

K₀圧密粘土の水平方向圧密降伏応力と降伏関数

東海大学 学生会員 ○今井 誉人
東海大学 正会員 杉山 太宏
金沢工業大学 正会員 外崎 明
東海大学 正会員 赤石 勝

1. まえがき

圧密降伏応力は、粘土が弾性的圧密挙動を示す過圧密域から塑性的圧密挙動を示す正規圧密域へ移行する境界応力と定義されている¹⁾。また、圧密降伏応力は堆積年代の比較的新しい沖積粘土では、過去に受けた最大鉛直有効応力にほぼ等しく、標準圧密試験の $e\text{-}\log(p)$ 曲線から決定される。しかし、異方圧密粘土では弾性・塑性圧密挙動の境界応力を最大鉛直有効応力のみで定義することは出来ない。最大水平有効応力も弾性・塑性圧密挙動に影響するため降伏関数が必要とされ、修正 Cam Clayモデルでは楕円形降伏面が採用されている²⁾。等方圧密粘土の力学的挙動の説明に楕円形降伏面の適応性は認められているが、異方圧密粘土に対する検証は十分なされていない。この報告は、K₀過圧密粘土の異方圧密試験からK₀圧密粘土の降伏関数について検討している。

2. 試料および実験方法

宮崎市内で採取したシルト質粘性土を液性限界以上の含水比で練り返し、一次元圧密により三軸試験用供試体を作成した。試料の物理的性質は、土粒子の密度 2.638t/m³、液性限界 67%、塑性指数 31、粒度組成；砂 11%、シルト分 55、粘土分 34 である。

三軸圧密排水試験の応力経路をFig.1 に示す。図中経路AB、BCは、別途実施しているK₀圧密膨張試験の有効応力経路に近い。経路A-Bから圧縮指数Cc、B-Cから膨張指数Csを求めた。正規圧密B点、過圧密C点の鉛直有効応力 σ_v は、それぞれ 245、61kPaである。なお、この報告では有効応力 σ_v を示すプライムを省略している。再載荷過程C-D-E-Fは、応力比 η ($=$ 偏差応力 q /平均有効応力 p)を ± 0.3 の範囲で変化させた。また、図に示すようにD点は、B点を通る水平方向応力 σ_r 一定線上で η を変化させた。BD線は、水平方向の圧密降伏応力、 $\eta=0$ となるE点の平均有効応力は、修正Cam Clayモデルの降伏面のサイズを示す p_0 に近い平均有効応力に設定した。

また、圧密を促進するため供試体の上下周囲にろ紙を巻き、作用応力増分を1日間隔で変化させた。

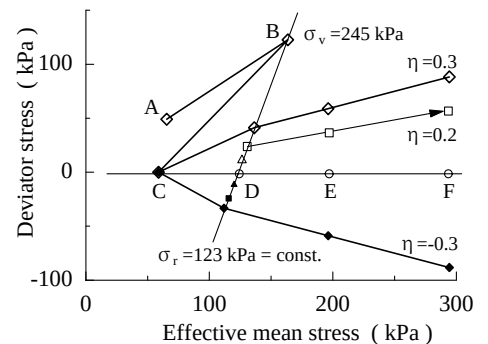


Fig.1 三軸圧密排水試験の有効応力経路

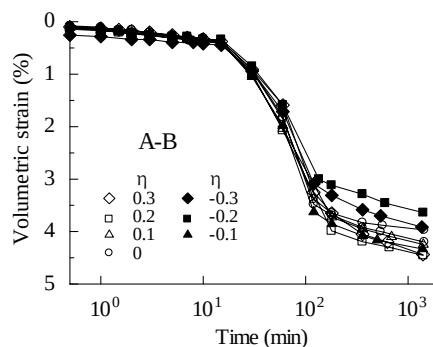


Fig.2 体積ひずみ～時間曲線 (AB・正規圧密)

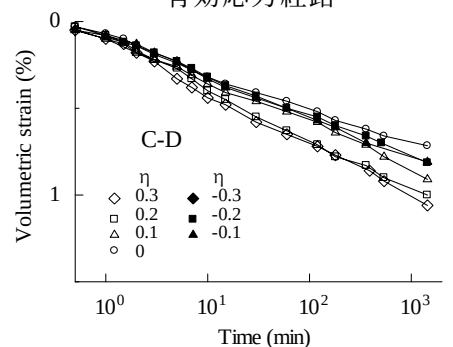


Fig.3 体積ひずみ～時間曲線 (CD・過圧密)

