

Ⅲ-234 粘性土の微小ひずみでの応力-ひずみ関係に及ぼすせん断ひずみ速度の影響

北海道大学工学部 正会員 濫谷 啓・三田地利之
 北海道大学大学院 学生員 ○細見 明彦
 宮 城 県 正会員 古川 卓
 札 幌 市 正会員 杉本 大

1. はじめに

各種地盤材料のせん断において、0.002%以下のひずみでの剛性率こそが、せん断速度に依存しない真の弾性せん断剛性率 G_{max} であると言われている¹⁾²⁾。しかし、一般に応力-ひずみ関係の時間依存性が顕著な粘性土では、応力の変化とは無関係な γ - τ ひずみとせん断によるひずみとを分離した上で、応力-ひずみ関係に及ぼすせん断ひずみ速度の影響を評価する必要がある。これによって、微小ひずみでの応力-ひずみ関係のせん断ひずみ速度依存性(せん断ひずみ速度に依存しない G_{max} の存在、弾性限界ひずみの大きさ等)が明らかとなる。この種の研究は、これまで案外と数が少ない。

2. 実験

多機能全自動三軸試験装置³⁾を用いて、軸ひずみ速度制御の非排水単調/繰返し載荷試験を行った。室内再構成粘土(NSF-clay, $I_p=26$)を同一の有効圧密圧力 $p'_c=300$ kPaまで等方圧密した供試体群(公称寸法: $\phi=5$ cm, $H=10$ cm)を用いた。4つの供試体の圧密終了時の間隙比は、1.14~1.17の狭い範囲にあった。

3. 結果および考察

図1は、異なる軸ひずみ速度($d\varepsilon_a/dt=0.011, 0.133$ %/min)を用いた、単調載荷圧縮試験におけるせん断応力 $\tau=(\sigma_a-\sigma_r)/2$ とせん断ひずみ $\gamma=1.5\varepsilon_a$ 関係の比較である。せん断開始直前に測定した軸ひずみの γ - τ 速度は約0.0001%/minであり、緩速試験のせん断ひずみ速度と比べても十分に(2オーダーも)小さかった。また、両試験でのひずみ速度が1オーダー異なるにもかかわらず、 $G_{max}=79.6$ MPaが共通に得られた。一方、割線せん断剛性率 $G_{sec}=\tau/\gamma$ が低減し始めるせん断ひずみの大きさを弾性限界せん断ひずみ γ_{EL} とすると、

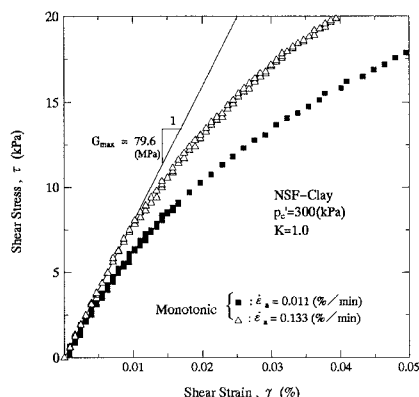


図-1 $\gamma \sim \tau$ 関係(単調載荷)

γ_{EL} は、 $d\varepsilon_a/dt=0.011$ %/minおよび 0.133 %/minでせん断した場合で、それぞれ 1×10^{-5} (0.001%)と 1×10^{-4} (0.01%)付近にある(図2)。また図2には、異なる一定の載荷周波数($f=0.1, 0.01$ Hz)を用いた、ステップ載荷による非排水繰返しせん断試験結果もあわせて示している。

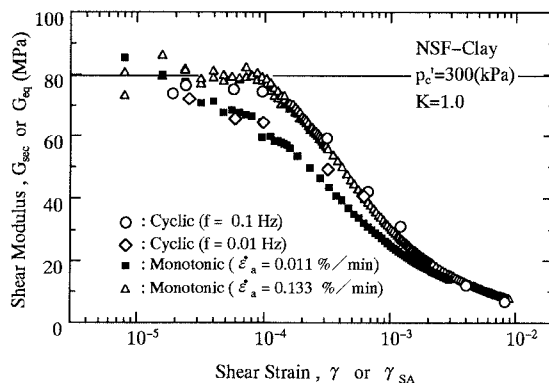


図-2 $\gamma, \gamma_{SA} \sim G_{sec}, G_{eq}$ 関係

繰返し載荷試験における等価せん断剛性率 $G_{eq}=\tau_{SA}/\gamma_{SA}$ (γ_{SA} :片振幅繰返しせん断ひずみ)は、 $\gamma_{SA}=0.002\%$ 付近において、単調載荷試験から得られた G_{max} (=79.6 MPa)にほぼ一致している。さらに、載荷周波数が大きい(即ち、せん断ひずみ速度が大きい) $f=0.1$ Hz

の試験の方が、 G_{eq} の γ_{SA} の増加に対する低減割合が小さい。これは、単調載荷試験におけるせん断ひずみ速度の影響と同様の傾向である。図3は、単調載荷試験と繰返し載荷試験での応力-ひずみ関係の比較である。ここで、

