

港湾設計業務シリーズ

# 斜面安定検討 6

Ver 1.X.X

## 商 品 概 説 書

## マニュアルの表記

### メニューコマンドについて

- ・ 「斜面安定検討6」ではドロップダウンメニューの他、一部機能についてはツールバーが使用できますが、本書ではドロップダウンメニューのコマンド体系で解説しています。その際、アクセスキー(ファイル(F)の(F)の部分)は省略しています。
- ・ メニュー名は [ ] で囲んで表記してあります。コマンドに階層がある場合は [ファイル]-[開く]のようにコマンド名を「-」で結んでいます。この例では、最初に[ファイル]を選択して、次は[開く]を選択する操作を示しています。

### 画面について

- ・ 画面図は、使用するディスプレイの解像度によっては本書の画面表示と大きさなどが異なる場合があります。
- ・ 「斜面安定検討6」は、画面の解像度が 800×600ドット以上で色数が256色以上を想定しています。
- ・ 画面のDPIは通常サイズを選択してください。大きなサイズでは画面が正しく表示されない場合があります。

### その他

- ・ マウス操作を基本として解説しています。マウスは、Windowsの[スタート]-[設定]-[コントロールパネル]-[マウス]で右利き用に設定してある物として解説しています。
- ・ ハードディスクはドライブCとして解説しています。ドライブとは「C:¥¥¥¥¥」の「C」の部分です。使用する機種によりドライブ名が異なる場合があります。
- ・ CD-ROMドライブはドライブXとして解説しています。使用する機種によりドライブ名が異なる場合があります。
- ・ ダイアログボックス内のボタンは、[OK]・[キャンセル]などのように枠で囲んでいます。

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 概 要.....	2
2-1. 斜面安定検討6の特長.....	2
2-2. 斜面安定検討6の動作条件.....	4
2-3. 斜面安定検討6の画面構成.....	5
3. 安定検討の計算式.....	6
3-1. 主な入力項目.....	6
3-2. 円弧すべりー修正フェレニウス法.....	7
砂杭がない場合（安全率法）.....	7
砂杭がない場合（信頼性設計法H19年）.....	8
砂杭がない場合（信頼性設計法H30年）.....	9
砂杭がある場合.....	10
鋼矢板を横切る円弧すべり面以下の受働土圧による抵抗を考慮する場合.....	12
鋼矢板のせん断耐力を考慮する場合.....	13
3-3. 円弧すべりー簡易ビショップ法.....	14
安全率法の場合.....	14
信頼性設計法H19年（一般式）の場合.....	15
信頼性設計法H19年（個別式）の場合.....	16
信頼性設計法H30年の場合.....	17
3-4. 円弧すべりー簡易ビショップ法（ $B=1/3.5$ 式）.....	18
安全率法の場合.....	18
信頼性設計法H19年（一般式）の場合.....	19
信頼性設計法H19年（個別式）の場合.....	20
信頼性設計法H30年の場合.....	21
3-5. 直線すべり法.....	22
安全率法の場合.....	22
信頼性設計法H19年（一般式）の場合.....	23
信頼性設計法H19年（個別式）の場合.....	24
信頼性設計法H30年の場合.....	25
3-6. 主な出力項目.....	26
4. 補足資料.....	27
4-1. 地形の構成について.....	27
4-2. 土質条件について.....	28
4-3. 信頼性設計法H19年での単位体積重量の計算について.....	29

## 1. はじめに

この「斜面安定検討6」は、港湾・漁港業務における構造物の設計に際して行われる斜面のすべり崩壊に対する安全検討を行うことを目的としています。

この商品概説書では、「斜面安定検討6」の動作環境・計算の考え方・計算容量・仕様などについて記述してあります。インストールから起動までのセットアップ方法、及びプログラムの基本操作につきましては「操作説明書」をご覧ください。

本システムは以下の資料を参考にして開発しております。

- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説……………平成30年5月
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説……………平成19年7月
- ・港湾構造物設計事例集……………平成19年3月
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説……………平成11年4月
- ・漁港・漁場の施設の設計参考図書……………2015年版
- ・漁港・漁場構造物設計計算例……………平成16年新刊

### 性能照査について

性能照査とは性能規定が満足されることを照査する行為のことであり、その手法については特定の手法が義務づけられているものではありません。すなわち、具体的な性能照査手法や許容される破壊確率、変形量等の限界値は設計者の判断に委ねられています。

よって、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の位置づけは、性能規定化された基準が設計者に正しく理解されるための参考資料であり、性能照査手法や許容される破壊確率、変形量等の限界値の標準的な考え方や限界値の例を示しているとされています。

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

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

## 2. 概要

### 2-1. 斜面安定検討6の特長

この「斜面安定検討6」は、港湾・漁港での構造物の設計に際して行われる斜面のすべり崩壊に対する円弧・直線すべり検討を行うプログラムです。以下の様な特長を持っています。

計算式は、港湾・漁港で一般に広く使用されている円弧すべりー修正フェレニウス法、円弧すべりー簡易ビショップ法（一般式、 $\beta=1/3.5$ 式）、直線すべり法に対応しています。それぞれの計算式を切り替えて使用できます。

#### (1) 修正フェレニウス法

斜面破壊の実情をよく説明すると報告されていること、砂質土地盤においては安全側の安全率を与えることから広く利用されている手法です。しかし、基礎地盤が全て砂質土層であったり、上部が厚い砂層で下部が粘土層という構成の地盤では安定性を過小に評価することが確認されています。

#### (2) 簡易ビショップ法（一般式、 $\beta=1/3.5$ 式）

基礎地盤が全て砂質土層であったり、上部が厚い砂層で下部が粘土層という構成の地盤では簡易ビショップ法の方が精度が高いため、特にマウンドの支持力検討の際に問題となる偏心傾斜荷重が加わる場合は、一般的に使用されます。

なお、簡易ビショップ法は水平に近い砂質土地盤において荷重が鉛直に載荷される場合には過大(小)な安全率を与えるという問題があり、このような場合には分割片間の鉛直力と水平力の比を分割片傾斜角の $1/3.5$ と仮定する $\beta=1/3.5$ 式を使用することもできます。「斜面安定検討6」では一般式と $\beta=1/3.5$ 式の両方が使用できます。

