

○ 京都大学 大学院 学生員 西原 寛
 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

異方圧密された地盤はせん断の方向によって非排水せん断強度が異なることが知られている。このような強度異方性は工の構造骨格の異方性(構造異方性)と、圧密終了時の応力状態が異方であること(応力異方性)に起因するとされている。この2つの異方性は複雑に関係を合っているものと考えられるが、普通別々に取り扱われることが多い。工の構造異方性を考える場合は工を微視的にとらえなければならず、したがってせん断強度の異方性を定量化するにはいくつかの困難をともなっているように思われる。そこで本報告では工の構造異方性は考慮せず、初期の主応力方向とせん断時の主応力方向が異なるために生ずる強度の異方性について検討を加えている。

2. 非排水せん断強度

ここでまず、関口・太田(オ9国土賞工学国際会議, 1977), 太田・関口(オ3回地盤力学数値解析会議 1979)によって提案されている異方圧密土の構成式を用いてせん断方向と非排水せん断強度の関係式を導く。非排水せん断強度は、排水条件と破壊条件とをともに満足する応力値として求められる。関口・太田のモデルによれば、非排水条件と破壊条件はそれぞれ次式で与えられる。

$$\text{非排水条件: } \frac{\lambda}{1+e_0} \ln \frac{p}{p_0} + D \eta^* = 0 \quad (1)$$

$$\text{破壊条件: } \frac{2\eta^*(\lambda-k)}{3D(1+e_0)} - \frac{S_{re}}{p} \left(\frac{S_{re}}{p} - \frac{S_{re0}}{p_0} \right) = 0 \quad (2)$$

ここに、 λ , k はそれぞれ $0.434 C_c$, $0.434 C_s$, e_0 , p_0 は圧密終了時の間隙比と平均有効主応力であり、 D はダイレイタンシー係数である。また、

$$p = \frac{1}{3} \sigma'_{ij} \delta_{ij} \quad (3) \quad s_{ij} = \sigma'_{ij} - p \delta_{ij} \quad (4) \quad \eta_{ij} = \frac{s_{ij}}{p} \quad (5)$$

$$\eta^* = \sqrt{\frac{3}{2} (\eta_{ij} - \eta_{ij0})(\eta_{ij} - \eta_{ij0})} \quad (6)$$

以下添字 0 は圧密終了時を表わすことにする。

せん断の方向として Fig. 1 に示すような例を考えよう。同図に示してある記号は1番目がせん断面、2番目がせん断の方向を表わしており、 H , V はそれぞれ鉛直、鉛直を意味している。 HH と VV の方向の非排水せん断強度は太田・西原・富(オ15国土賞工学研究発表会), 西原・太田・富(同)によって提案されている式を用いて求めることができる。平面ひずみ条件のもとでは、 HH , VV とともに同じ値となり次式で表わされる。

$$HH, VV: \frac{C_u}{p_0} = \frac{1}{\sqrt{3}} M \exp(-\alpha) \cosh \beta \quad (7)$$

$$\text{ここに, } M = \frac{\lambda-k}{D(1+e_0)} \quad (8) \quad \alpha = 1 - \frac{k}{\lambda} \quad (9) \quad \beta = \frac{\sqrt{3}\alpha\eta_0}{2M} \quad (10) \quad \eta_0 = \frac{3(1-K_0)}{1+2K_0} \quad (11)$$

