

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-08 改 09
提出年月日	2022年11月24日

浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料

2022年11月

中国電力株式会社

補足説明資料目次

今回提出範囲：

1. 浸水防護施設の設計における考慮事項
 - 1.1 津波と地震の組合せで考慮する荷重
 - 1.2 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定
 - 1.3 津波防護に関する施設の機能設計・構造強度設計に係る許容限界
 - 1.4 津波防護施設の強度計算における津波荷重，余震荷重及び漂流物衝突荷重の組合せ
 - 1.5 浸水防護施設の評価における漂流物衝突荷重，風荷重及び積雪荷重の設定
 - 1.6 津波波圧の算定に用いた規格・基準類の適用性
 - 1.7 浸水防護施設のアンカーボルトの設計
 - 1.8 津波防護施設の設計における評価対象断面の選定
 - 1.9 強度計算における津波時及び重畳時の荷重作用状況
 - 1.10 耐震及び耐津波設計における許容限界
 - 1.11 強度計算に用いた規格・基準類の適用性
 - 1.12 津波に対する止水性能を有する施設の評価
2. 浸水防護施設の耐震，強度計算に関する補足説明
 - 2.1 防波壁に関する補足説明
 - 2.2 防波壁通路防波扉に関する補足説明
 - 2.3 1号機取水槽流路縮小工に関する補足説明
 - 2.4 浸水防止設備に関する補足説明
 - 2.5 津波監視設備に関する補足説明
 - 2.6 漂流防止装置に関する補足説明
 - 2.7 強度評価における鉛直方向荷重の考え方
 - 2.8 津波の流入防止に係る津波バウンダリとなる設備の評価

2. 浸水防護施設の耐震，強度計算に関する補足説明

今回提出範囲：

2.6 漂流防止装置に関する補足説明

2.6.1 漂流防止装置の耐震性についての計算書に関する補足説明

2.6.2 漂流防止装置の強度計算書に関する補足説明

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	構成要素の構造計画	4
2.4	評価方針	5
2.5	適用規格・基準等	6
3.	強度評価	8
3.1	記号の定義	8
3.2	評価対象部位	10
3.3	荷重及び荷重の組合せ	11
3.3.1	荷重の設定	11
3.3.2	荷重の組合せ	12
3.4	許容限界	13
3.5	評価方法	15
4.	評価条件	27
5.	評価結果	28

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に示すとおり、漂流防止装置が燃料輸送船及びLLW輸送船（以下「燃料等輸送船」という。）の係留索の耐力（以下「係留力」という。）に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

燃料等輸送船は、来襲までに時間的余裕がある津波の場合は緊急退避するが、来襲までに時間的余裕がない津波の場合は漂流防止装置に係留することとなる。したがって、漂流防止装置が燃料等輸送船による係留力に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

漂流防止装置の位置を図 2.1-1 に示す。

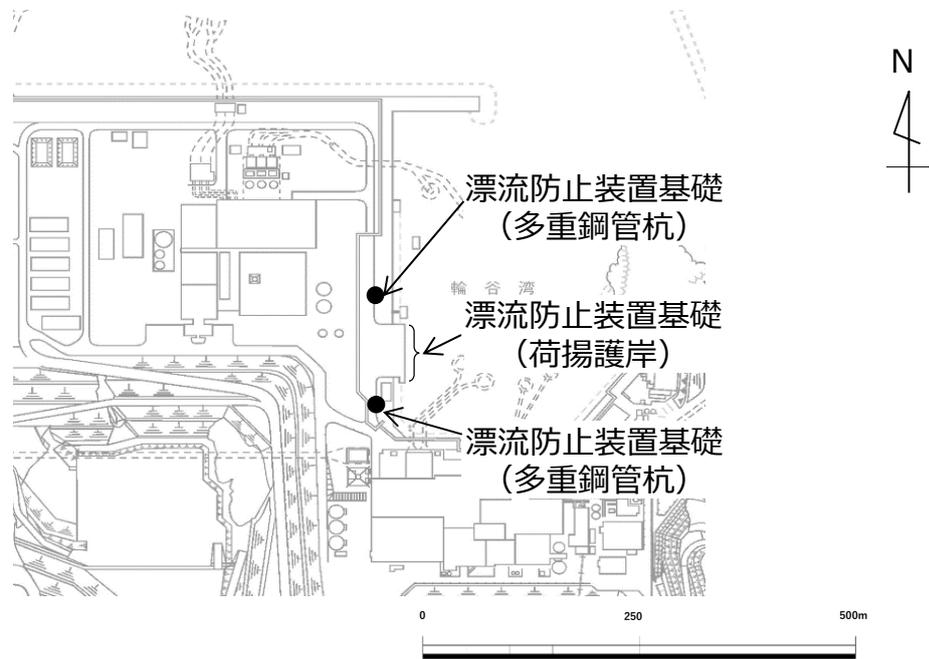


図 2.1-1 漂流防止装置位置

2.2 構造概要

漂流防止装置は、燃料等輸送船の係留索を固定材である係船柱と接続し、係船柱と基礎をアンカーボルトで固定する構造である。漂流防止装置の概要図を図 2.2-1 に示す。

