

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

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.....	56
4.1 荷重及び荷重の組合せ	56
4.2 許容限界	66
5. 強度評価方法	82
5.1 建屋・構造物に関する評価式	83
5.2 機器・配管系に関する評価式	91
6. 適用規格	137

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防護対象施設とする。

(3) 外気と繋がっている屋内の防護対象施設

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防護対象施設とする。

(4) 防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設

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。

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、防護対象施設及び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、貫通を生じず、ひずみ等の変形が生じた場合においても、防護対象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

(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) 立形ポンプ
 - (b) 4脚たて置円筒形容器
 - (c) たて置円筒形容器
 - (d) よこ置円筒形容器
 - (e) 排気筒
 - (f) 配管及び弁
 - (g) ダクト
 - (h) 隔離弁
 - (i) ファン
 - (j) 冷凍機
- (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) 立形ポンプ

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	・原子炉建屋 ・タービン建屋 ・軽油貯蔵タンクタンク室
(2) 屋外の防護対象施設	・非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ ・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 ・中央制御室換気系冷凍機 ・残留熱除去系海水系ポンプ ・残留熱除去系海水系ストレーナ ・非常用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ポンプ ・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 ・排気筒 ・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並びに非常用ガス処理系排気配管）
(3) 外気と繋がっている屋内の防護対象施設	・ダクト（非常用換気空調設備） ・隔離弁（非常用換気空調設備） ・ファン（非常用換気空調設備）
(4) 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 b. 機能的影響を与える可能性がある施設	a. 機械的影響を与える可能性がある施設 ・サービス建屋 ・海水ポンプエリア防護壁 ・鋼製防護壁 b. 機能的影響を与える可能性がある施設 ・非常用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排気消音器 ・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ank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ank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 ・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） ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水配管（放出側）

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) 屋外の防護対象施設

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

非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ（以下「ディーゼル発電機吸気フィルタ」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、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、設計竜巻の風圧力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からの排気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、設計竜巻の風圧力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冷却のための熱交換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. 排気筒

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、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、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配管）

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配管）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，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防護対象施設

a. ダクト（非常用換気空調設備）

ダクト（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）

隔離弁（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，非常用換気空調設備のダクトに固定し，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。

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

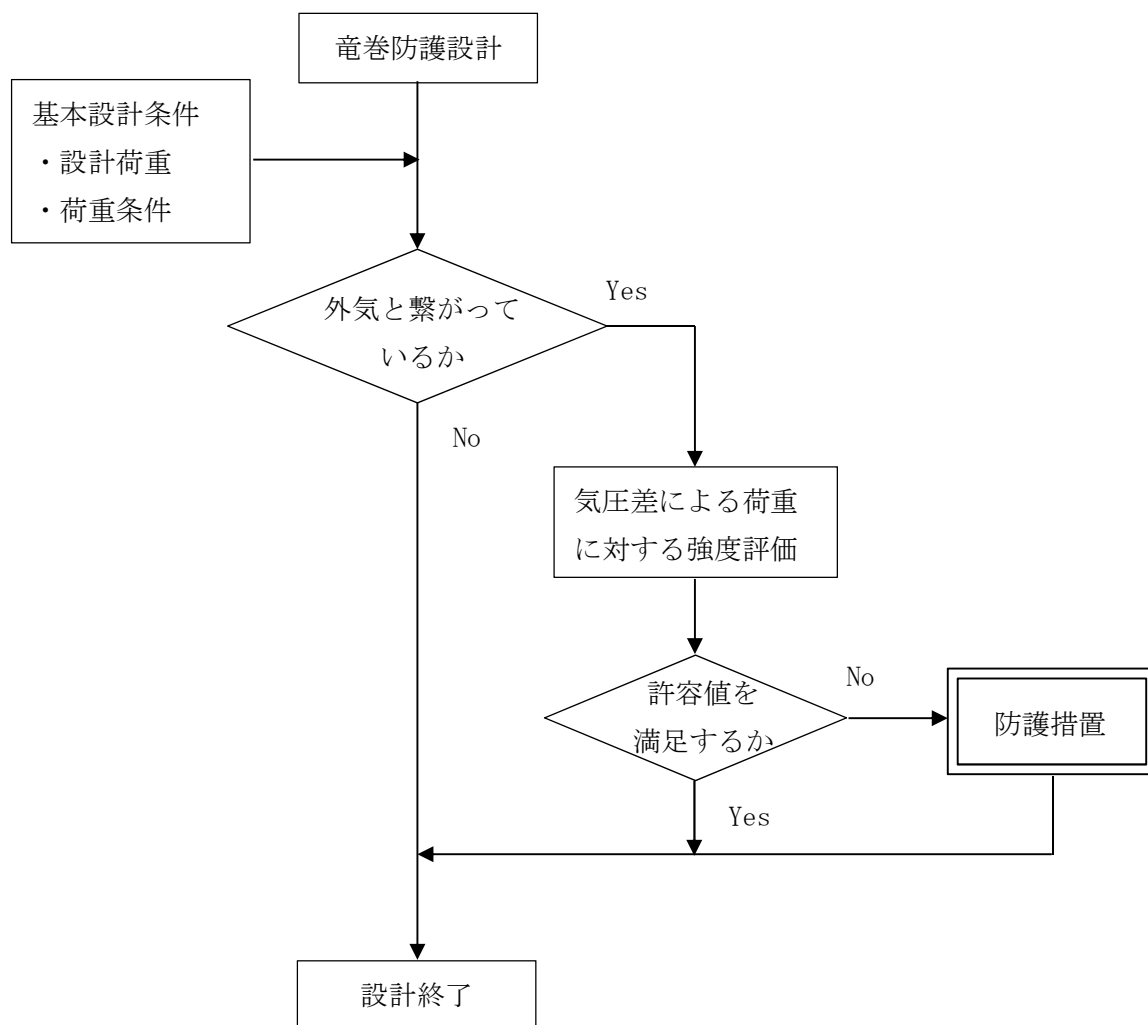


図 3-1 屋内の防護対象施設の設計フロー

(5) 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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻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) 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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻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「3.5(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、設計竜巻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（原子炉建屋及びタービン建屋）

(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。

また、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及び機器搬入口内側扉）及び原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉についても、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原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉及び機

器搬入口内側扉）及び原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密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、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ボルト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。

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）及び原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密扉については、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(1/3)

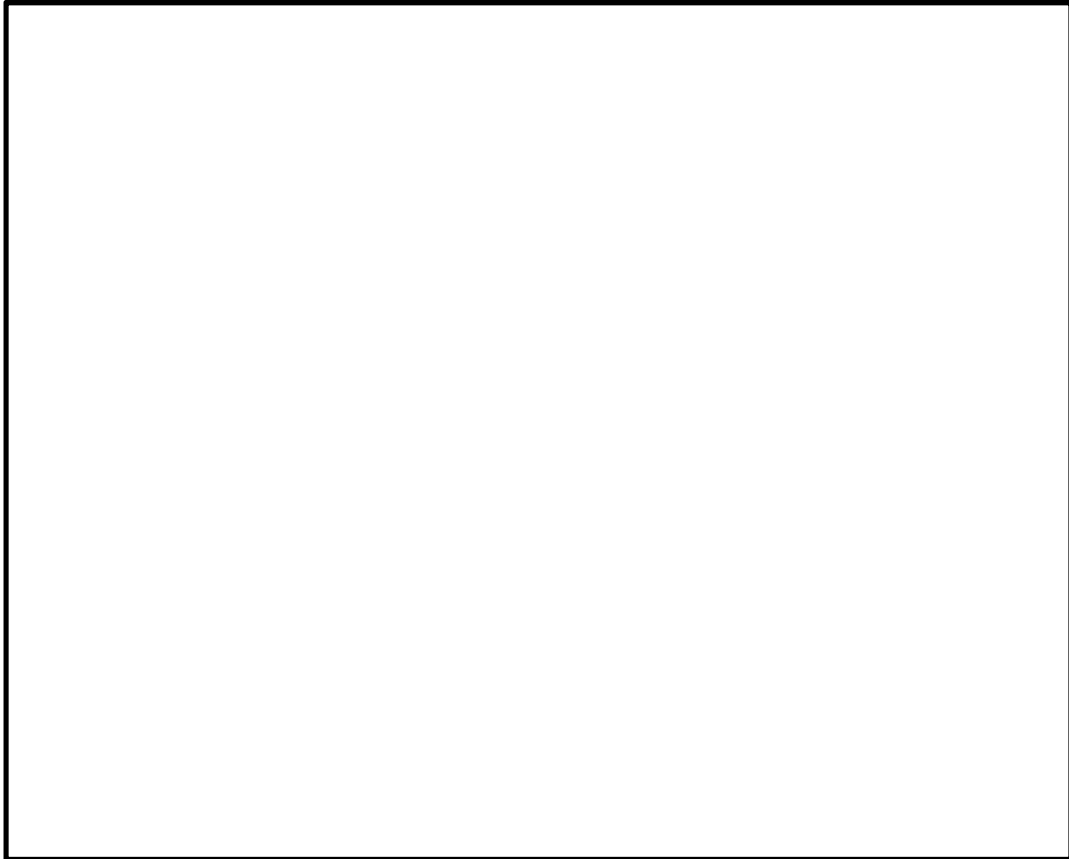
施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	【位置】			
				

表 3-1 建屋の構造計画(2/3)

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
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(3/3)

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。	

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)

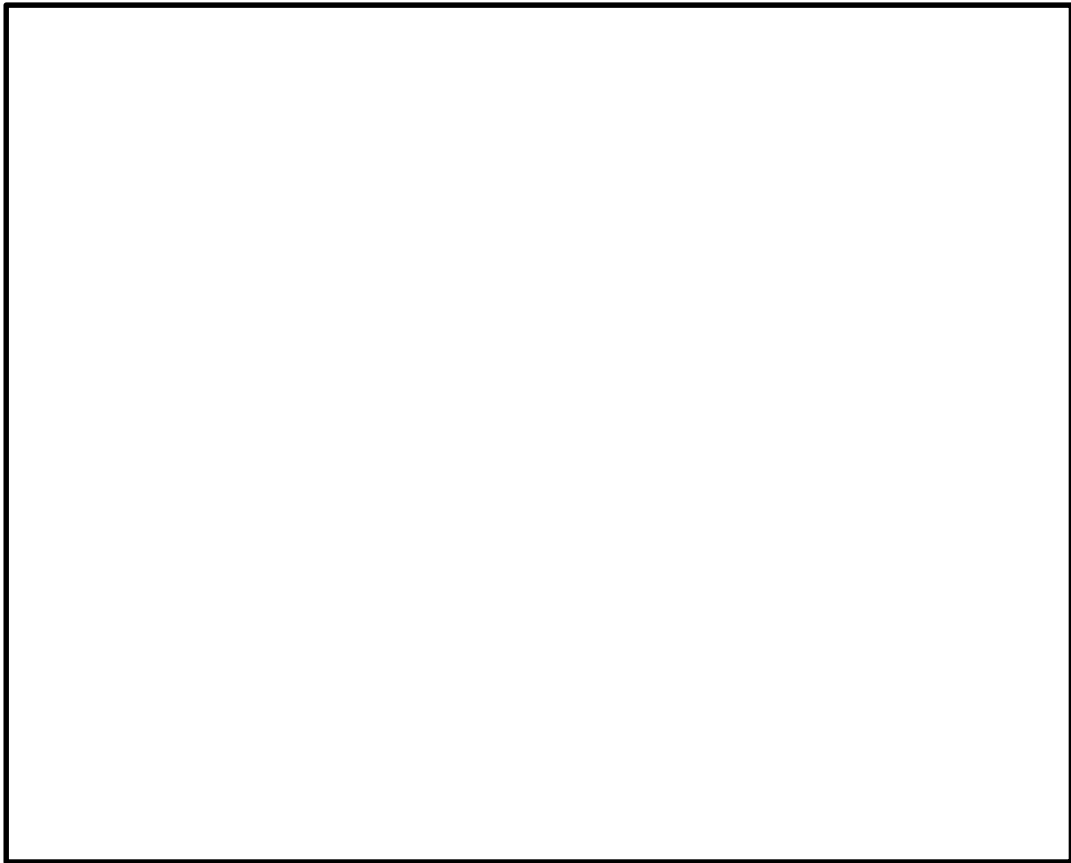
施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	【位置】			
				

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	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。	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。	

(2) 屋外の防護対象施設

a. ディーゼル発電機吸気フィルタ

(a) 構造設計

ディーゼル発電機吸気フィルタは、「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フィルタの構造は4脚たて置円筒型容器構造とし、支持脚はディーゼル発電機室屋上面基礎部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フィルタに作用し、支持脚に伝達される構造とする。

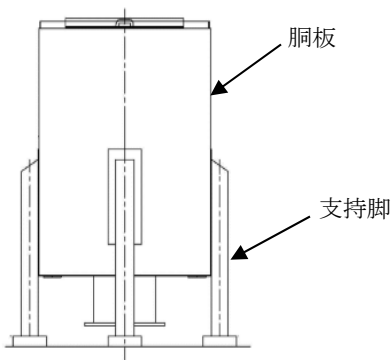
ディーゼル発電機吸気フィルタの構造計画を表3-2に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重、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フィルタの胴板及び支持脚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) 4脚たて置円筒形容器（ディーゼル発電機吸気フィルタ）(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 3-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 ディーゼル発電機吸気フィルタは、ディーゼル発電機室屋上面に設置する設計としている。			
ディーゼル発電機吸気フィルタ	4脚たて置円筒型容器	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、ケーシングに作用し、基礎ボルトに伝達する構造とする。

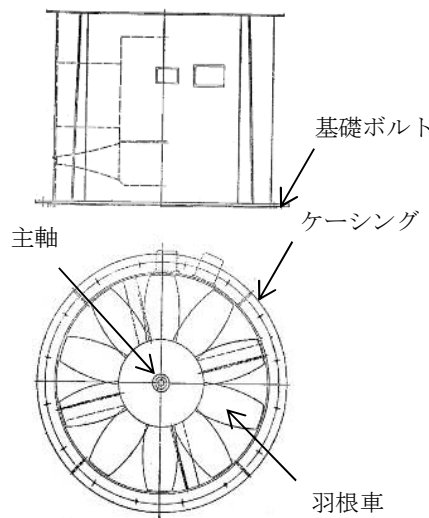
ディーゼル発電機室ルーフベントファンの構造計画を表 3-3 に示す。

(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、設計竜巻の風圧力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 3-3 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	
【位置】 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。			
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。	

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、空気を冷却する熱交換器、圧縮機及び送風機を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。

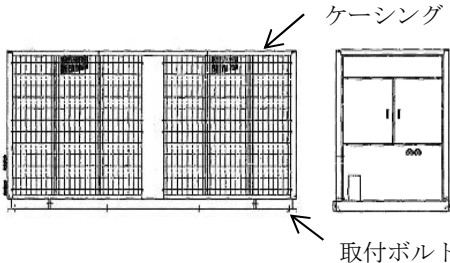
中央制御室換気系冷凍機の構造計画を表 3-4 に示す。

(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、設計竜巻の風圧力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 3-4 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	
【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。			
中央制御室換気系冷凍機	空気を冷却する熱交換器，圧縮機及び送風機をケーシングで覆ったユニット形式で構成する。	原子炉建屋付属棟屋上面に取付ボルトで固定する。	

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、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附属品は、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 3-5 に示す。

(b) 評価方針

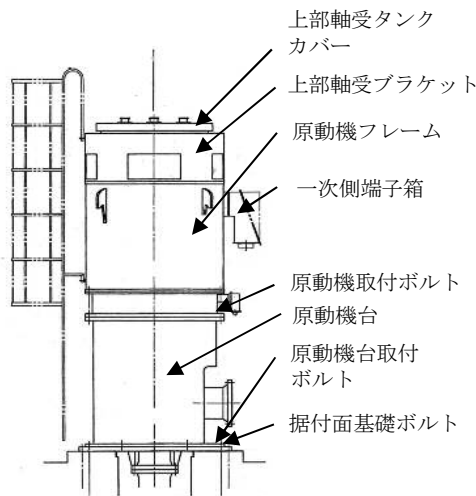
イ. 構造強度評価

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、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附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附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) 立形ポンプ 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。評価方法としては、「5.2.1(1) 立形ポンプ 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 3-5 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	
【位置】 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。			
残留熱除去系海水系ポンプ	立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	
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附属品が取り付けられた構造	立形ポンプの上にボルト（原動機取付ボルト）で結合する。附属品は取付ボルトで固定する。	

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、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附属品は、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 3-6 に示す。

(b) 評価方針

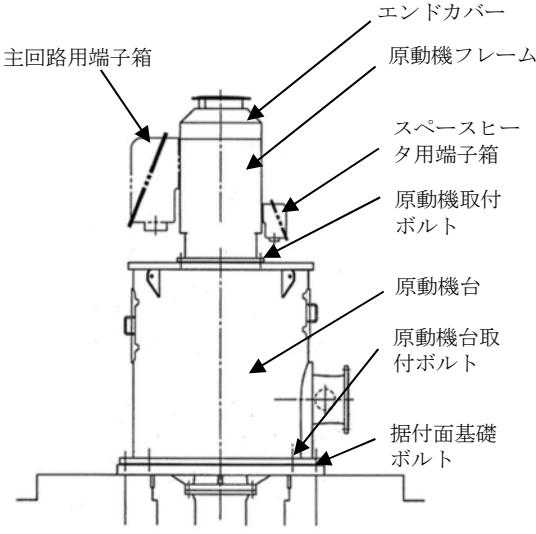
イ. 構造強度評価

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、ディーゼル発電機用海水ポンプ及びポンプの機能保持に必要な附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附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) 立形ポンプ 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。評価方法としては、「5.2.1(1) 立形ポンプ 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 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	
【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。			
ディーゼル 発電機用海 水ポンプ	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 フレームに附 属品が取り付 けられた構造	立形ポンプの上にボルト (原動機取付ボルト) で 結合する。附属品は取付 ボルトで固定する。	

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型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形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。

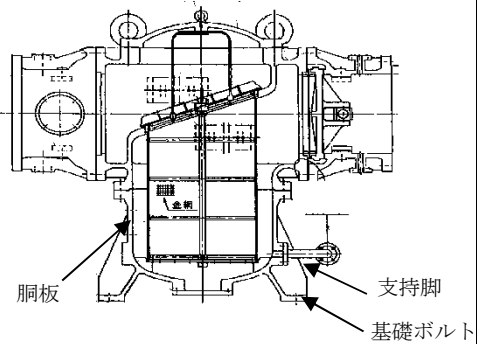
残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表 3-7 に示す。

(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) たて置円筒形容器 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 3-7 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	
【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。			
残留熱除去系海水系ストレーナ	円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器	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型の容器と支持脚が鋳物一体構造となつたたて置円筒形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。

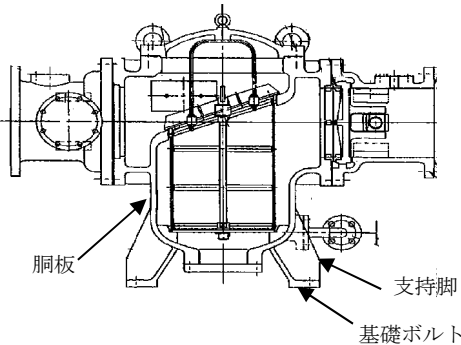
ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造計画を表 3-8 に示す。

(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) たて置円筒形容器 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 3-8 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	
【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。			
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

h. 排気筒

(a) 構造設計

排気筒は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び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。

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

排気筒の構造計画を表 3-9 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

排気筒の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力による荷重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 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 3-9 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	
【位置】 排気筒は、屋外に設置する設計としている。			
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。	▽EL. 148000 筒身 非常用ガス処理系排気配管 ▽EL. 125543 2 ▽EL. 112205 3 ▽EL. 95432 鉄塔 ▽EL. 75444 4 ▽EL. 52618 5 ▽EL. 39000 6 6' ▽EL. 26257 7 ▽EL. 8500 ▽EL. 8000 φ4500 (内径) 28000 (EL. 8000)

- 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配管）

(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配管の配管及び弁は，「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配管の配管及び弁は，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配管の配管及び弁の構造計画を表 3-10 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配管）の構造強度評価については，設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，配管本体に生じる応力が許容応力以下であることを計算により確認する。評価方法としては，「5.2.4 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 3-10 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配管）の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【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排気筒の支持鉄塔で支持する設計としている。			
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配管）	配管本体及び弁で構成する。	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。	

(3) 外気と繋がっている屋内の防護対象施設

a. ダクト（非常用換気空調設備）

(a) 構造設計

ダクト（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。

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、床及びはり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。

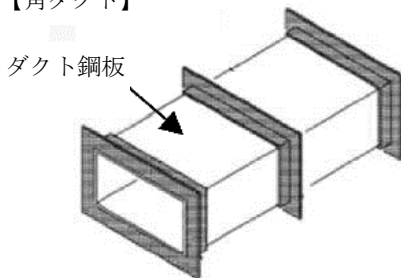
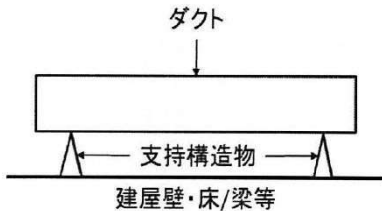
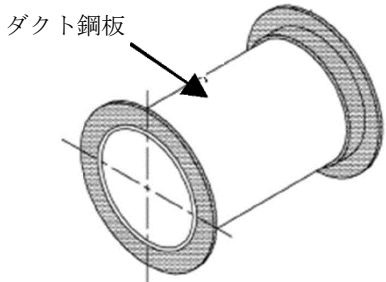
ダクト（非常用換気空調設備）の構造計画を表 3-11 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

ダクト（非常用換気空調設備）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 3-11 ダクト（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	
【位置】 ダクト（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）に設置する設計としている。			
ダクト（非常用換気空調設備）	ダクト鋼板で構成する。	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。	【角ダクト】  ダクト  【丸ダクト】 

b. 隔離弁（非常用換気空調設備）

(a) 構造設計

隔離弁（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。

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。

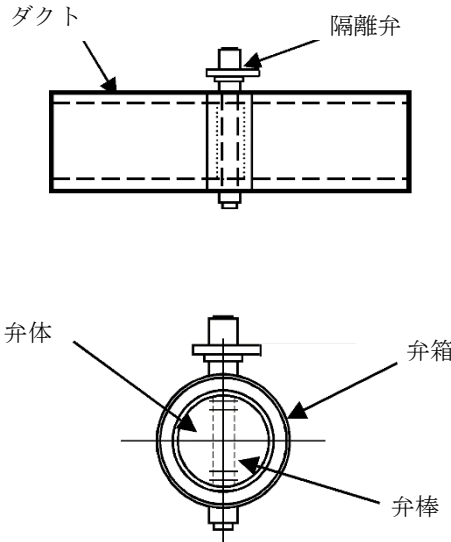
隔離弁（非常用換気空調設備）の構造計画を表 3-12 に示す。

(b) 評価方針

イ. 構造強度評価

隔離弁（非常用換気空調設備）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、設計竜巻の気圧差で生じる圧力差が隔離弁の呼び圧力以下であることを確認する。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、隔離弁（非常用換気空調設備）の呼び圧力と気圧差を基に評価を行う。

表 3-12 隔離弁（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	
【位置】 隔離弁（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。			
隔離弁（非常用換気空調設備）	弁箱，弁体及び弁棒で構成する。	接続ダクトで支持する。	

(4) 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である。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。

サービス建屋の構造計画を表 3-13 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 3-13 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				

表 3-13 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。	

(b) 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」で設定している鋼製防護壁及び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され、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 3-14 に示す。

ロ. 評価方針

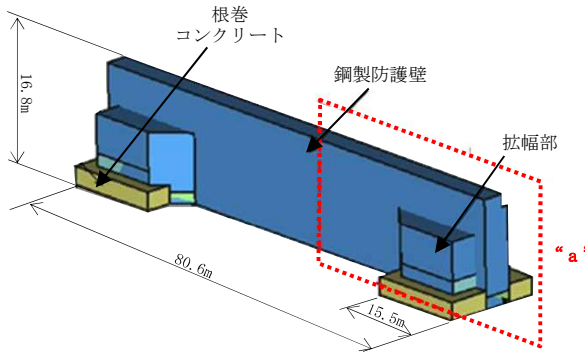
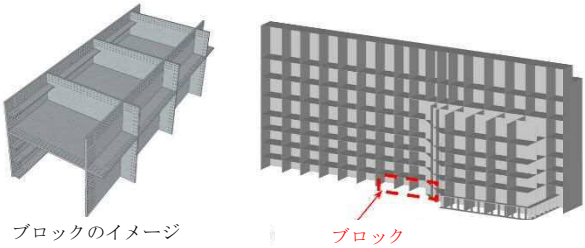
(イ) 構造強度評価

鋼製防護壁の構造強度評価については、設計竜巻の風圧力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 3-14 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				

表 3-14 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	
【位置】			
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。	 (鳥瞰図)  ブロックのイメージ ブロック (内部透視図 (“a” 部))

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。

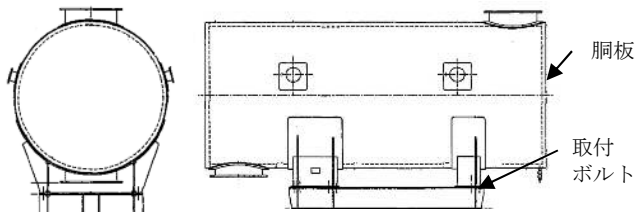
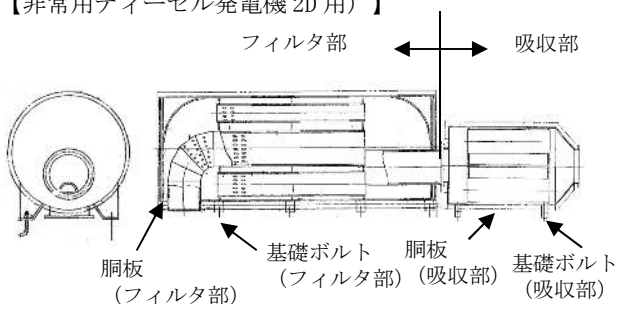
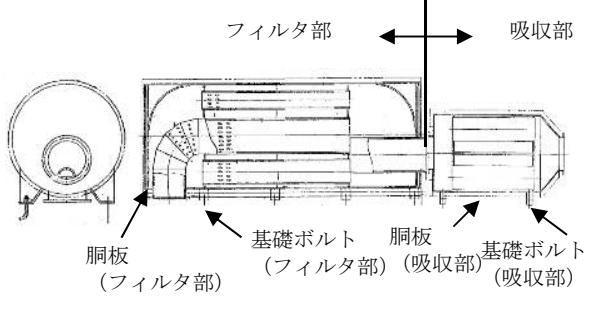
ディーゼル発電機排気消音器の構造計画を表 3-15 に示す。

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、設計竜巻の風圧力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) よこ置円筒形容器 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 3-15 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。	【非常用ディーゼル発電機 2C 用）】  銅板 取付 ボルト 【非常用ディーゼル発電機 2D 用）】  フィルタ部 吸収部 銅板 (フィルタ部) 基礎ボルト (フィルタ部) 銅板 (吸収部) 基礎ボルト (吸収部) 【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用）】  フィルタ部 吸収部 銅板 (フィルタ部) 基礎ボルト (フィルタ部) 銅板 (吸収部) 基礎ボルト (吸収部)

- (b) ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及びディーゼル発電機用海水配管（放出側）の構造計画を表 3-16 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並びに残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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、設計竜巻の風圧力による荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、排気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 3-16 ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管並びに
残留熱除去系海水系配管（放出側）及び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 3-17 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (1/6)

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。
		原子炉建屋大物搬入口扉（機器搬入口内側扉）	衝突	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。
		原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉）	衝突	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	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。
		原子炉建屋附属棟 1 階電気室搬入口水密扉	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ずみ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原子炉建屋附属棟 1 階電気室搬入口水密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原子炉建屋附属棟 1 階電気室搬入口水密扉を評価対象部位として選定する。

表 3-18 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位(2/6)

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	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，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。
	軽油貯蔵タンク タンク室	鋼製蓋	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。
		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，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	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	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を評価対象部位として選定する。

表 3-18 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (3/6)

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
屋外の防護対象施設	ディーゼル発電機吸気フィルタ	胴板 支持脚	構造強度	4脚たて置円筒型容器	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重は、胴板及び胴板を支持する支持脚に作用する。これらは、外荷重として作用する地震荷重と同様なものであるため、J E A G 4 6 0 1 の 4 脚たて置円筒形容器の計算方法を準用し、胴板、支持脚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	基礎ボルト	構造強度	ファン	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重の影響を受けるファン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、基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	中央制御室換気系冷凍機	取付ボルト	構造強度	冷凍機	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重の影響を受ける冷凍機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、取付ボルト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 ディーゼル発電機用海水ポンプ	基礎ボルト 取付ボルト 原動機フレーム	構造強度	立形ポンプ	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差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	立形ポンプ	外殻に面する部分への竜巻による荷重の作用を考慮し、施設の外殻を構成する部材の変形によって、ポンプの動作に影響がないことを確認するため、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。
	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	基礎ボルト	構造強度	たて置円筒形容器	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重の影響を受けるストレーナ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、基礎ボルトを評価対象部位として選定する。

表 3-18 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (4/6)

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 防 護 対 象 施 設	排気筒	筒身，鉄塔	構造強度	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。
	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 用ガス処理系排気配 管）	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 3-18 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (5/6)

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
屋内外気と繋がっている 防犯対象施設	ダクト（非常用換気空調設備）	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）	耐圧部	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、耐圧部を評価対象部位として選定する。

表 3-18 竜巻の影響を考慮する施設 強度評価対象部位 (6/6)

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
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	構造躯体	構造強度	変形	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、構造躯体を評価対象部位として選定する。
	鋼製防護壁	鋼製躯体	構造強度	変形	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、防護壁の鋼製躯体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	竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重の影響を受ける冷凍機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、取付ボルト又は基礎ボルトを評価対象部位として選定する。
	ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管	配管本体	構造強度	配管及び弁	ディーゼル発電機付属排気配管及びベ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） 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(ΔP_{max})

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

ρ : 空気密度(=1.22 kg/m³)

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 ΔP_{max} (N/m ²)
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(ρ)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(ΔP_{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乗用車の衝突による影響が大きくなる向きで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)許可を受けたとおり設定する。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
寸法 (m)	4.2×0.3×0.2	0.04×0.04×0.04
重量 (kg)	135	0.18
水平方向の飛来速度 (m/s)	51	62
鉛直方向の飛来速度 (m/s)	34	42

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. 屋外の防護対象施設 (表 4-3(2/5, 3/5))

ディーゼル発電機吸気フィルタ、ディーゼル発電機ルーフベントファン、中央制御室換気系冷凍機、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、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、非常用ガス処理系排気配管) 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。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ベントファン、中央制御室換気系冷凍機、非常用ガス処理系排気配管、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。非常用ガス処理系排気配管、排気筒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フィルタは、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。また、竜巻防護対策施設を設置する施設については、竜巻防護ネットを通過する小さな飛来物による衝撃荷重は、衝突される機器へ伝わる加速度が小さく、機器へ作用する荷重は強度に影響を与えないので衝撃荷重を考慮しない。

c. 外気と繋がっている屋内の防護対象施設（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のダクト、隔離弁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. 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。鋼製防護壁は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。また、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ディーゼル発電機排気消音器、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）、ディーゼル発電機用海水配管（放出側）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、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）、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。また、ディーゼル発電機排気消音器、ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。設計基準事故時及び重大事故等時の荷重は、竜巻による荷重と重ならないため、運転時に作用する荷重を考慮しない。

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 _d)			風圧力による 荷重(W _w)	気圧差による 荷重(W _p)	飛来物による 衝撃荷重(W _M)	運転時の状態で 作用する荷重 (F _p)
			自重	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	衝突	○*	—	○*	○*	—	○	—
		構造強度	○	—	○	○	○	○	—
	軽油貯蔵タンクタンク室	衝突	—	—	—	—	—	○	—
		構造強度	—	—	—	—	—	○	—

(○：考慮する荷重を示す。)

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

表 4-3 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_d)			風圧力による 荷重(W_w)	気圧差による 荷重(W_p)	飛来物による 衝撃荷重(W_M)	運転時の状態で 作用する荷重 (F_P)
			自重	水頭圧	上載荷重				
屋外の防護対象施設	ディーゼル発電機吸気フィルタ	構造強度	○	—	—	○	○	—	—
	ディーゼル発電機ルーフベントファン	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	中央制御室換気系冷凍機	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	構造強度	○	—	—	○	○	—	○
		機能維持	—	—	—	○	○	—	○
	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	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_d)			風圧力による 荷重 (W_w)	気圧差による 荷重 (W_p)	飛来物による 衝撃荷重 (W_m)	運転時の状態で 作用する荷重 (F_p)
			自重	水頭圧	上 載 荷 重				
屋 外 の 防 護 対 象 施 設	非常用ガス処理系排気配管	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	排気筒	構造強度	○	—	—	○	—	—	—
	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ボ ンプ及びディーゼル発電機用海 水ポンプ周り）	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 _d)			風圧力による 荷重(W _w)	気圧差による 荷重(W _p)	飛来物による 衝撃荷重(W _M)	運転時の状態で 作用する荷重 (F _p)
			自重	水頭圧	上 載 荷 重				
外気と繋がっている 屋内の 防護対象施設	ダクト（非常用換気空調設備）	構造強度	○	—	—	—	○	—	—
	隔離弁（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_d)			風圧力による 荷重 (W_w)	気圧差による 荷重 (W_p)	飛来物による 衝撃荷重 (W_M)	運転時の状態で 作用する荷重 (F_p)
			自重	水頭圧	上 載 荷 重				
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	○	—	○	○	○	○	—
	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）	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 ²	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 ²	重力加速度
H	N	自重による荷重
m	kg	質量
q	N/m ²	設計用速度圧
R _m	m	最大接線風速半径
V _D	m/s	設計竜巻の風速
V _{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
W _M	N	飛来物による衝撃荷重
W _P	N	気圧差による荷重
W _W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
Δ P _{max}	N/m ²	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_W)

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_P)

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_M)

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 ρ (kg/m ³)	ガスト影響 係数 G (-)	設計用 速度圧 q (N/m ²)	最大接線 風速 V (m/s)	最大気圧 低下量 ΔP (N/m ²)
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、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) 転倒及び脱落（表 4-8（1/6））

鉄筋コンクリート造構造物の転倒及び脱落の評価については、設計竜巻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 2.0×10^{-3} とする。

また、屋根スラブに生じる応力については、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく終局強度を許容限界として設定する。屋根スラブのスタッドボルトにおいては、「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））

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。

また、鋼製防護壁が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	mm^2	コーン状破壊面の有効投影面積
A_0	mm^2	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積
s_{ca}	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さな方の値
b	mm	部材幅
D	mm	頭付きアンカーボルト頭部の直径
d	mm	頭付きアンカーボルト軸部の直径
F_c	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
f_n	N/mm^2	コンクリートの支圧強度
f_s	N/mm^2	コンクリートの許容せん断応力度
f_t	N/mm^2	鉄筋の許容引張応力度
j	mm	応力中心間距離 ($j = (7/8) \cdot d$)
l_{ce}	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	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	kN	スタッドボルト 1 本あたりの許容引張力
p_a	N	頭付きアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
p_{a1}	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}	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}	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	kN	屋根スラブの単位幅の許容せん断力
${}_c\sigma_t$	N/mm^2	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度
${}_s\sigma_{pa}$	N/mm^2	頭付きアンカーボルトの引張強度
${}_s\sigma_y$	N/mm^2	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度
ϕ_1	—	低減係数
ϕ_2	—	低減係数
a_t	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

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

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

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

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

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

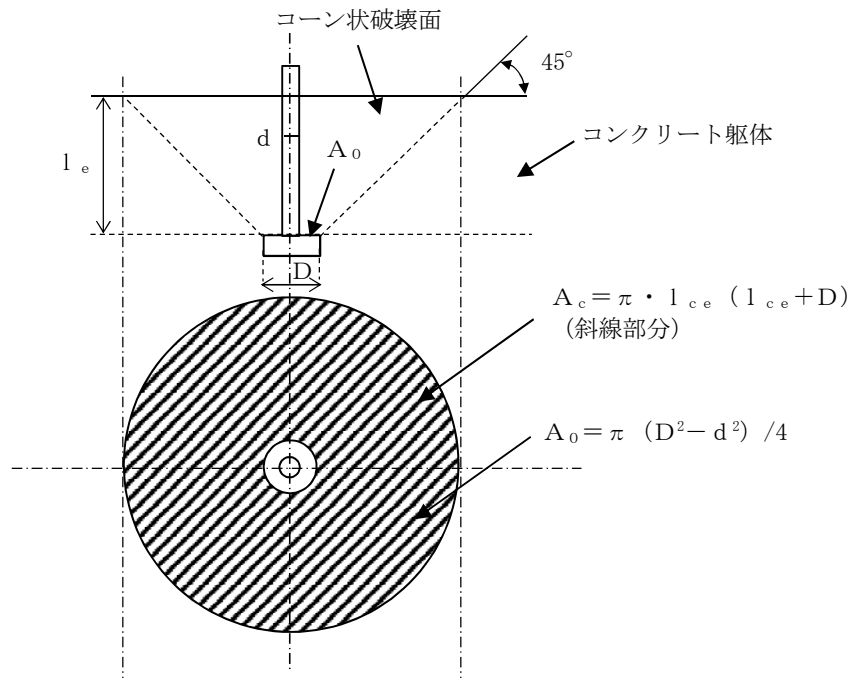


図4-1 頭付きアンカーボルトの側面の有効投影面積

(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) スタッドボルト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. 構造強度評価

(a) 立形ポンプ（表 4-8（3/6））

立形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、立形ポンプ及び立形ポンプの機能維持に必要な附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附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_A S の許容応力を許容限界として設定する。

(b) 4脚たて置円筒形容器（表 4-8（3/6））

4脚たて置円筒形容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、4脚たて置円筒形容器を構成する胴板、支持脚が、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_A S 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) たて置円筒形容器（表 4-8（3/6））

たて置円筒形容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、たて置円筒形容器を構成する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_A S の許容応力を許容限界として設定する。

(d) よこ置円筒形容器（表 4-8（6/6））

よこ置円筒形容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、よこ置円筒形容器を構成する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることにより、その施設の安全機能に影響を及ぼすことのないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_A S の許容応力を許容限界として設定する。

(e) 排気筒（表 4-8（4/6））

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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_AS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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_AS及び座屈に対する評価式を満足する許容応力又はクリップリング座屈に応じた許容応力を許容限界として設定する。

(h) 隔離弁（表 4-8（5/6））

隔離弁の構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差で生じる圧力差が隔離弁の呼び圧力以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、隔離弁の耐圧部に発生する圧力に対して、弁の呼び圧力を許容限界として設定する。

(i) ファン（表 4-8（3/6））

ファンの構造強度評価においては、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、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ_AS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、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_AS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) 立形ポンプ（表 4-8（3/6））

立形ポンプの動的機能維持評価においては、立形ポンプの軸受部は、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

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_c	MPa	脚の許容圧縮応力
f_{br}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f_{bt}	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_t	MPa	J S M E 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
I	mm ⁴	断面二次モーメント
k_p	—	座屈係数
M	N・mm	ダクトに作用する曲げモーメント
M_{crip}	N・mm	クリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント
M_p	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_c	—	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 ²	設計竜巻の気圧低下量
σ_{crip}	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力
σ_{cripl}	MPa	外圧により生じる周方向応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_{p2}	MPa	面内荷重（自重）による発生応力
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{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
σ_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
σ_x	MPa	x 方向応力
σ_y	MPa	y 方向応力
τ	MPa	せん断応力
τ_{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) 4脚たて置円筒形容器の許容限界式

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 σ_{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 σ_{p1} と長期荷重（自重）による発生応力 σ_{p2} の和 σ_w が許容応力 σ_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 σ_y と短期荷重による発生応力 σ_{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。

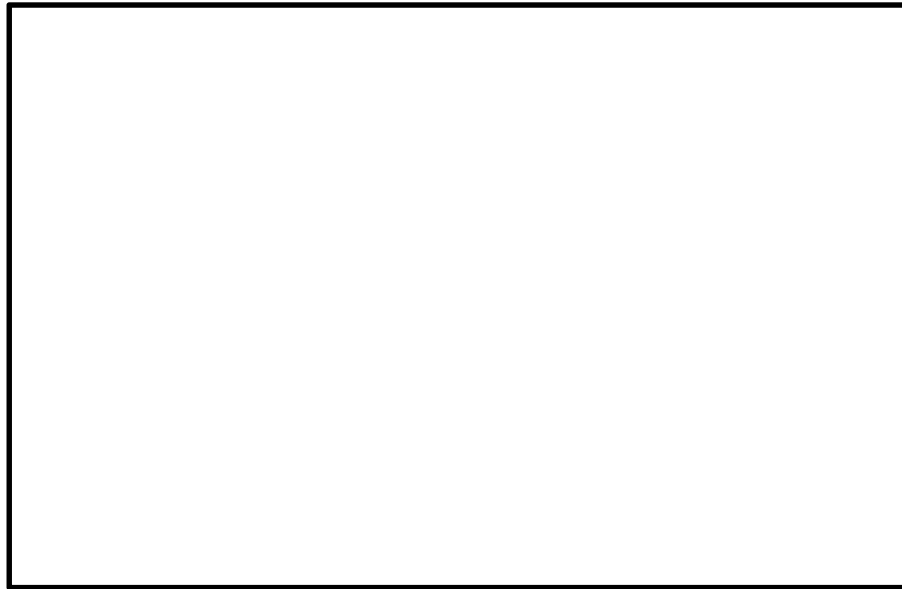


(d) 丸ダクトの許容限界式

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） σ_{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 σ_{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 ΔP （設計竜巻による気圧低下量）の組合せが，下式を満足させるものとする。



ここで，自重による曲げによってクリップリング座屈が発生する際に作用する曲げモーメント $M_{cr ip}$ は，下式より算出する。



表 4-8 施設ごとの許容限界(1/6)

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	W_M	屋根スラブ，外 壁（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	施設の最小部材厚さが貫通限界 厚さ以上とする。				
							デッキプレートの発生ひずみ が，JIS規格値／ T_F （ $T_F＝$ 2.0）を考慮した値以下とす る。				
		$F_d + W_T$ （ $W_W，$ W_P ）		構造 強度	せん断	裏面剥離による コンクリート片 の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離 限界厚さ以上とする。				
							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が 設定値（ 2.0×10^{-3} ）以下とす る。		
											屋根スラブのスタッドボルト 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 (2/6)

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	原子炉建屋付属棟	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。
		$F_d + W_P$	1 階電気室搬入口水密扉	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。
	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。
			頂版	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	裏面剥離によるコンクリート片の飛散	施設の最小部材厚さが裏面剥離限界厚さ以上とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (3/6)

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	
屋外の防 護対象施設	ディーゼル発電機吸気フ ィルタ	$F_d + W_T (W_W, W_P)$	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 _A 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	
	ディーゼル発電機ルー ベントファン	$F_d + W_W$	基礎ボルト	構造 強度	引張，せん断， 組合せ	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許 容応力状態Ⅲ _A S の許容応力以下 とする。
	中央制御室換気系冷凍機	$F_d + W_W$	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 _A 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	$F_d + W_T (W_W, W_P) + F_P$	ボルト，原 動機フレー ム	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 _A S の許容応力以下 とする。
			軸受部	機能 維持	接触	軸と軸受が接 触	軸受荷重が接触面圧の許容荷重 以下とする。
	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	$F_d + W_T (W_W, W_P) + F_P$	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 _A S の許容応力以下 とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (4/6)

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 防 護 対 象 施 設	非常用ガス処理系排気配 管	$F_d + W_w$	配管本体	構造 強度	一次（膜＋曲 げ）	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許 容応力状態Ⅲ _A S の許容応力以下 とする。
	排気筒	$F_d + W_w$	筒身，鉄 塔	構造 強度	組合せ	部材の降伏	「鋼構造設計基準」等に準じて 断面算定を行う。
	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）	$F_d + W_T (W_w, W_P) +$ 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 _A S の許容応力以下 とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (5/6)

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 防護対象施設	ダクト（非常用換気空調設備）	$F_d + W_P$	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 _A 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。
	隔離弁（非常用換気空調設備）	W_P	耐圧部	構造 強度	変形	部材の降伏	呼び圧力以下とする。

表 4-8 施設ごとの許容限界 (6/6)

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	
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	$F_d + W_T (W_W, W_P)$	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。
	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 _A 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	$F_d + W_W$	配管本体	構造強度	一次 (膜+曲げ)	部材の降伏	J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅲ _A 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 _A 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 _A 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 _A 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 _A 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

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	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	構造躯体	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

Degen式による貫入限界厚さの算定に用いる記号を表5-2に，修正NDRC式による貫入深さの算定に用いる記号を表5-3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5-4に，力学における標準式による荷重の算定に用いる記号を表5-5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	cm	設計飛来物直径
e	cm	貫通限界厚さ（コンクリート）
X	cm	貫入深さ
α_e	—	低減係数

表5-3 修正NDRC式による貫入深さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	設計飛来物直径
D	kgf/cm ³	設計飛来物直径密度(=W/d ³)
F _c	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度
N	—	設計飛来物の形状係数
V	m/s	設計飛来物の衝突速度
W	kgf	設計飛来物重量
X	cm	貫入深さ

表5-4 Chang式による裏面剥離限界厚さの算定に用いる記号

記号	単位	定義
d	cm	設計飛来物直径
f _c '	kgf/cm ²	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	設計飛来物の衝突速度
W	kgf	設計飛来物重量
α _s	—	低減係数

表5-5 力学における標準式による荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
F _m	N	設計飛来物による衝撃荷重
L ₁	m	設計飛来物の最も短い辺の長さ
m	kg	設計飛来物の質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度
τ	s	設計飛来物と被衝突体との接触時間

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

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

修正NDRC式を以下に示す。

$X/d \leq 2$ の場合

$$X/d = \{(12145/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8}\}^{0.5}$$

$X/d \geq 2$ の場合

$$X/d = \{(12145/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8+1}$$

- (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。

$$S = 1.84 \alpha_s \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

- (c) 力学における標準式による荷重の算定

イ. 設計飛来物による衝撃荷重

$$F_m = m \cdot V / \tau = m \cdot V^2 / L_1$$

5.1.2 鋼製構造物

(1) 評価条件

- 飛来物が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。
- 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5-6に示す。

表5-6 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 (スタッドボルト)	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
	原子炉建屋付属棟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	構造躯体	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
A	m ²	設計飛来物の諸元から算出される等価面積
d	m	設計飛来物が衝突する衝突断面の等価直径
K	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	設計飛来物の質量
T	mm	貫通限界厚さ
V	m/s	設計飛来物の衝突速度

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ボルト)

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	スタッドボルトの間隔
Q	kN/m	屋根スラブに生じる単位幅のせん断力
T	kN	スタッドボルトに生じる引張力
ω_d	kN/m	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重
ω_T	kN/m	設計竜巻による単位幅あたりの荷重 ($=\max\{\omega_{T1}, \omega_{T2}\}$)
ω_{T1}	kN/m	設計竜巻荷重 W_{T1} による単位幅あたりの荷重
ω_{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

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

ハ. スタッドボルト 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。

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

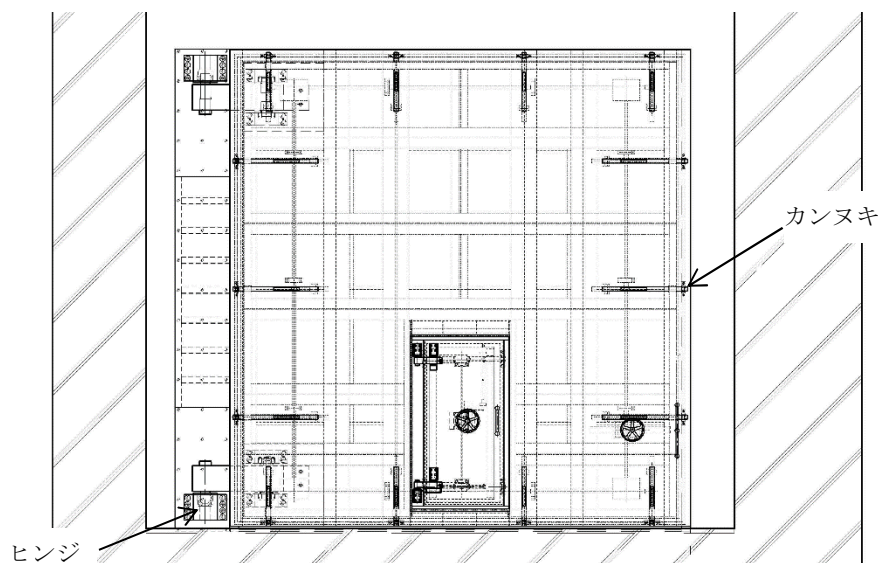


図5-1 水密扉概要（例）

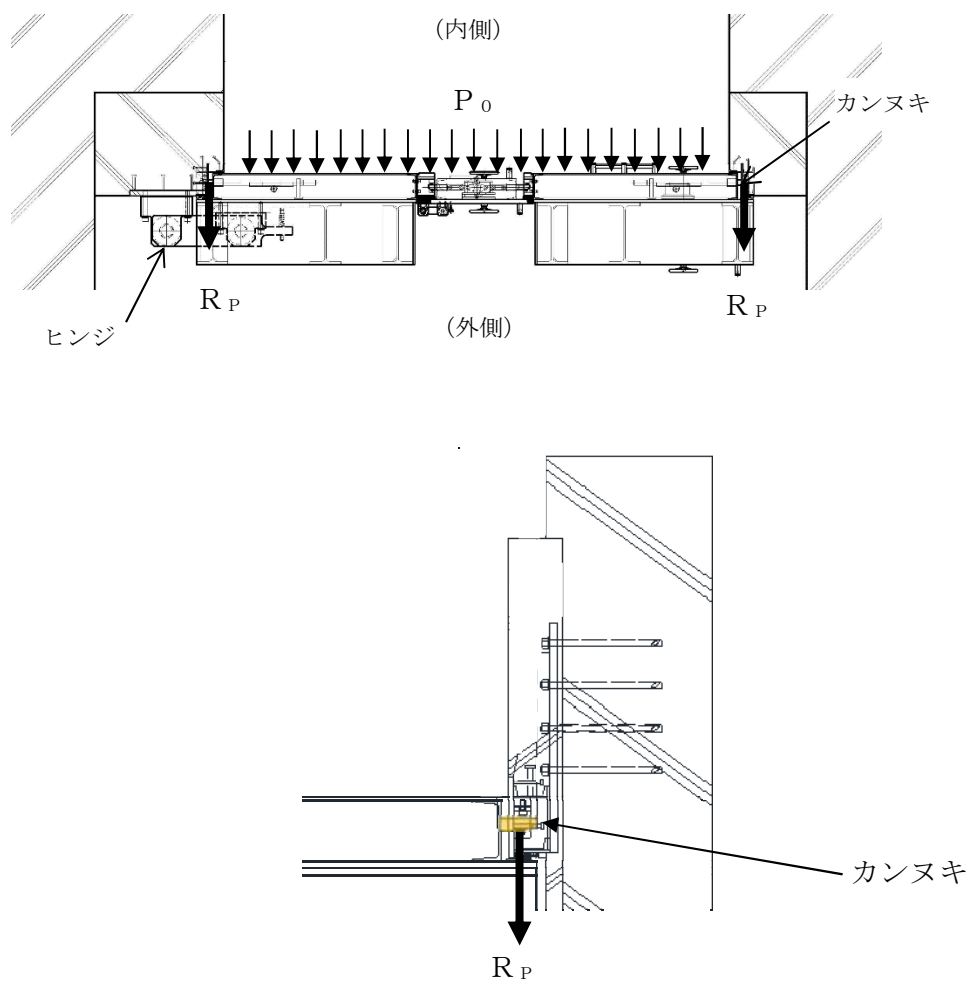


図5-2 カンヌキ部に生じる荷重の例

(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。

$$M = R_P \cdot L_b$$

$$Q = R_P$$

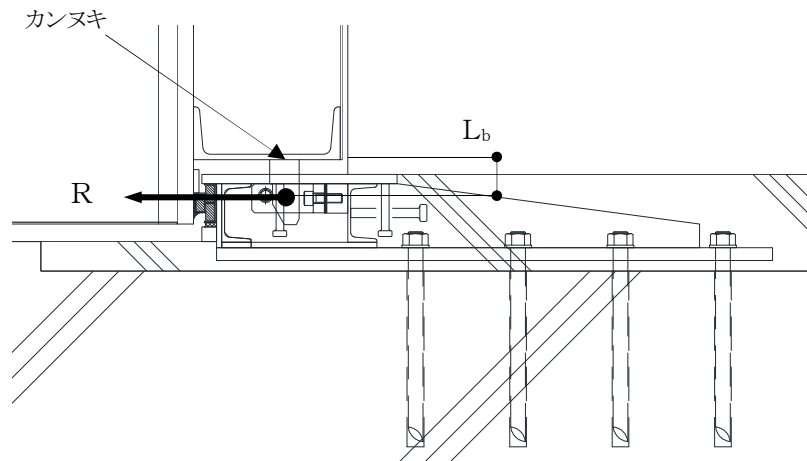


図5-3 カンヌキに生じる荷重の例

(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。

$$M = R_p \cdot \frac{L_p}{4}$$

$$Q = R_p$$

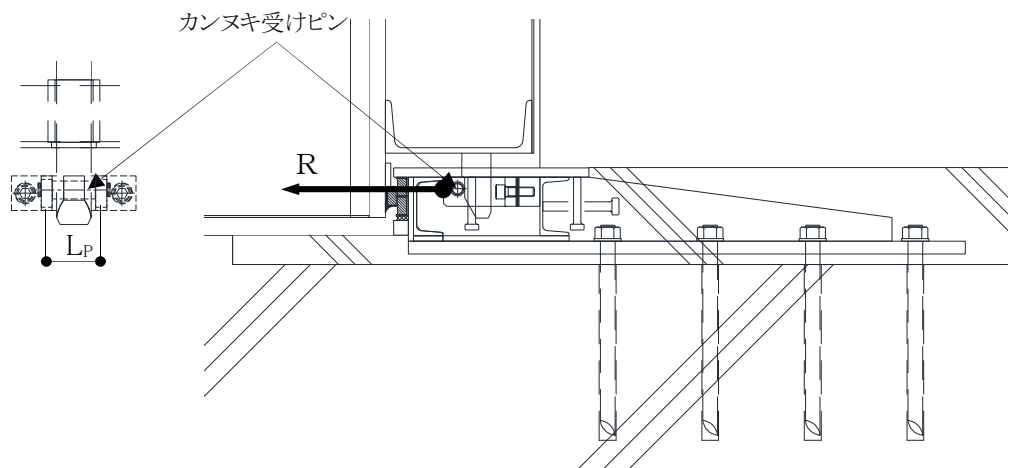


図5-4 カンヌキ受けピンに生じる荷重の例

(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。

$$T = R_p$$

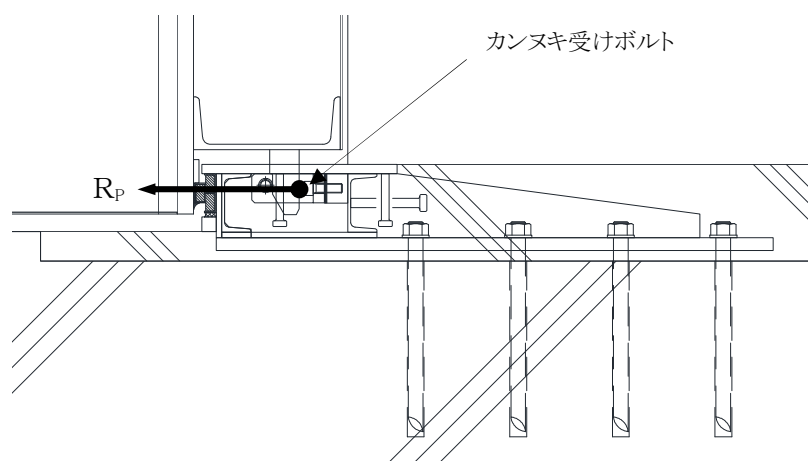


図5-5 カンヌキ受けボルトに生じる荷重の例

5.2 機器・配管系に関する評価式

5.2.1 ポンプ

(1) 立形ポンプ

a. 評価条件

立形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。

立形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5-10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
基礎ボルト，取付ボルト	・引張 ・せん断 ・組合せ
原動機フレーム	・引張 ・せん断 ・組合せ
軸受部	・曲げ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

立形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5-11，表5-12に示す。

表5-11 立形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^2	ボルトの断面積
A_w	mm^2	原動機フレーム溶接部の断面積
D	mm	原動機フレーム外寸
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
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
M	$\text{N} \cdot \text{mm}$	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 ($W_{T2} = W_W + 0.5 \cdot W_P + W_M$)
π	—	円周率
σ_{mt}	MPa	原動機フレームの引張応力
σ_{bt}	MPa	ボルトの引張応力
τ	MPa	せん断応力

表5-12 立形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^4	断面二次モーメント
i	rad	傾斜
M	$\text{N} \cdot \text{mm}$	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
δ	mm	フレーム変位量

(b) 計算モデル

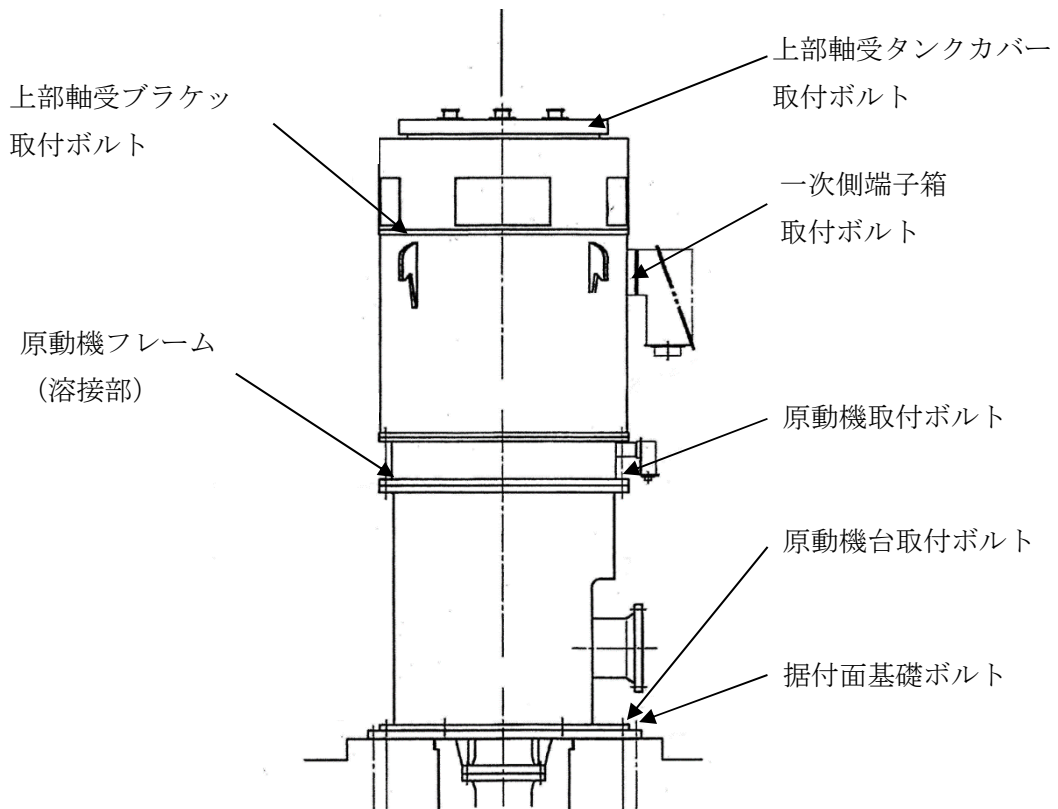


図 5-6(1/2) 立形ポンプの強度評価対象部位 (残留熱除去系海水系ポンプ)

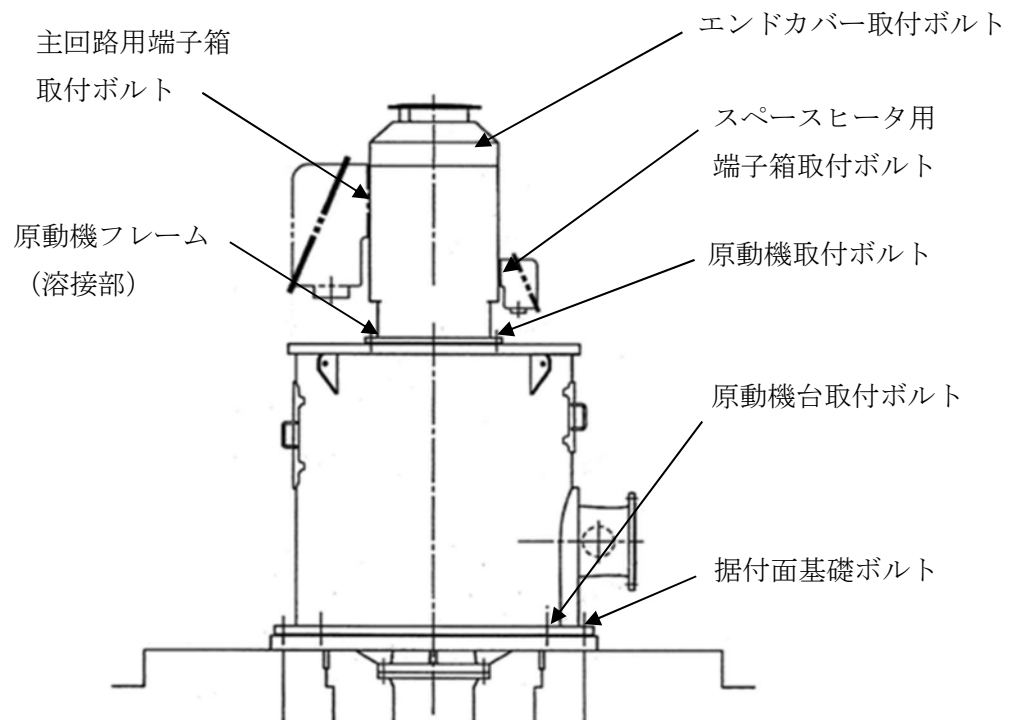


図 5-6(2/2) 立形ポンプの強度評価対象部位 (ディーゼル発電機用海水ポンプ)

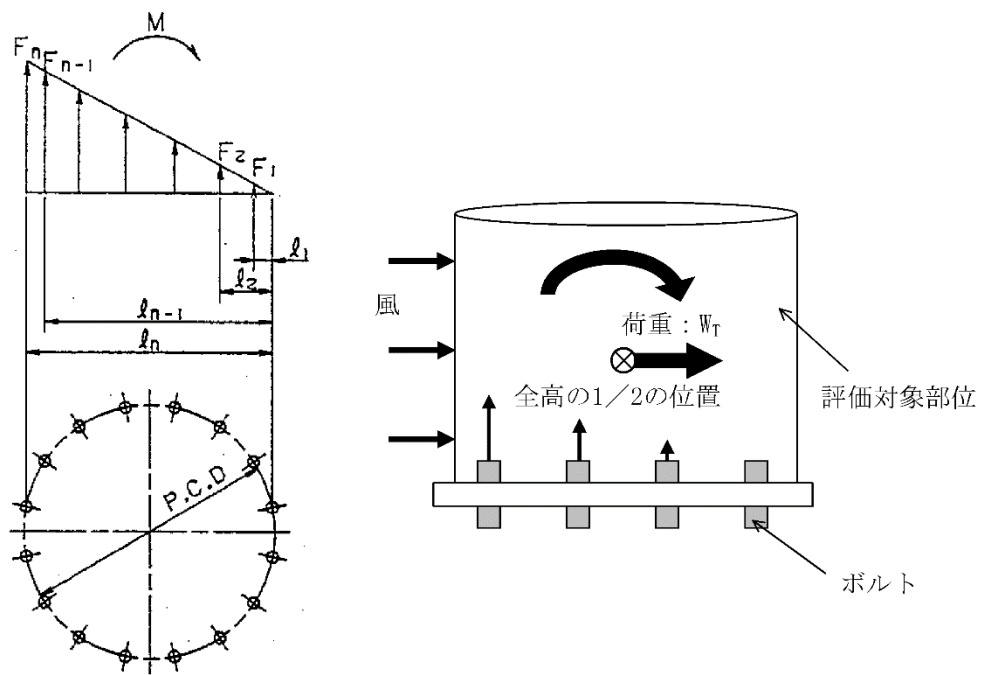


図 5-7(1/2) 応力の計算モデル図 (ポンプ部)

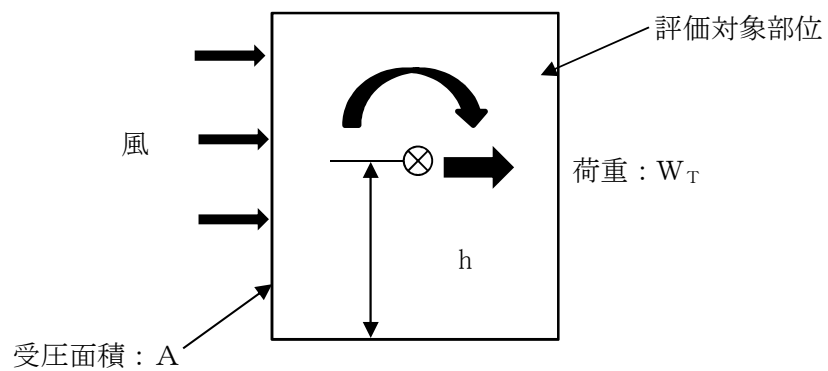


図 5-7(2/2) 応力の計算モデル図 (原動機部)

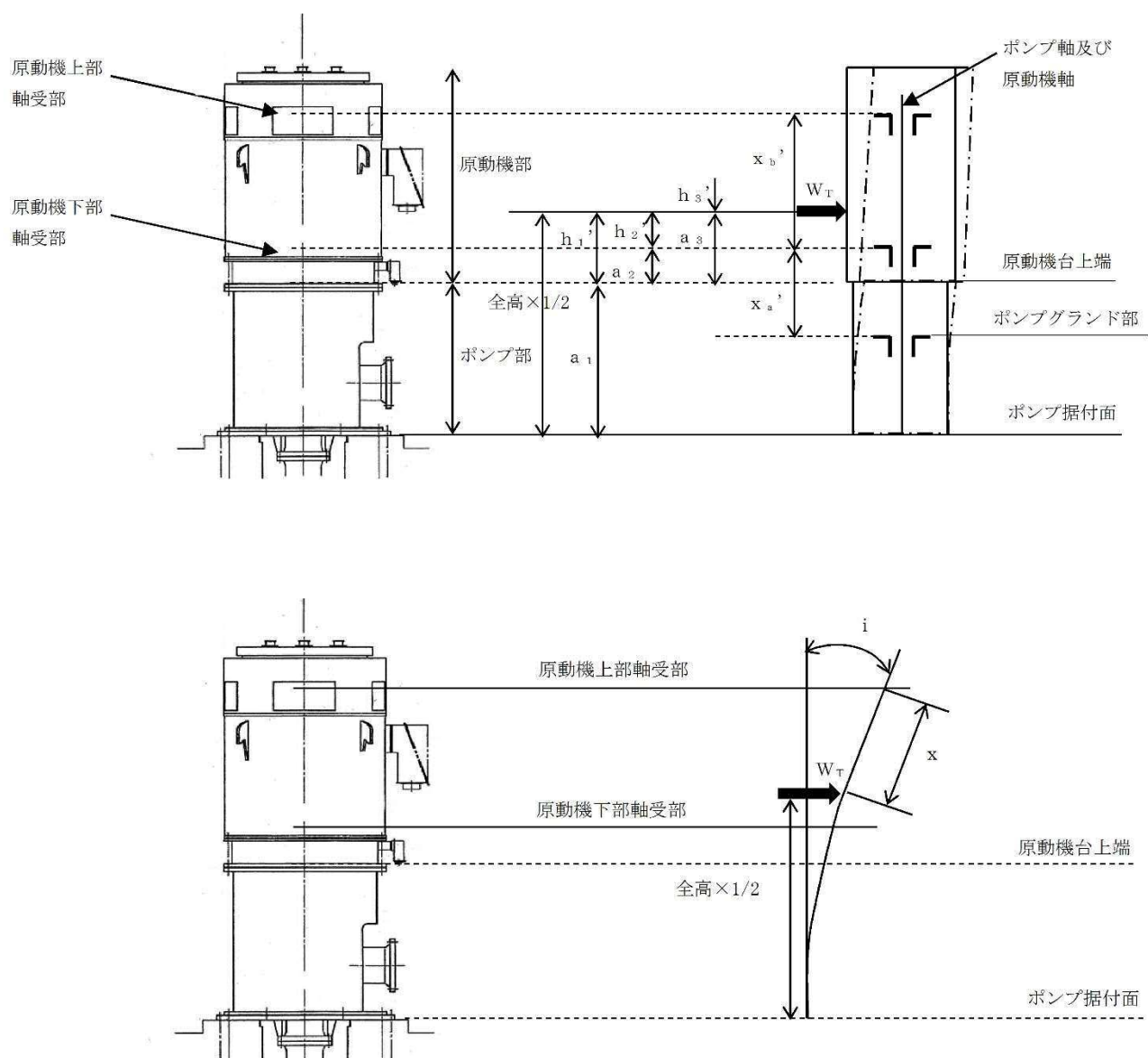


図 5-8(1/2) 立形ポンプのたわみ量計算モデル (残留熱除去系海水系ポンプ)

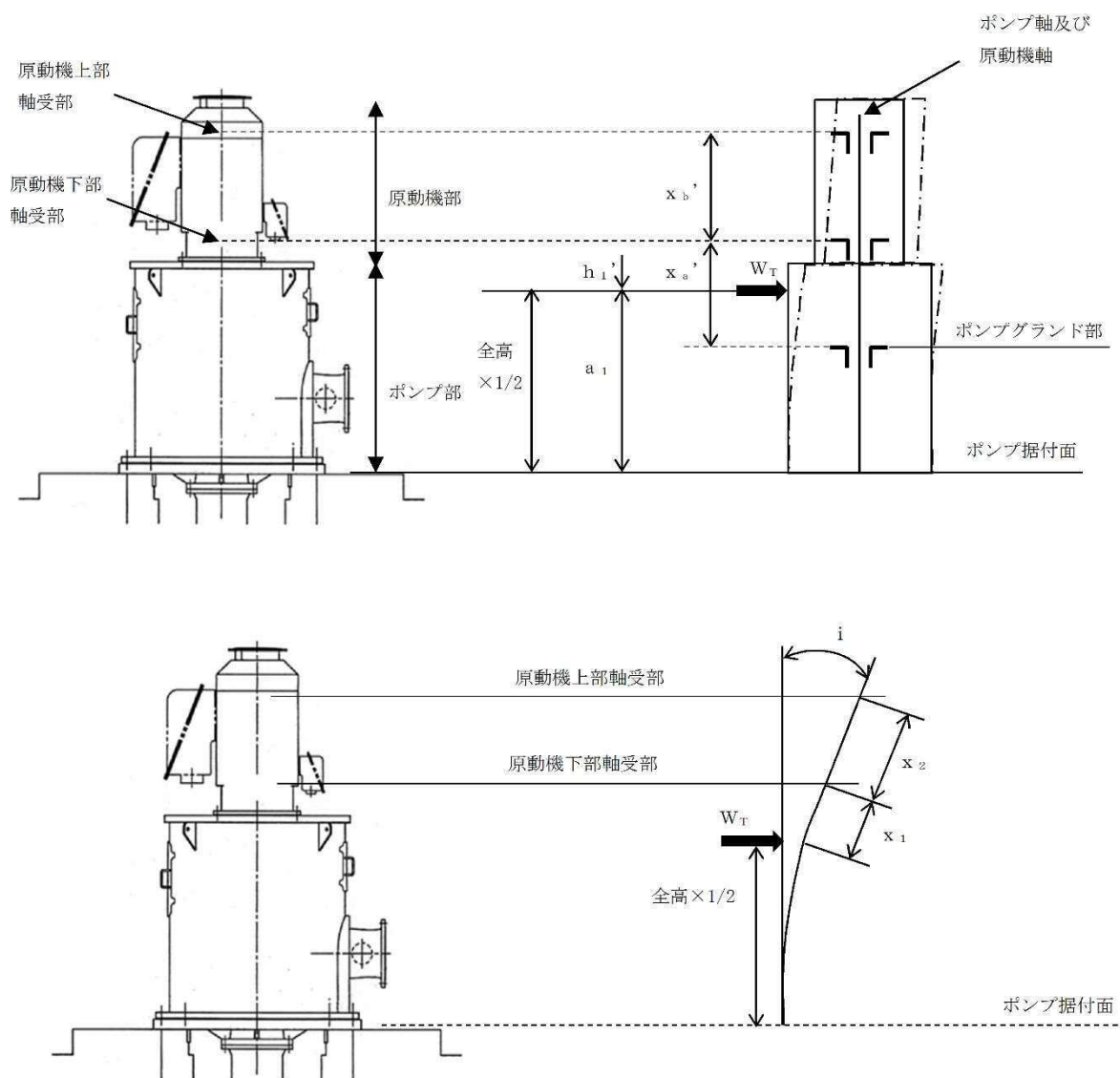


図 5-8(2/2) 立形ポンプのたわみ量計算モデル (ディーゼル発電機用海水ポンプ)

(c) 評価方法

イ. 応力の算出

(イ) ポンプ部

- ・風による転倒モーメントM

$$M = W_{T2} \cdot L_g / 2$$

- ・引張応力 σ_{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 τ

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

(ロ) 原動機部

- ・風による転倒モーメントM

$$M = W_{T2} \cdot h + H \cdot L \quad (\text{ボルト取付方向が水平方向の場合})$$

$$M = W_{T2} \cdot h \quad (\text{ボルト取付方向が鉛直方向の場合})$$

【原動機フレーム溶接部】

原動機フレーム溶接部の応力算出方法を以下に示す。

- ・引張応力

$$\sigma_{mt} = \frac{5.66 \cdot M}{\pi \cdot h_w \cdot D^2}$$

- ・せん断応力

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

【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

$$F_b = \frac{H \cdot h + W_{T2} \cdot L_H}{L_1 \cdot N}$$

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

- ・せん断応力

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

ここで,

$$F_H = \sqrt{W_{T2}^2 + H^2}$$

【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）】

- ・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，上部軸受ブラケット取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

$$F_b = \frac{h_u \cdot W_{T2} \cdot L_1}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2}$$

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

- ・せん断応力

$$\tau = \frac{W_{T2}}{A_b \cdot N}$$

【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）】

- ・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，上部軸受ブラケット取付ボルトに生じる引張応力を算出し評価する。

$$F_b = \frac{h_u \cdot W_{T2} \cdot L_1}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2 + L_5^2 + L_6^2 + L_7^2 + L_8^2}$$

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

- ・せん断応力

$$\tau = \frac{W_{T2}}{A_b \cdot N}$$

【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，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。

$$F_b = \frac{h \cdot W_{T2} \cdot L_1}{2 \cdot (L_1^2 + L_2^2)}$$

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

・せん断応力

$$\tau = \frac{W_{T2}}{A_b \cdot N}$$

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（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。

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

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。

$$\delta = \text{評価対象部位の変位量} - \text{支点の変位量}$$

また，発生荷重は

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

より

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

5.2.2 容器

(1) 4脚たて置円筒形容器（ディーゼル発電機吸気フィルタ）

a. 評価条件

4脚たて置円筒形容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，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。

4脚たて置円筒形容器のモデル図を図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5-13に示す。

表5-13 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	・一次一般膜 ・一次 ・一次＋二次
支持脚	・組合せ ・座屈

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

4脚たて置円筒形容器の強度計算に用いる記号を表5-14に示す。

表5-14 強度評価に用いる記号 (1/4)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A _s	mm ²	脚の断面積
A _{s r}	mm ²	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積
A _{s t}	mm ²	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 ₁	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 ₂	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 _c	—	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2))より得られる値)
C _L	—	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2))より得られる値)
D _i	mm	胴の内径
E	MPa	胴の縦弾性係数
E _s	MPa	脚の縦弾性係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値
F ₀	N	振動モデル系における水平力
f _c	MPa	脚の許容圧縮応力
f _{b r}	MPa	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力
f _{b t}	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 _t	MPa	脚の許容引張応力
G	—	ガスト影響係数
G _s	MPa	脚のせん断弾性係数
g	m/s ²	重力加速度 (=9.80665)
H	m	ディーゼル発電機吸気フィルタ高さ
I	mm ⁴	胴の断面 2 次モーメント
I _{s r}	mm ⁴	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント
I _{s t}	mm ⁴	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント
J _s	mm ⁴	脚のねじりモーメント係数
K ₁ , K ₂	—	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)よりの定数
K _c	—	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)
K _L	—	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)
K _r	—	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4)より得られる値)
k _L	—	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数
k _c	—	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるアタッチメントパラメータ周方向の補正係数

表5-14 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	$N \cdot mm$	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	$N \cdot mm$	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	$N \cdot mm$	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	$N \cdot mm$	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	$N \cdot mm$	胴に生じる軸方向の曲げモーメント
M_ϕ	$N \cdot mm$	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_ϕ	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^2	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 M E 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 M E 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	設置 (変更) 許可を受けた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^3	脚の半径方向軸に対する断面係数
Z_{st}	mm^3	脚の周方向軸に対する断面係数
β, β_1, β_2 β_c, β_L	-	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるアタッチメントパラメータ
γ	-	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)によるシェルパラメータ

表5-14 強度評価に用いる記号 (3/4)

記号	単位	定義
ΔP	N/m ²	気圧差
Δ_r	mm	運転時質量による胴の半径方向局部変位量
Δ_{r1}	mm	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量
Δ_{x1}	mm	水平力 F_0 による第 1 脚上端の水平方向変位量
Δ_{x3}	mm	水平力 F_0 による第 2 脚上端の水平方向変位量
Δ_{y1}	mm	水平力 F_0 による第 1 脚の鉛直方向変位量
θ	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
θ_0	rad	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角
θ_1	rad	水平力 F_0 による第 1 脚の傾き角 (圧縮側)
θ_2	rad	水平力 F_0 による胴の第 1 脚つけ根部における局部傾き角
θ_3	rad	水平力 F_0 による第 2 脚の傾き角
π	-	円周率
ρ	-	比重
σ_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
σ_{0x}	MPa	胴の軸方向一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴の一次応力の最大値
σ_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
σ_{15}, σ_{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
σ_{25}, σ_{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
σ_s	MPa	脚の組合せ応力の最大値
σ_{s1}, σ_{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
σ_{sc}	MPa	脚の圧縮応力の和
σ_{sr}	MPa	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和
σ_{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
σ_{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
σ_{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
σ_{x2}	MPa	運転時質量による胴の軸方向応力
σ_{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
σ_{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
σ_{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5-14 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
τ_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
τ_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
τ_{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
τ_{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
τ_{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
τ_{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
τ_{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

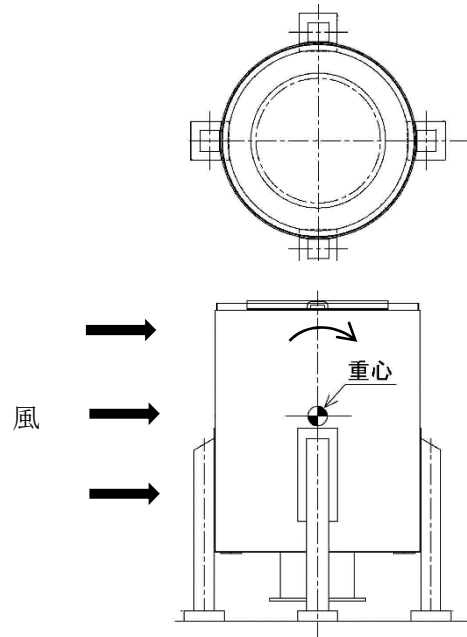


図 5-9 ディーゼル発電機吸気フィルタの評価モデル図

(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 Δ_{x1} , 傾き角 θ_1 , 鉛直方向変位量 Δ_{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 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_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、 β_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 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{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、 β_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、

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

式を代入して

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

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

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

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フィルタに静水頭、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。

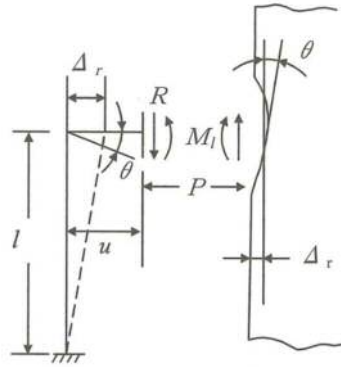


図 5-10 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

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

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

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

鉛直方向モーメント M_L により生じる胴の局部応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

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

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

ここで

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

$$\gamma = r_m / t$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

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

$$\beta = \begin{cases} \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 \geq 1) \\ \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 < 1) \end{cases}$$

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。

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

(二) 風荷重による胴の曲げ応力

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

(ホ) Z方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

i. 一次応力

半径方向荷重P₁により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 6 1} = \left[\frac{N_\phi}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x 6 1} = \left[\frac{N_x}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

鉛直方向曲げモーメントM₁により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 7 1} = \left[\frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

$$\sigma_{x 7 1} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

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。

$$\sigma_{\phi 8 1} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c$$

$$\sigma_{x 8 1} = \left[\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_c} \right) C_c$$

ここで、 β_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。

$$\tau_{c 1} = \frac{Q}{4C_1 \cdot t}$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{L 2} = \frac{R_1}{4C_2 \cdot t}$$

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。

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

ii. 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。

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

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

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。

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

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

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。

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

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

(へ) X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

i. 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。

$$\tau_{L 5} = \tau_{L 2} / \sqrt{2}$$

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。

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

ii. 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。

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

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

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。

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

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

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。

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

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

(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。

i. 一次一般膜応力

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

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

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

ii. 一次応力（膜＋曲げ）

(i) Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

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

(第2評価点)

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

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

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

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

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

(第2評価点)

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

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

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

(ii) X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 10 1}$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 10 1}$$

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

(第2評価点)

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

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

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{xx 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{xx 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 5} + \tau_6)^2} \right\}$$

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

iii. 組合せ一次+二次応力

(i) Z方向荷重が作用した場合

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

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

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

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

(第2評価点)

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

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

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

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

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

$$\sigma_{xz 7} = 0$$

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

(第2評価点)

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

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

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

(ii) X方向荷重が作用した場合

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi \times 3} = \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{x \times 3} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi \times 3} + \sigma_{x \times 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi \times 3} - \sigma_{x \times 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi \times 4} = \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{x \times 4} = \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi \times 4} + \sigma_{x \times 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi \times 4} - \sigma_{x \times 4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6)^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

ハ. 脚の応力計算

(イ) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{st}}$$

(ロ) 風荷重 (Z 方向) による応力

i. 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{Z_{st}}$$

ii. 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{Z_{sr}}$$

(ハ) X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}}$$

(二) 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

i. Z方向荷重が作用した場合

(i) 第1脚

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

(ii) 第2脚

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

ii. 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

i. Z方向荷重が作用した場合

(i) 第1脚

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

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

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

(ii) 第2脚

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

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

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

ii. 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。

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

(2) たて置円筒形容器（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）

a. 評価条件

たて置円筒形容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，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。

たて置円筒形容器のモデル図を図5-11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
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

たて置円筒形容器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

記号	単位	定義
A_b	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	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 ($W_{T2}=W_W+0.5 \cdot W_P+W_M$)
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	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

設計竜巻の風圧力による荷重，気圧差による荷重，有効運転質量を考慮した荷重に対し，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より高いストレーナの重心位置とする。残留熱除去系海水系ストレーナのモデル図を図5-11に示す。

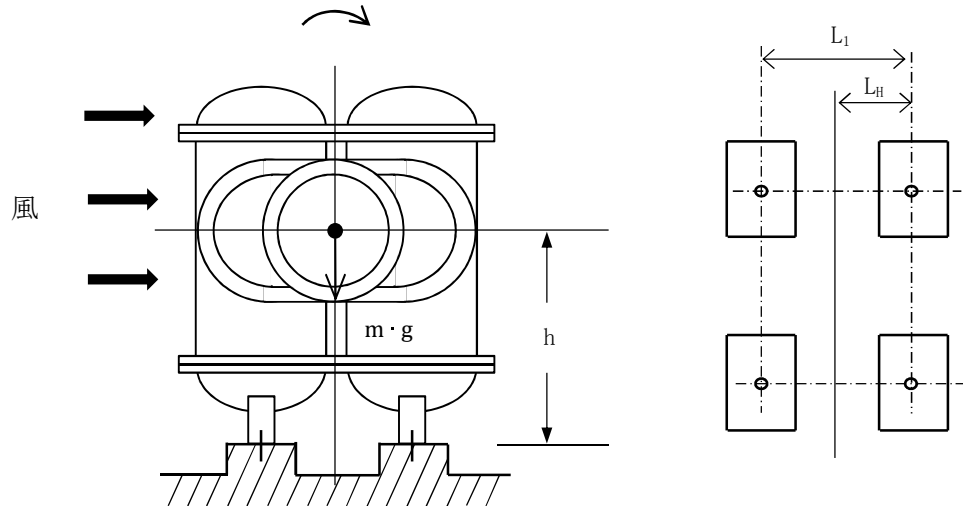


図5-11 たて置円筒形容器のモデル図

(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 5-11 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) よこ置円筒形容器（ディーゼル発電機排気消音器）

a. 評価条件

よこ置円筒形容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。

よこ置円筒形容器のモデル図を図5-12～図5-14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	・引張 ・せん断 ・組合せ

c. 強度評価方法

(a) 記号の定義

よこ置円筒形容器の強度計算に用いる記号を表5-18に示す。

表5-18 よこ置円筒形容器の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	mm^2	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^2	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
π	—	円周率
σ_{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
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

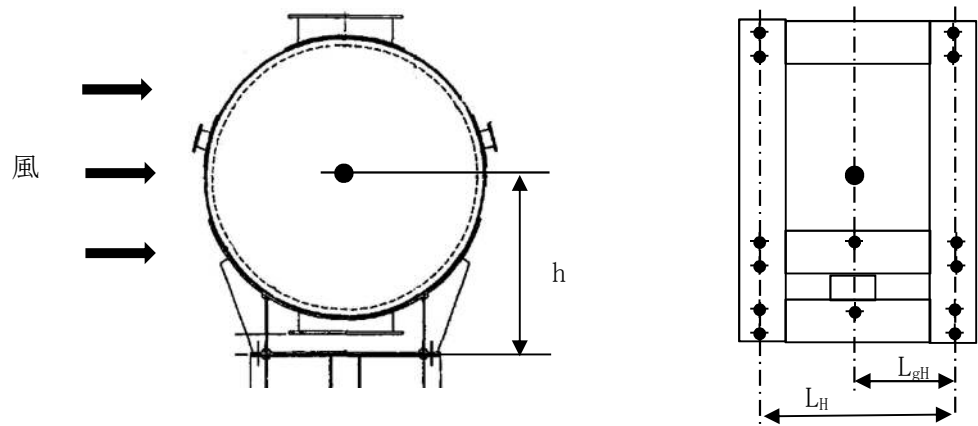


図 5-12(1/2) 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図（軸直角方向）

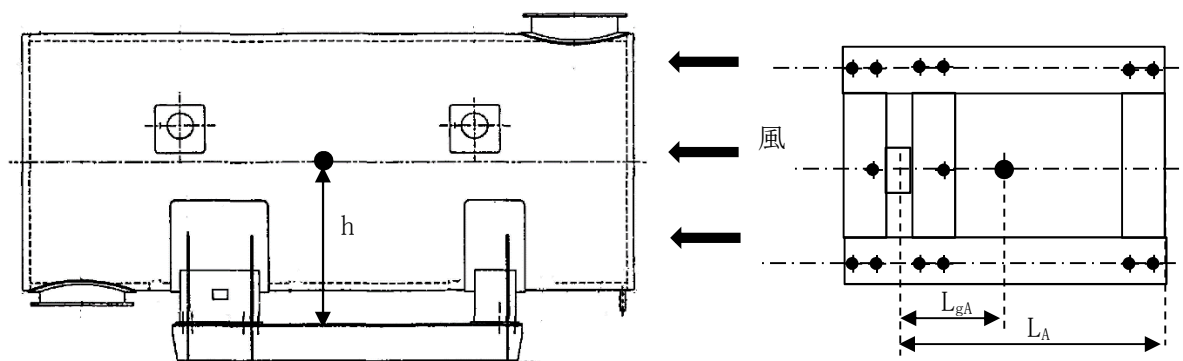


図 5-12(2/2) 非常用ディーゼル発電機 2 C 排気消音器の評価モデル図（軸方向）

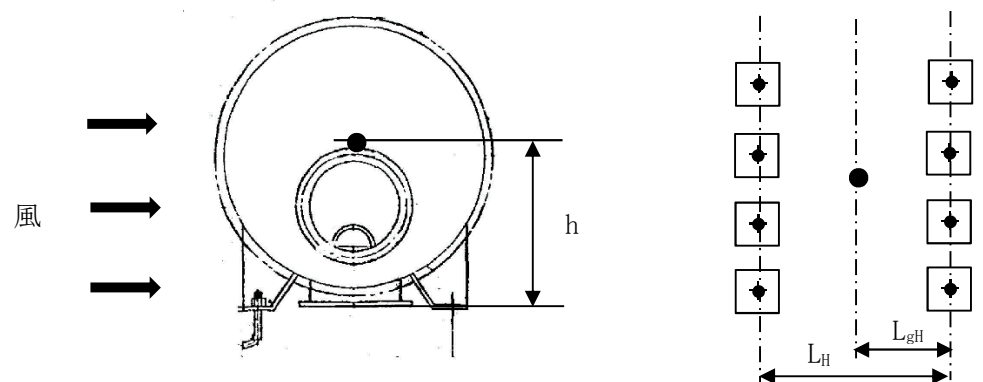


図 5-13(1/2) 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸直角方向）

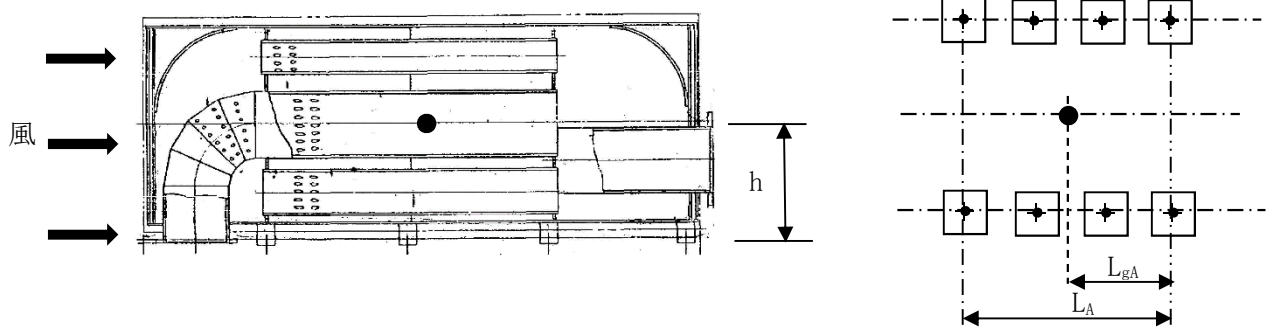


図 5-13 (2/2) 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（フィルタ部軸方向）

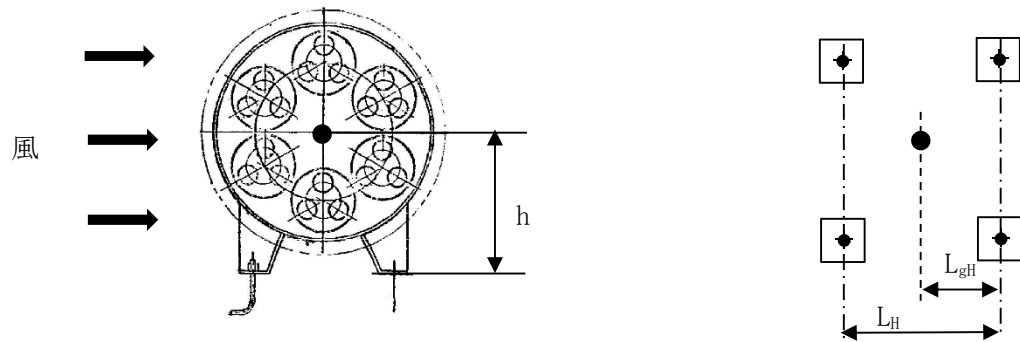


図 5-14 (1/2) 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器モデル図（吸収部軸直角方向）

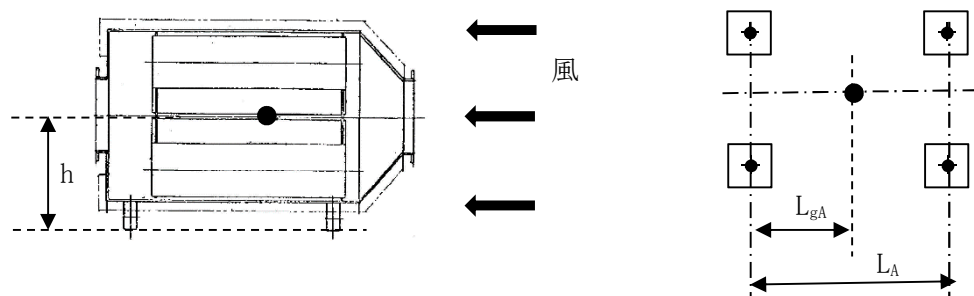


図 5-14 (2/2) 非常用ディーゼル発電機 2 D 排気消音器，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機排気消音器の評価モデル図（吸収部軸方向）

(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

i. 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gH}}{n_{fH} \cdot L_H}$$

ii. 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

i. 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h - m \cdot g \cdot L_{gA}}{n_{fA} \cdot L_A}$$

ii. 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

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

5.2.3 排気筒

(1) 評価条件

排気筒の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 排気筒は筒身と鉄塔が一体となって構成されるため、施設全体で風圧力による一様な荷重を受けるモデルとして評価を行う。この際、設計竜巻による飛来物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5-15に示す。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-19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
筒身	・ 組合せ（圧縮＋曲げ） ・ せん断
鉄塔	・ 組合せ（圧縮＋曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

排気筒の強度評価に用いる記号を表5-20に示す。

表5-20 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
${}_c f_{cr}$	N/mm^2	圧縮材料強度
${}_s f_{cr}$	N/mm^2	せん断材料強度
σ_b	N/mm^2	曲げ応力度
σ_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

