

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-20-0129_改0
提出年月日	2021年5月20日

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

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	位置	2
2.2	全体の構造概要	4
2.3	構成要素の構造概要	5
2.4	評価方針	7
2.5	適用規格	8
3.	強度評価方法	9
3.1	固縛装置	9
3.1.1	記号の定義	9
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	22
3.1.5	評価方法	23
3.2	資機材保管用コンテナ	32
3.2.1	記号の定義	32
3.2.2	評価対象部位	34
3.2.3	荷重及び荷重の組合せ	35
3.2.4	許容限界	36
3.2.5	評価方法	37
4.	評価条件	40
4.1	可搬型窒素ガス供給装置の評価条件	40
4.2	資機材保管用コンテナの評価条件	43
5.	評価結果	45
5.1	可搬型窒素ガス供給装置の評価結果	45
5.2	資機材保管用コンテナの評価結果	48

1. 概要

本資料は、添付書類「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」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。）の固縛装置又は屋外の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、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。）が固縛対象設備又は資機材保管用コンテナに作用した場合であっても、固縛状態又は固定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、添付書類「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」の「3. 設計方針」に示すとおり、固縛対象設備の構造によって連結材の余長の有無に違いはあるが、構成要素は同様であり、固縛装置の構成要素の組合せは表 2-1 に示すとおりである。

当該固縛装置に対して強度評価を行い、固縛状態を維持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「可搬型窒素ガス供給装置」に設置する固縛装置である。

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	基礎部
車両型	高強度繊維ロープ (余長あり)	フレノ・リンクボルト アンカープレート	アンカーボルト
車両型以外	高強度繊維ロープ (余長なし)		

(2) 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナは、添付書類「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」の「3. 設計方針」に示すとおり、竜巻による風荷重により飛散することのないよう、基礎部（アンカーボルト）にて抵抗する構造であり、当該構造は対象となる資機材保管用コンテナにおいて同様である。

資機材保管用コンテナの基礎部（アンカーボルト）に対して強度評価を行い、固定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、資機材保管用コンテナの強度評価の結果、許容限界に対する裕度が最も低い

資機材保管用コンテナは第2保管エリアの資機材保管用コンテナである。
本資料においては当該資機材保管用コンテナの評価結果を示す。

2.1 位置

屋外に設置する重大事故等対処設備は、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」の「3.2 重大事故等対処設備」のとおり、位置的分散を考慮した保管としており、固縛対象設備も同様であり、それぞれ屋外の可搬型重大事故等対処設備の保管場所に保管しており、これらの固縛装置及び資機材保管用コンテナも同じ場所に設置する。

固縛対象設備の設置場所を図 2-1 に示す。

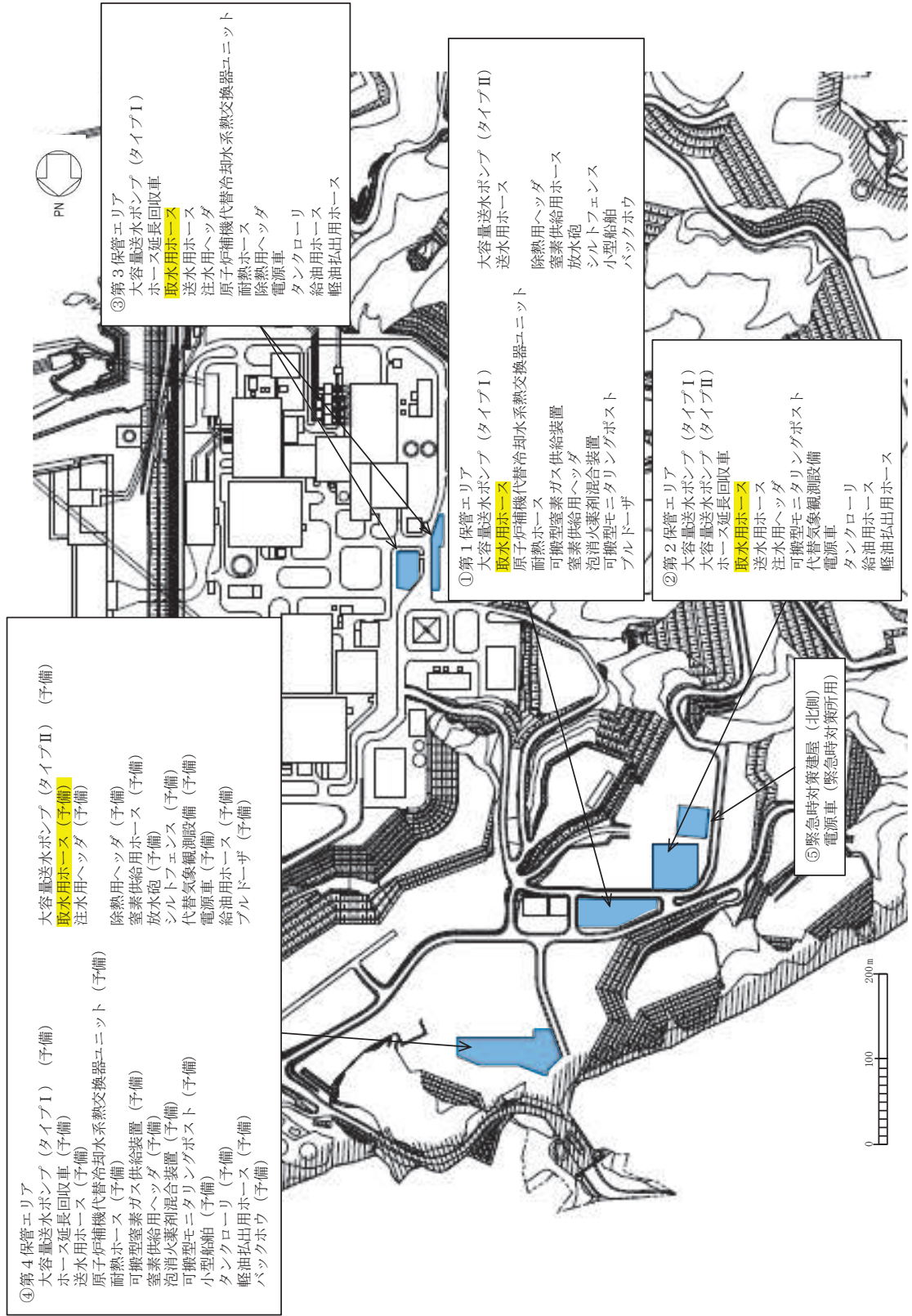


図 2-1 固縛対象設備の設置場所

2.2 全体の構造概要

固縛対象設備の固縛装置及び資機材保管用コンテナの構造は、添付書類「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」の「2.2 固縛装置の構造」を踏まえて設定する。

