

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-20-0710-1_改1
提出年月日	2021年2月2日

補足-710-1 【竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の
補足説明資料】

目次

I. はじめに

1. 強度計算の方針に関する補足説明資料
 - 1.1 風力係数について
 - 1.2 強度計算時の施設の代表性について
 - 1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定について
2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料
 - 2.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について
 - 2.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について
 - 2.3 原子炉建屋屋根スラブ変形評価の許容値の設定について
 - 2.4 原子炉建屋屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について
 - 2.5 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について
3. 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料
 - 3.1 固縛装置の設計における保守性について
 - 3.2 固縛装置の設計における設備の代表性について
 - 3.3 資機材保管用コンテナ及び小型船舶の固縛対応について
 - 3.4 固縛装置の評価対象部位について
4. 防護対策施設の強度計算に関する補足説明資料
 - 4.1 竜巻防護ネットの衝突解析について
 - 4.2 飛来物のオフセット衝突の影響について
 - 4.3 金網の設計裕度の考え方
 - 4.4 ワイヤロープの変形を考慮したネットシステムのたわみについて
 - 4.5 ワイヤロープの初期張力について
 - 4.6 補助金網の影響について
5. 排気筒の強度計算に関する補足説明資料
 - 5.1 設計飛来物による構造欠損の想定箇所について
 - 5.2 起因事象を竜巻とした場合の排気筒に求められる機能について
 - 5.3 腐食代の考慮について
6. 防護対策施設、復水貯蔵タンク及び排気筒の衝突評価に関する補足説明資料
 - 6.1 衝突解析の解析手法の保守性について

: 今回提出範囲

I. はじめに

1. 概要

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。
本補足説明資料と添付書類との関連を表-1に示す。

- ・ 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

表-1 補足説明資料と添付書類との関連 (1/4)

竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料	該当添付書類
<p>1. 強度計算の方針に関する補足説明資料</p> <p>1.1 風力係数について</p>	<p>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 1-1-10-2 「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 「ミスト配管及びびべント配管の強度計算書」</p>
<p>1.2 強度計算時の施設の代表性について</p>	<p>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 1-1-4 「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 1-1-6 「配管及び弁の強度計算書」 VI-3-別添 1-1-9 「軽油タンクの強度計算書」 VI-3-別添 1-1-10-3 「消音器の強度計算書」 VI-3-別添 1-1-10-4 「ミスト配管及びびべント配管の強度計算書」</p>

表-1 補足説明資料と添付書類との関連 (2/4)

竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料	該当添付書類
<p>1. 強度計算の方針に関する補足説明資料</p> <p>1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定について</p>	<p>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」</p> <p>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」</p> <p>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ナーナの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-1-5 「復水貯蔵タンクの強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-1-6 「配管及び弁の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-1-7 「排気筒の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-1-8 「換気空調設備の強度計算書」</p> <p>VI-3-別添 1-1-9 「軽油タンクの強度計算書」</p> <p>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」</p> <p>VI-3-別添 1-1-10-3 「消音器の強度計算書」</p> <p>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」</p>

表-1 補足説明資料と添付書類との関連 (3/4)

竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料	該当添付書類						
2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料 <table border="1" data-bbox="453 1350 983 2024"> <tr> <td data-bbox="453 1350 560 2024">2.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について</td> <td data-bbox="453 239 983 1350" rowspan="5">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」</td> </tr> <tr> <td data-bbox="560 1350 667 2024">2.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について</td> </tr> <tr> <td data-bbox="667 1350 774 2024">2.3 原子炉建屋屋根スラブ変形評価の許容値の設定について</td> </tr> <tr> <td data-bbox="774 1350 880 2024">2.4 原子炉建屋屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について</td> </tr> <tr> <td data-bbox="880 1350 983 2024">2.5 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について</td> </tr> </table>	2.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について	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」	2.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について	2.3 原子炉建屋屋根スラブ変形評価の許容値の設定について	2.4 原子炉建屋屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について	2.5 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について	
2.1 設計飛来物の衝突による衝撃荷重の算定について	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」						
2.2 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について							
2.3 原子炉建屋屋根スラブ変形評価の許容値の設定について							
2.4 原子炉建屋屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について							
2.5 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について							
3. 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料 <table border="1" data-bbox="1035 1350 1404 2024"> <tr> <td data-bbox="1035 1350 1142 2024">3.1 固縛装置の設計における保守性について</td> <td data-bbox="1035 239 1404 1350" rowspan="4">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」</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1142 1350 1249 2024">3.2 固縛装置の設計における設備の代表性について</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1249 1350 1356 2024">3.3 資機材保管用コンテナ及び小型船舶の固縛対応について</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1356 1350 1404 2024">3.4 固縛装置の評価対象部位について</td> </tr> </table>	3.1 固縛装置の設計における保守性について	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」	3.2 固縛装置の設計における設備の代表性について	3.3 資機材保管用コンテナ及び小型船舶の固縛対応について	3.4 固縛装置の評価対象部位について		
3.1 固縛装置の設計における保守性について	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」						
3.2 固縛装置の設計における設備の代表性について							
3.3 資機材保管用コンテナ及び小型船舶の固縛対応について							
3.4 固縛装置の評価対象部位について							

表-1 補足説明資料と添付書類との関連(4/4)

竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書の補足説明資料	該当添付書類
4. 防護対策施設の強度計算に関する補足説明資料	4.1 竜巻防護ネットの衝突解析について 4.2 飛来物のオフセット衝突の影響について 4.3 金網の設計裕度の考え方 4.4 ワイヤロープの変形を考慮したネットシステムのためについて 4.5 ワイヤロープの初期張力について 4.6 補助金網の影響について
5. 排気筒の強度計算に関する補足説明資料	5.1 設計飛来物による構造欠損の想定箇所に ついて 5.2 起因事象を竜巻とした場合の排気筒に求められる機能について 5.3 腐食代の考慮について
6. 防護対策施設、復水貯蔵タンク及び排気筒の衝突解析に関する補足説明資料	VI-3-別添 1-2 「防護対策施設の強度計算の方針」 VI-3-別添 1-2-1-1 「竜巻防護ネットの強度計算書」 VI-3-別添 1-1-7 「排気筒の強度計算書」 VI-3-別添 1-5 「復水貯蔵タンクの強度計算書」 VI-3-別添 1-7 「排気筒の強度計算書」 VI-3-別添 1-2-1 「防護対策施設の強度計算書」

1. 強度計算の方針に関する補足資料

1.1 風力係数について

1. 概要

本資料は、添付書類「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」の添付書類「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」、添付書類「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」、添付書類「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ナの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-5 復水貯蔵タンクの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」、添付書類「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」、添付書類「VI-3-別添 1-1-10-3 消音器の強度計算書」及び添付書類「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」に用いられる風力係数Cについて、選定根拠を示すものである。

2. 風力係数の選定根拠

風力係数の選定は、評価対象部位の形状から、「建築物荷重指針・同解説（2004）」（日本建築学会）の値を準用する。また、海水ポンプ室門型クレーンにおいては、クレーン構造規格第9条（風荷重）に基づき設定する。

表 2-1 部材の風力係数*

①		②									
C_X	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y		
1.2	0	2.1	0	0	2.4	0	0	2.1	0		
	45	1.6	1.6	45	1.6	0.7	30	2.1	-0.2		
				90	0	0.8	60	0.7	1.1		
$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y	$\theta(^{\circ})$	C_X	C_Y
0	1.2	0	0	1.1	0	0	2.0	0	0	1.9	2.2
45	0.8	0.8	45	0.8	0.7	45	1.8	0.1	45	2.3	2.3
90	0.6	0.5	90	0.9	0.5	90	0	0.1	90	2.2	1.9
135	-1.7	0.6	135	-2.3	0.6				135	-1.9	-0.6
180	-2.3	0	180	-2.5	0				180	-2.0	0.3
									225	-1.4	-1.4

注記 * : 「建築物荷重指針・同解説（2004）」より抜粋

(1) 原子炉補機冷却海水ポンプ

a. ポンプ部

- ・電動機取付ボルト (C=2.4)
- ・ポンプ取付ボルト (C=2.4)
- ・基礎ボルト (C=2.4)

電動機台は円形断面でありC=1.2(表 2-1①)を適用できるが、電動機フレーム、空気冷却器及び外扇カバーは四角形断面(長方形)を有する形状であることから、四角形断面を有する部材C=2.4を選定。(表 2-1②)

なお、受圧面積は、電動機フレーム、電動機台、空気冷却器及び外扇カバーに対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。

