

港湾設計業務シリーズ

重力式防波堤 6

Ver 1. X. X

商品概説書

1.概要	1
1.1 システムの概要	1
1.2 システムの特徴	1
1.3 システムの制限事項	3
2.計算内容について	4
2.1 波力および揚圧力(港湾基準)	4
2.1.1 波圧の計算に用いる波高及び波長	4
2.1.2 直立壁に作用する波力	4
2.1.3 衝撃砕波力を考慮する場合	6
2.1.4 上部斜面ケーソン堤に作用する波力	7
2.1.5 消波ブロックで十分に被覆された傾斜堤上部工に働く波力	8
2.1.6 不完全被覆断面における波力	9
2.2 波力および揚圧力(漁港基準 2015 年版)	10
2.2.1 直立壁に作用する波力	10
2.2.2 消波工で被覆された直立壁に作用する波力	11
2.2.3 遊水部付き消波工を有する直立壁に作用する波力	11
2.2.4 潜堤を有する直立壁に作用する波力	11
2.2.5 直立消波ブロック堤に作用する波力	11
2.3 波力および揚圧力(漁港基準 2003 年版)	13
2.3.1 直立壁に作用する重複波の波力	13
2.3.2 直立壁に作用する砕波の波力	14
2.3.3 消波工で被覆された直立壁に作用する波力	15
2.3.4 遊水部付き消波工を有する直立壁に作用する波力	15
2.3.5 潜堤を有する直立壁に作用する波力	15
2.3.6 直立消波ブロック堤に作用する波力	15
2.3.7 揚圧力	16
2.4 津波波力および揚圧力	21
2.4.1 谷本式	21
2.4.2 修正谷本式	21
2.4.3 静水圧差式	22
2.4.4 水工研提案式	22
2.4.5 静水圧差式(非越流時)	22
2.4.6 谷本式(消波被覆時)	23
2.4.7 津波水位トライアル計算	24
2.5 動水圧	25
2.5.1 動水圧	25
2.5.2 動水圧合力及び作用点位置	25

－ 目 次 －

2.6 壁体重量、浮力.....	26
2.6.1 矩形ブロック.....	26
2.6.2 任意形状ブロック.....	26
2.6.3 ケーソン、セルラーブロック.....	27
2.6.4 直立消波ブロック.....	28
2.6.5 直立消波ブロック(層別体積).....	28
2.7 壁体の安定検討.....	29
2.7.1 安定検討.....	29
2.7.2 暫定裏込め時の安定検討(漁港基準).....	30
2.7.3 直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合の安定検討(H11 港湾基準).....	32
2.7.4 セルラー中詰め材抜け出しの検討.....	34
2.7.5 グラウンドアンカーを用いた検討.....	35
2.8 支持力の検討.....	36
2.8.1 壁体底面における地盤反力.....	36
2.8.2 検討面における地盤反力.....	36
2.8.3 検討面における許容支持力.....	37
2.8.4 偏心傾斜荷重を受ける基礎の支持力.....	39
2.8.5 直線すべりの検討.....	40
2.9 支持力の検討(漁港基準 2003 年版以降).....	41
2.9.1 平面基礎の底面に作用する地盤反力.....	41
2.9.2 平面基礎の底面に作用する等価地盤反力.....	41
2.9.3 二層地盤の境界面に作用する地盤反力.....	41
2.9.4 捨石マウンドの底面に作用する地盤反力.....	42
2.9.5 限界法肩幅.....	44
2.9.6 二層系地盤の下層地盤の支持力の検討方法.....	45
2.9.7 許容支持力.....	45
2.9.8 基礎形状による反力・許容支持力の考え方.....	46
2.10 港湾基準(平成 19 年)による検討について.....	50
2.10.1 概要.....	50
2.10.2 滑動の照査.....	52
2.10.3 転倒の照査.....	52
2.10.4 港内側を裏込で補強した場合の照査(滑動).....	53
2.10.5 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査(転倒).....	53
2.10.6 支持力(ビショップ法)の照査.....	53
2.10.7 浅い基礎の支持力の照査.....	54
2.10.8 直線すべりの照査.....	55
2.11 港湾基準(平成 30 年)による検討について.....	56
2.11.1 滑動の照査.....	56
2.11.2 転倒の照査.....	56
2.11.3 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査(転倒).....	58

— 目 次 —

2.11.4 支持力(ビショップ法)の照査	58
2.11.5 浅い基礎の支持力の照査	59
2.11.6 直線すべりの照査	60
2.11.7 直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合の検討	61

1. 概要

1.1 システムの概要

本システムは港湾基準、漁港基準に準拠し、重力式防波堤の滑動、転倒、支持力の安定計算を行います。安定計算では以下の外力を考慮します。

《波圧時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
波 圧	○	○	○	○
揚圧力	○	—	○	—
壁体重量	○	—	○	—
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

《地震時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
動水圧	—	○	—	○
壁体重量	○	—	○	—
壁体慣性力	—	○	—	○
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

《津波時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
津波波圧	○	○	○	○
揚圧力	○	—	○	—
壁体重量	○	—	○	—
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

1.2 システムの特徴

本システムには以下のような特徴があります。

- ・設計基準は、港湾基準、漁港基準に準拠しています。
- ・部分係数法(H30,H19 港湾基準)、安全率法(漁港基準)での検討ができます。
- ・複数レベル(任意レベル)で滑動・転倒の検討ができます。
- ・検討できる潮位は最大4潮位、1潮位について以下の6パターンの検討が可能です。

波圧時 波の山、波の谷が作用する場合

地震時 港外側、港内側から地震力が作用する場合

津波時 押し波、引き波が作用する場合

- ・適用基準により以下の波圧式を用意してあります。

〔港湾基準〕

合田式(波圧の補正係数 λ 、衝撃砕波力係数 α_1 が考慮可能)

上部斜面堤に作用する波力(細山田式、森平式、佐藤式)

谷本・小島式(前面を消波工で被覆され、基面高が静水面付近にある上部工に作用する波圧)

消波工不完全被覆時の波力(3つの領域に分けそれぞれに波圧の補正係数 λ_1, λ_2 を考慮)

〔漁港基準-2015年版〕

合田式(波高の補正係数 λ_0 、波圧の補正係数 $\lambda_{1\sim3}$ が考慮可能)

[漁港基準-2003年版]…重複波、砕波の区分は自動で行います。

重複波

砕波

消波工で被覆されている場合

沿い波

直立消波ブロック堤に作用する波力

遊水部付き消波工を有する場合に作用する波力

潜堤を有する場合に作用する波力

・津波式は次の種類を用意してあります。

谷本式、修正谷本式、谷本式(消波工被覆時)

静水圧差式

水工研提案式

・津波シミュレーション結果による時刻歴水位データをもとに津波時の連続計算を行い、滑動・転倒の安全率が最も厳しくなるケースを検索します

・波圧、揚圧力の計算を行わず、任意の強度設定が可能です。

・腹付工を考慮した滑動の照査が可能です。(H30 港湾基準)

・暫定裏込め時の安定照査が可能です。(H19 港湾基準/漁港基準)

・ケーソン、セルラー、直立消波ブロック、任意形状ブロックなどを自由に組み合わせて計算できます。また、ケーソン、セルラーブロックは中詰め材の指定も可能です。

・ケーソン浮遊時の安定計算ができます。

・セルラー中詰め材抜け出しの検討ができます。

・直立消波ブロックはカタログ値(層別体積、層別重心 X)を考慮した計算が可能です。

・ケーソン細部設計で使用する限界状態設計時(終局/使用/疲労)の外力を計算できます。計算した外力は、弊社「ケーソン細部設計 2」システムとのデータ連携が可能です。

・支持地盤は、砂質土、粘性土、SCP改良地盤、岩盤等のタイプが指定でき、複数断面の検討ができます。また、漁港基準の合成地盤反力による検討もできます。

・偏心傾斜荷重の検討(Bishop)用の載荷重、載荷幅、水平力を計算できます。計算した載荷重等は、弊社「斜面安定検討 6」システムとのデータ連携が可能です。

・偏心傾斜荷重の検討(片山・内田の方法:漁港基準 1999 年版以前)による検討ができます。

・直線すべりの検討ができます。

・グラウンドアンカー工法による検討ができます。(滑動・転倒を満足するアンカーを選定)

〈準拠基準及び参考文献〉

・ 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
・ 港湾構造物設計事例集	平成 30 年改訂版	沿岸技術研究センター
・ 防波堤の耐津波設計ガイドライン	平成 25 年 9 月	国土交通省 港湾局
・ 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
・ 港湾構造物設計事例集	平成 19 年改訂版	沿岸技術研究センター
・ 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 11 年 4 月	沿岸開発技術研究センター
・ 漁港・漁場の施設の設計参考図書	2015 年	水産庁
・ H23 東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方	平成 26 年 1 月 23 日改正	水産庁
・ 漁港・漁場の施設の設計の手引き	2003 年版	全国漁港漁場協会
・ 漁港構造物の設計ガイド	平成 6 年度版	全国漁港協会

1.3 システムの制限事項

本システムの制限事項は以下の通りです。

- ・ 検討ポイント(レベル)数 最大 15 点
- ・ 支持力検討断面数 最大 5 断面
- ・ 壁体構成ブロック 最大 20 個
- ・ その他外力数 最大 20 個
- ・ 任意形状ブロック構成点数(1ブロック当り) 最大 100 点

2. 計算内容について

2.1 波力および揚圧力（港湾基準）

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）平成30年5月」P213～P219

2.1.1 波圧の計算に用いる波高及び波長

〔波高：最高波高が砕波の影響を受けない場合〕

$$H_D = H_{max} = 1.8H_{1/3}$$

H_{max} ：直立壁の前面水深における進行波としての最高波高(m)

$H_{1/3}$ ：直立壁の前面水深における進行波としての有義波高(m)

〔波高：最高波高が砕波の影響を受ける場合〕

H_D ：不規則波の砕波変形を勘案した最高波高(m)

〔波長〕

波長を周期Tより求める場合、次式を使用します。また、波長を直接入力できます。

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

2.1.2 直立壁に作用する波力

(1) 波の山が作用する場合

a) 合田式による前面波圧

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos\beta)(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta)\rho_0 g H_D$$

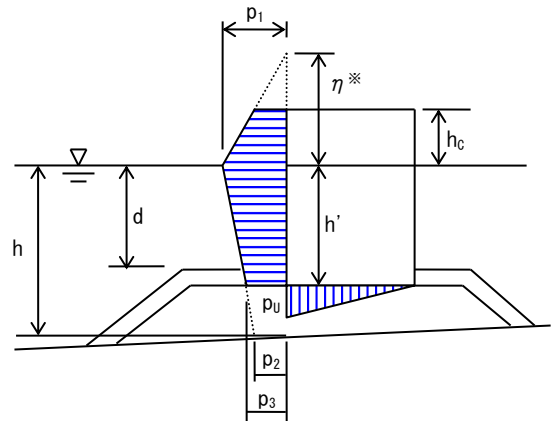
$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$



ここに

η^* ：静水面上波圧強度が0となる高さ(m)

p_1 ：静水面における波圧強度(kN/m²)

p_2 ：海底面における波圧強度(kN/m²)

p_3 ：直立壁底面における波圧強度(kN/m²)

h ：直立壁前面における水深(m)

h_b ：直立壁前面から沖側へ有義波高の5倍だけ離れた地点での水深(m)

h' ：直立壁底面の水深(m)

d ：根固め工又はマウンド被覆工天端のいずれか小さい方の水深(m)

ρ_0 ：海水の密度

g ：重力加速度(9.81 m/s²)

H_D ：設計計算に用いる波高(m)

L ：水深 h における設計計算に用いる波長(m)

β : 直立壁法線の垂線と波の主方向から $\pm 15^\circ$ の範囲で最も危険な方向となす角度(度)

$\lambda_1 \lambda_2$: 波圧の補正係数(通常は 1.0)

b) 直立壁の底面の揚圧力

底面前趾で p_u 、後趾で 0 となる三角形分布、上向きに作用

$$p_u = 0.5(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \lambda_3 \rho_0 g H_D$$

ここに

p_u : 底面前趾における揚圧力強度 (kN/m²)

(2) 波の谷が作用する場合

静水面で 0、静水面下 $0.5H_D$ で p_n 、以下底面まで一様分布の波圧が沖側に向かって作用する。

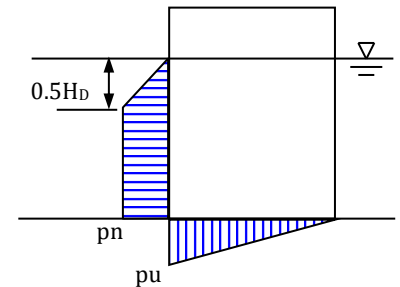
$$p_n = 0.5 \rho_0 g H_D$$

ここに

p_n : 一様部における波圧強度 (kN/m²)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H_D : 設計計算に用いる波高 (m)



また、底面に作用する負の揚圧力は、前趾で p_n 、後趾で 0 となる三角形分布が下向きに作用する

$$p_u = p_n = 0.5 \rho_0 g H_D$$

2.1.3 衝撃碎波力を考慮する場合

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成30年5月」P219~P222

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos\beta)\lambda_1 H_D$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos\beta)(\alpha_1 \lambda_1 + \alpha^* \lambda_2 \cos^2 \beta) \rho_0 g H_D$$

$$\alpha^* = \max(\alpha_2, \alpha_1)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$

ここに

α_1 : 衝撃碎波力係数

(衝撃碎波力係数 α_1)

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0 & : \alpha_{11} \leq 0 \\ \alpha_{10} \cdot \alpha_{11} & : \alpha_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\alpha_{10} = \begin{cases} H_D/d & : H_D/d \leq 2 \\ 2 & : H_D/d > 2 \end{cases}$$

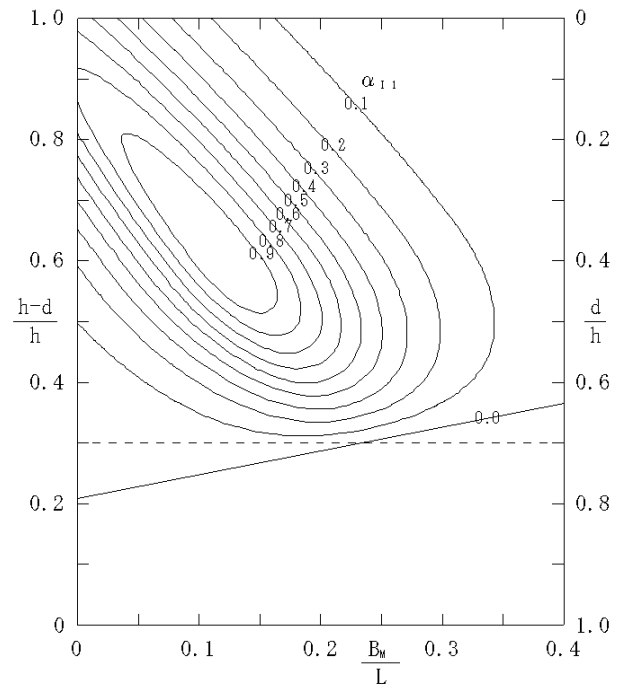
$$\alpha_{11} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & : \delta_2 \leq 0 \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 \cdot (\cosh \delta_2)^{1/2}} & : \delta_2 > 0 \end{cases}$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20 \cdot \delta_{11} & : \delta_{11} \leq 0 \\ 15 \cdot \delta_{11} & : \delta_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9 \cdot \delta_{22} & : \delta_{22} \leq 0 \\ 3.0 \cdot \delta_{22} & : \delta_{22} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_{11} = 0.93 \cdot \left(\frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.36 \cdot \left(\frac{h-d}{h} - 0.6 \right)$$

$$\delta_{22} = -0.36 \cdot \left(\frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.93 \cdot \left(\frac{h-d}{h} - 0.6 \right)$$



2.1.4 上部斜面ケーソン堤に作用する波力

合田式により算定される、直立壁に作用する波力 P_2 、斜面壁を直立面に投影した面積に作用する波力 P_1 をもとに、各算定式で得られる補正係数を使用し、水平波力 ($F_{SH} + F_V$)、鉛直波力 (F_{SV}) を算定する。

細山田らによる波力算定方法 参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 30 年 5 月」 P225

$$F_{SH} + F_V = \lambda_{SL}' \cdot P_1 \cdot \sin^2 \alpha + \lambda_V \cdot P_2$$

$$F_{SV} = \lambda_{SL}' \cdot P_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\lambda_{SL}' = \min [\max \{ 1.0, -23 \cdot (H/L) / \tan^2 \alpha + 0.46 / \tan^2 \alpha + 1 / \sin^2 \alpha \}, 1 / \sin^2 \alpha]$$

$$\lambda_V = \min [1.0, \max \{ 1.1, 1.1 + 11 \cdot d_c / L \} - 5.0 \cdot (H/L)]$$

λ_V は 0.75 を下限とします

森平らによる波力算定方法 参照:「港湾構造物設計事例集(下巻) 平成 11 年 4 月」 第 7 章

$$F_{SH} + F_V = P_1 \cdot \sin^2 \alpha + P_2$$

$$F_{SV} = P_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

佐藤らによる波力算定方法 参照:「港湾構造物設計事例集(下巻) 平成 11 年 4 月」 第 7 章

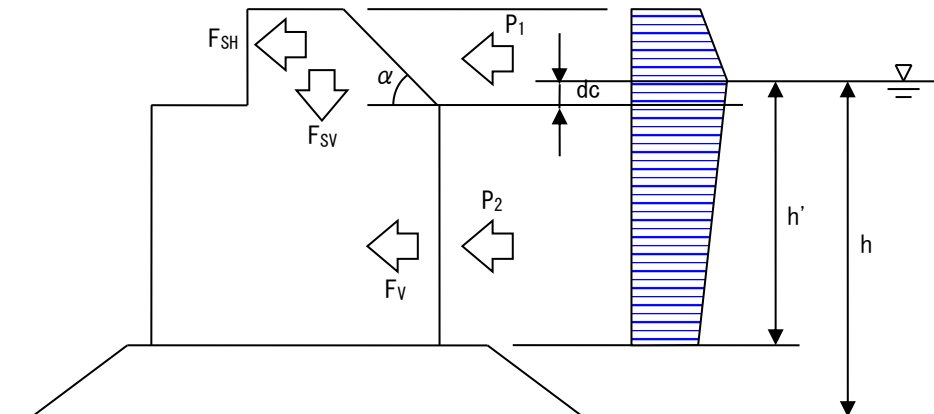
$$F_{SH} + F_V = \lambda_{FS} \cdot P_1 \cdot \sin^2 \alpha + P_2$$

$$F_{SV} = \lambda_{FS} \cdot P_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$H_{\max}/h \leq 0.35$	$\lambda_{FS} = 2.0$
$0.35 < H_{\max}/h \leq 0.65$	$\lambda_{FS} = -10 H_{\max}/(3h) + 19/6$
$0.65 < H_{\max}/h$	$\lambda_{FS} = 1.0$

