

港湾設計業務シリーズ

ケーソン細部設計2

(標準函／堤頭函)

商 品 概 説 書

目次

はじめに.....	1
1. 概要.....	2
システムの特徴.....	2
システムの機能.....	2
システムの制限事項.....	3
2. 設計の考え方.....	4
2-1 許容応力度法—係船岸.....	4
検討状態／検討部材／荷重.....	4
設計荷重.....	4
設計荷重のまとめ.....	10
断面力(モーメント).....	11
部材のかぶり／有効高さ.....	13
配筋計算及び応力度の算定方法.....	16
2-2 許容応力度法—防波堤.....	17
検討状態／検討部材／荷重.....	17
設計荷重.....	17
設計荷重のまとめ.....	21
断面力.....	22
部材のかぶり／有効高さ.....	22
配筋計算及び応力度の算定方法.....	22
2-3 限界状態設計法—係船岸.....	23
検討状態／検討部材／荷重.....	23
設計荷重.....	23
設計荷重のまとめ.....	32
断面力.....	33
部材のかぶり／有効高さ.....	33
終局限界状態での検討.....	33
使用限界状態での検討.....	36
照査.....	38
2-4 限界状態設計法—防波堤.....	39
検討状態／検討部材／荷重.....	39
設計荷重.....	39
設計荷重のまとめ.....	46
疲労限界状態.....	47
2-5 不等沈下の検討.....	53

はじめに

この説明書は港湾設計業務シリーズの、「ケツ細部設計」について説明したものです。

1. 概要

システムの特徴

本システムは、港湾基準・漁港基準に準拠しています。係船岸／防波堤のケーソンの細部設計計算を許容応力度法／限界状態設計法で行うことができます。

システムとして、標準版バージョンと上位バージョンである堤頭版バージョンを用意しております。堤頭版バージョンは標準版バージョンの機能を網羅しています。

計算結果は報告書形式で印刷されますのでそのまま報告書として利用できます。

Windows対応ですので、初心者でも操作が簡単にマスターできます。インストールやアンインストールも容易に行えます。

準拠基準及び参考文献は、以下の通りとなっています。

- 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
- 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会
- 港湾の施設の技術上の基準・同解説 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
- 港湾構造物設計事例集 平成11年4月 沿岸開発技術研究センター
- 漁港の技術指針 1999年版 全国漁港協会
- [平成8年 制定]コンクリート標準示方書 設計編 土木学会
- [2002年制定]コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 土木学会
- [2017年制定]コンクリート標準示方書 [設計編] 土木学会

システムの機能

〈入力、計算機能〉

[堤頭版バージョンのみ]

- 堤頭版の検討(防波堤においての堤頭側側壁の波圧の検討。法線平行方向断面の底版の検討)が可能です。
- 底版のモーメント総括図の検討方向全室表示が可能です。
- 底版の照査のまとめ、配筋のまとめ図のケーソン全体表示が可能です。

[共通]

- 入力された寸法、底版反力／波圧／揚圧力／上載荷重から部材に作用する荷重の計算ができます。
- 波圧強度を各ポイント最大10箇所設定可能、合田式／広井式等に対応可能です。
- 弊社製品『重力式係船岸』『重力式防波堤』シリーズから荷重データをインポートすることができます。
- 計算された荷重から部材にかかるモーメント計算ができます。
- 外壁隅角部の不釣り合いモーメント修正ができます
- 求められたモーメントから以下の方法で配筋計算ができます。
 - ・ 許容応力度法
 - ・ 限界状態設計法(終局時／使用時／疲労時)
- 自動配筋計算後、配筋を編集することができます。
編集集中に照査結果を確認することもできます。
- 底版の配筋順を変えることができます。
- ハンチ1/3を有効厚に考慮することができます。

- 側壁、底版、フーチング各部材について、複数の荷重状態から設計荷重を決定する方法を多数選ぶことが可能です。
- 摩擦増大マットの考慮が可能です。

〈帳票印刷の主な機能〉

- 印刷イメージを画面表示します。
- 印刷内容の編集が可能です。
- 一括印刷、章別印刷、指定ページの印刷が可能です。
- 用紙サイズや印刷フォントは、お好みのものを自由に選択できます。
※A4縦、12Pフォントで最適になるように設定されています。

システムの制限事項

[データ容量]

- 室数(法線平行方向、法線直角方向共に) 最大 8 室
- 鉄筋ピッチ 20(40, 10)、25(50, 12.5)、30(60, 15)cm
の3種類
- 鉄筋径 最小径 D6 最大径 D41
- 波力作用位置 最大 10箇所

[制限事項]

- 堤頭方向の検討は防波堤で考慮するものとする
- 係船岸では波圧を考慮しないものとする
- 防波堤では底版に対して地震時を考慮しないものとする
- 側壁厚の法線直角方向側壁は同一厚とする
- 隔壁厚は法線平行方向、法線直角方向で等しいものとする

2. 設計の考え方

2-1 許容応力度法—係船岸

検討状態／検討部材／荷重

検討状態		前後壁	側壁	底版	隔壁	フーチング
浮遊時		○	○	○		
据付時					○	
完成後	常時	○	○	○	拔出し	○
	地震時	○	○	○	拔出し	○

設計荷重

浮遊時

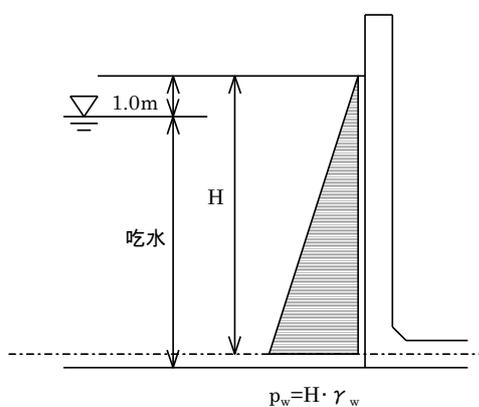
(1) 前後壁／側壁

考慮する外力

Sf : 静水圧 (吃水+1.0mの強度で、天端～底版/2まで作用)

設計荷重

$$P = Sf$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.792

(2) 底版

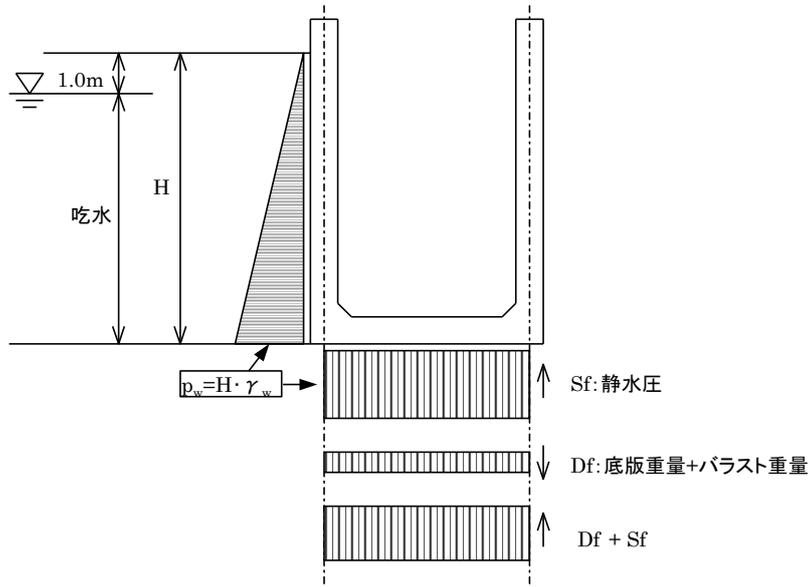
考慮する外力

Sf : 静水圧 (吃水+1.0mの強度で、天端～底版下面まで作用)

Df : 底版自重+バラスト重量 (両者とも浮力を考慮しません)

設計荷重

$$P = Df + Sf$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.793

据付時

(1) 隔壁

考慮する外力

S : 水圧 (隔壁間の水位差1.0mの強度)

設計荷重

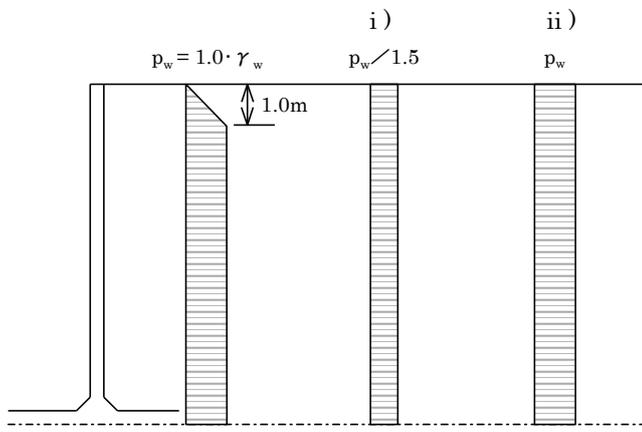
短期荷重として割り増しを行うか、行わないかを選択できます。

i) 割り増しを行う場合、短期荷重として長期荷重に換算

$$P = S / 1.5$$

ii) 割り増しを行わない場合、換算しない

$$P = S$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.794

完成後

(1) 前後壁／側壁

内部土圧、内部水圧

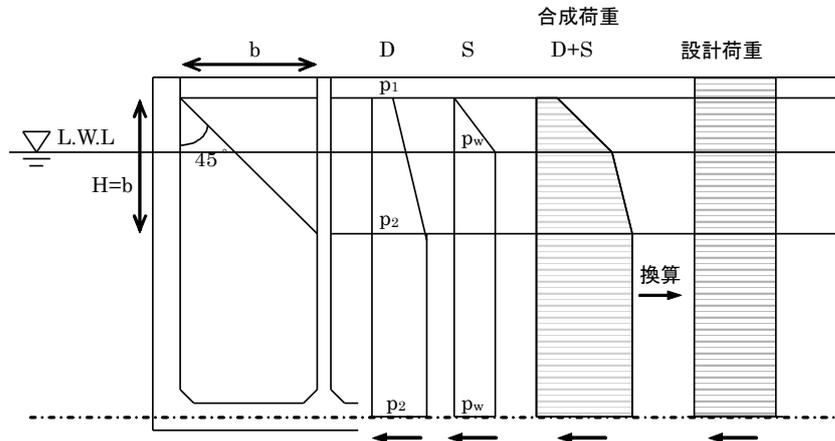
D : 内部土圧

S : 内部水圧

設計荷重

$P = D + S$

※換算方法および、換算幅はオプションで変更可能です。



内部土圧

中詰土天端～室内幅の深さ（H）まで増加、それ以深は増加しない。

中詰土天端の土圧強度 $p_1 \rightarrow p_1 = (W1 + W2 + W3) \cdot K$

W1 : 上載荷重、W2 : 積載荷重、W3 : 蓋コン重量、K : 内部土圧係数 (0.6)

室内幅の深さでの土圧強度 $p_2 \rightarrow p_2 = p_1 + \gamma HK$

内部水圧

ケーソン内水位とLWLの水位差を考える。

LWLでの水圧強度 $p_w \rightarrow p_w = (\text{ケーソン内水位} - \text{LWL}) \cdot \gamma_w$

◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.795

(2) 底版

考慮する外力

D : 永久荷重 (蓋コンクリート重量+中詰め材重量+底版重量+積載重量 : 各荷重は浮力を考慮しない)

F : 静水圧 (設計潮位 (通常R.W.L) での強度)

W : 上載荷重 (常時)

W' : 上載荷重 (地震時)

Do : 底版反力 (常時)

R' : 底版反力 (地震時)

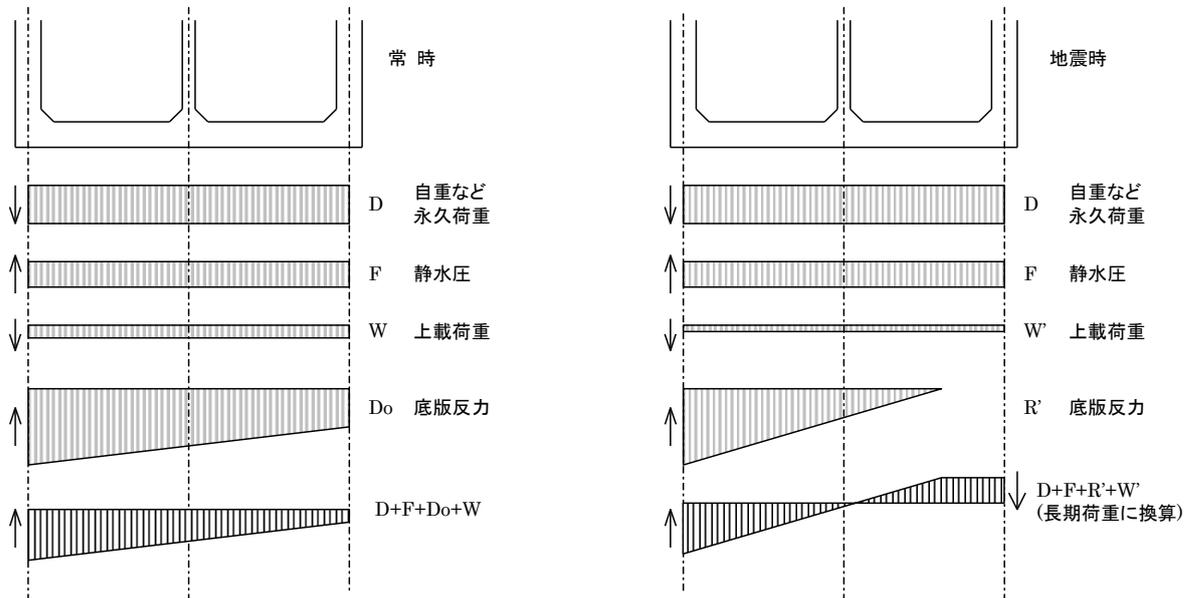
設計荷重

[常時]

$$P = D + F + D_o + W$$

[地震時]

$$P = D + F + R' + W'$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.796

(3) フーチング

考慮する外力

D : 永久荷重 (フーチング重量+積載重量 : 各荷重は浮力を考慮する)

Do : 底版反力 (常時)

R' : 底版反力 (地震時)

W : 上載荷重 (常時)

W' : 上載荷重 (地震時)

