

港湾設計業務シリーズ

重力式係船岸 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	2
1.3 システムの制限事項	2
2.計算内容について	3
2.1 土圧、残留水圧	3
2.1.1 土 圧	3
2.1.2 見かけの震度	4
2.1.3 残留水圧	5
2.1.4 背面土の地表面形状	6
2.2 動水圧	7
2.2.1 動水圧	7
2.2.2 動水圧合力及び作用点位置	7
2.3 引き波波圧、負の揚圧力	8
2.3.1 引き波波圧	8
2.3.2 負の揚圧力	9
2.4 津波波力	10
2.4.1 非越流時	10
2.4.2 越流時	10
2.5 壁体重量、浮力	11
2.5.1 矩形形状ブロック	11
2.5.2 任意形状ブロック	11
2.5.3 ケーソン、セルラーブロック	12
2.5.4 L型ブロック	13
2.5.5 直立消波ブロック	13
2.5.6 直立消波ブロック(層別体積)	13
2.6 壁体の安定検討	14
2.6.1 港湾、漁港基準	15
2.6.2 道路、河川基準	15
2.6.3 セルラー中詰め材抜け出しの検討	16
2.6.4 グラウンドアンカーを用いた検討	17
2.6.5 耐津波設計の検討	18
2.7 支持力の検討	19
2.7.1 壁体底面における地盤反力	19
2.7.2 検討面における地盤反力	19
2.7.3 検討面における許容支持力	20
2.7.4 偏心傾斜荷重を受ける基礎の支持力	22

- 目 次 -

2.7.5 直線すべりの検討.....	23
2.8 支持力の検討(漁港基準 2003 年版以降).....	24
2.8.1 平面基礎の底面に作用する地盤反力.....	24
2.8.2 平面基礎の底面に作用する等価地盤反力.....	24
2.8.3 二層地盤の境界面に作用する地盤反力.....	24
2.8.4 捨石マウンドの底面に作用する地盤反力.....	25
2.8.5 限界法肩幅.....	27
2.8.6 二層系地盤の下層地盤の支持力の検討方法.....	28
2.8.7 許容支持力.....	28
2.8.8 基礎形状による反力・許容支持力の考え方.....	29
2.9 港湾基準(平成 19 年)による検討について.....	33
2.9.1 概要.....	33
2.9.2 滑動の照査.....	35
2.9.3 転倒の照査.....	36
2.9.4 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査(転倒).....	36
2.9.5 支持力(ビショップ法)の照査.....	36
2.9.6 浅い基礎の支持力の照査.....	37
2.9.7 直線すべりの照査.....	38
2.10 港湾基準(平成 30 年)による検討について.....	39
2.10.1 滑動の照査.....	39
2.10.2 転倒の照査.....	39
2.10.3 セルラーブロック中詰め材抜け出しの照査(転倒).....	40
2.10.4 支持力(ビショップ法)の照査.....	40
2.10.5 浅い基礎の支持力の照査.....	41
2.10.6 直線すべりの照査.....	42

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、重力式係船岸の滑動、転倒、支持力の安定計算を行います。安定計算(常時/地震時/波浪引波時/津波引波時)では以下の外力を考慮します。

《常時》	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)
土圧	○	○	○	○
残留水圧	—	○	—	○
壁体重量	○	—	○	—
浮力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○
上載荷重	○	—	○	—

《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)
土圧	○	○	○	○
残留水圧	—	○	—	○
壁体重量	○	○	○	○
浮力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○
上載荷重	○	○	○	○
動水圧	—	○	—	○

《波浪引波時》	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)
土圧	○	○	○	○
残留水圧	—	○	—	○
引き波波圧	—	○	—	○
負の揚圧力	○	—	○	—
壁体重量	○	—	○	—
浮力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○
上載荷重	○	○	○	○

《津波引波時》	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)
土圧	○	○	○	○
残留水圧	—	○	—	○
壁体重量	○	—	○	—
浮力	○	—	○	—
その他外力	○	○	○	○
上載荷重	○	○	○	○

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。
- ・L.W.L.時、H.W.L.時、任意潮位×2 の最大 4 潮位について、常時、地震時、波浪引波時、津波引波時の検討が可能です。
- ・津波押し波による直立消波ブロック式係船岸の上部工の転倒照査ができます。
- ・L.W.L.から H.W.L.まで指定ピッチで連続計算できます。(安全率法)
- ・見かけの震度は、荒井・横井の提案式、二建の提案式、直接入力が可能です。
- ・見かけの震度を荒井・横井の提案式で計算する場合、壁体に動水圧を作用させることが可能です。
- ・盛土部分を座標入力することにより任意の地表面形状で計算が行えます。その場合、盛土部分を等分布荷重に換算して土圧計算を行います
- ・複数の上載荷重が任意の位置に指定できます。また、壁体上にある上載荷重を、滑動・転倒・支持力の検討で考慮することも可能です。
- ・裏込め土は、複数層の指定が可能です。(砂質土のみ)
- ・土圧計算を行わず、任意の土圧強度、または、土圧合力が設定できます。
- ・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。
- ・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
・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 10 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 土圧、残留水圧

2.1.1 土 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」 P350～P356

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P146～P154

[常 時]

$$P_a = K_a \left[\sum \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \varphi)}{\cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \varphi) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta - \beta) = -\tan(\phi + \delta + \varphi - \beta) + \sec(\phi + \delta + \varphi - \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta) \sin(\phi + \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi - \beta)}}$$

ここに

P_a : 主働土圧強度 (kN/m²)

K_a : 主働土圧係数

φ : 内部摩擦角 (度)

ψ : 壁面が鉛直となす角 (度)

β : 地表面が水平となす角 (度)

δ : 壁面摩擦角 (度)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 層の厚さ (m)

w : 上載荷重 (kN/m²)

[地震時]

$$P_a = K_a \left[\sum \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \varphi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \varphi + \theta) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

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

ここに

θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は $\theta = \tan^{-1} k'$

k : 震度

k' : 見掛けの震度

2.1.2 見かけの震度

本システムでは見かけの震度として、入力値、荒井・横井の提案式、二建の提案式を選択できます。

〔荒井・横井の提案式〕

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」 P356

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P154

$$k' = \frac{2 \cdot (\Sigma \gamma h_i + \Sigma \gamma_t h_j + w) + \gamma_t h}{2 \cdot \{ \Sigma \gamma h_i + \Sigma (\gamma_t - 10) \cdot h_j + w \} + (\gamma_t - 10) \cdot h} k$$

ここに

h_i : 残留水位以上の土の層の厚さ (m)

h_j : 残留水位以下の土圧を求めようとする層より上の層の厚さ (m)

h : 残留水位より下の土圧を求めようとする層の厚さ (m)

γ : 水位面上の土の単位体積重量 (kN/m³)