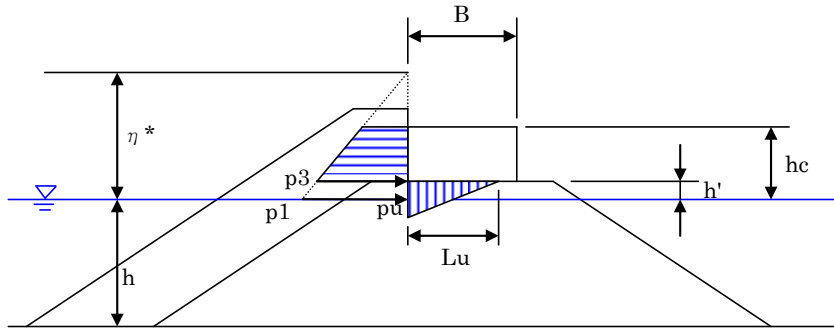
ここに、

- F_{SH} : 上部斜面堤の斜面部に作用する波力の水平成分(kN/m)
- F_{SV} : 上部斜面堤の斜面部に作用する波力の鉛直成分(上向きを正とする)(kN/m)
- F_V : 上部斜面堤の直立部に作用する波力 (kN/m)
- P_1 : 合田式で計算される直立壁に作用する水平波力のうち上部斜面堤の斜面部に対応する成分
- P_2 : 合田式で計算される直立壁に作用する水平波力のうち上部斜面堤の直立部に対応する成分
- λ_{SL}' : 斜面部に作用する波力の補正係数(細山田)
- λ_V : 直立部に作用する波力の補正係数(細山田)
- λ_{FS} : 斜面部に作用する波力の割増係数(佐藤)
- α : 斜面部の勾配
- H: 波高
- L: 波長
- d_c : 静水面から斜面下端までの高さ(静水面より上にある場合を正とする)(m)



2.1.5 消波ブロックで十分に被覆された傾斜堤上部工に働く波力
谷本・小島式

参照:「港湾構造物設計事例集(下巻) 平成11年4月」第5章、8章



$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)\lambda H_D$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)\lambda \alpha_1 \rho_0 g H_D$$

$$p_3 = p_u = \alpha_3 p_1$$

$$\lambda = \exp[-10(h/L)^{1.5} (1 - h'/h)^5]$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_3 = 1 + h'/\eta^* \quad (h' \leq 0 \text{ の場合})$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \quad (h' > 0 \text{ の場合})$$

$$L_u = \min \left\{ B, 0.2 \frac{(\eta^* + h')^2}{|h'|} \right\}$$

ここに、

- η^* : 静水面上波圧強度が0となる高さ (m)
- p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)
- p_3 : 直立壁底面における波圧強度 (kN/m²)
- h : 直立壁前面における水深 (m)
- h' : 直立壁底面の水深 (m)
- H_D : 設計計算に用いる波高 (m)
- L : 水深 h における設計計算に用いる波長 (m)
- β : 直立壁法線の垂線と波の主方向から±15°の範囲で最も危険な方向となす角度 (度)
- λ : 波圧の低減係数
- L_u : 揚圧力作用幅

※ この式を使用する場合、 h : 直立壁前面における水深は >0.0 の条件となります。

※ 低減係数 λ は計算および入力が可能です。

2.1.6 不完全被覆断面における波力

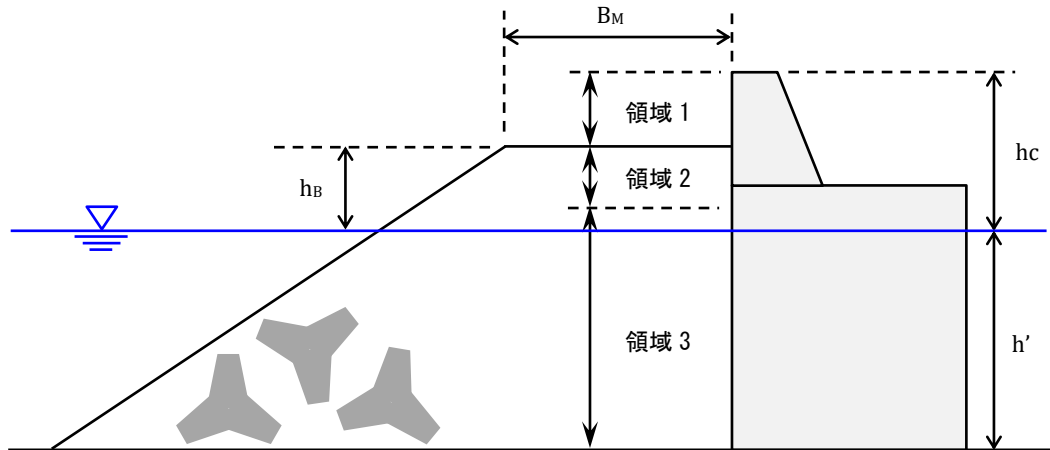
参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 30 年 5 月」 P224

参照:「台風9918号による護岸の被災とその対策に関する水理模型実験」 港研資料 No0973,2000

消波工が不完全に直立壁前面を被覆している場合の波力は、合田式による波圧の補正係数 λ_1, λ_2 を3つの領域に分けて考える。領域1は消波工で被覆されていない部分、領域2は消波工で被覆されているものの衝撃碎波力が作用する部分、領域3は消波工で被覆されており、衝撃碎波力が作用しない部分である。領域2は消波工天端から次式で求められる dp 下がった高さまでとする。

$$dp = \min \{ H_{1/3}/3, (hc - h_B) \}$$

式中、 hc は静水面から上部工天端の高さ、 h_B は静水面からの消波工天端の高さである。



不完全被覆断面における波圧の補正係数 λ_1, λ_2

	λ_1	λ_2	
領域 1	1.0	1.0 $1.0 - 10/7 \cdot (h_B/H)$ 0.0	$(h_B/H < 0.0)$ $(0.0 \leq h_B/H \leq 0.7)$ $(0.7 < h_B/H)$
領域 2	$\lambda_{10} \cdot \lambda_{11}$	1.0 $1.0 - 10/7 \cdot (h_B/H)$ 0.0	$(h_B/H < 0.0)$ $(0.0 \leq h_B/H \leq 0.7)$ $(0.7 < h_B/H)$
領域 3	$\lambda_{10} \cdot \lambda_{11}$	0.0	

ここで、 λ_{10} は完全消波での重複波圧成分の低減係数であり、 λ_{11} は以下の式で表される。

$$\lambda_{10} = \begin{cases} 1.0 & (H/h \leq 0.3) \\ 1.2 - 2(H/h)/3 & (0.3 < H/h \leq 0.6) \\ 0.8 & (0.6 < H/h) \end{cases}$$

$$\lambda_{11} = \begin{cases} 1.0/\lambda_{10} & (h_B/H < 0.0) \\ \left\{ 1.0 - \frac{1.0 - \lambda_{10}}{0.35} \left(\frac{h_B}{H} \right) \right\} / \lambda_{10} & (0.0 \leq h_B/H \leq 0.35) \\ 1.0 & (0.35 < h_B/H) \end{cases}$$

2.2 波力および揚圧力（漁港基準 2015 年版）

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書（上巻） 2015 年版」 P84～P97

2.2.1 直立壁に作用する波力

(1) 波の山がある場合

a) 波圧

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)\lambda_1\lambda_0H$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1\lambda_1 + \alpha_2\lambda_2\cos^2\beta)\rho_0g\lambda_0H$$

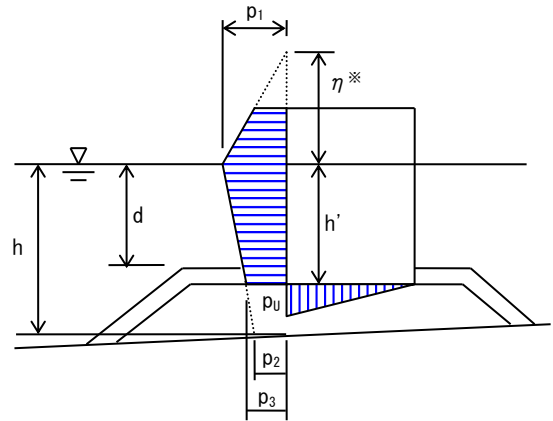
$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{\lambda_0 H}{d} \right)^2, \frac{2d}{\lambda_0 H} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$



ここに

η^* : 静水面上波圧強度が0となる高さ (m)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 海底面における波圧強度 (kN/m²)

p_3 : 直立壁の底面における波圧強度 (kN/m²)

ρ_0 : 海水の密度 (1.03t/m³)

g : 重力加速度 (9.81m/s²)

β : 波の主方向から±15° の範囲で最も危険な方向と直立壁の法線の垂線が成す角度 (度)

λ_0 : 波高の補正係数

λ_1 : 波圧の補正係数

λ_2 : 波圧の補正係数

h : 直立壁の前面における水深 (m)

L : 水深 h における波長 (m)

H : 設計波高 (壁体前面位置における進行波としての有義波高) (m)

h_b : 直立壁の前面から沖側へ有義波高の5倍の距離の地点における水深 (m)

h' : 直立壁底面の水深 (m)

d : マウンド上の根固め工又は被覆ブロックの天端のうち、いずれか浅い水深 (m)

b) 揚圧力

前趾で p_u 、直立壁の後趾で0となる三角形分布で作用する。

$$p_u = 0.5(1 + \cos \beta)\alpha_1\alpha_3\lambda_3\rho_0g\lambda_0H$$

(2) 波の谷がある場合

a) 波圧

$$p_n = 0.5\rho_0 g \lambda_0 H$$

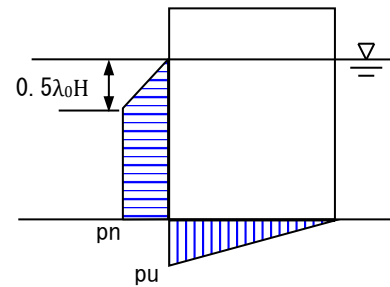
ここに

p_n : 一様部における波圧強度 (kN/m²)

b) 揚圧力

前趾で p_u 、後趾で 0 となる三角形分布の揚圧力が下向きに作用する。

$$p_u = p_n = 0.5\rho_0 g \lambda_0 H$$



(3) 補正係数 $\lambda_{1,2,3}$

水深 h 、換算沖波波高 H_0' より求められる補正係数 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 を用いることができる。

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0.4(h/H_0') + 1.0 & (0 \leq h/H_0' \leq 1.0) \\ -0.4(h/H_0') + 1.8 & (1.0 \leq h/H_0' \leq 2.0) \\ 1.0 & (h/H_0' > 2.0) \end{cases}$$

$$\lambda_2 = 1.0$$

$$\lambda_3 = 1.0$$

2. 2. 2 消波工で被覆された直立壁に作用する波力

消波ブロックを十分に被覆した場合、直立壁に作用する波力の波圧式を用い、以下の補正係数 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 を用いることができる。

$$\lambda_1 = \begin{cases} 1.0 & (0 \leq h/H_0' \leq 1.0) \\ -0.2(h/H_0') + 1.2 & (1.0 \leq h/H_0' \leq 2.0) \\ 0.8 & (2.0 \leq h/H_0' \leq 3.0) \\ 0.08(h/H_0') + 0.56 & (3.0 \leq h/H_0' \leq 5.5) \\ 1.0 & (h/H_0' > 5.5) \end{cases}$$

$$\lambda_2 = 0.0$$

$$\lambda_3 = 1.0$$

2. 2. 3 遊水部付き消波工を有する直立壁に作用する波力

海底勾配が概ね 1/30 以下の場合、一定の遊水部距離を置いた消波工を有する防波堤には、その直立壁前面に作用する波力は、「消波工で被覆された直立壁に作用する波力」の波圧分布が作用するものとしてもよい。

2. 2. 4 潜堤を有する直立壁に作用する波力

潜堤と防波堤との距離がある程度離れている場合、かつ潜堤上で強制碎波させる場合には、防波堤直立壁前面に作用する波圧の低減が期待でき、その場合は「消波工で被覆された直立壁に作用する波力」の波圧分布が作用するものとしてもよい。

2. 2. 5 直立消波ブロック堤に作用する波力

直立壁に作用する波力の波圧式により算定するものとし、以下の補正係数を用いてよい。

$$\lambda_1 = \lambda_3 = 1.0$$

$$\lambda_2 = 0.0$$

2.3 波力および揚圧力（漁港基準 2003 年版）

参照：「漁港・漁場の施設の設計の手引き（上巻） 2003 年版」 P59～P73

2.3.1 直立壁に作用する重複波の波力

(1) 波の山が作用する場合

水深 h と波高 H より、重複波／砕波の判定は自動で行います。

$$p_b = 1.5wH$$

$$p_1 = (p_2 + wh) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right)$$

$$p_2 = \frac{wH}{\cosh(2\pi h / L)}$$

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$$

ここに

p_b : 砕波による波圧強度 (kN/m²)

p_1 : 壁面に波の山があるときの静水面上における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 壁体下端における波圧強度 (kN/m²)

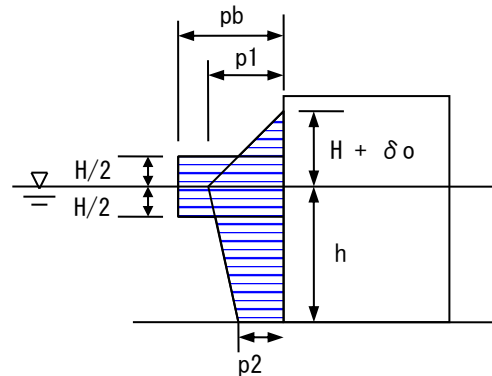
w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

δ_0 : 壁面における波高中分面の静水面上の高さ (m)

h : 壁体前面の水深 (m)

H : 壁体設置位置における進行波としての波高 (m)

L : 水深 h における波長 (m)



※ 部分砕波： p_b を考慮しない計算も可能です。

(2) 波の谷が作用する場合

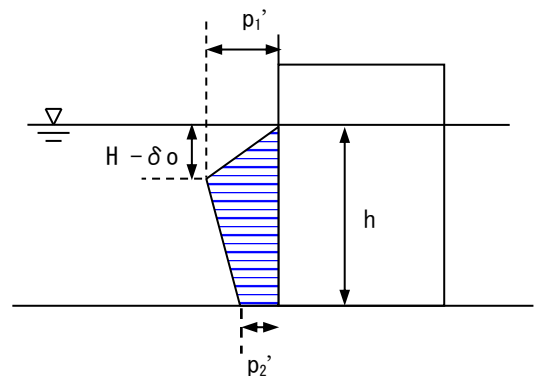
$$p_1' = w(H - \delta_0)$$

$$p_2' = \frac{wH}{\cosh(2\pi h / L)}$$

ここに

p_1' : 静水面下 ($H - \delta_0$) における波圧強度 (kN/m²)

p_2' : 壁体下端における波圧強度 (kN/m²)



2.3.2 直立壁に作用する砕波の波力

(1) 算定式

$$p = 1.5wH \cos^2 \beta \quad (\beta < 45^\circ \text{の場合})$$

$$p = 0.75wH \quad (\beta \geq 45^\circ \text{の場合})$$

ここに

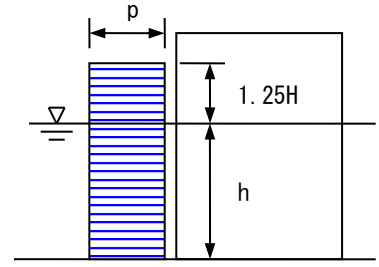
p : 砕波による波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 直立壁前面から5波高分沖までの区間の最大波高 (m)

β : 波の主方向と直立壁の法線の垂線とのなす角度 $\pm 15^\circ$ の範囲において、直立壁に最も危険な波圧を与える角度 (度)

※ 係数 (1.50、0.75) は変更可能です。



(2) 沿い波の場合

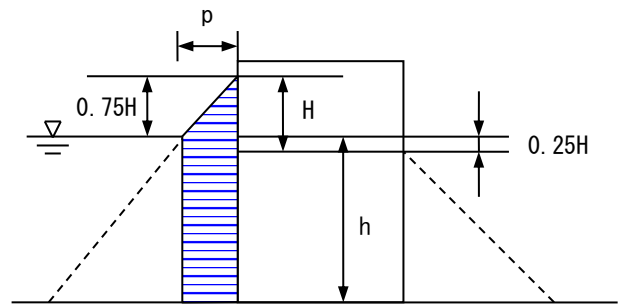
$$p = 1.0wH$$

ここに

p : 沿い波による直立壁に作用する波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 防波堤前面における波高 (m)



(3) 砕波の負圧

$$p' = 0.5wH$$

ここに

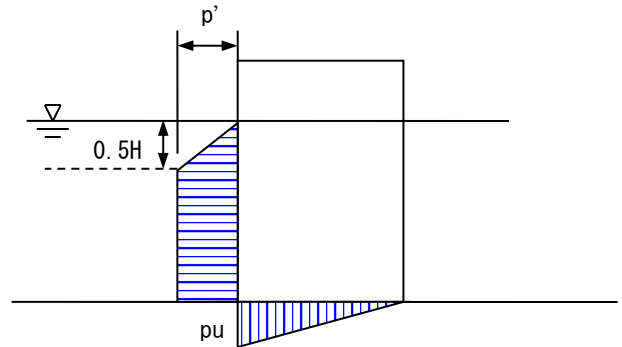
p' : 一様部における波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 設計計算に用いる波高 (m)

また、負の揚圧力 p_u は、堤体の前趾で p' 、後趾で0となる三角形分布の揚圧力が下向きに作用する。

$$p_u = p' = 0.5wH$$



2.3.3 消波工で被覆された直立壁に作用する波力

$$p = 1.0wH \cos \beta \quad (\beta < 45^\circ)$$

$$p = 0.7wH \quad (\beta \geq 45^\circ)$$

ここに

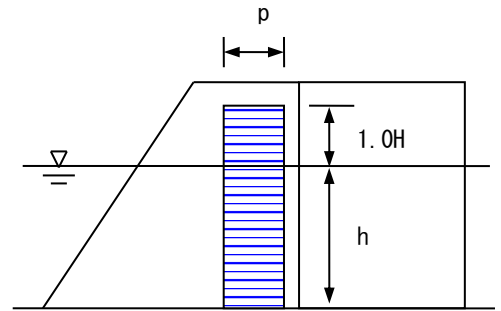
p : 消波工で被覆された直立壁に作用する波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 直立壁前面から5波高分沖までの区間の最大波高 (m)

β : 波の主方向と直立壁の法線の垂線とのなす角度 $\pm 15^\circ$ の範囲において、直立壁に最も危険な波圧を与える角度 (度)

※ 碎波領域での計算となります。また、重複波・碎波関係なく計算することも可能です。



2.3.4 遊水部付き消波工を有する直立壁に作用する波力

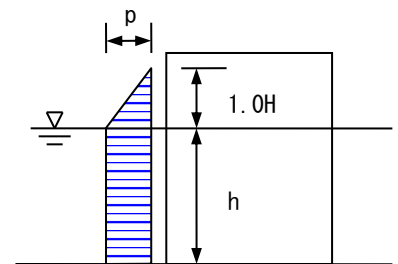
$$p = 1.3wH$$

ここに

p : 波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 直立壁前面から5波高分沖までの区間の最大波高 (m)



