

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改 10
提出年月日	平成 30 年 4 月 6 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	3
2.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3. 設計方針	17
4. 評価方針	21
5. 許容限界	22
6. 強度評価方法	23
6.1 記号の定義	23
6.2 評価対象部位	27
6.3 評価方法	28
7. 適用規格	37

1. 概要

本資料は、V-1-1-2-3-3「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。）が固縛対象設備に作用した場合であっても、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針について説明するものである。

2. 基本方針

強度設計は、「2.1 固縛対象設備の選定」に示す設備を対象として、「2.2 固縛装置の構造」に示す固縛装置が「2.3 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重を考慮し、「6. 強度評価方法」で示す評価方法により「5. 許容限界」で設定する許容限界を超えない設計とする。

2.1 固縛対象設備の選定

屋外に設置する重大事故等対処設備は、V-1-1-2-別添 1「屋外に設置されている重大事故等対処設備の抽出」に示している。これらの屋外の重大事故等対処設備は、竜巻の風圧力による荷重に対しては、位置的分散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、車両等を収納設備として扱い、収納設備の保管単位に対して固縛対象設備を選定する。

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された屋外の重大事故等対処設備の一覧を表 2-1 に示す。

なお、屋外の常設重大事故等対処設備は、竜巻の風圧力による荷重を考慮した設計又は設置場所により影響を受けないため、固縛対象設備として選定されない。

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧

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

2.2 固縛装置の構造


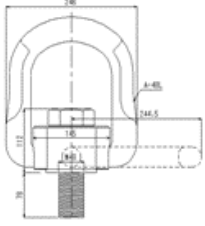
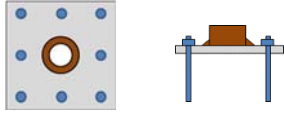
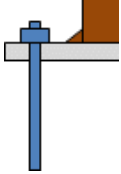
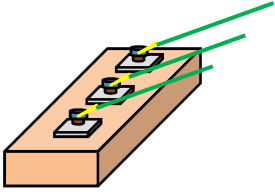
固縛装置は、固縛対象設備が受ける浮き上がり荷重や横滑り荷重を、固縛ロープの連結材、固定材（フレノリンクボルト、アンカープレート）を介してコンクリート等の基礎部で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2-2 に示す。

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を固縛する場合と異なり、耐震設計として、固縛対象設備の構造を期待する設備でないこと、又は保管状態にて固縛対象設備の機能維持を確認していることより、耐震設計への影響は考慮不要とし、余長を持たせた設計とはしない。なお、車両以外の固縛対象設備の一部はコンテナ及びラックに収納並びに運搬車に積載して保管するため、固縛装置は当該保管単位に対して設置するが、この場合の車両については収納設備としており、固縛装置においても余長を持たせた設計とはしないことを基本とする。

車両型固縛対象設備以外（コンテナ型固縛対象設備及び運搬車等に積載した固縛対象設備）の固縛装置の構造を表 2-3（2/2）に示す。

表 2-2 固縛装置の構成要素

固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	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。
	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。
固定材	アンカープレート		基礎部を取付け、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。
	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。
基礎部（アンカーボルト）	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により、スラブコンクリートの重量によって、固縛対象設備の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。

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

表 2-3 固縛装置の構造 (1/3)

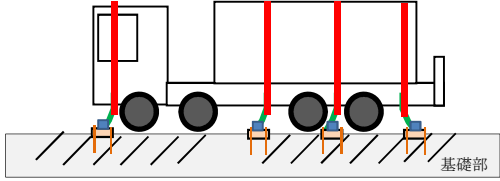
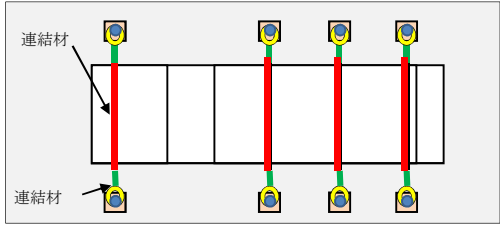
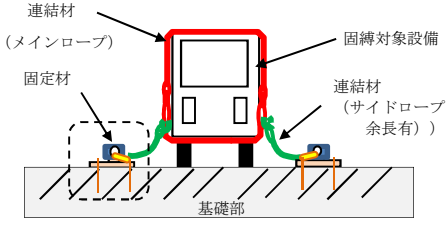
施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型 固縛対象 設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ）を車両型固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノリンクボルト）に固定することで車両を固縛する。</p> <p>車両型固縛対象設備については、連結材（サイドロープ）に余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響のない設計とする。</p> <p>車両型固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	 <p>(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

表 2-3 固縛装置の構造 (2/3)

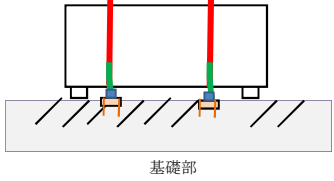
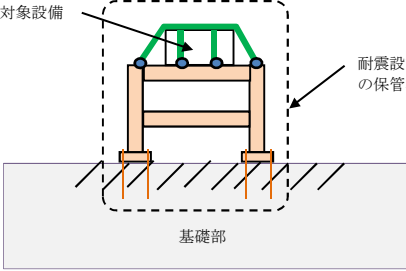
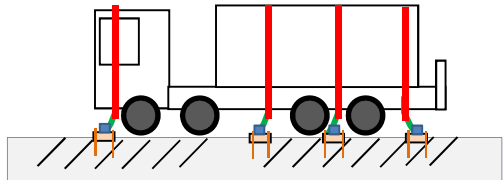
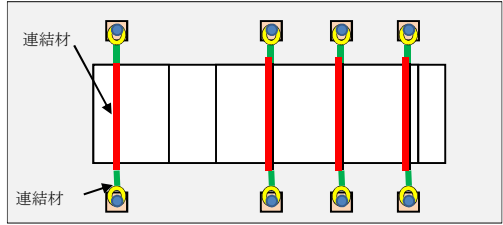
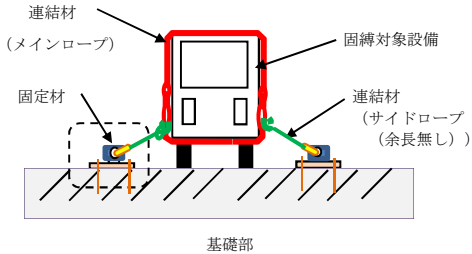
施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型以外の固縛対象設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ）を車両型以外の固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノリンクボルト）に固定することで車両を固縛する。連結材には、余長を設けない設計とする。</p> <p>固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p> <p>耐震設計で設定している固縛対象設備の保管状態（収納ラックに固縛対象設備を固縛して保管）</p> <p>収納ラックに固縛対象設備を固定し、ラックを基礎部に固定する。 （固定のため余長なし） 耐震設計により収納ラックが設計されている。</p>	<p>固縛対象設備をコンテナに収納して保管 （収納コンテナを固縛する場合）</p>  <p>連結材 (メインロープ)</p> <p>固定材</p> <p>固縛対象設備</p> <p>連結材 (サイドロープ (余長無し))</p> <p>基礎部</p>
		<p>固縛対象設備をラックに収納して保管 （耐震設計で保管状態を考慮している場合）</p>  <p>固縛対象設備</p> <p>耐震設計上の保管状態</p> <p>基礎部</p>	

表 2-3 固縛装置の構造 (3/3)

施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型 以外の 固縛対象 設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ）を、固縛対象設備の収納設備としての車両に巻付け、連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノリンクボルト）に固定することで車両を固縛する。</p> <p>連結材（サイドロープ）には、余長を設けない設計とする。</p> <p>固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	<p>固縛対象設備を運搬車など積載して保管 (収納設備としての車両を固縛の場合)</p>  <p>基礎部</p> <p>(側面図)</p>  <p>連結材</p> <p>連結材</p> <p>(上面図)</p>  <p>連結材 (メインロープ)</p> <p>固定材</p> <p>固縛対象設備</p> <p>連結材 (サイドロープ (余長無し))</p> <p>基礎部</p> <p>(正面図)</p>

2.3 荷重及び荷重の組合せ

固縛対象設備の固縛装置の強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって、固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に、固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は、固縛装置が浮き上がり又は横滑りの挙動を拘束するために発生する荷重であり、固縛対象設備に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。また、余長を設けた固縛装置には、横滑りを始め、移動量が設計余長を超えると連結材が展張し、固縛装置に動的荷重が作用するため、この動的荷重も設計荷重として考慮する。なお、連結材の展張以後は、竜巻の風速場の特性を考えると、竜巻の風荷重が風向きを変えながらも固縛対象設備に持続的に作用し続けるため、連結材も展張し続け竜巻が通過するまで固縛対象設備は、円弧を描くように環状に移動すると考えられるため、風荷重が持続荷重として継続して作用する。また、竜巻の最大水平風速時に浮き上がり及び横滑りの両方が発生する固縛対象設備については、各評価対象部位に対して、両方の荷重状態を比較し大きい荷重を設計荷重とする。

浮き上がりに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については、空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きく、浮き上がると判断される固縛対象設備に対して行う。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については、固縛対象設備が横滑りによって移動した場合に、設計基準事故対処設備（防護対象施設）及び他の重大事故等対処設備との間に障害物がないために衝突し、悪影響を及ぼす可能性がある固縛対象設備に対して行う。

竜巻の風速としては、設計竜巻の最大風速 $V_D=100$ m/sを使用することとする。

なお、設計竜巻の風速場モデルにフジタモデルを適用するため、固縛対象設備に作用する最大水平風速 V_{SA} は、流入層の影響を考慮した水平風速となる。流入層とは、地面付近において地面との摩擦により低下した遠心力と圧力分布のバランスが崩れ、流体が竜巻中心方向の低圧部に引き込まれることにより形成されるもので、摩擦の影響が及ぶ範囲のみで形成される。したがって、流入層に配置される固縛対象設備に作用する風速は、地面からの高さに依存する。評価条件を表 2-4 に示す。

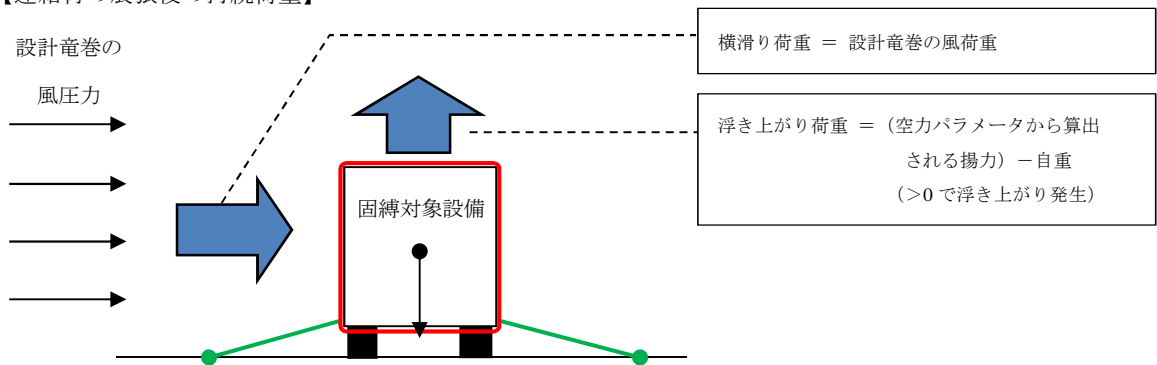
表 2-4 設計竜巻の評価条件

最大風速 V_D (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線風速 の生じる半径 R_m (m)	流入層高 H_i (m)	空気密度 ρ (kg/m ³)	ガスト 影響係数 G (-)
100	85	30	15	1.22	1.0

設計竜巻の風荷重は、固縛対象設備の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため、固縛対象設備に最も厳しくなる方向の風圧力に対して、荷重を設定する。一方、風荷重は、固縛対象設備の外面に沿って作用することには変わらず、見付面積に直角方向に作用する時が、作用する風圧力が全て固縛対象設備に作用することから、最も厳しい荷重状態となるため、この時の荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2-1 に示す。

【連結材の展張後の持続荷重】



【連結材の余長展張時の動的荷重】

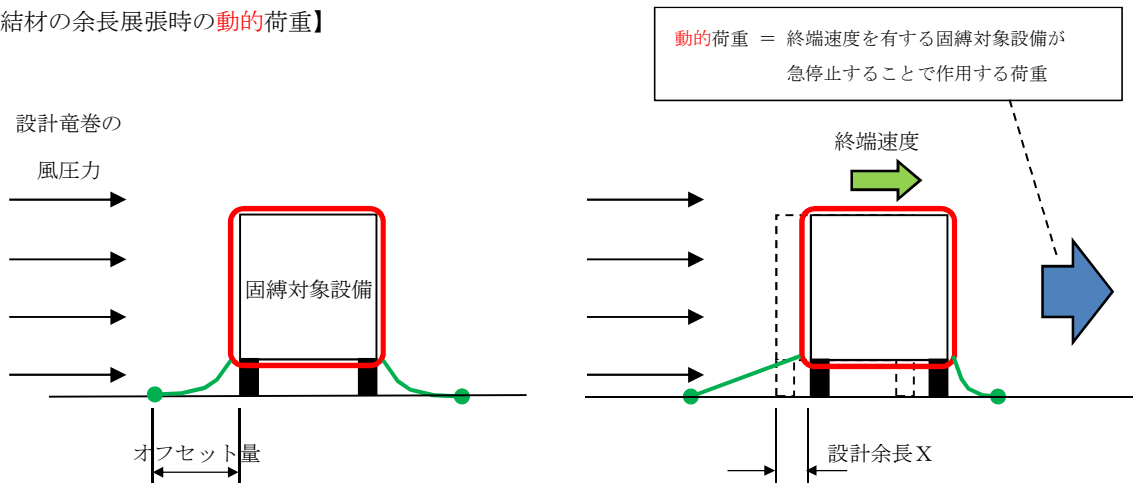


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

(1) 荷重の種類

- a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

- b. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材、固定材（フレノリンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(2) 竜巻の風圧力による荷重の算定

竜巻の風圧力による荷重を考慮し、荷重の算出式を以下に示す。

- a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 2-5 に示す。

表 2-5 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
R_m	m	最大接線風速の生じる半径
H_i	m	流入層高さ
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m ²	固縛対象設備の各面の投影面積
W	m	固縛対象設備の幅
L	m	固縛対象設備の長さ
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s ²	重力加速度 ($g=9.80665$)
ρ	kg/m ³	空気密度
q	N/m ²	設計用速度圧
G	—	ガスト影響係数
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
A	m ²	固縛対象設備の最大受圧面積
$V_{SAS, F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS, S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
$C_D A/m$	m ² /kg	空力パラメータ
μ_s	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
μ_d	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
X	mm	固縛装置の設計余長
L_{OF}	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
n	箇所	固縛装置の箇所数
n'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
k	N/m	連結材の等価剛性 ($=E_{RP} \cdot A_{RP} / L_{RP}$)
E_{RP}	N/mm ²	連結材の弾性係数
A_{RP}	mm ²	連結材の断面積
L_{RP}	m	連結材の長さ
F_d	kN	固縛対象設備の自重
$F_{L, m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
P_v	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

b. 浮き上がり荷重

(a) 浮き上がりを考慮する対象設備の選定

浮き上がりを考慮する対象設備の選定に当たっては、固縛対象設備に対する浮き上がり荷重の発生の有無により抽出する。

(b) 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重 P_V は、設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重 > 0）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力 $F_{L, m}$ を用い、以下の式にて算出する。

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

ρ : 空気の密度

V_{SA} : 固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大水平風速

$C_D A$: 抗力係数と見付面積の積の平均値

保守的な揚力を空力パラメータ $C_D A/m$ を用いた式に展開すると、浮き上がり荷重 P_V は次に示す式により算出する。

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

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の $C_D A/m$ として算出する。

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

c. 横滑り荷重

(a) 横滑りを考慮する対象設備の選定

横滑りを考慮する対象設備の選定に当たっては、固縛対象設備が横滑りにより移動した場合、防護対象施設及び他の重大事故等対処設備との間に障害物がないために衝突し、悪影響を及ぼす可能性がある固縛対象設備を抽出する。

固縛対象設備が保管される可搬型重大事故等対処設備保管場所（西側）又は可搬型重大事故等対処設備保管場所（南側）においては、防護対象施設及び他の重大事故等対処設備と互いに衝突する可能性があるため、全固縛対象設備を、横滑りを考慮する対象設備として選定する。

(b) 横滑りに伴い発生する荷重

横滑りに伴い発生する荷重 P_H は、設計竜巻の風圧力による荷重が当該固縛対象設備に作用する水平力とし、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおり W_w とする。

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

q : 設計用速度圧

G : ガスト係数 (=1.0)

C : 風力係数

A : 受圧面積 (固縛対象設備の見付面積の最大値)

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

ρ : 空気の密度

V_{SA} : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

d. 動的荷重

(a) 動的荷重を考慮する対象設備の選定

動的荷重を考慮する対象設備の選定に当たっては、固縛装置の余長の有無により抽出する。また、余長を有していても風荷重の方向によって横滑り等の移動をしない場合もあり、当該ケースについては検討ケースとはしない。

(b) 固縛装置作動に伴い発生する動的荷重

固縛装置が作動（余長が展張）することで、固縛対象設備が急停止し、それに伴い、固縛装置には動的荷重 P_i が発生する。図 2-2 に示すように、固縛対象設備が作動直前に有していた速度 v_{SA} が、急停止により 0 になったとし、連結材の弾性的に拘束力を生じる性質から、連結材をバネとしたモデルを用いて、損失した運動量が動的荷重になったとして、以下の手順によって動的荷重 P_i を算出する。

