

簡便な切土・地山補強土の安定解析

1 はじめに

斜面に適用する補強土工の安定計算には、NEXCO 要領¹⁾ や地盤工学会のマニュアル²⁾ などが用いられています。ところが、この工法が多くのファジーな要素を含むうえ、設計担当者の経験が少ないため設計に苦慮するケースが多いのが実情です。このため、主に若手設計者が解析する場合の手助けとなるよう本文を記載致しました。特に安定計算については、逆算法で求める場合と、繰り返し円弧計算を行う 2 つの手法が主流ですので、その実用的な計算方法について記載します。

2 逆算法

NEXCO 要領では、安定計算で用いる地盤定数の【解説】で次の様に述べています。

「本工法を設計するに当たり、地盤定数を決定する必要があるが、地盤の複雑さや不確実性から、調査・試験結果のみから決定するのは難しい。したがって、現段階においては崩壊規模の設定と同様に実際の崩壊事例や設計事例などを基に決定することが望ましい。」

その一例として、「**近傍の崩壊事例から逆残法により求める方法**」として下記の内容を示しています。

近傍に地質が類似と判断される崩壊事例があり、その崩壊形態が想定できる場合の地盤定数は、斜面の現況安全率を $F_s=0.95\sim 1.00$ とし、その崩壊形態から円弧すべり法または、直線すべり法により、逆算法で求める。

逆算法は、円弧すべり法に限ったものでは有りませんが、実際の設計現場では、ほぼ円弧すべり法で解析されているので、円弧すべり法での解析例を記載します。

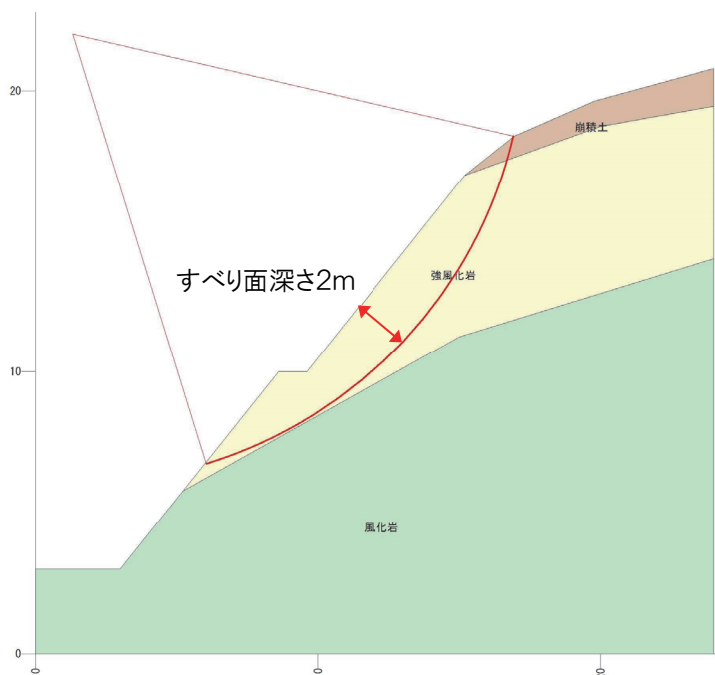


図-1 すべり面の決定

解析例

① すべり面の決定

まだ崩壊していない補強土工設計現場の場合、すべり面を決定できる計測結果はほぼ皆無です。このため、NEXCO 要領が示す近傍の崩壊を参考にします。すなわち、設計現場の近傍で、既に起きている崩壊の深さを参考に、崩壊深さ 1.0 m、あるいは 2.0 m と決定することが出来ます。

