

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-20-0127_改0
提出年月日	2021年5月20日

### VI-3-別添 1-3 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針

2021年5月  
東北電力株式会社

## 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	5
2.3 荷重及び荷重の組合せ	9
2.3.1 固縛装置	9
2.3.2 資機材保管用コンテナ	20
3. 設計方針	22
3.1 固縛装置	22
3.2 資機材保管用コンテナ	23
4. 評価方針	27
5. 許容限界	28
6. 強度評価方法	29
6.1 固縛装置	29
6.1.1 記号の定義	29
6.1.2 評価対象部位	33
6.1.3 評価方法	34
6.2 資機材保管用コンテナ	43
6.2.1 記号の定義	43
6.2.2 評価対象部位	45
6.2.3 評価方法	46
7. 適用規格	49

## 1. 概要

本資料は、添付書類「VI-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、添付書類「VI-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

屋外に設置又は保管する重大事故等対処設備は、添付書類「VI-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。屋外の重大事故等対処設備は、設計竜巻の風圧力による荷重に対して、位置的分散を考慮した設置又は保管により重大事故等に対処するために必要な機能を損なわない設計に加え、浮き上がり又は横滑りによって設計基準事故対処設備等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設計とすること、また、外部事象防護対象施設に対して波及的影響を及ぼさない設計とすることから、外部事象防護対象施設に衝突し、外部事象防護対象施設の機能に影響を及ぼす可能性のあるもの、並びに、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備に衝突し、損傷させる可能性のあるものについて固縛する設計とする。

固縛を必要とする重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）は、「VI-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」に基づき、設計竜巻により飛散し、外部事象防護対象施設に影響を及ぼす可能性を考慮して選定する。

固縛対象設備のうち、添付書類「VI-1-1-6-別添 2 可搬型重大事故等対処設備の設計方針」のとおり、耐震設計において、サスペンションにより地震に対する影響を軽減できる構造としている車両一体型の設備を車両型の固縛対象設備とする。その他の設備は車両型以外の固縛対象設備として区分する。なお、固縛対象設備は、保管単位に対して選定する。

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、設計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 (1/2)

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
大容量送水ポンプ (タイプ I)	車両型	台	
大容量送水ポンプ (タイプ II)	車両型	台	
ホース延長回収車	車両型	台	
取水用ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
送水用ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
注水用ヘッド	車両型以外	基	
原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	車両型	台	
耐熱ホース	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
除熱用ヘッド	車両型以外	基	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
可搬型窒素ガス供給装置	車両型	台	
窒素供給用ホース	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
窒素供給用ヘッド	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
放水砲	車両型以外	基	
泡消火薬剤混合装置	車両型以外	個	

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)

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
シルトフェンス	車両型以外	基	コンテナに格納して保管するため、コンテナの評価を実施
小型船舶	車両型以外	基	
可搬型モニタリングポスト	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施
ブルドーザ	車両型以外	台	
バックホウ	車両型以外	台	
電源車	車両型	台	
電源車 (緊急時対策所用)	車両型	台	
ケーブル	車両型以外	基	電源車及び電源車 (緊急時対策所用) の車内に格納されているため、同車両の評価で代表
タンクローリ	車両型	台	
給油用ホース	車両型以外	基	タンクローリの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
軽油払出用ホース	車両型以外	基	タンクローリの車内に格納されているため、同車両の評価で代表
代替気象観測設備	車両型以外	基	資機材保管用コンテナに格納して保管するため、資機材保管用コンテナの評価を実施

## 2.2 固縛装置の構造

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

車両型の固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-3（1/2）に示す。車両型の固縛対象設備は、添付書類「VI-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、固縛装置の連結材に適切な余長を持たせた設計とする。

また、車両型以外の固縛対象設備の固縛装置は、車両型の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。

車両型以外の固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-3（2/2）に示す。

表 2-2 固縛装置の構成要素


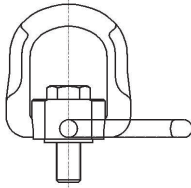
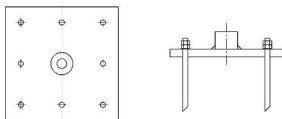

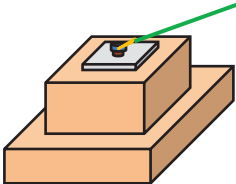
固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	高強度繊維ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ、固縛対象設備を拘束するとき使用する。
	フレノ・リンクボルト		アンカープレートに取付け、リングの部分に連結材を接続し、固縛対象設備を固縛するとき使用する。
固定材	アンカープレート		基礎部を取付け、フレノ・リンクボルトと連結し、固縛対象設備を固縛するとき使用する。
	アンカーボルト	 (接着系アンカーボルト)  (埋設アンカーボルト)	固定材と基礎部を定着させるために使用する。
基礎部	スラブコンクリート		連結材及び固定材との連結により、スラブコンクリートの重量によって、固縛対象設備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)

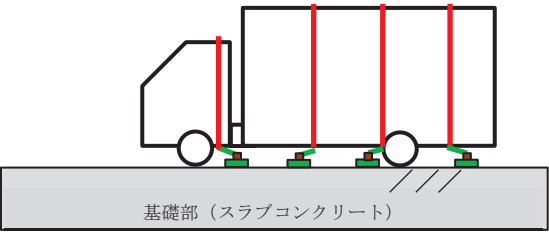
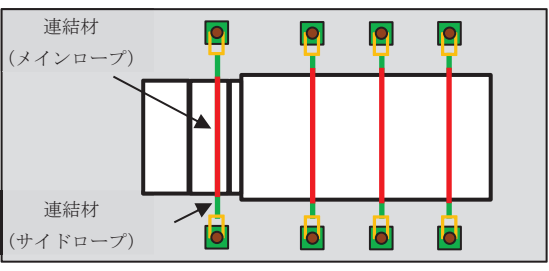
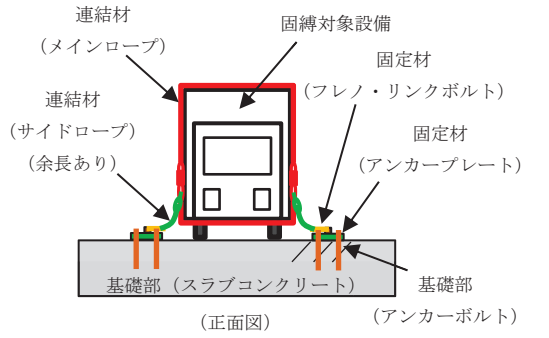
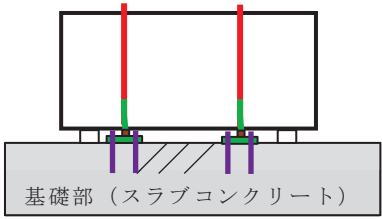
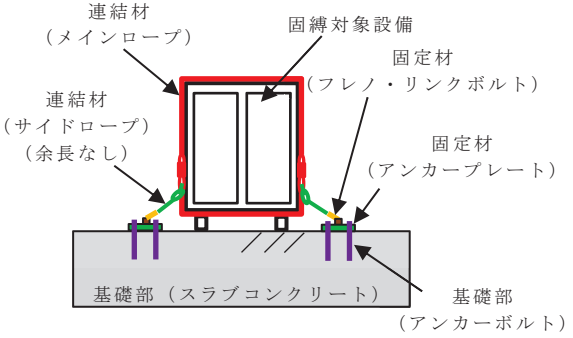
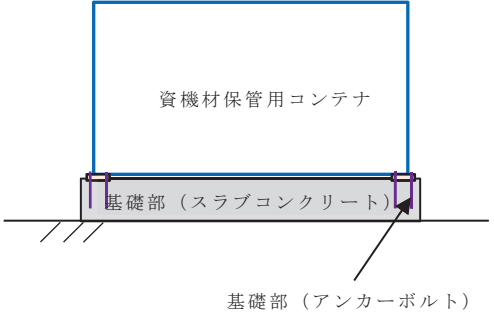
施設名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	車両型の固縛対象設備	<p>固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部から構成し、連結材（メインロープ）を車両型の固縛対象設備に巻付け、連結材（サイドロープ）によって固定材（フレノ・リンクボルト）に固定することで車両を固縛する。</p> <p>車両型の固縛対象設備は、連結材（サイドロープ）に余長を持たせて固縛することにより、耐震設計に影響のない設計とする。</p> <p>車両型の固縛対象設備は、重大事故等発生時の初動対応時間を確保するために、固縛装置の設置箇所数を可能な限り少なくすることで、機動性を確保する設計とする。</p>	 <p>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