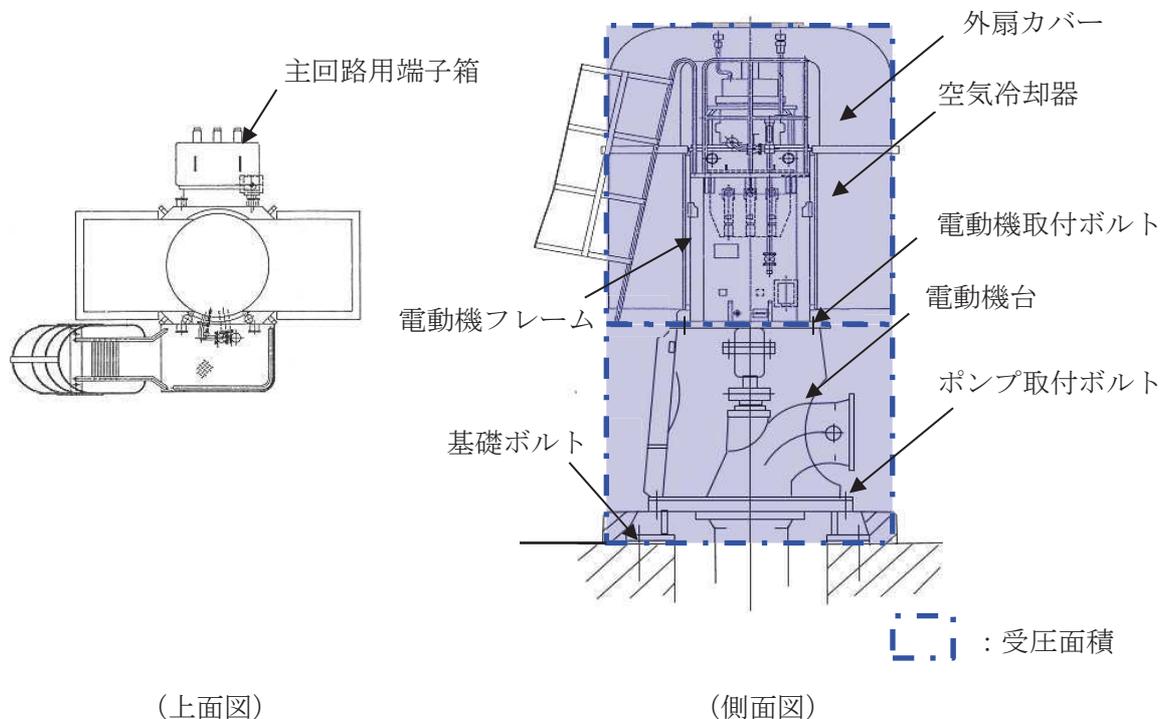


図 2-1 原子炉補機冷却海水ポンプ受圧面

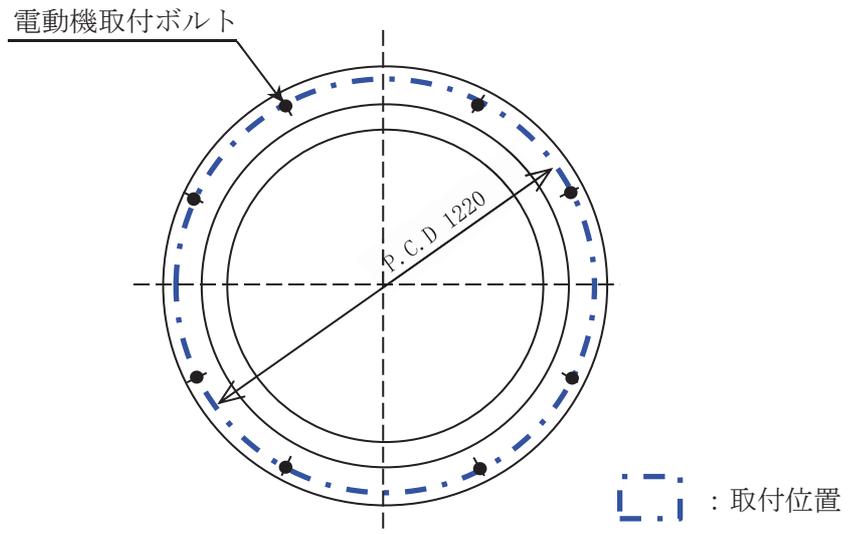


図 2-2 電動機取付ボルト取付位置

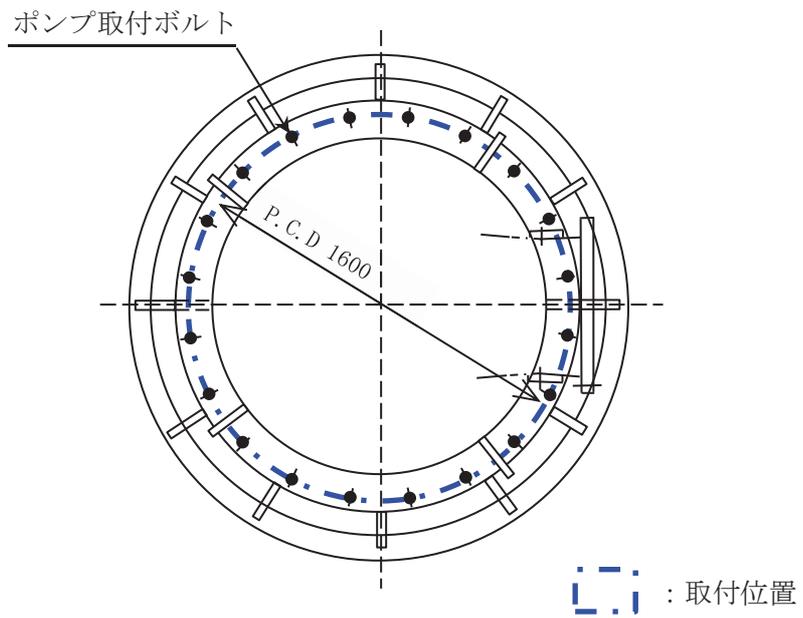


図 2-3 ポンプ取付ボルト取付位置

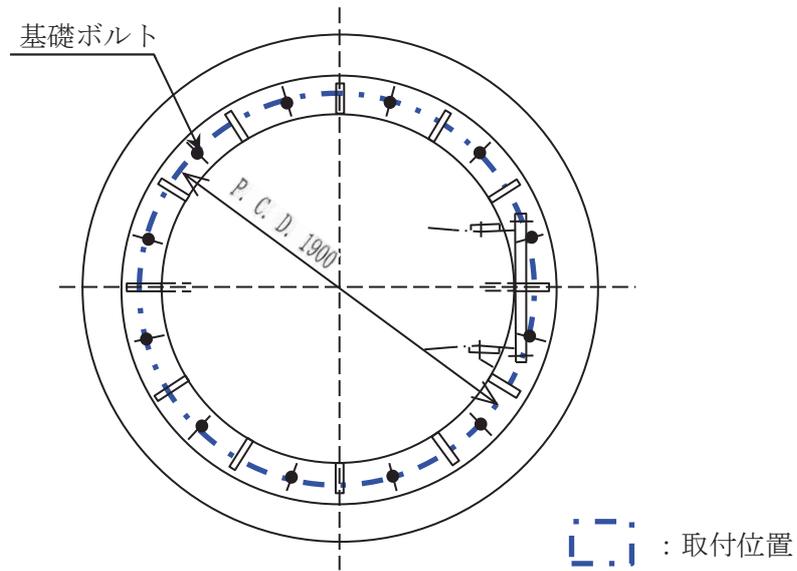


図 2-4 基礎ボルト取付位置

b. 電動機部

- ・ 電動機フレーム (C=2.4)
- ・ 空気冷却器取付ボルト (C=2.4)
- ・ 外扇カバー取付ボルト (C=2.4)

四角形断面 (長方形) を有する部材より C を選定。(表 2-1②)

なお、受圧面積は、電動機フレーム、空気冷却器、外扇カバーに対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。

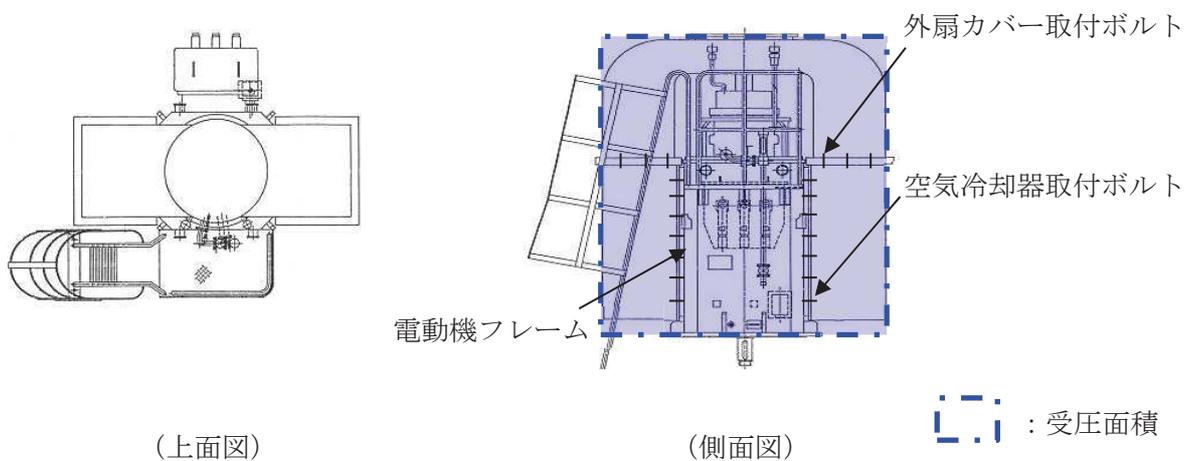


図 2-5 電動機フレーム受圧面

- 主回路用端子箱取付ボルト (C=2.4)
四角形断面 (長方形) を有する部材より C を選定。(表 2-1②)