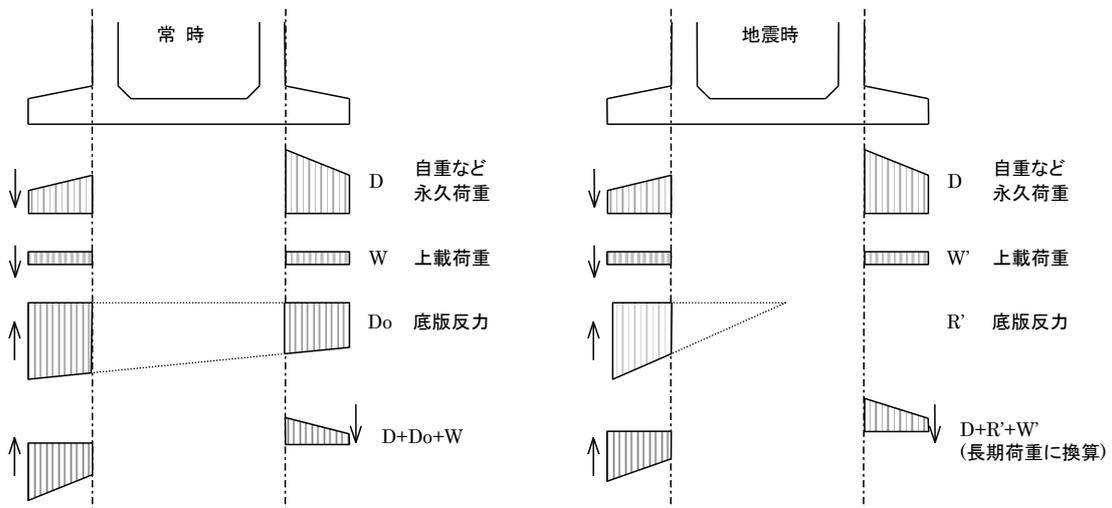
設計荷重

[常時]

$$P = D + Do + W$$

[地震時]

$$P = D + R' + W'$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.796

(4) 隔壁

設計荷重

〔隔壁と側壁／前後壁〕

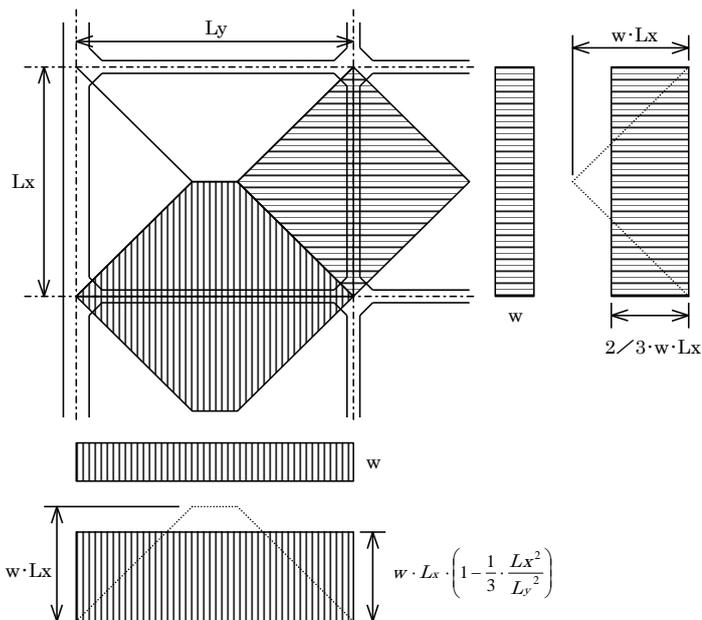
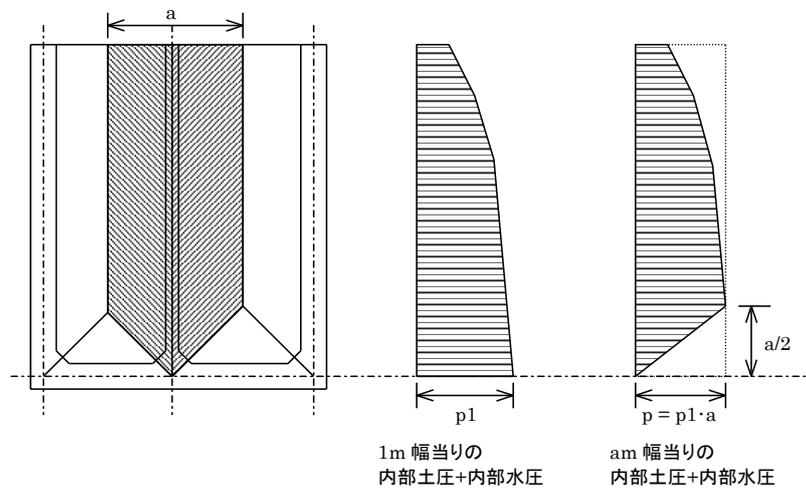
完成後の側壁／前後壁に作用する「内部土圧+内部水圧」（荷重係数がかけられた値）に分布幅 a をかけ、等分布荷重に換算し設計荷重とする。

〔隔壁と底版〕

完成後の底版の設計荷重（荷重係数がかけられた値）の下向き最大値に分布幅をかけ、等分布に換算し設計荷重とする。等分布に換算する場合、室寸法 L_x 、 L_y の値により次式を用いる。

$$T_d = p_y = \frac{2}{3}wL_x$$

$$T_d = p_x = wL_x \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{L_x^2}{L_y^2} \right)$$



設計荷重のまとめ

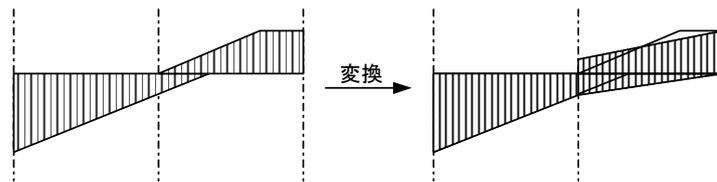
(1) 前後壁／側壁

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、外部からの荷重（浮遊時）／内部からの荷重（完成時）を求める。

完成時（地震時）の設計荷重より、外部からの荷重（背面土圧）／内部からの荷重（動水圧）を求める。

(2) 底版

常時：地震時の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める
室の途中で荷重の変化点がある場合、三角形分布／台形分布に変換する。



常時

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

地震時

完成時（地震時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。
※荷重は短期荷重と考え長期荷重に換算したものを設計荷重とする

(3) 隔壁

据付時の設計荷重が外部からの荷重となる。内部からの荷重はなし。

(4) フーチング

常時：地震時の2パターンの設計荷重を求める。

常時

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

地震時

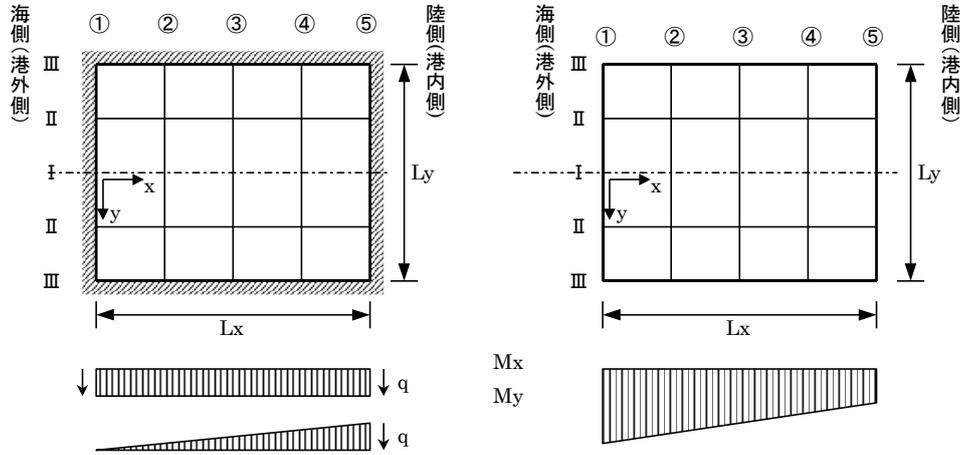
完成時（地震時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

断面力(モーメント)

各部材のモーメントを、両方向の設計荷重より計算し、両方向モーメントの最大値を設計断面力とする。

(1) 底版

四辺固定版として表よりモーメントを計算する。



$\lambda \leq 1$ の場合

$$M_x = X \cdot q \cdot L_x^2$$

$$M_y = Y \cdot q \cdot L_x^2$$

$\lambda > 1$ の場合

$$M_x = X \cdot q \cdot L_y^2$$

$$M_y = Y \cdot q \cdot L_y^2$$

λ : 辺長比 $\lambda = L_x / L_y$

M_x, M_y : 求める点でのx方向、y方向の曲げモーメント (kN・m/m)

X, Y : 求める点でのx方向、y方向の曲げモーメント係数

L_x, L_y : x方向、y方向の長さ (m)

q : 荷重強度 (kN/m²)

M_x → 法線直角方向の配筋で使用

M_y → 法線平行方向の配筋で使用

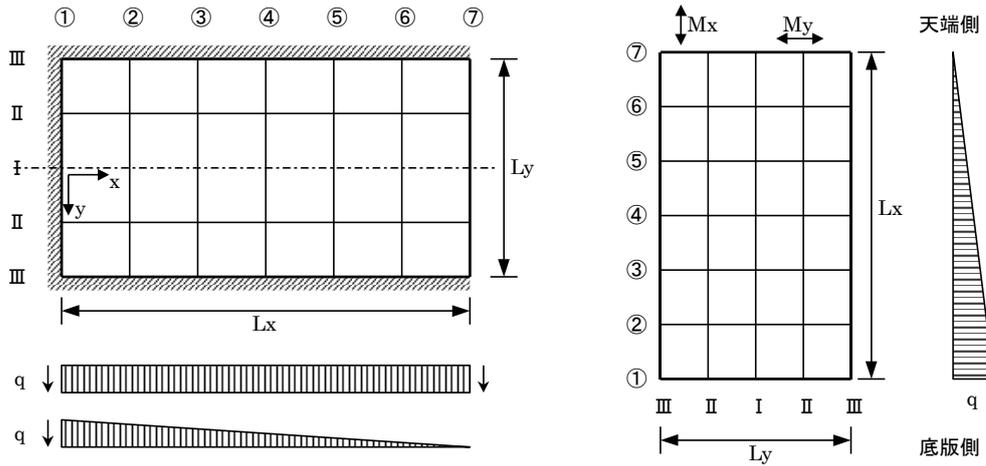
◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.797

(2) 外壁(前後壁/側壁)

三辺固定一辺自由版として表よりモーメントを計算する。

M_x → 鉛直方向の配筋で使用

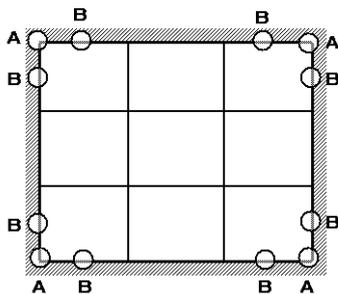
M_y → 水平方向の配筋で使用



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.797

不釣り合いモーメントの修正

外壁間で固定部とみなした箇所が生じた不釣り合いモーメントが著しく大きいときには、外壁端部は版の剛比の割合で分配し、さらにスパンモーメントについても分配されたモーメントの0.5倍を加え補正しなければならない。なお、内部の支点及び第一径間以外については、不釣り合いモーメント分配の影響が小さいので特に分配する必要がない(下図参照)。



A 点は版の剛比の割合で分配

B 点はA点での修正量の 50%で補正

◆ 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 P.111

(3) フーチング

ケーソン前面で支持される片持ちばりとして、モーメント／せん断力を計算する。

せん断力 V_d

$$V_d = \frac{1}{2}P_1 \cdot L + \frac{1}{2}P_2 \cdot L$$

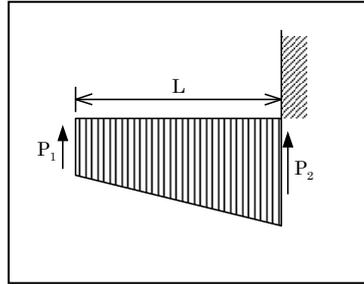
$$= \frac{1}{2} \cdot L(P_1 + P_2)$$

モーメント M_d

$$M_d = \frac{1}{2}P_1 \cdot L \cdot \frac{2}{3}L + \frac{1}{2}P_2 \cdot L \cdot \frac{1}{3}L$$

$$= \frac{2}{6}P_1 \cdot L^2 + \frac{1}{6}P_2 \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{6}L^2(2P_1 + P_2)$$

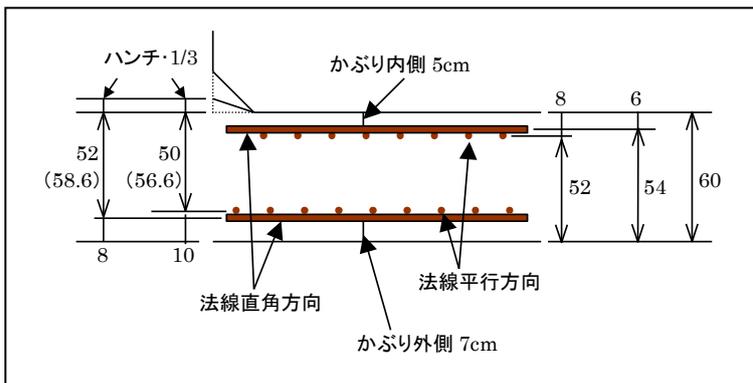


部材のかぶり／有効高さ

- (1) 底版・・・下から上（外側→内側）の荷重の向きを正とする。

底版厚60cm、ハンチ20cm、かぶりを下側7cm、上側5cm、
 芯かぶりを外側鉄筋=かぶり+1cm、交差側鉄筋=かぶり+3cmとした場合の有効厚

	モーメント	かぶり (cm)	有効高さ (cm)
法線平行方向上側	My (+) ↑	7	52
法線平行方向下側	My (-) ↓	9	50 (56.6) ※
法線直角方向上側	Mx (+) ↑	5	54
法線直角方向下側	Mx (-) ↓	7	52 (58.6) ※