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（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、固縛装置の設置箇所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>資機材保管用コンテナは、アンカーボルトにて基礎部に固定する。</p>		

## 2.3 荷重及び荷重の組合せ

### 2.3.1 固縛装置

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、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当たっては、空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きくなり、固縛対象設備に浮き上がりが発生する際の風荷重を考慮する。

横滑りに伴い固縛装置に作用する荷重の算出に当たっては、固縛対象設備に横滑りが発生する際の風荷重を考慮する。

竜巻の風速としては、設計竜巻の最大風速 $V_D=100\text{m/s}$ 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。設計竜巻の評価条件を表 2-4 に示す。

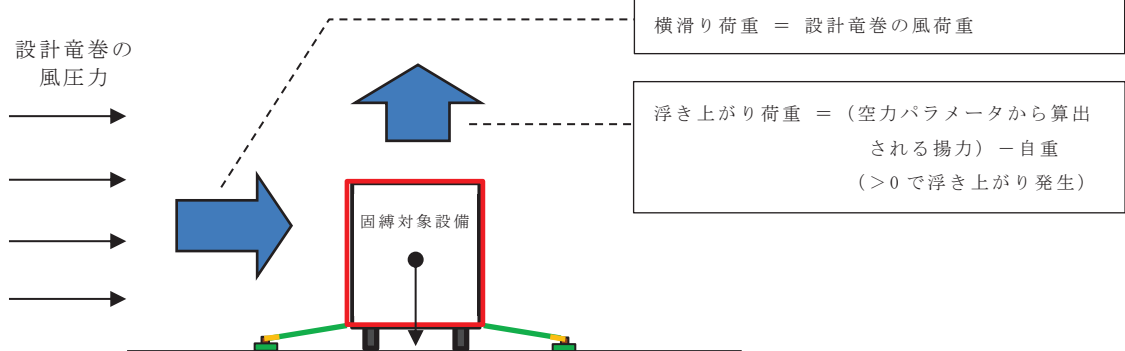
表 2-4 設計竜巻の評価条件

設計竜巻の 最大風速 $V_D$ (m/s)	設計竜巻の 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)	流入層高さ $H_i$ (m)	空気密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	ガスト 影響係数 $G$ (-)
100	85	30	15	1.226	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】

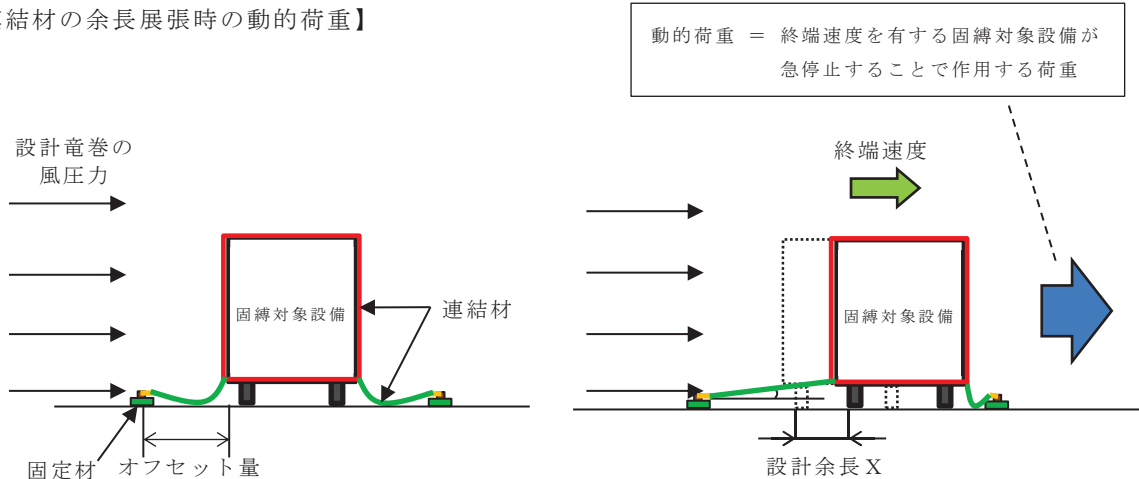


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

(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）を介して基礎部（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 (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
$V_T$	m/s	竜巻移動速度 $V_T = 0.15 \cdot V_D$
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$R_m$	m	最大接線風速の生じる半径
$H_i$	m	流入層高さ
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m <sup>2</sup>	固縛対象設備の各面の見付面積
$W$	m	固縛対象設備の幅
$L$	m	固縛対象設備の長さ
$H$	m	固縛対象設備の高さ
$m$	kg	固縛対象設備の質量
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 ( $g=9.80665$ )
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
$q$	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
$G$	—	ガスト影響係数
$C$	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$V_{SAS, F}$	m/s	固縛対象設備が浮き上がりを開始する風速
$V_{SAS, S}$	m/s	固縛対象設備が横滑りを開始する風速
$C_D A/m$	m <sup>2</sup> /kg	空力パラメータ
$\mu_s$	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
$\mu_d$	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
$X$	mm	固縛装置の設計余長
$L_{OF}$	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量
$N$	箇所	固縛装置の設置箇所数
$N'$	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$k$	N/m	連結材の等価剛性 ( $= E_{RP} \cdot A_{RP} / L_{RP}$ )
$E_{RP}$	N/mm <sup>2</sup>	連結材の弾性係数
$A_{RP}$	mm <sup>2</sup>	連結材の断面積
$L_{RP}$	m	連結材の長さ

