

京都大学 大学院 学生員 西原 晃
 京都大学 工学部 正 員 太田 秀樹
 京都大学 工学部 正 員 富 昭治郎

1. まえがき

異方圧密された粘性土の非排水せん断強度はせん断試験の方法によって異なった値をとることが多くの研究者によって報告されている。したがってこのようば粘性土地盤における実際の支持力問題あるいは斜面の安定などの問題では、解析に用いる強度定数をどのようなせん断試験によって求めるかは重要な問題である。本報告は正規圧密地盤における斜面の安定問題を例にとり、せん断方法の違いによる影響を検討したものである。

2. 非排水せん断強度

表-1は明物工 ($w_p=47\%$, $w_L=100\%$, $I_p=53\%$)を用いて K_0 圧密三軸圧縮試験と直接せん断試験(等体積一面せん断)を行い、鉛直応力に関する非排水せん断強度の増加率 C_u/σ'_0 を求めたものである。

この表より同一の試料であつてもせん断方法の違いにより非排水せん断強度がかなり異なることがわかる。太田・西原・富(第15回土質工学研究発表会, 1980)はこのようば異方圧密地盤の非排水せん断強度を弾塑性構成式を用いて導いており、その結果によると、たとえば K_0 圧密三軸圧縮試験 (K_0UC), 等方圧密三軸圧縮試験 (CIU) から求める C_u/σ'_0 の値はそれぞれ次式のように表される。

$$K_0UC: \frac{C_u}{\sigma'_0} = (1+2K_0)M \exp\left(\frac{\alpha\eta_0}{M} - \alpha\right) / 6 \quad (1) \quad CIU: \frac{C_u}{\sigma'_0} = M \exp(-\alpha) / 2 \quad (2)$$

ここに、 M は破壊時における応力比 $(\sigma_1 - \sigma_3)/\sigma'_m$ [σ'_m : 平均有効主応力] であり ϕ' との関係式(3)のようば関係がある。また α , η_0 はそれぞれ式(4), (5)で表されるようばパラメータである。

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \quad (3) \quad \alpha = 1 - \frac{C_s}{C_c} [C_c, C_s: \text{圧縮・膨張指数}] \quad (4) \quad \eta_0 = \frac{3(1-K_0)}{1+2K_0} \quad (5)$$

さらに、西原・太田・富(第16回土質工学研究発表会, 1981)は特性線の理論を用いてせん断面の方向と非排水せん断強度の関係を導いている。それによれば、主動領域におけるせん断面が水平となす角を ω とする時、この面上の非排水せん断強度は次式のように表される。

$$C_u = \sigma'_m M \exp(-\alpha) \left\{ \sqrt{1+(1-K_0)^2} + (1-K_0) \sin 2\phi' \right\} / \sqrt{3} \quad (6) \quad [\sigma'_m: \text{圧密終り時の平均有効主応力}]$$

また直接せん断試験(DSS)から求める非排水せん断強度を次のようば表している。

$$\frac{C_u}{\sigma'_0} = \frac{\tau}{\sigma'_0} = \frac{1+2K_0}{3\sqrt{3}} \cdot \frac{M \exp(-\alpha)}{\sqrt{1-(1-K_0)^2}} \quad (7)$$

表-1に示す計算値は上記の式(1), 式(7)を用いて計算した結果であり、実験値とよく対応している。以下にこれらの式を用いて正規圧密地盤における斜面の安定について考察を加える。

3. 正規圧密地盤における斜面の安定

例として図-1に示すようば斜面を考慮する。図-1より、

$$\phi = \pi/2 - \omega \quad (8) \quad z = R \{ \sin \omega - \cos(\alpha + \beta) \} \quad (9)$$

の関係があるから中心Oに関する抵抗力モーメントは式(6)を円形すべり面に沿って積分して次式で与えられる。

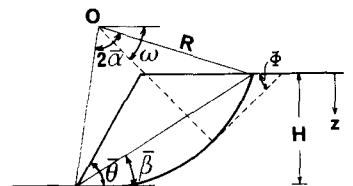


図-1 円形すべり面

$$\begin{aligned}
 M_R &= \int_{\pi/2-\bar{\beta}-\bar{\alpha}}^{\pi/2-\bar{\beta}+\bar{\alpha}} C_u R^2 d\omega = \frac{(1+2K_0)r}{3\sqrt{3}} \cdot M \exp(-\alpha) \cdot \\
 &\cdot \int_{\pi/2-\bar{\beta}-\bar{\alpha}}^{\pi/2-\bar{\beta}+\bar{\alpha}} \left\{ 1 + (1-K_0)^2 + (1-K_0) \sin 2\omega \right\} \left\{ \sin \omega - \cos(\bar{\alpha} + \bar{\beta}) \right\} R^2 d\omega \\
 &= \frac{rH^3 M \exp(-\alpha) / (1 + (1-K_0)^2)}{72\sqrt{3} \sin^2 \bar{\alpha} \sin^2 \bar{\beta}} \left[6 \left\{ \sin \bar{\alpha} \cos \bar{\beta} - \bar{\alpha} \cos(\bar{\alpha} + \bar{\beta}) \right\} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1-K_0}{\sqrt{1+(1-K_0)^2}} \sin^2 \bar{\alpha} \sin^2 \bar{\beta} \left\{ 2 \cos(\bar{\alpha} - \bar{\beta}) + \cos(\bar{\alpha} + \bar{\beta}) \right\} \right] \quad (10)
 \end{aligned}$$