固縛対象設備の固縛装置は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。また、資機材保管用コンテナは、コンテナ本体及び基礎部（アンカーボルト）から構成される。

(1) 固縛装置全体の構造概要

固縛装置は、連結材（高強度繊維ロープ）を固定材であるフレノ・リンクボルト及びアンカープレートと接続し、固定材と基礎部をアンカーボルトで固定する構造である。可搬型窒素ガス供給装置に設置する固縛装置の概要を図 2-2 に示す。

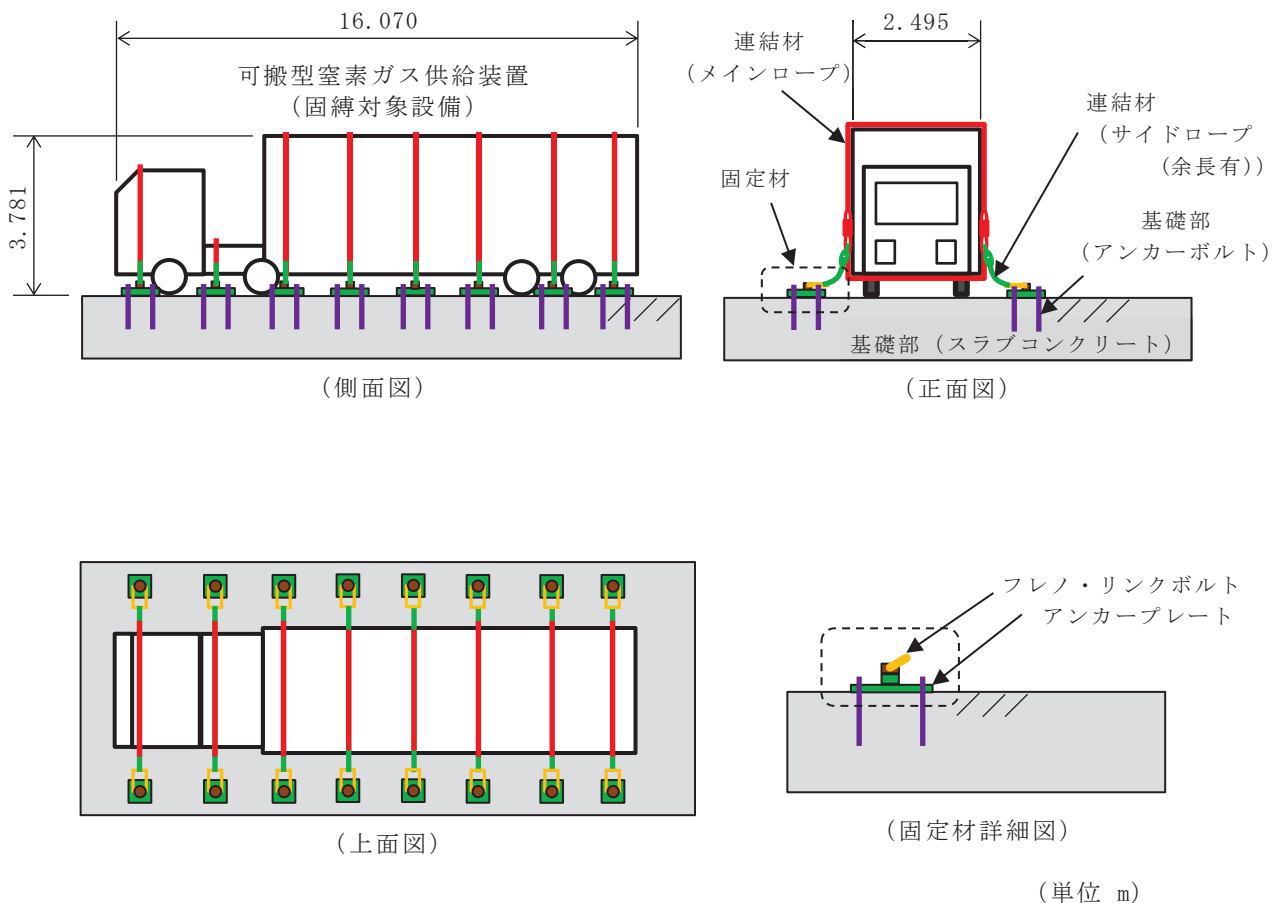


図 2-2 可搬型窒素ガス供給装置の固縛装置の概要

(2) 資機材保管用コンテナの構造概要

資機材保管用コンテナは、コンテナ本体と基礎部をアンカーボルトで固定する構造である。資機材保管用コンテナの概要を図 2-3 に示す。

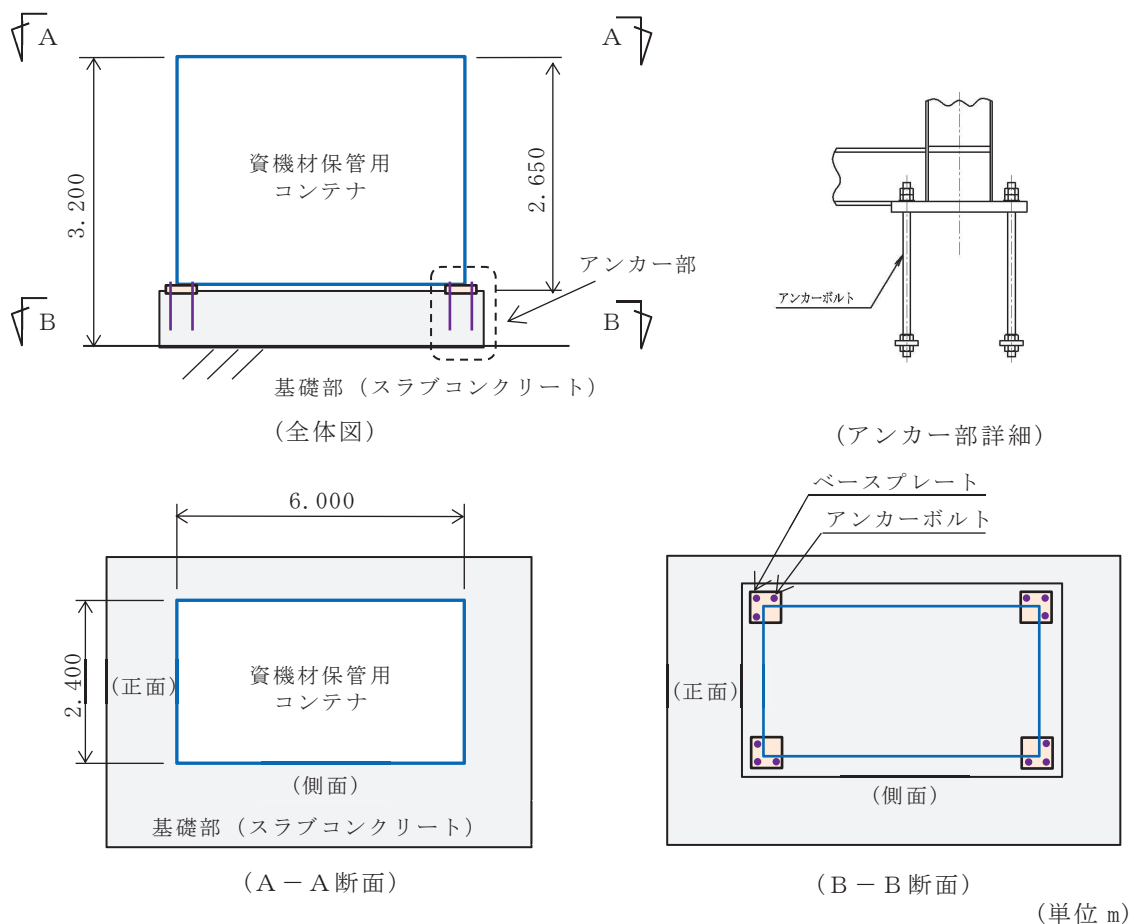


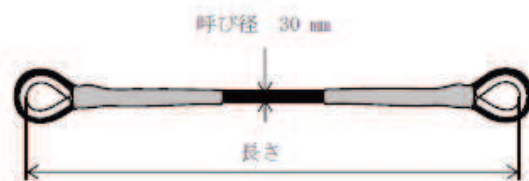
図 2-3 資機材保管用コンテナの概要

2.3 構成要素の構造概要

(1) 固縛装置

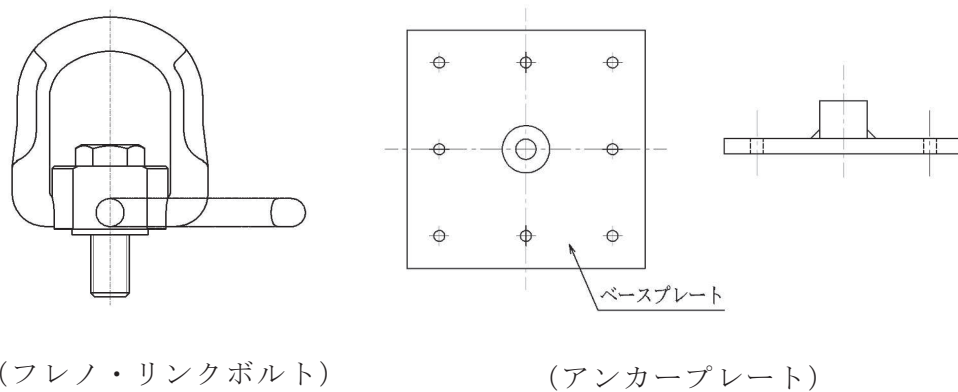
固縛対象設備の固縛装置の構成要素は、連結材、固定材及び基礎部（アンカーボルト）であり、固縛対象設備に作用する荷重が連結材から固定材へ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

連結材の概要を図 2-4 に、固定材の概要を図 2-5 に、基礎部（アンカーボルト）の概要を図 2-6 に示す。



(高強度繊維ロープ ϕ 30mm(被覆部)
 ϕ 22mm (被覆無し部))
 * : 上記ロープ同士の接続用に以下の径も用いる。
 ϕ 16mm(被覆部)
 ϕ 12mm (被覆無し部)

図 2-4 連結材の概要



(フレノ・リンクボルト)

(アンカープレート)

図 2-5 固定材の概要

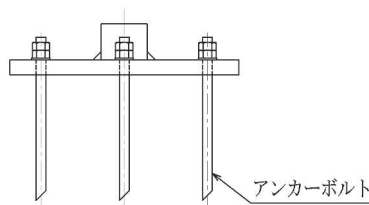