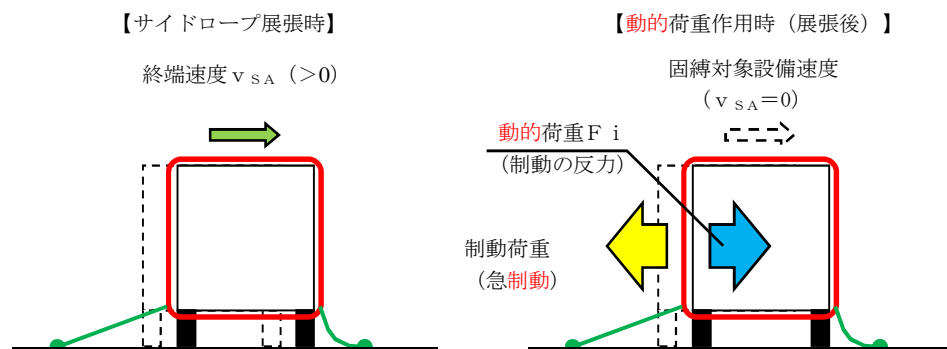


図 2-2 連結材の展張以後の固縛対象設備の概要モデル

イ. 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速 $V_{SAS, F}$ は、浮き上がり荷重 P_V が 0 となる時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_D A}{m}}}$$

横滑り開始風速 $V_{SAS, S}$ は、風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり、以下の式によって算出する。

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

μ_s : 固縛対象設備の静摩擦係数 (=0.44)

(道路構造令の記載数値を参考として、保守的に 20km/h の路面とタイヤのすべり摩擦係数を静摩擦係数として設定)

ロ. 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材(サイドロープ)が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度 $v_{SA, OT}$ を算出する。以下横滑りに対して、算定例を記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を、設計竜巻の風速分布曲線より、保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

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

V'_{SA} : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a : 風速の近似式の定数

b : 風速の近似式の定数 (=滑り出し風速)

停止している固縛対象設備が動き出し、設計余長分を移動した時の加速度 a_{SA} を、荷重と加速度の関係から算出する。

$$a_{SA} = \frac{F}{m} = \frac{W_W - F_{fd}}{m} = \frac{1}{2} \rho \frac{G \cdot C \cdot A}{m} V'_{SA}{}^2 - \mu_d \cdot g \quad \dots \quad \text{②}$$

F_{fd} : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

μ_d : 固縛対象設備の動摩擦係数 (=0.29)

(道路構造令の記載数値を参考として、保守的に 120km/h の路面とタイヤのすべり摩擦係数を動摩擦係数として設定)

ここで、Kを以下に示すように置いて、②式の V'_{SA} に①式を代入し、 t に対する式として整理すると、③式となる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \frac{G \cdot C \cdot A}{m}$$

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

固縛対象設備の速度 v_{SA} は、加速度 a_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮することで④式となる。(初期条件 $t=0$ のとき、 $v_{SA}=0$)

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

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

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

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} は、速度 v_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮すると以下の式となる。(初期条件 $t=0$ のとき、 $x_{SA}=0$)

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

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

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

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} が設計余長 X となるケースとして、⑤式を t について解くと、滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間 t_i が算出できる。

④式に t_i を代入することで、固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として、終端速度 $v_{SA,OT}$ が算出される。

ハ. 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重 F_i' を静荷重として、連結材張力による動的荷重 F_i 算出後に加算する。固縛対象設備が有する運動量は $m v_{SA}$ である。固縛装置が作用し始めて Δt の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重 F_i と運動量の関係は、⑥式に示すとおりとなる。

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

固縛装置の連結材は、弾性的に拘束力を生じる性質を有しており、バネ定数 k を有するバネとして考え、連結材に弾力的な力が作用し、固縛対象設備の速度が0になったとすると、振幅を B として、連結材の変位 x_{RP} は、⑦式で表される。

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

また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重 F_i は⑧式となる。

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

k : 連結材のバネ定数 (連結材の等価剛性)

⑧式を⑥式に代入して積分し、初期条件を考慮して、振幅について解くと⑨式となる。(初期条件: $t=0$ のとき $v_{SA}=v_{SA,OT}$, $t=\Delta t$ のとき $v_{SA}=0$)

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

また、動的荷重 F_i は、⑧式の正弦関数が 1 のときに最大値 ($=k \cdot B$) となり、連結材の変位も最大となる。その時間 t_i' は、以下の式となる。

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

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重 F_i' が作用する。固縛対象設備に作用する風速は、①式に t_i を代入して算出する。

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

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

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

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は、動的荷重 F_i に加えて静荷重 F_i' を加算した荷重とし、動的荷重 P_i とする。

(3) 荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は、常時作用荷重 (F_d)、風荷重による浮き上がり荷重 (P_V)、横滑り荷重 (P_H) 及び動的荷重 (P_i) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-6 「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-6 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(4) 設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては、浮き上がりに伴い発生する荷重、横滑りに伴い発生する荷重及び固縛装置が挙動を停止させることにより発生する動的荷重を考慮し、評価対象部位に対してより厳しい荷重を設計荷重とする。

3. 設計方針

固縛対象設備に風圧力による荷重が作用すると、固縛装置に風荷重に相当する荷重が伝わり、浮き上がり荷重又は横滑り荷重が作用し、固縛対象設備は移動しようとする。連結材（サイドロープ）に余長の有無により、移動が拘束される場合と連結材（サイドロープ）の展張までは移動できる場合があるが、固縛装置を構成している連結材は、柔軟な挙動ができる部材を選定しているため、固縛対象設備に作用する荷重に伴い、連結材には引張荷重が伝達されることは同様である。なお、連結材（サイドロープ）に余長を持たせた固縛装置は、固縛対象設備の移動に伴い連結材が緊張状態になる前は、固縛装置に有意な荷重は発生しない。

以上により、固縛装置の強度設計においては、構成要素ごとに強度評価を実施する。

固縛装置は、表 2-2 に示す構成要素ごとに適切な裕度（安全率）を確保する定格荷重を定め、固縛装置に作用する荷重以上の耐力を持つ構成要素を整理すると、連結材の余長の有無に違いはあるが構成要素は同一で、強度評価の方法に関しても同じであり、表 3-1 に示すとおりとする。

評価上最も裕度の小さい固縛装置の選定及びその固縛装置に対する強度評価について、V-3-別添-1-3-1「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

「2.1 固縛対象設備の選定」にて選定された固縛対象設備について、固縛装置の対策目的及び型式（構成要素の組合せ）を表 3-2 に示す。

表 3-1 固縛装置の構成

型式	連結材	固定材	基礎部（アンカーボルト）
A	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 固縛装置の対策目的及び型式(1/3)

区分	固縛対象設備 設備名称	保管に関する事項			固縛装置対策目的		備考
		保管 単位	保管状態の特記事項	保管場所*1	横滑り	浮き 上がり	
車両 型	可搬型代替注水大型ポンプ	台	—	西側 南側	○	○*2	有
	可搬型代替注水大型ポンプ (放水用)	台	—	西側 南側 (予備)	○	○*2	有
	可搬型代替注水中型ポンプ	台	—	西側 南側	○	○*2	有
	可搬型代替低圧電源車	台	—	西側 南側	○	○	有
	タンクローリ	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	有
	窒素供給装置	台	車両搭載型	西側 南側 (予備)	○	○*2	有
	窒素供給装置用電源車	台	—	西側 南側 (予備)	○	○	有

注記 *1：保管場所は以下を示す。

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

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

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式(2/3)

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

注記 * : 保管場所は以下を示す。

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

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式(3/3)

区分	固縛対象設備		保管に関する事項			固縛装置対策目的		余長 有無	備考
	設備名称	保管 単位	保管状態の特記事項	保管場所*	横滑り	浮き 上がり			
車両 型 以外	ケーブル	台	ケーブルを収納した 可搬型ケーブル運搬車 に積載して保管	西側 南側	○	○	無		
	可搬型整流器	基	専用ラックに収納して 保管	西側 南側	○	○	無	耐震設計において 保管状態を考慮して 設計している。	
	汚濁防止膜	台	汚濁防止膜運搬車の荷 台に積載して保管	西側 南側（予備）	○	○	無		
	小型船舶（船外機）	基	専用ラックに収納して 保管	西側 南側（予備）	○	○	無	耐震設計において 保管状態を考慮して 設計している。	
	小型船舶（船体）	基	専用架台に積載して保 管	西側 南側（予備）	○	○	無		

注記 *：保管場所は以下を示す。

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

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。

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

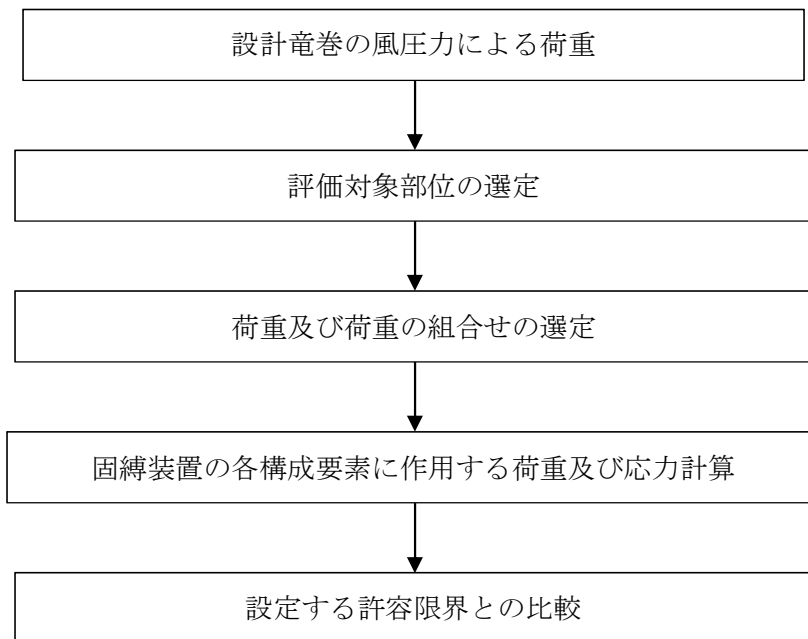


図 4-1 固縛装置の強度評価フロー

5. 許容限界

固縛装置の許容限界は、「6.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。

固縛装置に要求される機能は、竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であってもその移動を制限し、防護対象施設や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突することを防止すること（悪影響防止）である。そのため、竜巻による固縛対象設備の浮き上がり又は横滑りによる移動を制限する際に、固縛装置に作用する荷重に対して、固縛状態を維持することが求められる。そこで、固縛装置の許容限界としては、終局耐力を適用し、許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な強度を有する設計とする。

ただし、取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）については、竜巻襲来時に永久変形を生じさせないために、許容限界として降伏耐力又は短期許容応力度を適用することとする。なお、発電所敷地内に竜巻が発生した場合は、事象収束後、設備の損傷の有無及び竜巻の規模を確認し、損傷が確認された場合の処置については、保安規定に定める。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材（メインロープ及びサイドロープ）については、設計竜巻による荷重に対し、連結材の破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示値の引張強度を許容限界とする。

(2) 固定材

a. フレノリンクボルト

固定材のうち、フレノリンクボルトについては、設計竜巻による荷重に対し、フレノリンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示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_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の箇所数
n_1	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_1	kN	連結材 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組あたりに作用する荷重
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（設備進行方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置となす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
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_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の箇所数
n_2	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_2	kN	フレノリンクボルト 1 本当たりに作用する荷重
P_3	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（設備進行方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
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

表 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
h	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノリンクボルト芯までの高さ
L_1	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
d_t	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
B	mm	ベースプレートの幅
t	mm	ベースプレートの厚さ
$Z_{p y}$	mm	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	mm	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
A	mm	ベースプレートの断面積
M_y	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
M_x	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
M_{y-z}	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
$M_{p y}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
$M_{p x}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
Q_x	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_y	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_{x-z}	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
α	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
A_e	mm ²	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
n'	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
T_v	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
T_H	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
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 (=40)
σ_{qa}	N/mm ²	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7× f_t)
Q	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
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

表 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において、アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力
Q_{a2}	kN	定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力
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
${}_c\sigma_{qa}$	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_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
A_L	mm	接着系アンカーボルトにおいては、埋込長さ
A_{Le}	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
A_{Lce}	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
A_{da}	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
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

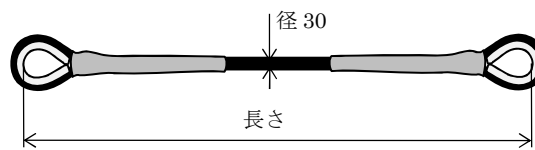
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(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 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。

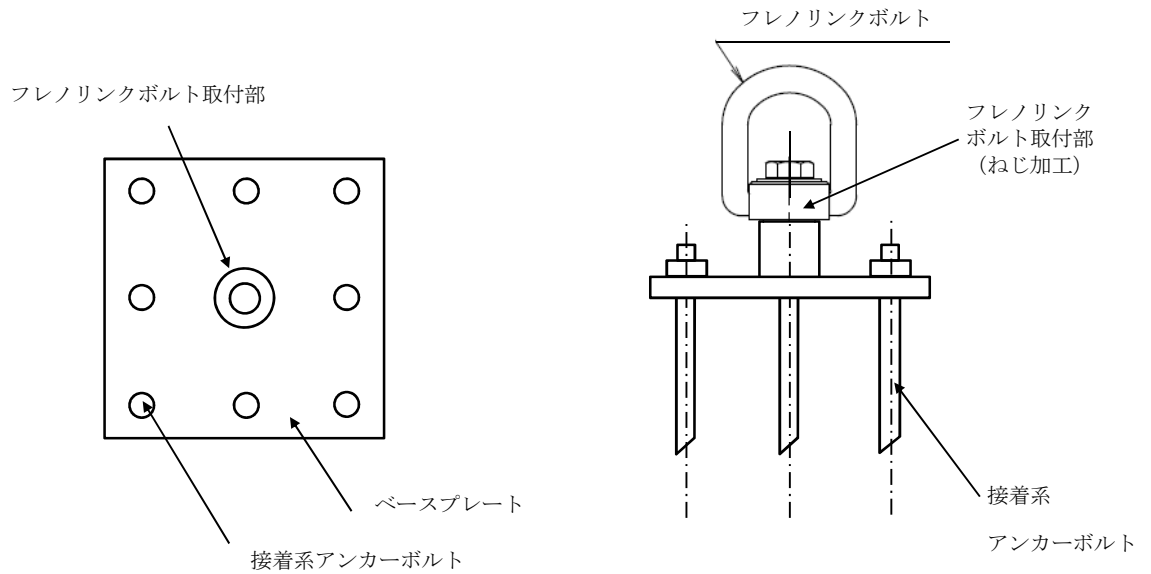


図 6-2 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

6.3 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の箇所数×連結材 1 組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材 1 組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

a. 浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要図を図 6-3 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、浮き上がり時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

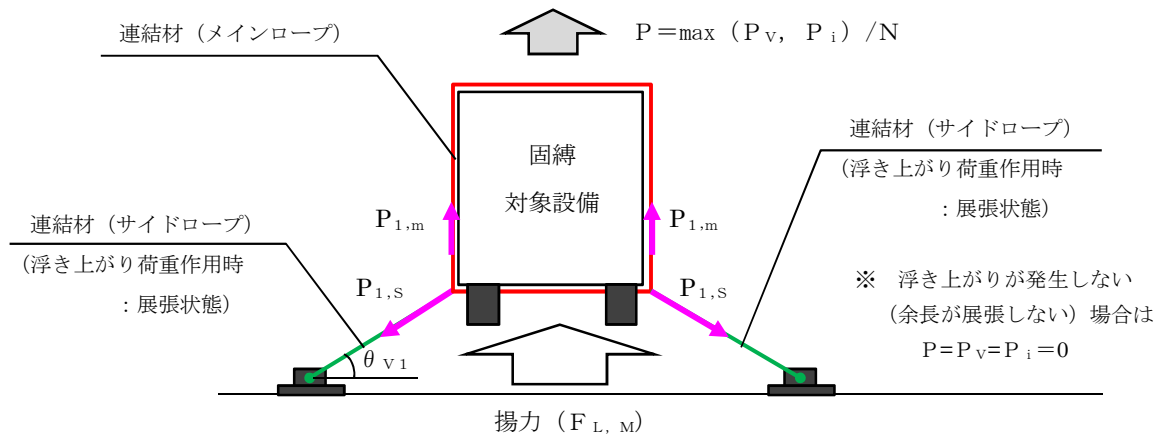


図 6-3 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固定対象設備に作用して横滑りする状態を考え、連結材に作用する荷重は算定するが、横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向に対して、荷重を算定する。

(a) 側面方向の横滑り時

固定対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には、固定装置は片側に配置した固定装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要図を図 6-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

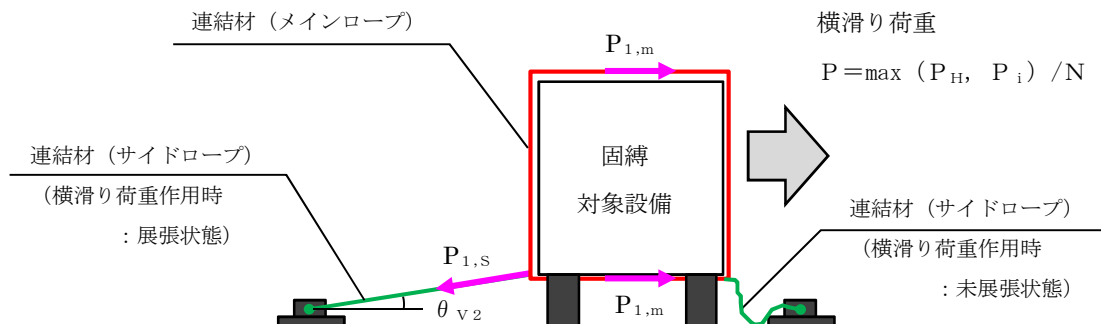


図 6-4 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要図を図6-5に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

