

IV. 補正内容を反映した書類

(3) 固縛装置の強度設計方針

固縛対象設備に設計荷重が作用すると、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によって移動する。固縛装置を構成している連結材や連結補助材は、柔軟な挙動ができる部材を選択しているため、固縛対象設備の移動に伴い、固縛対象設備から基礎まで一直線に並ぶ状態となり、一直線に沿う方向の引張荷重が伝達される。一直線上に並んだ状態では固縛装置のいずれの断面でも同等の引張荷重が生じることとなる。なお、一直線に並ぶ前の状態では、余長が残っているため、固縛装置に有意な荷重は発生しない。したがって、固縛装置の強度設計においては、構成要素毎に強度評価を実施する。

固縛装置は、第4-5表に示す構成要素毎に適切な裕度（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もつ構成要素を選定し、第4-6表に示すとおり3種類にカテゴリー分類する方針とする。

本申請に係る固縛対象設備である送水車および可搬型ホース（送水車用）（以下「送水車等」という）に対する強度について、資料9別添1-1「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」に示すとおり、各構成要素に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ2倍以上の裕度を有していることを確認している。固縛装置のカテゴリーごとの評価上厳しい設備の選定及びその設備に対する強度評価については、平成27年10月9日付け原規規発第1510091号にて認可された工事計画の資料14別添1-16「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」から変更はなく、送水車等はカテゴリーごとの評価上厳しい設備よりも裕度が高いことを確認している。

屋外の重大事故等対処設備について、固縛の有無、固縛装置の構成要素の組合せについては、第4-7表に示す。

第4-6表 固縛装置のカテゴリー分類

	連結材、連結補助材、基礎（アンカーボルト以外）	基礎 （アンカーボルト）	固定材	個数	カテゴリー分類
1	強度評価の方法 に関して同じ評価 であり、カテゴリー 分類は不要	埋め込み	フレノリンクボルト	1	①
2		埋め込み	心棒有型	6	②
3		接着系	フレノリンクボルト	0	—
4		接着系	心棒有型	6	③

目 次

	頁
1. 概 要	T4-別添1-1-1
2. 基本方針	T4-別添1-1-1
2.1 位 置	T4-別添1-1-1
2.2 固縛装置全体の構造概要	T4-別添1-1-2
2.3 固縛装置構成要素の構造概要	T4-別添1-1-5
2.4 評価方針	T4-別添1-1-7
2.5 適用規格	T4-別添1-1-7
3. 強度評価方法	T4-別添1-1-8
3.1 記号の定義	T4-別添1-1-8
3.2 評価対象部位	T4-別添1-1-15
3.3 荷重及び荷重の組合せ	T4-別添1-1-16
3.4 許容限界	T4-別添1-1-19
3.5 評価方法	T4-別添1-1-21
4. 評価条件	T4-別添1-1-35
4.1 送水車 (4A) の評価条件	T4-別添1-1-35
4.2 送水車 (4B) の評価条件	T4-別添1-1-38
4.3 可搬型ホース (送水車用) の評価条件	T4-別添1-1-41
5. 強度評価結果	T4-別添1-1-44
5.1 送水車 (4A) の評価結果	T4-別添1-1-44
5.2 送水車 (4B) の評価結果	T4-別添1-1-46
5.3 可搬型ホース (送水車用) の評価結果	T4-別添1-1-48

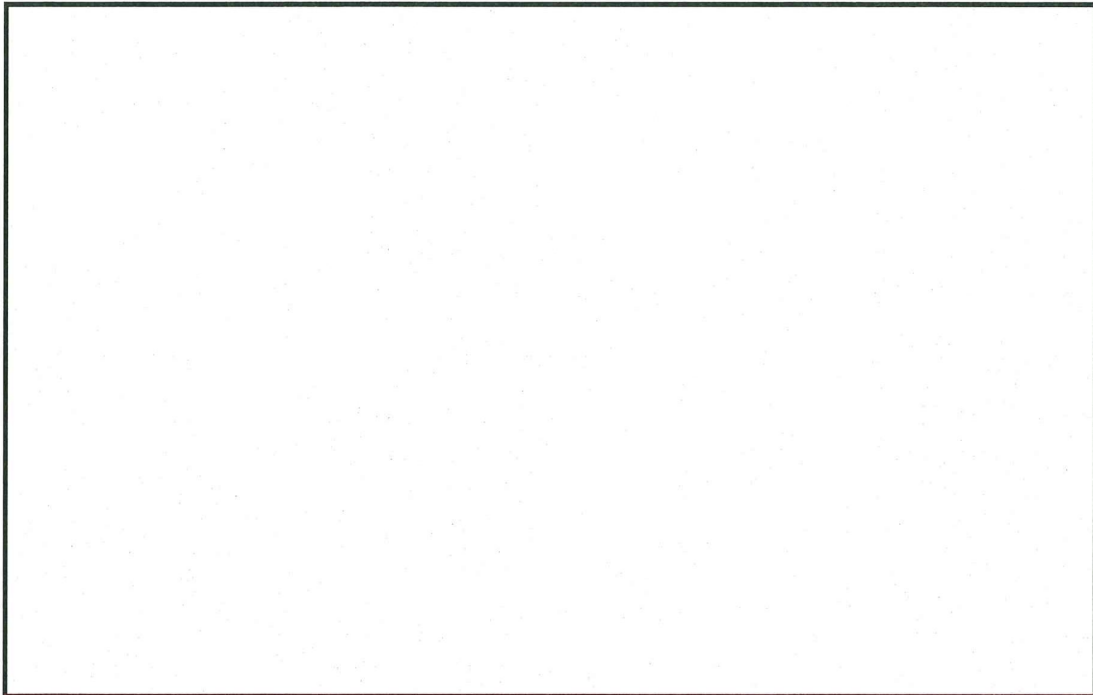
1. 概要

本資料は、資料2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」に示すとおり、屋外に設置している重大事故等対処設備の固縛装置が竜巻襲来時においても、固縛構成要素が、設置（変更）許可を受けた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。）が固縛対象設備である重大事故等対処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ものである。

2. 基本方針

2.1 位置

評価対象固縛装置の設置位置図を第 2-1 図に示す。

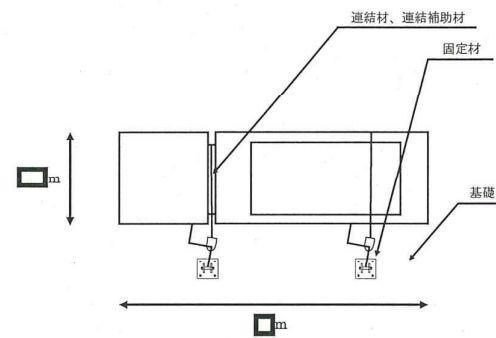


第 2-1 図 評価対象固縛装置の設置位置図

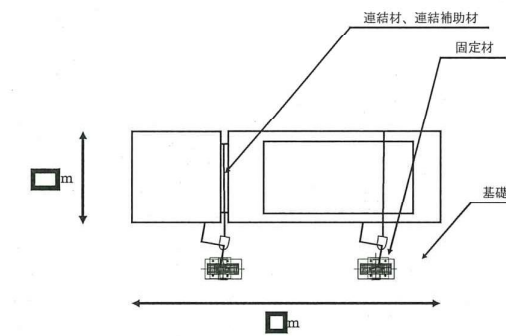
2.2 固縛装置全体の構造概要

屋外の重大事故等対処設備の固縛装置は、資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.4 (2)固縛装置の構造」に示すとおり、連結材、連結補助材、固定材及び基礎（アンカーボルト）から構成される。固縛装置の構造概要を第 2-2 図、第 2-3 図及び第 2-4 図に示す。

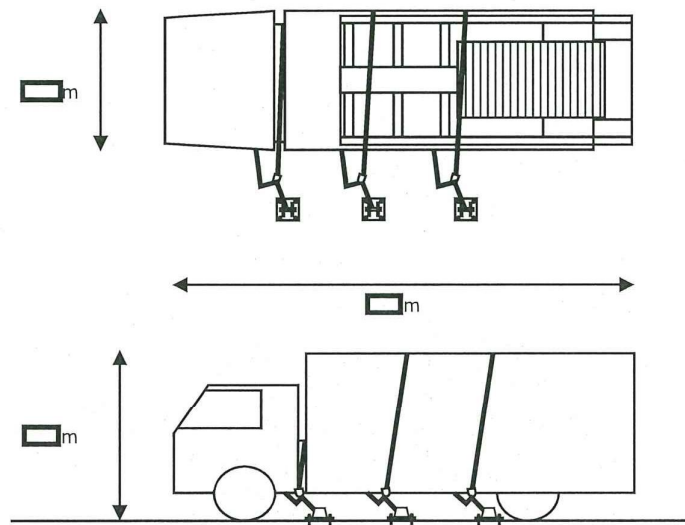
また、屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の設計方法の一覧を第 2-1 表に示す。



