

細粒な土の液状化における靱性に与える過圧密履歴の影響

中央大学 学生会員 渡辺 俊介 飛鳥建設 正会員 沼田 淳紀
 飛鳥建設 非会員 染谷 昇 中央大学 正会員 國生 剛治

1. はじめに

土の液状化抵抗は、過圧密履歴を受けることで過圧密比 OCR の n 乗に比例して増加することが既往の研究により明らかにされている¹⁾。筆者らも、過圧密履歴を受けた緩い細粒な土の液状化特性について検討している²⁾。近年、レベル2地震動のような大きな地震動を設計外力として考えるようになってきており、液状化抵抗の大きさとともに、予想を超えた外力に対しても変形量が極端に増大しない、いわゆる靱性が高いことも重要となる。そこで、本研究では過圧密履歴を与えた緩い細粒な土の液状化に対する靱性について、ひずみの増加傾向と累積損失エネルギーの観点から検討する。

2. 試料および実験方法

試料は利根川砂、北海道 T 砂、函館シルトの3種類である。各試料の粒度組成を図-1に示す。試料はいずれも非塑性で、均等粒径、ほぼ相似粒度で、粘土分含有率が10%以下であるが、細粒分含有率が大きく異なる。

過圧密比は、OCR=1.0, 1.5, 2.0, 3.0とした。所定の過圧密履歴を与えた後、非排水繰返し三軸試験を行った。用いた供試体は、最小法⁴⁾で定義した最小間隙比により求めた相対密度55%程度の密度である。なお、実験方法の詳細は、文献2)に詳しい。

3. ひずみの増加傾向による靱性の比較

図-2に正規化繰返し回数 $N_c/N_{cDA=1\%}$ と両振幅ひずみ DA の関係を示す。正規化繰返し回数は、繰返し回数を DA=1% に至る繰返し回数で正規化したものである。この図で、正規化繰返し回数が1以上になった後、グラフが急勾配になるものほど靱性が低いということを表す。図中には、各試料の中から繰返し回数が5~15回程度で DA=5% となる実験結果について示した。利根川砂は、過圧密比の大小にかかわらず、DA=1%を越えると急激にひずみが増大し、靱性が低いことがわかる。函館シルトは、利根川砂や北海道 T 砂に比べると、DA=1%に至ってからのひずみの増加は緩やかであり、靱性は高い。また、この傾向は過圧密比が大きくなるほど顕著に表れている。したがって、函館シルトは過圧密履歴を受けることによって液状化抵抗が大きくなることに加え、靱性も高くなると考えられる。北海道 T 砂については、少しばらつきがあるものの、利根川砂、函館シルトの中間的な傾向を示している。

全ての試料の靱性を表す1つの指標として、軟化繰返し回数⁵⁾を繰返しせん断応力比との関係にまとめたものが図-3である。図の横軸をひずみ両振幅 DA が1%から5%までに至る繰返し回数の差、軟化繰返し回数 $N_{cDA=5\%} - N_{cDA=1\%}$ とし、縦軸を繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2c'$ とした。この図で、左下の範囲に位置する曲線は、一度ひずみが生じ始めると小さな繰返しせん断応力比で、途端に大ひずみが増大する靱性が低い試料であることを示す。利根川砂は過圧密比によらず、応力比の小さいところでも軟化繰返し回数が2以下で極めて靱性が低く、過圧密によって靱性はほとんど増加しない。これに対して、函館シルトは過圧密比 OCR が大きくなるほど図の右上の範囲に位置し、過圧密によって靱性が増加することがわかる。また、北海道 T 砂は、利根川砂と函館シルトのほぼ中間的な傾向を示している。

