

## Ⅲ-A68

## 豊浦砂の排水繰返し三軸試験中のせん断剛性率と応力状態の関係

東京大学生産技術研究所 佐藤 剛司  
 日本鋼管工事株式会社 永山 浩  
 鳥取県 河上 定弘  
 東京大学生産技術研究所 古関 潤一

## 1. はじめに

これまで、排水繰返し三軸試験中に鉛直方向に微小繰返し载荷を実施し、ヤング率とポアソン比の初期異方性と応力状態誘導異方性を考慮した弾性モデルによりその傾向が説明できることを示してきた<sup>1)</sup>。ここでは、中型中空ねじり・三軸試験装置を用いて3種類の応力経路の下で排水繰返し三軸試験を行い、その途中でねじり方向に微小繰返し载荷を行うことにより、せん断剛性率と応力状態の関係について検討した。

## 2. 試験方法

供試体は外径20cm、内径16cm、高さ20cmの円筒形で、気乾状態で空中落下法により作製した。二重負圧法で飽和させ、背圧200kPaを作用させた後、図1に示した①～⑤の応力経路で試験を行った。図1中には後述する関数 $f(\sigma_v'^n, R^n, R^{n/2})$ が一定となる応力経路も参考値として示している。まず、①40kPaから100kPaまで等方圧密し、② $\sigma_m' = (\sigma_v' + \sigma_h')/2 = 100\text{kPa}$ 一定、③ $(\sigma_v' \cdot \sigma_h')^{0.5} = 100\text{kPa}$ 一定及び④平均有効主応力 $p' = (\sigma_v' + 2\sigma_h')/3 = 100\text{kPa}$ 一定の応力経路の下で排水繰返し三軸試験を行った後、⑤100kPa→180kPa→100kPaと等方圧密・除荷した。②、③、④とともに等方応力状態( $\sigma_v' = \sigma_h' = 100\text{kPa}$ )から、まず $\sigma_v'$ が増加( $\sigma_h'$ が減少)する方向に応力を変化させた。図1中に各記号で示した応力地点において、ねじり方向にせん断ひずみ片振幅0.0015%の微小繰返し除荷・再载荷を行い、排水せん断剛性率 $G_{eq}$ を直接測定した。また軸方向に軸ひずみ片振幅0.0010%の微小繰返し除荷・再载荷を行い排水鉛直ヤング率の測定も行った。試験装置の詳細は文献2)を参照されたい。

## 3. 試験結果および考察

図2～4に $G_{eq}$ と $\sigma_m'$ 、 $(\sigma_v' \cdot \sigma_h')^{0.5}$ 、 $p'$ の関係を示す。等方圧密時は、有効応力の増加とともに $G_{eq}$ が大きくなる右上がりの傾向を示す。これに対して図4では③、④のせん断中の、 $G_{eq}$ が右下がりの傾向を示している。一方、図2、3ではせん断中も、全般的な傾向は共におおむね右上がりであるが、特に $(\sigma_v' \cdot \sigma_h')^{0.5}$ で整理した方がより良く等方圧密時の傾向と一致している。 $G_{eq}$ と応力状態の関係をより

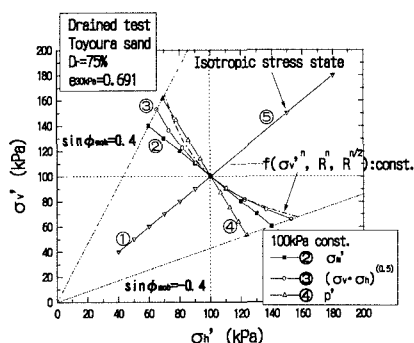
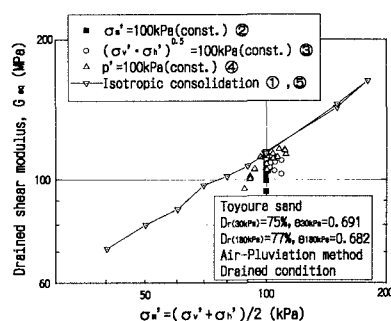
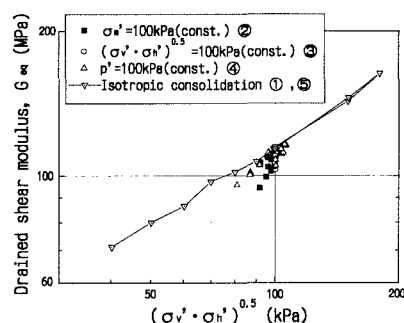


図1: 応力経路図

図2:  $G_{eq}$ と $\sigma_m'$ の関係図3:  $G_{eq}$ と $(\sigma_v' \cdot \sigma_h')^{0.5}$ の関係

