

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改 31
提出年月日	平成 30 年 7 月 11 日

## V-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

### V-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

V-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

V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

V-3-別添 1-1-4 排気筒の強度計算書

V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書

V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気口の強度計算書

V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書

V-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

V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書

### V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針

V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書

V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書

V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書

### V-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

V-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

: 今回ご説明分

## V-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
3. 構造強度設計.....	5
3.1 構造強度の設計方針.....	5
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.....	67
4.1 荷重及び荷重の組合せ.....	67
4.2 許容限界.....	78
5. 強度評価方法.....	96
5.1 建屋・構造物に関する評価式.....	97
5.2 機器・配管系に関する評価式.....	105
6. 適用規格.....	158

## 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、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「V-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、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-3-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

竜巻飛来物防護対策設備である防護対策施設の設計方針については、V-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の固縛装置の設計方針については、V-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、V-3-別添 1-2-1「防護対策施設の強度計算書」及びV-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、V-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V-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」で示す設計竜巻荷重及び組み合わせるべきその他の荷重による組合せ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

V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」にて構造強度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

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

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保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

設計竜巻荷重及びそれと組み合わせる荷重に対し構造強度を保持する必要がある、

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に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

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とする。

## 2.2 評価方針

竜巻の影響を考慮する施設は、V-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、貫入等の変形が生じた場合においても、当該施設の機能を保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. 機器・配管系

###### (a) 貫入

#### (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、当該施設の機能を保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

建屋・構造物の構造強度評価は、鉄筋コンクリート造構造物と鋼製構造物に分類し、その構造を踏まえた評価項目を抽出する。

###### (a) 鉄筋コンクリート造構造物

- イ. 裏面剥離
- ロ. 脱落
- ハ. 倒壊
- (b) 鋼製構造物
  - イ. 脱落
  - ロ. 倒壊
- b. 機器・配管系
  - (a) 海水ポンプ（評価対象施設は、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプとする）
  - (b) ディーゼル発電機吸気口（評価対象施設は、非常用ディーゼル発電機吸気口、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口とする）
  - (c) 海水ストレーナ（評価対象施設は、残留熱除去系海水系ストレーナ、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナとする）
  - (d) 消音器（評価対象施設は、非常用ディーゼル発電機排気消音器、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器とする）
  - (e) 主排気筒（評価対象施設は、主排気筒とする）
  - (f) 配管及び弁（評価対象施設は、中央制御室換気系冷凍機、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り、非常用ガス処理系排気筒（配管部を含む）並びに非常用ディーゼル発電機排気配管、非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管、非常用ディーゼル発電機機関ベント管、非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管、残留熱除去系海水系配管（放出側）、非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）の配管及び弁とする）
  - (g) ダクト（評価対象施設は、中央制御室換気系ダクト、非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び原子炉建屋換気系ダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）とする）
  - (h) 隔離弁（評価対象施設は、中央制御室換気系隔離弁及び原子炉建屋換気系隔離弁（原子炉建屋原子炉棟貫通部）とする）
  - (i) ファン（評価対象施設は、非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン、高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン、中央制御室換気系ファンとする）
  - (j) 冷凍機（評価対象施設は、中央制御室換気系冷凍機とする）
- (3) 動的機能維持評価
 

動的機能維持評価は、設計竜巻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保持可能なことを確認する評価とする。

  - a. 機器・配管系

(a) 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>・タービン建屋</li> <li>・使用済燃料乾式貯蔵建屋</li> <li>・軽油貯蔵タンクタンク室</li> </ul>
(2) 屋外の外部事象防護対象施設	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電機吸気口</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口</li> <li>・非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフトファン</li> <li>・中央制御室換気系冷凍機</li> <li>・残留熱除去系海水系ポンプ</li> <li>・残留熱除去系海水系ストレーナ</li> <li>・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ</li> <li>・非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ</li> <li>・主排気筒</li> <li>・配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り）</li> <li>・非常用ガス処理系排気筒（配管部を含む。以下同じ。）</li> <li>・原子炉建屋*</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>・中央制御室換気系隔離弁，ファン（ダクト含む。），非常用ディーゼル発電機室換気系ダクト及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室換気系ダクト（以下「非常用換気空調設備」という。）</li> <li>・原子炉建屋換気系隔離弁及びダクト（原子炉建屋原子炉棟貫通部）</li> </ul>
(4) 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>a. 機械的影響を与える可能性がある施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスマン建屋</li> <li>・海水ポンプエリア防護壁</li> <li>・鋼製防護壁</li> </ul> </li> <li>b. 機能的影響を与える可能性がある施設 <ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電機排気消音器</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器</li> <li>・非常用ディーゼル発電機排気配管</li> <li>・非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管</li> <li>・非常用ディーゼル発電機機関ベント管</li> <li>・非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管</li> <li>・残留熱除去系海水系配管（放出側）</li> <li>・非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）</li> </ul> </li> </ul>

注記 \*：原子炉建屋は屋外の外部事象防護対象施設だが，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

V-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、V-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保持するよう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

V-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，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び軽油貯蔵タンクタンク室は、V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「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の外殻を構成する部材の転倒及び脱落が生じない設計とする。

##### (2) 屋外の外部事象防護対象施設

###### a. 非常用ディーゼル発電機吸気口，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口

非常用ディーゼル発電機吸気口及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気口（以下「ディーゼル発電機吸気口」という。）は、V-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、脚部をディーゼル発電機室屋上面に設けたコンクリート基礎に溶接で固定し、主要な構造部材がディーゼル発電機の吸気機能を保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機室ルーフベントファン，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン

非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機室ルーフベントファン（以下「ディーゼル発電機室ルーフベントファン」という。）は、V-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、ディーゼル発電機室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、主要な構造部材がディーゼル発電機室内の空気の排出機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

c. 中央制御室換気系冷凍機

中央制御室換気系冷凍機は、V-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、原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定し、主要な構造部材が中央制御室の空調用冷水を冷却する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

d. 残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプは、V-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保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保持する設計とする。

e. 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ

非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）は、V-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保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保持する設計とする。

f. 残留熱除去系海水系ストレーナ

残留熱除去系海水系ストレーナは、V-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し、主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

g. 非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ

非常用ディーゼル発電機用海水ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ストレーナ（以下「ディーゼル発電機用海水ストレーナ」という。）は、V-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し、主要な構造部材が海水中の固形物を除去する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

h. 主排気筒

主排気筒は、V-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、主排気筒の支持架構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保持可能な構造強度を有する設計とする。

- i. 配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）

配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）は、V-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、原子炉付属棟屋上床面及び海水ポンプ室に設けたコンクリート基礎、支持架構に固定し、主要な構造部材が流路を確保する機能を保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. ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は、V-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保持可能な構造強度を有する設計とする。

- b. 隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は、V-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、非常用換気空調設備又は原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部）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. ファン（非常用換気空調設備）

ファン（非常用換気空調設備）は、V-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、原子炉建屋床面に基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が中央制御室の冷却に必要な風量を送風する機能を保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」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。

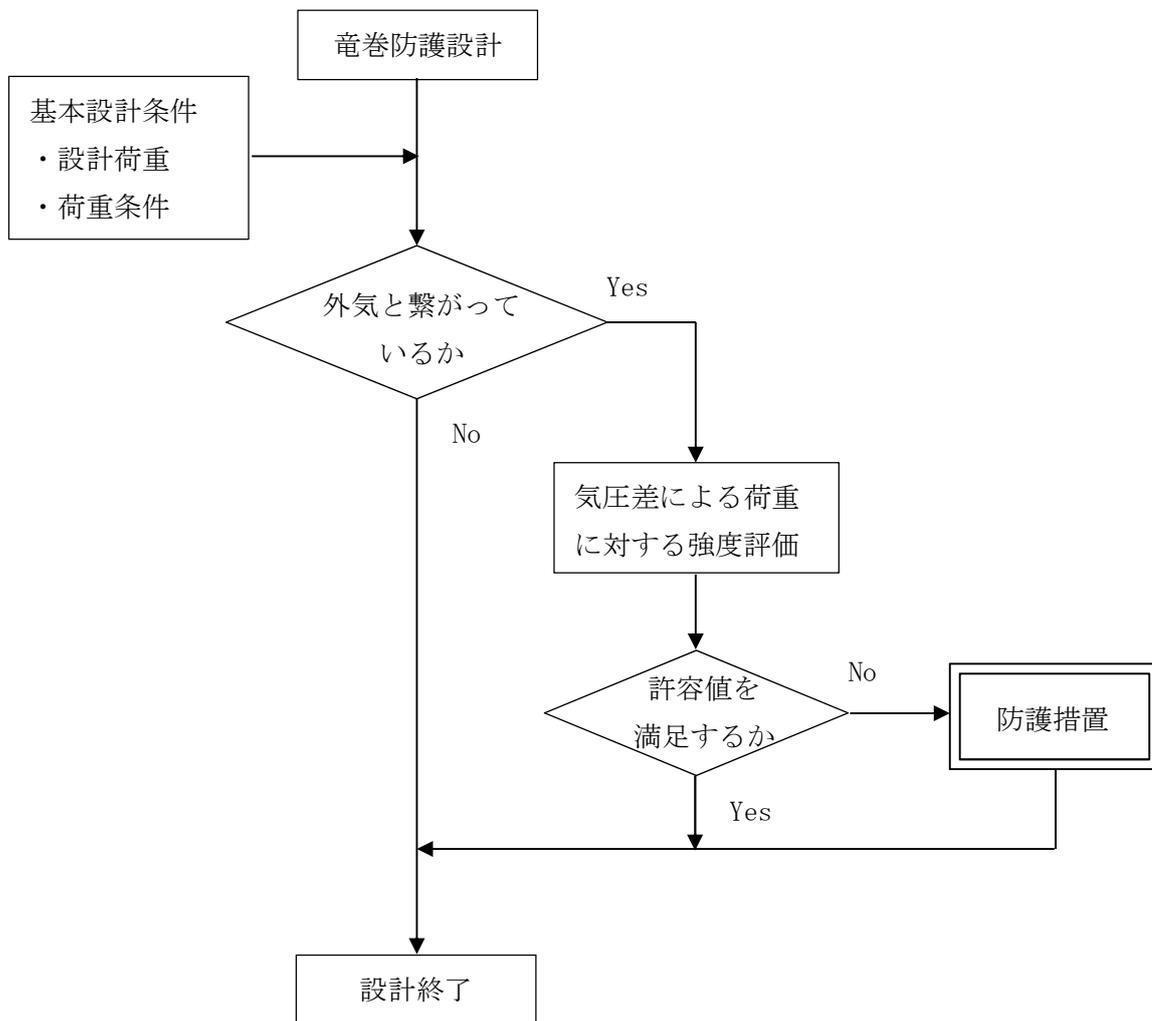


図 3-1 屋内の外部事象防護対象施設の設計フロー

## (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. 機械的影響を与える可能性がある施設

## (a) サービス建屋

サービス建屋は、V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びタービン建屋に接触による影響を及ぼさない設計とする。

## (b) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は、V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、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、外部事象防護対象施設に倒壊による影響を及ぼさない設計とする。

## (c) 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、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、外部事象防護対象施設に倒壊による影響を及ぼさない設計とする。

## b. 機能的影響を与える可能性がある施設

## (a) 非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器

非常用ディーゼル発電機排気消音器及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器（以下「ディーゼル発電機排気消音器」という。）は、V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、排気機能を保持するために、ディーゼル発電機室屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルト又は基礎ボルトで固定し、主要な構造部材が排気機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

## (b) ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管

非常用ディーゼル発電機排気配管、非常用ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管、非常用ディーゼル発電機機関ベント管、非常用ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気配管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料デイトンクベント管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機機関ベント管、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機潤滑油サンプタンクベント管（以下「ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管」という。）は、V-1-1-2-3-3の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、排気機能を保持するために、サポートによる支持で建屋壁面等に固定し、主要な構造部材が排気機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

## (c) 残留熱除去系海水系配管（放出側）

残留熱除去系海水系配管（放出側）は、V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、海水放出機能を保持するために、サポート又は架台による支持で固定し、主要な構造部材が海水放出機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

- (d) 非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）

非常用ディーゼル発電機用海水配管（放出側）及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）（以下「ディーゼル発電機用海水配管（放出側）」という。）は、V-1-1-2-3-3 の「3. 要求機能及び性能目標」の「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、海水放出機能を保持するために、サポート又は架台による支持で固定し、主要な構造部材が海水放出機能を保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

V-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、V-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、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋）

- (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V-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厚さ以上であることを計算及び解析により確認する。評価方法としては、「5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物(3)強度評価方法」に示す強度評価式により算出した厚さもしくは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。

竜巻より防護すべき施設の外殻となる部材である原子炉建屋大物搬入口扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉については、当該部材の吸収エネルギーが設計飛来物による衝突エネルギー以上であることを計算により確認する。また，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉，原子炉建屋付属棟1階南側水密扉，原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉，原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉，原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉，空調機械室搬入口扉，空調機械室搬入口扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉についても，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，設計飛来物が外殻となる扉を貫通しない設計とするために，当該部材が設計飛来物の貫通を生じない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 鉄筋コンクリート造構造物(3)強度評価方法」に示す強度評価式を基に評価を行う。

ロ. 構造強度評価

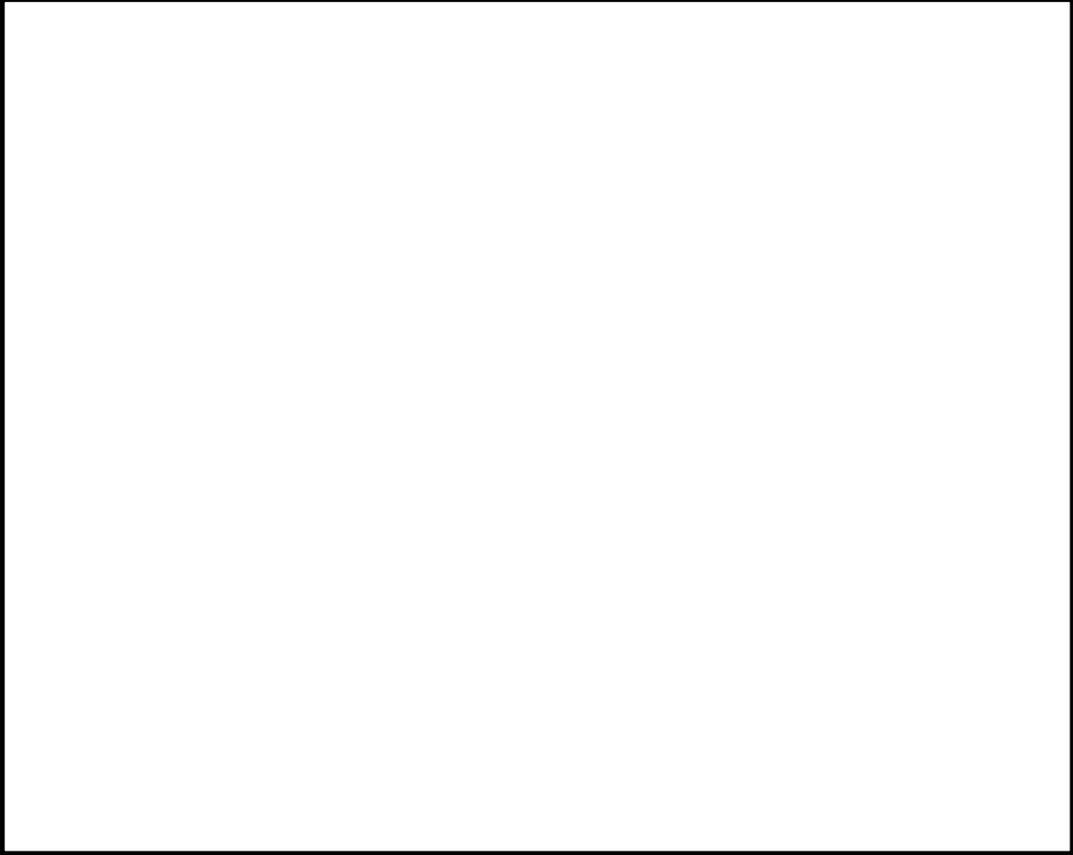
建屋の構造強度評価については，竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えない確認として，設計飛来物による衝撃荷重に対し，竜巻より防護すべき施設の外殻となる部材自体の脱落を生じない設計とするために，外殻となる屋根スラブ及び壁面のうち，コンクリートの裏面剥離により内包する外部事象防護対象施設への影響が考えられる箇所については，裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物(3)強度評価方法」に示す強度評価式により算出した厚さを基に評価を行う。外殻となる屋根スラブ及び壁面において裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることの確認ができない場合は，屋根スラブについては，デッキプレート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。その他の部位については，当該部位若しくは当該部位の裏面剥離の影響を受ける外部事象防護対象施設に，裏面剥離対策が施されていることを確認する。

また，外部事象防護対象施設の外殻とな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，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，FEMを用いた解析により算出したひずみ及び「5.1.2 鋼製構造物(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を基に評価を行う。

外部事象防護対象施設の外殻となる部材である原子炉建屋大物搬入口扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉，原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)，原子炉建屋付属棟1階東側水密扉，原子炉建屋付属棟1階南側水密扉，原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉，原子炉建屋付属棟2階サンプル

タンク室連絡通路扉，原子炉建屋付属棟 3 階バルブ室東側扉，原子炉建屋付属棟 3 階バルブ室北側扉，原子炉建屋付属棟 3 階西側非常用階段連絡口扉，空調機械室搬入口扉，空調機械室搬入口扉（潜戸），原子炉建屋付属棟 4 階南東側機器搬入口扉については，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，扉支持部材の破断による脱落を生じないことを計算により確認する。

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	<b>【位置】</b>			
				

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

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の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	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。	

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			

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

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			

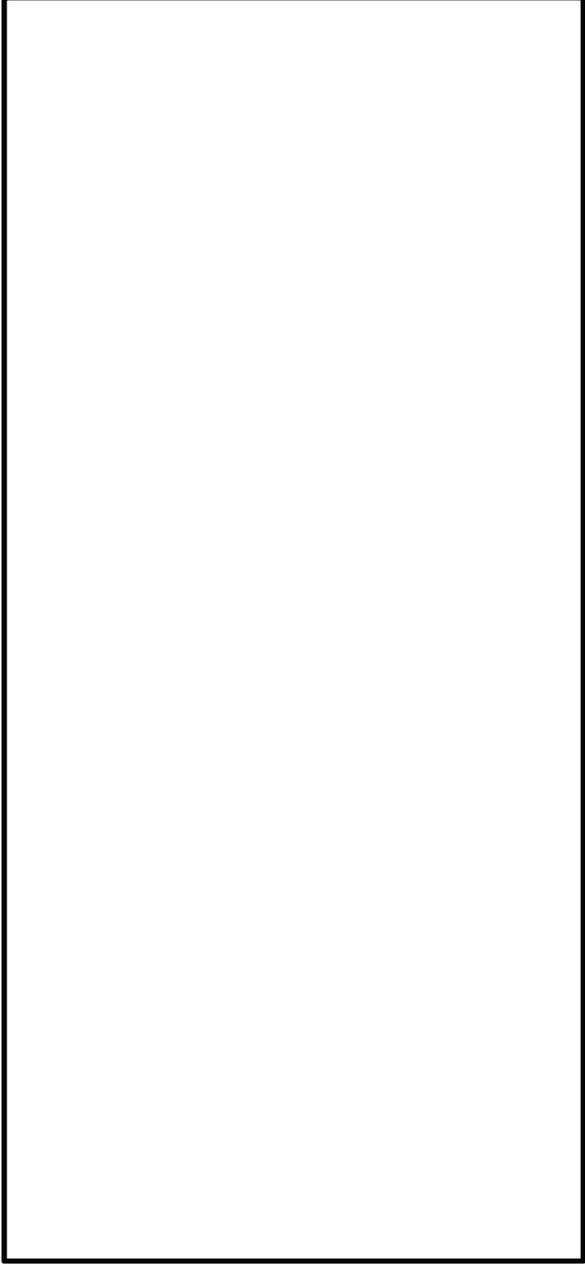
NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

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の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	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。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

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	
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	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、基礎版へ伝達する構造とする。	

b. 軽油貯蔵タンクタンク室

(a) 構造設計

軽油貯蔵タンクタンク室は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

軽油貯蔵タンクタンク室は、地下に埋設された鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する開口部は鋼製の蓋を設置する構造とする。

軽油貯蔵タンクタンク室に作用する荷重は、地上に露出した鋼製蓋に作用し、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。

軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画を表 3-2 に示す。

(b) 評価方針

イ. 衝突評価

軽油貯蔵タンクタンク室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、地上に露出した鋼製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 鉄筋コンクリート造構造物(3)強度評価方法」に示す強度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

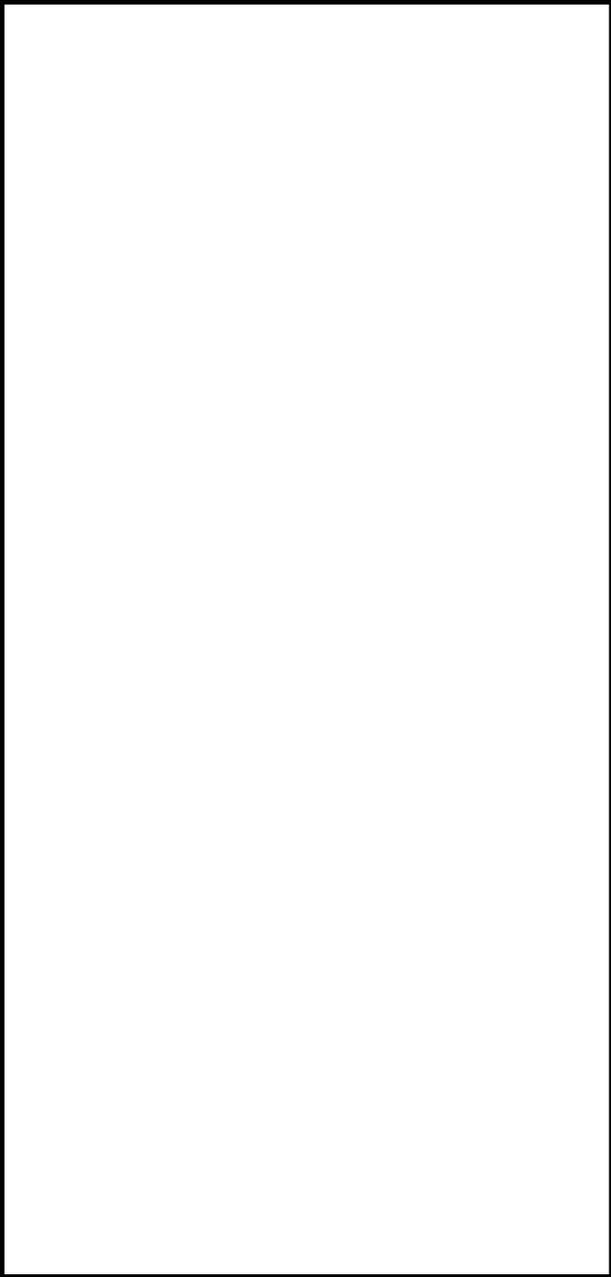
軽油貯蔵タンクタンク室の構造強度評価については、設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、軽油貯蔵タンクタンク室の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、頂版が裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。評価方法としては、「5.1.1 鉄筋コンクリート造構造物 (3)強度評価方法」に示す強度評価式により算出した厚さを基に評価を行う。

表 3-2 軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画(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	【位置】			
				

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

表 3-2 軽油貯蔵タンクタンク室の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
軽油貯蔵タンク 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、地上部に露出する開口部は鋼製の蓋により構成する。</p>	<p>荷重は地上に露出した鋼製蓋に作用し、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>	

(2) 屋外の外部事象防護対象施設

a. ディーゼル発電機吸気口

(a) 構造設計

ディーゼル発電機吸気口は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機吸気口の構造は鋼製の4脚たて置円筒形容器構造を主体構造とし、支持脚はディーゼル発電機室屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接により固定する構造とする。

また、作用する荷重については、ディーゼル発電機吸気口に作用し、支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される構造とする。

ディーゼル発電機吸気口の構造計画を表3-3に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ディーゼル発電機吸気口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、ディーゼル発電機吸気口の胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部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) ディーゼル発電機吸気口(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 3-3 ディーゼル発電機吸気口の構造計画

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>                      ディーゼル発電機吸気口は、ディーゼル発電機室屋上面に設置する設計としている。</p>			
ディーゼル発電機吸気口	鋼製の胴板で構成する4脚たて置円筒形容器	ディーゼル発電機室屋上面に設けたコンクリート基礎の基礎プレートに溶接で固定する。	

b. ディーゼル発電機室ルーフベントファン

(a) 構造設計

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、鋼製のケーシング及び羽根車を主体構造とし、ディーゼル発電機室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、吐出フード及びケーシングに作用し、吐出フード取付ボルト、基礎ボルトに伝達する構造とする。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの構造計画を表 3-4 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ディーゼル発電機室ルーフベントファン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、ディーゼル発電機室ルーフベントファンを構成する吐出フード取付ボルト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、「5.2.4.(3) ファン 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 3-4 ディーゼル発電機室ルーフベントファンの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p><b>【位置】</b>                      ディーゼル発電機室ルーフベントファンは、ディーゼル発電機室屋上面に設置する設計としている。</p>			
ディーゼル発電機室ルーフベントファン	ケーシング及び羽根車などの鋼材で構成する。	ディーゼル発電機室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。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

c. 中央制御室換気系冷凍機

(a) 構造設計

中央制御室換気系冷凍機は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

中央制御室換気系冷凍機は、**空調用冷水**を冷却する熱交換器、**圧縮機等**を**鋼製のケーシング**で覆ったユニット形式とし、原子炉建屋付属棟屋上面に取付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、ケーシングに作用し、取付ボルトに伝達する構造とする。

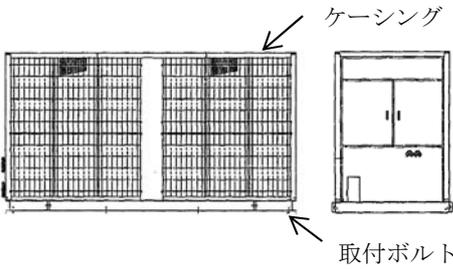
中央制御室換気系冷凍機の構造計画を表 3-5 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

中央制御室換気系冷凍機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、中央制御室換気系冷凍機のケーシングを支持する取付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、「5.2.4.(4) 冷凍機 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 中央制御室換気系冷凍機の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】 中央制御室換気系冷凍機は、原子炉建屋付属棟屋上面に設置する設計としている。</p>			
中央制御室 換気系冷凍機	<p>空調用冷水を冷却する熱交換器，圧縮機等を鋼製のケーシングで覆ったユニット形式で構成する。</p>	<p>原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定する。</p>	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

d. 残留熱除去系海水系ポンプ

(a) 構造設計

残留熱除去系海水系ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

残留熱除去系海水系ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に原動機を取り付け、原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、原動機はポンプの上の原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保持に必要な付属品は、原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。

残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

残留熱除去系海水系ポンプ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、残留熱除去系海水系ポンプ及びポンプの機能保持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び取付ボルト並びにポンプの機能保持に必要な付属品を支持する原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、「5.2.1(1) 海水ポンプ 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。

ロ. 動的機能維持評価

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、軸受部における発生荷重が、動的機能を保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、

「5.2.1(1) 海水ポンプ 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 3-6 残留熱除去系海水系ポンプの構造計画

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>残留熱除去系海水系ポンプは、海水ポンプ室に設置する設計としている。</p>			
残留熱除去系海水系ポンプ	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。	<p>上部軸受タンクカバー          上部軸受ブラケット          原動機フレーム          一次側端子箱          原動機取付ボルト          原動機台          原動機台取付ボルト          据付面基礎ボルト</p>
残留熱除去系海水系ポンプ原動機	鋼製の原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（原動機取付ボルト）で結合する。付属品は取付ボルトで固定する。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

e. ディーゼル発電機用海水ポンプ

(a) 構造設計

ディーゼル発電機用海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機用海水ポンプは、鋼製の立形ポンプの上に原動機を取り付け、原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、原動機はポンプの上の原動機支え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保持に必要な付属品は、原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。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造計画を表 3-7 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ディーゼル発電機用海水ポンプ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、ディーゼル発電機用海水ポンプ及びポンプの機能保持に必要な付属品を支持する基礎ボルト及び取付ボルト並びにポンプの機能保持に必要な付属品を支持する原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、「5.2.1(1) 海水ポンプ 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。

ロ. 動的機能維持評価

ディーゼル発電機用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、動的機能を保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、「5.2.1(1) 海水ポンプ 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 3-7 ディーゼル発電機用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】 ディーゼル発電機用海水ポンプは、海水ポンプ室に設置する設計としている。</p>			
ディーゼル 発電機用海 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。	
ディーゼル 発電機用海 水ポンプ原 動機	鋼製の原動機 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（原 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。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

f. 残留熱除去系海水系ストレーナ

(a) 構造設計

残留熱除去系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V-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。

残留熱除去系海水系ストレーナは円筒形の容器と支持脚が鋳物一体構造となった容器を主体構造とし、支持脚を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、支持脚を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表 3-8 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価については、設計竜巻による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、残留熱除去系海水系ストレーナを支持する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、「5.2.2(2) 海水ストレーナ 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 3-8 残留熱除去系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】                      残留熱除去系海水系ストレーナは、海水ポンプ室に設置する設計としている。</p>			
残留熱除去系海水系ストレーナ	円筒形の容器と支持脚が鋳物一体構造となった容器	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

g. ディーゼル発電機用海水ストレーナ

(a) 構造設計

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機用海水ストレーナは円筒形の容器と支持脚が鋳物一体構造となった容器を主体構造とし、支持脚を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、支持脚を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造計画を表 3-9 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ディーゼル発電機用海水ストレーナ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、ディーゼル発電機用海水ストレーナを支持する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、「5.2.2(2) 海水ストレーナ 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 3-9 ディーゼル発電機用海水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】 ディーゼル発電機用海水ストレーナは、海水ポンプ室に設置する設計としている。</p>			
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	円筒形の容器と支持脚が鋳物一体構造となった容器	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

#### h. 主排気筒

##### (a) 構造設計

主排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

主排気筒の筒身は、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。

主排気筒の構造計画を表 3-10 に示す。

##### (b) 評価方針

###### イ. 構造強度評価

主排気筒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、筒身及び鉄塔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 主排気筒(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 3-10 主排気筒の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】 主排気筒は、屋外に設置する設計としている。</p>			
主排気筒	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。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

- i. 配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）

(a) 構造設計

中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒の配管及び弁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒の配管及び弁は，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。

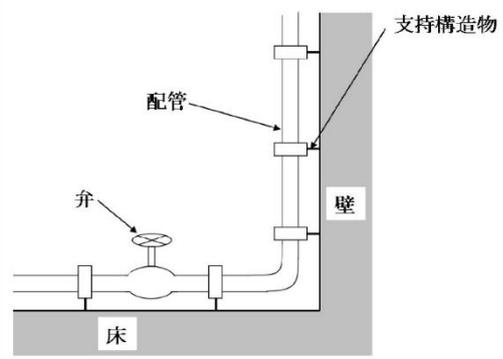
中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒の配管及び弁の構造計画を表 3-11 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）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，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 配管及び弁(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 3-11 配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）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】 配管及び弁は，原子炉建屋付属棟屋上の中央制御室換気系冷凍機エリア及び海水ポンプ室並びに原子炉建屋壁面及び主排気筒の支持鉄塔で支持する設計としている。</p>			
<p>配管及び弁 （中央制御室換気系冷凍機周り，残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒）</p>	<p>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>	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

(3) 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設

a. ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(a) 構造設計

ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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V-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。

ダクトは、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。

ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画を表3-12に示す。

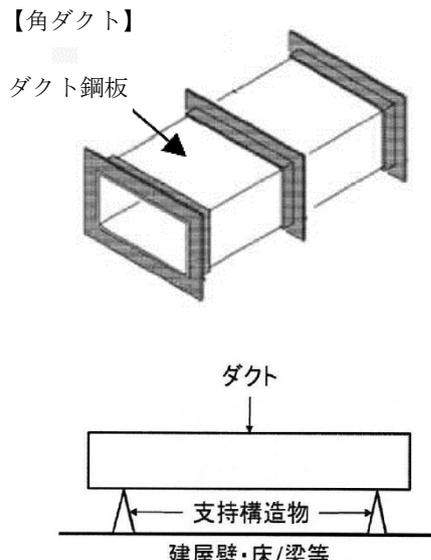
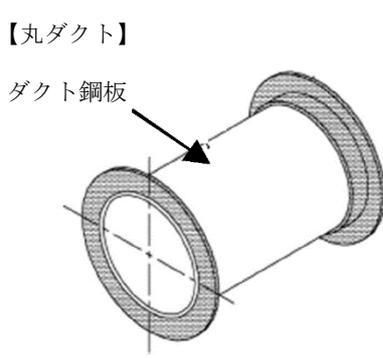
(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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、ダクト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) ダクト a. 角ダクト(c) 強度評価方法」及び「5.2.5(1) ダクト b. 丸ダクト(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 ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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】 ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は、十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）に設置する設計としている。</p>			
<p>ダクト（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））</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>【角ダクト】</p>  <p>ダクト鋼板</p> <p>ダクト</p> <p>支持構造物</p> <p>建屋壁・床/梁等</p> <p>【丸ダクト】</p>  <p>ダクト鋼板</p>

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

b. 隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））

(a) 構造設計

隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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V-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。

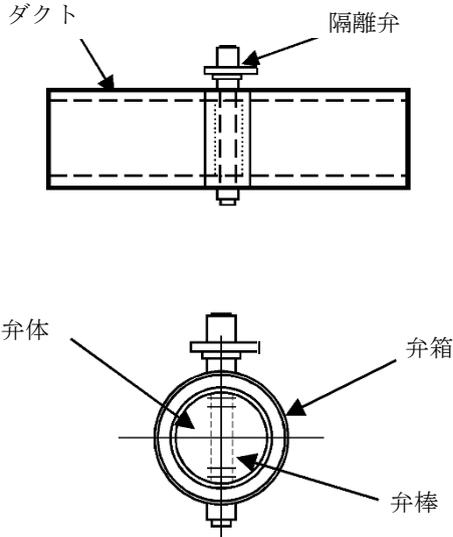
隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））の構造計画を表 3-13 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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) 隔離弁 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 隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））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>隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））は、十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）内に設置する設計としている。</p>			
<p>隔離弁（非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部））</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>	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

c. ファン（非常用換気空調設備）

(a) 構造設計

ファン（非常用換気空調設備）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V-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原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（非常用換気空調設備）の構造計画を表 3-14 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ファン（非常用換気空調設備）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(2) ファン 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 ファン（非常用換気空調設備）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>                      ファン（非常用換気空調設備）は、十分な強度を有する建屋（原子炉建屋）内に設置する設計としている。</p>			
ファン（非常用換気空調設備）	ケーシング及び羽根車などの鋼材で構成する。	床に基礎ボルトで支持する。	<p>The technical drawings illustrate the fan's construction. The upper drawing is a side elevation showing the motor (原動機) mounted on a base, connected to the fan housing. The lower drawing is a top-down view of the fan housing, showing the main shaft (主軸) and the fan wheel (羽根車). The fan housing is labeled as 'ケーシング' (casing).</p>

(4) 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

a. 機械的影響を与える可能性がある施設

(a) サービス建屋

イ. 構造設計

サービス建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

サービス建屋は、発電所建設時に設置した部分（以下「既設部」という。）及び、その後に増設した部分（以下「増設部」という。）で構成され、既設部及び増設部並びに原子炉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。本評価では原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する既設部を対象とする。（以下、「サービス建屋」という場合は、既設部を指す。）

サービス建屋は、鉄筋コンクリート造のラーメン構造とし、荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、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。

サービス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

サービス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、サービス建屋が原子炉建屋及び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、建屋の地震応答解析モデルを用いて算出した変位を基に評価を行う。

表 3-15 サービス建屋の構造計画(1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
建屋				

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

表 3-15 サービス建屋の構造計画(2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	基礎構造	
サービス 建屋	鉄筋コンクリート造のラーメン構造で構成する。	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。	

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

(b) 海水ポンプエリア防護壁

イ. 構造設計

海水ポンプエリア防護壁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

海水ポンプエリア防護壁は、鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構並びに鋼板で構成し、また、竜巻飛来物に対する防護ネット及び防護鋼板を取り付ける架構としての役割も有する。荷重は防護壁に作用し、基礎へ伝達する構造とする。

海水ポンプエリア防護壁の構造計画を表 3-16 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

海水ポンプエリア防護壁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、残留熱除去系海水系ポンプ等に接触する変形を生じないように、当該防護壁の変形が弾性限界の範囲に留まることを確認する。

表 3-16 海水ポンプエリア防護壁の構造計画 (1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
建屋				

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

表 3-16 海水ポンプエリア防護壁の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
海水ポンプ エリア防護 壁	鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構並びに鋼板で構成する。	荷重は防護壁に作用し、基礎へ伝達する構造とする。	<p>正面図</p> <p>立面図</p>

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

(c) 鋼製防護壁

イ. 構造設計

鋼製防護壁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びV-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。

鋼製防護壁は防潮堤の一部であり、鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造で構成し、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合される、分割したブロックの集合体として全体を構成する。荷重は防護壁に作用し、基礎へ伝達する構造とする。

鋼製防護壁の構造計画を表 3-17 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

鋼製防護壁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、鋼製防護壁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、「5.1.2 鋼製構造物(3) 強度評価方法」に示す評価式により算出した設計竜巻の風圧力による荷重が、津波による荷重に包絡されることを確認する。

表 3-17 鋼製防護壁の構造計画 (1/2)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	基礎構造	
建屋				

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

表 3-17 鋼製防護壁の構造計画 (2/2)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
鋼製防護壁	鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造であり、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合される、分割したブロックの集合体として全体を構成する。	荷重は防護壁に作用し、基礎へ伝達する構造とする。	<p>(鳥瞰図)</p> <p>(内部透視図 (“a”部))</p>

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

b. 機能的影響を与える可能性がある施設

(a) ディーゼル発電機排気消音器

イ. 構造設計

ディーゼル発電機排気消音器は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定しているディーゼル発電機排気消音器の設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機排気消音器は、鋼製の胴板を主体構造とし、ディーゼル発電機室屋上面に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルト又は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、ディーゼル発電機排気消音器を介し、取付ボルト又は基礎ボルトに伝達する構造とする。

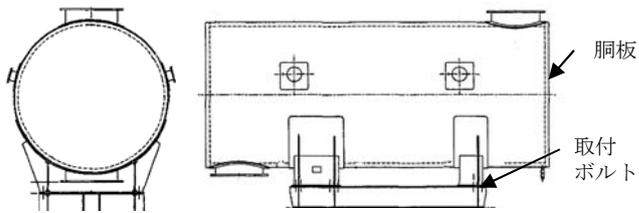
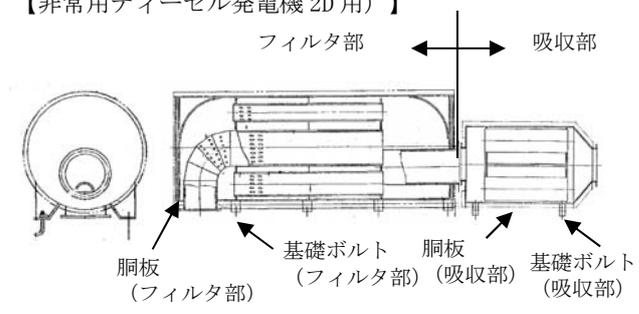
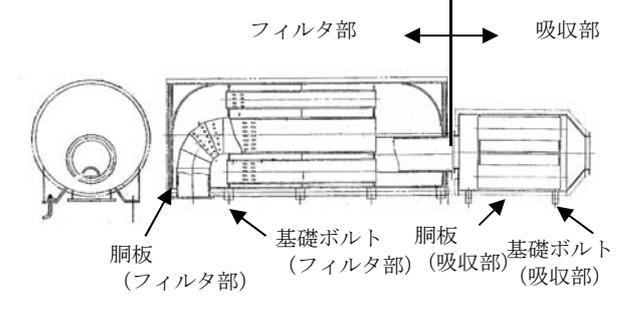
ディーゼル発電機排気消音器の構造計画を表 3-18 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

ディーゼル発電機排気消音器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、ディーゼル発電機排気消音器の取付ボルト又は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、「5.2.2(3) 消音器 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 3-18 ディーゼル発電機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	
ディーゼル 発電機排気 消音器	鋼製の胴板 で構成す る。	ディーゼル発 電機室屋上面 に設けたコン クリート基礎 に本体を取付 ボルト又は基 礎ボルトで固 定する。	<p>【非常用ディーゼル発電機 2C 用】】</p>  <p>【非常用ディーゼル発電機 2D 用】】</p>  <p>【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用】】</p> 

NT2 補② V-3-別添 1-1 R4

- (b) ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）

イ. 構造設計

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定しているディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）の設計方針及びV-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。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）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，配管本体からサポートを介して建屋壁及び床等に作用する構造とする。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）の構造計画を表 3-19 に示す。

ロ. 評価方針

(イ) 構造強度評価

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）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，排気配管及びベント管の配管本体及びサポート部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 配管及び弁(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 3-19 ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）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	
ディーゼル発電機付属排気配管	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。	
ディーゼル発電機付属ベント配管			
残留熱除去系海水系配管（放出側） ディーゼル発電機用海水配管（放出側）			

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (1/8)

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)、外壁、構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき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の外殻となる外壁及び屋根スラブ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の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。	
				転倒・脱落	竜巻より防護すべき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、構造躯体及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。	
		衝突	原子炉建屋大物搬入口扉 (機器搬入口内側扉)	貫通	貫通	設計飛来物の衝突を考慮し、設計飛来物の運動エネルギーが、原子炉建屋原子炉棟水密扉及び本扉による吸収可能エネルギー以下とするため、竜巻より防護すべき施設の外殻となる原子炉建屋大物搬入口扉 (機器搬入口内側扉) を評価対象部位として選定する。
				貫通	貫通	設計飛来物の衝突を考慮し、設計飛来物の運動エネルギーが、原子炉建屋機器搬入口内側扉及び本扉による吸収可能エネルギー以下とするため、竜巻より防護すべき施設の外殻となる原子炉建屋大物搬入口扉 (原子炉建屋原子炉棟水密扉) を評価対象部位として選定する。
		構造強度	原子炉建屋大物搬入口扉 (原子炉建屋原子炉棟水密扉)	転倒・脱落	貫通	貫通

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(2/8)

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	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟1階東側水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟1階南側水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉</li> <li>原子炉建屋付属棟2階サンブルタンク室連絡通路扉</li> <li>原子炉建屋付属棟3階バルブ室東側扉</li> <li>原子炉建屋付属棟3階バルブ室北側扉</li> <li>原子炉建屋付属棟3階西側非常用階段連絡口扉</li> <li>空調機械室搬入口扉</li> <li>空調機械室搬入口扉(潜戸)</li> <li>原子炉建屋付属棟4階南東側機器搬入口扉</li> </ul>	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設の外殻となる部分への設計飛来物の衝突を考慮し、当該部に終局状態に至るようなひびき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の外殻となる扉を評価対象部位として選定する。
		構造強度	転倒・脱落	竜巻より防護すべき施設の外殻となる部分への竜巻の気圧差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、竜巻より防護すべき施設の外殻となる扉を評価対象部位として選定する。	

