

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-3-013-19 改0
提出年月日	2020年 5月14日

V-3-別添 1-10 固縛装置の強度計算書

K7 ① V-3-別添 1-10 R0

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 位置	2
2.2 全体の構造概要	3
2.3 構成要素の構造概要	5
2.4 評価方針	8
2.5 適用規格	9
3. 強度評価方法	10
3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置	10
3.1.1 記号の定義	10
3.1.2 評価対象部位	14
3.1.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.1.4 許容限界	19
3.1.5 評価方法	20
3.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置	29
3.2.1 記号の定義	29
3.2.2 評価対象部位	33
3.2.3 荷重及び荷重の組合せ	34
3.2.4 許容限界	38
3.2.5 評価方法	39
4. 評価条件	50
4.1 タンクローリの評価条件	50
4.2 第一ガスタービン発電機車の評価条件	53
5. 評価結果	57
5.1 タンクローリの評価結果	57
5.2 第一ガスタービン発電機車の評価結果	59

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。）の固縛装置について、竜巻襲来時における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、固縛装置が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に、固縛構成要素等に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

(1) 固縛装置

固縛対象設備に設置する固縛装置は、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たるみの設定と取扱いに違いはあるが、固縛装置の構成要素の組合せは、表 2-1 に示すものとなる。

当該固縛装置に対して、強度評価を行い、固縛状態を維持するため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、固縛対象設備の固縛装置の構成毎に「タンクローリ」及び「第一ガスタービン発電機車」に設置する固縛装置であり、本資料においては、当該固縛装置の評価結果を示す。

表 2-1 固縛装置の構成

固縛対象設備	連結材	固定材	対象の固縛対象設備数
可搬車両型 ①タンクローリ(4kL) (6,7号機共用) *1 ②可搬型代替注水ポンプ (A-2級) (6,7号機共用) *2	<ul style="list-style-type: none"> ・高強度繊維ロープ (常時たるみあり、竜巻襲来時は固縛を巻き取り、たるみなし) ・シャックル 	<ul style="list-style-type: none"> ・固縛のたるみを巻き取る装置*4 ・基礎部 (アンカーボルト) 	① 2 ② 6
常設車両型 ・第一ガスタービン発電機車・制御車 (6,7号機共用) *3	<ul style="list-style-type: none"> ・スリング (たるみなし) ・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 ・横ずれ防止架台及び車止めと据付金物を固定する据付ボルト 	2

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。

*4 : 以下「たるみ巻取装置」という。

2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、V-1-1-3-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「2. 設計の基本方針」及び「3.2 重大事故等対処設備」のとおり、位置的分散等を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ屋外重大事故等対処設備保管場所に保管しており、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。

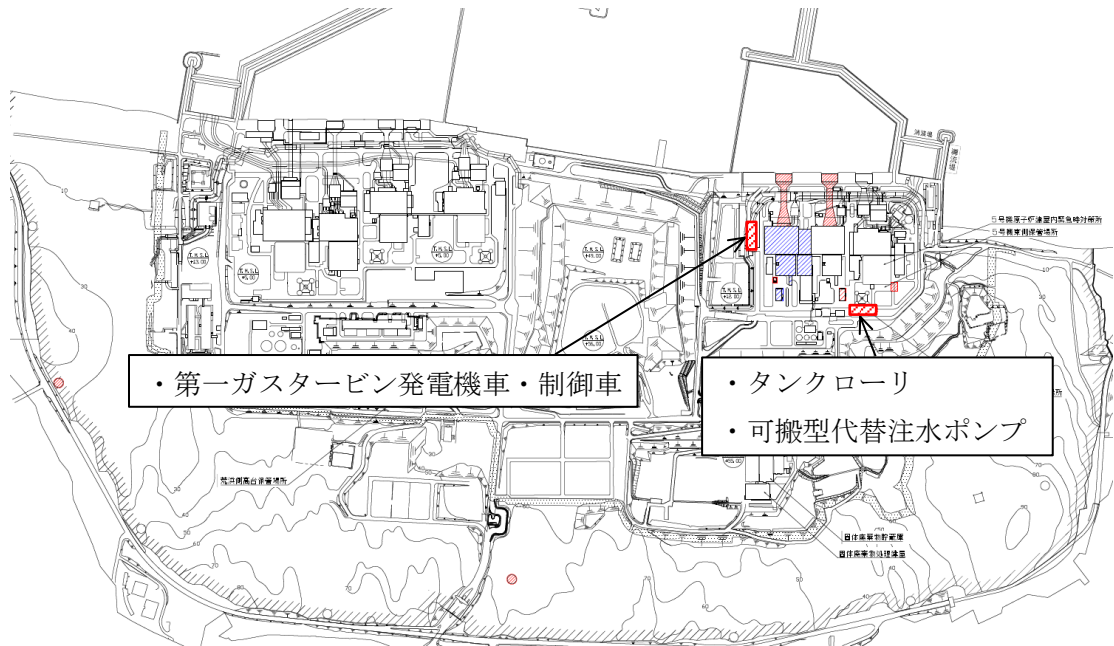


図2-1 固縛装置の設置位置図

2.2 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「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、連結材及び固定材（基礎部含む）から構成される。

(1) 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）を固定材であるたるみ巻取装置と接続し、固定材のアンカーボルト（基礎部）に固定する構造である。可搬車両型固縛対象設備は、車両に取り付けた連結材（メインロープ）をシャックルを介して連結材（サイドロープ）と接続し、連結材（サイドロープ）によって固定材に固定することで固縛する。可搬車両型固縛対象設備の固縛装置は、連結材（サイドロープ）に常時たるみを有する設計（たるみ長さは、加振試験結果による最大変位量（1351mm）以上）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。タンクローリに設置する固縛装置の概要を図2-2に示す。

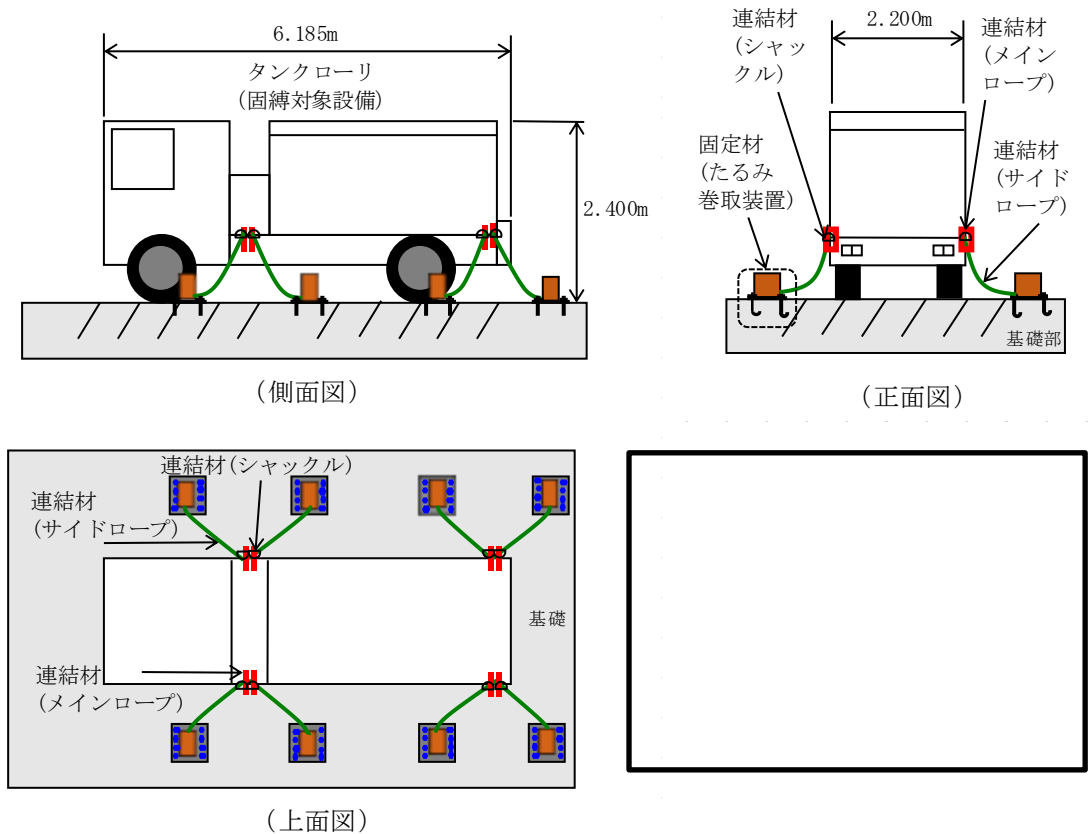


図2-2 タンクローリの固縛装置の概要図

(2) 常設車両型固縛対象設備の固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、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）にて固定する構造である。常設車両型固縛対象設備の固縛装置は、固縛装置の連結材及び固定材を用いて、連結材にたるみを設けずに固縛する設計とする。第一ガスタービン発電機車に設ける固縛装置の概要を図 2-3 に示す。