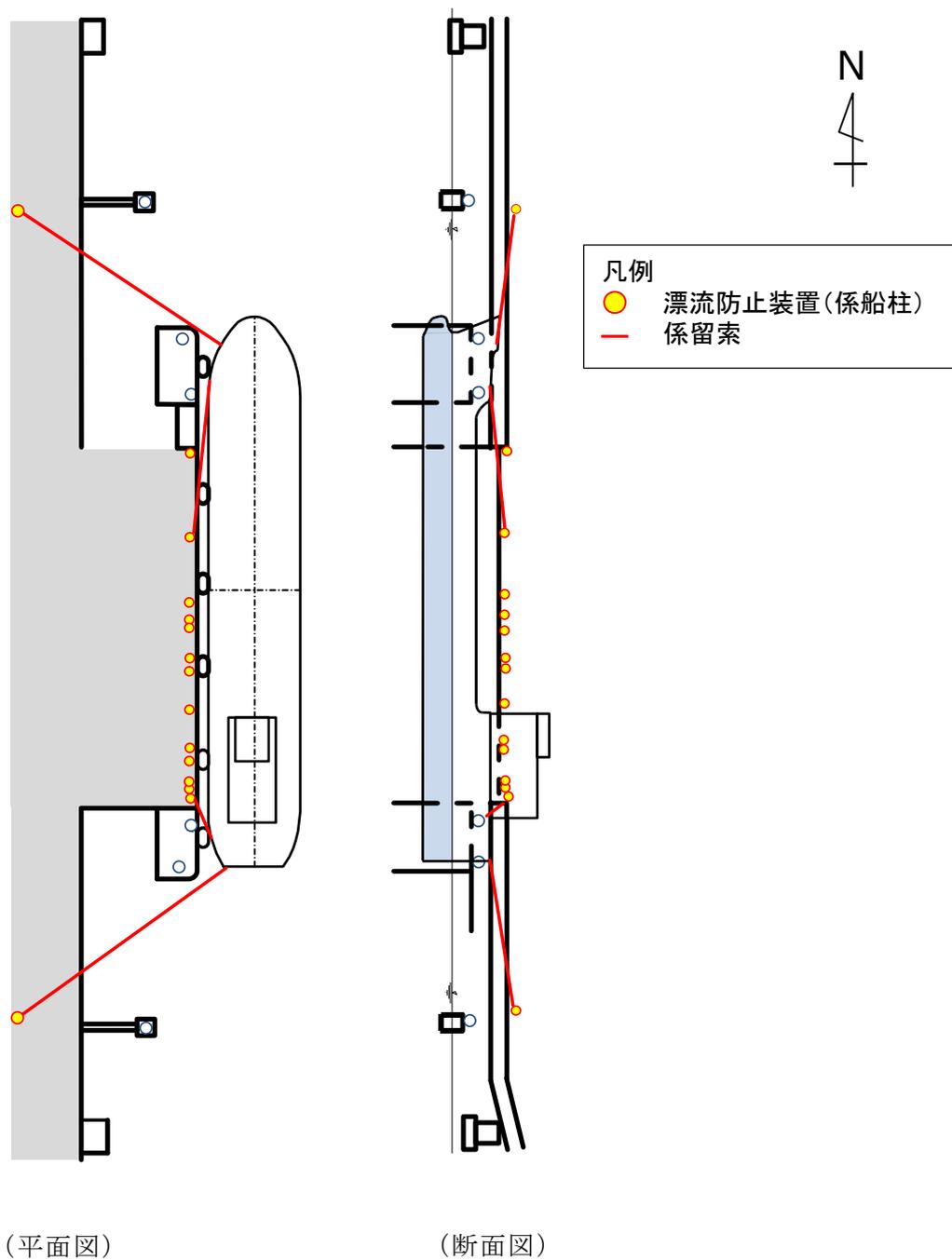


図 2.2-1 漂流防止装置の概要図

2.3 構成要素の構造計画

漂流防止装置の構造図を図 2.3-1 に示す。

漂流防止装置は、係船柱、アンカーボルト及びアンカー板から構成される。

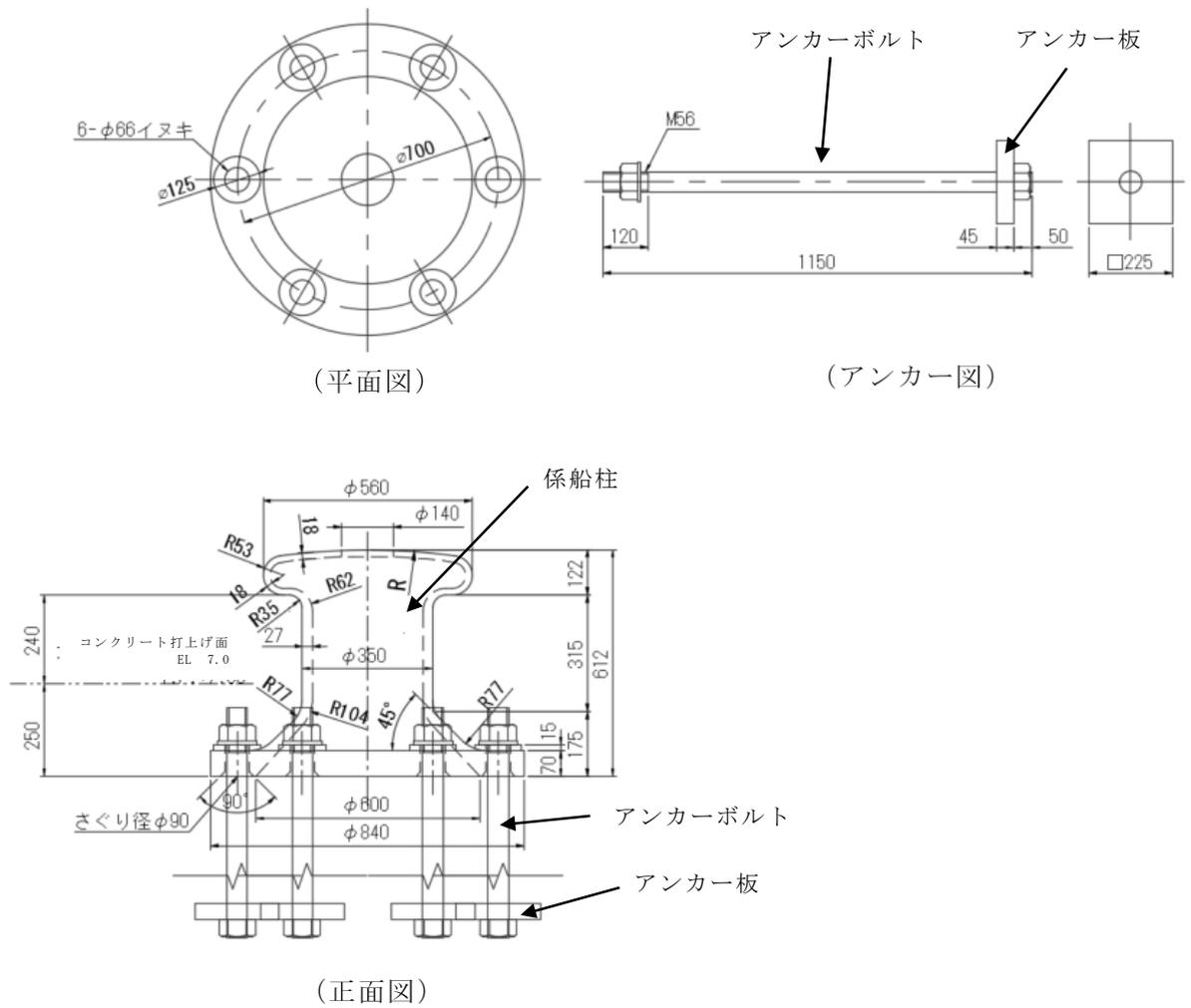


図 2.3-1 漂流防止装置の構造図

2.4 評価方針

漂流防止装置の強度評価は、係留力が係留索を介して漂流防止装置に作用することにより評価対象部位に生ずる応力が「3.4 許容限界」に収まることを「3.5 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。

漂流防止装置の強度評価フローを図 2-4 に示す。

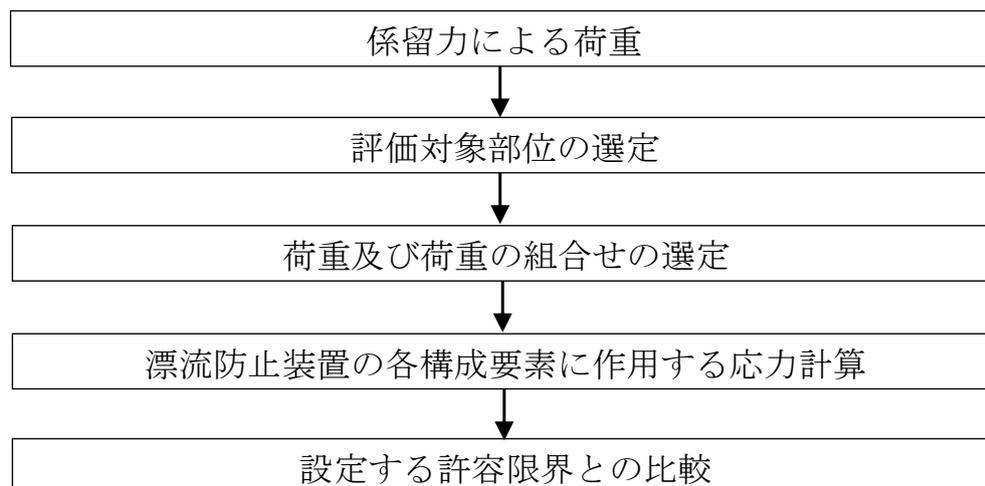


図 2.4-1 漂流防止装置の強度評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・港湾技研資料 NO, 102 けい船柱の標準設計（案）（運輸省港湾技術研究所，1970年）
- ・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改訂）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・港湾構造物標準設計（第1集）（（社）日本港湾協会，1971年）
- ・機械工学便覧 改訂第6版（（社）日本機械学会編，1977年）