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (3/8)

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	外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁, 構造躯体	衝突	貫通	竜巻より防護すべき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, 外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁を評価対象部位として選定する。
			構造強度	転倒・脱落	竜巻より防護すべき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, 構造躯体を評価対象部位として選定する。
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根スラブ, 外壁	衝突	貫通	竜巻より防護すべき施設の外殻となる部分への設計飛来物等の衝突を考慮し, 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の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
			構造強度	転倒・脱落	竜巻より防護すべき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, 竜巻より防護すべき施設の外殻となる外壁及び屋根スラブを評価対象部位として選定する。
	軽油貯蔵タンク タンク室	鋼製蓋  頂版	衝突	貫通	竜巻より防護すべき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, 施設の外殻となる鋼製蓋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の外殻とな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の外殻となる頂版を評価対象部位として選定する。		

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (4/8)

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	ディーゼル発電機吸気口	胴板 支持脚 支持脚基礎溶接部	構造強度	ディーゼル発電機吸気口	設計竜巻による荷重は、ディーゼル発電機吸気口の胴板に作用し、支持脚及び支持脚基礎溶接部に伝達される。 このことから、胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部を評価対象部位として選定する。
	ディーゼル発電機ルーフベントファン	外殻を構成する部材	衝突	貫入	ファン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、ファン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。
		吐出フード取付ボルト 基礎ボルト	構造強度	ファン	設計竜巻による荷重は、吐出フード及びケーシングに作用し、吐出フード取付ボルト、基礎ボルトに伝達されるが、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、吐出フード取付ボルト及び基礎ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。
	中央制御室換気系冷凍機	外殻を構成する部材	衝突	貫入	冷凍機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、冷凍機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。
		取付ボルト	構造強度	冷凍機	設計竜巻による荷重は、ケーシングを介し、ケーシングを固定している取付ボルトに作用する。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、取付ボルトを構造強度評価の評価対象部位として選定する。

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (5/8)

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	残留熱除去系海水ポンプ ディーゼル発電機用海水ポンプ	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 原動機フレーム	構造強度	海水ポンプ	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、本体各部取付けボルト及び主要構造部材である原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	海水ポンプ	ポンプ据付面より上部に竜巻により荷重を受けた際に、原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。	
		外殻を構成する部材	衝突	貫入	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、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。	
	残留熱除去系海水ポンプ ディーゼル発電機用海水ストレーナ	基礎ボルト	構造強度	海水ストレーナ	貫入	設計竜巻による荷重により発生する応力は、支持断面積の小さい箇所が厳しくなることから、支持断面積の小さい残留熱除去系海水ストレーナの基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (6/8)

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	主排気筒 配管及び弁 (中央制御室換気系冷却系凍機周り, 残留熱除去系海水系ポンプ及びデライゼル発電機用海水ポンプ周り並びに非常用ガス処理系排気筒)	筒身, 鉄塔	構造強度	主排気筒	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, これらを評価対象部位として選定する。
		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選定する。
		配管本体	構造強度	配管及び弁	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。

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (7/8)

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
屋内外の外部事象防護対象施設 外気と繋がっている	ダクト (非常用換気 空調設備及び原子炉 建屋換気系 (原子炉 建屋原子炉棟貫通 部) )	ダクト鋼板	構造強度	ダクト	換気空調設備のダクトは、建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けけないが、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。
	隔離弁 (非常用換気 空調設備及び原子炉 建屋換気系 (原子炉 建屋原子炉棟貫通 部) )	弁箱 弁体 弁棒	構造強度	隔離弁	換気空調設備の隔離弁は、建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けけないが、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、弁棒を評価対象部位として選定する。
	ファン (非常用換気 空調設備)	ケーシング	構造強度	ファン	換気空調設備のファンは、建屋内に設置されていることから竜巻の風圧力による荷重は直接受けけないが、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。

表 3-20 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (8/8)

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に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	サービス建屋	鉄筋コンクリート躯体耐震壁	構造強度	変形	外部事象防護対象施設を内包する施設に隣接する建屋の接触による波及的影響を考慮し、構造躯体である鉄筋コンクリート躯体及び耐震壁を評価対象部位として選定する。
	海水ポンプエリア防護壁	鉄筋コンクリート壁鉄骨架構	構造強度	変形	外部事象防護対象施設に隣接する防護壁の接触による波及的影響を考慮し、構造躯体である鉄筋コンクリート壁及び鉄骨架構を評価対象部位として選定する。
	鋼製防護壁	上部工 (鋼殻構造部)	構造強度	変形	外部事象防護対象施設を内包する施設に隣接する防護壁の接触による波及的影響を考慮し、上部工 (鋼殻構造部) を評価対象部位として選定する。
	ディーゼル発電機排気消音器	基礎ボルト取付ボルト	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、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、本体を支持するための主要な支持部材であり、支持断面積が小さく、発生する応力箇所が厳しくなる取付ボルト又は基礎ボルトを評価対象部位として設定する。
	ディーゼル発電機付属排気配管及びびべント配管	配管本体	構造強度	配管及びび弁	ディーゼル発電機付属排気配管及びびべント配管の主要な機能である流路形成機能を維持するために、主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。
	残留熱除去系海水系配管 (放出側)	配管本体	構造強度	配管及びび弁	海水配管 (放出側) の主要な機能である流路形成機能を維持するために、主要な構成部材である配管本体を評価対象部位として選定する。
	ディーゼル発電機用海水配管 (放出側)	配管本体	構造強度	配管及びび弁	海水配管 (放出側) の主要な機能である流路形成機能を維持するために、主要な構成部材である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、V-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( $F_d$ )

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( $W_T$ )

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( $\Delta P_{max}$ )

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

$\rho$  : 空気密度(=1.22 kg/m<sup>3</sup>)

$V_{Rm}$  : 竜巻の最大接線風速(m/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 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 $\Delta P_{max}$ (N/m <sup>2</sup> )
100	15	85	8900

(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外部事象防護対象施設等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「建築物荷重指針・同解説」((社)日本建築学会(2004改定))より  $\rho=1.22 \text{ kg/m}^3$ 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  $q=6100 \text{ N/m}^2$ 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( $\Delta P_{max}$ )は空気密度及び最大接線風速から、 $\Delta P_{max}=8900 \text{ N/m}^2$ 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及び車両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、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。

飛来物の寸法、重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)許可申請において示す**とおり設定する。また、その他の飛来物については、解析コード「TONBOS」を用いて算出した速度を飛来速度として設定する。

なお、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、付録 23「計算機プログラム(解析コード)の概要・TONBOS」に示す。

表 4-2 飛来物の諸元

	鋼製材	砂利	車両
寸法(m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04	3.6×2.5×8.6
重量(kg)	135	0.18	5000
水平方向の飛来速度(m/s)	51	62	52
鉛直方向の飛来速度(m/s)	34	42	—*

注記 \*：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から、車両が屋根に到達することは考え難く、仮に屋根に到達した場合でも、飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり、有意な衝突速度にならないと考えられるため。

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 $W_{T1}$ 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。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 4-3(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、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。

b. 屋外の外部事象防護対象施設 (表 4-3(2/5), 3/5))

残留熱除去系海水系海水ポンプ、ディーゼル発電機用海水ポンプ、残留熱除去系海水系ストレーナ、ディーゼル発電機用海水ストレーナ、配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り）に関しては、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。残留熱除去系海水系海水ポンプ、ディーゼル発電機用海水ポンプ、残留熱除去系海水系ストレーナ、ディーゼル発電機用海水ストレーナ、配管及び弁（中央制御室換気系冷凍機周り、残留熱除去系海水系ポンプ及びディーゼル発電機用海水ポンプ周り）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。

ディーゼル発電機ルーフトファン、中央制御室換気系冷凍機に関しては、風圧力による荷重、竜巻防護ネットを通過する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。ディーゼル発電機ルーフトファン、中央制御室換気系冷凍機は、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。

非常用ガス処理系排気筒、主排気筒に関しては、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。非常用ガス処理系排気筒、主排気筒は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。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。非常用ガス処理系排気筒、主排気筒に関しては、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。

ディーゼル発電機吸気口に関しては、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。運転時の状態で作用する荷重については、給気口であり内圧は発生しないため考慮しない。また、ディーゼル発電機吸気口に関しては、設計飛来物が衝突により貫通することを考慮しても閉塞することがなく、ディーゼル発電機の吸気機能は維持されるため、衝撃荷重については考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設（表 4-3(4/5)）

外気と繋がっている屋内の施設である非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系（原子炉建屋原子炉棟貫通部）のダクト、隔離弁及びファンは建屋内に設置しているため、風圧力による荷重及び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に施設に作用する気圧差による荷重と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、気圧差による荷重の抗力となるため組み合わせない。また、隔離弁及び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。

d. 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(表 4-3 (5/5))

機械的影響を与える可能性がある施設のうち、サービス建屋に関しては、風圧力による荷重、気圧差による荷重、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。

鋼製防護壁に関しては、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。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、鋼製防護壁の変形評価において設計飛来物による衝撃荷重の影響は軽微であるため、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。

機能的影響を与える可能性がある施設のうち、ディーゼル発電機排気消音器に関しては、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。ディーゼル発電機排気消音器は、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、ディーゼル発電機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、気圧差同様考慮しない。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）に関しては，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。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）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。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水系配管（放出側）並びにディーゼル発電機用海水配管（放出側）は排気又は排水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又は排水されるため，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 4-3 に示す。

表 4-3 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, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	衝突	○*	—	○*	○*	—	—	○	—	—	
		構造強度	○	—	○	○	○	—	—	○	—	—
	軽油貯蔵タンクタンク室	衝突	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—
		構造強度	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—

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。  
 (○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-3 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	ディーゼル発電機吸気口	構造強度	○	-	-	○	○	-	-	-	-
	ディーゼル発電機ルーフトファン	衝突	-	-	-	-	-	○	-	-	-
		構造強度	○	-	-	○	-	○	-	-	-
	中央制御室換気系冷凍機	衝突	-	-	-	-	-	-	○	-	-
		構造強度	○	-	-	○	-	○	-	-	-
	残留熱除去系海水系ポンプ, ディーゼル発電機用海水ポンプ	衝突	-	-	-	-	-	-	○	-	-
		構造強度	○	-	-	○	-	○	○	○	○
	残留熱除去系海水系ストレーナ, ディーゼル発電機用海水ストレーナ	衝突	-	-	-	-	-	-	○	-	-
		構造強度	○	-	-	○	-	○	○	○	○

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-3 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	非常用ガス処理系排気筒	構造強度	○	—	—	○	—	—	—	—
		構造強度	○	—	—	○	—	—	—	—
	主排気筒 配管及びび弁 (中央制御室換気系 冷凍機, 残留熱除去系海水系ボ ンプ及びびダイヤル発電機用海 水ポンプ周り)	衝突	—	—	—	—	—	○	—	—
		構造強度	○	—	—	○	○	○	○	○

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-3 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	ダクト (非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系 (原子炉建屋原子炉棟貫通部))	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	隔離弁 (非常用換気空調設備及び原子炉建屋換気系 (原子炉建屋原子炉棟貫通部))	構造強度	—	—	—	○	—	—	—
	ファン (非常用換気空調設備)	構造強度	—	—	—	○	—	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4-3 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	サービス建屋	構造強度	○	—	○	○	○	○	—	○	—	—
	海水ポンプエリア防護壁	構造強度	○	—	—	○	—	○	—	—	—	—
	鋼製防護壁	構造強度	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—
	ディーゼル発電機排気消音器	構造強度	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—
	ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管	構造強度	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○
	残留熱除去海水系配管 (放出側), ディーゼル発電機用海水配管 (放出側)	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 4-4 に示す。

表 4-4 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
R <sub>m</sub>	m	最大接線風速半径
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
Δ P <sub>max</sub>	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」及び「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会）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<sub>P</sub>)

気圧差による荷重は、次式のとおり算出する。

$$W_P = \Delta P_{max} \cdot A$$

ここで、

$$\Delta P_{max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

(c) 飛来物による衝撃荷重(W<sub>M</sub>)

飛来物による衝撃荷重は、飛来物が衝突する施設、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 4-5 に示す。

表 4-5 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 $V$ (m/s)	最大気圧 低下量 $\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )
100	1.22	1.0	6100	85	8900

#### 4.2 許容限界

許容限界は、V-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 4-8 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」((社)日本電気協会)、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」((社)日本電気協会)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」((社)日本電気協会) (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「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007 (以下「J S M E」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、J S M E や既往の実験式に基づき許容限界を設定する。

ただし、J S M E 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 J S M E 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 4-8(1/6))

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

設の外殻を構成する部材の最小厚さ若しくは部材の吸収エネルギー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、貫通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 の許容ひずみを許容限界として設定する。

b. 構造強度評価

(a) 裏面剥離 (表 4-8 (1/6))

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の外殻を構成する部材自体の脱落による影響を生じない設計とするために、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、鉄筋、デッキプレート若しくはライナの許容ひずみを許容限界として設定する。

(b) 転倒及び脱落 (表 4-8 (1/6))

鉄筋コンクリート造建造物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、竜巻より防護すべき施設の外殻とな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、構造躯体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  とする。

鉄骨造建造物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、竜巻より防護すべき施設の外殻とな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、構造躯体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—」等に基づく許容耐力を許容限界として設定する。

また、屋根スラブ及び屋根スラブのスタッドにおいては、「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。

水密扉の転倒及び脱落の評価については、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、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、扉支持部材の破断による転倒及び脱落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、「鋼構造設計規準・同解説—許容応力度設計法—」に準じて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 4-8 (6/6))

外部事象防護対象施設に波及的影響を与える可能性のある施設については、設計竜巻荷重及びその他の荷重に対し、サービス建屋が原子炉建屋及び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、原子炉建屋及びタービン建屋との離隔距離を許容限界として設定する。

海水ポンプエリア防護壁については、海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構と近接する外部事象防護対象施設との最小離隔距離を考慮し設定するものであるが、弾性限界内の変形に留めることとし短期許容応力度を許容限界として設定する。

鋼製防護壁については、海水ポンプ室に接触する変形を生じないことを竜巻以外の荷重との比較により確認する評価方針としていることを踏まえ、津波による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 4-6 に示す。

表 4-6 許容限界式に用いる記号

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
$A_0$	$\text{mm}^2$	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積
$sca$	$\text{mm}^2$	頭付きアンカーボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値
$b$	$\text{mm}$	部材幅
$D$	$\text{mm}$	頭付きアンカーボルト頭部の直径
$d$	$\text{mm}$	頭付きアンカーボルト軸部の直径
$F_c$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの設計基準強度
$f_n$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの支圧強度
$f_s$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コンクリートの許容せん断応力度
$f_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	鉄筋の許容引張応力度
$j$	$\text{mm}$	応力中心間距離 ( $j=(7/8) \cdot d$ )
$l_{ce}$	$\text{mm}$	頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ ( $l_{ce}=l_e$ )
$l_e$	$\text{mm}$	頭付きアンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ
$M_a$	$\text{kN} \cdot \text{m}$	屋根スラブの単位幅の許容曲げモーメント
$P_a$	$\text{kN}$	スタッド 1 本あたりの許容引張力
$p_a$	$\text{N}$	頭付きアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$p_{a1}$	$\text{N}$	頭付きアンカーボルトの降伏により定まる場合のアンカーボルト 1 本あたりの許容引張断力
$p_{a2}$	$\text{N}$	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頭付きアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$p_{a3}$	$\text{N}$	コンクリートの支圧破壊により定まるアンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力
$Q_a$	$\text{kN}$	屋根スラブの単位幅の許容せん断力
$c\sigma_t$	$\text{N}/\text{mm}^2$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
$s\sigma_{pa}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	頭付きアンカーボルトの引張強度
$s\sigma_y$	$\text{N}/\text{mm}^2$	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度
$\phi_1$	—	低減係数
$\phi_2$	—	低減係数
$a_t$	$\text{mm}^2$	引張鉄筋断面積

b. 許容限界式

(a) 頭付きアンカーボルトの許容限界式

コンクリート躯体中に定着された頭付きアンカーボルト1本あたりの許容引張力  $p_a$  は、以下の3式で算定される値のうち、いずれか小なる値とする。

「各種合成構造設計指針・同解説：（社）日本建築学会，2010年改定」より

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s c a$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_c$$

$$p_{a3} = f_n \cdot A_0$$

ここで

$$s \sigma_{pa} = s \sigma_y$$

$$c \sigma_t = 0.31 \sqrt{F_c}$$

$$A_c = \pi \cdot l_{ce} (l_{ce} + D)$$

$$f_n = \sqrt{A_c / A_0} \cdot F_c \quad \text{ただし, } \sqrt{A_c / A_0} \text{ が6を超える場合は6とする。}$$

$$A_0 = \pi (D^2 - d^2) / 4$$

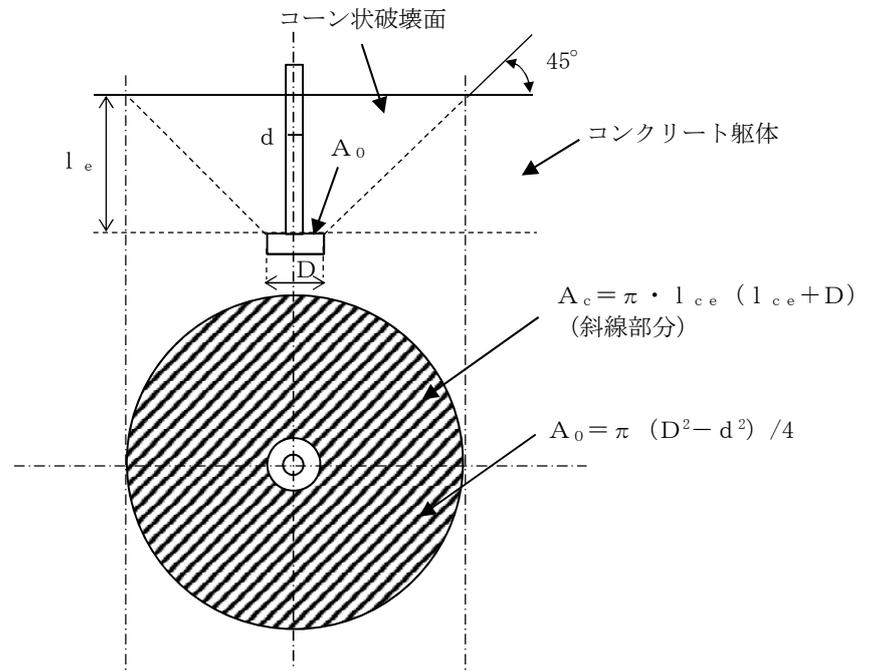


図4-1 頭付きアンカーボルトの側面の有効投影面積

(b) 屋根スラブの許容曲げモーメント

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

(c) 屋根スラブの許容せん断力

$$Q_a = b \cdot j \cdot f_s$$

(d) スタッド1本あたりの許容引張力

$$P_a = \min \{ p_{a1}, p_{a2}, p_{a3} \}$$

#### 4.2.2 機器・配管系

##### (1) 許容限界の設定

###### a. 衝突評価

###### (a) 貫入 (表 4-8 (3/6, 4/6))

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。但し、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. 構造強度評価

###### (a) 海水ポンプ (表 4-8 (3/6))

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、海水ポンプ及び海水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保持に必要な付属品を支持する原動機フレームが、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<sub>A</sub>Sの許容応力を許容限界として設定する。

###### (b) ディーゼル発電機吸気口 (表 4-8 (3/6))

ディーゼル発電機吸気口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、ディーゼル発電機吸気口を構成する胴板、支持脚及び支持脚基礎溶接部が、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。

###### (c) 海水ストレーナ (表 4-8 (4/6))

海水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、海水ストレーナ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。

###### (d) 消音器 (表 4-8 (6/6))

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、気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、消音器を構成する取付ボルト又は基礎ボルトが、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

EAG4601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) 主排気筒 (表 4-8 (4/6))

主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及びその他考慮すべき荷重に対し、風路を確保する機能を保持するために筒身及び鉄塔が、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、「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。

(f) 配管及び弁 (表 4-8 (4/6), (6/6))

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、JEAG4601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。

(g) ダクト (表 4-8 (5/6))

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、JEAG4601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ピング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(h) 隔離弁 (表 4-8 (5/6))

隔離弁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。

(i) ファン (表 4-8 (3/6))

屋内のファン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、JEAG4601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。

屋外のファン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、ファンの取付ボルト及び基礎ボルトが、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、JEAG4601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) 冷凍機 (表 4-8 (3/6))

冷凍機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、冷凍機の取付ボルトが、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。

b. 動的機能維持評価

(a) 海水ポンプ (表 4-8 (3/6))

海水ポンプの動的機能維持評価においては、海水ポンプの軸受部は、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、動的機能を保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 4-7 に示す。

表 4-7 許容限界式に用いる記号(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
E	MPa	ヤング率
f <sub>c</sub>	MPa	脚の許容圧縮応力
f <sub>br</sub>	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f <sub>bt</sub>	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f <sub>t</sub>	MPa	J S M E S S B - 3 1 2 1 . 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
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
k <sub>p</sub>	—	座屈係数
M	N・mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M <sub>crip</sub>	N・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 <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
π	—	円周率
ν	—	ポアソン比
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	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の気圧低下量
σ <sub>crip</sub>	MPa	クリッピ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
σ <sub>p1</sub>	MPa	面内荷重 (外圧) による発生応力
σ <sub>p2</sub>	MPa	面内荷重 (自重) による発生応力
σ <sub>sc</sub>	MPa	脚の圧縮応力の和

表 4-7 許容限界式に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$\sigma_{sr}$	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
$\sigma_{st}$	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
$\sigma_w$	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
$\sigma_x$	MPa	x 方向応力
$\sigma_y$	MPa	y 方向応力
$\tau$	MPa	せん断応力
$\tau_{xy}$	MPa	x y 面に作用するせん断応力

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。

$$\text{Min} \{ 1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau) \}$$

ロ. 溶接部

溶接部については引張応力とせん断応力の組合せが考えられる場合、J S ME SSB-3121.1(6), SSB-3121.2 を準用し、組合せ応力に対しても評価を行う。

垂直応力とせん断応力を生じる構造部分の応力は、以下に示す、垂直応力とせん断応力の組合せ応力の許容応力の評価式を満足しなければならない。

$$1.5 f_t \geq \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$$

(b) ディーゼル発電機吸気口の許容限界式

支持脚について、以下の式にて座屈評価を行う。

$$1 \geq \frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c}$$

(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

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

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。

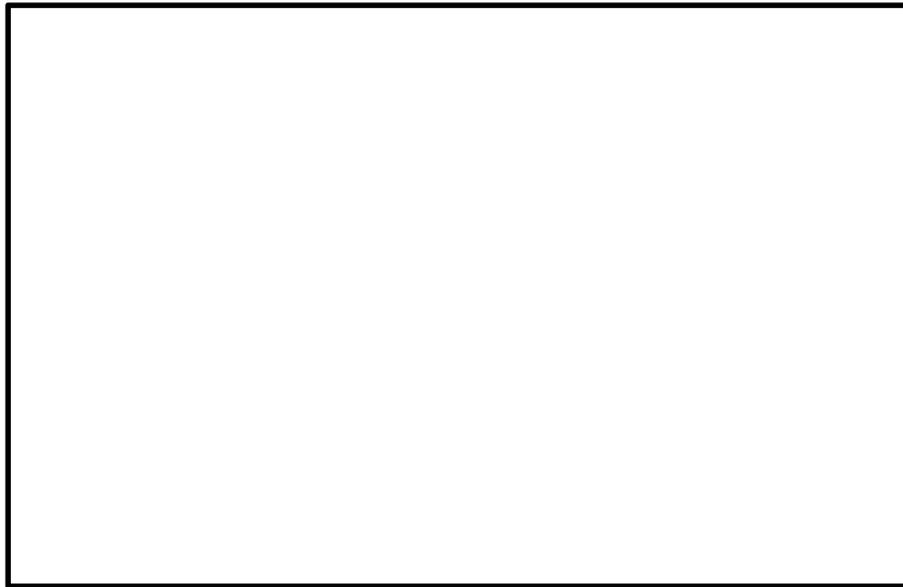


(d) 丸ダクトの許容限界式

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、円筒殻の座屈応力の式より算出する。



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。



表 4-8 施設ごとの許容限界 (1/7)

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, 使用済燃料乾式貯蔵建屋	$W_M$	屋根スラブ, 外壁 (外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁を含む)	衝突	せん断	貫通	施設の最小材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
				構造強度	せん断	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_T + W_P$ ( $W_w$ )		曲げ, せん断	曲げ, せん断	部材の破断による部材自体の転倒及び脱落	コンクリートのせん断ひずみ設定値 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> 以下とする。 鉄骨造部の部材が, 「鋼構造設計規準・同解説—許容応力度設計法—」等に基づく許容耐力以下とする。
							屋根スラブのスタッドが, 「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく許容耐力以下とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (2/7)

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	$W_M$	原子炉建屋大物搬入口扉 (機器搬入口内側扉)	衝突	せん断	貫通	設計飛来物の運動エネルギーが、原子炉建屋原子炉棟水密扉及び本扉による吸収可能エネルギー以下とする。
		$W_M$	大物搬入口扉 (原子炉建屋原子炉棟水密扉)	衝突	せん断	貫通	設計飛来物の運動エネルギーが、機器搬入口内側扉及び本扉による吸収可能エネルギー以下とする。
		$F_d + W_P$		構造強度	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。
		$W_M$	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 1 階東側水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 1 階南側水密扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 2 階東側機器搬入口扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 2 階サブタンク室連絡通路扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 3 階バルブ室東側扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 3 階バルブ室北側扉</li> <li>原子炉建屋付属棟 3 階西側非常用階段連絡口扉</li> <li>空調機械室搬入口扉</li> <li>空調機械室搬入口扉 (潜戸)</li> <li>原子炉建屋付属棟 4 階南東側機器搬入口扉</li> </ul>	衝突	せん断	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
		$F_d + W_P$		構造強度	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。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (3/7)

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	軽油貯蔵タンクタンク室	$W_M$	鋼製蓋	衝突	せん断	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
				衝突	せん断	貫通	施設の最小部材厚さが貫通限界厚さ以上とする。
			構造強度	せん断	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 4-8 施設ごとの許容限界 (4/7)

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	ディーゼル発電機吸気口	$F_d + W_T$ ( $W_w, W_P$ )	胴板	構造強度	一次一般膜, 一次, 一次+二次	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。
			支持脚	構造強度	組合せ, 座屈	部材の降伏	
			支持脚基礎溶接部	構造強度	引張, せん断, 組合せ	部材の降伏	
	ディーゼル発電機ルーフトファン	$F_d + (W_w, W_M)$	外殻を構成する部材	衝突	変形	空気の排出機能の喪失	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。
			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。
			外殻を構成する部材	衝突	変形	冷却機能の喪失	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。
	中央制御室換気系冷凍機	$F_d + (W_w, W_M)$	取付ボルト	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。
			外殻を構成する部材	衝突	変形	送水機能の喪失	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。
			取付ボルト	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。
	残留熱除去系海水系ポンプ, ディーゼル発電機用海水ポンプ	$F_d + W_T$ ( $W_w, W_P, W_M$ ) + $F_P$	取付ボルト	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。
			基礎ボルト	構造強度	組合せ	部材の降伏	
			原動機フレーム	構造強度	曲げ	部材の降伏	
	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 4-8 施設ごとの許容限界 (5/7)

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	残留熱除去系海水系ストレーナ, デイゼル発電機用海水ストレーナ	$F_d + W_T (W_w, W_p, W_M) + F_P$	外殻を構成する部材	衝突	変形	固形物除去機能の喪失	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満とする。	
								基礎ボルト
	非常用ガス処理系排気筒	$F_d + W_w$	配管本体	構造強度	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。
	主排気筒	$F_d + W_w$	配管を構成する部材	衝突	変形	流路を確保する機能の喪失	部材の降伏	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満とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (6/7)

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	ダクト (非常用換気空調設備及び 原子炉建屋換気系 (原子炉建屋原 子炉棟貫通部) )	$F_d + W_P$	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 以下又はクリップリング座屈に 応じた許容応力以下とする。					
								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。
	弁棒	構造 強度	せん断	部材の降伏								
	ファン (非常用換気空調設備)	$W_P$	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。					

表 4-8 施設ごとの許容限界(7/7)

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のある施設	サービス建屋	$F_d + W_T (W_w, W_P, W_M)$	構造躯体	構造強度	せん断	接触	変形量が、隣接する原子炉建屋及びタービン建屋との離隔距離以下とする。
	海水ポンプエリア防護壁	$F_d + W_T (W_w, W_M)$	構造躯体	構造強度	せん断	接触	変形量が、隣接する残留熱除去系海水系ポンプ等との離隔距離以下とする。
	鋼製防護壁	$F_d + W_w$	鋼製躯体	構造強度	せん断	接触	変形量が、隣接する海水ポンプ室との離隔距離以下とする。
	ディーゼル発電機排気消音器	$F_d + W_w$	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。
	ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管	$F_d + W_T (W_w, W_P) + F_P$	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。
	残留熱除去系海水系配管 (放出側), ディーゼル発電機用海水配管 (放出側)	$F_d + W_T (W_w, W_P) + F_P$	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 4-9 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	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

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 4-10 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 4-11 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 1.2 S 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 1.2 S としてもよい

表 4-12 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または荷重作用点より高い重心位置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式を用いて算定する。
- c. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算出する。

(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	屋根スラブ 外壁 構造躯体	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
	デッキプレート	貫通
タービン建屋	外部事象防護対象施設が設置されている区画の建屋内壁（オペレーティングフロア床版，気体廃棄物処理系バルブ室） 構造躯体	貫通 裏面剥離 転倒及び脱落
軽油貯蔵タンクタンク室	鋼製蓋支持部 頂版	貫通 裏面剥離
サービス建屋	鉄筋コンクリート躯体 耐震壁	変形
海水ポンプエリア防護壁	鉄筋コンクリート壁 鉄骨架構	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（鉛直）
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 <sub>c</sub> '	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（鉛直）
V <sub>0</sub>	m/s	飛来物基準速度	
W	kgf	飛来物重量	
α <sub>s</sub>	—	低減係数	

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。

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

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。
- b. 荷重及び応力は力学における標準式を用いて算出する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-4に示す。

表5-4 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	屋根スラブ (スタッド)	脱落
	原子炉建屋大物搬入口扉 (原子炉建屋原子炉棟水密扉)	貫通 転倒及び脱落
	原子炉建屋大物搬入口扉 (機器搬入口内側扉)	貫通
	原子炉建屋附属棟1階電気室搬入口水密扉	貫通 転倒及び脱落
軽油貯蔵タンクタンク室	鋼製蓋	貫通
鋼製防護壁	上部工 (鋼殻構造部)	変形

(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5-7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5-8に示す。

表5-7 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
d	cm	飛来物の（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	貫通限界厚さ（鋼製部材）
V	m/s	飛来物の衝突速度（鉛直）

表5-8 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)  
(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	設計竜巻荷重 $W_{T1}$ による単位幅あたりの荷重
$\omega_{T2}$	kN/m	設計竜巻荷重 $W_{T2}$ 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)

表5-9 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)  
(水密扉)

記号	単位	定義
$L_b$	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	kN	曲げモーメント
n	箇所	カンヌキの箇所数
$P_0$	kN	竜巻の気圧差による荷重
Q	kN	せん断力
$R_p$	kN	気圧差による荷重による反力
T	kN	引張力

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。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.439 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

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

イ. 単位幅の屋根スラブにおける発生モーメント

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

ロ. 単位幅の屋根スラブにおける発生せん断力

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

ハ. スタッド 1 本あたりの発生引張力

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

ニ. 水密扉の扉支持部材に生じる荷重

水密扉の扉支持部材のうち、ヒンジ部はヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト、アンカーで構成され、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。

尚、ヒンジ部へはヒンジ側にもカンヌキが配されているため、竜巻の気圧差に伴う荷重は発生しない。

水密扉の概要例を図5-1に示す。また、カンヌキ部に生じる荷重の例を図5-2に示す。

$$R_p = \frac{P_0}{n}$$

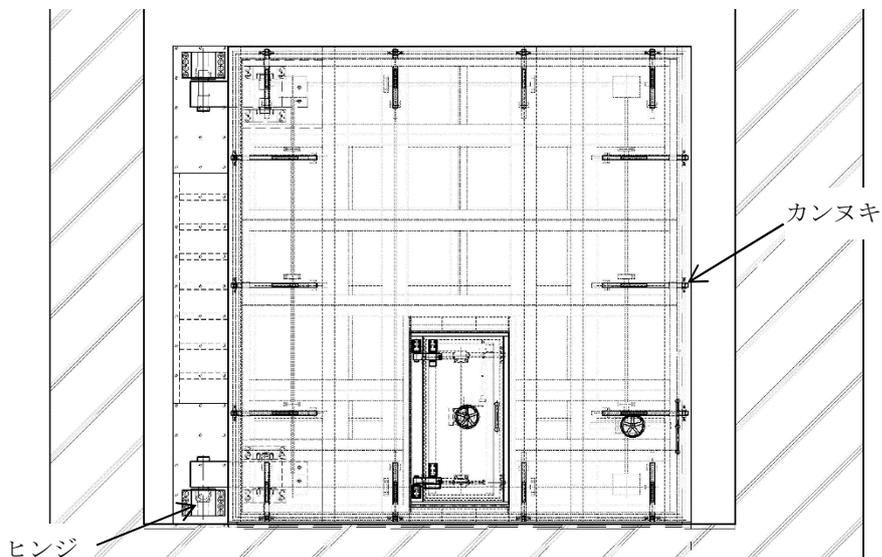


図5-1 水密扉概要 (例)

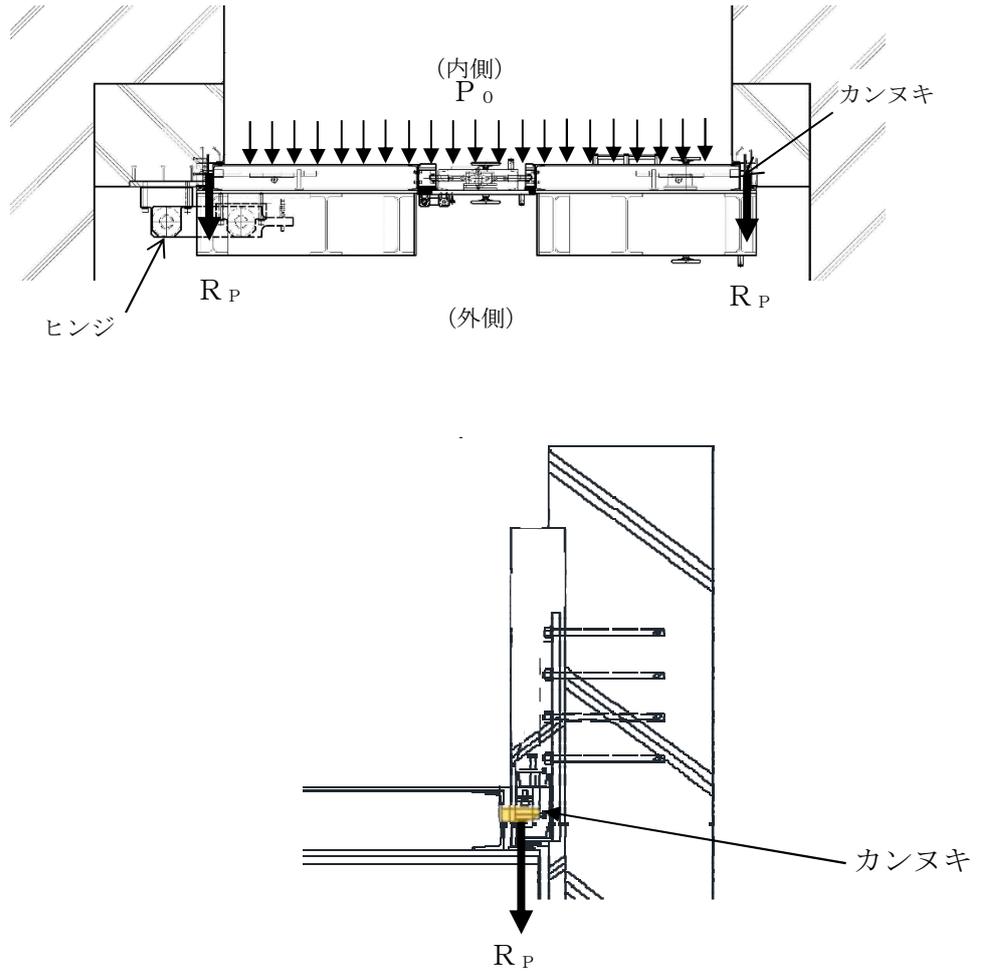


図5-2 カンヌキ部に生じる荷重の例

(イ) カンヌキ

カンヌキに生じる荷重は、次式により算定する。カンヌキに生じる荷重の例を図5-3に示す。

$$M = R_P \cdot L_b$$

$$Q = R_P$$

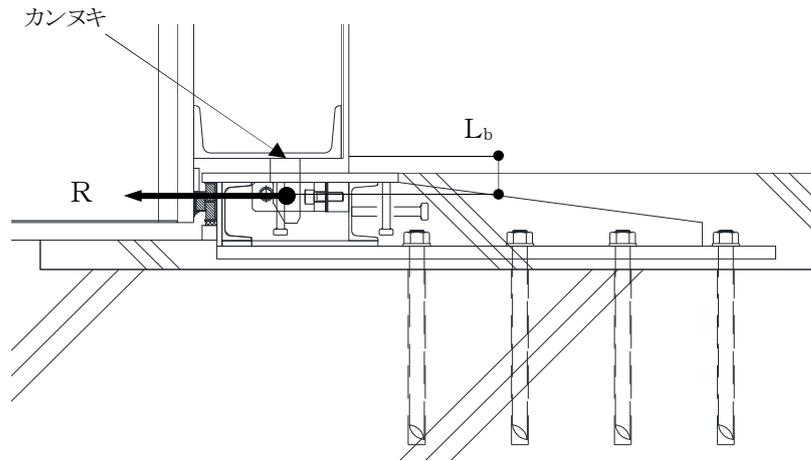


図5-3 カンヌキに生じる荷重の例

(ロ) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる荷重は、次式により算定する。カンヌキ受けピンに生じる荷重の例を図5-4に示す。

$$M = R_P \cdot \frac{L_P}{4}$$

$$Q = R_P$$

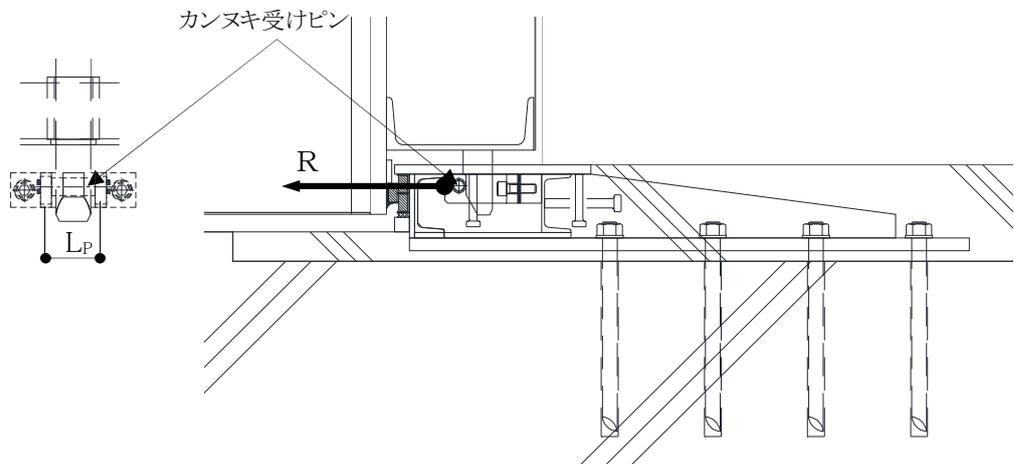


図5-4 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

(ハ) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる荷重は、次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例を図5-5に示す。

$$T = R_p$$

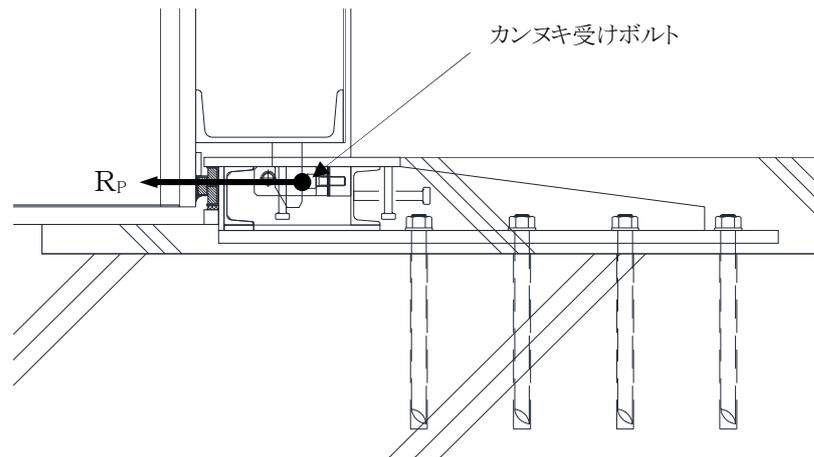


図5-5 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

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，貫通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	応力等の状態
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	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

b. 評価方法

(a) 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) 海水ポンプ

a. 評価条件

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、ポンプ部は全高の1/2の位置に、モータ部は風圧力による荷重の作用中心と同等、あるいはより高い重心作用位置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。

海水ポンプの強度評価対象部位を図5-6に示す。また、ポンプ部及びモータ部の応力計算モデル図を図5-7に示す。

- (b) たわみ量計算において、ポンプ据付面から原動機支え台上端までと、原動機支え台上端から原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5-8に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-12に示す。

表5-12 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
基礎ボルト，取付ボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・引張</li> <li>・せん断</li> <li>・組合せ</li> </ul>
原動機フレーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げ</li> </ul>
軸受部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲げ</li> </ul>

c. 強度評価方法

- (a) 記号の定義

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，表5-14に示す。

表5-13 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
$D$	mm	原動機フレーム外径
$d$	mm	原動機フレーム内径
$F_b$	N	ボルトに作用する引張力
$F_H$	N	ボルトに作用するせん断力
$F_i$	N	各ボルトに作用する引張力
$F_n$	N	ボルトに作用する最大引張力
$H$	N	自重による荷重
$h$	mm	基準面からの重心距離
$h_u$	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
$h_w$	mm	原動機フレーム溶接部高さ
$L$	mm	重心と支点間の距離
$L_g$	mm	ポンプ部各評価部位の評価高さ
$L_H$	mm	重心と支点間の距離
$L_i$	mm	各ボルト間の距離
$L_1 \sim L_8$	mm	支点と評価ボルト間の距離
$L_n$	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
$M$	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
$N$	—	ボルトの本数
$W_T$	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
$\sigma$	MPa	原動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bt}$	MPa	ボルトの引張応力
$\tau$	MPa	せん断応力

表5-14 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
$a$	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いて設計竜巻による風圧を受ける面それぞれの $W_{T2}$ の合計の複合荷重
$W''$	N	発生荷重
$x'$	mm	評価対象部から支点までの距離
$y$	mm	たわみ量
$\delta$	mm	フレーム変位置