#### (3) 直線すべり法

砂礫の斜面の安定検討によく使用されます。特に地震時の実状と良く適合するといわれています。

地形形状の入力・編集は、マウス入力／キーボード入力を切り換えて使用できます。そのため、状況に応じて柔軟な運用が可能です。

#### (1) マウス入力

画面を見ながらマウスで地形の入力／修正ができます。画面上で線分を指定して交点計算をしたり、点を結線して線分を入力するときに使用します。

#### (2) キーボード入力

座標や結線情報を表形式でキーボードから入力します。

- ・ 自動的に、円弧中心点の範囲を段階的に絞って安全率が最小(大)となる位置を探す機能が付いています。その為、すばやく安全／危険の判定ができます。
  - ・ 残留水位線を設定できます。これにより水中・水上を自動的に判定し、地形の重量を判定します。
  - ・ 起動力を全重量（＝水重量を含めた重さ）で計算するか、有効重量（＝浮力を考慮した重量）で計算するかを切り替えることができます。
  - ・ 粘性土に対して、粘着力基準高を折れ線で定義することができます。
  - ・ 砂杭を考慮した地形が入力できます。
  - ・ 地盤／構造物の構成点は最大で256ブロック指定できます。構成点も合計で1024点まで使用できます。
  - ・ 上載荷重や水平外力はそれぞれ3種類を同時に指定できます。
  - ・ 地震時には、水平震度を指定できます。水平震度が0ならば常時とみなします。
  - ・ 矢板のせん断耐力、受働土圧を考慮した検討もできます。
  - ・ 計算書は以下の3種類を用意しています。  
 計算結果一覧表 各円弧中心、半径毎に安全率を計算した一覧表です。  
 安全率一覧表 各円弧中心の最小(大)安全率を表の形に並べた帳票です。  
 最小(大)安全率 最小(大)安全率とその条件、使用した計算式を印刷します。
  - ・ 計算書印刷の他、計算対照図の作図もできます。計算対照図は、図面に地形や安全率表、最小(大)安全率を発生させた円弧／直線を作図した図面です。また、安全率のカラーコンター図／コンター図の作図も可能です。
  - ・ タイトル、土質条件、安全率、外力、上載荷重などの図面内に記入する数値は作図位置／文字サイズを指定することができます。また、不要な項目は作図しないこともできます。
  - ・ 土質条件は、地形内に記入する他に一覧表形式での作図も可能です。図面サイズは、A3横／B4横／A4横のいずれかを選択します。図枠外の地形等は作図されません。
  - ・ 図面はプリンター／プロッターで作図します。また、DXFファイルやBF0ファイルに変換できますのでお手持ちのCADシステムに読み込んで編集したり、他図面に読み込んで使用することができます。ただし、色の情報（ブロック塗りつぶし／カラーコンター図）は変換できません。
- ※ BF0ファイルとは、川田テクノシステム(株)のCADシステム「V-nas」で使用されているデータ形式のファイルです。

## 2-2. 斜面安定検討6の動作条件

### パーソナルコンピュータ

各社 DOS/V機

CPU

Pentium以上

メモリ

64MB以上 (OSが必要とするメモリーを除く)

HDD

20MB程度 (システム領域：約10MB、その他：データ用

領域)

### ディスプレイ

800×600以上 (1024×768以上推奨)

### マウス・プリンタ・プロッタ

使用するOS用に対応したもの

### OS

Windows7/8.1/10

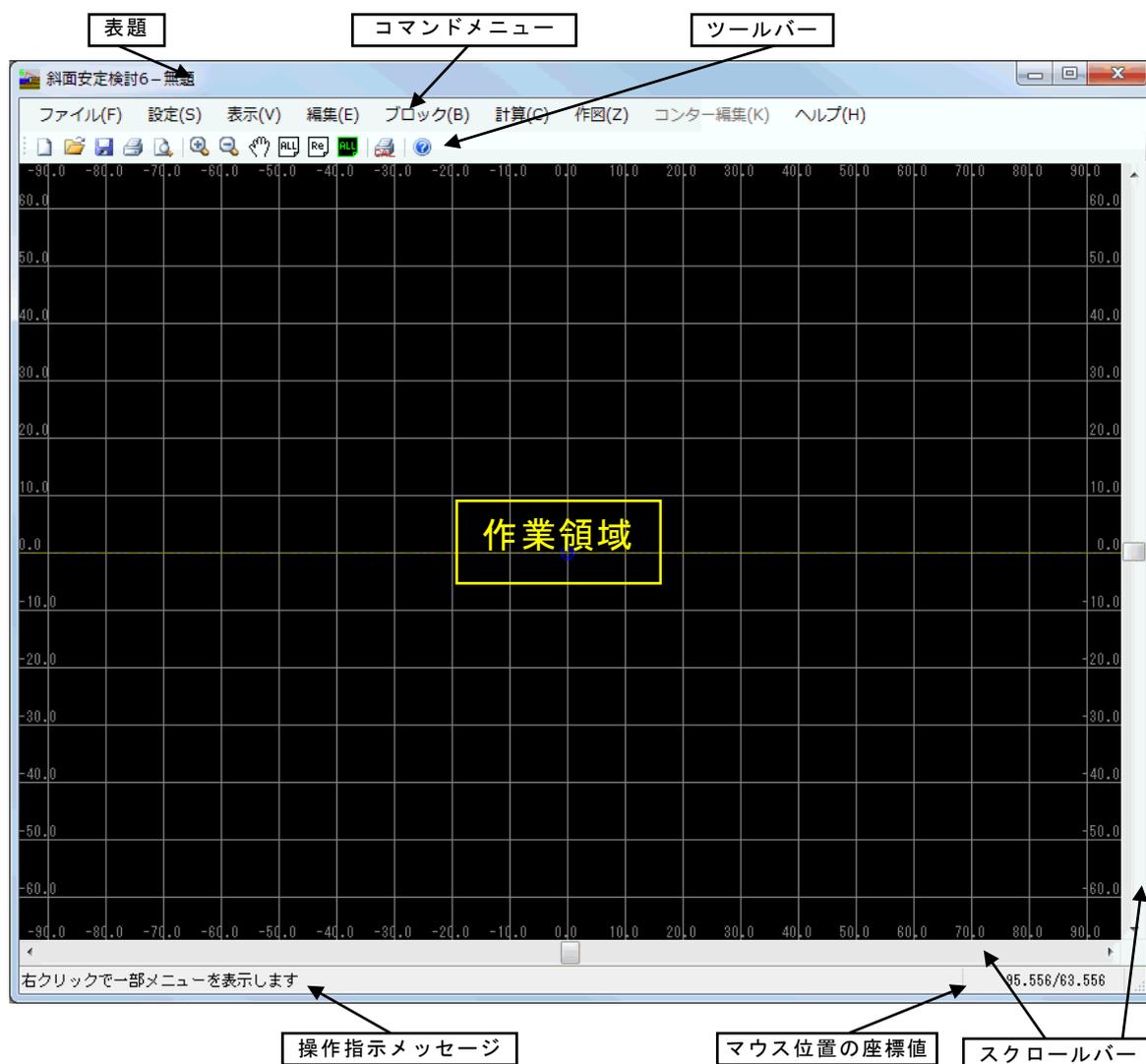
### その他

DXFファイル・BF0ファイルの入力が可能なCADソフトを合わせてご利用になると、図面の加工・編集を行うことができます。

※ BF0ファイルは川田テクノシステム株式会社のCADシステム「V-nasシリーズ」のデータ形式です。

## 2-3. 斜面安定検討6の画面構成

本システムの画面は以下のような構成になっています。



表題には、プログラムの名称と現在作業中のデータのファイル名が表示されます。コマンドメニューから必要なコマンドを選択して編集や計算を行います。ツールバーには、よく使うコマンドの一部が登録されています。作業領域上でマウスを右クリックすることにより、ショートカットメニューを表示することも可能です。

作業領域には、編集時の地形などの情報が表示されます。地形の編集などのマウス指示もこの画面で行います。スクロールバーは、作業領域に表示されている内容をスクロールします。

