

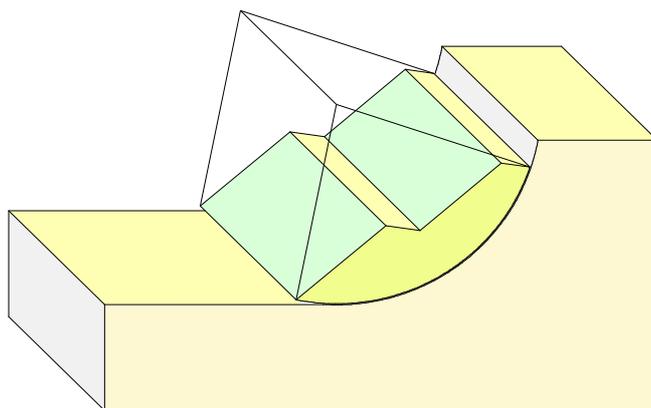
エクセルを用いた斜面安定解析システム

EXSSAS (エクサス-円弧すべり編)

EXcel(lent) Slope Stability Analysys System

MANUAL

Ver.1.1



有限会社 シビルテック

2022/01/14 版

(EXSSAS) 目次

1. ソフトの概要	1
2. 計算の手順	2
3. データ入力	3
3-1. データ入力項目	3
3-2. 基本条件の入力項目	4
3-3. 地表面・地下水面・地層の座標入力	7
3-4. 地形・地層の設定	8
3-5. 土質条件の入力	13
3-6. 上載荷重の入力	14
3-7. 解析断面図の作図・確認	15
3-8. 円弧中心・半径の設定	16
3-9. 円弧設定上の注意点	19
3-10. ネバーカットライン(不通過線)の設定	21
3-11. 内部登録値の変更	22
3-12. 入力データのファイル処理	24
4. 計算結果の表示	25
4-1. 計算結果画面(その1)	25
4-2. 計算結果画面(その2)	26
4-3. 計算結果画面(その3)	27
4-4. 計算結果画面(その4)	28
5. 安定解析式	29
6. 本ソフトのサポートについて	32
7. 本ソフト作成に当たって参考とした主な文献	32

エクセルを用いた斜面安定解析システム(EXSSAS-円弧すべり編)

1. ソフトの概要

1-1. ソフト概要

本ソフトは、“Microsoft EXCEL”を利用して、盛土のり面や切土斜面の円弧すべり安定解析を行なうものです。

エクセルが導入された環境さえあれば、インストールやライセンス確認などの作業が不要なので直ぐに利用することができます。

1-2. 動作環境

EXCEL 2007以降のバージョンで動作します。(Microsoft EXCEL 2007/2010/2013/2016/2019)

1-3. ソフトの仕様

- ・「修正フェレニウス法(道路土工採用式)」と「フェレニウス法」の解析式に対応しています。
- ・常時と地震時の安定計算を行なうことができます。
- ・最小安全率の計算、最大必要抑止力の計算およびC- ϕ 逆算を行なうことができます。
- ・有効抵抗力の計算と作図を行なうことができます。
- ・円弧すべりの中心位置や半径の設定方法を5種類の方法から選ぶことができます。
- ・粘着力の深度方向の強度増加を考慮した安定計算ができます。
- ・ネバーカットラインを設定した安定計算が可能です。
- ・地表水がある場合も安定計算が可能です。(側方静水圧に対応しています)
- ・右上がり、左上がり(時計回り、反時計回り)の両地形に対応しています。
- ・入力データの保存と読込ができます。

1-4. 制限事項について

- ・地層の最大数は20層までとします。
- ・地表面、地下水面および地層を構成する折れ点の総数は120点までとします。
- ・一つの地層を構成する折れ点の最大数は50までとします。
- ・載荷重の最大数は10までとします。
- ・格子の最大数は横方向、縦方向共に15とします。
- ・1度の計算回数(横格子数×縦格子数×半径変化数)は4,500回を上限とします。(変更可能)
- ・スライスの最大数は100までとします。
- ・同一個所に複数の荷重を載荷させることはできません。
- ・地形または地層のオーバーハングには対応していません。(地形修正・地層分割で対応可能)
- ・テンションクラックを考慮した安定計算には未対応です。

※ 演算速度について

格子の数、半径の変化数、およびスライス数が多い場合に、処理完了までに時間を要することがあります。処理時間は、ご利用のPCの性能(CPU、GPU、メモリー量等)によって異なります。

初期計算では、格子間隔数や半径ピッチ数を少なめにして計算を行い、最小安全率(または最大必要抑止力)の範囲を絞り込などの工夫をお願いします。

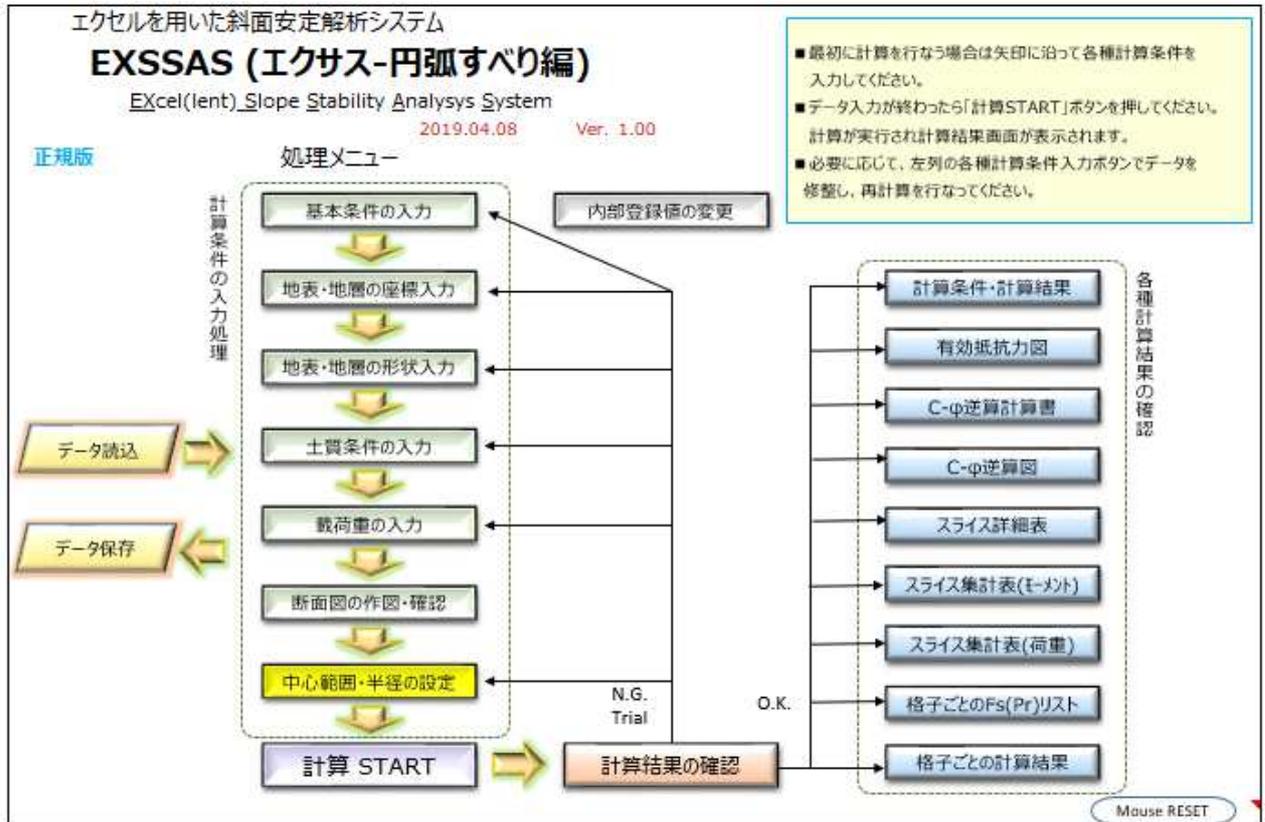
[処理時間の参考値]

弊社のPC(Excel 2013)で計算回数3000回の処理に要する時間は以下のとおりです。

- ・デスクトップPC1号機 (Windows 10、CPU: Core i7-6850K @3.6GHz RAM: 32GB) → 約10～15秒
- ・デスクトップPC2号機 (Windows 8.1、CPU: Core i7-3930K @3.2GHz RAM: 16GB) → 約12～20秒
- ・ノートPC(2015年製) (Windows 8.1、CPU: Core i7-5500U @2.4GHz RAM: 8GB) → 約60～120秒

2. 計算の手順

本ソフトのエクセルファイルを読み込むと、次の画面が表示されます。
画面に配置された各ボタンを押すことで処理を実行します。



基本的な作業の流れは以下の通りです。

- ・最初に計算を行なう場合は左列ボタンの矢印に沿って各種計算条件を入力して下さい。
- ・データ入力が終わったら「計算START」ボタンを押して下さい。計算が実行され計算結果画面が表示されます。
- ・計算条件を修正する場合は、左列のボタンを押してデータを修正後、再計算を行なって下さい。
- ・各種の計算結果は、右列のボタンを押して確認することができます。
- ・確認後は各シートのボタンから本メニューに戻って、データ修正などを行なって下さい。
- ・必要に応じて、画面左側の[データ保存]と[データ読込]ボタンから入力データの保存や読込処理を行なってください。

注) データ修正後は必ず、「計算START」ボタンを押して再計算を行なって下さい。

3. データ入力

3-1. データ入力項目

本ソフトでは、以下の8種類のデータを入力します。

(1) 基本条件データ

メニュー画面の「基本条件入力」ボタンを押して、入力シートへ移動し、計算タイトル、解析式、計算種別(常時/地震時)、計算タイプ、すべり方向、多段切り設定等の基本データを入力して下さい。

(2) 地表面、地下水面および地層の座標入力

メニュー画面の「地形・地層の座標入力」ボタンを押して、入力シートへ移動し、地表、地下水および地層を構成する変化点の座標を入力して下さい。

(3) 地表面、地下水面および地層の形状入力

メニュー画面の「地形・地層の形状入力」ボタンを押して、入力シートへ移動し、(2)で入力した座標番号を用いて、地表、地下水および地層の構成ラインを入力して下さい。

(4) 土質条件の入力

メニュー画面の「土質条件の入力」ボタンを押して、入力シートへ移動し、地層ごとの地層名や土質定数を入力して下さい。

(5) 載荷重の入力

メニュー画面の「載荷重の入力」ボタンを押して、入力シートへ移動し、載荷重の作用範囲と荷重強度を入力して下さい。

(6) 解析断面の作図と確認

地表面、地下水面および地層形状の決定と土質条件の入力が終わったら、解析断面を作図して確認することができます。

(7) 円弧中心範囲と半径の入力

メニュー画面の「中心範囲・半径の設定」ボタンを押して、入力シートへ移動し、円弧中心や半径の設定方法を入力して下さい。ネバーカットラインの設定もここで行ないます。

(8) 内部登録値の変更

一度設定すれば変更する必要がない「水の単位体積重量」、「スライス最大幅」、「すべり面の最小深度」および「計算回数の上限值」を修正する場合は「内部登録値の変更」ボタンを押して修正して下さい。