(b) 計算モデル

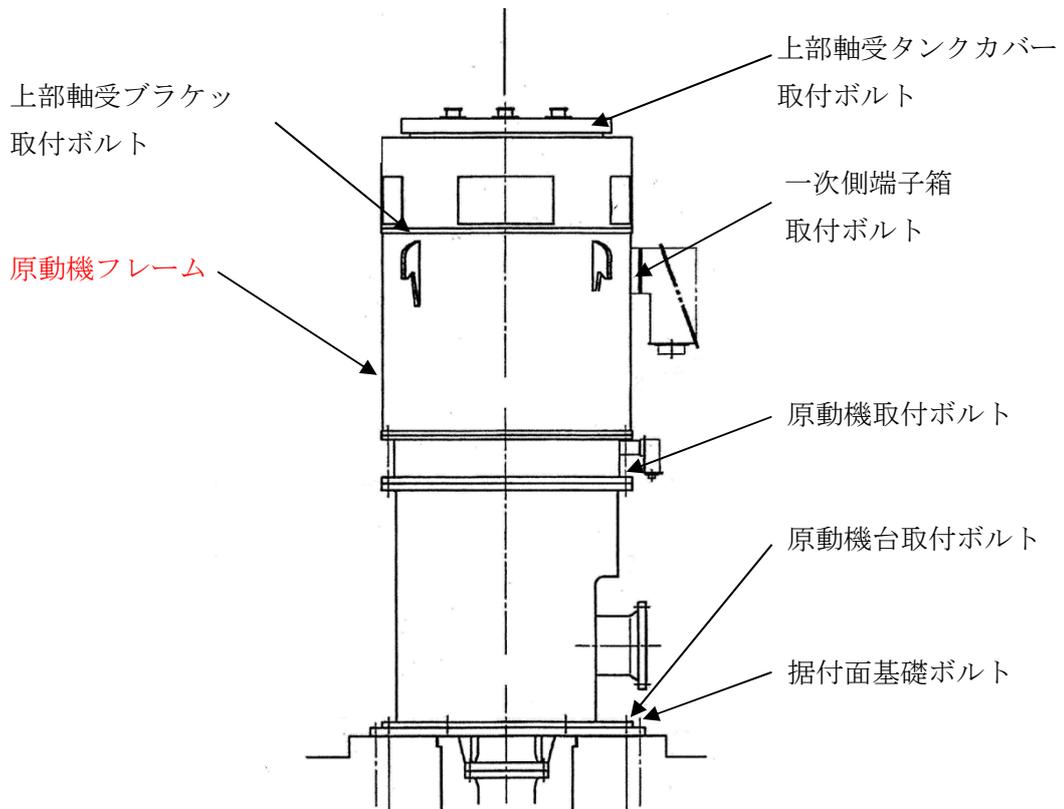


図 5-6(1/2) 海水ポンプの強度評価対象部位 (残留熱除去系海水系ポンプ)

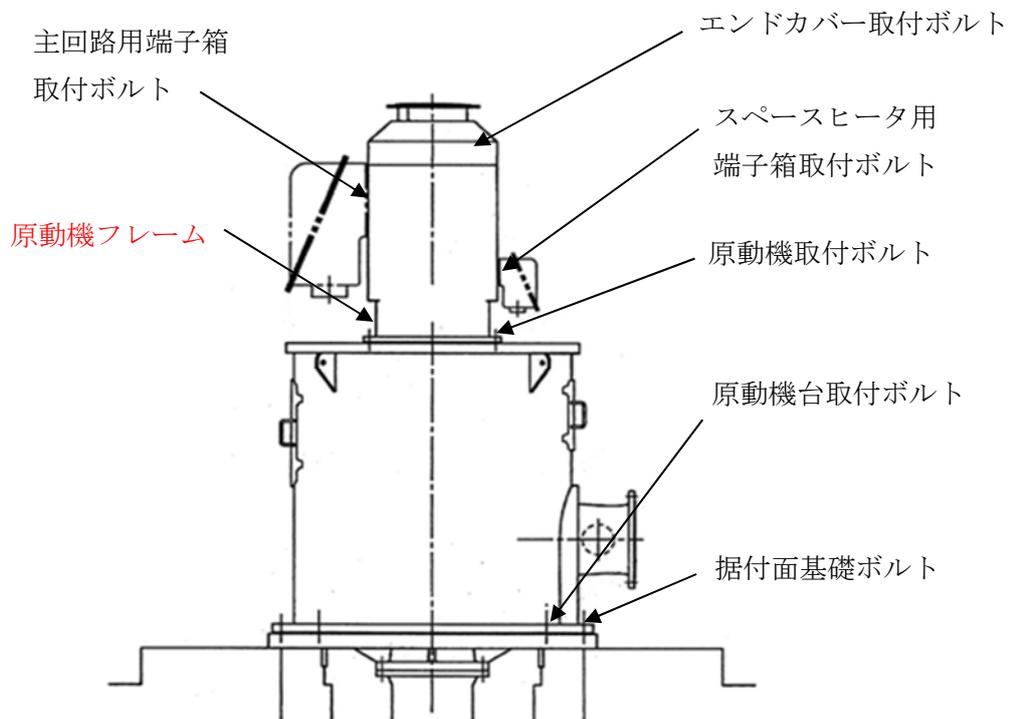


図 5-6(2/2) 海水ポンプの強度評価対象部位 (ディーゼル発電機用海水ポンプ)

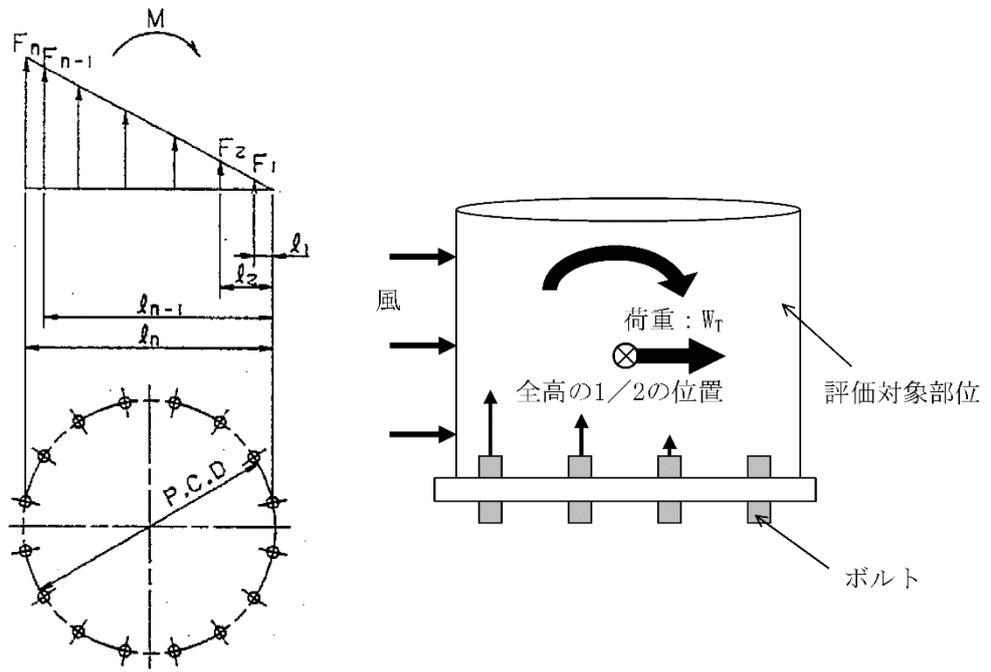


図 5-7(1/2) 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

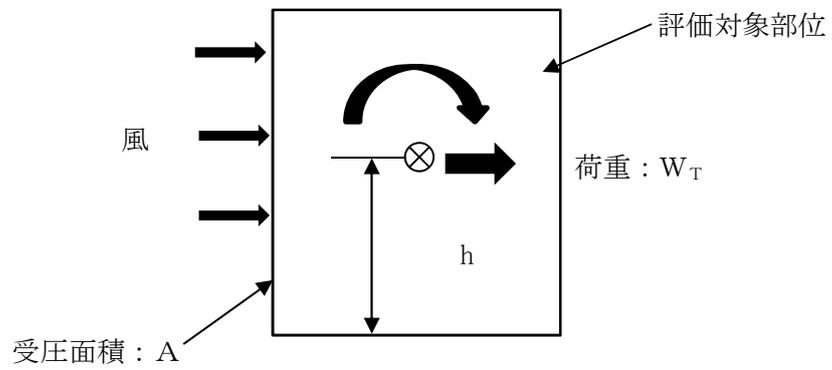


図 5-7(2/2) 応力の計算モデル図 (原動機部)

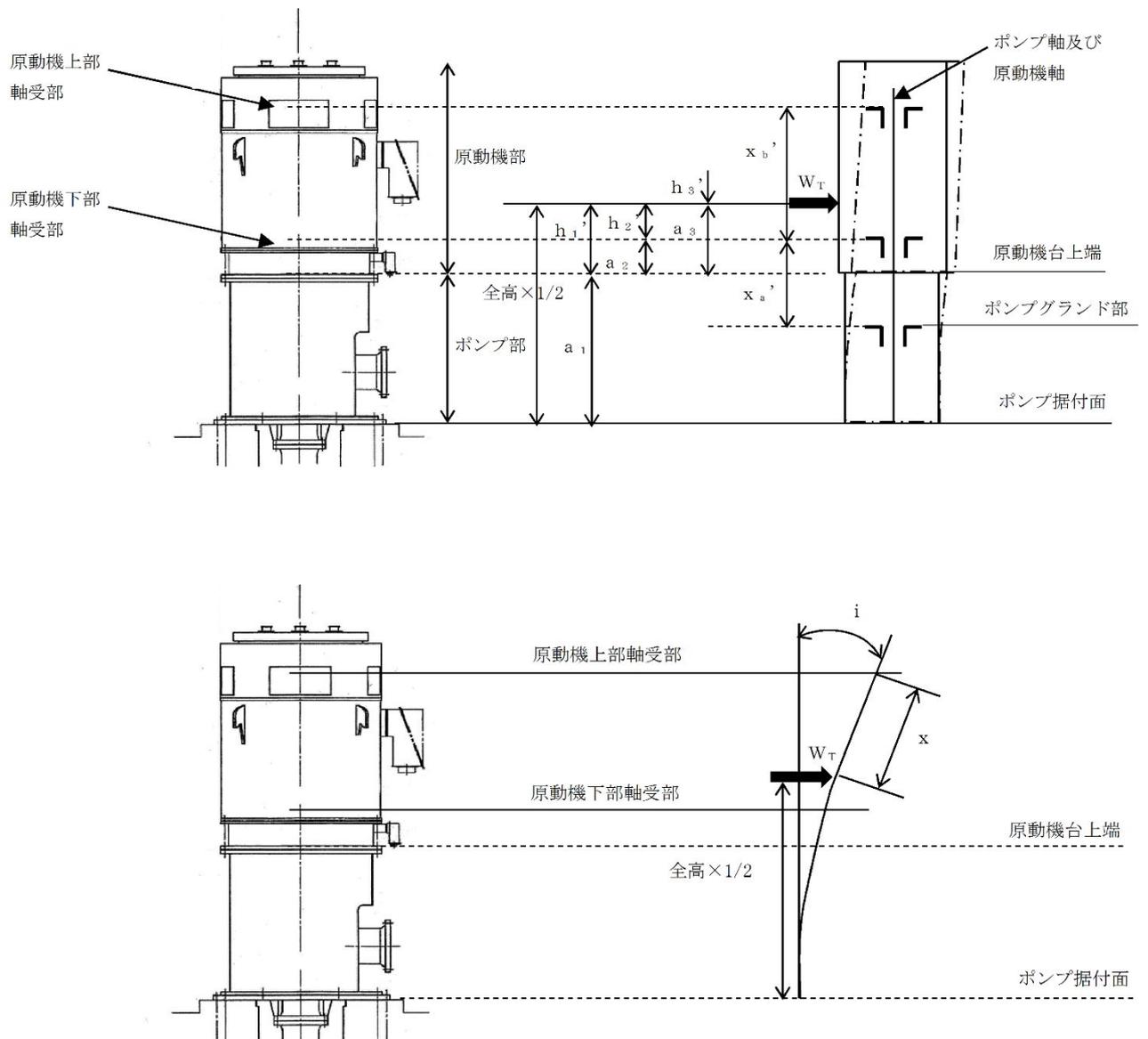


図 5-8(1/2) 海水ポンプのたわみ量計算モデル (残留熱除去系海水系ポンプ)

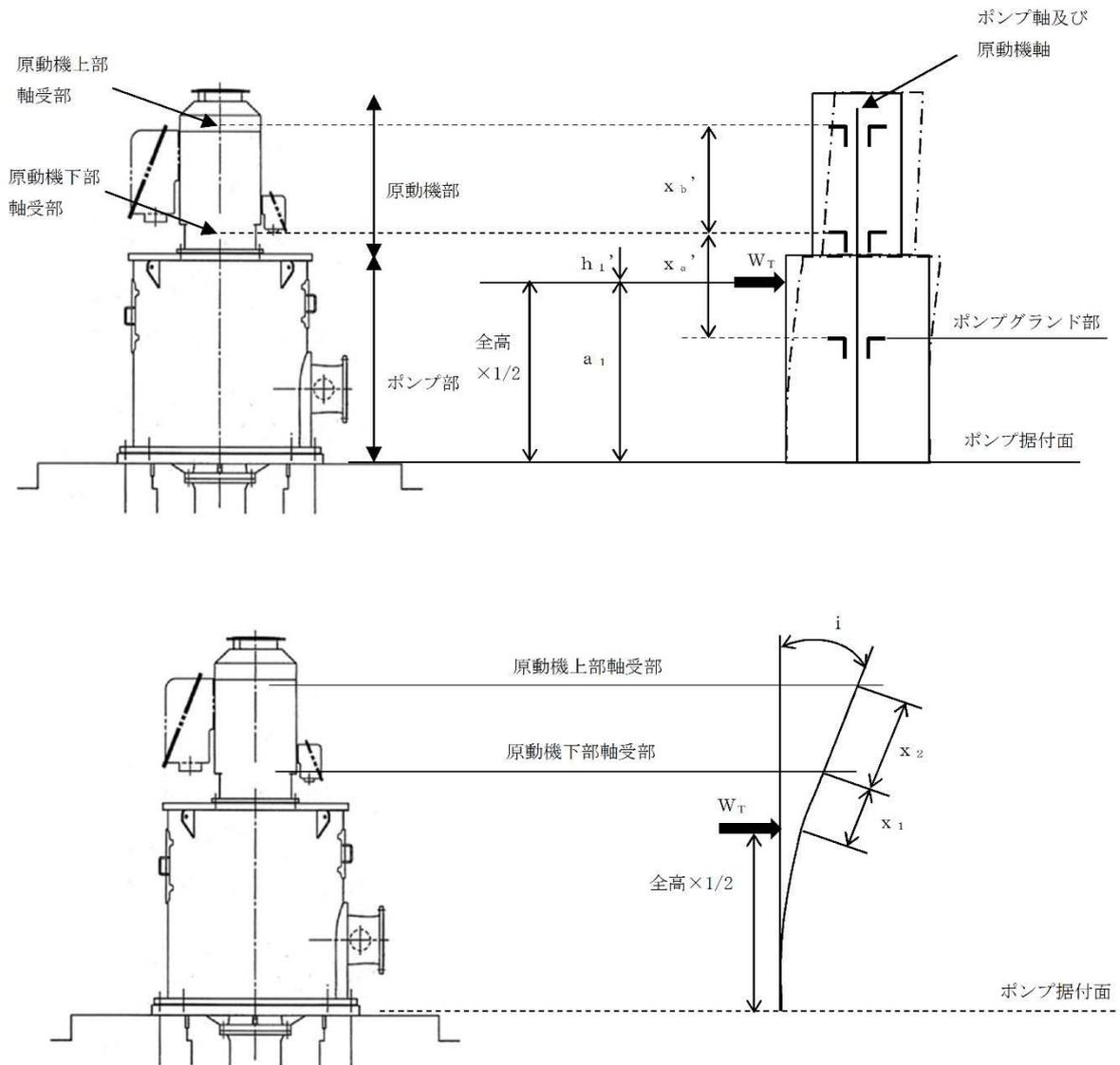


図 5-8(2/2) 海水ポンプのたわみ量計算モデル (ディーゼル発電機用海水ポンプ)

## (c) 評価方法

## イ. 応力の算出

機械工学便覧を参考に算出する。

## (イ) ポンプ部

- ・風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \text{全高} / 2$$

- ・引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdot \dots \quad (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \cdot \dots \quad (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

- ・せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

## (ロ) 原動機部

- ・風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L \quad (\text{ボルト取付方向が水平方向の場合})$$

$$M = W_T \cdot h \quad (\text{ボルト取付方向が鉛直方向の場合})$$

## 【原動機フレーム】

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

- ・曲げ応力

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

ここで,

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

【一次側端子箱ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），主回路用端子箱ボルト部（ディーゼル発電機用海水ポンプ），スペースヒータ用端子箱ボルト部（ディーゼル発電機用海水ポンプ）】

・引張応力

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで，

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + H^2}$$

【上部軸受ブラケット取付ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），上部軸受タンクカバー取付ボルト部（残留熱除去系海水系ポンプ），エンドカバー取付ボルト部（ディーゼル発電機用海水ポンプ）】

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が上端部（評価上厳しい条件）に作用した際の，取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdot \dots \quad (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \cdot \dots \quad (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より，

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よって，

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

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のそれぞれの $W_{T2}$ の合計を複合荷重 $W'$ とする。

$$W' = \Sigma W_{T2}$$

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。

ミオソテスの方法

$$y = \frac{M \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

$$i = \frac{M \cdot a}{E \cdot I} + \frac{W' \cdot a^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$M = W' \cdot h'$$

(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

$$W'' = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{x'^3}$$

5.2.3 容器

(1) ディーゼル発電機吸気口

a. 評価条件

ディーゼル発電機吸気口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、気圧差による荷重、自重を加えた荷重に対する、胴板、支持脚の構造健全性を1質点系モデルとし、J E A G 4 6 0 1 の4脚たて置円筒形容器の計算方法を準用して計算を行う。ここで、荷重の作用点は評価上高さの1/2より高い容器の重心位置とする。

ディーゼル発電機吸気口のモデル図を図5-9に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-15に示す。

表5-15 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
胴板	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次一般膜</li> <li>・一次</li> <li>・一次+二次</li> </ul>
支持脚	<ul style="list-style-type: none"> <li>・組合せ</li> <li>・座屈</li> </ul>
支持脚基礎溶接部	<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

ディーゼル発電機吸気口の強度計算に用いる記号を表5-16に示す。

表5-16 強度評価に用いる記号 (1/4)

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>s</sub>	mm <sup>2</sup>	脚の断面積
A <sub>s r</sub>	mm <sup>2</sup>	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A <sub>s t</sub>	mm <sup>2</sup>	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積
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>1</sub>	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の周方向)
C <sub>2</sub>	mm	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の 1/2 (胴の軸方向)
C <sub>c</sub> , C <sub>L</sub>	-	応力の補正係数
D <sub>i</sub>	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E <sub>s</sub>	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	J S M E S S B-3121. 1(1)により規定される値
F <sub>o</sub>	N	振動モデル系における水平力
f <sub>c</sub>	MPa	脚の許容圧縮応力
f <sub>b r</sub>	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f <sub>b t</sub>	MPa	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力
f <sub>t</sub>	MPa	脚の許容引張応力
G	-	ガスト影響係数
G <sub>s</sub>	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (=9. 80665)
H	m	ディーゼル発電機吸気口高さ
I	mm <sup>4</sup>	胴の断面 2 次モーメント
I <sub>s r</sub>	mm <sup>4</sup>	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I <sub>s t</sub>	mm <sup>4</sup>	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J <sub>s</sub>	mm <sup>4</sup>	脚のねじりモーメント係数
K <sub>c</sub>	-	脚の胴つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K <sub>L</sub>	-	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数
K <sub>r</sub>	-	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数
k <sub>L</sub>	-	アタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k <sub>c</sub>	-	アタッチメントパラメータ周方向の補正係数

表5-16 強度評価に用いる記号 (2/4)

記号	単位	定義
L	mm	脚の長さ
$L_c$	mm	脚の中立軸間の距離
$L_g$	mm	基礎から容器上部重心までの距離
$M_1$	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント
$M_3$	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部のねじりモーメント
$M_c$	N・mm	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向モーメント (圧縮側)
$M_L$	N・mm	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント (引張側)
$M_x$	N・mm	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
$M_\phi$	N・mm	胴に生じる周方向の曲げモーメント
$m_0$	kg	運転時質量
$N_x$	N/mm	胴に生じる軸方向の膜力
$N_\phi$	N/mm	胴に生じる周方向の膜力
P	N	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
$P_1$	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重
Q	N	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
R	N	運転時質量による脚の軸力
$R_1$	N	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力
$r_m$	mm	胴の平均半径
$S_u$	MPa	J S ME 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	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	胴の板厚
u	mm	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離
$W_1$	N	風荷重
$W_T$	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 ( $W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$ )
$W_M$	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
$Z_{sr}$	mm <sup>3</sup>	脚の半径方向軸に対する断面係数
$Z_{st}$	mm <sup>3</sup>	脚の周方向軸に対する断面係数
$\beta, \beta_1, \beta_2$ $\beta_c, \beta_L$	-	アタッチメントパラメータ
$\gamma$	-	シェルパラメータ

表5-16 強度評価に用いる記号 (3/4)

記号	単位	定義
$\Delta P$	N/m <sup>2</sup>	気圧差
$\Delta_r$	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
$\Delta_{r1}$	mm	水平力F <sub>0</sub> による胴の半径方向局部変位量
$\Delta_{x1}$	mm	水平力F <sub>0</sub> による第1脚上端の水平方向変位量
$\Delta_{x3}$	mm	水平力F <sub>0</sub> による第2脚上端の水平方向変位量
$\Delta_{y1}$	mm	水平力F <sub>0</sub> による第1脚の鉛直方向変位量
$\theta$	rad	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角
$\theta_0$	rad	水平力F <sub>0</sub> による胴の中心軸の傾き角
$\theta_1$	rad	水平力F <sub>0</sub> による第1脚の傾き角 (圧縮側)
$\theta_2$	rad	水平力F <sub>0</sub> による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角
$\theta_3$	rad	水平力F <sub>0</sub> による第2脚の傾き角
$\pi$	-	円周率
$\rho$	-	比重
$\sigma_0$	MPa	胴の一次一般膜応力の最大値
$\sigma_{0\phi}$	MPa	胴の周方向一次一般膜応力
$\sigma_{0x}$	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
$\sigma_1$	MPa	胴の一次応力の最大値
$\sigma_2$	MPa	胴の一次+二次応力の最大値
$\sigma_{11} \sim \sigma_{14}$	MPa	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力
$\sigma_{15}, \sigma_{16}$	MPa	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力
$\sigma_{21} \sim \sigma_{24}$	MPa	風荷重 (Z方向) が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力
$\sigma_{25}, \sigma_{26}$	MPa	風荷重 (X方向) が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力
$\sigma_s$	MPa	脚の組合せ応力の最大値
$\sigma_{s1}, \sigma_{s2}$	MPa	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	MPa	風荷重 (Z方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	MPa	風荷重 (X方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力
$\sigma_{sc}$	MPa	脚の圧縮応力の和
$\sigma_{sr}$	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
$\sigma_{st}$	MPa	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
$\sigma_{sx}$	MPa	風荷重 (X方向) が作用した場合の脚の組合せ応力
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	MPa	風荷重 (Z方向) が作用した場合の脚の組合せ応力
$\sigma_{x1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭又は内圧による胴の周方向応力
$\sigma_{x2}$	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
$\sigma_{x3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 3}$	MPa	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi 4}$	MPa	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{x5}$	MPa	応力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力

表5-16 強度評価に用いる記号 (4/4)

記号	単位	定義
$\sigma_{x61}, \sigma_{x62}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi61}, \sigma_{\phi62}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi71}, \sigma_{\phi72}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x81}, \sigma_{x82}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi81}, \sigma_{\phi82}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x91}, \sigma_{x92}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi91}, \sigma_{\phi92}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力
$\sigma_{x101}, \sigma_{x102}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi101}, \sigma_{\phi102}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{x111}, \sigma_{x112}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の軸方向応力
$\sigma_{\phi111}, \sigma_{\phi112}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi x3}, \sigma_{\phi x4}$	MPa	風荷重(X方向)が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z4}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の周方向一次応力の和
$\sigma_{\phi z5} \sim \sigma_{\phi z8}$	MPa	風荷重(Z方向)が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和
$\tau_3$	MPa	風荷重(Z方向)により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
$\tau_6$	MPa	風荷重(X方向)により胴の脚つけ根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力
$\tau_{c1}$	MPa	風荷重(Z方向)により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
$\tau_{c4}$	MPa	風荷重(X方向)により胴の脚つけ根部に生じる周方向せん断応力
$\tau_{L1}$	MPa	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
$\tau_{L2}$	MPa	風荷重(Z方向)により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力
$\tau_{L5}$	MPa	風荷重(X方向)により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力

(b) 計算モデル

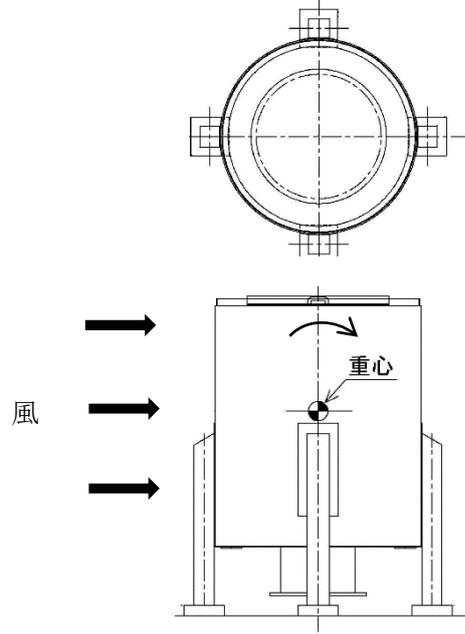


図 5-9 ディーゼル発電機吸気口の評価モデル図

(c) 評価方法

イ. 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

$$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 \cdot r_m = F_0(L_g - L)$$

ただし,

$$r_m = (D_i + t) / 2$$

第1脚の水平方向変位量  $\Delta_{x1}$ , 傾き角  $\theta_1$ , 鉛直方向変位量  $\Delta_{y1}$ は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

ここで,

$$u = \frac{L_c}{2} - r_m$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}}$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量  $\Delta_{r1}$ と局部傾き角  $\theta_2$ は次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

$$\theta_2 = \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

ここで、 $\beta_L$ は次による。

$$\beta_L = k_L \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

第2脚の傾き角  $\theta_0$ と水平方向変位量  $\Delta_{x3}$ は、次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{sr}}$$

第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0$$

第2脚のねじり角と局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c)L}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E}$$

ここで、 $\beta_c$ は次による。

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m}$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m}$$

脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3$$

さらに鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0$$

式を代入して、

$$\frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{s t}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{s r}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s r}} = 0$$

式を代入して

$$\frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L}{E_s \cdot I_{s t}} + \frac{P_1 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} + \frac{K_L \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta_1^2 \cdot E} + \frac{M_3 \cdot L}{E_s \cdot I_{s r}} - \frac{Q \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s r}} = 0$$

式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot L}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0$$

式を代入して

$$\begin{aligned} \frac{P_1 \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{s t}} + \frac{P_1 \cdot L}{G_s \cdot A_{s r}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u)L^2}{2E_s \cdot I_{s t}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \\ - \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{s r}} - \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{s t}} + \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s r}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} = 0 \end{aligned}$$

したがって、6変数 $P_1$ 、 $Q$ 、 $R_1$ 、 $M_1$ 、 $M_3$ 、 $M_c$ に対して上記式を連立させることにより方程式ができる。

ロ. 胴の応力計算

(イ) 静水頭又は内圧による応力

ディーゼル発電機吸気口に静水頭、内圧は発生しないため、 $\sigma_{\phi 1}$ 及び $\sigma_{x 1}$ は0となる。

(ロ) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi (D_i + t) t}$$

(ハ) 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合、軸力 $R$ は次による。

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4}$$

脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形を図5-10に示す。

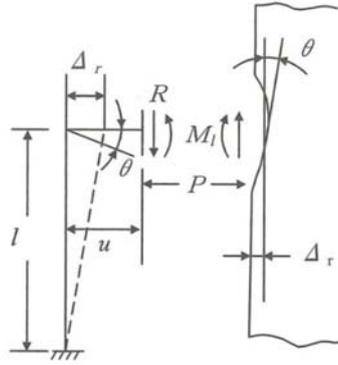


図 5-10 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-P \cdot L^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M_L)L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E}$$

また、脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(R \cdot u - M_L)L}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{P \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{st}} = \frac{K_L \cdot M_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E}$$

したがって

$$M_L = \frac{\left( \frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot L}{4E_s \cdot I_{st}}}{\left( \frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \left( \frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E} \right) - \left( \frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}} \right)^2}$$

$$P = \frac{\frac{\frac{m_0 \cdot g}{4} u - M_L}{2E_s \cdot I_{st}} L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

鉛直方向モーメント $M_L$ により生じる胴の局部応力は、図 5-11 に示す 3 次元 FEM モデルより求める (以下\*を付記する) ことにより算定する。

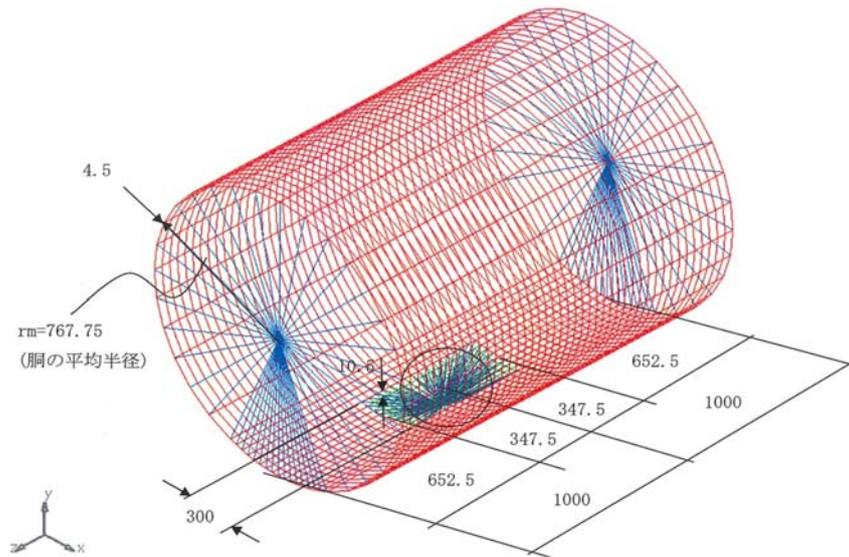


図 5-11 3次元 FEM モデル

$$\sigma_{\phi 3} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_L / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

$$\sigma_{x 3} = \left[ \frac{N_x}{M_L / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

半径方向荷重 P により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 4} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right]^* \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x 4} = \left[ \frac{N_x}{P / r_m} \right]^* \left( \frac{P}{r_m \cdot t} \right)$$

反力 R によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L 1} = \frac{R}{4C_2 \cdot t}$$

(ニ) 風荷重による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 5} = \frac{W_1(L_g - L)(D_i + 2t)}{2I}$$

(ホ) Z 方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

- ・ 一次応力

半径方向荷重 P<sub>1</sub> により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 61} = \left[ \frac{N_{\phi}}{P_1 / r_m} \right]^* \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x61} = \left[ \frac{N_x}{P_1 / r_m} \right]^* \left( \frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

鉛直方向曲げモーメント $M_1$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 71} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

$$\sigma_{x71} = \left[ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L^*$$

周方向曲げモーメント $M_c$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 81} = \left[ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c^*$$

$$\sigma_{x81} = \left[ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c^*$$

ここで、 $\beta_c$ は次による。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2}$$

周方向せん断力 $Q$ によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4C_1 \cdot t}$$

鉛直方向せん断力 $R_1$ によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L2} = \frac{R_1}{4C_2 \cdot t}$$

ねじりモーメント $M_3$ により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2\pi \cdot C_1^2 \cdot t}$$

・ 二次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 6 2} = \left[ \frac{M_{\phi}}{P_1} \right]^* \left( \frac{6 P_1}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x 6 2} = \left[ \frac{M_x}{P_1} \right]^* \left( \frac{6 P_1}{t^2} \right)$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 7 2} = \left[ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6 M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x 7 2} = \left[ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6 M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 8 2} = \left[ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6 M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

$$\sigma_{x 8 2} = \left[ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left( \frac{6 M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

(へ) X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

・ 一次応力

半径方向荷重  $P_1$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 9 1} = \sigma_{\phi 6 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 9 1} = \sigma_{x 6 1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメント  $M_1$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 1 0 1} = \sigma_{\phi 7 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 1 0 1} = \sigma_{x 7 1} / \sqrt{2}$$

周方向曲げモーメント  $M_c$  により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 1 1 1} = \sigma_{\phi 8 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 1 1 1} = \sigma_{x 8 1} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力  $Q$  によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c 4} = \tau_{c 1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力  $R_1$  によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L5} = \tau_{L2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメント $M_3$ により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

・ 二次応力

半径方向荷重 $P_1$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2}$$

鉛直方向曲げモーメント $M_1$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2}$$

周方向曲げモーメント $M_c$ により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2}$$

(ト) 組合せ応力

(イ)～(へ)項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は、次により組み合わせる。

・ 一次一般膜応力

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5}$$

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}]$$

・ 一次応力 (膜+曲げ)

胴の評価点を図 5-12 に示す。

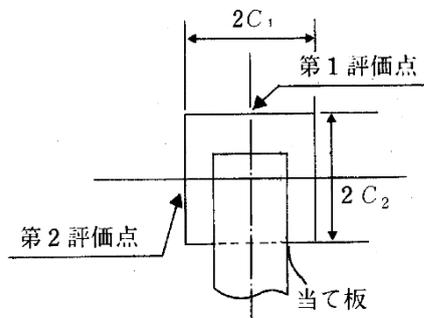


図 5-12 胴の評価点

① Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 7 1}$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7 1}$$

$$\sigma_{1 1} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 6 1}$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1}$$

$$\sigma_{1 2} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 2})^2} \right\}$$

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4}$$

$$\sigma_{1 3} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8 1}$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 8 1}$$

$$\sigma_{1 4} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_3)^2} \right\}$$

② X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1}$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1}$$

$$\sigma_{1 5} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \right\}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 1 1}$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 1 1}$$

$$\sigma_{1 6} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} \right\} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 5} + \tau_6)^2}$$

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{1 1}, \sigma_{1 2}, \sigma_{1 3}, \sigma_{1 4}, \sigma_{1 5}, \sigma_{1 6}]$$

・ 組合せ一次+二次応力

① Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 7 2}$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2} + \sigma_{x 7 1} + \sigma_{x 7 2}$$

$$\sigma_{2 1} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2}$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2}$$

$$\sigma_{2 2} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4\tau_{L 2}^2}$$

・ 第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 7} = 0$$

$$\sigma_{x z 7} = 0$$

$$\sigma_{2 3} = \sigma_{\phi z 7} + \sigma_{x z 7} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 7} - \sigma_{x z 7})^2 + 4(\tau_{c 1} + \tau_3)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 8 1} + \sigma_{\phi 8 2}$$

$$\sigma_{x z 8} = \sigma_{x 8 1} + \sigma_{x 8 2}$$

$$\sigma_{2 4} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{x z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{x z 8})^2 + 4\tau_3^2}$$

② X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1} + \sigma_{\phi 9 2} + \sigma_{\phi 1 0 2}$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1} + \sigma_{x 9 2} + \sigma_{x 1 0 2}$$

$$\sigma_{2 5} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4(\tau_{c 4} + \tau_6)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 9 2} + \sigma_{\phi 1 1 1} + \sigma_{\phi 1 1 2}$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 9 2} + \sigma_{x 1 1 1} + \sigma_{x 1 1 2}$$

$$\sigma_{2 6} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4(\tau_{L 5} + \tau_6)^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{2 1}, \sigma_{2 2}, \sigma_{2 3}, \sigma_{2 4}, \sigma_{2 5}, \sigma_{2 6}]$$

ハ. 脚の応力計算

(イ) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s 2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{s t}}$$

(ロ) 風荷重 (Z方向) による応力

・ 第1脚

$$\sigma_{s 5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s 6} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{Z_{s t}}$$

□・ 第2脚

$$\sigma_{s 7} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{Z_{s r}}$$

(ハ) X方向荷重による応力

$$\sigma_{s 8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s 9} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{s t}}$$

$$\sigma_{s 10} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{s r}}$$

## (二) 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

## ① Z方向荷重が作用した場合

- 第1脚

$$\sigma_{s z 1} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 2} + \sigma_{s 5} + \sigma_{s 6}$$

- 第2脚

$$\sigma_{s z 2} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 2} + \sigma_{s 7}$$

## ② X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{s x} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 2} + \sigma_{s 8} + \sigma_{s 9} + \sigma_{s 10}$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{s z 1}, \sigma_{s z 2}, \sigma_{s x}]$$

## (ホ) 組合せ圧縮応力

## ① Z方向荷重が作用した場合

- 第1脚

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 5}$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2} + \sigma_{s 6}$$

$$\sigma_{s r} = 0$$

- 第2脚

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1}$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2}$$

$$\sigma_{s r} = \sigma_{s 7}$$

## ② X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{s c} = \sigma_{s 1} + \sigma_{s 8}$$

$$\sigma_{s t} = \sigma_{s 2} + \sigma_{s 9}$$

$$\sigma_{s r} = \sigma_{s 10}$$

圧縮と曲げの組合せについて、座屈評価用の式を次式より求める。

$$\frac{\sigma_{s r}}{f_{b r}} + \frac{\sigma_{s t}}{f_{b t}} + \frac{\sigma_{s c}}{f_c} \leq 1$$

## ニ. 支持脚基礎溶接部の応力計算

### (イ) 引張応力の算出

風圧力による荷重 $W_{T2}$ によるモーメント $M$ により、2本の支持脚には吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重 $T$ が作用する。

モーメントの釣り合いを考えると、

$$M = W_{T2} \cdot L_g = 2 \cdot T \cdot L_1$$

よって吸気口の支持脚基礎溶接部に作用する引張荷重 $T$ は以下のようになる。

$$T = \frac{W_{T2} \cdot L_g}{2L_1}$$

吸気口の支持脚基礎溶接部に生じる引張応力 $\sigma_t$ は以下のようになる。

$$\sigma_t = \frac{T}{A_w} = \frac{W_{T2} \cdot L_g}{2L_1 \cdot A_w}$$

### (ロ) せん断応力の算出

吸気口の支持脚基礎溶接部に作用するせん断荷重 $Q$ は以下のようになる。

$$Q_1 = \frac{W_{T2}}{4}$$

よって、吸気口の支持脚基礎溶接部に生じるせん断応力 $\tau$ は以下のようになる。

$$\tau = \frac{Q_1}{A_w} = \frac{W_{T2}}{4A_w}$$

### (ハ) 組合せ応力の算出

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2}$$

(2) 海水ストレーナ

a. 評価条件

海水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) 設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，及び有効運転質量を考慮した自重を加えた荷重に対する，支持脚の構造健全性を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 の横型ポンプの計算式を参考とし**計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの1/2より高い容器の重心位置とする。

海水ストレーナのモデル図を図5-13に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-17に示す。

表5-17 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
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

海水ストレーナの強度計算に用いる記号を表5-18に示す。

表5-18 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	基礎ボルトの軸断面積
$d$	mm	基礎ボルト呼び径
$F_b$	N	基礎ボルトに対する引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$h$	mm	ストレーナ重心高さ
$L_1$	mm	基礎ボルト間の水平距離
$L_H$	mm	重心から基礎ボルト間の水平距離
$m$	kg	容器の有効運転質量*
$N$	—	基礎ボルトの本数
$n_f$	—	引張力を受ける基礎ボルトの本数
$Q_b$	N	基礎ボルトに対するせん断力
$W_{T2}$	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
$\sigma_b$	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

注記 \*：有効運転質量は，容器の満水時における質量とする。

(b) 計算モデル

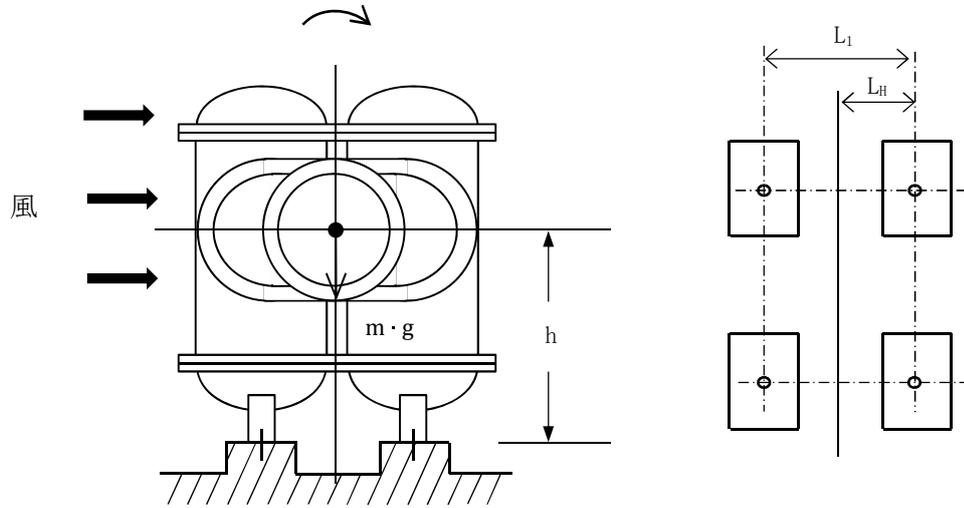


図5-13 海水ストレーナのモデル図

(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 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。

(イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_{T2} \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

(ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

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

$$Q_b = W_{T2}$$

(ロ) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

(3) 消音器（ディーゼル発電機排気消音器）

a. 評価条件

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，気圧差による荷重を考慮した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質点系モデルとして計算を行う。ここで，荷重の作用点は評価上高さの1/2より高い容器の重心位置とする。
- (b) ディーゼル発電機排気消音器（非常用ディーゼル発電機2D）及びディーゼル発電機排気消音器（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機）は，フィルタ部と吸収部がフランジで結合されているが，設計竜巻による発生荷重はおおむね弾性範囲内となるよう設計するため大きな変位は発生せず，フィルタ部又は吸収部に発生した応力が他方に伝達する影響は小さいため，軸直角方向からの風荷重による応力はフィルタ部と吸収部各々直下の取付ボルト又は基礎ボルトに発生すると考えられる。また，軸方向からの風荷重による応力はフィルタ部と吸収部各々について風が当たるものとして評価することで保守的な評価となるため，フィルタ部と吸収部に分けて評価を行う。

消音器のモデル図を図5-14～図5-16に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-19に示す。

表5-19 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
取付ボルト 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

消音器の強度計算に用いる記号を表5-20に示す。

表5-20 消音器の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	mm <sup>2</sup>	基礎ボルトの軸断面積
$d$	mm	基礎ボルト呼び径
$F_{bH}$	N	基礎ボルトに対する軸直角方向応力評価における引張力
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 ( $g = 9.80665$ )
$h$	mm	排気消音器重心高さ
$L_{gH}$	mm	重心から基礎ボルト間の軸直角方向水平距離
$m$	kg	排気消音器の質量
$N$	—	基礎ボルトの本数
$Q_b$	N	基礎ボルトに対するせん断力
$W_T$	N	設計竜巻による複合荷重
$\pi$	—	円周率
$\sigma_{bH}$	MPa	軸直角方向応力評価における基礎ボルトに生じる引張応力
$\tau$	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

