

特集：堤体の安定計算システム Ver4.4

令和6年8月記事更新
(株)SIPシステム

堤体の前面・背面において
多段面の設定が可能！！

—はじめに—

本システムは、土地改良事業設計基準「ため池整備 (H27/5)」、「耐震設計 (H27/5)」および「耐震設計の手引き (H16/3)」に準拠した堤体の安定計算を行うシステムです。

本システムでは、ダムやため池の堤体に特化することで堤体形状寸法及び水位を入力すれば浸潤線の座標値を自動生成、迅速に検討断面の設定が可能です。解析手法は「円形すべり面スライス法」による「静水圧を無視した解析 (d手法)」で行いますが、「下流側斜面の浸潤以下のT荷重を γ_{sat} 」とする機能も備えています。また、液状化の判定による「耐震基準による Δu 法 (全重量を考慮)」による解析も可能です。

弊社「堤体の安定計算システム」の特徴はここ！！

堤体型式

堤体型式は「均一型」「傾斜遮水ゾーン型」「中心遮水ゾーン型」「表面遮水壁型」から、ドレーンは「法先ロック」「法先積ブロック」「水平(立上)ドレーン」が可能。

堤体座標

堤体形状寸法を入力すれば躯体の座標系は自動生成、基礎部および旧堤体部については座標値によるブロックの構成が可能。また、座標原点は「標高等」の入力変更も可能。

浸潤線

検討ケースは、完成直後/常時満水時/設計洪水時/水位急降下時/液状化時/サーチャージ/中間水位について可能。また、入力された水位で浸潤線を自動生成(座標値)します。

解析方法

解析は、「静水圧を無視したd法(有効重量)」で行い「下流側斜面の浸潤線以下」の層のT荷重は γ_{sat} で計算。また「液状化の場合の Δu 法(全重量)」の解析も可能。