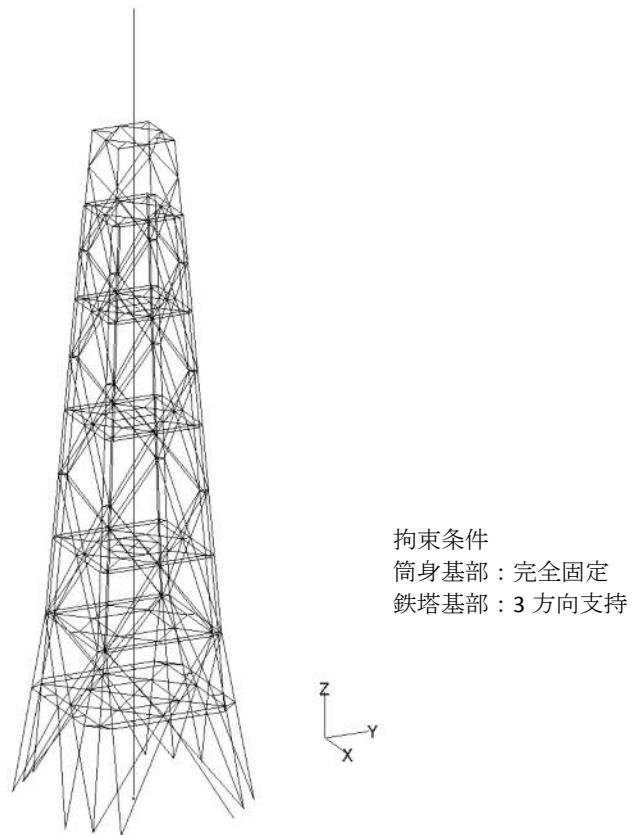


図 5-15 排気筒モデル図

c. 評価方法

(a) 応力評価方法

排気筒について、3次元FEMを用いた弾性応力解析を実施する。

(b) 断面の評価方法

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2mm（外側：1mm，内側：1mm）を控除した数を用いる。

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

かつ

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

ロ． 鉄塔主要部材に対する断面の評価方法

(イ) 応力検定

機能維持検討時の応力に対する断面算定は、「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。

5.2.4 配管及び弁

(1) 評価条件

配管及び弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため、風圧力による一様な
荷重を受ける単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔は標準支持間隔を
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5-21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
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5-22に示す。

表5-22 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 ²	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 _w	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 ³	断面係数
π	—	円周率
Δ P	N/m ²	気圧差
σ ₁ , σ ₂	MPa	配管に生じる応力
σ _{WP}	MPa	気圧差により生じる応力
σ _{WT1} , σ _{WT2}	MPa	複合荷重により生じる応力
σ _{WW}	MPa	風圧力により生じる応力
σ _{自重}	MPa	自重により生じる応力
σ _{内圧}	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5-16に示す。

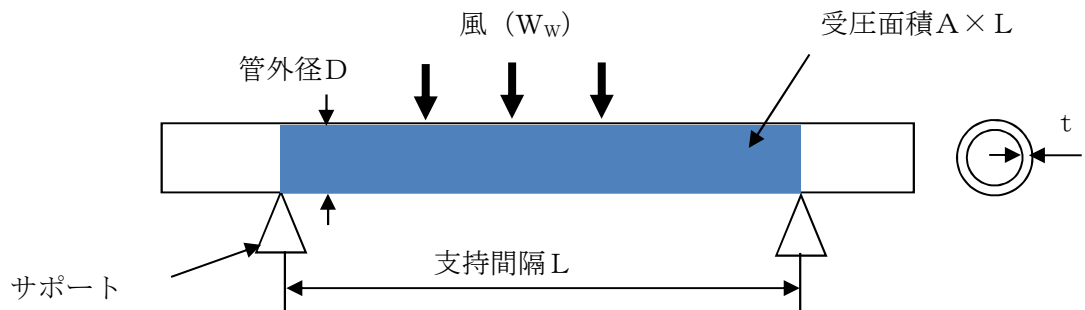


図 5-16 配管及び弁モデル図

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。

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

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。

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

したがって，(a)，(b)項の複合荷重により生じる応力 σ_{WT1} 及び σ_{WT2} は以下の式により算出する。

$$\sigma_{\text{WT1}} = \sigma_{\text{WP}}$$

$$\sigma_{\text{WT2}} = \sigma_{\text{WW}} + 0.5 \cdot \sigma_{\text{WP}}$$

(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。

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

$$w = m \cdot g$$

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

したがって，自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力と気圧差による荷重及び内圧により生じる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 σ_1 及び σ_2 を算出する。

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

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

5.2.5 換気空調設備

(1) ダクト

a. 角ダクト

(a) 評価条件

角ダクトの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

イ. 角ダクトは、任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された4辺単純支持矩形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し、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5-17に示す。

(b) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-23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
ダクト鋼板 (本体)	・ 曲げ ・ 座屈

(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5-24に示す。

表5-24 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	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	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
$\delta_{\max}$	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
π	—	円周率
μ	kg/m	ダクト単位重量
ν	—	ポアソン比
$\sigma_{\max}$	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
σ_{p1}	MPa	面内荷重（外圧）による発生応力
σ_y	MPa	許容応力

ロ. 計算モデル

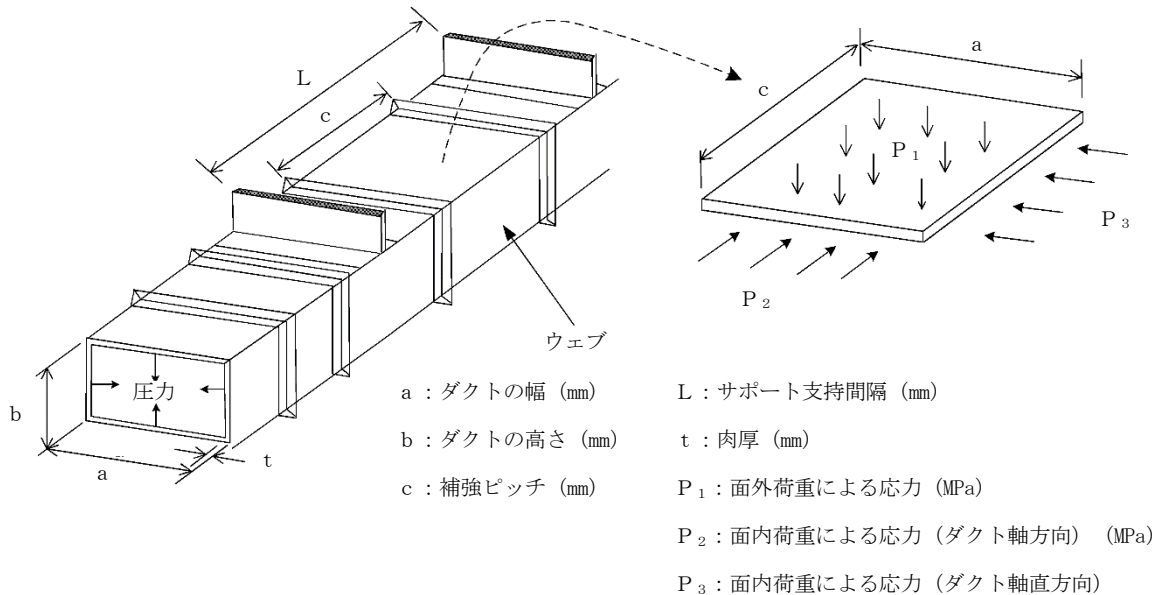


図5-17 角ダクトモデル図

ハ. 評価方法

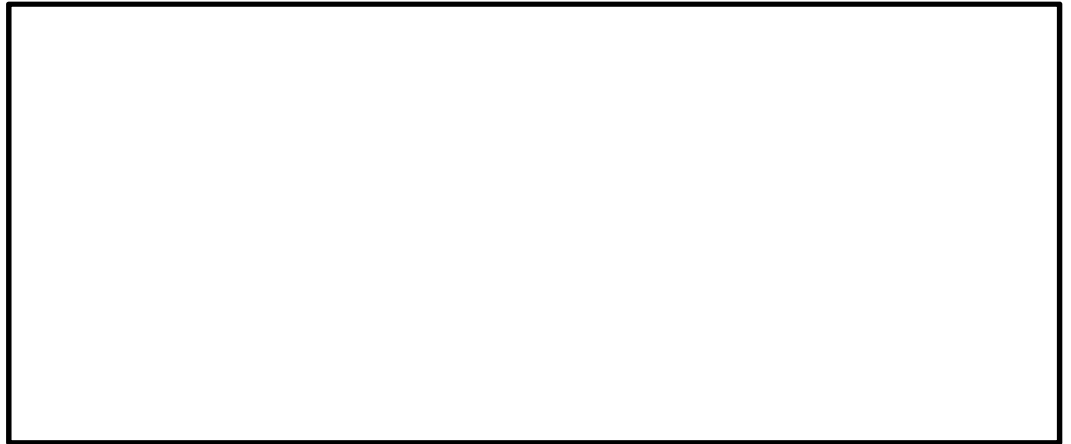
ダクトにかかる外圧は，設計竜巻により発生する気圧差が影響するので，

$$P = \Delta P$$

(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 σ_{max} とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量 δ_{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 δ_{max} の値を式 (3.1) へ代入し， σ_{max} を算出する。

(ロ) 面内荷重による発生応力

機械工学便覧の「クリップリングの考え方」と日本機械学会ジャーナルの「薄肉長方形及び箱形はりの座屈と強度」に記載されている鶴戸口の式を準用する。

i. 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。



ii. 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5-18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)	・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5-26に示す。

表5-26 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 ²	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M _p	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 ²	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 _{cripl}	MPa	外圧により生じる周方向応力

ロ. 計算モデル

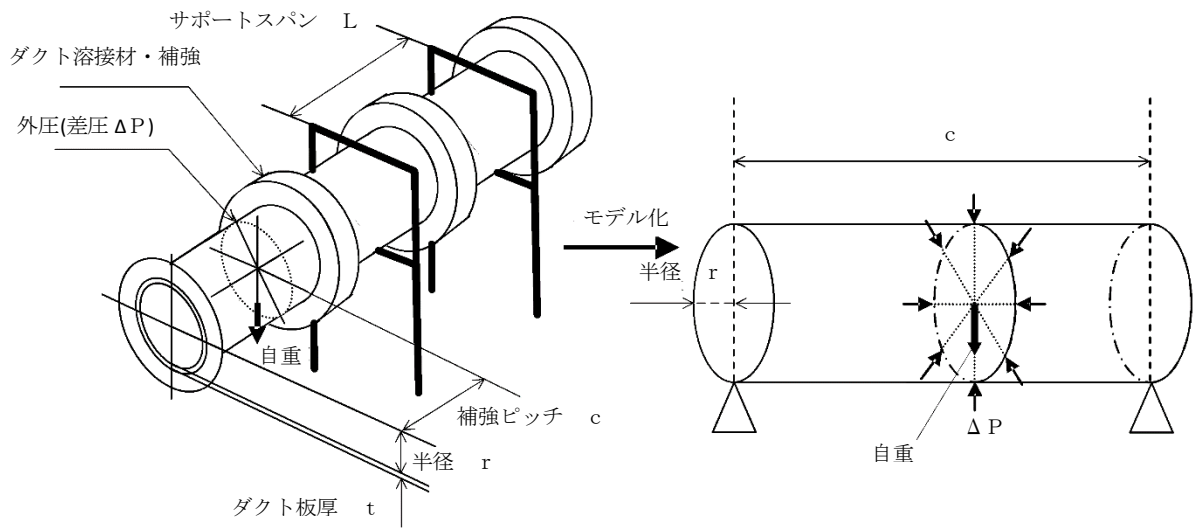


図5-18 丸ダクトモデル図

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 σ_{cripl}

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

(ロ) 自重により作用する曲げモーメント M_P

$$M_P = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

(2) 隔離弁

a. 評価条件

隔離弁の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

(a) 設計竜巻により発生する圧力と隔離弁の呼び圧力との比較を行う。

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

機器形状	評価対象部位	応力等の状態
バタフライ弁	耐圧部	変形

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5-28に示す。

表5-28 隔離弁の強度計算に用いる記号

記号	単位	定義
P	hPa	設計竜巻により発生する圧力
ΔP	hPa	設計竜巻の気圧低下量

(b) 評価方法

- ・設計竜巻により発生する圧力

$$P = \Delta P$$

(3) ファン

a. 評価条件

ファンの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) ファンの計算モデルは円筒形の1質点モデルとし、全高の1/2の位置に複合荷重が作用することとする。ファンモデル図を図5-19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

評価対象部位	応力等の状態
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5-30に示す。

表5-30 ファンの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	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	m/s^2	重力加速度 ($g=9.80665$)
h	mm	ファン重心高さ
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	ファンの質量
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 ($W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$)
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

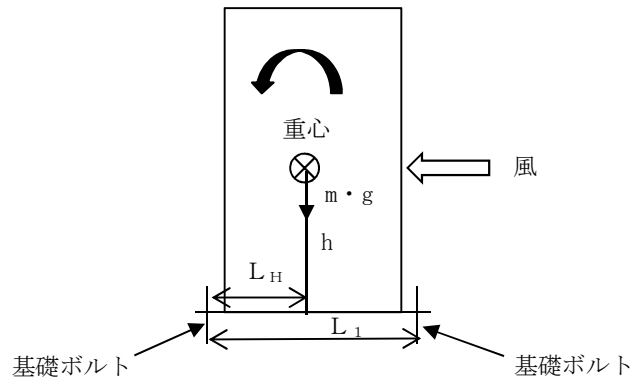


図 5-19 ファンモデル図

(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 5-18 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

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

ハ. 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

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

(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、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5-20に示す。

b. 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-31に示す。

表5-31 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	・引張 ・せん断 ・組合せ

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5-32に示す。

表5-32 冷凍機の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_b	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	m/s^2	重力加速度 ($g=9.80665$)
h	mm	冷凍機重心高さ
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	冷凍機の運転質量
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 ($W_{T2}=W_W+0.5\cdot W_P+W_M$)
π	—	円周率
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力

(b) 計算モデル

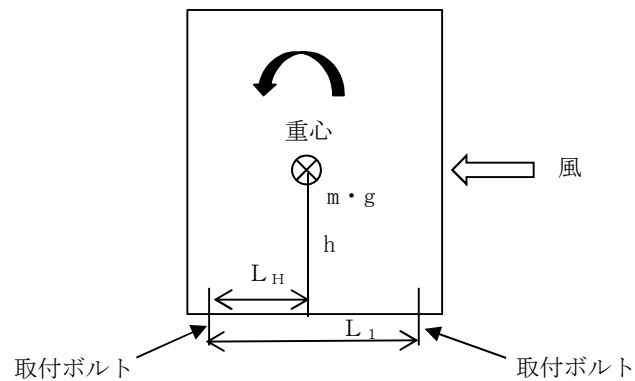


図 5-20 冷凍機モデル図

(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 5-20 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

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

(ロ) 引張応力

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

ここで、取付ボルトの軸断面積 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。

(イ) せん断力

$$Q_b = W_{T2}$$

(ロ) 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 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算
書

目次

1. 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	10
2.4 適用規格	12

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、竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建屋、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋（以下「建屋」という。）及び軽油貯蔵タンクタンク室（以下「構造物」という。）が、設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え、風圧力及び気圧差に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、内包する竜巻より防護すべき施設に飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

2. 基本方針

建屋及び構造物について、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、建屋及び構造物の「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

建屋及び構造物の配置図を図2-1に示す。

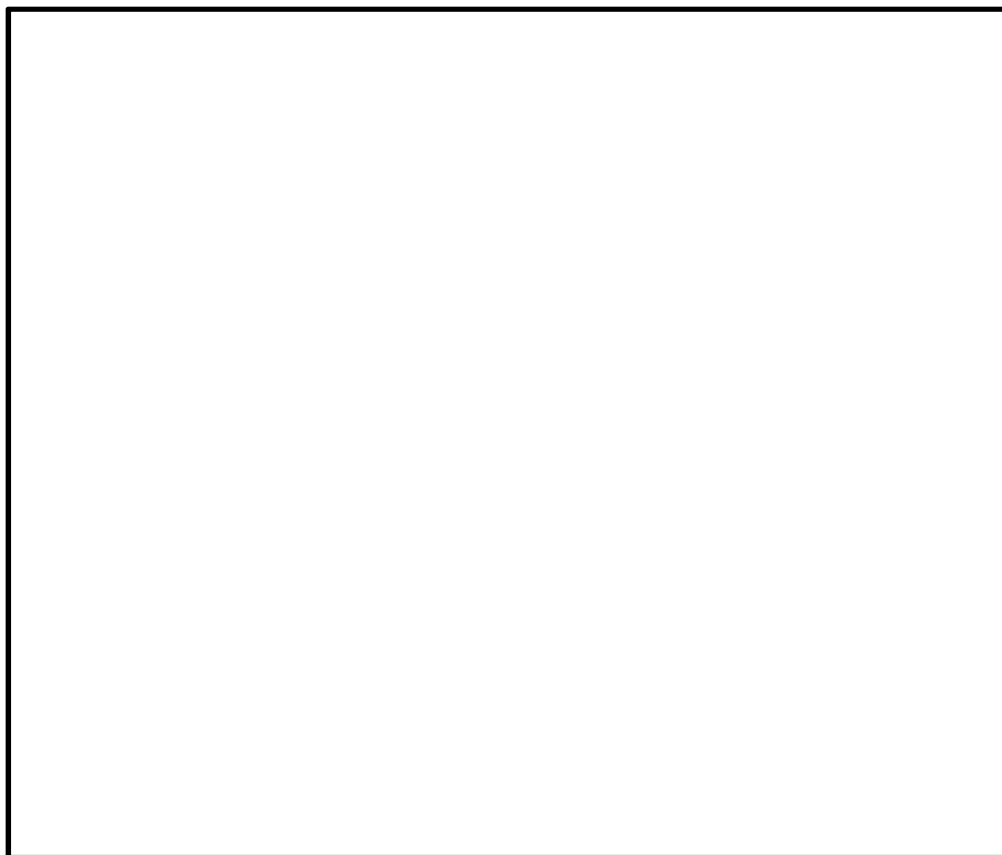


図 2-1 建屋及び構造物の配置図

2.2 構造概要

建屋及び構造物は、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」に示す構造計画とする。

建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、一部鉄骨造を有する構造である。また、原子炉建屋には、外殻を構成する部材として鋼製の原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉及び機器搬入口内側扉）及び原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密扉が設置されている。

構造物は、地中に埋設された構造物であり、外殻の躯体は鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。

建屋及び構造物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-9 に示す。

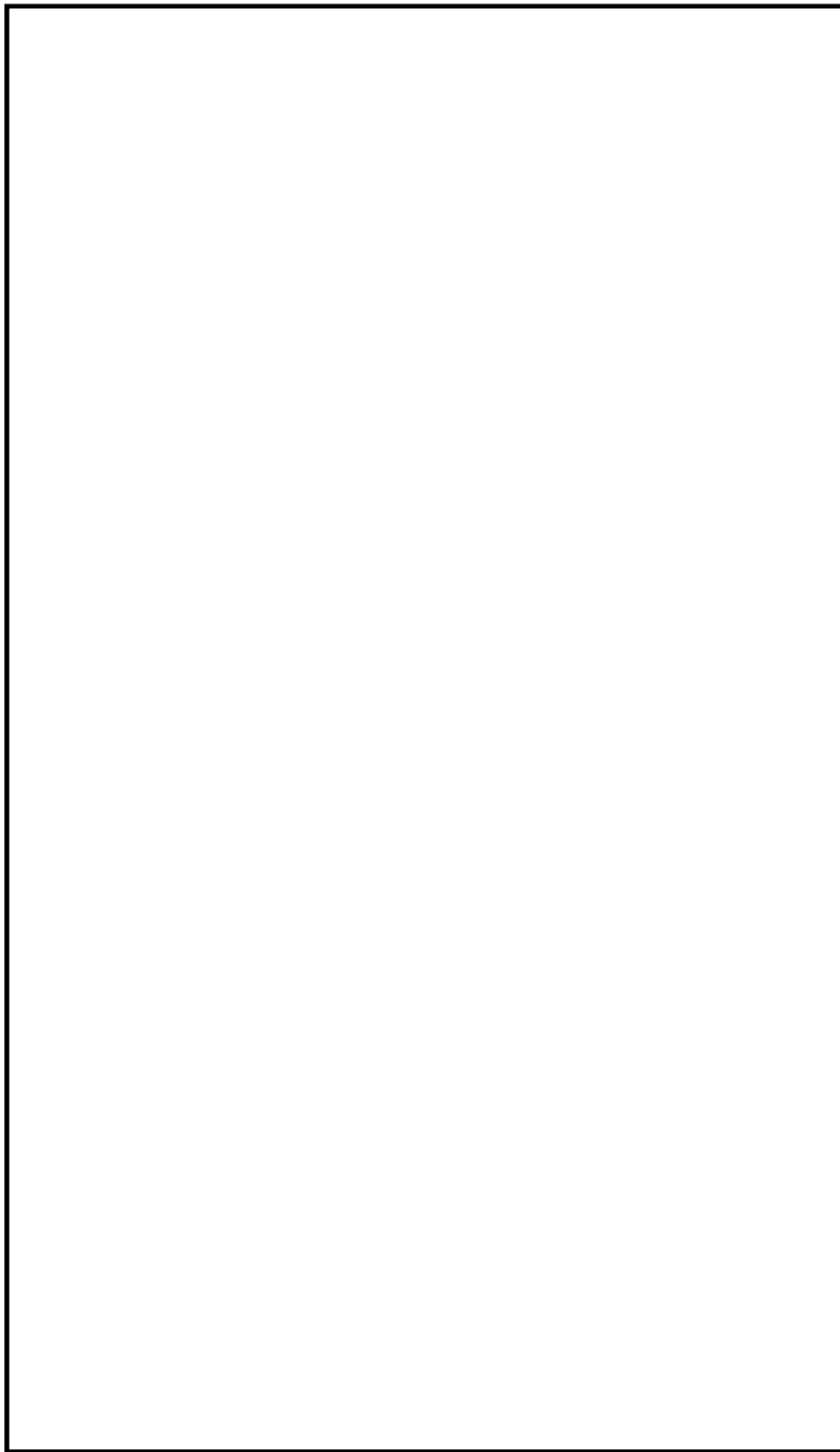


図2-2 原子炉建屋の概略平面図

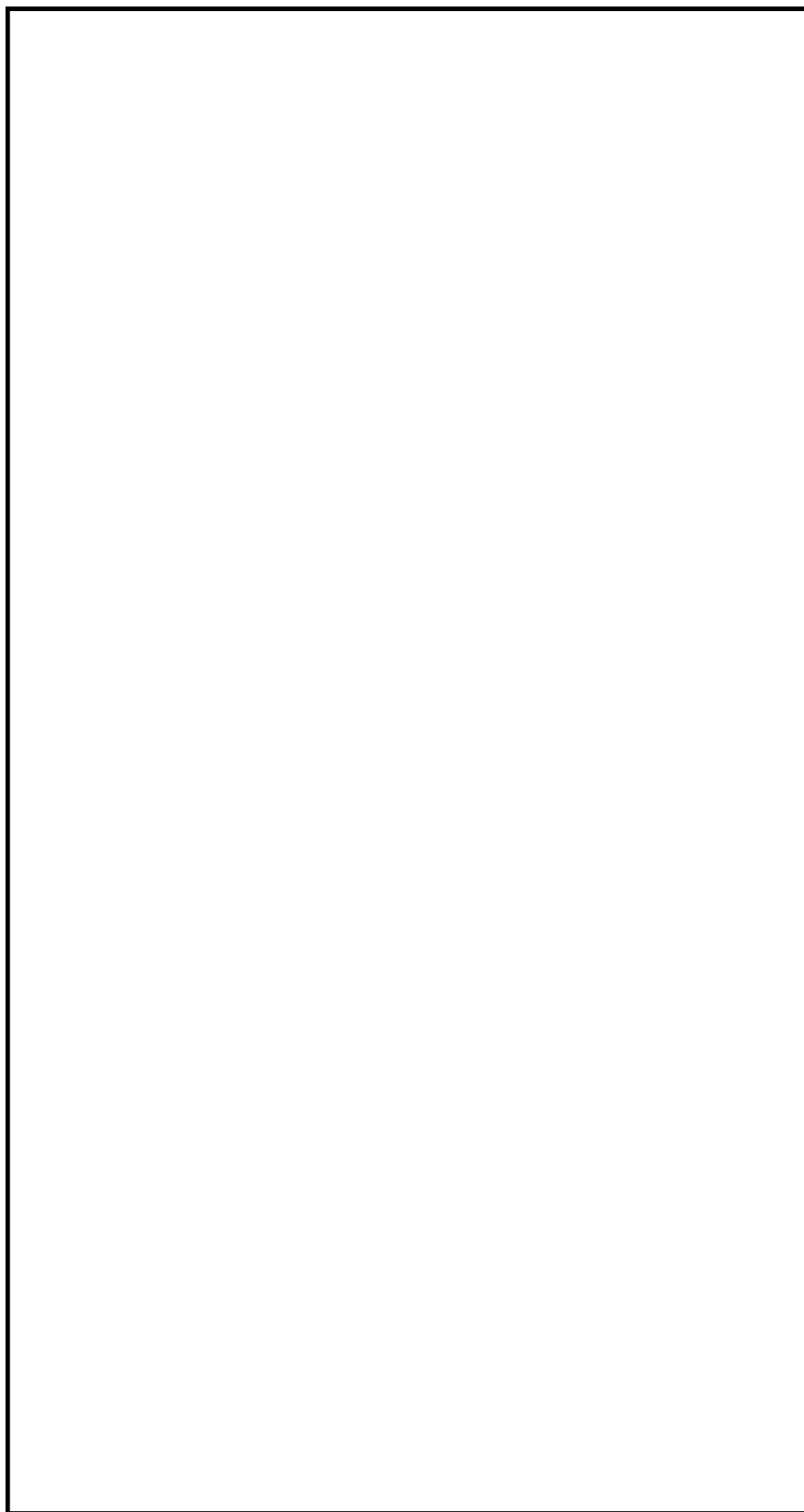


図 2-3 原子炉建屋の概略断面図

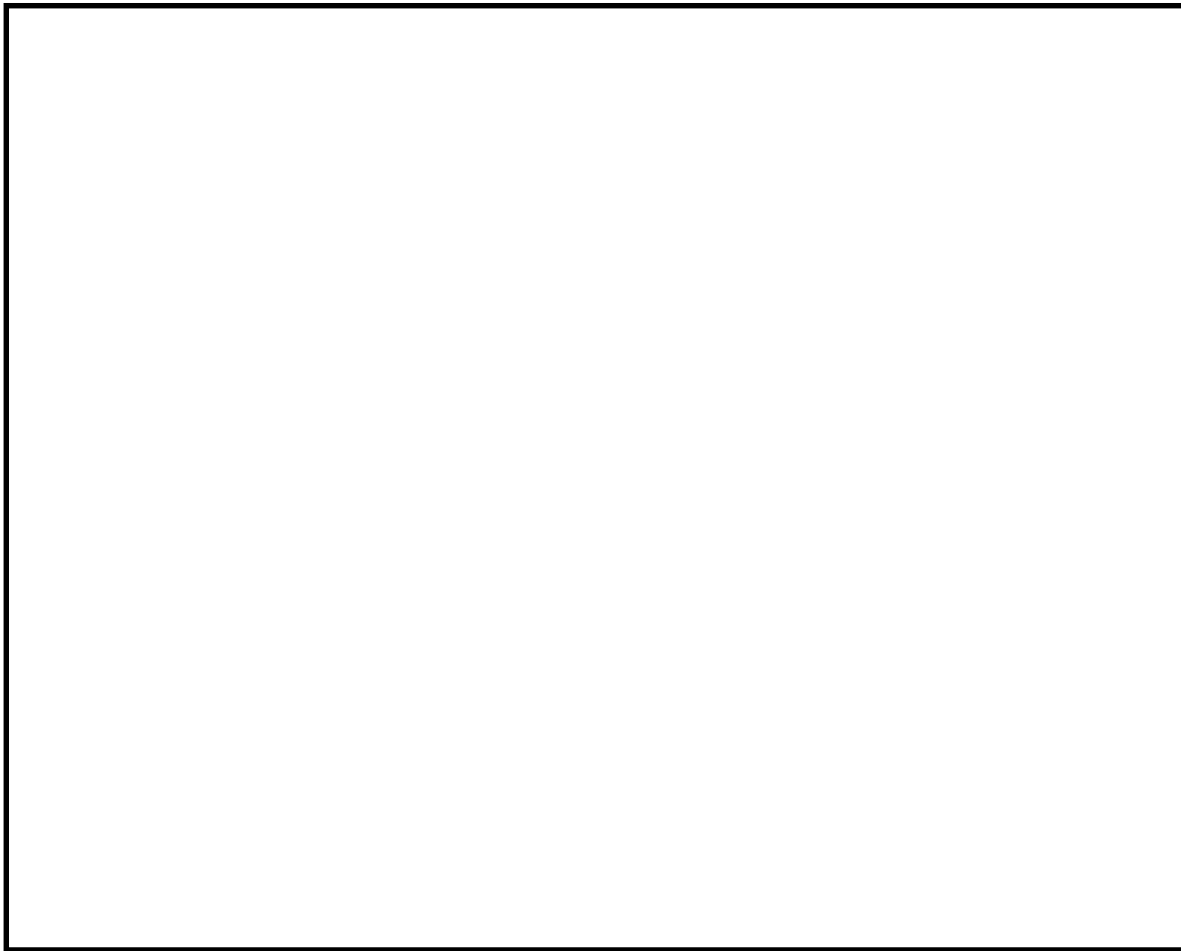


図 2-4 タービン建屋の概略平面図

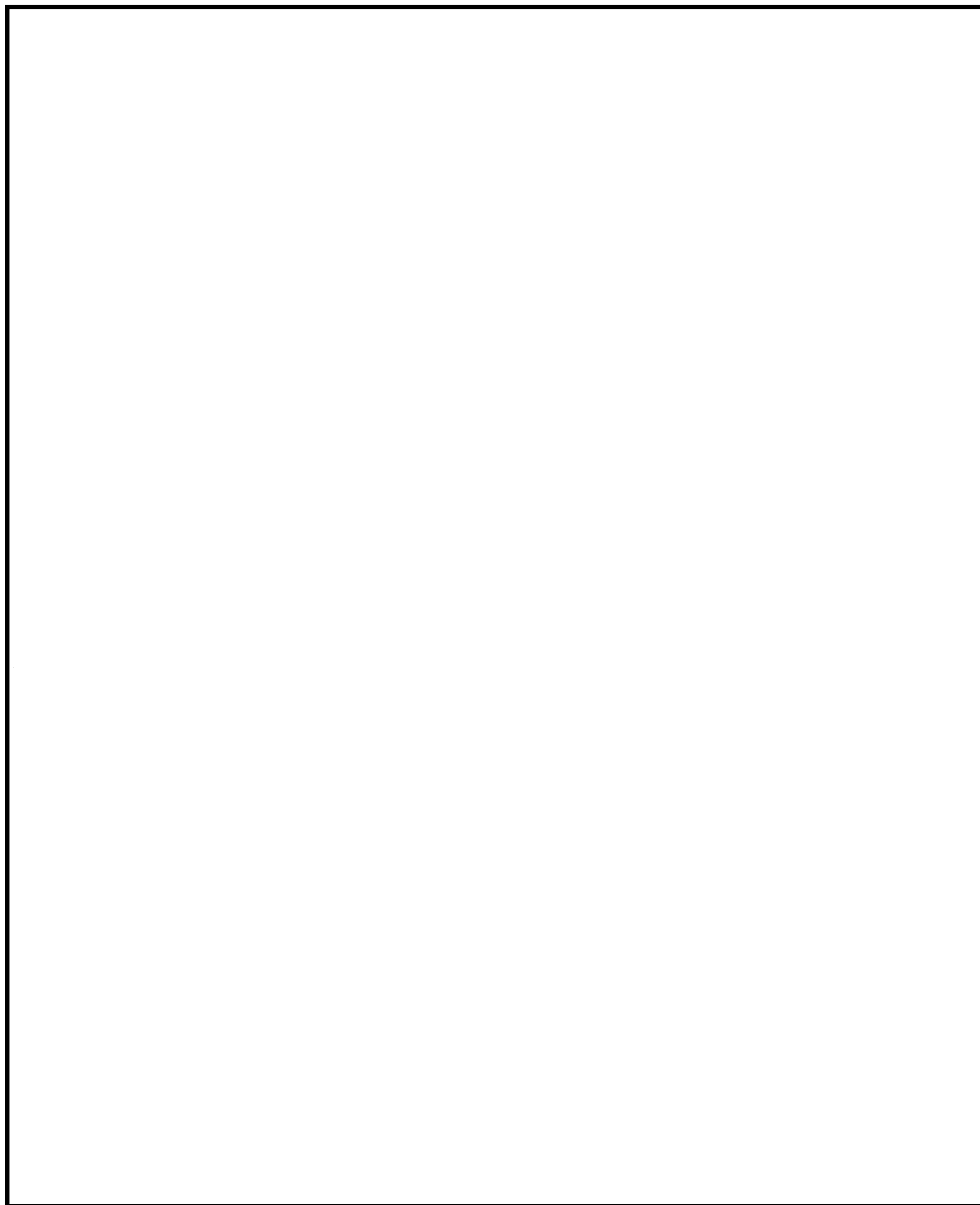


図 2-5 タービン建屋の概略断面図

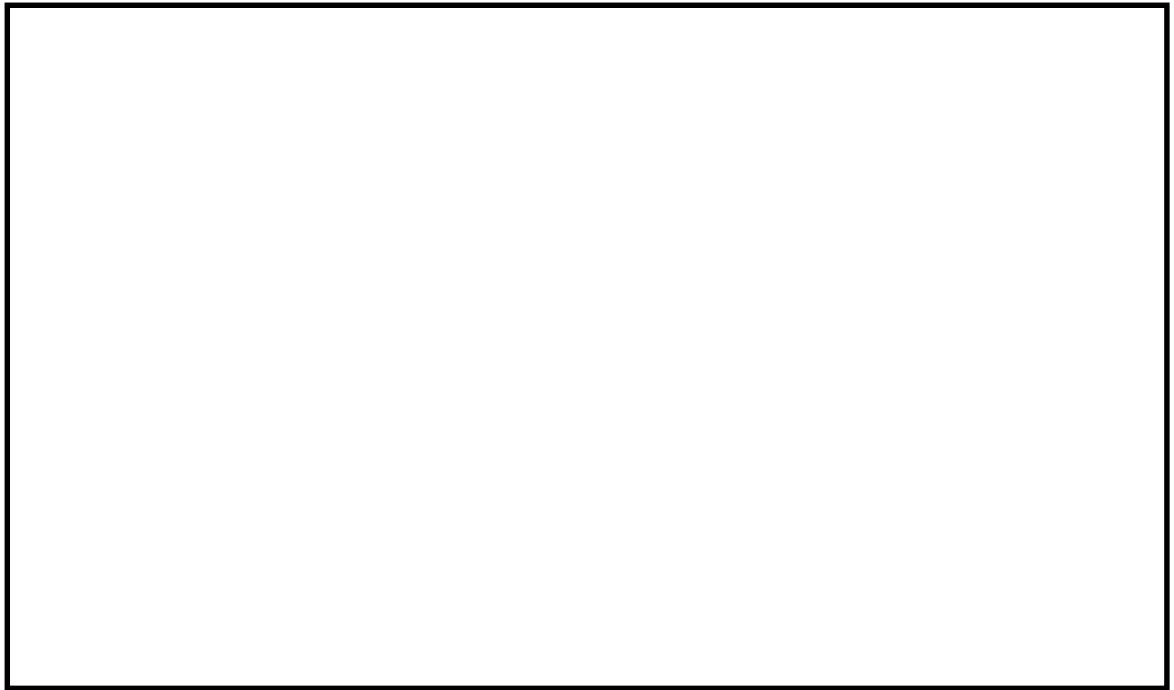


図 2-6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

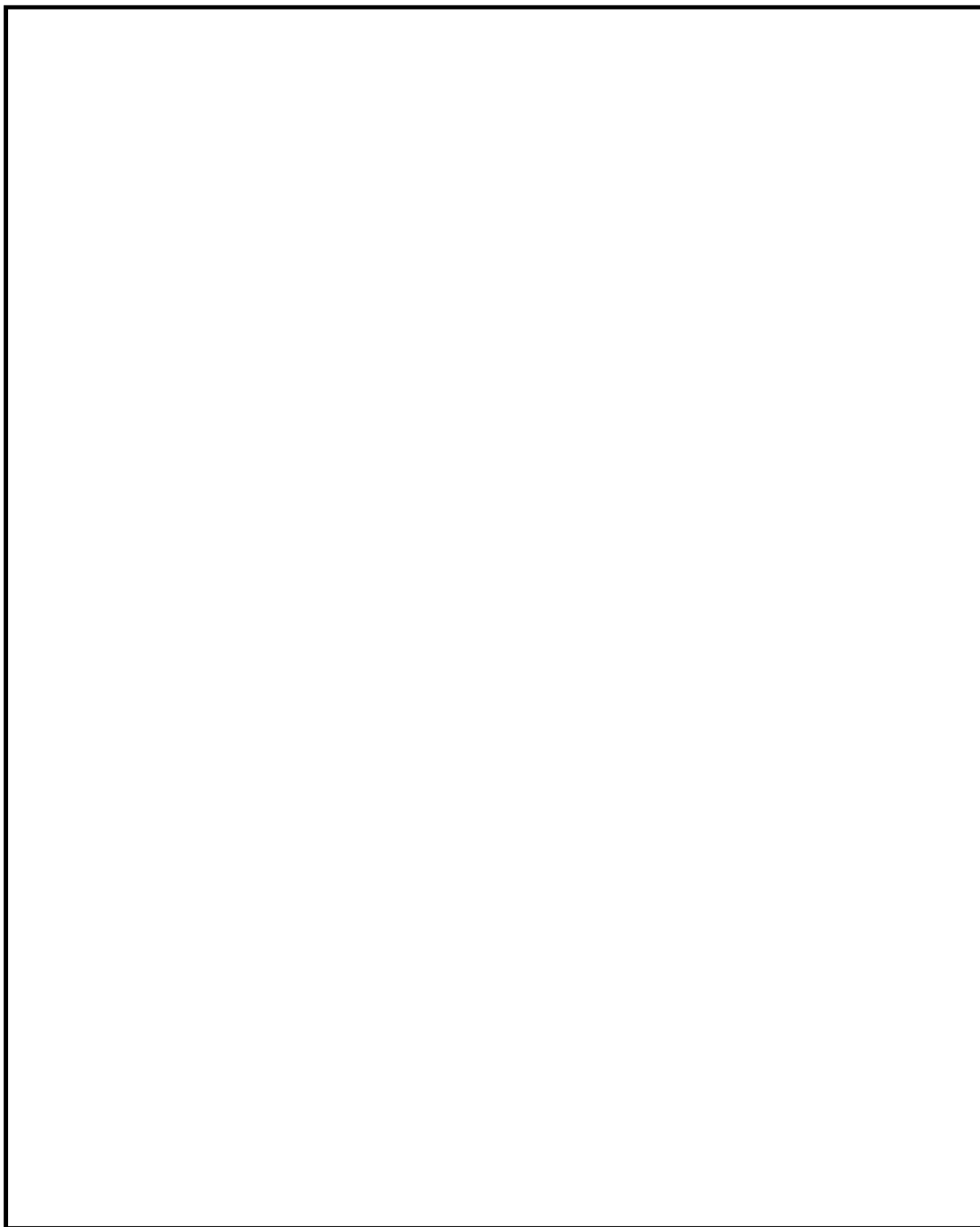


図 2-7 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図



図2-8 軽油貯蔵タンクタンク室の概略平面図

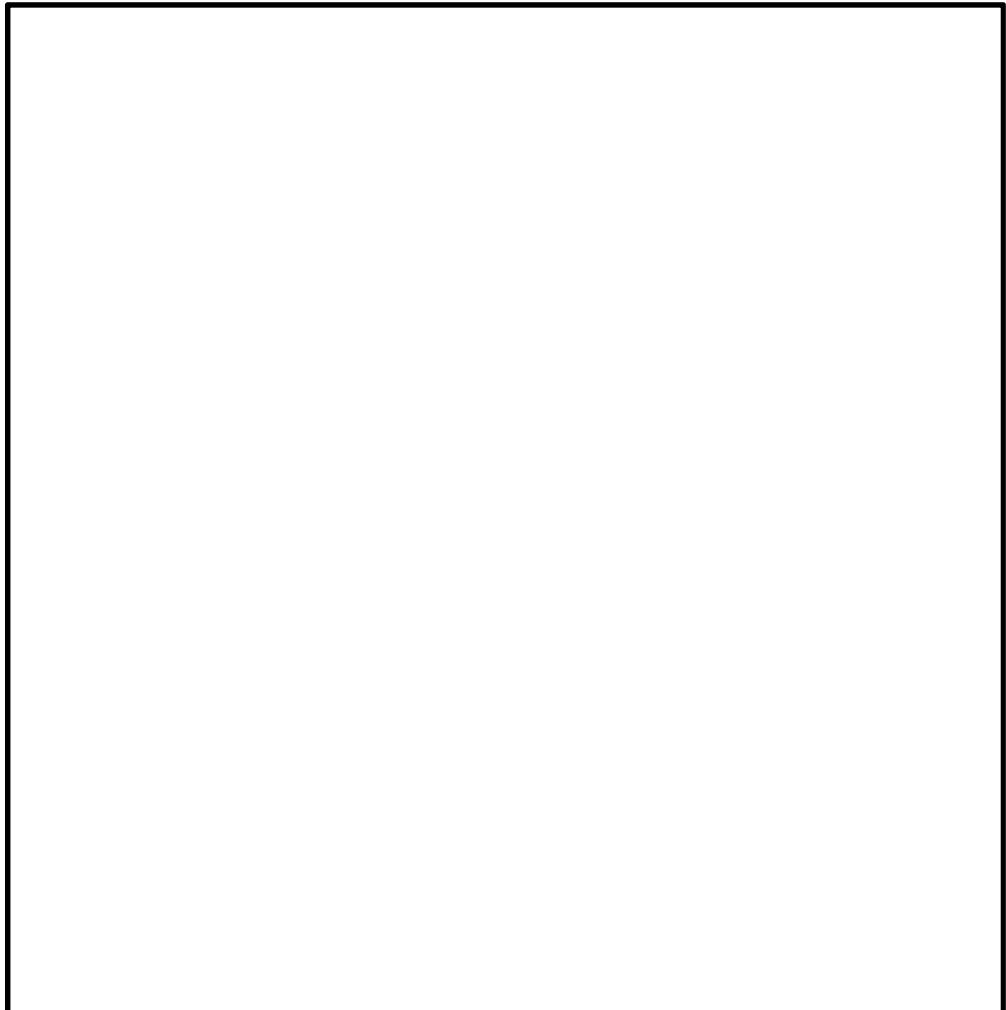


図2-9 軽油貯蔵タンクタンク室の概略断面図

2.3 評価方針

建屋及び構造物の強度評価は、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「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「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。

建屋及び構造物の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材に対する「衝突評価」を行う。また飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突・接触する波及的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響並びに建屋及び構造物の外殻を構成する部材の転倒・脱落の影響に対する「構造強度評価」を行う。

2.3.1 衝突評価

飛来物が建屋及び構造物の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、飛来物による衝撃荷重に対し、防護すべき施設の外殻を構成する部材が設計飛来物の貫通を生じないことを計算若しくは解析により確認する。（以下「貫通評価」という。）

具体的には、建屋の外壁、防護すべき施設の外殻となる建屋内の部位、開口部建具及び構造物の地上露出部が、設計飛来物の貫通を生じない厚さを有していることを、計算により確認する。貫通を生じない厚さを有していることの確認が出来ない場合においては、これらに終局状態に至るようなひずみを生じないことを、解析により確認する。

2.3.2 構造強度評価

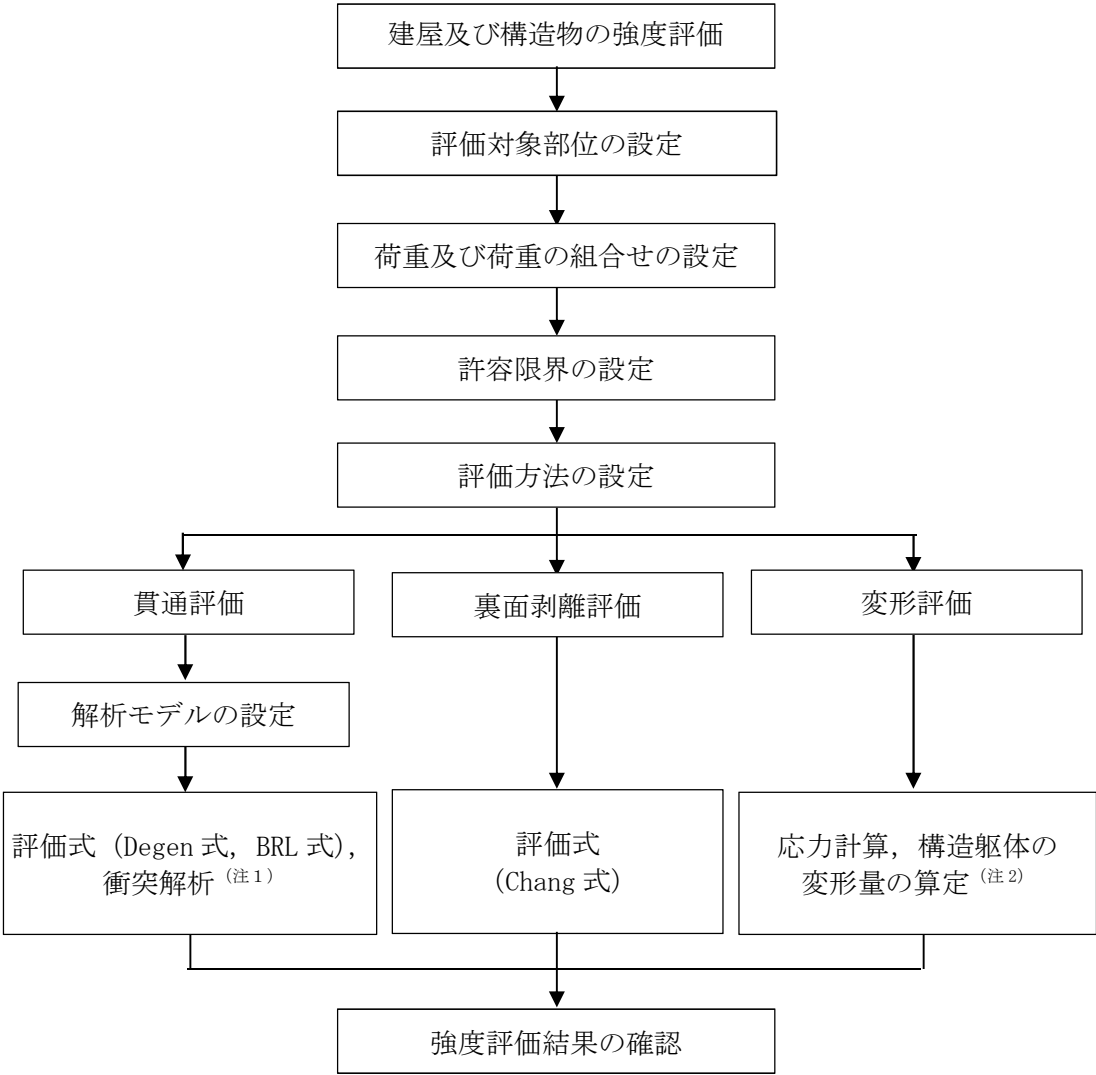
飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、防護すべき施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、これらについて、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じないことを計算により確認する。（以下「裏面剥離評価」という。）

具体的には、防護すべき施設の外殻を構成する建屋及び構造物の鉄筋コンクリート部位が、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない厚さを有していることを計算により確認する。

裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない厚さを有してい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。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、建屋及び構造物の外殻を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とするために、設計荷重に対し、屋根スラブ、屋根スラブのスタッドボルト、扉支持部材、鋼製蓋の支持部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。（以下「変形評価」という。）

建屋及び構造物の設計荷重作用時の強度評価フローを図2-10に示す。



(注 1) 3 次元 F E Mモデル化し評価を実施する。

(注 2) 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図2-10 強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・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）
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs
(Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P(NEI07-13))（以下「NEI07-13」という。）
- ・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）
- ・ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）
- ・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）（以下「RC規準」という。）
- ・「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
- ・日本工業規格（J I S）
- ・「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010改定）（以下「各種合成指針」という。）
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能（（社）日本建築学会，1990改定）

V-3-別添 1-1-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書

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	3

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吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ（以下「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、フィルタの機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

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、ディーゼル発電機吸気フィルタの「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

ディーゼル発電機吸気フィルタは、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、ディーゼル発電機室屋上面に設置する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの位置図を図2-1に示す。

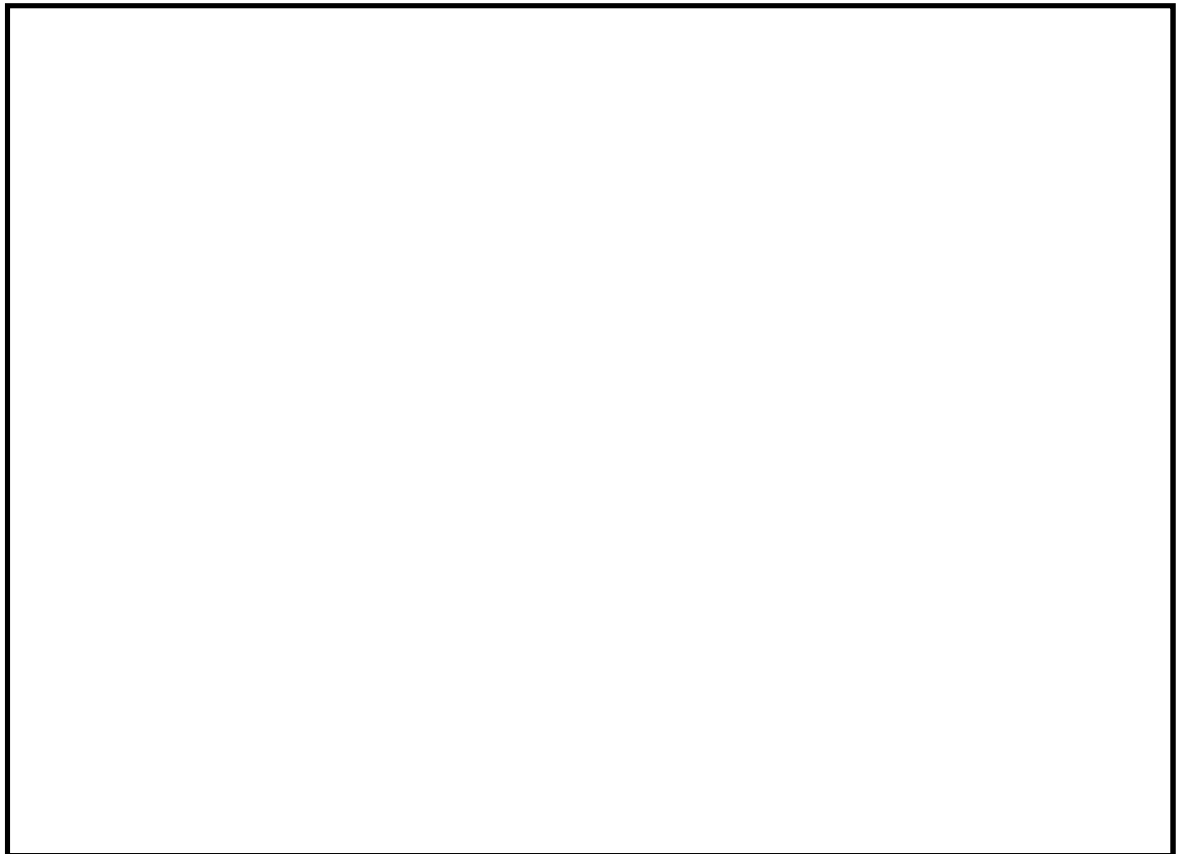


図 2-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機吸気フィルタについて、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、ディーゼル発電機吸気フィルタの構造を示す。

ディーゼル発電機吸気フィルタは、ディーゼル発電機1基につき2台設置しており、計6台の同一構造の吸気フィルタを設置している。

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造は4脚たて置円筒型容器構造であり、支持脚は基礎部に溶接により固定している。

ディーゼル発電機吸気フィルタの概要図を図2-2に示す。

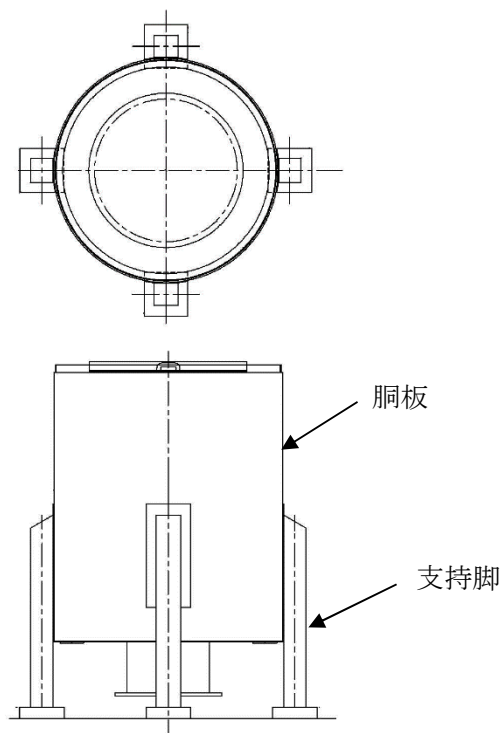


図2-2 ディーゼル発電機吸気フィルタ概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価は、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、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界を踏まえ、ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機吸気フィルタに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、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」に示すディーゼル発電機吸気フィルタの評価式を用いる。ディーゼル発電機吸気フィルタの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、「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。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

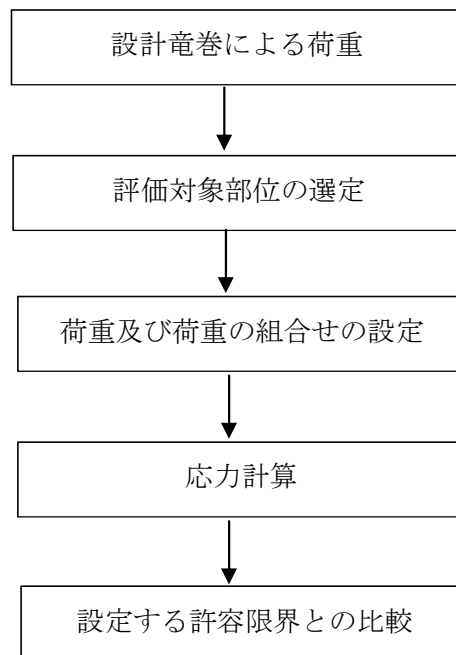


図2-3 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。））

V-3-別添 1-1-3 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 2

 2.4 適用規格 4

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。

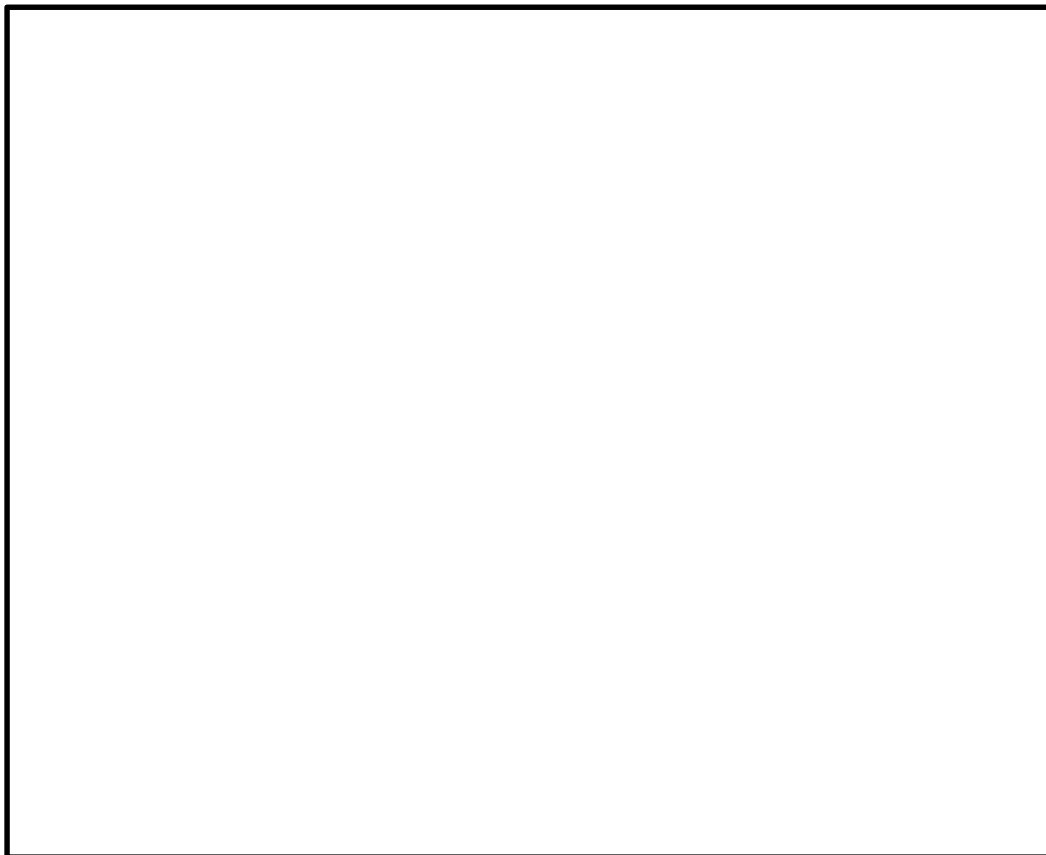


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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。

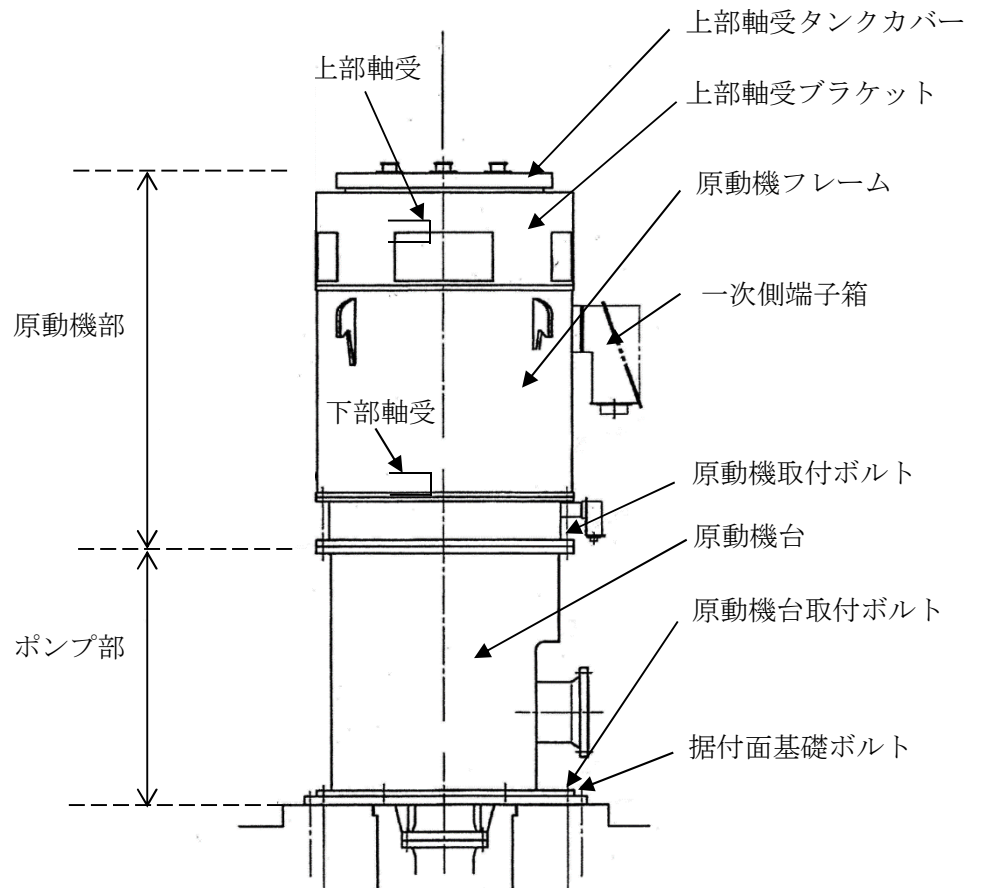


図2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

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) 構造強度評価の評価方針

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-3に示す。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、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。

残留熱除去系海水系ポンプの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_ASとする。

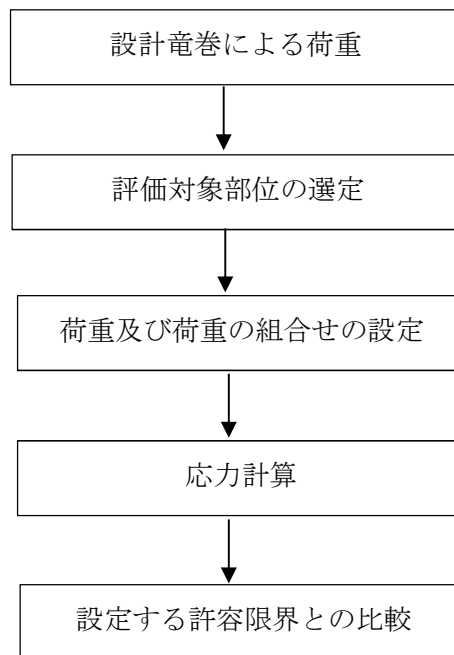


図2-3 構造強度評価フロー

(2) 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2-4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、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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。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。

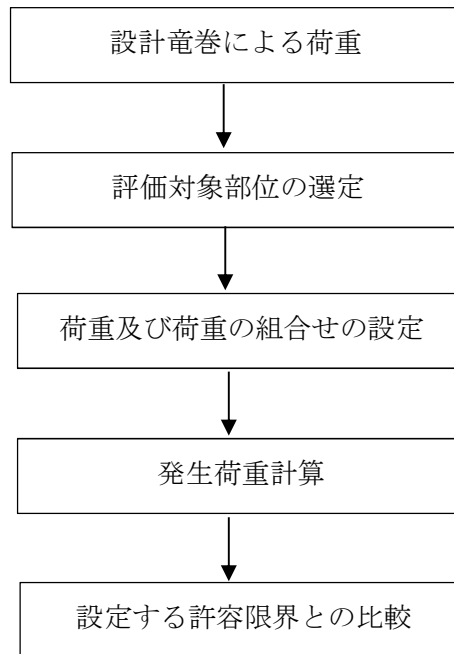


図2-4 動的機能維持評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。）

V-3-別添 1-1-4 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	3

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。

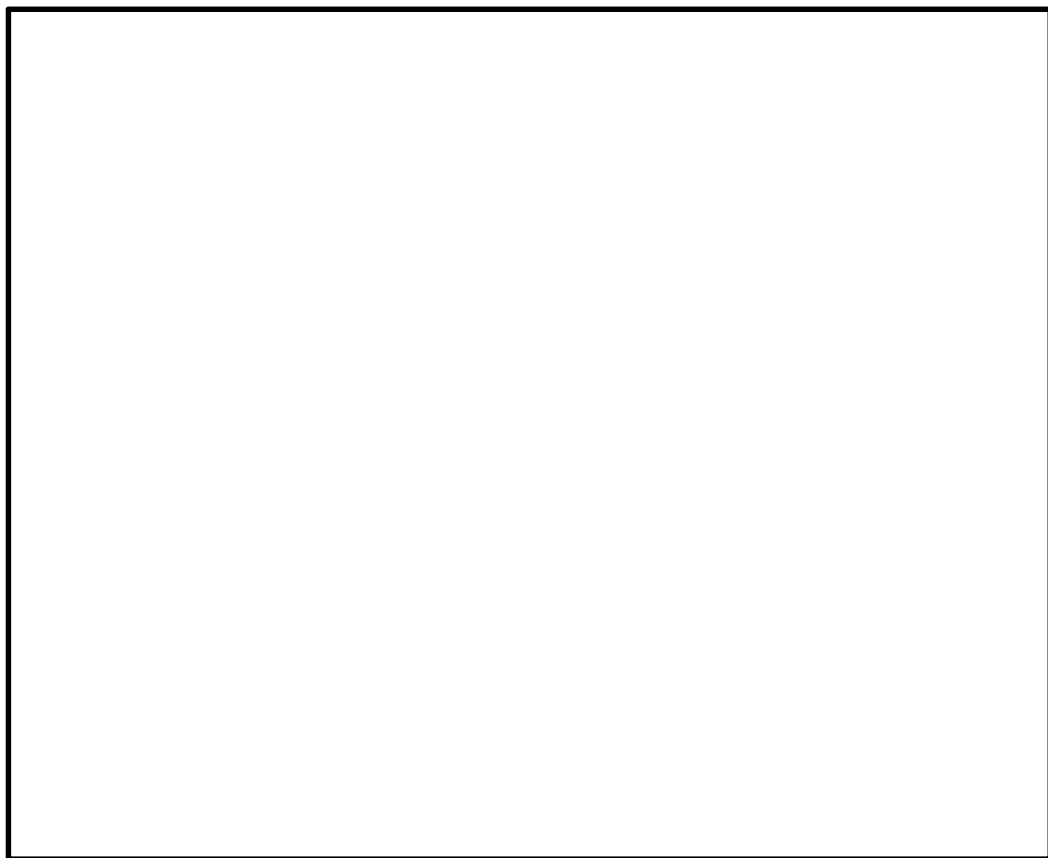


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

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、同一設計のディーゼル発電機用海水ポンプを3台設置している。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。

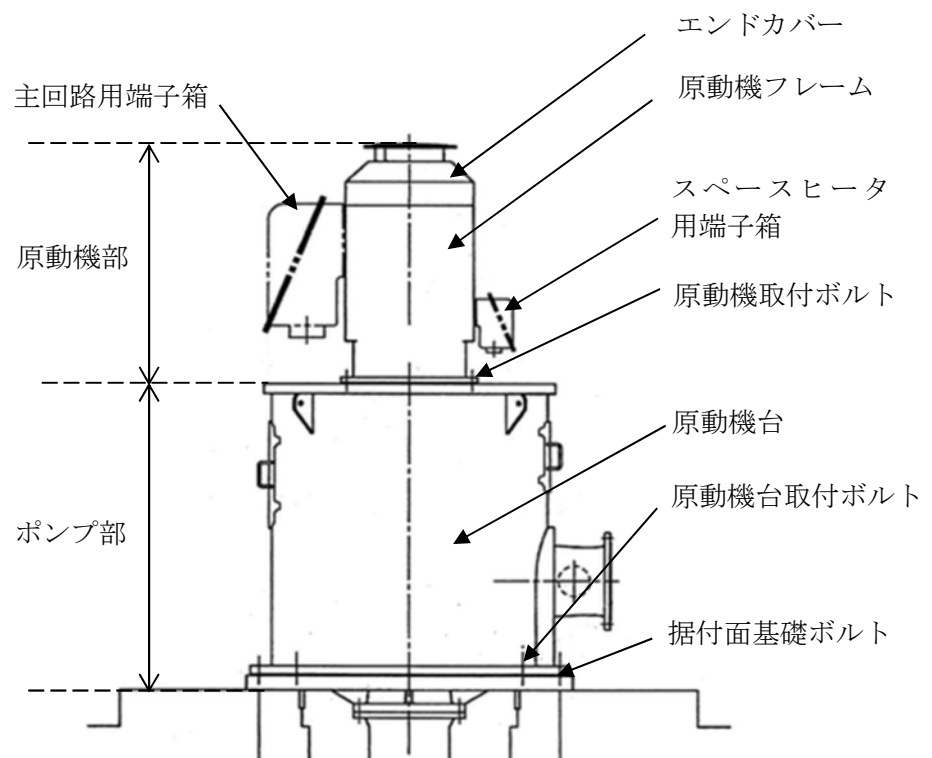


図2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

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) 強度評価の評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-3に示す。強度評価においては、ディーゼル発電機用海水ポンプに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷

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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。

ディーゼル発電機用海水ポンプの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_ASとする。

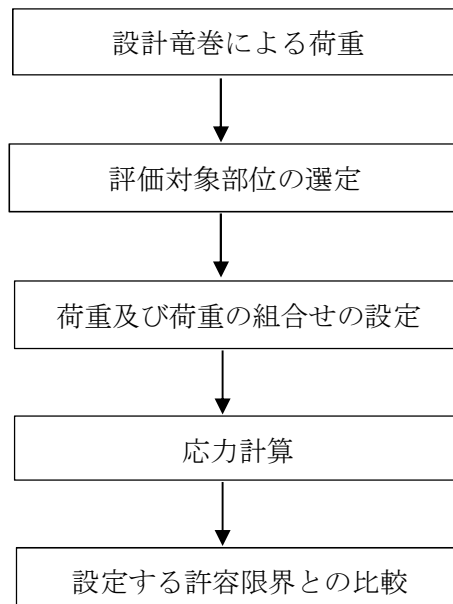


図2-3 強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。））

V-3-別添 1-1-5 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要..... 1

2. 基本方針..... 1

 2.1 位置..... 1

 2.2 構造概要..... 2

 2.3 評価方針..... 2

 2.4 適用規格..... 2

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ストレーナが竜巻時及び竜巻通過後においても、海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有す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ストレーナについて、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ストレーナの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

残留熱除去系海水系ストレーナは、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ストレーナの構造について、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て設定する。

残留熱除去系海水系ストレーナは、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置き円筒形容器であり、同一設計の残留熱除去系海水系ストレーナを2台設置している。

残留熱除去系海水系ストレーナの概要図を図2-2に示す。

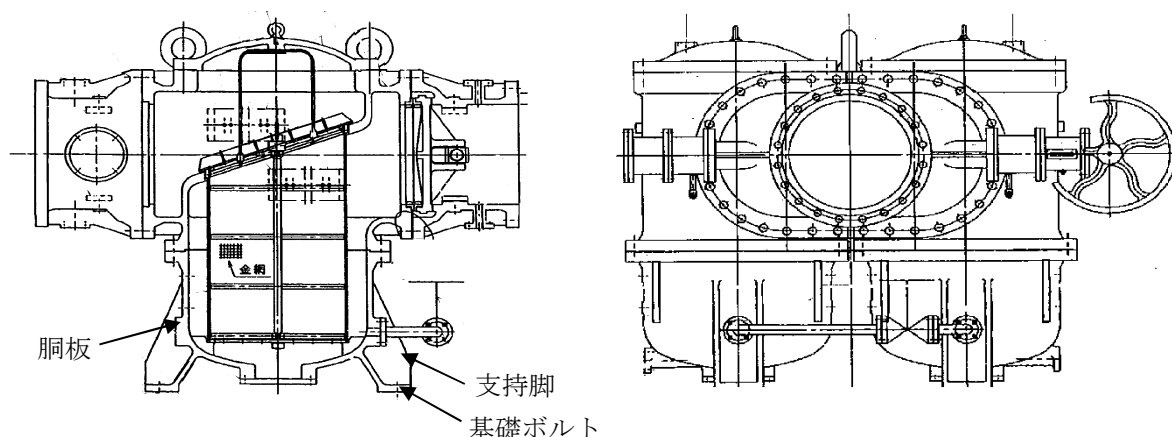


図2-2 残留熱除去系海水系ストレーナ概要図

2.3 評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価は、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て、残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フローを図2-3に示す。残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価においては、残留熱除去系海水系ストレーナに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（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」に示すたて置き円筒形容器の評価式を用いる。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、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_ASとする。

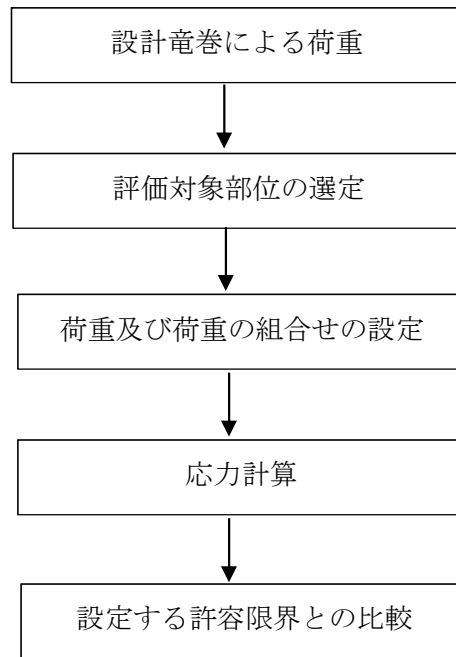


図2-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。）

V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要..... 1

2. 基本方針..... 1

 2.1 位置..... 1

 2.2 構造概要..... 2

 2.3 評価方針..... 2

 2.4 適用規格..... 3

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。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、海水中の固形物を除去する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有す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ストレーナについて、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ストレーナの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、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。

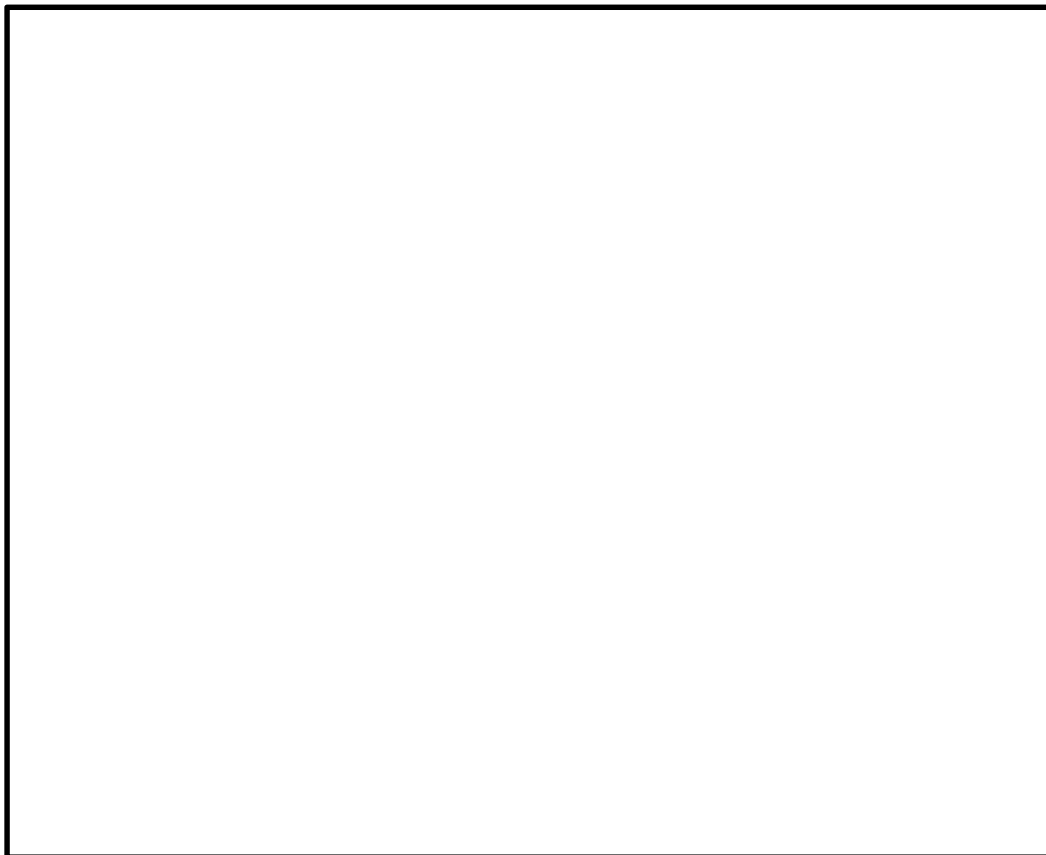


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造について、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て設定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置き円筒型容器であり、同一設計のディーゼル発電機用海水ストレーナを3台設置している。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図を図2-2に示す。

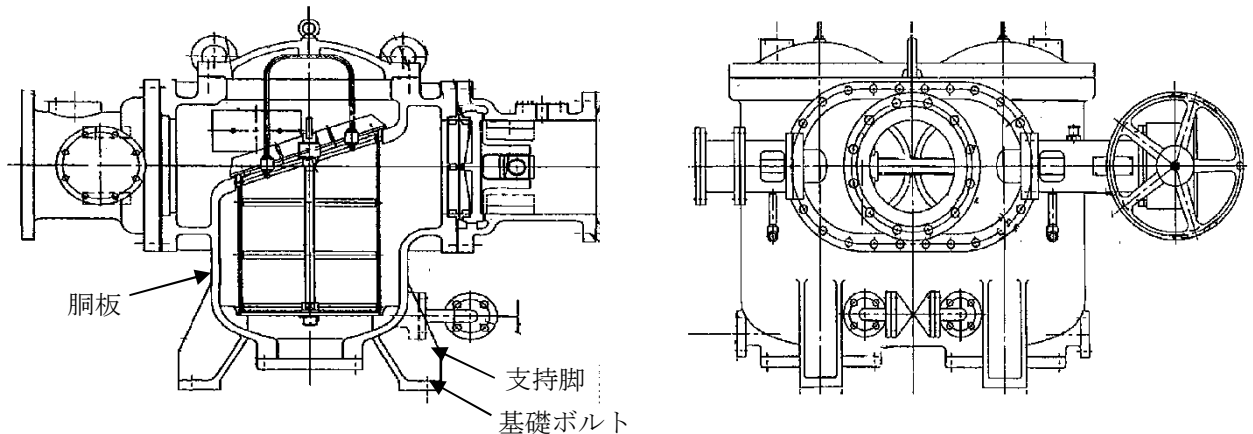


図2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナ概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価は、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て、ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価においては、ディーゼル発電機用海水ストレーナに対して、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「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」に示すたて置き円筒形容器の評価式を用いる。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、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_ASとする。

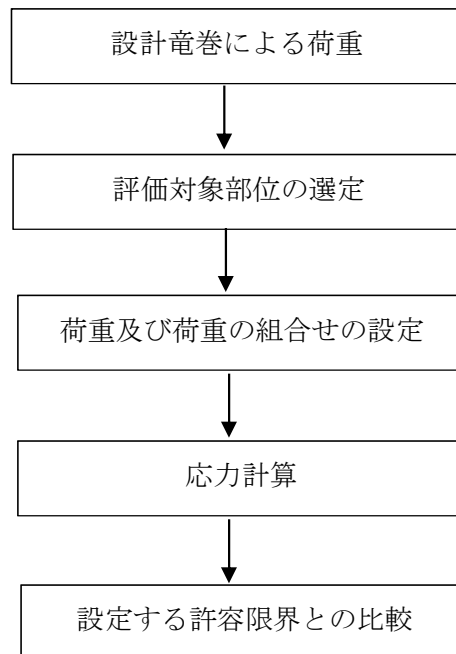


図2-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。）

V-3-別添 1-1-7 排気筒の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	5

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、排気筒が竜巻時及び竜巻通過後においても、排気筒の機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

排気筒について、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、排気筒の「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

排気筒は、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、屋外に設置する。

排気筒の位置図を図2-1に示す。

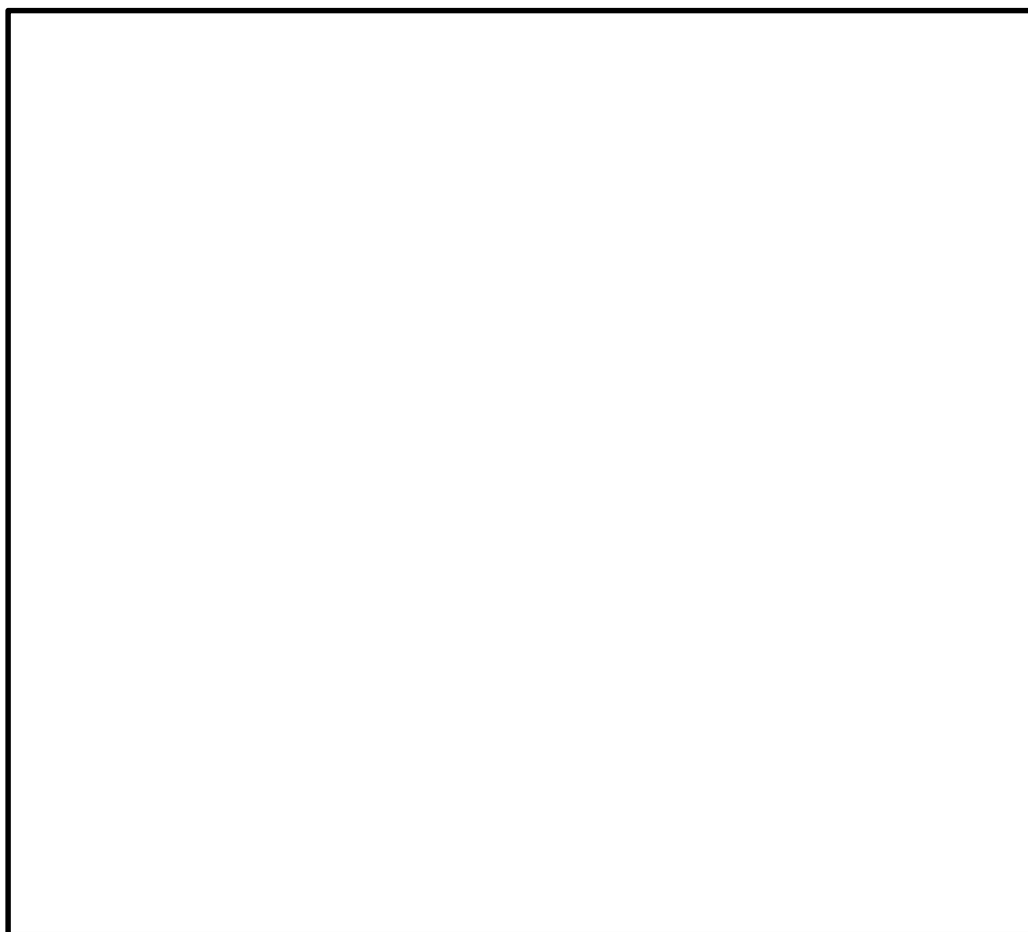


図 2-1 排気筒の位置図

2.2 構造概要

排気筒は、鉄塔支持型の鋼製排気筒である。中央の内径4.5 m、高さ140 mの筒身にかかる水平力を周囲の根開き28 m、高さ104.205 m (EL. 112.205 m) の鋼管トラスの4脚鉄塔を補強して支える構造である。補強部分は高さ117.543 m (EL. 125.543 m) まで主柱を伸ばすとともに、高さ104.205 m (EL. 112.205 m) 以下において8脚増やす。筒身と鉄塔は、図2-2に示す6ヶ所で接続され、制振サポート（以下「オイルダンパ」という。）と弾塑性ダンパで接合した制震構造である。筒身の下端は固定である。

以下に、構造概要を示す。

構造概要

・ 構造形式	4脚鉄塔支持型
・ 筒身高さ	EL. 148.000 m
・ 鉄塔高さ	EL. 125.543 m
・ 筒身径	4.500 mφ（内径）
・ 鉄塔開き	頂部開き 10.387 m 基部開き 28.000 m
・ 支持点位置	EL. 125.543 m, EL. 112.205 m, EL. 95.432 m, EL. 75.444 m, EL. 52.618 m, EL. 26.257 m
・ 接続方法	オイルダンパ（EL. 125.543 m, EL. 112.205 m）, 弾塑性ダンパ（EL. 95.432 m, EL. 75.444 m, EL. 52.618 m）, 高力ボルト接合（EL. 26.257 m）
・ 基礎	鉄筋コンクリート造

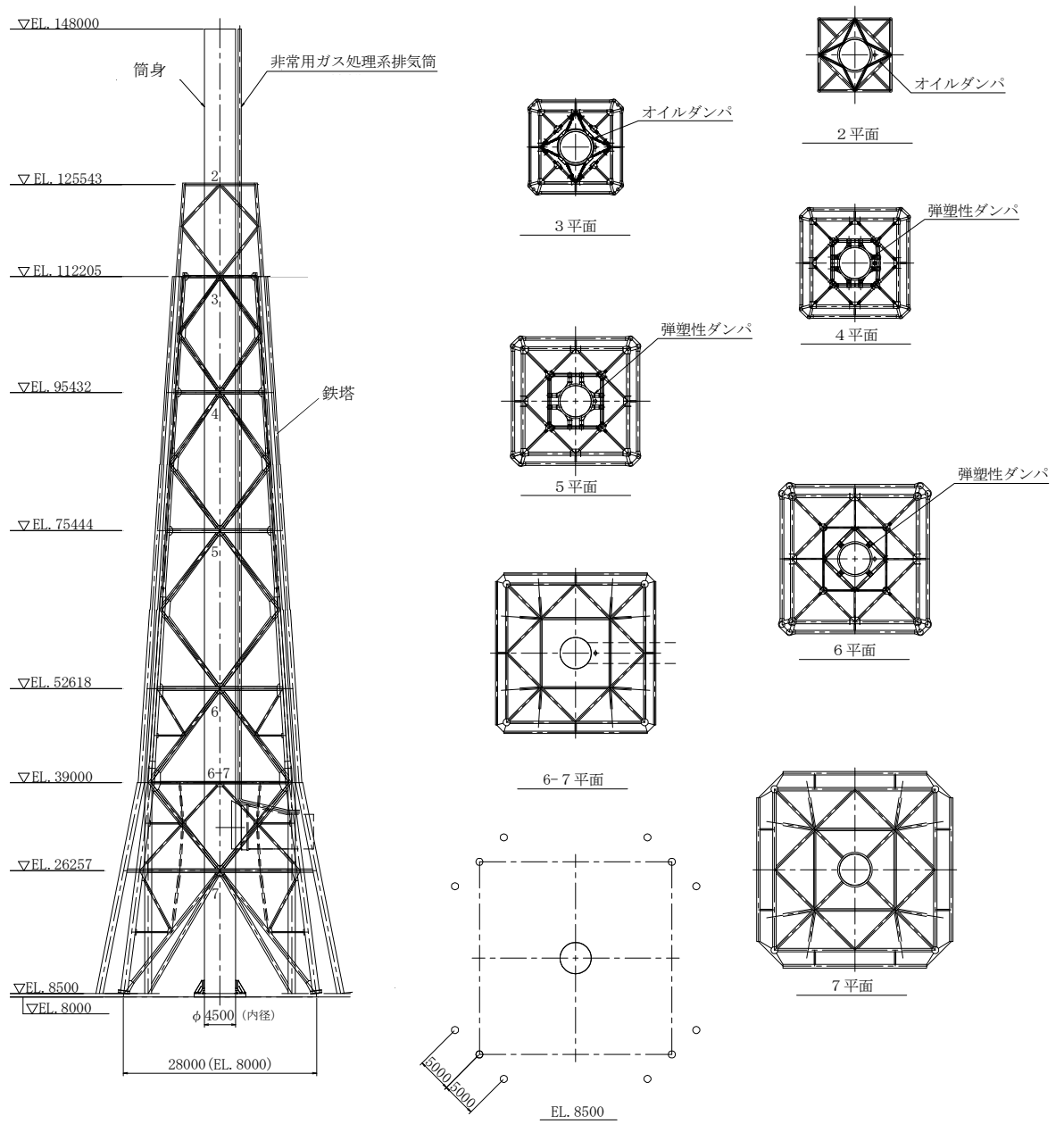


図 2-1 排気筒概要図 (単位 : mm)

2.3 評価方針

排気筒の強度評価は、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、排気筒の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（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) 強度評価方針

排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フローを図 2-3 に示す。強度評価においては、排気筒の構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重に自重を加えた荷重が排気筒に作用した場合に、排気筒の各評価対象部位に作用する荷重、応力等を、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」に示す応力解析による最大部材応力に対して、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「4.2 許容限界」に示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

なお、設計竜巻の風圧力の荷重により評価することを基本とするが、評価対象部位において、耐震評価の結果と設計竜巻の風圧力による荷重を比較できるものは、設計竜巻の風圧力による荷重が耐震評価の結果より小さいことより、許容限界以下であることを確認する。また、設計竜巻による飛来物の衝突は、排気筒の鉄塔部材を損傷させるものとして考慮し、強度評価においては、飛来物の衝突による衝撃荷重は考慮しないこととする。

排気筒の筒身及び鉄塔の許容限界は、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」に示す許容限界である材料強度より算出した弾性限耐力とする。

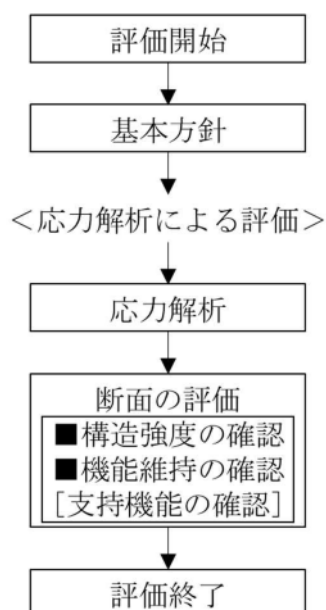


図 2-2 排気筒の筒身及び鉄塔の強度評価フロー

2.4 適用規格

排気筒の筒身及び鉄塔の評価において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005）
- ・ 容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1999）
- ・ 煙突構造設計施工指針（（一財）日本建築センター，1982）
- ・ 塔状鋼構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，1980）
- ・ 煙突構造設計指針（（社）日本建築学会，2007）
- ・ 日本工業規格（J I S）

V-3-別添 1-1-8 配管及び弁の強度計算書

目次

1. 概要 1

2. 基本方針 1

2.1 位置 1

2.2 構造概要 2

2.3 評価方針 2

2.4 適用規格 3

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、屋外に設置してい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。）周り並びに非常用ガス処理系排気配管の配管及び弁が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管及び弁の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

配管及び弁について、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、配管及び弁の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

屋外に設置している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配管の配管及び弁は、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、図2-1に示す位置に設置する。



図 2-1 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、非常用ガス処理系排気配管の配管及び弁の位置図

2.2 構造概要

配管及び弁について、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、配管及び弁の構造を示す。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造となる。配管及び弁の概要図を図2-2に示す。

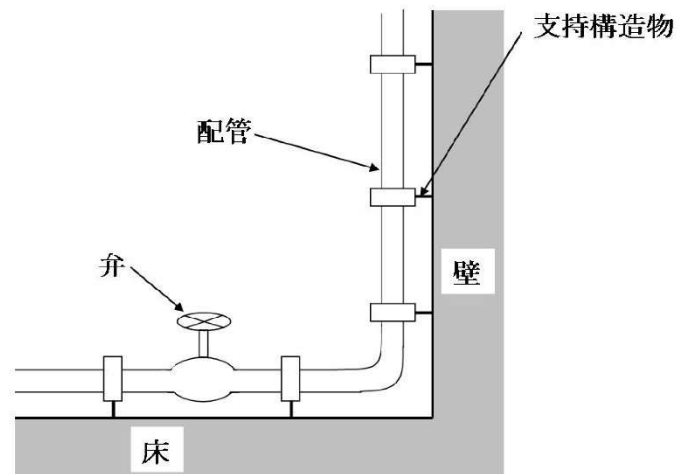


図2-2 配管及び弁の概要図

2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は、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、配管及び弁の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

配管及び弁の強度評価フローを図2-3に示す。配管及び弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

強度評価において、配管及び弁に対し、設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、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」に示す配管及び弁の評価式を用いる。配管及び弁の許容限界は、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」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（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。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

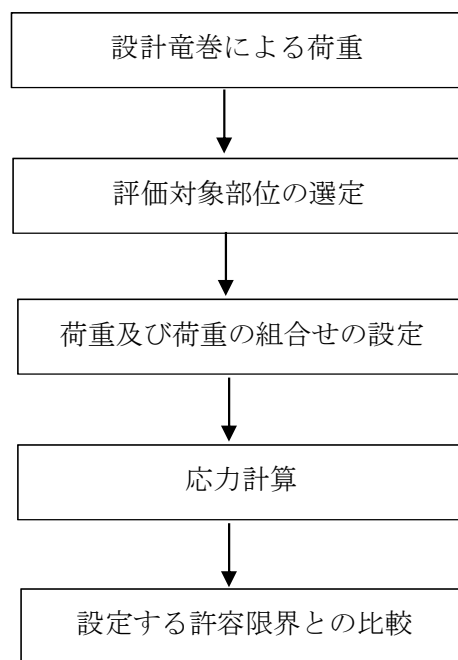


図2-3 配管及び弁の強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。）

V-3-別添 1-1-9 換気空調設備の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	8

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、角ダクト、丸ダクト、換気空調設備の隔離弁（以下「隔離弁」という。）、ファン及び冷凍機が竜巻時及び竜巻通過後においても、その施設の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の構造について、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、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機は、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、十分な強度を有する原子炉建屋内又はディーゼル発電機室屋上に設置する。

2.2 構造概要

換気空調設備の構造について、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、換気空調設備の構造を示す。

(1) 角ダクト及び丸ダクトの構造概要

角ダクトは、鋼板により構成される四角形断面のダクトであり、支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