画面下の操作指示メッセージにはマウス操作中の操作指示が表示されます。また、このときのマウスカーソルの座標は画面右下に表示されます。

### 3. 安定検討の計算式

#### 3-1. 主な入力項目

検討方法	検討する計算方法の選択
スライス幅	計算時に縦にスライスする断片の幅の最大値
上載荷重、水平外力	構造物や外力によって受ける力
残留水位線	残留水位を示す線（折れ線で指定可能）
粘着力基準線	粘着力を計算する基準線（折れ線で指定可能）
安全率範囲／許容安全率	表示する安全率の範囲と安全率判定に使用する安全率
起動力の計算方法	起動力／モーメントを全重量／有効重量のどちらで計算か
部分係数	部分係数を使用するかおよび部分係数の一覧
水の単位体積重量	全重量→水中重量の計算で使用
丸め方法	JISZ8401-規則A(五捨五入)とJISZ8401-規則B(四捨五入)
水平震度	地震時の水平震度（ビショップ法では使用しない）
砂杭の計算式	砂杭がある地盤で採用する計算式
矢板の諸元	矢板の位置、材料、受ける土圧など
すべり円情報	すべり円の情報（円弧中心グリッド／半径の範囲、ピッチ）
すべり線情報	すべり線の情報（始点範囲＋終点範囲）
検討回数	円弧中心グリッドの絞り込み回数
検討方向	すべり方向の指定（自動、左→右、右→左）
計算式	H19年港湾基準で使用する計算式
水中重量の計算方法	部分係数を水中重量に掛けるか全重量に掛けるか
図面サイズ・スケール	計算対照図の図面サイズ（A4、B4、A3）と縮尺
文字サイズ／桁数	計算対照図に記入する文字サイズと小数点以下桁数
土質条件の記入方法	土質条件を個別に記入するか表形式で記入するか
円弧中心の作図方法	円弧中心をプロットするかグリッドで作図するか
矢板の設定	矢板を横切る円弧の検討時の矢板の諸情報
地形構成点／線	地形を構成する点と線
円弧制限点／線	すべり円の範囲を制御する点と線
不切線	すべり円／線の横切れない線
地形ブロック情報	地形ブロックの土質情報と砂杭情報

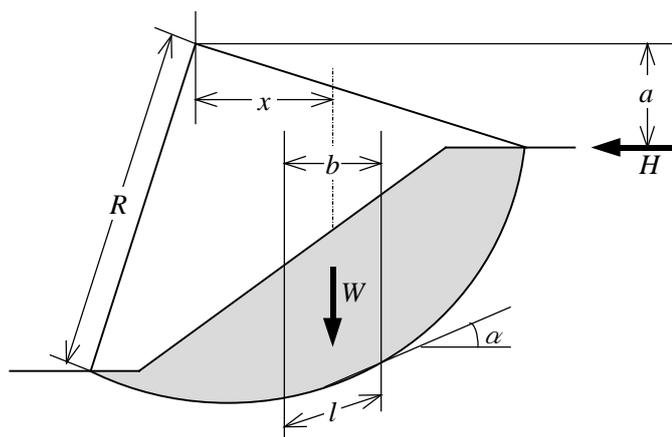
### 3-2. 円弧すべり-修正フェレニウス法

#### 砂杭がない場合 (安全率法)

摩擦力抵抗モーメント	$M_R(\phi) = R \cdot \sum \{(W' - \Delta u \cdot b + q) \cdot \cos \alpha\} \cdot \tan \phi$
	$- R \cdot \sum \{k \cdot (W + q) \cdot \sin \alpha\} \cdot \tan \phi$
粘着力抵抗モーメント	$M_R(c) = R \cdot \sum (c \cdot l) = R \cdot \sum (c \cdot b \cdot \sec \alpha)$
起動モーメント(自重)	$M_D(W) = \sum \{(W + q) \cdot x\} = R \cdot \sum \{(W + q) \cdot \sin \alpha\}$
起動モーメント(外力)	$M_D(H) = \sum (H \cdot a)$
起動モーメント(地震力)	$M_D(k) = k \cdot \sum \{(W + q) \cdot y\}$
安全率	$F = \frac{M_R(\phi) + M_R(c)}{M_D(W) + M_D(H) + M_D(k)}$

判 定  $F \geq$  許容安全率 ならOK

- $R$  : すべり円の半径 ( $m$ )
- $W'$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )
- $W$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )
- $q$  : 分割片上部からの鉛直力 ( $kN/m$ )
- $c$  : 粘性土→非排水せん断強さ、砂質土→排水条件における見かけの粘着力 ( $kN/m^2$ )
- $\phi$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角 ( $^\circ$ )
- $l$  : 分割片の底辺の長さ ( $m$ )
- $b$  : 分割片の幅 ( $m$ )
- $\alpha$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )
- $x$  : 分割片の重心とすべり円中心の間の水平距離 ( $m$ )
- $y$  : 分割片の重心とすべり円中心の間の垂直距離 ( $m$ )
- $H$  : すべり円内の土塊に作用する水平力 ( $kN/m$ )
- $a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )
- $k$  : 水平震度
- $\Delta u$  : 地震動によって発生する間隙水圧 ( $kN/m^2$ )



参考資料	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」	P. 510
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P. 294
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P. 186

**砂杭がない場合（信頼性設計法H19年）**

摩擦抵抗力	$P_R(\phi) = \sum \left\{ (W'_d + q_d) \cdot \cos^2 \theta \right\} \cdot \tan \phi_d \cdot \sec \theta$	
	$- \sum \left\{ k \cdot (W_d + q_d) \cdot \sin \theta \right\} \cdot \tan \phi_d$	
粘着抵抗力	$P_R(c) = \sum (c_d \cdot S \cdot \sec \theta)$	
起動力(自重)	$P_D(W) = \sum \left\{ (W_d + q_d) \cdot \sin \theta \right\}$	※一般式の場合
または	$P_D(W) = \sum \left\{ (W'_d + q_d + q_{RWLd}) \cdot \sin \theta \right\}$	※個別式の場合
起動力(外力)	$P_D(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hd} \right)$	
起動力(地震力)	$P_D(k) = k \cdot \sum \left\{ \frac{1}{R} \cdot (W_d + q_d) \cdot y \right\}$	
耐力作用比	$F = \frac{P_R(\phi) + P_R(c)}{P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)}$	
一般式の判定	$P_R(\phi) + P_R(c) \geq \gamma_a \cdot \{ P_D(W) + P_D(H) + P_D(k) \}$	ならOK
個別式の判定	$P_R(\phi) + P_R(c) \geq P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)$	ならOK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値

(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$W_d$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の設計用値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$y$  : 分割片の重心とすべり円中心の間の垂直距離 ( $m$ )

$P_{Hd}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$k$  : 水平震度

$\gamma_a$  : 解析手法に関する部分係数

$$W_d = \gamma_w \cdot W_k \quad W'_d = \gamma_w \cdot W_k - W_{wk} \quad \text{または} \quad W_d = \gamma_w \cdot W'_k + W_{wk} \quad W'_d = \gamma_w \cdot W'_k$$

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

**参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」**

一般式 P. 668、個別式 P. 833/P. 965

## 砂杭がない場合（信頼性設計法H30年）

摩擦抵抗力	$P_R(\phi) = \sum \{(W'_k + q_k) \cdot \cos^2 \theta\} \cdot \tan \phi_k \cdot \sec \theta$ $- \sum \{k \cdot (W_k + q_k) \cdot \sin \theta\} \cdot \tan \phi_k$	
粘着抵抗力	$P_R(c) = \sum (c_k \cdot S \cdot \sec \theta)$	
起動力(自重)	$P_S(W) = \sum \{(W_k + q_k) \cdot \sin \theta\}$	※一般式の場合
または	$P_S(W) = \sum \{(W'_k + q_k + q_{RWLk}) \cdot \sin \theta\}$	※個別式の場合
起動力(外力)	$P_S(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hk} \right)$	
起動力(地震力)	$P_S(k) = k \cdot \sum \left\{ \frac{1}{R} \cdot (W_k + q_k) \cdot y \right\}$	
作用耐力比	$m \cdot \frac{\gamma_S \cdot \{P_S(W) + P_S(H) + P_S(k)\}}{\gamma_R \cdot \{P_R(\phi) + P_R(c)\}}$	
判定	作用耐力比 $\leq 1.0$ ならOK	

