

港湾設計業務シリーズ

鋼管式・矢板式上部工2

Ver 2.X.X

商 品 概 説 書

目次

1. 概要	1
1-1. システムの特長	1
1-2. システムの制限事項	1
2. 機能説明	2
2-1. 上部工の断面力について	2
2-2. 荷重の作用	3
2-3. 許容応力度法	4
2-4. 限界状態設計法	5
終局限界状態	6
曲げに対する検討	6
せん断に対する検討	7
使用限界状態	8
曲げひび割れに対する検討	8
せん断に対する検討	9
疲労限界状態	10
曲げモーメントによる疲労検討	10
せん断力による疲労検討	13
3. 補足資料	15
3-1. 参考文献	15

1. 概要

1-1. システムの特長

本システムは、港湾構造物の中の1つである「矢板式係船岸」「棚式係船岸」「鋼管式防波堤」の設計業務を支援するために開発されたシステムです。データは、入力画面を用いることにより比較的簡単に入力することができます。

本システムには以下のような特長があります。

- ・ 最大30列×30列の杭の設置が可能です。
- ・ 許容応力度法、限界状態設計法を選択できます。
- ・ 法線直角方向、法線平行方向での水平力、鉛直力が作用した際の梁の検討を行います。
- ・ 法線直角方向、法線平行方向での荷重の組合せを選択する事が出来ます。
- ・ 断面力の計算は骨組構造解析を用いています。
- ・ 弊社港湾設計業務シリーズ『棚式係船岸システム5』『鋼管式防波堤4』『胸壁防潮堤3』から構造物の上部工及び荷重データをインポートすることができます。
- ・ 支点部、支間部に作用する断面力を直接入力できます。
- ・ 報告書の印刷イメージを画面表示し確認することができます。
- ・ 報告書の一括印刷、章別の印刷、指定ページの印刷ができます。文字サイズの変更も可能です。

1-2. システムの制限事項

[データ容量]

- ・ 杭本数 法線直角方向30本 法線平行方向30本

2. 機能説明

2-1. 上部工の断面力について

本システムでは上部工の断面力については骨組構造解析を用いて算定しております。

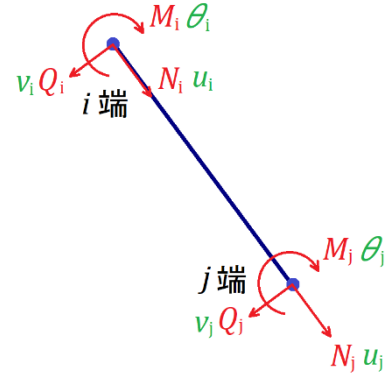
$$F = K\delta$$

XY平面

$$F = (N_i, Q_i, M_i, N_j, Q_j, M_j)^T$$

$$\delta = (u_i, v_i, \theta_i, u_j, v_j, \theta_j)^T$$

$$K = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix}$$



ここに

F : 部材力

δ : 変位

K : 剛性マトリックス

N_i, N_j : 部材*i*端,*j*端に作用する軸力

Q_i, Q_j : 部材*i*端,*j*端に作用するせん断力

M_i, M_j : 部材*i*端,*j*端に作用する(*z*軸回りの)モーメント

u_i, u_j : 部材*i*端,*j*端の*x*方向の変位

v_i, v_j : 部材*i*端,*j*端の*y*方向の変位

θ_i, θ_j : 部材*i*端,*j*端の(*z*軸の)回転角

E : 部材のヤング係数

A : 部材の断面積

I : 部材の断面二次モーメント

l : 部材長

※土木学会, 構造力学公式集 (P73~P93)

