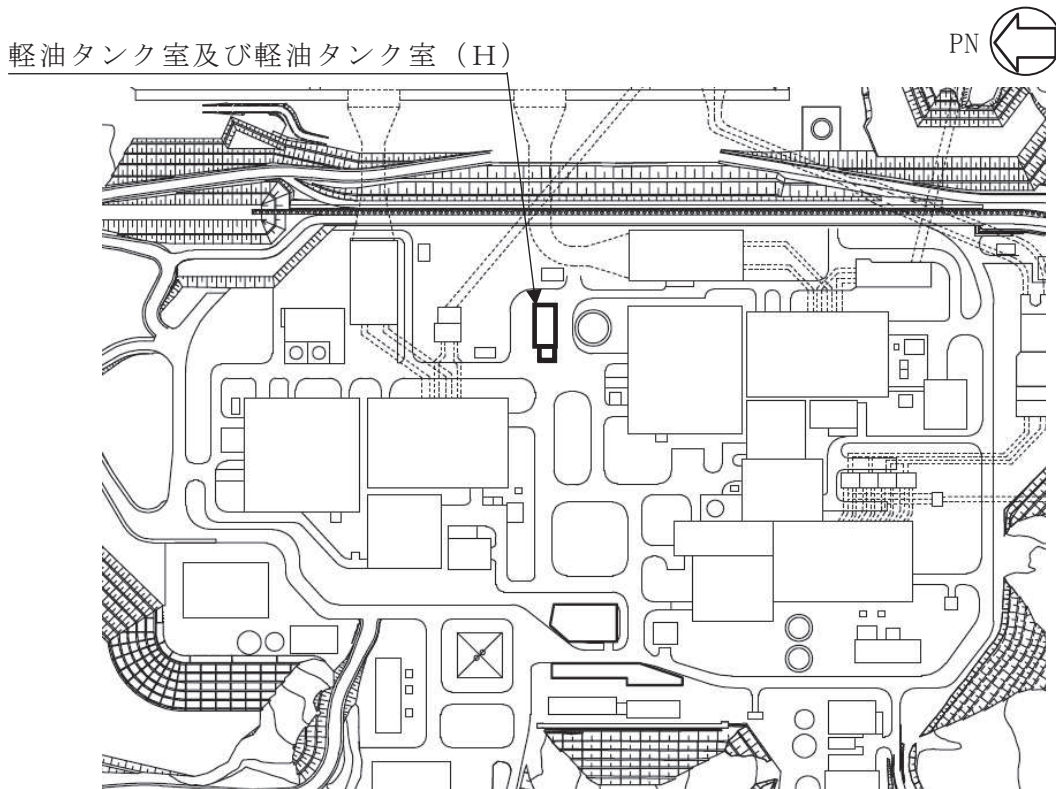


図 2-1 軽油タンク室及び軽油タンク室（H）の位置図

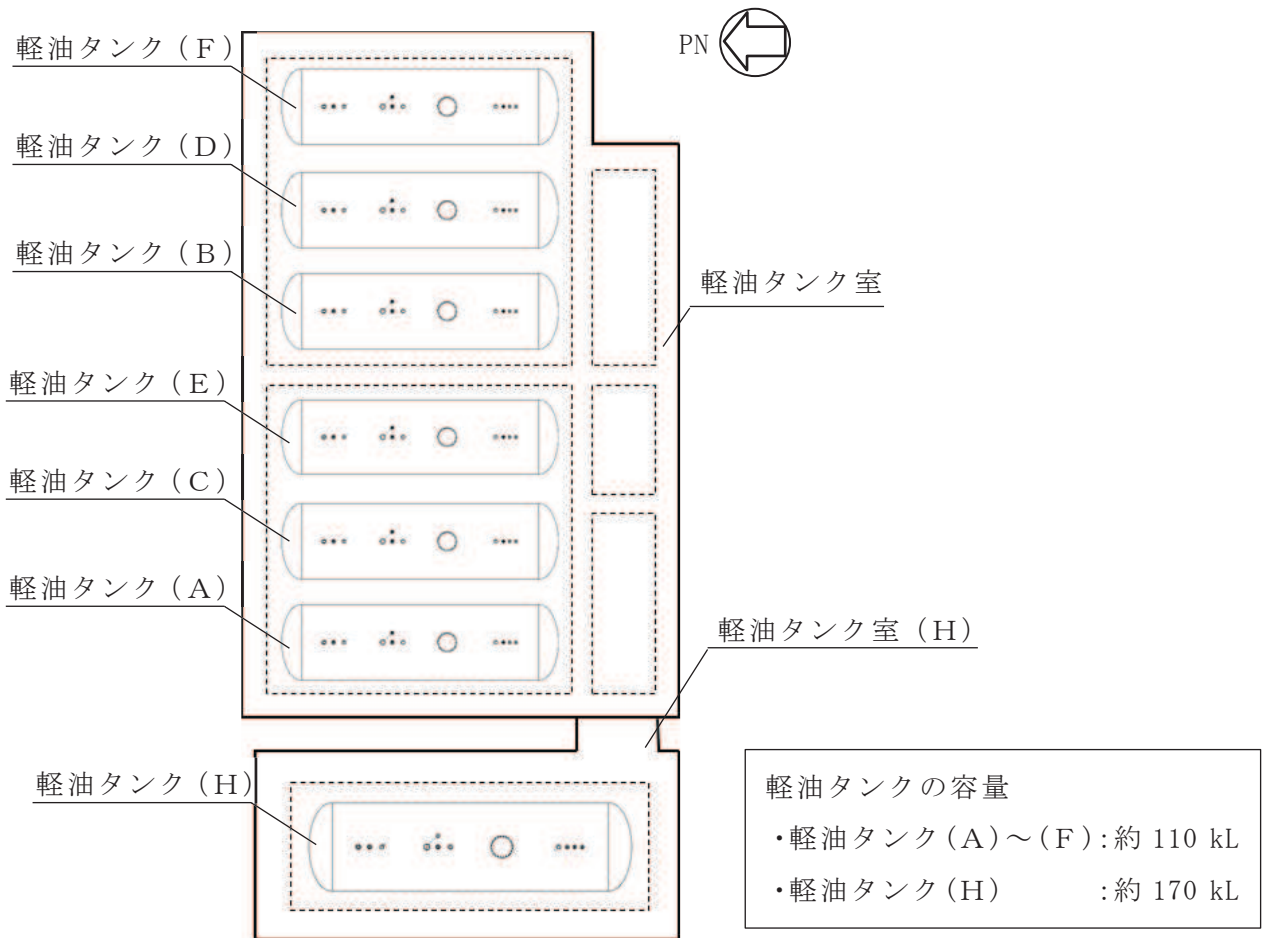


図 2-2 軽油タンクの配置図

## 2.2 構造概要

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等について、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

軽油タンクは、大気開放型の鋼製の横置円筒形容器を主体構造とし、軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) 内に設置し、コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。

燃料移送ポンプ等は、鋼製の燃料移送ポンプ及び配管を主体構造とし、軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) 内に設置し、コンクリート基礎にサポート又は基礎ボルト等で固定する構造とする。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の概要図を図 2-3、図 2-4 に示す。

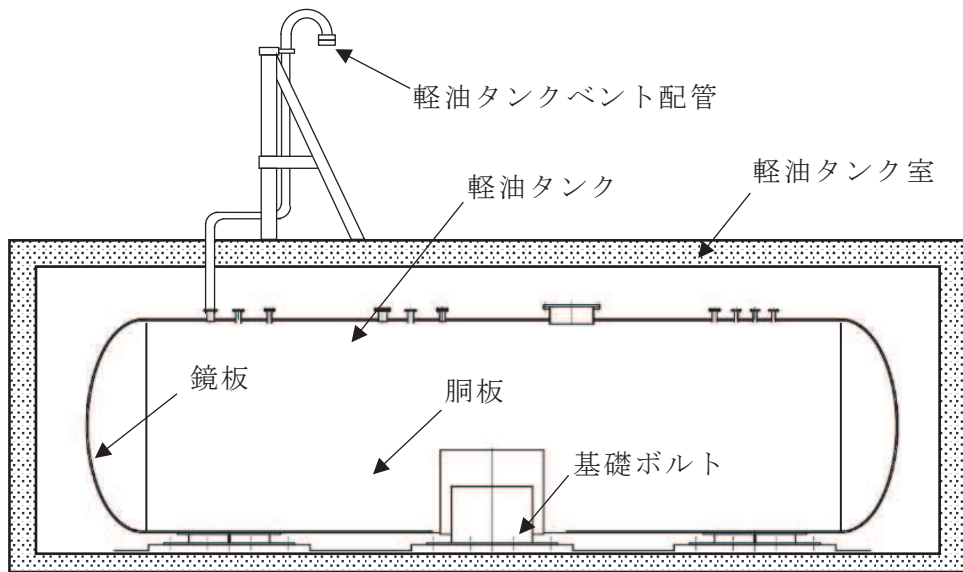


図 2-3 軽油タンクの概要図

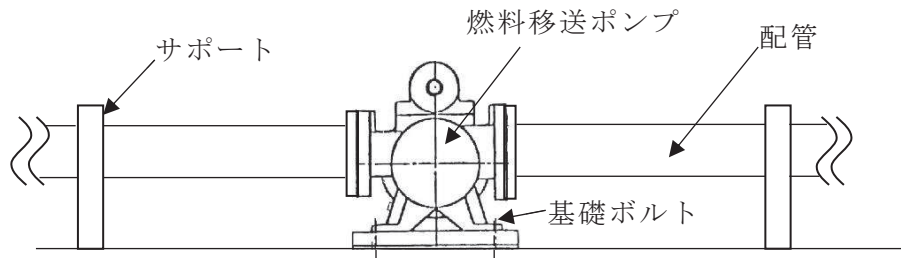


図 2-4 燃料移送ポンプ等の概要図

### 2.3 評価方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の強度評価においては、その構造を踏まえて、評価対象部位を選定する。

#### (1) 構造強度評価の評価方針

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価フローを図 2-5 に示す。構造強度評価においては、軽油タンクは大気開放型であり、軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) に設置されていることを踏まえて、設計竜巻の気圧差荷重による応力が設



計上の許容外圧以下であることを確認する。燃料移送ポンプ等に対しては、設計竜巻の気圧差荷重に内圧及び自重を加えた応力が、許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価では、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。軽油タンクの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）PVC-3122 円筒形の胴の厚さの規定より算出される値とする。燃料移送ポンプ等の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

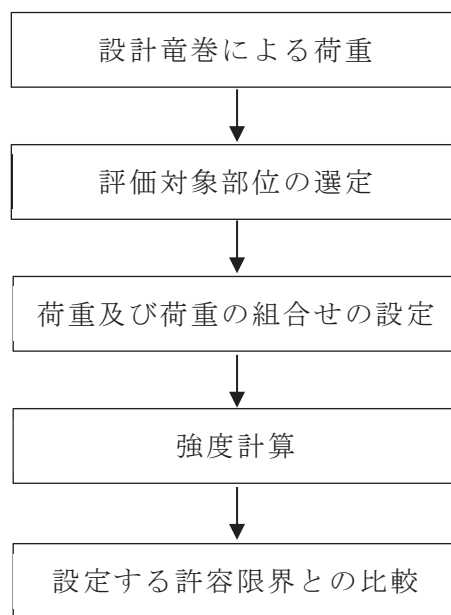


図2-5 軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

#### (1) 構造強度評価の記号の定義

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号を表 3-1，表 3-2 にそれぞれ示す。

表 3-1 軽油タンクの構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	—	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 1 に規定される値
B	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 3 に規定される値
D <sub>o</sub>	mm	円筒胴の外径
h	mm	鏡板の深さ
L	mm	圧を保持する胴の設計長さ
P <sub>a</sub>	MPa	許容外圧
Δ P	MPa	設計竜巻による気圧低下量
t	mm	円筒胴の計算厚さ

表3-2 燃料移送ポンプ等の構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
D	mm	管外径
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	配管の支持間隔
m	kg/m	単位長さ当たりの配管の質量
P	MPa	内圧
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
w	N/m	単位長さ当たりの配管の自重による荷重
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
π	—	円周率
ΔP	MPa	設計竜巻の気圧低下量
W <sub>P</sub>	N	気圧差による荷重
σ	MPa	配管に生じる応力
σ <sub>WP</sub>	MPa	気圧差により生じる応力
σ <sub>自重</sub>	MPa	自重により生じる応力
σ <sub>内圧</sub>	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価対象部位を踏まえて、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき選定する。

#### (1) 構造強度評価の評価対象部位

##### a. 軽油タンク

設計竜巻による気圧差荷重は、軽油タンクベント配管を介して軽油タンク本体に作用する。タンクの許容外圧については、鏡板と比較して胴板が小さいことから、タンクを構成する胴板を評価対象部位として選定する。

##### b. 燃料移送ポンプ等

設計竜巻による気圧差荷重は、燃料移送ポンプのケーシング及び接続する配管に作用する。設計竜巻の気圧差荷重により発生する応力については、ポンプケーシングと比較して断面積が小さく発生応力が大きくなる配管を評価対象部位として選定する。

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の評価対象部位を図3-1、図3-2に示す。

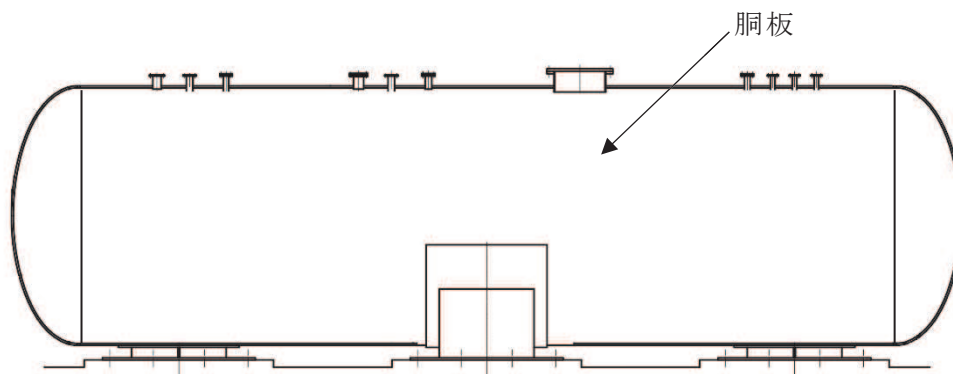


図 3-1 軽油タンクの評価対象部位

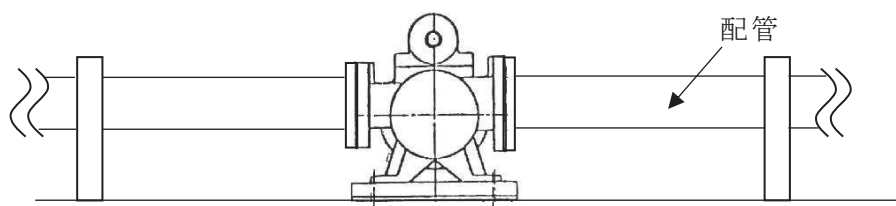


図 3-2 燃料移送ポンプ等の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

##### a. 軽油タンク

##### (a) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### イ. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、気圧差による荷重を考慮する。

なお、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重については、軽油タンク室及び軽油タンク室（H）により防護されることから考慮しない。

(イ) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って評価する。

具体的な計算方法は、「3.5(1) 構造強度評価の評価方法」に示す。

(b) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえて、設定する。

軽油タンクの胴板には、気圧差による荷重が作用する。

構造強度評価に用いる荷重を表3-3に示す。

表 3-3 構造強度評価に用いる荷重 (軽油タンク)

施設分類	評価対象部位	荷重
外気とつながっている屋内の外部事象防護対象施設	胴板	気圧差による荷重

b. 燃料移送ポンプ等

(a) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

イ. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。  
単位長さ当たりの自重による荷重は、以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

ロ. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、気圧差による荷重を考慮する。

なお、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重については、軽油タンク室及び軽油タンク室 (H) により防護されることから考慮しない。

(イ) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重 $W_p$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って評価する。

なお、配管については、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5(1) 構造強度評価の評価方法」に示す。

ハ. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(b) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえて、設定する。

配管本体には、自重，気圧差による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表3-4に示す。

表 3-4 構造強度評価に用いる荷重の組合せ（燃料移送ポンプ等）

施設分類	評価対象部位	荷重
外気とつながっている屋内の外部事象防護対象施設	配管	①自重 ②気圧差による荷重 ③内圧

3.4 許容限界

軽油タンク及び燃料移送ポンプ等の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、設計・建設規格に基づく許容外圧及びJ E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力の許容荷重を用いる。

(1) 構造強度評価の許容限界

軽油タンクの胴板の許容限界は、設計・建設規格を適用し、「PVC-3122 円筒形の胴の厚さの規定」より許容外圧を算出する。

燃料移送ポンプ等の配管の許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いる。

軽油タンクの胴板の構造強度評価における許容限界を表3-5に、配管の構造強度評価における許容限界を表3-6に、許容応力を表3-7にそれぞれ示す。

表 3-5 軽油タンクの胴板の構造強度評価における許容限界

考慮する荷重	許容限界
	許容外圧
気圧差による荷重	$P_a$

表3-6 配管の構造強度評価における許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜＋曲げ）
$III_A S$	$S_y$

表 3-7 配管の構造強度評価における許容応力

評価対象部位	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)
配管	66*1	199

注記\*1：最高使用温度

### 3.5 評価方法

#### (1) 構造強度評価の評価方法

軽油タンク及び配管の構造強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

##### a. 計算モデル

軽油タンクは、軽油タンクベント配管を通じて、設計竜巻の気圧差荷重がタンク内部に生じるものとする。この時、軽油タンクが軽油タンク室及び軽油タンク室（H）内に設置されていることを踏まえて、軽油タンクの外面は、設計竜巻の気圧差による外圧が作用するものとして評価を行う。

配管は、一定距離ごとにサポートによって支持されており、配管の自重、気圧差による荷重及び内圧を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材質ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。

軽油タンク及び配管の計算モデル図を図3-3、図3-4に示す。

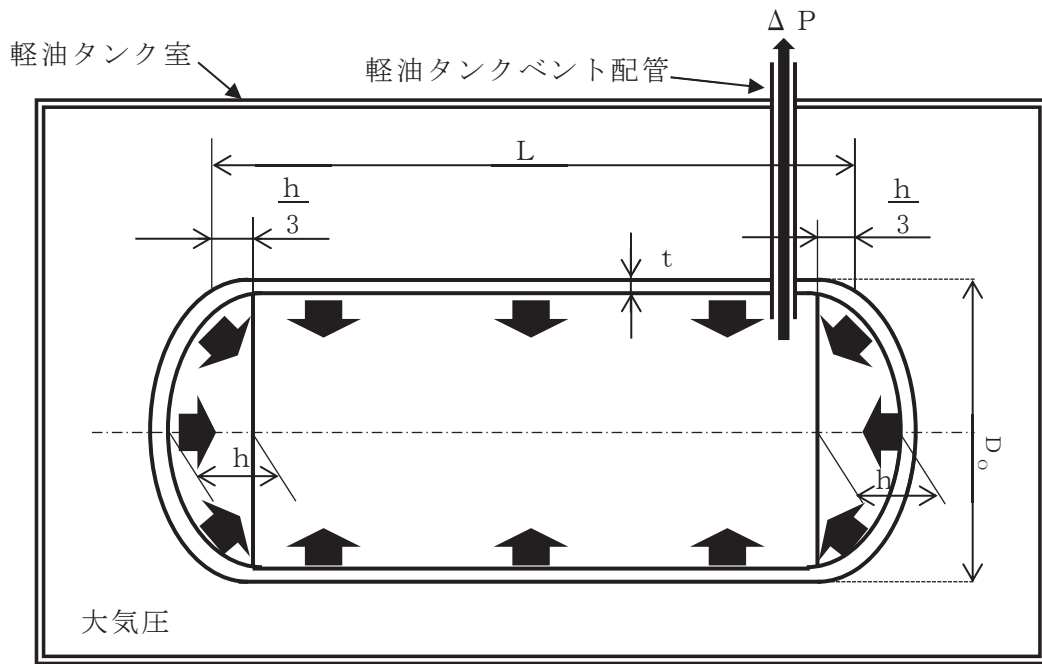


図 3-3 軽油タンクの計算モデル図

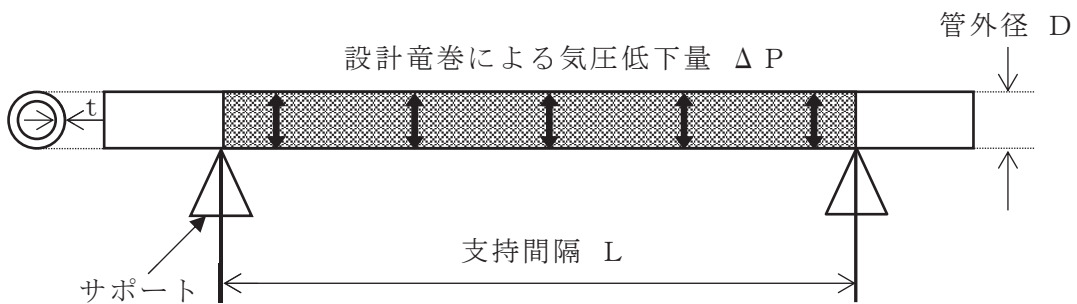


図 3-4 配管の計算モデル図

b. 計算方法

(a) 軽油タンク

気圧差による荷重は、軽油タンクの内圧が低下した分を外圧が上昇したものと考え、軽油タンクの強度が担保される許容外圧を、以下の式により算定する。

$$P_a = \frac{4 \cdot B \cdot t}{3 \cdot D_o}$$

(b) 配管

イ. 設計竜巻の気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。



$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ロ. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \cdot \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

したがって、自重により生じる曲げ応力、気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力とを足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により  $\sigma$  を算出する。

$$\sigma = \sigma_{自重} + \sigma_{WP} + \sigma_{内圧}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 共通評価条件

$\Delta P$ (MPa)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665

表 4-2 評価条件 (軽油タンク)

A (-)	B (MPa)	D <sub>o</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)
$2.1 \times 10^{-4}$	22	4056	13867	28

表 4-3 評価条件（配管）

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	P (MPa)
60.5	STPT370	3.2	5.5	9.115	0.98
76.3	STPT370	0.492	5.2	12.05	0.98

5. 強度評価結果

(1) 構造強度評価結果

a. 軽油タンク

構造強度評価結果を表5-1に示す。

軽油タンクにおいて考慮する設計竜巻の気圧低下量は、許容外圧以下である。

表 5-1 構造強度評価結果（軽油タンク）

外部事象防護 対象施設	評価対象部位	$\Delta P$ (MPa)	許容外圧 (MPa)
軽油タンク	胴板	$7.6 \times 10^{-3}$	0.20

b. 配管

構造強度評価結果を表5-2に示す。

配管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 構造強度評価結果（配管）

D (mm)	材料	$\sigma$ (MPa)	許容応力 (MPa)
60.5	STPT370	13	199
76.3	STPT370	4	199

VI-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

## 目 次

- VI-3-別添 1-1-10-1 建屋の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-10-2 海水ポンプ室門型クレーンの強度計算書
- VI-3-別添 1-1-10-3 消音器の強度計算書
- VI-3-別添 1-1-10-4 ミスト配管及びベント配管の強度計算書

VI-3-別添 1-1-10-1 建屋の強度計算書

## 目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	4
2.3 評価方針.....	13
2.4 適用規格.....	15
3. 強度評価方法.....	16
3.1 記号の定義.....	16
3.2 評価対象部位.....	16
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	17
3.4 許容限界.....	19
3.5 評価方法.....	20
4. 評価条件.....	22
5. 強度評価結果.....	27

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋が、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建屋及び制御建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

## 2. 基本方針

添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

補助ボイラー建屋は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、タービン建屋及び制御建屋に隣接する建屋である。

第1号機制御建屋は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、制御建屋に隣接する建屋である。

サイトバンカ建屋は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、タービン建屋に隣接する建屋である。

補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の位置図を図2-1～図2-3に示す。

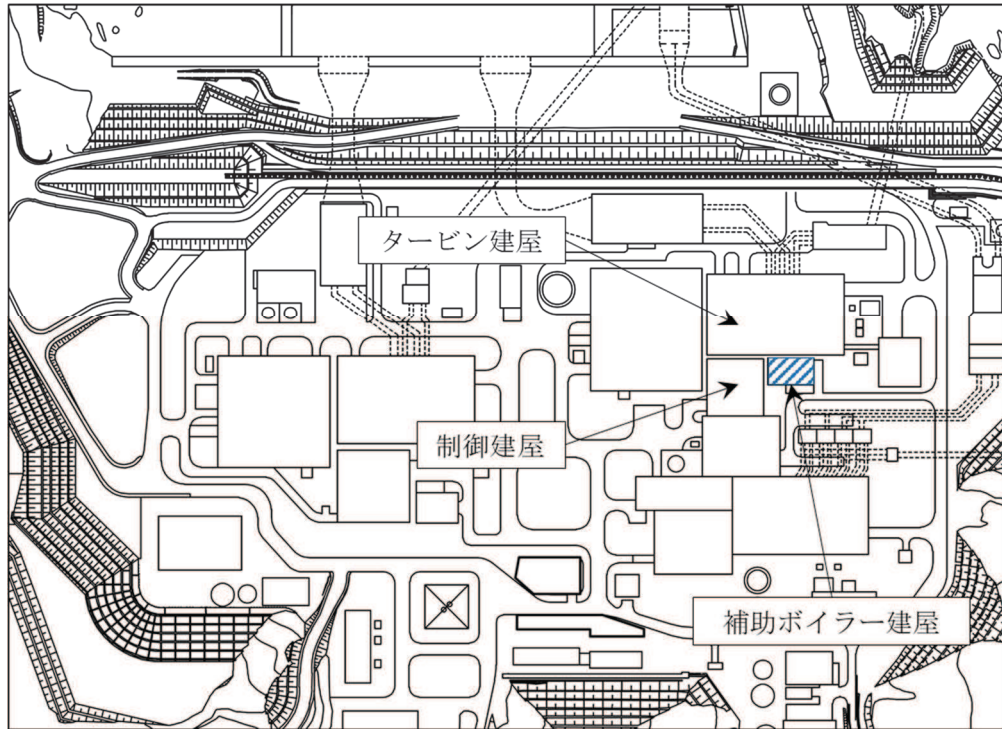


図 2-1 補助ボイラー建屋の位置図

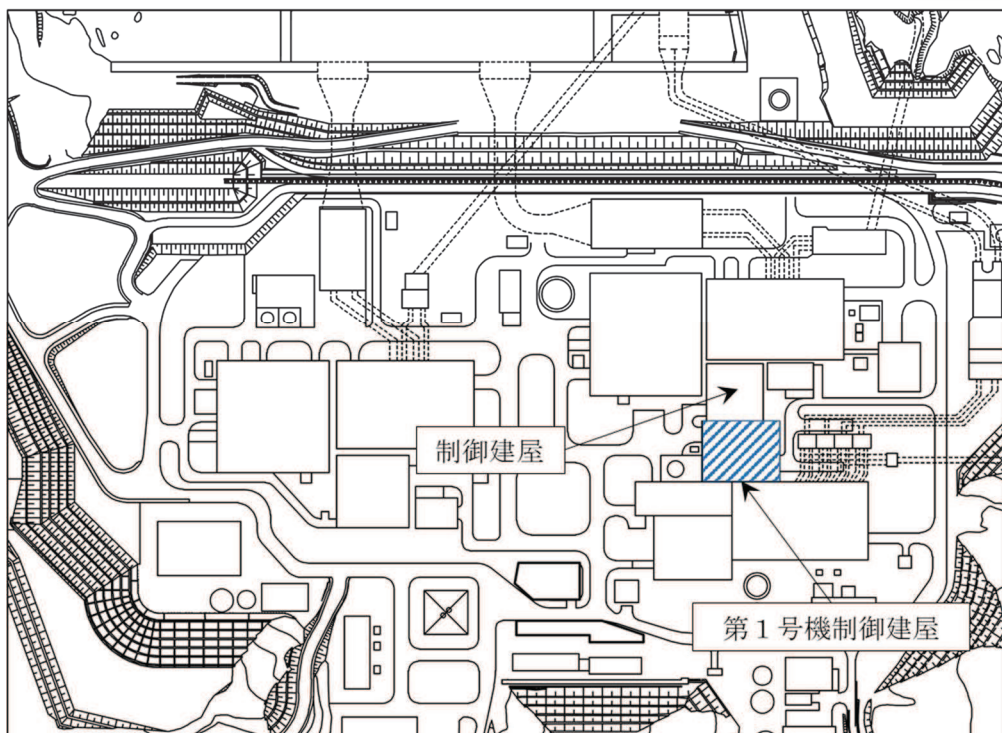


図 2-2 第1号機制御建屋の位置図



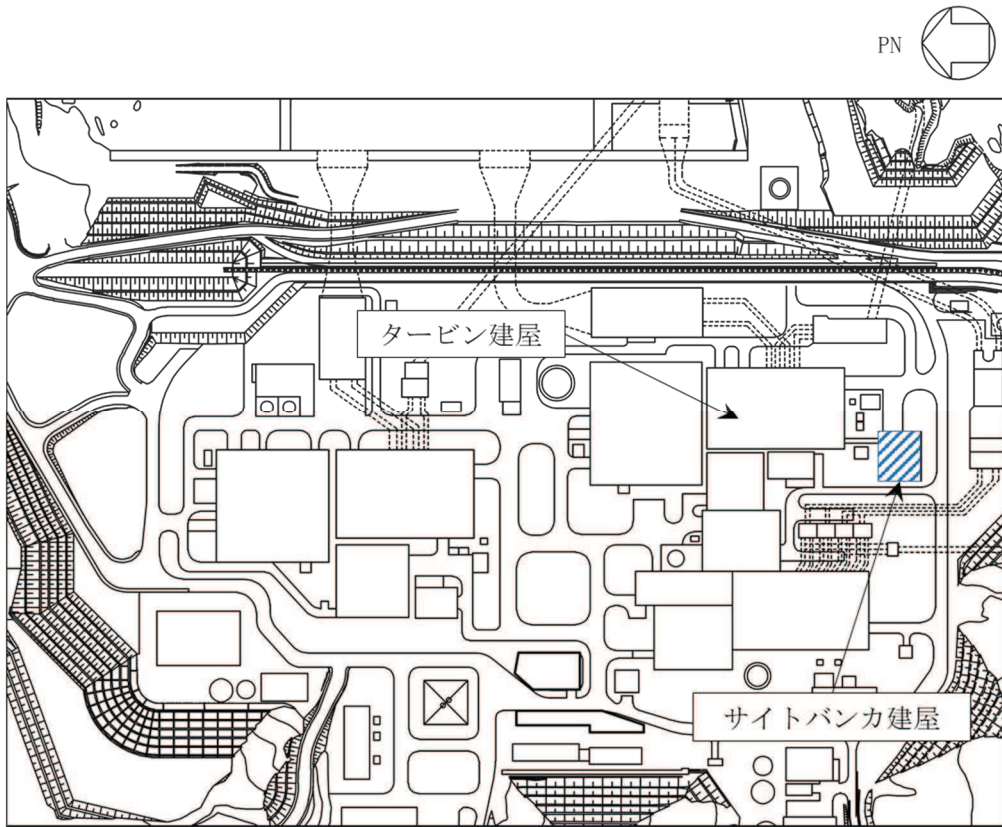


図 2-3 サイトバンカ建屋の位置図

## 2.2 構造概要

補助ボイラー建屋及びサイトバンカ建屋から波及的影響を受ける恐れがあるタービン建屋並びに補助ボイラー建屋及び第1号機制御建屋から波及的影響を受ける恐れがある制御建屋は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

補助ボイラー建屋、サイトバンカ建屋及びタービン建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造及び鉄骨鉄筋コンクリート造）、第1号機制御建屋及び制御建屋は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建屋であり、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋、サイトバンカ建屋、タービン建屋及び制御建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。

補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋、サイトバンカ建屋、タービン建屋及び制御建屋の断面図を図2-4～図2-8に、建屋配置図を図2-9に、図2-9に記載した建屋と建屋の離隔部分の詳細を図2-10～図2-13に示す。

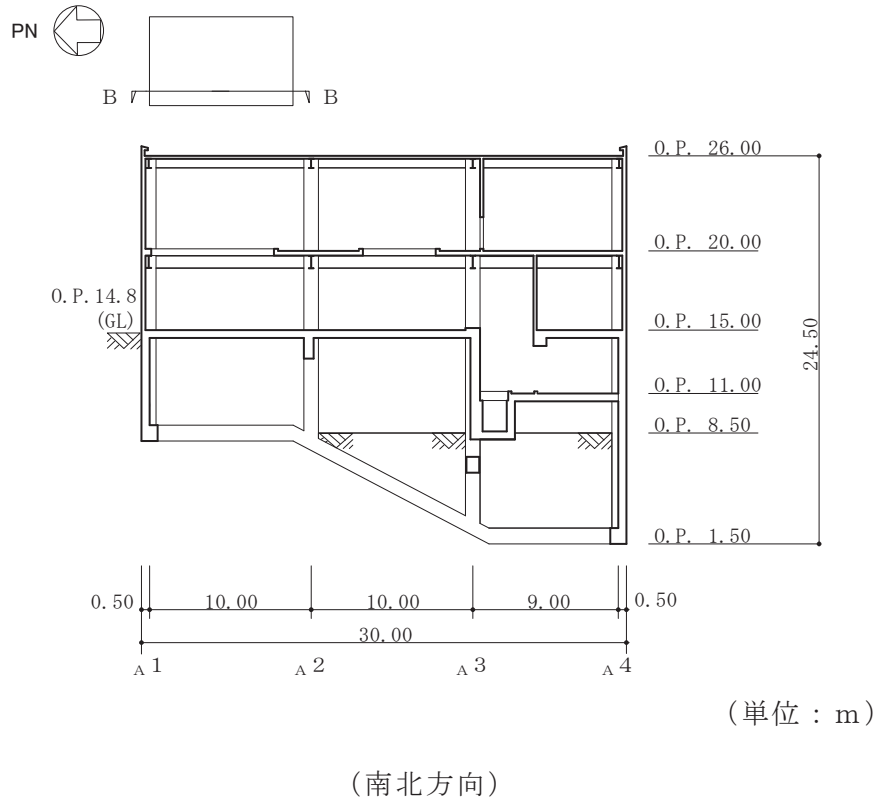
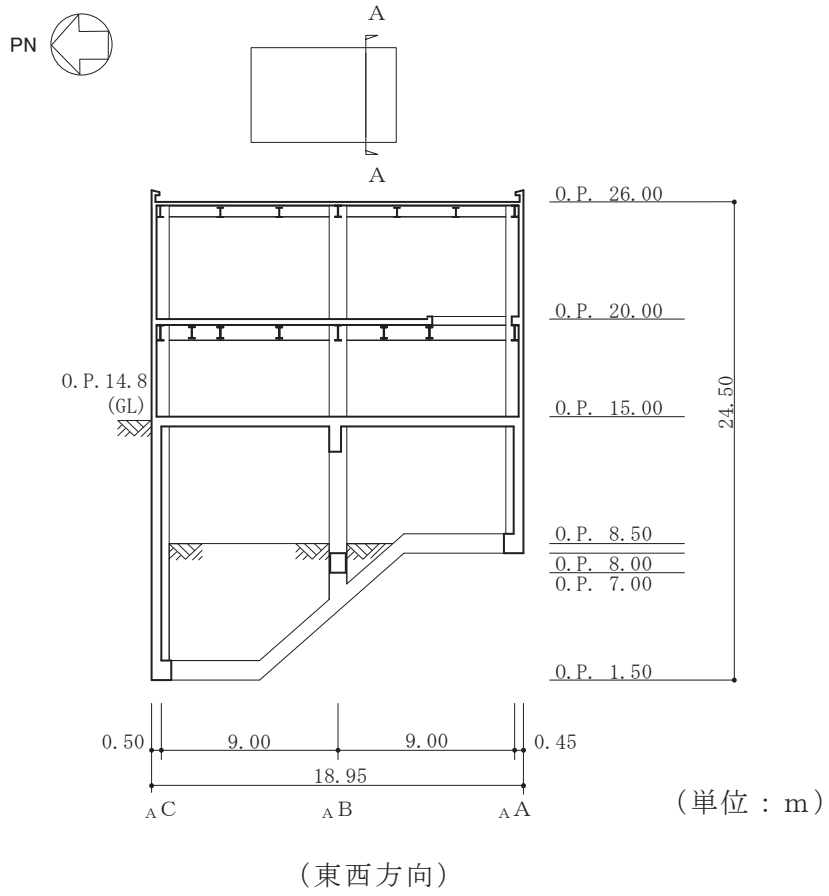
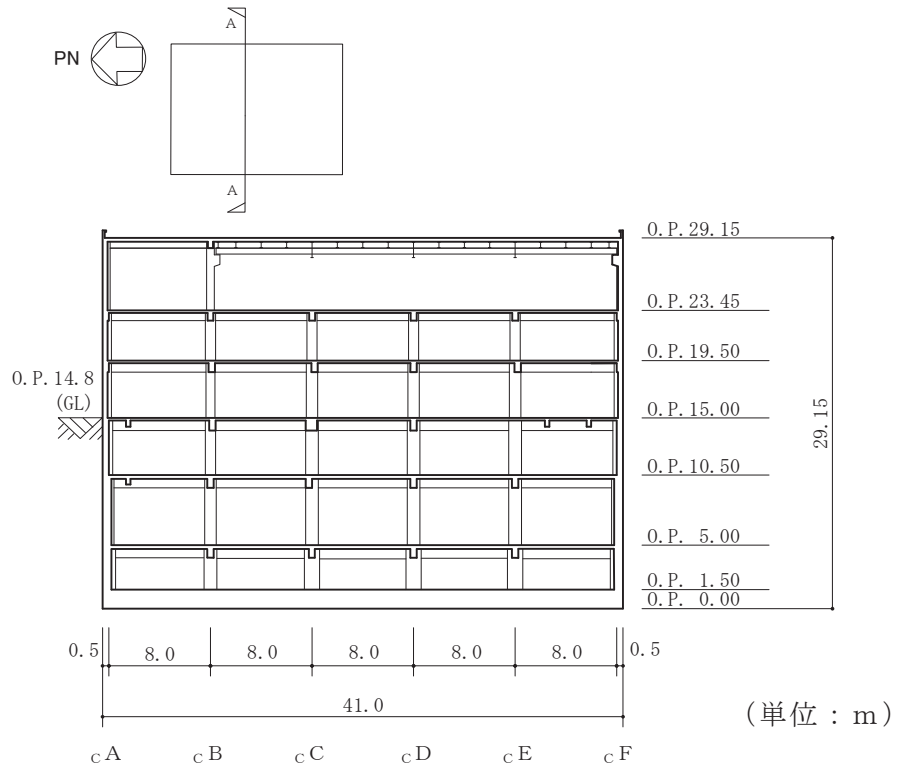
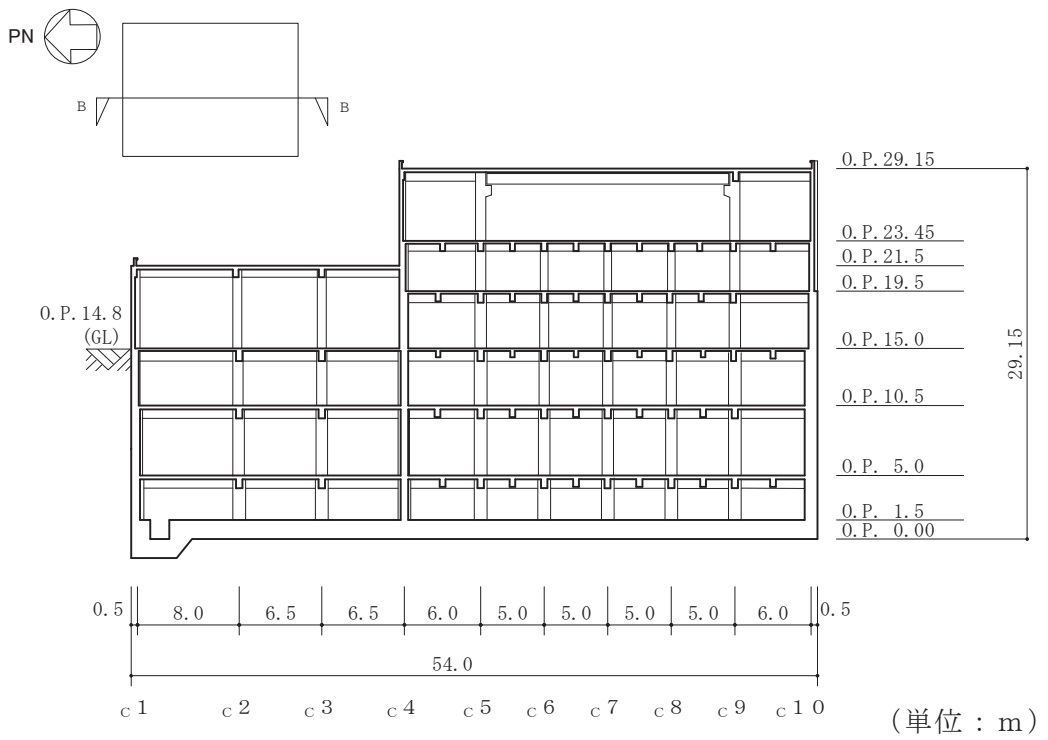


図 2-4 補助ボイラー建屋の断面図



(東西方向)



(南北方向)

図 2-5 第 1 号機制御建屋の断面図

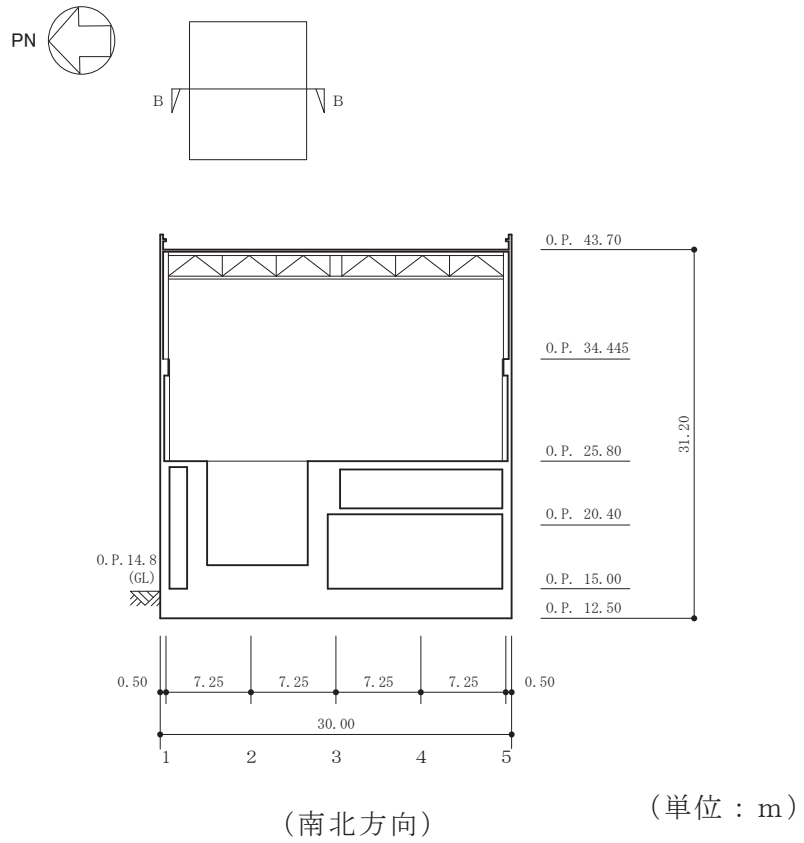
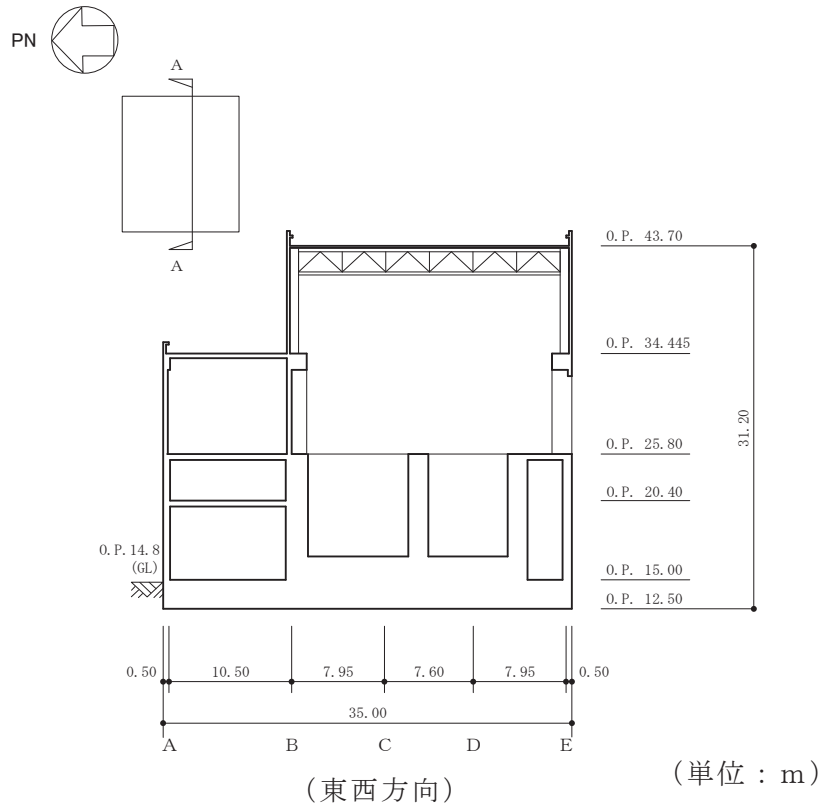
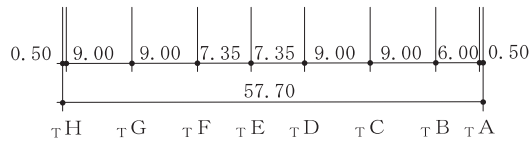
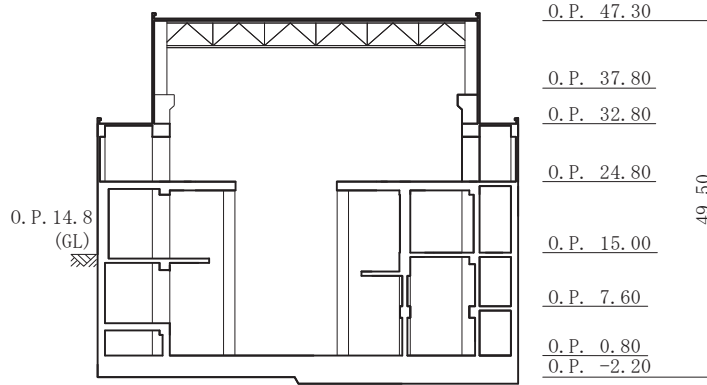
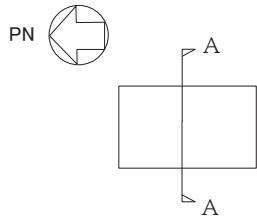
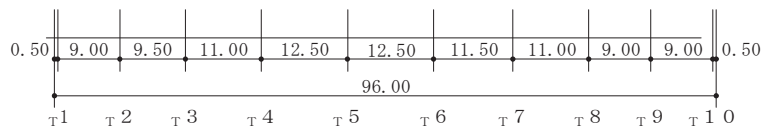
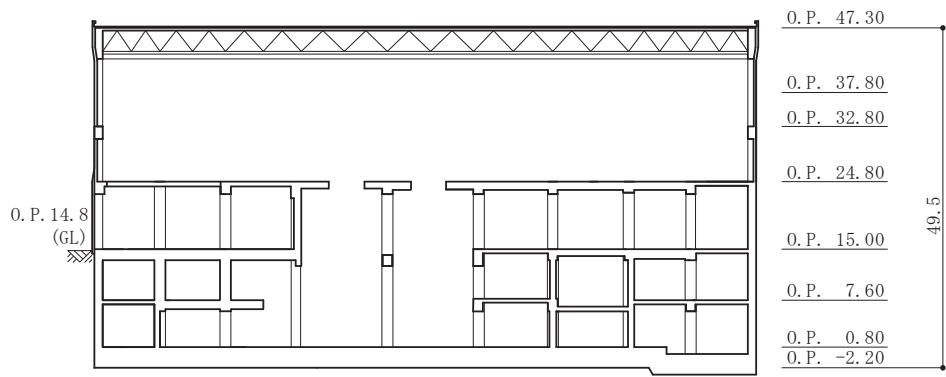
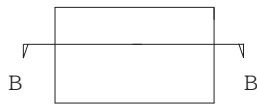


図 2-6 サイトバンカ建屋の断面図



(単位：m)

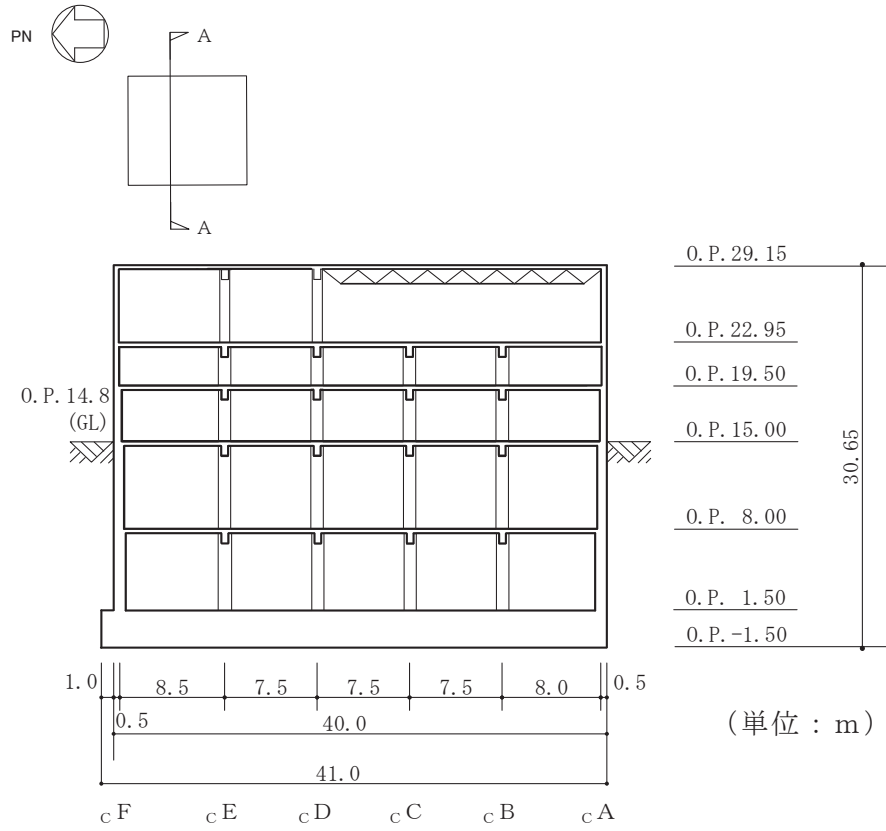
(東西方向)



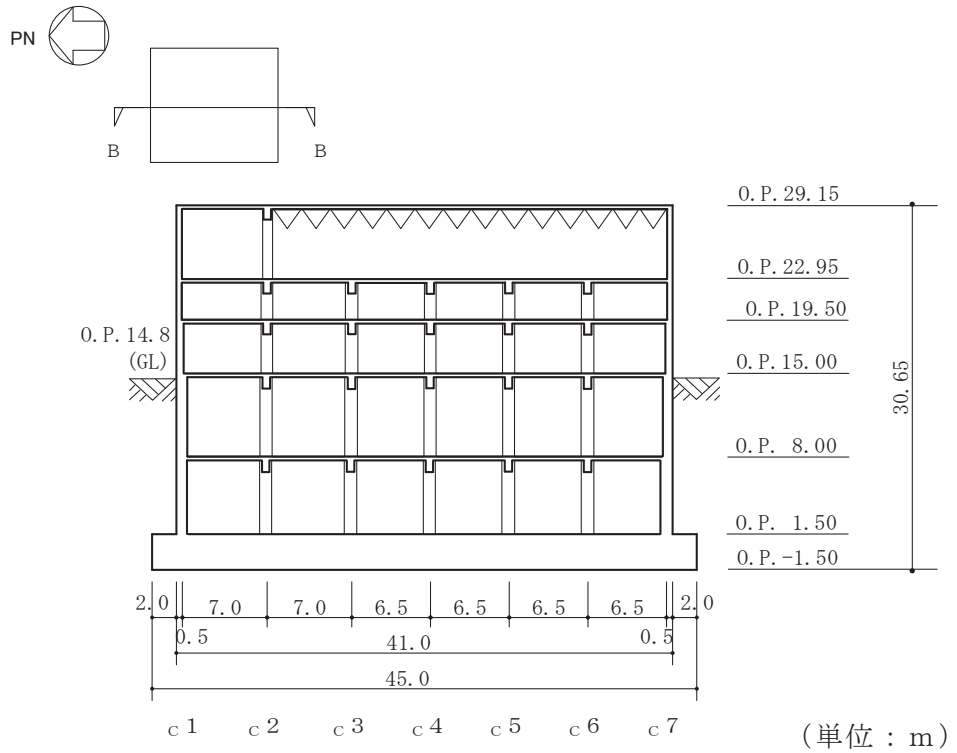
(単位：m)

(南北方向)

図 2-7 タービン建屋の断面図



(東西方向)



(南北方向)

図 2-8 制御建屋の断面図

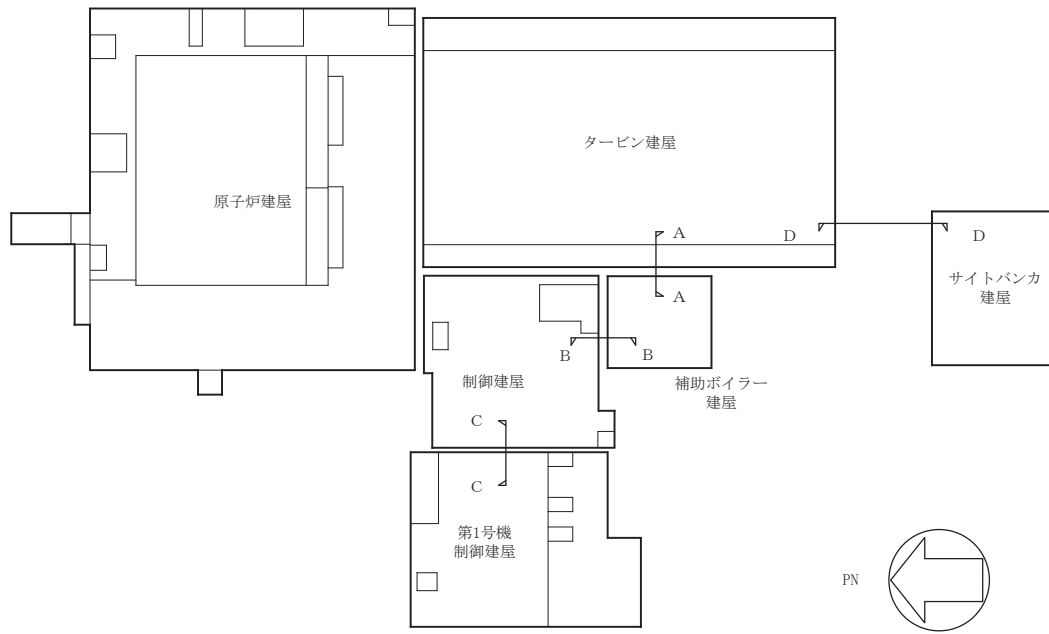


図 2-9 補助ボイラー建屋，第 1 号機制御建屋，サイトバンカ建屋，タービン建屋及び制御建屋の配置図

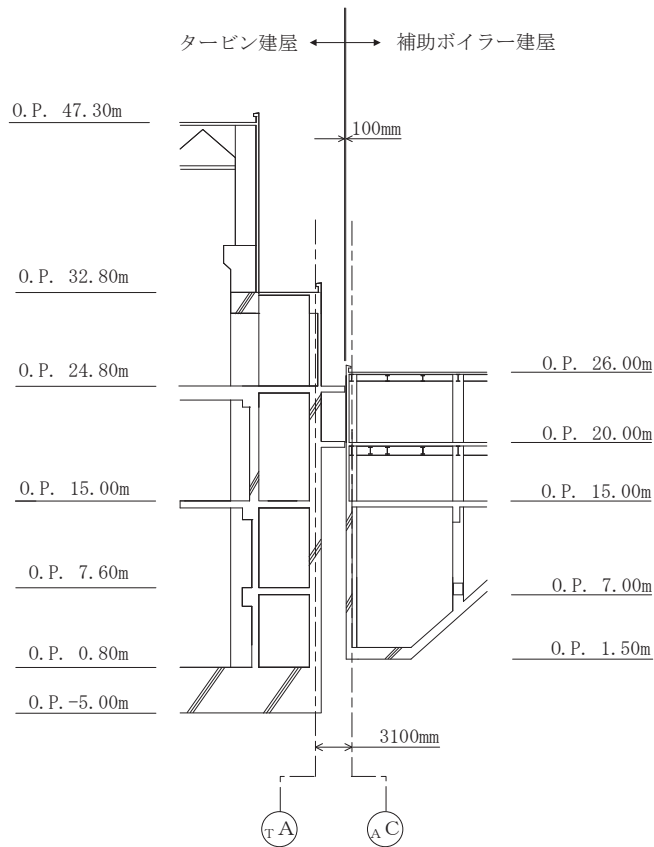


図 2-10 補助ボイラー建屋とタービン建屋の離隔（図 2-9 A-A 断面）の詳細



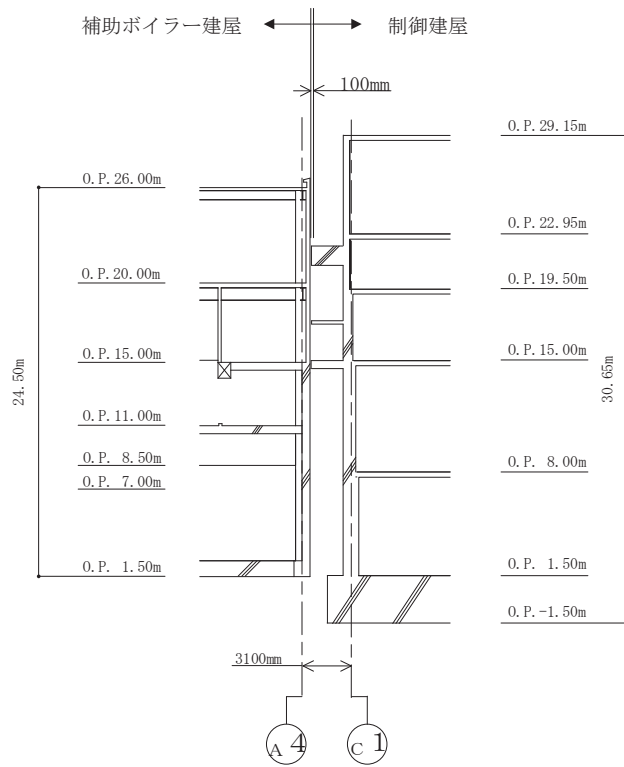


図 2-11 補助ボイラー建屋と制御建屋の離隔（図 2-9 B-B 断面）の詳細

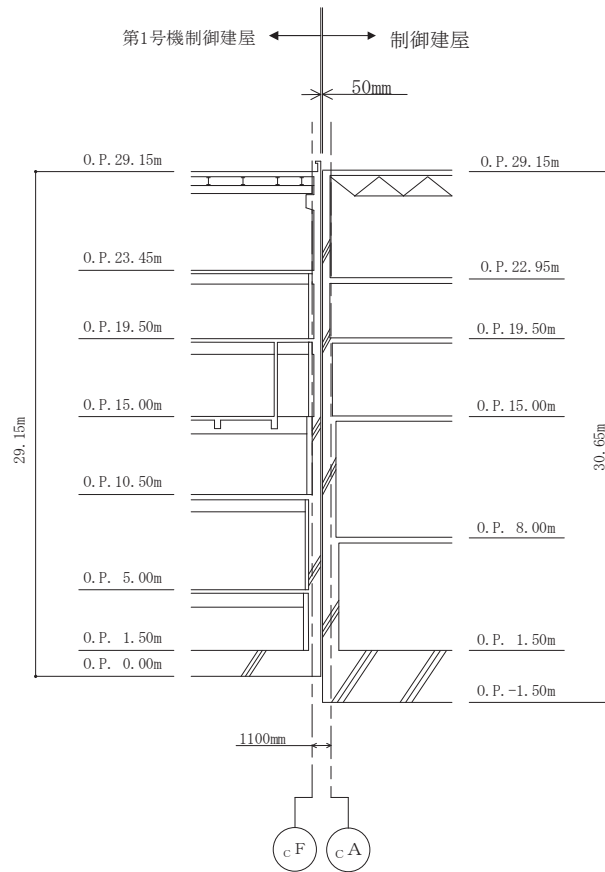


図 2-12 第 1 号機制御建屋と制御建屋の離隔（図 2-9 C-C 断面）の詳細

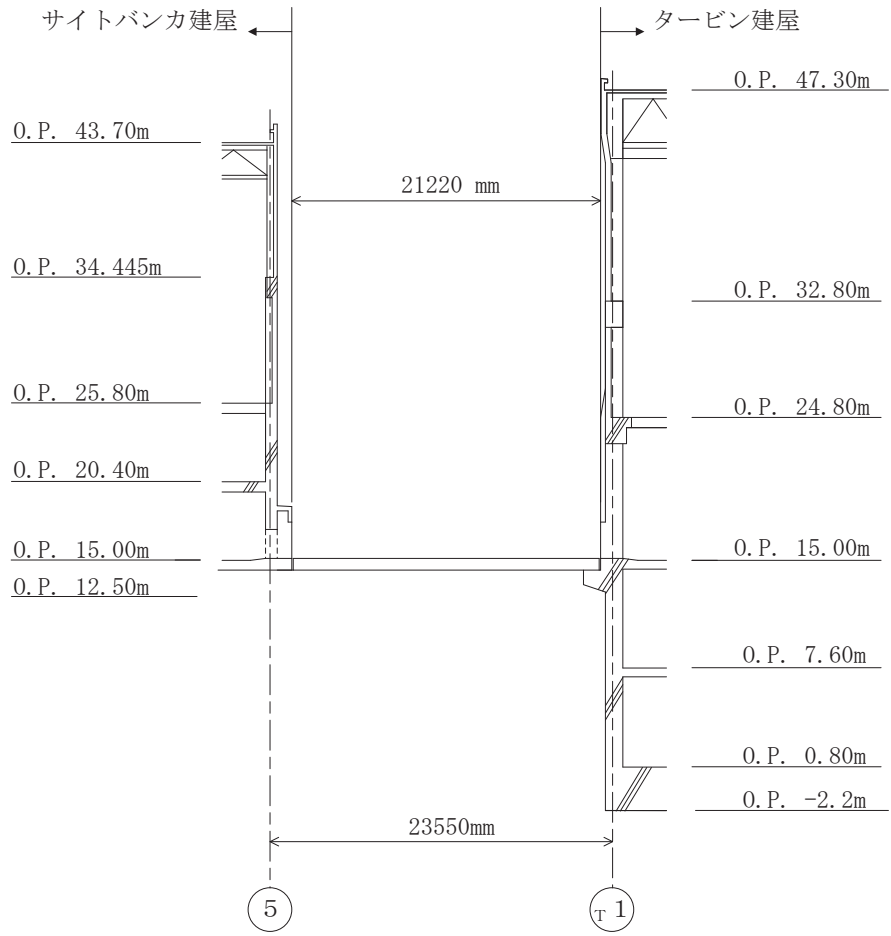


図 2-13 サイトバンカ建屋とタービン建屋の離隔 (図 2-9 D-D 断面) の詳細

### 2.3 評価方針

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の強度評価は，添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを，「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重と，これに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。

具体的には，補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋が，隣接する竜巻より防護すべき施設を内包するタービン建屋及び制御建屋に接触し影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については，設計荷重に対し，タービン建屋及び制御建屋との最大相対変位を算出し，接触を生じないことを確認する。

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の波及的影響評価フローを図2-14に示す。

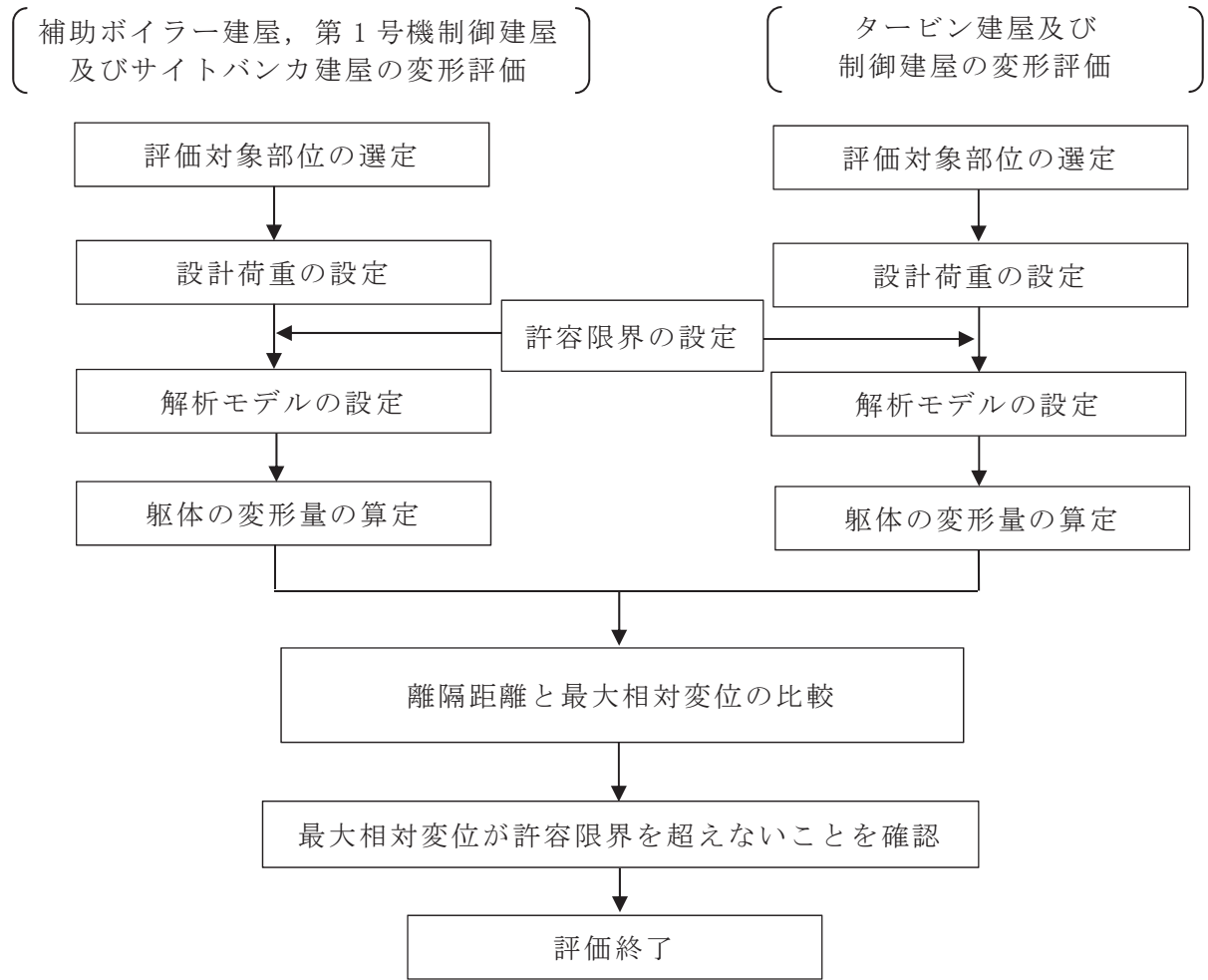


図 2-14 補助ボイラー建屋，第 1 号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の波及的影響評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 1999 年 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 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の風速
W <sub>M</sub>	kN	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>P</sub>	kN	気圧差による荷重
W <sub>W</sub>	kN	風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
Δ P	N/m <sup>2</sup>	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）
Δ t	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間
L <sub>1</sub>	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

#### 3.2 評価対象部位

補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ、各建屋の構造躯体とする。

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 $W_w$ は「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 (3) c. (a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )」に示す式に従い算出する。

風力係数 $C$ は、「建築基準法及び同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」に基づき設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

##### b. 気圧差による荷重 ( $W_P$ )

気圧差による荷重 $W_P$ については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_P = \Delta P \cdot A$$

##### c. 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ については、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製材の衝撃荷重 $W_M = 1466\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$W_M = m \cdot V / \Delta t = m \cdot V^2 / L_1$$

設計飛来物の諸元を表3-2に示す。

表 3-2 設計飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	46.6

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて、風圧力による荷重，気圧差による荷重，及び飛来物による衝撃荷重を組み合わせる。なお，常時作用する荷重については，竜巻時せん断力の算定に際しては評価結果に影響しないため考慮しない。

荷重の組合せを表3-3に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

設計荷重の種類	荷重の組合せ
複合荷重 $W_{T1}$	$W_P$
複合荷重 $W_{T2}$	$W_W + 1/2 \cdot W_P + W_M$



### 3.4 許容限界

許容限界は、「2.2 構造概要」に記載した補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋並びにタービン建屋及び制御建屋の離隔距離とする。

設定した許容限界を表3-4に示す。

表 3-4 許容限界

許容限界	
補助ボイラー建屋とタービン建屋の離隔距離	100mm
補助ボイラー建屋と制御建屋の離隔距離	100mm
第1号機制御建屋と制御建屋の離隔距離	50mm
サイトバンカ建屋とタービン建屋の離隔距離	21220mm

### 3.5 評価方法

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の躯体の変形量は，設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$  関係）より算定する。

補助ボイラー建屋，第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の解析モデル図を図3-1～図3-3に示す。補助ボイラー建屋の解析モデルは，添付書類「VI-2-11-2-4 補助ボイラー建屋の耐震性に関する計算書」に示す地震応答解析モデルを，第1号機制御建屋制御建屋の解析モデルは，添付書類「VI-2-11-2-5 第1号機制御建屋の耐震性に関する計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。ただし，設計荷重による変形量の算定では，地盤と建屋の相互作用の影響は小さいと考えられることから，地盤ばねは考慮せず，1階床位置で固定と仮定とする。

補助ボイラー建屋はタービン建屋が東側，制御建屋が北側に位置するため，EW方向及びNS方向を検討対象とする。第1号機制御建屋は制御建屋が東側に位置するため，EW方向のみを検討対象とする。サイトバンカ建屋はタービン建屋が北側に位置するため，NS方向のみを検討対象とする。

設計荷重のうち，風圧力による荷重 $W_w$ は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 $W_p$ は，建屋の内部から外部に作用することから，建屋層全体の評価においては相殺されるが，保守的に風圧力による荷重 $W_w$ の作用方向のみに作用するものとして考慮する。

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は建屋最上部質点に作用するものとする。

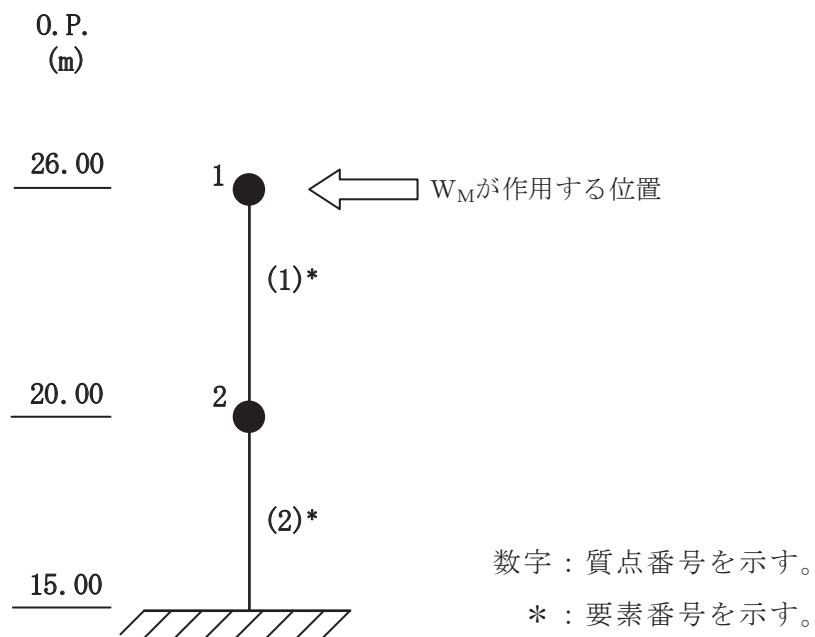
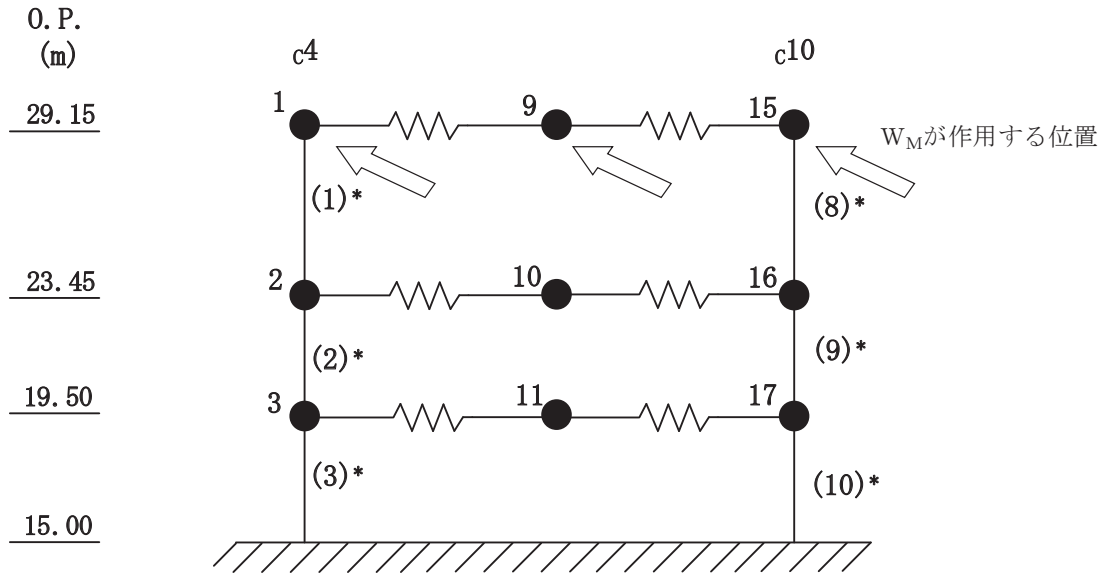


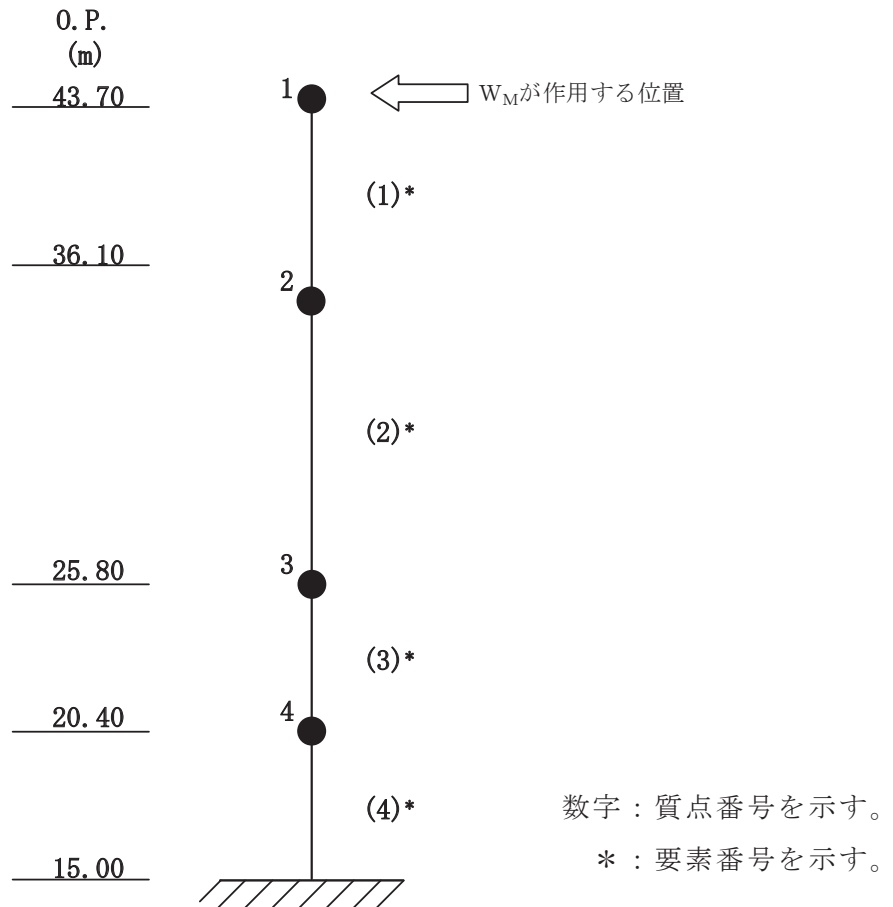
図3-1 補助ボイラー建屋の解析モデル図（NS方向及びEW方向）



数字：質点番号を示す。

\*：要素番号を示す。

図 3-2 第 1 号機制御建屋の解析モデル図 (EW 方向)



数字：質点番号を示す。

\*：要素番号を示す。

図 3-3 サイトバンカ建屋の解析モデル図 (NS 方向)

タービン建屋及び制御建屋の変形量は、設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力-せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）より算定する。

タービン建屋のせん断力-せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）は、添付書類「VI-2-11-2-3 タービン建屋の耐震性に関する計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。制御建屋のせん断力-せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）は、添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。ただし、設計荷重による変形量の算定では、地盤と建屋の相互作用の影響は小さいと考えられることから、地盤ばねは考慮せず、1階床位置で固定と仮定する。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 $W_w$ は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 $W_p$ は、建屋の内部から外部に作用し、建屋層全体の評価においては相殺されるが、保守的に、風圧力による荷重 $W_w$ の加力方向にのみ作用するものとする。

設計飛来物による衝撃荷重 $W_M$ は建屋最上部質点に作用するものとする。

#### 4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

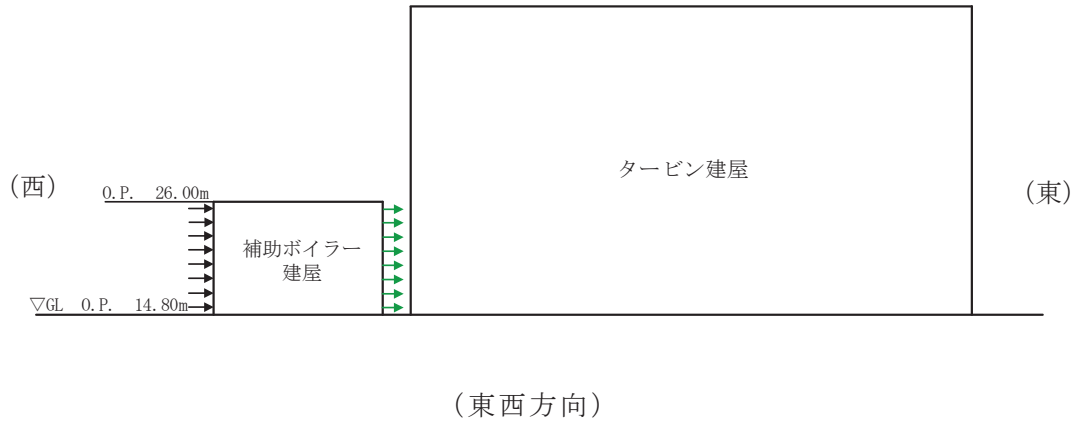
補助ボイラー建屋は、建屋の東側にタービン建屋、建屋の北側に制御建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 $W_w$ が西から東へ作用する場合及び南から北へ作用する場合の検討を実施する。第1号機制御建屋は、建屋の東側に制御建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 $W_w$ が西から東へ作用する場合の検討を実施する。サイトバンカ建屋は、北側にタービン建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 $W_w$ が南から北へ作用する場合の検討を実施する。

ここで、気圧差荷重 $W_p$ は、保守的に風圧力による荷重 $W_w$ の作用方向のみに作用するものとして各建屋を評価する。

補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋に作用する風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差荷重 $W_p$ の作用方向の模式図を図4-1～図4-3に、補助ボイラー建屋、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差荷重 $W_p$ の算出条件を表4-1～表4-3に示す。補助ボイラー建屋の風下側にはタービン建屋及び制御建屋が、第1号機制御建屋の風下側には制御建屋が接近して配置されているため、実際には風下側壁面の風荷重は極めて小さいと考えられるが、本評価では保守的に風下側の風荷重も考慮するものとする。

