

異方圧密粘土の降伏曲線および弾塑性パラメータの決定

鹿児島大学工学部 学○前田修作 正 三隅浩二

1. はじめに 軸差応力の変化によって発生する体積変化するなかでダイレイタンシー挙動から種々の塑性変形に関する情報を得ることができる。今回は、三軸セル内で異方圧密した粘土試料に対して部分排水三軸圧縮試験および伸張試験を実施して、降伏曲線に関わる諸特性ならびに弾塑性パラメータを求めたので報告する。

2. 異方圧密粘土の圧縮・伸張せん断試験結果の解析 図1は、部分排水三軸試験の応力経路を示している。プロット上に引かれた実線は全応力の変化、プロットは各載荷段階の圧密完了時点で得られる有効応力の状態を示している。ここに、 $\eta_o' = 0.545$ である。図中の記号com. は圧縮せん断、ex. は伸張せん断を意味している。

図2は、図1の応力経路で得られたダイレイタンシー挙動($\varepsilon_v = \varepsilon_v^*$)を表している。伸張せん断時のダイレイタンシー挙動は装置の都合上 η' がゼロになるまでのデータしか得られていない。さて、実験公式、式(1)をダイレイタンシー挙動にあてはめれば、式(1)のパラメータa, b, cが以下のように得られる。圧縮せん断に対して、 $a = 0.03528$, $b = 1.2777$, $c = -0.21099$ 、伸張せん断に対して、 $a = 0.0097223$, $b = 1.2456$, $c = -0.20158$ である。なお、式(1)中の η^* は関口の応力比パラメータ¹⁾である。

$$\varepsilon_v = a (\eta^*)^b \exp(c \eta^*) \quad \dots (1)$$

圧縮せん断の限界状態($M = 1.2425$)における接線勾配 $d\varepsilon_v/d\eta'$ を求めることにより、ダイレイタンシー係数($D = 0.03115$)が得られる。DとMを掛け合わせたパラメータDMは、圧縮指数 λ 、膨潤指数 κ 、初期間隙比 e_o 、と式(2)で示される理論的関係があるので、 $D_{com.} \neq D_{ex.}$, $M_{com.} \neq M_{ex.}$ であっても、 $DM = D_{com.} \cdot M_{com.} = D_{ex.} \cdot M_{ex.}$ の関係が成立するものと考えられる。

$$DM = (\lambda - \kappa) / (1 + e_o) \quad \dots (2)$$

図3は、式(3)で求めた異方圧密粘土の降伏曲線の形²⁾を示している。ここで、DMは圧縮せん断と伸張せん断で共通のパラメータとしている。図3の降伏曲線は $\eta' = \eta_o'$ で降伏曲線の横軸の値が常に1になるように正規化されている。図中には断続的だが塑性ひずみ増分ベクトルが記されている。なお、 β は塑性ひずみ増分ベクトル方向を示している。

$$p' / p_v' = \exp(-\varepsilon_v / DM), \quad q / p_v' = p' / p_v' \cdot \eta' \quad \dots (3)$$

図4は、式(4)より得られる硬化パラメータ p_v' の変化を示している。 p_v' は、 $\eta' = \eta_o'$ のときの降伏曲線の平均主応力 p' の値であり、降伏曲線のサイズ³⁾を表している。この図より、 $0 \leq \eta' \leq M$ の範囲に限られるが、圧縮せん断の方が伸張せん断よりも硬化しやすい($dp_v' / d\eta'$ が大きい)ことがわかる。

$$p_v' = p' \exp(\varepsilon_v / DM) \quad \dots (4)$$

図5は、式(5)より得られるエネルギー補正された(広義の)摩擦係数($\phi + \eta'$)を示している。図より圧縮せん断側の限界状態で $\phi + \eta'$ がMに到達していることがわかる。図中の原点を通る細線は $\phi = 0$ を意味している、このラインを基準とすれば、この図より塑性ひずみ増分比 $\phi (= d\varepsilon_v^p / d\varepsilon_s^p)$ の情報も得ることができる。

$$\phi + \eta' = DM / (d\varepsilon_v / d\eta') \quad \dots (5)$$

図6は、式(6)より得られた塑性ひずみ増分ベクトル方向 β を示している。この図より圧縮せん断側の限界状態で $\beta = 90^\circ$ になること、 $\eta' = \eta_o'$ で β が不定となることなどがわかる。

$$\beta = 90^\circ - \tan^{-1} \phi \quad \dots (6)$$

3. おわりに 上記の議論により、異方圧密粘土に対しても等方圧密粘土とほとんど変わらない簡単な諸式を用いてダイレイタンシー挙動を解析できることがわかった。次回は、三軸装置を改良して η' が負になる領域の伸張せん断試験を実施して逆解析を試みる予定である。