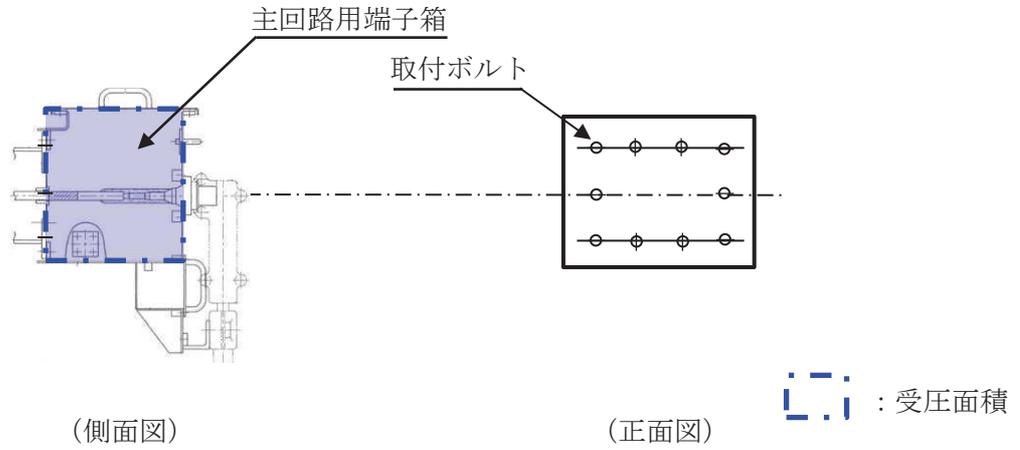


図 2-6 主回路用端子箱受圧面

(2) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ

a. ポンプ部

- ・電動機取付ボルト (C=1.2)
- ・ポンプ取付ボルト (C=1.2)
- ・基礎ボルト (C=1.2)

円形断面を有する部材であることから、Cを選定。(表 2-1①)

なお、受圧面積は、電動機フレームに対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。

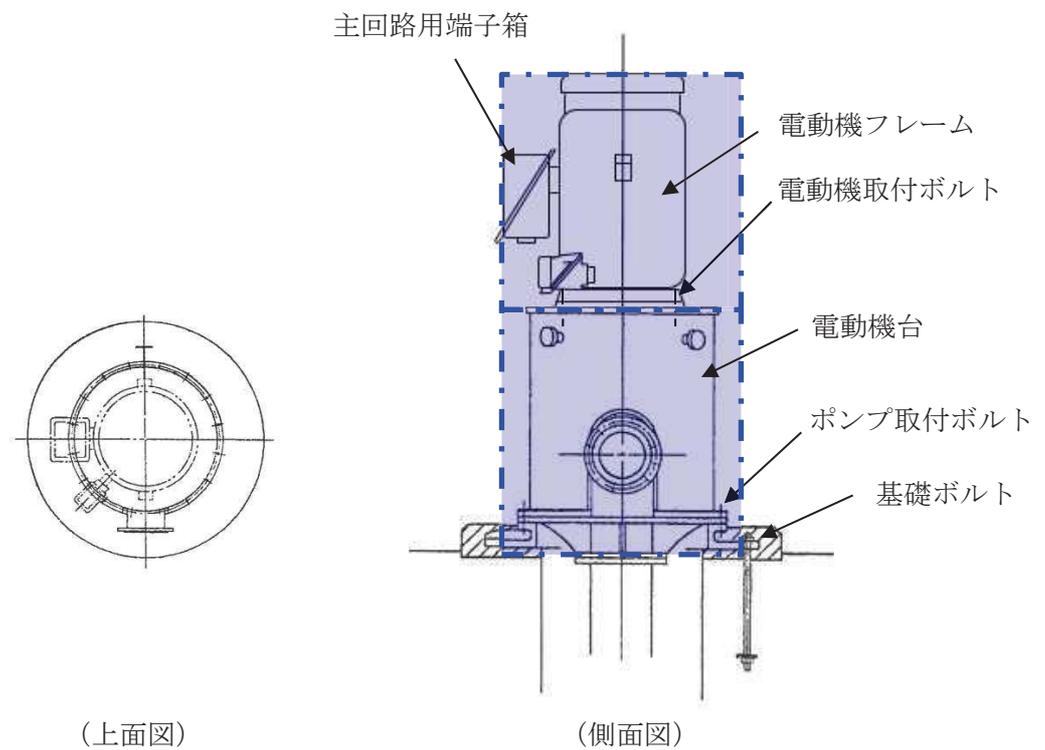


図 2-7 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ受圧面

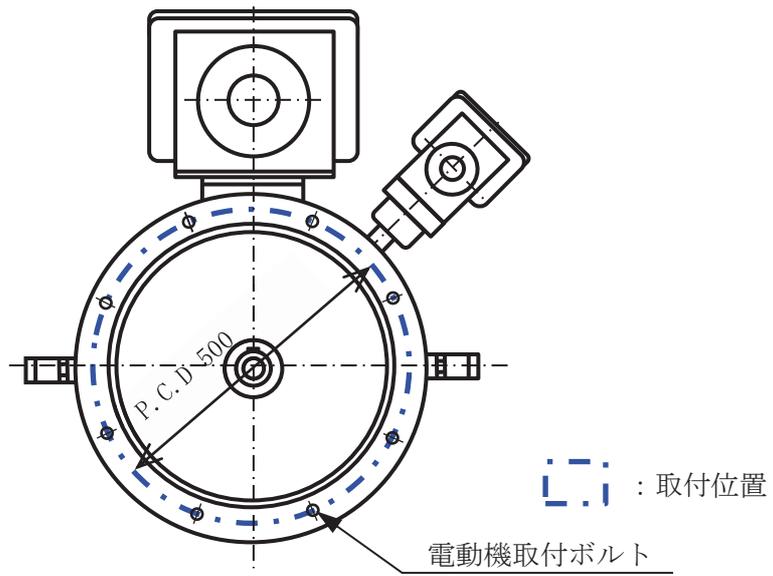


図 2-8 電動機取付ボルト取付位置

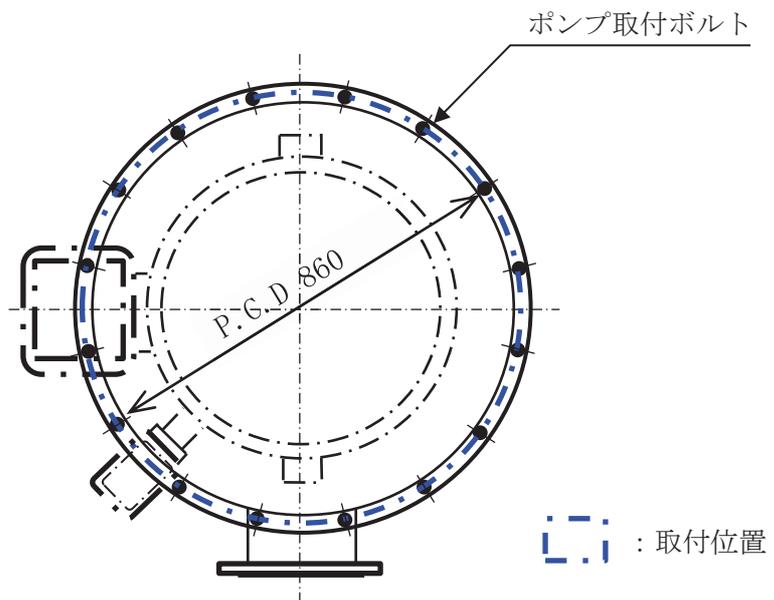


図 2-9 ポンプ取付ボルト取付位置

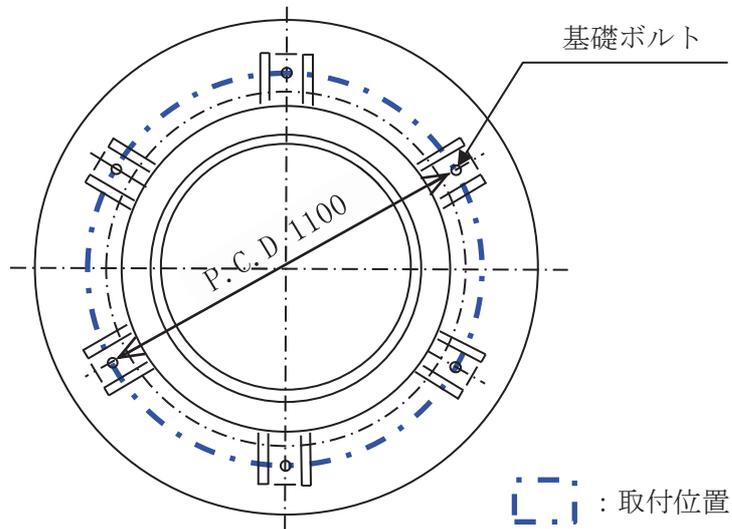


図 2-10 基礎ボルト取付位置

b. 電動機部

- ・電動機フレーム (C=1.2)

円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

なお、受圧面積は、電動機フレーム及び主回路用端子箱に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包含するような投影面積を設定する。