γ_t : 水で飽和した土の空気中における単位体積重量 (kN/m³)

w : 単位面積当りの載荷重 (kN/m²)

k : 震度

k' : 見掛けの震度

〔二建の提案式〕

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成元年 6 月」 P220

$$k' = \frac{\Sigma \gamma h + \gamma_w h_w + w}{\Sigma \gamma h + w} k$$

ここに

k : 震度

k' : 見掛けの震度

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

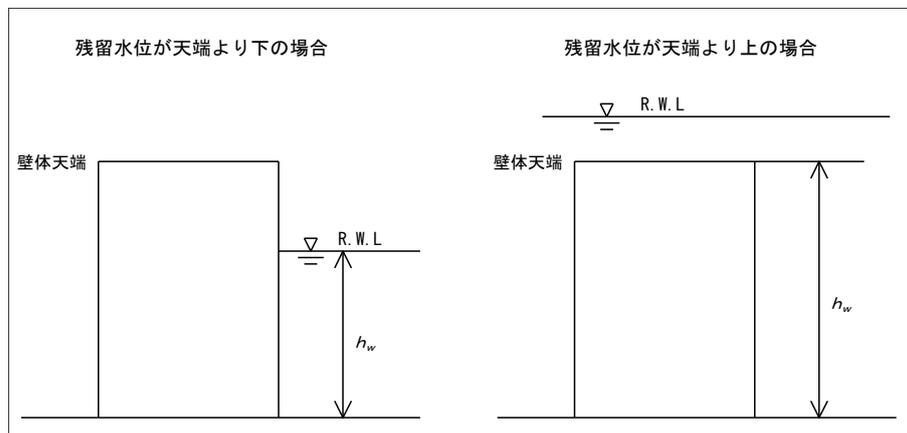
γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

h : 土層の厚さ (m)

h_w : 土層の水につかっている深さ (m)

w : 上載荷重 (kN/m²)

※ 残留水位が壁体天端より高い場合「 h_w : 土層の水につかっている深さ」の求めかたについて
通常は残留水位からの深さを求めますが、残留水位が壁体天端より高い場合は壁体天端からの深さを求め二建の提案式に使用します。



2.1.3 残留水圧

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」 P358

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P155

y が hw 未満の場合

$$pw = \gamma_w \cdot y$$

y が hw 以上の場合

$$pw = \gamma_w \cdot hw$$

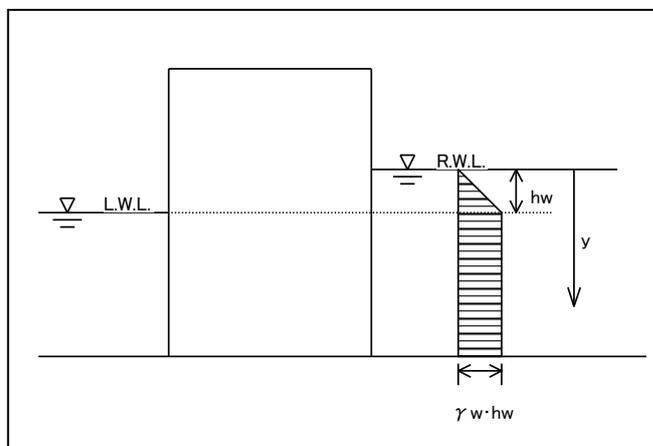
ここに

pw : 残留水圧 (kN/m²)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

y : 施設の背面の水位から残留水圧を算定する面までの土層の深さ (m)

hw : 施設の背面の水位が施設の前面の水位よりも高い場合のこれら水位の水位差 (m)

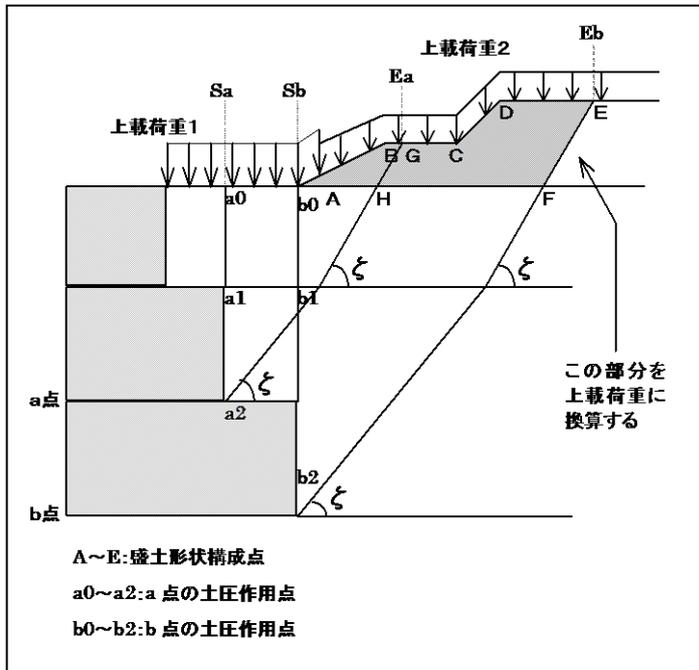


2.1.4 背面土の地表面形状

壁体背面土の地表面形状として、直線形状／任意形状を選択できます。

〔任意形状〕

盛土形状の構成点／盛土部分の土層条件を登録します。土圧計算時は検討面から崩壊面を計算し、開始土圧作用点レベルより上にある盛土部分を等分布荷重に換算します。また地表面と崩壊面が交差する位置までの上載荷重も合わせて等分布荷重に換算します。



検討点a点

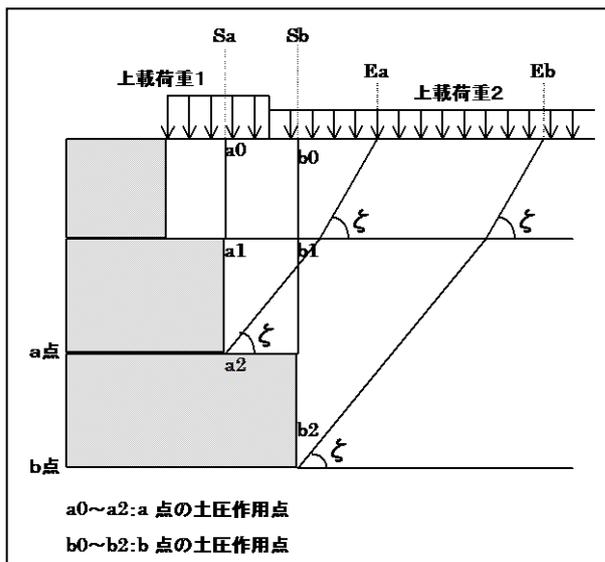
盛土部分 A,B,G,H と Sa から Ea までの上載荷重を等分布荷重に変換して土圧式に用います。