丸ダクトは、鋼板により構成される円筒形のダクトであり、支持構造物にダクト鋼板面を接触させて支持する。

角ダクトの概要図を図 2-1 に、丸ダクトの概要図を図 2-2 に示す。

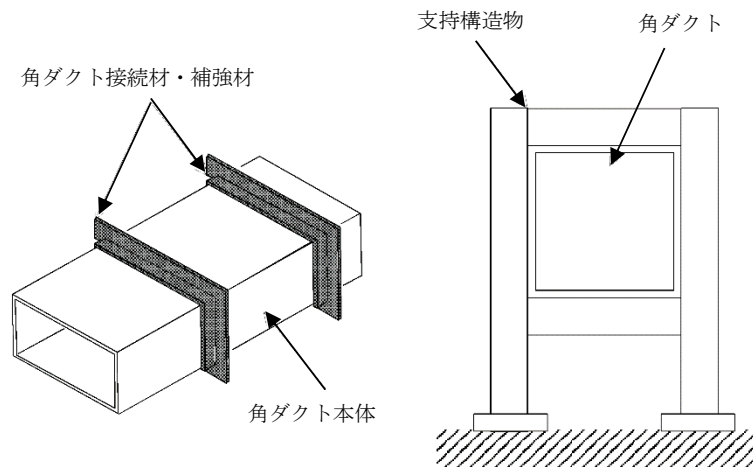


図 2-1 角ダクトの概要図

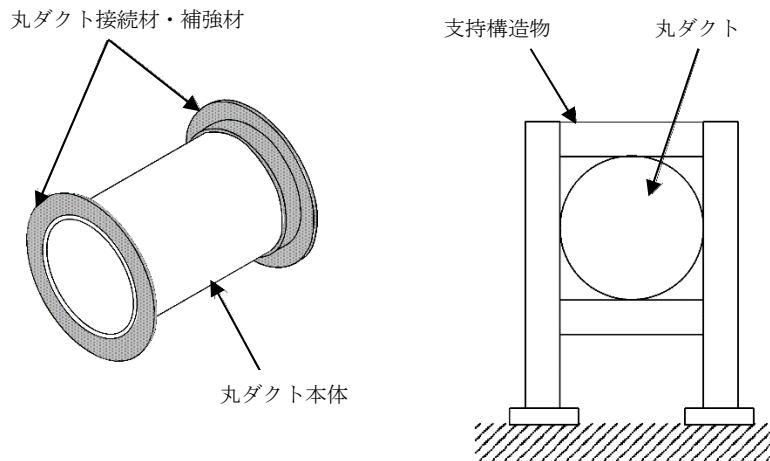


図 2-2 丸ダクトの概要図

(2) 隔離弁の構造概要

隔離弁は弁箱内部の弁体が弁棒を軸として回転することにより、開閉動作を行う弁である。隔離弁の概要図を図 2-3 に示す。

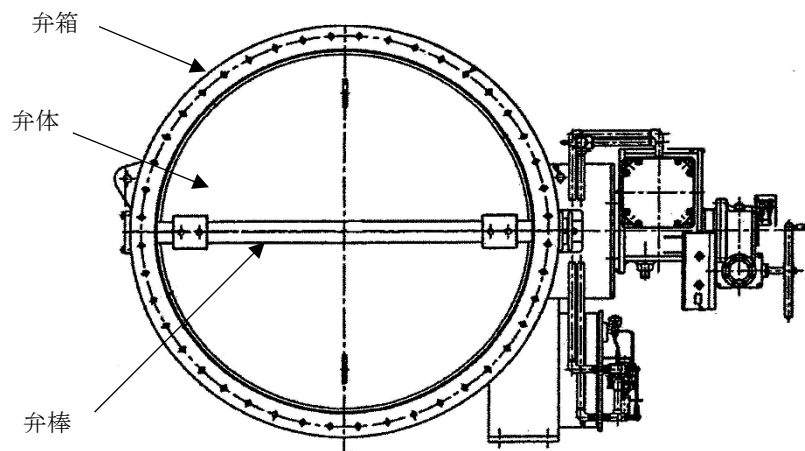


図 2-3 隔離弁の概要図

(3) ファンの構造概要

ファンは流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成する。

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。）は屋外に設置している。

ファンの概要図を図 2-4 に示す。

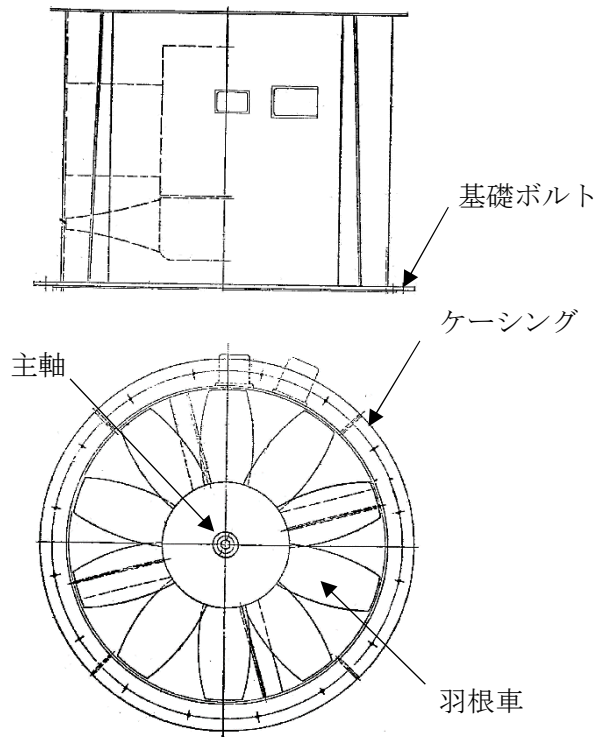


図 2-4 ファンの概要図（ディーゼル発電機室ルーフベントファン）

(4) 冷凍機の構造概要

中央制御室換気系冷凍機は、空気を冷却する熱交換器、圧縮機及び送風機をケーシングで覆ったユニット形式であり、屋外に設置している。

中央制御室換気系冷凍機の概要図を図 2-5 に示す。

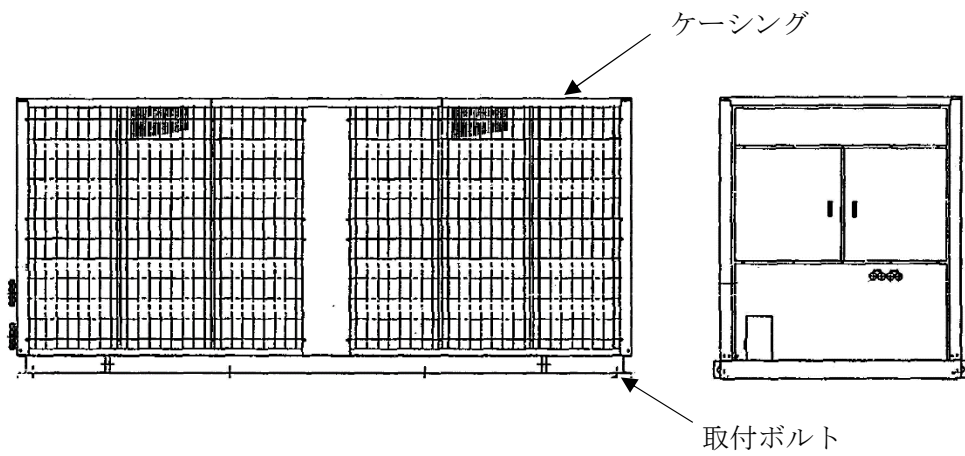


図 2-5 冷凍機の概要図（中央制御室換気系冷凍機）

2.3 評価方針

換気空調設備の強度評価は、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、角ダクト、丸ダクト、隔離弁、ファン及び冷凍機の各評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

(1) 角ダクト及び丸ダクトの評価方針

角ダクト及び丸ダクトの強度評価フローを図 2-6 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する、外気と繋がっている換気空調設備のうち、角ダクト及び丸ダクトの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

角ダクトの強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）による応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、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」に示す角ダクトの評価式を用いる。

角ダクトの許容限界は、妥当な安全裕度を考慮して、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_ASとする。ただし、座屈に対しては評価式を満足することを確認する。

丸ダクトの強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重とみなし、自重との組合せを考慮して、外圧により生じる周方向応力が許容応力以下であること及び長期荷重（自重）＋短期荷重（設計竜巻による内外差圧）により生じる応力が評価式を満足していることを確認する。強度評価では、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」に示す丸ダクトの評価式を用いる。

丸ダクトの許容限界は、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」に示す許容限界である、クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

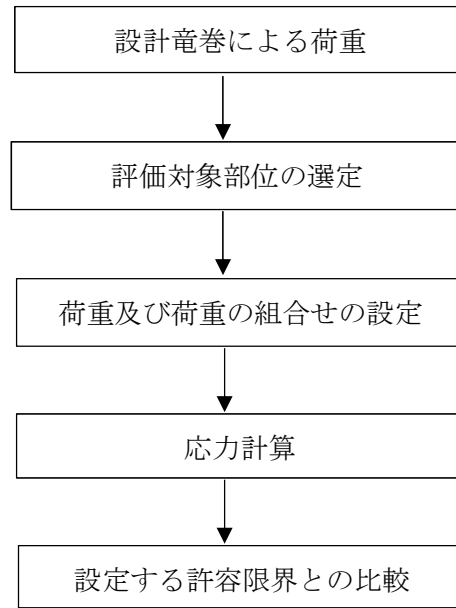


図 2-6 角ダクト及び丸ダクトの強度評価フロー

(2) 隔離弁の評価方針

隔離弁の強度評価フローを図 2-7 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置する、外気と繋がっている換気空調設備のうち、隔離弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

強度評価においては、設計竜巻の気圧差が隔離弁の呼び圧力以下であることを確認する。強度評価では、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」に示す隔離弁の評価方法を用いる。

隔離弁の許容限界は、竜巻時において開閉可能な機能及び閉止性は、換気空調を行う機能の維持に影響しないため、竜巻通過後において評価対象部位が概ね弾性域に収まることで開閉可能な機能及び閉止性が維持されることから、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、弁の呼び圧力とする。

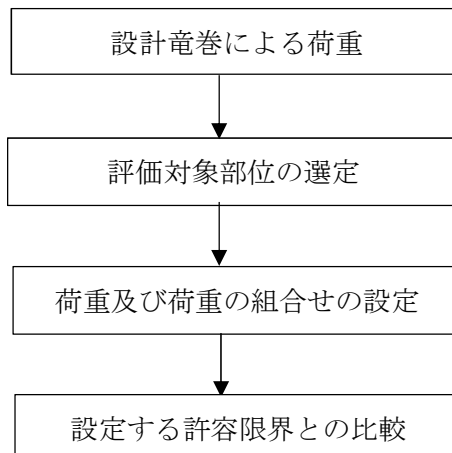


図 2-7 隔離弁の強度評価フロー

(3) ファンの評価方針

ファンの強度評価フローを図 2-8 に示す。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価においては、ディーゼル発電機室ルーフベントファンに対して、設計竜巻の風圧力によ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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（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」に示すファンの評価式を用いる。

ディーゼル発電機室ルーフベントファンの許容限界は、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_ASとする。

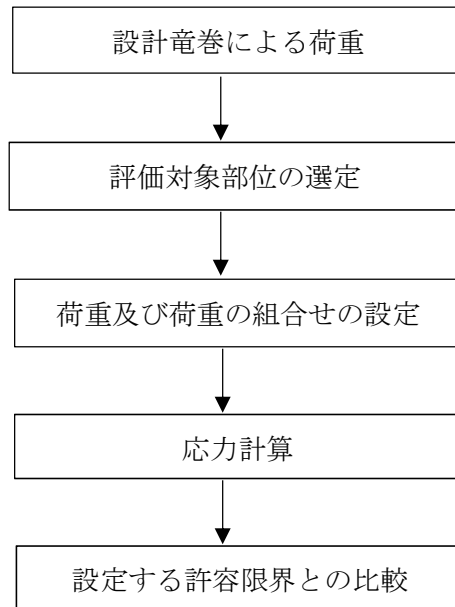


図 2-8 ファンの強度評価フロー

(4) 冷凍機の評価方針

冷凍機の強度評価フローを図 2-9 に示す。

中央制御室換気系冷凍機の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価においては、中央制御室換気系冷凍機に対して、設計竜巻の風圧力によ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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものと考え、「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」に示す冷凍機の評価式を用いる。

中央制御室換気系冷凍機の許容限界は、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_ASとする。

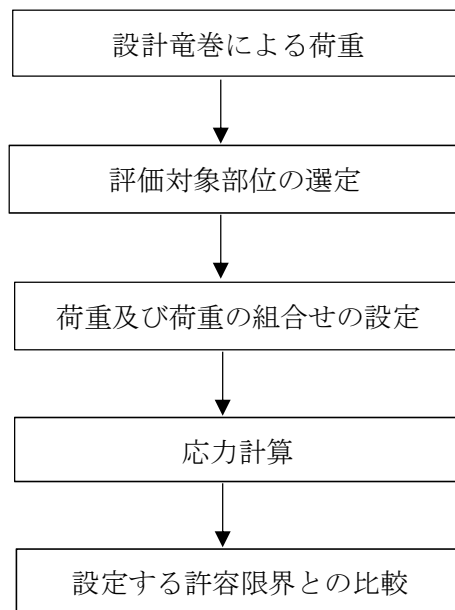


図 2-9 冷凍機の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」
(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。)
- ・日本工業規格 (J I S)

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 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

目次

- 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 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

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	4
2.4 適用規格	6

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、波及的影響を及ぼす可能性がある施設であるサービス建屋及び鋼製防護壁が、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物（以下「飛来物」という。）による衝撃荷重並びにその他の荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋、タービン建屋及び防護対象施設である残留熱除去系海水系ポンプ等を設置している海水ポンプ室に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2. 基本方針

建屋及び構造物について、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、サービス建屋及び鋼製防護壁の「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

サービス建屋は、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」に示す配置のとおり、原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する建屋である。

鋼製防護壁は、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」に示す配置のとおり、海水ポンプ室に隣接する構造物である。

建屋及び構造物の配置図を図2-1に示す。



図 2-1 サービス建屋及び鋼製防護壁の配置図

2.2 構造概要

(1) サービス建屋

サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋は，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」に示す構造計画とする。

サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋は，鉄筋コンクリート造の躯体で構成する。

サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋の平面配置図及びサービス建屋の断面図を図2-2～図2-4に示す。



図2-2 サービス建屋，原子炉建屋及びタービン建屋平面配置図



図2-3 サービス建屋断面図（東西方向）



図2-4 サービス建屋断面図（南北方向）

(2) 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、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」に示す構造計画とする。

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鋼製され、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。鋼製防護壁の平面配置図及び概略図を図 2-5、図 2-6 に示す。



図 2-5 鋼製防護壁の平面配置図

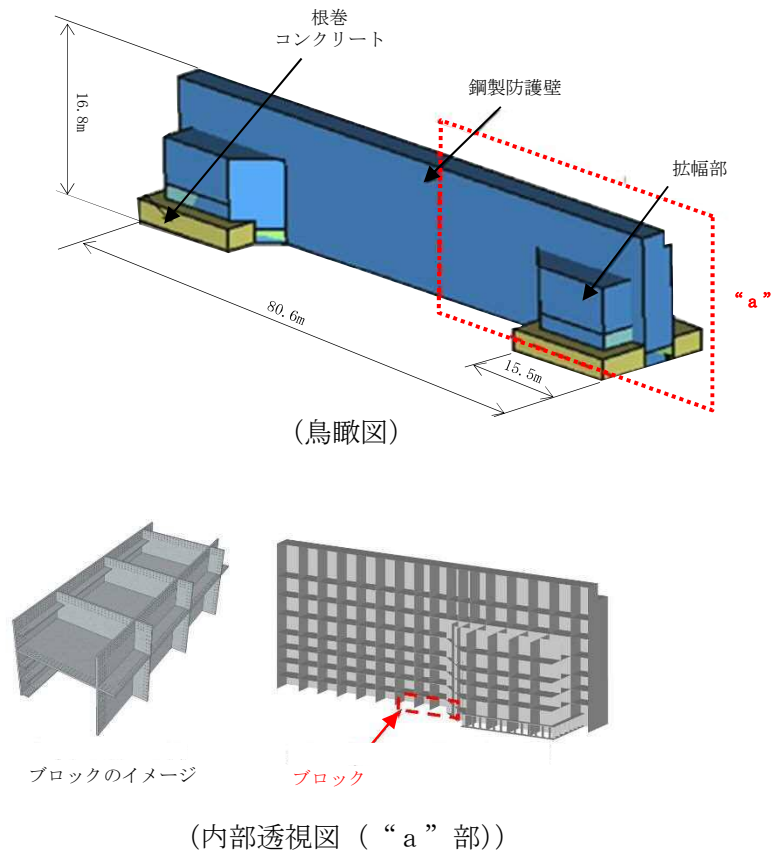


図 2-6 鋼製防護壁概略図

2.3 評価方針

(1) サービス建屋

サービス建屋の強度評価は、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、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

サービス建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、サービス建屋が隣接する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との接触によって影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

サービス建屋の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については、設計荷重に対し、原子炉建屋及びタービン建屋との相対変位を計算及び解析により算出し、接触する変形を生じないことを確認する。

サービス建屋の設計荷重作用時の波及的影響評価フローを図2-7に示す。

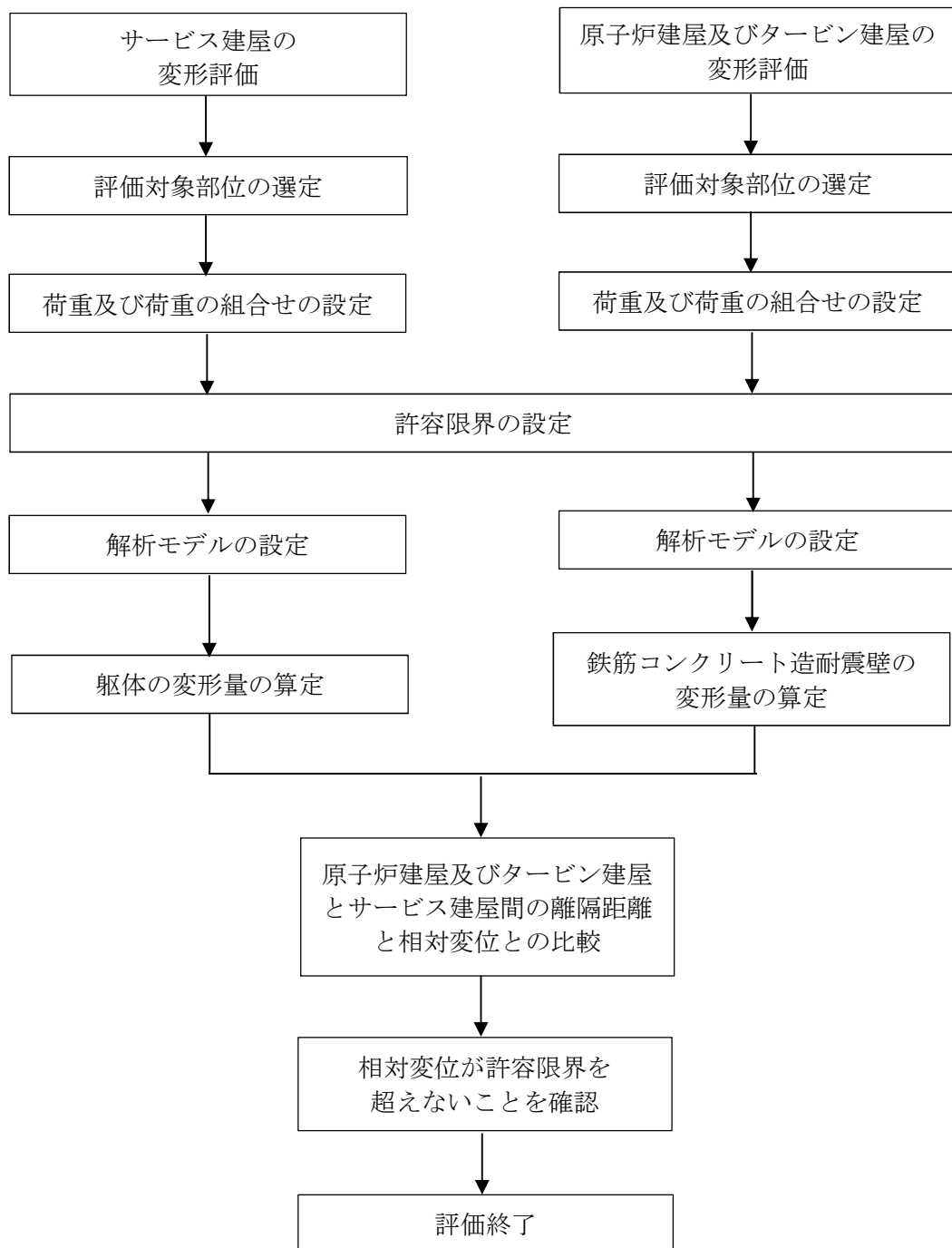


図2-7 サービス建屋の波及的影響評価フロー

(2) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の強度評価は、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、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5.

強度評価結果」にて確認する。

鋼製防護壁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、鋼製防護壁が隣接する海水ポンプ室内の竜巻より防護すべき施設に影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

鋼製防護壁の構造強度評価については、設計荷重に対し、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、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「5.1.2 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荷重が、津波による荷重に包絡されることを確認する。

2.4 適用規格

- ・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）
- ・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）
- ・「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）
- ・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）
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計と保有水平耐力－（（社）日本建築学会 2001 年改定）
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能（（社）日本建築学会，1990 改定）

V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4

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。）が竜巻時及び竜巻通過後においても、消音器の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

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、ディーゼル発電機排気消音器の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機排気消音器は、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、図2-1に示す位置に設置する。

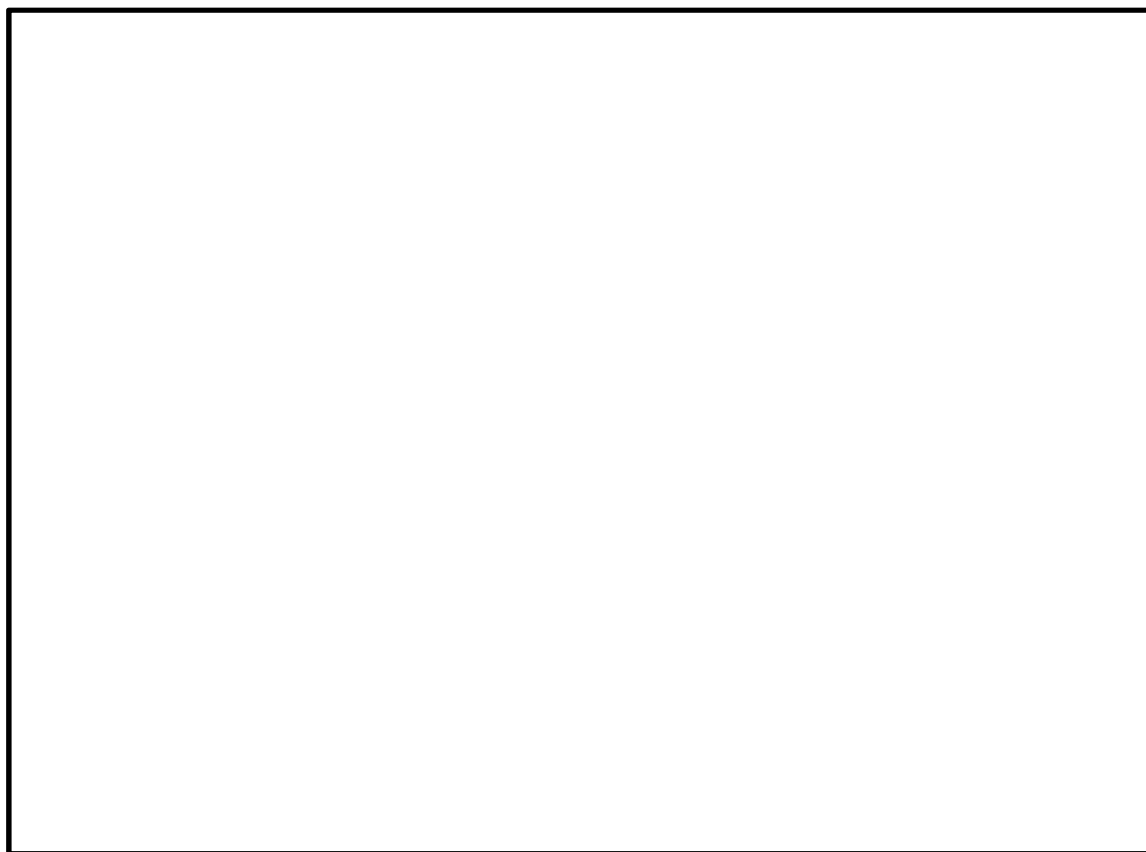


図 2-1 ディーゼル発電機排気消音器の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機排気消音器について、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、ディーゼル発電機排気消音器の構造を示す。

ディーゼル発電機排気消音器は屋外に設置しており、取付ボルト又は基礎ボルトにより固定している。ディーゼル発電機排気消音器の概要図を図2-2～図2-4に示す。

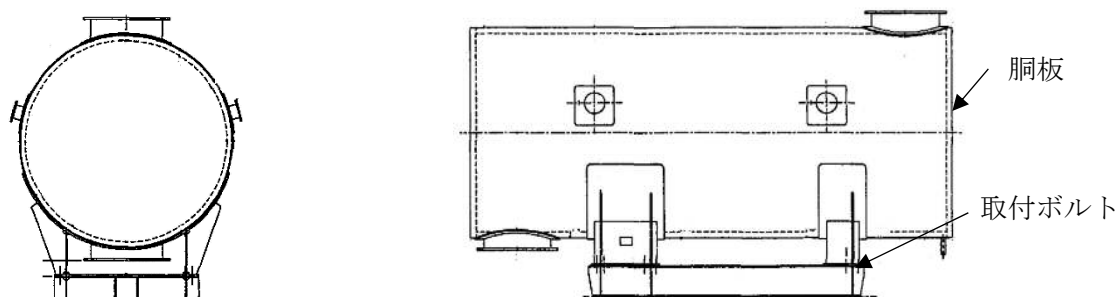


図2-2 ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機 2 C）

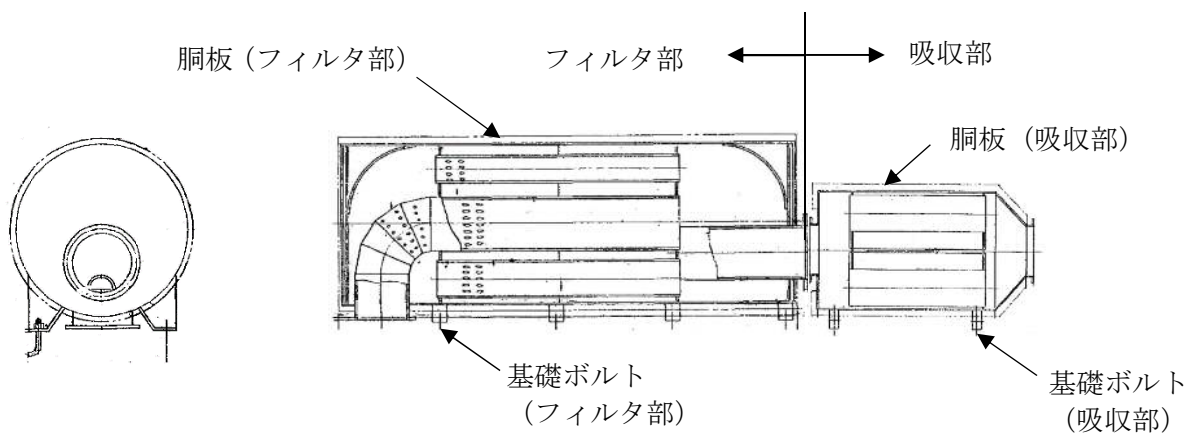


図2-3 ディーゼル発電機排気消音器概要図（非常用ディーゼル発電機 2 D）

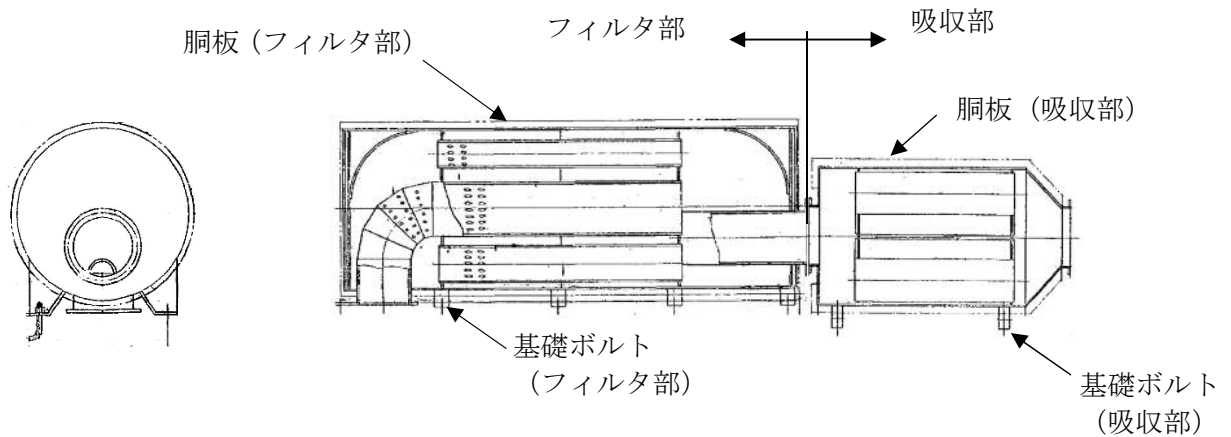


図2-4 ディーゼル発電機排気消音器概要図（高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機）

2.3 評価方針

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価は、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、ディーゼル発電機排気消音器の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

ディーゼル発電機排気消音器の強度評価フローを図2-5に示す。ディーゼル発電機排気消音器の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。強度評価においては、ディーゼル発電機排気消音器に対して、設計竜巻の風圧力によ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。各部材の強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（（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」に示すよこ置円筒型容器の評価式を用いる。

ディーゼル発電機排気消音器の許容限界は、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_ASとする。

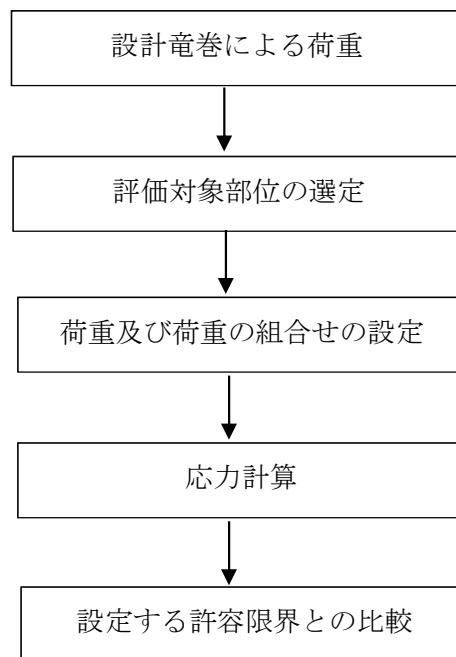


図2-5 ディーゼル発電機排気消音器の強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。）

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

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	3

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、屋外に設置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、残留熱除去系海水配管（放出側）、ディーゼル発電機海水配管（放出側）が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

各配管について、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、ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）、ディーゼル発電機海水配管（放出側）の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

屋外に設置しているディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）、ディーゼル発電機海水配管（放出側）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、図2-1に示す位置に設置する。

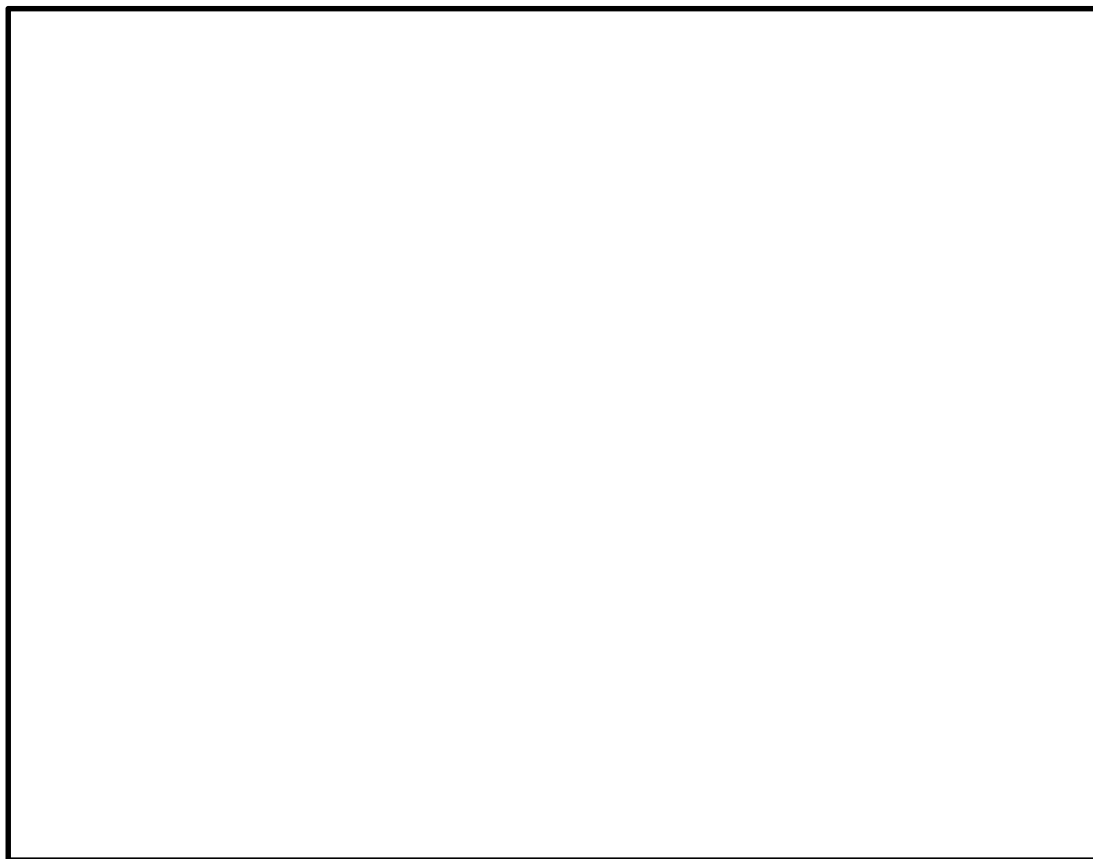


図 2-1 ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管、残留熱除去系海水配管（放出側）、ディーゼル発電機海水配管（放出側）の位置図

2.2 構造概要

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）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，各配管の構造を示す。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）は鋼管で構成される。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管は建屋壁，床等から支持された配管である。

残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）は，基礎コンクリートにサポートで固定された配管である。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）の概要図を図2-2に示す。

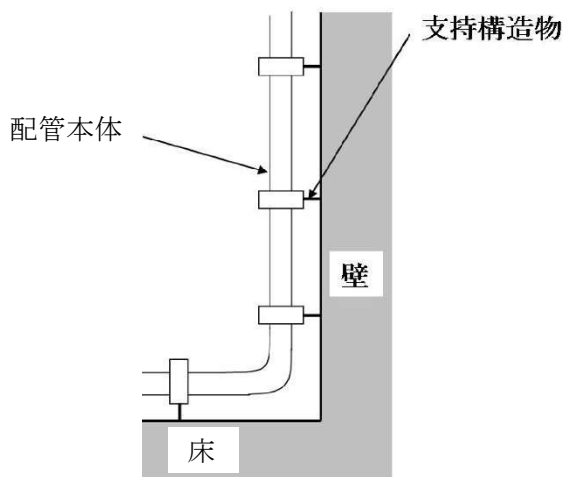


図2-2 配管の概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）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，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）の強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管（放出側），ディーゼル発電機海水配管（放出側）の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

強度評価において，ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管，残留熱除去系海水配管

(放出側), ディーゼル発電機海水配管(放出側)に対し, 設計竜巻の風圧力による荷重及び気圧差による荷重に内圧及び自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では, 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, 残留熱除去系海水配管(放出側), ディーゼル発電機海水配管(放出側)の評価式を用いる。ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管, 残留熱除去系海水配管(放出側), ディーゼル発電機海水配管(放出側)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」に示す許容限界である, 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」((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。)の許容応力状態Ⅲ_{AS}とする。

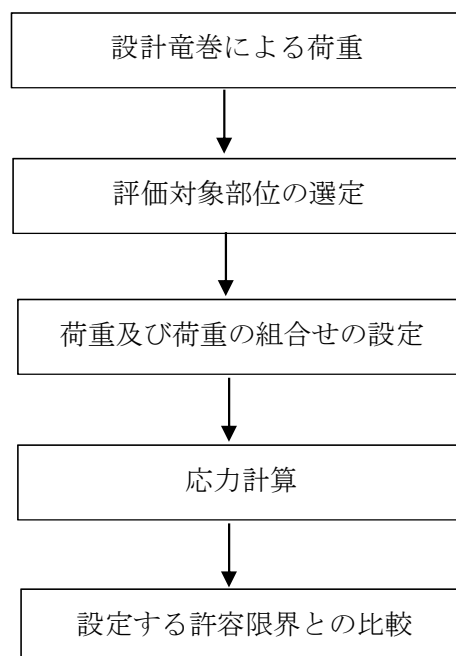


図2-3 ディーゼル発電機付属排気配管及びベント配管, 残留熱除去系海水配管(放出側), ディーゼル発電機海水配管(放出側)の強度評価フロー

2.4 適用規格

- ・「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。))

V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針

目次

1. 概要	1
2. 強度設計の基本方針	1
2.1 対象施設	1
2.2 構造強度の設計方針	1
2.3 荷重及び荷重の組合せ	2
2.4 構造設計	8
2.5 評価方針	11
3. 防護対策施設の構成要素の設計方針	12
3.1 防護ネットの構造設計	12
3.2 防護鋼板の構造設計	15
3.3 架構の構造設計	16
4. 防護対策施設の構成要素の評価方針	18
4.1 防護ネットの評価方針	19
4.2 防護鋼板の評価方針	22
4.3 架構の評価方針	23
5. 許容限界	25
5.1 防護ネットの許容限界	25
5.1.1 許容限界の設定	25
5.1.2 許容限界の設定方法	28
5.2 防護鋼板の許容限界	34
5.2.1 衝突評価	34
5.3 架構の許容限界	34
5.3.1 衝突評価	34
5.3.2 支持機能評価，波及的影響評価	34
6. 強度評価方法	35
6.1 防護ネットの強度評価	35
7. 適用規格	52

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」に基づき、竜巻飛来物防護対策設備である防護対策施設が、設計竜巻に対して要求される強度を有することを確認するための強度設計方針について説明するものである。

2. 強度設計の基本方針

強度設計は、「2.1 対象施設」に示す施設を対象として、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により、「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1 対象施設

V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」に基づき、以下の防護対策施設を対象とする。

- ・非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設
- ・中央制御室換気系冷凍機防護対策施設
- ・海水ポンプエリア防護対策施設
- ・中央制御室換気系開口部防護対策施設
- ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設
- ・原子炉建屋付属棟開口閉鎖部防護対策施設
- ・使用済燃料乾式貯蔵容器防護対策施設

2.2 構造強度の設計方針

防護対策施設は、設置（変更）許可を受けた設計飛来物のうち鋼製材（以下「飛来物」という。）の防護対象施設への衝突を防止するものであり、V-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.3(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、防護ネット、防護鋼板及び架構で構成し、次に示す設計とする。

(1) 防護ネット

防護ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じてても、防護対象施設の機能喪失に至る可能性がある飛来物が防護対象施設と衝突しないよう捕捉できる設計とする。

(2) 防護鋼板

防護鋼板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が防護鋼板を貫通せず、防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

(3) 架構

架構は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を保持可能な構想強度を有し、防護対象施設に波及的影響を与えないために、架構を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

2.3 荷重及び荷重の組合せ

竜巻の影響を考慮する施設の強度評価において考慮する荷重は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重及び上載荷重とする。なお、防護ネットのワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の評価時は、上載荷重としてネットの自重を考慮する。

b. 設計竜巻による荷重(F_T)

設計竜巻（100 m/s）による荷重は、設計竜巻の特性を踏まえ、風圧力による荷重、気圧差による荷重及び飛来物による衝撃荷重とする。設計竜巻の特性値を表 2-1 に示す。

- ・設計竜巻の移動速度(V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D ：設計竜巻の最大風速(m/s)

- ・竜巻の最大接線風速(V_{Rm})

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

V_T ：設計竜巻の移動速度(m/s)

- ・竜巻の最大気圧低下量(ΔP_{max})

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

ρ ：空気密度(=1.22 kg/m³)

V_{Rm} ：設計竜巻の最大接線風速(m/s)

表 2-1 設計竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m ²)
100	15	85	8900

(a) 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重は、設計竜巻の最大風速による荷重である。

竜巻の風速は、一般的には水平方向の風速として算出されるが、鉛直方向の風圧力に対して脆弱と考えられる防護対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等から施設の形状によらず「竜巻影響評価ガイド」を参照して、 $G=1.0$ とする。空気密度 ρ 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 q については、施設の形状によらず $q=6100 \text{ N/m}^2$ とする。

(b) 気圧差による荷重(W_P)

外気と隔離されている区画の境界部など、気圧差による圧力影響を受ける施設の建屋壁、屋根等においては、設計竜巻による気圧低下によって生じる施設等の内外の気圧差による荷重が発生する。閉じた施設（通気がない施設）については、この圧力差により閉じた施設の隔壁に外向きに作用する圧力が生じるとみなし、気圧差による荷重を設定することを基本としているが、防護対策施設は外気と通じており、施設の外殻に面する部材に気圧差は生じないことから考慮しない。

(c) 飛来物による衝撃荷重(W_M)

衝突による影響が大きくなる向きで飛来物が防護対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。

飛来物の飛来速度及び諸元を表 2-2 に示す。

表 2-2 飛来物の諸元

	鋼製材	砂利
寸法 (m)	$4.2 \times 0.3 \times 0.2$	$0.04 \times 0.04 \times 0.04$
質量(kg)	135	0.18
水平方向の飛来速度(m/s)	51	62
鉛直方向の飛来速度(m/s)	34	42

c. 運転時に作用する荷重 (F_P)

運転時の状態で作用する荷重は、配管等に作用する内圧等であり、防護対策施設には作用しないため考慮しない。

(2) 荷重の組合せ

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

$$W_{T1} = W_P$$

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

竜巻の影響を考慮する施設には、 W_{T1} 及び W_{T2} の両荷重をそれぞれ作用させる。各施設の設計竜巻による荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造を踏まえ、適切な組合せを設定する。防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せを、表 2-3 に示す。

表 2-3 防護対策施設の構成要素別の荷重の組合せ

分類	強度設計の対象施設		評価内容	荷重					
				常時作用する荷重 (F_d)		風圧力 による 荷重 (W_W)	気圧差 による 荷重 (W_P)	飛来物 による 衝撃荷重 (W_M)	運転時の 状態で 作用する 荷重 (F_P)
				自重	上載 荷重				
防 護 対 策 施 設	防護 ネット	上面	構造 強度	○	○	— (注1)	— (注2)	○	—
		側面		— (注3)	—	○	— (注2)	○	—
	防護 鋼板	上面	構造 強度	○	○	— (注1)	— (注2)	○	—
		側面		— (注3)	—	○	— (注2)	○	—
	架構		構造 強度	○	○ (注4)	—	— (注2)	○	—

(注1) 水平設置の防護ネット及び防護鋼板であるため、風荷重は考慮しない。

(注2) 外気と通じており、気圧差は生じない。

(注3) 鉛直設置の防護ネット及び防護鋼板であるため、自重は考慮しない。

(注4) 防護ネット及び防護鋼板に作用する風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重を含む。

(3) 荷重の算定方法

「(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

防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号を，表 2-4 に示す。

表 2-4 防護ネットの部材の評価における荷重算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	防護ネット又は防護鋼板の受圧面積
A _a	m ²	ネットの面積
C	—	風力係数（施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根，壁等）に応じて設定する。）
d	m	設計飛来物衝突時の設計飛来物の移動距離
E _f	kJ	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間にネットに作用するエネルギー
F _a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F _a ''	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度（g = 9.80665）
L ₁	m	ネットの展開方向の実寸法
L ₂	m	ネットの展開直角方向の実寸法
m	kg	設計飛来物の質量
m _N	kg/m ²	ネットの単位質量
n	枚	ネットの設置枚数
P _w	kN	ネットの自重及び上載荷重により作用する荷重
Q	kN/s	衝撃荷重が時間とともに比例する際の比例係数
q	Pa	設計用速度圧
t	s	時間
t ₁	s	設計飛来物が衝突しネットのたわみ量が最大になる時間
V	m/s	設計飛来物の移動速度
V ₁	m/s	設計飛来物衝突時の速度
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
W _w	kN	風圧力による荷重
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
ρ	kg/m ³	空気密度
φ	—	ネットの充実率

b. 自重による荷重の算出

防護ネット及び防護鋼板に常時作用する荷重として、自重を考慮する。自重により作用する荷重は、ネット等の設置方向を考慮する。水平設置の場合は、鉛直下向きに発生するものとして評価する。鉛直設置の場合は、自重と飛来物の衝撃荷重の作用する方向が異なることから考慮しない。

防護ネットにおいては、機械工学便覧を参考にすると、自重による荷重 P_w は、

$$\text{水平方向設置 } P_w = \frac{A_a \cdot m_N \cdot g \cdot n}{1000}$$

と算出される。

A_a はネットの実寸法 L_1 , L_2 を用いて、以下の式で求められる。

$$A_a = L_1 \cdot L_2$$

c. 竜巻による荷重の算出

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次式のとおり算出する。

$$W_w = \frac{q \cdot G \cdot C \cdot A}{1000}$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

防護ネットにおいては、ネットの充実率を ϕ とすると、風圧力による荷重を受けるネットの受圧面積 A は次式のとおりとなる。

$$A = \phi \cdot A_a$$

d. 飛来物による衝撃荷重の算出

防護ネットにおいて、ネットと設計飛来物による衝撃荷重 F_a'' は時間とともに比例して増加すると仮定すると、衝撃荷重 F_a'' は以下のとおり算出される。

$$F_a'' = Q \cdot t \quad \dots (2.1)$$

従って、速度 V は式①の衝撃荷重 F_a'' から、以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{m} \int_0^t F_a'' dt \\ &= \frac{Q \cdot t^2}{2 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots (2.2) \end{aligned}$$

さらに、設計飛来物の移動距離 d は、(2.2) 式の数値 V から以下のとおり算出される。

$$\begin{aligned} d &= \int_0^t V dt \\ &= \frac{Q \cdot t^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t \quad \dots (2.3) \end{aligned}$$

設計飛来物が衝突しネットのたわみが最大になる時間 t_1 におけるネットの最大変位 δ は、設計飛来物の速度は $V=0$ であるから、(2.2)、(2.3) 式より、

$$Q \cdot t_1^2 = 2 \cdot m \cdot V_1 \quad \dots (2.4)$$

$$\delta = -\frac{Q \cdot t_1^3}{6 \cdot m} + V_1 \cdot t_1$$

上記2式を連立し、

$$\delta = \frac{2}{3} V_1 \cdot t_1$$

よって、

$$t_1 = \frac{3}{2 \cdot V_1} \cdot \delta \quad \dots (2.5)$$

以上より、時間 t_1 における設計飛来物による衝撃荷重 F_a は (2.1)、(2.4) 式より、

$$F_a = \frac{2 \cdot m \cdot V_1}{t_1}$$

さらに、(2.5) 式と連立し、

$$F_a = \frac{4 \cdot m \cdot V_1^2}{3 \cdot \delta} \quad \dots (2.6)$$

また、時間 t_1 における設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f をとしては、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_1^2 \quad \dots (2.7)$$

従って、(2.6)、(2.7) 式より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_f}{3 \cdot \delta} \quad \dots (2.8)$$

(2.8) 式にたわみ評価で算出する設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量 δ を代入し、 F_a を算出する。

2.4 構造設計

防護対策施設は、「2.2 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

- (1) 非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設

非常用ディーゼル発電機室ルーフトファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設は、防護ネット、防護鋼板及び架構で構成し、防護対象施設を取り囲むように設置することで、飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止し、防護対象施設と構成部材（防護ネット、防護鋼板及び架構を構成する部材）の離隔を確保することなどにより、構成部材に

たわみ及び変形が生じたとしても、防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、海水ポンプ室躯体または原子炉建屋躯体に支持する構造とする。

防護ネットは鋼製のネット、ワイヤロープ、接統治具（支持部、固定部）、鋼製枠を主体構造とし、接続ボルトを用いて架構により支持する。鋼製ネットに作用する飛来物による衝撃荷重、風圧力による荷重及びその他の荷重はワイヤロープ、接統治具（支持部、固定部）を介して鋼製枠に伝達し、鋼製枠から架構を介して支持躯体に伝達する構造とする。

鋼製ネットは、らせん状の硬鋼線を３次的に編み込み、編み込みの方向によって荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持ち、架構の配置、鋼製ネットに作用する荷重及び防護対象施設との離隔に応じて、鋼製ネットの展開方向と展開直角方向の長さの比を考慮して、鋼製枠内に複数枚を重ねて設置する構造とする。また、鋼製ネットに飛来物が衝突した際、ワイヤロープに瞬間的な荷重が作用するのを防ぐため、鋼製枠の四隅には緩衝材を設置する設計とする。防護ネットの構造計画を表 2-5 に示す。

防護鋼板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止するために、飛来物が防護鋼板を貫通せず、防護対象施設に波及的影響を与えない設計とする。

防護ネット及び防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等より構成され、施設の外殻に作用する荷重並びに上載する防護ネット及び防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、海水ポンプ室躯体または原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

表 2-5 防護ネット及び防護鋼板の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
防護ネット	防護ネットは、鋼製のネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）及び鋼製枠で構成する。	接続ボルトを用いて、架構により支持し、架構を介して鉄筋コンクリート造の海水ポンプ室躯体または原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。	

(2) 中央制御室換気系開口部防護対策施設

中央制御室換気系開口部防護対策施設は、防護鋼板及び架構で構成し、飛来物が侵入した場合に防護対象施設に衝突する可能性のある原子炉建屋附属棟壁面の開口部を取り囲むように設置することで、飛来物が建屋内に侵入することを防止し、建屋外壁と防護鋼板の離隔を確保することなどにより、防護鋼板にたわみ及び変形が生じたとしても、防護対象施設に飛来物を衝突させない構造とする。また、防護鋼板は架構を介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建屋附属棟躯体に支持する構造とする。

防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等から構成され、施設の外殻に作用する荷重及び上載する防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、アンカーボルトを介して、鉄筋コンクリート造の原子炉建屋附属棟躯体に伝達する構造とする。

2.5 評価方針

防護対策施設の強度評価は、「2.4 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

(1) 防護ネット

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，主要な部材が破断しなければ設計飛来物は捕捉可能であり，飛来物が防護対象施設と衝突しない。従って，防護ネットのうち鋼製ネット，ワイヤロープ及び接統治具（支持部，固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを，計算により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物による衝撃荷重に対し，防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために，防護ネットのうち鋼製ネット及びワイヤロープにたわみを生じても，防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

(2) 防護鋼板

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が防護対象施設に衝突することを防止するために，飛来物が防護鋼板を貫通しないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。

(3) 架構

設計竜巻の風圧力による荷重，飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物が防護対象施設に衝突することを防止するために，架構部材に対し，飛来物が貫通しないこと及び架構部材の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。

また，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構全体が，施設の倒壊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。

さらに，防護対象施設に波及的影響を与えないよう，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構全体が倒壊を生じないことを計算により確認する。

3. 防護対策施設の構成要素の設計方針

防護対策施設は、「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、「2.4 構造設計」で示した構造と、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で設定した荷重を踏まえ、防護対策施設を構成する要素間での荷重の受け渡し、要素ごとの設計及び設計結果の全体設計への反映を行う。

防護対策施設の設計フローを図 3-1 に示す。

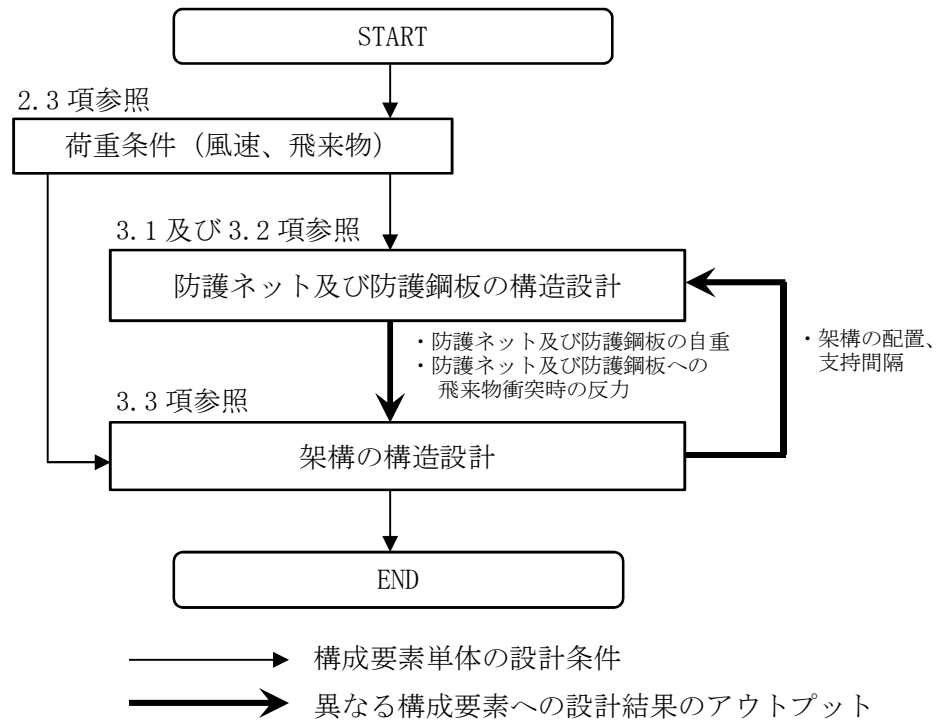


図 3-1 防護対策施設の設計フロー

3.1 防護ネットの構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため、飛来物の防護対象施設への衝突に対し、主要な部材が破断することなく架構に荷重を伝達し、たわみを生じてても、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設と衝突しないよう防護ネットで捕捉できる設計とする。

防護ネットの設計フローを図 3-2 に示す。

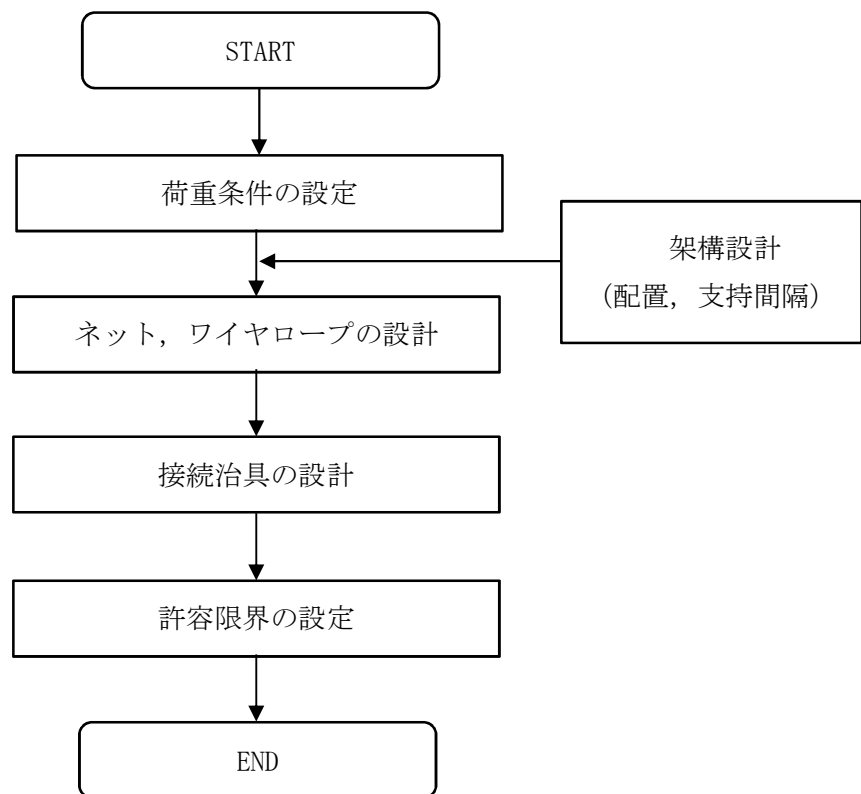


図 3-2 防護ネットの設計フロー

防護ネットの概要図を図 3-3 に示す。ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）及び鋼製枠により構成され、ネットの 4 辺をワイヤロープにより支持し、ワイヤロープは鋼製枠に設置した接続治具にて支持する構造とする。ワイヤロープの端部はターンバックル又はシャックルを設置し、ターンバックル又はシャックルを鋼製枠に設置したアイプレートに接続する構造とする。

防護ネットは、40 mm 目合いのネット 3 枚で構成する。

防護ネットは、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）にて適用性が確認されている評価式及びネットの物性値を用いた設計とする。

防護ネットと架構の接続部の構造設計は、V-3-別添 1-2-1-3「架構の強度計算書」による。

防護ネットを構成するネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）についての構造設計を以下に示す。

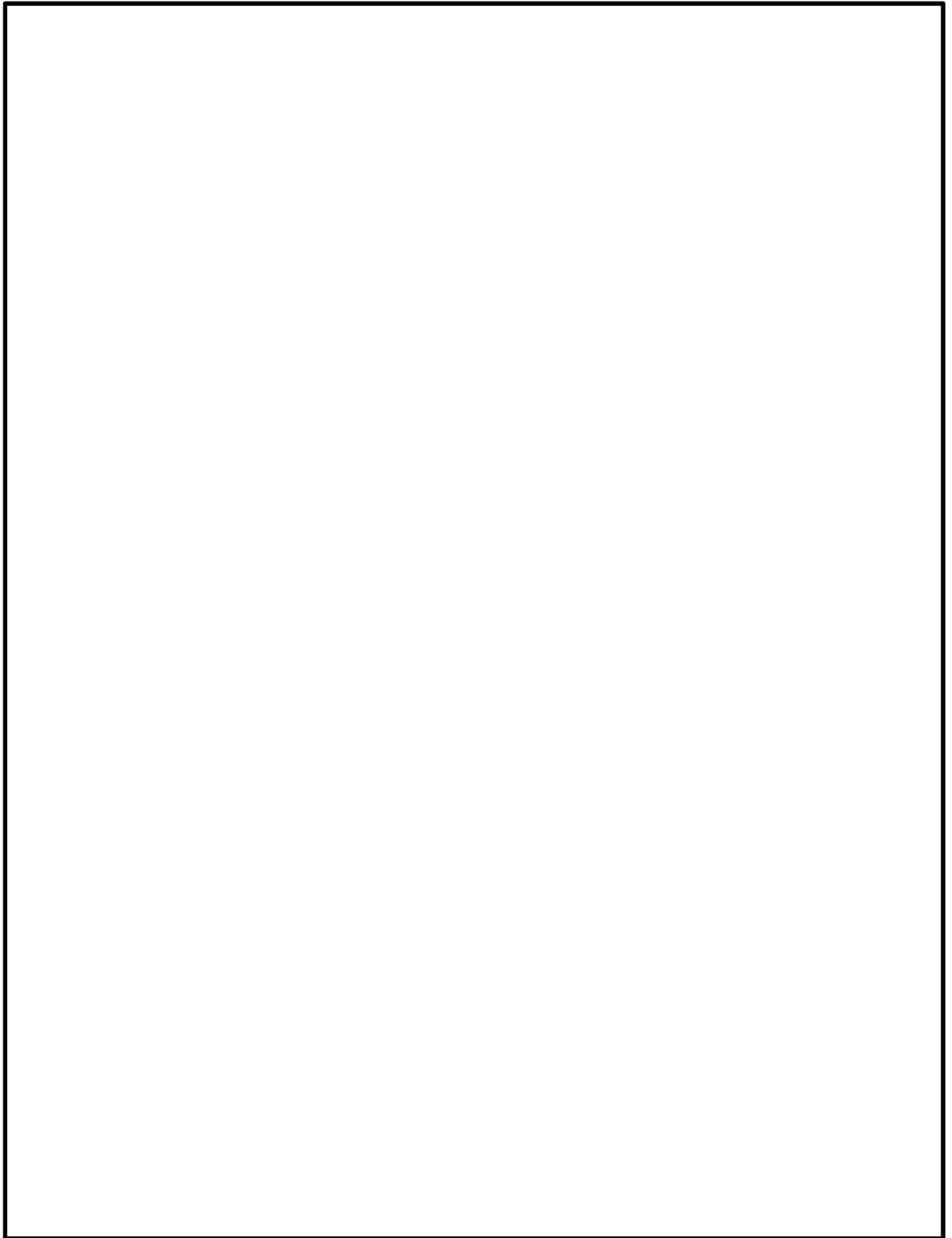


図 3-3 防護ネットの概要図

(1) ネット

ネットは、らせん状の硬鋼線を山形に折り曲げて列線とし、3 次元的に交差させて編み込んだものであり、編み込みの向きにより、展開方向とその直角方向の異方性を有する材料であり、展開方向が主に荷重を受け持ち、展開方向と展開直角方向で剛性や伸び量が異なるため、これらの異方性を考慮した設計とする。ネットは、電中研報告書において、その剛性、

最大たわみ時のたわみ角，1 目合いの破断変位等が確認されている。

ネットの寸法は，架構の柱・梁の間隔並びにネットの展開方向と展開直角方向の剛性や伸び量の異方性を考慮して，展開方向と展開直角方向の寸法の比（以下「アスペクト比」という。）について，原則として電中研報告書にて適用性が確認されている範囲（1:1～2:1）に入るように設計する。ただし，設定する寸法での限界吸収エネルギー量等を踏まえ，設置するネットの枚数を増やし，衝撃荷重に対する耐力を持たせるとともにたわみ量を低減させる設計とする。

(2) ワイヤロープ

ワイヤロープの取付部は，展開方向のワイヤロープと展開直角方向のワイヤロープで荷重の伝達分布が異なり，さらにワイヤロープの巻き方によりワイヤロープ間の荷重伝達に影響を及ぼす可能性があるため，ネットに対して 2 本を L 時に設置することにより，ワイヤロープに作用する荷重が均一となるような設計とする。

防護ネットの基本構造において，ワイヤロープは鋼製枠内に上下 2 段設置しており，上段のワイヤロープは 40 mm 目合いのネット 2 枚を支持するため，ワイヤロープは支持するネット枚数を考慮した設計とする。

(3) 接統治具（支持部，固定部）

電中研報告書の評価式を適用するため，衝突試験における試験体と同じ構造を採用しており，飛来物衝突時に急激な荷重が作用するのを抑制するために緩衝装置を四隅に設置する設計とする。

接統治具は，ネットへの飛来物の衝突によりネットからワイヤロープを介して直接作用する荷重若しくは発生する応力に対して，破断することのない強度を有する設計とする。接統治具（支持部）はワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルであり，接統治具（固定部）はターンバックルまたはシャックルを鋼製枠に設置するアイプレートや隅角部固定ボルトである。

3.2 防護鋼板の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき，防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため，飛来物の防護対象施設への衝突に対し，防護鋼板が貫通することなく架構に荷重を伝達し，たわみを生じても，防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設と衝突しないよう防護鋼板で捕捉できる設計とする。

防護鋼板の設計フローを図 3-4 に示す。

防護鋼板は，飛来物による衝突に対し，貫通しない部材厚さを確保する設計とする。

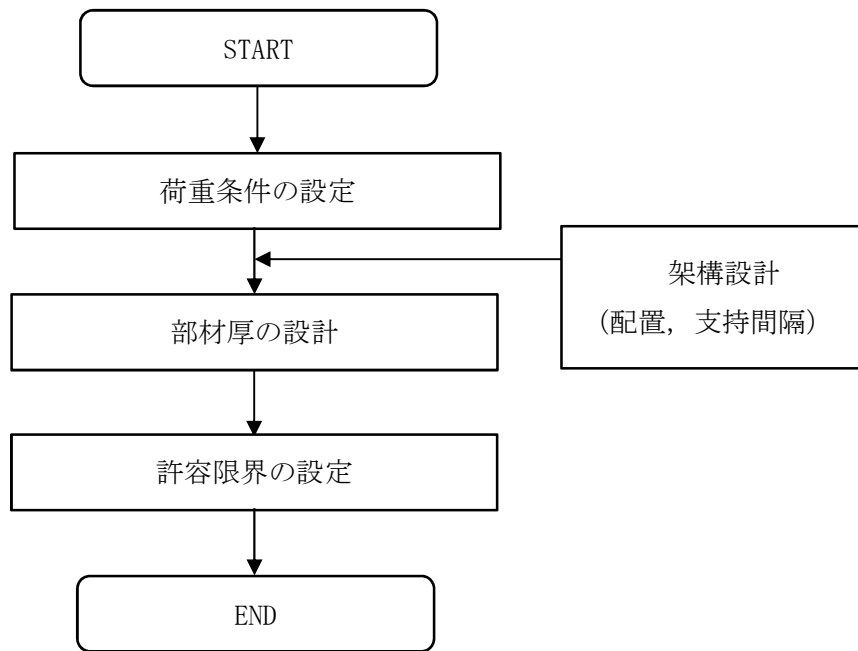


図 3-4 防護鋼板の設計フロー

3.3 架構の構造設計

「2.2 構造強度の設計方針」に基づき，防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止可能な設計とするため，飛来物が架構を構成する主要な構造部材を貫通せず，上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を保持可能な構造強度を有する設計とする。

また，防護対象施設に波及的影響を与えないために，架構を構成する部材自体の脱落を生じない設計とする。

架構の設計フローを図 3-5 に示す。

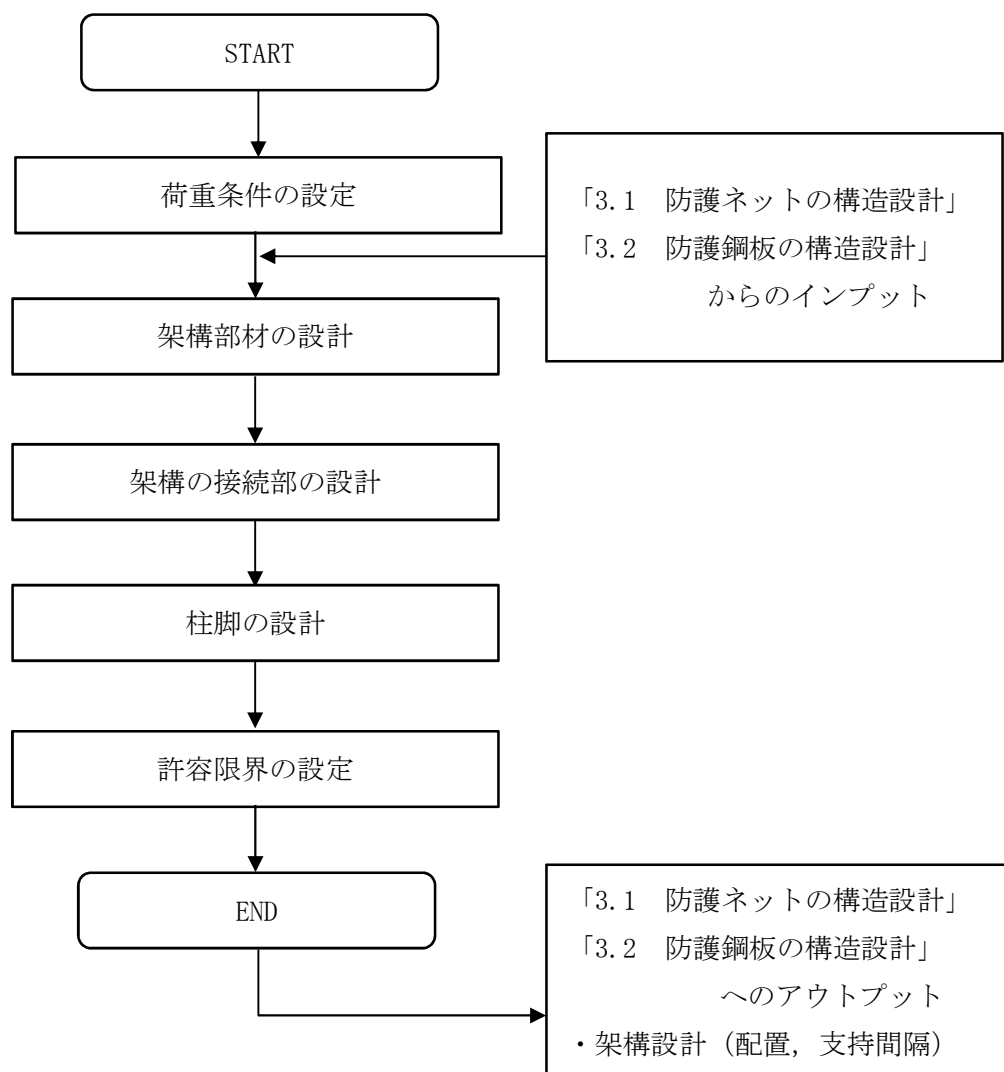


図 3-5 架構の設計フロー

架構はH形鋼等から構成し、防護ネット及び防護鋼板からの荷重を支持する設計とする。

防護ネット及び防護鋼板を支持する架構は、架構部材、架構の接続部及び柱脚部より構成され、架構の接続部は溶接又はボルトにより接続し、柱脚部はアンカーボルトにより建屋等に固定する設計とする。架構の接続部については、母材と同等の耐力を有する設計とする。

防護ネット及び防護鋼板への飛来物衝突時の荷重は、隣り合う架構又は柱等の主架構及び柱脚のアンカーボルトを介して建屋等へ伝達する設計とする。飛来物が架構に直接衝突する場合は、架構から柱脚のアンカーボルトを介して建屋等へ伝達する設計とする。

4. 防護対策施設の構成要素の評価方針

「2.3 荷重及び荷重の組合せ」, 「2.5 評価方針」及び「3. 防護対策施設の構成要素の設計方針」に基づき, 防護対策施設の構成要素ごとの評価方針を設定する。

防護対策施設を設計する上で, 飛来物の衝突回数については, 屋外の鋼製材等の飛来物となり得るものは, 飛散防止管理を実施し, 飛来物となるものが少なくなるように運用することにより, 竜巻時及び竜巻通過時において複数の設計飛来物が同一の防護対策施設に衝突する可能性は十分低いことから, 同一の防護対策施設への複数の設計飛来物の衝突は考慮しない設計とする。

防護対策施設は, 飛来物衝突に対し, 防護対策施設を構成する部材が許容限界に至ることなく, 防護対象施設が飛来物の影響を受けないことを確認する。

防護対策施設の評価フローを図 4-1 に示す。

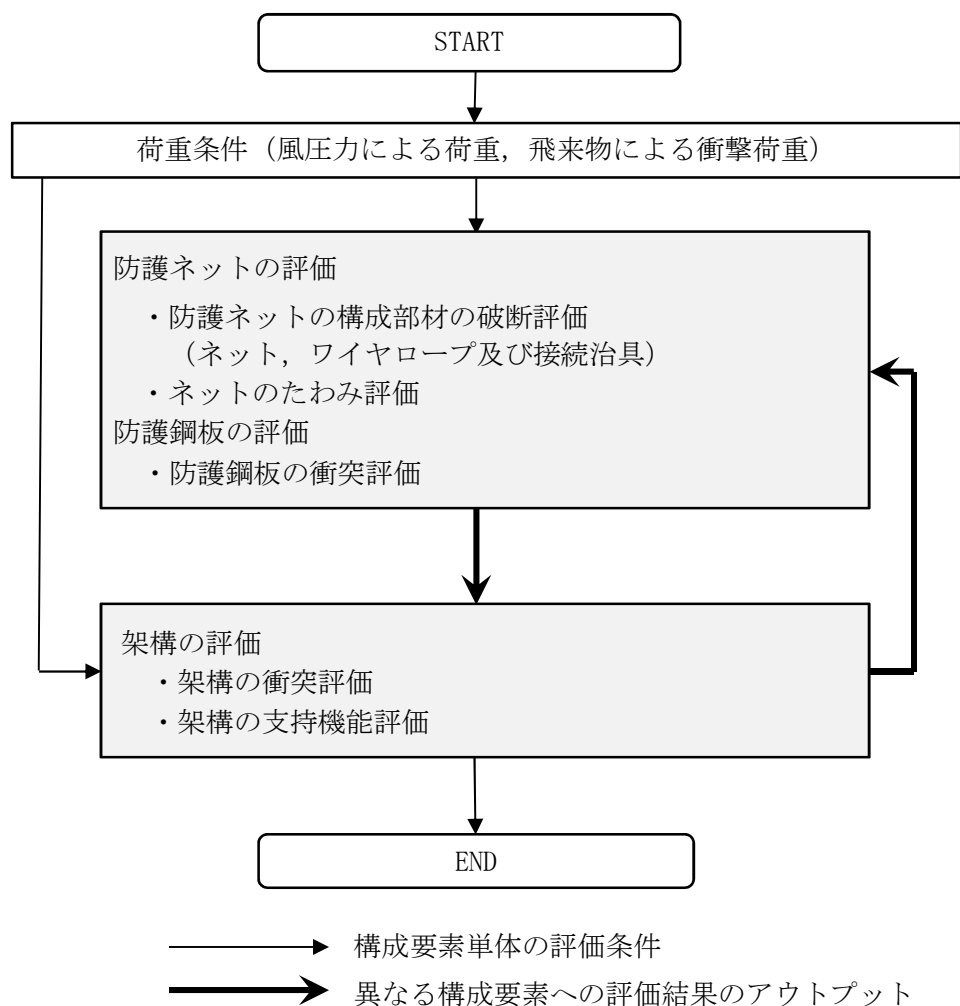


図 4-1 防護対策施設の評価フロー

4.1 防護ネットの評価方針

「2.5(1) 防護ネット」の評価方針に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の考慮すべき荷重に対し、主要な部材が破断しないために、防護ネットのうちネット、ワイヤロープ及び接統治具（支持部、固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。その方法は、「6.1 防護ネットの強度評価」に示すとおり、ネットの限界吸収エネルギー、算出される衝撃荷重を元に破断評価を行う。

「2.5 評価方針」に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープにたわみが生じても、設計飛来物が防護対象施設と衝突しないよう、防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。その方法は、「6.1 防護ネットの強度評価」に示すとおり、算出されるネットのたわみ量を元にたわみ評価を行う。

防護ネットの評価フローを図 4-2 に示す。防護ネットは竜巻による荷重が作用する場合に、破断が生じることなく、たわみが生じたとしても飛来物が防護対象施設と衝突しないような離隔を有することを確認する。

防護ネットの破断及びたわみに対する評価方針を以下に示す。

防護ネットの具体的な計算の方法及び結果は、V-3-別添 1-2-1-1「防護ネットの強度計算書」に示す。

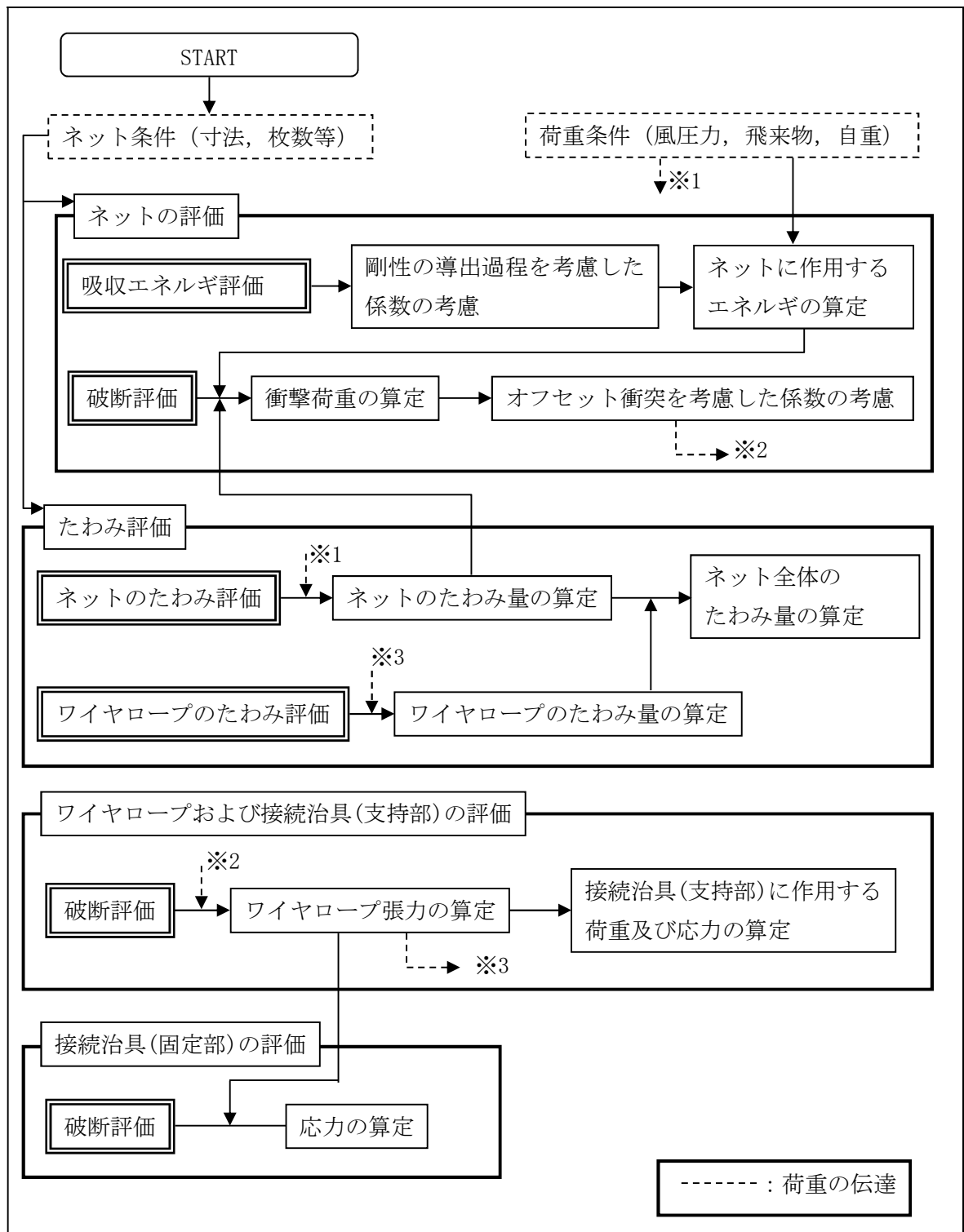


図 4-2 防護ネットの評価フロー

(1) 強度評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，主要な部材が破断しないために，防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続治具（支持部，固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを計算により確認する。

自重，風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重がネットに作用する場合に，ネッ

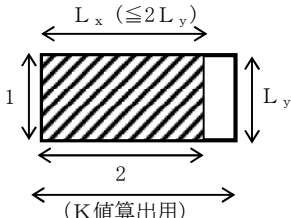
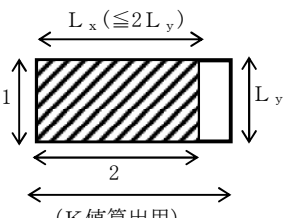
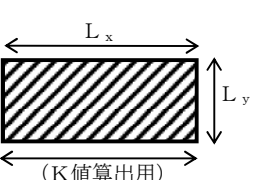
トに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認するために、以下を評価する。

ネットについては、設計竜巻による荷重が作用する場合に、ネット全体でエネルギー吸収することから、ネットの吸収エネルギーを評価する。評価方法としては、電中研報告書において、ネットへの適用性が確認されている評価式（以下「電中研評価式」という。）を参照して評価する。また、設計飛来物の衝突箇所において、破断が生じないことを確認するために、ネットに作用する引張荷重を、電中研評価式を参照して評価する。さらに、ネットが機能を発揮できるように、ネットに作用する荷重がワイヤロープ及び接続治具に伝達され、その荷重によりワイヤロープ及び接続治具（支持部）に発生する荷重、並びに接続治具（固定部）に発生する応力が許容値以下であることを確認する。

ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の破断に対する評価においては、ネット寸法に対するアスペクト比及びネットの衝突位置の影響について、以下のとおり考慮して評価を実施する。

ネットのアスペクト比について、評価ごとの展開方向及び展開直角方向の寸法の設定方法を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価ごとの展開方向及び展開直角方向寸法の設定方法

評価項目	吸収エネルギー	破断	たわみ
アスペクト比	限界吸収エネルギー量が小さくなるようにアスペクト比を設定 	作用する荷重が大きくなるようにアスペクト比を設定 	たわみ量が大きくなるようにアスペクト比を設定 

a. ネットの吸収エネルギー評価

ネットの吸収エネルギー評価においては、ネットの目合いの方向に従ってネット剛性を設定し、ネットのエネルギー吸収に有効な面積を考慮し、アスペクト比を考慮して、ネットの有効面積を設定し評価を実施する。また、飛来物の衝突位置の違いによりたわみ量の影響があり、衝突位置、ネット剛性の設定によるたわみ量への影響を考慮して、評価を実施する。

ネットのアスペクト比については、ネットのエネルギー吸収性能が主に荷重を受け持つ展開方向寸法によることから、評価ごとに保守的な評価となるように、評価においてはアスペクト比を考慮した展開方向及び展開直角方向の寸法を設定する。

b. ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の溶接部の破断評価

ネットの破断評価においては、吸収エネルギー評価と同様にネットのアスペクト比を考慮

して、ネットの有効面積を設定し評価する。ネットのアスペクト比は、ネット目合いの方向を踏まえ、評価が保守的となるように、ネットの有効面積を設定して評価を実施する。また、衝突位置を考慮して評価を実施する。

ネット、ワイヤロープ及び接続治具については、飛来物の衝突位置として、中央位置からずれた（以下「オフセット」という。）衝突についても考慮する。具体的には、電中研評価式では飛来物がネット中央位置に衝突する場合についてのみ評価を実施するため、オフセット位置に衝突する場合の評価においては、中央位置に衝突する場合とオフセット位置に衝突する場合の飛来物の移動距離を考慮した評価を実施する。

ネットのアスペクト比については、吸収エネルギー評価と同様に考慮する。

(2) たわみ評価

設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が防護対象施設と衝突しないよう捕捉するために、防護ネットのうちネット及びワイヤロープが、たわみを生じても、設計飛来物が防護対象施設と衝突しないよう防護対象施設との離隔を確保できることを計算により確認する。

防護ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重がネットに作用する場合に、ネットがたわむことでエネルギーを吸収することから、ネット及びワイヤロープがたわんでも、ネットと防護対象施設が衝突しないことを確認するために、ネットとワイヤロープのたわみ量を考慮して評価する。評価方法としては、電中研評価式等を用いて評価する。

ネット及びワイヤロープのたわみ評価においては、ネット寸法に対するアスペクト比を考慮して評価を実施する。

たわみ評価においても、構造強度評価と同様にネット寸法に対するアスペクト比を考慮する必要がある、評価が保守的となるように、ネットの有効面積を設定して評価を実施する。

評価の条件についても、構造強度評価と同様に飛来物のネットの衝突位置を考慮して評価を実施する。

ネットのアスペクト比については、吸収エネルギー評価と同様に考慮する。

4.2 防護鋼板の評価方針

「2.5(2) 防護鋼板」の評価方針に基づき、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物を貫通させないために、防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じさせないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては、その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

防護鋼板の評価フローを図 4-3 に示す。

防護鋼板の具体的な計算方法及び結果は、V-3-別添 1-2-1-2「防護鋼板の強度計算書」に示す。

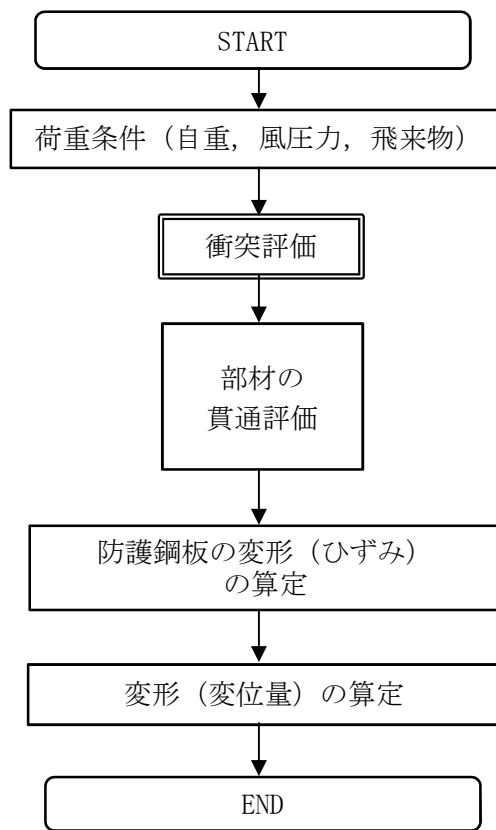


図 4-3 防護鋼板の評価フロー図

(1) 衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，防護対策施設の外壳を構成する部材が飛来物を貫通させないために，防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び防護鋼板の変位量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。評価方法は，F E Mを用いた解析とする。

4.3 架構の評価方針

「2.5(3) 架構」の評価方針に基づき，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物を貫通させないために，終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び架構の部材の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

また，「2.5(3) 架構」の評価方針に基づき，上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有することの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確

認する。架構の接続部については、母材と同等の耐力を有することから架構部材の評価に包絡される。

さらに、「2.5(3) 架構」の評価方針に基づき、防護対象施設に波及的影響を与えないよう、架構全体が倒壊を生じないことの確認として、設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、架構部材および架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを解析により確認する。

架構の評価フローを図 4-4 に示す。

架構の具体的な計算方法及び結果は、V-3-別添 1-2-1-3「架構の強度計算書」に示す。

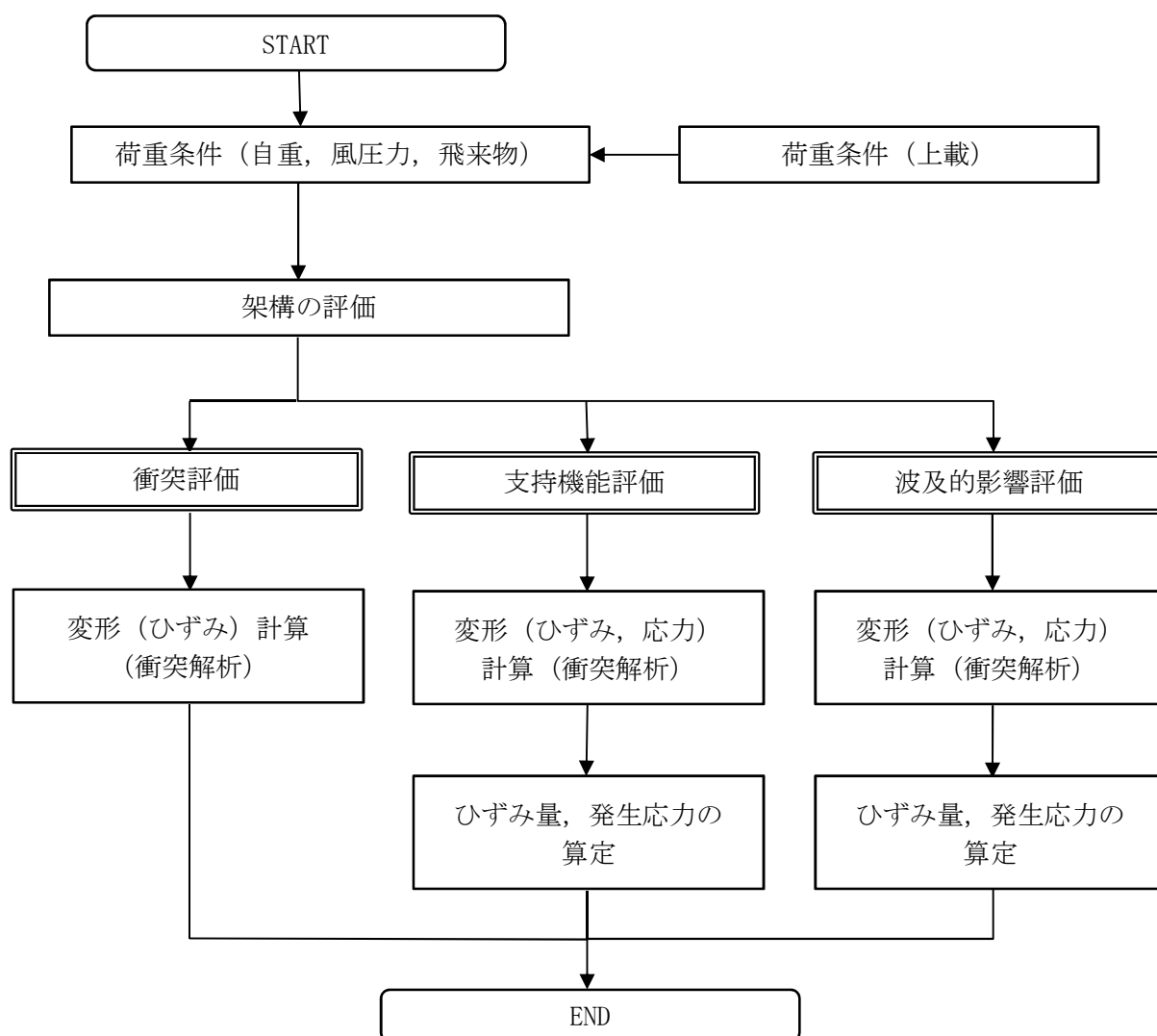


図 4-4 架構の評価フロー図

(1) 衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重、設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、架構を構成する部材が飛来物を貫通させないために、架構の部材が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び部材の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを解析により確認する。評価方法は、FEMを用いた解析とする。

(2) 支持機能評価及び波及的影響評価

上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有すること及び防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材及び架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確認する。

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重が架構に作用する場合に，各部材について以下のとおり評価する。

a. 架構部材

架構部材については，ひずみ量进行评估し，破断が生じないことを確認する。評価方法は，FEMを用いた解析とする。

b. 架構全体

架構全体については，飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して，架構及び架構と建屋等のボルト接合部のアンカーボルトにおいて，十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。評価方法は，FEMを用いた解析とする。

5. 許容限界

「2.5 評価方針」及び「4. 防護対策施設の構成要素の評価方針」を踏まえ，防護対策施設の構成要素ごとの設計に用いる許容限界を設定する。

5.1 防護ネットの許容限界

5.1.1 許容限界の設定

(1) 強度評価

防護ネットは，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対する評価を行うため，破断せず，荷重が作用するとしても防護ネットが内包する防護対象施設に設計飛来物を衝突させないために，防護ネットの主要な部材が，破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを許容限界として設定する。

防護ネットのうちネット，ワイヤロープ及び接続治具（支持部，固定部）の許容限界を以下のとおり設定する。

a. ネット

ネットの許容限界は，吸収エネルギー評価及び破断評価（引張荷重評価）において設定する。

吸収エネルギー評価は，設計飛来物によりネットに与えられる全エネルギーがネットの限界吸収エネルギー以下であることにより，ネットが破断しないことを確認することから，ネットの限界吸収エネルギーを許容限界とする。

破断評価は，ネットが破断を生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としている。ネットは，飛来物の衝突に対し，塑性変形することでエネ

ルギを吸収し、飛来物を捕捉することから、飛来物の衝撃荷重に対し、ネットの許容引張荷重を許容限界とする。ネットの許容限界を表 5-1 に示す。

表 5-1 ネットの許容限界

許容限界	
吸収エネルギー評価の許容値	破断評価の許容値
ネット設置枚数 n を考慮した 限界吸収エネルギー	ネット設置枚数 n を考慮した 許容引張荷重
E_{max}	F_{max}

b. ワイヤロープ

ワイヤロープの端部にはワイヤグリップを取付ける。一般にワイヤロープの破断荷重の値はメーカーの引張試験によれば J I S 規格値よりも大きいので、ワイヤロープの許容限界は、J I S に規定する破断荷重にワイヤグリップ効率 C_c を乗じた値とする。

ワイヤロープの許容限界を表 5-2 に示す。

表 5-2 ワイヤロープの許容限界

規格値	許容値
F_3 (注 1)	C_c (注 2) $\cdot F_3$ (注 1)

(注 1) J I S G 3549 の破断荷重

(注 2) J I S B 2809 及び (社) 日本道路協会「小規模吊橋指針・同解説」

c. 接統治具（支持部）

接統治具（支持部）の強度評価は、接統治具（支持部）として、ワイヤロープを支持するターンバックル及びシャックルが、ワイヤロープから受ける引張荷重に対し、破断が生じない十分な強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、基本として、メーカーカタログの荷重を許容限界とする。

ターンバックル及びシャックルの許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 ターンバックル及びシャックルの許容限界

評価部位	許容荷重
ターンバックル	P (注1)
シャックル	P (注2)

(注1) メーカーカタログの保証荷重

(注2) メーカーカタログの破断荷重

d. 接統治具（固定部）

接統治具（固定部）の破断評価は、接統治具（固定部）である隅角部固定ボルト及びアイプレートが、破断が生じないように十分な余裕を持った強度を有することを確認する評価方針としていることを踏まえ、十分な余裕を考慮して「鋼構造設計規準・許容応力度法」に基づいた短期許容応力度を許容限界とする。設計竜巻による荷重は、ネットに作用し、ワイヤロープを介して接統治具に作用するため、評価対象は、接統治具（固定部）である隅角部固定ボルト及びアイプレートとする。アイプレートは、プレート本体、プレートと鋼製枠、プレートとリブ及び鋼製枠とリブの溶接部が存在するが、強度評価上、溶接脚長が短いアイプレートとリブの溶接部を評価対象部位とする。

接統治具の許容限界を表 5-4 に示す。

表 5-4 接統治具の許容限界

応力度	許容限界	
	引張	せん断
短期許容応力度	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

(2) たわみ評価

防護ネットは、飛来物衝突時にたわんだとしても、飛来物が防護対象施設に衝突することがないように、十分な離隔を有していることを確認する評価方針としていることを踏まえ、ネットと防護対象施設の最小離隔距離Lを許容限界として設定する。

防護ネットのたわみ評価の許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 防護ネットのたわみ評価の許容限界

許容限界
ネットと防護対象施設の最小離隔距離
L

5.1.2 許容限界の設定方法

(1) 記号の定義

防護ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号を表 5-6 に示す。

表 5-6 防護ネットの強度評価における許容値の算出に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ネット 1 目合いの対角寸法
a_s	mm	ネット 1 目合いの破断変位
b	mm	設計飛来物の端面の長辺方向寸法
c	mm	設計飛来物の端面の短辺方向寸法
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能なエネルギー
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー
F_i	kN	設計飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_{max}	kN	ネット設置枚数 n を考慮した防護ネットの許容破断荷重
F_{40}	kN	40 mm 目合いネットの 1 交点当たりの許容引張荷重
K	kN/m	ネット 1 目合いの等価剛性
K_x	kN/m	ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性
L_x	m	ネット展開方向寸法
L_y	m	ネット展開直角方向寸法
n	枚	ネット設置枚数
N_i	個	i 列目のネット展開直角方向目合い数
N_x	個	ネット展開方向目合い数
N_y	個	ネット展開直角方向目合い数
P_i	kN	設計飛来物衝突時にネットに発生する i 番目の列における張力
X_i	m	i 列目のネットの伸び
δ_i	m	設計飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_{max}	m	ネットの最大たわみ量
θ_i	deg	i 番目の列におけるネットたわみ角
θ_{max}	deg	ネットの最大可能なたわみ角

(2) 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、計算により算出するネットの限界吸収エネルギーがネットに作用するエネルギー以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。ネット 1 目合いの要素試験の結果から得られる目合い方向の限界伸び量によりネットの最大変形角が定まり、ネット最大変形角におけるエネルギー吸収量がネットの有する最大吸収エネルギー E_{max} となる。この値に以下の係数を考慮した値を吸収エネルギー評価の許容限界とする。

限界吸収エネルギーは、複数枚を重ね合わせたネットを一体として扱ったモデルにて算出する。また、ネットの変形及び吸収エネルギーの分布を考慮したオフセット衝突位置での吸収エネルギー評価の結果、電中研報告書を参照して、ネット最大たわみ時のネットの全長は飛来物のネットへの衝突位置によらずネット最大たわみ時展開方向の長さで一定であり、ネットに発生する張力も一定となることから、飛来物のネットへの衝突位置によらずネットから飛来物への反力も同等となり、オフセット位置への飛来物の衝突時の吸収エネルギーは中央衝突時と同等となる。したがって、吸収エネルギー評価では中央衝突の場合にて評価を行う。

限界吸収エネルギーは、ネット 1 目合いの展開方向の 1 列の等価剛性、展開方向寸及びたわみ量から、以下のとおり算出される。吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図を図 5-1 に示す。