- $R$  : すべり円の半径 ( $m$ )  
 $W'_k$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の特性値  
 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )  
 $W_k$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の特性値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )  
 $q_k$  : 分割片上部からの鉛直力の特性値 ( $kN/m$ )  
 $c_k$  : 粘性土→非排水せん断強さの特性値  
 砂質土→排水条件における見かけの粘着力の特性値 ( $kN/m^2$ )  
 $\phi_k$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の特性値 ( $^\circ$ )  
 $S$  : 分割片の幅 ( $m$ )  
 $\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )  
 $y$  : 分割片の重心とすべり円中心の間の垂直距離 ( $m$ )  
 $P_{Hk}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の特性値 ( $kN/m$ )  
 $a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )  
 $k$  : 水平震度  
 $\gamma_S$  : 作用項に乗じる部分係数  
 $\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数  
 $m$  : 調整係数

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」  
 一般式 P. 750、個別式 P. 927/P. 1069

## 砂杭がある場合

砂杭を含む土層の抵抗モーメントは次の5式を選択して使用できます。

### (1式)

せん断強度

$$\tau = (1 - a_s)(c_0 + k \cdot z + \Delta\sigma_z \cdot \mu_c \cdot \Delta c / \Delta p \cdot U) + (\gamma_s \cdot z + \mu_s \cdot \Delta\sigma_z) \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha$$

モーメント (常時)

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \tau \cdot l \cdot R \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot b / \cos \alpha \cdot (\gamma_s \cdot z + \mu_s \cdot \Delta\sigma_z) \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (b \cdot \gamma_s \cdot z + b \cdot \mu_s \cdot \Delta\sigma_z) \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_s + \mu_s \cdot W') \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

モーメント (地震時の補正)

$$M_R(s) = R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_s + \mu_s \cdot W') \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha - R \cdot k_h \cdot W \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \sin \alpha$$

### (2式)

せん断強度

$$\tau = (1 - a_s)(c_0 + k \cdot z) + (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha$$

モーメント (常時)

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \tau \cdot l \cdot R \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot b / \cos \alpha \cdot (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (b \cdot \gamma_m \cdot z + b \cdot \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \\ &= R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_m + W') \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

モーメント (地震時の補正)

$$M_R(s) = R \cdot (1 - a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_m + W') \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha - R \cdot k_h \cdot W \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \sin \alpha$$

### (3式)

せん断強度

$$\tau = (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos^2 \alpha$$

モーメント (常時)

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \tau \cdot l \cdot R \\ &= R \cdot b / \cos \alpha \cdot (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos^2 \alpha \\ &= R \cdot (b \cdot \gamma_m \cdot z + b \cdot \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha \\ &= R \cdot (W_m + W') \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

モーメント (地震時の補正)

$$M_R(s) = R \cdot (W_m + W') \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha - R \cdot k_h \cdot W \cdot \tan \phi_m \cdot \sin \alpha$$

### (4式)

せん断強度

$$\tau = (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha$$

モーメント (常時)

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \tau \cdot l \cdot R \\ &= R \cdot b / \cos \alpha \cdot (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos^2 \alpha \\ &= R \cdot (b \cdot \gamma_m \cdot z + b \cdot \Delta\sigma_z) \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \\ &= R \cdot (W_m + W') \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

モーメント (地震時の補正)

$$M_R(s) = R \cdot (W_m + W') \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \cos \alpha - R \cdot k_h \cdot W \cdot \mu_s \cdot a_s \cdot \tan \phi_s \cdot \sin \alpha$$

(5式)

せん断強度

$$\tau = (1-a_s)(c_0 + k \cdot z + \Delta\sigma_z \cdot \mu_c \cdot \Delta c / \Delta p \cdot U) + (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos^2 \alpha$$

モーメント (常時)

$$\begin{aligned} M_R(s) &= \tau \cdot l \cdot R \\ &= R \cdot (1-a_s)(c \cdot l) + R \cdot b / \cos \alpha \cdot (\gamma_m \cdot z + \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos^2 \alpha \\ &= R \cdot (1-a_s)(c \cdot l) + R \cdot (b \cdot \gamma_m \cdot z + b \cdot \Delta\sigma_z) \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha \\ &= R \cdot (1-a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_m + W') \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

モーメント (地震時の補正)

$$M_R(s) = R \cdot (1-a_s)(c \cdot l) + R \cdot (W_m + W') \cdot \tan \phi_m \cdot \cos \alpha - R \cdot k_h \cdot W \cdot \tan \phi_m \cdot \sin \alpha$$

※ 砂杭を含まない土層の抵抗モーメント (摩擦力)  $M_R(\phi)$ 、(粘着力)  $M_R(c)$ 、及び起動モーメント (自重)  $M_D(W)$ 、(外力)  $M_D(H)$ 、(地震力)  $M_D(k)$  は、変わりません。

[安全率法・信頼性設計法 H19年]

$$\text{安全率} \cdot \text{耐力作用比} \quad F = \frac{M_R(s) + M_R(\phi) + M_R(c)}{M_D(W) + M_D(H) + M_D(k)}$$

[信頼性設計法 H30年]

$$\text{作用耐力比} \quad m \cdot \frac{\gamma_s \{M_D(W) + M_D(H) + M_D(k)\}}{\gamma_R \{M_R(s) + M_R(\phi) + M_R(c)\}}$$

ここに、 $\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数  $\gamma_s$  : 荷重項に乗じる部分係数  $m$  : 調整係数

- $a_s$  : 砂杭の置換率
- $c_0$  :  $z=0$ における粘性土の粘着力 ( $kN/m^2$ )
- $k$  : 深さ方向への強度増加率 ( $kN/m^3$ )
- $U$  : 平均圧密度
- $z$  : 砂杭を含む層の厚さ ( $m$ )
- $\mu_s$  : 砂杭への応力集中係数  $= n / \{1 + (n-1) \cdot a_s\}$
- $\mu_c$  : 粘性土部分の応力低減係数
- $\gamma_s$  : 砂杭の単位体積重量 ( $kN/m^3$ )
- $\phi_s$  : 砂杭の内部摩擦角 ( $^\circ$ )
- $\alpha$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )
- $\Delta\sigma_z$  : 砂杭を含む層より上の層の重量  $= \gamma \cdot z$
- $\Delta c / \Delta p$  : 原地盤の強度増加率
- $\gamma_m$  : 平均単位体積重量  $= a_s \cdot \gamma_s + (1-a_s) \cdot \gamma_c$  ( $kN/m^3$ )
- $\phi_m$  : 高置換率の改良地盤を一様地盤と仮定する場合の平均内部摩擦角 ( $^\circ$ )
- $\tau$  : すべり線の位置で発揮する平均せん断強さ ( $kN/m^2$ )
- $R$  : すべり円の半径 ( $m$ )
- $c$  : 粘着力 ( $kN/m^2$ )
- $l$  : 分割片の底辺の長さ ( $m$ )
- $b$  : 分割片の幅 ( $m$ )
- $W'$  : 分割片の有効重量 (土と載荷重の和、水面下では水中重量) ( $kN/m$ )
- $W$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )
- $W_s$  : 砂杭の有効重量 ( $kN/m$ )
- $W_m$  : 砂杭を含む土層の有効重量  $= a_s \cdot W_s + (1-a_s) \cdot W'$  ( $kN/m$ )
- $k_h$  : 水平震度

※ 信頼性設計法 H19年では、 $C_d \cdot W_{sd} \cdot \tan \phi_{sd}$  は部分係数を以下のように掛けて計算します。

$$c_d = \gamma_c \cdot (c_0 + k \cdot z) \quad W_{sd} = \gamma_{W_s} \cdot W_{sk} \quad \tan \phi_{sd} = \gamma_{\tan \phi_s} \cdot \tan \phi_{sk}$$