2.3.5 潜堤を有する直立壁に作用する波力

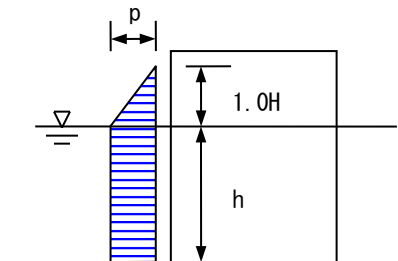
$$p = 1.0wH$$

ここに

p : 波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 直立壁前面から5波高分沖までの区間の最大波高 (m)



2.3.6 直立消波ブロック堤に作用する波力

$$p = 1.25wH \cos^2 \beta$$

ここに

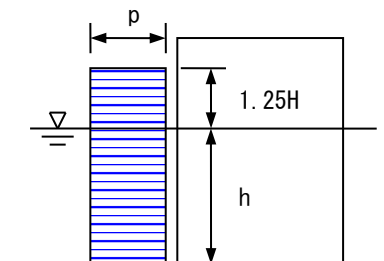
p : 消波工で被覆された直立壁に作用する波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H : 直立壁前面から5波高分沖までの区間の最大波高 (m)

β : 波の主方向と直立壁の法線の垂線とのなす角度 $\pm 15^\circ$ の範囲において、直立壁に最も危険な波圧を与える角度 (度)

※ 碎波領域で使用します。重複波領域では重複波の式を使用します。



2.3.7 揚圧力

重複波／砕波／沿い波／消波工で被覆した場合において以下の式を用いて計算します。
直立消波ブロック堤の場合、無条件に前面波圧強度を使用し計算します。

(1) 重複波の場合

$$p_u = \frac{wH}{\cosh(2\pi h/L)}$$

(2) 砕波の場合

$$p_u = 1.25wH$$

(3) 沿い波及び消波工で被覆した場合

$$p_u = 1.0wH$$

ここに

p_u : 直立壁底面の前趾における揚圧力強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

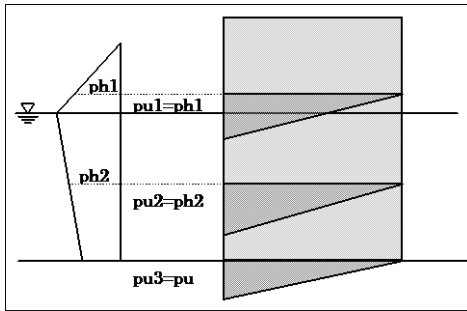
H : 直立壁前面における波高 (m)

h : 直立壁前面における水深 (m)

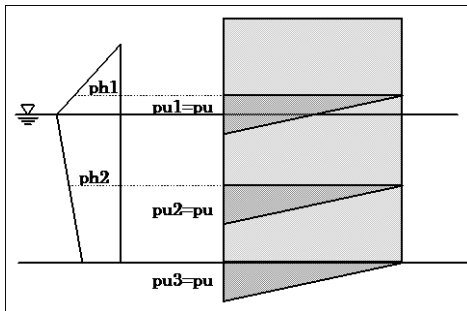
L : 直立壁前面における波長 (m)

【揚圧力について(港湾／漁港基準)】

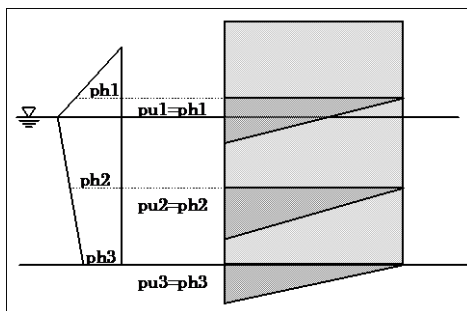
ブロック積式等の底面以外のレベルでの揚圧力算出方法を以下の3種類から選択できます。



「壁体底面の揚圧力は p_u の値、底面より上の検討面では波圧強度を使用」



「全ての検討面で、底面での p_u 式の値を使用」



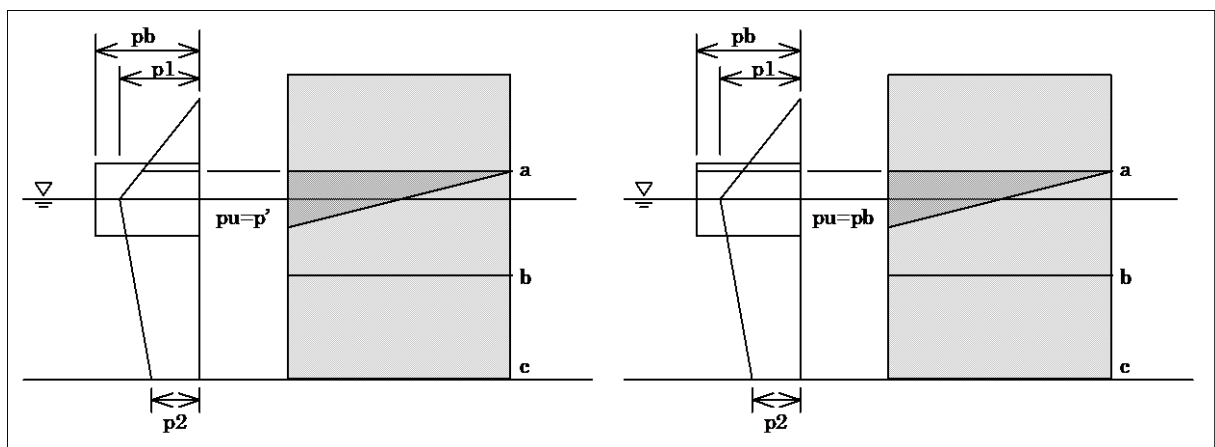
「全ての検討面で、波圧強度の値を使用」

【重複波一部分砕波帯での揚圧力について(漁港基準 2013)】

重複波作用時、部分砕波帯に検討レベルがある場合の揚圧力算出方法を以下の2種類から選択できます。

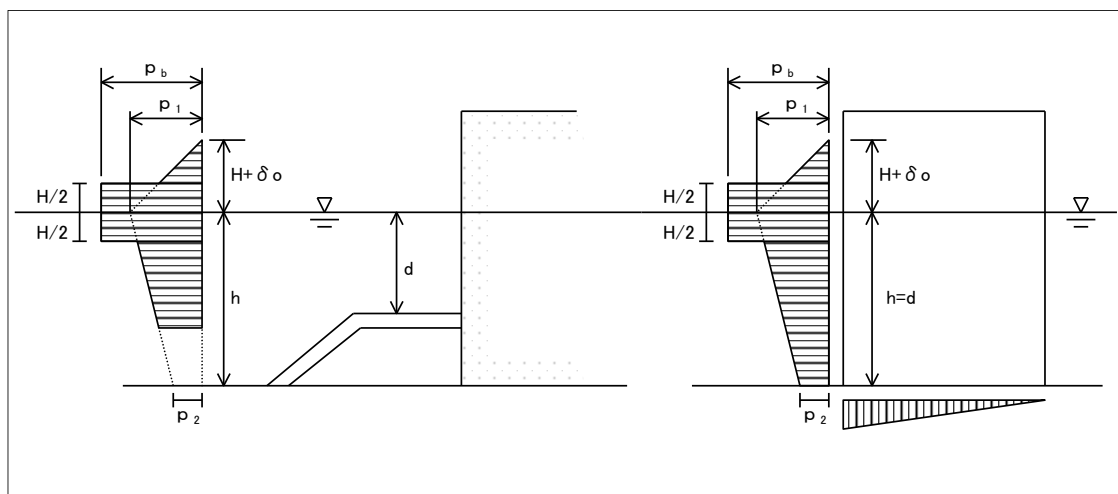
p_1 、 p_2 からの比例計算値を使用

p_b の値を使用



【捨石マウンドがある場合について(漁港基準 2003)】

- ・ 重複波、砕波の判定には、マウンド上水深 d を使用する。
- ・ 波圧強度の算定には h を使用し、各検討レベルでの波圧強度を比例計算により求める。



【岩着構造物について(漁港基準 2003, 2015)】

〔岩着構造物である場合〕

揚圧力……考慮しない。

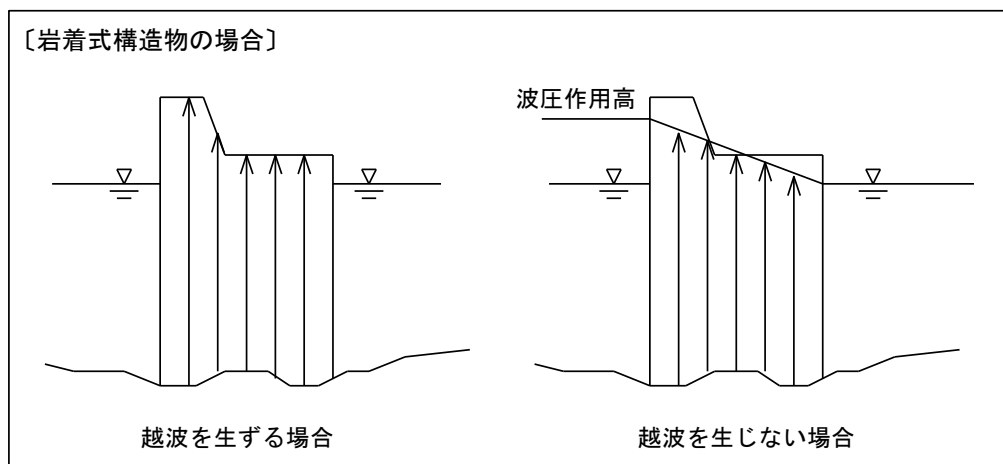
浮力……越波する場合……壁体全体に作用する。

越波しない場合……壁体前面の波圧作用高と壁体背面の静水面を結んだ線以下の部分に作用する。

〔岩着構造物でない場合〕

揚圧力……考慮する。

浮力……静水面下の部分に作用する。



※ 岩着構造物で越波しない場合、波圧作用高と静水面を結んだ斜めのライン以下に対して浮力を考慮するため、ブロック形式は任意・矩形形状にのみ対応しています。

【構造物の設計潮位より検討面がある場合の揚圧力について(漁港基準 2003)】

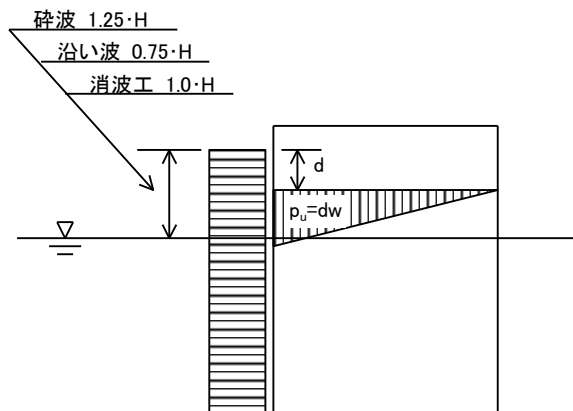
〔砕波／沿い波／消波工で被覆された場合〕
 静水圧水平分布と同じと考え次式を使用する。

$$p_u = d \cdot w$$

ここに、

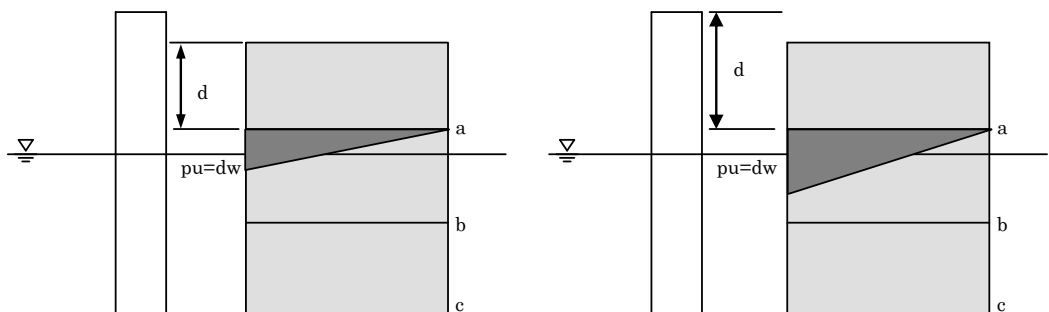
d: 波圧作用高と検討面までの距離(m)

w: 海水の単位体積重量(kN/m³)



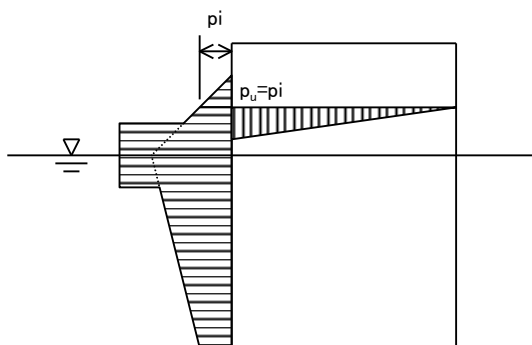
※ 設計潮位が検討面より十分高い場合に適應するため、静水面上何m以上で計算するか指定できません。

※ d: 波圧作用高と検討面までの距離について、越波した場合は「天端から検討面までの距離」、「波圧作用高から検討面までの距離」の選択した距離で計算します。



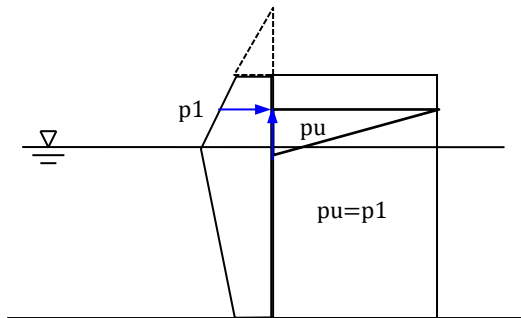
〔重複波の場合〕

検討面の水平波力に等しい値とする。



【構造物の設計潮位より検討面が上にある場合の揚圧力について(漁港基準 2015)】

揚圧力は、検討面の水平波力と等しいと考えてよい。



【限界状態法設計時の外力計算について(港湾基準)】

ケーソン細部設計(限界状態設計法)で使用する外力を計算できます。
計算できるパターンは以下の通りです。計算結果は一覧表として作成します。
また、弊社ソフト「ケーソン細部設計 2007」とのデータ連携が可能です。

- ・ 終局限界状態設計時 / H. W. L. / 波の山作用時、波の谷作用時
- ・ 終局限界状態設計時 / L. W. L. / 波の山作用時、波の谷作用時
- ・ 使用限界状態設計時 / H. W. L. / 波の山作用時、波の谷作用時
- ・ 使用限界状態設計時 / L. W. L. / 波の山作用時、波の谷作用時
- ・ 静穏時 / H. W. L.
- ・ 静穏時 / L. W. L.
- ・ 疲労限界状態設計時 / 設定波高ランク毎に(最大 15 ランク) / 波の山作用時、波の谷作用時
- ・ 静穏時 / 疲労限界状態設計時潮位

2.4 津波波力および揚圧力

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 30 年 5 月」 P248~P251

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P104~P108

参照:「防波堤の耐津波設計ガイドライン 平成 25 年 9 月 国土交通省 港湾局」 P23~P25

参照:「H23 東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方 平成 26 年 1 月 23 日改正 水産庁」
P62~P66

2.4.1 谷本式

非越流時の津波算定式

$$\eta^* = 3.0\alpha_1$$

$$p_1 = 2.2p_0g\alpha_1$$

$$p_u = p_1$$

背面水位が下がる場合、背面の負圧を考慮可能

$$p_2 = p_0g\eta_B$$

$$p_L = p_2$$

ここに

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

α_1 : 入射津波の静水面上の高さ(振幅) (m)

p_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

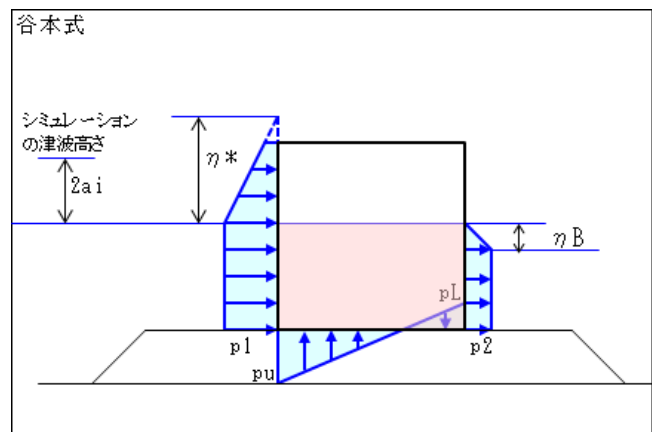
p_u : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)

η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位

p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m²)

p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m²)

※背面水位は下がる場合のみ考慮可能



2.4.2 修正谷本式

ソリトン分裂波による津波算定式

$$\eta^* = 3.0\alpha_1$$

$$p_1 = 3.0p_0g\alpha_1$$

$$p_u = p_1$$

ここに

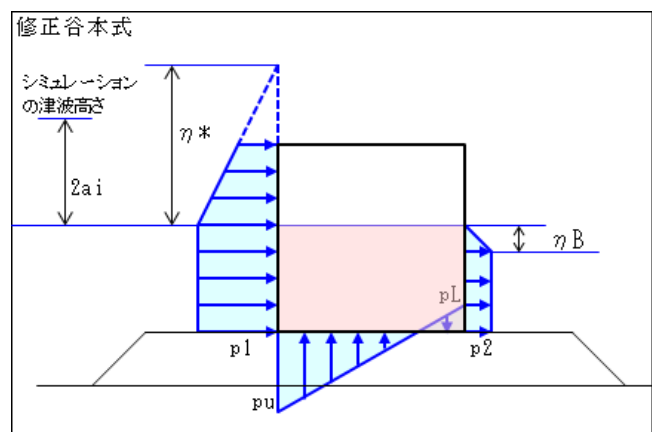
η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

α_1 : 入射津波の静水面上の高さ(振幅) (m)

p_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_u : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)



※谷本式と同様、背後水位が下がる場合の負圧を考慮可能

2.4.3 静水圧差式

越流時の津波算定式

$$p_1 = \alpha_f p_0 g (\eta_f + h')$$

$$p_3 = \alpha_r p_0 g (\eta_r + h')$$

ここに

p_1 : 直立壁前面の底面における波圧強度(kN/m²)

p_2 : 直立壁前面の天端面における波圧強度(kN/m²)

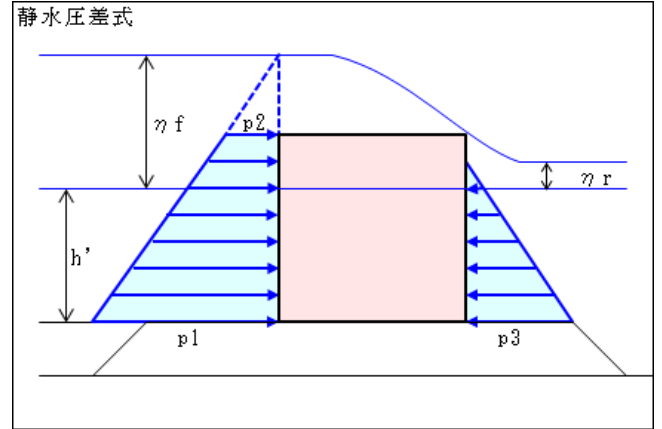
p_3 : 直立壁背面の底面における波圧強度(kN/m²)