3-2. 基本条件の入力項目

(1) 計算タイトル、サブタイトル

図3-1の入力表で 計算書のタイトルとサブタイトルを入力して下さい。
計算内容が分かるコメントなどを入力して下さい。(入力任意です)
なお、タイトルやサブタイトル自体の名称も変更することができます。

■ 計算タイトル

タイトル	
サブタイトル	

図3-1 計算タイトルおよびサブタイトルの入力表

[入力例]

検討断面	〇〇道路 NO.101+20
計算ケース	地盤改良時

(2) 安定解析式の選択

図3-2の入力画面で、円弧すべりの解析式を番号で入力して下さい。
フェレニウス法を採用した場合に $N < U$ となる場合、 $N - U = 0$ とします。

■ 解析式の選択	
円弧すべりの解析式を選択して下さい。	
1 : <input checked="" type="radio"/> 修正フェレニウス法	選択番号 1
2 : <input type="radio"/> フェレニウス法	

図3-2 解析式の入力表

斜面安定解析式は多数ありますが、主に用いられるのは“フェレニウス法”と“修正フェレニウス法”の二種類です。

※「道路土工指針(盛土工指針、切土工・斜面安定工指針、軟弱地盤対策工指針)」は修正フェレニウス法を採用しています。

※NEXCOの「設計要領 第一集 土工(地すべり)」は修正フェレニウス法を採用しています。

※河川、砂防、治水分野ではフェレニウス法の採用例が多いようです。

例えば「建設省河川砂防技術基準(案)計画編」ではフェレニウス法を採用しています。
また、「地すべり防止技術指針及び同解説」ではフェレニウス法を例示しています。

※「災害手帳」や「災害復旧事業における地すべり対策の手引き」には、「解析は・・・一般にはスウェーデン分割法が用いられる」の記述があります。スウェーデン分割法=フェレニウス法なので、災害復旧事業ではフェレニウス法を用いる事が多いようです。

しかし、上記文献の文言はフェレニウス法の使用を規定したものではなく、広義的には修正フェレニウス法もスウェーデン分割法に含まれるとの考えもあることから、設計者の判断で修正フェレニウス法が採用される事例もあります。

(3) 計算種別の入力

図3-3の入力画面で、計算種別を番号で入力して下さい。
地震時計算を選択した場合は、設計水平震度を入力して下さい。

■計算種別の選択
円弧すべりの計算種別(常時/地震時)を選択して下さい。

1 : 常時の計算
2 : 地震時計算

選択番号	1
------	---

地震時計算を行なう場合の設計水平震度	kh	0.12
--------------------	----	------

図3-3 計算種別の入力表

(4) 計算タイプの入力

図3-4の入力画面で、計算種タイプを番号で入力して下さい。
最大必要抑止力計算を選択した場合は、計画安全率を入力して下さい。
C-φ逆算を選択した場合は、逆算時の安全率と逆算を行なう地層番号を入力して下さい。

■計算タイプの選択
円弧すべりの計算タイプ(計算目的)を選択して下さい。

1 : 最小安全率計算
2 : 最大必要抑止力計算
3 : C-φ逆算

選択番号	1
------	---

■最大必要抑止力計算を行なう場合の条件

最大必要抑止力計算を行なう場合の 計画安全率	常時	Fsp	1.20
	地震時	Fspe	1.10

■C-φ逆算を行なう場合の条件

C-φ逆算を行なう場合の(現況)安全率	安全率	Fs	1.05
C-φ逆算を行なう地層番号	層番号	Nback	3

図3-4 計算タイプの入力表

(5) 円弧すべりの回転方向の入力

図3-5の入力画面で、円弧すべりの方向を番号で入力して下さい。

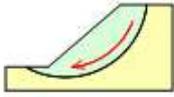
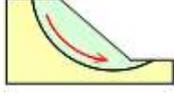
■ 円弧すべり回転方向の選択 円弧すべりの回転方向を選択して下さい。				
1 :		<input type="radio"/> 時計回り <input checked="" type="radio"/> 反時計回り		
2 :				
		<table border="1"><tr><td>選択番号</td></tr><tr><td>2</td></tr></table>	選択番号	2
選択番号				
2				

図3-5 円弧すべりの回転方向の入力表

(6) 多段切りの場合の円弧選択

図3-6に示すように円弧が地盤と多段切りする場合、計算する円弧の選択法を番号で入力して下さい。

なお、最も左側や最も右側を選んだ場合、図3-7に示すように不適切な円弧が採用される場合が生じます。

このような場合は、円弧中心範囲と半径の見直しやネバーカットラインの設定、不通過層の設定等に対応して下さい。

■ 多段切りの場合の円弧選択 円弧と地表面が二度切り(以上)の場合の円弧選択				
1 :	<input type="radio"/> 最も左側の円弧を採用	<table border="1"><tr><td>選択番号</td></tr><tr><td>2</td></tr></table>	選択番号	2
選択番号				
2				
2 :	<input checked="" type="radio"/> 最も右側の円弧を採用			
3 :	<input type="radio"/> 自動(最大円弧幅を採用)			

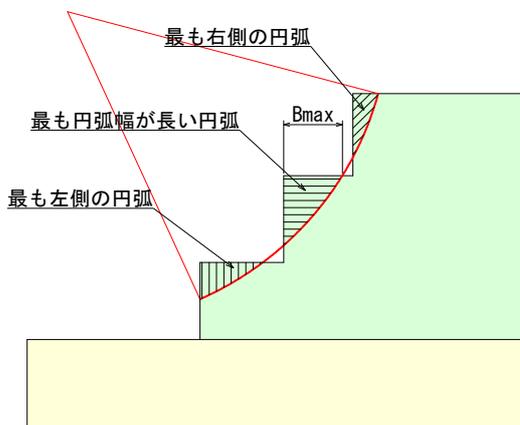


図3-6 多段切り円弧参考図(1)

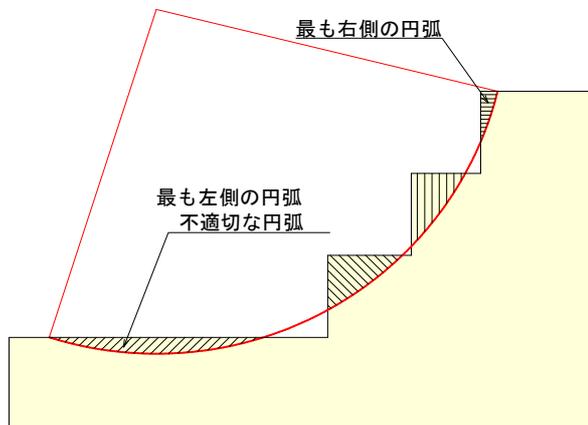


図3-7 多段切り円弧参考図(2)

3-3 地表面、地下水面および地層の座標入力

図3-6の入力表で、地表面、地下水面及び地層を構成する節点の座標を全て入力して下さい。入力と同時に、図4-2の座標プロット図に入力点が表示されます。なお、入力できる節点の最大数は120点までとします。

節点の最大数 =120

※ 節点番号は連番で入力する必要はありません。例えば地表は1～、第1層は20～第2層は50～・・・のように、分かりやすい番号を付すことも可能です。

地表・地層を構成する節点の座標入力表			
地表、地層を構成する節点の数 N =			16
節点番号	X座標	Y座標	備考
1	0.000	0.000	
2	0.000	14.000	
3	0.000	25.000	
4	10.000	25.000	
5	20.000	25.000	
6	27.500	20.000	
7	29.000	20.000	
8	33.500	17.000	
9	37.000	16.000	
10	38.500	13.000	
11	60.000	12.000	
12	60.000	0.000	
13	15.000	14.000	
14	23.000	17.500	
15	34.000	10.000	
16	34.000	0.000	

図3-6 地形・地層の座標入力表

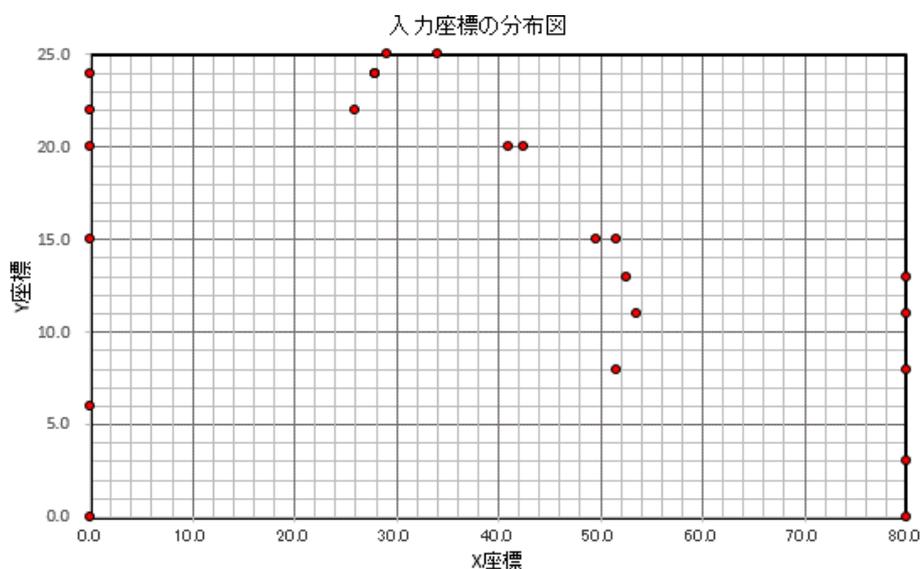


図3-7 地形・地層の座標プロット図

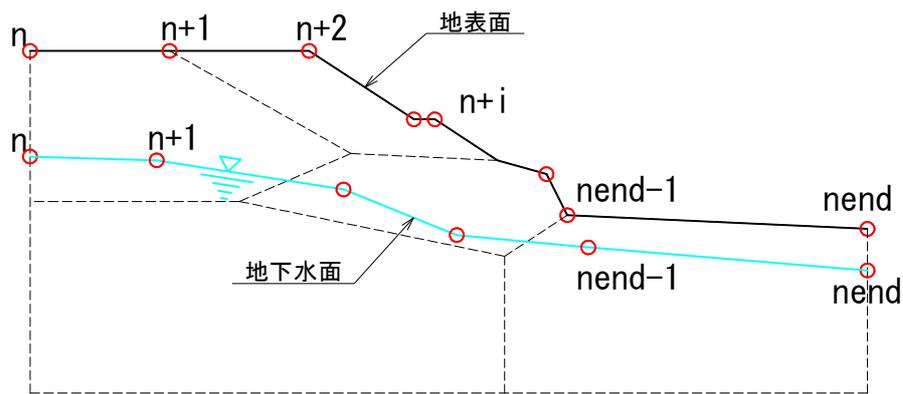
[地表面、地下水面および地層形状の入力に当たっての注意点]