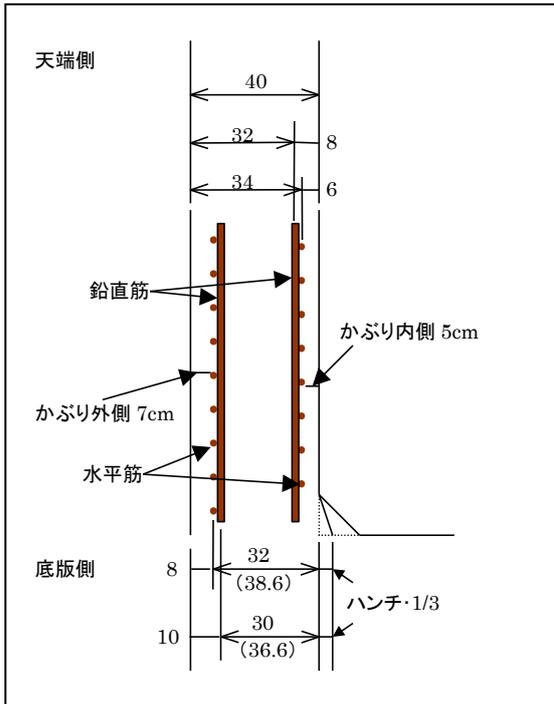


※ 隅角部（ハンチ部分）ではハンチ幅の1/3を有効高に考慮する。

(2) 前後壁／側壁・・・外側→内側の荷重の向きを正とする。

壁厚40cm、ハンチ20cm、かぶりを外側7cm、内側5cm、
 芯かぶりを外側鉄筋=かぶり+1cm、交差側鉄筋=かぶり+3cmとした場合の有効厚

	モーメント	かぶり (cm)	有効高さ (cm)
水平方向外側	My (-)	7	32 (38.6) ※
水平方向内側	My (+)	5	34
鉛直方向外側	Mx (-)	9	30 (36.6) ※
鉛直方向内側	Mx (+)	7	32

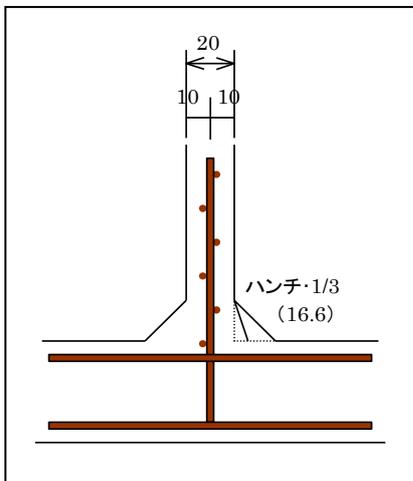


※ 隅角部 (ハンチ部分) ではハンチ幅の1/3を有効高さに考慮する。

(3) 隔壁

法線平行方向隔壁／水平
 法線平行方向隔壁／鉛直
 法線直角方向隔壁／水平
 法線直角方向隔壁／鉛直

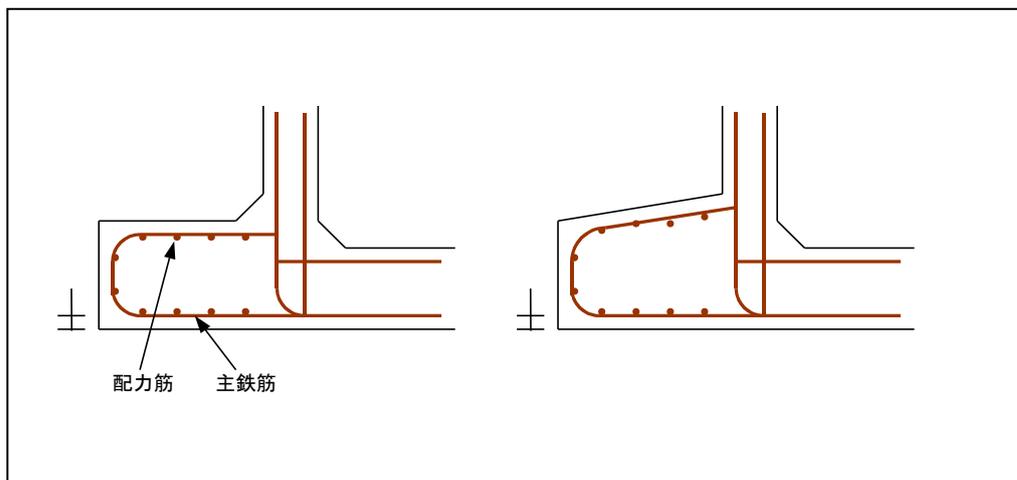
有効高さは隔壁厚の1/2



(4) フーチング

下側からの荷重：M（+） → 下側鉄筋の配筋で使用

上側からの荷重：M（-） → 上側鉄筋の配筋で使用



水平形状（幅100cm、先端高50cm、フーチングハンチ20cm）

かぶりを下側7cm、上側7cm、芯かぶりをかぶり+1cmとした場合の有効厚

	かぶり (cm)	有効高さ (cm) モーメント	有効高さ (cm) せん断
下側	7	42 (48.6) ※	42 (48.6) ※
上側	7	42	42

※ フーチングハンチを考慮した場合。

台形形状（幅100cm、先端高50cm、付根高70cm）

かぶりを下側7cm、上側7cm、芯かぶりをかぶり+1cmとした場合の有効厚

	かぶり (cm)	有効高さ (cm) モーメント	有効高さ (cm) せん断
下側	7	62	62 (55) ※
上側	7	62	62 (55) ※

※ せん断の検討面を壁前面+付根高/2とした場合

有効高さ (55cm) = 検討面での高さ (63cm) - 芯かぶり (8cm)

配筋計算及び応力度の算定方法

版について単鉄筋長方形断面と考え、次式により計算する。
検討は、各応力度<各許容応力度とする。

曲げ引張

$$\sigma_s < \sigma_{sa} \cdots OK$$

曲げ圧縮

$$\sigma_c < \sigma_{ca} \cdots OK$$

せん断

$$\tau < \tau_a \cdots OK$$

曲げ引張応力度

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

曲げ圧縮応力度

$$\sigma_c = \frac{2M}{k \cdot j \cdot b \cdot d^2}$$

せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{b \cdot j \cdot d}$$

ここに

$\sigma_{sa}, \sigma_{ca}, \tau_a$: 各許容応力度

M : 計算された曲げモーメント

S : 計算されたせん断力

A_s : 必要鉄筋量

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

$$j = 1 - k/3$$

d : 版の有効厚

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$p = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

A_s' : 使用鉄筋量

b : 部材単位幅

$$n = 15$$

◆オーム社, 鉄筋コンクリートの設計 (改訂2版) (P34~)

◆ 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 P.157

2-2 許容応力度法—防波堤

検討状態／検討部材／荷重

検討状態		前壁	後壁	側壁	底版	隔壁	フーチング*
浮遊時		○	○	○	○		
据付時						○	
完成後	常時（静穏時）		○				
	波圧作用時/山	○			○	抜出し	○
	波圧作用時/谷	○		○	○	抜出し	○

設計荷重

浮遊時

係船岸と同様

据付時

係船岸と同様

完成後

(1) 前壁（内部からの荷重）

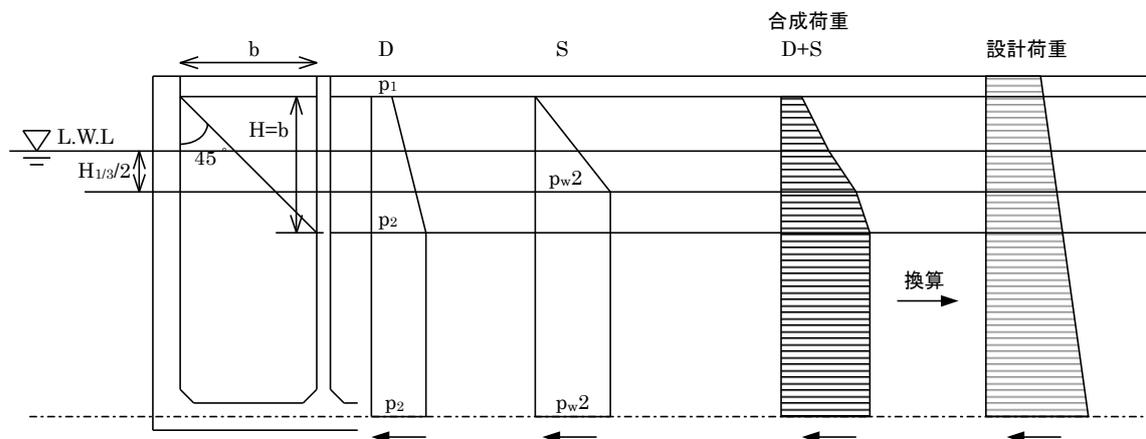
考慮する外力

D：内部土圧

S：内部水圧（有義波高/2の水位差を考慮）

設計荷重

$$P = D + S$$



内部土圧

中詰土天端～室内幅の深さ (H) まで増加、それ以深は増加しない。

中詰土天端の土圧強度 $p_1 \rightarrow p_1 = (W1 + W2 + W3) \cdot K$

W1 : 上載荷重、W2 : 積載荷重、W3 : 蓋コン重量、K : 内部土圧係数 (0.6)

室内幅の深さでの土圧強度 $p_2 \rightarrow p_2 = p_1 + \gamma HK$

内部水圧 (波の谷作用時)

ケーソン内水位と $LWL - H_{1/3} / 2$ の水位差を考える。

$LWL - H_{1/3} / 2$ での水圧強度 p_w2

$$p_w2 = \{ \text{ケーソン内水位} - (LWL - H_{1/3} / 2) \} \cdot \gamma_w$$

◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.795

(2) 前壁 (外部からの荷重)

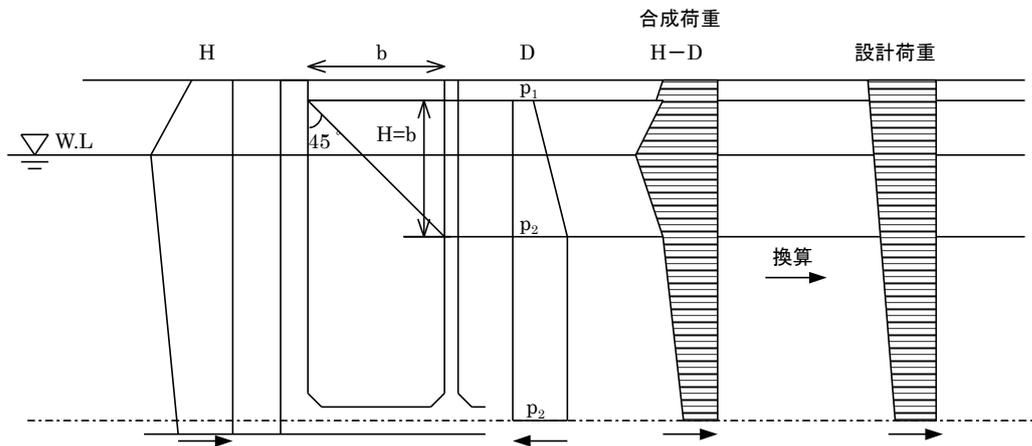
考慮する外力

D : 内部土圧

H : 波圧

設計荷重

$$P = H - D$$



(3) 側壁

考慮する外力

D : 内部土圧

S : 内部水圧

設計荷重

$$P = D + S$$

※荷重の組み合わせ、荷重係数は「前壁 (内部からの荷重)」と同様となる。また、外部からの荷重はなし。

◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.795

(4) 後壁

考慮する外力

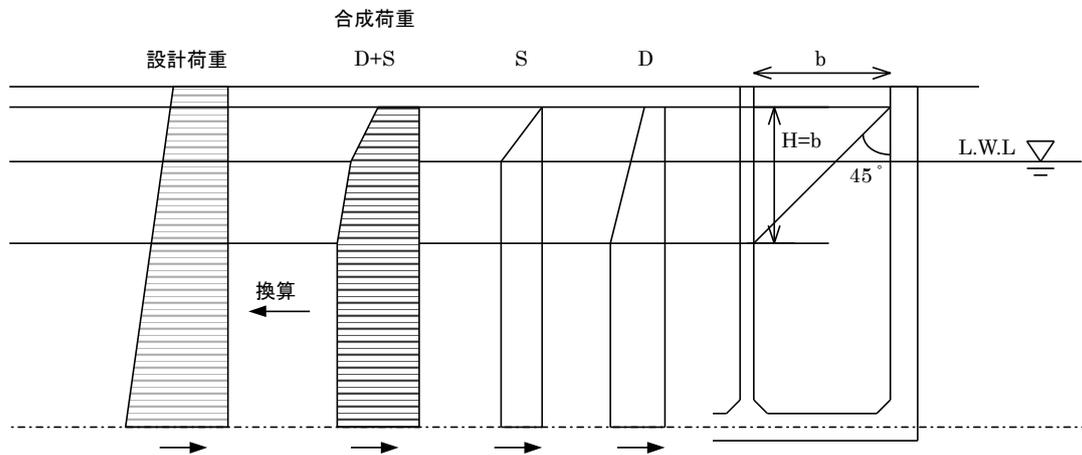
D : 内部土圧

S : 内部水圧

設計荷重

$$P = D + S$$

※外部からの荷重はありません。



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.795

(5) 底版

考慮する外力

D : 永久荷重 (蓋コンクリート重量+中詰め材重量+底版重量 : 各荷重は浮力を考慮しない)

F : 静水圧 (設計潮位での強度)

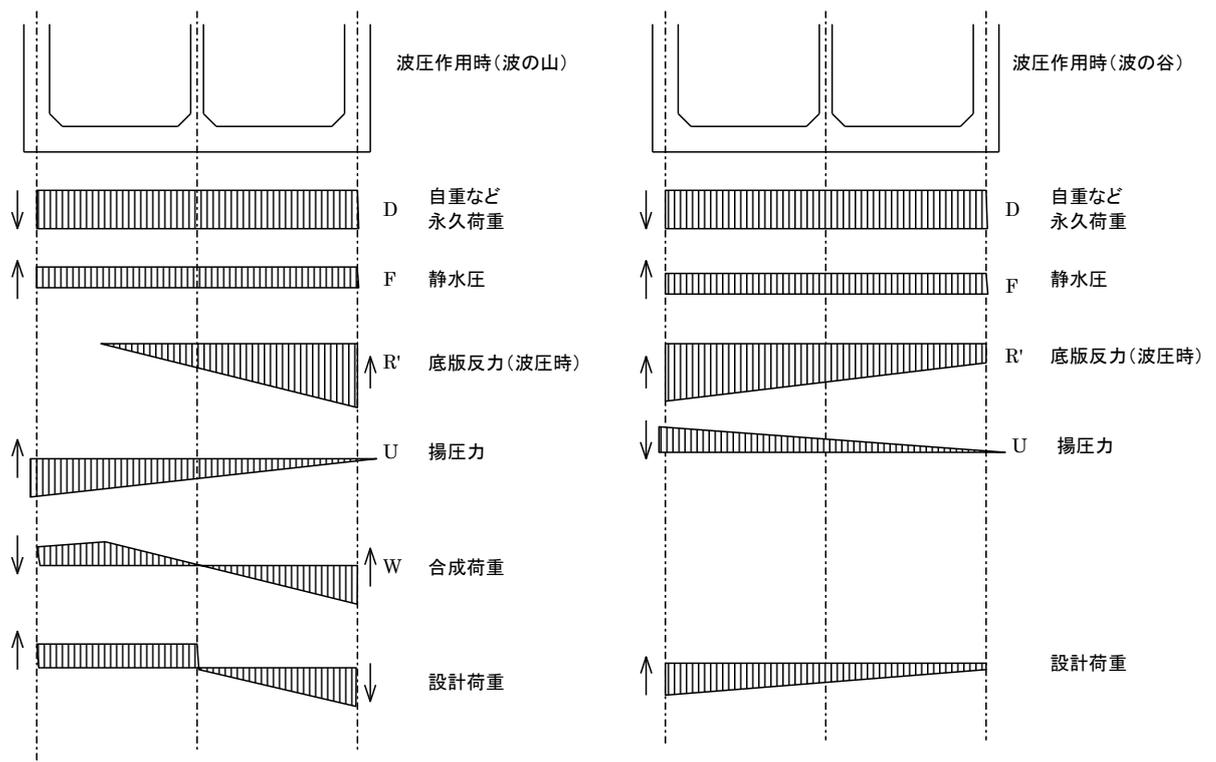
R' : 底版反力 (波圧作用時)