検討点b点

盛土部分 A,B,C,D,E,F と Sb から Eb までの上載荷重を等分布荷重に変換して土圧式に用います。

〔直線形状〕

上載荷重が複数作用する場合、検討面から崩壊面を計算し地表面との交点を求めます。土圧開始作用点からその交点まで作用する上載荷重を等分布荷重に換算します。



検討点a点

Sa から Ea までの範囲の上載荷重を等分布荷重に変換して土圧式に用います。

検討点b点

Sb から Eb までの上載荷重を変換

※上載荷重が一樣に作用する場合は、崩壊角を計算する処理は行いません。

※盛土部が下がるケースには対応できません。

2.2 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

2.2.1 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)

2.2.2 動水圧合力及び作用点位置

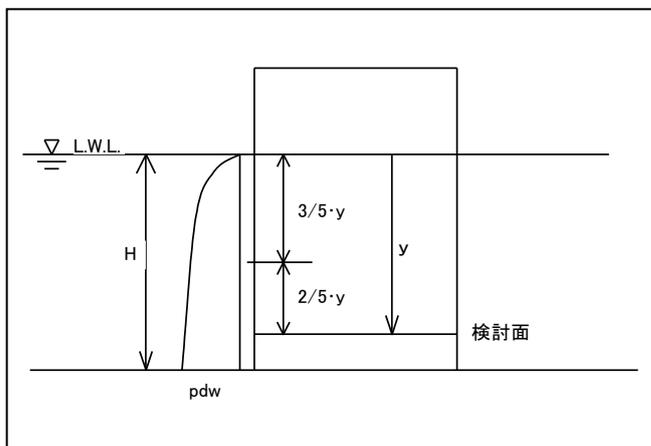
$$P_{dw} = \frac{7}{12} K \gamma_w \sqrt{H} y^{\frac{3}{2}}$$

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

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。

- ・壁体底面位置を使用
- ・入力位置を使用

2.3 引き波波圧、負の揚圧力

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」 P218

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015 年版」 P86

参照:「漁港・漁場の施設の設計の手引き(上巻) 2003 年版」 P60~63

2.3.1 引き波波圧

〔港湾基準〕

陸側から海側に作用

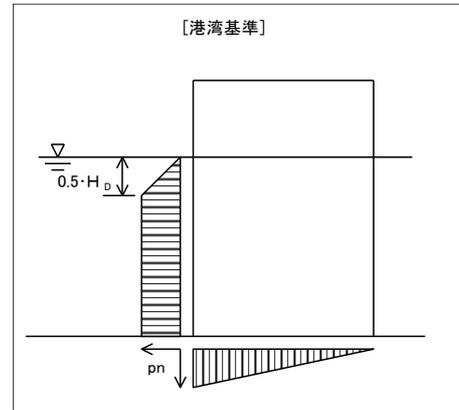
$$p_n = 0.5wH$$

ここに

p_n : 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_D : 設計計算に用いる波高 (m)



〔漁港基準 2003 年版以前〕

陸側から海側に作用

1) 重複波の場合 ($h > 2H$)

$$p'_1 = w(H - \delta)$$

$$p'_2 = \frac{wh}{\cosh(2\pi h/L)}$$

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) 碎波の場合 ($h \leq 2H$)

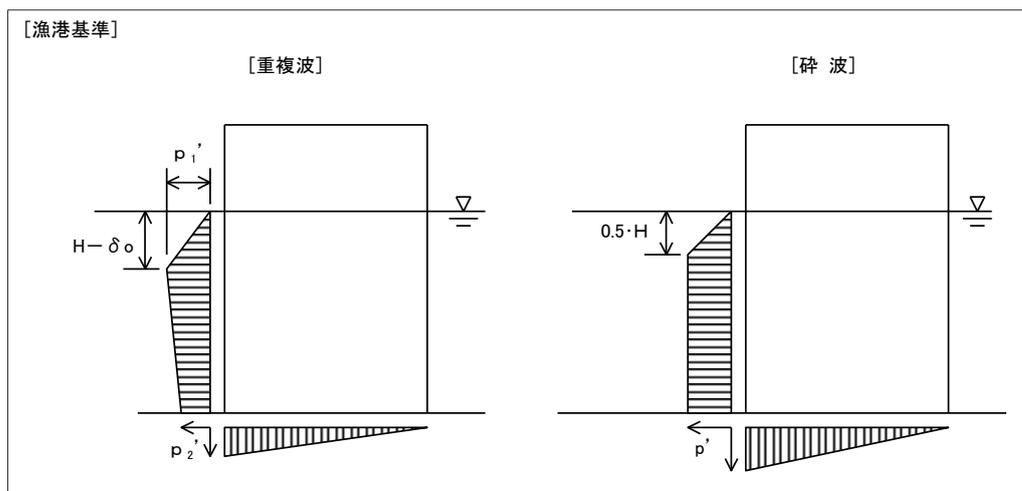
$$p' = 0.5w\lambda_0 H$$

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)



[漁港基準 2015]

陸側から海側に作用

$$p_n = 0.5w\lambda_0 H$$

ここに

λ_0 : 波高の補正係数

2.3.2 負の揚圧力

[港湾基準]

底面前趾で p_n 、後趾で0となる三角形分布、下向きに作用

$$p_n = 0.5wH$$

ここに

p_n : 負の揚圧力強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

H_D : 設計計算に用いる波高 (m)

[漁港基準 2003 年版以前]

底面前趾で p_u 、後趾で0となる三角形分布、下向きに作用

1) 重複波

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

2) 碎波

$$p_u = p' = 0.5wH$$

ここに

p_u : 負の揚圧力強度 (kN/m²)

[漁港基準 2015]

底面前趾で p_n 、後趾で0となる三角形分布、下向きに作用

$$p_n = 0.5w\lambda_0 H$$

ここに

p_n : 負の揚圧力強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

λ_0 : 波高の補正係数

H_D : 設計計算に用いる波高 (m)

2.4 津波波力

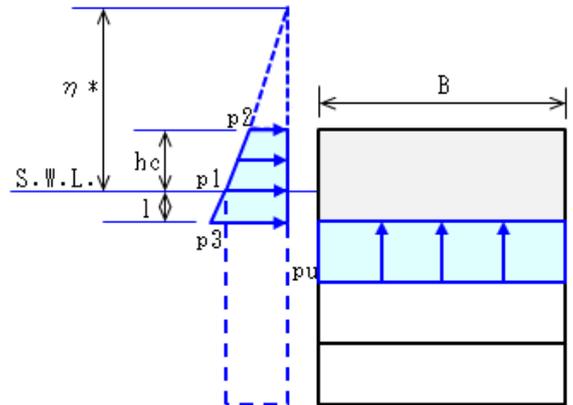
直立消波ブロック式係船岸における上部工に作用する波力

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書」2015年 P110~P112

2.4.1 非越流時

- ・上部工の前面波圧分布は谷本式に浮力に相当する静水圧を加算して算定。
- ・上部工下面に作用する揚圧力は矩形分布とする。
- ・越流直前が最も厳しい状態となる。

$$\begin{aligned}\eta^* &= 3a_l \\ p_1 &= 2.2\rho_0ga_l \\ p_3 &= p_1 + \rho_0gl \\ p_u &= p_3\end{aligned}$$