表 2-5 荷重の算出に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
$F_d$	kN	固縛対象設備に常時作用する荷重
$F_{L, m}$	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。

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

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

$C_D A$  : 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。

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

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。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

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，設計基準事故対処施設等及び同じ機能を有する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，損傷させる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屋外の重大事故等対処設備の保管場所においては，設計基準事故対処施設等及び同じ機能を有する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，当該固縛対象設備に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし，「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。

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

$q$  : 設計用速度圧

$G$  : ガスト影響係数 (= 1.0)

$C$  : 風力係数

$A_i$  : 受圧面積（固縛対象設備の側面若しくは正面の見付面積）

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

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 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。

なお，余長を有していても風荷重の方向によって横滑り等の移動をしない場合もあり，当該ケースについては検討ケースとはしない。



(b) 固縛装置作動に伴い発生する動的荷重

固縛装置が作動（余長が展張）することで、固縛対象設備は急制動により停止し、図 2-2 に示すように、固縛装置には、制動荷重の反力として動的荷重が発生する。制動荷重は、固縛対象設備が固縛装置作動直前に有していた速度  $v_{SA}$  が  $\Delta t$  の間に 0（＝停止）になったとし、固縛対象設備が損失した運動量と力積との関係によって算出することができ、動的荷重も制動荷重の反力であるから同様に算出できる。

固縛対象設備が停止したときには、連結材を弾性体として、弾性的な荷重が作用するモデルにて評価し、固縛対象設備が損失した運動量による制動荷重の反力が、動的荷重として作用すると考え、以下の手順によって動的荷重を算出する。

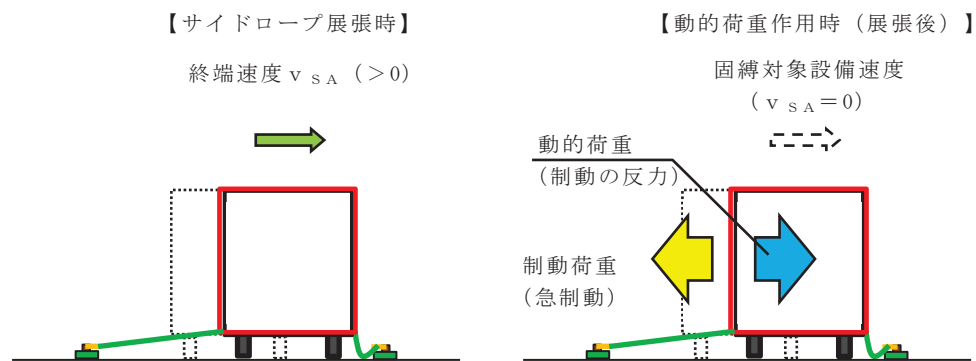


図 2-2 連結材の展張以後の固縛対象設備の概要モデル

イ. 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

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

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

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

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

$\mu_s$  : 固縛対象設備の静摩擦係数（＝0.44）

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

ロ. 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

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

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

$$V'_{SA} = a \cdot t + b \quad \cdots (2.1)$$

- $V'_{SA}$  : t 秒後に固縛対象設備が受ける竜巻の風速  
 $a$  : 風速の近似式の定数  
 $b$  : 風速の近似式の定数（＝滑り出し風速）

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

$$\begin{aligned} a_{SA} &= \frac{F}{m} = \frac{W - F_{fd}}{m} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \left( \frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V'^2_{SA} - \mu_d \cdot g \cdots (2.2) \end{aligned}$$

$F_{fd}$  : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

$\mu_d$  : 固縛対象設備の動摩擦係数（＝0.29）

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

ここで，K を以下に示すように置いて，(2.2) 式の  $V'_{SA}$  に (2.1) 式を代入し，t に対する式として整理すると，(2.3) 式となる。

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

$$a_{SA} = K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2 \cdot K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdots (2.3)$$

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 (2.4) 式となる。(初期条件  $t=0$  のとき、 $v_{SA}=0$ )

$$\begin{aligned} v_{SA} &= \int a_{SA} dt \\ &= \frac{1}{3} \cdot K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2 + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdot t \cdots (2.4) \end{aligned}$$

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、 $x_{SA}=0$ )

$$\begin{aligned} x_{SA} &= \int v_{SA} dt \\ &= \frac{1}{12} \cdot K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3} \cdot K \cdot a \cdot b \cdot t^3 \\ &\quad + \frac{1}{2} \cdot (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \cdot t^2 \cdots (2.5) \end{aligned}$$

固縛対象設備の移動距離  $x_{SA}$  が設計余長  $X$  となるケースとして、(2.5) 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。

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

#### ハ. 固縛装置に作用する動的荷重の算定

固縛対象設備の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重  $F_i'$  を静荷重として、動的荷重  $F_i$  による連結材に作用する張力に加算する。固縛対象設備が有する運動量は  $m \cdot v_{SA}$  である。固縛装置が作用し始めて  $\Delta t$  の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重  $F_i$  と運動量の関係は、(2.6) 式に示すとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \cdots (2.6)$$

連結材の等価剛性を  $k$  として、連結材に張力が作用し、固縛対象設備の速度が 0 になったとすると、振幅を  $B$  として、連結材の変位  $x_{RP}$  は (2.7) 式で表される。

$$x_{RP} = B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \cdots (2.7)$$

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 (2.8) 式となる。

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (2.8)$$

$k$  : 連結材の等価剛性

(2.8) 式を (2.6) 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 (2.9) 式となる。(初期条件:  $t=0$  のとき  $v_{SA} = v_{SA, OT}$ ,  $t = \Delta t$  のとき  $v_{SA} = 0$ )

$$B = v_{SA, OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (2.9)$$

また、動的荷重  $F_i$  は、(2.8) 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。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (2.10)$$

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、(2.1) 式に  $t_i$  を代入して算出する。

なお、このとき、揚力が自重を上回る場合には、摩擦力は考慮しない。

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

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

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

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

(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。

### 2.3.2 資機材保管用コンテナ

重大事故等対処設備を保管する資機材保管用コンテナが、設計竜巻の風荷重により飛散し、設計基準事故対処設備等や同じ機能を有する他の重大事故等対処設備を損傷させることを防止するための固縛装置の要否を評価する。

資機材保管用コンテナの基礎部のアンカーボルトの強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって資機材保管用コンテナに作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は、資機材保管用コンテナ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。図 2-3 に資機材保管用コンテナに対する荷重状態の概要を示す。