また、補助ボイラー、第1号機制御建屋及びサイトバンカ建屋の復元力特性諸元を表4-4～表4-6に示す。

- :  $W_w$ のうち、風上側側面に作用する荷重
- (緑) :  $W_w$ のうち、風下側側面に作用する荷重及び $W_p$



- :  $W_w$ のうち、風上側側面に作用する荷重
- (緑) :  $W_w$ のうち、風下側側面に作用する荷重及び $W_p$

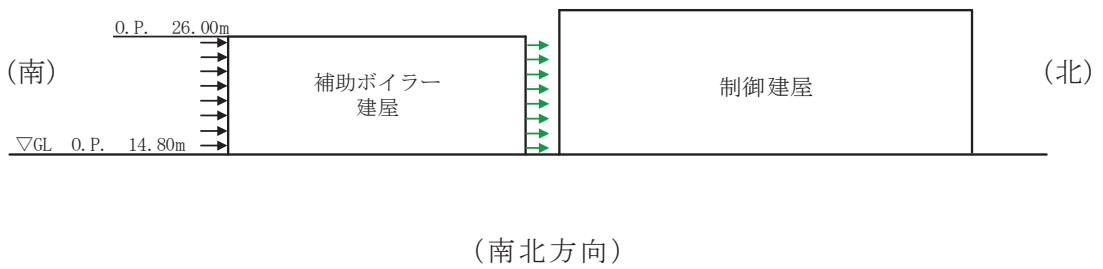


図 4-1 補助ボイラー建屋への風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の作用方向模式図

- :  $W_w$ のうち、風上側側面に作用する荷重
- (緑) :  $W_w$ のうち、風下側側面に作用する荷重及び $W_p$

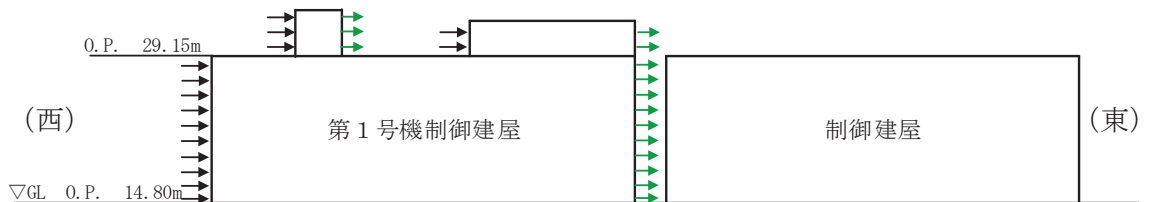


図 4-2 第1号機制御建屋への風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の作用方向模式図

- :  $W_w$ のうち, 風上側側面に作用する荷重
- (緑) :  $W_w$ のうち, 風下側側面に作用する荷重及び $W_p$

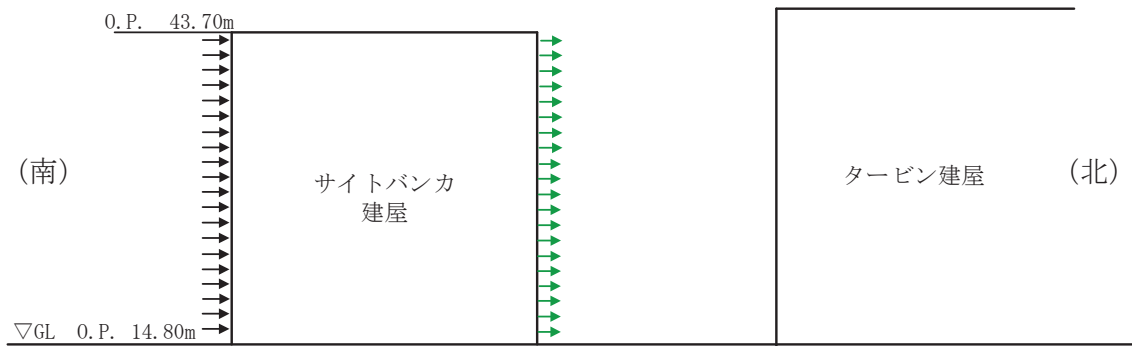


図 4-3 サイトバンカ建屋への風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の作用方向模式図

表 4-1 補助ボイラー建屋の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算出条件

O. P. (m)	位置	風力係数 C * (-)	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	
			NS 方向 (S⇒N)	EW 方向 (W⇒E)
26.00 ~ 20.00	風上	0.6	127	201
	風下	0.4		
20.00 ~ 15.00	風上	0.6	95	151
	風下	0.4		

注記\* : 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とする。

表 4-2 第 1 号機制御建屋の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算出条件

O. P. (m)	位置	風力係数 C * (-)	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )
			EW 方向 (W⇒E)
29.15 ~ 23.45	風上	0.6	327
	風下	0.4	
23.45 ~ 19.50	風上	0.6	206
	風下	0.4	
19.50 ~ 15.00	風上	0.6	243
	風下	0.4	

注記\* : 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とする。

表 4-3 サイトバンカ建屋の風圧力による荷重 $W_w$ 及び気圧差による荷重 $W_p$ の算出条件

O. P. (m)	位置	風力係数 C * (-)	受圧面積 A (m <sup>2</sup> )
			NS 方向 (S⇒N)
43.70 ~ 36.10	風上	0.8	232
	風下	0.4	
36.10 ~ 25.80	風上	0.6	356
	風下	0.4	
25.80 ~ 20.40	風上	0.6	189
	風下	0.4	
20.40 ~ 15.00	風上	0.6	189
	風下	0.4	

注記\* : 風下側の係数は, 風上側と同じ向きを正とする。

表 4-4(1) 補助ボイラー建屋の復元力特性諸元 (NS 方向)

O.P. (m)	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_2$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_3$ ( $\times 10^4$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
26.00 ~ 20.00	1	2.28	3.08	6.54	0.169	0.508	4.00
20.00 ~ 15.00	2	2.36	3.18	6.08	0.189	0.567	4.00

表 4-4(2) 補助ボイラー建屋の復元力特性諸元 (EW 方向)

O.P. (m)	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_2$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_3$ ( $\times 10^4$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
26.00 ~ 20.00	1	1.56	2.10	4.31	0.169	0.507	4.00
20.00 ~ 15.00	2	1.58	2.13	4.23	0.189	0.567	4.00

表 4-5 第 1 号機制御建屋の復元力特性諸元 (EW 方向)

O.P. (m)	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_2$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_3$ ( $\times 10^4$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
29.15 ~ 23.45	1	1.93	2.60	6.43	0.394	0.532	4.00
23.45 ~ 19.50	2	3.39	4.58	10.3	0.417	0.563	4.00
19.50 ~ 15.00	3	4.77	6.44	15.0	0.419	0.565	4.00
29.15 ~ 23.45	8	1.76	2.38	5.87	0.396	0.535	4.00
23.45 ~ 19.50	9	2.47	3.33	7.90	0.416	0.561	4.00
19.50 ~ 15.00	10	3.45	4.65	10.6	0.428	0.578	4.00

表 4-6 サイトバンカ建屋の復元力特性諸元 (NS 方向)

O.P. (m)	要素 番号	$Q_1$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_2$ ( $\times 10^4$ kN)	$Q_3$ ( $\times 10^4$ kN)	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
43.70 ~ 36.10	1	2.84	3.84	9.20	0.169	0.508	4.00
36.10 ~ 25.80	2	6.98	9.43	19.3	0.177	0.530	4.00
25.80 ~ 20.40	3	22.8	30.8	66.6	0.174	0.522	4.00
20.40 ~ 15.00	4	21.9	29.6	58.8	0.185	0.554	4.00

タービン建屋及び制御建屋の風圧力による荷重 $W_w$ の算出条件及び復元力特性諸元については、添付書類「VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3 変形評価」に示す。



## 5. 強度評価結果

補助ボイラー建屋とタービン建屋の最大相対変位，補助ボイラー建屋と制御建屋の最大相対変位，第1号機制御建屋と制御建屋の最大相対変位及びサイトバンカ建屋とタービン建屋の最大相対変位の評価結果を表5-1～表5-4に示す。各建屋の最大相対変位が許容限界を超えないことを確認した。

表 5-1 補助ボイラー建屋とタービン建屋の最大相対変位の評価結果（絶対値和）

設計荷重による最大変位 (mm) * <sup>1</sup>		最大相対変位 * <sup>2</sup> (mm)	許容限界 (mm)
補助ボイラー建屋	タービン建屋		
0.5	2.4	2.9	100

注記\*1：複合荷重 $W_{T1}$ と $W_{T2}$ のうち，評価結果が厳しい $W_{T2}$ の結果を記載した。

注記\*2：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-2 補助ボイラー建屋と制御建屋の最大相対変位の評価結果（絶対値和）

設計荷重による最大変位 (mm) * <sup>1</sup>		最大相対変位 * <sup>2</sup> (mm)	許容限界 (mm)
補助ボイラー建屋	制御建屋		
0.3	0.6	0.9	100

注記\*1：複合荷重 $W_{T1}$ と $W_{T2}$ のうち，評価結果が厳しい $W_{T2}$ の結果を記載した。

注記\*2：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-3 第1号機制御建屋と制御建屋の最大相対変位の評価結果（絶対値和）

設計荷重による最大変位 (mm) * <sup>1</sup>		最大相対変位 * <sup>2</sup> (mm)	許容限界 (mm)
第1号機制御建屋	制御建屋		
0.7	0.5	1.2	50

注記\*1：複合荷重 $W_{T1}$ と $W_{T2}$ のうち，評価結果が厳しい $W_{T2}$ の結果を記載した。

注記\*2：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

表 5-4 サイトバンカ建屋とタービン建屋の最大相対変位の評価結果（絶対値和）

設計荷重による最大変位 (mm) * <sup>1</sup>		最大相対変位 * <sup>2</sup> (mm)	許容限界 (mm)
サイトバンカ建屋	タービン建屋		
0.5	1.2	1.7	21220

注記\*1：複合荷重 $W_{T1}$ と $W_{T2}$ のうち，評価結果が厳しい $W_{T2}$ の結果を記載した。

注記\*2：保守的に，各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算した。

VI-3-別添 1-1-10-2 海水ポンプ室門型クレーンの強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	14
4. 評価条件	18
5. 強度評価結果	19

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、海水ポンプ室門型クレーンが、竜巻時及び竜巻通過後においても、停留位置に固定されることにより、竜巻より防護すべき施設である原子炉補機冷却海水ポンプ等に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないように、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

海水ポンプ室門型クレーンについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、海水ポンプ室門型クレーンの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

海水ポンプ室門型クレーンは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す配置のとおり、屋外の海水ポンプ室に設置する。海水ポンプ室門型クレーンの位置図を図2-1に示す。また、海水ポンプ室門型クレーンと海水ポンプ室の位置関係を図2-2に示す。

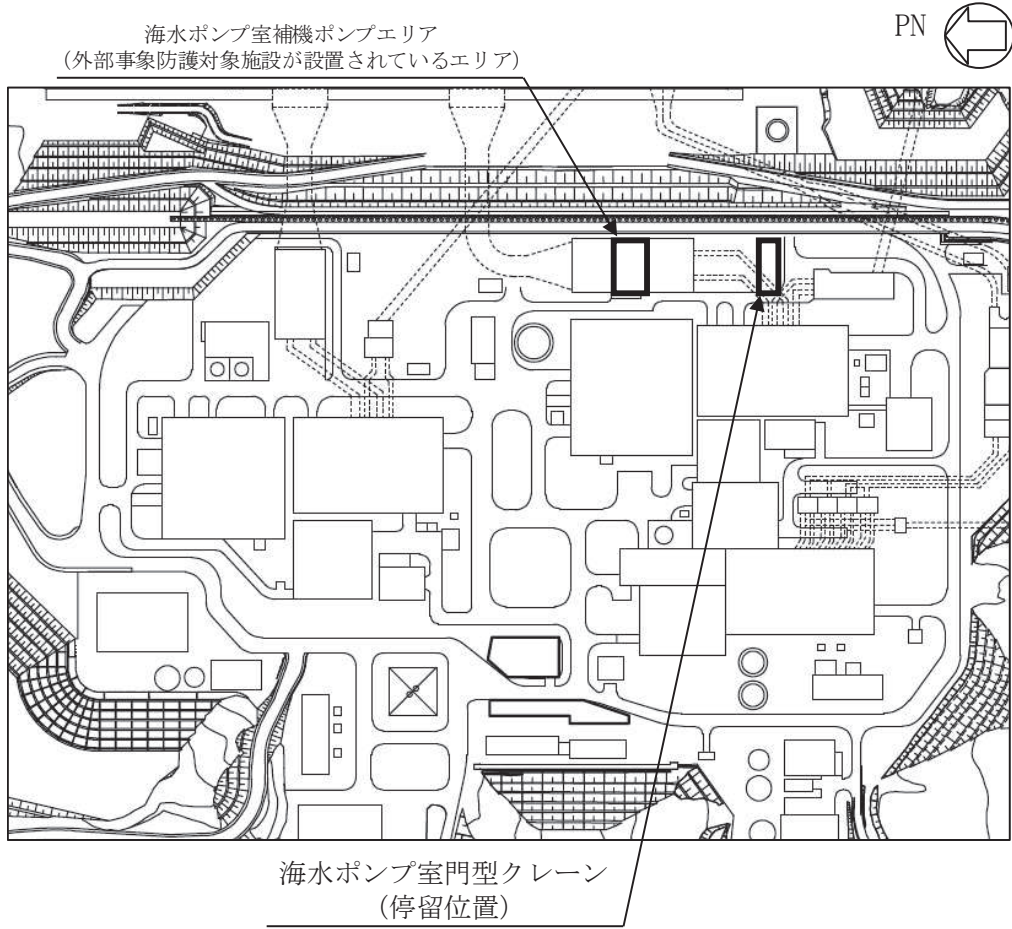


図 2-1 海水ポンプ室門型クレーンの位置図

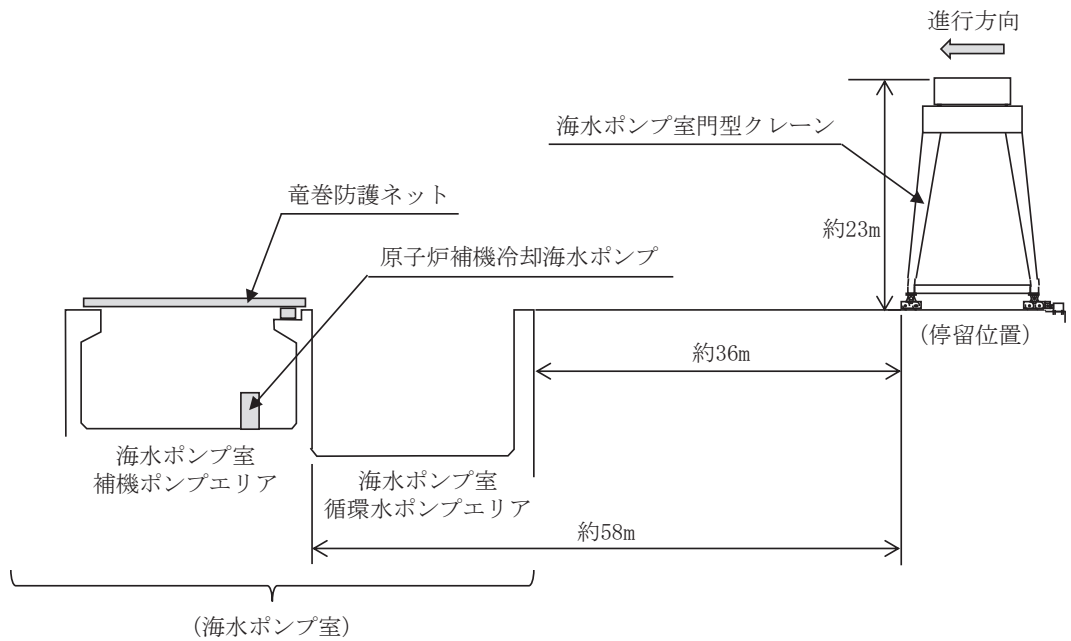


図 2-2 海水ポンプ室門型クレーンと海水ポンプ室の位置関係

## 2.2 構造概要

海水ポンプ室門型クレーンについて、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

海水ポンプ室門型クレーンは、脚部、ガーダ、トロリ等により構成され、停留位置において各従動輪側に1基ずつ計2基設置されているエンドストップにて海水ポンプ室門型クレーンを固定する構造である。なお、海水ポンプ室門型クレーンには脱輪防止装置及び脱線防止ローラを、トロリにはトロリストッパをそれぞれ設置することにより、転倒及び逸走を防止する構造としている。海水ポンプ室門型クレーンの概要図を図2-3に示す。

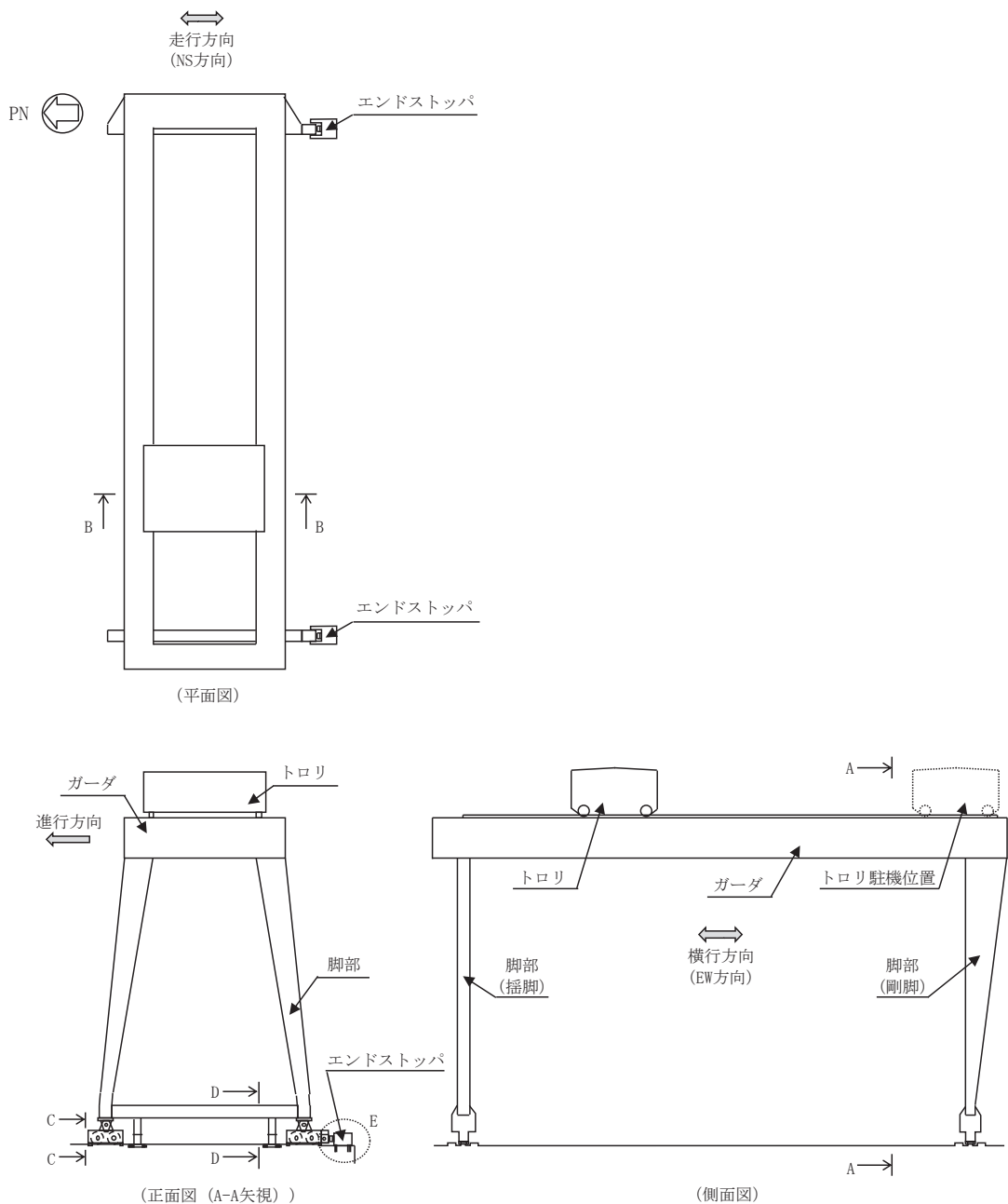


図 2-3 海水ポンプ室門型クレーンの概要図 (1/2)

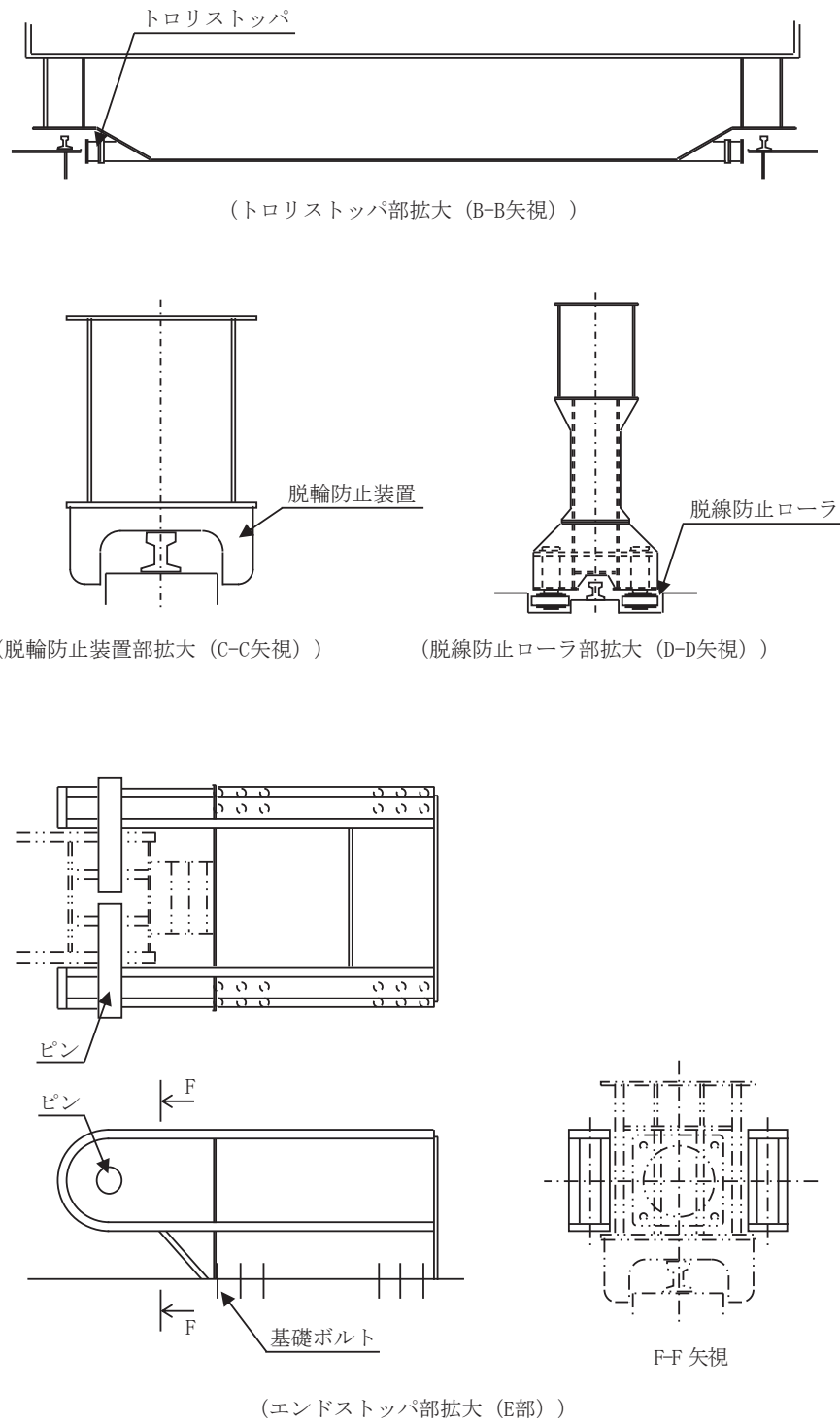


図 2-3 海水ポンプ室門型クレーンの概要図 (2/2)

### 2.3 評価方針

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、竜巻により防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価フローを図2-4に示す。竜巻の襲来が予想される場合、海水ポンプ室門型クレーン作業の中止及び海水ポンプ室門型クレーン停留についての運用手順を定めることとしていることから、海水ポンプ室門型クレーンが停留位置にてエンドストッパにより停留されている状態での評価を実施する。また、海水ポンプ室門型クレーンは外部事象防護対象施設等ではなく、停留位置においては原子炉補機冷却海水ポンプ等との離隔が十分に取られているため、原子炉補機冷却海水ポンプ等への波及的影響を防止する観点から、海水ポンプ室門型クレーンが停留位置にてエンドストッパで支持されることにより、海水ポンプ室方向に逸走せず原子炉補機冷却海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさないことを確認する。強度評価においては、海水ポンプ室門型クレーンのエンドストッパがその支持機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。エンドストッパは各駆動輪側に1基ずつ計2基設置されていることから、飛来物による衝撃荷重によってエンドストッパを1基損傷させたモデルとして考慮することとし、海水ポンプ室門型クレーンに作用する設計荷重により評価対象部位に生じる応力が許容限界以下であることを確認する。また、各部材の強度評価には、設計荷重は水平方向及び鉛直方向に作用する荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の横型ポンプ及び支持構造物の評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価における許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとする。

「J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下「設計・建設規格」という。）付録材料図表Part5, 6の表にて許容応力を計算



する際は，周囲環境温度に応じた値を取るものとする。

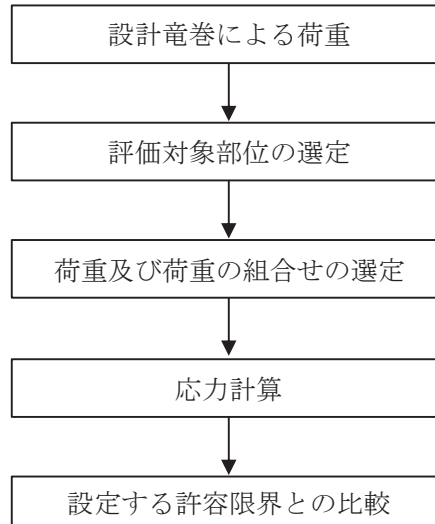


図 2-4 海水ポンプ室門型クレーンの強度評価フロー

#### 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・クレーン構造規格（平成7年12月26日労働省告示第134号）
- ・U.S.Nuclear Regulatory Commission:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$A_b$	mm <sup>2</sup>	ボルト軸部断面積
$A_{bt}$	mm <sup>2</sup>	エンドストッパ突出部の引張応力計算に用いる断面積
$A_{cs}$	mm <sup>2</sup>	ピン穴部のせん断応力計算に用いる断面積
$A_{ct}$	mm <sup>2</sup>	ピン穴部の引張応力計算に用いる断面積
$A_{ps}$	mm <sup>2</sup>	ピンのせん断応力計算に用いる断面積
B	mm	ピン穴部せん断断面寸法
C	mm	ピン穴部引張断面寸法
D	mm	ピン穴径
$d_b$	mm	ボルトの呼び径
$d_p$	mm	ピン径
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値
$F_b$	N	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)
$f_{b'}$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容曲げ応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
$f_{s'}$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容せん断応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
$f_{t'}$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容引張応力に対し、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.本文中「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点」を「付録材料図表 Part5 表 8 に規定する材料の設計降伏点の 1.2 倍」と読み替えて算出した値
$f_{ts'}$	MPa	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力

表 3-1 強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
$F_h$	N	エンドストップに作用する水平方向荷重
$F_v$	N	エンドストップに作用する鉛直方向荷重
$F_v'$	N	駆動輪に作用する鉛直方向荷重
$g$	$m/s^2$	重力加速度 (=9.80665)
$h_1$	mm	トロリ重心高さ
$h_2$	mm	ガーダ重心高さ
$h_3$	mm	脚部重心高さ
$h_p$	mm	据付面からピン中心までの距離
$L_d$	mm	エンドストップ突出部とピン中心間の水平方向距離
$L_L$	mm	車輪間の水平方向距離
$L_s$	mm	エンドストップと車輪間の水平方向距離
$L_p$	mm	転倒支点とピン中心間の水平方向距離
$L_i$	mm	転倒支点とボルトの水平方向距離 * 1
$m_T$	kg	トロリ質量
$m_G$	kg	ガーダ質量
$m_L$	kg	脚部質量
$M_s$	$N \cdot mm$	安定モーメント
$M_t$	$N \cdot mm$	転倒モーメント
$n$	—	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ボルトの本数
$Q_b$	N	ボルトに作用するせん断力
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$T$	mm	エンドストップ突出部の部材板厚
$W_1$	N	トロリに発生する風荷重
$W_2$	N	ガーダに発生する風荷重
$W_3$	N	脚部に発生する風荷重
$Z_b$	$mm^3$	エンドストップ突出部の断面係数
$\mu$	—	摩擦係数 (=0.3)
$\pi$	—	円周率

表 3-1 強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_c$	MPa	ピン穴部に生じる引張応力
$\sigma_d$	MPa	エンドストップ突出部に生じる引張応力
$\sigma_m$	MPa	エンドストップ突出部に生じる曲げ応力
$\sigma_t$	MPa	平均引張応力
${}_c\sigma_b$	MPa	圧縮側曲げ応力
${}_t\sigma_b$	MPa	引張側曲げ応力
$\tau_b$	MPa	ボルトに生じるせん断応力
$\tau_c$	MPa	ピン穴部に生じるせん断応力
$\tau_p$	MPa	ピンに生じるせん断応力

注記\*1  $L_i$ の添え字  $i$ の意味は、転倒支点となるボルトより最も遠いボルトから  $i = 1, 2, 3$ とする。

### 3.2 評価対象部位

海水ポンプ室門型クレーンの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、海水ポンプ室門型クレーン本体に作用し、ピンを介してエンドストップ及びエンドストップの基礎ボルトに作用する。荷重を受ける各部位のうち、支持断面積の小さな部位に大きな応力が生じることから、以下の部位を強度評価の評価対象部位として選定する。

- ・エンドストップ（ピン、ピン穴部、エンドストップ突出部）
- ・基礎ボルト

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

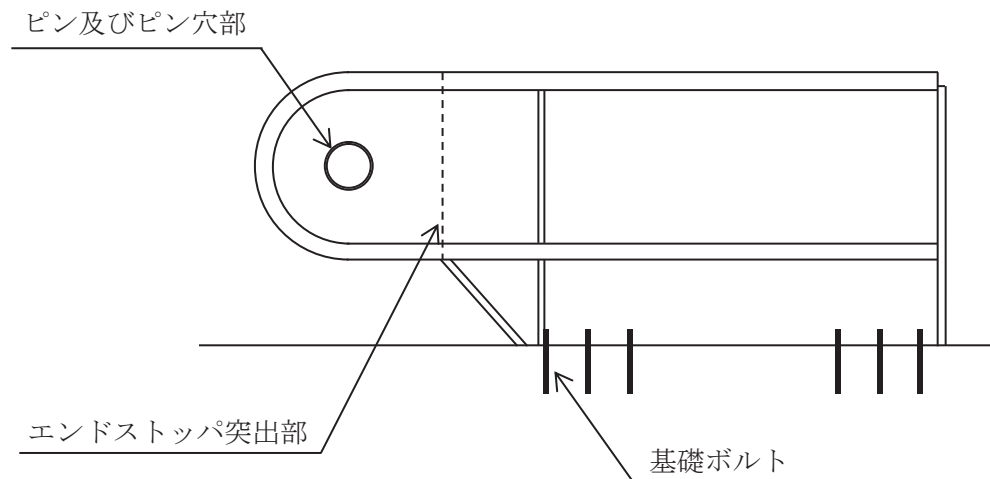


図 3-1 海水ポンプ室門型クレーンの評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

##### b. 設計竜巻による荷重

設計竜巻による荷重として、風圧力による荷重を考慮する。海水ポンプ室門型クレーンは屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。また、「2.3 評価方針」に示すとおり、海水ポンプ室門型クレーンは外部事象防護対象施設等ではなく、停留位置においては原子炉補機冷却海水ポンプ等との離隔が十分に取られているため、原子炉補機冷却海水ポンプ等への波及的影響を防止する観点から、海水ポンプ室門型クレーンが停留位置にてエンドストップにより支持されることを評価する方針とする。

飛来物の衝突による海水ポンプ室門型クレーンのエンドストップの支持機能の確認としては、エンドストップが各駆動輪側に1基ずつ計2基設置されていることを踏まえ、飛来物の衝突によってエンドストップ1基が損傷し、支持機能を喪失することを仮定する。残りのエンドストップ1基にて海水ポンプ室門型クレーンの支持機能を維持可能な構造強度を有することを評価することとし、飛来物による衝撃荷重 $W_M=0$ とする。

風圧力による荷重 $W_w$ は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。風力係数 $C$ は、「クレーン構造規格」に準じて設定する。

##### c. 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、海水ポンプ室門型クレーンの評価対象部位に対して設定する。

海水ポンプ室門型クレーンのエンドストップ及び基礎ボルトには、自重及び風圧力による荷重が作用する。強度評価に用いる荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2 強度評価に用いる荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外部事象防護対象 施設等に波及的影 響を及ぼす可能性 がある施設	海水ポンプ室 門型クレーン	エンドストッパ	①自重 ②風圧力による荷重
		基礎ボルト	①自重 ②風圧力による荷重

### 3.4 許容限界

海水ポンプ室門型クレーンの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。

海水ポンプ室門型クレーンの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態IV<sub>A</sub>Sから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を評価する際は、周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

海水ポンプ室門型クレーンの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 許容限界

許容 応力 状態	温度 条件 (°C)	許容限界*1 (ボルト以外)			許容限界*1 (ボルト等)	
		一次応力			一次応力	
		引張	せん断	曲げ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	40	$1.5 \cdot f_t'$	$1.5 \cdot f_s'$	$1.5 \cdot f_b'$	$1.5 \cdot f_t'$	$1.5 \cdot f_s'$

\*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。

また、引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力  $f_{ts}'$  は以下のとおり。

$$f_{ts}' = \text{Min} \left\{ 1.5 \cdot f_t', 2.1 \cdot f_t' - 1.6 \cdot \tau_b \right\}$$

引張力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力については、以下の式により評価する。

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 \cdot f_t'} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{c \cdot \sigma_b - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b'} \leq 1$$



### 3.5 評価方法

海水ポンプ室門型クレーンの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 計算モデル

設計竜巻の風圧力による荷重及び自重により発生するモーメントに対する、海水ポンプ室門型クレーンのエンドストップの構造健全性を1質点系モデルとして計算を行う。なお、設計竜巻の風圧力による荷重は、図 2-1 及び図 2-2 より、波及的影響を確認する原子炉補機冷却海水ポンプ等が設置される海水ポンプ室との位置関係を考慮して、海水ポンプ室側への進行方向に南側から荷重がかかるものとし、設計飛来物による衝撃荷重は、2基あるエンドストップのうち1基を損傷させたモデルとして考慮する。また、1質点系モデルの強度計算において、海水ポンプ室門型クレーンとエンドストップのピン支持点に集中荷重として作用するものとする。海水ポンプ室門型クレーンのモデル図を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

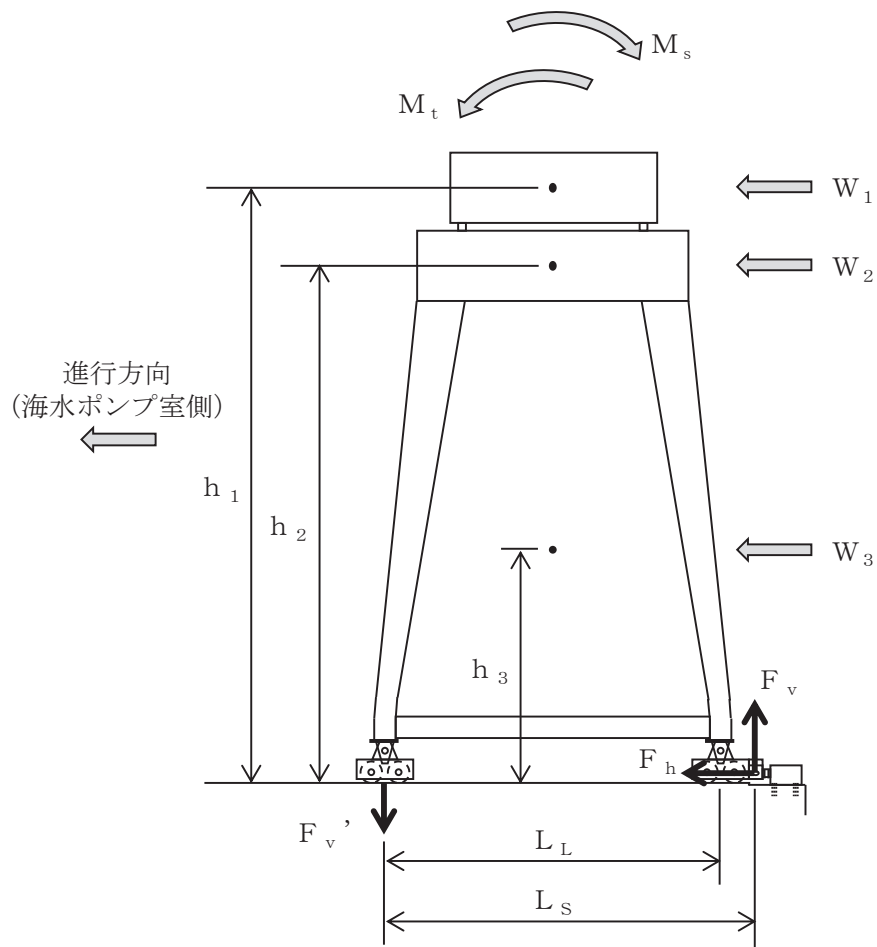


図 3-2 海水ポンプ室門型クレーンのモデル図

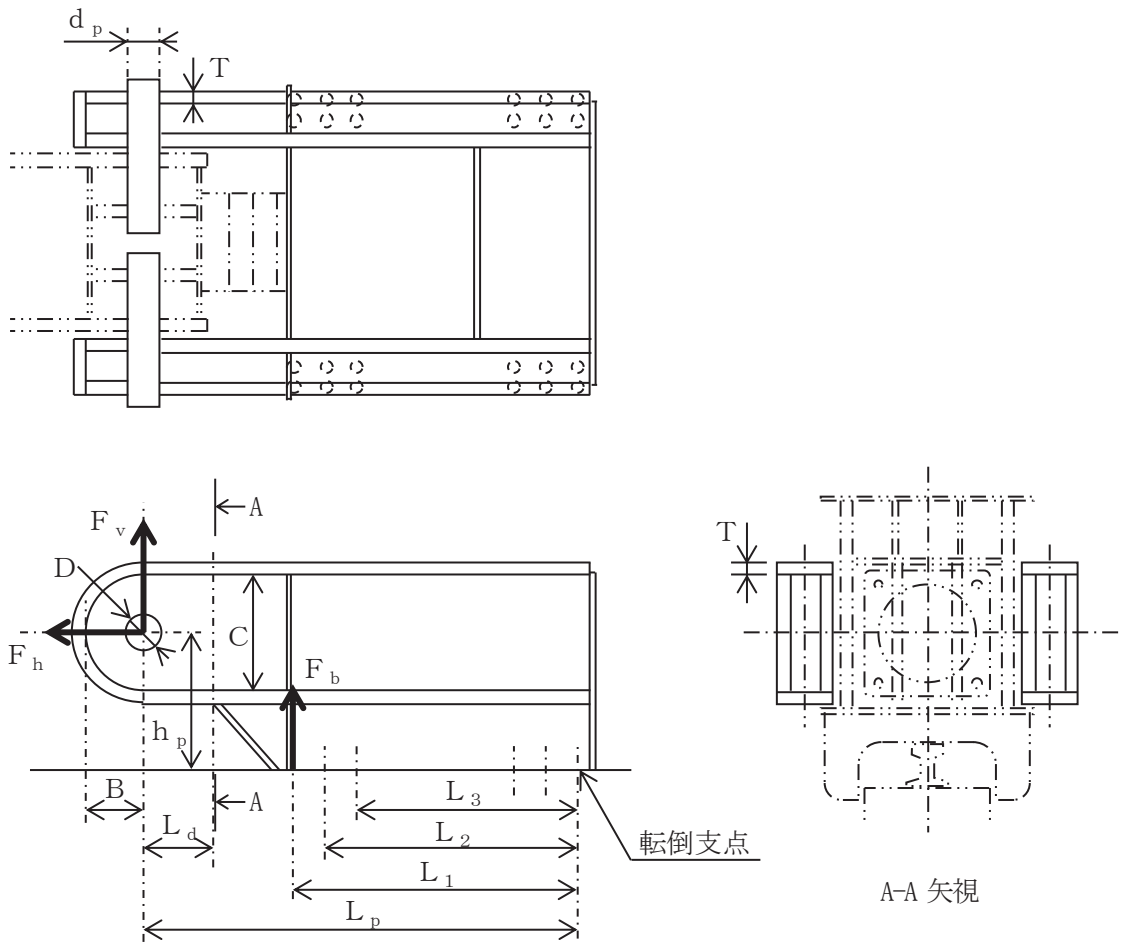


図 3-3 海水ポンプ室門型クレーン（エンドストップ部拡大）のモデル図

(2) 計算方法

- a. 設計竜巻により門型クレーンに発生する転倒モーメント  
 設計竜巻により作用するモーメントは以下の式により算定する。

$$M_t = W_1 \cdot h_1 + W_2 \cdot h_2 + W_3 \cdot h_3$$

- b. 自重による安定モーメント  
 自重により作用するモーメントは以下の式により算定する。

$$M_s = (m_T + m_G + m_L) \cdot g \cdot \frac{L_L}{2}$$

- c. エンドストップに負荷する荷重  
 転倒モーメントと安定モーメントのつり合いにより，エンドストップに負荷される鉛直荷重  $F_v$  及び水平荷重  $F_h$  は以下の式により算定する。

$$F_v = \frac{(M_t - M_s)}{L_s}$$

$$F_h = (W_1 + W_2 + W_3) - \mu \cdot \left\{ \frac{(m_T + m_G + m_L) \cdot g}{2} + F_v \right\}$$

d. エンドストップに生じる応力

(a) ピン穴部に生じる応力

イ. 引張応力

ピン穴部に対する引張応力は以下の式により算定する。

ここで、

ロ. せん断応力

ピン穴部に対するせん断応力は以下の式により算定する。

ここで、

(b) ピンに生じる応力

イ. せん断応力

ピンに対するせん断応力は以下の式により算定する。

ここで、

(c) エンドストップ突出部に生じる応力

イ. 引張応力

エンドストップ突出部に対する引張応力は以下の式により算定する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



ロ. 曲げ応力

エンドストッパ突出部に対する曲げ応力は以下の式により算定する。



e. 基礎ボルトに生じる応力

(a) 基礎ボルトに負荷する荷重

イ. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、最外列のボルトを支点とする転倒を考え、以下の式により算定する。

・引張力

$$F_b = \frac{L_1 (F_v \cdot L_p - F_h \cdot h_p)}{n_f (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}$$

・引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2$$

ロ. せん断応力

基礎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、以下の式により算定する。

・せん断力

$$Q_b = F_h$$

・せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 \cdot f_t'$ (MPa)	$1.5 \cdot f_s'$ (MPa)	$1.5 \cdot f_b'$ (MPa)
SM570 (ピン穴部, エンド ストッパ突出部)	40	450	570	399	399	230	399
SCM440 (ピン)	40	835	980	686	—	396	—
S45C (基礎ボルト)	40	490	690	483	362	278	—

表 4-2 海水ポンプ室門型クレーンの入力条件

B (mm)	C (mm)	D (mm)	T (mm)	$A_{bt}$ (mm <sup>2</sup> )
185	370	122	40	43680

$d_b$ (mm)	$d_p$ (mm)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$h_3$ (mm)	$h_p$ (mm)
30	120	21040	18370	7190	447

$L_d$ (mm)	$L_L$ (mm)	$L_s$ (mm)	$L_p$ (mm)	$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)
220	11000	12078	1372	900	800	700

$m_T$ (kg)	$m_G$ (kg)	$m_L$ (kg)	$W_1$ (N)	$W_2$ (N)	$W_3$ (N)	$Z_b$ (mm <sup>3</sup> )
28800	80800	70100	$1.090 \times 10^5$	$1.042 \times 10^6$	$5.661 \times 10^5$	$4.139 \times 10^6$

n (本)	$n_f$ (本)
24	4

5. 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1 に示す。

エンドストップ及び基礎ボルトに発生する応力は許容限界以下である。

表 5-1 強度評価結果

評価部位		材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
エンド ストップ	ピン穴部	SM570	引張	27	399
			せん断	18	230
	ピン	SCM440	せん断	24	278
	エンドスト ッパ突出部	SM570	引張	25	399
			曲げ	70	399
			組合せ (引張+曲げ)	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{1.5 \cdot f_t} \leq 1$	
				0.24	
				$\frac{\sigma_b - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b} \leq 1$	
0.12					
基礎ボルト	S45C	引張	218	362	
		せん断	63	278	
		組合せ	218	362	

VI-3-別添 1-1-10-3 消音器の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	4
3.1 記号の定義	4
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
3.4 許容限界	8
3.5 評価方法	9
4. 評価条件	12
5. 強度評価結果	13



1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）排気消音器（以下、「ディーゼル発電設備排気消音器」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、ディーゼル発電設備排気消音器の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

ディーゼル発電設備排気消音器について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、ディーゼル発電設備排気消音器の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電設備排気消音器は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、原子炉建屋上面に設置する。ディーゼル発電設備排気消音器の位置図を図 2-1 に示す。

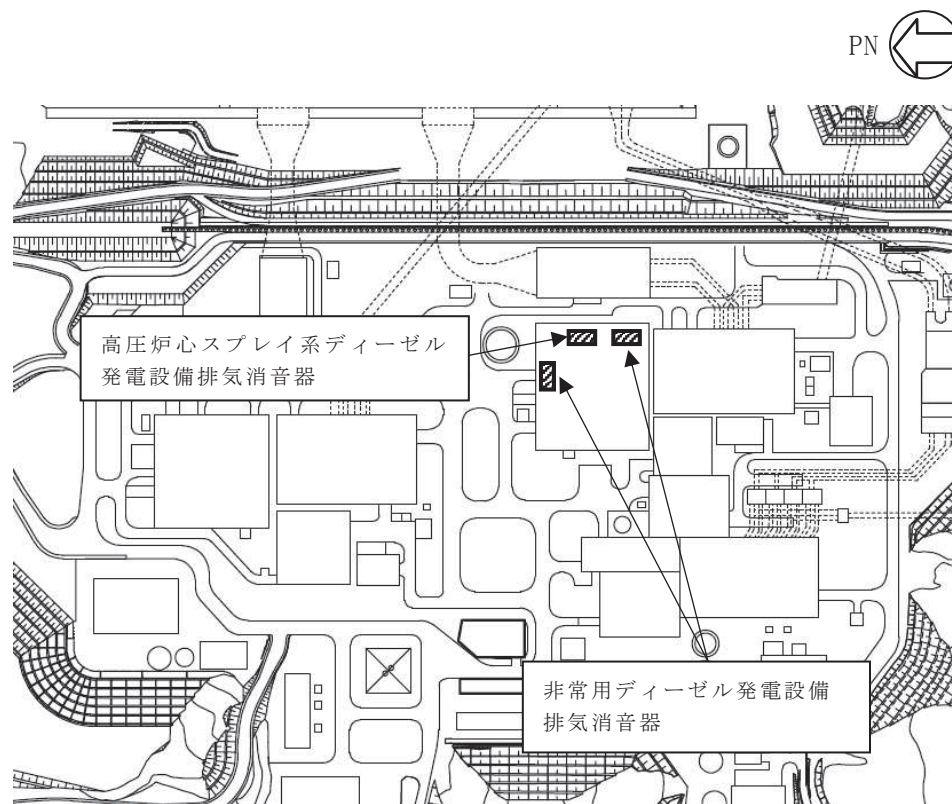
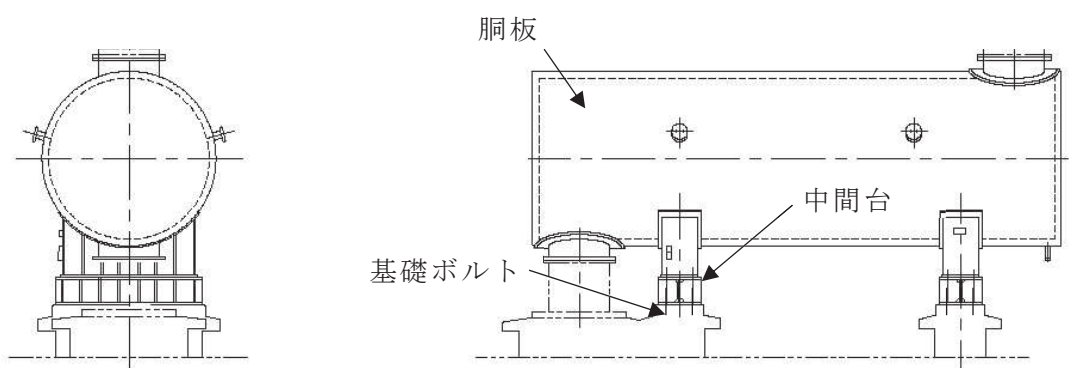


図 2-1 ディーゼル発電設備排気消音器の位置図

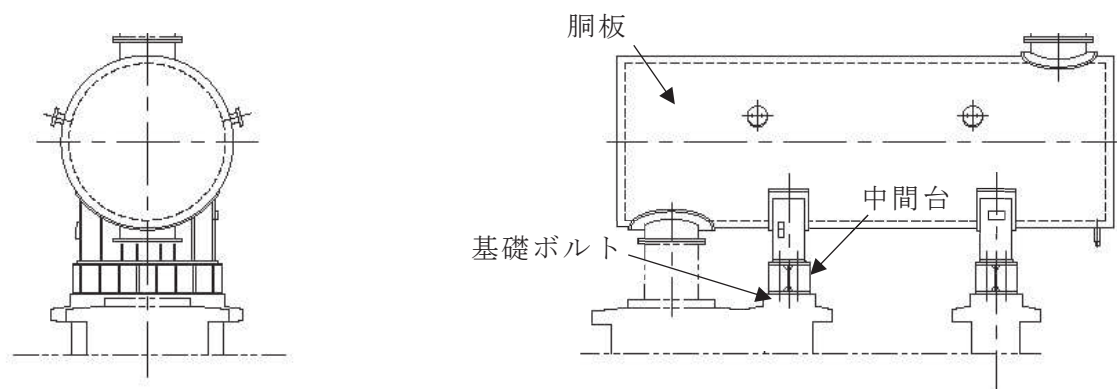
## 2.2 構造概要

ディーゼル発電設備排気消音器について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電設備排気消音器は、原子炉建屋上面に設置しており、基礎ボルトにより固定している。ディーゼル発電設備排気消音器の概要図を図 2-2 に示す。



(a) 非常用ディーゼル発電設備排気消音器



(b) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器

図 2-2 ディーゼル発電設備排気消音器の概要図

### 2.3 評価方針

ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価フローを図2-3に示す。強度評価においては、ディーゼル発電設備排気消音器に対して、設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

ディーゼル発電設備排気消音器の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sとする。

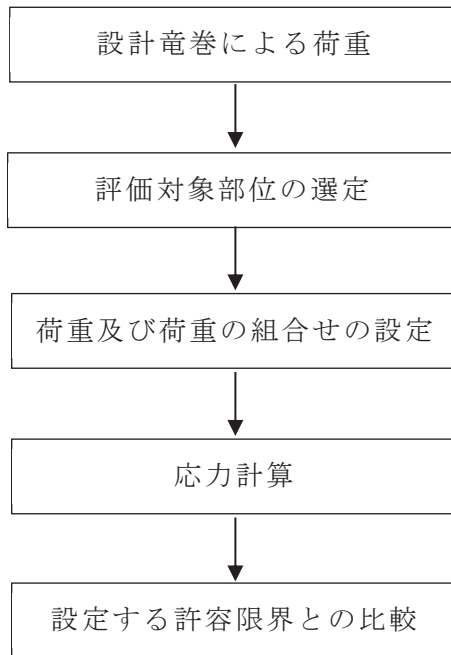


図2-3 ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- ・ J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格  
（以下「設計・建設規格」という。）

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>A</sub>	m <sup>2</sup>	軸方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A <sub>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
A <sub>H</sub>	m <sup>2</sup>	軸直角方向応力評価における受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>A</sub>	—	軸方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C <sub>H</sub>	—	軸直角方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	ボルト呼び径
F	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>bA</sub>	N	ボルトに対する軸方向応力評価における引張力
F <sub>bH</sub>	N	ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
f <sub>s</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1により規定される供用応力状態A及びBでの許容せん断応力
f <sub>t</sub>	MPa	設計・建設規格 SSB-3131.1により規定される供用応力状態A及びBでの許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
H	mm	排気消音器の高さ（全高）
h	mm	排気消音器重心高さ
L <sub>gH</sub>	mm	重心からボルト間の軸直角方向水平距離
L <sub>H</sub>	mm	支点からボルト間の軸直角方向水平距離
L <sub>gA</sub>	mm	重心からボルト間の軸方向水平距離
L <sub>A</sub>	mm	支点からボルト間の軸方向水平距離
m	kg	排気消音器の質量
N	—	ボルトの本数

表3-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$n_{fA}$	—	軸方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$n_{fH}$	—	軸直角方向応力評価における引張力を受けるボルトの本数
$Q_b$	N	ボルトに対するせん断力
$q$	MPa	設計用速度圧
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$W$	mm	排気消音器の幅
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$W_w$	N	設計竜巻の風圧力による荷重
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{bA}$	MPa	軸方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\sigma_{bH}$	MPa	軸直角方向応力評価におけるボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

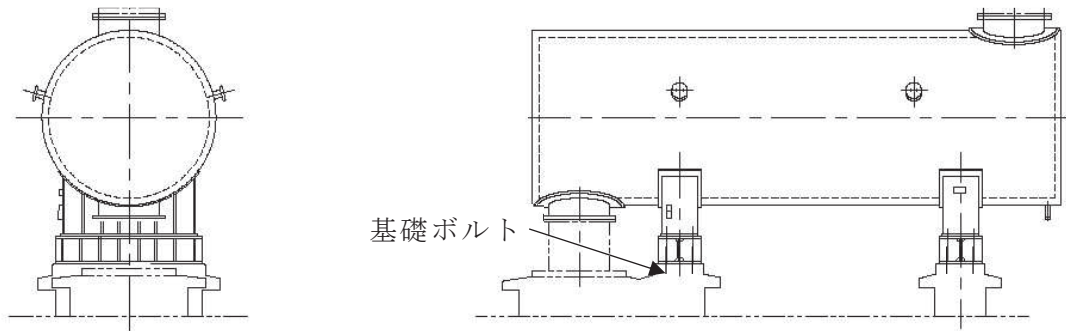
### 3.2 評価対象部位

ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

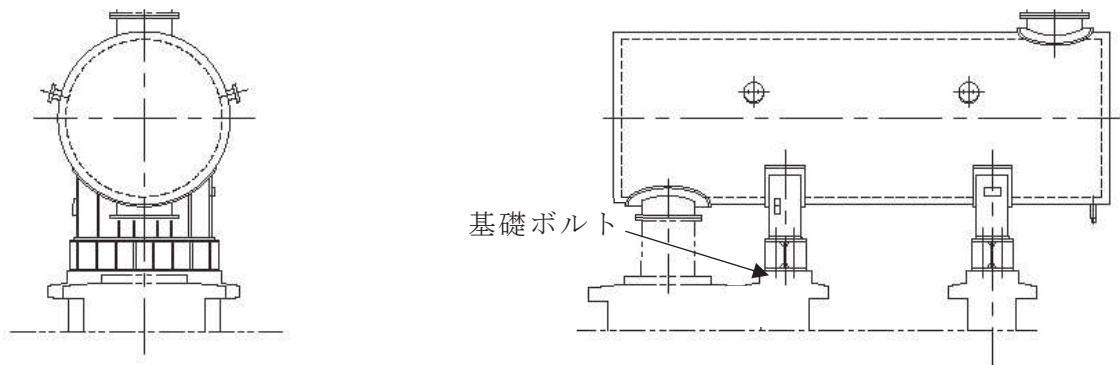
設計竜巻による荷重は、ディーゼル発電設備排気消音器本体に作用し、中間台を介して基礎ボルトに作用する。

ディーゼル発電設備排気消音器の転倒による閉塞により、非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用する基礎ボルトを評価対象部位として設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価における評価対象部位を、図3-1に示す。



(a) 非常用ディーゼル発電設備排気消音器



(b) 高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電設備排気消音器

図 3-1 ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

##### a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

屋外の施設であるため、風圧力による荷重を考慮する。ディーゼル発電設備排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差は発生しないことから、気圧差による荷重は考慮しない。また、ディーゼル発電設備排気消音器は排気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されることから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位ごとに設定する。

ディーゼル発電設備排気消音器の基礎ボルトには、自重及び風圧力による荷重が作用する。

強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外部事象防護対象施設等に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	非常用ディーゼル発電設備排気消音器	基礎ボルト	① 自重 ② 風圧力による荷重
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器		

3.4 許容限界

ディーゼル発電設備排気消音器の基礎ボルトの許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態 III<sub>A</sub>S の許容応力の許容荷重を用いる。



許容限界は J E A G 4 6 0 1 を準用し，その他支持構造物の許容限界を適用し，許容応力状態 III<sub>A</sub>S から算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い，設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが，温度が設計・建設規格 付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。ただし，設計・建設規格 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

ディーゼル発電設備排気消音器の基礎ボルトの許容限界を表 3-3 に，許容応力を表 3-4 にそれぞれ示す。

表 3-3 許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
基礎ボルト	III <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$1.5 f_t$
			せん断	$1.5 f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{ 1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau) \}$

表 3-4 許容応力

評価対象部位	材料	温度条件(°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F(MPa)	1.5 f <sub>t</sub> (MPa)	1.5 f <sub>s</sub> (MPa)
基礎ボルト	SS400	40*	235	400	235	176	135

注記 \* : 周囲環境温度

### 3.5 評価方法

ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価は，添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 計算モデル

受圧面の重心位置に風圧力による荷重が作用する 1 質点系モデルとして計算を行う。ディーゼル発電設備排気消音器の計算モデル図を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

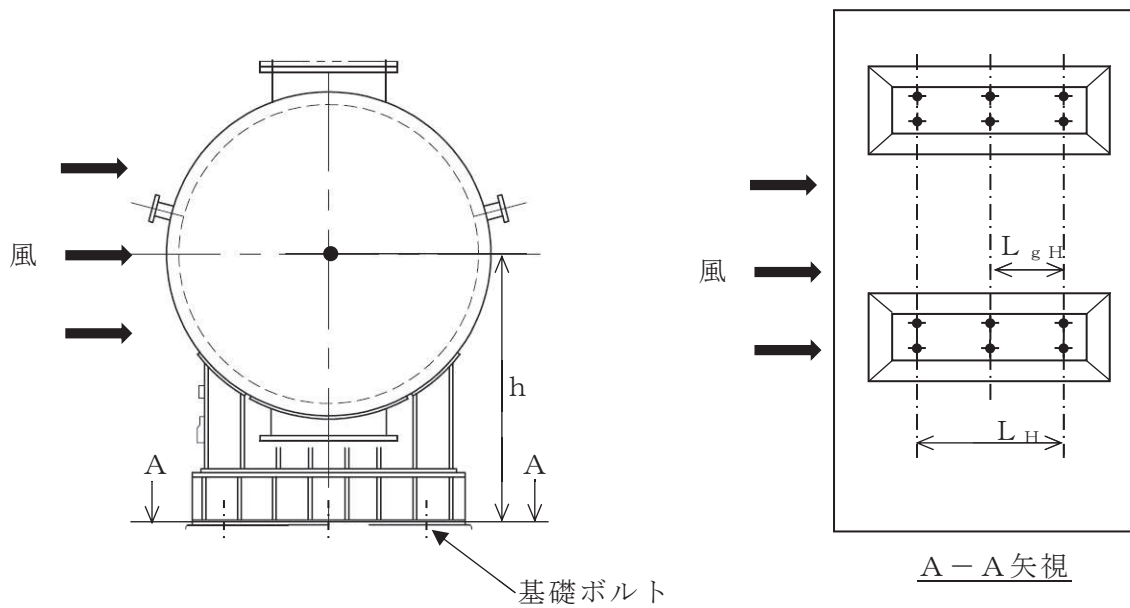


図 3-2 ディーゼル発電設備排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸直角方向）

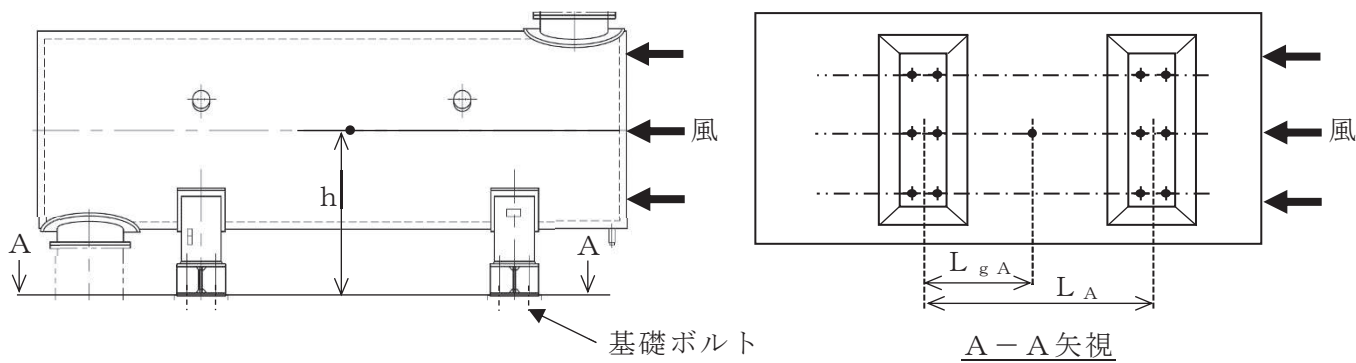


図3-3 ディーゼル発電設備排気消音器の計算モデル図（風荷重方向：軸方向）

(2) 計算方法

a. 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-2 及び図 3-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

(a) 軸直角方向

イ. 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gH}}{n_{fH} \cdot L_H}$$

ただし、 $F_{bH} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bH} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{bH}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(b) 軸方向

イ. 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gA}}{n_{fA} \cdot L_A}$$

ただし、 $F_{bA} \leq 0$  ならば引張力は発生しない。

$F_{bA} > 0$  ならば引張力は作用しているので、以下の引張応力の計算を行う。

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bA} = \frac{F_{bA}}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

b. せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

$$Q_b = W_T$$

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 評価条件

q (MPa)	G (-)	C <sub>H</sub> (-)	C <sub>A</sub> (-)	g (m/s <sup>2</sup> )
6.13 × 10 <sup>-3</sup>	1.0	1.2	2.4	9.80665

表 4-2 評価条件（非常用ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト）

L <sub>gH</sub> (mm)	L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>gA</sub> (mm)	L <sub>A</sub> (mm)	A <sub>H</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>A</sub> (m <sup>2</sup> )
900	1800	2100	4200	26.94	6.991

W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)	ボルト サイズ	N (-)
7900	3410	1910	13500	M30	12

n <sub>fH</sub> (-)	n <sub>fA</sub> (-)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
4	3	706.9

表 4-3 評価条件（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト）

$L_{gH}$ (mm)	$L_H$ (mm)	$L_{gA}$ (mm)	$L_A$ (mm)	$A_H$ ( $m^2$ )	$A_A$ ( $m^2$ )
760	1520	1325	2650	19.11	5.328

W (mm)	H (mm)	h (mm)	m (kg)	ボルト サイズ	N (-)
6350	3010	1710	10000	M30	12

$n_{fH}$ (-)	$n_{fA}$ (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )
4	3	706.9

5. 強度評価結果

強度評価結果を表 5-1，表 5-2 に示す。

非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 強度評価結果（軸直角方向）

評価対象部位	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト	引張	51	176
	せん断	24	135
	組合せ	51	176
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト	引張	39	176
	せん断	17	135
	組合せ	39	176

表 5-2 強度評価結果（軸方向）

評価対象部位	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
非常用ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト	引張	-*	176
	せん断	13	135
	組合せ	—	176
高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト	引張	1	176
	せん断	10	135
	組合せ	1	176

注記 \* :  $F_{bA} \leq 0$  であるため引張応力は発生しない。

VI-3-別添 1-1-10-4 ミスト配管及びベント配管の強度計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	6
3.3 荷重及び荷重の組合せ	7
3.4 許容限界	9
3.5 強度評価の計算方法	10
4. 評価条件	13
5. 強度評価結果	15



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、屋外に設置している非常用ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管、非常用ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管、非常用ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び非常用ディーゼル発電設備潤滑油サンプタンクミスト配管並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料デイトンクミスト配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料油ドレンタンクミスト配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備機関ミスト配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備潤滑油補給タンクミスト配管（以下「非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管」という。）及び軽油タンクベント配管が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

屋外に設置している非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図 2-1 に示す位置に設置する。

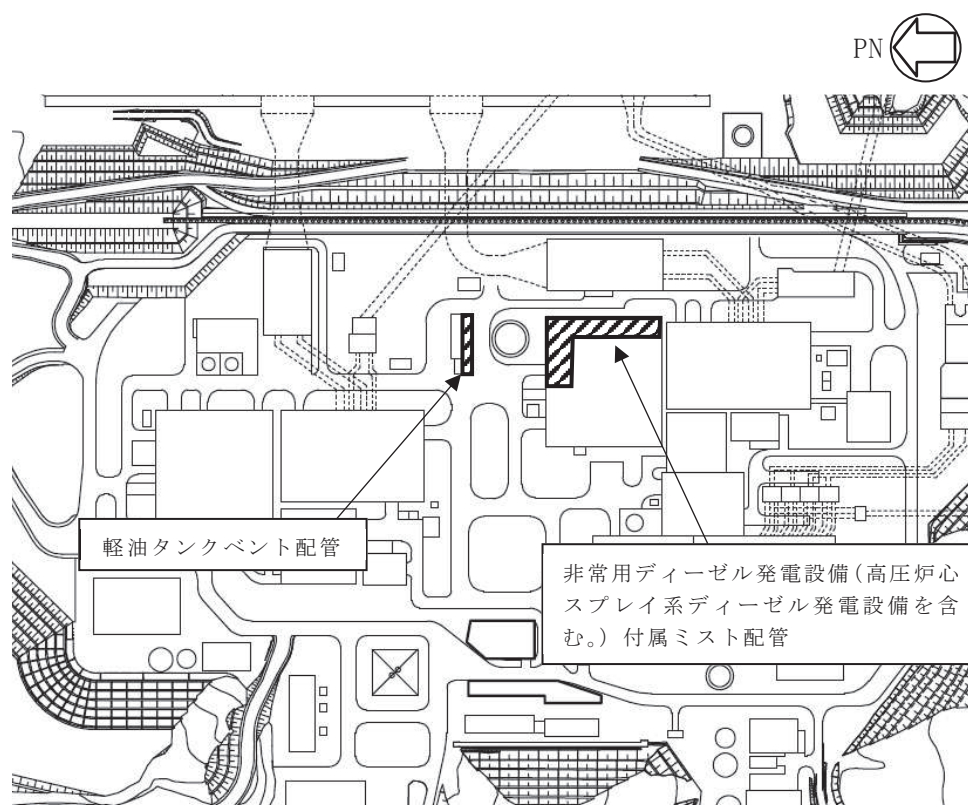


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の位置図

## 2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管について、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、鋼製の配管で構成される。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は、支持構造物により建屋壁面や軽油タンク室等に固定する構造とする。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の概要図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

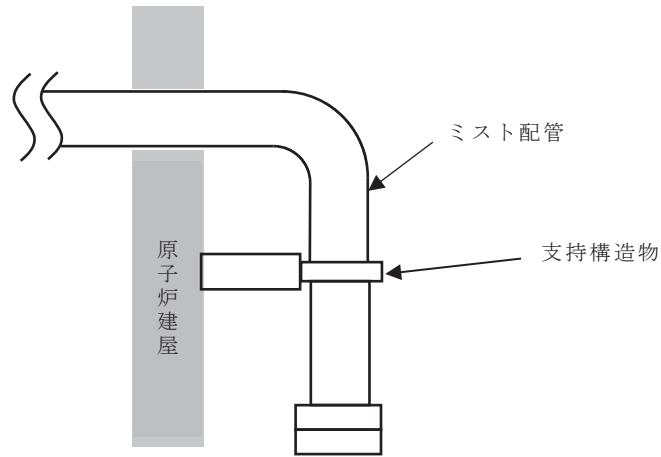


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
付属ミスト配管の概要図

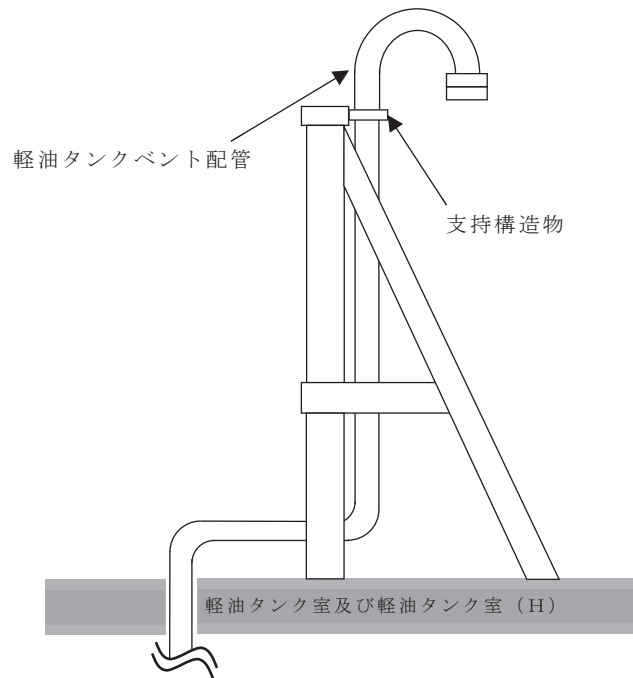


図 2-3 軽油タンクベント配管の概要図

### 2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」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、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を

用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価フローを図2-4に示す。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

強度評価において、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管に対しては、設計竜巻による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。

強度評価では、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の許容限界は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）」、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）」（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ<sub>A S</sub>とする。

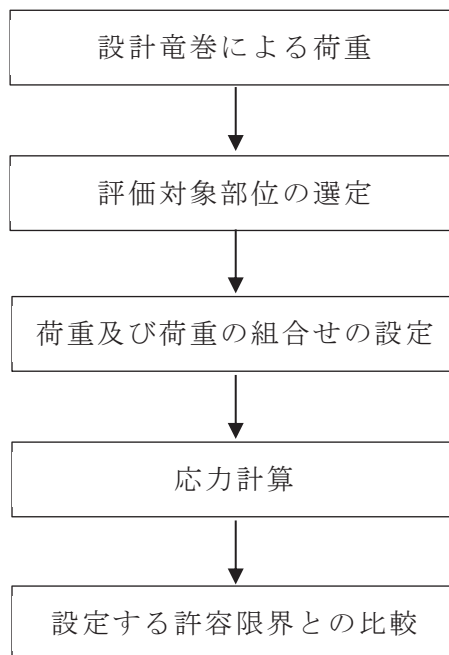


図2-4 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）
- ・J S M E S N C 1-2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下「設計・建設規格」という。）
- ・日本機械学会 1987年 新版機械工学便覧

## 3. 強度評価方法

### 3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表3-1 強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup> /m	単位長さ当たりの施設の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風荷重により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	MPa	設計用速度圧
S <sub>y</sub>	MPa	設計・建設規格 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
W <sub>w</sub>	N/m	設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重

表3-1 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
$\pi$	—	円周率
$\Delta P$	MPa	設計竜巻の気圧低下量
$\sigma_1, \sigma_2$	MPa	配管に生じる応力
$\sigma_{WP}$	MPa	気圧差により生じる応力
$\sigma_{WT1}, \sigma_{WT2}$	MPa	複合荷重により生じる応力
$\sigma_{WW}$	MPa	風圧力により生じる応力
$\sigma_{自重}$	MPa	自重により生じる応力
$\sigma_{内圧}$	MPa	内圧により生じる応力

### 3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による荷重は、配管本体及びサポート（配管支持構造物）に作用する。サポート（配管支持構造物）については、建屋内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であるため、竜巻による荷重に対するサポート（配管支持構造物）の設計は耐震設計に包絡される。

このことから、配管本体を評価対象部位として選定する。

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価における評価対象部位を図 3-1、図 3-2 に示す。

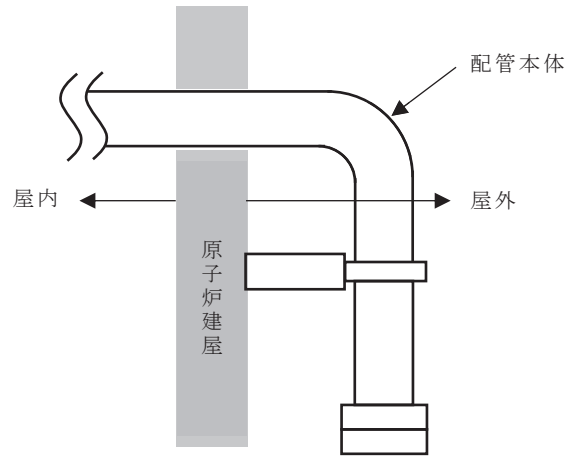


図3-1 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）  
付属ミスト配管の評価対象部位

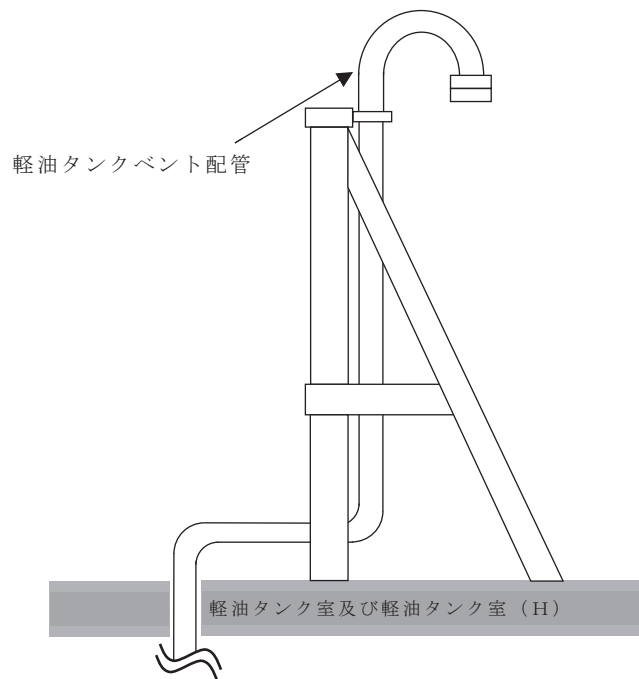


図3-2 軽油タンクベント配管の評価対象部位

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び気圧差による荷重を考慮する。なお、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管は通気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の通気箇所から通気され、閉塞することはないため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重  $W_w$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

(b) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

気圧差による荷重  $W_p$  は、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価方法に従って、気圧差を見かけ上の配管の内圧の増加として考慮する。具体的な計算方法は、「3.5 強度評価の計算方法」に示す。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び内圧が作用する。強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-2 に示す。



表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管</li> <li>・ 軽油タンクベント配管</li> </ul>	配管本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>①風圧力による荷重</li> <li>②気圧差による荷重</li> <li>③自重</li> <li>④内圧</li> </ul>

### 3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）付属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の許容限界は、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位ごとに、添付書類「VI-3-別添1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界及び機能損傷モードを踏まえて、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容応力の許容荷重を用いる。

許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「クラス2,3配管」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sから算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が設計・建設規格付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、設計・建設規格 付録材料図表Part5,6で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

配管の強度評価における許容限界を表3-3、許容応力を表3-4に示す。

表 3-3 配管の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜+曲げ）
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub>

表 3-4 配管の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件* (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)
機関ミスト配管	114.3	STPT410	45	242
潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管	76.3	STPT410	45	242
燃料油ドレンタンクミスト配管	42.7	STPT410	45	242
燃料デイトンクミスト配管	60.5	STPT410	45	242
軽油タンクベント配管	114.3	STPT370	66	199

注記 \*：最高使用温度

### 3.5 強度評価の計算方法

非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

#### (1) 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は管外径、材料ごとにサポートの支持間隔が最長となる箇所を選定する。

なお、非常用ディーゼル発電設備（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を含む。）附属ミスト配管及び軽油タンクベント配管の配管端部は、片持ち形状となっていることから、配管端部についても片持ち梁として評価を行う。

両端支持形状の配管モデル図を図 3-3 に、片持ち形状の配管モデル図を図 3-4 に示す。

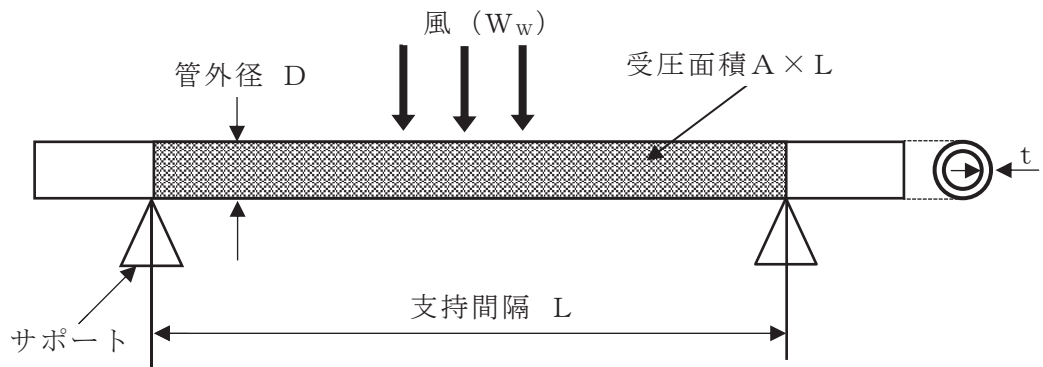


図 3-3 配管モデル図 (両端支持形状)

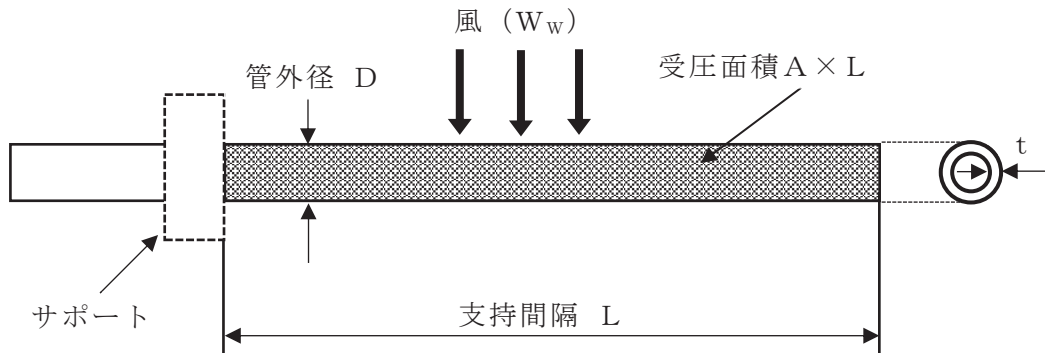


図3-4 配管モデル図 (片持ち形状)

(2) 計算方法

a. 竜巻による応力計算

(a) 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり，曲げ応力を発生させるものとして，以下の式により算定する。

(両端支持形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

ここで

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \left\{ D^4 - (D - 2 \cdot t)^4 \right\}$$

(b) 気圧差により生じる応力

気圧差による荷重は、気圧が低下した分、内圧により生じる一次一般膜応力が増加すると考えて、その応力増加分を以下の式により算定する。

$$\sigma_{WP} = \frac{\Delta P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、(a)、(b)項の複合荷重により生じる応力 $\sigma_{WT1}$ 及び $\sigma_{WT2}$ は以下の式により算出する。

$$\sigma_{WT1} = \sigma_{WP}$$

$$\sigma_{WT2} = \sigma_{WW} + 0.5 \cdot \sigma_{WP}$$

b. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

(両端支持形状)

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち支持形状)

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力として以下の式により $\sigma_1$ 及び $\sigma_2$ を算出する。

$$\sigma_1 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT1}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{WT2}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-6 に示す。

表 4-1 共通評価条件

ガスト係数 G (-)	風力係数 C (-)	設計用速度圧 q (MPa)	気圧低下量 $\Delta P$ (MPa)	重力加速度 g (m/s <sup>2</sup> )
1	1.2	$6.13 \times 10^{-3}$	$7.6 \times 10^{-3}$	9.80665

表 4-2 評価条件（機関ミスト配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
114.3	両端支持	STPT410	3.296	6.0	16.03	0.1143	0.1013
	片持ち	STPT410	0.422	6.0	77.63	0.2163	0.1013

表 4-3 評価条件（潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
76.3	両端支持	STPT410	3.258	5.2	9.118	0.0763	0.1013
	片持ち	STPT410	0.418	5.2	30.86	0.1143	0.1013

表 4-4 評価条件（燃料油ドレンタンクミスト配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
42.7	両端支持	STPT410	2.310	4.9	4.568	0.0427	0.1013
	片持ち	STPT410	0.418	4.9	21.56	0.0763	0.1013

表 4-5 評価条件（燃料デイトンクミスト配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
60.5	両端支持	STPT410	2.683	5.5	7.460	0.0605	0.1013
	片持ち	STPT410	1.222	5.5	15.60	0.0891	0.1013

表 4-6 評価条件（軽油タンクベント配管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ当 たりの質量 m (kg/m)	単位長さ当 たりの受圧面積 A (m <sup>2</sup> /m)	内圧 P (MPa)
114.3	両端支持	STPT370	3.160	6.0	16.03	0.1143	0.1013
	片持ち	STPT370	1.127	6.0	20.64	0.1143	0.1013

## 5. 強度評価結果

## (1) 機関ミスト配管

強度評価結果を表5-1に示す。

機関ミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-1 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
114.3	両端支持	STPT410	5	27	242
	片持ち	STPT410	3	5	242

## (2) 潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管

強度評価結果を表5-2に示す。

潤滑油サンプタンクミスト配管及び潤滑油補給タンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-2 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	両端支持	STPT410	7	45	242
	片持ち	STPT410	2	6	242

## (3) 燃料油ドレンタンクミスト配管

強度評価結果を表5-3に示す。

燃料油ドレンタンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-3 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
42.7	両端支持	STPT410	7	49	242
	片持ち	STPT410	5	14	242

(4) 燃料デイトンクミスト配管

強度評価結果を表5-4に示す。

燃料デイトンクミスト配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
60.5	両端支持	STPT410	6	40	242
	片持ち	STPT410	10	51	242

(5) 軽油タンクベント配管

強度評価結果を表5-5に示す。

軽油タンクベント配管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-5 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	許容応力 (MPa)
114.3	両端支持	STPT370	5	25	199
	片持ち	STPT370	3	14	199



## VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針

## 目次

1.	概要	1
2.	強度設計の基本方針	2
2.1	対象施設	2
2.2	構造強度の設計方針	2
2.3	荷重及び荷重の組合せ	3
2.4	構造設計	11
2.5	評価方針	18
3.	防護対策施設の構成要素の設計方針	20
3.1	竜巻防護ネットの構造設計	20
3.2	竜巻防護鋼板の構造設計	25
4.	防護対策施設の構成要素の評価方針	26
4.1	竜巻防護ネットの評価方針	26
4.2	竜巻防護鋼板の評価方針	33
5.	許容限界	35
5.1	竜巻防護ネットの許容限界	35
5.2	竜巻防護鋼板の許容限界	49
6.	強度評価方法	50
6.1	竜巻防護ネットの強度評価	50
6.2	竜巻防護鋼板の強度評価	70
7.	適用規格	71

## 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」第7条及び「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、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」に基づき、防護対策施設が、設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度設計方針について説明するものである。

## 2. 強度設計の基本方針

強度設計は、「2.1 対象施設」に示す施設を対象として、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により、「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

### 2.1 対象施設

添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3 竜巻への配慮に関する説明書」の「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」に基づき、以下の防護対策施設を対象とする。

- ・海水ポンプ室竜巻防護対策施設（竜巻防護ネット）
- ・原子炉補機室換気空調系開口部竜巻防護対策施設（竜巻防護鋼板）

### 2.2 構造強度の設計方針

防護対策施設は、設置（変更）許可を受けた設計飛来物のうち鋼製材（以下「飛来物」という。）の外部事象防護対象施設への衝突を防止するものであり、添付書類「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の設計とする。

#### (1) 竜巻防護ネット

ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉できる設計とする。

防護板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が防護板を貫通せず、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

支持部材は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

#### (2) 竜巻防護鋼板

防護鋼板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他

の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通せず，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

架構は，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

### 2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

#### (1) 荷重の種類

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は，持続的に生じる荷重であり，自重及び上載荷重とする。なお，竜巻防護ネットのワイヤロープ及び接続冶具（支持部，固定部）の評価時は，上載荷重としてネットの自重を考慮する。

##### b. 設計竜巻による荷重 ( $W_T$ )

設計竜巻（最大風速 100 m/s）による荷重は，設計竜巻の以下の特性を踏まえ，風圧力による荷重，気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 2-1 に示す。

##### ・ 竜巻の最大気圧低下量 ( $\Delta P$ )

フジタモデルにおける竜巻の最大気圧低下量は，流れの連続式と運動量保存則から導出される以下の圧力ポアソン方程式を用いる。

$$\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial^2 p}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x_3^2} \right) = - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left( U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \nu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} \right)$$

$\rho$  : 空気密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$p$  : 圧力 (N/mm<sup>2</sup>)

$x$  : 座標 (—)

$U$  : 風速ベクトル (—)

$\nu$  : 動粘性係数 (m<sup>2</sup>/s)

##### ・ 竜巻の最大接線風速 ( $V_{Rm}$ )

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 (m/s)

$V_T$  : 竜巻の移動速度 (m/s)

- ・ 竜巻の移動速度 ( $V_T$ )

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

$V_D$  : 竜巻の最大風速 (m/s)

表 2-1 設計竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の最大風速は、一般的には水平方向の風速として算出されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる防護対策施設が存在する場合には、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮する。

風圧力による荷重は、施設の形状により変化するため、施設の部位ごとに異なる。そのため、各施設及び評価対象部位に対して厳しくなる方向からの風を想定し、各施設の部位ごとに荷重を設定する。

ガスト影響係数 ( $G$ ) は、設計竜巻の風速が最大瞬間風速をベースとしていること等から施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して、 $G = 1.0$  とする。空気密度 ( $\rho$ ) は「REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1」(米国原子力規制委員会)より  $\rho = 1.226 \text{ kg/m}^3$  とする。

設計用速度圧 ( $q$ ) については、施設の形状によらず  $q = 6130 \text{ N/m}^2$  とする。

(b) 気圧差による荷重 ( $W_p$ )

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設 (通気がない施設) については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、気圧差による荷重を設定することを基本としているが、防護対策施設は外気と通じており、施設の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c) 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が防護対策施設に衝突した場合の衝撃荷重を算出する。

衝突評価においても、飛来物の衝突による影響が大きくなる向きで衝突することを考慮して評価を行う。

飛来物の諸元を表 2-2 に示す。飛来物の飛来速度については、設置（変更）許可を受けたとおり設定する。なお、鉛直方向の飛来速度については、添付書類「VI-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、敷地内の高台から飛来物が到達する対象施設に対して、高台を考慮した鉛直速度を解析コード「TONBOS」を用いて算出して設定する。評価に用いた解析コード「TONBOS」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・TONBOS」に示す。

表 2-2 飛来物の諸元

	鋼製材
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2
質量 (kg)	135
水平方向の飛来速度 (m/s)	46.6
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	16.7

c. 運転時に作用する荷重 ( $F_P$ )

運転時の状態で作用する荷重は、配管等に作用する内圧等であり、防護対策施設には作用しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の設計に用いる竜巻の荷重は、気圧差による荷重 ( $W_P$ ) を考慮した複合荷重  $W_{T1}$ ，並びに設計竜巻の風圧力による荷重 ( $W_W$ )，気圧差による荷重 ( $W_P$ ) 及び飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) を組み合わせた複合荷重  $W_{T2}$  を以下のとおり設定する。

$$W_{T1} = W_P$$

$$W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$$

竜巻の影響を考慮する施設には、 $W_{T1}$  及び  $W_{T2}$  の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ、適切な組合せを設定する。防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せを、表 2-3 に示す。

表 2-3 防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せ

分類	強度設計の対象施設		評価内容	荷重					
				常時作用する荷重( $F_d$ )		風圧力による荷重( $W_w$ )	気圧差による荷重( $W_p$ )	飛来物による衝撃荷重( $W_m$ )	運転時の状態で作用する荷重( $F_p$ )
				自重	上載荷重				
防護対策施設	竜巻防護ネット	ネット	構造強度	○	—	○	—*1	○	—
		防護板*2	衝突	—	—	—	—	○	—
			衝突	—	—	—	—	○	—
		支持部材	構造強度	○	○	○	—*1	○	—
	防護鋼板		衝突	—	—	—	—	○	—
	竜巻防護鋼板	鋼板	構造強度	○	—	○	—*1	○	—
架構			○	○	○	—*1	○	—	

注記 \*1：外気と通じており，気圧差は生じない。

\*2：防護板は支持部材に荷重を伝達する構造であることから，防護板の構造強度評価については支持部材の構造強度評価に包含される。

### (3) 荷重の算定方法

「2.3(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち，竜巻防護ネットに生じる荷重の算出式を以下に示す。

#### a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を，表 2-4 に示す。



表 2-4 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	金網の受圧面積
A <sub>a</sub>	m <sup>2</sup>	金網の面積
C	—	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
d	m	飛来物衝突後の計飛来物の移動距離
E <sub>f</sub>	kJ	飛来物衝突時に金網に作用するエネルギー
F <sub>a</sub>	kN	飛来物衝突時に金網が受ける最大衝撃荷重
F <sub>a</sub> ''	kN	飛来物衝突時に金網が受ける衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度（g=9.80665）
L <sub>x</sub>	m	金網展開方向の実寸法
L <sub>y</sub>	m	金網展開直角方向の実寸法
m	kg	飛来物の質量
m <sub>1</sub>	kg/m <sup>2</sup>	主金網の単位面積当たりの質量
m <sub>2</sub>	kg/m <sup>2</sup>	補助金網の単位面積当たりの質量
n	—	主金網の設置枚数
n <sub>1</sub>	—	補助金網の設置枚数
P <sub>w</sub>	kN	金網の自重により作用する荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	N/mm <sup>2</sup>	設計用速度圧
t	s	時間
t <sub>1</sub>	s	飛来物が衝突し金網のたわみ量が最大になる時間
V	m/s	金網への衝突後の飛来物の移動速度
V <sub>1</sub>	m/s	金網への飛来物の衝突速度
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
W <sub>w</sub>	kN	風圧力による荷重
δ	m	飛来物衝突時の金網の最大たわみ量
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
φ	—	金網の充実率

b. 自重による荷重の算出

竜巻防護ネットに常時作用する荷重として、自重を考慮する。自重により作用する荷重は、ネット等の設置方向を考慮する。水平設置の場合は、鉛直下向きに発生するものとして評価する。鉛直設置の場合は、自重と飛来物の衝撃荷重の作用する方向が異なることから考慮しない。

ネットにおいては、自重による荷重  $P_w$  は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot n_1)}{1000}$$

と算出される。

$A_a$  は金網の実寸法  $L_x$ ,  $L_y$  を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A}{1000}$$

ここで、

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ネットにおいては、金網の充実率を  $\phi$  とすると、風圧力による荷重を受ける金網の受圧面積  $A$  は次式のとおりとなる。

$$A = \phi \cdot A_a$$

(b) 飛来物による衝撃荷重の算出

ネットにおいて、金網が最大たわみに達するまでの衝撃荷重  $F_a''$  を図 2-1 に示すような二等辺三角形荷重 ( $F_a''$  は時間とともに比例して増加する) と仮定する。

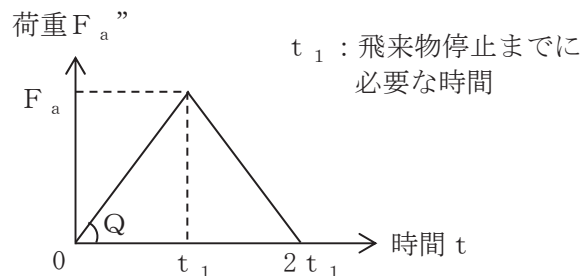


図 2-1 金網に作用する衝撃荷重の時間変化の模式図

ここで、飛来物が金網に接触し（ $t = 0$ ）、金網が最大変形し（ $t = t_1$ ）、飛来物がリバウンドする（ $t = t_1 \sim 2 t_1$ ）過程において、飛来物は金網に接触しているものと考え、最大衝撃荷重の発生時間は、金網が最も変形し、エネルギーを蓄えているときに生じているものとして  $t = t_1$  とする。これより、 $F_a$  は以下のとおり算出される。

$$F_a = Q \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

したがって、金網への衝突後の飛来物の移動速度  $V$  は、飛来物の運動量の変化から、(2.1) 式の衝撃荷重  $F_a$  を基に、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \quad \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

さらに、金網への衝突後の飛来物の移動距離  $d$  は、(2.2) 式の数値  $V$  から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

飛来物が衝突し金網のたわみが最大になる時間  $t_1$  における金網の最大変位  $\delta$  は、飛来物の速度は  $V = 0$  であるから、(2.2) 式及び (2.3) 式より、

$$\begin{aligned} Q \cdot t_1^2 &= 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \dots\dots\dots (2.4) \\ \delta &= -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1 \end{aligned}$$

上記 2 式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

以上より、時間  $t_1$  における飛来物による衝撃荷重  $F_a$  は (2.1) 式及び (2.4) 式より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、(2.5) 式と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (2.6)$$

また、時間  $t_1$  における飛来物の衝突により金網に作用するエネルギー  $E_f$  は、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

したがって、(2.6) 式及び (2.7) 式より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (2.8)$$

(2.8) 式に、たわみ評価で算出する、飛来物が衝突する場合の金網の最大たわみ量  $\delta$  を代入し、 $F_a$  を算出する。

## 2.4 構造設計

防護対策施設は、「2.2 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

### (1) 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットは、ネット、防護板及び支持部材で構成し、海水ポンプ室補機ポンプエリア上面に設置することで、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止し、外部事象防護対象施設とネットの離隔を確保することなどにより、ネットにたわみが生じたとしても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、竜巻防護ネットは、海水ポンプ室躯体に支持される構造とする。

ネットは金網、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）により構成され、ネットに作用する荷重をワイヤロープ及び接続治具を介して支持部材に伝達し、支持部材から海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

金網は、らせん状の硬鋼線を 3 次元的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち、支持部材の配置、金網に作用する荷重、金網の有する限界吸収エネルギー及び飛来物衝突時のたわみ量を考慮し、金網の展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して、フレーム内に複数枚を重ねて設置する構造とする。また、金網に飛来物が衝突した際、ワイヤロープに瞬間的な大荷重が作用するのを防ぐため、金網の外側の四隅には緩衝材を設置する構造とする。接続治具（支持部）はターンバックル及びシャックルにより構成され、ワイヤロープを支持する構造とする。接続治具（固定部）は緩衝材の隅角部固定ボルト及び取付プレートにより構成され、ワイヤロープを支持部材のフレームに固定する構造とする。

防護板は、鋼板により構成され、防護板に作用する荷重は支持部材に伝達する構造とする。

ネット及び防護板の支持部材は、フレーム、大梁、可動支承、ゴム支承等により構成され、上載するネット及び防護板を支持する構造とし、支持部材に作用する荷重は、基礎ボルトを介して、海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。また、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない構造とする。

竜巻防護ネットの構造計画を表 2-5 に示す。

表 2-5 竜巻防護ネットの構造計画(1/3)

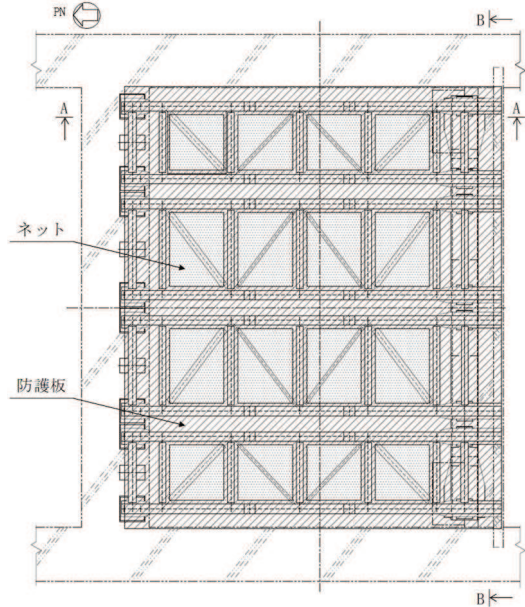
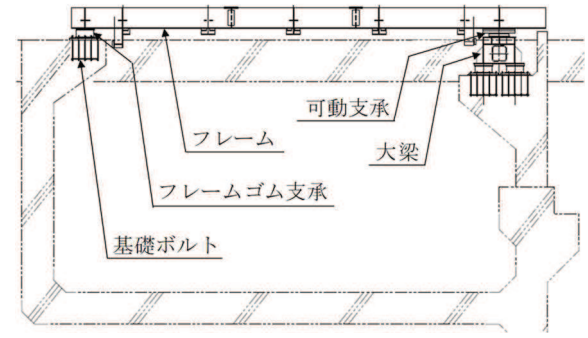
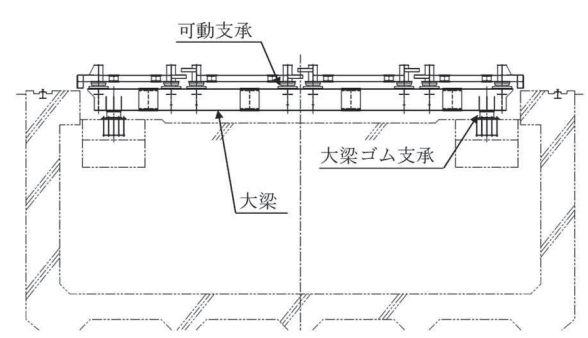
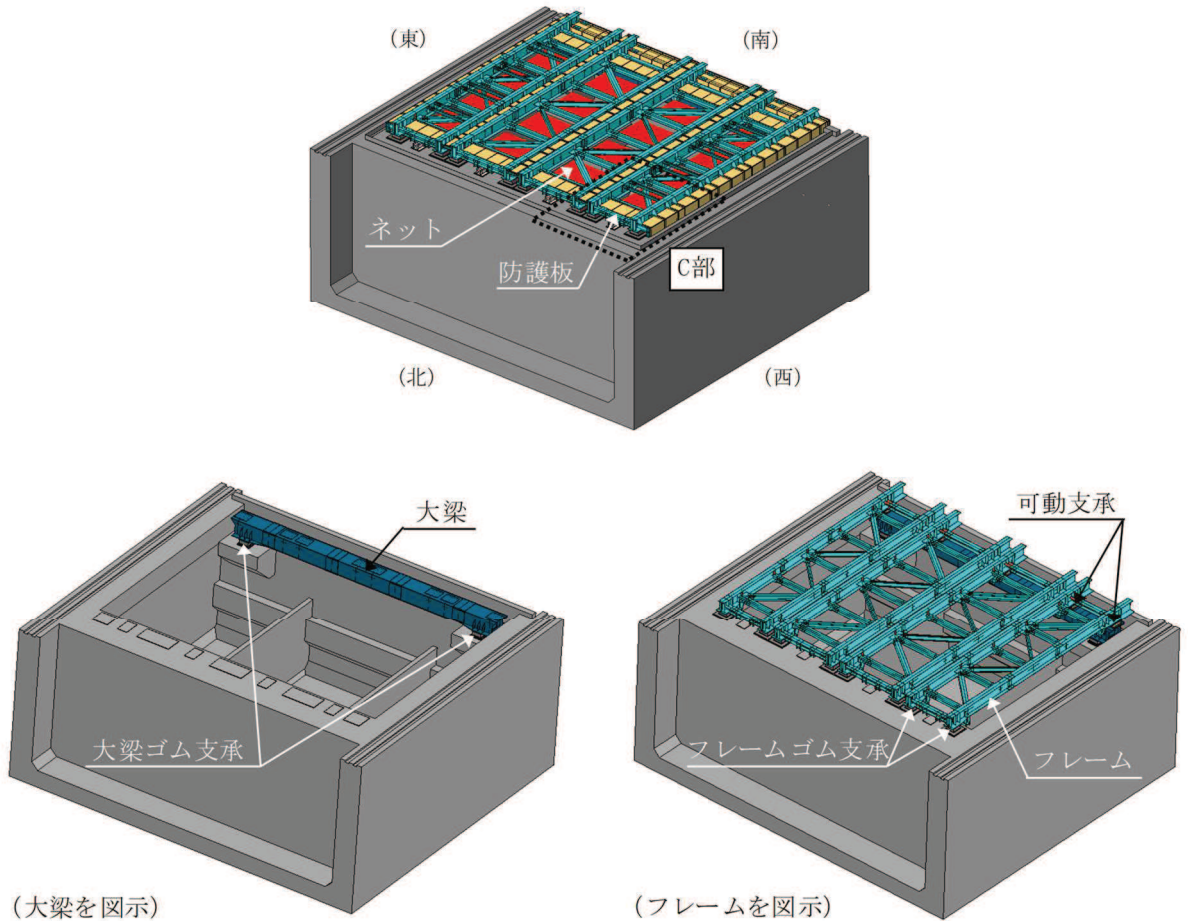
構成要素	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ネット，防護板及び支持部材は，飛来物が侵入した場合に，外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある海水ポンプ室補機ポンプエリア上面に設置する設計としている。</p>			
ネット	ネットは，金網，ワイヤロープ及び接続治具により構成する。	<p>ネットに作用する荷重は，ワイヤロープ及び接続治具を介して支持部材に伝達し，支持部材から鉄筋コンクリート造の海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。</p> <p>また，防護板に作用する荷重は，支持部材に伝達し，支持部材から海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。</p>	 <p>(平面図)</p>
防護板	防護板は鋼製の鋼板により構成する。		 <p>(A～A 矢視)</p>
支持部材	支持部材は，フレーム，大梁，ゴム支承，可動支承等により構成する。		 <p>(B～B 矢視)</p>

表 2-5 竜巻防護ネットの構造計画 (2/3)

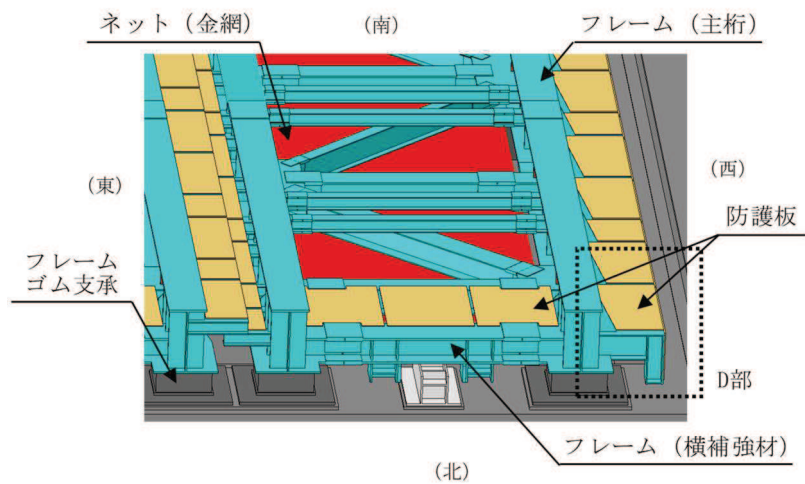
説明図



(大梁を図示)

(フレームを図示)

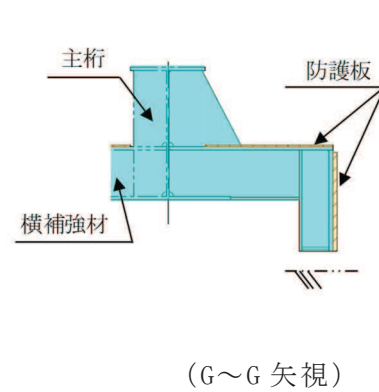
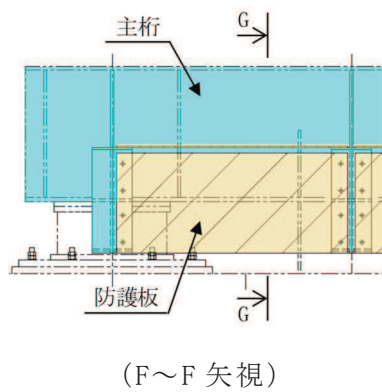
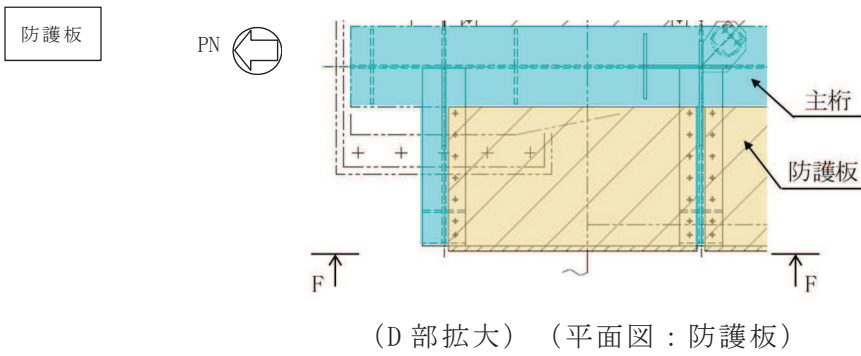
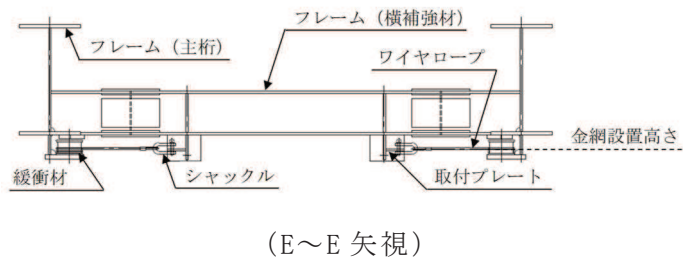
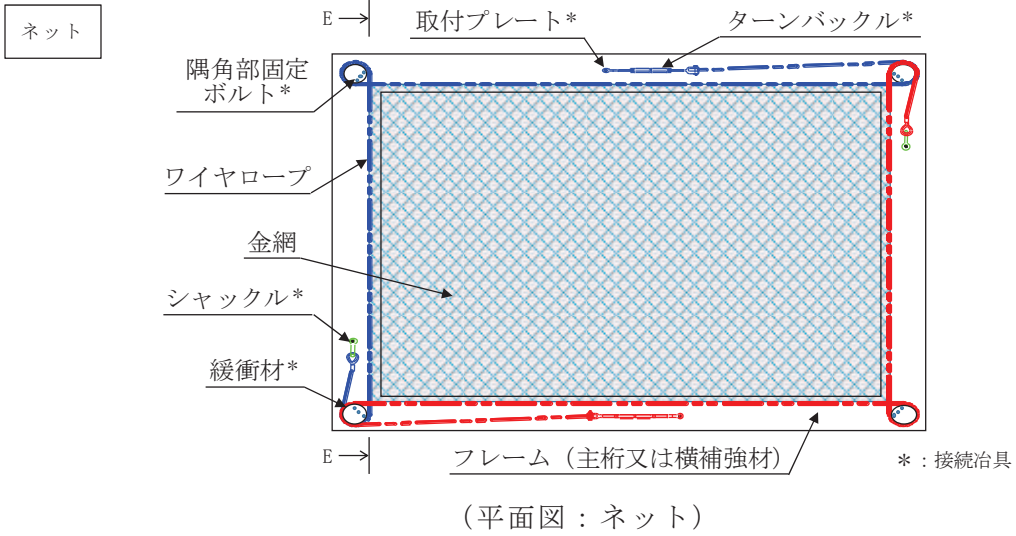
(竜巻防護ネット全体概要図)



(C部拡大)

表 2-5 竜巻防護ネットの構造計画 (3/3)

説明図





金網は、主金網 2 枚及び補助金網 1 枚とし、補助金網については主金網の展開方向に直交するように設置する。金網の重ね方について図 2-2 に示す。

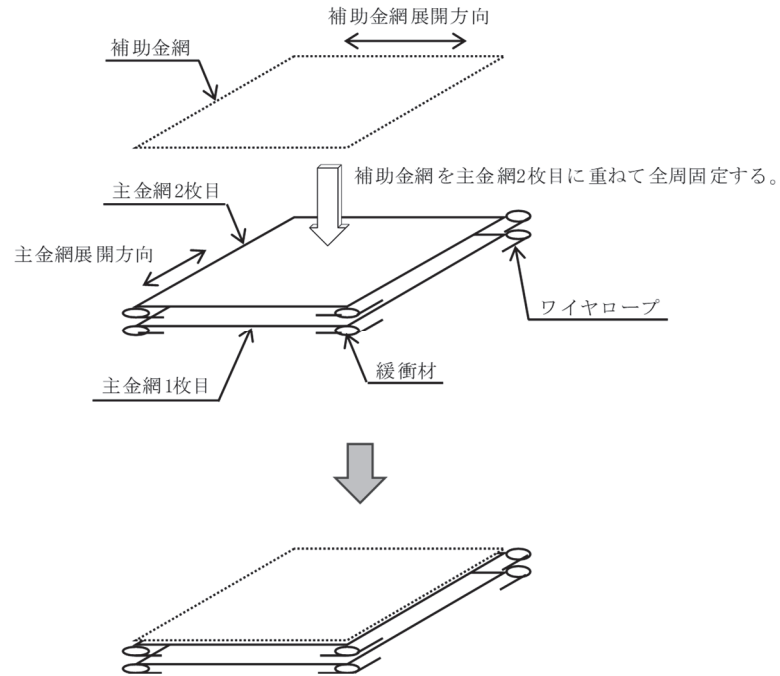


図 2-2 金網の重ね方

## (2) 竜巻防護鋼板

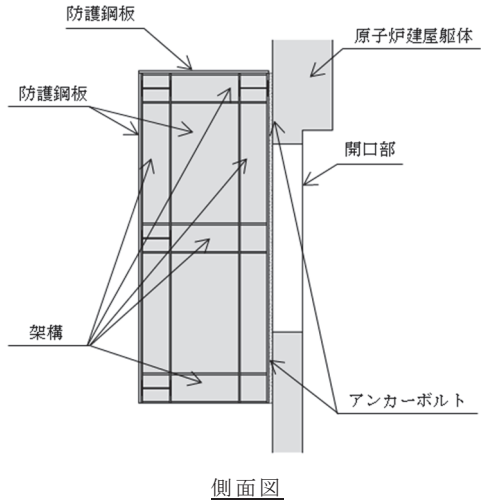
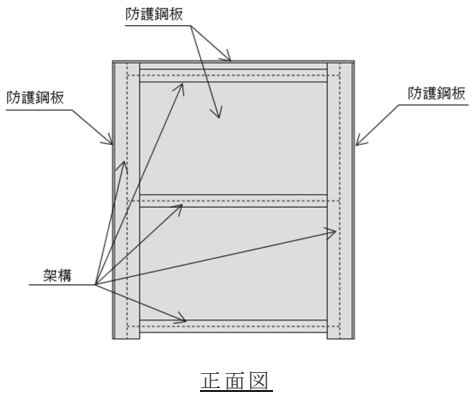
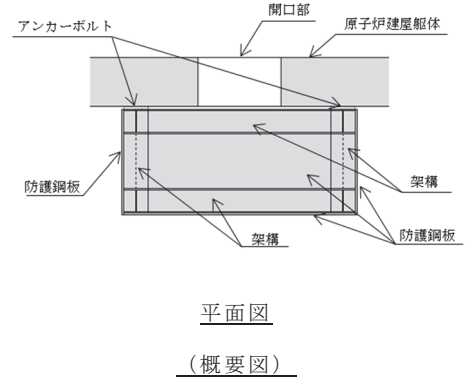
竜巻防護鋼板は、防護鋼板及び架構で構成され、飛来物が侵入した場合に外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部を取り囲むように設置することで、飛来物が建物内に侵入することを防止し、防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても、外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、防護鋼板は架構を介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に支持される構造とする。

防護鋼板は、鋼板より構成され、防護鋼板に作用する荷重は架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等から構成され、上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護鋼板の構造計画を表 2-6 に示す。

表 2-6 竜巻防護鋼板の構造計画

構成要素	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>防護鋼板及び架構は，飛来物が侵入した場合，外部事象防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋壁面の開口部に設置する設計としている。</p>			
防護鋼板	防護鋼板は，鋼製の鋼板により構成する。	防護鋼板に作用する荷重は，架構を介して鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。	 <p>側面図</p>
架構	架構は，鋼製のH形鋼等により構成する。	架構に作用する荷重は，アンカーボルトを介して，鉄筋コンクリート造の原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。	 <p>正面図</p>  <p>平面図 (概要図)</p>

## 2.5 評価方針

防護対策施設の強度評価は、「2.4 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

### (1) 竜巻防護ネット

#### a. ネット

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主要な部材が破断しなければ飛来物は捕捉可能であり，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しない。したがって，ネットのうち金網，ワイヤロープ及び接続治具に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを，計算により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，ネットのうち金網及びワイヤロープにたわみを生じてても，外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

#### b. 防護板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

#### c. 支持部材

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，支持部材のうちフレーム及び大梁が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，上載するネット及び防護板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること及び支持部材に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

### (2) 竜巻防護鋼板

#### a. 防護鋼板

飛来物による衝撃荷重に対し，飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために，防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

また，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，防護鋼板に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

#### b. 架構

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき

荷重に対し，上載する防護鋼板を支持し，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

### 3. 防護対策施設の構成要素の設計方針

防護対策施設は、「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、「2.4 構造設計」で示した構造と、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ、設計を実施する。

#### 3.1 竜巻防護ネットの構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物のネットへの衝突に対しては、飛来物が竜巻防護ネットを構成する主要な部材を破断することなく支持部材に荷重を伝達し、たわみを生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、ネットで捕捉できる設計とする。飛来物の防護板への衝突に対しては、防護板を貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

また、支持部材は、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とし、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

竜巻防護ネットの設計フローを図 3-1 に示す。

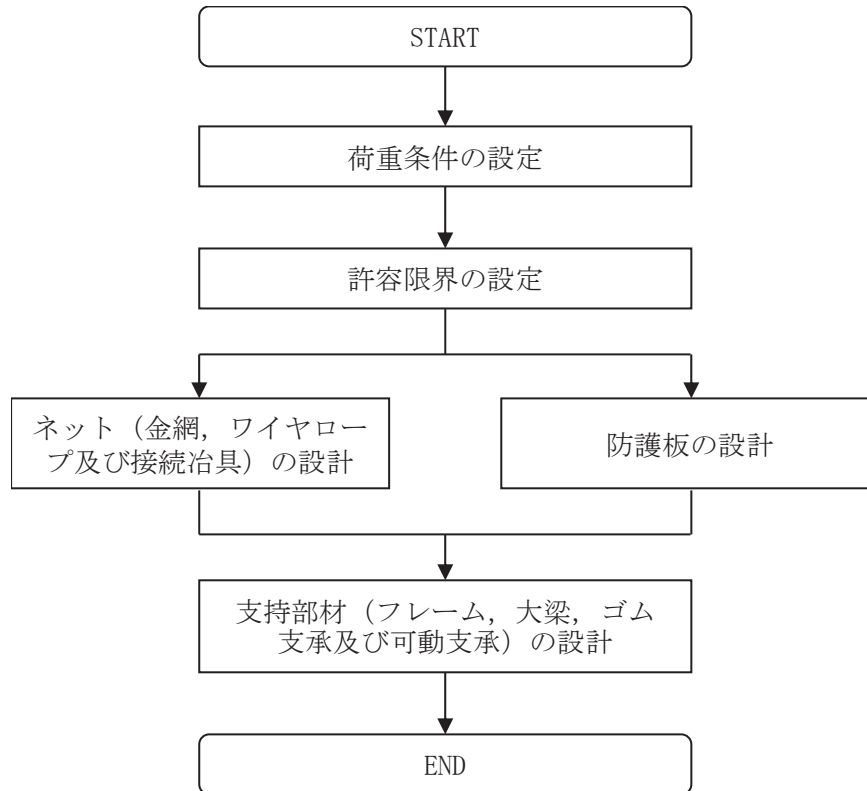


図 3-1 竜巻防護ネットの設計フロー

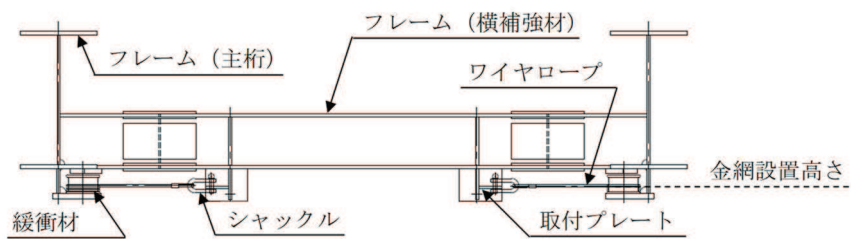
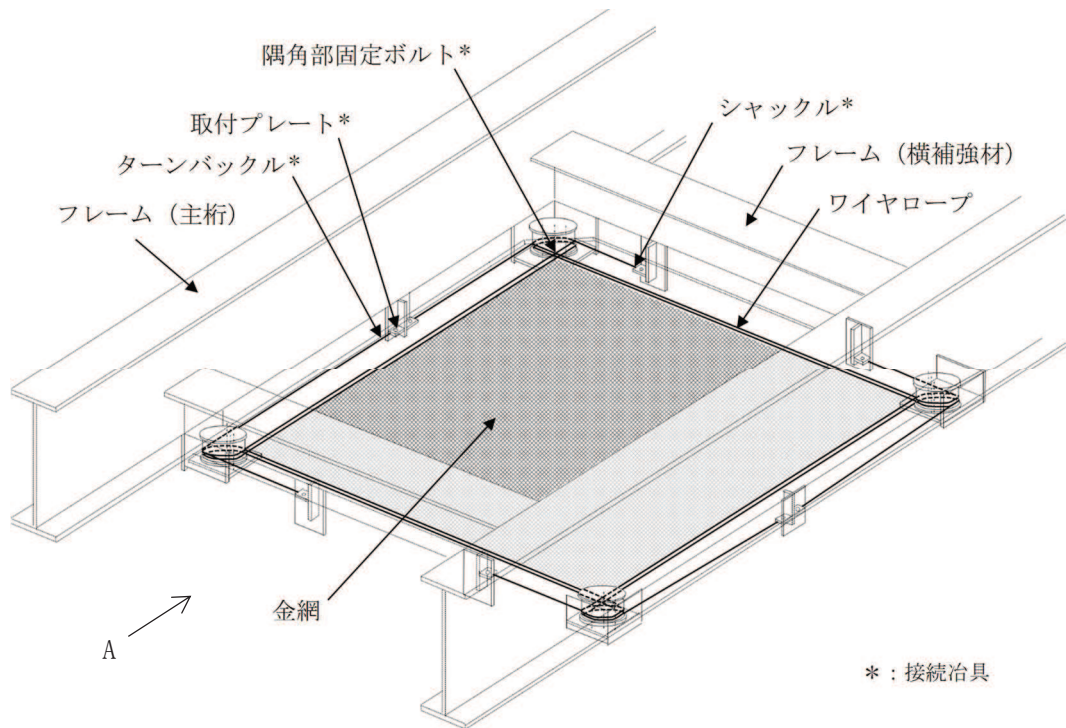
(1) ネットの構造設計

ネットは、金網、ワイヤロープ及び接続治具により構成され、金網の 4 辺をワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはフレームに設置した接続治具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部はターンバックル又はシャックルを設置し、ターンバックル又はシャックルをフレームに設置した取付プレートに接続する構造とする。ネットの概要図を図 3-2 に示す。

金網は、50 mm 目合いの主金網 2 枚及び 40 mm 目合いの補助金網 1 枚で構成する。

金網は、電力中央研究所報告書「竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案」（研究報告：N13014）及び電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）にて適用性が確認されている評価式及び金網の物性値を用いた設計とする。

ネットを構成する金網、ワイヤロープ及び接続治具についての構造設計を以下に示す。



(A 矢視図)

図 3-2 ネットの概要図

a. 金網

金網は、らせん状の硬鋼線を山形に折り曲げて列線とし、3 次元的に交差させて編み込んだものであり、編み込みの向きにより、展開方向とその直角方向の異方性を有する。展開方向が主に荷重を受け持ち、展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため、これらの異方性を考慮した設計とする。金網は、電中研報告書において、その剛性、最大たわみ時のたわみ角、1 目合いの破断変位等が確認されている。

金網の寸法は、フレームの主桁及び横補強材の間隔並びに金網の展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して、展開方向と展開直角方向の寸法の比（以下「アスペクト比」という。）について、原則として電中研報告



書にて適用性が確認されている範囲（1:1～2:1）に入るように設計する。ただし，設定する寸法での限界吸収エネルギー等を踏まえ，設置する金網の枚数を増やし，衝撃荷重に対する耐力を持たせるとともにたわみ量を低減させる設計とする。

b. ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は，展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり，さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため，金網に対して 2 本を L 字に設置することにより，ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

c. 接続治具（支持部及び固定部）

電中研報告書の評価式を適用するため，衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており，飛来物衝突時に急激な大荷重が作用するのを抑制するために，緩衝材を四隅に設置する設計とする。ネットへの飛来物衝突による荷重は，ワイヤロープ及び緩衝材を介して隅角部固定ボルトに荷重を伝達する構造とし，これによりワイヤロープが脱落しない設計とする。

接続治具は，金網への飛来物の衝突により金網からワイヤロープを介して直接作用する荷重若しくは発生する応力に対して，破断することのない強度を有する設計とする。接続治具（支持部）はワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルであり，接続治具（固定部）は隅角部固定ボルト及びターンバックル又はシャックルをフレームに接続する取付プレートである。

(2) 防護板の構造設計

竜巻防護ネットを構成する防護板は，地震時に発生する変位を踏まえて確保しているフレーム間のクリアランス並びにフレーム及び海水ポンプ室補機ポンプエリア側壁間のクリアランスから飛来物が海水ポンプ室補機ポンプエリア内に侵入しない構造とし，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

(3) 支持部材の構造設計

ネット及び防護板の支持部材は，フレーム，大梁，可動支承，ゴム支承等により構成する。フレームはH形鋼等により構成し，上載するネット及び防護板を支持する構造とする。大梁は海水ポンプ室補機ポンプエリアの南側隔壁上に設置し，海水ポンプ室補機ポンプエリアの北側隔壁と大梁にて，フレームを支持する構造とする。また，大梁とフレームとの接続部には可動支承を設置し，北側隔壁とフレームの接続部及び南側隔壁と大梁の接続部にはゴム支承を設置する構造とする。支持部材に作用する荷重は，基礎ボルトを介して，海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

支持部材を構成するフレーム及び大梁並びに可動支承及びゴム支承についての構造設計を以下に示す。

a. フレーム及び大梁

フレームは主桁、横補強材、ブレース等により構成する。ゴム支承及び可動支承に支持されているフレーム並びにゴム支承に支持されている大梁は、地震力等によって水平方向の変位が生じることから、他の設備との干渉について考慮する必要がある。そのため、フレーム間及びフレームや大梁と海水ポンプ室補機ポンプエリア壁面との間に地震時に発生する変位を踏まえてクリアランスを確保する設計とする。また、飛来物の衝突位置により各部材に加わる荷重が異なることから、飛来物衝突位置の影響を考慮した設計とする。

なお、ゴム支承及び可動支承によるフレームの支持機能が損なわれない設計とするが、ポンプ点検等に伴うフレームの取り付け及び取り外しに起因するゴム支承の損傷の可能性を想定し、フレームにはストッパーを取り付け、フレームを支持するゴム支承に期待しない場合でも、フレームの水平方向移動を拘束し、竜巻防護ネットが落下せず、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認する。

b. 可動支承及びゴム支承

地震によるフレーム及び大梁の発生応力並びに海水ポンプ室補機ポンプエリア壁面への支点反力を低減・分散させることを目的として、ゴム支承によりフレーム及び大梁を支持する構造とする。また、フレームと大梁の接続部には、水平変位に追従する可動支承を設置することにより、温度変化によるフレームの伸縮を吸収し、変形による荷重発生を防ぐ構造とする。

ゴム支承はフレームと北側隔壁の接続部及び大梁と南側隔壁の接続部に設置する。フレームと北側隔壁の接続部には、フレーム 1 基に対して、北側隔壁の天面に 2 個のゴム支承を取り付ける構造とする。大梁と南側隔壁の接続部は、片側 1 箇所あたり 2 個のゴム支承を取り付ける構造とする。

また、可動支承は大梁とフレームの接続部に設置する。可動支承の可動方向は南北方向のみであり、フレーム 1 基に対して、2 個の可動支承を取り付ける構造とする。

### 3.2 竜巻防護鋼板の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、飛来物が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が防護対策施設を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載する防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

また、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、防護対策施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

竜巻防護鋼板の設計フローを図 3-3 に示す。

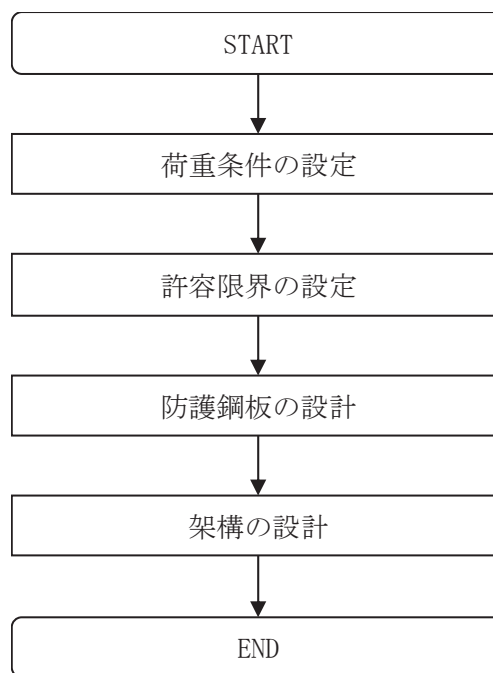


図 3-3 竜巻防護鋼板の設計フロー

竜巻防護鋼板を構成する防護鋼板は、飛来物による衝突に対し、貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

竜巻防護鋼板を構成する架構はH形鋼等から構成し、上載する防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

架構の主体構造は、柱及びはり等の鋼材であり、外殻に面する柱及びはりに防護鋼板を設置し、柱脚部のアンカーボルトで建屋躯体に固定する設計とする。また、作用する荷重については、飛来物による衝撃荷重が支配的であり、防護鋼板に作用する荷重を、周囲の柱及びはりに伝達し、柱脚部のアンカーボルトを通じて建屋躯体に伝達する設計とする。

#### 4. 防護対策施設の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」，「2.5 評価方針」及び「3. 防護対策施設の構成要素の設計方針」に基づき，防護対策施設の構成要素ごとの評価方針を設定する。

防護対策施設を設計する上で，飛来物の衝突回数については，屋外の鋼製材等の飛来物となり得るものは，飛散防止管理を実施し，飛来物となるものが少なくなるように運用することにより，竜巻時及び竜巻通過時において複数の飛来物が同一の防護対策施設に衝突する可能性は十分低いことから，同一の防護対策施設への複数の飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

また，高所に設置され下方に空間を有する配置となる竜巻防護鋼板については，この施設の下方から，設計飛来物の様な重量がある飛来物が上昇しながら到達することは考え難いことから，竜巻防護鋼板の下面にはネットや防護鋼板は取り付けないこととする。

防護対策施設は，飛来物衝突に対し，防護対策施設を構成する部材が許容限界に至ることなく，外部事象防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

##### 4.1 竜巻防護ネットの評価方針

###### (1) ネット

「2.5(1)a. ネット」の評価方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，主要な部材が破断しないために，ネットのうち金網，ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は，「6.1 竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり，算出される金網の限界吸収エネルギー及び衝撃荷重を基に吸収エネルギー評価及び破断評価を行う。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，ネットのうち金網及びワイヤロープにたわみが生じても，飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう，外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は，「6.1 竜巻防護ネットの強度評価」に示すとおり，算出される金網のたわみ量を基にたわみ評価を行う。

ネットの評価フローを図 4-1 に示す。ネットは竜巻による荷重が作用する場合に，破断が生じることなく，たわみが生じたとしても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないような離隔を有することを確認する。

ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

ネットの具体的な計算方法及び結果は，添付書類「VI-3-別添 1-2-1-1 竜巻防護ネットの強度計算書」に示す。

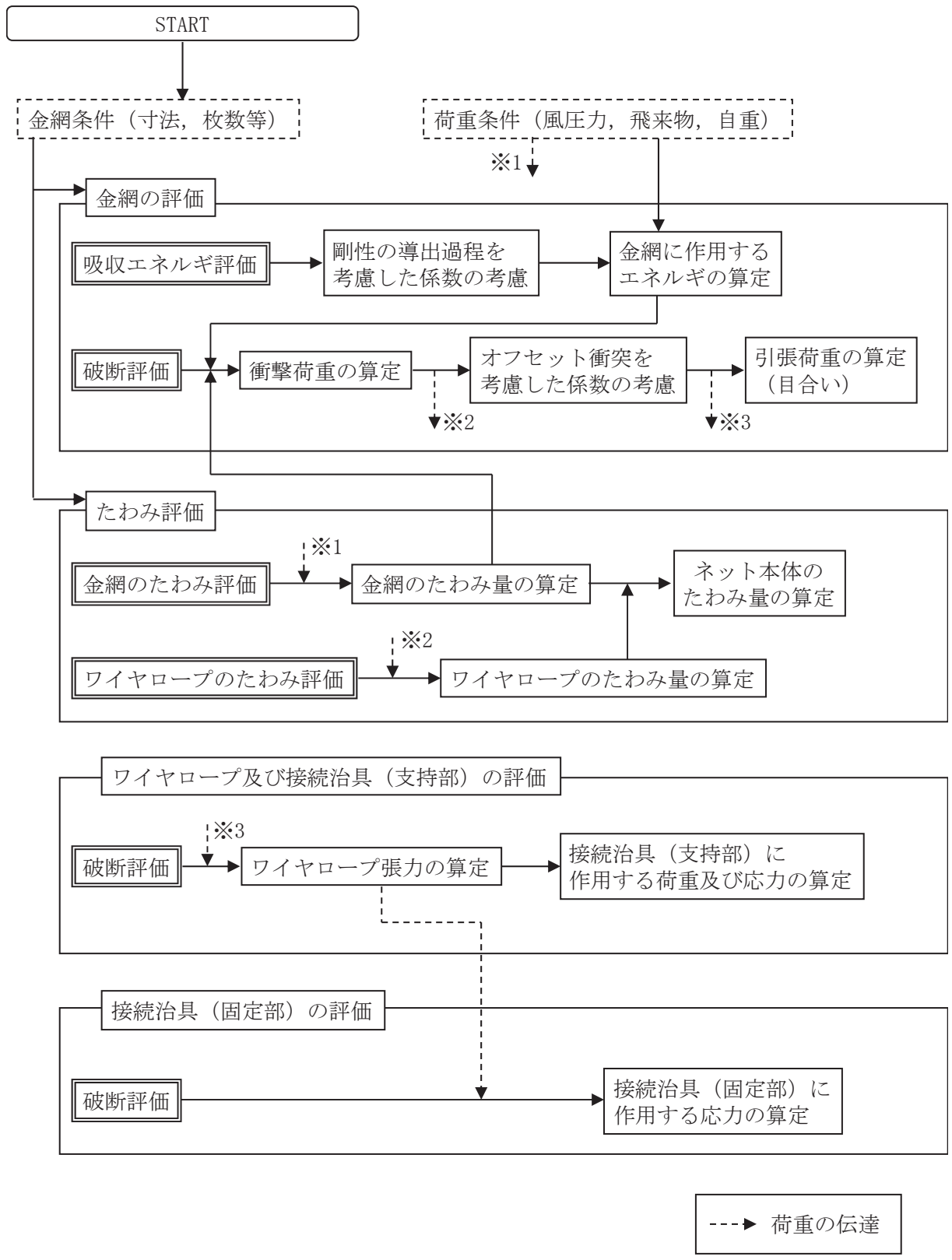


図 4-1 ネットの評価フロー

a. 強度評価

設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、主要な部材が破断しないために、ネットのうち金網、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

金網については、設計竜巻による荷重が作用する場合に、金網全体でエネルギー吸収することから、金網の吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書において、金網への適用性が確認されている評価式（以下「電中研評価式」という。）を参照して評価する。また、飛来物の衝突箇所において破断が生じないことを確認するために、金網に作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、金網が機能を発揮できるように、金網に作用する荷重がワイヤロープ及び接続治具に伝達され、その荷重によりワイヤロープ及び接続治具（支持部）に発生する荷重、並びに接続治具（固定部）に発生する応力が許容値以下であることを確認する。

金網、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の破断に対する評価においては、金網寸法に対するアスペクト比及び金網の衝突位置の影響について、以下のとおり考慮して評価を実施する。

(a) 金網の吸収エネルギー評価

金網の吸収エネルギー評価においては、金網の目合いの方向に従って金網の剛性を設定し、金網のエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、アスペクト比を考慮して、金網の有効面積を設定し評価を実施する。また、飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり、衝突位置、金網の剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

金網のアスペクト比については、金網のエネルギー吸収性能が主に荷重を受け持つ展開方向寸法によることから、評価ごとに保守的な評価となるように、評価においてはアスペクト比を考慮した展開方向及び展開直角方向の寸法を設定する。また、金網の剛性の導出過程を踏まえ、電中研報告書における金網の交点引張試験結果のばらつきを考慮した係数を設定して評価を実施する。

(b) 金網、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の破断評価

金網の破断評価においては、吸収エネルギー評価と同様に金網のアスペクト比を考慮して、金網の有効面積を設定し評価する。金網のアスペクト比は、金網目合いの方向を踏まえ、評価が保守的となるように、金網の有効面積を設定して評価を実施する。また、衝突位置を考慮して評価を実施する。

金網、ワイヤロープ及び接続治具の破断評価については、飛来物の衝突位置として、中央位置からずれた（以下「オフセット」という。）衝突について考慮する。具体的には、電中研評価式では飛来物が金網中央位置に衝突す

る場合についてのみ評価を実施するため、オフセット位置に衝突する場合の評価においては、中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。また、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分を考慮した係数を設定し評価を実施する。

金網のアスペクト比については、吸収エネルギー評価と同様に考慮する。

b. たわみ評価

設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、ネットのうち金網及びワイヤロープが、たわみを生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重が金網に作用する場合に、金網がたわむことでエネルギーを吸収することから、金網及びワイヤロープがたわんでも、金網と外部事象防護対象施設が衝突しないことを確認するために、金網とワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

金網及びワイヤロープのたわみ評価においては、構造強度評価と同様に金網寸法に対するアスペクト比を考慮する必要があるため、評価が保守的となるように、金網の有効面積を設定して評価を実施する。

評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置を考慮して評価を実施する。

(2) 防護板

「2.5(1)b. 防護板」の評価方針に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために、防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。

防護板の評価フローを図 4-2 に示す。

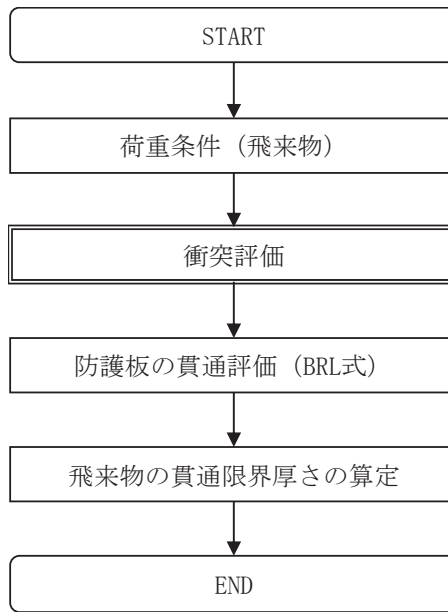


図 4-2 防護板の評価フロー図

a. 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通させないために、竜巻防護ネットの防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

(3) 支持部材

「2.5(1)c. 支持部材」の評価方針に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために、支持部材のうちフレーム及び大梁が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。また、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物を貫通させないために、支持部材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する。終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては、その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

また、上載するネット及び防護板の自重並びにネット、防護板及び支持部材への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する構造強度を有することの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに支持部材全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生



しないことを解析により確認する。

さらに，外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，支持部材全体が倒壊を生じないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，支持部材及び海水ポンプ室補機ポンプエリア等を接合する基礎ボルトが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する。

支持部材の評価フローを図 4-3 に示す。

支持部材の具体的な計算方法及び結果は，添付書類「VI-3-別添 1-2-1-1 竜巻防護ネットの強度計算書」に示す。

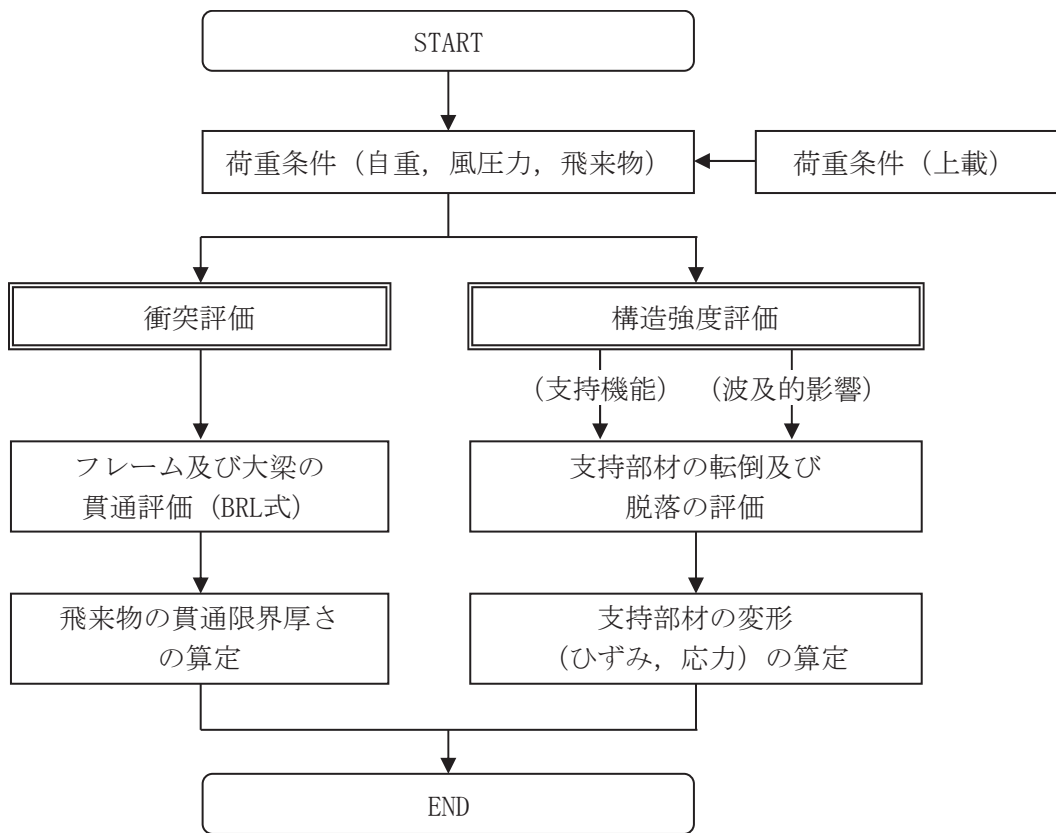


図 4-3 支持部材の評価フロー図

a. 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通させないために、竜巻防護ネットの支持部材のうちフレーム及び大梁が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

b. 構造強度評価

上載するネット及び防護板の自重並びにネット、防護板及び支持部材への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する構造強度を有することの確認並びに外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、支持部材に終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する。

評価方法は、3次元 FEM による衝突解析により実施する。衝突解析に使用する解析コードは「LS-DYNA」とする。

#### 4.2 竜巻防護鋼板の評価方針

防護鋼板については「2.5(2)a. 防護鋼板」の評価方法に基づき、飛来物による衝撃荷重に対し、飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することを防止するために、防護鋼板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを確認する。また、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。

架構については「2.5(2)b. 架構」の評価方法に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、上載する防護鋼板を支持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。

竜巻防護鋼板の評価フローを図 4-4 に示す。

竜巻防護鋼板の具体的な計算方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添 1-2-1-2 竜巻防護鋼板の強度計算書」に示す。

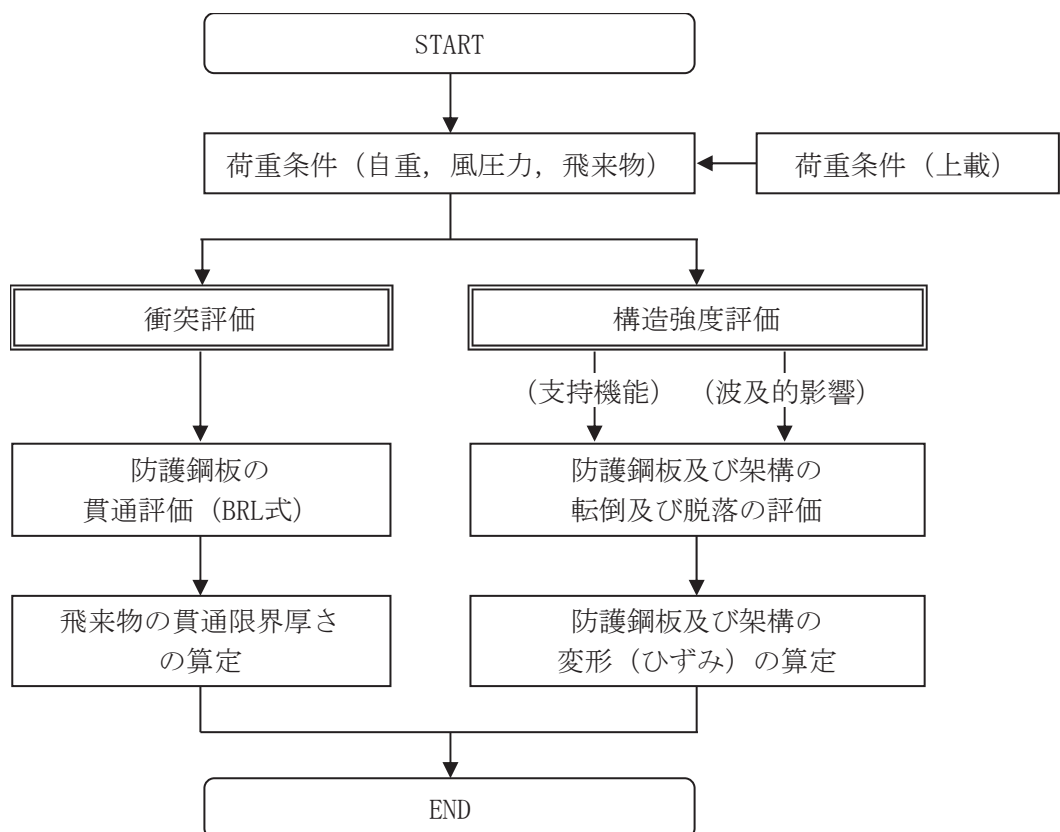


図 4-4 竜巻防護鋼板の評価フロー図

##### (1) 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通さ

せないために、竜巻防護鋼板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じさせない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いる。

(2) 構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを計算により確認する。評価方法は、3次元 FEM による衝突解析により評価する。使用する解析コードは「LS-DYNA」とする。

## 5. 許容限界

「2.5 評価方針」及び「4. 防護対策施設の構成要素の評価方針」を踏まえ、防護対策施設の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

### 5.1 竜巻防護ネットの許容限界

#### (1) ネットの許容限界

##### a. 許容限界の設定

##### (a) 構造強度評価

ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対する評価を行うため、破断せず、荷重が作用するとしてもネットが内包する外部事象防護対象施設に飛来物を衝突させないために、ネットの主要な部材が、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

ネットのうち金網、ワイヤロープ及び接続冶具（支持部及び固定部）の許容限界を以下のとおり設定する。

#### イ. 金網

金網の許容限界は、吸収エネルギー評価及び破断評価（引張荷重評価）において設定する。

吸収エネルギー評価は、飛来物により金網に与えられる全エネルギーが金網の限界吸収エネルギー以下であることにより、金網が破断しないことを確認することから、金網の限界吸収エネルギーを許容限界とする。

破断評価は、金網が破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、金網は、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、飛来物の衝撃荷重に対し、金網の許容引張荷重を許容限界とする。具体的には、飛来物衝突時の周辺交点数及び金網の1交点当たりの許容引張荷重から定まる荷重を、金網の許容限界とする。

金網の許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1 金網の許容限界

許容限界	
吸収エネルギー評価の許容限界	破断評価の許容限界
等価剛性の導出過程を踏まえた係数及び金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー	金網設置枚数を考慮した金網の許容引張荷重
$E_{max}'$	$F_{max}$

ロ. ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取り付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカーの引張試験によれば J I S 規格値よりも大きいので、ワイヤロープの許容限界は、J I S に規定する破断荷重にワイヤグリップ効率  $C_c$  を乗じた値とする。

ワイヤロープの許容限界を表 5-2 に示す。

表 5-2 ワイヤロープの許容限界

規格値	許容限界
$F_3^{*1}$	$C_c^{*2} \cdot F_3^{*1}$

注記 \*1: J I S G 3 5 4 9 の破断荷重

\*2: J I S B 2 8 0 9 及び「日本道路協会 平成 20 年 8 月 小規模吊橋指針・同解説」

ハ. 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）の強度評価は、接続治具（支持部）として、ワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルが、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、ターンバックルについては J I S に規定する保証荷重の 1.5 倍を、シャックルについては試験結果に基づくメーカー保証値を許容限界とする。

接続治具（支持部）の許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 接続治具（支持部）の許容限界

評価部位	許容限界
ターンバックル	$P_4^{*1}$
シャックル	$P_5^{*2}$

注記 \*1：J I S A 5 5 4 0 の保証荷重の 1.5 倍

\*2：試験結果に基づくメーカー保証値

## ニ. 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）の破断評価は、接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付プレートが、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態  $IV_A S$  から算出した許容応力を許容限界とする。設計竜巻による荷重は、金網に作用し、ワイヤロープを介して接続治具に作用するため、評価対象は、接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付プレートとする。取付プレートは、プレート本体、プレートとフレーム、プレートとリブ及びフレームとリブの溶接部が存在するが、強度評価上、溶接脚長が短い取付プレートとリブの溶接部を評価対象部位とする。また、設計竜巻による荷重は、金網に作用し、ワイヤロープを介して水平方向に作用するため、評価対象部位の許容せん断応力を許容限界とする。

接続治具（固定部）の許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4 接続治具（固定部）の許容限界

評価部位	許容応力状態	許容限界*1
		せん断
隅角部固定ボルト	IV <sub>A</sub> S	1.5 f <sub>s</sub> * <sup>*</sup>
取付プレート (取付プレート及びリ ブ間溶接部)		

注記 \*1：記号の説明は以下のとおり。

f<sub>s</sub>\*<sup>\*</sup>：許容せん断応力。設計・建設規格 SSB-3121.1(2)により規定される値又はボルト等に対しては、設計・建設規格 SSB-3131(2)により規定される値の算出に際して、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a の F 値は S<sub>y</sub> 及び 0.7 S<sub>u</sub> のいずれか小さい方の値。

(b) たわみ評価

ネットは、飛来物衝突時にたわんだとしても、飛来物が外部事象防護対象施設に衝突することがないように、十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ、ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離 L<sub>min</sub> を許容限界として設定する。

ネットのたわみ評価の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
L <sub>min</sub>



b. 許容限界の設定方法

(a) 記号の定義

ネットのうち、金網の強度評価における許容値の算出に用いる記号を表 5-6 に示す。

表 5-6 金網の強度評価における許容値の算出に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
a	mm	金網 1 目合いの対角寸法
$a_s$	mm	金網 1 目合いの破断変位
b	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
$E_i$	kJ	i 番目の列における金網の吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及び金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$F_i$	kN	飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
$F_{max}$	kN	金網設置枚数を考慮した金網の許容引張荷重
$F_{50}$	kN	50 mm 目合い金網の 1 交点当たりの許容引張荷重
$F_{40}$	kN	40 mm 目合い金網の 1 交点当たりの許容引張荷重
K	kN/m	金網 1 目合いの等価剛性
$K_x'$	kN/m	金網 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$K_x$	kN/m	金網設置枚数を考慮した金網 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$L_x$	m	金網展開方向寸法
$L_y$	m	金網展開直角方向寸法
n	—	主金網の設置枚数
$N_i$	—	i 列目の金網展開直角方向目合い数
$N_x$	—	金網展開方向目合い数
$N_y$	—	金網展開直角方向目合い数
$P_i$	kN	飛来物衝突時に金網に発生する i 番目の列における張力
$X_i$	m	i 列目の金網の伸び
$\delta_i$	m	飛来物衝突時の i 番目の列における金網のたわみ量
$\delta_{max}$	m	金網の最大たわみ量

表 5-6 金網の強度評価における許容値の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\theta_i$	°	i 番目の列における金網たわみ角
$\theta_{max}$	°	金網の最大可能なたわみ角

(b) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出する金網の限界吸収エネルギーが金網に作用するエネルギー以上であることにより、金網が破断しないことを確認する。金網 1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い方向の限界伸び量により金網の最大変形角が定まり、金網最大変形角におけるエネルギー吸収量が金網の有する最大吸収エネルギー  $E_{max}$  となる。この値に電中研報告書の引張試験結果を踏まえた係数を考慮した値を吸収エネルギー評価の許容限界とする。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせた金網を一体として扱ったモデルにて算出する。また、金網の変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、金網最大たわみ時の金網の全長は飛来物の金網への衝突位置によらず金網最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、金網に発生する張力も一定となることから、飛来物の金網への衝突位置によらず金網から飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギーは、金網 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価における金網のモデル図を図 5-1 に示す。

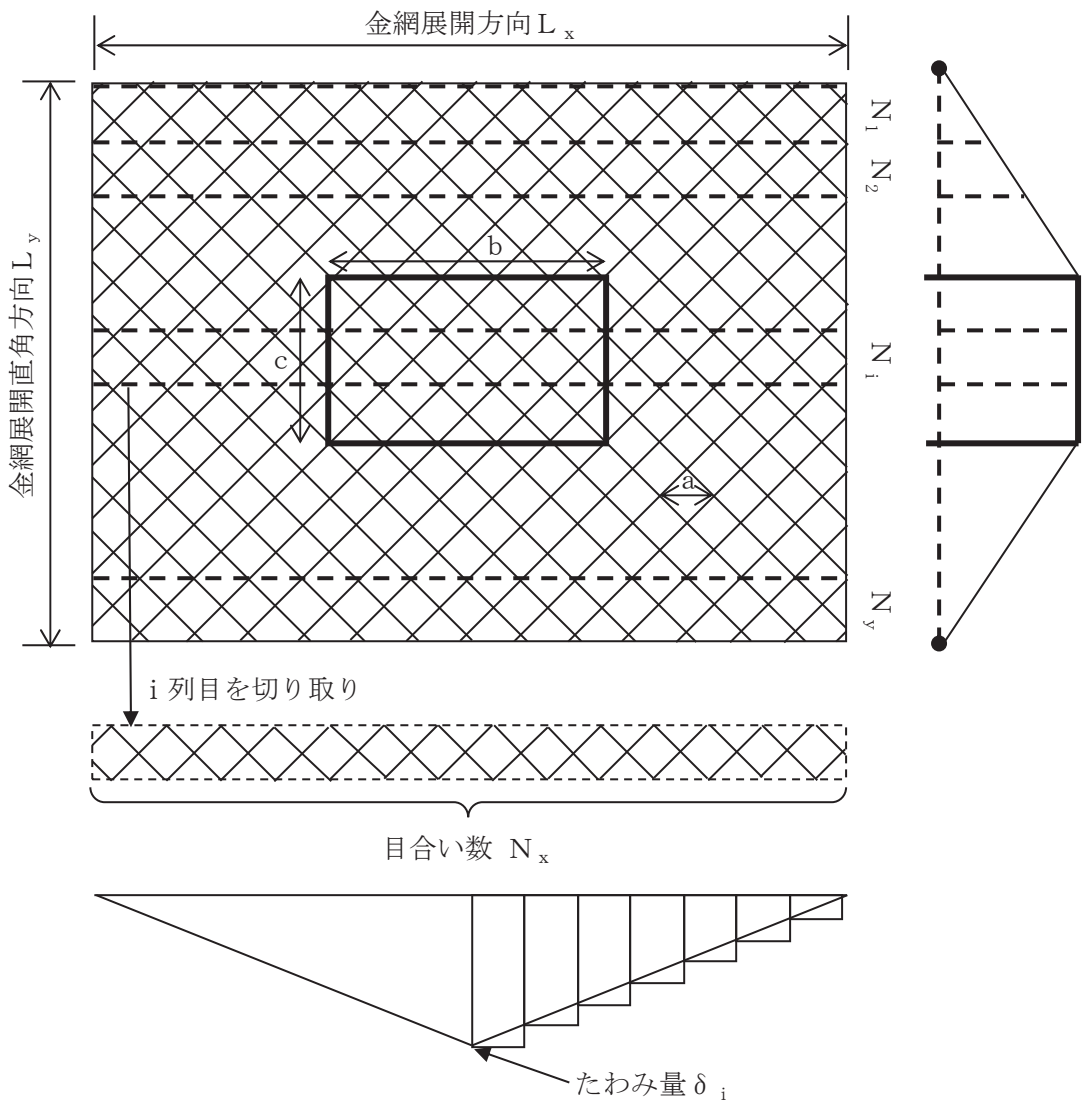


図 5-1 吸収エネルギー評価における金網のモデル図

図 5-1 に示すとおり金網の展開方向に 1 目合いごとに [ ] で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$  から  $N_y$  までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することにより金網が吸収するエネルギーを算出し、金網が吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及び金網目合いの対角寸法から算出される金網展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法 ( $b \times c$ ) 及び金網目合いの対角寸法  $a$  を考慮し、最大たわみが発生する場合の金網展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。金網の吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として軸方向断面の小さい方の寸法  $c$  を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{金網展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを図 5-2 に示す。

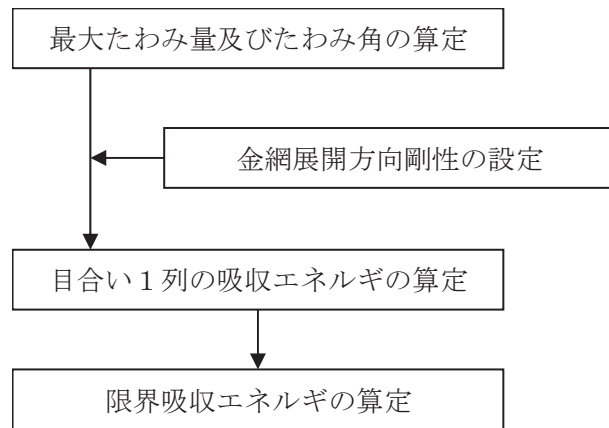
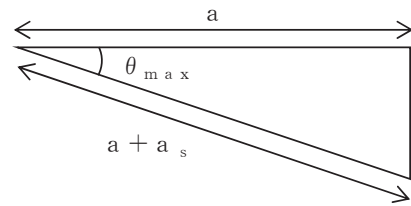


図 5-2 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

金網 1 目合いの最大伸び量は、電中研報告書の金網目合いの引張試験から求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量  $\delta_{max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a + a_s} \right)$$



金網を構成する金網の展開方向の目合い数  $N_x$  は、金網展開方向寸法  $L_x$  及び金網 1 目合いの対角寸法  $a$  から求める。展開直角方向の目合い数  $N_y$  は、金網展開直角方向寸法  $L_y$  及び金網 1 目合いの対角寸法  $a$  から求める。金網を構成する 1 目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1 目合い当たりバネ定数  $K$  を持つバネを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。そのため、1 列当たりの剛性  $K_x'$  は、

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}$$

$$N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

$$\text{金網展開方向剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 $N_x$ 、 $N_y$ の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように $N_x$ は保守的に切り上げ、 $N_y$ は保守的に切り捨てた値を用いる。また、金網設置枚数を考慮した金網展開方向剛性 $K_x$ は、次式により算出される。電中研報告書によると、40 mm 目合いの補助金網は、飛来物落下試験において主金網 0.5 枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網については、主金網 0.5 枚として考慮する。

$$K_x = K_x' (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量 $\delta_i$ は、最大たわみ量 $\delta_{max}$ から定着部のたわみ量 0 までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。金網の最大たわみ量と最大たわみ角を図 5-3 に示す。

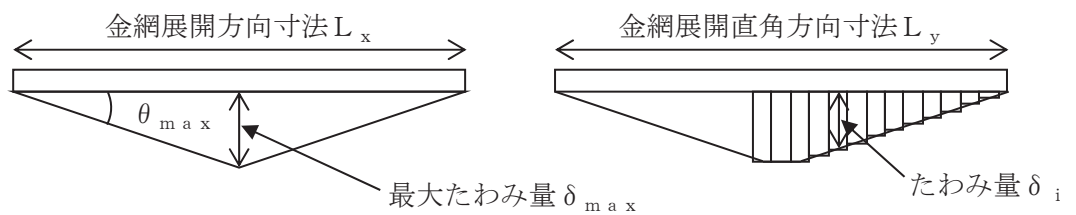


図 5-3 金網の最大たわみ量と最大たわみ角

金網に飛来物が衝突した際の金網にかかる張力を、金網の剛性及び金網の伸び量から算出する。金網に作用する力のつり合いを図 5-4 に示す。

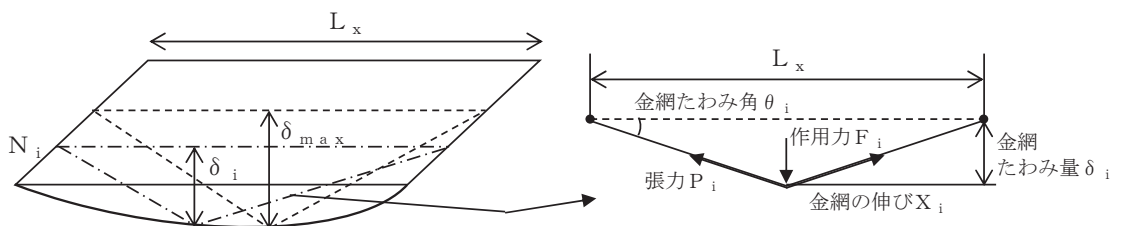


図 5-4 金網に作用する力のつり合い

$i$  番目の列における金網の張力 $P_i$ は、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は $X_i/2$ 、剛性は $2K_x$ となることから、

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \left( \frac{X_i}{2} \right)$$

$$= K_x \cdot X_i$$

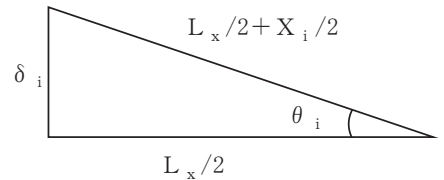
となる。また、作用力  $F_i$  は変位量とたわみ量の関係から、

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta_i - \sin \theta_i)$$

$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \dots \dots \dots (5.1)$$



金網に飛来物が衝突した際の金網にかかる作用力  $F_i$  を積分することにより  $i$  番目の列における吸収エネルギー  $E_i$  を次式に示す。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i \cdot d\delta$$

$$= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \cdot d\delta$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \dots \dots \dots (5.2)$$

以上から、金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー  $E_{max}$  は、各列の吸収エネルギー  $E_i$  を第 1 列から第  $N_y$  列まで積算することにより求められる。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \dots \dots (5.3)$$

また、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮した  $n$  枚の金網及び補助金網 1 枚から算出される限界吸収エネルギーを  $E_{max}'$  とする。係数としては、電中研報告書の引張試験結果より  $1/1.056$  と定める。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.056} \cdot E_{max} \dots \dots (5.4)$$

(c) 破断評価

金網の破断評価においては、計算により算出する金網の許容引張荷重が飛来物の衝撃荷重以上であることにより、金網が破断しないことを確認する。

金網に飛来物（鋼製材）が衝突した評価モデルを図 5-5 及び図 5-6 に示す。

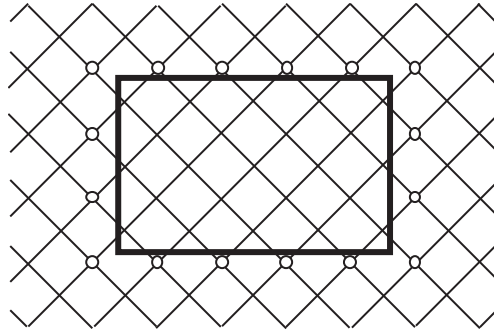


図 5-5 50 mm 目合いの金網に飛来物が衝突した評価モデル

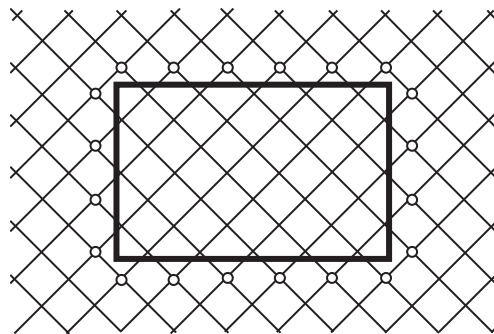


図 5-6 40 mm 目合いの金網に飛来物が衝突した評価モデル

金網の許容引張荷重は金網の 1 交点当たりの許容引張荷重から定まり、飛来物衝突時の周辺交点数から算出される許容引張荷重を許容限界とする。

図 5-5 及び図 5-6 に示すように、50 mm 目合いの金網は飛来物（鋼製材）が衝突した際は 16 交点が、40 mm 目合いの金網は飛来物（鋼製材）が衝突した際は 20 交点がそれぞれ接触するため、許容引張荷重  $F_{max}$  は以下のとおり算出される。

$$F_{max} = F_{50} \cdot 16 \cdot n + F_{40} \cdot 20$$

(2) 防護板の許容限界

a. 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通させないために、竜巻防護ネットの防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であ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、防護

板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(3) 支持部材の許容限界

a. 許容限界の設定

(a) 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し，防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通させないために，竜巻防護ネットの支持部材のうちフレーム及び大梁が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であ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，フレーム及び大梁の最小部材厚さを許容限界として設定する。

(b) 構造強度評価

上載するネット及び防護板の自重並びにネット，防護板及び支持部材への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有することの確認並びに外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう，支持部材が浮き上がるような損傷モード等により，施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，支持部材に終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，以下のとおり許容限界を設定する。

フレーム及び大梁については，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8)」(以下「NEI07-13」という。)において，TF (多軸性係数) を  $\square$  とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として  $TF = \square$  を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。ゴム支承 (構成部材のうち鋼製部品) については，J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力を許容限界として設定する。ゴム支承 (構成部材のうち鋼製部品) 許容限界を表 5-7 に示す。ゴム支承のゴム体については，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (H14.3) に基づく道路橋支承便覧の評価基準値を許容限界として設定する。ゴム支承 (ゴム体) の許容限界を表 5-8 に示す。また，可動支承については，メーカーの強度試験より算出した許容応力及び J E A G 4 6 0 1 等に準じた許容応力状態  $IV_A S$  の許容応力より，可動支承全体の許容荷重を許容限界として設定する。可動支承の許容限界を表 5-9 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



表 5-7 ゴム支承（構成部材のうち鋼製部品）の許容限界

評価部位	許容応力 状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (内部鋼板)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト)	
		引張	せん断	引張	せん断
ゴム支承 (構成部材 のうち鋼製 部品)	IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 \*1：記号の説明は以下のとおり。

$f_t^*$ ：許容引張応力。設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値の算出に際して、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a の F 値は  $S_y$  及び  $0.7 S_u$  のいずれか小さい方の値。

$f_s^*$ ：許容せん断応力。設計・建設規格 SSB-3121.1(2)により規定される値又はボルト等に対しては、設計・建設規格 SSB-3131(2)により規定される値の算出に際して、設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし、設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a の F 値は  $S_y$  及び  $0.7 S_u$  のいずれか小さい方の値。

\*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。

表 5-8 ゴム支承（ゴム体）の許容限界

評価部位	許容限界 <sup>*1</sup>		
	せん断ひずみ	引張応力度	圧縮応力度
ゴム支承 (ゴム体)	$\gamma_{ea}$	$\sigma_{ta}$	$\sigma_{cra}$

注記 \*1：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編（H14.3）に基づく道路橋支承便覧の評価基準値

表 5-9 可動支承の許容限界

評価部位	許容限界*1		
	水平荷重	鉛直荷重（圧縮）	鉛直荷重（引張）
可動支承	R <sub>h</sub>	R <sub>vc</sub>	R <sub>vt</sub>