ここに、

- η^* : 静水面上の波圧作用高さ(m)
- αl : 進行波としての津波高さ(m)
- p_1 : 静水面における波圧強度(kN/m²)
- p_u : 上部工下面に作用する揚圧力(kN/m²)
- l : 静水面から上部工下面までの距離(m)

※ここでの揚圧力分布は揚力及び浮力を含めたものと定義する。

※システムでは、浮力を静水圧として考慮せず浮力として計算することも可能です。(直消ブロックを検討する場合など)

2.4.2 越流時

- ・上部工の前面波圧分布は水工研式で算定。
- ・上部工下面に作用する揚圧力は上部工に作用する揚力(流水力)を上部工の幅 B で除したものを一定値として矩形分布として与える。
- ・揚圧力合力 P_u は、越流流速 U で評価した揚力(流水力)と浮力の和として算定する。

揚圧力合力

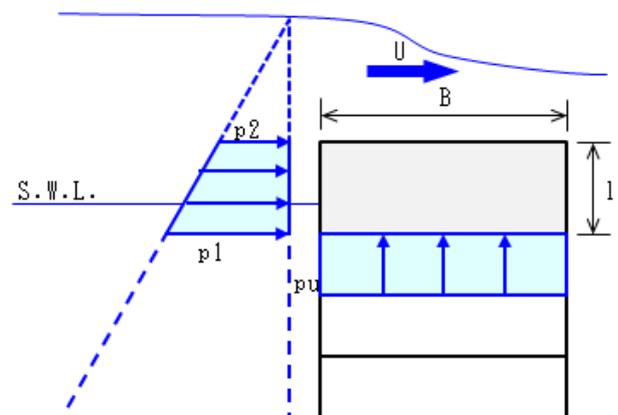
$$\begin{aligned}P_u &= B \cdot p_u + (\text{浮力}) \\ &= B \cdot C_L \frac{1}{2} \rho_0 U^2 + (\text{浮力})\end{aligned}$$

矩形上部工の場合の浮力は、

$$(\text{浮力}) = B \cdot \rho_0 gl$$

ここに、

- p_u : 上部工下面に作用する揚力(kN/m²)
- C_L : 揚力係数
- U : 上部工上の流速(m/s)
- B : 上部工の幅(m)



※直消ブロックを検討する際、空隙を考慮した浮力(通常の浮力)を計算します。

2.5 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
- L型ブロック
- 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）

2.5.1 矩形形状ブロック

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)

2.5.2 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に、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〕

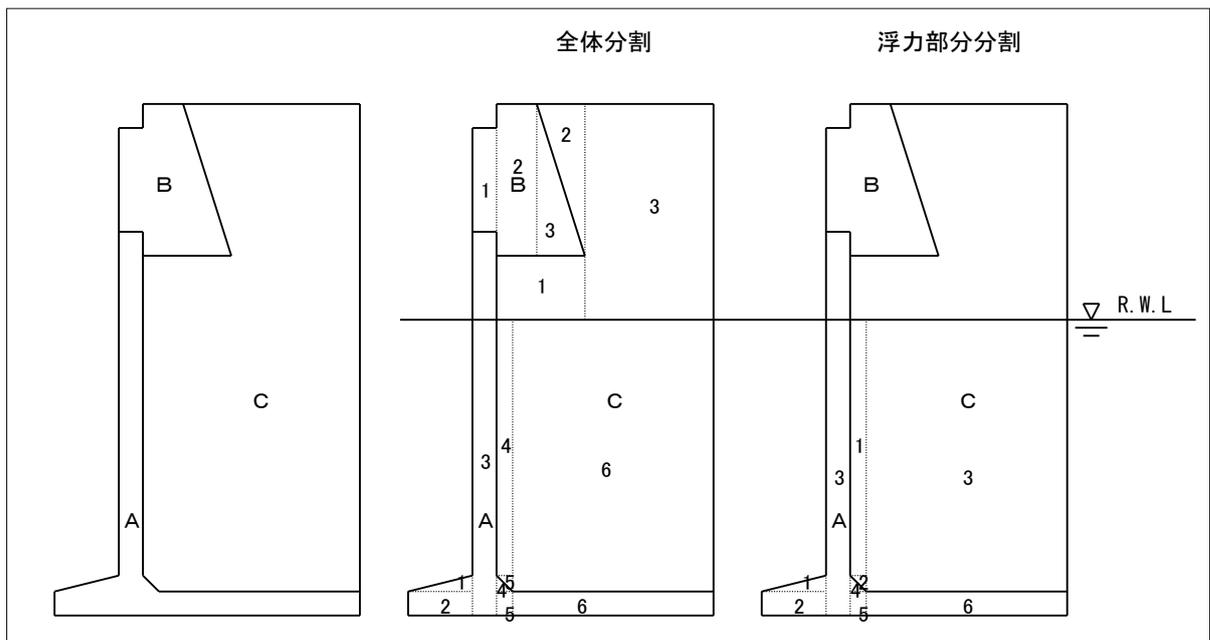
水上部分＝ Σ (底辺×高さ(水上部分)×湿潤単位体積重量)

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〕



2.5.3 ケーソン、セルラーブロック

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)

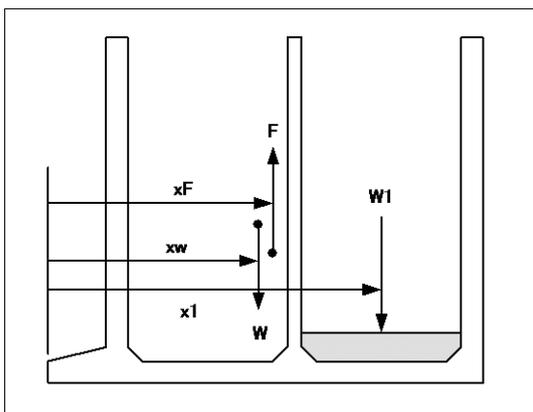
C: 浮心

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)

2.5.4 L型ブロック

ブロックの横断方向／縦断方向／高さ方向の寸法を登録します。扶壁数は 1 or 2 が選択可能です。裏込め材は最大5種類登録できます。

安定検討には1ブロック当たりの重量を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ブロック当たりの重量を計算します。

裏込め材も同様に体積、単位体積重量より1ブロック当たりの重量を計算します。扶壁部分／垂直ハンチの体積を引いて計算します。また、最下にある裏込め材は水平横、縦、隅角部ハンチの体積も引いて計算します。