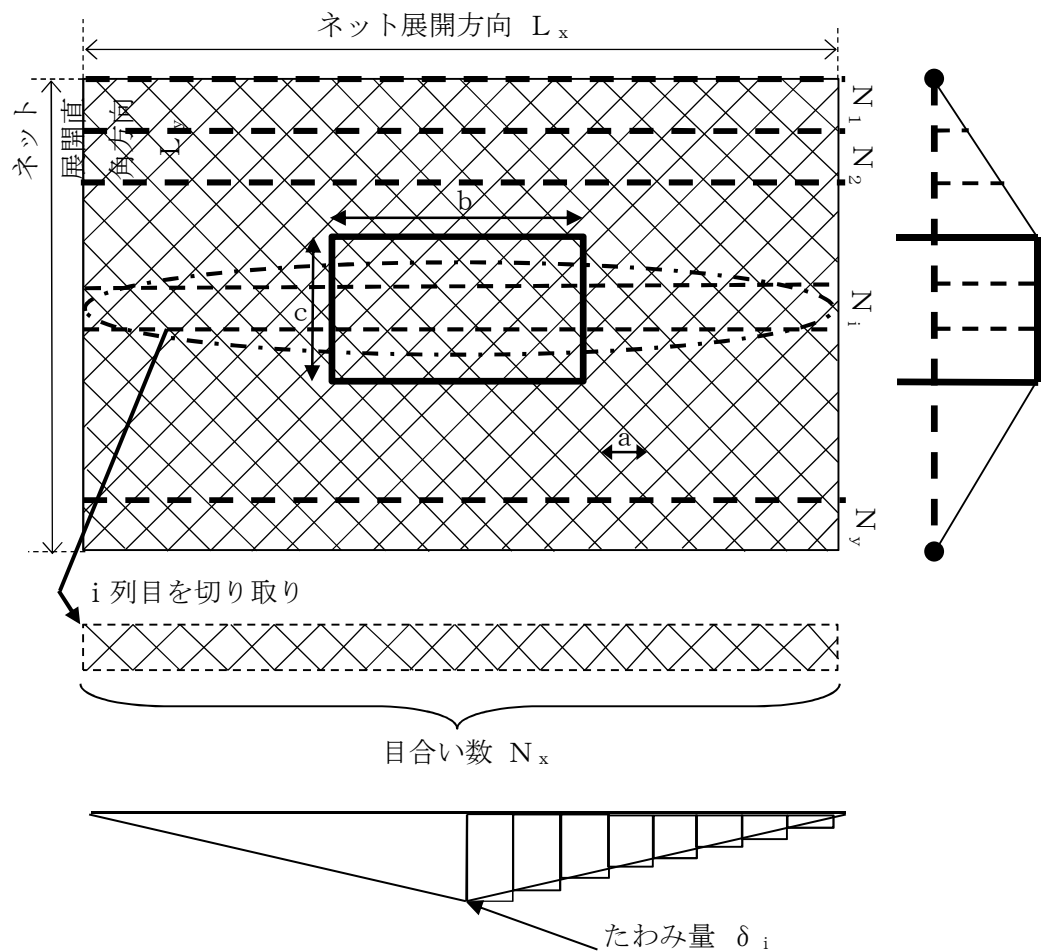


図 5-1 吸収エネルギー評価におけるネットのモデル図

図 5-1 に示すとおりネットの展開方向に 1 目合いごとに「」で囲った形に帯状に分割し、 N_1 から N_y までの各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットが吸収するエネルギーを算出し、ネットが吸収可能な限界吸収エネルギーを算出する。

ただし、中央部の最大たわみ量が発生する列数は、設計飛来物の寸法及びネット目合いの対角寸法から算出されるネット展開直角方向目合い列数を考慮して設定する。飛来物の端部寸法 ($b \times c$) 及びネット目合いの対角寸法 a を考慮し、最大たわみが発生する場合のネット展開直角方向目合い列数を以下のとおり算出する。ネットの吸収エネルギーが小さくなるよう、目合い列数の算出に用いる設計飛来物の寸法として軸方向断面の小さい方の寸法 c を適用し、最大たわみが生じる目合い列数を少なくすることにより、限界吸収エネルギー量が小さくなるように評価する。

$$\text{ネット展開直角方向目合い列数} = \frac{c}{a}$$

評価モデルとしては、展開方向に 1 目合いごとに帯状に分割するモデルとしており、限界吸収エネルギー量が小さく算出されるよう、三角形モデルとして評価を実施する。

吸収エネルギー評価の許容限界の算定フローを図 5-2 に示す。

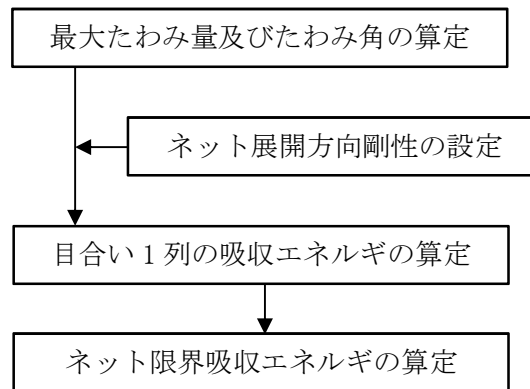
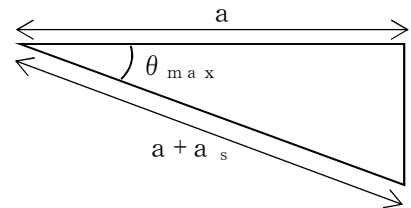


図 5-2 吸収エネルギー評価の許容限界の算定フロー

ネット 1 目合いの最大伸び量は、電中研報告書のネット目合いの引張試験から求められ、そこから算出する最大たわみ角から、飛来物が衝突した際の列の最大たわみ量 δ_{max} は次式により算定される。

$$\delta_{max} = \frac{L_x}{2} \tan \theta_{max}$$

$$\theta_{max} = \cos^{-1} \left(\frac{a}{a + a_s} \right)$$



ネットを構成するネットの展開方向の目合い数 N_x はネット展開方向寸法 L_x 及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。展開直角方向の目合い数 N_y は、ネット展開直角方向寸法 L_y 及びネット 1 目合いの対角寸法 a から求める。ネットを構成する 1 目合いはそれぞれ K の等価剛性を持っているため、1 列当たりバネ定数 K を持つバネを N_x 個直列に接続したものと考えることができる。そのため、1 列当たりの剛性 K'_x は、

$$N_x = \frac{1000 \cdot L_x}{a}, \quad N_y = \frac{1000 \cdot L_y}{a}$$

$$\text{ネット展開方向剛性} \quad K'_x = \frac{K}{N_x}$$

となる。ただし、 N_x 、 N_y の算出において限界吸収エネルギーの値が小さくなるように N_x は保守的に切り上げ、 N_y は保守的に切り捨てた値を用いる。また、ネット設置枚数を考慮したネット展開方向剛性 K_x は、次式により算出される。電中研報告書によると、40 mm 目合いの補助金網は、飛来物落下試験において 40 mm 目合い 0.5 枚相当の吸収エネルギー能力を有していることが確認されていることから、補助金網については、40 mm 目合いの金網 0.5 枚として考慮する。

$$K_x = K'_x (n + 0.5)$$

飛来物が衝突しなかった列のたわみ量 δ_i は、最大たわみ量 δ_{max} から定着部のたわみ量 0 までの間を、非接触の列の数の分だけ段階的に減少していくと考える。ネットの最大

たわみ量と最大たわみ角を図 5-3 に示す

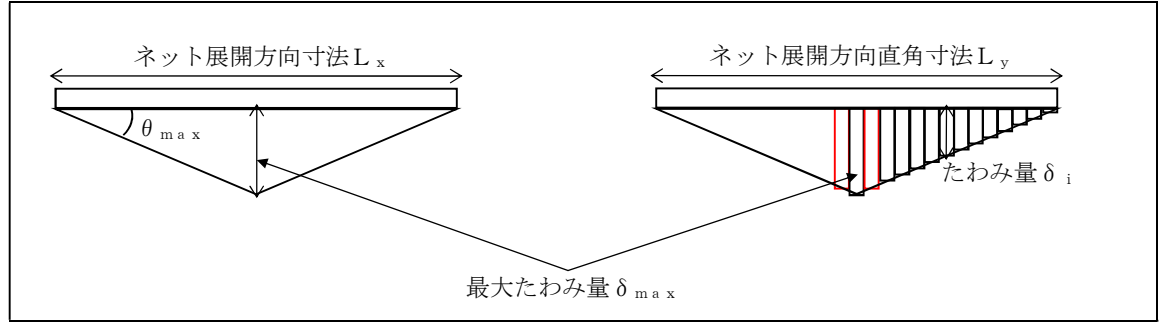


図 5-3 ネットの最大たわみ量と最大たわみ角

ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる張力を，ネットの剛性及びネットの伸び量から算出する。ネットに作用する力のつり合いを図 5-4 に示す。

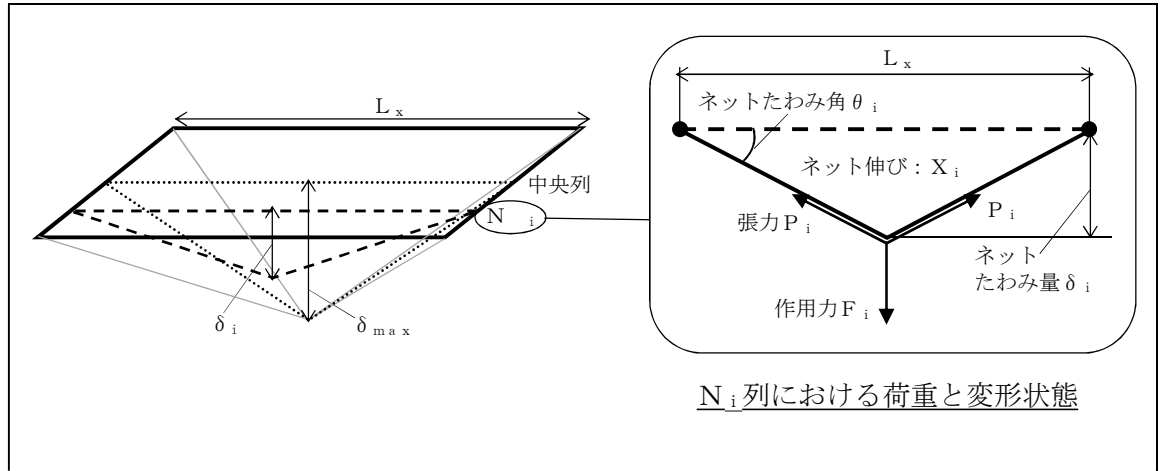


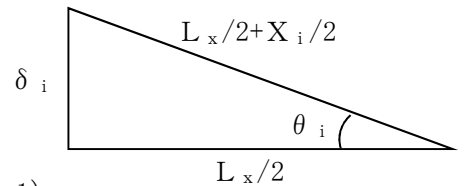
図 5-4 ネットに作用する力のつり合い

i 番目の列におけるネットの張力 P_i は，飛来物の衝突位置の左右を分割して考えると，伸び量は $X_i/2$ ，剛性は $2K_x$ となることから，

$$\begin{aligned} P_i &= 2 \cdot K_x \cdot \left(\frac{X_i}{2} \right) \\ &= K_x \cdot X_i \end{aligned}$$

となる。また，作用力 F_i は変位量とたわみ量の関係から，

$$\begin{aligned} F_i &= 2 \cdot P_i \cdot \sin \theta_i \\ &= 2 \cdot K_x \cdot X_i \cdot \sin \theta_i \\ &= 2 \cdot K_x \cdot L_x (\tan \theta_i - \sin \theta_i) \\ &= 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) \quad \dots \quad (5.1) \end{aligned}$$



ネットに飛来物が衝突した際のネットにかかる作用力 F_i を積分することにより i 番目の列における吸収エネルギー E_i を次式に示す。

$$\begin{aligned}
E_i &= \int_0^{\delta_i} F_i \cdot d\delta \\
&= \int_0^{\delta_i} 4 \cdot K_x \cdot \delta_i \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2}} \right) d\delta \\
&= 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \quad \cdots \quad (5.2)
\end{aligned}$$

以上から、ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー E_{max} は、各列の吸収エネルギー E_i を第 1 列から第 N_y 列まで積算することにより求められる。

$$\begin{aligned}
E_{max} &= \sum_{i=1}^{N_y} E_i \\
&= \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\} \quad \cdots \quad (5.3)
\end{aligned}$$

(3) 許容引張荷重の評価

防護ネットの許容引張評価においては、計算により算出する防護ネットの許容引張荷重が飛来物の衝撃荷重以上であることにより、ネットが破断しないことを確認する。

40 mm 目合いの防護ネットに飛来物（鋼製材）が衝突した評価モデルを図 5-5 に示す。

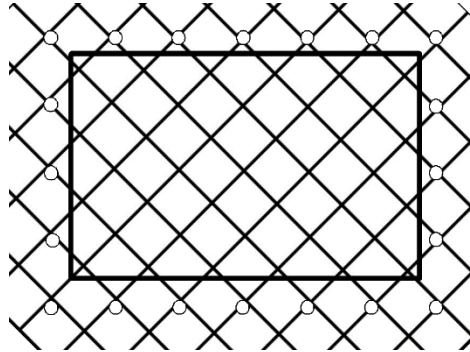


図 5-5 40 mm 目合いの防護ネットに飛来物が衝突した評価モデル

防護ネットの許容引張荷重はネットの 1 交点当たりの許容引張荷重から定まり、飛来物衝突時の周辺交点数から算出される許容引張荷重を許容限界とする。

図 5-5 に示すように、40 mm 目合いのネットは鋼製材が衝突した際、20 交点が接触するため、許容引張荷重 F_{max} は以下のとおり算出される。

$$F_{max} = F_{40} \cdot 20 \cdot n$$

5.2 防護鋼板の許容限界

5.2.1 衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，施設の外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないために，防護鋼板が，終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「NE I 07-13：Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design」（以下「NE I 07-13」という。）において，TF（多軸性係数）を□とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として $TF = \square$ を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合には，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

また，防護鋼板の変形による内包する防護対象施設への影響がないことを確認するために，飛来物の衝突方向の変位量を求め，その許容限界は防護対象施設までの距離に妥当な安全余裕を考慮して設定する。

5.3 架構の許容限界

5.3.1 衝突評価

設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，飛来物を貫通させないために，架構部材が，終局状態に至るようなひずみを生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが，「NE I 07-13」において，TF（多軸性係数）を□とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として $TF = \square$ を考慮して設定する。破断ひずみを超えるようなひずみが確認される場合には，その範囲を確認し飛来物が貫通するものでないことを確認する。

5.3.2 支持機能評価，波及的影響評価

上載する防護ネット及び防護鋼板の自重並びに防護ネット，防護鋼板及び架構への飛来物の衝突時の荷重に対し，これらを支持する構造強度を有すること及び防護対象施設に波及的影響を与えないことの確認として，設計竜巻の風圧力による荷重，設計飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し，架構部材および架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトに破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていること並びに架構全体に防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ，以下のとおり許容限界を設定する。

(1) 架構部材

架構部材の評価は，ひずみ量进行评估し，破断が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ，破断ひずみを許容限界として設定する。破断ひずみは，J I Sに規定されている伸びの下限値を基に設定するが「NE I 07-13」において，TF（多軸性係数）を□とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として $TF = \square$ を考慮し

て設定する。最大ひずみが破断ひずみを超える場合には、破断箇所を確認し全断面に発生しないことを確認する。

(2) 架構全体

架構全体の評価は、飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して、十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する評価方針としていることを踏まえ、架構においては、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有することを確認するため、J E A G 4 6 0 1 等に準じて許容応力状態Ⅳ_ASの許容応力を許容限界とする。架構と建屋等のボルト接合部のアンカーボルトにおいては、取替が容易にできないことから、降伏耐力又は短期許容応力度を許容限界とする。

6. 強度評価方法

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

- ・定式化された評価式を用いた解析法
- ・F E M等を用いた解析法

6.1 防護ネットの強度評価

(1) 評価方針

- a. ネットの限界エネルギーの算出においては、ネットの展開方向に1目合い毎に帯状に分割し、各列が分担するエネルギーを各列のたわみ量から算定し、それらを積算することによりネットの吸収するエネルギーを算出する。
- b. ネットの限界吸収エネルギーの算出においては、ネットを構成する1目合いはそれぞれKの等価剛性を持っているため、1列当たりバネ定数Kを持つバネを N_x 個直列に接続したものと考える。
- c. 自重と風圧力によるネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであり、ネット展開直角方向に対しては荷重が均一となるよう作用させる。
- d. 一方、ネット展開方向に対しては、設計モデル上均一に荷重を作用させることが困難であるため、保守的にエネルギーが大きくなるよう、自重及び風圧力によりネットに作用する荷重 F_w が全てネット展開方向 L_x の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて1列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 6-1 に示す。

表 6-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		評価内容
ネット		・限界吸収エネルギー ・引張 ・たわみ
ワイヤロープ		・引張 ・たわみ
接続治具（支持部）	ターンバックル	・引張
	シャックル	・引張
接続治具（固定部）	隅角部固定ボルト	・せん断
	溶接部	・せん断

(3) 強度計算

a. 記号の定義

ネット、ワイヤロープ及び接統治具（支持部、固定部）の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-2 ネット、ワイヤロープ及び接統治具（支持部、固定部）の強度評価に用いる記号(1/3)

記号	単位	定義
a_w	mm	取付けプレート溶接部ののど厚
A_c	mm^2	隅角部固定ボルトの断面積
E_f	kJ	設計飛来物衝突時にネットに作用するエネルギー
E_i	kJ	i 番目の列におけるネットの吸収可能エネルギー
E_{max}	kJ	ネット設置枚数 n を考慮した限界吸収エネルギー
E_t	kJ	ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全エネルギー
E_w	kJ	自重及び風圧力によりネットに作用するエネルギー
F_2	kN	設計飛来物衝突時にネット目合い1箇所が受ける衝撃荷重の最大値
F_a	kN	設計飛来物衝突時にネットが受ける最大衝撃荷重
F_a'	kN	設計飛来物衝突時にネットが受けるオフセット衝突を加味した最大衝撃荷重
F_i	kN	設計飛来物衝突時の i 番目の列における作用力
F_p	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_{p1}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に1本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_{p2}	kN	設計飛来物がネットに衝突する際に2本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重
F_x	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する X 方向の合成荷重
F_y	kN	設計飛来物がネットに衝突する際ワイヤロープから隅角部へ作用する Y 方向の合成荷重
F_w	kN	自重及び風圧力によりネットに作用する荷重
K_x	kN/m	ネット設置枚数を考慮したネット1目合いの展開方向の1列の等価剛性
L	mm	面取り長さ
L_b	mm	変形前のワイヤロープ長さ
L_{Pr}	mm	アイプレートの有効抵抗幅

表 6-2 ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の強度評価に用いる記号(2/3)

記号	単位	定義
L_{pw}	mm	溶接部の有効長さ
L_{p1}	mm	アイプレート長さ（縦方向）
L_{p2}	mm	アイプレート長さ（横方向）
L_s	mm	直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計
L_x	m	ネット展開方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
L_y	m	ネット展開直角方向寸法（吸収エネルギー、破断及びたわみ設計が安全側となるよう考慮する。）
L_y'	m	飛来物衝突の影響範囲
L_z	m	ワイヤロープの全長
m	kg	設計飛来物の質量
n	枚	ネット設置枚数
n_1	個	飛来物の衝突位置周辺のネット1枚当たりの目合いの個数
n_2	本	隅角部固定ボルト本数
N_y	個	ネット展開直角方向目合い数
P_w	kN	ネットの自重により作用する荷重
S	mm	すみ肉厚さ
S_x	mm	ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さ
S_y	mm	ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さ
V	m/s	設計飛来物の飛来速度
T'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりネットに発生する張力
T_1'	kN	設計飛来物のネットへの衝突によりワイヤロープに発生する張力
T_1''	kN	補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力
T_x	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_x'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するX方向の荷重
T_y	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
T_y'	kN	設計飛来物のネットへの衝突により展開直角方向のワイヤロープから発生するY方向の荷重
W_w	kN	風圧力による荷重
Z	mm ³	溶接部断面係数

表 6-2 ネット、ワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）の強度評価に用いる記号(3/3)

記号	単位	定義
ε	—	ワイヤロープのひずみ量
δ	m	設計飛来物衝突時のネットの最大たわみ量
δ'	m	変形によるワイヤロープ伸び量
δ_a	m	自重及び風圧力による荷重によるたわみ量
δ_i	m	設計飛来物衝突時の i 番目の列におけるネットのたわみ量
δ_L	m	直線区間のワイヤロープのたわみ量
δ_t	m	ネットとワイヤロープの合計たわみ量
δ_w	m	ワイヤロープのたわみ量
δ_{wx}	m	ネット展開方向に平行に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
δ_{wy}	m	ネット展開方向に直交に配置したワイヤロープの変形後のたわみ量
θ	deg	設計飛来物衝突時のネットのたわみ角
θ_{w1}	deg	ネット展開方向にワイヤロープのたわみ角
θ_{w2}	deg	ネット展開直角方向にワイヤロープのたわみ角
θ_x	deg	設計飛来物衝突時のネット展開方向に平行のネットたわみ角
θ_y	deg	設計飛来物衝突時のネット展開直角方向に平行のネットたわみ角
σ_s	MPa	隅角部固定ボルトに発生するせん断応力
τ_w	MPa	溶接部に発生するせん断応力

b. 吸収エネルギー評価

吸収エネルギー評価においては、電中研評価式を参照して、ネットが異方性材料であることを考慮した吸収エネルギー算出のモデル化を行い、設計飛来物による衝突荷重、風圧力による荷重及び自重によるエネルギーを算出する。

評価においては、複数枚の重ね合わせたネットを一体として考えたモデルにて評価を実施する。

(5.3) 式より、 E_{max} は以下のとおりである。

$$E_{max} = \sum_{i=1}^{N_y} \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

自重及び風圧力による荷重によりネットに作用する荷重は、ネット全体に等分布荷重として作用するものであるため、実現現象に合わせネット展開直角方向に対しては荷重が等分布となるよう作用させる。一方、ネット展開方向に対しては、評価モデル上の制約により均一に荷重を作用させることが困難であるため、ネットに作用するエネルギー量が保守的に大きくなるよう、 F_w がすべてネット展開方向 L_x の中央に作用したとして、ネットにかかる作用力の式を用いて 1 列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを算出し、列数倍することでネット全体が自重及び風圧力による荷重により受けるエネルギーを算出する。

評価条件である K_x 及び L_x 並びに自重及び風圧力による荷重から算出する F_w を (5.1) 式の F_i に代入して数値計算を実施することにより、自重及び風圧力による荷重によるたわみ量 δ_a が算出される。

$$F_w = N_y \cdot 4K_x \cdot \delta_a \left(1 - \frac{L_x}{\sqrt{4 \cdot \delta_a + L_x^2}} \right)$$

ただし、 $F_w = P_w + W_w$

上式にて算出した δ_a を (5.3) 式において、展開方向の 1 列当たりの自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギーを列数倍する以下の式に代入することにより、自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w が算出される。

$$E_w = N_y \left\{ 2 \cdot K_x \cdot \delta_a^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_a^2 + L_x^2} - L_x \right) \right\}$$

設計飛来物の衝突によりネットに作用するエネルギー E_f としては、衝突時の設計飛来物の運動エネルギーとして、以下より求められる。

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

設計飛来物の飛来速度は、ネットの設置方向により、水平設置の場合は鉛直の飛来速度、鉛直設置の場合は水平の飛来速度にて算出する。斜め方向から衝突した場合の飛来速度の水平方向速度成分及び鉛直方向速度成分は、評価に用いる水平最大飛来速度及び鉛直最大飛来速度を下回る。また、設計飛来物がネットの設置方向に対して斜め方向から衝突する場合は、設計飛来物が衝突後に回転し、ネットと設計飛来物の衝突面積が大きくなるため、ネットに局部的に作用する荷重は小さくなる。したがって、設計飛来物の衝突方向は、ネットに局部的に作用する荷重が大きくなるようにネットに対して垂直に入射するものとし、その飛来速度はネットの設置方向に応じ、水平設置の場合は鉛直最大飛来速度、鉛直設置の場合は、水平最大飛来速度を用いる。

以上から、ネット設置枚数 n を考慮したネットに作用する全エネルギー E_t が以下のとおり算出される。

$$E_t = E_f + E_w \quad \cdots (5.4)$$

c. 破断評価

(a) ネットの引張荷重評価

防護ネットに飛来物が衝突した際に生じる衝撃荷重の最大値 F_a は、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて算出した (2.8) 式のたわみ量と飛来物による衝撃荷重の関係式を用いて算出する。

設計飛来物の衝突による荷重に加え、自重及び風圧力による荷重を考慮するため、 E_f を E_t と置き換えて、(2.8) 式より、

$$F_a = \frac{8 \cdot E_t}{3 \cdot \delta}$$

となる。

E_t としては、(5.4)式により設計飛来物による運動エネルギー E_t 並びに自重及び風圧力による荷重によりネットが受けるエネルギー E_w から算出したネットに作用する全エネルギー量を代入する。 δ としては、たわみ評価で算出する設計飛来物が衝突する場合のネットの最大たわみ量を代入し、 F_a を算出する。

ここで、オフセット衝突による衝撃荷重の増加分による係数 を考慮し、衝撃荷重の最大値 F_a' は、

$$\text{ }$$

と算出される。

(b) ワイヤロープの破断評価

破断評価における衝撃荷重と、ネットとワイヤロープの接続構造からワイヤロープに作用する荷重を導出する。

ワイヤロープの設計において、ワイヤロープに発生する荷重として以下を考慮する。

- ① ネットの自重により作用する荷重
- ② 風圧力によりネットに作用する荷重
- ③ 設計飛来物の衝突によりネットに作用する衝撃荷重

防護ネットは、電中研報告書と同様に2本のワイヤロープをL字に設置し、さらにワイヤロープが緩衝材により拘束されない構造としており、衝突試験における実測値が包絡されることを確認している評価式を用いて評価を実施する。

自重、風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重によりネットに作用する衝撃荷重の最大値 F_a' が集中荷重として作用するとしてモデル化すると、設計飛来物が衝突する場合の設置枚数 n を考慮したネットに発生する張力の合計である張力 T' は、図6-1に示すネットに発生する力のつりあいより以下のとおり算出され、各辺のワイヤロープが結合されていることから張力が一定となるため、ワイヤロープ1本が負担する張力は $\frac{T'}{2}$ と設定する。

$$T' = \frac{F_a'}{2 \sin \theta}$$

ただし、 θ は以下の式で求められる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 \cdot \delta}{L_x}$$

ネットに発生する力のつりあいを図6-1に示す。

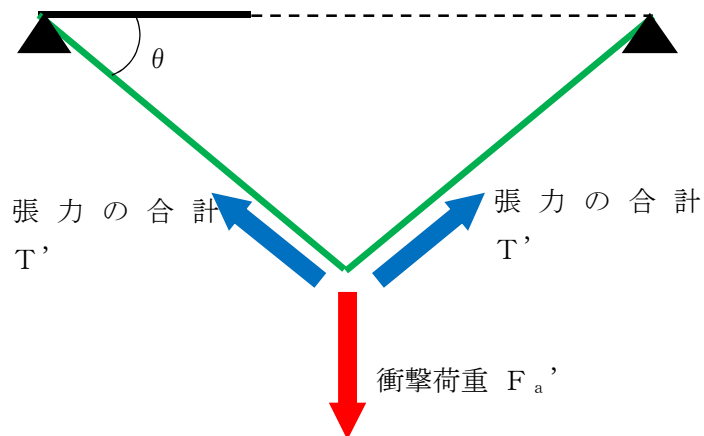


図 6-1 ネットに発生する力のつりあい

ネットを n 枚重ねて設置する場合、1 枚のネットのワイヤロープ 1 本に発生する張力の最大値 T_1' は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} = \frac{F_a'}{4 \sin \theta}$$

と算出される。

さらに、ワイヤロープが支持する防護ネットの枚数を考慮する。上段のワイヤロープには補助金網が設置されており、2 枚のネットを支持しているため、下段のワイヤロープより大きな荷重が作用することとなるため、補助金網設置に伴う荷重の分担を考慮する。

電中研報告書によると、補助金網を設置している上段のワイヤロープには、補助金網を設置していないワイヤロープに比べ、1.5 倍の張力が発生していることが確認されている。このことから、上段のワイヤロープは、下段のワイヤロープに比べ、補助金網の影響により 1.5 倍の張力が発生しているものとし、その影響を考慮する。補助金網を支持しているワイヤロープに発生する張力 T_1' は、

$$T_1' = \frac{T'}{2} = \frac{F_a'}{4 \sin \theta} \cdot \left(\frac{1.5}{1.5 + 1} \right)$$

ネットに対して設計飛来物がオフセット衝突した場合においても、各ワイヤロープに対して均等に張力が発生することが衝突試験により確認されており、算出結果は設計飛来物の衝突位置によらず適用可能である。

(c) 接続治具（支持部）の破断評価

イ. ターンバックル

ターンバックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値として、ワイヤロープに発生する張力 T_1' により評価を実施する。

ロ. シャックル

シャックルは、ワイヤロープの引張荷重が作用する場合においても、許容値を満足することを確認することから、引張荷重の最大値として、ワイヤロープに発生する張力 T_1' により評価を実施する。

(d) 接続治具（固定部）の破断評価

イ. 隅角部固定ボルト

ワイヤロープは、設置するネット枚数に応じて設置するため、隅角部固定ボルトにかかる応力は、ネット枚数ごとに評価する。

ここで、ワイヤロープはたわみにより鋼管に対して θ_{w1} 、 θ_{w2} のたわみ角を有することから、隅角部へ作用する荷重にはこのたわみ角を考慮する。鉛直方向成分は、水平方向成分のように溶接部に対する有意な荷重ではないことから、面内荷重で評価する。

ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係を図 6-2 に示す。

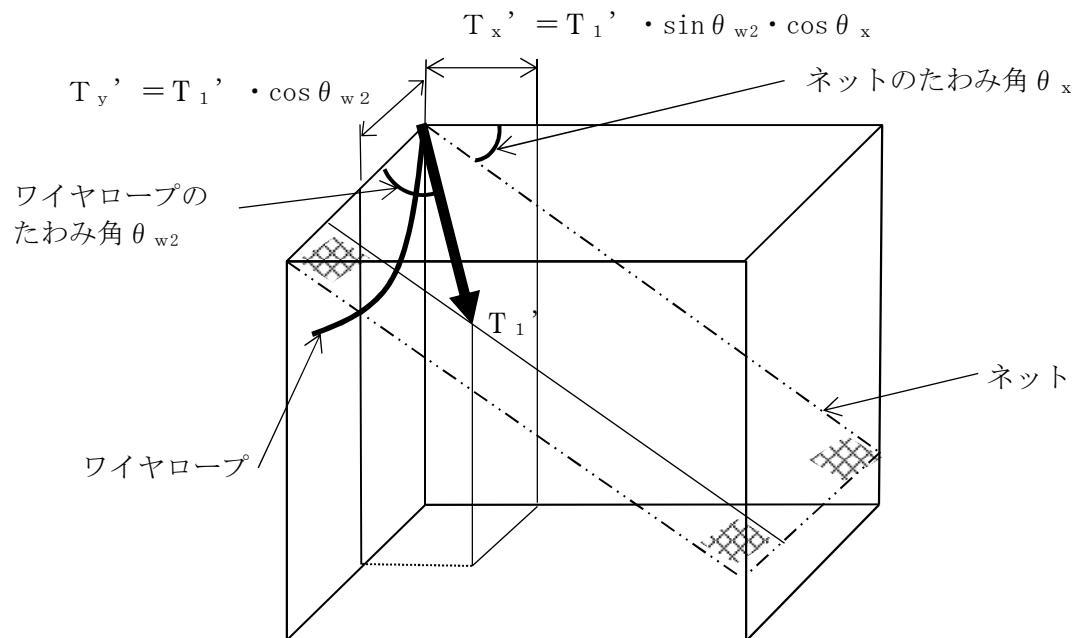
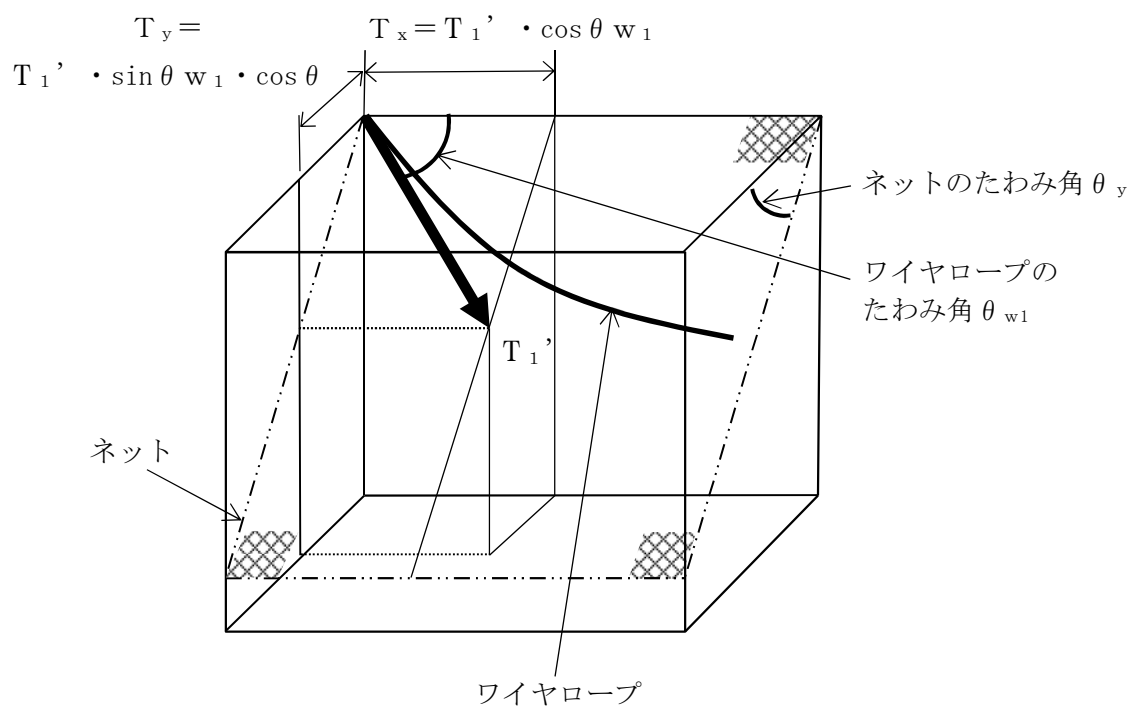


図 6-2 ネットのたわみとワイヤロープのたわみ角の関係

鋼管の荷重状態を図 6-3，隅角部固定ボルトの荷重状態を図 6-4 に示す。

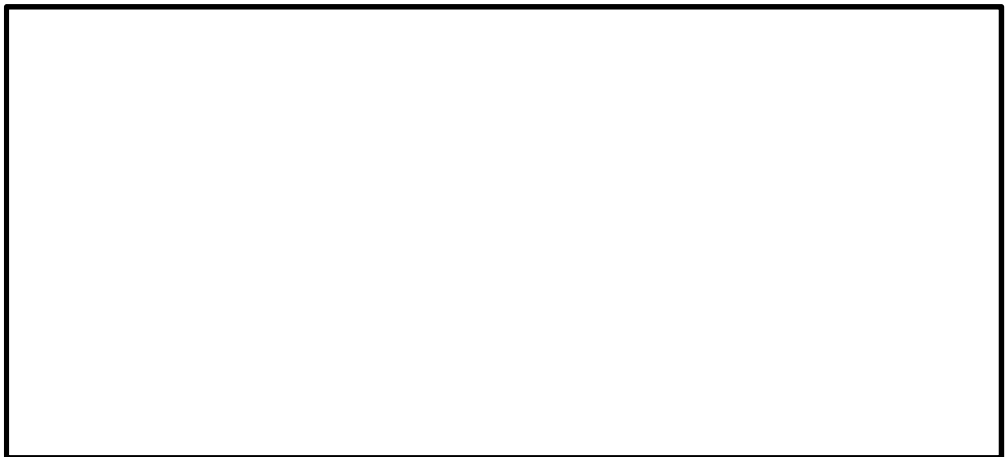


図 6-3 鋼管の荷重状態



図 6-4 隅角部固定ボルトの荷重状態

隅角部固定ボルトに発生するせん断応力を力の釣合いの関係から以下の評価式を用いて算出する。

ネット展開方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重， T_x 及び T_y は，以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} T_x &= T_1' \sin \theta_{w1} \cdot \cos \theta_x \\ T_y &= T_1' \cos \theta_{w1} \end{aligned}$$

ただし， θ_x ， θ_{w1} は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w1} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left(\frac{\delta_w}{L_x} \right)^2}}$$

また、ネット展開直角方向ワイヤロープから発生する各方向の荷重、 T_x' 及び T_y' は以下の関係となる。

$$\begin{aligned} T_x' &= T_1' \sin \theta_{w2} \cdot \cos \theta_x \\ T_y' &= T_1' \cos \theta_{w2} \end{aligned}$$

ただし、 θ_x 、 θ_{w2} は以下の式で求められる。

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot \delta}{L_x} \right)$$

$$\theta_{w2} = \cos^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + 16 \left(\frac{\delta_{wy}}{L_y} \right)^2}}$$

隅角部へ作用するX方向及びY方向への合成荷重は

$$\begin{aligned} F_x &= T_x + T_x' \\ F_y &= T_y + T_y' \end{aligned}$$

より求まる。

1 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p1} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

より求まる。

2 本目のワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重は

$$F_{p2} = F_{p1} / 1.5$$

より求まる。

ワイヤロープから隅角部へ作用する合成荷重 F_p は

$$F_p = F_{p1} + F_{p2}$$

以上より、隅角部固定ボルトに発生するせん断応力 σ_s は、

$$\sigma_s = \frac{F_p}{A_c \cdot n_2}$$

ロ. アイプレート

設計飛来物が防護ネットに衝突する場合にネット取付部への衝撃荷重 T_1' は、ワイヤロープの引張荷重として作用し、すみ肉溶接部にはせん断応力が発生するため、せん断応力評価を実施する。アイプレートの荷重状態を図 6-5 に示す。

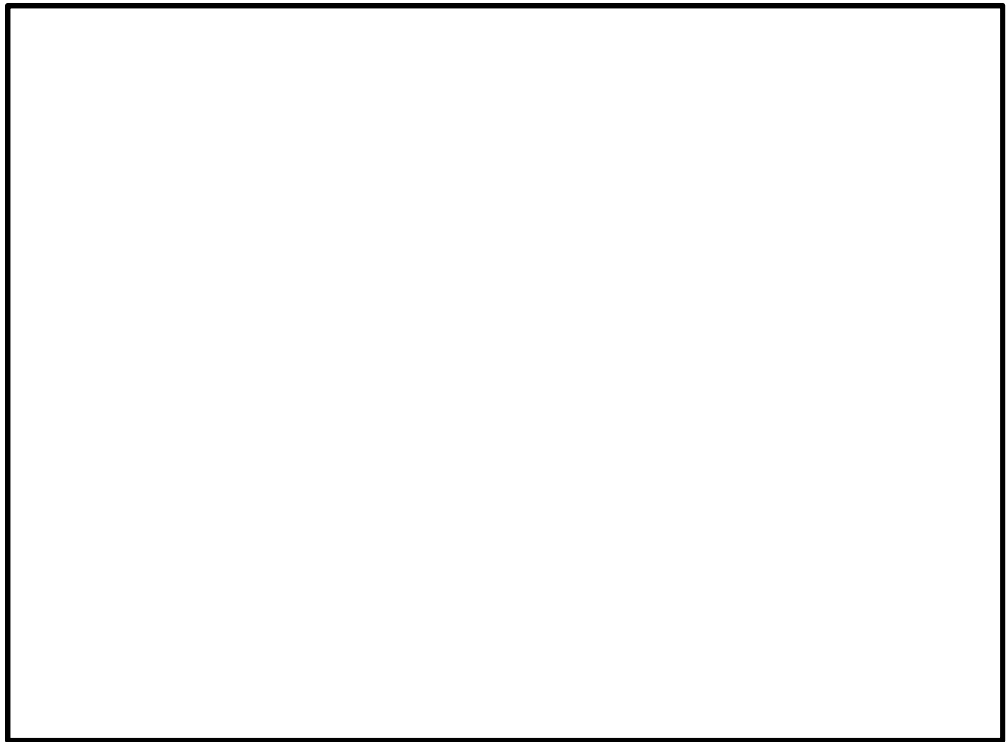


図 6-5 アイプレートの荷重状態

溶接部の有効脚長 L_{pw} は,

$$L_{pw} = L_{p1} - L - 2 \cdot S + L_{p2} - L - 2 \cdot S$$

溶接部に発生するせん断応力 τ_w は,

$$\tau_w = \frac{T}{2 \cdot a_w \cdot L_{pw}}$$

ここで溶接部ののど厚 a_w は以下の式で求められる。

$$a_w = \frac{S}{\sqrt{2}}$$

d. たわみ評価

(a) ネットのたわみ量の算出

ネットの変位量と吸収エネルギーとの関係は、「5.1.2(2) 限界吸収エネルギーの算定」の (5.2) 式のとおり、以下の式にて導出される。

$$E_i = 2 \cdot K_x \cdot \delta_i^2 - K_x \cdot L_x \left(\sqrt{4 \cdot \delta_i^2 + L_x^2} - L_x \right)$$

ここで、 K_x 及び L_x は定数であるため、

$$\sum_{i=1}^{N_y} E_i = E_t$$

とすることで、ネットへの付加エネルギーに応じたたわみ量 δ を算出することができる。

(b) ワイヤロープのたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量の算出

ワイヤロープのたわみ量は、ネット張力によりワイヤロープが放物線状に変形するとし、「6.1(3)c. ワイヤロープ、ターンバックル及びシャックルの破断評価」に示す方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力及びワイヤロープの引張試験結果（荷重－ひずみ曲線）から変形後のワイヤロープ長さを求めることで導出する。

$$T_1 = \frac{F_a}{4n \cdot \sin \theta}$$

また、ワイヤロープの初期張力は小さくワイヤロープのたわみ量の算出において有意ではないため計算上考慮しない。

以下に示す計算方法を用いて算出されるワイヤロープに発生する張力からワイヤロープのひずみ量 ε が算出される。よって、変形によるワイヤロープの伸び量 δ' は、以下のとおり算出される。

$$\delta' = L_z \cdot \varepsilon$$

ワイヤロープの変形図を図 6-6 に示す。設計飛来物の衝突によりワイヤロープは放物線状に変形すると、変形後のワイヤロープ長さ L_s は放物線の弦長の式を用いて以下のとおり表される。

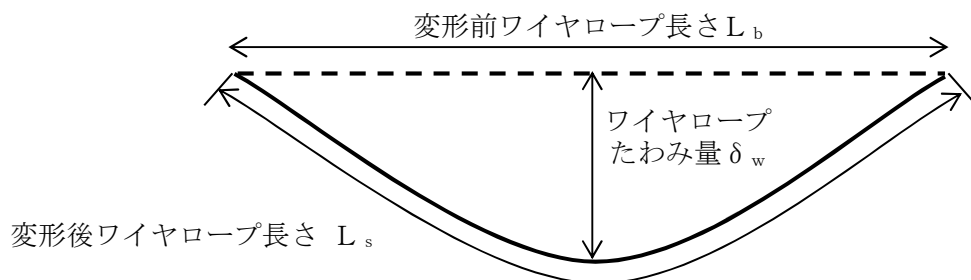


図 6-6 ワイヤロープの変形図

$$L_s = \frac{1}{2} \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2} + \frac{L_b^2}{8 \cdot \delta_w} \ln \left(\frac{4 \cdot \delta_w + \sqrt{L_b^2 + 16 \cdot \delta_w^2}}{L_b} \right)$$

また、ワイヤロープはネットのアスペクト比により、変形形状が異なる。ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）を図 6-7、ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）を図 6-8 に示す。

「展開方向寸法＞展開直角方向寸法」の場合は、飛来物の衝突によるネット変形がネット全体に及ぶため図 6-7 にとおり 4 辺のワイヤロープが変形する形状となり、「展開方向寸法＜展開直角方向寸法」の場合は、ネット変形がネット展開方向長さの範囲に制限されるため、図 6-8 にとおりネット展開直角方向のワイヤロープのみが変形する形状となる。

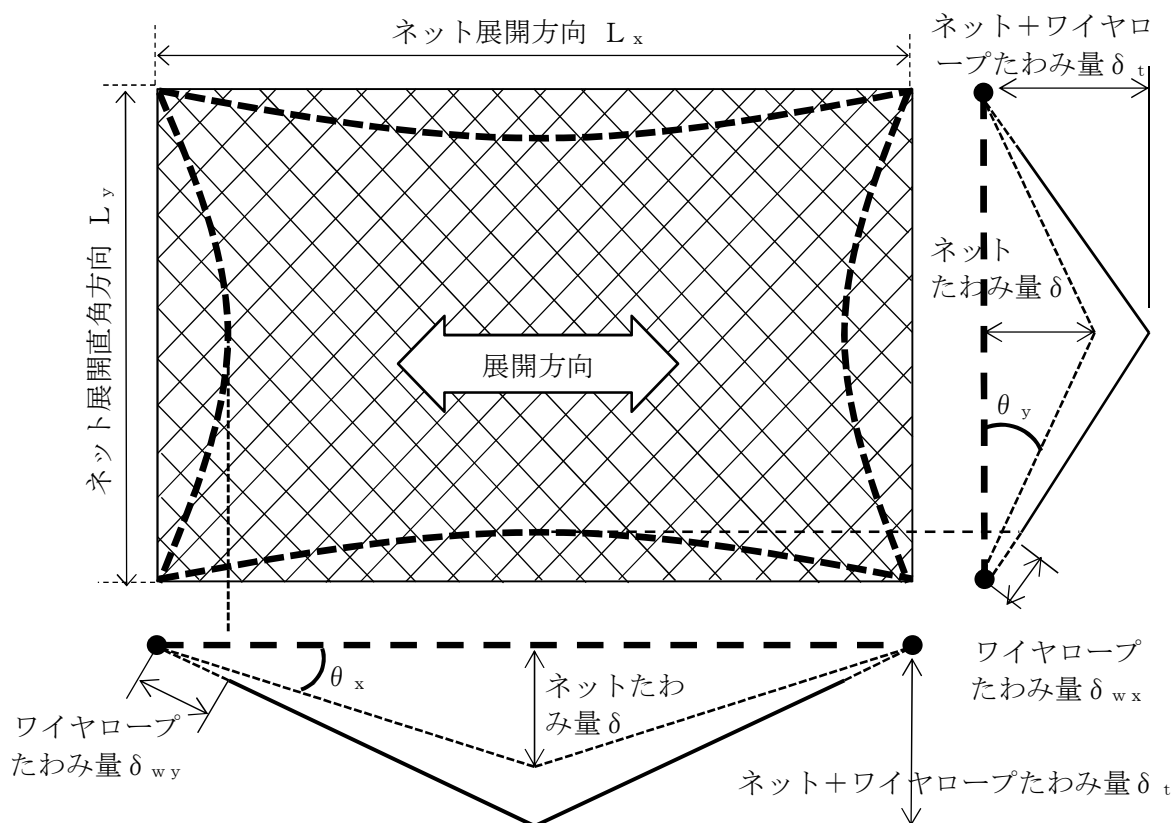


図 6-7 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が長い場合）

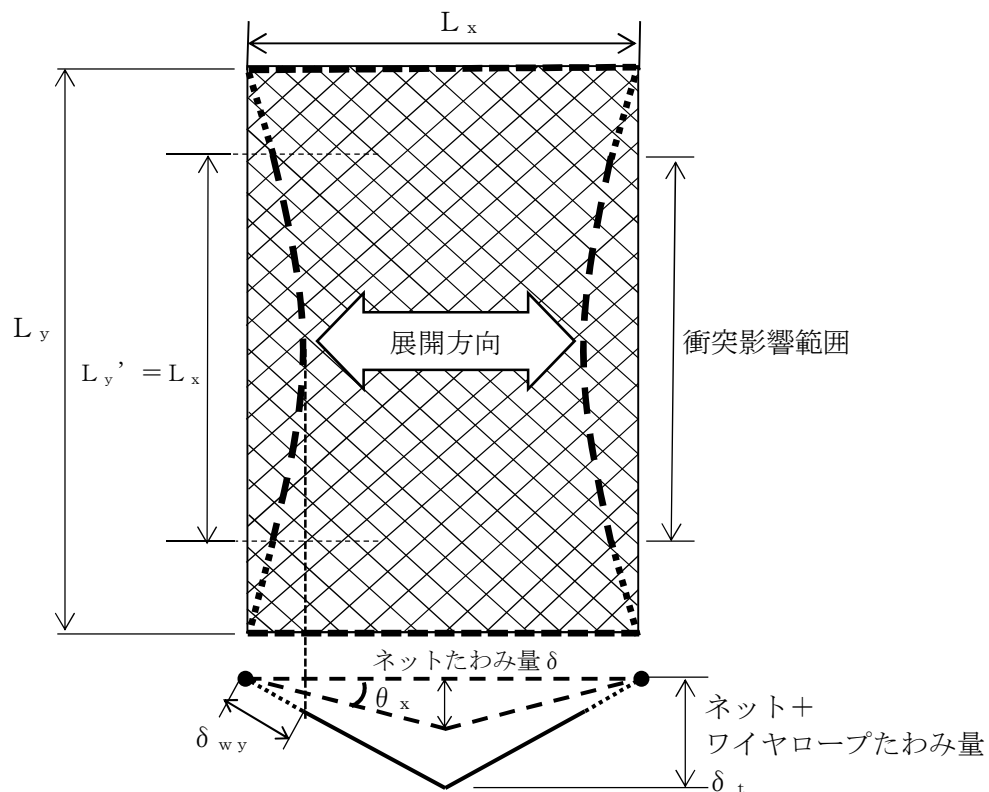


図 6-8 ネット及びワイヤロープ変形図（展開方向が短い場合）

よって、ネットのアスペクト比に応じ、ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量の算出を行う。

展開方向寸法＞展開直角方向寸法の場合、図 6-7 のとおり、ネット展開方向と平行に配置したワイヤロープの変形後の長さを S_x 、ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_x 及び S_y はそれぞれ δ_{wx} 、 δ_{wy} の関数であり、ワイヤロープ伸び量 δ' は、

$$\delta' = \{S_x(\delta_{wx}) - L_x\} + \{S_y(\delta_{wy}) - L_y\}$$

と表される。

また、ネット展開方向と平行な断面から見たたわみ量と、ネット展開方向と直交する断面から見たたわみ量は等しいことから、

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2\cos\theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\delta_{wx} + \frac{L_y}{2\cos\theta_y}\right)^2 - \left(\frac{L_y}{2}\right)^2}$$

と表され、ワイヤロープたわみ量 δ_{wx} 及び δ_{wy} を導出することができ、同時にワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量 δ_t が算出される。

展開直角方向寸法＞展開方向寸法の場合、図 6-8 より、ワイヤロープ伸び量 δ' が、 L_y の範囲に集約されて変形する。展開直角方向寸法＞展開方向寸法の場合における、ワイヤロープの変形図を図 6-9 に示す。

ワイヤロープは、飛来物の影響範囲 (L_y') にのみ分布荷重が発生するため放物線状となり、その両端部は放物線状に変形したワイヤロープからの引張力のみが作用するため、両端部の接線がそのままネット端部まで延長される形となる。

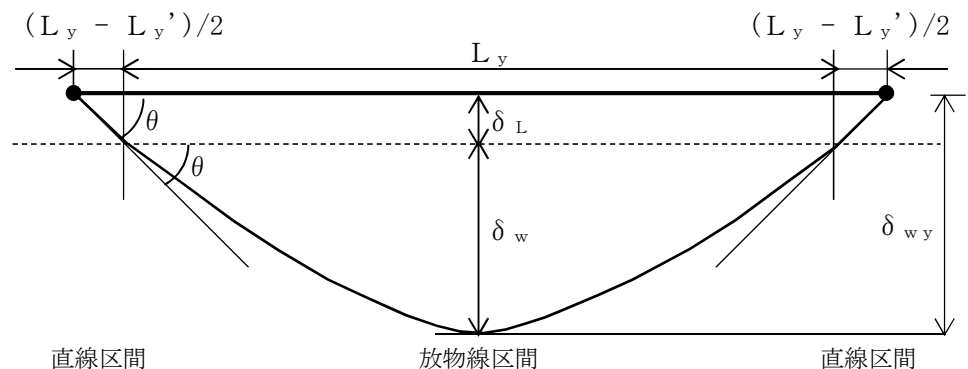


図 6-9 ワイヤロープの変形図

ネット展開方向と直交するワイヤロープの変形後の長さを S_y とすると、 S_y は δ_w の関数であり、

$$S_y = S_y(\delta_w)$$

と表される。

また、直線区間のワイヤロープの変形後の長さの合計 L_s は、

$$L_s = \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta}$$

と表される。

L_y （展開方向に直交する辺）の変形後のワイヤロープ長さ S_t は、

$$S_t = L_y + \delta'$$

と算出されることから、

$$\begin{aligned} L_y + \delta' &= S_y + L_s \\ &= S_y(\delta_w) + \frac{L_y - L_y'}{\cos \theta} \end{aligned}$$

となり、 L_y 、 L_y' 、 δ' 、 θ は定数であることから、放物線区間のワイヤロープたわみ量 δ_w を導出することができる。

また、直線区間のワイヤロープのたわみ量 δ_L は、

$$\delta_L = \frac{L_y - L_y'}{2} \tan \theta$$

と算出されることから、放物線区間、直線区間を含むワイヤロープ全体のたわみ量が、

$$\delta_{wy} = \delta_w + \delta_L$$

と算出される。

$$\delta_t = \sqrt{\left(\delta_{wy} + \frac{L_x}{2 \cos \theta_x}\right)^2 - \left(\frac{L_x}{2}\right)^2}$$

より、ワイヤロープたわみ量を含めた防護ネットのたわみ量 δ_t が算出される。

7. 適用規格

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「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」による。

これらのうち、防護対策施設の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・「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)
- ・「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)
- ・日本工業規格(J I S)
- ・「建築物荷重指針・同解説」((社) 日本建築学会(2004 改定))
- ・「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))
- ・「鋼構造接合部設計指針」((社) 日本建築学会(2012 改定))
- ・「小規模吊橋指針・同解説」((社) 日本道路協会)
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (N E I 07-13))

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 防護対策施設の強度計算書

目次

- 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 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格	6

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である防護ネットが、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物（以下「飛来物」という。）が防護対象施設へ衝突することを防止するために、主要な部材が破断せず、たわみを生じても飛来物が防護対象施設と衝突しないよう、飛来物のエネルギーが防護ネットの限界吸収エネルギーが値を下回っていること、及び防護ネットを構成する部材が許容限界に至らないことを確認するものである。

2. 基本方針

V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、防護ネットの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

防護ネットは、原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上、原子炉棟外壁及び付属棟屋上）及び海水ポンプ室周りに設置する。

防護ネットの設置位置図を図 2-1 に示す。

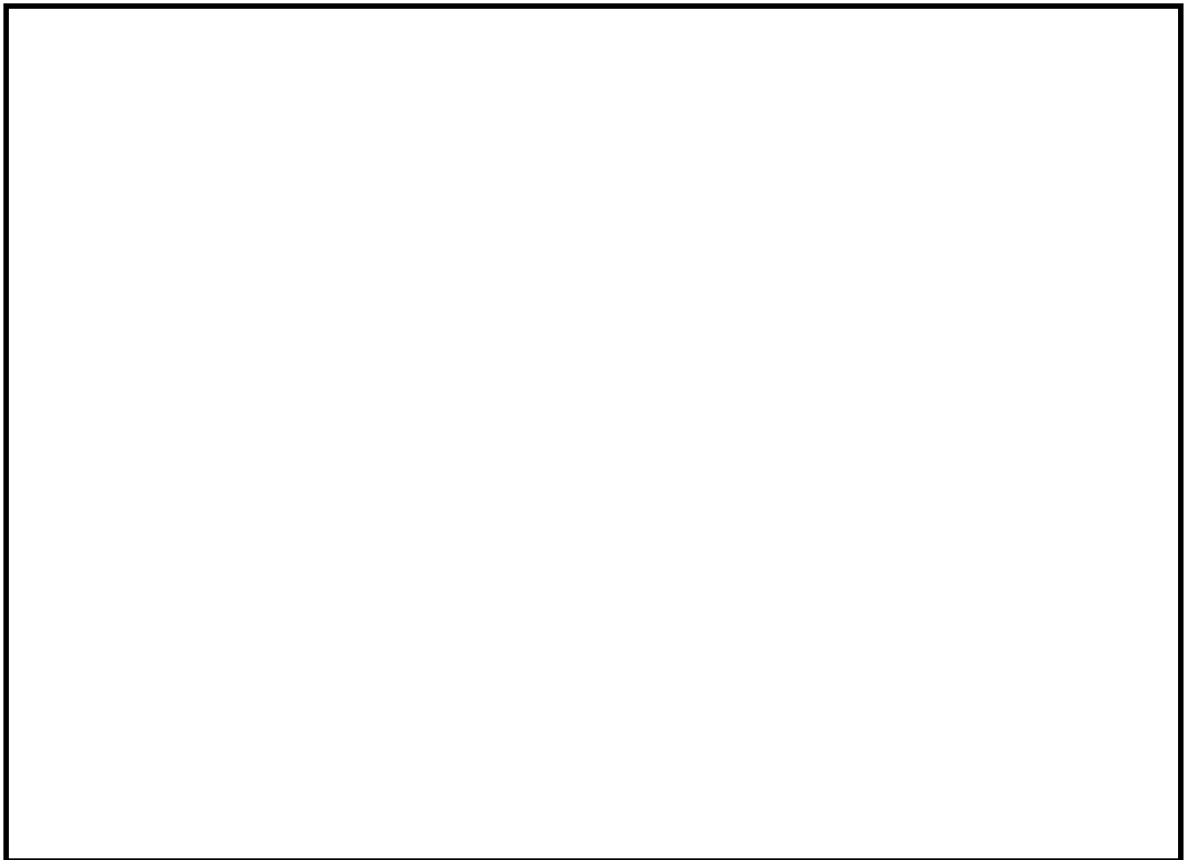


図 2-1 防護ネットの設置位置図

2.2 構造概要

防護ネットの構造は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.1 防護ネットの構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

防護ネットは、ネット、ワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）及び鋼製枠から構成され、原子炉建屋及び海水ポンプエリアに設置する。防護ネットは、防護対象施設又は開口部周辺に設置した架構に接続ボルト等を用いて取付けられ、架構は基礎若しくは建屋の床及び壁により支持される。

防護ネットのうちネットは、四隅にワイヤロープを縫うようにはわせたワイヤロープにより支持し、ワイヤロープは接続治具（支持部）を介して、鋼製枠に設置した接続治具（固定部）にて支持する構造とする。

防護ネットは、ネットに作用する自重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重をワイヤロープ、接続治具（支持部、固定部）を介して、鋼製枠に伝達する。

防護ネットのうちネットは、飛来物が衝突した際に局部的に生じる衝撃荷重に耐え、変形することにより飛来物の持つ運動エネルギーを吸収し、防護対象施設への衝突を防止するものである。ネットは、らせん状の硬鋼線を 3 次元的に編み込み、編み込みの方向によって主に荷重を受け持つ展開方向と展開直角方向の異方性を持っており、ネットに対して L 字に張った 2 本のワイヤロープで支持される。

ワイヤロープは、展開方向に並行するワイヤロープと、展開方向に直交するワイヤロープが接合されていることから、ワイヤロープの張力が均一に発生する構造となっており、ワイヤロープは接続治具（支持部）であるターンバックル及びシャックルで支持される。ワイヤロープは、ネットの自重による平常時のたわみが大きくなるように、初期張力をかけ、トルク管理を行う。また、ネットは 2 枚以上重ねて敷設するため、それぞれのネットの機能が発揮されるよう、ワイヤロープや接続治具等はネットごとに同じ構成にて設置する。

防護ネットの概要図を図 2-2 に示す。

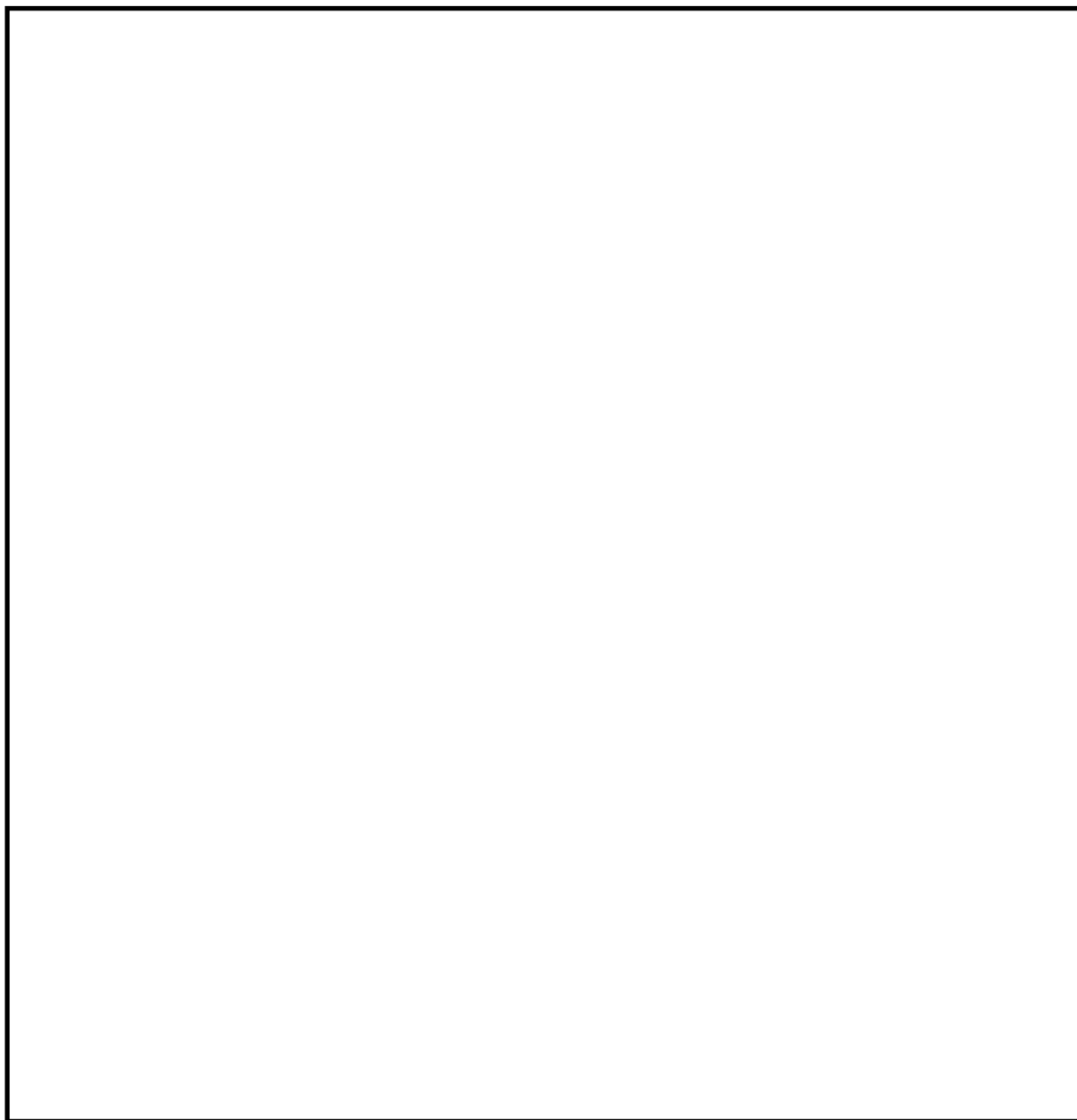


図 2-2 防護ネットの概要図

2.3 評価方針

防護ネットの強度計算は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、防護ネットの評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

防護ネットの評価フローを図 2-3 に示す。

防護ネットの強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計荷重に対して、防護ネットは内側に設置した防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を捕捉し防護対象施設へ衝突させないために、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有すること、及びたわみが生じて、飛来物が防護対象施設と衝突しないよう防護対象施設との離隔が確保できることを確認する。

防護ネットのうち、ネットは破断が生じないことの確認として、ネットが飛来物のエネルギーを吸収することができること、及び飛来物の衝突箇所においてネット目合いの破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。また、防護ネットが飛来物を捕捉可能であることを確認するために、設計荷重に対して、ネットを支持するワイヤロープ及び接続治具（支持部、固定部）に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度を有することを評価する。

防護ネットのうち、たわみについては、ネットに作用する設計荷重に対して、ネット及びワイヤロープにたわみが生じた場合でも、飛来物が防護対象施設に接触しないことを評価する。

評価においては、防護ネットの形状、及び評価条件として、展開方向寸法と展開直角方向寸法の比（以下「アスペクト比」という。）、飛来物の衝突位置の影響及びネットの等価剛性の取扱いの影響を考慮した評価を実施する。

ネット寸法のアスペクト比については、電力中央研究所報告書「高強度金網を用いた竜巻飛来物対策工の合理的な衝撃応答評価手法」（総合報告：O01）（以下「電中研報告書」という。）の評価式の適用性が確認されている 1:1～2:1 の範囲で使用し、その範囲を外れる部分はエネルギー吸収等において有効な面積とならないため、ネットの吸収エネルギー評価、ネットの破断評価及びたわみ評価において、評価ごとに保守的な設定となるように、アスペクト比を考慮した評価を実施する。アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法の設定方法については、「3.5 評価方法」に示す。また、アスペクト比の影響を考慮した評価におけるネット寸法は、「4. 評価条件」に示す。

飛来物の衝突位置の影響については、評価において飛来物がネット中心に衝突する場合について評価を実施することから、中央位置からずれた位置（以下「オフセット位置」という。）に衝突する場合の影響を考慮し、ネット、ワイヤロープ及び接続治具の破断評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については「3.5 評価方法」に示す。

ネットの等価剛性については、電中研にて複数回実施している衝撃引張試験の結果から算出する。等価剛性の算出の方法を考慮し、ネットの吸収エネルギー評価及び防護ネットのたわみ評価において、評価における係数を設定する。係数の設定については、「3.4 許容限界」に示

す。

ネット評価の考慮事項の選定について、表 2-1 に示す。

防護ネットを支持し、ネットに作用する荷重が伝達される架構の強度評価は、V-3-別添 1-2-1-3「架構の強度計算書」に示す。

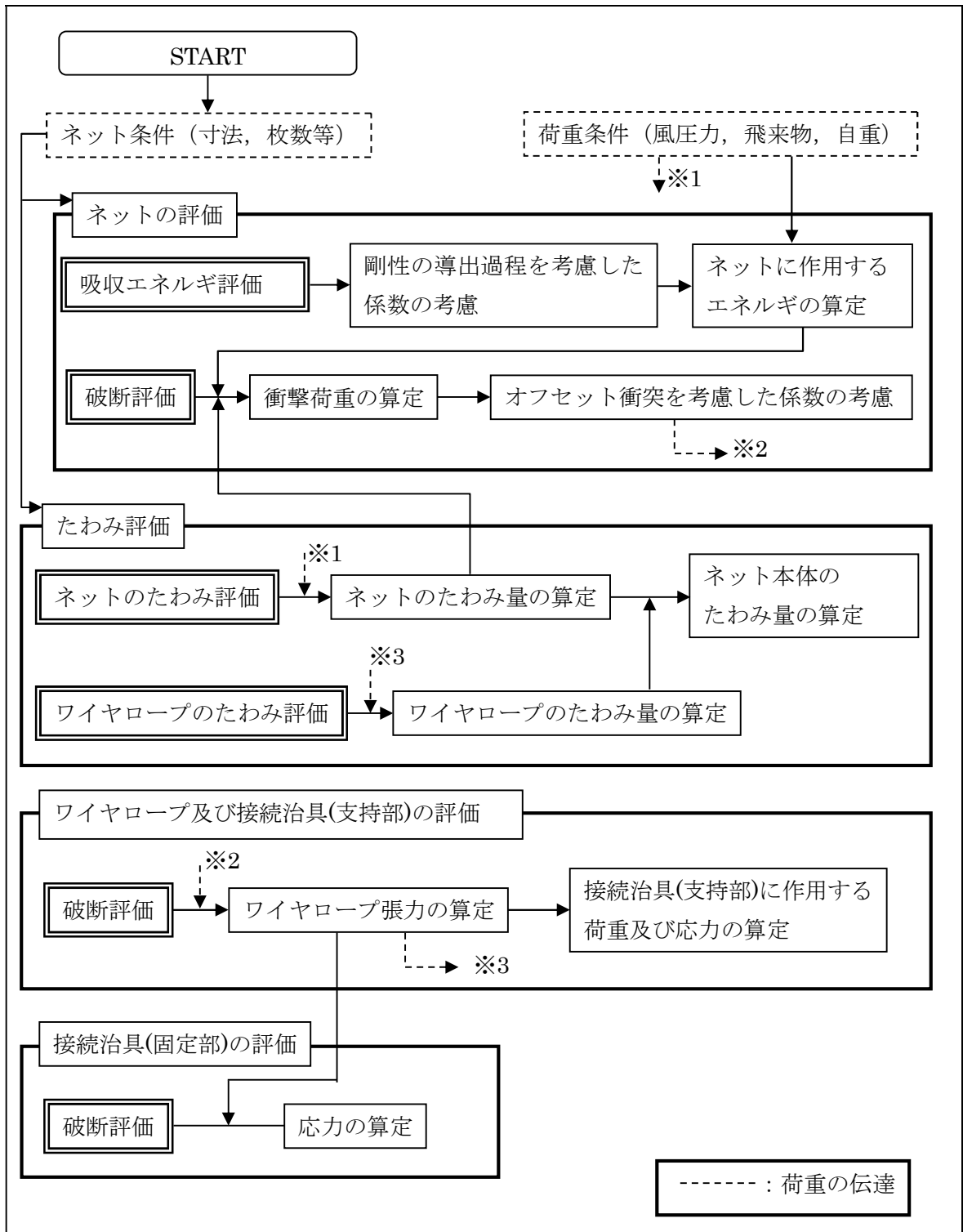


図 2-3 防護ネットの評価フロー

表 2-1 ネット評価の考慮事項の選定

	吸収エネルギー評価	破断評価	たわみ評価
算出方法	飛来物の有する運動エネルギー、自重及び風圧力により生じるエネルギーを算出し、ネットに生じるエネルギーの総量を算出。	自重、飛来物によるネットへの衝撃荷重及び風圧力による荷重を算出し、ネットの引張荷重及びワイヤロープの張力、接続治具に発生する応力を算出。	自重、飛来物による衝撃荷重及び風圧力による荷重によりネット及びワイヤロープに生じるたわみ量を算出。
アスペクト比	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。	アスペクト比の影響を考慮してネット寸法を設定。
衝突位置	オフセット衝突時のネットの吸収エネルギーは中央衝突と同等であることから、オフセットによる影響はなく考慮不要。	オフセット衝突時の衝撃荷重が中央衝突より増加することを算出荷重に考慮する。	ネットの最大たわみ位置である中央位置のたわみ及びオフセット位置のたわみを考慮して、たわみ量を設定。
ネット剛性	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を限界吸収エネルギーに考慮する。	荷重による各部位の評価であり、ネットの等価剛性を用いた評価は行っていないため考慮不要。	等価剛性の算出過程の影響から定められる係数を飛来物の衝突によりネット本体に生じるたわみ量に考慮する。

2.4 適用規格

適用する規格、基準、指針等を以下に示す。

- ・日本工業規格(JIS)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」
((社) 日本機械学会 (以下「JSME」という。))
- ・「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
- ・「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」 (社) 日本建築学会(2005)
- ・「建築物荷重指針・同解説」 (社) 日本建築学会(2004 改定)
- ・「小規模吊橋指針・同解説」 (社) 日本道路協会

V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書

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	3

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設、原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設及び中央制御室換気系開口部防護対策施設の防護鋼板が、設置（変更）許可を受けた設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え、風圧力に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても防護対象施設に飛来物を衝突させず、また、機械的な波及的影響を与えず、防護対象施設の安全機能維持を考慮して、防護鋼板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

V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、防護鋼板の「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

防護鋼板は、原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上、原子炉棟外壁及び付属棟屋上並びに壁面）及び海水ポンプ室周りに設置する。

防護鋼板の設置位置図を図 2-1 に示す。

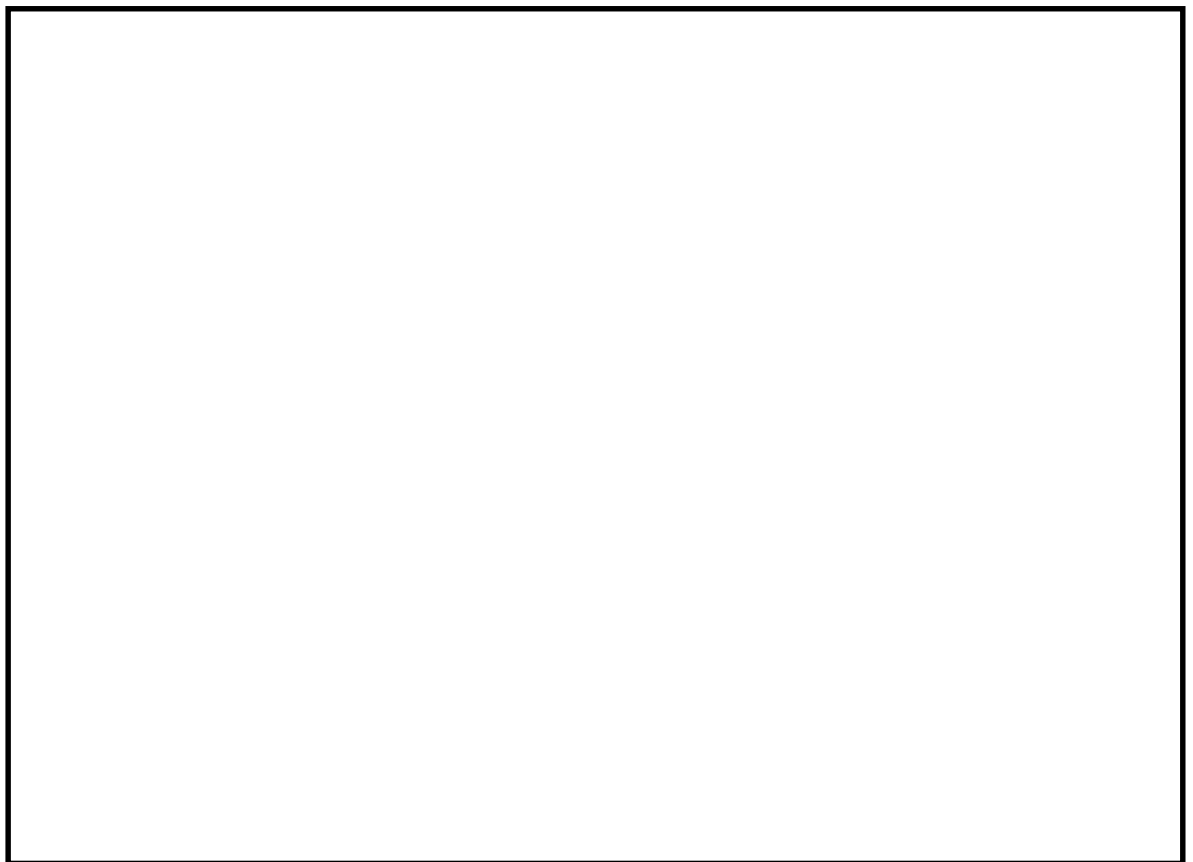


図 2-1 防護鋼板の設置位置図

2.2 構造概要

防護鋼板の構造は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2 防護鋼板の構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設、原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設及び中央制御室換気系開口部防護対策施設の防護鋼板は、防護鋼板で構成する鋼製構造物である。

2.3 評価方針

防護鋼板の強度計算は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、防護鋼板の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

防護鋼板の評価フローを図 2-2 に示す。

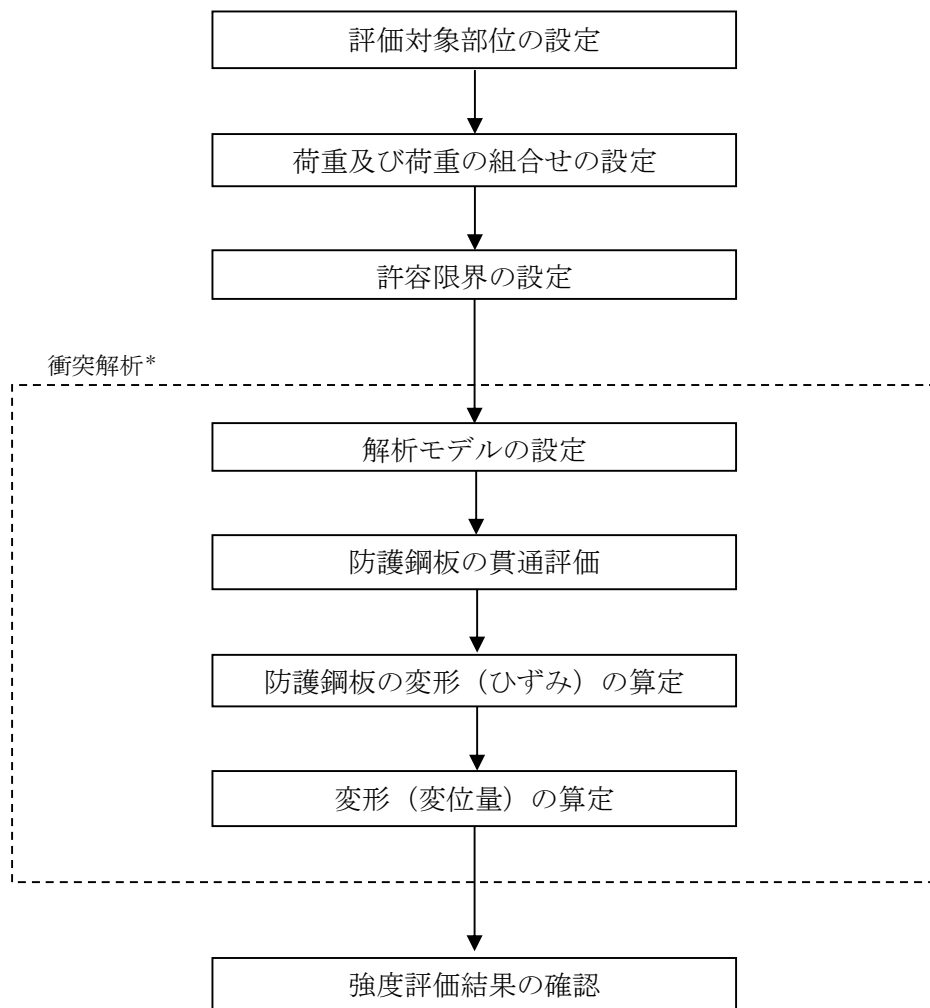
防護鋼板の強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、飛来物が防護対象施設に衝突する直接的な影響の評価として、防護対策施設の外殻を構成する防護鋼板に対する衝突評価を実施する。

衝突評価においては、設計荷重に対して、施設の外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないために、防護鋼板が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び防護鋼板の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。（以下「貫通評価」という。）

終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては、その範囲を確認し、飛来物が貫通するものではないことを確認する。

防護鋼板を支持し、鋼板に作用する荷重が伝達される架構の強度評価は、V-3-別添 1-2-1-3「架構の強度計算書」に示す。



注記 *：衝突解析については、3次元FEMモデル解析を実施する。

図 2-2 防護鋼板の評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準，指針等を以下に示す。

- Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Design (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))
- 日本工業規格 (JIS)
- 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME SNC1-2005/2007」
((社) 日本機械学会 (以下「JSME」という。))
- 「建築物荷重指針・同解説」 (社) 日本建築学会 (2004 改定)

V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	2
2.4	適用規格	4

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設である非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設、原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設及び中央制御室換気系開口部防護対策施設の架構が、設置（変更）許可を受けた設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え、風圧力に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても防護対象施設に飛来物を衝突させず、また、機械的な波及的影響を与えず、防護対象施設の安全機能維持を考慮して、架構の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

V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」を踏まえ、架構の「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

架構は、原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上、原子炉棟外壁及び付属棟屋上並びに壁面）及び海水ポンプ室周りに設置する。

架構の設置位置図を図 2-1 に示す。

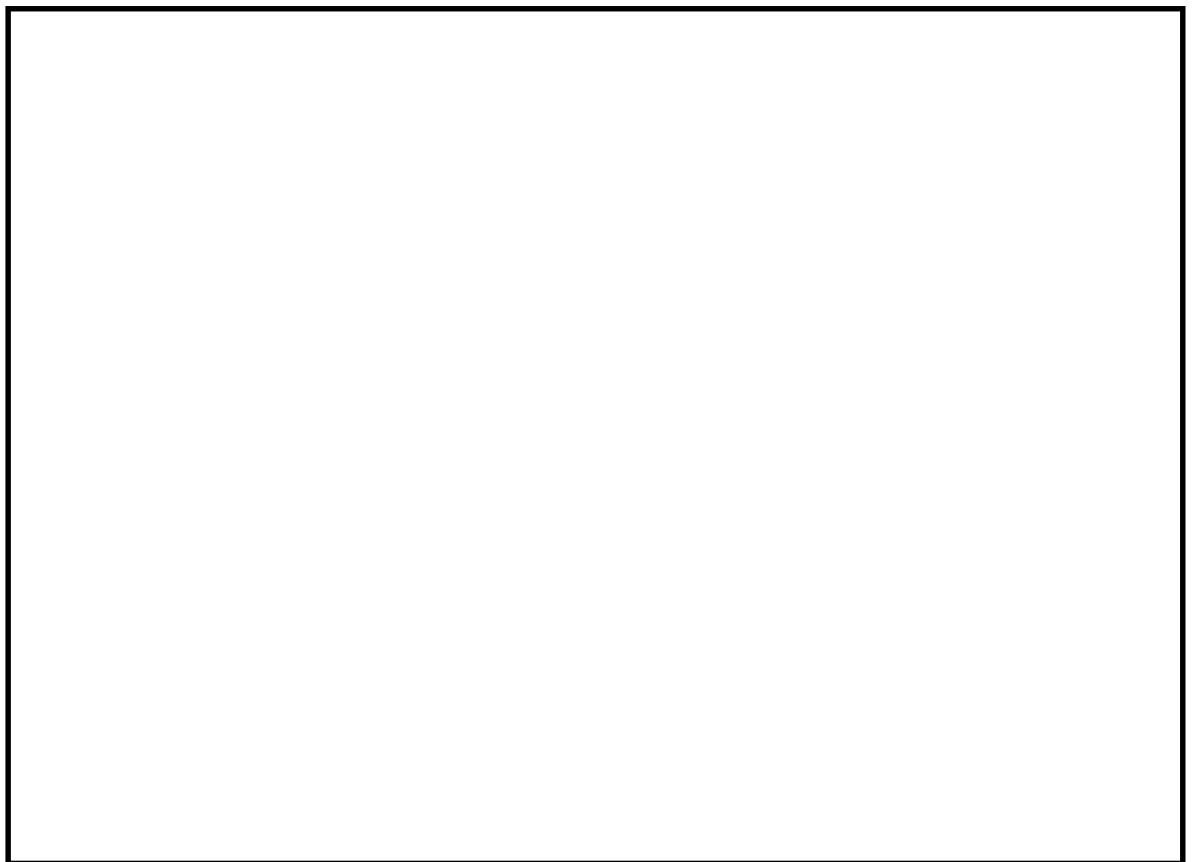


図 2-1 架構の設置位置図

2.2 構造概要

架構の構造は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.3 架構の構造設計」に示す構造計画を踏まえて設定する。

- (1) 非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の架構

非常用ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設、海水ポンプエリア防護対策施設及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の架構は、防護ネット及び防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり、それぞれの防護対象施設を内包する施設として柱、梁等により構成される。

- (2) 中央制御室換気系開口部防護対策施設架構

中央制御室換気系開口部防護対策施設架構は、防護鋼板を設置するための鉄骨構造であり、防護対象施設である中央制御室換気系ファン等を内包する施設として柱、梁等により構成される。

2.3 評価方針

架構の強度計算は、V-3-別添 1-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「5. 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、架構の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

架構の評価フローを図 2-2 に示す。

架構の強度評価においては、その構造を踏まえて、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

具体的には、設計荷重に対して、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物が防護対象施設へ衝突することを防止するため、防護対象施設の機能喪失に至る可能性のある飛来物を貫通させず、上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を保持可能な構造強度を有することを確認する。さらに、架構の損傷により防護対象施設に機械的な波及的影響を与えないために、架構を構成する部材に対する衝突評価を実施する。

衝突評価として、設計荷重に対して、架構を構成する柱、梁等の部材（以下「架構部材」という。）が飛来物を貫通させないために、架構部材が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び架構部材の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

構造強度評価として、設計荷重に対して、架構部材及び架構と建屋等のボルト接合部のアンカーボルトが支持機能を保持するために、破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを支持機能評価として計算により確認する。架構は架構全体としても支持機能を保持するために、設計荷重に対して、防護対策施設の倒壊に至るような変形が生じないことを支持機能評価として計算により確認する。また、設計竜巻の風圧力による荷重及び飛来物に

よる衝撃荷重並びにその他の荷重に対し、架構が防護対象施設に機械的な波及的影響を与えないために、倒壊しないことを波及的影響評価として確認する。なお、架構の波及的影響評価は、支持機能評価に包絡される。

架構部材に終局状態に至るようなひずみが確認される場合においては、その範囲を確認し、飛来物が貫通するものではなく、架構の支持機能を有することを確認する。

以下に、評価にて確認する評価項目を示す。

(1) 衝突評価

飛来物の架構への直接衝突により、架構部材が終局状態に至るようなひずみを生じないこと及び架構部材の変形量が防護対策施設と防護対象施設の離隔距離に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

(2) 支持機能評価

a. 部材の支持機能評価

飛来物の架構及び防護鋼板への衝突により、架構部材に破断が生じないよう十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。

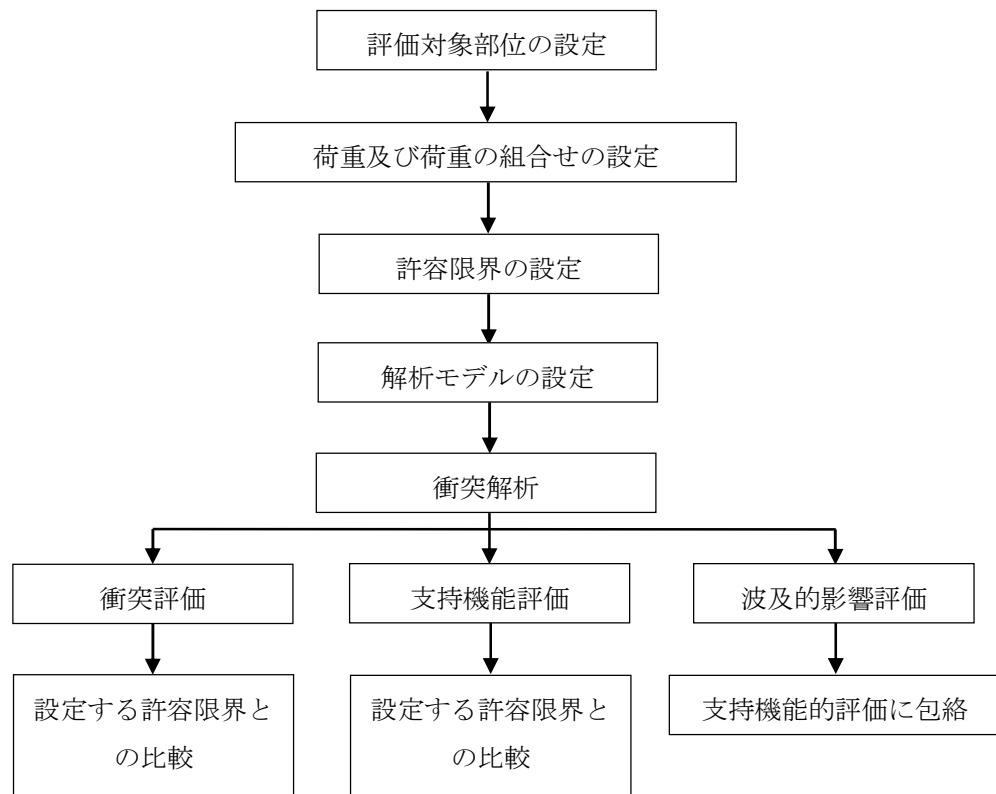
b. 架構全体の支持機能評価

飛来物が衝突した際の衝撃荷重により架構全体に作用する応答加速度に対して、架構及び架構と建屋等のボルト接合のアンカーボルトにおいて、十分な余裕を持った強度が確保されていることを確認する。

(3) 波及的影響評価

a. 部材の波及的影響評価

部材の破断による波及的影響評価については、「2.3(2)a. 部材の支持機能評価」の評価で示す。



評価においては、3次元FEMモデルでの解析を実施する。

図 2-2 架構の評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準，指針等を以下に示す。

- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME SNC1-2005/2007」
((社) 日本機械学会 (以下「JSME」という。))
- ・「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
- ・日本工業規格 (JIS)
- ・「建築物荷重指針・同解説」 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・「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)
- ・「鋼構造接合部設計指針」 ((社) 日本建築学会, 2012 改定)
- ・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for
New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI 07-13))

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 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	4
2.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3. 設計方針	11
4. 評価方針	14
5. 許容限界	15
6. 強度評価方法	16
6.1 記号の定義	16
6.2 評価対象部位	20
6.3 評価方法	21
7. 適用規格	28

1. 概要

本資料は、V-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」に示すとおり、屋外に設置する重大事故等対処設備のうち、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。）が重大事故等対処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、横滑り対策の要否を検討し、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。なお、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、車両等の保管単位ごとを固縛対象設備として選定する。

固縛対象設備は、以下の観点を検討して選定する。

- ・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した設備の一覧を表 2-1 に示す。

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧(1/2)

設備	常設/可搬	評価対象	保管単位	評価対象としない理由
ホイールローダ	可搬	○	台	
可搬型代替注水中型ポンプ	可搬	○	台	
可搬型代替注水大型ポンプ	可搬	○	台	
可搬型代替注水大型ポンプ（放水用）	可搬	○	台	
放水砲	可搬	○	台	
残留熱除去系海水系ポンプ	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-7 で評価
残留熱除去系海水系ストレーナ	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-9 で評価
原子炉建屋原子炉棟	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-5 で評価
小型船舶 （架台に積載して保管）	可搬	○	基	
緊急時対策所遮蔽	常設	—	—	設計竜巻の風圧力による荷重を設計荷重として考慮して設計しており，機能が保持できる。
可搬型窒素供給装置	可搬	○	台	
可搬型窒素供給装置用電源車	可搬	○	台	
汚濁防止膜 （汚濁防止膜運搬車荷台に積載して保管）	可搬	○	台	
泡混合器	可搬	○	基	
泡消火薬剤容器（大型ポンプ用）	可搬	○	基	
タンクローリ	可搬	○	台	

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧(2/2)

設備	常設/可搬	評価対象	保管単位	評価対象としない理由
2 C 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-8 で評価
2 D 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-8 で評価
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	常設	—	—	防護対象施設として別添 1-8 で評価
常設代替高圧電源装置	常設	—	—	防護壁を有する常設代替高圧電源装置置場の内部に配置されることから風圧力を受ける設備ではない。
可搬型代替低圧電源車	可搬	○	台	
可搬型整流器 (専用ラックに収納して保管)	可搬	○	基	
ホース (専用コンテナ内に収納して保管) (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)	可搬	○	基 台	
ホース (放水用) (専用コンテナ内に収納して保管) (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)	可搬	○	基 台	
ケーブル (可搬型ケーブル運搬車に収納して保管)	可搬	○	台	

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、固縛ロープの連結材、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と異なり、耐震設計への影響に対する考慮は不要とし、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収納コンテナ及び運搬車に収納、積載して保管し、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。

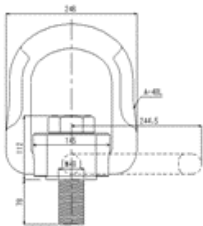
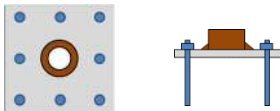
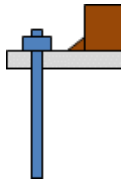
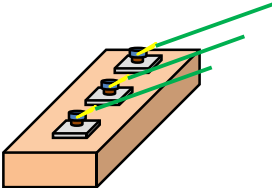
固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	固縛ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ、固縛対象設備を拘束するときに使用する。
固定材	フレノリンクボルト		アンカープレートに取付け、リングの部分に連結材を接続し、固縛対象設備を固縛するときに使用する。
	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノリンクボルトと連結し、固縛対象設備を固縛するときに使用する。
基礎部（アンカーボルト）	接着系アンカー		固定材（アンカープレート）と基礎部を定着させるために使用する。
	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により、スラブコンクリートの重量によって、固縛対象設備の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。

表 2-3 固縛装置の構造 (1/2)

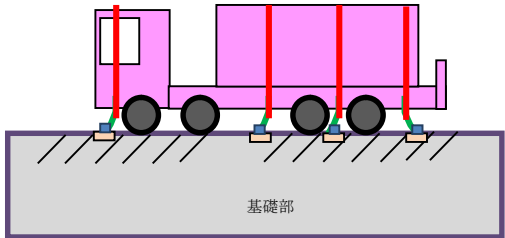
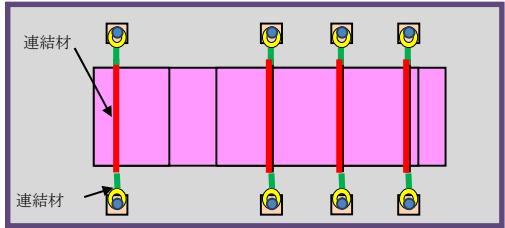
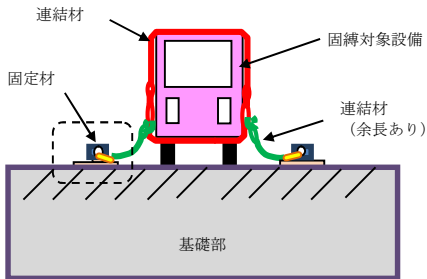
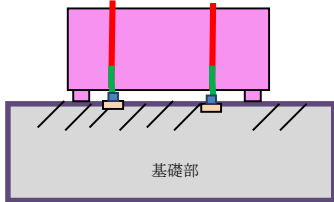
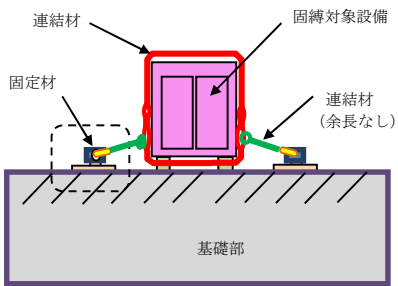
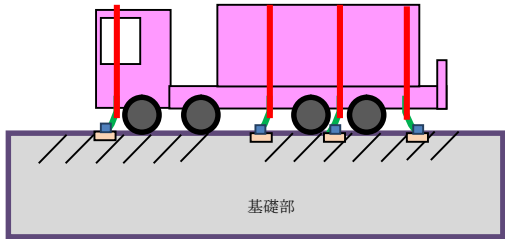
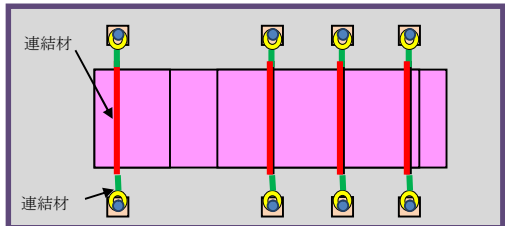
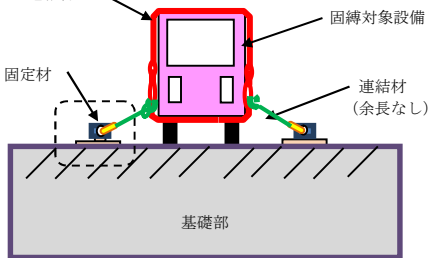
施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固 縛 装 置	車両型 固縛対象 設備	固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（固縛ロープ）を車両型固縛対象設備に巻付け、固定材（フレノリンクボルト）に固定することで車両を固縛する。 車両型固縛対象設備については、余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響のない設計とする。 車両型固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。	 基礎部 (側面図)  連結材 連結材 (上面図)  連結材 固定材 固縛対象設備 連結材 (余長あり)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

表 2-3 固縛装置の構造 (2/2)