なお式(10)において $\sigma_{m0}' = (1+2K_0)r/3$ となっている。

一方、すべりを起こそうとするモーメントは図-1より、

$$M_S = \frac{rH^3}{12} \left[1 - 2 \cot^2 \bar{\theta} + 3 \left\{ \cot \bar{\beta} \cot \bar{\theta} + \cot \bar{\alpha} \cot \bar{\beta} - \cot \bar{\alpha} \cot \bar{\theta} \right\} \right] \quad (11)$$

と表され、斜面の安全率 F は $F = M_R/M_S$ で求められる。今、強度定数を求めるための室内せん断試験として等方圧密3軸圧縮試験(式(2))と直接せん断試験(式(7))を考えると安全率 $F (= M_R/M_S)$ を次のような形で表すこともできる。

$$F = N_1 \frac{C_u}{\sigma_{v0}'} \quad (12) \quad , \quad F = N_2 \frac{\tau}{\sigma_{v0}'} \quad (13)$$

係数 N_1, N_2 は角度 $\bar{\alpha}, \bar{\beta}, \bar{\theta}$ および静止土圧係数 K_0 を変数とする無次元の関数である。斜面の角度 $\bar{\theta}$ と K_0 が与えられると、円形すべり面は最小の安全率を与えるように決められるわけであるが、いろいろな斜面角度 $\bar{\theta}$ に対して最小の安全率となるような $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ の値を数値計算により求めると図-2に示すようになる。各 $\bar{\theta}$ の値に対して、 K_0 の値による $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ の値の変化はほとんどみられない。図-2に示される $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ の値を用いて係数 N_1, N_2 を計算するとそれぞれ図-3、図-4に示すようになり、これらの図を用いて斜面の安全率を簡単に求めることができる。たとえば有明拓工の場合を考えると、表-1に示す直接せん断の結果($\tau/\sigma_{v0}' = 0.215$)を用いれば、 $K_0 \approx 0.5$ であるから図-4より $F = 1$ に対して $\bar{\theta} \approx 50^\circ$ という値を得る。従来の解析のように異方圧密の影響を考えない場合($K_0 = 1$ とすることと同じ)には $\bar{\theta} \approx 35^\circ$ となり安全側の設計となる。次に、等方圧密3軸圧縮試験の場合を考えると、等方圧密3軸圧縮から求める C_u/σ_{v0}' の値は K_0 圧密3軸圧縮の結果より若干小さい値となるからたとえば $C_u/\sigma_{v0}' = 0.3$ とすれば $K_0 \approx 0.5$ に対して図-3より $\bar{\theta} \approx 50^\circ$ となる。一方この値を用いて従来のような安定解析を行えば $\bar{\theta} \approx 65^\circ$ となり危険側の設計とすることがわかる。以上のことから異方圧密地盤においては強度定数の決定には十分注意が必要であり、一面せん断のような直接せん断試験から求める強度定数を用いれば不経済ではあるが少なくとも安全側の設計をすることができるといえる。

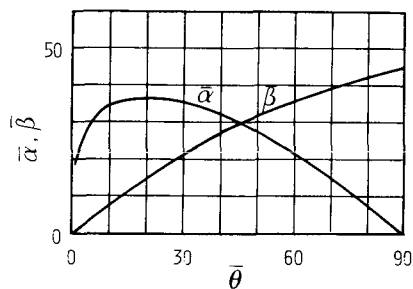


図-2 斜面傾斜角 $\bar{\theta}$ と $\bar{\alpha}, \bar{\beta}$ の関係

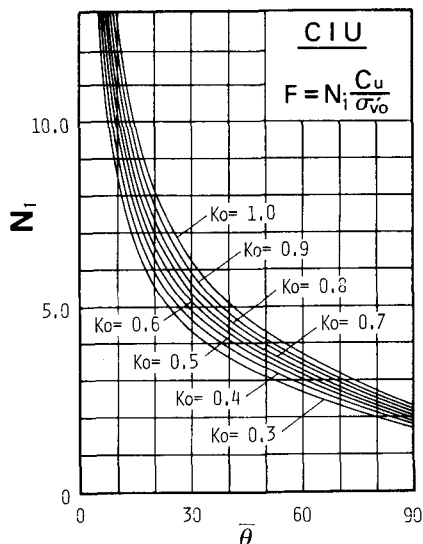


図-3 係数 N_1 (等方圧密3軸圧縮)

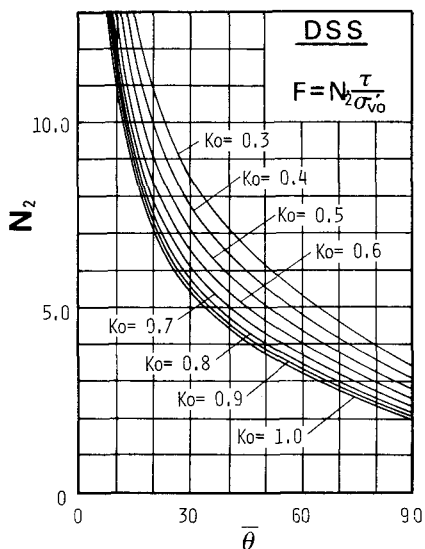


図-4 係数 N_2 (直接せん断)