2-2. 荷重の作用

荷重の作用は大きく永続作用と変動作用に分かれます。

例えば、ある検討箇所では+側に断面力A、-側に断面力Bが算定された場合は次のようになります。

設計用値	+側	-側
永続作用	設計用値にAを足す	設計用値にBを足す
変動作用	設計用値にAを足す	設計用値にBを足す

ある検討箇所では+側に断面力A、-側には断面力が算定されなかった場合は次のようになります。

設計用値	+側	-側
永続作用	設計用値にAを足す	設計用値にAを足す
変動作用	設計用値にAを足す	設計用値に0を足す

ある検討箇所では-側に断面力A、+側には断面力が算定されなかった場合は次のようになります。

設計用値	+側	-側
永続作用	設計用値にAを足す	設計用値にAを足す
変動作用	設計用値に0を足す	設計用値にAを足す

本システムで永続作用に該当するのは
「自重」「揚圧力」「浮力」「タイ材反力」「土圧」

変動作用に該当するのは
「波力」「動水圧」「地震力」「接岸力」「牽引力」「上載荷重」「その他外力」「作用力」になります。

2-3. 許容応力度法

- 1) 曲げに対する検討
必要鉄筋量

$$A_{sn} = \frac{8M}{7\sigma_{sa}d}$$

鉄筋

$$\sigma_s = \frac{M}{pjbd^2} \leq \sigma_{sa}$$

コンクリート

$$\sigma_c = \frac{2M}{kjbd^2} \leq \sigma_{ca}$$

- 2) せん断に対する検討

$$\tau = \frac{S}{bjd} \leq \tau_a$$

せん断補強筋がある場合

$$A_{wn} = \frac{S}{\sigma_{sa}jd} \leq A_w$$

ここに

σ_s : 鉄筋の曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_c : コンクリートの曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_{sa} : 鉄筋の許容曲げ応力度 (N/mm^2)

σ_{ca} : コンクリートの許容曲げ応力度 (N/mm^2)

M : 部材に作用する曲げモーメント ($N \cdot mm$)

$$j = 1 - k/3$$

$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$: 中立軸比

n : 鉄筋とコンクリートのヤング係数比

$p = A_s/bd$: 鉄筋比

b : 部材幅 (mm)

d : 部材の有効高さ (mm)

A_s : 部材の使用鉄筋量 (mm^2)

τ : せん断応力度 (N/mm^2)

τ_a : 許容せん断応力度 (N/mm^2)

S : 部材に作用するせん断力 (N)

A_w : せん断補強筋の使用鉄筋量 (mm^2)

A_{wn} : せん断補強筋の必要鉄筋量 (mm^2)

※オーム社, 鉄筋コンクリートの設計 (改訂2版) (P34~)

※全国漁港協会, 漁港の防波堤・けい船岸等の設計指針と計算例 (平成4年度 P650)

2-4. 限界状態設計法

限界状態設計法では
終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態に対する検討を行います。

性能照査について

性能照査とは性能規定が満足されることを照査する行為のことであり、その手法については特定の手法が義務づけられているものではありません。すなわち、具体的な性能照査手法や許容される破壊確率、変形量等の限界値は設計者の判断に委ねられています。よって、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の位置づけは、性能規定化された基準が設計者に正しく理解されるための参考資料であり、性能照査手法や許容される破壊確率、変形量等の限界値の標準的な考え方や限界値の例を示しているとされています。

したがって、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に標準的な性能照査手法が掲載されているか否かに関わらず、どのような性能照査法を用いるかは、施設のおかれる状況や対象とする施設の構造特性に応じて設計者が適切に判断することになります。

以上のことから、設計に関する各種不明な点については個別に所轄機関にお問い合わせいただく必要があります。

終局限界状態

曲げに対する検討

$$\frac{\gamma_i M_d}{M_U} \leq 1.0$$

$$M_U = A_s f_{yd} d \left(1 - \frac{P_w f_{yd}}{1.7 f'_{cd}} \right), \quad A_{sn} = \frac{A_n \left(d - \sqrt{4\gamma_b \gamma_i M_d / A_n} \right)}{2 f_{yd}}$$

ここに

M_d : 断面力の設計用値 (N・mm)

M_U : 断面耐力の設計用値 (N・mm)

A_s : 使用鉄筋量 (mm²)

A_{sn} : 必要鉄筋量 (mm²)

d : 版の有効高さ (mm)

γ_b : 部材係数

γ_s : 鉄筋の材料係数

γ_c : コンクリートの材料係数

γ_i : 構造物係数

$A_n : 1.7 b_w f'_{cd}$

b_w : 部材幅 (mm)

P_w : 鉄筋比

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

f_{yd} : 引張鉄筋の設計引張降伏強度 (N/mm²)

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成19年3月 第1編 6-4）

せん断に対する検討

$$\frac{\gamma_i V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

$$V_{cd} = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d / \gamma_b, \quad V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / S_s\} Z / \gamma_b$$