施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固 縛 装 置	車両型 以外の 固縛対象 設備	固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（固縛ロープ）を車両型以外の固縛対象設備に巻付け、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。 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。	(固縛対象設備を直接固縛の場合) (コンテナなどの収納設備を固縛の場合)   (運搬車など積載した車両を固縛の場合)  (側面図)  (上面図)  (正面図)

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。なお、固縛装置に浮き上がり及び横滑りの荷重の両方が作用する固縛対象設備については、各評価対象部位に対して、両者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、防護対象施設に衝突する可能性がある設備に対して行い、固縛装置の設計における保守性を確保するため、固縛対象設備と地表面との摩擦力を考慮しないこととする。

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水平風速 V は、流入層の影響を考慮した風速となる。流入層とは、地面付近において地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されるもので、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。したがって、流入層に配置される固縛対象設備に作用する風速は、地面からの高さに依存する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2-1 に示す。

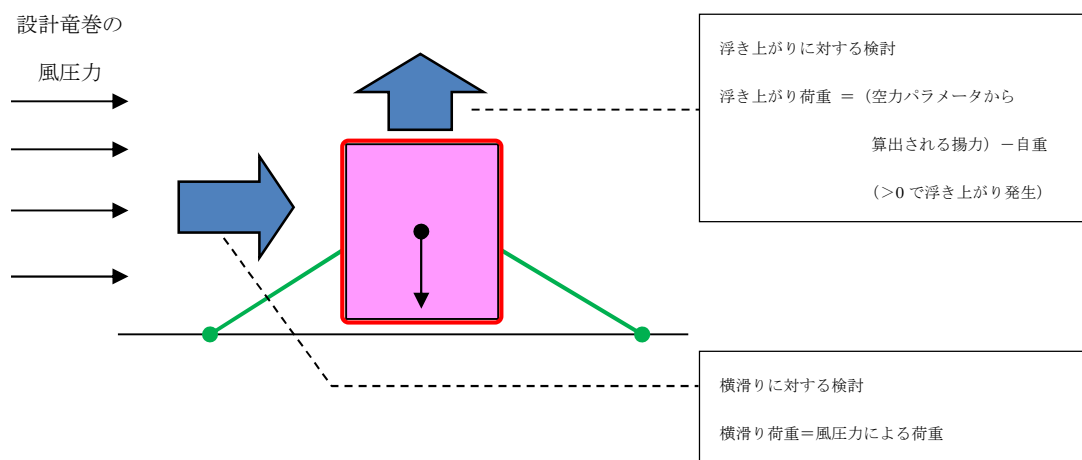


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

(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。

風圧力による荷重は、施設の形状により異なるため、施設に対して厳しくなる方向からの風を想定し、荷重を設定する。

(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. 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した揚力 $F_{L,m}$ を用い、以下の式にて算出する。

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

ρ : 空気の密度

V : 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 $C_D A/m$ を用いた式とし、浮き上がり荷重 P_v は次に示すとおり算出する。

$$P_v = F_{L,m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot C_D A - m \cdot g = m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$$

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。

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

b. 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に防護対象施設に衝突する可能性のある設備を抽出する。

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、防護対象施設（他の固縛対象設備

を含む。)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 (側面の最大値)

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

ρ : 空気の密度

V : 固縛対象設備に作用する水平風速

(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) 及び横滑り荷重 (P_H) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-4 「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-4 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 $F_d + P_H$ (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を考慮して荷重を選定する。両方の荷重を考慮する固縛対象設備については、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

固縛対象設備に設計荷重が作用すると、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によって移動する。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、固縛対象設備の移動に伴い、固縛装置には引張荷重が伝達される。連結材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	固縛ロープ （余長あり）	フレノリンク ボルト	接着系アンカーボルト
B	固縛ロープ （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 固縛装置型式(1/2)

固縛対象設備		保管に関する事項			余長 有無	備考
区分	設備名称	保管 単位	保管状態の特記事項	場所*		
車両 型	可搬型代替注水大型ポンプ	台	—	西側・南側	有	
	可搬型代替注水大型ポンプ（放水用）	台	—	西側	有	
	可搬型代替注水中型ポンプ	台	—	西側・南側	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	有	
	可搬型窒素供給装置	台	車両搭載型	西側	有	
	可搬型窒素供給装置用電源車	台	—	西側	有	
	ホイールローダ	台	—	西側	有	
車両 型 以外	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	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	有	ホース運搬の 運用性を考慮して 余長を設定する。

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 固縛装置型式(2/2)

固縛対象設備		保管に関する事項			余長 有無	備考
区分	設備名称	保管 単位	保管状態の特記事項	場所*		
車両 型 以外	放水砲	台	—	西側	無	
	泡混合器	基	—	西側	無	
	泡消火薬剤容器（大型ポンプ用）	基	—	西側	無	
	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	
	可搬型整流器	基	専用ラックに収納して 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	無	
	小型船舶	基	専用架台に 積載して保管	西側	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）

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。

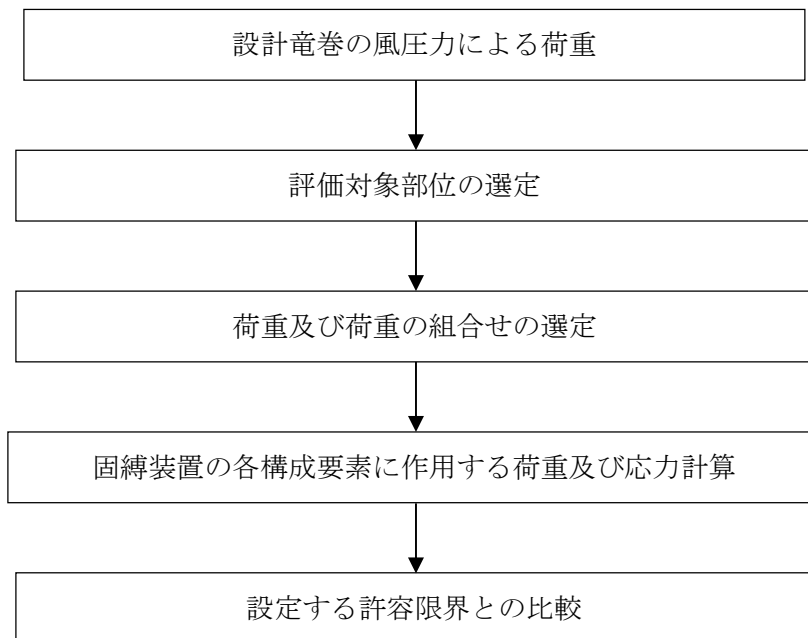


図 4-1 固縛装置の強度評価フロー

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、設計基準事故対処設備（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、終局耐力を適用することとするが、固縛装置全体として、許容限界に対して十分な裕度を持った設計とすることにより、固縛装置の信頼性を高めることとする。

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（固縛ロープ）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値の使用荷重に対し、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	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
P'	kN	連結材 1 組当たりに作用する荷重
θ_v	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時に固縛装置の連結材と定着面となす角度
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	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	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	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
P''	kN	フレノリンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
θ_v	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時に固縛装置の連結材と定着面となす角度
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	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
ρ	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
σ_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
τ_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
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_{py}	mm	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
Z_{px}	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

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
${}_B M_y$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	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
${}_B M_x$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	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
${}_B M_{y-z}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	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
${}_B M_{p y}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B M_{p x}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B Q_x$	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_y$	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{x-z}$	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_A \alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_A D$	mm	アンカーボルトの軸径
${}_A A_e$	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
${}_A T_V$	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
${}_A T_H$	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
ϕ_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^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
${}_s \sigma_{q a}$	N/mm^2	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 ($=0.7 \times f_t$)
${}_A Q$	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
γ	kN/m^3	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
$Q_{a 1}$	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
$Q_{a 2}$	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
ϕ_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
${}_c \sigma_{q a}$	N/mm^2	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^2	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (F_c/60)^{1/3}$
$A_{q c}$	mm^2	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積

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
L	mm	接着系アンカーボルトにおいては、埋込長さ
L_e	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
L_{ce}	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
d_a	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 α_2 α_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
ϕ_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)
τ_a	N/mm ²	接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度
τ_{bavg}	N/mm ²	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 ²	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

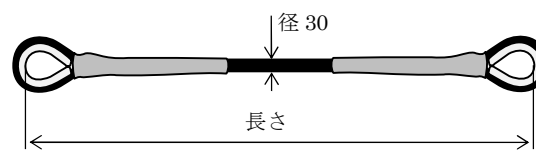
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1) 連結材

- ・連結材本体（固縛ロープ（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，評価対象部位は固縛ロープ本体とする。

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，メーカー提示値の使用荷重に対し，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。

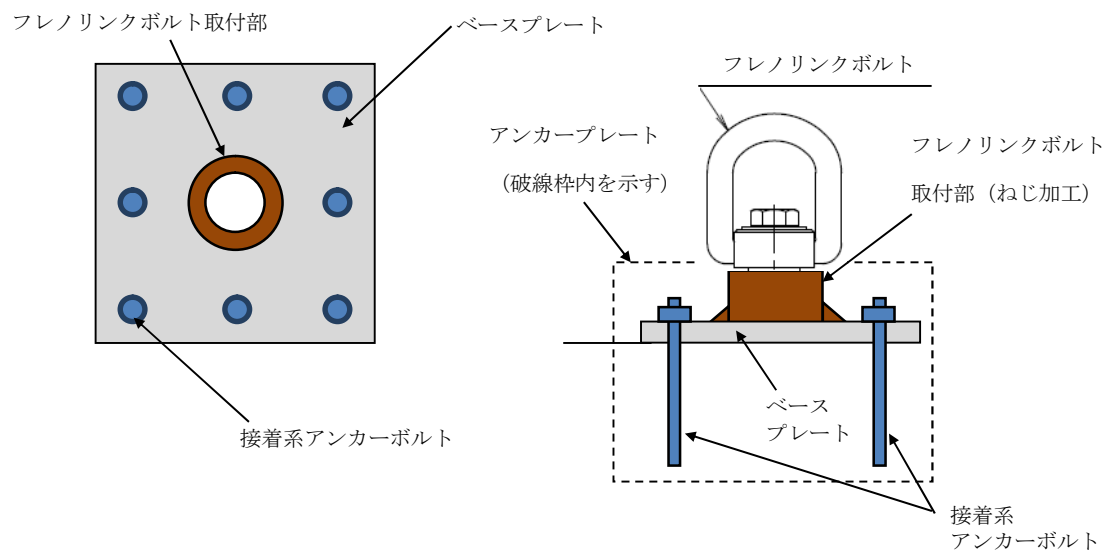


図 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

6.3 評価方法

(1) 連結材の評価方法

浮き上がり若しくは横滑りにより固縛対象設備に作用する検討用荷重 P 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 P' を以下の式により算定する。

連結材の評価モデルの概要図を図 6-3 に示す。

$$P' = \frac{\max\left(\frac{P_H}{\cos \theta_H}, \frac{P_V}{\sin \theta_V}\right)}{n}$$

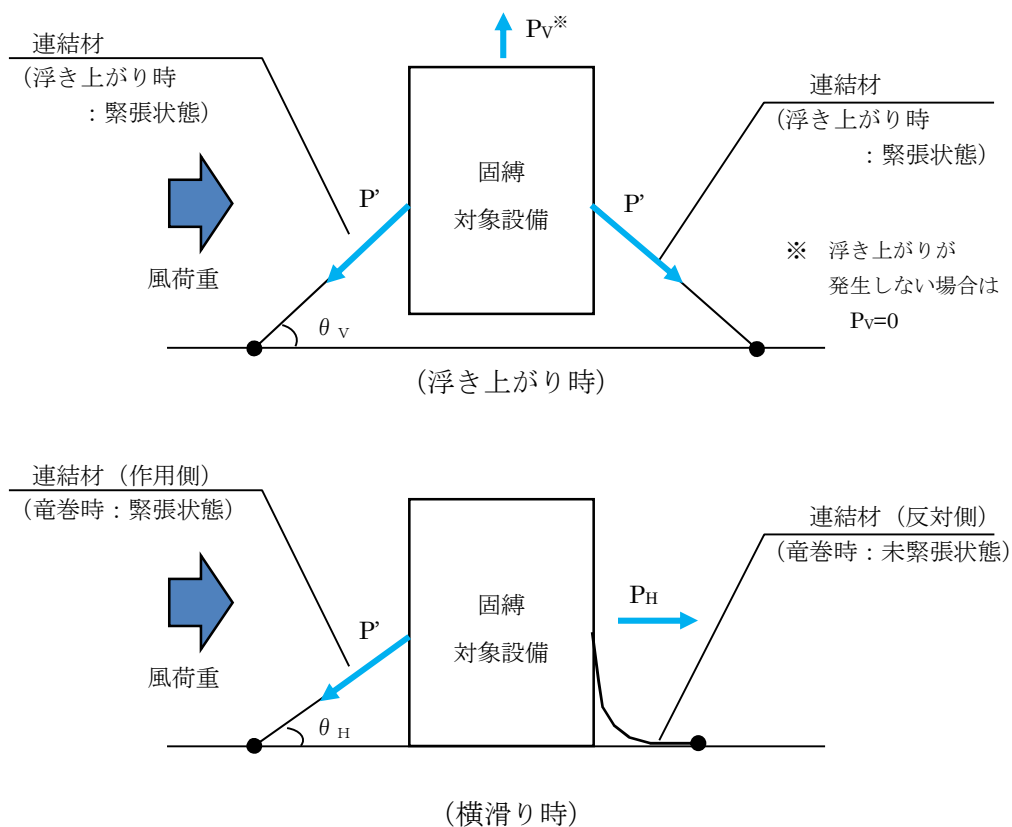


図 6-3 連結材の評価モデルの概要図

(2) アンカー部の評価方法

a. フレノリンクボルトの評価方法

浮き上がり若しくは横滑りにより固縛対象設備に作用する検討用荷重 P が、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 P'' を以下の式により算定する。

$$P'' = \frac{\max\left(\frac{P_H}{\cos \theta_H}, \frac{P_V}{\sin \theta_V}\right)}{N}$$

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

評価は、検討用荷重 P が図 6-4 に示す x 、 y 、 z 方向に作用する場合について部材断面に生ずる応力を算定し、評価を行う。

ただし、フレノリンクボルトはボルト芯を軸として回転するため、 x 方向と y 方向は同一の評価条件となるため、 x 方向に作用する場合にて評価する。

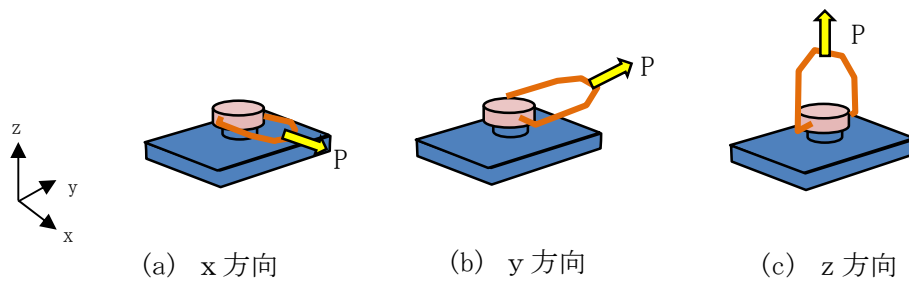


図 6-4 アンカープレートの計算モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. x 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 6-5 に示す。

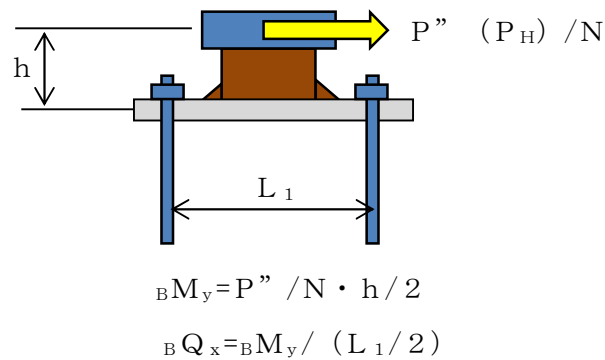


図 6-5 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P'' 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。

$${}_B M_y = \frac{P''}{N} \cdot \frac{h}{2}$$

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'' によるベースプレートのせん断力 ${}_BQ_x$ は、以下の式により算定する。

$${}_BQ_x = \frac{{}_BM_y}{\frac{L_1}{2}}$$

ベースプレートの断面積 ${}_BA$ は、以下の式により算定する。

$${}_BA = {}_BB \cdot {}_Bt$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_BQ_{px}$ 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。

$${}_BQ_{py} = \tau_y \cdot {}_BA \cdot 10^{-3}$$

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 6-6 に示す。

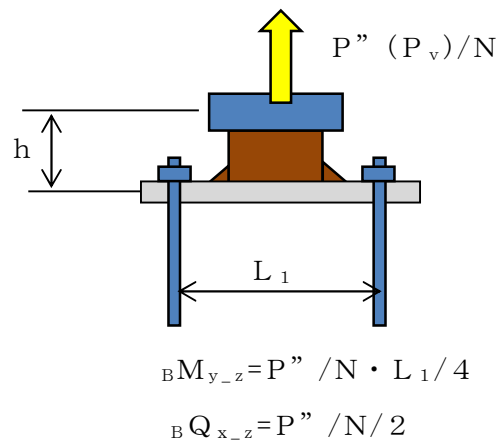


図 6-6 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P'' によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント ${}_BM_{y-z}$ は、以下の式により算定する。

$${}_BM_{y-z} = \frac{P''}{N} \cdot \frac{L_1}{4}$$

ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数 ${}_BZ_{py}$ は、以下の式により算定する。

$${}_BZ_{py} = \frac{{}_BB \cdot {}_Bt^2}{4}$$

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 ${}_BM_{py}$ 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。

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P'' 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。

$${}_B Q_{x-z} = \frac{P''}{N \cdot 2}$$

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。

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

(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) 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'' 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。

$${}_A T_v = \frac{P''}{N \cdot n}$$

x 又は y 方向の検討用荷重 P'' 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。

$${}_A T_H = \frac{P'' \cdot h}{N \cdot \frac{7}{8} d_t \cdot n},$$

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。

$$P_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot L_{c e} \cdot 10^{-3}$$

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

$$\tau_{a3} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{avg}$$

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。

$$\alpha_n : 0.5 \cdot (C_n / L_e) + 0.5$$

$$L_e = L - d_a$$

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

ここで、

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

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

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。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a3})$$

(b) セン断に関する検討

検討用荷重 P'' によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力 ${}_A Q$ は、以下の式により算定する。

$${}_A Q = \frac{P''}{N \cdot n}$$

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。

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

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

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

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 A_{qc} は、アンカーボルトのへりあき寸法を c とすると以下の式により算定する。

$$A_{qc} = 0.5 \cdot \pi \cdot c^2$$

定着した躯体のコーン状破壊により決定される許容せん断力 Q_{a3} は、以下の式により算定する。

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

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。

$$Q_a = \min(Q_{a1}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

(c) 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。

$$\left(\frac{A T_H}{P_a} \right)^2 + \left(\frac{A Q}{Q_a} \right)^2 \leq 1$$

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	4
2.4 評価方針	6
2.5 適用規格	6

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り、十分な裕度を有してい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、連結材の有無に違いはあるが構成要素の組合せは同一であることから表 2-1 に示すとおりとなる。

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、必要な裕度を有していることを確認する。

表 2-1 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	固縛ロープ （余長あり）	フレノリンク ボルト	接着系アンカーボルト
B	固縛ロープ （余長なし）	フレノリンク ボルト	接着系アンカーボルト

2.1 位置

屋外重大事故等対処設備は、V-1-1-2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2 (3) 性能目標」のとおり、位置的分散を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ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。

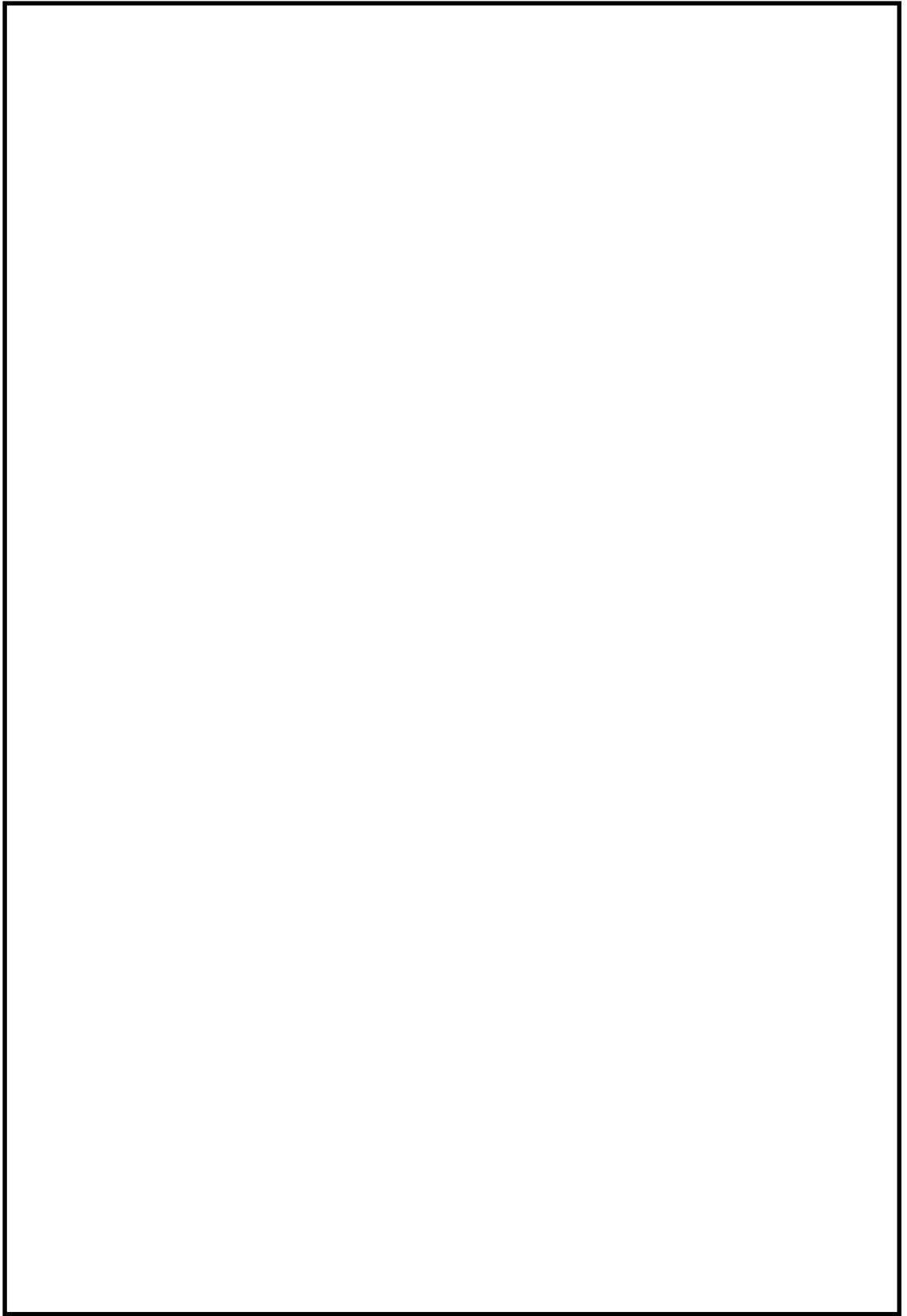


図 2-1 固縛装置の設置位置図

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（固縛ロープ）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。車両型固縛対象設備の固縛装置の概要を図 2-2 に、車両型固縛対象設備以外（車両型固縛対象設備以外を積載した車両も含む。）の固縛装置の概要を図 2-3 に示す。

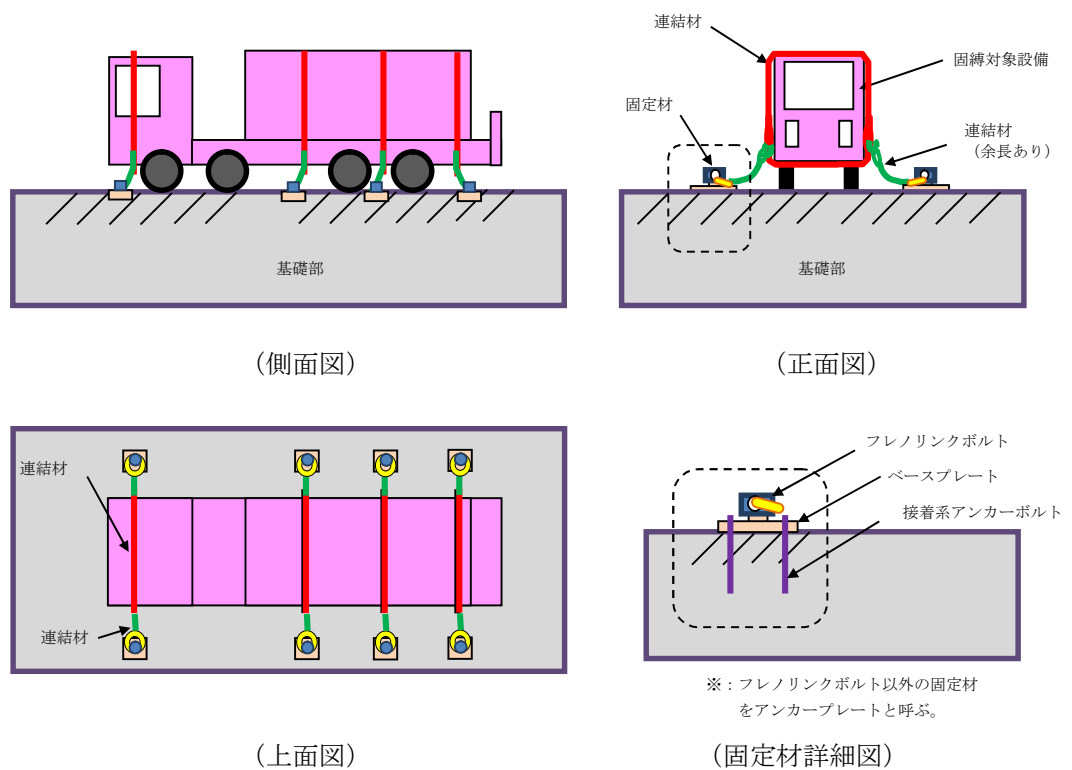
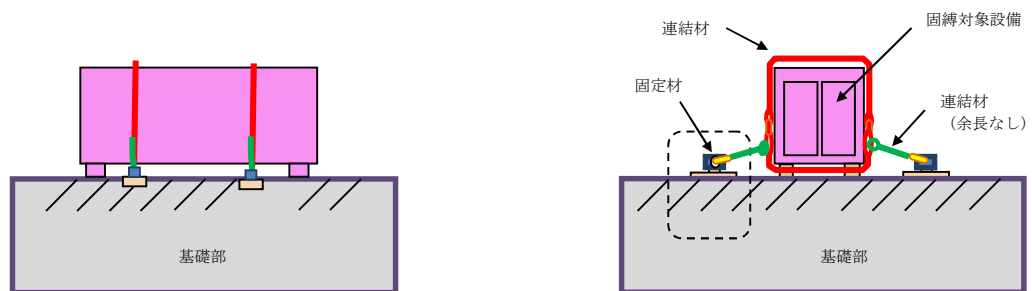
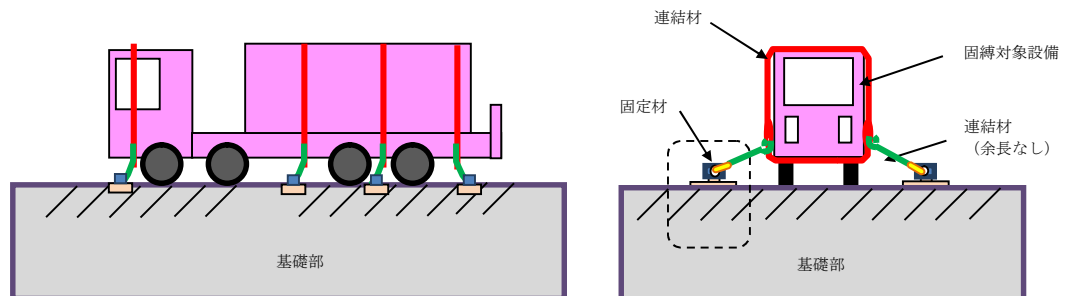


図 2-2 車両型固縛対象設備の固縛装置の概要図

(固縛対象設備を直接固縛する場合)
(コンテナなどの収納設備を固縛する場合)

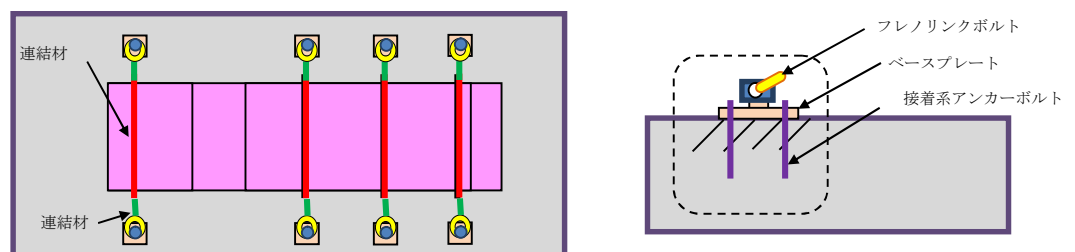


(固縛対象設備を積載した車両を固縛する場合)
(例：ケーブル運搬車，汚濁防止膜運搬車)



(側面図)

(正面図)



(上面図)

*：フレノリンクボルト以外の固定材
をアンカープレートと呼ぶ。

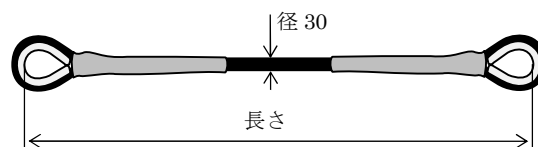
(固定材詳細図)

図 2-3 車両型固縛対象設備以外の固縛装置の概要図

2.3 固縛装置構成要素の構造概要

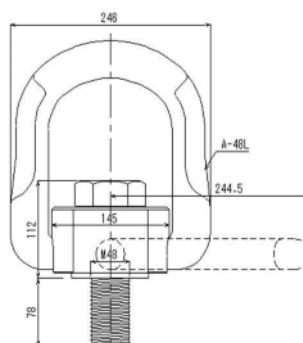
固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

連結材の概要を図 2-4 に、固定材のうちフレノリンクボルトの概要図を図 2-5 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 2-6 に示す。



(高強度繊維ロープ φ30)

図 2-4 連結材の概要図



(フレノリンクボルト (A-48L))

図 2-5 フレノリンクボルトの概要図

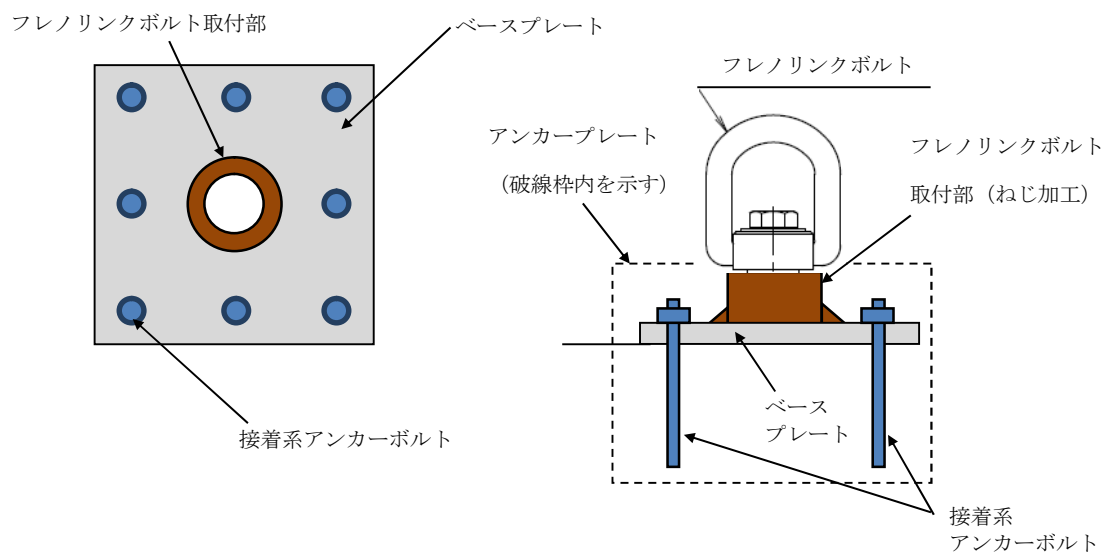


図 2-6 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

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 2-7 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。

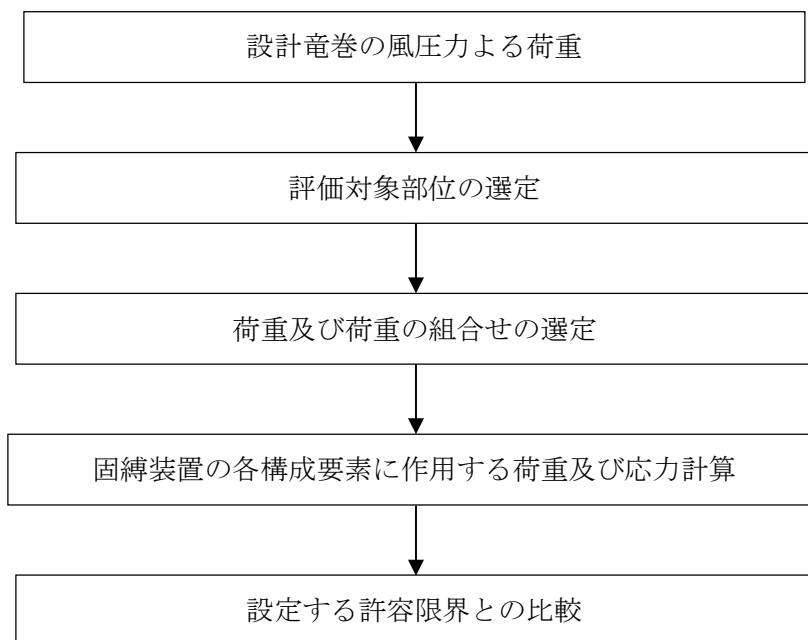


図 2-7 固縛装置の強度評価フロー

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）

V-3-別添 2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

V-3-別添 2-1 火山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
3. 構造強度設計	1
3.1 構造強度の設計方針	1
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	20
4.1 荷重及び荷重の組合せ	20
4.2 許容限界	23
5. 強度評価方法	31
5.1 機器・配管系	31
5.2 土木構造物・構築物	58
6. 適用規格	60

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「V-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持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の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物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2-1-1「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」、V-3-別添2-1-2「ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」、V-3-別添2-1-3「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」、V-3-別添2-1-4「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2-1-5「ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書」及びV-3-別添2-1-6「建屋の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「3. 構造強度設計」に示す防護対象施設及び建屋を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき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」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

3. 構造強度設計

V-1-1-2-4-1で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、V-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、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、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、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-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を示す。

(1) 防護対象施設

a. 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-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考

慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

b. 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

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-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

c. 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-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、ストレーナの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

d. 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

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-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室床面のコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、ストレーナの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

e. 非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ

非常用ディーゼル発電機吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ（以下「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、脚を溶接で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固定し、ディーゼル発電機吸気フィルタの主要な構造部材が構造健全性を

維持する設計とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

原子炉建屋は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

b. タービン建屋

タービン建屋は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

c. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(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、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、支持性能を有する基礎により支持する構造とする。降下火砕物による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物を適切に除去することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

V-1-1-2-4-3の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえV-1-1-2-4-1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) 防護対象施設

a. 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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏

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。

ポンプはポンプベースに固定する。原動機は原動機台と結合し原動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。端子箱等のポンプの機能保持に必要な附属品は、原動機にボルトで結合する。

原動機の形状は円筒を基本とした適切な強度を有する鋼製のフレームであり、原動機フレーム内に空気冷却器、原動機フレームの下部に外扇等の附属設備が付加された形態とする。

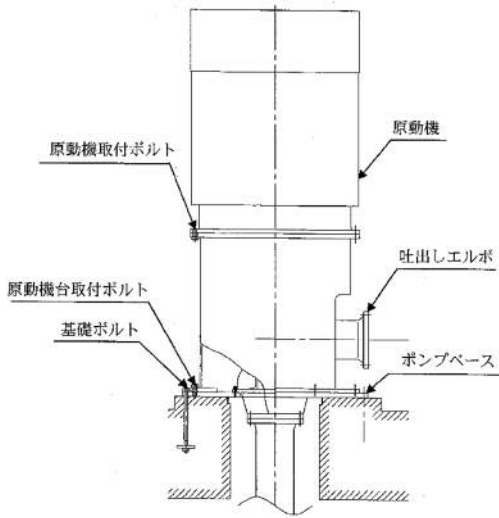
想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、原動機上部に最も多く降下火砕物が堆積し、原動機を介して支持している原動機台に伝達する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、海水ポンプ室内に設置することで、風荷重を受けない構造とする。

残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表3-1に示す。

(b) 評価方針

残留熱除去系海水系ポンプは、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ポンプを構成する原動機台が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 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 3-1 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	
【位置】			
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。			
残留熱除去系海水系ポンプ	立形ポンプ	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

b. 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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、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。

ポンプはポンプベースに固定する。原動機は原動機台と結合し原動機台はポンプベースに固定する。ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。端子箱等のポンプの機能保持に必要な附属品は、原動機にボルトで結合する。

原動機の形状は円筒を基本とした適切な強度を有する鋼製のフレームであり、原動機フレームの上部に外扇等の付属設備が付加された形態とする。

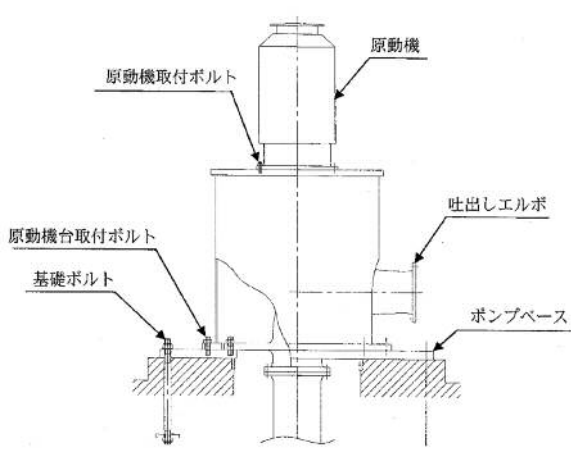
想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、原動機及び原動機台の上部に最も多く降下火砕物が堆積し、原動機を介して支持している原動機台に伝達する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、海水ポンプ室内に設置することで、風荷重を受けない構造とする。

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造計画を表3-2に示す。

(b) 評価方針

ディーゼル発電機用海水ポンプは、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ポンプを構成する原動機台が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 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 3-2 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	
【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。			
ディーゼル 発電機用海 水ポンプ	立形ポンプ	コンクリート基礎 に基礎ボルトで固定 する。	

c. 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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

残留熱除去系海水系ストレーナは、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となった、たて置円筒形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。

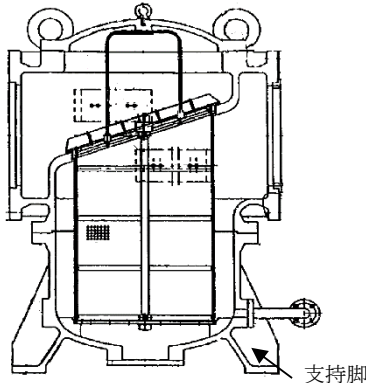
想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積するストレーナ上面に作用し、支持脚に伝達する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、海水ポンプ室内に設置することで、風荷重を受けない構造とする。

残留熱除去系海水系ストレーナの構造計画を表3-3に示す。

(b) 評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナは、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ストレーナを構成する支持脚が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 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 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	
【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。			
残留熱除去系海水系ストレーナ	円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

d. 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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、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、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となった、たて置円筒形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。

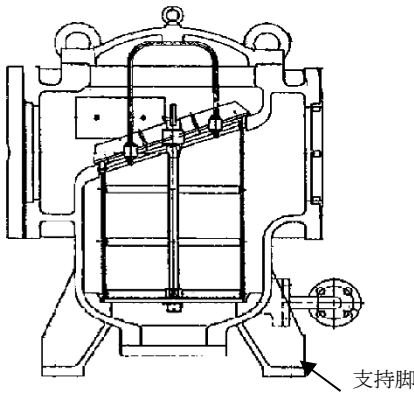
想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積するストレーナ上面に作用し、支持脚に伝達する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、海水ポンプ室内に設置することで、風荷重を受けない構造とする。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造計画を表3-4に示す。

(b) 評価方針

ディーゼル発電機海水ストレーナは、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、ストレーナを構成する支持脚が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 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	
【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。			
ディーゼル発電機用海水ストレーナ	円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器	支持脚をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

e. ディーゼル発電機吸気フィルタ

(a) 構造設計

ディーゼル発電機吸気フィルタは、「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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造は4脚たて置円筒型容器構造とし、支持脚は基礎部に溶接により固定する構造とする。

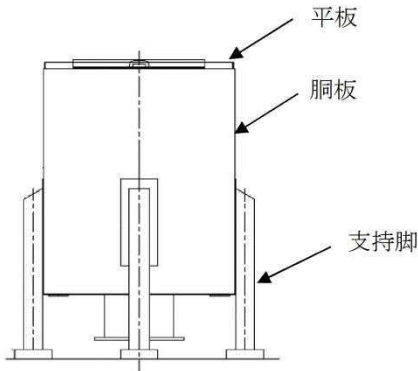
想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する吸気フィルタ上面に作用し、吸気フィルタ胴板及び支持脚を介して床面に伝達する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、胴板に作用し、支持脚を介して床面に伝達する構造とする。

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造計画を表3-5に示す。

(b) 評価方針

ディーゼル発電機吸気フィルタは、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、吸気フィルタを構成する平板、胴板及び支持脚が、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、「5. 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 ディーゼル発電機吸気フィルタの構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 ディーゼル発電機吸気フィルタは、ディーゼル発電機室屋上面に設置する設計としている。			
ディーゼル発電機吸気フィルタ	4 脚たて置円筒型容器	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。	

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

(a) 構造設計

原子炉建屋は、「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-1-1-2-4-1 の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

原子炉建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根、鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

原子炉建屋の構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

原子炉建屋は、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、原子炉建屋の屋根及び耐震壁が、許容限界に留まることを計算により確認する。評価方法としては、建屋の質点系解析モデルを用いた解析により評価を行う。

b. タービン建屋

(a) 構造設計

タービン建屋は、「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-1-1-2-4-1 の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

タービン建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根、鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

タービン建屋の構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

タービン建屋は、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、タービン建屋の屋根及び耐震壁が、許容限界に留まることを計算により確認する。評価方法としては、建屋の質点系解析モデルを用いた解析により評価を行う。

c. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(a) 構造設計

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、「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-1-1-2-4-1 の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根を、鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持し、十分な支持性能を有する基礎により支持する構造とする。鉄筋コンクリート造の屋根、鉄筋コンクリート造の耐震壁は適切な強度を有する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪による荷重に対しては、降下火砕物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また、想定する風荷重に対しては、鉄筋コンクリート造の耐震壁に作用する構造とする。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造計画を表 3-6 に示す。

(b) 評価方針

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根及び耐震壁が、許容限界に留まることを計算により確認する。評価方法としては、建屋の質点系解析モデルを用いた解析により評価を行う。

表 3-6 建屋の構造計画(1/4)

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

表 3-6 建屋の構造計画(2/4)

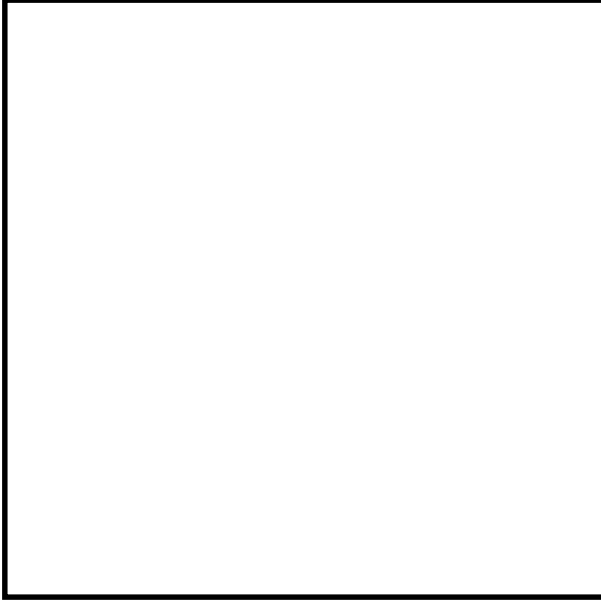
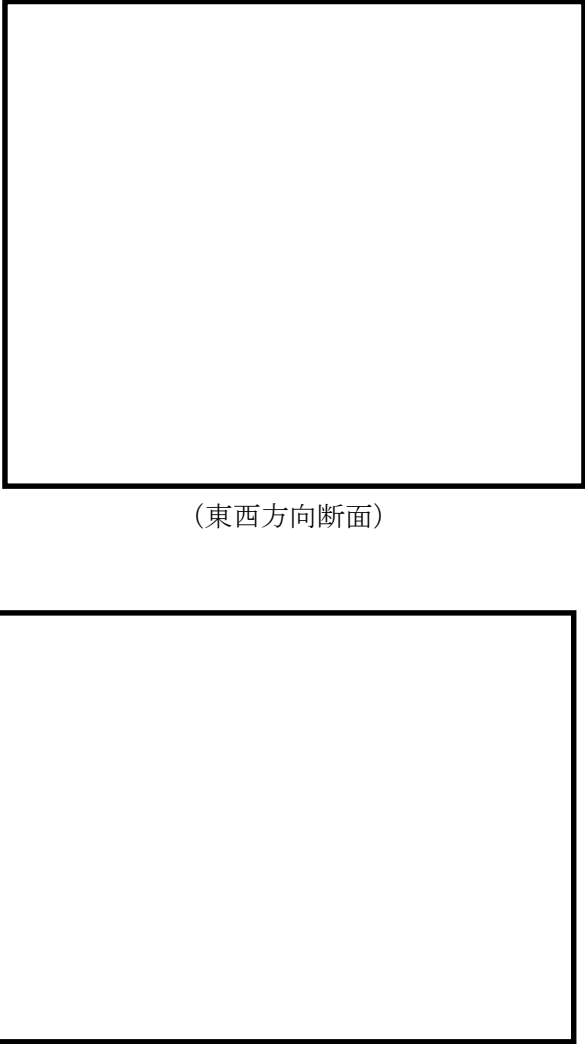
施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
原子炉建屋	鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の陸屋根で構成する。	荷重は建屋の外殻を構成する屋根及び外壁に作用し、建屋内に配置された耐震壁等を介し、基礎版へ伝達する構造とする。	
			 (東西方向断面)  (南北方向断面)

表 3-6 建屋の構造計画(3/4)

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。	
			(東西方向断面)
			
			(南北方向断面)

表 3-6 建屋の構造計画(4/4)

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。	 (東西方向断面)

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

防護対象施設及び建屋（以下「対象施設」という。）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

対象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-1-1-2-4-1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、積載荷重及び水頭圧とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_v)

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5 g/cm^3 の降下火砕物が 50 cm 堆積した 7355 N/m^2 とする。

c. 積雪荷重 (F_s)

積雪深は、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-1-1「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-1-1」という。）の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）による東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した 10.5 cm に設定し、 210 N/m^2 の荷重とする。

d. 風荷重 (W)

風速は、V-1-1-2-1-1の「4.1(4) 自然現象の組合せの方針」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成12年建設省告示第1454号に定められた東海村の基準風速である 30 m/s とする。風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに算出する。

e. 運転時の状態で作用する荷重 (F_p)

運転時の状態で作用する荷重としては、V-1-1-2-4-1の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って、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

a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重については、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 対象施設の荷重の組合せ

対象施設の荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

ただし、対象施設のうち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は動的機器であるため、運転時の状態で作用する荷重を考慮する。また、残留熱

除去系海水系ストレーナ及びディーゼル発電機用海水ストレーナは内包水の荷重，ディーゼル発電機吸気フィルタは運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

なお，常時作用する荷重，積雪荷重，風荷重及び運転時の状態で作用する荷重については，組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には，評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ，対象施設の強度評価における荷重の組合せの設定については，施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。対象施設ごとの荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の対象施設	荷 重						
		常時作用する荷重(F_d)			降下火砕物による荷重(F_v)	積雪荷重(F_s)	風荷重(W)	運転時の状態で作用する荷重(F_p)
		自重	積載荷重	水頭圧				
施設	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	○	—	—	○	○	—	○
	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	○	—	—	○	○	—	○
	ディーゼル発電機吸気フィルタ	○	—	—	○	○	○	○
建屋	原子炉建屋 タービン建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋	○	○	—	○	○	○	—

(○：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うち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平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 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定 義
A	m ²	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E _r	—	建設省告示第 1454 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表わす係数
F _v	N/m ²	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F _s	N/m ²	積雪荷重
F _v '	N/m ²	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f _s	N/(m ² ・cm)	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
H	m	全高
H _s	cm	積雪深
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z _b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
Z _G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1454 号に掲げる数値

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、湿潤状態の降下火砕物及び積雪を考慮する。

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、以下である。

$$F_v = 7355 \text{ N/m}^2$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f_s \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重（以下「降下火砕物等堆積による

鉛直荷重」という。) は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_v + F_s$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

f_s ($\text{N}/(\text{m}^2 \cdot \text{cm})$)	H_s (cm)
20	10.5

以上を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 7565 N/m^2 とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30 m/s に設定し、風荷重については施設の形状により異なるため施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

4.2 許容限界

許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 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、評価対象部位ごとに設定する。

「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、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

対象施設ごと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。

(1) 防護対象施設

a. 残留熱除去系海水系ポンプ

残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している残留熱除去系海水系ポンプの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、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 原動機台

残留熱除去系海水系ポンプの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ポンプを構成する原動機台が、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 に準じて許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を許容限界として設定する。

b. ディーゼル発電機用海水ポンプ

ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているディーゼル発電機用海水ポンプの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、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 原動機台

ディーゼル発電機用海水ポンプの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ポンプを構成する原動機台が、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 に準じて許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を許容限界として設定する。

c. 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の許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している残留熱除去系海水系ストレーナの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、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 支持脚

残留熱除去系海水系ストレーナの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ストレーナを構成する支持脚が、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 に準じて許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を許容限界として設定する。

d. ディーゼル発電機用海水ストレーナ

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているディーゼル発電機用海水ストレーナの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、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 支持脚

ディーゼル発電機用海水ストレーナの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ストレーナを構成する支持脚が、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 に準じて許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を許容限界として設定する。

e. ディーゼル発電機吸気フィルタ

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているディーゼル発電機吸気フィルタの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、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 平板、胴板及び支持脚

ディーゼル発電機吸気フィルタの構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル発電機吸気フィルタを構成する平板、胴板及び支持脚が、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 に準じて許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を許容限界として設定する。

(2) 建屋

a. 原子炉建屋

原子炉建屋の許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している原子炉建屋の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

原子炉建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。屋根スラブは、原子炉建屋の要求機能である気密性及び遮蔽性を担保するために、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下「RC-N規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。また、主トラスは、構造強度を有することを性能目標としていることから、終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界を設定する。

(b) 耐震壁

原子炉建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、構造強度を有することを性能目標としていることから J E A G 4 6 0 1 に基づき最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

b. タービン建屋

タービン建屋の許容限界は、V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定しているタービン建屋の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

タービン建屋の構造強度評価においては、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷

重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。タービン建屋の屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，屋根スラブは「RC-N規準」に基づく終局耐力，主トラスは崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

タービン建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，J E A G 4 6 0 1に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

c. 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は，V-1-1-2-4-3 の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している使用済燃料乾式貯蔵建屋の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて，評価対象部位ごとに設定する。

(a) 屋根

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，評価対象部位に求められる機能が担保できる許容限界を設定する。屋根は内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，屋根スラブは「RC-N規準」に基づく終局耐力を，主トラスは崩壊機構が形成されないことを許容限界として設定する。

(b) 耐震壁

使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造強度評価においては，降下火砕物等堆積による鉛直荷重，風荷重及びその他の荷重に対し，内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としていることから，J E A G 4 6 0 1に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-4 施設ごとの許容限界 (1/3)

施設名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
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	$F_d + F_v + F_p$	原動機台	圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _A Sの許容応力以下とする* ¹
残留熱除去 系海水系ストレナ ディーゼル 発電機用海水ポンプ	$F_d + F_v + F_p$	支持脚	圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _A Sの許容応力以下とする* ¹
ディーゼル 発電機吸気 フィルタ	$F_d + F_v + W + F_p$	平板	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	弾性範囲内である設計降伏点とする。
		胴板	一次一般膜, 一次 一次+二次		J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _A Sの許容応力以下とする* ¹
		支持脚	組合せ 座屈 (圧縮+曲げ)		J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態Ⅲ _A Sの許容応力以下とする* ²

 F_d : 常時作用する荷重 W : 風荷重 F_v : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 F_p : 運転時の状態で作用する荷重

注記 *1 : 表 4-5 支持構造物の許容限界を準用する。

*2 : 表 4-6 クラス 2, 3 容器の許容限界を準用する。

表 4-4 施設ごとの許容限界 (2/3)

施設 名称	要求 機能	機能設計上の 性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
原子炉建屋	—	構造強度を有 すること	屋根	屋根 スラブ	部材に生じる応力が構造 強度を確保するための許 容限界を超えないことを 確認	終局耐力に対し 妥当な安全裕度 を有する許容限 界*1
				主トラス		終局耐力に対し 妥当な安全裕度 を有する許容限 界*2
				母屋 (二次部材)		
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造 強度を確保するための許 容限界を超えないことを 確認	最大せん断ひず み 2.0×10^{-3}
	気密性	換気性能とあ いまって気密 機能を維持す ること	屋根 スラブ		部材に生じる応力が気密 性を維持するための許容 限界を超えないことを確 認	短期許容応力度*3
	遮蔽性	遮蔽体の損傷 により遮蔽機 能を損なわな いこと	屋根 スラブ		部材に生じる応力が遮蔽 性を維持するための許容 限界を超えないことを確 認	短期許容応力度*3

注記 *1：構造強度に対しては、「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容
限界となるが、気密性、遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としている
ことから、短期許容応力度で評価

*2：弾性限耐力として鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（以下「S 規準」とい
う。）の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値
 $\times 1.1$ を適用

*3：「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価

表 4-4 施設ごとの許容限界 (3/3)

施設名称	要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界* ² (評価基準値)
タービン建屋、 使用済燃料乾式貯蔵建屋	ー	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認* ¹	終局耐力* ³
				主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと* ⁴
			耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

- 注記 *¹：屋根スラブの落下により、内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから、機能維持のために落下しないことを確認
- *²：複数部材で構成されている屋根において、単一部材である屋根スラブは、部材の終局耐力を許容限界とし、構造体として主トラスが崩壊しないことを許容限界とする。
- *³：機能維持に対しては終局耐力が許容限界となるが、「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価
- *⁴：部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力*⁵が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式*⁶、*⁷及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。
- *⁵：弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用
- *⁶：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）
- *⁷：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 4-5 支持構造物の許容限界

許容応力 状態	許容限界			
	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

表 4-6 クラス 2, 3 容器 の許容限界

許容応力 状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次	一次＋二次応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 S_u$ の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 S$ との大きい方。	左欄の 1.5 倍の値	$2 S_y$

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

具体的な評価においては、J E A G 4 6 0 1を使用する。

風荷重による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又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しており、これはJ E A G 4 6 0 1耐震評価における1質点モデルと等価なものであり、地震荷重を風荷重と置き換えJ E A G 4 6 0 1に基づき評価を行う。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行うポンプ、容器及び建屋の強度評価方法を以下に示す。

5.1 機器・配管系

5.1.1 ポンプ

5.1.1.1 立形ポンプ

(1) 評価条件

立形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. 計算に用いる寸法は公称値を使用する。
- b. 降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については、水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
原動機台	圧縮

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

立形ポンプの強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 立形ポンプの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_v	N	降下火砕物堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
m	kg	原動機の質量
P	kg	ポンプスラスト荷重
S	mm^2	原動機台の断面積
S_y	MPa	J S M E 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 M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	原動機台に生じる圧縮応力

b. 応力計算

(a) 原動機台に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 5-1 に示す。

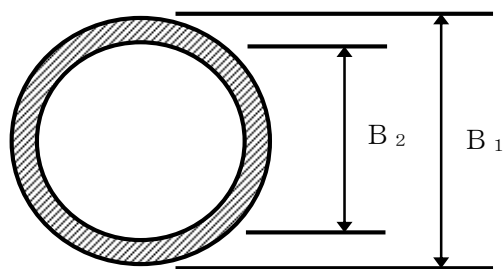


図 5-1 原動機台の断面図

5.1.2 容器

5.1.2.1 たて置円筒形容器

(1) 評価条件

たて置円筒形容器の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については、ストレーナの水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
支持脚	圧縮

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 たて置円筒形容器的強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
F_d	N	ストレーナ自重による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_p	N	内包水の荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重及び内包水の荷重
m	kg	ストレーナの質量
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	J S M E 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 M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力

b. 応力計算

(a) 支持脚に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで

$$S = \left\{ (B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2) + (B_{x2} \cdot B_{y2}) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 5-2 に示す。

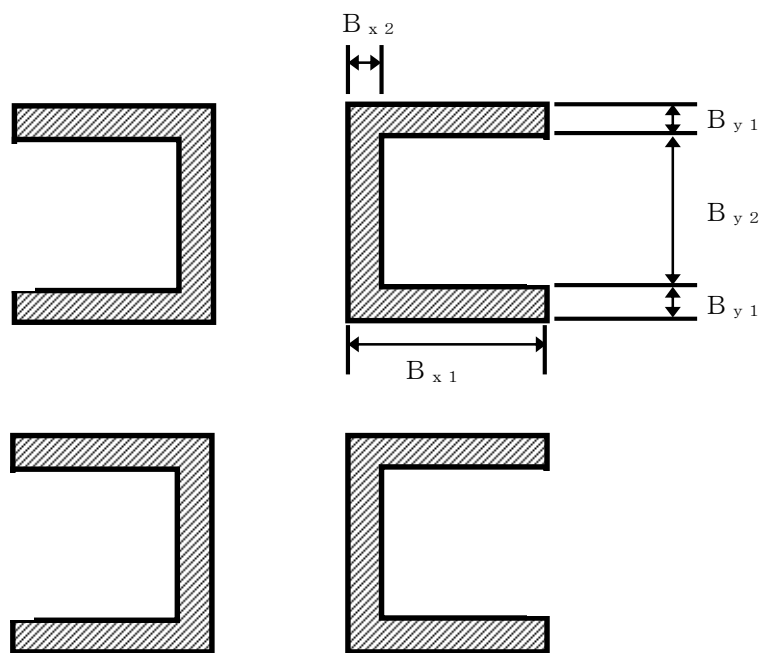


図 5-2 支持脚の断面図

5.1.2.2 4 脚たて置円筒形容器

(1) 評価条件

4 脚たて置円筒形容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. 4 脚たて置円筒形容器の強度計算において、降下火砕物が堆積する平板を円板と仮定し、等分布荷重が作用する周辺支持円板として評価し、風荷重による影響が大きい胴板及び支持脚は 1 質点系モデルとし、評価を行う。
- b. 平板は等分布荷重が作用するものとする。
- c. 1 質点系モデルの強度計算において、評価上の高さの $1/2$ 又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。計算モデル図を図 5-3 及び図 5-4 に示す。
- d. 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- e. 降下火砕物等堆積による鉛直方向荷重については、平板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し入力荷重として設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-5 に示す。

表 5-5 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
平板	曲げ
胴板	一次一般膜 一次 一次＋二次
支持脚	組合せ 座屈（圧縮＋曲げ）

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

4 脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号を表 5-6 に示す。

表 5-6 4 脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (1/6)

記号	定 義	単位
A	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)	m ²
A _s	脚の断面積	mm ²
A _{s r}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s t}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
a	平板の外半径	mm
C	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数	—
C ₁	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)	mm
C ₂	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)	mm
C _c	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)) より得られる値	—
C _L	応力の補正係数 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2)) より得られる値	—
D _i	胴の内径	mm
D _o	吸気フィルタ幅 (全幅)	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
F	J S M E SSB-3121.1(1)により規定される値	MPa
F ₀	振動モデル系における水平力	N
F _d	運転時の状態で作用する荷重	N
f _c	脚の許容圧縮応力	MPa
f _{b r}	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f _{b t}	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f _t	脚の許容引張応力	MPa
G	ガスト影響係数	—
G _s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度	m/s ²
H	吸気フィルタ高さ	m
h	平板の板厚	mm
I	胴の断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{s r}	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{s t}	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴
J _s	脚のねじりモーメント係数	mm ⁴
K ₁ , K ₂	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-2) よりの定数	—
K _c	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6.6.3-4) より得られる値)	—

表5-6 4脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (2/6)

記号	定 義	単位
K_L	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-4)より得られる値)	N/mm
K_r	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-4))より得られる値)	N/mm
k_L	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
k_c	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ周方向の補正係数	—
L	脚の長さ	mm
L_c	脚の中立軸間の距離	mm
L_g	基礎から容器上部重心までの距離	mm
M_1	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	N・mm
M_3	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	N・mm
M_c	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)	N・mm
M_L	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)	N・mm
M_{L2}	降下火砕物荷重, 積雪荷重による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント (引張側)	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
m_0	運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
p	平板に作用する等分布荷重	N/mm ²
P	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_1	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_2	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
Q	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重	N
q	設計用速度圧	N/m ²
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力	N
R_2	降下火砕物荷重及び積雪荷重により脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm
S_u	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ	MPa

表5-6 4脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (3/6)

記号	定 義	単位
S_y	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点	MPa
t	胴の板厚	mm
u	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離	mm
W_1	風荷重	N
W_2	降下火砕物荷重	N
W_3	積雪荷重	N
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2 β_c, β_L	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるシェルパラメータ	—
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第 1 脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第 2 脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第 1 脚の鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第 1 脚の傾き角 (圧縮側)	rad
θ_2	水平力 F_0 による胴の第 1 脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第 2 脚の傾き角	rad
π	円周率	—
ρ	比重	—
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次+二次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{14}$	風荷重 (Z 方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	風荷重 (X 方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{24}$	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	MPa
σ_{25}, σ_{26}	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	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa

表5-6 4脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (4/6)

記号	定 義	単位
σ_{s3}, σ_{s4}	降下火砕物荷重及び積雪荷重による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	風荷重 (Z 方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	風荷重 (X 方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	風荷重 (X 方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	風荷重 (Z 方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x3}	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	MPa
$\sigma_{\phi3}$	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	MPa
σ_{x4}	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	MPa
$\sigma_{\phi4}$	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	MPa
σ_{x5}	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	MPa
σ_{x7}	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x8}	降下火砕物荷重及び積雪荷重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	MPa
$\sigma_{\phi8}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重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	MPa
σ_{x9}	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi9}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi10}, \sigma_{x10}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\phi11}, \sigma_{x11}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の局部応力	MPa
$\sigma_{x61}, \sigma_{x62}$	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	MPa

表5-6 4脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (5/6)

記号	定 義	単位
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{\phi 62}$	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	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	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	MPa
$\sigma_{x81}, \sigma_{x82}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{\phi 82}$	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	MPa
$\sigma_{x91}, \sigma_{x92}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{\phi 92}$	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	MPa
$\sigma_{x101}, \sigma_{x102}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{\phi 102}$	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	MPa
$\sigma_{x111}, \sigma_{x112}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{\phi 112}$	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	MPa
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	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	MPa
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	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	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	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	MPa
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	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	MPa
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	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	MPa
$\sigma_{\phi x3}, \sigma_{\phi x4}$	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	MPa
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z4}$	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	MPa

表5-6 4脚たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (6/6)

記号	定 義	単位
$\sigma_{\phi z 5} \sim \sigma_{\phi z 8}$	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	MPa
τ_3	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	MPa
τ_6	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	MPa
τ_{c1}	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	MPa
τ_{c4}	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	MPa
τ_{L1}	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	MPa
τ_{L2}	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	MPa
τ_{L3}	降下火砕物荷重及び積雪荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{L5}	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	MPa

b. 計算モデル

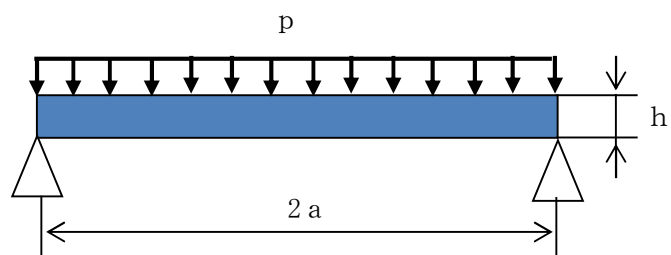


図 5-3 計算モデル図（平板）

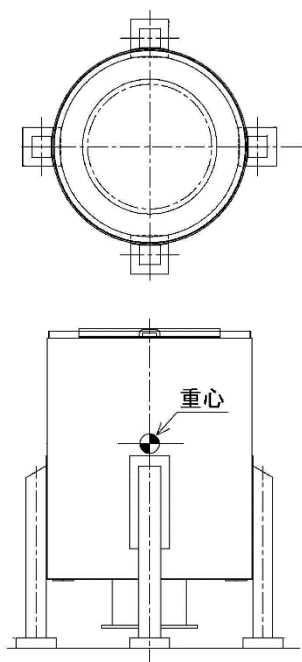


図 5-4 計算モデル図（胴板及び支持脚）

c. 強度評価方法

(a) 平板の応力

鉛直荷重により平板に作用する最大曲げ応力 $\sigma_{\max}$

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

(b) 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

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

ただし

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

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} 、傾き角 θ_1 、鉛直方向変位量 Δ_{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

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

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

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

胴の半径方向局所変位量 Δ_{r1} と局所傾き角 θ_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、 β_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 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{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、 β_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、

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

式を代入して

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

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。

(c) 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フィルタに静水頭、内圧は発生しないため、 $\sigma_{\phi 1}$ 及び $\sigma_{x 1}$ は 0 となる。

ロ. 運転時質量及び降下火砕物と積雪荷重による応力

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

$$\sigma_{x 7} = \frac{W_2 + W_3}{\pi (D_i + t) t}$$

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 5-5 に示す。

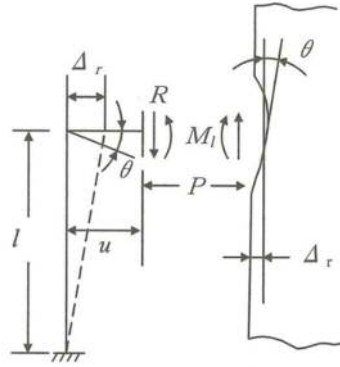


図 5-5 脚下端が固定されている場合の脚及び胴の変形

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、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

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

$$\sigma_{x3} = \left[\frac{N_x}{M_L / (r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_L}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

ここで,

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

$$\gamma = r_m / t$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

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

$$\beta = \begin{cases} \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 \geq 1) \\ \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 < 1) \end{cases}$$

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。

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

二. 風荷重による胴の曲げ応力

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

ホ. Z方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

(イ) 一次応力

半径方向荷重P₁により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 6 1} = \left[\frac{N_{\phi}}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right)$$

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

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。

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

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

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。

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

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

ここで、 β_c は次式による。

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

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。

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

(ロ) 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。

$$\sigma_{\phi 62} = \left[\frac{M_\phi}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x62} = \left[\frac{M_x}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right)$$

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。

$$\sigma_{\phi 72} = \left[\frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x72} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

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。

$$\sigma_{\phi 82} = \left[\frac{M_\phi}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

$$\sigma_{x82} = \left[\frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_c} \right)$$

へ。 X方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

(イ) 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。

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x91} = \sigma_{x61} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x101} = \sigma_{x71} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x111} = \sigma_{x81} / \sqrt{2}$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

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。

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

(ロ) 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. 降下火砕物と積雪荷重による胴の脚つけ根部の応力

脚下端を固定する場合の軸力 R_2 ，胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント M_{L2} 及び半径方向荷重 P_2 は、次による。

$$R_2 = \frac{W_2 + W_3}{4}$$

$$M_{L2} = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \frac{R_2 \cdot u \cdot L}{E_s \cdot I_{st}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \left(\frac{L}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{st}} \right)^2}$$

$$P_2 = \frac{\frac{R_2 \cdot u - M_{L2}}{2E_s \cdot I_{st}} L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{st}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

(イ) 一次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{L2} により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 8} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{L2}/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

$$\sigma_{x8} = \left[\frac{N_x}{M_{L2}/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 9} = \left[\frac{N_{\phi}}{P_2/r_m} \right]^* \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x9} = \left[\frac{N_x}{P_2/r_m} \right]^* \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

(ロ) 二次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{L2} により生じる胴の局部応力は次による。

$$\sigma_{\phi 10} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x10} = \left[\frac{M_x}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 11} = \left[\frac{M_{\phi}}{P_2} \right]^* \left(\frac{6P_2}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x11} = \left[\frac{M_x}{P_2} \right]^* \left(\frac{6P_2}{t^2} \right)$$

せん断応力は、次による。

$$\tau_{L3} = \frac{R_2}{4C_2 \cdot t}$$

チ. 組合せ応力

イ. ～ ト. 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。

(イ) 一次一般膜応力

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

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

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

(ロ) 一次応力 (膜+曲げ)

【Z方向荷重が作用した場合】

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 7 1}$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7 1}$$

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

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1}$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1}$$

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

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9}$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9}$$

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

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 8 1}$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 8 1}$$

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

【X方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 10 1}$$

$$\sigma_{x \times 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1}$$

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

(第 2 評価点)

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

$$\sigma_{x \times 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 1 1}$$

$$\sigma_{1 6} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi \times 2} + \sigma_{x \times 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi \times 2} - \sigma_{x \times 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 5} + \tau_6 + \tau_{L 3})^2} \right\}$$

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

(ハ) 組合せ一次＋二次応力

【Z 方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

・第 1 脚つけ根部

(第 1 評価点)

$$\sigma_{\phi \times 5} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 7 2}$$

$$\sigma_{x \times 5} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2} + \sigma_{x 7 1} + \sigma_{x 7 2}$$

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

(第 2 評価点)

$$\sigma_{\phi \times 6} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2}$$

$$\sigma_{x \times 6} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 6 2}$$

$$\sigma_{2 2} = \sigma_{\phi \times 6} + \sigma_{x \times 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi \times 6} - \sigma_{x \times 6})^2 + 4(\tau_{L 2} + \tau_{L 3})^2}$$

・第 2 脚つけ根部

(第 1 評価点)

$$\sigma_{\phi \times 7} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1}$$

$$\sigma_{x \times 7} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{x 1 1}$$

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

(第 2 評価点)

$$\sigma_{\phi \times 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 8 1} + \sigma_{\phi 8 2}$$

$$\sigma_{xz8} = \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x11} + \sigma_{x81} + \sigma_{x82}$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{\phi z8} + \sigma_{xz8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z8} - \sigma_{xz8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L3})^2}$$

【X方向荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x3} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{xx3} = \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} + \sigma_{x10} + \sigma_{x11} + \sigma_{x5} + \sigma_{x91} + \sigma_{x101} + \sigma_{x92} + \sigma_{x102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x3} + \sigma_{xx3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x3} - \sigma_{xx3})^2 + 4(\tau_c + \tau_6)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{xx4} = \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x11} + \sigma_{x5} + \sigma_{x91} + \sigma_{x92} + \sigma_{x111} + \sigma_{x112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x4} + \sigma_{xx4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x4} - \sigma_{xx4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6 + \tau_{L3})^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

(c) 脚の応力計算

イ. 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{st}}$$

ロ. 降下火砕物荷重，積雪荷重による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\max[|R_2 \cdot u - M_{L2} - P_2 \cdot L|, |R_2 \cdot u - M_{L2}|]}{Z_{st}}$$

ハ. 風荷重（Z方向）による応力

(イ) 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{Z_{st}}$$

(ロ) 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{Z_{sr}}$$

(ハ) X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}}$$

二. 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

(イ) Z方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6}$$

・ 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7}$$

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10}$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}]$$

ホ. 組合せ圧縮応力

(イ) Z方向荷重が作用した場合

・ 第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5}$$

$$\sigma_{s\ t} = \sigma_{s\ 2} + \sigma_{s\ 4} + \sigma_{s\ 6}$$

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

・ 第2脚

$$\sigma_{s\ c} = \sigma_{s\ 1} + \sigma_{s\ 3}$$

$$\sigma_{s\ t} = \sigma_{s\ 2} + \sigma_{s\ 4}$$

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

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{s\ c} = \sigma_{s\ 1} + \sigma_{s\ 3} + \sigma_{s\ 8}$$

$$\sigma_{s\ t} = \sigma_{s\ 2} + \sigma_{s\ 4} + \sigma_{s\ 9}$$

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

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。

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

5.2 土木構造物・構築物

5.2.1 建屋

(1) 評価条件

建屋の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 建屋の強度評価において，屋根及び耐震壁は，応答解析モデルを用い評価する。
- b. 建屋の強度評価において，屋根の評価は，降下火砕物等堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- c. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重として 7565 N/m^2 ，風荷重については基準風速 30 m/s を考慮する。
- d. 風荷重の算出は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し，受圧面積算定において，隣接する建屋の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- e. 水平方向の風荷重が作用した場合，屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため，屋根面の評価においては，保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-7 に示す。

表 5-7 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
屋根	曲げ，せん断
耐震壁	変形

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

建屋の強度評価に用いる記号を表 5-8 に示す。

表 5-8 建屋の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_d	N/m^2	固定荷重
F_l	N/m^2	積載荷重
F_s	N/m^2	積雪荷重
F_v	N/m^2	降下火砕物堆積による鉛直荷重
W	N	風荷重

b. 屋根の応力計算

応答解析モデルを用いて，屋根に作用する固定荷重 F_d ，積載荷重 F_l ，積雪荷重 F_s ，降下火砕物堆積等による鉛直荷重 F_v により屋根に発生する応力を求める。

c. 耐震壁の応力計算

応答解析モデルを用いて，風荷重 W により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

6. 適用規格

V-1-1-2-4-1 においては，降下火碎物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち，各対象施設の強度評価に用いる規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）
- (5) 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）
- (6) 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）
- (7) 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・捕-1984（（社）日本電気協会）
- (8) 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）
- (9) 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）
- (10) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015）

V-3-別添 2-1-1 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	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	7
3.5 評価方法	7
4. 評価条件	9
5. 強度評価結果	9

1. 概要

本資料は、V-3-別添2-1「火山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降下火砕物等堆積時においても、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は、V-3-別添2-1「火山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 2-1「火山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。

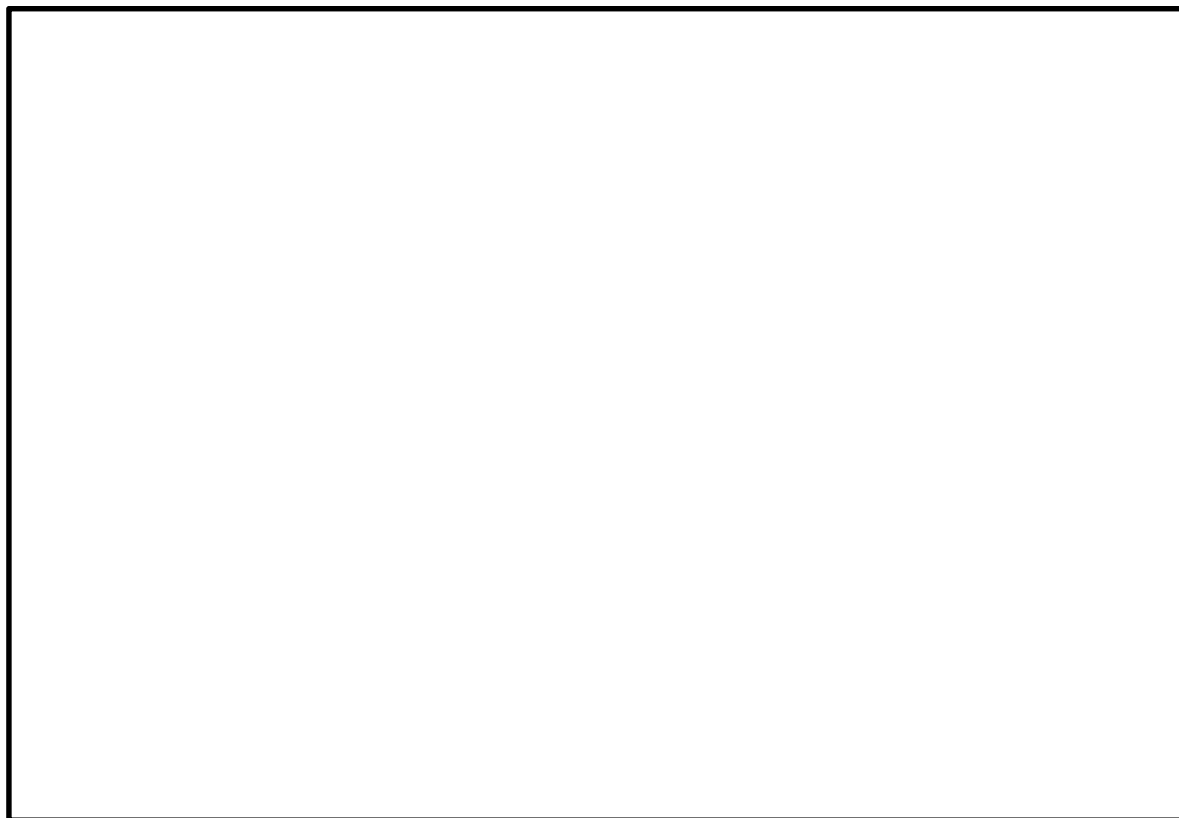


図 2-1 海水ポンプ室の位置図

2.2 構造概要

残留熱除去系海水系ポンプは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

残留熱除去系海水系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、同一構造の残留熱除去系海水系ポンプ4台を設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

残留熱除去系海水系ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに、外扇カバー等が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機台部に作用する構造とする。降下火砕物等が残留熱除去系海水系ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

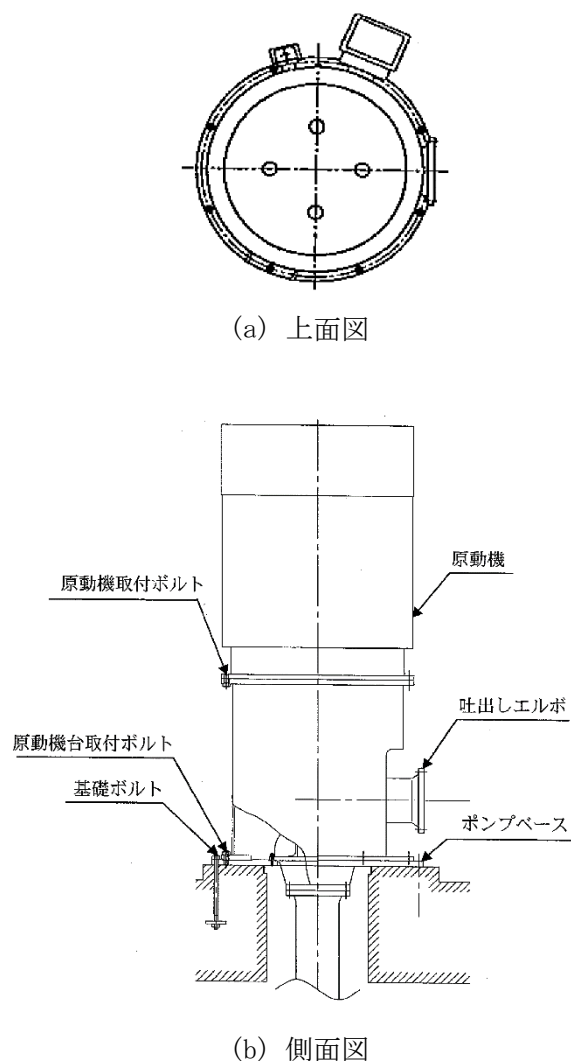


図 2-2 残留熱除去系海水系ポンプの概要図

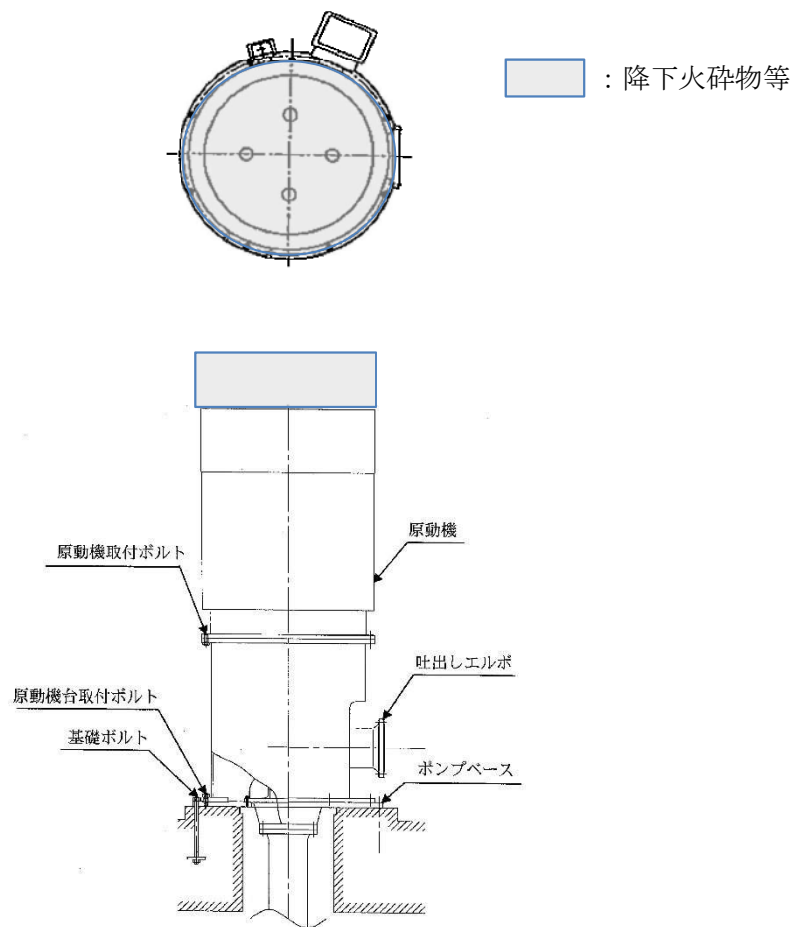


図 2-3 落下火砕物等の堆積状態図

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2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ポンプの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フローを図2-4に示す。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、落下火砕物等堆積による鉛直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。

落下火砕物等堆積による鉛直荷重については、原動機上面の投影面積に対し落下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-1「火山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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。残留熱除去系海水系ポンプの許容限界は、V-3-別添2-1「火山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_ASとする。

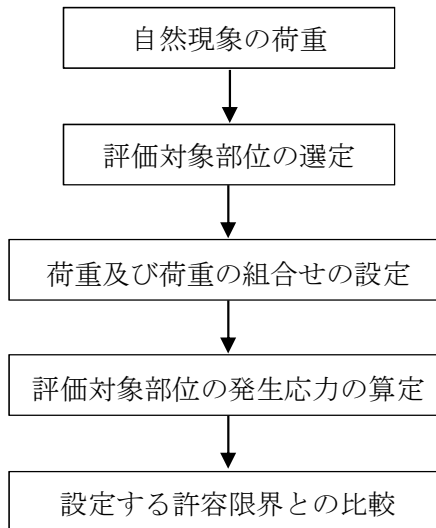


図2-4 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 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）
- (4) 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）
- (5) 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）
- (6) 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

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J SME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
m	kg	原動機の質量
P	kg	ポンプスラスト荷重
S	mm^2	原動機台の断面積
S_y	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_u	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	原動機台に生じる圧縮応力

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台とする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機台下部に作用する。

このことから、原動機台を評価対象部位として選定している。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。

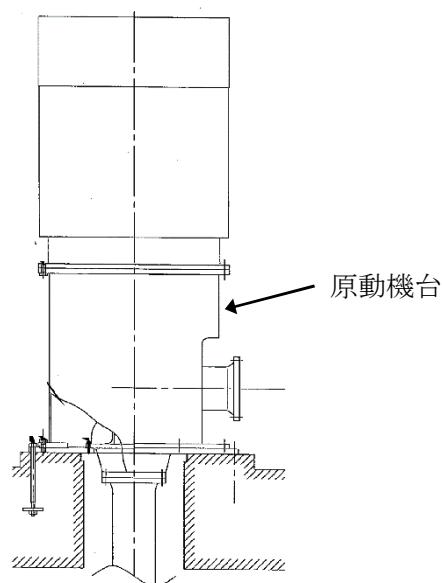


図 3-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価対象部位

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 7565 N/m^2 とする。

c. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

残留熱除去系海水系ポンプ原動機台には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
残留熱除去系海水系ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重

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 2-1「火山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」にて設定している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に基づき許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

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、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_AS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許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ポンプの許容限界

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	1.5 f _c *

* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態 C に対する許容応力算定に用いる応力

3.5 評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定している立形ポンプの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

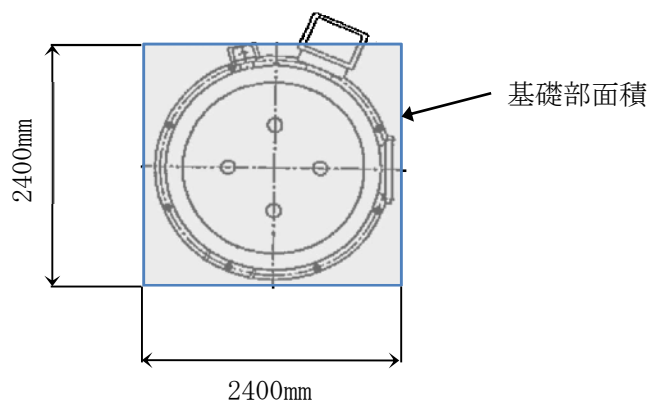


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

- (b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

- b. 応力評価

- (a) 原動機台に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで,

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 3-3 に示す。

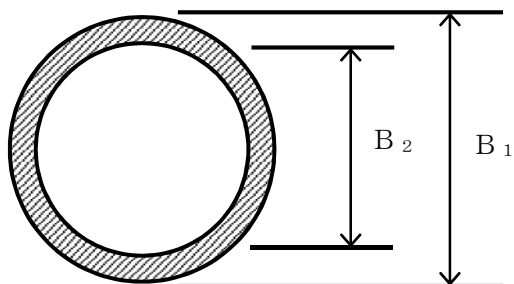


図 3-3 原動機台の断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
SS400	50	231	394	231	229

表 4-2 残留熱除去系海水系ポンプの入力条件

g (m/s ²)	F_v (N/m ²)	m (kg)	P (kg)	A_1 (m ²)	B_1 (mm)	B_2 (mm)
9.80665	7565	15200	4400	5.76	1680	1648

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動機台に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 残留熱除去系海水系ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SS400	圧縮	2.82	229

V-3-別添 2-1-2 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	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	7
3.5 評価方法	7
4. 評価条件	9
5. 強度評価結果	9

1. 概要

本資料は、V-3-別添2-1「火山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。）が降下火砕物等堆積時においても、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は、V-3-別添2-1「火山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 2-1「火山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は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水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、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。降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のポンプの概要図を図2-2に示す。

ディーゼル発電機用海水ポンプ原動機の形状は円筒形を基本としたフレームに、外扇カバー等が付加された形態であり、ポンプのスラスト荷重はすべて原動機台部に作用する構造とする。降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

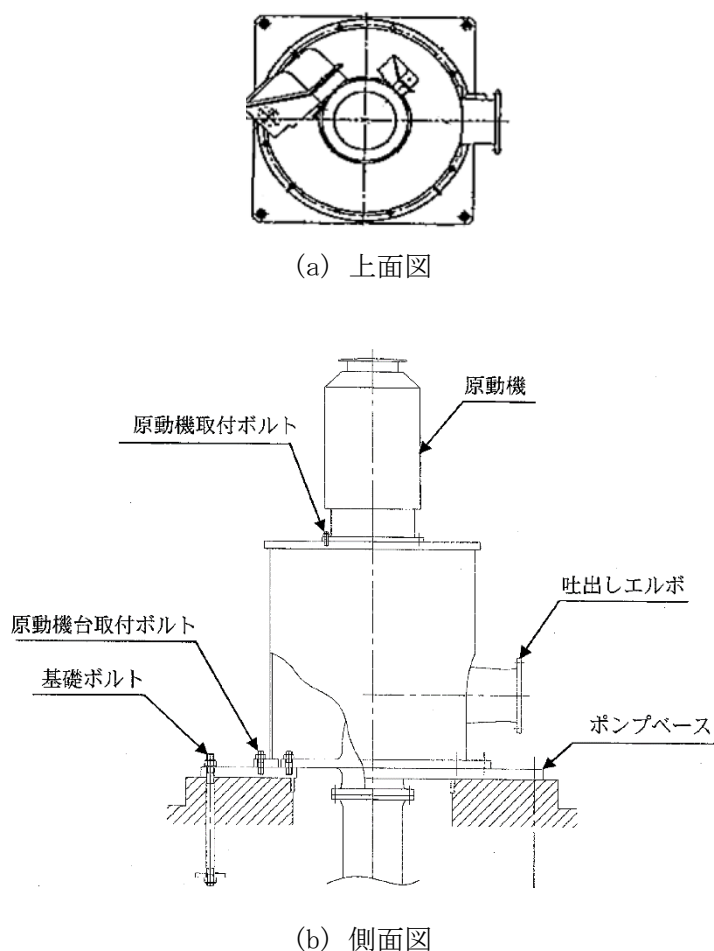


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの概要図

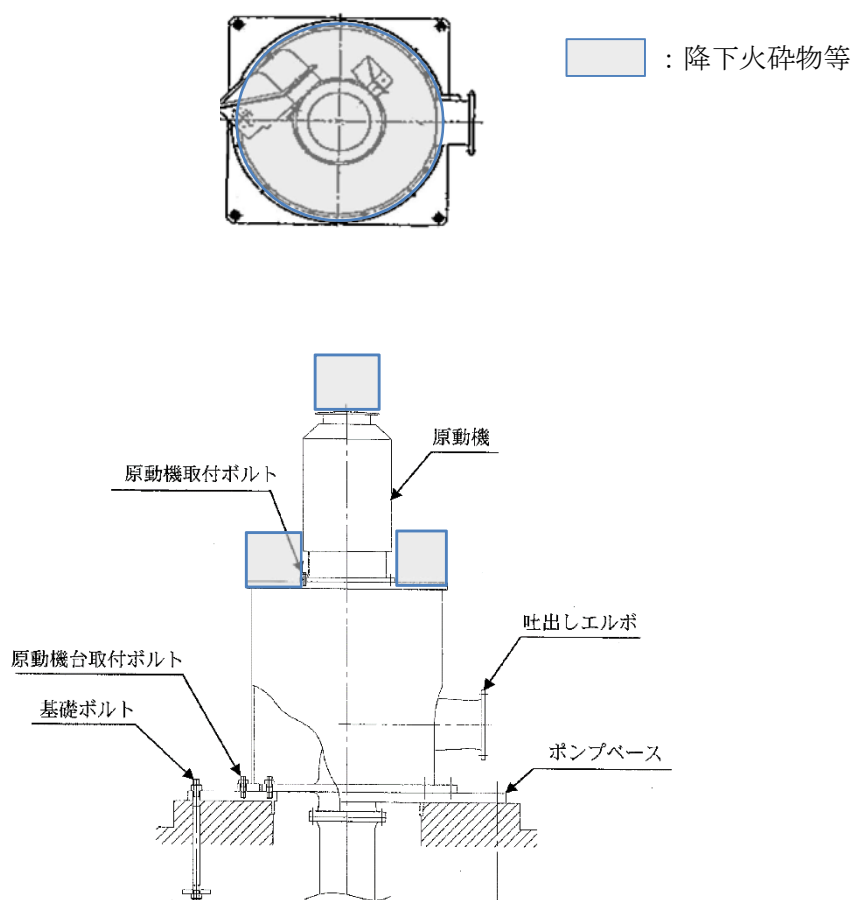


図 2-3 落下火砕物等の堆積状態図

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2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ポンプの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フローを図2-4に示す。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、落下火砕物等堆積による鉛直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。

落下火砕物等堆積による鉛直荷重については、原動機上面の投影面積に対し落下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-1「火山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」に示す立形ポンプの評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界は、V-3-別添2-1「火山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_ASとする。

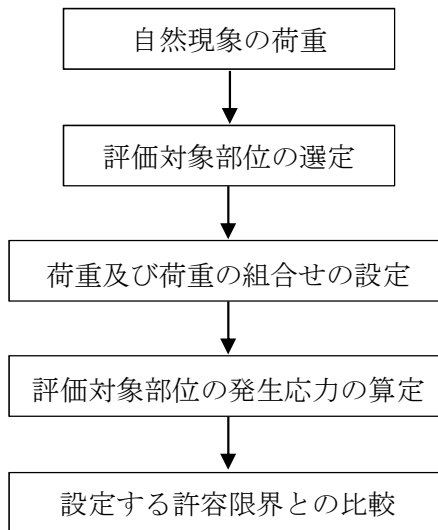


図2-4 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 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）
- (4) 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）
- (5) 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）
- (6) 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

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_1	mm	原動機台外径
B_2	mm	原動機台内径
F_d	N	原動機自重による軸方向荷重
F_p	N	ポンプスラスト荷重による軸方向荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J SME SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラスト荷重による軸方向荷重
m	kg	原動機の質量
P	kg	ポンプスラスト荷重
S	mm^2	原動機台の断面積
S_y	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_u	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	原動機台に生じる圧縮応力

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、原動機台とする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積する原動機上部を介して支持している原動機台下部に作用する。

このことから、原動機台を評価対象部位として選定している。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

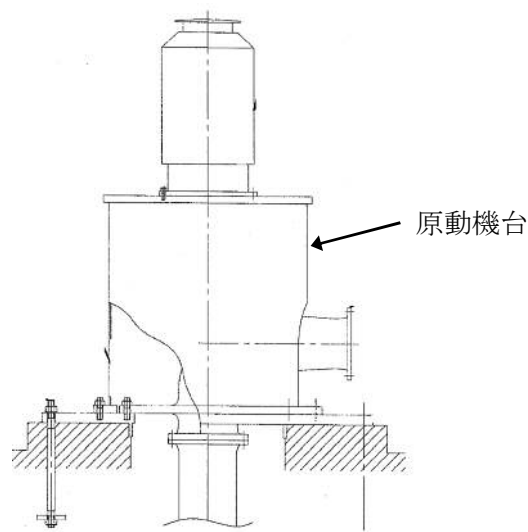


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価対象部位

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、原動機の自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 7565 N/m^2 とする。

c. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

ディーゼル発電機用海水ポンプ原動機台には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機用海水ポンプ	原動機台	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ポンプスラスト荷重

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 2-1「火山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」にて設定している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 に基づき許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を用いる。

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、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_AS 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許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ポンプの許容限界

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	1.5f _c *

* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態 C に対する許容応力算定に用いる応力

3.5 評価方法

ディーゼル発電機用海水ポンプの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定している立形ポンプの評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