したがって、靱性は試料が細粒なほど、また、大きな過

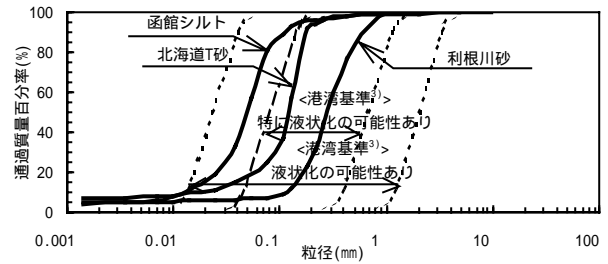


図-1 各試料の粒度組成

▲ 利根川砂 OCR=1.0 R=0.094	■ 利根川砂 OCR=1.5 R=0.139
● 利根川砂 OCR=2.0 R=0.158	● 利根川砂 OCR=3.0 R=0.205
△ 北海道T砂 OCR=1.0 R=0.138	■ 北海道T砂 OCR=1.5 R=0.166
◆ 北海道T砂 OCR=2.0 R=0.237	● 北海道T砂 OCR=3.0 R=0.287
◇ 函館シルト OCR=1.0 R=0.203	◇ 函館シルト OCR=1.5 R=0.259
◇ 函館シルト OCR=2.0 R=0.295	◇ 函館シルト OCR=3.0 R=0.372

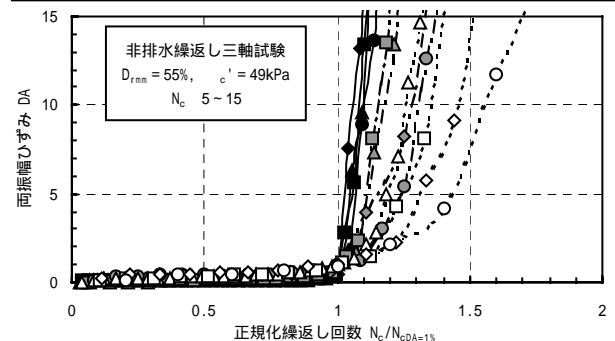


図-2 正規化繰返し回数と両振幅ひずみの関係

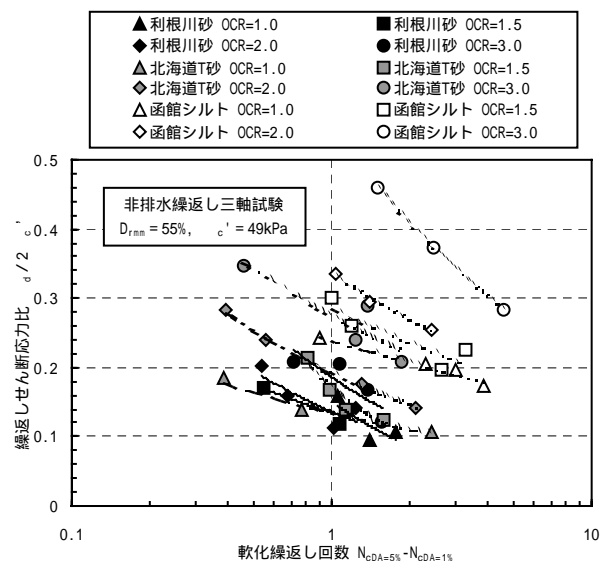


図-3 軟化繰返し回数と繰返しせん断応力比の関係

キーワード 液状化, 過圧密, 靱性

連絡先 飛鳥建設技術研究所 〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 TEL 04-7198-1101

圧密履歴を受けるほど高くなると考えられる。

4. 累積損失エネルギーによる靱性の比較

風間ら⁶⁾は、液状化を評価する方法として累積損失エネルギーに基づく方法を提案している。これは、応力-ひずみ関係に示される履歴ループで囲まれた面積の累積値で表され、土が塑性変形して費やされるエネルギー容量を示しており、この値が大きいほどエネルギー吸収性能が高いことを示す。したがって、累積損失エネルギーは土の靱性を示す指標の1つといえる。

図-4に、図-2と同じ実験結果について、正規化繰返し回数と正規化累積損失エネルギーの関係を示す。横軸は繰返し回数を $DA=5\%$ となる時の繰返し回数で正規化したものであり、縦軸は累積損失エネルギーを拘束圧で正規化したものである。全体的に利根川砂、北海道T砂、函館シルトの順で累積損失エネルギーが大きくなっていることがわかる。さらに、函館シルトの $OCR=3.0$ の場合や、北海道砂の $OCR=3.0$ の場合には、過圧密履歴を受けることで正規化累積損失エネルギーは大きくなっている。