ここに

$$V_{yd} : \text{せん断耐力の設計用値} \quad (kN)$$

$$V_d : \text{せん断力の設計用値} \quad (kN)$$

$$V_{cd} : \text{コンクリートが受持つせん断耐力の設計用値} \quad (kN)$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (N/mm^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{100/d}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w}$$

$$\beta_n = 1.0$$

$$b_w : \text{部材の腹部幅} \quad (mm)$$

$$d : \text{部材断面の有効高さ} \quad (mm)$$

$$p_w : \text{鉄筋比}$$

$$A_s : \text{引張鉄筋の断面積} \quad (mm^2)$$

$$f'_{cd} : \text{コンクリートの設計圧縮強度} \quad (N/mm^2)$$

$$\gamma_i : \text{構造物係数}$$

$$\gamma_b : \text{部材係数(1.30)}$$

$$V_{sd} : \text{せん断補強筋により受持たれるせん断耐力の設計用値} \quad (kN)$$

$$A_w : \text{区間に} S_s \text{おけるせん断補強筋の総断面積} \quad (mm^2)$$

$$Z : \text{全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面図心までの距離} \quad (mm)$$

($d/1.15$ としてよい)

$$f_{wyd} : \text{せん断補強筋の降伏応力度の設計用値} \quad (N/mm^2)$$

$$\alpha_s : \text{せん断補強筋と部材角の成す角度}(90^\circ)$$

$$S_s : \text{せん断補強筋の配置間隔} \quad (mm)$$

$$\gamma'_b : \text{部材係数(1.10)}$$

ii) 腹部コンクリートの斜め圧縮破壊力の検討

$$\frac{\gamma_i V_d}{V_{wcd}} \leq 1.0$$

$$V_{wcd} = f_{wcd} b_w d / \gamma_b, \quad f_{wcd} = 1.25 \sqrt{f'_{cd}}$$

ここに

$$f_{wcd} : \text{設計斜め圧縮破壊力} \quad (kN)$$

※土木学会，コンクリート標準示方書 設計編（2017年制定 P188）

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成19年3月 第1編 6-4～6-5）

使用限界状態

曲げひび割れに対する検討

$$W \leq W_{\text{lim}}$$

$$W = 1.1k_1k_2k_3 \{4C + 0.7(C_\phi - \phi)\} \times \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon_\phi \right)$$

ここに

W : ひび割れ幅 (mm)

W_{lim} : 許容ひび割れ幅 (mm)

k_1 : 鉄筋の付着性状を表す係数

k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に影響を表す係数 $k_2 = \frac{15}{f'_{cd} + 20} + 0.7$

k_3 : 引張鋼材の段数の影響を表す係数 $k_3 = \frac{5(m+2)}{7m+8}$

m : 引張鋼材の段数

C : 鉄筋のかぶり (mm)

C_ϕ : 鉄筋の中心間隔 (mm)

ϕ : 鉄筋の最小公称直径 (mm)

E_s : 鉄筋のヤング係数比

σ_{se} : 鉄筋の増加引張応力度 $\sigma_{se} = \frac{M_s}{A_s j d}$ (N/mm²)

M_s : 使用時設計曲げモーメント (N・mm)

$j = 1 - k/3$

$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$: 中立軸比

A_s : 使用鉄筋量 (mm²)

n : ヤング係数比

$p = A_s/bd$: 鉄筋比

b : 部材幅 (mm)

d : ひび割れ幅 (mm)

ε_ϕ : コンクリートの収縮及びクリープ等のひび割れ幅の増加を考慮する数値

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

$k_1 = 1.0$ (異形鉄筋)

$k_1 = 1.1$ (エポキシ樹脂塗膜)

※エポキシ樹脂塗膜を使用した場合、許容ひび割れ幅も1.1倍されます

許容ひび割れ幅

鉄筋位置	許容ひび割れ幅	最小かぶり
下側	0.0035C	70
上側	0.0040C	50

※日本港湾協会，港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年7月 P485）

※土木学会，コンクリート標準示方書 設計編（2017年制定 P231）

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成19年3月 第1編 6-5）

※土木学会，コンクリート標準示方書に基づく設計計算例[栈橋上部工編]

2001年制定 コンクリート標準示方書[維持管理編]に基づくコンクリート構造物の維持管理事例集(案)

