

降伏曲線の逆算による正規圧密粘土における2次圧密挙動の考察

鹿児島大学工学部 学¹山下信一 正 三隅浩二
同 上 学 福本忠浩 正 佐藤 清

1. はじめに すでに、体積ひずみのみから簡単に降伏曲線を決定する方法¹⁾を提案している。本報告は、弾粘塑性モデルから得られる体積ひずみの挙動を解析の対象として、提案手法によって逆算した降伏曲線への2次圧密挙動の影響を調べている。すなわち、弾粘塑性モデルに弾塑性モデルをフィッティングすることにより構成式レベルで時間依存性を議論している。排水せん断試験期間(載荷速度の逆数)をパラメータにして、降伏曲線の形(ノルマリティ)と降伏曲線のサイズ(硬化)の逆算値の変化を探り、2次圧密挙動のメカニズムを解明していく。

2. 降伏曲線に及ぼす2次圧密の影響 式(1)は、関口、太田による弾粘塑性構成式(流動曲面モデル)²⁾の平均主応力一定排水せん断試験条件より得られる体積ひずみ速度である。 α は2次圧密係数、 $\dot{v}_0$ は基準体積ひずみ速度であり、いずれも時間効果を説明するためのパラメータである。 f は時間効果が生じないとしたときの降伏関数(塑性体積ひずみ ε_v)である。ここで、弾性体積ひずみは等方性の仮定より $p' = \text{const.}$ 条件では発生しないとしている。式(2)は、体積ひずみ速度 $\dot{v}$ を時間で積分して、解析の対象としての体積ひずみ ε_v (あえて v と記さない)の値が得られることを示している。載荷速度を一定とするので、式(3)を見てわかるように平均主応力一定条件では応力比 η' も軸差応力 q と同様に時間に比例して増加する。図1は、適当な載荷速度を3つ選んで $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係を式(1)~式(3)を用いて求めたものである。 $D=0.0326$, $\alpha=0.005$, $\dot{v}_0=1 \times 10^{-8}$ は一定としている。その結果、一番速いもの(白丸)は10days、次に速いもの(黒丸)は30days、一番遅いもの(黒三角)は365daysで限界状態($M=1.2$)に達して破壊した。以上の3つの $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係に式(4)を非線形最小自乗法を使ってあてはめることにより各ラインの接線勾配($d\varepsilon_v/d\eta' \sim \eta'$ 関係)が精度よく求められる。

次に、降伏曲線の逆算¹⁾について議論する。限界状態での応力比 M と接線勾配 $d\varepsilon_v/d\eta'$ がはかられているので式(5)よりダイレイタンス係数 D が決定できる。したがって、式(6)により塑性ひずみ増分比 μ と η' の関係が逆算できる。図2では、10daysで破壊するものと30daysで破壊するものの2つのケースの解析結果を示している。365daysで破壊するラインは解析不可能であった。図1のライン形状を見てわかるように $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係が上に凸のラインとなるような挙動は弾塑性理論では説明できない。さらに、 D , M , $\varepsilon_v \sim \eta'$ 関係を式(7)および式(8)に代入すれば、降伏曲線の形(図3)が得られる。式(9)に代入すれば降伏曲線のサイズ(図4)が求められる。図3より載荷速度が遅ければせん断初期に降伏曲線の立ち上がるモディファイドカムクレイ的な解析結果が得られ、載荷速度が遅ければ p' 軸上の降伏曲線のコーナーの尖ったカムクレイ的な解析結果が得られていることがわかる。これらの結果が得られることは図1、図2を見ても予想することができる。図4より2倍程度の降伏曲線の拡大の様相が見て取れるが、載荷速度の遅い方がよりたくさん硬化していることがわかる。以上より、時間効果(試験期間の長短)の影響は、流動曲面モデルの場合、パラメータ D の逆算値にはほとんど効かず降伏曲線の形とそのサイズに顕著に効くことが判明した。

3. おわりに いつも応力制御試験を想定して議論するのは現場では荷重制御が行われているからである。以上より、変形解析に弾塑性構成式を適用するためには、できるだけ現場の載荷速度が反映された降伏曲線を決定することが必要であることがわかる。時間依存性挙動と弾塑性挙動を同時に表現できる粘土の構成式は一般的に複雑で使いにくい。そこで、比較的シンプルなカムクレイタイプの弾塑性構成式への時間依存性の特徴を調べて、変形予測能力の向上と使いやすさの両者を追求する基礎的だが工学的な目的を重んじた研究を試みている。

参考文献 1) 三隅, 福本, 叶, 佐藤, 山中: 正規圧密粘土のせん断挙動を把握するための解析手法の開発, 第25回土質工学研究発表会平成2年度発表講演集2分冊の1, pp.653-656, 1990

