

粘土の状態境界面上における変形の異方性、非線形性

鹿児島大学工学部 正の佐藤 清 正 三隅浩二
同 上 学 田平秀樹 学 松崎 修

1. はじめに ロスコーフ曲面 (Roscoe Surface), ボシュレフ曲面 (Hvorslev Surface), 引張り破壊 (Tension Failure) 面は粘土の complete な状態境界面 (S.B.S.: State Boundary Surface) を形成する¹⁾。本報告では、これら S.B.S. で生じる弾性挙動、塑性挙動より、軸方向 V と軸直交方向 H に応力が作用したときの変形の違いを表す非線形なフック則の変形係数 K_v, K_h, G_v, G_h のせん断にともなう変化を求めて、エレメントの変形の異方性と非線形性を考察している。

2. 関連流れ則に従う粘土のせん断挙動 S.B.S. から得られる降伏関数を塑性ポテンシャルであると仮定すれば、関連流れ則に従う粘土の弾塑性構成式を導くことができる。図 1 は S.B.S. を硬化パラメータ p_v' (等価圧密圧力ではない) で正規化した降伏曲線で表したものである。S.B.S. は圧縮 (Compression), 伸張 (Extension) 領域がさらに限界状態 (Critical State) よりも 'wet' であるか 'dry' であるかで図中に示す 4 つの領域 (I, II, III, IV) にわけることができる。それぞれの領域には対応する塑性ひずみ増分比 $\psi \sim$ 応力比 η' 関係を示したが、この $\psi \sim \eta'$ 関係の違いは降伏曲線の形が違ふことに関係しており、塑性変形の異方性と非線形性に大きな違いを生じさせる。II, III 領域における降伏曲面はカムクレイモデルを表す。

図 2 は S.B.S. 上にある粘土の体積ひずみの生じにくさを表している。白丸のプロットは弾性体積ひずみの生じにくさ K^* , 黒丸と黒四角のプロットは塑性体積ひずみの生じにくさ K_v^*, K_h^* を表している。弾性挙動は等方性 ($K_v^* = K_h^* = K^*$) を仮定しているためダイレイタンスは生じない。塑性挙動だけが $K_v \neq K_h$ の条件を満たすことよりダイレイタンス挙動を呈することになる。ここに、サフィックス V は軸方向に応力が作用したときの変形係数、H は軸直交方向に応力が作用したときに機能する変形係数であること示している。いずれの K も平均有効主応力 p' で正規化してあるので、 η' 軸に対してユニークなラインとなっている。

図 3 は S.B.S. 上でのせん断変形の生じにくさを表している。記号の約束は図 2 と同じである。ひずみ硬化を呈する II, III 領域での G_v^*, G_h^* は、限界状態と同時にゼロに至るが、ひずみ軟化が生じている I, IV 領域では、限界状態に近づくがゼロに到達しないことがわかる。II, III 領域では降伏曲線が p' 軸に対して対称であるにも関わらず K も G もかなり違った異方性を呈していることがわかる。弾性挙動は p' で正規化しているので η' 軸に対して線形である ($K^*/p' = \text{const.}, G^*/p' = \text{const.}$)。オリジナルカムクレイモデルの仮定では弾性せん断ひずみの発生を許さないため、 G^* の値は無限大 (有効ボアソン比 $\nu' = -1$) であるが、ここでは弾性せん断ひずみの発生を許している ($\nu' = 0.2$ と仮定)。

次に、 K, G の不連続性に注目する。各領域の境界では K も G も不連続である。このことは降伏曲線の形からも予想できる。この境界の切片の値より、弾塑性パラメータが決定できる。モディファイドカムクレイモデルは境界以外の箇所 ($\psi = 1.5$) で不連続になる²⁾が、今回、弾性挙動と塑性挙動を分離して解析してもそのような不連続は生じなかった。ところが、弾性と塑性を分離しないでそれらを合わせたトータルの挙動について調べてみると、IV 領域の G_v^* が矢印のところで不連続が現れた。弾性せん断ひずみの発生を決める有効ボアソン比の値の選択によってこの不連続の生じる応力レベルは移動する。

3. おわりに 以上のような降伏曲線の形やエレメントの異方性の評価は、現場に最も適する既存の弾塑性構成式を選択するときに優劣判断として役立てることができる。また、線形な等方弾性体や線形な異方弾性体の構成式を採用して変形解析する場合に必要な弾性パラメータ (E_{s0}, ν etc.) を決定するときに、有益な情報を提供することができる。III 領域の解析結果は文献 2 ですでに発表しているが、I, II, IV の領域の異方性の考察は今回初めて報告する。これらエレメントの異方性と I ~ IV すべての領域を含む地盤 (マス) の異方性とを比較して、もっと工学的に価値ある研究に発展させていきたい。

