

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-015-14改01
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-別添 3-2-11 漂流防止装置の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-2-11 R0

2023年4月

中国電力株式会社

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	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	9
2.5	記号の説明	10
3.	強度評価	12
3.1	評価対象部位	12
3.2	荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1	荷重	13
3.2.2	荷重の組合せ	14
3.3	許容限界	15
3.3.1	使用材料	15
3.3.2	許容限界	15
3.4	評価方法	17
3.4.1	係船柱	17
3.4.2	アンカーボルト	20
3.4.3	アンカー板	22
4.	評価条件	25
5.	評価結果	26

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（係船柱）が燃料輸送船及びLLW輸送船（以下「燃料等輸送船」という。）の流圧力に対する係留索の耐力（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（係船柱）に係留することとなる。したがって、海域活断層に想定される地震による津波（基準津波4）の流圧力により作用する燃料等輸送船の係留力に対して、漂流防止装置（係船柱）が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（係船柱）の位置図を図2-1に示す。

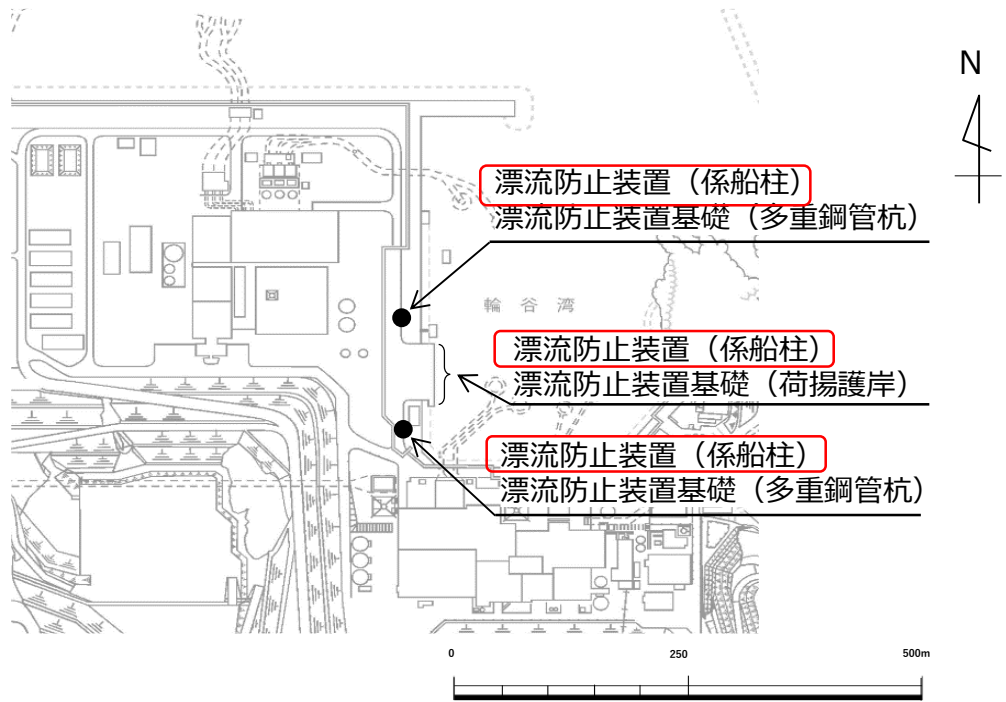


図2-1 漂流防止装置（係船柱）の位置図

2.2 構造概要

漂流防止装置（係船柱）は、漂流防止装置基礎（荷揚護岸，多重鋼管杭）に、係船柱をアンカーボルト及びアンカー板により固定する構造である。

よって、漂流防止装置（係船柱）は係船柱，アンカーボルト及びアンカー板から構成され、係船柱は燃料等輸送船の係留索と接続する。

漂流防止装置（係船柱）の概要図を図 2-2 に、構造図を図 2-3 に示す。

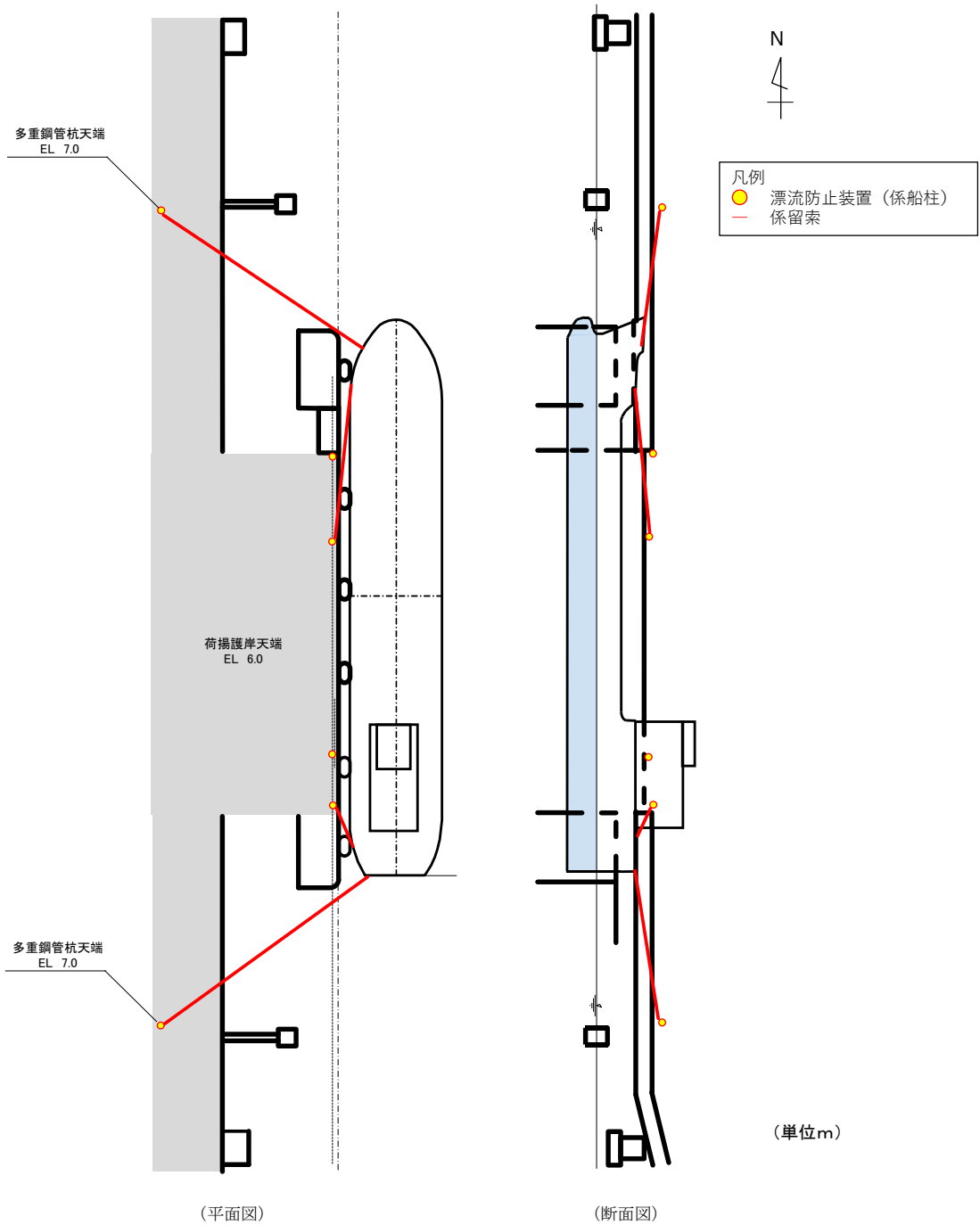