- 座標入力表で入力した節点番号をスペース、ハイフン(-)またはカンマ(,)のどれかで区切って入力してください。
- なお、区切り文字はどれか一つに統一してください。
- ※注意：区切り文字にスペースを採用した場合に、スペースを2個(以上)挿入すると不具合が発生します。
- (数名のユーザー様からの不具合報告の原因がコレでした。
- スペースは見えないので気づきにくいので、ハイフンまたはカンマを使用することをお奨めします。

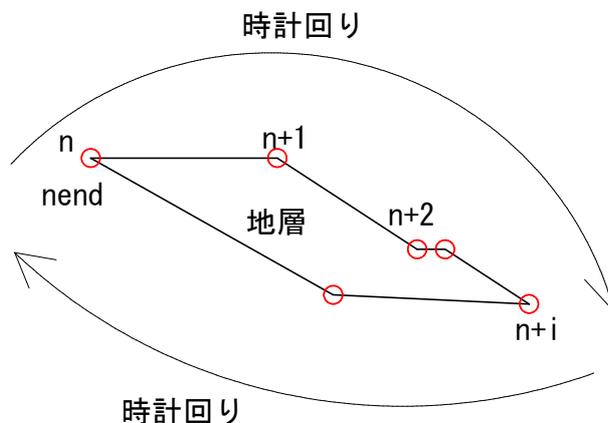
[入力例] ・スペースで区切った場合 → 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1
 ・カンマで区切った場合 → 1,2,3,4,5,6,7,8,9,1
 ・ハイフンで区切った場合 → 1-2-3-4-5-6-7-8-9-1

- X座標が最小の点(左側)を 起点として下さい。

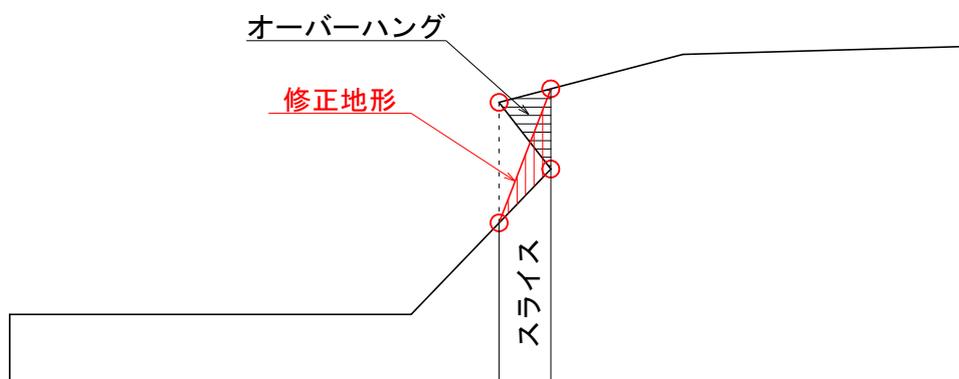
- 地表面と地下水面は左端から右端まで連続した1本の折れ線として下さい。
- すべり円が地表内に 収まるように両端位置には余裕を確保して下さい。



- 地層は、時計回りで閉じた多角形で入力して下さい。(起点と終点を同じ番号とする $n = nend$)

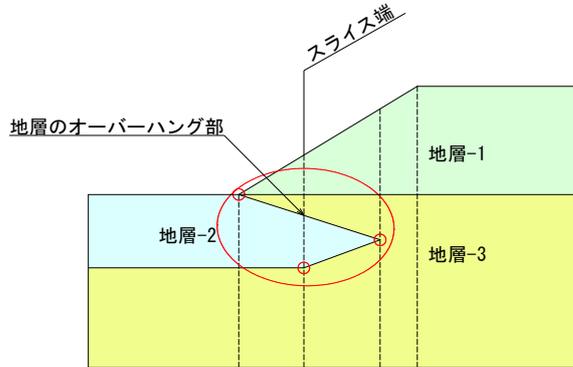


- オーバーハング地形は計算できません。
オーバーハング部と面積や重心ができるだけ同じとなるように地形を修正して対応ください。
下図に修正例を示します。

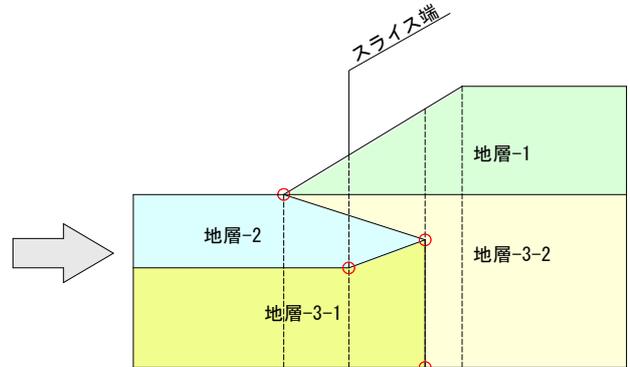


■地層部がオーバーハングしている場合は計算できません。

下図①の場合、地層-3が地層-2のもぐり込みにより、オーバーハングしています。
 (地層-3が同一のX軸と2回交差する)
 このような場合は、図②のように、地層-3を2つに分割して対応下さい。
 (図の分割法は1例です。他にも分割法はあります。)

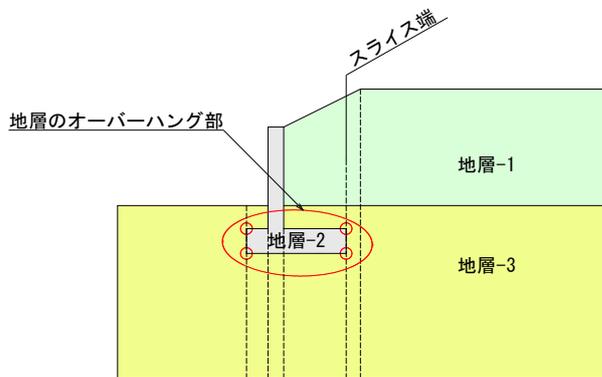


図① 地層-2がオーバーハング

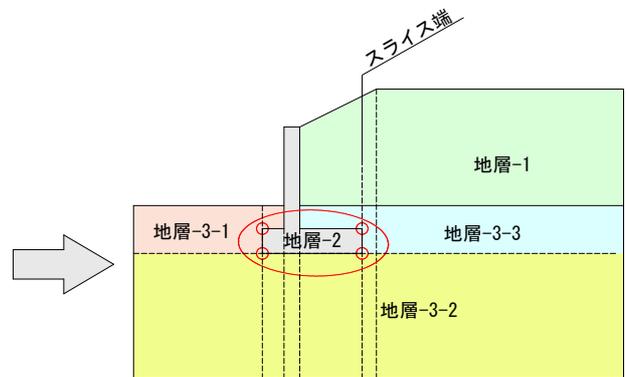


図② 地層-3を分割してオーバーハングを無くす

下図③の場合、地層-3が地層-2(擁壁)のもぐり込みにより、オーバーハングしています。
 (地層-3が同一のX軸と2回交差する)
 このような場合は、図④のように、地層-3を3つに分割して対応下さい。
 (図の分割法は1例です。他にも分割法はあります。)



図③ 地層-2がオーバーハング



図④ 地層-3を分割してオーバーハングを無くす

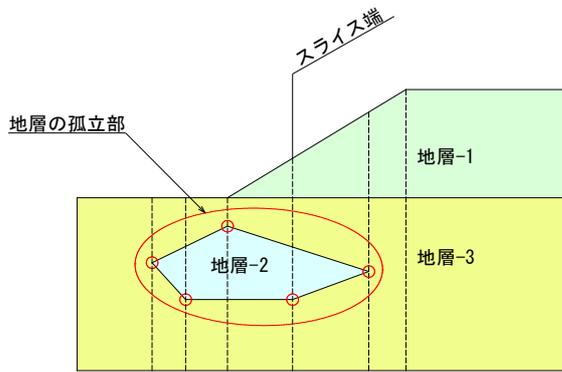
■地層部が孤立している場合は計算できません。

下図⑤の場合、地層-2が地層-3の内部に孤立して存在します。

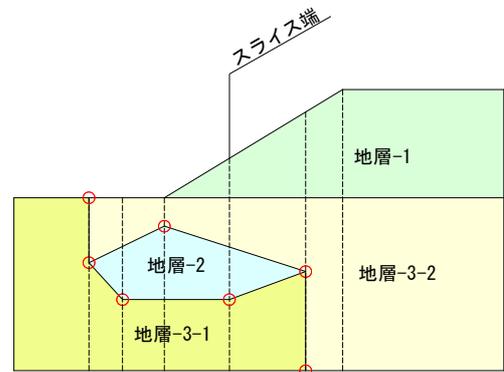
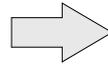
(地層-3が同一のX軸と2回交差する)

このような場合は、図⑥のように、地層-3を2つに分割して対応下さい。

(図の分割法は1例です。他にも分割法はあります。)



図⑤ 地層-2が孤立



図⑥ 地層-3を分割して孤立地層を無くす

3-5. 土質条件の入力

図3-9の入力表で、土質条件を入力して下さい。
地層の最大数は20層までとします。

地層の最大数 = 20

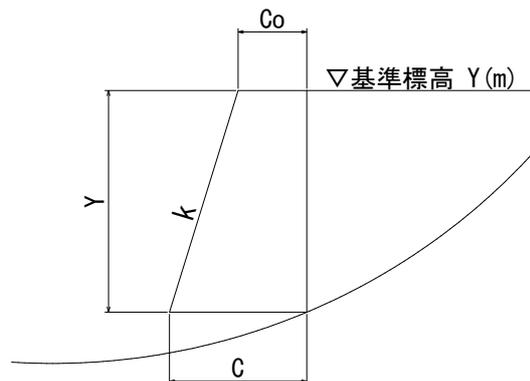
土質条件入力表										地層数 N =	4
地層 NO	地層名	記号	湿潤重量 yt (kN/m ³)	飽和重量 ysat (kN/m ³)	内部摩擦角 φ (度)	粘着力 C (Co) (kN/m ²)	粘着力の 増加係数 k	Cの増加 基準標高 Y (m)	不通過層 採否	地層の色	
層-1	粘性土	Bc	18.00	19.00	15.000	15.000			通過層		
層-2	砂質土	S	19.00	20.00	28.000	5.000			通過層		
層-3	粘性土	Ac	18.00	19.00	10.000	20.000			通過層		
層-4	砂礫	Dg	19.00	20.00	30.000	0.000			通過層		
層-5											
層-6											
層-7											
層-8											
層-9											
層-10											
層-11											
層-12											

