

## 粘性土の繰返しせん断時の剛性低下および間隙水圧上昇が生じるひずみレベル

広島大学大学院 正会員 一井康二  
前田建設工業 正会員 ○三上武子

## 1. はじめに

地盤の地震応答解析に用いる変形特性を求めるための繰返しせん断試験では、せん断ひずみが0.1%を超える付近から過剰間隙水圧の影響により応力-ひずみ関係が定常化しないという問題や、载荷ステージ間の排水で試料が密実化するなどの問題が指摘されている<sup>1)</sup>。そのため、試験結果の評価にあたっては過剰間隙水圧の挙動にも着目する必要がある。しかし、試験法では過剰間隙水圧の報告は必須となっていないため、ほとんど報告がなく、したがって検討事例も少ない。本報では、粘性土の変形特性について、過剰間隙水圧の挙動に着目して検討を行い、剛性低下や間隙水圧上昇が生じるひずみレベルについて調べた結果を報告する。

## 2. 検討に用いた試料の性質

検討に用いたデータは、9 都県からチューブサンプラーで採取された 49 試料の繰返し中空ねじりせん断試験結果である。試料の性質を図 1 に示す。地質断面図での土質区分は、沖積粘土 (Ac) 40 試料、洪積粘土 (Dc) 4 試料、ローム (Lm) 1 試料、不明 4 試料である。塑性指数  $I_p$  の分布範囲は 11.9~97.2,  $N$  値の分布範囲は 0~18 と非常に多岐にわたっている。図 2 の塑性図では、一部の試料を除き、ほとんどの試料が A 線付近からやや上方に分布している。図 3 に S 波速度と  $N$  値の関係を示す。図中の実線は道路橋示方書の式、点線はこの式の倍半分の範囲を示したものであるが、検討試料はこの範囲内に分布する。道路橋示方書の式では堆積年代による分類はないが、洪積粘土は式の上方に分布する傾向が認められる。図 4 は、繰返し中空ねじりせん断試験から得られた初期せん断弾性係数  $G_{0L}$  と S 波速度から求めた  $G_{0F}$  を比較した結果である。洪積粘土では  $G_{0F}$  に比べて  $G_{0L}$  が小さい傾向にあるものの、両者は概ね一致する。

## 3. 実験方法

繰返し中空ねじりせん断試験は JGS 0543-2009 に準拠して実施した。供試体サイズは外形 7cm, 内径 3cm, 高さ 14cm である。土被り圧相当を拘束圧  $\sigma'_c$  として等方圧密を行った後、载荷周波数 0.1Hz の正弦波を 11 波ずつ载荷するステージ载荷をせん断ひずみ  $\gamma=1\%$  程度まで行った。繰返し载荷中は非排水とし、载荷後に過剰間隙水圧を消散させて次段階の载荷を行った。データ整理は、まず、データ毎に各ステージ 10 サイクル目のせん断応力  $\tau$ , せん断ひずみ  $\gamma$ , 過剰間隙水圧  $\Delta u$  から  $G/G_0-\gamma$  関係、 $h-\gamma$  関係、 $h-G/G_0$  関係、 $\Delta u/\sigma'_c-\gamma$  関係および  $\Delta u/\sigma'_c-G/G_0$  関係の 5 種類の関係図を作成した。次に、試料の性質に応じてグループ分けを行い、グループ別に各関係の平均値を求めた。このとき、剛性低下および間隙水圧上昇が生じるせん断ひずみ（以下、限界ひずみと記す）に着目して検討を行った。グループ分けについては、 $G/G_0-\gamma$  関係などの変形特性は拘束圧の影響を受けるが、粘性土の場合は拘束圧よりも