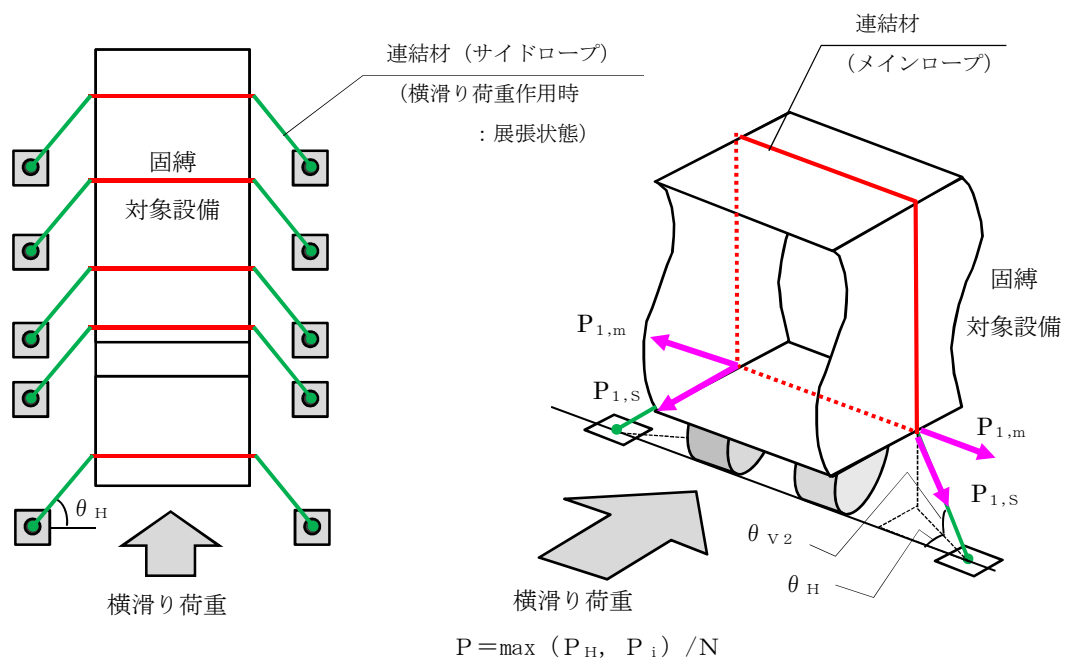


図 6-5 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(2) 固定材の評価方法

a. フレノリンクボルトの評価方法

フレノリンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に、固縛装置の箇所数×フレノリンクボルト 1 本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、フレノリンクボルト 1 本当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお、フレノリンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから、連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重 P_2 とする。

また、荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは、フレノリンクボルトを介して荷重を受けるため、フレノリンクボルトの角度により、図 6-6 に示す x 、 y 、 z 方向にフレノリンクボルトに作用する荷重 P_2 の分力として、検討用荷重 P_3 が作用する。

アンカープレートの評価は、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

なお、フレノリンクボルトはボルト芯を軸として回転し、アンカープレートの仕様も含めて、 x 方向と y 方向は同一の評価条件となり、 x 、 y 方向は同じ検討モデルとなるため、以降では x 方向に作用する場合を示す。

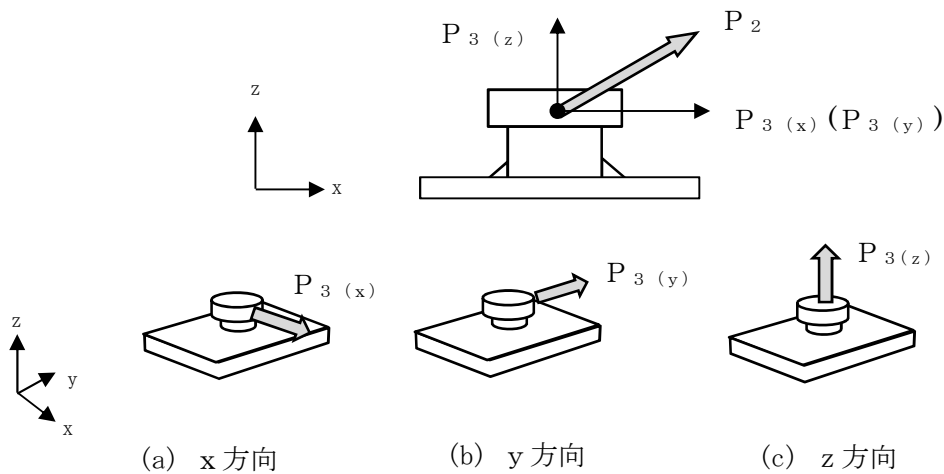


図 6-6 アンカープレートの計算モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. x (y) 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 6-7 に示す。前述のとおり、x 方向と y 方向の計算モデルは同一条件であるため、x 方向のモデルにて示す。

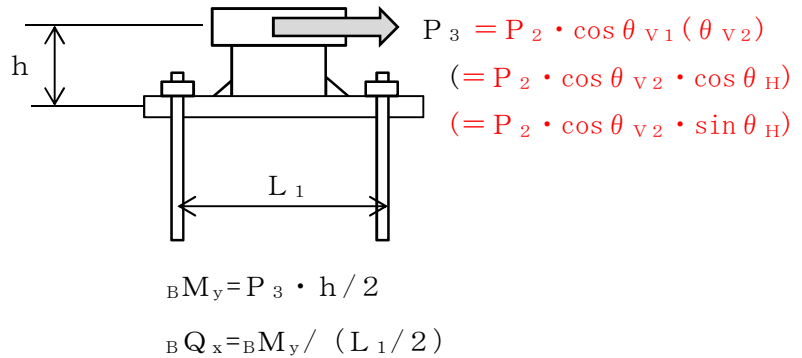


図 6-7 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント ${}_B M_y$ は、以下の式により算定する。

$${}_B M_y = P_3 \cdot \frac{h}{2}$$

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

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

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

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートのせん断力 ${}_B Q_x$ は、以下の式により算定する。

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

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

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

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

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

ロ. z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 6-8 に示す。

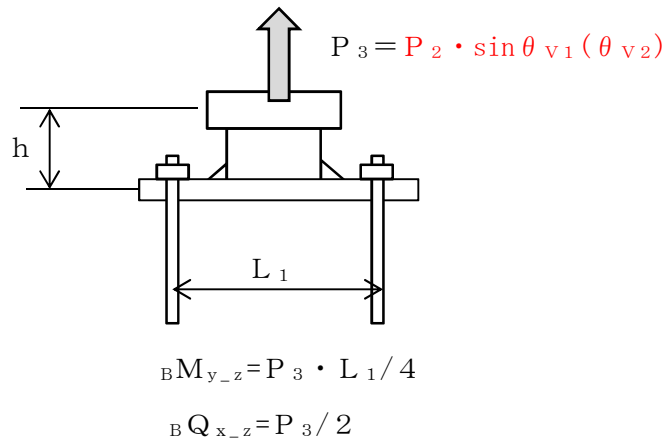


図 6-8 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント ${}_B M_{y-z}$ は、以下の式により算定する。

$${}_B M_{y-z} = P_3 \cdot \frac{L_1}{4}$$

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

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

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

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートのせん断力 ${}_B Q_x$ は、以下の式により算定する。

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

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

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

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

$${}_B Q_{p,z} = \tau_y \cdot {}_B A \cdot 10^{-3}$$

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

a. 接着系アンカーボルトの評価方法

(a) 計算モデル

接着系アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

(b) 引張に関する検討

接着系アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積 ${}_A A_e$ は、以下の式により算定する。

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

z 方向の検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力 ${}_A T_V$ は、以下の式により算定する。

$${}_A T_V = \frac{P_3}{n}$$

x 又は y 方向の検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力 ${}_A T_H$ は、以下の式により算定する。

$${}_A T_H = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ここで、

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

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

アンカーボルトの許容耐力 P_a は、以下の式により算定する。

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

(c) せん断に関する検討

検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力 AQ は、以下の式により算定する。

$$AQ = \frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力 Q_{a1} は、以下の式により算定する。

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

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

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

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

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

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

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

アンカーボルトの許容せん断力 Q_a は、以下の式により算定する。

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

(d) 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

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

7. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

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

V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造装置全体の構造概要	3
2.3 固縛装置構成要素の構造概要	3
2.4 評価方針	5
2.5 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ	13
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	19
4. 評価条件	27
4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件	27
5. 評価結果	30
5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果	30

1. 概要

本資料は、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示すとおり、固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）の固縛装置が、竜巻襲来時においても、固縛構成要素が、設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）が固縛対象設備に作用した場合であっても、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有するよう、作用する荷重が許容限界以下であることを確認するものである。

2. 基本方針

固縛装置は、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「3. 設計方針」に示すとおり、固縛対象設備の構造によって連結材の余長の有無に違いはあるが、固縛装置の構成要素の組合せは、表 2-1 に示す 1 つである。

当該固縛装置に対して、強度評価を行い、固縛状態を維持し、必要な構造強度を有していることを確認する。

なお、固縛対象設備の設置される固縛装置の強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い固縛装置は、「可搬型代替注水中型ポンプ」に設置する固縛装置であり、本資料においては、可搬型代替注水中型ポンプを固縛対象設備とした評価を示す。

表 2-1 固縛装置の構成

固縛対象設備	連結材	固定材	基礎部 (アンカーボルト)	対象の 固縛対象 設備数
車両型	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	7
車両型以外	固縛ロープ (余長なし)			10

2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、V-1-1-2-3-3「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。

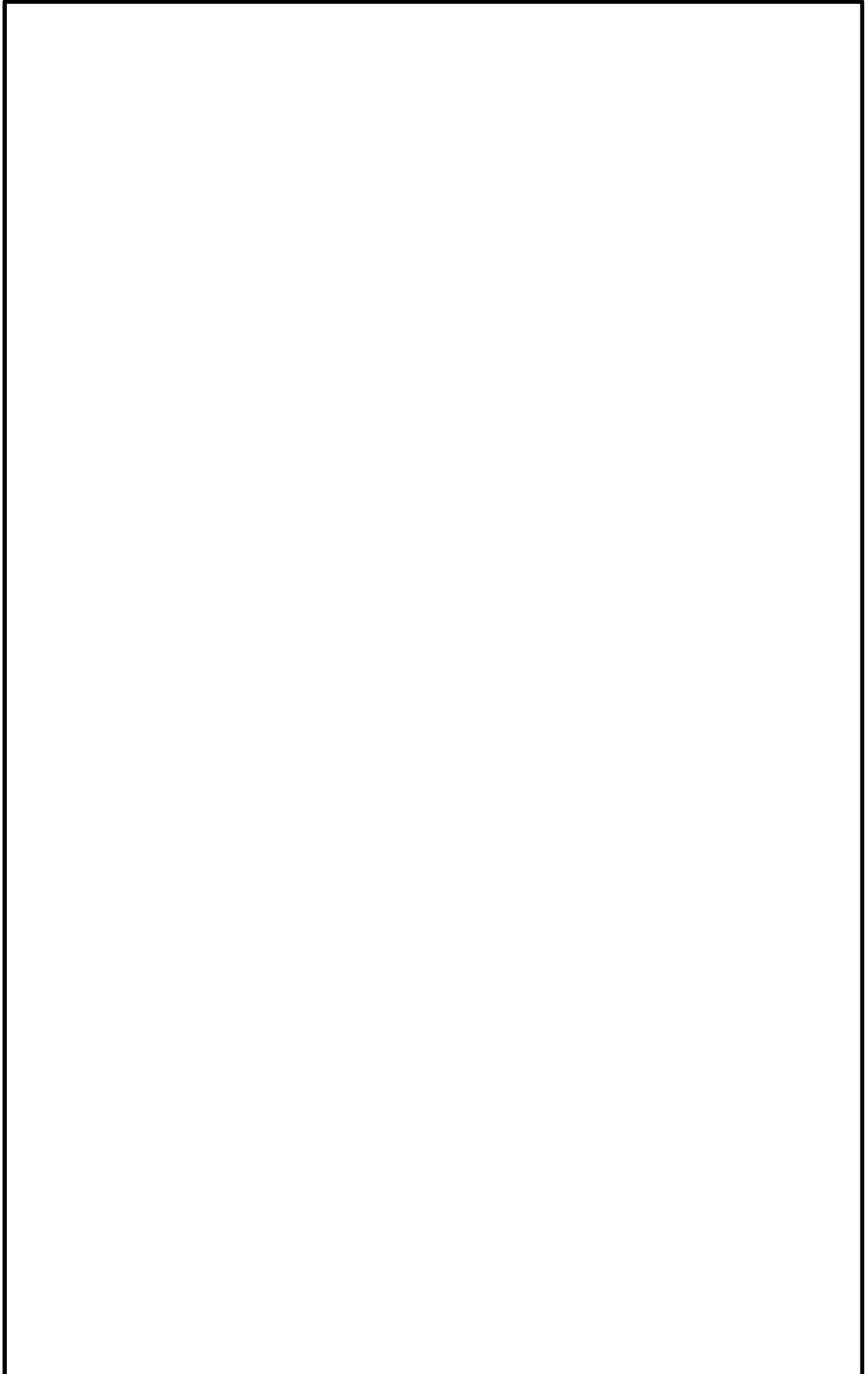


図 2-1 固縛装置の設置位置図

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。可搬型代替注水中型ポンプに設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。

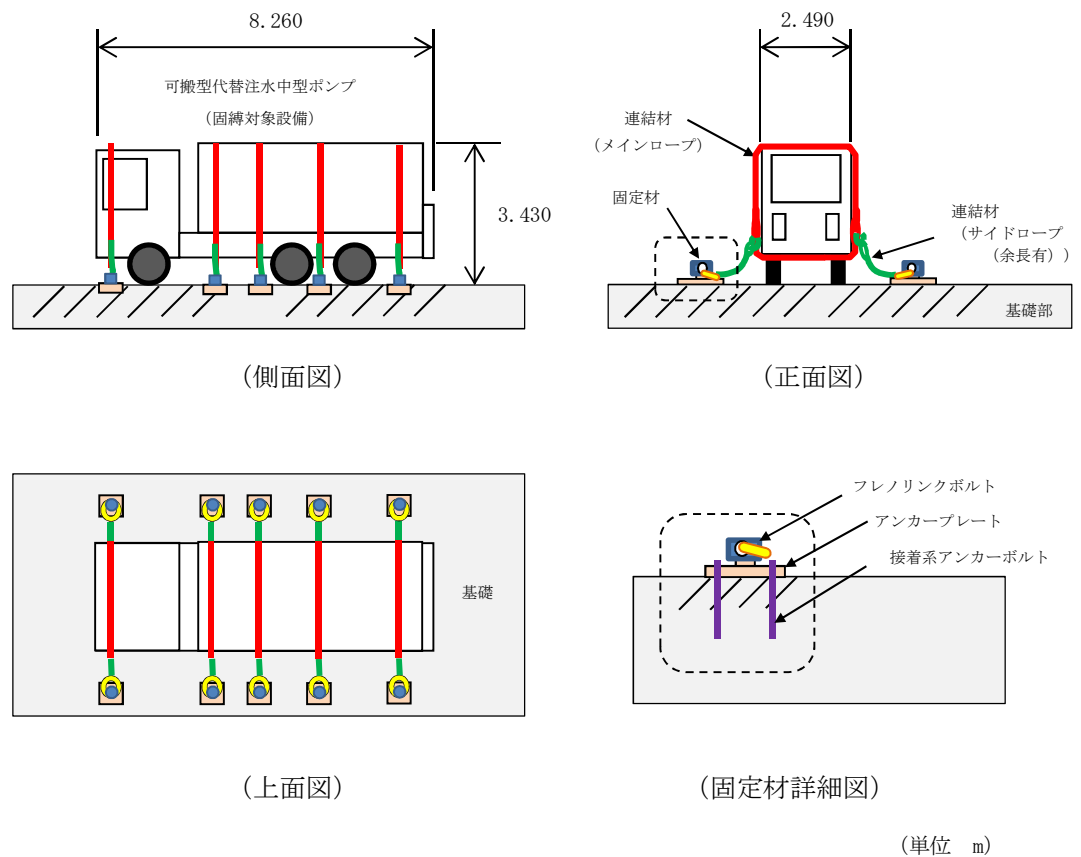
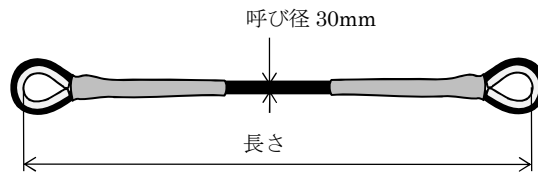


図 2-2 可搬型代替注水中型ポンプの固縛装置の概要図

2.3 固縛装置構成要素の構造概要

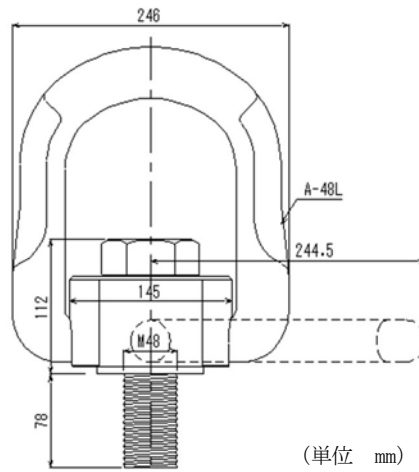
固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

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



(高強度繊維ロープ ϕ 30mm(被覆部)
 ϕ 22mm(被覆無し部))