第 2-2 図 送水車 (4A) の構造概要



第 2-3 図 送水車 (4B) の構造概要



第 2-4 図 可搬型ホース（送水車用）の構造概要

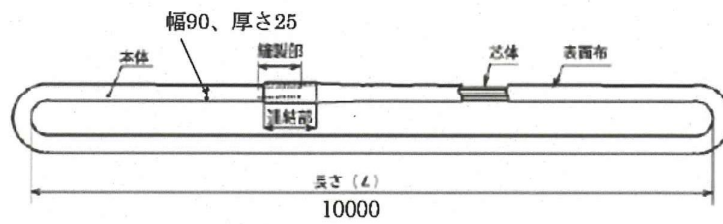
第2-1表 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の設計方法一覧

設備名	固縛設計での 保管単位	横滑り 対策	浮き上がり 対策	固縛設計の分類	連結材	連結補助材	固定材	基礎 (アンカー)
車 庫 型	送水車 2台	要	要	横滑り対策	スリング 20t	t40 BB シヤックル S級	鋼製固定材 (心棒有型) 16t用	接着系アンカー M24
		否	要	浮き上がり対策	スリング 5t	t22 BB シヤックル S級	鋼製固定材 (心棒有型) 16t用	埋め込みアンカー M24
	トラック 1台	要	否	横滑り対策	スリング 20t	t40 BB シヤックル S級	鋼製固定材 (心棒有型) 16t用	接着系アンカー M24

2.3 固縛装置構成要素の構造概要

屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の構成要素は、連結材、連結補助材、固定材及び基礎（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、連結補助材、固定材へ伝達し、基礎（アンカーボルト）により支持する構造となる。

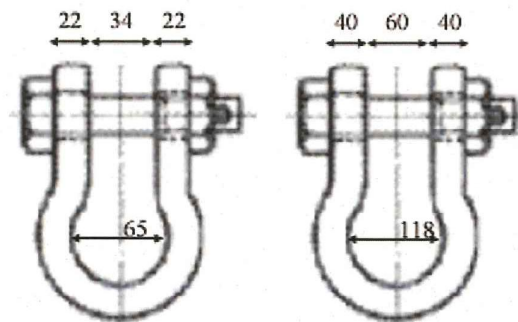
連結材の概要図を第2-5図に、連結補助材の概要図を第2-6図に、固定材及び基礎（アンカーボルト）の概要図を第2-7図に示す。



(JIS規格ラウンドスリング ロックスリングソフトーTN TN型 20t用)

(単位：mm)

第2-5図 連結材の概要図



(t22 BBシャックル) (t40 BBシャックル)

(単位：mm)

第2-6図 連結補助材の概要図

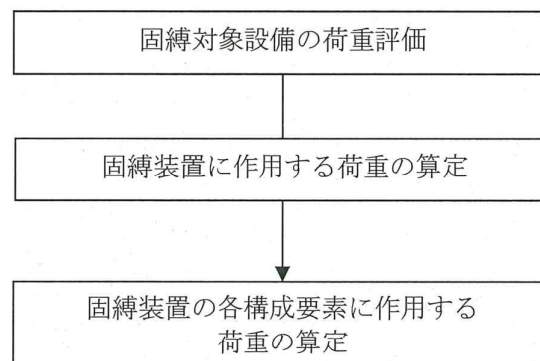
2.4 評価方針

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作用する荷重等が、資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.5 許容限界」に示す許容限界に収まることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.3 設計荷重」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

固縛装置の評価フローを第 2-8 図に示す。固縛装置の強度評価においては、その構造を踏まえ、設置（変更）許可を受けた竜巻の風圧力による荷重が屋外の重大事故等対処設備に作用した場合に固縛装置を構成している連結材、連結補助材、固定材及び基礎（アンカーボルト）に作用する荷重等が「3.4 許容限界」にて示すそれぞれの許容限界以下であることを確認する。



第 2-8 図 固縛装置の評価フロー

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 (JIS)
- ・ 鋼構造塑性設計指針 ((社) 日本建築学会、2010 改定)
- ・ 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社) 日本建築学会、2005 改定)
- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 鋼構造接合部設計指針 ((社) 日本建築学会、2012 改定)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会、2010 改定)
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会、2004 改定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) 強度評価の記号の定義

連結材の強度評価に用いる記号を第 3-1 表、連結補助材の強度評価に用いる記号を第 3-2 表、固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号を第 3-3 表に示す。

第 3-1 表 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浮き上り力又は横滑り力の検討用荷重
n	本	連結材の本数
P'	kN	連結材 1 本あたりに作用する荷重
A	m ²	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大風速
V _V	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の鉛直風速
ρ	kg/m ³	空気密度
C _{Di} (i=1, 2, 3)	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A _i (i=1, 2, 3)	m ²	重大事故等対処設備の各面の投影面積
V _{Rm}	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大接線風速
m [~]	kg	固縛対象設備の空力パラメータが 0.0026 となる時の重量
m	kg	固縛対象設備の自重
g	m/s ²	重力加速度

第 3-2 表 連結補助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浮き上り力又は横滑り力の検討用荷重
n	本	連結補助材の本数
P'	kN	連結補助材 1 本あたりに作用する荷重
A	m ²	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大風速
V _V	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の鉛直風速
ρ	kg/m ³	空気密度
C _{Di} (i=1, 2, 3)	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
A _i (i=1, 2, 3)	m ²	重大事故等対処設備の各面の投影面積
V _{Rm}	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大接線風速
m [~]	kg	固縛対象設備の空力パラメータが 0.0026 となる時の重量
m	kg	固縛対象設備の自重
g	m/s ²	重力加速度

第3-3表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号(1/5)

記号	単位	定義
P	kN	固縛対象設備に作用する浮き上がり荷重又は横滑り荷重の検討用荷重
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
sL	mm	心棒の支持点間距離 (=心棒支持プレート中心間の距離)
sD	mm	心棒の直径
sZ_p	mm ³	心棒の塑性断面係数
sA	mm ²	心棒断面の断面積
sM	kNmm	設計荷重により生ずる心棒中央の曲げモーメント
sM_p	kNmm	心棒の終局曲げモーメント
sQ	kN	設計荷重により生ずる心棒端部のせん断力
sQ_p	kN	心棒の終局せん断力
h	mm	心棒支持プレートのベースプレート上面からの跳ね出し長さ
pD	mm	心棒支持プレート脚部における y 方向のせい
pD'	mm	心棒支持プレートの心棒支持中心位置における y 方向のせい
sD'	mm	心棒穴径
e	mm	心棒支持プレートのはしあき距離
pt	mm	心棒支持プレートの x 方向の厚さ
pZ_{py}	mm ³	心棒支持プレートの y 軸まわりの塑性断面係数
pZ_{px}	mm ³	心棒支持プレートの x 軸まわりの塑性断面係数
pA'	mm ²	心棒支持プレートの心棒支持中心位置における心棒穴による欠損を考慮した断面積
pM_y	kNmm	検討用荷重による心棒支持プレート脚部の y 軸まわり曲げモーメント
pM_x	kNmm	検討用荷重による心棒支持プレート脚部の x 軸まわり曲げモーメント
pM_{py}	kNmm	心棒支持プレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
pM_{px}	kNmm	心棒支持プレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
pQ_x	kN	検討用荷重による心棒支持プレートの x 方向のせん断力
pQ_y	kN	検討用荷重による心棒支持プレートの y 方向のせん断力

第 3-3 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号(2/5)

