

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-3-013-3 改0
提出年月日	2020年 5月14日

V-3-別添 1-3 固縛装置の強度計算の方針

2020年 5月
東京電力ホールディングス株式会社

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	3
2.2.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	3
2.2.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	7
2.3 荷重及び荷重の組合せ	11
2.3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	11
2.3.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	16
3. 設計方針	23
3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	23
3.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	23
4. 評価方針	26
5. 許容限界	27
5.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	27
5.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	28
6. 強度評価方法	29
6.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	29
6.1.1 記号の定義	29
6.1.2 評価対象部位	32
6.1.3 評価方法	34
6.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	43
6.2.1 記号の定義	43
6.2.2 評価対象部位	46
6.2.3 評価方法	48
7. 適用規格	59

1. 概要

本資料は、V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」（以下「V-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」という。）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-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」（以下「V-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」という。）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、V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-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対し、外部事象防護対象施設と同時に機能を損なうおそれがないように位置的分散を図るとともに、浮き上がり又は横滑りによって外部事象防護対象施設及び防護対策施設（以下「外部事象防護対象施設等」という。）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がある場合には、浮き上がり又は横滑りを拘束するために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、V-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」に基づき選定する（飛散距離及び障害物の有無を考慮し、離隔対策を講じることができない等の場合、固縛対象設備とする）。

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。

表 2-1 屋外の重大事故等対処設備のうち評価対象とする固縛対象設備一覧

固縛対象設備	区分	保管単位	備考
タンクローリ (4kL) (6・7号機共用) *1	可搬車両型	台	
可搬型代替注水ポンプ (A-2級) (6・7号機共用) *2	可搬車両型	台	
第一ガスタービン発電機車・制御車 (6・7号機共用) *3	常設車両型	台	

注記*1 : 以下「タンクローリ」という。

*2 : 以下「可搬型代替注水ポンプ」という。

*3 : 以下「第一ガスタービン発電機車・制御車」という。

2.2 固縛装置の構造


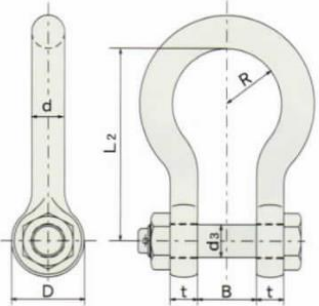


2.2.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛装置は、可搬車両型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シャックル）及び固定材（固縛のたるみを巻き取る装置*及びアンカーボルト（基礎部））で拘束する構造とする。可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構成要素を表 2-2 に示す。

可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-3 に示す。可搬車両型固縛対象設備は、V-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2 重大事故等対処設備」、
「4.2(1) 重大事故等対処設備の設計方針」に基づき、耐震設計に影響を与えることのないよう、地震時の移動を考慮して、重大事故等に対処するための必要な機能が損なわれな
いものとするため、固縛装置の連結材に常時たるみを有する設計とし、竜巻襲来のおそれ
がある場合に固縛のたるみを巻き取ることで拘束する設計とする。

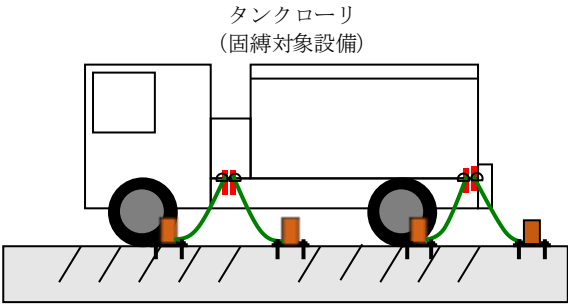
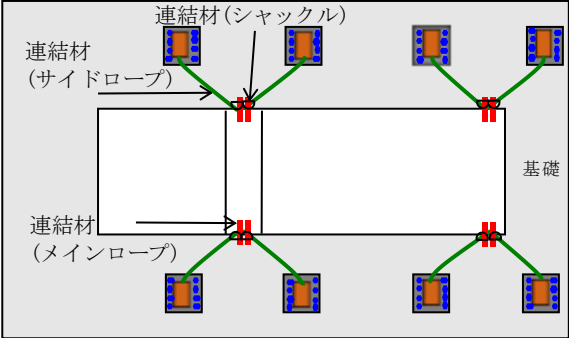
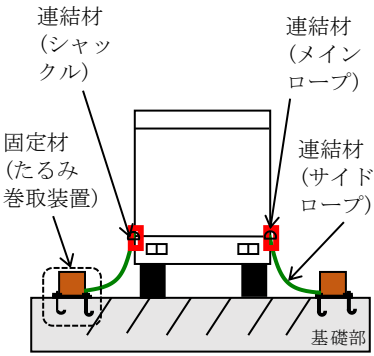
注記*：以下「たるみ巻取装置」という。

表 2-2 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の構成要素

固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	高強度繊維 ロープ		固縛対象設備と固縛装置の固定材をつなぎ、固縛対象設備を拘束するときに使用する。車体に取り付けるメインロープ（車体用ロープ）及び固定材（たるみ巻取装置）に接続するサイドロープ（巻取用ロープ）から構成する。
	シャックル		連結材のうち、車体に取り付ける高強度繊維ロープ（メインロープ）と固定材（たるみ巻取装置）に接続された高強度繊維ロープ（サイドロープ）とを互いに結びつけるために使用する。
固定材	たるみ巻取装置		竜巻襲来のおそれがある場合に、連結材（高強度繊維ロープ）による固縛のたるみを巻き取るために使用する。
	アンカーボルト		アンカーボルトは、固定材のうちたるみ巻取装置の底板（アンカープレート）を基礎に固定するために使用する。

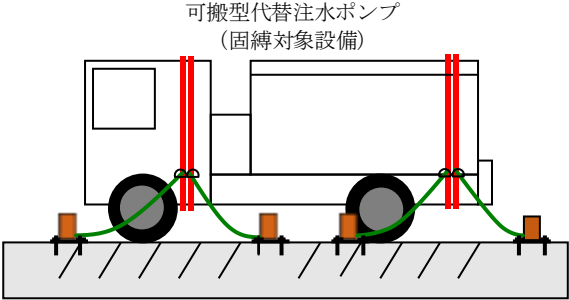
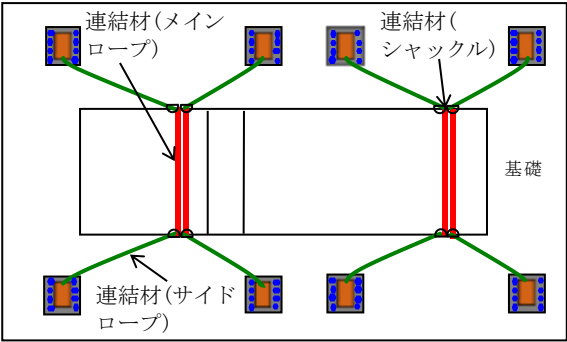
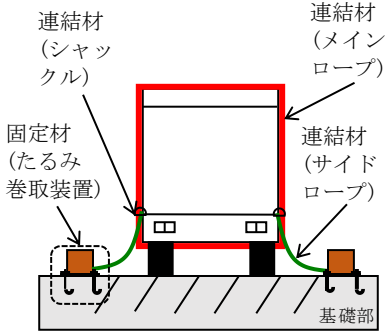
K7 ① V-3-別添 1-3 R0

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	可搬車両型固縛対象設備 (タンクローリ)	<p>固縛装置は、連結材及び固定材から構成し、連結材(メインロープ)をタンクローリに取り付け、シャックルを介して連結材(サイドロープ)によって固定材(たるみ巻取装置及びアンカーボルト)に固定することで車両を固縛する。</p> <p>タンクローリは、連結材(高強度繊維ロープ)に常時たるみをも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。また竜巻発生時にたるみを巻き取り拘束し固縛する設計とする。</p> <p>タンクローリは、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>(側面図)</p>  <p>(上面図)</p>  <p>(正面図)</p>

K7 ① V-3-別添 1-3 R0

表 2-3 固縛装置の構造 (2/2)

施設 名称	設計の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
固縛装置	可搬車両型固縛対象設備 (可搬型代替注水ポンプ)	<p>固縛装置は、連結材及び固定材から構成し、連結材(メインロープ)を可搬型代替注水ポンプに取り付け、シャックルを介して連結材(サイドロープ)によって固定材(たるみ巻取装置及びアンカーボルト)に固定することで車両を固縛する。</p> <p>可搬型代替注水ポンプは、連結材(サイドロープ)に常時たるみをも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。また竜巻発生時にたるみを巻き取り拘束し固縛する設計とする。</p> <p>可搬型代替注水ポンプは、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>可搬型代替注水ポンプ (固縛対象設備)</p> <p>(側面図)</p>  <p>連結材(メインロープ) 連結材(シャックル) 基礎 連結材(サイドロープ)</p> <p>(上面図)</p>  <p>連結材(シャックル) 連結材(メインロープ) 固定材(たるみ巻取装置) 連結材(サイドロープ) 基礎部</p> <p>(正面図)</p>

2.2.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛装置は、常設車両型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（スリング、ターンバックル及びシャックル）及び固定材（ターンリング、横ずれ防止架台、車止め及び据付ボルト）で拘束する構造とする。固縛装置の構成要素を表 2-4 に示す。

常設車両型固縛対象設備の固縛装置の構造を表 2-5 に示す。常設車両型固縛対象設備は、V-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「3.2 重大事故等対処設備」、
「4.2(1) 重大事故等対処設備の設計方針」に基づき、耐震設計に影響を与えることのないよう、固縛装置により固縛する設計とする。

表 2-4 固縛装置の構成要素

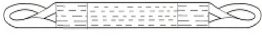
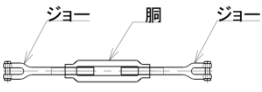
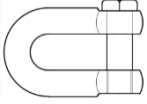
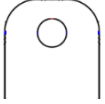
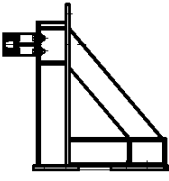



