

III-68 過圧密粘土の三軸圧縮と伸張試験結果の比較

京都大学防災研究所 正員 大 槻 正 紀

要旨 過圧密粘性土の一般応力条件下での応力～ひずみ関係を知る手始めとして、繰り返し再圧密の過圧密粘土試料を用いた三軸圧縮および伸張試験結果を示した。また、これらの試験結果のピーク時の応力比に着目して、拡張された von Mises の破壊基準と松岡・中井¹⁾による破壊基準とその両極端にもつ中間空間モビライズド面の概念を新しく導入し、試験結果の解析を行なった。

平均主応力一定試験結果 試験に用いた試料、供試体作成および試験の方法は文献³⁾と同じで、周囲排水条件で行なっている。図中には、実線および破線それぞれ Mohr-Coulomb (三軸圧縮と伸張に限れば松岡¹⁾と同じ)、Lade²⁾による破壊基準を用いて、三軸圧縮のピーク時および残留時に対応した三軸伸張での q/p を示している。残留時の試験結果は(特に伸張での)供試体の不均一変形のため精度は十分でないで、ここではピーク時の強度を中心に検討する。図より中間主応力の影響は不明であるが、この試料のピーク強度は、過圧密比の増大とともに Mohr-Coulomb または松岡¹⁾の基準から拡張された von

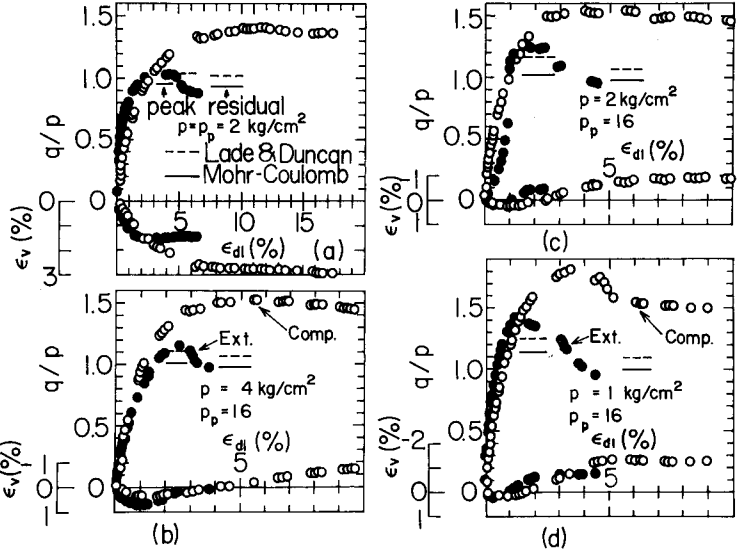


図-1 正規圧密および過圧密試料の平均主応力一定試験結果

Mises の基準に近づいていくとみなすことができる。

中間空間モビライズド面と過圧密粘土の応力～ひずみ関係 図-2(a)は相異なる主応力のモールの応力円と $(-\sigma_0, 0)$ からのこれらへの接線を示す。これらの各接点での応力の作用面は(b)図の主応力空間では、各 σ_i 軸 ($i=1, 2, 3$) を $\sqrt{\sigma_i + \sigma_0}$ で切る直線で示される。ここで、これらの3直線で構成される平面を中間空間モビライズド面と称する。ここでは軸対称条件のみを考えるので応力とひずみの主軸が一致するとして、この面上でのせん断、垂直応力比 τ/σ_N とせん断および垂直ひずみ $\gamma/2$ 、 ϵ_N は松岡¹⁾と同様にして式(1)～(3)となる。ここに、 I_1, I_2, I_3 はそれぞれ応力の第1, 第2, 第3次不変量である。式(1)～(3)は、 $\sigma_0 = 0$ とすれば松岡¹⁾のものと、 $\sigma_0 \rightarrow \infty$ とすれば、正八面体面上のそれらに一致する。したがって、この面上での $\tau/\sigma_N =$ 一定の破壊

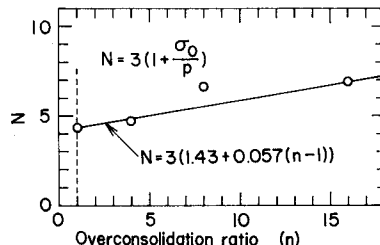
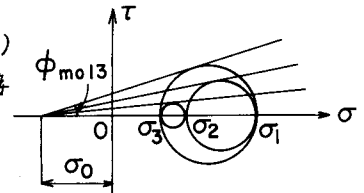
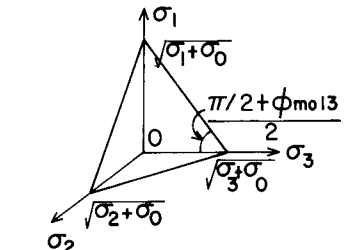


図-3 $N \sim O.C.R.$ 関係



(a) Mohr's stress diagram



(b) Intermediate spatial mobilized plane (ISMP)

図-2 中間空間モビライズド面

基準は、 σ_0 と $[0, \infty)$ の範囲で与えることにより、

$$\frac{\tau}{\sigma_N} = \frac{\sqrt{(I_3 + \sigma_0 I_2 + \sigma_0^2 I_1 + \sigma_0^3) \{ 2\sigma_0(I_1^2 - 3I_2) + I_1 I_2 - 9I_3 \}}}{3I_3 + 2\sigma_0 I_2 + \sigma_0^2 I_1} \quad \dots\dots\dots (1)$$