表 2.5—1 適用する企画，基準類

項目		適用する規格，基準類	備考
使用材料及び 材料定数		・コンクリート標準示方書[構造性能照 査編]((社) 土木学会，2002 年制 定)	—
荷重及び荷重の 組合せ		・港湾構造物標準設計 (第 1 集) ((社) 日本港湾協会，1971 年)	永久荷重+偶発荷重+従たる 変動荷重の適切な組合せを検 討。
許容 限界	係船柱	・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会，2005 年改訂) ・ J I S G 5 1 0 1 炭素鋼鋳鋼品	曲げ軸力照査は，発生応力度 が，許容応力度以下であるこ とを確認。
	アンカー ボルト	・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，2010 年改定)	引張・せん断力照査は，発生応 力度が，許容応力度以下であ ることを確認。
	アンカー板	・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，2010 年改定)	曲げ軸力照査は，発生応力度 が，許容応力度以下であるこ とを確認。
	コンクリー ト	コンクリート標準示方書[構造性能照査 編]((社) 土木学会，2002 年制定)	支圧力照査，せん断力照査は， 接地圧が極限支持力度以下で あることを確認。

3. 強度評価

3.1 記号の定義

漂流防止装置の強度評価に用いる記号を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 (1) 漂流防止装置の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
P	N	係留力
σ_s	N/mm ²	係船柱の胴部縁応力度
M_{sa}	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント
Z_{sa}	mm ³	係船柱の断面係数
P_v	N	係留力の鉛直成分
A_{sa}	mm ²	係船柱の断面積
σ_{c1}	N/mm ²	底板下面のコンクリートの支圧応力度
R_1	mm	中心軸から底板端までの距離
y	mm	中心軸と中立軸の距離
n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比
G_s	mm ³	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
G_c	mm ³	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント
σ_{c2}	N/mm ²	底板前面のコンクリートの支圧応力度
P_H	N	係留力の水平成分
μ	—	底板とコンクリートの摩擦係数
P_{vc}	N/mm ²	コンクリートの支圧力 ($\approx 0.7 \times P_H$)
H_1	mm	底板厚さ
σ_{s2}	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度
R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離
τ_s	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度
N	本	アンカーボルトの本数
ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径
p	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に係留力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重
ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径
σ_{st}	N/mm ²	アンカー板の応力度
b	mm	ナット二面幅

表 3.1-1 (2) 漂流防止装置の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
a	mm	アンカー板幅
t	mm	アンカー板厚
τ_c	N/mm ²	アンカー板コンクリートのせん断応力度
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ

3.2 評価対象部位

漂流防止装置の評価対象部位は「2.2 構造計画」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

漂流防止装置に生じる係留力に伴う荷重は係船柱、アンカーボルト及びアンカー板を介して基礎に伝達されることから、評価対象部位を係船柱、アンカーボルト及びアンカー板とする。評価対象部位を図 3.2-1 に示す。

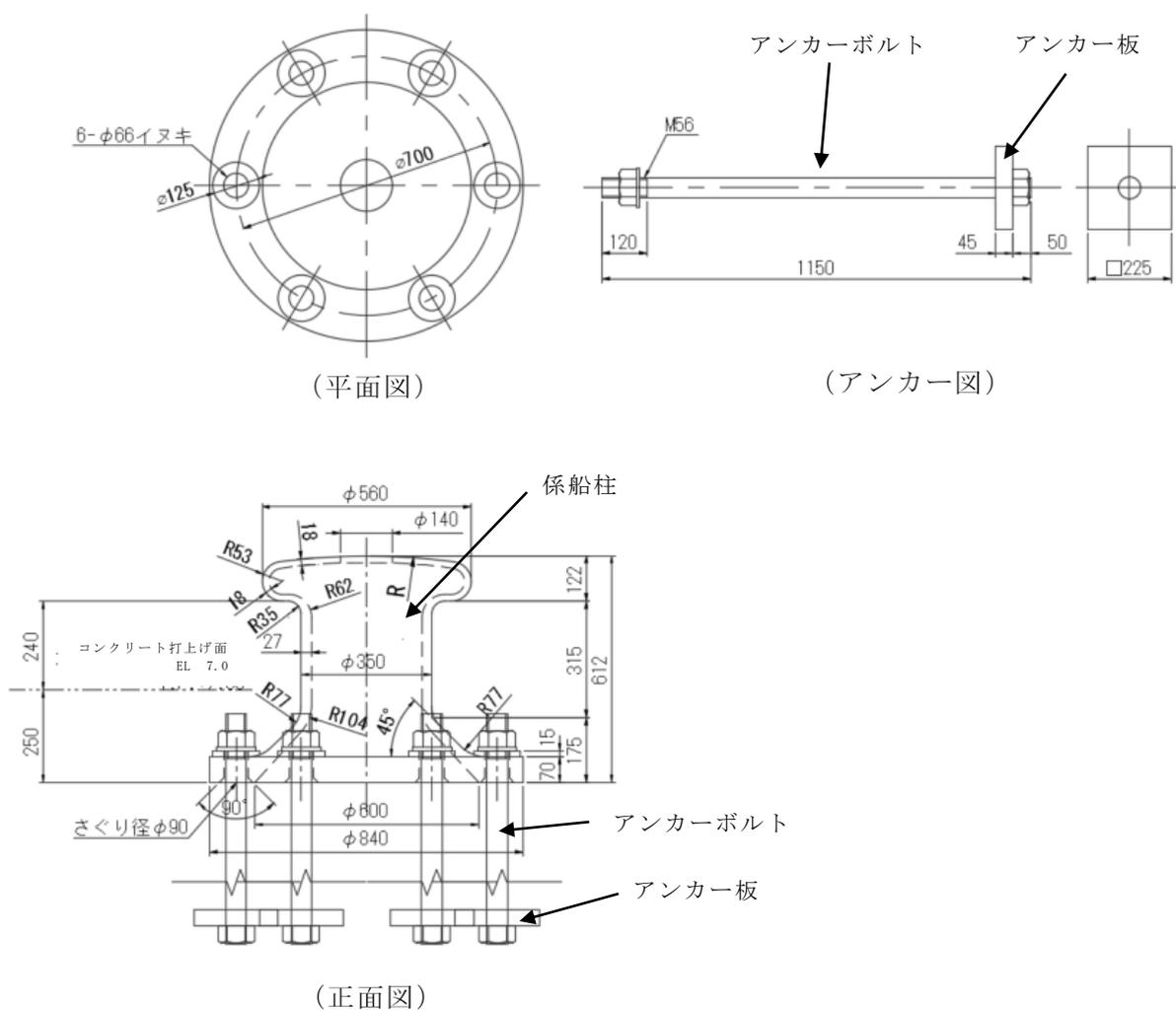


図 3.2-1 評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」の「4.1 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踏まえて設定する。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 係留力 (P)

係留力として、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波4）を対象とした津波条件から設定される燃料等輸送船の流圧力に対する荷重を考慮する。

係留力の作用イメージを図 3.3.1-1 に示す。

係留索を水平より上向きに θ の角度で引っ張る時、漂流防止装置にかかる力は係留力 P について水平方向に $P \cdot \cos \theta$ 、中央鉛直上方向に $P \cdot \sin \theta$ の力に分解できるが、「港湾構造物標準設計（第1集）（（社）日本港湾協会，1971年）」によると、直柱では胴部上端に係留力 P の大きさの水平力，中央鉛直方向上向きに $P/2$ の力を作用させることとされていることを用いる。