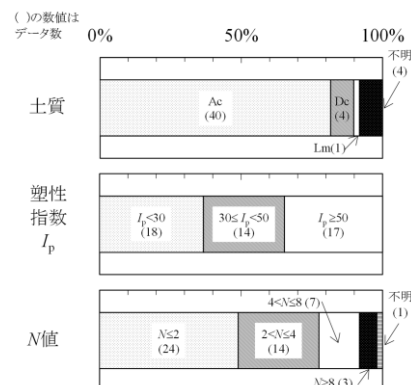


図 1 検討に用いた試料の性質

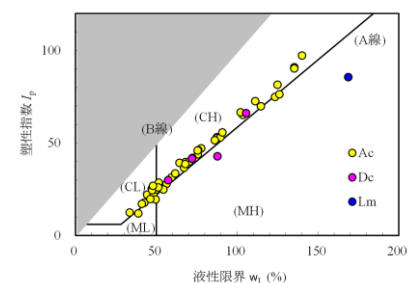


図 2 塑性図

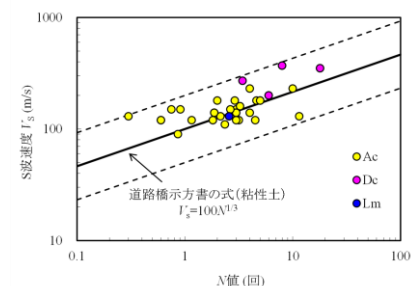
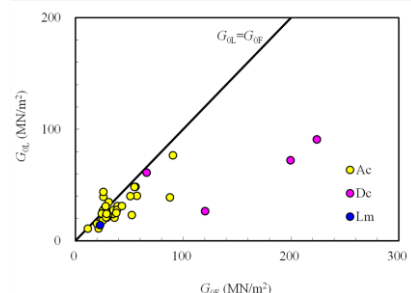
図 3 S 波速度と  $N$  値の関係

図 4 初期せん断弾性係数の比較

表 1 データの分類

| 分類 |                    |                                     | 数量    |
|----|--------------------|-------------------------------------|-------|
| 1  | $I_p < 30$         | $\sigma'_c \leq 100 \text{ kN/m}^2$ | 11 試料 |
| 2  |                    | $\sigma'_c > 100 \text{ kN/m}^2$    | 7 試料  |
| 3  | $30 \leq I_p < 50$ |                                     | 14 試料 |
| 4  | $I_p \geq 50$      |                                     | 17 試料 |

キーワード 剛性低下, 間隙水圧, 限界ひずみ, 繰返しせん断, 粘性土

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-19 前田建設工業(株) 技術研究所 TEL 03-3977-2242

塑性指数の影響が大きいと考えられていることから、既往の研究<sup>2)</sup>を参考に両者を考慮して表1に示す分類とした。

#### 4. 検討結果

結果の一例として分類1の関係図を図5に示す。また、グループ別の平均値を図6に示す。図6には、比較のために珪砂6号( $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$ )の結果も併せて示した。図6(a)の $G/G_0-\gamma$ 関係では、分類1から分類4の順に曲線が右側に平行移動し、塑性指数が高くなるにしたがって( $I_p<30$ では拘束圧が大きいほど)せん断弾性係数 $G$ が低下し始めるひずみが大きくなる。たとえば、 $G/G_0=0.95$ のときを剛性低下の始まりと仮定すると、限界ひずみは分類1:0.0025%, 分類2:0.0071%, 分類3:0.0077%, 分類4:0.013%で、珪砂6号の0.0015%に比べて約2~9倍大きな値となっている。(b)の $h-\gamma$ 関係においても、 $G/G_0-\gamma$ 関係と同様に分類1から分類4の順に曲線が右側に移動し、塑性指数が高いほど同一のせん断ひずみに対して履歴減衰率 $h$ が小さくなる傾向が認められる。ただし、(c)に示す $h-G/G_0$ 関係は、ややばらつきはあるものの分類にかかわらず、ほぼ一意的な関係となっている。

(d)の $\Delta u/\sigma'_c-\gamma$ 関係は、データ毎に過剰間隙水圧の発生が認められた以降のひずみの範囲において片対数軸で直線近似を行って切片と傾きを求め、その平均値をプロットしたものである。分類1から分類4の順に横軸の切片が大きくなり、塑性指数が高いほど過剰間隙水圧が発生し始める限界ひずみが大きくなっている。ただし、 $\Delta u/\sigma'_c-\gamma$ 関係の傾きは分類にかかわらずほぼ等しい。横軸の切片を間隙水圧上昇の始まりとすると、限界ひずみは分類1:0.034%, 分類2:0.047%, 分類3:0.079%, 分類4:0.14%で、珪砂6号に比べて1オーダー以上大きい。また、剛性低下の限界ひずみよりも10倍程度大きい。(e)の $\Delta u/\sigma'_c-G/G_0$ 関係は、分類毎に全データを対数近似により求めた近似曲線である。概ね $I_p<30$ と $I_p\geq 30$ の2つに分類することができ、塑性指数が高いほど同一の $G/G_0$ に対して発生する過剰間隙水圧が小さい。