3. 実験結果と考察

3.1 体積ひずみ～時間関係

Fig.2～Fig.5 は、それぞれ異方圧密試験の応力経路AB、CD、DE、EFにおける体積ひずみ～時間関係を示している。正規圧密領域AB、EF経路の体積ひずみ～時間曲線の形状は、一次・二次圧密挙動を明確に判定できる。また、漸増載荷期間 80 分から1時間以内の圧密時間 140 分程度で、本報告の異方圧密試験における一次圧密は終了していると判断しうる。実験に用い

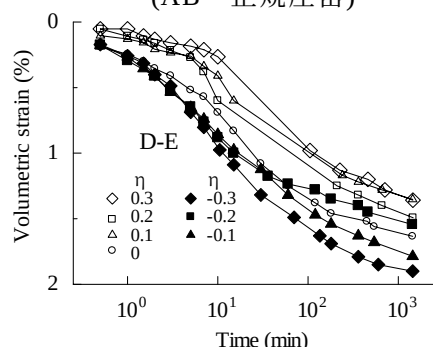


Fig.4 体積ひずみ～時間曲線 (DE)

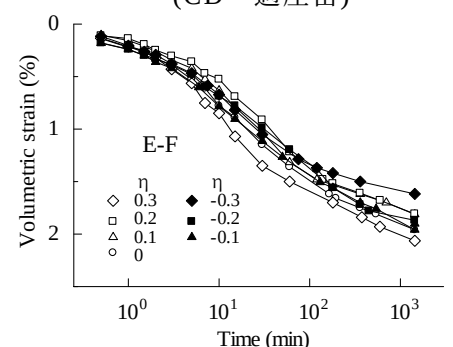


Fig.5 体積ひずみ～時間曲線 (EF・正規圧密)

キーワード：降伏関数 異方圧密粘土 最大水平有効応力

連絡先：〒259-1292 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

た試料は、二次圧密係数 C_a の平均が 8.40×10^{-3} 程度と比較的 C_a の小さい圧密の早い粘土である。

過圧密領域CD経路のそれは一次圧密終了を判定しにくい形状であるが、1日間隔の圧密時間で一次圧密は終了していると判断し、圧密時間間隔を特別長くしていない。また、過圧密領域の C_a の平均は 4.66×10^{-3} で、正規圧密領域のその約0.55倍である。

Fig.4に示したDE経路の体積ひずみ～時間曲線は、水平方向作用応力 σ_r が、Fig.1のB点における過去の最大値を超えるが、鉛直有効応力 σ_v は、過去の最大値を越えない場合である。

Fig.4に示す体積ひずみ～時間曲線の形状は、Fig.2, Fig.5に示す正規圧密領域のそれに近く、Fig.3の過圧密領域の形状とは異なるものである。水平方向作用応力 σ_r が過去に作用していた最大値を超えると正規圧密挙動に近くなる。

Fig.6は各圧密時間の体積ひずみと1440分における体積ひずみ(v_f)の比の経時変化である。正規圧密領域EF経路の体積ひずみ比～時間曲線と比較して過圧密領域CD経路のそれは、圧密開始当初から圧密時間の対数に比例するような形状である。また、DE経路の体積ひずみ比～時間曲線の形状は、正規圧密領域EF経路のそれに近いことがわかる。

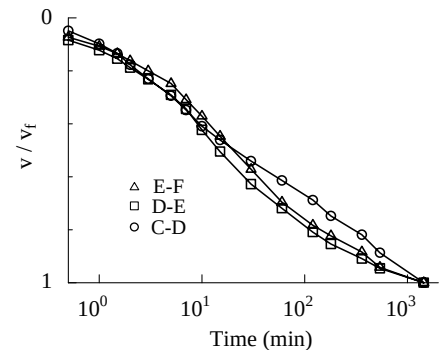


Fig.6 体積ひずみ比～時間曲線

3.2 e-log(p)関係

Fig.7は、三軸圧密排水試験の载荷・除荷・再载荷過程のe-log(p)関係を示している。練り返し・再圧密供試体のA点における初期間隙比にかなりのバラツキがあり各载荷段階における間隙比にもその差が認められる。e-log(p)関係からは、B点で示す圧密降伏応力でなくD点近くから間隙比の減少が著しいことが観察される。