図 2-6 基礎部 (アンカーボルト) の概要

(2) 資機材保管用コンテナ

資機材保管用コンテナの構成要素は、コンテナ本体及び基礎部（アンカーボルト）であり、コンテナに作用する荷重がコンテナ本体からベースプレートへ伝達し、基礎部（アンカーボルト）により支持する構造となる。

基礎部のうちアンカーボルトの概要を図 2-7 に示す。

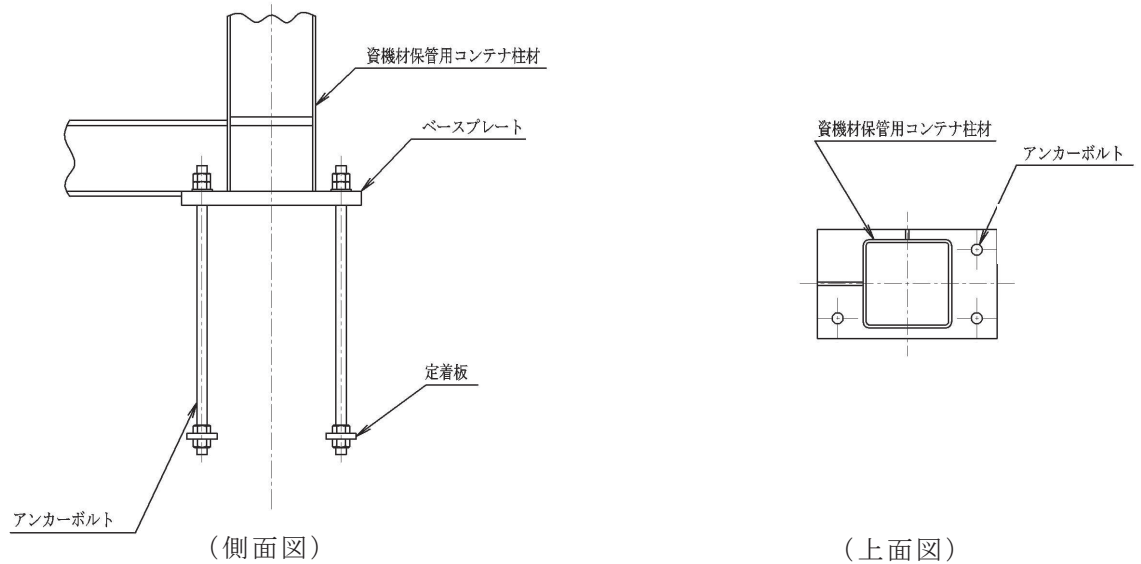


図 2-7 基礎部（アンカーボルト）の概要

2.4 評価方針

固縛装置の強度評価は、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が、添付書類「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」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。

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、添付書類「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」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。

固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価において、その構造を踏まえ、添付書類「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」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

固縛装置及び資機材保管用コンテナ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、固定材及び基礎部（アンカーボルト）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。