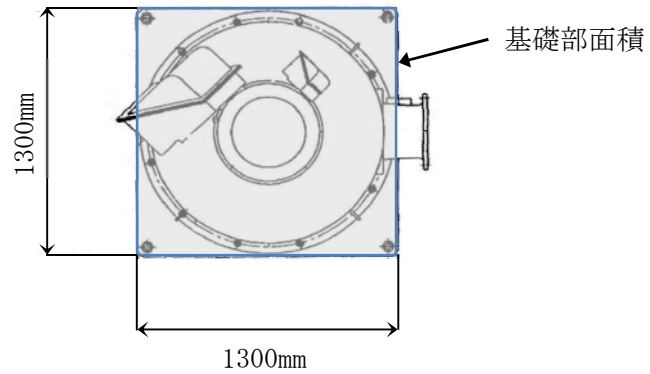


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

- (b) 原動機台に常時作用する原動機自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

- b. 応力評価

- (a) 原動機台に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで,

$$S = \frac{\pi}{4} (B_1^2 - B_2^2)$$

原動機台の断面図を図 3-3 に示す。

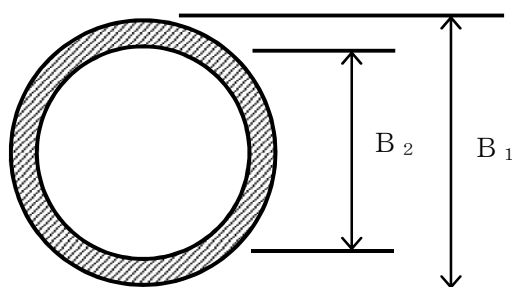


図 3-3 原動機台の断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
SS400	50	241	394	241	240

表 4-2 ディーゼル発電機用海水ポンプの入力条件

g (m/s^2)	F_v' (N/m^2)	m (kg)	P (kg)	A_1 (m^2)	B_1 (mm)	B_2 (mm)
9.80665	7565	1230	900	1.69	1100	1076

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

原動機台に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機用海水ポンプの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原動機台	SS400	圧縮	0.83	240

V-3-別添 2-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	7
3.5 評価方法	7
4. 評価条件	9
5. 強度評価結果	10

1. 概要

本資料は、V-3-別添2-1「火山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ストレーナが降下火砕物等堆積時においても、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ストレーナは、V-3-別添2-1「火山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ストレーナの「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

残留熱除去系海水系ストレーナは、V-3-別添 2-1「火山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ストレーナは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

残留熱除去系海水系ストレーナは、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器であり、同一設計の残留熱除去系海水系ストレーナを2台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を直接受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。また、降下火砕物等が残留熱除去系海水系ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

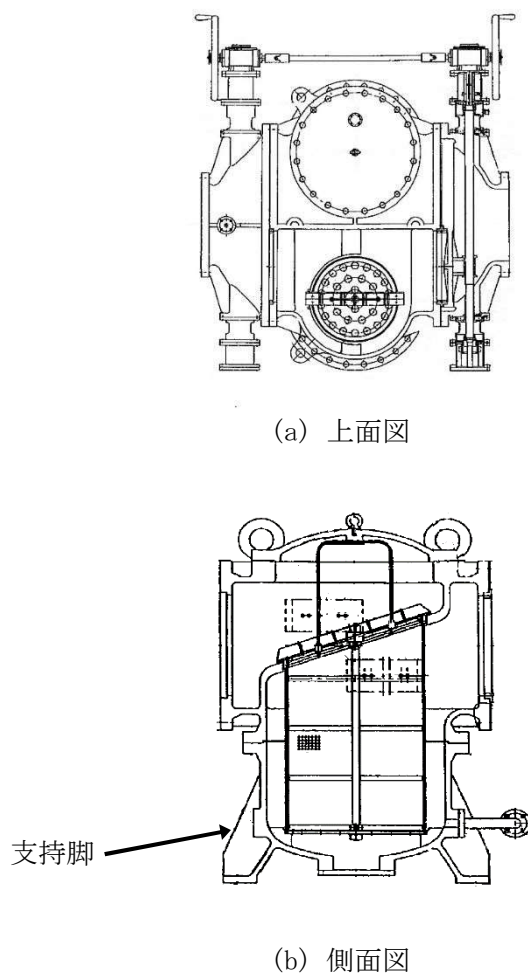


図 2-2 残留熱除去系海水系ストレーナの概要図

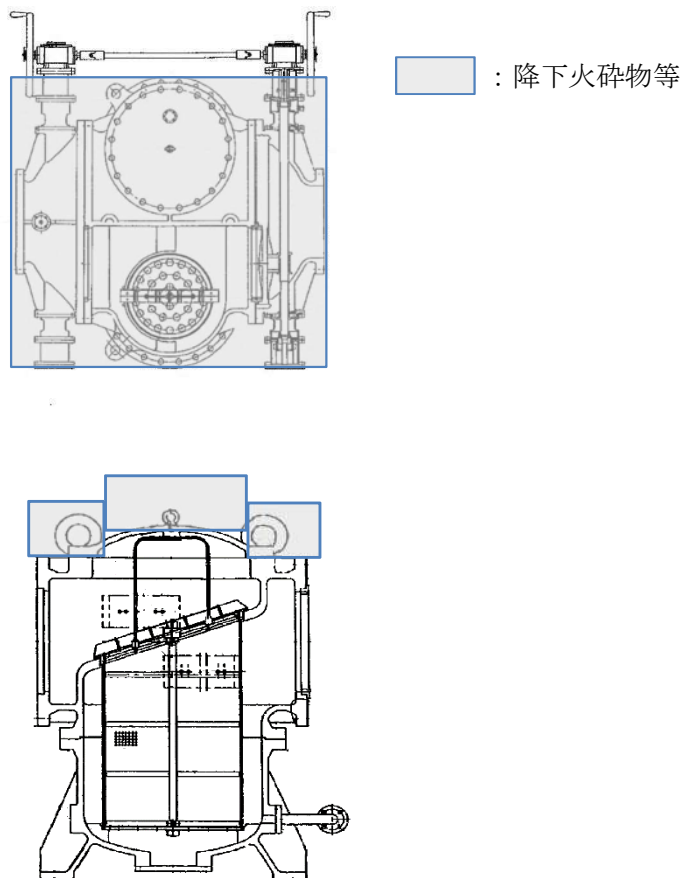


図 2-3 降下火砕物等の堆積状態図

2.3 評価方針

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ストレーナの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フローを図2-4に示す。残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ストレーナ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-1「火山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」に示すたて置円筒形容器の評価式を用いる。残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、V-3-別添2-1「火山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_ASとする。

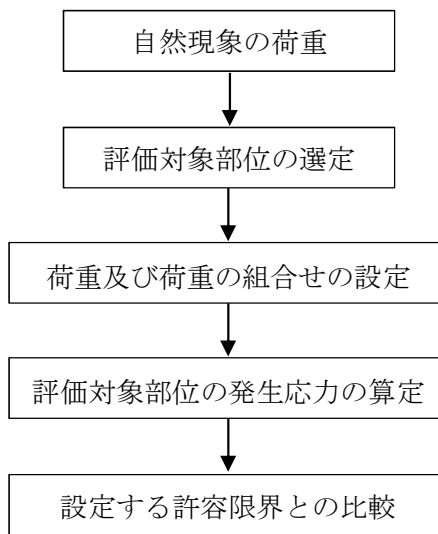


図2-4 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 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）
- (4) 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）
- (5) 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）
- (6) 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

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
F_d	N	ストレーナ自重による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_p	N	内包水の荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重及び内包水の荷重
m	kg	ストレーナの質量
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	J S M E 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 M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力

3.2 評価対象部位

残留熱除去系海水系ストレーナの評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、支持脚とする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積するストレーナ上部を介して支持脚に作用する。

このことから、支持脚を評価対象部位として選定している。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

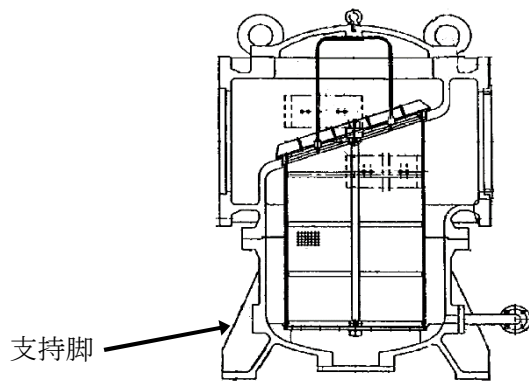


図 3-1 降下火砕物等の堆積状態図

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 7565 N/m^2 とする。

c. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重として、自重に内包水の荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

残留熱除去系海水系ストレーナの支持脚には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。

残留熱除去系海水系ストレーナの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
残留熱除去系海水系 ストレーナ	支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重

3.4 許容限界

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定している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 に基づき許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を用いる。

残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 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_AS 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ストレーナの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 残留熱除去系海水系ストレーナの許容限界

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5 f_c^*$

* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態 C に対する許容応力算定に用いる応力

3.5 評価方法

残留熱除去系海水系ストレーナの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定しているたて置円筒形容器の評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

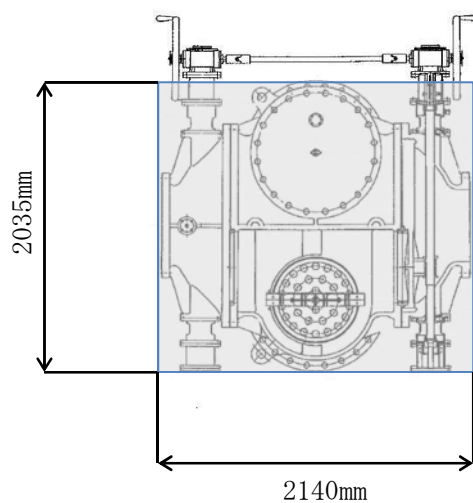


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

- (b) 支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H = F_d$$

ここで,

$$F_d = m \cdot g$$

- b. 応力評価

- (a) 支持脚に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで

$$S = \left\{ (B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2) + (B_{x2} \cdot B_{y2}) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-3 に示す。

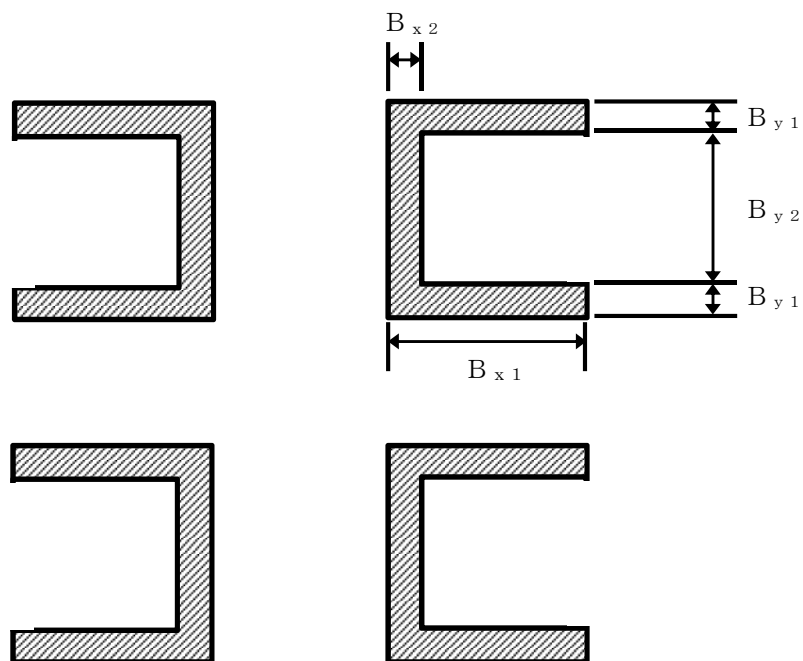


図 3-3 支持脚の断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
SCS14	50	180	429	185	184

表 4-2 残留熱除去系海水系ストレーナの入力条件

g (m/s^2)	F_v' (N/m^2)	m (kg)	A_1 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
9.80665	7565	9850	4.35	150	25	25	174

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

支持脚に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 残留熱除去系海水系ストレーナの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持脚	SCS14	圧縮	2.74	184

V-3-別添 2-1-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	5
3.3 荷重及び荷重の組合せ	6
3.4 許容限界	7
3.5 評価方法	7
4. 評価条件	9
5. 強度評価結果	10

1. 概要

本資料は、V-3-別添2-1「火山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。）が降下火砕物等堆積時においても、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ストレーナは、V-3-別添2-1「火山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ストレーナの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、V-3-別添 2-1「火山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ストレーナは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナは、円筒型の容器と支持脚が鋳物一体構造となったたて置円筒形容器であり、同一設計のディーゼル発電機用海水ストレーナを3台設置している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重の影響を受ける据付位置より上部のストレーナの概要図を図2-2に示す。また、降下火砕物等がディーゼル発電機用海水ストレーナに最も多く堆積することが想定される状態図を図2-3に示す。

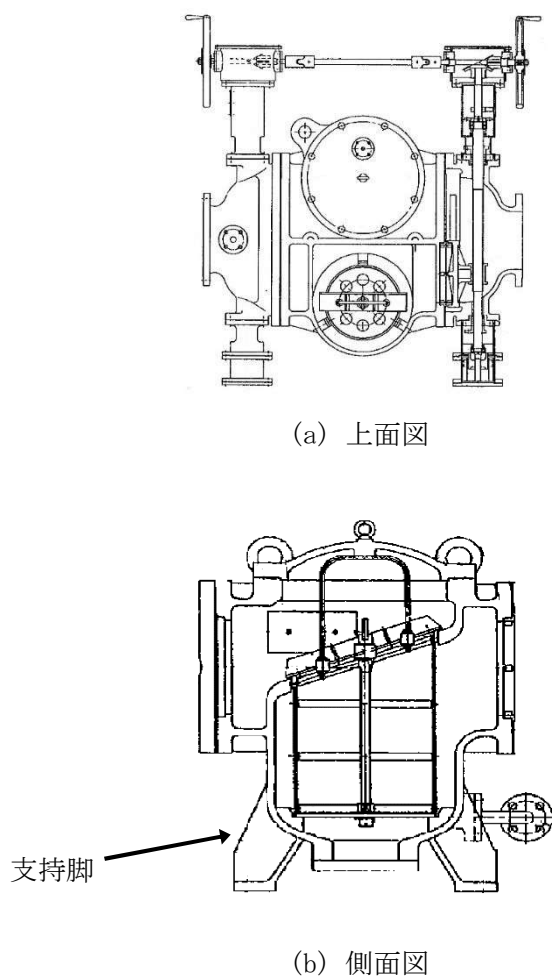


図 2-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの概要図

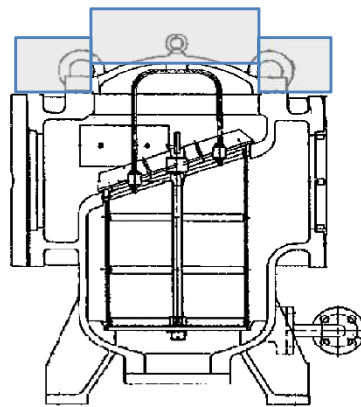
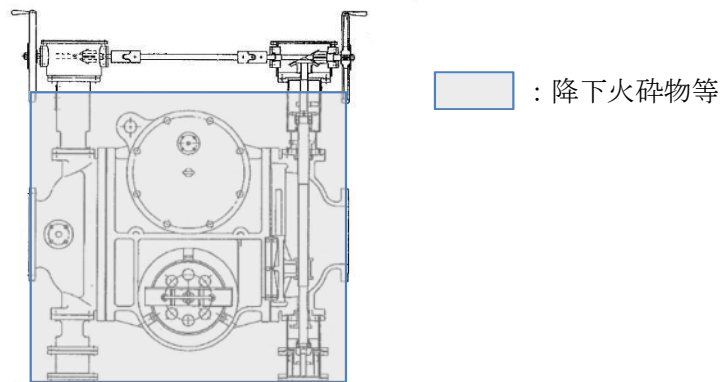


図 2-3 降下火砕物等の堆積状態図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、ストレーナの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フローを図2-4に示す。ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、ストレーナ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-1「火山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」に示すたて置円筒形容器の評価式を用いる。ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、V-3-別添2-1「火山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_ASとする。

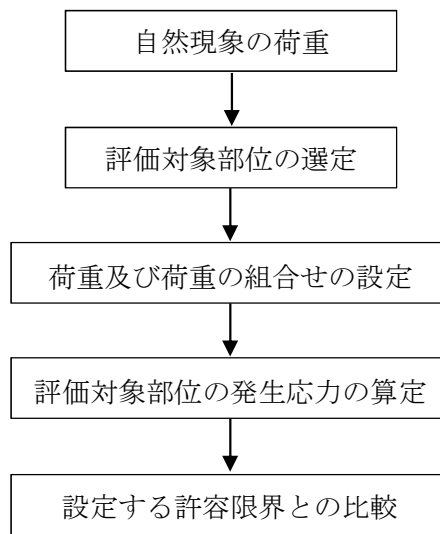


図2-4 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 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）
- (4) 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）
- (5) 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）
- (6) 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

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	降下火砕物等の堆積面積
B_{x1}	mm	支持脚の寸法
B_{x2}	mm	支持脚の寸法
B_{y1}	mm	支持脚の寸法
B_{y2}	mm	支持脚の寸法
F_d	N	ストレーナ自重による荷重
F_v	N	降下火砕物等堆積による鉛直荷重
F_p	N	内包水の荷重
F_v'	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f_c	MPa	J S M E SSB-3121.1 により規定される供用状態 A 及び B での許容圧縮応力
g	m/s^2	重力加速度
H	N	支持脚に常時作用するストレーナ自重及び内包水の荷重
m	kg	ストレーナの質量
S	mm^2	支持脚の断面積
S_y	MPa	J S M E 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 M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張り強さ
σ_c	MPa	支持脚に生じる圧縮応力

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、支持脚とする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積するストレーナ上部を介して支持脚に作用する。

このことから、支持脚を評価対象部位として選定している。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

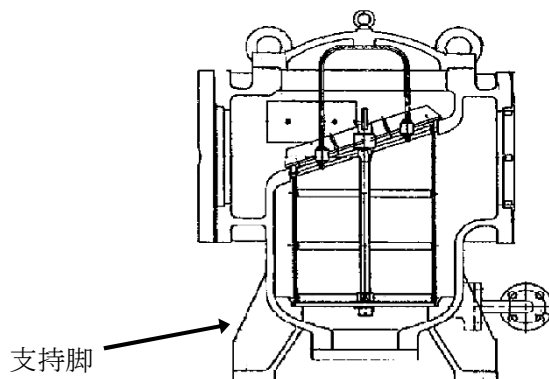


図 3-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価部位

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、 7565 N/m^2 とする。

c. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

運転時の状態で作用する荷重として、自重に内包水の荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

ディーゼル発電機用海水ストレーナの支持脚には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機用 海水ストレーナ	支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重

3.4 許容限界

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定している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 に基づき許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を用いる。

ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「クラス 2,3 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_AS 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ストレーナの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 ディーゼル発電機用海水ストレーナの許容限界

状態	許容限界
	圧縮
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5 f_c^*$

* : J S M E SSB-3120 に規定される供用状態 C に対する許容応力算定に用いる応力

3.5 評価方法

ディーゼル発電機用海水ストレーナの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定しているたて置円筒形容器の評価式を用いる。

(1) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火砕物堆積による鉛直荷重

$$F_V = F_V' \cdot A_1$$

降下火砕物等の堆積面積図を図 3-2 に示す。堆積面積は保守的に基礎部面積とする。

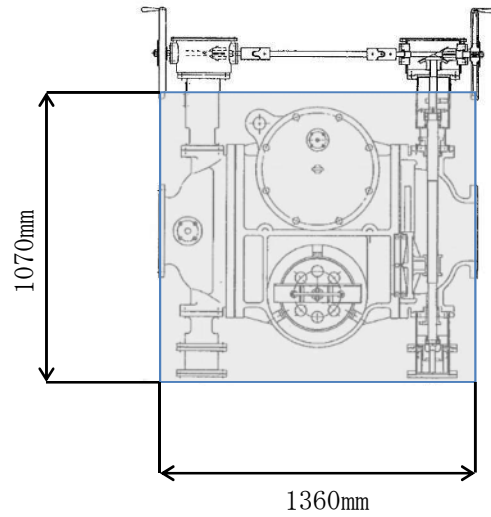


図 3-2 降下火砕物等の堆積面積図

- (b) 支持脚に常時作用するストレーナ自重による軸方向荷重

$$H = F_d$$

ここで

$$F_d = m \cdot g$$

- b. 応力評価

- (a) 支持脚に生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで

$$S = \left\{ (B_{x1} \cdot B_{y1} \cdot 2) + (B_{x2} \cdot B_{y2}) \right\} \cdot 4$$

支持脚の断面図を図 3-3 に示す。

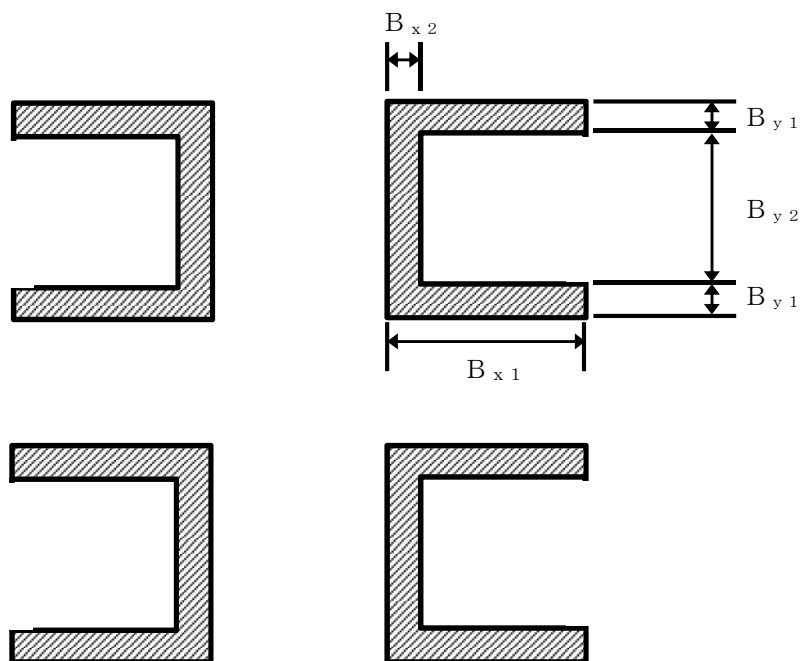


図 3-3 支持脚の断面図

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5 f_c$ (MPa)
SCS14	50	180	429	185	184

表 4-2 ディーゼル発電機用海水ストレーナの入力条件

g (m/s^2)	F_v' (N/m^2)	m (kg)	A_1 (m^2)	B_{x1} (mm)	B_{x2} (mm)	B_{y1} (mm)	B_{y2} (mm)
9.80665	7565	2030	1.46	100	15	15	95

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

支持脚に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機用海水ストレーナの評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
支持脚	SCS14	圧縮	1.75	184

V-3-別添 2-1-5 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書

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	3
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	12
3.5 評価方法	13
4. 評価条件	28
5. 強度評価結果	29

1. 概要

本資料は、V-3-別添2-1「火山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吸気フィルタ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機吸気フィルタ（以下「ディーゼル発電機吸気フィルタ」という。）が降下火砕物等堆積時においても、吸気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

ディーゼル発電機吸気フィルタは、V-3-別添2-1「火山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、ディーゼル発電機吸気フィルタの「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

ディーゼル発電機吸気フィルタは、V-3-別添 2-1「火山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、屋外の図 2-1 に示す位置に設置する。

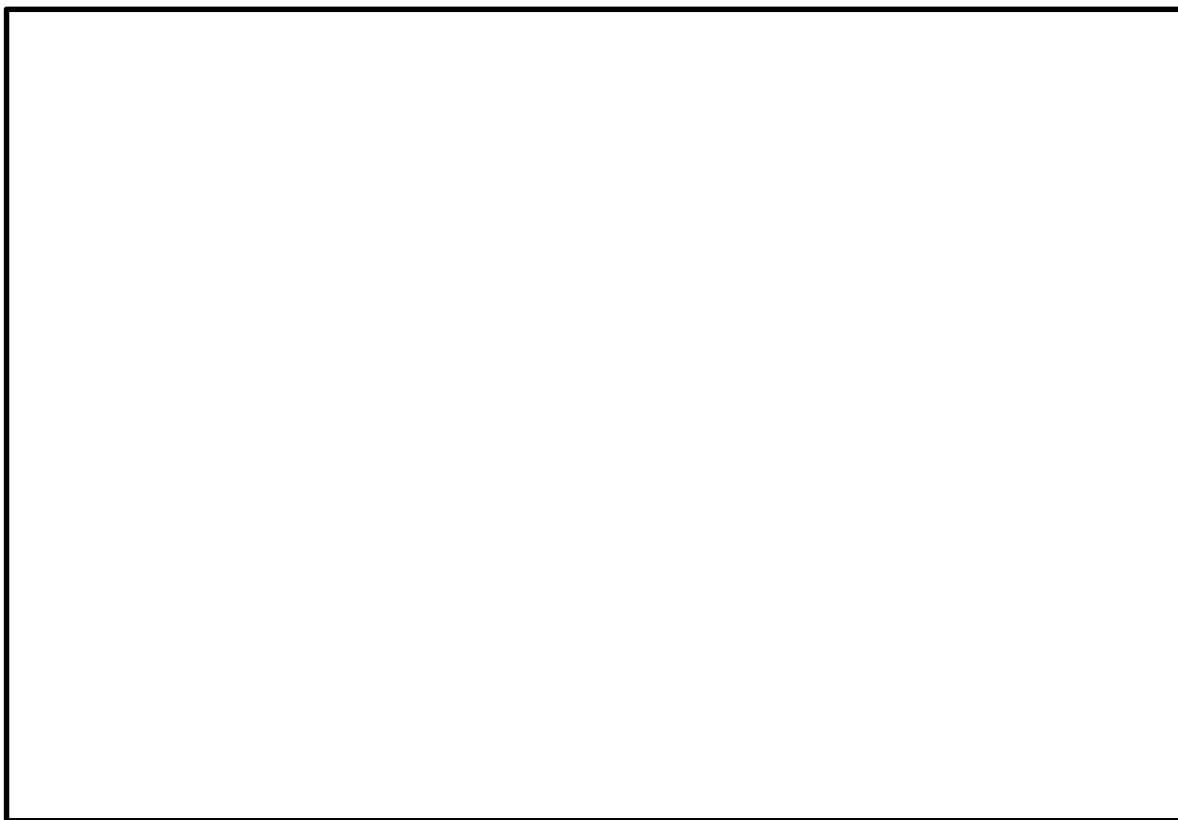


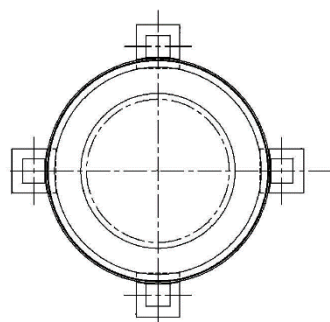
図 2-1 ディーゼル発電機吸気フィルタ位置図

2.2 構造概要

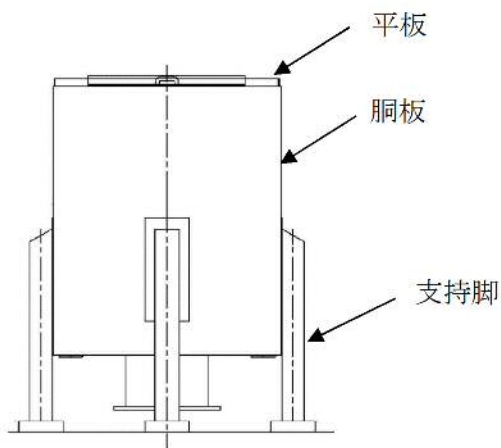
ディーゼル発電機吸気フィルタは、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタは、ディーゼル発電機1基につき2台設置しており、計6台の同一構造の吸気フィルタを設置している。

吸気フィルタの構造は4脚たて置円筒型容器構造であり、支持脚は基礎部に溶接により固定している。ディーゼル発電機吸気フィルタの概要図を図2-2に示す。



(a) 上面図



(b) 側面図

図 2-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの概要図

2.3 評価方針

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、吸気フィルタの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価フローを図2-3に示す。ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、吸気フィルタ上面の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-1「火山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4脚たて置円筒形容器の評価式を用いる。ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界は、V-3-別添2-1「火山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_ASとする。

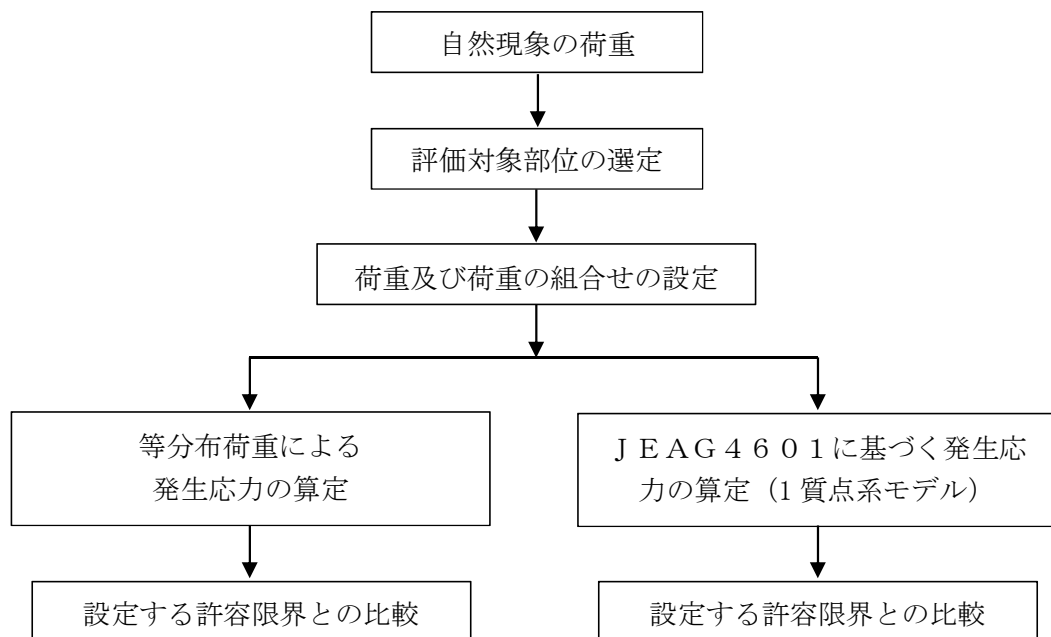


図2-3 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和45年3月9日茨城県規則第9号）
- (3) 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）
- (4) 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）

- (5) 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）
- (6) 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

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (1/6)

記号	定義	単位
A	受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）	m ²
A _s	脚の断面積	mm ²
A _{s r}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
A _{s t}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm ²
a	平板の外半径	mm
C	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数	—
C ₁	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)	mm
C ₂	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)	mm
C _c	応力の補正係数（J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2))より得られる値）	—
C _L	応力の補正係数（J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2))より得られる値）	—
D _i	胴の内径	mm
D _o	吸気フィルタ幅（全幅）	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _s	脚の縦弾性係数	MPa
F	J S M E SSB-3121. 1(1)により規定される値	MPa
F ₀	振動モデル系における水平力	N
F _d	運転時の状態で作用する荷重	N
f _c	脚の許容圧縮応力	MPa
f _{b r}	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f _{b t}	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f _t	脚の許容引張応力	MPa
G	ガスト影響係数	—
G _s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（=9. 80665）	m/s ²
H	吸気フィルタ高さ	m
h	平板の板厚	mm
I	胴の断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{s r}	脚の半径方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{s t}	脚の周方向軸に対する断面 2 次モーメント	mm ⁴
J _s	脚のねじりモーメント係数	mm ⁴
K ₁ , K ₂	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)よりの定数	—

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (2/6)

記号	定義	単位
K_c	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-4)より得られる値)	—
K_L	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-4)より得られる値)	N/mm
K_r	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 (J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-4)より得られる値)	N/mm
k_L	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
k_c	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ周方向の補正係数	—
L	脚の長さ	mm
L_c	脚の中立軸間の距離	mm
L_g	基礎から容器上部重心までの距離	mm
M_1	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	N・mm
M_3	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	N・mm
M_c	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)	N・mm
M_L	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)	N・mm
M_{L2}	降下火砕物荷重、積雪荷重による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント (引張側)	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
m_0	運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
p	平板に作用する等分布荷重	N/mm ²
P	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_1	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_2	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
Q	風荷重(Z方向)による胴の脚つけ根部の周方向荷重	N
q	設計用速度圧	N/m ²
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	風荷重(Z方向)により脚に作用する軸力	N
R_2	降下火砕物荷重及び積雪荷重により脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (3/6)

記号	定義	単位
S_y	J S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点	MPa
t	胴の板厚	mm
u	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離	mm
W_1	風荷重	N
W_2	降下火砕物荷重	N
W_3	積雪荷重	N
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2 β_c, β_L	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるアタッチメントパラメータ	-
γ	J E A G 4 6 0 1 参考文献(6. 6. 3-2)によるシェルパラメータ	-
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第 1 脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第 2 脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第 1 脚の鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第 1 脚の傾き角 (圧縮側)	rad
θ_2	水平力 F_0 による胴の第 1 脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第 2 脚の傾き角	rad
π	円周率	-
ρ	比重	-
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次+二次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{14}$	風荷重 (Z 方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	風荷重 (X 方向) が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{24}$	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	MPa
σ_{25}, σ_{26}	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	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (4/6)

記号	定義	単位
σ_{s3}, σ_{s4}	降下火砕物荷重及び積雪荷重による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	風荷重 (Z 方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	風荷重 (X 方向) による脚の圧縮応力, 曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	風荷重 (X 方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	風荷重 (Z 方向) が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	静水頭又は内圧による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x3}	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	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	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	MPa
σ_{x4}	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	MPa
$\sigma_{\phi 4}$	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	MPa
σ_{x5}	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	MPa
σ_{x7}	降下火砕物荷重及び積雪荷重による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x8}	降下火砕物荷重及び積雪荷重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	MPa
$\sigma_{\phi 8}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重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	MPa
σ_{x9}	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}, \sigma_{x11}$	降下火砕物荷重及び積雪荷重により生じる半径方向荷重による胴の局部応力	MPa
$\sigma_{x61}, \sigma_{x62}$	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	MPa

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (5/6)

記号	定義	単位
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{\phi 62}$	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	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	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	MPa
$\sigma_{x81}, \sigma_{x82}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{\phi 82}$	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	MPa
$\sigma_{x91}, \sigma_{x92}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{\phi 92}$	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	MPa
$\sigma_{x101}, \sigma_{x102}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{\phi 102}$	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	MPa
$\sigma_{x111}, \sigma_{x112}$	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	MPa
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{\phi 112}$	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	MPa
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	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	MPa
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	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	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	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	MPa
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	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	MPa
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	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	MPa
$\sigma_{\phi x3}, \sigma_{\phi x4}$	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	MPa
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z4}$	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	MPa

表3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる記号 (6/6)

記号	定義	単位
$\sigma_{\phi z 5} \sim \sigma_{\phi z 8}$	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	MPa
τ_3	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	MPa
τ_6	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	MPa
τ_{c1}	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	MPa
τ_{c4}	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	MPa
τ_{L1}	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	MPa
τ_{L2}	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	MPa
τ_{L3}	降下火砕物荷重及び積雪荷重により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{L5}	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	MPa

3.2 評価対象部位

ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位は、V-3-別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する平板、平板に接続する胴板、及び支持脚に作用する。また、風荷重は、胴及び支持脚に作用する。

このことから、平板、胴板及び支持脚を評価対象部位として設定する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価における評価対象部位を図3-1に示す。

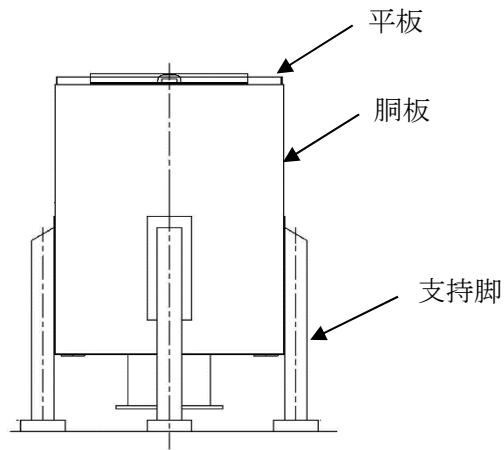


図3-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位

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 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

ディーゼル発電機吸気フィルタの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重(F_d)

常時作用する荷重は、自重を考慮する。

b. 降下火砕物等堆積による鉛直荷重(F_v)

単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、7565 N/m²とする。

c. 風荷重 (W_1)

風荷重は、基準風速 30 m/s に基づき算定する。

風荷重はV-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高Hが5 m 以下であるため、Hが Z_b 以下の場合の式を用いる。

$$W_1 = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$A = H \cdot D_o$$

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha$$

d. 運転時の状態で作用する荷重(F_d)

運転時の状態で作用する荷重としては、ディーゼル発電機吸気フィルタに作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル発電機吸気フィルタの評価対象部位ごとに設定する。なお、ディーゼル発電機吸気フィルタは完全開放された施設であるため、内圧による荷重は考慮しない。

ディーゼル発電機吸気フィルタの平板については、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重が作用する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの胴板及び支持脚には、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風荷重が作用する。

ディーゼル発電機吸気フィルタの評価にて考慮する荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
ディーゼル発電機 吸気フィルタ	・ 平板	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重
	・ 胴板 ・ 支持脚	①自重 ②降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③風荷重

3.4 許容限界

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界値は、V-3-別添 2-1「火山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」にて設定している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 に基づき許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を用いる。

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界は、平板に対しては弾性範囲である設計降伏点とし、平板を除く胴板及び支持脚に対してはJ E A G 4 6 0 1を準用し、胴板については「クラス 2, 3 容器」、支持脚については「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。また、座屈については評価式を満足することを確認する。J E A G 4 6 0 1に従い、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。

ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界を表 3-3 に示す。

表3-3 ディーゼル発電機吸気フィルタの許容限界

評価対象 部位	許容応力状態	応力の種類	許容限界
平板	$\text{III}_A S$	曲げ	S_y
胴板	$\text{III}_A S$	一次一般膜	$\text{Min} (S_y, 0.6 S_u)$
		一次	上欄の1.5倍
		一次＋二次	$2 S_y$
支持脚	$\text{III}_A S$	組合せ	f_t
		座屈	$\sigma_{sr}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$

3.5 評価方法

ディーゼル発電機吸気フィルタの応力評価は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているディーゼル発電機吸気フィルタの評価式を用いる。

(1) 評価モデル

a. 平板

平板は円板であるため、等分布荷重が作用する周辺支持円板とする。評価モデルを図 3-2 に示す。

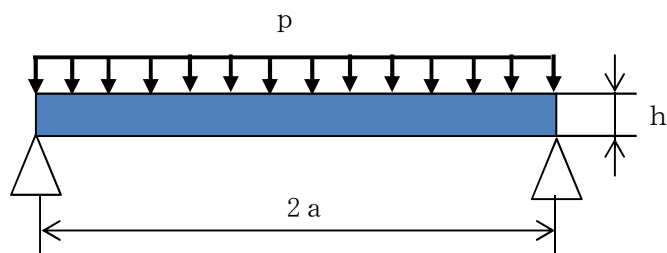


図 3-2 平板の評価モデル

b. 胴板及び支持脚

降下火砕物等堆積による鉛直荷重、自重（鉛直荷重）及び風荷重（水平荷重）により作用する水平力及びモーメントに対し、厳しい部位である胴板、支持脚の構造健全性を 1 質点系モデルとして評価を行う。ここで、風荷重は評価上高さの 1/2 より高いディーゼル発電機吸気フィルタの重心位置に作用することとする。ディーゼル発電機吸気フィルタ胴板及び支持脚の評価モデルを図 3-3 に示す。

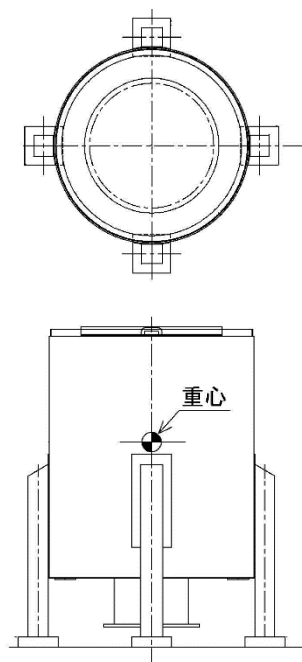


図 3-3 胴板及び支持脚の評価モデル

(2) 評価方法

a. 平板

鉛直荷重により平板に作用する最大曲げ応力 σ_{max} は次による。

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

b. 胴板及び支持脚

(a) 荷重の設定

水平力の釣合より

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0$$

転倒モーメントの釣合より

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

ただし,

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

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} , 傾き角 θ_1 , 鉛直方向変位量 Δ_{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

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

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

$$\triangle_{y\ 1} = \frac{R_1 \cdot L}{A_s \cdot E_s}$$

胴の半径方向局部変位量 $\Delta_{r\ 1}$ と局部傾き角 θ_2 は次による。

$$\triangle_{r\ 1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E}$$

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

ここで、 β_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 θ_0 と水平方向変位量 $\Delta_{x\ 3}$ は、次による。

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

$$\triangle_{x\ 3} = \frac{Q \cdot L^3}{3E_s \cdot I_{s\ r}} + \frac{Q \cdot L}{G_s \cdot A_{s\ t}} - \frac{M_3 \cdot L^2}{2E_s \cdot I_{s\ r}}$$

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、 β_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

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

さらに鉛直方向変位の釣合より

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

式を代入して

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

式を代入して

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

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

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

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。

(b) 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フィルタに静水頭、内圧は発生しないため、 $\sigma_{\phi 1}$ 及び $\sigma_{x 1}$ は 0 となる。

ロ. 運転時質量及び降下火砕物と積雪荷重による応力

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

$$\sigma_{x 7} = \frac{W_2 + W_3}{\pi (D_i + t) t}$$

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 3-4 に示す。

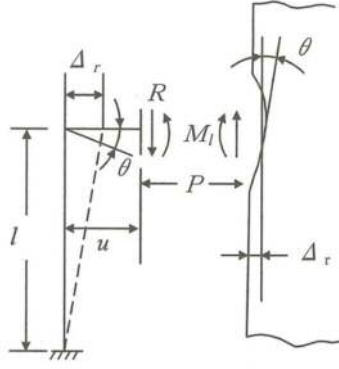


図 3-4 脚下端が固定の場合の脚及び胴の変形

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、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

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

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

ここで

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

$$\gamma = r_m / t$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

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

$$\beta = \begin{cases} \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 \geq 1) \\ \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} & (\beta_1 / \beta_2 < 1) \end{cases}$$

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。

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

二. 風荷重による胴の曲げ応力

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

ホ. Z方向荷重による胴の脚つけ根部の応力

(イ) 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。

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

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

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。

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

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

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。

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

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

ここで、 β_c は次式による。

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

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。

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

(ロ) 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

(イ) 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。

$$\sigma_{\phi 10 1} = \sigma_{\phi 7 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 10 1} = \sigma_{x 7 1} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi 11 1} = \sigma_{\phi 8 1} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x 11 1} = \sigma_{x 8 1} / \sqrt{2}$$

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。

$$\tau_{L\ 5} = \tau_{L\ 2} / \sqrt{2}$$

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。

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

(ロ) 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。

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

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

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。

$$\sigma_{\phi\ 10\ 2} = \sigma_{\phi\ 7\ 2} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x\ 10\ 2} = \sigma_{x\ 7\ 2} / \sqrt{2}$$

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。

$$\sigma_{\phi\ 11\ 2} = \sigma_{\phi\ 8\ 2} / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{x\ 11\ 2} = \sigma_{x\ 8\ 2} / \sqrt{2}$$

ト. 降下火砕物と積雪荷重による胴の脚つけ根部の応力

脚下端を固定する場合の軸力 R_2 、胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント $M_{L\ 2}$ 及び半径方向荷重 P_2 は、次による。

$$R_2 = \frac{W_2 + W_3}{4}$$

$$M_{L\ 2} = \frac{\left(\frac{L^3}{12E_s \cdot I_{s\ t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s\ r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \frac{R_2 \cdot u \cdot L}{E_s \cdot I_{s\ t}}}{\left(\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{s\ t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s\ r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \left(\frac{L}{E_s \cdot I_{s\ t}} + \frac{K_L}{r_m^3 \cdot \beta_L^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{L^2}{2E_s \cdot I_{s\ t}} \right)^2}$$

$$P_2 = \frac{\frac{R_2 \cdot u - M_{L\ 2}}{2E_s \cdot I_{s\ t}} L^2}{\frac{L^3}{3E_s \cdot I_{s\ t}} + \frac{L}{G_s \cdot A_{s\ r}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E}}$$

(イ) 一次応力

鉛直方向曲げモーメント $M_{L\ 2}$ により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 8} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_{L2}/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

$$\sigma_{x8} = \left[\frac{N_x}{M_{L2}/(r_m^2 \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{M_{L2}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_L} \right) C_L$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 9} = \left[\frac{N_{\phi}}{P_2/r_m} \right]^* \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

$$\sigma_{x9} = \left[\frac{N_x}{P_2/r_m} \right]^* \left(\frac{P_2}{r_m \cdot t} \right)$$

(ロ) 二次応力

鉛直方向曲げモーメント M_{L2} により生じる胴の局部応力は次による。

$$\sigma_{\phi 10} = \left[\frac{M_{\phi}}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

$$\sigma_{x10} = \left[\frac{M_x}{M_{L2}/(r_m \cdot \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_{L2}}{r_m \cdot t^2 \cdot \beta_L} \right)$$

半径方向荷重 P_2 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 11} = \left[\frac{M_{\phi}}{P_2} \right]^* \left(\frac{6P_2}{t^2} \right)$$

$$\sigma_{x11} = \left[\frac{M_x}{P_2} \right]^* \left(\frac{6P_2}{t^2} \right)$$

せん断応力は、次による。

$$\tau_{L3} = \frac{R_2}{4C_2 \cdot t}$$

チ. 組合せ応力

イ. ～ ト. 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。

(イ) 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

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

(ロ) 一次応力 (膜+曲げ)

【Z方向荷重が作用した場合】

・第1脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 7 1}$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7 1}$$

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

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 6 1}$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 6 1}$$

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

・第2脚つけ根部

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9}$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9}$$

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

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 8 1}$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 8 1}$$

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

【X方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 9 1} + \sigma_{\phi 1 0 1}$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 9 1} + \sigma_{x 1 0 1}$$

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

(第 2 評価点)

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

$$\sigma_{\times \times 2} = \sigma_{\times 1} + \sigma_{\times 2} + \sigma_{\times 4} + \sigma_{\times 5} + \sigma_{\times 7} + \sigma_{\times 9} + \sigma_{\times 9 1} + \sigma_{\times 1 1 1}$$

$$\sigma_{1 6} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi \times 2} + \sigma_{\times \times 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi \times 2} - \sigma_{\times \times 2})^2 + 4(\tau_{L 1} + \tau_{L 5} + \tau_6 + \tau_{L 3})^2} \right\}$$

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

(ハ) 組合せ一次＋二次応力

【Z 方向荷重及び降下火砕物荷重，積雪荷重が作用した場合】

・第 1 脚つけ根部

(第 1 評価点)

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 7 2}$$

$$\sigma_{\times z 5} = \sigma_{\times 7} + \sigma_{\times 8} + \sigma_{\times 9} + \sigma_{\times 1 0} + \sigma_{\times 1 1} + \sigma_{\times 5} + \sigma_{\times 6 1} + \sigma_{\times 6 2} + \sigma_{\times 7 1} + \sigma_{\times 7 2}$$

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

(第 2 評価点)

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 6 2}$$

$$\sigma_{\times z 6} = \sigma_{\times 7} + \sigma_{\times 9} + \sigma_{\times 1 1} + \sigma_{\times 5} + \sigma_{\times 6 1} + \sigma_{\times 6 2}$$

$$\sigma_{2 2} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{\times z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{\times z 6})^2 + 4(\tau_{L 2} + \tau_{L 3})^2}$$

・第 2 脚つけ根部

(第 1 評価点)

$$\sigma_{\phi z 7} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{\phi 1 1}$$

$$\sigma_{\times z 7} = \sigma_{\times 7} + \sigma_{\times 8} + \sigma_{\times 9} + \sigma_{\times 1 0} + \sigma_{\times 1 1}$$

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

(第 2 評価点)

$$\sigma_{\phi z 8} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 1 1} + \sigma_{\phi 8 1} + \sigma_{\phi 8 2}$$

$$\sigma_{\times z 8} = \sigma_{\times 7} + \sigma_{\times 9} + \sigma_{\times 1 1} + \sigma_{\times 8 1} + \sigma_{\times 8 2}$$

$$\sigma_{2 4} = \sigma_{\phi z 8} + \sigma_{\times z 8} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 8} - \sigma_{\times z 8})^2 + 4(\tau_3 + \tau_{L 3})^2}$$

【X方向荷重が作用した場合】

(第1評価点)

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 102}$$

$$\sigma_{xx 3} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 102}$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{xx 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{xx 3})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2}$$

(第2評価点)

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 92} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 112}$$

$$\sigma_{xx 4} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 92} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 112}$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{xx 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{xx 4})^2 + 4(\tau_{L5} + \tau_6 + \tau_{L3})^2}$$

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}]$$

(c) 脚の応力計算

イ. 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|R \cdot u - M_L - P \cdot L|, |R \cdot u - M_L|]}{Z_{st}}$$

ロ. 降下火砕物荷重、積雪荷重による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\max[|R_2 \cdot u - M_{L2} - P_2 \cdot L|, |R_2 \cdot u - M_{L2}|]}{Z_{st}}$$

ハ. 風荷重（Z方向）による応力

(イ) 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s}$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L|, |R_1 \cdot u - M_1|]}{Z_{st}}$$

(ロ) 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Q \cdot L - M_3|, |M_3|]}{Z_{sr}}$$

(ハ) X方向荷重による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s}$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max\left[\left|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot L\right|, \left|R_1 \cdot u - M_1\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}}$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max\left[\left|Q \cdot L - M_3\right|, \left|M_3\right|\right]}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}}$$

ニ. 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

(イ) Z方向荷重及び降下火砕物荷重、積雪荷重が作用した場合

- ・ 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6}$$

- ・ 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7}$$

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10}$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}]$$

ホ. 組合せ圧縮応力

(イ) Z方向荷重が作用した場合

- ・ 第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6}$$

$$\sigma_{sr} = 0$$

- ・ 第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4}$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7}$$

(ロ) X方向荷重が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8}$$

$$\sigma_{s\ t} = \sigma_{s\ 2} + \sigma_{s\ 4} + \sigma_{s\ 9}$$

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

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。

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

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-4 に示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件（ディーゼル発電機吸気フィルタ）

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
平板, 胴板, 支持脚	SS400	50	241	394	241

表 4-2 評価条件（風荷重）

q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)
960	2.2	1.2	3.79

表 4-3 評価条件（平板）

p (N/mm ²)	a (mm)	h (mm)
0.0153	770	100

表 4-4 評価条件（胴板及び支持脚）（1/2）

A _s (mm ²)	A _{s r} (mm ²)	A _{s t} (mm ²)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	D _i (mm)
8550	4336	4728	150	347.5	1531

E (MPa)	E _s (MPa)	F ₀ (N)	G _s (MPa)	I (mm ⁴)	I _{s r} (mm ⁴)
201000	201000	1	77300	639767	3155

I _{s t} (mm ⁴)	J _s (mm ⁴)	L (mm)	L _c (mm)	L _g (mm)	m ₀ (kg)
2697	4316	1027.5	1702	1555	800

表 4-4 評価条件（胴板及び支持脚）（2/2）

r_m (mm)	t (mm)	W_1 (N)	W_2 (N)	W_3 (N)	Z_{sr} (mm ³)
767.75	4.5	4370	13800	393	382.4

Z_{st} (mm ³)
356.9

5. 強度評価結果

降下火砕物等堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

ディーゼル発電機吸気フィルタに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 ディーゼル発電機吸気フィルタの評価結果

評価部位	材料	応力	許容応力 [MPa]	発生応力 [MPa]
平板	SS400	曲げ	211	1.13
胴板	SS400	一次一般膜	236	1.31
	SS400	一次	354	3.37
	SS400	一次＋二次	482	8.11
支持脚	SS400	組合せ	241	3.86
	SS400	座屈（圧縮＋曲げ）	1※	0.02※

※：検定比（下式）による。

$$\sigma_{sr}/f_{br} + \sigma_{st}/f_{bt} + \sigma_{sc}/f_c \leq 1$$

V-3-別添 2-1-6 建屋の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	9
2.4 適用規格	11
3. 強度評価方法及び評価条件	12
3.1 評価対象部位	12
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	19
3.4 評価方法	23

1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋が降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積時において、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを考慮して、建屋全体又は建屋の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。

また、原子炉建屋原子炉棟については、上記に加え、MS-1（放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を維持するよう建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，V-3-別添 2-1「火山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，各建屋の「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は，V-3-別添 2-1「火山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」に示す位置に設置する。原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の配置を図 2-1 に示す。

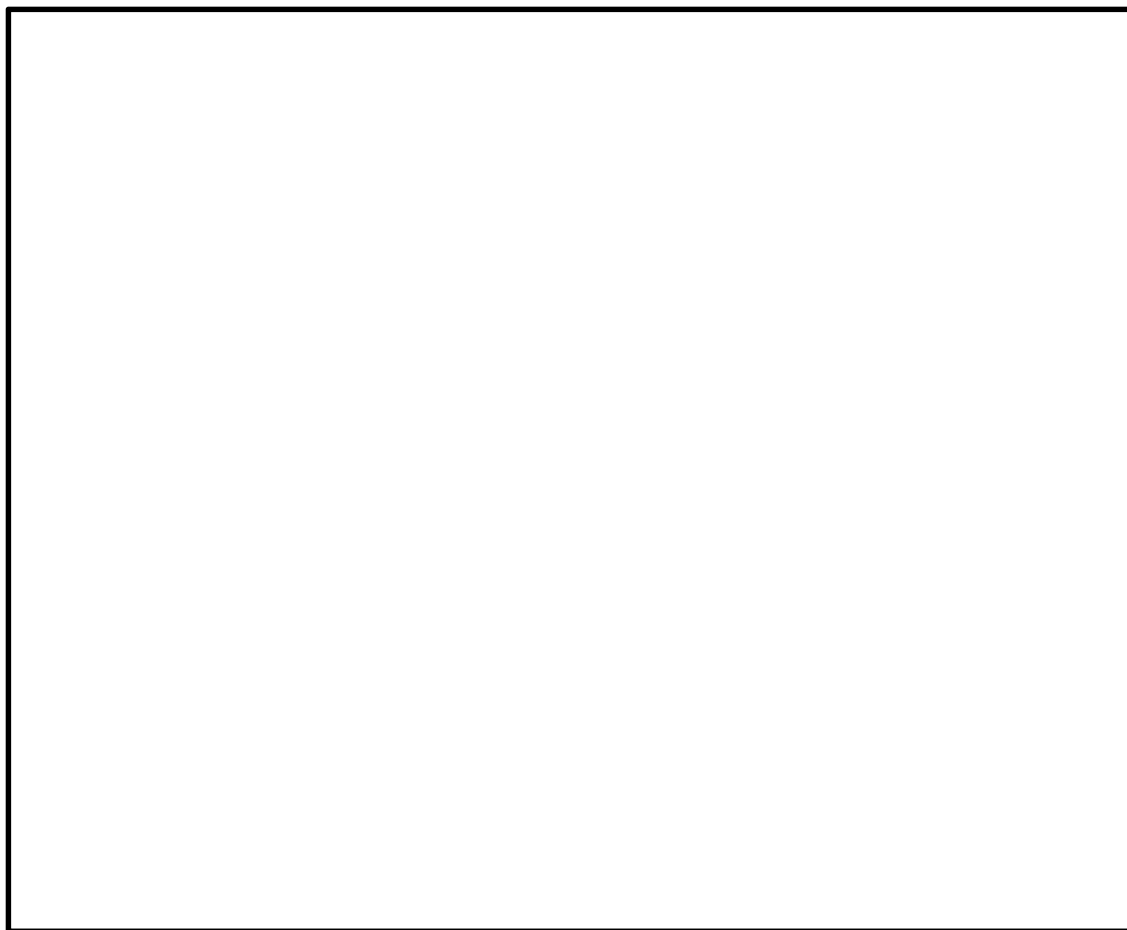


図 2-1 建屋の配置図

2.2 構造概要

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が45.5 m（南北方向）×42.5 m（東西方向）の原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には、平面が南北方向68.5 m、東西方向68.25 mの原子炉建屋附属棟（以下「附属棟」という。）を配置している。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は45.5 m（南北方向）×42.5 m（東西方向）の長方形であり、6階面（EL. 46.5 m）からの高さは17.58 mである。

タービン建屋は、平面が71.0m（南北方向）×105.5m（東西方向）で、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上2階、地下1階の建物である。陸屋根を支える屋根トラスの平面形状は39.0 m（南北方向）×105.5 m（東西方向）の長方形であり、2階面（EL. 18.0 m）からの高さは22.45 mである。

使用済燃料乾式貯蔵建屋は、平面が53.8 m（南北方向）×26.0 m（東西方向）で、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地上1階の建物である。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に、タービン建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-4及び図2-5に、使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-6及び図2-7に示す。

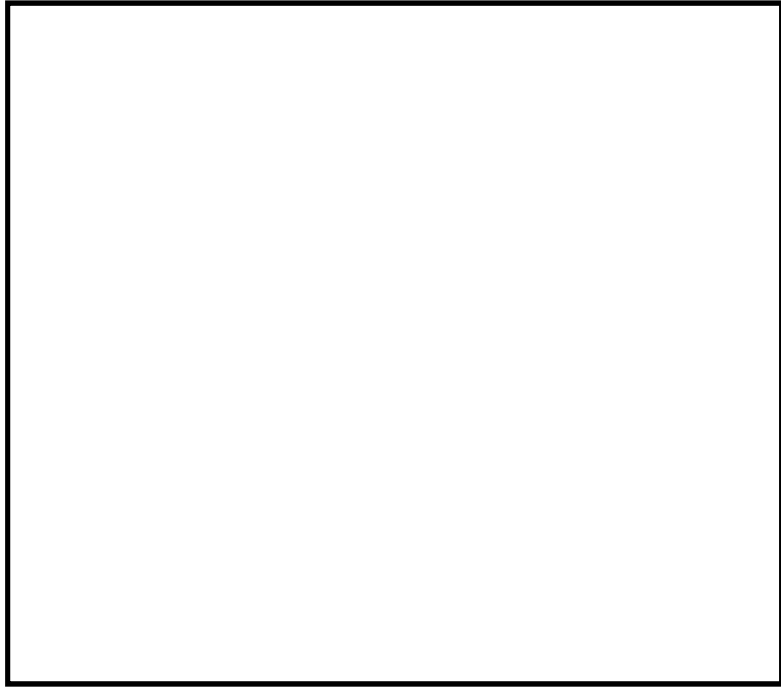


図 2-2 (1/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)

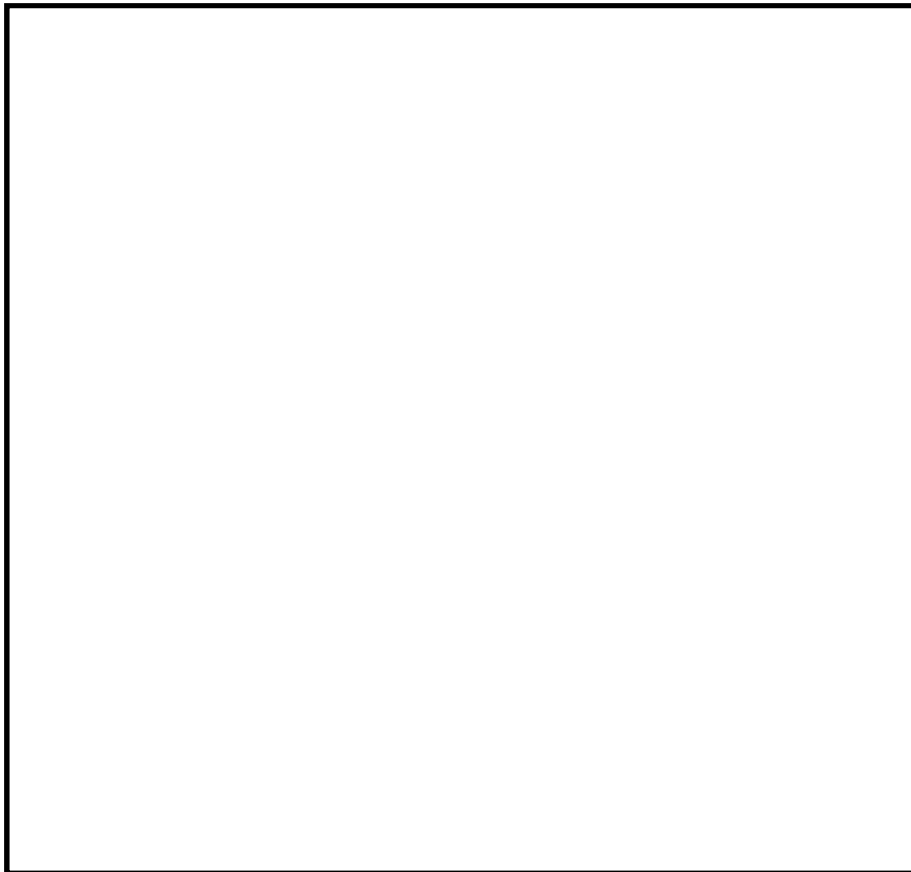


図 2-2 (2/2) 原子炉建屋の概略平面図 (EL. -4.0 m)

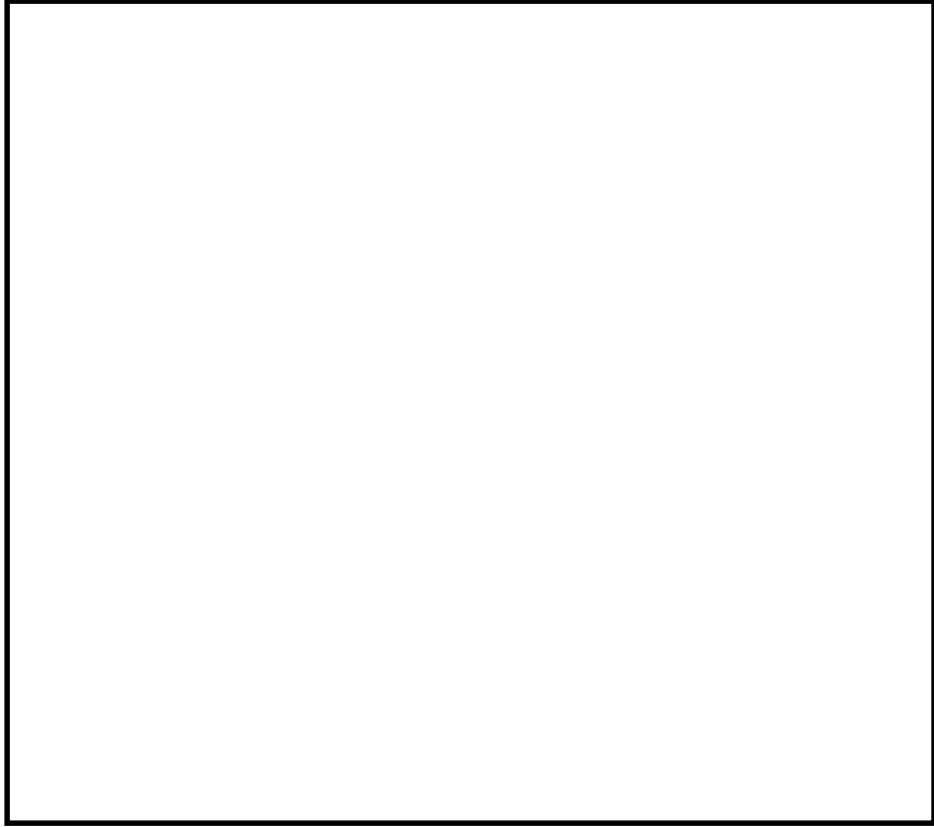


図 2-3 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

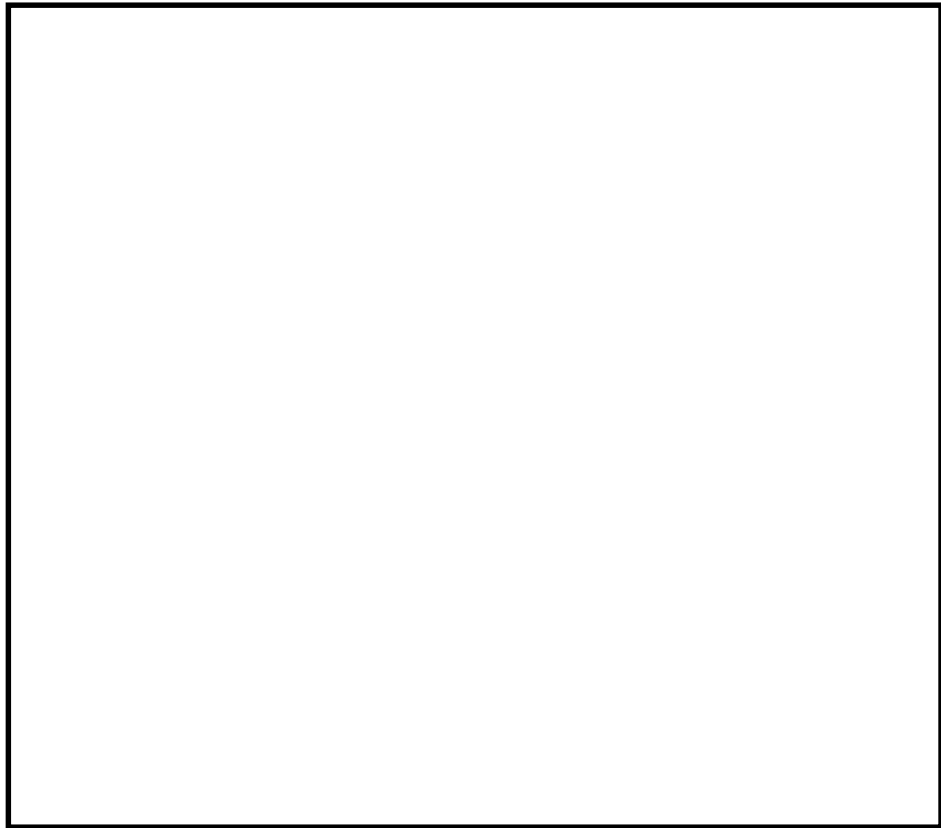


図 2-3 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面)

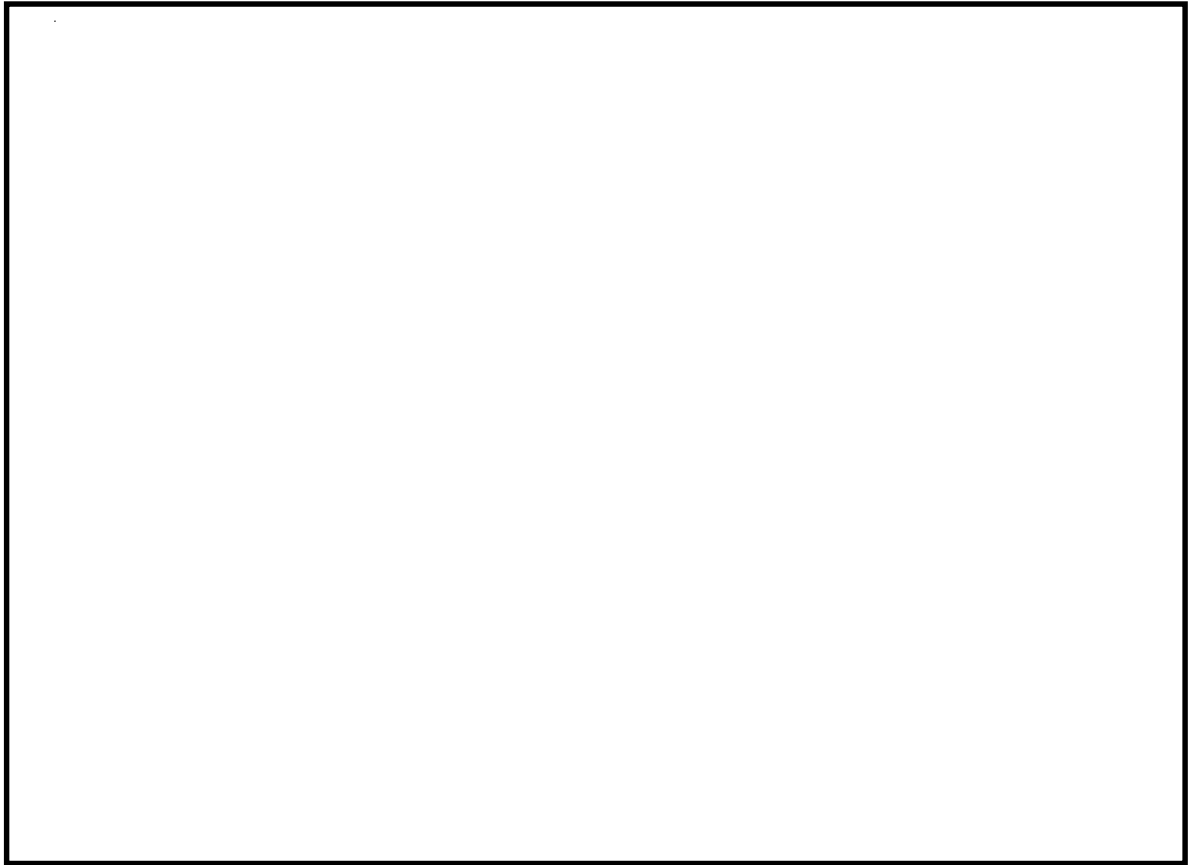


図 2-4 タービン建屋の概略平面図 (EL. 8.2 m)

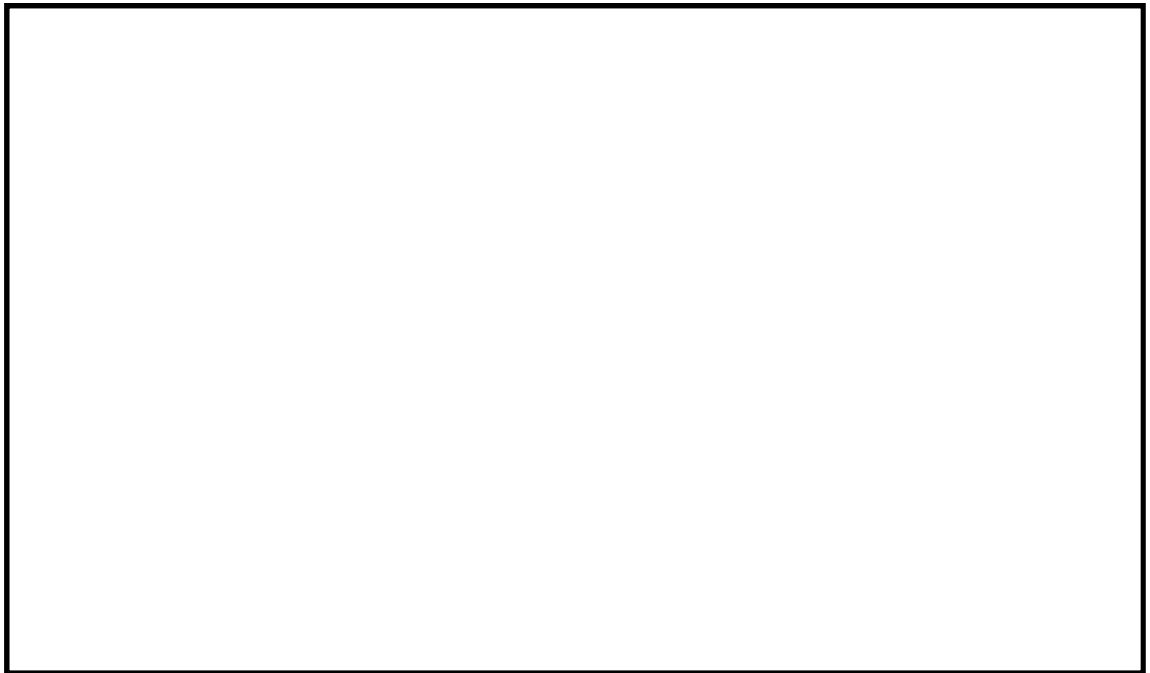


図 2-5 (1/2) タービン建屋の概略断面図 (A-A 断面)

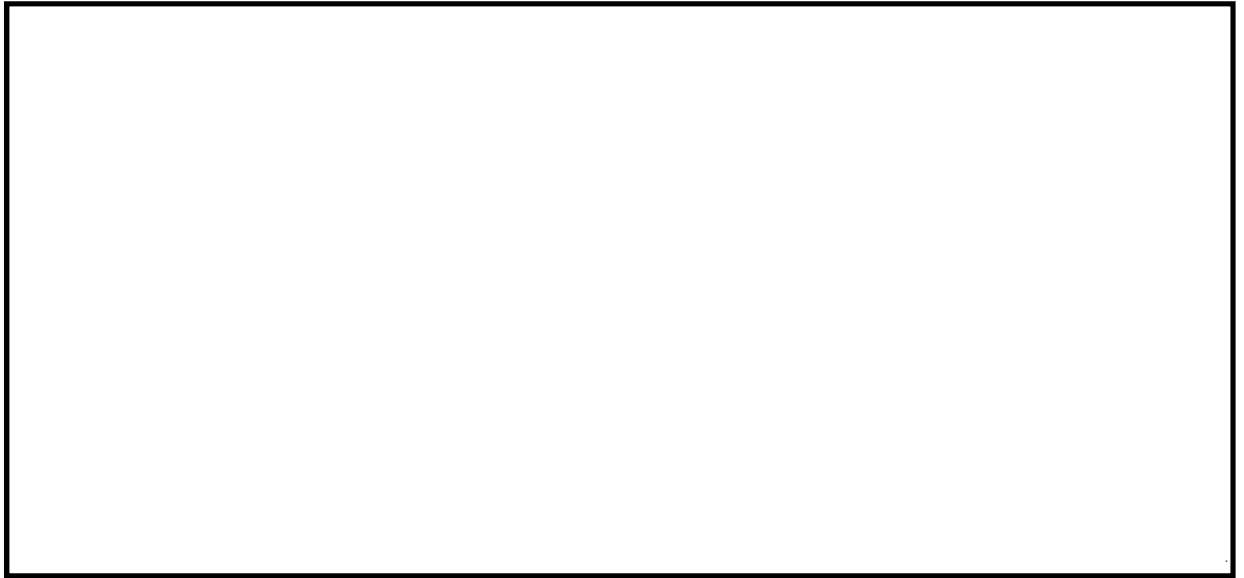


図 2-5 (2/2) タービン建屋の概略断面図 (B-B 断面)

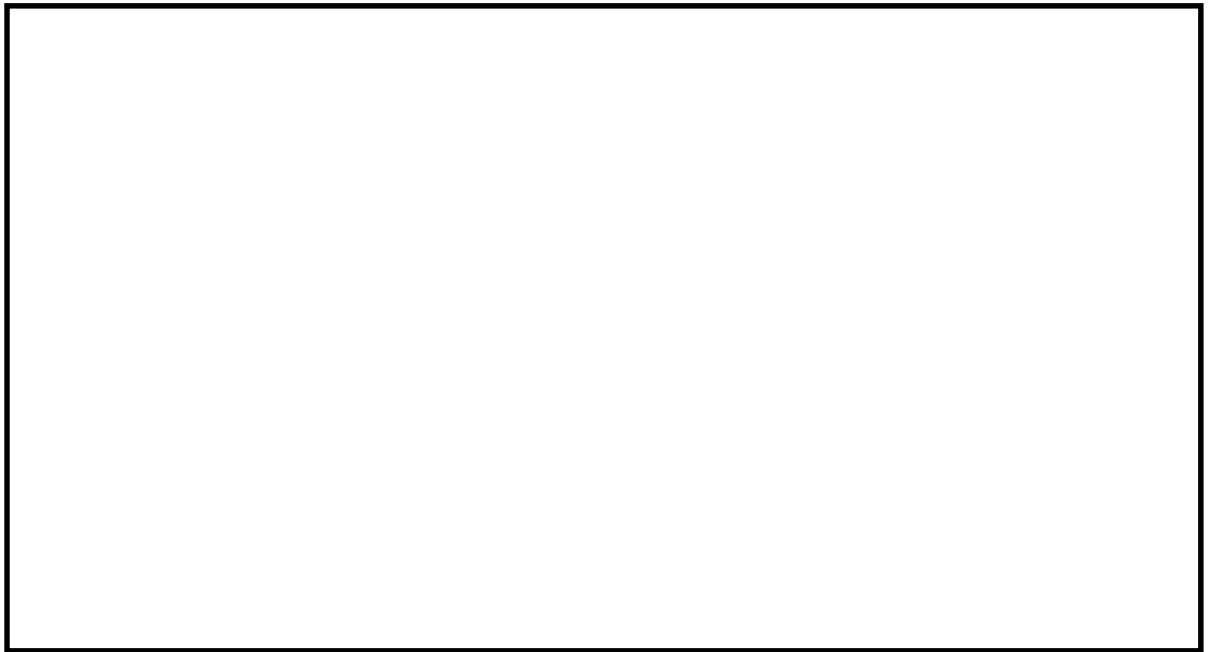


図 2-6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図 (EL. 8.3 m)

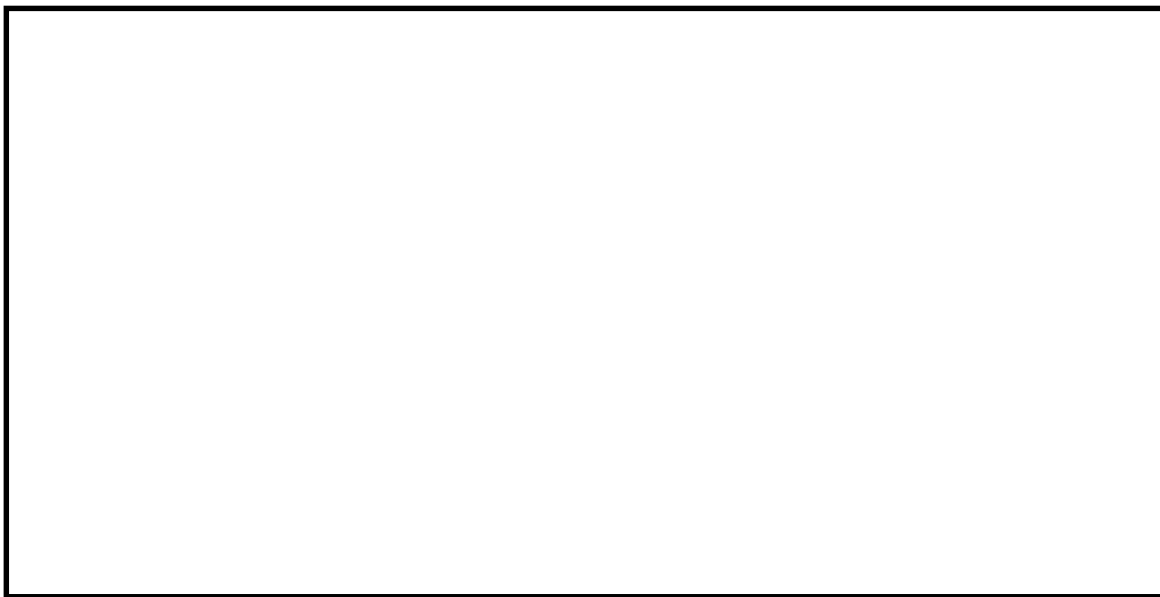


図 2-7 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (A-A 断面)

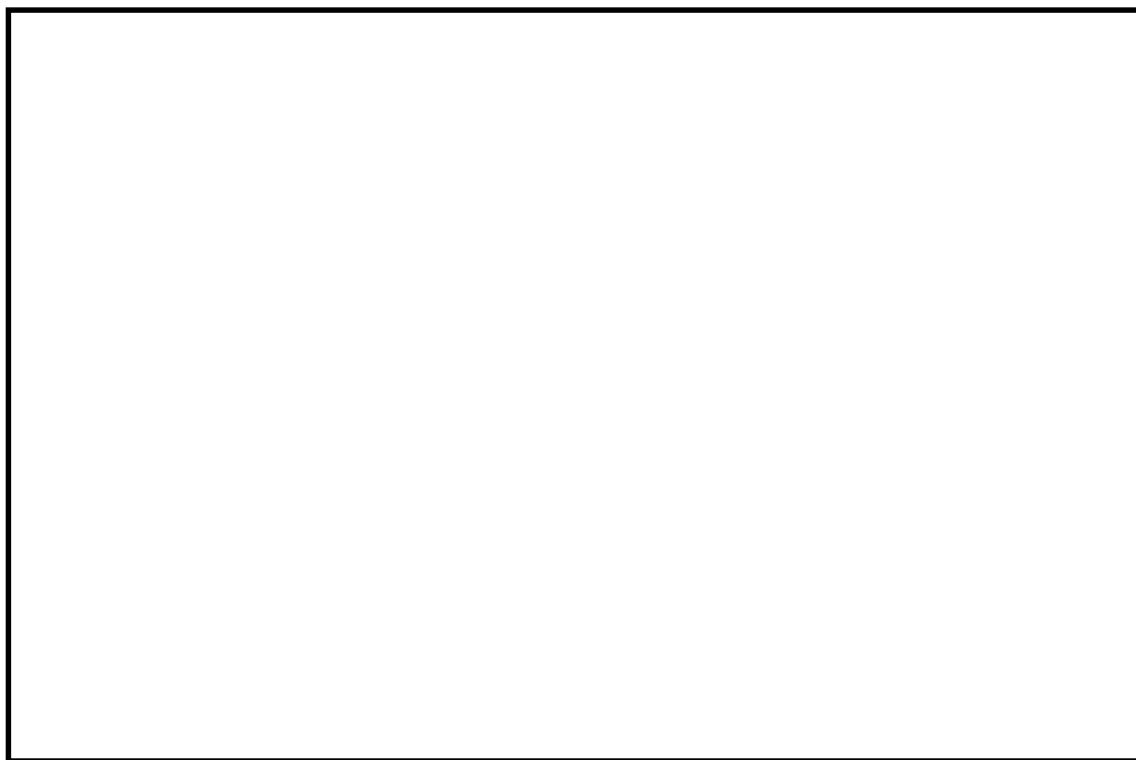


図 2-7 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (B-B 断面)

2.3 評価方針

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「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、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建屋の評価対象部位に発生する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

強度評価フローを図 2-8 に示す。

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ降下火砕物等堆積による鉛直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。

設計荷重は、V-3-別添 2-1「火山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」に従い設定する。

屋根に作用する荷重は、V-3-別添 2-1「火山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」に従い、応力解析モデルを用い評価する。

また、鉄筋コンクリート造の耐震壁の変形量は、V-3-別添 2-1「火山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」に従い、質点系解析モデルを用い評価する。

許容限界は、V-3-別添 2-1「火山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」に従い、降下火砕物等の堆積に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと及び原子炉棟の MS-1（放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮蔽及び放出低減機能）及び MS-2（放射性物質放出の防止機能）の安全機能を維持することを目的として、建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持するものとする。

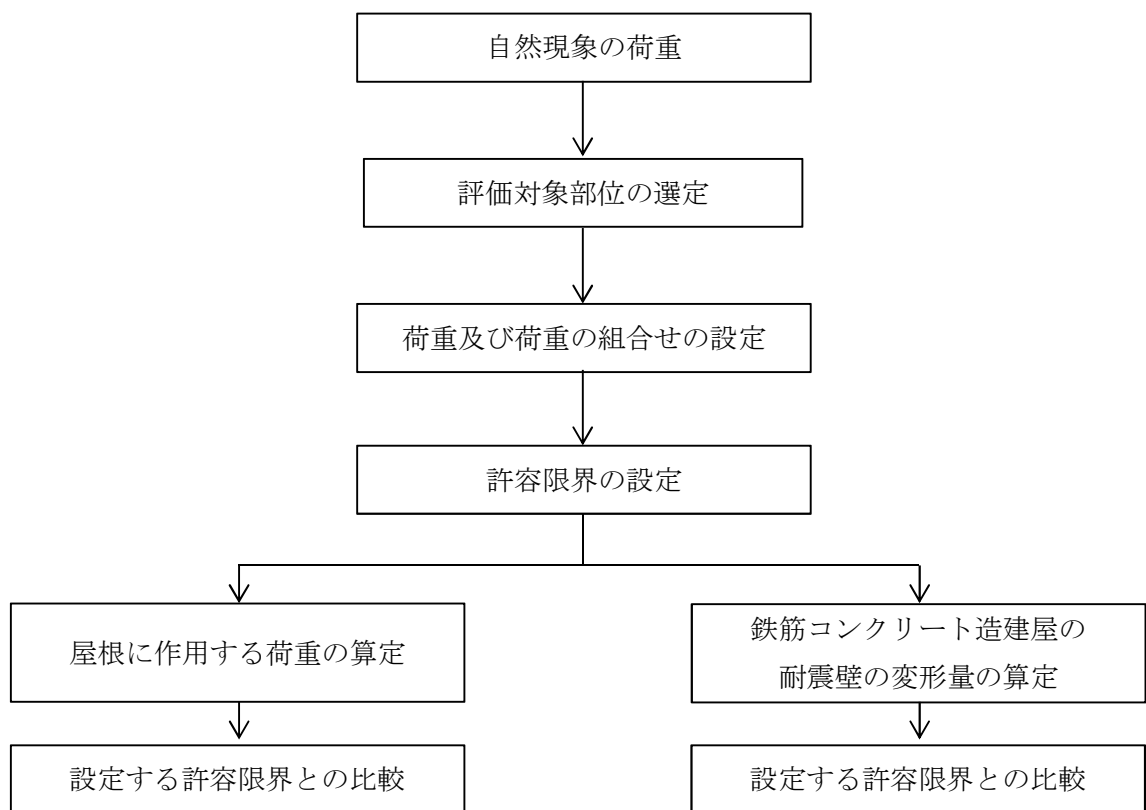


図 2-8 強度評価フロー

2.4 適用規格

原子炉建屋の地震応答解析において適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）（以下「S 規準」という。）
- (4) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999）（以下「RC 規準」という。）
- (5) 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）（以下「RC－N 規準」という。）
- (6) 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）
- (7) 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）
- (8) 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）
- (9) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 2015）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 強度評価方法及び評価条件

3.1 評価対象部位

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価対象部位は、V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根及び耐震壁とする。

屋根のうち、主体構造である屋根スラブ及び主トラスが降下火砕物の鉛直荷重に対して抵抗しているため、これら进行评估対象部位とする。また、二次部材として原子炉建屋は母屋を評価対象部位とする。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-1「火山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。

3.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重 (F_d)

a. 屋根スラブ

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根スラブに作用する固定荷重を表 3-1 に示す。

表 3-1 (1/3) 原子炉建屋の屋根スラブ及び母屋検討用の固定荷重

部 位	仕 上 げ	固定荷重 (F_d)
屋根スラブ	防水シート アスファルト防水層 コンクリート (t=100 mm) デッキプレート部コンクリート デッキプレート	3 kgf/m ² 37 kgf/m ² 240 kgf/m ² 45 kgf/m ² 18 kgf/m ²
	合 計	343 kgf/m ² →3370 N/m ²
母屋	(H-390×300×10×16)	1050 N/m

表 3-1 (2/3) タービン建屋の屋根スラブ検討用の固定荷重

部 位	仕 上 げ	固定荷重 (F _d)
屋根スラブ	軽量コンクリートブロック	54 kgf/m ²
	空練モルタル敷(貧調合)	60 kgf/m ²
	アスファルト防水層	37 kgf/m ²
	コンクリート (t=100 mm)	240 kgf/m ²
	デッキプレート部コンクリート	45 kgf/m ²
	デッキプレート	18 kgf/m ²
	合 計	454 kgf/m ² →4460 N/m ²

表 3-1 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根スラブ検討用の固定荷重

部 位	仕 上 げ	固定荷重 (F _d)
屋根スラブ	砂利 (t=30 mm)	63 kgf/m ²
	アスファルト防水層	20 kgf/m ²
	スラブ (t=450+34=484 mm)	1162 kgf/m ²
	デッキプレート	29 kgf/m ²
	合 計	1274 kgf/m ² →12500 N/m ²

b. 主トラス

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の主トラスに作用する固定荷重を表 3-2 に示す。

表 3-2 (1/3) 原子炉建屋の主トラス検討用の固定荷重

部 位	部 材	固定荷重 (F _d)
屋根面 (EL. 64.08 m)	屋根スラブ トラス鋼材	343 kgf/m ² 204 kgf/m ²
	合 計	547 kgf/m ² →5370 N/m ²

表 3-2 (2/3) タービン建屋の主トラス検討用の固定荷重

部 位	部 材	固定荷重 (F _d)
屋根面 (EL. 40.45 m)	屋根スラブ トラス鋼材	454 kgf/m ² 125 kgf/m ²
	合 計	579 kgf/m ² →5680 N/m ²

表 3-2 (3/3) 使用済燃料貯蔵建屋の主トラス検討用の固定荷重

部 位	部 材	固定荷重 (F_d)
屋根面 (EL. 29.20 m)	屋根スラブ トラス鋼材	1274 kgf/m ² 150 kgf/m ²
	合 計	1424 kgf/m ² →14000N/m ²

(2) 積載荷重 (F_1)

積載荷重は、「建築構造設計基準の資料（国土交通省 平成 27 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重における 980 N/m²を包絡するように、除灰時の人員荷重として 1000 N/m²とする。積載荷重を表 3-3 に示す。

表 3-3 積載荷重

積載荷重 (F_1)
1000 N/m ²

(3) 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は、茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）による東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した 10.5 cm に設定し、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。積雪荷重を表 3-4 に示す。

表 3-4 積雪荷重

積雪荷重 (F_s)
210 N/m ²

(4) 降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F_v)

降下火砕物堆積による単位面積あたりの鉛直荷重は、7355 N/m²とする。降下火砕物堆積による鉛直荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 降下火砕物堆積による鉛直荷重

降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F_v)
7355 N/m ²

(5) 風荷重(W)

a. 記号の定義

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度評価において風荷重の算定に用いる記号を表 3-6 に示す。

表 3-6 風荷重の算定に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第87条第2項に規定する数値
E _r	—	建設省告示第1454号第2項の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
G	—	ガスト影響係数
H	m	全高
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z _G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字
Z _b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454号に揚げる数字

b. 風荷重（W）の算定

風荷重の算出に用いる基準風速は，30 m/s とする。

風荷重Wは，V-3-別添 2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い算出する。全高Hが5 m以上であるため，HがZ_b以上の場合の式を用いる。風荷重Wの算出は，建屋の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積Aに基づき実施し，風荷重Wの算出に用いる受圧面積の算定において，隣接する建屋の遮断効果は，安全側の評価となるよう考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで

$$q = 0.6 E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_G \text{ 以下の場合})$$

風荷重算定に使用する入力条件を表 3-7 及び表 3-8 に示す。

表 3-7 設計風荷重の条件

施設名称	基準風速 V_D (m/s)	全高 H (m)	Z_G (m)	α	ガスト影 響 係数 G	設計用 速度圧 q (N/m ²)
原子炉建屋	30	55.65	350	0.15	2.00	1798
タービン建屋	30	32.64	350	0.15	2.05	1571
使用済燃料乾式 貯蔵建屋	30	21.20	350	0.15	2.13	1430

表 3-8 (1/3) 原子炉建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
63.65 ~ 57.00	0.80	0.4	331	331
57.00 ~ 46.50	0.77	0.4	447	447
46.50 ~ 38.80	0.72	0.4	328	328
38.80 ~ 34.70	0.67	0.4	175	175
34.70 ~ 29.00	0.64	0.4	266	266
29.00 ~ 20.30	0.60	0.4	581	581
20.30 ~ 14.00	0.51	0.4	430	430
14.00 ~ 8.20	0.41	0.4	396	396

(b) EW 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
63.65 ~ 57.00	0.80	0.4	354	354
57.00 ~ 46.50	0.77	0.4	478	478
46.50 ~ 38.80	0.72	0.4	351	351
38.80 ~ 34.70	0.67	0.4	187	187
34.70 ~ 29.00	0.64	0.4	283	283
29.00 ~ 20.30	0.60	0.4	570	570
20.30 ~ 14.00	0.51	0.4	432	432
14.00 ~ 8.20	0.41	0.4	398	398

表 3-8 (2/3) タービン建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
40.64 ~ 28.00	0.80	0.4	1408	1408
28.00 ~ 18.00	0.69	0.4	1129	1129
18.00 ~ 8.20	0.56	0.4	1034	1034

(b) EW 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
40.64 ~ 28.00	0.80	0.4	585	585
28.00 ~ 18.00	0.69	0.4	733	733
18.00 ~ 8.20	0.56	0.4	696	696

表 3-8 (3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の風力係数及び受圧面積

(a) NS 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
29.20 ~ 17.75	0.80	0.4	318	318
17.75 ~ 8.30	0.63	0.4	254	254

(b) EW 方向

標高 EL. (m)	風力係数 C		受圧面積 A (m ²)	
	風上	風下	風上	風下
29.20 ~ 17.75	0.80	0.4	657	657
17.75 ~ 8.30	0.63	0.4	525	525

3.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、建屋の評価対象部位毎に設定する。建屋に水平方向の風荷重が作用すると、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き、鉛直下向きの荷重が低減されるため、保守的に考え、風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価に用いる荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

施設 分類	施設名称	評価対象部位	荷 重
建屋	- 原子炉建屋 - タービン建屋 - 使用済燃料乾式貯蔵建屋	屋根	①固定荷重 ②積載荷重 ③降下火砕物等堆積による鉛直荷重
		耐震壁	①固定荷重 ②積載荷重 ③降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ④風荷重

3.3 許容限界

原子炉建屋、タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の許容限界は、V-3-別添 2-1「火山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、「3.1 評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

常時作用する固定荷重、除灰時の人員荷重としての積載荷重及び降下火砕物等堆積による鉛直荷重に対する屋根の評価において、降下火砕物等堆積による鉛直荷重は一時的なものであることから短期荷重として扱う。

各建屋の評価における許容限界を表 3-10 のとおり設定する。また、鋼材、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 3-11、表 3-12 及び表 3-13 に示す。

表 3-10(1/3) 原子炉建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界 ^{*1}
			主トラス		終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界 ^{*2}
			母屋 (二次部材)		
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度 ^{*3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽機能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度 ^{*3}

注記 *1：構造強度に対しては、「終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界」が許容限界となるが、気密性、遮蔽性において「短期許容応力度」を許容限界としていることから、短期許容応力度で評価

*2：弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

*3：「RC-N 規準」の短期許容応力度で評価

表 3-10 (2/3) タービン建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界* ² (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認* ¹	終局耐力* ³
			主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと* ⁴
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

- 注記 *1：屋根スラブの落下により、内包するクラス2設備を損傷させる可能性があることから、機能維持のために落下しないことを確認
- *2：複数部材で構成されている屋根において、単一部材である屋根スラブは、部材の終局耐力を許容限界とし、構造体として主トラスが崩壊しないことを許容限界とする。
- *3：機能維持に対しては終局耐力が許容限界となるが、「RC-N規準」の短期許容応力度で評価
- *4：部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力*⁵が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式*^{6,7}及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。なお、適切な裕度を有していることを、荷重増分解析により確認する。
- *5：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用
- *6：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）
- *7：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集第76巻 第661号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 3-10(3/3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の屋根及び耐震壁の許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界* ² (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認* ¹	終局耐力* ³
			主トラス	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認	崩壊機構が形成されないこと* ⁴
		耐震壁		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3}

