

ゆるい砂におけるせん断挙動の異方性

鹿児島大学工学部 正 三隅 浩二
 同上 学 荻/迫和弘 ○寺脇 学
 運輸省第4港湾建設局 正 田平 秀樹

1. はじめに 土質材料の変形特性は本質的に異方性 (C_2 , C_3 が存在する) を有し, 非線形 ($C_1 \sim C_4$ が外作用により変化する) を呈する. 異方性の定義は等方性 (C_2 , C_3 ともにゼロ) を, 非線形の定義は線形 ($C_1 \sim C_4$ が不変) を含んでいる. さて, 砂質土は密度や拘束圧によってせん断挙動が大きく変化する. ここでは, Sacramento River Sand (S.R.S., $D_r=38\%$) をよく説明できるラディモデル (η -theory)¹⁾ を解析の対象とし, 特に, ピーク強度に至るまでのひずみ硬化挙動時の異方性とその拘束圧の大小による違いについて考察する.

2. Sacramento River Sand ($D_r=38\%$) の異方性 せん断にともなうコンプライアンス $[C]$ の挙動が文献2で逆算できれば, 軸方向および軸直交方向に応力が生じたときに発揮される変形係数を求めて異方性のメカニズムを考察することができる.

図1～図4は拘束圧 $\sigma_3=0.94 \text{ kgf/cm}^2$ で, 図5～図8は拘束圧 $\sigma_3=12.65 \text{ kgf/cm}^2$ で排水せん断 (圧縮試験) されたときに発揮される変形係数 K , G , E , ν を応力比 η' に対して記したものである. ここに, K は体積ひずみの生じにくさを, G はせん断ひずみの生じにくさを表す. E , ν はヤング率とポアソン比である. サフィックス V の付いた変形係数は軸方向に応力が作用したときに働き, サフィックス H の付いた変形係数は軸直交方向に応力が作用したときに機能する. $K_V=K_H$, $G_V=G_H$, $E_V=E_H$, $\nu_V=\nu_H=\nu_H^*$ は等方性を意味し, ダイレイタンスは $K_V \neq K_H$ の条件で発生する. ここに ν_V , ν_H は H 方向のひずみに関係するポアソン比, ν_H^* は V 方向のひずみに関係するポアソン比である.

図1と図5より以下のことがわかる. K の挙動はせん断開始時の等方性を失って, しだいに異方性と非線形性を発展させるが, 破壊時には K_V , K_H のどちらもゼロに到達することがわかる. 図1の K_V の符号の逆転は, 体積圧縮から体積膨張に転じることを意味している. たとえば V 方向だけに応力が加えられるとき, 図1は体積膨張しながら壊れるのに対し, 図5は体積を圧縮させながら壊れる.

図2と図6より以下のことがわかる. 拘束圧に関わらず, G_V , G_H は常に正で逆S字カーブを示す. そのとき剛性の大小関係に逆転が生じている. せん断の初期は G_H が大きく, せん断後期は G_V が大きい. G_V , G_H は同時にゼロに至って破壊する. 破壊時に至る応力比は拘束圧が小さい時の方が若干大きい. しかし, 強度 q_f は拘束圧の大きい時の方が大きい. なお, G_V , G_H はどちらも文献2における $G_1 (=G_2)$ の特殊な値となっている.

図3と図7の E の挙動は G の挙動によく似ている. ただし, $E_V < E_H$ の大小関係が常に保たれている. これより従来から異方弾性体のパラメータとして知られる $n = E_H/E_V$ が求められる. n は一般に非線形である.

図4と図8より, ポアソン比の挙動は拘束圧に関わらずほぼ同様な変化を呈している. せん断初期に等方性を呈するが, しだいに異方性が卓越してくる様子がわかる. ポアソン比の値のとりうる範囲は等方弾性体の場合 $-1.0 \sim 0.5$ であるが, ν_H^* は 0.5 を上回る値を呈する. また, E_H , ν_H より等方面におけるせん断剛性 G_3 が求められる. せん断中の三軸供試体の横断面は常に円形のままで形状変形しないので, 通常, G_3 は検出できないのだが, 弾塑性理論特に流れ則の仮定より幸運にもこの値がはかられることになる. ν_H は破壊時に -1 に到達する.

以上より, 密度が同じでも拘束圧の違いが砂のせん断挙動に顕著な違いをもたらすことがわかった. 特に, K の挙動の違いが大きい. G , E は傾向が同じでもオーダーが大変異なる. しかし, ν だけそれほど大きな違いは見られなかった.

3. おわりに 既存の構成式には土のせん断挙動のメカニズムに関する多くの研究成果が網羅されている. 今回ラディモデルについて考察してきたが, 今後は, 理論ではまだ説明されていないせん断のメカニズムを解明するために, 実験的研究をたくさん行っていく所存である.