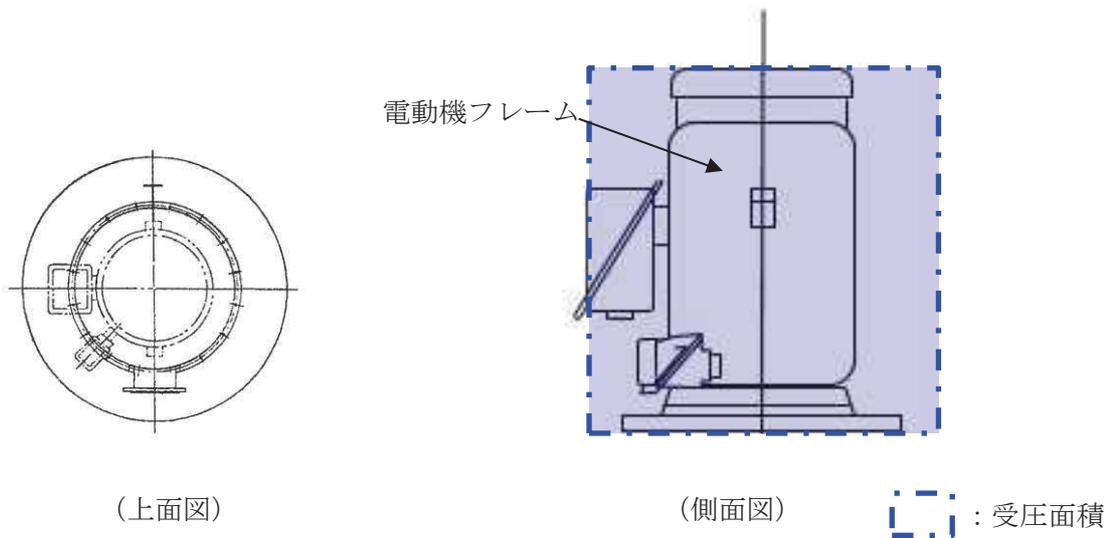


図 2-11 電動機フレーム受圧面

- 主回路用端子箱取付ボルト (C=2.4)
四角形断面 (長方形) を有する部材より C を選定。(表 2-1②)

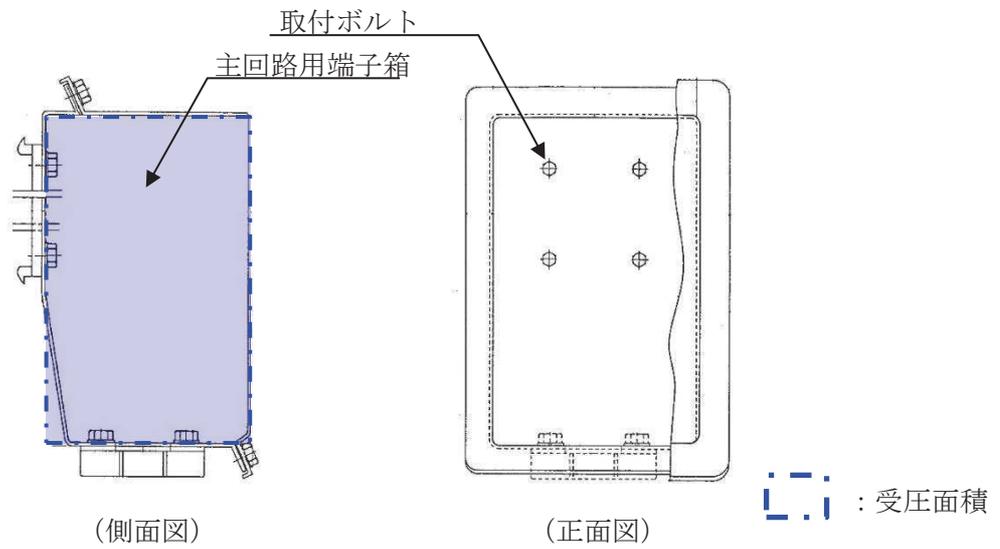


図 2-12 主回路用端子箱受圧面

- ファンカバー取付ボルト (C=1.2)
円形断面を有する部材より C を選定。(表 2-1①)

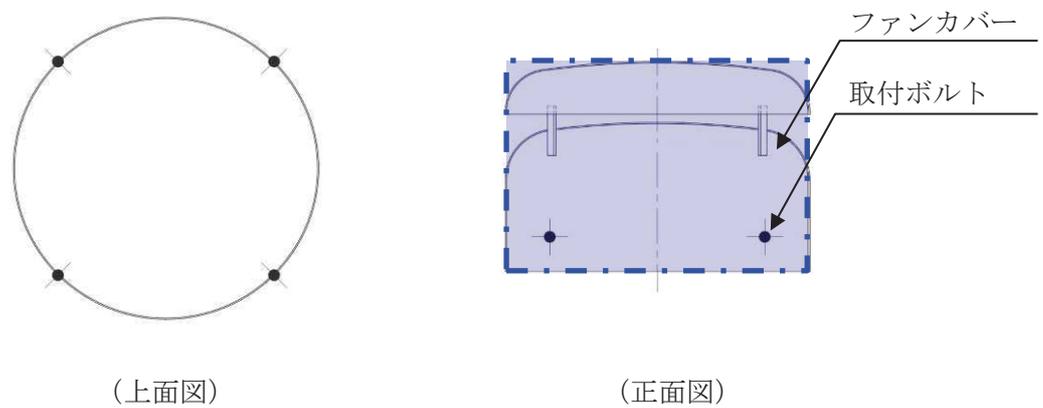
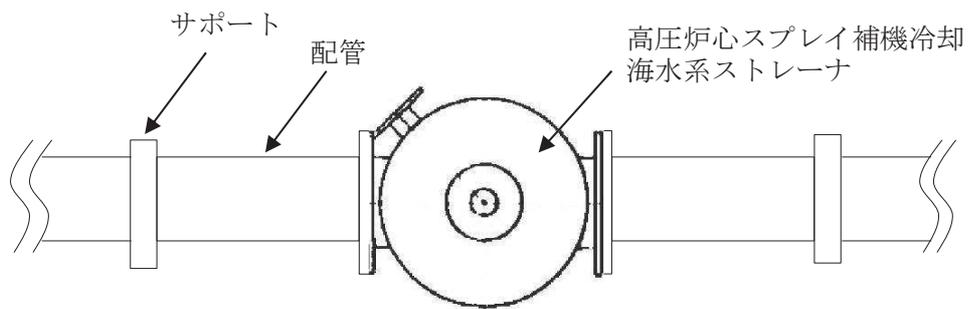


図 2-13 ファンカバー受圧面

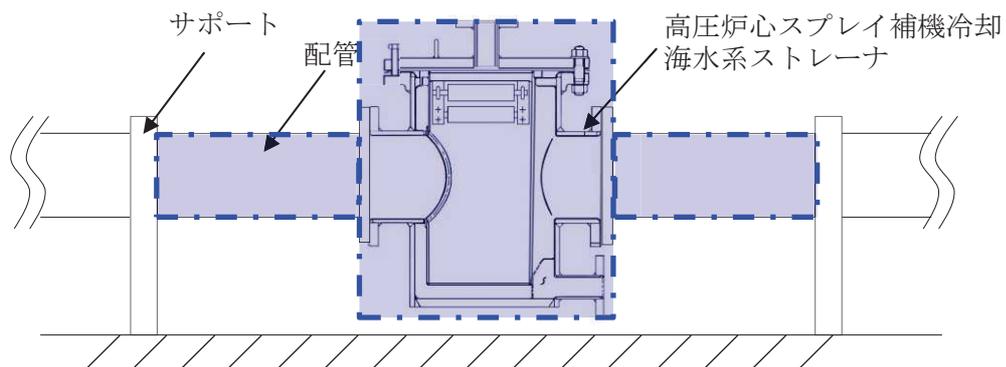
- (3) 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ
 ・配管 (C=1.2)

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は円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

なお、受圧面積は、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ及び接続する配管に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包絡するような投影面積を設定する。



(a) 上面図



(b) 側面図

 : 受圧面積

図 2-14 高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ストレーナ受圧面

- (4) 復水貯蔵タンク
 ・タンク (C=1.2)

円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

なお、受圧面積は、復水貯蔵タンク胴板の外径及び屋根板を包絡するような投影面積を設定する。

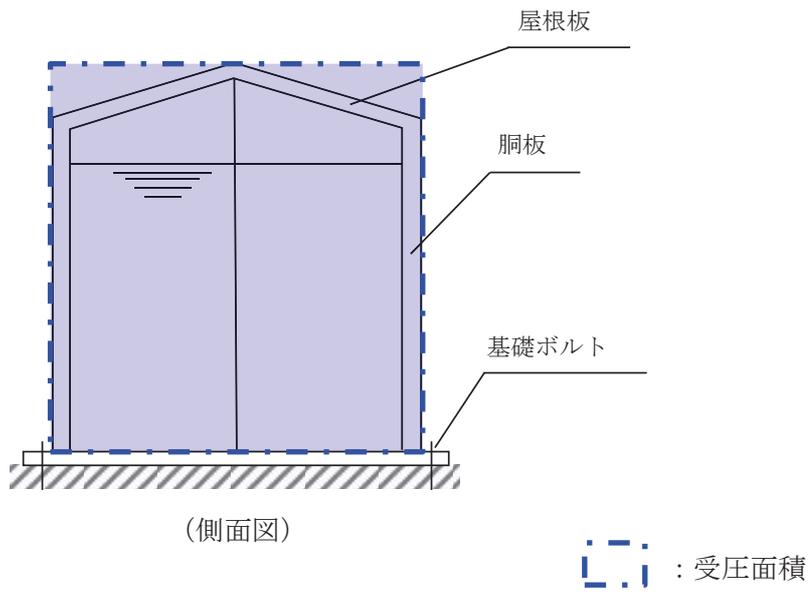


図 2-15 復水貯蔵タンク受圧面

(5) 配管及び弁

- ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管 (C=1.2)
- ・ 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管 (C=1.2)
- ・ 非常用ガス処理系 (屋外配管) (C=1.2)