上載荷重

上載荷重として堤体上面に集中荷重や分布荷重を任意に考慮可能。

メッシュ

円弧すべり法によるメッシュの指定は、上流側、下流側に座標設定や半径指定による指定が可能。計算結果により最小安全率及び最大抑止力を画面表示。

計算書

計算書は、プレビュー画面にて内容確認後、印刷が可能。計算書の出力は、入力データ印刷、計算書出力、分割詳細印刷、断面図の作図の印刷出力等が可能。

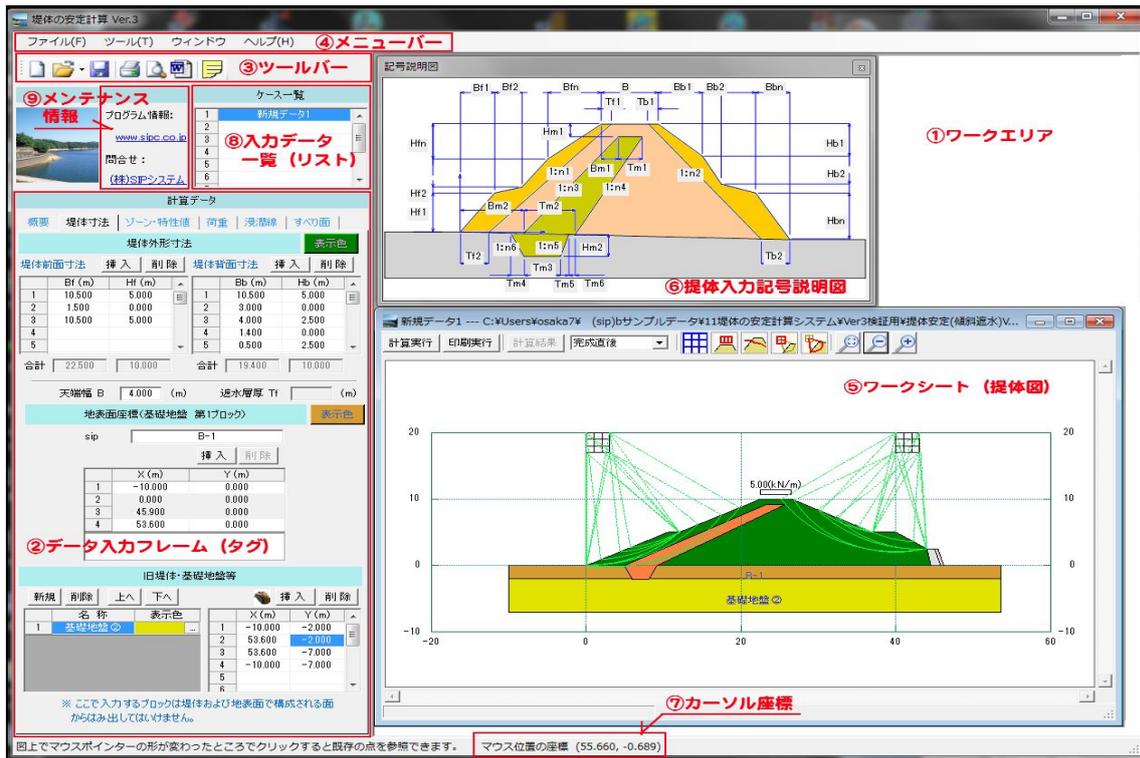
断面図

計算結果後、指定円弧に対して堤体断面図の作成が検討ケース毎に出力が可能。

堤体の安定計算システムの主な操作画面

1. 起動画面とその概要

プログラム起動後のメインメニュー画面。



① ワークエリア

入力データシートのワークシートが表示されるエリアです。複数のワークシートを表示可能です。

② データ入力フレーム (タブ)

データ入力を行うフレームです。データ入力は、入力項目 (タブ) 別に行います。

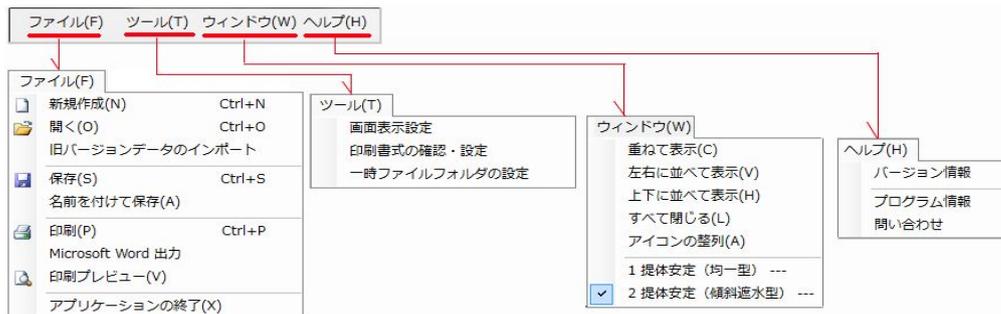
③ ツールバー

データファイルの読み込みや印刷機能など使用頻度の高い操作をアイコン化し配置しています。



④ メニューバー

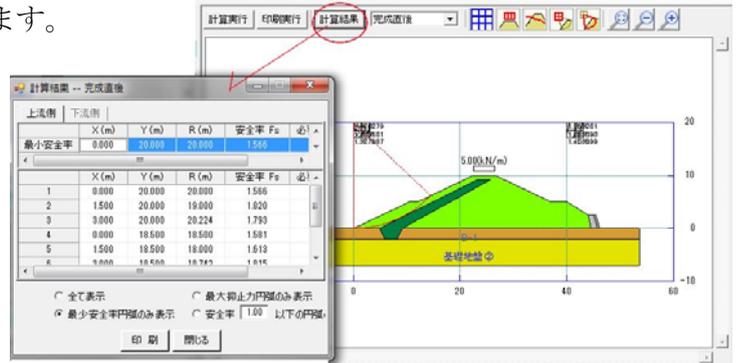
メニューバーの各項目をクリックすると、プルダウンメニューが表示され機能を選択できます。