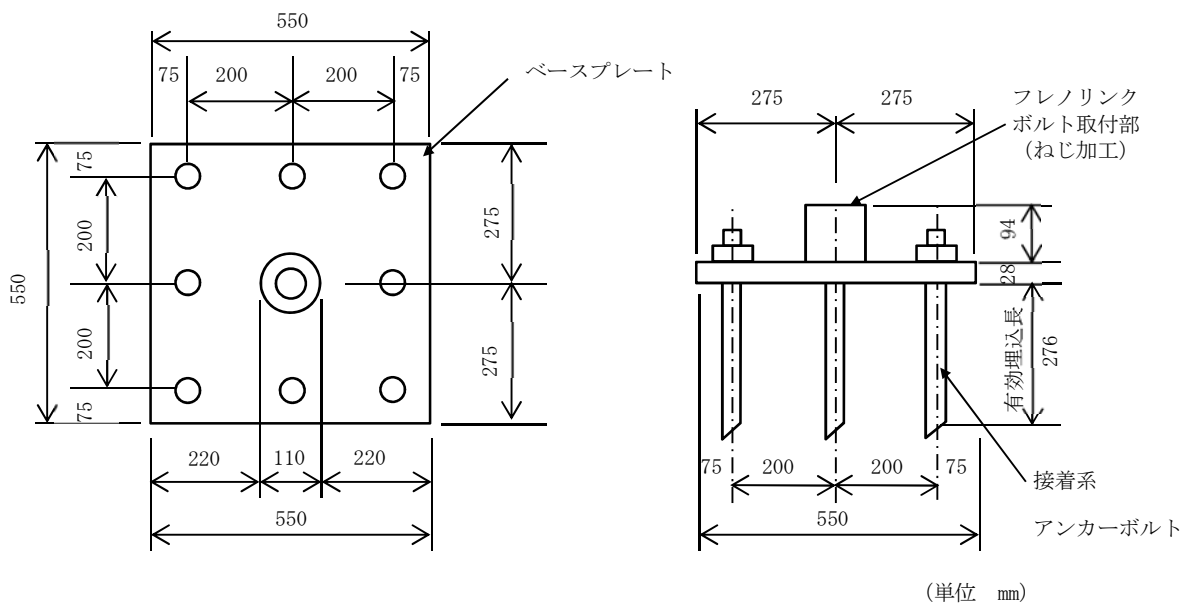
図 2-3 連結材の概要図



(単位 mm)

(フレノリンクボルト (A-48L))

図 2-4 フレノリンクボルトの概要図



(単位 mm)

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

2.4 評価方針

固縛装置の強度評価は、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

固縛装置の強度評価において、その構造を踏まえ、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

(1) 強度評価方針

固縛装置の強度評価フローを図 2-6 に示す。固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に、固縛装置を構成している連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）に作用する荷重等が「3.4 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。

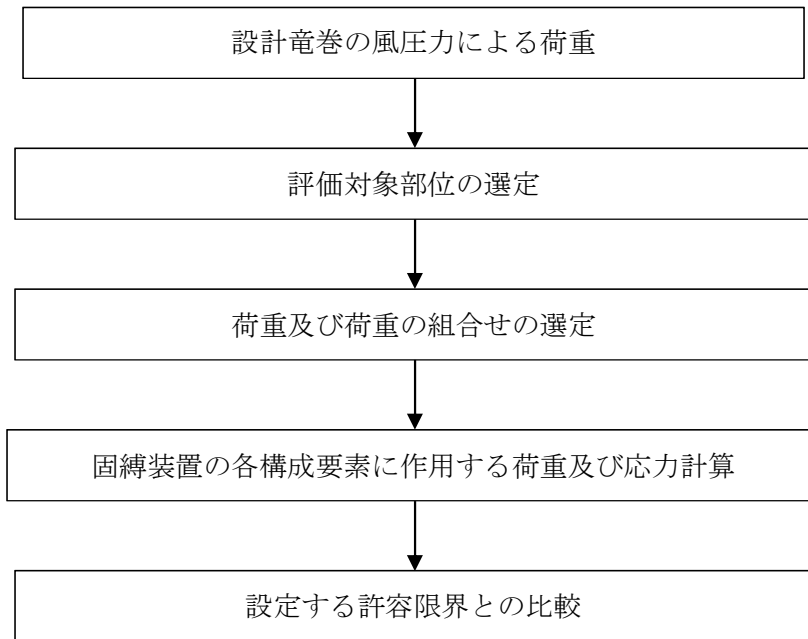


図 2-6 固縛装置の強度評価フロー

2.5 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

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

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

固縛対象設備に作用する荷重の評価に用いる記号を表 3-1, 連結材の強度評価に用いる記号を表 3-2, 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1 固縛対象設備に作用する荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
R_m	m	最大接線風速の生じる半径
H_i	m	流入層高さ
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m ²	固縛対象設備の各面の投影面積
W	m	固縛対象設備の幅
L	m	固縛対象設備の長さ
H	m	固縛対象設備の高さ
m	kg	固縛対象設備の質量
g	m/s ²	重力加速度 ($g=9.80665$)
ρ	kg/m ³	空気密度
q	N/m ²	設計用速度圧
G	—	ガスト影響係数
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
A	m ²	固縛対象設備の最大受圧面積
$V_{SAS, F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS, S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
$C_D A/m$	m ² /kg	空力パラメータ
μ_s	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
μ_d	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
X	mm	固縛装置の設計余長
L_{OF}	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
n	箇所	固縛装置の箇所数
n'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数

表 3-1 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
k	N/m	連結材の等価剛性 ($= E_{RP} \cdot A_{RP} / L_{RP}$)
E_{RP}	N/mm ²	連結材の弾性係数
A_{RP}	mm ²	連結材の断面積
L_{RP}	m	連結材の長さ
F_d	kN	固縛対象設備の自重
$F_{L, m}$	kN	固縛対象設備に作用する保守的に設定した揚力
P_v	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重

表 3-2 連結材の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_v	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の箇所数
n_1	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_1	kN	連結材 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1,m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組あたりに作用する荷重
$P_{1,s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組あたりに作用する荷重
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（設備進行方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置となす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
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 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
F_d	kN	固縛対象設備の自重
P_v	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重
P_H	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重
P_i	kN	固縛対象設備に作用する動的荷重
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の箇所数
n_2	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P_2	kN	フレノリンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
P_3	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（設備進行方向）に固縛装置の連結材（サイドロープ）が初期位置と展張時の位置とのなす角度
A	m^2	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_{SA}	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
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

表 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/3）

記号	単位	定義
h	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノリンクボルト芯までの高さ
L_1	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
d_t	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
B	mm	ベースプレートの幅
t	mm	ベースプレートの厚さ
$Z_{p y}$	mm^3	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	mm^3	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
A	mm^2	ベースプレートの断面積
M_y	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
M_x	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
M_{y-z}	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
$M_{p y}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
$M_{p x}$	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
Q_x	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_y	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_{x-z}	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
α	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
A_e	mm^2	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
n'	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
T_v	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
T_H	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
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
σ_{qa}	N/mm^2	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7× f_t)
Q	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
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

表 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（3/3）

記号	単位	定義
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において、アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力
Q_{a2}	kN	定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力
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
${}_c\sigma_{qa}$	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_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
A_L	mm	接着系アンカーボルトにおいては、埋込長さ
A_{Le}	mm	接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
A_{Lce}	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
A_{da}	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
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 $\times\sqrt{F_c}$)

3.2 評価対象部位

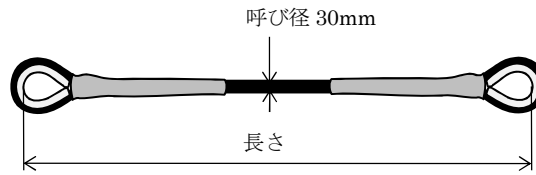
固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置の構造」にて設定している構造に基づき、「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す設計竜巻の風圧力の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

(1) 連結材

- ・連結材本体（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、評価対象部位は連結材本体とする。

連結材の評価対象部位を図 3-1 に示す。



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

図 3-1 連結材の評価対象部位

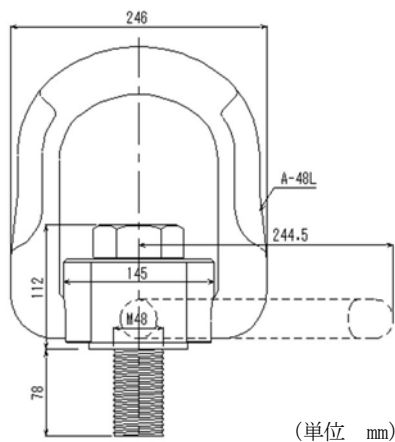
(2) 固定材

a. フレノリンクボルト

- ・フレノリンクボルト本体

※フレノリンクボルトに作用する荷重は、メーカー提示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。

フレノリンクボルトの評価対象部位を図 3-2 に示す。



(フレノリンクボルト (A-48L))

図 3-2 フレノリンクボルトの評価対象部位

- b. アンカープレート
アンカープレートについては、ベースプレートの評価対象部位として設定する。
・ベースプレート
- (3) 基礎部（アンカーボルト）
基礎部（アンカーボルト）は、接着系アンカーボルトを評価対象部位として設定する。
・接着系アンカーボルト

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

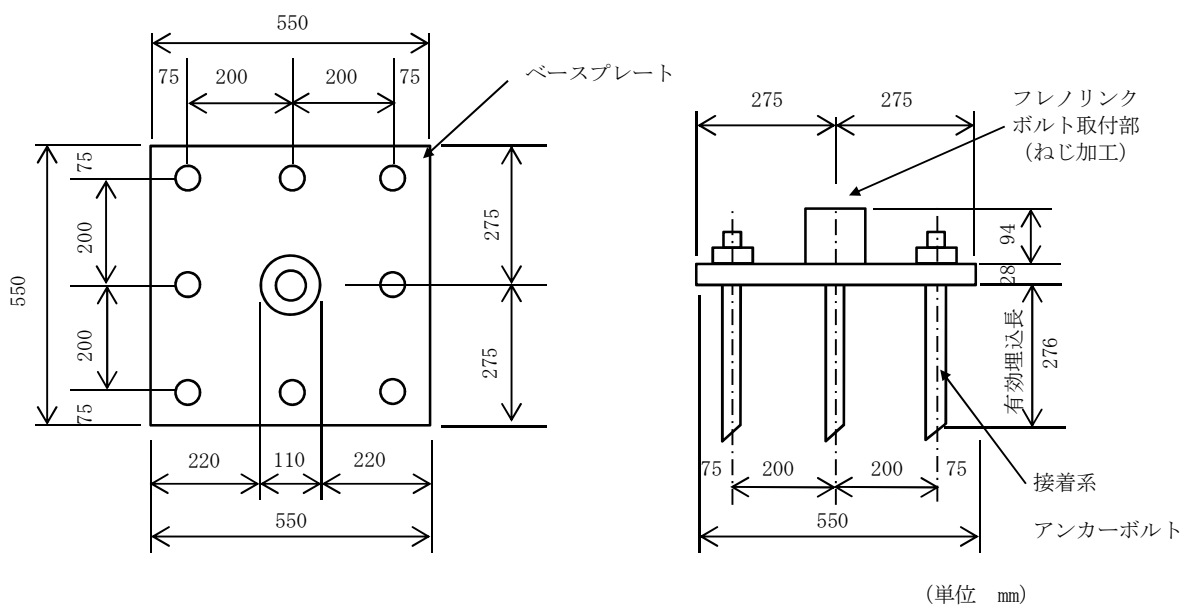


図 3-3 固定材（アンカープレート）及び基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

b. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材、固定材（フレノリンクボルト及びアンカープレート）を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3(1) 荷重の種類」に示すように、竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象設備は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対し

でも、風圧力により固縛対象設備に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮した設計とする。

(a) 竜巻の風圧力による荷重

V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づき、荷重を選定する。

イ. 浮き上がり荷重

固縛対象設備の浮き上がり時に発生する荷重 P_V は、設計竜巻により当該固縛対象設備に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象設備の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る（＝空力パラメータから算出される揚力－自重 > 0）場合に上向きの力として固縛対象設備に作用する。

固縛対象設備に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力 $F_{L, m}$ を用い、空力パラメータ $C_D A/m$ を用いた式に展開し、浮き上がり荷重 P_V は次に示すとおり算出する。

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

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

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の $C_D A/m$ として算出する。

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

ロ. 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重 P_H は、設計竜巻の風圧力による荷重が当該固縛対象設備に作用する水平力とし、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおり W_w とする。

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

ハ. 動的荷重

連結材（サイドロープ）に余長を有する固縛装置が作動（余長が展張）する時に固縛対象設備の急停止に伴い固縛装置に発生する動的荷重 P_i は、V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3(2)d. 動的荷重」に基づき、以下によって算出する。

(イ) 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

浮き上がり開始風速 $V_{SAS, F}$ は、浮き上がり荷重 P_V が 0 となる時の風速であり、以下の式によって算出する。

$$V_{SAS, F} = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\rho \cdot \frac{C_{DA}}{m}}}$$

横滑り開始風速 $V_{SAS, S}$ は、風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り合った時の風速であり、以下の式によって算出する。

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

(ロ) 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

固縛対象設備が挙動を開始してから連結材（サイドロープ）が展張する時点での固縛対象設備が持つ速度である終端速度 $v_{SA, OT}$ を算出する。以下算出は横滑りを例に記載する。

固縛対象設備が横滑りを始めた風速から最大風速となる風速を、設計竜巻の風速分布曲線より、保守性を考慮して線形近似した以下の式を使用する。

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

V'_{SA} : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速

a : 風速の近似式の定数

b : 風速の近似式の定数 (= 滑り出し風速)

停止している固縛対象設備が動き出し、設計余長分を移動した時の加速度 a_{SA} を、荷重と加速度の関係から算出する。

$$a_{SA} = \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m} = \frac{1}{2} \rho \frac{G \cdot C \cdot A}{m} \cdot V'^2_{SA} - \mu_d \cdot g \quad \cdots \quad \text{②}$$

F_{fd} : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

ここで、K を以下に示すように置いて、②式の V'_{SA} に①式を代入し、t に対する式として整理すると、③式となる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \frac{G \cdot C \cdot A}{m}$$

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

固縛対象設備の速度 v_{SA} は、加速度 a_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮することで④式となる。（初期条件 t = 0 のとき、 $v_{SA} = 0$ ）

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

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} は、速度 v_{SA} を時間 t で積分し、初期条件を考慮すると以下の式となる。（初期条件 $t=0$ のとき、 $x_{SA}=0$ ）

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

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} が設計余長 X となる時として、⑤式を t について解くと、滑り始めてから固縛装置が作動するまでの時間 t_i が算出できる。

④式に t_i を代入することで、固縛装置が作動する時点での固縛対象設備の速度として、終端速度 $v_{SA, OT}$ が算出される。

(ハ) 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重 F_i' を静荷重として、連結材張力による動的荷重 F_i 算出後に加算する。固縛対象設備が有する運動量は $m v_{SA}$ である。固縛装置が作用し始めて Δt の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重 F_i と運動量の関係は、⑥式のとおりとなる。

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

固縛装置の連結材は、弾性的に拘束力を生じる性質を有しており、バネ定数 k を有するバネとして考え、連結材に弾性的な力が作用し、固縛対象設備の速度が 0 になったとすると、振幅を B として、連結材の変位 x_{RP} は、以下の式で表される。また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重 F_i は⑧式となる。

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

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

次に、⑧式を⑥式に代入して積分し、初期条件を考慮して、振幅について解くと⑨式となる。（初期条件： $t=0$ のとき $v_{SA}=v_{SA,OT}$ 、 $t=\Delta t$ のとき $v_{SA}=0$ ）

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

また、動的荷重 F_i は、⑧式の正弦関数が1のときに最大値（ $=k \cdot B$ ）となり、連結材の変位も最大となるその時間 t_i' は、以下の式となる。

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

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重 F_i' が作用する。固縛対象設備に作用する風速は、①式に t_i を代入して算出する。

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

$$F_i' = W_W - F_m$$

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

固縛装置作動により固縛対象設備の急停止に伴う荷重は、動的荷重 F_i に加えて静荷重 F_i' を加算した荷重とし、動的荷重 P_i とする。

(2) 荷重の組合せ

V-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す、常時作用荷重（ F_d ）、風荷重による浮き上がり荷重（ P_v ）、横滑り荷重（ P_H ）及び動的荷重（ P_i ）を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v$ 又は $F_d + P_H$ 又は $F_d + P_i$ （固縛対象設備に作用する荷重）

(3) 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり、「3.3(1) 荷重設定」, 「3.3(2) 荷重の組合せ」に基づき評価した結果, 最も裕度の低い固縛装置を有する可搬型代替注水中型ポンプに対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型代替注水中型ポンプに考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型代替注水 中型ポンプ	フレノリンクボルト + アンカープレート + 接着系アンカーボルト	$F_d + \text{動的荷重 } P_i$ (側面方向の横滑り)

3.4 許容限界

固縛装置の許容限界は, V-3-別添 1-3 「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり, 「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに, 評価内容に応じて設定する。評価においては, 許容限界以下であることを確認する。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材(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規格引張強度を許容限界とする。

(2) 固定材

a. フレノリンクボルト

固定材のうち, フレノリンクボルトについては, 設計竜巻による荷重に対し, フレノリンクボルトの破断が生じない設計とする。

このため, 当社がその妥当性を確認したメーカ提示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。

3.5 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の箇所数×連結材1組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材1組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

a. 浮き上がり時

設計竜巻の風荷重による揚力が固縛対象設備に作用して浮き上がる状態を考える。固縛対象設備が浮き上がった場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから連結材に作用する荷重を以下の式により算定する。浮き上がり時の評価モデルの概要図を図3-4に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、浮き上がり時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