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（アンカーボルト）に対して選定した評価対象部位に作用する荷重等が「3.2.4 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

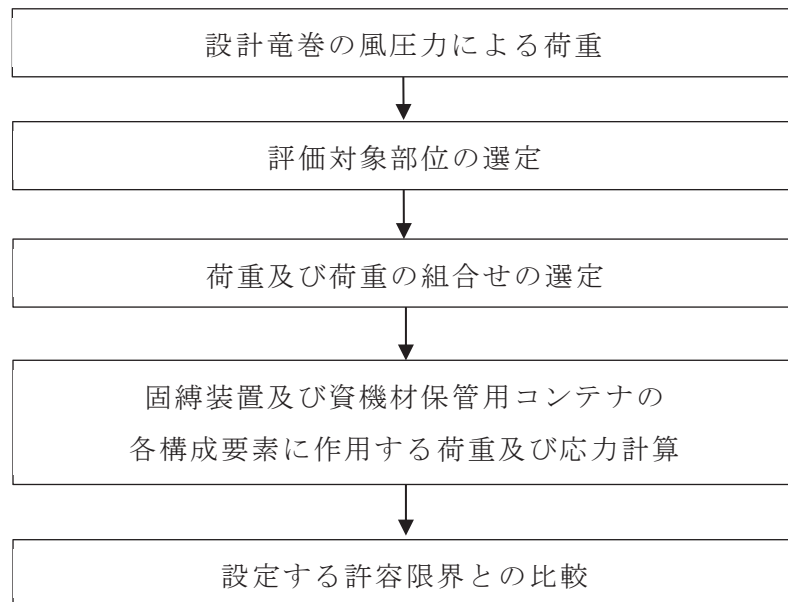


図 2-8 固縛装置及び資機材保管用コンテナの強度評価フロー

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

3. 強度評価方法

3.1 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, 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-1 固縛対象設備に作用する荷重の算出に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
V_{Rm}	m/s	設計竜巻の最大接線風速
V_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 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	—	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 ² /kg	空力パラメータ
μ_s	—	固縛対象設備と路面の静摩擦係数
μ_d	—	固縛対象設備と路面の動摩擦係数
X	mm	固縛装置の設計余長
L_{OF}	mm	固縛対象設備と固縛装置（アンカー点）のオフセット量

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 (2/2)

記号	単位	定義
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 ²	連結材の弾性係数
A_{RP}	mm ²	連結材の断面積
L_{RP}	m	連結材の長さ
F_d	kN	固縛対象設備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

表 3-2 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
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材 (サイドロープ) と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材 (サイドロープ) と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時 (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 3-3 固定材及び基礎部（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号（1/3）

記号	単位	定義
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 ₂	kN	フレノ・リンクボルト 1 本あたりに作用する荷重
P ₃	kN	アンカープレート 1 箇所あたりに作用する荷重
θ_{v1}	deg	浮き上がり時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_{v2}	deg	横滑り時に固縛装置の連結材（サイドロープ）と定着面となす角度
θ_H	deg	横滑り時（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 ²	鋼材の基準強度
σ_y	N/mm ²	検討対象部材の降伏応力度で，基準強度 F 値を 1.1 倍した値
τ_y	N/mm ²	検討対象部材のせん断降伏応力度（ $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ ）
f _b	N/mm ²	検討対象部材の短期許容曲げ応力度
f _t	N/mm ²	検討対象部材の短期許容引張応力度

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

記号	単位	定義
h	mm	ベースプレート板厚芯からのフレノ・リンクボルト芯までの高さ
L_1	mm	両端のアンカーボルト芯間距離
d_t	mm	ベースプレート端部から引張側アンカーボルト芯までの距離
B	mm	ベースプレートの幅
t	mm	ベースプレートの厚さ
$Z_{p y}$	mm ³	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$Z_{p x}$	mm ³	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
A	mm ²	ベースプレートの断面積
M_y	kN・mm	x 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
M_x	kN・mm	y 方向検討荷重によるベースプレートの x 軸まわり曲げモーメント
M_{y-z}	kN・mm	z 方向検討荷重によるベースプレートの y 軸まわり曲げモーメント
$M_{p y}$	kN・mm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
$M_{p x}$	kN・mm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
Q_x	kN	x 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_y	kN	y 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
Q_{x-z}	kN	z 方向検討荷重によるベースプレートのせん断力
$Q_{p x}$	kN	x 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p y}$	kN	y 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
$Q_{p z}$	kN	z 方向検討荷重に対するベースプレートの終局せん断力
α	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
A_e	mm ²	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組のアンカープレートにおけるアンカーボルト本数
n'	本	一組のアンカープレートにおける引張側アンカーボルト本数
T_v	kN	z 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
T_H	kN	x 又は y 方向の検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
ϕ_1	—	アンカーボルトの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
F_c	N/mm ²	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
$s \sigma_{q a}$	N/mm ²	アンカーボルトの短期許容せん断応力度 (=0.7・ f_t)
AQ	kN	検討荷重によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
γ	kN/m ³	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量

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

記号	単位	定義
Q_{a1}	kN	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
ϕ_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 ²	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$
E_c	N/mm ²	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
A_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
${}_A L$	mm	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
ϕ_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)
τ_a	N/mm ²	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
τ_{bavg}	N/mm ²	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 ²	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 ($=0.31 \cdot \sqrt{F_c}$)

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、添付書類「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」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

- ・連結材本体（高強度繊維ロープ）

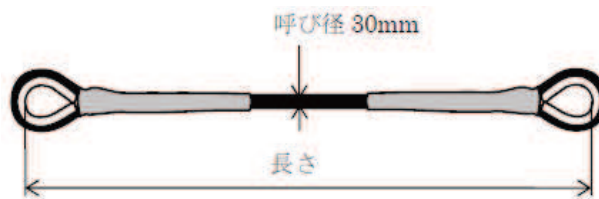
*：連結材に作用する荷重を，メーカ提示の引張強度と比較するため，評価対象部位は図 3-1 に示す高強度繊維ロープ本体とする。

また，



高強度繊維ロープ（φ22）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 φ 30mm（被覆部）
φ 22mm（被覆無し部））

