

掘削粘性土斜面の安定解析に係わる問題点について

徳島大学工学部 正 山上 拓男
徳島大学大学院 学〇岡田 雅寿

1.はじめに

掘削粘性土斜面の長期安定問題は、一般に有効応力解析で処理されるべきものと理解されてきた。ところが、有効応力解析をしようとすれば、しばしば間隙水圧の長期将来予測が困難となって、信頼し得る結果が期待できない事態に陥ることが少なくない。これに比べ、全応力解析では間隙水圧を考慮しないですし、非排水せん断強度さえ求まれば簡単に解析できるという利点を有している。それ故、近頃ではこの種の長期安定問題にも全応力解析を用いようとの機運が高まっている。

このような状況において、筆者らは最近掘削粘性土斜面の安定解析を全応力解析で評価せねばならない事態を経験した。しかも要請された条件は、安全な範囲内で掘削深さを極力大きくかつ斜面勾配はできるだけ大きくなるであった。つまりぎりぎりの設計をせよということである。本報告はこの経験を通じて得た掘削粘性土斜面の長期全応力解析に伴う極めて困難な問題点を指摘し、今後の参考に供しようとするものである。

2.掘削粘性土斜面に生じる問題点について

掘削粘性土斜面の安定性を全応力解析で評価するには、粘土地盤が掘削され、圧密（膨張）が終了したときの非排水せん断強度を知る必要がある。この時、ぎりぎりの設計・施工を行うには精度の高い非排水せん断強度を求めなければならない。このためには掘削された粘土は膨張し、強度が低下すること、掘削に伴って地盤内部の主応力軸が回転し強度の異方性が生じること等を精度よく考慮する必要がある。そこで、三田地ら¹⁾は膨張による強度の低下を鉛直有効応力を用いた過圧密比の関数として表現し、また太田・西原ら²⁾は K_0 過圧密状態にある粘土に対し、主応力軸の回転による強度の異方性を非排水せん断強度と主応力の方向の関係式として表現している。これらは地盤を水平に掘削した場合には適用可能であるが、掘削斜面に対しては斜面周辺での過圧密比を鉛直有効応力で定義することは適切でなく、また掘削後の応力状態は過圧密状態だけではない等の問題点を含んでいるため、これらの方法だけでは掘削斜面周辺の非排水強度を精度よく求めることはできない。

そこで以下では掘削斜面周辺において上述した問題点を考慮し、膨張による強度の低下、主応力軸の回転による強度の異方性を精度よく表現し得る非排水せん断強度の評価法について述べる。

3.非排水せん断強度評価法について

K_0 正規圧密粘土地盤が掘削され、圧密（膨張）が終了した後に非排水せん断を受ける場合の非排水せん断強度を求めるには、まず地盤内部の任意点における応力が非排水せん断を受ける直前にどの様な状態点に移行しているかを知る必要がある。そこで粘土を弾塑性体と見なし、関口・太田の構成則を用いて地盤内部の任意点の取り得る応力経路を考えると次の3つの場合が挙げられる。（図-1 参照）

- (A) 掘削され最終的に状態点が初期降伏曲面内部に移行する場合、つまり過圧密状態にある場合。ここに初期降伏曲面とは、掘削前の K_0 正規圧密状態の降伏曲面を意味する。
- (B) 掘削されたにも係わらず、状態点が変化しない場合。
- (C) 掘削され最終的に状態点が初期降伏曲面の外部に移行する場合、つまり弾塑性状態に移行している場合。

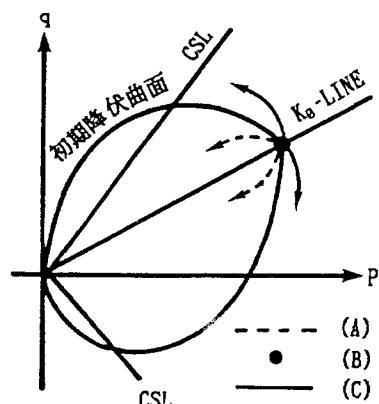
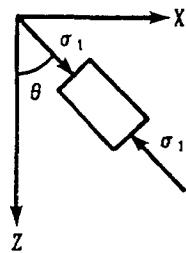