せん断に対する検討

せん断補強筋を用いない部材として検討する

$$V_d \leq 0.7V_{cd} \quad , \quad V_{cd} = \frac{\beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d}{\gamma_b}$$

ここに

V_{cd} : せん断補強筋を用いない部材のせん断耐力 (kN)

V_d : 設計せん断力 (kN)

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (N/mm^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{100/d} \quad (\beta_d > 1.5 \text{ の場合 } \beta_d = 1.5)$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100P_w} \quad (\beta_p > 1.5 \text{ の場合 } \beta_p = 1.5)$$

$$\beta_n = 1.0$$

d : 有効高さ (mm)

b : 部材幅 (mm)

P_w : 鉄筋比

γ_b : 部材係数

設計せん断力がコンクリートのせん断耐力の70%より大きい場合、せん断補強筋の応力度が鉄筋応力度の増加量の制限値より小さいことを確認する
※本システムでは梁の検討でのみ用います。

$$\sigma_{wd} \leq \sigma_{sp} \quad , \quad \sigma_{wd} = \frac{(V_d - V_{cd} k_2) S_s}{A_w Z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \times \frac{V_{pd} + V_{cd}}{V_d + V_{cd}}$$

ここに

σ_{wd} : せん断補強筋の応力度

σ_{sp} : 鉄筋応力度増加量の制限値

V_d : 設計せん断力

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断力

V_{pd} : 永久荷重作用時におけるせん断力

k_2 : 変動荷重の頻度を考慮するための係数

A_w : 1組のせん断補強筋の断面積

Z : 全圧縮応力の作用点から引張鉄筋断面の図心までの距離($d/1.15$ としてよい)

d : 部材の有効高さ

α_s : せん断補強筋と部材角のなす角度(90°)

鉄筋応力度の限界値 σ_{sp} (N/mm²)

常時乾燥環境	乾湿繰返し環境	常時湿潤環境
140	120	140

※土木学会, コンクリート標準示方書 設計編 (2017年制定 P237)

疲労限界状態

曲げモーメントによる疲労検討

- ① 各変動荷重の中で最大値をとる変動応力度を計算する。

コンクリート、引張鉄筋、圧縮鉄筋の変動応力度を算定する

$$P = \frac{A_s}{bd} \quad P' = \frac{A'_s}{bd}$$

P : 引張側鉄筋の鉄筋比

P' : 圧縮側鉄筋の鉄筋比

k : 中立軸比

$$k = \sqrt{n^2(P+P')^2 + 2n\left(P+P'\frac{d'}{d}\right) - n(P+P')}$$

$$\sigma_c = \frac{M}{bd^2} \cdot \frac{1}{\frac{k}{2}\left(1-\frac{k}{3}\right) + \frac{nP'}{k}\left(k-\frac{d'}{d}\right)\left(1-\frac{d'}{d}\right)}$$

σ_c : コンクリートの圧縮応力度

$$\sigma'_c = \frac{3}{4}\sigma_c$$

σ'_c : コンクリートの等価換算応力度

$$\sigma_s = n\sigma_c \frac{1-k}{k}$$

σ_s : 鉄筋の引張応力度

$$\sigma'_s = n\sigma_c \left(1 - \frac{d'}{kd}\right)$$

σ'_s : 鉄筋の圧縮応力度

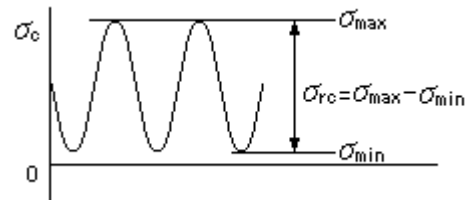
- ② 変動応力度を計算する

各材料の変動応力度は次の通り

コンクリート（圧縮領域のみ）

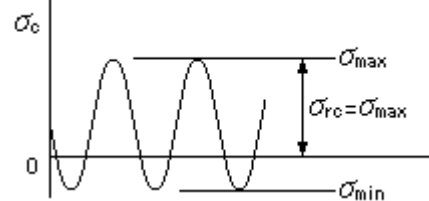
圧縮領域のみでは $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