記号	単位	定義
PQ_{px}	kN	心棒支持プレートの x 方向の終局せん断力
PQ_{py}	kN	心棒支持プレートの y 方向の終局せん断力
P_T	kN	検討用荷重 P による心棒支持プレートの引張力
P_{T_p}	kN	心棒支持プレートの z 方向終局引張力
P_Q	kN	検討用荷重 P による心棒支持はしあきせん断力
P_{Q_p}	kN	心棒支持プレートの終局はしあきせん断力
P_{A_e}	mm ²	心棒支持プレートのはしあき部断面積
h'	mm	心棒支持プレートのベースプレート板厚芯からの跳ね出し長さ
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
a	mm	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの短いほうの距離
b	mm	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの長いほうの距離
B_{B_x}	mm	ベースプレートの x 方向幅
B_{B_y}	mm	ベースプレートの y 方向幅
B_t	mm	ベースプレートの厚さ
$B_{Z_{py}}$	mm ³	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$B_{Z_{px}}$	mm ³	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
B_A	mm ²	ベースプレートの断面積
B_{M_y}	kNmm	x 方向検討用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
B_{M_x}	kNmm	y 方向検討用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
$B_{M_{y-z}}$	kNmm	z 方向検討用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
$B_{M_{py}}$	kNmm	ベースプレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント
$B_{M_{px}}$	kNmm	ベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント
$B_{Z_{py}}$	mm ³	ベースプレートの y 軸まわりの塑性断面係数
$B_{Z_{px}}$	mm ³	ベースプレートの x 軸まわりの塑性断面係数
B_{Q_x}	kN	x 方向検討用荷重によるベースプレートの面外せん断力
B_{Q_y}	kN	y 方向検討用荷重によるベースプレートの面外せん断力
$B_{Q_{x-z}}$	kN	z 方向検討用荷重によるベースプレートの面外せん断力
$B_{Q_{px}}$	kN	x 方向検討用荷重に対するベースプレートの面外終局せん断力

第 3-3 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号 (3/5)

記号	単位	定義
${}_B Q_{py}$	kN	y 方向検討用荷重に対するベースプレートの面外終局せん断力
${}_B Q_{pz}$	kN	z 方向検討用荷重に対するベースプレートの面外終局せん断力
${}_A \alpha$	—	アンカーボルトのねじ部における断面積の低減を考慮した係数 (=0.75)
${}_A D$	mm	アンカーボルトの軸径
${}_B A_e$	mm ²	アンカーボルトの有効断面積
n	本	一組の固定金物におけるアンカーボルト本数
n'	本	一組の固定金物における引張側アンカーボルト本数
F_{by}	N/mm ²	アンカーボルトの降伏応力度で、基準強度 F 値を 1.1 倍した値
${}_A T_v$	kN	z 方向の検討用荷重 P によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
${}_A T_H$	kN	x 又は y 方向の検討用荷重 P によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずる引張力
p_{by}	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 本当たりの降伏引張耐力
ΣA_c	mm ²	1 組のアンカーボルトのコンクリートコーン有効水平投影面積
Ta	kN	コーン状破壊により決定される 1 組のアンカーボルトの引抜耐力
Ta'	kN	コーン状破壊により決定されるアンカーボルトの 1 本当たりの引抜耐力
ϕ_1	—	埋込みアンカーボルトの検討においては、アンカーボルトの降伏引張力を決定する際の低減係数で、アンカーボルトの降伏による場合は 1.0 接着系アンカーボルトの検討においては、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
P_y	kN	アンカーボルト 1 本当たりの引張耐力
${}_s \sigma_{qa}$	N/mm ²	接着系アンカーボルトの許容せん断応力度 (=0.7 × f _t)
${}_A Q$	kN	検討用荷重 P によりアンカーボルト 1 本当たりに生ずるせん断力
q_{by}	kN	アンカーボルトのせん断降伏により決定される降伏せん断耐力
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 (=20.6kN/m ³)
Q_{a1}	kN	接着系アンカーボルトの検討において、アンカーボルトのせん断強度により決定される許容せん断力

第 3-3 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号(4/5)

記号	単位	定義
Q_{a2}	kN	定着した躯体の支圧強度により決定される許容せん断力
ϕ_2	—	アンカーボルトの降伏せん断力を決定する際の低減係数で、コンクリートの支圧による場合は 2/3
${}_c\sigma_{qa}$	N/mm ²	基礎コンクリートの支圧強度で、 $0.5 \times \sqrt{F_c E_c}$
E_c	N/mm ²	コンクリートのヤング係数で、 $21000 \times \left(\frac{\gamma}{23}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{20}}$
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	mm	埋込みアンカーボルトにおいては、アンカーボルトの長さ 接着系アンカーボルトにおいては、埋込み長さ
L_e	mm	埋込み及び接着系アンカーボルトの有効埋込長さ
L_{ce}	mm	接着系アンカーボルトの強度算定用埋込長さ
d_a	mm	接着系アンカーボルトの呼び径
α_1 、 α_2 、 α_3	—	接着系アンカーボルトにおいて、へりあき及びアンカーボルトのピッチによる付着強度の低減係数
C_1 、 C_2 、 C_3	mm	接着系アンカーボルトのへりあき寸法又はアンカーボルトピッチの 1/2
P_{a1}	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの降伏により決定される 1 本当たりの許容引張力
P_{a3}	kN	接着系アンカーボルトにおいて、アンカーボルトの付着力により決定される 1 本当たりの許容引張力
ϕ_3	—	接着系アンカーボルトの許容引張力を決定する際の付着力による低減係数又は埋め込みアンカーボルトの降伏せん断力を決定する際のコーン状破壊による低減係数(=2/3)
τ_a	N/mm ²	接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度
τ_{bavg}	N/mm ²	接着系アンカーの基本平均付着強度で、カプセル式・有機系の場合 ($=10\sqrt{F_c/21}$)
P_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容引張力
Q_a	kN	接着系アンカーボルト 1 本当たりの短期許容せん断力
A	m ²	固縛対象設備の最大受圧面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
G	—	ガスト影響係数

第 3-3 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の強度評価に用いる記号(5/5)

記号	単位	定義
q	N/m ²	設計用速度圧
N	組	固定材の組数
c	mm	アンカーボルトのへりあき寸法
Δa	mm	アンカーボルトのピッチ
Q_{a3}	kN	定着した躯体のコーン状破壊により決定される許容せん断力
$c \sigma_t$	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度(=0.31 $\times\sqrt{F_c}$)
Q_y	kN	アンカーボルト 1 本当たりの降伏せん断耐力
V_D	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大風速
V_V	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の鉛直風速
ρ	kg/m ³	空気密度
$C_{Di} (i=1, 2, 3)$	—	固縛対象設備の形状に応じた抗力係数
$A_i (i=1, 2, 3)$	m ²	重大事故等対処設備の各面の投影面積
V_{Rm}	m/s	設置（変更）許可を受けた竜巻の最大接線風速
m^{\sim}	kg	固縛対象設備の空力パラメータが 0.0026 となる時の重量
m	kg	固縛対象設備の自重
g	m/s ²	重力加速度
$N^?$	本	フレノリンクボルトの本数
$P^?$	kN	フレノリンクボルト 1 本当たりに作用する荷重
H	mm	ベースプレート上面から心棒下端までの長さ

3.2 評価対象部位

固縛装置の評価対象部位は、「2.2 固縛装置全体の構造概要」にて設定している構造に基づき、資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.3 設計荷重」に示す設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、設定する。

(1) 連結材部

連結材本体^(注1)

(注1) 連結材に作用する荷重を、JIS に規定されている安全係数を考慮した破断荷重と比較するため、評価対象部位は連結材本体とする。

(2) 連結補助材部

連結補助材本体^(注2)

(注2) 連結補助材に作用する荷重を、JIS に規定されている静的強さと比較するため、評価対象部位は連結補助材本体とする。

(3) 固定材

心棒有型金物

心棒有金物については、以下の部位より構成されるため、各構成部位について、評価対象部位として設定する。

- ・心棒支持プレート
- ・心棒
- ・ベースプレート

(4) 基礎（アンカーボルト）

各固縛装置ごとに以下の2種類のうち、いずれかのアンカーボルトより構成されるため、評価対象部位として設定する。

- ・埋め込みアンカーボルト
- ・接着系アンカーボルト

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.3 設計荷重」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.3.1 荷重設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 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、資料 2「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」のうち資料 2-3-1「竜巻への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」に記載する、自重、水頭圧、上載荷重及び初期張力のうち、自重とする。

(2) 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、連結補助材及び固定材を介して基礎（アンカーボルト）に作用する。