- 注記 *1：屋根スラブの落下により，内包するクラス2設備を損傷させる可能性があることから，機能維持のために落下しないことを確認
- *2：複数部材で構成されている屋根において，単一部材である屋根スラブは，部材の終局耐力を許容限界とし，構造体として主トラスが崩壊しないことを許容限界とする。
- *3：機能維持に対しては終局耐力が許容限界となるが，「RC-N規準」の短期許容応力度で評価
- *4：部材の構造健全性評価においては，弾性限耐力*⁵が基本となるが，一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は，その部材に対して，修正若林式*^{6,7}及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い，構造健全性を評価する。
- *5：弾性限耐力として「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用
- *6：鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）
- *7：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集第76巻 第661号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

表 3-11 鋼材の許容応力度

建屋	種類		F 値 (N/mm ²)	短期		
				引張 (N/mm ²)	圧縮及び曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
原子炉建屋 タービン建屋	SS400* ¹	t ≤ 40 (mm)	235	235	235* ²	135
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	SS400 SM400A	t ≤ 40 (mm)	235	235	235* ²	135

注記 *1：建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが、現在の規格（SS400）に読み替えた許容応力度を示す。

*2：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-12 コンクリートの許容応力度

建屋	設計基準強度 (N/mm ²)	短 期	
		圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
原子炉建屋 タービン建屋	22.1	14.7	1.06
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	23.5	15.6	1.08

表 3-13 鉄筋の許容応力度

建屋	種類	短 期	
		引張及び圧縮 (N/mm ²)	面外せん断補強 (N/mm ²)
原子炉建屋 タービン建屋	SD345*	345	345
使用済燃料 乾式貯蔵建屋	SD345	345	345

注記 *：建設当時の鉄筋の種類は SD35 であるが、現在の規格（SD345）に読み替えた許容応力度を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 屋根に対する評価

3.4.1.1 原子炉建屋

(1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(1/3)に示すように、機能設計上の性能目標の構造強度に対する許容限界は、終局限界に対し妥当な安全裕度を有する許容限界となるが、気密性、遮蔽性において、短期許容応力度を許容限界としていることから、屋根スラブについては、短期許容応力度で評価する。

a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は版厚が最も薄く支持スパンの長い屋根トラス上に配置されている屋根スラブを対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-1 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-2 に、屋根スラブ検討条件を表 3-14 に示す。

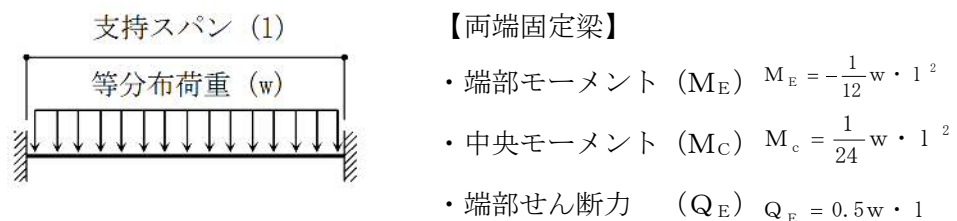


図 3-1 原子炉建屋 屋根スラブの解析モデル(両端固定梁)

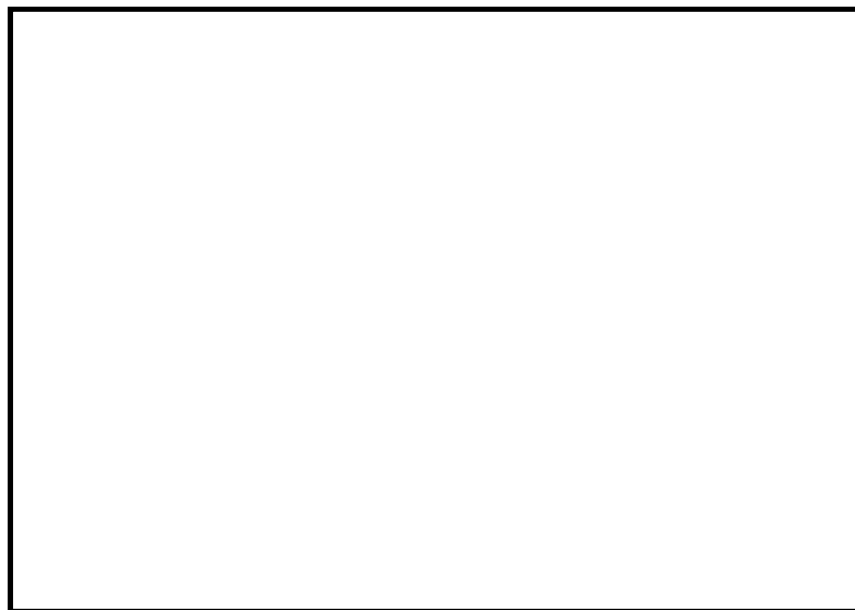


図 3-2 原子炉建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 64.08m)

表 3-14 原子炉建屋 屋根スラブの検討条件

評価対象部位			スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持 スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
原子炉 建屋	EL. 64.08m	S1		50	2.57	2-D13@180	703.9

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

ここで、

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主トラス

屋根トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、原子炉建屋については解析コード「DYNA2E Version. 8.0.4」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、原子炉建屋についてはEL. 46.5mより上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図 3-3 に、屋根トラスの部材リストを表 3-15 に、材料物性値を表 3-16 に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

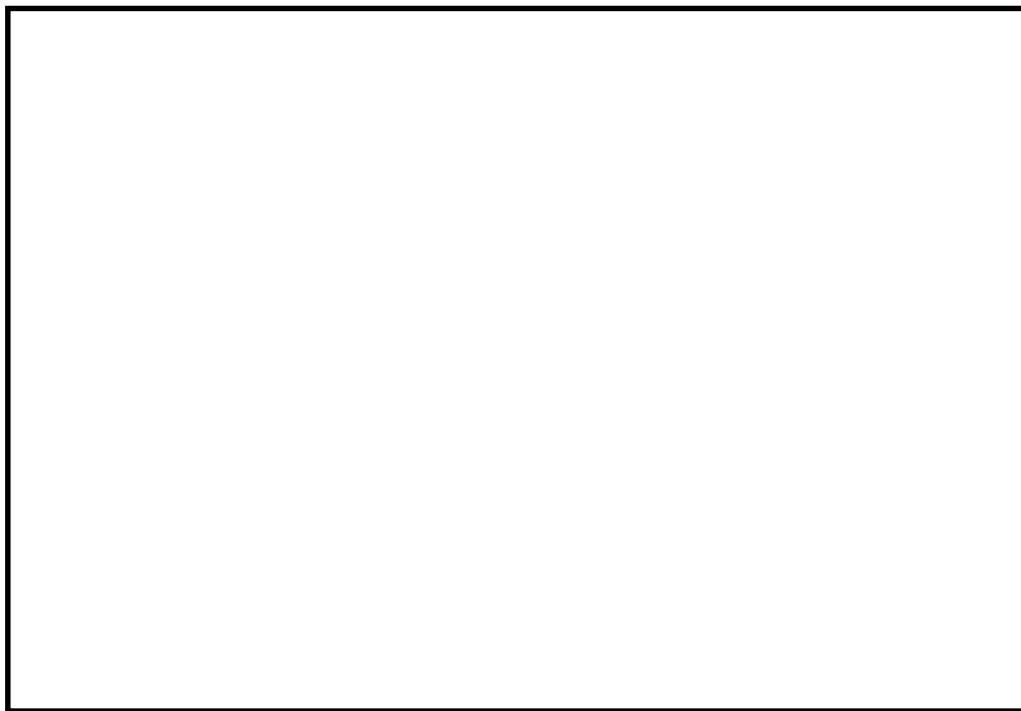


図 3-3 原子炉建屋 屋根トラス解析モデル

表 3-15 原子炉建屋 屋根トラス部材リスト

部 材	断面積 A (cm^2)	断面 2 次モーメント I (cm^4)
H-400×400×13×21	218.7	66600
2 L _s -200×200×15+2 F B _s -9×150	142.5	—
2 L _s -200×200×15	115.5	—
2 L _s -150×150×15	85.48	—
2 L _s -150×100×12	57.12	—
2 L _s -100×100×10	38.00	—
H-390×300×10×16	136.0	38700
H-582×300×12×17	174.5	103000
H-250×250×9×14	92.18	10800
2 C T _s -200×400×13×21	218.6	—
C T-300×200×11×17	67.21	—
2 L _s -90×90×10	34.00	—

表 3-16 原子炉建屋 材料物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)
鉄筋コンクリート : F _c 22.1	2.21×10^4	9.21×10^3
鉄 骨 : SS400*	2.05×10^5	7.9×10^4

注記 * : 建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが, 現在の規格 (SS400) に読み替え

b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(1/3)に示すように、終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界を設定し、その許容限界は、弾性限耐力として S 規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

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

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

ここで、

N_c : 圧縮軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z : 部材の断面係数 (mm^3)

f_c : 鋼材の弾性限圧縮応力度 (N/mm^2)

f_b : 鋼材の弾性限曲げ応力度 (N/mm^2)

(引張)

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ただし、

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

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

ここで、

N_t : 引張軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z : 部材の断面係数 (mm^3)

f_t : 鋼材の弾性限引張応力度 (N/mm^2)

(3) 母屋（二次部材）

母屋（二次部材）における曲げモーメント及びせん断力による応力度を算定し，許容限界を超えないことを確認する。

a. 応力解析モデル及び諸元

母屋は主トラスで支持されたスパンの支配幅を取り出し，等分布荷重を受ける単純梁（両端ピン支持の梁）として応力を算定する。

母屋の解析モデルを図 3-4 に，母屋の評価部材の位置を図 3-5 に，母屋の検討条件を表 3-17 に示す。

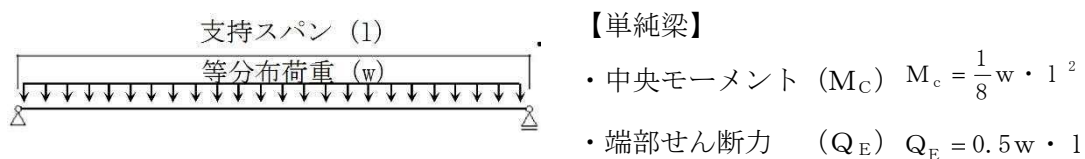


図 3-4 原子炉建屋 母屋（二次部材）の解析モデル(単純梁)

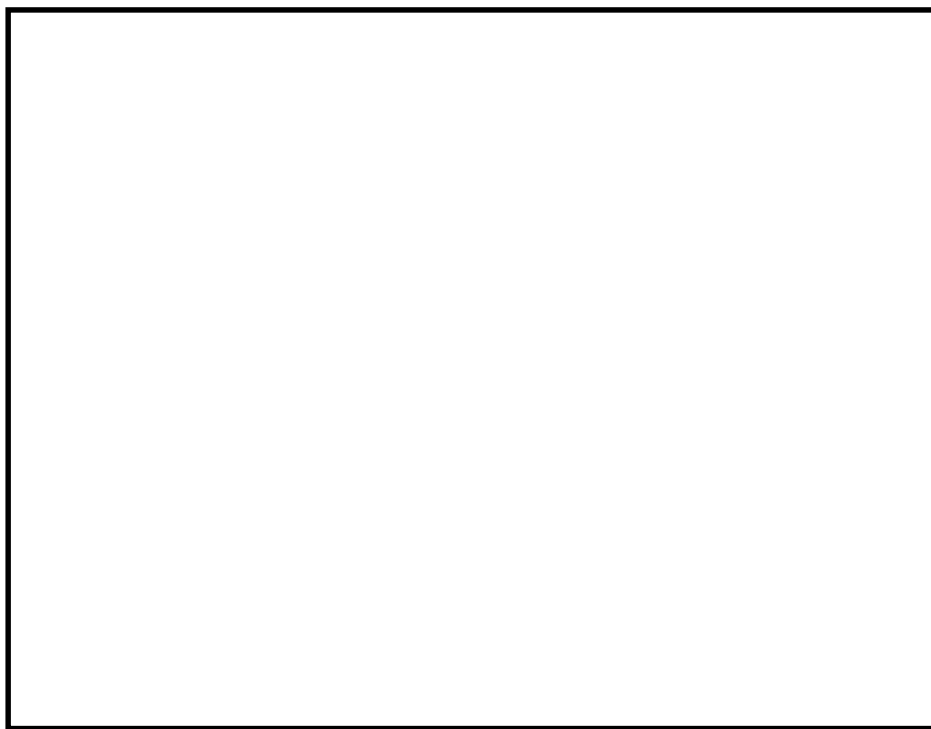


図 3-5 原子炉建屋 母屋（二次部材）の評価部材の位置 (EL. 64.08m)

表 3-17 原子炉建屋 母屋（二次部材）の検討条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持 スパン (m)	断面 係数 (cm ³)	せん断 断面積 (mm ²)
原子炉 建屋	H-390×300×10×16	2.57	7.7	1980	3580

b. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

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

ここで、

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 部材の断面係数 (mm³)

c. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じるせん断応力度が許容限界を超えないことを確認する。

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

ここで、

τ : せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N)

A_s : 部材のせん断断面積 (mm²)

3.4.1.2 タービン建屋

(1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(2/3)に示すように、屋根スラブの落下により内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから、機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響をおよぼさないことに対する許容限界は、終局耐力となるが、本評価では、屋根スラブについて、RC-N 規準の短期許容応力度で評価する。

a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは母屋で支持された 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は版厚が最も薄く支持スパンの長い屋根トラス上に配置されている屋根スラブを対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-6 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-7 に、屋根スラブ検討条件を表 3-18 に示す。

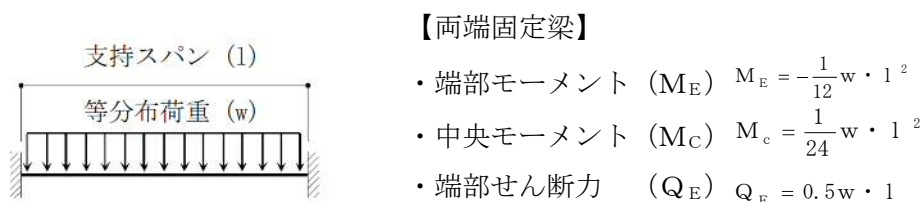
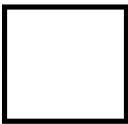


図 3-6 タービン建屋 屋根スラブの解析モデル(両端固定梁)



図 3-7 タービン建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 40.45 m)

表 3-18 タービン建屋 屋根スラブの検討条件

評価対象部位			スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持 スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
ター ビン 建屋	EL. 40.45 m	S1		50	2.31	2-D13@200	633.5

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は，RC-N規準に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は，「RC-N規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断応力度が，次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主トラス

屋根トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より主トラスの応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、タービン建屋については解析コード「DYNA2E Version. 8.0.4」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、タービン建屋についてはEL. 18.0mより上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図3-8に、屋根トラスの部材リストを表3-19に、材料物性値を表3-20に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

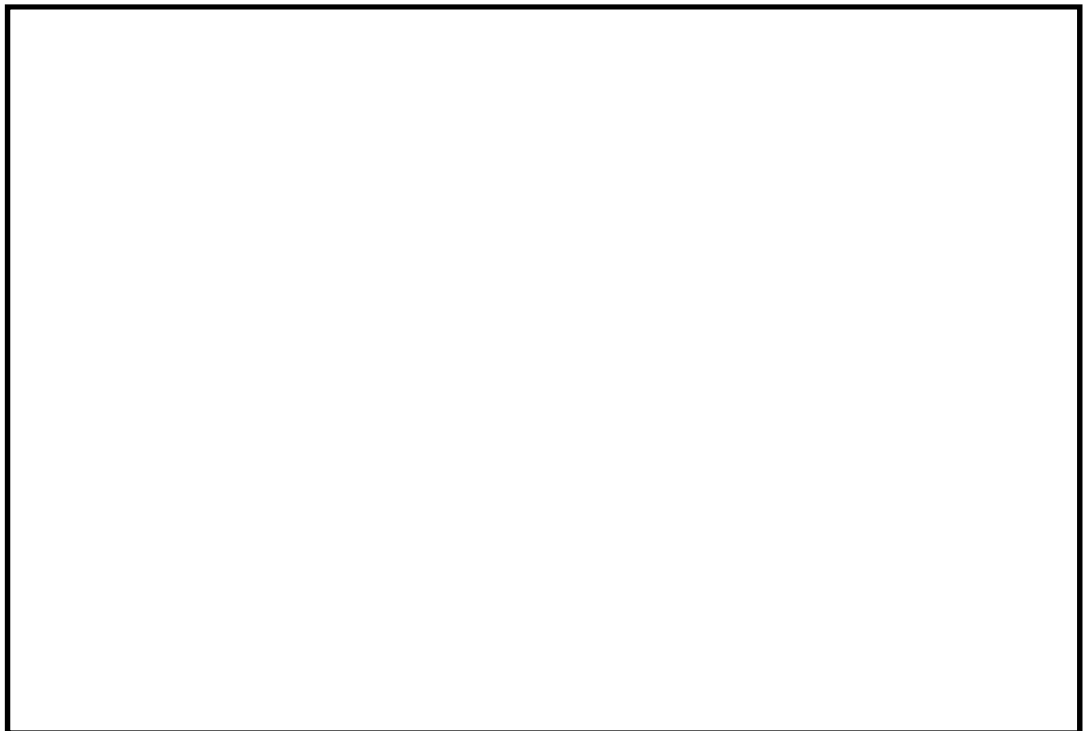


図 3-8 タービン建屋 屋根トラス解析モデル

表 3-19 タービン建屋 屋根トラス部材リスト

部 材	断面積 A (cm ²)	断面 2 次モーメント I (cm ⁴)
H-428×407×20×35	360.7	119000
2 L _s -200×200×20	152.0	—
2 L _s -200×200×15	115.5	—
2 L _s -150×150×19	106.8	—
2 L _s -150×150×15	85.48	—
2 L _s -130×130×12	59.52	—
2 L _s -100×100×10	38.00	—
2 L _s -130×130×9	45.48	—
H-396×302×12×19	161.9	46700
H-248×249×8×13	84.70	9930
C T-175×175×7×11	31.57	—

表 3-20 タービン建屋 材料物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
鉄筋コンクリート : F _c 22.1	2.21×10^4	9.21×10^3
鉄 骨 : SS400*	2.05×10^5	7.9×10^4

注記 * : 建設当時の鋼材の種類は SS41 であるが現在の規格 (SS400) に読み替え

b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(2/3)に示すように、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。各部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力*¹が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式*², *³ 及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。

注記 *1：弾性限耐力として，S 規準の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用する。

*2：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

*3：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし，

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

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

ここで，

N_c ：圧縮軸力 (N)

A ：部材の軸断面積 (mm^2)

M ：曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z ：部材の断面係数 (mm^3)

f_c ：鋼材の弾性限圧縮応力度 (N/mm^2)

f_b ：鋼材の弾性限曲げ応力度 (N/mm^2)

(引張)

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1.0$$

ただし，

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

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

ここで，

N_t ：引張軸力 (N)

A ：部材の軸断面積 (mm^2)

M ：曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z ：部材の断面係数 (mm^3)

f_t ：鋼材の弾性限引張応力度 (N/mm^2)

3.1.4.3 使用済燃料乾式貯蔵建屋

(1) 屋根スラブ

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。なお、評価においては、表 3-10(3/3)に示すように、屋根スラブの落下により内包するクラス 2 設備を損傷させる可能性があることから、機能設計上の性能目標の内包する防護すべき施設に波及的影響をおよぼさないことに対する許容限界は、終局耐力となるが、本評価では、屋根スラブについて、RC-N 規準の短期許容応力度で評価する。

a. 応力解析モデル及び諸元

屋根スラブは 1 方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける両端支持梁として応力を算定する。屋根スラブの検討は当該屋根スラブが等厚、等スパンのため、配筋量の最も少ない部位を対象に実施する。

屋根スラブの解析モデルを図 3-9 に、屋根スラブ評価部材の位置を図 3-10 に、屋根スラブ検討条件を表 3-21 に示す。

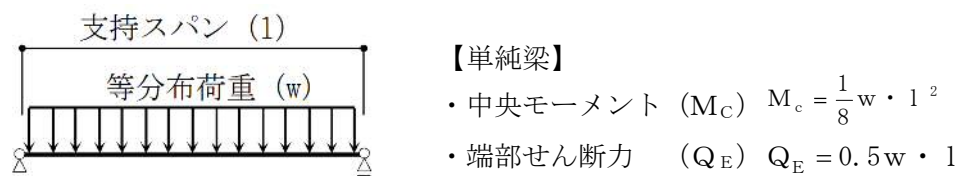


図 3-9 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブの解析モデル(両端支持梁)



図 3-10 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブ評価部材の位置 (EL. 29.2m)

表 3-21 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根スラブの検討条件

評価対象部位		スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持 スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
使用済燃料 乾式料貯蔵建屋	EL. 29.2m		340	2.425	D19@250	1148

b. 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

c. 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断力に対する断面の評価は、RC-N規準に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力度が、次式をもとに計算した許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数 (保守側に 1 とする。)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主トラス

主トラスは、3次元フレームモデルによる応力解析より応力度を算定し、各許容値を超えないことを確認する。

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、使用済燃料乾式貯蔵建屋については解析コード「MSC/NASTRAN(Ver 2008)」を用いる。な

お、解析コードの検証及び妥当性確認などの概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 応力解析モデル及び諸元

応力解析モデルは、使用済燃料乾式貯蔵建屋については、EL. 7.05m より上部の耐震壁、柱、梁、屋根トラス及び屋根スラブをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデルを図 3-11 に、屋根トラスの部材リストを表 3-22 に、材料物性値を表 3-23 に示す。

解析モデルに使用する要素は、シェル要素、梁要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

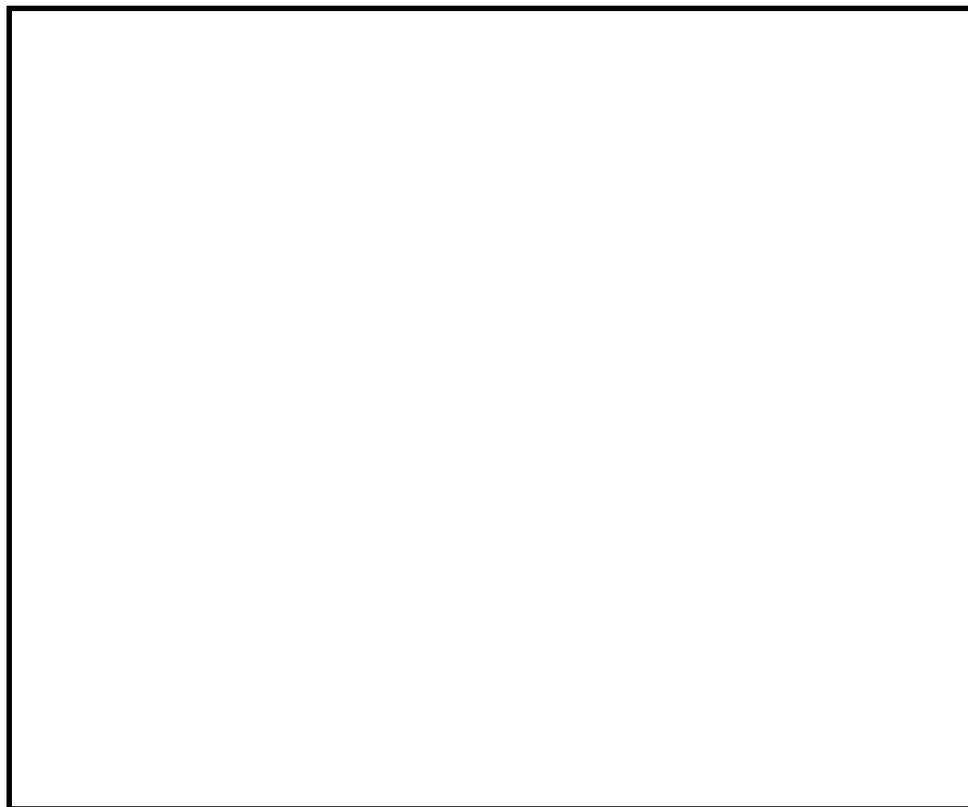


図 3-11 使用済燃料乾式貯蔵建屋解析モデル（EW 方向フレーム架構モデル図）

表 3-22 使用済燃料乾式貯蔵建屋 屋根トラス（主トラス）部材リスト

部 材	断面積 A (cm ²)	断面 2 次モーメント I (cm ⁴)
B H-500×400×16×28	295.0	137000
B H-250×250×9×14	92.18	—
B H-300×300×12×16	130.9	—
B H-350×350×12×19	173.9	40300
H-298×299×9×14	109.5	18600
H-344×348×10×16	144.0	32800

表 3-23 使用済燃料乾式貯蔵建屋 材料物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
鉄筋コンクリート : F _c 23.5	2.25×10^4	9.38×10^3
鉄 骨 : SS400 : SM400A	2.05×10^5	7.90×10^4

b. 鋼材断面の評価法

断面の評価は、S 規準に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、表 3-10(3/3)に示すように、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために崩壊機構が形成されないことを確認する。各部材の構造健全性評価においては、弾性限耐力^{*1}が基本となるが、一部の部材が弾性限耐力を超過した場合は、その部材に対して、修正若林式^{*2}、^{*3}及び鋼構造限界状態設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010）による座屈耐力を用い、構造健全性を評価する。

注記 *1：弾性限耐力として「S 規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

*2：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 37B, pp. 303-316, 1991（谷口元，加藤勉ほか）

*3：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 76 巻 第 661 号, pp571-580, 2011（鈴木琢也，貫井泰ほか）

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{{}_c\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1.0$$

ただし,

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

$${}_c\sigma_b = \frac{M}{Z_c}$$

$${}_t\sigma_b = \frac{M}{Z_t}$$

ここで

N_c : 圧縮軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z_c : 部材の圧縮側断面係数 (mm^3)

Z_b : 部材の引張側断面係数 (mm^3)

f_c : 鋼材の弾性限圧縮応力度 (N/mm^2)

f_b : 鋼材の弾性限曲げ応力度 (N/mm^2)

ただし, σ_c , ${}_c\sigma_b$, ${}_t\sigma_b$ の値は絶対値とする。

(引張)

$$\frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1.0 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_c + \frac{{}_c\sigma_b}{f_b}}{f_c} \leq 1.0$$

ただし

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

$${}_c\sigma_b = \frac{M}{Z_c} \quad {}_t\sigma_b = \frac{M}{Z_t}$$

ここで

N_t : 引張軸力 (N)

A : 部材の軸断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

Z_c : 部材の圧縮側断面係数 (mm^3)

Z_t : 部材の引張側断面係数 (mm^3)

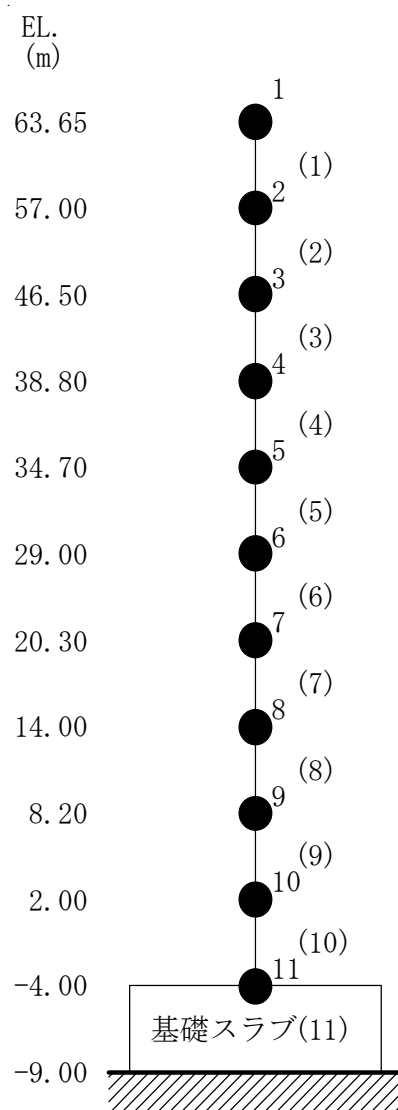
f_t : 鋼材の弾性限引張応力度 (N/mm^2)

ただし、 σ_c 、 ${}_c\sigma_b$ 、 ${}_t\sigma_b$ の値は絶対値とする。

3.4.2 耐震壁に対する評価

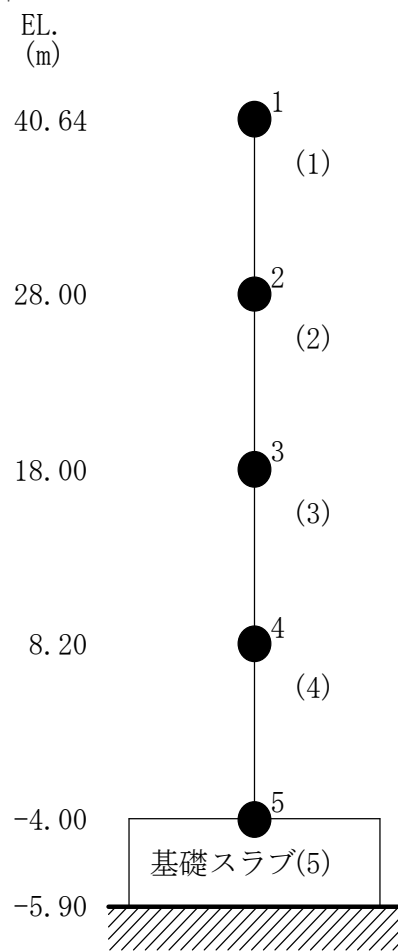
原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋及びについて，建屋の質点系解析モデルを用いて，風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみ度を評価し，許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋，タービン建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の質点系解析モデルを図 3-12，図 3-13 及び図 3-14 に示す。



注記 *：数字は質点番号，（ ）内は要素番号を示す。

図 3-12 原子炉建屋の解析モデル（水平方向）



注記 * : 数字は質点番号, () 内は要素番号を示す。

図 3-13 タービン建屋の解析モデル (水平方向)

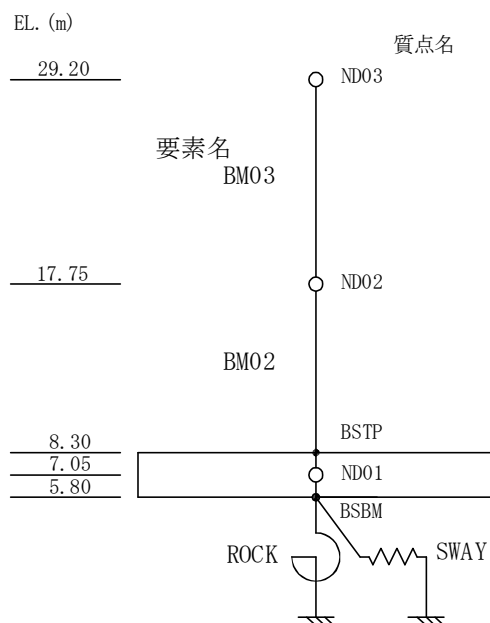


図 3-14 (1/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の解析モデル (NS 方向)

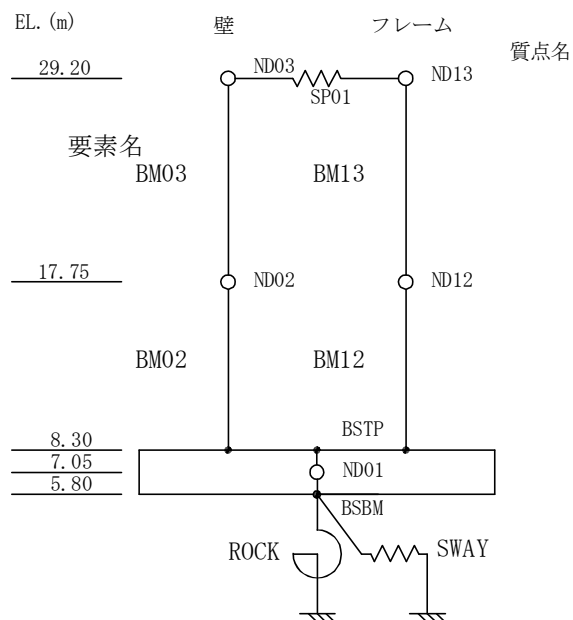


図 3-14 (2/2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋の解析モデル (EW 方向)

V-3-別添 2-2 防護対策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 対象施設	1
3. 構造強度設計	1
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	2

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第7条及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、V-1-1-2「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「V-1-1-2-4-3」という。）に設定している降下火砕物の影響を考慮する施設を防護する防護対策施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持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の防止に関する説明書」のうちV-1-1-2-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「V-1-1-2-4-1」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

防護対策施設に実施する具体的な計算の方法及び結果は、V-3-別添2-2-1「防護対策施設の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「3. 構造強度設計」に示す防護対象施設を防護する防護対策施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせるべき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」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 対象施設

V-1-1-2-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」に基づき、以下の防護対象施設に施す防護対策施設を対象とする。

- ・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。）
- ・中央制御室換気系冷凍機

3. 構造強度設計

V-1-1-2-4-1で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、V-1-1-2-4-3の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、防護対策施設の構造強度の設計方針を設定する。

防護対策施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、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

防護対策施設は、防護対象施設へ降下火砕物の堆積を防止するものであり、V-1-1-2-4-3の「4. 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目標を踏まえ、防護鋼板及び架構で構成し、次に示す設計とする。

(1) 防護鋼板

防護鋼板は、降下火砕物が防護対象施設へ堆積することを防止するために、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪による荷重に対し、構造強度を保持する設計とする。また、防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

(2) 架構

架構は、上乘する防護鋼板を支持する機能を保持する設計とする。また、防護対象施設へ波及的影響を及ぼさない設計とする。

3.2 機能維持の方針

V-1-1-2-4-3「4. 要求機能及び性能目標」で設定している防護対象施設の構造強度上の設計目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえV-1-1-2-4-1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、防護対策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) 防護対策施設

a. 構造設計

防護対策施設は、「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-1-1-2-4-1の「2.1.3 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

防護対策施設は、防護鋼板及び架構で構成し、防護対象施設を取り囲むように設置することで、防護対象施設に降下火砕物が堆積することを防止する。

降下火砕物が防護対象施設に堆積することを防止するため、防護鋼板は構造健全性を維持する設計とする。防護鋼板を支持する架構は、H形鋼等より構成され、施設の外殻に作用する荷重及び防護鋼板からの荷重を支持する構造とする。また、架構に作用する荷重は、原子炉建屋躯体に伝達する構造とする。

b. 評価方針

防護対策施設は、想定する降下火砕物及び積雪荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、防護鋼板及び架構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。評価方法としては、「5. 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。

V-3-別添 2-2-1 防護対策施設の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	2
2.3 適用規格	3

1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示すとおり、防護対策施設であるディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設が降下火砕物等堆積時においても、防護対象施設の安全機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

防護対策施設は、V-3-別添 2-2「防護対策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、防護対策施設の「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

防護対策施設は、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、原子炉建屋（ディーゼル発電機室屋上）に設置する。防護対策施設の設置位置図を図 2-1 に示す。

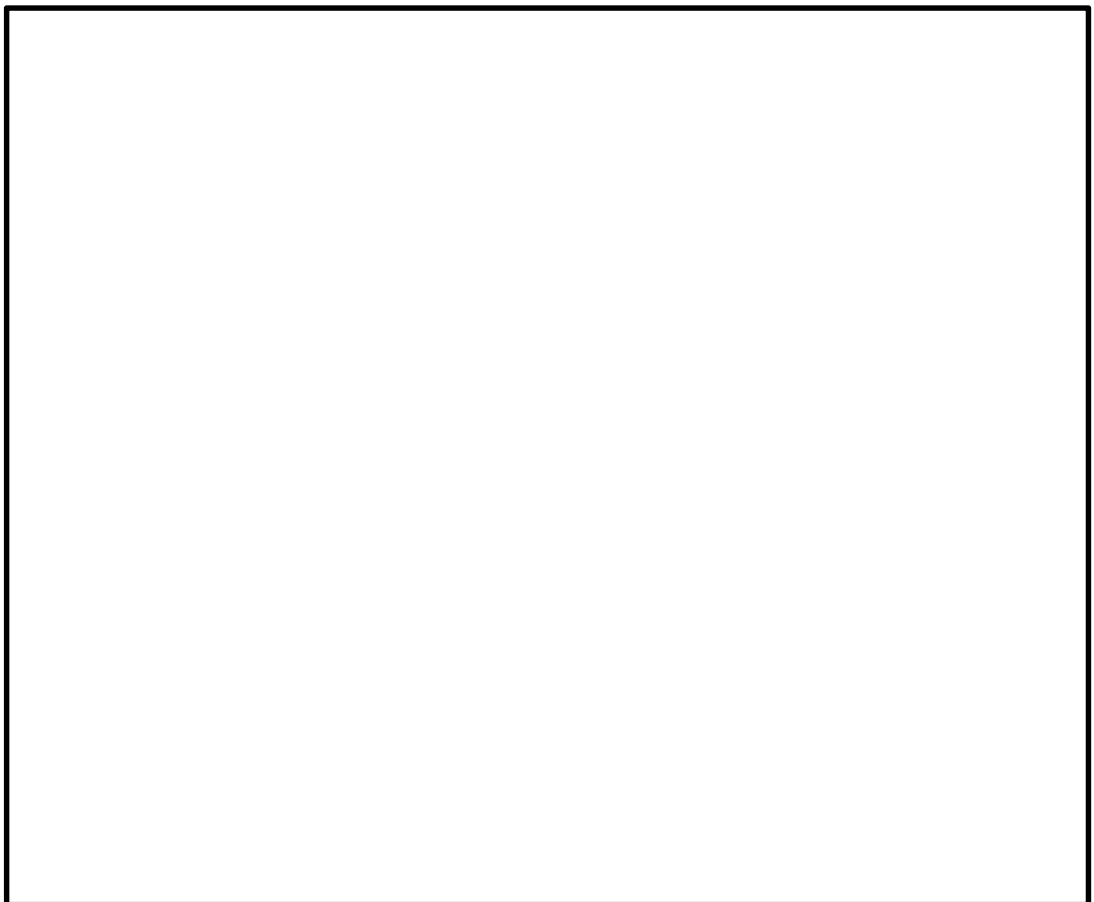


図 2-1 防護対策施設の設置位置図

2.1 構造計画

防護対策設備は、V-3-別添 2-2「防護対策施設の強度計算の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

ディーゼル発電機室ルーフベントファン防護対策施設、中央制御室換気系冷凍機防護対策施設は、防護鋼板及び防護鋼板を設置するための架構から構成される。

2.2 評価方針

防護対策施設の強度評価は、V-3-別添2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、防護対策施設の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

防護対策施設の強度評価フローを図2-2に示す。防護対策施設の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等堆積による鉛直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。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重については、防護鋼板の投影面積に対し降下火砕物等が堆積した場合を設定し、V-3-別添2-2「防護対策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。防護対策施設の許容限界は、V-3-別添2-2「防護対策施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界とする。

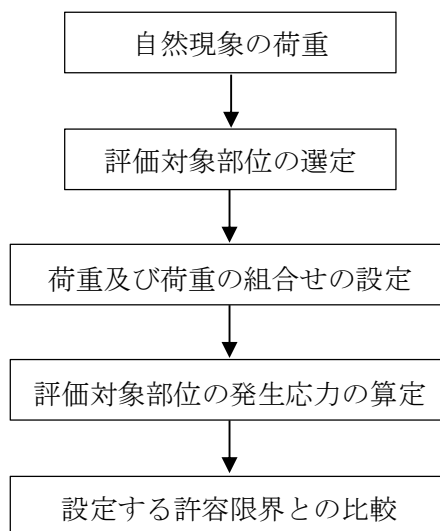


図2-2 防護対策施設の強度評価フロー

2.3 適用規格

適用する規格，基準，指針等を以下に示す。

- (1) 建築基準法及び同施行令
- (2) 茨城県建築基準法等施行細則（昭和 45 年 3 月 9 日茨城県規則第 9 号）
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005）
- (4) 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）
- (5) 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・捕-1984
（（社）日本電気協会）
- (6) 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）
- (7) 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）
- (8) 日本工業規格（J I S）

V-3-別添 3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針

目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
2.2 評価方針	5
3. 構造強度設計	6
3.1 構造強度の設計方針	6
3.2 機能維持の方針	11
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	38
4.1 荷重及び荷重の組合せ	38
4.2 許容限界	45
5. 強度評価方法	74
5.1 土木構造物に関する評価式	74
5.2 機器・配管系に関する評価式	78
6. 適用規格	86

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第 6 条及び第 51 条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、添付資料 V-1-1-3「耐震設計上重要な設備を設置する施設に関する説明書（自然現象への配慮に関する説明を含む。）」のうち添付資料 V-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に基づき設計する津波防護に関する浸水防護設備である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備が、津波に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は、添付資料 V-1-1-3「耐震設計上重要な設備を設置する施設に関する説明書（自然現象への配慮に関する説明を含む。）」のうち添付資料 V-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は、添付資料 V-3-別紙 3-2「防潮堤の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-3「放水路ゲートの強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-4「構内排水路逆流防止設備の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-5「浸水防止蓋の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-6「逆止弁の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-7「貫通部止水処置の強度計算書」、添付資料 V-3-別添 3-8「水密扉の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-11「津波監視装置の強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-12「格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-13「常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの強度計算書」、添付資料 V-3-別紙 3-14「常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」及び添付資料 V-3-別紙 3-16「貯留堰の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度計算は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す津波による荷重と組合すべき他の荷重による組合せ荷重又は応力などが許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す評価方法を使用し、「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

強度評価の対象施設とする浸水防護施設を表 2.1-1 に示す。また、強度評価の対象施設とする津波防護施設の配置を図 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 強度計算の対象施設

設備名称		施設分類
防潮堤	防潮堤（鋼製防護壁）	津波防護施設
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	
	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））	
	防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	
防潮扉		
放水路ゲート		
構内排水路逆流防止設備		
貯留堰		
取水路点検用開口部浸水防止蓋		浸水防止設備
海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁		
取水ピット空気抜き配管逆止弁		
海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋		
S A用海水ピット開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋		
緊急用海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁		
緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁		
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋		
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ		
常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ		
常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ		
常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉		
貫通部止水処置		
取水ピット水位計		津波監視設備
潮位計		

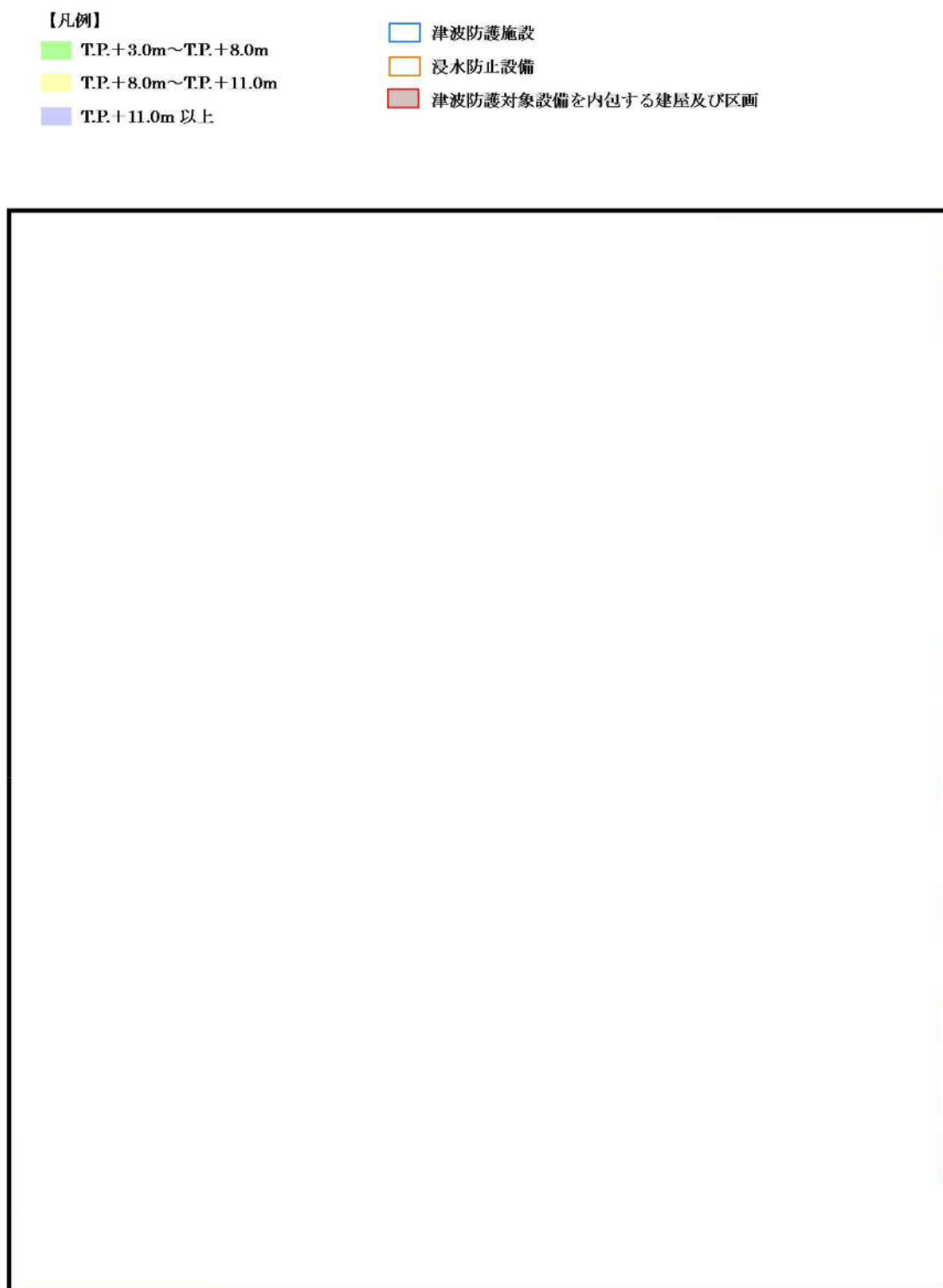
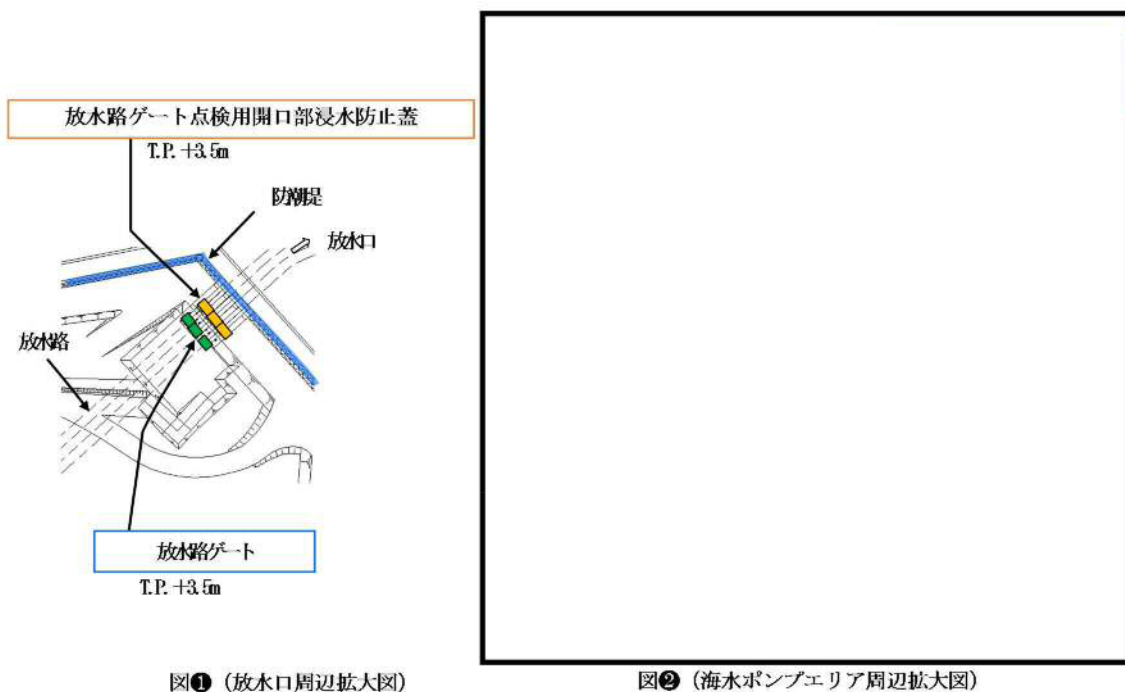


図 2.1-1 強度評価の対象施設の配置 (1/2)

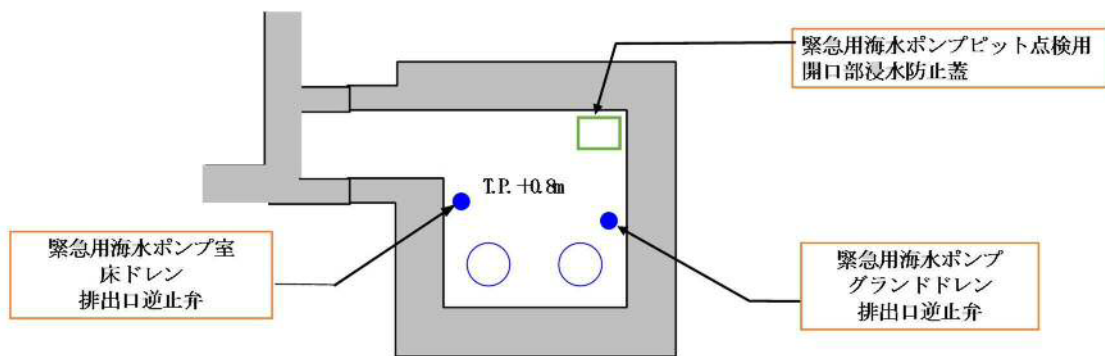
【凡例】

- 津波防護施設
- 浸水防止設備
- 津波防護対象設備を内包する建屋及び区画



図①（放水口周辺拡大図）

図②（海水ポンプエリア周辺拡大図）



図③（緊急用海水ポンプエリア周辺拡大図）

図 2.1-1 強度評価の対象施設の配置 (2/2)

2.2 評価方針

浸水防護施設は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに、浸水防護に関する強度評価を実施する。

3. 構造強度設計

「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、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」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て、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、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、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

添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を、「2.1 評価対象施設」ごとに示す。

3.1.1 津波防護施設

(1) 防潮堤

防潮堤の構造形式としては、地中連続壁に鋼製の上部工を設置する鋼製防護壁、地中連続壁に鉄筋コンクリート製の上部工を設置する鉄筋コンクリート防潮壁及び基礎となる鋼管杭の上部工部分に鉄筋コンクリートを被覆した鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の3種類からなる。

防潮堤はそれぞれの構造形式ごとに、以下に示すとおり、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (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た設計とする。

a. 防潮堤（鋼製防護壁）

鋼製防護壁は、地震後の繰返しの襲来を想定した敷地への遡上に伴う津波（以下、「遡上波」という。）及び取水路、放水路等の経路からの流入に伴う津波（以下、「経路からの津波」という。）の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製防護壁部については鋼材で、地中連続壁基礎部については鉄筋コンクリートで構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに、主要な構造体の境界部には、止水ジョイント部材を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。

b. 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）

鉄筋コンクリート防潮壁は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鉄筋コンクリート防潮壁部及び地中連続壁基礎部については鉄筋コンクリートで構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに、主要な構造体の境界部には、止水ジョイント部材を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。

c. 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、津波後の再使用性を考慮し、鉄筋コンクリートで構成さ

れる主要な部材の構造健全性を保持する設計とし、十分な支持性能を有する岩盤に設置する設計とするとともに、主要な構造体の境界部には止水ジョイント部材を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。

d. 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製の杭、鉄筋コンクリート製の上部構造、地盤高さの嵩上げ（改良体）、表層改良体で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には、止水ジョイント部材や表層改良体を設置し、有意な漏えいを生じない設計とする。

(2) 防潮扉

防潮扉は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、扉体は戸当りを介してコンクリート躯体部に固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(3) 放水路ゲート

放水路ゲートは、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、扉体は戸当りを介してコンクリート躯体部となる防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(4) 構内排水路逆流防止設備

構内排水路逆流防止設備は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鉄筋コンクリート製の集水枡に基礎ボルトで固定する鋼製の扉体とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(5) 貯留堰

貯留堰は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、護岸接続部は止水ゴム、防護材及びこれらを取り付けるための鋼材で構成し、津波後の再使用性を考慮し、主

要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留める設計とする。

3.1.2 浸水防止設備

(1) 取水路点検用開口部浸水防止蓋

取水路点検用開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、取水構造物に基礎ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(2) 海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁

海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、取水構造物に基礎ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(3) 取水ピット空気抜き配管逆止弁

取水ピット空気抜き配管逆止弁は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、取水ピット空気抜き配管にボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(4) 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、取水構造物にボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(5) S A用海水ピット開口部浸水防止蓋

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、S A用海水ピットに基礎ボルト及びヒンジで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(6) 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(7) 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(8) 緊急油海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、緊急用海水ポンプピットに固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(9) 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、緊急用海水ポンプピットに基礎ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(10) 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、緊急用海水ポンプピットに基礎ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持す

る設計とする。

(11) 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に基礎ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(12) 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、格納容器圧力逃がし装置格納槽に固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(13) 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、常設低圧代替注水系格納槽に固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(14) 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、常設低圧代替注水系格納槽に固定ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(15) 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、常設代替電源装置用カルバート

に基礎ボルト等で固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

3.1.3 津波監視設備

(1) 取水ピット水位計

取水ピット水位計は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.3 津波監視設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、取水構造物に設置された取付座に取付ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

(2) 潮位計

潮位計は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求事項及び性能目標」の「3.3 津波監視設備 (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、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼材で構成し、支持構造物を介して取水構造物に取付ボルトで固定する構造とし、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を維持する設計とする。

3.2 機能維持の方針

添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、添付資料V-1-1-2-2-1「耐津波設計の基本方針」の「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2) 荷重の組合せ及び許容限界 b. 荷重の組合せ」及び「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2) 荷重の組合せ及び許容限界 c. 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。

3.2.1 防潮堤

(1) 構造設計

防潮堤は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-1「耐津波設計の基本方針」の「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定する荷重を踏まえ、以下の構造とする。

防潮堤の構造計画を表 3.2-1～表 3.2-4 に示す。

a. 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、鋼製防護壁（上部工）と地中連続壁基礎（下部工）から構成され、上部工と下部工を鋼製防護壁アンカーにより接合する。

鋼製防護壁は上部工と下部工を一体とした構造とし、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

隣接する構造物との境界には、止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

b. 鉄筋コンクリート防潮壁

鉄筋コンクリート防潮壁は、鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）と地中連続壁基礎（下部工）から構成される。

鉄筋コンクリート防潮壁は上部工と下部工を一体とした構造とし、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。

隣接する構造物との境界には、止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

c. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）は、地中連続壁基礎による下部工、防潮壁及び放水路による上部工から構成される。地中連続壁、防潮壁及び放水路はすべて鉄筋コンクリートで一体化した構造とし、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。防潮壁直下に構築する放水路はカルバート構造であり、敷地内への津波の浸水を防止するためのゲートを設置する。

隣接する構造物との境界には、止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

d. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、鋼管杭による下部工と、5本の鋼管杭を束ね止水機能を確保する鉄筋コンクリートの壁による上部工から構成される。

下部工は鋼管杭、上部工は鉄筋コンクリート梁壁及び鋼管鉄筋コンクリート（SRC構造）の一体構造で構築される。大口径で肉厚の厚い鋼管杭を地震及び津波荷重に耐える構造躯体とし、杭間からの津波の浸水を防止する観点で、鋼管杭に鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とした。

隣接する構造物との境界には、止水性を確保するための止水ジョイント部材を設置する。

防潮壁の堤内側には、耐津波に対する受働抵抗を目的とした改良体による地盤高さの嵩上げを行うとともに、洗掘防止対策やボーリング対策として、堤内及び堤外の表層部の地盤改良を実施する。

(2) 評価方針

防潮堤は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

a. 鋼製防護壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼製防護壁、地中連続壁基礎及び鋼製防護壁アンカーが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する。また、基礎地盤については、鋼製防護壁を支持する基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

b. 鉄筋コンクリート防潮壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鉄筋コンクリート防潮壁及び地中連続壁基礎が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する。また、基礎地盤については、鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

c. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鉄筋コンクリート部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、防潮壁を支持する基礎地盤に発生する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない設計とするため、境界部に設置する止水ジョイント部材が有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

d. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするために、構造部材である鋼管杭、鉄筋コンクリート、鋼製アンカー及び鋼製防護部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため、地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認する。また、洗掘防止対策やボーリング

対策としての機能を保持するため、表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、ボイリング対策としての機能を保持するため、シートパイルにせん断破壊が生じないことを確認する。

表 3.2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の構造計画

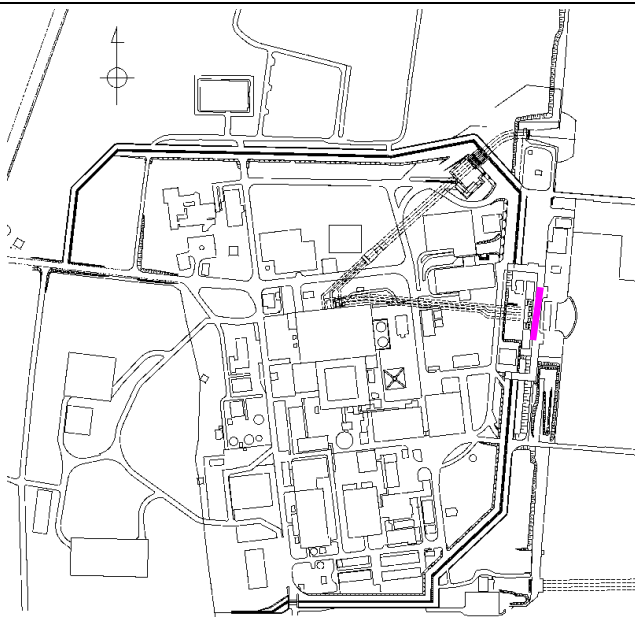
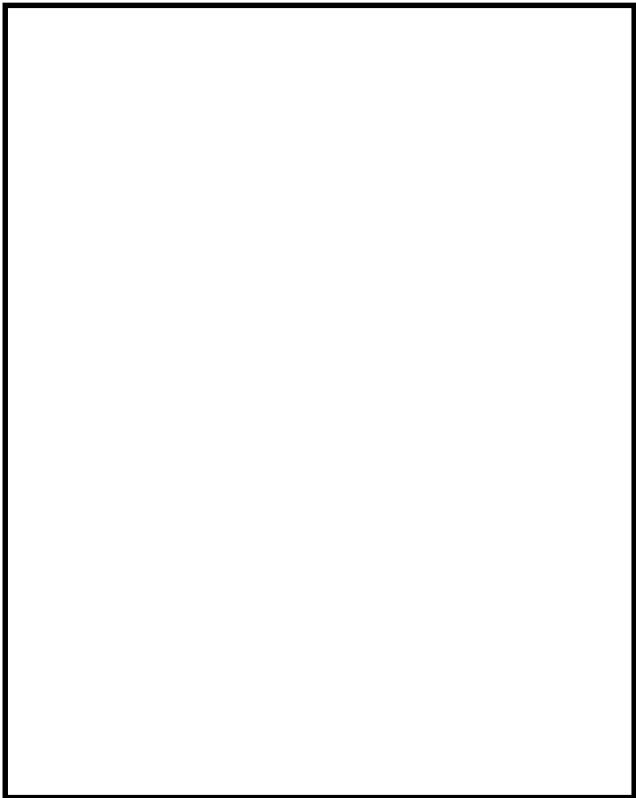
設備名称	配置図		
防潮堤			
鋼製防護壁	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	鋼 製 防 護 壁，地中連続壁基礎及び鋼製防護壁アンカーから構成する。	十分な支持性能を有する岩盤に設置する。	 正面図，断面図

表 3.2-2 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の構造計画

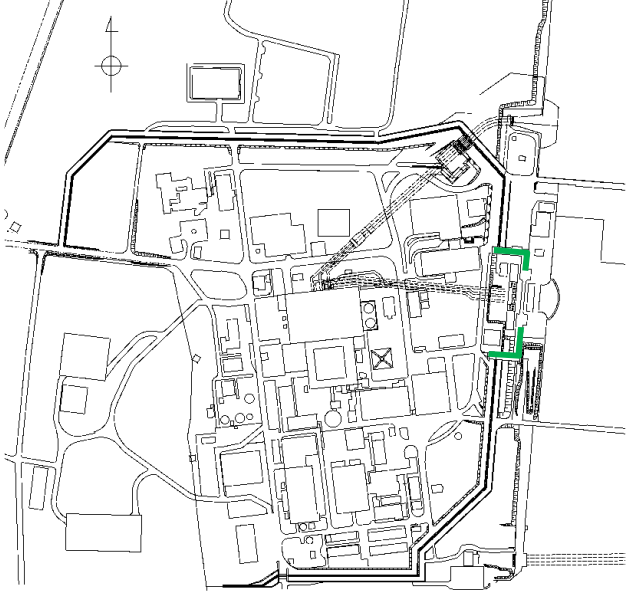
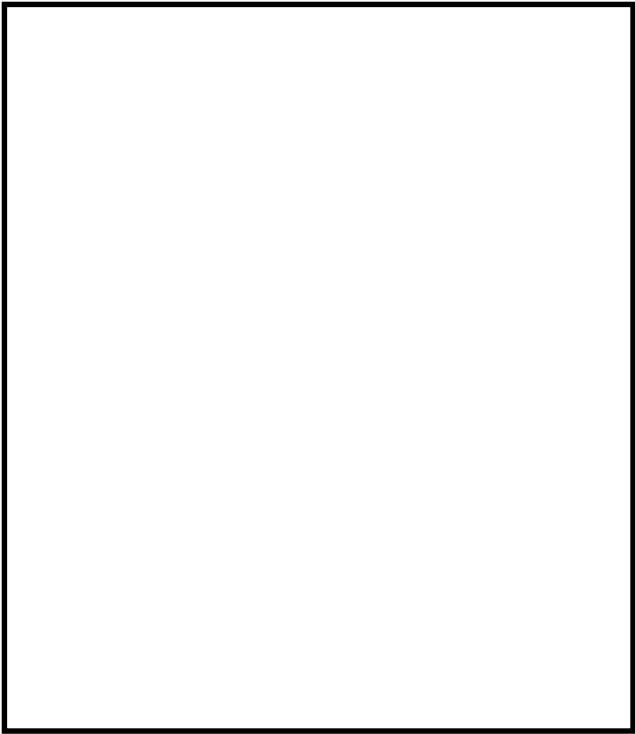
設備名称	配置図		
防潮堤			
	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート防潮壁	鉄筋コンクリート防潮壁及び地中連続壁基礎から構成する。	十分な支持性能を有する岩盤に設置する。	 正面図，断面図

表 3.2-3 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））の構造計画

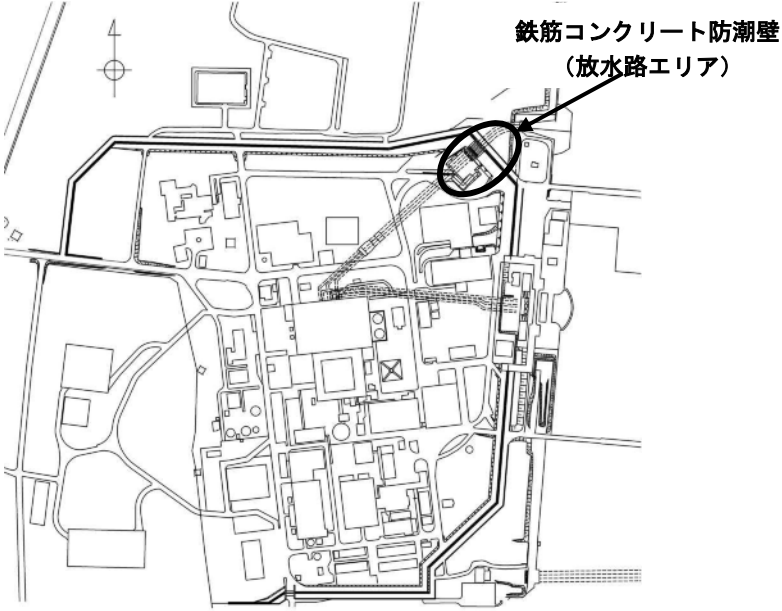
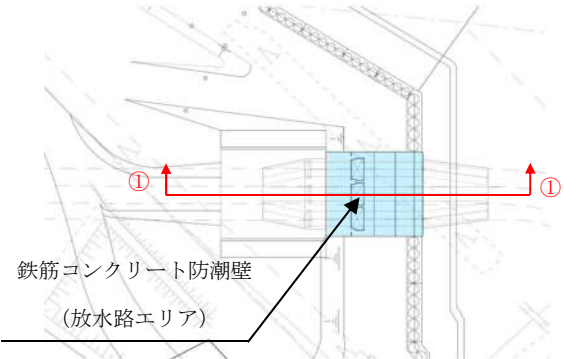
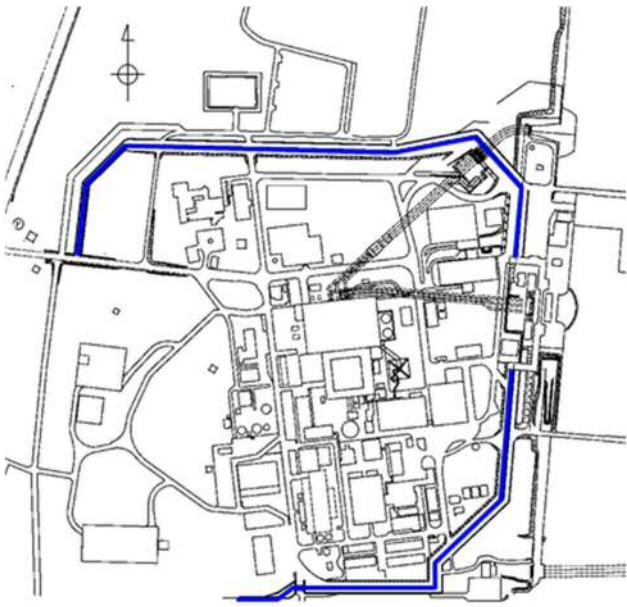
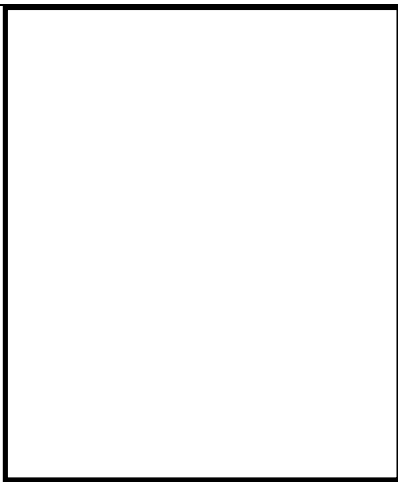
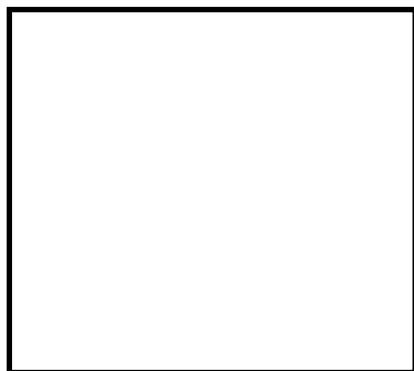
設備名称	配置図		
防潮堤			
鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	地中連続壁基礎による下部工及び防潮壁，放水路による上部工から構成される。	地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。	 ①-①断面 

表 3.2-4 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）の構造計画

設備名称	配置図		
防潮堤			
鋼管杭鉄筋 コンクリート 防潮壁	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	鋼管杭による下部工と、5本の鋼管杭を束ね止水機能を確保する鉄筋コンクリートの壁による上部工から構成する。	十分な支持性能を有する岩盤に設置する。	 断面 

3.2.2 防潮扉

(1) 構造設計

防潮扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

防潮扉は、扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び支圧板）、戸当り、駆動装置及び躯体を主体構造とする。

防潮扉の扉体は戸当りを介して、鉄筋コンクリート製の躯体にて支持する構造とする。

防潮扉1の躯体は、鉄筋コンクリート防潮壁から構成され、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。防潮扉2の躯体は、鉄筋コンクリート防潮壁で構成され、鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する構造とする。

また、扉体に作用する荷重は、戸当りを介して、躯体の鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。躯体に作用する荷重は、地中連続壁基礎又は鋼管杭から岩盤に作用する構造とする。

(2) 評価方針

防潮扉は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、扉体として鋼製のスキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び支圧板が、支承部として戸当り及び躯体の鉄筋コンクリート部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。また、躯体として鉄筋コンクリート及び鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、漏えいが想定される隙間は、圧着構造となるよう、扉体を構成するスキンプレート、主桁、縦補助桁及び端桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.3 放水路ゲート

(1) 構造設計

放水路ゲートは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

放水路ゲートは、扉体（スキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁、支圧板及び小扉）、戸当り及び駆動装置を主体構造とする。

放水路ゲートの扉体は戸当りを介して、間接支持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））にて支持する構造とする。また、扉体に作用する荷重は、戸当りを介して、間接支持構造物である防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））に伝達する構造とする。

(2) 評価方針

放水路ゲートは、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並び

に余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、扉体として鋼製のスキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び小扉が、支承部として戸当り及び鉄筋コンクリートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、漏えいが想定される隙間は、圧着構造となるよう、扉体を構成するスキンプレート、主桁、縦補助桁、端桁及び小扉がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.4 構内排水路逆流防止設備

(1) 構造設計

構内排水路逆流防止設備は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

構内逆流防止設備は、扉体（スキンプレート、主桁及び補助桁）及び固定部（ヒンジ、吊りピン、ジョイント、及びアンカー）を主体構造とする。

構内排水路逆流防止設備は、アンカーで鉄筋コンクリート製の集水枡に固定し、支持する構造とする。また、扉体に作用する荷重は、アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

構内排水路逆流防止設備は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、扉体としてスキンプレート、主桁及び補助桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、漏えいが想定される隙間は、圧着構造となるよう、扉体を構成するスキンプレート、主桁及び補助桁がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.5 貯留堰

(1) 構造設計

貯留堰は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

貯留堰は、その機能及び目的から貯留堰本体及び護岸接続部に区分され、このうち貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、護岸接続部は止水ゴム、防護材及びこれらを取り付けるための鋼材より構成される。

鋼管矢板は、下端を岩盤に十分根入れすることにより支持性能を確保するとともに、天端は、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圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの取水に必要な水量を確保するための高さとする。

貯留堰の構造計画を表 3.2-5 に示す。

(2) 評価方針

貯留堰は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰り返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形にとどまることを確認する。

貯留堰の強度評価は、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

表 3.2-5 貯留堰の構造計画 (1/2)

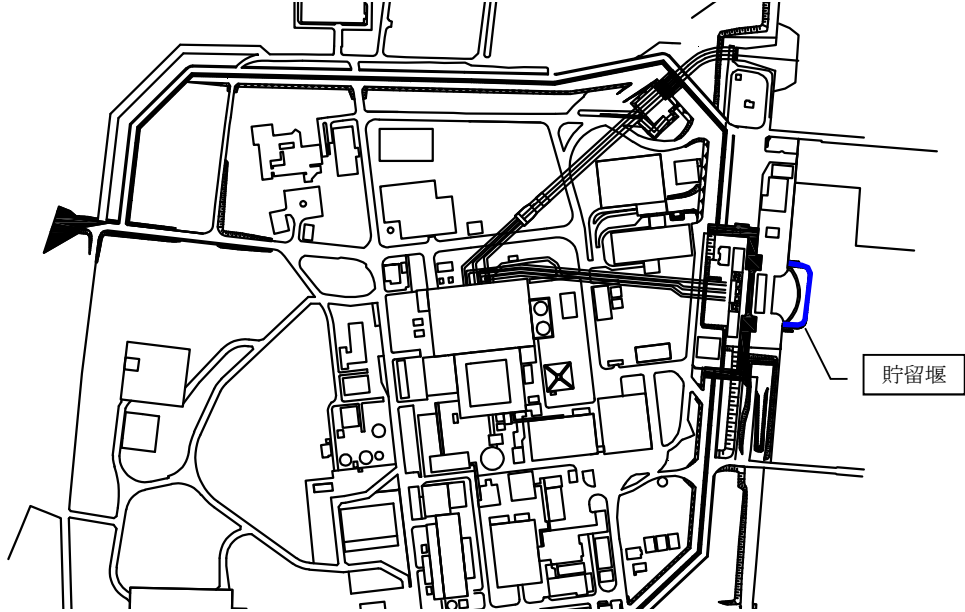
設備名称	配置図		
貯留堰			
貯留堰本体	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。	鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する岩盤に根入れする。	
平面図			

表 3.2-5 貯留堰の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
貯留堰本体	鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。	鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する岩盤に根入れする。	 断面図
護岸接続部	止水ゴム, 防護材及びこれらを貯留堰取付護岸及び貯留堰本体に取り付けるための鋼材より構成する。	貯留堰取付護岸及び貯留堰本体に支持する。	 平面図 (拡大)

3.2.6 取水路点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

取水路点検用開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

取水路点検用開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋及び基礎ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように取水路の上版に基礎ボルトで固定し、支持する構造とする。また、浸水防止蓋に作用する荷重は、基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

取水路点検用開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.7 海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1) 構造設計

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、弁本体、フロートガイド、フロート及び基礎ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し、支持する構造とする。また、逆止弁に作用する荷重は、基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.8 取水ピット空気抜き配管逆止弁

(1) 構造設計

取水ピット空気抜き配管逆止弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

取水ピット空気抜き配管逆止弁は、弁本体、弁蓋、フロートガイド、フロート及びボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように循環水ポンプ室の床面に設置されている取水ピット空気抜き配管のフランジ面にボルトで固定し、更に配管系への支持構造物の取付けにより固定し、支持する構造とする。また、逆止弁に作用する荷重は、ボルト及び取水ピット空気抜き配管を介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

取水ピット空気抜き配管逆止弁は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、弁本体、弁蓋、フロートガイド及びボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、弁本体、弁蓋及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.9 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

(1) 構造設計

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、浸水防止蓋及び基礎ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように海水ポンプ室の壁面に基礎ボルトで固定し、支持する構造とする。また、浸水防止蓋に作用する荷重は、基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.10 S A用海水ピット開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないようにS A用海水ピットの床面に固定ボルト及びヒンジで固定し、支持する構造とする。また、浸水防止蓋に作用する荷重は、固定ボルト及びヒンジを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-6 に示す。

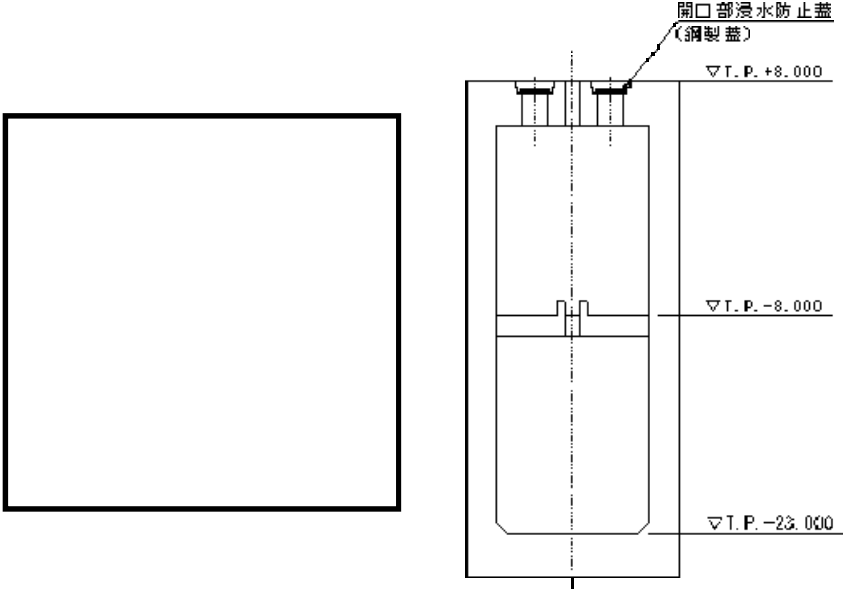
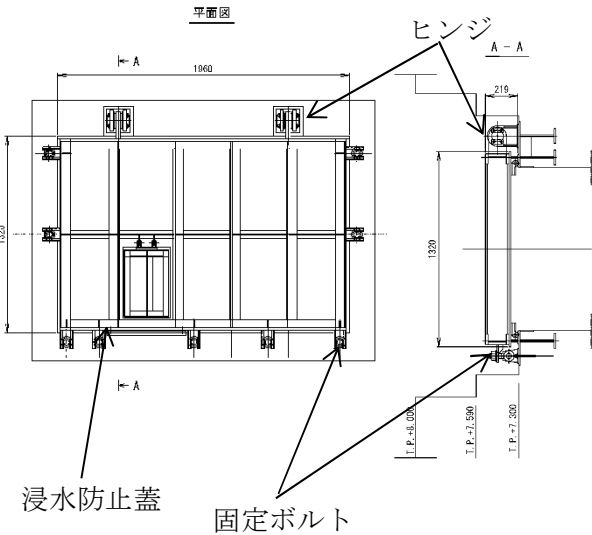
(2) 評価方針

S A用海水ピット開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が、固定部として固定ボルト及びヒンジがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2-6 S A用海水ピット開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図		
S A用海水ピット			
S A用海水ピット開口部浸水防止蓋	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	S A用海水ピット開口部に設置する固定ボルト及びヒンジより本体を固定する。	

3.2.11 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。また、浸水防止蓋に作用する荷重は、固定ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-7 に示す。

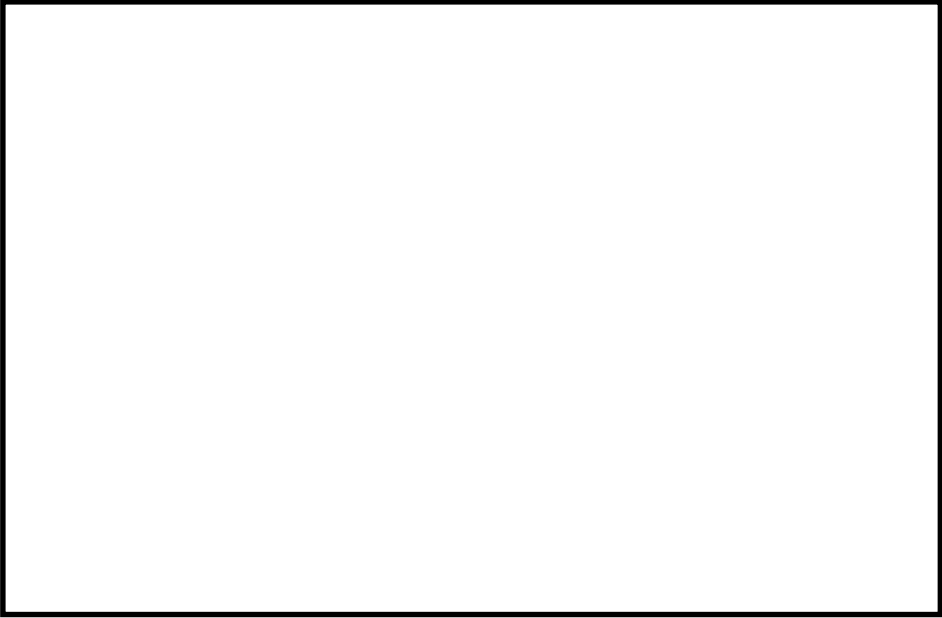
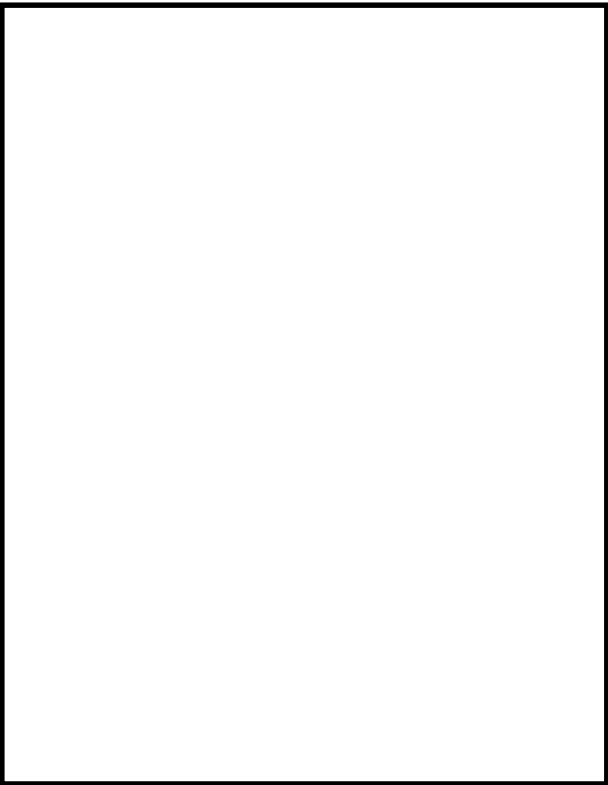
(2) 評価方針

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が、固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2-7 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図		
緊急用海水ポンプピット			
	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプピット 点検用開口部 浸水防止蓋	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	海水ポンプピット下部の人員用開口部に設置する固定ボルトにより本体を固定する。	

3.2.12 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプピットの上版に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-8 に示す。

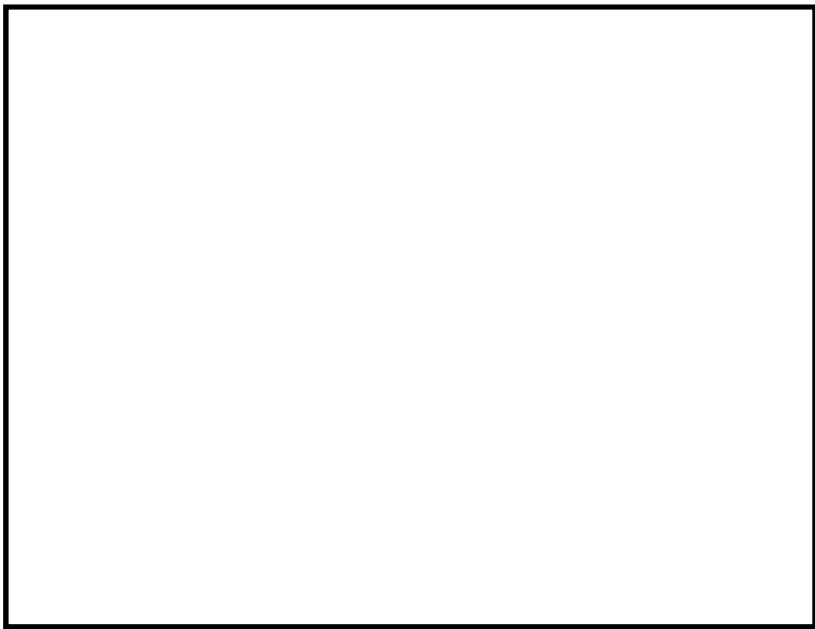
(2) 評価方針

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が、固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2-8 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図		
緊急用海水ポンプピット			
	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋	鋼製の浸水防止蓋で構成する。	最上部スラブ（頂版部）の人員用開口部分に設置する固定ボルトで固定する。	

3.2.13 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプピットの上版に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造計画を表 3.2-9 に示す。

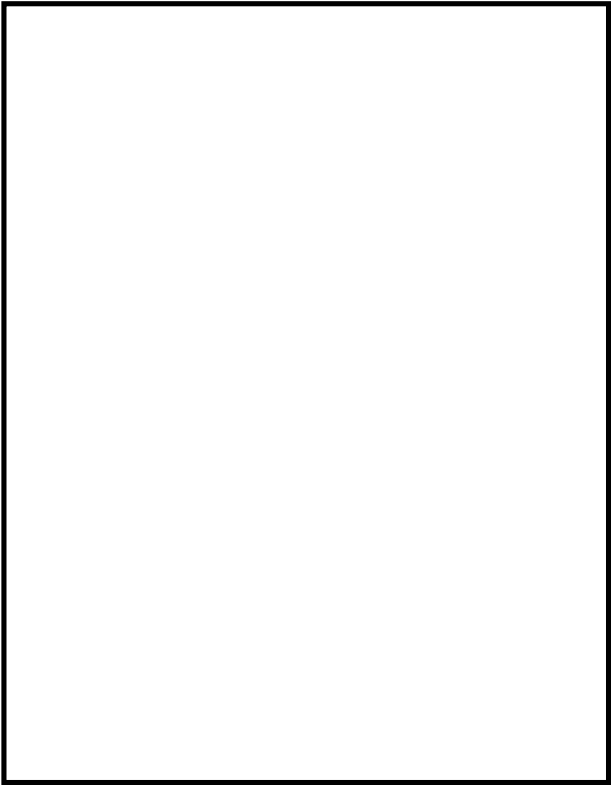
(2) 評価方針

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が、固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3.2-9 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の構造計画

設備名称	配置図		
緊急用海水ポン プピット			
	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
緊急用海水ポン プ室人員用開口 部浸水防止蓋	鋼製の浸水 防止蓋で構 成する。	海水ポンプ 点検用ピッ ト最上部の スラブ部分 (頂版部) に設置する 固定ボルト で固定す る。	

3.2.14 緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、弁本体、フロートガイド、フロート及び基礎ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し、支持する構造とする。また、逆止弁に作用する荷重は、基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

緊急用海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.15 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

(1) 構造設計

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、弁本体、フロートガイド、フロート及び基礎ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも逆止弁が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に基礎ボルトで固定し、支持する構造とする。また、逆止弁に作用する荷重は、基礎ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、弁本体、フロートガイド及び基礎ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、弁本体及びフロートガイドがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.16 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

(1) 構造設計

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定してい

る設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁並びに固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように緊急用海水ポンプ室の床面に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。また、浸水防止蓋に作用する荷重は、固定ボルトを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、浸水防止蓋としてスキンプレート及び主桁が、固定部として固定ボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、浸水防止蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.17 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

(1) 構造設計

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは、上蓋及び固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。

(2) 評価方針

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチは、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.18 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

(1) 構造設計

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは、上蓋及び固定ボルトを主体構造とし、

荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。

(2) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチは、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.19 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

(1) 構造設計

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは、上蓋及び固定ボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも浸水防止蓋が動かないように格納容器圧力逃がし装置格納槽の上版に固定ボルトで固定し、支持する構造とする。

(2) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチは、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、上蓋がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

3.2.20 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

(1) 構造設計

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は、水密扉として扉板及び芯材並びに固定部としてカンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトを主体構造とし、荷重が作用した場合にも水密扉が動かないように鉄筋コンクリートの壁面にアンカーで固定し、支持する構造とする。また、水密扉に作用する荷重は、カンヌキ、カンヌキ受けピン、カンヌキ受けボルト及アンカーを介して鉄筋コンクリートに伝達する構造とする。

(2) 評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、扉板、芯材、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水に伴う津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突、風及び積雪を考慮した荷重に対し、止水機能を損なわないよう、扉板及び芯材がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

浸水防護施設の強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「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

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (D , G , P)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重又は固定荷重、積載荷重、土圧及び海中部に対する静水圧（浮力含む。）とする。

b. 津波荷重 (P_t , P_h)

津波荷重は、施設ごとに設置位置における津波の浸入形態に応じて、以下のとおり、遡上津波荷重、突き上げ津波荷重又は浸水津波荷重として算定する。

(a) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重は、遡上波により波圧として作用する荷重であり、「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成 25 年 9 月）」等を参考に、各施設の設置位置等における遡上波の高さから、津波波圧算定式として谷本式を適用する場合は、各施設の設置位置における複雑な地形条件を考慮し、静水面からの入射津波高さの 3 倍のさらに 1.5 倍の高さまで作用する水圧として算定し、津波波圧算定式として静水圧差式を適用する場合は、各施設の設置位置における複雑な地形条件を考慮し、静水面からの津波高さの 1.5 倍の高さまで作用する水圧として算定する。

(b) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、床面に設置されている施設に対して、経路からの津波が鉛直上向き方向に作用した場合の津波荷重であり、各施設の設置位置における経路からの津波高さ及び流速を用いて算定する。

(b) 浸水津波荷重 (P_h)

浸水津波荷重は、経路からの津波による浸水又は津波による溢水により冠水した場合に静水圧として作用する荷重であり、各施設の設置位置における施設の設置高さ及び浸水深さを考慮して、静水圧として算定する。また、閉塞部における浸水津波荷重については余震の鉛直方向成分の影響を考慮する。

c. 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重は、弾性設計用地震動 S_d-D1 に伴う地震力（動水圧含む。）として算定する。

d. 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重は、漂流物（総排水トン 15t の漁船を考慮）の質量及び敷地前面における津波の流速を考慮して算定する。

e. 風荷重 (P_k)

風荷重は、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1454 号に定められた東海村の基準風速 30m/s を使用する。津波と風荷重の最大荷重の継続時間がともに短く同時に発生する確率が低いことを踏まえ、ガスト影響係数を 1 として風荷重を算定する。

f. 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重は、建築基準法施行規則細則（茨城県）に定められた東海村の垂直積雪量 30 cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を基本として設定し、積雪量 1 cm ごとに 20 N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し、各施設の積雪面積を乗じて設定する。

(2) 荷重の組合せ

各施設の強度計算に用いる荷重の組合せは、施設の配置、構造計画に基づく形状及び評価対象部位を踏まえて、「(1) 荷重の種類」で示した荷重 a. ～f. を常時作用する荷重、津波の形態に応じた津波荷重等及びその他自然現象による荷重に分けて適切に組み合わせる。

荷重の組合せにおいては、まず、常時作用する荷重として、対象施設に応じて、以下の荷重の組合せを考慮する。構造物については、固定荷重 (G) を考慮する。さらに、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は、積載荷重 (P) を組み合わせる。一方、機器類については、自重 (D) を考慮する。

次に、津波の形態に応じた津波荷重等の組合せを考慮する。

津波荷重として、遡上津波荷重 (P_t)、突き上げ津波荷重 (P_t) 又は浸水津波荷重 (P_h) を考慮する場合（漂流物の影響を受ける位置に設置している施設については、衝突荷重 (P_c) の組合せを考慮する（以下、「津波時」という。））と、遡上津波荷重 (P_t)、突き上げ津波荷重 (P_t) 又は浸水津波荷重 (P_h) と余震荷重 (K_{sd}) の組合せを考慮する場合（以下、「重畳時」という。）に分けて強度計算を行う。

最後に、施設の構造等を踏まえ、風荷重 (P_k)、積雪荷重 (P_s) の組合せを考慮する。

風荷重 (P_k) については、屋外の直接風を受ける場所に設置している施設のうち、風荷重 (P_k) の影響が津波荷重 (P_t , P_h) と比べて相対的に無視できないような構造、形状及び仕様の施設については組合せを考慮する。風荷重 (P_k) の影響を受ける可能性のある施設については、各強度計算書において風荷重 (P_k) の影響を確認する。

積雪荷重 (P_s) については、屋外の積雪が生じる場所に設置している施設について、組合せを考慮する。ただし、自重 (D) に対して積雪荷重 (P_s) の割合が無視できる施設については、各強度計算書において積雪荷重 (P_s) の影響が無視できることを確認したうえで、組合せ計算を実施しない。

以上を踏まえ、具体的に施設ごとの強度計算書において考慮すべき荷重の組合せを設定する。荷重の組合せの設定フローを図 4.1-1 に、フローに基づき設定した施設ごとの荷重の組合せ結果を表 4.1-1 に示す。

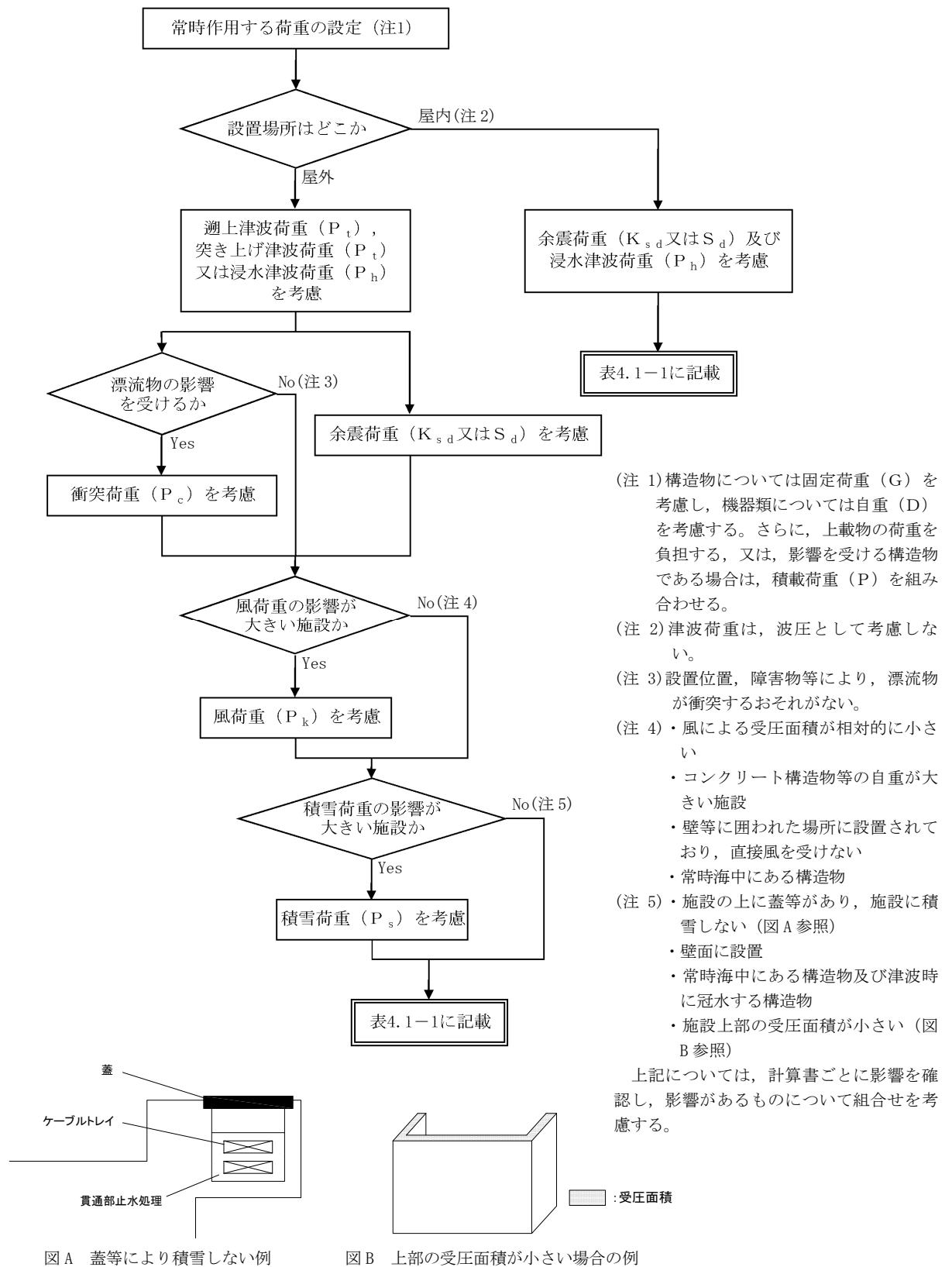


図 4.1-1 強度計算における荷重の組合せの設定フロー

表 4.1-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (1/4)