注記 \*1：支承を構成する各部品の許容値より算出した許容荷重

b. 許容限界の設定方法

(a) 記号の定義

支持部材の強度評価における許容値の算出に用いる記号を表 5-10 に示す。

表 5-10 支持部材の強度評価における許容値の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$\sigma_{cra}$	MPa	許容圧縮応力度
G <sub>e</sub>	N/mm <sup>2</sup>	ゴムのせん断弾性係数
S <sub>1</sub>	-	一次形状係数
S <sub>2</sub>	-	二次形状係数
f <sub>cr</sub>	-	荷重の大きさ及び発生頻度を考慮した係数

(b) 各部の応力評価

イ. ゴム支承の評価

(イ) 圧縮応力度の許容値

座屈を考慮した圧縮応力度の許容値は次式より求める。

$$\sigma_{cra} = \frac{G_e \cdot S_1 \cdot S_2}{f_{cr}}$$

## 5.2 竜巻防護鋼板の許容限界

### (1) 衝突評価

飛来物による衝撃荷重に対し、防護対策施設を構成する部材が飛来物を貫通させないために、竜巻防護鋼板の防護鋼板が飛来物の貫通を生じさせない最小厚さ以上であ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、防護鋼板の最小部材厚さを許容限界として設定する。

### (2) 構造強度評価

上載する防護鋼板の自重及び防護鋼板への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する機能を維持可能な構造強度を有することの確認並びに、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、防護鋼板及び架構自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、終局状態に至るようなひずみが生じない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、鋼材の破断ひずみを許容限界として設定する。鋼材の破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが、NEI07-13において、TF（多軸性係数）を□とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として  $TF = \square$  を考慮して設定する。

## 6. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いた解析法
- ・FEM 等を用いた解析法

### 6.1 竜巻防護ネットの強度評価

#### (1) ネットの強度評価

##### a. 評価方針

- (a) 金網の限界吸収エネルギーの算出においては、金網の展開直角方向に 1 目合い毎に帯状に分割し、各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することにより金網の吸収するエネルギーを算出する。
- (b) 金網の限界吸収エネルギーの算出においては、金網を構成する 1 目合いはそれぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1 列当たりバネ定数  $K$  を持つバネを  $N_x$  個直列に接続したものと考える。
- (c) 自重及び風圧力による金網に作用する荷重は、金網全体に等分布荷重として作用するものであり、金網展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。
- (d) 一方、金網展開方向に対しては、設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため、保守的にエネルギー量が大きくなるよう、自重及び風圧力により金網に作用する荷重  $F_w$  が全て金網展開方向  $L_x$  の中央に作用したとして、金網にかかる作用力の式を用いて 1 列当たりの自重及び風圧力による荷重により金網が受けるエネルギーを算出し、列数倍することで金網全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。

##### b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-1 に示す。

表 6-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
金網		<ul style="list-style-type: none"> <li>・限界吸収エネルギー</li> <li>・破断</li> <li>・たわみ</li> </ul>
ワイヤロープ		<ul style="list-style-type: none"> <li>・破断</li> <li>・たわみ*</li> </ul>
接続治具 (支持部)	ターンバックル	・破断
	シャックル	・破断
接続治具 (固定部)	隅角部固定ボルト	・破断
	取付プレート溶接部	・破断

注記 \*：ネット全体のたわみ評価に用いる。

c. 強度計算

(a) 記号の定義

ネットの強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-2 ネットの強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$a_w$	mm	取付プレート溶接部ののど厚
$A_b$	mm <sup>2</sup>	隅角部固定ボルトの断面積
$E_f$	kJ	飛来物衝突時に金網に作用するエネルギー
$E_i$	kJ	i 番目の列における金網の吸収可能エネルギー
$E_{max}$	kJ	金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及び金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_t$	kJ	金網設置枚数を考慮した金網に作用する全エネルギー
$E_w$	kJ	自重及び風圧力により金網に作用するエネルギー
$F_a$	kN	飛来物衝突時に金網が受ける最大衝撃荷重
$F_a'$	kN	飛来物衝突時に金網が受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
$F_i$	kN	飛来物衝突時の i 番目の列における作用力

表 6-2 ネットの強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
$F_p$	kN	飛来物が金網に衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{p1}$	kN	飛来物が金網に衝突する際に1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{p2}$	kN	飛来物が金網に衝突する際に2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_x$	kN	飛来物が金網に衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するX方向の合成荷重
$F_y$	kN	飛来物が金網に衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用するY方向の合成荷重
$F_w$	kN	自重及び風圧力により金網に作用する荷重
$K_x$	kN/m	金網設置枚数を考慮した金網1目合いの展開方向の1列の等価剛性
$L$	mm	取付プレートの面取り長さ
$L_b$	mm	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{pw}$	mm	取付プレートの溶接部の有効長さ
$L_{p1}$	mm	取付プレート長さ（縦方向）
$L_{p2}$	mm	取付プレート長さ（横方向）
$L_s$	mm	直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計
$L_x$	m	金網展開方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
$L_y$	m	金網展開直角方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
$L_y'$	m	飛来物衝突の影響範囲
$L_z$	m	ワイヤロープの全長
$m$	kg	飛来物の質量
$n$	—	主金網の設置枚数
$n_2$	—	隅角部固定ボルト本数
$N_y$	—	金網展開直角方向目合い数
$P_w$	kN	金網の自重により作用する荷重
$S$	mm	変形後のワイヤロープの長さ
$S_w$	mm	取付プレート溶接部のすみ肉厚さ
$S_x$	mm	金網展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ

表 6-2 ネットの強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$S_y$	mm	金網展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
$V$	m/s	飛来物の飛来速度
$T'$	kN	飛来物の金網への衝突により金網に発生する張力
$T_1'$	kN	飛来物の金網への衝突によりワイヤロープに発生する張力
$T_1''$	kN	補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力
$T_x$	kN	飛来物の金網への衝突により展開方向のワイヤロープから発生する X 方向の荷重
$T_x'$	kN	飛来物の金網への衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生する X 方向の荷重
$T_y$	kN	飛来物の金網への衝突により展開方向のワイヤロープから発生する Y 方向の荷重
$T_y'$	kN	飛来物の金網への衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生する Y 方向の荷重
$W_w$	kN	風圧力による荷重
$\varepsilon$	—	ワイヤロープのひずみ量
$\delta$	m	飛来物衝突時の金網の最大たわみ量
$\delta'$	m	変形によるワイヤロープ伸び量
$\delta_a$	m	自重及び風圧力による荷重によるたわみ量
$\delta_i$	m	飛来物衝突時の i 番目の列における金網のたわみ量
$\delta_L$	m	直線区間のワイヤロープのたわみ量
$\delta_t$	m	金網とワイヤロープの合計たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	m	金網展開方向に平行に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	金網展開方向に直交に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta$	°	飛来物衝突時の金網のたわみ角
$\theta_{w1}$	°	金網展開方向のワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	°	金網展開直角方向のワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	°	飛来物衝突時の金網展開方向に平行の金網たわみ角
$\theta_y$	°	飛来物衝突時の金網展開直角方向に平行の金網たわみ角
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付プレート溶接部に発生するせん断応力

## (b) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電中研評価式を参照して、金網が異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算出のモデル化を行い、自重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重によるエネルギーを算出する。

評価においては、複数枚の重ね合わせた金網を一体として考えたモデルにて評価を実施する。

(5.3) 式及び (5.4) 式より、 $E_{max}$  及び  $E_{max}'$  は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

$$E_{max}' = \frac{1}{1.056} \cdot E_{max}$$

自重及び風圧力による荷重により金網に作用する荷重は、金網全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせ金網展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、金網展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、金網に作用するエネルギー量が保守的に大きくなるよう、 $F_w$  がすべて金網展開方向  $L_x$  の中央に作用したとして、金網にかかる作用力の式を用いて 1 列当たりの自重及び風圧力による荷重により金網が受けるエネルギーを算出し、列数倍することで金網全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。



評価条件である  $K_x$  及び  $L_x$  並びに自重及び風圧力による荷重から算出する  $F_w$  を (5.1) 式の  $F_i$  に代入して数値計算を実施することにより、自重及び風圧力による荷重によるたわみ量  $\delta_a$  が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4 \cdot K_x \cdot \delta_a \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

ただし、

$$F_w = P_w + W_w$$

上式にて算出した  $\delta_a$  を (5.3) 式において、展開方向の 1 列当たりの自重及び風圧力による荷重により金網が受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重及び風圧力による荷重により金網が受けるエネルギー  $E_w$  が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

飛来物の衝突により金網に作用するエネルギー  $E_f$  としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

飛来物の飛来速度は、金網の設置方向により、水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、飛来物が金網の設置方向に対して斜め方向から衝突する場合は、飛来物が衝突後に回転し、金網と飛来物の衝突面積が大きくなるため、金網に局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、飛来物の衝突方向は、金網に局部的に作用する荷重が大きくなるように金網に対して垂直に入射するものとし、その飛来速度は金網の設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は、水平最大飛来速度を用いる。

以上から、金網設置枚数を考慮した金網に作用する全エネルギー  $E_t$  が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \dots\dots\dots (6.1)$$

## (c) 破断評価

## イ. 金網の引張荷重評価

ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値  $F_a$  は、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した (2.8) 式のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、自重及び風圧力による荷重を考慮するため、 $E_f$  を  $E_t$  と置き換えて、(2.8) 式より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

$E_t$  としては、(6.1) 式により飛来物による運動エネルギー  $E_f$  並びに自重及び風圧力による荷重により金網が受けるエネルギー  $E_w$  から算出した金網に作用する全エネルギー量を代入する。 $\delta$  としては、たわみ評価で算出する飛来物が衝突する場合の金網の最大たわみ量を代入し、 $F_a$  を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.21 を考慮し、衝撃荷重の最大値  $F_a'$  は、

$$F_a' = 1.21 \cdot F_a$$

にて算出される。

## ロ. ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と、金網とワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において、ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

- ① 金網の自重により作用する荷重
- ② 風圧力により金網に作用する荷重
- ③ 飛来物の衝突により金網に作用する衝撃荷重

ネットは、電中研報告書と同様に 2 本のワイヤロープを L 字に設置し、さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており、衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。

自重、風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重により金網に作用する衝撃荷重の最大値  $F_a'$  が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、飛来物が衝突する場合の設置枚数を考慮した金網に発生する張力の合計である張力  $T'$  は、図 6-1 に示す金網に発生する力のつりあいより以下のとおり算出され、各辺のワイヤロープが結合されていることから張力が一定となるため、ワイヤロープ 1 本が負担する張力は  $T' / 2$  と設定する。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \cdot \sin \theta}$$

ただし、 $\theta$  は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

金網に発生する力のつりあいを図 6-1 に示す。

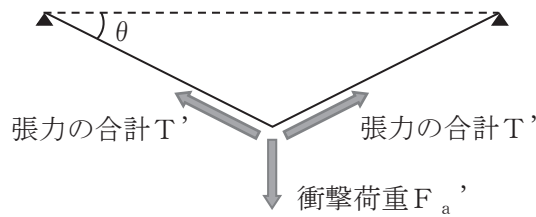


図 6-1 金網に発生する力のつりあい

主金網を  $n$  枚重ねて設置する場合、1 枚の金網のワイヤロープ 1 本に発生する張力の最大値  $T_1'$  は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4 \cdot n \cdot \sin \theta}$$

と算出される。

さらに、ワイヤロープが支持する金網の枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置されており、2 枚の金網を支持しているため、下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため、補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると、補助金網を設置している上段のワイヤロープには、補助金網を設置していないワイヤロープに比べ、1.5 倍の張力が発生していることが確認されている。このことから、上段のワイヤロープは、下段のワイヤロープに比べ、補助金網の影響により 1.5 倍の張力が発生しているものとし、その影響を考慮する。補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力の最大値  $T_1''$  は、

$$T_1'' = \frac{T'}{2} \cdot \left( \frac{1.5}{1.5+1} \right) = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \left( \frac{1.5}{1.5+1} \right)$$

金網に対して飛来物がオフセット衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており、算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

ハ. 接続治具（支持部）の破断評価

(イ) ターンバックル

ターンバックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値として、ワイヤロープに発生する張力 $T_1$ ”により評価を実施する。

(ロ) シャックル

シャックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値として、ワイヤロープに発生する張力 $T_1$ ”により評価を実施する。

ニ. 接続治具（固定部）の破断評価

(イ) 隅角部固定ボルト

ワイヤロープは、設置する金網枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、金網枚数ごとに評価する。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$ のたわみ角を有することから、隅角部へ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。鉛直方向成分は、水平方向成分のように溶接部に対する有意な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

金網のたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 6-2 に示す。

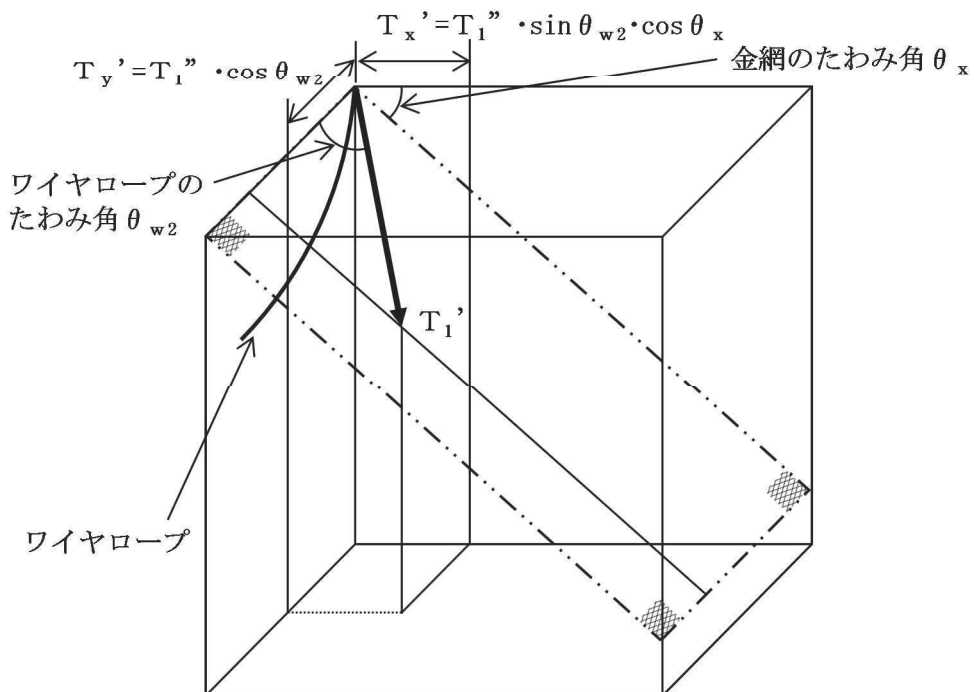
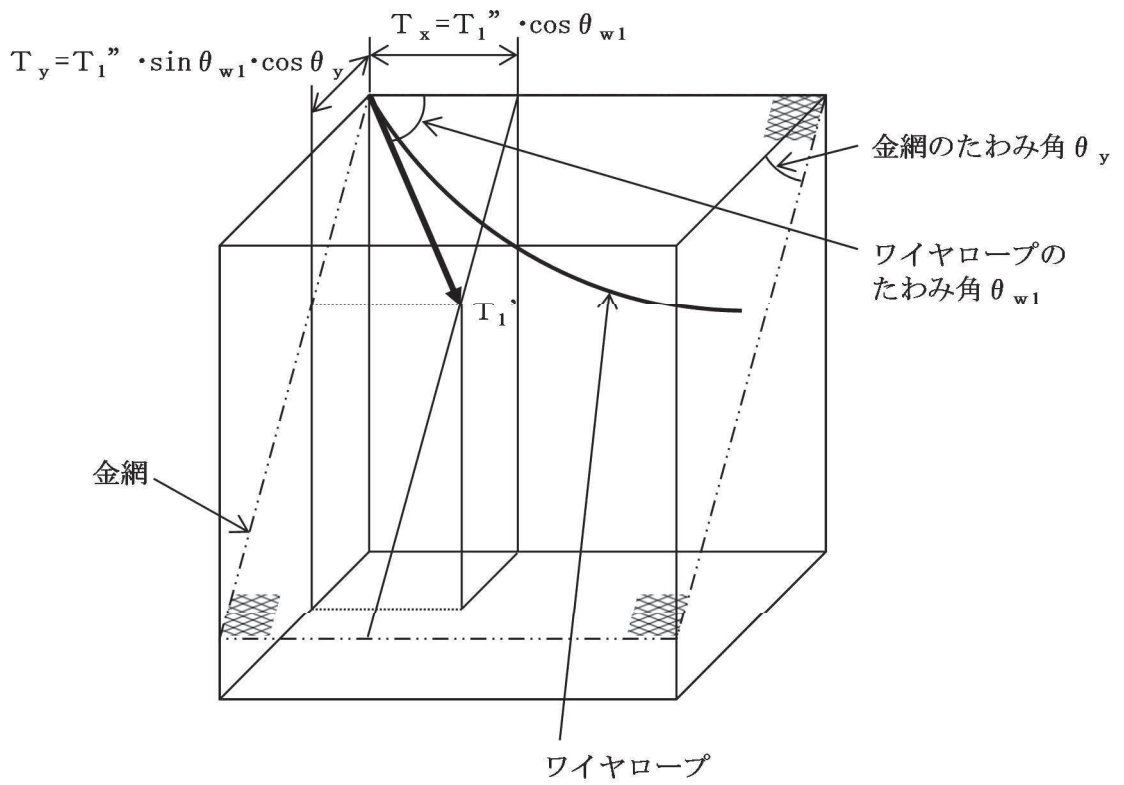


図 6-2 金網のたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

鋼管の荷重状態を図 6-3、隅角部固定ボルトの荷重状態を図 6-4 に示す。

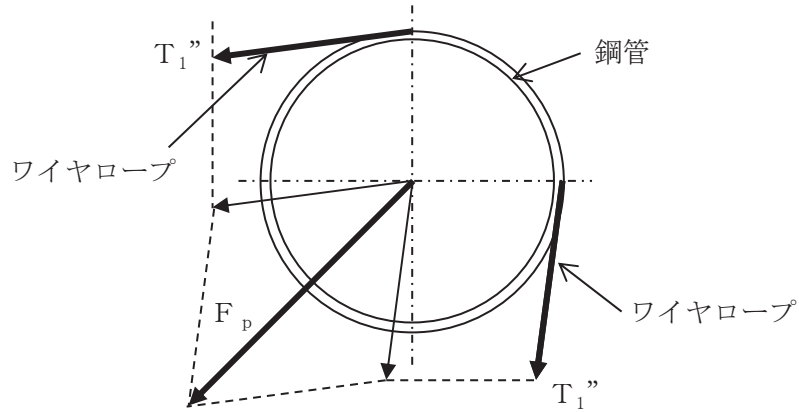


図 6-3 鋼管の荷重状態

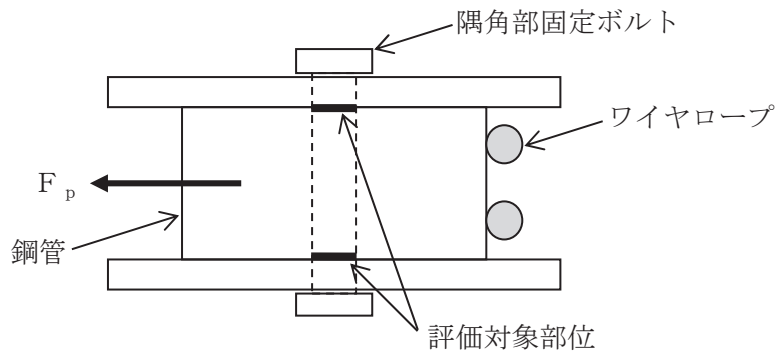


図 6-4 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつりあいの関係から以下の評価式を用いて算出する。

金網展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x$  及び  $T_y$  は、以下のとおりとなる。

$$T_x = T_1'' \cdot \cos \theta_{w1}$$

$$T_y = T_1'' \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし， $\theta_y$ ， $\theta_{w1}$  は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left( \frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}}$$

また，金網展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x'$  及び  $T_y'$  は以下の関係となる。

$$T_x' = T_1'' \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$T_y' = T_1'' \cdot \cos \theta_{w2}$$

ただし， $\theta_x$ ， $\theta_{w2}$  は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left( \frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅角部へ作用する X 方向及び Y 方向への合成荷重は，

$$F_x = T_x + T_x'$$

$$F_y = T_y + T_y'$$

より求まる。

1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は，

$$F_{p1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は，

$$F_{p2} = F_{p1} / 1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重  $F_p$  は，

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より，隅角部固定ボルトに発生するせん断応力  $\tau_s$  は，

$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

(ロ) 取付プレート

飛来物がネットに衝突する場合に金網取付部への衝撃荷重  $T_1''$  は，ワイヤロープの引張荷重として作用し，すみ肉溶接部にはせん断応力が発生するため，せん断応力評価を実施する。取付プレートの荷重状態を図 6-5 に示す。

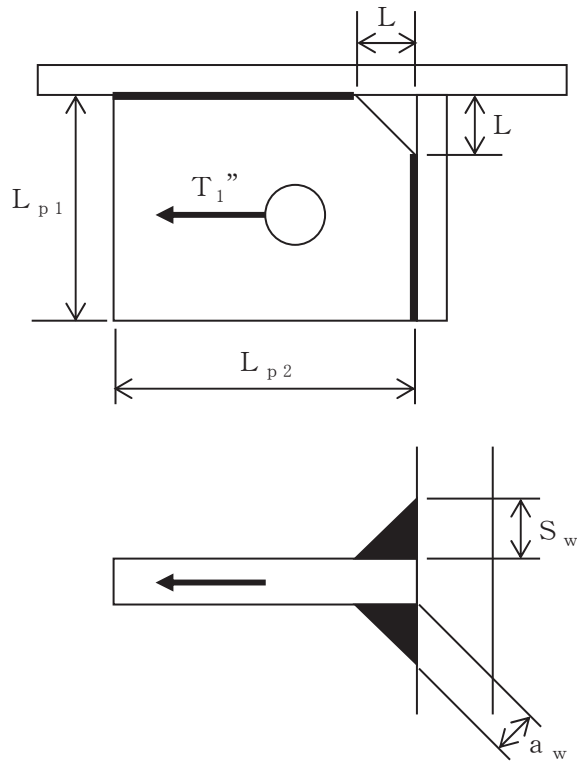


図 6-5 取付プレートの荷重状態

溶接部の有効脚長  $L_{pw}$  は,

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S_w + L_{p2} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力  $\tau_w$  は,

$$\tau_w = \frac{T_1''}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚  $a_w$  は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

(d) たわみ評価

イ. 金網のたわみ量の算出

金網の変位量と吸収エネルギーとの関係は、「5.1.2(2) 吸収エネルギー評価」の(5.2)式のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで、 $K_x$  及び  $L_x$  は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$



とすることで、金網への付加エネルギーに応じたたわみ量  $\delta$  を算出することができる。

ロ. ワイヤロープのたわみ量を含めたネットのたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、金網張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、「6.1(3)c. ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックルの破断評価」に示す方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

以下に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量  $\varepsilon$  が算出される。よって、変形によるワイヤロープの伸び量  $\delta'$  は、以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

ワイヤロープの変形図を図 6-6 に示す。飛来物の衝突によりワイヤロープは放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ  $S$  は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

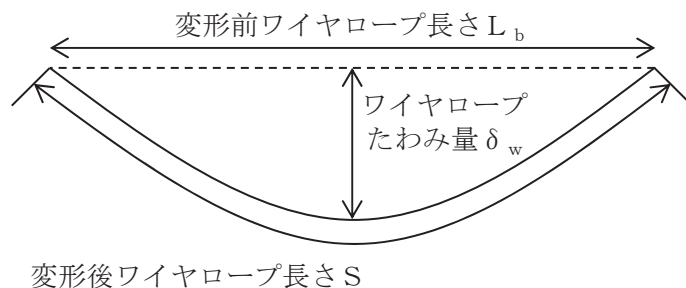


図 6-6 ワイヤロープの変形図

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b}{8 \cdot \delta_w} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

また、ワイヤロープは金網のアスペクト比により、変形形状が異なる。金網及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図 6-7、金網及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）を図 6-8 に示す。

「展開方向寸法 > 展開直角方向寸法」の場合は、飛来物の衝突による金網変形が金網全体に及ぶため、図 6-7 のとおり 4 辺のワイヤロープが変形する形状となり、「展開方向寸法 < 展開直角方向寸法」の場合は、金網変

形が金網展開方向長さの範囲に制限されるため、図 6-8 のとおり金網展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

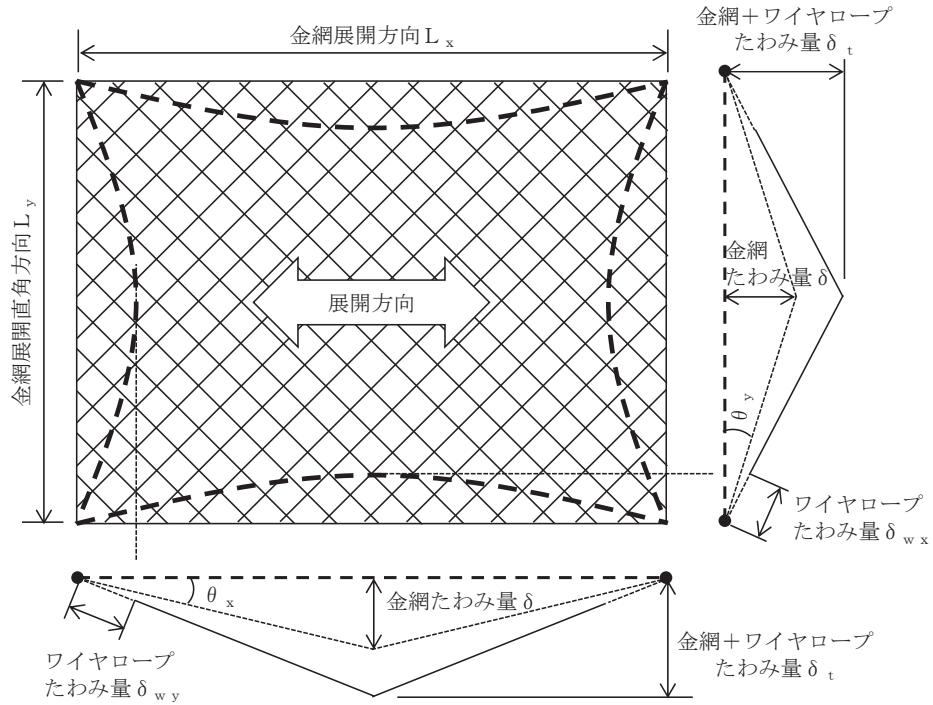


図 6-7 金網及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

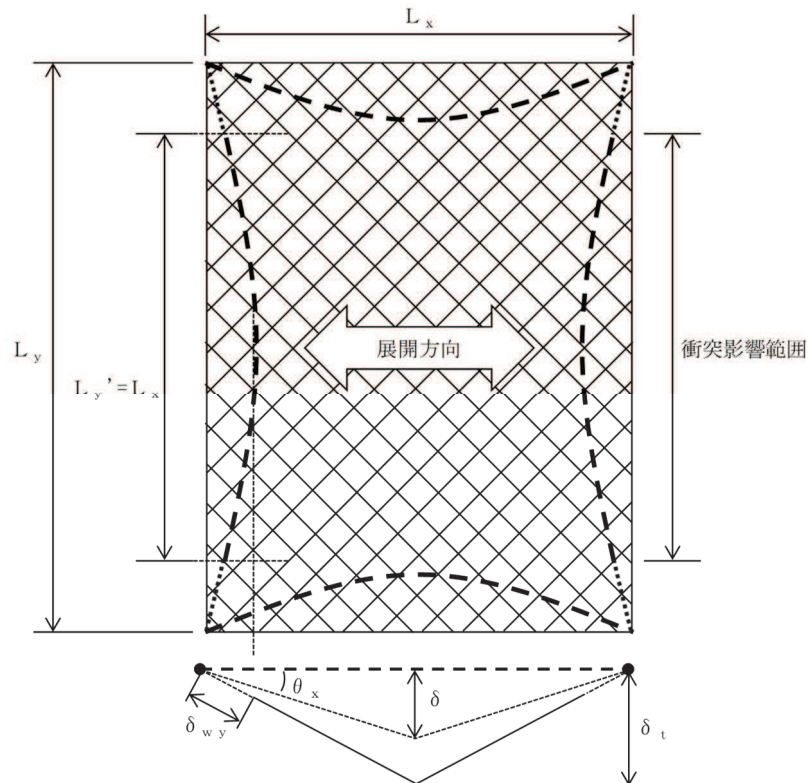


図 6-8 金網及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって、金網のアスペクト比に応じ、ワイヤロープたわみ量を含めた防護金網のたわみ量の算出を行う。

「展開方向寸法 $\geq$ 展開直角方向寸法」の場合、図 6-7 のとおり、金網展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さを  $S_x$ 、金網展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを  $S_y$  とすると、 $S_x$  及び  $S_y$  はそれぞれ  $\delta_{wx}$ 、 $\delta_{wy}$  の関数であり、ワイヤロープ伸び量  $\delta'$  は、

$$\delta' = \{S_x(\delta_{wx}) - L_x\} + \{S_y(\delta_{wy}) - L_y\}$$

と表される。

また、金網展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、金網展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cdot \cos \theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量  $\delta_{wx}$  及び  $\delta_{wy}$  を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めたネットのたわみ量  $\delta_t$  が算出される。

「展開直角方向寸法 $>$ 展開方向寸法」の場合、図 6-8 より、ワイヤロープ伸び量  $\delta'$  が  $L_y$  の範囲に集約されて変形する。「展開直角方向寸法 $>$ 展開方向寸法」の場合における、ワイヤロープの変形図を図 6-9 に示す。

ワイヤロープは、飛来物の影響範囲 ( $L_y'$ ) にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり、その両端部は放物線状に変形したワイヤロープからの引張力のみが作用するため、両端部の接線がそのまま金網端部まで延長される形となる。

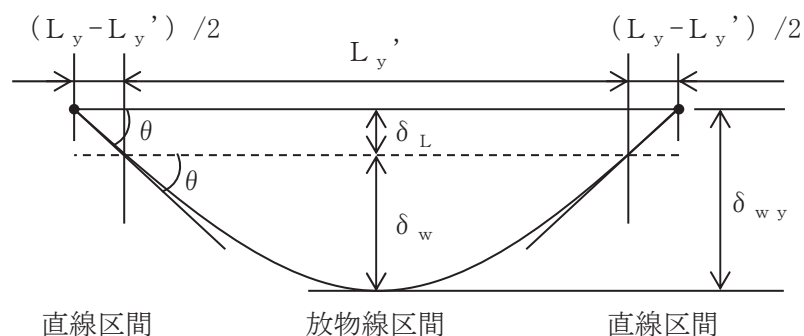


図 6-9 「展開直角方向寸法 $>$ 展開方向寸法」の場合におけるワイヤロープの変形図

金網展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを  $S_y$  とすると、 $S_y$  は  $\delta_w$  の関数であり、

$$S_y = S_y (\delta_w)$$

と表される。

また、直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計  $L_s$  は、

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta}$$

と表される。

$L_y$  (展開方向に直交する辺) の変形後のワイヤロープ長さ  $S_y$  は、

$$S_y = L_y + \delta'$$

と算出されることから、

$$\begin{aligned} L_y + \delta' &= S_y + L_s \\ &= S_y (\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta} \end{aligned}$$

となり、 $L_y$ 、 $L_y'$ 、 $\delta'$ 、 $\theta$  は定数であることから、放物線区間のワイヤロープたわみ量  $\delta_w$  を導出することができる。

また、直線区間のワイヤロープのたわみ量  $\delta_L$  は、

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2} \cdot \tan \theta$$

と算出されることから、放物線区間、直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が、

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算出される。

$$\delta_t = \sqrt{\left( \delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x} \right)^2 - \left( \frac{L_x}{2} \right)^2}$$

より、ワイヤロープたわみ量を含めたネットのたわみ量  $\delta_t$  が算出される。

## (2) 防護板の強度評価

### a. 評価方針

防護板の強度評価は、定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を実施する。

### b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-3 に示す。

表 6-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
防護板	・ 衝突評価

## c. 強度評価

## (a) 記号の定義

防護板の強度評価に用いる記号を表 6-4 に示す。

表 6-4 防護板の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	評価において考慮する飛来物の質量
T	m	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	評価において考慮する飛来物の飛来速度

## (b) 衝突評価

飛来物が防護板に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子炉安全専門審査会）」で用いられている BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

## (3) 支持部材の強度評価

## a. 評価方針

(a) 支持部材の強度評価は、定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価並びに FEM を用いた衝突解析により衝突評価及び構造強度評価を実施する。

(b) 衝突解析に用いるモデルは、支持部材の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ、作成する。

## b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-5 に示す。

表 6-5 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
フレーム	・ 衝突評価 ・ 構造強度評価
大梁	・ 衝突評価 ・ 構造強度評価
ゴム支承	・ 構造強度評価
可動支承	・ 構造強度評価

c. 強度評価

(a) 記号の定義

支持部材の強度評価に用いる記号を表 6-6 に示す。

表6-6 支持部材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$\gamma_e$	-	せん断ひずみ
$\Delta l_e$	mm	水平変位量
$\Sigma t_e$	mm	総ゴム厚
$\sigma_{te}$	MPa	引張応力
$R_U$	N	上向き反力
$A_{te}$	mm <sup>2</sup>	移動量を控除した引張に有効な面積
$\sigma_{ce}$	MPa	圧縮応力
$R_L$	N	下向きの反力
$A_{ce}$	mm <sup>2</sup>	移動量を控除した圧縮に有効な面積
$\sigma_s$	MPa	内部鋼板の引張応力
$f_c$	-	圧縮応力の分布を考慮した引張応力の係数 (=2.0)
$t_e$	mm	ゴム一層の厚さ
$t_s$	mm	内部鋼板の厚さ

(b) 衝突評価

「6.1(2)c.(b) BRL 式による貫通限界厚さの算出」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

(c) 構造強度評価

飛来物がフレーム又は大梁に直接衝突した場合における、衝突位置の構造強度評価（ひずみ、応力）を実施する。ゴム支承については、道路橋示方

書・同解説V耐震設計編（H14.3）及び道路橋支承便覧に基づき，以下により評価する。

イ. ゴム支承のせん断ひずみ評価

水平力支持機能は，発生するせん断ひずみが許容せん断ひずみを超えないことを確認する。次式によって，水平変位量を総ゴム厚で除して求めたゴムのせん断ひずみを評価する。

$$\gamma_e = \frac{\Delta l_e}{\sum t_e}$$

ロ. ゴム支承の引張応力評価

地震時の上向きの力によって生じる引張応力を次式によって評価する。

$$\sigma_{te} = \frac{R_U}{A_{te}}$$

ハ. ゴム支承の座屈安定性の評価

圧縮力が作用したときのゴム支承本体の座屈安定性を，次式により評価する。

$$\sigma_{ce} = \frac{R_L}{A_{ce}}$$

ニ. ゴム支承の内部鋼板の引張応力評価

ゴム支承に補強材として使用する内部鋼板には，鉛直荷重によって水平方向への引張力が発生する。圧縮力が作用したときゴム支承の内部鋼板に生じる引張応力を次式により評価する。

$$\sigma_s = \frac{f_c \cdot \sigma_{ce} \cdot t_e}{t_s}$$

## 6.2 竜巻防護鋼板の強度評価

### (1) 評価方針

- a. 竜巻防護鋼板の強度評価は、定式化された評価式を用いた解析法により衝突評価を、FEMを用いた衝突解析により構造強度評価を実施する。
- b. 衝突解析に用いるモデルは、竜巻防護鋼板の構造及び想定される荷重の伝達を踏まえ、作成する。

### (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-7 に示す。

表 6-7 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
防護鋼板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衝突評価</li> <li>・ 構造強度評価</li> </ul>
架構	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造強度評価</li> </ul>

### (3) 強度評価

#### a. 衝突評価

「6.1(2)c.(b) BRL 式による貫通限界厚さの算出」に示す限界厚さ評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

#### b. 構造強度評価

飛来物が防護鋼板に直接衝突した場合における、衝突位置の構造強度評価（ひずみ）を実施する。



## 7. 適用規格

添付書類「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、防護対策施設の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 ( J E A G 4 6 0 1 ・ 補 -1984)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 ( J E A G 4 6 0 1 -1987)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 ( J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)
- ・ 日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))
- ・ 建築基準法 (昭和25年5月24日法律第201号)
- ・ 建築基準法施行令 (昭和25年11月16日政令第338号)
- ・ 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- ・ 日本道路協会 平成16年4月 道路橋支承便覧
- ・ 日本道路協会 平成20年8月 小規模吊橋指針・同解説
- ・ ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討 (昭和51年10月高温構造安全技術研究組合)
- ・ タービンミサイル評価について (昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会)
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

VI-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書

目 次

- VI-3-別添 1-2-1-1 竜巻防護ネットの強度計算書
- VI-3-別添 1-2-1-2 竜巻防護鋼板の強度計算書

VI-3-別添 1-2-1-1 竜巻防護ネットの強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	8
2.4	適用規格	11
3.	強度評価方法	12
3.1	ネットの強度評価方法	12
3.1.1	記号の定義	12
3.1.2	評価対象部位	17
3.1.3	荷重及び荷重の組合せ	19
3.1.4	許容限界	22
3.1.5	評価方法	29
3.2	防護板の強度評価方法	43
3.2.1	記号の定義	43
3.2.2	評価対象部位	43
3.2.3	荷重及び荷重の組合せ	43
3.2.4	許容限界	44
3.2.5	評価方法	44
3.3	支持部材の強度評価方法	46
3.3.1	記号の定義	46
3.3.2	評価対象部位	48
3.3.3	荷重及び荷重の組合せ	50
3.3.4	許容限界	50
3.3.5	評価方法	55
4.	評価条件	65
4.1	ネットの評価条件	65
4.2	防護板の評価条件	68
4.3	支持部材の評価条件	68
5.	強度評価結果	74
5.1	ネットの吸収エネルギー評価	74
5.2	ネットの破断評価	74
5.3	ネットのたわみ評価	76
5.4	防護板の貫通評価	76
5.5	支持部材の貫通評価	77
5.6	支持部材の支持機能評価	78

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である竜巻防護ネットが、外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物（以下「飛来物」という。）が外部事象防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう、竜巻防護ネットを構成する主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 基本方針

添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、竜巻防護ネットの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

### 2.1 位置

竜巻防護ネットは、海水ポンプ室補機ポンプエリアの上面に設置する。竜巻防護ネットの設置位置図を図 2-1 に、外部事象防護対象施設と竜巻防護ネットの配置イメージ図を図 2-2 に示す。

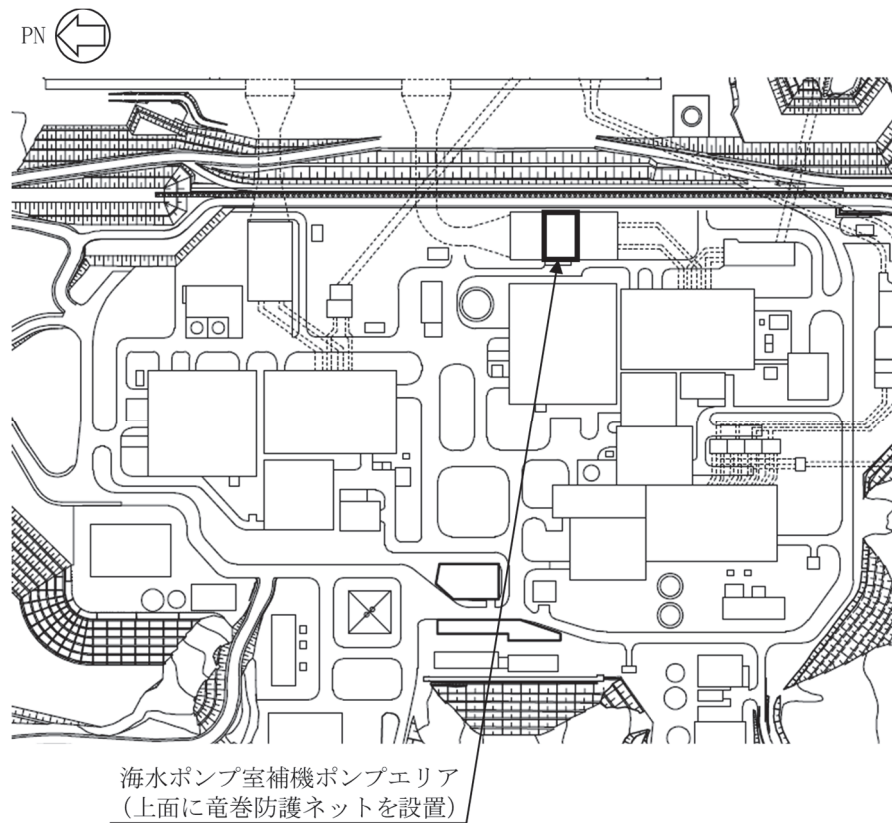


図 2-1 竜巻防護ネットの設置位置図

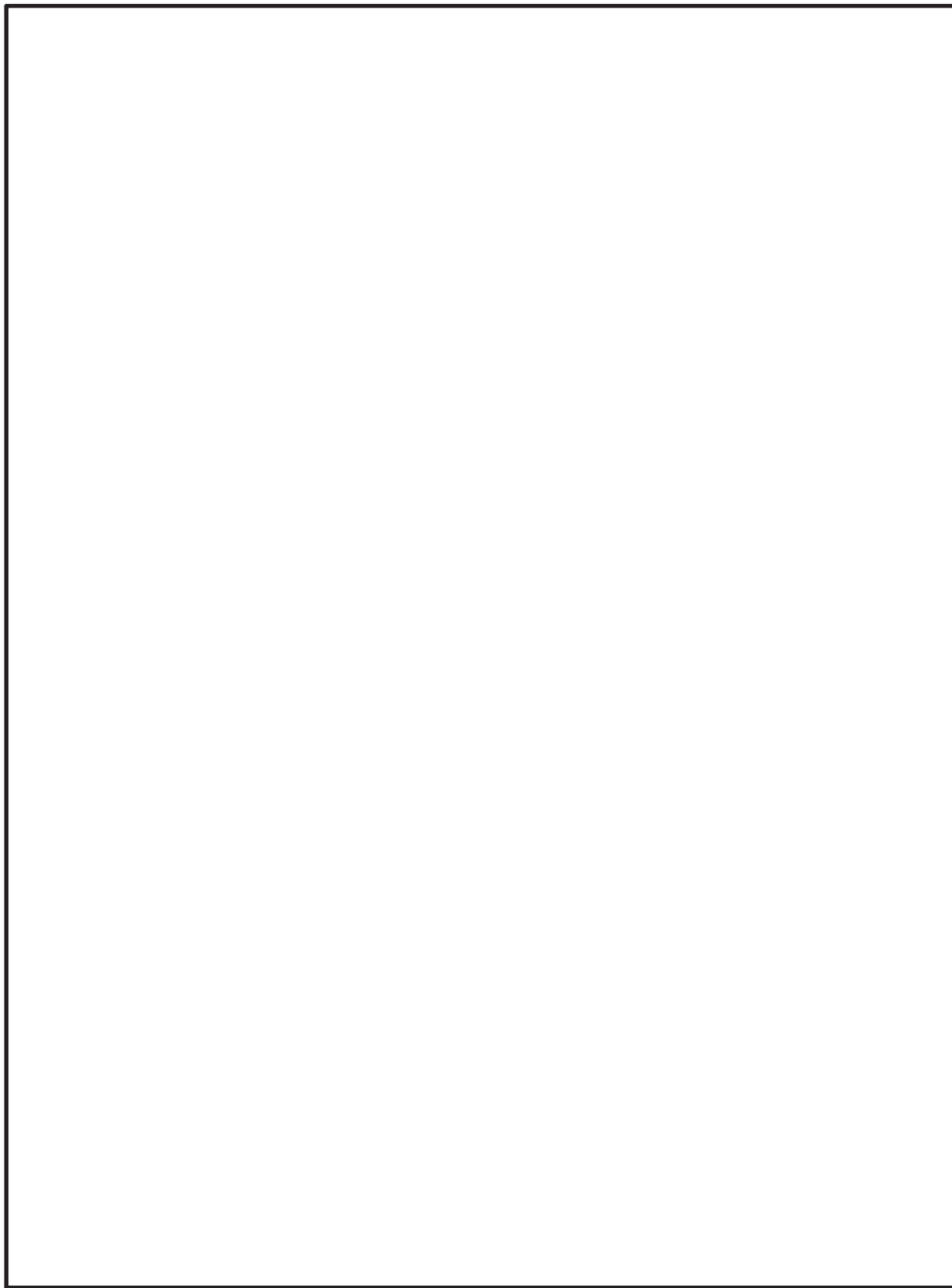


図 2-2 外部事象防護対象施設と竜巻防護ネットの配置イメージ図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

## 2.2 構造概要

竜巻防護ネットの構造は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「3.1 竜巻防護ネットの構造設計」に示す構造設計を踏まえ、設定する。

竜巻防護ネットは、ネット、防護板及び支持部材で構成し、海水ポンプ室補機ポンプエリア上面に設置する。

ネットは、金網、ワイヤロープ及び接続治具により構成され、金網の4辺をワイヤロープにより支持し、ワイヤロープはフレームに設置した接続治具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部はターンバックル又はシャックルを設置し、ターンバックル又はシャックルをフレームに設置した取付プレートに接続する構造とする。ネットに作用する荷重は、ワイヤロープ及び接続治具を介して支持部材に伝達し、支持部材から海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

金網は、飛来物が衝突した際に局部的に生じる衝撃荷重に耐え、変形することにより飛来物の持つ運動エネルギーを吸収し、外部事象防護対象施設への衝突を防止するものである。金網は、らせん状の硬鋼線を3次元的に編み込み、編み込みの方向によって主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持っており、ネットに対してL字に張った2本のワイヤロープで支持される。金網展開方向及び展開直角方向ともに支持していることから、ワイヤロープの張力が均一に発生する構造である。

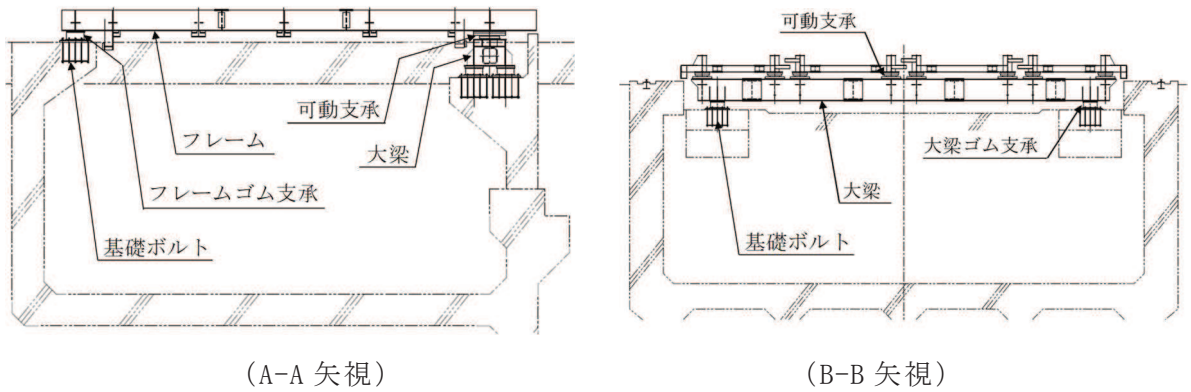
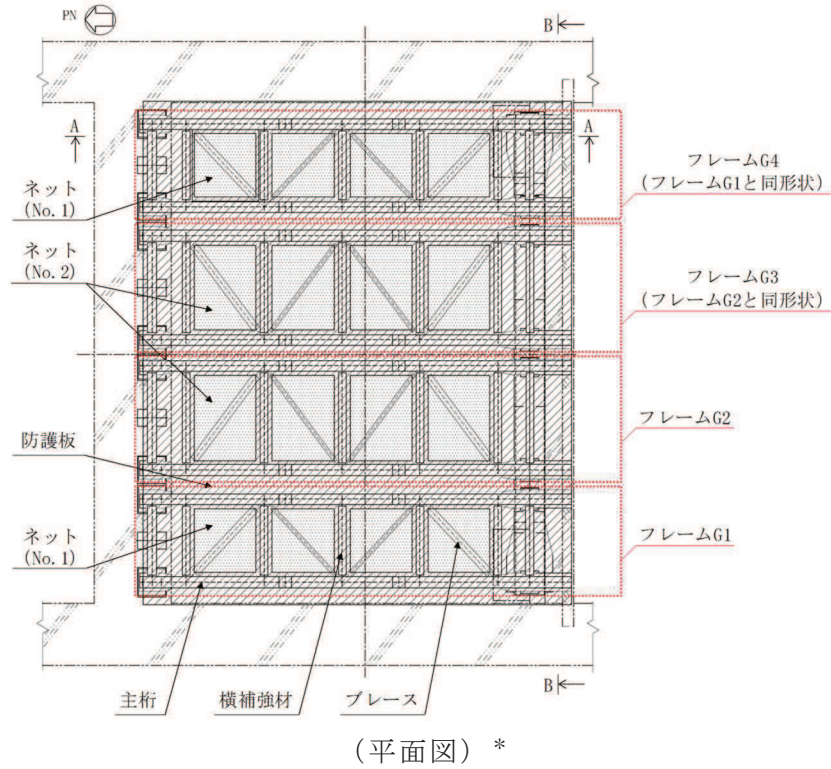
ワイヤロープは、接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックル並びに接続治具（固定部）である取付プレート及び隅角部固定ボルトで支持される。また、ワイヤロープは、ネットの自重による平常時のたわみが大きくなるように、初期張力をかけ、トルク管理を行う。

防護板は、鋼板により構成する鋼製構造物である。防護板に作用する荷重は、支持部材に伝達し、支持部材から海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

ネット及び防護板の支持部材は、フレーム（主桁、横補強材、ブレース等により構成する）、大梁、可動支承、ゴム支承等により構成され、上載するネット及び防護板を支持する構造とする。支持部材に作用する荷重は、基礎ボルトを介して、海水ポンプ室躯体に伝達する構造とする。

竜巻防護ネットの構造概要図を図 2-3 から図 2-6 に示す。





注記 \* : 主桁と横補強材で形成される開口部に設置するネットについて、寸法に応じて以下のとおり分類して評価している。

No. 1 : 金網サイズ約 3.7m×約 3.5m (フレーム G1 及び G4 に設置するネット)

No. 2 : 金網サイズ約 4.8m×約 3.5m (フレーム G2 及び G3 に設置するネット)

図 2-3 竜巻防護ネットの構造概要図

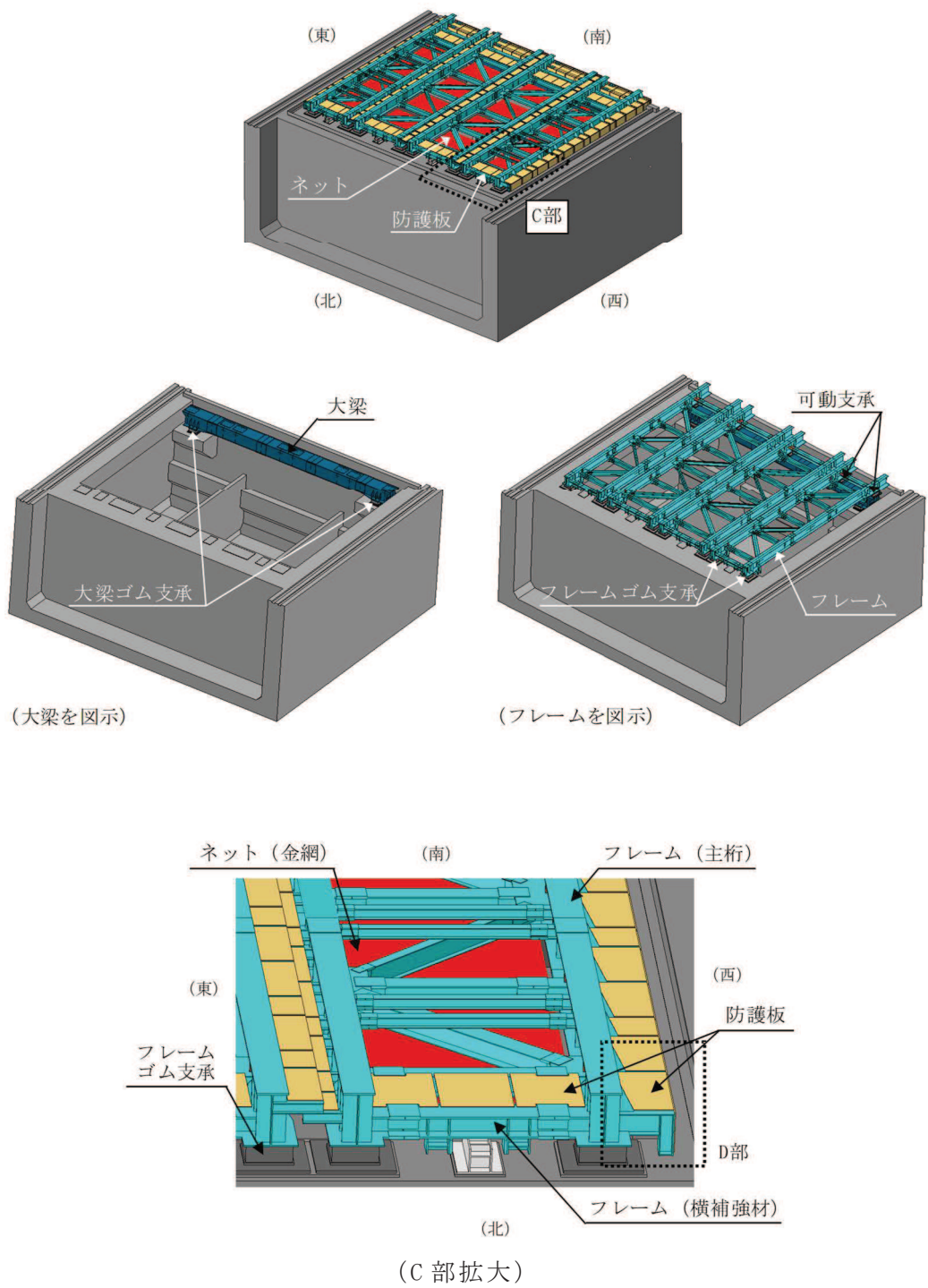
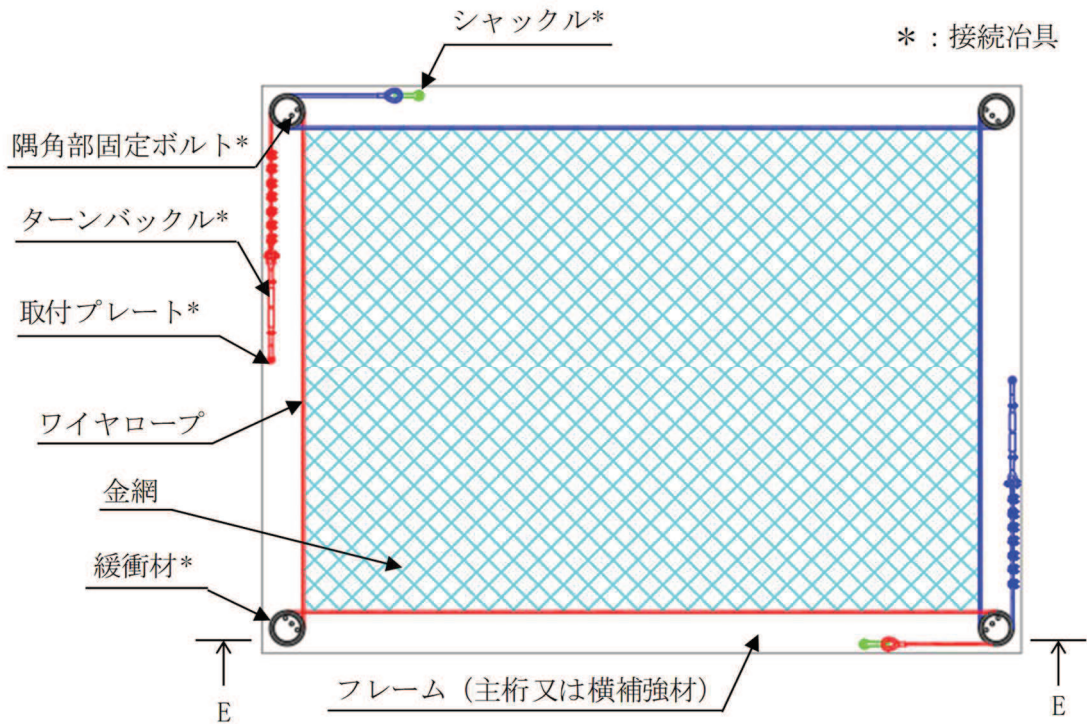
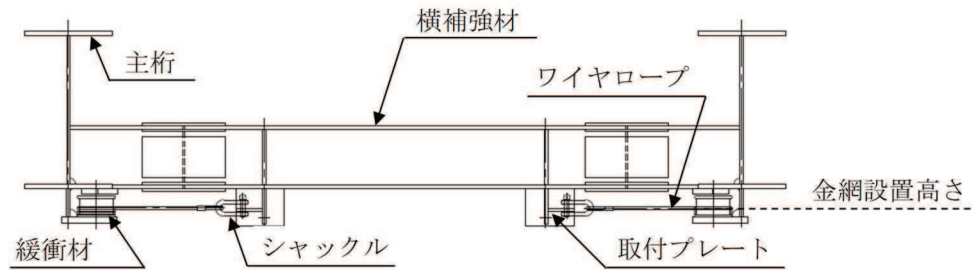


図 2-4 竜巻防護ネットの構造概要図（鳥瞰図）



(平面図) \*1

注記 \*1: 平面図は金網 1 枚当たりの構造を示す。



(E-E 矢視)

図 2-5 竜巻防護ネットの構造概要図 (ネット)

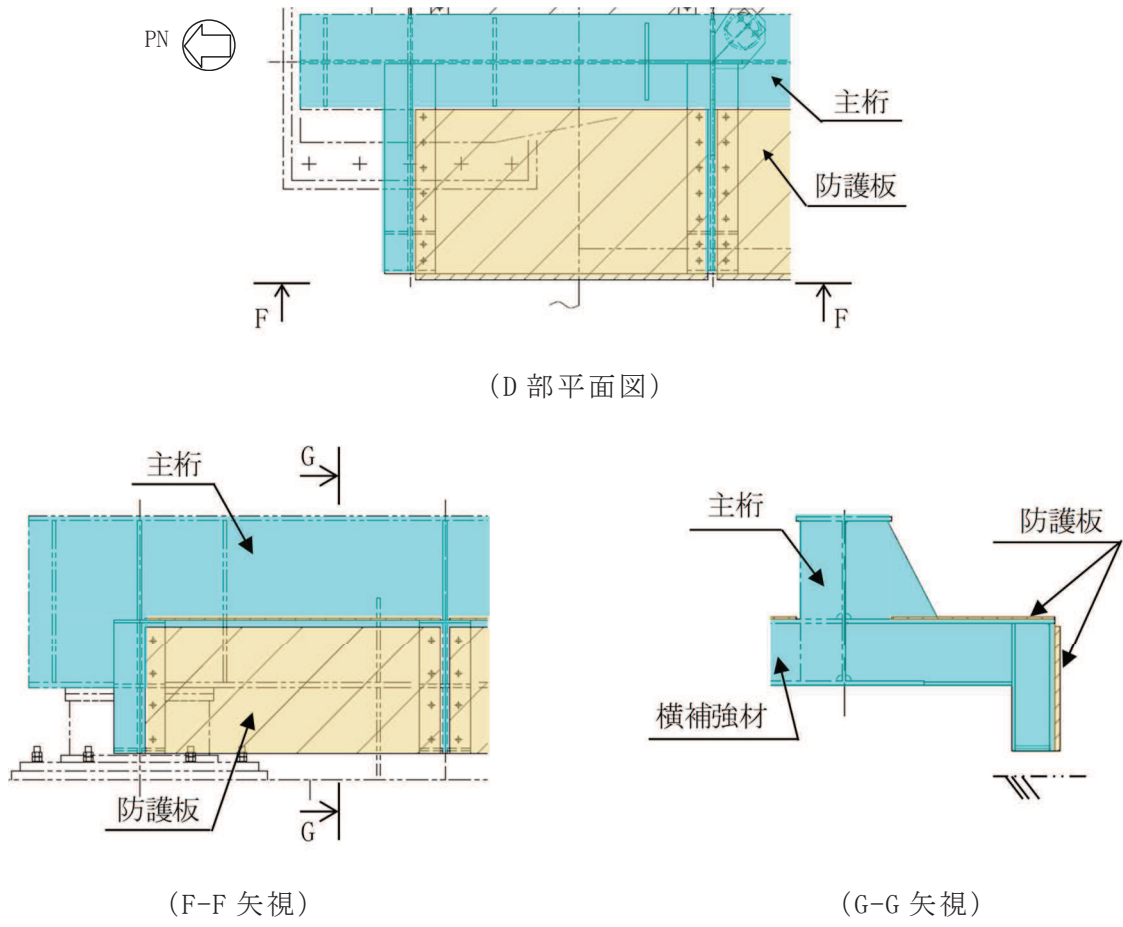


図 2-6 竜巻防護ネットの構造概要図 (防護板)

## 2.3 評価方針

竜巻防護ネットの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」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、竜巻防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

竜巻防護ネットの評価フローを図 2-7 に示す。

竜巻防護ネットの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、以下のとおりとする。

### (1) ネット

設計荷重に対して、竜巻防護ネットは、内側に設置した外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を捕捉し外部事象防護対象施設へ衝突させないために、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有すること及びたわみが生じても、飛来物が外部事象防護対象施設と衝突しないよう外部事象防護対象施設との離隔が確保できることを確認する。

金網は破断が生じないことの確認として、金網が飛来物のエネルギーを吸収することができること及び飛来物の衝突箇所において金網目合いの破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。また、ネットが飛来物を捕捉可能であることを確認するために、設計荷重に対して、金網を支持するワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。

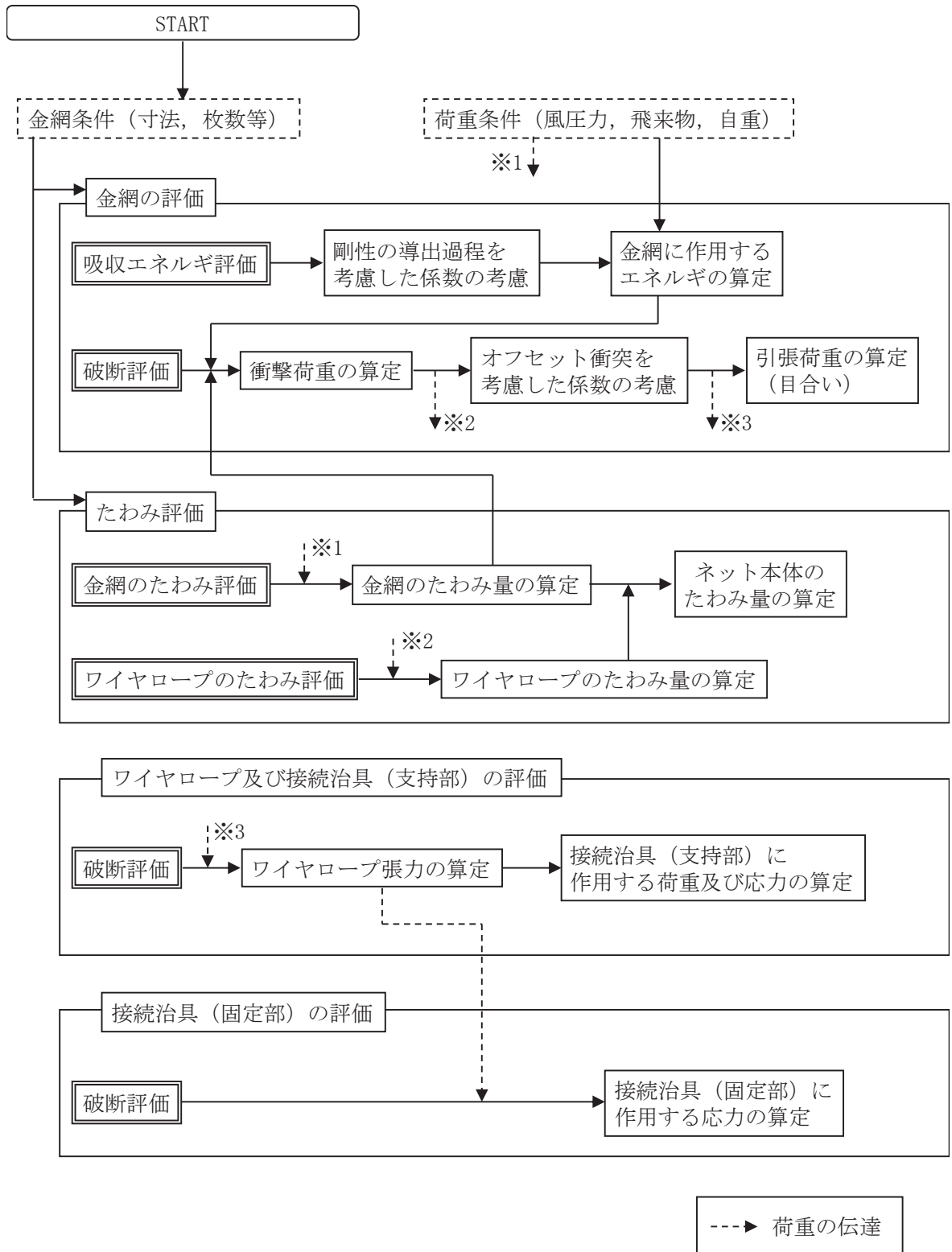
### (2) 防護板

飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する直接的な影響の評価として、防護対策施設を構成する部材に対する衝突評価を行う。衝突評価は、設計荷重に対し、飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。（以下「貫通評価」という。）

### (3) 支持部材

設計荷重に対し、外部事象防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が支持部材を構成するフレーム（横補強材）及び大梁を貫通し外部事象防護対象施設へ衝突しないことを確認するための、フレーム（横補強材）及び大梁に対する貫通評価を実施する。また、支持部材に上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有すること及び設計竜巻の風圧力による荷重及び飛

来物による衝撃荷重並びにその他の荷重に対し、支持部材が浮き上がるような損傷モード等により、支持部材が倒壊し外部事象防護対象施設に機械的な波及的影響を与えないことを確認する。（以下「支持機能評価」という。）



O 2 ⑥ VI-3-別添 1-2-1-1 R 3

図 2-7 竜巻防護ネットの評価フロー (1/3) (ネット)

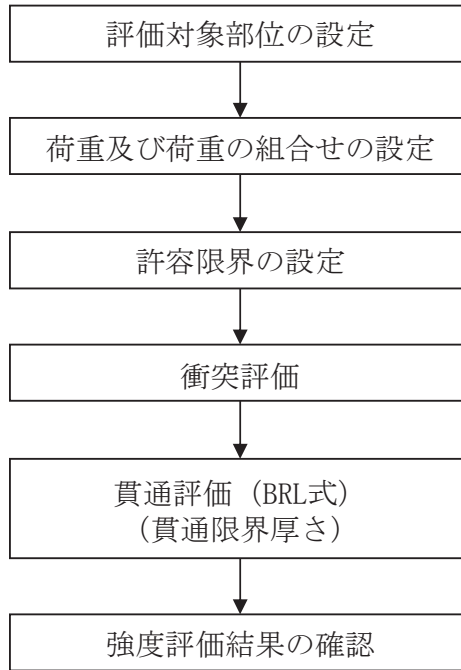
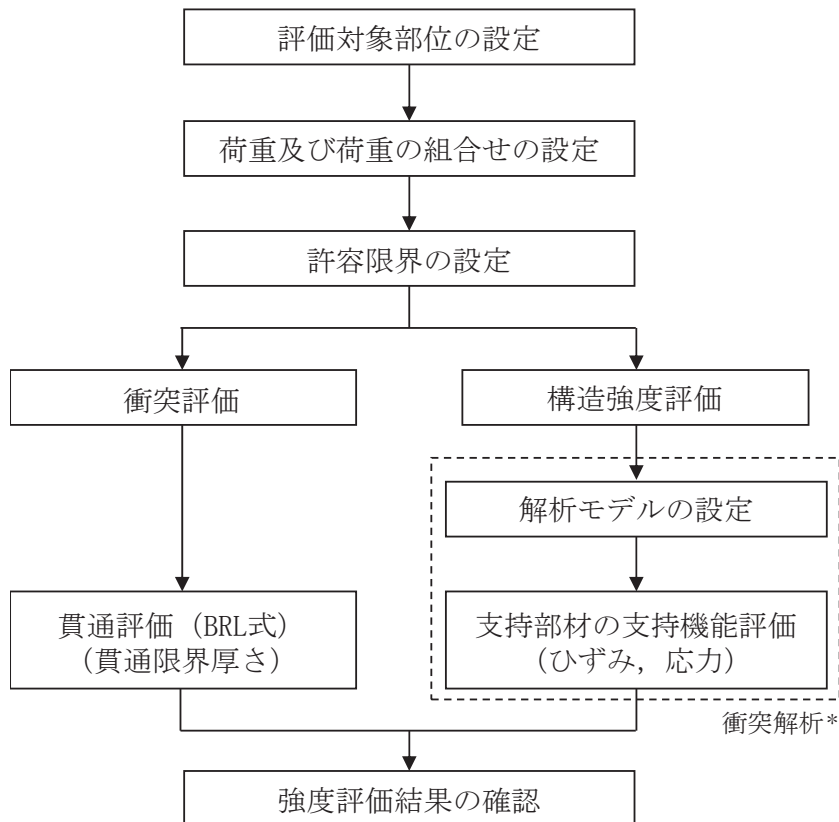


図 2-7 竜巻防護ネットの評価フロー (2/3) (防護板)



注記 \* : 衝突解析においては、解析コード「LS-DYNA」を用いて 3 次元 FEM モデルによりモデル化し、支持部材について評価を実施する。

図 2-7 竜巻防護ネットの評価フロー (3/3) (支持部材)

## 2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）
- 日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))
- 建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- 建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- 日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 日本道路協会 平成16年4月 道路橋支承便覧
- 日本道路協会 平成20年8月 小規模吊橋指針・同解説
- ISES7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（昭和51年10月高温構造安全技術研究組合）
- タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- 日本産業規格（J I S）



### 3. 強度評価方法

#### 3.1 ネットの強度評価方法

##### 3.1.1 記号の定義

###### (1) 荷重の算定

荷重の算定に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
$A_a$	$m^2$	金網の面積
$C_n$	—	ネットの風力係数
$d$	$m$	飛来物衝突後の飛来物の移動距離
$E_f$	$kJ$	飛来物衝突時に金網に作用するエネルギー
$F_a$	$kN$	飛来物衝突時に金網が受ける最大衝撃荷重
$F_a''$	$kN$	飛来物衝突時に金網が受ける衝撃荷重
$G$	—	ガスト影響係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$L_x$	$m$	金網展開方向寸法
$L_y$	$m$	金網展開直角方向寸法
$m$	$kg$	飛来物の質量
$m_1$	$kg/m^2$	主金網の単位面積当たりの質量
$m_2$	$kg/m^2$	補助金網の単位面積当たりの質量
$n$	—	主金網の設置枚数
$n_1$	—	補助金網の設置枚数
$P_w$	$kN$	金網の自重により作用する荷重
$Q$	$kN/s$	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
$q$	$N/mm^2$	設計用速度圧
$t$	$s$	時間
$t_1$	$s$	飛来物が衝突し金網のたわみ量が最大になる時間
$V$	$m/s$	金網に衝突後の飛来物の移動速度
$V_1$	$m/s$	金網への飛来物の衝突速度
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$W_w$	$kN$	風圧力による荷重
$\delta$	$m$	飛来物衝突時の金網の最大たわみ量
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\phi$	—	金網の充実率

(2) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2 吸収エネルギー評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$a$	mm	金網 1 目合いの対角寸法
$a_s$	mm	金網 1 目合いの破断変位
$b$	mm	飛来物の端面の長辺方向寸法
$c$	mm	飛来物の端面の短辺方向寸法
$E_f$	kJ	飛来物衝突時に金網に作用するエネルギー
$E_i$	kJ	$i$ 番目の列における金網の吸収可能なエネルギー
$E_{max}$	kJ	金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_{max}'$	kJ	等価剛性の導出過程を踏まえた係数及び金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギー
$E_t$	kJ	金網設置枚数を考慮した金網に作用する全外力エネルギー
$E_w$	kJ	風圧力による荷重及び常時作用する荷重により金網に作用する外力エネルギー
$F_i$	kN	飛来物衝突時の $i$ 番目の列における作用力
$F_w$	kN	風圧力による荷重及び常時作用する荷重により金網に作用する荷重
$K$	kN/m	金網の 1 目合いの等価剛性
$K_x'$	kN/m	1 列当たりの金網展開方向等価剛性
$K_x$	kN/m	金網設置枚数を考慮した金網の 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$L_x$	m	金網展開方向寸法
$L_y$	m	金網展開直角方向寸法
$n$	—	主金網の設置枚数
$N_x$	—	金網展開方向目合い数
$N_y$	—	金網展開直角方向目合い数
$P_i$	kN	飛来物衝突時に金網に発生する $i$ 番目の列における張力
$X_i$	m	$i$ 列目の金網の伸び
$\delta_a$	m	風圧力による荷重及び常時作用する荷重による金網のたわみ量
$\delta_i$	m	$i$ 番目の列における金網のたわみ量
$\delta_{max}$	m	金網の最大たわみ量

表 3-2 吸収エネルギー評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$\theta_i$	°	i 番目の列における金網たわみ角
$\theta_{max}$	°	金網の最大たわみ角

(3) 破断評価

破断評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3 破断評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$a_w$	mm	取付プレート溶接部ののど厚
$A_b$	mm <sup>2</sup>	隅角部固定ボルトの呼び径断面積
$C_c$	—	ワイヤグリップ効率
$E_t$	kJ	金網設置枚数を考慮した金網に作用する全外力エネルギー
$F^*$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.3 及び SSB-3133 に定める値
$F_3$	kN	ワイヤロープの規格値
$F_4$	kN	ターンバックルの規格値
$F_5$	kN	シャックルの規格値
$F_a$	kN	飛来物衝突時に金網が受ける最大衝撃荷重
$F_{40}$	kN	40 mm 目合い金網の 1 交点当たりの許容引張荷重
$F_{50}$	kN	50 mm 目合い金網の 1 交点当たりの許容引張荷重
$F_a'$	kN	飛来物衝突時に金網が受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
$F_{max}$	kN	金網設置枚数を考慮した金網の許容引張荷重
$f_s^*$	MPa	許容せん断応力
$F_p$	kN	飛来物が金網に衝突する際にワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{p1}$	kN	飛来物が金網に衝突する際に 1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_{p2}$	kN	飛来物が金網に衝突する際に 2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
$F_x$	kN	飛来物が金網に衝突する際にワイヤロープから隅角部へ作用する X 方向の合成荷重
$F_y$	kN	飛来物が金網に衝突する際にワイヤロープから隅角部へ作用する Y 方向の合成荷重

表 3-3 破断評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$L$	mm	取付プレートの面取り長さ
$L_{pw}$	mm	取付プレート溶接部の有効脚長
$L_{p1}$	mm	取付プレート長さ（縦方向）
$L_{p2}$	mm	取付プレート長さ（横方向）
$L_x$	m	金網展開方向寸法
$L_y$	m	金網展開直角方向寸法
$n$	—	主金網の設置枚数
$n_2$	—	隅角部固定ボルト本数
$n_{40}$	—	40mm 目合い金網における飛来物衝突時の周辺の交点数
$n_{50}$	—	50mm 目合い金網における飛来物衝突時の周辺の交点数
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値
$S_w$	mm	取付プレート溶接部の溶接脚長
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値
$T'$	kN	金網に発生する張力の合計の最大値
$T_1'$	kN	ワイヤロープ 1 本に発生する張力
$T_1''$	kN	補助金網を支持しているワイヤロープ 1 本に発生する張力
$T_x$	kN	金網展開方向のワイヤロープから発生する X 方向の荷重
$T_x'$	kN	金網展開直角方向のワイヤロープから発生する X 方向の荷重
$T_y$	kN	金網展開方向のワイヤロープから発生する Y 方向の荷重
$T_y'$	kN	金網展開直角方向のワイヤロープから発生する Y 方向の荷重
$\delta$	m	金網の最大たわみ量
$\delta_{wx}$	m	金網展開方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	金網展開直角方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta$	°	金網のたわみ角
$\theta_1$	°	金網展開方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_2$	°	金網展開直角方向に平行なワイヤロープの水平投影たわみ角
$\theta_{w1}$	°	金網展開方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_{w2}$	°	金網展開直角方向に平行なワイヤロープのたわみ角
$\theta_x$	°	金網展開方向に平行な金網のたわみ角
$\theta_y$	°	金網展開直角方向に平行な金網のたわみ角
$\tau_s$	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
$\tau_w$	MPa	取付プレート溶接部に発生するせん断応力

(4) たわみ評価

たわみ評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表 3-4 たわみ評価に用いる記号

記号	単位	定義
$E_i$	kJ	i 番目の列における金網の吸収可能なエネルギー
$E_t$	kJ	金網設置枚数を考慮した金網に作用する全外力エネルギー
$K_x$	kN/m	金網設置枚数を考慮した金網の 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
$L_b$	m	変形前のワイヤロープ長さ
$L_{min}$	m	ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離
$L_x$	m	金網展開方向寸法
$L_y$	m	金網展開直角方向寸法
$L_z$	m	ワイヤロープの全長
$N_y$	—	金網展開直角方向目合い数
$S$	m	変形後のワイヤロープの長さ
$S_x'$	m	金網展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ
$S_y'$	m	金網展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
$\varepsilon$	—	ワイヤロープのひずみ量
$\delta$	m	飛来物衝突時の金網の最大たわみ量
$\delta'$	m	ワイヤロープの変形による伸び量
$\delta_i$	m	i 番目の列における金網のたわみ量
$\delta_t$	m	金網とワイヤロープの合計たわみ量
$\delta_w$	m	ワイヤロープのたわみ量
$\delta_{wx}$	m	金網展開方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\delta_{wy}$	m	金網展開直角方向に平行なワイヤロープの変形後のたわみ量
$\theta_x$	°	金網展開方向に平行な金網のたわみ角
$\theta_y$	°	金網展開直角方向に平行な金網のたわみ角

### 3.1.2 評価対象部位

ネットの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、設定する。

#### (1) 金網

金網の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」に示す構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、金網に直接作用する。このため、設計荷重に対する評価対象部位は、金網とする。評価対象部位を図 3-1 に示す。

#### (2) ワイヤロープ

ワイヤロープの評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」に示す構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、金網に作用した荷重がワイヤロープに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ワイヤロープとする。

#### (3) 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」に示す構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、金網に作用し、ワイヤロープを介して接続治具（支持部）のターンバックル及びシャックルに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、ターンバックル及びシャックルとする。

#### (4) 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、「2.2 構造概要」に示す構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計荷重は、金網に作用し、ワイヤロープ及び接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）の隅角部固定ボルト及び取付プレートに作用するため、設計荷重に対する評価対象部位は、隅角部固定ボルト及び取付プレートとする。このうち、取付プレートについては、プレート本体、プレートと支持板の溶接部及び支持板とフレームの溶接部があるが、評価上裕度が最も小さいプレートと支持板の

溶接部を評価対象部位とする。

隅角部固定ボルトの評価対象部位を図 3-2 に、取付プレートの評価対象部位を図 3-3 に示す。

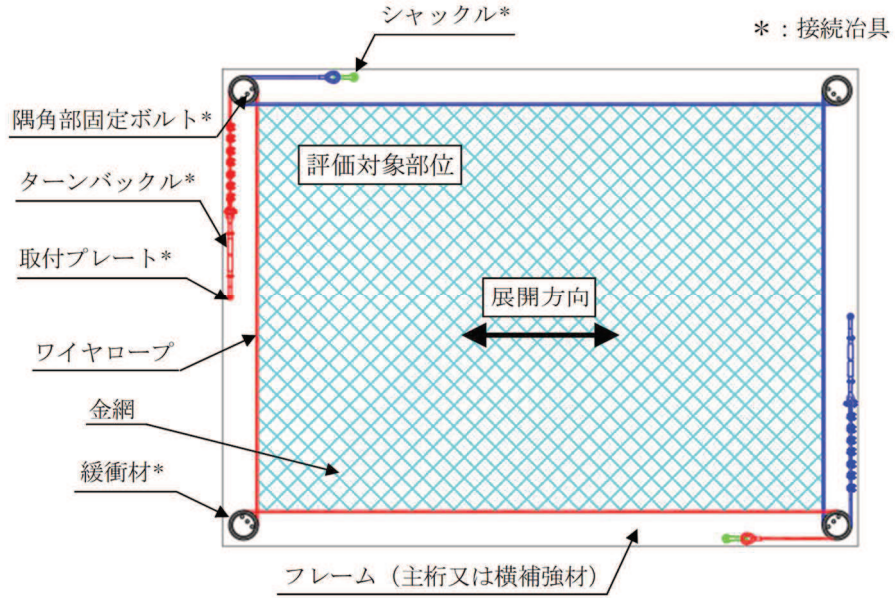


図 3-1 金網の評価対象部位

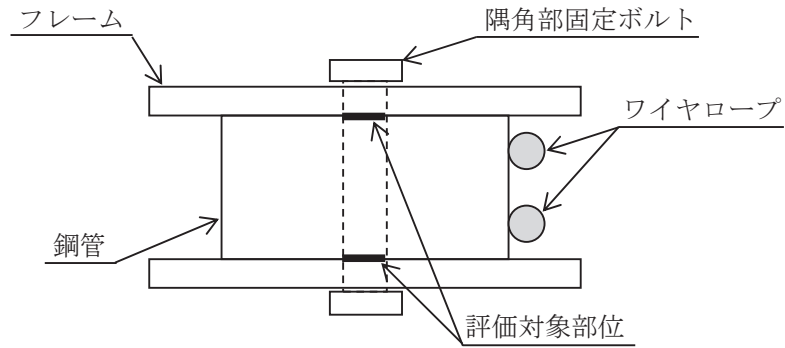


図 3-2 隅角部固定ボルトの評価対象部位

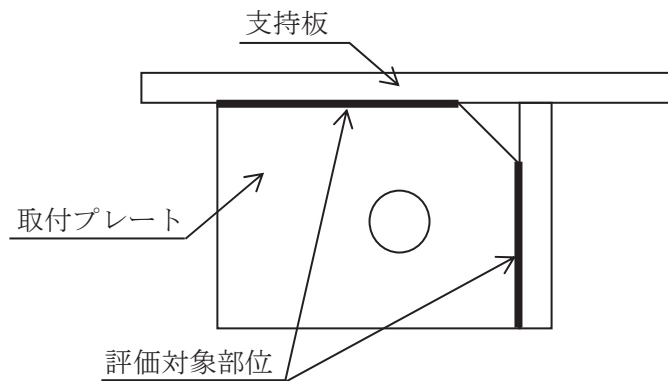


図 3-3 取付プレートの評価対象部位

3.1.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

(1) 荷重の設定

強度評価には以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

a. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、次式により算定する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C_n \cdot A_a \cdot \phi}{1000}$$