平成 27 年 10 月 9 日付け原規規発第 1510091 号にて認可された工事計画の添付資料 2-3-3「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「5.2(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、鉛直方向の風圧力に対して固縛対象設備は浮き上がりの力を受けるため、鉛直方向の最大風速等に基づいて算出した鉛直方向の風圧力についても考慮した設計とする。

風圧力による荷重は、施設の形状により異なるため、施設に対して厳しくなる方向からの風を想定し、荷重を設定する。

a. 竜巻の風圧力による荷重

資料 2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.3 設計荷重」に基づき、荷重を選定する。

(a) 浮き上がり荷重

固縛対象設備の形状から算出される空力パラメータを用いて竜巻の風速場をランキン渦とした場合に浮き上がるときに受ける全体浮力を算出し、自重より大きい場合「浮き上がる」と判断する。このときの正味の上向きの力（＝（空力パラメータから算出される全体浮力）－（自重））を固縛対象設備に作用する「浮き上がり荷

重」とする。

固縛対象設備の空力パラメータ値が 0.0026 となる時の質量を $m\sim$ とすると、浮き上がり荷重は次に示すとおり、 P となる。

$$P = (m\sim - m) \times g$$

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。

$$\frac{C_D A}{m} > \frac{2g}{\rho V_V |V_D + V_V|}$$

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

ここで、

$$V_V = \frac{4}{3\sqrt{5}} V_{Rm}$$

(b) 横滑り荷重

横滑りに伴い発生する水平荷重 P は、設置（変更）許可にて設定した設計竜巻荷重が当該固縛対象に作用する水平力とし、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠し以下のとおりとする。

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

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（機器・物品を直方体とした場合は、側面の最大値）

3.3.2 荷重の組合せ

平成 27 年 10 月 9 日付け原規規発第 1510091 号にて認可された工事計画の添付資料 2-3-3 「竜巻防護に関する施設の設計方針」の「5.2 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 (P) を考慮する。

この荷重及び荷重の組合せを第 3-4 表に示す。

第 3-4 表 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	$F_d + P$ (固縛対象設備に作用する荷重)

3.3.3 固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

固縛装置を有する固縛対象設備に対して考慮する荷重を第 3-5 表に示す。

第 3-5 表 各固縛対象設備に考慮する荷重の組合せ

固縛対象設備	固縛装置の組合せ	荷重の組合せ
送水車 (4A)	接着系アンカーボルト +心棒有型金物	$F_d +$ 横滑り荷重 P
送水車 (4B)	埋め込みアンカーボルト +心棒有型金物	$F_d +$ 浮き上がり荷重 P
可搬型ホース (送水車用)	接着系アンカーボルト +心棒有型金物	$F_d +$ 横滑り荷重 P

3.4 許容限界

固縛装置の許容限界は、資料2-3-3「竜巻防護に関する屋外重大事故等対処設備の設計方針」の「4.5 許容限界」に示すとおり、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。評価においては、許容限界に対して2倍の裕度を有していることを確認する。

(1) 連結材

固縛に必要となる連結材（ロープ類）については、設置（変更）許可を受けた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、JISに規定されている安全係数を考慮した破断荷重を許容限界とする。

(2) 連結補助材

連結補助材（シャックル）については、設置（変更）許可を受けた竜巻による荷重に対し、連結補助材の破断が生じない設計とする。

このため、JISにおいて、破断又は変形を生じることなく、耐えなければならない荷重として規定される静的強さを許容限界とする。

(3) 固定材

a. 鋼製固定材（心棒有型）

固定材のうち、鋼製固定材（心棒有型）については、設置（変更）許可を受けた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」に基づき、部材の終局耐力を許容限界とする。

(4) 基礎（アンカーボルト）

a. 埋め込みアンカーボルト

基礎（アンカーボルト）のうち、埋め込みアンカーボルトについては、設置（変更）許可を受けた竜巻による荷重に対し、埋め込みアンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため、引張力、せん断力に対する検討についての許容限界は保守的に伸び能力がないものを用いることを想定し、「鋼構造接合部設計指針」に基づく、降伏耐力を許容限界とする。

コンクリートのコア破壊に関する検討についても同様に、伸び能力がないものを用いることを想定し、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく、降伏耐力を許容限界とする。

b. 接着系アンカーボルト

基礎（アンカーボルト）のうち、接着系アンカーボルトについては、設置（変更）許可を受けた竜巻による荷重に対し、接着系アンカーボルトの破断が生じない設計とする。

このため、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく、短期許容応力度を許容限界とする。

基礎（アンカーボルト）の許容限界を第3-6表に示す。

第3-6表 基礎（アンカーボルト）の許容限界

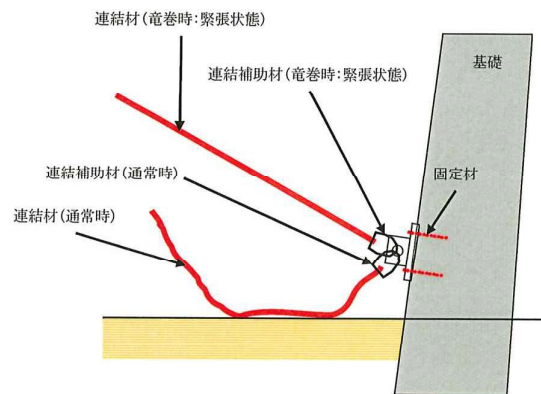
アンカー種別	評価項目	許容限界
埋め込みアンカーボルト	引張力、せん断力に対する検討	「鋼構造接合部設計指針」に基づく降伏耐力
	コンクリートのコア破壊に対する検討	「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく降伏耐力
接着系アンカーボルト	引張力、せん断力に対する検討	「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく短期許容応力度

3.5 評価方法

(1) 連結材の評価方法

浮き上がり荷重もしくは横滑り荷重が、連結材の本数×連結材 1 本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 本当たりに作用する荷重を以下の式により算定する。連結材及び連結補助材の評価モデルの概要図を第 3-1 図に示す。

$$P' = P / n$$



第 3-1 図 連結材及び連結補助材の評価モデルの概要図

(2) 連結補助材の評価方法

浮き上がり荷重もしくは横滑り荷重が、連結補助材の本数×連結補助材 1 本当たりの許容限界を超えないことを確認するため、連結補助材 1 本当たりに作用する荷重を以下の式により算定する。連結材及び連結補助材の評価モデルの概要図を第 3-1 図に示す。

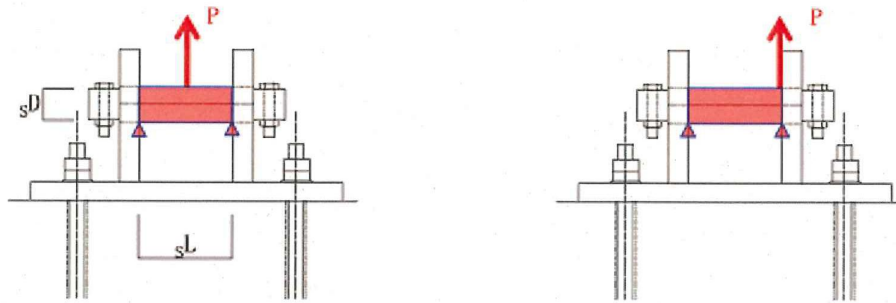
$$P' = P / n$$

(3) 固定材の評価方法

a. 心棒有型金物のうち心棒の評価方法

(a) 計算モデル

心棒については、曲げに対する検討の際には、心棒に生ずる曲げモーメントが最大になる、心棒の中心に検討用荷重 P が作用する場合について検討を行う。せん断に対する検討の際には、心棒に生ずるせん断力が最大になる、心棒端部に検討用荷重 P が作用する場合について検討を行う。評価モデル図の概要図を第 3-2 図に示す。