U : 揚圧力

※ R' とUは、波の山/谷、H.W.L/L.W.Lとそれぞれ4パターンの値 (入力値) があります。

設計荷重

$$P = D + F + R' + U$$



◆ 漁港の技術指針 1999年版 資料4.2 P.796

(6) フーチング

考慮する外力

D : 永久荷重 (自重など : 各荷重は浮力を考慮)

R' : 底版反力 (波圧作用時)

設計荷重

$$P = D + R'$$

(7) 隔壁

設計荷重

〔隔壁と側壁／前後壁〕、〔隔壁と底版〕

係船岸と同様

設計荷重のまとめ

(1) 前壁

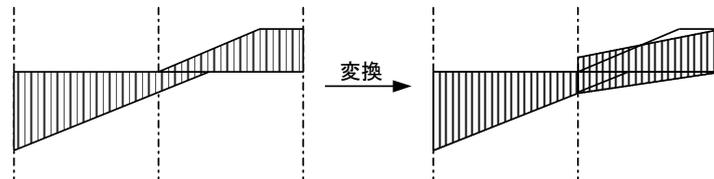
- 浮遊時外部からの荷重
- 完成後外部からの荷重(波圧作用時)
- 完成後内部からの荷重
- 以上から設計荷重を求める

(2) 後壁／側壁

- 浮遊時外部からの荷重
- 完成後内部からの荷重
- 以上から設計荷重を求める

(3) 底版

- 常時：地震時の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める
- 室の途中で荷重の変化点がある場合、三角形分布／台形分布に変換する。



- 浮遊時／完成後（波の山）／完成後（波の谷）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

(4) 隔壁

- 据付時の設計荷重が外部からの荷重となる。内部からの荷重はなし。

(5) フーチング

- 底版と同様。

断面力

各部材のモーメントを、両方向の設計荷重より計算し、両方向モーメントの最大値を設計断面力とする。

基本的には許容応力度法一係船岸と同様。

前壁波圧時については、四辺固定版として考える場合もある。

部材のかぶり／有効高さ

許容応力度法一係船岸と同様

配筋計算及び応力度の算定方法

許容応力度法一係船岸と同様

2-3 限界状態設計法—係船岸

検討状態／検討部材／荷重

各項目の上段は終局限界状態、下段は使用限界状態

検討状態		前後壁	側壁	底版	隔壁	フーチング
浮遊時		○ ○	○ ○	○ ○	/	/
据付時		/	/	/	○ ○	/
完成後	常時	/	/	○	抜きし	○
	地震時	○	○	○	抜きし	○

※前後壁／側壁において地震時を検討するのは動水圧を検討する場合

設計荷重

浮遊時

(1) 前後壁／側壁

考慮する外力

Sf : 静水圧 (吃水+1.0mの強度で、天端～底版/2まで作用)

設計荷重

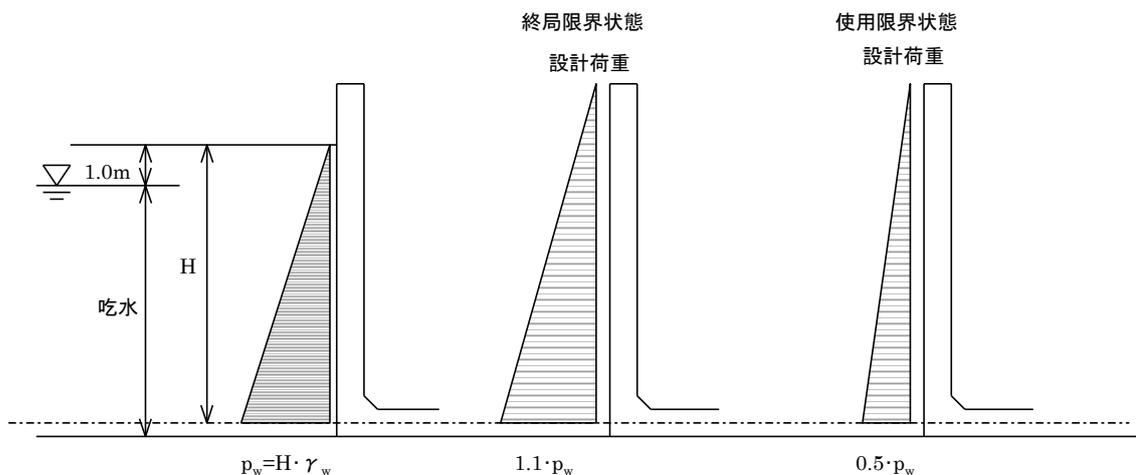
考慮する各強度 (荷重) に、各限界状態の荷重係数 (γf) をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot Sf = 1.1 \cdot Sf$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot Sf = 0.5 \cdot Sf$$



- ◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 500
- ◆ 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 P. 624

(2) 底版

考慮する外力

Sf : 静水圧 (吃水+1.0mの強度で、天端～底版下面まで作用)

Df : 底版自重+バラスト重量 (両方とも浮力を考慮しない)

設計荷重

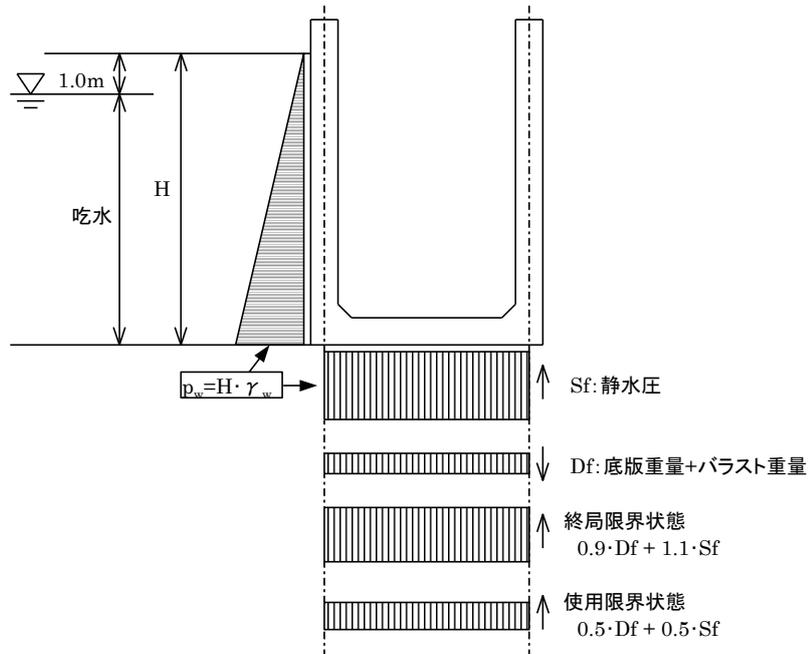
考慮する各強度 (荷重) に、各限界状態の荷重係数 (γf) をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot Sf + \gamma f \cdot Df = 1.1 \cdot Sf + 0.9 \cdot Df$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot Sf + \gamma f \cdot Df = 0.5 \cdot Sf + 0.5 \cdot Df$$



- ◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 503
- ◆ 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 P. 624~625

据付時

(1) 隔壁

考慮する外力

S : 水圧 (隔壁間の水位差1.0mの強度)

設計荷重

考慮する各強度 (荷重) に、各限界状態の荷重係数 (γf) をかけたものを設計荷重とする。

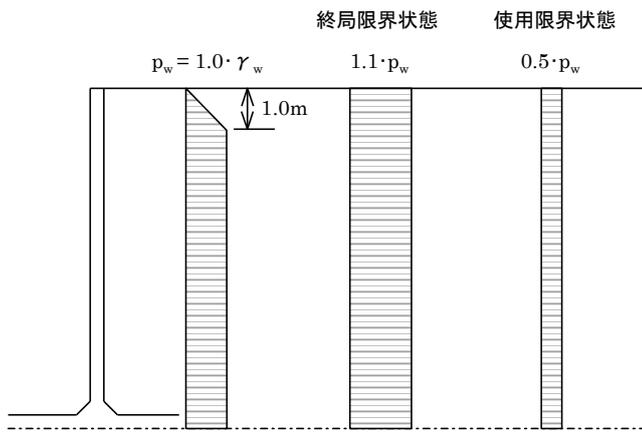
i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot S = 1.1 \cdot S$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot S = 0.5 \cdot S$$

注) 許容応力度法のように、短期荷重と考え長期荷重に換算せず割増は行わない。



- ◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月
- ◆ 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 P. 503
日本港湾協会 P. 624

完成後

(1) 前後壁／側壁

考慮する外力

D：内部土圧

S：内部水圧

設計荷重

考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

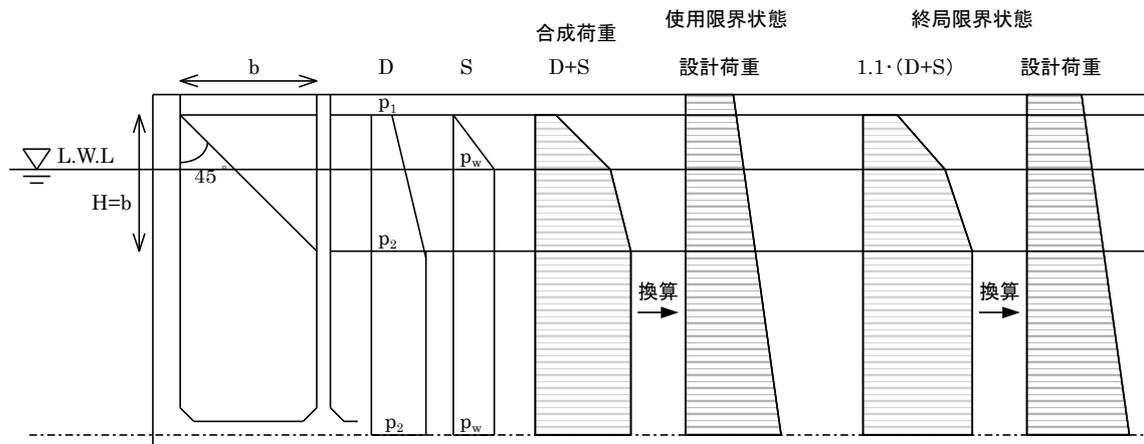
i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S = 1.1 \cdot D + 1.1 \cdot S$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot S$$

※換算方法および、換算幅はオプションで変更可能です。



内部土圧

中詰土天端～室内幅の深さ（H）まで増加、それ以深は増加しない。

中詰土天端の土圧強度 $p_1 \rightarrow p_1 = (W1 + W2 + W3) \cdot K$

W1：上載荷重、W2：積載荷重、W3：蓋コン重量、K：内部土圧係数（0.6）

室内幅の深さでの土圧強度 $p_2 \rightarrow p_2 = p_1 + \gamma HK$

内部水圧

ケーソン内の水位とLWLの水位差を考える。

LWLでの水圧強度 $p_w \rightarrow p_w = (\text{ケーソン内水位} - \text{LWL}) \cdot \gamma_w$

◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

◆ 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 P. 621

内部土圧、内部水圧、動水圧

D : 内部土圧

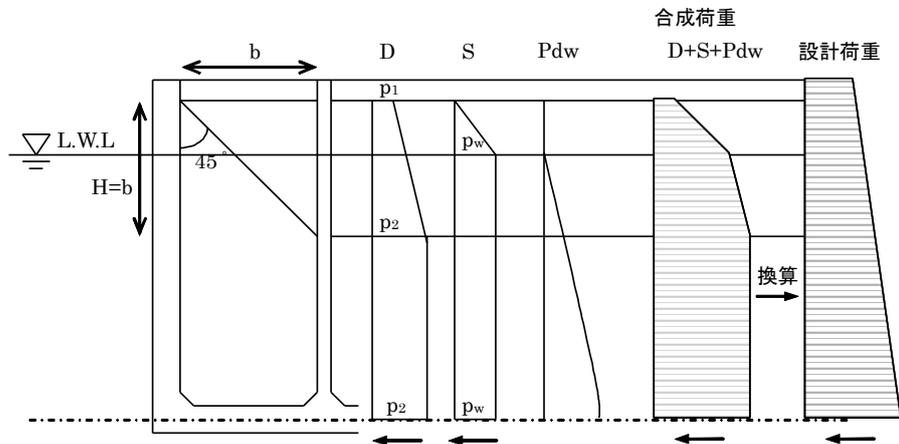
S : 内部水圧

P_{dw} : 動水圧

設計荷重

$$P = D + S + P_{dw}$$

※換算方法および、換算幅はオプションで変更可能です。



内部土圧

中詰土天端～室内幅の深さ (H) まで増加、それ以深は増加しない。

中詰土天端の土圧強度 $p_1 \rightarrow p_1 = (W_1 + W_2 + W_3) \cdot K$

W₁ : 上載荷重、W₂ : 積載荷重、W₃ : 蓋コン重量、K : 内部土圧係数 (0.6)

室内幅の深さでの土圧強度 $p_2 \rightarrow p_2 = p_1 + \gamma HK$

内部水圧

ケーソン内水位とLWLの水位差を考える。

LWLでの水圧強度 $p_w \rightarrow p_w = (\text{ケーソン内水位} - \text{LWL}) \cdot \gamma_w$

動水圧

検討位置に対して以下の式で求める

$$P_{dw} = \frac{7}{8} k \cdot \gamma_w \sqrt{H \cdot y}$$

k : 設計震度

γ_w : 海水の単重

H : 水深 (m)

y : 水面から動水圧を求める点までの深さ (m)

◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

◆ 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 P. 620

(2) 後壁(外部からの荷重)

後壁の主働土圧を考慮した検討をします。外力として土圧を入力した場合のみ検討します。H19基準では後壁の主働土圧の検討は行いません。

D : 内部土圧(上載荷重考慮)

D' : 内部土圧(上載荷重非考慮)

S : 内部水圧

Da : 主働土圧(上載荷重を考慮しない主働土圧常時、地震時)

Da' : 主働土圧(上載荷重を考慮した主働土圧常時、地震時)

Sr : 残留水圧

設計荷重

考慮する各強度(荷重)に、各限界状態の荷重係数(γf)をかけたものを設計荷重とする

i) 終局限界状態(常時)

$P = 1.1D + 1.1S - (0.9Da + 0.9Sr)$ … 内側に安全側

$P = 0.9D' + 0.9S - (1.1Da' + 1.1Sr)$ … 外側に安全側

ii) 終局限界状態(地震時)

$P = 1.0D + 1.0S - (1.0Da + 1.0Sr)$ … 内側に安全側

$P = 1.0D' + 1.0S - (1.0Da' + 1.0Sr)$ … 外側に安全側

iii) 使用限界状態

$P = 1.0D + 1.0S - (1.0Da + 1.0Sr)$ … 内側に安全側

$P = 1.0D' + 1.0S - (1.0Da' + 1.0Sr)$ … 外側に安全側

※換算方法および、換算幅はオプションで変更可能です。
荷重図は荷重係数がかかる以外は許容応力度と同様です。

(2) 底版

考慮する外力

D : 永久荷重 (蓋コンクリート重量+中詰め材重量+底版重量+積載重量 : 各荷重は浮力を考慮しない)

F : 静水圧 (設計潮位 (通常R.W.L) での強度)

W : 上載荷重 (常時)

W' : 上載荷重 (地震時)

Do : 底版反力 (常時)

R' : 底版反力 (地震時)

設計荷重

考慮する各強度 (荷重) に、各限界状態の荷重係数 (γf) をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

[常時]

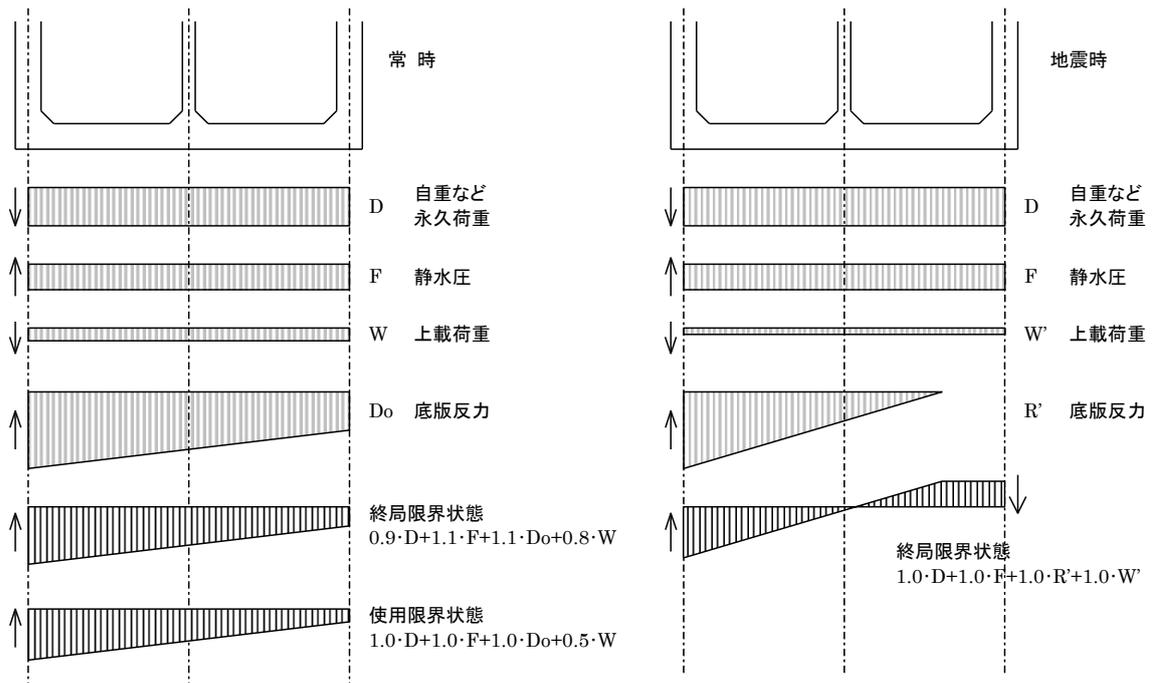
$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot F + \gamma f \cdot Do + \gamma f \cdot W = 0.9 \cdot D + 1.1 \cdot F + 1.1 \cdot Do + 0.8 \cdot W$$

[地震時]

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot F + \gamma f \cdot R' + \gamma f \cdot W' = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot F + 1.0 \cdot R' + 1.0 \cdot W'$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot F + \gamma f \cdot Do + \gamma f \cdot W = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot F + 1.0 \cdot Do + 0.5 \cdot W$$



- ◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 502
- ◆ 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 P. 622~623

(3) フーチング

考慮する外力

D : 永久荷重 (フーチング重量+積載重量 : 各荷重は浮力を考慮する)

Do : 底版反力 (常時)

R' : 底版反力 (地震時)

W : 上載荷重 (常時)

W' : 上載荷重 (地震時)

設計荷重

考慮する各強度 (荷重) に、各限界状態の荷重係数 (γf) をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

[常時]

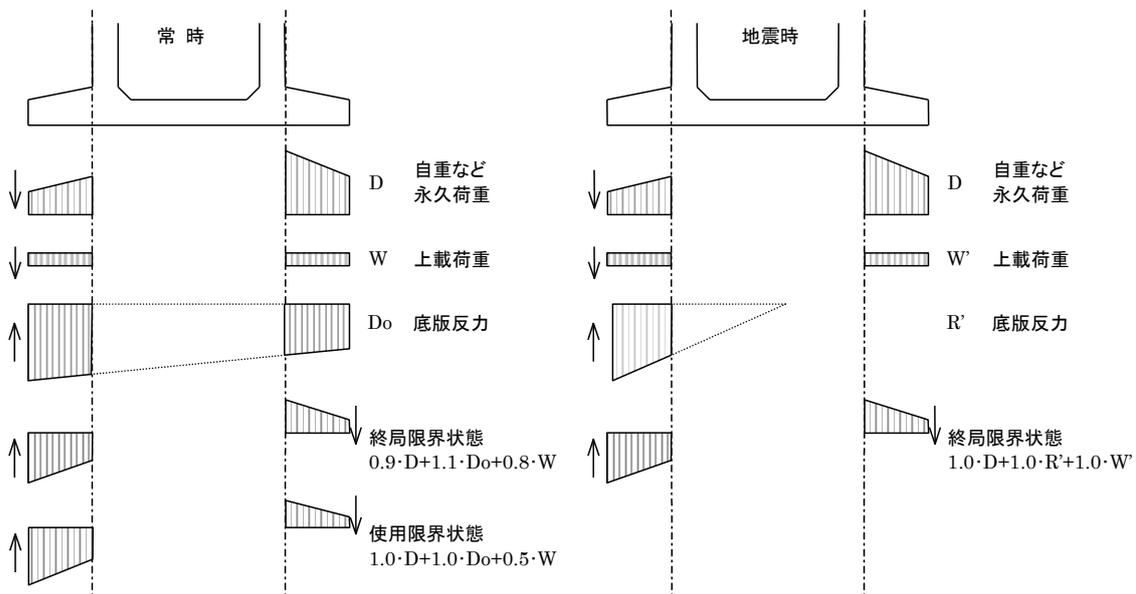
$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot Do + \gamma f \cdot W = 0.9 \cdot D + 1.1 \cdot Do + 0.8 \cdot W$$

[地震時]

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot R' + \gamma f \cdot W' = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot R' + 1.0 \cdot W'$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot Do + \gamma f \cdot W = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot Do + 0.5 \cdot W$$



- ◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 509
- ◆ 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 P. 629~630

(4) 隔壁

設計荷重

i) 終局限界状態

〔隔壁と側壁／前後壁〕

完成後の側壁／前後壁に作用する「内部土圧+内部水圧」（荷重係数がかけられた値）に分布幅 a をかけ、等分布荷重に換算し設計荷重とする。

〔隔壁と底版〕

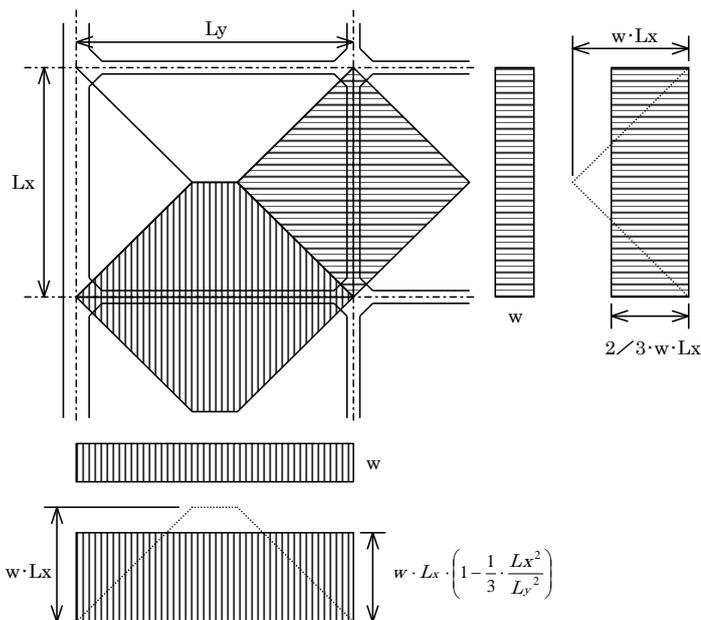
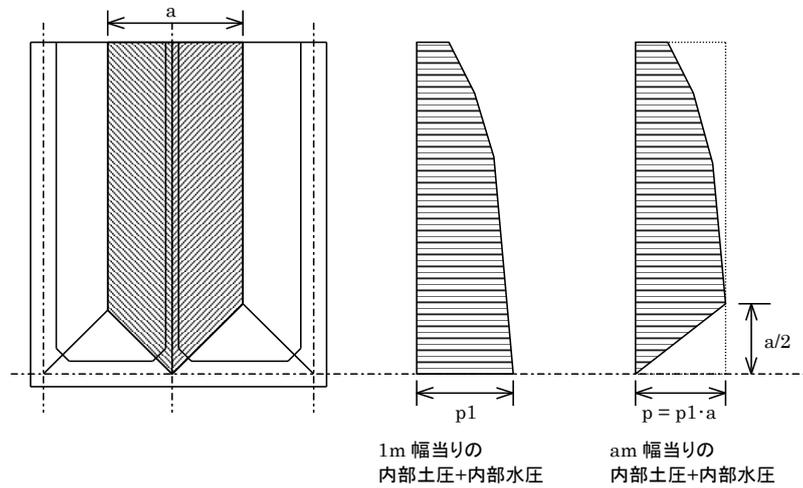
完成後の底版の設計荷重（荷重係数がかけられた値）の下向き最大値に分布幅をかけ、等分布に換算し設計荷重とする。等分布に換算する場合、室寸法 L_x 、 L_y の値により次式を用いる。

$$T_d = p_y = \frac{2}{3} \cdot w \cdot L_x$$

$$T_d = p_x = w \cdot L_x \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{L_x^2}{L_y^2} \right)$$

ii) 使用限界状態

使用限界状態での検討はない



(1) 前後壁／側壁

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

終局限界

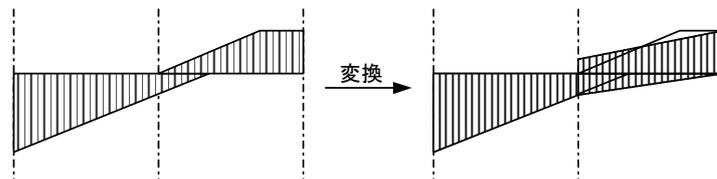
浮遊時／完成時の設計荷重より、外部からの荷重（浮遊時）／内部からの荷重（完成時）を求める。

使用限界

終局限界と同様。

(2) 底版

終局限界：常時／終局限界：地震時／使用限界の3パターンの設計荷重を求める。室の途中で荷重の変化点がある場合、三角形分布／台形分布に変換する。



終局限界：常時

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

終局限界：地震時

完成時（地震時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

使用限界

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

(3) 隔壁

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

終局限界

据付時の設計荷重が外部からの荷重となる。内部からの荷重はなし。

使用限界

終局限界と同様。

(4) フーチング

終局限界：常時／終局限界：地震時／使用限界の3パターンの設計荷重を求める。

終局限界：常時

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

終局限界：地震時

完成時（地震時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

使用限界

浮遊時／完成時（常時）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

断面力

各部材のモーメントを、両方向の設計荷重より計算し、両方向モーメントの最大値を設計断面力とする。

基本的には許容応力度法一係船岸と同様。

部材のかぶり／有効高さ

許容応力度法一係船岸と同様

終局限界状態での検討

(1) 曲げモーメントに対する検討

曲げモーメントに対する検討は、次式の断面耐力 (M_{ud}) と断面力 (M_d) の比較により行う。また、検討は常時／地震時について行う。

$$\gamma_i \cdot M_d / M_{ud} \leq 1.0$$

$$M_{ud} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \left(1 - \frac{p_w}{1.7} \cdot \frac{f_{yd}}{f'_{cd}} \right) / \gamma_b$$

ここに、

M_d : 曲げモーメントの設計用値 (kN・m)

M_{ud} : 設計断面耐力 (kN・m)

γ_i : 構造物係数

A_s : 鉄筋量 (cm²)

f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ (N/mm²)

γ_s : 鉄筋の材料係数 (1.0)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$ (N/mm²)

γ_c : コンクリートの材料係数 (1.3)

p_w : 鉄筋比 ($p_w = A_s / (b_w \cdot d)$)

b_w : 部材幅

d : 有効高さ (cm)

