

直交異方性パラメータによる構造異方性の考察

鹿児島大学工学部 学O大山博文 正 三隅浩二

1. はじめに 春山, 北村, 小林は, 水中堆積させしらすの拘束圧一定排水三軸圧縮試験を行って, セン断変形および強度に及ぼす初期粒子構造の影響を調べている¹⁾. 本研究では, 同じ実験結果に横断等方弾性体の構成式をあてはめることにより, セン断変形中に発揮されている直交異方性パラメータの変化を求め, 構造異方性について考察している.

2. 三軸試験データより直交異方性パラメータを検出する方法 図1, 図2のプロットは, 水中堆積しらす ($G_s=2.40$, $74\sim 840\mu m$, $e_{min}=0.93$, $e_{max}=1.64$, $e_0=1.0$) の三軸試験結果 ($\sigma_3=1Kgf/cm^2$) を示している. $\theta=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ は水中堆積の方向と試料の採取方向とのなす角度である. プロットを結ぶラインは, 実験公式, 式(1)を非線形最小自乗法²⁾でフィティングした結果得られたものである. 式(1)はひずみ硬化およびひずみ軟化挙動を呈する複雑な砂のセン断挙動を表現することができる実験公式である. なお, フィティングは文献3を参考にして行った.

さて, 式(2)は横断等方弾性体の構成式である. 右辺第1項は軸方向に応力が変化したときに機能し, 右辺第2項は軸直交方向に応力が変化したときに使われる. 今回解析するデータは拘束圧一定試験結果であるので, 右辺第1項を構成している直交異方性パラメータ (K_U, G_U) を決定することができる. すなわち, 実験データはすでに実験公式, 式(1)に変換されているので, この実験公式を微分して得られる応力ひずみ曲線の接線勾配のデータを使えば, 式(3), 式(4)より K_U, G_U を求めることができる. さらに, 式(5), 式(6)より E_U, ν_U も得ることができる. 図-3, 図-4は E_U, ν_U を応力比 σ_1/σ_3 に対して整理したものである.

図-3より, いずれの場合も E_U は直線的に劣化して破壊時にゼロに到達することがわかる. 破壊時の応力比は $\theta=0^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ の順に大きい. 同じ応力比に対する E_U の値も応力比と同じく $\theta=0^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 60^\circ$ の順に大きい. ひずみ軟化時には E_U は負の値をとる. 図-4より, ν_U はセン断とともに増加して破壊時には等方弾性体ではありえない0.5より大きな値をとる. $\theta=30^\circ$ を除けば, セン断開始時にゼロに近い値をとる. $\theta=30^\circ$ を除けば, ひずみ硬化時の ν_U は θ に関わらずほぼ同じ値を動いている. しかしひずみ軟化時の変化はまちまちである. 図-3, 図-4より降伏応力を見つけることはできない. すなわち, セン断開始時点より塑性的挙動が発生しているものと考えられる. 弾塑性理論よりポアソン比 ν_H, ν_H^* の破壊時の値を推定することができる. ν_H, ν_H^* ともに軸直交方向の応力が変化したときに発揮されるパラメータだが, 軸直交方向のひずみの発生に関わる ν_H は-1となり, 軸直交方向のひずみの発生に関わる ν_H^* は, $\nu_H^*=1/\nu_U$ より計算することができる.

3. おわりに 土粒子の配向を考えればわかるように, 本来なら水中堆積の方向を軸方向とする場合 ($\theta=0^\circ$) にだけ横断等方性があてはまる. それを本研究では, 試料を採取する方向を軸方向として無理やり横断等方性の仮定を適用しているところに問題があると考えられる. とにかく今回の解析で水中堆積しらすの構造異方性が顕著であることを確認することができた.

参考文献

- 1) 春山元寿, 北村良介, 小林弘樹: しらすのセン断特性に及ぼす初期粒子構造の影響について, 第16回土質工学発表会講演集, pp. 545-548, 1981.
- 2) IBM, USER'S GUIDE: SL-MATH 数値計算ライブラリー (FORTRAN IV), (D) FMSS, 5.2.9-5.2.13, 1975.
- 3) 宇都一馬ほか: 土のセン断挙動における応力-ひずみ曲線 (軟化型) の整理方法その3, 第24回土質工学発表会講演集, pp. 671-674, 1989.