※ 砂杭は粘性土 ( $\phi=0$ ) にのみ存在するものとします。

※ 砂杭を含む土層で過剰間隙水圧は考えません。

参考資料	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」	P. 822～
	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」	P. 733～
	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」	P. 562～
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P. 327～

### 鋼矢板を横切る円弧すべり面以下の受働土圧による抵抗を考慮する場合

[安全率法・信頼性設計法 H19年]

安全率・耐力作用比 
$$F = \frac{M_R + M_{RT}}{M_D}$$

[信頼性設計法 H30年]

作用耐力比 
$$m \cdot \frac{\gamma_S \cdot M_D}{\gamma_R (M_R + M_{RT})}$$

ここに、 $\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数  $\gamma_S$  : 荷重項に乗じる部分係数  $m$  : 調整係数

$M_D$  : 起動モーメント ( $kN \cdot m/m$ )

$M_R$  : 抵抗モーメント ( $kN \cdot m/m$ )

$M_{RT}$  : 鋼矢板を横切る最小(大)安全率の円弧すべり面より下の受働土圧の円弧の中心O点に関するモーメント ( $kN \cdot m/m$ )

※ 受働土圧の作用区間は、円弧すべり面から下方に  $l_{m1}/3 = \pi/(3\beta)$  区間とする。

$$\text{土圧モーメント } M_{RT} = (R \cdot \cos \theta + x) \cdot S$$

$S$  : 受働土圧の合力 ( $kN/m$ )

$x$  : 円弧すべり面から合力  $S$  の作用点までの距離 ( $m$ )

$R$  : 鋼矢板を横切る最小(大)安全率の円弧すべり面の半径 ( $m$ )

$\theta$  : 円弧が矢板を横切る点と円の中心とを結ぶ直線が鉛直となす角 ( $^\circ$ )

参考資料	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P. 296～
------	--------------------------	---------

## 鋼矢板のせん断耐力を考慮する場合

[安全率法・信頼性設計法 H19年]

安全率・耐力作用比 
$$F = \frac{M_R + Q' \cdot R}{M_D}$$

[信頼性設計法 H30年]

作用耐力比 
$$m \cdot \frac{\gamma_S \cdot M_D}{\gamma_R (M_R + Q' \cdot R)}$$

ここに、 $\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数  $\gamma_S$  : 荷重項に乗じる部分係数  $m$  : 調整係数

- $M_D$  : 起動モーメント ( $kN \cdot m/m$ )  
 $M_R$  : 抵抗モーメント ( $kN \cdot m/m$ )  
 $Q' \cdot R$  : 鋼矢板のせん断耐力の円弧の中心 O 点に関するモーメント ( $kN \cdot m/m$ )

$$Q' = Q / \cos \theta \quad \text{ここに} \quad Q = \tau_a \cdot A$$

- $Q$  : 鋼矢板のせん断耐力 ( $kN/m$ )  
 $R$  : 鋼矢板を横切る最小(大)安全率の円弧すべり面の半径 ( $m$ )  
 $\theta$  : 円弧が矢板を横切る点と円の中心とを結ぶ直線が鉛直となす角 ( $^\circ$ )  
 $\tau_a$  : 鋼矢板の許容せん断応力度 ( $kN/m^2$ )  
 $A$  : 鋼矢板の断面積 ( $m^2/m$ )

参考資料 「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」

P. 297～

### 3-3. 円弧すべり-簡易ビショッフ法

ビショッフ法は、安全率が収束するまで反復計算を行います。安全率が収束せず、計算結果が出ない格子が存在する場合があります。

水平に近い砂質土地盤で起こる場合が多いので、ビショッフ法( $\beta=1/3.5$ 式)も試してみてください。ビショッフ法( $\beta=1/3.5$ 式)のほうが、収束しやすく、安全率が小さく(H30年港湾基準では大きく)なる傾向があります。

#### 安全率法の場合

抵抗モーメント	$M_R = R \cdot \sum \frac{Z_u}{Z_l}$	
ただし	$Z_u = \{c \cdot b + (W' + q) \cdot \tan \phi\} \cdot \sec \alpha$	
	$Z_l = 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F}$	
起動モーメント (自重)	$M_D(W) = R \cdot \sum \{(W + q) \cdot \sin \alpha\}$	
起動モーメント (外力)	$M_D(H) = \sum (H \cdot a)$	
安全率	$F = \frac{M_R}{M_D(W) + M_D(H)}$	となるFを求める
判定	$F \geq \text{許容安全率}$	ならOK

- $R$  : すべり円の半径 ( $m$ )
- $W'$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )
- $W$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )
- $q$  : 分割片上部からの鉛直力 ( $kN/m$ )
- $c$  : 粘性土→非排水せん断強さ、砂質土→排水条件における見かけの粘着力 ( $kN/m^2$ )
- $\phi$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角 ( $^\circ$ )
- $b$  : 分割片の幅 ( $m$ )
- $\alpha$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )
- $H$  : すべり円内の土塊に作用する水平力 ( $kN/m$ )
- $a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

※ ビショッフ法では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」	P. 426/P. 511
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P. 252/P. 295

### 信頼性設計法H19年(一般式)の場合

$$\text{抵抗力} \quad P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$$

$$\text{ただし} \quad Z_u = \{c_d \cdot S + (W'_d + q_d) \cdot \tan \phi_d\} \cdot \sec \theta$$

$$Z_l = 1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi_d}{\gamma_F \cdot F}$$

$$\text{起動力 (自重)} \quad P_D(W) = \sum \{(W_d + q_d) \cdot \sin \theta\}$$

$$\text{起動力 (外力)} \quad P_D(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hd} \right)$$

$$\text{判定} \quad \gamma_F \cdot F = \frac{P_R}{P_D(W) + P_D(H)} \text{となる} F \text{を求め、} F \geq 1.0 \text{ならOK}$$

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$W_d$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の設計用値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 ( $kN/m^2$ )

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$P_{Hd}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$\gamma_F$  : 解析手法に関する部分係数

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ ビシヨップ法では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」

P. 669

**信頼性設計法H19年(個別式)の場合**

抵抗力  $P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$

ただし  $Z_u = \{c_d \cdot S + (W'_d + q_d) \cdot \tan \phi_d\} \cdot \sec \theta$

$$Z_l = 1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi_d}{F}$$

起動力 (自重)  $P_D(W) = \sum \{(W'_d + q_d) \cdot \sin \theta\}$

起動力 (外力)  $P_D(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hd} \right)$

判定  $F = \frac{P_R}{\gamma_a \cdot \{P_D(W) + P_D(H)\}}$  となる $F$ を求め、 $F \geq 1.0$ ならOK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 ( $kN/m^2$ )

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$P_{Hd}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$\gamma_a$  : 構造解析係数

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ ビシヨップ法では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」

P. 831/P. 963

**信頼性設計法H30年の場合**

抵抗力  $P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$

ただし  $Z_u = \{c_k \cdot S + (W'_k + q_k) \cdot \tan \phi_k\} \cdot \sec \theta$

$Z_l = 1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi_k}{(m / \gamma_R)}$  ※一般式の場合

