

京都大学 防災研究所 正員 柴田 徹
同 上 " 関口 秀雄
不動建設 (株) " ○河本 憲二

まえがき

プレロード工法、サーチャージ工法などにより軟弱な粘土地盤を改良し構造物を構築する際、軽く過圧密された粘土の変形挙動を知ることが重要な問題となる。筆者らはこのような過圧密比が1.0よりやや大きい粘土の変形挙動を知るために過圧密比が3以内の過圧密粘土、及び正規圧密粘土について平均主応力一定下で排水せん断試験を行なった。以下に実験結果の一部とその解析結果について報告する。

試験の方法

大阪南港で採取した沖積粘土を、液性限界(100%)の1.2倍～1.5倍の含水比で攪拌し、1%ふるいを通した後、大型圧密容器で $\sigma_1 = 0.25 \text{ Kg/cm}^2$ まで K_0 圧密したブロックより、所定の大きさ(断面積・約 10 cm^2 、高さ 8 cm)に成形し供試体を作成した。過圧密試料は、まず等方圧 2.4 Kg/cm^2 で圧密後に 0.6 Kg/cm^2 まで膨潤させ、さらに所定の等方圧(平均主応力)まで再圧密して作り、その後段階的にせん断応力(応力比)を加えて排水せん断をした。一段階の排水期間は一週間を標準とした。正規圧密土は、同様に所定の等方圧で圧密して作り、その後せん断を加えて排水せん断を行なった。

体積ひずみ(v)に関する考察

せん断による体積ひずみは、等方圧密後の応力比の増加に伴なり間げき比の減少としてとらえることができる。過圧密粘土の間げき比の変化を図-1に示す。図に示すように、等応力比線上の間げき比は膨潤線(SL)と限界線(CL)の交点を通る直線上にプロットできる。従って、過圧密粘土の間げき比は次式で表示できる。

$$e = \Gamma - (K + \mu) \ln \frac{P}{P_q} \quad \text{--- (1a)} \quad , \quad \mu = f(\eta) = \frac{A_0 \eta}{1 - B_0 \eta} \quad \text{--- (1b)}$$

ここに、 e ；間げき比、 P ；平均主応力、 η ；応力比、 K ；膨潤指数、 A_0 、 B_0 ；過圧密粘土のダイラタンシー係数、 Γ ；図-1参照。 P_q は、上述の膨潤線と限界線の交点(ロスコー¹⁾らのいう限界線と降伏曲面の交点)での平均主応力であり、等方先行圧密荷重 P_p と $P_q = P_p/E$ (E は自然対数の底)なる関係がある。式(1)にこの関係を入れて過圧密粘土の塑性体積ひずみ増分を求めると次式となる。

$$\delta v^p = \frac{\alpha \cdot A_0 \cdot \delta \eta}{(1+e)(1-B_0 \eta)^2} \left(1 - \ln \frac{P_p}{P}\right) \quad \text{--- (2)}$$

ただし $\alpha = 1$ for $\delta \eta > 0$, $\alpha = 0$ for $\delta \eta \leq 0$ 。弾性分は、 $\delta v^e = K \delta p / (1+e) \cdot P$ 。

一方、正規圧密粘土のせん断による間げき比の減少量は、図-2に示すように応力比が限界応力比(M)に近づくにつれ、加速する傾向がみられる。これを(1)式と同様に次式で表わす。

$$\Delta e \eta = \frac{A_n \eta}{1 - B_n \eta} \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 A_n 、 B_n は正規圧密粘土のダイラタンシー係数。式(3)

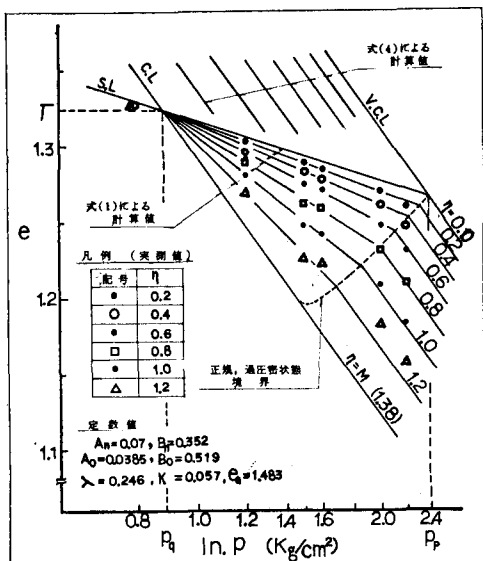


図-1 過圧密粘土の間げき比の変化

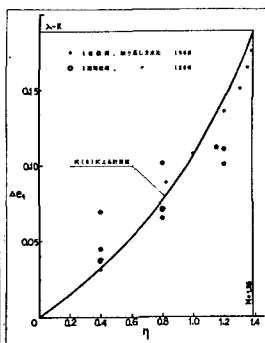


図-2 正規圧密粘土の間げき比の変化

で $B_n = 0$ とすれば、 A_n は柴田²⁾のダイラタンシー係数に相当する。式(3)に、圧密による間げき比の変化を加えて、正規圧密粘土の間げき比は次式で表わされる。

$$e = e_a - \lambda \ln P - \frac{A_n \eta}{1 - B_n \eta} \quad (4) \quad \begin{matrix} e_a; P = 1, \eta = 0 \text{ での間げき比} \\ \lambda; \text{圧縮指数} \end{matrix}$$