参考文献 1) Poul V. Lade: Elasto-Plastic Stress-Strain Theory for Cohesionless Soil with Curved Yield Surfaces, Report to the National Science Foundation, Grant No. GK37445, 1975

2) 荻/迫, 三隅, 佐藤, 寺脇: 砂のせん断挙動の逆解析, 平成3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 1992

3) Barden, L: Stresses and Displacements in a Cross-anisotropic Soil, Geotechnique, Vol. 13, No. 3, 1963

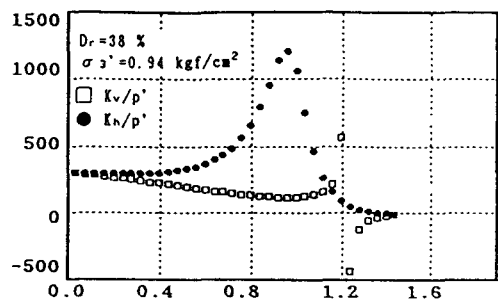


図 1 拘束圧が小さい時の K の変化

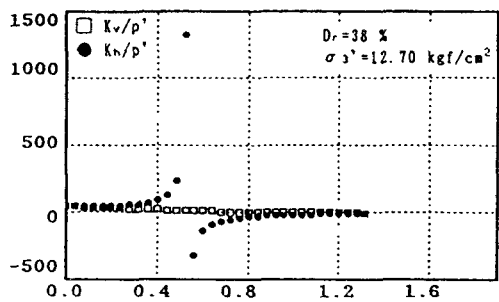


図 5 拘束圧が大きい時の K の変化

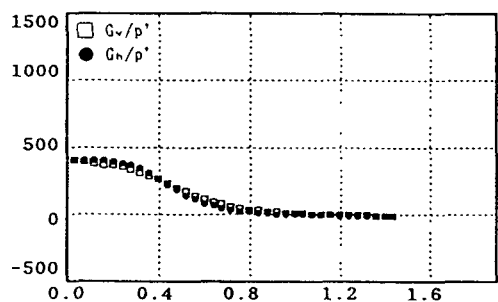


図 2 拘束圧が小さい時の G の変化

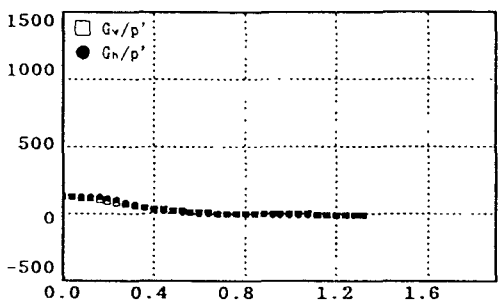


図 6 拘束圧が大きい時の G の変化

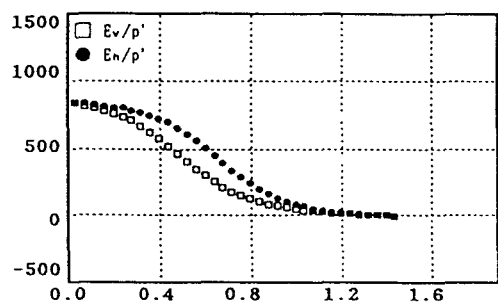


図 3 拘束圧が小さい時の E の変化

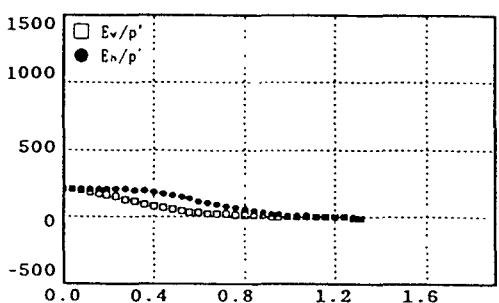


図 7 拘束圧が大きい時の E の変化

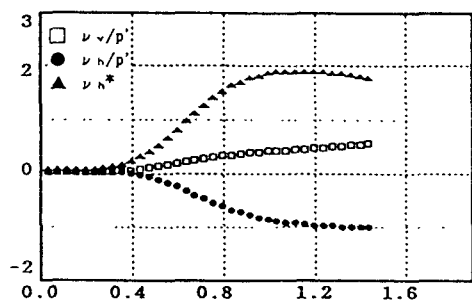


図 4 拘束圧が小さい時の ν の変化

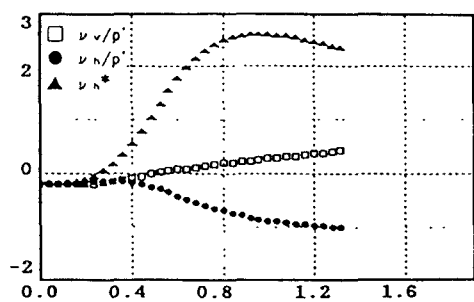


図 8 拘束圧が大きい時の ν の変化