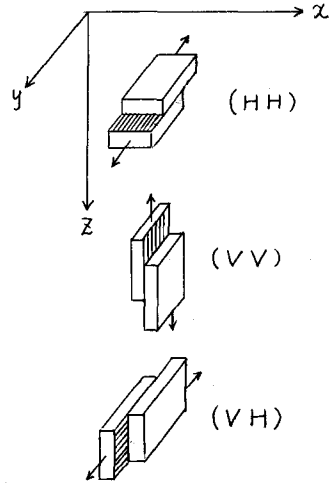


Fig. 1

したがってここでは残るVH方向の非排水せん断強度を求めることにする。今、Fig. 1に示すように水平面内にx, y軸、鉛直下方にz軸をとる。VH方向のせん断ではz軸は主応力方向となる。またx, y軸とせん断時の主応力方向に一致させる。非排水せん断強度は式(1)と式(2)を連立させて解けば求められるわけであるが、未知変数として $\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_z$ の3個の応力成分を含んでいる(初期の応力成分は $\sigma'_{z0} = \sigma'_{y0} = K_0 \sigma'_{x0}$, σ'_{x0} : 既知として与えられる)とのもう1つ条件が必要となる。そこでz軸方向の全応力はエッジで、せん断中も変化しないと考える。さらに平均主応力(全応力)が一定の場合を考えると $\sigma'_z = \sigma'_{z0} - (p_0 - p)$ の式が得られる。これを式(1), (2)に代入して整理すれば最終的に次式のようになる。但し、 $cu = (\sigma'_x - \sigma'_y) / 2.0$ と仮定している。

$$VH: \left. \begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{M}{\alpha} \frac{b}{p_0} \frac{cu}{p_0} + \sqrt{\left(\frac{cu}{p_0}\right)^2 + \frac{1}{3} \eta_0^2 \left(1 - \frac{p}{p_0}\right)^2} \\ & \frac{M}{\sqrt{3}} \frac{p}{p_0} \sqrt{\left(\frac{cu}{p_0}\right)^2 + \frac{1}{3} \eta_0^2 \left(1 - \frac{p}{p_0}\right)^2} - \left\{ \left(\frac{cu}{p_0}\right)^2 + \frac{1}{3} \eta_0^2 \left(1 - \frac{p}{p_0}\right)^2 \right\} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

式(12)は cu/p_0 と p/p_0 と未知数とする連立方程式であり、数値計算により cu/p_0 が容易に求まる。

Fig. 2は式(4)と式(12)による計算結果を示したものである。計算にあたっては、軸対称圧縮時に成り立つ $M = 6 \sin \phi / (3 - \sin \phi)$ という関係式を用いてMを求め、さらに乾砂(オ20回工機工学シンポジウム, 1975)が提案している $M = 1.75 \alpha$ なる経験式で α を計算している。 $K_0 = 1$ すなわち等方圧密の場合はせん断方向にかかわらず強度は一定となる。計算結果によればVH方向の強度はHH, VV方向よりも小さくなり、またHH, VVに比べて、 K_0 値の影響もよく受けることがわかる。円筒には比較の意味で、現場からサンプリングした試料を用いて等体積一面せん断試験を行って得られた結果を示している。Test Aは原位位置の応力状態を想定して、HHは最大先行荷重、VV, VHはその1/2の上載圧をかけてせん断している。Test Bはいすの試験とも先行荷重の1/2をかけて過圧密の状態にしてせん断を行った。正規圧密の状態に近いTest Aの結果はVV方向を除いて計算結果とよく対応を示している。過圧密であるTest Bではせん断の方向による強度の相違がほとんどみられない。

Fig. 2からわかるようにVH方向の非排水強度は K_0 値の影響をよく受け、一方HH方向はそれほどでもないで、両者の比を用いて K_0 値を推定することができ。Fig. 3はVH方向とHH方向の非排水せん断強度の比 $(cu)_{VH} / (cu)_{HH}$ と K_0 値を変えて計算したものである。 ϕ がわっている時、原位位置でVHとHH方向の非排水強度を測定することができればこの図を用いて原位位置の K_0 値が推定できる。Aas (6th ICSMFE, 1965)は最上と幅というように変えて原位位置へ試験を行ってVHとHH方向の強度比を求めた。その結果をプロットしたのがFig. 3の■と□である。■は正規圧密地盤、□は過圧密地盤である。AASの報告にはP.I.しか与えられていないので、Bjerrum-Simmons (ASCE 乾砂のせん断強度に関する研究会議, 1960)が示しているP.I.と ϕ の関係を用いて ϕ を求めた。Fig. 3から正規圧密地盤に対して $K_0 = 0.45 - 0.5$, 過圧密の場合 $K_0 = 0.7$ という値が得られる。等体積一面せん断結果もプロットしてありますが、Test Aに対し $K_0 = 0.5$, Test Bに対し $K_0 = 0.8$ というおおむね等値を得た。