図3-9 地層の土質条件の入力表

- 粘性土で深度方向の強度増加を考慮する場合は、粘着力の基準値(Co)、増加係数(k)および基準標高(Y)を入力してください。以下の式ですべり面の粘着力を計算します。

$$C = C_o + k \cdot Z$$

ここに、Co : 強度増加を考慮する場合の基準粘着力
Z : Z : 基準標高Y(C=Co)からすべり面までの深度(m)
k : 粘着力の強度増加係数



- 円弧すべりが通過しない層は、「不通過層の採否」欄でセルをクリックして、リストから「不通過層」を選択してください。
- 「地層の色」欄で指定したセル色で、円弧すべり結果断面図の地層を塗りつぶします。

3-6. 上載荷重の入力

図3-10の入力表で、上載荷重の範囲、荷重強度及び荷重の扱い(常時/地震時)を入力して下さい。

載荷重の最大数は10までとします。

なお、複数の上載荷重を同一個所に載荷させることはできません。

重複する場合は荷重強度を加算して入力下さい。

載荷重の最大数 = 10

上載荷重の入力表			(注) 同一区間に荷重の重複はできません		
NO	上載荷重の数 N =				1
	始点X座標	終点Y座標	荷重(kN/m ²)	荷重の扱い	備考
1	11.000	18.000	10.000	1	
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
			荷重の扱い	1 : 常時のみ考慮	
				2 : 地震時のみ考慮	
				3 : 常時と地震時に考慮	
				4 : 考慮しない	

図3-10 上載荷重の入力表

3-7. 解析断面図の作図

地表面、地下水面、地層構成点および載荷重の入力が終わったら、解析断面を作図して確認することができます。

- ・シート上には旧計算結果の断面図が残っていますので右上の断面作図ボタンを押して描き換えて下さい。
- ・最初に作図する場合は縮尺が不明なので「オートスケールで断面作図」ボタンを押して下さい。
- ・任意の縮尺で作図したい場合は、縮尺を入力後、「下の縮尺で断面作図」ボタンを押して下さい。
なお、作図はメタファイルなので マウスで選択後、ドラッグ操作あるいはマウス右クリックから任意の大きさに調整可能です。

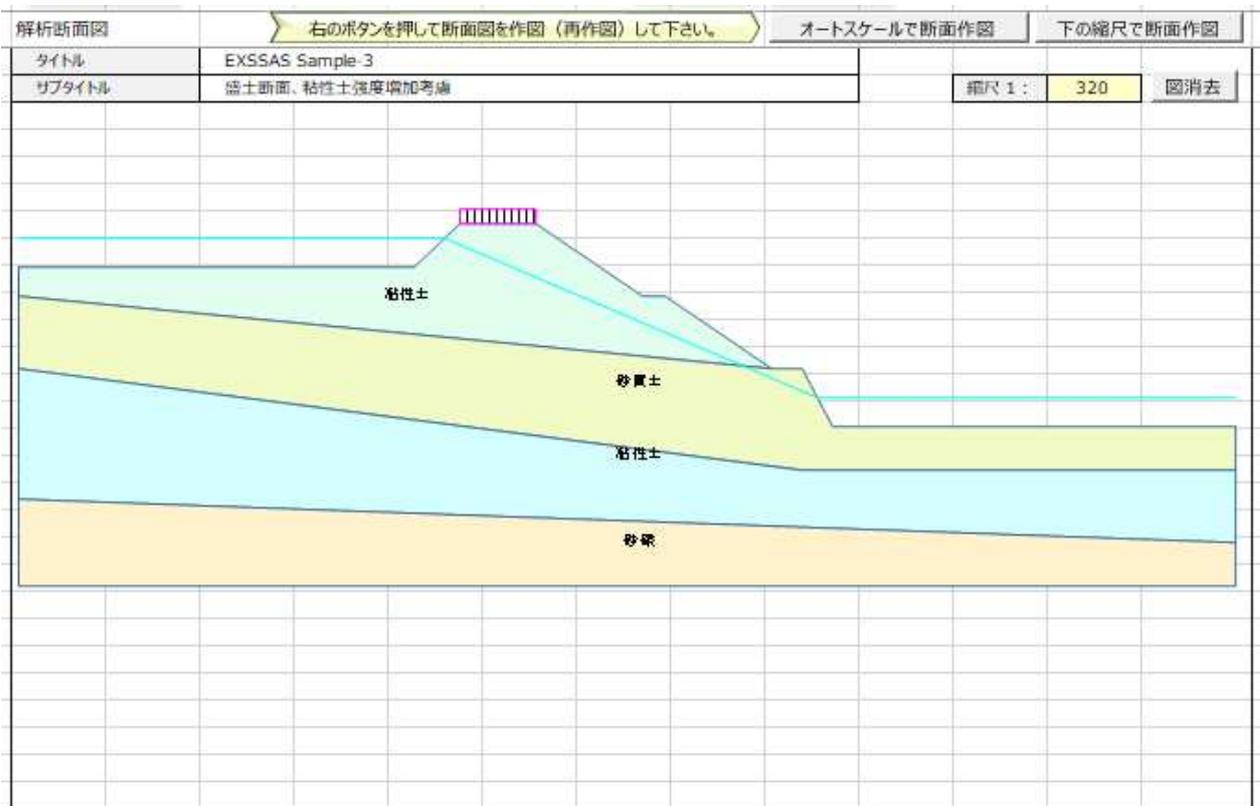


図3-11 回堰断面の作図・確認画面

3-8. 円弧中心・半径の設定

円弧の中心と半径の設定法を以下の5タイプから選び、番号で入力して下さい。

円弧中心と半径の設定Typeを以下の5種類から番号で選んで下さい。

選択番号
2

- ・Type1 : 円弧中心と半径を変えた試行計算 (表-1と表-2を入力)
- ・Type2 : 円弧中心とすべり深度を変えた試行計算 (表-1と表-3を入力)
- ・Type3 : 円弧中心を変えて、指定直線に接する円弧 (表-1と表-4を入力)
- ・Type4 : 円弧中心を変えて、指定点を通る円弧 (表-1と表-5を入力)
- ・Type5 : 円弧中心と半径を固定した指定計算 (表-6を入力)

図3-12 円弧の中心と半径の設定法入力表

(1) Type1 : 円弧中心と半径を変えた試行計算

Type1の円弧中心と半径を変えた試行計算を選んだ場合は、(表-1)と(表-2)を入力します。

(表-1) 円弧の中心範囲入力表 (Type1、Type2、Type3、Type-4で入力)

中心範囲		左下隅の座標	格子点の数 X:右側 Y:上側	移動幅(m)
	X座標	30.000	10	1.000
Y座標	26.000	10	1.000	

※ 格子数の上限は15とします。

(表-2) 半径範囲入力表 (Type1、Type2、Type3、Type-4で入力)

半径範囲		最小半径 Rmin(m)	最大半径 Rmax(m)	刻み間隔 Rpit(m)
	半径R(m)	18.000	22.000	1.000

※ 必ずRmax ≥ Rminとしてください

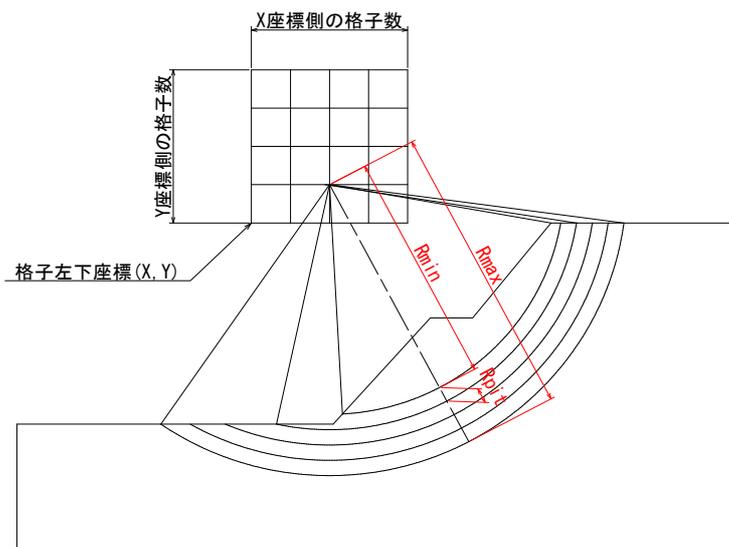


図3-13 Type-1の円弧中心と半径の設定図

(2) Type2 :円弧中心とすべり深度を変えた試行計算

Type2 :円弧中心とすべり深度を変えた試行計算を選んだ場合は、(表-1)と(表-3)を入力します。

(表-3) すべり深度入力表 (Type2で入力)

深度範囲	最小深度		最大深度		刻み間隔	
	Dmin(m)		Dmax(m)		Dpit(m)	
深度 D(m)	3.000		6.000		1.000	

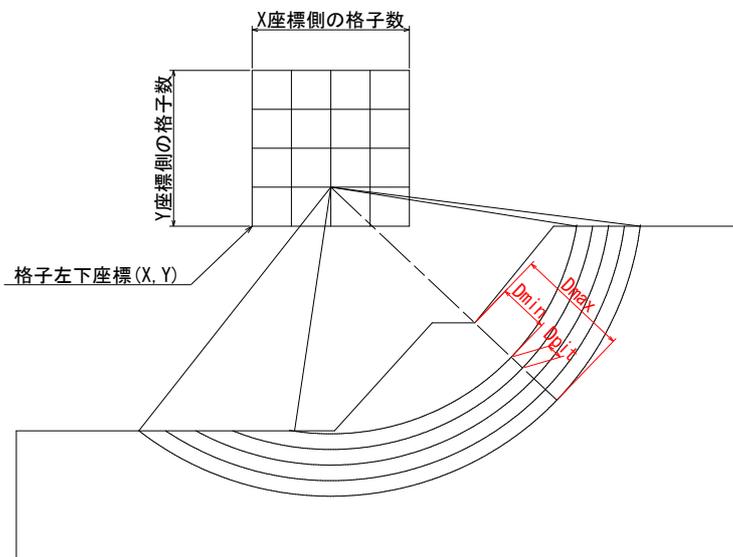


図3-14 Type-2の円弧中心と半径の設定図

(3) Type3 :円弧中心を変えて、指定直線に接する円弧

Type3の円弧中心を変えて、指定直線に接する円弧を選んだ場合は、(表-1)と(表-4)を入力します。

(表-4) 円弧が接する直線区間の座標入力表 (Type3で入力)

マスト タッチ ライン	直線起点		直線終点	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標
	0.000	20.000	60.000	0.000