η_f : 直立壁前面の静水面からの津波高さ(m)

η_r : 直立壁背面の静水面からの津波高さ(m)

α_f : 直立壁前面の静水面補正係数(1.05)

α_r : 直立壁背面の静水面補正係数(0.9)



※全断面に浮力考慮、揚圧力は考慮しない

2.4.4 水工研提案式

非越流時、越流時の津波算定式

$$p_1 = p_0 g (\eta + h') \alpha_1$$

$$p_3 = p_0 g (\eta_B + h') \alpha_{IB}$$

ここに

η : 堤体前面の静水面上の水位(m)

η_B : 堤体背面の静水面上の水位(m)

α_1 : 前面波圧の係数(1.1)

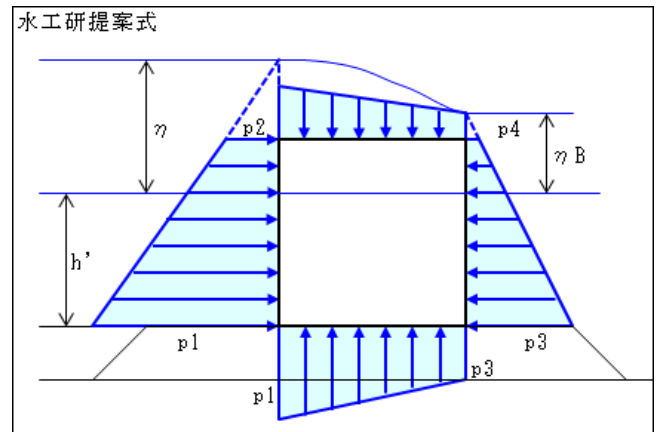
α_{IB} : 背後波圧の係数(0.9)

p_1 : 堤体下端部における前面波圧強度(kN/m²)

p_2 : 堤体上端部における前面波圧強度(kN/m²)

p_3 : 堤体下端部における背後波圧強度(kN/m²)

p_4 : 堤体上端部における背後波圧強度(kN/m²)



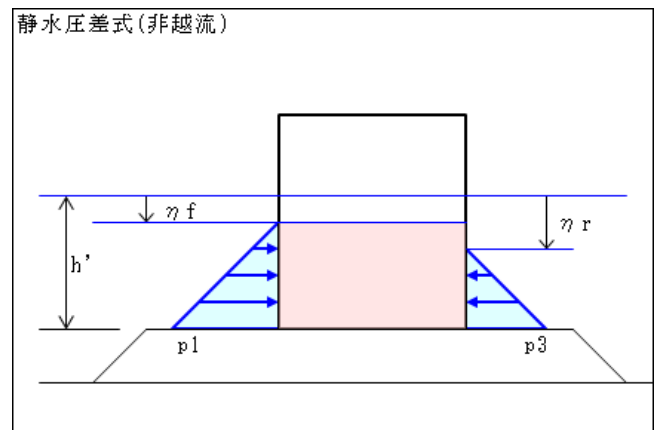
※浮力 考慮しない

※水工研提案式は矩形断面を前提に考えられています。上部斜面堤などの適用には注意して下さい。

2.4.5 静水圧差式 (非越流時)

静水圧差式と同様、前面、背面の水圧による式ですが、非越流時での津波式です。

そのため、浮力は前面・背面の高い水位での浮力となります。



2.4.6 谷本式（消波被覆時）

参照:「ソリトン分裂津波に対する消波ブロック被覆堤の津波波力算定法に関する研究」 土木学会論文集 B2(海岸工学)
Vol.71, No.2, 2015

直立壁が消波ブロックで被覆されている場合に、ソリトン分裂波の砕波による衝撃力が緩和されるのを考慮した波圧式

$$\begin{aligned}\eta^* &= 3.0a_I \\ p_1 &= \alpha\lambda\rho_0ga_I \\ p_U &= 2.2\lambda\rho_0ga_I\end{aligned}$$

背面水位が下がる場合

$$\begin{aligned}p_2 &= \rho_0g\eta_B \\ p_L &= p_2\end{aligned}$$

ここに、

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)
 a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)
 p_1 : 静水面上における波圧強度 (kN/m²)
 p_U : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m²)
 α : 静水面の波圧に関する係数

$$\alpha = \begin{cases} 2.2 & (a_I/h < 0.15) \\ 1.0 + 8.0(a_I/h) & (0.15 \leq a_I/h < 0.25) \\ 3.0 & (a_I/h \geq 0.25) \end{cases}$$

λ : 水平波力および揚圧力低減率

$hc/H_D=0.6$ の場合

$$\lambda = \begin{cases} 1.0 & (a_I/h < 0.15) \\ 1.27 - 1.8(a_I/h) & (a_I/h \geq 0.15) \end{cases}$$

$hc/H_D=1.0$ の場合

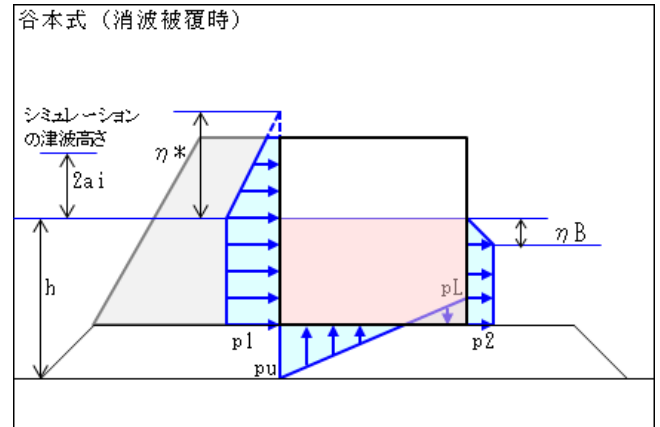
$$\lambda = \begin{cases} 1.0 & (a_I/h < 0.20) \\ 1.36 - 1.8(a_I/h) & (a_I/h \geq 0.20) \end{cases}$$

η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位 (m)

p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m²)

p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m²)

※背面水位は下がる場合のみ考慮可能



2.4.7 津波水位トライアル計算

津波時の検討において、津波シミュレーション結果による時刻歴水位データをもとに連続計算を行い、滑動、転倒の安全率が最も厳しくなるケースを検索します。

前面・背面の水位パターンにより、どの津波式を適用するか選択可能です。
前面・背面の水位により、押し波・引き波時の検討を行います。

読み込み可能な水位データの形式は、CSV形式(カンマ区切り)です。

必要なデータは、

データ数, 時間間隔 (秒)
前面水位, 背面水位
：
： データ数繰り返し
：

計算開始時刻、終了時刻を設定し連続計算を行い、最小安全率の表示、結果一覧をファイルに作成します。

結果一覧ファイルには、時刻歴水位毎に、滑動・転倒の安全率、作用力、モーメントなどを出力します。

2.5 動水圧

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 30 年 5 月」 P359

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P157

2.5.1 動水圧

$$p_{dw} = \pm \frac{7}{8} K \gamma_w \sqrt{H y}$$

ここに

p_{dw} : 動水圧 (kN/m²)

K : 設計震度

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

y : 水面から動水圧を求める点までの深さ (m)

H : 直立壁前面における水深 (m)

2.5.2 動水圧合力及び作用点位置

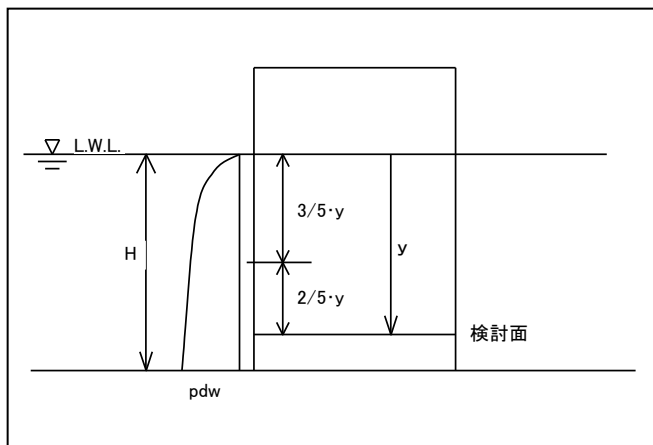
$$P_{dw} = 2 \frac{7}{12} K \gamma_w \sqrt{H} y^{\frac{3}{2}}$$

$$h_{dw} = \frac{2}{5} y$$

ここに

P_{dw} : 動水圧の合力 (kN/m)

h_{dw} : 動水圧を求める点から動水圧の合力の作用点までの距離 (m)



水深 H として以下の位置を選択できます。

- ・壁体前面位置を使用 (水深 h の位置)
- ・壁体底面位置を使用
- ・入力位置を使用 (港外側、港内側指定)

※ 基準では合力の作用位置までの距離 h_{dw} を、水面からの距離 $3/5 y$ としていますが、計算では検討面からの距離 $2/5 y$ を使用します。

2.6 壁体重量、浮力

本システムでは、壁体を構成するブロックとして、以下の形状のものが取り扱えます。

- 矩形ブロック
- 任意形状ブロック
- ケーソン
- セルラー
- 直立消波ブロック
- 直立消波ブロック（層別体積、層別重心 X）

2.6.1 矩形ブロック

ブロックの底辺／高さを登録します。重量計算は水上／水中に分割して計算しますが、方塊等の飽和／湿潤の単位体積重量が同じ場合は分割しません。

〔重量〕

水上部分＝底辺×高さ(水上部分)×湿潤単位体積重量

水中部分＝底辺×高さ(水中部分)×飽和単位体積重量

〔浮力〕

底辺×高さ(水中部分)×(飽和単位体積重量－水中単位体積重量)

2.6.2 任意形状ブロック

ブロックの構成点座標を登録します。重量計算は矩形形状と同様、飽和／湿潤の単位体積重量が同じ場合は分割しません。ブロックを三角形、四角形に分割し、個々の底辺、高さより重量・浮力を計算します。

〔重量〕

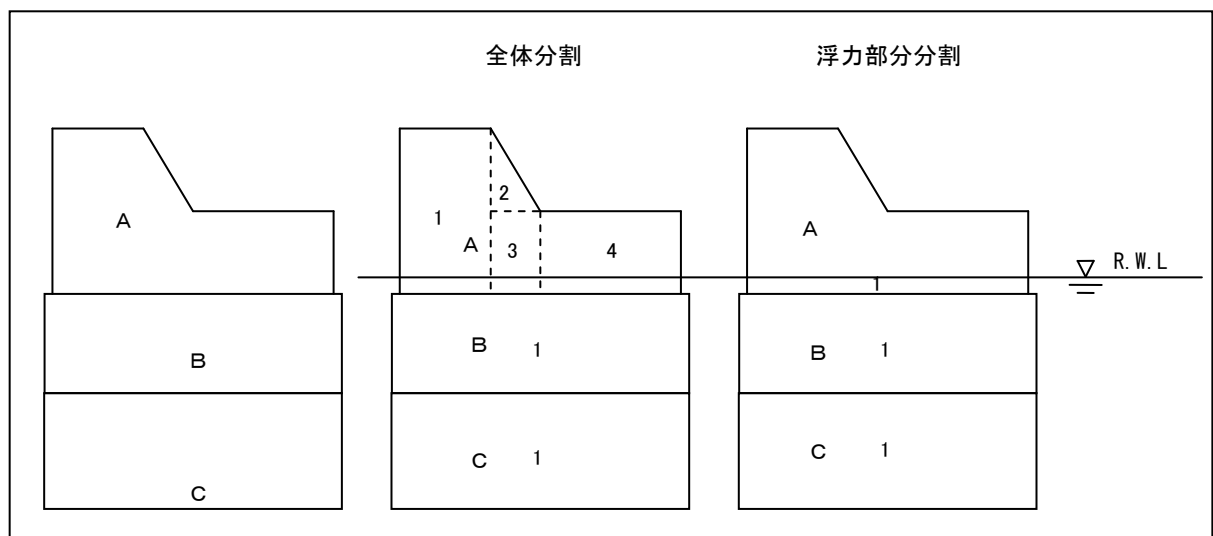
水上部分＝ Σ (底辺×高さ(水上部分)×湿潤単位体積重量)

水中部分＝ Σ (底辺×高さ(水中部分)×飽和単位体積重量)

〔浮力〕

浮力＝ Σ (底辺×高さ×(飽和単位体積重量－水中単位体積重量))

〔分割例〕



2.6.3 ケーソン、セルラブロック

1 函当たりの横断方向／縦断方向／高さ方向の寸法を登録します。室数は横断／縦断方向共に8室まで登録可能です。中詰め材は最大5種類登録できます。

安定検討には1 函当たりの重量をL(縦断方向)で割り、m単位の重量を用いて計算します。

[重 量]

形状寸法より各部材の体積を計算し、単位体積重量より1 函当たりの重量を計算します。

中詰め材も同様に体積、単位体積重量より1 函当たりの重量を計算します。ただし、最下にある中詰め材は水平横、縦、隅角部ハンチの体積を引いて計算します。(セルラーは底版が無いため考慮しません)

[浮 力]

ケーソン……ケーソン・中詰め材を一体と考えます。断面積(残留水位以下浮力部分) × γ_w

セルラー……浮力部分の体積を計算し(中詰め材も同様)、各部材の $\gamma - \gamma'$ をかけて求めます。

[ケーソン浮遊時の安定計算]

ケーソン安定のため次式を満足するものとする。なお、安全のためGMはきつ水の5%以上とする。

$$\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0$$

ここに

V: 排水容積 (m³)

I: 喫水面の長軸に対する断面2次モーメント (m⁴)

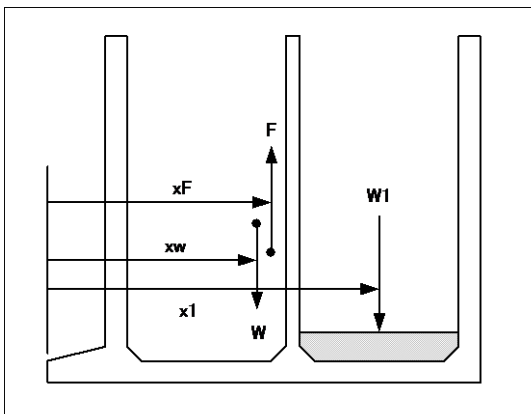
C: 浮心

G: 重心

M: 傾心

非対称形状(片側フーチングなど)の場合、バラスト材を投入し平衡状態にします。平衡条件式は以下の通りです。

$$W \cdot x_w + W1 \cdot x1 = F \cdot xF$$



ここに

W1 : バラスト重量 (kN)

W : ケーソン重量(フーチング重量を含む) (kN)

F : ケーソン(フーチング重量を含む)に作用する浮力 (kN)

x1 : ケーソン外端からW1の作用点までの距離 (m)

xw : ケーソン外端からWの作用点までの距離 (m)

xF : ケーソン外端からFの作用点までの距離 (m)

2.6.4 直立消波ブロック

実重量W、寸法(B,H,L)、体積V、重心X、Yを登録します。

重量／浮力の計算では、ブロックの水上・水中単位体積重量 γ 、 γ' をW、B、H、L、Vより計算します。

$$\gamma = \frac{W}{B \cdot H \cdot L} \quad \gamma' = \frac{W - V \cdot \gamma_w}{B \cdot H \cdot L}$$

〔重量〕

底辺×高さ(全体)× γ

〔浮力〕

底辺×高さ(水中部分)×($\gamma - \gamma'$)

モーメント計算では入力した重心座標から検討点までの距離を使用します。

2.6.5 直立消波ブロック（層別体積）

直立消波ブロックデータ作成システム(別途インストールが必要)で作成したブロックを登録します。水位位置により登録した層別体積を用いて重量／浮力を計算します。

〔重量〕

全体の体積× γ ／縦断方向寸法L

〔浮力〕

水中部分の体積(層別体積より)× γ_w ／縦断方向寸法L

モーメント計算では入力した重心座標から検討点までの距離を使用します。

層別ごとに重心Xが違う場合にも対応しています。

2.7 壁体の安定検討

2.7.1 安定検討

各検討点での外力、モーメントを計算し、滑動・転倒の安定計算を行います。以下の外力を計算に考慮します。

《波圧時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
波 圧	○	○	○	○
揚圧力	○	—	○	—
壁体重量	○	—	○	—
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

《地震時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
動水圧	—	○	—	○
壁体重量	○	—	○	—
壁体慣性力	—	○	—	○
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

《津波時》	鉛直力 V(kN/m)	水平力 H(kN/m)	鉛直力モーメント MR(kN・m/m)	水平力モーメント MD(kN・m/m)
津波波圧	○	○	○	○
揚圧力	○	—	○	—
壁体重量	○	—	○	—
浮 力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

〔安全率法：漁港基準〕

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）平成11年4月」P658,659

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書（上巻）2015年版」P507

滑 動

$$F = \frac{\mu \cdot V}{H}$$

ここに

- μ：検討点における摩擦係数
- V：壁体に作用する全鉛直力 (kN/m)
- H：壁体に作用する全水平力 (kN/m)

転 倒

$$F = \frac{M_R}{M_D}$$

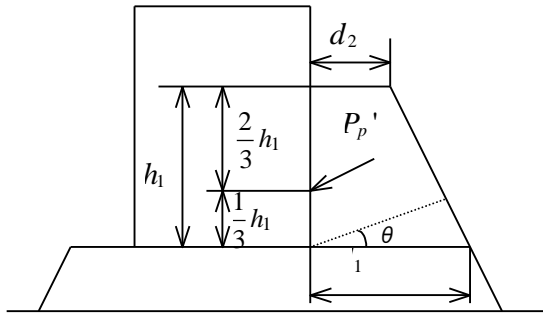
ここに

- M_R：全鉛直力モーメント (kN・m/m)
- M_D：全水平力モーメント (kN・m/m)

2.7.2 暫定裏込め時の安定検討（漁港基準）

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書（上巻） 2015 年版」 P444

参照：「漁港・漁場の施設の設計の手引き（上巻） 2003 年版」 P398、P399



滑 動

$$F = \frac{\mu V + R}{H}$$

ここに
ここに

R : 裏込めの水平抵抗(kN/m)
 μ : 検討点における摩擦係数
 V : 壁体に作用する全鉛直力(kN/m)
 H : 壁体に作用する全水平力(kN/m)

転 倒

$$F = \frac{M_R + R_m}{M_D}$$

R_m : 裏込めの水平抵抗モーメント(kN・m/m)
 M_R : 全鉛直力モーメント(kN・m/m)
 M_D : 全水平力モーメント(kN・m/m)

裏込めの水平抵抗

$$R = P_p' \cos \delta$$

$$P_p' = P_p \frac{(d_2 + d_3)(h_1 - d_3 \tan \theta) + d_3^2 \tan \theta}{h_1^2} \tan \theta$$

$$d_3 = \frac{d_1}{1 + \frac{d_1 - d_2}{h_1} \tan \theta}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi - \theta')}{\cos \theta' \cos(\delta - \theta') \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi - \theta')}{\cos(\delta - \theta')}} \right]^2}$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_p$$

