多方向繰返しせん断後の不撹乱粘土の再圧密特性について

復建調査設計株式会社　正会員　○佐藤　秀政
Hue University of Sciences　Tran Thanh Nhan
関門港湾建設株式会社　稗田　拓郎
山口大学　正会員　松田　博

１．はじめに

粘性土地盤は地震時に繰返しせん断を受けると過剰間隙水圧が蓄積し，その消散に伴って沈下が生じる．地震後の粘性土地盤の沈下予測に関して，既に繰返しせん断ひずみの多方向性を考慮した過剰間隙水圧および繰返しせん断後の沈下量の推定式が提案されている．しかしながら，それらは撹乱粘土の実験結果に基づいて導かれたものであり，不撹乱粘土については明らかになっていない．そこで，本研究では不撹乱粘土を用いて，多方向繰返しせん断試験を行い，非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の蓄積および繰返しせん断後の再圧密特性について調べた．

２．実験方法

本研究ではひずみ制御型の多軸単純せん断試験装置を用いた．この装置は地震動のような複雑な挙動を再現できるように，供試体（直径 75mm，高さ 20mm）に 2 方向から独立してせん断変形させることができる．実験に用いた試料は，旧北上川不動地区の深度 18.0m から採取した東北粘土である．試料の物性値を表-1 に示す．試験は下記の手順で実施した．まず，不撹乱試料をシンウォールから押出し，所定の高さに切断した後，せん断箱内に詰めた．そして，不撹乱試料採取時の拘束圧相当の圧密圧力σ'_{v0}=157kPa で予圧密した．その後，非排水条件で繰返しせん断を行い，繰返しせん断中の過剰間隙水圧を測定した．繰返しせん断波形は周期 2.0 秒の sin 波でせん断ひずみ振幅は 0.17～3.05%，水平 2 方向から負荷する sin 波の位相差は 90°，繰返し回数は 200 回とした．また，繰返しせん断終了後に供試体上部から排水を許し，間隙水圧が消散するまで沈下量を測定した．その後，さらに圧密圧力σ'_{v0}=294kPa，392kPa で再圧密を行い，それぞれ間隙水圧が消散するまで沈下量を測定した．

表-1　東北粘土の物性値

ρ_s (g/cm^3)	w_L (%)	w_P (%)	I_P	C_C	C_s
2.607	124.7	40.5	84.2	1.29	0.06

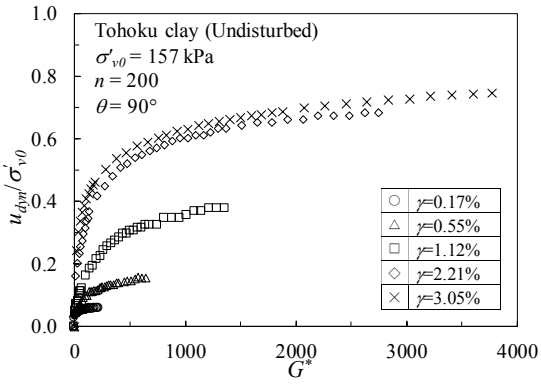

図-1　繰返しせん断中の過剰間隙水圧比の推移

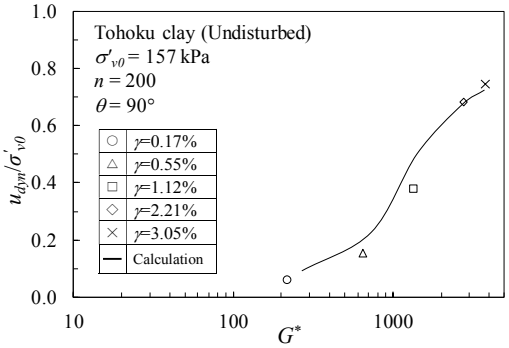

図-2　過剰間隙水圧比と累積せん断ひずみの関係

３．実験結果

図-1 に繰返しせん断中の過剰間隙水圧比の推移を示す．横軸のG^*は累積せん断ひずみであって，水平 2 方向の合せん断ひずみ増分の総和として定義される．同図より，繰返しせん断振幅が大きい方が過剰間隙水圧比も大きくなり，累積せん断ひずみと過剰間隙水圧比の関係は既往の撹乱粘土における実験結果と同様に双曲線関係となることが分かる．既往研究では，過剰間隙水圧比は以下の式(1)～(4)で推定できることが示されている [1)]．

$$\frac{u_{dyn}}{\sigma'_{v0}}=\frac{G^*}{\alpha+\beta\cdot G^*} \quad \cdots(1) \qquad \alpha=A\cdot\gamma_{dyn}{}^{m} \quad \cdots(2) \qquad \beta=\frac{\gamma_{dyn}}{B+C\cdot\gamma_{dyn}} \quad \cdots(3) \qquad \gamma_{dyn}>-\frac{B}{C} \quad \cdots(4)$$

キーワード　単純せん断試験，不撹乱粘土，繰返しせん断，過剰間隙水圧，沈下
連絡先　〒732-0052　広島県広島市東区光町 2-10-11　復建調査設計（株）　TEL　082-506-1861

ここに，γ_{dyn} は繰返しせん断ひずみ振幅であり，A，B，C，m は実験定数である．実験定数は実験結果へのフィッテングにより求められ，A=332，B=-0.294，C=0.837，m=-0.77 となる．

図-2 は繰返しせん断終了時の過剰間隙水圧比と累積せん断ひずみの関係である．図中のプロットは実測値であり，曲線は式(1)による結果であって，両者は概ね一致している．