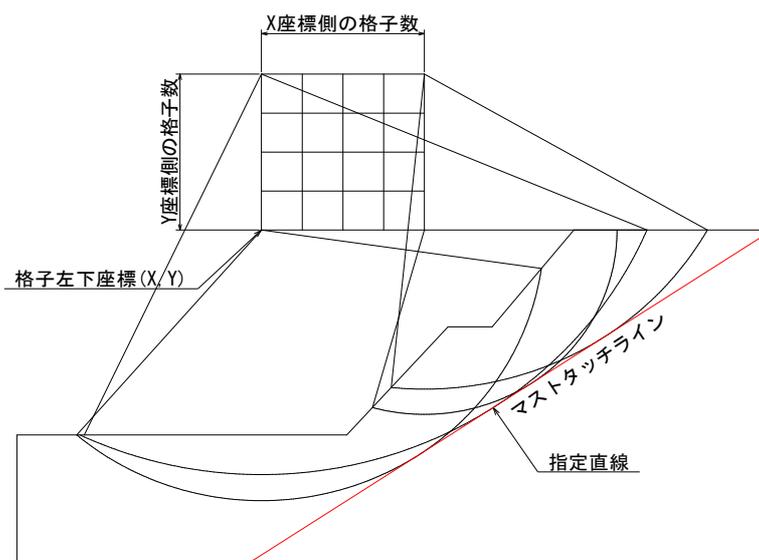


図3-15 Type-2の円弧中心と半径の設定図

- (4) Type4 :円弧中心を変えて、指定点を通過する円弧
 Type4の円弧中心を変えて、指定点を通過する円弧を選んだ場合は、(表-1)と(表-5)を入力します。

(表-5) 円弧が通過する点座標の入力表 (Type4で入力)

マスト バス ポイント	ポイント NO.	通過点 X座標(m)	通過点 Y座標(m)	備考
	NO.1	34.000	12.000	
	NO.2	35.000	14.000	

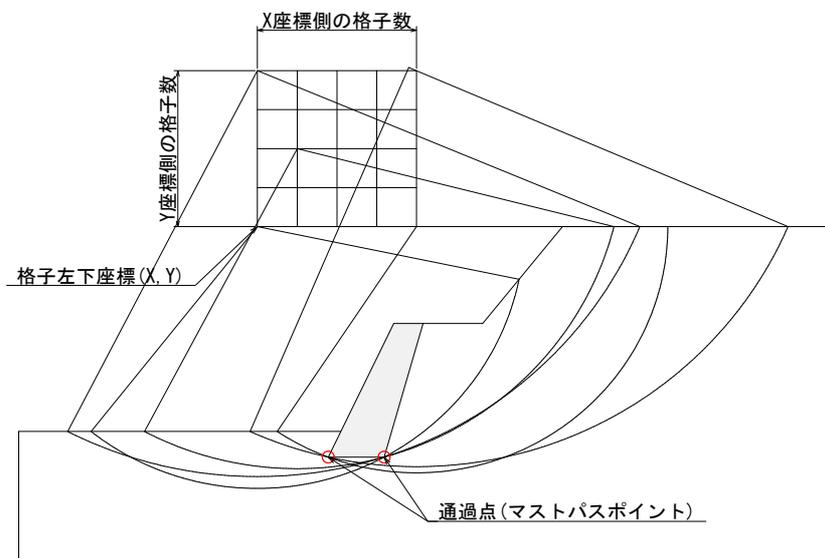


図3-16 Type-2の円弧中心と半径の設定図

- (5)Type5 :円弧中心と半径を固定した指定計算

Type5の円弧中心と半径を固定した指定計算を選んだ場合は、(表-6)を入力します。

(表-6) 指定円弧の入力表 (Type5で入力)

中心 および 半径	中心 X座標(m)	中心 Y座標(m)	半径 R (m)	備考
	34.000	24.000	12.000	

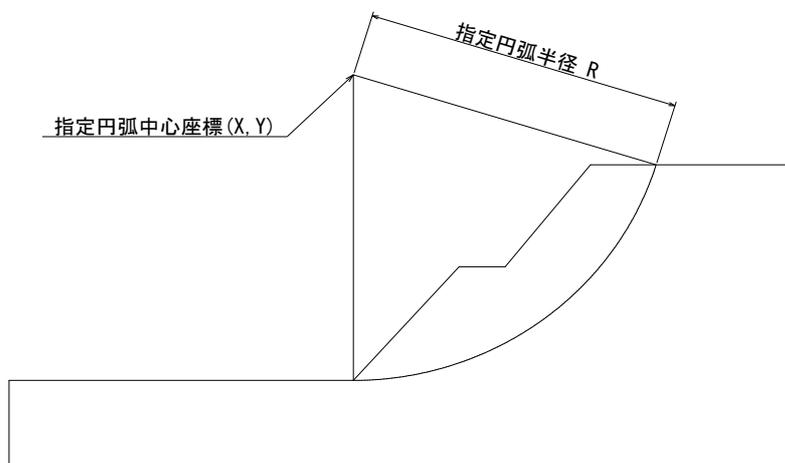


図3-17 Type-2の円弧中心と半径の設定図

3-9. 円弧設定上の注意点

(1) すべり面がオーバーハングする場合

円弧すべりと地表面の交点Y座標が円弧中心のY座標より大きい場合や、円弧中心が地層内に入った場合は、安定計算を行わず、計算結果の一覧表に”オーバーハング”と出力します。

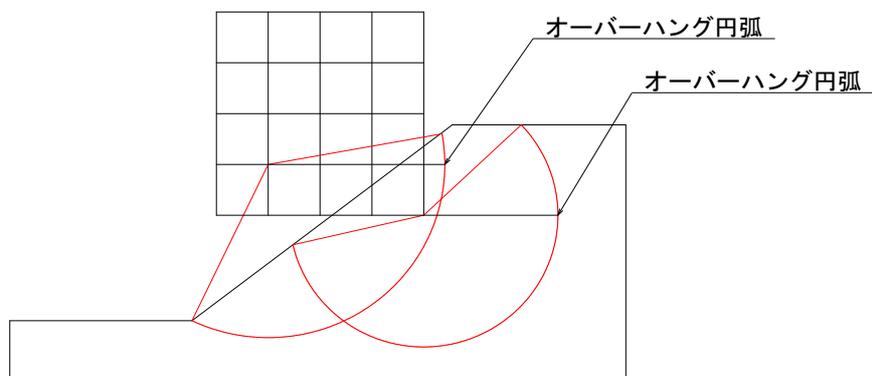


図3-18 オーバーハング円弧

(2) すべり面が地層モデルの左右端や下端(底面)と交差する場合

円弧すべりが地層モデルの下端(底面)と交差した場合、安定計算を行いません。また、計算結果にもメッセージは出力されません。

円弧すべりが地層モデルの左右端と交差した場合、安定計算を行いますが左右端と交差した円弧の計算結果は保証されません。

安全率最小(または抑止力最大)の円弧すべり面がモデル左右端や下端付近を通過する場合は、必要に応じてモデル幅や下端深さを修正して下さい。

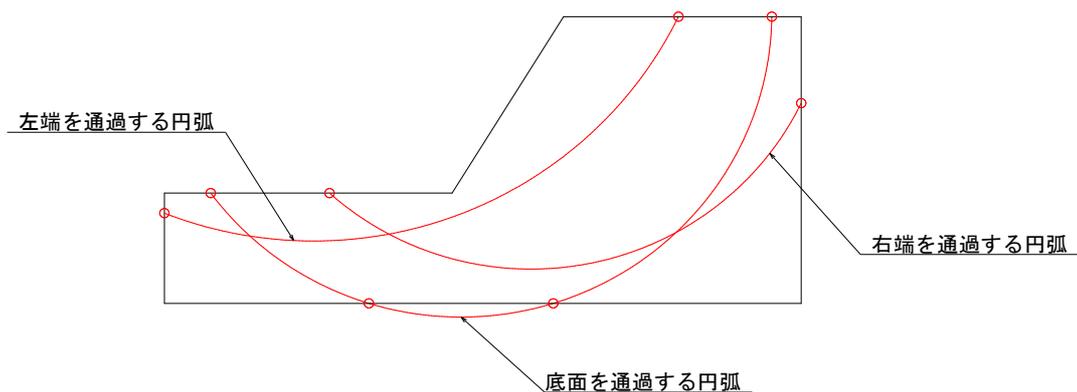


図3-19 地層モデルの端部を通過する円弧

3-10. ネバーカットライン(不通過線)の設定

円弧すべりを通過させたくない範囲にネバーカットライン(不通過線)を設定して下さい。

ネバーカットラインの最大数 = 5本

ネバーカットライン入力表			入力ライン数	0
ライン NO.	起点		終点	
	X座標	Y座標	X座標	Y座標
NO.1				
NO.2				
NO.3				
NO.4				
NO.5				

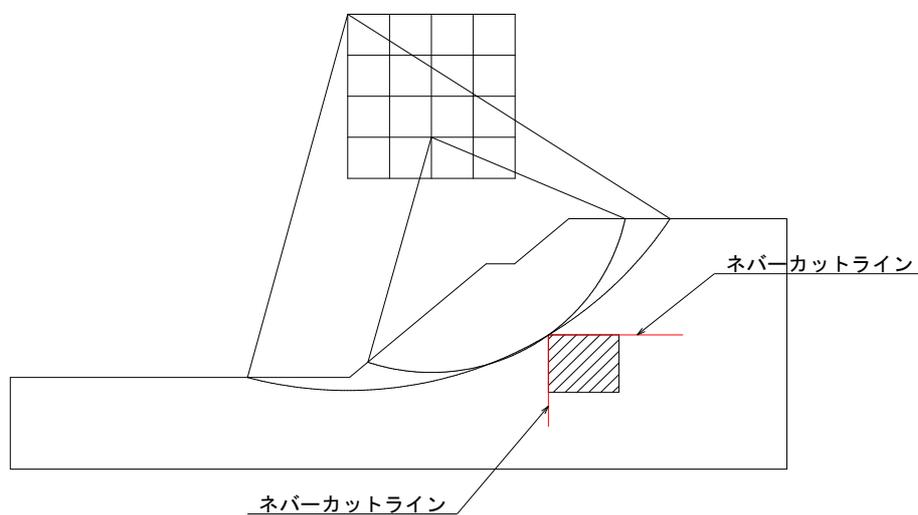


図3-20 ネバーカットラインの設定例

3-11. 内部登録値の変更

メニュー画面で「内部登録値の変更」ボタンを押して、内部登録値を変更することができます。

内部登録値入力表				
設定項目	記号	単位	数値	備考
水の単位体積重量	γ_w	kN/m ³	10.000	
スライス最大分割幅	bmax	m	3.0	※-1
すべり面の最小深度	dmin	m	0.500	※-2
計算回数の上限值	Nmax	回	4,500	※-3

表3-1 内部登録値の入力表

(1) 水の単位体積重量

$\gamma_w=10.0 \text{ kN/m}^3$ の値が登録されています。必要に応じて修正して下さい。

(2) スライスの最大分割幅

スライスは、地形、地層、地下水位および荷重の変化点で自動的に分割されます。スライス間隔が広い箇所は、入力した最大分割幅で再分割されます。

一般にスライス幅を細かくすれば計算精度は上がりますが計算時間が増加します。スライス幅の設定に関する明確な基準は見当たらず、すべり面の規模や計算時間を考慮して決定することになります。一般に1～5mの範囲で設定することが多いようです。