図 3-1 連結材の評価対象部位

(2) 固定材

- a. フレノ・リンクボルト

- ・フレノ・リンクボルト本体

*：フレノ・リンクボルトに作用する荷重は，メーカ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。

- b. アンカープレート

アンカープレートについては，ベースプレートの評価対象部位として設定する。

- ・ベースプレート

固定材の評価対象部位を図 3-2 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。

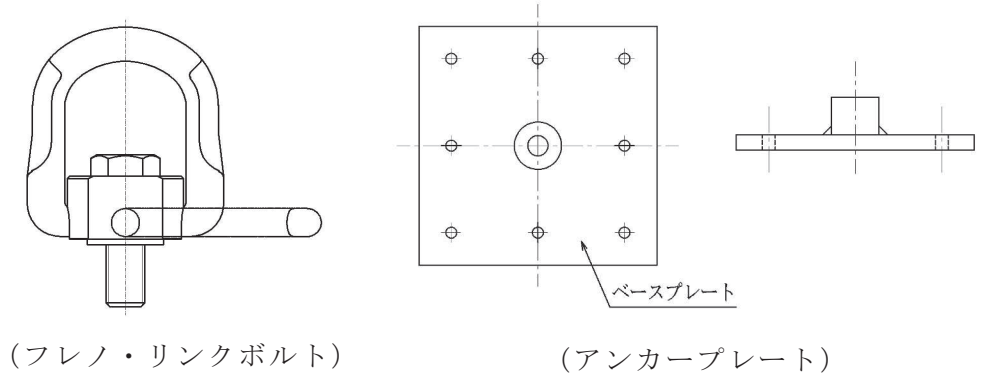


図 3-2 固定材の評価対象部位

(3) 基礎部 (アンカーボルト)

基礎部 (アンカーボルト) は、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 3-3 に示す。

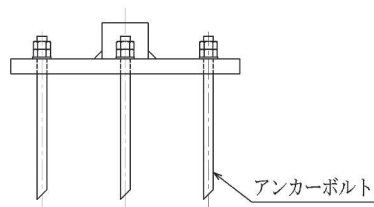


図 3-3 基礎部 (アンカーボルト) の評価対象部位

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、添付書類「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」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。

b. 風圧力による荷重 (W_w)

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

添付書類「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」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

添付書類「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」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に基づき、荷重を選定する。

イ. 浮き上がり荷重

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

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

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

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

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

ρ : 空気密度

V_{SA} : 固縛対象設備に作用する最大水平風速

C_{DA} : 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_{DA}/m として算出する。

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

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。

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

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

ハ. 動的荷重

連結材（サイドロープ）に余長を有する固縛装置が作動（余長が展張）する時に固縛対象設備の急停止に伴い固縛装置に発生する動的荷重 P_i は，添付書類「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」の「2.3.1 (2)d. 動的荷重」に基づき，以下によって算出する。

(イ) 固縛対象設備の挙動開始風速の算出

固縛対象設備が浮き上がり又は横滑りを始める時の風速を算出する。

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

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

横滑り開始風速 $V_{SAS, S}$ は，風圧力による荷重と静止摩擦力が釣り

合った時の風速であり，以下の式によって算出する。

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

(ロ) 固縛装置の余長がなくなる時点での終端速度の算定

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

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

$$V'_{SA} = a \cdot t + b \quad \cdots \quad (3.1)$$

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。

$$\begin{aligned} a_{SA} &= \frac{F}{m} = \frac{W_W - F_{fd}}{m} \\ &= \frac{1}{2} \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V'^2_{SA} - \mu_d \cdot g \quad \cdots \quad (3.2) \end{aligned}$$

F_{fd} : 固縛対象設備に作用する動摩擦力

ここで，K を以下に示すように置いて，(3.2) 式の V'_{SA} に (3.1) 式を代入し，t に対する式として整理すると (3.3) 式となる。

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_i}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) \\ a_{SA} &= K \cdot a^2 \cdot t^2 + 2K \cdot a \cdot b \cdot t + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) \quad \cdots \quad (3.3) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 v_{SA} &= \int a_{SA} dt \\
 &= \frac{1}{3}K \cdot a^2 \cdot t^3 + K \cdot a \cdot b \cdot t^2 \\
 &\quad + (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t \quad \cdots \quad (3.4)
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 x_{SA} &= \int v_{SA} dt \\
 &= \frac{1}{12}K \cdot a^2 \cdot t^4 + \frac{1}{3}K \cdot a \cdot b \cdot t^3 \\
 &\quad + \frac{1}{2} (K \cdot b^2 - \mu_d \cdot g) t^2 \quad \cdots \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

固縛対象設備の移動距離 x_{SA} が設計余長 X となる時として、(3.5) 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。

(3.4) 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 Δt の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重 F_i と運動量の関係は (3.6) 式のとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t) dt = m \cdot v_{SA} \quad \cdots \quad (3.6)$$

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 (3.7) 式で表される。また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重 F_i は (3.8) 式となる。

$$x_{RP} = B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.7)$$

$$F_i(t) = k \cdot x_{RP} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots (3.8)$$

次に、(3.8) 式を (3.6) 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 (3.9) 式となる。(初期条件： $t=0$ のとき $v_{SA} = v_{SA, OT}$, $t = \Delta t$ のとき $v_{SA} = 0$)

$$B = v_{SA, OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.9)$$

また、動的荷重 F_i は、(3.8) 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。

$$t_i' = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (3.10)$$

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、(3.1) 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。

(2) 荷重の組合せ

添付書類「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」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す，常時作用荷重 (F_d)，風荷重による浮き上がり荷重 (P_v)，横滑り荷重 (P_H) 及び動的荷重 (P_i) を考慮する。
この荷重及び荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 固縛装置の荷重の組合せ

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

(3) 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

「2. 基本方針」に記載したとおり，「3.1.3(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可搬型窒素ガス供給装置に対して考慮する荷重を表 3-5 に示す。

表 3-5 可搬型窒素ガス供給装置に考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の構成	荷重の組合せ
可搬型窒素ガス供給装置	フレノ・リンクボルト + アンカープレート + アンカーボルト	$F_d +$ 動的荷重 P_i (側面方向の横滑り)

3.1.4 許容限界

固縛装置の許容限界は、添付書類「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」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

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

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示の引張強度を許容限界とする。

(2) 固定材

a. フレノ・リンクボルト

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

このため、当社がその妥当性を確認したメーカ提示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。

3.1.5 評価方法

(1) 連結材の評価方法

連結材に作用する荷重が、固縛装置の設置箇所数×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。浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要を図 3-4 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ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。

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

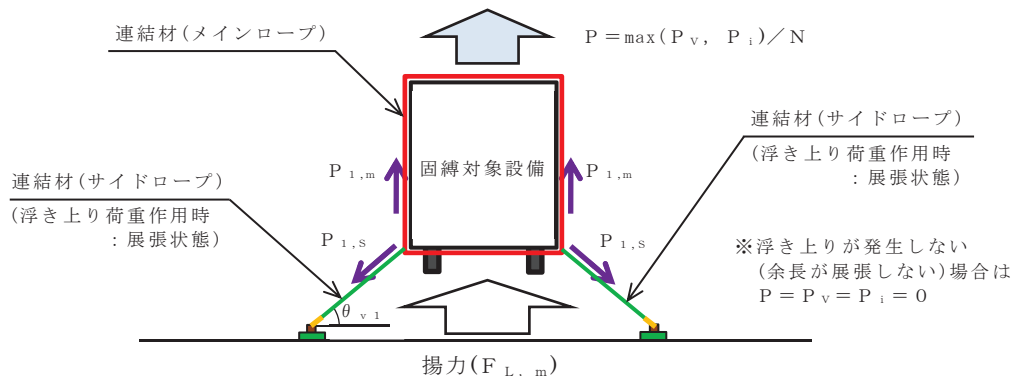


図 3-4 浮き上がり時の連結材の評価モデルの概要

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）の連結材の評価モデルの概要を図 3-5 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ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。