2) Sekiguti, H. and H. Ohta: Induced anisotropy and time dependency in clays, Constitutive equations of Soils, Specially Session 9, Ninth Int. Conf. SMFE, Tokyo, pp.229-238, 1977

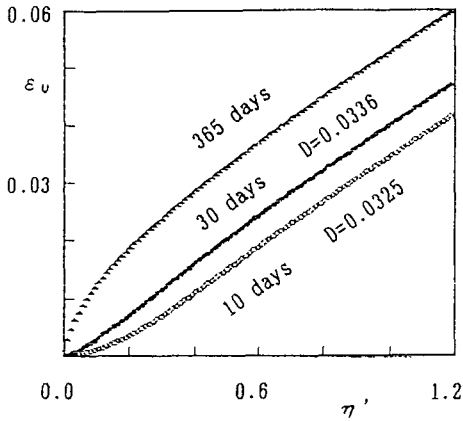


図1 ダイレイタンスー挙動

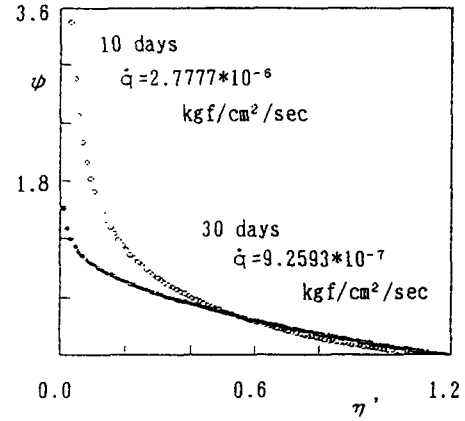


図2 塑性ひずみ増分比～応力比関係

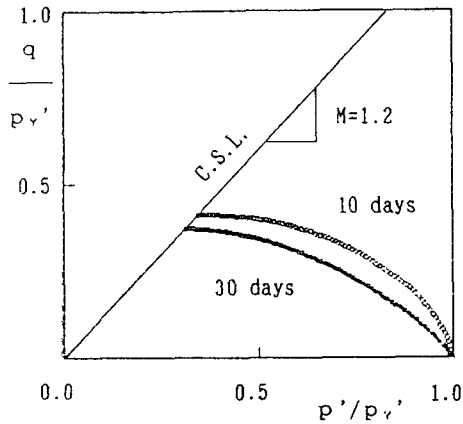


図3 降伏曲線の形の逆算

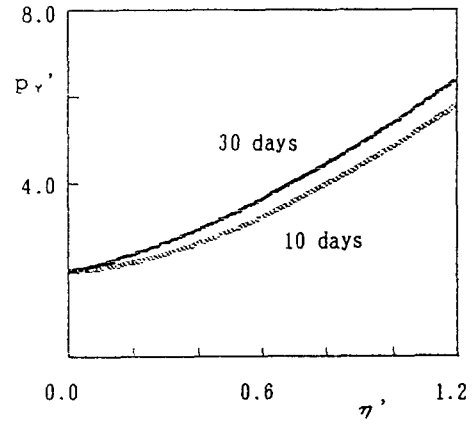


図4 降伏曲線のサイズの逆算

$$\dot{v} = \frac{D}{p_a'} \{ 1 - \exp(-\frac{v^p}{\alpha}) \} \dot{q} + \dot{v}_0 \cdot \exp(-\frac{f - v^p}{\alpha}) \quad \dots (1)$$

$$f = \varepsilon_{v^p} = D \eta'$$

$$\varepsilon_{v^p} = \int \dot{v} dt \quad \dots (2)$$

$$\eta' = \frac{q}{p_a'} = \frac{\dot{q}}{p_a'} t \quad \dots (3)$$

$$\varepsilon_v = a \cdot \eta'^b \cdot \exp(c \cdot \eta') \quad \dots (4)$$

$$D = p_a' \left(\frac{d \varepsilon_v}{d q} \right) \text{ at } \eta' = M \quad \dots (5)$$

$$\psi = \frac{D}{\frac{d \varepsilon_v}{d \eta'}} M - \eta' \text{ at } p' = p_a' \quad \dots (6)$$

$$\frac{p'}{p_v'} = \exp(-\frac{\varepsilon_v}{DM}) \quad \dots (7)$$

$$\frac{q}{p_v'} = \frac{p'}{p_v'} \cdot \eta' \quad \dots (8)$$

$$p_v' = p_a' \cdot \exp(\frac{\varepsilon_v}{DM}) \quad \dots (9)$$