(a) 曲げに対する検討

(b) せん断に対する検討

第 3-2 図 心棒の評価モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. 曲げに対する検討

検討用荷重 P による心棒中央の曲げモーメント sM は、以下の式により算定する。

$$sM = 1/4 \times P / N \times sL$$

心棒断面の塑性断面係数 sZ_p は、以下の式により算定する。

$$sZ_p = sD^3 / 6$$

許容限界である終局曲げモーメント sM_p 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。

$$sM_p = \sigma_y \times sZ_p \times 10^{-3}$$

ロ. せん断に対する検討

検討用荷重 P による心棒端部のせん断力 sQ は、以下の式により算定する。

$$sQ = P / N$$

心棒断面の断面積 sA は、以下の式により算定する。

$$sA = \pi \times sD^2 / 4$$

許容限界である終局せん断力 sQ_p 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。

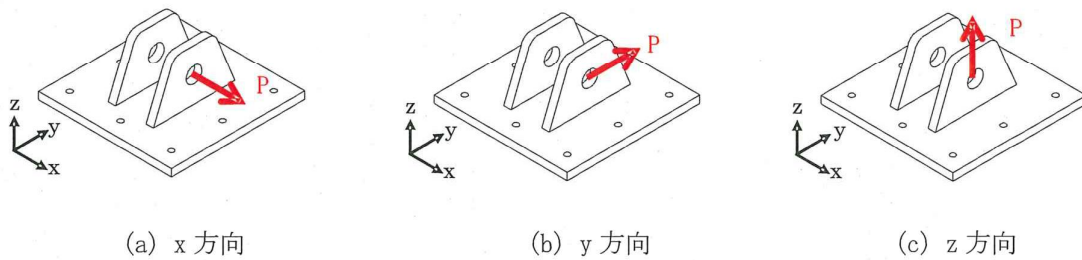
$$sQ_p = \tau_y \times sA$$

b. 心棒有型金物の心棒支持プレートの評価方法

(a) 計算モデル

評価は、検討用荷重 P が心棒支持プレートに対し第 3-3 図に示す x 、 y 、 z 方向に作用する場合について部材断面に生ずる応力を算定し、評価を行う。心棒支持プレ

一トの計算モデルの概要図を第 3-3 図に示す。

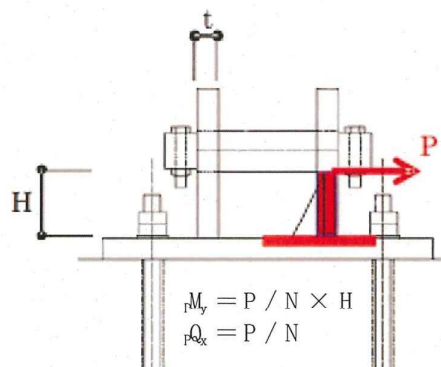


第 3-3 図 心棒支持プレートの計算モデルの概要図

(b) 計算方法

イ. x 方向荷重時の検討

心棒支持プレートに対し、x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を第 3-4 図に示す。



第 3-4 図 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・ 曲げに対する検討

検討用荷重 P による心棒支持プレート脚部の y 軸まわり曲げモーメント ${}_rM_y$ は、以下の式により算定する。

$${}_rM_y = P / N \times H$$

心棒支持プレートの y 軸まわりの塑性断面係数 ${}_rZ_{py}$ は、以下の式により算定する。

$${}_rZ_{py} = {}_rD \times {}_rpt^2 / 4$$

許容限界である心棒支持プレートの y 軸まわりの終局曲げモーメント ${}_rM_{py}$

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。

$${}_pM_{py} = \sigma_y \times {}_pZ_{py} \times 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

検討用荷重 P による心棒支持プレートの x 方向のせん断力 ${}_pQ_x$ は、以下の式により算定する。

$${}_pQ_x = P / N$$

心棒支持プレートの断面積 ${}_pA'$ は、以下の式により算定する。

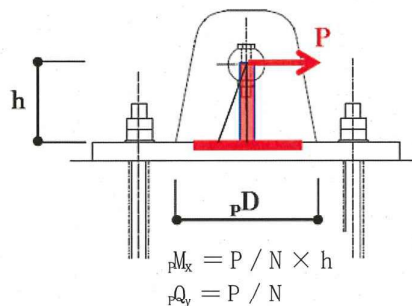
$${}_pA' = ({}_pD' - {}_sD') \times {}_pt$$

許容限界である心棒支持プレートの終局せん断力 ${}_pQ_p$ 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。

$${}_pQ_p = \tau_y \times {}_pA' \times 10^{-3}$$

ロ. y 方向荷重時の検討

心棒支持プレートに対し、y 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を第 3-5 図に示す。



第 3-5 図 y 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P による心棒支持プレート脚部の x 軸まわり曲げモーメント ${}_pM_x$ は、以下の式により算定する。

$${}_pM_x = P / N \times h$$

心棒支持プレートの x 軸まわりの塑性断面係数 ${}_pZ_{px}$ は、以下の式により算定する。

$${}_pZ_{px} = {}_pD^2 \times {}_pt / 4$$

許容限界である心棒支持プレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント ${}_pM_{px}$ 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。

$${}_pM_{px} = \sigma_y \times {}_pZ_{px} \times 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

検討用荷重 P による心棒支持プレートの y 方向のせん断力 ${}_pQ_y$ は、以下の式により算定する。

$${}_pQ_y = P / N$$

心棒支持プレートの断面積 ${}_pA'$ は、以下の式により算定する。

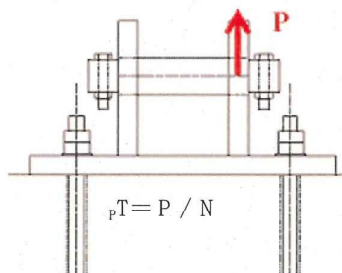
$${}_pA' = ({}_pD' - {}_sD') \times {}_pt$$

許容限界である心棒支持プレートの終局せん断力 ${}_pQ_p$ 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。

$${}_pQ_p = \tau_y \times {}_pA' \times 10^{-3}$$

ハ. z 方向荷重時の検討

心棒支持プレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を第 3-6 図に示す。



第 3-6 図 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・引張に対する検討

検討用荷重 P による心棒支持プレートの引張力 ${}_pT$ は、以下の式により算定する。

$${}_pT = P / N$$

心棒支持プレートの断面積 ${}_pA'$ は、以下の式により算定する。

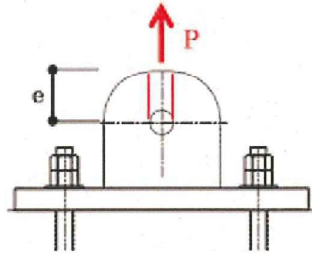
$${}_pA' = ({}_pD' - {}_sD') \times {}_pt$$

許容限界である心棒支持プレートの終局引張力 ${}_pT_p$ 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。

$${}_pT_p = \sigma_y \times {}_pA' \times 10^{-3}$$

・端あきせん断に対する検討

心棒支持プレートの端あきせん断に対する計算モデルの概要図を第 3-7 図に示す。なお、検討用荷重が z 方向に作用する場合は最もプレートの厚みが薄く厳しい結果となるため、z 方向に対し、検討を行う。



第 3-7 図 心棒支持プレートの端あきせん断に対する計算モデルの概要図

検討用荷重 P によるプレート端あきに生ずるせん断力 pQ は、以下の式により算定する。

$$pQ = P / N$$

心棒支持プレートの端あき部断面積 pA_e は、以下の式により算定する。

$$pA_e = 2 \times e \times p_t$$

許容限界である心棒支持プレートの終局端あきせん断力 pQ_p 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。

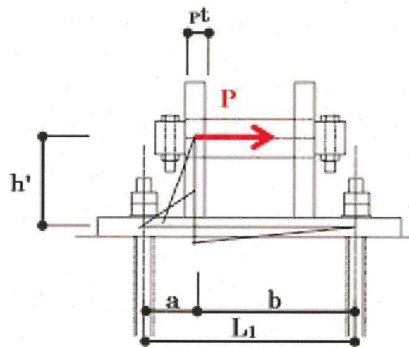
$$pQ_p = \tau_y \times pA_e \times 10^{-3}$$

c. 心棒有型金物のうちベースプレートの評価方法

(a) 計算方法

イ. x 方向荷重時の検討

ベースプレートに対し、x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を第 3-8 図に示す。



$${}_B M_y = P/N \times h' \times b/L_1$$

$${}_B Q_x = {}_B M_y/a$$

第 3-8 図 x 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・ 曲げに対する検討

検討用荷重 P 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。

$${}_B M_y = P / N \times h' \times b / L_1$$

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。

$${}_B Z_{py} = {}_B B_y \times {}_B t^2 / 4$$

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。

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

・ せん断に対する検討

検討用荷重 P 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。

$${}_B Q_x = {}_B M_y / a$$

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。

$${}_B A = {}_B B_y \times {}_B t$$

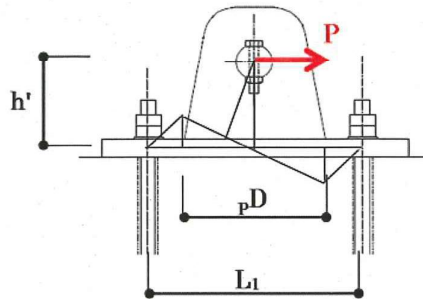
許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_{px}$ は、「鋼構造塑性設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$${}_B Q_{px} = \tau_y \times {}_B A \times 10^{-3}$$