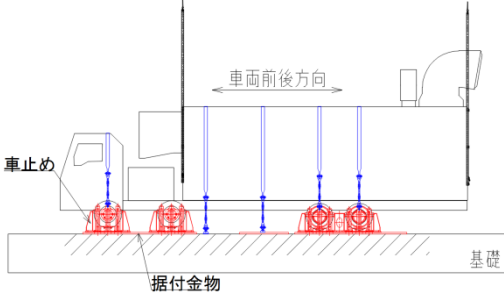
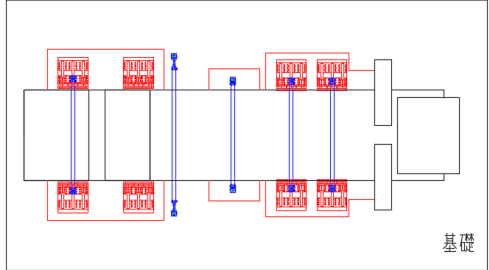
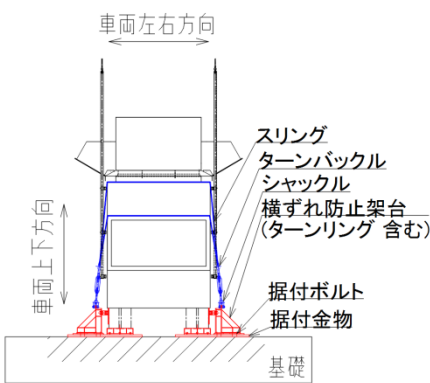
固縛装置構成要素名称		概念図	用途
連結材	スリング		固縛対象設備と固縛装置の固定材を，ターンバックルを介してつなぎ，固縛対象物を拘束するときに使用する。
	ターンバックル		連結材であるスリングとシャックルを連結するときに使用する。 中央の胴部と，両端のジョー部から構成され，ジョー部端部間長さをねじにより可変とする機構を有する。
	シャックル		固定材であるターンリングと連結材をリング部分で接続し，固縛対象設備を固縛するときに使用する。
固定材	ターンリング		プレート状の構成要素で，リング部分に連結材であるシャックルを連結するときに使用する。
	横ずれ防止架台		固縛対象設備のタイヤホイール側面に設置し据付ボルトにより据付金物に固定され，車両左右方向の荷重を受けるときに使用する。また連結材と接続し，車両上下方向の荷重を受けるときに使用する。
	車止め		固縛対象設備のタイヤ前面及び後面に設置し据付ボルトにより据付金物に固定され，車両前後方向の荷重を受けるときに使用する。
	横ずれ防止架台と据付金物を固定する据付ボルト		横ずれ防止架台と据付金物を固定するときに使用する。
	車止めと据付金物を固定する据付ボルト		車止めと据付金物を固定するときに使用する。

表 2-5 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	<p>常設車両型固縛対象設備 (第一ガスタービン発電機車)</p>	<p>固縛装置は、連結材及び固定材から構成し、連結材(スリング)を第一ガスタービン発電機車の上部に渡して固定材 (ターンリング) と据付金物に固定することで車両を固縛する。併せて車両タイヤ部を固定材 (車止め及び横ずれ防止架台) と据付金物に固定することで車両を固縛する。</p> <p>常設車両型固縛対象設備については、固定材(車止め及び横ずれ防止架台)を用い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>(側面図)</p>  <p>(上面図)</p>  <p>(正面図)</p>

K7 ① V-3-別添 1-3 R0

表 2-5 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	<p>常設車両型固縛対象設備(第一ガスタービン制御車)</p>	<p>固縛装置は、連結材及び固定材から構成し、連結材(スリング)を第一ガスタービン制御車の上部に渡して固定材(ターンリング)と据付金物に固定することで車両を固縛する。併せて車両タイヤ部を固定材(車止め及び横ずれ防止架台)と据付金物に固定することで車両を固縛する。</p> <p>常設車両型固縛対象設備については、固定材(車止め及び横ずれ防止架台)を用い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>(側面図)</p> <p>(上面図)</p> <p>(正面図)</p>

2.3 荷重及び荷重の組合せ

2.3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

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、可搬車両型固縛対象設備の固縛装置には連結材に常時たるみを設けているが、竜巻襲来のおそれがある場合には固縛のたるみを巻き取り拘束することから、動的荷重が作用しないため、動的荷重は設計荷重として考慮しない。なお、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、竜巻が通過するまで、固縛装置には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ついては、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 $V_D=92\text{m/s}$ を使用することとする。

評価条件を表2-6に示す。

表2-6 設計竜巻の評価条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	ガスト 影響係数 G (—)
92	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、作用する風圧力がすべ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、このときの荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図2-1に示す。

【連結材たるみ巻き取り後の持続荷重】

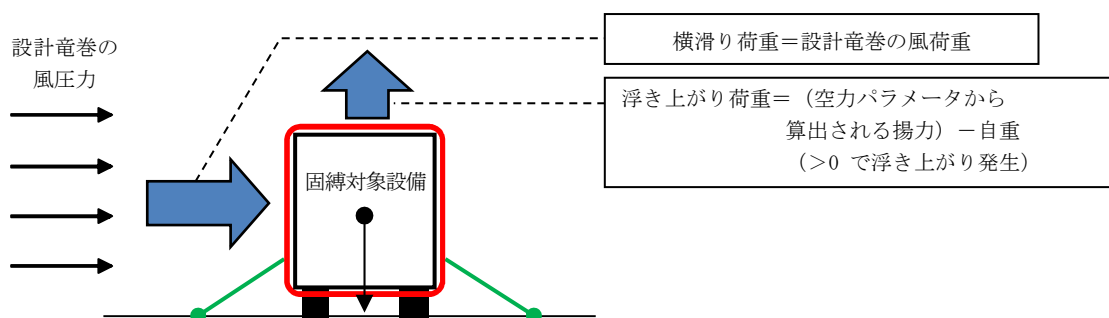


図 2-1 設計荷重の考え方の概念図

(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（高強度繊維ロープ及びシャックル）、固定材（たるみ巻取装置及び基礎部（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 2-7 に示す。

表 2-7 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
C_{D_i} (i = 1, 2, 3)	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A_i (i = 1, 2, 3)	m ²	固縛対象設備の各面の見付面積
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	—	風力係数
A	m ²	固縛対象設備の最大見付面積 (風向に依存)
N	箇所	固縛装置の設置箇所数
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

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。

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

ρ : 空気の密度

$C_D A$: 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。

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

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。

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

c. 横滑り荷重

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。

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

q : 設計用速度圧

G : ガスト影響係数（＝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）

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

ρ : 空気の密度

V_D : 固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大水平風速

(3) 荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、風圧力による荷重 (風荷重による浮き上がり荷重 (P_v) 及び横滑り荷重 (P_H)) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-8「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-8 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	$F_d + P_v + P_H$ (固縛対象設備に作用する荷重)

(4) 設計荷重の選定

設計荷重の選定に当たっては、浮き上がりに伴い発生する荷重及び横滑りに伴い発生する荷重を考慮し、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 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

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の作用を受けた場合に、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、常設車両型固縛対象設備の固縛装置には連結材にたるみを設けておらず、動的荷重が作用しないため、動的荷重は設計荷重として考慮しない。なお、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、竜巻が通過するまで、固縛装置には風荷重が持続荷重として継続して作用する。

浮き上がり作用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なり固縛対象設備に浮き上がり作用が発生する際の風荷重を考慮する。

横滑り作用に伴い固縛装置に作用する荷重の算出については、固縛対象設備に横滑り作用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 $V_D=92\text{m/s}$ を使用することとする。

評価条件を表 2-9 に示す。

表 2-9 設計竜巻の評価条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト 影響係数 G (—)
92	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、作用する風圧力がすべ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、このときの荷重を設定する。

設計竜巻の風圧力による荷重は、固縛対象物に対して正面、側面の 2 方向からの風をそれぞれ想定し、荷重を設定する。

設計荷重の考え方の概念図を図 2-3 に示す。

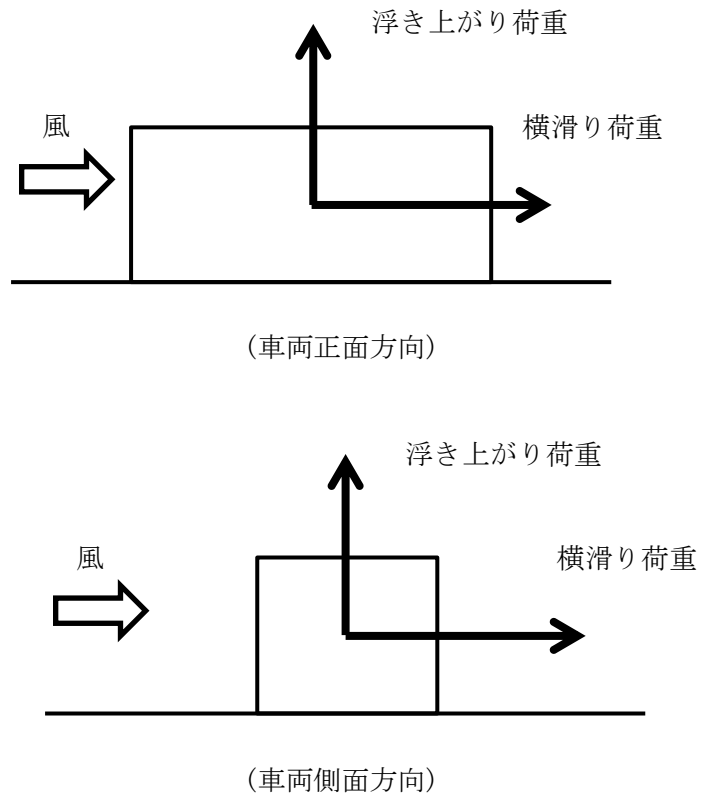


図 2-3 設計荷重の考え方の概念図

(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. 竜巻の風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重は、固縛対象設備に発生し、連結材（スリング、ターンバックル及びシャックル）、固定材（ターンリング、横ずれ防止架台、車止め及び据付ボルト）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 2-10 に示す。

表 2-10 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
V_D	m/s	固縛対象物に作用する設計竜巻の最大風速
$C_{D i, ii}$	—	固縛対象物の形状に応じた抗力係数
C_{D1}, C_{D2}, C_{D3}	—	各軸方向の投影面積と対応する静的な抗力係数
$A_{i a, ii a}$	m^2	固縛対象物各面の見付面積 a=1: 固縛対象物正面の見付面積($W_{i, ii} \cdot H_{i, ii}$) a=2: 固縛対象物側面の見付面積($L_{i, ii} \cdot H_{i, ii}$) a=3: 固縛対象物平面の見付面積($W_{i, ii} \cdot L_{i, ii}$)
$W_{i, ii}$	m	固縛対象物の幅
$H_{i, ii}$	m	固縛対象物の高さ
$L_{i, ii}$	m	固縛対象物の長さ
$m_{i, ii}$	kg	固縛対象物の質量
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
$A_{F i, ii}$	m^2	固縛対象物前後方向の最大見付面積
$A_{S i, ii}$	m^2	固縛対象物左右方向の最大見付面積
$A_{i, ii}$	m^2	固縛対象物の最大見付面積
$\frac{C_{D i, ii} \cdot A_{i, ii}}{m_{i, ii}}$	m^2/kg	空力パラメータ
$F_{L i, ii}$	kN	固縛対象物に作用する保守的に設定された揚力
$W_{W i, ii}$	kN	竜巻の風圧力による荷重
$P_{V i, ii}$	kN	固縛装置に作用する浮き上がり荷重
$P_{HF i, ii}$	kN	固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重
$P_{HS i, ii}$	kN	固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重

注：i は第一ガスタービン発電機車を、ii は第一ガスタービン制御車を示す。

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 $P_{V_{i, ii}}$ は、設計竜巻により当該固縛対象物に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、固縛対象物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 $F_{L_{i, ii}}$ を用い、空力パラメータ $C_{D_{i, ii}} \cdot A_{i, ii} / m_{i, ii}$ を用いた式に展開し、以下の式により算出する。

$$\begin{aligned} P_{V_{i, ii}} &= F_{L_{i, ii}} - m_{i, ii} \cdot g \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2 \cdot C_{D_{i, ii}} \cdot A_{i, ii} - m_{i, ii} \cdot g \\ &= m_{i, ii} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2 \cdot \frac{C_{D_{i, ii}} \cdot A_{i, ii}}{m_{i, ii}} - g \right) \end{aligned}$$