円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

(6) 消音器

- ・非常用ディーゼル発電設備排気消音器基礎ボルト
- ・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

受圧面積は、胴板及び中間台に対する各々の風力係数を考慮した竜巻による水平荷重を包絡するような投影面積を設定する。

a. 軸直角方向から風を受けた場合 (C=1.2)

円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

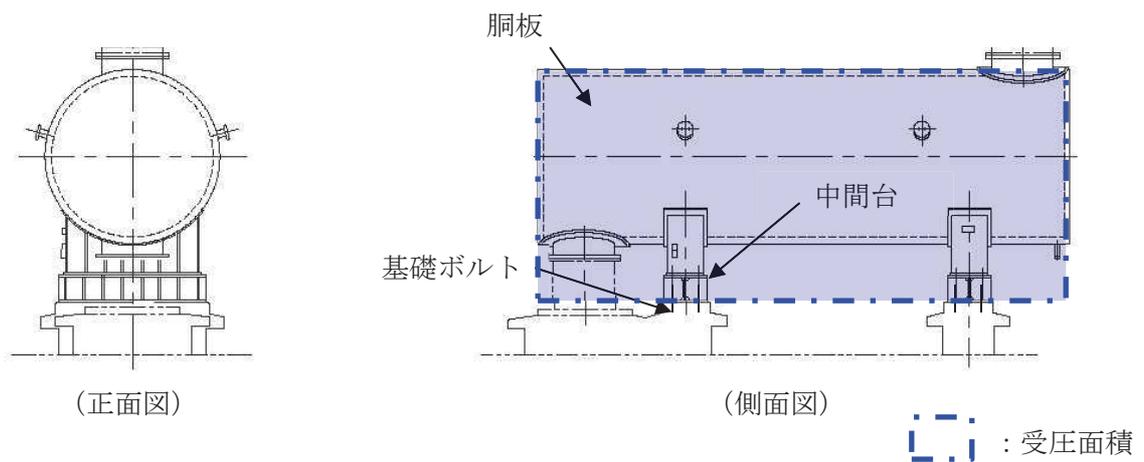


図 2-16 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器受圧面 (軸直角方向)

b. 軸方向から風を受けた場合 (C=2.4)

平面として風を受けることから、四角形断面 (長方形) を有する部材よりCを選定。(表 2-1②)

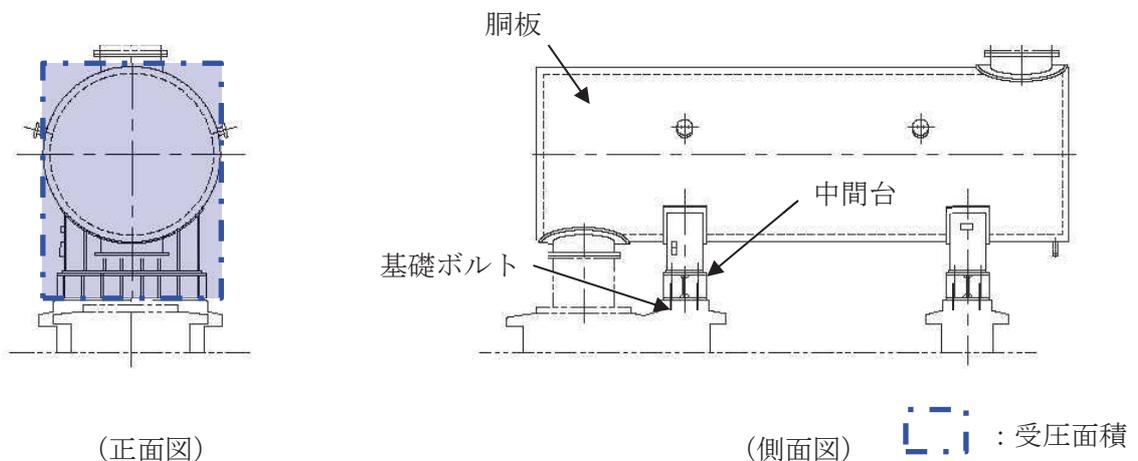


図 2-17 非常用ディーゼル発電設備及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器受圧面 (軸方向)

(7) ミスト配管及びベント配管

- ・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付属ミスト配管 (C=1.2)

- ・軽油タンクベント配管 (C=1.2)

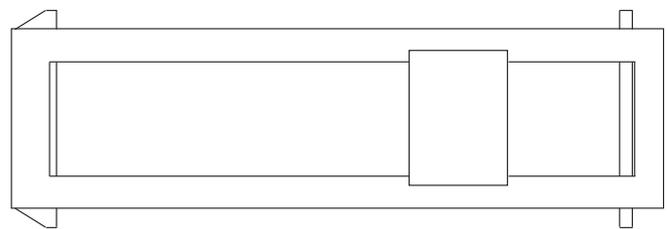
円形断面を有する部材よりCを選定。(表 2-1①)

(8) 海水ポンプ室門型クレーン

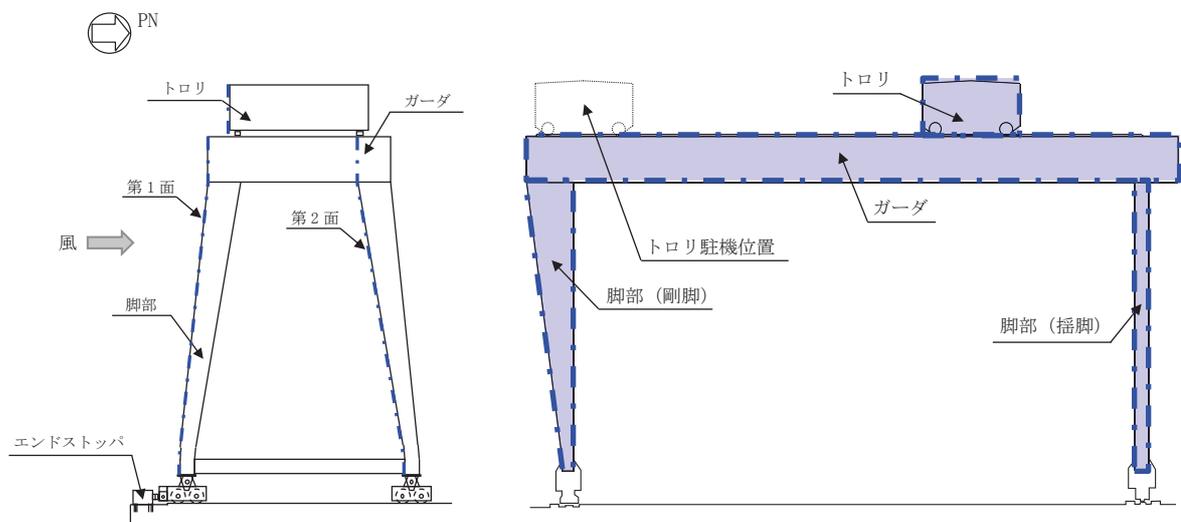
- ・トロリ (C =)

- ・ガーダ (第1面C = , 第2面C =)

- ・脚部 (第1面C = , 第2面C =)



(平面図)



(側面図)

(正面図)

図 2-18 海水ポンプ室門型クレーン受圧面

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 強度計算時の施設の代表性について

1. 概要

本資料は、添付書類「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」のうち、添付書類「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」、添付書類「VI-3-別添 1-1-4 高圧炉心スプレー補機冷却海水系ストレーナの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-10-3 消音器の強度計算書」、添付書類「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」において、同種類の計算対象施設が複数存在する施設に対して、代表となる施設を選定して計算を行う場合の代表性について説明するものである。

2. 代表性の説明

2.1 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4台設置されており、全てが同一設計となっている。

2.2 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2台設置されており、全てが同一設計となっている。

2.3 軽油タンク

軽油タンクは、非常用ディーゼル発電設備軽油タンクA～F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が設置されており、非常用ディーゼル発電設備軽油タンクA～Fは全てが同一設計となっている。

軽油タンクにおいて、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内部に作用する。軽油タンクは軽油タンク室及び軽油タンク室(H)内に設置されており、軽油タンクの外面は設計竜巻による気圧差荷重が作用することから、タンクの許容外圧の算出式より許容外圧が最も厳しくなる軽油タンクを選定する。