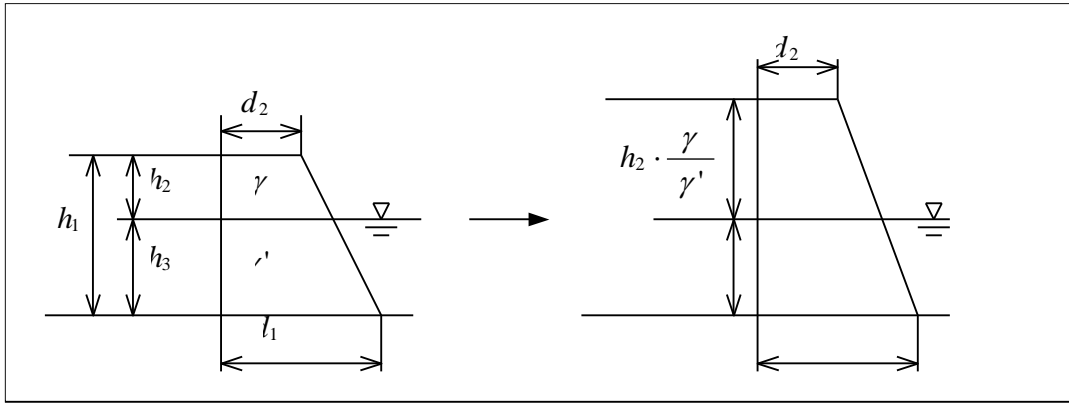
$$\cot \theta = \tan(\phi - \delta) + \sec(\phi - \delta) \sqrt{\frac{\cos(\delta - \theta') \sin(\phi - \delta)}{\sin(\phi - \theta')}}}$$

ここに

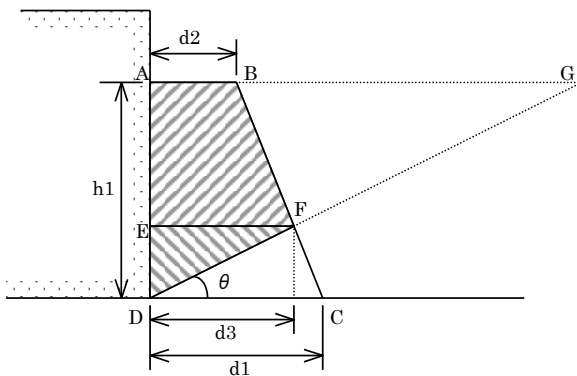
R : 裏込めの滑動抵抗（作用点は底面より $h_1/3$ の高さ）
 P_p' : 裏込めの受働土圧
 h_1 : 裏込め高さ
 d_1, d_2 : 裏込めの底面幅及び天端幅
 θ : 裏込めのすべり面
 ϕ, γ : 裏込めの内部摩擦角、単位体積重量

- δ : 裏込めの壁面摩擦角
- θ' : 地震合成角 ($=\tan^{-1}k$ or $\tan^{-1}k'$)
- P_p : 暫定裏込め及び護岸背面がすべて裏込め材で満たされているときの受働土圧合力
- K_p : 裏込め材の受働土圧係数

※ 裏込め土が水上／水中に分割される場合、水上部分の裏込め土の高さを変換し全て水中にあるものとして計算します。また、変換しないで全て水中としても計算できます。

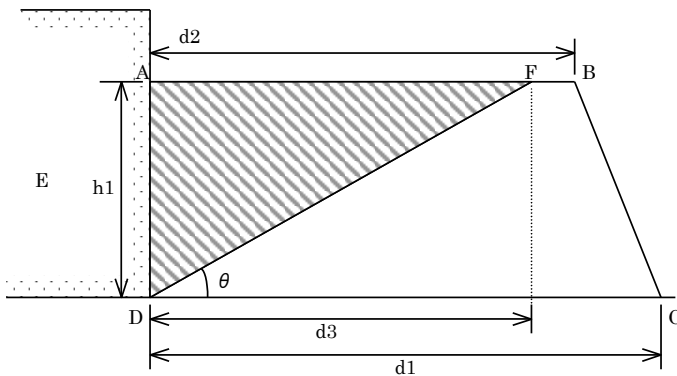


- ※ 波の山作用時には受働土圧として、波の谷作用時には主働土圧として計算します。
- ※ 裏込め形状、すべり面角度によって面積比率による換算を必要としない場合があります。



[すべり面が裏込め背面と交差する場合]

P_p は領域 AGD に対する土圧合力。
 裏込めの土圧合力 P_p' (領域 ABFD) は、領域 AGD と領域 ABFD の比率で P_p を換算した値となります。



[すべり面が天端と交差する場合]

P_p の領域と P_p' の領域は同じになります。
 そのため、面積比率による換算は必要ありません。 $P_p' = P_p$ となります。

2.7.3 直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合の安定検討 (H11 港湾基準)

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 11 年 4 月」 P602

直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合、滑動抵抗を考慮した検討を行います。

$$\frac{\mu_1 W_1 + R}{P} \geq 1.2$$

ここに、

- P: 直立部に作用する水平波力(kN/m)
- W₁: 直立部の静水中の水中重量一揚圧力(kN/m)
- μ₁: 直立部と割石基礎の摩擦係数
- R: 補強した割石あるいは方塊の滑動抵抗力(kN/m)

割石又は方塊の滑動抵抗力として以下の3パターンが計算可能です。

- a: 割石の滑動抵抗力
- b: 方塊の滑動抵抗力
- c: 割石/方塊の滑動抵抗力(波高と水深の比による)

[a: 割石の滑動抵抗力]

$$R = W_s \cdot \tan(\theta + \phi)$$

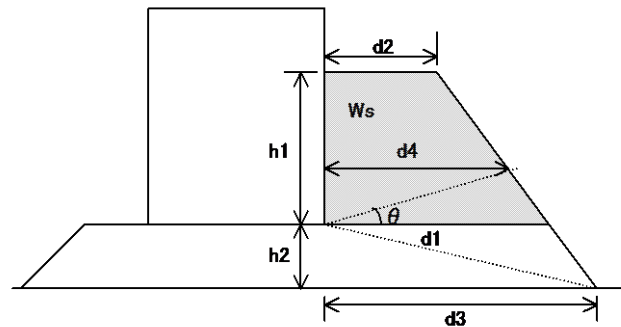
ここに、

- W_s: 最上層の被覆層を除いた、すべり面より上の割石の水中重量(kN/m)
- θ: すべり面傾斜角(度)
- φ: tan⁻¹ μ₂
- μ₂: 割石と割石の摩擦係数、μ₂=0.8

W_s は次式で計算される

$$\begin{cases} W_s = \gamma' \frac{h_1^2}{2 \cdot \tan \theta} & \text{ただし } \tan^{-1} \frac{h_1}{d_2} \leq \theta \\ W_s = \gamma' \frac{1}{2} \{ (d_2 + d_4)(h_1 - d_4 \cdot \tan \theta) + d_4 \cdot (d_4 \cdot \tan \theta) \} & \text{ただし } -\tan^{-1} \frac{h_2}{d_3} < \theta \leq \tan^{-1} \frac{h_1}{d_2} \end{cases}$$

$$d_4 = \frac{d_1}{1 + \frac{d_1 - d_2}{h_1} \tan \theta}$$

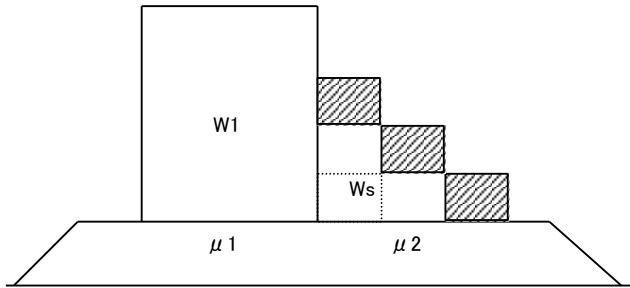


θを試行的に変えて最小値のRを求めます。

マウンド部分の抵抗も考慮する場合はマウンドの寸法を設定します。考慮しない場合は 0.0 を設定します。

背面勾配や天端幅などにより θ=0° で抵抗力が最小となる場合があります。

[b: 方塊の滑動抵抗力]



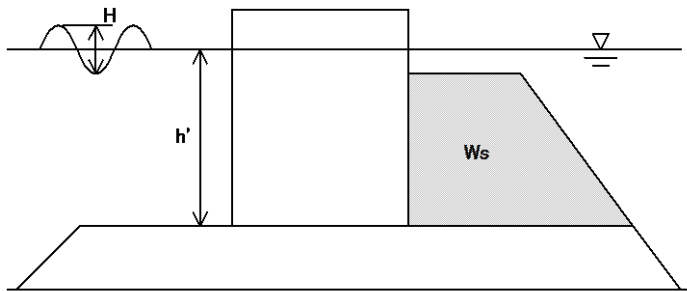
$$R = \mu_2 \cdot W_s$$

ここに、

W_s : 最上段の方塊を除いた水中重量(kN/m)

μ_2 : 方塊と割石基礎の摩擦係数

[c: 割石／方塊の滑動抵抗力(波高と水深の比による)]



$$R = \alpha \cdot W_s$$

$\alpha = 0.9 + 0.2(H/h' - 0.5)$: 割石の場合

$\alpha = 0.4 + 0.2(H/h' - 0.5)$: 方塊の場合

ただし、 $H/h' \leq 0.5$ のとき、 $H/h' = 0.5$ とする。

ここに、

W_s : 割石または方塊の水中重量(kN/m)

α : 抵抗係数

H: 波高(m)

h' : 堤体設置水深(m)

2.7.4 セルラー中詰め材抜け出しの検討

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 11 年 4 月」 P660

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P381

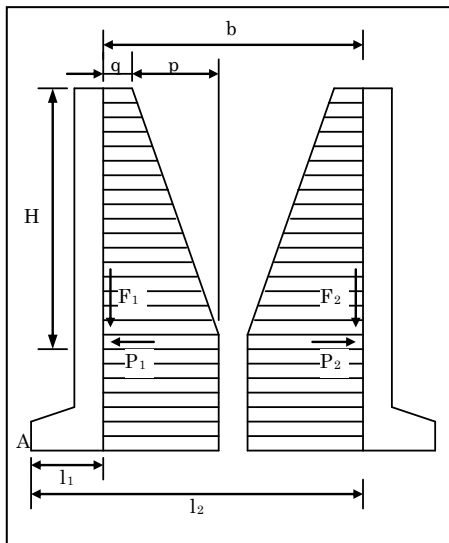
セルラーブロック式については、**転倒**に対して中詰めの抜け出しを考慮した検討を行います。

安全率法では以下の式により検討を行います。

$$F = \frac{W \cdot t + M_f}{P \cdot h}$$

- W : 壁体に作用する中詰め重量を除いた全鉛直力
- P : 壁体に作用する全水平力
- t : 壁体に作用する中詰め重量を除いた全鉛直力の合力の作用線から壁体前趾までの距離
- h : 壁体に作用する全水平力合力の作用線から壁体底面までの高さ
- M_f : 中詰めによる壁面摩擦によって生ずる抵抗モーメント

中詰めによる壁面摩擦によって生ずる抵抗モーメント M_f (A 点に対するモーメント) は次式により求めます。



$$M_f = l_1 F_1 + l_2 F_2$$

F : P · f

P : 中詰め土圧

f : 中詰め材料と壁面との摩擦係数

q : 上方から中詰めに伝達される鉛直荷重による土圧強度

p : 中詰め材による土圧強度 $p = KH\gamma$

K : 土圧係数

H : H = B

γ : 中詰め材の単位体積重量

P₁、P₂ : 土圧合力

2.7.5 グラウンドアンカーを用いた検討

アンカー張力を用いた滑動、転倒の検討は以下の式により行います。この検討は安全率法、部分係数法(H30 港湾基準)で考慮できます。

[滑 動]

$$F = \frac{\mu \cdot (V + T_V)}{H - T_H}$$

[転 倒]

$$F = \frac{M_R + T_V x}{M_D - T_H y}$$

ここに、

- μ : 検討点における摩擦係数
- V : 壁体に作用する全鉛直力 (kN/m)
- H : 壁体に作用する全水平力 (kN/m)
- M_R : 壁体に作用する全水平力モーメント (kN・m/m)
- M_D : 壁体に作用する全水平力モーメント (kN・m/m)
- T_V : 安定に必要なアンカー荷重の鉛直成分 (kN/m)
- T_H : 安定に必要なアンカー荷重の水平成分 (kN/m)
- x : アンカー荷重の鉛直成分の作用線から検討位置までの距離 (m)
- y : アンカー荷重の水平成分の作用線から検討位置までの距離 (m)

式中のアンカー荷重の各成分は以下のように表せる。

$$T_V = T \times \sin \alpha \quad T_H = T \times \cos \alpha$$

- T : 安定に必要なアンカー荷重 (kN/m)
- α : アンカー傾角 (度)

本システムでは、上記式より安定に必要なアンカー張力を算定し、その張力を満足するアンカーを選定します。アンカーの許容荷重は以下の通り。

- $T_{as} = 1/F \cdot T_{us}$ (安全率法)
- $T_{as} = \gamma R / (m \cdot \gamma S) \cdot T_{ys}$ (部分係数法(H30 港湾基準) : タイプアンカー)
- $T_{as} = f \cdot T_{ys}$ (部分係数法(H30 港湾基準) : EHD アンカー)

また、以下の定着長の検討も可能です。

[テンドン付着長]

$$l_{sa} = \frac{T}{\pi \cdot d_s \cdot \tau_a}$$

ここに、

- l_{sa} : テンドン付着長 (mm)
- d_s : 定着体の外形 (kN/m)
- τ_a : 許容付着応力度 (N/mm²)

[アンカー体定着長]

$$l_a = \frac{T \cdot F_s}{\pi \cdot d_A \cdot \tau}$$

ここに、

- l_a : アンカー体定着長 (mm)
- F_s : 安全率
- d_A : アンカー体径(削孔径) (mm)
- τ : アンカー周面の摩擦抵抗 (N/mm²)

2.8 支持力の検討

2.8.1 壁体底面における地盤反力

$$a) 0 < e \leq \frac{b}{6} \text{ の場合} \quad b) e > \frac{b}{6} \text{ の場合} \quad c) e < 0 \text{ の場合}$$

$$p_1 = \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b}$$

$$p_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{V}{x}$$

$$p = \frac{V}{b}$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b}$$

$$p_2 = 0$$

反力は等分布とする

$$b' = 3 \cdot x$$

ただし

$$x = \frac{M_R - M_D}{V} \quad e = \frac{b}{2} - x$$

ここに

p_1 : 壁体底面における最大地盤反力 (kN/m²)

p_2 : 壁体底面における最小地盤反力 (kN/m²)

b : 壁体の底面幅 (m)

V : 壁体に作用する全鉛直力 (kN/m)

b' : $e > \frac{b}{6}$ の場合の反力の分布幅 (m)

M_R : 壁体に作用する全鉛直力モーメント (kN・m/m)

M_D : 壁体に作用する全水平力モーメント (kN・m/m)

e : 壁体底面における合力の偏心量 (m)

2.8.2 検討面における地盤反力

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{V} \right)$$

$$b_1 = b + D \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \}$$

$$p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma' D$$

$$p_2' = \frac{b}{b_1} p_2 + \gamma' D$$

ここに

p_1' : 捨石マウンド下部の最大地盤反力 (kN/m²)

p_2' : 捨石マウンド下部の最小地盤反力 (kN/m²)

b : 壁体底面下の荷重分布幅 (m)

b' : 検討面における荷重分布幅 (m)

γ' : 捨石マウンドの単位体積重量 (kN/m³)

(水面下にある部分は水中単位体積重量)

D : 捨石マウンド厚さ (m)

θ : 直立壁底面に作用する合力の傾斜角 (度)

2.8.3 検討面における許容支持力

a) 砂質土地盤の許容支持力

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 11 年 4 月」 P422

参照:「漁港・漁場の施設の設計の手引き(上巻) 2003 年版」 P196

$$q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_2 D_2$$

ここに

q_a : 許容支持力	(kN/m ²)
F : 安全率	
β : 形状係数	
γ_1 : 基礎底面下の土の単位体積重量	(kN/m ³)
γ_2 : 基礎底面上の土の単位体積重量	(kN/m ³)
B : 検討面における荷重分布幅	(m)
N_r, N_q : 支持力係数	
D_1 : 基礎の根入れ深さ - 1	(m)
D_2 : 基礎の根入れ深さ - 2	(m)

b) 粘性土地盤の許容支持力

(港湾基準) 参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成 11 年 4 月」 P424

$$q_a = \frac{1}{F} (1.018k B + 5.14C_0) + \gamma_2 D \quad (kB / C_0 \leq 4)$$

(漁港基準) 参照:「漁港・漁場の施設の設計の手引き(上巻) 2003 年版」 P198

$$q_a = \frac{1}{F} 5.52 C_0 + \gamma_2 D \quad (k = 0 \text{ の場合})$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.84 k B + 5.52 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} \geq 0.4 \text{ の場合}\right)$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.18 k B + 6.94 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} < 0.4 \text{ の場合}\right)$$

ここに

q_a : 許容支持力	(kN/m ²)
F : 安全率	
C_0 : 土の粘着力	(kN/m ²)
k : 地盤の粘着力増加係数	(kN/m ³)
B : 基礎の最小幅	(m)
H : C_0/k	(m)

※上記の式は、連続基礎の場合の実用式となります。基本式は採用しておりません。

また、(漁港基準)の実用式は以下を参照して下さい。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成元年 6 月 P337」

c) 改良地盤の許容支持力

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P328

参照:「漁港・漁場の施設の設計の手引き(上巻) 2003 年版」 P271

$$q_a = q_{as} + q_{ac} + \gamma_1 D$$

ここに

q_a : 改良地盤の許容支持力 (kN/m²)

q_{as} : 砂杭の許容支持力 (kN/m²)

$$q_a = \frac{1}{F_s} \alpha_s (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D N_q)$$

q_{ac} : 現地盤の許容支持力 (kN/m²)

(港湾基準)

$$q_a = \frac{1}{F_s} (1.018 k B + 5.14 C_0) (1 - \alpha_s) \quad (k B / C_0 \leq 4)$$

(漁港基準)

$$q_a = \frac{1}{F_s} 5.52 C_0 (1 - \alpha_s) \quad (k = 0 \text{ の場合})$$

$$q_a = \frac{1}{F_s} (1.84 k B + 5.52 C_0) (1 - \alpha_s) \quad \left(\frac{H}{B} \geq 0.4 \text{ の場合} \right)$$

$$q_a = \frac{1}{F_s} (1.18 k B + 6.94 C_0) (1 - \alpha_s) \quad \left(\frac{H}{B} < 0.4 \text{ の場合} \right)$$

B : 基礎の最小幅

D : 基礎のマウンド高さ

γ_s : 砂杭の単位体積重量 (kN/m³)

γ_2 : 基礎底面より上の土の単位体積重量 (kN/m³)

C_0 : 砂杭間粘性土の粘着力 (kN/m²)

k : 地盤の粘着力増加係数 (kN/m³)

H : C_0/k (m)