(3) すべり面の最小深度

円弧すべりの半径に制限を付けないと、地表面のごく薄い表層すべりが計算されてしまいます。このような薄いすべり面を除外する目的で、すべり面の最小深度を設定することができます。必要に応じて、値を修正して下さい。

最小深度(dmin)は、格子点と地表折れ点あるいは地表面までの距離が最小(Lmin)となる位置から確保します。

下図の場合は地表折れ点(小段肩)からの最小深度dminを採用します。

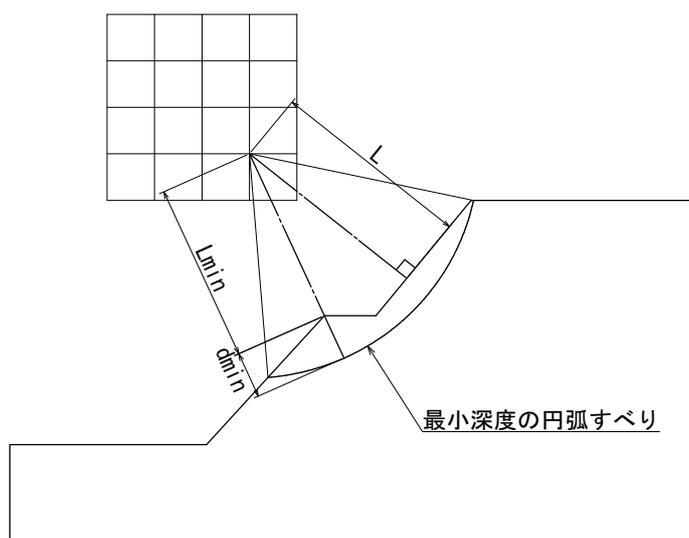


図3-21 すべり面の最小深度設定図

(4) 計算回数の上限值

計算負荷(処理速度・待ち時間)を一定程度に抑えるために、1度の計算回数に上限を設けています。

上限の初期値として4,500回を設定していますが、お使いのPCの性能に応じて増減することができます。

※ 計算回数は、“横格子数×縦格子数×半径変化数” で計算します。

※ 上限の初期値は、横格子数(15)×縦格子数(15)×半径変化数(20)=4,500を目安としました。

3-12. 入力データのファイル処理

入力データを保存したり、旧データを読み込みたい場合は、メニュー画面の左端に配置されている[データ保存]と[データ読込]ボタンを利用してください。(下図の赤丸内)

なお、計算結果も含めて保存したい場合は、計算を行なったエクセルファイルに別の名前を付けて保存してください。

※ ファイルの拡張子には "enکو"が付きます。例) Testdata.enko

※ ファイル自体はテキストファイルなので、エディタやメモ帳などで閲覧や編集ができます。

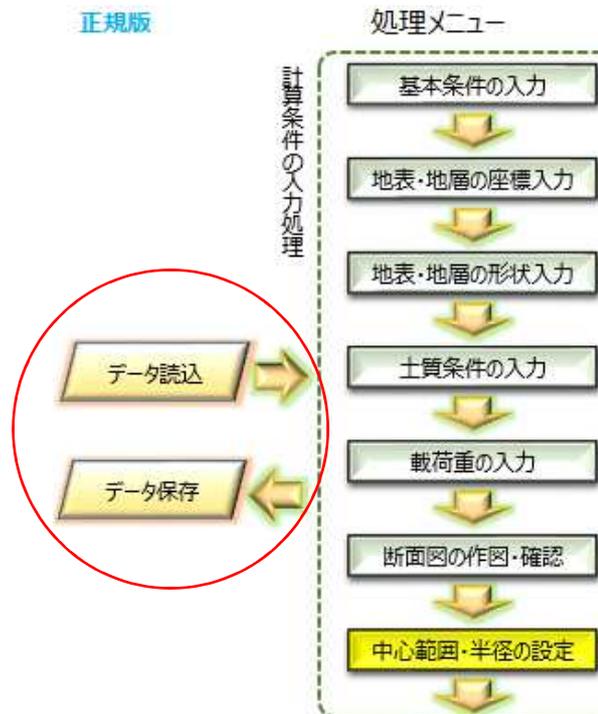


図3-22 ファイル処理ボタン(メニュー画面)

4. 計算結果の表示

4-1. 計算結果画面(その1)

最小安全率の計算あるいは最大必要抑止力の計算を実行した場合、図4-1の計算結果画面が表示されます。

上部のボタンで次の処理を選択して下さい。

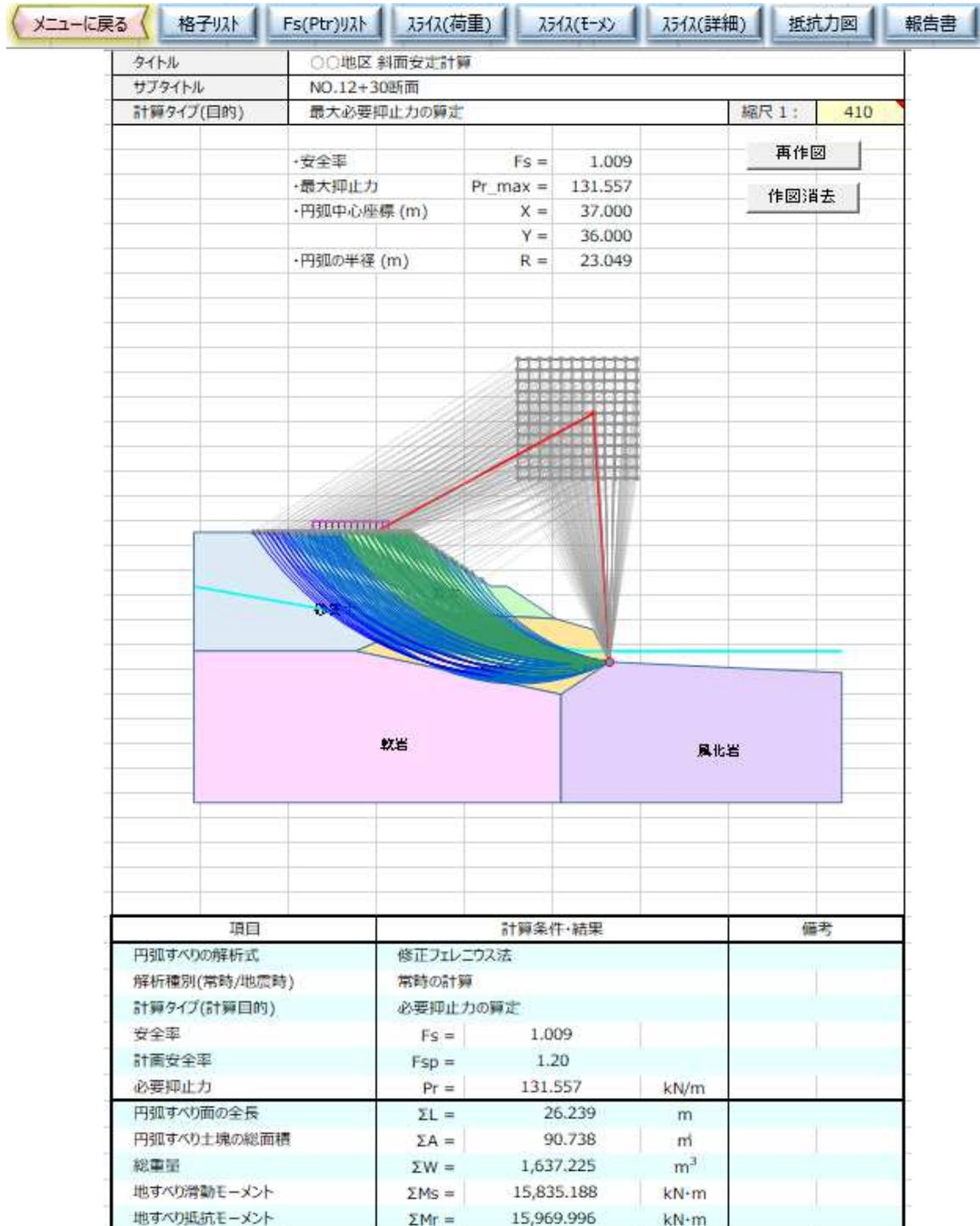


図4-1 計算結果画面(その1)

4-2. 計算結果画面(その2)

図4-1画面で「Fs(Pr)リスト」ボタンを押すと 図4-2の格子ごとの最小安全率と抑止力の一覧表画面が表示されます。

上部のボタンで次の処理を選択して下さい。

		メニューに戻る	結果図	格子リスト	スライ(荷重)	スライ(モーメント)	スライ(詳細)	抵抗力図	報告書				
格子ごとの円弧すべり安全率一覧表													
Y	X	格子点X座標											
		30.00	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	41.00
格子点Y座標													
	41.00	1.591	1.479	1.433	1.385	1.353	1.305	1.254	1.188	1.081	1.023	1.022	1.063
	40.00	1.556	1.454	1.406	1.370	1.322	1.277	1.223	1.152	1.026	1.017	1.022	1.067
	39.00	1.473	1.448	1.378	1.342	1.295	1.248	1.192	1.113	1.018	1.012	1.026	1.075
	38.00	1.446	1.399	1.350	1.312	1.268	1.219	1.159	1.071	1.012	1.011	1.028	1.091
	37.00	1.420	1.372	1.331	1.284	1.240	1.190	1.127	1.025	1.009	1.012	1.035	1.114
	36.00	1.393	1.344	1.287	1.257	1.212	1.161	1.093	1.009	1.009	1.013	1.050	1.144
	35.00	1.366	1.315	1.277	1.230	1.185	1.132	1.060	1.011	1.009	1.020	1.073	1.178
	34.00	1.340	1.283	1.248	1.204	1.158	1.104	1.038	1.007	1.012	1.035	1.098	1.213
	33.00	1.368	1.268	1.223	1.179	1.132	1.077	1.008	1.029	1.022	1.171	1.238	1.250
32.00	1.371	1.233	1.198	1.184	1.109	1.052	1.007	1.014	1.041	1.076	1.152	1.279	
31.00	1.350	1.211	1.191	1.132	1.113	1.034	1.026	1.028	1.062	1.098	1.180	1.323	
30.00	1.397	1.205	1.153	1.155	1.070	1.013	1.019	1.049	1.083	1.119	1.207	1.355	
格子ごとの円弧すべり抑止力一覧表													
Y	X	格子点X座標											
		30.00	31.00	32.00	33.00	34.00	35.00	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	41.00
格子点Y座標													
	41.00	-463.383	-339.750	-269.741	-203.232	-157.757	-101.182	-48.361	9.529	88.913	118.773	106.356	72.015
	40.00	-424.310	-307.254	-236.463	-184.924	-124.699	-72.186	-20.341	38.085	125.102	118.173	101.087	65.837
	39.00	-344.450	-291.977	-202.946	-152.596	-95.368	-44.402	7.149	67.272	126.200	115.420	93.600	58.112
	38.00	-309.466	-237.760	-169.076	-118.481	-66.442	-17.140	33.741	96.109	125.188	110.159	87.355	47.382
	37.00	-275.274	-203.400	-146.868	-87.966	-38.317	9.028	58.579	125.453	120.858	103.640	78.266	34.123
	36.00	-239.763	-168.931	-96.057	-58.731	-11.367	33.896	82.522	131.557	114.451	97.169	66.110	20.275
	35.00	-205.194	-134.097	-83.767	-30.621	14.048	56.787	104.425	123.263	108.030	87.407	51.109	7.200
	34.00	-170.896	-95.838	-51.627	-4.391	37.566	77.219	113.628	119.179	100.015	73.776	37.280	-3.887
	33.00	-203.387	-76.742	-23.717	20.188	58.738	95.064	129.587	97.119	87.965	9.874	-10.716	-13.525
32.00	-205.213	-36.567	2.177	14.842	76.550	108.957	123.544	102.071	72.174	46.077	14.427	-19.670	
31.00	-177.449	-12.037	9.303	61.446	67.843	116.308	102.350	87.115	57.332	34.384	5.465	-27.918	
30.00	-229.736	-5.278	45.622	37.202	99.992	124.011	102.227	70.051	44.056	25.019	-1.700	-32.184	