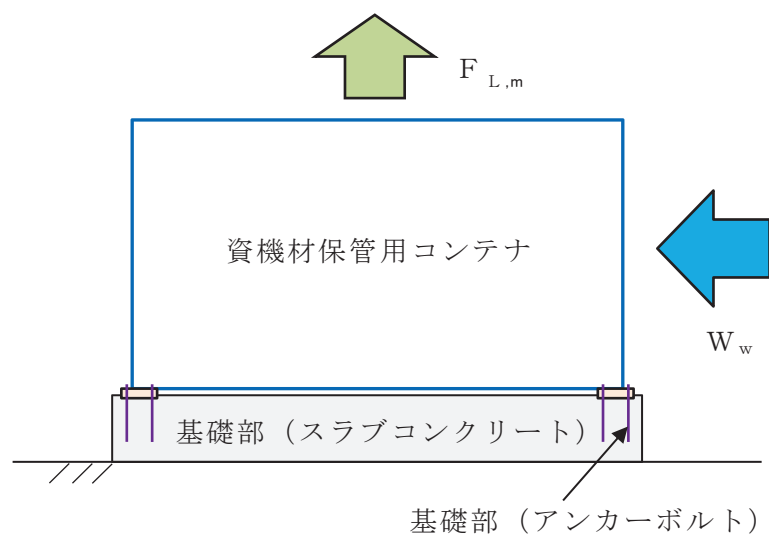


図 2-3 資機材保管用コンテナに対する荷重状態の概要

風荷重により資機材保管用コンテナに作用する荷重の算出については、「2.3.1 固縛装置」と同様とする。設計竜巻の評価条件は表 2-4 のとおりである。

#### (1) 荷重の種類

##### a. 常時作用する荷重 ( $F_d$ )

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重であるが、保守的に評価することとして、考慮しない。

##### b. 風圧力による荷重 ( $W_w$ )

風圧力による荷重は、資機材保管用コンテナを介して基礎部（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、これにより資機材保管用コンテナは風圧力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により資機材保管用コンテナに揚力が発生するため、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 2-7 に示す。

表 2-7 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
$V_{SA}$	m/s	固縛対象設備に作用する最大水平風速
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	資機材保管用コンテナの形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m <sup>2</sup>	資機材保管用コンテナの各面の見付面積
W	m	資機材保管用コンテナの幅
L	m	資機材保管用コンテナの長さ
H	m	資機材保管用コンテナの高さ
g	m/s <sup>2</sup>	重力加速度 (g=9.80665)
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	空気密度
q	N/m <sup>2</sup>	設計用速度圧
G	—	ガスト影響係数
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
$C_D A/m$	m <sup>2</sup> /kg	空力パラメータ
$F_d$	kN	資機材保管用コンテナに常時作用する荷重
$F_{L, m}$	kN	資機材保管用コンテナに作用する保守的に設定した揚力
$W_w$	kN	資機材保管用コンテナに作用する風荷重

b. 風荷重

設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用する風荷重であり、「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。

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

c. 揚力

資機材保管用コンテナに作用する揚力は、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。

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

$\rho$  : 空気密度

$V_{SA}$  : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

$C_D A$  : 抗力係数と見付面積の積の平均値

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。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_1 + C_{D2} \cdot A_2 + C_{D3} \cdot A_3)}{m}$$

(3) 荷重の組合せ

資機材保管用コンテナに作用する荷重は、風荷重 ( $W_w$ ) 及び風荷重による揚力 ( $F_{L, m}$ ) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-8 「資機材保管用コンテナの荷重の組合せ」に示す。

表 2-8 資機材保管用コンテナの荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価内容	荷重の組合せ
資機材保管用コンテナ	構造強度	$W_w + F_{L, m}$

3. 設計方針

3.1 固縛装置

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）の余長の有無により、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、構成要素は同様で、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、添付書類「VI-3-別添-1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」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
A	高強度繊維ロープ (余長あり)	フレノ・リンクボルト	アンカーボルト*
B	高強度繊維ロープ (余長なし)	アンカープレート	

注記 \*：接着系アンカーボルトと埋設アンカーボルトにより構成される。接着系アンカーボルトは、埋設アンカーボルトと比較して、ボルトサイズ及び埋込長さが小さいため接着系アンカーボルトの評価を実施する。

### 3.2 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナに風圧力による荷重が作用すると、揚力及び風荷重による転倒モーメントが作用し、資機材保管用コンテナは飛散しようとすることにより、資機材保管用コンテナの強度設計においては、基礎部（アンカーボルト）の強度評価を実施する。

資機材保管用コンテナに対する強度評価について、添付書類「VI-3-別添-1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示す。

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (1/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所* <sup>1</sup>	横滑り	浮き上がり		
車両型	大容量送水ポンプ (タイプ I)	台		①②③④	○	○	A	
	大容量送水ポンプ (タイプ II)	台		①②④	○	○	A	
	ホース延長回収車	台		②③④	○	○	A	
	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニット	台		①③④	○	○	A	
	可搬型窒素ガス供給装置	台		①④	○	○	A	
	電源車	台		②③④	○	○	A	
	電源車 (緊急時対策所用)	台		⑤	○	○	A	
	タンクローリ	台		②③④	○	○	A	
車両型以外	取水用ホース	基	コンテナに格納して保管	①②③④	○	○	B	
	送水用ホース	基	コンテナに格納して保管	①②③④	○	○	B	
	注水用ヘッド	基		②③④	○	○	B	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

①第 1 保管エリア, ②第 2 保管エリア, ③第 3 保管エリア, ④第 4 保管エリア, ⑤緊急時対策建屋 (北側)

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (2/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所* <sup>1</sup>	横滑り	浮き上がり		
車両型以外	耐熱ホース	基	コンテナに格納して保管	①③④	○	○	B	
	除熱用ヘッダ	基	原子炉補機代替冷却水系熱交換器ユニットの車内に格納して保管	①③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	窒素供給用ホース	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①④	○	○	—	
	窒素供給用ヘッダ	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①④	○	○	—	
	放水砲	基		①④	○	○	B	
	泡消火薬剤混合装置	個		①④	○	○	B	
	シルトフェンス	基	コンテナに格納して保管	①④	○	○	B	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

①第1保管エリア, ②第2保管エリア, ③第3保管エリア, ④第4保管エリア, ⑤緊急時対策建屋 (北側)

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式 (3/3)

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛対策目的		固縛装置型式	備考
区分	設備名称	保管単位	保管状態の特記事項	保管場所* <sup>1</sup>	横滑り	浮き上がり		
車両型以外	小型船舶	基	専用架台に積載して保管	①④	○	○	—	
	可搬型モニタリングポスト	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	①②④	○	○	—	
	ブルドーザ	台		①④	○	○	B	
	バックホウ	台		①④	○	○	B	
	ケーブル	基	電源車及び電源車（緊急時対策所用）の車内に格納して保管	②③④⑤	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	給油用ホース	基	タンクローリの車内に格納して保管	②③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	軽油払出用ホース	基	タンクローリの車内に格納して保管	②③④	○	○	—	当該固縛対象設備を保管する車両を固縛
	代替気象観測設備	基	資機材保管用コンテナに格納して保管	②④	○	○	—	

注記 \* 1 : 保管場所は以下を示す。

①第1保管エリア, ②第2保管エリア, ③第3保管エリア, ④第4保管エリア, ⑤緊急時対策建屋 (北側)