図-3 は繰返しせん断後の沈下ひずみの経時変化を示したものである．同図より，繰返しせん断振幅が大きいほど沈下ひずみも大きくなることが分かる．繰返しせん断後の沈下ひずみは，式(5)～(7)によって表されることが報告されている [1]．

$$\varepsilon_v = \frac{C_{dyn}}{1+e_0}\log(SRR) \quad \ldots(5) \qquad \Delta e = C_{dyn}\log(SRR) \quad \ldots(6)$$

$$SRR = 1/(1-U_{dyn}/\sigma'_{v0}) \quad \ldots(7)$$

ここに，C_{dyn} は動的圧縮指数，e_0 は初期間隙比，Δe は間隙比の減少量，SRR は応力減少比である．

図-4 は Δe と SRR の関係を示したものである．同図より Δe と SRR はほぼ線形関係にあり，これは撹乱粘土と同様の結果である．また，この直線の勾配が式(5)の C_{dyn} であり C_{dyn}=0.23 となる．図-5 は沈下ひずみと累積せん断ひずみの関係を示したものである．図中のプロットは実測値であり，曲線は式(5)による結果である．同図より，実測値と計算値はよく一致しており，不撹乱粘土に対しても既往式は適用可能であるといえる．

図-6 は e-log$p$ 関係を示したものである．非排水繰返しせん断中は過剰間隙水圧の上昇によって間隙比が一定のまま有効応力が減少した後，再圧密によって間隙比が減少し，再圧密時の間隙比はせん断ひずみ振幅が大きいほど小さくなっている．その後の圧密圧力の増加による圧密過程ではいずれのせん断ひずみ振幅に対してもほぼ同じ e-log$p$ 関係線上に収束しているが，正規圧密曲線には一致していない．同様の傾向はカオリン粘土についても得られており [2]，今回不撹乱粘土においても同様な傾向があることが分かった．

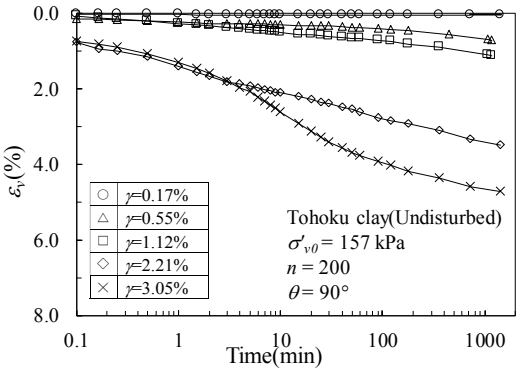

図-3 繰返しせん断後の沈下ひずみ

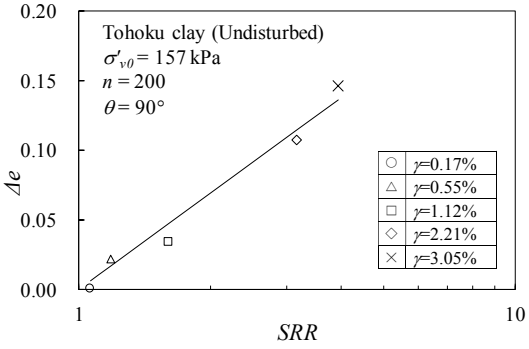

図-4 Δe と SRR の関係

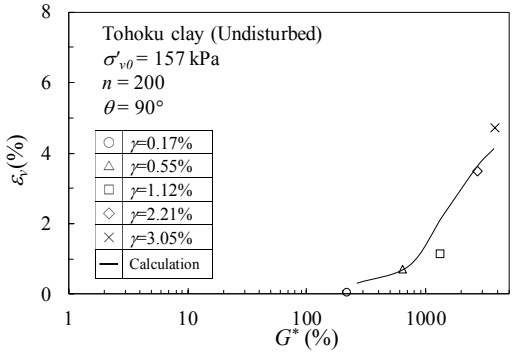

図-5 沈下ひずみと累積せん断ひずみの関係

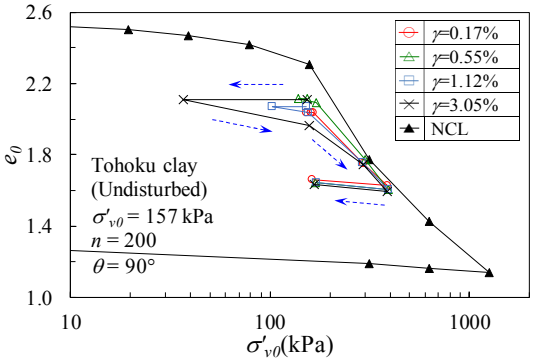

図-6 間隙比の推移

4．結論

1) 不撹乱粘土も非排水繰返しせん断を受けると，過剰間隙水圧が発生し，その消散に伴い沈下が生じる．2) 既往の多方向性を考慮した過剰間隙水圧および繰返しせん断後の沈下量の推定式は不撹乱粘土に対しても適用可能である．3) 不撹乱粘土が繰返しせん断を受けた場合，再圧密後の e-log$p$ 関係は正規圧密曲線と一致しない．

なお，本研究の一部は JSPS 科研費 16H02362 の助成を受けて行ったものである．

参考文献： 1) H.Matsuda, TT.Nhan, R.Ishikura : Prediction of excess pore water pressure and post-cyclic settlement on soft clay induced by uni-directional and multi-directional cyclic shears as a function of strain path parameters, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 49, pp.75-88, 2013. 2) S.Ohara and H.Matsuda : Study on the settlement of saturated clay layer induced by cyclic shear, Soils and Foundations, Vol.28, No.3, pp.103-113, 1988.