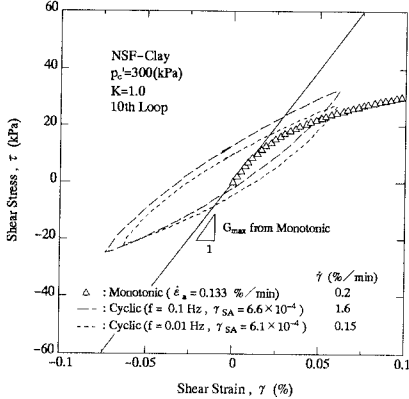


図-3 $\gamma \sim \tau$ 関係(繰返し載荷)

繰返し試験でのせん断ひずみ速度は、 $d\gamma/dt = 240f\gamma_{SA}$ (%/min) となる。せん断ひずみ速度がほぼ等しい $d\epsilon_a/dt = 0.133$ (%/min) の単調載荷試験と $f=0.01$ Hz の繰返し試験との比較において、単調試験の $\tau \sim \gamma$ 関係は、繰返し履歴ループのバックボーンカーブとなっていることが分かる。なお、 $\gamma < 0.05\%$ の範囲では、すべての試験において過剰間隙水圧の発生量は小さかった(図4)。図5は、せん断ひずみとせん断

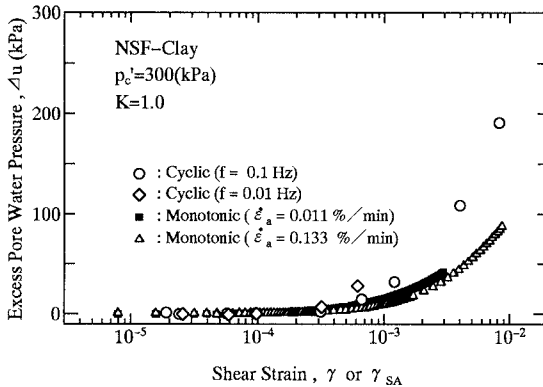


図-4 $\gamma, \gamma_{SA} \sim \Delta u$ 関係

ひずみ速度の関係(両対数表示)における、単調試験(2本)ならびに繰返し試験(2本)から得られた、せん断剛性率のコンターである。せん断ひずみ速度が増加するにつれて、 $A=1.0$ (但し、 $A=G_{sec}/G_{max}=G_{eq}/G_{max}$ かつ G_{max} は4つの供試体でほぼ等しい) の境界(ハッチ部)に相

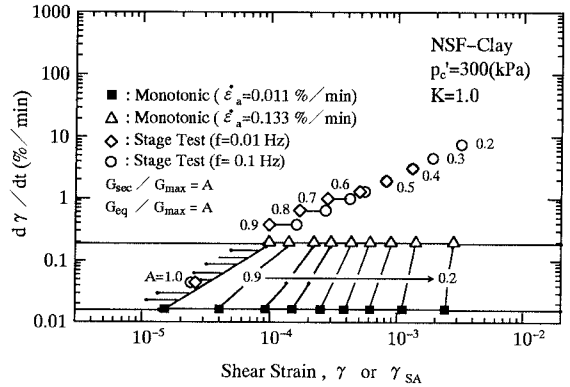


図-5 $\gamma, \gamma_{SA} \sim d\gamma/dt$ 関係

当する γ_{BL} が次第に増加していることが分かる。また、せん断ひずみが増加するにつれて、せん断ひずみ速度の影響は小さくなり、 $\gamma > 0.1\%$ において、剛性のせん断ひずみ速度依存性はほとんど認められない。さらに、大ひずみでのピーク強度は、2つの単調載荷試験でほとんど同じであった。以上の事柄から、この程度(10^{-4} 程度)のせん断ひずみ速度の変化が、大ひずみでの応力-ひずみ関係に及ぼす影響は小さいと言えよう。

4. まとめ

室内再構成粘性土を用いた今回の実験におけるひずみ速度の範囲において以下のことがわかった。

- ① G_{max} は、せん断ひずみ速度および載荷パターン(単調あるいは繰返し)によらない。
- ② せん断ひずみ速度が大きい程、弾性限界ひずみは大きくなる。
- ③ せん断剛性率は、弾性限界ひずみから 0.1% 程度の微小ひずみの範囲において、せん断ひずみ速度に依存する。

参考文献: 1) Tatsuoka F. & Shibuya S. (1992): Deformation characteristics of soils and rocks from field and laboratory tests, Proc. 9th ARC on SMFE, 2, 101-170. 2) Shibuya S., Tatsuoka F. et al (1992): Elastic deformation properties of geomaterials, Soils and Foundations, 32-3, 26-46. 3) 瀬谷 啓・三田地利之・大森荘一郎・本章人(1992): 多機能全自動三軸試験装置の試作, 第28回土質工学研究発表会, 53-56頁. 4) Shibuya S., Mitachi T., Fukuda, F. & Degoshi, T. (1995): Strain rate effects on shear modulus and damping of normally consolidated clay, Geotech. Testing J., 18-3 (in print).