強度計算の対象施設		事象	荷重						
			自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S_d 又は K_{S_d})	遡上津波荷重 (P_t) , 突き上げ津波荷重 (P_t) 又は浸水津波荷重 (P_h)	衝突荷重 (P_c)	風荷重 (P_k)	積雪荷重 (P_s)
防潮堤	防潮堤 (鋼製防護壁)	津波時	○	○	—	○ 遡上津波 (P_t)	○	—	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	○
	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁)	津波時	○	○	—	○ 遡上津波 (P_t)	○	—	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	○
	防潮堤 (鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア))	津波時	○	○	—	○ 遡上津波 (P_t) 突き上げ津波荷重 (P_t)	○	—	○
		重畳時	○	○	○	○ 遡上津波 (P_t) 突き上げ津波荷重 (P_t)	—	—	○
	防潮堤 (鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	津波時	○	—	—	○ 遡上津波 (P_t)	○	—	○
		重畳時	○	—	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	○

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4.1-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (2/4)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S_d 又は K_{Sd})	遡上津波荷重 (P_t) , 突き上げ津波荷重 (P_t) 又は浸水津波荷重 (P_h)	衝突荷重 (P_c)	風荷重 (P_k)	積雪荷重 (P_s)
防潮扉	津波時	○	○	—	○ 遡上津波 (P_t)	○	—	○
	重畳時	○	○	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	○
放水路ゲート	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P_t)	—	—	○
構内排水路逆流防止設備	重畳時	○	—	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	—
貯留堰	津波時	○	—	—	○ 遡上津波 (P_t)	○	—	—
	重畳時	○	—	○	○ 遡上津波 (P_t)	—	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4.1-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (3/4)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S _d 又 はK _{Sd})	遡上津波荷重 (P _t) , 突き上げ津波荷重 (P _t) 又は浸水津波荷重 (P _h)	衝突荷重 (P _c)	風荷重 (P _k)	積雪荷重 (P _s)
取水路点検用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	○
海水ポンプグランドドレン排 出口逆止弁	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
取水ピット空気抜き配管逆止 弁	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
海水ポンプ室ケーブル点検口 浸水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	—
S A用海水ピット開口部浸水 防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
緊急用海水ポンプピット点検 用開口部浸水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
緊急用海水ポンプ点検用開口 部浸水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	○
緊急用海水ポンプ室人員用開 口部浸水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	○
緊急用海水ポンプグランドド レン排出口逆止弁	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
緊急用海水ポンプ室床ドレン 排出口逆止弁	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

表 4.1-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (4/4)

強度計算の対象施設	事象	荷重						
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S _d 又 はK _{Sd})	遡上津波荷重 (P _t) , 突き上げ津波荷重 (P _t) 又は浸水津波荷重 (P _h)	衝突荷重 (P _c)	風荷重 (P _k)	積雪荷重 (P _s)
放水路ゲート点検用開口部浸 水防止蓋	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	○
格納容器圧力逃がし装置格納 槽点検用水密ハッチ	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	○
常設低圧代替注水系格納槽点 検用水密ハッチ	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	○
常設低圧代替注水系可搬型ポ ンプ用水密ハッチ	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	○
常設代替高圧電源装置用カル バート原子炉建屋側水密扉	重畳時	○	—	○	○ 浸水津波 (P _h)	—	—	—
取水ピット水位計	重畳時	○	—	○	○ 突き上げ津波 (P _t)	—	—	—
潮位計	重畳時	○	—	○	○ 遡上津波 (P _t)	—	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

4.2 許容限界

許容限界は、添付資料V-1-1-2-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している。津波荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「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て施設ごとの許容限界を表 4.2-1 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応力や変形の状態を考慮し、評価対象部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1 施設ごとの許容限界

(1) 防潮堤

a. 鋼製防護壁

(a) 鋼製防護壁、鋼製防護壁アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）及び「鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編、名古屋高速道路公社、平成 15 年 10 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持機能を有する岩盤に設置する設計とするために、鋼製防護壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

(c) 地中連続壁基礎

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕」（（社）土木学会、2002 年制定）」、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」及び「道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）」（（社）日本道路協会、平成 22 年 3 月）に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(d) 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(d) 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製アンカーが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する。

(e) 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに、余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製防護部材が、おおむね弾性状態にとどまることを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－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

b. 鉄筋コンクリート防潮壁

(a) 鉄筋コンクリート防潮壁，地中連続壁基礎

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、十分な支持機能を有する岩盤に設置する設計とするために、鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

(c) 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(d) 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製アンカーが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する。

(e) 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製防護部材が、おおむね弾性状態にとどまることを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－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

c. 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）

(a) 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波及び経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、堅固な支持地盤に設置する設計とするために、鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

d. 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

(a) 鋼管杭

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼管杭が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(b) 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(c) 地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため、地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認し、洗掘防止対策やボイリング対策としての機能を保持するため、表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年 6 月）」を考慮し、せん断強度に基づき設定する。

(d) 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

(e) 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製アンカーが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」に基づき設定する。

(f) 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製防護部材が、おおむね弾性状態にとどまることを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－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定

する。

(g) シートパイル

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、ボイリング対策としての機能を保持するため、シートパイルにせん断破壊が生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、せん断強度に基づき設定する。

(2) 防潮扉

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、扉体を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 戸当り

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、戸当りを構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

c. 鋼管杭

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼管杭が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

d. 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

e. 基礎地盤

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、堅固な支持地盤に設置す

る設計とするために、鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎岩盤の極限支持力に基づき、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値とする。

f. 止水ジョイント部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置するゴムジョイント及びシートジョイントが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

g. 鋼製アンカー

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製アンカーが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010年11月）」及び「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002年制定）」に基づき設定する。

h. 鋼製防護部材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震、積載物、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼製防護部材が、おおむね弾性状態にとどまることを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—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会、2005年9月）」、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010年11月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター、（社）寒地港湾技術研究センター、2014年3月）」に基づき設定する。

(3) 放水路ゲート

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、扉体を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成25年6月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 戸当り

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、戸当りを構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成25年6月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

c. 鉄筋コンクリート

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鉄筋コンクリートが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会、2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度を許容限界として設定する。

(4) 構内排水路逆流防止設備

a. 扉体

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、扉体を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(5) 貯留堰

a. 鋼管矢板

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼管矢板が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 止水ゴム

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置する止水ゴムが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

c. 止水ゴム取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、止水ゴム取付部鋼材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

d. 防護材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、防護材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としているこ

とを踏まえ、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

e. 防護材取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，防護材取付部鋼材が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度として設定する。

(6) 取水路点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，浸水防止蓋（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，基礎ボルト（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(7) 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁

a. 弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，弁本体（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，フロートガイド（鋼製部材）が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ，「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

c. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、基礎ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(8) 取水ピット空気抜き配管逆止弁

a. 弁本体及び弁蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁本体及び弁蓋（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、フロートガイド（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

c. ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(9) 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津

波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、基礎ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 （（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(10) S A 用海水ピット開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト及びヒンジ

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、固定ボルト及びヒンジ（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(11) 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、固定ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(12) 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計と

するために、浸水防止蓋を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、固定ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(13) 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、固定ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(14) 緊急用海水ポンプグラウンド dren 排出口逆止弁

a. 弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁本体（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J SME S NC 1-2005/2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、フロートガイド（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007

年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) 」に準じた共用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

c. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、基礎ボルト(鋼製部材)が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) 」に準じた共用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

(15) 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

a. 弁本体

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁本体(鋼製部材)が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) 」に準じた共用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

b. フロートガイド

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、フロートガイド(鋼製部材)が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) 」に準じた共用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

c. 基礎ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、基礎ボルト(鋼製部材)が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 ((社) 日本機械学会) 」に準じた共用状態Cの許容応力を許容限界として設定する。

(16) 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

a. 浸水防止蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準(案)(基礎解説編・マニュアル編)((社) ダム・堰施設技術協会, 平成 25 年 6 月) 」に基づき、短期許容応力度として設定する。

b. 固定ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水時の津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、固定ボルト（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会、平成 25 年 6 月）」に基づき、短期許容応力度として設定する。

(17) 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

a. 上蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1 - 2005 / 2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(18) 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

a. 上蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1 - 2005 / 2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(19) 常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ

a. 上蓋

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重並びに余震及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、浸水防止蓋（鋼製部材）が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1 - 2005 / 2007（（社）日本機械学会）」に準じた共用状態 C の許容応力を許容限界として設定する。

(20) 常設代替電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

a. 扉板及び芯材

地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、扉体を構成する鋼製部材が、おおむね弾性状態にとどまることを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—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会、2005 改定）を踏まえて、短期許容応力度として設定する。

b. カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト

地地震後の繰返しの襲来を想定した津波による溢水の浸水時の浸水津波高さに応じた津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，構造部材の健全性を保持する設計とするために，カンヌキ部を構成する鋼製部材が，おおむね弾性状態にとどまることを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－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）を踏まえて，短期許容応力度として設定する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (1/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼製防護壁）	$G + P + P_t + P_c + P_s$ $G + P + P_t + K_{sd} + P_s$	鋼製防護壁	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成24年3月）に基づき，短期許容応力度とする。
		鋼製防護壁アンカー	引張，せん断，引抜き	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成24年3月）及び「鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成15年10月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		地中連続壁基礎	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会 2002年制定），「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成24年3月）」及び「道路土工カルバート工指針（平成21年度版）」（（社）日本道路協会，平成22年3月）に基づき，短期許容応力度とする。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010年11月）」に基づき設定する。
		鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，2005年9月）」，「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010年11月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014年3月）」に基づき設定する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (2/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）	$G+P+P_t+P_c+P_s$ $G+P+P_t+K_{sd}+P_s$	地中連続壁基礎	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。
		鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (3/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鉄筋コンクリート 防潮壁（放水路エリア））	$G + P + P_t + P_c + P_s$ $G + P + P_t + K_{sd} + P_s$	鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		基礎地盤	接地圧	支持機能を喪失する状態	極限支持力とする。*
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (4/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	$G + P_t + P_c + P_s$ $G + P_t + K_{sd} + P_s$	鋼管杭	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づく短期許容応力度とする。
		鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体	せん断	地盤高さの嵩上げ部の底面が滑動に至る状態，上部構造背面の地盤がすべりに至る状態，表層改良体がせん断破壊に至る状態	「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年 6 月）」を考慮し，せん断強度に基づき設定する。
		止水ジョイント部材	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		鋼製アンカー	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。
		鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (5/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）	$G + P_t + P_c + P_s$ $G + P_t + K_{sd} + P_s$	シートパイル	せん断	部材がせん断破壊に至る状態	せん断強度に基づき設定する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (6/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G + P_t + P_c + P_s$ $G + P_t + K_{sd} + P_s$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		扉体（主桁，縦補助桁，端桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		扉体（支圧板）	支圧	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		戸当り（コンクリート）	支圧，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (7/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
防潮扉	$G + P_t + P_c + P_s$ $G + P_t + K_{sd} + P_s$	防潮壁（鋼管杭）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づく短期許容応力度とする。
		防潮壁（鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		防潮壁（基礎地盤）	接地圧	支持機能を喪失する状態	極限支持力とする。*
		防潮壁（止水ジョイント部材）	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格，漏水試験及び変形試験により，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		防潮壁（鋼製アンカー）	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。
		防潮壁（鋼製防護部材）	曲げ，引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (8/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
放水路ゲート	$G + P_t + K_{sd} + P_s$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		扉体（主桁，縦補助桁，端桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		扉体（支圧板）	支圧	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		戸当り（コンクリート）	支圧，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」及び「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成24年3月）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (9/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
構内排水路逆流防止設備	$G + P_t + K_{sd}$	扉体（スキンプレート）	曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		扉体（主桁，補助桁）	曲げ，せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (10/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
貯留堰	$G + P_t + P_c$ $G + K_{sd} + P_t$	鋼管矢板	曲げ, せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	メーカー規格, 漏水試験及び変形試験により, 有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		止水ゴム, 取付部鋼材	曲げ, せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。
		防護材	曲げ, せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。
		防護材, 取付部鋼材	曲げ, せん断	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 24 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (11/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水路点検用 開口部浸水防 止蓋	$D + P_t + S_d + P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1, せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下とする。
		基礎ボルト	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下とする。
海水ポンプ室 ケーブル点検 口浸水防止蓋	$D + P_h + S_d$	浸水防止蓋	曲げ*1, せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下とする。
		基礎ボルト	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下とする。
S A 用海水ピ ット開口部浸 水防止蓋	$D + P_t + S_d$	浸水防止蓋	曲げ*1, せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会, 平成 25 年 6 月）」に基づき, 短期許容応力度とする。
		固定ボルト, ヒンジ	引張, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会, 平成 25 年 6 月）」に基づき, 短期許容応力度とする。

*1 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (12/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋	$D + P_t + S_d$	浸水防止蓋	曲げ*1, せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		固定ボルト	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋	$D + P_t + S_d + P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1, せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		固定ボルト	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。

*1 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (13/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋，緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋	$D + P_h + S_d + P_s$	浸水防止蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
		固定ボルト	引張，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「ダム・堰施設技術基準（案）（基礎解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成25年6月）」に基づき，短期許容応力度とする。
格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ，常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ，常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ	$D + P_h + S_d + P_s$	上蓋	曲げ*1，せん断*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下とする。

*1 応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力についても評価を行う。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (14/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水ポンプグラ ランドドレン 排出口逆止 弁、緊急用海 水ポンプグラ ランドドレン排 出口逆止弁、 緊急用海水ポ ンプ室床ドレ ン排出口逆止 弁	$D + P_t + S_d$	弁本体、フロー トガイド	圧縮、曲げ	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。
		基礎ボルト	引張、せん断	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。
取水ピット空 気抜き配管逆 止弁	$D + P_t + S_d$	弁本体	膜応力	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。
		弁蓋	曲げモーメント	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。
		フロートガイド	圧縮、曲げ	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。
		ボルト	引張、せん断	部材が弾性域に とどまらず塑性 域に入る状態	J S M E に準じて許容状態 C の許容応力以下と する。

表 4.2-1 施設ごとの許容限界 (15/15)

設備名	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
常設代替高圧 電源装置用カ ルバート原子 炉建屋側水密 扉	$D + P_h + S_d$	扉板	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		芯材，カンヌキ受けピン	曲げ，せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		カンヌキ	組合せ*1	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）」を踏まえて，短期許容応力度とする。
		カンヌキ受けボルト	引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「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）」を踏まえて，短期許容応力度とする。

*1 曲げ応力度とせん断応力度の組合せ

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

余震荷重を基に設定した入力地震動に対する評価手法は、以下に示す解析法により、J E A G 4 6 0 1に基づき実施することを基本とする。

- ・ 時刻歴応答解析
- ・ 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

5.1 土木構造物に関する評価式

5.1.1 防潮堤

(1) 評価方針

防護壁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 構造上の特徴の違いから、鋼製防護壁、鉄筋コンクリート防潮壁、鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）及び鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁部に分けて設計を行う。
- 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- 荷重及び荷重の組合せは、津波時及び重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。なお、基準地震動時に防護壁が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には、応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1-1～表 5.1-4 に示す。

表 5.1-1 評価対象部位及び評価内容（鋼製防護壁）

評価部位	評価内容
鋼製防護壁	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
鋼製防護壁アンカー	引張，せん断，引抜き
地中連続壁基礎	曲げ，せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断

表 5.1-2 評価対象部位及び評価内容（鉄筋コンクリート防潮壁）

評価部位	評価内容
鉄筋コンクリート防潮壁	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
地中連続壁基礎	曲げ，せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断

表 5.1-3 評価対象部位及び評価内容（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））

評価部位	評価内容
鉄筋コンクリート	曲げ，せん断
基礎地盤	接地圧
止水ジョイント部材	変形

表 5.1-4 評価対象部位及び評価内容（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

評価部位	評価内容
鋼管杭	曲げ，せん断
鉄筋コンクリート	曲げ，せん断
地盤高さの嵩上げ部（改良体）及び表層改良体	せん断
止水ジョイント部材	変形
鋼製アンカー	引張，せん断
鋼製防護部材	曲げ，引張，せん断
シートパイル	せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付資料 V-3-別添 3-2「防潮堤の強度計算書」に示す。

5.1.2 防潮扉

(1) 評価方針

防潮扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，津波時及び重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。なお，基準地震動時に貯留堰が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には，

応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1-5 に示す。

表 5.1-5 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断
扉体（支圧板）	支圧
戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮
戸当り（鉄筋コンクリート）	支圧，せん断
防潮壁（鋼管杭）	曲げ，せん断
防潮壁（鉄筋コンクリート）	曲げ，せん断
防潮壁（基礎地盤）	せん断
防潮壁（止水ジョイント部材）	変形
防潮壁（鋼製アンカー）	引張，せん断
防潮壁（鋼製防護部材）	曲げ，引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付資料 V-3-別添 3-2 「防潮堤の強度計算書」に示す。

5.1.3 放水路ゲート

(1) 評価方針

放水路ゲートの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1-6 に示す。

表 5.1-6 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断
扉体（支圧板）	支圧
戸当り（鋼材）	曲げ，圧縮
戸当り（鉄筋コンクリート）	支圧，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-3「放水路ゲートの強度計算書」に示す。

5.1.4 構内排水路逆流防止設備

(1) 評価方針

放水路ゲートの評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1-7 に示す。

表 5.1-7 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉体（板材）	曲げ
扉体（補強材）	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-4「構内排水路逆流防止設備の強度計算書」に示す。

5.1.5 貯留堰

(1) 評価方針

貯留堰の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、津波時及び重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。なお、基準地震動時に貯留堰が塑性領域にとどまる場合や残留変形が残る場合には、応力・変形を引き継いで強度評価を実施する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.1-8 に示す。

表 5.1-8 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼管矢板	曲げ，せん断
止水ゴム	変形
止水ゴム取付鋼材	曲げ，せん断
防護材	曲げ，せん断
防護材取付鋼材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-16「貯留堰の強度計算書」に示す。

5.2 機器・配管系に関する評価式

以下に機器・配管系に関する各強度計算書で用いる強度評価の計算方法を示す。

5.2.1 取水路点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

取水路点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ、せん断
基礎ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-1「取水路点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.2 海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁

(1) 評価方針

海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-2 に示す。

表 5.2-2 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮、曲げ
基礎ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-6-1「海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.3 取水ピット空気抜き配管逆止弁

(1) 評価方針

取水ピット空気抜き配管逆止弁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-3 に示す。

表 5.2-3 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体	膜応力
弁蓋	曲げモーメント
フロートガイド	圧縮、曲げ
ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-6-2「取水ピット空気抜き配管逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.4 海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋

(1) 評価方針

海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-4 に示す。

表 5.2-4 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ、せん断
基礎ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-7「海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.5 S A用海水ピット点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

S A用海水ピット点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-5 に示す。

表 5.2-5 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト及びヒンジ	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-2「S A用海水ピット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.6 緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-6 に示す。

表 5.2-6 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ，せん断
固定ボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-3「緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

ット点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.7 緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-7 に示す。

表 5.2-7 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ、せん断
固定ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-4「緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.8 緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-8 に示す。

表 5.2-8 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ、せん断
固定ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-5「緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.9 緊急用海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁

(1) 評価方針

緊急用海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-9 に示す。

表 5.2-9 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮、曲げ
基礎ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-6-3「緊急用海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.10 緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁

(1) 評価方針

緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-10 に示す。

表 5.2-10 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
基礎ボルト以外	圧縮、曲げ
基礎ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-6-4「緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁の強度計算書」に示す。

5.2.11 放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋

(1) 評価方針

放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-11 に示す。

表 5.2-11 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材及び補強材	曲げ、せん断
固定ボルト	引張、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-5-6「放水路ゲート点検用開口部浸水防止蓋の強度計算書」に示す。

5.2.12 格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ

(1) 評価方針

格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、重畳時を考慮し、評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-12 に示す。

表 5.2-12 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付資料V-3-別添 3-12「格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.13 常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ

(1) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-13 に示す。

表 5.2-13 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付資料V-3-別添 3-14「常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.14 常設低圧代替注水系可搬型ポンプ用水密ハッチ

(1) 評価方針

常設低圧代替注水系格納槽点検可搬型ポンプ用水密ハッチの評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-14 に示す。

表 5.2-14 評価対象部位及び評価内容

評価部位	評価内容
板材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付資料V-3-別添 3-13「常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチの強度計算書」に示す。

5.2.15 常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉

(1) 評価方針

常設代替高圧電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，重畳時を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5.2-15 に示す。

表 5.2-15 評価対象生井及び評価内容

評価部位	評価内容
板材（扉板）	曲げ
カンヌキ等の鋼材	曲げ，せん断
ボルト	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付資料 V-3-別添 3-8 「水密扉の強度計算書」に示す。

6. 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・ コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（（社）日本電気協会）
- ・ 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 JEAC4616-2009（（社）日本電気協会）
- ・ 建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会，2001 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）
- ・ 建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 耐津波設計に係る工認審査ガイド（原子力規制委員会，平成 25 年）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）
- ・ トンネル標準示方書〔〔共通編〕・同解説／〔開削工法編〕・同解説（（社）土木学会，2016 年制定）
- ・ 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）
- ・ 道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- ・ 鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）
- ・ 道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補－1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 日本工業規格（JIS）
- ・ ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・マニュアル編）（（社）ダム・堰施設技術協会，平成 25 年 6 月）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補含む）） J S M E S N C 1－2005／2007（（社）日本機械学会）

V-3-別添 3-2 防潮堤の強度計算書

V-3-別添 3-2-1 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	14
2.4 適用規格	17
3. 強度評価方法	18
3.1 記号の定義	18
3.2 評価対象断面及び部位	20
3.3 荷重及び荷重の組合せ	24
3.4 解析モデル及び諸元	26
3.5 許容限界	30
3.6 評価方法	33

1. 概要

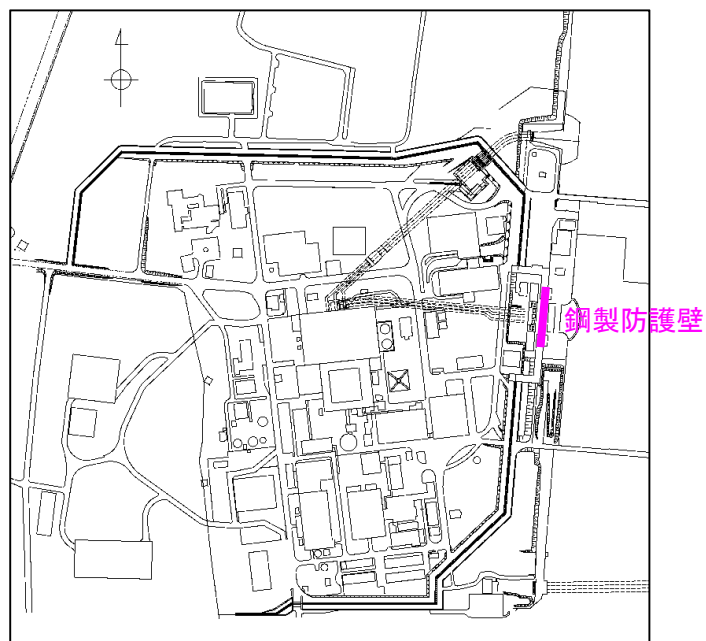
本資料は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、鋼製防護壁が繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重や余震荷重等に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

2. 基本方針

鉄筋コンクリート防潮壁の検討対象断面位置は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す「3.2 機能維持の方針」を踏まえて選定する。鋼製防護壁の「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

鋼製防護壁の位置図を第2-1図に示す。



第2-1図 鋼製防護壁位置図

2.2 構造概要

鋼製防護壁は、幅約 81 m、高さ約 17 m、奥行き約 5 m の鋼製の構造物であり、幅約 50 m の取水構造物を横断し、取水構造物の側方の地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。鋼製防護壁周辺の地盤は新第三系の岩盤上面が南側から北側に傾斜し、その上部に第四系の地質が堆積しているため、第四系の地層は北側で厚く分布している。

鋼製防護壁の検討対象位置平面図を第 2-2 図に、構造概要図を第 2-3 図に、構造図を第 2-4 図に示す。

鋼製防護壁は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、施工性を考慮して分割したブロックの集合体として全体を構成する。各ブロックは添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合する。

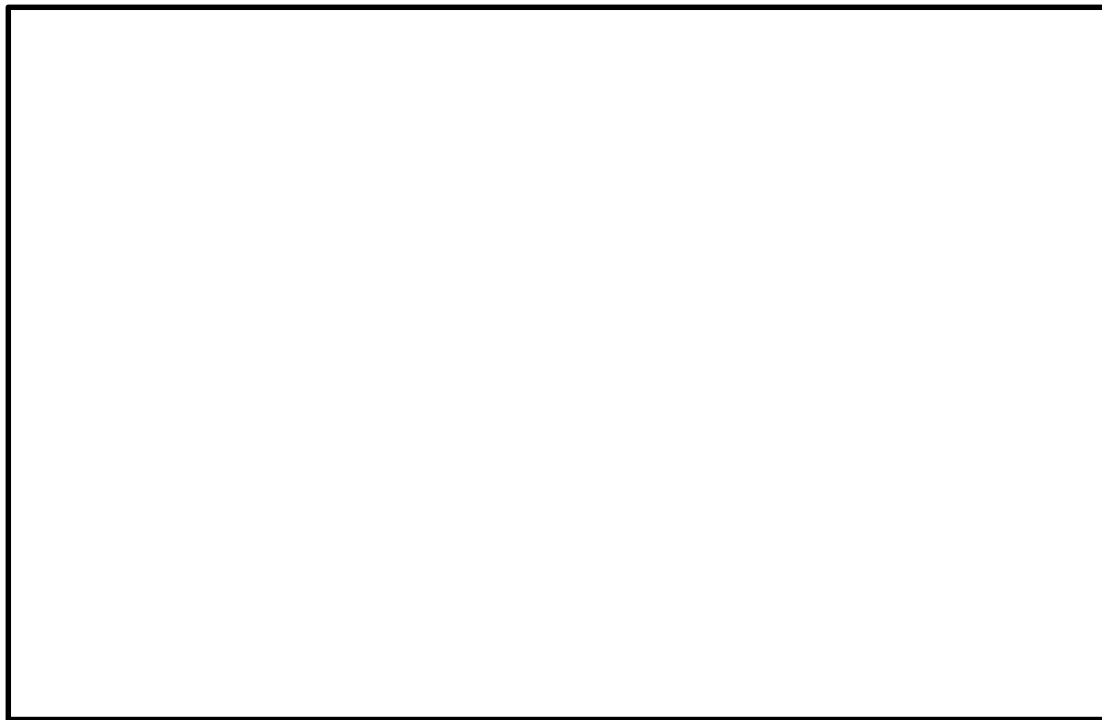
基礎部は、第 2-5 図に示すとおり、南北両側に配置した地中連続壁基礎にて構成され、津波荷重等を受ける鋼製防護壁を支持する。地中連続壁基礎の内側には中実鉄筋コンクリートを充填し、地中連続壁基礎と中実鉄筋コンクリートはジベル筋等により一体化し、両者で発生断面力を負担する。

第 2-6 図に鋼製防護壁の構造イメージを示す。鋼製防護壁は、下端標高 T.P. +3.20 m から天端標高 T.P. +20.0 m までを頂部鋼板を含めて 10 層の水平隔壁に分割した構造とし、法線、法線直交方向の鉛直隔壁並びに外面鋼板とで構成される。各層は、第 2-6 図に示すブロックが複数結合された構造である。

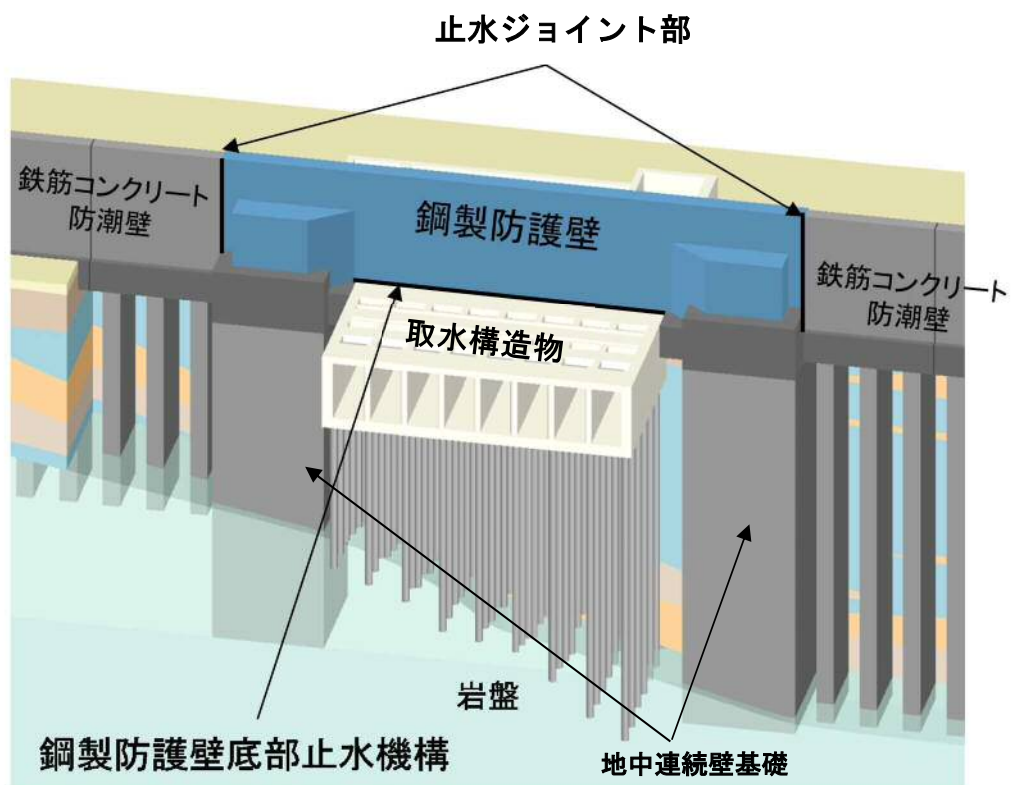
鋼製防護壁と地中連続壁基礎とは鋼製防護壁アンカーによって剛結合され、上部工からの軸力と水平軸回りの曲げモーメントを引抜き力、押込力として基礎上部の頂版鉄筋コンクリートに伝達することで一体構造として挙動する。鋼製防護壁の基礎直上は第 2-7 図に示すとおり、鋼殻内に必要な高さまで中詰め鉄筋コンクリートを打設して鋼殻と一体化し、鋼製防護壁アンカーへの確実な荷重伝達を図る。

鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部イメージ図を第 2-8 図に、結合部構造図を第 2-9 図に示す。

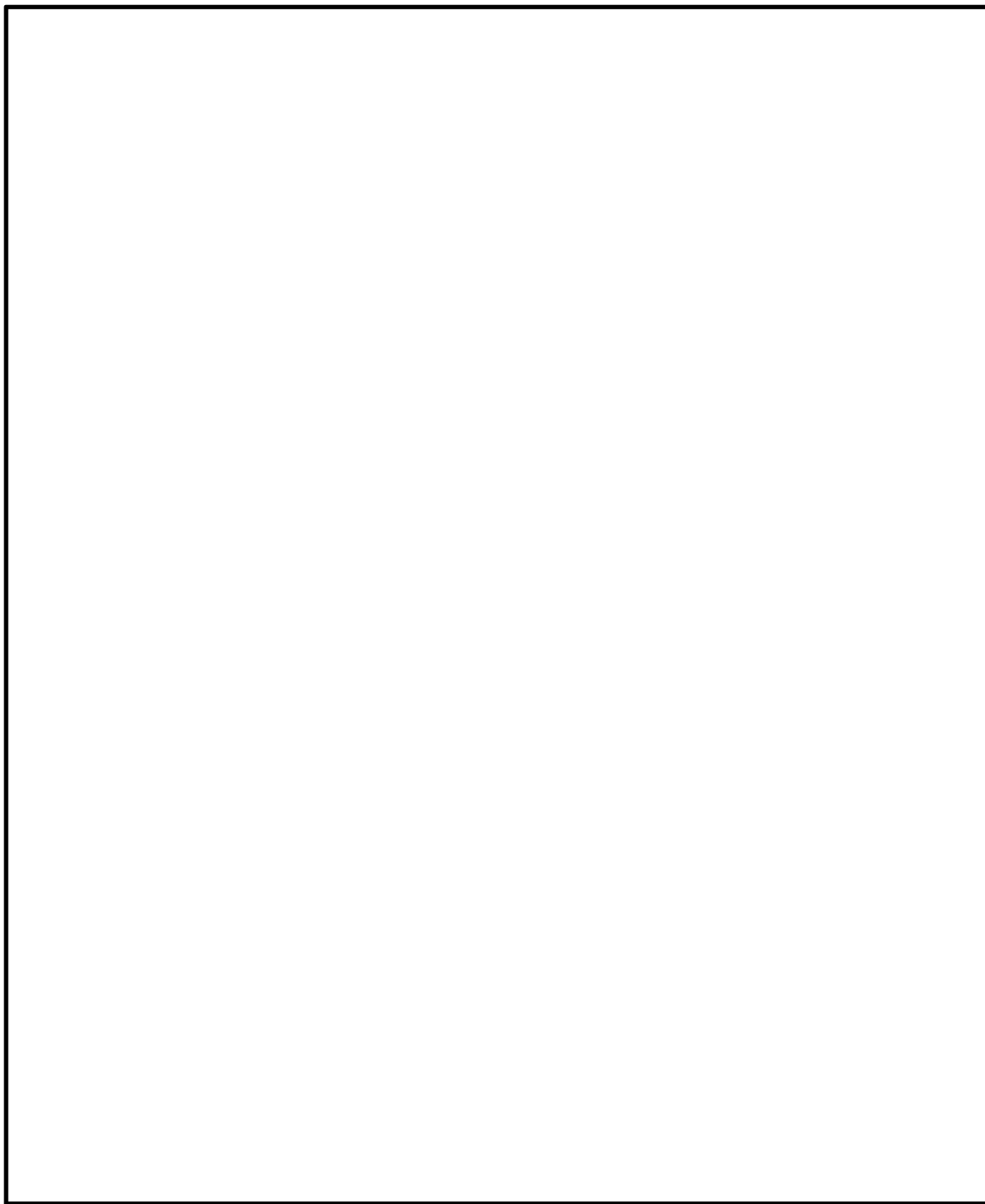
また、鋼製防護壁と鉄筋コンクリート防潮壁との境界部に止水性維持のために止水ジョイント部を設置する。鋼製防護壁の底面と既設取水構造物との境界部には、止水性維持のために止水機構を設置する。



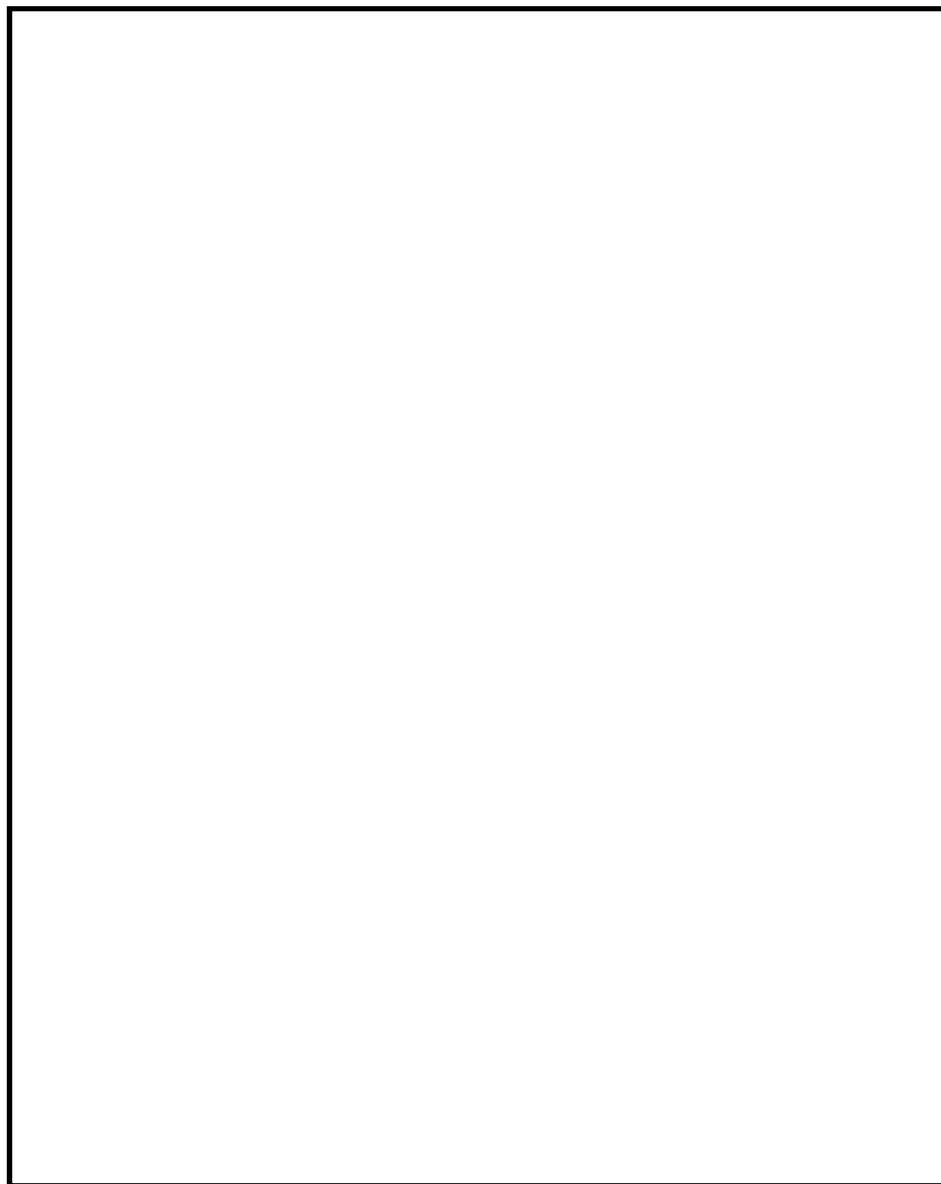
第 2-2 図 鋼製防護壁 検討対象位置平面図



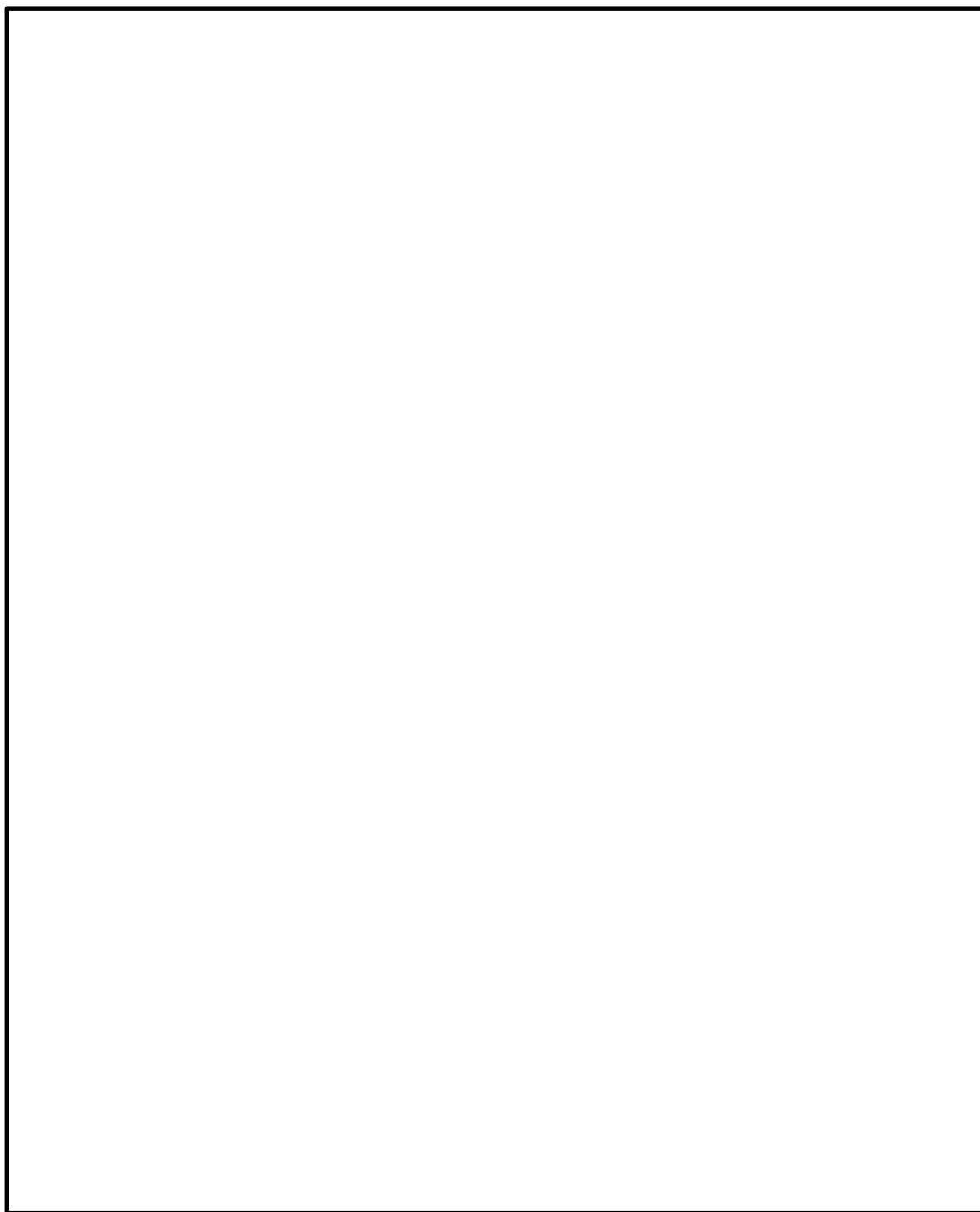
第 2-3 図 鋼製防護壁の構造概要図



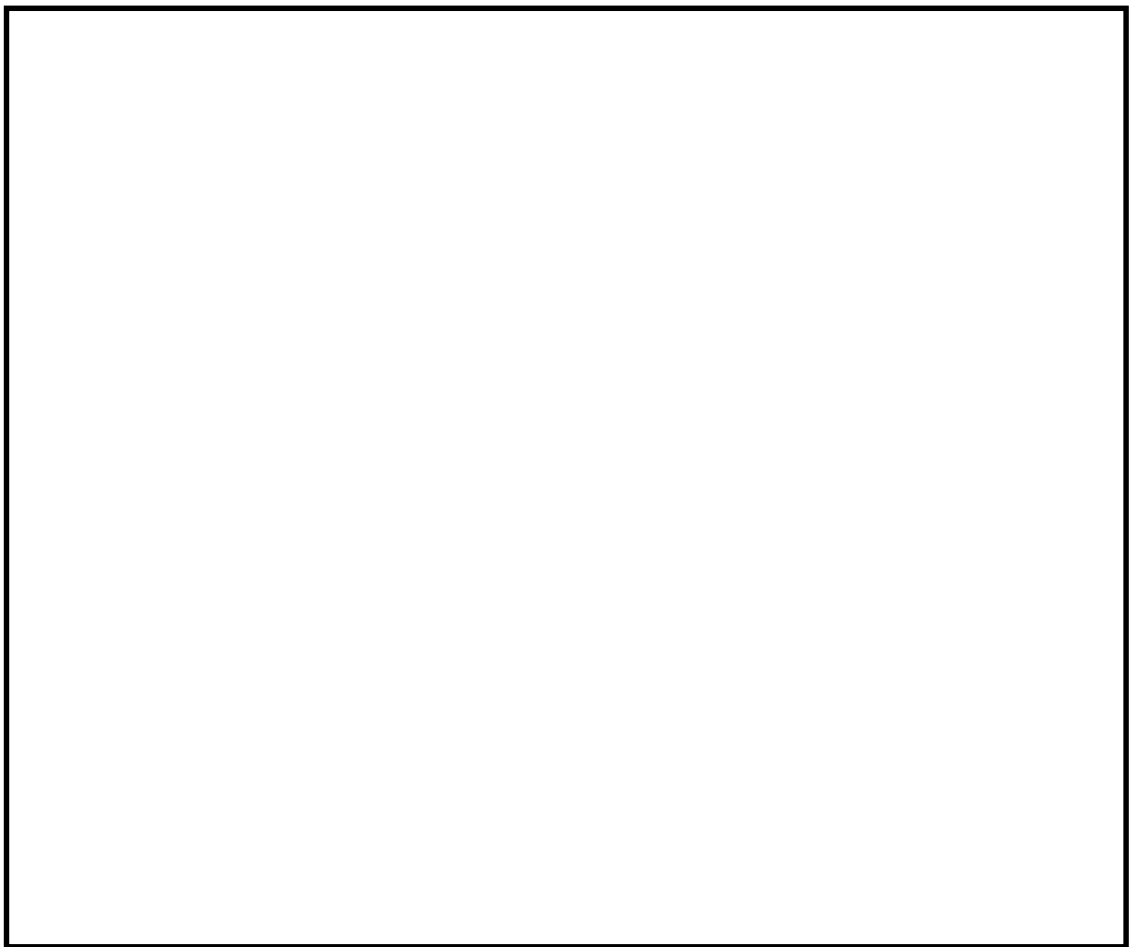
第 2-4 図 鋼製防護壁構造図



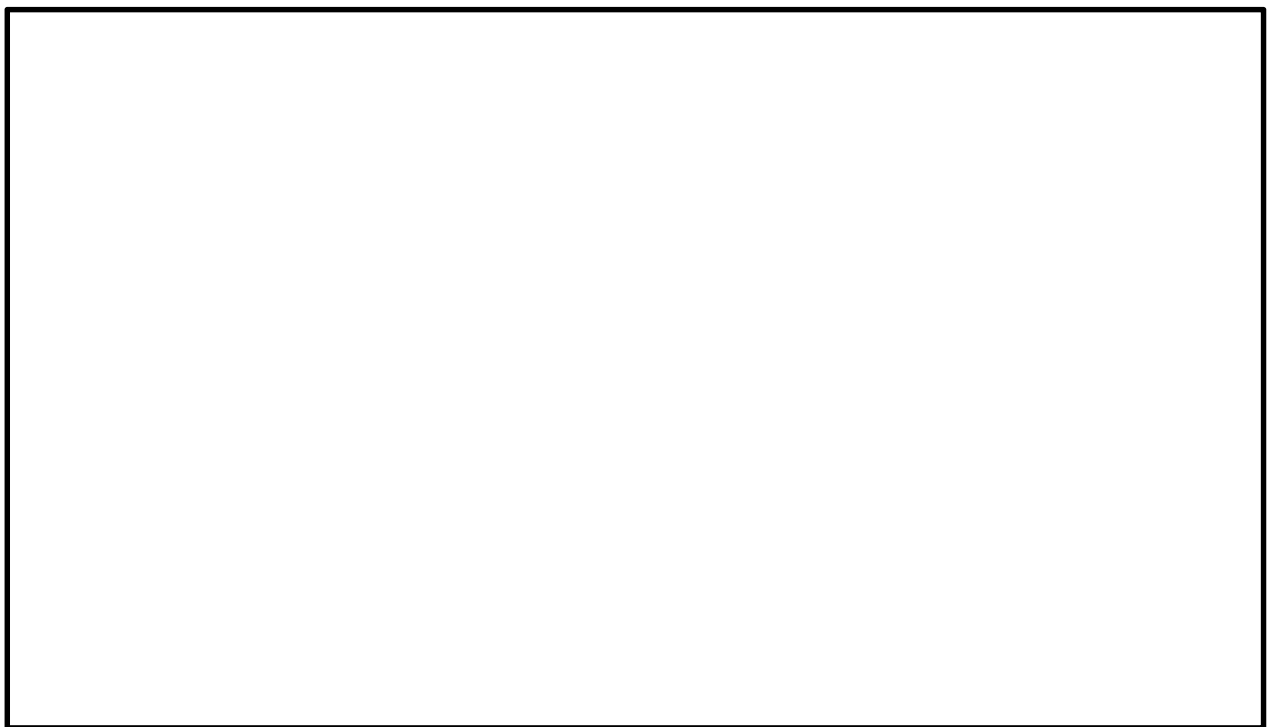
第 2-5 図 鋼製防護壁全体の構造イメージ図



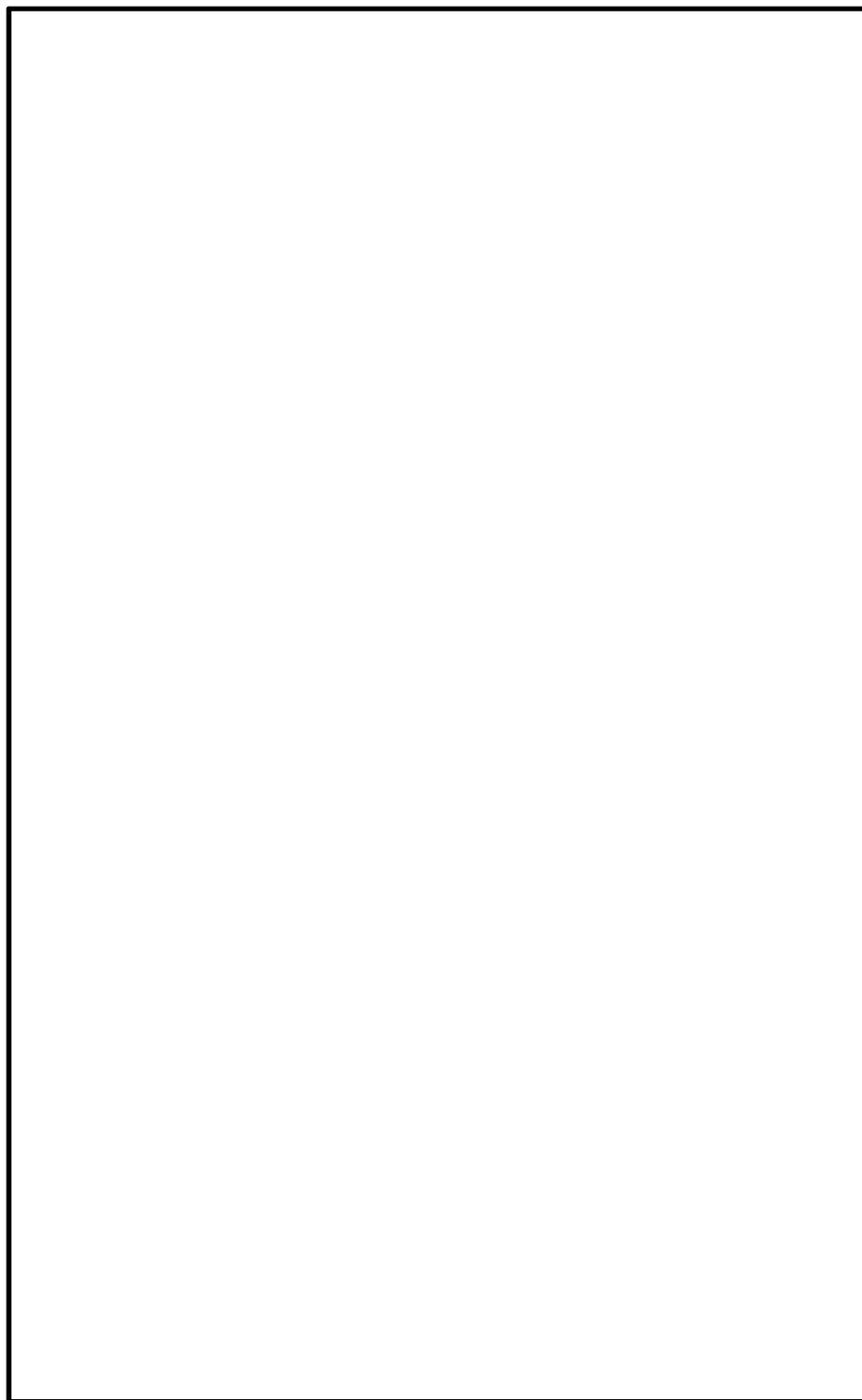
第 2-6 図 鋼製防護壁上部工の構造イメージ図



第 2-7 (1) 図 鋼製防護壁の全体構成図



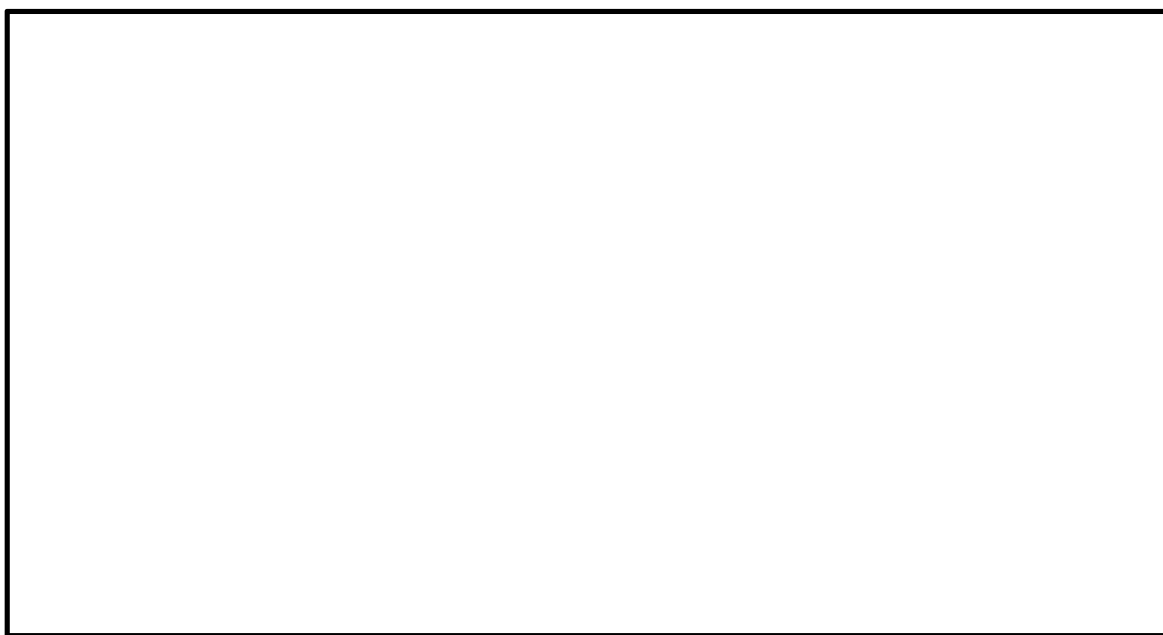
第 2-7 (2) 図 鋼製防護壁（地中連続壁基礎）の構成図



第 2-8 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部イメージ図



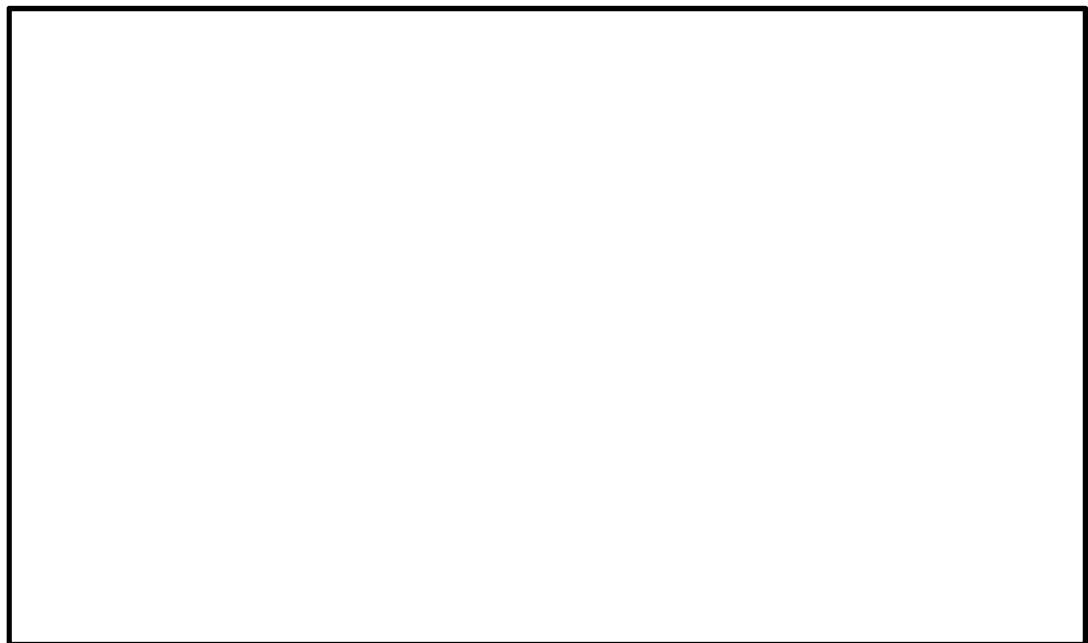
第 2-9 (1) 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図 (A-A 断面)



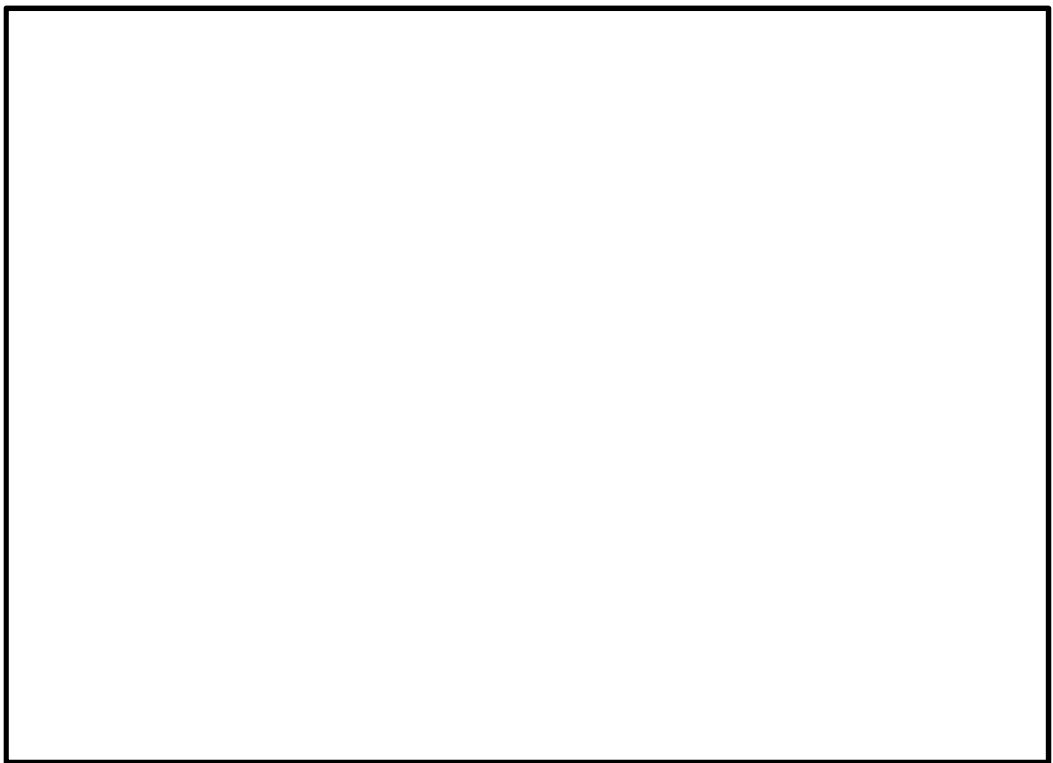
第 2-9 (2) 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図 (B-B 断面)



第 2-9 (3) 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図 (C-C 断面)



第 2-9 (4) 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図 (D-D 断面)



第 2-9 (5) 図 鋼製防護壁と地中連続壁基礎との結合部構造図 (E-E 断面)

2.3 評価方針

防潮堤（鋼製防護壁）は、Sクラス施設である浸水防護施設に分類される。

鋼製防護壁の強度評価は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ、並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「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評価し、「5. 強度評価結果」より、鋼製防護壁の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

鋼製防護壁の耐震評価項目を第2-1表に、強度評価フローを第2-10図に示す。

鋼製防護壁の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下、「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下、「重畳時」という。）について行う。

鋼製防護壁は、上部工（鋼製防護壁）と下部工（地中連続壁基礎）が鋼製防護壁アンカーによって結合され、上部工からの軸力と水平軸回りのモーメントを引抜き力、押込み力として基礎上部の頂版コンクリートに伝達することで上下部工が一体構造として挙動するため、上部工と下部工を一体とした3次元モデルで強度評価を行なう。地中連続壁基礎をはり要素、鋼製防護壁を格子状の梁要素でモデル化する。

鋼製防護壁の強度評価は、設計基準対象施設として第2-1表の鋼製防護壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

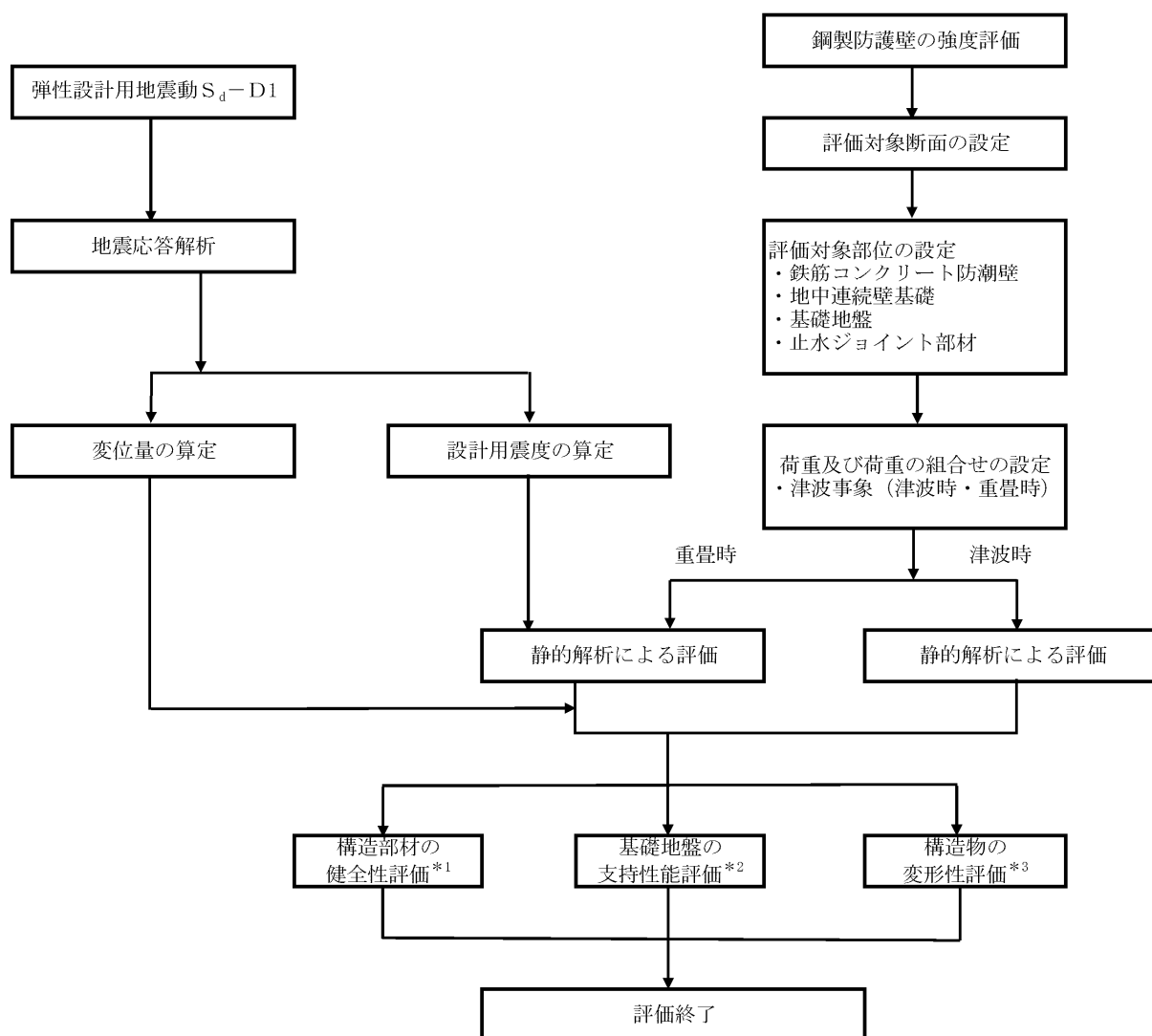
構造物の変形性評価については、止水ジョイント部材の変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_d-D1 を1次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

第2-1表 鋼製防護壁の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構 造 部 材 の健全性	鋼製防護壁	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		地中連続壁基礎	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製アンカー	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護部材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基 礎 地 盤 の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	構 造 部 材 の健全性	地中連続壁基礎	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護壁アンカー	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製アンカー	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		鋼製防護部材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基 礎 地 盤 の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記 *：妥当な安全余裕を考慮する。



注記 *1：構造部材の健全性評価を実施することで、第 2-1 表に示す「構造強度を有すること」及び「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

*2：基礎地盤の支持性能評価を実施することで、第 2-1 表に示す「構造強度を有すること」及び「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

*3：構造物の変形性評価を実施することで、第 2-1 表に示す「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

第 2-10 図 鋼製防護壁の耐津波評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002 年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅱ 鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- ・道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）
- ・道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）
- ・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）
- ・鋼構造物設計基準（Ⅱ 鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）
- ・津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）
- ・建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 (1) 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
G	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P_s	kN	積雪荷重
P_t	kN/m^2	遡上津波荷重
P_c	kN	衝突荷重
K_{Sd}	kN	余震荷重
P_d	kN/m^2	動水圧
B	m	地中連続壁基礎の前面幅
D	m	地中連続壁基礎の側面幅
γ	kN/m^3	単位体積重量
P_{n1}	kN/m^2	最大津波波圧（地表面の津波波圧）
P_{n2}	kN/m^2	壁天端の津波波圧
σ_{ca}	N/mm^2	コンクリートの許容曲げ圧縮応力度
τ_{a1}	N/mm^2	コンクリートの許容せん断応力度
σ_{ca}'	N/mm^2	コンクリートの許容支圧応力度
σ_c	N/mm^2	コンクリートの圧縮応力度
σ_{sa}	N/mm^2	鋼材の許容曲げ圧縮応力度
τ_{sa}	N/mm^2	鋼材の許容せん断応力度
σ_s	N/mm^2	鋼材の曲げモーメント及び軸力による応力
τ	N/mm^2	鋼材のせん断応力
M	$\text{N}\cdot\text{mm}$	最大曲げモーメント
N	N	軸力
S	kN	せん断力
Z	mm^3	断面係数
A	mm^2	有効断面積
N_u	kN	座屈耐力

第3-1表 (2) 強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
f'_{ck}	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
σ_y	N/mm^2	鋼材の基準降伏点
t	mm	鋼板の厚さ
b	mm	鋼板のフランジ幅
h	mm	鋼部材の高さ
E_c	kN/mm^2	コンクリートのヤング係数
E_s	kN/mm^2	鋼材のヤング係数
F_s	—	安全率
u	kN/m^2	平均過剰間隙水圧
w	kN/m^2	土の有効重量
γ'	kN/m^3	土の水中単位体積重量
l	m	浸透流路長
h_w	m	水面から掘削底面までの高さ (水位差)

3.2 評価対象断面及び部位

鋼製防護壁の評価対象断面は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象断面を踏まえて設定する。

評価対象断面は、鋼製防護壁の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。第 3-1 図に評価対象断面位置図を、第 3-2 図に評価対象の断面図を示す。

(1) 構造部材の健全性

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、鋼製防護壁、地中連続壁基礎を連結する鋼製防護壁アンカー及び地中連続壁基礎の各鉄筋コンクリート部材について設定する。

(2) 基礎地盤の支持性能

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鋼製防護壁の下部工となる地中連続壁基礎を支持する基礎地盤とする。

(3) 止水ジョイント部材

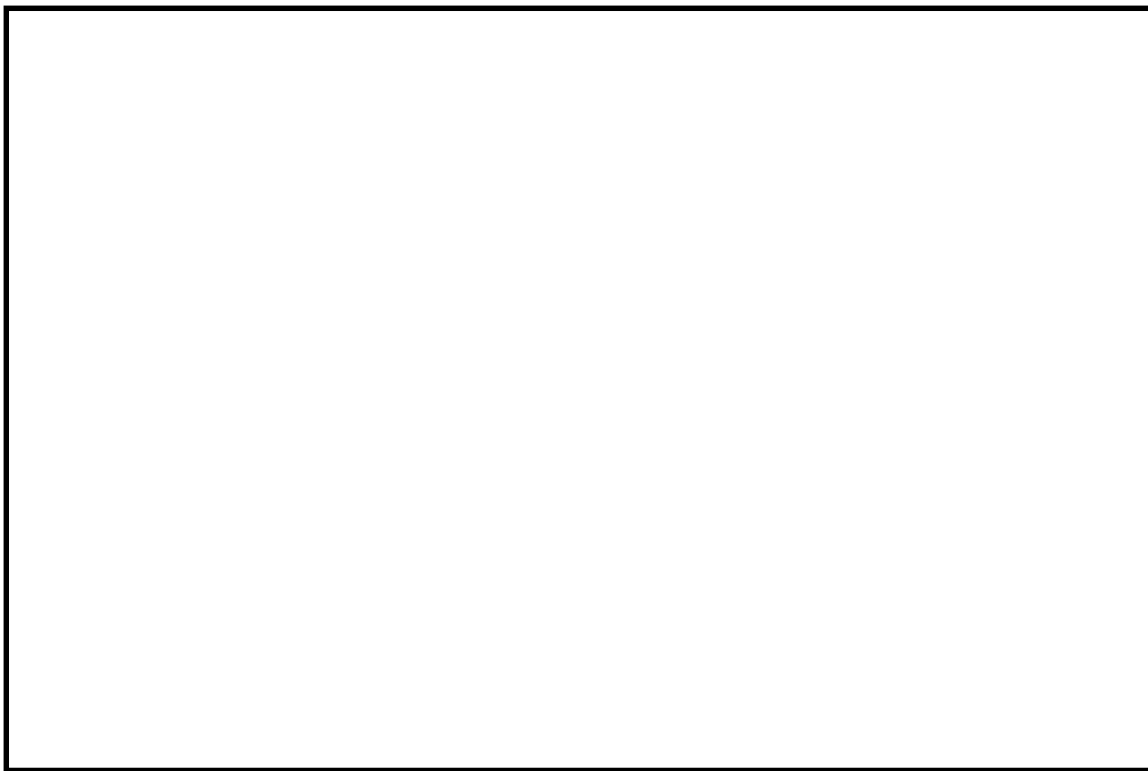
止水ジョイント部材の評価対象部位は、構造物間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントとする。

(4) 鋼製アンカー

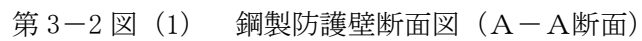
鋼製アンカーの評価対象部位は、止水ジョイント部材の取り付け部の鋼製アンカーとする。

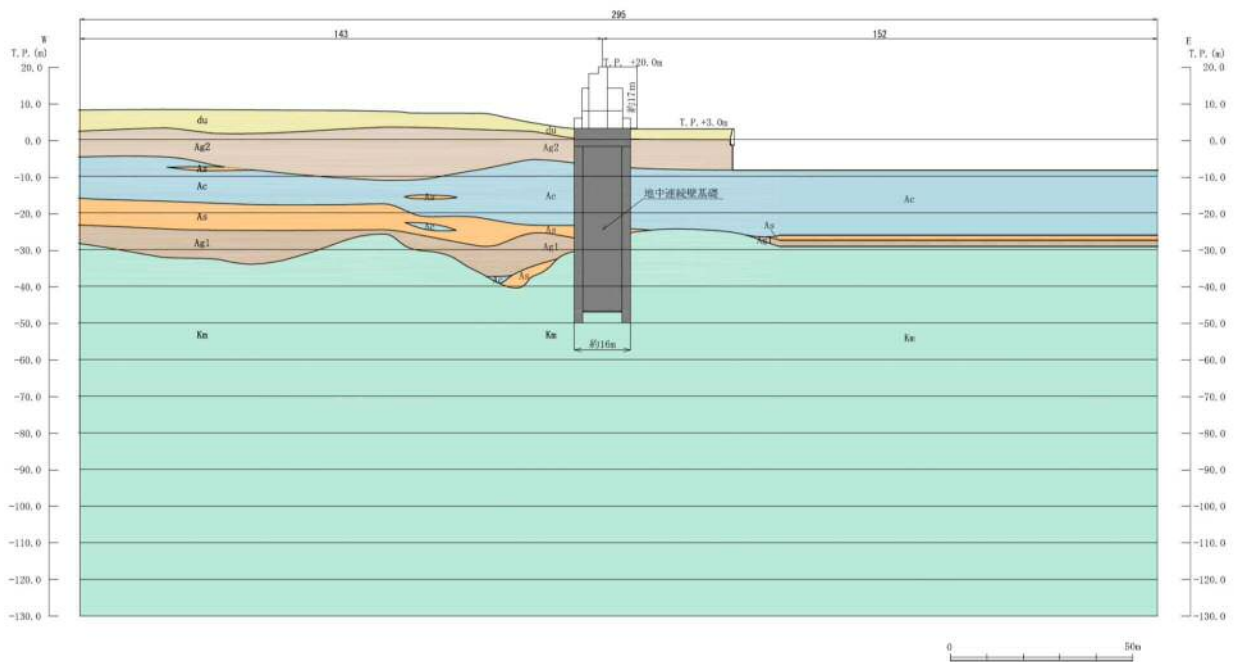
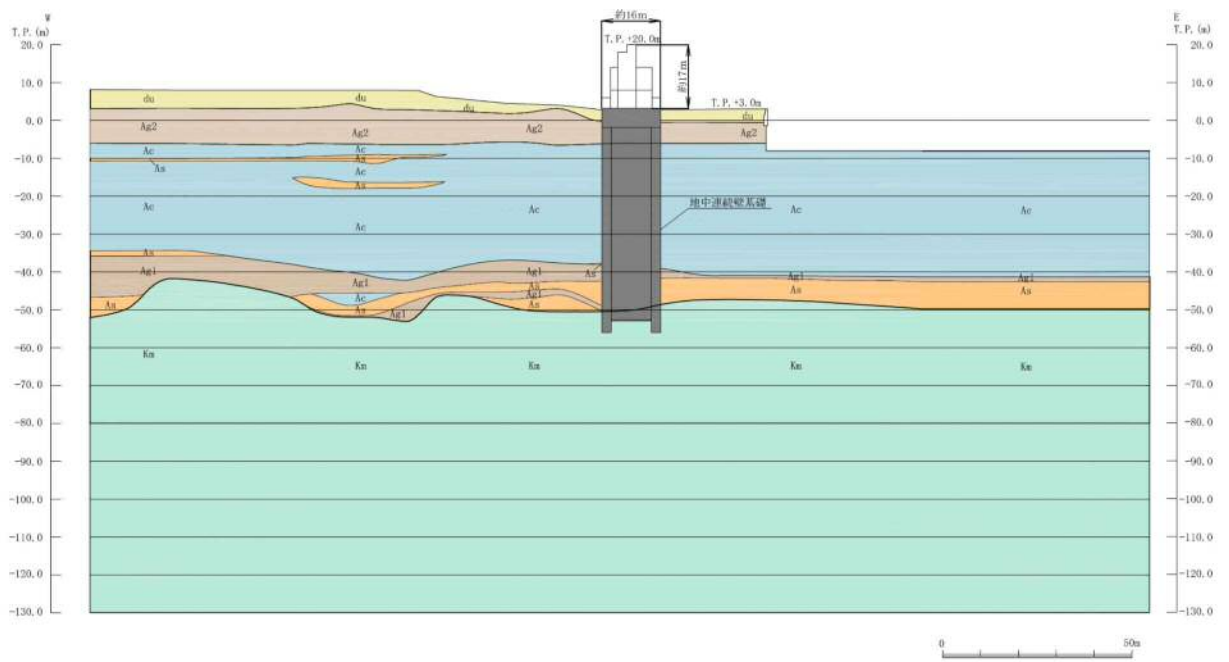
(5) 鋼製防護部材

鋼製防護部材の評価対象部位は、止水ジョイント部材を防護する鋼製防護部材とする。



第 3-1 図 鋼製防護壁の検討対象断面位置





3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 荷重

鉄筋コンクリート防潮壁の強度評価において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、機器及び配管荷重を考慮する。

(3) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重については、防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤設置地盤標高の差分の $3/2$ 倍を考慮して算定する。

(4) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d -D1 による地震力及び動水圧を考慮する。

重畳時は、余震荷重 (K_{sd}) として水平慣性力及び鉛直慣性力を考慮する。地表面の最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し、積雪荷重に対応する慣性力を作用させる。

(5) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重として、総排水トン 15 t の漁船の衝突を考慮する。

(6) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、30 cm の積雪を考慮する。

(7) 風荷重 (P_k)

津波荷重作用時には風荷重の受圧面が存在しないため、津波荷重作用側には風荷重を考慮しない。また津波の作用方向と逆向きの風荷重は、保守的に考慮しない。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 3-1 表に示す。強度評価に用いる荷重組合せは津波時及び重畳時に区分する。

第 3-1 表 荷重の組合せ

区分	荷重の組み合わせ
津波時	$G + P + P_t + P_c + P_s$
重畳時	$G + P + P_t + K_{sd} + P_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_t : 遡上津波荷重

K_{sd} : 余震荷重

P_c : 衝突荷重

P_s : 積雪荷重

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 鋼製防護壁のモデル化

鋼製防護壁は、上部工(鋼製防護壁)と下部工(地中連続壁基礎)が鋼製防護壁アンカーによって結合され、上部工からの軸力と水平軸回りのモーメントを引抜き力、押込み力として基礎上部の頂版鉄筋コンクリートに伝達することで上下部工が一体構造として挙動するため、上部工と下部工を一体としたフレーム解析モデル及び地震応答解析モデルで強度評価を行なう。3次元フレーム解析モデルにおける鋼製防護壁上部工のモデル化イメージ図を第3-3図に、解析モデル概念図を第3-4図に示す。

(1) 構造物のモデル化

鋼製防護壁は、水平(X方向)隔壁及び鉛直(Z方向)隔壁の交差位置並びに添接板継手位置を節点とし、それらを結合した線形はり要素で構成される格子モデルによりモデル化する。モデル化のイメージ図を第3-3図に示す。

- i) 主桁部材(水平方向)は、外壁鋼板をフランジ、水平(X方向)隔壁をウェブとみなしたI断面とする(第3-3図の青色表示部分)。
- ii) 横桁部材(鉛直方向)は、外壁鋼板をフランジ、鉛直(Z方向)隔壁をウェブとみなしたI断面とする(第3-3図の赤色表示部分)。
- iii) ねじれ剛性は、外面鋼板が連続していることから、箱断面として算出したねじれ剛性を両部材に考慮する。

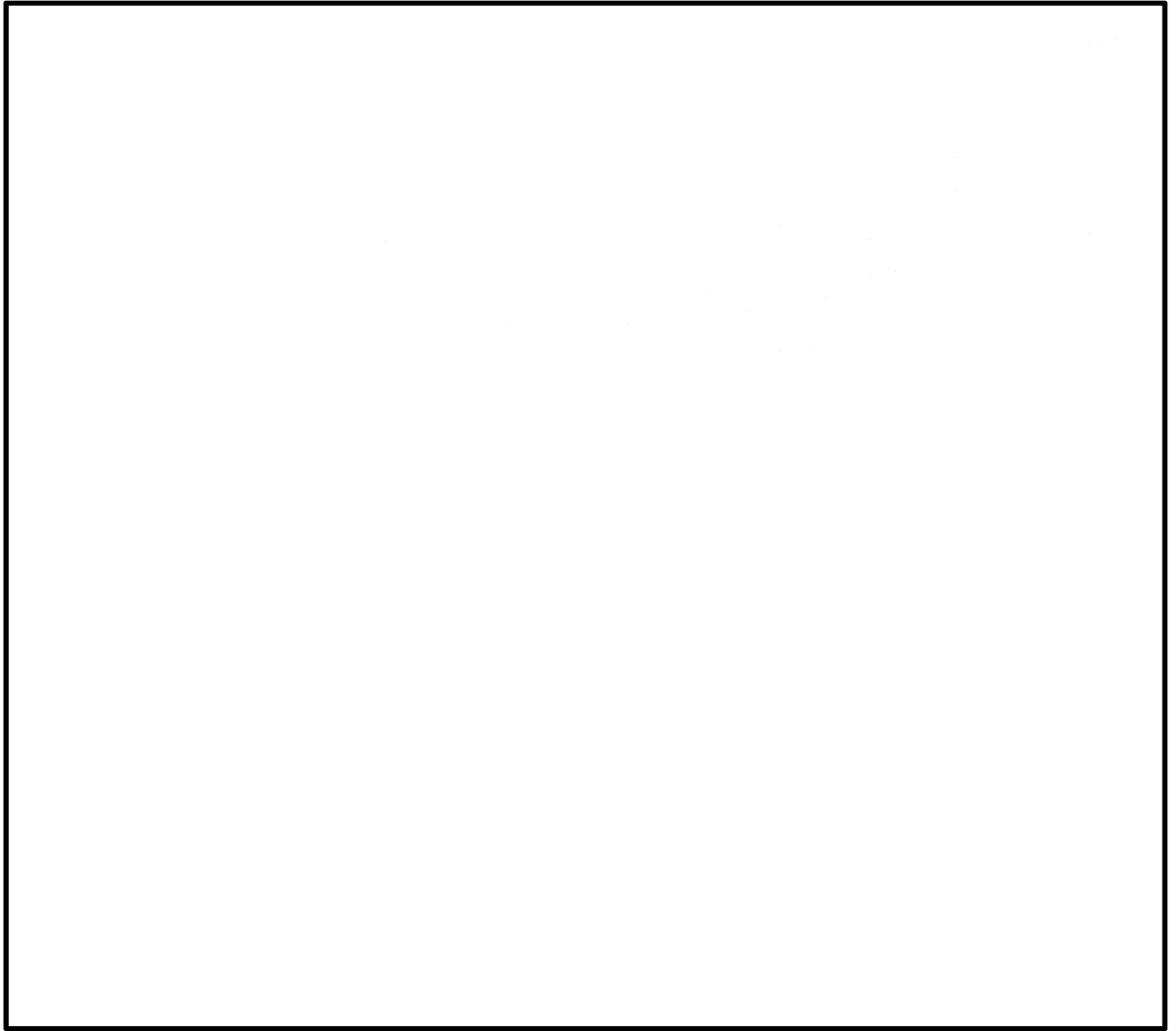
一方、地中連続壁基礎は、線形はり要素でモデル化する。

上部工と下部工を一体とした3次元モデル概念図を第3-4図の(a)(津波時)及び第3-4図の(b)(重畳時)に示す。

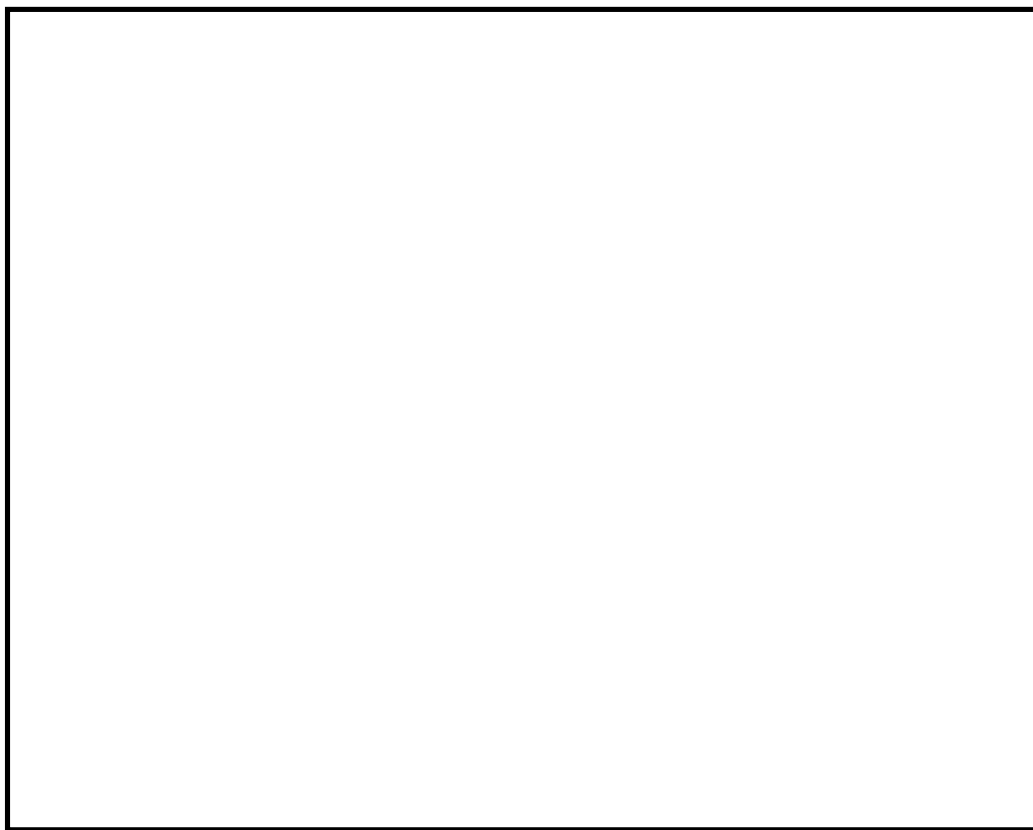
(2) 地盤のモデル化

フレーム解析モデルにおいて、地盤は、非線形バネ要素でモデル化する。

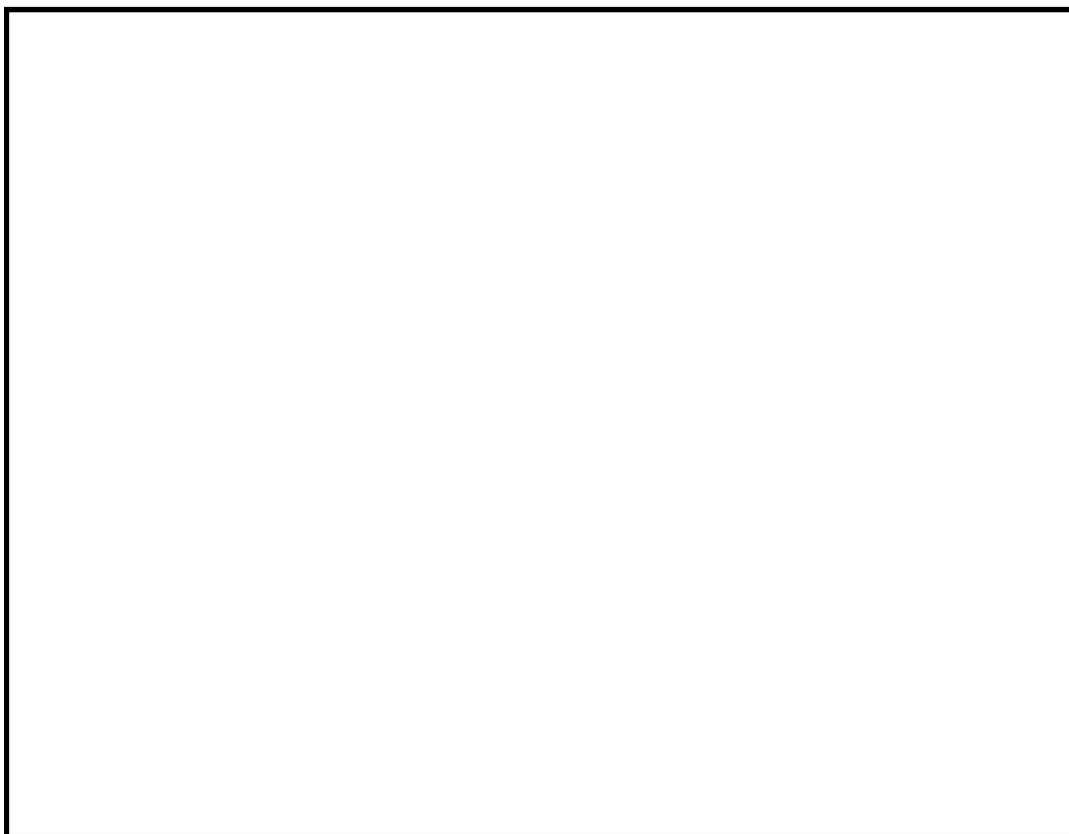
地震応答解析モデルにおいて、地盤は、剛性と減衰の非線形特性を考慮してモデル化する。



第 3-3 図 鋼製防護壁上部工のモデル化イメージ図



(a) 津波時の解析モデル概念図



(b) 重畳時の解析モデル概念図

第 3-4 図 鋼製防護壁の津波時及び重畳時の 3 次元フレームモデル概念図

3.4.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を第3-2表に、材料の物性値を第3-3表に示す。

第3-2表 使用材料

材料		諸元
コンクリート	頂版コンクリート (鉄筋コンクリート)	設計基準強度 50 N/mm ²
	中詰コンクリート (鉄筋コンクリート)	
	地中連続壁基礎 中実コンクリート (鉄筋コンクリート)	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋		SD345, SD390, SD490
鋼材	鋼製防護壁	SS400, SM400, SM490 SM490Y, SM570

第3-3表 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋 コンクリート	設計基準強度 50 N/mm ²	24.5	3.3×10^4	0.2
	設計基準強度 40 N/mm ²	24.5	3.1×10^4	0.2
鋼材	SS400, SM400 SM490, SM490Y SM570	77.0	2.05×10^5	0.3

3.4.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5 許容限界

鋼製防護壁の許容限界は、「3.2 評価対象断面」にて設定した評価対象断面の機能損傷モードを考慮し、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 鉄筋コンクリートの許容限界

許容応力度については、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002 年制定），「道路橋示方書（Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）及び「道路土工カルバート工指針（平成 21 年度版）」（（社）日本道路協会，平成 22 年 3 月）に基づき第 3-4 表のとおり設定する。短期許容応力度は，基準津波時におけるコンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。また，T.P. +24m 津波時はコンクリートの許容応力度に対して 2.0 倍，鉄筋の許容応力度に対して 1.65 倍の割増しを考慮する。

第 3-4 表 許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)	
			基準津波	T.P. +24m 津波
コンクリート	$f'_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	24.0	32.0
		許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*	1.1*
	$f'_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21.0	28.0
		許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*	1.1*
鉄筋	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	294	323.4
	SD390	許容引張応力度 σ_{sa}	309	339.9
	SD490	許容引張応力度 σ_{sa}	435	478.5

注記 *：斜め引張鉄筋を考慮する場合は，「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002 年制定）」に準拠し，次式により求められる許容せん断力（ V_a ）を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : $1/1.15$

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積
 σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度
 s : 斜め引張鉄筋間隔

(2) 鋼製防護壁の許容限界

鋼製防護壁で使用する鋼材の許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）「鋼構造物設計基準（Ⅱ鋼製橋脚編，名古屋高速道路公社，平成 15 年 10 月）」に基づき第 3-5 表のとおり設定する。

第 3-5 表 許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)	
			基準津波	T.P. + 24m 津波
鋼材	SS400	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	210*	238*
		許容せん断応力度 τ_{sa}	120*	136*
	SM490	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	277.5*	314.5*
		許容せん断応力度 τ_{sa}	157.5*	178.5*
	SM490Y	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	315*	357*
		許容せん断応力度 τ_{sa}	180*	204*
	SM570	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	382.5*	433.5*
		許容せん断応力度 τ_{sa}	217.5*	246.5*

注記 *：板厚 40mm 以下の値を示す。

板厚が 40mm を超える場合は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）3.2.1，3.2.3，15.3 に示される許容応力度を用いる。

(3) 基礎地盤の支持性能評価における許容限界

基礎地盤の支持性能については，構造物の接地圧が基礎地盤の極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の極限支持力は，「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説」（（社）日本道路協会，平成 24 年 3 月）による評価値とし，資料 V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき算定する。

(4) 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は，メーカー規格，漏水試験及び変形試験により有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。第 3-6 表に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

第3-6表 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目		許容限界
止水ジョイント 部材	ゴムジョイント	水平：200 mm，鉛直：200 mm，軸直角：200 mm
	シートジョイント	防潮壁天端相対変位：2 m

(5) 鋼製アンカー

鋼製アンカーの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）」に基づく短期許容応力度とする。

(6) 鋼製防護部材

鋼製防護部材の許容限界は，「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年9月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014年3月）」に基づき設定する。

3.6 評価方法

鋼製防護壁の評価方法は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水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」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

鋼製防護壁の強度評価は、解析結果により得られる照査用応答値が「3.5 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(1) 津波時

a. 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、上部工と下部工を一体とし、地盤バネを設定した3次元フレーム解析モデルに津波荷重等を載荷して評価する。

b. 鋼製防護壁アンカー

3次元フレーム解析によって得られた断面力を用いて、アンカーの引張力及び鉄筋コンクリートの応力が許容限界以下であることを確認する。

c. 地中連続壁基礎

地中連続壁基礎は、上部工と下部工を一体とし、地盤バネを設定した3次元フレーム解析モデルに津波荷重等を載荷して評価する。

d. 基礎地盤の支持力

地中連続壁基礎底面において基礎地盤に作用する接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

e. 止水ジョイント部材

本震後の津波時における変形量が許容限界以下であることを確認する。

f. 鋼製アンカー

津波荷重が止水ジョイント部材へ載荷された際に、アンカーの引張力及び鉄筋コンクリートの応力が許容限界以下であることを確認する。

g. 鋼製防護部材

鋼製防護部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

(2) 重畳時

a. 地盤応答解析

(a) 解析方法

重畳時の検討で実施する地震応答解析は、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

地震応答解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

イ. 地盤

V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す有効応力解析用地盤物性値に基づき、地盤の有効応力の変化に応じた地震時挙動を考慮できるモデル化とする。

ロ. 減衰特性

時刻歴非線形解析における減衰特性については、固有値解析にて求められる固有振動数に基づく Rayleigh 減衰を考慮する。

(b) 解析モデル及び諸元

イ. 解析モデル

解析モデルは、構造物設置位置の地層構成に基づきモデル化する。

ロ. 地盤の物性値

地盤の物性値は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

(c) 入力地震動

入力地震動は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_d を、1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

入力地震動の算定には、解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

b. 評価方法

(a) 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、上部工と下部工を一体とし、地盤バネを設定した3次元フレーム解析モデルに津波荷重や余震荷重等を考慮して評価する。

(b) 地中連続壁基礎

地盤バネを設定した3次元フレーム解析モデルに津波荷重や余震荷重等を考慮して評価する。

(c) 基礎地盤の支持力

地中連続壁基礎底面において基礎地盤に作用する接地圧が、極限支持力に基づく許容限界値以下であることを確認する。

(d) 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材の重畳時の評価は、本震後の余震と津波の重畳時における変形量が許容限界以下であることを確認する。

(e) 鋼製アンカー

鋼製アンカーの重畳時の評価は「(1) 津波時」と同じ方法により、許容限界以下であることを確認する。

(f) 鋼製防護部材

鋼製防護部材の重畳時の評価は「(1) 津波時」と同じ方法により、許容限界以下であることを確認する。