

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改0
提出年月日	平成30年2月9日

## V-3-別添1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

## 目次

- V-3-別添 1-1 竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針
    - V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
    - V-3-別添 1-1-2 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書
    - 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
    - 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
    - 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
    - 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
    - V-3-別添 1-1-7 排気筒の強度計算書
    - V-3-別添 1-1-8 配管及び弁の強度計算書
    - V-3-別添 1-1-9 換気空調設備の強度計算書
    - V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書
      - V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書
      - V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書
      - V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書
  - V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針
    - V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書
      - V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書
      - V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書
      - V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書
- 
- V-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針
    - V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

----- : 今回ご説明分

## V-3-別添 1-3 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 1-1-3 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 1-1-6 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 1-1-1 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。
窒素供給装置	可搬	○	台	
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
2C 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 1-1-4 で評価
2D 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 1-1-4 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 1-1-4 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。

表 2-2 固縛装置の構成要素

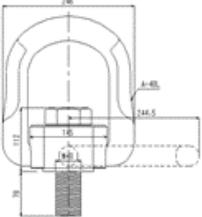
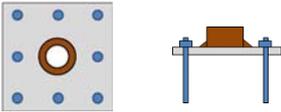
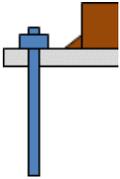
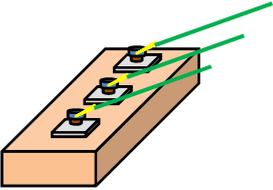
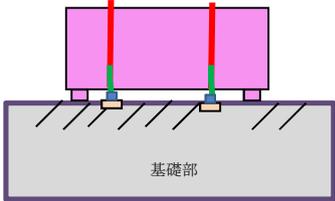
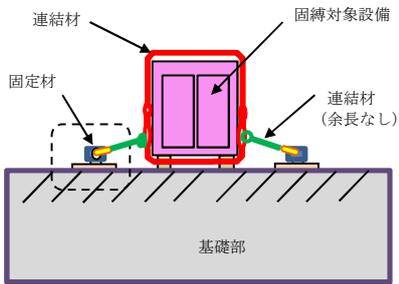
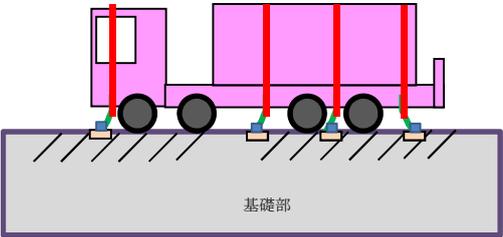
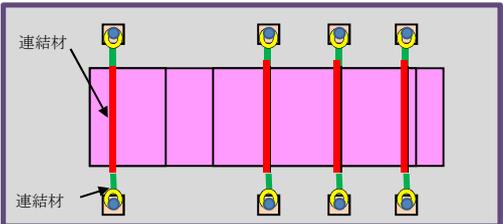
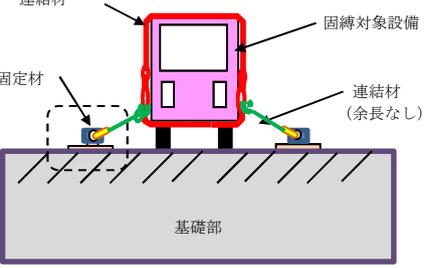
固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	固縛ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ、固縛対象設備を拘束するときに使用する。
固定材	フレノリンクボルト		アンカープレートに取付け、リングの部分に連結材を接続し、固縛対象設備を固縛するときに使用する。
	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノリンクボルトと連結し、固縛対象設備を固縛するときに使用する。
基礎部 (アンカーボルト)	接着系アンカー		固定材 (アンカープレート) と基礎部を定着させるために使用する。
	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により、スラブコンクリートの重量によって、固縛対象設備の浮き上が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	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（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。</p> <p>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。</p> <p>車両型固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	<p>(側面図)</p> <p>(上面図)</p> <p>(正面図)</p>