設計用速度圧  $q$  は、次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

b. 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

ネットの破断評価に用いる飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) は以下のとおり算出する。

ネットにおいて、金網が最大たわみに達するまでの衝撃荷重  $F_a''$  を図 3-4 に示すような二等辺三角形荷重 ( $F_a''$  は時間とともに比例して増加する) と仮定する。

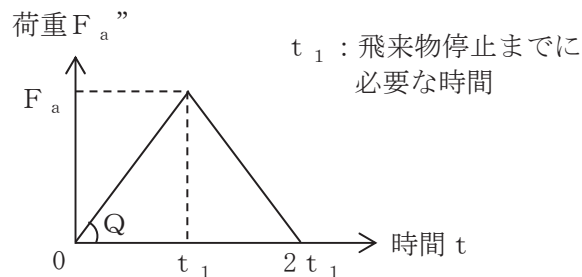


図 3-4 金網に作用する衝撃荷重の時間変化の模式図



ここで、飛来物が金網に接触し（ $t = 0$ ）、金網が最大変形し（ $t = t_1$ ）、飛来物がリバウンドする（ $t = t_1 \sim 2 t_1$ ）過程において、飛来物は金網に接触しているものと考え、最大衝撃荷重の発生時間は、金網が最も変形し、エネルギーを蓄えているときに生じているものとして  $t = t_1$  とする。これより、 $F_a''$  は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

したがって、金網への衝突後の飛来物の移動速度  $V$  は、飛来物の運動量の変化から、式(3.1)の衝撃荷重  $F_a''$  を基に、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \quad \dots\dots\dots (3.2) \end{aligned}$$

さらに、金網への衝突後の飛来物の移動距離  $d$  は、式(3.2)の速度  $V$  から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V dt \\ &= -\frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots\dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

飛来物が衝突し金網のたわみが最大になる時間  $t_1$  における金網の最大変位  $\delta$  は、飛来物の速度は  $V = 0$  であるから、式(3.2)及び式(3.3)より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3 \cdot \delta}{2 \cdot V_1} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

以上より、時間  $t_1$  における飛来物による衝撃荷重  $F_a$  は式(3.1)及び式(3.4)より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、式(3.5)と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (3.6)$$

また、時間  $t_1$  における飛来物の衝突により金網に作用するエネルギー  $E_f$  は、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \dots\dots\dots (3.7)$$

したがって、式 (3.6) 及び式 (3.7) より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \dots\dots\dots (3.8)$$

c. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) は、部材の自重とする。

ネットにおいては、自重による荷重  $P_w$  は、

$$P_w = \frac{A_a \cdot g \cdot (m_1 \cdot n + m_2 \cdot n_1)}{1000}$$

と算出される。

$A_a$  は金網の実寸法  $L_x$ 、 $L_y$  を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_x \cdot L_y$$

なお、ネットのうちワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の評価時においては、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）の自重については、金網から作用する荷重に比べ十分に小さいことから考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

a. 金網

金網に作用する荷重として、金網の自重、風圧力による荷重及び飛来物が金網に衝突する場合の衝撃荷重を組み合わせる。

b. ワイヤロープ

飛来物が金網に衝突する場合にワイヤロープに作用する荷重は、金網からワイヤロープに伝達することから、金網に作用する荷重を評価対象部位であるワイヤロープに作用する荷重として設定する。

ワイヤロープに作用する風圧力による荷重については、金網に作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

c. 接続治具（支持部）

飛来物が金網に衝突する場合に接続治具（支持部）に作用する荷重は、金網からワイヤロープを介して接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルに作用することから、金網に作用する荷重を評価対象部位であるターンバック

ル及びシャックルに作用する荷重として設定する。

接続治具（支持部）に作用する風圧力による荷重については、金網に作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

d. 接続治具（固定部）

飛来物が金網に衝突する場合に接続治具（固定部）に作用する荷重は、金網からワイヤロープ及び接続治具（支持部）を介して接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付プレートに作用することから、金網に作用する荷重を評価対象部位である隅角部固定ボルト及び取付プレートに作用する荷重として設定する。

接続治具（固定部）に作用する風圧力による荷重については、金網に作用する荷重に比べて十分小さいことから考慮しない。

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価における、金網、ワイヤロープ及び接続治具（支持部及び固定部）に作用する荷重及びその組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

評価内容	風圧力による荷重 ( $W_w$ )	飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )	常時作用する荷重 ( $F_d$ )	荷重の組合せ
吸収エネルギー評価	○	○	○	$W_w + W_M + F_d$
破断評価	○	○	○	$W_w + W_M + F_d$
たわみ評価	○	○	○	$W_w + W_M + F_d$

3.1.4 許容限界

ネットの許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.1.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の損傷による機能への影響を考慮して設定する。

吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の許容限界を以下に示す。

(1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出する金網の限界吸収エネルギーが金網に作用する外力エネルギー以上であることにより、金網が破断しないことを確認する。電力中央研究所報告書「竜巻飛来物に対する防護ネットの評価手法と対策工法の提案」（研究報告：N13014）及び電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以

下「電中研報告書」という。)の金網引張試験結果から得られる目合い展開方向の限界伸び量により金網の最大変形角が定まり、金網最大変形角における吸収エネルギーが金網の有する限界吸収エネルギー $E_{max}$ となる。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせた金網を一体として扱ったモデルにて算出する。また、電中研報告書を参照して、金網の変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、金網最大たわみ時の金網の全長は、飛来物の金網への衝突位置によらず金網最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、金網に発生する張力も一定となることから、飛来物の金網への衝突位置によらず金網から飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギーは、金網1目合いの展開方向の1列の等価剛性、展開方向寸法及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価における金網の限界吸収エネルギー算出モデルを図3-5に示す。

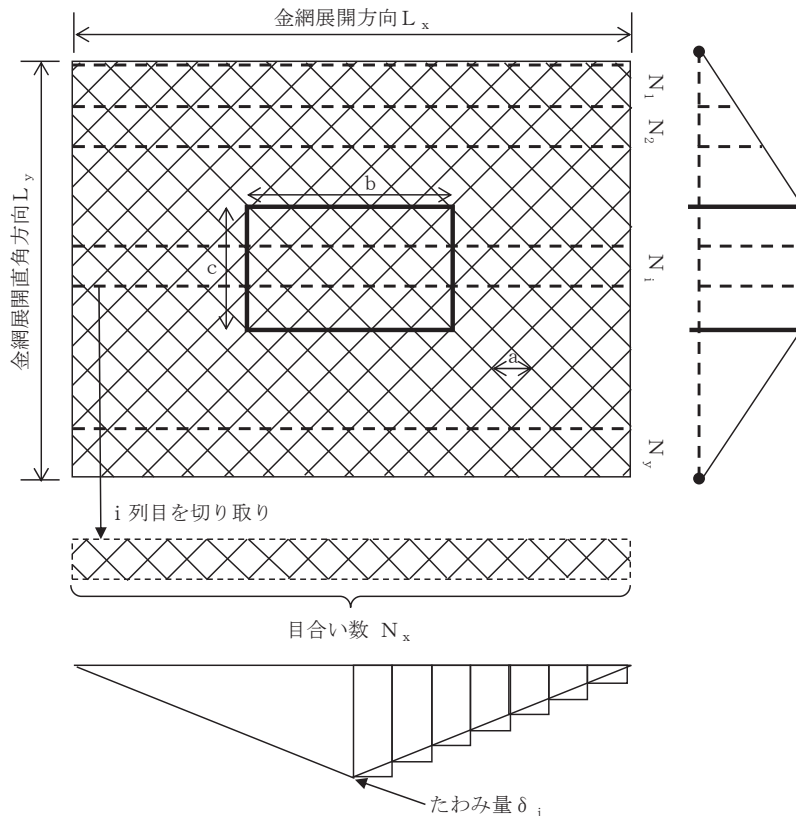


図 3-5 限界吸収エネルギー算出における金網のモデル図

図 3-5 に示すとおり金網の展開方向に1目合いごとに[ ]で囲った形に帯状に分割し、 $N_1$ から $N_y$ までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算

定し、それらを積算することにより金網の吸収エネルギーを算出し、金網が吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、飛来物の寸法及び金網目合いの対角寸法から算出される金網展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法（ $b \times c$ ）及び金網目合いの対角寸法  $a$  を考慮し、最大たわみが発生する場合の金網展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。金網の吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる飛来物の寸法として値の小さい寸法  $c$  を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギーが小さくなるように評価する。

$$\text{金網展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギーが小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを図 3-6 に示す。

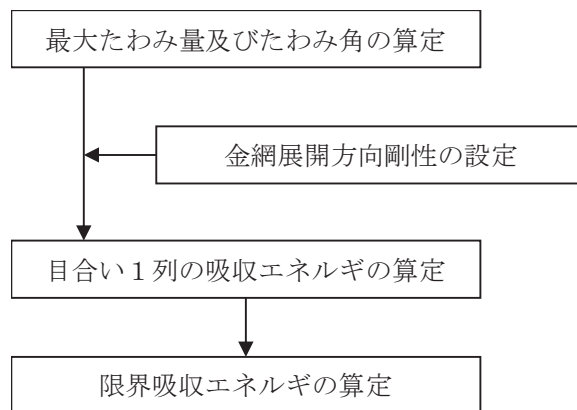
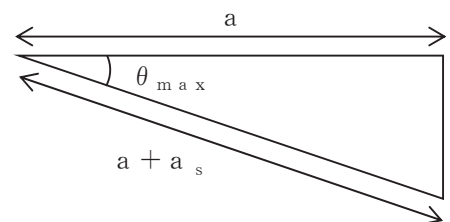


図 3-6 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

電中研報告書の金網引張試験から、1 目合いの展開方向の破断変位を設定する。金網 1 目合いの破断変位から算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の最大たわみ量  $\delta_{max}$  は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \cdot \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left( \frac{a}{a + a_s} \right)$$



金網を構成する金網展開方向の目合い数  $N_x$  は、金網展開方向寸法  $L_x$  及び金網 1 目合いの対角寸法  $a$  から、また、金網展開直角方向の目合い数  $N_y$  は、金網

展開直角方向寸法  $L_y$  及び金網 1 目合いの対角寸法  $a$  からそれぞれ求める。金網を構成する 1 目合いは、それぞれ  $K$  の等価剛性を持っているため、1 列当たりばね定数  $K$  を持つばねを  $N_x$  個直列に接続したものと考えることができる。そのため、1 列当たりの剛性  $K'$  は、

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}$$

$$N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

$$1 \text{ 列当たりの金網展開方向等価剛性 } K_x' = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 $N_x$ 、 $N_y$  の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように、 $N_x$  は保守的に切り上げ、 $N_y$  は保守的に切り捨てた値を用いる。また、電中研報告書によると補助金網は主金網 0.5 枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網を主金網 0.5 枚として考慮し、金網設置枚数を考慮した金網展開方向剛性  $K_x$  は、次式により算出される。

$$K_x = K_x' \cdot (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量  $\delta_i$  は、最大たわみ量  $\delta_{max}$  から金網端部のたわみ量 0 までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。金網の最大たわみ量と最大たわみ角を図 3-7 に示す。

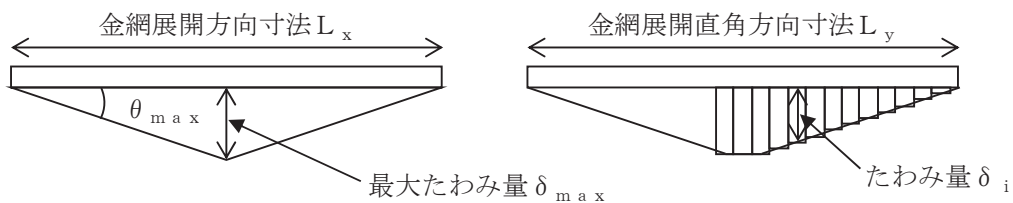


図 3-7 最大たわみ量と最大たわみ角

金網に飛来物が衝突した際の金網にかかる張力を、金網の剛性及び金網の伸び量から算出する。金網に作用する力のつり合いを図 3-8 に示す。

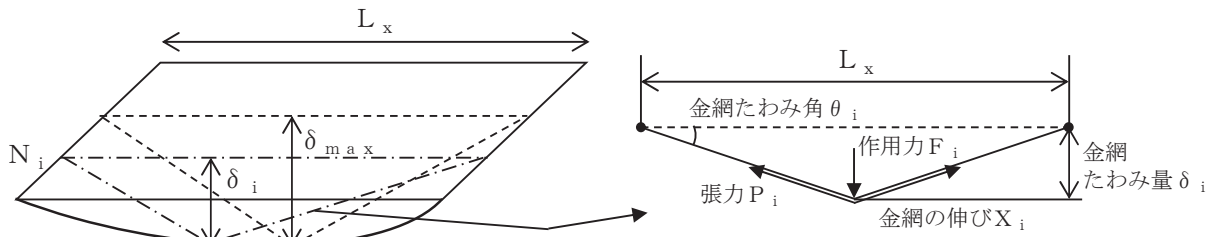


図 3-8 金網に作用する力のつり合い

$i$  番目の列における金網の張力  $P_i$  は、飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると、伸び量は  $X_i/2$ 、剛性は  $2 \cdot K_x$  となることから、次式で示される。

$$P_i = 2 \cdot K_x \cdot \left( \frac{X_i}{2} \right)$$

$$= K_x \cdot X_i$$

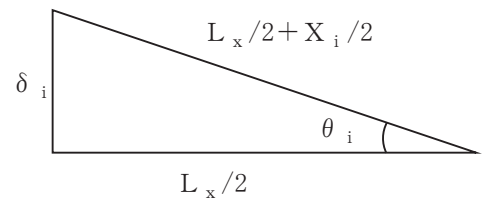
また、 $i$  番目の列における金網の作用力  $F_i$  は変位量とたわみ量の関係から、次式で示される。

$$F_i = 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot L_x \cdot (\tan \theta_i - \sin \theta_i)$$

$$= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right)$$



..... (3.9)

金網に飛来物が衝突した際の金網にかかる作用力  $F_i$  を積分することにより、 $i$  番目の列における吸収エネルギー  $E_i$  は次式で示される。

$$E_i = \int_0^{\delta_i} F_i \, d\delta$$

$$= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta$$

$$= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

以上から、金網設置枚数  $n$  を考慮した限界吸収エネルギー  $E_{max}$  は、各列の吸収エネルギー  $E_i$  を第 1 列から第  $N_y$  列まで積算することにより求められる。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} E_i$$

$$= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \dots\dots\dots (3.11)$$

また、等価剛性の導出過程を踏まえた係数及び金網設置枚数を考慮した限界吸収エネルギーを  $E_{max}'$  とする。係数としては、電中研報告書の金網引張試験結果より 1/1.056 と定める。

$$E_{max}' = \frac{1}{1.056} \cdot E_{max} \dots\dots\dots (3.12)$$

(2) 破断評価

a. 金網

破断評価においては、計算により算出する金網に作用する荷重が金網の素材の持つ破断強度以下であることにより、金網に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。金網は、飛来物の衝突に対し、塑性変形することでエネルギーを吸収し、飛来物を捕捉することから、電中研報告書を参照して主金網（50mm 目合い）及び補助金網（40mm 目合い）それぞれの金網引張試験に基づいた 1 交点当たりの破断荷重  $F_{50}$  及び  $F_{40}$ 、飛来物衝突時の周辺の金網 1 枚当たりの交点数  $n_{50}$  及び  $n_{40}$  並びに金網の設置枚数  $n$  及び  $n_1$  から、金網設置枚数を考慮した許容引張荷重を算出する。

金網の破断評価の許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 金網の破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
金網	$F_{max} = F_{50} \cdot n_{50} \cdot n + F_{40} \cdot n_{40} \cdot n_1$

b. ワイヤロープ

ワイヤロープは、金網と一体となって飛来物を捕捉するため、金網と同様に塑性変形を許容することから、破断荷重を許容限界とする。具体的な破断荷重は、ネットメーカーが実施した引張試験にて確認した破断荷重よりも保守的な値である、J I S に規定されている破断荷重  $F_3$  に、端部のワイヤグリップの効



率  $C_c$  を乗じて設定する。

ワイヤロープの破断評価の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 ワイヤロープの破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界	備考
ワイヤロープ	$C_c \cdot F_3$	ワイヤグリップの効率を考慮

c. 接続治具（支持部）

接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルは、破断しなければ金網を設置位置に保持することができ、飛来物を捕捉可能である。したがって、ターンバックルについては、破断荷重よりも保守的な値である、規格値  $F_4$  を 1.5 倍した値を許容限界として設定する。シャックルについては、試験結果を踏まえたメーカー保証値として、規格値  $F_5$  を 2 倍した値を許容限界として設定する。

接続治具（支持部）の破断評価の許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 接続治具（支持部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ターンバックル	$1.5 \cdot F_4$
シャックル	$2.0 \cdot F_5$

d. 接続治具（固定部）

接続治具（固定部）である隅角部固定ボルト及び取付プレートの破断評価においては、計算により算出する応力により破断が生じないように、十分な余裕を持った強度を許容限界とする。具体的には、隅角部固定ボルト及び取付プレートの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用し、以下のとおり許容応力状態  $IV_{AS}$  から算出した許容応力とする。

$$1.5 \cdot f_s^* = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$$

ここで、

$$F^* = \min(1.2 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

接続治具（固定部）の破断評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表 3-10 接続治具（固定部）の破断評価の許容限界

評価対象部位	材質	温度 (°C)	考慮すべき 損傷モード	許容応力 (MPa)
隅角部固定ボルト	SCM435	40* <sup>2</sup>	せん断	1.5・f <sub>s</sub> * <sup>*</sup>
取付プレート溶接部	SM490A* <sup>1</sup>			

注記 \*1：母材である取付プレートの材質

\*2：周辺環境温度

(3) たわみ評価

竜巻防護ネットは、風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対し、計算により算出する竜巻防護ネットの最大たわみ量がネットと外部事象防護対象施設の離隔距離未満であることを確認するため、ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離を許容限界  $L_{min}$  として設定する。

ネットのたわみ評価の許容限界を表 3-11 に示す。

表 3-11 ネットのたわみ評価の許容限界

評価対象部位	許容限界
ネットの最大たわみ量	ネットと外部事象防護対象施設の最小 離隔距離 ( $L_{min}$ )

3.1.5 評価方法

ネットの強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「4.1 竜巻防護ネットの評価方針」を踏まえて実施する。ネットの吸収エネルギー評価、破断評価及びたわみ評価の方法を以下に示す。評価に際しては、等価剛性に対する係数、アスペクト比及び飛来物の衝突位置の影響に対して以下を考慮した評価を実施する。

- ・等価剛性に対する係数の考慮

電中研報告書における金網引張試験結果のばらつきを考慮し、吸収エネルギー評価においては、等価剛性の算出方法の影響から定められる係数を考慮する。

- ・アスペクト比の取扱い

金網は展開方向、展開直角方向の2方向で剛性が異なり、それぞれの方向に対して伸び量の制限があるため、展開方向：展開直角方向のアスペクト比が 1:1～2:1 の範囲を有効な面積として評価する。

- ・飛来物の衝突位置の影響

評価においては、飛来物の衝突位置として中央位置に衝突することを想定した

評価を実施しており，中央位置からずれたオフセット位置に衝突する場合の影響を考慮する。

吸収エネルギー評価においては，電中研報告書を参照して，金網最大たわみ時の金網の全長は飛来物の金網への衝突位置によらず金網最大たわみ時展開方向の長さで一定であり，金網に発生する張力も一定となることから，飛来物の金網への衝突位置によらず金網から飛来物への反力も同等となり，オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって，吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

破断評価においては，中央位置への衝突に対してオフセット位置への衝突では，その移動距離が短くなることから，式(3.8)から中央位置衝突時よりもオフセット位置衝突時の方が作用する荷重が大きくなることを踏まえ，作用する荷重が大きくなるように，中央位置衝突時とオフセット位置衝突時の移動距離を踏まえた係数を作用する荷重に乗じる。ただし，金網端部近傍に衝突する場合には，飛来物は傾き，飛来物の側面が金網や支持部材に接触すると考えられ，衝撃荷重は小さくなる。

たわみ評価においては，金網の全長が飛来物の衝突位置によらず，金網最大たわみ時展開方向の長さで一定となるため，たわみの軌跡が楕円状となることを考慮して評価する。さらに，金網に対して飛来物がオフセット位置へ衝突した場合においても，各ワイヤロープに対して均等に張力が発生するため，算出結果は飛来物の衝突位置によらず適用可能である。また，ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープの評価において有意ではないため計算上考慮しない。

#### (1) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては，電中研評価式を参照して，金網が異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算定のモデル化を行い，風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重による外力エネルギーが金網の有する限界吸収エネルギーを下回ることを確認する。

評価においては，複数枚の重ね合わせた金網を一体として考えたモデルにて評価を実施する。

式(3.11)及び式(3.12)より， $E_{max}$ 及び $E_{max}'$ は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

$$E_{max}' = \frac{1}{1.056} \cdot E_{max}$$

風圧力による荷重 $W_w$ 及び常時作用する荷重 $F_d$ により金網に作用する荷重 $F_w$

は、金網全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現象に合わせ金網展開直角方向に対しては、荷重が等分布となるよう作用させる。一方、金網展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、金網に作用する外力エネルギーが保守的に大きくなるよう、 $F_w$ が全て金網展開方向寸法 $L_x$ の中央に作用するものとして、金網にかかる作用力の式を用いて1列当たりの風圧力による荷重及び常時作用する荷重により金網が受ける外力エネルギーを算出し、列数倍することで金網全体が風圧力による荷重及び常時作用する荷重により受ける外力エネルギーを算出する。

評価条件である $K_x$ 、 $L_x$ 並びに風圧力による荷重及び常時作用する荷重から算出する $F_w$ を式(3.9)の $F_i$ に代入して数値計算することにより、風圧力による荷重及び常時作用する荷重によるたわみ量 $\delta_a$ が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4 \cdot K_x \cdot \delta_a \cdot \left( 1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2}} \right)$$

ただし、

$$F_w = P_w + W_w$$

上式にて算出した $\delta_a$ を式(3.11)において、展開方向の1列当たりの風圧力による荷重及び常時作用する荷重により金網が受ける外力エネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、風圧力による荷重及び常時作用する荷重により金網に作用する外力エネルギー $E_w$ が算出される。

$$E_w = N_y \cdot \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

飛来物の衝突により金網に作用する外力エネルギー $E_f$ としては、衝突時の飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

飛来物の飛来速度は、金網の設置方向により鉛直の飛来速度にて算出する。また、飛来物が金網に対して斜め方向から衝突した場合は、飛来物が衝突後に回転し、金網と飛来物の衝突面積が大きくなるため、金網に局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、飛来物の衝突方向は、金網に局部的に作用する荷重が大きくなるように金網に対して垂直に入射するものとし、その飛来速度は鉛直最大飛来速度を用いる。

以上から、金網設置枚数を考慮した金網に作用する全外力エネルギー $E_t$ が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \dots\dots (3.13)$$

## (2) 破断評価

破断評価においては、電中研評価式を参照して、風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重がネットを構成する部材の破断荷重未満であることを確認する。

評価に際しては、「2.3 評価方針」のとおり、飛来物の衝突位置の影響として、オフセット衝突する場合の影響を考慮する。以下に、オフセット衝突する場合の影響を係数として考慮した発生値の割増係数の設定方法を示す。

## ・オフセット衝突を考慮する係数

飛来物の移動距離が最も小さくなる場合のオフセット衝突を考えると、中央衝突と比較して $\delta$ が0.83倍となることから、中央衝突に比べ衝撃荷重が1.21倍となる。

## a. 金網

金網に飛来物が衝突した後、金網のたわみが増加し、飛来物の運動エネルギーを吸収する。金網に発生する風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重は金網変位の増加に伴い大きくなり、最大たわみ発生時に最大値を示すため、破断評価では最大たわみ発生時の衝撃荷重を用いる。

最大たわみ発生時において、飛来物の衝突により金網の目合いは金網展開方向に引張荷重を受けることから、破断評価として金網目合いの引張荷重評価を実施する。

金網の破断評価の評価フローを図3-9に示す。

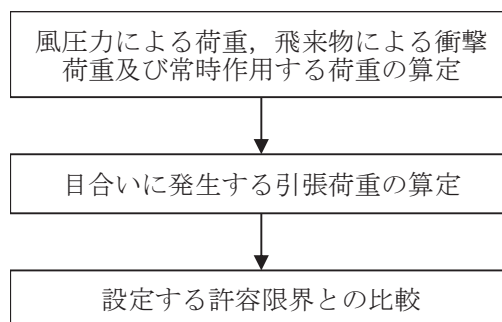


図 3-9 金網の破断評価フロー

## (a) 評価モデル

金網に飛来物が衝突した際の衝撃によりに生じる引張荷重について評価を実施する。金網構造及び飛来物の大きさを考慮し、金網の目合い交点数が最小となるモデル化を行う。衝突位置周辺の目合い交点数は、主金網及び補助金網でそれぞれ金網1枚当たり $n_{50}$ 及び $n_{40}$ となる。評価モデルを図3-10

に示す。

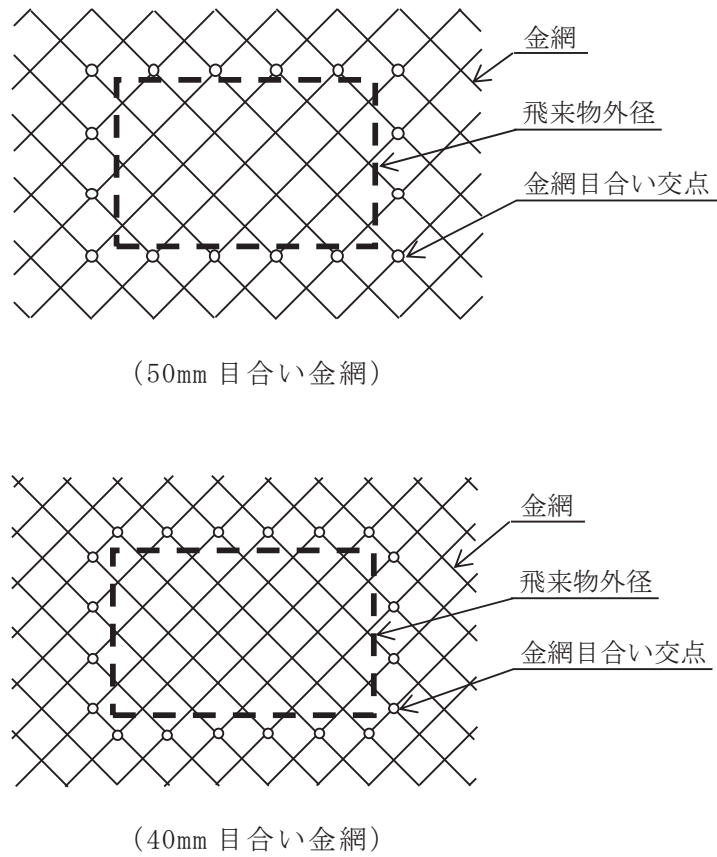


図 3-10 破断評価モデル図

(b) 評価方法

金網に飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重が、金網の破断荷重以下であり、金網目合いに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する。

ここで、金網に飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値  $F_a$  は、「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した式 (3.8) のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

飛来物の衝突による荷重に加え、風圧力による荷重及び常時作用する荷重を考慮するため、 $E_f$  を  $E_t$  と置き換え、式 (3.8) より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 1.21 を考慮し、衝撃荷重の最大値  $F_a'$  は

$F_a' = 1.21 \cdot F_a$   
にて算出される。

b. ワイヤロープ

風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重については，「3.1.3 荷重及び荷重の組合せ」において算出した飛来物が衝突する場合の金網に作用する衝撃荷重の最大値  $F_a'$  を考慮する。

ネットは，電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し，さらにワイヤロープが接続治具により拘束されない構造としており，電中研報告書において実施されている衝撃試験における実測値が包絡されていることを確認している評価式を用いて評価を実施する。金網に発生する荷重のつり合いのイメージ図を図3-11に示す。

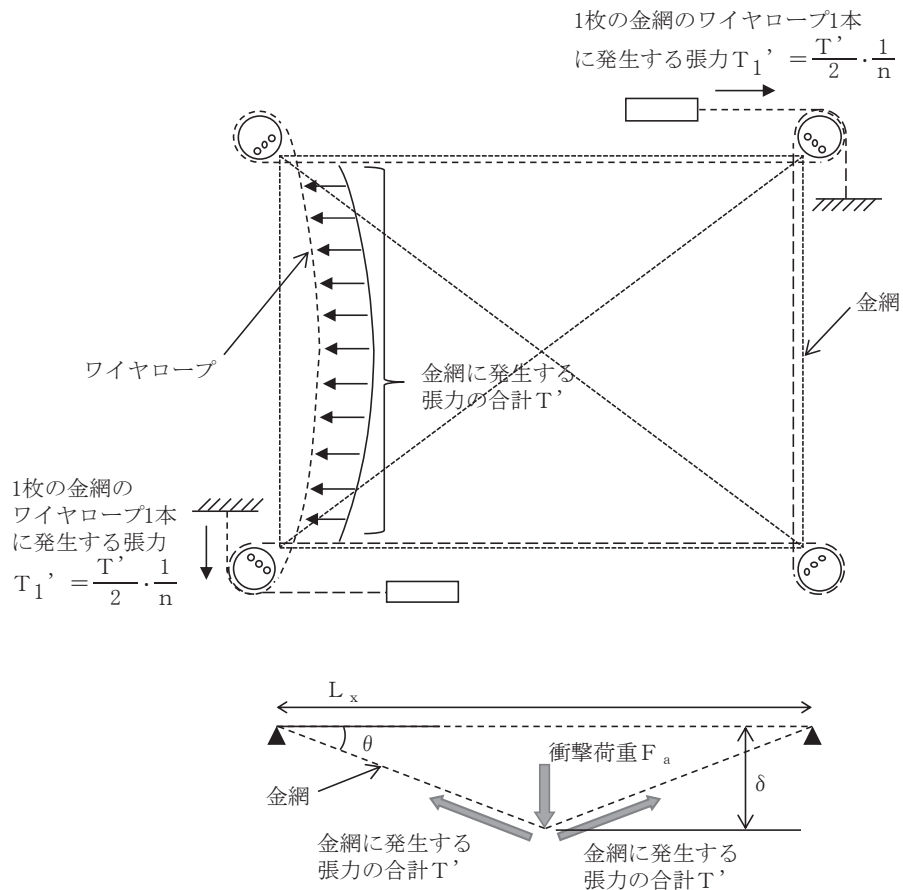


図 3-11 金網及びワイヤロープに発生する力のつり合い（金網平面図及び断面図）

風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重により金網に作用する衝撃荷重の最大値  $F_a'$  が集中荷重として作用するとしてモデル化すると，飛来物が衝突する場合の金網に発生する張力の合計の最大値  $T'$  は，図 3-11 に示す金網及びワイヤロープに発生する力のつり合いより以下のとお

り算出される。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \cdot \sin \theta}$$

ここで、 $\theta$  は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

主金網設置枚数を考慮すると、1枚の金網のワイヤロープ1本に発生する張力の最大値 $T_1'$ は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} \cdot \frac{1}{n} = \frac{F_a'}{4 \cdot n \cdot \sin \theta}$$

と算出される。

さらに、ワイヤロープが支持する金網の枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置され、2枚の金網を支持しており、下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため、補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると、補助金網を設置している上段のワイヤロープには、補助金網を設置していないワイヤロープに比べ、1.5倍の張力が発生していることが確認されている。このことから、上段のワイヤロープは、下段のワイヤロープに比べ、補助金網の影響により1.5倍の張力が発生しているものとし、その影響を考慮する。

補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力の最大値 $T_1''$ は、

$$T_1'' = \frac{T'}{2} \cdot \left( \frac{1.5}{1.5+1} \right) = \frac{F_a'}{4 \cdot \sin \theta} \cdot \left( \frac{1.5}{1.5+1} \right) \quad \dots\dots (3.14)$$

と算出される。

#### c. 接続治具（支持部）

##### (a) ターンバックル

ターンバックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても破断しないことを確認することから、引張荷重の最大値としてワイヤロープに発生する張力 $T_1''$ により評価を実施する。

##### (b) シャックル

シャックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても破断しないことを確認することから、引張荷重の最大値としてワイヤロープに発生する張力 $T_1''$ により評価を実施する。



d. 接続治具（固定部）

(a) 隅角部固定ボルト

フレームの四隅に設置した隅角部固定ボルトは、ワイヤロープの荷重を、鋼管を介して受けることとなる。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して  $\theta_{w1}$ 、 $\theta_{w2}$  のたわみ角を有することから、隅角部固定ボルトに作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。

鉛直方向成分は、水平方向成分のように隅角部固定ボルトに対する優位な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

金網のたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 3-12 に示す。

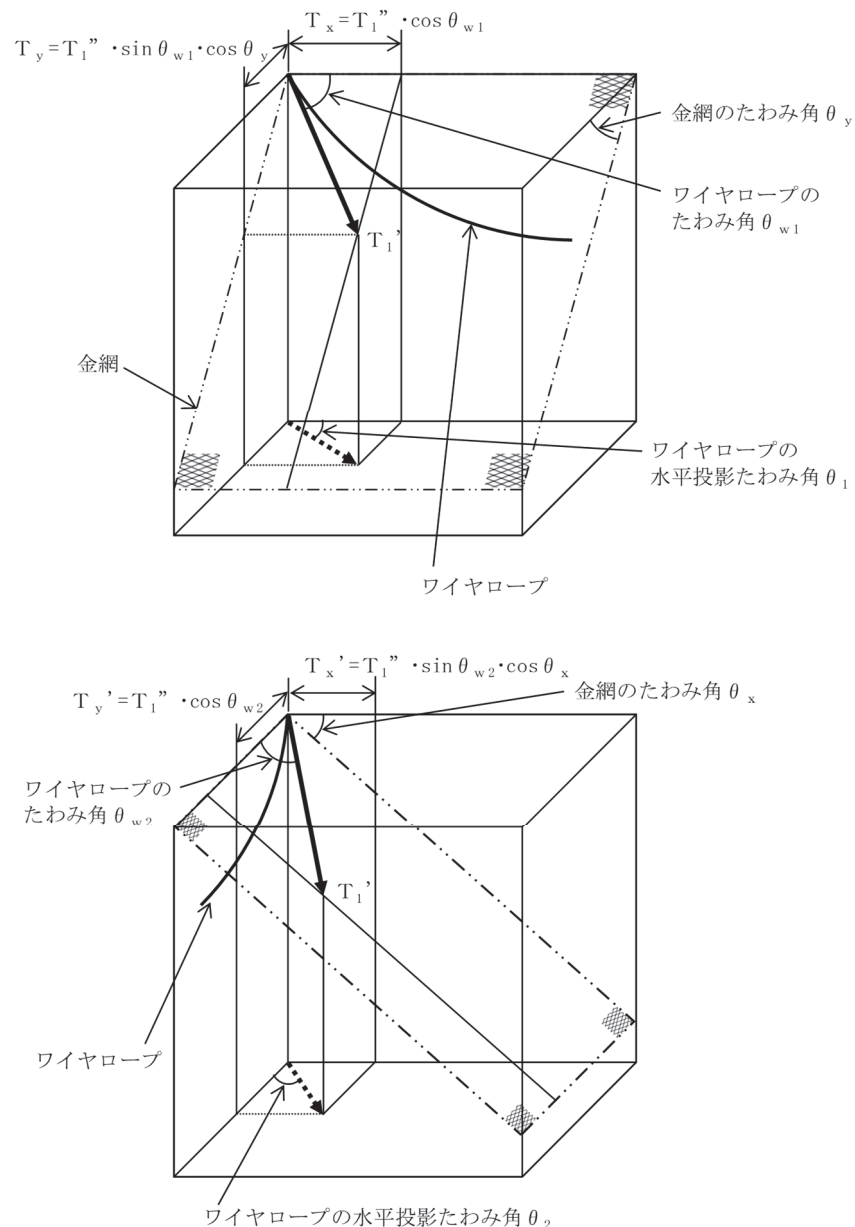


図 3-12 金網のたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

隅角部固定ボルトの荷重状態を図 3-13 に示す。

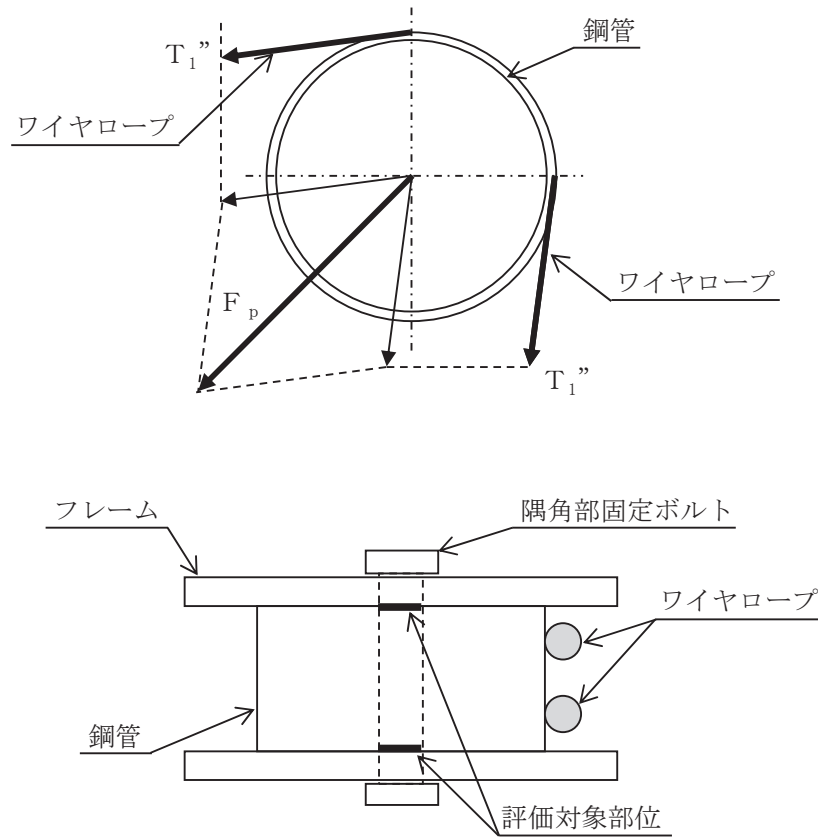


図 3-13 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力のつり合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

金網展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x$  及び  $T_y$  は、以下のとおりとなる。

$$T_x = T_1'' \cdot \cos \theta_{w1}$$

$$T_y = T_1'' \cdot \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_y$$

ただし， $\theta_y$ ， $\theta_{w1}$  は以下の式で求められる。

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wx}}{L_x} \right)^2}}$$

また，金網展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， $T_x'$  及び  $T_y'$  は以下の関係となる。

$$T_x' = T_1'' \cdot \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x$$

$$T_y' = T_1'' \cdot \cos \theta_{w2}$$

ただし、 $\theta_x$ 、 $\theta_{w2}$ は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \cdot \left( \frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅角部へ作用する X 方向及び Y 方向への合成荷重は、

$$F_x = T_x + T_x'$$

$$F_y = T_y + T_y'$$

より求まる。

1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は、

$$F_{p1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は、

$$F_{p2} = F_{p1} / 1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重  $F_p$  は、

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力  $\tau_s$  は、

$$\tau_s = \frac{F_p}{2 \cdot n_2 \cdot A_b}$$

(b) 取付プレート

飛来物がネットに衝突する場合に生じる金網取付部への衝撃荷重  $T_1''$  は、ワイヤロープの引張荷重として作用し、隅肉溶接部にはせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。取付プレートの溶接部を図 3-14 に示す。

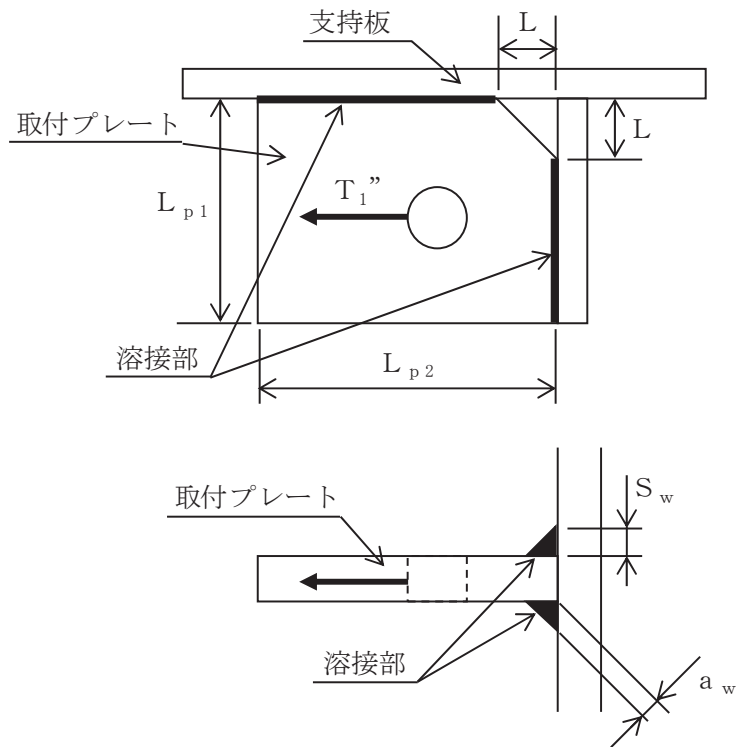


図 3-14 取付プレート溶接部

溶接部の有効脚長  $L_{pw}$  は、

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S_w + L_{p2} - L - 2 \cdot S_w$$

溶接部に発生するせん断応力  $\tau_w$  は、

$$\tau_w = \frac{T_1''}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで、溶接部ののど厚  $a_w$  は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S_w}{\sqrt{2}}$$

(3) たわみ評価

たわみ評価においては、金網の最大たわみ量及びワイヤロープ張力に応じたワイヤロープのたわみ量を算出し、離隔距離未満であることを確認する。

たわみ評価の評価フローを図 3-15 に示す。

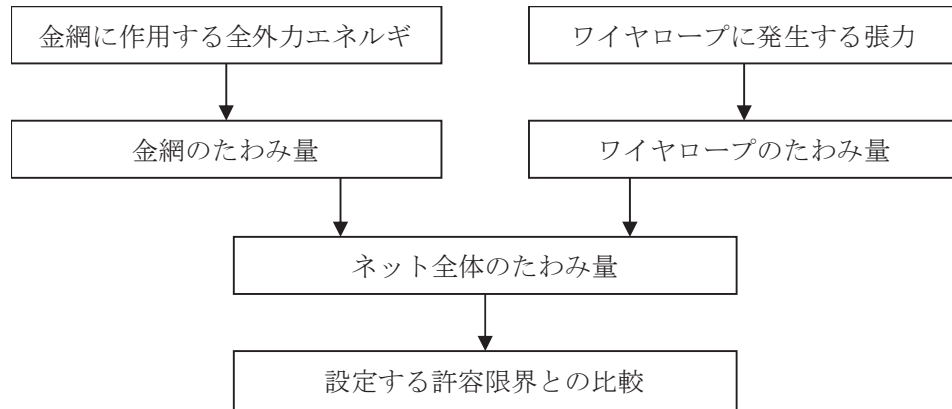


図 3-15 たわみ評価の評価フロー

a. 金網

金網のたわみ量と吸収エネルギーとの関係は式 (3.10) のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \cdot \left( \sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで、 $K_x$  及び  $L_x$  は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、金網への付加エネルギーに応じたたわみ量を算出することができる。

b. ワイヤロープのたわみ量を含めたネット全体のたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、金網張力によりワイヤロープが放物線上に変形するとし、算出したワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－伸び曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

式 (3.14) に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量  $\epsilon$  が算出される。したがって、ワイヤロープの変形による伸び量  $\delta'$  は、以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \epsilon$$

また、飛来物の衝突によりワイヤロープが図 3-16 のとおり放物線上に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ  $S$  は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

$$S = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

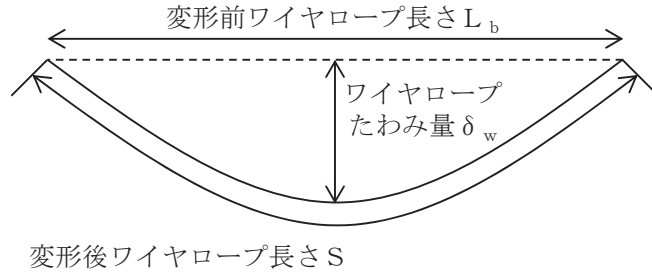


図 3-16 ワイヤロープ変形図

ワイヤロープのたわみ量を含めたネット全体のたわみ量  $\delta_t$  の算出を行う。  
金網及びワイヤロープ変形図を図 3-17 に示す。

金網展開方向と平行に配置されているワイヤロープの変形後の長さを  $S_x'$  ,  
金網展開直角方向に配置されているワイヤロープの変形後の長さを  $S_y'$  とす  
ると,  $S_x'$  及び  $S_y'$  はそれぞれ  $\delta_{wx}$  ,  $\delta_{wy}$  の関数であり, ワイヤロープの  
伸び量  $\delta'$  は,

$$\delta' = \{S_x' (\delta_{wx}) - L_x\} + \{S_y' (\delta_{wy}) - L_y\}$$

と表される。

また, 金網展開方向と平行な断面から見たたわみ量と, 金網展開方向と直交  
する断面から見たたわみ量は等しいことから, ワイヤロープのたわみ量を含め  
たネット全体のたわみ量  $\delta_t$  は,

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cdot \cos \theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2 \cdot \cos \theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表される。

ここで,  $\theta_x$  及び  $\theta_y$  は, 「3.1.5(3)a. 金網」で算出した金網に作用する  
全外力エネルギー  $E_t$  に応じたたわみ量  $\delta$  より, 以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left( \frac{2 \cdot \delta}{L_y} \right)$$

したがって、ワイヤロープのたわみ量  $\delta_{wx}$  及び  $\delta_{wy}$  を導出することができ、同時にワイヤロープのたわみ量を含めたネット全体のたわみ量  $\delta_t$  が算出される。

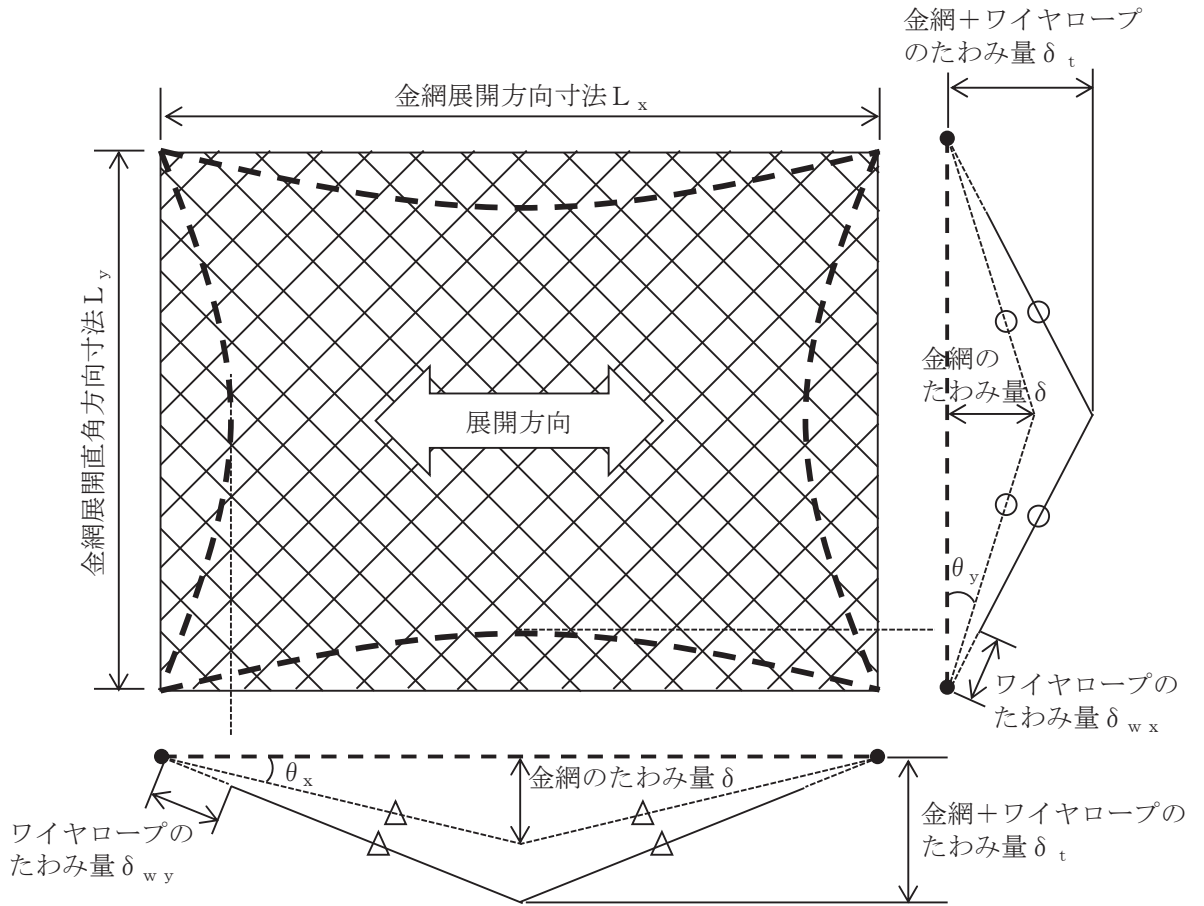


図 3-17 金網及びワイヤロープ変形図

### 3.2 防護板の強度評価方法

#### 3.2.1 記号の定義

防護板の強度評価に用いる記号を表 3-12 に示す。

表3-12 防護板の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
d	m	飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
k	—	鋼板の材質に関する係数
m	kg	飛来物の質量
T	m	鋼板の貫通限界厚さ
v	m/s	飛来物の飛来速度

#### 3.2.2 評価対象部位

防護板の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、設定する。

設計荷重に対し、飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、防護板が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

施設を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認においては、外殻を構成する防護板を評価対象部位として設定する。

#### 3.2.3 荷重及び荷重の組合せ

##### (1) 飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )

飛来物による衝撃荷重( $W_M$ )は、表 3-13 に示す飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、飛来物の材料定数を表 3-14 に示す。

表 3-13 飛来物の諸元

飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	46.6	16.7



表 3-14 飛来物の材料定数

飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比
鋼製材	245	202000	0.3

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せについては、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、飛来物による衝撃荷重を考慮する。

荷重の組合せを表 3-15 に示す。

表 3-15 荷重の組合せ

評価内容	風圧力による 荷重 ( $W_w$ )	飛来物による 衝撃荷重 ( $W_M$ )	常時作用する 荷重 ( $F_d$ )	荷重の組合せ
貫通評価	—	○	—	$W_M$

3.2.4 許容限界

防護板の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の損傷による機能への影響を考慮して設定する。

防護板の貫通評価における許容限界は、防護板の最小厚さを設定する。防護板の貫通評価の許容限界を表 3-16 に示す。

表 3-16 防護板の貫通評価の許容限界

評価対象部位	許容限界 (mm)
防護板 (水平設置* <sup>1</sup> )	12
防護板 (鉛直設置* <sup>2</sup> )	32

注記 \*1：飛来物の鉛直衝突を考慮した防護板の設置方向

\*2：飛来物の水平衝突を考慮した防護板の設置方向

3.2.5 評価方法

防護板の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方

針」の「4.1 竜巻防護ネットの評価方針」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施する。貫通評価は、飛来物が防護板に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられるBRL式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot m \cdot v^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot k^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

### 3.3 支持部材の強度評価方法

#### 3.3.1 記号の定義

支持部材の強度評価に用いる記号を表 3-17 に示す。

表3-17 支持部材の強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
$a_s$	mm	ゴム支承本体有効平面寸法（軸方向）
$A$	mm <sup>2</sup>	支持部材の受圧面積
$A_{be i}$	mm <sup>2</sup>	ボルトの有効断面積（ $i=1, 2$ ）
$A_{bi}$	mm <sup>2</sup>	ボルトの呼び径断面積（ $i=1, 2$ ）
$A_{ce}$	mm <sup>2</sup>	移動量を控除した圧縮に有効な面積
$A_e$	mm <sup>2</sup>	ゴム支承本体の側面被覆ゴムを除く面積
$A_{te}$	mm <sup>2</sup>	移動量を控除した引張に有効な面積
$B$	mm	ゴム支承の上沓の寸法（直角方向）
$b_s$	mm	ゴム支承本体有効平面寸法（直角方向）
$C_f$	-	支持部材の風力係数
$d$	mm	ゴム支承の上沓の端部から取付ボルトまでの距離のうち、長い方の値
$e$	mm	ゴム支承本体の偏心量
$f_c$	-	圧縮応力の分布を考慮した引張応力の係数（=2.0）
$f_{cr}$	-	荷重の大きさ及び発生頻度を考慮した係数（=1.5）
$f_s^*$	MPa	許容せん断応力
$f_t^*$	MPa	許容引張応力
$f_{ts}^*$	MPa	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
$F^*$	MPa	設計・建設規格 SSB-3121.3及びSSB-3133に定める値
$F_x$	N	x軸方向のせん断力
$F_y$	N	y軸方向のせん断力
$F_z$	N	z軸方向の軸力
$G$	-	ガスト影響係数
$G_e$	N/mm <sup>2</sup>	ゴムのせん断弾性係数
$h$	mm	ゴム支承本体の高さ
$\varrho_j$	mm	上沓中心から各位置のボルトまでの距離（ $j=1, 2$ ）
$M_b$	N・mm	ゴム支承本体の回転モーメント
$M_h$	N・mm	ゴム支承本体の水平反力による回転モーメント

表3-17 支持部材の強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
$M_v$	N・mm	ゴム支承本体の鉛直反力による回転モーメント
$M_x$	N・mm	x軸周りの曲げモーメント
$M_y$	N・mm	y軸周りの曲げモーメント
$n'$	-	縦弾性係数比 (=1)
$n_{b'}$	-	引張力を受けるゴム支承端部の取付ボルト本数
$n_{bi}$	-	ボルト総数 ( $i = 1, 2$ )
$n_j$	-	各位置でのボルト数 ( $j = 1, 2$ )
$Q_b$	N	基礎ボルト1本当たりのせん断力
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$R_U$	N	ゴム本体の上向きの反力
$R_L$	N	ゴム本体の下向きの反力
$R_e$	N	ゴム支承本体の鉛直反力
$R_h$	N	ゴム支承本体の水平反力
$R_{hk}$	kN	可動支承の許容水平荷重
$R_{vc}$	kN	可動支承の許容鉛直荷重 (圧縮)
$R_{vt}$	kN	可動支承の許容鉛直荷重 (引張)
$S_1$	-	ゴム支承本体の一次形状係数
$S_2$	-	ゴム支承本体の二次形状係数
$S_u$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9又はJ I S B 1 0 5 1に定める値
$S_y$	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8又はJ I S B 1 0 5 1に定める値
$t_e$	mm	ゴム一層の厚さ
$t_p$	mm	内部鋼板の厚さ
$T_{bi}$	N	ボルト1本当たりの引抜力 ( $i = 1, 2$ )
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$W_w$	MN	風圧力による荷重
$x$	mm	上沓端部から中立軸までの距離
$Z_{bx}$	mm	x軸に関するボルト群の断面係数
$Z_{by}$	mm	y軸に関するボルト群の断面係数
$\gamma_{se}$	-	ゴム支承本体のせん断ひずみ
$\gamma_{ea}$	-	ゴム支承本体の許容せん断ひずみ
$\Delta L$	mm	ゴム支承本体の移動量

表3-17 支持部材の強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
$\Sigma t_e$	mm	総ゴム厚
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$\sigma_{cra}$	MPa	ゴム支承本体の許容圧縮応力
$\sigma_{ce}$	MPa	ゴム本体の圧縮応力
$\sigma_{pmax}$	MPa	上杳端部の最大圧縮応力
$\sigma_{ta}$	MPa	ゴム支承本体の許容引張応力
$\sigma_{tbi}$	MPa	ボルトの引張応力 (i=1, 2)
$\sigma_{te}$	MPa	ゴム本体の引張応力
$\sigma_{tp}$	MPa	内部鋼板の引張応力
$\tau_{bi}$	MPa	ボルトのせん断応力 (i=1, 2)

### 3.3.2 評価対象部位

支持部材の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、設定する。

#### (1) 貫通評価

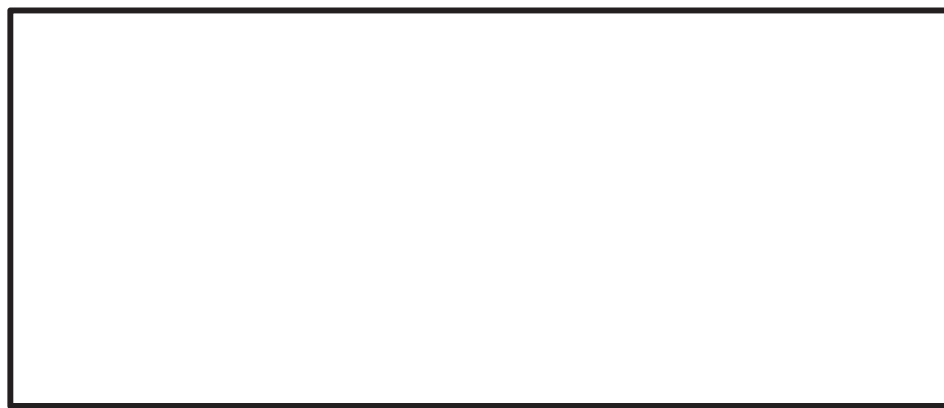
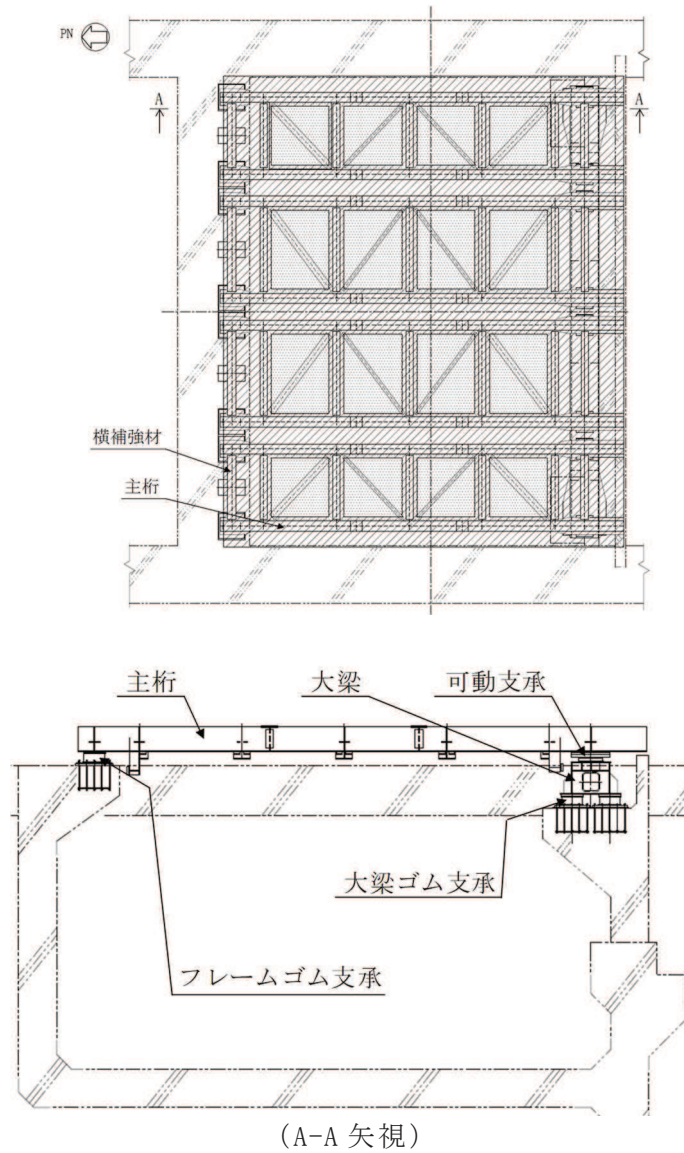
設計荷重に対し、飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、支持部材が飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。施設を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認においては、外殻を構成するフレーム（横補強材）及び大梁を評価対象部位として設定する。

#### (2) 支持機能評価

設計荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する構造強度を有することの確認並びに外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として、支持部材に終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する。

飛来物の衝突を考慮する場合、飛来物が衝突しうる部材並びに構造及び荷重伝達経路を考慮して衝突位置及び評価対象部位を設定する。本評価においては、フレーム（主桁、横補強材）、大梁、ゴム支承及び可動支承を評価対象部位として設定する。

支持部材の支持機能評価における評価対象部位を図 3-18 に示す。



(ゴム支承断面図)

図 3-18 支持部材の支持機能評価における評価対象部位

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.3.3 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷重の設定

強度評価には以下の荷重を用いる。

なお、荷重の算定に用いる竜巻の特性値は表 3-5 と同様である。

##### a. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、次式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C_f \cdot A$$

設計用速度圧  $q$  は、次式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

##### b. 飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) は、表 3-13 に示す飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、飛来物の材料定数は表 3-14 と同様である。

##### c. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) は、部材の自重とする。

#### (2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せについては、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-18 に示す。

表 3-18 荷重の組合せ

評価内容	風圧力による荷重 ( $W_w$ )	飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )	常時作用する荷重 ( $F_d$ )	荷重の組合せ
貫通評価	—	○	—	$W_M$
支持機能評価	○	○	○	$W_w + W_M + F_d$

### 3.3.4 許容限界

支持部材の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.1 竜巻防護ネットの許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の損傷による機能への影響を考慮して設定する。

(1) 貫通評価

支持部材の貫通評価における許容限界は、支持部材を構成するフレーム（横補強材）及び大梁の最小厚さを設定する。フレーム（横補強材）及び大梁の貫通評価の許容限界を表 3-19 に示す。

表 3-19 フレーム（横補強材）及び大梁の貫通評価の許容限界

評価対象部位	許容限界 (mm)
フレーム（横補強材）	22
大梁	36

(2) 支持機能評価

a. 評価対象部位の材料仕様

支持部材の材料仕様を表 3-20 に示す。

表 3-20 評価対象部位の材料仕様 (1/3) (フレーム及び大梁)

分類		仕様	材質
フレーム	主桁	BH1000×560×19×28	SM490A
	横補強材	BH400×400×19×22	SM490A
BH400×450×19×25			
大梁	大梁	BBOX1300×1580×32×36	SM490A



表 3-20 評価対象部位の材料仕様 (2/3) (ゴム支承)

分類	項目	仕様
ゴム支承 (フレーム ゴム支承及 び大梁ゴム 支承)	支承種類	地震時水平力分散型ゴム支承
	ゴム種類	天然ゴム (NR)
	ゴム支承本体有効 平面寸法 (mm)	800×800
	総ゴム厚 (mm) (ゴム厚 (mm)×層数)	192 (24×8 層)
	せん断弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	1.0 (呼び : G10)
	一次形状係数	8.33
	二次形状係数	4.17
	水平剛性 (kN/mm)	3.33
	鉛直剛性 (kN/mm)	972

表 3-20 評価対象部位の材料仕様 (3/3) (可動支承)

分類	項目	材質
可動支承	すべり材	ポリアミド MC703HL
		SUS304, SUS316
	圧縮ゴム	クロロプレン系合成ゴム C08
	鋼材 (ピストン, ベース スポット, レール等)	SS400, SM490, SM570

b. 評価対象部位の材料定数

支持部材の評価に用いる材料定数を表 3-21 に示す。

表 3-21 材料定数

材質	降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	縦弾性係数 E (MPa)	塑性硬化係数 E' (MPa)	ポアソン比
SM490A	315	202000	2830	0.3

c. 許容限界の算出

(a) ゴム支承の許容圧縮応力

道路橋支承便覧を基に、以下の式により算出する。

$$\sigma_{cra} = \frac{G_e \cdot S_1 \cdot S_2}{f_{cr}}$$

ここで,

$$S_1 = \frac{A_e}{2 \cdot (a_s + b_s) \cdot t_e} \quad (0.5 \leq \frac{b_s}{a_s} \leq 2.0 \text{ のとき})$$

$$S_2 = \frac{\min(a_s, b_s)}{\Sigma t_e}$$

(b) 内部鋼板の許容引張応力

J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容引張応力を、以下の式により算出する。

$$1.5 \cdot f_t^* = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5}$$

ここで,

$$F^* = \min(1.2 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

(c) 取付ボルト及び基礎ボルトの許容引張応力

J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容引張応力を、以下の式により算出する。

$$1.5 \cdot f_t^* = 1.5 \cdot \frac{F^*}{2}$$

ここで,

$$F^* = \min(1.2 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

(d) 取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力

J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容引張応力を、以下の式により算出する。

$$1.5 \cdot f_s^* = 1.5 \cdot \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}}$$

ここで,

$$F^* = \min(1.2 \cdot S_y, 0.7 \cdot S_u)$$

## (e) 取付ボルト及び基礎ボルトの組合せ応力

J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S の許容引張応力を、以下の式により算出する。

$$1.5 \cdot f_{t_s}^* = \min (1.4 \cdot 1.5 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_{bi}, 1.5 \cdot f_t^*)$$

## d. 支持機能評価における許容限界

上載するネット及び防護板の自重並びにネット、防護板及び支持部材への飛来物の衝突時の荷重に対し、これらを支持する構造強度を有することの確認並びに外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないよう、支持部材が浮き上がるような損傷モード等により、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重に対し、支持部材に終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び支持部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、以下のとおり許容限界を設定する。

フレーム及び大梁については、破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは、「3.3.5(2)e.(c) 破断ひずみ」に示すとおり、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8)」(以下「NEI07-13」という。)において、TF(多軸性係数)を $\square$ とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として  $TF = \square$  を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合においては、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。ひずみの許容限界を表 3-22 に示す。

ゴム支承(構成部材のうち鋼製部品)については、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S の許容応力を許容限界として設定する。ゴム支承(構成部材のうち鋼製部品)の許容限界を表 3-23 に示す。ゴム支承のゴム本体については、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(H14.3)に基づく道路橋支承便覧の評価基準値を許容限界として設定する。ゴム支承(ゴム本体)の許容限界を表 3-24 に示す。また、可動支承については、メーカーの強度試験より算出した許容応力及び J E A G 4 6 0 1 等に準じた許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>S の許容応力より、可動支承全体の許容荷重を許容限界として設定する。可動支承の許容限界を表 3-25 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-22 ひずみの許容限界

評価対象部位		材質	破断ひずみ* <sup>1</sup> , * <sup>2</sup>
フレーム	主桁	SM490A	
	横補強材		
大梁	大梁		

注記 \*1: 真ひずみ換算値

\*2: 破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合は、破断個所を確認し、全断面の破断に至らないことを確認する。

表 3-23 ゴム支承（構成部材のうち鋼製部品）の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	許容限界* (内部鋼板)	許容限界* (ボルト)	
		引張	引張	せん断
ゴム支承 (構成部材のうち鋼製部品)	IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 \*: 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。

表 3-24 ゴム支承（ゴム本体）の許容限界

評価対象部位	許容限界*		
	せん断ひずみ	引張応力	圧縮応力
ゴム支承 (ゴム本体)	$\gamma_{ea}$	$\sigma_{ta}$	$\sigma_{cra}$

注記 \*: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (H14.3) に基づく道路橋支承便覧の評価基準値

表 3-25 可動支承の許容限界

評価対象部位	許容限界*		
	水平荷重	鉛直荷重 (圧縮)	鉛直荷重 (引張)
可動支承	$R_{hk}$	$R_{vc}$	$R_{vt}$

注記 \*: 支承を構成する各部品の許容値より算出した許容荷重

### 3.3.5 評価方法

支持部材の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

方針」の「4.1 竜巻防護ネットの評価方針」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施する。また、構造強度評価として支持機能評価を実施する。

(1) 貫通評価

貫通評価は、「3.2.5 評価方法」と同様に、飛来物が支持部材のフレーム（横補強材）及び大梁に衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和52年7月20日原子炉安全専門審査会）」で用いられるBRL式を用いて算出する。

(2) 支持機能評価

支持機能評価に用いる評価対象部位に生じるひずみや応力等は、解析モデル及び材料の非線形特性を用いた衝突解析により評価する。

a. 解析モデル及び諸元

(a) 竜巻防護ネット

竜巻防護ネットの解析モデル化の範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、竜巻防護ネットを構成する支持部材（フレーム、大梁、ゴム支承及び可動支承）とする。フレーム、大梁はシェル要素でモデル化し、ゴム支承は線形ばね要素でモデル化する。また、可動支承は、可動方向は拘束せず、非可動方向は固定条件とする。なお、支持部材に取り付けられるネット及び防護板の質量は、解析モデルの中で考慮している。竜巻防護ネットの解析モデル図を図3-19に示す。また、解析モデルの境界条件を表3-26に、支承部の結合条件を表3-27に示す。

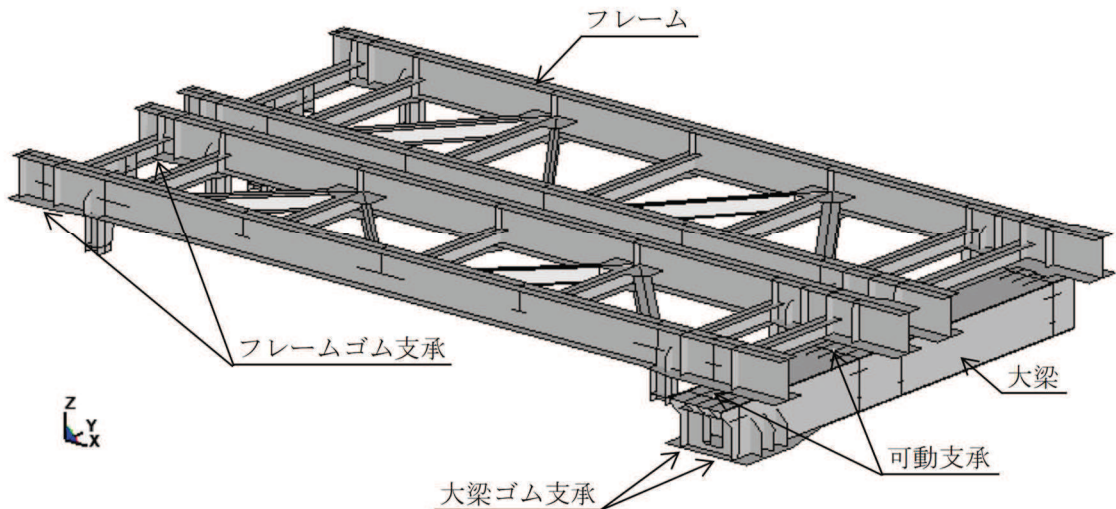


図 3-19 解析モデル図

表 3-26 解析モデルの境界条件

項目	境界条件
竜巻防護ネットと 海水ポンプ室躯体	X, Y, Z 方向並進拘束

表 3-27 支承部の結合条件

方向	ゴム支承		可動支承
	フレーム ゴム支承	大梁 ゴム支承	
X	弾性	弾性	自由
Y	弾性	弾性	剛
Z	弾性	弾性	剛

(b) 飛来物

飛来物である鋼製材は、シェル要素でモデル化する。

飛来物の解析モデル図を図 3-20 に示す。

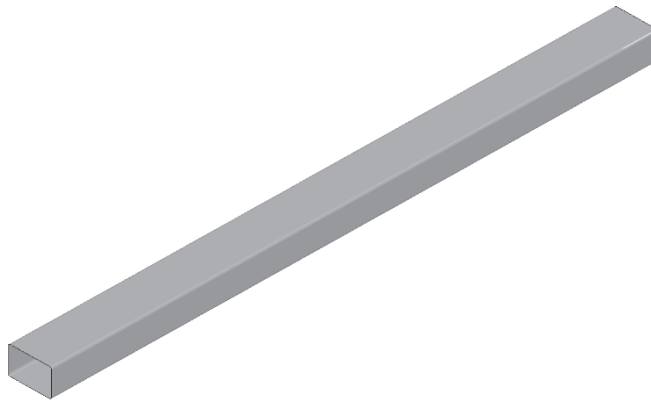


図 3-20 飛来物の解析モデル図

b. 解析コード

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」を用いる。評価に用いた解析コード「LS-DYNA」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

c. 使用材料

構成する材料仕様については、「3.3.4(2)a. 評価対象部位の材料仕様」に示すとおり設定する。

d. 材料定数

竜巻防護ネットに使用する部材の材料定数については、「3.3.4(2)b. 評価対象部位の材料定数」に示すとおり設定する。

e. 材料の非線形特性

(a) 材料の応力-ひずみ関係

竜巻防護ネットの材料モデルでは、鋼材の破断ひずみを設定し、破断ひずみを越えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。

材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数（2次勾配  $E'$ ）は、表 3-21 に示す値とする。

材料に適用する応力-ひずみ関係の概念図を図 3-21 に示す。

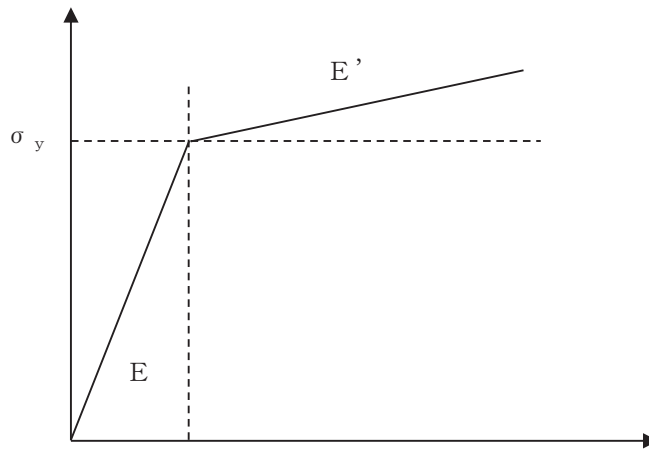


図 3-21 応力-ひずみ関係の概念図

(b) ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す Cowper-Symonds の式を適用する。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left\{ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{p}} \right\}$$

ここで、 $\sigma_D$  はひずみ速度  $\dot{\epsilon}$  時の降伏応力、 $\sigma_S$  は初期降伏応力、 $\dot{\epsilon}$  はひずみ速度、 $C$  及び  $p$  はひずみ速度依存性のパラメータである。

ひずみ速度依存性パラメータを表 3-28 に示す。

表 3-28 ひずみ速度依存性パラメータ

\	飛来物 (鋼製材)	竜巻防護ネット (フレーム及び大梁)
材質	SS400	SM490
C (1/s)		
p		

(c) 破断ひずみ

破断ひずみは、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI07-13」において TF (多軸性係数) を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として TF =  を考慮する。TF については、竜巻防護ネットのみ  とする。鋼製材は保守的に破断ひずみを超えても荷重を負担するものとする。

材料モデルにおける破断ひずみを表 3-29 に示す。

表 3-29 材料モデルにおける破断ひずみ

種別	材質	J I S 規格値 (下限値)	TF	破断ひずみ*
フレーム	SM490A	0.21		
大梁				

注記 \* : 真ひずみ換算値

f. 計算方法

解析による計算で得られる各要素端での反力等を用いて、各評価対象部位に生じる応力等を以下により求める。

(a) ゴム本体のせん断ひずみ

ゴム支承のゴム本体に生じるせん断ひずみは、せん断力とゴム支承の水平剛性から算出される水平変位量を、総ゴム厚で除して以下のとおり算出する。ゴム本体の変形概要図を図 3-22 に示す。

$$\gamma_{se} = \frac{\Delta L}{\Sigma t_e}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



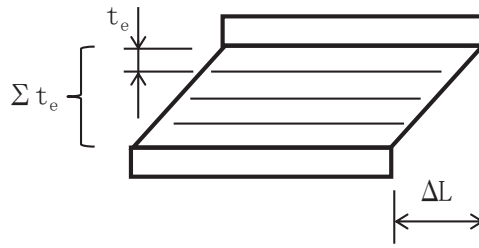


図 3-22 ゴム本体の変形概要図

(b) ゴム本体の引張応力

ゴム支承のゴム本体に生じる引張応力は、解析より得られる引張力（上向き反力）を有効断面積で除して以下のとおり算出する。ゴム支承の引張応力評価の概要図を図 3-23 に示す。

$$\sigma_{te} = \frac{|R_U|}{A_{te}}$$

ここで、

$$A_{te} = A_e - \Delta L \cdot b_s$$

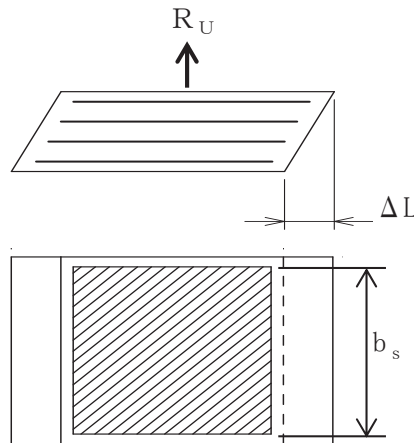


図 3-23 ゴム支承の引張応力評価の概要図

(c) ゴム本体の圧縮応力

ゴム支承のゴム本体に生じる圧縮応力は、解析より得られる圧縮力（下向き反力）を有効断面積で除して以下のとおり算出する。ゴム支承の圧縮応力評価の概要図を図 3-24 に示す。

$$\sigma_{ce} = \frac{|R_L|}{A_{ce}} \quad \dots\dots (4.1)$$

ここで、

$$A_{ce} = A_e - \Delta L \cdot b_s$$

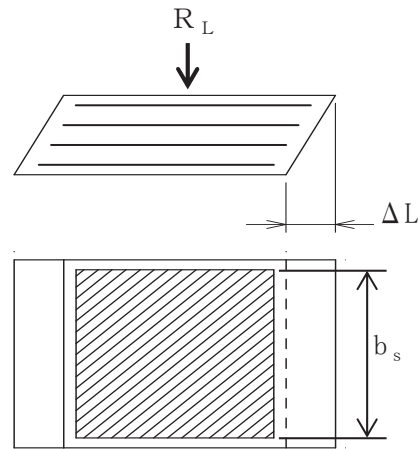


図 3-24 ゴム支承の圧縮応力評価の概要図

(d) 内部鋼板の引張応力

ゴム支承の内部鋼板には、圧縮力によって水平方向への引張力  $N_p$  が発生する。ゴム支承の内部鋼板に生じる引張応力は、圧縮応力より以下のとおり求める。内部鋼板に作用する荷重及び応力の概要図を図 3-25 に示す。

$$\sigma_{tp} = \frac{f_c \cdot \sigma_{ce} \cdot t_e}{t_p}$$

ここで、ゴム支承本体に生じる圧縮応力  $\sigma_{ce}$  は式 (4.1) による。

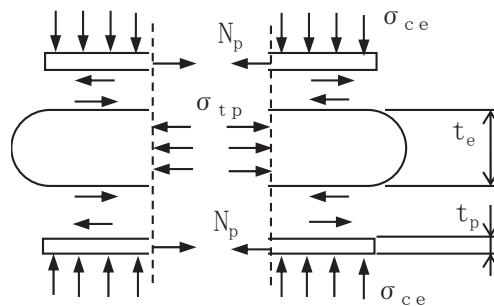


図 3-25 内部鋼板に作用する荷重及び応力の概要図

(e) 取付ボルトの引張応力

イ. 中立軸が断面内にあり、一部の取付ボルトが引張状態となる場合

一部の取付ボルトが引張状態となる場合の荷重の発生イメージ図を図 3-26 に示す。取付ボルトには、主桁面に作用する圧縮応力と中立軸の移

動量に対応した引張応力が作用する。取付ボルトの引張応力は、以下のとおり求める。

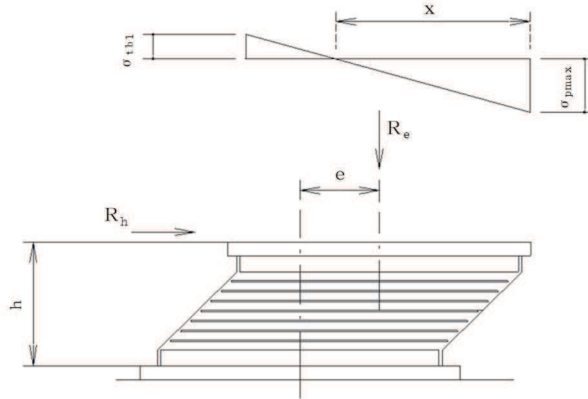


図 3-26 荷重の発生イメージ図（一部の取付ボルトが引張応力状態となる場合）

$$\sigma_{t b 1} = \left( \frac{\sigma_{p m a x} \cdot n' \cdot (d - x)}{x} \right) \cdot \frac{A_{b e 1}}{A_{b 1}}$$

ここで、

$$\sigma_{p m a x} = \frac{2 \cdot R_e}{B \cdot x - \frac{2 \cdot n' \cdot A_{b e 1} \cdot n_{b'}}{x} \cdot (d - x)}$$

ロ. 全ての取付ボルトが引張状態となる場合

取付ボルトが引張状態となる場合の荷重の発生イメージ図を図 3-27 に示す。中心から最も離れた位置にある取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力は、せん断力及び引張力により求まる引抜き力とボルトの呼び径断面積から以下のとおり求める。