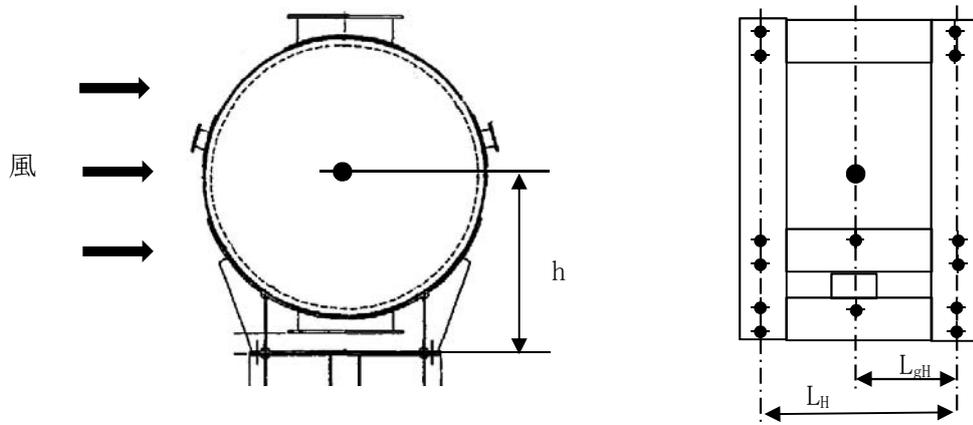


図 5-14(1/2) 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図 (軸直角方向)

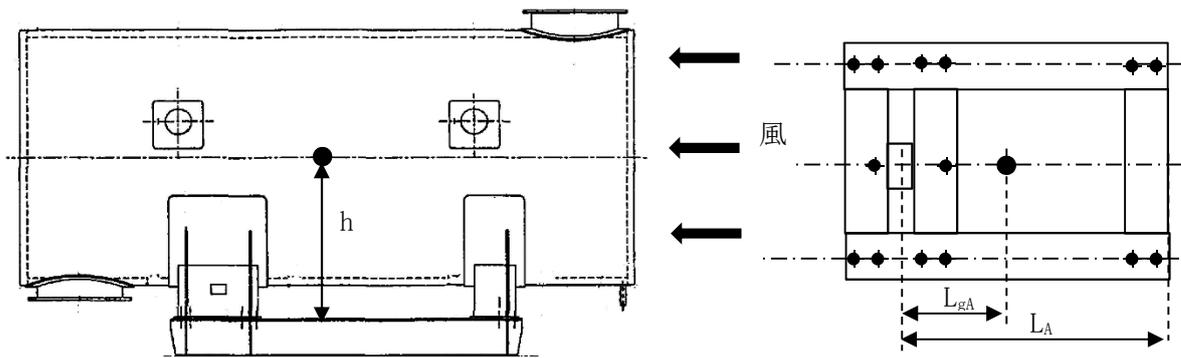


図 5-14(2/2) 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図 (軸方向)

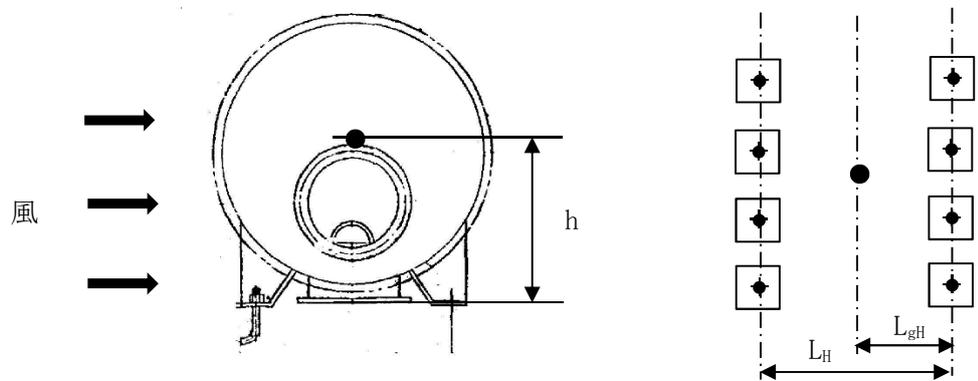


図 5-15(1/2) 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器, 高压炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図 (フィルタ部軸直角方向)

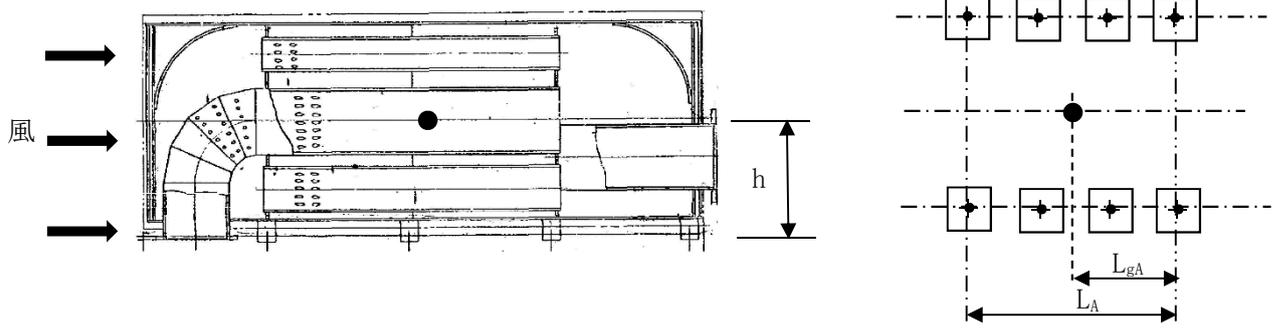


図 5-15(2/2) 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸方向）

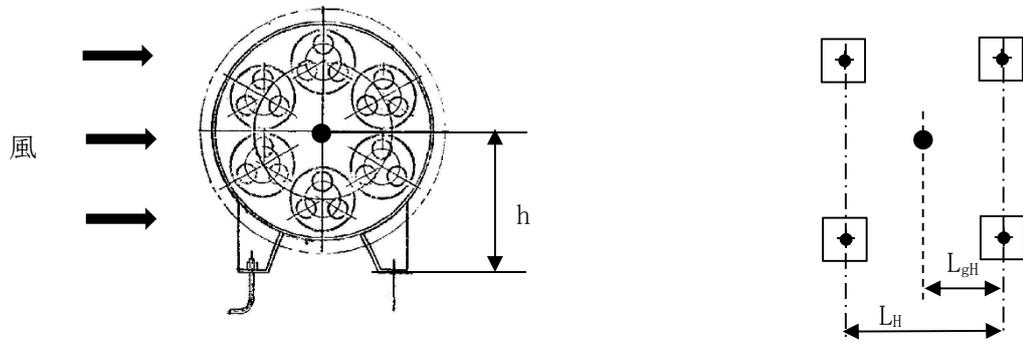


図 5-16(1/2) 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器モデル図（吸収部軸直角方向）

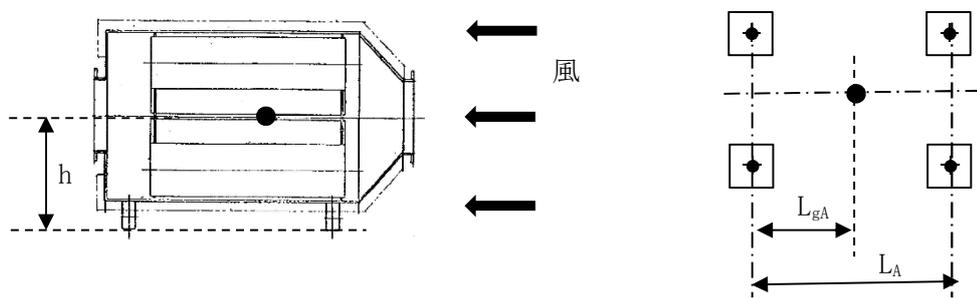


図 5-16(2/2) 非常用ディーゼル発電機 2D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（吸収部軸方向）

## (c) 評価方法

## イ. 引張応力

取付ボルト又は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～図 5-14 で取付ボルト又は基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の取付ボルト又は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，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

## (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，取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

## ロ. せん断応力

取付ボルト又は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 主排気筒

## (1) 評価条件

主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. 主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の衝撃荷重は鉄塔の部材を損傷させたモデルとして考慮することとし、 $W_M=0$ とする。

評価モデルを図5-17に示す。

## (2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-21に示す。

表5-21 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
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

主排気筒の強度評価に用いる記号を表5-22に示す。

表5-22 主排気筒の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$f_b$	$N/mm^2$	曲げ材料強度
$f_c$	$N/mm^2$	圧縮材料強度
$c f_{c r}$	$N/mm^2$	圧縮材料強度
$s f_{c r}$	$N/mm^2$	せん断材料強度
$\sigma_b$	$N/mm^2$	曲げ応力度
$\sigma_c$	$N/mm^2$	平均圧縮応力度
$c \sigma_b$	$N/mm^2$	圧縮側曲げ応力度

b. 計算モデル

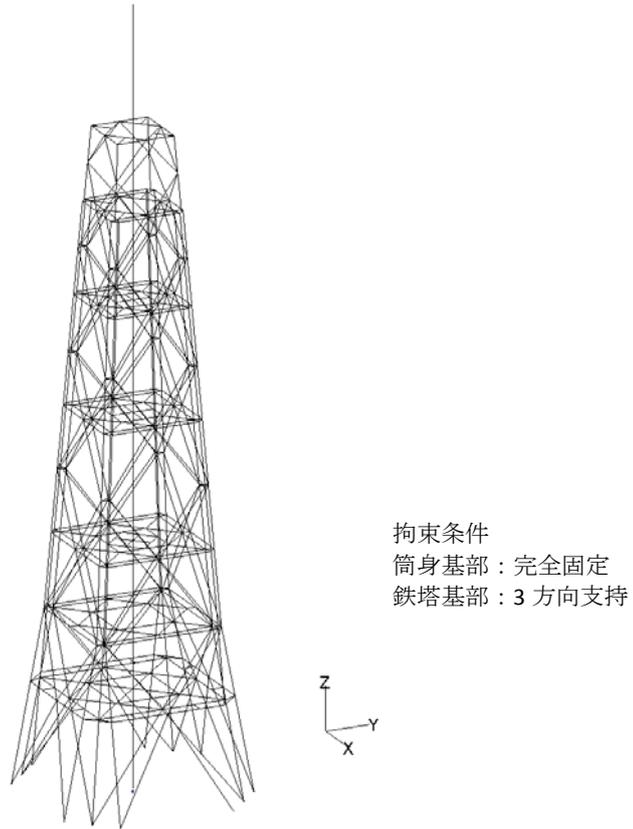


図 5-17 主排気筒モデル図

c. 評価方法

(a) 応力評価方法

主排気筒について、3次元FEMを用いた弾性応力解析を実施する。

(b) 断面の評価方法

主排気筒の断面の評価に用いる応力は、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。

なお、断面性能の算定においては、腐食代 2 mm（外側：1 mm，内側：1 mm）を控除した数を用いる。

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

かつ

$$\frac{\tau}{s f_{c r}} \leq 1$$

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、「政令第96条」及び「平13国交告第1024号」に準拠して行う。

なお、断面性能の算定においては、腐食代1mm（外側のみ1mm）を控除した値を用いる。

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

(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。

5.2.5 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て評価を行う。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。配管のモデル図を図5-16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。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-23に示す。

表5-23 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
配管本体	一次応力（膜+曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

配管及び弁の強度評価に用いる記号を表5-24に示す。

表5-24 配管及び弁の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 (g = 9.80665)
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
ΔP	N/m <sup>2</sup>	気圧差
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。

配管モデル図を図5-18, 図5-19に示す。

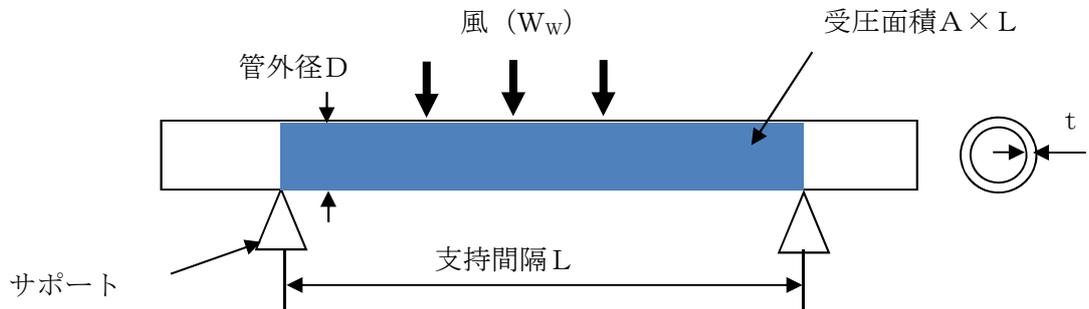


図 5-18 配管モデル図 (両端支持形状)

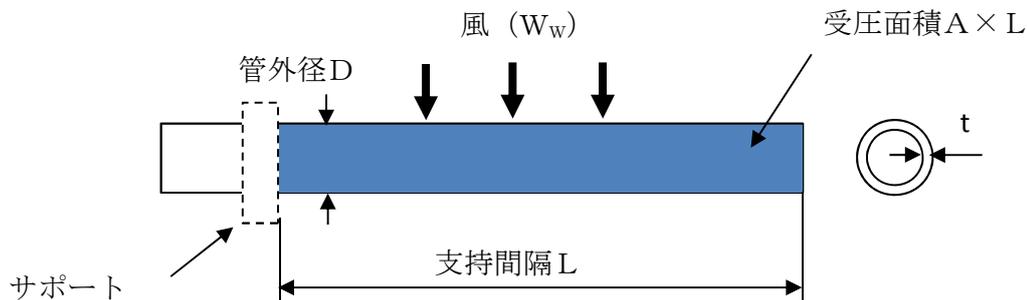


図 5-19 配管モデル図 (片持ち形状)

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。

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

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \{D^4 - (D - 2 \cdot t)^4\}$$

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1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1次一般膜応力は、以下の式により算定する。

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

$$w = m \cdot g$$

$$\sigma_{\text{内圧}} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

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1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。

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT1}}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\text{自重}} + \sigma_{\text{内圧}} + \sigma_{\text{WT2}}$$

### 5.2.6 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、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。角ダクトモデル図を図5-20に示す。

##### (b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-25に示す。

表5-25 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
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

角ダクトの強度評価に用いる記号を表5-26に示す。

表5-26 角ダクトの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	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
P	MPa	ダクトにかかる外圧
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
$\Delta P$	$\text{N/m}^2$	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\mu$	$\text{kg/m}$	ダクト単位重量
$\nu$	—	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
$\sigma_y$	MPa	許容応力

ロ. 計算モデル

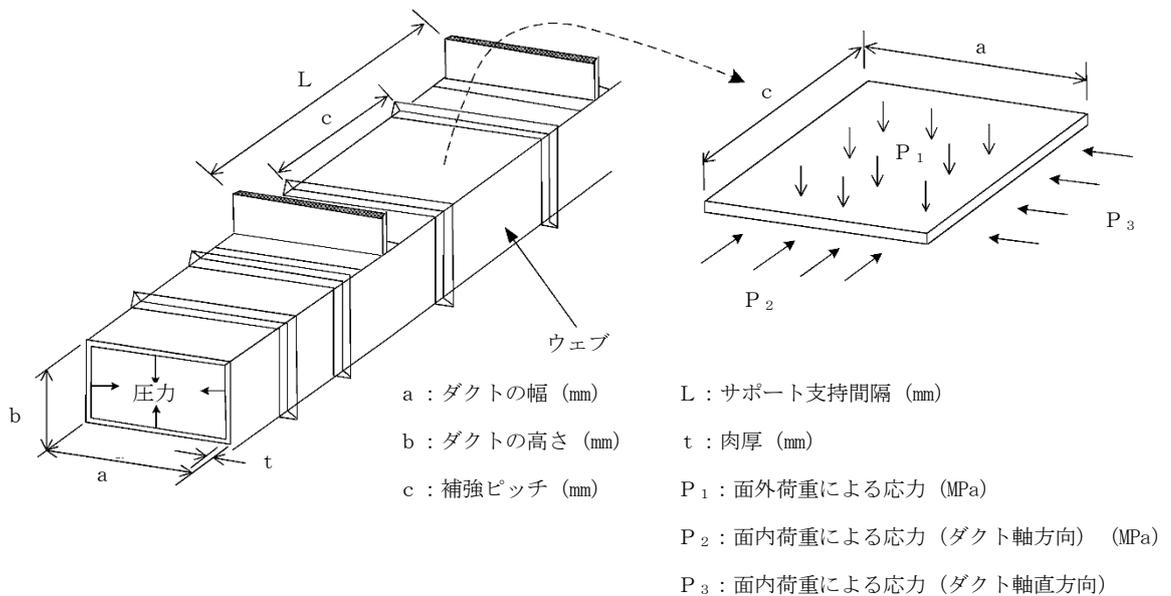


図5-20 角ダクトモデル図

## ハ. 評価方法

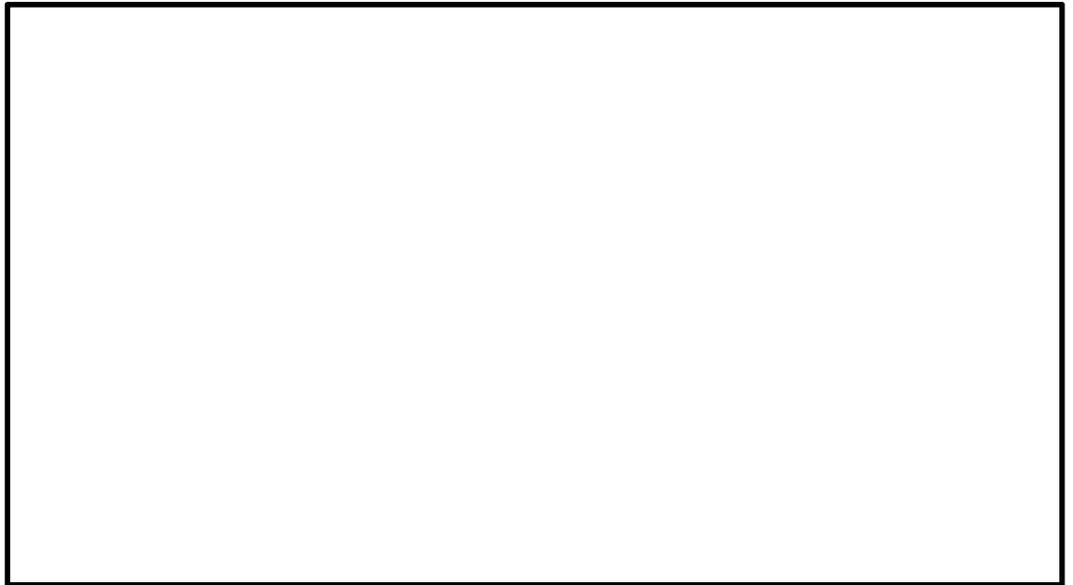
ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差が影響するので、

$$P = \Delta P$$

## (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。



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「クリッピングの考え方」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。

丸ダクトモデル図を図5-21に示す。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-27に示す。

表5-27 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
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

丸ダクトの強度評価に用いる記号を表5-28に示す。

表5-28 丸ダクトの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	補強ピッチ
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
ΔP	N/m <sup>2</sup>	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

ロ. 計算モデル

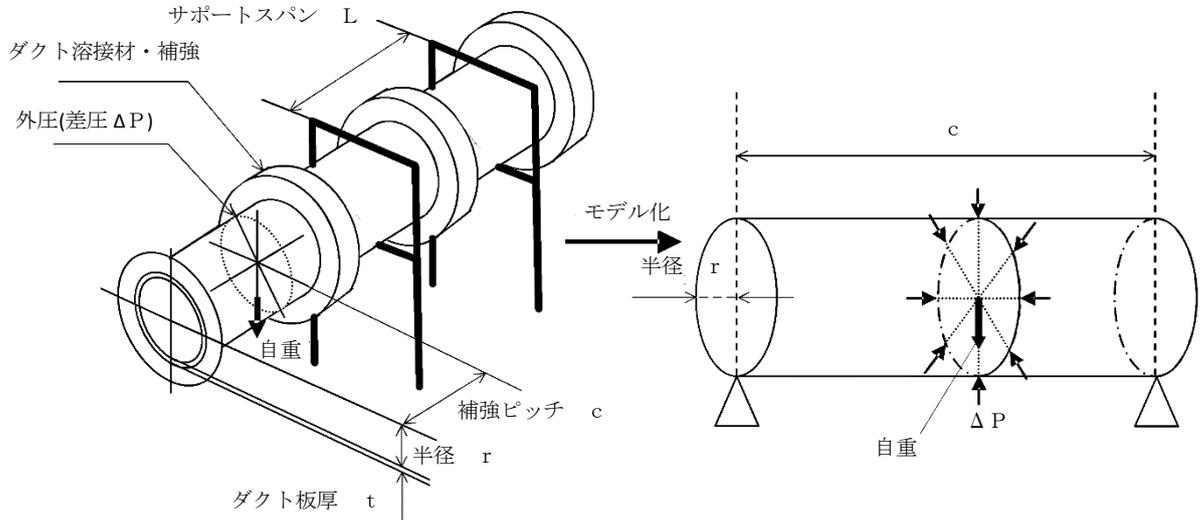


図5-21 丸ダクトモデル図

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  $\sigma_{c r i p l}$

$$\sigma_{c r i p l} = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

(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。弁箱のモデル図を図5-19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。評価モデルを図5-20に示す。
- (c) 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。評価モデルを図5-21に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-29に示す。

表5-29 評価対象部位及び評価内容

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
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

隔離弁の強度計算に用いる記号を表5-30に示す。

表5-30 隔離弁の強度計算に用いる記号

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 ( $g=9.80665$ )
$h$	mm	弁体の板厚
$m_v$	kg	弁体自重
$m_s$	kg	弁棒自重
$P_1$	Pa	設計竜巻の気圧低下により弁体に受ける応力
$P_2$	Pa	自重により弁体に受ける応力
$p_v$	Pa	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
$\Delta P$	hPa	設計竜巻の気圧低下量

## (b) 評価方法

## (a) 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。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

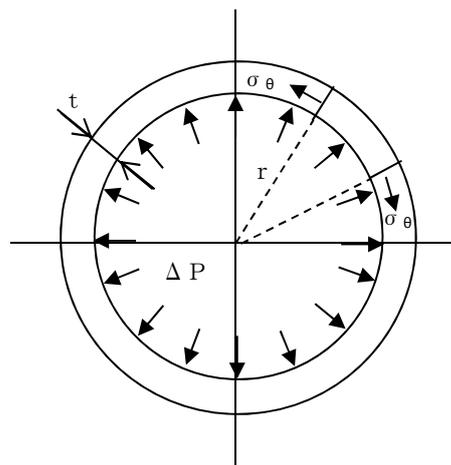


図5-22 弁箱モデル図

(b) 弁体

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

$$A_v = \frac{\pi}{4} (2a)^2$$

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。

$$\sigma_{max} = 1.24 \cdot \frac{p_v \cdot a^2}{h}$$

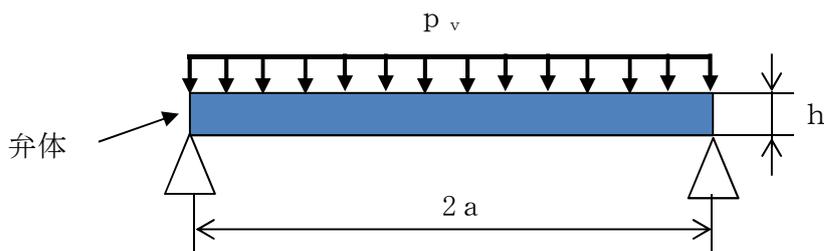


図 5-23 弁体モデル図

(c) 弁棒

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。

$$\tau = \frac{p_s}{A_s}$$

ここで

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2$$

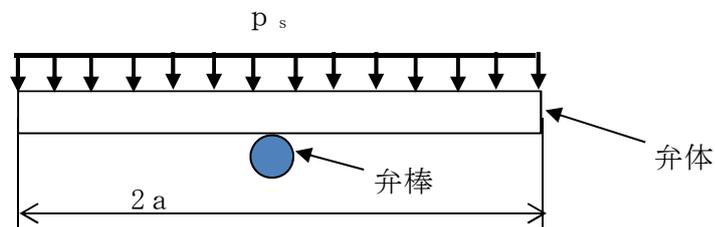


図 5-24 弁棒モデル図

(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) 屋内に設置する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。ファンケーシングモデル図を図5-25に示す。
- (b) 屋外に設置するファンの計算モデルは円筒形の1質点モデルとし、上端部に複合荷重が作用することとする。ファンモデル図を図5-26に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-31に示す。

表5-31 評価対象施設，部位及び評価内容

評価対象施設	評価対象部位	応力等の状態
屋内に設置するファン	ケーシング	周方向応力
屋外に設置するファン	取付ボルト 基礎ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

ファンの強度計算に用いる記号を表5-32に示す。

表5-32 ファンの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
$F_b$	N	ボルトに対する引張力
$F_i$	N	各ボルトに作用する引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$h$	mm	全高
$L_i$	mm	各ボルト間の距離
$M$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	設計竜巻により作用するモーメント
$m$	kg	ファンの質量
$N$	—	ボルトの本数
$Q_b$	N	ボルトに対するせん断力
$q$	$\text{N/m}^2$	設計用速度圧
$r$	mm	ケーシング内半径
$t$	mm	ケーシング板厚
$\Delta P$	$\text{N/m}^2$	設計竜巻の気圧低下量
$W_M$	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重
$\sigma_b$	MPa	ボルトに生じる引張応力
$\sigma_\theta$	MPa	周方向応力
$\tau$	MPa	ボルトに生じるせん断応力

イ. 屋内に設置するファン

(イ) 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。

$$\sigma_\theta = \frac{\Delta P \cdot r}{t}$$

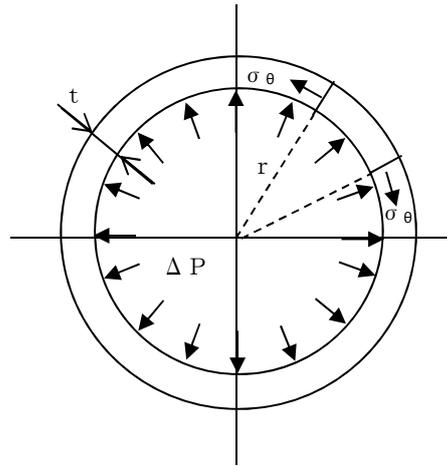


図5-25 ファンケーシングモデル図

ロ. 屋外に設置するファン

機械工学便覧を参考に算出する。

(イ) 計算方法

・引張応力

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \quad \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \quad \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i} L_n$$

ここで

$$M = W_w \cdot h - m \cdot g \cdot \frac{L_n}{2}$$

ボルトに生じる引張応力  $\sigma_b$  は次式より求める。

$$\sigma_b = \frac{F_n}{A_b}$$

・せん断応力

ボルトに対するせん断応力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

- ・ せん断力  
 $Q_b = W_w$
- ・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

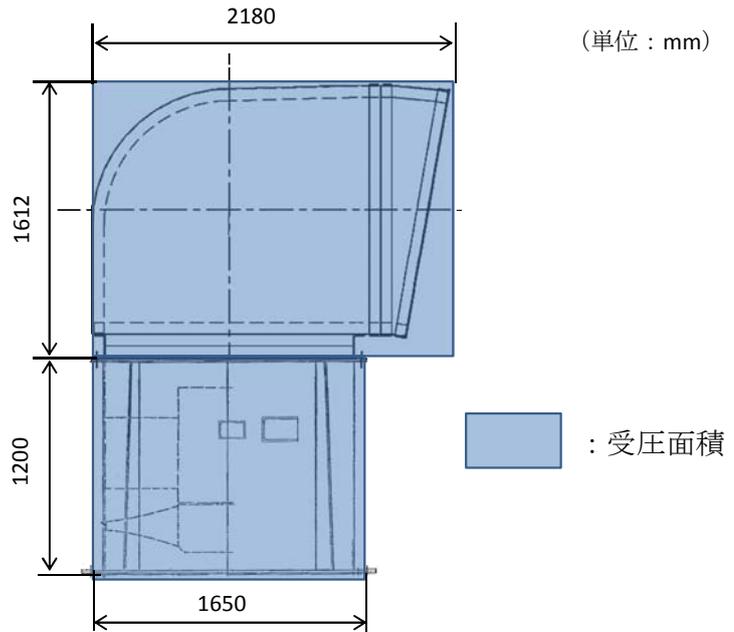


図 5-26 ファンモデル図

(4) 冷凍機

a. 評価条件

冷凍機の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 冷凍機の計算モデルは立方体の1質点モデルとし、**計算モデルが類似している J E A G 4 6 0 1 の横型ポンプの計算式を参考とし計算を行う。**ここで、荷重の作用点は全高の1/2の位置に複合荷重が作用することとする。冷凍機モデル図を図5-27に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-33に示す。

表5-33 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
取付ボルト	<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

冷凍機の強度計算に用いる記号を表5-34に示す。

表5-34 冷凍機の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_b$	$\text{mm}^2$	取付ボルトの軸断面積
$d$	$\text{mm}$	取付ボルト呼び径
$F_b$	$\text{N}$	取付ボルトに対する引張力
$g$	$\text{m/s}^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$h$	$\text{mm}$	冷凍機重心高さ
$L_1$	$\text{mm}$	取付ボルト間の水平距離
$L_H$	$\text{mm}$	重心から取付ボルト間の水平距離
$m$	$\text{kg}$	冷凍機の運転質量
$N$	—	取付ボルトの本数
$n_f$	—	引張力を受ける取付ボルトの本数
$Q_b$	$\text{N}$	取付ボルトに対するせん断力
$W_{T2}$	$\text{N}$	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
$\sigma_b$	$\text{MPa}$	取付ボルトに生じる引張応力
$\tau$	$\text{MPa}$	取付ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

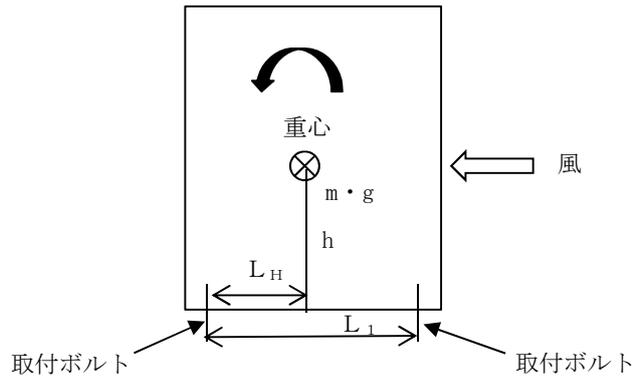


図 5-27 冷凍機モデル図

(c) 評価方法

イ. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-27 で取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

(イ) 引張力

$$F_b = \frac{W_w \cdot h - m \cdot g \cdot L_H}{n_f \cdot L_1}$$

(ロ) 引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

ロ. せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

・ せん断力

$$Q_b = W_w$$

・ せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{A_b \cdot N}$$

## 6. 適用規格

- (1) 竜巻の影響を考慮する施設の強度評価に用いる適用規格はV-1-1-2-3-1による。
- ・ 建築基準法及び同施行令
  - ・ 「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成2年8月30日原子力安全委員会）」
  - ・ 日本工業規格(J I S)
  - ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 - 補 1984」(社) 日本電気協会
  - ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」(社) 日本電気協会
  - ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」(社) 日本電気協会
  - ・ 「発電用原子力設備規格設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」(社) 日本機械学会
  - ・ I S E S 7 6 0 7 -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」(高温構造安全技術研究組合)
  - ・ Methodology for Performing Aircraft Impacts Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (N E I O 7 -1 3))
  - ・ 「コンクリート標準示方書 設計編」((社) 土木学会, 2007 改定)
  - ・ 「建築物荷重指針・同解説」((社) 日本建築学会, 2004 改定)
  - ・ 「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」((社) 日本建築学会, 2005 制定)
  - ・ 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」((社) 日本建築学会, 2005 改定)
  - ・ 「各種合成構造設計指針・同解説」((社) 日本建築学会, 2010 改定)
  - ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」((社) 日本建築学会, 2010 改定)
  - ・ 「ステンレス鋼便覧第3版」(ステンレス協会)
- (2) 参考文献
- a. Wichman, K.R. et al, :Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.
  - b. Bijlaard, P.P. :Stresses from Radical Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
  - c. 「自動車の衝突安全」2012年2月29日 名古屋大学出版会 著者 水野幸治

V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系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.....	15
3.5 評価方法.....	17
4. 評価条件.....	30
5. 強度評価結果.....	34

## 1. 概要

本資料は、V-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、残留熱除去系海水系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

残留熱除去系海水系ポンプについて、V-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、残留熱除去系海水系ポンプの「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

残留熱除去系海水系ポンプは、V-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に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

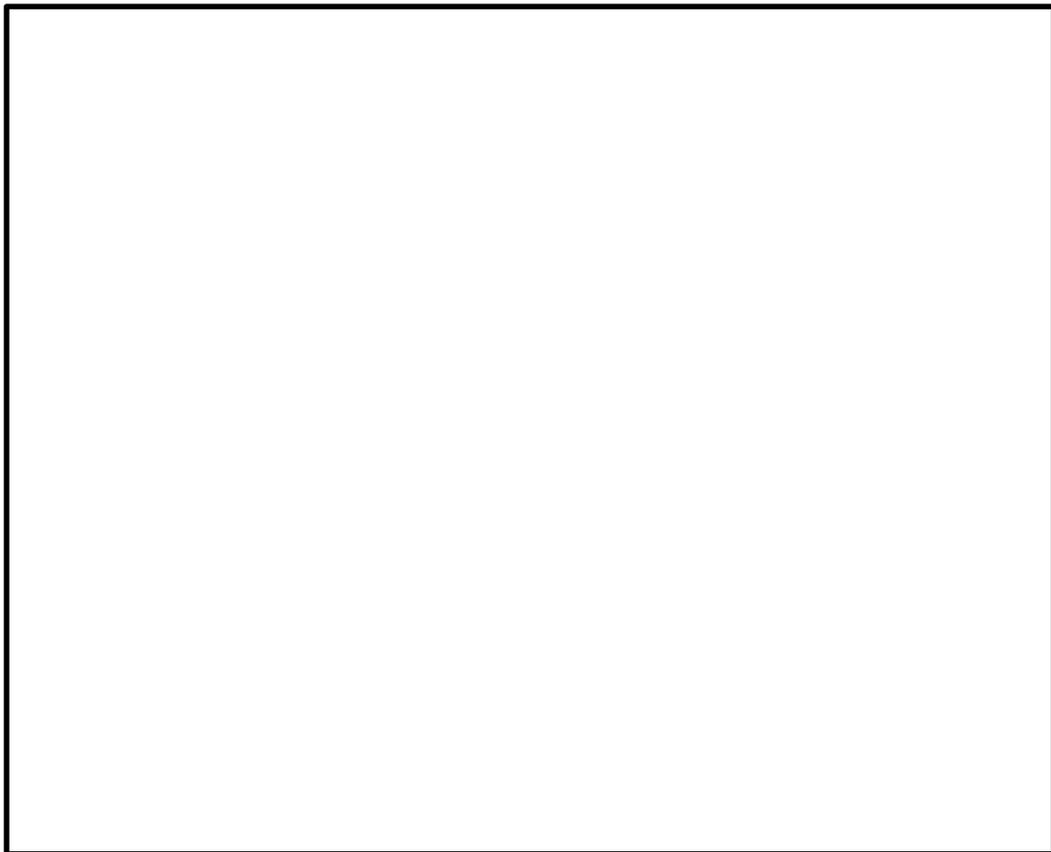


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

## 2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ポンプについて、V-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、残留熱除去系海水系ポンプの構造を示す。

残留熱除去系海水系ポンプは、ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり、同一設計の残留熱除去系海水系ポンプを4台設置している。残留熱除去系海水系ポンプの概要図を図2-2に示す。

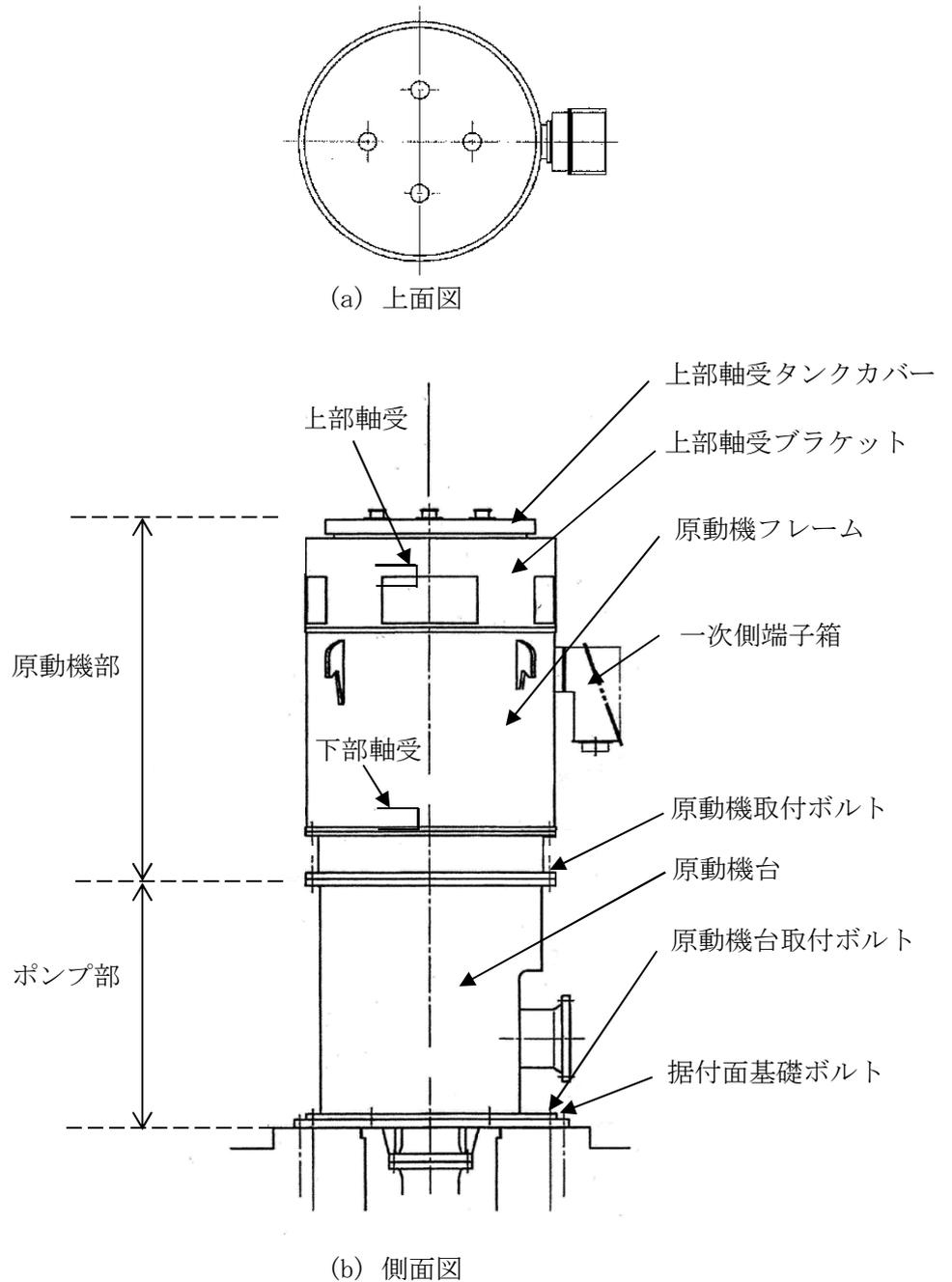


図2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

## 2.3 評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価は、V-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、残留熱除去系海水系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。

残留熱除去系海水系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

残留熱除去系海水系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、**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日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-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. 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。残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価における許容限界は、V-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 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。

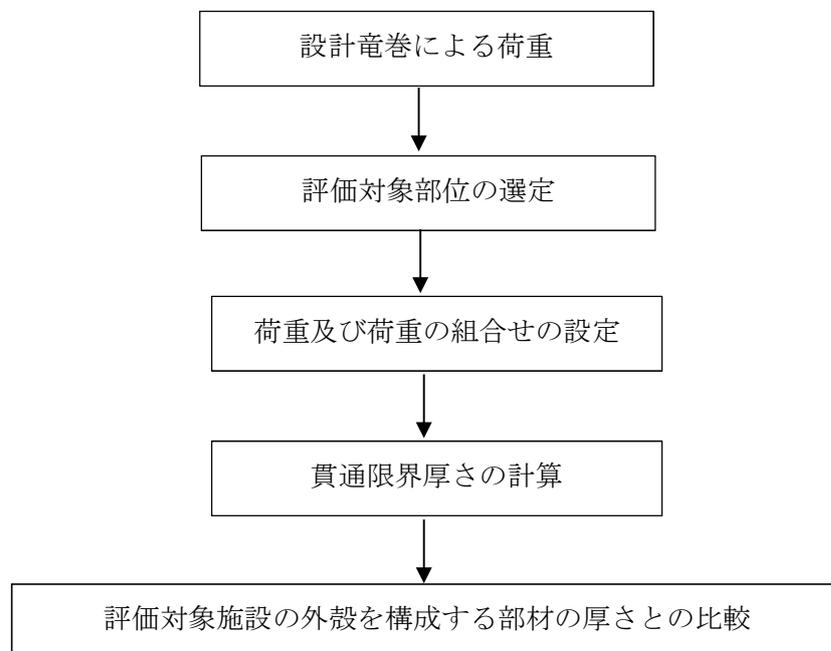


図2-3 残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価フロー

### (2) 構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系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、残留熱除去系海水系ポンプに対して、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」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（（社）日本電気協会）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」（（社）日本電気協会）（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、V-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。

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容限界は、V-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。

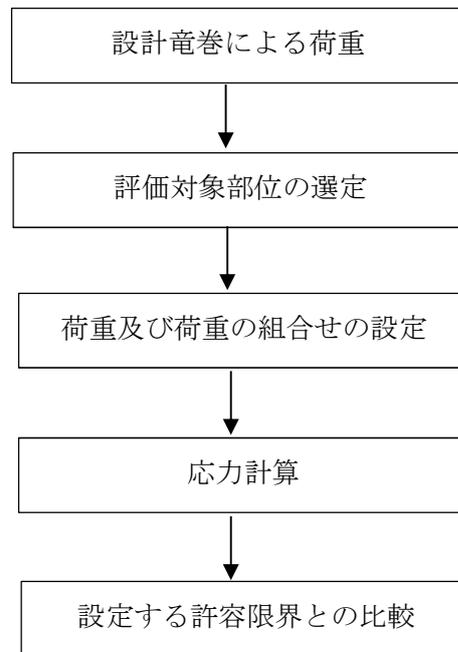


図2-4 残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価フロー

### (3) 動的機能維持評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系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、残留熱除去系海水系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、V-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。残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価における許