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 $C_{D_{i, ii}} \cdot A_{i, ii} / m_{i, ii}$ として算出する。

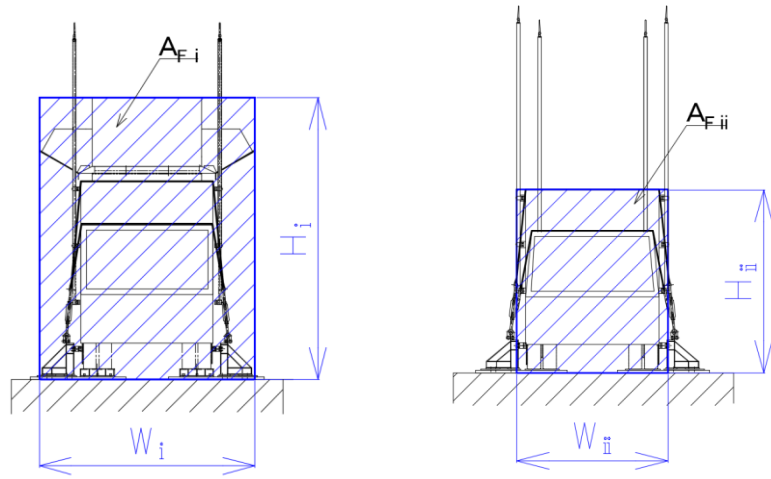
$$\frac{C_{D_{i, ii}} \cdot A_{i, ii}}{m_{i, ii}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(C_{D1} \cdot A_{i1, ii1} + C_{D2} \cdot A_{i2, ii2} + C_{D3} \cdot A_{i3, ii3})}{m_{i, ii}}$$

c. 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する荷重 $P_{HF i, ii}$, $P_{HS i, ii}$ 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、次の図 2-4 及び図 2-5 に示すとおり $W_{Wi, ii}$ とする。

(a) 車両前後方向の滑り荷重

$$P_{HF i, ii} = W_{Wi, ii} = q \cdot G \cdot C \cdot A_{Fi, ii}$$



i) 第一ガスタービン発電機車

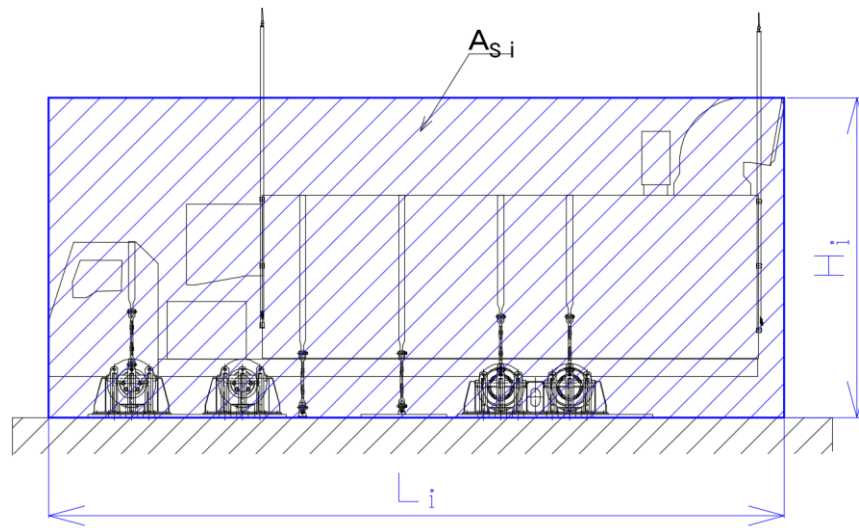
ii) 第一ガスタービン制御車

注：青色斜線部は受圧部を示す。

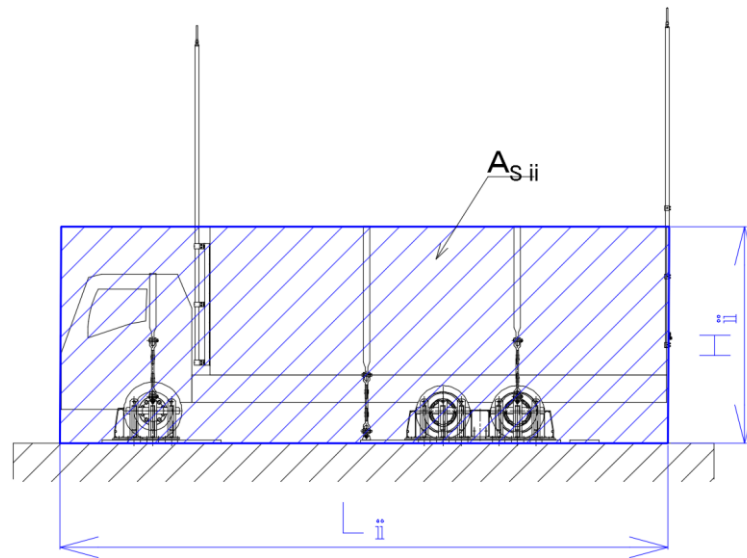
図 2-4 車両前後方向 受圧部

(b) 車両左右方向の滑り荷重

$$P_{HSi, ii} = W_{Wi, ii} = q \cdot G \cdot C \cdot A_{Si, ii}$$



i) 第一ガスタービン発電機車



ii) 第一ガスタービン制御車

注：青色斜線部は受圧部を示す。

図 2-5 車両左右方向 受圧部

(3) 荷重の組合せ

固縛対象設備に作用する荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、風圧力による荷重 (風荷重による浮き上がり荷重 (P_v), 車両前後方向の滑り荷重 (P_{HF}) 及び車両左右方向の滑り荷重 (P_{HS})) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを表 2-11 「固縛装置の荷重の組合せ」に示す。

表 2-11 固縛装置の荷重の組合せ

強度評価の対象施設	評価項目	荷重の組合せ
固縛装置	構造強度	$F_d + P_v + P_{HF} + P_{HS}$ (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、車両前後方向の滑り荷重及び車両左右方向の滑り荷重を考慮し、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

3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

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。固縛装置の連結材には常時たるみをもたせているが、竜巻襲来のおそれがある場合は連結材のたるみを巻き取り拘束するため、固定され移動しない。この荷重は連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）から固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト）まで伝達される。したがって、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、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 1-10「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。

3.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

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、浮き上がり荷重及び横滑り荷重が作用するが、固縛対象設備は連結材にたるみを設けておらずまた固定材がタイヤに接して設置されており、固定され移動しない。この荷重は、連結材（スリング、ターンバックル及びシャックル）から固定材（ターンリング、横ずれ防止架台及び据付ボルト）に、又は直接に固定材（横ずれ防止架台、車止め及び据付ボルト）に伝達される。したがって、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 2-4 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、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 1-10「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

区分	連結材	固定材
可搬 車両型	<ul style="list-style-type: none"> ・高強度繊維ロープ ・シャックル 	<ul style="list-style-type: none"> ・たるみ巻取装置 ・アンカーボルト
常設 車両型	<ul style="list-style-type: none"> ・スリング ・ターンバックル ・シャックル 	<ul style="list-style-type: none"> ・ターンリング ・横ずれ防止架台 ・車止め ・横ずれ防止架台と据付金物を固定する据付ボルト ・車止めと据付金物を固定する据付ボルト

表 3-2 固縛装置の対策目的及び型式

固縛対象設備		保管に関する事項			固縛装置対策目的		たるみ 有無	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	横滑り	浮き上がり		
可搬 車両型	タンクローリ	台	—	5号東側*1	○*2	○*2	無*3	
	可搬型代替注水ポンプ	台	—	5号東側*1	○*2	○*2	無*3	
常設 車両型	第一ガスタービン発電機車・制御車	台	—	7号南側*1	○*2	○*2	無	

注記*1 : 保管場所（屋外重大事故等対処設備保管場所）は以下を示す。

5号東側：5号機東側第二保管場所，7号南側：7号機タービン建屋南側保管場所

*2 : 横滑り及び浮き上がりの荷重は生じるが，固縛対象設備に移動は生じない。

*3 : 常時はたるみ有り，竜巻襲来のおそれがある場合はたるみを巻き取ることからたるみは無し。

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。

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及び固定材に作用する荷重、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。

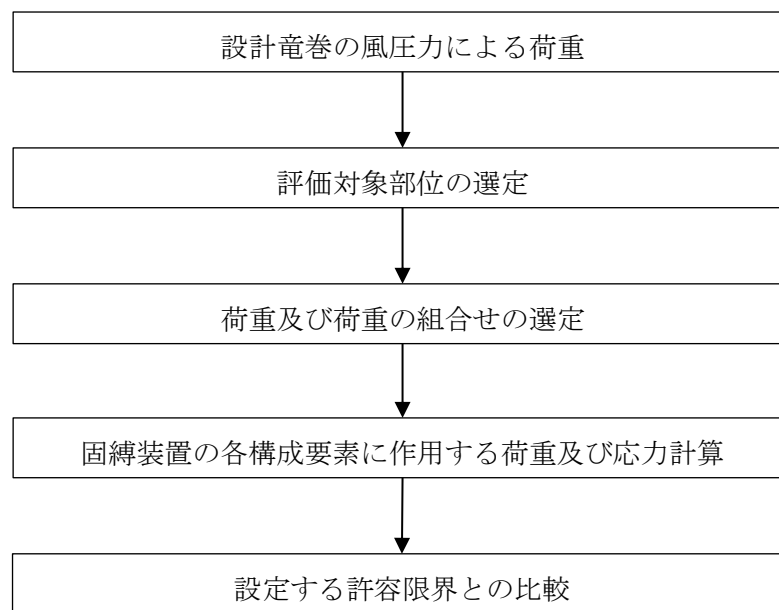


図4-1 固縛装置の強度評価フロー

5. 許容限界

固縛装置の許容限界は、「6.1.2 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、許容応力以下であり、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。

5.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

(1) 連結材

a. 連結材本体（高強度繊維ロープ）

固縛に必要な連結材（高強度繊維ロープ）については、設計竜巻による荷重に対し、連結材の破断が生じない設計とする。

b. シャックル

シャックルについては、設計竜巻による荷重に対し、シャックルの破断が生じない設計とする。

(2) 固定材

固定材（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、「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）アンカー部コンクリートのIV_ASに基づく、許容荷重を許容限界とする。

5.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

(1) 連結材

a. 連結材本体（スリング）

連結材本体（スリング）については、設計竜巻による荷重に対し、連結材本体（スリング）の破断が生じない設計とする。

b. ターンバックル

ターンバックルについては、設計竜巻による荷重に対し、ターンバックルの破断が生じない設計とする。

c. シャックル

シャックルについては、設計竜巻による荷重に対し、シャックルの破断が生じない設計とする。

(2) 固定材

固定材については、設計竜巻による荷重に対し、鋼材及びボルトの破断が生じない設計とする。

このため、「原子力発電所耐震設計技術指針」重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）その他支持構造物の許容応力状態IV_ASに基づく、部材の許容応力を許容限界とする。