参考文献 1) J.H. Atkinson: Foundations and Slopes, McGRAW-HILL, 1981

2) 三隅, 福本, 書川: 正規圧密粘土の異方性と非線形性の考察, 土木学会第 44 回年次学術講演会講演概要集, pp.420-421, 1989 3) 三隅, 福本, 叶, 佐藤: モディファイドカムクレイモデルにおける変形の不連続性, 平成元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.426-427, 1990

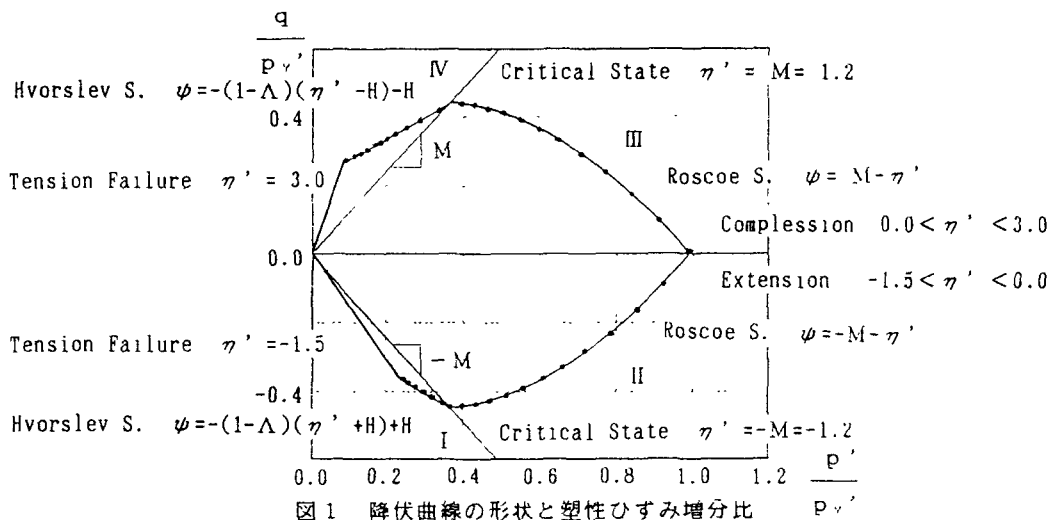


図1 降伏曲線の形状と塑性ひずみ増分比

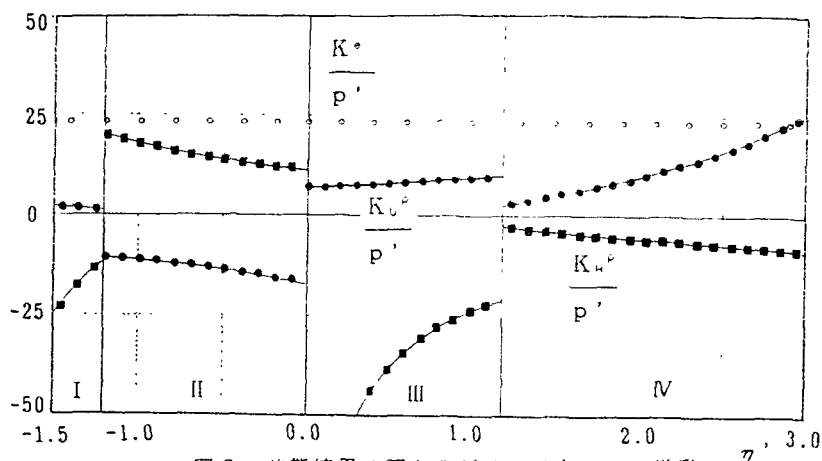


図2 状態境界曲面上のダイレイタンスー挙動

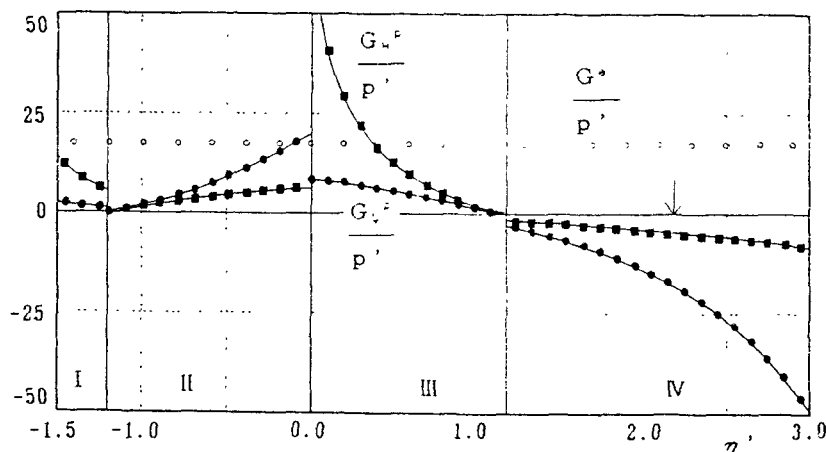


図3 状態境界曲面上のせん断挙動