

繰返し荷重を受ける飽和粘土のストレス・ダイレイタンス特性

九州大学 工学部 久保 明 九州大学 工学部 落合英俊
九州大学 工学部 林 重徳 九州大学 工学部 松本江基

1. はじめに

繰返し荷重を受ける飽和粘土の変形は、様々な因子に支配されている。その変形挙動を説明するための構成式はいくつか提案されているものの、静的載荷問題に関する従来の構成式に比べて複雑で、実用的にはより簡便な構成式が必要である。著者らは、繰返し載荷問題における簡便な構成式の確立を目指して実験的研究を行っている¹⁾。本文では、繰返し載荷問題を繰返し回数毎に静的載荷問題に置換えて評価するとの立場より、回数毎に応力ひずみ関係を整理し、回数毎のストレス・ダイレイタンス関係が放射状の直線で表わされることを示した。さらに、繰返し回数毎の降伏関数についても検討を加えた。

2. 試料および試験方法

試験に使用した試料は、含水比200%で練り返した有明粘土($G_s=2.602$, $W_L=122\%$, $I_P=72\%$)である。供試体は試料を円筒モールド内で 0.4kgf/cm^2 の応力で10日間圧密した後、直径5cm、高さ10cmに切り出して作成した。試験に使用した装置は振動三軸試験装置で、拘束圧 $p_0'=1.0\text{kgf/cm}^2$ で24時間圧密した後、応力比 $\Delta\eta=\Delta(q/p)$ ($q=\sigma_1-\sigma_3$, $p=p_0'+q/3$)で繰返しせん断試験を行った。但し、排水は周面排水とした。

3. 試験結果および考察

図-1, 2は、各繰返し応力比 $\Delta\eta$ における軸ひずみ ε_1 と体積ひずみ ε_v の経時変化を繰返し回数 N に対して示したものである。この試験結果をもとに、 $N=10, 10^2, 10^3, 10^4$ 回のせん断ひずみ $\gamma=2/3(\varepsilon_1-\varepsilon_3)$ 、体積ひずみ ε_v 、繰返しせん断応力作用時のせん断応力 q と等方応力 p の比 $\Delta(q/p)=\Delta\eta$ の関係をまとめたのが図-3である。応力比 $\Delta\eta$ の異なる各試験結果において変形は、繰返し回数の増大に伴って図中の破線に沿って進行する。ここで、 $\Delta\eta \sim \gamma$, $\gamma \sim \varepsilon_v$ 面上において、各繰返し回数のプロット点を滑らかな曲線で結んだものが図-3の実線である。繰返し回数毎に存在する実線の形状は、静的せん断試験によって得られる応力ひずみ曲線と類似している。これは、繰返し載荷問題を繰返し回数毎に静的載荷問題に置換えて評価することの妥当性を示している。

繰返し回数毎のストレス・ダイレイタンス関係を調べるために、 $\gamma \sim \varepsilon_v$ 面上の実線より体積ひずみ増分とせん断ひずみ増分の比を求め、 $\Delta\eta \sim (-d\varepsilon_v/d\gamma)$ 面上にプロットしたのが図-4である。この結果より、ストレス・ダイレイタンス関係を繰返し回数毎に整理すると図中の実線で示すように縦軸上の切片、すなわち体積ひずみ増分がゼロの状態における応力比 M' を通る傾き α_N の放射状の直線によって表わすことができる。この応力比 M' は繰返し回数の影響を受けないが、拘束圧の影響を受け、拘束圧の増大に伴って小さくなる(図、省略)。また検討した繰返し回数の範囲において直線の傾き α_N は、図-5に示すように、回数の増加に伴って減少し一定値に収束する。(Original Cam-Clay Modelでは、切片 M を通る傾き1の直

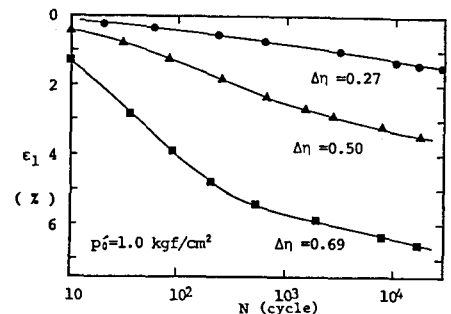


図-1 繰返し試験結果 (軸ひずみ)

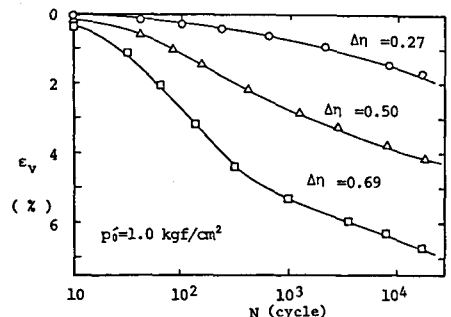


図-2 繰返し試験結果 (体積ひずみ)