容限界は、V-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。

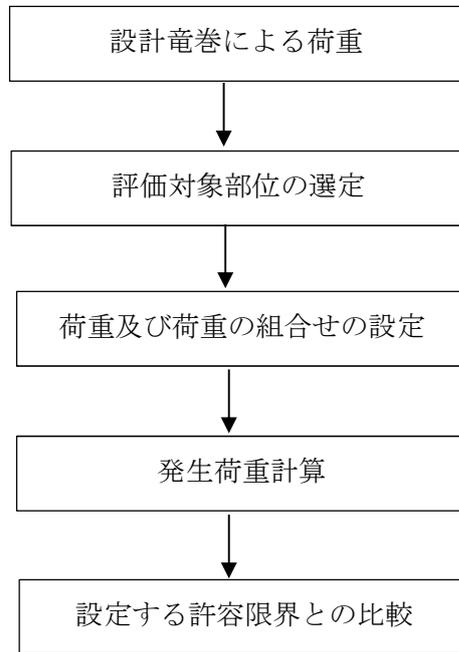


図2-5 残留熱除去系海水系ポンプの動的機能維持評価フロー

#### 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 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（社）日本電気協会
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007」（社）日本機械学会（以下「JSME」という。）

### 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

残留熱除去系海水系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

残留熱除去系海水系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>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
D	mm	原動機フレーム外径
d	mm	原動機フレーム内径
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>b</sub>	N	ボルトに作用する引張力
F <sub>H</sub>	N	ボルトに作用するせん断力
F <sub>i</sub>	N	各ボルトに作用する引張力
<b>F<sub>n</sub></b>	<b>N</b>	<b>ボルトに作用する最大引張力</b>
f <sub>s</sub>	MPa	J SME 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
f <sub>t</sub>	MPa	J SME 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
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

表3-2 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
h	mm	基準面からの重心距離
$h_u$	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
L	mm	重心と支点間の距離
$L_H$	mm	重心と支点間の距離
$L_i$	mm	各ボルト間の距離
$L_n$	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
$L_1 \sim L_8$	mm	支点と評価ボルト間の距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	質量
N	—	ボルトの本数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$S_y$	MPa	J S ME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
$S_u$	MPa	J S ME 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
$\Delta P$	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の気圧低下量
$\pi$	—	円周率
$\sigma$	MPa	原動機フレームの曲げ応力
$\sigma_{bt}$	MPa	ボルトの引張応力
$\tau$	MPa	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	ポンプ据付面から原動機台上端までの長さ
a <sub>2</sub>	mm	原動機台上端から原動機下部軸受までの長さ
a <sub>3</sub>	mm	原動機台上端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
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>m</sub>	MPa	原動機フレームの縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	原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	ポンプ据付面から荷重作用点までの距離
h <sub>2</sub> '	mm	原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
I	mm <sup>4</sup>	断面二次モーメント
I <sub>m</sub>	mm <sup>4</sup>	原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>	原動機台の断面二次モーメント
i	rad	傾斜
i <sub>1</sub>	rad	ポンプ据付面から原動機台上端部の傾斜
i <sub>3</sub>	rad	原動機台上端部から荷重作用点の傾斜
i <sub>4</sub>	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 <sub>a</sub>	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M <sub>b</sub>	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
M <sub>c</sub>	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
q	N/m <sup>2</sup>	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いて設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW <sub>T2</sub> の合計の複合荷重
W''	N	発生荷重
W <sub>M</sub>	N	設計竜巻による飛来物の衝撃荷重

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
$W_P$	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	評価対象部から支点までの距離
$x_a'$	mm	ポンプグランド部から原動機下部軸受部までの距離
$x_b'$	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
$y$	mm	たわみ量
$y_1$	mm	ポンプ据付面から原動機台上端部のたわみ量
$y_2$	mm	原動機台上端部から原動機下部軸受部のたわみ量
$y_3$	mm	原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	荷重作用点から原動機上部軸受部のたわみ量
$y_a$	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
$\delta$	mm	フレーム変位量
$\Delta P$	$N/m^2$	設計竜巻の気圧低下量

### 3.2 評価対象部位

残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位は、V-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 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、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。

残留熱除去系海水系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一次側端子箱を選定する。

残留熱除去系海水系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。

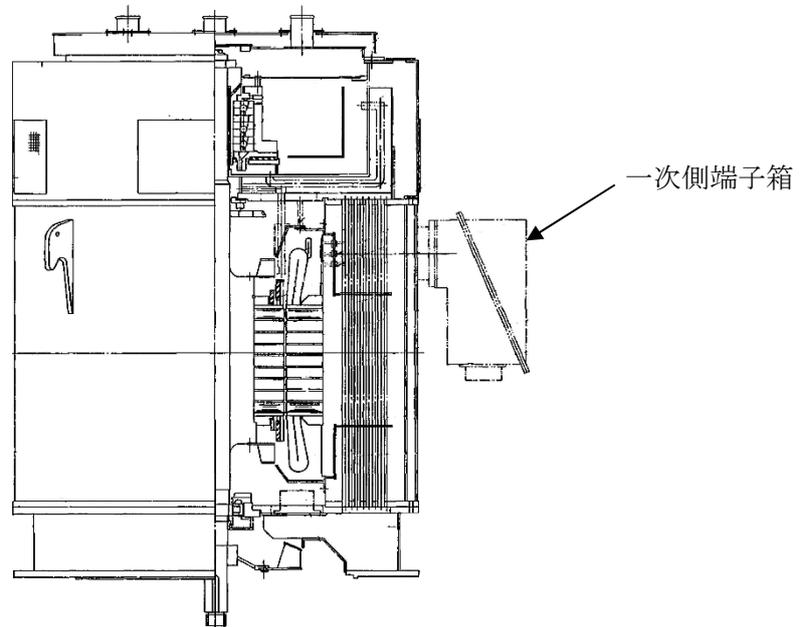


図3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位（衝突評価）

#### (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、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用し、原動機台を介して、基礎面及び原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。

- ・原動機取付ボルト
- ・原動機台取付ボルト
- ・据付面基礎ボルト

b. 原動機部

原動機部について、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び付属品に作用し、原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。

- ・原動機フレーム
- ・一次側端子箱取付ボルト
- ・上部軸受ブラケット取付ボルト
- ・上部軸受タンクカバー取付ボルト

残留熱除去系海水系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。

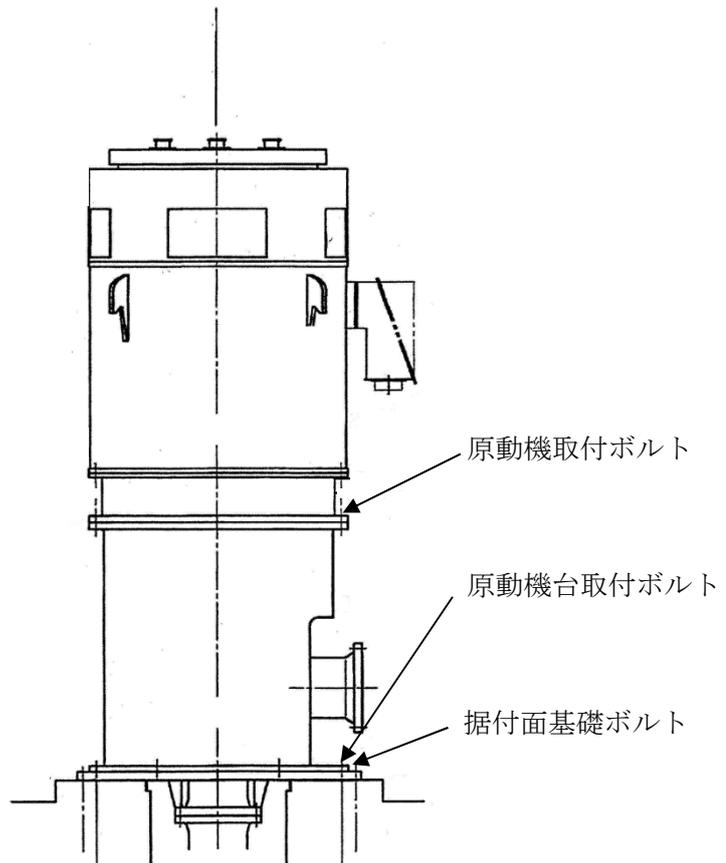


図3-2 残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価対象部位図（ポンプ部）

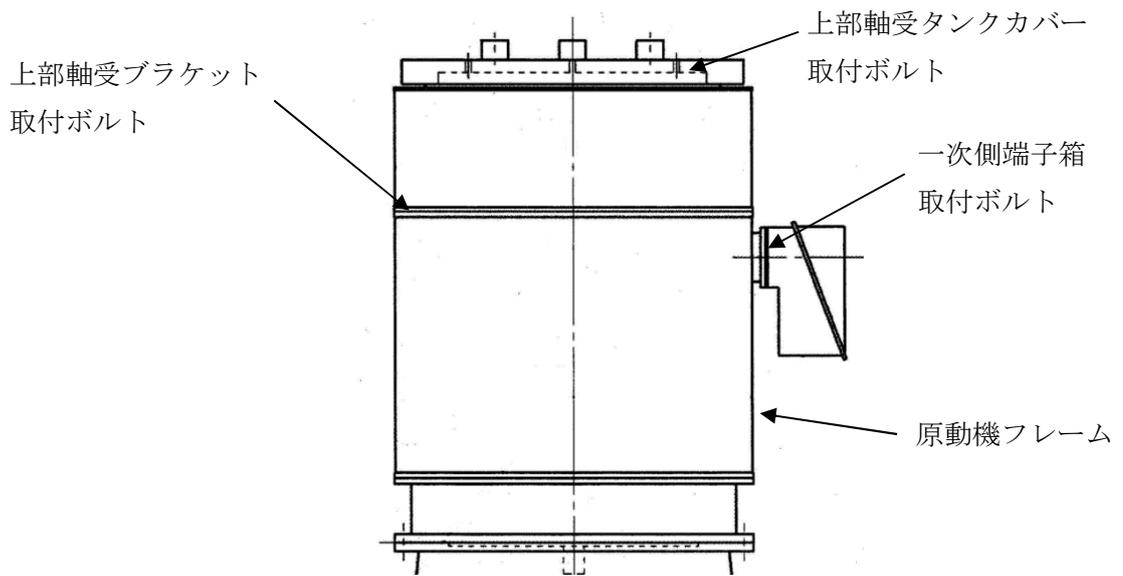


図 3-3 残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価対象部位図（原動機部）

(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竜巻により荷重を受けた際に、原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。

- ・原動機下部軸受部
- ・原動機上部軸受部

残留熱除去系海水系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。

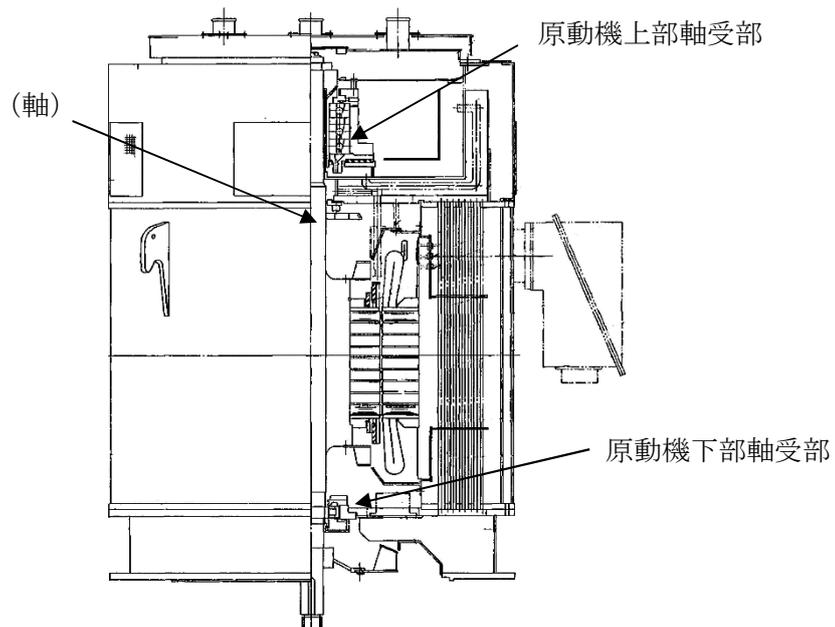


図 3-4 残留熱除去系海水系ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 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、V-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**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3-4、残留熱除去系海水系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	0.18	62	42

表3-5 残留熱除去系海水系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 <b>外部事象</b> 防護対象施設	残留熱除去系海水系ポンプ	一次側端子箱	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。防護ネット及び防護鋼板等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、**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V-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V-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V-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、残留熱除去系海水系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。

$$W_{T1} = W_P$$

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

(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、V-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、残留熱除去系海水系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時に評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており、自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず、水平方向に取り付けられている場合（一次側端子箱取付ボルト）は、端子箱自重を考慮する。また、運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており、運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため、それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

残留熱除去系海水系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	残留熱除去系 海水系ポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機部	原動機フレーム	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				一次側端子箱取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重 ③端子箱自重
				上部軸受ブラケット取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
		上部軸受タンクカバー取付ボルト		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	原動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	
			原動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重	

### 3.4 許容限界

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、V-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、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。残留熱除去系海水系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 残留熱除去系海水系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
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3mm (一次側端子箱)

(2) 構造強度評価における許容限界

残留熱除去系海水系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、J S M E付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E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、J S M E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。

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価における許容限界について、表3-8に示す。

表3-8 残留熱除去系海水系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
		一次応力		
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$1.5 f_b$

(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、設計荷重により原動機フレームが変形する場合においても残留熱除去系海水系ポンプの運転継続が可能であるように、軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-9に示す。

表3-9 軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
原動機下部軸受部	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>

### 3.5 評価方法

#### (1) 衝突評価の評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの衝突評価は、V-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. 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

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、V-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. 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、原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等、あるいはより高い重心作用位置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。ポンプ部及び原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。

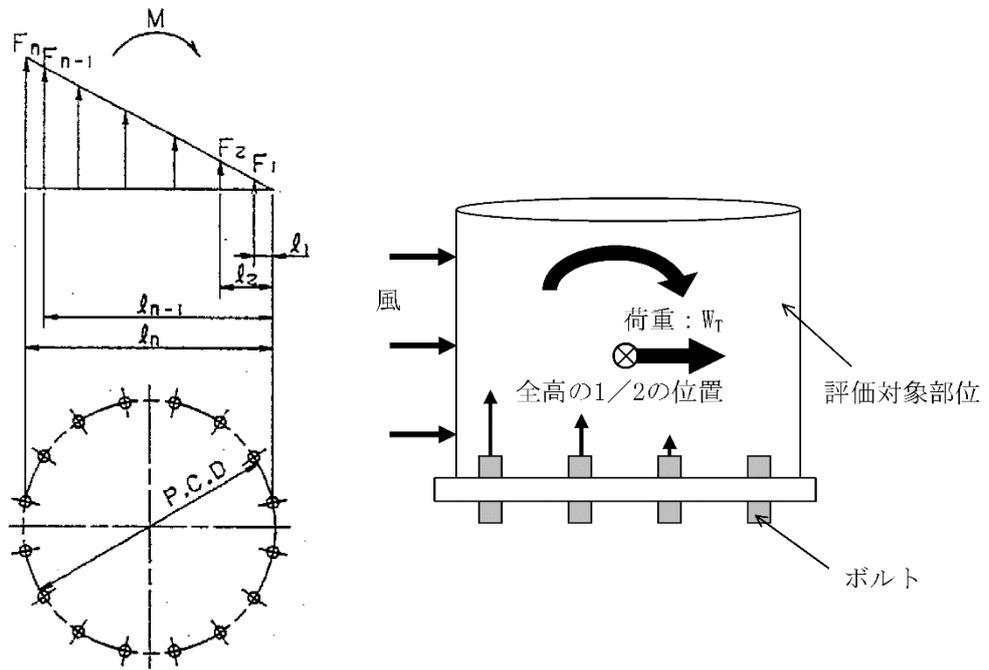


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

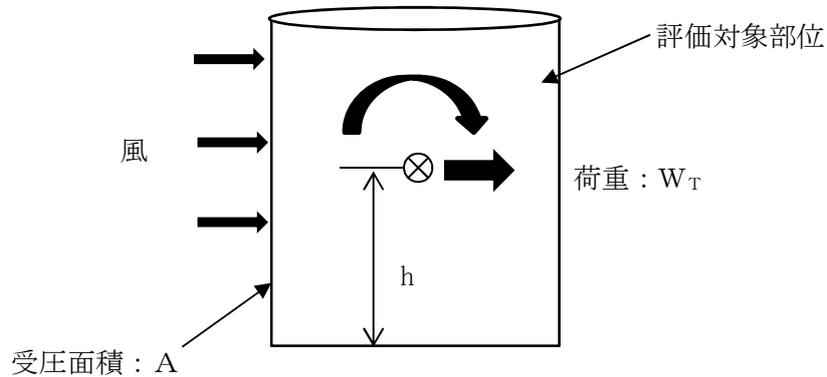


図 3-6 応力の計算モデル図 (原動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と、原動機台上端から原動機まで（原動機部）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原動機台が最も小さいことから、原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する。原動機部については原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(原動機フレーム等)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(ポンプ軸及び原動機軸)は、風荷重を受けないため、変形せず、原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。原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。

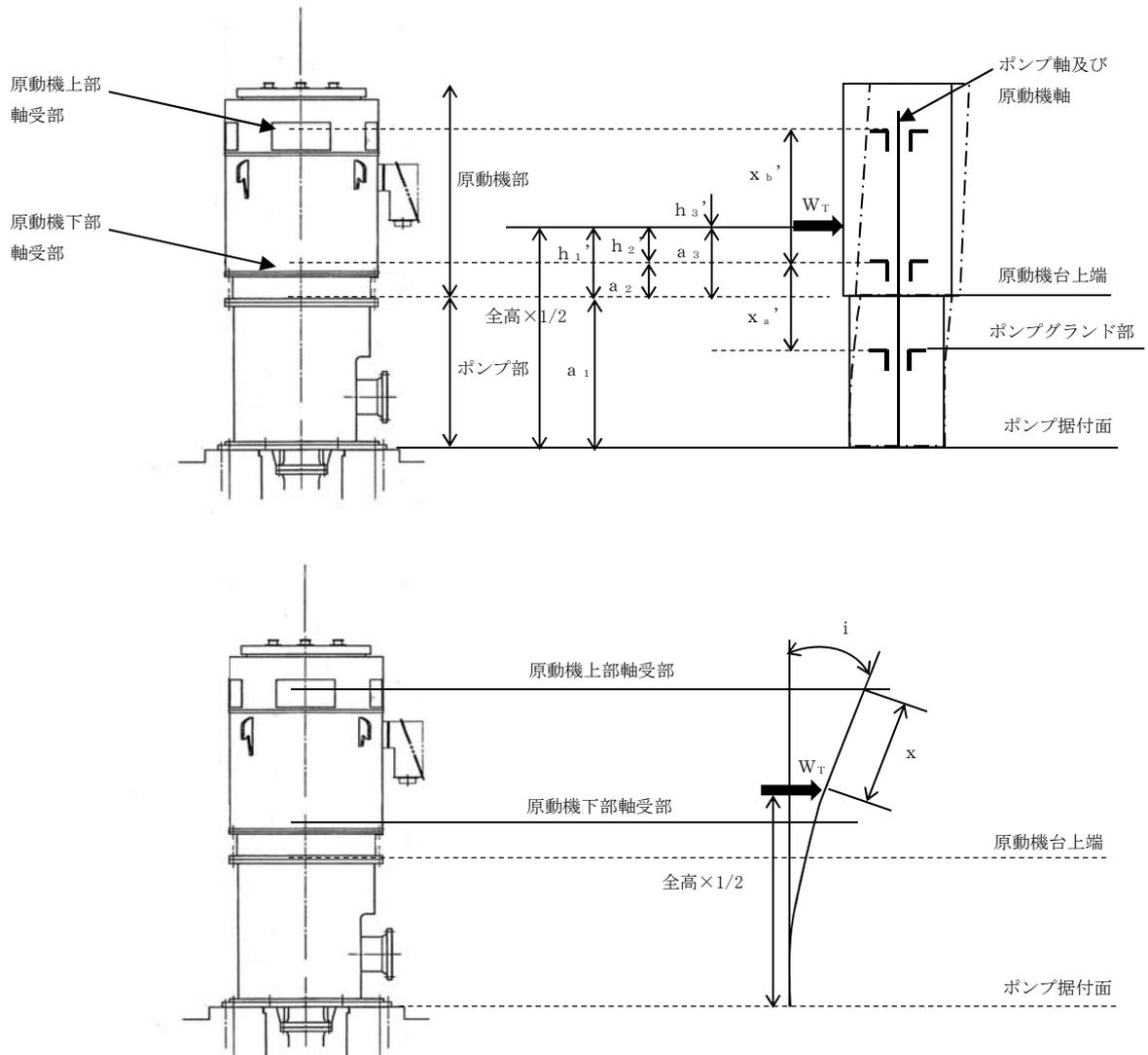


図 3-7 残留熱除去系海水系ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

原動機取付ボルト, 原動機台取付ボルト及び据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-8~図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot \text{全高} / 2$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdot \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よつて,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

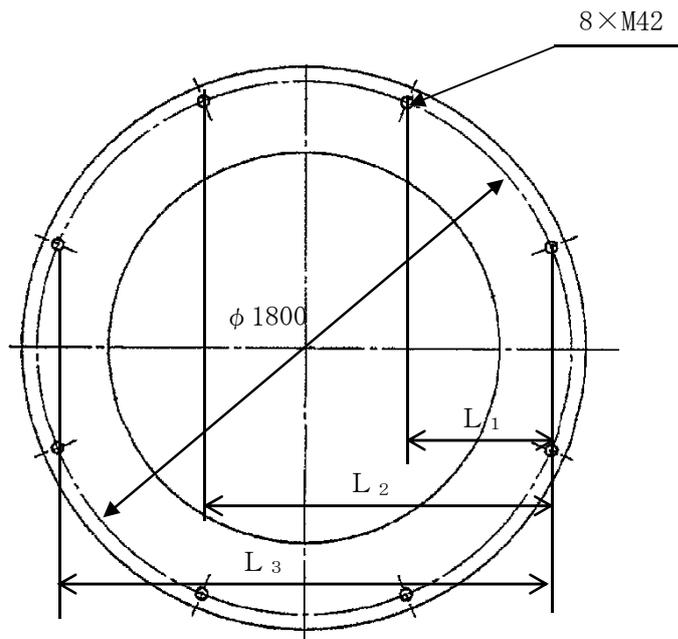


図 3-8 原動機取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

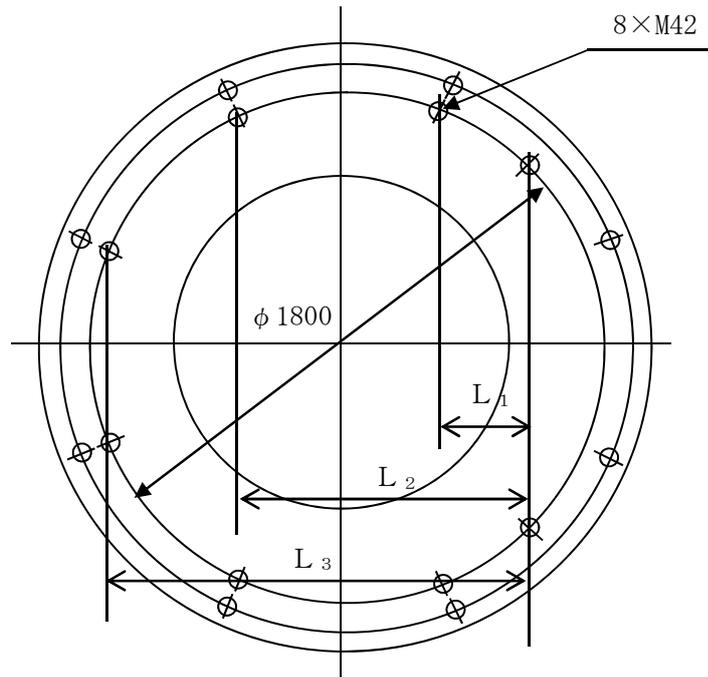


図 3-9 原動機台取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

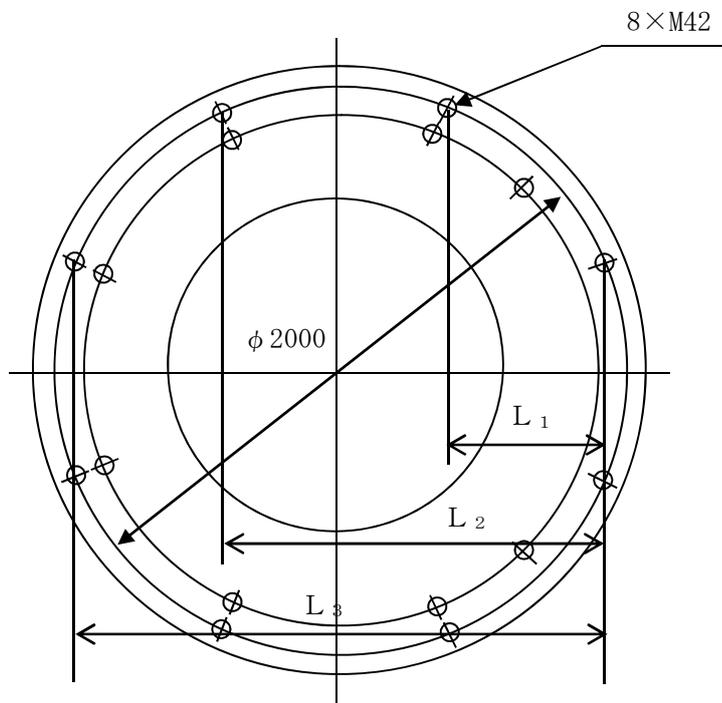


図 3-10 据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

ロ. 原動機部

原動機フレーム、一次側端子箱ボルト部、上部軸受ブラケット取付ボルト部、上部軸受タンクカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H \text{ (ボルト取付方向が水平方向の場合)}$$

$$M = W_T \cdot h \text{ (ボルト取付方向が鉛直方向の場合)}$$

(ロ) 原動機フレーム

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・ 曲げ応力

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

ここで、

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

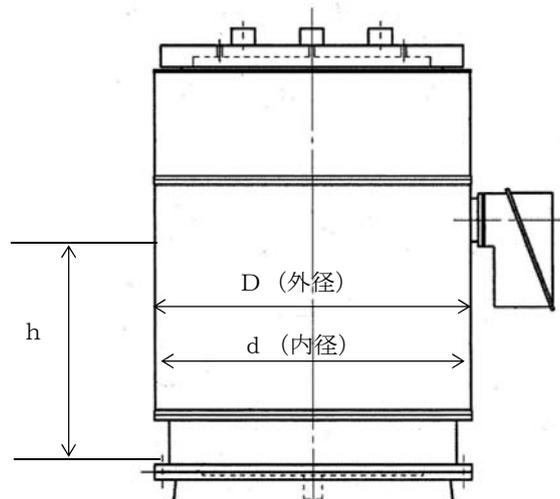


図 3-11 原動機フレーム詳細図

(ハ) 一次側端子箱ボルト部

一次側端子箱ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・ 引張応力

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + H^2}$$

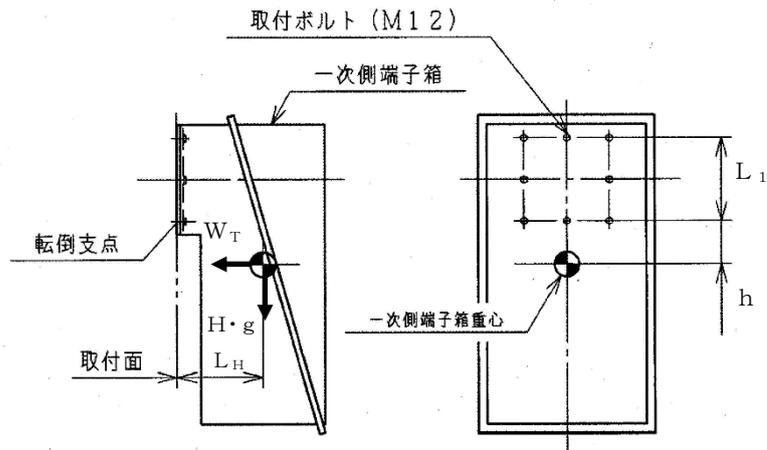


図 3-12 一次側端子箱詳細図

(二) 上部軸受ブラケット取付ボルト部, 上部軸受タンクカバー取付ボルト部  
 上部軸受ブラケット取付ボルト部, 上部軸受タンクカバー取付ボルト部の応力  
 算出方法を以下に示す。

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が, 上端カバーの上端(評価上厳しい条件)に作用した際の, 取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \cdots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

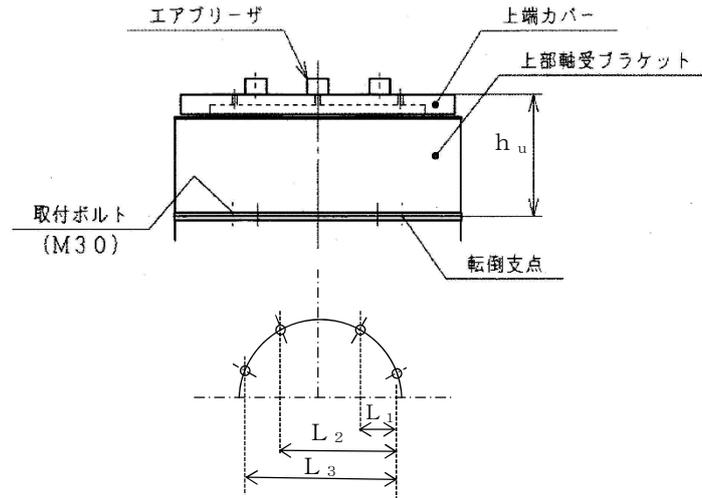


図 3-13 上部軸受ブラケット詳細図

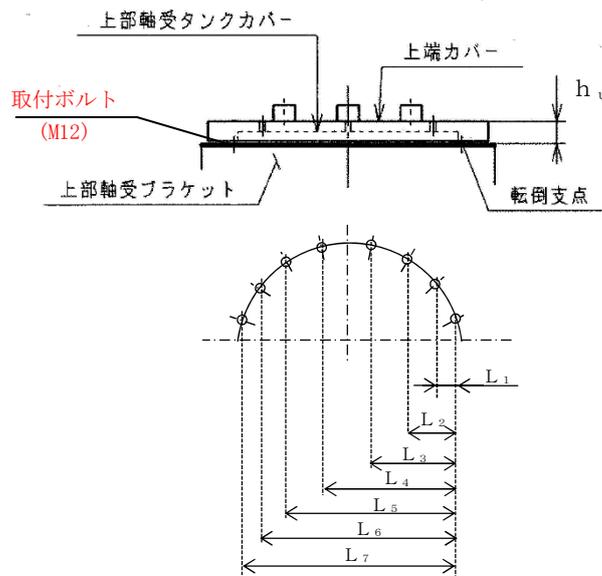


図 3-14 上部軸受タンクカバー詳細図

(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、竜巻による風圧力を受ける面（原動機台、原動機フレーム、一次側端子箱、上部軸受ブラケット、上部軸受タンクカバー）のそれぞれの $W_{T2}$ の合計を複合荷重 $W'$ とする。

$$W' = \Sigma W_{T2}$$

各部位の受圧部図を図3-15～図3-19に示す。

(単位：mm)

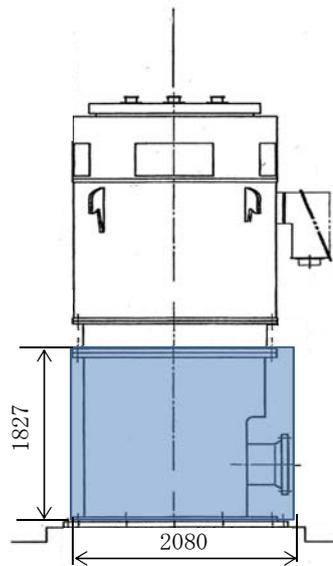


図3-15 原動機台の受圧部図

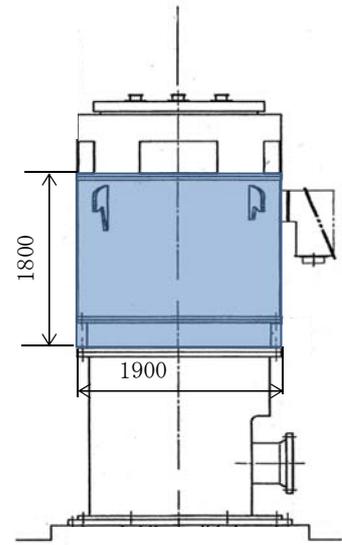


図3-16 原動機フレームの受圧部図

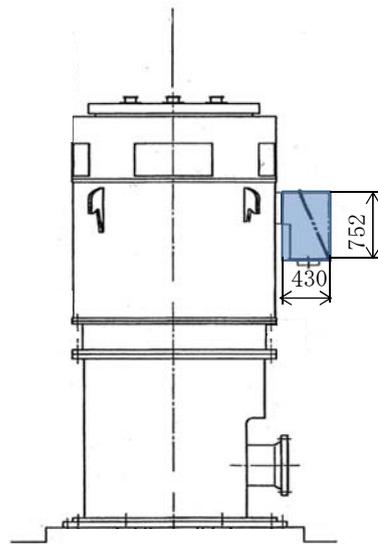


図3-17 一次側端子箱の受圧部図

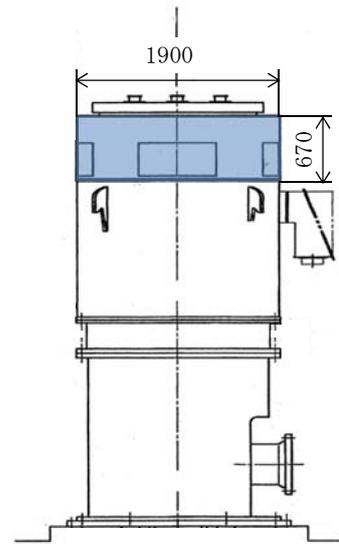


図3-18 上部軸受ブラケットの受圧部図

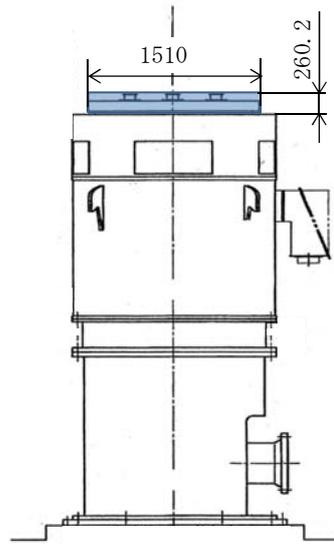


図3-19 上部軸受タンクカバーの受圧部図

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) 原動機下部軸受部

- ・ポンプ据付面から原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、原動機台の断面図を図3-20に示す。

(単位：mm)

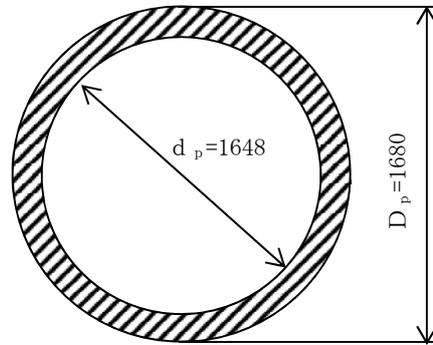


図3-20 原動機台の断面図

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。

$$I_p = \frac{\pi (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・原動機台上端部から原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、原動機フレームの断面図を図3-21に示す。

(単位：mm)

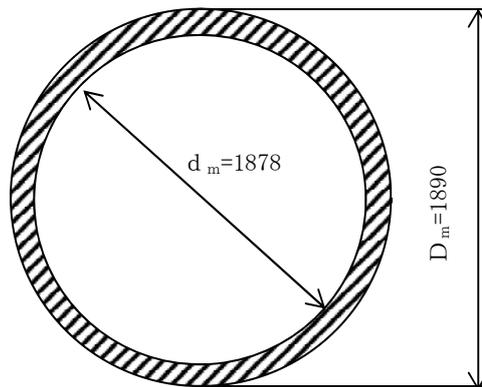


図3-21 原動機フレームの断面図

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。

$$I_m = \frac{\pi (D_m^4 - d_m^4)}{64}$$

よって、原動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

(ロ) 原動機上部軸受部

・原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  $i_4$

$$y_4 = y_1 + y_3$$

$$i_4 = i_1 + i_3$$

荷重作用点から原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、原動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_4 + y_5$$

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) 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_a}{x_a^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

回転子（原動機部）の断面図を図3-22に示す。

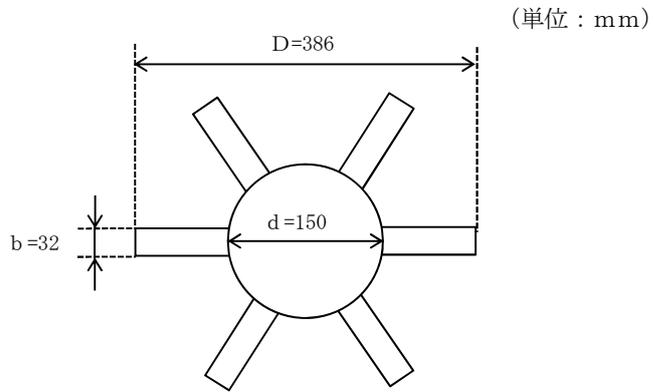


図3-22 回転子（原動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I_m' = \frac{b(D-d) \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2 + b^2)}{8} + \frac{\pi d^4}{64}$$

(ロ) 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W_m'' = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b'^3}$$

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 4-14 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

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)
原動機取付ボルト	SUS304	50* <sup>1</sup>	198	504	205	153	118	—
原動機台取付ボルト	SUS304	50* <sup>1</sup>	198	504	205	153	118	—
据付面基礎ボルト	S22C	50* <sup>1</sup>	260	430	260	195	150	—
原動機フレーム	SS400	60* <sup>2</sup>	237	389	237	—	—	273
一次側端子箱取付ボルト	SS400	90* <sup>2</sup>	225	376	225	168	129	—
上部軸受ブラケット取付ボルト	SUS304	60* <sup>2</sup>	192	489	205	153	118	—
上部軸受タンクカバー取付ボルト	SUS304	90* <sup>2</sup>	175	451	205	153	118	—

注記 \*1：周囲環境温度

\*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	Δ P (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
6.1 × 10 <sup>3</sup>	1.0	8.9 × 10 <sup>3</sup>	0

表 4-3 評価条件 (原動機取付ボルト)

L <sub>1</sub> (mm)	L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m <sup>2</sup> )
487.1	1175.9	1663.0	1.2	2.73	8.354

ボルト サイズ	N (-)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )
M42	8	1385

表 4-4 評価条件（原動機台取付ボルト）

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	C (-)	全高 (m)	A ( $m^2$ )
324.4	1013.2	1500.3	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )
M42	8	1385

表 4-5 評価条件（据付面基礎ボルト）

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	C (-)	全高 (m)	A ( $m^2$ )
541.2	1306.6	1847.8	1.2	4.557	12.15

ボルト サイズ	N (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )
M42	8	1385

表 4-6 評価条件（原動機フレーム）

C (-)	h (mm)	A ( $m^2$ )	D (mm)	d (mm)
1.2	1365	8.354	1890	1878

表 4-7 評価条件（一次側端子箱取付ボルト）

C (-)	A ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	g ( $m/s^2$ )
2.4	0.3910	M12	113.1	75	9.80665

$N^*$ (-)	h (mm)	$L_1$ (mm)	$L_H$ (mm)
8(3)	153	250	238

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 4-8 評価条件（上部軸受ブラケット取付ボルト）

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	N (-)	L <sub>1</sub> (mm)
1.2	1.666	M30	706.9	8	303.1

L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	h <sub>u</sub> (mm)
731.7	1034.7	824

表 4-9 評価条件（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	N (-)	L <sub>1</sub> (mm)
1.2	0.3929	M12	113.1	16	109.7

L <sub>2</sub> (mm)	L <sub>3</sub> (mm)	L <sub>4</sub> (mm)	L <sub>5</sub> (mm)	L <sub>6</sub> (mm)	L <sub>7</sub> (mm)
312.5	577.5	864.3	1129.2	1332.0	1441.8

h <sub>u</sub> (mm)
260.2

(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 4-10～表 4-14 に示す。

表 4-10 評価条件（たわみ量の算出）

原動機台の風力 係数 C (-)	原動機フレーム の風力係数 C (-)	一次側端子箱の 風力係数 C (-)	上部軸受ブラケ ットの風力係数 C (-)	上部軸受タンクカ バーの風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2	1.2

原動機台の受圧 面積 A (m <sup>2</sup> )	原動機フレーム の受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	一次側端子箱の 受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	上部軸受ブラケ ットの受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	上部軸受タンクカ バーの受圧面積 A (m <sup>2</sup> )
3.800	3.420	0.3234	1.273	0.3929

表 4-11 評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
SS400	50	6.1 × 10 <sup>3</sup>	1.0	8.9 × 10 <sup>3</sup>	0

h <sub>1</sub> ' (mm)	h <sub>2</sub> ' (mm)	a <sub>1</sub> (mm)	a <sub>2</sub> (mm)	E <sub>p</sub> (MPa)	I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )
407	73	1872	334	201000	2.895 × 10 <sup>10</sup>

E <sub>m</sub> (MPa)	I <sub>m</sub> (mm <sup>4</sup> )
201000	1.576 × 10 <sup>10</sup>

表 4-12 評価条件（原動機下部軸受部（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)	y <sub>a</sub> (mm)
S25C	50	201000	2.424 × 10 <sup>8</sup>	1064	0.05579

表 4-13 評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
SS400	50	6.1 × 10 <sup>3</sup>	1.0	8.9 × 10 <sup>3</sup>	0

x (mm)	h <sub>3</sub> ' (mm)	a <sub>3</sub> (mm)	E <sub>m</sub> (MPa)	I <sub>m</sub> (mm <sup>4</sup> )
1750	0	407	201000	1.576 × 10 <sup>10</sup>

表 4-14 評価条件（原動機上部軸受部（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)	y <sub>b</sub> (mm)
S25C	50	201000	2.424 × 10 <sup>8</sup>	1823	0.1448

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)と残留熱除去系海水系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、残留熱除去系海水系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
残留熱除去系海水系ポンプ	2.3 (一次側端子箱)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

原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 (原動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	19	153
せん断	9	118
組合せ	19	153

b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機台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（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	53	153
せん断	13	118
組合せ	53	153

## c. 据付面基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

据付面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（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	41	195
せん断	13	150
組合せ	41	195

## d. 原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

原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（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
曲げ	9	273

## e. 一次側端子箱取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

一次側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（一次側端子箱取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	16	168
せん断	9	129
組合せ	16	168

f. 上部軸受ブラケット取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-8 に示す。

上部軸受ブラケット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（上部軸受ブラケット取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	7	153
せん断	4	118
組合せ	7	153

g. 上部軸受タンクカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

上部軸受タンク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（上部軸受タンクカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	2	153
せん断	3	118
組合せ	2	153

(3) 動的機能維持評価結果

a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

原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（原動機下部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
6770	

## b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

原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（原動機上部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
2148	

V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用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.....	2
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.....	17
4. 評価条件.....	29
5. 強度評価結果.....	33