図 2-2 漂流防止装置（係船柱）の概要図

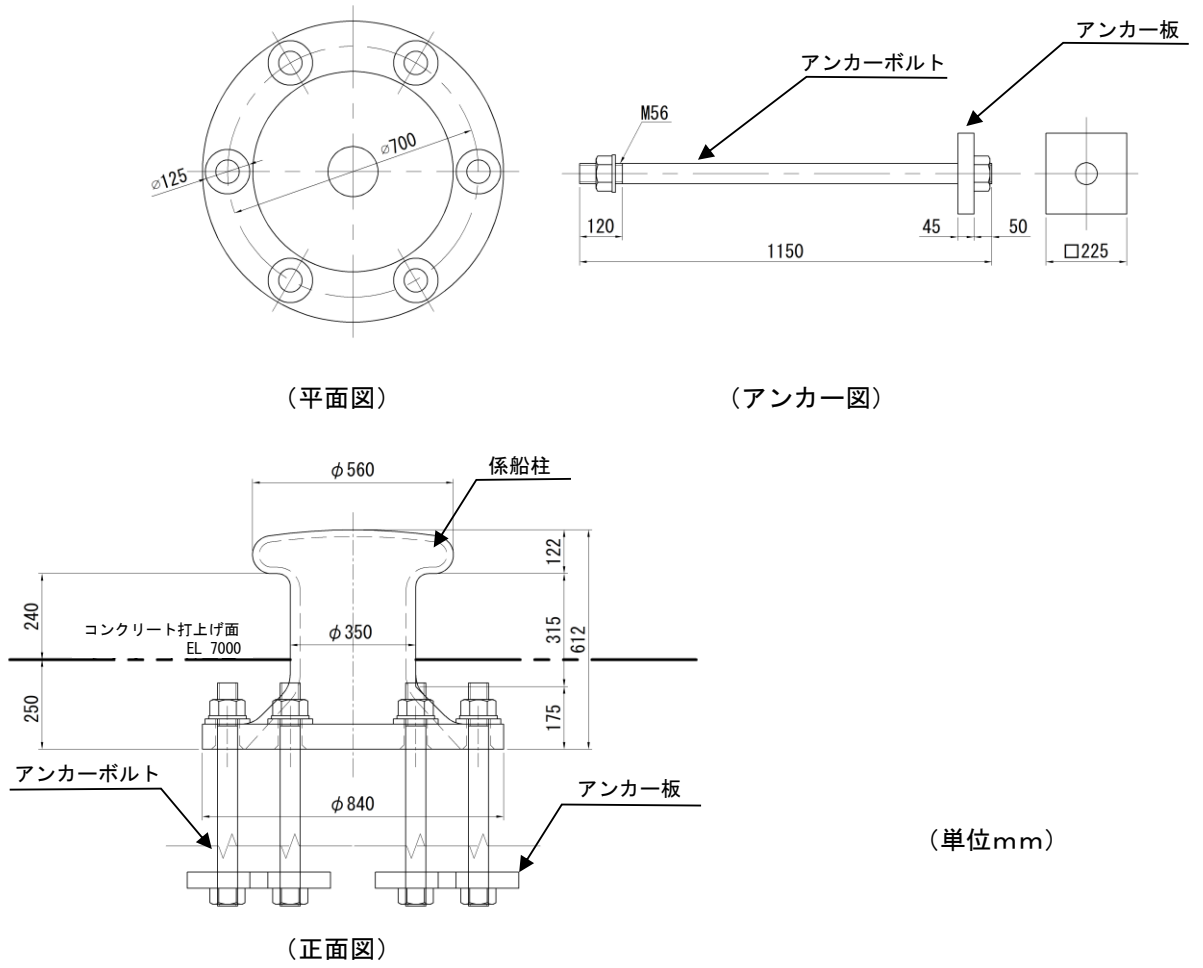


図 2-3 漂流防止装置 (係船柱) の構造図

2.3 評価方針

漂流防止装置（係船柱）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

漂流防止装置（係船柱）の強度評価は、海域活断層に想定される津波（基準津波 4）の流圧力により作用する燃料等輸送船の係留力に対し、表 2-3 に示すとおり、施設の健全性評価を行い、構造強度を有することを確認する。

漂流防止装置（係船柱）の強度評価フローを図 2-4 に示す。

表 2-1 漂流防止装置（係船柱）の各部位の役割

部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
係船柱	—	・燃料等輸送船を係留する。
アンカーボルト	・係船柱を支持する。	・係船柱を支持する。
アンカー板	・係船柱を支持する。	・係船柱を支持する。

表 2-2 漂流防止装置基礎（係船柱）の各部位の性能目標

部位の名称	性能目標	
	耐震性	耐津波性
係船柱	構造部材の健全性を保持するために、係船柱がおおむね弾性状態にとどまること。	燃料等輸送船を係留するために、係船柱がおおむね弾性状態にとどまること。
アンカーボルト	構造部材の健全性を保持するために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、アンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまること。
アンカー板	構造部材の健全性を保持するために、アンカー板がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、アンカー板がおおむね弾性状態にとどまること。

表 2-3 漂流防止装置（係船柱）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設の健全性	係船柱	発生する応力（曲げ応力及びコンクリートの支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		アンカーボルト	発生する応力（引張応力、せん断応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		アンカー板	発生する応力（曲げ応力及びコンクリートの支圧応力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