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

B	: J I S B 8 2 6 5 図 E.10 に規定される値
D _o	: 円筒胴の外径
P _a	: 許容外圧
t	: 円筒胴の計算厚さ

軽油タンクを選定結果を表 2-1 に示す。

表 2-1 軽油タンク (添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」)
の代表選定結果

系統		円筒胴の外径 (mm)	円筒胴の計算厚さ (mm)	許容外圧 (MPa)	選定
軽油タンク	A系 (A, C, E)	3556	28	0.26	
	B系 (B, D, F)	3556	28	0.26	
	H P C S系	4056	28	0.20	○

2.4 配管 (添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」, 添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」及び添付書類「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」における配管)

代表の選定方法は、添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」, 添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添 1-1-10-4

ミス配管及びベント配管の強度計算書の「3.5 評価方法」に記載のとおり、評価に用いる支持間隔について管外径、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し代表とする。

以下に、添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」、添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添 1-1-10-4 ミス配管及びベント配管の強度計算書」における各応力の算出式を示す。

風圧力による荷重及び自重により生じる応力は支持間隔（L）の2乗に比例するため、応力が大きくなる箇所として、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。

（両端支持形状）

$$\sigma_{ww} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

（片持ち支持形状）

$$\sigma_{ww} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$\sigma_{自重} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

σ_{ww} ：風圧力により生じる応力 $\sigma_{自重}$ ：自重により生じる応力 W_w ：設計竜巻の単位長さ当たりの風圧力による荷重 w ：単位長さ当たりの自重による荷重 L ：支持間隔 Z ：断面係数

配管の代表箇所の選定結果を表 2-2～表 2-5 にそれぞれ示す。

表 2-2 配管（添付書類「VI-3-別添 1-1-6 配管及び弁の強度計算書」）の代表選定結果

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持間隔 (m)	代表箇所
原子炉補機冷却 海水ポンプ周り	A系	両端支持	508.0	SM400C	10.4	
	B系	両端支持	508.0	SM400C	14.7	○
	A系	両端支持	60.5	STS410	2.0	
	B系	両端支持	60.5	STS410	3.1	○
高圧炉心スプレイ補機冷 却海水ポンプ周り		両端支持	216.3	STS410	7.0	○
		両端支持	60.5	STS410	2.0	○
非常用ガス処理系（屋外 配管）		両端支持	318.5	STS410	15.4	○

表 2-3 配管（添付書類「VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書」）の代表選定結果

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持間隔 (m)	代表箇所
燃料移送 ポンプ室	A系	両端支持	60.5	STPT370	3.2	○
		両端支持	76.5	STPT370	0.492	○
	B系	両端支持	60.5	STPT370	3.2	
		両端支持	76.5	STPT370	0.492	
	H P C S系	両端支持	60.5	STPT370	2.165	
		両端支持	76.5	STPT370	0.492	

注記*：最長支持間隔が同一の場合はA系を代表として選定する

表 2-4 配管(添付書類「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」)
の代表選定結果 (ミスト配管)

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持 間隔(m)	代表 箇所
機関ミスト配管	A系	両端支持	114.3	STPT410	2.016	
	B系		114.3	STPT410	3.296	○
	H P C S系		114.3	STPT410	2.301	
	A系	片持ち 支持	216.3	STPT410	0.422	○
	B系		216.3	STPT410	0.422	
	H P C S系		216.3	STPT410	0.422	
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	A系	両端支持	76.3	STPT410	1.978	
	B系		76.3	STPT410	3.258	○
	H P C S系		76.3	STPT410	2.282	
	A系	片持ち 支持	114.3	STPT410	0.418	○
	B系		114.3	STPT410	0.418	
	H P C S系		114.3	STPT410	0.418	
燃料油ドレンタンク ミスト配管	A系	両端支持	42.7	STPT410	2.310	○
	B系		42.7	STPT410	2.245	
	H P C S系		42.7	STPT410	2.267	
	A系	片持ち 支持	76.3	STPT410	0.388	
	B系		76.3	STPT410	0.388	
	H P C S系		76.3	STPT410	0.418	○
燃料デイトンク ミスト配管	A系	両端支持	60.5	STPT410	2.637	
	B系		60.5	STPT410	2.683	○
	H P C S系		60.5	STPT410	2.536	
	A系	片持ち 支持	89.1	STPT410	1.222	○
	B系		89.1	STPT410	1.222	
	H P C S系		89.1	STPT410	1.222	

注記* : 最長支持間隔が同一の場合はA系を代表として選定する

表 2-5 配管(添付書類「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」)
の代表選定結果 (ベント配管)

系統		支持形状	管外径 (mm)	材料	最長支持間隔 (m)	代表 箇所
軽油タンクベント 配管	A系	片持ち 支持	114.3	STPT370	1.127	○
	B系		114.3	STPT370	1.127	
	H P C S系		114.3	STPT370	1.127	
	A系	両端	114.3	STPT370	3.160	○
	B系		114.3	STPT370	3.160	
	H P C S系		114.3	STPT370	2.500	

注記* : 最長支持間隔が同一の場合はA系を代表として選定する

2.5 消音器

非常用ディーゼル発電設備排気消音器が2台、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備排気消音器が1台設置されている。非常用ディーゼル発電設備排気消音器の2台は同一設計となっている。

1.3 構造強度評価における評価対象部位の選定について

1. 概要

機器の構造強度評価における評価対象部位の選定について説明する。

2. 評価対象部位の選定について

構造強度評価における評価対象部位の選定については、屋外の機器は①、屋内の機器は②の選定を基本とし、その他は機器形状等に応じて選定している。

- ①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
- ②気圧差により荷重を受ける主要部位
- ③規格式により、対象が定められている部位
- ④その他

表 1-1 に構造強度評価対象選定一覧を示す。

表 1-1 構造強度評価対象選定一覧 (1/5)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
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	原子炉補機冷却海水 ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 電動機取付ボルト ポンプ取付ボルト 基礎ボルト 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 	応力の種類 引張 せん断 組合せ	ポンプ部について、電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。 <ul style="list-style-type: none"> 電動機取付ボルト ポンプ取付ボルト 基礎ボルト 	○	—	—	—	
		電動機フレーム	曲げ	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。 <ul style="list-style-type: none"> 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 電動機フレーム 	—	—	—	○	設計竜巻による風荷重に対し、ポンプの主要部材である電動機について、曲げ応力に対する健全性を確認

注記*：①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 1-1 構造強度評価対象選定一覧 (2/5)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
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	高圧炉心スプレイ補 機冷却海水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> 電動機取付ボルト ポンプ取付ボルト 基礎ボルト 主回路用端子箱取付ボルト ファンカバー取付ボルト 	引張 せん断 組合せ	<p>ポンプ部について、電動機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。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> 電動機取付ボルト ポンプ取付ボルト 基礎ボルト <p>電動機部について、電動機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。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> 主回路用端子箱取付ボルト ファンカバー取付ボルト 電動機フレーム 	○	—	—	—	
		電動機フレーム	曲げ		—	—	—	○	設計竜巻による風荷重に対し、ポンプの主要部材である電動機について、曲げ応力に対する健全性を確認
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	高圧炉心スプレイ補 機冷却海水系ストレーナ	配管	一次（膜＋曲げ）	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及び接続する配管に作用する。発生する応力は、ストレーナの胴板と比較し断面積が小さい配管の方が大きくなる。このことから、配管を評価対象部位として選定する。	—	—	—	○	

注記*：①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位（基礎ボルト等）
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 1-1 構造強度評価対象選定一覧 (3/5)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-1-5 復水貯蔵タンクの強度計算書	復水貯蔵タンク	胴板 基礎ボルト	一次一般膜 組合せ 座屈 引張 せん断 組合せ	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。	—	—	○	—	
VI-3-別添 1-1-6 配管及びび弁の強度計算書	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉補機冷却海水ポンプ周りの配管及びび弁 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ周りの配管及びび弁 非常用ガス処理系(屋外配管) 	配管	一次(膜+曲げ)	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。	—	—	—	○	
VI-3-別添 1-1-7 排気筒の強度計算書	排気筒	筒身 鉄塔	組合せ(圧縮+曲げ) せん断	排気筒の応力解析による評価対象部位は、設計竜巻による荷重を受ける排気筒の筒身、鉄塔部(支柱材、斜材、水平材)及び脚部を評価対象部位とする。	○	—	—	—	

注記* : ①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位(基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 1-1 構造強度評価対象選定一覧 (4/5)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
VI-3-別添 1-1-8 換気空調設備の強度 計算書	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 (本体)	曲げ 座屈	設計竜巻の気圧差による荷重は、ダクト本体に作用する。このことから、ダクト鋼板 (本体) 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	曲げ せん断	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。	—	○	—	—	
	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	周方向応力 曲げ せん断	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、弁体及び弁棒を評価対象部位として選定する。	—	○	—	—	
	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)	ケーシング	周方向応力	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選定する。	—	○	—	—	
VI-3-別添 1-1-9 軽油タンクの強度計算書	軽油タンク	タンク (胴板)	外圧	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、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	一次 (膜+曲げ)	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。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。	—	○	—	—	

注記* : ①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位 (基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

表 1-1 構造強度評価対象選定一覧 (5/5)