$Z_l = 1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi_k}{F}$  ※個別式の場合

起動力（自重）  $P_S(W) = \sum \{(W_k + q_k) \cdot \sin \theta\}$  ※一般式の場合

$P_S(W) = \sum \{(W'_k + q_k) \cdot \sin \theta\}$  ※個別式の場合

起動力（外力）  $P_S(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hk} \right)$

作用耐力比  $m \cdot \frac{\gamma_S \cdot \{P_S(W) + P_S(H)\}}{\gamma_R \cdot P_R}$

判定 作用耐力比  $\leq 1.0$  ならOK

- $R$  : すべり円の半径 ( $m$ )
- $W'_k$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の特性値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )
- $W_k$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の特性値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )
- $q_k$  : 分割片上部からの鉛直力の特性値 ( $kN/m$ )
- $c_k$  : 粘性土→非排水せん断強さの特性値 ( $kN/m^2$ )  
砂質土→排水条件における見かけの粘着力の特性値 ( $kN/m^2$ )
- $\phi_k$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の特性値 ( $^\circ$ )
- $S$  : 分割片の幅 ( $m$ )
- $\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )
- $P_{Hk}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の特性値 ( $kN/m$ )
- $a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )
- $F$  : 抵抗項と作用項の比を示す補助パラメータ
- $\gamma_S$  : 作用項に乗じる部分係数
- $\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数
- $m$  : 調整係数

※ ビショップ法では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」  
一般式 P. 681/P. 752、個別式 P. 930/P. 936/P. 987/P. 1073

### 3-4. 円弧すべり-簡易ビショップ法 ( $\beta=1/3.5$ 式)

#### 安全率法の場合

抵抗モーメント

$$M_R = R \cdot \sum \frac{Z_u}{Z_l}$$

ただし

$$Z_u = \{n \cdot c \cdot b + (W' + q) \cdot \tan \phi\} \cdot \sec \alpha$$

$$Z_l = n + \frac{\{\tan \alpha - \tan(\beta \cdot \alpha)\} \cdot \tan \phi}{F}$$

$$n = 1 + \tan \alpha \cdot \tan(\beta \cdot \alpha)$$

起動モーメント (自重)  $M_D(W) = R \cdot \sum \{(W + q) \cdot \sin \alpha\}$

起動モーメント (外力)  $M_D(H) = \sum (H \cdot a)$

安全率  $F = \frac{M_R}{M_D(W) + M_D(H)}$  となるFを求める

判定  $F \geq$  許容安全率 ならOK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$W$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )

$q$  : 分割片上部からの鉛直力 ( $kN/m$ )

$c$  : 粘性土→非排水せん断強さ、砂質土→排水条件における見かけの粘着力 ( $kN/m^2$ )

$\phi$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角 ( $^\circ$ )

$b$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\alpha$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$H$  : すべり円内の土塊に作用する水平力 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$\beta$  : 分割片側面に働く鉛直力と水平力の比を規定するパラメータ  $\beta = 1/3.5$

※ ビショップ法 ( $\beta=1/3.5$ 式) では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」

P.511

## 信頼性設計法H19年(一般式)の場合

抵抗力 
$$P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$$

ただし 
$$Z_u = \{n \cdot c_d \cdot S + (W'_d + q_d) \cdot \tan \phi_d\} \cdot \sec \theta$$

$$Z_l = n + \frac{\{\tan \theta - \tan(\beta \cdot \theta)\} \cdot \tan \phi_d}{\gamma_F \cdot F}$$

$$n = 1 + \tan \theta \cdot \tan(\beta \cdot \theta)$$

起動力(自重) 
$$P_D(W) = \sum \{(W_d + q_d) \cdot \sin \theta\}$$

起動力(外力) 
$$P_D(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hd} \right)$$

判定 
$$\gamma_F \cdot F = \frac{P_R}{P_D(W) + P_D(H)}$$
 となる  $F$  を求め、 $F \geq 1.0$  なら OK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$W_d$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の設計用値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 ( $kN/m^2$ )

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$P_{Hd}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$\gamma_F$  : 解析手法に関する部分係数

$\beta$  : 分割片側面に働く鉛直力と水平力の比を規定するパラメータ  $\beta = 1/3.5$

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ ビシヨップ法( $\beta=1/3.5$ 式)では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」

P. 670

## 信頼性設計法H19年(個別式)の場合

抵抗力  $P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$

ただし  $Z_u = \{n \cdot c_d \cdot S + (W'_d + q_d) \cdot \tan \phi_d\} \cdot \sec \theta$

$$Z_l = n + \frac{\{\tan \theta - \tan(\beta \cdot \theta)\} \cdot \tan \phi_d}{F}$$

$$n = 1 + \tan \theta \cdot \tan(\beta \cdot \theta)$$

起動力(自重)  $P_D(W) = \sum \{(W'_d + q_d) \cdot \sin \theta\}$

起動力(外力)  $P_D(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hd} \right)$

判定  $F = \frac{P_R}{\gamma_a \cdot \{P_D(W) + P_D(H)\}}$  となる $F$ を求め、 $F \geq 1.0$ ならOK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 ( $kN/m^2$ )  
砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$P_{Hd}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$\gamma_a$  : 構造解析係数

$\beta$  : 分割片側面に働く鉛直力と水平力の比を規定するパラメータ  $\beta = 1/3.5$

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ ビショップ法( $\beta = 1/3.5$ 式)では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」  
を参考に作成

P. 670

## 信頼性設計法H30年の場合

抵抗力  $P_R = \sum \frac{Z_u}{Z_l}$

ただし  $Z_u = \{n \cdot c_k \cdot S + (W'_k + q_k) \cdot \tan \phi_k\} \cdot \sec \theta$

$$Z_l = n + \frac{\{\tan \theta - \tan(\beta \cdot \theta)\} \cdot \tan \phi_k}{(m / \gamma_R)} \quad \text{※一般式の場合}$$

$$Z_l = n + \frac{\{\tan \theta - \tan(\beta \cdot \theta)\} \cdot \tan \phi_k}{F} \quad \text{※個別式の場合}$$

$$n = 1 + \tan \theta \cdot \tan(\beta \cdot \theta)$$

起動力（自重）  $P_S(W) = \sum \{(W_k + q_k) \cdot \sin \theta\}$  ※一般式の場合

$$P_S(W) = \sum \{(W'_k + q_k) \cdot \sin \theta\} \quad \text{※個別式の場合}$$

起動力（外力）  $P_S(H) = \sum \left( \frac{1}{R} \cdot a \cdot P_{Hk} \right)$

作用耐力比  $m \cdot \frac{\gamma_S \cdot \{P_S(W) + P_S(H)\}}{\gamma_R \cdot P_R}$

判定 作用耐力比  $\leq 1.0$  ならOK

$R$  : すべり円の半径 ( $m$ )

$W'_k$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の特性値  
(=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )

$W_k$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の特性値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )

$q_k$  : 分割片上部からの鉛直力の特性値 ( $kN/m$ )

$c_k$  : 粘性土→非排水せん断強さの特性値 ( $kN/m^2$ )

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の特性値 ( $kN/m^2$ )

$\phi_k$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の特性値 ( $^\circ$ )

$S$  : 分割片の幅 ( $m$ )

$\theta$  : 分割片底面が水平面となす角 ( $^\circ$ )

$P_{Hk}$  : すべり円内の土塊分割片への単位長さ当たりの水平作用の特性値 ( $kN/m$ )

$a$  : 水平力の作用位置のすべり円中心からの腕の長さ ( $m$ )

$F$  : 抵抗項と作用項の比を示す補助パラメータ

$\gamma_S$  : 作用項に乗じる部分係数

$\gamma_R$  : 抵抗項に乗じる部分係数

$m$  : 調整係数

$\beta$  : 分割片側面に働く鉛直力と水平力の比を規定するパラメータ  $\beta = 1/3.5$

※ ビショップ法 ( $\beta = 1/3.5$ 式) では、水平震度・砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」  
一般式 P. 753、個別式 P. 753を参考に作成