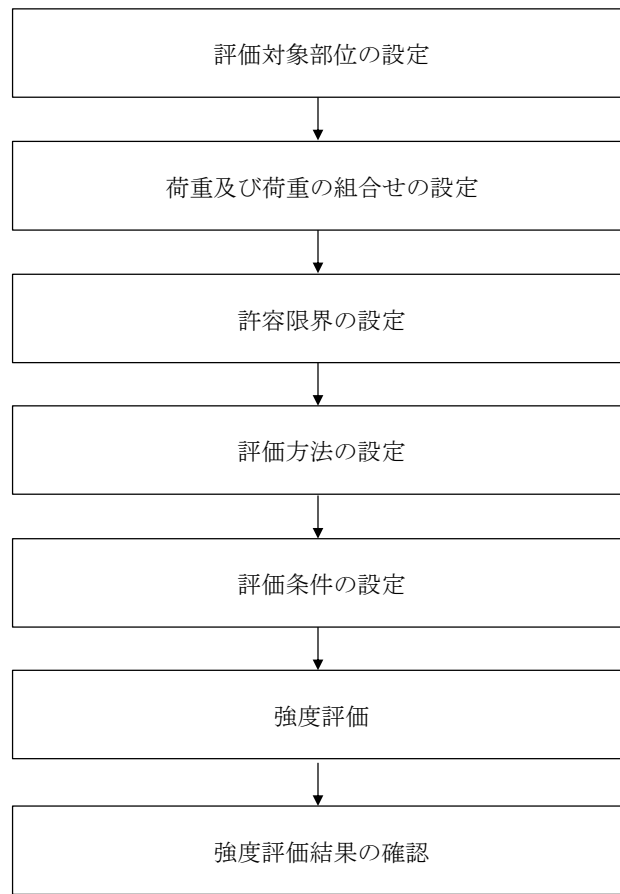


図 2-4 漂流防止装置（係船柱）の強度評価フロー

2.4 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 年制定）
- ・日本産業規格（J I S）
- ・機械工学便覧 改訂第 6 版（（社）日本機械学会編，1977 年）

2.5 記号の説明

漂流防止装置（係船柱）の強度評価に用いる記号を表 2-4 に示す。

表 2-4 (1) 漂流防止装置（係船柱）の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
P_p	N	係留力
σ_s	N/mm ²	係船柱の直胴部縁応力度
M_{sa}	N・mm	係船柱の直胴部転倒モーメント
P_H	N	係留力の水平成分
D	mm	係船柱の直胴部径
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	コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度
R_1	mm	中心軸から係船柱底板端までの距離
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	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	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	コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度
P_H	N	係留力の水平成分
μ	—	係船柱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	係船柱底板厚さ
σ_{s2}	N/mm ²	アンカーボルト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	等分布荷重
ϕ_a	mm	アンカーボルトの呼び径

表 2-4 (2) 漂流防止装置 (係船柱) の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
σ_{st}	N/mm ²	アンカー板に生じる曲げ応力度
b	mm	ナット二面幅
a	mm	アンカー板幅
t	mm	アンカー板厚
σ_c	N/mm ²	コンクリート (アンカー板上面) の支圧応力度
τ_c	N/mm ²	コンクリート (アンカーボルト側面) のせん断応力度
L	mm	アンカーボルトの埋込み長さ