NT2 補② V-3-別添 1-3 R0

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	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（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。</p> <p>連結材には、余長を設けない設計とする。</p> <p>固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	<p>(固縛対象設備を直接固縛の場合) (コンテナなどの収納設備を固縛の場合)</p>  <p>基礎部</p>  <p>連結材 固縛対象設備 固定材 連結材 (余長なし) 基礎部</p> <p>(運搬車など積載した車両を固縛の場合)</p>  <p>基礎部</p> <p>(側面図)</p>  <p>連結材 連結材</p> <p>(上面図)</p>  <p>連結材 固縛対象設備 固定材 連結材 (余長なし) 基礎部</p> <p>(正面図)</p>

### 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。

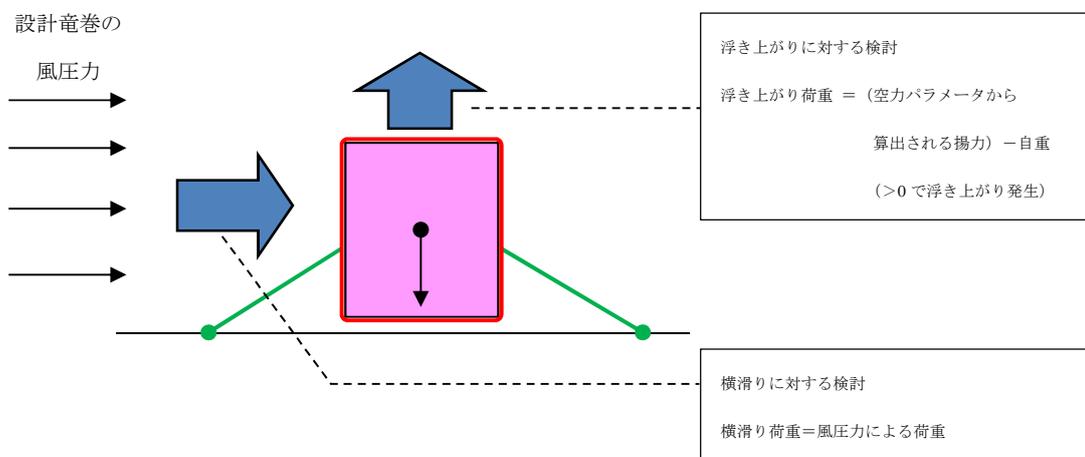


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

#### (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。

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

$\rho$  : 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)

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

$\rho$  : 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)

区分	固縛対象設備 設備名称	保管に関する事項			備考
		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
	窒素供給装置	台	車両搭載型	西側	有
	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
	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
	車両 型 以外	ホース (放水用)	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
		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

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)

区分	固縛対象設備 設備名称	保管に関する事項			備考
		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		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。