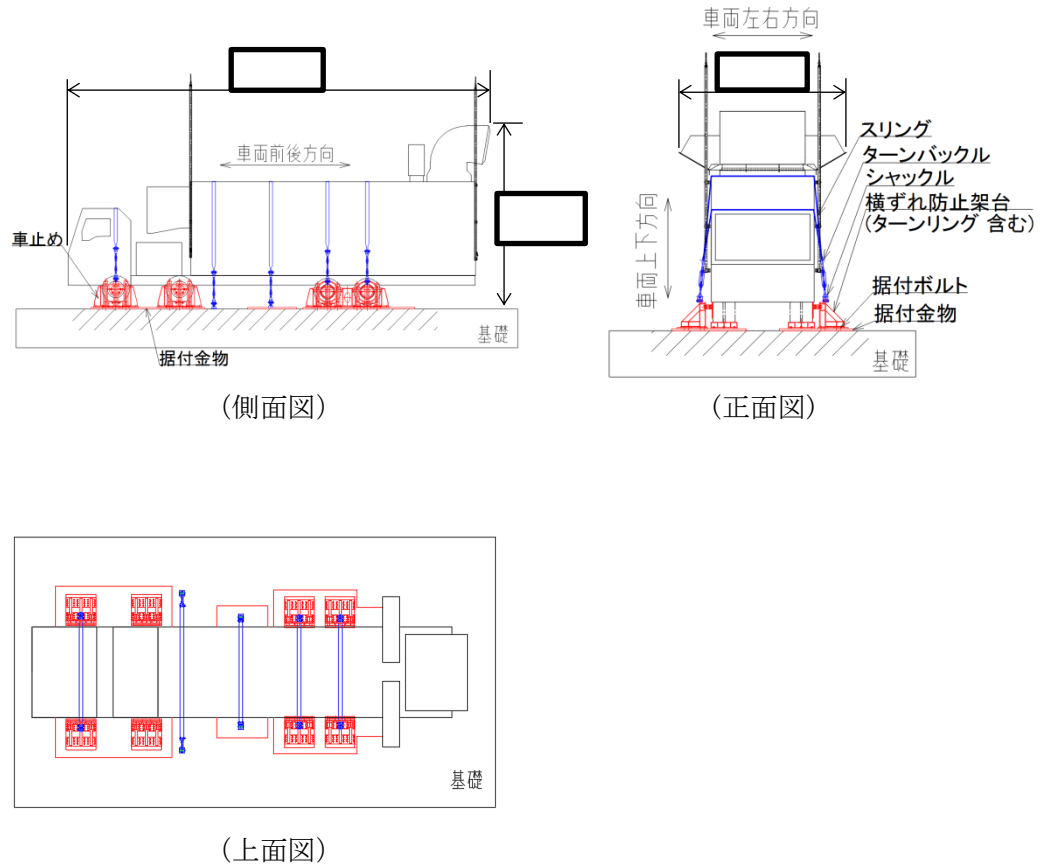


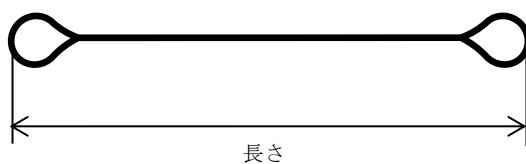
図 2-3 第一ガスタービン発電機車の固縛装置の概要図

2.3 構成要素の構造概要

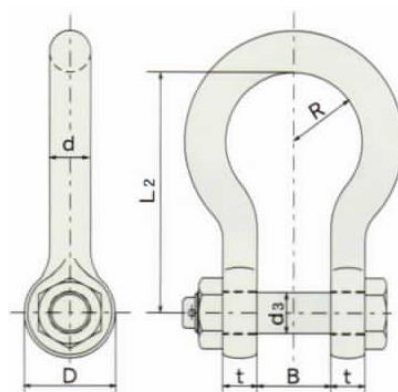
(1) 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

固縛対象設備の固縛装置（タンクローリ及び可搬型代替注水ポンプ）の構成要素は、連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）及び固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト（基礎部））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、支持する構造となる。

連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）の概要図を図2-4に、固定材（たるみ巻取装置及びアンカーボルト）の概要図を図2-5に示す。

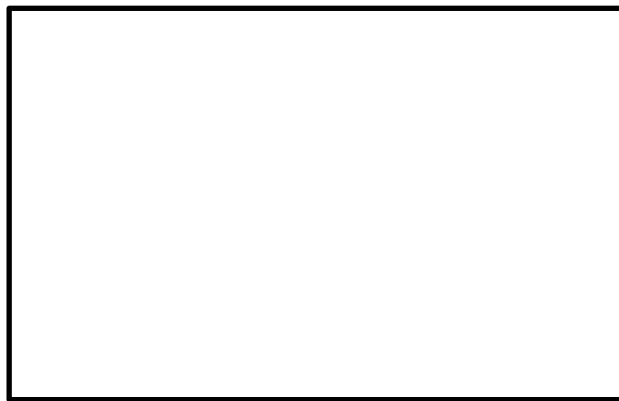


(高強度繊維ロープ)



(シャックル)

図2-4 連結材（高強度繊維ロープ及びシャックル）の概要図



(たるみ巻取装置)



(アンカーボルト)

図 2-5 固定材 (たるみ巻取装置及びアンカーボルト) の概要図

(2) 固縛装置（第一ガスタービン発電機車・制御車）

固縛対象設備の固縛装置（第一ガスタービン発電機車・制御車）の構成要素は、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又は直接固定材へ伝達し、支持する構造となる。

連結材（スリング、ターンバックル及びシャックル）の概要図を図2-6に、固定材（ターンリング及び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）の概要図を図2-7に示す。

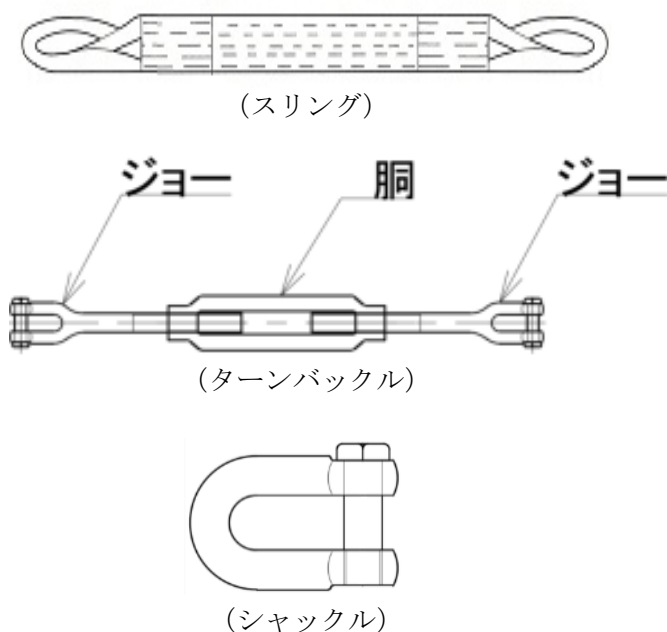
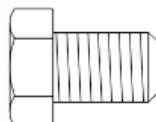


図2-6 連結材（スリング、ターンバックル及びシャックル）の概要図



(ターンリング)



(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)

図2-7 固定材（ターンリング及び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じる荷重、応力等が、V-3-別添 1-3「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. 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「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 2-8 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（基礎部含む）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.1.4 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。