Fig.8は、CD,DE,EFの各载荷段階における圧縮指数の比較である。CD間の圧縮指数の平均0.058は、BC間の C_s の約1.7倍である。EF間の圧縮指数の平均0.215は、AB間の C_c にほぼ大きさが等しい。DE間の圧縮指数の平均0.162は、正規圧密領域AB, EF間の C_c より少し小さい値である。水平方向応力が過去の最大値であるBD線を越えると正規圧密領域の圧縮性に近づくことを示している。

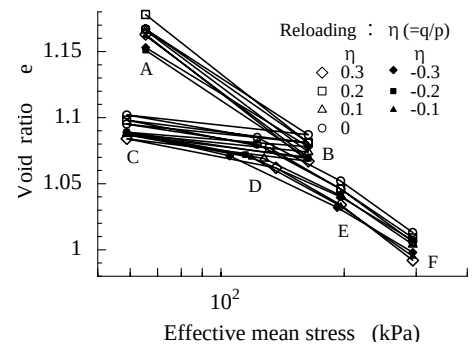


Fig.7 e-log(p)関係

3.3 異方降伏関数

作用する鉛直有効応力 σ_v は、過去の最大値以下でも水平方向作用応力 σ_r が、過去の最大値を超える場合、圧縮指数は正規圧密領域のそれより若干小さいが、体積ひずみ～時間曲線の形状は正規圧密領域のそれに類似している。Fig.1の σ_r 一定線付近を弾性・塑性圧密挙動の境界応力とする式(1)で定義する異方降伏関数を提案する。

$$F = q^2 - 2\eta_0 pq + \eta_0^2 pp_0 + N(p - p_0)p = 0 \quad (1)$$

ここに、 p_0 と $\eta_0 (= q_0/p_0)$ は、それぞれ異方圧密時の平均有効応力と応力比、 N は定数である。

Fig.9に異方降伏面の形状を示した。比較のためCam Clayモデルの降伏面を破線で示す。図から明らかなように異方降伏面の形状は、 σ_r 一定線に近い。

圧密非排水試験の有効応力経路は、降伏面の少し外側に位置する。提案する異方降伏関数は、非排水伸張試験のせん断挙動の表現に適応性を期待しうる。

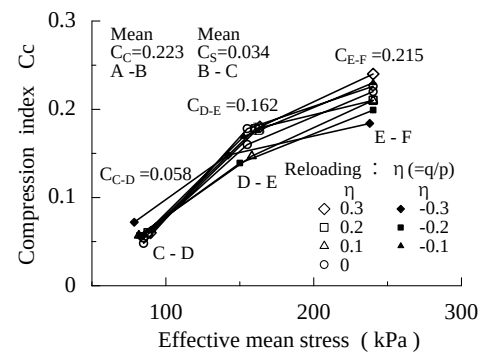


Fig.8 圧縮指数 C_c の変化

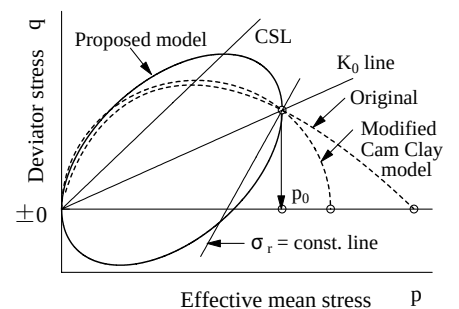


Fig.9 異方降伏面の形状

4. むすび

この報告では、異方圧密粘土の圧縮性が過去に受けた最大水平方向応力を超えると増大することから、降伏面の形状を推定し異方降伏関数の提案を行った。しかし、三軸圧密排水試験における有効応力増分が大きく、圧縮性の詳細な変化を明確にできていない。そこで、有効応力増分を細かく設定した応力経路による三軸圧密排水試験を行い、提案モデルの妥当性を検証中である。

<参考文献>

- 1) 土質工学編：土質工学用語辞典，pp.94,平成2年
- 2) J.H.Atkinson：Foundations and Slopes, pp.17-22, McGraw-Hill, 1981