計算書名	施設名称	評価対象部位	応力の種類	選定理由	①*	②*	③*	④*	備考
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	海水ポンプ室門型ク レーン	エンドストツパ	引張 せん断 曲げ 組合せ	設計竜巻による荷重は、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ツパ及びエンドストツパを支持する基礎ボル トに作用する。海水ポンプ室門型クレーンの転倒により、原子炉補機 冷却海水ポンプ等への波及的影響を考慮し、転倒を防止する各部位の 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、エン ドストツパ及び基礎ボルトを評価対象部位として選定する。	○	—	—	—	
VI-3-別添 1-1-10-3 消音器の強度計算書	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	基礎ボルト	引張 せん断 組合せ	設計竜巻による荷重は、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。) 排気消音器本体に作用し中間台を 介して基礎ボルトに作用する。排気消音器の転倒により、非常用ダイ 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 大きく作用し、発生する応力が激しくなる基礎ボルトを評価対象部位 として設定する。	○	—	—	—	
VI-3-別添 1-1-10-4 ミスト配管及びびべ ン配管の強度計算書	• 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 • 軽油タンクベン ト配管	配管	一次 (膜 + 曲 げ)	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、配管を評価対象部位として選定する。	—	—	—	○	

注記* : ①設計竜巻荷重により、荷重作用点から離れており、大きなモーメントを受ける部位 (基礎ボルト等)
 ②気圧差により荷重を受ける主要部位
 ③規格式により、対象が定められている部位
 ④その他

6. 防護対策施設，復水貯蔵タンク及び排気筒の
衝突評価に関する補足説明資料

6.1 衝突解析の解析手法の保守性について

1. 概要

本資料は、添付書類「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」のうち、「VI-3-別添 1-5 復水貯蔵タンクの強度計算書」、「VI-3-別添 1-7 排気筒の強度計算書」及び「VI-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書」（以下「竜巻衝突解析の強度計算書」という。）に関する補足説明資料である。

鋼製部材については、それぞれ竜巻衝突解析の強度計算書において 3次元 FEMモデルを用いた飛来物衝突評価を実施しており、これらの評価における鋼材の動的物性値の設定は、電力中央研究所報告「竜巻飛来物を模擬した重錘の鋼板上への自由落下衝突試験による鋼板貫通評価手法の提案（研究報告：N15004）」（以下、「電中研報告」という。）において実施している重錘の自由落下衝突試験のための事前解析の解析手法を参考に実施している。

本資料においては、上述の動的物性値の設定手法について示すとともに、参照した電中研報告における解析手法（以下「電中研解析手法」という。）が重錘の自由落下衝突試験結果と整合していること、及び当社の設定条件が電中研報告の試験結果に対し保守性を有していることについて記載する。

なお、上記の比較検討は防護鋼板を対象にしたものであるが、衝突評価は部材の局部的影響に着目した解析であることから、形状が異なる部材についても適用可能である。

設定条件の保守性に係る評価フローを図 1-1 に示す。

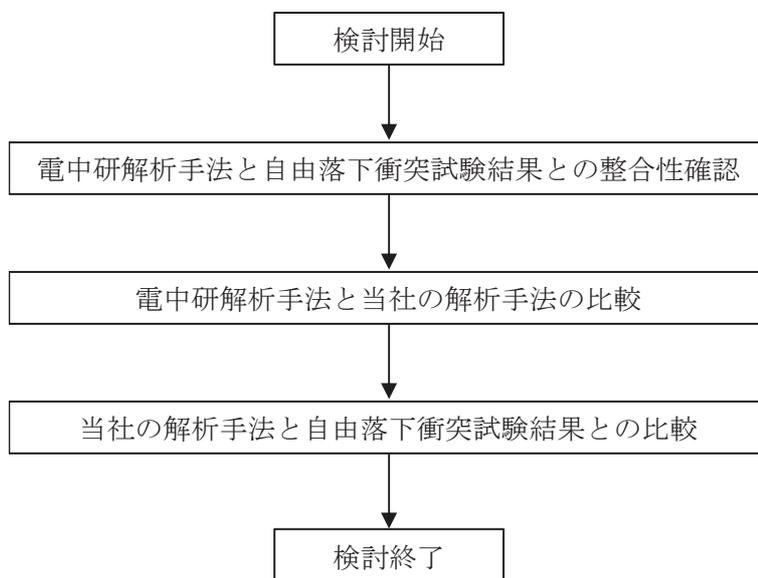


図 1-1 設定条件の保守性に係る評価フロー

2. 動的物性値の選定手法

飛来物の衝突に対する解析は、変形速度が大きい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 の式を適用している。

$$\sigma_D = \sigma_S \cdot \left\{ 1 + (\dot{\epsilon}/C)^{1/p} \right\}$$

ここで、 σ_D はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 時の降伏応力、 σ_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を表す。これらのパラメータは、日本溶接協会の動的物性の推定式（以下「WES 式」という。）にフィッティングする様に選定した。

以下に、竜巻防護鋼板の防護鋼板を例として、選定したパラメータ（表 2-1 参照）とその選定方法を示す。

表 2-1 Cowper-Symonds 式へ入力するパラメータ（防護鋼板）

	防護鋼板
材料	SS400
C (s ⁻¹)	
p	

降伏応力及び引張強さに関する WES 式は以下のとおり

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0) \cdot \exp \left[8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left(\frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \left\{ \frac{1}{T \cdot \ln(10^8/\dot{\epsilon})} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln(10^8/\dot{\epsilon}_0)} \right\} \right]$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0) \cdot \exp \left[8 \times 10^{-4} \cdot T_0 \cdot \left(\frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E} \right)^{-1.5} \cdot \left\{ \frac{1}{T \cdot \ln(10^9/\dot{\epsilon})} - \frac{1}{T_0 \cdot \ln(10^9/\dot{\epsilon}_0)} \right\} \right]$$

ここで、 σ_Y 、 σ_{Y0} は降伏応力、 σ_T 、 σ_{T0} は引張強さ、 T 、 T_0 は温度、 $\dot{\epsilon}$ 、 $\dot{\epsilon}_0$ はひずみ速度、 E はヤング係数を示す。

鋼製部材の動的物性値を選定するにあたり、以下の項目を考慮した。

- (1) 被衝突物について、貫通評価における許容値は破断ひずみとしていることから、Cowper-Symonds 式により算出した引張強さが WES 式で算出した値にフィッティングする様、パラメータを適切に設定した。
- (2) 飛来物については、Cowper-Symonds 式により算出した降伏応力が WES 式で算出した値にフィッティングする様、パラメータを適切に設定した。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- (3) (1)及び(2)と併せて、電中研報告書では、ひずみ速度 $10(s^{-1})$ 近傍において、Cowper-Symonds 式で算出した引張強さが WES 式で算出したものよりも小さくなるように設定し、貫通評価に対して保守的になるように配慮していることを参考に、ここではひずみ速度 $0.01\sim 100(s^{-1})$ の範囲において WES 式で算出した値よりも小さくなるように設定した。

表 2-1 に示すパラメータを適用したときの動的物性値について、WES 式による値と合わせ図 2-1 に示す。

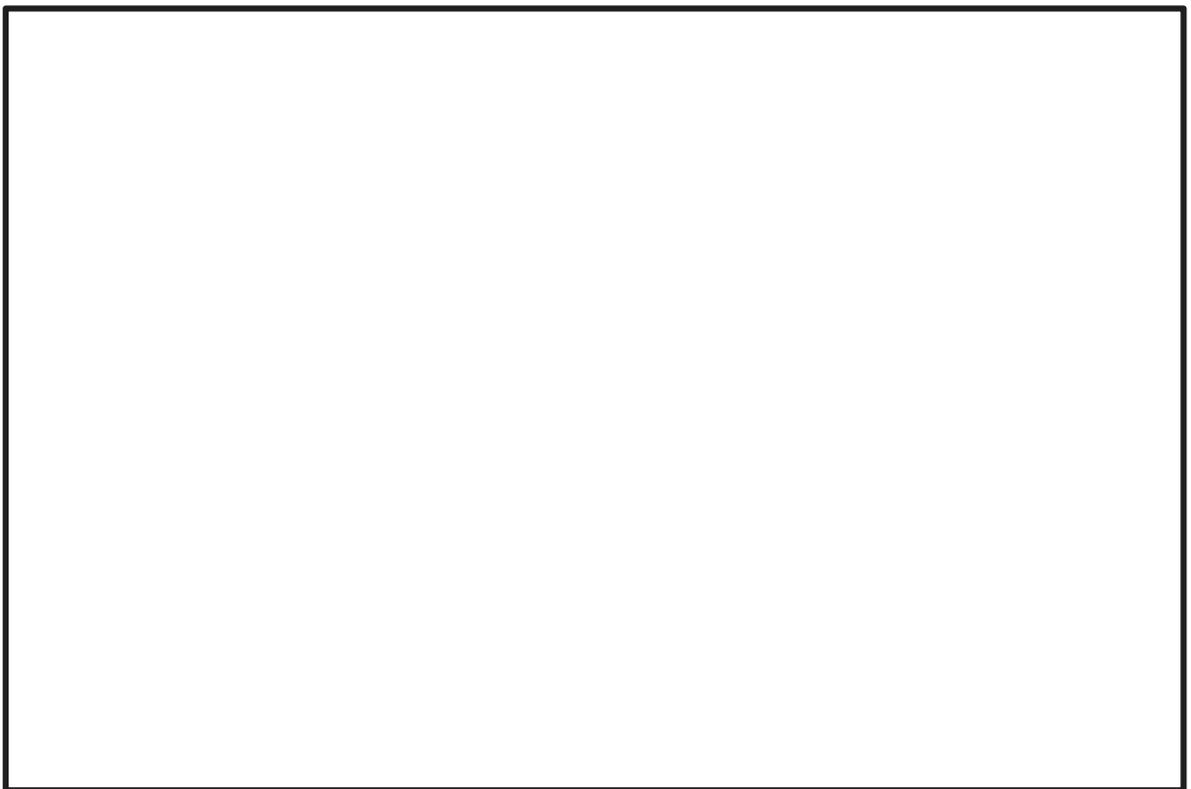


図 2-1 防護鋼板におけるひずみ速度-真応力曲線

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 電中研解析手法と自由落下衝突試験結果との整合性について