〔浮力〕

水位以下の体積を計算し(裏込め材も同様)、各部材の $(\gamma - \gamma')$ をかけて計算します。

2.5.5 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。

2.5.6 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。

層ごとに重心Xが違う場合にも対応しています。

2.6 壁体の安定検討

検討点毎に各外力の作用力/モーメントを計算し、滑動・転倒の安定計算を行います。
各検討状態で以下の外力をもとに計算します。

壁体上の上載荷重は鉛直力として(考慮しない/考慮する)の計算が可能(同時処理)です。

「通常検討の場合」

	常時	地震時	波圧時	津波時 (引き波)
土 圧	○	○	○	○
残留水圧	○	○	○	○
壁体重量	○	○	○	○
浮 力	○	○	○	○
壁体慣性力	—	○	—	—
動水圧	—	○	—	—
上載荷重	○	○	○	○
引波波力	—	—	○	—
負の揚圧力	—	—	○	—
その他外力	○	○	○	○

土圧式	常時式	地震時式	常時式	常時式
上載荷重	常時の値	地震時の値	波圧時の値	常時 1/2 の値

「津波押し波による直立消波ブロック式係船岸の上部工検討(転倒)の場合」

	津波時 (押し波)
壁体重量	○
浮 力	○
津波波力	○
津波揚圧力	○

2.6.1 港湾、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)

2.6.2 道路、河川基準

参照:「道路土工 擁壁工指針(平成24年度版) 平成24年7月」P162

滑動………港湾、漁港基準の計算式と同様

転倒

(常時)

(地震時)

$$|e| \leq \frac{B}{6}$$

$$|e| \leq \frac{B}{3}$$

ただし

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

$$d = \frac{M_R - M_D}{V}$$

ここに

B : 壁体の底面幅

e : 壁体底面における合力の偏心率

もたれ式の場合

(常時)

$$d > B/2$$

(地震時)

$$d > B/3$$

ここに

d : 荷重の合力の作用位置(m)

B : 壁体の底面幅(m)

2.6.3 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

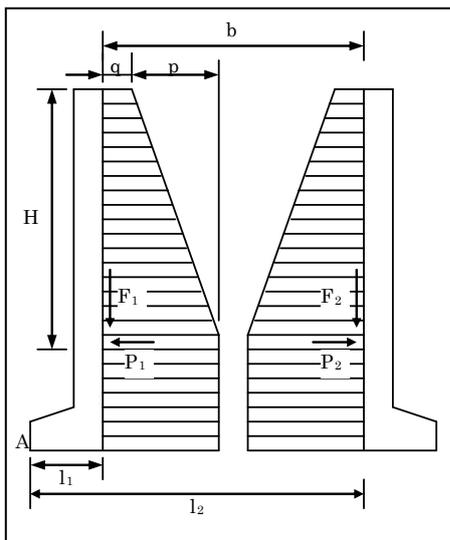
P : 壁体に作用する全水平力

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 : $P \cdot f$

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

P_1, P_2 : 土圧合力

2.6.4 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) : タイブルアンカー)
- $T_{as} = f \cdot T_{ys}$ (部分係数法(H30 港湾基準) : EHD アンカー)

また、以下のアンカー張力による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 (mm)
- 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、

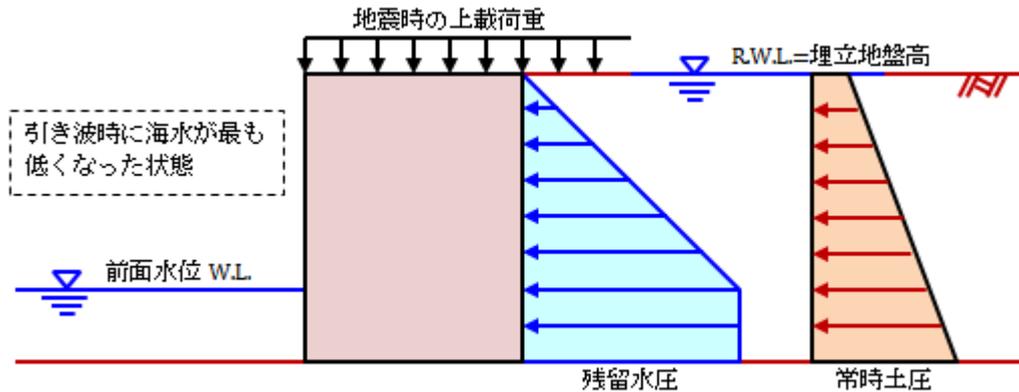
- l_a : アンカー体定着長 (mm)
- F_s : 安全率
- d_A : アンカー体径(削孔径) (mm)
- τ : アンカー周面の摩擦抵抗(N/mm²)

2.6.5 耐津波設計の検討

参照:「漁港・漁場の施設の設計参考図書」 2015 年 P552～P558

a) 引き波時の照査

引き波時に前面の水位が最も低くなり、かつ、係船岸背後の残留水位が埋立地盤高と同等となる状態を想定し照査を行う。



求められる安全率等は以下の通り。

滑動安全率 1.2

転倒安全率 1.2

許容端趾圧 500(kN/m²)

偏心傾斜荷重安全率 1.2

b) 押し波時の照査(直立消波ブロック式係船岸上部工)

上部工を陸側の上方へ転倒させようとする揚圧力(非越流時)、揚力(越流時)のモーメントに対し、抵抗モーメントが十分であるか否かを以下の式を用いて検討することができる。

転倒に対する検討

$$F \leq \frac{Wt}{P_u t' - Pl}$$

ここに、

W : 上部工の重量(kN)

(浮力は揚圧力により考慮されるので差し引く必要はない)

P : 上部工及びブロックに働く水平波圧合力(kN)

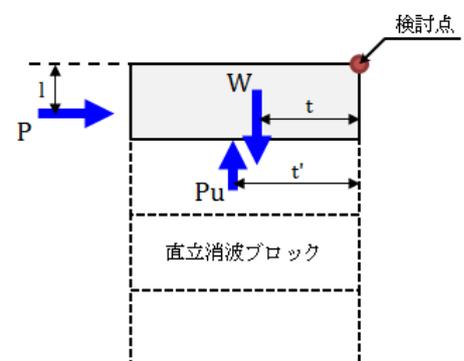
P_u : 上部工に働く揚圧力合力(浮力を含む)(kN)

t : 上部工の後端より W の作用線までの距離(m)

t' : 上部工の後端より P_u の作用線までの距離(m)

l : 上部工の上面から波圧合力の作用点までの距離(m)

F : 安全率(1.2)



2.7 支持力の検討

2.7.1 壁体底面における地盤反力

$$\begin{array}{lll}
 a) 0 < e \leq \frac{b}{6} \text{ の場合} & b) e > \frac{b}{6} \text{ の場合} & c) e < 0 \text{ の場合} \\
 p_1 = \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b} & p_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{V}{x} & p = \frac{V}{b} \\
 p_2 = \left(1 - \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b} & p_2 = 0 & \text{反力は等分布とする} \\
 & b' = 3 \cdot x &
 \end{array}$$

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)

2.7.2 検討面における地盤反力

$$\begin{aligned}
 \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{H}{V} \right) \\
 b_1 &= b + D \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \} \\
 p_1' &= \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma' D \\
 p_2' &= \frac{b}{b_1} p_2 + \gamma' D
 \end{aligned}$$