⑤ワークシート（堤体図）

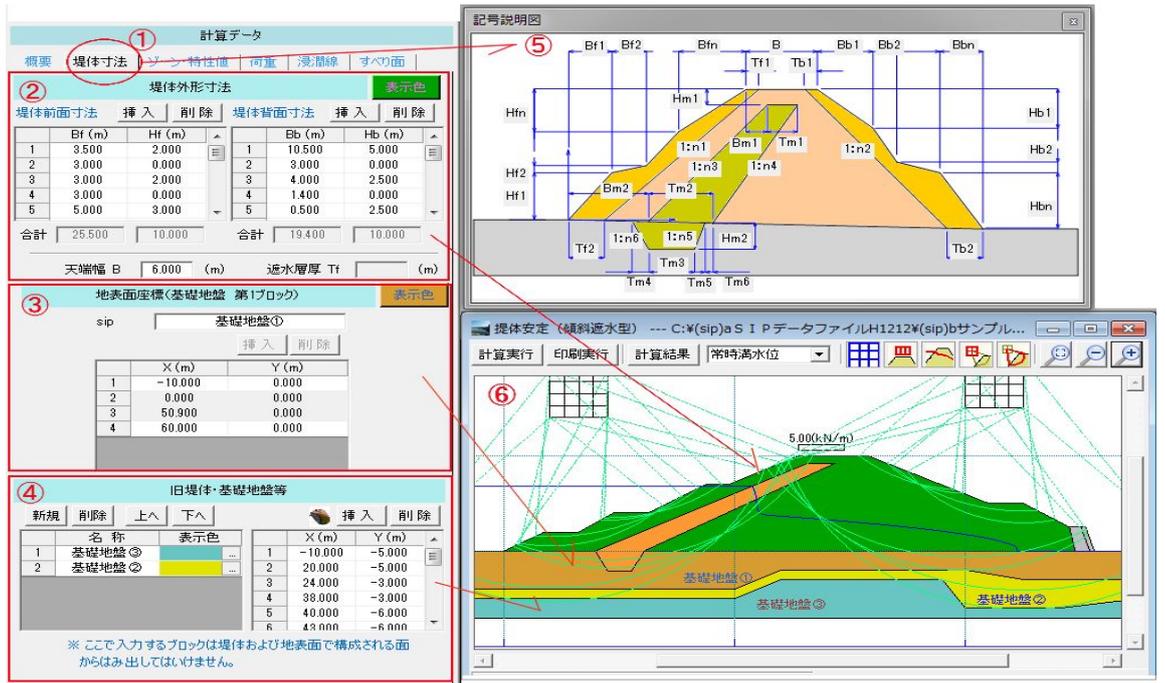
データ入力フレームにおいて、各入力項目のデータが完了した時点で本シート内に堤体形状やドレーンメッシュ等がイメージ表示されます。