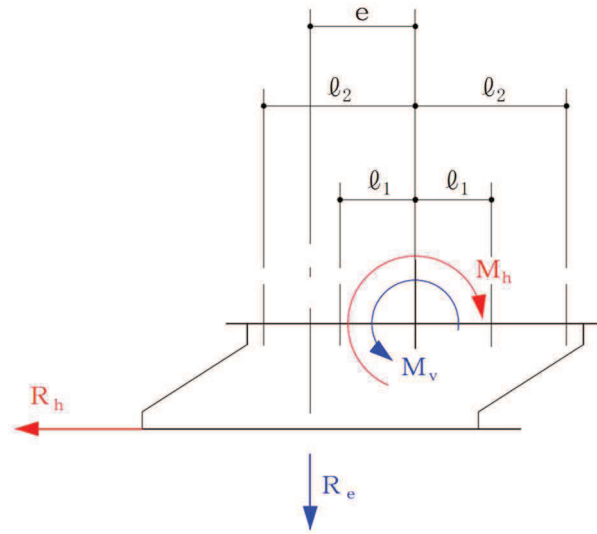


図 3-27 荷重の発生イメージ図（全ての取付ボルトが引張応力状態となる場合）

$$\sigma_{t b 1} = \frac{T_{b 1}}{A_{b 1}}$$

ここで、

$$T_{b 1} = \frac{M_b \cdot l_2}{2 \cdot \sum (n_j \cdot l_j^2)} - \frac{R_e}{n_{b 1}}$$

$$M_b = |M_h + M_v|$$

$$M_h = R_h \cdot h$$

$$M_v = R_e \cdot e$$

(f) 取付ボルトのせん断応力

せん断力とボルトの呼び径断面積から以下のとおり求める。

$$\tau_{b 1} = \frac{R_h}{A_{b 1} \cdot n_{b 1}}$$

(g) 基礎ボルトの引張応力

基礎ボルトの引張応力は、せん断力及び鉛直力による回転モーメントから求まる引抜き力並びにボルトの呼び径断面積から以下のとおり求める。

$$\sigma_{t b 2} = \frac{T_{b 2}}{A_{b 2}}$$

ここで,

$$T_{b 2} = \frac{F_z}{n_{b 2}} + \frac{M_x}{Z_{b x}} + \frac{M_y}{Z_{b y}}$$

(h) 基礎ボルトのせん断応力

せん断力及びボルトの呼び径断面積から以下のとおり求める。

$$\tau_{b 2} = \frac{Q_b}{A_{b 2}}$$

ここで,

$$Q_b = \sqrt{\left(\frac{F_x}{n_{b 2}}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{n_{b 2}}\right)^2}$$

#### 4. 評価条件

##### 4.1 ネットの評価条件

###### (1) 荷重条件

風圧力による荷重の算定条件を表 4-1 に、飛来物による衝撃荷重の算定条件を表 4-2 に示す。

表 4-1 風圧力による荷重の算定条件

$C_n$ (-)	G (-)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_D$ (m/s)
2.3	1.0	1.226	100

表 4-2 飛来物による衝撃荷重の算定条件

飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	m (kg)	$V_1$ (m/s)
			鉛直方向
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	16.7

###### (2) ネット仕様

###### a. 金網仕様

金網仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 金網仕様

項目	記号	仕様		備考
		主金網	補助金網	
金網材料	—	硬鋼線材 ( J I S G 3 5 4 8 )		—
金網目合い寸法 (mm)	—	50	40	電中研 報告書
金網 1 目合いの対角寸法 (mm)	a	70.7	56.6	
金網 1 目合いの破断変位 (mm)	a <sub>s</sub>	17.6	13.9	
金網素線の直径 (mm)	d'	4	4	
金網 1 目合いの破断荷重 (kN)	F <sub>50</sub> , F <sub>40</sub>	15.1	17.2	
金網 1 目合いの等価剛性 (kN/m)	K	858	1239	
衝突箇所周辺の金網 1 枚 当たりの目合い数 (—)	n <sub>50</sub> , n <sub>40</sub>	16	20	
金網の素線の引張荷重 (MPa)	σ'	1400	1400	
破断時たわみ角 (°)	θ <sub>max</sub>	36.8	36.6	
金網の単位面積当たりの質量 (kg/m <sup>2</sup> )	m <sub>1</sub> , m <sub>2</sub>	4.6	5.7	
金網の充実率 (—)	φ	0.39* <sup>1</sup>		計算値* <sup>2</sup>

注記 \*1: 主金網及び補助金網の設置枚数を考慮した充実率

\*2: 1m<sup>2</sup>当たりの平均充実率

$$\phi = 1 - ((\text{金網目合い寸法})^2 / (\text{金網目合い寸法} + \text{素線直径})^2) \times \text{金網の枚数}$$

b. ネットの構成

ネットの構成を表 4-4 に示す。

表 4-4 ネットの構成

No.	金網サイズ (m)			主金網 設置枚数	補助金網 設置枚数
	L <sub>x</sub>	×	L <sub>y</sub>	n	n <sub>1</sub>
1	3.708	×	3.473	2	1
2	4.808	×	3.473	2	1

c. ワイヤロープ

ワイヤロープの仕様を表 4-5 に示す。

表 4-5 ワイヤロープの仕様

評価対象部位	仕様 (一)	径 (mm)	規格値 $F_3$ (kN)	ワイヤグリッ プ効率 $C_c$ (一)	許容限界 (kN)
ワイヤロープ	7×7	φ 16	165* <sup>1</sup>	0.8* <sup>2</sup>	132

注記 \*1: J I S G 3 5 4 9 の破断荷重

\*2: J I S B 2 8 0 9 及び「日本道路協会 平成 20 年 8 月 小規模吊橋  
指針・同解説」

d. 接続治具（支持部）

(a) ターンバックル

ターンバックルの仕様を表 4-6 に示す。

表 4-6 ターンバックルの仕様

評価対象部位	規格値 $F_4$ (kN)	許容限界 (kN)
ターンバックル	86.8*	130

注記 \* : J I S A 5 5 4 0 の保証荷重

(b) シャックル

シャックルの仕様を表 4-7 に示す。

表 4-7 シャックルの仕様

評価対象部位	規格値 $F_5$ (kN)	許容限界 (kN)
シャックル	78.4	156*

注記 \* : 試験結果に基づくメーカー保証値

e. 接続治具（固定部）

(a) 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの評価条件を表 4-8 に示す。



表 4-8 隅角部固定ボルトの評価条件

評価対象部位	ボルト径	材質	ボルト本数 $n_2$
隅角部固定ボルト	M27	SCM435	3

(b) 取付プレート

取付プレートの評価条件を表 4-9 に示す。

表 4-9 取付プレートの評価条件

評価対象部位	材質 (母材)	プレート長さ		面取り長さ L (mm)	溶接脚長 $S_w$ (mm)
		$L_{p1}$ (mm)	$L_{p2}$ (mm)		
取付プレート	SM490A	100	119	30	7

4.2 防護板の評価条件

貫通評価において、防護板の貫通評価式に用いる評価条件を表 4-10 に示す。

表 4-10 防護板の貫通評価に用いる評価条件

評価条件		数値
d (m)		0.07367
k (-)		1.0
m (kg)		135
V (m/s)	水平方向	46.6
	鉛直方向	16.7

4.3 支持部材の評価条件

(1) 貫通評価

貫通評価において、フレーム（横補強材）及び大梁の貫通評価式に用いる評価条件は表 4-10 と同様とする。

(2) 支持機能評価

a. 荷重条件

風圧力による荷重の算定条件を表 4-11 に示す。

表 4-11 風圧力による荷重の算定条件

$C_f$ (-)	$G$ (-)	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$V_D$ ( $\text{m/s}$ )
2.1	1.0	1.226	100

b. 解析ケース

支持部材の支持機能評価において、飛来物の衝突を考慮する部材の検討、構造及び荷重伝達経路の検討を踏まえて、飛来物の衝突位置を設定する。

支持部材のうち飛来物が衝突しうる部材としては、フレームのうち主桁、横補強材及びブレース並びに大梁が考えられるが、ブレースはネットの上部に設置しており、ネットの吸収エネルギー評価及び破断評価に包含されるため、主桁、横補強材及び大梁を対象とする。

解析ケースを表 4-12 及び図 4-1 に示す。

表 4-12 解析ケース（支持機能評価）(1/3)

飛来物衝突部材	構造及び荷重伝達経路	評価対象部位	ケース	衝突位置	衝突方向
主桁 (フレーム G1)	<b>【構造】</b> 主桁は、北側はフレームゴム支承により支持され、フレームゴム支承は基礎ボルトにて海水ポンプ室躯体に固定されている。南側は可動支承及び大梁により支持されており、大梁は大梁ゴム支承により支持され、大梁ゴム支承は基礎ボルトにて海水ポンプ室躯体に固定されている。また、2つの主桁は横補強材により連結している。  <b>【荷重伝達経路】</b> 北側：主桁⇒フレームゴム支承⇒基礎ボルト⇒海水ポンプ室躯体  南側：主桁⇒可動支承⇒大梁⇒大梁ゴム支承⇒基礎ボルト⇒海水ポンプ室躯体  また、水平方向衝突による西側主桁から東側主桁への荷重伝達は、横補強材を経由する。	主桁	G1-EW-3	端部 (北側)	水平 EW
		横補強材	G1-EW-1	端部 (南側)	水平 EW
			G1-EW-2	中央	水平 EW
			G1-EW-3	端部 (北側)	水平 EW
		大梁	G1-V-1	端部 (南側)	鉛直
		フレーム ゴム支承	G1-EW-3	端部 (北側)	水平 EW
			G1-V-3	端部 (北側)	鉛直
		大梁ゴム 支承	G1-V-1	端部 (南側)	鉛直
可動支承	G1-EW-1	端部 (南側)	水平 EW		

表 4-12 解析ケース（支持機能評価）（2/3）

飛来物衝突部材	構造及び荷重伝達経路	評価対象部位	ケース	衝突位置	衝突方向		
横補強材 (フレーム G1)	<p><b>【構造】</b> 横補強材は主桁に取り付いている。 主桁は、北側はフレームゴム支承により支持され、フレームゴム支承は基礎ボルトにて海水ポンプ室躯体に固定されている。南側は可動支承及び大梁により支持されており、大梁は大梁ゴム支承により支持され、大梁ゴム支承は基礎ボルトにて海水ポンプ室躯体に固定されている。 また、2つの主桁は横補強材により連結している。</p> <p><b>【荷重伝達経路】</b> 北側：横補強材⇒主桁⇒フレームゴム支承⇒基礎ボルト⇒海水ポンプ室躯体 南側：横補強材⇒主桁⇒可動支承⇒大梁⇒大梁ゴム支承⇒基礎ボルト⇒海水ポンプ室躯体</p>	大梁	G1-V-4	中央	鉛直		
			G1-V-5	端部	鉛直		
		フレーム ゴム支承	G1-V-6	中央	鉛直		
			G1-V-7	端部	鉛直		
		大梁ゴム 支承	G1-V-4	中央	鉛直		
			G1-V-5	端部	鉛直		
		可動支承	G1-V-4	中央	鉛直		
			G1-V-5	端部	鉛直		
		主桁 (フレーム G2)	主桁（フレーム G1）と同様	大梁	G2-NS-1	端部	水平 NS
					G2-V-1	端部 (南側)	鉛直
フレーム ゴム支承	G2-V-2			端部 (北側)	鉛直		
大梁ゴム 支承	G2-NS-1			端部	水平 NS		
	G2-V-1			端部 (南側)	鉛直		
可動支承	G2-NS-1			端部	水平 NS		
	G2-V-1			端部 (南側)	鉛直		

表 4-12 解析ケース（支持機能評価）（3/3）

飛来物衝突部材	構造及び荷重伝達経路	評価対象部位	ケース	衝突位置	衝突方向
横補強材 (フレーム G2)	横補強材 (フレーム G1) と同様	大梁	G2-V-3	中央	鉛直
			G2-V-4	端部	鉛直
		フレーム ゴム支承	G2-V-5	中央	鉛直
			G2-V-6	端部	鉛直
		大梁ゴム 支承	G2-V-3	中央	鉛直
			G2-V-4	端部	鉛直
		可動支承	G2-V-3	中央	鉛直
			G2-V-4	端部	鉛直
大梁	<b>【構造】</b> 大梁は大梁ゴム支承を介して基礎ボルトにて海水ポンプ室躯体に固定されている。  <b>【荷重伝達経路】</b> 大梁⇒大梁ゴム支承⇒基礎ボルト⇒海水ポンプ室躯体	大梁ゴム 支承	B-V-1	中央	鉛直
			B-V-2	端部	鉛直

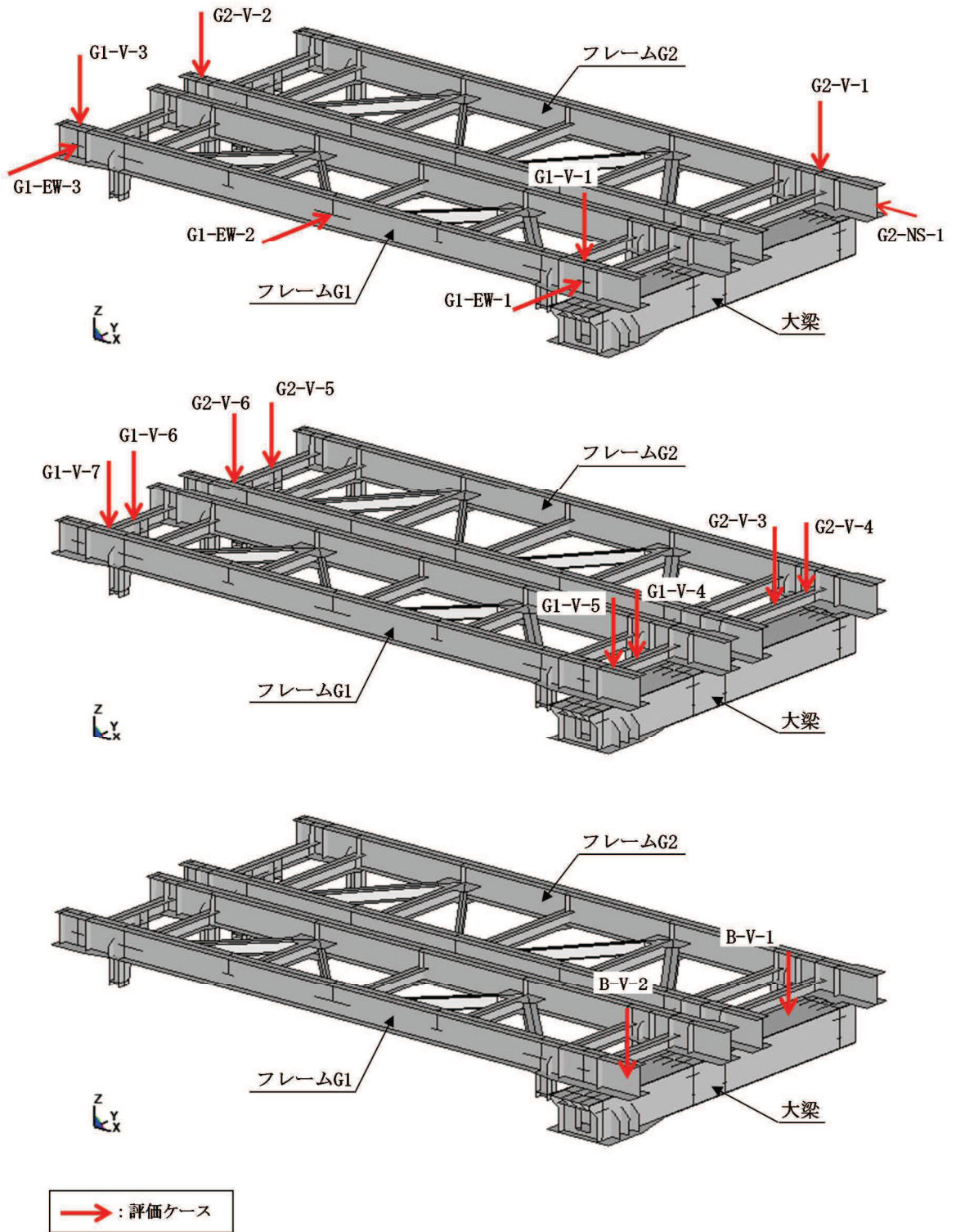


図 4-1 解析ケース

## c. 支持部材の仕様

支持部材の仕様を表 4-13 に示す。

表 4-13 支持部材の仕様

評価条件		数値
B (mm)		870
$a_s$ (mm)		800
$b_s$ (mm)		800
d (mm)		810
$t_e$ (mm)		24
$t_p$ (mm)		4.5
h (mm)		354
$\Sigma t_e$ (mm)		192
$A_e$ (mm <sup>2</sup> )		$6.400 \times 10^5$
$S_1$		8.33
$S_2$		4.17
取付ボルト ( $i=1$ )	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	706.9
	$A_{bei}$ (mm <sup>2</sup> )	561
	$n_{bi}$ (—)	16
基礎ボルト ( $i=2$ )	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	855.3
	$n_{bi}$ (—)	16

## 5. 強度評価結果

### 5.1 ネットの吸収エネルギー評価

ネットの金網に作用する全外力エネルギーを表 5-1 に示す。

全てのネットにおいて、金網に作用する全外力エネルギー ( $E_t$ ) は、金網の限界吸収エネルギー ( $E_{max}'$ ) を下回っている。

表 5-1 ネットの吸収エネルギー評価結果

No.	$E_t$ (kJ)	許容限界 (kJ)
1	27	173
2	33	222

### 5.2 ネットの破断評価

#### (1) 金網

金網の破断評価結果を表 5-2 に示す。

飛来物による衝撃荷重 ( $F_a'$ ) は、金網の許容限界 ( $F_{max}$ ) を下回っている。

表 5-2 金網の破断評価結果

No.	$F_a'$ (kN)	許容限界 (kN)
1	102	827
2	99	827

#### (2) ワイヤロープ

ワイヤロープの破断評価結果を表 5-3 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重 ( $T_1''$ ) は、ワイヤロープの許容限界 ( $C_c \cdot F_3$ ) を下回っている。

表 5-3 ワイヤロープの破断評価結果

No.	$T_1''$ (kN)	許容限界 (kN)
1	38	132
2	36	132

## (3) 接続治具（支持部）

## a. ターンバックル

ターンバックルの破断評価結果を表 5-4 に示す。

ターンバックルに作用する荷重は、ターンバックルの許容限界（ $1.5 \cdot F_4$ ）を下回っている。

表 5-4 ターンバックルの破断評価結果

No.	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
1	38	130
2	36	130

注記\*：ワイヤロープ張力である  $T_1$  の値を示す。

## b. シャックル

シャックルの破断評価結果を表 5-5 に示す。

シャックルに作用する荷重は、シャックルの許容限界（ $2.0 \cdot F_5$ ）を下回っている。

表 5-5 シャックルの破断評価結果

No.	発生荷重* (kN)	許容限界 (kN)
1	38	156
2	36	156

注記\*：ワイヤロープ張力である  $T_1$  の値を示す。

## (4) 接続治具（固定部）

## a. 隅角部固定ボルト

隅角部固定ボルトの破断評価結果を表 5-6 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重による発生応力は、隅角部固定ボルトの許容限界（ $1.5 \cdot f_s^*$ ）を下回っている。



表 5-6 隅角部固定ボルトの破断評価結果

No.	発生応力 (せん断) (MPa)	許容限界 (MPa)
1	29	375
2	28	375

b. 取付プレート

取付プレート溶接部の破断評価結果を表 5-7 に示す。

ワイヤロープが負担する荷重による発生応力は、取付プレート溶接部の許容限界 ( $1.5 \cdot f_s^*$ ) を下回っている。

表 5-7 取付プレート溶接部の破断評価結果

No.	発生応力 (せん断) (MPa)	許容限界 (MPa)
1	29	198
2	28	198

5.3 ネットのたわみ評価

ネットのたわみ評価結果を表 5-8 に示す。

ネット全体のたわみ量 ( $\delta_t$ ) は、ネットと外部事象防護対象施設の最小離隔距離 ( $L_{min}$ ) を下回っている。

表 5-8 ネットのたわみ評価結果

No.	最大たわみ量 $\delta_t$ (m)	最小離隔距離 $L_{min}$ (m)
1	1.06	5.30
2	1.31	5.30

5.4 防護板の貫通評価

防護板の貫通評価結果として、貫通限界厚さと許容限界の比較を表 5-9 に示す。

防護板の評価対象部位の許容限界が、飛来物による貫通を生じない貫通限界厚さを

上回ることを確認した。

表 5-9 防護板の貫通評価結果（貫通限界厚さと許容限界の比較）

評価対象部位	貫通限界厚さ (mm)	許容限界 (mm)
防護板（水平設置）	7.54	12
防護板（鉛直設置）	29.60	32

#### 5.5 支持部材の貫通評価

フレーム（横補強材）及び大梁の貫通評価結果として、貫通限界厚さと許容限界の比較を表 5-10 に示す。

フレーム（横補強材）及び大梁の評価対象部位の許容限界が、飛来物による貫通を生じない貫通限界厚さを上回ることを確認した。

表 5-10 フレーム（横補強材）及び大梁の貫通評価結果  
（貫通限界厚さと許容限界の比較）

評価対象部位	貫通限界厚さ (mm)	許容限界 (mm)
フレーム（横補強材）	7.54	22
大梁	7.54	36

5.6 支持部材の支持機能評価

評価結果を表 5-11 及び図 5-1 から図 5-3 に示す。

支持部材に生じるひずみ、応力等の発生値は、許容限界を超えない。

表 5-11 支持部材の評価結果（衝突解析結果）

評価対象部位		評価項目	発生値*	許容限界	備考
フレーム	主桁	ひずみ			G1-EW-3
	横補強材				G1-EW-3
大梁	大梁				G1-V-1
ゴム支承 (フレームゴ ム支承)	ゴム本体	引張応力	1.1	2.0 MPa	G1-V-6
		せん断ひずみ	70	250 %	G1-EW-3
		圧縮応力	2	23 MPa	G2-V-6
	内部鋼板	引張応力	22	280 MPa	G2-V-6
	取付ボルト	組合せ応力	95	420 MPa	G1-V-7
	基礎ボルト	組合せ応力	71	257 MPa	G1-V-6
ゴム支承 (大梁ゴム支 承)	ゴム本体	引張応力	0.2	2.0 MPa	G1-V-4
		せん断ひずみ	65	250 %	G2-NS-1
		圧縮応力	1	23 MPa	G1-V-4
	内部鋼板	引張応力	11	280 MPa	G1-V-4
	取付ボルト	組合せ応力	76	420 MPa	G1-V-4
	基礎ボルト	組合せ応力	37	257 MPa	G1-V-4
可動支承		水平荷重	1275	2900 kN	G1-EW-1
		鉛直荷重 (圧縮)	641	5600 kN	G2-V-1
		鉛直荷重 (引張)	564	1800 kN	G2-V-3

注記 \* : 表 4-12 における各評価対象部位に対応する解析ケースのうち、裕度が小さい結果を代表して示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

モデル全体図	
衝突位置 拡大図	
ひずみ 分布図	

図 5-1 衝突解析結果（主桁）（解析ケース G1-EW-3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

モデル全体図	
衝突位置 拡大図	
ひずみ 分布図	

図 5-2 衝突解析結果（横補強材）（解析ケース G1-EW-3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

モデル全体図	
衝突位置 拡大図	
ひずみ 分布図	

図 5-3 衝突解析結果（大梁）（解析ケース G1-V-1）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 1-2-1-2 竜巻防護鋼板の強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.3.1	衝突評価	4
2.3.2	構造強度評価	4
2.4	適用規格	6
3.	強度評価方法	7
3.1	記号の定義	7
3.2	評価対象部位	8
3.2.1	貫通評価	8
3.2.2	変形評価	8
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	荷重の設定	11
3.3.2	荷重の組合せ	12
3.4	許容限界	13
3.4.1	評価対象部位の材料仕様	13
3.4.2	評価対象部位の材料定数	13
3.4.3	許容限界	14
3.5	評価方法	15
3.5.1	貫通評価	15
3.5.2	変形評価	15
4.	評価条件	23
4.1	貫通評価	23
4.2	変形評価	24
5.	強度評価結果	25
5.1	貫通評価	25
5.2	変形評価	26



## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設のうち、竜巻防護鋼板が、設計竜巻による設計飛来物の衝突に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、外部事象防護対象施設に設計飛来物を衝突させず、また、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、竜巻防護鋼板を構成する防護鋼板及び架構が構造健全性を有することを確認するものである。

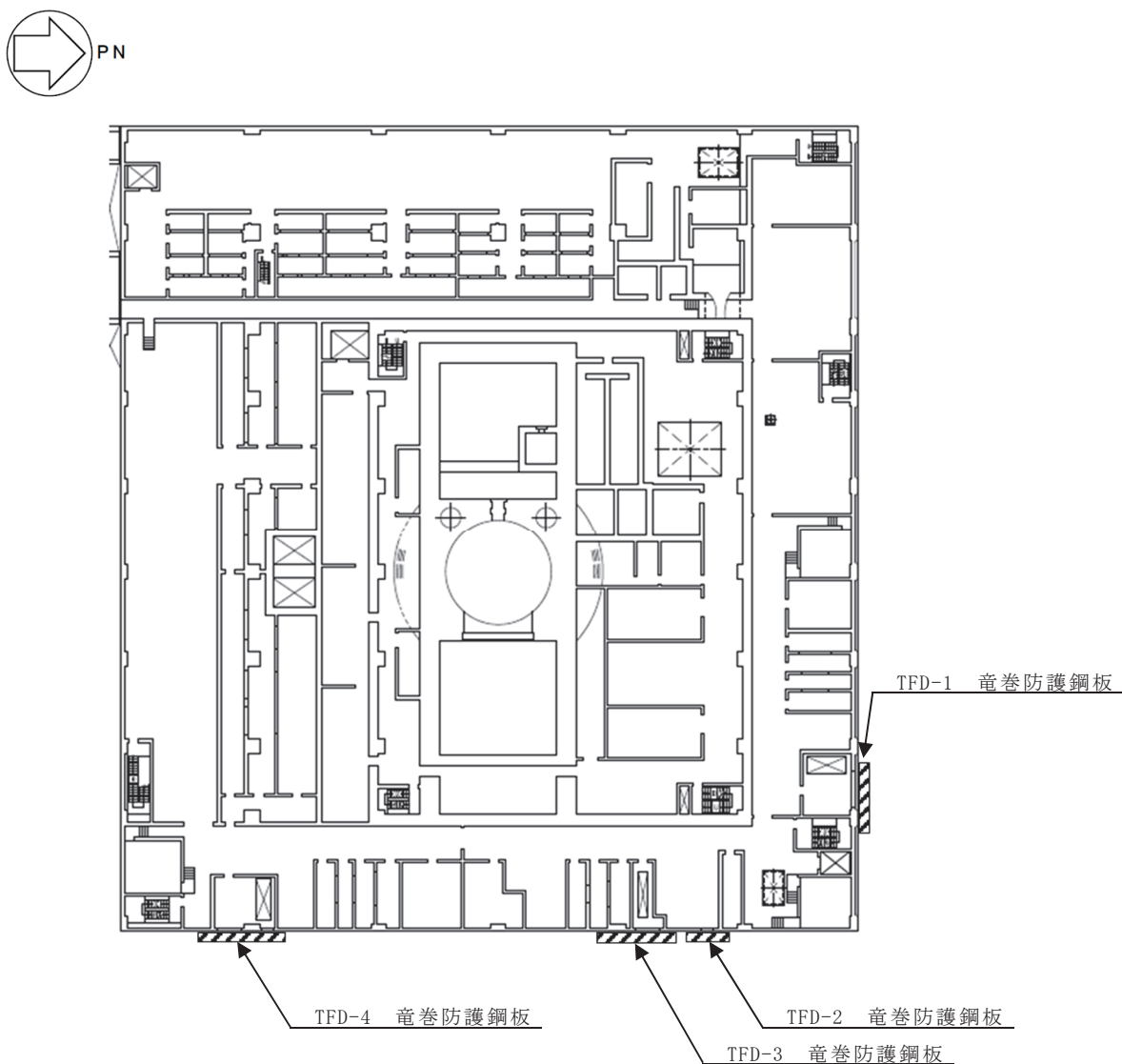
## 2. 基本方針

添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、竜巻防護鋼板の位置を「2.1 位置」に、構造概要を「2.2 構造概要」に、評価方針を「2.3 評価方針」に、適用規格を「2.4 適用規格」に示す。

### 2.1 位置

竜巻防護鋼板は、原子炉建屋の開口部に設置する。

竜巻防護鋼板の設置位置を図 2-1 に示す。



原子炉建屋 地上 2 階 (O.P. 22.50m)

図 2-1 竜巻防護鋼板の設置位置図

## 2.2 構造概要

竜巻防護鋼板の構造は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2 竜巻防護鋼板の構造設計」を踏まえ、設計する。

竜巻防護鋼板は、鋼板等で構成する鋼製構造物である。

竜巻防護鋼板の概略構造図を図 2-2 に示す。

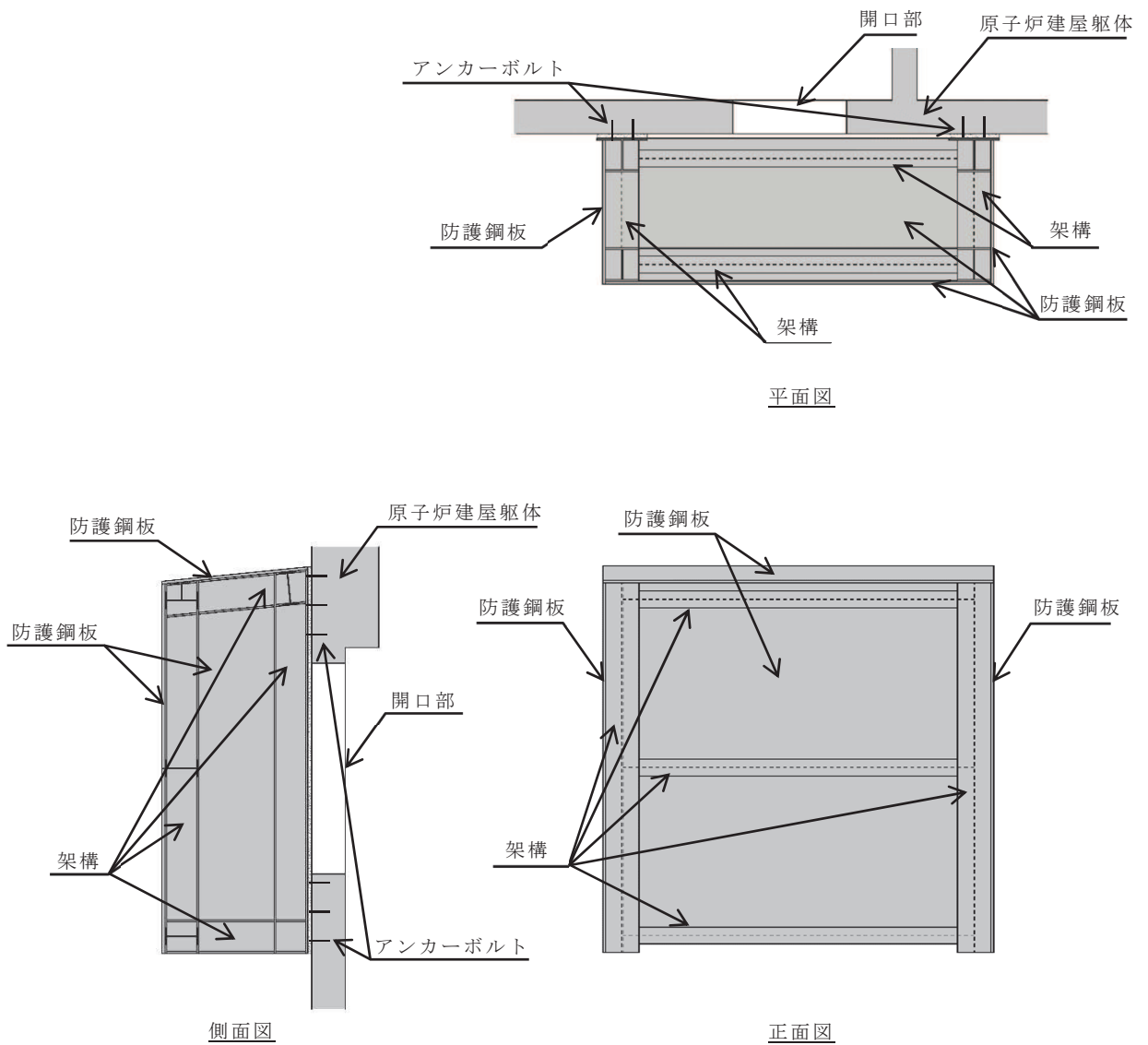


図 2-2 竜巻防護鋼板 (TFD-1, 2, 3, 4) の概略構造図

## 2.3 評価方針

竜巻防護鋼板の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5.2 竜巻防護鋼板の許容限界」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、竜巻防護鋼板の評価対象部位に作用する変形等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

竜巻防護鋼板の評価フローを図 2-3 に示す。

竜巻防護鋼板の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

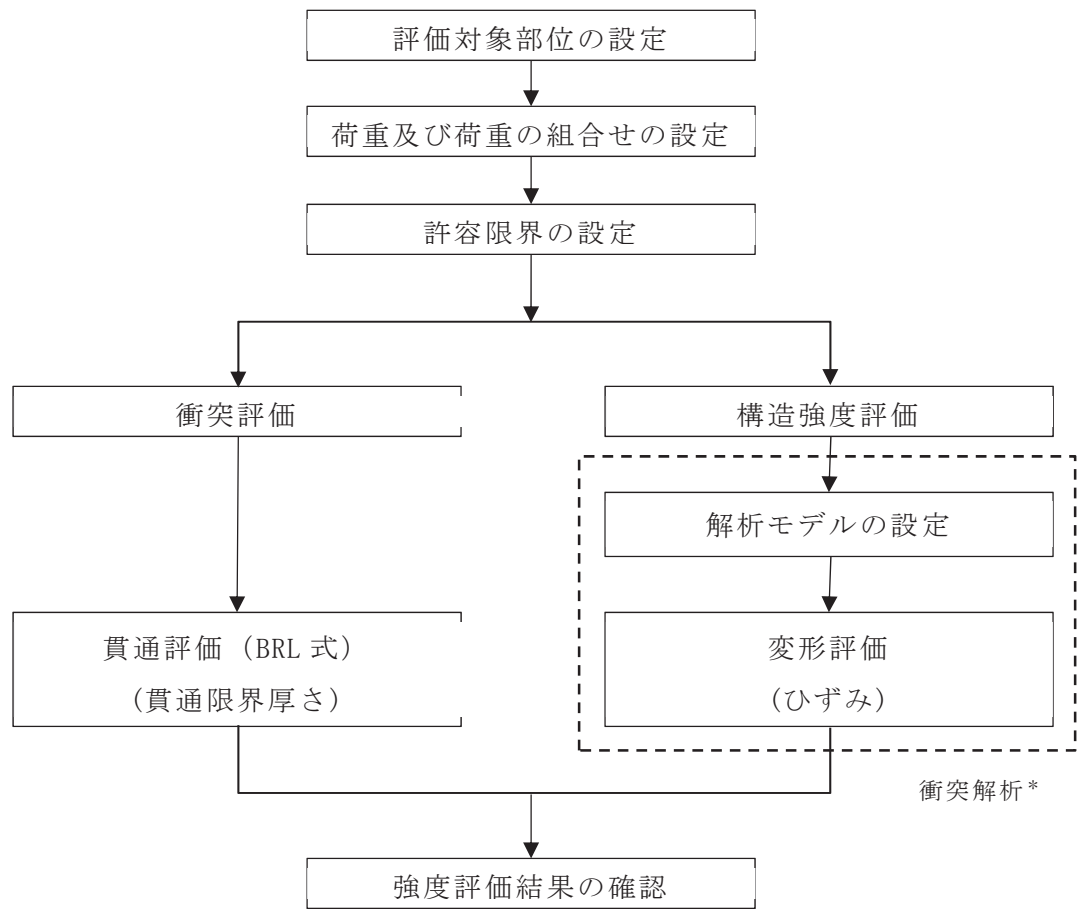
具体的には、設計飛来物が外部事象防護対象施設に衝突する直接的な影響の評価として、防護対策施設を構成する部材に対する衝突評価及び防護対策施設自体が外部事象防護対象施設に衝突・接触する波及的な影響の評価として、防護対策施設を構成する部位の転倒及び脱落に対する構造強度評価を行う。

### 2.3.1 衝突評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、防護鋼板が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。衝突評価には、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「6.2 竜巻防護鋼板の強度評価」に示す評価式を用いる。（以下「貫通評価」という。）

### 2.3.2 構造強度評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを確認する。（以下「変形評価」という。）



注記\*：衝突解析については、解析コード「LS-DYNA」を用いて3次元FEMモデルによりモデル化し、防護鋼板及び架構について評価を実施する。

図 2-3 竜巻防護鋼板の評価フロー

## 2.4 適用規格

適用する規格を以下に示す。

- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ ISE7607-3 軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その 3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討（昭和 51 年 10 月高温構造安全技術研究組合）
- ・ タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))
- ・ 日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 日本溶接協会 2003 年「動的繰返し大変形を受ける溶接鋼構造物の脆性破壊性能評価方法, WES2808」

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m <sup>2</sup>	竜巻防護鋼板の受圧面積
C	—	風力係数
d	m	設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
F <sub>d</sub>	N	常時作用する荷重
G	—	ガスト影響係数
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	設計飛来物の質量
q	Pa	設計用速度圧
T	mm	貫通限界厚さ
V	m/s	設計飛来物の飛来速度
V <sub>D</sub>	m/s	設計竜巻の最大風速
W <sub>M</sub>	N	設計飛来物による衝撃荷重
W <sub>W</sub>	N	設計竜巻の風圧力による荷重
ρ	kg/m <sup>3</sup>	空気密度

### 3.2 評価対象部位

竜巻防護鋼板の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.2 竜巻防護鋼板の許容限界」に示す評価対象部位を踏まえ、設定する。

#### 3.2.1 貫通評価

設計荷重に対し、設計飛来物が施設を構成する部材を貫通しない設計とするために、防護鋼板が設計飛来物の貫通を生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

施設を構成する部材が設計飛来物を貫通させないことの確認においては、外殻を構成する防護鋼板を評価対象部位として設定する。

#### 3.2.2 変形評価

設計荷重に対し、施設を構成する部材自体が、転倒及び脱落により外部事象防護対象施設へ接触等の影響を与えない設計とするために、防護鋼板及び架構に終局状態に至るようなひずみが生じないことを解析により確認する。

設計飛来物の衝突を考慮する場合、被衝突物の支持間隔が長く、厚さが薄いほどたわみ量が大きくなる傾向にある。したがって、変形評価としては、評価対象となる防護鋼板の支持間隔が長く、厚さが薄い箇所を選定する。なお、防護鋼板の設計においては、厚さを一律 32mm とすることから、支持間隔が最長となる箇所が代表となる。衝突位置については、たわみ量が大きくなるよう部材の中央とする。

評価対象部位を図 3-1～図 3-4 に示す。



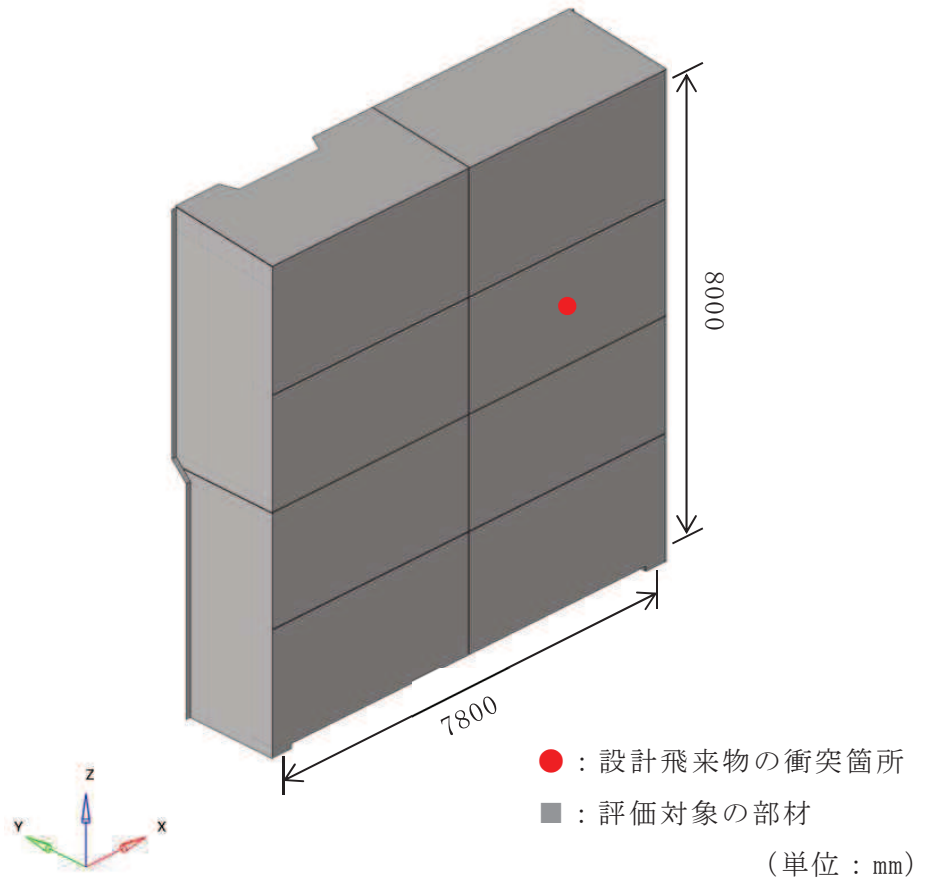


図 3-1 TFD-1 竜巻防護鋼板の評価位置図

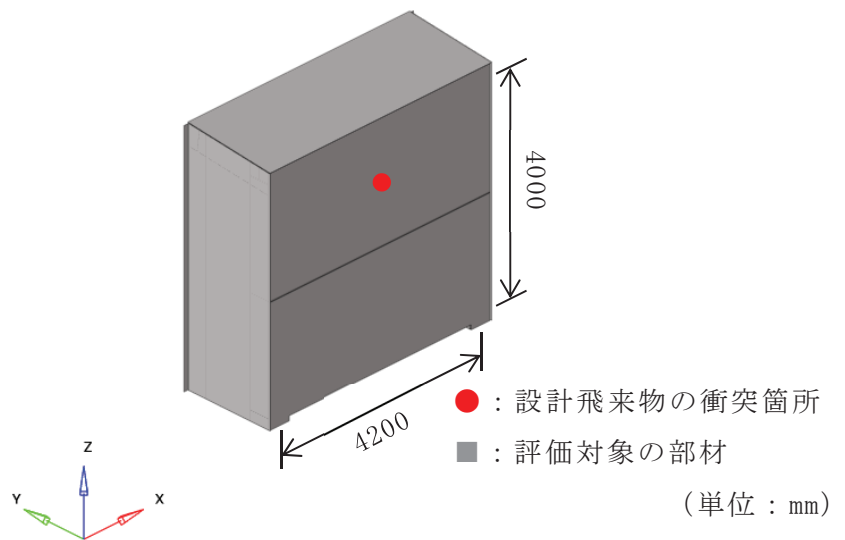


図 3-2 TFD-2 竜巻防護鋼板の評価位置図

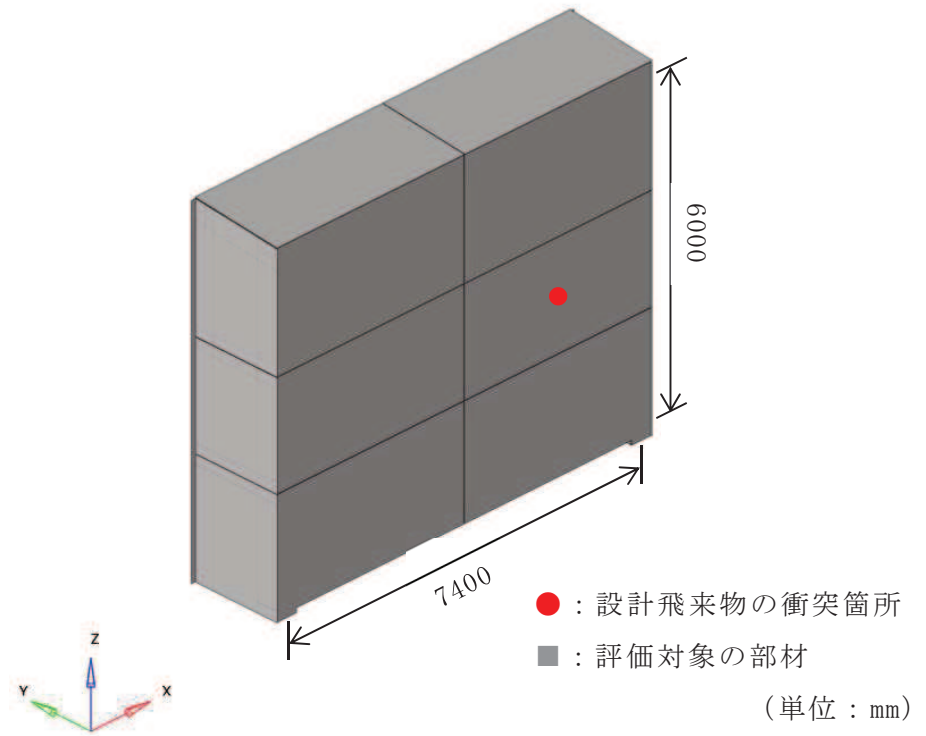


図 3-3 TFD-3 竜巻防護鋼板の評価位置図

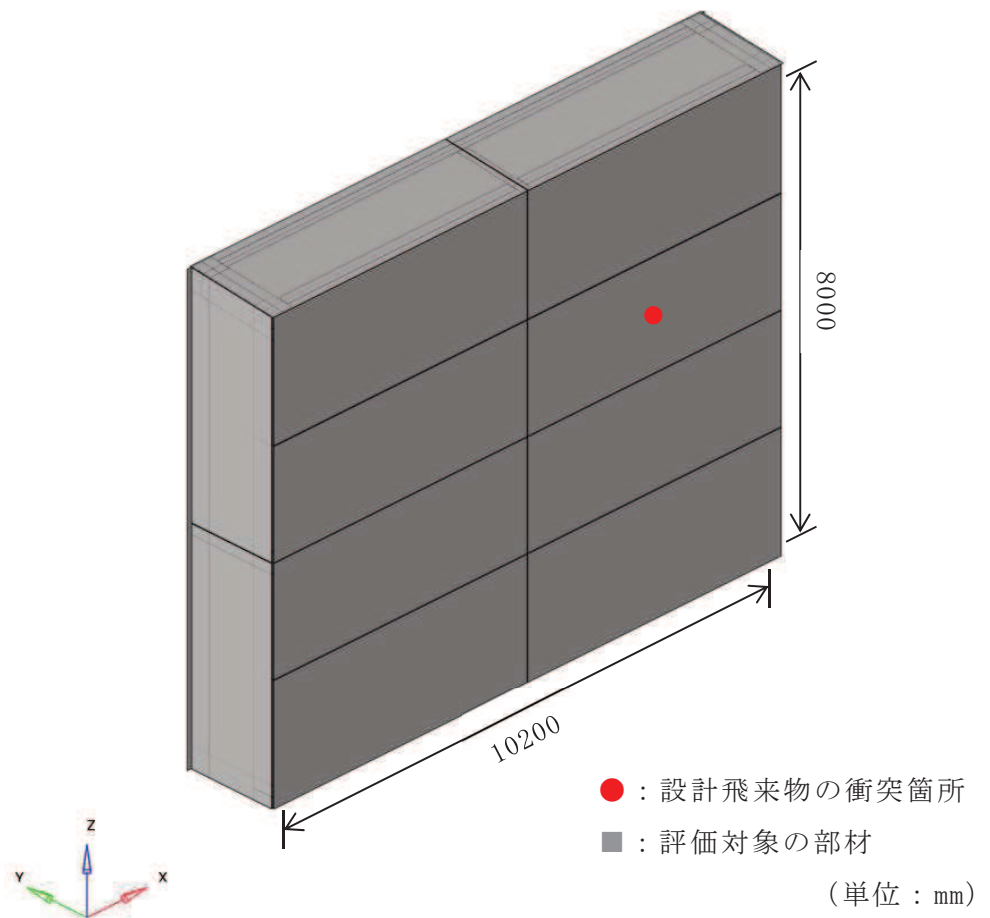


図 3-4 TFD-4 竜巻防護鋼板の評価位置図

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえ、設定する。

#### 3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 $V_D$ (m/s)	移動速度 $V_T$ (m/s)	最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大気圧低下量 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	7600

##### (1) 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重 ( $W_w$ ) は、下式により算定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

設計用速度圧  $q$  は、下式により算定する。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

##### (2) 設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )

設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ ) については、表 3-3 に諸元を示す設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また、設計飛来物の材料定数を表 3-4 に示す。飛来速度については、評価の代表性を考慮し、水平方向、鉛直方向の飛来速度のうち大きい水平方向速度を設定する。

貫通評価においては、設計飛来物の衝撃荷重を考慮する。また、評価対象部位に設計飛来物が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。

変形評価においては、設計飛来物の衝撃荷重を考慮する。

表 3-3 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	46.6	16.7

表 3-4 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鋼製材	245	206000	0.3

(3) 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重 ( $F_d$ ) は、部材の自重とする。

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せについては、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」のとおり、風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

評価内容	風圧力による荷重 ( $W_w$ )	設計飛来物による衝撃荷重 ( $W_M$ )	常時作用する荷重 ( $F_d$ )	荷重の組合せ
貫通評価	—	○	—	$W_M$
変形評価	○	○	○	$W_w + W_M + F_d$

### 3.4 許容限界

竜巻防護鋼板の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「5.2 竜巻防護鋼板の許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

#### 3.4.1 評価対象部位の材料仕様

評価対象部位の材料仕様を表 3-6 に示す。

表 3-6 評価対象部位の材料仕様

分類	仕様	材質
防護鋼板	PL-32	SS400
架構	H-400×400×13×21 H-400×200×8×13 BH-400～700×400, 600×16×22 BH-400×400, 600×16×22	SN490B
	L-100×100×13	SS400

#### 3.4.2 評価対象部位の材料定数

評価対象部位の材料定数を表 3-7 に示す。

表 3-7 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	降伏応力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	縦弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	塑性硬化係 E' (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
SS400	6 ≤ t ≤ 16		206000		0.3
	16 < t ≤ 40		206000		0.3
SN490B	6 ≤ t ≤ 16		206000		0.3
	16 < t ≤ 40		206000		0.3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.4.3 許容限界

#### (1) 貫通評価

防護鋼板の貫通評価の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 貫通評価の許容限界

評価対象部位		設置方向	厚さ (mm)	材質
竜巻防護鋼板	防護鋼板	側面	32	SS400
		上面	32	SS400

#### (2) 変形評価

設計飛来物が防護鋼板へ直接衝突する場合の変形評価における許容限界は、鋼材の破断ひずみとする。破断ひずみについては、「3.5.2(5)c. 破断ひずみ」に示すとおり、J I S に規定されている伸びの下限値を基に設定するが、「NEI07-13: Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」(以下「NEI07-13」という。)において TF (多軸性係数) を  とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕として TF= を考慮して設定する。

設定した許容限界を表 3-9 に示す。

表 3-9 変形評価の許容限界

評価対象部位		材質	厚さ (mm)	破断ひずみ*
竜巻防護鋼板	防護鋼板	SS400	$16 < t \leq 40$	<input type="text"/>
	架構	SN490B	$6 \leq t \leq 16$	
		SS400	$6 \leq t \leq 16$	
		SN490B	$16 < t \leq 40$	

注記\* : 真ひずみ換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 評価方法

竜巻防護鋼板の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針」の「4.2 竜巻防護鋼板の評価方針」を踏まえて、衝突評価として貫通評価を実施する。また、構造強度評価として変形評価を実施する。

#### 3.5.1 貫通評価

設計飛来物が竜巻防護鋼板の防護鋼板へ直接衝突する場合の貫通限界厚さを、「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日 原子力委員会原子炉安全専門審査会）」で用いられる BRL 式を用いて算出する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

#### 3.5.2 変形評価

変形評価に用いる評価対象部位に生じるひずみは、解析モデル及び材料の非線形特性を用いた衝突解析により評価する。

##### (1) 解析モデル及び諸元

##### a. 竜巻防護鋼板

竜巻防護鋼板の解析モデル化の範囲は、想定する荷重の伝達を考慮し、竜巻防護鋼板を構成する防護鋼板及び架構とする。防護鋼板及び架構は、シェル要素でモデル化する。竜巻防護鋼板の解析モデルの境界条件を表 3-10 に、解析モデル図を図 3-5～図 3-8 に示す。

表 3-10 解析モデルの境界条件

項目	境界条件
竜巻防護鋼板と原子炉建屋壁	X, Y, Z 方向並進拘束

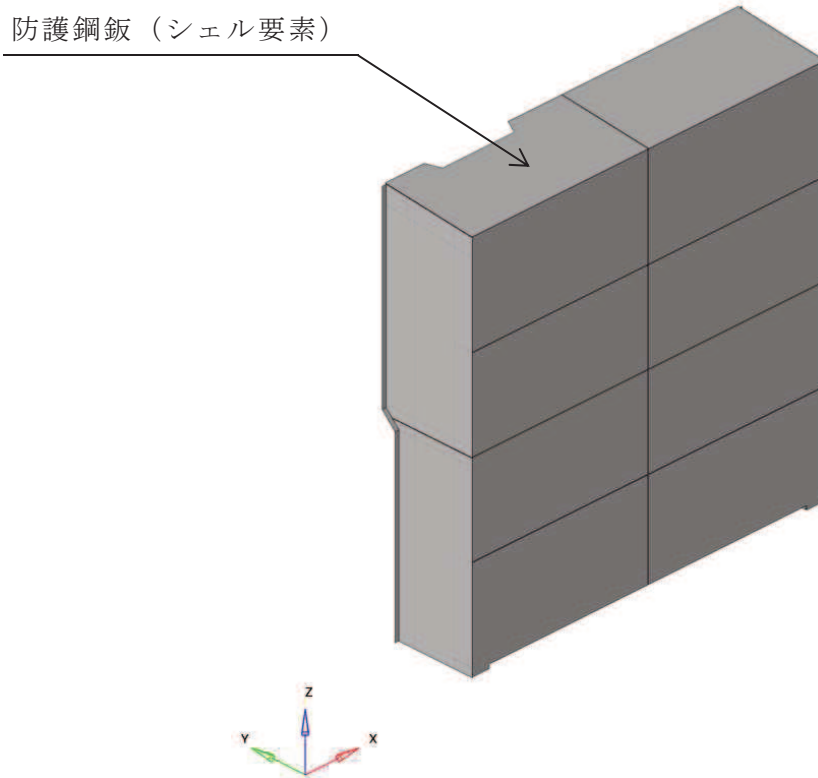


図 3-5 TFD-1 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (1/2)

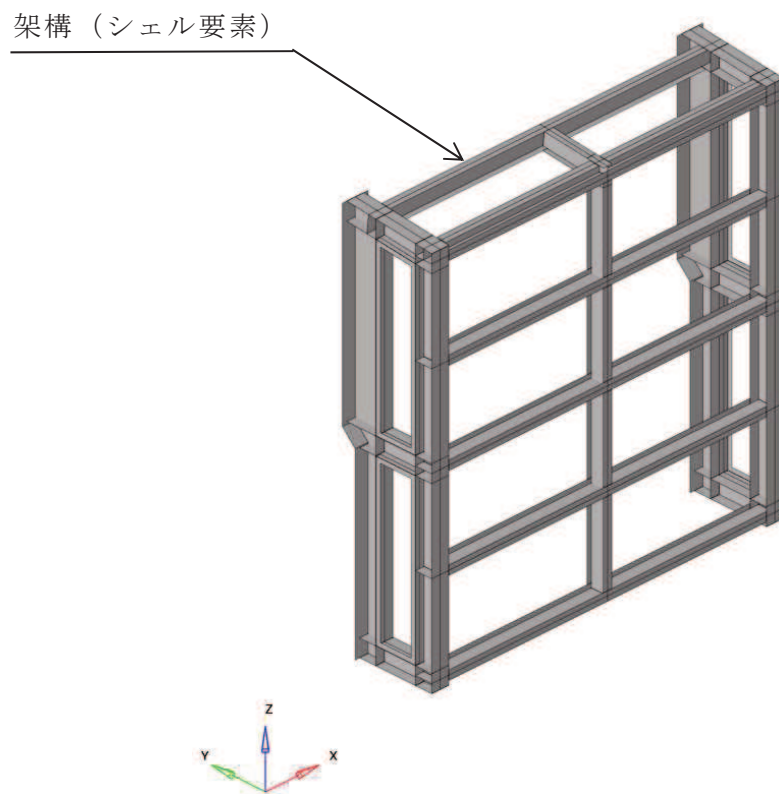


図 3-5 TFD-1 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (2/2)



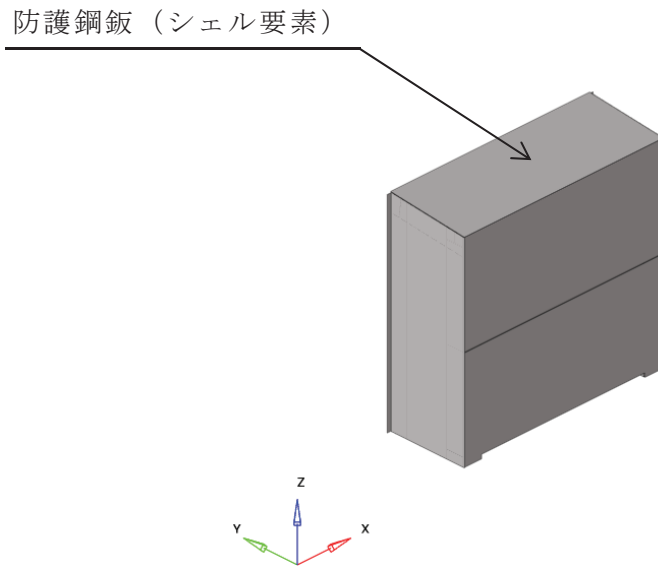


図 3-6 TFD-2 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (1/2)

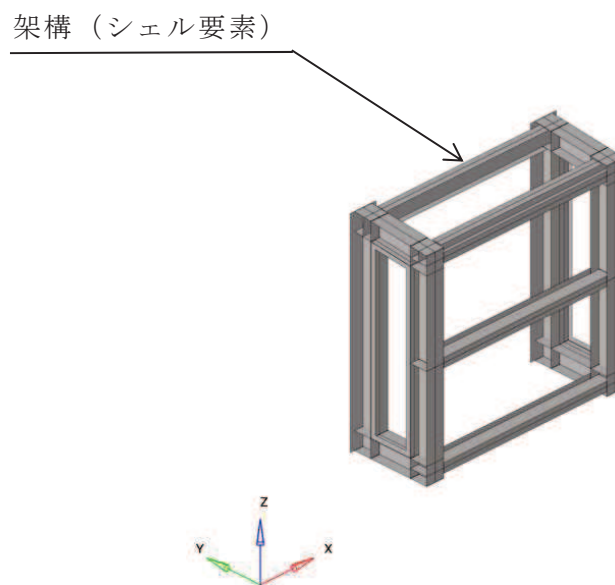


図 3-6 TFD-2 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (2/2)

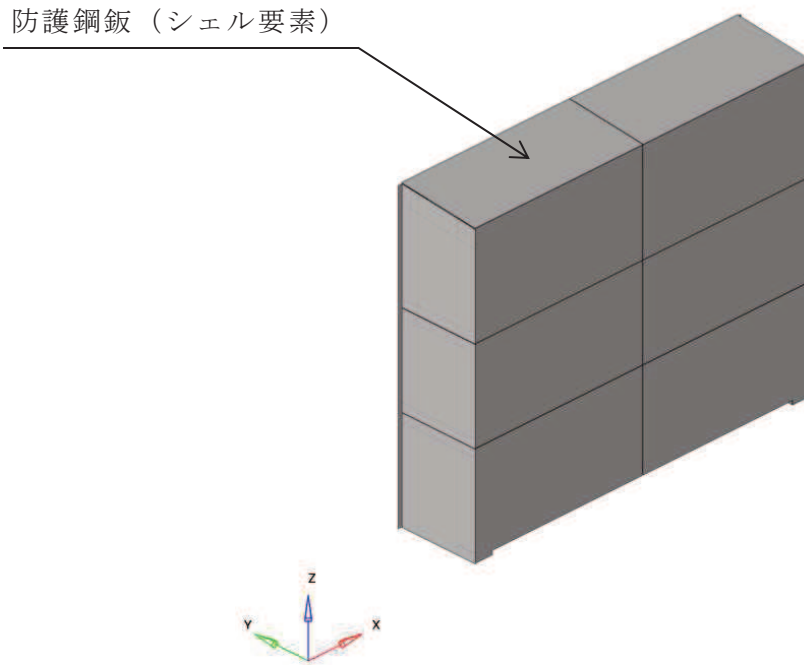


図 3-7 TFD-3 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (1/2)

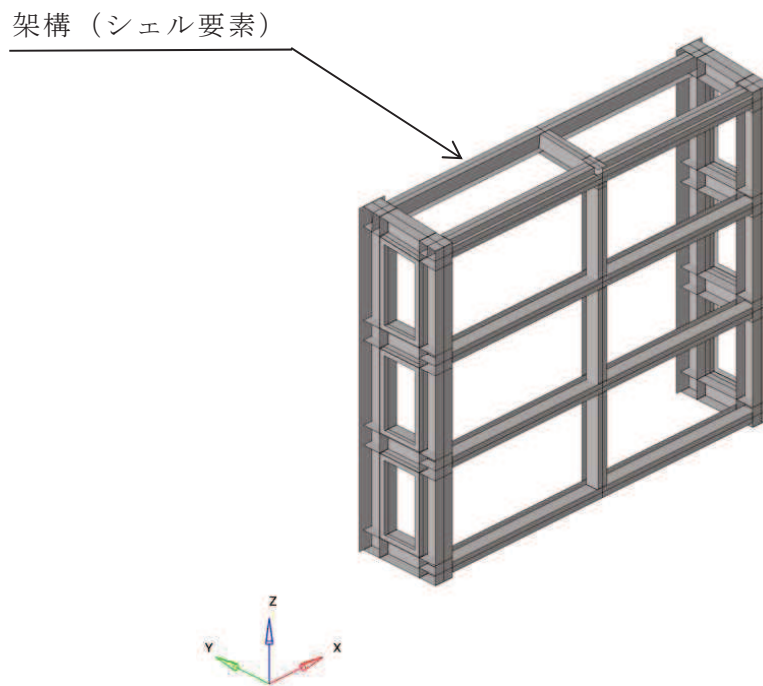


図 3-7 TFD-3 竜巻防護鋼板の解析モデル図 (2/2)

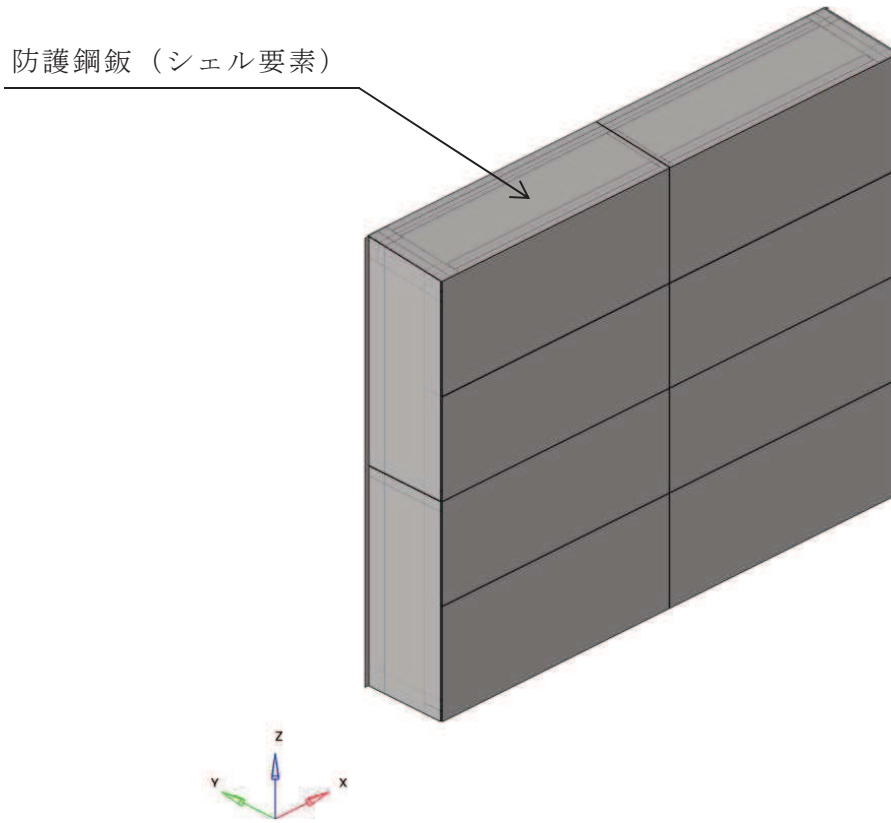


図 3-8 TFD-4 竜巻防護鋼板の解析モデル図（1/2）

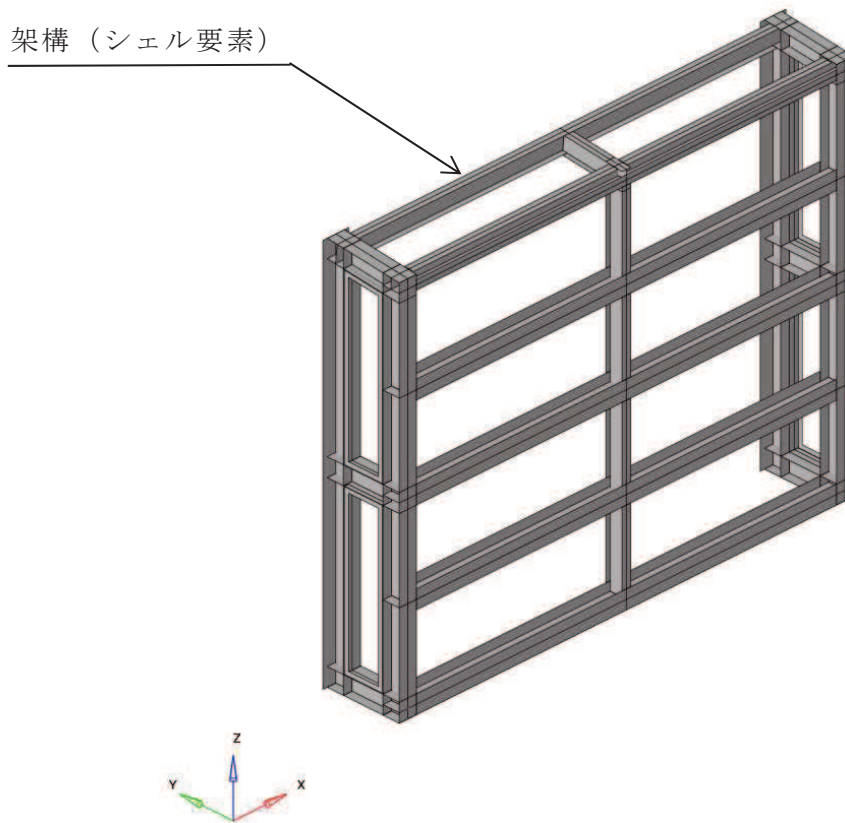


図 3-8 TFD-4 竜巻防護鋼板の解析モデル図（2/2）

b. 設計飛来物

設計飛来物である鋼製材は、シェル要素でモデル化する。

設計飛来物の解析モデル図を図3-9に示す。

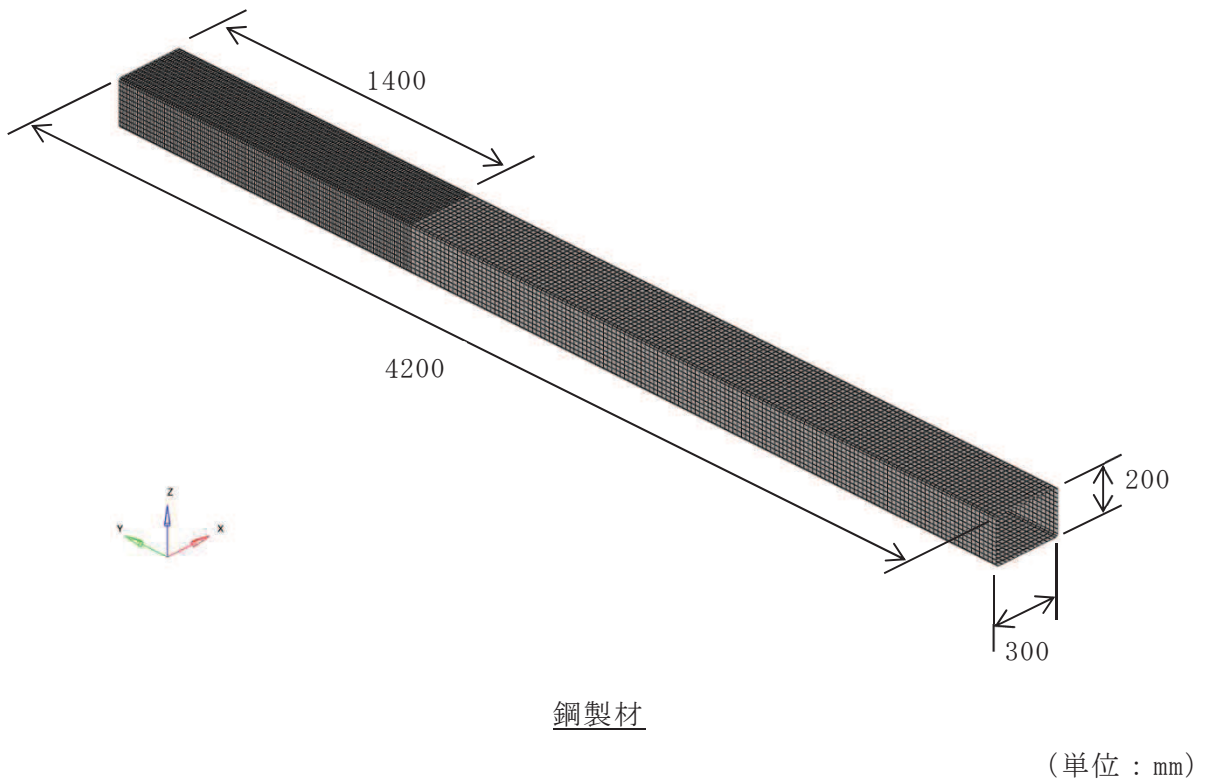


図3-9 設計飛来物の解析モデル図

(2) 解析コード

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

(3) 使用材料

竜巻防護鋼板を構成する材料仕様については、「3.4.1 評価対象部位の材料仕様」に示すとおり設定する。

(4) 材料定数

竜巻防護鋼板に使用する鋼材の材料定数については、「3.4.2 評価対象部位の材料定数」に示すとおり設定する。

(5) 材料の非線形特性

a. 材料の応力-ひずみ関係

竜巻防護鋼板の材料モデルでは、鋼材の破断ひずみを設定し、破断ひずみを超えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。

材料の応力-ひずみ関係はバイリニア型とし、降伏後の塑性硬化係数(2次勾配  $E'$ )は、表 3-7 に示す値とする。

材料に適用する応力-ひずみ関係の概念図を図 3-10 に示す。

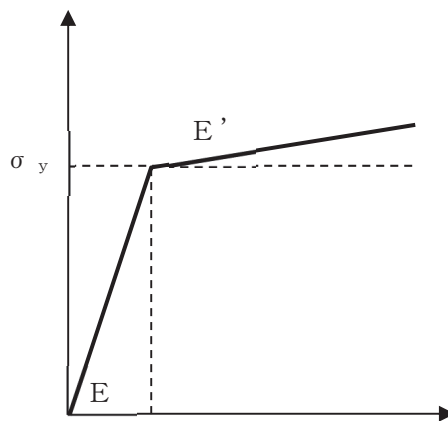


図 3-10 応力-ひずみ関係の概念図

b. ひずみ速度効果

竜巻による設計飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、以下に示す Cowper-Symonds の式を適用する。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left( 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right)$$

ここで、 $\sigma_D$ は動的応力、 $\sigma_S$ は静的応力、 $\dot{\epsilon}$ はひずみ速度、C及びPはひずみ速度依存性パラメータを表す。

ひずみ速度依存性パラメータを表 3-11 に示す。

表 3-11 ひずみ速度依存性パラメータ

	鋼製材	竜巻防護鋼板		
		防護鋼板	架構	
材料	SS400	SS400	SN490B	SS400
C (s <sup>-1</sup> )				
P				

c. 破断ひずみ

破断ひずみは、J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、「NEI07-13」においてTF（多軸性係数）を□とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=□を考慮する。TFについては、竜巻防護鋼板及び架構のみ□とする。鋼製材は保守的に破断ひずみを超えても荷重を負担するものとする。

材料モデルにおける破断ひずみを表 3-12 に示す。

表 3-12 材料モデルにおける破断ひずみ

種別	材質	厚さ (mm)	J I S 規格値 (下限値)	TF	破断ひずみ*
防護鋼板	SS400	16 < t ≤ 40	0.21		
架構	SN490B	6 ≤ t ≤ 16	0.17		
	SS400		0.21		
	SN490B	16 < t ≤ 40	0.21		

注記\*：真ひずみ換算値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4. 評価条件

##### 4.1 貫通評価

貫通評価において、防護鋼板の貫通評価式に用いる評価条件を表 4-1 に示す。

なお、評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径  $d$  については、設計飛来物の接触面積と等価な面積となる円に置き換えた場合の直径とする。評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径  $d$  の算出イメージ図を図 4-1 に示す。

表 4-1 防護鋼板の貫通評価式に用いる評価条件

評価条件		数値
設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 $d$ (m)		0.07367
鋼板の材質に関する係数 $K$		1.0
設計飛来物の質量 $M$ (kg)		135
設計飛来物の飛来速度 $V$ (m/s)	水平方向	46.6
	鉛直方向	16.7

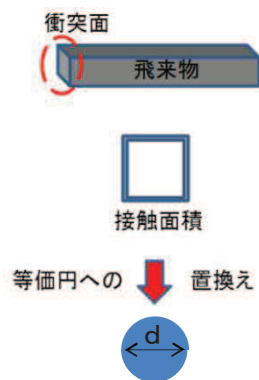


図 4-1 評価において考慮する飛来物が衝突する衝突断面の等価直径  $d$  の算出イメージ図

#### 4.2 変形評価

竜巻防護鋼板の変形評価は、図 3-1～図 3-4 に示す竜巻防護鋼板の最大変形が生じると想定される鋼板中央部に衝突するケースを設定する。設計飛来物の衝突方向は、竜巻防護鋼板の最大変形が生じると想定される最小断面積で衝突する場合(短辺衝突)とする。

解析ケースを表 4-2 に、設計飛来物の衝突イメージを図 4-2 に示す。

表 4-2 解析ケース (変形評価)

評価箇所	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
竜巻防護鋼板	防護鋼板	水平	PL-32 H-400×400×13×21 H-400×200×8×13 BH-400～700×400, 600×16×22 BH-400×400, 600×16×22 L-100×100×13

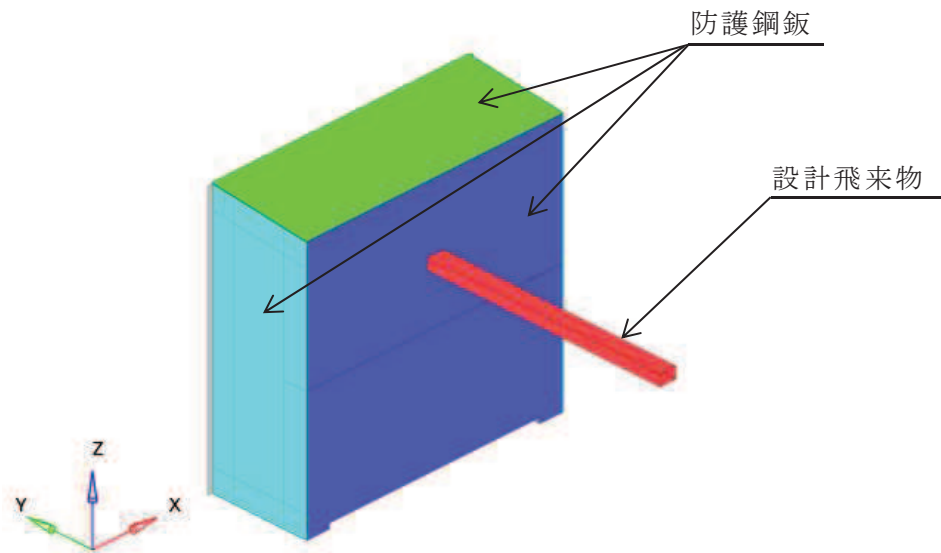


図 4-2 設計飛来物の衝突イメージ



## 5. 強度評価結果

### 5.1 貫通評価

鋼製材の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。

表 5-1 鋼製材の貫通限界厚さ

		貫通限界厚さ T (mm)
		貫通限界厚さ
	水平方向	29.60
	鉛直方向	7.54

竜巻防護鋼板の貫通評価結果として、貫通限界厚さと許容限界の比較を表 5-2 に示す。

許容限界は、設計飛来物による貫通を生じない貫通限界厚さを上回っており、貫通しない。

表 5-2 防護鋼板の板厚と貫通限界厚さの比較

評価対象部位		設置 方向	評価結果 (mm)	許容限界 (mm)
竜巻防護鋼板	防護鋼板	側面	29.60	32
		上面	7.54	32

## 5.2 変形評価

評価結果を表 5-3 及び図 5-1～図 5-12 に示す。

竜巻防護鋼板に生じるひずみは許容限界を超えない。

表 5-3 評価結果

評価項目	評価対象部位		材質	厚さ (mm)	評価結果	許容限界*
ひずみ	TFD-1	防護鋼板	SS400	$16 < t \leq 40$		
		架構	SN490B	$6 \leq t \leq 16$		
			SS400	$16 < t \leq 40$		
	TFD-2	防護鋼板	SS400	$16 < t \leq 40$		
		架構	SN490B	$6 \leq t \leq 16$		
			SS400	$16 < t \leq 40$		
	TFD-3	防護鋼板	SS400	$16 < t \leq 40$		
		架構	SN490B	$6 \leq t \leq 16$		
			SS400	$16 < t \leq 40$		
	TFD-4	防護鋼板	SS400	$16 < t \leq 40$		
		架構	SN490B	$6 \leq t \leq 16$		
			SS400	$16 < t \leq 40$		
			SN490B	$16 < t \leq 40$		

注記\* : 真ひずみ換算値



図 5-1 防護鋼板のひずみ分布図 (TFD-1 竜巻防護鋼板 [SS400 :  $16 < t \leq 40$ ])

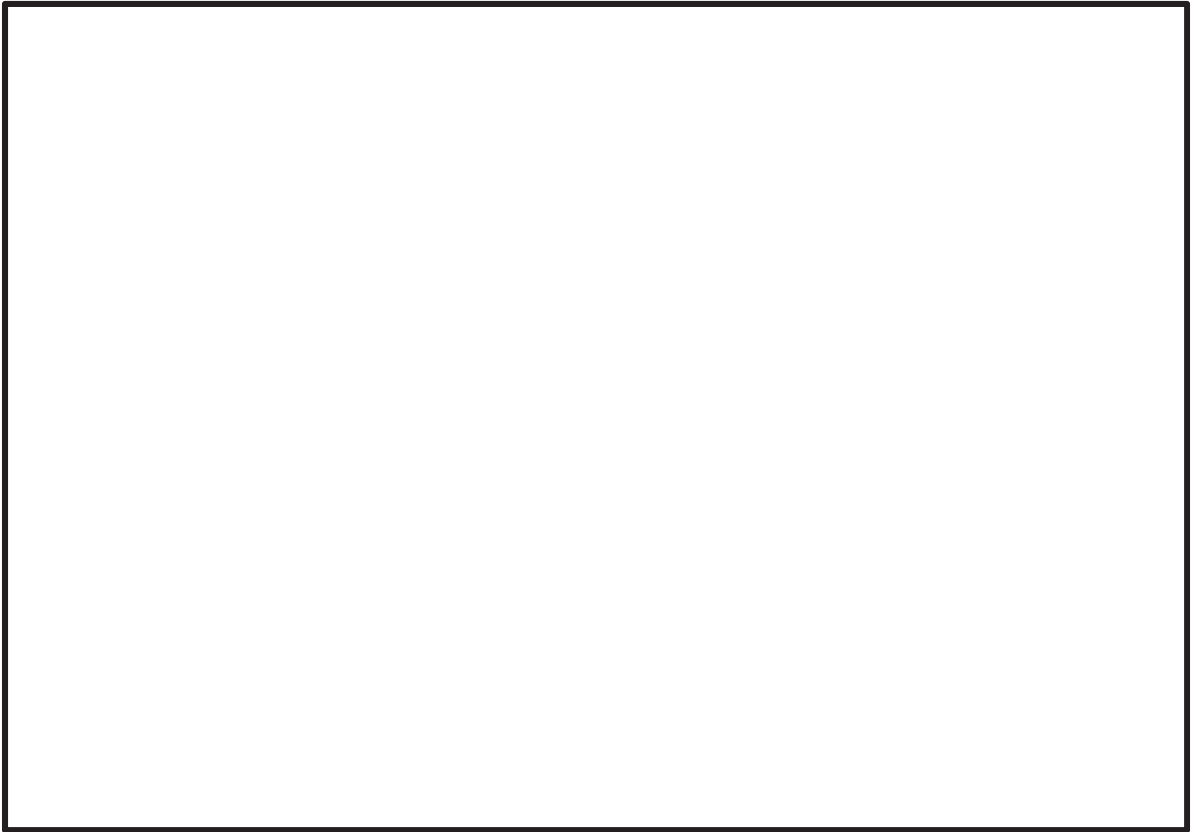


図 5-2 架構のひずみ分布図 (TFD-1 竜巻防護鋼板 [SN490B/SS400 :  $6 \leq t \leq 16$ ])