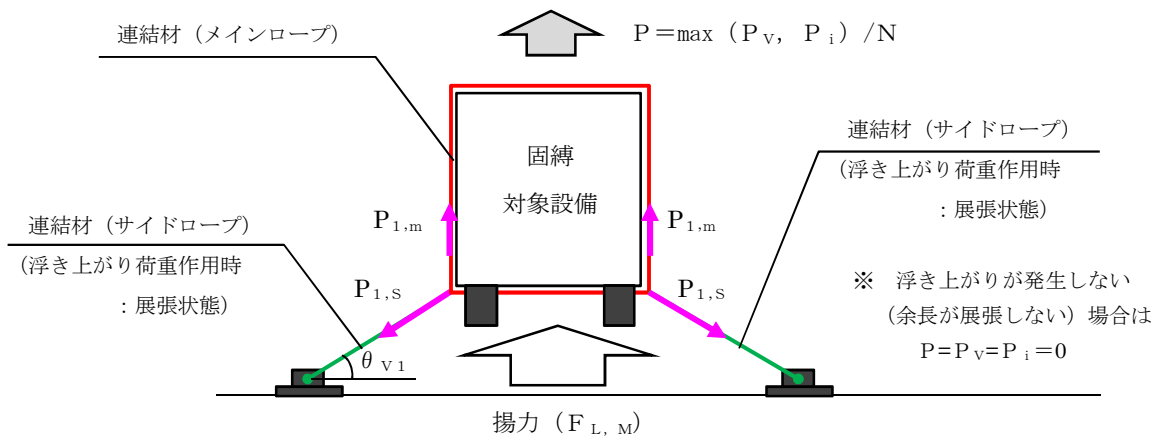


図3-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要図

b. 横滑り時

設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して横滑りする状態を考え、連結材に作用する荷重は算定するが、横滑りの方向により連結材に作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向に対して、荷重を算定する。

(a) 側面方向の横滑り時

固縛対象設備が側面方向（進行方向直角方向）に横滑りした場合には、固縛装置は片側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））のみで抵抗することとなるから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（側面方向）の評価モデルの概要図を図3-5に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、側面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

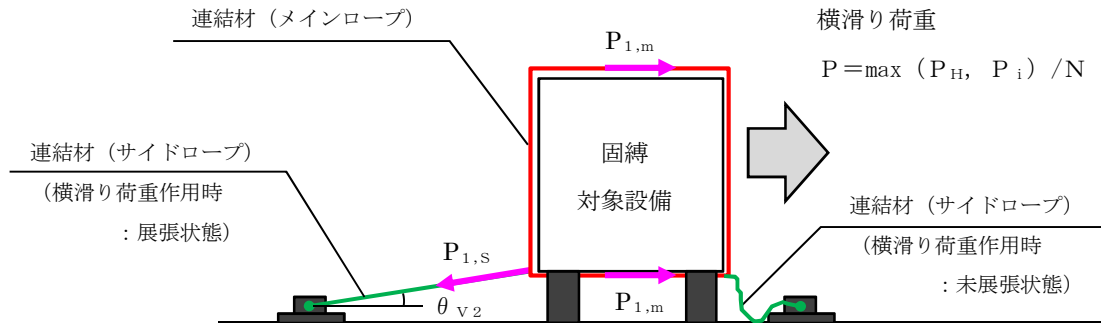


図 3-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(b) 正面方向の横滑り時

固縛対象設備が正面方向（進行方向）に横滑りした場合には、両側に配置した固縛装置（連結材（サイドロープ））で抵抗することから、連結材の検討用荷重 P_1 は以下の式により算定する。横滑り時（正面方向）の評価モデルの概要図を図 3-6 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ作用する荷重のうち大きい荷重を、正面方向の横滑り時の連結材の検討用荷重 P_1 とする。

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

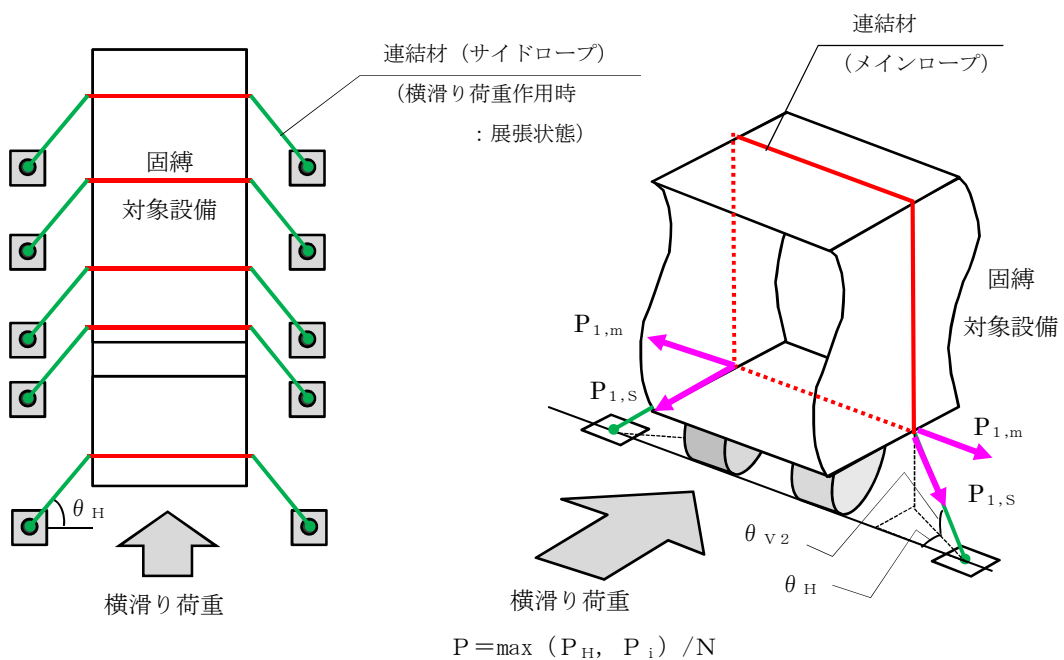


図 3-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要図

(2) 固定材の評価方法

a. フレノリンクボルトの評価方法

フレノリンクボルトに作用する荷重も連結材と同様に、固縛装置の箇所数×フレノリンクボルト1本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、フレノリンクボルト1本当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

なお、フレノリンクボルトは連結材のうちサイドロープと同一の作用線上に配置されることから、連結材のサイドロープの荷重を検討用荷重 P_2 とする。

また、荷重の評価モデルは連結材と同様である。

(a) 浮き上がり時

浮き上がり時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

(b) 横滑り時

イ. 側面方向の横滑り時

側面方向の横滑り時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

ロ. 正面方向の横滑り時

正面方向の横滑り時のフレノリンクボルトの検討用荷重 P_2 は以下の式で算定する。

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

b. アンカープレートの評価方法

(a) 計算モデル

アンカープレートは、フレノリンクボルトを介して荷重を受けるため、フレノリンクボルトの角度により、図3-7に示す x 、 y 、 z 方向にフレノリンクボルトに作用する荷重 P_2 の分力として、検討用荷重 P_3 が作用する。

アンカープレートの評価は、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対して部材断面に生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

なお、フレノリンクボルトはボルト芯を軸として回転し、アンカープレートの仕様も含めて、 x 方向と y 方向は同一の評価条件となり、 x 、 y 方向は同じ検討モデルとなるため、以降では x 方向に作用する場合を示す。

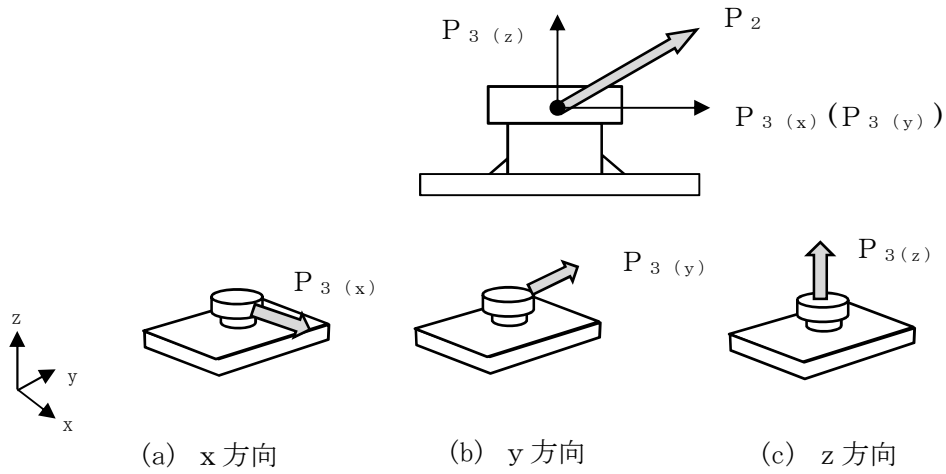


図 3-7 アンカープレートの計算モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. x (y) 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 3-8 に示す。前述のとおり、x 方向と y 方向の計算モデルは同一条件であるため、x 方向のモデルにて示す。

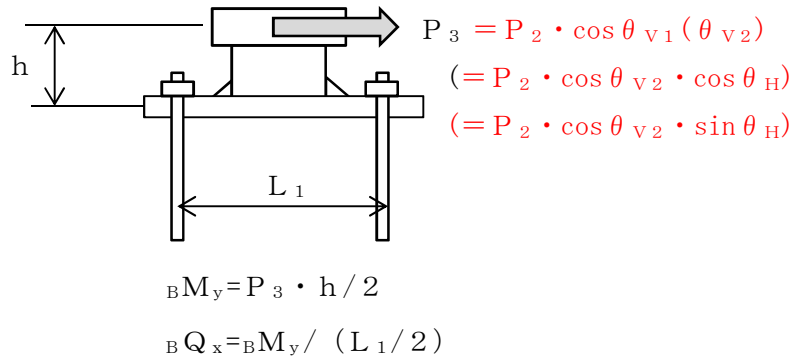


図 3-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント ${}_B M_y$ は、以下の式により算定する。

$${}_B M_y = P_3 \cdot \frac{h}{2}$$

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

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

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

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートのせん断力 ${}_B Q_x$ は、以下の式により算定する。

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

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

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

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

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

ロ. z 方向荷重時の検討

アンカープレートのうち、ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を図 3-9 に示す。

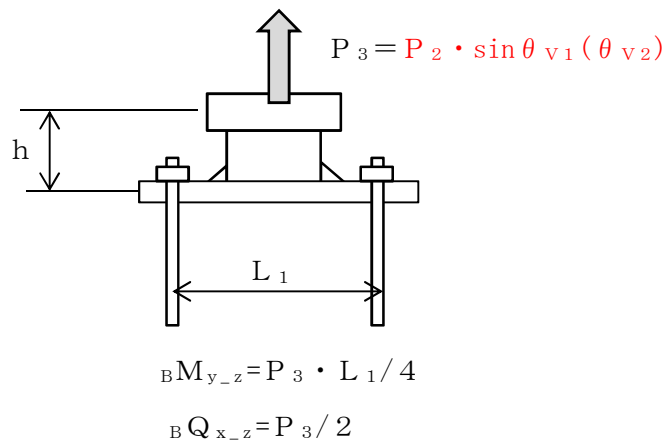


図 3-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント ${}_B M_{y-z}$ は、以下の式により算定する。

$${}_B M_{y-z} = P_3 \cdot \frac{L_1}{4}$$

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

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

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

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P_3 によるベースプレートのせん断力 ${}_B Q_x$ は、以下の式により算定する。

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

ベースプレートの断面積 ${}_B A$ は、以下の式により算定する。

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

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

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

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価方法

a. 接着系アンカーボルトの評価方法

(a) 計算モデル

接着系アンカーボルトもアンカープレートの評価と同様に、浮き上がり及び横滑りの荷重状態を考慮して、作用する方向の検討用荷重に対してアンカーボルトに生ずる荷重等を算定し、評価を行う。

(b) 引張に関する検討

接着系アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積 ${}_A A_e$ は、以下の式により算定する。

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

z 方向の検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力 $A T_V$ は、以下の式により算定する。

$$A T_V = \frac{P_3}{n}$$

x 又は y 方向の検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力 $A T_H$ は、以下の式により算定する。

$$A T_H = \frac{P_3 \cdot h}{\frac{7}{8} d_t \cdot n}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$A L_e = A L - d_a$$

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

ここで、

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

$A L_e \geq 10 d_a$ の場合は、 $A L_e = 10 d_a$ とする。

アンカーボルトの許容耐力 P_a は、以下の式により算定する。

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

(c) せん断に関する検討

検討用荷重 P_3 によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力 ${}_A Q$ は、以下の式により算定する。

$${}_A Q = \frac{P_3}{n}$$

アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力 Q_{a1} は、以下の式により算定する。

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

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

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

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

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

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

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

アンカーボルトの許容せん断力 Q_a は、以下の式により算定する。

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

(d) 引張とせん断を同時に受ける場合に関する検討

コンクリートに埋め込まれるアンカーボルトとしての引張力とせん断力の組合せ力に対する検定は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、以下の式によって行う。

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

4. 評価条件

評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価条件

可搬型代替注水中型ポンプの評価条件を、表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

固縛対象設備	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	R_m (m)	H_i (m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)
可搬型代替注水 中型ポンプ	100	85	30	15	1.22	9.80665

表 4-2 評価条件 (固縛対象設備)

固縛対象設備	B (m)	L (m)	H (m)	m (m)	μ_s (-)	μ_d (-)
可搬型代替注水 中型ポンプ	2.490	8.260	3.430	14800	0.44	0.29

C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)	G (-)	C (-)
2.0	2.0	2.0	8.541	20.567	28.332	1.0	1.2

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

表 4-3 評価条件 (固縛装置)

固縛対象設備	N (箇所)	X (mm)	L _{OF} (m)	θ_{V1} (°)	θ_{V2} (°)	θ_H (°)
可搬型代替注水 中型ポンプ	5	600	900	60.6	35.0	53.2

表 4-4 評価条件 (連結材)

評価対象	仕様	A _{RP} (mm ²)	E _{RP} (N/mm ²)	L _{RP} (m)	n ₁ (個)
連結材	高強度繊維ロープ	380.13	15785	6.551	2

表 4-5 評価条件 (固定材のうちフレノリンクボルト)

評価対象	仕様	型式	n ₂ (個)
固定材	フレノリンクボルト	A-48L	2

表 4-6 評価条件 (固定材のうちアンカープレート)

評価対象	評価部位	材質	F (N/mm ²)	B _B (mm)	B _t (mm)
固定材	アンカープレート	SN400B	235	550	32

h (mm)	L ₁ (mm)	d _t (mm)	n ₂ (個)
134	400	475	2

表 4-7 評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象	評価部位	材質	F (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _t (N/mm ²)
基礎部 (アンカーボルト)	接着系 アンカーボルト	SS400	235	235	235

d _a (mm)	n ₂ (個)	A n (本)	A n' (本)	A L (mm)	A a (mm)	c (mm)
24	2	8	3	300	200	400

α ₁ (-)	α ₂ (-)	α ₃ (-)	F _C (N/mm ²)	γ (kN/m ³)
1.0	0.76	0.76	40	24.5

表 4-8 評価条件（固縛対象設備に作用する荷重）

固縛対象設備	P _v (kN)	P _H (kN)		P _i (kN)	
		側面	正面	側面	正面
可搬型代替注水 中型ポンプ	35.0	161.0	48.5	676.8	723.2

5. 評価結果

5.1 可搬型代替注水中型ポンプの評価結果

(1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を表 5-1 に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-1 連結材の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	動的荷重 (側面方向 横滑り)	165.3	250	1.51

(2) 固定材の評価結果

a. フレノリンクボルト

固定材のうちフレノリンクボルトの評価結果を表 5-2 に示す。フレノリンクボルトに作用する荷重は許容限界以下であり，固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表 5-2 固定材（フレノリンクボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
フレノリンク ボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	165.3	735	4.44

b. アンカープレート

固定材のうちアンカープレートの評価結果を表5-3に示す。アンカープレートに作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表5-3 固定材（アンカープレート）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)
アンカー プレート	動的荷重 (側面方向 横滑り)	18546.9	36326.4

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	裕度*
92.8	2604.8	1.95

注) * : 最小裕度のみ記載

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表5-4に示す。アンカーボルトに作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態を維持するために必要な構造強度を有している。

表5-4 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重 ケース	引張力 (kN)	許容限界 (kN)
接着系 アンカーボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	26.4	79.7

せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界	裕度*
17.0	55.6	0.2030	1.0	3.01

注) * : 最小裕度のみ記載

V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

NT2 補② V-3-別添 1-1-10-1 R1

目次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	1
2.1 位置.....	1
2.2 構造概要.....	3
2.3 評価方針.....	7
2.4 適用規格.....	8
3. 強度評価方法.....	10
3.1 記号の定義.....	10
3.2 評価対象部位.....	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	10
3.4 許容限界.....	12
3.5 評価方法.....	16
4. 評価条件.....	19
4.1 サービス建屋.....	19
4.2 海水ポンプエリア防護壁.....	21
4.3 鋼製防護壁.....	21
5. 強度評価結果.....	23
5.1 サービス建屋.....	23
5.2 海水ポンプエリア防護壁.....	23
5.3 鋼製防護壁.....	23

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、海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁が、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、タービン建屋並びに防護対象施設である残留熱除去系海水系ポンプ等に対して、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、海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁の「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。

海水ポンプエリア防護壁は、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、残留熱除去系海水系ポンプ等に隣接する構造物である。