松岡ら¹⁾の基準から拡張された von Mises の基準²⁾での間の状態を表現し得る。

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{I_3 + \sigma_0 I_2 + \sigma_0^2 I_1 + \sigma_0^3}{I_2 + 2\sigma_0 I_1 + 3\sigma_0^2} \sqrt{\frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2}{(\sigma_1 + \sigma_0)(\sigma_2 + \sigma_0)} + \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_3)^2}{(\sigma_2 + \sigma_0)(\sigma_3 + \sigma_0)} + \frac{(\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}{(\sigma_3 + \sigma_0)(\sigma_1 + \sigma_0)}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

つぎに、三軸圧縮と伸張条件の場合に限ると式(1)は式(4)、(5)になる。ここ

$$\epsilon_N = \frac{(\sigma_2 + \sigma_0)(\sigma_3 + \sigma_0)\epsilon_1 + (\sigma_3 + \sigma_0)(\sigma_1 + \sigma_0)\epsilon_2 + (\sigma_1 + \sigma_0)(\sigma_2 + \sigma_0)\epsilon_3}{I_2 + 2\sigma_0 I_1 + 3\sigma_0^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

に、 $\eta = g/p$, $N = 3(1 + \sigma_0/p)$ である。また、同じ τ/σ_N では ϵ_N および $\gamma/2$ も同じになると仮定す

$$\text{Triaxial Compression : } \frac{\tau}{\sigma_N} = \frac{\eta \sqrt{2(N-\eta)(N+2\eta)}}{3N + 3\eta - 2\eta^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ると三軸圧縮(サフィックス C)と伸張(サフィックス E)

$$\text{Triaxial Extension : } \frac{\tau}{\sigma_N} = \frac{\eta \sqrt{2(N+\eta)(N-2\eta)}}{3N + 3\eta - 2\eta^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

での偏差ひずみ ϵ_{d1C} 、体積ひずみ ϵ_v の関係は式(6)

$$\frac{\epsilon_{d1C}}{\epsilon_{d1E}} = 2 \frac{N + \eta_C}{\sqrt{(N+2\eta_C)(N-\eta_C)}} \frac{\sqrt{(N-2\eta_E)(N+\eta_E)}}{N - \eta_E} \quad \dots\dots\dots (6)$$

、(7)となる。図-3は、

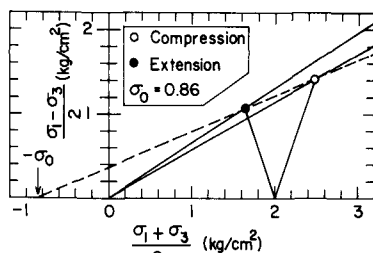
$$\epsilon_{vE} = \epsilon_{vC} - \frac{3}{N + \eta_C} \left\{ \eta_C - \frac{\eta_E \sqrt{(N+2\eta_C)(N-\eta_C)}}{\sqrt{(N-2\eta_E)(N+\eta_E)}} \right\} \epsilon_{d1C} \quad \dots\dots\dots (7)$$

と過圧密比の関係である。

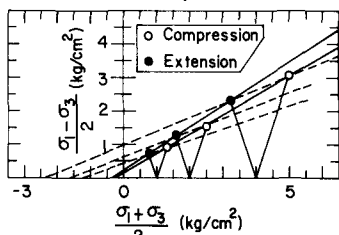
この関係を式(8)とする。

$$N = 3 \{ N_0 + N_g (n - 1) \} \quad \dots\dots\dots (8)$$

図-4において、同じ過圧密比での両試験のピーク点を連ねる直線(破線)は $(-\sigma_0, 0)$ を通る。また、同図(b)には、両試験の破壊線(実線)を示している。



(a) N.C. clay



(b) O.C. clay

解析結果 図-5は式(4)

~(8)の関係を、先に示した応力~ひずみ関係³⁾(定数値も同じ)による計算結果である。図-6は応力経路の計算結果である。両試験の破壊線は同一の点 $(-\sigma_0, 0)$ で交っており、先行圧密圧力 p_p による見かけ上の粒子間引きは応力 σ_0 を示している。

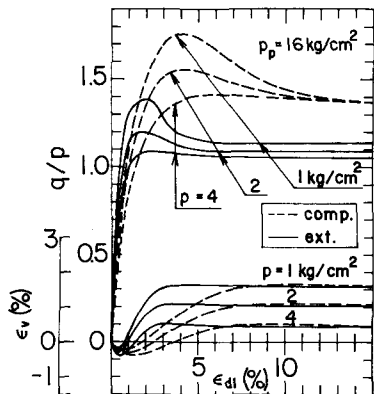


図-5 応力~ひずみの計算結果

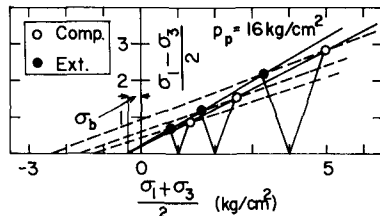


図-6 応力経路とピーク点(計算)

謝辞：御指導頂いている京都大学防災研究所 柴田 徹教授、実験で協力を得た 同 清水博樹技官に深謝の意を表します。

引用文献 1)松岡・中井(1974)：土木学会論文報告集 pp.59~70 2)Lade and Duncan(1975)：ASCE, GT10, pp.1037~1053 3)大橋(1977)：土木学会関西支部年次学術講演概要, pp.II-1-1~4.