また、計算実行後に検討ケース毎に最少安全率の円弧断面のイメージ表示が可能です。



2. 形状入力画面

「傾斜透水ゾーン型+法先積ブロック」を選択した場合の入力画面です。

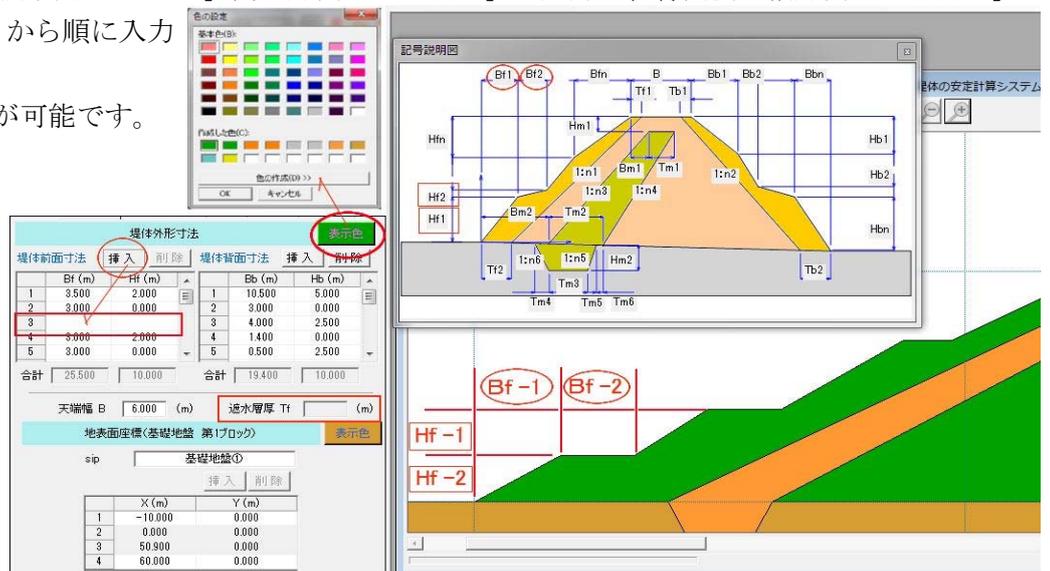


＜堤体外形寸法の入力＞

堤体の外形寸法を入力する項目です。

外形寸法は、前面の幅方向を「Bf1～」高さ方向を「Hf1～」に入力し、背面側は幅方向を「Bb1～」高さ方向を「Hb1～」から順に入力します。

最大 20 多段面の指定が可能です。



< 堤体形状の座標原点位置の変更 >

本システムでは、原点座標 (0,0) を基礎地盤線と堤体前面側勾配線の下端との交点 (右図) としています。

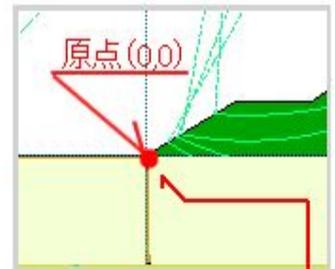
よって、この原点位置を起点としてその他の座標値 (地表面座標、旧堤体部、基礎地盤、浸潤線座標等) が表示されますが、標高等を考慮した座標値を指定したい場合「**□原点 (堤体内側下端) の座標値を変更する。**」

にチェックマークし変更したい原点座標を入力します。

原点座標は「X、Y」(m) をそれぞれ入力する事が可能です。

尚、本項目で任意の座標値を入力した場合下記項目について適用した座標値に相対変位されます。(変更される主な項目)

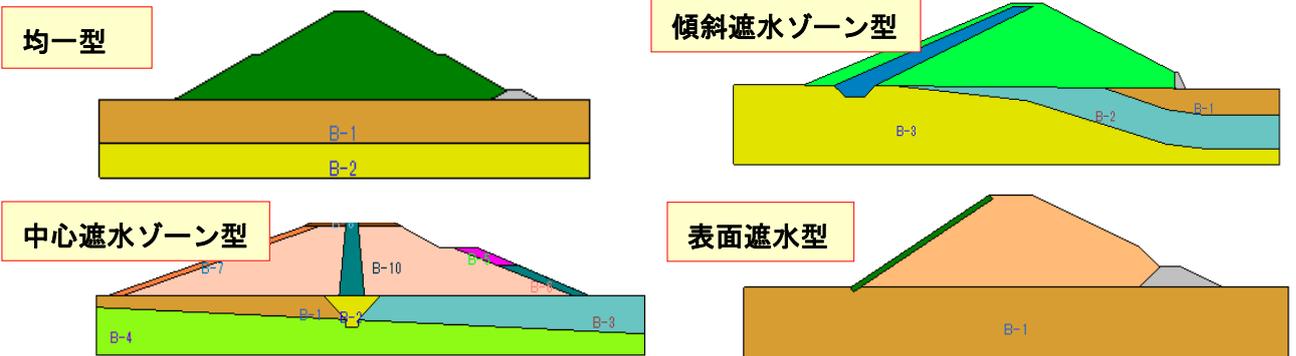
- ・堤体寸法画面で、地表面座標、旧堤体基礎地盤の座標入力部
- ・浸潤線画面での侵出面、水位、浸潤線座標
- ・すべり面画面で、中心点メッシュ、通過点(左右)、底部(左右)、接線(左右)、ネバーカットライン。
- ・コピーペーストでの座標入出力 ・計算結果表示画面 ・計算書、上記に加え、中心座標等



