

繰返し応力を受ける粘土の間隙水圧特性

九州大学大学院 学○吉川幸夫 九州大学工学部 正 落合英俊
九州大学工学部 正 梅崎健夫 九州大学工学部 学 村上 哲

1. まえがき

一定の繰返し応力をN回受ける飽和粘土の変形挙動を把握するため、大きさが異なる応力比(η_a)一定の非排水繰返し三軸試験を実施した。試験結果の載荷点をp-q面上で整理すれば、その有効応力点は繰返し回数(N)毎に表現できる¹⁾。本文は、p-q面上の等N線を静的載荷における応力経路と同様に捉え、これを評価しようとするものである。ここで、新たに提案した応力比は、繰返し回数に依らずせん断ひずみと一義的な関係になることを示し、この応力比と間隙水圧増分比の関係を明らかにした。

2. 基本的な考え方

試験は、側圧を一定にし軸圧のみを繰返し載荷した。応力経路をFig.1に示す。応力成分を等方応力成分($\Delta p = (\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_2 + \Delta \sigma_3)/3$)と偏差応力成分($\Delta q = \Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$)とに分けて考える。これに対応するひずみとして体積ひずみ ε_v 、せん断ひずみ γ を以下のように定義する。

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{vd} + \varepsilon_{vc} = \varepsilon_{vd}^p + \varepsilon_{vd}^o + \varepsilon_{vc}^p + \varepsilon_{vc}^o = \varepsilon_1 + 2\varepsilon_3$$

$$\gamma = \gamma_d + \gamma_c = \gamma_d^p + \gamma_d^o + \gamma_c^p + \gamma_c^o = \varepsilon_1 - \varepsilon_3/3$$

ここに、 γ_d^p , γ_c^p , γ_d^o , γ_c^o は各々 q 成分, p 成分によるひずみである。 ε_1 , ε_3 は各々塑性成分, 弾性成分を表す。

体積ひずみが生じない非排水繰返し三軸試験の載荷点を考える。Fig.2に示すように、 Δp によってせん断ひずみは生じないとする。一方、 Δq は蓄積される間隙水圧(U_d)とせん断ひずみは($\gamma = \varepsilon_1$)を生じさせる。このことから、本試験においては U_d と γ のみを検討した。

さて、Fig.3に示すように、応力比一定試験($\eta_a = \text{const.}$)の載荷点では、 η_a 一定状態において、繰返し回数Nが大きくなるにつれて γ と U_d/p_0 が増加する。これを繰返し回数Nに着目して整理すれば、静的載荷時の応力比・ひずみ関係と同様の関係が得られる。以下、N毎の間隙水圧特性の評価を行い、非排水状態における粘土の応力・ひずみ関係を検討する。

3. 試料および試験方法

試料は、有明粘土($G_s = 2.627$, $W_L = 98\%$, $I_p = 54\%$)を用いた。200%の含水比で練り返した試料を予圧密(0.5 kgf/cm^2)した後、直径5cm高さ10cmの供試体を成形した。試験は、繰返し三軸試験装置を用い、背圧(2.0 kgf/cm^2)を負荷し、所定拘束圧($\sigma_1 = \sigma_3 = 1.0, 1.5 \text{ kgf/cm}^2$)で24時間圧密させ初期状態とした。間隙水圧は、全面(上下端部および周面)で測定が行われた。側圧(σ_3)を一定に保ち所定の応力比($\eta = q/p$)を周波数 $f = 0.02 \text{ Hz}$ で繰返し載荷した。波形は、片振り正弦波である。

4. 限界状態と応力パラメータ

繰返し応力を受ける粘土の状態を把握するため、まず限界状態を定義する。間隙比(e)の異なる種々の供試体について、非排水繰返し三軸試験を行った。載荷時における有効応力点は、ある有効応力比($\eta' = q/p'$)以上にはならず、せん断ひずみのみが大きくなる($\gamma = 10\%$ 以上)状態が存在

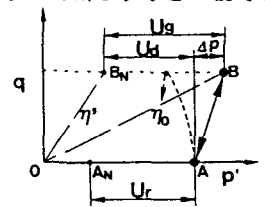


Fig.1 応力経路

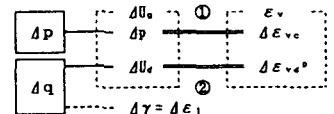


Fig.2 応力・ひずみパラメータ

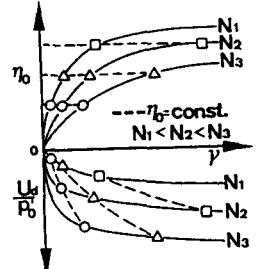


Fig.3 N毎の応力ひずみ関係

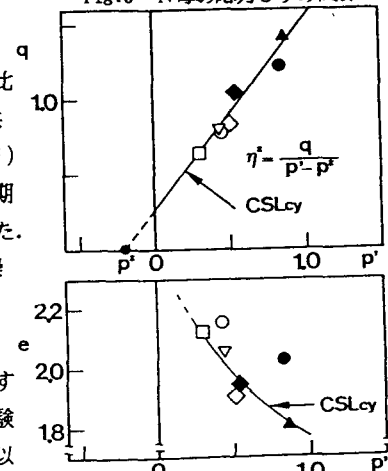


Fig.4 繰返し限界状態線

する。これを限界状態点とし、Fig.4に示すように、これらを連ねた線を繰返し限界状態線 (CSL) と定義した。繰返し限界状態線とp軸の交点 p' を新たな原点とし、繰返し限界状態線の勾配 M' を上限とする応力比 $\eta' = q/(p' - p)$ を新たなパラメータとして提案する。これを用いれば、限界状態までの粘土の挙動を統一的に評価できる。