## 1. 概要

本資料は、V-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機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「ディーゼル発電機用海水ポンプ」という。）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

ディーゼル発電機用海水ポンプについて、V-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、ディーゼル発電機用海水ポンプの「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

ディーゼル発電機用海水ポンプは、V-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に設置する。

海水ポンプ室の位置図を図2-1に示す。

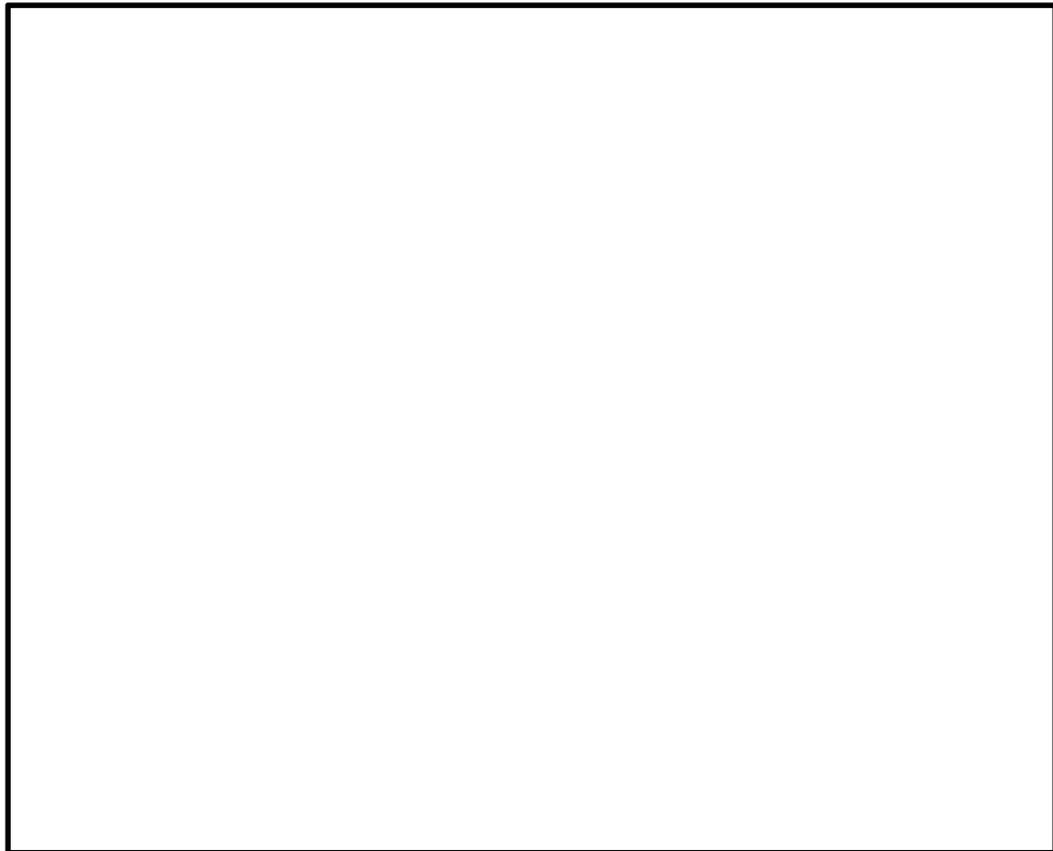


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

## 2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ポンプについて、V-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、ディーゼル発電機用海水ポンプの構造を示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプは、ポンプ据付面から原動機台までのポンプ部と、原動機台より上部の原動機部からなる立形ポンプであり、同一設計の**非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ2台**及び**高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ1台**を設置している。ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図を図2-2に示す。

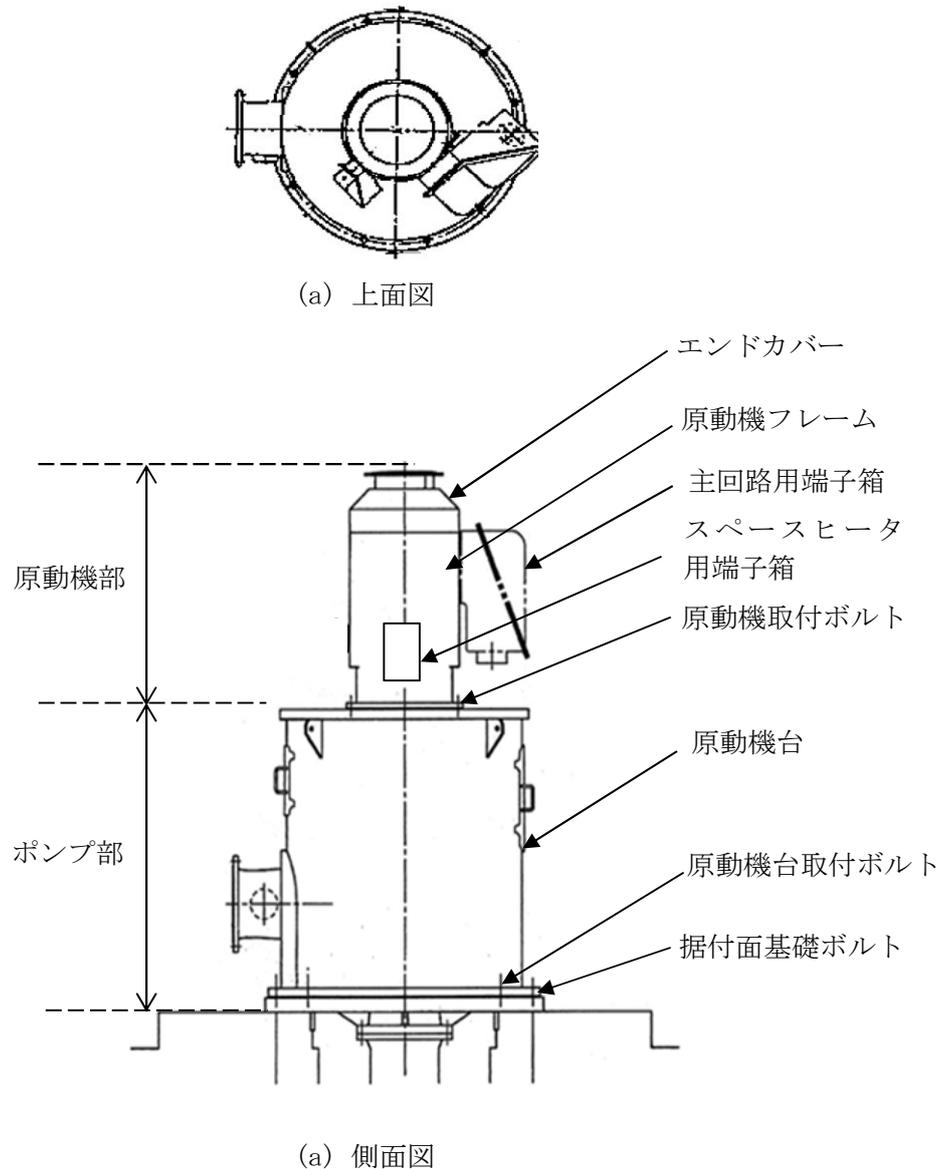


図2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

## 2.3 評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価は、V-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、ディーゼル発電機用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。

ディーゼル発電機用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

ディーゼル発電機用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、**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日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し、V-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. 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。ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価における許容限界は、V-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 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。

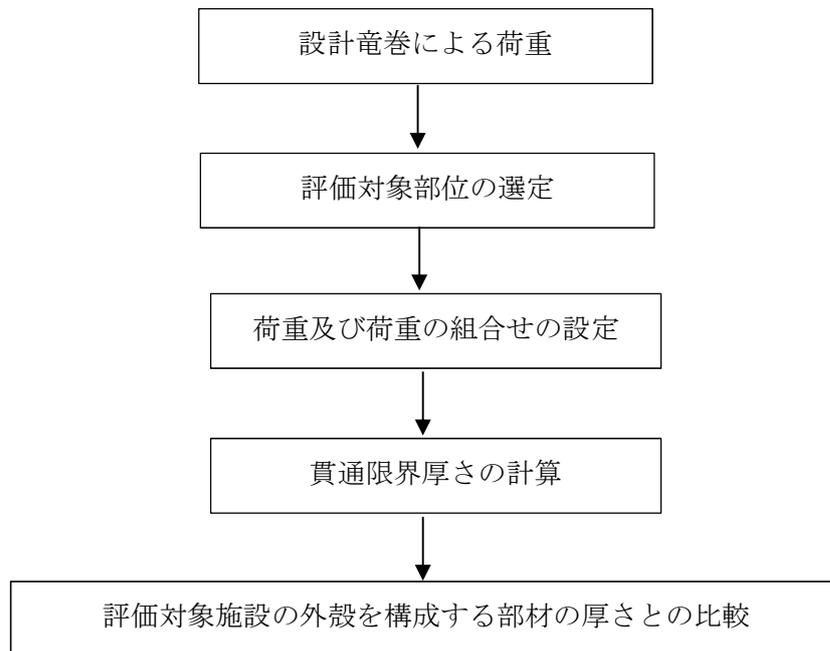


図2-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価フロー

#### (2) 構造強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用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、ディーゼル発電機用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」（（社）日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（（社）日本電気協会）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」（（社）日本電気協会）（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、V-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。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容限界は、V-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。

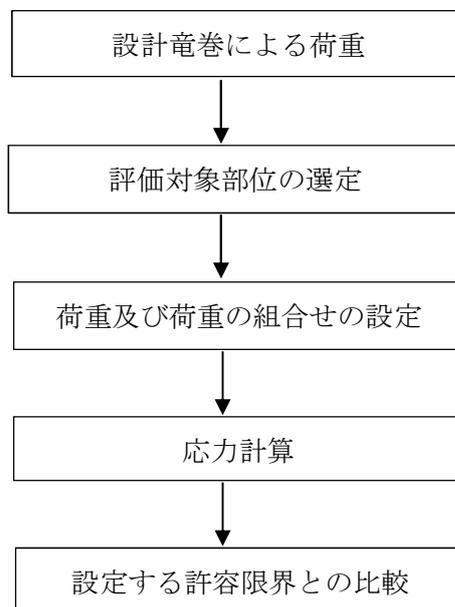


図2-4 ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価フロー

### (3) 動的機能維持評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フローを図2-5に示す。残留熱除去系海水系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、ディーゼル発電機用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、V-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。ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価における許容限界は、V-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。

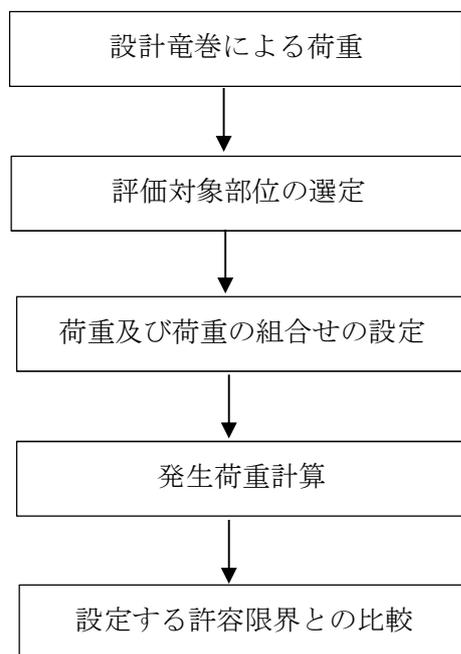


図2-5 ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価フロー

#### 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 原子炉安全専門審査会）」
- ・「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会，2004改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」（社）日本電気協会
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」（社）日本機械学会（以下「J S M E」という。）

### 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

ディーゼル発電機用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

ディーゼル発電機用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>b</sub>	mm <sup>2</sup>	ボルトの断面積
A <sub>1</sub>	m <sup>2</sup>	主回路端子箱側面の受圧面積
A <sub>2</sub>	m <sup>2</sup>	主回路端子箱上面の受圧面積
A <sub>3</sub>	m <sup>2</sup>	原動機フレームの受圧面積
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	原動機フレーム外径
d	mm	原動機フレーム内径
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F <sub>b</sub>	N	ボルトに作用する引張力
F <sub>H</sub>	N	ボルトに作用するせん断力
F <sub>i</sub>	N	各ボルトに作用する引張力
<b>F<sub>n</sub></b>	<b>N</b>	<b>ボルトに作用する最大引張力</b>
f <sub>s</sub>	MPa	J SME 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
f <sub>t</sub>	MPa	J SME 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
G	—	ガスト影響係数
g	m/s <sup>2</sup>	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
H	N	自重による荷重
h	mm	基準面からの重心距離
h <sub>u</sub>	mm	基準面から上端カバー上端までの高さ
L	mm	重心と支点間の距離
L <sub>H</sub>	mm	重心と支点間の距離
L <sub>1</sub> ～L <sub>4</sub>	mm	支点と評価ボルト間の距離
L <sub>i</sub>	mm	各ボルト間の距離
L <sub>n</sub>	mm	各ボルト間距離のうち最長距離
M	N・mm	設計竜巻により作用するモーメント
m	kg	質量
N	—	ボルトの本数
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
S <sub>y</sub>	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
S <sub>u</sub>	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
W <sub>T</sub>	N	設計竜巻による複合荷重
W <sub>T1</sub>	N	設計竜巻による複合荷重 (W <sub>T1</sub> =W <sub>P</sub> )
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 <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
Z	mm <sup>3</sup>	断面係数
ΔP	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
σ	MPa	原動機フレームの曲げ応力
σ <sub>bt</sub>	MPa	ボルトの引張応力
τ	MPa	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
E	MPa	縦弾性係数
E <sub>p</sub>	MPa	原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	荷重作用点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>	原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	N/m <sup>2</sup>	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いて設計竜巻による風圧を受ける面それぞれのW <sub>T2</sub> の合計の複合荷重
W''	N	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 <sub>1</sub>	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部までの距離
x <sub>2</sub>	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
x'	mm	評価対象部から支点までの距離
x <sub>a</sub> '	mm	ポンプグランド部から原動機下部軸受部までの距離
x <sub>b</sub> '	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部までの距離
y	mm	たわみ量
y <sub>1</sub>	mm	ポンプ据付面から荷重作用点のたわみ量
y <sub>2</sub>	mm	荷重作用点から原動機下部軸受部のたわみ量
y <sub>3</sub>	mm	原動機下部軸受部から原動機上部軸受部のたわみ量

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
$y_a$	mm	原動機下部案内軸受部のたわみ量
$y_b$	mm	原動機上部案内軸受部のたわみ量
$\delta$	mm	フレーム変位量
$\Delta P$	N/m <sup>2</sup>	設計竜巻の気圧低下量

### 3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位は、V-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 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、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。

ディーゼル発電機用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端子箱及びスペースヒーター用端子箱を選定する。

ディーゼル発電機用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。

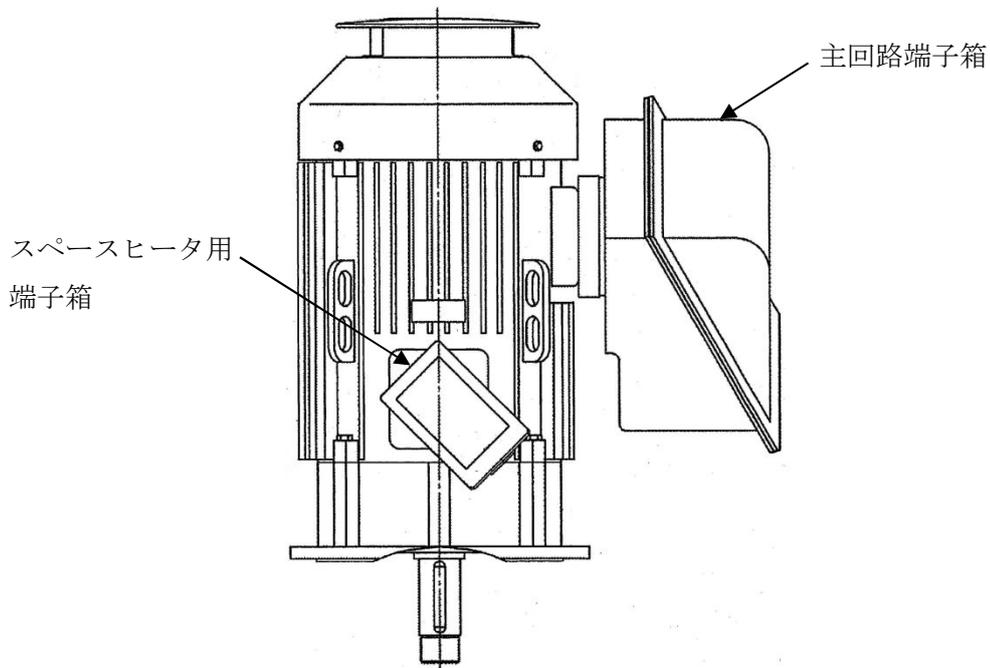


図3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位（衝突評価）

#### (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、原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は、原動機フレーム及び原動機台に作用し、原動機台を介して、基礎面及び原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。

- ・原動機取付ボルト
- ・原動機台取付ボルト
- ・据付面基礎ボルト

## b. 原動機部

原動機部について，原動機部等に作用する設計竜巻による荷重は，原動機フレーム及び付属品に作用し，原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。

- ・原動機フレーム
- ・主回路端子箱取付ボルト
- ・スペースヒータ用端子箱取付ボルト
- ・エンドカバー取付ボルト

ディーゼル発電機用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。

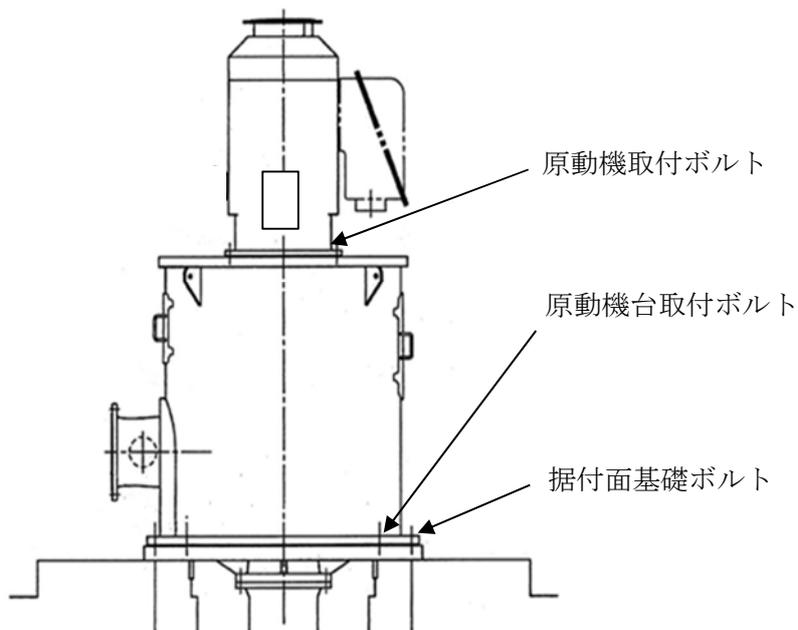


図3-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価部位図 (ポンプ部)

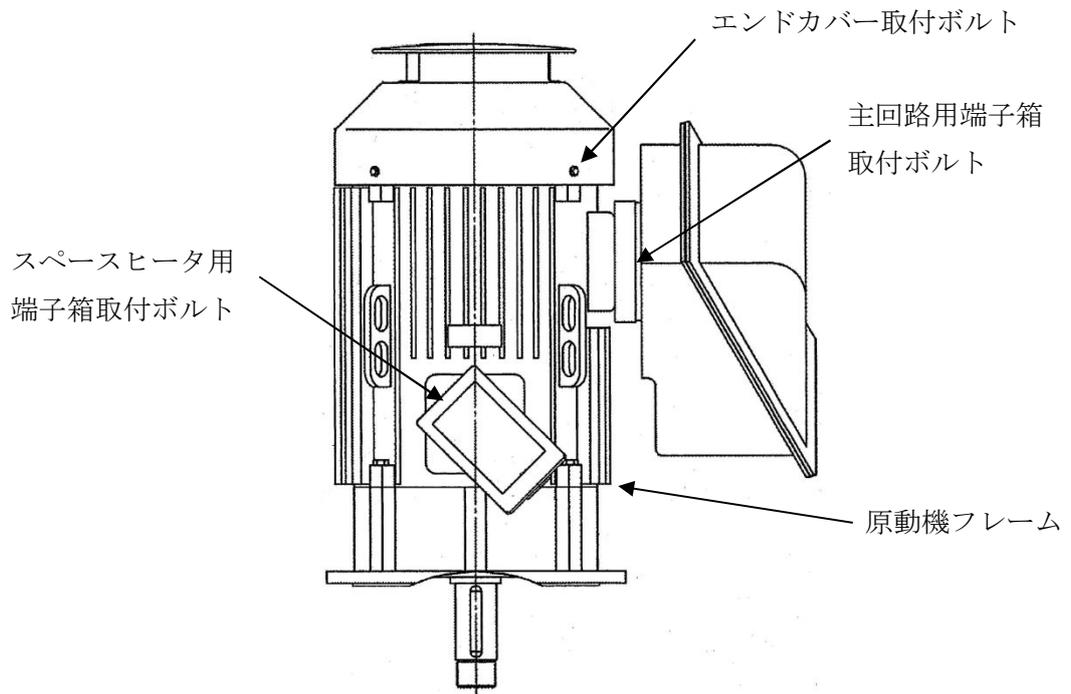


図 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価部位図（原動機部）

(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竜巻により荷重を受けた際に、原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。

- ・原動機下部軸受部
- ・原動機上部軸受部

ディーゼル発電機用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。

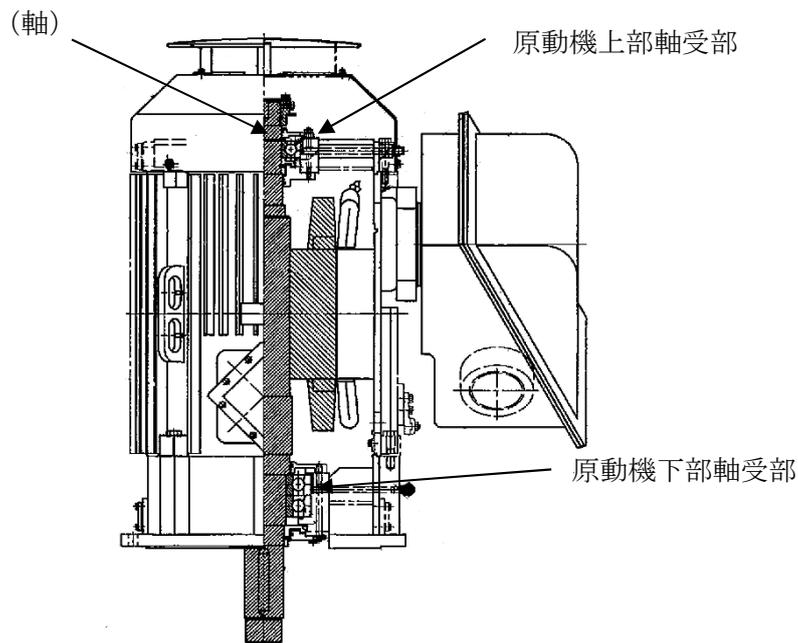


図 3-4 ディーゼル発電機用海水ポンプ動的機能維持評価対象部位概略図

### 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、V-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**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3-4、ディーゼル発電機用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	0.18	62	42

表3-5 ディーゼル発電機用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	ディーゼル発電機用海水ポンプ	・主回路端子箱 ・スペースヒータ用端子箱	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。防護ネット及び防護鋼板等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、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V-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V-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V-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、ディーゼル発電機用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。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5W_p + W_M$$

(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、V-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、ディーゼル発電機用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時に評価対象部位が鉛直方向に取り付けられており、自重が抗力となる場合は保守的に考慮せず、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、スペースヒータ用端子箱取付ボルト）は、端子箱自重を考慮する。また、運転時荷重が作用する評価対象部位は全て鉛直方向に取り付けられており、運転時荷重は鉛直方向下向きに作用し抗力となるため、それぞれの構造強度評価を行う際の荷重としては保守的に考慮しない。

ディーゼル発電機用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	ディーゼル 発電機用海 水ポンプ	構造 強度 評価	ポンプ部	原動機取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機台取付ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				据付面基礎ボルト	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
			原動機部	原動機フレーム	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端子箱自重
				スペースヒータ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端子箱自重
				エンドカバー取付ボルト	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	原動機上部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重
				原動機下部軸受部	①風圧力による荷重 ②気圧差による荷重

### 3.4 許容限界

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、V-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、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。ディーゼル発電機用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 ディーゼル発電機用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
ディーゼル発電機用海水ポンプ	2.3mm (主回路端子箱, スペースヒータ用端子箱)

#### (2) 構造強度評価における許容限界

ディーゼル発電機用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、J S M E 付録材料図表Part5,6の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 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、J S M E 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。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価における許容限界について、表3-8に示す。

表3-8 ディーゼル発電機用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
		一次応力		
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	$\text{Min} \{1.5 f_t, (2.1 f_t - 1.6 \tau)\}$
原動機フレーム	Ⅲ <sub>A</sub> S	一次応力	曲げ	$1.5 f_b$

(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、設計荷重により原動機フレームが変形する場合においてもディーゼル発電機用海水ポンプの運転継続が可能であるように、軸受の接触面圧の許容荷重を許容限界とする。

軸受の接触面圧の許容荷重を表3-9に示す。

表3-9 軸受の接触面圧の許容荷重

評価対象部位	許容荷重 (N)
原動機上部軸受部	□
原動機下部軸受部	□

3.5 評価方法

(1) 衝突評価の評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの衝突評価は、V-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. 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

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価及び動的機能維持評価は、V-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、原動機部は風圧力による荷重の作用中心と同等、あるいはより高い重心作用位置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。ポンプ部及び原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。

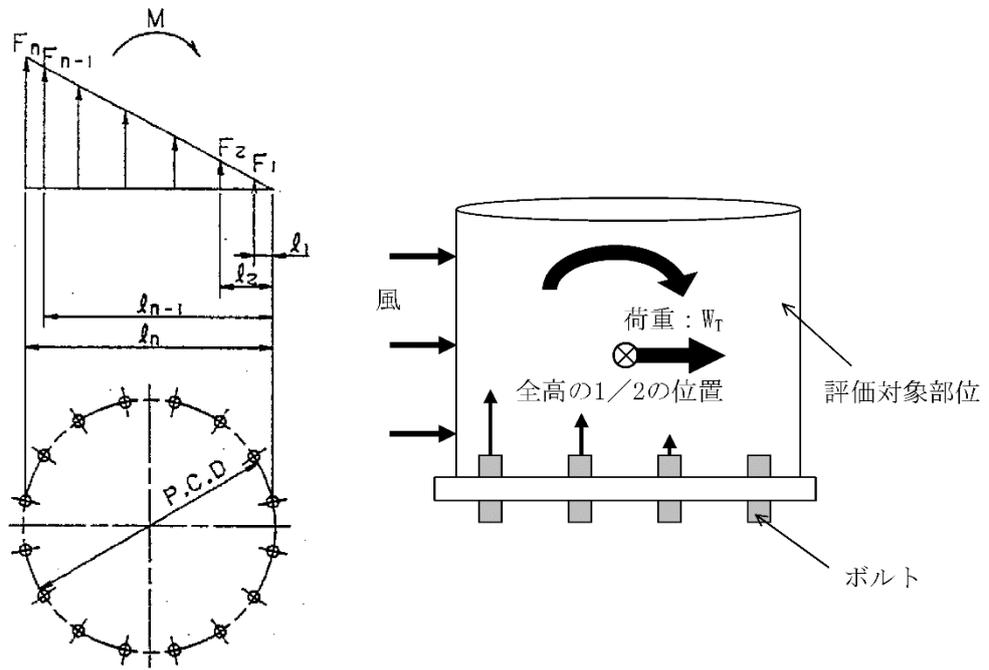


図 3-5 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

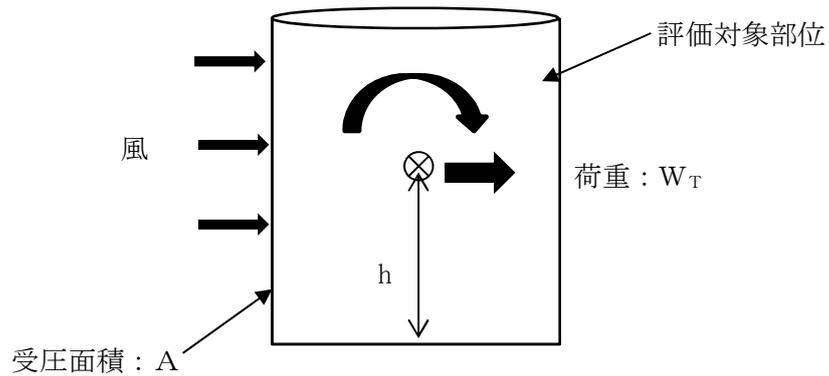


図 3-6 応力の計算モデル図 (原動機部)

(b) 動的機能維持評価

動的機能維持評価の際の原動機フレームのたわみ量計算において、ポンプ据付面から原動機台上端まで（ポンプ部）と、原動機台上端から原動機まで（原動機部）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原動機台が最も小さいことから、原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する。原動機部については原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(原動機フレーム等)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(ポンプ軸及び原動機軸)は、風荷重を受けないため、変形せず、原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。原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。

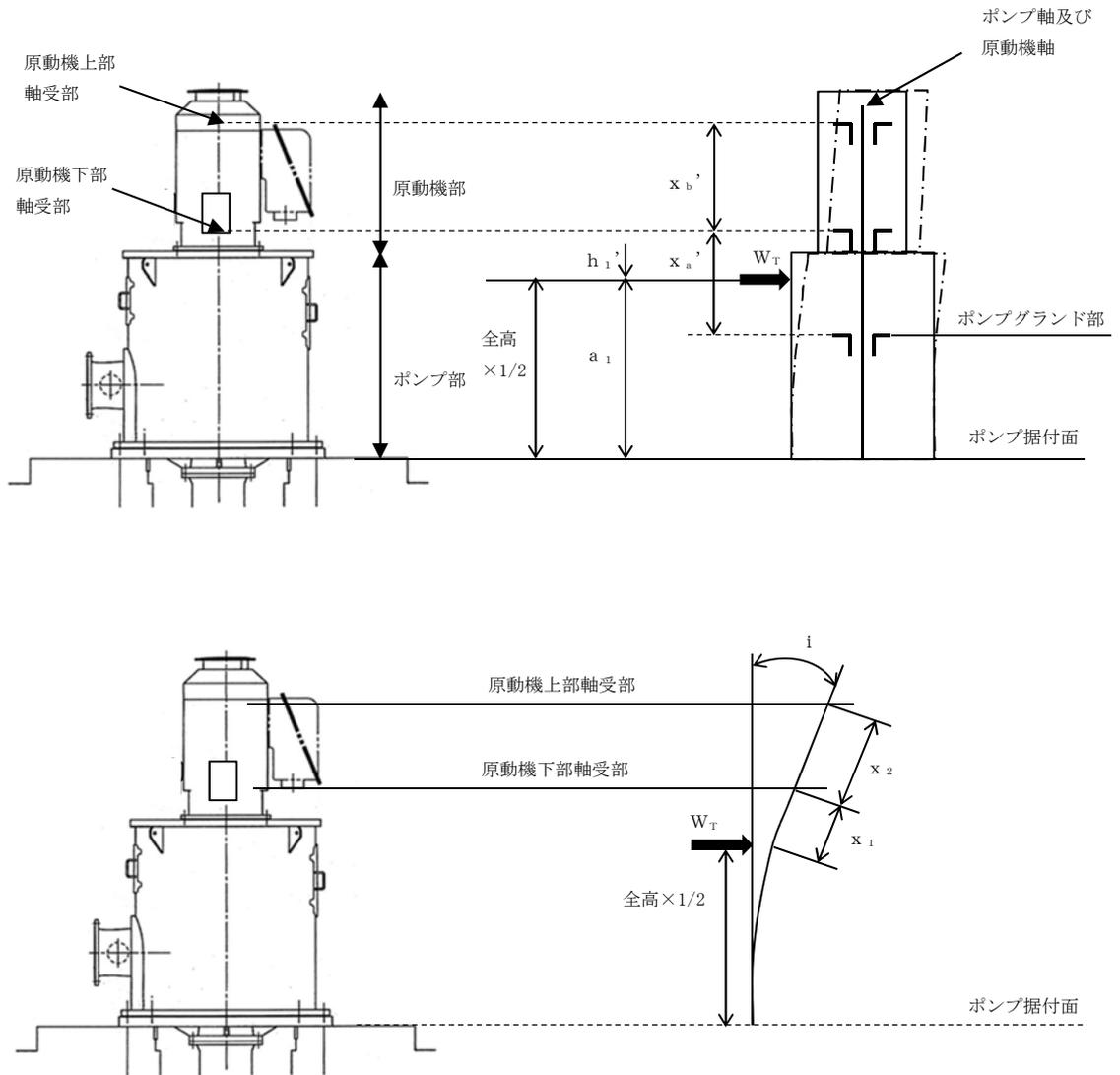


図 3-7 ディーゼル発電機用海水ポンプのたわみ量計算モデル図

b. 計算方法

(a) 応力の算出

イ. ポンプ部 (ボルト部)

原動機取付ボルト, 原動機台取付ボルト及び据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図を図 3-8~図 3-10 に示す。

(イ) 風による転倒モーメント  $M$

$$M = W_T \cdot \text{全高} / 2$$

(ロ) 引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdot \dots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \dots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より,

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よって,

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(ハ) せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

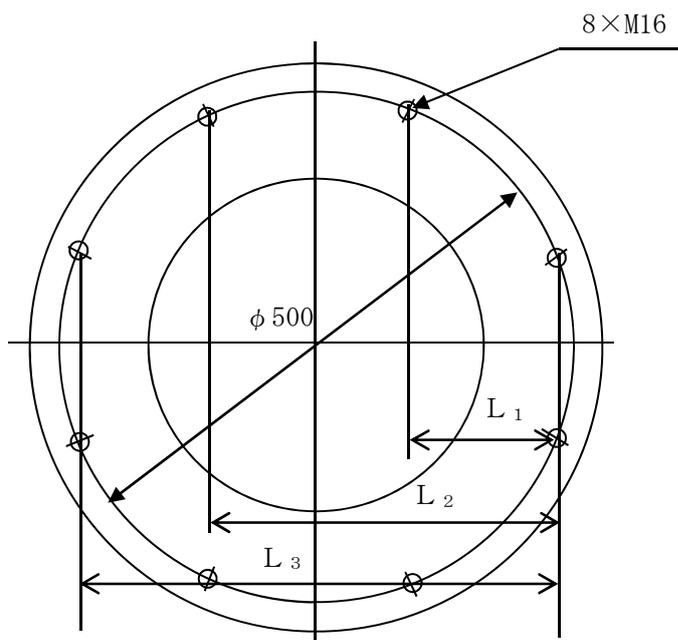


図 3-8 原動機取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

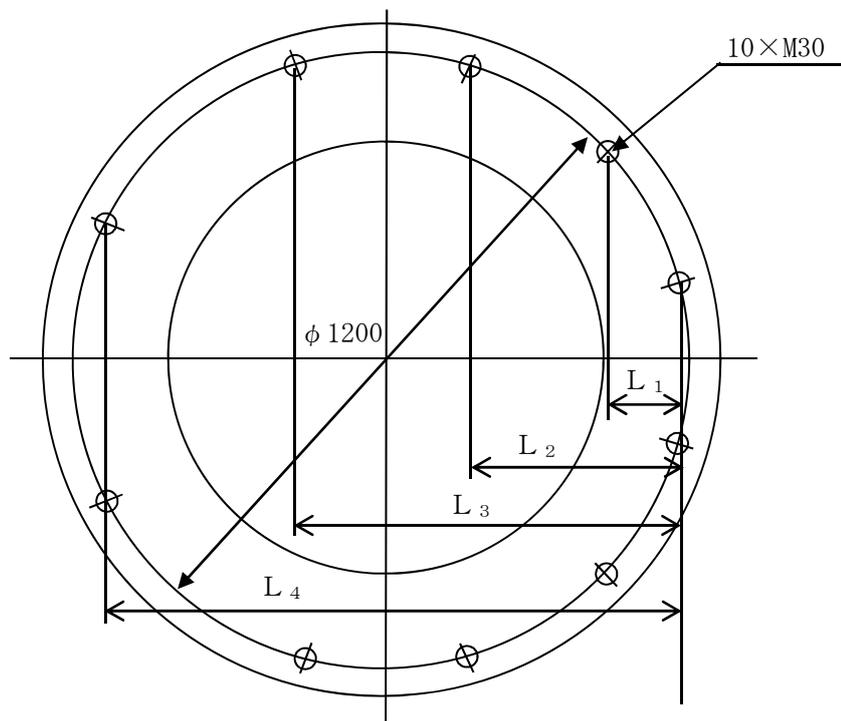


図 3-9 原動機台取付ボルトの各ボルト間寸法の配置図

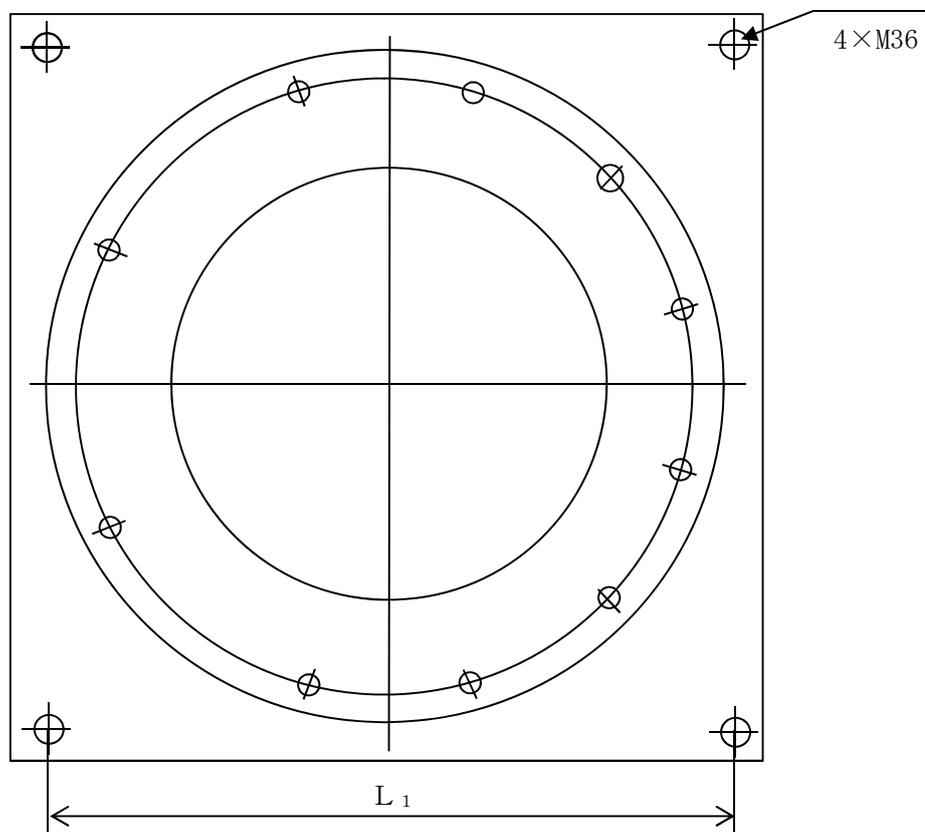


図 3-10 据付面基礎ボルトの各ボルト間寸法の配置図

ロ. 原動機部

原動機フレーム、主回路用端子箱ボルト部、スペースヒータ用端子箱ボルト部、エンドカバー取付ボルト部の詳細図を図3-11～図3-14に示す。

(イ) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h + H \cdot L_H \quad (\text{ボルト取付方向が水平方向の場合})$$

$$M = W_T \cdot h \quad (\text{ボルト取付方向が鉛直方向の場合})$$

(ロ) 原動機フレーム

原動機フレームの応力算出方法を以下に示す。

・曲げ応力

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

ここで、

$$Z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

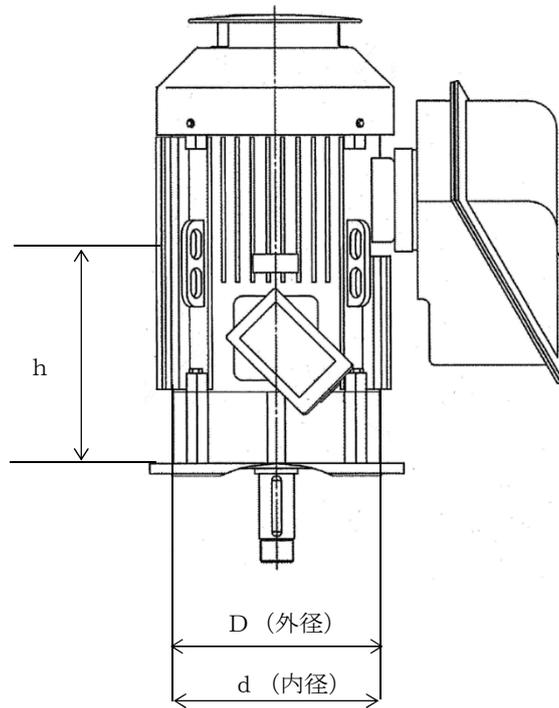


図 3-11 原動機フレーム詳細図

(ハ) 主回路用端子箱ボルト部、スペースヒータ用端子箱ボルト部

主回路用端子箱ボルト部、スペースヒータ用端子箱ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

$$F_b = \frac{M}{L_1 \cdot N}$$

$$\sigma_{bt} = \frac{F_b}{A_b}$$

・せん断応力

$$\tau = \frac{F_H}{A_b \cdot N}$$

ここで、

$$F_H = \sqrt{W_T^2 + H^2}$$

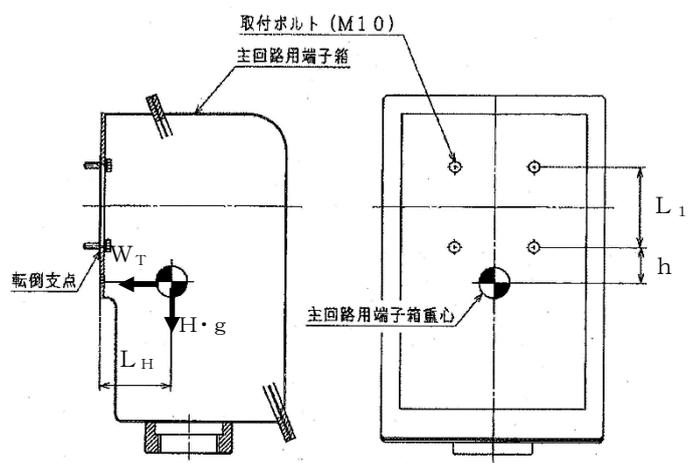


図 3-12 主回路用端子箱ボルト部詳細図

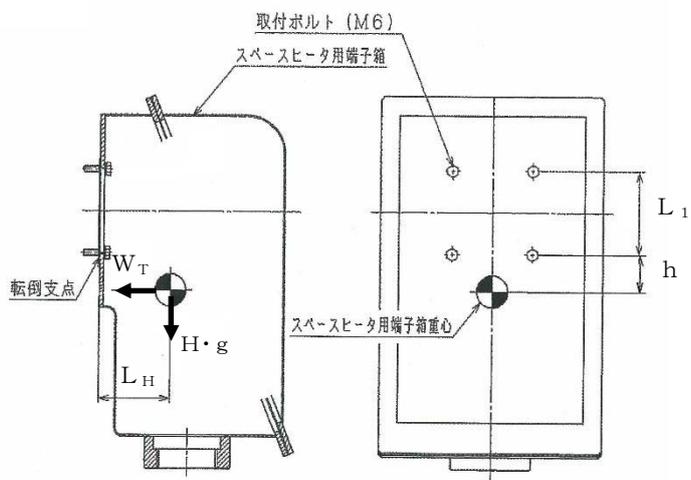


図 3-13 スペースヒータ用端子箱ボルト部詳細図

(二) エンドカバー取付ボルト部

エンドカバー取付ボルト部の応力算出方法を以下に示す。

・引張応力

竜巻によって生じる転倒荷重が、エンドカバーの上端（評価上厳しい条件）に作用した際の、エンドカバー取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