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)

2.7.3 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

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

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_γ, 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

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

(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)

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

(漁港基準)

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

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

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

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

2.7.4 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、水平力の算出までを行います。

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)

2.7.5 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

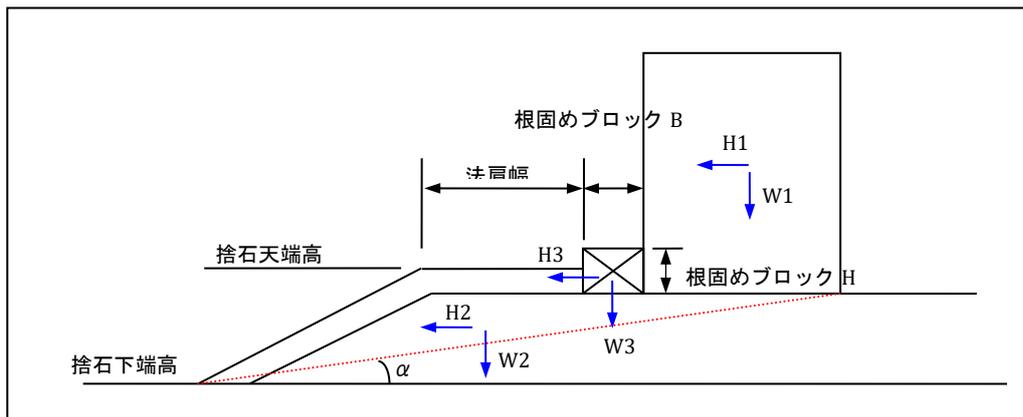
$W3$: 根固めブロック重量

$H1$: 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



2.8 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

2.8.1 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)

2.8.2 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)

2.8.3 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 (°) ($=\tan^{-1}(H/V)$)

2.8.4 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

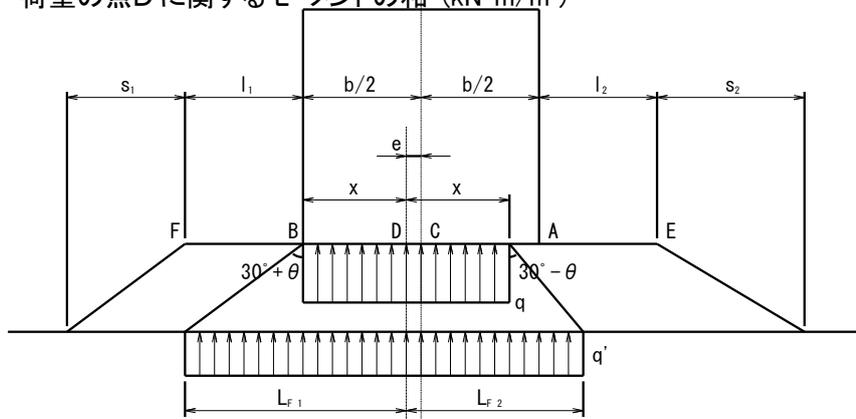
q_G : 捨石マウンドの底面に作用する合成地盤反力強度 (kN/m²)

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)

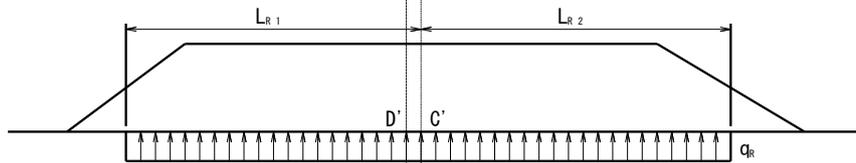
P : 等分布荷重 q' と q_R の単位奥行当たりの合力 (kN/m)

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)

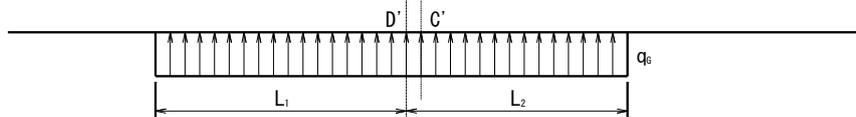
M_2 : 荷重強度 q' 、荷重幅 L_{F2} の荷重の点 D' に関するモーメントと、荷重強度 q_R 、荷重幅 $(L_{R2}+e)$ の荷重の点 D' に関するモーメントの和 (kN·m/m²)



1) 基礎に作用する荷重による地盤反力



2) 捨石マウンドの自重による地盤反力



3) 荷重と捨石マウンドの自重を合成した地盤反力

2.8.6 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_G 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_G の比較から下層地盤の支持力の評価を行うものとする。

2.8.7 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)

