

細粒分を含む砂の液状化後の変形特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○峯啓一郎
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生
 九州工業大学工学部 正会員 廣岡明彦
 九州工業大学工学部 学生会員 栗屋宣典

1. はじめに

地震力によって地盤が液状化すると、その物性は大きく変化し、例えば永久変位に代表される地盤変状が生じることが明らかとなっている。筆者ら^{1,2)}は、以前より豊浦砂の繰返しねじりせん断試験を実施して、液状化地盤の変形特性に関する研究を行い、一応の結論を得ている。しかし、その結果は細粒分を含まない豊浦砂を用いた実験で得られたものであり、実地盤の持つ条件を十分に反映させたものではないと考えられる。そこで、今回は、細粒分が液状化後の変形特性に与える影響に注目し、細粒分を含む砂に対して繰返しねじりせん断試験を行った。

2. 実験方法

実験に用いた試料は、豊浦砂にシルト質としてDLクレーを、または粘土質としてカオリンを混ぜ合わせた2種類の混合試料である。ただし、DLクレーは非塑性の材料である。混合試料の細粒分含有率は0、5、10%とし、砂分の詰まり具合を粒状間隙比 e_s ³⁾で評価している。この試料を用い、空中落下法にて外径100mm、内径60mm、高さ100mm、 $e_s=0.865$ の中空円筒供試体を作成した。この供試体を有効拘束圧 $\sigma'_v = 0.5$ (kgf/cm²)の下で等方圧密した後、非排水状態にて繰返しねじり载荷を行った。繰返し载荷により所定の過剰間隙水圧比、または液状化安全率に達した後、静的せん断試験を行い、せん断応力 τ ~せん断ひずみ γ 関係を求めた。繰返し载荷終了時の目標過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_v$ は0、0.9、1.0とし、液状化した場合については液状化の激しさを考慮するため、液状化安全率 $F_L = 1.0, 0.95, 0.9$ を設定した。なお、静的せん断試験はひずみ制御方式で行い、ひずみ速度は1分間に10%としている。

3. 実験結果および考察

図-1~3に、豊浦砂のみ、DLクレー5%混合、カオリン5%混合でのせん断応力 τ ~せん断ひずみ γ 関係を示す。これらの結果には、繰返し载荷時に液状化に至るまでの応力 τ ~ひずみ γ 関係を比較するため、繰返し载荷を行っていないケースや、液状化に達していない $\Delta u/\sigma'_v = 0.9$ 場合での結果も併せて示している。どのケースの応力 τ ~ひずみ γ 関係においても、過剰間隙水圧比が大きくなるに従いその剛性は低下し、液状化するとほとんど剛性を有しなくなるひずみ領域が存在している。しかしながら、過剰間隙水圧の増加($\Delta u/\sigma'_v = 0 \sim 1.0$)に伴う剛性の低下に関して比較すると、豊浦砂のみとDLクレー5%ではほとんど剛性に差が生じていないのに対し、カオリン5%では剛性の増加が著しい。また、液状化後($F_L = 1.0 \sim 0.95$)の剛性の回復に関して比較すると、DLクレー5%、カオリン5%の場合ともに剛性回復に要するひずみ量は豊浦砂のみの場合に比べ減少し、その傾向はDLクレー5%よりカオリン5%のほうが顕著である。以上の結果より、粘土質細粒分は供試体の剛性増加に影響を与え、シルト質細粒分は液状化した供試体の骨格構造を比較的安定させる働きを有していると考えられる。次に、図-1~3に示す液状化後の低剛性域に注目するため、応力 τ ~ひずみ γ 関係の拡大図を図-4に示す。この図においては、細粒分含有率の違いによる影響を見るために、細粒分含有率が10%の場合での応力 τ ~ひずみ γ 関係も併せて示している。どの場合においても、はじめはほとんど剛性を有しないままひずみ γ が進行し、あるひずみを超えると急激に応力が回復していることが確認できる。筆者らは、この応力が回復するまでのひずみ領域を、図-5に示すように微小抵抗領域、 γ_{lr} と定義している。この微小抵抗領域に注目し、細粒分の種類、含有率、液状化安全率

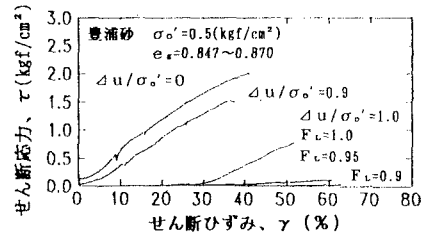


図-1 応力~ひずみ関係(豊浦砂)

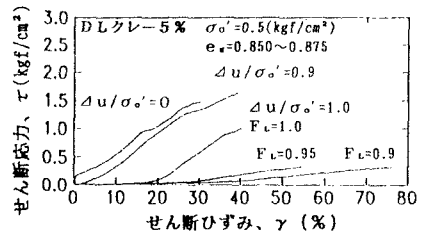


図-2 応力~ひずみ関係(DLクレー5%)