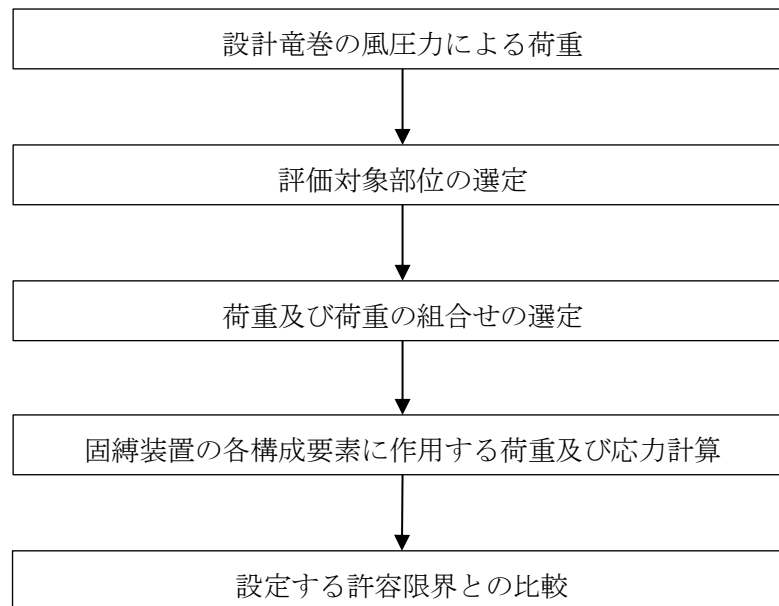


図 2-8 固縛装置の強度評価フロー

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）
- ・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」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」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
- ・原子力発電所の竜巻影響評価ガイド
- ・U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILESS FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

3. 強度評価方法

3.1 可搬車両型固縛対象設備の固縛装置

3.1.1 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

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

表 3-2 連結材の強度評価に用いる記号

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
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_M	kN	高強度繊維ロープの許容荷重
P_s	kN	シャックルの許容荷重

表 3-3 固定材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	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 3-3 固定材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

3.1.2 評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は、「2.3 構成要素の構造概要」にて設定している構造に基づき、V-3-別添 1-3「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 3-1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

高強度繊維ロープ（ $\phi 22$ ）を評価対象部位として選定する。

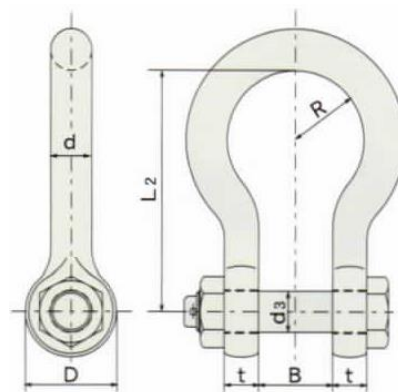


（高強度繊維ロープ $\phi 22$ mm）

図 3-1 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 3-2 に示すシャックル本体とする。



（等級 V BB26 10t,

t : 26mm, d : 30mm, B : 41mm, R : 37.5mm, D : 66mm, d3 : 32mm, L2 : 135mm)

図 3-2 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3-3に示す。



図3-3 アンカーボルトの評価対象部位

3.1.3 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「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（サイド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。

V-3-別添 1-3「固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.1(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。

(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。

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

ロ. 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。

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

ただし

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

(2) 荷重の組合せ

V-3-別添 1-3 「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 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 (連結材, 固定材)	構造強度	$F_d + P_v + P_H$ (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、「3.1.3(1) 荷重の設定」, 「3.1.3(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タンクローリに対して考慮する荷重を選定し表 3-5 に示す。

表 3-5 タンクローリ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
タンクローリ	高強度繊維ロープ シャックル + たるみ巻取装置 + アンカーボルト	$F_d + P_v + P_H$ (側面方向の 浮き上がり及び横滑り)

3.1.4 許容限界

可搬車両型固縛対象設備の固縛装置の許容限界は、V-3-別添1-3「固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり、「3.1.2 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

a. 連結材本体（高強度繊維ロープ）

固縛に必要となる連結材本体（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。

3.1.5 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。なお、評価は固縛装置の連結材が1箇所ない場合を考慮する。

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の連結材（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3-4（風向がx方向の場合）及び図3-5（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、高強度繊維ロープを展張した状態で維持させるには、高強度繊維ロープに一定の荷重（初期張力）をかける必要がある。したがって、高強度繊維ロープが展張している場合には高強度繊維ロープの規格引張強度の5%の荷重が常時作用しているものとして評価する。

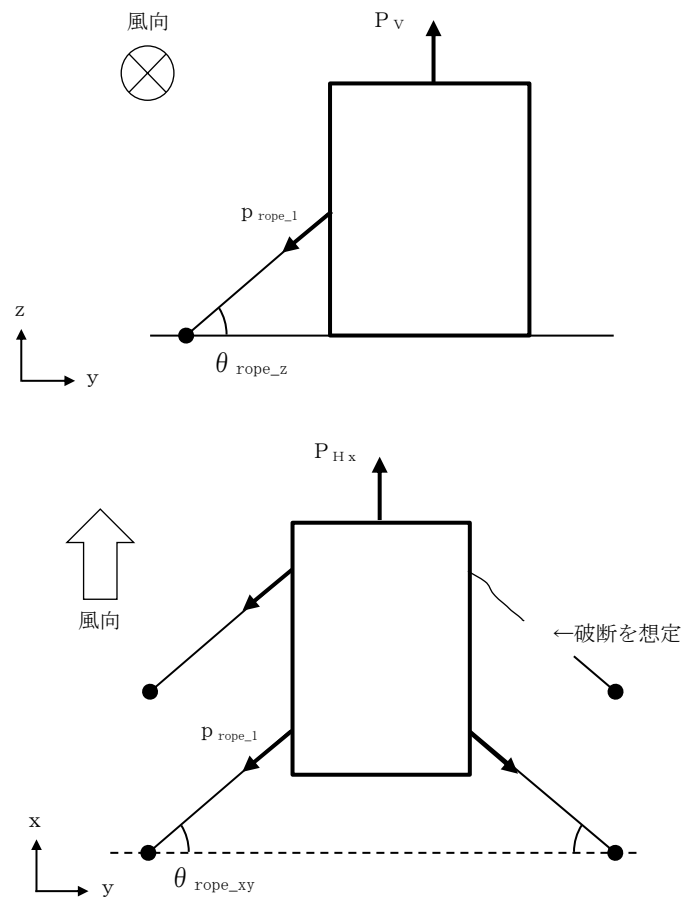


図 3-4 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
 (風向が車両正面・x 軸方向の場合)

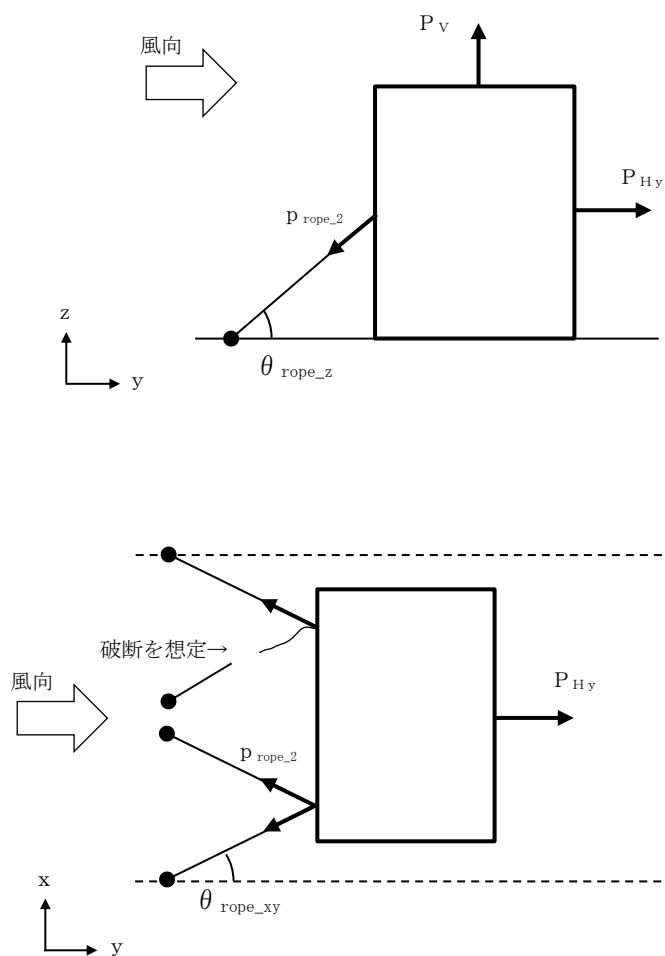


図 3-5 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価モデルの概要図
 (風向が車両側面・ y 軸方向の場合)