3. 強度評価

3.1 評価対象部位

漂流防止装置（係船柱）の評価対象部位は「2.2 構造概要」に示す構造上の特性を踏まえ選定する。

漂流防止装置（係船柱）に作用する係留力による荷重は、係船柱、アンカーボルト及びアンカー板を介して周囲のコンクリート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 3-1 に示す。

また、漂流防止装置（係船柱）の周囲のコンクリートに対する評価も実施する。

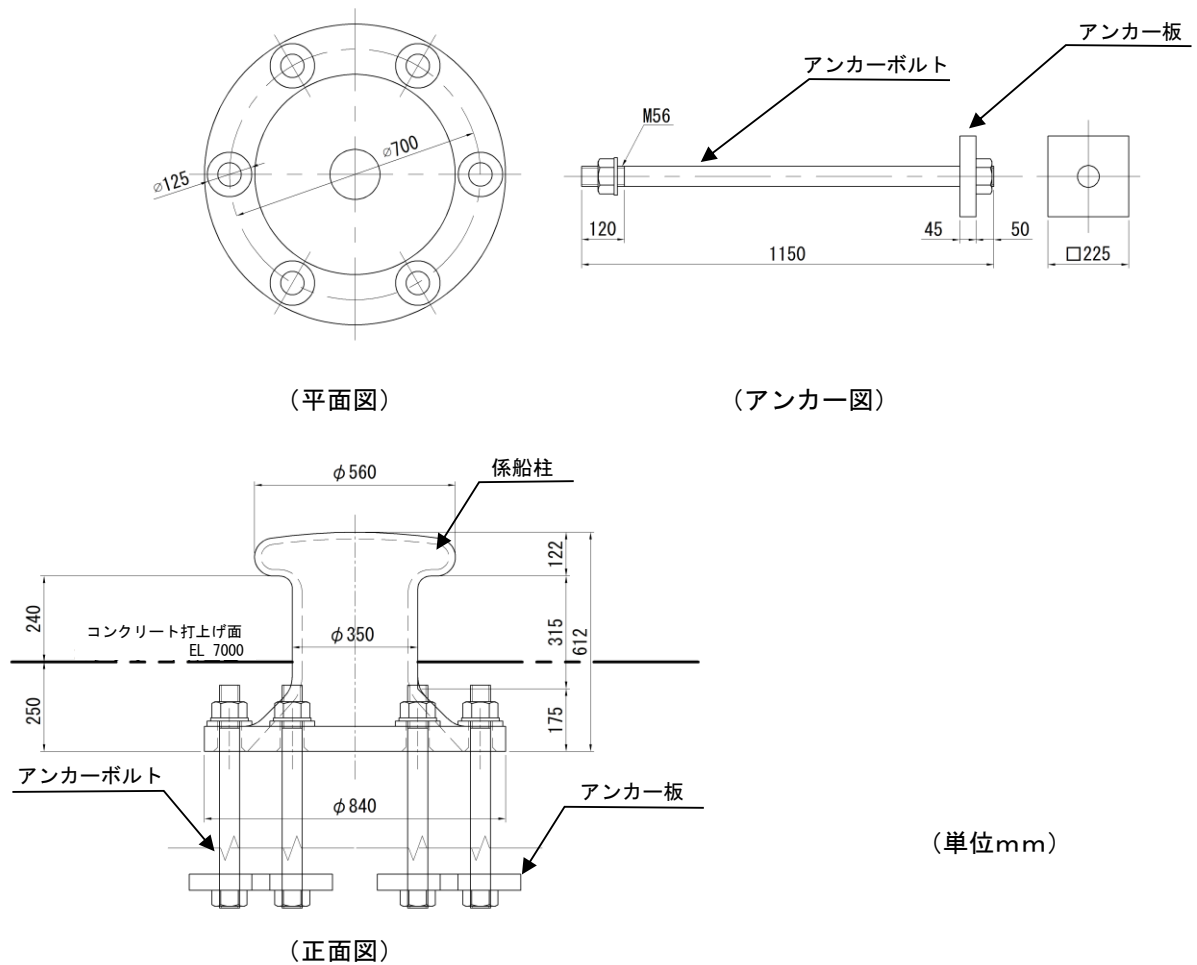


図 3-1 評価対象部位

3.2 荷重及び荷重の組合せ

3.2.1 荷重

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 係留力 (P_p)

係留力として、海域活断層に想定される地震による津波（基準津波4）により燃料等輸送船に作用する流圧力を考慮する。

係留力は燃料等輸送船に作用する流圧力に対する係留索の耐力として算定し、漂流防止装置（係船柱）に対して、 θ の角度で作用する場合の係留力は、「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）」に基づき算定する。