β : 基礎の形状係数

N_r, N_q : 支持力係数

α_s : 置換率

F_s : 安全率

2.8.4 偏心傾斜荷重を受ける基礎の支持力

[漁港基準 2003 年版]

$$\text{地盤反力が台形分布の場合 } q = \frac{(p_1 + p_2)}{4b'} B$$

$$\text{地盤反力が三角形分布の場合 } q = \frac{p_1}{4b'} b$$

$$\text{荷重作用幅 } x = 2 b'$$

ここに

p_1 : 壁体底面における最大地盤反力 (kN/m²)

p_2 : 壁体底面における最小地盤反力 (kN/m²)

B : 壁体の底面幅 (m)

b : 地盤反力が三角形分布の場合の反力分布幅 (m)

b' : 荷重合力作用位置 (m)

※本システムではビショップ法による円弧すべりの計算機能は含まれておりません。ビショップ法で用いる上載荷重、載荷幅、水平力の算出まで行います。

円弧すべりの検討を行う際には、弊社ソフト「斜面安定検討 6」をご利用下さい。

[旧漁港基準(1999 年版以前)「片山・内田の方法」]

$$q_v = \frac{\gamma B}{2} N$$

$$F = \frac{q_v}{V/B}$$

ここに

q_v : 限界支持力 (kN/m²)

B : 基礎の幅 (m)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

(水面下にある部分は水中単位体積重量)

N : 支持力係数図による

F : 安全率 (1.0 以上)

2.8.5 直線すべりの検討

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成11年4月」P512

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」P299

基礎捨石形状、諸元、安定計算結果 (V、H) より検討を行います。

$$F = \frac{(\sum W \cos \alpha - \sum H \sin \alpha) \tan \phi}{\sum W \sin \alpha + \sum H \cos \alpha}$$

$$\sum W = W1 + W2 + W3$$

$$\sum H = H1 + H2 + H3$$

ここに、

F : 安全率

$W1$: 壁体に作用する鉛直力

$W2$: 基礎捨石 (被覆石含む) 重量

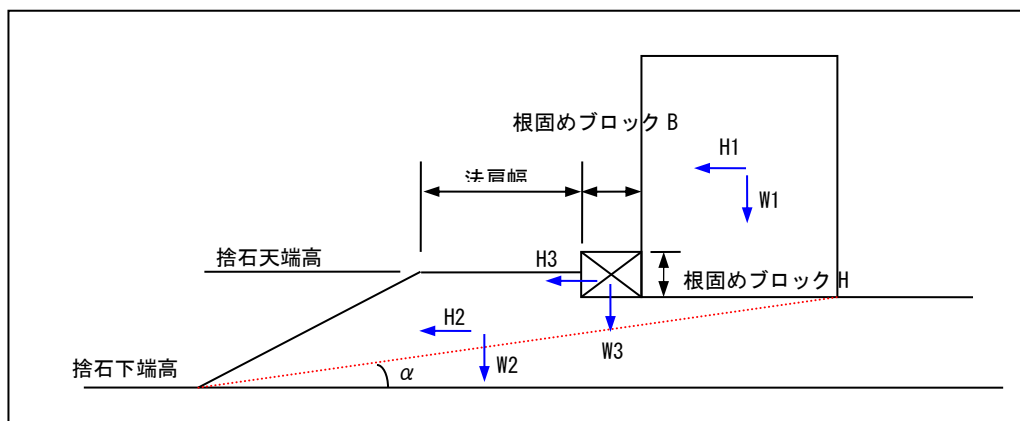
$W3$: 根固めブロック重量

$H1$: 壁体に作用する水平力

$H2$: 基礎捨石 (被覆石含む) 慣性力

$H3$: 根固めブロック慣性力

α : すべり角



2.9 支持力の検討（漁港基準 2003 年版以降）

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書（上巻） 2015 年版」 P236～P251

参照：「漁港・漁場の施設の設計の手引き（上巻） 2003 年版」 P183～P199

2.9.1 平面基礎の底面に作用する地盤反力

$$\begin{array}{ll}
 a) e \leq \frac{b}{6} \text{ の場合} & b) e > \frac{b}{6} \text{ の場合} \\
 p_1 = \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b} & p_1 = \frac{2}{3 \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{6}\right)} \frac{V}{b} \\
 p_2 = \left(1 - \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b} & b' = 3 \left(\frac{b}{2} - e\right)
 \end{array}$$

ただし

$$x = \frac{M_V - M_H}{V} \quad e = \frac{b}{2} - x$$

ここに

p_1 : 平面基礎の底面における最大地盤反力 (kN/m²)

p_2 : 平面基礎の底面における最小地盤反力 (kN/m²)

b : 基礎の底面幅 (m)

V : 壁体に作用する全鉛直力 (kN/m)

b' : $e > b/6$ の場合の反力の分布幅 (m)

M_V : 壁体に作用する全鉛直力モーメント (kN・m/m)

M_H : 壁体に作用する全水平力モーメント (kN・m/m)

e : 壁体底面における合力の偏心量 (m)

2.9.2 平面基礎の底面に作用する等価地盤反力

$$\begin{array}{ll}
 a) e \leq \frac{b}{6} \text{ の場合} & b) e > \frac{b}{6} \text{ の場合} \\
 q = \frac{b}{4x} (p_1 + p_2) & q = \frac{b'}{4x} p_1
 \end{array}$$

ここに

q : 等価地盤反力 (kN/m²)

2.9.3 二層地盤の境界面に作用する地盤反力

$$\begin{array}{ll}
 a) e \leq \frac{b}{6} \text{ の場合} & b) e > \frac{b}{6} \text{ の場合} \\
 b_1 = b + D \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \} & b_1' = b' + D \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \} \\
 p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D & p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D \\
 p_2' = \frac{b}{b_1} p_2 + \gamma_2 D & p_2' = \gamma_2 D
 \end{array}$$

ここに

p_1' : 二層地盤の境界面に作用する最大地盤反力 (kN/m²)

p_2' : 二層地盤の境界面に作用する最小地盤反力 (kN/m²)

b_1 : $e \leq b/6$ の場合の二層地盤の境界面の地盤反力の分布幅 (m)

b_1' : $e > b/6$ の場合の二層地盤の境界面の地盤反力の分布幅 (m)

γ_2 : 上層地盤の土の単位体積重量 (kN/m³)

D : 上層地盤の厚さ (m)

θ : 荷重合力の鉛直からの傾斜角 (°) ($=\tan^{-1}(H/V)$)

2.9.4 捨石マウンドの底面に作用する地盤反力

a) 平面基礎に作用する等価地盤反力による捨石マウンドの底面での地盤反力及び分布幅

$$q' = \frac{2x}{L_{F1} + L_{F2}} q$$

$$L_{F1} = x + D \tan(30^\circ + \theta)$$

$$L_{F2} = x + D \tan(30^\circ - \theta)$$

ここに

q' : 平面基礎の底面の等価地盤反力 q による捨石マウンドの底面での地盤反力強度 (kN/m²)

L_{F1}, L_{F2} : 基礎の中心から e だけ離れた点 D' からの前趾側及び後趾側の q' の分布幅 (m)

D : 捨石マウンドの厚さ (m)

b) 捨石マウンドの自重による地盤反力及び分布幅

$$q_R = \gamma_2 D$$

$$L_{R1} = \frac{b}{2} + l_1 + \frac{s_1}{2}$$

$$L_{R2} = \frac{b}{2} + l_2 + \frac{s_2}{2}$$

ここに

q_R : 捨石マウンドの自重による捨石マウンド底面の地盤反力強度 (kN/m²)

L_{R1}, L_{R2} : 平面基礎の底面の中心点 C' からの前趾側及び後趾側の q_R の分布幅 (m)

l_1 : 平面基礎の底面の前趾 B 点から捨石マウンドの前趾側の法肩 F 点までの距離 (m)

l_2 : 平面基礎の底面の後趾 A 点から捨石マウンドの後趾側の法肩 E 点までの距離 (m)

s_1, s_2 : 捨石マウンドの前趾側及び後趾側の法面の水平距離 (m)

c) 捨石マウンドの底面に作用する合成地盤反力及び分布幅

$$p = q'(L_{F1} + L_{F2}) + q_R(L_{R1} + L_{R2})$$

$$M_1 = \frac{1}{2} q' L_{F1}^2 + \frac{1}{2} q_R (L_{R1} - e)^2$$

$$M_2 = \frac{1}{2} q' L_{F2}^2 + \frac{1}{2} q_R (L_{R2} + e)^2$$

$$q_G = \frac{p^2}{2(\sqrt{M_1} + \sqrt{M_2})^2}$$

$$L_1 = \frac{2}{p} \sqrt{M_1} (\sqrt{M_1} + \sqrt{M_2})$$

$$L_2 = \frac{2}{p} \sqrt{M_2} (\sqrt{M_1} + \sqrt{M_2})$$

ここに

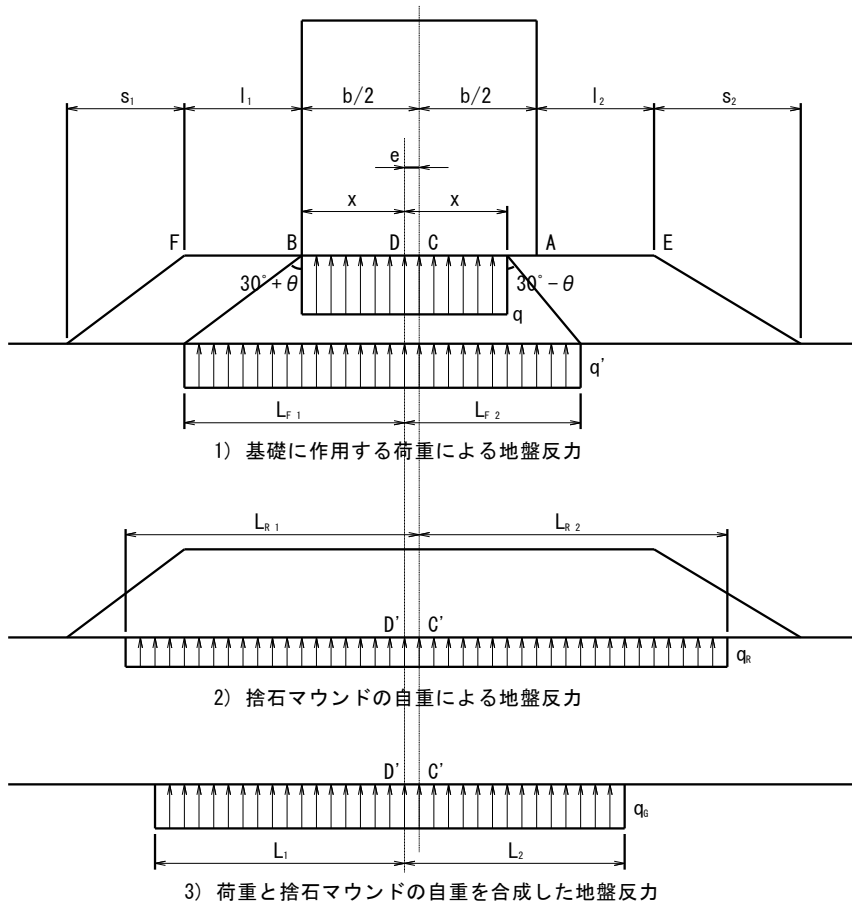
q_G : 捨石マウンドの底面に作用する合成地盤反力強度 (kN/m²)

L_1, L_2 : 点 D' からの前趾側及び後趾側の q_G の分布幅 (m)

P : 等分布荷重 q' と q_R の単位奥行当たりの合力 (kN/m)

M_1 : 荷重強度 q' 、荷重幅 L_{F1} の荷重の点 D' に関するモーメントと、荷重強度 q_R 、荷重幅 $(L_{R1}-e)$ の荷重の点 D' に関するモーメントの和 (kN・m/m²)

M_2 : 荷重強度 q' 、荷重幅 L_{F2} の荷重の点 D' に関するモーメントと、荷重強度 q_R 、荷重幅 $(L_{R2}+e)$ の荷重の点 D' に関するモーメントの和 (kN・m/m²)



2.9.5 限界法肩幅

a) 下層が砂質地盤の場合の限界法肩幅

$$\frac{L_n}{b} = \left[2 \frac{x}{b} + \frac{D}{b} \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \} \right] \Phi + \frac{D}{b} \tan(30^\circ + \theta)$$

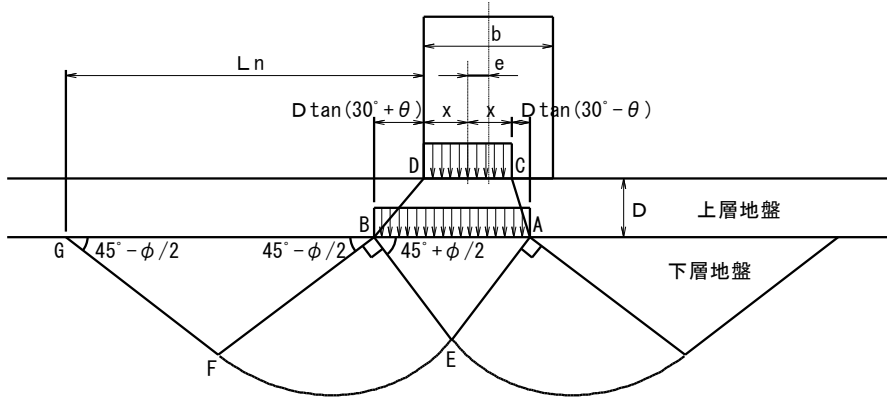
ただし

$$\Phi = \sec\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \cos\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \exp\left(\frac{\pi}{2} \tan \phi\right)$$

ここに

L_n : 限界法肩幅 (m)

D : 上層地盤の厚さ (m)



b) 下層が粘性土地盤の場合の限界法肩幅

$$\frac{L_n}{b} = \frac{x}{b} (4.36 \sin \alpha - 2) + \frac{D}{b} [2.18 \sin \alpha \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \} - \tan(30^\circ - \theta)]$$

ただし

$$\alpha = 66.8^\circ$$

$$r = 1.09 \{ 2x + D \tan(30^\circ + \theta) + D \tan(30^\circ - \theta) \}$$

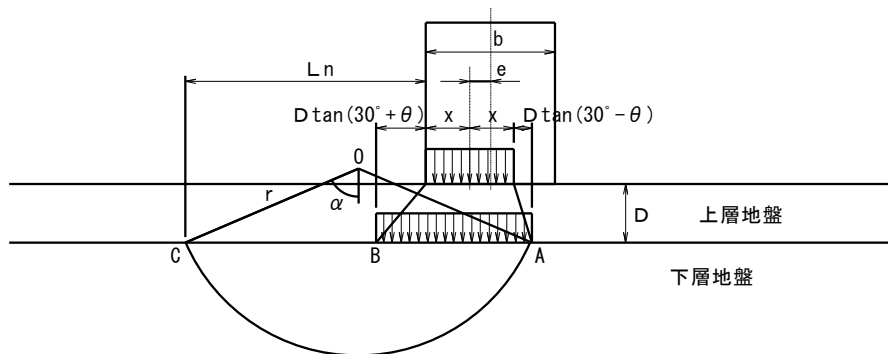
ここに

L_n : 限界法肩幅 (m)

D : 上層地盤の厚さ (m)

α : すべり円弧の中心角の半分 (°)

r : すべり円弧の半径 (m)



2.9.6 二層系地盤の下層地盤の支持力の検討方法

捨石マウンドまたは上層地盤の水平幅が限界法肩幅よりも大きいとき、「二層地盤の境界面に作用する地盤反力」で求めた上層地盤と下層地盤の境界面の地盤反力と下層地盤の支持力を比較し検討する。

捨石マウンドまたは上層地盤の水平幅が限界法肩幅よりも小さいとき、「捨石マウンド底面に作用する地盤反力」で求めた捨石マウンド底面の合成地盤反力 q_0 の幅 (L_1+L_2) を載荷幅として根入れがないとして下層地盤の支持力を求め、これと q_0 の比較から下層地盤の支持力の評価を行うものとする。

2.9.7 許容支持力

a) 砂質土地盤の許容支持力

$$q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D N_q) + \gamma_2 D$$

ここに

q_a : 許容支持力 (kN/m²)

F : 安全率

β : 形状係数

γ_1 : 基礎底面下の土の単位体積重量 (kN/m³)

γ_2 : 基礎底面上の土の単位体積重量 (kN/m³)

B : 基礎の最小幅 (m)

N_γ, N_q : 支持力係数

D : 基礎の根入れ深さ (m)

基礎の最小幅 B および根入れ深さ D の取り扱い

基礎端部からの上層地盤の水平幅が限界法肩幅より大きい場合は、二層地盤の境界面に作用する反力の分布幅 b または b' を基礎の最小幅 B とし上層地盤の厚さを D とする。

基礎端部からの上層地盤の水平幅または捨石マウンドの法肩幅が限界法肩幅より小さい場合は、捨石マウンド底面に作用する合成地盤反力の分布幅 (L_1+L_2) を基礎の最小幅 B とし、根入れ深さ D はゼロとする。

b) 粘性土地盤の許容支持力

$$q_a = \frac{1}{F} 5.52 C_0 + \gamma_2 D \quad (k = 0 \text{ の場合})$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.84 k B + 5.52 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} \geq 0.4 \text{ の場合} \right)$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.18 k B + 6.94 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} < 0.4 \text{ の場合} \right)$$

ここに

q_a : 許容支持力 (kN/m²)

F : 安全率

C_0 : 土の粘着力 (kN/m²)

k : 地盤の粘着力増加係数 (kN/m³)

B : 基礎の最小幅 (m)

H : C_0/k (m)

2.9.8 基礎形状による反力・許容支持力の考え方

本システムで検討できる4タイプの基礎形状について、限界法肩幅・地盤反力・許容支持力を以下のように計算します。粘性土地盤も同様の考え方です。

1. マウンドタイプ	
<p>図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln</p> <p>図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln</p>	
限界法肩幅 Ln	基礎捨石厚さ D ₁ を使用して計算する。
限界法肩幅と比較する上層地盤の水平幅	マウンド幅を使用する。 $l_1 + s_1 / 2$ (法面中間位置) (すべり方向を l ₁ 側)
上層地盤幅 (基礎捨石幅) < 限界法肩幅 Ln (図-1 参照)	許容支持力 合成地盤反力 q _g の分布幅 (L ₁ + L ₂) を基礎の最小幅 B とし、根入れがない (D = 0.0) として計算する。 $q_a = \frac{1}{F} \beta \gamma_1 (L_1 + L_2) N_r$
	地盤反力 捨石マウンド底面に作用する合成地盤反力 q _g
上層地盤幅 (基礎捨石幅) > 限界法肩幅 Ln (図-2 参照)	許容支持力 括弧外の γ ₂ D の項は掘削前に基礎底面の位置に加わっていた有効土かぶり荷重強度であり、マウンドタイプでは考慮できない。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q)$
	地盤反力 二層地盤の境界面に作用する反力 p ₁ ' $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$