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3-6～図3-10に示す。



図3-6 アンカーボルトの評価モデルの概要図

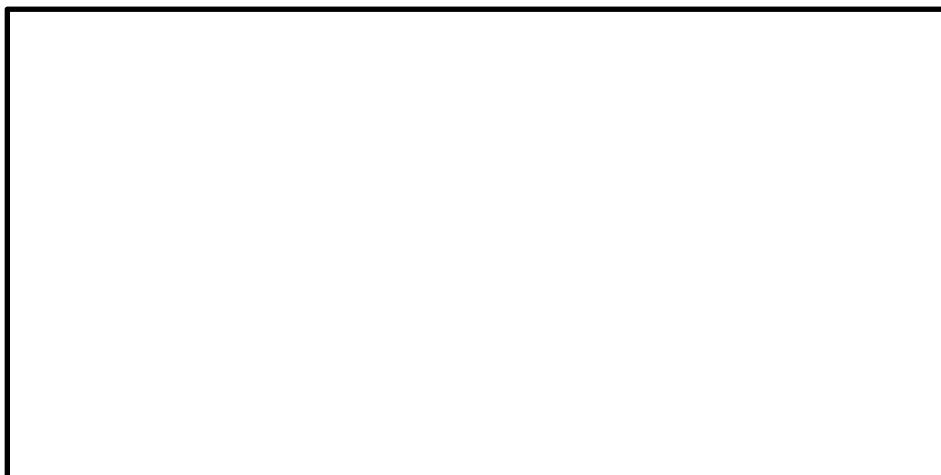


図 3-7 アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が y 軸方向の場合）



図 3-8 アンカーボルトの評価モデルの概要図（風向が x 軸方向の場合）

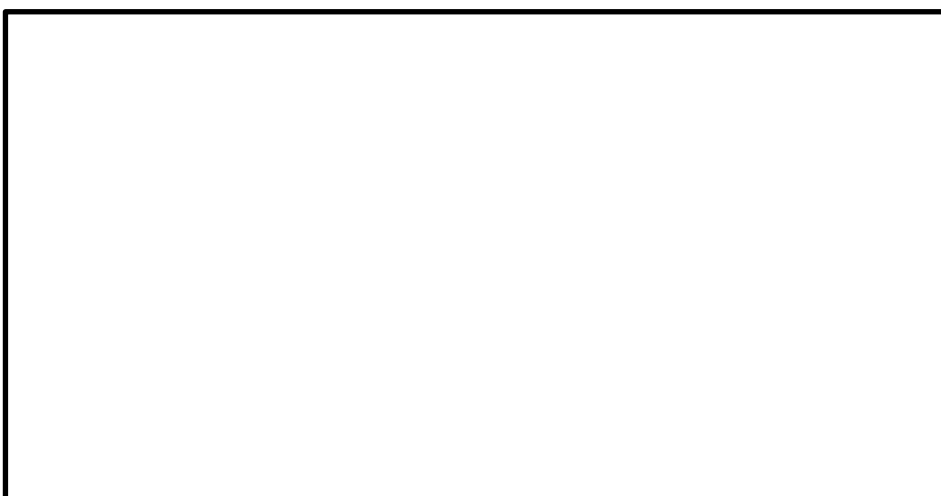


図 3-9 アンカーボルトの評価モデルの概要図（y z 平面）

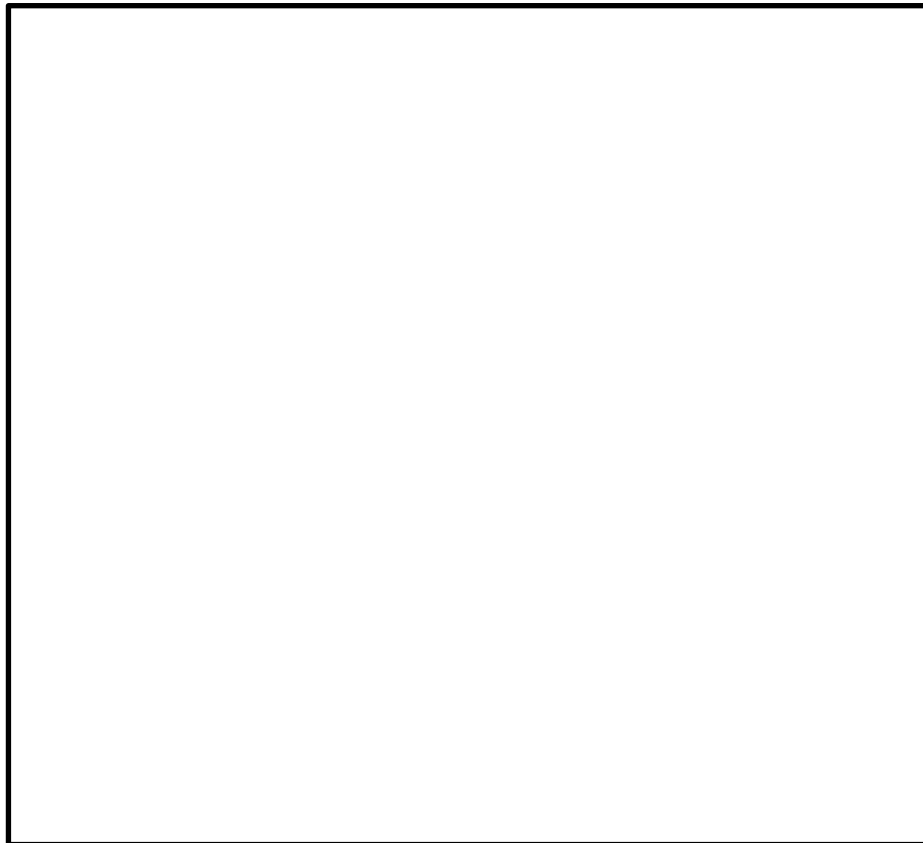


図 3-10 アンカーボルト埋設部の評価モデルの概要図

(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_{ℓ_s} 及び引張応力 σ_{ℓ_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。

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

3.2 常設車両型固縛対象設備の固縛装置

3.2.1 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3-6、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3-7、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3-8に示す。

表3-6 固縛対象設備に作用する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。

表 3-7 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	評価上考慮する固縛装置の連結材（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
$\sigma_{t1-ringi, ii}$	MPa	ターンリングの円孔周りに作用する引張応力
$\tau_{s-ringi, ii}$	MPa	ターンリングのせん断応力
$\sigma_{b-ringi, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ応力
$\sigma_{t2-ringi, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ応力が発生する箇所の引張応力
$\sigma_{-ringi, ii}$	MPa	ターンリングの曲げ+引張の組合せ応力
$d_{t-ringi, ii}$	mm	ターンリングの引張が作用する幅の 1/2
$t_{w-ringi, ii}$	mm	ターンリングの板厚
$d_{s-ringi, ii}$	mm	ターンリングのせん断が作用する幅
$d_{H-ringi, ii}$	mm	ターンリングの曲げ+引張が作用するはりの長さ
$d_{L-ringi, ii}$	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
$A_{t1-ringi, ii}$	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
$A_{t2-ringi, ii}$	mm ²	曲げ応力が発生する箇所のターンリングの断面積
$A_{s-ringi, ii}$	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 3-8 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 3-8 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。

3.2.2 評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は、「2.3 構成要素の構造概要」にて設定している構造に基づき、V-3-別添 1-3「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（スリング）

連結材本体（スリング）に作用する荷重を、メーカ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 3-11 に示すスリング本体とする。

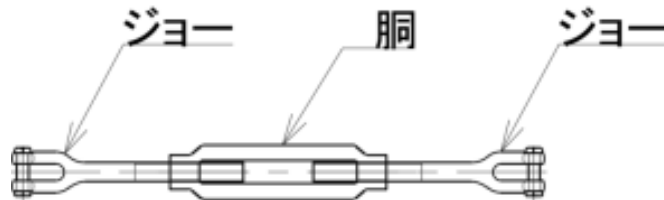


(メガパワースリング 幅 100mm)

図 3-11 連結材本体（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 3-12 に示すターンバックル本体を評価対象部位とする。