2.8.8 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

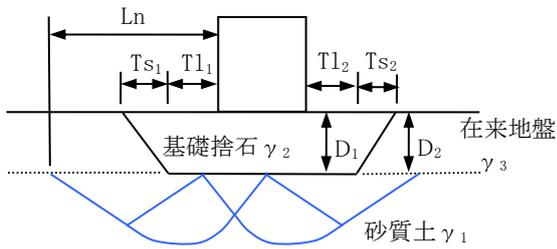


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

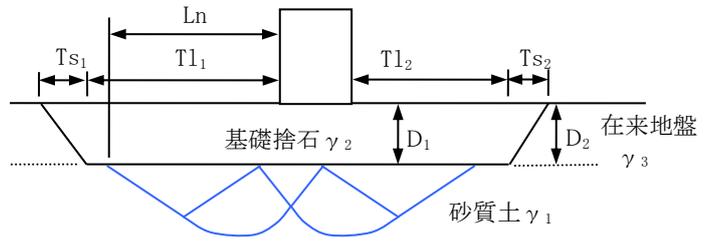


図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln

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

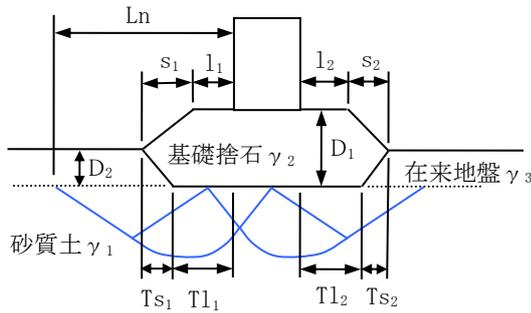


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

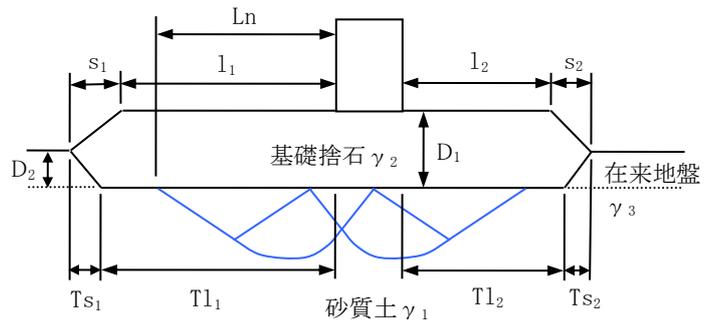


図-2 上層地盤幅>限界法肩幅 Ln

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）

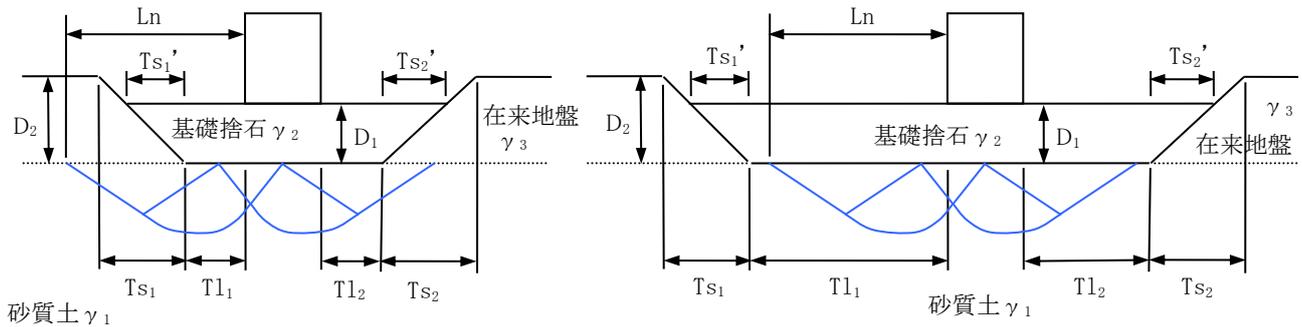


図-1 上層地盤幅<限界法肩幅 Ln

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' $p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D_1 \quad \text{or} \quad p_1' = \frac{b'}{b_1'} p_1 + \gamma_2 D_1$

2.9 港湾基準(平成 19 年)による検討について

2.9.1 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（土圧、残留水圧、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、耐震強化施設、耐震強化施設以外ごとに、各照査で使用する各外力に対して部分係数が用意されています。また、レベル 1 地震動に関する変動状態では、各外力の部分係数は 1.00 です。転倒照査時の構造解析係数のみ 1.10 となっていることに注意して下さい。

基準に掲載されている永続状態の部分係数は、L.W.L 時の検討を標準に定義されているようです。本システムでは H.W.L、任意潮位での検討ができますが部分係数の設定には注意して下さい。

引き波時の検討に関する部分係数は基準には用意されておりません。本システムでは、永続状態と同様に部分係数を考慮した検討はできますが、部分係数の設定には注意して下さい。

部分係数（永続状態：耐震強化施設以外）

		耐震強化施設以外			
目標システム信頼性指標 β_T		2.7			
目標システム破壊確率 P_{FT}		4.0×10^{-3}			
γ の計算に用いる目標信頼性指標 β_T'		2.89			
		γ	α	μ / X_k	V
滑動	γ_f 摩擦係数	0.60	0.935	1.060	0.150
	γ_{PH}, γ_{PV} 土圧合力	1.15	-0.316	1.000	0.120
	γ_{RWL} 残留水位	1.00	-0.027	1.000	0.050
	γ_{WRC} RC の単位体積重量	0.95	0.028	0.980	0.020
	γ_{WNC} NC の単位体積重量	1.00	0.010	1.020	0.020
	γ_{WSAND} 中詰め砂の単位体積重量	1.00	0.157	1.020	0.040
	γ_a 構造解析係数	1.00	-	-	-
転倒	γ_{PH}, γ_{PV} 土圧合力	1.30	-0.842	1.000	0.120
	γ_{RWL} 残留水位	1.05	-0.092	1.000	0.050
	γ_{WRC} RC の単位体積重量	0.95	0.094	0.980	0.020
	γ_{WNC} NC の単位体積重量	1.00	0.034	1.020	0.020
	γ_{WSAND} 中詰め砂の単位体積重量	0.95	0.521	1.020	0.040
	γ_a 構造解析係数	1.00	-	-	-
基礎地盤の支持力	γ_{PH} 土圧合力	1.15	-0.345	1.000	0.120
	γ_w' 基礎地盤の単位体積重量	1.00	0.033	1.000	0.030
	γ_q 載荷重	1.00	0.032	1.000	0.040
	$\gamma_{\tan \phi}'$ 地盤強度:せん断抵抗角の正接	0.70	0.894	1.000	0.100
	γ_c' 地盤強度:粘着力	0.90	0.257	1.000	0.100
	γ_{RWL} 残留水位	1.00	-0.024	1.000	0.050
γ_a 構造解析係数	1.00	-	-	-	

部分係数（レベル1地震動に関する変動状態：全ての施設）

要求性能		すべての施設			
		使用性			
		γ	α	μ / Xk	V
滑動	γ_f 摩擦係数	1.00	-	-	-
	γ_{PH}, γ_{PV} 土圧合力	1.00	-	-	-
	γ_{kh} 照査用震度	1.00	-	-	-
	γ_{RWL} 残留水位	1.00	-	-	-
	γ_{WRC} RCの単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_{WNC} NCの単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_{WSAND} 中詰め砂の単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_a 構造解析係数	1.00	-	-	-
転倒	γ_{PH}, γ_{PV} 土圧合力	1.00	-	-	-
	γ_{kh} 照査用震度	1.00	-	-	-
	γ_{RWL} 残留水位	1.00	-	-	-
	γ_{WRC} RCの単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_{WNC} NCの単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_{WSAND} 中詰め砂の単位体積重量	1.00	-	-	-
	γ_a 構造解析係数	1.10	-	-	-
	基礎地盤の支持力	γ_{PH} 土圧合力	1.00	-	-
γ_{kh} 照査用震度		1.00	-	-	-
γ_w' 基礎地盤の単位体積重量		1.00	-	-	-
γ_q 載荷重		1.00	-	-	-
$\gamma_{\tan \phi'}$ 地盤強度:せん断抵抗角の正接		1.00	-	-	-
$\gamma_{c'}$ 地盤強度:粘着力		1.00	-	-	-
γ_{RWL} 残留水位		1.00	-	-	-
γ_a 構造解析係数		1.00	-	-	-

本システムでは、各外力の部分係数を以下のように入力する方法となります。
 永続状態、レベル1地震動に関する変動状態、波浪に関する変動状態ごとに、滑動・転倒・支持力の「部分係数」。および、ビショップ計算で使用する載荷重、載荷幅を計算するための「平均値の偏り」を設定します。

