

III-18

粘土の掘削斜面の安定計算について

大阪市立大学工学部

大阪市

正員 三笠正人

正員 藤沢政夫

1. 概説

粘性土の斜面の安定計算は円弧スベリ面を仮定し、スベリ面上の土のせん断強度をクーロンの式

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

に従うものとして行なうのであるが、このときスベリ面上の各点において^{注)} c と ϕ が同一の値をとることはむしろまれである。異なった土質の層が重なっている場合は言うまでもないが、たとえ同じ土質からなる地盤であつても地表からの深さによって²⁾滞積過程と応力履歴を異にするので、その結果一般に異なった c 、 ϕ を持つものなのである。

かつこの種の問題に対しては、各点の c 、 ϕ の平均値、あるいは適当な代表点の c 、 ϕ をとり、全地盤に対してこれを適用するのであるが、赤井博士は現地せん断強度線なるものを用いた別の方法を提案し、従来の慣習的な計算法に反省をうながした。²⁾

しかし検討の結果この方法もまだ正確でないことがわかったので、筆者らはここに土の強度特性を正しくとり入れた計算方法と計算例を示し、それをもとづく2, 3の結論を述べたい。

2. 計算方法

図-1は、昔イーイの線に地表面があり、それが浸食、あるいは掘削によってローロの線まで下つていたものとする。この粘土地盤を図のように掘削したときの安定問題を例にとつて考えよう。簡単のため、水位は常に掘削前地表面にあるものとする。つまり水中掘削の場合について考える。

いまこの地盤を構成する粘土は、同じ強度特性を持ち、先行荷重より上、および下の $\sigma \sim \tau_f$ 線のこう配がどの点でも等しいものとする。先行荷重が深さにより異なるので、図-2のように先行荷重以下の $\sigma \sim \tau_f$ 線は各深さごとに別々の平行な線となる。以前地表面がイーイ線にあつたときの非排水せん断強度(簡単のためこれを単にせん断強度と呼ぶ)は図中◎印の各縦距で与えられ、また掘削前のせん断強度は+印の縦距で与えられる。これ

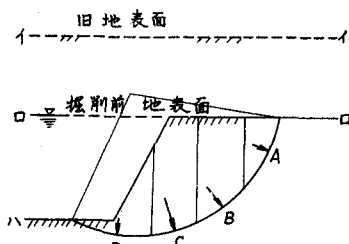


図-1

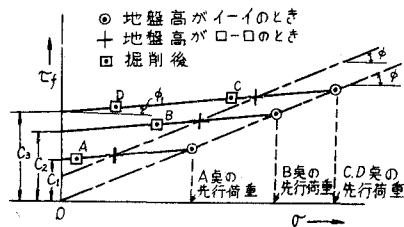


図-2

注) 排水条件に応じて ① 非圧密非排水せん断: c_u, ϕ_u , ② 圧密非排水せん断: c_{cu}, ϕ_{cu} ,

③ 圧密排水せん断: c_d, ϕ_d となる。

は掘削前に一軸圧縮試験、あるいは原位置試験から求めた値と等しいはずである。

ところで掘削後のセメント強度はどうなるであろうか？

掘削直後、粘土の含水比の変化する時間の余裕がなければセメント強度は変化しないのでそれぞれの莫の十印の縦距を用いて計算すればよい。しかし掘削後ある程度の時間がたった後の安定を考えるには、セメント断面の直圧力の変化に応ずる圧密（膨張）非排水試験の結果、あるいはさらにセメント中のダイレイタンスーによる体積変化をよめた圧密（膨張）排水（吸水）試験の結果を用いて、それぞれの場合の正しいセメント強度を推定せねばならない。

いずれにせよ、掘削後のスベリ面上の直効直圧力 σ' （厳密には圧密圧力というべきものの）の分布を求める必要があり、そのために分割法を用いるわけである。いまふつうの分割法を用いることとし、それによって A, B, C, D 各莫上の直圧力 σ' として図-2 の回印の横距を得たとする。この σ' の変化に応じて圧密、あるいは膨張（今の場合はすべて膨張）を行なったあとのセメント強度は回印の縦距で与えられる。したがって圧密非排水の条件による安定計算はこれらの値をそのまま用いて行なえばよいのである。

このとき地盤全体として C と ϕ の平均値がどうなるか、という問題はあまり意味を持たない。それは図でわかるように各莫の応力履歴がさまざまなので、ないてい莫がちらはつて一本の直線上に乗らないからである。

いま各分割裁片の中でなく、各円弧部分の長さを等しく分けるならば回印の縦距の平均値をもってスベリ面の平均セメント強度と見なすことができ、それを C とし、 $\phi = 0$ とし、正しい安全率が得られる。

また図の4つの莫の間を通り、適当な傾きを持つた直線を引いて、その C と ϕ を用いて安定計算を行ない、正しい安全率を出すこともできる。

したがって先のようにして各莫のセメント強度を正しく推定する方法によらず、適当な代表莫、たとえば B 莫の土の C、 ϕ をそのまま用いて全体の安全率を求めるという慣用法によっても、代表莫の選定を誤らなければ結果として大きな誤差は生じないであろうということが言える。この簡便法は一定の C、 ϕ を持つ地盤に対する图表（Taylor などによる）や、各種公式（土圧、支持力などの）が与えられている現在、特に予備計算としてはじゅうぶん満足できる良い方法である。