図4-2 計算結果画面(その2)

4-3. 計算結果画面(その3)

C-φ 逆算を実行すると 図4-3の計算結果画面が表示されます。
 まず、C-φ 逆算の順序をオプションボタンで選択して下さい。
 次に、片方の強度定数を黄色セルに入力し、「逆算開始」ボタンを押して下さい。
 もう片方の強度定数が計算され、結果が表示されます。
 上部のボタンで次の処理を選択して下さい。

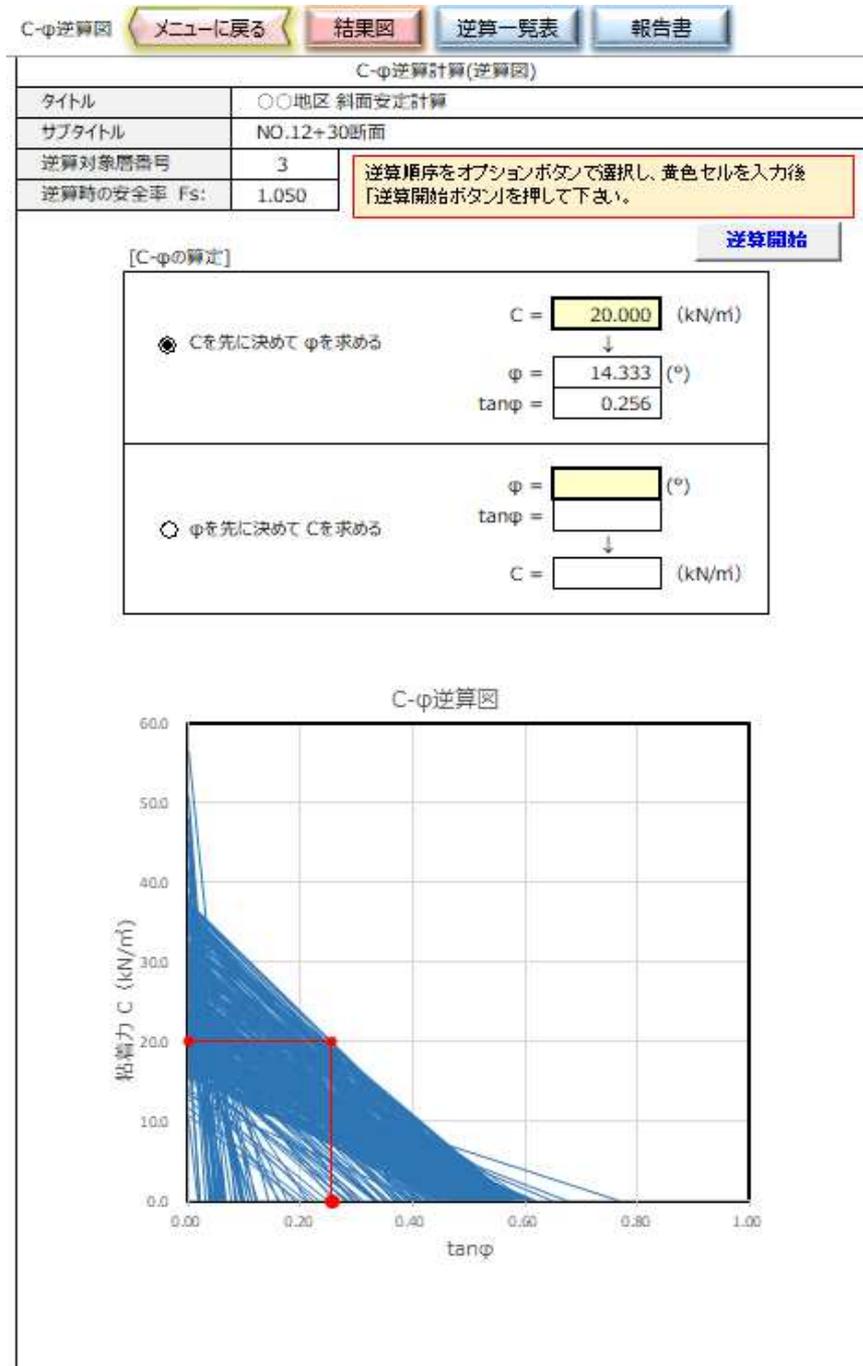
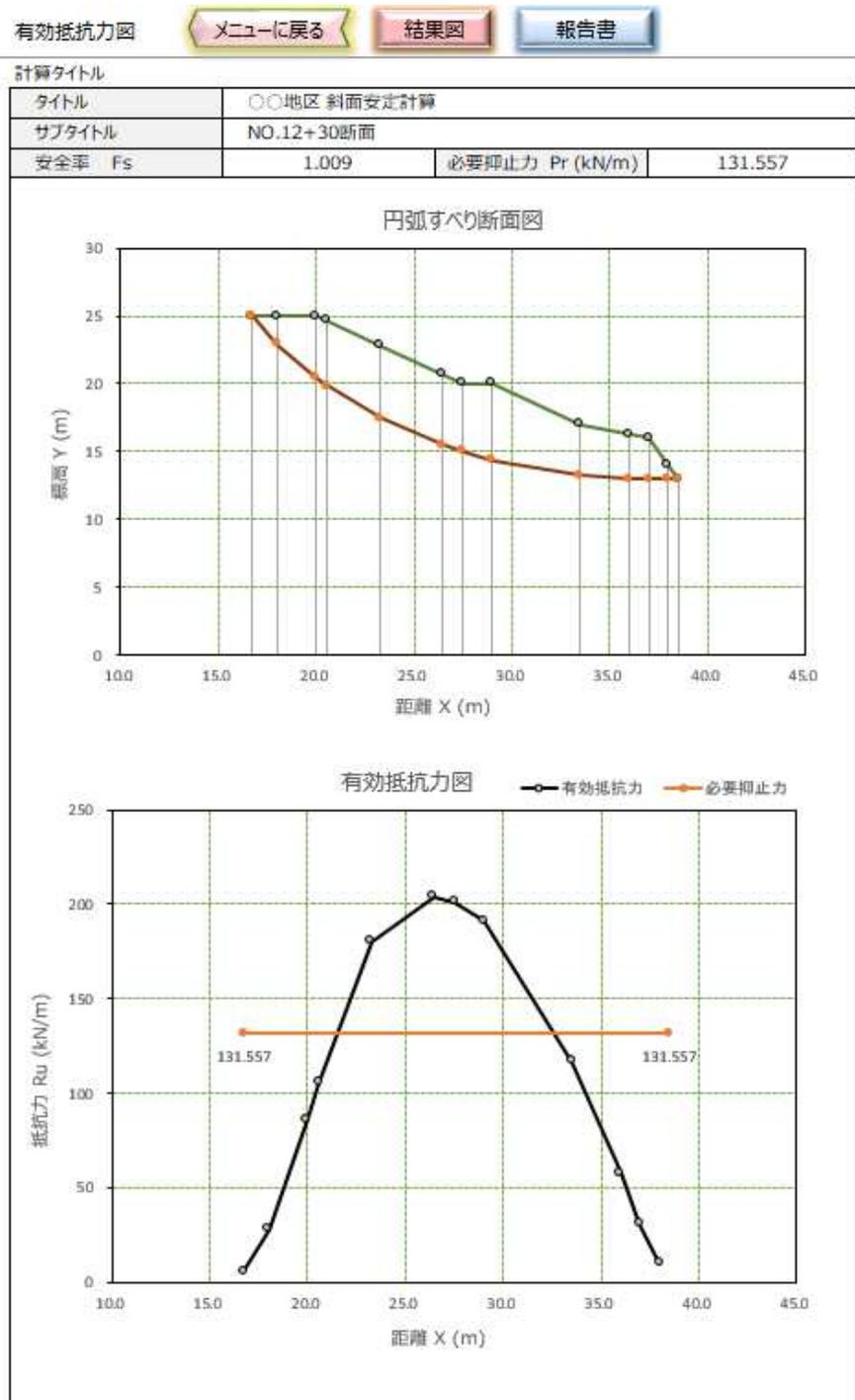


図4-3 計算結果画面(その3、C-φ 逆算結果)

4-4. 計算結果画面(その4)

メニュー画面から「有効抵抗力図」ボタンを押すと有効抵抗力図の計算結果画面が表示されます。
 地すべり抑止杭の設置位置検討の際の参考として下さい。
 上部のボタンで次の処理を選択して下さい。



5.安定解析式

当ソフトは、多数ある解析式の中から、採用実績が多い「修正フェレニウス法」と「フェレニウス法」に対応しています。

(式5-1)に当ソフトが採用した修正フェレニウス法の算定式を示します。
当式は、「道路土工・盛土工指針 H22.4 (pp.124～125)」の計算式に地表水による側方静水圧を考慮できるようにしたものです。

(式5-2)に当ソフトが採用したフェレニウス法の算定式を示します。
当式は、「地すべり防止技術指針及び同解説 H20.4 (pp.55～56)」の計算式に地震時慣性力と地表水による側方静水圧を考慮できるようにしたものです。
側方静水圧は滑動力の増減として扱うものとします。

[修正フェレニウス法の算定式]

$$F_s = \frac{R \cdot \{ \sum W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi - \sum U \cdot b \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi - \sum kh \cdot W \cdot \sin \alpha \cdot \tan \phi + \sum c \cdot l \}}{R \cdot (\sum W \cdot \sin \alpha + \sum h/R \cdot kh \cdot W + Pw1 \cdot \Delta Y1/R + Pw2 \cdot \Delta Y2/R)} \dots (式5-1)$$

