

鹿児島大学工学部 正 三隅浩二 学 佐藤清 学 田平秀樹

1. はじめに 粘土のせん断挙動を知るために種々の2次元空間へのプロットが行われる。例えば、降伏曲面形状よりノルマリティが、 $e \sim \log p'$ 関係より硬化則が把握できるが、本報告では、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 etc.のせん断にともなう変化を視覚的に表し、粘土の変形の異方性、非線形性をダイレクトに議論している。

2. 異方圧密粘土の弾性, 塑性挙動 Fig.*は K_0 ライン上の硬化パラメータ p_{k0}' で正規化した太田モデル¹⁾の降伏曲面である。この降伏曲面は主動領域(Active State)、受働領域(Passive State)がさらに限界状態(Critical State)よりも'wet'であるか'dry'であるかで4つの領域(I, II, III, IV)にわけられる。それぞれの領域に対応する塑性ひずみ増分比 $\psi \sim$ 応力比 η' 関係の違い、すなわち、降伏曲面の形の違いは、塑性変形の異方性と非線形性の発生に大きく関係している。この $\psi \sim \eta'$ 関係および弾塑性パラメータ $M=1.2, D=0.0326, \Lambda=0.478, \nu' = 0.1$ を用いて図1~図4の弾性, 塑性挙動が得られた。

図1は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_v^e 、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^p, K_h^p を表している。弾性挙動は等方性($K_v^e = K_h^e = K^e$)を仮定しているので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。 K_v ライン、 K_h ラインは η_{k0}' で不連続となり、主動領域(III, IV)と受働領域(I, II)とで符号が逆転している。

図2はせん断変形の生じにくさを表している。サフィックスの意味は図1と同じである。 G_v ライン、 G_h ラインは η_{k0}' で不連続となり、 G_v^p, G_h^p が同時にゼロになる限界状態($\eta' = \pm M$)にて接している。ひずみ硬化を呈するI, IV領域にHvorslev曲面の $\psi \sim \eta'$ 関係²⁾、 $\psi = -(1-\Lambda)(\eta' \pm H) \pm H$ を採用した場合には、 $K_v^p, K_h^p, G_v^p, G_h^p$ は限界状態でも不連続となる。すなわち、I, IV領域より限界状態に近づいても G_v^p, G_h^p はゼロに至らない。いずれの変形係数も平均有効主応力 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る。特に、弾性挙動は η' 軸に対して線形となる。以上の性質はもちろん応力径路には依存しない。 $\eta' = \pm M, \eta' = \eta_{k0}'$ での変形係数の値は弾塑性パラメータより決定される。塑性挙動を示す各種ラインの非線形性は弾塑性パラメータだけでなく $\psi \sim \eta'$ 関係にも依存して決められる。

図3はヤング率、図4はポアソン比の異方性を表している。 $\nu_{vH}^* p$ は軸ひずみの収縮に関わるポアソン比、 ν_{vV}^p, ν_{hV}^p は軸直交方向のひずみの収縮に関わるポアソン比である。 E_v^p と ν_{vV}^p は K_v^p, G_v^p より直ちに計算される。 $E_h^p, \nu_{hV}^p, \nu_{vH}^* p$ は $\nu_{hV}^p = \nu_{vH}^* p$ を仮定することにより K_h^p, G_h^p より求められる。Eの挙動は定性的にGの挙動に類似している。 ν_{vV}^p, ν_{hV}^p ラインは限界状態で交差し、そのとき必然的に0.5を呈する。

3. おわりに 以上のような降伏曲面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の基準として役立つことができる。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を決定するときに、有益な情報を提供することができる。さらに、砂質土と粘性土の力学特性の違いをもっと知るために、硬化と軟化、関連流れ則と非関連流れ則、構造異方性と誘導異方性、2次圧密と載荷速度効果などを K_v, K_h, G_v, G_h に反映させて詳細に調べることができる^{3), 4)}。しかしながら、本研究の次の目標は、これらエレメントの異方性と地盤(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ることである。

参考文献 1) H.Ohta: Analysis of Deformation of Soils Based on the Theory of Plasticity and its Application to Settlement of Embankments, 京大学位論文, 1971 2) 佐藤, 三隅, 田平, 松崎: 粘土の状態境界面上における変形の異方性, 非線形性, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.550-551, 1991 3) 田平, 三隅, 佐藤, 岩切: 砂質土の異方性と非線形性の考察, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.552-553, 1991 4) 三隅, 佐藤, 福本, 田平: 逆解析における土質材料の流れ則の判定, 平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.554-555, 1991