引張領域のみでは 0.0



コンクリート（圧縮／引張）

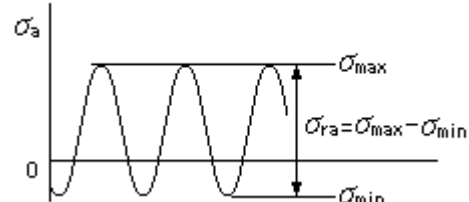
引張応力は無視するので σ_{\max}



鉄筋

引張のみ・圧縮／引張・圧縮のみ

全てにおいて $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$



- ③ 設計変動応力度の設定

波高ランク毎に計算された変動応力度の中で最大値となる値を設計変動応力度として設定する。

④ コンクリート／鉄筋の変動応力度より疲労寿命を計算する。

コンクリート設計疲労強度 f_{rd}

$$f_{rd} = k_1 \cdot f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right) \left(1 - \frac{\log N}{K}\right)$$

k_1 : 0.85(圧縮、曲げ圧縮の場合)

f_d : コンクリートの設計圧縮強度

σ_p : 永久荷重時の応力度

K : 10(普通コンクリートで水に飽和される場合)

上式より疲労強度を変動応力度に等置し疲労寿命を計算する

$$N_i = 10^a$$

$$a = K - \frac{K \sigma_{rd}}{k_1 (f_d - \sigma_p)}$$

鉄筋設計疲労強度 $f_{rd}(f_{srd})$

$$f_{rd} = f_{srd} = 190 \cdot \frac{10^\alpha}{N^k} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right) / \gamma_s$$

α : $k_0 \cdot (0.81 - 0.003\phi)$

k : 0.12 k_0 : 1.0

ϕ : 鉄筋公称直径

σ_{sp} : 永久荷重時の応力度

f_{ud} : 鉄筋の設計引張強度

γ_s : 材料係数(疲労限界状態 = 1.05)

上式より疲労寿命を求めるには次式を使用する

$$N_i = \left\{ 190 \cdot \frac{10^\alpha}{\sigma_{rd}} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right) / \gamma_s \right\}^{1/k}$$

⑤ 疲労限界状態の検討について

④で求めたコンクリート／鉄筋の疲労寿命が 2×10^6 回を超えている場合は疲労破壊しないとして検討を省略できる。

⑥ 疲労寿命が 2×10^6 回を超えない場合

2×10^6 回を超えない回数を対象とし、設計変動応力度に対する等価繰り返し回数を次式により計算する。

a) コンクリート

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \cdot 10^{B(\sigma_{ri} - \sigma_{rd})}$$

$$B = \frac{K}{k_1 \cdot f_d \cdot \left(1 - \frac{\sigma_p}{f_d}\right)}$$

σ_{ri} : 移動荷重の変動応力度

σ_{rd} : 設計変動応力度

K : 10(普通コンクリートで水に飽和される場合)

k_1 : 0.85(圧縮、曲げ圧縮の場合)

f_d : コンクリートの設計圧縮強度

σ_p : 永久荷重時の応力度

n_i : 移動荷重の発生回数

b) 鉄筋

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \cdot \left(\frac{\sigma_{ri}}{\sigma_{rd}}\right)^{1/k}$$

σ_{ri} : 移動荷重の変動応力度

σ_{rd} : 設計変動応力度

n_i : 移動荷重の発生回数

k : 0.12

各波高の設計変動応力度 σ_{rd} に対する等価繰り返し回数の総和 N をコンクリート／鉄筋の疲労強度算定式に入力し、疲労強度 f_{rd} を計算する。疲労強度 f_{rd} と設計変動応力度 σ_{rd} の関係が以下の式になれば疲労に対して安全となる。

$$\frac{\gamma_i \cdot \sigma_{rd}}{f_{rd} / \gamma_b} \leq 1.0$$

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成19年3月 第1編 6-6～6-7）

せん断力による疲労検討

i) せん断補強筋がない場合

$$V_{rcd} = V_{cd} \cdot \left(1 - \frac{V_{pd}}{V_{cd}}\right) \left(1 - \frac{\log N}{11}\right)$$