(i) 風による転倒モーメントM

$$M = W_T \cdot h_u$$

(ii) 引張応力  $\sigma_{bt}$

$$M = 2 \sum_{i=1}^n F_i \cdot L_i \cdots (3.1)$$

$$\frac{F_i}{L_i} = \text{一定} \cdots (3.2)$$

(3.1) (3.2) 式より、

$$F_n = \frac{M}{2 \sum_{i=1}^n L_i^2} L_n$$

よって、

$$\sigma_{bt} = \frac{F_n}{A_b}$$

(iii) せん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{W_T}{A_b \cdot N}$$

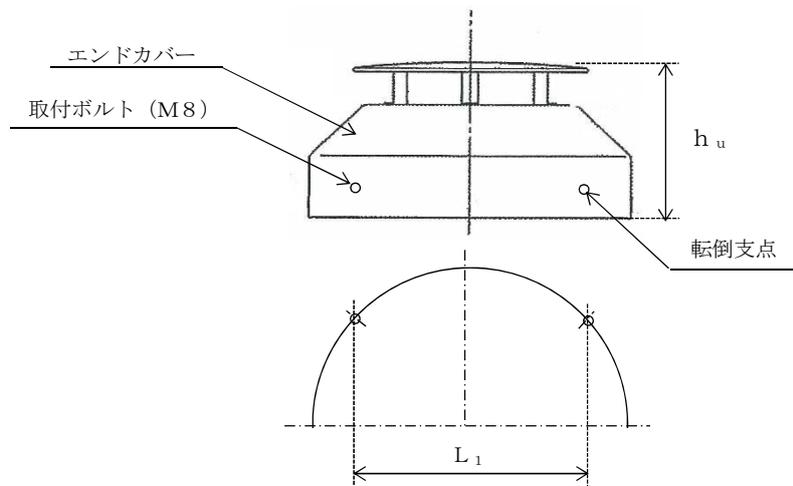


図 3-14 エンドカバー取付ボルト部詳細図

(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、竜巻による風圧力を受ける面（原動機台、原動機フレーム、主回路用端子箱、エンドカバー）のそれぞれの $W_{T2}$ の合計を複合荷重 $W'$ とする。

スペースヒータ用端子箱は原動機フレームと受圧面積が重なるため、荷重算出において考慮しない。

$$W' = \Sigma W_{T2}$$

各部位の受圧部図を図3-15～図3-18に示す

(単位：mm)

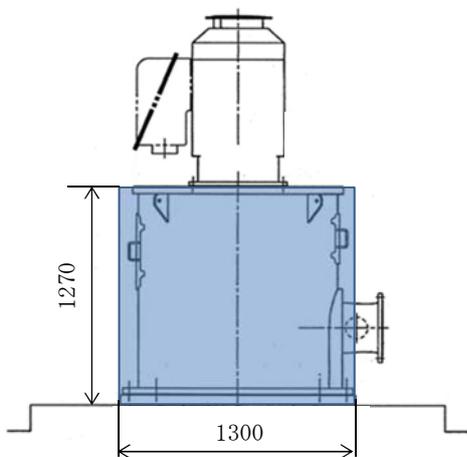


図3-15 原動機台の受圧部図

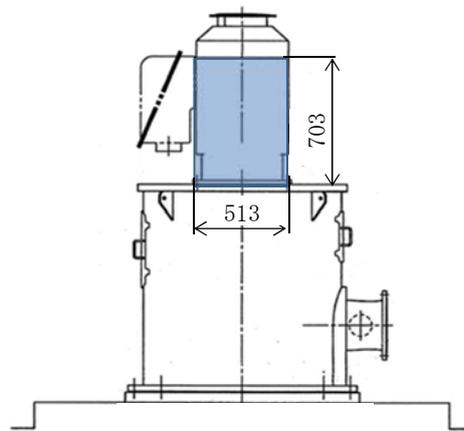


図3-16 原動機フレームの受圧部図

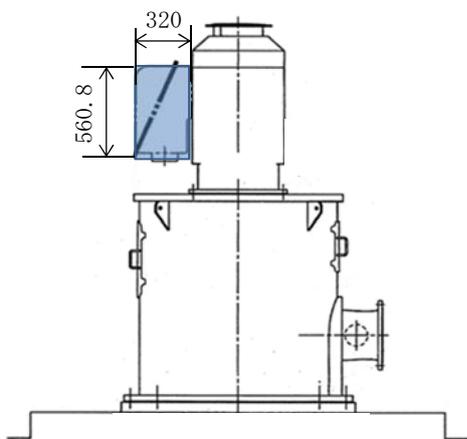


図3-17 主回路用端子箱の受圧部図

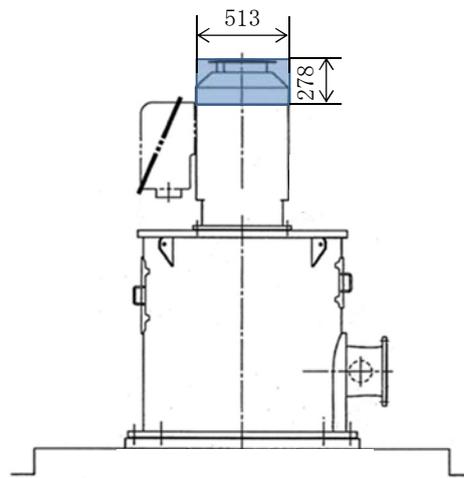


図3-18 エンドカバーの受圧部図

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) 原動機下部軸受部

・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、原動機台の断面図を図3-19に示す。

(単位：mm)

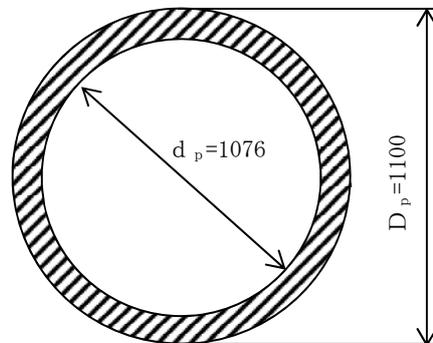


図3-19 原動機台の断面図

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。

$$I_p = \frac{\pi (D_p^4 - d_p^4)}{64}$$

・荷重作用点から原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、原動機下部軸受部のたわみ量は

$$y_a = y_1 + y_2$$

(ロ) 原動機上部軸受部

- ・原動機下部軸受部から原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、原動機上部軸受部のたわみ量は

$$y_b = y_a + y_3$$

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) 原動機下部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E'_m \cdot I'_m \cdot \delta_a}{x_a'^3}$$

ここで、 $\delta_a = y_a$

回転子（原動機部）の断面図を図3-20に示す。

(単位：mm)

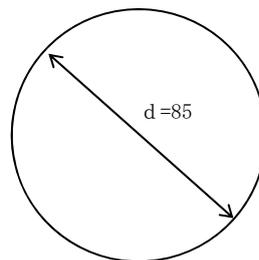


図3-20 回転子（原動機部）の断面図

回転子の断面二次モーメントは以下のとおり算出する。

$$I'_m = \frac{\pi d^4}{64}$$

(ロ) 原動機上部軸受部の発生荷重

$$W''_m = \frac{3 \cdot E_m' \cdot I_m' \cdot \delta_b}{x_b^3}$$

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 4-9 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_t$ (MPa)	$1.5 f_s$ (MPa)	$1.5 f_b$ (MPa)
原動機取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	—
原動機台取付ボルト	SUS304	50*1	198	504	205	153	118	—
据付面基礎ボルト	S20C	50*1	241	391	241	180	139	—
原動機フレーム	SS400	95*2	223	374	223	—	—	257
主回路端子箱取付ボルト	SS400	100*2	221	373	221	165	127	—
スペースヒータ用端子箱取付ボルト	SS400	100*2	221	373	221	165	127	—
エンドカバー取付ボルト	SS400	50*1	241	394	241	180	139	—

注記 \*1：周囲環境温度

\*2：最高使用温度

表 4-2 評価条件

q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	$\Delta P$ (N/m <sup>2</sup> )	$W_M$ (N)
$6.1 \times 10^3$	1.0	$8.9 \times 10^3$	0

表 4-3 評価条件 (原動機取付ボルト)

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	C (-)	全高 (m)	A (m <sup>2</sup> )
135.3	326.6	461.9	1.2	0.981	1.138

ボルト サイズ	N (-)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )
M16	8	201.1

表 4-4 評価条件（原動機台取付ボルト）

$L_1$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	$L_4$ (mm)	C (-)	全高 (m)
155.3	424.3	734.8	1099.2	1.2	2.251

A ( $m^2$ )	ボルト サイズ	N (-)	$A_b$ ( $mm^2$ )
2.789	M30	10	706.9

表 4-5 評価条件（据付面基礎ボルト）

$L_1$ (mm)	C (-)	全高 (m)	A ( $m^2$ )	ボルト サイズ	N (-)
1200	1.2	2.251	2.789	36	4

$A_b$ ( $mm^2$ )
1018

表 4-6 評価条件（原動機フレーム）

C (-)	h (mm)	A ( $m^2$ )	D (mm)	d (mm)
1.2	490.5	1.138	449	425

表 4-7 評価条件（主回路端子箱取付ボルト）

C (-)	A ( $m^2$ )	ボルト サイズ	$A_b$ ( $mm^2$ )	m (kg)	g ( $m/s^2$ )
2.4	0.2019	M10	78.54	25	9.80665

$N^*$ (-)	h (mm)	$L_H$ (mm)	$L_1$ (mm)
4(2)	57.5	109.3	130

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 4-8 評価条件 (スペースヒータ用端子箱取付ボルト)

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	m (kg)	g (m/s <sup>2</sup> )
2.4	0.0360	M6	28.27	3.6	9.80665

N*	h (mm)	L <sub>H</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
4(2)	3.8	57.3	80

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 4-9 評価条件 (エンドカバー取付ボルト)

C (-)	A (m <sup>2</sup> )	ボルト サイズ	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	N (-)	L <sub>1</sub> (mm)
1.2	0.1426	M8	50.27	4	362.7

h (mm)
278

(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 4-10～表 4-14 に示す。

表 4-10 評価条件 (たわみ量の算出)

原動機台の 風力係数 C (-)	原動機フレームの 風力係数 C (-)	主回路用端子箱の 風力係数 C (-)	エンドカバーの 風力係数 C (-)
1.2	1.2	2.4	1.2

原動機台の 受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	原動機フレームの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	主回路用端子箱の 受圧面積 A (m <sup>2</sup> )	エンドカバーの 受圧面積 A (m <sup>2</sup> )
1.651	0.3606	0.1795	0.1426

表 4-11 評価条件（原動機下部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
SS400	50	6.1×10 <sup>3</sup>	1.0	8.9×10 <sup>3</sup>	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)
0	1126	201000	6.070×10 <sup>9</sup>	242.5	0.01485

表 4-12 評価条件（原動機下部軸受部（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)
S45C	50	200000	2.562×10 <sup>6</sup>	640.5

表 4-13 評価条件（原動機上部軸受部（たわみ量の算出））

変位量計算モデルの材質	温度 (°C)	q (N/m <sup>2</sup> )	G (-)	ΔP (N/m <sup>2</sup> )	W <sub>M</sub> (N)
SS400	50	6.1×10 <sup>3</sup>	1.0	8.9×10 <sup>3</sup>	0

x <sub>2</sub> (mm)	y <sub>b</sub> (mm)
669.5	0.02486

表 4-14 評価条件（原動機上部軸受部（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)
S45C	50	200000	2.562×10 <sup>6</sup>	669.5

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)とディーゼル発電機用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、ディーゼル発電機用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
ディーゼル発電機用 海水ポンプ	2.3 (主回路端子箱, スペースヒータ用端子箱)	1.0	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原動機取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

原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 (原動機取付ボルト)

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	23	153
せん断	9	118
組合せ	23	153

## b. 原動機台取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

原動機台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（原動機台取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	15	153
せん断	5	118
組合せ	15	153

## c. 据付面基礎ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

据付面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（据付面基礎ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	16	180
せん断	9	139
組合せ	16	180

## d. 原動機フレーム

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

原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（原動機フレーム）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
曲げ	4	257

## e. 主回路端子箱取付ボルト

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)	許容限界 (MPa)
引張	13	165
せん断	13	127
組合せ	13	165

## f. スペースヒータ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 5-8 に示す。

スペースヒータ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 5-8 評価結果（スペースヒータ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)	許容限界 (MPa)
引張	2	165
せん断	7	127
組合せ	2	165

## g. エンドカバー取付ボルト

竜巻発生時の構造強度評価結果を表 5-9 に示す。

エンド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（エンドカバー取付ボルト）

応力分類	複合荷重 $W_{T2}$ による応力 (MPa)	許容限界 (MPa)
引張	13	180
せん断	9	139
組合せ	13	180

## (2) 動的機能維持評価結果

## a. 原動機下部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-10 に示す。

原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（原動機下部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
87	

## b. 原動機上部軸受部

竜巻発生時の動的機能維持評価結果を表 5-11 に示す。

原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（原動機上部軸受部）

発生荷重 $W''$ (N)	許容荷重 (N)
52	

## V-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	3
2.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3. 設計方針	17
4. 評価方針	21
5. 許容限界	22
6. 強度評価方法	23
6.1 記号の定義	23
6.2 評価対象部位	27
6.3 評価方法	28
7. 適用規格	37

## 1. 概要

本資料は、V-1-1-2-3-4「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」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、V-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 固縛対象設備の選定

屋外に設置する重大事故等対処設備は、V-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。これらの屋外の重大事故等対処設備は、竜巻の風圧力による荷重に対しては、**位置的分散等**を考慮した保管により機能を損なわない設計としており、それとあいまって、悪影響防止として、設計基準事故対処設備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ように、浮き上がりの発生の有無、横滑り対策の可否を検討し、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。）を選定する。**固縛対象設備のうち、V-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固縛対象設備とし、複数の固縛対象設備をコンテナ、車両等に保管している場合は、コンテナ、車両等を収納設備として扱い、車両型以外の固縛対象設備として区分する。なお、固縛対象設備設備は、保管単位に対して選定する。**

固縛対象設備は、以下の観点を考慮して選定する。

- ・設備の形状（受圧面積、重量、重心高さ等）
- ・保管場所又は設置状況
- ・設計竜巻による風圧力の影響の有無

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、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

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
可搬型代替注水大型ポンプ	車両型	台	
可搬型代替注水中型ポンプ	車両型	台	
可搬型代替注水大型ポンプ (放水用)	車両型	台	
放水砲	車両型以外	台	
ホイールローダ	車両型以外	台	
小型船舶	車両型以外	基	船体と船外機は、個別に保管する。 船体は専用架台に積載，船外機は専用ラック内に収納して保管
窒素供給装置	車両型	台	
窒素供給装置用電源車	車両型	台	
汚濁防止膜	車両型以外	台	汚濁防止膜運搬車荷台に積載して保管
泡混合器	車両型以外	個	
泡消火薬剤容器 (大型ポンプ用)	車両型以外	個	
タンクローリ	車両型	台	
可搬型代替低圧電源車	車両型	台	
可搬型整流器	車両型以外	基	専用ラック内に収納して保管
ホース	車両型以外	基	専用コンテナ内に収納して保管
ホース (放水用)	車両型以外	台	専用コンテナ内に収納し，当該コンテナをホース展張車に積載して保管
	車両型以外	基	専用コンテナ内に収納して保管
ケーブル	車両型以外	台	専用コンテナ内に収納し，当該コンテナをホース展張車に積載して保管
	車両型以外	台	可搬型ケーブル運搬車内に収納して保管

## 2.2 固縛装置の構造

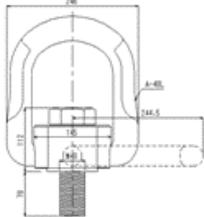
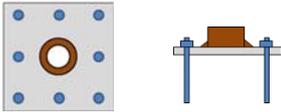
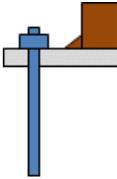
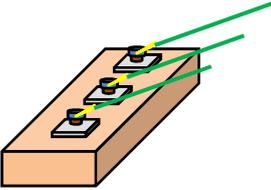
固縛装置は、固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を、連結材（高強度繊維ロープ）及び固定材（フレノ・リンクボルト、アンカープレート）を介してコンクリート等の基礎部で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2-2 に示す。

車両型固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-3 (1/2)に示す。車両型固縛対象設備は、V-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、固縛装置に耐震設計で求められる余長を持たせた設計とする。

また、車両型固縛対象設備以外の固縛対象設備の固縛装置は、車両型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。なお、車両以外の固縛対象設備の一部はコンテナ及びラックに収納並びに運搬車に積載して保管するため、固縛装置は当該保管単位に対して設置するが、この場合の車両については収納設備としており、固縛装置においても余長を持たせた設計とはしないことを基本とする。

車両型固縛対象設備以外（コンテナ型固縛対象設備及び運搬車等に積載した固縛対象設備）の固縛装置の構造を表 2-3 (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	高強度繊維ロープ		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に使用する。
固定材	フレノ・リンクボルト		アンカープレートに取付け、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に使用する。
	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に使用する。
基礎部（アンカーボルト）	接着系アンカー		固定材（アンカープレート）と基礎部を定着させるために使用する。
	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。

注) 耐震設計での保管状態（収納ラック等への取付）は上記構成要素の対象外とする。

表 2-3 固縛装置の構造 (1/3)

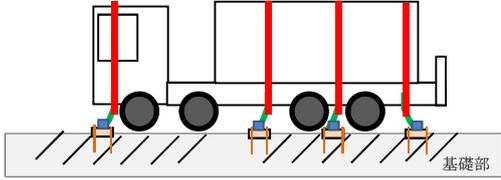
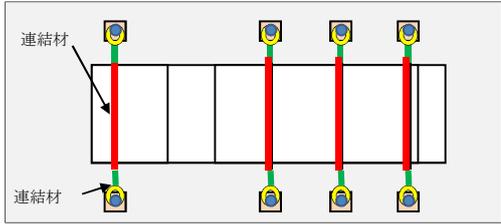
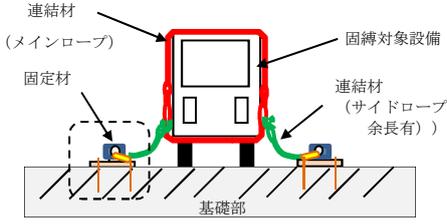
施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型固縛対象設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ）を車両型固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。</p> <p>車両型固縛対象設備については、連結材（サイドロープ）に余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響のない設計とする。</p> <p>車両型固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	 <p>(側面図)</p>  <p>(上面図)</p>  <p>(正面図)</p>

表 2-3 固縛装置の構造 (2/3)

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）に固定することで車両を固縛する。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>固縛対象設備をコンテナに収納して保管（収納コンテナを固縛する場合）</p>
		<p><b>固縛対象設備は、耐震設計で設定している収納ラック内に固縛され、収納ラックをアンカーボルトにて基礎部に固定する。</b></p>	<p>固縛対象設備をラックに収納して保管（耐震設計で保管状態を考慮している場合）</p>

NT2 補② V-3-別添 1-3 R7

表 2-3 固縛装置の構造 (3/3)

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、固縛対象設備の収納設備としての車両に巻付け、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>連結材（サイドロープ）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>固縛対象設備を運搬車など積載して保管 (収納設備としての車両を固縛の場合)</p> <p>基礎部</p> <p>(側面図)</p> <p>連結材</p> <p>連結材</p> <p>(上面図)</p> <p>連結材 (メインロープ)</p> <p>固定材</p> <p>固縛対象設備</p> <p>連結材 (サイドロープ (余長無し))</p> <p>基礎部</p> <p>(正面図)</p>

NT2 補② V-3-別添 1-3 R7

### 2.3 荷重及び荷重の組合せ

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。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浮き上がり及び横滑りの両方が発生する固縛対象設備については、各評価対象部位に対して、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ついては、空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きく、浮き上がると判断される固縛対象設備に対して行う。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については、固縛対象設備が横滑りによって移動した場合に、設計基準事故対処設備（外部事象防護対象施設）及び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、悪影響を及ぼす可能性がある固縛対象設備に対して行う。

竜巻の風速としては、設計竜巻の最大風速 $V_D=100$  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。評価条件を表 2-4 に示す。

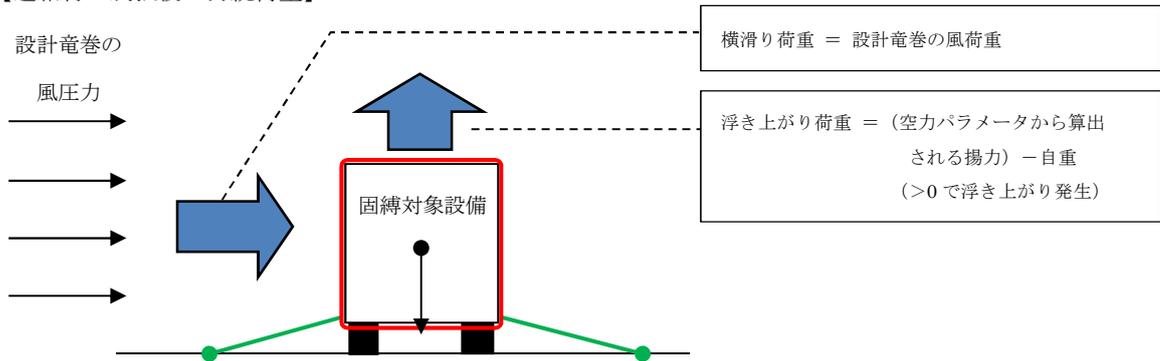
表 2-4 設計竜巻の評価条件

最大風速 $V_D$ (m/s)	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 $H_i$ (m)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト 影響係数 $G$ (-)
100	85	30	15	1.22	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 2-1 に示す。

【連結材の展張後の持続荷重】



【連結材の余長展張時の動的荷重】

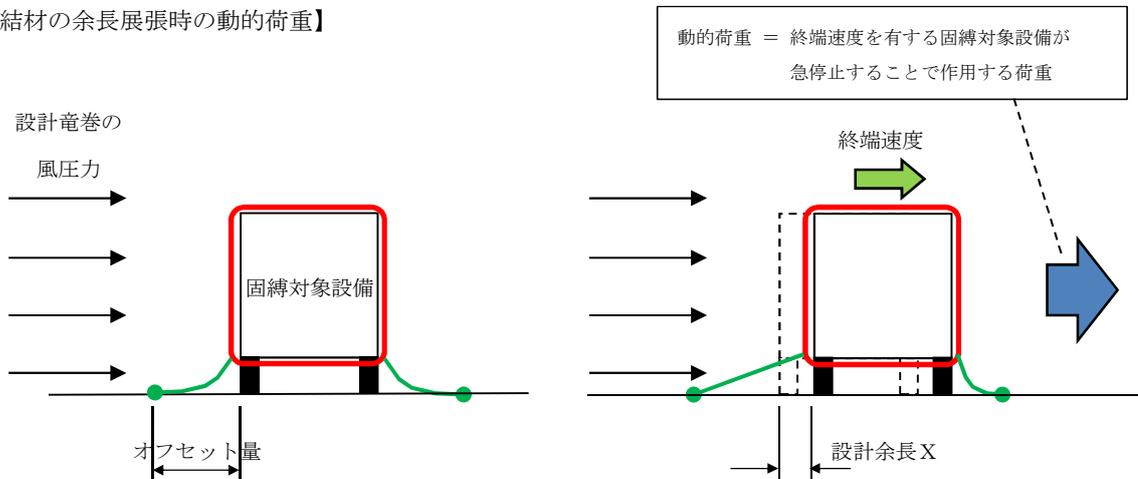


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

(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（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 2-5 に示す。

表 2-5 荷重の算出に用いる記号

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
$V_{SA}$	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投影面積
$W$	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
$A$	m <sup>2</sup>	固縛対象設備の最大受圧面積
$V_{SAS, F}$	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	固縛対象設備の自重
$F_{L, m}$	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。

$$F_{L, m} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A$$

$\rho$  : 空気の密度

$V_{SA}$  : 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

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。

$$\begin{aligned} P_V &= F_{L, m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g \\ &= m \left( \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right) \end{aligned}$$

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。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33 (C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

## 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、悪影響を及ぼす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可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）又は可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）においては、外部事象防護対象施設及び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、設計竜巻の風圧力による荷重が当該固縛対象設備に作用する水平力とし、「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。

$$P_H = W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト係数 (=1.0)

$C$  : 風力係数

$A$  : 受圧面積 (固縛対象設備の見付面積の最大値)

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

$\rho$  : 空気の密度

$V_{SA}$  : 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。また、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 2-2 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。

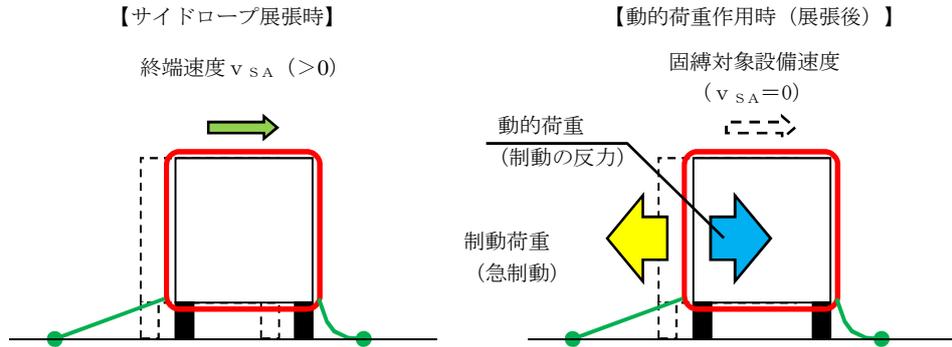


図 2-2 連結材の展張以後の固縛対象設備の概要モデル

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。

$$V_{SAS, S} = \sqrt{\frac{2 \mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_s \frac{C_D A}{m} \right)}}$$

$\mu_s$  : 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。

$$V'_{SA} = a t + b \quad \cdots \text{①}$$

$V'_{SA}$  : 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。

$$a_{SA} = \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m}$$

$$= \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V'_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot g \dots \textcircled{2}$$

$F_{fd}$  : 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式の  $V'_{SA}$  に①式を代入し、 $t$  に対する式として整理すると、③式となる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right)$$

$$a_{SA} = K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \dots \textcircled{3}$$

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、 $v_{SA}=0$ )

$$v_{SA} = \int a_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{3} K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2$$

$$+ (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t \dots \textcircled{4}$$

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、 $x_{SA}=0$ )

$$x_{SA} = \int v_{SA} dt$$

$$= \frac{1}{12} K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3} K \cdot a \cdot b \cdot t^3$$

$$+ \frac{1}{2} (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t^2 \dots \textcircled{5}$$

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、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。

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  $m v_{SA}$  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、⑥式に示すとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \quad \dots \text{⑥}$$

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、⑦式で表される。

$$x_{RP} = B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots \text{⑦}$$

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⑧式となる。

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots \text{⑧}$$

$k$  : 連結材の等価剛性

⑧式を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  $v_{SA}=0$ )

$$B = v_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots \text{⑨}$$

また、動的荷重  $F_i$  は、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。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots \text{⑩}$$

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、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。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_w - F_{fd}$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

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 2-6 「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-6 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。

### 3. 設計方針

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）に余長の有無により、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一で、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、V-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	連結材	固定材	基礎部（アンカーボルト）
A	高強度繊維ロープ （余長あり）	フレノ・リンク ボルト	接着系アンカーボルト
B	高強度繊維ロープ （余長なし）	フレノ・リンク ボルト	接着系アンカーボルト

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式(1/3)

区分	固縛対象設備 設備名称	保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長 有無	備考
		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	可搬型代替注水大型ポンプ	台	—	西側 南側	○	○*2	有	
	可搬型代替注水大型ポンプ (放水用)	台	—	西側 南側 (予備)	○	○*2	有	
	可搬型代替注水中型ポンプ	台	—	西側 南側	○	○*2	有	
	可搬型代替低圧電源車	台	—	西側 南側	○	○	有	
	タンクローリ	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	有	
	窒素供給装置	台	車両搭載型	西側 南側 (予備)	○	○*2	有	
	窒素供給装置用電源車	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	有	

注記 \*1：保管場所は以下を示す。

西側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側），南側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）

\*2：浮き上がりは生じるが，余長が展張することはないため，固縛装置に浮き上がり荷重は作用しない。

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式(2/3)

区分	固縛対象設備		保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長 有無	備考
	設備名称	保管 単位	保管状態の特記事項	保管場所*	横滑り	浮き 上がり			
車両 型 以外	ホイールローダ	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	有		
	ホース	基	ホースを収納した 専用コンテナで保管	西側 南側	○	○	無		
		台	ホースを収納した 専用コンテナをホース 展張車に積載して保管	西側 南側	○	○	有	ホース運搬の 運用性を考慮して 余長を設定する。	
	ホース (放水用)	基	ホースを収納した 専用コンテナで保管	西側 南側 (予備)	○	○	無		
		台	ホースを収納した 専用コンテナをホース 展張車に積載して保管	西側 南側 (予備)	○	○	有	ホース運搬の 運用性を考慮して 余長を設定する。	
	放水砲	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	無		
	泡混合器	個	—	西側 南側 (予備)	○	○	無		
	泡消火薬剤容器 (大型ポンプ用)	個	—	西側 南側 (予備)	○	○	無		

注記 \* : 保管場所は以下を示す。

西側 : 可搬型重大事故等対処設備保管場所 (西側) , 南側 : 可搬型重大事故等対処設備保管場所 (南側)

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式(3/3)

区分	固縛対象設備		保管に関する事項		固縛装置対策目的		余長 有無	備考
	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	ケーブル	台	ケーブルを収納した 可搬型ケーブル運搬車 に積載して保管	西側 南側	○	○	無	
	汚濁防止膜	台	汚濁防止膜運搬車の荷 台に積載して保管	西側 南側（予備）	○	○	無	
								小型船舶
	(船外機)	基	専用架台に積載して保 管	西側 南側（予備）	○*2	○*2	無	
	(船体)							基

注記 \*1：保管場所は以下を示す。

西側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側），南側：可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）

\*2：耐震設計による保管状態（収納ラック等）で竜巻の風荷重によって飛散しない場合には、固縛は不要とする。

#### 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、評価対象部位にかか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。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、「2.3 荷重の及び荷重の組合せ」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、又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。

なお、強度評価を行うことを基本とするが、耐震設計において固縛対象設備の保管状態を考慮したうえで、耐震評価結果として機能維持が確認できている場合は、耐震評価結果よりも設計竜巻の風荷重が小さいことを確認することで、設計竜巻の風圧力による荷重によって悪影響を及ぼすことがないと評価する。

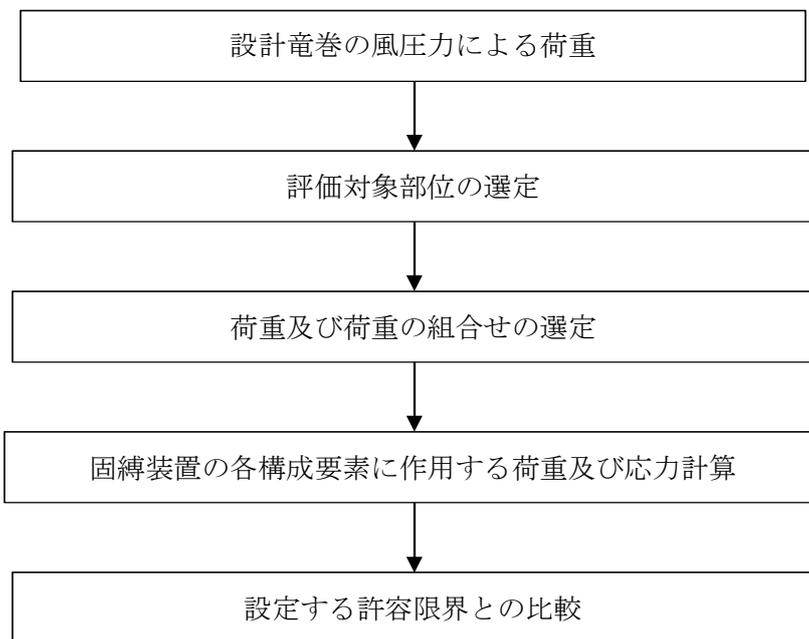


図 4-1 固縛装置の強度評価フロー

## 5. 許容限界

固縛装置の許容限界は、「6.2 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（悪影響防止）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。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（メインロープ及びサイドロープ）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値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）

#### a. 接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち、接着系アンカーボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、接着系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、短期許容応力度を許容限界とする。

## 6. 強度評価方法

### 6.1 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
$F_d$	kN	固縛対象設備の自重
$P_v$	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
$P$	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
$N$	箇所	固縛装置の箇所数
$n_1$	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（設備進行方向）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なす角度
$A$	$m^2$	固縛対象設備の最大受圧面積
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$G$	—	ガスト影響係数
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	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
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	$m^2$	固縛対象設備の各面の投影面積
$H$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	$m/s^2$	重力加速度（ $g=9.80665$ ）

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
$F_d$	kN	固縛対象設備の自重
$P_v$	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
$P$	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
$N$	箇所	固縛装置の箇所数
$n_2$	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$P_2$	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
$P_3$	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（設備進行方向）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
$A$	$m^2$	固縛対象設備の最大受圧面積
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$G$	—	ガスト影響係数
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$V_{Rm}$	$m/s$	設計竜巻の最大接線風速
$V_{SA}$	$m/s$	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	$m^2$	固縛対象設備の各面の見付面積
$H$	$m$	固縛対象設備の高さ
$m$	$kg$	固縛対象設備の質量
$g$	$m/s^2$	重力加速度（ $g = 9.80665$ ）
$F$	$N/mm^2$	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	$N/mm^2$	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
$\tau_y$	$N/mm^2$	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
$f_b$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
$f_t$	$N/mm^2$	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
$B$	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	ベースプレートの $y$ 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	mm	ベースプレートの $x$ 軸まわりの塑性断面係数
$A$	mm	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
$F_c$	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 (=40)
$\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7× $f_t$ )
$Q$	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 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	接着系アンカーボルトの検討において、アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力
$\phi_2$	—	アンカーボルトの降伏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、 $0.5 \times \sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (F_c/60)^{1/3}$
$A_{qc}$	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	接着系アンカーボルトにおいては、埋込長さ
$A_{Le}$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
$A_{Lce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
$A_{da}$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
$\alpha_1$ $\alpha_2$ $\alpha_3$	—	接着系アンカーボルトにおいて、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	接着系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	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの降伏により決定される 1 本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの付着力により決定される 1 本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	接着系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>	接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカー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	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	接着系アンカーボルト 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 $\times\sqrt{F_c}$ )

## 6.2 評価対象部位

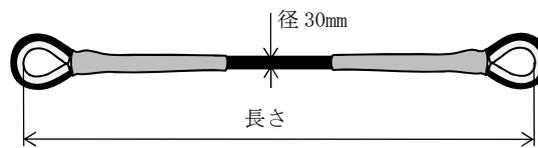
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

### (1) 連結材

- ・連結材本体（高強度繊維ロープ）

※連結材に作用する荷重を、メーカー提示値の規格引張強度と比較するため、評価対象部位は高強度繊維ロープ本体とする。

連結材の評価対象部位を図 6-1 に示す。



（高強度繊維ロープ  $\phi 30$ ）

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、メーカー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

### (3) 基礎部（アンカーボルト）

接着系アンカーボルトにより構成されるため、評価対象部位として設定する。

- ・接着系アンカーボルト

固定材（フレノ・リンクボルト及びアンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-2 に示す。

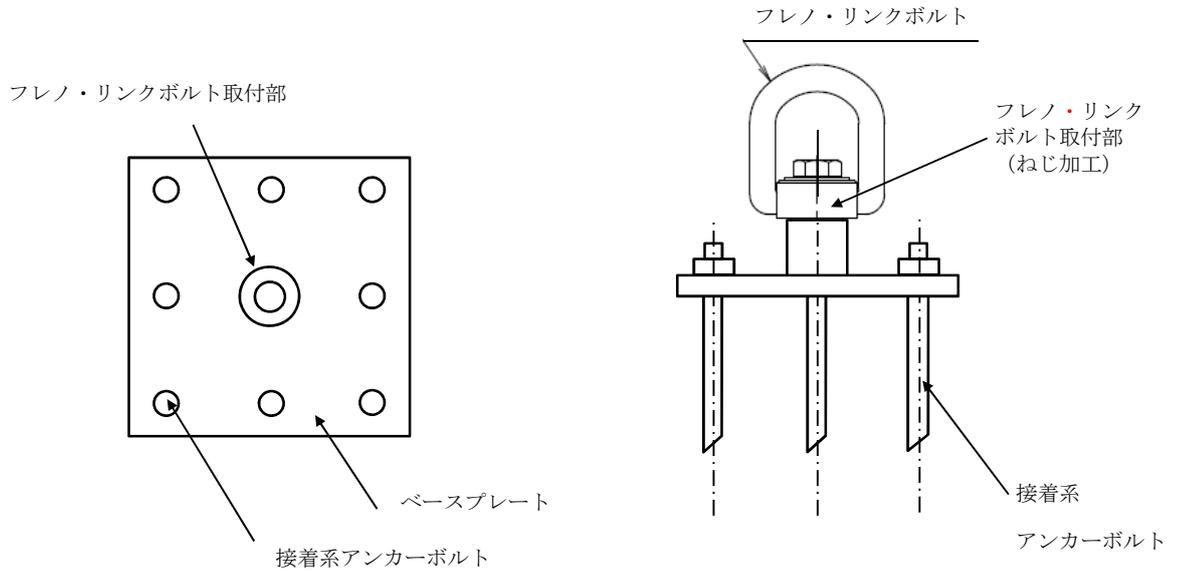


図 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 6.3 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図を図 6-3 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。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}}, \frac{P}{2}\right) = \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}} \quad (n_1 \cdot \sin \theta_{v1} \leq 2 \text{ より})$$

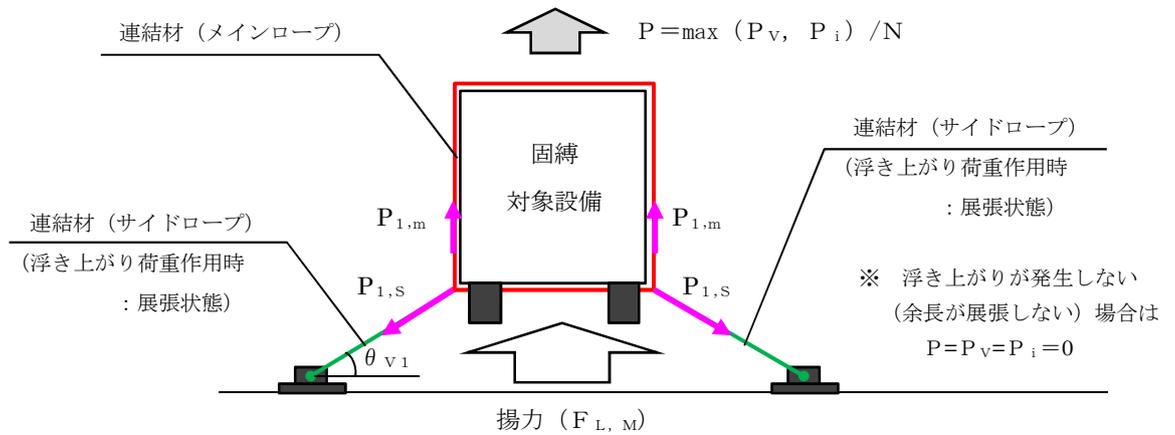


図 6-3 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固定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

固定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、固定装置は片側に配置した固定装置（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図を図 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。

$$P_1 = \max \left( P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{2} \right) = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}} \quad (\cos \theta_{V2} \leq 1 < 2 \text{ より})$$

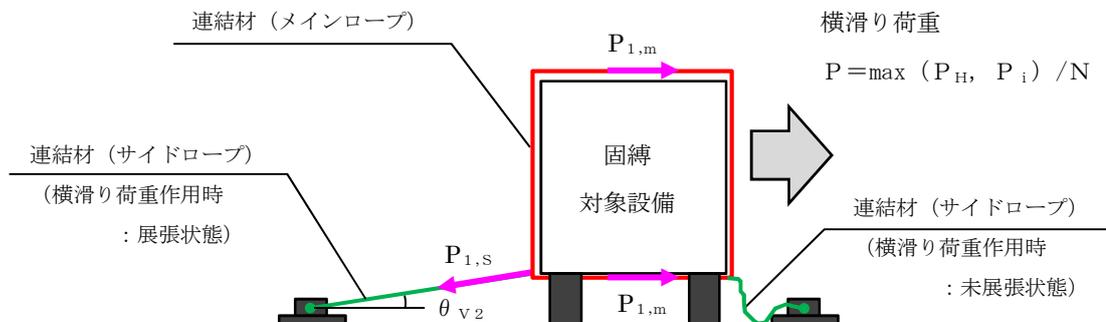


図 6-4 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(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図を図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。

$$P_1 = \max \left( \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\tan \theta_H} \right)$$

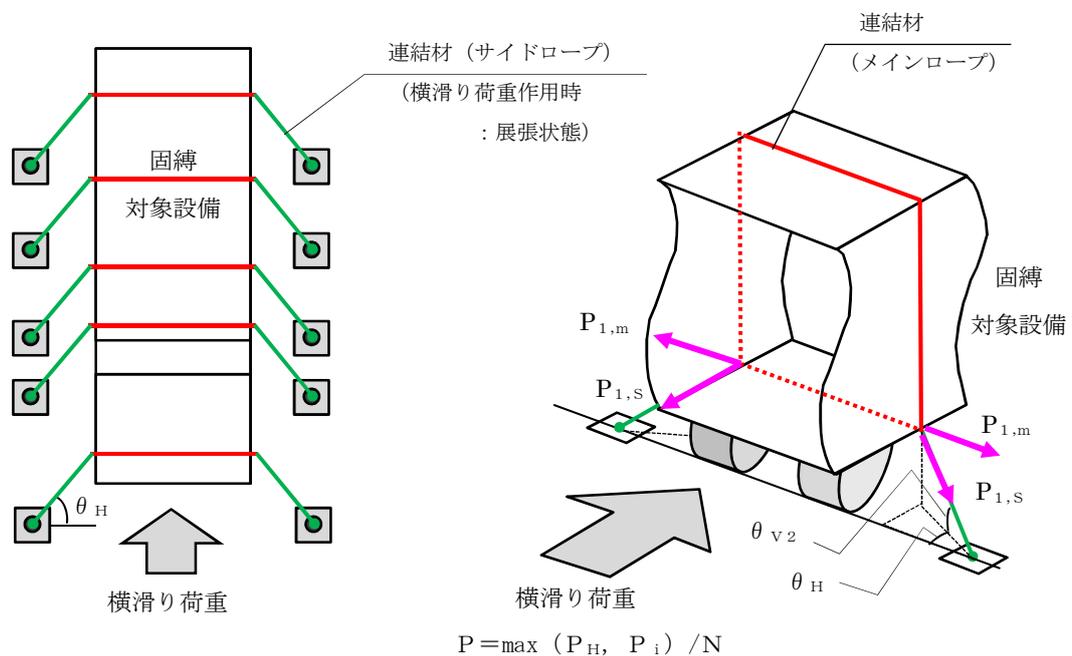


図 6-5 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(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。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}$$