参考文献 1) Sekiguchi, H. and Ohta, H.: Induced anisotropy and time dependency in clays, Constitutive Equation of Soils, Proc. Specialty Session 9, Ninth Int. Conf. SMFE, Tokyo, pp. 229-238, 1977 2) 三隅浩二: 正規圧密粘土の降伏曲線および弾塑性パラメータの決定, 土木学会論文集, No. 454/III-20, pp. 93-101, 1992 3) 三隅浩二, 福本忠浩, 佐藤清: 異方圧密された正規圧密粘土の降伏曲線の決定, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第3部, pp. 178-179, 1990

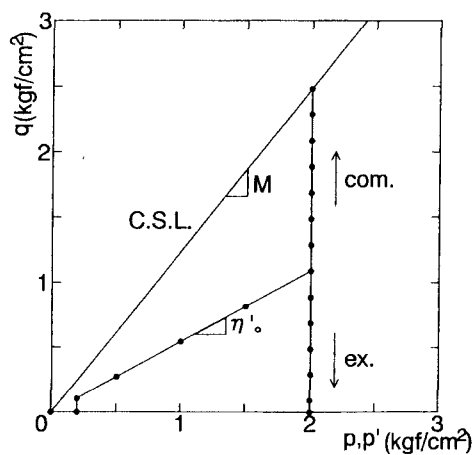


図1 部分排水三軸試験の応力経路

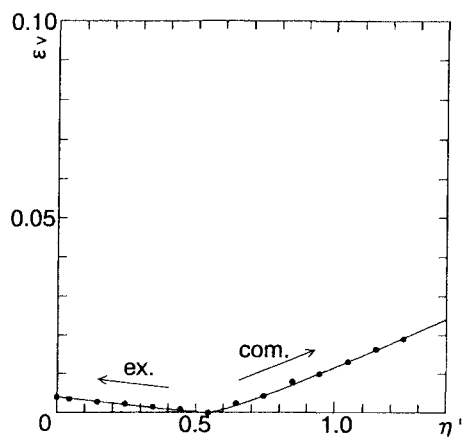


図2 ダイレタンスー挙動

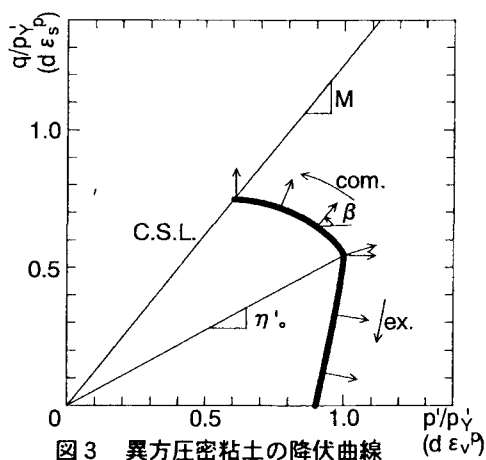


図3 異方圧密粘土の降伏曲線

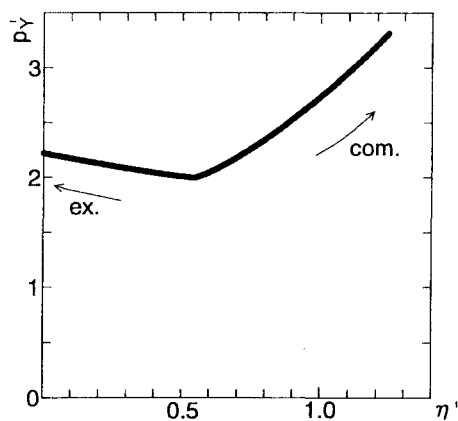


図4 降伏曲線のサイズの変化

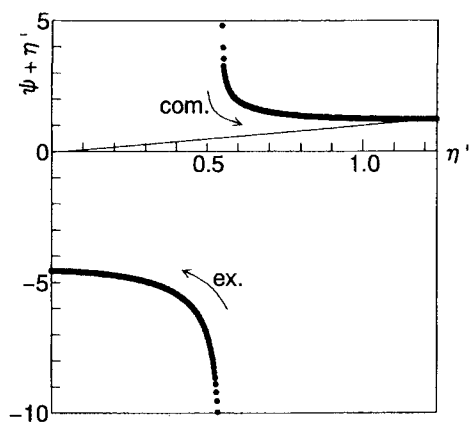


図5 摩擦係数(ψ+η')の変化

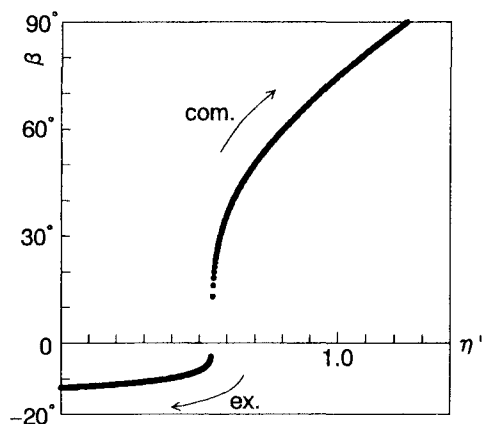


図6 塑性ひずみ増分ベクトル方向の変化