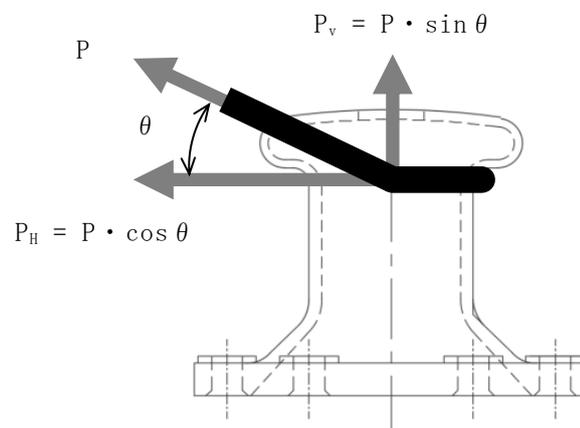


図 3.3.1-1 係留力の作用イメージ

3.3.2 荷重の組合せ

漂流防止装置の強度評価に用いる荷重としては係留力Pのみを考慮し、その構造から風荷重及び積雪荷重の影響は考慮しない。

余震荷重は、余震の最大水平加速度（410cm/s²）が生じると仮定して余震荷重を算定すると、下記のとおりとなり、係留力（250000N）に対して余震荷重の割合が十分に小さくなることを確認した。

余震荷重による水平慣性力

$$F = m \cdot a = 360 \text{ kg} \times (410/100) \text{ m/s}^2 = 1476 \text{ N}$$

（m：係船柱の質量 360kg, a：水平加速度 410cm/s²）

3.4 許容限界

(1) 使用材料

漂流防止措置を構成する係船柱、アンカーボルト及びアンカー板の使用材料を表 3.4-1 に示す。

また、漂流防止装置の基礎で使用するコンクリートは設計基準強度 24N/mm^2 とする。

表 3.4-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
係船柱	SC450	—
アンカーボルト	SS400	M56×1150
アンカー板	SS400	□225×t45

(2) 許容限界

a. 係船柱

係船柱の許容応力度は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改訂）」及び「JIS G 5101 炭素鋼鋳鋼品」を踏まえて表 3.4-2 の値とする。

表 3.4-2 係船柱の許容応力度

材質	許容応力度 (N/mm^2)	
	曲げ・引張	せん断
SC450	137	—

b. アンカーボルト及びアンカー板

アンカーボルト及びアンカー板の許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した，表 3.4-3 の値とする。

表 3.4-3 アンカーボルト及びアンカー板の許容応力度

材質		許容応力度 (N/mm ²)	
		曲げ・引張	せん断
SS400	$t \leq 40$	156	90
	$40 < t \leq 100$	143	82

c. 漂流防止装置の基礎

漂流防止装置の基礎の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年）に基づき，表 3.4-4 に示す許容応力度とする。

表 3.4-4 漂流防止装置の基礎の許容応力度

材質	許容応力度 (N/mm ²)	
	支圧	せん断
コンクリート（設計基準強度 24N/mm ² ）	11.7	0.45

3.5 評価方法

当該漂流防止装置を構成する係船柱，アンカーボルト及びアンカー板に発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 係船柱

係船柱の応力度の評価対象を図 3.5-1 に示す。

a. 係船柱

係船柱に生じる応力は，係船柱を片持ち梁として次式により算出し，係船柱の許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_s = M_{s a} / Z_{s a} + P_v / A_{s a}$$

σ_s : 係船柱の胴部縁応力度 (N/mm²)

$M_{s a}$: 係船柱の胴部転倒モーメント (N・mm)

$Z_{s a}$: 係船柱の断面係数 (mm³)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

$A_{s a}$: 係船柱の断面積 (mm²)

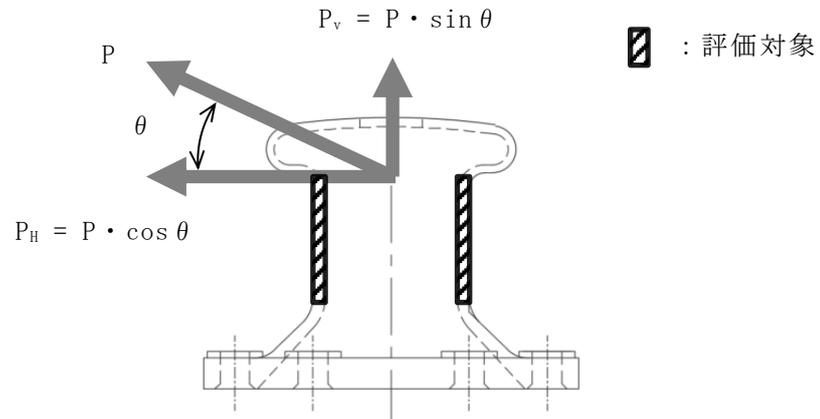


図 3.5-1 係船柱の応力度の評価対象

b. 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じる底板下面のコンクリートの支圧応力度を算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3.5-2 に、アンカーボルト及びコンクリートの応力計算の考え方を図 3.5-3 に示す。

$$\sigma_{c1} = P_v \cdot (R_1 - y) / (n \cdot G_s - G_c)$$

σ_{c1} : 底板下面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

R_1 : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

G_s : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

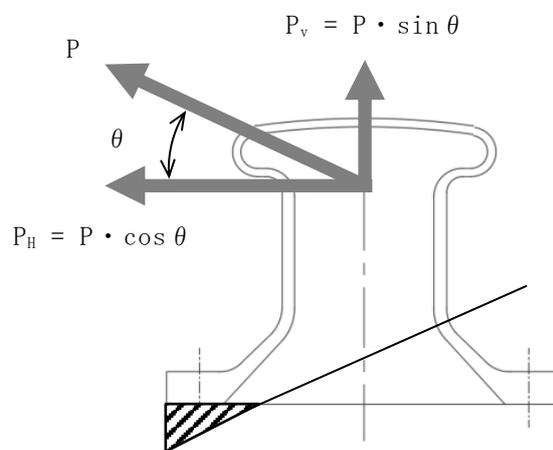


図 3.5-2 係船柱底板下面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

(2) アンカボルトの引張応力およびコンクリートの最支圧応力の計算

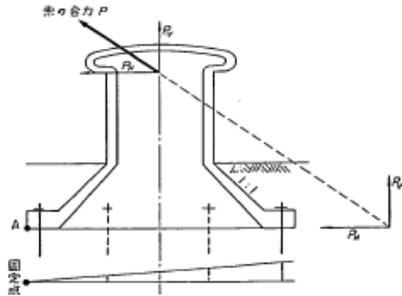


図 6.6 アンカボルトの転倒抵抗モーメントの従来の計算法

底板には偏心外力 P_y により転倒モーメントが生ずるが、これに抵抗するモーメントの計算にあたっては、従来は図 6.6 のように底板端部の A 点を固定点とした回転を考えて、アンカボルトの径を決めているものが多い。しかし、この解法は理論的にもあきらかに誤りであり、また実験により実際の中立軸が対称軸近くにあることが確かめられた今、非常に危険側の設計である。そこで、抵抗モーメントの計算にあたっては、鉄筋コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形ばりの計算式を応用する。

図 6.7 においてコンクリートに作用する支圧応力度の合力 P_{yc} およびアンカボルトの全引張力 P_{ys} は、コンクリートおよびアンカボルトの中立軸に対する断面 1 次モーメントをそれぞれ G_c 、 G_s とすると、