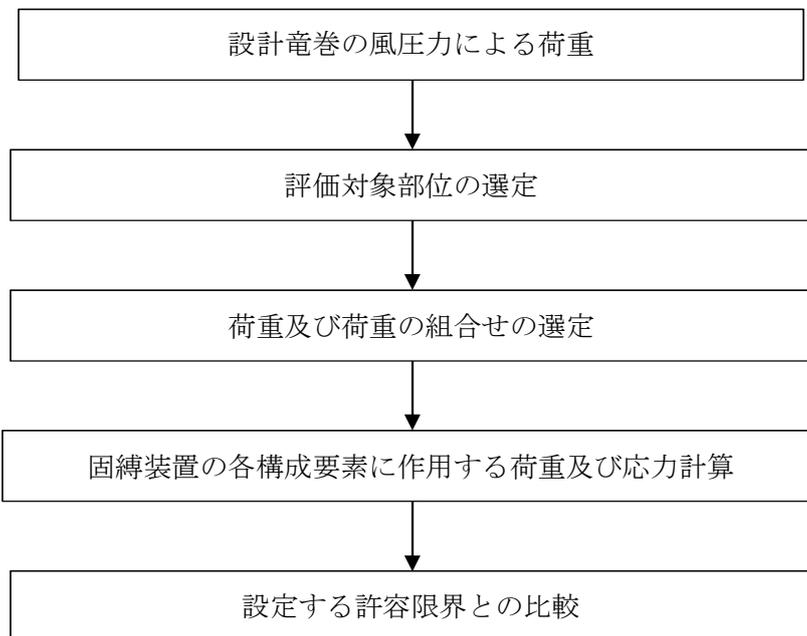


図 4-1 固縛装置の強度評価フロー

## 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
$\theta_v$	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
$\theta_H$	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
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{D_i} (i=1, 2, 3)$	—	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
$\theta_v$	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
$\theta_H$	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
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$C_{D_i} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	$m^2$	固縛対象設備の各面の見付面積
$h$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	$m/s^2$	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$F$	$N/mm^2$	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	$N/mm^2$	検討対象部材の降伏応力度で、基準強度 $F$ 値を 1.1 倍した値
$\tau_y$	$N/mm^2$	検討対象部材のせん断降伏応力度 ( $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ )
$f_b$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
$f_t$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容引張応力度
$h$	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノリンクボルト芯までの高さ
$L_1$	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
$d_t$	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
$B_B$	mm	ベースプレートの幅
$B_t$	mm	ベースプレートの厚さ
${}_B Z_{p_y}$	mm	ベースプレートの $y$ 軸まわりの塑性断面係数
${}_B Z_{p_x}$	mm	ベースプレートの $x$ 軸まわりの塑性断面係数
${}_B A$	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
${}_B M_y$	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_x$	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{y-z}$	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
${}_B M_{p y}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B M_{p x}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
${}_B Q_x$	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_y$	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{x-z}$	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
${}_B Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_B Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
${}_A \alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_A D$	mm	アンカーボルトの軸径
${}_A A_e$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの有効断面積
$n$	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
$n'$	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
${}_A T_V$	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本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
$\phi_1$	—	アンカーボルトの降伏引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0
$F_c$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
${}_s \sigma_{q a}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7× $f_t$ )
${}_A Q$	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
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
$Q_{a 1}$	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
$\phi_2$	—	アンカーボルトの降伏せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧による場合は 2/3
${}_c \sigma_{q a}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \times \sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (F_c/60)^{1/3}$
$A_{q c}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積

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
$\alpha_1$ $\alpha_2$ $\alpha_3$	—	接着系アンカーボルトにおいて、へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
$C_1, C_2, C_3$	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの1/2
$P_{a1}$	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの降伏により決定される1本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの付着力により決定される1本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数(=2/3)
$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーの基本平均付着強度で、カプセル式・有機系の場合(=10 $\sqrt{F_c/21}$ )
$P_a$	kN	接着系アンカーボルト1本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	接着系アンカーボルト1本当たりの短期許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定される許容せん断力
$c\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度(=0.31 $\times\sqrt{F_c}$ )

## 6.2 評価対象部位

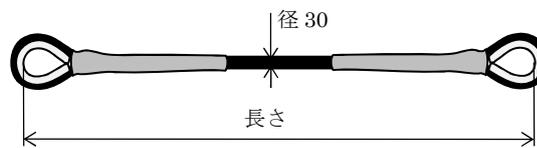
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