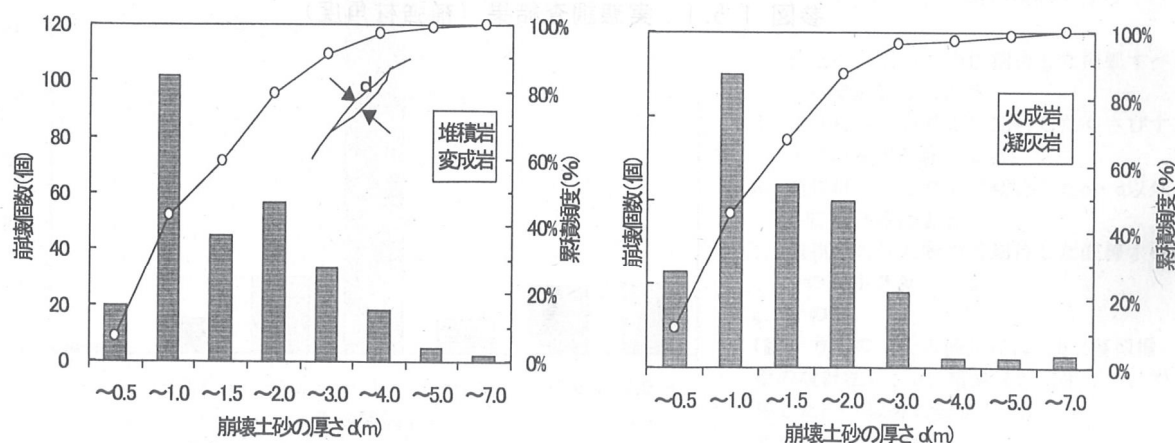
崩壊深さ 2.0 m は、表層崩壊としてはかなり深いもので、図-3 に示されている様に、崩壊の約 80% がこの区分までに含まれます。深さが解らない場合は、近傍の崩壊事例を参考に、2.0 m の崩壊深度と決定することには、根拠が有る訳です。

参考値		参考値は複数選択可							参考値					
	地層名	表示色	土質名	湿潤重量 γ_t (kN/m ³)	飽和重量 γ_{sat} (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C, C0 (kN/m ²)	強度増加係数			極限周面摩擦抵抗		τ_p の 設定	
								考慮	係数 k	基準標高 H(m)	地盤種類	N値		摩擦抵抗 τ_p (N/mm ²)
1	崩積土		崩積土	18.00	18.00	30.0000	0.00				砂	3	0.024	
2	強風化岩		強風化岩	18.00	18.00	30.0000	10.00				砂礫	15	0.110	
3	風化岩		風化岩	20.00	20.00	35.0000	50.00				砂礫	30	0.200	

図-2 土質定数の例

参 1. 7 急傾斜地の崩壊部の崩壊深さと頻度（経験的設計法）

参図 1.7.1に示す急傾斜地の崩壊部の崩壊深さと頻度の関係を見ると、崩壊の約80%が崩壊深さ2 m以下で生じており、比較的短い補強材で大部分の崩壊を防ぐことが可能であることを意味している。また、このような深さ2 m程度の崩壊においては、過去の施工事例をみると、大きな差がないため特別な設計計算を行うことはなく、経験的に定めることが出来るとしたものである。



参図 1.7.1 急傾斜地の崩壊部の崩壊深さ

図-3 崩壊の80%は、崩壊深さ2 m以下（NEXCO 要領 p 86）

② 土質定数

土質定数は一般的な推定値を採用します。ただし、すべり面の粘着力や内部摩擦角は、円弧の安全率を $F_s=0.95\sim1.00$ 程度とし、粘着力か内部摩擦角の一方を固定して逆算で求めることになります。

③ 留意点

切土後の斜面形状で算定します。切土前の斜面の安全率は、 $F_s=1.00$ 以上ですが、1.5 なのか2 なのか不明です。切土前の斜面形状ですべり面の土質定数を算定すると、過大な設計になりやすいからです。

会計検査では、図-3 などを利用し推定根拠を示すと良いでしょう。あくまでも推定です。その推定が、正しいとする根拠も正しくはないとする根拠も厳密な意味で明確にすることは困難です。会計検査では、間違いを明らかにできるもの以外は指摘できません。

逆算法は、簡便ですが、計算結果の信頼性が、次に示す「繰り返し円弧計算」に比較して劣る訳では有りません。もっと、幅広く使用されても良い方法です。

3 繰り返し円弧計算

繰り返し円弧計算の最大の弱点は、地山の土質定数が不明な点です。地山から厚さ 1 mm にも満たないすべり面を採取することも試験することも困難です。仮に試験できたとしても、その試験結果が場所によって変化するすべり面全体を代表していることはほぼ有りません。このため、設計現場では土質材料の多様な推定が試みられますが、僅かな設定値の変化で、安全率と必要な対策工は大きく変化し、設計者は頭を抱えることになります。そこで、この問題を解決する解析例を紹介します。