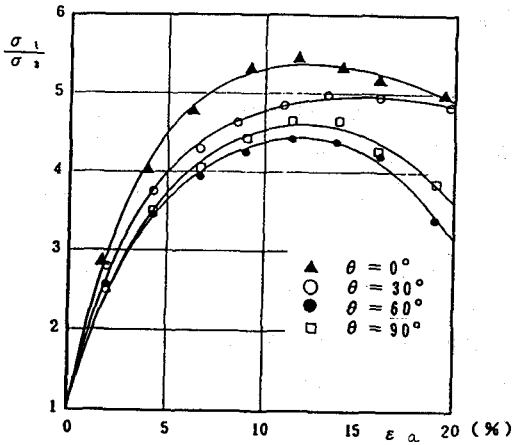


図-1 応力比 ~ 軸ひずみ関係

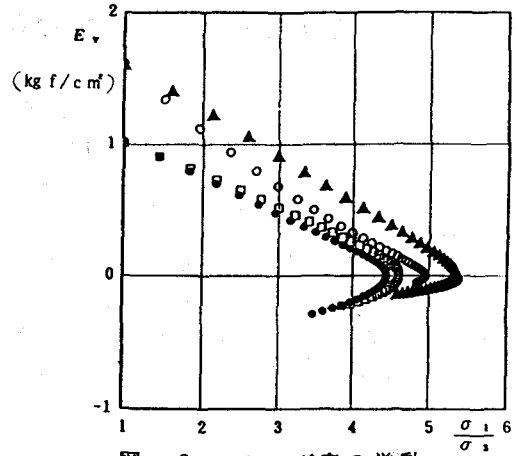


図-3 ヤング率の挙動

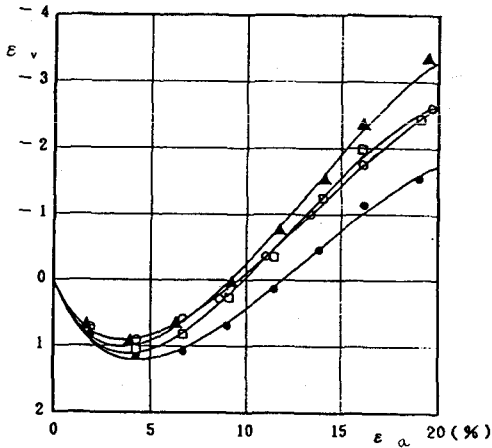


図-2 体積ひずみ ~ 軸ひずみ関係

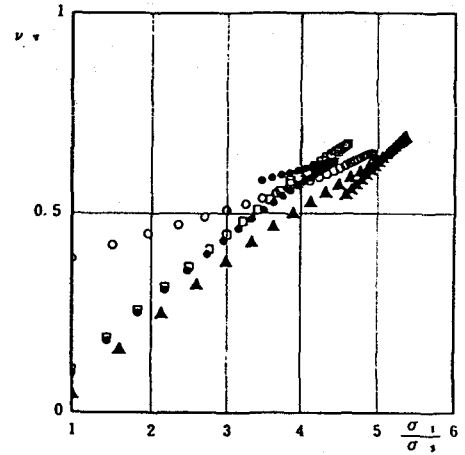


図-4 ポアソン比の挙動

$$\begin{aligned} (\sigma_1/\sigma_3) &= 1 + a_1 [1 - \exp\{-(\varepsilon_a/a_2)\}] - (a_3 x + a_4 x^2 + a_5 x^3) \\ \varepsilon_v &= b_1 [1 - \exp\{-(\varepsilon_a/b_2)\}] - (b_3 x + b_4 x^2 + b_5 x^3) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_v \\ d\varepsilon_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{1}{3} \frac{1}{K_v} & \frac{2}{9} \frac{1}{K_v} \\ \frac{1}{3} \frac{1}{G_v} & \frac{2}{9} \frac{1}{G_v} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{2}{3} \frac{1}{K_u} & -\frac{2}{9} \frac{1}{K_u} \\ \frac{1}{3} \frac{1}{G_v} & \frac{1}{9} \frac{1}{G_u} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} dp' \\ dq \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$K_v = \frac{1}{3} \frac{dq}{d\varepsilon_v} = \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon_a}{d\varepsilon_v} \frac{dq}{d\varepsilon_a} = \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon_a}{d\varepsilon_v} \sigma_3 \frac{d(\sigma_1/\sigma_3)}{d\varepsilon_a} \quad (3)$$

$$G_v = \frac{1}{3} \frac{dq}{d\varepsilon_s} = \frac{1}{3} \frac{dq}{d\varepsilon_a} \frac{d\varepsilon_a}{d\varepsilon_s} = \frac{1}{3} \sigma_3 \frac{d(\sigma_1/\sigma_3)}{d\varepsilon_a} \left(1 - \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_a}\right)^{-1} \quad (4)$$

$$E_v = 2 G_v (1 + \nu_v) \quad (5)$$

$$\nu_v = \frac{3 K_v - 2 G_v}{6 K_v + 2 G_v} \quad (6)$$