#### 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、評価対象部位に作用す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。

資機材保管用コンテナの強度評価は、設計荷重が資機材保管用コンテナに作用することにより、評価対象部位に作用す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。

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価においては、その構造を踏まえ、「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

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フローを図 4-1 に示す。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻の風圧力による荷重が固縛対象設備に作用した場合に、固縛装置を構成している連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）に作用する荷重、応力等が、「5. 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。強度評価においては、固縛対象設備に作用する荷重算出のための風速や連結材の剛性等、また、許容限界の設定において保守性を考慮し、強度評価に対する信頼性を高めている。

資機材保管用コンテナの強度評価においては、設計竜巻の風圧力による荷重が資機材保管用コンテナに作用した場合に、資機材保管用コンテナの基礎部に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が、「5. 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。強度評価においては、資機材保管用コンテナに作用する荷重の算出において保守性を考慮し、強度評価に対する信頼性を高めている。

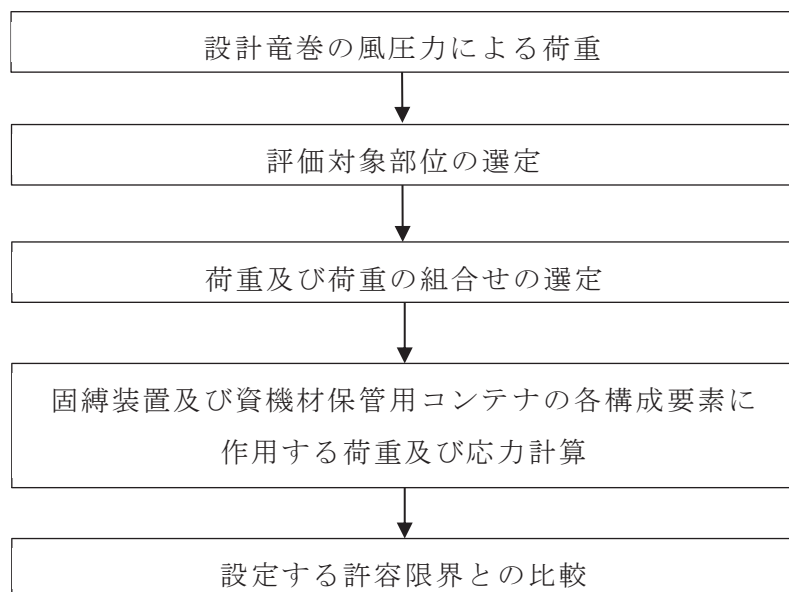


図 4-1 固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フロー

## 5. 許容限界

固縛装置及び資機材保管用コンテナの許容限界は、「6.1.2 評価対象部位」及び「6.2.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。

固縛装置に要求される機能は、竜巻により設計荷重を受けた固縛対象設備に浮き上がり又は横滑りが発生した場合であっても、その移動を制限し、外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等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。

資機材保管用コンテナに要求される機能は、竜巻により設計荷重を受けた資機材保管用コンテナが飛散せず、外部事象防護対象施設及び設計基準事故対処設備等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。そこで、資機材保管用コンテナの許容限界としては、取替えが容易にできない基礎部（アンカーボルト）として、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

固縛に必要な連結材（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ー提示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ー提示の使用荷重及び安全係数によって、使用荷重に対し安全係数を考慮した値を許容限界とする。

#### 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）

基礎部（アンカーボルト）については、設計竜巻による荷重に対し、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、短期許容荷重を許容限界とする。

6. 強度評価方法

6.1 固縛装置

6.1.1 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
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
$P_1$	kN	連結材 1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, m}$	kN	連結材（メインロープ）1 組あたりに作用する荷重
$P_{1, s}$	kN	連結材（サイドロープ）1 組あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時（正面方向）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

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
P	kN	固縛対象設備に作用する検討用荷重
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
N'	個	固縛装置 1 箇所あたりの固定材の配置数
P <sub>2</sub>	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
P <sub>3</sub>	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
$\theta_{v1}$	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_{v2}$	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
$\theta_H$	deg	横滑り時（正面方向）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
F	N/mm <sup>2</sup>	鋼材の基準強度
$\sigma_y$	N/mm <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
f <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	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
$Z_{py}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{px}$	mm <sup>3</sup>	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
$A$	mm <sup>2</sup>	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
$M_{py}$	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
$M_{px}$	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
$Q_{px}$	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
$Q_{py}$	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
$Q_{pz}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$\alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
$A_e$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの有効断面積
$n$	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
$n'$	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
$T_V$	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
$T_H$	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの降伏引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 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
$\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7・ $f_t$ )
$Q$	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量

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

記号	単位	定義
$Q_{a1}$	kN	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容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及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5\sqrt{F_c \cdot E_c}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
${}_A L$	mm	アンカーボルトの埋込長さ
${}_A L_e$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
${}_A L_{ce}$	mm	アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
${}_A d_a$	mm	アンカーボルトの呼び径
${}_A a$	mm	アンカーボルトのピッチ
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	—	アンカーボルトの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	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	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力
$\phi_3$	—	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>	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を考慮した引張力に対する付着強度
$\tau_{bavg}$	N/mm <sup>2</sup>	接着系アンカーボルト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	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	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アンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
${}_c\sigma_t$	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 ( $=0.31\sqrt{F_c}$ )

### 6.1.2 評価対象部位

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

#### (1) 連結材

- ・連結材本体（高強度繊維ロープ）

\*：連結材に作用する荷重を，メーカ提示の引張強度と比較するため，評価対象部位は図 6-1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

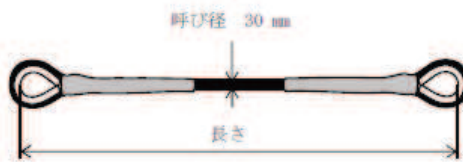
また，



高強度繊維ロープ（ $\phi 22$ ）を評価対象部

位として選定する。

なお，上記の連結材の接続方法（巻付け）や接続部に対する緩み確認の日常管理の運用については，保安規定に定めて管理する。



（高強度繊維ロープ  $\phi 30\text{mm}$ （被覆部）

$\phi 22\text{mm}$ （被覆無し部））

図 6-1 連結材の評価対象部位

#### (2) 固定材

- 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，メーカ提示の使用荷重及び安全係数によって，使用荷重に対し安全係数を考慮した値と比較するため評価対象部位はフレノ・リンクボルト本体とする。