<input checked="" type="checkbox"/> 引張亀裂を考慮する	亀裂深さ	0.300	(m)
スライス幅の基本値		1.00	(m)
検討対象とする円弧の滑動力の最小値		0.00	(kN)
滑動力の計算		<input checked="" type="radio"/> 有効重量	<input type="radio"/> 全重量
下流斜面の静水圧		<input checked="" type="radio"/> 作用しない(推奨)	<input type="radio"/> 作用する
<input checked="" type="checkbox"/> 原点(堤体内側下端)の座標値を変更する。		原点のX座標	0.000 (m)
		原点のY座標	63.000 (m)

< 形式選択による堤体形状 >

タブ「概要」の項目で指定した「堤体工法」のイメージ図は下図の通りです。入力項目が、堤体工法により若干異なります。(入力不要項目は、グレー表示となります)



< 旧堤体・基礎地盤等 >

旧堤体部および基礎地盤 (第2ブロック以降) のブロック入力項目です。

設定方法は、「新規」で追加ブロック追加登録し、座標値を入力して構築します。

複数のブロックを登録した場合は、その表示順 (表示の優先順位) を表内で指定します。

名称	表示色	X (m)	Y (m)
1 旧堤体部 ①	[Green]	20.000	0.000
2 基礎地盤 ③	[Blue]	30.000	6.000
3 基礎地盤 ②	[Yellow]	35.000	6.000
4	[Orange]	40.000	2.000
5	[Red]	45.000	2.000
6	[Purple]	50.000	0.000

※ ここで入力するブロックは堤体および地表面で構成される面からはみ出してはいけません。

3. ゾーン・特性値

各ゾーンの寸法および特性値を入力する項目です。

「ゾーン・特性値」のタブをクリックすると、左フレーム内にゾーンの入力項目が、右側に「記号説明図」と前項目「堤体寸法」で入力された堤体形状のイメージ図が表示されます。

① 透水性ゾーン		③ 不透水性ゾーン	
表示色	表示色		
Tf1 (m)	2.000	Bm1 (m)	0.800
n1	1.700	Hm1 (m)	0.800
Tf2 (m)	7.000	Tm1 (m)	2.400
Tb1 (m)	1.000	n3	2.000
n2	1.700	n4	1.800
Tb2 (m)	3.400	Bm2 (m)	2.800
		Tm2 (m)	4.240
		Hm2 (m)	2.100
		n5	0.505
		n6	0.505
		Tm3 (m)	2.120
		Tm4 (m)	1.061
		Tm5 (m)	1.061
		Tm6 (m)	0.000

ゾーン特性値					
		堤体	透水性ゾーン	不透水性ゾーン	表土
湿潤重量	γ_t (kN/m ³)	19.00	17.00	18.30	20.4
飽和重量	γ_{sat} (kN/m ³)	19.50	18.50	19.00	21.1
粘着力 (有効応力)	c' (kN/m ²)	8.0	10.0	10.0	0.0
内部摩擦角 (有効応力)	ϕ' (度)	20.0	11.0	30.0	95
粘着力 (全応力)	c (kN/m ²)	8.0	10.0	10.0	0.0
内部摩擦角 (全応力)	ϕ (度)	20.0	11.0	30.0	95
間隙水圧の重量比	β (%)	0.0	0.0	0.0	0.0