2. 床掘置換タイプ

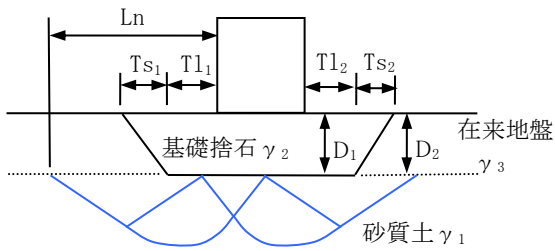


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

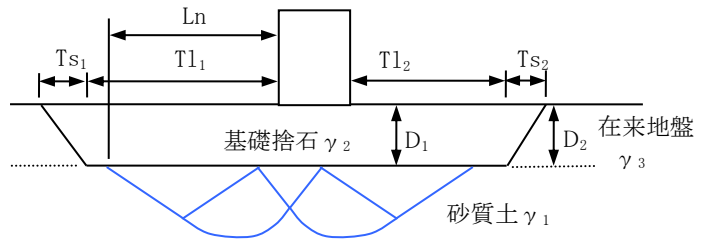


図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln

限界法肩幅 Ln		基礎捨石厚さ D ₁ を使用して計算する。
限界法肩幅と比較する上層地盤の水平幅		床掘り幅を使用し限界法肩幅と比較する。(すべり方向を T _{l1} 側) T _{l1} +T _{s1} /2 (法面中間位置)
上層地盤幅 (床掘り幅) < 限界法肩幅 Ln (図-1 参照)	許容支持力	B···反力分布幅 b ₁ または b' ₁ N _q 項で使用する γ は、以下の選択により計算 ・従来通りの「基礎捨石 γ ₂ 」を使用する ・安全側に考え「基礎捨石 γ ₂ 」と「在来地盤 γ ₃ 」の小さい方を使用する $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	上層地盤は有限となるが基礎形状により「捨石マウンド底面に作用する反力」ではなく、「二層地盤の境界面に作用する反力 p' ₁ 」を使用する。 $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$
上層地盤幅 (床掘り幅) > 限界法肩幅 Ln (図-2 参照)	許容支持力	捨て石の押さえ効果(第2項)と掘削前に基礎底面の位置に加わっていた有効土かぶり荷重強度(第3項)が期待できる。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	二層地盤の境界面に作用する反力 p' ₁ $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$

※上層地盤幅<限界法肩幅で、許容支持力 N_q 項の γ に基礎捨石の γ₂ を使用した場合、検討結果は旧基準、上層地盤幅>限界法肩幅の場合と同じになります。

※基礎捨石の γ と在来地盤の γ が同じであれば、検討結果は上層地盤の幅に関係なく旧基準と同じになります。

3. 床掘り+マウンドタイプ

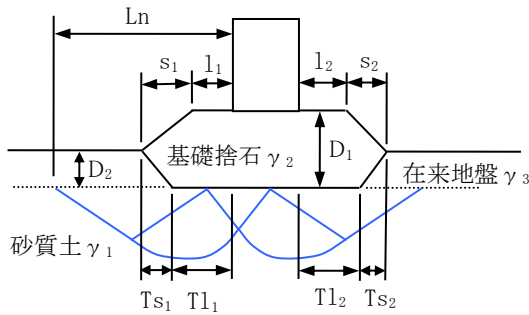


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

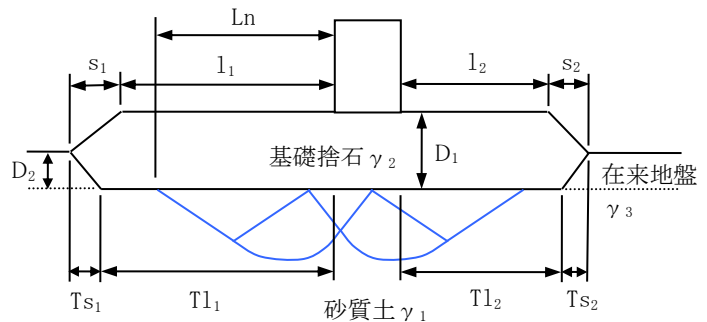


図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln

限界法肩幅 Ln		基礎捨石厚さ D_1 を使用して計算する。
限界法肩幅と比較する上層地盤の水平幅		マウンド幅と床掘り幅を比較し小さい方を使用する。 $\text{Min}(l_1+s_1/2, Tl_1+Ts_1/2)$ (すべり方向を l_1 側)
上層地盤幅 (基礎捨石幅) < 限界法肩幅 Ln (図-1 参照)	許容支持力	マウンド部は無視し、床掘り部 D_2 を押さえとして考慮する。 また、 N_q 項の γ は「床掘り置換えタイプ」と同様、選択可能。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 (L_1 + L_2) N_r + \gamma_2 D_2 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	合成地盤反力 q_G を計算する際の q_R および L_{R1} 、 L_{R2} は、以下のように計算する。(床掘り部分の形状は無視する) $q_R = \gamma_2 D_1$ $L_{R1} = b/2 + l_1 + s_1/2$ $L_{R2} = b/2 + l_2 + s_2/2$
上層地盤幅 (基礎捨石幅) > 限界法肩幅 Ln (図-2 参照)	許容支持力	捨て石の押さえ効果(第2項)と掘削前に基礎底面の位置に加わっていた有効土かぶり荷重強度(第3項)が期待できる。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	二層地盤の境界面に作用する反力 p_1' $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$

4. 床掘置換タイプ（掘削深さが大きい場合）

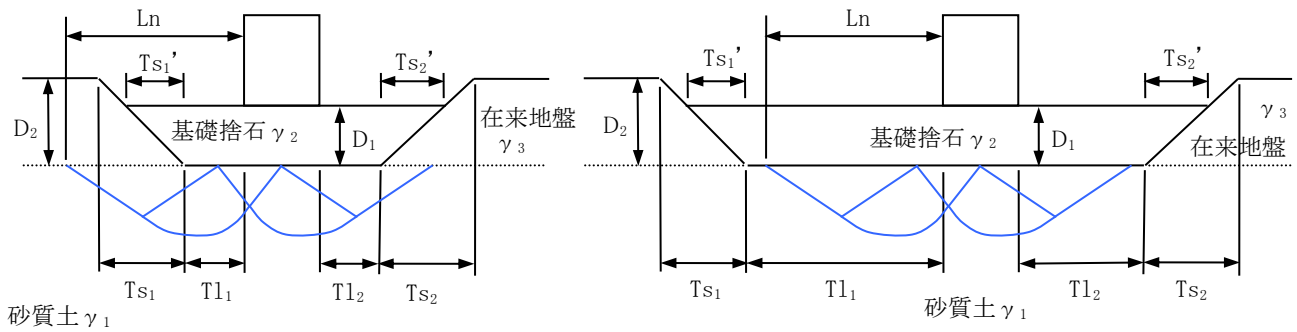


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln

限界法肩幅 Ln		基礎捨石厚さ D_1 を使用して計算する。
限界法肩幅と比較する上層地盤の水平幅		床掘り幅を使用する。 $Tl_1 + Ts_1' / 2$ （すべり方向を Tl_1 側）
上層地盤幅 （床掘り幅） < 限界法肩幅 Ln （図-1 参照）	許容支持力	N_q 項の γ は「床掘り置換えタイプ」と同様、選択可能。 第3項は掘削前に基礎底面の位置に加わっていた有効土かぶり荷重強度が期待できる。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	「床掘置換タイプ」と同様「二層地盤の境界面に作用する反力 p_1' 」を使用する。 $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$
上層地盤幅 （床掘り幅） > 限界法肩幅 Ln （図-2 参照）	許容支持力	捨て石の押さえ効果（第2項）と掘削前に基礎底面の位置に加わっていた有効土かぶり荷重強度（第3項）が期待できる。 $q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_1 N_q) + \gamma_3 D_2$
	地盤反力	二層地盤の境界面に作用する反力 p_1' $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$

2.10 港湾基準(平成19年)による検討について

2.10.1 概要

平成19年港湾基準より、安全率法による照査から部分係数法による照査に変更となっています。

部分係数法では、各外力(波力、揚圧力、壁体重量、浮力)を求める方法は安全率法の場合と同じです。これら各外力を部分係数法では特性値と呼びます。

各照査(滑動・転倒・支持力)では、この各外力の特性値に対応する部分係数(γ)を掛け設計用値を算出し、設計用値を用いて照査を行います。

基準では、構造形式(混成堤、消波ブロック被覆堤、直立消波ブロック堤、消波型ケーソン堤、斜面型ケーソン堤、消波ブロック被覆斜面型ケーソン堤)ごとに、波浪に関する変動状態の照査で使用する外力に対して部分係数が用意されています。

部分係数(波浪に関する変動状態:混成堤)

		混成堤				
目標システム信頼性指標 β_T		2.38				
目標システム破壊確率 P_T		8.7×10^{-3}				
γ の計算に用いる目標信頼性指標 β_T'		2.40				
		γ	α	μ / Xk	V	
滑動	γ_f 摩擦係数	0.79	0.689	1.060	0.150	
	γ_{PH}, γ_{PU}	水深変化 緩	1.04	-0.704	0.740	0.239
		水深変化 急	1.17		0.825	0.251
	γ_{wl}	$r_{wl}=1.5$	1.03	-0.059	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.06		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-
	γ_{WRC}	RCの単位体積重量	0.98	0.030	0.980	0.020
	γ_{WNC}	NCの単位体積重量	1.02	0.025	1.020	0.020
γ_{WSAND}	中詰め砂の単位体積重量	1.01	0.150	1.020	0.040	
転倒	γ_{PH}, γ_{PU}	水深変化 緩	1.15	-0.968	0.740	0.239
		水深変化 急	1.31		0.825	0.251
	γ_{wl}	$r_{wl}=1.5$	1.04	-0.092	1.000	0.200
		$r_{wl}=2.0, 2.5$	1.09		1.000	0.400
		H.H.W.L.	1.00		-	-
	γ_{WRC}	RCの単位体積重量	0.98	0.044	0.980	0.020
	γ_{WNC}	NCの単位体積重量	1.02	0.040	1.020	0.020
γ_{WSAND}	中詰め砂の単位体積重量	1.00	0.232	1.020	0.040	
基礎地盤の支持力	γ_{PH}	水深変化 緩	1.12	-0.894	0.740	0.239
		水深変化 急	1.26		0.825	0.251
	γ_q	分割細片の上乗荷重	0.91	0.640	1.000	0.061
	γ_w'	分割細片重量	1.00	0.032	1.000	0.030
	$\gamma_{\tan \phi}'$	地盤強度:せん断抵抗角の正接	0.96	0.288	1.000	0.059
	γ_c'	地盤強度:粘着力	0.99	0.072	1.000	0.059
γ_a	構造解析係数	1.00	-	-	-	

※1: α : 感度係数、 μ / Xk : 平均値の偏り(平均値/特性値)、V: 変動係数

※2: RC: 鉄筋コンクリート、NC: 無筋コンクリート

※3: 水深変化緩/急: 海底勾配 1/30 未満/以上

※4: r_{wl} は、既往最高潮位(H.H.W.L.)と朔望平均満潮位(H.W.L.)の比

※5: γ_q は、上乗荷重の平均値に対して適用 上乗荷重の平均値は

$$\bar{q} = \sum \bar{V} / 2b'$$

本システムでは、各外力の部分係数を入力する方法となります。また、複数の潮位で検討できますので、潮位の部分係数は各検討潮位に対し入力することになります。

本システムでの設定例

部分係数設定

部分係数 γ_k (γ_k :滑動・転倒・支持力)、平均値の偏り μ/σ

	波浪に関する変動状態				レベル1地震動に関する変動状態				津波に関する偶発状態			
	滑動	転倒	平均値の偏り	支持力	滑動	転倒	平均値の偏り	支持力	滑動	転倒	平均値の偏り	支持力
摩擦係数 f	0.79	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
水平波力 PH	1.04	1.15	0.740	1.12	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
鉛直波力 PV	1.04	1.15	0.740	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
揚圧力 P_u	1.04	1.15	0.740	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
潮位 HWL	1.06	1.09	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
LWL	1.06	1.09	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
HHWL	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
任意潮位	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
単重 RC	0.98	0.98	0.980	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
NC	1.02	1.02	1.020	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
Sand	1.01	1.00	1.020	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
予備	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
照査用震度	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
滑動抵抗力 R	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	
構造解析係数	1.00	1.00	1.000	1.00	1.20	1.10	1.000	1.00	1.20	1.20	1.000	1.00
上載荷重 q				0.91				1.00				1.00
分割片重量 w'				1.00				1.00				1.00
$\tan \phi'$				0.96				1.00				1.00
粘着力 c'				0.99				1.00				1.00
構造解析係数				1.00				1.00				1.00

裏込抵抗時(波浪に関する)

滑動抵抗力 γ_r 1.00
 構造解析係数 γ_a 1.20
 ※ その他の部分係数は 1.0を使用します
 ※ 津波時は上記表内の係数を使用します

セルラー掘け出し

構造解析係数 γ_a 1.00
 ※ その他の部分係数は転倒時の値を使用します
 ※ レベル1地震動、津波時は上記表内の構造解析係数を使用します

浅い基礎の支持力

	波浪	地震	津波
砂質土 γ_R	0.40	0.40	0.40
粘性土 γ_R	0.66	0.66	0.66

係数一覧 >>

取 消

インポート エクスポート 終 了

レベル1地震動に関する変動状態（地震時）の検討は、工学的基盤最大加速度、堤体幅 B_w と水深 h の比 B_w/h から照査の必要性を判定することになりますが、本システムでは判定を行いません。

レベル1地震動に関する変動状態（震度法）の検討は、波浪に関する変動状態（波圧作用時）と同様に部分係数を考慮した検討が行えます。地震時の部分係数は、構造解析係数以外は 1.0 となっています。

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 19 年 7 月」 P841~P845

津波に関する偶発状態では構造解析係数を除く部分係数は 1.0、構造解析係数 γ_a は滑動、転倒で 1.2 となります。

参照:「防波堤の耐津波設計ガイドライン」 平成 25 年 9 月 国土交通省 港湾局 P18

2.10.2 滑動の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」P829

滑動の照査では以下の式を使用します。

$$f_d(W_d - P_{Bd} - P_{ud} + P_{Vd}) \geq P_{Hd}$$

f : 摩擦係数

W : 壁体重量

P_B : 浮力

P_U : 揚圧力

P_H : 水平波力

P_V : 鉛直波力

摩擦係数、水平・鉛直波力、揚圧力は特性値(添字 k) に滑動用の部分係数を掛け設計用値(添字 d) とします。

$$f_d = \gamma_f f_k$$

$$P_{Ud} = \gamma_{Pu} P_{Uk}$$

$$P_{Hd} = \gamma_{PH} P_{Hk}$$

$$P_{Vd} = \gamma_{PV} P_{Vk}$$

壁体重量の設計用値を算出するには、材料により部分係数が設定されているため、鉄筋コンクリート(W_{RC})、無筋コンクリート(W_{NC})、中詰め砂(W_{SAND}) 毎に重量を算定し、それぞれに部分係数を掛けて設計用値とします。

$$W_d = \sum \gamma_w W_k$$

本システムでは、各ブロックに対し材料区分(W_{RC} 、 W_{NC} 、 W_{SAND})を設定し、対応する部分係数を用いて設計用値を計算します。

浮力の設計用値は、検討潮位以下の浮力に対し部分係数を掛けて求めるのではなく、潮位 wl_k に対し部分係数 γ_{wl} を掛けて潮位の設計用値とし、その潮位(設計用値)以下の部分の浮力を計算し、設計用値とします。

$$P_{Bd} = \rho_w g (\gamma_{wl} wl_k + h) B_c$$

2.10.3 転倒の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」P831

転倒の照査では以下の式を使用します。

$$a_1 W_d - a_2 P_{Bd} - a_3 P_{ud} + a_5 P_{Vd} \geq a_4 P_{Hd}$$

各外力のモーメントの特性値に対して転倒用の部分係数を掛け設計用値を算出します。

浮力のモーメントは、滑動と同様に潮位の設計用値から求めます。

$$a_3 P_{Ud} = \gamma_{Pu} (P_{Uk} \cdot x)$$

$$a_4 P_{Hd} = \gamma_{PH} (P_{Hk} \cdot y)$$

$$a_5 P_{Vd} = \gamma_{PV} (P_{Vk} \cdot x)$$

$$a_1 W_d = \sum \gamma_w (W_k \cdot x)$$

2.10.4 港内側を裏込で補強した場合の照査（滑動）

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 19 年 7 月」 P839

以下の式により検討を行います。

$$f_d(W_d - P_{Bd} - P_{ud} + P_{Vd}) + R_d \geq \gamma_a P_{Hd}$$

R_d : 滑動抵抗力

γ_a : 構造解析係数

滑動抵抗力の設計用値 R_d は以下により求めます。滑動抵抗力 R_k の計算方法は「2.5.3 直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合の安定検討(港湾基準)」を参照して下さい。

$$R_d = \gamma_R R_k$$

部分係数 γ_R 、 γ_a はそれぞれ、1.0、1.2 を使用します。また、この照査では各外力に対する部分係数は 1.0 を使用します。

2.10.5 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査（転倒）

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 19 年 7 月」 P969

以下の式により検討を行います。

$$a_1 W_d - a_2 P_{Bd} - a_3 P_{ud} + a_5 P_{Vd} + M_{fd} \geq \gamma_a a_4 P_{Hd}$$

M_{fd} : 中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメント

γ_a : 構造解析係数

中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメントに対する部分係数 γ_{Mf} は、転倒用の中詰め砂 W_{SAND} の部分係数を用います。その他の各外力の部分係数は転倒用の部分係数を使用します。

$$M_{fd} = \gamma_{Mf} M_{fk}$$

2.10.6 支持力（ビショップ法）の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 19 年 7 月」 P831

上載荷重、および、上載荷重の載荷幅 $2b'$ は、各外力の特性値から求めるのではなく、各外力の平均値を用いて計算します。平均値の算出には、部分係数ではなく、**平均値の偏り**(μ/X_k)を用います。

上載荷重、載荷幅の平均値は次式により計算します。

$$\bar{2b}' = \frac{2 \sum \bar{M}}{\sum \bar{V}} = \frac{2 \left\{ \left(a_1 \sum_i \bar{W}_i - a_2 \bar{P}_B - a_3 \bar{P}_U \right) - a_4 \bar{P}_H \right\}}{\sum_i \bar{W}_i - \bar{P}_B - \bar{P}_U}$$
$$\bar{q} = \frac{\sum \bar{V}}{2b'}$$

ビショッブ法で用いる水平力、上載荷重、載荷幅は次式により計算します。

$$q_d = \gamma_q \bar{q}$$

$$2b'_d = \overline{2b'}$$

$$P_{Hd} = \gamma_{PH} P_{Hk}$$

上載荷重の設計用値は、上載荷重の平均値に対し部分係数を掛けます。

載荷幅の設計用値は、載荷幅の平均値を用います。

水平力の設計用値は、水平力の特性値に対し部分係数を掛けます。

※本システムでは、ビショッブ法による円弧すべりの検討は行いません。弊社「斜面安定検討 6」システム用のデータを作成します。

2.10.7 浅い基礎の支持力の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成 19 年 7 月」 P567～P571

〔砂質土地盤〕

$$q_d = \gamma_R \left(\beta \rho_{1d} g \frac{B}{2} N_{\gamma d} + \rho_{2d} g D (N_{qd} - 1) \right) + \rho_{2d} g D$$

q_d : 水中部分の浮力を勘案した基礎支持力の設計用値

γ_R : 砂質土地盤の支持力に関する部分係数(0.4 以下)