解析例

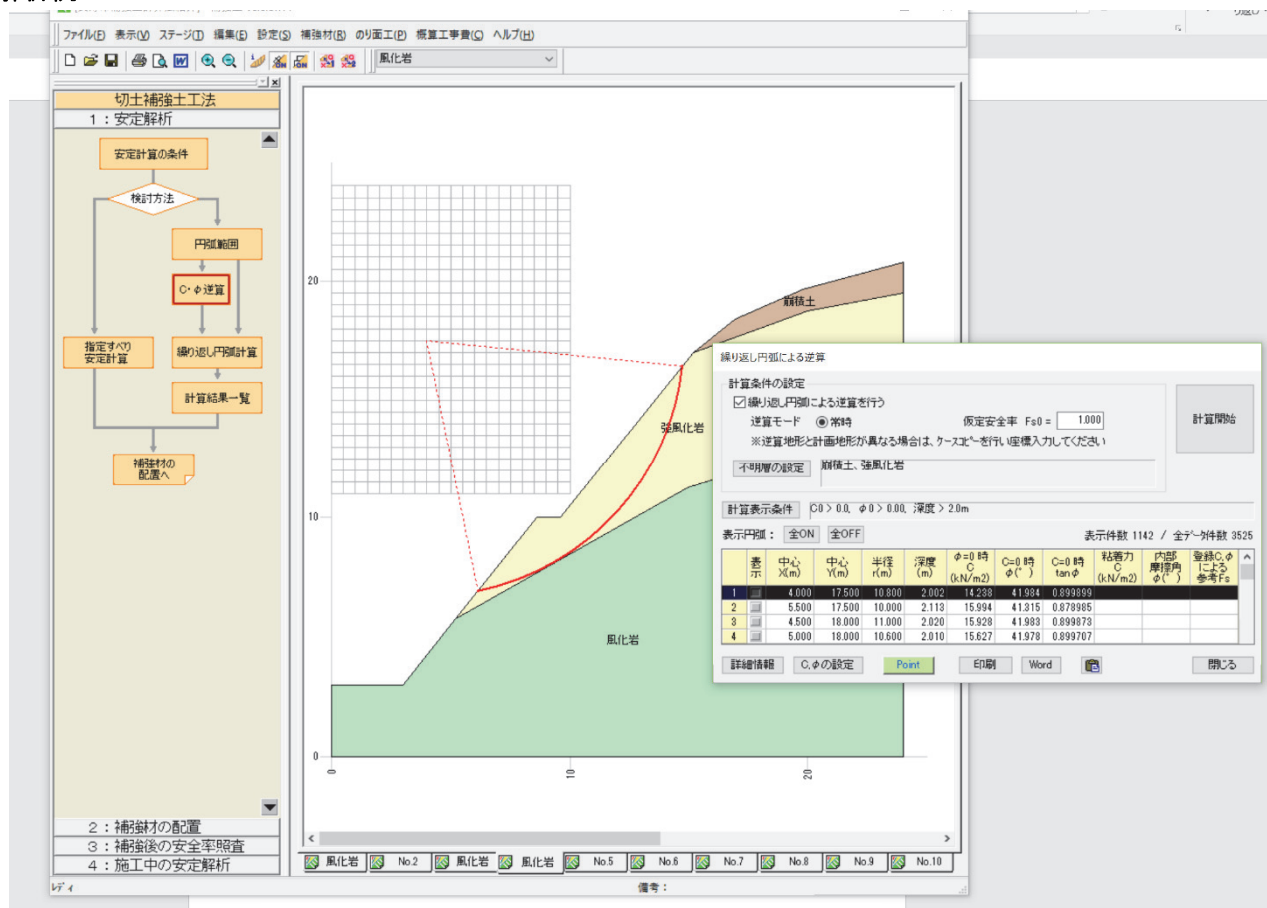


図-4 繰り返し円弧の解析例

① 円弧の計算設定

このソフト（五大開発ソフト）の「C- ϕ 逆算」を利用し、 $Fs=1.00$ の仮定安全率で通常の繰り返し円弧計算を行います。この例では、すべり面の深さ 2.0m 以上で算定しています。

② 円弧の特定

算出される円弧から、設計したい形状の円弧を選びます。この例では、36 番目の円弧を選んでいきます（図-5）。

③ 土質定数の決定

すべり面の土質定数の一方を固定して、残る一方を逆算します。この例では、36 番の円弧を選んだ後「C、 ϕ の設定」のボタンをクリックし、内部摩擦角 30° を入力し、逆算値の内部摩擦角が得られています。