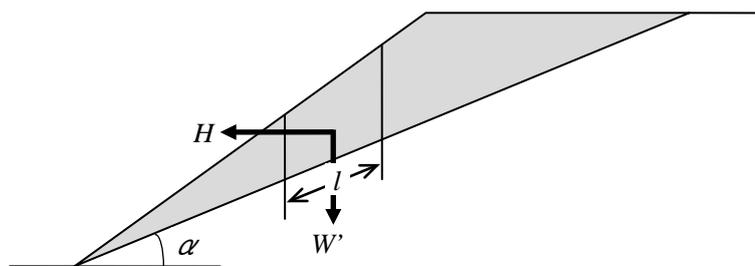
### 3-5. 直線すべり法

#### 安全率法の場合

摩擦力抵抗力	$P_R(\phi) = \sum \{(W' + q) \cdot \cos \alpha\} \cdot \tan \phi$ $- \sum (k \cdot W \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi$ $- \sum (H \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi$	
粘着力抵抗力	$P_R(c) = \sum (c \cdot l)$	
起動力(自重)	$P_D(W) = \sin \alpha \cdot \sum (W' + q)$	
起動力(外力)	$P_D(H) = \cos \alpha \cdot \sum (H)$	
起動力(地震力)	$P_D(k) = \cos \alpha \cdot k \cdot \sum (W)$	
安全率	$F = \frac{P_R(\phi) + P_R(c)}{P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)}$	となるFを求める
判定	$F \geq \text{許容安全率}$	ならOK

- $W'$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )  
 $W$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )  
 $q$  : 分割片上部からの鉛直力 ( $kN/m$ )  
 $c$  : 粘性土→非排水せん断強さ、砂質土→排水条件における見かけの粘着力 ( $kN/m^2$ )  
 $\phi$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角 ( $^\circ$ )  
 $l$  : 分割片の底辺長 ( $m$ )  
 $\alpha$  : 分割片底辺の傾度 ( $^\circ$ )  
 $H$  : すべり線内の土塊に作用する水平力 ( $kN/m$ )  
 $k$  : 水平震度

※ 直線すべり法では、砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。



参考資料	「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」	P.512
	「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」	P.299

**信頼性設計法H19年(一般式)の場合**

$$\begin{aligned}
 \text{摩擦力抵抗力} \quad P_R(\phi) &= \sum \{(W'_d + q_d) \cdot \cos \theta\} \cdot \tan \phi_d \\
 &\quad - \sum (k \cdot W_d \cdot \sin \theta) \cdot \tan \phi_d \\
 &\quad - \sum (P_{Hd} \cdot \sin \theta) \cdot \tan \phi_d
 \end{aligned}$$

$$\text{粘着力抵抗力} \quad P_R(c) = \sum (c_d \cdot l)$$

$$\text{起動力(自重)} \quad P_D(W) = \sin \theta \cdot \sum (W_d + q_d)$$

$$\text{起動力(外力)} \quad P_D(H) = \cos \theta \cdot \sum (P_{Hd})$$

$$\text{起動力(地震力)} \quad P_D(k) = \cos \theta \cdot k \cdot \sum (W_d)$$

$$\text{耐力作用比} \quad F = \frac{P_R(\phi) + P_R(c)}{P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)}$$

$$\text{判定} \quad P_R(\phi) + P_R(c) \geq \gamma_a \cdot \{P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)\} \quad \text{ならOK}$$

- $W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
 (=土の重量。水面下では水中重量) ( $kN/m$ )  
 $W_d$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の設計用値 (=土と水の重量) ( $kN/m$ )  
 $q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 ( $kN/m$ )  
 $c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 ( $kN/m^2$ )  
 砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 ( $kN/m^2$ )  
 $\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 ( $^\circ$ )  
 $l$  : 分割片の底辺長 ( $m$ )  
 $\theta$  : 分割片底辺の傾度 ( $^\circ$ )  
 $P_{Hd}$  : 斜面の分割片に加わる単位長さ当たりの水平作用の設計用値 ( $kN/m$ )  
 $k$  : 水平震度  
 $\gamma_a$  : 解析手法に関する部分係数

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ 直線すべり法では、砂杭・矢板・過剰間隙水圧は考えません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P.671

**信頼性設計法H19年(個別式)の場合**

摩擦力抵抗力 
$$P_R(\phi) = \sum \{(W'_d + q_d) \cdot \cos \theta\} \cdot \tan \phi_d$$

$$- \sum (k \cdot W_d \cdot \sin \theta) \cdot \tan \phi_d$$

$$- \sum (P_{Hd} \cdot \sin \theta) \cdot \tan \phi_d$$

粘着力抵抗力 
$$P_R(c) = \sum (c_d \cdot l)$$

起動力(自重) 
$$P_D(W) = \sin \theta \cdot \sum (W'_d + q_d)$$

起動力(外力) 
$$P_D(H) = \cos \theta \cdot \sum (P_{Hd})$$

起動力(地震力) 
$$P_D(k) = \cos \theta \cdot k \cdot \sum (W_d)$$

耐力作用比 
$$F = \frac{P_R(\phi) + P_R(c)}{P_D(W) + P_D(H) + P_D(k)}$$

判定 
$$P_R(\phi) + P_R(c) \geq P_D(W) + P_D(H) + P_D(k) \quad \text{ならOK}$$

$W'_d$  : 単位長さ当たりの分割片の有効重量の設計用値  
(=土の重量。水面下では水中重量) (kN/m)

$W_d$  : 単位長さ当たりの分割片の全重量の設計用値 (=土と水の重量) (kN/m)

$q_d$  : 分割片上部からの鉛直力の設計用値 (kN/m)

$c_d$  : 粘性土→非排水せん断強さの設計用値 (kN/m<sup>2</sup>)

砂質土→排水条件における見かけの粘着力の設計用値 (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi_d$  : 粘性土→0、砂質土→排水条件におけるせん断抵抗角の設計用値 (°)

$l$  : 分割片の底辺長 (m)

$\theta$  : 分割片底辺の傾度 (°)

$P_{Hd}$  : 斜面の分割片に加わる単位長さ当たりの水平作用の設計用値 (kN/m)

$k$  : 水平震度

$$c_d = \gamma_c \cdot c_k \quad W'_d = \gamma_{W'} \cdot W'_k \quad q_d = \gamma_q \cdot q_k \quad \tan \phi_d = \gamma_{\tan \phi} \cdot \tan \phi_k \quad P_{Hd} = \gamma_{PH} \cdot P_{Hk}$$

※ 現在、基準には記述されていません。

参考資料 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」  
を参考に作成

P. 671



### 3-6. 主な出力項目

#### <チェックリスト>

点	XY座標値
線分	線の種類、始点No、終点No
検討条件	計算式、荷重、外力、震度など
すべり円/線の情報	すべり円/線の情報(円弧中心グリッド/半径の範囲、ピッチ)または(始点範囲+終点範囲)
ブロック情報	ブロック種別、実重量、有効重量、C、φ、砂杭諸元、外周など