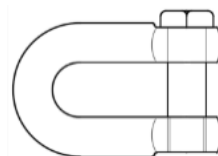


(呼び寸法：1・1/2×12 インチ，ネジ部呼び径：M36)

図 3-12 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 3-13 に示すシャックル本体を評価対象部位とする。



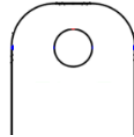
(呼び寸法：32mm×36mm，ピン径：35mm)

図 3-13 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3-14に示すターンリング本体とする。



(板厚：14mm/16mm，全幅：125mm)

図3-14 ターンリングの評価対象部位

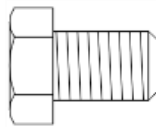
b. 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト

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3-15に示す据付ボルト本体とする。



(呼び径：横ずれ防止架台用 M16，車止め用 M20)

図3-15 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

3.2.3 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「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. 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。

V-3-別添 1-3「固縛装置の強度計算の方針」の「2.3.2(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。

(a) 竜巻の風圧力による荷重

添付書類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 $P_{V i, ii}$ 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。

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

ロ. 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、次に示すとおり $W_{Wi, ii}$ とする。

(イ) 車両前後方向の滑り荷重

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

(ロ) 車両左右方向の滑り荷重

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

(2) 荷重の組合せ

V-3-別添 1-3 「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 3-9 に示す。

表 3-9 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 (連結材, 固定材)	構造強度	$F_d + P_v + P_{HF} + P_{HS}$ (固縛対象物に作用する荷重)

(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、「3.2.3(1) 荷重の設定」、「3.2.3(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第一ガスタービン発電機車に対して考慮する荷重を表3-10に示す。

表3-10 第一ガスタービン発電機車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
第一ガスタービン発電機車	スリング ターンバックル シャックル ＋ ターンリング ＋ 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	$F_d + P_v + P_{HF} + P_{HS}$ (側面方向の横滑り)

3.2.4 許容限界

常設車両型固縛対象設備の固縛装置の許容限界は、V-3-別添1-3「固縛装置の強度計算の方針」の「5. 許容限界」に示すとおり、「3.2.2 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

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」（日本電気協会）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。

3.2.5 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。

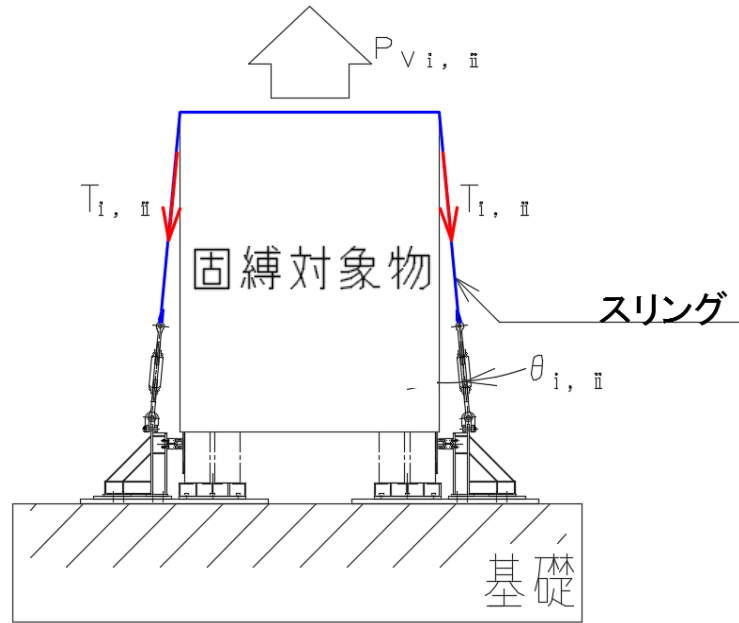
設計竜巻による風荷重が固縛対象設備に作用して、固縛対象設備が横滑りする場合には、固定材（横ずれ防止架台、車止め及び据付ボルト）で抵抗するが、横滑りの方向により作用する荷重状態が異なるため、横滑り方向（車両左右方向及び車両前後方向）に対して評価対象部位の荷重を算定する。

(1) 連結材の評価方法

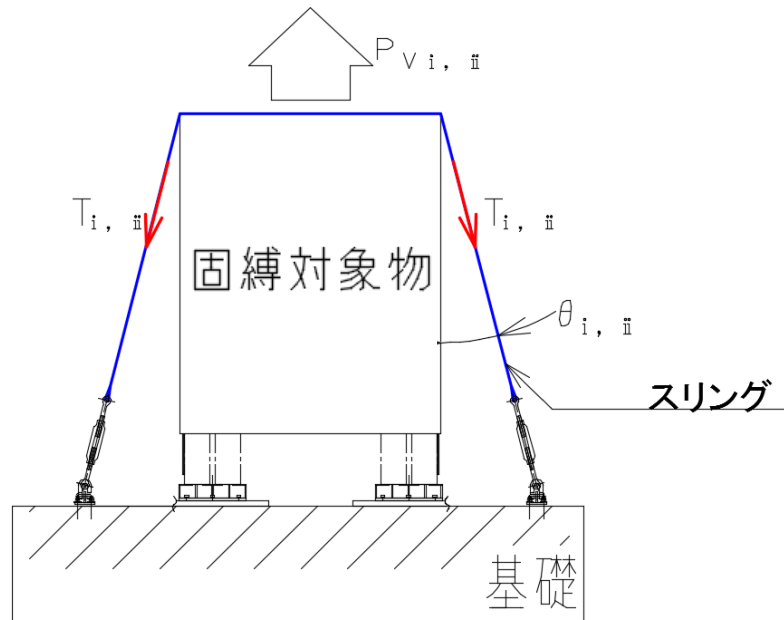
連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×連結材1組当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結材1組当たりに作用する荷重を、以降に示す浮き上がり及び横滑りの荷重状態に対して算定し、そのうち最も大きくなる状態での荷重を選定する。

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3-16に示す。なお、評価は固縛装置の連結材が1箇所ない場合を考慮する。



(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3-16 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。