V_{rcd} : せん断補強筋のない部材の設計疲労耐力

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力

V_{pd} : 永久荷重作用時における設計せん断力

N : 疲労寿命

せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 V_{cd} は次式による

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

疲労寿命 N_i

$$N_i = 10^a$$

$$a = 11 \left(1 - \frac{V_{rd}}{V_{cd} \left(1 - V_{pd}/V_{cd}\right)}\right)$$

V_{pd}

$$a = 11 \left(1 - V_{rd}/V_{cd}\right) = \frac{11(V_{cd} - V_{rd})}{V_{cd}}$$

曲げモーメント時と同様、疲労強度 N_i が 2.0×10^6 回を上回る回数は無視する。
 2.0×10^6 回を超えない場合は設計変動せん断応力度に対する等価繰返し回数を計算し、設計せん断疲労耐力 V_{rcd} と V_{rd} の比で安全性を計算する。

等価繰返し回数

$$N_i = \sum_{i=1}^m n_i \cdot 10^a \quad \begin{array}{l} k_1 : 1.0 \\ K : 11 \end{array}$$

$$a = \frac{K}{k_1 \cdot V_{cd}} (V_{ri} - V_{rd})$$

$$\frac{\gamma_i \cdot V_{rd}}{V_{rcd} / \gamma_b} \leq 1.0$$

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成11年4月 下巻 1-58）

ii) せん断補強筋がある場合

$$\frac{\gamma_i \sigma_{wrd}}{(f_{wsrd} / \gamma_b)} \leq 1.0$$

$$\sigma_{wrd} = \frac{(V_{pd} + V_{rd} - k_2 V_{cd}) S}{A_w Z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \times \frac{V_{rd}}{V_{pd} + V_{rd} + V_{cd}}$$

$$\sigma_{wpd} = \frac{(V_{pd} + V_{rd} - k_2 V_{cd}) S}{A_w Z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \times \frac{V_{pd} + V_{cd}}{V_{pd} + V_{rd} + V_{cd}}$$

$$f_{wsrd} = 190 \frac{10^\alpha}{N^\kappa} (1 - \frac{\sigma_{wpd}}{f_{ud}}) / \gamma_s$$

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \left(\frac{\sigma_{ri}}{\sigma_{rd}} \right)^{\frac{1}{\kappa}}, \quad V_{cd} = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d / \gamma_b$$

ここに

σ_{wrd} : 変動荷重によるせん断補強筋の応力度 (N/mm²)

σ_{wpd} : 永久荷重によるせん断補強筋の応力度 (N/mm²)

f_{wsrd} : せん断補強筋の設計疲労強度 (N/mm²)

V_{rd} : 変動設計変動せん断力 (kN)

V_{pd} : 永久荷重作用時における設計せん断力 (kN)

V_{cd} : せん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力 (kN)

k_2 : 変動荷重の頻度の影響を考慮するための係数

A_w : 1組のせん断補強筋の断面積 (mm²)

S : 変動せん断補強筋の配置間隔 (mm)

Z : 圧縮応力の合力作用位置から引張鋼材図心までの距離 (mm)

d : 部材の有効高さ (mm)

α_s : 変動せん断補強筋が部材軸となす角度

N : 疲労寿命

$$\alpha = k_0 (0.081 - 0.003\phi)$$

$$\kappa = 0.12$$

ϕ : 鉄筋直径 (mm)

f_{ud} : 鉄筋の設計引張応力度 (N/mm²)

$$\beta_d = \sqrt[4]{(100/d)}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{(100p_w)}$$

$$\beta_n = 1.0$$

$$f_{vcd} = 0.2 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

p_w : 鉄筋比

γ_b : 部材係数

γ_i : 構造物係数

※沿岸技術研究センター，港湾構造物設計事例集（平成11年4月 下巻 9-17～9-18）

3. 補足資料

3-1. 参考文献

準拠基準及び参考文献は以下の通りです。

- | | | |
|-------------------------|----------|--------------|
| ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 | 平成30年 5月 | 日本港湾協会 |
| | 平成19年 7月 | 日本港湾協会 |
| | 平成11年 4月 | 日本港湾協会 |
| ・ 港湾構造物設計事例集 | 平成19年 3月 | 沿岸開発技術研究センター |
| ・ 漁港・漁場の施設の設計の手引き | 2003年度版 | 全国漁港協会 |
| ・ 漁港の防波堤・けい船岸等の設計指針と計算例 | 平成4年度改訂版 | 全国漁港協会 |
| ・ コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕 | 2002年制定 | 土木学会 |
| ・ 構造力学公式集 | 昭和49年12月 | 土木学会 |