ロ. y 方向荷重時の検討

ベースプレートに対し、y 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

を第 3-9 図に示す。



$${}_B M_x = P / N \times h' / 2$$

$${}_B Q_y = {}_B M_x / \{(L_1 - pD) / 2\}$$

第 3-9 図 y 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

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

$${}_B M_x = P / N \times h' / 2$$

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

$${}_B Z_{px} = {}_B B_x \times {}_B t^2 / 4$$

許容限界であるベースプレートの x 軸まわりの終局曲げモーメント ${}_B M_{px}$ 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。

$${}_B M_{px} = \sigma_y \times {}_B Z_{px} \times 10^{-3}$$

・せん断に対する検討

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

$${}_B Q_y = {}_B M_x / \{(L_y - pD) / 2\}$$

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。

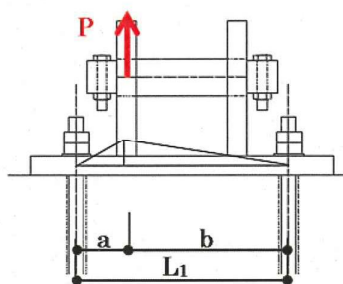
$${}_B A = {}_B B_x \times {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_p$ 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。

$${}_B Q_{py} = \tau_y \times {}_B A \times 10^{-3}$$

ハ. z 方向荷重時の検討

ベースプレートに対し、z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図を第 3-10 図に示す。



$${}_B M_{y_z} = P/N \times ab/L_1$$

$${}_B Q_{x_z} = P/N$$

第 3-10 図 z 方向に荷重が作用した場合の計算モデルの概要図

・曲げに対する検討

検討用荷重 P 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。

$${}_B M_{y_z} = P / N \times ab / L_1$$

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。

$${}_B Z_{py} = {}_B B_y \times {}_B t^2 / 4$$

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。

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

・せん断に対する検討

検討用荷重 P 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。

$${}_B Q_{x_z} = P / N$$

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。

$${}_B A = {}_B B_y \times {}_B t$$

許容限界であるベースプレートの終局せん断力 ${}_B Q_p$ 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。

$${}_B Q_{pz} = \tau_y \times {}_B A \times 10^{-3}$$

(4) 基礎（アンカーボルト）の評価方法

a. 埋め込みアンカーボルトの評価方法

(a) 引張に関する検討

埋め込み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 ${}_B A_e$ は、以下の式により算定する。

$${}_B A_e = {}_A \alpha \times \pi \times {}_A D^2 / 4$$

z 方向の検討用荷重 P 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。

$${}_A T_V = P / (N \times n)$$

x 又は y 方向の検討用荷重 P 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。

$${}_A T_H = P / N \times h' / (7/8 \times d_t) / n'$$

許容限界であるアンカーボルトの降伏により決定される降伏引張耐力 p_{by} は、「鋼構造接合部設計指針」に基づき、以下の式により算定する。

$$p_{by} = {}_B A_e \times F_{by} \times 10^{-3}$$

1 組のアンカーボルトのコンクリートコーン有効水平投影面積を ΣA_c とすると、コーン状破壊により決定される 1 組のアンカーボルトの引抜耐力 T_a は、以下の式により算定する。

$$T_a = \phi_1 \times 0.31 \times \sqrt{F_c} \times \Sigma A_c \times 10^{-3}$$

アンカーボルト 1 本あたりの引抜耐力 T_a' は、以下の式により算定する。

$$T_a' = T_a / n$$

アンカーボルトの引張耐力 P_y は、以下の式により算定する。

$$P_y = \min(p_{by}, T_a')$$

なお、1 組のアンカーボルトのコンクリートコーン有効水平投影面積 ΣA_c は、「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき、下記の計算式を用いて計算する。

イ. 1 本の場合

$$\begin{aligned} A_c &= \pi \left(L_e + \frac{{}_A D}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \pi {}_A D^2 \\ &= \pi \cdot L_e (L_e + {}_A D) \end{aligned}$$

ロ. 4 本の場合

$$\textcircled{1} L_e + \frac{A D}{2} \leq \frac{A a}{2} \text{ のとき}$$

$$A_c = 4\pi \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - \pi_A D^2$$

$$\textcircled{2} \frac{A a}{2} < L_e + \frac{A D}{2} \leq \frac{A a}{\sqrt{2}} \text{ のとき}$$

$$A_c = \left(4\pi - \frac{\theta}{45} \pi + 4 \sin \theta \right) \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - \pi_A D^2$$

$$\text{ただし、} \theta = 2 \cos^{-1} \frac{A a}{2 L_e + A D}$$

$$\textcircled{3} \frac{A a}{\sqrt{2}} < L_e + \frac{A D}{2} \text{ のとき}$$

$$A_c = \left(3\pi - \frac{\theta}{90} \pi + 2 \sin \theta + 2 \cos \theta + 2 \right) \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - \pi_A D^2$$

$$\text{ただし、} \theta = 2 \cos^{-1} \frac{A a}{2 L_e + A D}$$

ハ. 8本の場合

$$\textcircled{1} L_e + \frac{A D}{2} \leq \frac{A a}{2} \text{ のとき}$$

$$A_c = 8\pi \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - 2\pi_A D$$

$$\textcircled{2} \frac{A a}{2} < L_e + \frac{A D}{2} \leq \frac{A a}{\sqrt{2}} \text{ のとき}$$

$$A_c = \left(8\pi - \frac{2\theta}{45} \pi + 8 \sin \theta \right) \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - 2\pi_A D^2$$

$$\text{ただし、} \theta = 2 \cos^{-1} \frac{a}{2 L_e + A D}$$

$$\textcircled{3} \frac{A a}{\sqrt{2}} < L_e + \frac{A D}{2} \leq a \text{ のとき}$$

$$A_c = \left(6\pi - \frac{2\theta + \theta'}{90} \pi + 4 \sin \theta + 2 \sin \theta' + 8 \cos \theta - 2 \cos \theta' + 6 \right) \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - 2\pi_A D^2$$

$$\text{ただし、 } \theta = 2 \cos^{-1} \frac{a}{2L_e + A D}$$

$$\theta' = 2 \cos^{-1} \frac{\sqrt{2}a}{2L_e + A D}$$

④ $a < L_e + \frac{A D}{2}$ のとき

$$A_c = \left(5\pi - \frac{\theta}{45} \pi + 4 \sin \theta + 8 \cos \theta + 8 \right) \left(L_e + \frac{A D}{2} \right)^2 - 2\pi_A D^2$$

$$\text{ただし、 } \theta = 2 \cos^{-1} \frac{a}{2L_e + A D}$$

(b) せん断に関する検討

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

$${}_A Q = P / (N \times n)$$

アンカーボルトのせん断降伏により決定される降伏せん断耐力 q_{by} は、以下の式により算定する。

$$q_{by} = {}_B A_e \times F_{by} / \sqrt{3} \times 10^{-3}$$

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

$$Q_{a2} = \phi_2 \times {}_c \sigma_{qa} \times {}_B A_e \times 10^{-3}$$

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。

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

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

$$Q_{a3} = \phi_3 \times {}_c \sigma_t \times A_{qc} \times 10^{-3}$$

アンカーボルトの降伏せん断耐力 Q_y は、以下の式により算定する。

$$Q_y = \min(q_{by}, Q_{a2}, Q_{a3})$$

(c) 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み合わせ力に対する検定は、以下の式によって行う。

$$(\text{A}T_H / P_{by})^2 + (\text{A}Q / q_{by})^2 \leq 1$$

b. 接着系アンカーボルトの評価方法

(a) 引張に関する検討

接着系アンカーボルトの降伏引張耐力に関する検討は以下による。

アンカーボルトの有効断面積 B_{Ae} は、以下の式により算定する。

$$B_{Ae} = A \alpha \times \pi \times d_a^2 / 4$$

z 方向の検討用荷重 P 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。

$$A_{T_V} = P / (N \times n)$$

x 又は y 方向の検討用荷重 P 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。

$$A_{T_H} = P / N \times h' / (7/8 \times d_t) / n'$$

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

$$P_{a1} = \phi_1 \times f_t \times B_{Ae} \times 10^{-3}$$

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

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

接着系アンカーボルトにおける許容付着応力度は以下の式により算定する。

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

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

$$\alpha_n : 0.5 \times (C_n / L_e) + 0.5$$

$$L_e = L - d_a$$

$$L_{ce} = L_e - 2d_a$$

ここで、

$(C_n / L_e) \geq 1.0$ の場合は $(C_n / L_e) = 1.0$ 、 $L_e \geq 10d_a$ の場合は $L_e = 10d_a$ とする。