- 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

固定材の評価対象部位を図 6-2 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

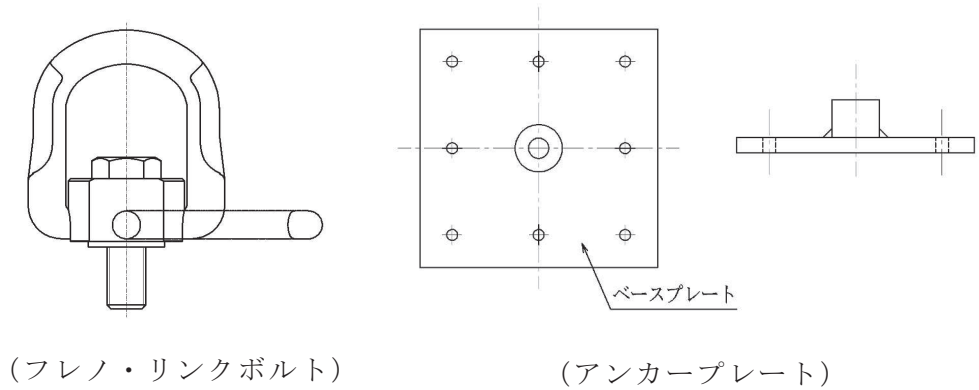


図 6-2 固定材の評価対象部位

(3) 基礎部 (アンカーボルト)

アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

- ・アンカーボルト

基礎部 (アンカーボルト) の評価対象部位を図 6-3 に示す。

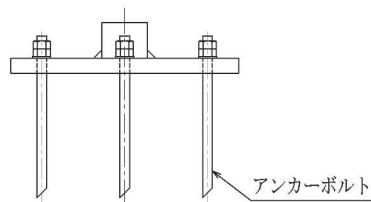


図 6-3 基礎部 (アンカーボルト) の評価対象部位

6.1.3 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×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に作用する荷

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。

$$P_1 = \max\left(\frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}}, \frac{P}{2}\right) = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{V1}} \quad (N' \cdot \sin \theta_{V1} \leq 2 \text{ より})$$

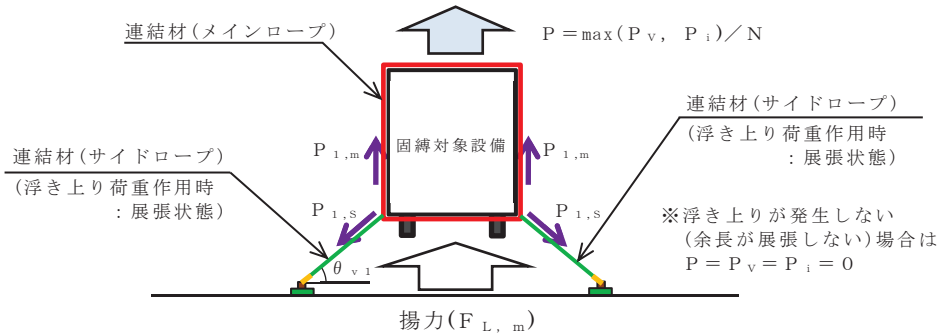


図 6-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要

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に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。

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

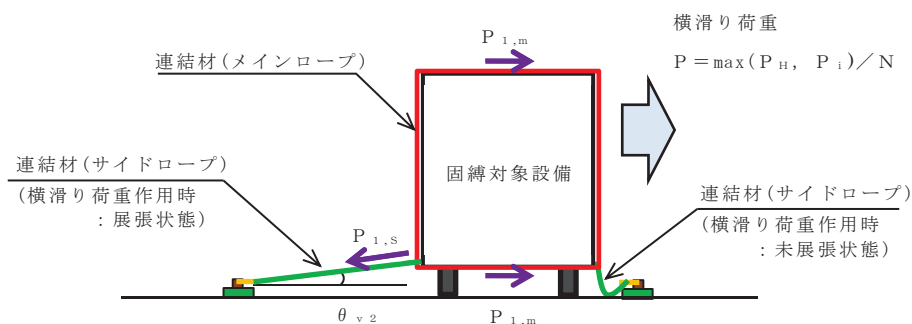


図 6-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要

(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を図 6-6 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に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。

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

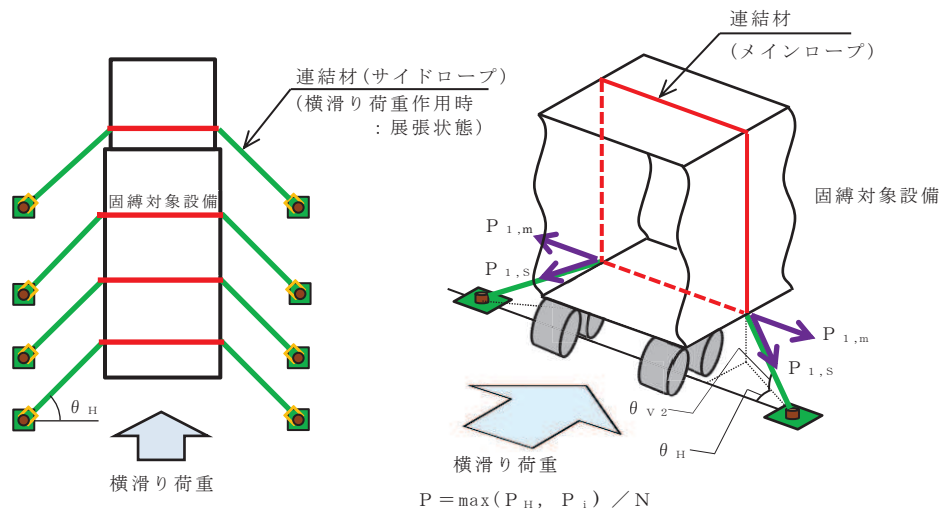


図 6-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要

(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、固縛装置の設置箇所数×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。

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

(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。

$$P_2 = \frac{P}{N'} \cdot \frac{1}{\sin \theta_H} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{V2}}$$

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 6-7 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。

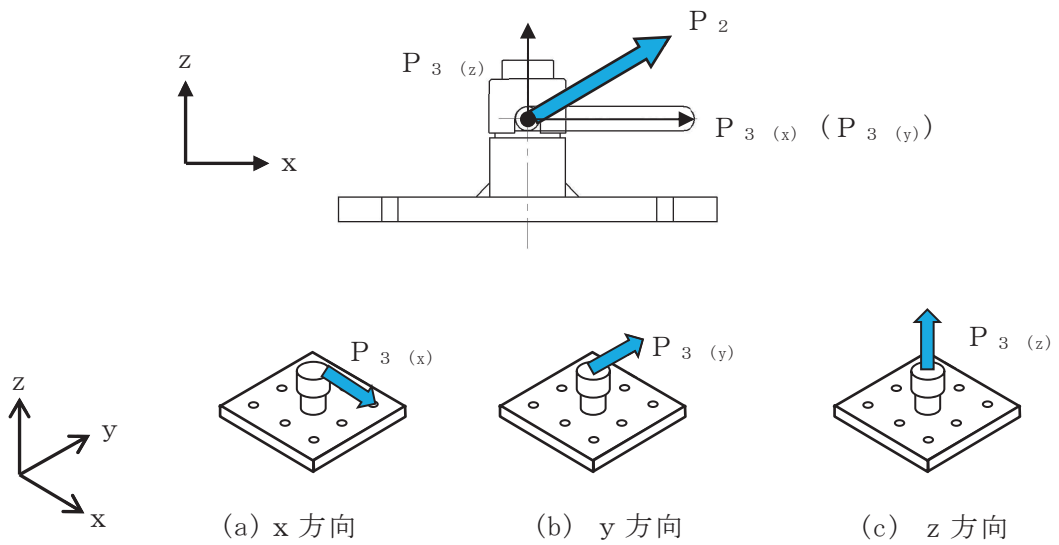


図 6-7 アンカープレートの計算モデルの概要

(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を図 6-8 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。