本システムでの設定例

	永続状態				レベル1地震動に関する変動状態				波浪に関する変動状態(引波時)			
	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	0.60	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
土圧水平 PH	1.15	1.30	1.000	1.15	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
土圧鉛直 PV	1.15	1.30	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
残留水位 RWL	1.00	1.05	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
単重 RC	0.95	0.95	0.980	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
NC	1.00	1.00	1.020	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
Sand	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	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	1.00
構造解析係数	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.10	1.000	1.00	1.20	1.20	1.000	1.00
引き波力	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
負の揚圧力	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00	1.000	1.00	1.00
上載荷重 q				1.00				1.00				1.00
分割片重量 w'				1.00				1.00				1.00
$\tan \phi'$				0.70				1.00				1.00
粘着力 c'				0.90				1.00				1.00
構造解析係数				1.00				1.00				1.20

強い基礎の支持力

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

インポート 取消
エクスポート 終了

2.9.2 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」 P961

滑動の照査では以下の式を使用します。

$$f_d(W_d + P_{Vd} - P_{Bd}) \geq \gamma_a(P_{Hd} + P_{wd} + P_{dwd} + P_{Fd})$$

- f : 摩擦係数
- W : 壁体重量
- P_V : 鉛直土圧
- P_B : 浮力
- P_H : 水平土圧
- P_{wd} : 残留水圧
- P_{dwd} : 動水圧
- P_{Fd} : 壁体に作用する慣性力
- γ_a : 構造解析係数

摩擦係数、水平・鉛直土圧は特性値(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。

$$\begin{aligned} f_d &= \gamma_f f_k \\ P_{Hd} &= \gamma_{PH} P_{Hk} \\ P_{Vd} &= \gamma_{PV} P_{Vk} \end{aligned}$$

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。

残留水圧の設計用値は、残留水位の特性値から計算される残留水圧に対し部分係数を掛けて求めるのではなく、残留水位の特性値 RWL_k に対し部分係数 γ_{RWL} を掛けて残留水位の設計用値とし、その水位(設計用値)と前面水位より計算します。

$$RWL_d = \gamma_{RWL} RWL_k$$

浮力の設計用値は、残留水圧と同様、残留水位の設計用値 RWL_d を用いて浮力を計算します。

$$P_{Bd} = \rho_w g (\gamma_{RWL} RWL_k + h) B_c$$

壁体の慣性力の設計用値は、壁体重量の設計用値に対し、照査用震度の設計用値をかけて求めます。また、動水圧の設計用値も照査用震度の設計用値を用いて計算します。

$$P_{Fd} = \gamma_{kh} K h_k W_d \quad , \quad P_{dwd} = 7/12 \gamma_{kh} K h_k \rho_w g h^2$$

※土圧を計算する場合、背面土条件(ϕ 、 δ 、単位体積重量)、残留水位、上載荷重などは特性値を用いて計算します。

※仮想壁体(背面土部分)の重量を計算する場合、残留水位の特性値を用いて水上/水中に分割します。

※H.W.L.時の検討では残留水圧は発生しませんが、部分係数を考慮した場合、残留水位では前面より高くなり、残留水圧が発生してしまいます。この場合、本システムでは残留水圧は発生しないようにしています。

※RWLの特性値が壁体底面より下に位置するケースで、転倒時の部分係数で底面より上にRWLが位置する場合、残留水圧、浮力は作用しないようにしています。

※壁体上の上載荷重を鉛直力として考慮する場合、上載荷重に対し部分係数は考慮せずに計算します。ただし、上載荷重の慣性力については部分係数を考慮した照査用震度を用いて計算します。

2.9.3 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」P964

転倒の照査では以下の式を使用します。

$$aW_d - bP_{Bd} + cP_{Vd} \geq \gamma_a (dP_{Hd} + eP_{wd} + hP_{dwd} + iP_{Fd})$$

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、残留水圧のモーメントは、滑動と同様に残留水位の設計用値から求めます。

$$\begin{aligned} aW_d &= \sum \gamma_w (W_k \cdot x) \\ cP_{Vd} &= \gamma_{PV} (P_{Vk} \cdot x) \\ dP_{Hd} &= \gamma_{PH} (P_{Hk} \cdot y) \\ hP_{dwd} &= (7/12 \gamma_{kh} Kh_k \rho_w g h^2) \cdot y \\ iP_{Fd} &= \sum \gamma_{kh} Kh_k (W_d \cdot y) \end{aligned}$$

2.9.4 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。

$$aW_d - bP_{Bd} + cP_{Vd} + M_{fd} \geq \gamma_a (dP_{Hd} + eP_{wd} + hP_{dwd} + iP_{Fd})$$

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。

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

2.9.5 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」P963

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。

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

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を行うことはできません。弊社「斜面安定検討 6」システム用のデータを作成します。

2.9.6 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 以下、粘性土地盤で一般に 0.66 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 以下を使用します。

2.9.7 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、永続状態で 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。

2.10 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部分係数法(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。
ただし、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。

2.10.1 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」 P1070

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

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

$$S_k = P_{Hk} + P_{wk} + P_{dwk} + P_{Fk}$$

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_V : 壁体に作用する鉛直土圧合力 (kN/m)
- P_B : 壁体に作用する浮力 (kN/m)
- P_H : 壁体に作用する水平土圧合力 (kN/m)
- P_w : 壁体に作用する残留水圧合力 (kN/m)
- P_{dw} : 壁体に作用する動水圧合力 (kN/m) (地震動作用時の場合のみ)
- P_F : 壁体に作用する慣性力 (kN/m) (地震動作用時の場合のみ)
- 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

壁体の滑動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
壁体の滑動 (永続状態)	0.87	1.06	(1.00)
壁体の滑動 (レベル 1 地震動に対する変動状態)	(1.00)	(1.00)	1.00

2.10.2 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」 P1072

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

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

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

ここに、

- $a \sim i$: 各外力の作用長さ(m)

壁体の転倒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
壁体の転倒 (永続状態)	0.99	1.23	(1.00)
壁体の転倒 (レベル1 地震動に対する変動状態)	(1.00)	(1.00)	1.10

2.10.3 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」P1077

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。以下の抜出照査用の係数を使用します。

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
セルラーブロックの中詰め材の抜け出しを考慮した転倒 (永続状態)	(1.00)	(1.00)	1.20
セルラーブロックの中詰め材の抜け出しを考慮した転倒 (レベル1 地震動に対する変動状態)	(1.00)	(1.00)	1.10

2.10.4 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」P1073

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

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

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

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

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)

a : 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
基礎地盤の支持力破壊 (永続状態)	(1.00)	(1.00)	1.20
基礎地盤の支持力破壊 (レベル1 地震動に対する変動状態)	(1.00)	(1.00)	1.00

ビショップ計算に用いる載荷重 q 、載荷幅 x 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

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

荷重作用幅

$$x = 2b'$$

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。

2.10.5 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。

2.10.6 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 γ_S と γ_R が設定されていない場合には、従来の安全率法に準じて $\gamma_S = 1.00$ 、 $\gamma_R = 1.00$ と設定し、調整係数 m を従来の安全率相当の値に設定して安定性を照査することができる。この場合、すべり破壊に関する調整係数 m の値、永続状態においては 1.20 以上、レベル 1 地震動に関する変動状態に対しては 1.00 以上とすることができる。