#### <計算結果一覧表>

すべり円弧	中心座標、半径
モーメント/力	抵抗モーメント/力、および起動モーメント/力
安全率	安全率・耐力作用比・作用耐力比

#### <安全率一覧表>

すべり円弧	中心座標、半径
安全率	安全率・耐力作用比・作用耐力比

#### <最小(大)安全率>

すべり円弧	中心座標、半径
モーメント/力	抵抗モーメント/力、および起動モーメント/力
安全率	安全率・耐力作用比・作用耐力比
計算式	計算に使用した計算式

#### <計算対照図>

安全率・耐力作用比・作用耐力比一覧、コンター、カラーコンター  
地形線、ブロック情報、最小安全率・耐力作用比/最大作用耐力比、円弧中心、水位記号、タイトルなど

## 4. 補足資料

ここでは、お問い合わせやご質問の多い内容をまとめて解説しております。

### 4-1. 地形の構成について

本システムでは、地形は「地形ブロック」で表されます。地形ブロックは、点(座標)・線(境界線)・面(ブロック構成点)・土質条件を順番にセットすることで表現されます。

#### 点(座標)

地形に関する位置の基本データで、「マウス入力」と「キーボード入力」が可能です。一般的には、図面より座標を拾って「キーボード入力」を行います。入力する座標の順番は任意でかまいませんが、同じ座標を重複して入力しないようにしてください。座標位置のチェックなどは「マウス入力画面」で行います。

「マウス入力」は交点などを画面上で追加したい場合に使用します。

#### 線(境界線)

点と点の関係を示す基本データで「マウス入力」と「キーボード入力」が可能です。一般的には、図面を確認しながら「マウス入力」で点と点を結線します。「キーボード入力」は結線情報を確認したい場合や、チェックリストからデータを入力する場合に使用します。

結線する順番や向きは任意で構いませんが、ブロックを構成する線は境界線でなければなりません。他にも円弧制限線や不切線などの特殊な線がありますが、これらの線はブロックの境界線にはなりません。この場合は、境界線とそれ以外の線を重複して登録する必要があります。

#### 面(ブロック)

ブロックの形状を示す結線情報です。ブロックを構成する線情報はブロック内部をマウスでクリックすると自動的にその周辺の境界線から取得してきます。この方式は、以下の利点があります。

- ・ 画面上でブロック形状を確認できる。
- ・ 結線情報を修正すれば、自動的に境界情報も更新される。

## 4-2. 土質条件について

ブロックの形状とあわせて、土質条件を指定します。土質条件は以下の項目から構成されます。尚、水ブロックの場合、W以外はすべて0.0と見なされ、他の土質ブロックとは扱いが異なります。

- ブロック種別 …………… 水ブロック/土ブロック/クラックブロック/構造物ブロックの区分を指定します。H19年港湾基準の場合、土ブロック/クラックブロックでさらに海底面より上/粘性土/砂質土/マウンドを指定します。
- 単位体積重量(飽和) …… 飽和重量を指定します。
- 単位体積重量(湿潤) …… 湿潤重量を指定します。
- 単位体積重量(水中) …… 指定した飽和重量と別途計算条件で指定する水重量から自動計算します。直接入力することも可能です。
- 粘着力  $k/C_0$  …………… 粘性土地盤では非排水せん断強さを、砂質土地盤では排水条件における見かけの粘着力を指定します。 $C=C_0+k \cdot z$ で計算されません。
- 内部摩擦角  $\phi$  …………… 粘性土地盤では0を、砂質土地盤では排水条件における内部摩擦角を指定します。粘着力と内部摩擦角を同時に指定することも可能です。
- 過剰間隙水圧比  $R_u$  …… 修正フェレニウス法で、地震後の過剰間隙水圧を考慮する場合に指定します。
- 変動係数  $CV$  …………… H30年港湾基準で、修正フェレニウス法・個別式の場合に指定します。
- 砂杭 諸条件 …………… 修正フェレニウス法で、砂杭がある場合に指定します。

※重量の与え方は以下の2方法が指定可能です。ケースに応じて使い分けてください。

全重量とは水重量も含めた重量を示し、計算式ではWで示されます。有効重量とは浮力を考慮した重量で、計算式ではW'で示されます。

各ブロック内の残留水位線によって、重量は自動的に選択されます。残留水位線より上(空中)の部分は抵抗力・起動力の計算にどちらも湿潤重量( $W=W'$ )を使用します。残留水位線より下(水中)の部分は抵抗力の計算には水中重量( $W'$ )を、起動力の計算には設定により飽和重量( $W$ )または水中重量( $W'$ )を使用します。

また、残留水位線が入力されていない場合は残留水位=前面水位(水ブロックの上端高さ)と見なします。前面水位(水ブロック)及び残留水位がない場合、全ブロックが水中にあると見なします。水上にブロックが存在する場合、残留水位線は省略できません。

起動力を有効重量( $W'$ )で計算する場合、水ブロックの水中重量( $W'$ )は0のため、水ブロックの入力を省略できます。但し、重力式係船岸などで施設背面の残留水位が施設前面の潮位よりも高い場合、起動力に水位差分の重量が加わります。前面水位は水ブロックの高さを使用しますので、水ブロックを必ず登録してください。

修正フェレニウス法では本来は起動力を全重量( $W$ )で計算します。安全率法・信頼性設計法(一般式)ではそのようになっています。しかし、信頼性設計法(個別式)では有効重量( $W'$ )で計算することになっています。水ブロックも含めてきちんとデータを作成すれば計算結果は同じになりますので、どちらで計算するかは個別に判断してください。

簡易ビショップ法・簡易ビショップ法- $\beta=1/3.5$ 式では通常は全て水中にあるものとして計算します。この場合、水ブロックを省略して起動力を有効重量( $W'$ )で計算する場合があります。起動力を全重量( $W$ )で計算する場合、水ブロックは省略できません。

直線すべりで検討する場合、起動力は常に有効重量( $W'$ )で計算します。この場合、飽和重量( $W$ )は地震力による水平力の計算にのみ使用されます。

#### 4-3. 信頼性設計法H19年での単位体積重量の計算について

参考資料1では、単位体積重量の設計用値の計算について、 $W'_d = \gamma_{w'} \cdot W'_k$ と記載され、 $W_d$ は $W'_d$ と水の重量の和で表されるとあります。

一方、参考資料2では、 $W'_d = \sum(\gamma_w \cdot W_k - P)$ と記載され、 $W_d = \sum(\gamma_w \cdot W_k)$ で表されています。

※P：分割細片に作用する浮力

すなわち、使用する式により部分係数が有効重量に掛かる場合と、全重量に掛かる場合があります。そのため、本システムでは単位体積重量の設計用値をどちらで計算するかを「水中重量の計算方法」で選択可能としています。(水上では $W_d = W'_d$ となるため、水中と特記しています。)

修正フェレニウス法(個別式)では、重量に係わる部分係数は $\gamma_w$ で表現されています。これはこの部分係数が全重量に掛けられることを示します。

単位体積重量の設計用値-有効重量は、 $W'_d = \sum(\gamma_w \cdot W_k - P)$

単位体積重量の設計用値-全重量は、 $W_d = \sum(\gamma_w \cdot W_k)$

※P：分割細片に作用する浮力

これに対し、一般式と簡易ビショップ法・簡易ビショップ法- $\beta=1/3.5$ 式(個別式)では、重量に係わる部分係数は $\gamma_{w'}$ で表現されています。これはこの部分係数が有効重量に掛けられることを示します。

単位体積重量の設計用値-有効重量は、 $W'_d = \gamma_{w'} \cdot W'_k$

単位体積重量の設計用値-全重量は、 $W_d = \gamma_{w'} \cdot W'_k + \text{水重量}$

このように、部分係数 $\gamma$ の添え字のWに' (ダッシュ)が付いているかいないかで掛ける対象が変わりますので注意してください。

参考資料1「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」P. 668～671/ P. 832/P. 964

参考資料2「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」P. 833/P. 965