図-1 応力経路

そこで図-2に示すように座標軸及び応力の回転(θ)をとり、紙面に垂直な方向に変形が拘束されているような平面ひずみ状態を考え、上記のそれぞれの場合について非排水強度評価式を考える。(A),(B)についての非排水せん断強度評価式は先に述べた太田・西原らによる関係式がそのまま適用でき、次のように表されている。

$$\frac{C_u}{\sigma_{m1}} = \frac{n^\alpha \cdot M \cdot \exp(-\alpha)}{\sqrt{3}(\cosh \beta - \sinh \beta \cdot \cos 2\theta)} \quad \dots \dots \quad (1)$$



ここに、 $M=(\lambda-\kappa)/D \cdot (1-e_0)$, $\alpha=1-\kappa/\lambda$, $\beta=\sqrt{3} \cdot \alpha \cdot \eta_a/2M$, $\eta_a=3(1-K_0)/(1+K_0)$ 図-2 座標系
また、(C)の場合については(A),(B)の場合と同様に考え、次のように導くことができる。なお、式の誘導過程は紙面の都合上省略する。

$$\frac{C_u}{\sigma_{ma}} = \frac{M \cdot \exp(-\alpha + \alpha \cdot \eta_a^*/M)}{\sqrt{3}(\cosh \beta - \sinh \beta \cdot \cos 2\theta)} \quad \dots \dots \quad (2)$$

式中 C_u は非排水せん断強度、 σ_{m1} , σ_{ma} は非排水せん断を受ける直前の平均有効応力、 η_a^* は非排水せん断を受ける直前の応力比、 n は平均有効応力による過圧密比、 θ は主応力軸の回転を表している。さて、上式(1),(2)に基づいて斜面安定解析(全応力解析)を行なわんとすれば、それに先立つて σ_{m1} , σ_{ma} , η_a^* , θ 等を明らかにしておかねばならない。このことは、安定解析に先行して多次元圧密の弾塑性FEM解析を必ず実行しなければならないことと同義であり、ここに掘削斜面安定解析問題の最大の難点が指摘できるのである。すなわち、そもそも全応力解析が歓迎されるのは、何よりもその簡便さに求められることは言待たない。然るに、こうした簡便さを追求する過程で、逆に大変煩雑な弾塑性FEM解析を経なければならぬという意味での不条理さが第一に挙げられよう。現状では、構成則の選定とも関連して、弾塑性圧密解析自体少なからず曖昧さを伴うものであるが、これに加えて、掘削問題では除荷過程を含むため、数値的にその取扱が一層複雑となる。また、仮に首尾よく地盤が膨張(圧密)しきった時点の応力状態が得られたとしても、なお一つ依然として問題点が残るのである。それは破壊時の主応力の方向(換言すると θ の値)が未知のままであるという事実である。したがって、これについては膨張(圧密)しきった時点の主応力の方向が保持されたまま非排水せん断を受けると仮定せざるを得ない。

このように、膨張を伴う粘性土地盤の長期安定問題を全応力解析しようとすれば、非排水強度を決定する上で大変厄介な障壁が存在することになる。よしんば、強度の異方性を考えないにしても、膨張に伴う強度の低下が過圧密比の関数として表現される限り、これらの難点は容易には解消できない事実を我々は銘記すべきであろう。昨今、過圧密粘土の非排水強度式に関する研究は活発であるが、それらを実務に生かす観点からのアプローチも忘れてはならない。

4. 結び

粘性土地盤中に掘削斜面を形成する場合を想定し、その安定解析を全応力の立場で行う際に遭遇する2,3の難題を指摘した。近時、掘削粘性土地盤の安定解析に当たって、膨張に伴う強度低下を考慮せねばならないとの事実はよく周知されているが、実行はそれ程容易ではない。つまり、Easier said than done. である。

【参考文献】

- 1)三田地 利之, 小野 丘;過圧密状態の粘土の非排水強度推定法, 土と基礎, 土質工学会, Vol.33, Ser. No326, pp21-28, 1985.
- 2)山下 徳次郎, 西原 晃, 太田 秀樹, 崎 昭治郎;飽和粘性土の非排水せん断強度に関する考察, 第16回土質工学研究会発表講演集, pp321-324, 1981.