6. 強度評価方法

6.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

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, 固定材の強度評価に用いる記号を表 6-2 に示す。

表 6-1 連結材（高強度繊維ロープ）の強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
P_v	kN	固縛対象設備に作用する浮上り荷重
P_{Hx}	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重（風向が車両正面・x 軸方向の場合）
P_{Hy}	kN	固縛対象設備に作用する横滑り荷重（風向が車両側面・y 軸方向の場合）
ϕ_{rope}	mm	高強度繊維ロープの呼称太さ
θ_{rope_z}	°	固縛対象設備の連結材取付け部と固定材（たるみ巻取装置）のなす角度
$\theta_{rope_{xy}}$	°	固縛対象設備の連結材取付け部と固定材（たるみ巻取装置）のなす角度（x y 平面）
N_{unit}	個	評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の総数
N_{unit_x}	個	評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の個数（風向が車両正面・x 軸方向の場合）
N_{unit_y}	個	評価上考慮する固定材（たるみ巻取装置）の個数（風向が車両側面・y 軸方向の場合）
N_{rope}	本	固定材（たるみ巻取装置）1箇所あたりの高強度繊維ロープの本数
p_{rope}	kN	高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重
p_{rope_1}	kN	高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重（風向が車両正面・x 軸方向の場合）
p_{rope_2}	kN	高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重（風向が車両側面・y 軸方向の場合）
P_{rope}	kN	高強度繊維ロープの使用荷重
P_M	kN	高強度繊維ロープの許容荷重

表 6-1 連結材（シャックル）の強度計算に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
N_s	個	連結材 1 組当たりのシャックルの個数
p_s	kN	シャックル 1 本当たりの検討荷重
P_s	kN	シャックルの許容荷重

表 6-2 固定材（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
p_{rope}	kN	高強度繊維ロープ 1 本当たりの検討荷重
A_{ℓ_s}	mm ²	アンカーボルトの断面積
$\ell_{\ell_s_x}$	mm	アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ(x 軸方向)
$\ell_{\ell_s_y}$	mm	アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ(y 軸方向)
$\ell_{\ell_s_z}$	mm	アンカーボルト頭部から想定するたるみ巻取装置の荷重作用点までの長さ(z 軸方向)
N_{ℓ_s}	本	評価範囲のアンカーボルト全本数
$n_{\ell_s_x}$	本	x 軸方向の荷重によって引抜きを受けるアンカーボルトの本数
$n_{\ell_s_y}$	本	y 軸方向の荷重によって引抜きを受けるアンカーボルトの本数
p_{ℓ_s}	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張荷重
q_{ℓ_s}	kN	アンカーボルト 1 本当たりのせん断荷重
σ_{ℓ_s}	N/mm ²	アンカーボルト 1 本当たりの引張応力
τ_{ℓ_s}	N/mm ²	アンカーボルト 1 本当たりのせん断応力
F	N/mm ²	アンカーボルトの設計基準強度
$1.5 \cdot f_t^*$	N/mm ²	アンカーボルトの許容引張応力
$1.5 \cdot f_s^*$	N/mm ²	アンカーボルトの許容せん断応力
f_{ts}	N/mm ²	アンカーボルトの許容組合せ応力

表 6-2 固定材（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（2/2）

記号	単位	定義
A_{AC}	mm^2	アンカーボルトの断面積
A_c	mm^2	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積
$A_{c'}$	mm^2	コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（へり側）
A_0	mm^2	支圧面積
K_1	—	コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数
K_2	—	支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数
K_3	—	複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数
K_4	—	へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数
F_c	N/mm^2	コンクリートの設計基準強度
E_c	N/mm^2	コンクリートのヤング係数
α	—	支圧面積と有効投影面積から定まる係数 $(\alpha = \sqrt{A_c/A_0}$, 10 を超える場合は 10)
p_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりのコンクリート部の短期許容引張荷重
p_{a1}	kN	コンクリート躯体がコーン状破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重
p_{a2}	kN	アンカーボルト固定部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張荷重
q_a	kN	アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断荷重
q_{a1}	kN	アンカーボルトとアンカーボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断荷重
q_{a2}	kN	へり側コンクリートが破壊する場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容せん断荷重

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

a. 連結材本体（高強度繊維ロープ）

連結材に作用する荷重を、メーカー提示値の規格引張強度と比較するため、評価対象部位は図6-1に示す高強度繊維ロープ本体とする。

設定したロープ径を持つ高強度繊維ロープを評価対象部位として選定する。



図6-1 連結材（高強度繊維ロープ）の評価対象部位

b. シャックル

シャックルの評価対象部位を図6-2に示すシャックル本体とする。

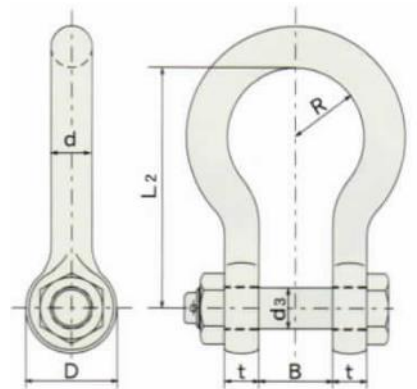


図6-2 連結材（シャックル）の評価対象部位

(2) 固定材

a. たるみ巻取装置

たるみ巻取装置については、鉄鋼材料からなる剛性を有する部材で構成されることを前提として評価対象外とし、たるみ巻取装置を固定するアンカーボルトを評価対象とする。

b. アンカーボルト

埋込式の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。アンカーボルトの評価対象部位を図6-3に示す。



図6-3 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

a. 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価方法

連結材本体に作用する荷重が、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、そのうち最も大きくなる状態での荷重を選定する。

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、固縛対象設備が浮き上がる場合には、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荷重を算定する。設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して、固縛対象設備が横滑りする場合には、横滑りの方向により連結材（サイドロープ）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。

浮き上がり時及び横滑り時の連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図を、図 6-4（風向が x 方向の場合）及び図 6-5（風向が y 方向の場合）に示す。

連結材本体の検討用荷重 p_{rope} は、以下の式に基づき算定する。

$$p_{\text{rope}} = \max (p_{\text{rope}_1}, p_{\text{rope}_2})$$

ただし、

$$\begin{cases} p_{\text{rope}_1} = \left(\frac{P_{Hx}}{\sin \theta_{\text{rope}_{xy}}} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{\text{rope}_z}} \right) / (N_{\text{unit}_x} \cdot N_{\text{rope}}) + \left(\frac{P_v}{\sin \theta_{\text{rope}_z}} \right) / (N_{\text{unit}} \cdot N_{\text{rope}}) \\ p_{\text{rope}_2} = \left(\frac{P_{Hy}}{\cos \theta_{\text{rope}_{xy}}} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{\text{rope}_z}} \right) / (N_{\text{unit}_y} \cdot N_{\text{rope}}) + \left(\frac{P_v}{\sin \theta_{\text{rope}_z}} \right) / (N_{\text{unit}} \cdot N_{\text{rope}}) \end{cases}$$

なお、ロープを展張した状態で維持させるには、ロープに一定の荷重（初期張力）をかける必要があり、ロープが展張している場合には初期張力が常時作用しているものとして評価する。

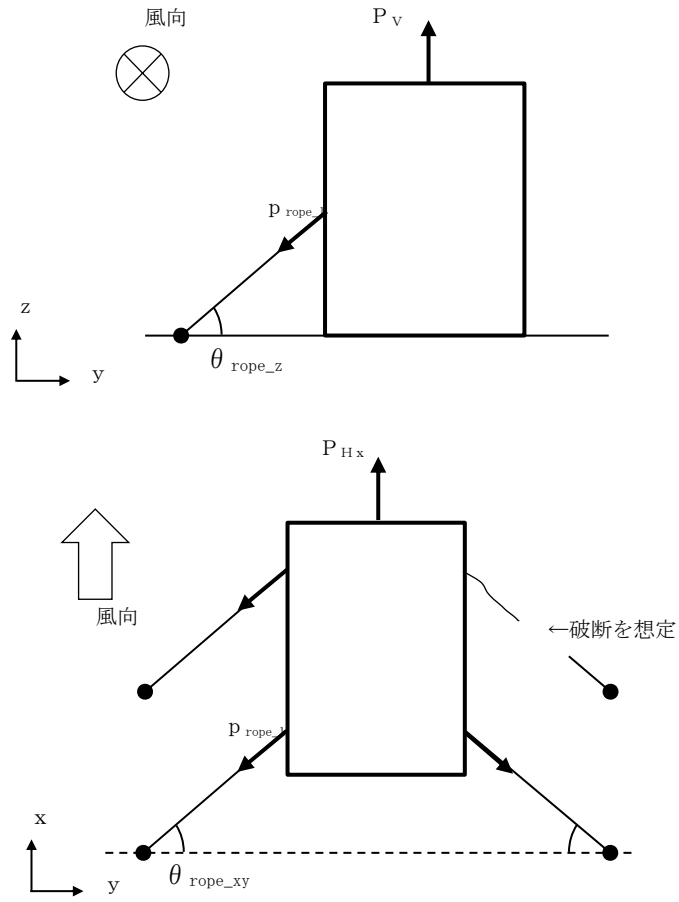


図 6-4 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
 （風向が車両正面・x 軸方向の場合）

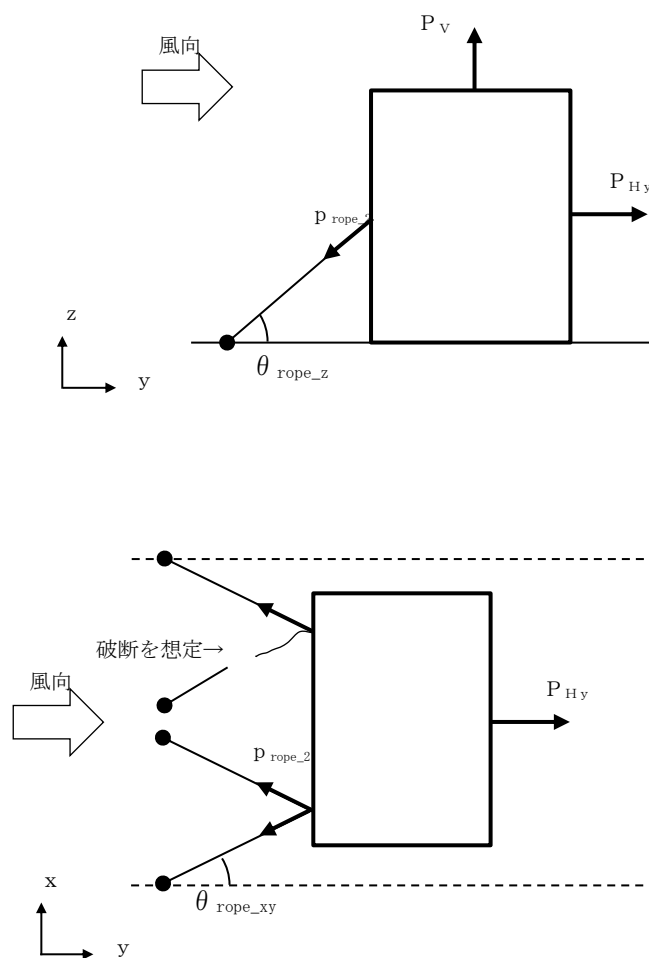


図 6-5 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
 （風向が車両側面・y 軸方向の場合）

b. シャックルの評価方法

シャックルに作用する荷重も連結材本体と同様に、固縛装置の設置箇所数×シャックル1本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、シャックル1本当たりに作用する荷重を、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、シャックルは連結材（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（サイドロープ）の荷重を検討用荷重とする。