なお、 C_n は最も小さい寸法となる 3 面までを考慮する。

アンカーボルトの許容耐力 P_a は、以下の式により算定する。

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

(b) せん断に関する検討

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

$${}_A Q = P / (N \times n)$$

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

$$Q_{a1} = \phi_1 \times {}_s \sigma_{qa} \times {}_B A_e \times 10^{-3}$$

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

$$Q_{a2} = \phi_2 \times {}_c \sigma_{qa} \times {}_B A_e \times 10^{-3}$$

せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影断面積 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。

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

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

$$Q_{a3} = \phi_3 \times {}_c \sigma_t \times A_{qc} \times 10^{-3}$$

アンカーボルトの許容せん断力 Q_a は、以下の式により算定する。

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

(c) 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わ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。

$$({}_A T_H / P_a)^2 + ({}_A Q / Q_a)^2 \leq 1$$

4. 評価条件

4.1 送水車 (4A) の評価条件

送水車 (4A) の固縛装置は 2 組で構成する。連結材、連結補助材、固定材及び基礎 (アンカーボルト) の評価条件をそれぞれ第 4-1 表～第 4-3 表に示す。

第 4-1 表 連結材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	q (N/m ²)	G (—)	C (—)	A (m ²)	n (本)
連結材	JIS規格ラウンドス リング ロックスリングソフ ターTN TN型 20ℓ用	40 (注)	6,100	1.0	1.2	25.3	2

(注) 使用基準はJIS B 8811によるものとする。

第 4-2 表 連結補助材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	q (N/m ²)	G (—)	C (—)	A (m ²)	n (本)
連結補助 材	JIS規格シャックル t40 BBシャックル (S級)	40	6,100	1.0	1.2	25.3	2

第 4-3 表 固定材及び基礎 (アンカーボルト) の評価条件 (1/3)

評価対象	q (N/m ²)	G (—)	C (—)	A (m ²)	設計基準強度 F _c (N/mm ²)	固定材の組数 N(組)
固定材及び基礎 (ア ンカーボルト)	6,100	1.0	1.2	25.3	21	2

評価対象	部位	材料	温度条件 (°C)	基準強度 F(N/mm ²)	短期許容 曲げ応力度 f _b (N/mm ²)	短期許容 引張応力度 f _t (N/mm ²)
固定材及び基 礎 (アンカー ボルト)	心棒	SS400	40	215	215	215
	心棒支持プレート	SN400B	40	235	235	235
	ベースプレート	SN400B	40	235	235	235
	アンカーボルト	SS400	40	235	235	235

第4-3表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(2/3)

評価対象	心棒直径 sD (mm)	心棒の支持点間距離 sL (mm)	心棒支持プレート板厚 p_t (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	75	150	36

評価対象	心棒支持プレート脚部せい pD (mm)	心棒支持プレート有効せい pD' (mm)	心棒穴径 sD' (mm)	心棒支持プレート端あき e (mm)	心棒支持プレート跳ね出し長さ h (mm)	ベースプレート上面から心棒下端までの長さ H (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	400	300	78	125	125	87.5

評価対象	ベースプレート板厚 B_t (mm)	ベースプレートの x 方向幅 B_x (mm)	ベースプレートの y 方向幅 B_y (mm)	α_1 (-)	α_2 (-)	α_3 (-)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	36	650	650	1.0	0.76	0.76

評価対象	両端のアンカーボルト芯間距離 L_1 (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの短いほうの距離 a (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの長いほうの距離 b (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 d_t (mm)	心棒支持プレートのベースプレート板厚芯からの跳ね出し長さ h' (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	500	157	343	575	143

第 4-3 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(3/3)

評価対象	アンカーボルトの軸径 ΔD (mm)	一組の固定金物におけるアンカーボルト本数 n (本)	一組の固定金物における引っ張り側アンカーボルト本数 n' (本)	アンカーボルトの埋込み長さ L (mm)	アンカーボルトのピッチ Δa (mm)	アンカーボルトのへりあき c (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	24	8	3	300	250	500

4.2 送水車（4B）の評価条件

送水車の固縛装置については、2組で構成する。連結材の評価条件を第4-4表、連結補助材の評価条件を第4-5表、固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件を第4-6表に示す。

第4-4表 連結材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)
連結材	JIS規格ラウンドスリング ロックスリングソフター E型 5t用	40 (注)	100	85	2.0	2.0	2.0

m (kg)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)	g (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	n (本)
8,745	25.3	21.2	7.4	9.80665	1.22	2

(注) 使用基準はJIS B 8811によるものとする。

第4-5表 連結補助材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)
連結補助材	JIS規格シャックル t22 BBシャックル(S級)	40	100	85	2.0	2.0	2.0

m (kg)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	A_3 (m ²)	g (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	n (本)
8,745	25.3	21.2	7.4	9.80665	1.22	2

第 4-6 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(1/2)

評価対象	V_D (m/s)	V_{Rm} (m/s)	C_{D1} (-)	C_{D2} (-)	C_{D3} (-)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	100	85	2.0	2.0	2.0

m (kg)	A_1 (m^2)	A_2 (m^2)	A_3 (m^2)	g (m/s^2)	ρ (kg/m^3)	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	固定材の組数 N(組)
8,745	25.3	21.2	7.4	9.80665	1.22	21	2

評価対象	部位	材料	温度条件 ($^{\circ}C$)	基準強度 F (N/mm^2)	短期許容 曲げ応力度 f_b (N/mm^2)	短期許容 引張応力度 f_t (N/mm^2)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	心棒	SS400	40	215	215	215
	心棒支持プレート	SN400B	40	235	235	235
	ベースプレート	SN400B	40	235	235	235
	アンカーボルト	SS400	40	235	235	235

評価対象	心棒直径 sD (mm)	心棒の支持点間距離 sL (mm)	心棒支持プレート板厚 p_t (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	75	150	32

評価対象	心棒支持プレート脚部 せい pD (mm)	心棒支持プレート有効 せい pD' (mm)	心棒穴径 sD' (mm)	心棒支持プレート 端あき e (mm)	心棒支持プレート跳ね 出し長さ h (mm)	ベースプレート上面から心棒下端 までの長さ H (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	574	574	78	100	125	87.5

第 4-6 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(2/2)

評価対象	ベースプレート 板厚 t (mm)	ベースプレートの x 方向幅 B_x (mm)	ベースプレートの y 方向幅 B_y (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	36	840	600

評価対象	両端のアンカーボルト芯間距離 L_1 (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの短いほうの距離 a (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯までの長いほうの距離 b (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 d_t (mm)	心棒支持プレートのベースプレート板厚芯からの跳ね出し長さ h' (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	x 方向 320 y 方向 480	69	251	540	143

評価対象	アンカーボルトの軸径 ϕD (mm)	一組の固定金物におけるアンカーボルト本数 n (本)	一組の固定金物における引張側アンカーボルト本数 n' (本)	アンカーボルトの長さ L (mm)	アンカーボルトの有効埋込み長さ L_e (mm)	アンカーボルトのピッチ Aa (mm)	アンカーボルトのへりあき c (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	24	8	4	720	570	200	540

4.3 可搬型ホース（送水車用）の評価条件

可搬型ホース（送水車用）の固縛装置は3組で構成する。連結材、連結補助材、固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件をそれぞれ第4-7表～第4-9表に示す。

第4-7表 連結材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)	n (本)
連結材	JIS規格ラウンドス リング ロックスリングソフ ターTN TN型 20t用	40 (注)	6,100	1.0	1.2	29.3	3