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及び図2-2に示す。

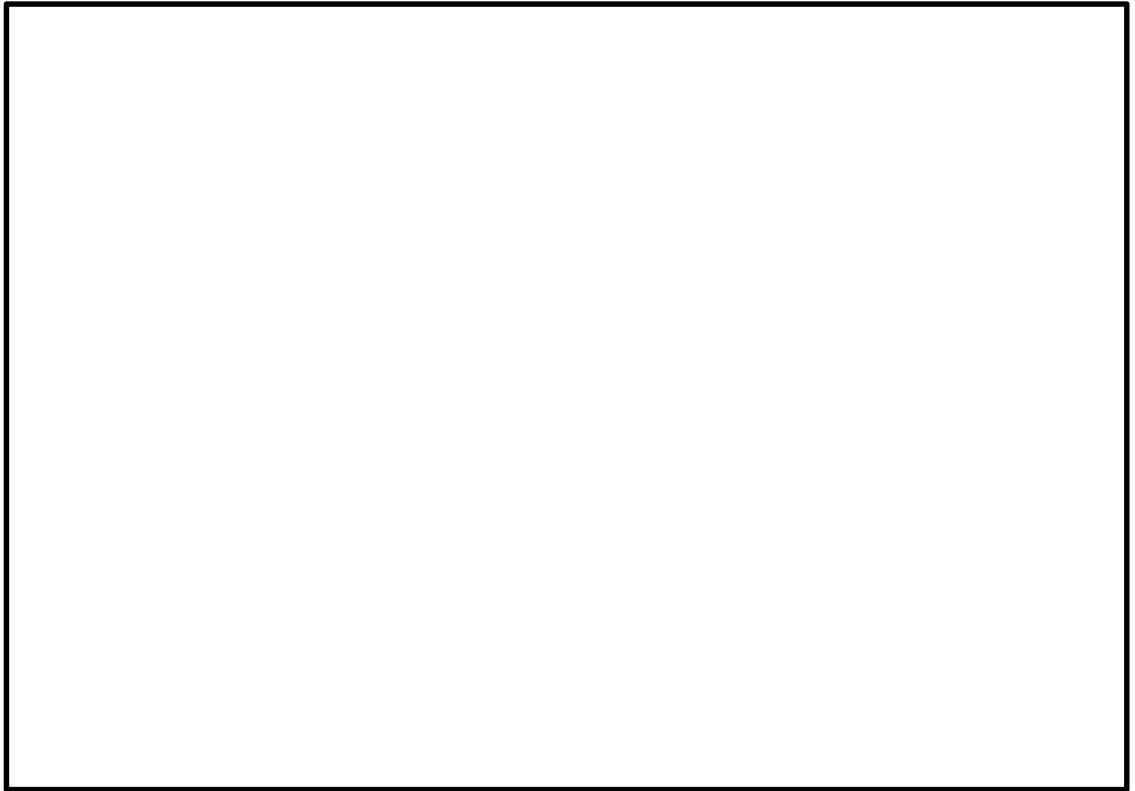


図 2-1 サービス建屋及び鋼製防護壁の配置図

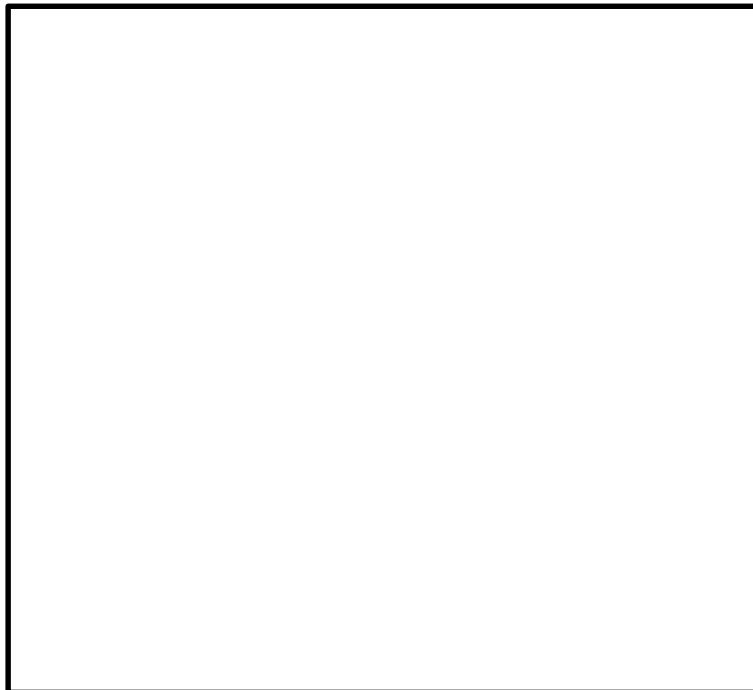


図 2-2 海水ポンプエリア防護壁の配置図

2.2 構造概要

(1) サービス建屋

サービス建屋並びにサービス建屋から波及的影響を受ける恐れがある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。

サービス建屋は、図2-3に示すとおり、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は、それぞれ構造的に独立した建物である。波及的影響を考慮する本評価においては、原子炉建屋に隣接する既設部を対象とする。（以下特記の無い限り「サービス建屋」という場合は、既設部を指す。）

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。

サービス建屋の断面図を図2-4に示す。

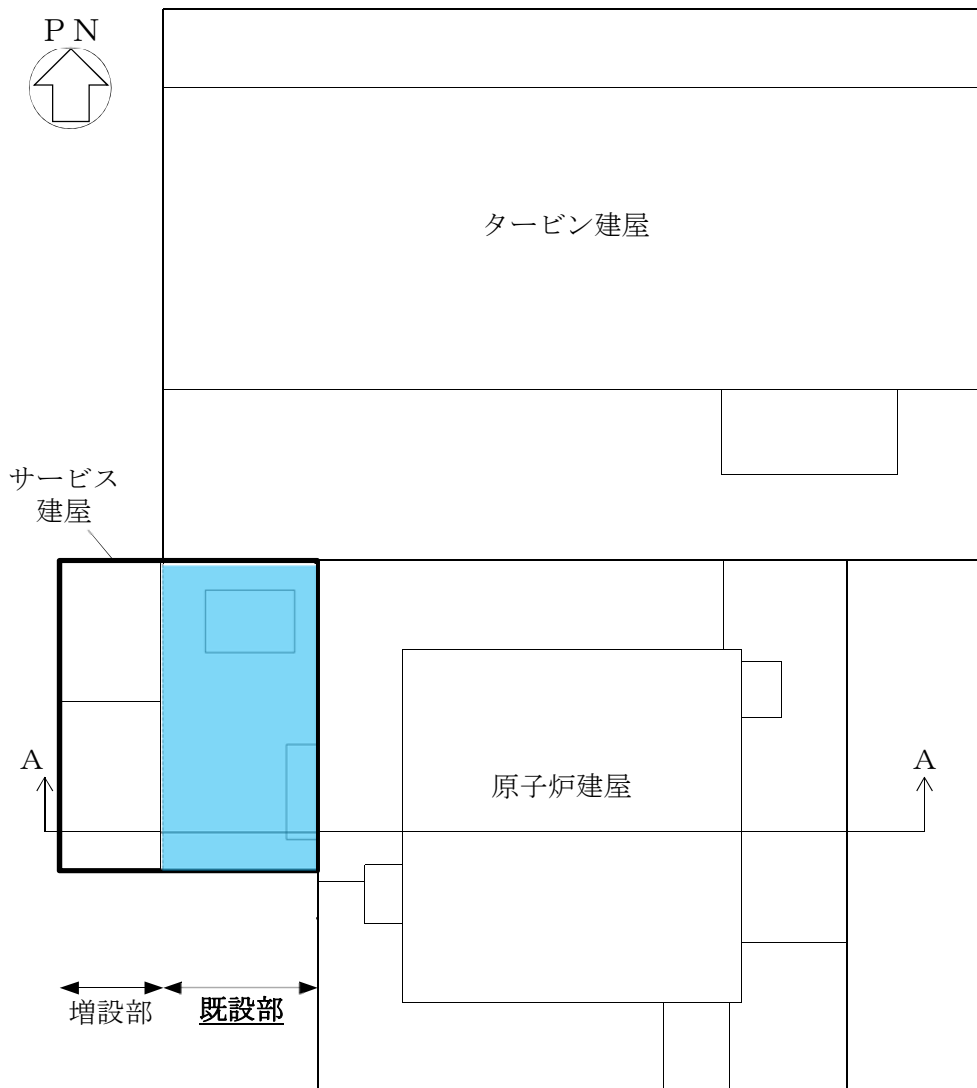


図2-3 サービス建屋、原子炉建屋及びサービス建屋の配置

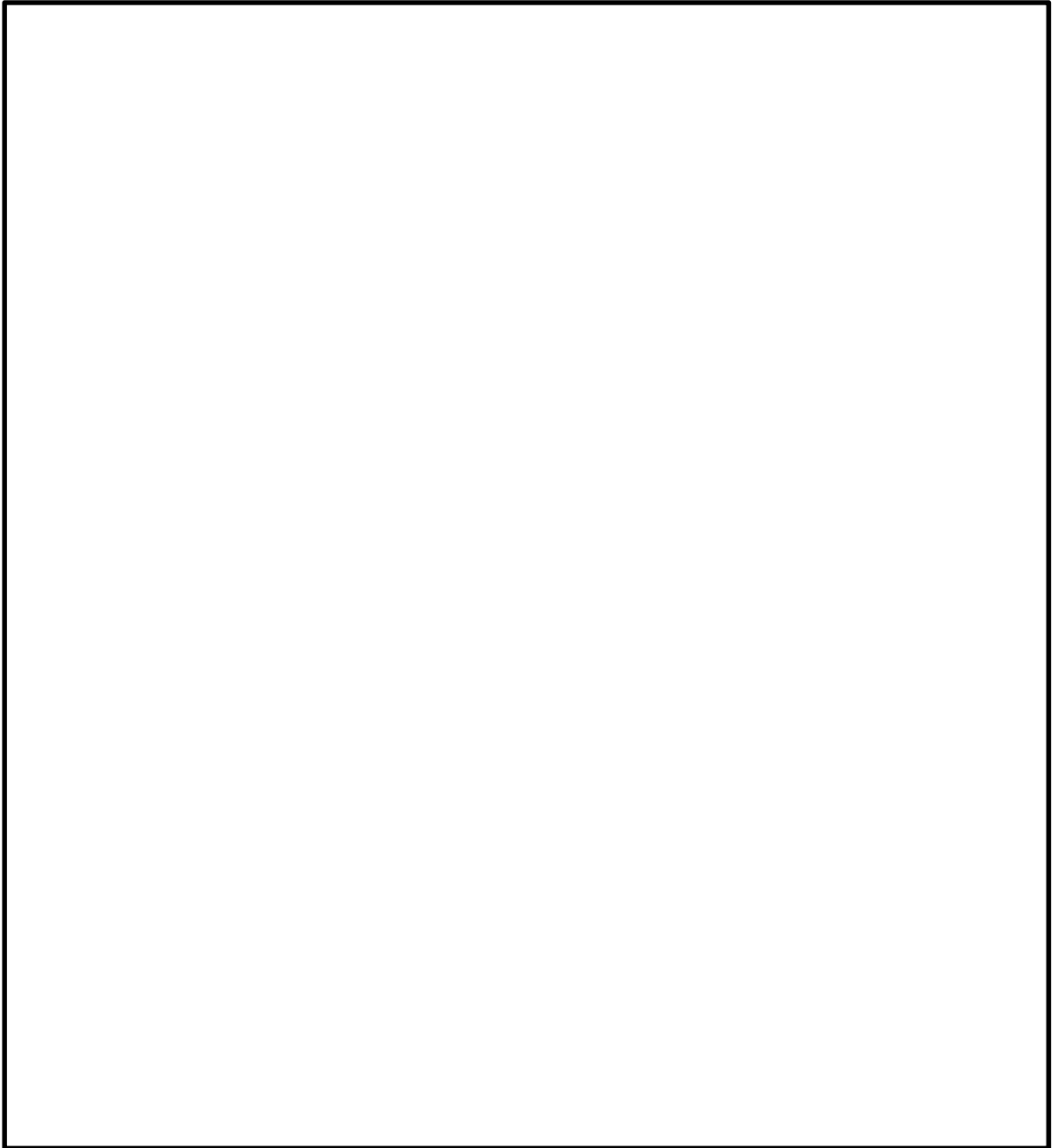


図2-4 サービス建屋断面図

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は、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。

海水ポンプエリア防護壁は、鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構及び鋼板で構成され、また、竜巻飛来物に対する防護ネット及び防護鋼板を取り付ける架構としての役割も有する。