5. N毎の間隙水圧特性

N回履歴を受けた粘土が発生する間隙水圧の挙動、すなわち、等N線で表わす応力経路は、 η' の変化とN毎の拘束圧 p_{0N} の変化で規定される。Fig.5に示すp-q面上の等N線は、 M' を限界状態とする応力比 $\eta' = f(M', p')$ をパラメータとし、相似形の曲線群として表される。次に、N毎の有効応力とせん断ひずみについて考える。応力比 η' とせん断ひずみの関係をFig.6に示す。この関係は、初期拘束圧、繰返し回数、応力比に依らず一義的に定まる。さらに、この関係は静的荷重試験の結果とほぼ等しく重要な材料特性として捉えられる。一方、繰返し回数N毎の間隙水圧とせん断ひずみの関係は、初期切片を持つ相似な曲線となる。これは、p-q面上の等N線が相似形であることと一致する。また、Fig.7に示すように、応力比 η' と間隙水圧増分・せん断ひずみ増分比関係は、初期拘束圧、繰返し回数、応力比に依らず M' を切片とし一義的な関係として表される。

6. あとがき

非排水繰返し応力を受ける粘土の変形挙動を繰返し回数Nに着目し考察を行った。得られた結論を以下に示す。新たなパラメータ η' とせん断ひずみには一義的な関係が存在し、これは重要な材料特性と考えられる。また、繰返し回数に依らない応力比 η' と間隙水圧増分・せん断ひずみ増分比関係を得ることができた。今後 U_d と $\Delta \varepsilon_{vd}$ の関係²⁾ (Fig.2の②)が求められるならば、繰返し載荷問題における粘土の応力比・ひずみ増分比関係を得ることができ、応力・ひずみ関係に発展することができる。

参考文献

- 1) 梅崎ら：繰返し応力を受ける粘土の応力・ひずみ関係、繰返し応力を受ける地盤の変形に関するソホ・ソカ発表論文集, pp.61-68. 1990
- 2) 村上ら：繰返し応力を受けた粘土の間隙水圧に伴う体積変化特性, 平成3年度土木学会西部支部(投稿中), 1992

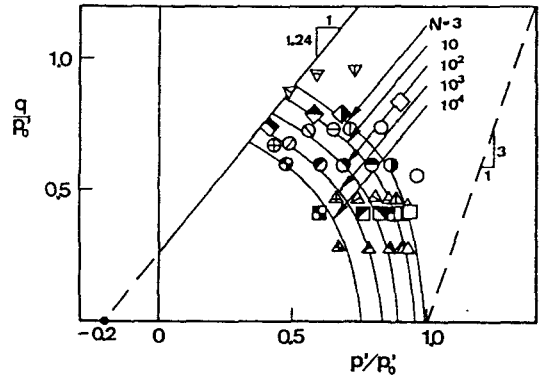


Fig.5 p-q面上の等N線

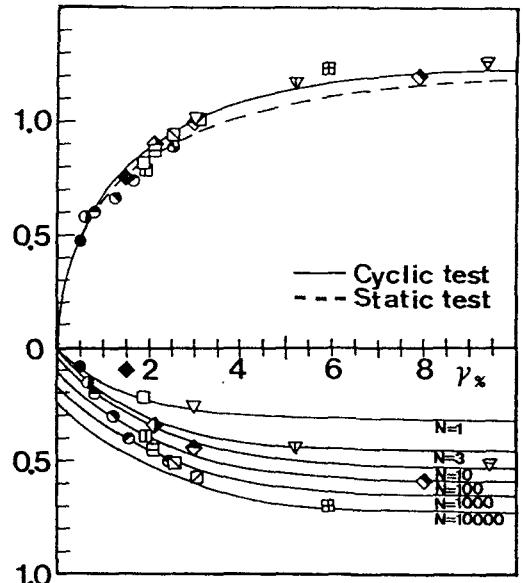


Fig.6 応力比~ひずみ~間隙水圧特性

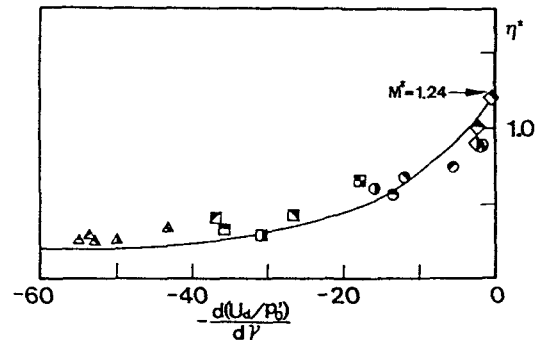


Fig.7 応力比・間隙水圧特性