また、荷重の評価モデルは連結材本体と同様である。

シャックル本体の検討用荷重 p_s は、以下の式に基づき算定する。

$$p_s = p_{\text{rope}} / N_s$$

(2) 固定材の評価方法

a. アンカーボルトの評価方法

(a) 計算モデル

アンカーボルトに作用する荷重も他の固定材と同様に、許容限界を超えないことを確認するため、固縛装置の1箇所の連結材本数×連結材1本あたりに作用する荷重を算定し、そのうち最も大きい荷重を選定する。

アンカーボルトは、たるみ巻取装置の底板（アンカープレート）から荷重を伝達されることから、たるみ巻取装置の荷重すなわち連結材（高強度繊維ロープ）の荷重である p_{rope} を検討用荷重とする。

たるみ巻取装置から伝達される荷重 p_{rope} はたるみ巻取装置と固縛対象物のなす角度に基づき鉛直成分1種類（z軸方向）と水平成分2種類（x, y軸方向）に分解できるため、単一の成分は元の荷重より小さくなる。ただし、本評価においては、x軸方向、y軸方向及びz軸方向の各荷重成分として、保守的に連結材から伝達される荷重 p_{rope} の値を用いる。また、連結材から伝達される荷重のたるみ巻取装置上の作用点についても保守的に設定する。アンカーボルトの評価モデルの概要図を図6-6～図6-10に示す。



図6-6 アンカーボルトの評価モデルの概要図

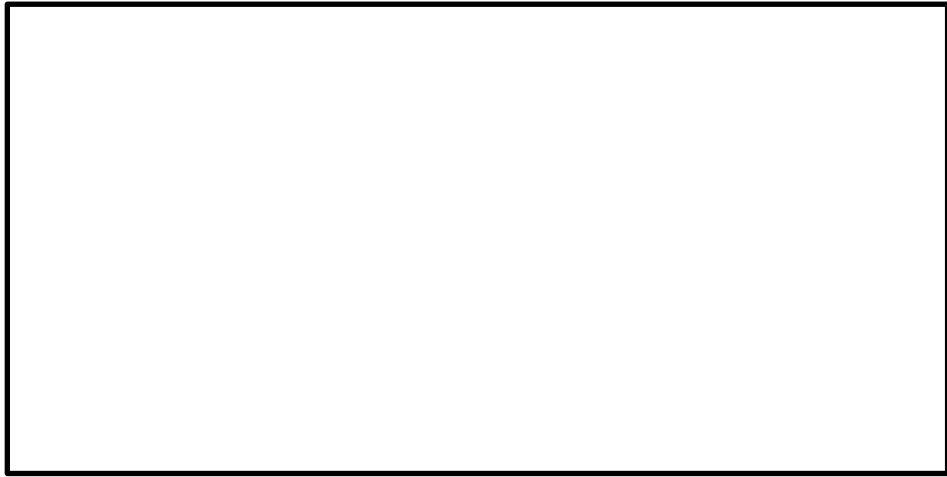


図 6-7 アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が車両側面・y 軸方向の場合）



図 6-8 アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が車両正面・x 軸方向の場合）

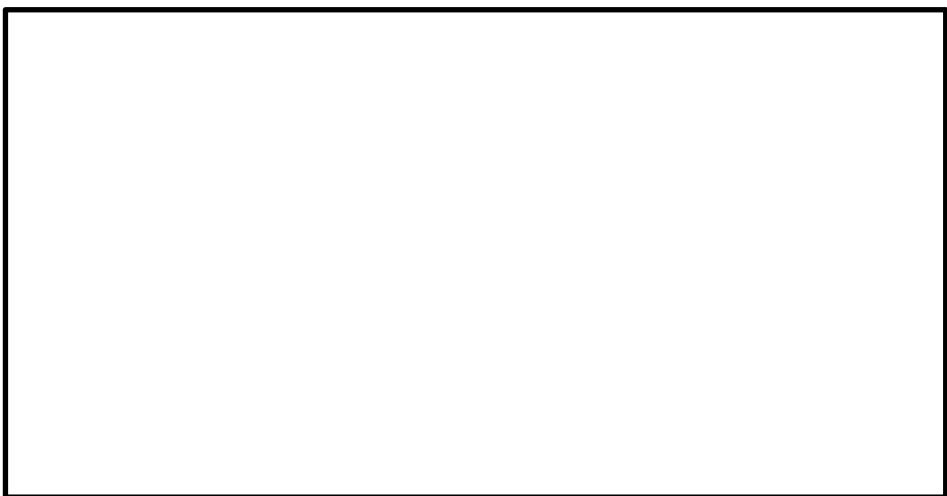


図 6-9 アンカーボルトの評価モデルの概要図（y z 平面）

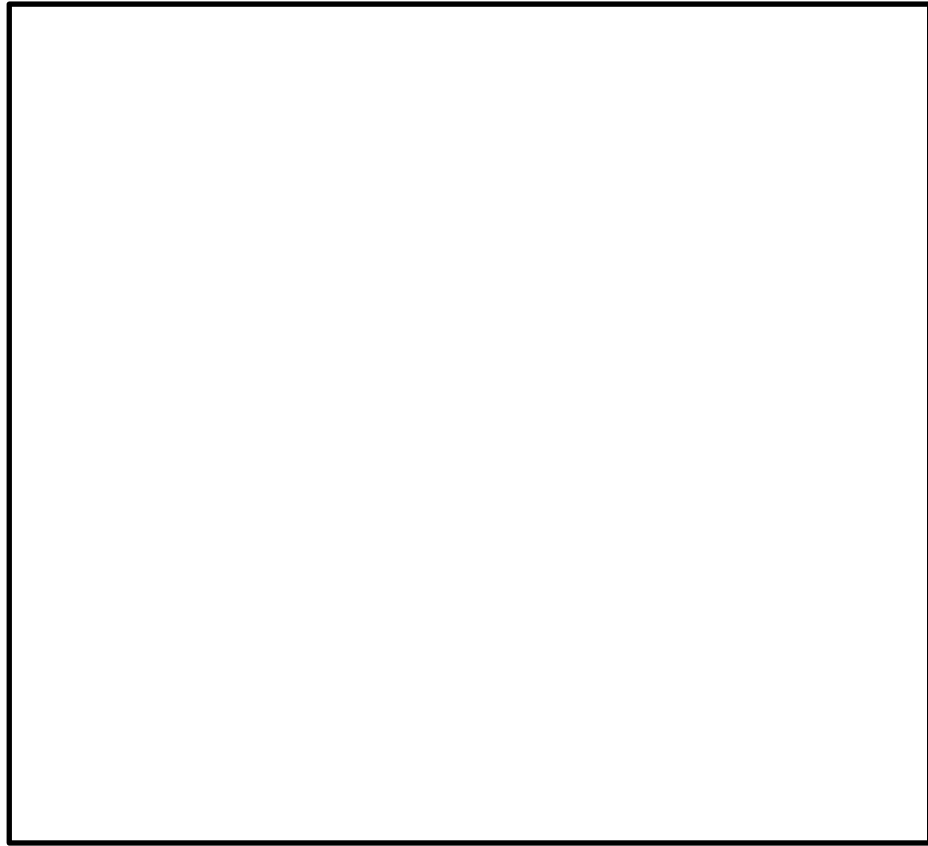


図 6-10 アンカーボルト埋設部の評価モデルの概要図

(b) 計算方法

連結材から伝達される荷重は、たるみ巻取装置と固縛対象物のなす角度に基づき鉛直成分 1 種類（z 軸方向）と水平成分 2 種類（x, y 軸方向）に分解できるため、単一の成分は元の荷重より小さくなる。ただし、アンカーボルトの評価にあたっては、成分分解を行わず、保守的に x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向のすべてに元の荷重が同時に作用するものとして扱う。

イ. ボルト部

(イ) 引張応力

アンカーボルトの引張荷重 $p_{\ell s}$ 及び引張応力 $\sigma_{\ell s}$ は、以下の式に基づき算定する。

$$p_{\ell s} = \max \left(\frac{p_{\text{rope}}}{N_{\ell s}} + \frac{p_{\text{rope}} \cdot \ell_{\ell s, z}}{\ell_{\ell s, x} \cdot n_{\ell s, x}}, \frac{p_{\text{rope}}}{N_{\ell s}} + \frac{p_{\text{rope}} \cdot \ell_{\ell s, z}}{\ell_{\ell s, y} \cdot n_{\ell s, y}} \right)$$

$$\sigma_{\ell s} = \frac{p_{\ell s}}{A_{\ell s}}$$

(ロ) せん断応力

アンカーボルトのせん断荷重 $q_{\ell s}$ 及びせん断応力 $\tau_{\ell s}$ は、以下の式に基づき算定する。

$$q_{\ell s} = \frac{P_{\text{rope}}}{N_{\ell s}}$$

$$\tau_{\ell s} = \frac{q_{\ell s}}{A_{\ell s}}$$

(ハ) 組合せ応力

前項「(イ)」にて算定した引張応力の値を用いる。

ロ. コンクリート部

(イ) 引張に関する検討

コンクリート部の引張荷重は、前項「イ.(イ)」にて算定した引張荷重 $p_{\ell s}$ の値を用いる。

上記コンクリート部の引張荷重に対して、「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) アンカー部コンクリートの許容応力状態 IV_AS における許容荷重 p_a を、以下の式により算定する。

$$p_a = \min(p_{a_1}, p_{a_2})$$

$$p_{a_1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c}$$

$$p_{a_2} = K_2 \cdot \alpha \cdot A_0 \cdot F_c$$

(ロ) せん断荷重に関する検討

コンクリート部のせん断荷重は、前項「イ.(ロ)」にて算定したせん断荷重 $q_{\ell s}$ の値を用いる。

上記コンクリート部のせん断荷重に対して、「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) アンカー部コンクリートの許容応力状態 IV_AS における許容荷重 q_a を、以下の式により算定する。

$$q_a = \min(q_{a_1}, q_{a_2})$$

$$q_{a_1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot A_{AC} \cdot \sqrt{E_c \cdot F_c}$$

$$q_{a_2} = K_4 \cdot A_c' \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c}$$

$$\text{ただし, } 500 < \sqrt{E_c \cdot F_c} \leq 880$$

(ハ) 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荷重とせん断荷重の組合せ荷重に対する検定は、「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)に基づき、以下の式によって行う。

$$\left(\frac{p_{\ell s}}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q_{\ell s}}{q_a}\right)^2 \leq 1$$

6.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

6.2.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

連結材及び固定材（ターンリング）の強度評価に用いる記号を表 6-3 に、固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号を表 6-4 に示す。