係留力の作用イメージを図3-2に示す。

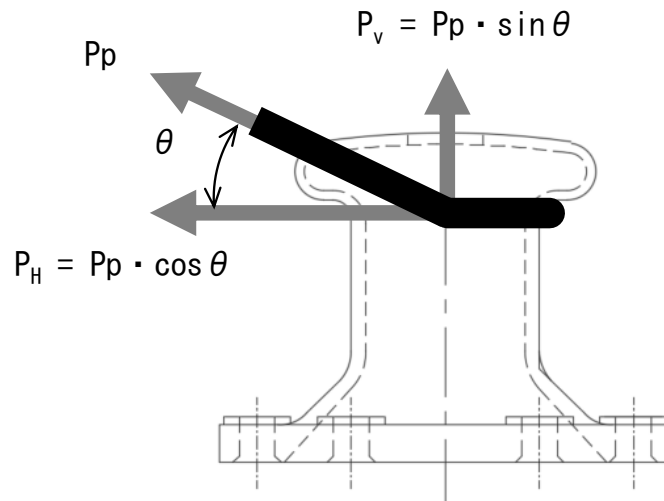


図3-2 係留力の作用イメージ

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。

なお、係留力に対して余震荷重の割合が十分に小さくなることから、余震荷重は考慮しない。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
重畳時	P_p

P_p : 係留力

3.3 許容限界

漂流防止装置（係船柱）の許容限界は、「3.1 評価対象部位」にて設定した部位に対し、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」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

3.3.1 使用材料

漂流防止措置（係船柱）を構成する各部材の使用材料を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料

材料	諸元
係船柱	SC450, ϕ 350
アンカーボルト	SS400, M56 × 1150
アンカー板	SS400, 225 × t45
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²

3.3.2 許容限界

許容限界は、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」に基づき設定する。

a. 係船柱

係船柱の許容限界は、「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「J I S G 5 1 0 1 炭素鋼鋳鋼品」を踏まえて表 3-3 のとおり設定する。

表 3-3 係船柱の許容限界

材質	許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	曲げ
SC450	205	—

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）」に基づき算定した，表3-4のとおり設定する。

表3-4 アンカーボルト及びアンカー板の許容限界

材質		許容応力度 (N/mm ²)	
		曲げ	せん断
SS400	$t \leq 40$	234	136
	$40 < t \leq 100$	215	124

c. コンクリート

コンクリートの許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき，表3-5に示すとおり設定する。

表3-5 コンクリートの許容限界

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)	17.5	0.67

3.4 評価方法

漂流防止装置（係船柱）を構成する各部材に生じる応力度が、許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 係船柱

a. 係船柱の曲げ応力度

係船柱に生じる曲げ応力度は、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。なお、慣性力の作用点は係船柱の直胴部の上端とする。

係船柱のモデル図を図 3-4 に示す。

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

ここで

σ_s : 係船柱の直胴部縁応力度 (N/mm²)

$M_{s a}$: 係船柱の直胴部転倒モーメント (N・mm)

$$(M_{s a} = P_H \cdot 0.9D)$$

P_H : 係留力の水平成分 (N)

D : 係船柱の直胴部径 (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)

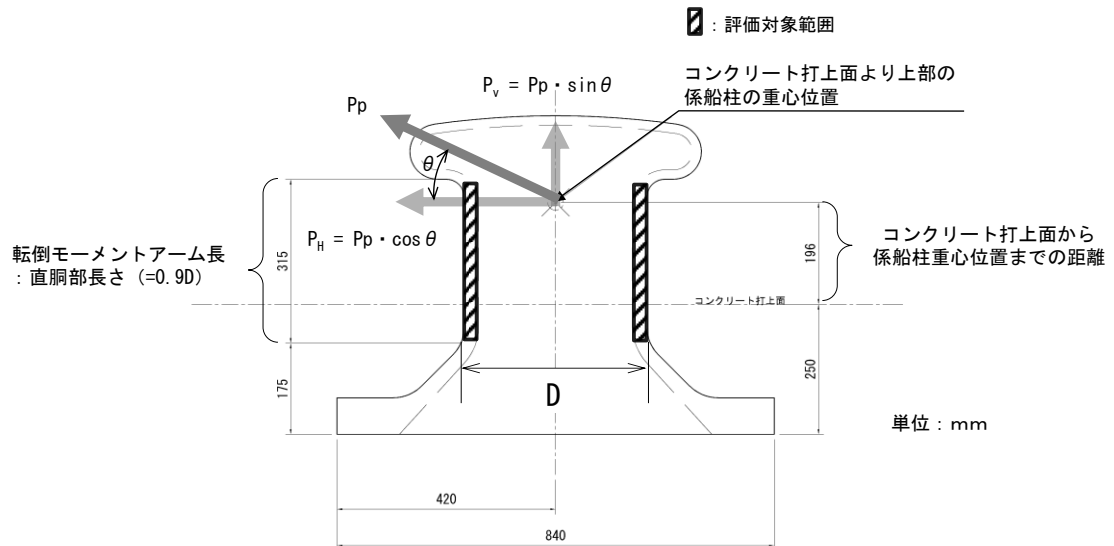


図 3-3 係船柱のモデル図

b. コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度

コンクリート（係船柱底板）に生じる支圧応力度は、「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）」に基づき，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱底板）のモデル図を図3-4に示す。

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

ここで，

σ_{c1} : コンクリート（係船柱底板）の支圧応力度 (N/mm²)

P_v : 係留力の鉛直成分 (N)

R_1 : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (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 : 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 : 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)