上記の動的物性値設定手法の設定に際し参照した，電中研解析手法の妥当性について以下に示す。

3.1 事前解析における塑性ひずみ及び試験結果における貫通有無について

電中研報告においては，事前解析にて得られた衝突エネルギーと鋼板に発生する相当塑性ひずみの関係を求め，試験の重錘落下高さに反映を行っている。その際に得られた事前解析結果による相当塑性ひずみと自由落下衝突試験における貫通有無の関係を表 3-1 に示す。

表 3-1 事前解析結果による相当塑性ひずみと自由落下衝突試験における貫通有無

試験(解析) ケース	試験条件			試験結果による貫通有無	事前解析で得られた相当塑性ひずみ(%)
	飛来物	被衝突体*	落下高さ(m)		
SS-1	剛パイプ重錘	SS400	17.0	有	17.4
SS-2	剛パイプ重錘	SS400	12.5	有	14.9
SS-4	剛パイプ重錘	SS400	11	無	14.1
SS-3	剛パイプ重錘	SS400	9.5	無	13.0

注記*：有効開口部サイズ 1.4m×1.4m×t9mm，接続部 2 辺固定

上記の試験結果及び事前解析結果より，試験ケース SS-2 においては，貫通が発生しており，事前解析により得られた相当塑性ひずみは 14.9%である。また，試験ケース SS-4 においては，貫通が発生しておらず，事前解析により得られた相当塑性ひずみは 14.1%である。したがって，試験結果及び事前解析結果より，SS400 鋼板については，相当塑性ひずみが 14.1%～14.9%の間で貫通が発生することが考えられる。

3.2 SS400 鋼板の引張試験における塑性ひずみについて

表 3-2 に自由落下衝突試験に用いた SS400 鋼板の引張試験で得られた材料特性値を示す。ここで，試験に使用した被衝突体である SS400 鋼板の材料試験値から得られた引張ひずみに相当する塑性ひずみが 14.9%であることから，被衝突体である SS400 鋼板の塑性ひずみが 14.9%付近に達した場合に飛来物が貫通することが考えられる。

表 3-2 自由落下衝突試験に用いた SS400 鋼板の材料試験値他

部材	材料試験結果(平均値)				引張ひずみを 真ひずみに換 算した値(-)	塑性ひずみ (左記から弾 性ひずみを差 し引いた値)
	降伏 応力 (MPa)	引張 強さ (MPa)	引張 ひずみ (-)	ヤング 率 (GPa)		
鋼板 (SS400)	322.3	474.4	0.1624	209.7	0.150	0.148

3.3 電中研解析手法及び自由落下衝突試験結果と材料試験値の整合性

3.1 の事前解析における相当塑性ひずみと自由落下衝突試験における貫通有無より、飛来物衝突により発生する SS400 鋼板の相当塑性ひずみが 14.1~14.9%に達した場合に貫通することが考えられること、3.2 の SS400 鋼板の引張試験における材料試験値より SS400 鋼板の塑性ひずみが 14.8%であることから、電中研報告における事前解析及び自由落下衝突試験結果は材料試験結果とよく整合していることが確認できる。

したがって、電中研解析手法は自由落下衝突試験結果とよく整合している解析手法であるといえる。表 3-3 に、電中研報告における事前解析及び自由落下衝突試験から得られた結果並びに材料試験から得られた結果を示す。

表 3-3 電中研報告書における事前解析、自由落下衝突試験及び材料試験から得られた結果

事前解析及び自由落下衝突試験から得られた結果	材料試験から得られた結果	結論
SS400 鋼板については、飛来物衝突により相当塑性ひずみが 14.1%~14.9%に達した場合に貫通する。	自由落下衝突試験に使用した SS400 鋼板の引張ひずみに相当する塑性ひずみが 14.8%	左記より電中研解析手法は自由落下衝突試験結果とよく整合しているといえる。

4. 電中研解析手法と当社の解析手法の比較について

電中研解析手法と当社の解析手法の比較を表 4-1 に示す。本比較表より、当社の解析手法については、「静的な物性値の出典」及び「破断ひずみ(破断条件)」において保守性を有しており、その他については差異がないことから、当社の解析手法は電中研解析手法に比べ保守性を有しているといえる。

表 4-1 電中研解析方法と当社の解析手法の差異

比較項目		電中研解析手法	当社の解析手法	備考
解析コード		AUTODYN	LS-DYNA	「原子力安全基盤機構：原子力発電施設等に係る構造物の爆発衝撃荷重挙動解析 (JNES/SSD08-014, 平成 20 年 11 月)」において、AUTODYN と LS-DYNA との間でコードに依存する特性は少ないことが確認されていることから、解析コードに有意な差はないといえる。
材料 物性値	静的な物性値 の出典	材料試験値	JIS 及び JSME 規格 値	電中研解析手法については、 <u>引張試験において得られた材料試験値を使用しており、JIS 及び JSME 規格値を使用している当社の解析手法に保守性有</u> (例：SS400 鋼板の材料試験値の降伏応力 322MPa に対して JIS 値は 245MPa)
	動的な物性値 の出典	WES 式* ¹	同左	*1：(社)日本溶接協会「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，WES2808:2003」による推定式
	応力-ひずみ 関係	Cowper Symonds モデル* ²	同左	*2：「原子力安全基盤機構：原子力発電施設等に係る構造物の爆発衝撃荷重挙動解析 (JNES/SSD08-014, 平成 20 年 11 月)」において使用しているひずみ速度を考慮したモデル
	破断ひずみ (破断条件)	相当塑性ひずみ が JSME 規格* ³ の限界 3 軸ひず み ϵ_L における TF=2 の値に達し た場合を提案 (例．SS400 の 場合：12.8%)		<u>破断ひずみについて電中研提案の値に対し、小さな値を採用していることから破断しやすい設定となっており、保守性を有している。</u> *3：「日本機械学会：発電用原子力設備規格シビアアクシデント時の構造健全性評価ガイドライン<BWR 鋼製格納容器編>(2014 年 7 月)」

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 当社の解析手法と自由落下衝突試験結果との比較について

当社の解析手法の保守性を確認することを目的として、表 4-1 に記載している当社の解析手法における設定値を用いて、電中研報告における重錘の鋼板上への自由落下衝突試験（以下、電中研試験という）の追解析を行った。その結果を表 5-1 に、解析モデルを図 5-1 に示す。解析モデルは電中研試験と同様 2 辺固定とし、重錘部については、密度を大きくした要素を採用することで重錘の重量を模擬している。また、本検討においては、解析ソフトとして LS-DYNA を用いた。

表 5-1 の追解析結果より、自由落下衝突試験において貫通が発生しなかったケースにおいても、当社の解析手法による解析結果においては貫通が発生していること、また貫通が発生したケースにおける残留速度が自由落下衝突試験結果の残留速度よりも大きいことから、当社の解析手法は保守性を有しているといえる。

表 5-1 当社の解析手法による自由落下衝突試験の追解析

試験ケース	試験条件			試験結果による貫通有無(残留速度(m/s))	当社の解析手法を用いた追解析による貫通有無(残留速度(m/s))
	飛来物	被衝突体	落下高さ(m)		
SS-1	剛パイプ重錘	SS400	17.0	有(8.5m/s)	
SS-2	剛パイプ重錘	SS400	12.5	有(2.9m/s)	
SS-4	剛パイプ重錘	SS400	11	無	
SS-3	剛パイプ重錘	SS400	9.5	無	

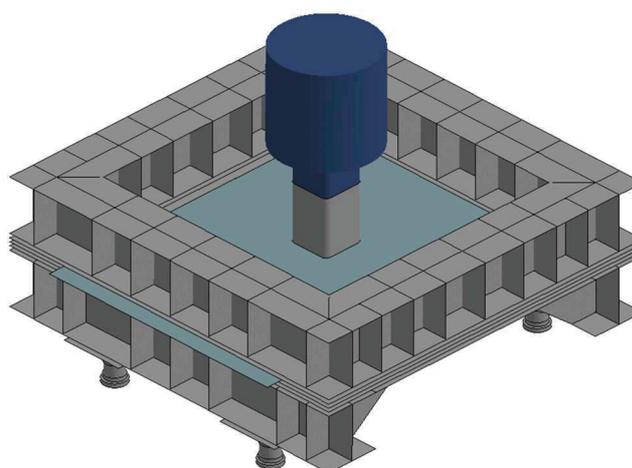


図 5-1 解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。