

III-68 有限要素法による斜面の安定解析

建設省北陸地建 ○山名清郷
東京工業大学 山口柏樹
同上 木村 孟
同上 藤井齊昭

1. 序論

有限斜面解析法には Bishop の一般解をはじめ Janbu の任意形状に対する解等種々の方法が提案されているが、これらはいずれも極限解析の考え方を適用したものである。これは Morgenstern らもくり返し述べているごとく、斜面内部の応力分布を知り得ないため、もし応力状態が解れば、斜面内のすべての点において応力に関する安全率を求めることができ、従っていかなるすべり面が起り得るかを予測することも可能となる。

最近、有限要素法 (F.E.M.) による土構物の応力解析がさかんに行われるようになり、有限斜面などの例としたものも少なくない。F.E.M. によれば、一応斜面内の自重による応力値を求めることが可能であるため、前述の安定解析よりもより直接的にすべり面の位置等を予測することができる。筆者らはこのような観点に立ち、F.E.M. を利用して斜面安定解析を試みたのでここに報告する。尚、斜面の一例として、昭和45年1月下旬に崩壊した国鉄飯山線高場山トンネルのデータを利用させて頂いた。

2. 応力～歪曲線、ポアソン比、強度定数及び安全率

(i) 応力～歪曲線……土の強度あるいは応力と歪の関係は粒子の構造、粒子間接触力、粒子間の電気的な力等によって大きく影響を受けることが知られている。したがって土のせん断試験初期に直線的勾配が現われるのは、この間では土構造の変化、粒子相互間の位置変化が起こっていないことによると考えても良いであろう。つまりこの直線部分を支配しているのは主として粒子間の接触圧の大きさであると仮定するのである。この接触圧それ自身は測定できるものではないが、これを表わすパラメータとして平均主応力 $\bar{\sigma}_m = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3)/3$ を考える。この応力はそれ自体大きくなっても土粒子間の位置を変えることなく、単に粒子相互をより強く押しつけるだけであるから、これを応力～歪の直線部分を支配するものと考えてもそれ程不合理ではないものと思われる。この考え方に立って、三軸C π 試験において、各種の圧密圧に対して $(\bar{\sigma}_1 - \bar{\sigma}_3) \sim \epsilon$ 曲線を描き、この初期接線勾配から $E(\bar{\sigma}_m)$ を求めた。図-1に高場山トンネル崩壊現場から採取した代表的と思われる三種の粘土試料についての実験結果を示した。

(ii) ポアソン比 高場山の粘土は透水性係数が非常に小さく、排水三軸試験を行なうことが不可能であったため、三軸C π 試験と標準圧密試験の結果から概略の値を類推するという便法をとった。即ち圧密リング内の試料は軸対称状態にあるから、側面が完全に滑らかであり鉛直応力 $(\bar{\sigma}_z)$ が断面に一樣に分布していると仮定すると $\epsilon_r = 0$, $\bar{\sigma}_r = \bar{\sigma}_\theta$ より

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \{ (\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 \}^{1/2} = \frac{1-2\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_z$$

を得る (図-2)。 ν はそれ程大きく変化しないとして

$$\sigma_m = (1+\nu)/3(1-\nu) \cdot \sigma_z, \quad \sigma_{eq} = (1-\nu)/(1-\nu) \cdot \sigma_z$$

三軸CUT試験で σ_m, σ_{eq} が求められると、その状態での弾性係数が知れる。体積圧縮率は体積圧縮係数の逆数と考えれば $\mu = (1-\nu)/E$ により ν が求められる。

(iii) 強度定数…… C, ϕ は主応力比 $\sigma_1/\sigma_3 \sim \Sigma_1$ のグラフよりピークに相当する σ_1', σ_3' を求めて Mohr 円を描きそれにより決定した。

(iv) 安全率……以上のデータをもちいて有限要素法により計算した応力成分により Mohr の円を描くことができる。この円上で最も危険な状態は破壊線に最も近い稜の応力状態である。即ち図-3で $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ の稜から ϕ に垂線 PH を下ろし Mohr 円との交点を Q とすると、Q の状態が最も危険であるからその度合を表わす定数として $S.F. = PH/PQ = P_r$ を考え、これを安全率の如くに考えた。

3. 結論

図-4には S.F.の低い部分の主応力の大きさと方向を示すと同時に簡便法による最小 S.F. に対する円弧に接する線を加えた。また図-5は S.F.の小さい稜での大きい主応力と $45^\circ - \phi/2$ なる角度をなす方向およびパイプ歪計による歪の実測データを示した。これらのデータにより (i) 簡便法による最小 S.F. に対する円弧に接する線が F.E.M. によって予想されるに領域の最下端を通っている。(ii) パイプ歪計の設置後最初に大きい歪を経験した所は、簡便法による円弧に接する線や F.E.M. より求めたに領域とほぼ一致していること (iii) 実測された亀裂の位置は、簡便法が斜面と交わる稜の近くにあり、F.E.M. による解析によってもこの稜の近くに亀裂の発生する可能性のあることが予測されることなどが明らかとなった。