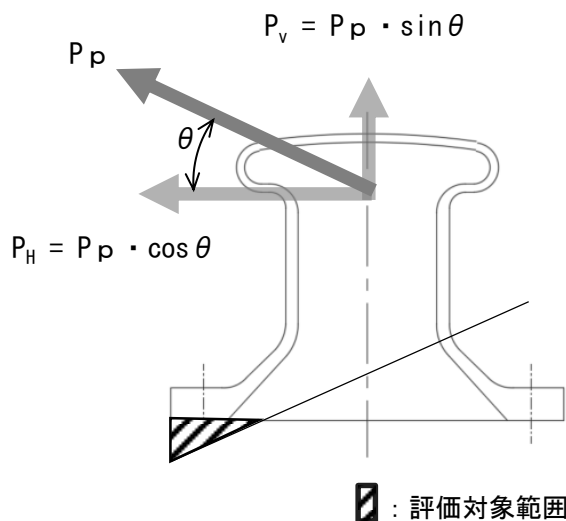


図3-4 コンクリート（係船柱底板）のモデル図

- c. コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度
 コンクリート（係船柱前面）に生じる支圧応力度は、次式より算出し、コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（係船柱前面）のモデル図を図3-5に示す。

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

ここで、

σ_{c2} : コンクリート（係船柱前面）の支圧応力度 (N/mm²)

P_H : 係留力の水平成分 (N)

μ : 係船柱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)

H_1 : 係船柱底板厚さ (mm)

R_1 : 中心軸から係船柱底板端までの距離 (mm)

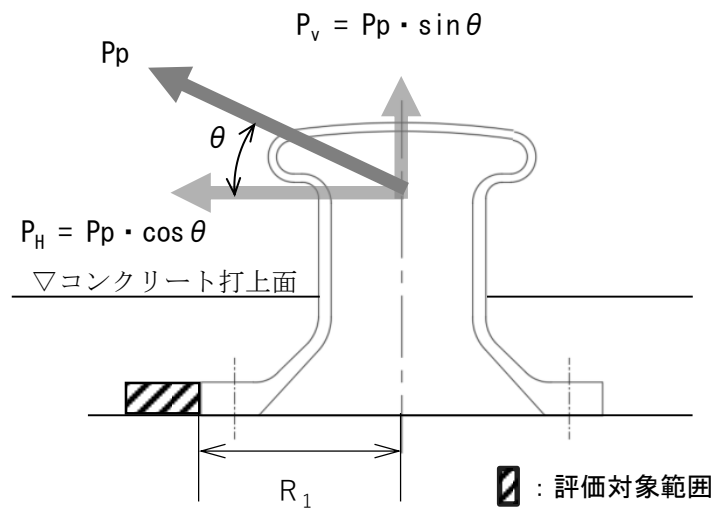


図3-5 コンクリート（係船柱前面）のモデル図

3.4.2 アンカーボルト

a. アンカーボルトの引張応力度

アンカーボルトに生じる引張応力度は、「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）」に基づき，コンクリートの偏心荷重を心外に受ける円形梁として次式により算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

アンカーボルトのモデル図を図 3-6 に示す。

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

ここで，

σ_{s2} : アンカーボルト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 : 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 : 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. アンカーボルトのせん断応力度

アンカーボルトに生じるせん断応力度は，次式より算出し，アンカーボルトの許容限界以下であることを確認する。

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

ここで，

τ_s : アンカーボルト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)

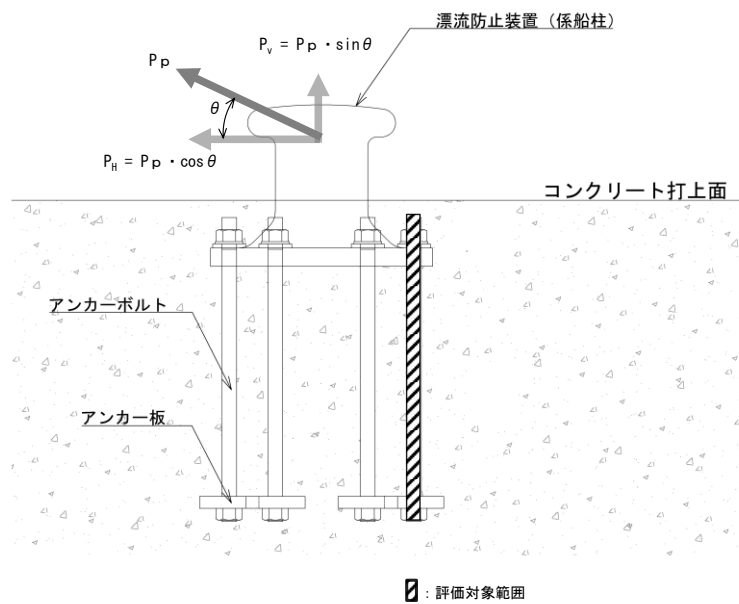


図 3-6 アンカーボルトのモデル図

3.4.3 アンカー板

a. アンカー板の曲げ応力度

アンカー板に生じる曲げ応力度は、「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)」及び「機械工学便覧 改訂第 6 版 (社) 日本機械学会編, 1977 年)」に基づき、アンカー板に等分布荷重が作用するとして次式により算出し、アンカー板の許容限界以下であることを確認する。アンカー板のモデル図を図 3-7 に示す。

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

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

ここで、

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)

$\sigma_{s t}$: アンカー板に生じる曲げ応力度 (N/mm^2)

β : 最大応力係数 ($= b / a$)

b : ナット二面幅 (mm)

a : アンカー板幅 (mm)

t : アンカー板厚 (mm)