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

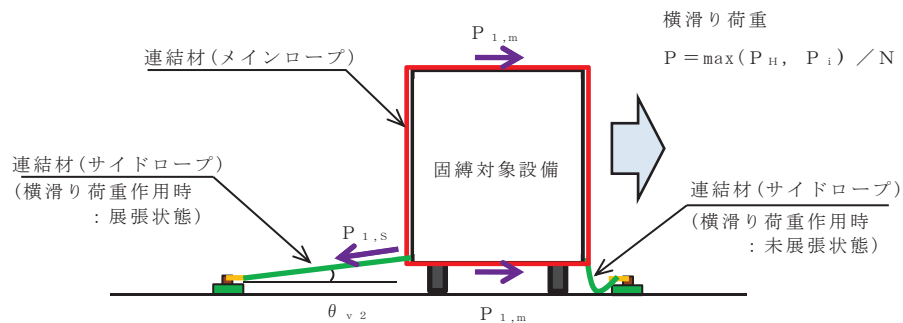


図 3-5 横滑り時（側面方向）の連結材の評価モデルの概要

(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 3-6 に示す。

連結材に作用する荷重のうち、メインロープ又はサイドロープ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。

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

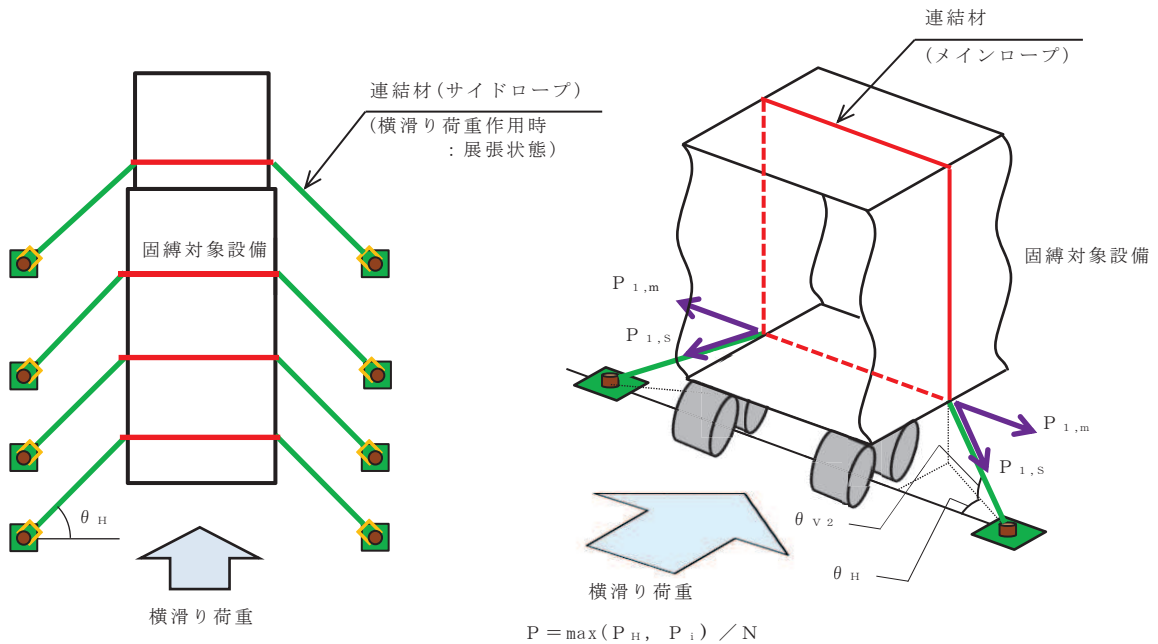


図 3-6 横滑り時（正面方向）の連結材の評価モデルの概要

(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 3-7 に示す x 、 y 、 z 方向にフレノ・リンクボルトに作用する荷重 P_2 の分力として、検討用荷重 P_3 が作用する。

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

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

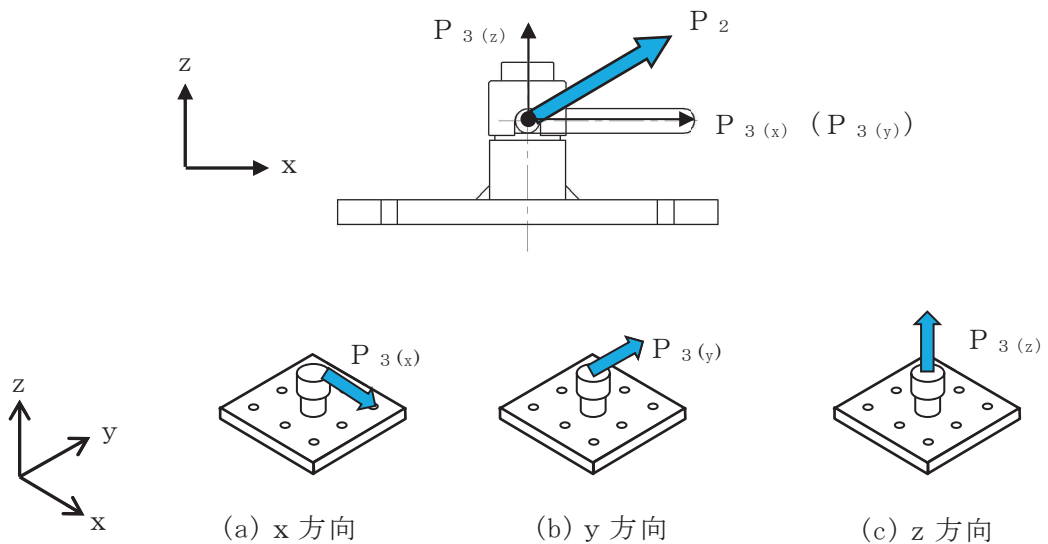


図 3-7 アンカープレートの計算モデルの概要

(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 3-8 に示す。前述のとおり，x 方向と y 方向の計算モデルは同一条件であるため，x 方向のモデルにて示す。