式(4)より、塑性体積ひずみ増分 (δv^p) は、次式で表わされる。

$$\delta v^p = \frac{1}{1+e} \left\{ \frac{(\lambda-K) \delta p}{P} + \frac{A_n \eta}{(1-B_n \eta)^2} \delta \eta \right\} \quad (5)$$

式(1)、式(4)による計算結果を図-1に、式(3)による計算結果を図-2に示すが、実験の結果をよく説明できる。式(1)と式(4)を連立させて解くと、平均主応力一定下の排水せん断の場合の正規状態と過圧密状態の境界を求めることができる。図-1にその結果を示した。

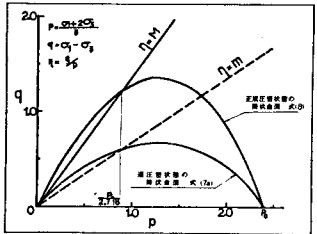


図-3 降伏曲面群

偏差ひずみ成分 (ϵ_d) に関する考察

塑性偏差ひずみ増分と塑性体積ひずみ増分の間に次のような関係が成立すると仮定する。

$$\frac{\delta \epsilon_d^p}{\delta v^p} = \frac{1}{(M^2/m) - \eta} \quad (6)$$

m は、図-3に示すように、過圧密状態の降伏曲面を表わすために用いた変数で次式で表わされる。 ($m \leq M$)

$$m = \frac{\eta}{(1-B_n \eta) \ln(P_0/p) + B_n \eta} \quad (7a)$$

なお、ここでは P_0 をひずみ硬化パラメーターとみなし、次式に従って変化するものとする。

$$\frac{\delta P_0}{P_0} = \frac{1}{\lambda - K} (-\delta e - K \frac{\delta P}{P}) \quad (7b)$$

式(7a)は、式(4)から求まる正規圧密粘土の降伏曲面の式(式-8)の定数 M を変数 m にかえ、 m について整理したものである。

$$\eta = \frac{\ln(P_0/p)}{B_n \ln(P_0/p) + (1-B_n M)/M} \quad (8)$$

式(2)、式(5)、式(6)より塑性偏差ひずみ増分は次式となる。

$$\delta \epsilon_d^p = \frac{\alpha}{(1+e)(\frac{M^2}{m} - \eta)} \left[\frac{A_0}{(1-B_0 \eta)^2} \left\{ 1 - \ln\left(\frac{P_p}{P}\right) \right\} \right] \quad \text{過圧密粘土 } m < M \quad (9)$$

$$\delta \epsilon_d^p = \frac{1}{(1+e)(M - \eta)} \left[\frac{(\lambda-K)}{P} \delta P + \frac{A_n}{(1-B_n \eta)^2} \delta \eta \right] \quad \text{正規圧密粘土 } m = M \quad (10)$$

さらに、正規圧密粘土、過圧密粘土の両者に対し偏差ひずみの弾性成分を次式で表わす。

$$\epsilon_d^e = \frac{P_p}{3G} \eta \quad (11) \quad \begin{matrix} G; \text{せん断弾性係数} \\ (P_p/3G \text{ は一定値と扱う}) \end{matrix}$$

むすび

以上軽く過圧密された粘土の応力とひずみを、正規圧密土と対比しながら説明した。実測値との比較は、図-4、図-5に示すようである。非排水試験で、計算値が実測値に比べ小さいのは時間効果によるものと思われ、今後クリープを取り入れた解析に拡張する予定である。

〔参考文献〕1) Schfield, Wroth「Critical State Soil Mech」1968, McGraw-Hill 2) 柴田徹「粘土のダイラタンシーについて」京大防災年報1963

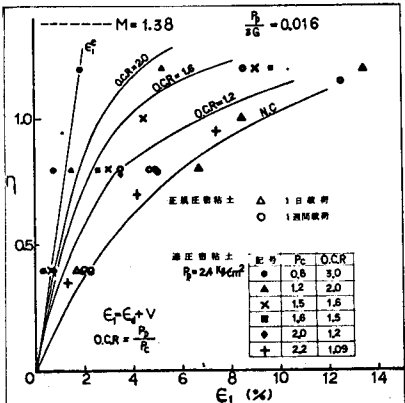


図-4 排水試験での実測値との比較

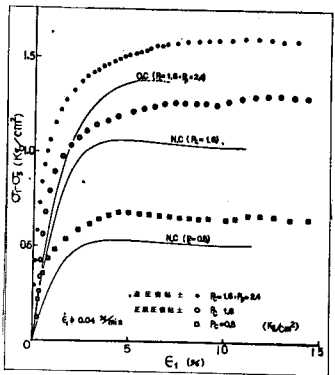


図-5 非排水試験での実測値との比較