表 6-3 連結材及び固定材（ターンリング）の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
$P_{Vi, ii}$	kN	固縛装置に作用する浮き上がり荷重
$T_{i, ii}$	kN	スリング、ターンバックル、シャックルに作用する荷重
$\theta_{i, ii}$	deg	浮き上がり時にスリングと固縛対象物の側面がなす角度
$n_{i, ii}$	個	評価連結材（スリング、ターンバックル、シャックル）の個数
$F_{Ti, ii}$	kN	ターンリングの引張荷重
$M_{i, ii}$	kN・mm	ターンリングに作用する曲げモーメント
$\sigma_{t1-ring i, ii}$	MPa	ターンリングの円孔周りに作用する引張応力
$\tau_{s-ring i, ii}$	MPa	ターンリングのせん断応力
$\sigma_{b-ring i, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ応力
$\sigma_{t2-ring i, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ応力が発生する箇所の引張応力
$\sigma_{-ring i, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ+引張の組合せ応力
$d_{t-ring i, ii}$	mm	ターンリングの引張が作用する幅の 1/2
$t_{w-ring i, ii}$	mm	ターンリングの板厚
$d_{s-ring i, ii}$	mm	ターンリングのせん断が作用する幅
$d_{H-ring i, ii}$	mm	ターンリングの曲げ+引張が作用するはりの長さ
$d_{L-ring i, ii}$	mm	ターンリングの曲げ+引張が作用する幅
$Z_{i, ii}$	mm ³	ターンリングの断面係数
$A_{t1-ring i, ii}$	mm ²	円孔周りの引張荷重が作用するターンリングの断面積
$A_{t2-ring i, ii}$	mm ²	曲げ応力が発生する箇所のターンリングの断面積
$A_{s-ring i, ii}$	mm ²	せん断荷重が作用するターンリングの断面積
P_M	kN	スリングの破断荷重
P_T	kN	ターンバックルの破断荷重
P_S	kN	シャックルの破断荷重
S_u	N/mm ²	設計引張強さ
S_y	N/mm ²	設計降伏点
$1.5 \cdot f_t^*$	N/mm ²	ターンリングの許容引張応力
$1.5 \cdot f_s^*$	N/mm ²	ターンリングの許容せん断応力
$1.5 \cdot f_b^*$	N/mm ²	ターンリングの許容曲げ応力

注：i は第一ガスタービン発電機車を，ii は第一ガスタービン制御車を示す。

表 6-4 固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
$P_{HF i, ii}$	kN	固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重
$P_{HS i, ii}$	kN	固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重
$P_{HSC i, ii}$	kN	横ずれ防止架台 1 台あたりにかかる車両左右方向の荷重
$P_{HFC i, ii}$	kN	車止め 1 台あたりにかかる車両前後方向の荷重
$F_{mSsn gli, ii}$	kN	横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト 1 本あたりにかかるモーメントによる荷重
$F_{mFsn gli, ii}$	kN	車止めを据付金物に固定する据付ボルト 1 本あたりにかかるモーメントによる荷重
$P_{Ssn gli, ii}$	kN	横ずれ防止架台に作用する据付ボルト 1 本あたりにかかる車両左右方向の横滑り荷重
$P_{Fsn gli, ii}$	kN	車止めに作用する据付ボルト 1 本あたりにかかる車両前後方向の横滑り荷重
$q_{sn gli, ii}$	kN	横ずれ防止架台に作用する据付ボルト 1 本あたりにかかる車両上下方向の浮き上がり荷重
$\sigma_{tS-sbi, ii}$	MPa	横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの引張応力
$\tau_{S-sbi, ii}$	MPa	横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトのせん断応力
$\tau_{F-sbi, ii}$	MPa	車止めと据付金物を固定する据付ボルトのせん断応力
$\sigma_{mS-sbi, ii}$	MPa	横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトのモーメントによる引張応力
$\sigma_{mF-sbi, ii}$	MPa	車止めを据付金物に固定する据付ボルトのモーメントによる引張応力
$\sigma_{S-sbi, ii}$	MPa	横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力
$\sigma_{F-sbi, ii}$	MPa	車止めを据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力

注：i は第一ガスタービン発電機車を，ii は第一ガスタービン制御車を示す。

表 6-4 固定材（横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト）の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
$n_{HF i, ii}$	台	固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重を受ける車止めの台数
$n_{HS i, ii}$	台	固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重を受ける横ずれ防止架台の台数
$n_{P i, ii}$	本/台	横ずれ防止架台 1 台分を固定する据付ボルト本数
$n_{F i, ii}$	本/台	車止め 1 台分を固定する最小の据付ボルト本数
$n_{S i, ii}$	本	車両左右方向の荷重を受ける据付ボルト本数
$A_{sb i, ii}$	mm ²	据付ボルトの呼び径断面積
d_{sb}	mm	据付ボルトの呼び径
$H_{S i, ii}$	mm	横ずれ防止架台における固縛装置に作用する車両左右方向の滑り荷重の高さ
$H_{F i, ii}$	mm	車止めにおける固縛装置に作用する車両前後方向の滑り荷重の高さ
$L_{S1 i, ii}$ $L_{S2 i, ii}$ $L_{S3 i, ii}$	mm	転倒支点と横ずれ防止架台据付ボルトの水平方向距離
$L_{F1 i, ii}$	mm	転倒支点と車止め据付ボルトの水平方向距離
S_u	N/mm ²	設計引張強さ
S_y	N/mm ²	設計降伏点
$1.5 \cdot f_t^*$	N/mm ²	据付ボルトの許容引張応力
$1.5 \cdot f_s^*$	N/mm ²	据付ボルトの許容せん断応力
f_{ts}	N/mm ²	据付ボルトの許容組合せ応力

注：i は第一ガスタービン発電機車を，ii は第一ガスタービン制御車を示す。

6.2.2 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

a. 連結材（スリング）

連結材（スリング）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、評価対象部位は図6-11に示すスリング本体とする。



図6-11 連結材（スリング）の評価対象部位

b. ターンバックル

ターンバックルについては、図6-12に示すターンバックル本体を評価対象部位とする。

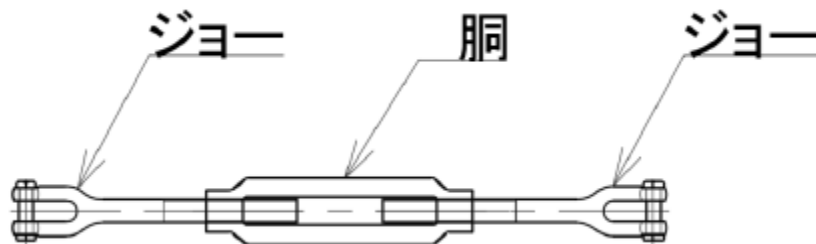


図6-12 ターンバックルの評価対象部位

c. シャックル

シャックルについては、図6-13に示すシャックル本体を評価対象部位とする。

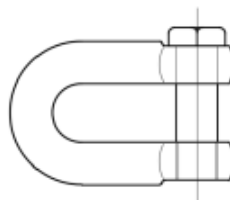


図6-13 シャックルの評価対象部位

(2) 固定材

a. ターンリング

ターンリングについては、固縛対象物の浮き上がり荷重を受ける連結材（スリング）との取り合いを行うための部位で、せん断応力及び曲げ応力と引張応力の合力が作用するクリチカルな部位であり、評価対象部位とする。ターンリングの評価対象部位を図 6-14 に示すターンリング本体とする。

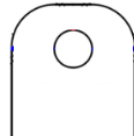


図 6-14 ターンリングの評価対象部位

b. 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト

横ずれ防止架台については、厚肉の鉄鋼材料を組み合わせた低重心の剛構造の架台とする。横ずれ防止架台の本体自体は剛体であるという前提の下に評価対象外とし、据付金物に固定する据付ボルトを評価対象とする。

c. 車止めを据付金物に固定する据付ボルト

車止めについては、厚肉の鉄鋼材料を組み合わせた低重心の剛構造の架台とする。車止め本体自体は剛体であるという前提の下に評価対象外とし、据付金物に固定する据付ボルトを評価対象とする。

横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価対象部位を、図 6-15 に示す据付ボルト本体とする。

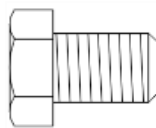


図 6-15 横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価対象部位

6.2.3 評価方法

常設車両型固縛対象設備の固縛装置については、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、固縛対象設備が浮き上がる場合には、両側に配置した連結材（スリング、ターンバックル及びシャックル）及び固定材（ターンリング、横ずれ防止架台及び据付ボルト）で抵抗することから、浮き上がり方向（車両上下方向）に対して評価対象部位の荷重を算定する。

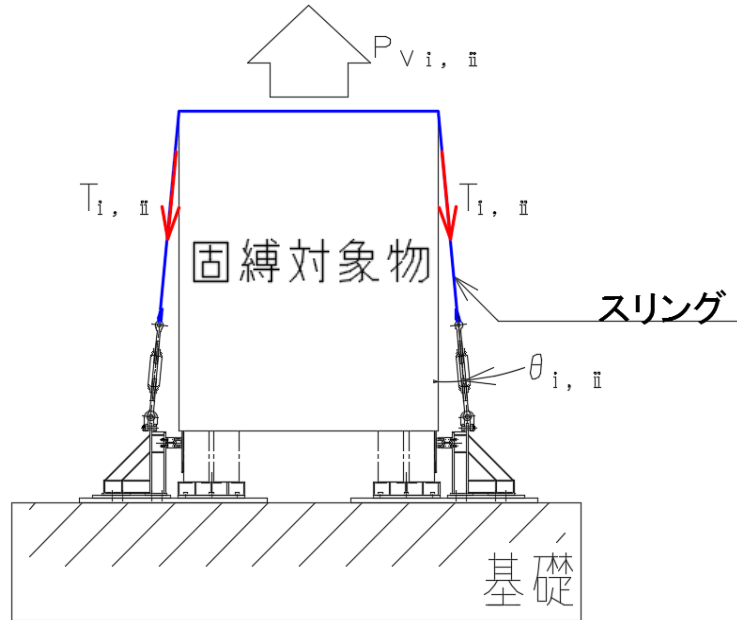
設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して、固縛対象設備が横滑りする場合には、固定材（横ずれ防止架台、車止め及び据付ボルト）で抵抗するが、横滑りの方向により作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向（車両左右方向及び車両前後方向）に対して評価対象部位の荷重を算定する。

(1) 連結材の評価方法

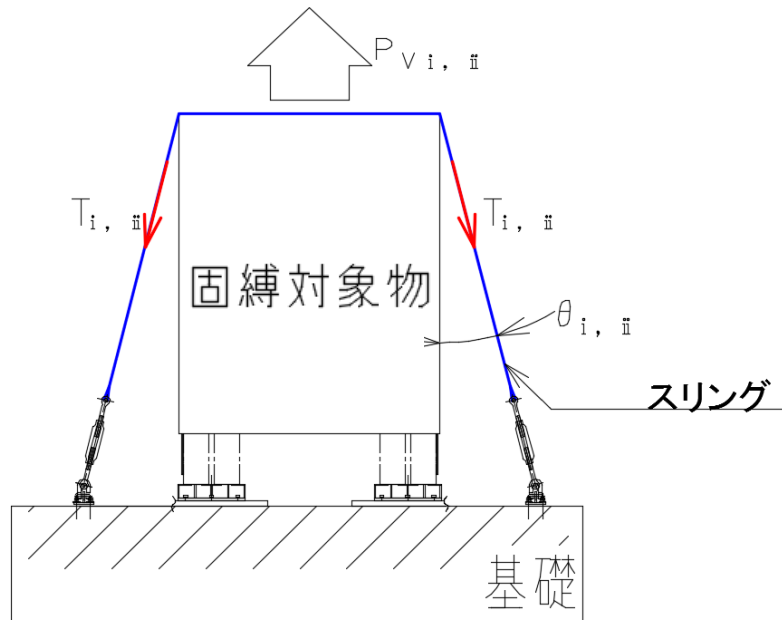
連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×連結材1組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材1組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きくなる状態での荷重を選定する。

a. スリングの評価方法

固縛対象設備が浮き上がる場合には、車両の両側に配置した連結材（スリング）で抵抗することから、スリングには浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。連結材（スリング）の評価モデル図を図6-16に示す。