この手法の算定結果は逆算法と大差ありませんが、すべり面の決定過程に客観性を感じて頂ける可能性があります。

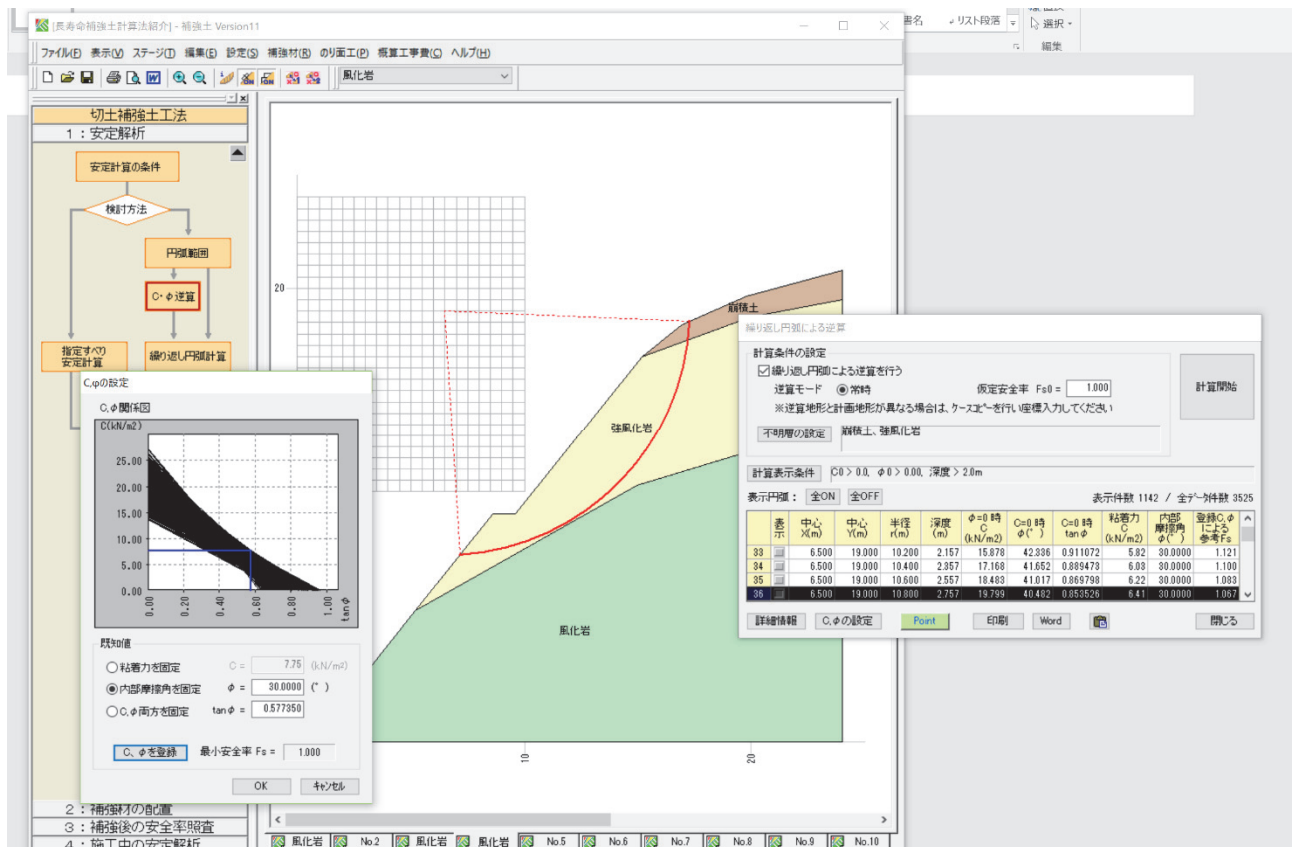


図-5 土質定数決定

4 その他の有効な方法

・経験的設計法

次の点で優れており、もっと使用されて良い設計法でしょう。会計検査でも災害査定でも認められる手法です。

- ① 煩雑な計算が無用です。
- ② 適用範囲の信頼性は計算結果と同等（計算しても、計算根拠となる数値はファジー）です。
- ③ 工事段階に設計変更した場合も再計算が不要な例が多い。

・土層強度検査棒の利用

対象斜面がマサやシラスなどの様に均一で、「土層強度検査棒」を使用できる場合は、現場の試験結果を斜面解析に有効に利用できます。何しろ、この試験では、斜面を構成する土質の「内部摩擦角と粘着力」の両方を簡便に把握できるので便利です。

5 おわりに

補強土工の設計手法は非常にファジーで、設計法も計算法も多くの矛盾を含んでいます。設計において大切なことは、細かい部分のみに捕らわれず、斜面全体の安定度の推定を行うことでしょう。その際に、既存斜面の施工例や崩壊例が非常に重要な参考事例になります。

参考文献

- 1) 切土補強土工法設計・施工要領 NEXCO 中央研究所 pp.29 2007
- 2) 地山補強土工法 設計・施工マニュアル 地盤工学会 pp.73～76 2011