(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。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

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 6-6 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。

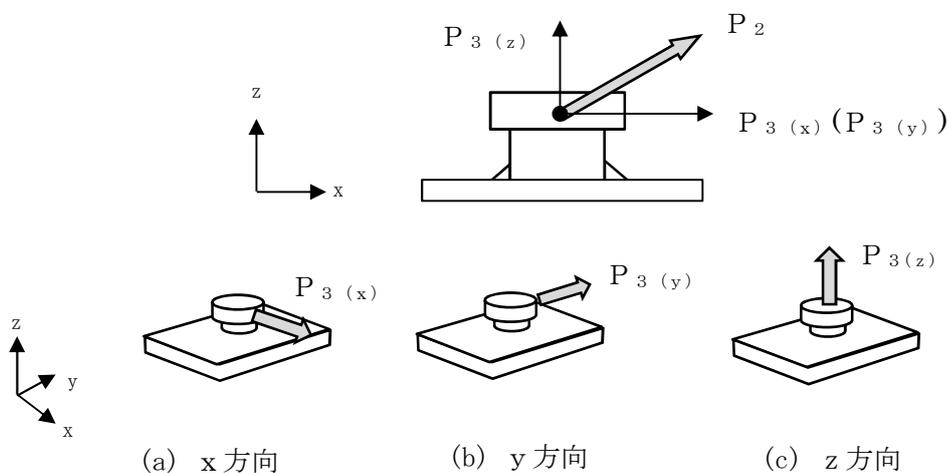


図 6-6 アンカープレートの計算モデルの概要図

(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図を図 6-7 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。

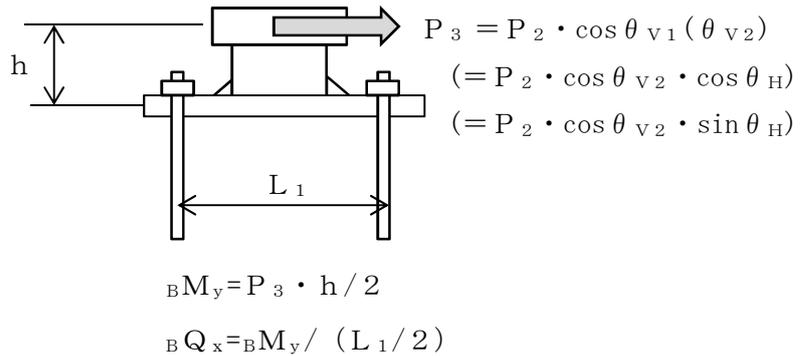


図 6-7 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

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。

$${}_B M_{py} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{py} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

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。

$${}_B Q_{p_y} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

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図を図 6-8 に示す。

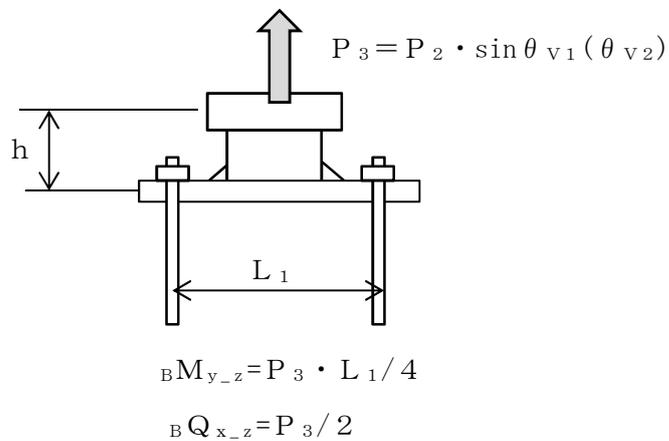


図 6-8 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

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。

$${}_B M_{p_y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p_y} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

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。

$${}_B Q_{x,z} = \frac{P_3}{2}$$

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. 接着系アンカーボルトの評価方法

##### (a) 計算モデル

接着系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

接着系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。

$${}_A A_e = {}_A \alpha \cdot \frac{\pi \cdot d_a^2}{4}$$

$z$  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 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。

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot f_t \cdot {}_A A_e \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定される 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。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot A_d \cdot A_{L_{ce}} \cdot 10^{-3}$$

接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度  $\tau_a$  は以下の式により算定する。

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

接着系アンカーボルトにおいて、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。

$$\alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / A_{L_{ce}}) + 0.5$$

$$A_{L_e} = A_L - d_a$$

$$A_{L_{ce}} = A_{L_e} - 2 \cdot d_a$$

ここで、

$$(C_n / A_{L_{ce}}) \geq 1.0 \text{ の場合は、 } (C_n / A_{L_{ce}}) = 1.0$$

$$A_{L_e} \geq 10 d_a \text{ の場合は、 } A_{L_e} = 10 d_a \text{ とする。}$$

アンカーボルトの許容耐力  $P_a$  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。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot A_{A_e} \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot A_{A_e} \cdot 10^{-3}$$

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許容せん断力 $Q_{a3}$ は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_3 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの許容せん断力 $Q_a$ 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。

$$\left[ \frac{A T_H + A T_V}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{A Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$

## 7. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 日本工業規格（J I S）
- ・ 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

V-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	1
2.2 構造装置全体の構造概要	3
2.3 固縛装置構成要素の構造概要	3
2.4 評価方針	5
2.5 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	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	19
4. 評価条件	28
4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件	28
5. 評価結果	31
5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果	31

## 1. 概要

本資料は、V-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。）の固縛装置が、竜巻襲来時においても、固縛構成要素が、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よう、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

固縛装置は、V-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、固縛装置の構成要素の組合せは、表 2-1 に示す 1 つである。

当該固縛装置に対して、強度評価を行い、固縛状態を維持し、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、「可搬型代替注水中型ポンプ」に設置する固縛装置であり、本資料においては、可搬型代替注水中型ポンプを固縛対象設備とした評価を示す。

表 2-1 固縛装置の構成

固縛対象設備	連結材	固定材	基礎部 (アンカーボルト)	対象の 固縛対象 設備数
車両型	高強度繊維 ロープ (余長あり)	フレノ・リンク ボルト	接着系アンカーボルト	7
車両型以外	高強度繊維 ロープ (余長なし)			10

### 2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、V-1-1-2-3-4「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「2. 設計の基本方針」のとおり、位置的分散等を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）及び可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）に設置しており、これらの固縛装置も同じ場所に設置する。

固縛装置の設置位置図を図 2-1 に示す。

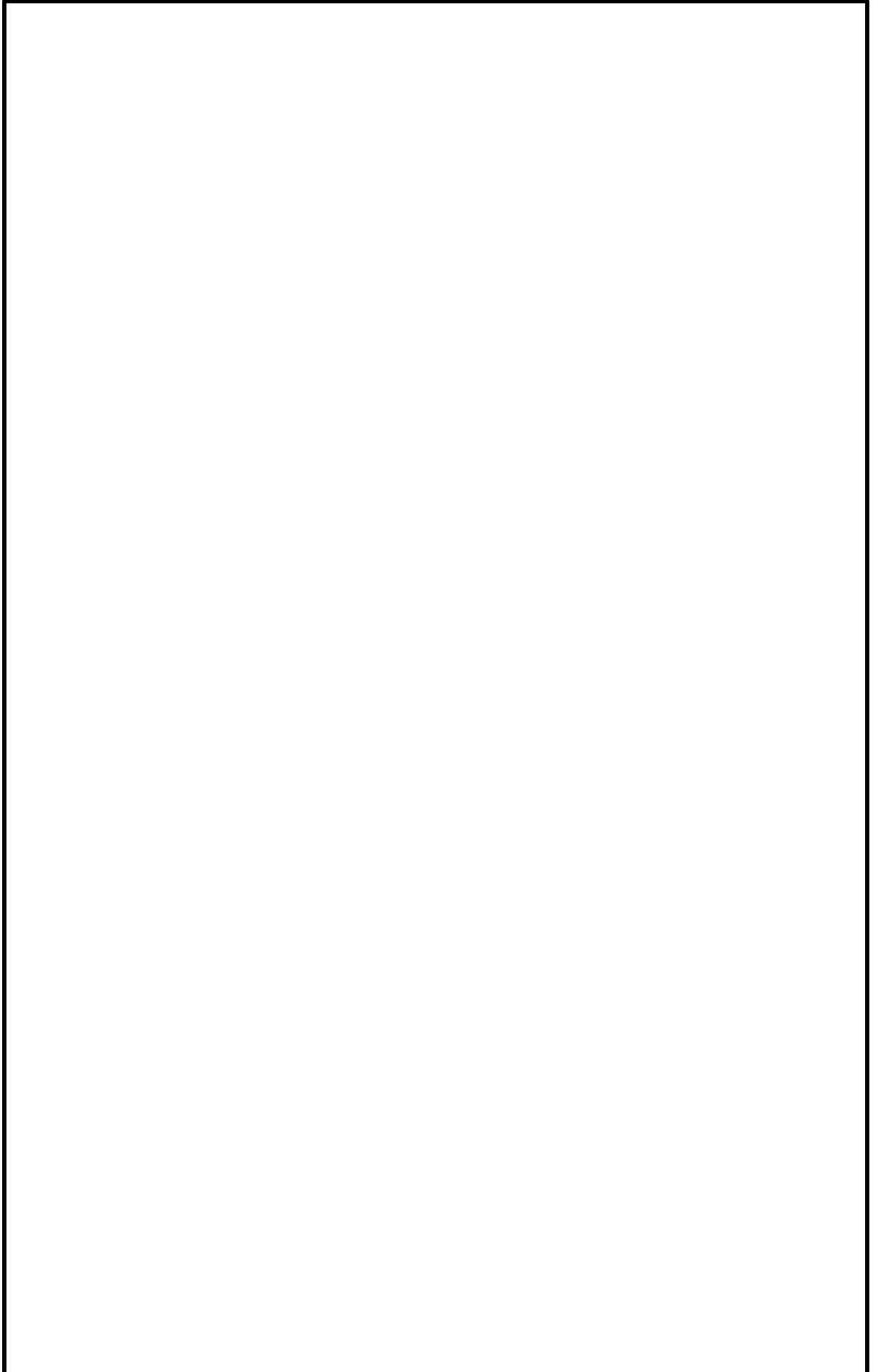


図 2-1 固縛装置の設置位置図

## 2.2 構造装置全体の構造概要

固縛対象設備の固縛装置の構造は、V-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。

### (1) 固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、連結材（高強度繊維ロープ）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、固定材と基礎部を接着系アンカーボルトで固定する構造である。可搬型代替注水中型ポンプに設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。

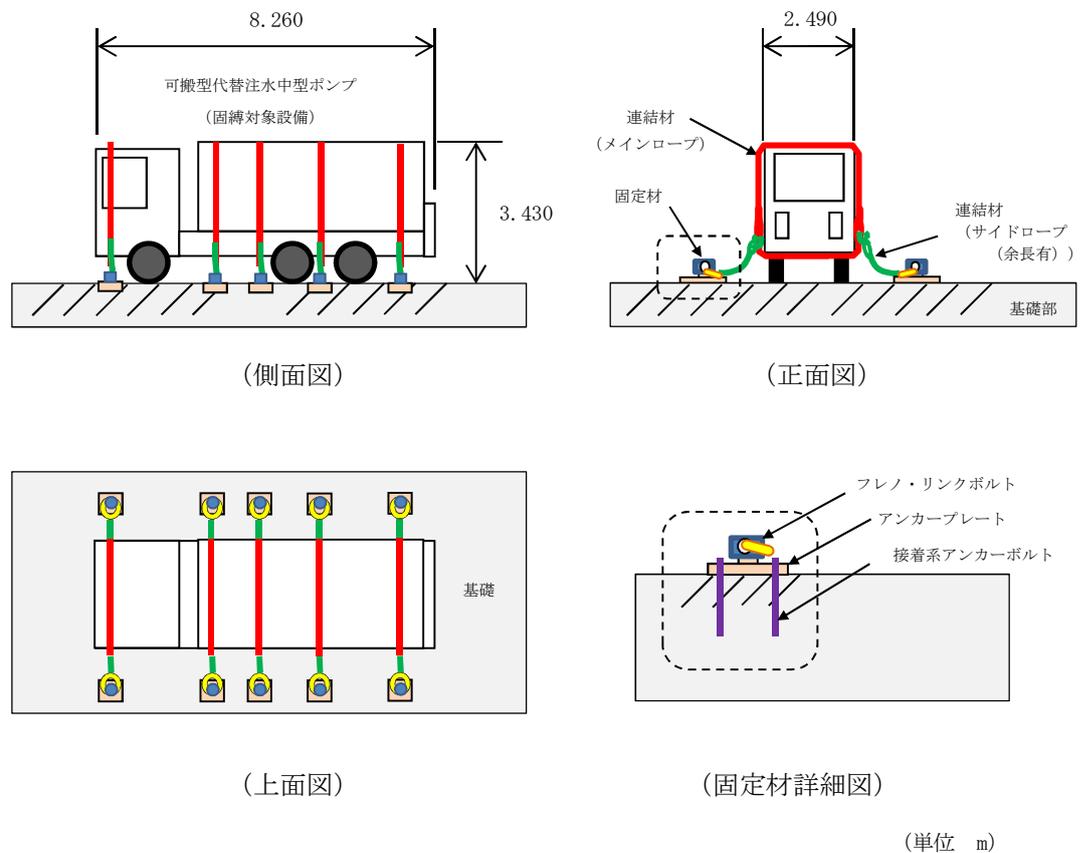
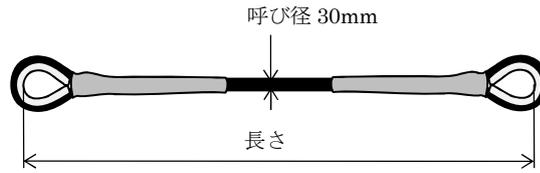


図 2-2 可搬型代替注水中型ポンプの固縛装置の概要図

## 2.3 固縛装置構成要素の構造概要

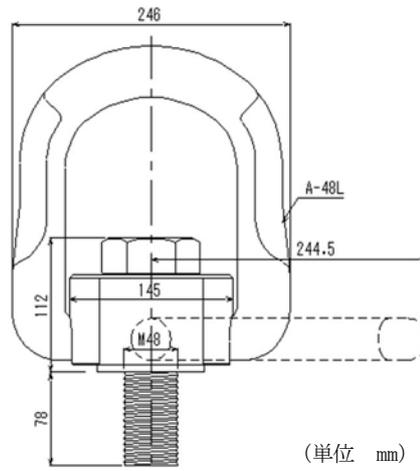
固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

連結材の概要を図 2-3 に、固定材のうちフレノ・リンクボルトの概要図を図 2-4 に、固定材のうちアンカープレート及び基礎部（アンカーボルト）の概要図を図 2-5 に示す。



(高強度繊維ロープ  $\phi$  30mm(被覆部)  
 $\phi$  22mm(被覆無し部) )

図 2-3 連結材の概要図



(フレノ・リンクボルト(A-48L))

図 2-4 フレノ・リンクボルトの概要図

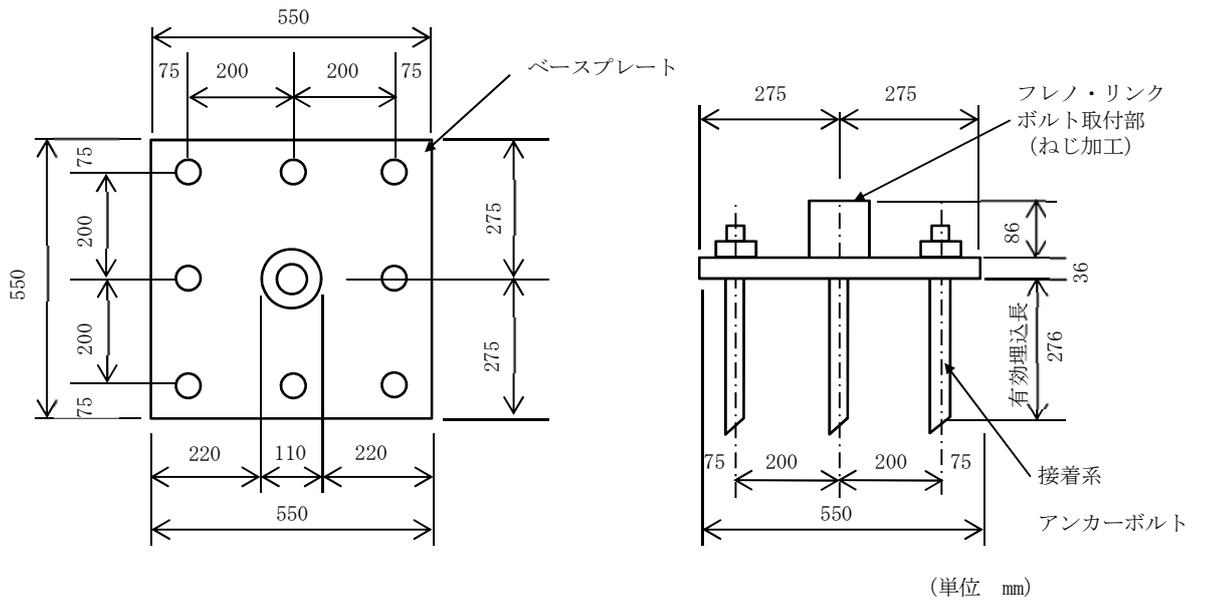


図 2-5 固定材 (アンカープレート) 及び基礎部 (アンカーボルト) の概要図

## 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、V-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. 強度評価結果」にて確認する。

固縛装置の強度評価において、その構造を踏まえ、V-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

固縛装置の強度評価フローを図 2-6 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）に作用する荷重等が「3.4 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。

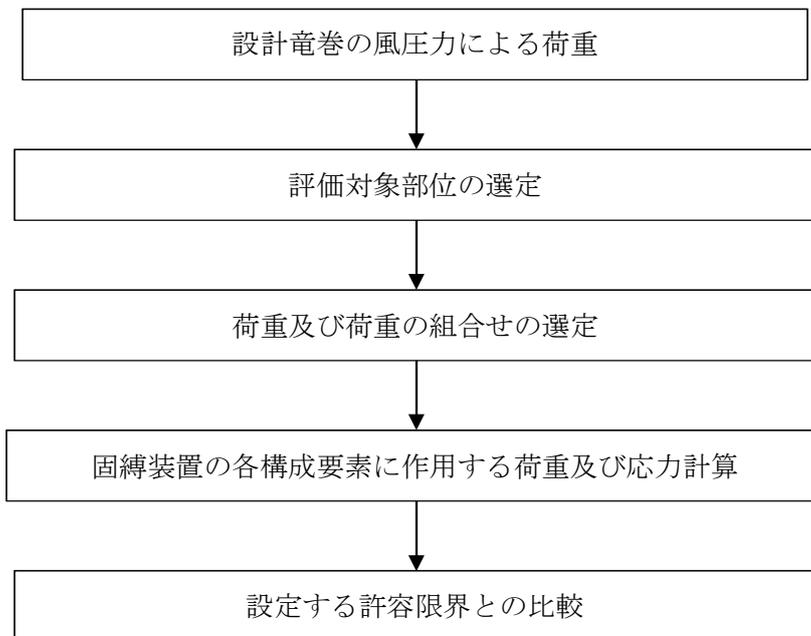


図 2-6 固縛装置の強度評価フロー

## 2.5 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 日本工業規格（J I S）
- ・ 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - （（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 鋼構造塑性設計指針（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

### 3. 強度評価方法

#### 3.1 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
$V_{SA}$	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投影面積
$W$	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
$A$	m <sup>2</sup>	固縛対象設備の最大受圧面積
$V_{SAS, F}$	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	固縛装置の箇所数
$n'$	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数

表 3-1 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$k$	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	固縛対象設備の自重
$F_{L, m}$	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
$F_d$	kN	固縛対象設備の自重
$P_v$	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
$P$	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
$N$	箇所	固縛装置の箇所数
$n_1$	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（設備進行方向）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なす角度
$A$	$m^2$	固縛対象設備の最大受圧面積
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$G$	—	ガスト影響係数
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	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
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	$m^2$	固縛対象設備の各面の投影面積
$H$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	$m/s^2$	重力加速度（ $g=9.80665$ ）

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
$F_d$	kN	固縛対象設備の自重
$P_v$	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
$P$	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
$N$	箇所	固縛装置の箇所数
$n_2$	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$P_2$	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
$P_3$	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（設備進行方向）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
$A$	$m^2$	固縛対象設備の最大受圧面積
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$G$	—	ガスト影響係数
$q$	$N/m^2$	設計用速度圧
$V_D$	$m/s$	設計竜巻の最大風速
$V_{Rm}$	$m/s$	設計竜巻の最大接線風速
$V_{SA}$	$m/s$	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	$m^2$	固縛対象設備の各面の見付面積
$H$	$m$	固縛対象設備の高さ
$m$	$kg$	固縛対象設備の質量
$g$	$m/s^2$	重力加速度（ $g = 9.80665$ ）
$F$	$N/mm^2$	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	$N/mm^2$	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
$\tau_y$	$N/mm^2$	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
$f_b$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
$f_t$	$N/mm^2$	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
$Z_{p y}$	$\text{mm}^3$	ベースプレートの $y$ 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	$\text{mm}^3$	ベースプレートの $x$ 軸まわりの塑性断面係数
$A$	$\text{mm}^2$	ベースプレートの断面積
$M_y$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	$x$ 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
$M_x$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	$y$ 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
$M_{y-z}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	$z$ 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
$M_{p y}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	ベースプレートの $y$ 軸まわりの終局曲げモーメント
$M_{p x}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	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)
$A_e$	$\text{mm}^2$	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
$F_c$	$\text{N}/\text{mm}^2$	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
$\sigma_{qa}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7 $\times f_t$ )
$Q$	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
$\gamma$	$\text{kN}/\text{m}^3$	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	接着系アンカーボルトの検討において、アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力
$\phi_2$	—	アンカーボルトの降伏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、 $0.5 \times \sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (F_c/60)^{1/3}$
$A_{qc}$	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	接着系アンカーボルトにおいては、埋込長さ
$A_{Le}$	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
$A_{Lce}$	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
$A_{da}$	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
$\alpha_1$ $\alpha_2$ $\alpha_3$	—	接着系アンカーボルトにおいて、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	接着系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	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの降伏により決定される 1 本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの付着力により決定される 1 本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	接着系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>	接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカー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	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	接着系アンカーボルト 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 $\times\sqrt{F_c}$ )

### 3.2 評価対象部位

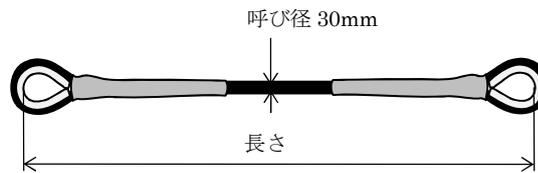
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

#### (1) 連結材

- ・連結材本体（高強度繊維ロープ）

※連結材に作用する荷重を、メーカー提示値の規格引張強度と比較するため、評価対象部位は連結材本体とする。

連結材の評価対象部位を図 3-1 に示す。



(高強度繊維ロープ  $\phi$  30mm (被覆部)  
 $\phi$  22mm (被覆無し部))

図 3-1 連結材の評価対象部位

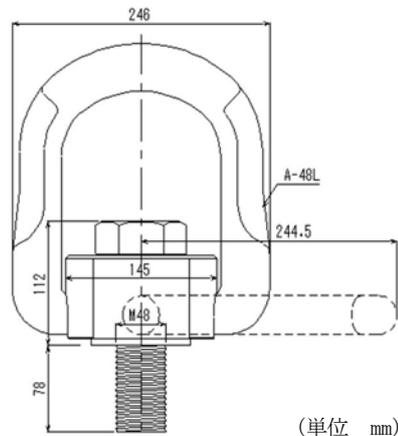
#### (2) 固定材

##### 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、メーカー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。

フレノ・リンクボルトの評価対象部位を図 3-2 に示す。



(フレノ・リンクボルト (A-48L))

図 3-2 フレノ・リンクボルトの評価対象部位

- 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
- (3) 基礎部（アンカーボルト）  
基礎部（アンカーボルト）は、接着系アンカーボルトを評価対象部位として設定する。  
・接着系アンカーボルト

固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 3-3 に示す。

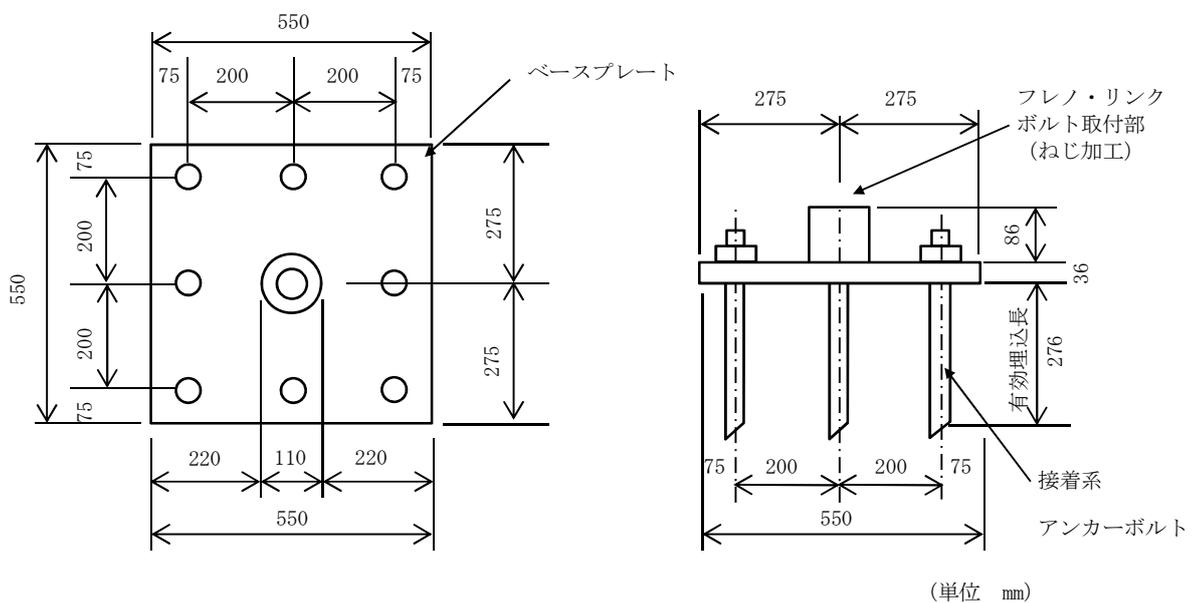


図 3-3 固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 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、V-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（アンカーボルト）に作用する。

V-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) 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

でも、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

V-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。

$$P_V = F_{L, m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g$$

$$= m \left( \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$$

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。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33 (C_{D1} A_1 + C_{D2} A_2 + C_{D3} A_3)}{m}$$

ロ. 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重 $P_H$ は、設計竜巻の風圧力による荷重が当該固縛対象設備に作用する水平力とし、「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。

$$P_H = W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

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、V-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(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。

$$V_{SAS, S} = \sqrt{\frac{2 \mu_s \cdot g}{\rho \cdot \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_s \frac{C_{DA}}{m} \right)}}$$

(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。

$$V'_{SA} = a t + b \quad \cdots \quad \text{①}$$

$V'_{SA}$  : 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。

$$\begin{aligned} a_{SA} &= \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m} \\ &= \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_{DA}}{m} \right) V'_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot g \quad \cdots \quad \text{②} \end{aligned}$$

$F_{fd}$  : 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、②式の  $V'_{SA}$  に①式を代入し、t に対する式として整理すると、③式となる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_{DA}}{m} \right)$$

$$a_{SA} = K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \dots \textcircled{3}$$

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、 $v_{SA}=0$ )

$$\begin{aligned} v_{SA} &= \int a_{SA} dt \\ &= \frac{1}{3} K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2 \\ &\quad + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t \dots \textcircled{4} \end{aligned}$$

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、 $x_{SA}=0$ )

$$\begin{aligned} x_{SA} &= \int v_{SA} dt \\ &= \frac{1}{12} K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3} K \cdot a \cdot b \cdot t^3 \\ &\quad + \frac{1}{2} (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t^2 \dots \textcircled{5} \end{aligned}$$

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、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。

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  $m v_{SA}$  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、⑥式のとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \dots \textcircled{6}$$

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、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⑧式となる。

$$x_{RP} = B \sin \left( \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t \right) \dots \textcircled{7}$$

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots \textcircled{8}$$

次に、⑧式を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 $v_{SA}=0$ ）

$$B = v_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots \textcircled{9}$$

また、動的荷重 $F_i$ は、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。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots \textcircled{10}$$

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、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。

$$V''_{SA} = a \cdot t_i + b$$

$$F_i' = W_W - F_m$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V''_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$$

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

V-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、「3.3(1) 荷重設定」, 「3.3(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代替注水中型ポンプに対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型代替注水中型ポンプ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
可搬型代替注水 中型ポンプ	フレノ・リンクボルト + アンカープレート + 接着系アンカーボルト	$F_d + \text{動的荷重 } P_i$ (側面方向の横滑り)

3.4 許容限界

固縛装置の許容限界は, V-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 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。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材 (高強度繊維ロープ) 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値の規格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）

a. 接着系アンカーボルト

基礎部（アンカーボルト）のうち、接着系アンカーボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、接着系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、短期許容応力度を許容限界とする。

3.5 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図を図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。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}}, \frac{P}{2}\right) = \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1}} \quad (n_1 \cdot \sin \theta_{v1} \leq 2 \text{ より})$$

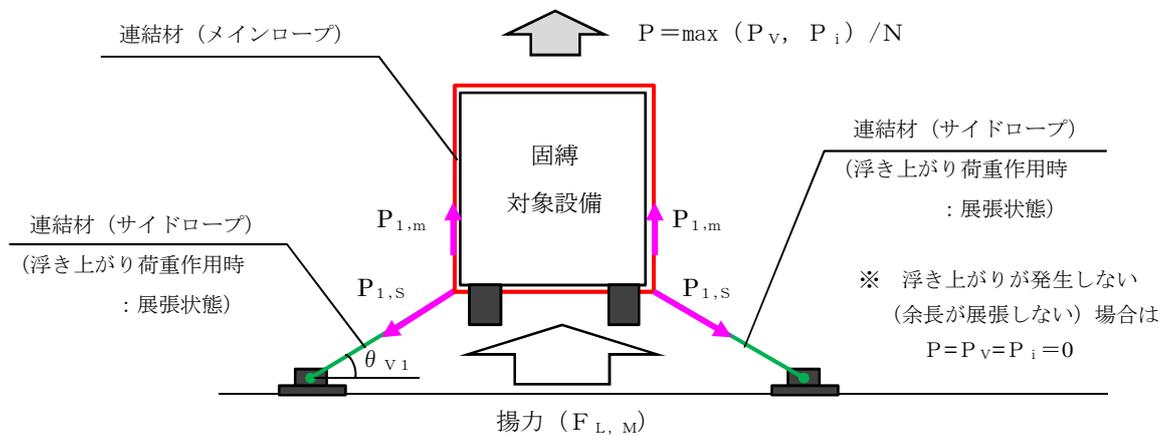


図 3-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

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図を図 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。

$$P_1 = \max \left( P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{2} \right) = P \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}} \quad (\cos \theta_{V2} \leq 1 < 2 \text{ より})$$

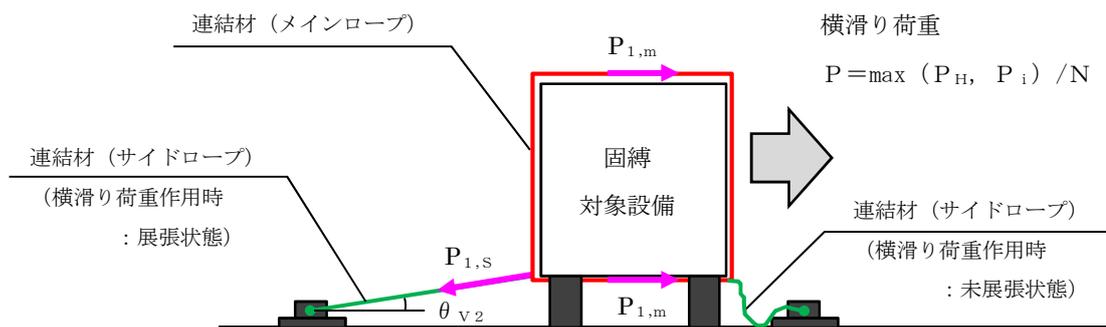


図 3-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(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図を図 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。

$$P_1 = \max \left( \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}, \frac{P}{n_1} \cdot \frac{1}{\tan \theta_H} \right)$$

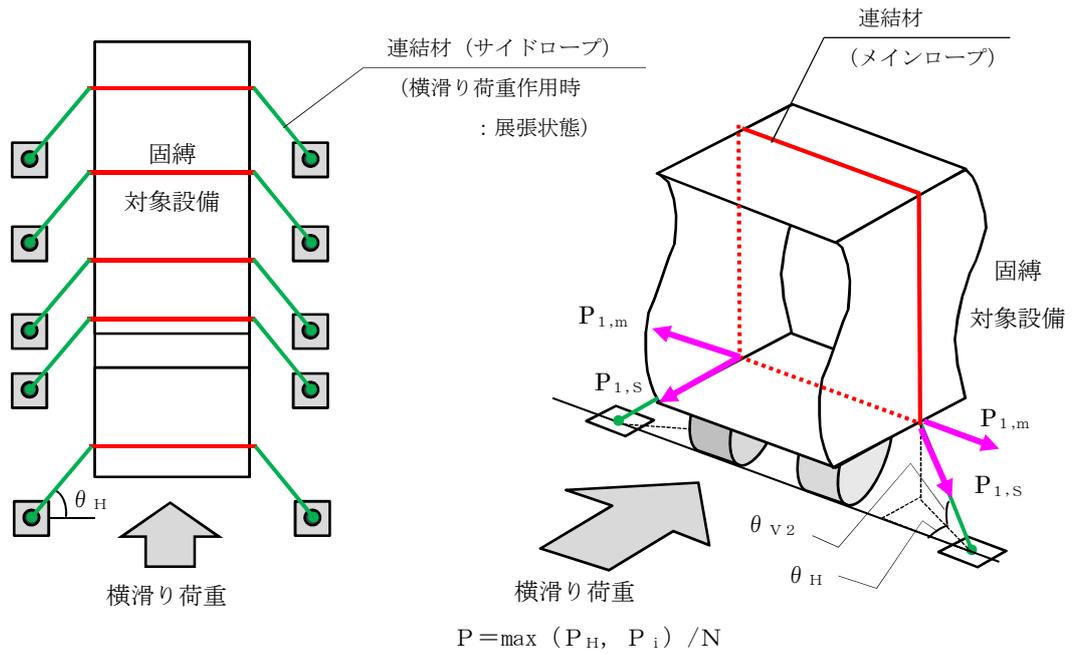


図 3-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(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。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}$$

(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。

$$P_2 = \frac{P}{n_2} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

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。

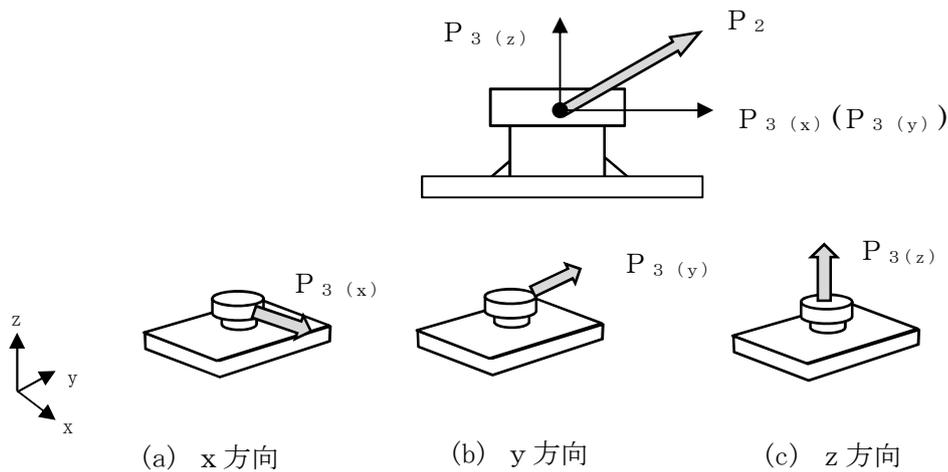


図 3-7 アンカープレートの計算モデルの概要図

(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図を図 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。

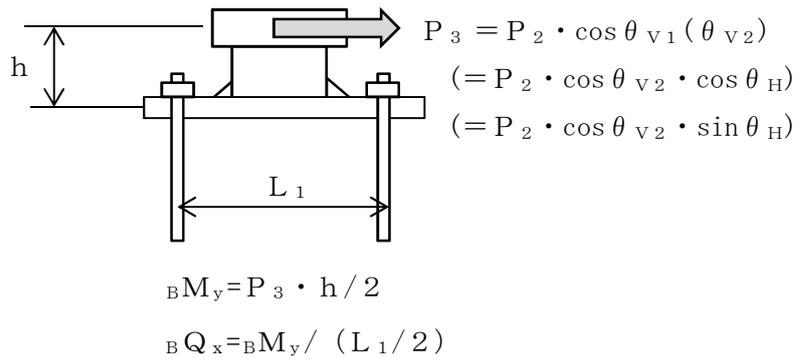


図 3-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

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。

$${}_B M_{py} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{py} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

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  ${}_B Q_{px}$  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。

$${}_B Q_{p_y} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

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図を図 3-9 に示す。

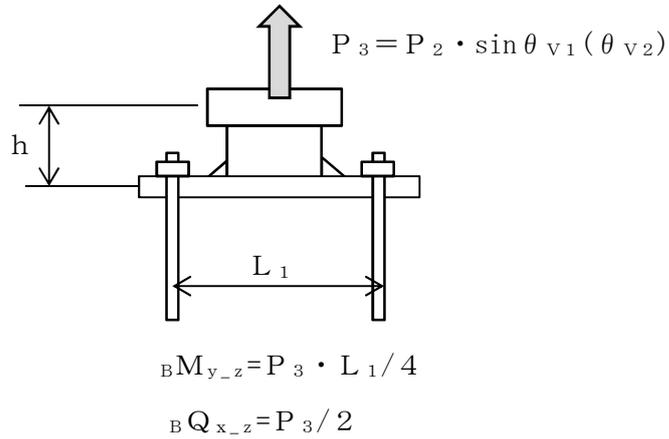


図 3-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

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。

$${}_B M_{p_y} = \sigma_y \cdot {}_B Z_{p_y} \cdot 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

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。

$${}_B Q_{x,z} = \frac{P_3}{2}$$

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. 接着系アンカーボルトの評価方法

##### (a) 計算モデル

接着系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

接着系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。

$${}_A A_e = {}_A \alpha \cdot \frac{\pi \cdot d_a^2}{4}$$

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。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot A_d \cdot A_{L_{ce}} \cdot 10^{-3}$$

接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度  $\tau_a$  は以下の式により算定する。

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

接着系アンカーボルトにおいて、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。

$$\alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / A_{L_{ce}}) + 0.5$$

$$A_{L_e} = A_L - d_a$$

$$A_{L_{ce}} = A_{L_e} - 2 \cdot d_a$$

ここで、

$$(C_n / A_{L_{ce}}) \geq 1.0 \text{ の場合は, } (C_n / A_{L_{ce}}) = 1.0$$

$$A_{L_e} \geq 10 d_a \text{ の場合は, } A_{L_e} = 10 d_a \text{ とする。}$$

アンカーボルトの許容耐力  $P_a$  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。

$$Q_{a1} = \phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot A_{A_e} \cdot 10^{-3}$$

定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a2} = \phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot A_{A_e} \cdot 10^{-3}$$

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許容せん断力  $Q_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_3 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの許容せん断力 $Q_a$ 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。

$$\left[ \frac{A T_H + A T_V}{P_a} \right]^2 + \left[ \frac{A Q}{Q_a} \right]^2 \leq 1$$

4. 評価条件

評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件

可搬型代替注水中型ポンプの評価条件を、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)	$R_m$ (m)	$H_i$ (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
可搬型代替注水 中型ポンプ	100	85	30	15	1.22	9.80665

表 4-2 評価条件 (固縛対象設備)

固縛対象設備	B (m)	L (m)	H (m)	m (m)	$\mu_s$ (-)	$\mu_d$ (-)
可搬型代替注水 中型ポンプ	2.490	8.260	3.430	14800	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> )	G (-)	C (-)
2.0	2.0	2.0	8.541	20.567	28.332	1.0	1.2

$V_{SA}$ (m/s)	$V_{SAS, F}$ (m/s)	$V_{SAS, S}$ (m/s)	
		側面	正面
88.1	79.0	45.4	62.2

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> (m)	$\theta_{V1}$ (°)	$\theta_{V2}$ (°)	$\theta_H$ (°)
可搬型代替注水 中型ポンプ	5	600	900	60.6	35.0	53.2

表 4-4 評価条件（連結材）

評価対象	仕様	A <sub>RP</sub> (mm <sup>2</sup> )	E <sub>RP</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	L <sub>RP</sub> (m)	n <sub>1</sub> (個)
連結材	高強度繊維ロープ	380.13	15785	6.551	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	仕様	型式	n <sub>2</sub> (個)
固定材	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	評価部位	材質	F (N/mm <sup>2</sup> )	B <sub>B</sub> (mm)	B <sub>t</sub> (mm)
固定材	アンカープレート	SN490B	325	550	36

h (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	d <sub>t</sub> (mm)	n <sub>2</sub> (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	評価部位	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> )
基礎部 (アンカーボルト)	接着系 アンカーボルト	SNR490B	325	325	325

d <sub>a</sub> (mm)	n <sub>2</sub> (個)	A n (本)	A n' (本)	A L (mm)	A a (mm)	c (mm)
24	2	8	3	300	200	400

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	0.76	0.76	40	24.5

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	側面	正面
可搬型代替注水 中型ポンプ	35.0	161.0	48.5	724.7	873.6

## 5. 評価結果

### 5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果

#### (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	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	動的荷重 (側面方向 横滑り)	177.0	250	1.41

#### (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	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
フレノ・リンク ボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	177.0	735	4.15

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	作用荷重 ケース	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)
アンカー プレート	動的荷重 (側面方向 横滑り)	19714.1	63617.4

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	裕度*
98.6	4078.8	3.22

注) \* : 最小裕度のみ記載

(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	作用荷重 ケース	引張力 (kN)	許容限界 (kN)
接着系 アンカーボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	28.1	90.5

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界	裕度*
18.2	77.0	0.152	1.0	3.22

注) \* : 最小裕度のみ記載