(a) 横ずれ防止架台を介す場合



(b) 横ずれ防止架台を介さない場合

図6-16 連結材（スリング）の評価モデル図

スリングの引張荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$T_{i, ii} = \frac{P_{Vi, ii}}{2 \cdot n_{i, ii}} \cdot \frac{1}{\cos \theta_{i, ii}}$$

b. ターンバックルの評価方法

ターンバックルはスリングと同一作用線上に配置され、浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。

ターンバックルの引張荷重は、スリングに作用する荷重と同等である。

c. シャックルの評価方法

シャックルはスリングと同一作用線上に配置され、浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。

シャックルの引張荷重は、スリングに作用する荷重と同等である。

(2) 固定材の評価方法

a. ターンリングの評価方法

固縛対象設備が浮き上がる場合には、ターンリングには連結材（スリング、ターンバ
ックル及びシャックル）を介して浮き上がり（車両上下方向）の荷重が作用する。ター
ンリングの評価モデル図を図6-17に示す。

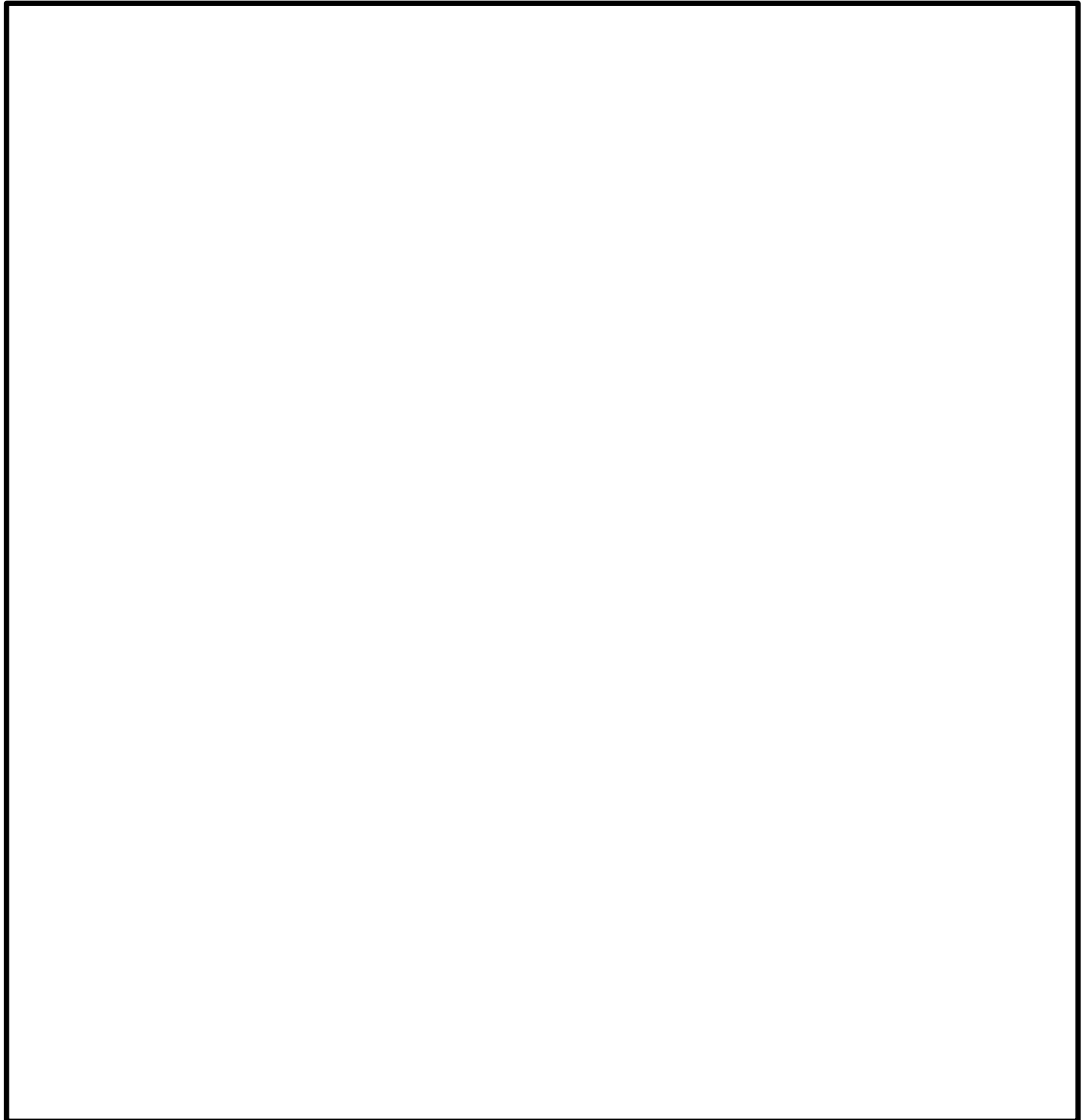


図6-17 ターンリングの評価モデル図

評価方法は、引張応力1とせん断応力については、横ずれ防止架台のターンリングと
据付金物用ターンリングの値を計算する。

曲げ応力+引張応力2については、横ずれ防止架台のターンリングの値のみを計算す
る。

(a) ターンリングの引張荷重

引張荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$F_{Ti, ii} = T_{i, ii} \cdot \cos \theta_{i, ii}$$

(b) ターンリングの引張応力 1

引張応力 1 は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{tl-ring i, ii} = \frac{F_{Ti, ii}}{A_{tl-ring i, ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{tl-ring i, ii} = 2 \cdot d_{t-ring i, ii} \cdot t_{w-ring i, ii}$$

(c) ターンリングのせん断応力

せん断応力は、以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{s-ring i, ii} = \frac{F_{Ti, ii}}{A_{s-ring i, ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{s-ring i, ii} = d_{s-ring i, ii} \cdot t_{w-ring i, ii}$$

(d) 曲げ応力+引張応力 2

イ. 曲げ応力

曲げ応力は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{b-ring i, ii} = \frac{M_{i, ii}}{Z_{i, ii}} \cdot 10^3$$

$$M_{i, ii} = d_{H-ring i, ii} \cdot T_{i, ii} \cdot \sin \theta_{i, ii}$$

$$Z_{i, ii} = \frac{d_{L-ring i, ii}^2 \cdot t_{w-ring i, ii}}{6}$$

ロ. 引張応力 2

引張応力 2 は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{t2-ring i, ii} = \frac{F_{Ti, ii}}{A_{t2-ring i, ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{t2-ring i, ii} = d_{L-ring i, ii} \cdot t_{w-ring i, ii}$$

- ハ. 曲げ応力と引張応力 2 の組合せ応力
組合せ応力は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{\text{-ringi, ü}} = \sigma_{\text{b-ringi, ü}} + \sigma_{\text{t2-ringi, ü}}$$

b. 横ずれ防止架台及び車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価方法
 据付ボルトと締結される据付金物は剛であり、変形しないものとして計算する。

(a) 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトにかかる応力

固縛対象設備が浮き上がる場合には、連結材（スリング）を介して車両の左右両側面に配置した固定材（横ずれ防止架台及び据付ボルト）で抵抗するとともに、側面方向（車両左右方向）に横滑りした場合には、車両左右タイヤの各ホイール側面に配置したうちの片側面の固定材（横ずれ防止架台及び据付ボルト）により抵抗することから、横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトに作用する荷重を算出する。

イ. 浮き上がりに対する引張応力（車両上下方向荷重）

浮き上がり（車両上下方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図を図 6-18 に示す。

浮き上がり（車両上下方向）の荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{tS-sbi, ii} = \frac{q_{sngli, ii}}{A_{sbi, ii}} \cdot 10^3$$

$$A_{sbi, ii} = \frac{d_{sb}^2}{4} \cdot \pi$$

$$q_{sngli, ii} = \frac{P_{vi, ii}}{2 \cdot n_{i, ii} \cdot n_{Pi, ii}}$$

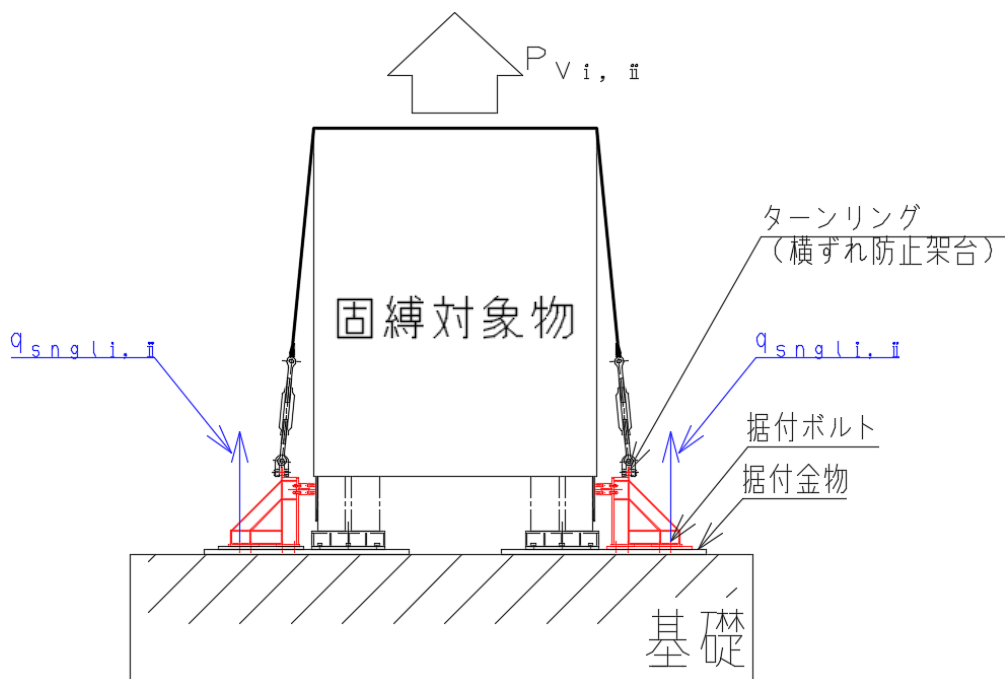


図 6-18 浮き上がり（車両上下方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

ロ. 横滑りのモーメントによる引張応力（車両左右方向荷重）

車両左右方向の横ずれ防止架台がモーメントを受ける評価モデル図を図6-19に示す。

据付ボルトにかかる荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{mS-sbi, ii} = \frac{F_{mSsn gli, ii}}{A_{sbi, ii}} \cdot 10^3$$