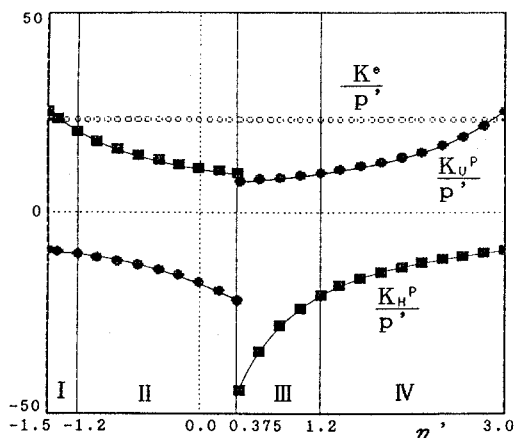


図1 Bulk modulus, Kの挙動

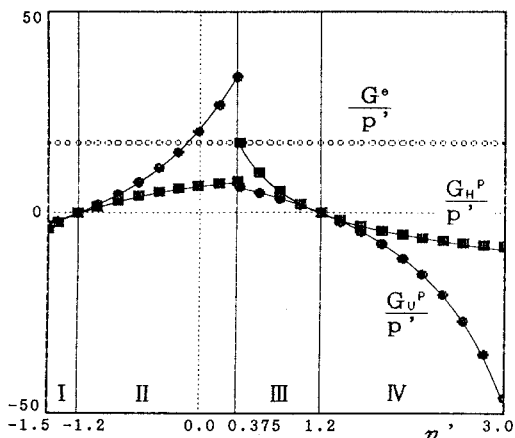


図2 Shear modulus, Gの挙動

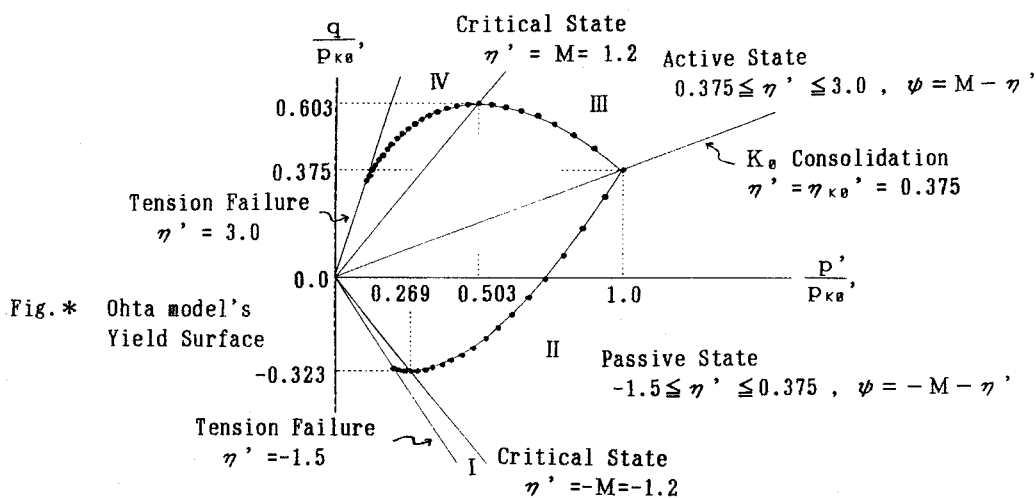


Fig.* Ohta model's Yield Surface

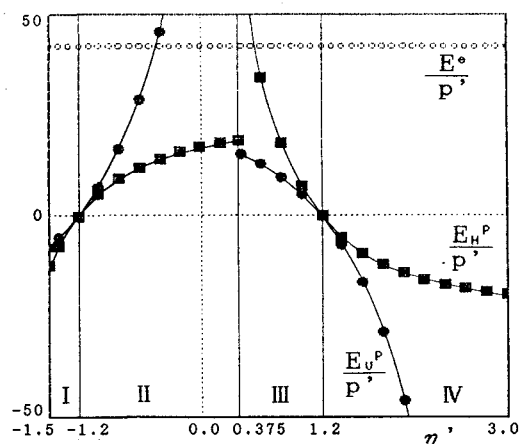


図3 Young's modulus, Eの挙動

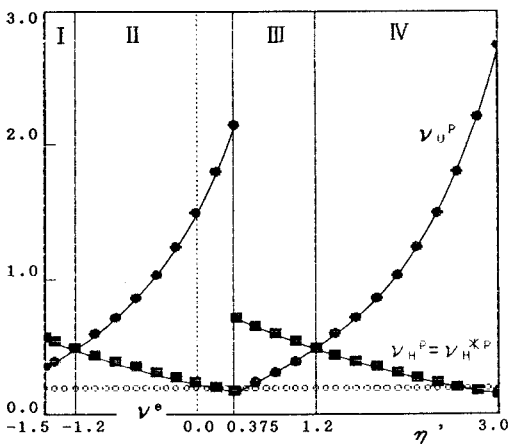


図4 Poisson's ratio, νの挙動