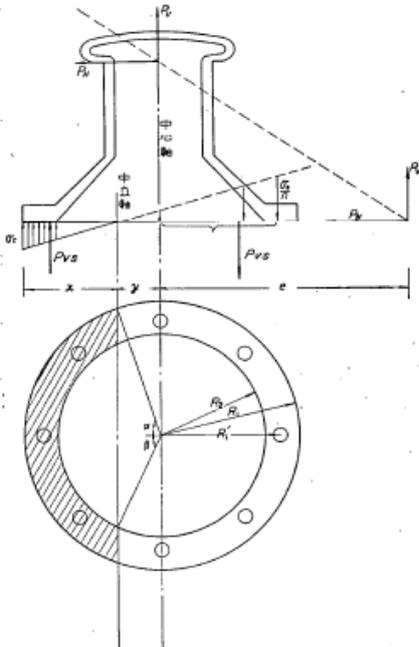


図 6.7 コンクリートの圧縮を考慮したアンカボルトの転倒抵抗モーメントの計算法

$$P_{yc} = \frac{\sigma_c}{x} G_c \quad (6.8)$$

$$P_{ys} = \frac{n\sigma_c}{x} G_s \quad (6.9)$$

ここに σ_c : コンクリート線応力

$$G_c = \frac{R_1^2}{3} [\sin \alpha (2 + \cos^2 \alpha) - 3 \alpha \cos \alpha] - \frac{R_2^2}{3} [\sin \beta (2 + \cos^2 \beta) - 3 \beta \cos \beta]$$

$$G_s = A_s (R_1' + 3y) \quad (4 \text{ 本型})$$

$$G_s = 2A_s \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (R_1' + y) + y \right] \quad (6 \text{ 本型})$$

$$G_s = A_s (R_1' + y) + 2A_s \left(\frac{R_1'}{\sqrt{2}} + y \right) + 2A_s y \quad (8 \text{ 本型})$$

A_s : アンカボルト有効断面積

R_1 : 底板外半径

R_1' : アンカボルト位置半径

R_2 : 底板内半径

断面が取り付け状態にあるためには $\sum V = 0$ でなければならない。

$$P_y = \frac{\sigma_c}{x} [nG_s - G_c] \quad (6.10)$$

また、中立軸のまわりの外力 P による転倒モーメントは $M = P_y [e + y]$ (6.11)

であり、抵抗モーメントはコンクリートおよびアンカボルトの中立軸に対する断面 2 次モーメントをそれぞれ I_c 、 I_s とすると、

$$M = \frac{\sigma_c}{x} (I_c + nI_s) \quad (6.12)$$

$$I_c = R_1^4 \left[\alpha \left(\frac{1}{4} + \cos^2 \alpha \right) - \sin \alpha \cos \alpha \left(\frac{5}{4} - \frac{1}{6} \sin^2 \alpha \right) \right] - R_2^4 \left[\beta \left(\frac{1}{4} + \cos^2 \beta \right) - \sin \beta \cos \beta \left(\frac{5}{4} - \frac{1}{6} \sin^2 \beta \right) \right]$$

$$I_s = A_s (R_1' + y)^2 + 2A_s y^2 \quad (4 \text{ 本型})$$

$$I_s = 2A_s \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (R_1' + y)^2 + y^2 \right] \quad (6 \text{ 本型})$$

$$I_s = A_s (R_1' + y)^2 + 2A_s \left(\frac{R_1'}{\sqrt{2}} + y \right)^2 + 2A_s y^2 \quad (8 \text{ 本型})$$

であって、この両者は等しくなければならない。式(6.11)に式(6.10)および式(6.12)の右辺を代入して σ_c を消去すれば式(6.13)に示すようになる。

$$(nG_s - G_c)(e + y) = I_c + nI_s \quad (6.13)$$

上式を解いて中立軸を求めることができ、式(6.10)からコンクリート線支圧応力を求めると、

$$\sigma_c = \frac{P_y x}{nG_s - G_c} \quad (6.14)$$

また、アンカボルトの引張応力は、

$$\sigma_s = n \sigma_c \frac{R_1' + y}{x} = \frac{P_y (R_1' + y)}{G_s - \frac{1}{n} G_c} \quad (6.15)$$

この式を用いるにあたって、コンクリートの支圧面ははりのようなものではなく、また、底板も完全剛体ではないので弾性係数比 n の取り方に問題が起った。

そこで附録 4. けい船柱の載荷実験に示す実験によりこの式の適用の可能性と弾性係数比を求めた。その結果は、附録 4.10、4.11 に示す通り $n=15$ とすると実験と非常によく合い、アンカボルトの引張応力の誤差は数%であった。

図 3.5—3 アンカーボルト及びコンクリートの応力計算の考え方 (港湾技研資料 NO, 102)

けい船柱の標準設計 (案) 抜粋)

c. 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度はアンカーボルトの水平力を考慮せず算出し、許容限界以下であることを確認する。

係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所を図 3.5-4 に示す。

$$\sigma_{c2} = (P_H - \mu \cdot P_{vc}) / (H_1 \cdot 2 R_1)$$

σ_{c2} : 底板前面のコンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_H : 係留力の水平成分 (N)

μ : 底板とコンクリートの摩擦係数

P_{vc} : コンクリートの支圧力 ($\approx 0.7 \times P_H$) (N/mm²)

H_1 : 底板厚さ (mm)

R_1 : 中心軸から底板端までの距離 (mm)

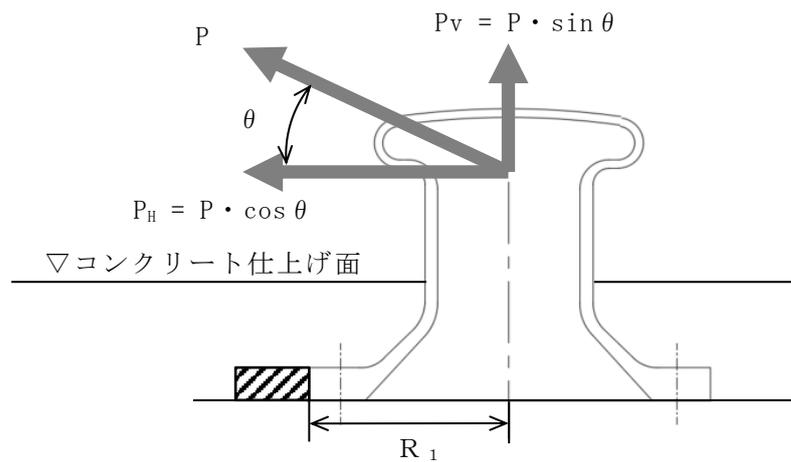


図 3.5-4 係船柱底板前面のコンクリートの支圧応力度の作用箇所

(2) アンカーボルト

アンカーボルトのせん断力度の評価対象を図 3.5-5 に示す。

a. アンカーボルトに生じる引張応力度

アンカーボルトの引張応力度については、底板下面外のコンクリートを考慮せず、コンクリートの偏心荷重を心外に受けた円形梁の計算式を準用する。係船柱に作用する転倒モーメントにより生じるアンカーボルトの引張応力度を算出し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_{s2} = P_v \cdot (R_1' + y) / (G_s - G_c / n)$$

σ_{s2} : アンカーボルト 1 本に生じる引張応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

R_1' : 中心軸からアンカーボルト位置までの距離 (mm)

y : 中心軸と中立軸の距離 (mm)

G_s : 引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

G_c : 圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント (mm³)

n : アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比

b. アンカーボルトに生じるせん断応力度

アンカーボルトのせん断応力度については、底板前面のコンクリートの支圧応力及び摩擦抵抗力を考慮せず計算し、許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau_s = (P_H / N) / (\pi / 4 \cdot \phi_b^2)$$

τ_s : アンカーボルト 1 本に生じるせん断応力度 (N/mm²)