$$F_{mSsn gli, ii} = \frac{P_{HSCi, ii} \cdot H_{Si, ii} \cdot L_{S3i, ii}}{6 \cdot (L_{S1i, ii}^2 + L_{S2i, ii}^2 + L_{S3i, ii}^2)}$$

$$P_{HSCi, ii} = \frac{P_{HSi, ii}}{n_{HSi, ii}}$$

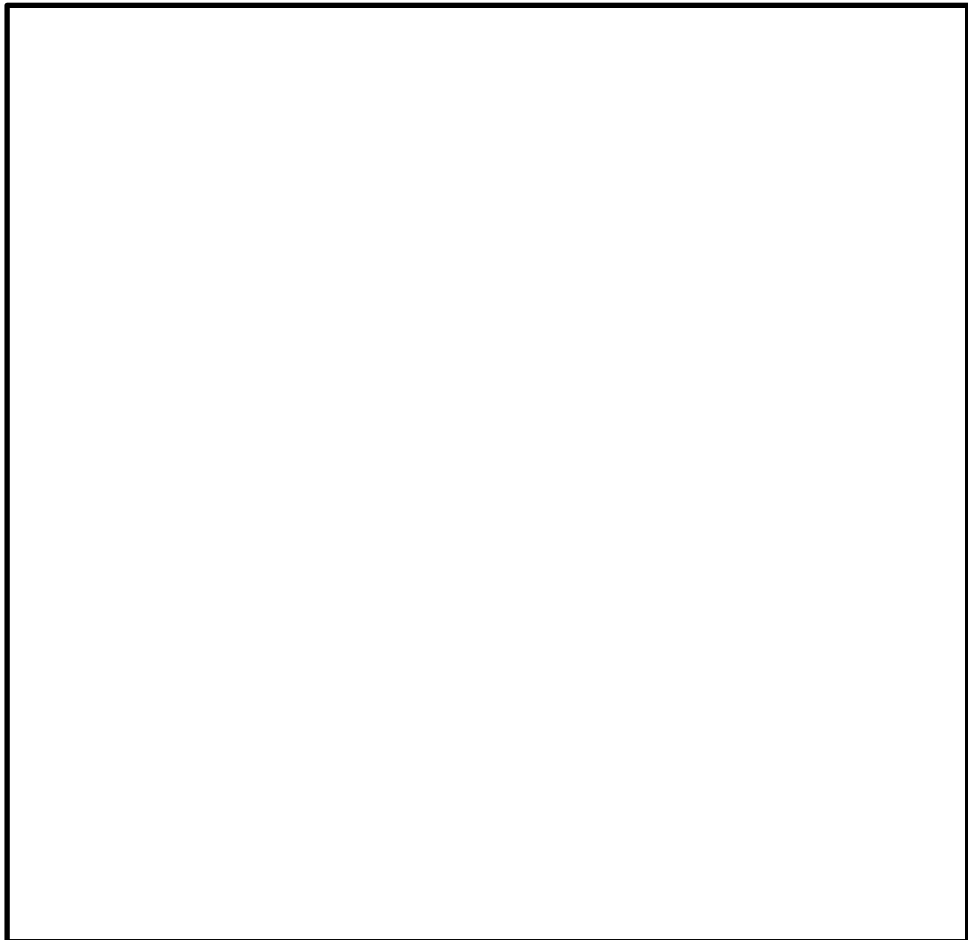


図6-19 横ずれ防止架台がモーメントを受ける評価モデル図

ハ. 横滑りに対するせん断応力（車両左右方向荷重）

横滑り（車両左右方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデルを図6-20に示す。

横滑り（車両左右方向）の荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{S-sbi, ii} = \frac{P_{Ssnqli, ii}}{A_{sbi, ii}} \cdot 10^3$$

$$P_{Ssnqli, ii} = \frac{P_{HSi, ii}}{n_{Si, ii}}$$

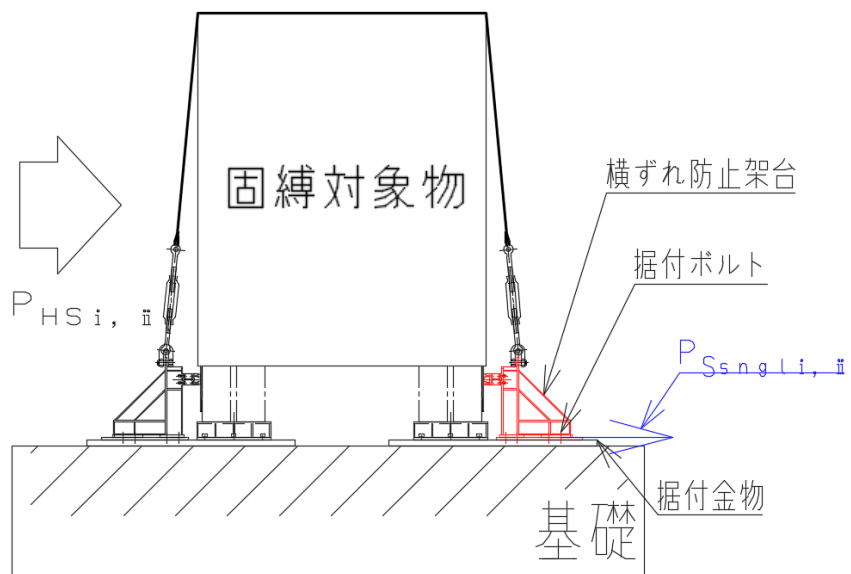


図6-20 横滑り（車両左右方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(b) 車止めを据付金物に固定する据付ボルト

固縛対象設備が正面方向（車両前後方向）に横滑りした場合には、各タイヤの前後面に配置したうちの片側面の固定材（車止め及び据付ボルト）により抵抗することから、車止めを据付金物に固定する据付ボルトに作用する荷重を算出する。

イ. 横滑りのモーメントによる引張応力（車両前後方向荷重）

車両前後方向の車止めがモーメントを受ける評価モデル図を図6-21に示す。据付ボルトにかかる荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$\sigma_{mF-sbi, ii} = \frac{F_{mFsnqli, ii}}{A_{sbi, ii}} \cdot 10^3$$

$$F_{mFsnqli, ii} = \frac{P_{HFCi, ii} \cdot H_{Fi, ii}}{4 \cdot L_{F1i, ii}}$$

$$P_{HFCi, ii} = \frac{P_{HFi, ii}}{n_{HFi, ii}}$$

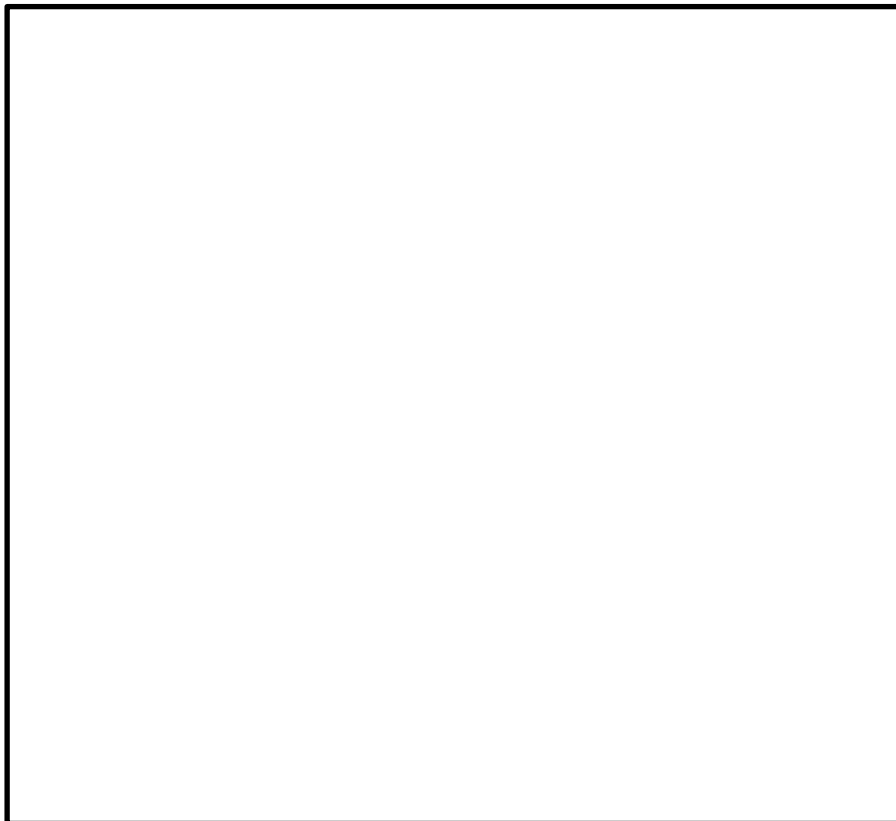


図6-21 車止めがモーメントを受ける評価モデル図

ロ. 横滑りに対するせん断応力（車両前後方向荷重）

横滑り（車両前後方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図を図6-22に示す。

横滑り（車両前後方向）の荷重は、以下の式を用いて算出する。

$$\tau_{F-sbi, ii} = \frac{P_{Fsngli, ii}}{A_{sbi, ii}} \cdot 10^3$$

$$P_{Fsngli, ii} = \frac{P_{HFi, ii}}{n_{HFi, ii} \cdot n_{Fi, ii}}$$

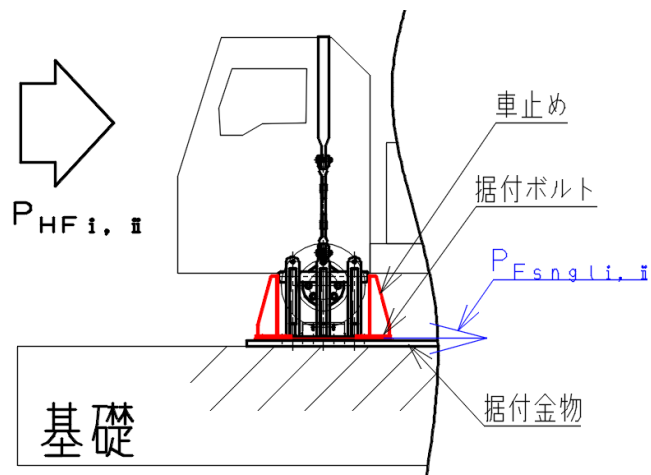


図6-22 横滑り（車両前後方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(c) 据付ボルトの組合せ応力

イ. 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力

$$\sigma_{S-sbi, ii} = \sigma_{tS-sbi, ii} + \sigma_{mS-sbi, ii}$$

ロ. 車止めを据付金物に固定する据付ボルトの組合せ応力

$$\sigma_{F-sbi, ii} = \sigma_{mF-sbi, ii}$$

7. 適用規格

V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-3-1「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、固縛装置の強度設計に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 日本工業規格（J I S）
- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2004 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1・補-1984）日本電気協会
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987，1991 追補版）日本電気協会
- ・ 発電用原子力設備規格（設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007）日本機械学会
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILESS FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007