γ_b : 部材係数 地震時 (底版/フーチング) : 1.0 その他 (前後壁/側壁/隔壁) : 1.15

◆ 港湾構造物設計事例集 平成30年12月 沿岸開発技術研究センター 1-11

※構造物係数は永続状態1.0、変動状態1.1、地震時1.0

◆ 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 中巻P595

(2) せん断力に対する検討

A. 棒部材として検討する場合

せん断力に対する検討は、次式のせん断耐力 (V_{yd}) と断面力 (V_d) の比較により行う。また、検討は常時/地震時について行う。

$$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd} \leq 1.0$$

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

V_{cd} : せん断補強筋を用いない部材のせん断耐力の設計用値

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

$$f_{vcd} = 0.2 \sqrt[3]{f'_{cd}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

β_d : せん断耐力の有効高さに関する係数 $(100/d)^{1/4}$ (≤ 1.5) (d : cm)

β_p : せん断耐力の軸方向鉄筋比に関する係数 $(100 \cdot p_w)^{1/3}$ (≤ 1.5)

β_n : $1 + M_o / M_d$ ($= 1.0$)

M_d : 設計曲げモーメント

M_o : M_d に対する引張縁において軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント ($= 0.0$)

b_w : 腹部の幅

d : 有効高さ

γ_b : 部材係数 ($= 1.3$)

V_{sd} : せん断補強筋により受持たれるせん断耐力の設計用値 ($= 0.0$)

◆ [2002年制定]コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 土木学会 P. 67

B. ディープビームとして検討する場合

せん断力に対する検討は、次式のせん断耐力 (V_{ydd}) と断面力 (V_{dd}) の比較により行う。また、検討は常時/地震時について行う。

$$\gamma_i V_{dd} / V_{ydd} \leq 1.0$$

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここに

V_{cdd} : せん断補強筋を用いないディープビームの設計せん断耐力の設計用値

$$V_{cdd} = \beta_d \beta_p \beta_a f_{ad} b_w d / \gamma_b$$

β_d : せん断耐力の有効高さに関する係数 $\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \leq 1.5$

d : 荷重作用点における有効高さ (cm)

β_p : せん断耐力の軸方向鉄筋比に関する係数

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w} \leq 1.5 \dots [2002年制定コンクリート標準示方書]$$

$$\beta_p = \frac{1 + \sqrt{100 p_w}}{2} \leq 1.5 \dots [2017年制定コンクリート標準示方書]$$

p_w : 軸方向引張鉄筋断面積に対する比率

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$$

a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 $a_v = M_d / V_{dd}$

M_d : 設計曲げモーメント

$$f_{ad} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2)

b_w : 腹部の幅

γ_b : 部材係数 (一般に1.3としてよい)

V_{sd} : せん断補強筋により受持たれるせん断耐力の設計用値 (=0.0)

- ◆ 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 上巻1-109
- ◆ [2002年制定]コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 土木学会 P. 190
- ◆ [2017年制定]コンクリート標準示方書 [設計編] 土木学会 P. 189

(3) 軸方向力 (拔出し荷重) に対する検討

軸引張力 T_d と、次式により求められる軸引張耐力 N_{ud} (部材係数 γ_b は1.15) との比較により検討する。

$$\gamma_i \cdot T_d / N_{ud} \leq 1.0$$

$$N_{ud} = A_s \cdot f_{yd} / \gamma_b$$

ここに、

T_d : 拔出し荷重

N_{ud} : 軸引張耐力

f_{yd} : 鉄筋の設計引張降伏強度 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ (N/mm^2)

γ_b : 部材係数 (=1.3)

γ_i : 構造物係数 (=1.1)

- ◆ 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 上巻1-108

使用限界状態での検討

(1) 曲げモーメントによるひび割れ幅の検討

ひび割れ幅の検討は、ひび割れ幅の設計限界値 w_{lim} に対する構造部材に生じるひび割れ幅の設計応答値 w の比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0以下であること確かめることによる行う。

$$\gamma_i w / w_{lim} \leq 1.0$$

$$w = 1.1k_1k_2k_3[4c + 0.7(c_\phi - \phi)] \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon_\phi \right)$$

ここに、

w : ひび割れ幅の設計応答値(mm)

w_{lim} : ひび割れ幅の限界値(mm)

特に厳しい腐食性環境 0.0035c

腐食性環境 0.0040c

一般の環境 0.0050c

γ_i : 構造物係数(1.0)

k_1 : 鉄筋の表面形状がひび割れに及ぼす影響を表す係数

異径鉄筋の場合に1.0、普通丸鋼の場合に1.3

k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7$$

f'_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²) 一般に圧縮強度の設計用値 f'_{cd} としてよい

k_3 : 引張鉄筋の段数の影響を表す係数

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8}$$

n : 引張鉄筋の段数

c : 鉄筋のかぶり

c_ϕ : 鉄筋の中心間隔

ϕ : 引張鉄筋径で、最小鉄筋の公称径

※最小径を使用することで w が大きくなり安全側となる

E_s : 鉄筋のヤング係数(N/mm²)

ε_ϕ : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値

一般の場合、 100×10^{-6} 程度としてよい

σ_{se} : 表面に近い位置にある鉄筋応力度の増加量(N/mm²)

鉄筋応力度の増加量 σ_{se} は次式による。(許容応力度法の式と同様。ただし、ヤング係数比が変更になる)

$$\sigma_{se} = \frac{M_d}{A_s j \bar{d}}$$

ここに、

M_d : 曲げモーメントの設計用値(N・mm)

A_s : 鉄筋量

j : 応力間距離 $j = 1 - k/3$

k : 中立軸比 $k = \sqrt{1 - np_w} + (np_w)^2 - np_w$

p_w : 鉄筋比 $p_w = A_s / (b_w d)$

n : ヤング係数比 ($n = E_s / E_c$) $200 / 25 = 8$

(2) せん断力によるひび割れ幅の検討

せん断力が、材料係数 γ_{mc} 、部材係数 γ_b を、使用限界状態 (1.0) とした場合のせん断耐力 (V_{cd}) と設計せん断力 (V_d) を比較し

$V_d < 0.7V_{cd}$. . . ならば以降の検討を省略できる

$V_d \geq 0.7V_{cd}$. . . ならば $\sigma_{wd} < \sigma_{se}$ の検討を行う

$$\sigma_{wd} = \frac{(V_{pd} + V_{rd} - k_2 V_{cd})s}{A_w z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \cdot \frac{V_{pd} + V_{cd}}{V_{pd} + V_{rd} + V_{cd}}$$

ここに

σ_{wd} : せん断補強筋の応力度

σ_{se} : 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 (°)

◆コンクリート標準示方書 [平成8年制定] 設計編 土木学会 P92~93

(3) 軸方向力 (拔出し力) に対する検討

使用限界状態では検討しない

(4) 圧縮応力に対する検討

圧縮応力の算定は次式で行う。

$$\gamma_i \cdot \sigma'_c \leq 0.4 \cdot f'_{ck}$$

ここに、

σ'_c : 永久荷重作用時によりコンクリートに生じる圧縮応力度 (N/mm²)

$$\sigma'_c = \frac{2M_s}{k_j b d^2}$$

M_s : 使用時永久荷重曲げモーメント

k : 中立軸比

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$P = \frac{As'}{b \cdot d}$$

$$j = 1 - k/3$$

$$n = E_s / E_c$$

As : 引張鉄筋量 (cm²)

◆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 中巻 P596

照査

底版

曲げに対し、終局限界状態：常時／終局限界状態：地震時／使用限界状態の3状態で満足する鉄筋を決定する。

前後壁

曲げに対し、終局限界状態／使用限界状態の2状態で満足する鉄筋を決定する。

側壁

曲げに対し、終局限界状態／使用限界状態の2状態で満足する鉄筋を決定する。

隔壁

曲げに対し、終局限界状態／使用限界状態の2状態、抜出し力（鉄筋引張力）に対し終局限界状態で満足する鉄筋を決定する。

フーチング

曲げ／せん断に対し、終局限界状態：常時／終局限界状態：地震時／使用限界状態の3状態で満足する鉄筋を決定する。

2-4 限界状態設計法—防波堤

検討状態／検討部材／荷重

各項目の上段は終局限界状態、下段は使用限界状態

検討状態		前壁	後壁	側壁	底版	隔壁	フーチング [°]
浮遊時		○	○	○	○	/	○
		○	○	○	○		○
据付時		/	/	/	/	○ ○	/
完成後	常時（静穏時）	○	○	○	○	/	○
	常時（地震時）	○	○	○	/	抜出し	/
	波圧作用時/山	○	/	○	○	抜出し	○
		○	/	○	○	/	○
波圧作用時/谷	○	/	○	○	抜出し	○	
	○	/	○	○	/	○	

設計荷重

浮遊時

限界状態設計法—係船岸と同様

据付時

限界状態設計法—係船岸と同様

完成後

(1) 前壁（内部からの荷重）

考慮する外力

D：内部土圧

S：内部水圧

△S：内部水圧変動分

設計荷重

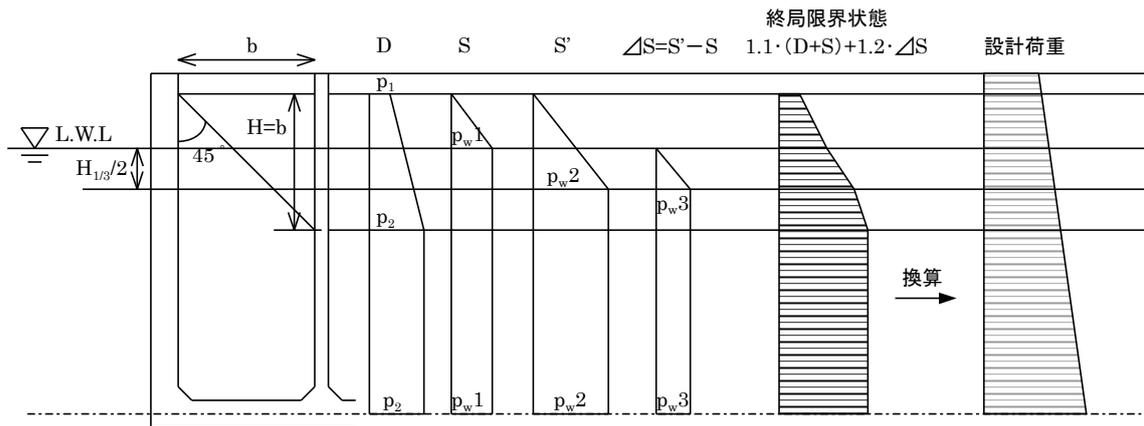
考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S + \gamma f \cdot \Delta S = 1.1 \cdot D + 1.1 \cdot S + 1.2 \cdot \Delta S$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S + \gamma f \cdot \Delta S = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot \Delta S$$



内部土圧

中詰土天端～室内幅の深さ（H）まで増加、それ以深は増加しない。

中詰土天端の土圧強度 $p_1 \rightarrow p_1 = (W1 + W2 + W3) \cdot K$

W1：上載荷重、W2：積載荷重、W3：蓋コン重量、K：内部土圧係数（0.6）

室内幅の深さでの土圧強度 $p_2 \rightarrow p_2 = p_1 + \gamma HK$

内部水圧（常時）

ケーソン内水位とLWLの水位差を考える。

LWLでの水圧強度 $p_{w1} \rightarrow p_{w1} = (\text{ケーソン内水位} - \text{LWL}) \cdot \gamma w$

内部水圧（波の谷作用時）

ケーソン内水位とLWL-H_{1/3}/2の水位差を考える。

LWL - H_{1/3}/2での水圧強度 $p_{w2} \rightarrow$

$$p_{w2} = \{ \text{ケーソン内水位} - (\text{LWL} - H_{1/3}/2) \} \cdot \gamma w$$

内部水圧変動分

LWL - H_{1/3}/2での水圧強度 $p_{w3} \rightarrow$

$$p_{w3} = p_{w2} - p_{w1} \text{ 又は } p_{w3} = (H_{1/3}/2) \cdot \gamma w$$

◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

(2) 前壁（外部からの荷重）

考慮する外力

D：内部土圧

H：波圧

設計荷重

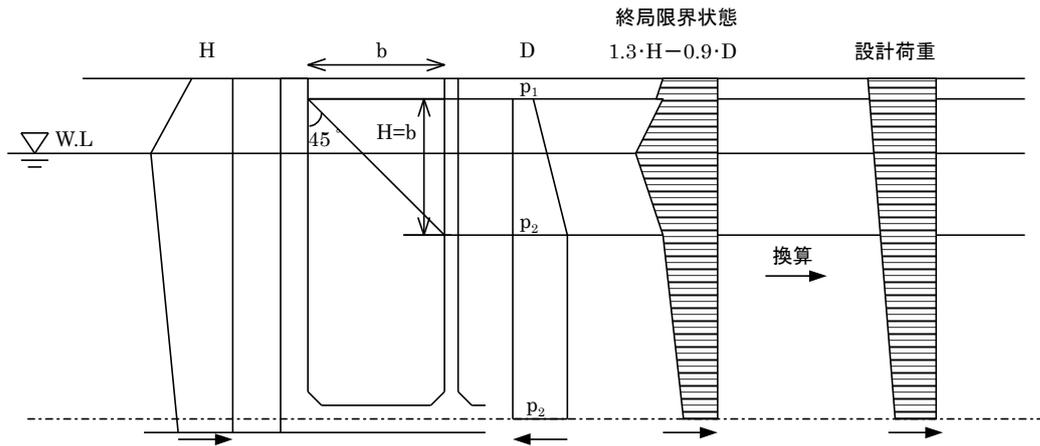
考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot H - \gamma f \cdot D = 1.3 \cdot H - 0.9 \cdot D$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot H - \gamma f \cdot D = 1.0 \cdot H - 1.0 \cdot D$$



◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

(3) 側壁

考慮する外力

D : 内部土圧

S : 内部水圧

ΔS : 内部水圧変動分

設計荷重

考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S + \gamma f \cdot \Delta S = 1.1 \cdot D + 1.1 \cdot S + 1.2 \cdot \Delta S$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S + \gamma f \cdot \Delta S = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot S + 1.0 \cdot \Delta S$$