＜ドレイン寸法の入力＞

タブ「概要」で指定したドレインタイプを選択した入力項目です。

法先ロック

法先積みブロック

水平ドレイン

立上りドレイン

4. 荷重

上載荷重および設計水平震度の入力項目です。

上載荷重を考慮したい場合本項目で入力を行います。

最大 30 個の荷重を考慮可能です。

荷重タイプ	1	2	3
基準点	①	②	③
基点 X (m)	0.000	12.000	---
載荷幅 (m)	4.000	5.000	---
q1 (kN/m ²)	5.000	5.000	---
q2 (kN/m ²)	5.000	---	---
地震荷重と同時載荷	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

設計水平震度	
強震帯	<input type="radio"/>
弱震帯	<input checked="" type="radio"/>
中震帯	<input type="radio"/>
その他	<input type="radio"/>
設計震度	0.12

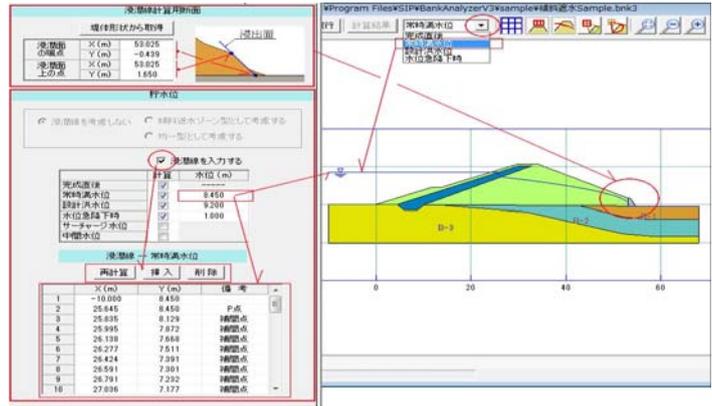
地震荷重の載荷率 (%)	
完成直後	50
高時洪水水位	100
設計洪水水位	0
水位急降下時	50
サーチャージ水位	50
中間水位	100

単位体積重量	
水の単位体積重量	9.80 (kN/m ³)

5. 浸潤線

浸潤線の計算を行う為の水位の入力項目です。

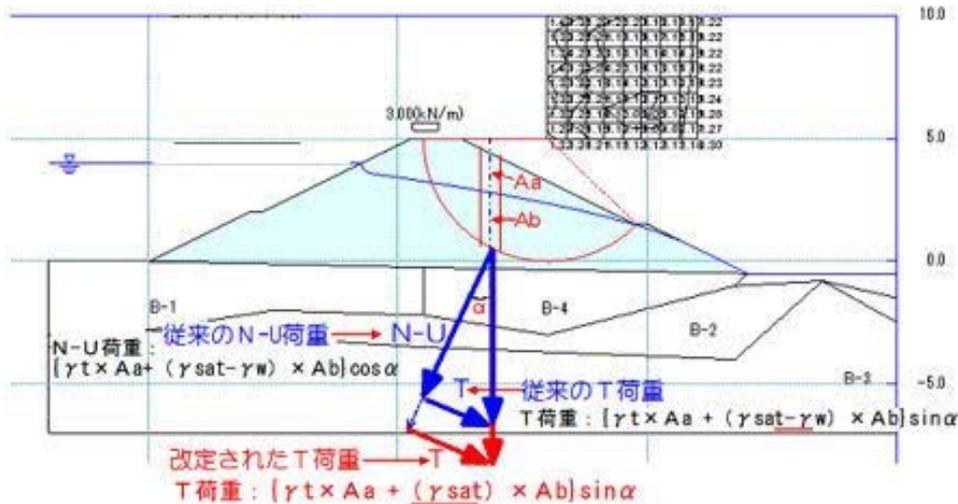
本システムでは、貯留水位を入力すると浸潤線を自動計算し堤体イメージ図上に描画します。また、生成された座標値の修正も可能です。



6. 下流側斜面の浸潤線以下のT成分荷重について

堤体の下流側斜面に円弧すべりの解析を行う場合、そのスライス円弧内に浸潤線がある場合、浸潤線以下の層については、貯水位（下流側）が無いのでT成分荷重（すべり力）については、 γw を考慮しない（ γ_{sat} となる）との考えを採用しています。（2020/2/9 通達）