海水ポンプエリア防護壁の概略構造図を図 2-5 に示す。

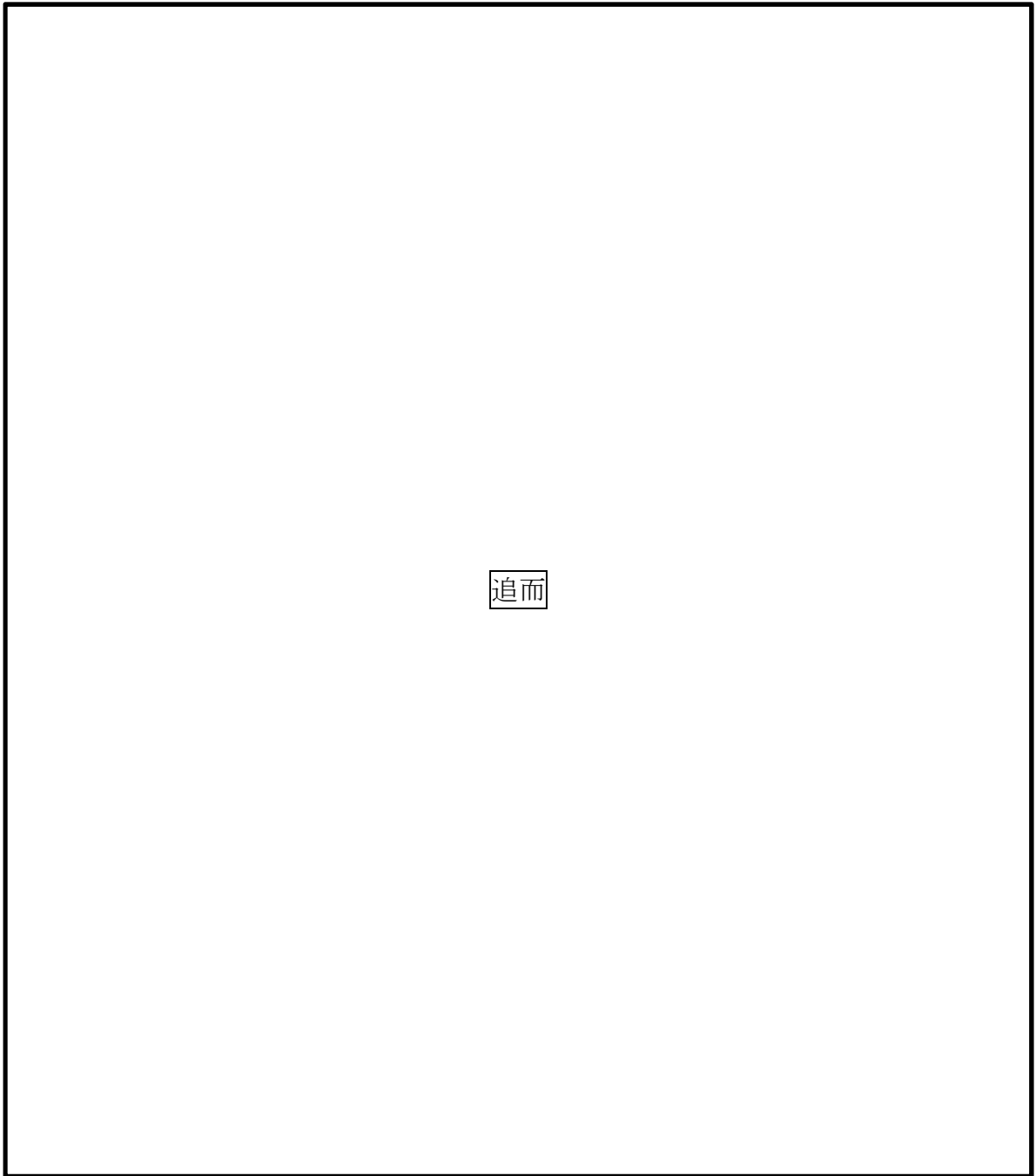


図 2-5 海水ポンプエリア防護壁概略構造図

(3) 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。鋼製防護壁の概略構造図を図 2-6 に示す。

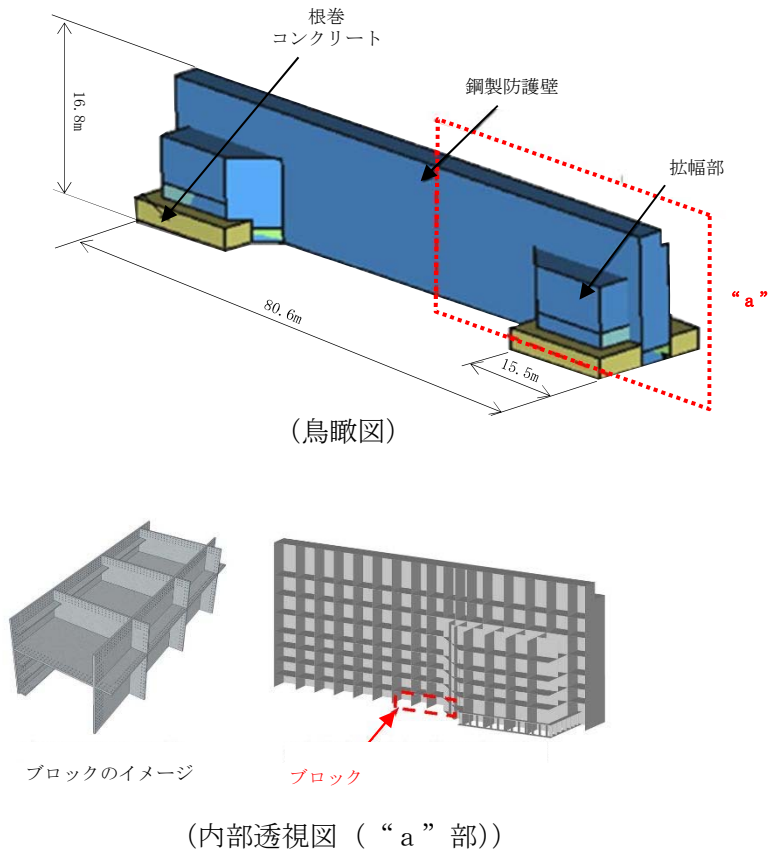


図 2-6 鋼製防護壁概略構造図

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。

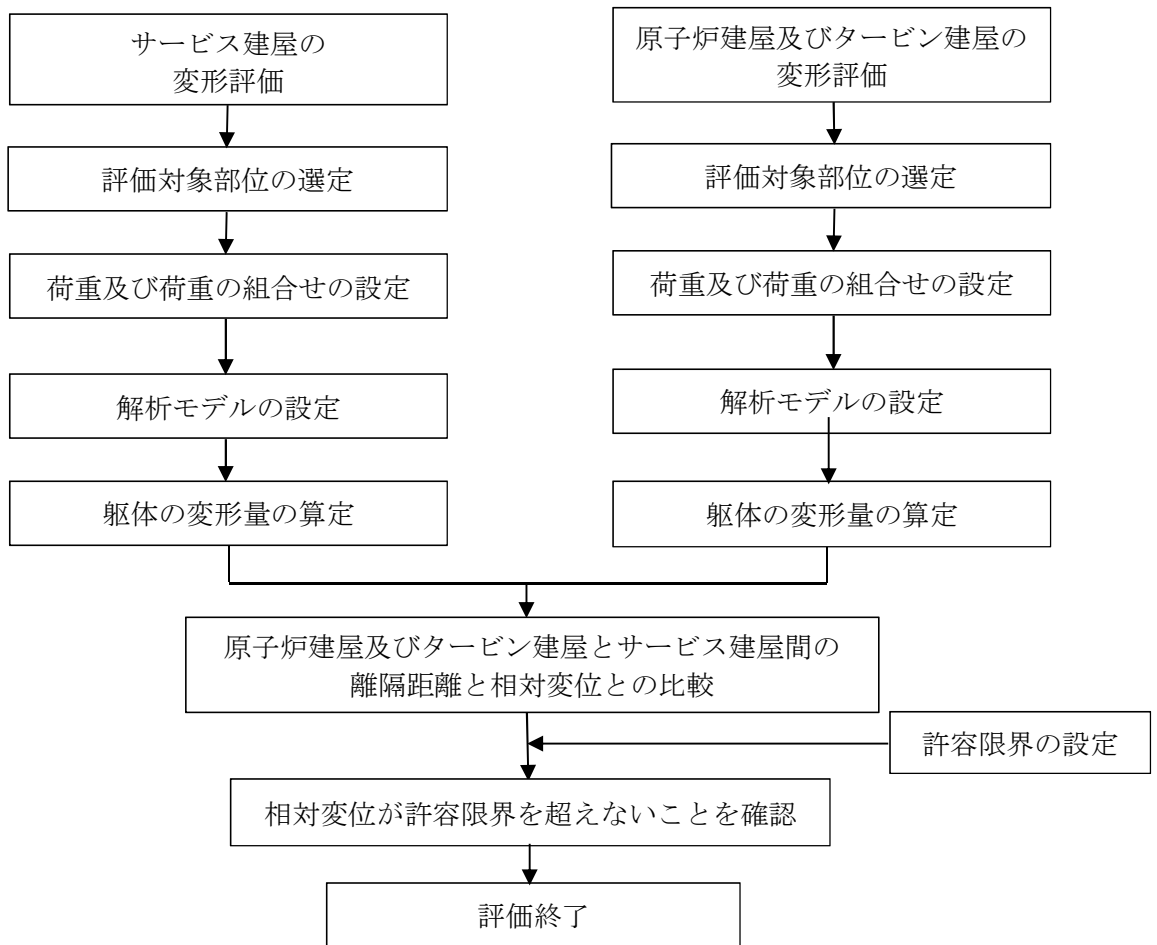


図2-7 サービス建屋の波及的影響評価フロー

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア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。

海水ポンプエリア防護壁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、海水ポンプエリア防護壁が隣接する残留熱除去系海水系ポンプ等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。

海水ポンプエリア防護壁の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については、設計荷重に対し、残留熱除去系海水系ポンプ等に接触する変形を生じないことを確認する。

(3) 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）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積
C	—	風力係数
F _m	N	飛来物による衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
m	kg	飛来物の質量
ΔP	N/m ²	単位面積あたりの最大気圧低下量
q	N/m ²	設計用速度圧
V	m/s	飛来物の衝突速度

3.2 評価対象部位

(1) サービス建屋

サービス建屋及の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて鉄筋コンクリート躯体を設定する。

また、設計荷重に対し、サービス建屋による原子炉建屋及びタービン建屋への波及的影響評価を行うため、鉄筋コンクリート造である原子炉建屋及びタービン建屋の耐震壁を評価対象部位とする。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構及び鋼板壁を設定する。

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の評価対象部位は、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価対象部位を踏まえて上部工（鋼殻構造部）を設定する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組み合わせは、V-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、下式により算定する。

風力係数 C は、「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

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

b. 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重 W_p については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

c. 飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物による衝撃荷重 W_M については、表3-2に示す飛来物の衝突に伴う荷重として
いる。

なお、飛来物に対し受分に大きな質量を有する施設に対し、当該施設の全体的な変
形挙動の評価をする場合には、相対的に極小と見なせる飛来物により瞬間的に作用す
る衝撃荷重 W_M の影響は軽微と考えられるため、考慮しないものとする。

表3-2 飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

d. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重 F_d として、自重及び上載荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、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」を踏まえて、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を組み合わせる。

荷重の組合せを表3-3に示す。

表3-3 荷重の組合せ

評価対象部位	荷重の組合せ
複合荷重 W_{T1}	$W_p + F_d$
複合荷重 W_{T2}	$W_w + 1/2W_p + W_M + F_d$

W_w : 風圧力による荷重 W_p : 気圧差による荷重

W_M : 飛来物による衝撃荷重 F_d : 常時作用する荷重

3.4 許容限界

(1) サービス建屋

サービス建屋の許容限界は、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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

サービス建屋の躯体の変形（原子炉建屋及びタービン建屋に対する相対変位）に対する許容限界は、サービス建屋と原子炉建屋の離隔距離及びサービス建屋とタービン建屋の離隔距離とする。

設定した許容限界を表3-4に、サービス建屋と原子炉建屋及びタービン建屋の境界部の断面図を図3-1及び**図3-2**に示す。

表3-4 許容限界（サービス建屋）

	評価項目	許容限界
サービス建屋	躯体の変形	原子炉建屋との離隔距離： 50 mm
		タービン建屋との離隔距離： 50 mm

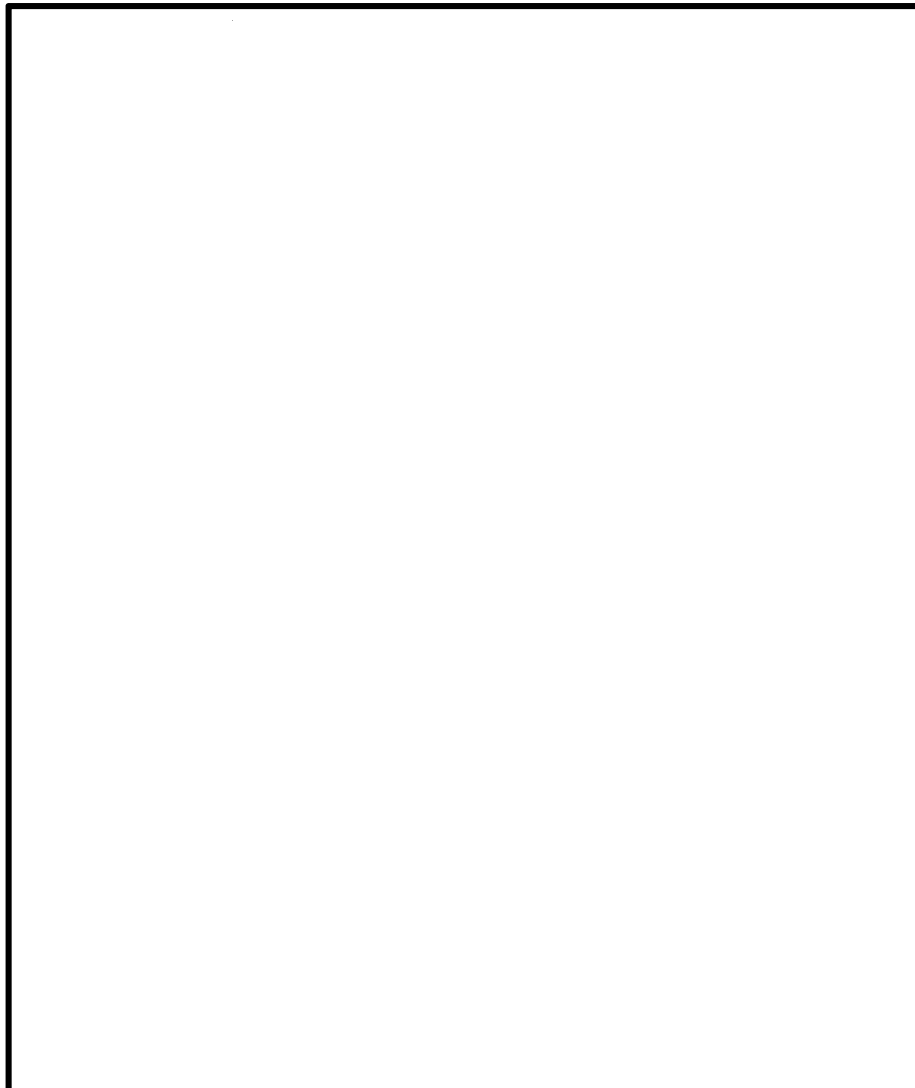


図3-1 サービス建屋と**原子炉建屋**の境界部断面図

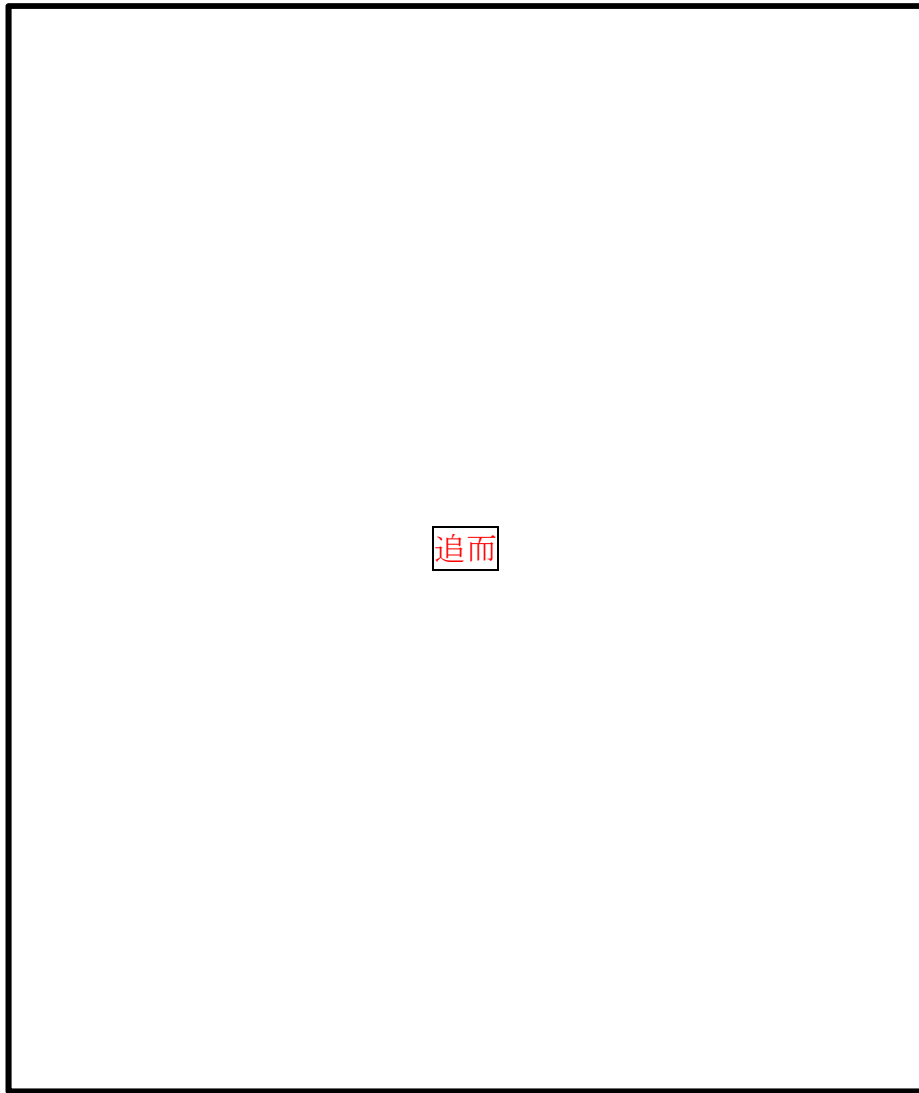


図3-2 サービス建屋とタービン建屋の境界部断面図

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の許容限界は、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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鋼製架構及び鋼板壁の変形に対する許容限界は、海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鋼製架構及び鋼板壁と近接する防護対象施設との**最小離隔距離を考慮し設定する**。

各エリアに対する許容限界を表3-5に、海水ポンプエリア防護壁と防護対象施設の**最小離隔部位**を図3-4に示す。

表3-5 許容限界（海水ポンプエリア防護壁）

評価項目		許容限界	
海水ポンプエリア 防護壁	躯体の 変形	エリア①～⑤	追而
		エリア⑦	電線管との離隔距離： 追而
		エリア⑧	残留熱除去系海水系配管との 離隔距離： 追而

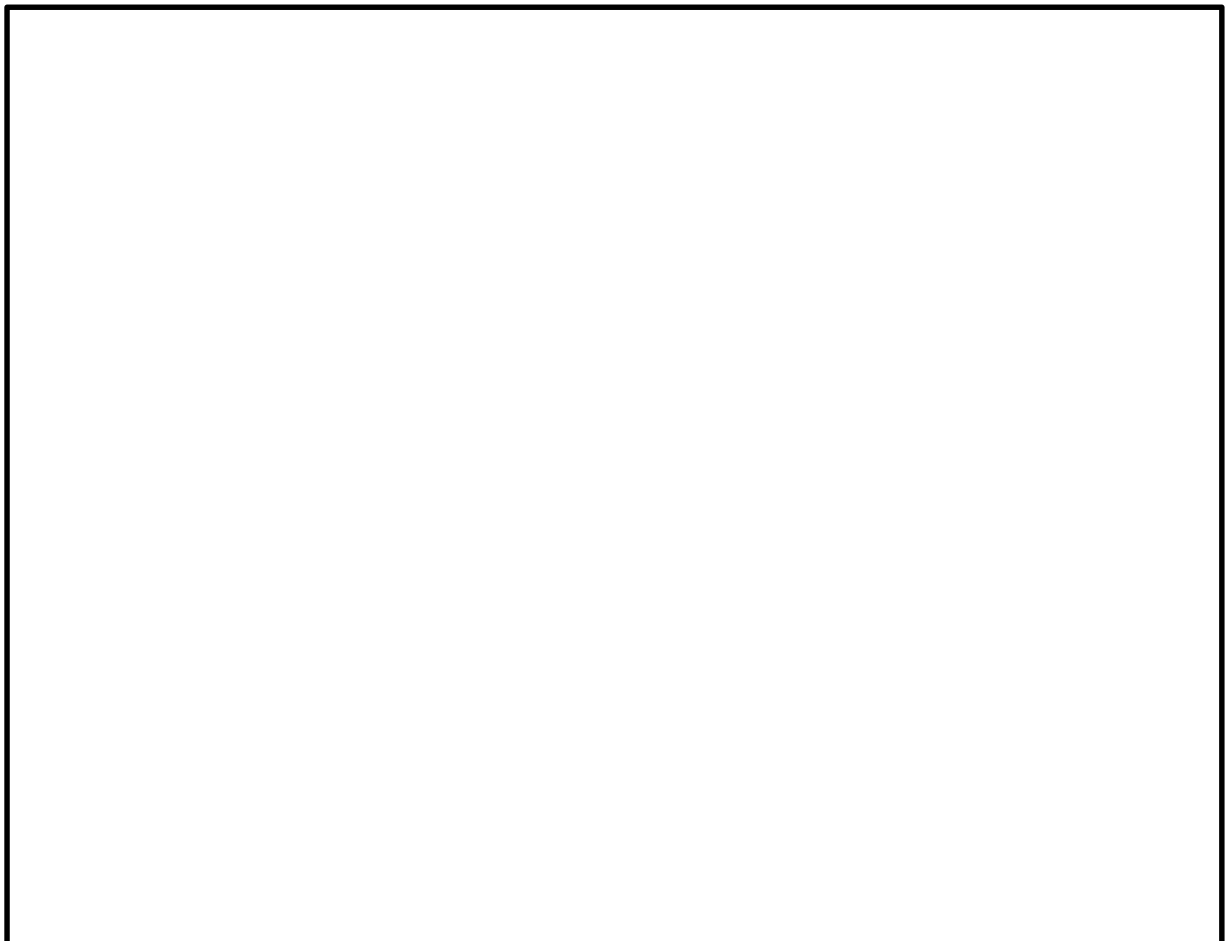


図3-4 海水ポンプエリア防護壁と防護対象の位置関係

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の許容限界は、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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