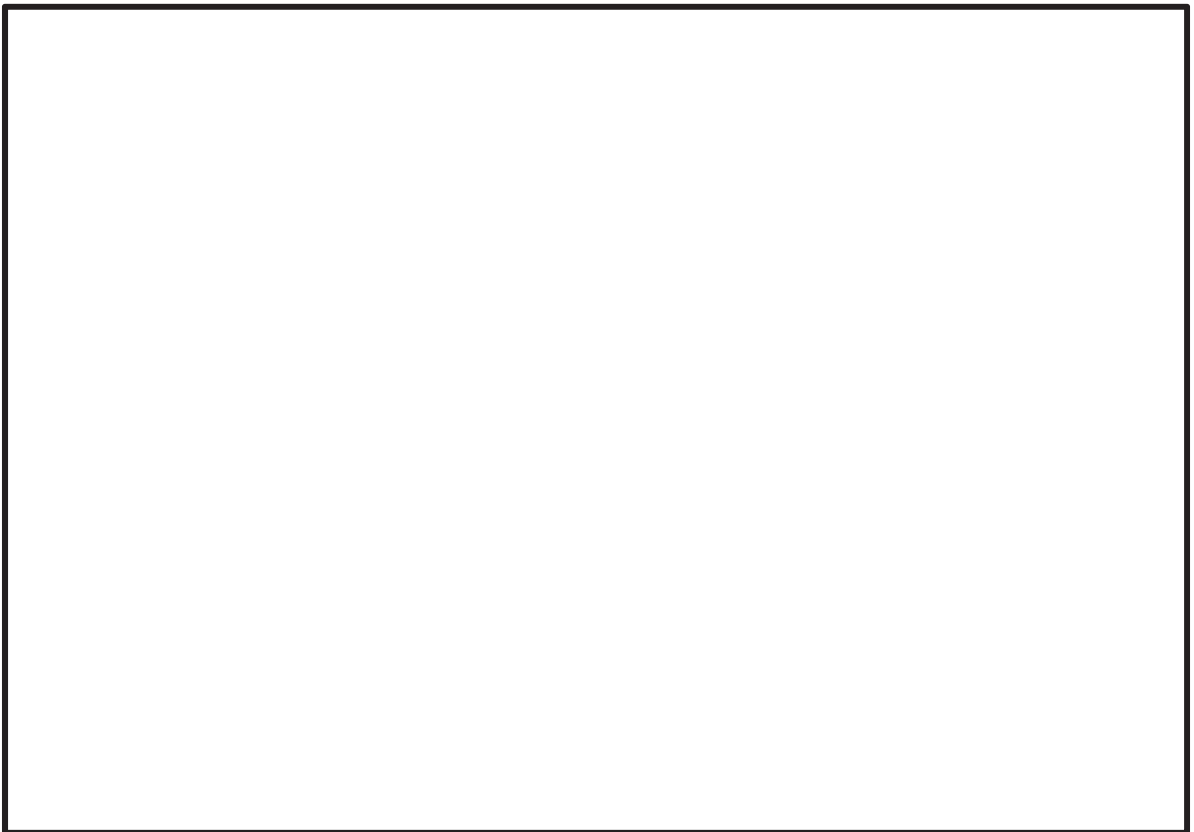


図 5-3 架構のひずみ分布図 (TFD-1 竜巻防護鋼板 [SN490B :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 5-4 防護鋼板のひずみ分布図 (TFD-2 竜巻防護鋼板 [SS400 :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

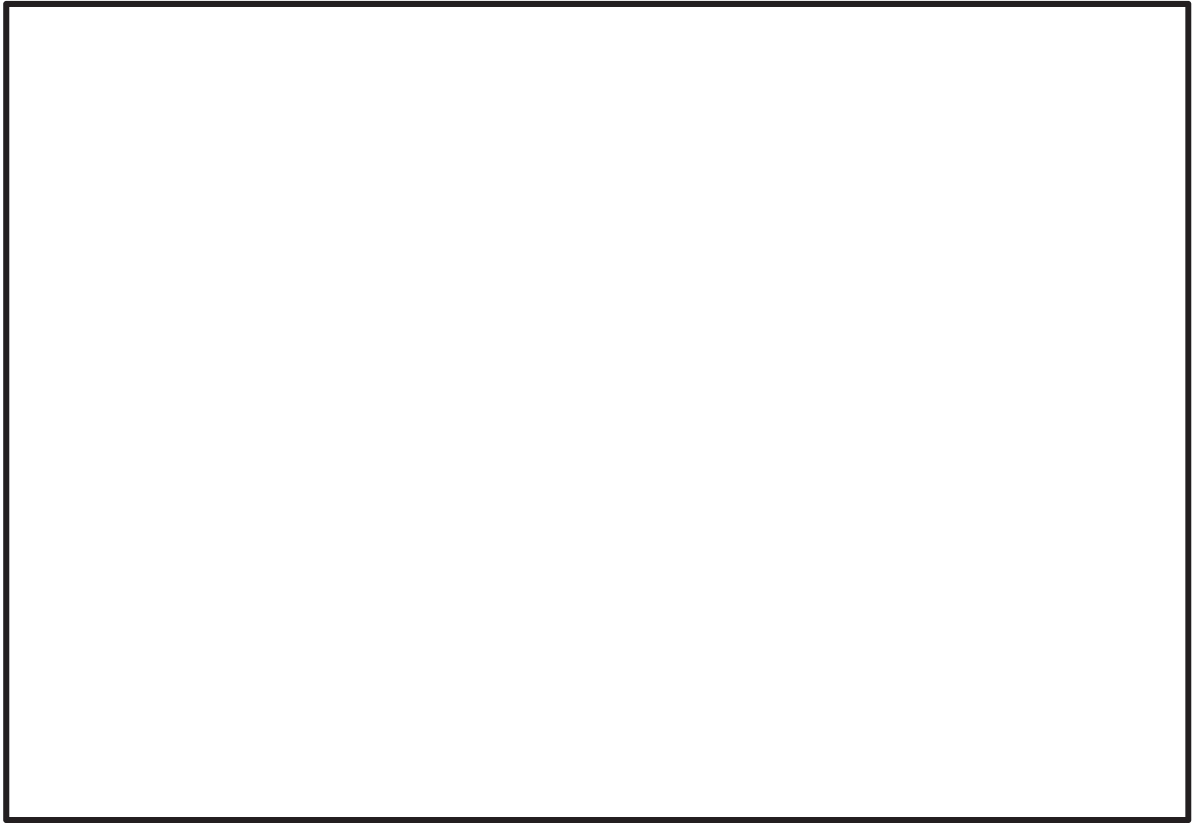


図 5-5 架構のひずみ分布図 (TFD-2 竜巻防護鋼板 [SN490B/SS400 :  $6 \leq t \leq 16$ ])

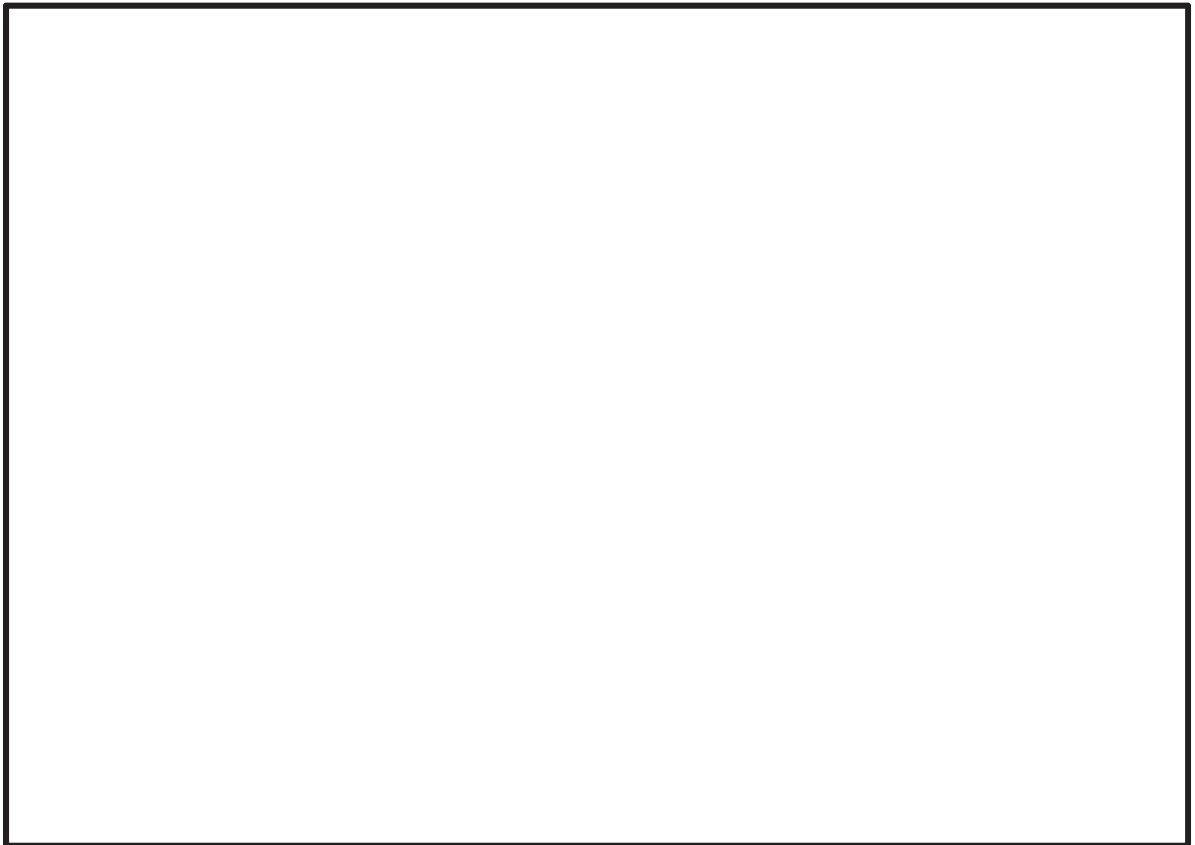


図 5-6 架構のひずみ分布図 (TFD-2 竜巻防護鋼板 [SN490B :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 5-7 防護鋼板のひずみ分布図 (TFD-3 竜巻防護鋼板 [SS400 :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

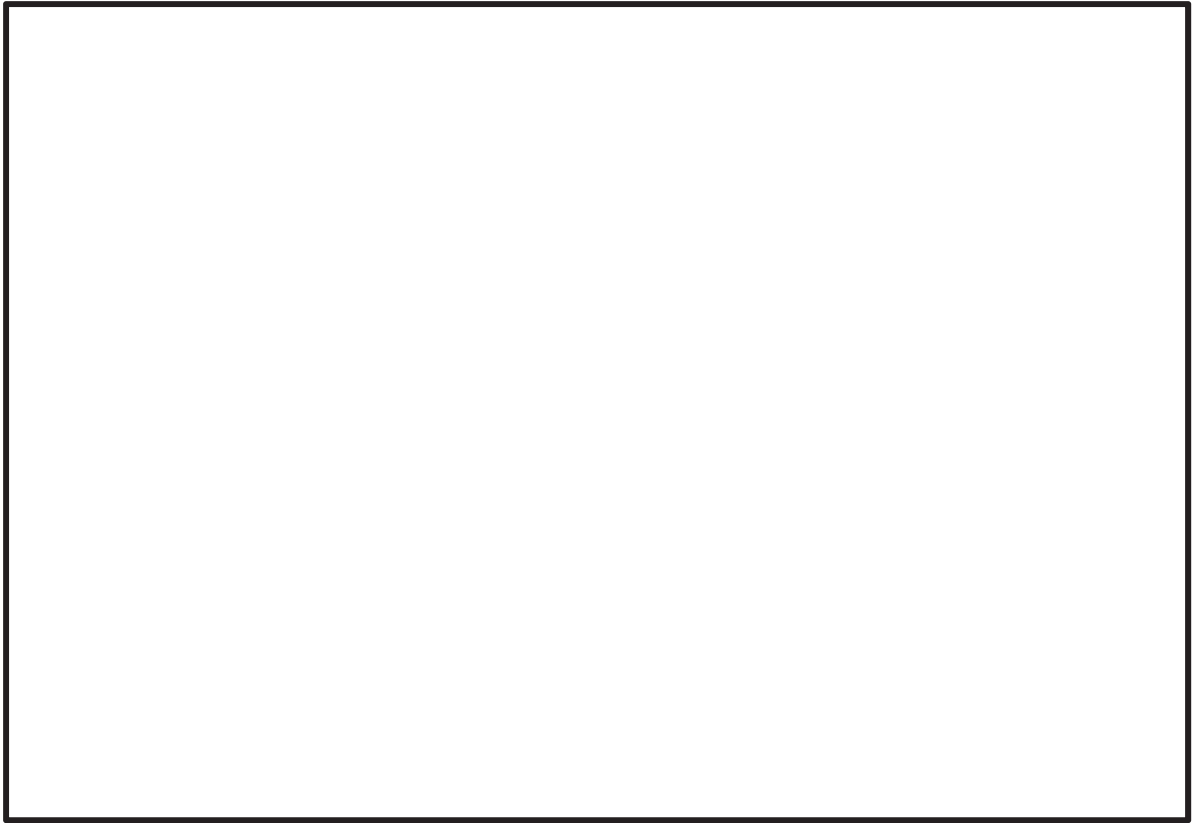


図 5-8 架構のひずみ分布図 (TFD-3 竜巻防護鋼板 [SN490B/SS400 :  $6 \leq t \leq 16$ ])

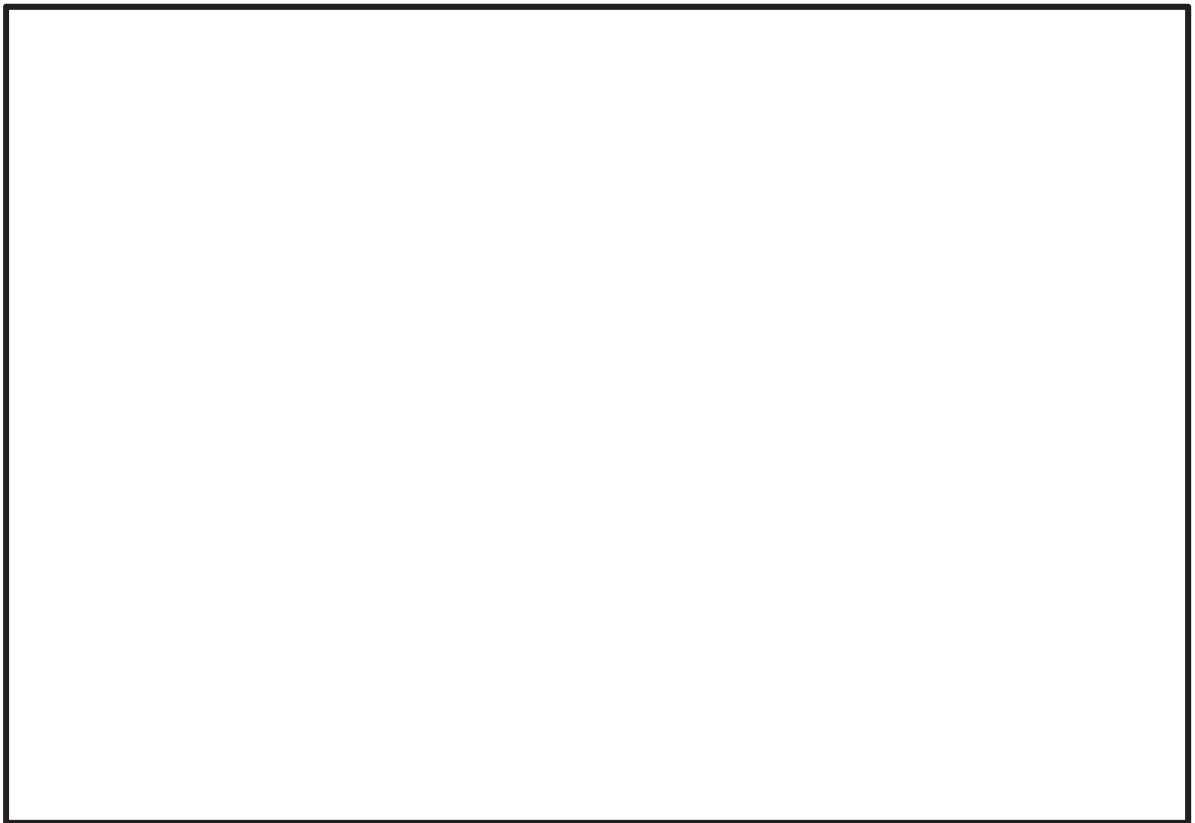


図 5-9 架構のひずみ分布図 (TFD-3 竜巻防護鋼板 [SN490B :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。





図 5-10 防護鋼板のひずみ分布図 (TFD-4 竜巻防護鋼板 [SS400 :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

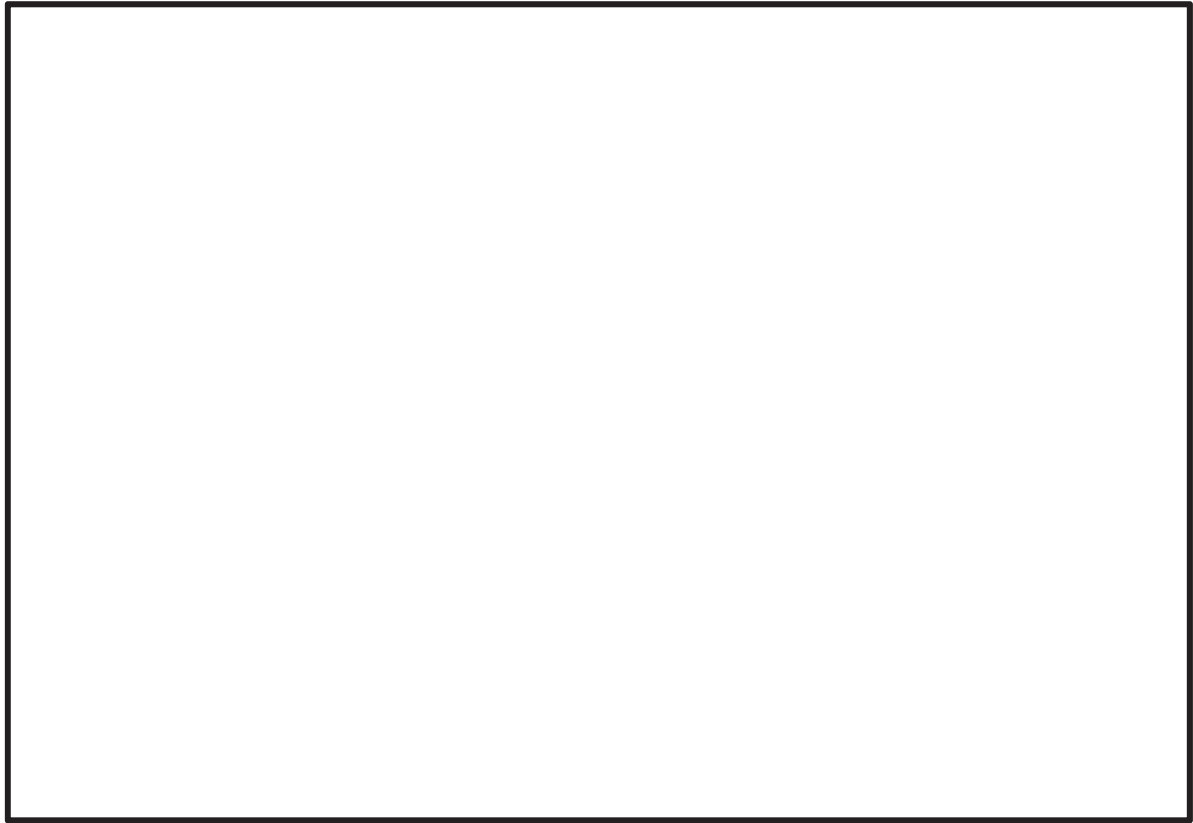


図 5-11 架構のひずみ分布図 (TFD-4 竜巻防護鋼板 [SN490B/SS400 :  $6 \leq t \leq 16$ ])

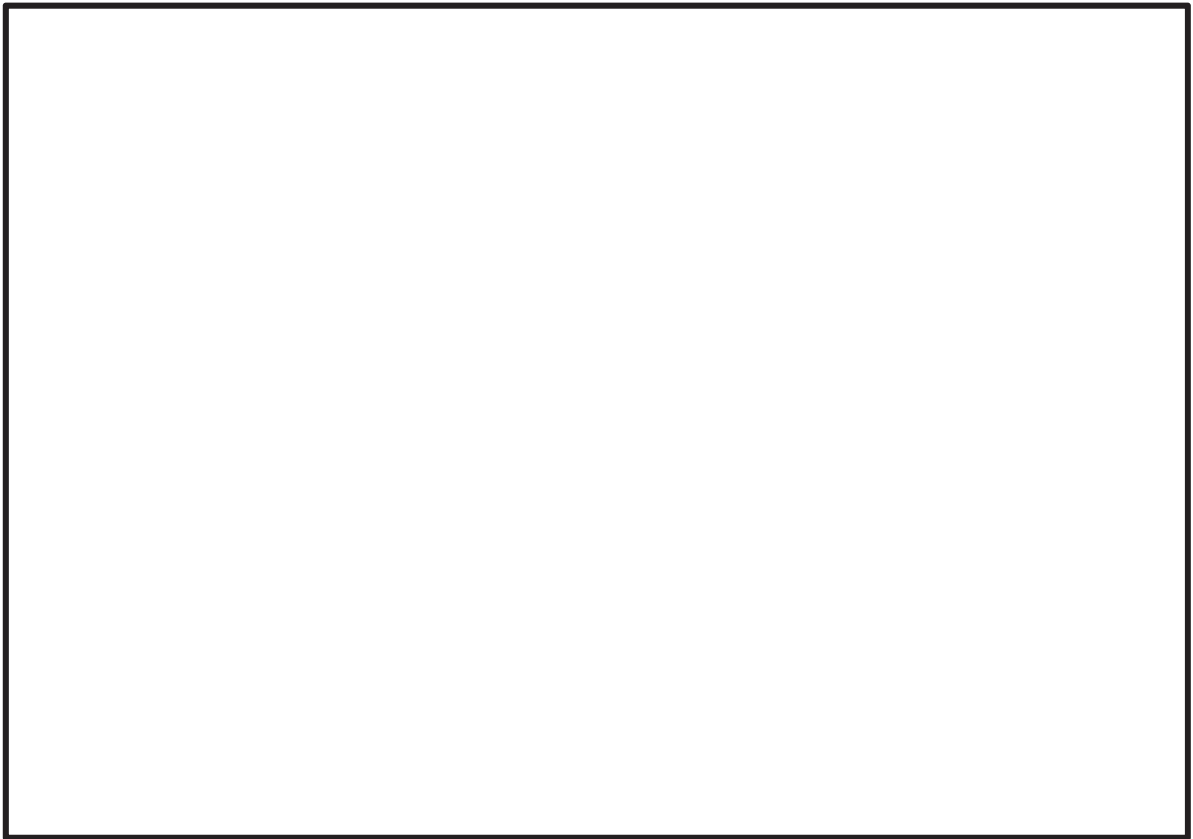


図 5-12 架構のひずみ分布図 (TFD-4 竜巻防護鋼板 [SN490B :  $16 < t \leq 40$ ])

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 固縛対象設備の選定	1
2.2 固縛装置の構造	5
2.3 荷重及び荷重の組合せ	10
2.3.1 固縛装置	10
2.3.2 資機材保管用コンテナ	24
3. 設計方針	26
3.1 固縛装置	26
3.2 資機材保管用コンテナ	27
4. 評価方針	31
5. 許容限界	32
6. 強度評価方法	33
6.1 固縛装置	33
6.1.1 記号の定義	33
6.1.2 評価対象部位	37
6.1.3 評価方法	38
6.2 資機材保管用コンテナ	47
6.2.1 記号の定義	47
6.2.2 評価対象部位	49
6.2.3 評価方法	50
7. 適用規格	53

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」に示すとおり、屋外に設置する重大事故等対処設備のうち、添付書類「VI-1-1-2-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」の「4. 竜巻防護のための固縛対象物の選定」で選定する固縛対象物に設置する固縛装置が、竜巻襲来時においても、固縛装置の構成要素が、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備に作用した場合であっても、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針について説明するものである。

## 2. 基本方針

強度設計は、「2.1 固縛対象設備の選定」に示す設備を対象として、「2.2 固縛装置の構造」に示す固縛装置が「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

### 2.1 固縛対象設備の選定

屋外に設置又は保管する重大事故等対処設備は、添付書類「VI-1-1-2-別添 1 屋外に設置されている重大事故等対処設備の抽出」に示している。屋外の重大事故等対処設備は、設計竜巻の風圧力による荷重に対して、位置的分散を考慮した設置又は保管により重大事故等に対処するために必要な機能を損なわない設計に加え、浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させることのない設計とすること、また、外部事象防護対象施設に対して波及的影響を及ぼさない設計とすることから、外部事象防護対象施設に衝突し、外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼす可能性のあるもの、並びに、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させる可能性のあるものについて固縛する設計とする。

固縛を必要とする重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）は、「VI-1-1-2-3-2 竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき、設計竜巻により飛散し、外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を考慮して選定する。

また、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させる可能性を考慮して選定する。

固縛対象設備のうち、添付書類「VI-1-1-6-別添 2 可搬型重大事故等対処設備の設計方針」のとおり、耐震設計において、サスペンションにより地震に対する影響を軽減できる構造としている車両一体型の設備を車両型の固縛対象設備とする。その他の設備は車両型以外の固縛対象設備として区分する。なお、固縛対象設備は、保管単位に対して選定する。

固縛対象設備として抽出された屋外の重大事故等対処設備の一覧を表 2-1 に示す。

なお、屋外の常設重大事故等対処設備は、設計竜巻の風圧力による荷重を考慮した設計又は設置場所により影響を受けないため、固縛対象設備として選定されない。

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧 (1/2)

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
大容量送水ポンプ (タイプ I)	車両型	台	
大容量送水ポンプ (タイプ II)	車両型	台	
ホース延長回収車	車両型	台	
取水用ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
送水用ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
注水用ヘッド	車両型以外	基	
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	車両型	台	
耐熱ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
除熱用ヘッド	車両型以外	基	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
可搬型窒素ガス供給装置	車両型	台	
窒素供給用ホース	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
窒素供給用ヘッド	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
放水砲	車両型以外	基	
泡消火薬剤混合装置	車両型以外	個	

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧 (2/2)

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
シルトフェンス	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
小型船舶	車両型以外	基	
可搬型モニタリングポスト	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
ブルドーザ	車両型以外	台	
バックホウ	車両型以外	台	
電源車	車両型	台	
電源車（緊急時対策所用）	車両型	台	
タンクローリ	車両型	台	
給油用ホース	車両型以外	基	タンクローリの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
軽油払出用ホース	車両型以外	基	タンクローリの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
代替気象観測設備	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施



## 2.2 固縛装置の構造

固縛装置は、固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を、連結材及び固定材（フレノ・リンクボルト、アンカープレート）を介してコンクリート等の基礎部で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2-2 に示す。

連結材は、固縛対象設備の外形に沿って胴巻きするメインロープ及びメインロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続するサイドロープ並びに各ロープ同士及びサイドロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する接続用ロープにて構成し、固縛対象設備に対してロープを組み合わせて取り付ける構造としている。連結材の構成要素を表 2-3 に、連結材の固縛対象設備への設置の概要を図 2-1 に示す。

車両型の固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-4（1/2）に示す。車両型の固縛対象設備は、添付書類「VI-1-1-6-別添 2 可搬型重大事故等対処設備の設計方針」のとおり、耐震設計において、サスペンションにより地震に対する影響を軽減できる構造としているため、耐震設計に影響を与えることのないよう、固縛装置の連結材に適切な余長を持たせた設計とする。

また、車両型以外の固縛対象設備の固縛装置は、車両型の固縛対象設備を固縛する場合と異なり、耐震設計として、固縛対象設備の構造を期待する設備でないこと、又は保管状態にて固縛対象設備の機能維持を確認していることより、耐震設計への影響は考慮不要とし、余長を持たせた設計とはしない。

車両型以外の固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-4(2/2)に示す。

表 2-2 固縛装置の構成要素


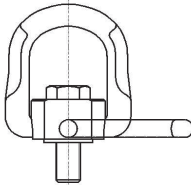
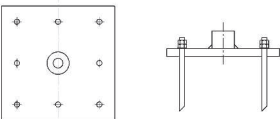
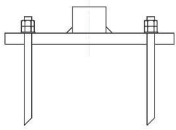
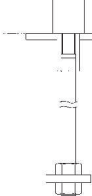
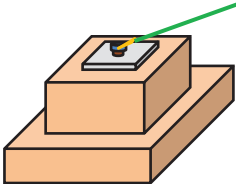
固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	メインロープ サイドロープ 接続用ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ、固縛対象設備を拘束するとき使用する。
	フレノ・リンク ボルト		アンカープレートに取り付け、リングの部分に連結材を接続し、固縛対象設備を固縛するとき使用する。
固定材	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノ・リンクボルトと連結し、固縛対象設備を固縛するとき使用する。
	アンカーボルト	 (接着系アンカーボルト)  (埋設アンカーボルト)	固定材と基礎部を定着させるために使用する。
基礎部	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により、スラブコンクリートの重量によって、固縛対象設備の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。

表 2-3 連結材の構成要素

ロープ名称		ロープ仕様	用途
メインロープ	トップロープ	φ 22*	固縛対象設備の外形に沿って胴巻きする。
	アンダーロープ		
	つなぎロープ		
サイドロープ			メインロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する。
接続用ロープ		φ 12*	メインロープを構成する各ロープ同士を接続する。 サイドロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する。

注記 \*：高強度繊維ロープを使用する。

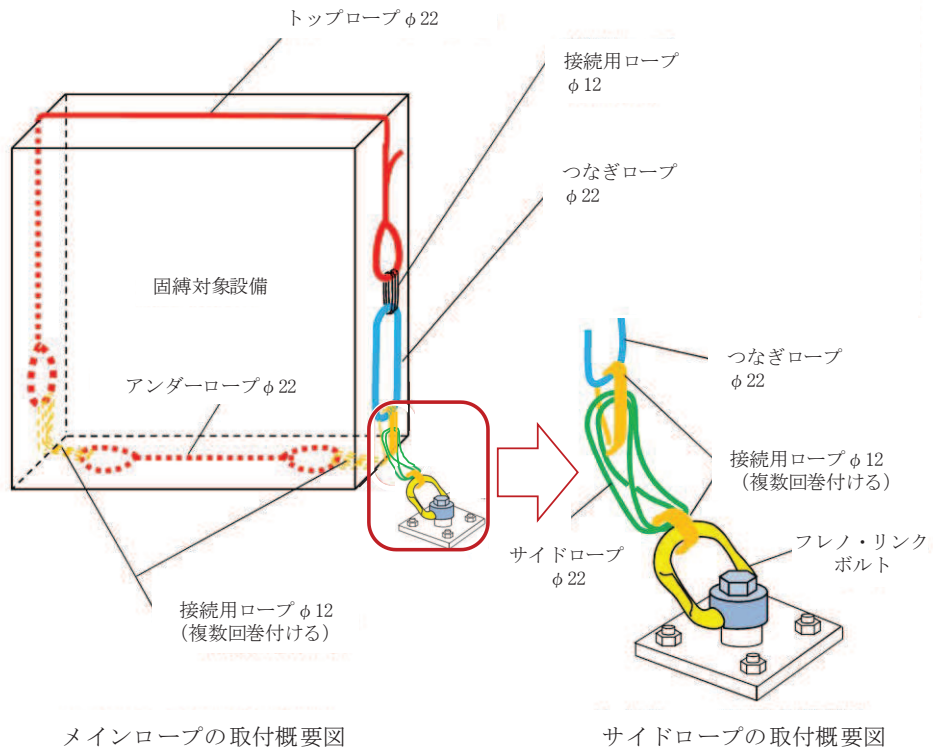
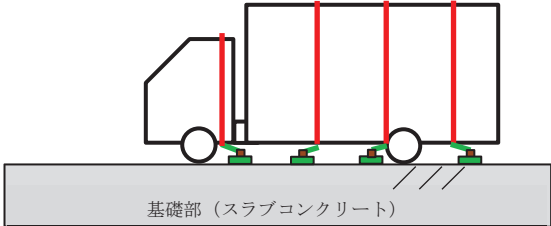
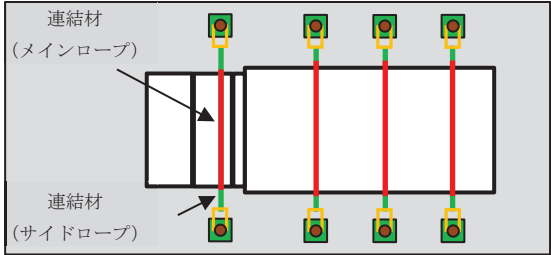
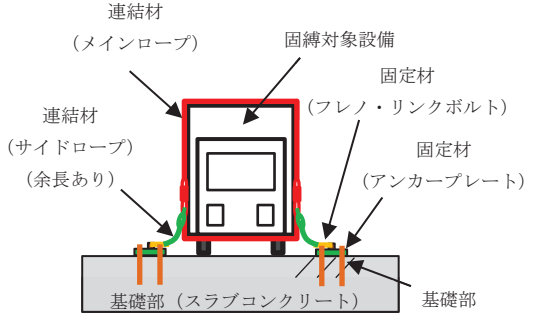


図 2-1 連結材の固縛対象設備への設置概要図

表 2-4 固縛装置の構造 (1/2)

施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型の固縛対象設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ*）を車両型の固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ*）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。</p> <p>車両型の固縛対象設備は、連結材（サイドロープ）に余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響のない設計とする。</p> <p>車両型の固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	 <p>基礎部（スラブコンクリート）</p> <p>(側面図)</p>  <p>連結材（メインロープ）</p> <p>連結材（サイドロープ）</p> <p>(上面図)</p>  <p>連結材（メインロープ）</p> <p>固縛対象設備</p> <p>固定材（フレノ・リンクボルト）</p> <p>連結材（サイドロープ）（余長あり）</p> <p>固定材（アンカープレート）</p> <p>基礎部（スラブコンクリート）</p> <p>基礎部（アンカーボルト）</p> <p>(正面図)</p>

注記 \*：接続用ロープを含む

表 2-4 固縛装置の構造 (2/2)

施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型以外の固縛対象設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ*）を車両型以外の固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ*）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで固縛する。連結材には、余長を設けない設計とする。</p>	
		<p>固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	
		<p>資機材保管用コンテナは、アンカーボルトにて基礎部に固定する。</p>	

注記 \*：接続用ロープを含む

## 2.3 荷重及び荷重の組合せ

### 2.3.1 固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって、固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に、固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は、固縛装置が浮き上がり又は横滑りの挙動を拘束するために発生する荷重であり、固縛対象設備に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。また、余長を設けた固縛装置には、横滑りを始め、移動量が設計余長を超えると連結材が展張し、固縛装置に動的荷重が作用するため、この動的荷重も設計荷重として考慮する。

固縛対象設備の区分と固縛対象設備に作用する荷重の関係を表 2-5 に示す。

なお、連結材の展張以後は、竜巻の風速場の特性を考えると、竜巻の風荷重が風向きを変えながらも固縛対象設備に持続的に作用し続けるため、連結材も展張し続け竜巻が通過するまで、固縛対象設備は、円弧を描くように環状に移動すると考えられるため、風荷重が持続荷重として継続して作用する。

また、竜巻の最大水平風速時に固縛対象設備が示す挙動は、浮き上がり又は横滑りであることから、各評価対象部位に対し、両方の荷重状態を比較し大きい荷重を設計荷重とする。

浮き上がりに伴い固縛装置に作用する荷重の算出に当たっては、空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きくなり、固縛対象設備に浮き上がりが発生する際の風荷重を考慮する。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出に当たっては、固縛対象設備に横滑りが発生する際の風荷重を考慮する。

竜巻の風速としては、設計竜巻の最大風速  $V_D = 100\text{m/s}$  を使用することとする。

なお、設計竜巻の風速場モデルにフジタモデルを適用するため、固縛対象設備に作用する最大水平風速  $V_{SA}$  は、流入層の影響を考慮した水平風速となる。流入層とは、地面付近において地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されるもので、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。したがって、流入層に配置される固縛対象設備に作用する風速は、地面からの高さに依存する。設計竜巻の評価条件を表 2-6 に示す。

表 2-5 固縛対象設備の区分と固縛対象設備に作用する荷重の関係

固縛対象設備の区分	余長	固縛対象設備に作用する荷重	
車両型	あり	持続荷重	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き上がり荷重</li> <li>・横滑り荷重（側面，正面）</li> </ul>
		動的荷重	
車両型以外	なし	持続荷重	<ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き上がり荷重</li> <li>・横滑り荷重（側面，正面）</li> </ul>

表 2-6 設計竜巻の評価条件

設計竜巻の 最大風速 $V_D$ (m/s)	設計竜巻の 最大接線風速 $V_{Rm}$ (m/s)	最大接線風速 の生じる半径 $R_m$ (m)	流入層高さ $H_i$ (m)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト 影響係数 $G$ (-)
100	85	30	15	1.226	1.0

設計竜巻の風荷重は、固縛対象設備の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため、固縛対象設備に最も厳しくなる方向の風圧力に対して、荷重を設定する。一方、風荷重は、固縛対象設備の外面に沿って作用することには変わらず、見付面積に直角方向に作用する時が、作用する風圧力が全て固縛対象設備に作用することから、最も厳しい荷重状態となるため、この時の荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2-2 に示す。





【固縛対象設備（車両型）の固縛装置に作用する荷重（動的荷重）】

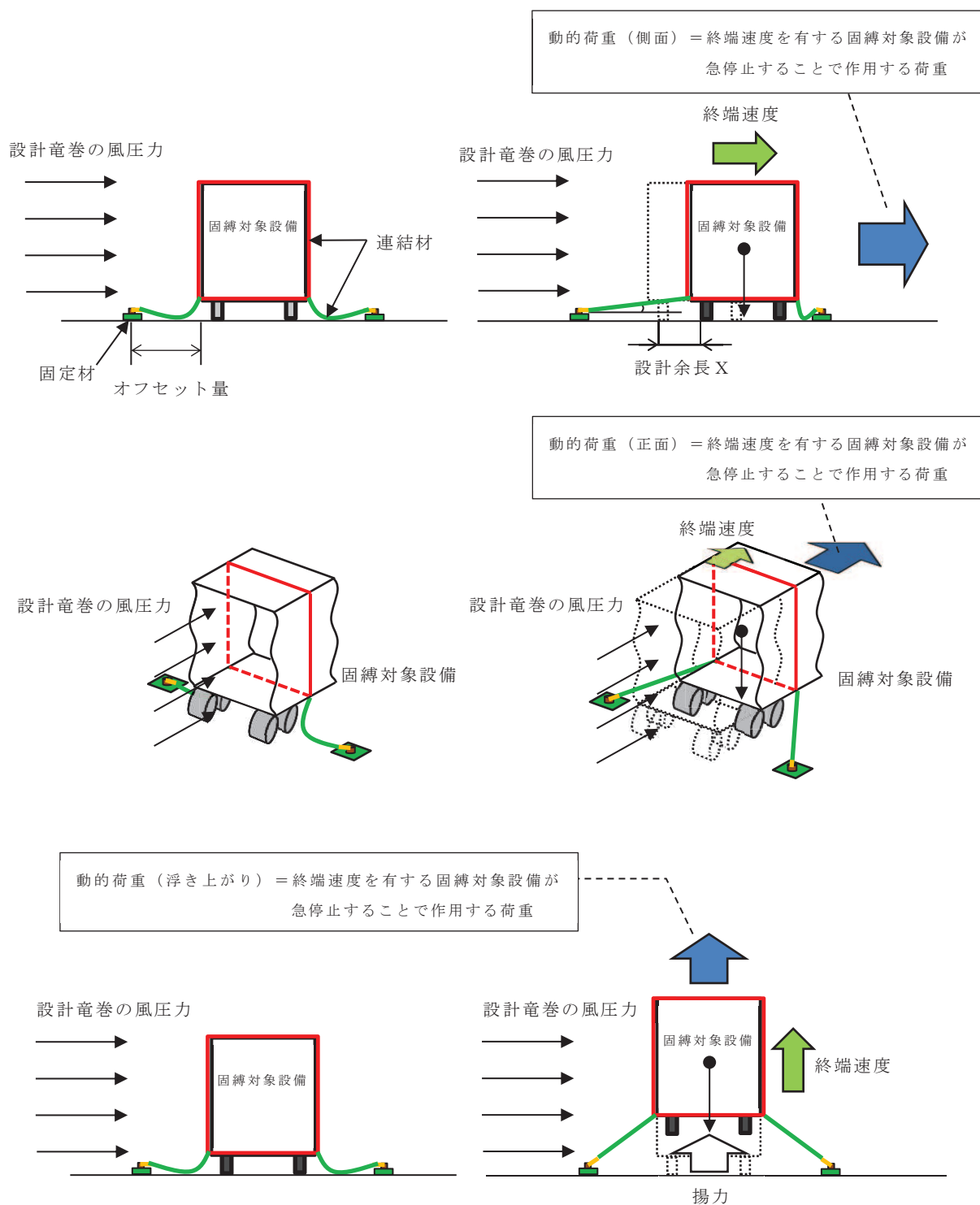


図 2-2 設計荷重の考え方の概念図（2/3）

【固縛対象設備（車両型以外）の固縛装置に作用する荷重（持続荷重）】

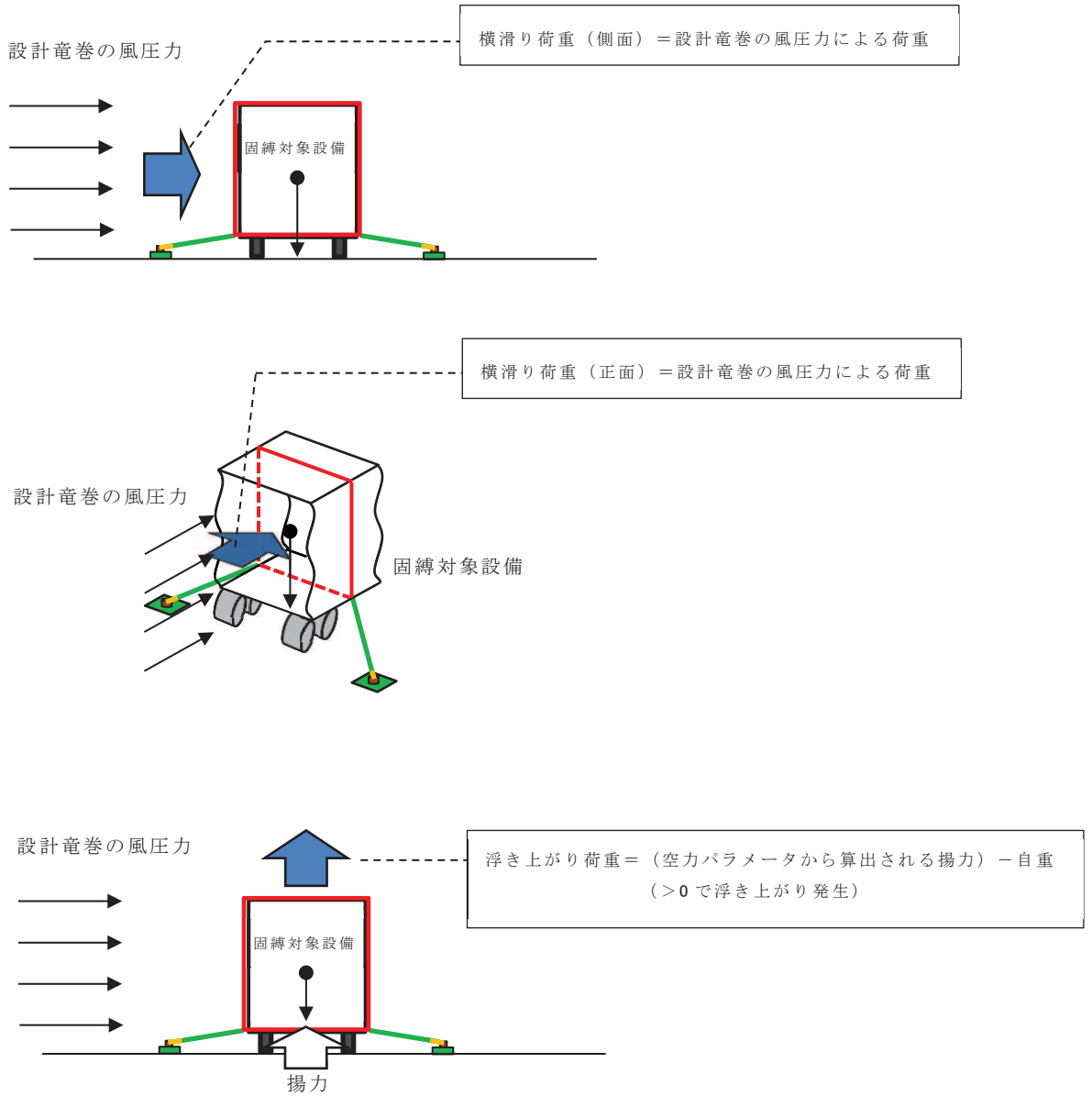


図 2-2 設計荷重の考え方の概念図（3/3）

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材、固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎部（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2) 竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し、荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-7 に示す。

表 2-7 荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$V_{Rm}$	m/s	設計竜巻の最大接線風速
$V_T$	m/s	竜巻移動速度 $V_T = 0.15 \cdot V_D$
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$R_m$	m	最大接線風速の生じる半径
$H_i$	m	流入層高さ
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m <sup>2</sup>	固縛対象設備の各面の見付面積
$W$	m	固縛対象設備の幅
$L$	m	固縛対象設備の長さ
$H$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$G$	—	ガスト影響係数
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$V_{SAS, F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS, S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
$C_D A/m$	m <sup>2</sup> /kg	空力パラメータ
$\mu_s$	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
$\mu_d$	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
$X$	mm	固縛装置の設計余長
$L_{OF}$	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
$N$	箇所	固縛装置の設置箇所数
$N'$	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$k$	N/m	連結材の等価剛性 ( $= E_{RP} \cdot A_{RP} / L_{RP}$ )
$E_{RP}$	N/mm <sup>2</sup>	連結材の弾性係数
$A_{RP}$	mm <sup>2</sup>	連結材の断面積
$L_{RP}$	m	連結材の長さ

表 2-7 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$F_d$	kN	固縛対象設備に常時作用する荷重
$F_{L, m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
$P_v$	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
$P_H$	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
$P_i$	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

b. 浮き上がり荷重

(a) 浮き上がりを考慮する対象設備の選定

浮き上がりを考慮する対象設備の選定に当たっては、固縛対象設備に対する浮き上がり荷重の発生の有無により抽出する。

(b) 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重  $P_v$  は、設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重  $> 0$ ）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力  $F_{L, m}$  を用い、以下の式にて算出する。

$$F_{L, m} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

$C_D A$  : 抗力係数と見付面積の積の平均値

保守的な揚力を空力パラメータ  $C_D A/m$  を用いた式に展開すると、浮き上がり荷重  $P_v$  は次に示す式により算出する。

$$\begin{aligned} P_v &= F_{L, m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g \\ &= m \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right) \end{aligned}$$

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下の  $C_D A/m$  として算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

c. 横滑り荷重

(a) 横滑りを考慮する対象設備の選定

横滑りを考慮する対象設備の選定に当たっては，固縛対象設備が横滑りにより移動した場合，外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処施設等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備との間に障害物がないために衝突し，損傷させる可能性がある固縛対象設備を抽出する。

固縛対象設備が保管される屋外の重大事故等対処設備の保管場所においては，外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処施設等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備と互いに衝突する可能性があるため，全固縛対象設備を，横滑りを考慮する対象設備として選定する。

(b) 横滑りに伴い発生する荷重

横滑りに伴い発生する荷重  $P_H$  は，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおり  $W_w$  とする。

$$P_H = W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A_i$$

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数 (= 1.0)

$C$  : 風力係数

$A_i$  : 受圧面積（固縛対象設備の側面若しくは正面の見付面積）

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

d. 動的荷重

(a) 動的荷重を考慮する対象設備の選定

動的荷重を考慮する対象設備の選定に当たっては，固縛装置の余長の有無により抽出する。

なお，余長を有していても風荷重の方向によって横滑り等の移動をしない場合もあり，当該ケースについては検討ケースとはしない。

(b) 固縛装置作動に伴い発生する動的荷重

固縛装置が作動（余長が展張）することで、固縛対象設備は急制動により停止し、図 2-3 に示すように、固縛装置には、制動荷重の反力として動的荷重が発生する。制動荷重は、固縛対象設備が固縛装置作動直前に有していた速度  $v_{SA}$  が  $\Delta t$  の間に 0（＝停止）になったとし、固縛対象設備が損失した運動量と力積との関係によって算出することができ、動的荷重も制動荷重の反力であるから同様に算出できる。

固縛対象設備が停止したときには、連結材を弾性体として、弾性的な荷重が作用するモデルにて評価し、固縛対象設備が損失した運動量による制動荷重の反力が、動的荷重として作用すると考え、以下の手順によって動的荷重を算出する。

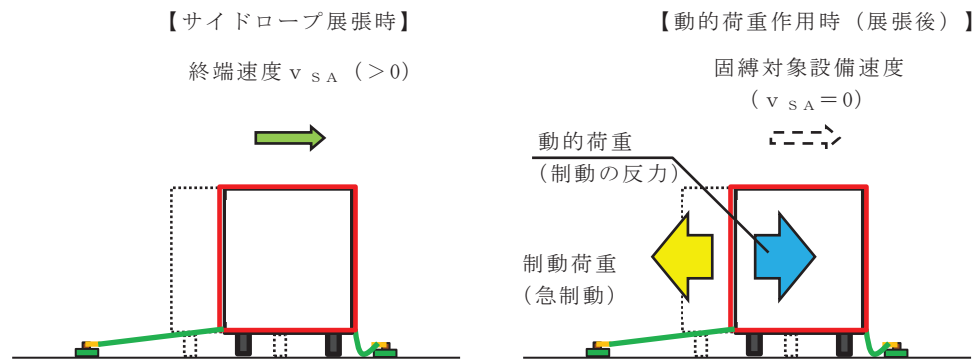


図 2-3 連結材の展張以後の固縛対象設備の概要モデル

イ. 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速  $V_{SAS, F}$  は、浮き上がり荷重  $P_V$  が 0 となる時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_D A}{m}}}$$

横滑り開始風速  $V_{SAS, S}$  は、風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, S} = \sqrt{\frac{2 \mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_s \frac{C_D A}{m} \right)}}$$

$\mu_s$  : 固縛対象設備の静摩擦係数（＝0.44）

（道路構造令の記載数値を参考として、保守的に 20km/h の路面とタイヤのすべり摩擦係数を静摩擦係数として設定）

ロ. 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度  $v_{SA, OT}$  を算出する。以下横滑りに対して，算定例を記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を，設計竜巻の風速分布曲線より，保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

$$V'_{SA} = a \cdot t + b \quad \cdots (2.1)$$

$V'_{SA}$  : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a : 風速の近似式の定数

b : 風速の近似式の定数（＝滑り出し風速）

停止している固縛対象設備が動き出し，設計余長分を移動した時の加速度  $a_{SA}$  を，荷重と加速度の関係から算出する。

$$\begin{aligned} a_{SA} &= \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V'^2_{SA} - \mu_d \cdot g \cdots (2.2) \end{aligned}$$

$F_{fd}$  : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

$\mu_d$  : 固縛対象設備の動摩擦係数（＝0.29）

（道路構造令の記載数値を参考として，保守的に120km/hの路面とタイヤのすべり摩擦係数を動摩擦係数として設定）

ここで，Kを以下に示すように置いて，(2.2)式の $V'_{SA}$ に(2.1)式を代入し，tに対する式として整理すると，(2.3)式となる。

$$K = \frac{1}{2} \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right)$$

$$a_{SA} = K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2 \cdot K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdots (2.3)$$



固縛対象設備の速度  $v_{SA}$  は、加速度  $a_{SA}$  を時間  $t$  で積分し、初期条件を考慮することで (2.4) 式となる。(初期条件  $t=0$  のとき、 $v_{SA}=0$ )

$$v_{SA} = \int a_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{3} \cdot K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2 + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdot t \cdots (2.4)$$

固縛対象設備の移動距離  $x_{SA}$  は、速度  $v_{SA}$  を時間  $t$  で積分し、初期条件を考慮すると以下の式となる。(初期条件  $t=0$  のとき、 $x_{SA}=0$ )

$$x_{SA} = \int v_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{12} \cdot K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3} \cdot K \cdot a \cdot b \cdot t^3$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdot t^2 \cdots (2.5)$$

固縛対象設備の移動距離  $x_{SA}$  が設計余長  $X$  となるケースとして、(2.5) 式を  $t$  について解くと、滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間  $t_i$  が算出できる。

(2.4) 式に  $t_i$  を代入することで、固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として、終端速度  $v_{SA, OT}$  が算出される。

#### ハ. 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重  $F_i'$  を静荷重として、動的荷重  $F_i$  による連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量は  $m \cdot v_{SA}$  である。固縛装置が作用し始めて  $\Delta t$  の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重  $F_i$  と運動量の関係は、(2.6) 式に示すとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \cdots (2.6)$$

連結材の等価剛性を  $k$  として、連結材に張力が作用し、固縛対象設備の速度が 0 になったとすると、振幅を  $B$  として、連結材の変位  $x_{RP}$  は (2.7) 式で表される。

$$x_{RP} = B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \cdots (2.7)$$

また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重  $F_i$  は (2.8) 式となる。

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (2.8)$$

$k$  : 連結材の等価剛性

(2.8) 式を (2.6) 式に代入して積分し、初期条件を考慮して振幅について解くと (2.9) 式となる。(初期条件:  $t=0$  のとき  $v_{SA} = v_{SA, OT}$ ,  $t = \Delta t$  のとき  $v_{SA} = 0$ )

$$B = v_{SA, OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (2.9)$$

また、動的荷重  $F_i$  は、(2.8) 式の正弦関数が 1 のときに最大値 ( $= k \cdot B$ ) となり、連結材の変位も最大となる。その時間  $t_i'$  は以下の式となる。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (2.10)$$

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重  $F_i'$  が作用する。

固縛対象設備に作用する風速は、(2.1) 式に  $t_i$  を代入して算出する。

なお、このとき、揚力が自重を上回る場合には、摩擦力は考慮しない。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_W - F_{fd}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot m \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V''_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は、動的荷重  $F_i$  に加えて静荷重  $F_i'$  を加算した荷重とし、動的荷重  $P_i$  とする。

(3) 荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は、常時作用荷重 ( $F_d$ )，風荷重による浮き上がり荷重 ( $P_v$ )，横滑り荷重 ( $P_H$ ) 及び動的荷重 ( $P_i$ ) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-8 「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-8 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(4) 設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては、浮き上がりに伴い発生する荷重，横滑りに伴い発生する荷重及び固縛装置が挙動を停止させることにより発生する動的荷重を考慮し，評価対象部位に対してより厳しい荷重を設計荷重とする。

### 2.3.2 資機材保管用コンテナ

重大事故等対処設備を保管する資機材保管用コンテナが、設計竜巻の風荷重により飛散し、外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備を損傷させることを防止するための固縛装置の可否を評価する。

資機材保管用コンテナの基礎部のアンカーボルトの強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって資機材保管用コンテナに作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は、資機材保管用コンテナに最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。図 2-4 に資機材保管用コンテナに対する荷重状態の概要を示す。

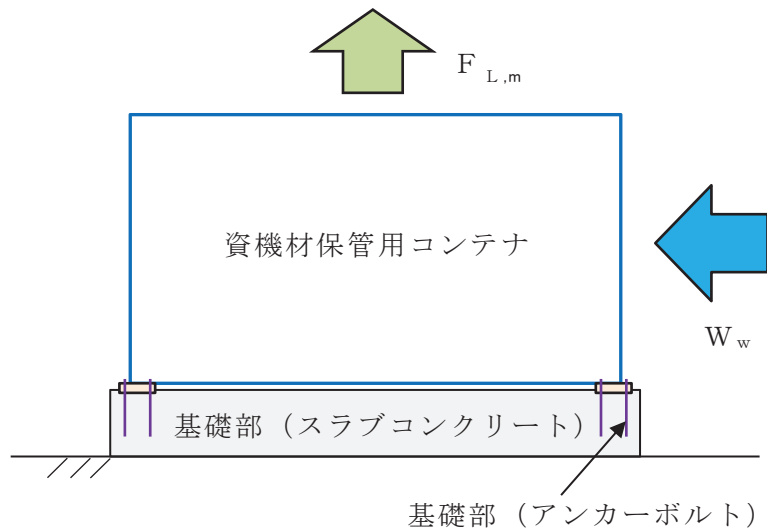


図 2-4 資機材保管用コンテナに対する荷重状態の概要

風荷重により資機材保管用コンテナに作用する荷重の算出については、「2.3.1 固縛装置」と同様とする。設計竜巻の評価条件は表 2-6 のとおりである。

#### (1) 荷重の種類

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重であるが、保守的に評価することとして、考慮しない。

##### b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、資機材保管用コンテナを介して基礎部（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより資機材保管用コンテナは風圧力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力

により資機材保管用コンテナに揚力が発生するため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2) 竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し、荷重の算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-9 に示す。

表 2-9 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	資機材保管用コンテナの形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m <sup>2</sup>	資機材保管用コンテナの各面の見付面積
W	m	資機材保管用コンテナの幅
L	m	資機材保管用コンテナの長さ
H	m	資機材保管用コンテナの高さ
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (g=9.80665)
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
G	—	ガスト影響係数
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$C_D A / m$	m <sup>2</sup> /kg	空力パラメータ
$F_d$	kN	資機材保管用コンテナに常時作用する荷重
$F_{L, m}$	kN	資機材保管用コンテナに作用する保守的に設定した揚力
$W_w$	kN	資機材保管用コンテナに作用する風荷重

b. 風荷重

設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用する風荷重であり、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおり $W_w$ とする。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

c. 揚力

資機材保管用コンテナに作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力  $F_{L, m}$  を用い、以下の式にて算出する。

$$F_{L, m} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

$C_D A$  : 抗力係数と見付面積の積の平均値

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の  $C_D A/m$  として算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

(3) 荷重の組合せ

資機材保管用コンテナに作用する荷重は、風荷重 ( $W_w$ ) 及び風荷重による揚力 ( $F_{L, m}$ ) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-10「資機材保管用コンテナの荷重の組合せ」に示す。

表 2-10 資機材保管用コンテナの荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
資機材保管用コンテナ	構造強度	$W_w + F_{L, m}$

3. 設計方針

3.1 固縛装置

固縛対象設備に風圧力による荷重が作用すると、固縛装置に風荷重に相当する荷重が伝わり、浮き上がり荷重又は横滑り荷重が作用し、固縛対象設備は移動しようとする。連結材（サイドロープ）の余長の有無により、移動が拘束される場合と連結材（サイドロープ）の展張までは移動できる場合があるが、固縛装置を構成している連

結材は、柔軟な挙動ができる部材を選定しているため、固縛対象設備に作用する荷重に伴い、連結材には引張荷重が伝達されることは同様である。なお、連結材（サイドロープ）に余長を持たせた固縛装置は、固縛対象設備の移動に伴い連結材が緊張状態になる前は、固縛装置に有意な荷重は発生しない。

以上により、固縛装置の強度設計においては、構成要素ごとに強度評価を実施する。

固縛装置は、表 2-2 に示す構成要素ごとに適切な裕度（安全率）を確保する定格荷重を定め、固縛装置に作用する荷重以上の耐力を持つ構成要素を整理すると、連結材の余長の有無に違いはあるが、構成要素は同様で、強度評価の方法に関しても同じであり、表 3-1 に示すとおりとする。

評価上最も裕度の小さい固縛装置の選定及びその固縛装置に対する強度評価について、添付書類「VI-3-別添-1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

「2.1 固縛対象設備の選定」にて選定された固縛対象設備について、固縛装置の対策目的及び型式（構成要素の組合せ）を表 3-2 に示す。

表 3-1 固縛装置の構成

型式	余長	固定材	基礎部
A	あり	フレノ・リンクボルト アンカープレート	アンカーボルト*
B	なし		

注記 \*：基礎部（アンカーボルト）は、接着系アンカーボルトで構成されるが、一部の固縛対象設備の固縛装置は、接着系アンカーボルトと埋設アンカーボルトを併用した構成としている。接着系アンカーボルトは、埋設アンカーボルトと比較して、ボルトサイズ及び埋込長さが小さいため、接着系アンカーボルトと埋設アンカーボルトを併用した固縛装置については、接着系アンカーボルトの評価を実施する。

### 3.2 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナに風圧力による荷重が作用すると、揚力及び風荷重による転倒モーメントが作用し、資機材保管用コンテナは飛散しようとすることにより、資機材保管用コンテナの強度設計においては、基礎部（アンカーボルト）の強度評価を実施する。

資機材保管用コンテナに対する強度評価について、添付書類「VI-3-別添-1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (1/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所* <sup>1</sup>	横滑り	浮き上がり		
車両型	大容量送水ポンプ (タイプ I)	台		①②③④	○	○	A	
	大容量送水ポンプ (タイプ II)	台		①②④	○	○	A	
	ホース延長回収車	台		②③④	○	○	A	
	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	台		①③④	○	○	A	
	可搬型窒素ガス供給装置	台		①④	○	○	A	
	電源車	台		②③④	○	○	A	
	電源車 (緊急時対策所用)	台		⑤	○	○	A	
	タンクローリ	台		②③④	○	○	A	
車両型以外	取水用ホース	基	コンテナに格納して保管	①②③④	○	○	B	
	送水用ホース	基	コンテナに格納して保管	①②③④	○	○	B	
	注水用ヘッド	基		②③④	○	○	B	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

①第 1 保管エリア, ②第 2 保管エリア, ③第 3 保管エリア, ④第 4 保管エリア, ⑤緊急時対策建屋北側



表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (2/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所*1	横滑り	浮き上がり		
車両型以外	耐熱ホース	基	コンテナに格納して保管	①③④	○	○	B	
	除熱用ヘッダ	基	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの車内に格納して保管	①③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	窒素供給用ホース	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①④	○	○	—	
	窒素供給用ヘッダ	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①④	○	○	—	
	放水砲	基		①④	○	○	B	
	泡消火薬剤混合装置	個		①④	○	○	B	
	シルトフェンス	基	コンテナに格納して保管	①④	○	○	B	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

①第1保管エリア, ②第2保管エリア, ③第3保管エリア, ④第4保管エリア, ⑤緊急時対策建屋北側

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (3/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所*1	横滑り	浮き上がり		
車両型 以外	小型船舶	基	専用架台に積載して保管	①④	○	○	—	
	可搬型モニタリングポスト	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①②④	○	○	—	
	ブルドーザ	台		①④	○	○	B	
	バックホウ	台		①④	○	○	B	
	給油用ホース	基	タンクローリの車内に格納して保管	②③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	軽油払出用ホース	基	タンクローリの車内に格納して保管	②③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	代替気象観測設備	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	②④	○	○	—	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

- ①第1保管エリア, ②第2保管エリア, ③第3保管エリア, ④第4保管エリア, ⑤緊急時対策建屋北側

#### 4. 評価方針

固縛装置の強度評価は、設計荷重が固縛装置に作用することにより、評価対象部位に作用する荷重及び応力等が、「5. 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「6. 強度評価方法」に示す方法により確認する。

資機材保管用コンテナの強度評価は、設計荷重が資機材保管用コンテナに作用することにより、評価対象部位に作用する荷重及び応力等が、「5. 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「6. 強度評価方法」に示す方法により確認する。

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価においては、その構造を踏まえ、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

##### (1) 強度評価方針

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フローを図 4-1 に示す。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に、固縛装置を構成している連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）に作用する荷重、応力等が、「5. 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。強度評価においては、固縛対象設備に作用する荷重算出のための風速や連結材の剛性等、また、許容限界の設定において保守性を考慮し、強度評価に対する信頼性を高めている。

資機材保管用コンテナの強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用した場合に、資機材保管用コンテナの基礎部に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が、「5. 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。強度評価においては、資機材保管用コンテナに作用する荷重の算出において保守性を考慮し、強度評価に対する信頼性を高めている。

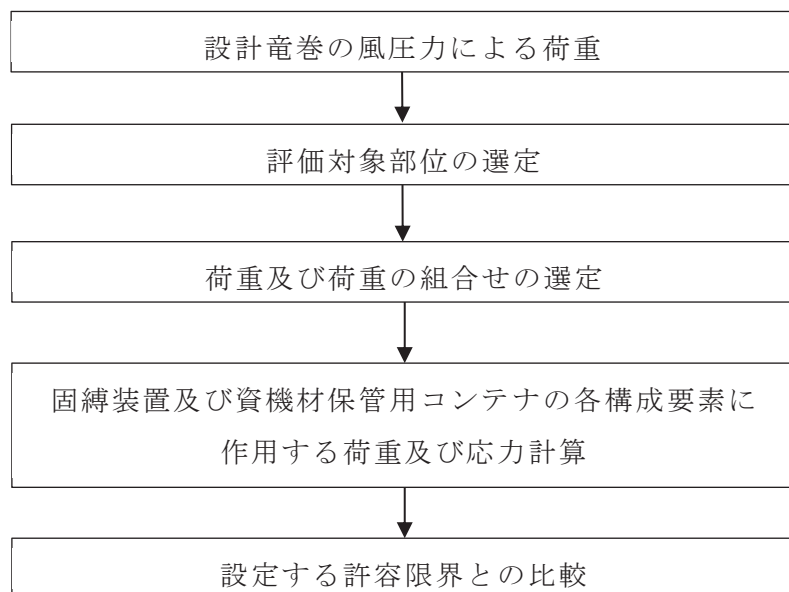


図 4-1 固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フロー

## 5. 許容限界

固縛装置及び資機材保管用コンテナの許容限界は、「6.1.2 評価対象部位」及び「6.2.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。

固縛装置に要求される機能は、竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であっても、その移動を制限し、外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止することである。そのため、竜巻による固縛対象設備の浮き上がり又は横滑りによる移動を制限する際に、固縛装置に作用する荷重に対して、固縛状態を維持することが求められる。そこで、固縛装置の許容限界としては、終局耐力を適用し、許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な強度を有する設計とする。

ただし、取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）については、竜巻襲来時に永久変形を生じさせないために、許容限界として降伏耐力又は短期許容応力度を適用することとする。

資機材保管用コンテナに要求される機能は、竜巻により設計荷重を受けた資機材保管用コンテナが飛散せず、外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止することである。そこで、資機材保管用コンテナの許容限界としては、取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）として、竜巻襲来時に永久変形を生じさせないために、許容限界として短期許容応力度を適用することとする。

なお、発電所敷地内に竜巻が発生した場合は、事象収束後、設備の損傷の有無及び竜巻の規模を確認し、損傷が確認された場合の処置については、保安規定に定める。

### (1) 連結材

固縛に必要となる連結材については、設計竜巻による荷重に対し、連結材の破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の引張強度を許容限界とする。

### (2) 固定材

#### a. フレノ・リンクボルト

固定材のうち、フレノ・リンクボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、フレノ・リンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって、使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

#### b. アンカープレート

固定材のうち、アンカープレートについては、設計竜巻による荷重に対し、鋼材の破断が生じない設計とする。

このため、「鋼構造塑性設計指針」に基づく、部材の終局耐力を許容限界とする。

(3) 基礎部（アンカーボルト）

基礎部（アンカーボルト）については、設計竜巻による荷重に対し、アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく、短期許容荷重を許容限界とする。

6. 強度評価方法

6.1 固縛装置

6.1.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

連結材の強度評価に用いる記号を表 6-1、固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-1 連結材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$P_1$	kN	連結材 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度

表 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P <sub>2</sub>	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
P <sub>3</sub>	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
F	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の降伏応力度で，基準強度 F 値を 1.1 倍した値
$\tau_y$	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容引張応力度

表 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
$h$	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノ・リンクボルト芯までの高さ
$L_1$	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
$d_t$	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
$B B$	mm	ベースプレートの幅
$B t$	mm	ベースプレートの厚さ
$B Z_{p y}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$B Z_{p x}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
$B A$	mm <sup>2</sup>	ベースプレートの断面積
$B M_y$	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
$B M_x$	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
$B M_{y-z}$	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
$B M_{p y}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
$B M_{p x}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
$B Q_x$	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$B Q_y$	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$B Q_{x-z}$	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$B Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$B Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$B Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$A \alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
$A A_e$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの有効断面積
$n$	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
$n'$	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
$A T_V$	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力
$A T_H$	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの降伏引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
$s \sigma_{q a}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7・ $f_t$ )
$A Q$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずるせん断力
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量

表 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
$Q_{a1}$	kN	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$A_L$	mm	アンカーボルトの埋込長さ
$A_{Le}$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
$A_{Lce}$	mm	アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
$A_{da}$	mm	アンカーボルトの呼び径
$A_a$	mm	アンカーボルトのピッチ
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	—	アンカーボルトのへりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
$C_1, C_2, C_3$	mm	アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
$P_{a1}$	kN	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数 (=2/3)
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの基本平均付着強度で、カプセル式・有機系の場合 ( $=10\sqrt{F_c/21}$ )
$P_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 ( $=0.31\sqrt{F_c}$ )



### 6.1.2 評価対象部位

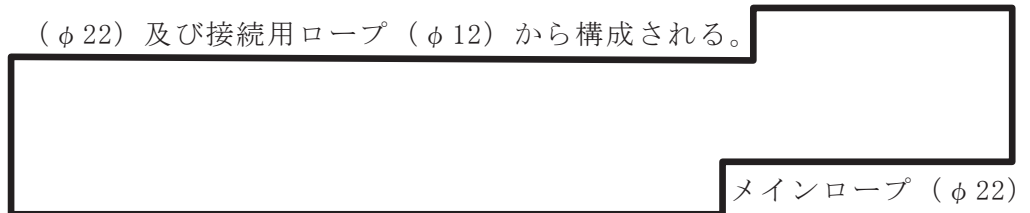
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 連結材

##### ・連結材本体

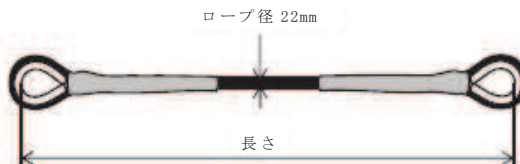
\*：連結材に作用する荷重を，メーカ提示の引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6-1 に示す連結材本体とする。

連結材は，表 2-3 に示すとおりメインロープ（ $\phi 22$ ），サイドロープ（ $\phi 22$ ）及び接続用ロープ（ $\phi 12$ ）から構成される。



及びサイドロープ（ $\phi 22$ ）は同一仕様であることから，これらの $\phi 22$ のロープを連結材の評価対象部位として選定する。

なお，接続用ロープ（ $\phi 12$ ）による各ロープの接続方法（巻付け）や接続部に対する緩み確認の日常管理の運用については，保安規定に定めて管理する。



連結材（ $\phi 22$ ）

図 6-1 連結材の評価対象部位

#### (2) 固定材

##### a. フレノ・リンクボルト

##### ・フレノ・リンクボルト本体

\*：フレノ・リンクボルトに作用する荷重は，メーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値と比較するため評価対象部位はフレノ・リンクボルト本体とする。

##### b. アンカープレート

アンカープレートについては，ベースプレートの評価対象部位として設定する。

##### ・ベースプレート

固定材の評価対象部位を図 6-2 に示す。

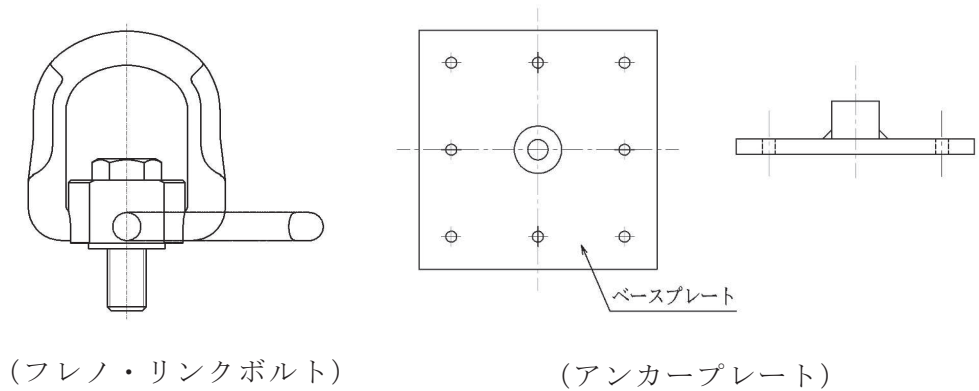


図 6-2 固定材の評価対象部位

(3) 基礎部（アンカーボルト）

アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

- ・アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-3 に示す。

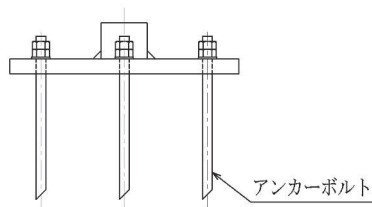


図 6-3 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

6.1.3 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×連結材 1 組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材 1 組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

a. 浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要を図 6-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、浮き上がり時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}, \frac{P}{2}\right) = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}} \quad (N' \cdot \sin \theta_{V1} \leq 2 \text{ より})$$

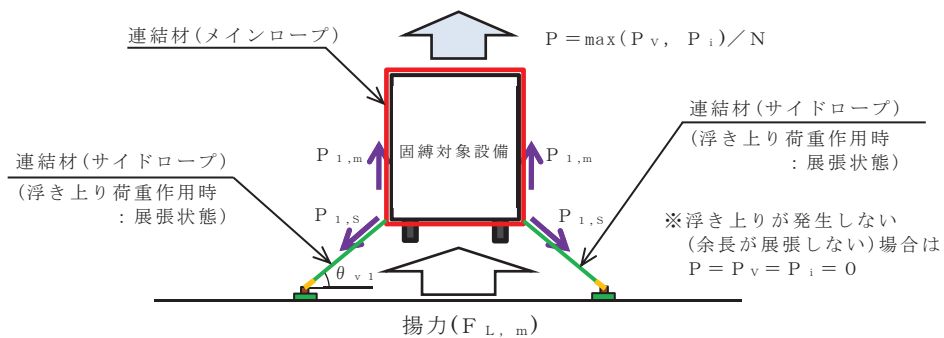


図 6-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え、連結材に作用する荷重は算定するが、横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向に対して荷重を算定する。

(a) 側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には、固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから、連結材の検討用荷重  $P_1$  は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要を図 6-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{2}\right) = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}} \quad (\cos \theta_{V2} \leq 1 < 2 \text{ より})$$

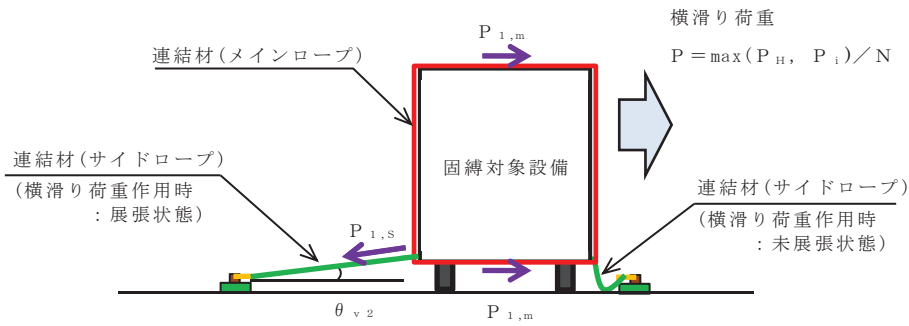


図 6-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから、連結材の検討用荷重  $P_1$  は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要を図 6-6 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{v2}}, \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\tan \theta_H}\right)$$

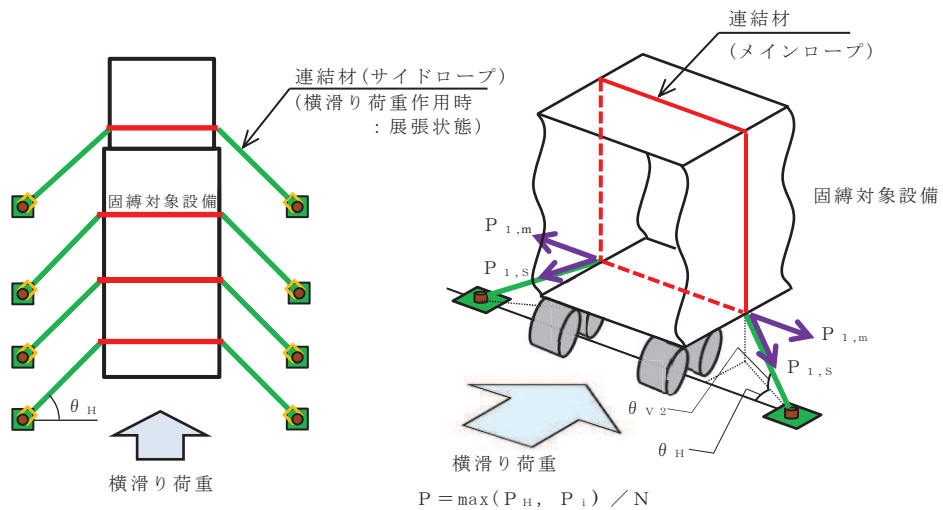


図 6-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要

(2) 固定材の評価方法

a. フレノ・リンクボルトの評価方法

フレノ・リンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に、固縛装置の設置箇

所数×フレノ・リンクボルト 1 本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、フレノ・リンクボルト 1 本当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお、フレノ・リンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから、連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重  $P_2$  とする。

また、荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}$$

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは、フレノ・リンクボルトを介して荷重を受けるため、フレノ・リンクボルトの角度により、図 6-7 に示す  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向にフレノ・リンクボルトに作用する荷重  $P_2$  の分力として、検討用荷重  $P_3$  が作用する。

アンカープレートの評価は、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

なお、フレノ・リンクボルトはボルト芯を軸として回転し、アンカープレ

ートの仕様も含めて、x方向とy方向は同一の評価条件となり、x、y方向は同じ検討モデルとなるため、以降ではx方向に作用する場合を示す。

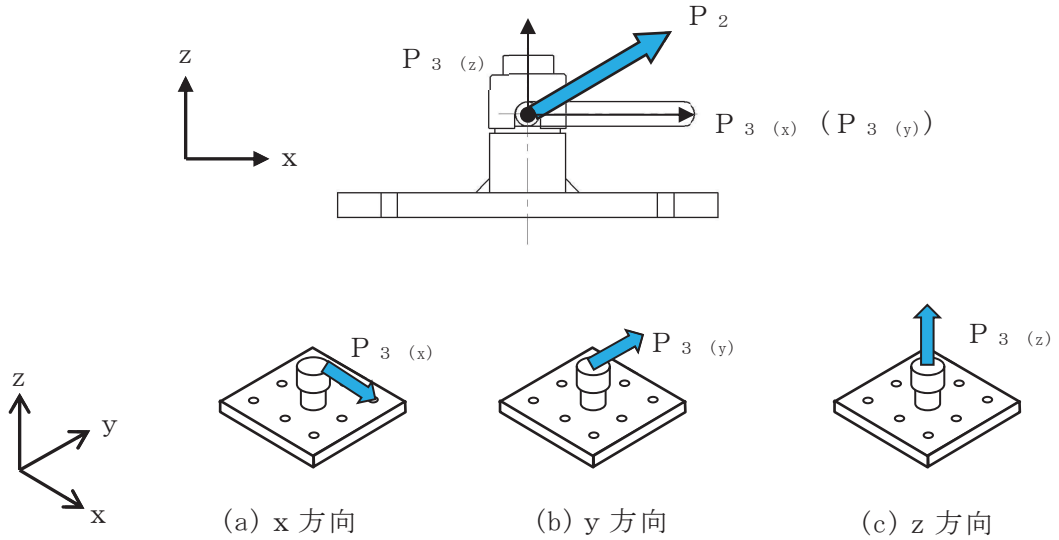


図 6-7 アンカープレートの計算モデルの概要

(b) 計算方法

イ. x (y) 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、x方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要を図 6-8 に示す。前述のとおり、x方向とy方向の計算モデルは同一条件であるため、x方向のモデルにて示す。

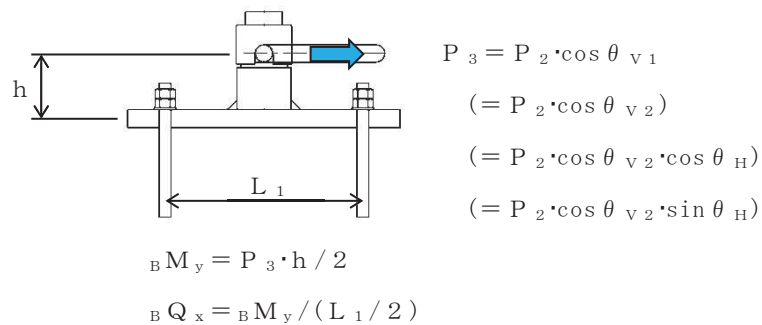


図 6-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・ 曲げに関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント  ${}_B M_y$  は、以下の式により算定する。

$${}_B M_y = P_3 \cdot \frac{h}{2}$$

ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数  ${}_B Z_{p y}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B Z_{p y} = \frac{{}_B B \cdot {}_B t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント  ${}_B M_{p y}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B M_{p y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p y} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートのせん断力  ${}_B Q_x$  は、以下の式により算定する。

$${}_B Q_x = \frac{{}_B M_y}{\frac{L_1}{2}}$$

ベースプレートの断面積  ${}_B A$  は、以下の式により算定する。

$${}_B A = {}_B B \cdot {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力  ${}_B Q_{p x}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{p x} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