※荷重の組み合わせ、荷重係数は「前壁（内部からの荷重）」と同様となる。また、外部からの荷重はありません。

◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

(4) 後壁

考慮する外力

D : 内部土圧

S : 内部水圧

設計荷重

考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

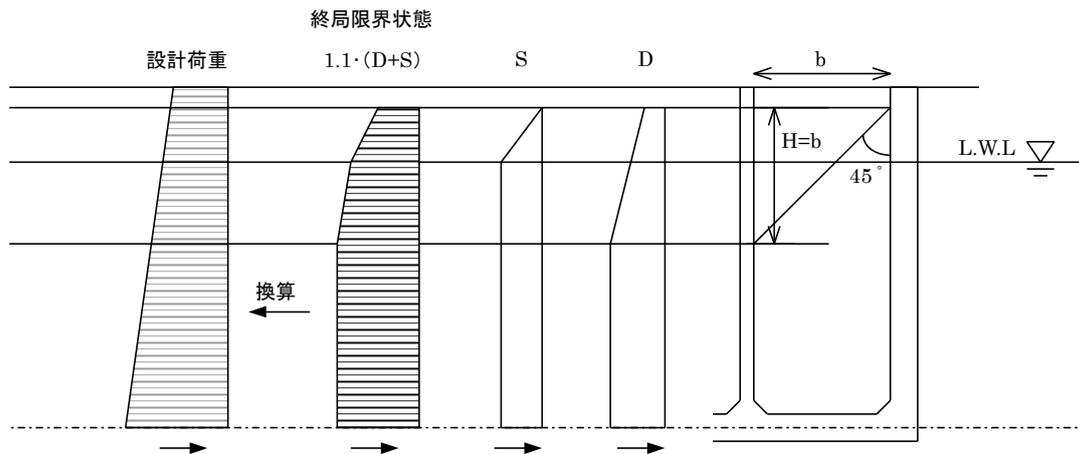
i) 終局限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S = 1.1 \cdot D + 1.1 \cdot S$$

ii) 使用限界状態

$$P = \gamma f \cdot D + \gamma f \cdot S = 1.0 \cdot D + 1.0 \cdot S$$

※外部からの荷重はありません。



◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 499

(5) 底版

考慮する外力

D_0 : 常時（静穏時）合成荷重 $D_0 = D + F + R$

D : 永久荷重（蓋コンクリート重量+中詰め材重量+底版重量：各荷重は浮力を考慮しない）

F : 静水圧（設計潮位での強度）

R : 底版反力（常時（静穏時））

ΔR : 底版反力変動分 $\Delta R = R' - R$

R' : 底版反力（波圧作用時）

U : 揚圧力

※ R' とUは、波の山/谷、終局/使用、H.W.L./L.W.Lそれぞれ8パターンの値（入力値）があります。

考慮する各強度（荷重）に、各限界状態の荷重係数（ γf ）をかけたものを設計荷重とする。

i) 終局限界状態

波の山	$\triangle R \uparrow$	W \uparrow	$1.1 \cdot D_o + 1.2 \cdot \triangle R + 1.3 \cdot U$	①
		W \downarrow	$1.1 \cdot D_o + 0.8 \cdot \triangle R + 1.3 \cdot U$	②
	$\triangle R \downarrow$	W \downarrow	$0.9 \cdot D_o + 1.2 \cdot \triangle R + 0.7 \cdot U$	③
波の谷	$\triangle R \uparrow$	W \uparrow	$1.1 \cdot D_o + 1.2 \cdot \triangle R + 0.7 \cdot U$	④
		W \downarrow	$0.9 \cdot D_o + 0.8 \cdot \triangle R + 1.3 \cdot U$	⑤
	$\triangle R \downarrow$	W \uparrow	$1.1 \cdot D_o + 0.8 \cdot \triangle R + 0.7 \cdot U$	⑥
		W \downarrow	$0.9 \cdot D_o + 1.2 \cdot \triangle R + 1.3 \cdot U$	⑦

$\triangle R$ とWの向きにより、使用する式（ γf ）を決定する。

ただし、③と⑦の式については（ $\triangle R$ が下向きに作用する場合） $1.1 \cdot R$ より大きくはなり得ない。そこで、

$1.2 \cdot \text{ABS}(\triangle R) > 1.1 \cdot \text{ABS}(R)$ の場合は、以下の式に変更する。

③式 $\rightarrow 0.9 \cdot D_o + 1.1 \cdot \text{ABS}(R) + 0.7 \cdot U$

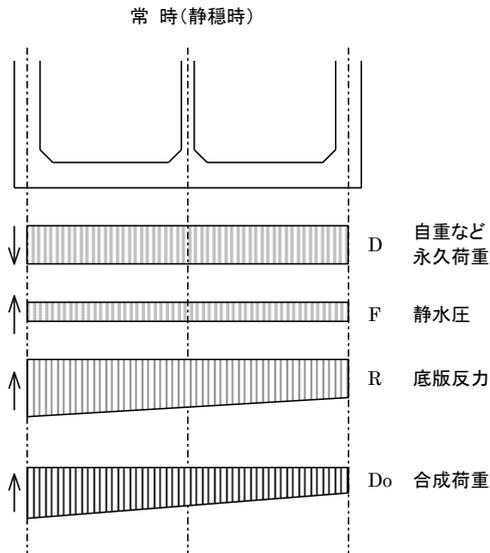
⑦式 $\rightarrow 0.9 \cdot D_o + 1.1 \cdot \text{ABS}(R) + 1.3 \cdot U$

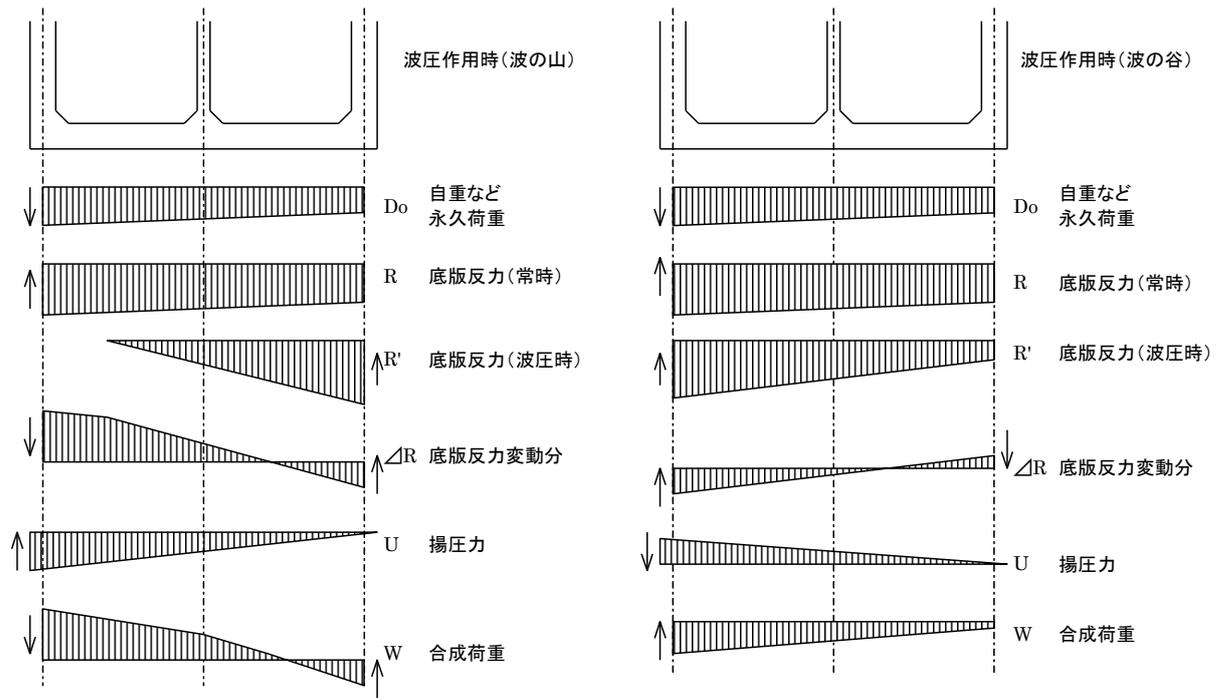
ii) 使用限界状態

波の山／谷、 $\triangle R$ ／Wの向きに関係なく次式を使用する。

$$P = \gamma f \cdot D_o + \gamma f \cdot \triangle R + \gamma f \cdot U = 1.0 \cdot D_o + 1.0 \cdot \triangle R + 1.0 \cdot U$$

※ 波の山／波の谷が作用する場合それぞれ計算します。





設計荷重(終局限界状態)

$$\begin{pmatrix} 1.1 \\ 0.9 \end{pmatrix} \cdot D_o + \begin{pmatrix} 1.2 \\ 0.8 \end{pmatrix} \cdot \Delta R + \begin{pmatrix} 1.3 \\ 0.7 \end{pmatrix} \cdot U$$

設計荷重(使用限界状態)

$$1.0 \cdot D_o + 1.0 \cdot \Delta R + 1.0 \cdot U$$

◆ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月 日本港湾協会 P. 501

(6) フーチング

考慮する外力

D_0 : 常時（静穏時）合成荷重 $D_0=D+F+R$

D : 永久荷重（蓋コンクリート重量+中詰め材重量+底版重量：各荷重は浮力を考慮しない）

F : 静水圧（設計潮位での強度）

R : 底版反力（常時（静穏時））

ΔR : 底版反力変動分 $\Delta R=R' - R$

R' : 底版反力（波圧作用時）

U : 揚圧力

設計荷重

荷重の組み合わせ、荷重係数は底版と同様。

(7) 隔壁

設計荷重

i) 終局限界状態

〔隔壁と側壁／前後壁〕、〔隔壁と底版〕
係船岸と同様

ii) 使用限界状態

係船岸と同様、使用限界状態での検討はない

設計荷重のまとめ

(1) 前壁

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

終局限界

外部からの荷重・・・浮遊時／完成時（波の山）

浮遊時／完成時の荷重の形が違うので、それぞれでモーメント計算する必要がある。

内部からの荷重・・・完成時

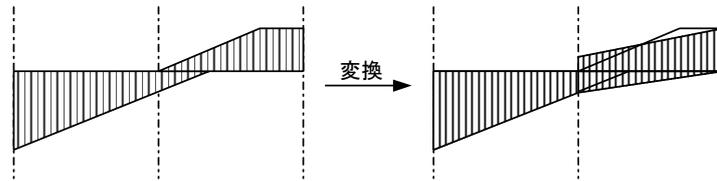
使用限界

終局限界と同様。ただし、使用限界の設計荷重を使用する。

(2) 底版

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

室の途中で荷重の変化点がある場合、三角形分布／台形分布に変換する。



終局限界

浮遊時／完成時（波の山）／完成時（波の谷）の設計荷重より、上向き荷重／下向き荷重の最大値を求める。

使用限界

終局限界と同様。ただし、使用限界の設計荷重を使用すること。

(3) 後壁／側壁

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

終局限界

外部からの荷重・・・浮遊時

内部からの荷重・・・完成時

使用限界

終局限界と同様。ただし、使用限界の設計荷重を使用する。

(4) 隔壁

終局限界／使用限界の2パターンの設計荷重を求める。

終局限界

据付時の設計荷重が外部からの荷重となる。

使用限界

終局限界と同様。

(5) フーチング

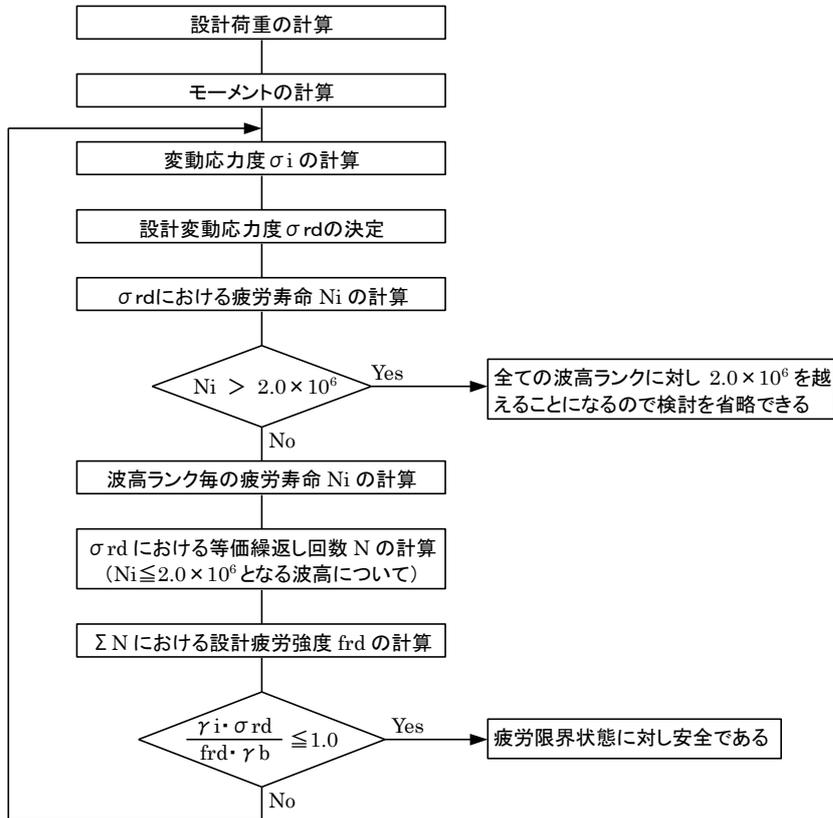
底版と同様。

疲労限界状態

繰返し荷重である波の影響により変動応力を受ける部材に対して検討する。防波堤では、港外側側壁／底版／フチングの3部材について検討する。

耐用期間中に発生する波を波高によりランク分けし、波高ランク毎の外力より以下の流れで各部材の検討を行う。

安全係数は、材料係数が $\gamma_c=1.3$ 、 $\gamma_s=1.05$ であり、それ以外の係数は全て1.0となる。



設計荷重の計算

複数からなる波浪データ（波高／周期）より得られる外力（波の山／谷）－（波圧／揚圧力／底版反力）から各部材の設計荷重を求める。また、静穏時（波圧の影響を受けない状態）の設計荷重も求める。