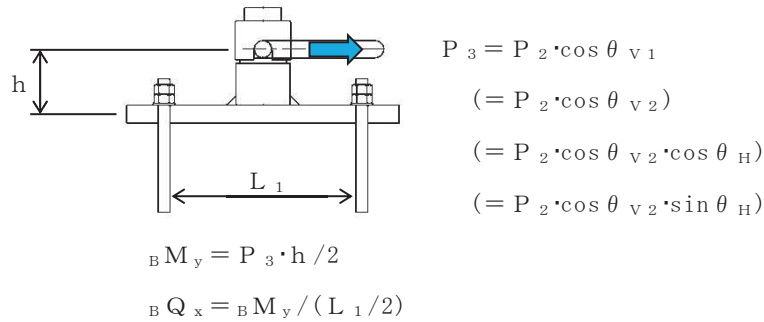


図 3-8 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・ 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。

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

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

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

・ せん断に関する検討

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 3-9 に示す。

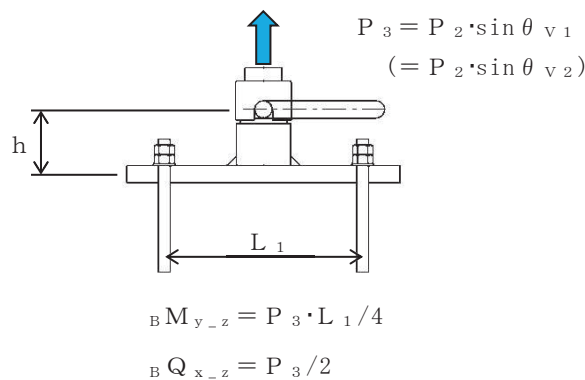


図 3-9 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要

・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 ${}_B Q_{x-z}$ 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. 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。

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

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。

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

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

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

アンカーボルトにおける付着強度 τ_a は以下の式により算定する。

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

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。

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

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

ここで、

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

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

アンカーボルトの 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。

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

(c) せん断に関する検討

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

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

アンカーボルトのせん断強度により決定されるアンカーボルト 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。

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

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。

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

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。

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

3.2 資機材保管用コンテナ

3.2.1 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 3-6 に示す。

表 3-6 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・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・ ${}_s\sigma_{pa}$)
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・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_α	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_s c a$	mm ²	アンカーボルトの有効断面積

表 3-6 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
ϕ_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
ϕ_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 ²	アンカーボルトが定着するコンクリートの設計基準強度
${}_c\sigma_t$	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 ($0.31 \cdot \sqrt{F_c}$)
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm ²	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$
E_c	N/mm ²	コンクリートのヤング係数で、 $3.35 \cdot 10^4 \cdot (\gamma/24)^2 \cdot (F_c/60)^{1/3}$
γ	kN/m ³	基礎自重算定用のコンクリートの単位体積重量
A_c	mm ²	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 ²	アンカーボルトの頭部支圧面積
A_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積
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 3-6 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^2	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

3.2.2 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(2) 資機材保管用コンテナの構造概要」にて設定している構造に基づき、添付書類「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」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) 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 3-10 に示す。

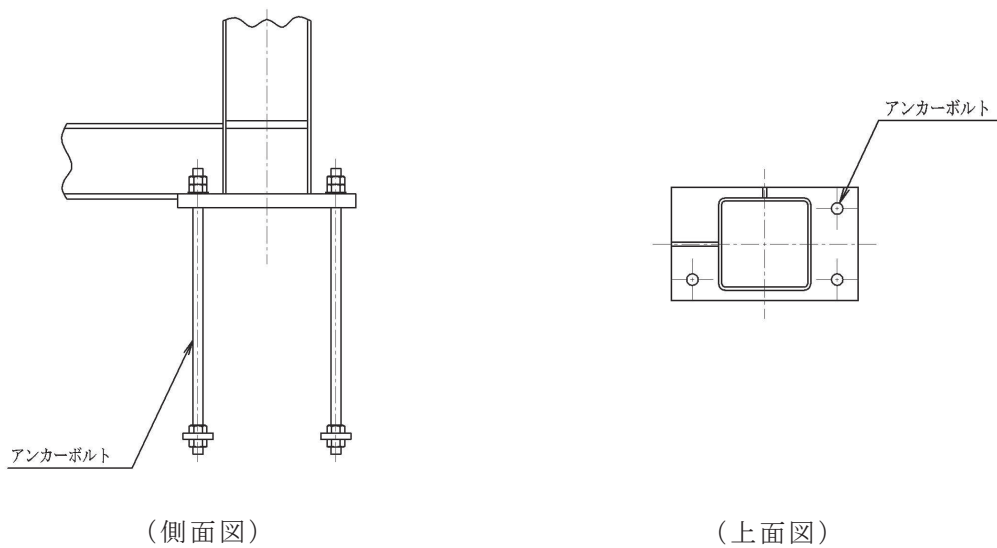


図 3-10 基礎部（アンカーボルト）の評価対象部位

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、添付書類「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」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

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。

(a) 竜巻の風圧力による荷重

添付書類「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」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. 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。

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

ロ. 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。

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

ρ : 空気密度

V_{SA} : 固縛対象設備に作用する設計竜巻の最大水平風速

$C_D A$: 抗力係数と見付面積の積の平均値

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。

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

(2) 荷重の組合せ

添付書類「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」の「2.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す、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 3-7「資機材保管用コンテナの荷重の組合せ」に示す。

表 3-7 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) 資機材保管用コンテナ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、最も裕度の低い第2保管エリアの資機材保管用コンテナに対して考慮する荷重を表 3-8 に示す。

表 3-8 資機材保管用コンテナ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
資機材保管用コンテナ (第2保管エリア)	アンカーボルト	W_w (側面方向) + $F_{L, m}$

3.2.4 許容限界

資機材保管用コンテナの許容限界は、添付書類「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」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に対し、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) 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。

3.2.5 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 3-11 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。