しかし地盤の応力履歴、その他の条件が複雑であると、適当な代表莫の選定は容易でない。したがって重要な工事の場合は、上に例示したような方法で各莫のセメント強度の正しい変化を予測して安全率を求めることがきわめて望ましい。

なお赤井博士の方法は、十印を運搬する線の C、 ϕ を用いるもので、回莫がその線上にない（あるわけは）ので正しい結果を与えないのである。（安全側に出すぎる）

3. 計算例

前節の方法で粘土地盤の掘削斜面の安定計算を行なった結果を報告する。データは次の通りである。

1) 掘削前の水位 …… 地表面

ii) 粘土のせん断特性

先行荷重以上で $\phi_{cu} = 18^\circ$, $\phi_d = 24^\circ$

先行荷重以下で $\phi_{cu} = 6^\circ$, $\phi_d = 18^\circ$

iii) 粘土の単位体積重量

$$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3, \quad \gamma' = 0.6 \text{ t/m}^3$$

iv) 粘土の応力履歴

i. 正規圧密粘土 (N.C.) 自重だけ

により圧密 (浮力を考えて水中重量。以下同じ)

ii. 一様な粘土 (H.C.) 斜面高さ

と同じ土被りによって圧密 (どの位置でも)

iii. 過圧密粘土 (O.C.) 斜面の高

さと同じ土被りに自重によって圧密

v) 排水条件

i. 非圧密非排水 (U-shear)

ii. 圧密非排水 (CU-shear)

iii. 圧密排水 (D-shear)

vi) 掘削時の水位

i. もとのまま (しながつて水中掘削)

ii. 掘削底面以下で, 地盤中の間隙水
圧をいならせるところで (厳密には全
圧力 = 圧密圧力) と仮定

vii) 斜面の勾配

i. 1 : 1 (45°)

ii. 1 : 2 (26°30')

以上 iv), v), vi), vii) の条件の組合せ 36 個

の場合についてそれぞれ 10 長ほどの試算を行
ない, 最小安全率 F_s を求めた結果が表-1で

ある。この結果はすべて斜面の高さに無関係で, 水位をはじめのままに保つ I, II の場合
には土の単位重量にも無関係となる。

水位を下げる場合は, 非圧密非排水せん断で F_s が 1 を割るものが多い。水位がはじめ
のままであれば, 圧密排水せん断が最も危なく (しながつて時局がなつほど危い), $F_s = 1$
に近くなるものがある。

表中 () を付した値は試算回数が少なく, 最も危険な値と見えないものである。また *
印を付した値は, 先行荷重以下における粘土の強度特性を $\phi_{cu} = 8^\circ$, $\phi_d = 15^\circ$ と変えて計
算したものである。

[] を付した値は Gibson らによって最近つくられた N.C. の U-shear の計算図表から
求めたものである。この他の場合は直接比較計算をする方法は与えられていない。

表-1

I 水位もとのまま
1 : 3

	U-shear	CU-shear	D-shear
N.C.	1.95 [1.99]	1.62 * 1.52	1.60 * 1.54
H.C.	2.32	1.85	1.80
O.C.	3.60	3.33	2.55

II 水位もとのまま
1 : 1

	U-shear	CU-shear	D-shear
N.C.	1.38 [1.36]	1.13 * 1.03	1.04 * 1.17
H.C.	1.77	1.52	1.38
O.C.	2.58	2.44	1.84

III 水位低下 (間隙圧ゼロ)
1 : 2

	U-shear	CU-shear	D-shear
N.C.	0.73 [0.74]	0.87 * 0.84	1.05 * 1.10
H.C.	0.87	1.04	1.19
O.C.	1.35	1.41	1.48

IV 水位低下 (間隙圧ゼロ)
1 : 1

	U-shear	CU-shear	D-shear
N.C.	0.52 [0.51]	(0.64) * 0.65	(0.82) * 0.84
H.C.	0.61	(0.76)	(0.80)
O.C.	0.97	1.04	1.00

I, II の場合の H. C. の CU-shear, D-shear では各点の C, ϕ が等しくなるので Taylor の計算図表が使えろが、安定係数 N_s しか求めろないので比較できない。

各点の C, ϕ が異なる一般の場合には上の試算法以外には方法がないようである。

付 記

この計算に用いたふつうの分割法は、図-1 の A 点のようなスベリ面のコウ配の大きい所で ϕ' を小さく見積りすぎ、常に安全側に出て正確と言えないことが Bishop の方法との比較から明らかになっている。しかし一方 Bishop の方法は、有効応力に関するみかけの強度係数 C', ϕ' を用いる点、および全スベリ面に共通な強度係数を用いる点が面白い。本文の方法と Bishop の方法の長所をあげれば、あまり複雑でない実用計算法ができれば申し分ないが、それはかなり困難であろう。

参 考 文 献

- 1) 三笠正人：粘土の強度の考え方について — C', ϕ' 解析法の批判を中心として —
土と基礎特集号 (シンポジウム：軟弱地盤における土質力学上の諸問題)
1963
- 2) 赤井浩一：有効応力をもとづく斜面安定の解析, 土木学会論文集 第74号, 1961
- 3) 三笠正人：土の強度と安定計算法, 昭和37年度講習会「基礎のための土質工学」テキスト, 土質工学会関西支部, 1963
- 4) Gibson, R.E.: A Note on the Stability of Cuttings in Normally Consolidated Clays,
Morgenstern, N. Géotechnique vol. 12 pp. 212~216, 1962
- 5) Bishop, A.W.: The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes, Géotechnique vol. 5 pp. 7~17, 1955