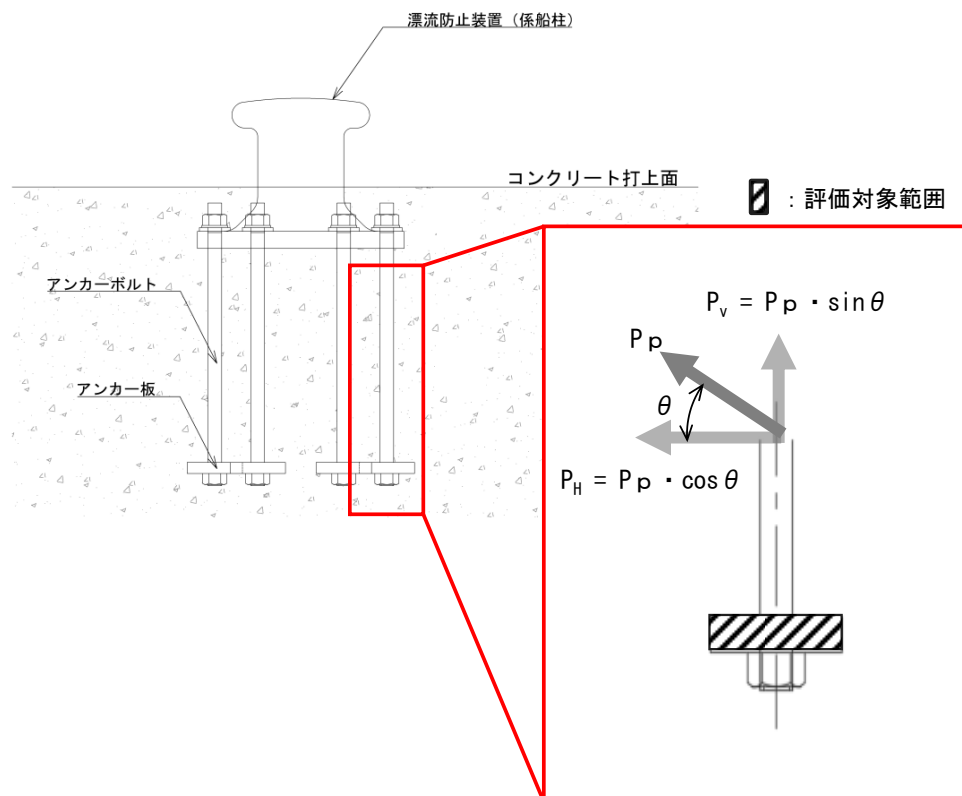


図 3-7 アンカー板のモデル図

b. コンクリート（アンカー板上面）の支圧応力度

コンクリート（アンカー板上面）に生じる支圧応力度は、「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）」に基づき次式により算出し，コンクリートの許容限界以下であることを確認する。

コンクリート（アンカー板上面）のモデル図を図3-8に示す。

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

ここで，

σ_c : コンクリート（アンカー板上面）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)

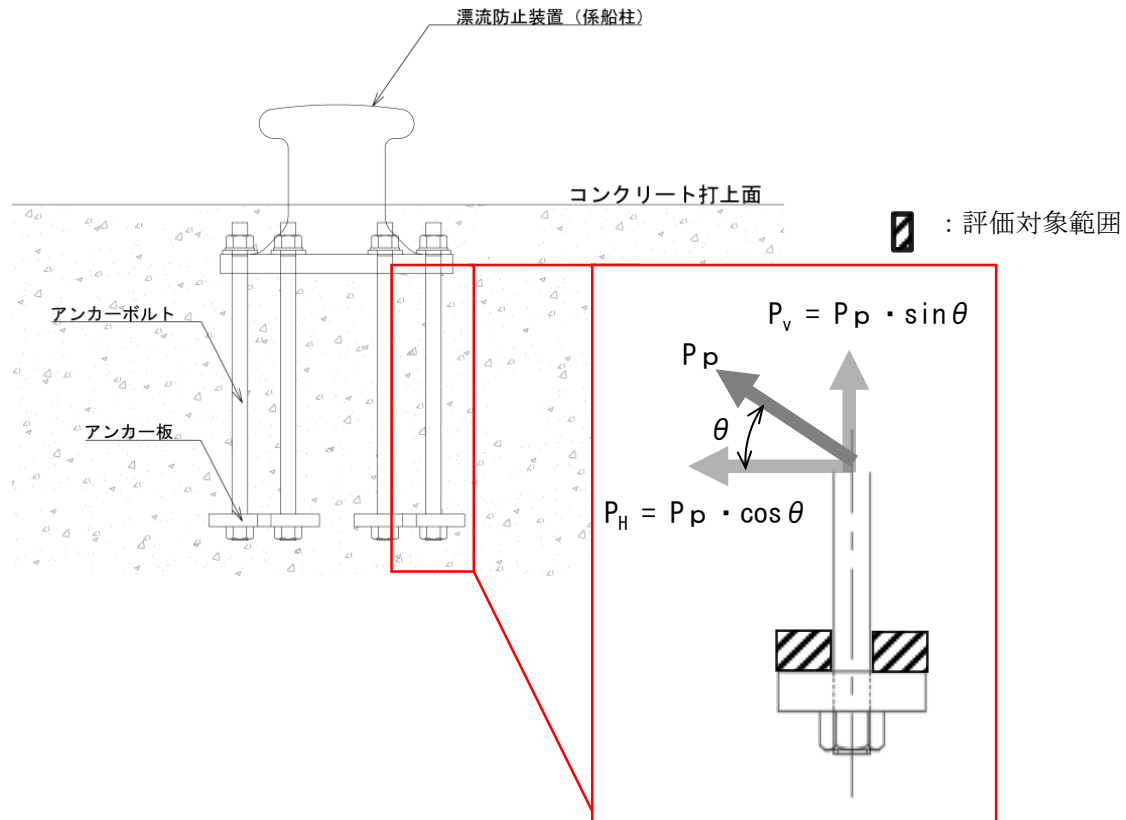


図3-8 コンクリート（アンカー板上面）のモデル図

c. コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度

コンクリート（アンカーボルト側面）のせん断応力度は次式により算出し、コンクリートの許容限界以下であることを確認する。コンクリート（アンカーボルト側面）のモデル図を図3-9に示す。