β : 基礎の形状係数(連続形 1.0)

$\rho_{1d} g$: 基礎の底面から下の地盤の土の単位体積重量の設計用値

B : 基礎の最小幅

$N_{\gamma d}, N_{qd}$: 支持力係数の設計用値

$\rho_{2d} g$: 基礎の底面から上の地盤の土の単位体積重量の設計用値

D : 基礎の地盤への根入れ長

$$N_{qk} = \frac{1 + \sin \phi_k}{1 - \sin \phi_k} \exp(\pi \tan \phi_k)$$

$$N_{\gamma k} = (N_{qk} - 1) \tan(1.4 \phi_k)$$

〔粘性土地盤〕

$$q_d = \gamma_R \gamma_{Nc0} (1.018 k_k B + 5.14 c_{0k}) + \rho_{2d} g D$$

砂質土地盤では、支持力係数 $N_{\gamma d}, N_{qd}$ を式より求めます。そのため、以前の許容支持力式と違い $(N_{qd}-1)$ となります。また、基礎の幅 B の部分は $B/2$ となりますので、形状係数 β は連続形で 0.5 から 1.0 に変更となります。

支持力に関する部分係数 γ_R 以外は設計用値として特性値(部分係数 1.0 として)を使用します。

部分係数 γ_R は、砂質土地盤で一般に 0.4(1/2.5) 以下、粘性土地盤で一般に 0.66(1/1.5) 以下、クレーン基礎などのように地盤のわずかな沈下や変形が上部構造物の機能を著しく損なう可能性がある場合は 0.4(1/2.5) 以下を使用します。

2.10.8 直線すべりの照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」P671

直線すべりの照査では以下の式を使用します。

$$(\sum W \cos \alpha - \sum H \sin \alpha) \tan \phi \geq \gamma_R (\sum W \sin \alpha + \sum H \cos \alpha)$$

$\sum W$: 壁体重量、基礎捨石重量など

$\sum H$: 波力、慣性力など

ϕ : せん断抵抗角

α : すべり傾斜角

γ_R : 解析手法に関する部分係数

鉛直力、水平力、 ϕ の部分係数は1.0とし、特性値を使用します。部分係数 γ_R は、波浪に関する変動状態で1.2、レベル1地震動に関する変動状態で1.0を使用します。

2.11 港湾基準(平成30年)による検討について

平成30年基準より荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法に変更となります。

従来(H19年基準)の各パラメータ(材料)に用意されていた部分係数を用いる方法(材料係数アプローチ)は廃止され、照査時の荷重項と抵抗項に関する部分係数および調整係数を用いた照査方法となります。

そのため、照査時の各外力は特性値を用いるので分かりやすくなっています。

基準では、構造形式(混成堤、消波ブロック被覆堤、直立消波ブロック堤、消波型ケーソン堤、斜面型ケーソン堤、消波ブロック被覆斜面型ケーソン堤、傾斜堤の上部工)毎に、変動波浪による変動状態の各照査で用いる部分係数が記載されています。

レベル1地震動による変動状態、設計津波による偶発状態では構造形式毎に部分係数は記載されていません。構造形式によらず各状態の部分係数を用います。

2.11.1 滑動の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻)平成30年5月」P927

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = f_k (W_k - P_{Bk} - P_{Uk})$$

$$S_k = P_{Hk}$$

ここに、

- f : 壁体底面と基礎との摩擦係数
- W : 壁体を構成する材料の重量 (kN/m)
- P_B : 浮力 (kN/m)
- P_U : 揚圧力 (kN/m)
- P_H : 水平波力 (kN/m)
- R : 抵抗項 (kN/m)
- S : 荷重項 (kN/m)
- γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数
- γ_S : 荷重項に乗じる部分係数
- m : 調整係数

2.11.2 転倒の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻)平成30年5月」P928

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = a_1 W_k - a_2 P_{Bk} - a_3 P_{Uk}$$

$$S_k = a_4 P_{Hk}$$

ここに、

- $a_1 \sim a_4$: 各外力の作用長さ (m)

構造形式毎の滑動、転倒照査に用いる部分係数(変動波浪による変動状態)

構造形式	海底勾配	照査項目	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
混成堤	緩	滑動	0.83	1.08	(1.00)
		転倒	0.95	1.14	(1.00)
	急	滑動	0.82	1.28	(1.00)
		転倒	0.91	1.33	(1.00)
傾斜堤(上部工)		滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
		転倒	(1.00)	(1.00)	1.20
消波ブロック被覆堤	緩	滑動	0.79	0.90	(1.00)
		転倒	0.98	0.99	(1.00)
	急	滑動	0.78	1.03	(1.00)
		転倒	0.95	1.13	(1.00)
直立消波ブロック堤		滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
		転倒	(1.00)	(1.00)	1.20
消波型ケーソン堤		滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
		転倒	(1.00)	(1.00)	1.20
斜面型ケーソン堤	緩	滑動	0.84	1.11	(1.00)
		転倒	0.98	1.17	(1.00)
	急	滑動	0.85	1.29	(1.00)
		転倒	0.97	1.36	(1.00)
斜面型ケーソン堤 (消波ブロック被覆時)	緩	滑動	0.76	0.95	(1.00)
		転倒	0.98	1.06	(1.00)
	急	滑動	0.77	1.09	(1.00)
		転倒	0.99	1.22	(1.00)

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」 P928~958

※海底勾配「急」の部分係数は以下の資料を参照して下さい。(基準には記載されていない)

「重力式防波堤のレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～混成堤および消波ブロック被覆堤の滑動および転倒照査を対象に～」国総研資料 No922、2016

「上部斜面を有する防波堤のレベル1信頼性設計法に関する検討～滑動・転倒照査を対象として～」

国総研資料 No995、2017

レベル1地震動による変動状態の照査では以下の部分係数を用います。

	照査項目	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
レベル1地震動による変動状態	滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
	転倒	(1.00)	(1.00)	1.10

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」 P932

津波による偶発状態の照査では以下の部分係数を用います。

	照査項目	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
設計津波による偶発状態	滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
	転倒	(1.00)	(1.00)	1.20

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」 P985,986

照査式が荷重/抵抗となり安全率法とは逆数になるので注意して下さい。

2.11.3 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査（転倒）

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（中巻）平成30年5月」P1078

以下の式により検討を行います。

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = aW_k - bP_{Bk} + cP_{Vk} + M_{fk}$$

$$S_k = dP_{Hk} + eP_{wk} + hP_{dwk} + iP_{Fk}$$

ここに

M_f ：中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメント

壁体の転倒照査時の部分係数は使用しません。また、重力式防波堤の章では記載されていないので、重力式係船岸の部分係数を参考に以下の値を初期値として用意しています。

照査対象	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
変動波浪による変動状態	(1.00)	(1.00)	1.20
レベル1地震動に対する変動状態	(1.00)	(1.00)	1.10
設計津波による偶発状態	(1.00)	(1.00)	1.20

2.11.4 支持力（ビショップ法）の照査

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（中巻）平成30年5月」P930

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$F_f = \frac{R_k(F_f)}{S_k}$$

$$R_k = \sum \left[\frac{\{c'_k s + (w'_k + q_k) \tan \phi'_k\} \sec \theta}{1 + (\tan \theta \tan \phi'_k) / F_f} \right]$$

$$S_k = \sum \{(w'_k + q_k) \sin \theta\} + \frac{dP_{Hk}}{r}$$

ここに、

P_H ：円弧滑りの滑り円内の土塊への水平作用の値（kN/m）

d ： P_H の作用位置の円弧滑りの滑り円中心からの腕の長さ（m）

c' ：粘性土地盤の場合においては、非排水せん断強さ、砂質土地盤の場合においては、排水条件における見掛けの粘着力（kN/m²）

s ：分割細片の幅（m）

w' ：分割細片の有効重量（kN/m）

q ：分割細片に作用する上載荷重（kN/m）（水面上で気中重量、水面下で水中重量）

ϕ' ：有効応力に基づく見かけのせん断抵抗角（°）

θ ：分割細片の底面となす角（°）

F_f ：抵抗項と作用項の比を示す補助パラメータ

r ：すべり円弧の半径（m）

R ：抵抗項（kN/m）

S ：荷重項（kN/m）

γ_R ：抵抗項に乗じる部分係数

γ_s : 荷重項に乗じる部分係数

m : 調整係数

基礎地盤の支持力破壊の性能照査に用いる部分係数

照査対象	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
変動波浪による変動状態	(1.00)	(1.00)	1.00
レベル1地震動による変動状態	(1.00)	(1.00)	1.00
設計津波による偶発状態	(1.00)	(1.00)	1.00

ビショップ計算に用いる載荷重 q 、載荷幅 $2b'$ は以下の式による

地盤反力が台形分布の場合

$$q = \frac{(p_1 + p_2)}{4b'} B$$

地盤反力が三角形分布の場合

$$q = \frac{p_1}{4b'} b$$

荷重載荷幅

$$2b'$$

ここに

p_1 : 壁体底面における最大地盤反力 (kN/m²)

p_2 : 壁体底面における最小地盤反力 (kN/m²)

B : 壁体の底面幅 (m)

b : 地盤反力が三角形分布の場合の反力分布幅 (m)

b' : 荷重合力作用位置 (m)

※本システムではこれらビショップ法に用いる荷重を計算し、弊社システム「斜面安定検討 6」のビショップ計算データを作成します。(ビショップ法による円弧すべりの検討は行いません)

2.11.5 浅い基礎の支持力の照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」 P675~P680

[砂質土地盤]

$$q_d = \frac{1}{m_B} \left(\beta \rho_{1k} g \frac{B}{2} N_{\gamma k} + \rho_{2k} g D (N_{qk} - 1) \right) + \rho_{2k} g D$$

q_d : 水中部分の浮力を勘案した基礎支持力の設計用値

m_B : 支持力に関する調整係数

β : 基礎の形状係数(連続形 1.0)

$\rho_{1k} g$: 基礎の底面から下の地盤の土の単位体積重量の設計用値

B : 基礎の最小幅

$N_{\gamma k}, N_{qk}$: 支持力係数の特性値

$\rho_{2k} g$: 基礎の底面から上の地盤の土の単位体積重量の設計用値

D : 基礎の地盤への根入れ長

$$N_{qk} = \frac{1 + \sin \phi_k}{1 - \sin \phi_k} \exp(\pi \tan \phi_k)$$

$$N_{\gamma k} = (N_q - 1) \tan(1.4\phi_k)$$

〔粘性土地盤〕

$$q_d = \frac{1}{m_B} (1.018k_B + 5.14c_{0k}) + \rho_{2k}gD$$

砂質土地盤では、支持力係数 N_{γ} 、 N_q をプラントル、マイヤホフによる式で求めます。そのため、安全率法の許容支持力式と違い $(N_{qd}-1)$ となります。

(安全率法での支持力係数図の N_q 値はテルツァギの求めた N_q 値から 1 を引いたもの)

また、基礎の幅 B の部分は $B/2$ となり、形状係数 β は連続形で 0.5 から 1.0 に変更となります。(H19 港湾基準で改定)

調整係数 m_B は、砂質土地盤で 2.5 以上、粘性土地盤で 1.5 以上、クレーン基礎などのように地盤のわずかな沈下や変形が上部構造物の機能を著しく損なう可能性がある場合は 2.5 以上を使用します。

2.11.6 直線すべりの照査

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」P753

直線すべりの照査では以下の式を使用します。

$$m \frac{\gamma_S \sum \{(W_k + q_k) \sin \theta + P_{Hk} \cos \theta\}}{\gamma_R \sum [c_k l + \{(W_k + q_k) \cos \theta - P_{Hk} \sin \theta\} \tan \phi_k]} \leq 1$$

ここに、

$\sum W$: 壁体重量、基礎捨石重量など

$\sum H$: 波力、慣性力など

ϕ : せん断抵抗角

θ : すべり傾斜角

m : 調整係数

部分係数は設定されていません。従来の安全率相当の値を調整係数 m とし、 γ_S と γ_R は 1.0 を使用します。

2.11.7 直立壁の港内側を割石/方塊で補強した場合の検討

参照:「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成 30 年 5 月」 P933~P938

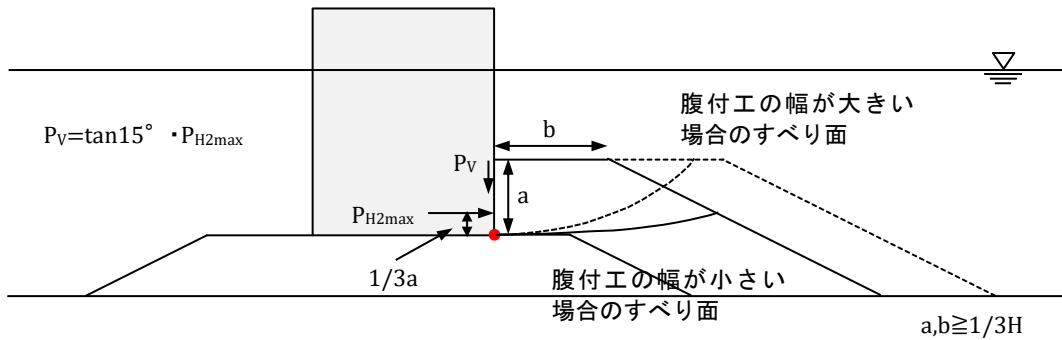
参照:「腹付工を有する防波堤の耐波設計法の提案」国総研資料 No0954、2017

H19 年基準までの腹付工の抵抗力を直線すべり(試行くさび法)による求め方から、円弧すべり(簡易ビショップ法)による求め方に変更となり、直立部側面との摩擦力も考慮するように変更となっています。

割石で補強する場合の最大抵抗力 P_{H2max}

最大抵抗力 P_{H2max} は以下の安定性裕度を考慮しない場合のビショップ法の式により求める。

$$\sum \left[\frac{\{c'_k s + (w'_k + q_k) \tan \phi'_k\} \sec \theta}{1 + \tan \theta \tan \phi'_k} \right] = \sum \left\{ (w'_k + q_k) \sin \theta \right\} + \frac{a_2 P_{H2maxk}}{r}$$



方塊で補強する場合の最大抵抗力 P_{H2max}

最大抵抗力 P_{H2max} は以下の式により求める。また、摩擦力 P_V は無視する。(H19 年基準と同様)

$$P_{H2maxk} = f_k W_{bk}$$

ここに、

f : 方塊と基礎マウンドの摩擦係数

W_b : 方塊の有効重量 (kN/m) (水面上で気中重量、水面下で水中重量)

※ 本システムでは、 P_{H2max} 、 P_V を入力する仕様となります。(ビショップ法による計算は行いません)

「滑動照査」

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = f_k (W_k - P_{Bk} - P_{Uk} - P_{Vk}) + P_{H2max}$$

$$S_k = P_{Hk}$$

ここに、

f : 壁体底面と基礎との摩擦係数

W : 壁体を構成する材料の重量 (kN/m)

P_B : 浮力 (kN/m)

P_U : 揚圧力 (kN/m)

P_H : 水平波力 (kN/m)

R : 抵抗項 (kN/m)

S : 荷重項 (kN/m)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

- γ_S : 荷重項に乗じる部分係数
- P_{H2max} : 補強した割石あるいは方塊からの最大抵抗力 (kN/m)
- P_V : 直立部側面と割石との摩擦力 (kN/m)
- m : 調整係数

「転倒照査」

転倒の照査は、腹付工を無視して行います。

港内側を補強する場合の各照査に用いる部分係数

	照査項目	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
変動状態による変動状態	滑動	(1.00)	(1.00)	1.20
	転倒	(1.00)	(1.00)	1.20
	支持力	(1.00)	(1.00)	1.00

「支持力照査」

腹付工の効果を検討した支持力(ビショップ法)照査となります。

堤体に作用する全水平荷重 P_H のうち基礎マウンドに作用する水平荷重 P_{H1} と腹付工に作用する水平荷重 P_{H2} を荷重分担率 r^* を用いて求め、堤体側面の摩擦力 P_V を求めます。

$$P_{H1} = r^* \cdot P_H \quad , \quad P_{H2} = (1 - r^*) \cdot P_H$$

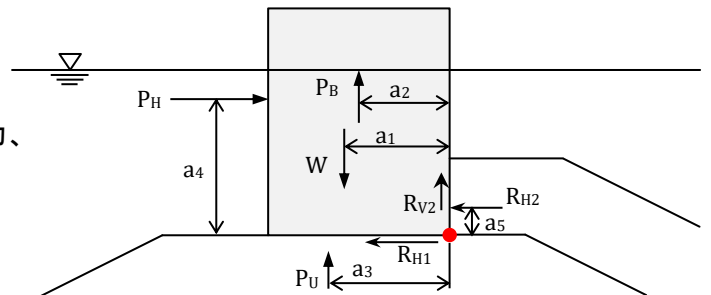
$$P_V = \tan \delta \cdot P_{H2}$$

腹付工の抵抗力、摩擦力より基準点まわりのモーメント M_H , M_V と鉛直力 V は以下の式で求めます。

$$M_H = P_H \cdot a_4 - R_{H1} \cdot 0 - R_{H2} \cdot a_5$$

$$M_V = W \cdot a_1 - P_B \cdot a_2 - P_U \cdot a_3 + R_{V2} \cdot 0$$

$$V = W - P_B - P_U - R_{V2}$$



モーメント M_H , M_V と鉛直力 V より底面反力、載荷重 q_v 、載荷幅 $2b'$ を求めます。

$$e = \frac{B}{2} - x$$

$$x = \frac{M_V - M_H}{V}$$

$e \leq B/6$ の場合

$$p_1 = \left(1 + \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B}$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \frac{V}{B}$$

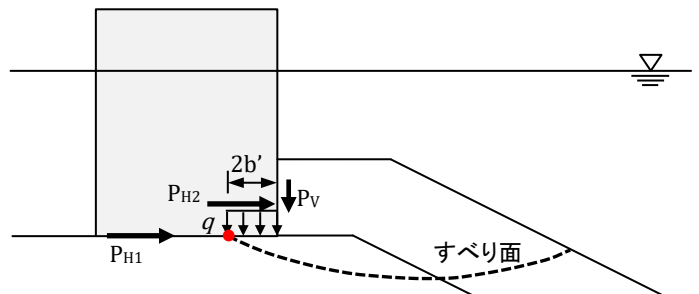
$$q_v = \frac{(p_1 + p_2) B}{4b'}$$

$e > B/6$ の場合

$$p_1 = \frac{2}{3} \frac{V}{\left(\frac{B}{2} - e\right)}$$

$$b = 3 \left(\frac{B}{2} - e\right)$$

$$q_v = \frac{p_1 b}{4b'}$$



ビショップ法検討には、これら載荷重 q_v 、載荷幅 $2b'$ 、基礎マウンドに作用する水平力 P_{H1} 、腹付工に作用する水平荷重 P_{H2} 、堤体側面の摩擦力 P_V を用います。

※本システムではこれらビショップ法に用いる荷重を計算し、弊社システム「斜面安定検討6」のビショップ計算データを作成します。(ビショップ法による円弧すべりの検討は行いません)