### (1) 連結材

- ・連結材本体（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 φ30）

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。

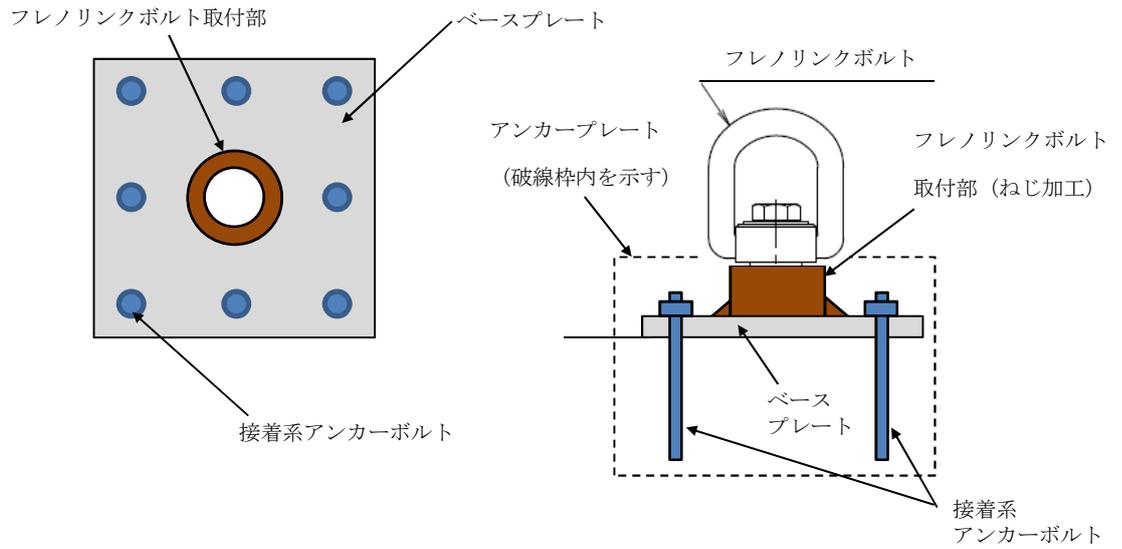


図 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 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。