キーワード: せん断剛性率, 豊浦砂, 繰返し三軸試験, 応力経路, 異方性

東京大学生産技術研究所 第5部 古関研究室

〒106-8558 東京都 港区 六本木 7-22-1 TEL:03-3402-6231 FAX:03-3479-0261

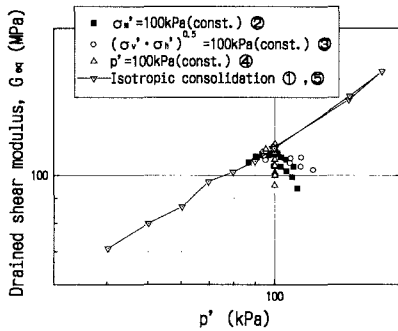


図 4:  $G_{eq}$  と  $p'$  の関係

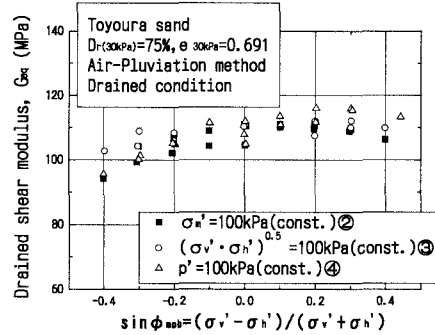


図 5:  $G_{eq}$  と  $\sin \phi_{mob}$  の関係

詳細に検討するために図 5 に  $\sin \phi_{mob} = (\sigma'_v - \sigma'_h) / (\sigma'_v + \sigma'_h)$  と  $G_{eq}$  の関係を示す。 $(\sigma'_v \cdot \sigma'_h)^{0.5}$  を一定に保ったときが最も  $G_{eq}$  の変化が小さい。

ここで、龍岡らが提案した直交異方弾性モデルに基づいて、以下の式を用いて理論的に水平面上でのせん断剛性率  $G_{vh}$  を算出した<sup>3)</sup>。

$$G_{vh} = \left[ E_{v0} \left( \frac{\sigma'_v}{\sigma'_0} \right)^n \right] / \left\{ 2(1 + \nu_0) \right\} \times \left\{ 2(1 - \nu_0) / \left( 1 + a \cdot R^n - 2 \cdot a^{0.5} \cdot R^{\frac{n}{2}} \cdot \nu_0 \right) \right\} = f \left( \sigma_v'^n, R^n, R^{\frac{n}{2}} \right) \cdots (1)$$

式(1)中の  $a$  は初期異方性を示す係数(=1.1 とした)、 $\nu_0$  は等方変形特性を示すときのポアソン比(=0.15)、 $R$  は応力比(=  $\sigma'_v / \sigma'_h$ )である。また、 $E_{v0}$  は  $\sigma'_v$  が基準応力  $\sigma'_0 = 1 \text{ kPa}$  の時の鉛直ヤング率、 $n$  は応力状態誘導異方性の強さを表す乗数であり、等方圧密時の測定値から  $E_{v0} = 19.05 \text{ MPa}$ 、 $n = 0.487$  とした。

図 6 に式(1)より算定した  $G$  と実測値の関係を示す。実測値は理論値よりもやや大きな値となったが、応力径路によらず良好な対応関係が得られた。これは図 1 において、 $(\sigma'_v \cdot \sigma'_h)^{0.5}$  が一定の応力径路と式(1)による  $G$  が一定となる応力径路が比較的似ていることも対応している。

#### 4. まとめ

$\sigma'_v$  一定、 $(\sigma'_v \cdot \sigma'_h)^{0.5}$  一定または  $p'$  一定の条件下で測定したせん断剛性率は  $(\sigma'_v \cdot \sigma'_h)^{0.5}$  との相関が最も良かった。また、龍岡らが提案した直交異方弾性モデルによる理論値は実測値と比較的良好に一致した。

#### 参考文献

- 1) 濱谷 正司: 豊浦砂の非排水繰返し三軸試験における弾性的変形特性, 第 34 回地盤工学研究発表会 pp681-682, 1997. 7
- 2) 永山 浩: 中空中型ねじり・三軸試験装置を用いた豊浦砂の鉛直ヤング率とせん断剛性率の測定, 第 34 回地盤工学研究発表会, 投稿中, 1999.
- 3) 龍岡 文夫: 直交弾性モデルとその諸性質, 第 34 回地盤工学研究発表会, 投稿中, 1999.

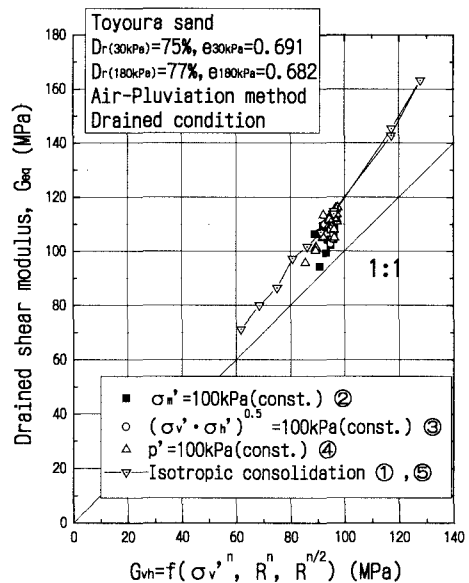


図 6:  $G_{eq}$  と  $G_{vh}$  の理論値との関係