(注) 使用基準はJIS B 8811によるものとする。

第4-8表 連結補助材の評価条件

評価対象	仕様	温度条件 (°C)	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)	n (本)
連結補助 材	JIS規格シャックル t40 BBシャックル (S級)	40	6,100	1.0	1.2	29.3	3

第4-9表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(1/3)

評価対象	q (N/m ²)	G (-)	C (-)	A (m ²)	設計基準強度 F _c (N/mm ²)	固定材の組数 N(組)
固定材及び基礎（ア ンカーボルト）	6,100	1.0	1.2	29.3	21	3

評価対象	部位	材料	温度条件 (°C)	基準強度 F(N/mm ²)	短期許容 曲げ応力度 f _b (N/mm ²)	短期許容 引張応力度 f _t (N/mm ²)
固定材及び基 礎（アンカー ボルト）	心棒	SS400	40	215	215	215
	心棒支持プレート	SN400B	40	235	235	235
	ベースプレート	SN400B	40	235	235	235
	アンカーボルト	SS400	40	235	235	235

第4-9表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件(2/3)

評価対象	心棒直径 sD (mm)	心棒の支持点間距離 sL (mm)	心棒支持プレート板厚 p_t (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	75	150	36

評価対象	心棒支持プレート脚部 せい pD (mm)	心棒支持プレート有効 せい pD' (mm)	心棒穴径 sD' (mm)	心棒支持プレート 端あき e (mm)	心棒支持プレート跳ね 出し長さ h (mm)	ベースプレート上面から心棒下端 までの長さ H (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	400	300	78	125	125	87.5

評価対象	ベースプレート 板厚 B_t (mm)	ベースプレートの x 方向幅 B_x (mm)	ベースプレートの y 方向幅 B_y (mm)	α_1 (-)	α_2 (-)	α_3 (-)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	36	650	650	1.0	0.76	0.76

評価対象	両端のアンカーボルト 芯間距離 L_1 (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯 までの短いほう の距離 a (mm)	端部アンカーボルト芯から心棒支持プレート芯 までの長いほう の距離 b (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 d_t (mm)	心棒支持プレートのベースプレート板厚芯からの跳ね出し長さ h' (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	500	157	343	575	143

第 4-9 表 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価条件 (3/3)

評価対象	アンカーボルトの軸径 ΔD (mm)	一組の固定金物におけるアンカーボルト本数 n (本)	一組の固定金物における引っ張り側アンカーボルト本数 n' (本)	アンカーボルトの埋込み長さ L (mm)	アンカーボルトのピッチ Δa (mm)	アンカーボルトのへりあき c (mm)
固定材及び基礎（アンカーボルト）	24	8	3	300	250	500

5. 強度評価結果

5.1 送水車（4A）の評価結果

(1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を第 5-1 表に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-1 表 連結材の評価結果

評価対象	連結材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	92.4	1,176.7	12.73

(2) 連結補助材の評価結果

連結補助材の評価結果を第 5-2 表に示す。連結補助材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-2 表 連結補助材の評価結果

評価対象	連結補助材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結補助材	92.4	784.5	8.49

(3) 固定材及び基礎 (アンカーボルト) の評価結果

固定材及び基礎 (アンカーボルト) の評価結果をそれぞれの評価対象に対して、第5-3、4、5及び6表に示す。各評価対象に対して、いずれも許容限界以下であり、かつ2倍以上の余裕を有している。

第5-3表 心棒の評価結果

評価対象	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	余裕度
心棒	3,465	16,629	92.4	603	4.79

第5-4表 心棒支持プレートの評価結果

評価対象	x方向曲げ モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y方向 曲げ モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z方向引張 力(kN)	許容限界 (kN)	z方向端あき せん断力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	余裕度
心棒支持プレート	3,085	33,501	92.4	1,192	11,550	372,240	92.4	1,192	92.4	2,065	92.4	1,343	4.14

第5-5表 ベースプレートの評価結果

評価対象	x方向曲げ モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y方向曲げ モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z方向曲げ モーメント (kN)	許容限界 (kN)	z方向せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	余裕度
ベースプレート	9,064	54,440	58	3,492	6,607	54,440	132	3,492	9,552	54,440	92.4	3,492	5.47

第5-6表 アンカーボルトの評価結果

評価対象	引張力 (kN)	許容限界 (kN)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力+せん断力	許容限界	余裕度
アンカーボルト	11.6	66.2	11.6	55.8	0.051	1	4.81

上記の(1)~(3)の評価結果より、すべての固縛構成要素について、裕度2倍以上を確保していることから固縛装置全体として2倍以上の余裕を有していることを確認した。

5.2 送水車（4B）の評価結果

(1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を第 5-7 表に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-7 表 連結材の評価結果

評価対象	連結材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	24.1	294.1	12.20

(2) 連結補助材の評価結果

連結補助材の評価結果を第 5-8 表に示す。連結補助材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-8 表 連結補助材の評価結果

評価対象	連結補助材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結補助材	24.1	245.1	10.17

(3) 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価結果

固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価結果をそれぞれの評価対象に対して、第5-9、10、11及び12表に示す。各評価対象に対して、いずれも許容限界以下であり、かつ2倍以上の余裕を有している。

第5-9表 心棒の評価結果

評価対象	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	余裕
心棒	904	16,529	24.1	603	18.59

第5-10表 心棒支持プレートの評価結果

評価対象	x方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z方向引張り (kN)	許容限界 (kN)	z方向端あき せん断力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	余裕
	心棒支持プレート	2,109	37,985	24.1	2,368	3,012	681,356	24.1	2,368	24.1	4,102	24.1	955

第5-11表 ベースプレートの評価結果

評価対象	x方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z方向曲げ モーメント (kN)	許容限界 (kN)	z方向せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	余裕
	ベースプレート	2,703	50,252	40	3,223	1,723	70,353	37	4,513	1,304	50,252	24.1	3,223

第5-12表 アンカーボルトの評価結果

評価対象	引張り (kN)	許容限界 (kN)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張り+せん断力	許容限界	余裕
アンカーボルト	3.1	87.7	3.1	50.6	0.004	1	16.32

上記の(1)～(3)の評価結果より、すべての固縛構成要素について、裕度2倍以上を確保していることから固縛装置全体として2倍以上の余裕を有していることを確認した。

5.3 可搬型ホース（送水車用）の評価結果

(1) 連結材の評価結果

連結材の評価結果を第 5-13 表に示す。連結材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-13 表 連結材の評価結果

評価対象	連結材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結材	71.3	1,176.7	16.50

(2) 連結補助材の評価結果

連結補助材の評価結果を第 5-14 表に示す。連結補助材に作用する荷重は許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-14 表 連結補助材の評価結果

評価対象	連結補助材に作用する荷重 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
連結補助材	71.3	784.5	11.00

(3) 固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価結果

固定材及び基礎（アンカーボルト）の評価結果をそれぞれの評価対象に対して、第 5-15、16、17 及び 18 表に示す。各評価対象に対して、いずれも許容限界以下であり、かつ 2 倍以上の裕度を有している。

第 5-15 表 心棒の評価結果

評価対象	曲げモーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
心棒	2,673	16,629	71.3	603	6.22

第 5-16 表 心棒支持プレートの評価結果

評価対象	x 方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x 方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y 方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y 方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z 方向引張 力 (kN)	許容限界 (kN)	z 方向端あき せん断応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	裕度
	心棒支持プレート	6,237	33,501	71.3	1,192	8,910	372,240	71.3	1,192	71.3	2,065	71.3	1,343

第 5-17 表 ベースプレートの評価結果

評価対象	x 方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	x 方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	y 方向 モーメント (kN・mm)	許容限界 (kN・mm)	y 方向 せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	z 方向曲げ モーメント (kN)	許容限界 (kN)	z 方向せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	裕度
	ベースプレート	6,993	54,440	45	3,492	5,096	54,440	102	3,492	7,677	54,440	71.3	3,492

第 5-18 表 アンカーボルトの評価結果

評価対象	引張力 (kN)	許容限界 (kN)	せん断力 (kN)	許容限界 (kN)	引張力+せん断力	許容限界	裕度
アンカーボルト	8.91	66.2	8.91	55.8	0.035	1	6.25

上記の(1)～(3)の評価結果より、すべての固縛構成要素について、裕度 2 倍以上を確保していることから固縛装置全体として 2 倍以上の裕度を有していることを確認した。