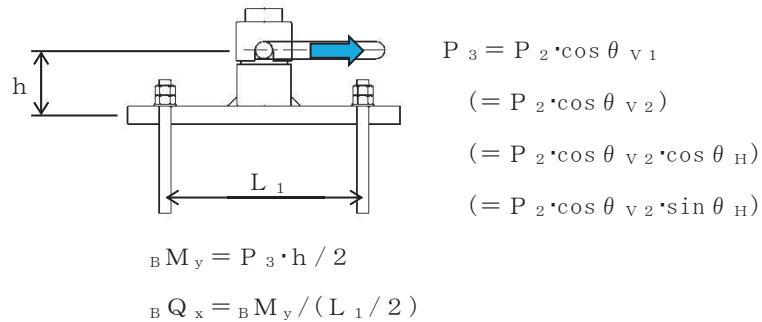


図 6-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・ 曲げに関する検討

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。

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

・せん断に関する検討

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。

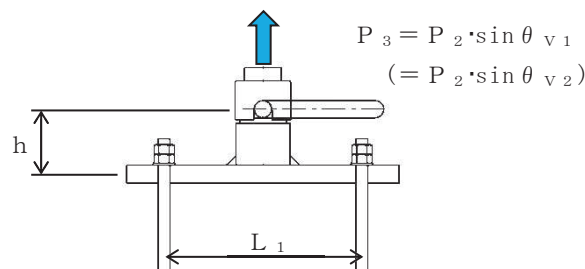
$${}_B A = {}_B B \cdot {}_B t$$

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を図 6-9 に示す。



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

$${}_B Q_{x-z} = P_3 / 2$$

図 6-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・曲げに関する検討

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。

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

・せん断に関する検討

検討用荷重  $P_3$  によるベースプレートのせん断力  ${}_B Q_{x-y}$  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. 計算モデル

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

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。

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

$z$  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アンカーボルト 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。

$$P_{a1} = \phi_{1} \cdot f_{t} \cdot A_{e} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの付着力により決定されるアンカーボルト 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。

$$P_{a3} = \phi_{3} \cdot \tau_{a} \cdot \pi \cdot d_{a} \cdot L_{ce} \cdot 10^{-3}$$

$$L_{ce} = L_{e} - 2 \cdot d_{a}$$

$$L_{e} = L - d_{a}$$

アンカーボルトにおける付着強度  $\tau_{a}$  は以下の式により算定する。

$$\tau_{a} = \alpha_{1} \cdot \alpha_{2} \cdot \alpha_{3} \cdot \tau_{bavg}$$

アンカーボルトの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。

$$\alpha_{n} = 0.5 \cdot (C_{n} / L_{e}) + 0.5$$

$$L_{e} = L - d_{a}$$

ここで、

$$(C_{n} / L_{e}) \geq 1.0 \text{ の場合は、 } (C_{n} / L_{e}) = 1.0$$

$$L_{e} \geq 10d_{a} \text{ の場合は、 } L_{e} = 10d_{a} \text{ とする。}$$

アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力  $P_{a}$  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 本あ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アンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a1}$  は、以下の式により算定する。

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

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a2}$  は、以下の式により算定する。

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

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アンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力  $Q_{a3}$  は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力  $Q_a$  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。

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

## 6.2 資機材保管用コンテナ

### 6.2.1 記号の定義

#### (1) 強度評価の記号の定義

基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 6-3 に示す。

表 6-3 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
$W_w$	kN	資機材保管用コンテナに作用する風荷重
$F_{L, m}$	kN	資機材保管用コンテナに作用する保守的に設定した揚力
$F$	$N/mm^2$	鋼材の基準強度
${}_s \sigma_{pa}$	$N/mm^2$	検討対象部材の短期許容引張応力度 ( $= 1.5 \cdot F / 1.5$ )
${}_s \sigma_{qa}$	$N/mm^2$	アンカーボルトの短期許容せん断応力度 ( $= 0.7 \cdot {}_s \sigma_{pa}$ )
$f_b$	$N/mm^2$	アンカーボルト定着板の短期許容曲げ応力度 ( $= 1.5 \cdot F / 1.3$ )
$N$	本	資機材保管用コンテナの基礎部のアンカーボルトの全数
$L_1$	m	側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$L_2$	m	正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離
$n_1$	本	側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$n_2$	本	正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数
$P_1$	kN	揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_2$	kN	横滑り側面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$P_3$	kN	横滑り正面方向風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
$Q_1$	kN	横滑り側面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
$Q_2$	kN	横滑り正面方向風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
${}_A \alpha$	—	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 ( $= 0.75$ )
${}_s c a$	$mm^2$	アンカーボルトの有効断面積

表 6-3 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
P	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずる引張力
Q	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生ずるせん断力
$\phi_1$	—	アンカーボルトの許容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 アンカーボルトの許容せん断力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトのせん断強度による場合は 1.0
$\phi_2$	—	アンカーボルトの許容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及び躯体のコーン状破壊による場合は 2/3
$F_c$	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
${}_c\sigma_t$	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 ( $0.31\sqrt{F_c}$ )
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm <sup>2</sup>	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5\sqrt{(F_c \cdot E_c)}$
$E_c$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
$\gamma$	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
$A_c$	mm <sup>2</sup>	引張力に対するコーン状破壊面の有効水平投影面積
$A_o$	mm <sup>2</sup>	アンカーボルトの頭部支圧面積
$A_{qc}$	mm <sup>2</sup>	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
$l_e$	mm	アンカーボルトの有効埋込長さ
d	mm	アンカーボルトの呼び径
D	mm	アンカーボルトの頭部（定着板）の直径
c	mm	アンカーボルトのへりあき寸法
$P_{a1}$	kN	アンカーボルトの降伏により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a2}$	kN	定着したコンクリートのコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力
$P_{a3}$	kN	頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 1 本あたりの許容引張力

表 6-3 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	アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a2}$	kN	定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$Q_{a3}$	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力
$f_n$	N/mm <sup>2</sup>	コンクリートの支圧強度 ( $=\sqrt{A_c/A_o} \cdot F_c$ ) ただし、 $\sqrt{A_c/A_o}$ が 6 を超える場合は 6 とする
$P_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
$Q_a$	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力

### 6.2.2 評価対象部位

資機材保管用コンテナの評価対象部位は、「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) 基礎部（アンカーボルト）