但し、本システムでは従来の手法も考慮できるように「T成分荷重」について「 γw が作用する」「 γw が作用しない（推奨）」の機能を設けています。



貯水時（下流側）

経年後の貯水時で定常浸透状態の場合で浸潤面が通過している分割片（図-4参照）の自重は式(10)、(13)で求める。
滑動力は下流側法面に対し静水圧を考慮出来ないためTで求める。

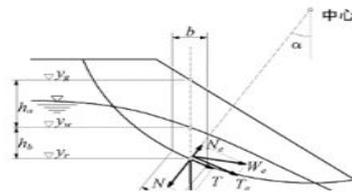


図-4 分割片に作用する力（貯水時（下流側））

$$N-U = (\gamma_t \cdot h_a + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot h_b) \cdot b \cdot \cos \alpha \quad \text{.....(10)}$$

$$T = (\gamma_t \cdot h_a + \gamma_{sat} \cdot h_b) \cdot b \cdot \sin \alpha \quad \text{.....(11)}$$

$$N_e = R \cdot a \cdot k \cdot h \cdot (\gamma_t \cdot h_a + \gamma_{sat} \cdot h_b) \cdot b \cdot \sin \alpha \quad \text{.....(12)}$$

$$T_e = R \cdot a \cdot k \cdot h \cdot (\gamma_t \cdot h_a + \gamma_{sat} \cdot h_b) \cdot b \cdot \cos \alpha \quad \text{.....(13)}$$

6 常時満水位（下流側）

中心点座標 X = 17.300 (m), Y = 7.750 (m) 円弧の半径 R = 8.600 (m)
安全率 $F_s = 0.968$

No	X (m)	円弧法面		水位 Yw (m)	分割幅 b (m)	W (kN)	Wt (kN)	Wsat0 (kN)	Wsat1 (kN)	Wd (kN)	Wd1 (kN)
		Yt (m)	Yb (m)								
		底面傾斜角 α (°)		弧面長 l (m)		U (kN/m)		ΔT			
1	10.445	3.977	4.200	3.977	0.23	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		118.137	0.486	3.600	0.60	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10.780	3.409	4.200	3.409	0.41	6.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		122.980	0.511	3.600	0.60	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	11.500	2.458	4.200	2.458	1.09	31.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		131.410	1.512	3.600	0.60	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

基準書による堤体の安定計算解析のモデル図は、上流側のみが主流（表記）となっていますが、弊社システムでは、下流側の浸潤線以下の層に於けるモデル図と計算式を表示しています。

7. すべり面

円弧滑り面のメッシュの座標位置と解析する円弧の半径、またネバーカットの指定を行う項目です。

計算データ

概要 | 堤体寸法 | ソーン特性値 | 荷重 | 浸透線 | すべり面

中心点メッシュ

	上流側	下流側
左上座標 X座標 (m)	4.000	40.000
左上座標 Y座標 (m)	19.000	20.000
右下座標 X座標 (m)	9.000	45.000
右下座標 Y座標 (m)	14.000	15.000
X方向分割数	4	4
Y方向分割数	4	4

上流側円弧半径 | 下流側円弧半径

半径	通過点	底部	接線
通過点 1 X(m)	13.000	X(m)	36.000
通過点 1 Y(m)	4.000	Y(m)	7.000
通過点 2 X(m)	19.000	X(m)	27.000
通過点 2 Y(m)	1.800	Y(m)	4.000
変化幅 (m)	1.000	変化幅 (m)	1.000

ネバーカットライン

選択した要素・ラインを横切る円弧は計算しません。

積みブロック 裏込め土 逆水ゾーン 基礎地盤面

ライン追加	ライン削除	ネバーカットの挿入	削除
ネバーカット①		X(m)	Y(m)
		1	-10.000 -6.000
		2	20.000 -6.000
		3	
		4	