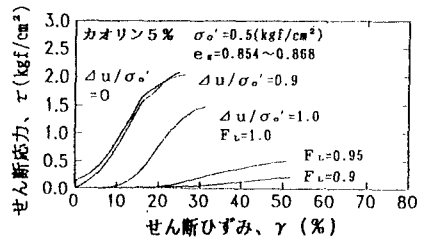


図-3 応力~ひずみ関係(カオリン5%)

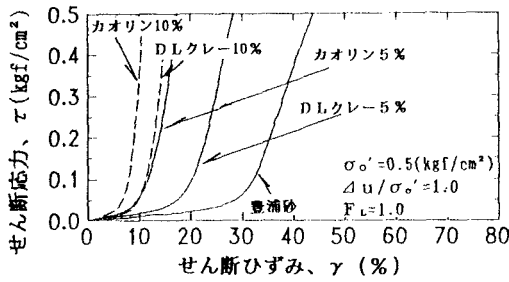


図-4 応力～ひずみ関係拡大図

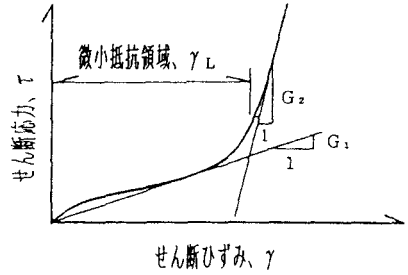


図-5 微小抵抗領域の定義

についてまとめたものが図-6である。この図より、細粒分含有率が増加するに従い微小抵抗領域が減少している。特に、DLクレのケースでは徐々に減少しているのに対し、カオリンのケースでは含有率5%までにおいて急激な減少を示している。ここで、それぞれのケースにおける剛性回復の度合いを見るため、微小抵抗領域前後でのせん断弾性係数 G_1 、 G_2 (図-5参照) に与える細粒分含有率の影響について図-7、

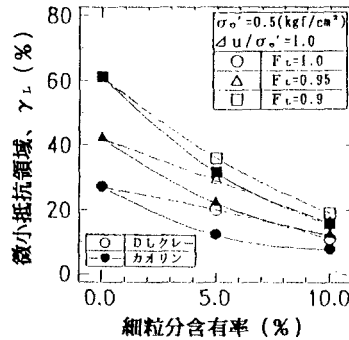


図-6 微小抵抗領域～細粒分含有率関係

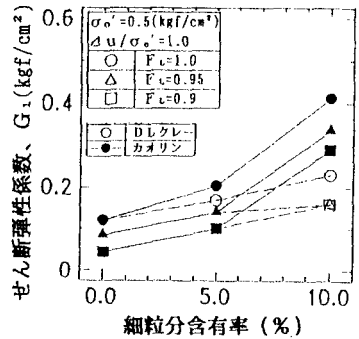


図-7 せん断弾性係数 G_1 ～細粒分含有率関係

8に示す。これらの図を見ると、細粒分含有率が増加するに従い、せん断弾性係数 G_1 、 G_2 はともに増加している。特に G_1 の値について、DLクレの場合は細粒分含有率にほぼ比例して増加しているのに対し、カオリンでは細粒分含有率の増加に伴う G_1 の増加傾向が明らかに異なっている。このことより、DLクレの場合は、細粒分含有率の増加により間隙比が減少して剛性が増加したと考えられるが、カオリンの場合は、間隙比の減少だけでなく、カオリン自身の塑性によって液状化後の流動性が失われたのではないかと考えられる。

4. あとがき

豊浦砂に細粒分を混合して変形特性を調べ、砂が塑性指数が高い細粒分を含むと、液状化後のせん断抵抗の回復に要するひずみ量、微小抵抗領域が減少する結果を得た。今後は、さらに緩い状態の供試体について同様の実験を行い、細粒分が液状化後の変形特性に与える影響に関し、検討を行う予定である。

5. 参考文献

- 1) 安田・増田・永瀬・板藤・峯：液状化後の変形特性に与える拘束圧の影響に関するねじりせん断試験、第29回土質工学研究発表会概要集、pp747～930、1994
- 2) 安田・永瀬・悦永・規矩・峯：液状化後の変形特性を用いた砂地盤の簡易変形予測、第30回土質工学研究発表会概要集、pp809～810、1995
- 3) Georgiannou, V. N, Burland, J. B. & Hight, D. W.: The undrained behaviour of clayey sands in triaxial compression and extension, Geotechnique 40, No.3, pp431～449, 1990

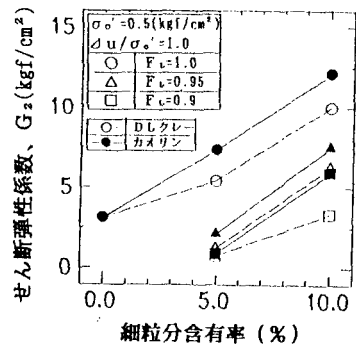


図-8 せん断弾性係数 G_2 ～細粒分含有率関係