#### 5. まとめ

粘性土の繰返し中空ねじりせん断試験データから、過剰間隙水圧に着目して変形特性の検討を行った。間隙水圧の上昇が生じる限界ひずみは0.034%~0.14%で塑性指数が高いほど大きく、剛性低下の限界ひずみに比べて10倍程度大きい。今後は砂質土についても検討を行い、粘性土との比較を行う。

謝辞：本研究は、日本学術振興会科学研究助成基金助成金(課題番号：23310119, 25420505, 26282103)の助成を受けて行われました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉田他：時代の要請に応える土の繰返しせん断変形特性試験の確立を，地盤工学会誌，Vol.58，No.2，pp.1-5，2010。
- 2) 若松他：地質年代・堆積環境を考慮した土の繰返し変形特性の支配要因の検討，地盤工学ジャーナル，Vol.5，No.3，pp.463-478，2010。

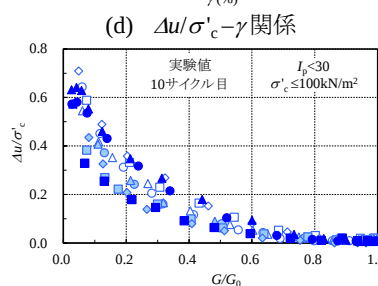
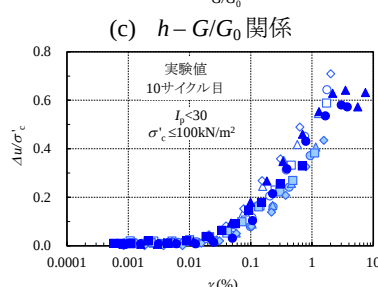
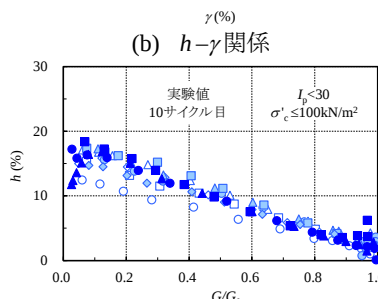
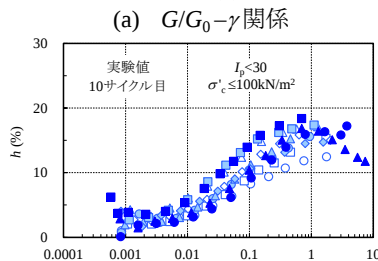
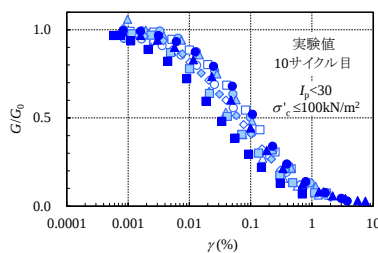


図5 試験結果の一例(分類1)

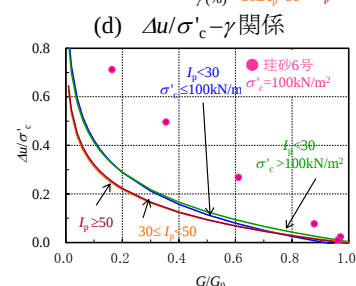
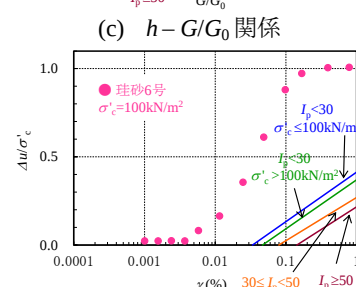
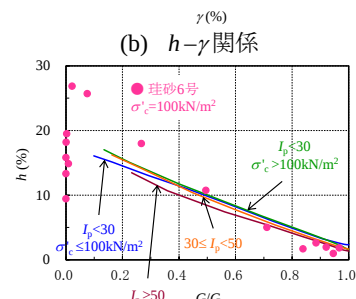
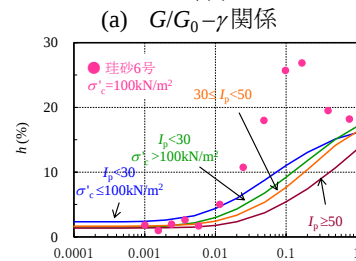
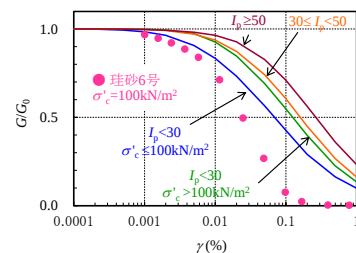


図6 試験結果の平均値