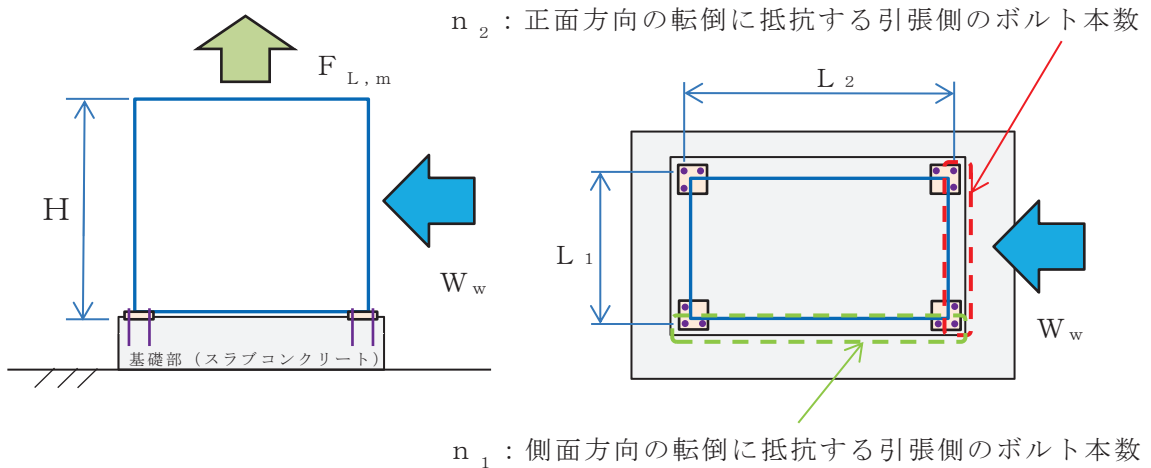


図 3-11 資機材保管用コンテナの計算モデル図

(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。

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

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

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。

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

定着したコンクリートのコーン状破壊により定まるアンカーボルト 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。

$$P_{a2} = \phi_2 \cdot c_t \cdot \sigma_c \cdot A_c \cdot 10^{-3}$$

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。

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

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じるせん断力 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。

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

4. 評価条件

評価に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.1 可搬型窒素ガス供給装置の評価条件

可搬型窒素ガス供給装置の評価条件を，表 4-1～表 4-8 に示す。

表 4-1 評価条件

固縛対象設備	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	V_T (m/s)	R_m (m)	H_i (m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)
可搬型窒素ガス供給装置	100	85	15	30	15	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)	μ_s (-)	μ_d (-)
可搬型窒素ガス供給装置	2.495	16.070	3.781	30801	0.44	0.29

C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)	C_{DA} (m ²)	G (-)	C (-)
2.0	2.0	2.0	9.434	40.095	60.761	73.527	1.0	1.2

V_{SA} (m/s)	$V_{SAS, F}$ (m/s)	$V_{SAS, S}$ (m/s)	
		側面	正面
89.1	81.8	45.3	70.4

表 4-3 評価条件（固縛装置）

固縛対象設備	N (箇所)	X (mm)	L _{OF} (mm)	θ_{V1} (deg)	θ_{V2} (deg)	θ_H (deg)
可搬型窒素ガス 供給装置	8	600	1002.5	56.6	22.6	53.4

表 4-4 評価条件（連結材）

評価対象部位	A _{RP} (mm ²)	E _{RP} (N/mm ²)	L _{RP} (m)	N' (個)
高強度繊維ロープ	380.13	15785	7.249	2

表 4-5 評価条件（固定材のうちフレノ・リンクボルト）

評価対象部位	型式	N' (個)
フレノ・リンクボルト	A-48L	2

表 4-6 評価条件（固定材のうちアンカープレート）

評価対象部位	材質	F (N/mm ²)	B _B (mm)	B _t (mm)
ベースプレート	SN490B	325	550	36

h (mm)	L ₁ (mm)	d _t (mm)	N' (個)
132	400	475	2

表 4-7 評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象部位	材質	F (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _t (N/mm ²)
アンカーボルト	SNR490B	325	325	325

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

α ₁ (-)	α ₂ (-)	α ₃ (-)	F _c (N/mm ²)	γ (kN/m ³)
1.0	0.70	0.70	21	24

表 4-8 評価条件（固縛対象設備に作用する荷重）

固縛対象設備	P _v (kN)	P _H (kN)		P _i (kN)		
		側面	正面	浮き上り	側面	正面
可搬型窒素ガス 供給装置	55.8	354.9	55.1	1355.2	1283.5	1520.0

4.2 資機材保管用コンテナの評価条件

資機材保管用コンテナの評価条件を，表 4-9～表 4-12 に示す。

表 4-9 評価条件

評価対象	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	R_m (m)	H_i (m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)
資機材保管用 コンテナ	100	85	30	15	1.226	9.80665

表 4-10 評価条件（資機材保管用コンテナ）

評価対象	W (m)	L (m)	H (m)	G (-)	C (-)
資機材保管用 コンテナ	2.400	6.000	2.650	1.0	1.2

C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)	V_{SA} (m/s)
2.0	2.0	2.0	6.360	14.400	15.900	87.3

表 4-11 評価条件（資機材保管用コンテナに作用する荷重）

評価対象	W_w (kN)		$F_{L, m}$ (kN)
	側面	正面	
資機材保管用コンテナ	89.2	35.7	114.2

表 4-12 評価条件（基礎部（アンカーボルト））

評価対象部位	材質	F (N/mm ²)	σ_{pa} (N/mm ²)	d (mm)
アンカーボルト	SS400	235	235	20

N (本)	n ₁ (本)	n ₂ (本)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	ℓ _e (mm)	c (mm)	D (mm)
12	4	4	2360	6100	400	150	60

F _c (N/mm ²)	γ (kN/m ³)
24	24

5. 評価結果

5.1 可搬型窒素ガス供給装置の評価結果

(1) 連結材の評価結果

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

表 5-1 連結材の評価結果

評価対象	作用荷重ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	動的荷重 (側面方向 横滑り)	173.9	250	1.43

(2) 固定材の評価結果

a. フレノ・リンクボルト

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

表 5-2 固定材（フレノ・リンクボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重ケース	作用荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
フレノ・リンク ボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	173.9	735.45	4.22

b. アンカープレート

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

表 5-3 固定材（アンカープレート）の評価結果

評価対象部位	作用荷重ケース	曲げに関する検討	
		曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)
ベースプレート	動的荷重 (側面方向 横滑り)	17279.0	63617.4

せん断に関する検討		裕度*
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	
86.4	4078.8	3.68

注記 *：最小裕度のみ記載

(3) 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

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

表 5-4 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重ケース	引張に関する検討	
		引張力 (kN)	許容限界 (kN)
アンカーボルト	動的荷重 (側面方向 横滑り)	25.4	55.5

せん断に関する検討		引張とせん断を同時に受ける 場合に関する検討		裕度*
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界	
20.1	76.9	0.278	1.0	2.18

注記 *：最小裕度のみ記載

5.2 資機材保管用コンテナの評価結果

(1) 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

基礎部（アンカーボルト）の評価結果を表 5-5 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 5-5 基礎部（アンカーボルト）の評価結果

評価対象	作用荷重ケース	引張に関する検討	
		引張力 (kN)	許容限界 (kN)
アンカーボルト	側面方向の風荷重	34.7	55.3

せん断に関する検討		引張とせん断を同時に受ける 場合に関する検討		裕度*
せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力 + せん断力	許容限界	
7.5	34.9	0.440	1.0	1.59

注記 *：最小裕度のみ記載