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

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3-17に示す。

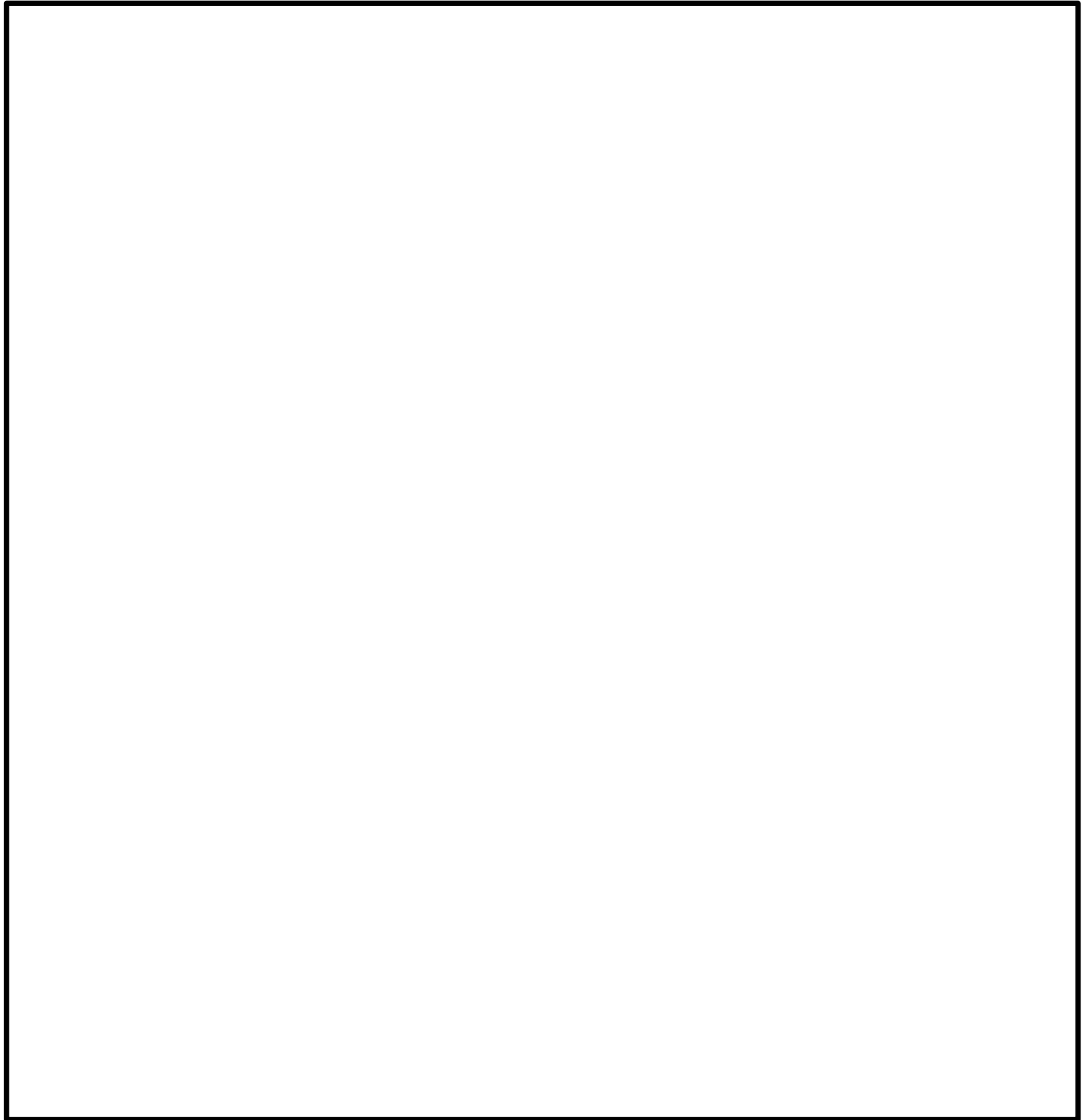


図3-17 ターンリングの評価モデル図

(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。

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

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 3-18 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。

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

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

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

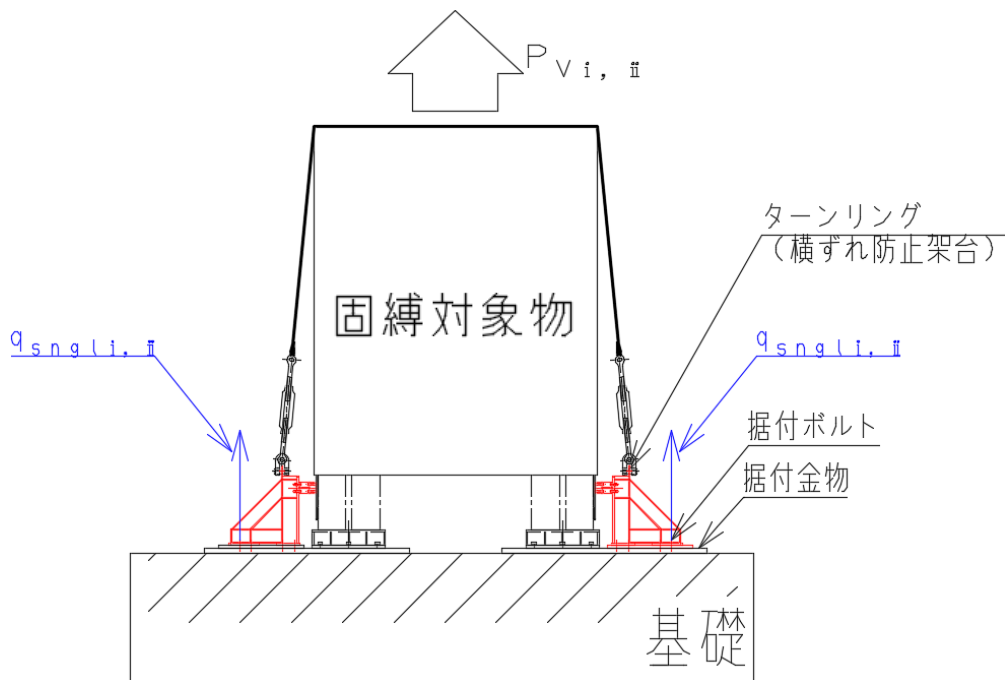


図 3-18 浮き上がり（車両上下方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

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 3-19 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。

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

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

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

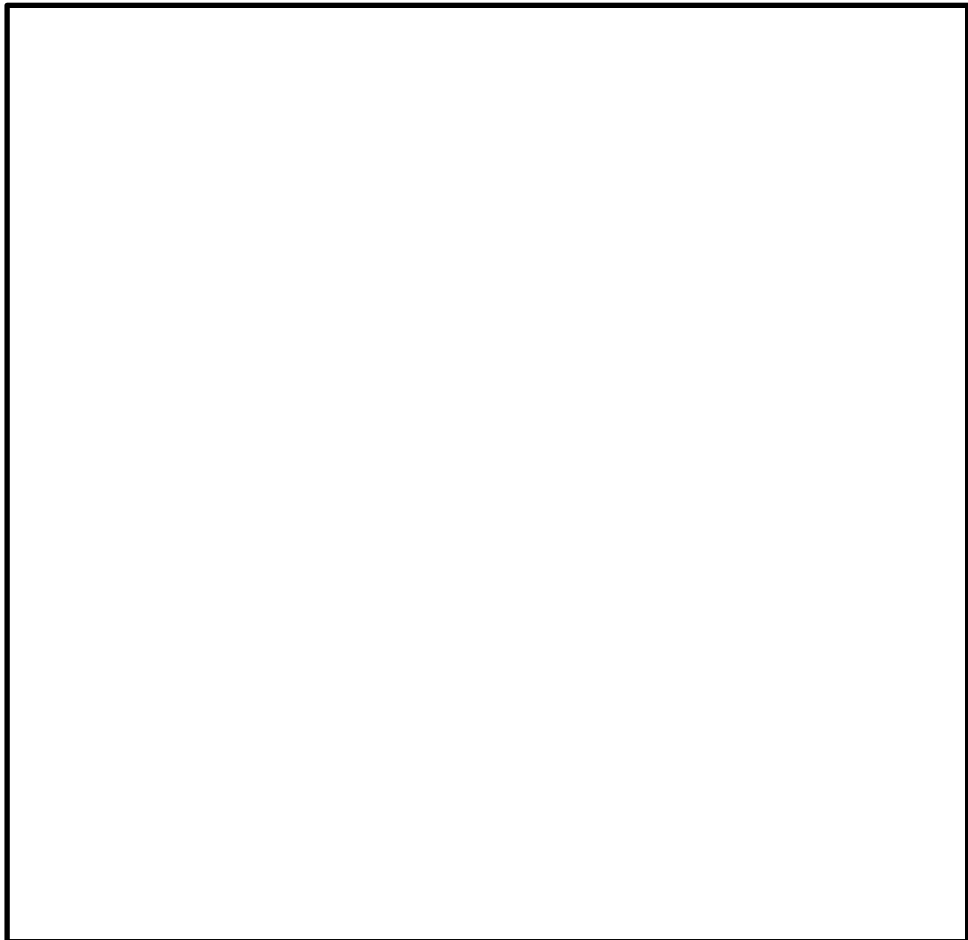


図 3-19 横ずれ防止架台がモーメントを受ける評価モデル図

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 3-20 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。

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

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

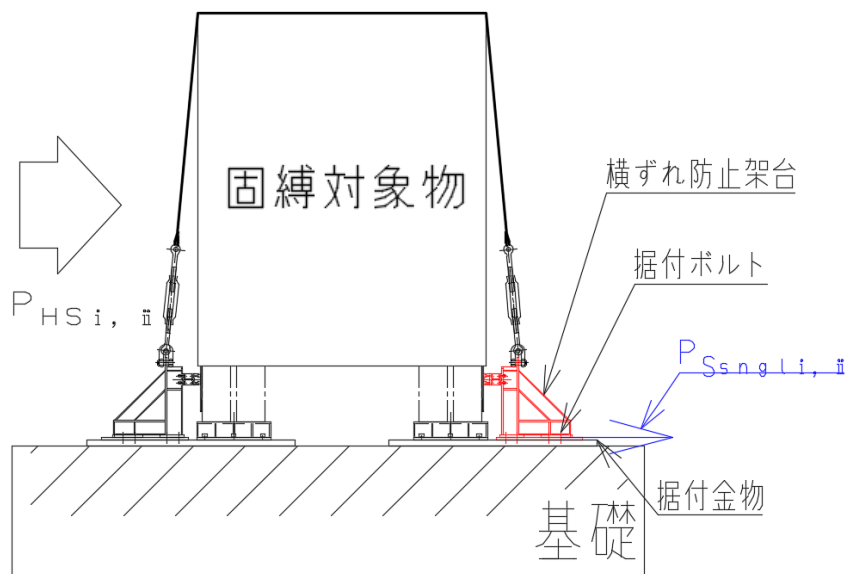


図 3-20 横滑り（車両左右方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(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3-21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。