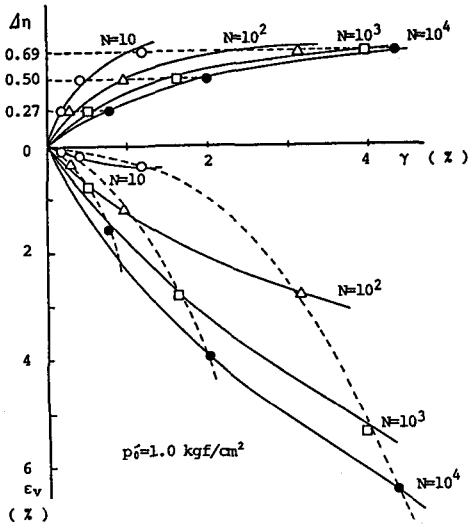


図-3 繰返し回数毎の試験結果の整理

線である¹⁾。) $\Delta\eta \sim (-d\varepsilon_v/d\gamma)$ 面上に表わされる以上のストレス・ダイレイタンスー関係から、次式で表わされるエネルギー式が得られる。

$$p \cdot d\varepsilon_v^p + q \cdot d\gamma^p = p \{ (1 - \alpha_N) d\varepsilon_v^p + M' d\gamma^p \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

この(1)式とDruckerの直交則により、 $q \sim p$ 面上に各繰返し回数毎の状態曲面を表す次式が得られる。

$$\begin{aligned} \alpha_N \neq 1 \text{ のとき} \quad q &= \frac{M' \cdot p}{\alpha_N - 1} \left\{ \left(\frac{p}{p_0'} \right)^{\frac{1-\alpha_N}{\alpha_N}} - 1 \right\} \\ \alpha_N = 1 \text{ のとき} \quad q &= M' \cdot p \ln \frac{p_0'}{p} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

図-6は、 $q \sim p$ 面上の状態曲面であり、上に凸のCap型で、繰返し回数の増加に伴い、すなわち α_N が小さいほど q 軸方向に突出した形となっている。この曲面を降伏関数とし、繰返し回数毎に関連流れ則を適用すると、各回数における応力ひずみ関係が決定される。但し、硬化則においては、硬化パラメーターなども繰返し等方応力試験などの結果を用いて繰返し回数毎に変化させる必要があると考えられる²⁾。

4. まとめ

繰返し回数毎のストレス・ダイレイタンスー関係は、切片 M' を通る放射状の直線で近似でき(1)式が得られる。繰返し載荷問題の応力ひずみ関係を求めるのに必要な降伏関数が(2)式のように定まる。(参考文献) i) 落合他(1986):第31回土質工学シンポジウム, p23~26. ii) Roscoe et al, (1963): On the generalized stress strain behaviour of wet clay, Engineering Plasticity, Cambridge Univ. Press, p535~609. iii) 落合他(1986):土木学会西部支部研究発表会講演概要集, p350~351.

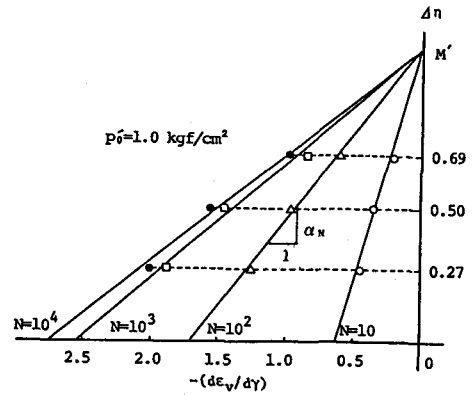


図-4 ストレス・ダイレイタンスー関係

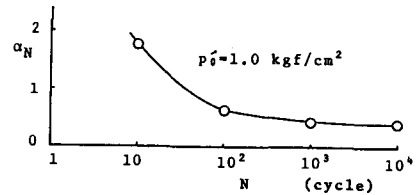


図-5 直線の傾き α_N の変化

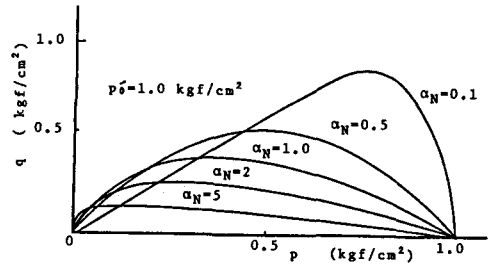


図-6 降伏曲面の変化