設計荷重の計算方法は終局／使用限界と同様。ただし、荷重係数 γ_f が1.0なので、底版反力の変動分や内部水圧の変動などを分ける必要はない。

(1) 底版

合成荷重 $D_o = D + F + R + U \quad \dots \dots$ 荷重係数は1.0

D：自重（底版自重＋中詰材重量＋蓋コン重量）

F：静水圧（設計潮位での水圧）

R：底版反力（波高ランク毎にある）

U：揚圧力（波高ランク毎にある）

(2) 港外側側壁

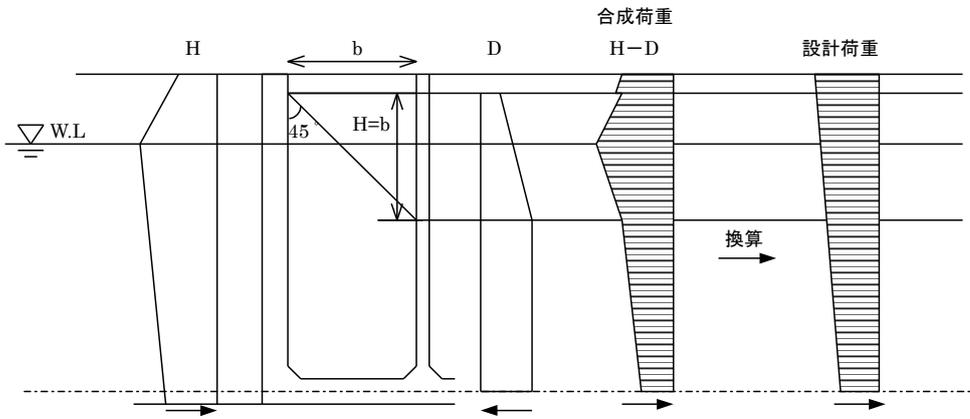
波の山作用時、波の谷作用時、静穏時の3状態を計算する。

波の山作用時

合成荷重 $H-D$

H : 波圧

D : 内部土圧

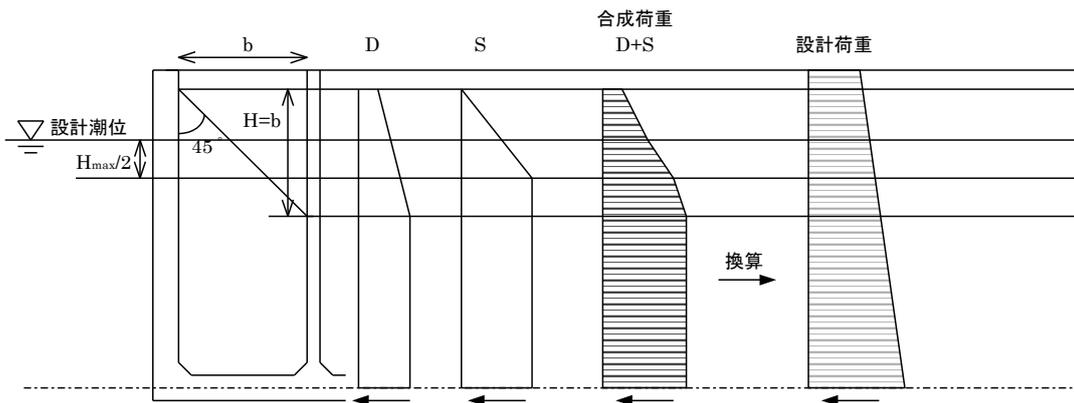


波の谷作用時

合成荷重 $D+S$

D : 内部土圧

S : 内部水圧 (波高/2を考慮する)

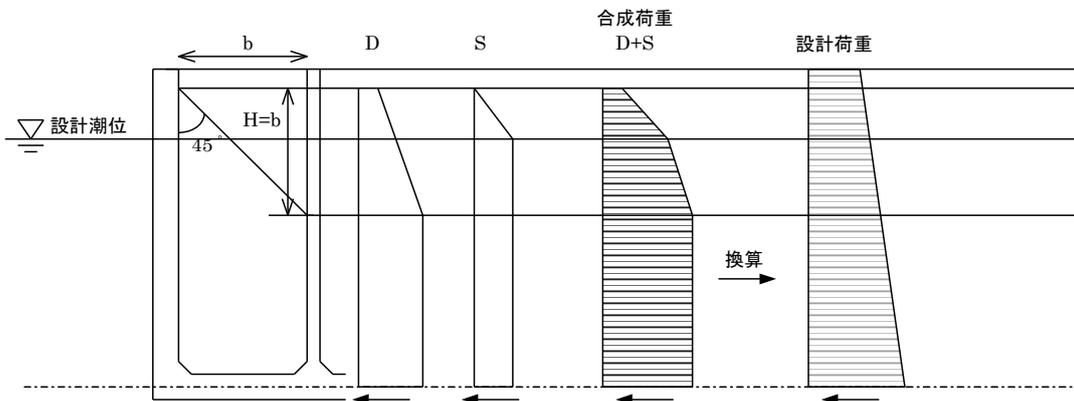


静穏時

合成荷重 $D+S$

D : 内部土圧

S : 内部水圧 (設計潮位位置)

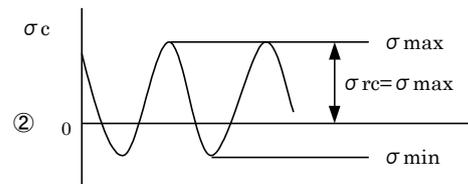
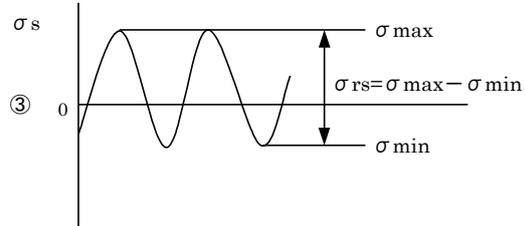
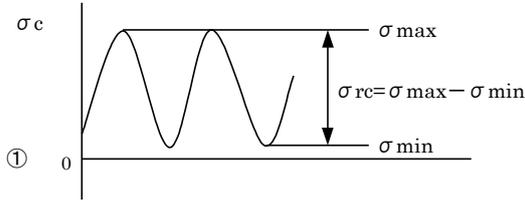


モーメント計算

波高ランク毎に計算された設計荷重よりモーメントを計算する。計算方法は前述の通り。

変動応力度 σ_{ri} の計算

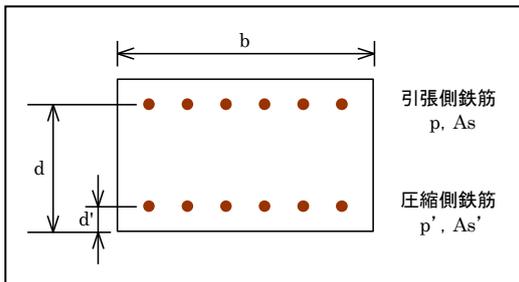
各材料の変動応力度は、波の山／谷それぞれのモーメントより求まる応力の差となる。ただし、コンクリートは引張を無視する。



- ①: コンクリート(圧縮領域のみ)
圧縮領域のみでは $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$
ちなみに、引張り領域のみでは 0.0
- ②: コンクリート(圧縮／引張)
引張応力は無視するので σ_{\max}
- ③: 鉄筋
引張のみ、引張／圧縮、圧縮のみの
全てにおいて $\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$

(1) 各応力の計算

各波高でのモーメントより、応力度(コンクリート、引張側鉄筋、圧縮側鉄筋)を計算する。部材の応力計算では複鉄筋断面として計算する。



$$P = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad P' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

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

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

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

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

$$\sigma_s' = n \sigma_c \left(1 - \frac{d'}{k \cdot d}\right)$$

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

n: ヤング係数比 ($E_s/E_c = 200/25 = 8$)

σ_c : コンクリートの圧縮応力度

σ_c' : コンクリートの等価換算応力度

σ_s : 鉄筋の引張側応力度

σ_s' : 鉄筋の圧縮側応力度

※中立軸位置 x ($x = k \cdot d$) より d' が大きい場合、圧縮側にある鉄筋は引張応力を受けることになる。

設計変動応力度 σ_{rd} の決定

波高ランク毎に計算された σ_{ri} の中で最大値を σ_{rd} とする。

疲労寿命 N_i の計算

(1) コンクリート

a) コンクリート設計疲労強度 f_{rd} ($N=2 \times 10^6$ 回の作用により疲労に達する時の荷重強度)

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

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 $f_d = f'_{ck} / \gamma_c$

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)

b) 疲労寿命 N_i

上式より、疲労強度 f_{rd} を変動応力度 σ_{rd} に等置すると疲労寿命 N_i が計算できる。 (σ_i の荷重が作用したとき、疲労状態になるのは何回 (N_i) かが求まる。)

$$N_i = 10^a$$

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

(2) 鉄筋

a) 鉄筋設計疲労強度 f_{rd} ($N=2 \times 10^6$ 回の作用により疲労に達する時の荷重強度)

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

α : $k_0 \cdot (0.81 - 0.003 \phi)$

k : 0.12 k_0 : 1.0

ϕ : 鉄筋公称直径 (mm) (異径鉄筋を交互に配置している場合、小さい径を採用する)

σ_{sp} : 永久荷重時の応力度

f_{ud} : 鉄筋の設計引張強度 $f_{ud} = f_{uk} / \gamma_s$ (f_{uk} : 鉄筋の引張強度、引張降伏強度とは違う)

γ_s : 材料係数 (疲労限界状態=1.05)

b) 疲労寿命 N_i

コンクリートと同様、 f_{rd} と σ_{rd} を等値し、前式より疲労寿命 N_i を求める。

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

疲労限界状態の照査

設計変動応力度 σ_{rd} ($\max(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m)$) で計算された疲労寿命 N_i が 2.0×10^6 (回) を越えている場合は疲労限界状態の検討を省略できる。(全ての波高ランクに対して 2.0×10^6 (回) を越えることになる)

波高ランク毎の疲労寿命 N_i の計算

最大波高で N_i が 2.0×10^6 (回) 越えていない場合は疲労限界状態の検討が必要なため、全波高ランクの疲労寿命 N_i を計算する必要がある。計算式は**疲労限界 N_i の計算**を参照

σ_{rd} に対する等価繰返し回数 N の計算

波高ランク毎の N_i の内、 2.0×10^6 (回) を越えないランクについて、 σ_{ri} と σ_{rd} 及び発生回数 n_i から、 σ_{rd} における等価繰返し回数 N を計算する。

(1) 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} : 各波高における変動応力度

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 $f_d = f'_{ck} / \gamma_c$

σ_p : 永久荷重時の応力度

n_i : 各波高の発生回数

(2) 鉄筋

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

σ_{ri} : 各波高における変動応力度

σ_{rd} : 設計変動応力度

n_i : 各波高の発生回数

k : 0.12

ΣN_i における設計疲労強度 f_{rd} の計算

各波高の設計変動応力度 σ_{rd} に対する等価繰返し回数の総和 N を、コンクリート／鉄筋それぞれの疲労強度算定式に代入し疲労強度 f_{rd} を計算する。

疲労限界状態の照査

ΣN から求まる 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。

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

せん断に対する疲労限界状態設の照査

モーメントがせん断に変わるだけで、照査方法はモーメント時と同様。

(1) せん断補強筋のない部材の設計疲労耐力 V_{rcd}

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

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

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

(1) 疲労寿命 N_i

$$N_i = 10^a$$

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

$V_{pd} = 0$ の場合

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

(2) 照査

曲げモーメント時と同様、疲労寿命 N_i が 2.0×10^6 回を越える波高は無視する。 2.0×10^6 回を越えない場合は設計変動せん断応力度 V_{rd} に対する各波高の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} の比で安全性を確認する。

等価繰返し回数

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

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

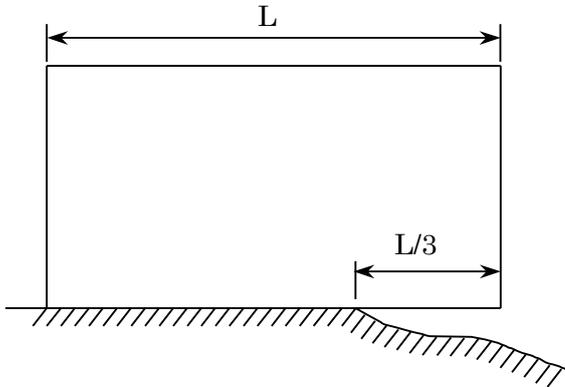
照査式

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

◆ 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 下巻 1-58

2-5 不等沈下の検討

地盤支持力の不均等による荷重が働く場合の検討
ケーソンの長さ又は幅の1/3をスパン長とする片持梁として検討する。
尚、この場合の荷重は堤体完成後の自重とする。



考慮する外力

W : 検討方向のmあたりの堤体重量(浮力を考慮) (kN/m)

設計荷重

$$P = W$$

曲げモーメント

$$M = 1/2 \cdot W \cdot (L/3)^2$$

M : 曲げモーメント (kN・m/m)

L : 検討方向の堤体長 (m)

中立軸の計算

$$y_c = \frac{A_y}{A}$$

$$y_t = L_t - y_c$$

A_y : 検討断面の断面一次モーメント (m³)

A : 検討断面の断面積 (m²)

Y_c : 圧縮縁から中立軸までの距離 (m)

Y_t : 引張縁から中立軸までの距離 (m)

L_t : ケーソン高さ (m)

断面係数

$$Z_t = \frac{I_x}{y_t}$$

$$Z_c = \frac{I_x}{y_c}$$

$$I_x = I_0 + Ay^2$$

Z_t : 断面係数(引張側)

Z_c : 断面係数(圧縮側)

I_x : 中立軸に対する断面二次モーメント (m^4)

I_0 : 各部材の図心軸での断面二次モーメント (m^4)

y : 中立軸 Y_c —各部材の図心位置 (m)

A : 各部材の断面積 (m^2)

検討断面に使用する引張応力はすべてコンクリートで受け持つものとするとして以下の照査を行う。

許容応力度法

応力度

$$\sigma_c = \frac{M}{Z_c}$$

$$\sigma_t = \frac{M}{Z_t}$$

σ_c : 圧縮応力度 (N/mm^2)

σ_t : 引張応力度 (N/mm^2)

照査

$$\sigma_c < \sigma_{ca}$$

$$\sigma_t < K \sigma_{ck}$$

σ_{ca} : 許容応力度(コンクリート) (N/mm^2)

K : σ_{ck} にかかる係数

σ_{ck} : 基準強度(コンクリート) (N/mm^2)

限界状態設計法

圧縮側

$$\gamma_i \cdot M_d / M_{udc} \leq 1.0$$

引張側

$$\gamma_i \cdot M_d / M_{udt} \leq 1.0$$

γ_i : 構造物係数

M_d : 設計曲げモーメント

M_{udc} : 設計曲げ耐力 $M_{udc} = f_{bk} \cdot Z / \gamma_b$

Z : ケーソンの断面係数

γ_b : 材料係数

f_{bk} : コンクリートの設計曲げ強度 (N/mm²) $f_{bk} = 0.42 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} / \gamma_c$

f'_{ck} : コンクリートの圧縮降伏強度 (N/mm²)

γ_c : 材料係数

M_{udt} : 設計引張耐力 $M_{udt} = f_{tk} \cdot Z \cdot \gamma_b$

f_{tk} : コンクリートの圧縮引張強度 (N/mm²)

以上の照査でもたない場合は鉄筋も含めた鉄筋コンクリート断面として照査を行う。