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

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

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

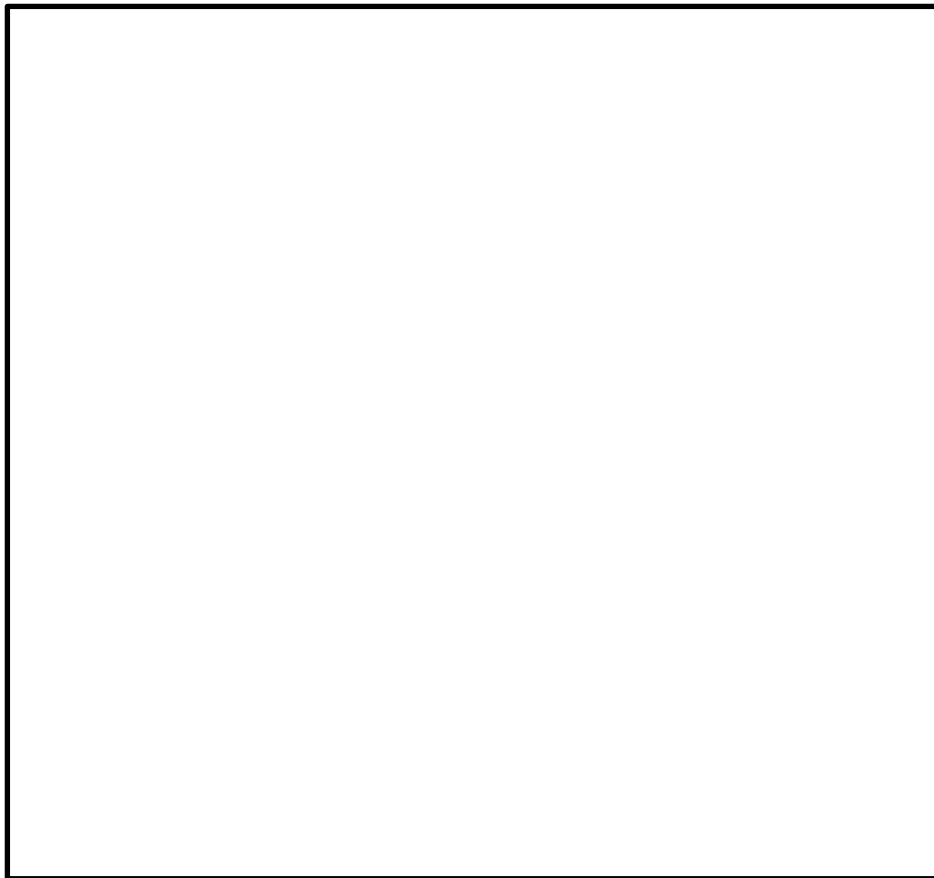


図3-21 車止めがモーメントを受ける評価モデル図

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 3-22 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。

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

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

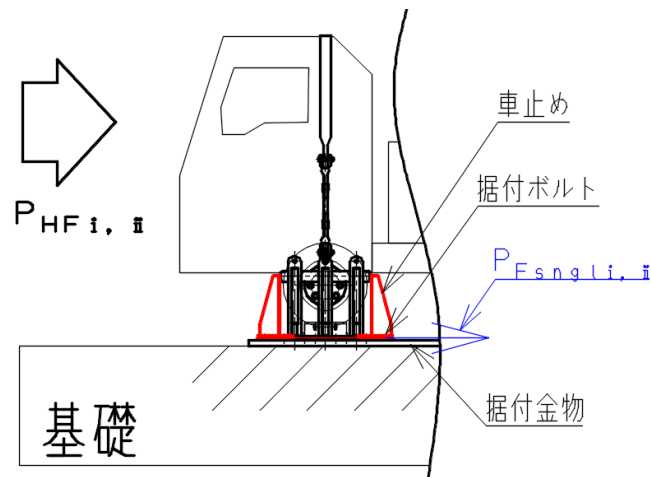


図 3-22 横滑り（車両前後方向）の荷重を受ける固縛装置の評価モデル図

(c) 据付ボルトの組合せ応力

組合せ応力は、以下の式を用いて算出する。

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

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

4. 評価条件

評価に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1 タンクローリの評価条件

タンクローリの評価条件を、表 4-1～表 4-7 に示す。

表 4-1 評価条件

固縛対象設備	V_D (m/s)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)
タンクローリ	92	1.226	9.80665

表 4-2 評価条件（固縛対象設備）

固縛対象設備	W (m)	L (m)	H (m)	m (kg)	G (-)	C (-)
タンクローリ	2.200	6.185	2.400	4370	1.0	2.0

固縛対象設備	C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)
タンクローリ	2.0	2.0	2.0	13.61	14.85	5.28

表 4-3 評価条件（固縛装置）

固縛対象設備	N (箇所)
タンクローリ	8

表 4-4 評価条件 (連結材本体 (高強度繊維ロープ))

評価対象部位	仕様	ϕ_{rope} (mm)	θ_{rope_z} ($^{\circ}$)	$\theta_{\text{rope}_{xy}}$ ($^{\circ}$)	N_{unit} (-)
連結材本体	高強度繊維ロープ	22	19	20	7

評価対象部位	N_{unit_x} (-)	N_{unit_y} (-)	N_{rope} (-)	初期張力 (%)	P_M (kN)
連結材本体	3	3	1	5	

表 4-5 評価条件 (連結材 (シャックル))

評価対象部位	形式	使用荷重 (kN)	P_S (kN)	N_S (個)
シャックル	等級 V BB16 10t	98 (10t)		1

表 4-6 評価条件 (固定材 (アンカーボルト))

評価対象部位	材質	F (N/mm ²)	A_{ℓ_s} (mm ²)	$\ell_{\ell_s_x}$ (mm)	$\ell_{\ell_s_y}$ (mm)
ボルト部	SS400	280			

評価対象部位	$\ell_{\ell_s_z}$ (mm)	N_{ℓ_s} (mm ²)	$n_{\ell_s_x}$ (本)	$n_{\ell_s_y}$ (本)
ボルト部				

評価対象部位	F_c (N/mm ²)	E_c (mm)	A_c (mm ²)	A_c' (mm ²)	A_0 (mm ²)	α (-)
コンクリート部	24	23000	91693	98174	706	10

評価対象部位	K_1 (-)	K_2 (-)	K_3 (-)	K_4 (-)
コンクリート部	0.6	0.75	0.8	0.6

表 4-7 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)	
		側面 P _{H_y}	正面 P _{H_x}
タンクローリ	74	155	55

4.2 第一ガスタービン発電機車の評価条件

第一ガスタービン発電機車の評価条件を，表 4-8～表 4-18 に示す。

表 4-8 評価条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	設計用 速度圧 q (N/m ²)	ガスト影響 係数 G (-)	風力係数 C (-)	抗力係数 C_D (-)	重力 加速度 g (m/s ²)
92	1.226	5188.43	1.0	2.0	2.0	9.80665

表 4-9 評価条件 (固縛対象設備)

固縛対象設備	幅 W_i (m)	長さ L_i (m)	高さ H_i (m)	質量 m_i (kg)
第一ガスタービン 発電機車(i)				

表 4-10 評価条件 (連結材のうちスリング)

評価対象設備	材料	形式	幅 (mm)	破断荷重* P_M (kN)	数量 n_i (個)	角度 θ_i (deg)
第一ガスタービン 発電機車(i)		E 形 (両端ア イ形)			4	14

表 4-11 評価条件 (連結材のうちターンバックル)

評価対象設備	材料	呼び寸法 (in)	破断荷重* P_T (kN)	数量 n_i (個)
第一ガスタービン 発電機車(i)		1・1/2×12 (ネジ:M36)		4

表 4-12 評価条件 (連結材のうちシャックル)

評価対象設備	種別	材料	呼び寸法 (mm)	破断荷重* P_s (kN)	数量 n_i (個)
第一ガスタービン 発電機車(i)			32×36		4

表 4-13 評価条件 (固定材のうち横ずれ防止架台のターンリング)