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

ここで、

τ_c : コンクリート（アンカーボルト側面）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)

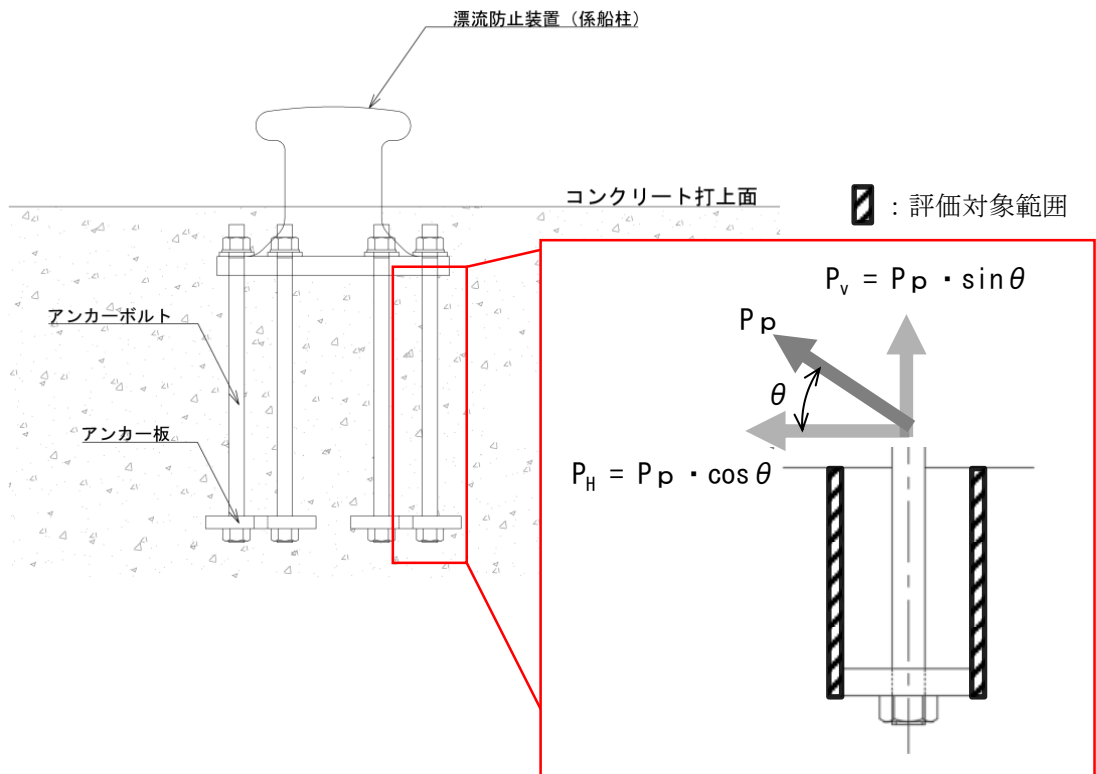


図3-9 コンクリート（アンカーボルト側面）のモデル図

4. 評価条件

「3. 強度評価」に用いる入力値を表 4-1 に示す。

表 4-1 強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	入力値
係船柱	$M_{s a}$	N・mm	係船柱の直胴部転倒モーメント	78750000.0
	P_v	N	係留力の鉛直成分	125000
	D	mm	係船柱の胴部径	350
	$Z_{s a}$	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	中心軸から係船柱底板端までの距離	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	—	係船柱とコンクリートの摩擦係数	0.3
	H_1	mm	係船柱底板厚さ	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	等分布荷重	0.17
	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	

5. 評価結果

漂流防止装置（係船柱）の強度評価結果を表5-1に示す。漂流防止装置（係船柱）の各部材の発生応力度は許容限界以下であることから、漂流防止装置（係船柱）は構造健全性を有することを確認した。

表5-1 漂流防止装置（係船柱）の照査結果

評価対象部位		発生応力度		許容限界		照査値
係船柱	曲げ応力度	42.87	N/mm ²	137	N/mm ²	0.32
	コンクリート（係船柱底板） 支圧応力度	2.65	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.23
	コンクリート（係船柱前面） 支圧応力度	3.36	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.29
アンカー ボルト	引張応力度	60.91	N/mm ²	143	N/mm ²	0.43
	せん断応力度	21.22	N/mm ²	82	N/mm ²	0.26
アンカー板	アンカー板 曲げ応力度	63.44	N/mm ²	143	N/mm ²	0.45
	コンクリート（アンカー板上面） 支圧応力度	3.14	N/mm ²	11.7	N/mm ²	0.27
	コンクリート（アンカーボルト側面） せん断応力度	0.21	N/mm ²	0.45	N/mm ²	0.47