アンカーボルトを評価対象部位として設定する。

基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位を図 6-10 に示す。

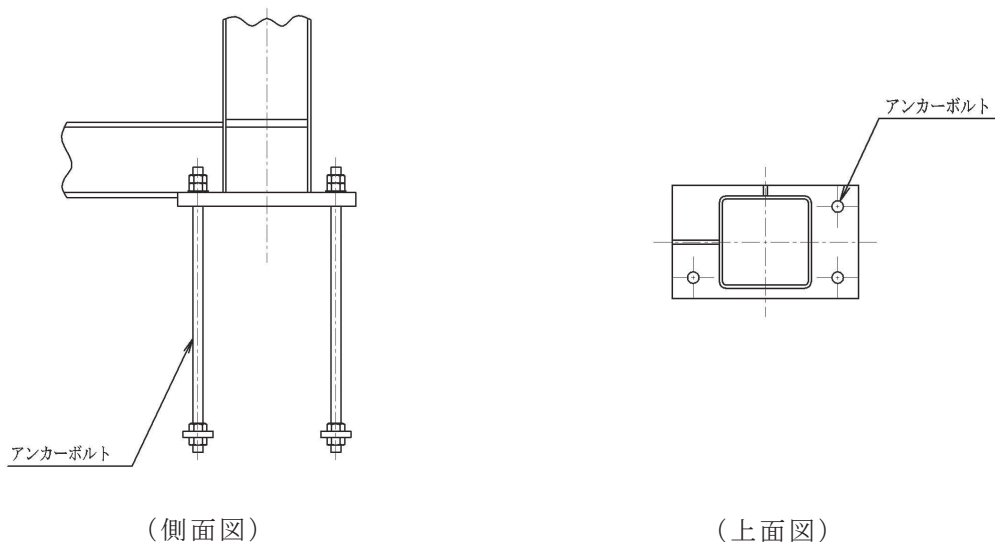


図 6-10 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

### 6.2.3 評価方法

#### (1) 資機材保管用コンテナの評価モデル

資機材保管用コンテナに設計竜巻による風荷重が作用し、浮き上がり及び転倒の荷重状態を考慮して、図 6-11 に示す計算モデルにて、作用する方向の荷重に対して、アンカーボルトに発生する荷重を算定し、評価を行う。

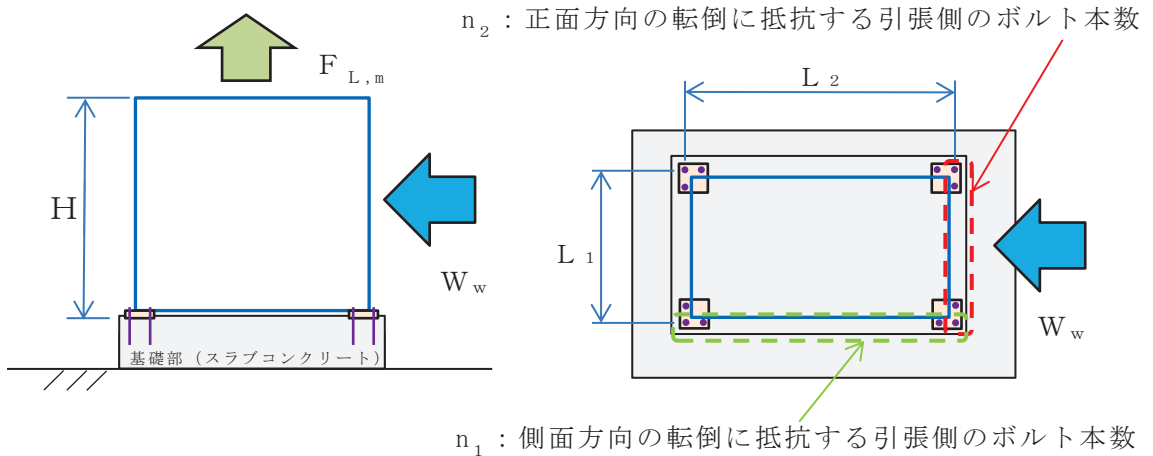


図 6-11 資機材保管用コンテナの計算モデル図

#### (2) 資機材保管用コンテナの評価方法

##### a. アンカーボルトに作用する荷重

揚力によりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P_1$  は、以下の式により算出する。

$$P_1 = \frac{F_{L,m}}{N}$$

風荷重による転倒モーメントによりアンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P_2$ 、 $P_3$  は以下の式により算出する。この時、風荷重の作用位置は保守的に資機材保管用コンテナの頂部位置に設定する。

$$P_2 = \frac{W_w \cdot H}{L_1 \cdot n_1} \quad (\text{側面方向からの風荷重})$$

$$P_3 = \frac{W_w \cdot H}{L_2 \cdot n_2} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$



ここで、

$H$  : 風荷重の作用位置 (基礎面よりコンテナ頂部までの高さ)

$n_1$  : 側面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

$n_2$  : 正面方向からの風荷重による転倒モーメントに抵抗する引張側のアンカーボルト本数

$L_1$  : 側面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離 (図 6-11 参照)

$L_2$  : 正面方向の風荷重に抵抗するボルトと支点位置となる最外縁ボルト間の距離 (図 6-11 参照)

風荷重によりアンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力  $Q_1$ ,  $Q_2$  は、以下の式により算出する。

$$Q_1 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{側面方向からの風荷重}) \quad Q_2 = \frac{W_w}{N} \quad (\text{正面方向からの風荷重})$$

b. 引張に関する検討

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力  $P$  は、以下による。

$$P = \max(P_1 + P_2, P_1 + P_3)$$

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

$$P_{a1} = \phi_1 \cdot s \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c \cdot a \cdot 10^{-3}$$

定着したコンクリートのコーン状破壊により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力  $P_{a2}$  は、以下の式により算定する。

$$P_{a2} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_c \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルトの頭部支圧応力度により決定されるアンカーボルト 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。

$$P_{a3} = f_n \cdot A_0 \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力  $P_a$  は、以下の式により算定する。

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2}, P_{a3})$$

c. せん断に関する検討

アンカーボルトに生ずるせん断力 $Q$ は、以下による。

$$Q = Q_1, Q_2$$

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a1}$ は、以下の式により算定する。

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

定着した躯体の支圧強度により決定されるアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a2}$ は、以下の式により算定する。

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

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アンカーボルト 1 本当たりの許容せん断力 $Q_{a3}$ は、以下の式により算定する。

$$Q_{a3} = \phi_2 \cdot c \cdot \sigma_t \cdot A_{qc} \cdot 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力 $Q_a$ 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。

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

## 7. 適用規格

添付書類「VI-1-1-2-3-1 竜巻への配慮に関する基本方針」においては、竜巻の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・日本建築学会 2019年 鋼構造許容応力度設計規準
- ・日本建築学会 2010年 鋼構造塑性設計指針
- ・建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・日本建築学会 2004年 建築物荷重指針・同解説
- ・日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説