P_H : 係留力の水平成分 (N)

N : アンカーボルトの本数 (本)

ϕ_b : アンカーボルトの谷径 (mm)

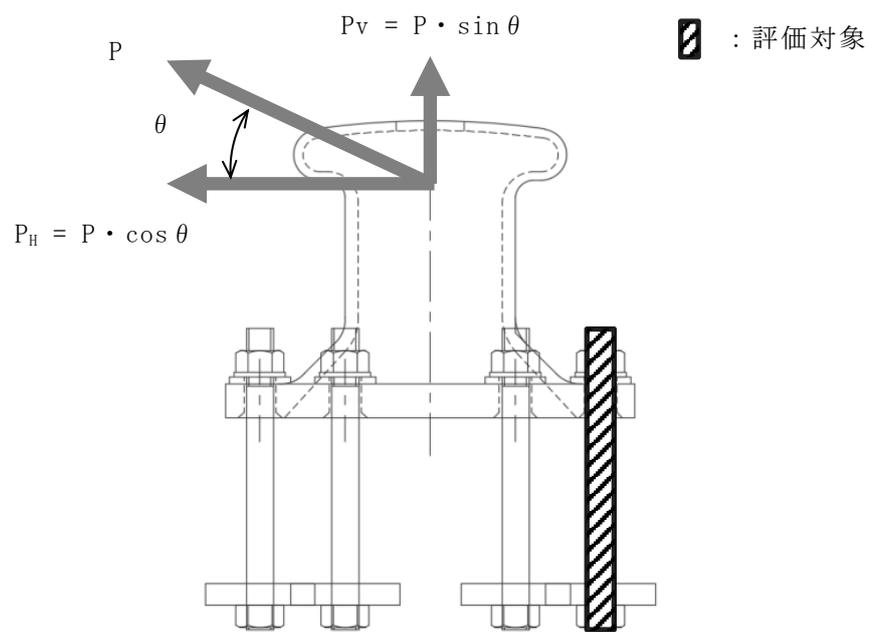


図 3.5-5 アンカーボルトのせん断力度の評価対象

(3) アンカー板

a. アンカー板の応力度

アンカー板の応力は、アンカーボルト1本に係留力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に等分布荷重 p が働くとしてアンカー板の曲げモーメントを計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板の応力度の評価対象を図 3.5-6 に、アンカー板にかかる曲げモーメントを図 3.5-7 に示す。また、最大応力係数 β は内外半径比（アンカー板幅 a とナット二面幅 b の比、 b/a ）によって決まる。内外半径比 b/a と最大応力係数 β の対応表を図 3.5-8 に示す。

$$p = P_v / \{ \pi / 4 \cdot (4 \cdot \phi_a)^2 - (\pi / 4 \times \phi_a) \}$$

p : 等分布荷重 (N/mm^2)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

ϕ_a : アンカーボルトの呼び径 (mm)

$$\sigma_{st} = \beta \cdot p \cdot (a/2)^2 / t^2$$

σ_{st} : アンカー板の応力度 (N/mm^2)

β : 最大応力係数

b : ナット二面幅 (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

t : アンカー板厚 (mm)

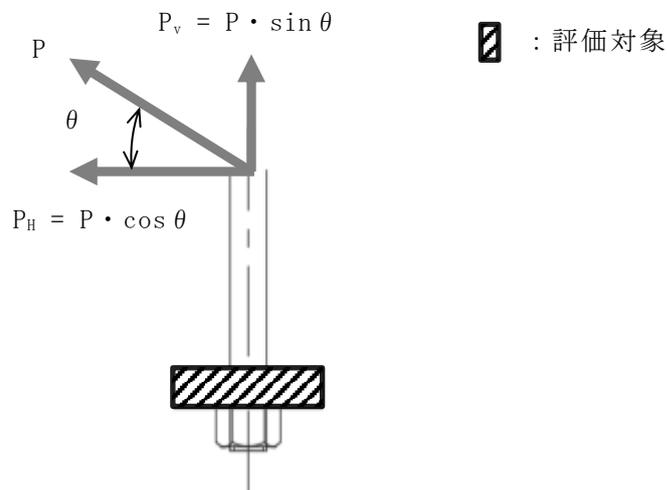


図 3.5-6 アンカー板の応力度の評価対象

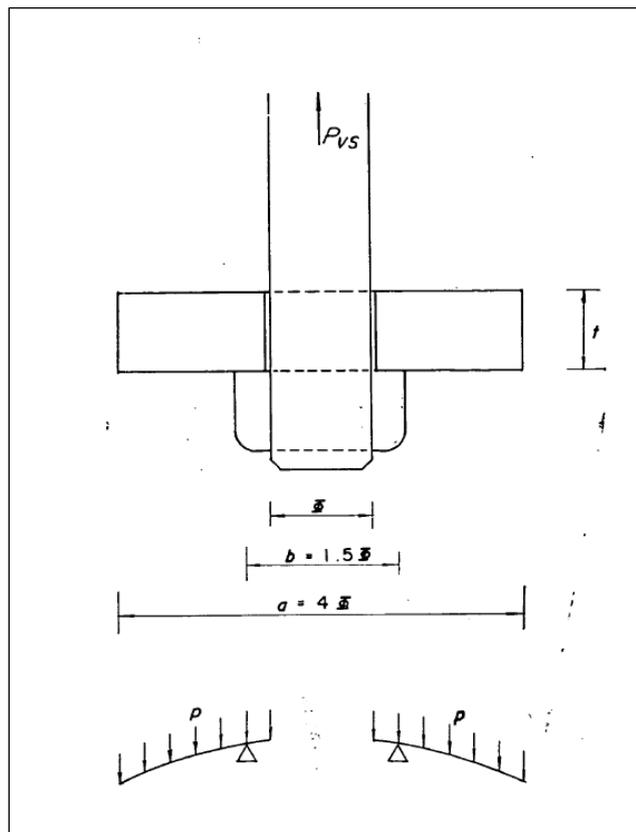


図 3.5-7 アンカー板にかかる曲げモーメント (港湾技研資料 NO, 102 けい船柱の標準設計 (案) 抜粋)