固縛対象設備	板厚 $t_{w-ring i}$ (mm)	引張応力が 作用する幅 $d_{t-ring i}$ (mm)	せん断応力が 作用する幅 $d_{s-ring i}$ (mm)	曲げ応力が 作用する幅 $d_{H-ring i}$ (mm)	ターンリング の全幅 $d_{L-ring i}$ (mm)
第一ガスタービン 発電機車(i)	14	43.5	26	83	125

表 4-14 評価条件 (固定材のうち据付金物用ターンリング)

固縛対象設備	板厚 $t_{w-ring i}$ (mm)	引張応力が 作用する幅 $d_{t-ring i}$ (mm)	せん断応力が 作用する幅 $d_{s-ring i}$ (mm)	ターンリング の全幅 $d_{L-ring i}$ (mm)
第一ガスタービン 発電機車(i)	16	28.9	26	125

表 4-15 評価条件（固定材のうち横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト）

固縛対象設備	材料	転倒支点と横ずれ防止架台 据付ボルトの水平方向距離			据付面から横ずれ防 止架台が受ける荷重 位置までの高さ $H_{S i}$ (mm)
		$L_{S 1 i}$ (mm)	$L_{S 2 i}$ (mm)	$L_{S 3 i}$ (mm)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	SM400B	100	378	478	583

固縛対象設備	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 $n_{H S i}$ (台)	横ずれ防止架台 1台分を固定する据 付ボルト本数 $n_{P i}$ (本/台)	車両左右方向の 荷重を受ける 据付ボルト本数 $n_{S i}$ (本)
第一ガスタービン 発電機車(i)	4	24	96

表 4-16 評価条件（固定材のうち車止めを据付金物に固定する据付ボルト）

評価対象設備	材料	転倒支点と車 止め据付ボル トの水平方向 距離 $L_{F 1 i}$ (mm)	車両前後 方向の滑り 荷重の高さ $H_{F i}$ (mm)	車両前後方向 の滑り荷重を 受ける車止め の台数 $n_{H F i}$ (台)	車止め1台分 を固定する最 小の据付ボル ト本数 $n_{F i}$ (本/台)
第一ガスタービン 発電機車(i)	SM400B	215	595	8	8

表 4-17 評価条件（固定材のうち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）

評価対象設備	据付の対象とする固定材	材質	サイズ
第一ガスタービン 発電機車(i)	横ずれ防止架台用	SS400	M16
	車止め用	S45C	M20

表 4-18 許容応力計算に用いる条件

評価対象	材料	温度 (°C)	S _u (MPa)	S _y (MPa)	許容応力			
					1.5・f _t * (MPa)	1.5・f _s * (MPa)	1.5・f _b * (MPa)	f _{ts} (MPa)
横ずれ防止架台の ターンリング	SM400B (16≦厚さ)	40*	400	245	279	161	323	—
据付金物用 ターンリング	SM400B (16<厚さ≦40)	40*	400	235	279	161	—	—
横ずれ防止架台を 据付金物に 固定する 据付ボルト	SS400	40*	400	245	210	161	—	210
第一ガスタービン 発電機車の車止め を据付金物 に固定する 据付ボルト	S45C	40*	570	345	299	230	—	299

注記*：周囲環境温度

5. 評価結果

5.1 タンクローリの評価結果

(1) 連結材の評価結果

- a. 連結材本体の評価結果を表 5-1 に示す。連結材本体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 連結材本体（高強度繊維ロープ）の評価結果

評価対象部位	作用荷重 ケース	作用荷重 p_{rope} (kN)	許容限界 P_M (kN)	裕度 (—)
連結材本体	風圧力による荷重 (側面方向 浮き上がり 及び横滑り)	102		

b. シャックル

- 固定材のうちシャックルの評価結果を表 5-2 に示す。シャックル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（シャックル）の評価結果

評価対象部位	作用荷重 ケース	作用荷重 p_s (kN)	許容限界 P_s (kN)	裕度 (—)
シャックル	風圧力による荷重 (側面方向 浮き上がり 及び横滑り)	102		

(2) 固定材の評価結果

a. アンカーボルト

固定材のうちアンカーボルトの評価結果を表5-3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5-3 固定材（アンカーボルト）の評価結果

評価対象部位	作用荷重 ケース	引張応力 σ_{ls} (N/mm ²)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (N/mm ²)	裕度 (—)
ボルト部	風圧力による荷重 (側面方向 浮き上がり 及び横滑り)	61	210	3.44

評価対象部位	せん断応力 τ_{ls} (N/mm ²)	許容限界 $1.5 \cdot f_s^*$ (N/mm ²)	裕度 (—)	組合せ応力 σ_{ls} (N/mm ²)	許容限界 f_{ts} (N/mm ²)	裕度 (—)
ボルト部	19	161	8.47	61	210	3.44

評価対象部位	作用荷重 ケース	引張荷重 p_{ls} (kN)	許容限界 p_a (kN)	裕度 (—)
コンクリート部	風圧力による荷重 (側面方向 浮き上がり 及び横滑り)	43	83	1.93

評価対象部位	せん断荷重 q_{ls} (kN)	許容限界 q_a (kN)	裕度 (—)	組合せ荷重 (—)	許容限界 (—)	裕度 (—)
コンクリート部	13	89	6.84	0.29	1.00	3.44

5.2 第一ガスタービン発電機車の評価結果

(1) 連結材の評価結果

a. スリングの評価結果

スリングの評価結果を表5-4に示す。スリング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 連結材（スリング）の評価結果

評価対象設備	引張荷重		裕度 (—)
	作用荷重 T_i (kN)	許容限界 P_M (kN)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	25		

b. ターンバックルの評価結果

ターンバックルの評価結果を表5-5に示す。ターンバックル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5-5 連結材（ターンバックル）の評価結果

評価対象設備	引張荷重		裕度 (—)
	作用荷重 T_i (kN)	許容限界 P_T (kN)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	25		

c. シャックルの評価結果

シャックルの評価結果を表 5-6 に示す。シャックル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 5-6 連結材（シャックル）の評価結果

評価対象設備	引張荷重		裕度 (—)
	作用荷重 T_i (kN)	許容限界 P_s (kN)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	25		

(2) 固定材の評価結果

a. ターンリングの評価結果

ターンリングの評価結果を表 5-7 に示す。ターンリング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 5-7 固定材（ターンリング）の評価結果

評価対象設備	引張応力		せん断応力	
	発生応力 $\sigma_{t1-ring i}$ (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)	発生応力 $\tau_{s-ring i}$ (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_s^*$ (MPa)
第一ガスタービン 発電機車(i)	26	279	66	161

評価対象設備	曲げ応力+引張応力		裕度* (—)
	発生応力 $\sigma_{-ring i}$ (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	135	279	2.06

注記*：引張応力，せん断応力，組合せ応力のうち，最小裕度のみ記載

b. 横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの評価結果

横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルトの評価結果を表5-8に示す。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5-8 固定材（横ずれ防止架台を据付金物に固定する据付ボルト）の評価結果

評価対象設備	引張応力		モーメントによる引張応力	
	発生応力 σ_{tS-sbi} (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)	発生応力 σ_{mS-sbi} (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)
第一ガスタービン 発電機車(i)	5	210	104	210

評価対象設備	せん断応力		組合せ応力		裕度* (—)
	発生応力 τ_{S-sbi} (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_s^*$ (MPa)	発生応力 σ_{S-sbi} (MPa)	許容限界 f_{ts} (MPa)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	36	161	109	210	1.92

注記*：引張応力，せん断応力，組合せ応力のうち，最小裕度のみ記載

c. 車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価結果

車止めを据付金物に固定する据付ボルトの評価結果を表 5-9 に示す。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 5-9 固定材（車止めを据付金物に固定する据付ボルト）の評価結果

評価対象設備	モーメントによる引張応力		せん断応力	
	発生応力 σ_{mF-sbi} (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)	発生応力 τ_{F-sbi} (MPa)	許容限界 $1.5 \cdot f_s^*$ (MPa)
第一ガスタービン 発電機車(i)	62	299	12	230

評価対象設備	組合せ応力		裕度* (—)
	発生応力 σ_{F-sbi} (MPa)	許容限界 f_{ts} (MPa)	
第一ガスタービン 発電機車(i)	62	299	4.82

注記*：引張応力，せん断応力，組合せ応力のうち，最小裕度のみ記載