ロ. z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要を図 6-9 に示す。

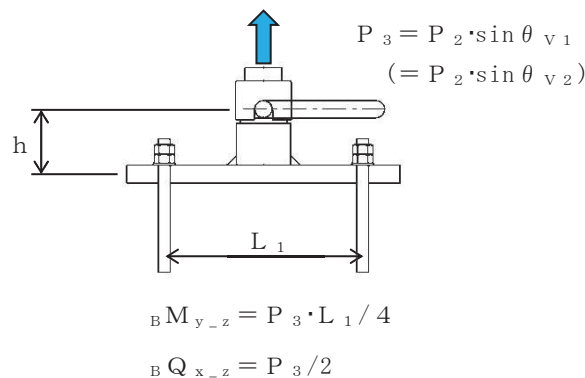


図 6-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・曲げに関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートの  $y$  軸まわり曲げモーメント  ${}_B M_{y-z}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B M_{y-z} = P_3 \cdot \frac{L_1}{4}$$

ベースプレートの  $y$  軸まわりの塑性断面係数  ${}_B Z_{p y}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B Z_{p y} = \frac{{}_B B \cdot {}_B t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの  $y$  軸まわりの終局曲げモーメント  ${}_B M_{p y}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B M_{p y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p y} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートのせん断力  ${}_B Q_{x-z}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{x-z} = \frac{P_3}{2}$$

ベースプレートの断面積  ${}_B A$  は、以下の式により算定する。

$${}_B A = {}_B B \cdot {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力  ${}_B Q_{p z}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{p z} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

a. 計算モデル

アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

b. 引張に関する検討

アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積  ${}_A A_e$  は、以下の式により算定する。

$${}_A A_e = {}_A \alpha \cdot \frac{\pi \cdot {}_A d_a^2}{4}$$



z 方向の検討用荷重  $P_3$  によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力  ${}_A T_V$  は、以下の式により算定する。

$${}_A T_V = \frac{P_3}{n}$$

x 又は y 方向の検討用荷重  $P_3$  によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力  ${}_A T_H$  は、以下の式により算定する。

$${}_A T_H = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n}$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力  $P_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot A_e \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力  $P_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot A_d \cdot A_{L_{ce}} \cdot 10^{-3}$$

$$A_{L_{ce}} = A_{L_e} - 2 \cdot A_d$$

$$A_{L_e} = A_L - A_d$$

アンカーボルトにおける付着強度  $\tau_a$  は以下の式により算定する。

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

アンカーボルトのへりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$\alpha_n = 0.5 \cdot (C_n / A_{L_e}) + 0.5$$

$$A_{L_e} = A_L - A_d$$

ここで、

$$(C_n / A_{L_e}) \geq 1.0 \text{ の場合は、 } (C_n / A_{L_e}) = 1.0$$

$$A_{L_e} \geq 10 A_d \text{ の場合は、 } A_{L_e} = 10 A_d \text{ とする。}$$

アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力  $P_a$  は、以下の式により算定する。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a3})$$

c. せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずるせん断力  ${}_A Q$  は、以下の式により算定する。

$${}_A Q = \frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot A_e \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot A_e \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積  $A_{qc}$  は、アンカーボルトのへりあき寸法を  $c$  とすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力  $Q_a$  は、以下の式により算定する。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

d. 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

$$\left[ \frac{{}_A T_H + {}_A T_V}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{{}_A Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$

## 6.2 資機材保管用コンテナ

### 6.2.1 記号の定義

#### (1) 強度評価の記号の定義

基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 6-3 に示す。

表 6-3 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
$W_w$	kN	資機材保管用コンテナに作用する風荷重
$F_{L, m}$	kN	資機材保管用コンテナに作用する保守的に設定した揚力
$F$	$N/mm^2$	鋼材の基準強度
${}_s \sigma_{pa}$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容引張応力度 ( $= 1.5 \cdot F / 1.5$ )
${}_s \sigma_{qa}$	$N/mm^2$	アンカーボルトの短期許容せん断応力度 ( $= 0.7 \cdot {}_s \sigma_{pa}$ )
$f_b$	$N/mm^2$	アンカーボルト定着板の短期許容曲げ応力度 ( $= 1.5 \cdot F / 1.3$ )
$N$	本	資機材保管用コンテナの基礎部のアンカーボルトの全数
$L_1$	m	側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$L_2$	m	正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$n_1$	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$n_2$	本	正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$P_1$	kN	揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_2$	kN	横滑り側面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_3$	kN	横滑り正面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$Q_1$	kN	横滑り側面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
$Q_2$	kN	横滑り正面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
${}_A \alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 ( $= 0.75$ )
${}_{sc} a$	$mm^2$	アンカーボルトの有効断面積

表 6-3 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
P	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力
Q	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずるせん断力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 ( $0.31\sqrt{F_c}$ )
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5\sqrt{(F_c \cdot E_c)}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
$A_c$	mm <sup>2</sup>	引張力に対するコーン状破壊面の有効水平投影面積
$A_o$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの頭部支圧面積
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$l_e$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
d	mm	アンカーボルトの呼び径
D	mm	アンカーボルトの頭部（定着板）の直径
c	mm	アンカーボルトのへりあき寸法
$P_{a1}$	kN	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a2}$	kN	定着したコンクリートのコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力

表 6-3 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
$Q_{a1}$	kN	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$f_n$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度 ( $=\sqrt{A_c/A_o} \cdot F_c$ ) ただし、 $\sqrt{A_c/A_o}$ が 6 を超える場合は 6 とする
$P_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

### 6.2.2 評価対象部位

資機材保管用コンテナの評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 基礎部（アンカーボルト）

アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-10 に示す。

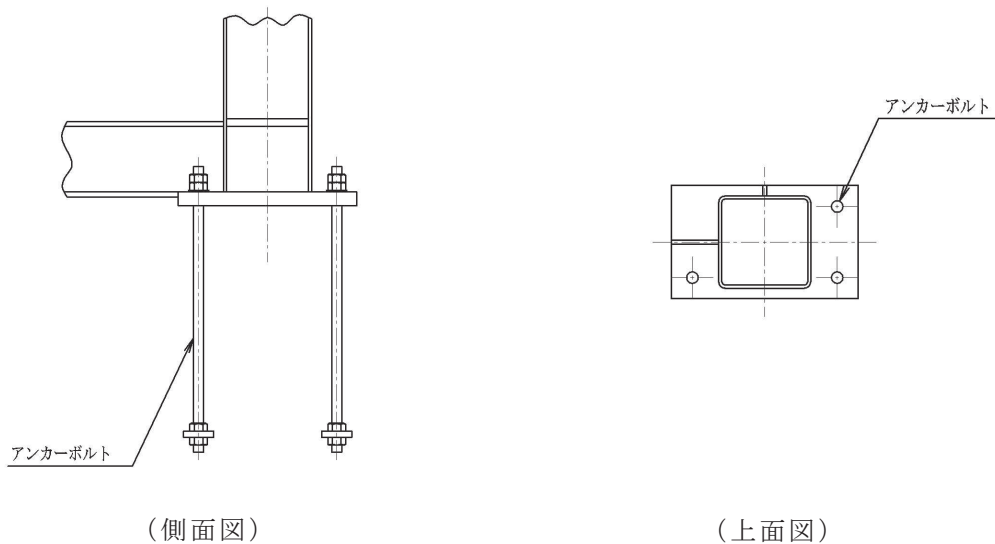


図 6-10 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 6.2.3 評価方法

#### (1) 資機材保管用コンテナの評価モデル

資機材保管用コンテナに設計竜巻による風荷重が作用し、浮き上がり及び転倒の荷重状態を考慮して、図 6-11 に示す計算モデルにて、作用する方向の荷重に対して、アンカーボルトに発生する荷重を算定し、評価を行う。

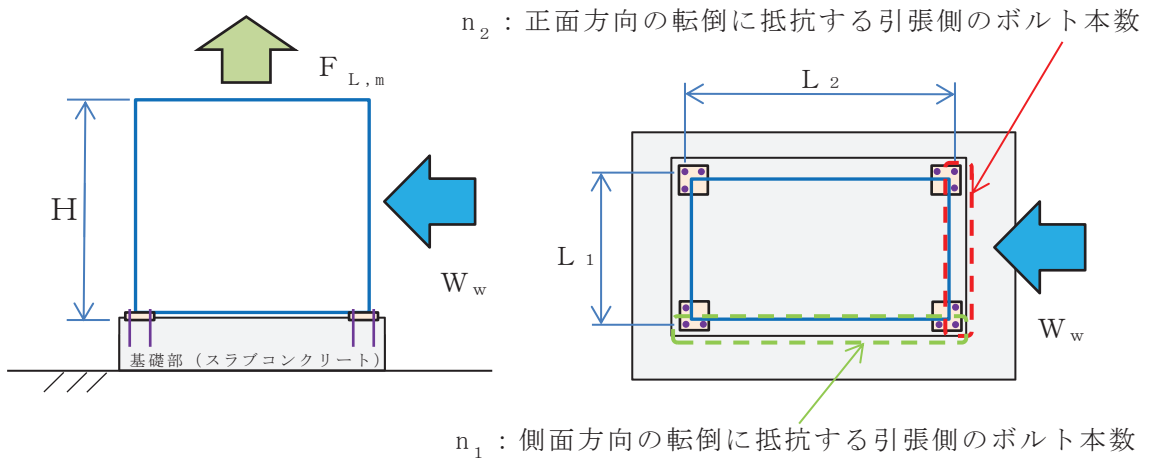


図 6-11 資機材保管用コンテナの計算モデル図

#### (2) 資機材保管用コンテナの評価方法

##### a. アンカーボルトに作用する荷重

揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P_1$  は、以下の式により算出する。

$$P_1 = \frac{F_{L,m}}{N}$$

風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P_2$ 、 $P_3$  は以下の式により算出する。この時、風荷重の作用位置は保守的に資機材保管用コンテナの頂部位置に設定する。

$$P_2 = \frac{W_w \cdot H}{L_1 \cdot n_1} \quad (\text{側面方向からの風荷重})$$

$$P_3 = \frac{W_w \cdot H}{L_2 \cdot n_2} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$

ここで、

H : 風荷重の作用位置 (基礎面よりコンテナ頂部までの高さ)

$n_1$  : 側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

$n_2$  : 正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

$L_1$  : 側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離 (図 6-11 参照)

$L_2$  : 正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離 (図 6-11 参照)

風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力  $Q_1$ ,  $Q_2$  は、以下の式により算出する。

$$Q_1 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{側面方向からの風荷重}) \quad Q_2 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$

b. 引張に関する検討

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P$  は、以下による。

$$P = \max(P_1 + P_2, P_1 + P_3)$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

定着したコンクリートのコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a3} = f_n \cdot A_0 \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力  $P_a$  は、以下の式により算定する。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$$

c. せん断に関する検討

アンカーボルトに生ずるせん断力 $Q$ は、以下による。

$$Q = Q_1, Q_2$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a1}$ は、以下の式により算定する。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a2}$ は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 $A_{qc}$ は、アンカーボルトのへりあき寸法を $c$ とすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a3}$ は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 $Q_a$ は、以下の式により算定する。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

d. 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

$$\left[ \frac{P}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$



## 7. 適用規格

添付書類「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2019年 鋼構造許容応力度設計規準
- ・日本建築学会 2010年 鋼構造塑性設計指針
- ・建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・日本鋼構造協会 1997年 構造物の耐風工学

VI-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	2
2.2	全体の構造概要	4
2.3	構成要素の構造概要	5
2.4	評価方針	8
2.5	適用規格	9
3.	強度評価方法	10
3.1	固縛装置	10
3.1.1	記号の定義	10
3.1.2	評価対象部位	15
3.1.3	荷重及び荷重の組合せ	17
3.1.4	許容限界	23
3.1.5	評価方法	25
3.2	資機材保管用コンテナ	34
3.2.1	記号の定義	34
3.2.2	評価対象部位	36
3.2.3	荷重及び荷重の組合せ	37
3.2.4	許容限界	38
3.2.5	評価方法	40
4.	評価条件	43
4.1	可搬型窒素ガス供給装置の評価条件	43
4.2	資機材保管用コンテナの評価条件	46
5.	評価結果	48
5.1	可搬型窒素ガス供給装置の評価結果	48
5.2	資機材保管用コンテナの評価結果	51

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示すとおり、固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）の固縛装置又は屋外の重大事故等対処設備を保管する資機材保管用コンテナが、竜巻襲来時における設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備又は資機材保管用コンテナに作用した場合であっても、固縛状態又は固定状態を維持するために必要な構造強度を有するように、固縛構成要素等に作用する荷重が許容限界以下であることを確認するものである。

2. 基本方針

(1) 固縛装置

固縛対象設備に設置する固縛装置は、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3. 設計方針」に示すとおり、固縛対象設備の構造によって連結材の余長の有無に違いはあるが、構成要素は同様であり、固縛装置の構成要素の組合せは表 2-1 に示すとおりである。

当該固縛装置に対して強度評価を行い、固縛状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお、固縛対象設備の設置される固縛装置の強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い固縛装置は「可搬型窒素ガス供給装置」に設置する固縛装置である。

本資料においては、当該固縛装置の評価結果を示す。

表 2-1 固縛装置の構成

固縛対象設備	余長	固定材	基礎部
車両型	あり	フレノ・リンクボルト アンカープレート	アンカーボルト
車両型以外	なし		

(2) 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナは、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3. 設計方針」に示すとおり、竜巻による風荷重により飛散することのないよう、基礎部（アンカーボルト）にて抵抗する構造であり、当該構造は対象となる資機材保管用コンテナにおいて同様である。

資機材保管用コンテナの基礎部（アンカーボルト）に対して強度評価を行い、固定状態を維持するため必要な構造強度を有していることを確認する。

なお、資機材保管用コンテナの強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い

資機材保管用コンテナは第2保管エリアの資機材保管用コンテナである。

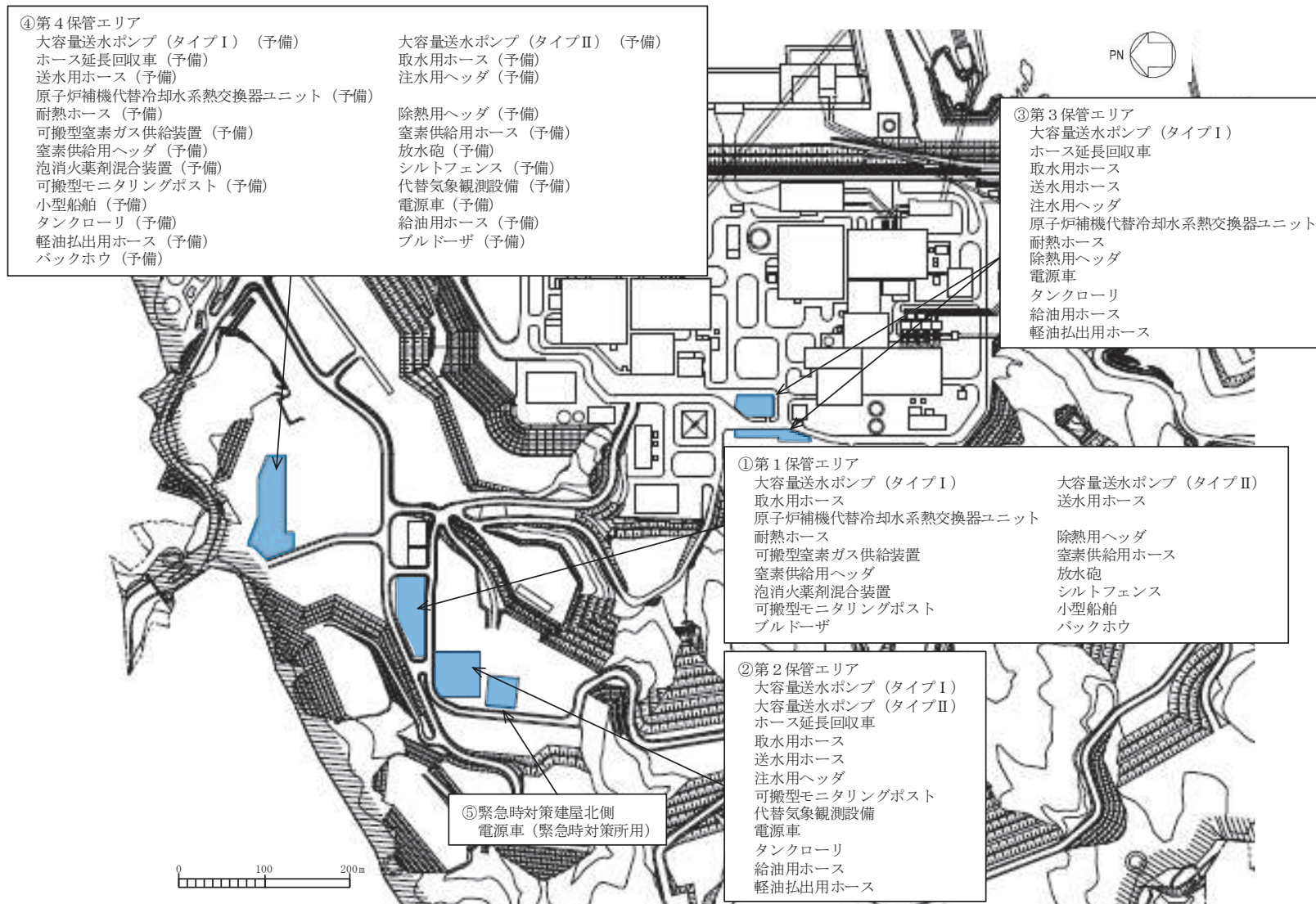
本資料においては当該資機材保管用コンテナの評価結果を示す。

## 2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、添付書類「VI-1-1-2-3-3 竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2 重大事故等対処設備」のとおり、位置的分散を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ屋外の可搬型重大事故等対処設備の保管場所に保管しており、これらの固縛装置及び資機材保管用コンテナも同じ場所に設置する。

固縛対象設備の設置場所を図 2-1 に示す。

図 2-1 固縛対象設備の設置場所



## 2.2 全体の構造概要

固縛対象設備の固縛装置及び資機材保管用コンテナの構造は、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.2 固縛装置の構造」を踏まえて設定する。

固縛対象設備の固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。また、資機材保管用コンテナは、コンテナ本体及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。

### (1) 固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、連結材を固定材であるフレノ・リンクボルト及びアンカープレートと接続し、固定材と基礎部をアンカーボルトで固定する構造である。可搬型窒素ガス供給装置に設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。

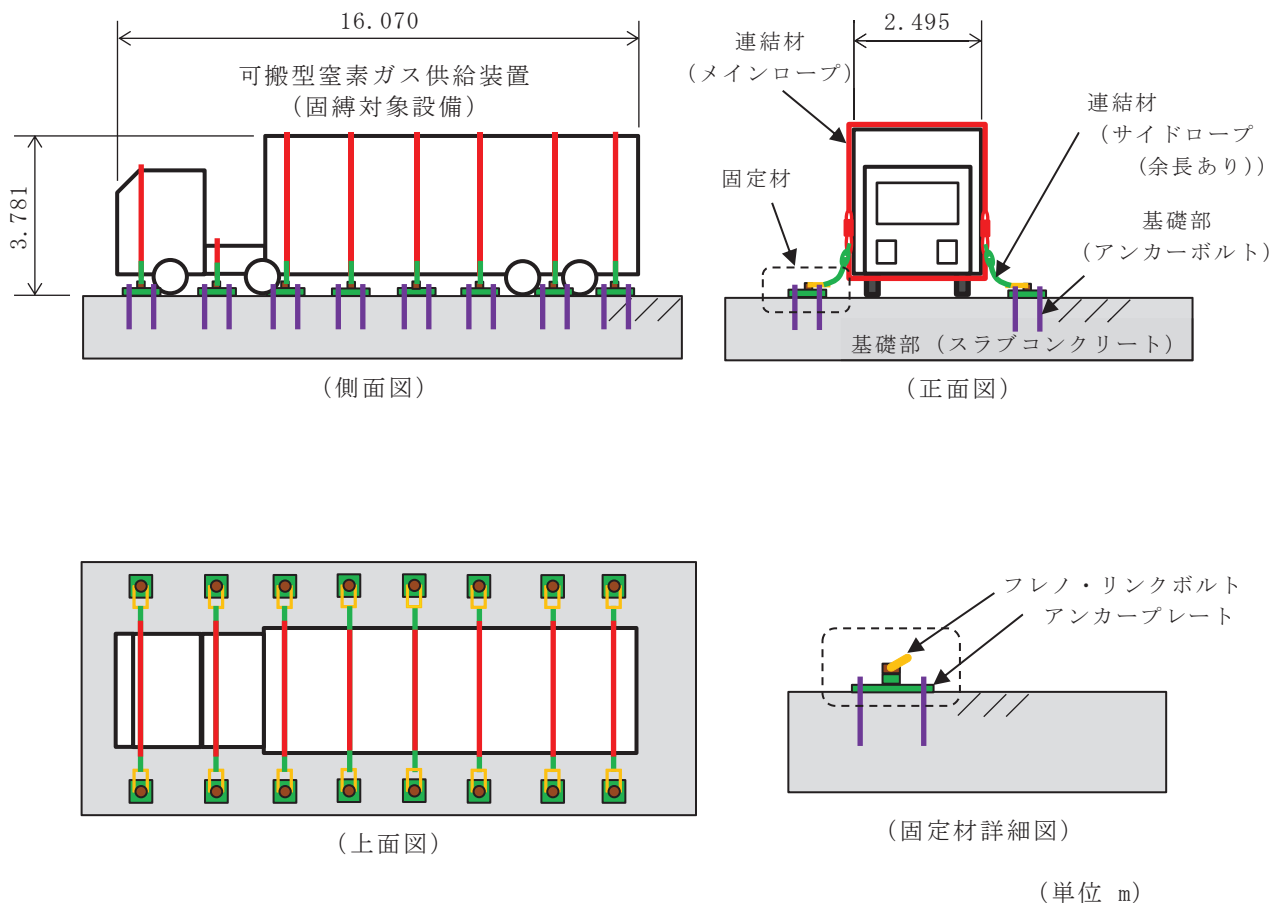


図 2-2 可搬型窒素ガス供給装置の固縛装置の概要

(2) 資機材保管用コンテナの構造概要

資機材保管用コンテナは、コンテナ本体と基礎部をアンカーボルトで固定する構造である。資機材保管用コンテナの概要を図 2-3 に示す。

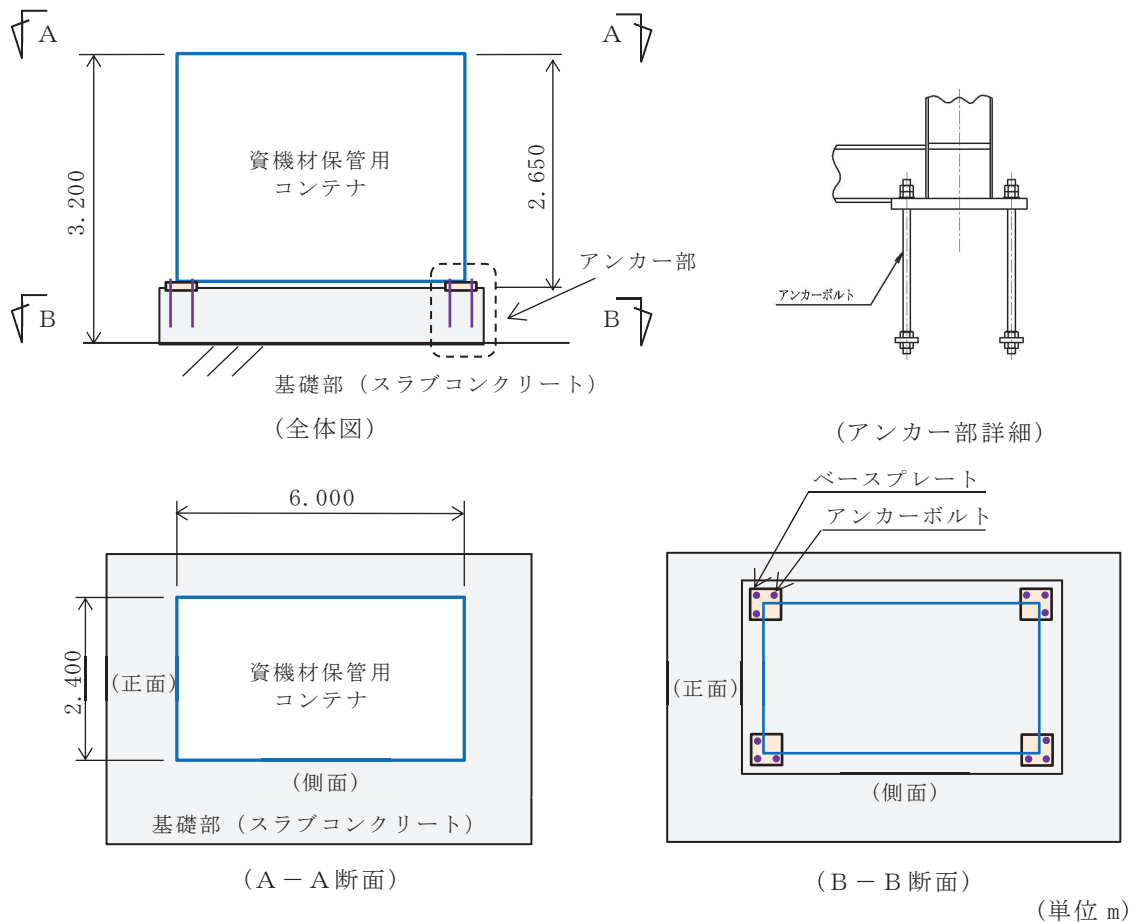


図 2-3 資機材保管用コンテナの概要

2.3 構成要素の構造概要

(1) 固縛装置

固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

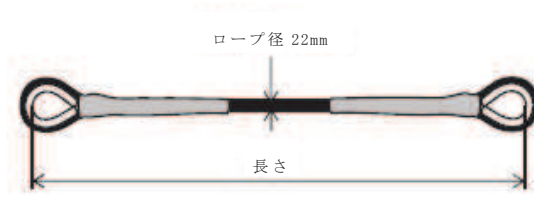
連結材の概要を図 2-4 に、固定材の概要を図 2-5 に、基礎部（アンカーボルト）の概要を図 2-6 に示す。

連結材は、固縛対象設備の外形に沿って胴巻きするメインロープ及びメインロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続するサイドロープ並びに各ロープ同士及びサイドロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する接続用ロープにて構成し、固縛対象設備に対してロープを組み合わせで取り付ける構造としている。

連結材の構成要素を表 2-2 に、連結材の固縛対象設備への設置の概要を図 2-7 に



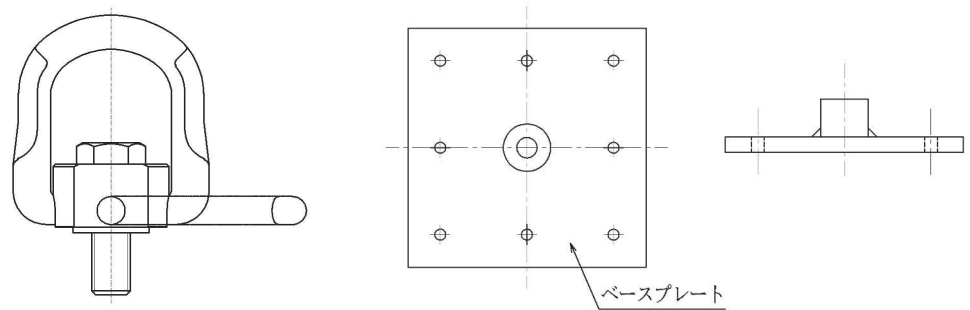
示す。



連結材 (φ22)

\* : 上記ロープの他にφ12の径も用いる。

図 2-4 連結材の概要



(フレノ・リンクボルト)

(アンカープレート)

図 2-5 固定材の概要

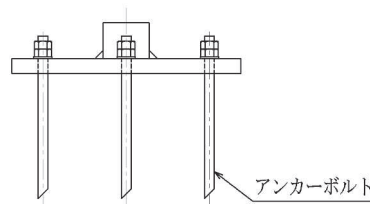
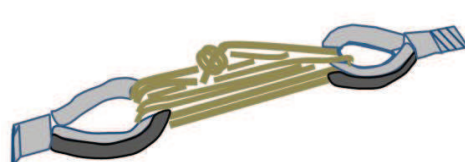
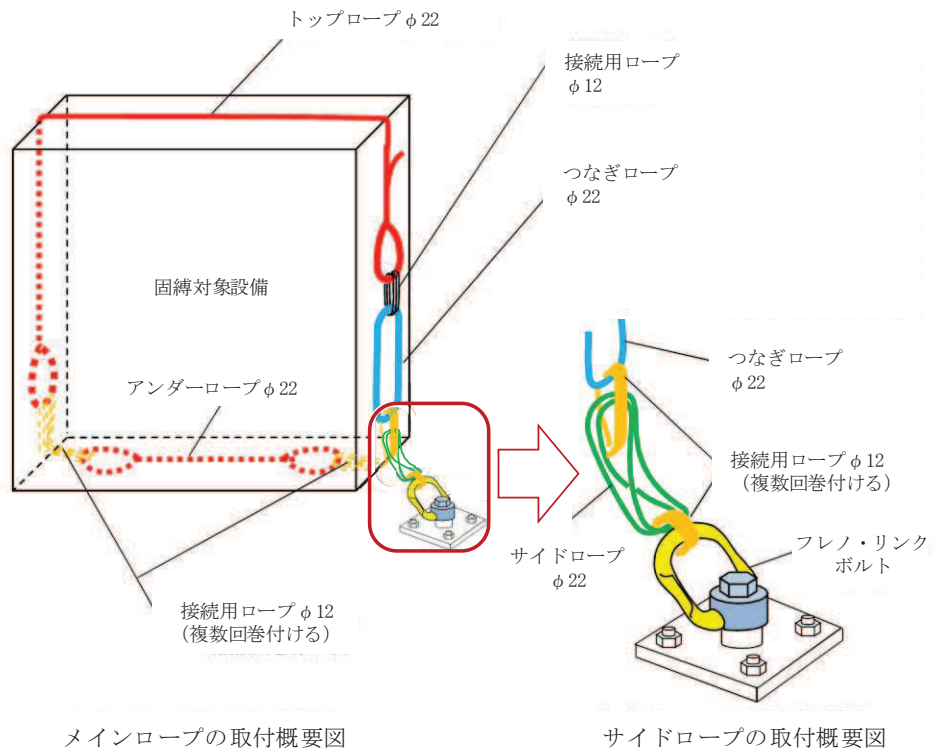


図 2-6 基礎部 (アンカーボルト) の概要

表 2-2 連結材の構成要素

ロープ名称		ロープ仕様	用途
メインロープ	トップロープ	φ 22*	固縛対象設備の外形に沿って胴巻きする。
	アンダーロープ		
	つなぎロープ		
サイドロープ			メインロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する。
接続用ロープ		φ 12*	メインロープを構成する各ロープ同士を接続する。 サイドロープと固定材（フレノ・リンクボルト）を接続する。

注記 \*：高強度繊維ロープを使用する。



連結材の接続図

接続用ロープにてトップロープやアンダーロープ等を接続する。結び方は容易に結び目が解けない様にしっかりと結ぶ図は垣根結びという結び方の一例。

図 2-7 連結材の固縛対象設備への設置概要図

(2) 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナの構成要素は、コンテナ本体及び基礎部（アンカーボルト）であり、コンテナに作用する荷重がコンテナ本体からベースプレートへ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

基礎部のうちアンカーボルトの概要を図 2-8 に示す。

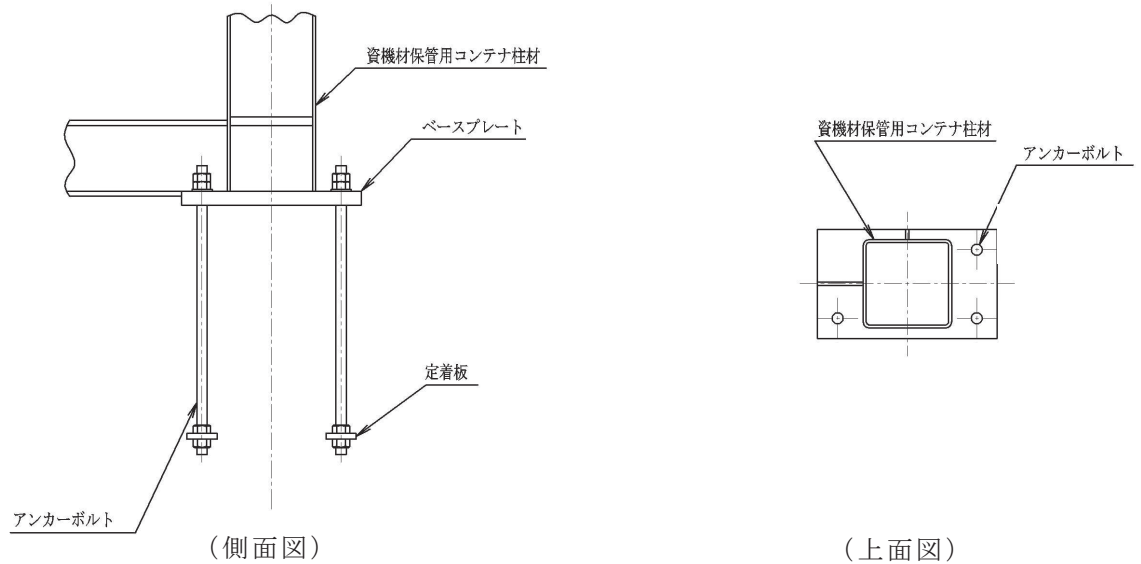


図 2-8 基礎部（アンカーボルト）の概要

2.4 評価方針

固縛装置の強度評価は、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

資機材保管用コンテナの強度評価は、設計荷重が資機材保管用コンテナに作用することにより、評価対象部位に作用する荷重及び応力等が、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 評価結果」にて確認する。

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価において、その構造を踏まえ、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

## (1) 強度評価方針

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フローを図 2-9 に示す。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に、固縛装置を構成している連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.1.4 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

資機材保管用コンテナの強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用した場合に、資機材保管用コンテナの基礎部（アンカーボルト）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.2.4 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

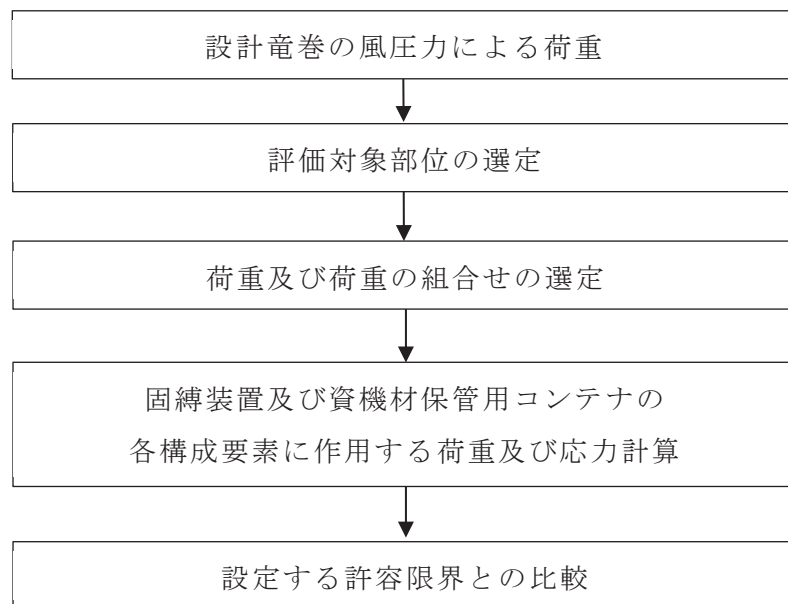


図 2-9 固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フロー

## 2.5 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計規準
- ・日本建築学会 2010 年 鋼構造塑性設計指針
- ・建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・日本建築学会 2004 年 建築物荷重指針・同解説
- ・日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・日本鋼構造協会 1997 年 構造物の耐風工学

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 固縛装置

##### 3.1.1 記号の定義

###### (1) 強度評価の記号の定義

固縛対象設備に作用する荷重の評価に用いる記号を表 3-1, 連結材の強度評価に用いる記号を表 3-2, 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1 固縛対象設備に作用する荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
$V_D$	m/s	設計竜巻の最大風速
$V_{Rm}$	m/s	設計竜巻の最大接線風速
$V_T$	m/s	竜巻移動速度 $V_T = 0.15 \cdot V_D$
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$R_m$	m	最大接線風速の生じる半径
$H_i$	m	流入層高さ
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m <sup>2</sup>	固縛対象設備の各面の見付面積
$W$	m	固縛対象設備の幅
$L$	m	固縛対象設備の長さ
$H$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$G$	—	ガスト影響係数
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$V_{SAS, F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS, S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
$C_D A/m$	m <sup>2</sup> /kg	空力パラメータ
$\mu_s$	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
$\mu_d$	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
$X$	mm	固縛装置の設計余長
$L_{OF}$	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量

表 3-1 固縛対象設備に作用する荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
k	N/m	連結材の等価剛性 ( $= E_{RP} \cdot A_{RP} / L_{RP}$ )
$E_{RP}$	N/mm <sup>2</sup>	連結材の弾性係数
$A_{RP}$	mm <sup>2</sup>	連結材の断面積
$L_{RP}$	m	連結材の長さ
$F_d$	kN	固縛対象設備に常時作用する荷重
$F_{L, m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
$P_v$	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
$P_H$	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
$P_i$	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

表 3-2 連結材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$P_1$	kN	連結材 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, m}$	kN	連結材 (メインロープ) 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, s}$	kN	連結材 (サイドロープ) 1 組あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材 (サイドロープ) と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材 (サイドロープ) と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時 (正面方向) に固縛装置の連結材 (サイドロープ) が初期位置と展張時の位置とのなす角度

表 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P <sub>2</sub>	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
P <sub>3</sub>	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時（正面方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
F	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の降伏応力度で，基準強度 F 値を 1.1 倍した値
$\tau_y$	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容引張応力度

表 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
$h$	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノ・リンクボルト芯までの高さ
$L_1$	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
$d_t$	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
$B$	mm	ベースプレートの幅
$t$	mm	ベースプレートの厚さ
$Z_{p y}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの $y$ 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの $x$ 軸まわりの塑性断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	ベースプレートの断面積
$M_y$	kN・mm	$x$ 方向検討荷重によるベースプレートの $y$ 軸まわり曲げモーメント
$M_x$	kN・mm	$y$ 方向検討荷重によるベースプレートの $x$ 軸まわり曲げモーメント
$M_{y-z}$	kN・mm	$z$ 方向検討荷重によるベースプレートの $y$ 軸まわり曲げモーメント
$M_{p y}$	kN・mm	ベースプレートの $y$ 軸まわりの終局曲げモーメント
$M_{p x}$	kN・mm	ベースプレートの $x$ 軸まわりの終局曲げモーメント
$Q_x$	kN	$x$ 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_y$	kN	$y$ 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_{x-z}$	kN	$z$ 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_{p x}$	kN	$x$ 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p y}$	kN	$y$ 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p z}$	kN	$z$ 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$\alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
$A_e$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの有効断面積
$n$	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
$n'$	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
$T_v$	kN	$z$ 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
$T_H$	kN	$x$ 又は $y$ 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
$s \sigma_{q a}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの短期許容せん断応力度 (=0.7・ $f_t$ )
$AQ$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量



表 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
$Q_{a1}$	kN	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
${}_A L$	mm	アンカーボルトの埋込長さ
${}_A L_e$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
${}_A L_{ce}$	mm	アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
${}_A d_a$	mm	アンカーボルトの呼び径
${}_A a$	mm	アンカーボルトのピッチ
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	—	アンカーボルトのへりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
$C_1, C_2, C_3$	mm	アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
$P_{a1}$	kN	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数 (=2/3)
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチを考慮した引張力に対する付着強度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの基本平均付着強度で、カプセル式・有機系の場合 (=10 $\sqrt{F_c/21}$ )
$P_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (=0.31 $\cdot\sqrt{F_c}$ )

### 3.1.2 評価対象部位

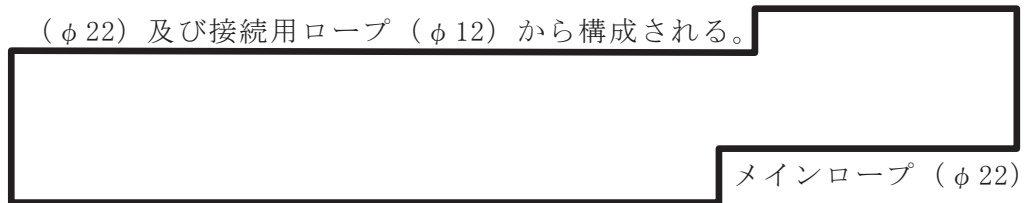
固縛装置の評価対象部位は、「2.3 構成要素の構造概要」にて設定している構造に基づき、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 連結材

- ・連結材本体（高強度繊維ロープ）

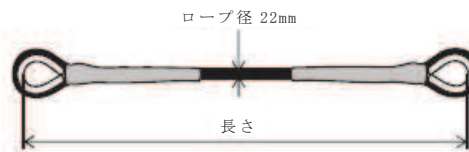
\*：連結材に作用する荷重を，メーカ提示の引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6-1 に示す連結材本体とする。

連結材は，表 2-2 に示すとおりメインロープ（ $\phi 22$ ），サイドロープ（ $\phi 22$ ）及び接続用ロープ（ $\phi 12$ ）から構成される。



及びサイドロープ（ $\phi 22$ ）は同一仕様であることから，これらの $\phi 22$ のロープを連結材の評価対象部位として選定する。

なお，接続用ロープ（ $\phi 12$ ）による各ロープの接続方法（巻付け）や接続部に対する緩み確認の日常管理の運用については，保安規定に定めて管理する。



連結材（ $\phi 22$ ）

図 3-1 連結材の評価対象部位

#### (2) 固定材

- a. フレノ・リンクボルト

- ・フレノ・リンクボルト本体

\*：フレノ・リンクボルトに作用する荷重は，メーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値と比較するため，評価対象部位はフレノ・リンクボルト本体とする。

- b. アンカープレート

アンカープレートについては，ベースプレートの評価対象部位として設定する。

- ・ベースプレート

固定材の評価対象部位を図 3-2 に示す。

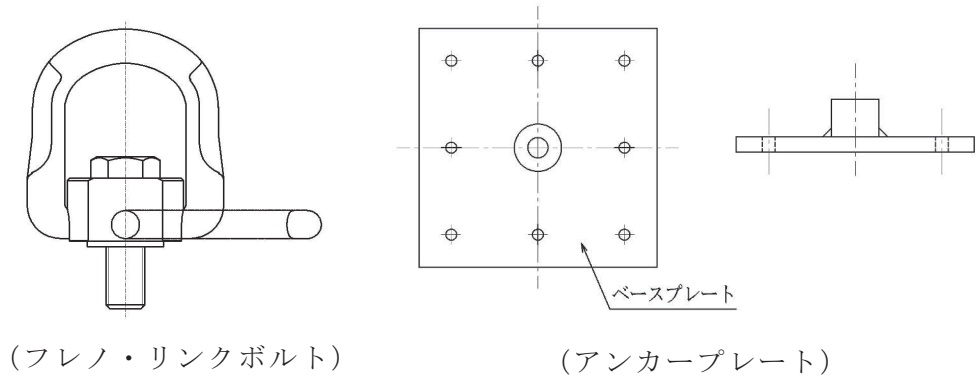


図 3-2 固定材の評価対象部位

(3) 基礎部 (アンカーボルト)

基礎部 (アンカーボルト) は、アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

- ・アンカーボルト

基礎部 (アンカーボルト) の評価対象部位を図 3-3 に示す。

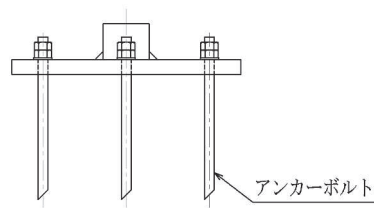


図 3-3 基礎部 (アンカーボルト) の評価対象部位

### 3.1.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 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。

#### (1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

##### b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材、固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎部（アンカーボルト）に作用する。

添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1 (1) 荷重の種類」に示すように、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

##### (a) 竜巻の風圧力による荷重

添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づき、荷重を選定する。

##### イ. 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重  $P_v$  は、設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重  $> 0$ ）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力  $F_{L, m}$  を用い、空力パラメータ  $C_D A / m$  を用いた式に展開し、浮き上がり荷重  $P_v$  は次に示すとおり算出する。

$$\begin{aligned}
 P_v &= F_{L, m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g \\
 &= m \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)
 \end{aligned}$$

$$F_{L, m} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_{DA}$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

$C_{DA}$  : 抗力係数と見付面積の積の平均値

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき，以下の  $C_{DA}/m$  として算出する。

$$\frac{C_{DA}}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

ロ. 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重  $P_H$  は，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して，次に示すとおり  $W_w$  とする。

$$P_H = W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A_i$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2$$

ハ. 動的荷重

連結材（サイドロープ）に余長を有する固縛装置が作動（余長が展張）する時に固縛対象設備の急停止に伴い固縛装置に発生する動的荷重  $P_i$  は，添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1 (2)d. 動的荷重」に基づき，以下によって算出する。

(イ) 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速  $V_{SAS, F}$  は，浮き上がり荷重  $P_V$  が 0 となる時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_{DA}}{m}}}$$

横滑り開始風速  $V_{SAS, S}$  は，風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り

合った時の風速であり，以下の式によって算出する。

$$V_{SA,S} = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_s \cdot \frac{C_D A}{m} \right)}}$$

(ロ) 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度  $v_{SA,OT}$  を算出する。以下算出は横滑りを例に記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を，設計竜巻の風速分布曲線より，保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

$$V'_{SA} = a \cdot t + b \quad \cdots \quad (3.1)$$

$V'_{SA}$  : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a : 風速の近似式の定数

b : 風速の近似式の定数 (= 滑り出し風速)

停止している固縛対象設備が動き出し，設計余長分を移動した時の加速度  $a_{SA}$  を，荷重と加速度の関係から算出する。

$$\begin{aligned} a_{SA} &= \frac{F}{m} = \frac{W_W - F_{fd}}{m} \\ &= \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V'^2_{SA} - \mu_d \cdot g \quad \cdots \quad (3.2) \end{aligned}$$

$F_{fd}$  : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

ここで，K を以下に示すように置いて，(3.2) 式の  $V'_{SA}$  に (3.1) 式を代入し，t に対する式として整理すると (3.3) 式となる。

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) \\ a_{SA} &= K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \quad \cdots \quad (3.3) \end{aligned}$$

固縛対象設備の速度  $v_{SA}$  は，加速度  $a_{SA}$  を時間 t で積分し，初期条件を考慮することで (3.4) 式となる。(初期条件 t = 0 のとき， $v_{SA} = 0$ )

$$\begin{aligned}
 v_{SA} &= \int a_{SA} dt \\
 &= \frac{1}{3}K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2 \\
 &\quad + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t \quad \dots \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

固縛対象設備の移動距離  $x_{SA}$  は、速度  $v_{SA}$  を時間  $t$  で積分し、初期条件を考慮すると以下の式となる。（初期条件  $t=0$  のとき、 $x_{SA}=0$ ）

$$\begin{aligned}
 x_{SA} &= \int v_{SA} dt \\
 &= \frac{1}{12}K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3}K \cdot a \cdot b \cdot t^3 \\
 &\quad + \frac{1}{2} (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t^2 \quad \dots \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

固縛対象設備の移動距離  $x_{SA}$  が設計余長  $X$  となる時として、(3.5) 式を  $t$  について解くと、滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間  $t_i$  が算出できる。

(3.4) 式に  $t_i$  を代入することで、固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として、終端速度  $v_{SA,OT}$  が算出される。

(ハ) 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に固縛装置に作用する動的荷重は、急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重  $F_i'$  を静荷重として、動的荷重  $F_i$  による連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量は  $m \cdot v_{SA}$  である。固縛装置が作用し始めて  $\Delta t$  の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重  $F_i$  と運動量の関係は (3.6) 式のとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \quad \dots \quad (3.6)$$

連結材の等価剛性を  $k$  として、連結材に張力が作用し、固縛対象設備の速度が  $0$  になったとすると、振幅を  $B$  として、連結材の変位  $x_{RP}$  は (3.7) 式で表される。また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重  $F_i$  は (3.8) 式となる。

$$x_{RP} = B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.7)$$

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.8)$$

次に、(3.8) 式を (3.6) 式に代入して積分し、初期条件を考慮して振幅について解くと (3.9) 式となる。(初期条件： $t=0$  のとき  $v_{SA} = v_{SA, OT}$ ,  $t = \Delta t$  のとき  $v_{SA} = 0$ )

$$B = v_{SA, OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.9)$$

また、動的荷重  $F_i$  は、(3.8) 式の正弦関数が 1 のときに最大値 (=  $k \cdot B$ ) となり、連結材の変位も最大となるその時間  $t_i'$  は、以下の式となる。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.10)$$

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重  $F_i'$  が作用する。固縛対象設備に作用する風速は、(3.1) 式に  $t_i$  を代入して算出する。

なお、このとき、揚力が自重を上回る場合には、摩擦力は考慮しない。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_W - F_{fd}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot m \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V''_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は、動的荷重  $F_i$  に加えて静荷重  $F_i'$  を加算した荷重とし、動的荷重  $P_i$  とする。



(2) 荷重の組合せ

添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す，常時作用荷重 ( $F_d$ )，風荷重による浮き上がり荷重 ( $P_v$ )，横滑り荷重 ( $P_H$ ) 及び動的荷重 ( $P_i$ ) を考慮する。  
この荷重及び荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(3) 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり，「3.1.3(1) 荷重の設定」，「3.1.3(2) 荷重の組合せ」に基づき評価した結果，最も裕度の低い固縛装置を有する可搬型窒素ガス供給装置に対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型窒素ガス供給装置に考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型窒素ガス供給装置	フレノ・リンクボルト + アンカープレート + アンカーボルト	$F_d +$ 動的荷重 $P_i$ (側面方向の横滑り)

### 3.1.4 許容限界

固縛装置の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり、「3.1.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。評価においては、許容限界以下であることを確認する。

固縛装置の強度評価における許容限界及び許容荷重を表 3-6 に示す。

#### (1) 連結材

固縛に必要となる連結材については、設計竜巻による荷重に対し、連結材の破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の引張強度を許容限界とする。

#### (2) 固定材

##### a. フレノ・リンクボルト

固定材のうち、フレノ・リンクボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、フレノ・リンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数によって、使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

##### b. アンカープレート

固定材のうち、アンカープレートについては、設計竜巻による荷重に対し、鋼材の破断が生じない設計とする。

このため、「鋼構造塑性設計指針」に基づく、部材の終局耐力を許容限界とする。

#### (3) 基礎部（アンカーボルト）

基礎部（アンカーボルト）については、設計竜巻による荷重に対し、アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく、短期許容荷重を許容限界とする。

表 3-6 固縛装置の強度評価における許容限界及び許容荷重

評価対象部位		荷重の種類	許容限界	許容荷重
連結材	メインロープ サイドロープ	引張	当社がその妥当性を確認したメーカ提示の引張強度とする。	250kN
固定材	フレノ・リンク ボルト	引張	当社がその妥当性を確認したメーカ提示の使用荷重及び安全係数に基づき、使用荷重に対し安全係数を考慮した値とする。	735.45kN
	アンカープレート	曲げ モーメント	鋼構造塑性設計指針に基づき、ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント ${}_B M_{p y}$ とし、以下の式により算定する。 ・ ${}_B M_{p y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p y} \cdot 10^{-3}$	${}_B M_{p y}$
		せん断	鋼構造塑性設計指針に基づき、x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_{p x}$ とし、以下の式により算定する。 ・ ${}_B Q_{p x} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$	${}_B Q_{p x}$
基礎部	アンカーボルト	引張	各種合成構造設計指針・同解説に基づき、アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 $P_a$ とし、以下の式により算定する。 ・ $P_a = \min(P_{a1}, P_{a3})$	$P_a$
		せん断	各種合成構造設計指針・同解説に基づき、アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 $Q_a$ とし、以下の式により算定する。 ・ $Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$	$Q_a$
		組合せ	各種合成構造設計指針・同解説に基づき、検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力 ( ${}_A T_H + {}_A T_V$ ) 及びせん断力 ( ${}_A Q$ ) が以下の式を満足するものとする。 $\cdot \left[ \frac{{}_A T_H + {}_A T_V}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{{}_A Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$	—

### 3.1.5 評価方法

#### (1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が，固縛装置の設置箇所数×連結材 1 組当たりの許容限界を超えないことを確認するため，連結材 1 組当たりに作用する荷重を，以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し，そのうち最も大きい荷重を選定する。

##### a. 浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には，両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから，連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要を図 3-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち，メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を，浮き上がり時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}}, \frac{P}{2}\right) = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}} \quad (N' \cdot \sin \theta_{v1} \leq 2 \text{ より})$$

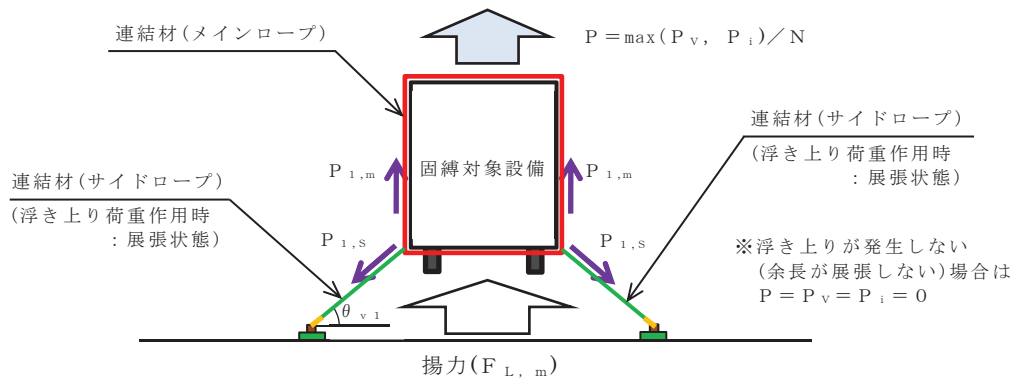


図 3-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え、連結材に作用する荷重は算定するが、横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向に対して荷重を算定する。

(a) 側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には、固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから、連結材の検討用荷重  $P_1$  は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要を図 3-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{2}\right) = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}} \quad (\cos \theta_{V2} \leq 1 < 2 \text{ より})$$

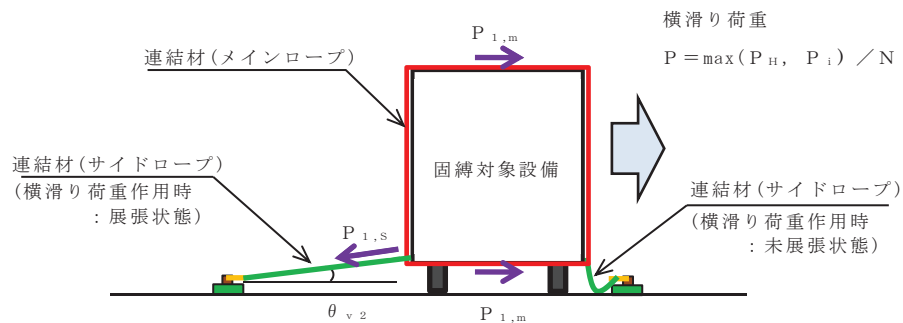


図 3-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから、連結材の検討用荷重  $P_1$  は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要を図 3-6 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープに作用する荷重のうち大きい荷重を、正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重  $P_1$  とする。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\tan \theta_H}\right)$$

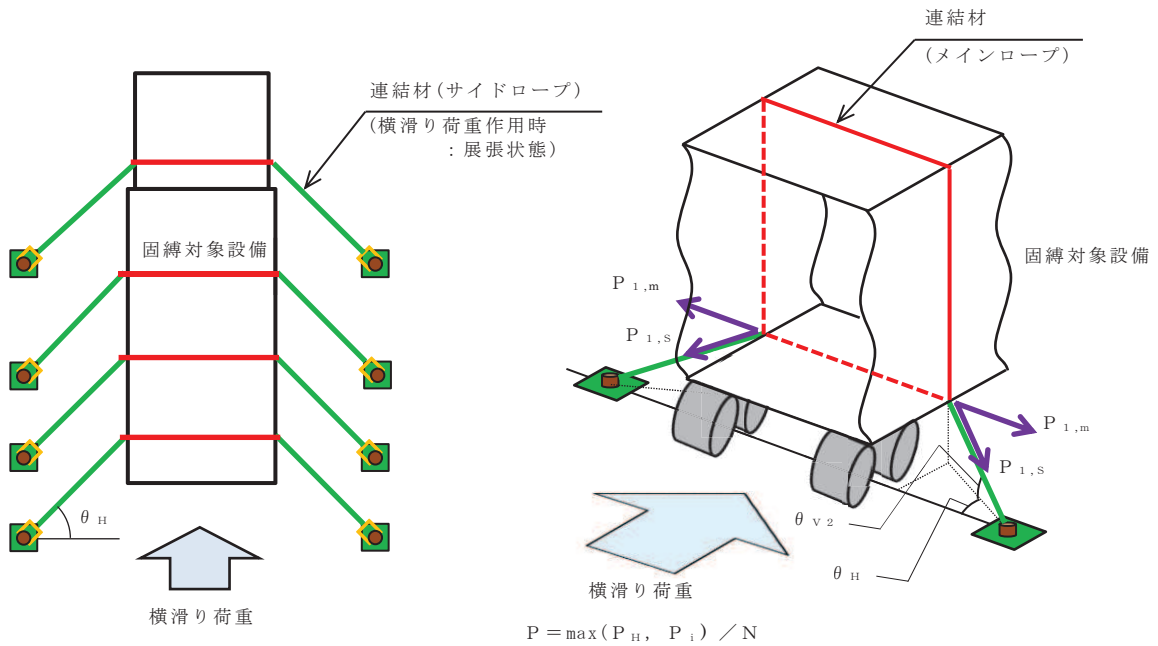


図 3-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要

(2) 固定材の評価方法

a. フレノ・リンクボルトの評価方法

フレノ・リンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に、固縛装置の設置箇所数×フレノ・リンクボルト 1 本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、フレノ・リンクボルト 1 本当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお、フレノ・リンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから、連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重  $P_2$  とする。

また、荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{N} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}$$

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノ・リンクボルトの検討用荷重  $P_2$  は以下の式で算定する。

$$P_2 = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは、フレノ・リンクボルトを介して荷重を受けるため、フレノ・リンクボルトの角度により、図 3-7 に示す  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向にフレノ・リンクボルトに作用する荷重  $P_2$  の分力として、検討用荷重  $P_3$  が作用する。

アンカープレートの評価は、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

なお、フレノ・リンクボルトはボルト芯を軸として回転し、アンカープレートの仕様も含めて、 $x$  方向と  $y$  方向は同一の評価条件となり、 $x$ 、 $y$  方向は同じ検討モデルとなるため、以降では  $x$  方向に作用する場合を示す。

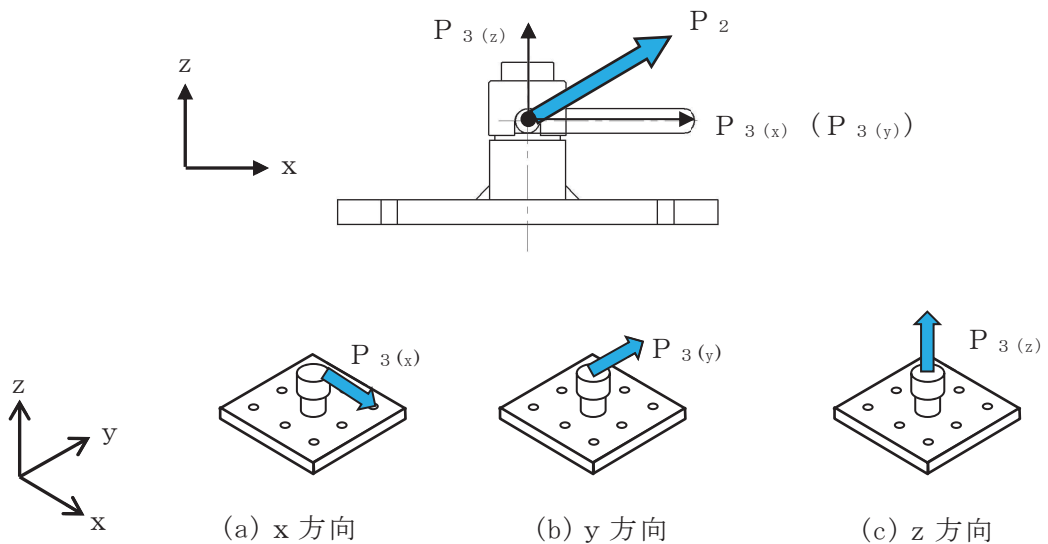


図 3-7 アンカープレートの計算モデルの概要

(b) 計算方法

イ. x (y) 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち，ベースプレートに対し，x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要を図 3-8 に示す。前述のとおり，x 方向と y 方向の計算モデルは同一条件であるため，x 方向のモデルにて示す。

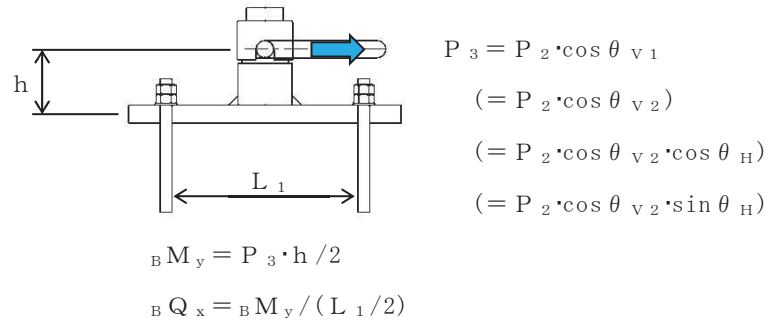


図 3-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・ 曲げに関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント  ${}_B M_y$  は，以下の式により算定する。

$${}_B M_y = P_3 \cdot \frac{h}{2}$$

ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数  ${}_B Z_{py}$  は，以下の式により算定する。

$${}_B Z_{py} = \frac{{}_B B \cdot {}_B t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント  ${}_B M_{py}$  は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

$${}_B M_{py} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{py} \cdot 10^{-3}$$

・ せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートのせん断力  ${}_B Q_x$  は，以下の式により算定する。

$${}_B Q_x = \frac{{}_B M_y}{\frac{L_1}{2}}$$

ベースプレートの断面積  ${}_B A$  は，以下の式により算定する。



$${}_B A = {}_B B \cdot {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力  ${}_B Q_{p_x}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{p_x} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

ロ. z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要を図 3-9 に示す。

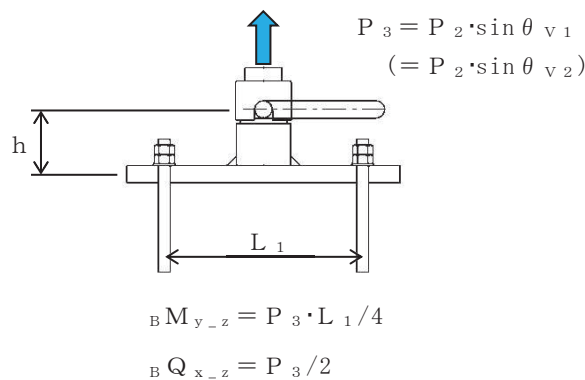


図 3-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・ 曲げに関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント  ${}_B M_{y-z}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B M_{y-z} = P_3 \cdot \frac{L_1}{4}$$

ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数  ${}_B Z_{p_y}$  は、以下の式により算定する。

$${}_B Z_{p_y} = \frac{{}_B B \cdot {}_B t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント  ${}_B M_{p_y}$  は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B M_{p_y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p_y} \cdot 10^{-3}$$

・ せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートのせん断力  ${}_B Q_{x-z}$  は、以下の

式により算定する。

$${}_B Q_{x-z} = \frac{P_3}{2}$$

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

$${}_B A = {}_B B \cdot {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_{p-z}$ は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{p-z} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

### (3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

#### a. アンカーボルトの評価方法

##### (a) 計算モデル

アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

##### (b) 引張に関する検討

アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積 ${}_A A_e$ は、以下の式により算定する。

$${}_A A_e = {}_A \alpha \cdot \frac{\pi \cdot {}_A d_a^2}{4}$$

$z$ 方向の検討用荷重 $P_3$ によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力 ${}_A T_V$ は、以下の式により算定する。

$${}_A T_V = \frac{P_3}{n}$$

$x$  又は  $y$  方向の検討用荷重 $P_3$ によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力 ${}_A T_H$ は、以下の式により算定する。

$${}_A T_H = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n}$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 $P_{a1}$ は、以下の式により算定する。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot {}_A A_e \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許

容引張力  $P_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot A_d \cdot A_{L_{ce}} \cdot 10^{-3}$$

$$A_{L_{ce}} = A_{L_e} - 2 \cdot A_d$$

$$A_{L_e} = A_L - A_d$$

アンカーボルトにおける付着強度  $\tau_a$  は以下の式により算定する。

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

アンカーボルトのへりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

$$\alpha_n = 0.5 \cdot (C_n / A_{L_e}) + 0.5$$

$$A_{L_e} = A_L - A_d$$

ここで、

$$(C_n / A_{L_e}) \geq 1.0 \text{ の場合は、 } (C_n / A_{L_e}) = 1.0$$

$$A_{L_e} \geq 10A_d \text{ の場合は、 } A_{L_e} = 10A_d \text{ とする。}$$

アンカーボルトの 1 本当たりの短期許容引張力  $P_a$  は、以下の式により算定する。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a3})$$

(c) せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力  $AQ$  は、以下の式により算定する。

$$AQ = \frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot A_e \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot A_e \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積  $A_{qc}$  は、アンカーボルトのへりあき寸法を  $c$  とすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力  $Q_a$  は、以下の式により算定する。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

(d) 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

$$\left[ \frac{A T_H + A T_V}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{A Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$

### 3.2 資機材保管用コンテナ

#### 3.2.1 記号の定義

##### (1) 強度評価の記号の定義

基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-7 に示す。

表 3-7 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
$W_w$	kN	資機材保管用コンテナに作用する風荷重
$F_{L, m}$	kN	資機材保管用コンテナに作用する保守的に設定した揚力
$F$	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の基準強度
${}_s \sigma_{pa}$	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容引張応力度 (= $1.5 \cdot F / 1.5$ )
${}_s \sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの短期許容せん断応力度 (= $0.7 \cdot {}_s \sigma_{pa}$ )
$f_b$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルト定着板の短期許容曲げ応力度 (= $1.5 \cdot F / 1.3$ )
$N$	本	資機材保管用コンテナの基礎部のアンカーボルトの全数
$L_1$	m	側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$L_2$	m	正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$n_1$	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$n_2$	本	正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$P_1$	kN	揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_2$	kN	横滑り側面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_3$	kN	横滑り正面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$Q_1$	kN	横滑り側面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
$Q_2$	kN	横滑り正面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
$A_\alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_s c_a$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの有効断面積

表 3-7 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
P	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力
Q	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずるせん断力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの許容引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
${}_c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 ( $0.31 \cdot \sqrt{F_c}$ )
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
$A_c$	mm <sup>2</sup>	引張力に対するコーン状破壊面の有効水平投影面積
$A_o$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの頭部支圧面積
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$\ell_e$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
d	mm	アンカーボルトの呼び径
D	mm	アンカーボルトの頭部（定着板）の直径
c	mm	アンカーボルトのへりあき寸法
$P_{a1}$	kN	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a2}$	kN	定着したコンクリートのコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力

表 3-7 基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
$Q_{a1}$	kN	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$f_n$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度(= $\sqrt{(A_c/A_o)} \cdot F_c$ ) ただし、 $\sqrt{(A_c/A_o)}$ が 6 を超える場合は 6 とする
$P_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

### 3.2.2 評価対象部位

資機材保管用コンテナの評価対象部位は、「2.2(2) 資機材保管用コンテナの構造概要」にて設定している構造に基づき、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 基礎部（アンカーボルト）

アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 3-10 に示す。

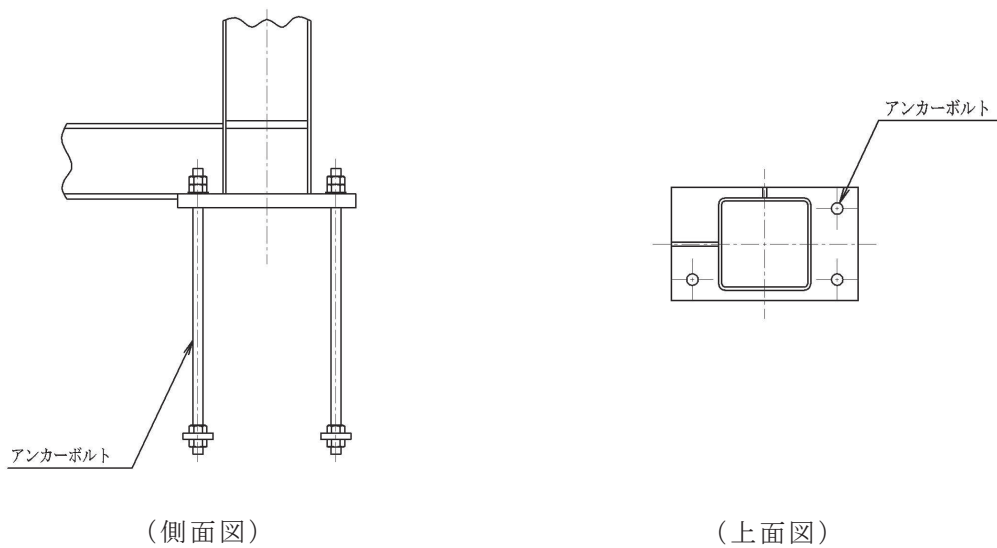


図 3-10 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 3.2.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 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。

#### (1) 荷重の設定

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重であるが、保守的に評価することとして、考慮しない。

##### b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、資機材保管用コンテナを介して基礎部（アンカーボルト）に作用する。竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより資機材保管用コンテナは風圧力を受けるが、鉛直方向に対しても風圧力により資機材保管用コンテナに揚力が発生するため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

#### (a) 竜巻の風圧力による荷重

添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づき、荷重を選定する。

##### イ. 風荷重

設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用する風荷重であり、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおり  $W_w$  とする。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

##### ロ. 揚力

資機材保管用コンテナに作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力  $F_{L, m}$  を用い、以下の式にて算出する。

$$F_{L, m} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A$$

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大水平風速

$C_D A$  : 抗力係数と見付面積の積の平均値

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の  $C_D A/m$  として算出する。



$$\frac{C_D A}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

(2) 荷重の組合せ

添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す，風荷重（ $W_w$ ）及び風荷重による揚力（ $F_{L, m}$ ）を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 3-8「資機材保管用コンテナの荷重の組合せ」に示す。

表 3-8 資機材保管用コンテナの荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
資機材保管用コンテナ	構造強度	$W_w + F_{L, m}$

(3) 資機材保管用コンテナに考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり，「3.2.3(1) 荷重の設定」，「3.2.3(2) 荷重の組合せ」に基づき評価した結果，最も裕度の低い第2保管エリアの資機材保管用コンテナに対して考慮する荷重を表 3-9 に示す。

表 3-9 資機材保管用コンテナに考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
資機材保管用コンテナ (第2保管エリア)	アンカーボルト	$W_w$ (側面方向) + $F_{L, m}$

3.2.4 許容限界

資機材保管用コンテナの許容限界は，添付書類「VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり，「3.2.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位に対し，評価内容に応じて設定する。評価においては，許容限界以下であることを確認する。

資機材保管用コンテナの強度評価における許容限界及び許容荷重を表 3-10 に示す。

(1) 基礎部（アンカーボルト）

基礎部（アンカーボルト）については，設計竜巻による荷重に対し，アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため，「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく，短期許容荷重を許容限界とする。

表 3-10 資機材保管用コンテナの強度評価における許容限界及び許容荷重

評価対象部位	荷重の種類	許容限界	許容荷重
基礎部 (アンカーボルト)	引張	各種合成構造設計指針・同解説に基づき，アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力 $P_a$ とし，以下の式により算定する。 ・ $P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$	$P_a$
	せん断	各種合成構造設計指針・同解説に基づき，アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 $Q_a$ とし，以下の式により算定する。 ・ $Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$	$Q_a$
	組合せ	各種合成構造設計指針・同解説に基づき，検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力 $P$ 及びせん断力 $Q$ が以下の式を満足するものとする。 ・ $\left[\frac{P}{P_a}\right]^2 + \left[\frac{Q}{Q_a}\right]^2 \leq 1$	—

### 3.2.5 評価方法

#### (1) 資機材保管用コンテナの評価モデル

資機材保管用コンテナに設計竜巻による風荷重が作用し、浮き上がり及び転倒の荷重状態を考慮して、図 3-11 に示す計算モデルにて、作用する方向の荷重に対して、アンカーボルトに発生する荷重を算定し、評価を行う。

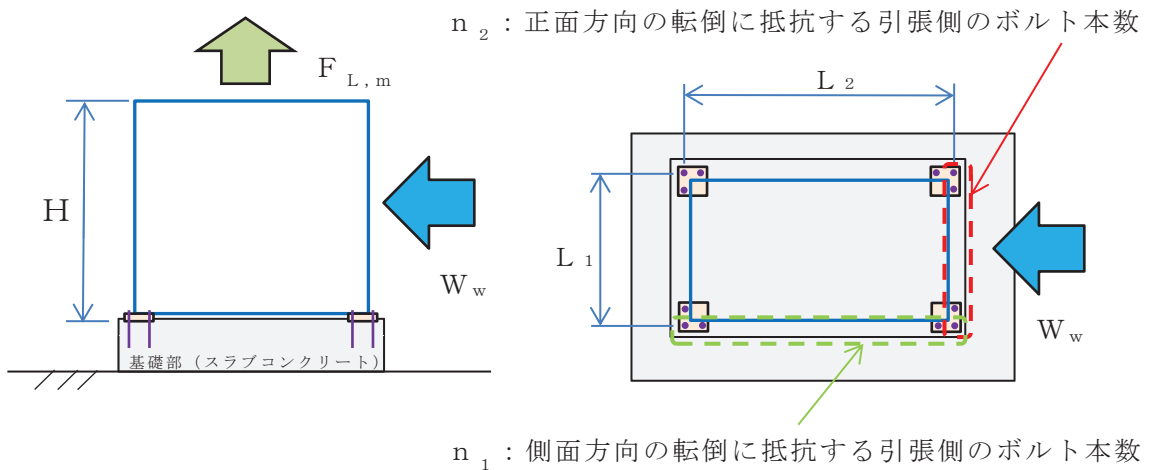


図 3-11 資機材保管用コンテナの計算モデル図

#### (2) 資機材保管用コンテナの評価方法

##### a. アンカーボルトに作用する荷重

揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 P<sub>1</sub>は、以下の式により算出する。

$$P_1 = \frac{F_{L,m}}{N}$$

風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>は以下の式により算出する。この時、風荷重の作用位置は保守的に資機材保管用コンテナの頂部位置に設定する。

$$P_2 = \frac{W_w \cdot H}{L_1 \cdot n_1} \quad (\text{側面方向からの風荷重})$$

$$P_3 = \frac{W_w \cdot H}{L_2 \cdot n_2} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$

風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>は、以下の式により算出する。

$$Q_1 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{側面方向からの風荷重}) \quad Q_2 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$

b. 引張に関する検討

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P$  は、以下による。

$$P = \max(P_1 + P_2, P_1 + P_3)$$

アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

定着したコンクリートのコーン状破壊により定まるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a3} = f_n \cdot A_o \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力  $P_a$  は、以下の式により算定する。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$$

c. せん断に関する検討

アンカーボルトに生じるせん断力  $Q$  は、以下による。

$$Q = Q_1, Q_2$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a1}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積  $A_{qc}$  は、アンカーボルトのへりあき寸法を  $c$  とすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力  $Q_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力  $Q_a$  は、以下の式により算定する。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

d. 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

$$\left[ \frac{P}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$

#### 4. 評価条件

評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

##### 4.1 可搬型窒素ガス供給装置の評価条件

可搬型窒素ガス供給装置の評価条件を，表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

固縛対象設備	$V_D$ (m/s)	$V_{Rm}$ (m/s)	$V_T$ (m/s)	$R_m$ (m)	$H_i$ (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
可搬型窒素ガス 供給装置	100	85	15	30	15	1.226	9.80665

表 4-2 評価条件（固縛対象設備）

固縛対象設備	W (m)	L (m)	H (m)	m (kg)	$\mu_s$ (-)	$\mu_d$ (-)
可搬型窒素ガス供給装置	2.495	16.070	3.781	30801	0.44	0.29

$C_{D1}$ (-)	$C_{D2}$ (-)	$C_{D3}$ (-)	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_3$ (m <sup>2</sup> )	$C_{DA}$ (m <sup>2</sup> )	G (-)	C (-)
2.0	2.0	2.0	9.434	40.095	60.761	73.527	1.0	1.2

$V_{SA}$ (m/s)	$V_{SAS, F}$ (m/s)	$V_{SAS, S}$ (m/s)	
		側面	正面
89.1	81.8	45.3	70.4

表 4-3 評価条件（固縛装置）

固縛対象設備	N (箇所)	X (mm)	L <sub>OF</sub> (mm)	$\theta_{V1}$ (deg)	$\theta_{V2}$ (deg)	$\theta_H$ (deg)
可搬型窒素ガス 供給装置	8	600	1002.5	56.6	22.6	53.4

表 4-4 評価条件（連結材）

評価対象部位	A <sub>RP</sub> (mm <sup>2</sup> )	E <sub>RP</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	L <sub>RP</sub> (m)	N' (個)
連結材（φ22）	380.13	15785	7.249	2

表 4-5 評価条件（固定材のうちフレノ・リンクボルト）

評価対象部位	型式	N' (個)
フレノ・リンクボルト	A-48L	2

表 4-6 評価条件（固定材のうちアンカープレート）

評価対象部位	材質	F (N/mm <sup>2</sup> )	B <sub>B</sub> (mm)	B <sub>t</sub> (mm)
ベースプレート	SN490B	325	550	36

h (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	d <sub>t</sub> (mm)	N' (個)
132	400	475	2

表 4-7 評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象部位	材質	F (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>b</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
アンカーボルト	SNR490B	325	325	325

A d <sub>a</sub> (mm)	N' (個)	n (本)	n' (本)	A L (mm)	A <sub>a</sub> (mm)	c (mm)
24	2	8	3	300	200	300

α <sub>1</sub> (-)	α <sub>2</sub> (-)	α <sub>3</sub> (-)	F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	γ (kN/m <sup>3</sup> )
1.0	0.70	0.70	21	24

表 4-8 評価条件（固縛対象設備に作用する荷重）

固縛対象設備	P <sub>v</sub> (kN)	P <sub>H</sub> (kN)		P <sub>i</sub> (kN)		
		側面	正面	浮き上り	側面	正面
可搬型窒素ガス 供給装置	55.8	354.9	55.1	1355.2	1283.5	1520.0



#### 4.2 資機材保管用コンテナの評価条件

資機材保管用コンテナの評価条件を，表 4-9～表 4-12 に示す。

表 4-9 評価条件

評価対象設備	$V_D$ (m/s)	$V_{Rm}$ (m/s)	$R_m$ (m)	$H_i$ (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
資機材保管用 コンテナ	100	85	30	15	1.226	9.80665

表 4-10 評価条件（資機材保管用コンテナ）

評価対象設備	$W$ (m)	$L$ (m)	$H$ (m)	$G$ (-)	$C$ (-)
資機材保管用 コンテナ	2.400	6.000	2.650	1.0	1.2

$C_{D1}$ (-)	$C_{D2}$ (-)	$C_{D3}$ (-)	$A_1$ (m <sup>2</sup> )	$A_2$ (m <sup>2</sup> )	$A_3$ (m <sup>2</sup> )	$V_{SA}$ (m/s)
2.0	2.0	2.0	6.360	14.400	15.900	87.3

表 4-11 評価条件（資機材保管用コンテナに作用する荷重）

評価対象設備	$W_w$ (kN)		$F_{L, m}$ (kN)
	側面	正面	
資機材保管用コンテナ	89.2	35.7	114.2

表 4-12 評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象部位	材質	F (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{pa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	d (mm)
アンカーボルト	SS400	235	235	20

N (本)	n <sub>1</sub> (本)	n <sub>2</sub> (本)	L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	φ <sub>e</sub> (mm)	c (mm)	D (mm)
12	4	4	2360	6100	400	150	60

F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	γ (kN/m <sup>3</sup> )
24	24

## 5. 評価結果

### 5.1 可搬型窒素ガス供給装置の評価結果

#### (1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を表 5-1 に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-1 連結材の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)
連結材 (φ 22)	動的荷重 (側面方向 横滑り)	173.9	250

#### (2) 固定材の評価結果

##### a. フレノ・リンクボルト

固定材のうちフレノ・リンクボルトの評価結果を表 5-2 に示す。フレノ・リンクボルトに作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-2 固定材 (フレノ・リンクボルト) の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)
フレノ・リンク ボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	173.9	735.45

b. アンカープレート

固定材のうちアンカープレートの評価結果を表 5-3 に示す。アンカープレートのベースプレートに作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-3 固定材（アンカープレート）の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	曲げに関する検討	
		曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)
ベースプレート	動的荷重 (側面方向 横滑り)	17279.0	63617.4

せん断に関する検討	
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)
86.4	4078.8

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表 5-4 に示す。アンカーボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-4 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	引張に関する検討	
		引張力 (kN)	許容限界 (kN)
アンカーボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	25.4	55.5

せん断に関する検討		引張とせん断を同時に受ける 場合に関する検討	
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界
20.1	76.9	0.278	1.0

## 5.2 資機材保管用コンテナの評価結果

### (1) 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表 5-5 に示す。アンカーボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-5 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	引張に関する検討	
		引張力 (kN)	許容限界 (kN)
アンカーボルト	側面方向の風荷重	34.7	55.3

せん断に関する検討		引張とせん断を同時に受ける 場合に関する検討	
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界
7.5	34.9	0.440	1.0