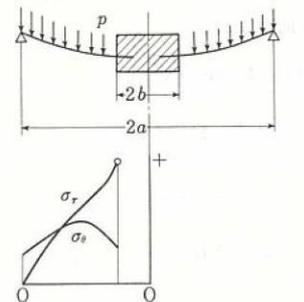
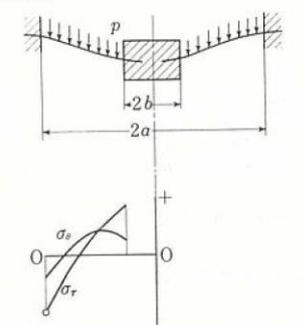
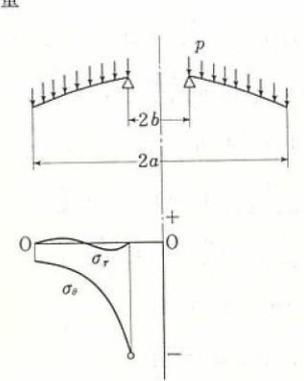
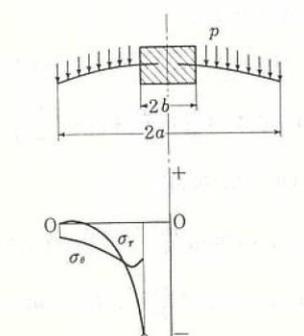
No.	荷重状態とたわみ形および下表面の応力分布	たわみ w , w_{\max} および応力 σ , σ_{\max}
15	円輪板, 外周単純支持, 内周可動片に固定, 等分布荷重 	$w, \sigma_r, \sigma_\theta$ は No. 13 の式と同形. ただし $A = -\frac{1}{4} \frac{a^2}{(1+\nu)a^2 + (1-\nu)b^2} \left[(3+\nu) \frac{a^2}{b^2} + (1-\nu) \left\{ \left(4 \ln \frac{a}{b} + 3 \right) \frac{b^2}{a^2} - 2 \right\} \right]$ $B = \frac{b^2}{(1+\nu)a^2 + (1-\nu)b^2} \left[(3+\nu) - \left\{ (5+\nu) + 4(1+\nu) \ln \frac{a}{b} \right\} \frac{b^2}{a^2} \right]$ $w_{\max} = (w)_{r=b} = \alpha_{15} \frac{pa^4}{Eh^3}^*$, (α_{15} : 第 176 図) $\sigma_{\max} = (\sigma_r)_{r=b} = \pm \beta_{15} \frac{pa^2}{h^2}^*$, (β_{15} : 第 177 図)
16	円輪板, 外周固定, 内周可動片に固定, 等分布荷重 	$w, \sigma_r, \sigma_\theta$ は No. 13 の式と同形. ただし $A = -\frac{1}{4} \left(3 + \frac{a^2}{b^2} \right) + \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b}, \quad B = \left(1 - \frac{4b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} \right) \frac{b^2}{a^2}$ $w_{\max} = (w)_{r=b} = \alpha_{16} \frac{pa^4}{Eh^3}^*$, (α_{16} : 第 176 図) $\sigma_{\max} = (\sigma_r)_{r=a} = \pm \beta_{16} \frac{pa^2}{h^2}^*$, (β_{16} : 第 177 図)
17	円輪板, 内周単純支持, 外周自由, 等分布荷重 	$w = \frac{pa^4}{64D} \left[\left\{ \frac{r^2 + b^2}{a^2} + 8 \left(1 + A + \ln \frac{a}{r} \right) \right\} \frac{r^2 - b^2}{a^2} - 4 \left(B + \frac{2b^2}{a^2} \right) \ln \frac{r}{b} \right]$ $\sigma_r = \pm \frac{3pa^2}{8h^2} \left\{ (3+\nu) \frac{r^2}{a^2} + 4(1+\nu) \left(A + \ln \frac{a}{r} \right) - (1-\nu) \left(2 - B \frac{a^2}{r^2} \right) \right\}$ $\sigma_\theta = \pm \frac{3pa^2}{8h^2} \left\{ (1+3\nu) \frac{r^2}{a^2} + 4(1+\nu) \left(A + \ln \frac{a}{r} \right) + (1-\nu) \left(2 - B \frac{a^2}{r^2} \right) \right\}$ ただし $A = \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} - \frac{1}{4(1+\nu)} \left\{ (1+3\nu) + (3+\nu) \frac{b^2}{a^2} \right\}$ $B = \frac{1}{1-\nu} \left\{ (3+\nu) \frac{b^2}{a^2} - 4(1+\nu) \frac{b^2}{a^2 - b^2} \ln \frac{a}{b} \right\}$ $w_{\max} = (w)_{r=a} = \alpha_{17} \frac{pa^4}{Eh^3}^*$, (α_{17} : 第 178 図) $\sigma_{\max} = (\sigma_\theta)_{r=b} = \pm \beta_{17} \frac{pa^2}{h^2}^*$, (β_{17} : 第 179 図)
18	円輪板, 内周固定, 外周自由, 等分布荷重 	$w, \sigma_r, \sigma_\theta$ は No. 17 の式と同形. ただし $A = -\frac{1}{4} \frac{a^2}{(1+\nu)a^2 + (1-\nu)b^2} \left\{ (1+3\nu) + (1-\nu) \left(2 + \frac{b^2}{a^2} + 4 \ln \frac{a}{b} \right) \frac{b^2}{a^2} \right\}$ $B = \frac{b^2}{(1+\nu)a^2 + (1-\nu)b^2} \left\{ (1-\nu) + (1+\nu) \left(\frac{b^2}{a^2} + 4 \ln \frac{a}{b} \right) \right\}$ $w_{\max} = (w)_{r=a} = \alpha_{18} \frac{pa^4}{Eh^3}^*$, (α_{18} : 第 178 図) $\sigma_{\max} = (\sigma_r)_{r=b} = \pm \beta_{18} \frac{pa^2}{h^2}^*$, (β_{18} : 第 179 図)

図 3.5-8 (1) 内外半径比 (b/a) と応力係数 (β) の対応表 (機械工学便覧抜粋)

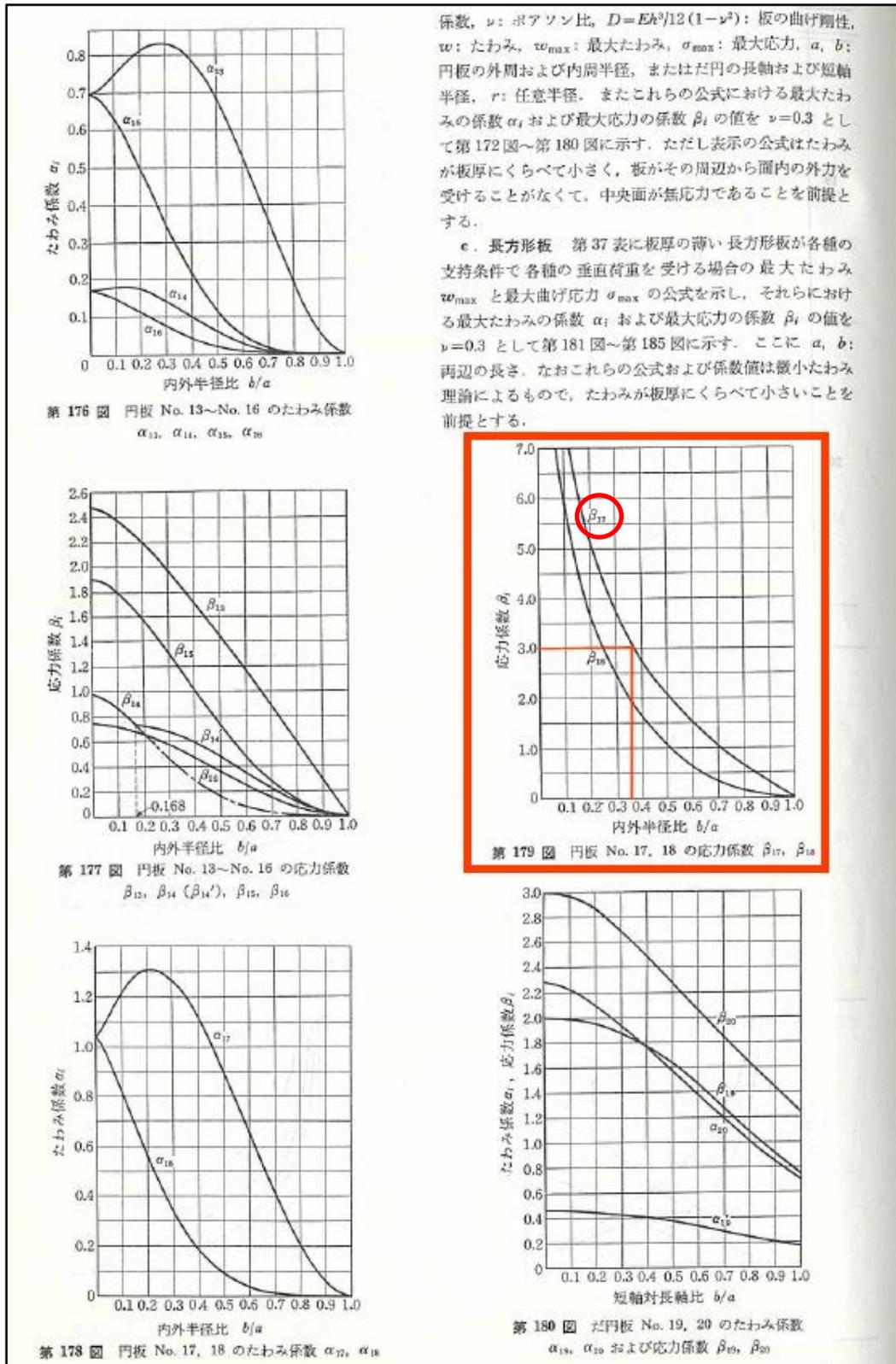


図 3.5-8 (2) 内外半径比 (b/a) と応力係数 (β) の対応表 (機械工学便覧抜粋)

b. アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上面のコンクリートの支圧応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。

アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象を図 3.5-9 に、アンカーボルトの引抜き力によるコンクリートの応力を図 3.5-10 に示す。

$$\sigma_c = P_v \cdot (\pi/4) \cdot a^2$$

σ_c : アンカー板上面コンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

a : アンカー板幅 (mm)

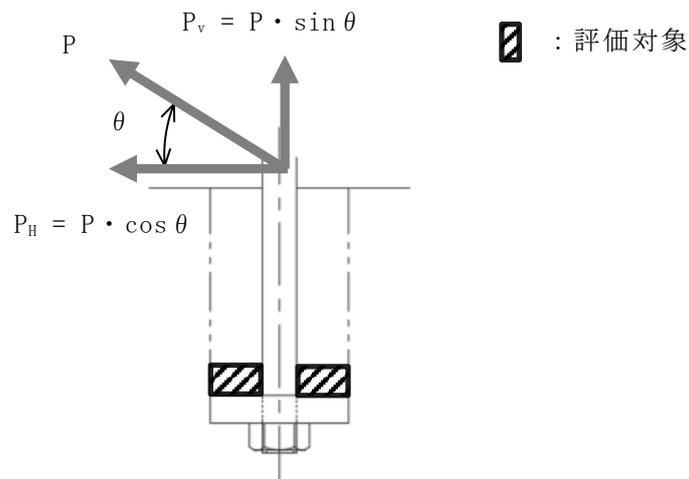


図 3.5-9 アンカー板上面のコンクリートの支圧応力度の評価対象

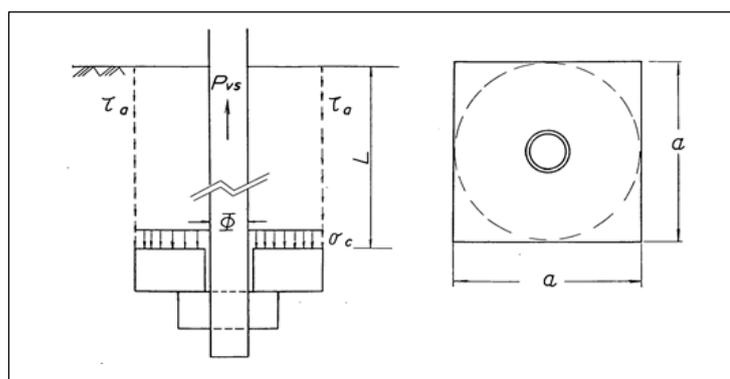


図 3.5-10 アンカーボルトの引抜き力によるコンクリート応力 (港湾技研資料 NO, 102 けい船柱の標準設計 (案) 抜粋)

c. アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度

アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度を計算し、許容限界以下であることを確認する。アンカーボルトの引張力によるアンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象を図 3.5-11 に示す。

$$\tau_c = P_v / (L \cdot \pi \cdot a)$$

τ_c : アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

L : アンカーボルトの埋込み長さ (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

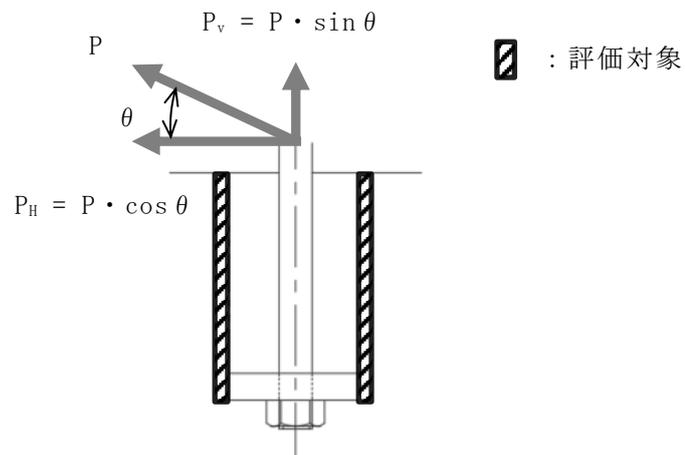


図 3.5-11 アンカー板上方のコンクリートのせん断応力度の評価対象

4. 評価条件

「3. 強度評価」に用いる評価条件を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 強度評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	値
係船柱	$M_{s a}$	N・mm	係船柱の胴部転倒モーメント	78750000.0
	P_v	N	係留力の鉛直成分	125000
	$Z_{s a}$	mm ³	係船柱の断面係数	2055972.3
	$A_{s a}$	mm ²	係船柱の断面積	27397.8
	y	mm	中心軸と中立軸の距離	115.9
	R_1	mm	中心軸から底板端までの距離	420.0
	n	—	アンカーボルトとコンクリートの弾性係数比	15
	G_c	mm ³	圧縮側コンクリートの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	17289181.7
	G_s	mm ³	引張側アンカーボルトの中立軸のまわりの断面 1 次モーメント	2108687.8
	P_H	N	係留力の水平成分	250000
	μ	—	底板とコンクリートの摩擦係数	0.3
H_1	mm	底板厚さ	70	
アンカーボルト	R_1'	mm	中心軸からアンカーボルト位置までの距離	350.0
	N	本	アンカーボルトの本数	6
	ϕ_b	mm	アンカーボルトの谷径	50.0
	ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径	56.0
アンカー板	β	—	最大応力係数	3
	b	mm	ナット二面幅	85.0
	t	mm	アンカー板厚	45.0
	p	N/mm ²	アンカーボルト 1 本に係留力の鉛直成分 P_v が作用した時にアンカー板に働く等分布荷重	3.4
	a	mm	アンカー板幅	225.0
	L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ	850.0

5. 評価結果

漂流防止装置の強度評価結果を表 5.1-1 に示す。漂流防止装置の各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから、漂流防止装置が構造健全性を有することを確認した。

表 5.1-1 漂流防止装置の照査結果

評価対象部位		発生値（応力度）		許容限界		照査値
係船柱	胴部縁応力度	42.87	N/mm ²	137	N/mm ²	0.313
	底版下面のコンクリートの支圧応力度	2.65	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.227
	底版前面のコンクリートの支圧応力度	3.36	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.288
アンカー ボルト	引張応力度	60.91	N/mm ²	143	N/mm ²	0.426
	せん断応力度	21.22	N/mm ²	82	N/mm ²	0.259
アンカー 板	アンカー板の 応力度	63.44	N/mm ²	143	N/mm ²	0.444
	コンクリートの 支圧応力度	3.14	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.269
	コンクリートの せん断応力度	0.21	N/mm ²	0.45	N/mm ²	0.467