鋼製防護壁の上部工（鋼殻構造部）の評価における許容限界は、上部工に作用する津波荷重とする。

設定した許容限界を表3-6に、鋼製防護壁と防護対象施設の位置関係を図3-5に示す。

表 3-6 許容限界（鋼製防護壁）

	評価項目	許容限界
鋼製防護壁	上部工への風荷重	上部工への津波荷重： 追而

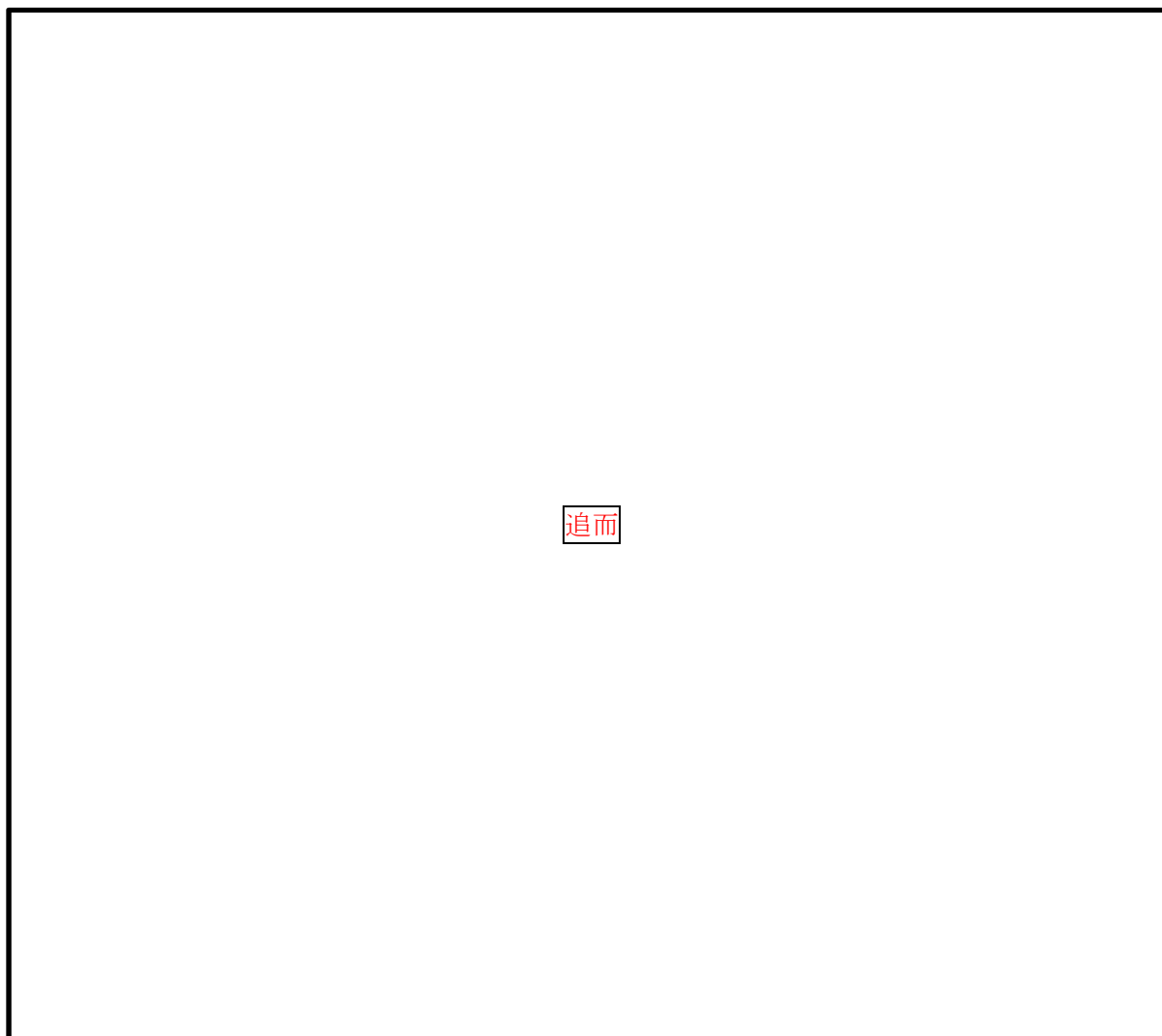


図 3-5 鋼製防護壁と防護対象の位置関係

3.5 評価方法

(1) サービス建屋（原子炉建屋及びタービン建屋を含む）

サービス建屋の躯体の変位は、設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－変位関係（ $Q-\delta$ 関係）より算定する。

サービス建屋の解析モデルを図3-5に示す。解析モデルは、V-2-11-2-12「サービス建屋の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。原子炉建屋はサービス建屋の東側、タービン建屋はサービス建屋の北側に位置するため、EW方向及びNS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p は、建屋の内部から外部に作用することから、建屋層全体の評価においては相殺されるが、保守的に W_w の作用方向のみに作用するものとして考慮する。

飛来物による衝撃荷重 W_M は、瞬間的な荷重であり、且つサービス建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると、建屋層全体の变形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。

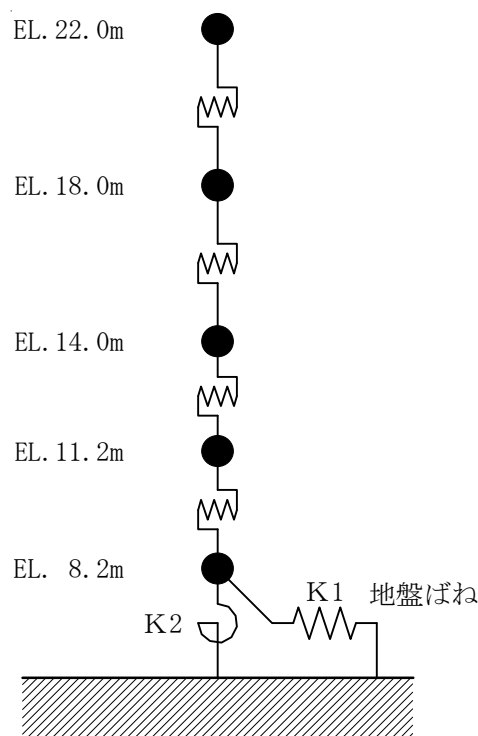


図3-5 サービス建屋の解析モデル

原子炉建屋及びタービン建屋の変位は、設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力－せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）より算定する。

原子炉建屋及びタービン建屋のせん断力－せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）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」の「3.5.3 変形評価」に示すものを用いる。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p は、建屋の内部から外部に作用し、建屋層全体の評価においては相殺される荷重されるが、保守的に、風圧力による荷重 W_w の加力方向にのみ作用するものとする。

飛来物による衝撃荷重 W_M は、瞬間的な荷重であり、且つ原子炉建屋及びタービン建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると、建屋層全体の変形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の変位は、評価対象の各エリアの構造モデルに竜巻荷重を入力することにより算定する。

海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図について、エリア①からエリア⑤を図3-5に、エリア⑦及びエリア⑧を図3-6に示す。鉄筋コンクリート壁で構成されるエリア①～⑤については、南北方向の壁を片持ちはりモデル、東西方向の壁を3辺固定1辺自由の不等分布スラブに、鉄骨架構で構成されるエリア⑦及びエリア⑧は、3次元弾性はりモデルを用いる。

防護対象施設との位置関係を考慮し、エリア⑦についてはEW方向及びNS方向を、エリア⑧についてはEW方向及びNS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、海水ポンプエリア防護壁の各エリアの形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p については、海水ポンプエリア防護壁の各エリアは解放された区画となっているため考慮しない。

飛来物による衝撃荷重 W_M について、エリア①～⑤については、その区画を構成する海水ポンプ室躯体が設計飛来物に対し十分大きな質量を有することを考慮すると、波及的影響の検討対象である躯体の全体的な変形に対する設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。エリア⑦及びエリア⑧については、各エリアを構成する鉄骨構造物の剛性と質量をそれぞれ模した、図3-6に示すばね-質点系モデルに設計飛来物を衝突させた際の応答加速度に対応する荷重として、各エリアのモデルに入力する。

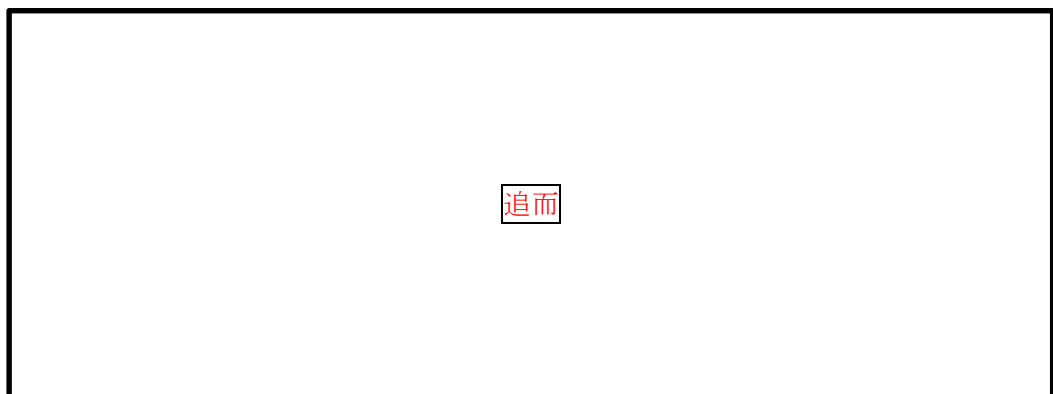


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図

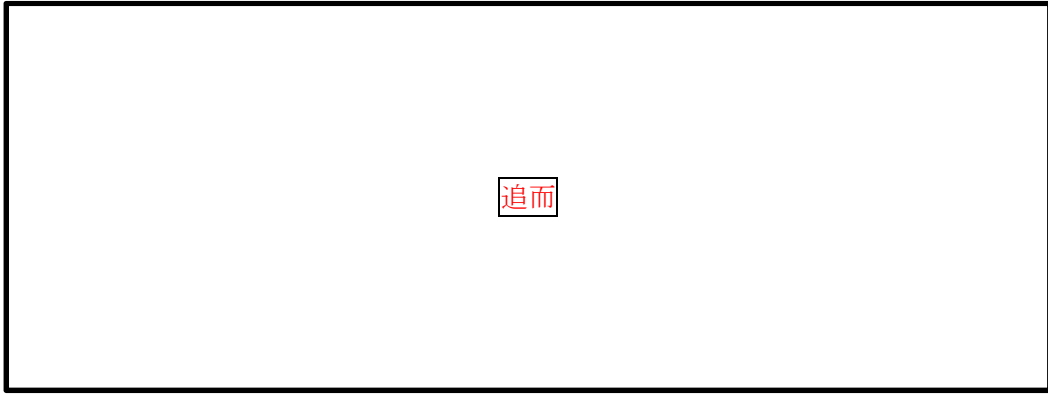


図3-6 エリア⑦, ⑧の応答加速度解析モデル

(3) 鋼製防護壁

追而

4. 評価条件

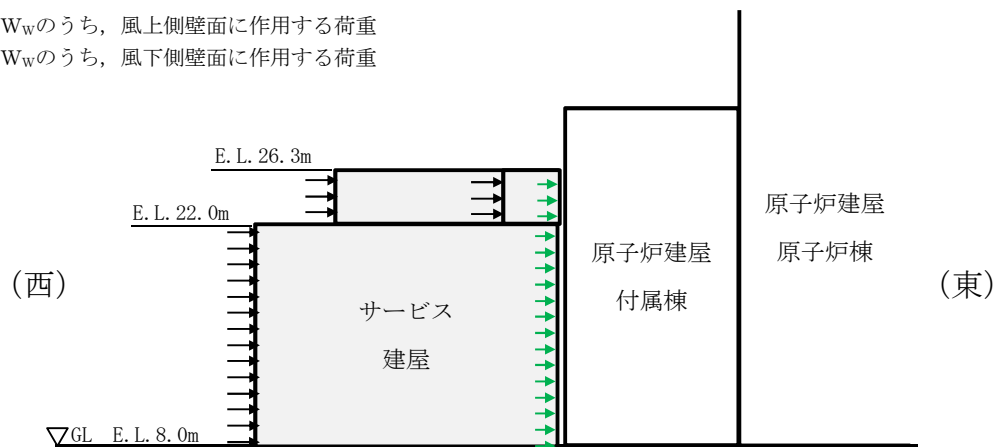
「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を、以下に示す。

4.1 サービス建屋

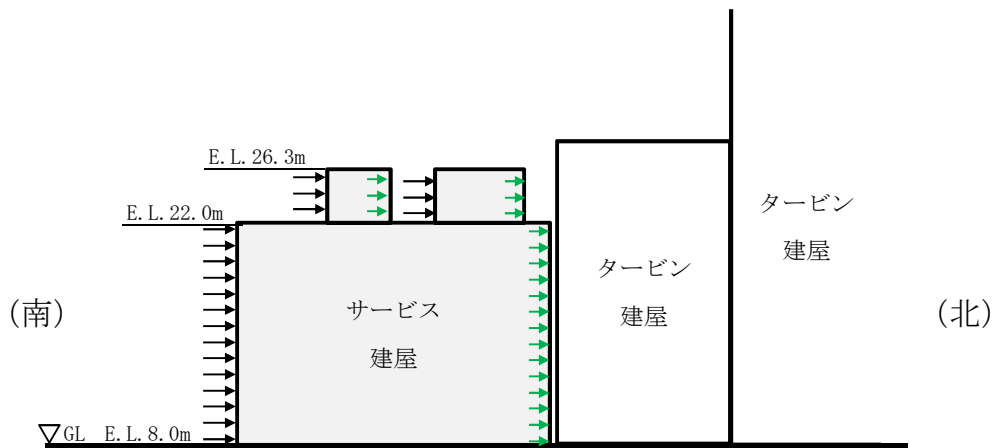
サービス建屋の東側に原子炉建屋，サービス建屋の北側にタービン建屋が隣接しているため，風圧力による荷重 W_w が西から東へ作用する場合及び南から北へ作用する場合の検討を実施する。サービス建屋に作用する風圧力による荷重 W_w の作用方向の模式図を図4-1に，サービス建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-1に示す。サービス建屋の風下側壁面は，原子炉建屋及びサービス建屋が接近して配置されており，実際には風下側壁面には風荷重が作用しないと考えられるが，本評価では保守的に風下側の風荷重も考慮するものとする。

また，サービス建屋の復元力特性諸元を表4-2に示す。

→ : W_w のうち，風上側壁面に作用する荷重
 → : W_w のうち，風下側壁面に作用する荷重



(a) 東西方向



(b) 南北方向

図4-1 サービス建屋への風圧力による荷重 W_w の作用方向模式図

表4-1 サービス建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件

E. L. (m)	位置	風力係数 $C^{※1}$	受圧面積 A (m^2)	受圧面積 A (m^2)
			EW方向 (W⇒E)	NS方向 (S⇒N)
22.0 ~ 18.0	風上	0.8	270 ^{※2}	157 ^{※2}
	風下	0.4		
18.0 ~ 14.0	風上	0.8	161	80
	風下	0.4		
14.0 ~ 11.2	風上	0.8	113	56
	風下	0.4		
11.2 ~ 8.2	風上	0.8	129	64
	風下	0.4		

※1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

※2：E. L. 22.0以上の部分を含む。 s

表 4-1(1/2) サービス建屋の復元力特性諸元 (EW 方向)

E. L. m	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ~ 18.0	1	1800	15800	19000	0.242	6.70	31.9
18.0 ~ 14.0	2	5700	21100	22700	0.916	12.0	40.0
14.0 ~ 11.2	3	3000	27300	29900	0.152	6.50	28.0
11.2 ~ 8.2	4	2570	36600	39200	0.114	7.20	30.0

表 4-2(2/2) サービス建屋の復元力特性諸元 (NS 方向)

E. L. m	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ~ 18.0	1	2870	17800	18700	0.388	10.4	40.0
18.0 ~ 14.0	2	3370	28000	29400	0.294	9.10	40.0
14.0 ~ 11.2	3	7520	37400	39300	0.240	6.40	28.0
11.2 ~ 8.2	4	12400	37100	38700	0.490	9.40	30.0

原子炉建屋及びタービン建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件及び復元力特性諸元については，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」の「3.5.3 変形評価」に示す。

4.2 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁のエリア⑦は南北及び東西方向に設置されており、その内部に防護対象施設である電線管が設置されているため、風圧力による荷重 W_w が西から東へ作用する場合及び北から南へ作用する場合の検討を実施する。各エリアに作用する風圧力による荷重 W_w の作用方法を図4-2に、海水ポンプエリア防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-2に示す。



図4-2 風圧力による荷重 W_w の作用方法（海水ポンプエリア防護壁）

表4-2 海水ポンプエリア防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件

エリア	位置	風力係数C	受圧面積A (m^2)	受圧面積A (m^2)
			EW方向 ($W \Rightarrow E$)	NS方向 ($S \Rightarrow N$)
①②③④⑤	風上			
	風下			
⑦	風上		追而	
	風下			
⑧	風上			
	風下			

エリア⑦及びエリア⑧における飛来物による衝撃荷重 W_M について、**追而**

4.3 鋼製防護壁

鋼製防護壁の西側に海水ポンプ室が隣接して設置されているため、風圧力による荷重 W_w が東から西へ作用する場合の検討を実施する。鋼製防護壁に作用する風圧力による荷重 W_w の作用方法を図4-3に、鋼製防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-3に示す。



図4-2 風圧力による荷重 W_w の作用方法（鋼製防護壁）

表4-2 鋼製防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件

追而

5. 強度評価結果

5.1 サービス建屋

サービス建屋と原子炉建屋の相対変位及びサービス建屋とタービン建屋の相対変位の評価結果を表5-1及び表5-2に示す。原子炉建屋及びタービン建屋と隣接する節点の変位に基づく相対変位が、許容限界を超えないことを確認した。

表5-1 サービス建屋と原子炉建屋の相対変位の評価結果

(単位：mm)

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位		最大相対変位※	許容限界
		サービス建屋	原子炉建屋		
W _{T1}		追而			
W _{T2}		追而			

※：保守的に、各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

表5-2 サービス建屋とタービン建屋の相対変位の評価結果

(単位：mm)

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位		最大相対変位※	許容限界
		サービス建屋	原子炉建屋		
W _{T1}		追而			
W _{T2}		追而			

※：保守的に、各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

5.2 海水ポンプエリア防護壁

追而

5.3 鋼製防護壁

鋼製防護壁に作用する竜巻荷重と津波荷重の評価結果を表5-3に示す。竜巻荷重が許容限界である津波荷重を超えないことを確認した。

表5-3 鋼製防護壁に対する竜巻荷重と津波荷重
(単位：kN)

竜巻荷重	津波荷重 (許容限界)
<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; padding: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; width: 60%; margin: 0 auto; padding: 5px; text-align: center;">追而</div> </div>	