[フェレニウス法の算定式]

$$F_s = \frac{R \cdot \{ \sum W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi - \sum U \cdot l \cdot \tan \phi - \sum kh \cdot W \cdot \sin \alpha \cdot \tan \phi + \sum c \cdot l \}}{R \cdot (\sum W \cdot \sin \alpha + \sum h/R \cdot kh \cdot W + Pw1 \cdot \Delta Y1/R + Pw2 \cdot \Delta Y2/R)} \dots (式5-2)$$

- ここに、 F_s : 円弧すべり安全率
 R : 円弧すべり半径
 U : 間隙水圧(kN/m^2)
 kh : 設計水平震度
 h : 重心と円中心の高低差 (m)
 α : スライスX重心位置におけるすべり面の傾斜角(°)
 C : すべり面の粘着力(kN/m^2)
 ϕ : すべり面の内部摩擦角(°)
 b : スライス幅(m)
 l : スライスの円弧長(m)
 $Pw1, Pw2$: 左右端部の側方静水圧(kN/m^2)
 $\Delta Y1, \Delta Y2$: 静水圧作用位置と円中心の高低差(m)

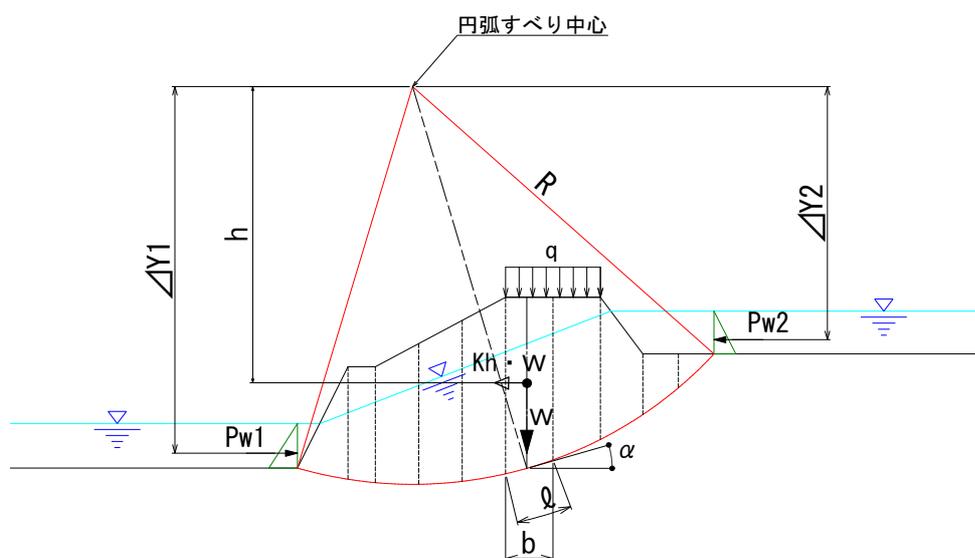


図5-1 安定解析模式断面図

修正フェレニウス法の算定式

$$F_s = \frac{\sum \{c \cdot l + [(W - u \cdot b) \cos \alpha - k_h \cdot W \cdot \sin \alpha] \tan \phi\}}{\sum \left(W \cdot \sin \alpha + \frac{h}{r} \cdot k_h \cdot W \right)}$$

ここに、 F_s : 安全率
 c : 土の粘着力 (kN/m²)
 ϕ : 土のせん断抵抗角 (度)
 l : 分割片で切られたすべり面の長さ (m)
 W : 分割片の全重量 (kN/m)
 u : 間隙水圧 (kN/m²)
 b : 分割片の幅 (m)
 α : 各分割片で切られたすべり面の midpoint とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角 (度)
 k_h : 式 (解 4-3) で定められる設計水平震度
 h : 各分割片の重心とすべり円の中心との鉛直距離 (m)
 r : すべり円弧の半径 (m)

出典 : 「道路土工・盛土工指針 H22.4 (pp.124~125)」

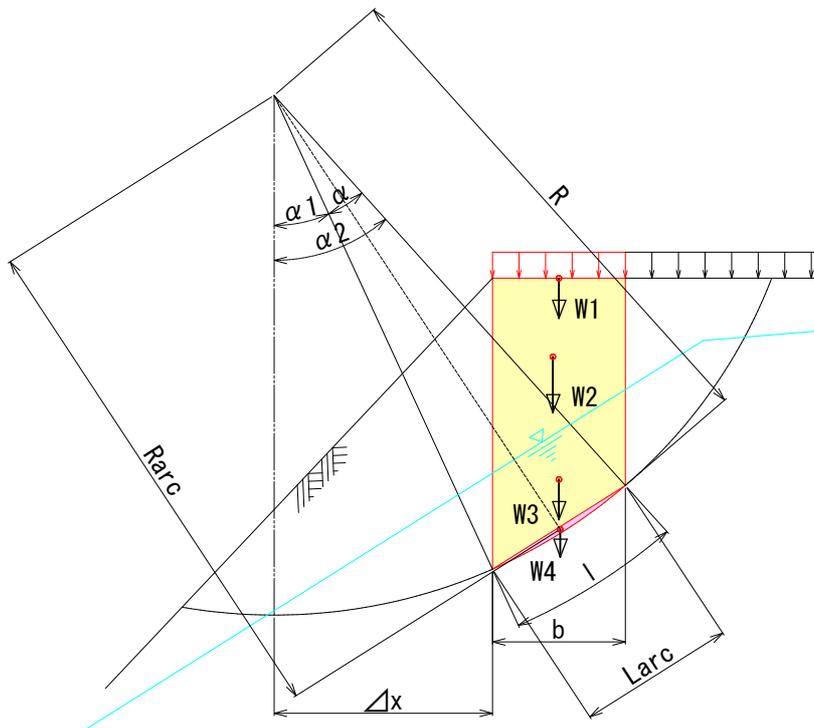
フェレニウス法の算定式

$$F_s = \frac{\sum (N - U) \cdot \tan \phi' + c \sum l}{\sum T} \quad \dots \text{ (式 3-1)}$$

F_s : 安全率
 N : 分割片の重力による法線力 (kN/m) = $W \cdot \cos \theta$
 T : 分割片の重力による切線力 (kN/m) = $W \cdot \sin \theta$
 U : 分割片に働く間隙水圧 (kN/m)
 l : 分割片のすべり面長 (m)
 c : すべり面の粘着力 (kN/m²)
 ϕ' : すべり面の内部摩擦角 (°)
 W : 分割片の重量 (kN/m)
 θ : すべり面の分割片部における傾斜角 (°)

図 3-1 簡便法の模式図

出典 : 「地すべり防止技術指針及び同解説 H20.4 (pp.55~56)」



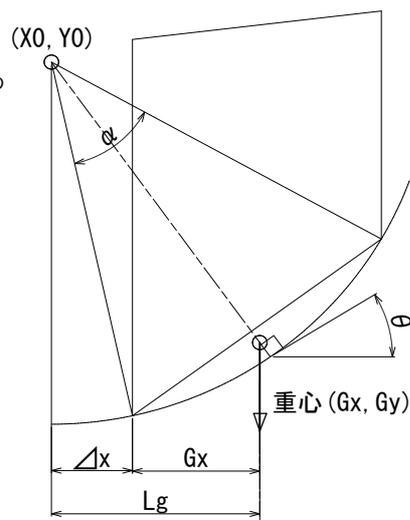
[スライス算定法]

- 台形部の面積と重心は 台形公式を用いて算定する (計算式は省略)
- 欠円(三日月部)の面積と重心は次の式で算定する

$$\begin{aligned}
 \text{Arc} &= R^2 (\alpha - \sin \alpha) / 2 \\
 \text{Rarc} &= \text{Larc}^3 / (12 \cdot \text{Arc}) \\
 \text{Larc} &= 2 \cdot R \cdot \sin(\alpha / 2) \\
 G_x &= \text{Rarc} \cdot \sin(\alpha + \alpha / 2) - \Delta X \\
 G_y &= Y_0 - \text{Rarc} \cdot \cos(\alpha + \alpha / 2)
 \end{aligned}$$

- スライス全体の重心位置におけるすべり面の傾斜角は次の式で算定する

$$\begin{aligned}
 \theta &= \tan^{-1} \{ \text{Lg} / \sqrt{R^2 - \text{Lg}^2} \} \\
 \text{Lg} &= \Delta x + G_x
 \end{aligned}$$



ここに、

- Arc : 欠円(三日月部)の面積 (m²)
- Rarc : // の重心位置の半径 (m)
- Larc : // の弦長 (m)
- Gx : // の重心X座標 (m) (スライス始端からの距離)
- Gy : // の重心Y標高 (m)
- alpha : // の内角 (°) = alpha 2 - alpha 1
- R : 円弧半径 (m)
- alpha 1, alpha 2 : スライス両端とすべり面の交点の鉛直面と成す角度
- theta : すべり面の傾斜角 (rad)
- Lg : 円弧中心とスライス重心の水平離れ (m)
- Δx : 円弧中心とスライス始端の水平離れ (m)

6.本ソフトのサポートについて

6-1. サポート期間

本ソフトはバグ修正、機能追加および基準書の改定などに伴い、不定期に修正を行うことがあります。改定履歴はホームページに表示しますので、ときどきご確認ください。

最新版をご希望の方は、メールにてお申し込みください。下記の有効期間内の場合は無償にて最新版をお送りいたします。

なお、機能追加や基準の改訂などに伴う大幅な修正を行なった場合等にはサポート期間に関わらず有償となる事もあります。

- ・サポート無償期間 : 購入日から2年以内
- ・サポート期間を過ぎた場合のバージョンアップ費用 : 販売金額の50%

6-2. サポート対応

本ソフトは複数の断面で検証を行い、問題がないことを確認しています。(別途の検証資料参照)しかしながら、本ソフトは初期バージョンであり、使用実績も乏しいことから、全てのケースで計算結果を保証するものではありません。未検証のバグや予期せぬ不具合が起こることも想定されます。

その場合は、不具合内容を記したメールに不具合ファイルを添付してお送りください。不具合の内容によってはしばらくのご猶予をいただく場合がありますので御了承ください。

メールアドレス : soft@civiltec.co.jp

担当者 : 有限会社 シビルテック 横田洋文

7.本ソフト作成に当たって参考とした主な文献

- ・「道路土工・盛土工指針(平成22年4月)」(社)日本道路協会
- ・「道路土工一切土工・斜面安定工指針(平成21年6月)」(社)日本道路協会
- ・「道路土工一軟弱地盤対策工指針(平成24年8月)」(社)日本道路協会
- ・「地すべり防止技術指針及び同解説(平成20年4月)」国土交通省砂防部、(独)土木研究所
- ・「実際に役立つ土木設計プログラムシリーズ③ 3巻 斜面の安定計算」山海堂