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

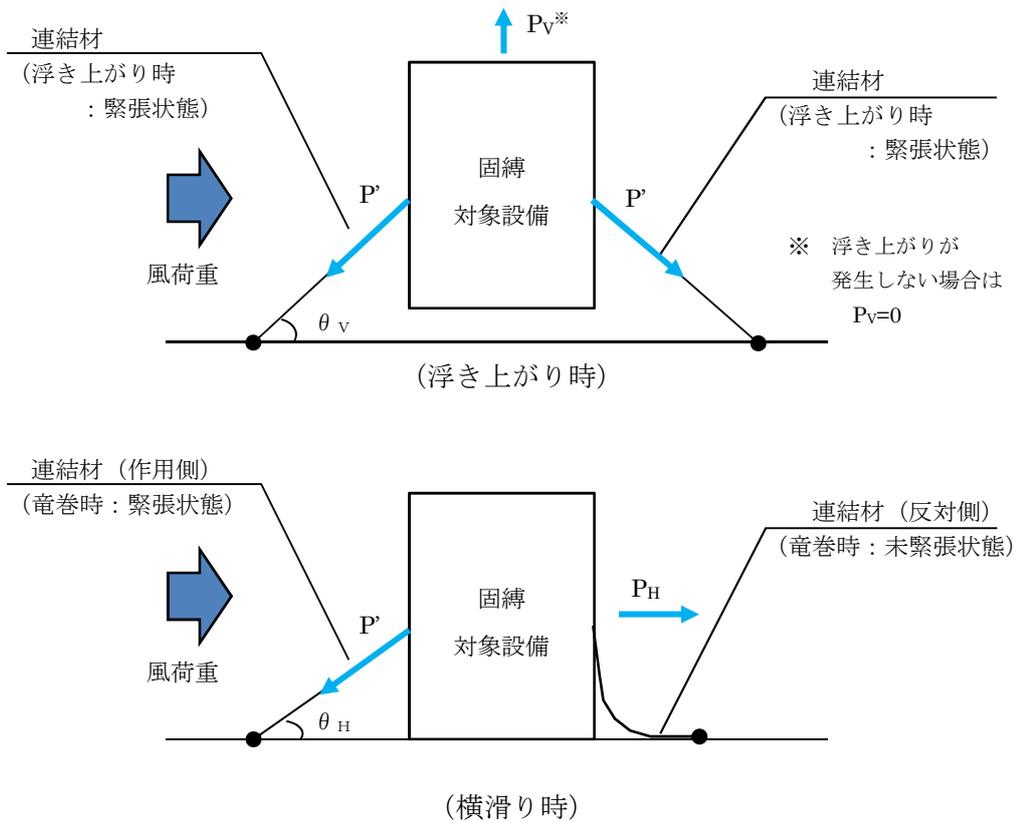


図 6-3 連結材の評価モデルの概要図

(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。

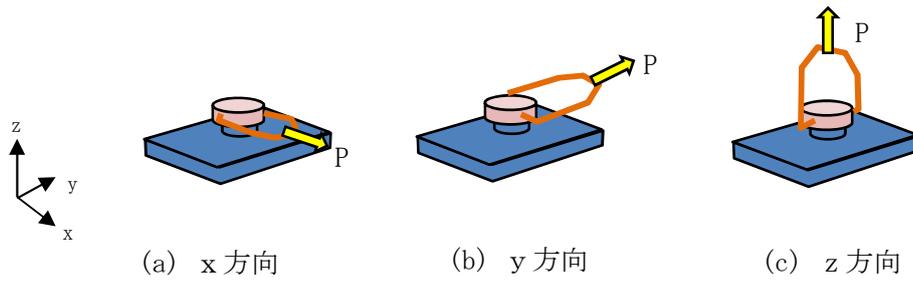


図 6-4 アンカープレートの計算モデルの概要図

(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。

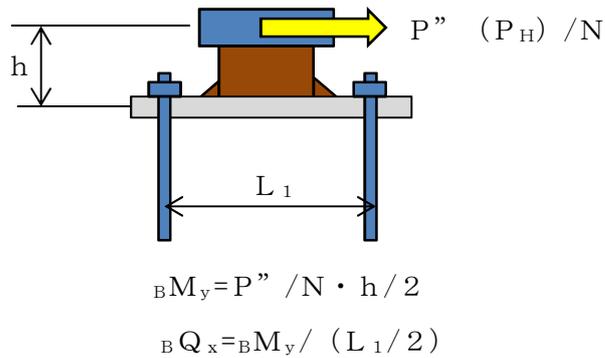


図 6-5 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・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  ${}_B Z_{p y}$  は，以下の式により算定する。

$${}_B Z_{p y} = \frac{{}_B B \cdot t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント  ${}_B M_{p y}$  は，「鋼構造塑性設計指針」に基づき，以下の式により算定する。

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 $P''$ によるベースプレートのせん断力 ${}_B Q_x$ は、以下の式により算定する。

$${}_B Q_x = \frac{{}_B M_y}{\frac{L_1}{2}}$$

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

$${}_B A = {}_B B \cdot t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_{p_x}$ は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

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

ロ. z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 6-6 に示す。

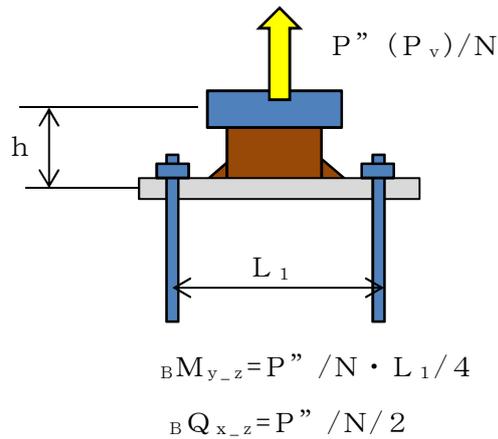


図 6-6 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・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 ${}_B M_{y-z}$ は、以下の式により算定する。

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

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

$${}_B Z_{p_y} = \frac{{}_B B \cdot t^2}{4}$$

許容限界であるベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント ${}_B M_{p_y}$ は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 $P''$ 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本あたりに生ずる引張力 ${}_A T_V$ は、以下の式により算定する。

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

x又はy方向の検討用荷重 $P''$ によりアンカーボルト1本あたりに生ずる引張力 ${}_A T_H$ は、以下の式により算定する。

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

アンカーボルトの降伏により決定される1本あたりの許容引張力 $P_{a1}$ は、以下の式により算定する。

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

アンカーボルトの付着力により決定される1本あたりの許容引張力 $P_{a3}$ は、以下の式により算定する。

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

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

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

接着系アンカーボルトにおいて、へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数は以下の式により算定する。

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

$$L_e = L - d_a$$

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

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) せん断に関する検討

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。

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

## 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）

東海第二発電所の屋外の可搬型重大事故等対処設備の固縛装置の設置例