8. 計算実行

計算実行および計算実行後に表示される画面です。

上流側と下流側の計算結果は、表示されている「タブ」をクリックして切り替えを行います。

ワークシート内の最少安全率等のイメージ図も切り替わります。

計算実行

計算結果 -- 常時満水位

	上流側	下流側
最小安全率	X(m) 13.000	Y(m) 19.750
最大抑止力	X(m) 13.000	Y(m) 22.250

	X(m)	Y(m)	R(m)	安全率 Fs	必要抑止力(kN)
1	4.000	26.000	28.472	1.391	-----
2	5.500	26.000	27.711	1.296	-----
3	7.000	26.000	26.000	1.163	18.42
4	8.500	26.000	26.000	1.047	92.14
5	10.000	26.000	25.819	1.012	124.88
6	11.500	26.000			
7	13.000	26.000			
8	14.500	26.000	24.615	1.030	114.57
9	16.000	26.000	24.385	1.072	86.98
10	4.000	24.750	27.417	1.411	-----
11	5.500	24.750	26.696	1.012	-----

この行にカーソルを置くと円弧を画面表示

計算ケースの選択

計算ケース	計算局面		所要安全率
	上流側	下流側	
完成直後	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20
常時満水位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20
設計洪水時	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20
水位急降下時	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20
サーチャージ水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
中間水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

9. 印刷実行

計算結果後の印刷出力の設定項目です。

「計算結果」画面を再表示

印刷実行は計算結果画面を開いたまま実行

上流側	下流側	X (m)	Y (m)	R (m)	安全率 Fs	必要抑止力(kN)
最小安全率		11.500	16.000	16.000	0.813	255.72
最大抑止力		10.000	22.250	22.343	0.833	
		X (m)	Y (m)	R (m)	安全率	
1		4.000	26.000	25.000	0.950	
2		5.500	26.000	26.000	0.958	
3		7.000	26.000	26.000	0.857	
4		8.500	26.000	26.000	0.846	
5		10.000	26.000	25.819	0.879	
6		11.500	26.000	25.336	0.937	
7		13.000	26.000	24.933	0.989	
8		14.500	26.000	24.615	1.090	
9		16.000	26.000	24.385	1.215	
10		4.000	24.750	24.000	0.981	
11		5.500	24.750	26.000	0.986	

出力選択

入力データの印刷 目次作成

計算結果の印刷

検討ケース	上流側	下流側	全ケース選択
完成直後	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
常時満水位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
設計洪水位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
水位急降下時	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
サーチャージ水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
中間水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

分割詳細印刷 中心点(11.500, 16.000) R=16.000

断面図の作図 中心点(11.500, 16.000) R=16.000

スケール 1/ 200 用紙サイズ A4 (210×297 mm)

印刷書式の確認・変更 印刷実行 キャンセル

<断面図の作図>

断面図の作図が可能です。印刷対象は、「分割詳細印刷」と同様ですが、断面図の場合は、印刷の「スケール」および「用紙サイズ」を指定します。

計算結果 -- 完成直後

① 上流側 下流側

	X (m)	Y (m)	R (m)	安全率 Fs	必要抑止力(kN)
最小安全率	16.333	18.000	18.000	2.208	-----
最大抑止力					
	X (m)	Y (m)	R (m)	安全率	
1	9.000	24.000			
2	10.833	24.000			
3	12.667	24.000			
4	14.500	24.000			
5	16.333	24.000			
6	18.167	24.000			
7	20.000	24.000			
8	9.000	22.000			
9	10.833	22.000			
10	12.667	22.000			

②

出力選択

入力データの印刷 目次作成

計算結果の印刷

検討ケース	上流側	下流側	全ケース選択
完成直後	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
常時満水位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
設計洪水位	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
水位急降下時	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
サーチャージ水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
中間水位	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

項目①+②+③が印刷対象

分割詳細印刷 中心点(16.333, 18.000) R=18.000

断面図の作図 中心点(16.333, 18.000) R=18.000

スケール 1/ 300 用紙サイズ A4 (210×297 mm)

印刷書式の確認・変更 印刷実行 キャンセル