また、各試料におけるせん断剛性の低下に与える過圧密履歴の影響を比較するため、図-4と同じデータについての正規化累積損失エネルギーとせん断剛性低下率の関係を図-5に示す。ここに、せん断剛性低下率は、繰返し载荷1サイクル目の等価せん断剛性に対する各サイクルでの等価せん断剛性の比である。利根川砂は累積損失エネルギーの小さいところでせん断剛性の低下が著しく、細粒分を多く含む函館シルトになるほどその低下は小さくなっている。また、函館シルトでは $OCR=2.0$ と 3.0 、北海道T砂では $OCR=2.0$ の場合に、せん断剛性の低下は小さくなっており、概ね細粒な試料ほど、また、過圧密比が大きいほどせん断剛性の低下は小さくなる傾向となった。ここで、必ずしも OCR の増加にともなってせん断剛性の低下が小さくならない場合があるのは、比較している繰返し回数が統一されていないことが原因であると考えられる。まとめ

非塑性で、均等粒径、ほぼ相似粒度で、粘土分含有率が10%以下であるが、細粒分含有率が大きく異なる利根川砂、北海道T砂、函館シルトの3種類の試料について、緩い供試体を作成し、ひずみの増加傾向と累積損失エネルギーの観点から、過圧密履歴による靱性について調べた結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 靱性を表す1つの指標として、両振幅ひずみ1%から5%に至るまでの繰返し回数の差を軟化繰返し回数と定義し、せん断応力比との関係を比較したところ、細粒な土ほど、また、大きな過圧密履歴を受けた土ほど靱性は高くなることがわかった。
 - (2) $DA=5\%$ に至るまでの繰返しせん断中に費やされる累積損失エネルギーは、細粒な土ほど、また、大きな過圧密履歴を受けるほど、大きくなる傾向がある。
 - (3) 同累積損失エネルギーに対するせん断剛性低下は、細粒な土ほど、また、 OCR が大きいほど小さい傾向がある。
- 謝辞：実験にあたり、飛鳥建設技術研究所の田雑満孝氏、柳倫子氏に御協力戴いた。心より感謝申し上げます。
参考文献

- 1) Ishihara, K. and Takatu, H.: Effect of over-consolidation and K_0 conditions on the liquefaction characteristics of sands, Soils and Foundations, Vol.19, No.4, pp.59-68, 1979
- 2) 渡辺 俊介, 沼田 淳紀, 染谷 昇, 國生 剛治: 過圧密履歴を受けた細粒な土の液状化特性, 第38回地盤工学研究発表会, (投稿中), 2003
- 3) 日本港湾協会: 第13章 地盤の液状化, 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp.281-288, 1999
- 4) 沼田 淳紀, 染谷 昇, 田雑 満孝, 國生 剛治: 細粒な土に対する最小間隙比定義方法の提案, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.665-670, 2002
- 5) 沼田 淳紀, 染谷 昇, 嶋本 栄治, 國生 剛治: 非塑性な細粒な土と粘性土の繰返し強度の比較, 第37回地盤工学研究発表会, pp.1991-1992, 2002
- 6) 風間 基樹, 柳澤 栄司, 加賀谷 俊和: 靱性を考慮した土の液状化抵抗評価法の提案, 液状化メカニズム・予測法と設計方法に関するシンポジウム発表論文集(地盤工学会), pp.503-510, 1999

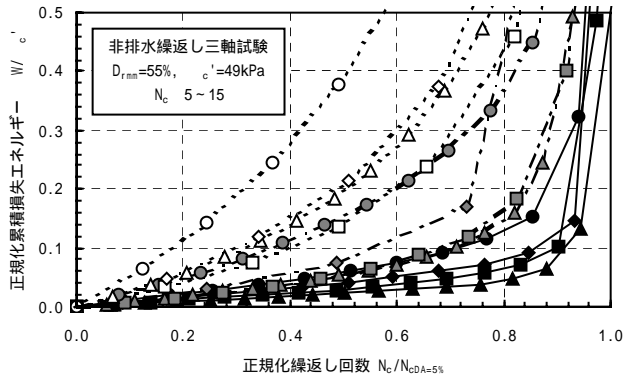
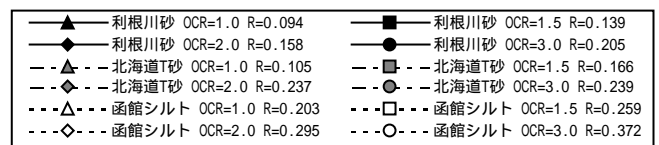


図-4 正規化繰返し回数と正規化累積損失エネルギーの関係

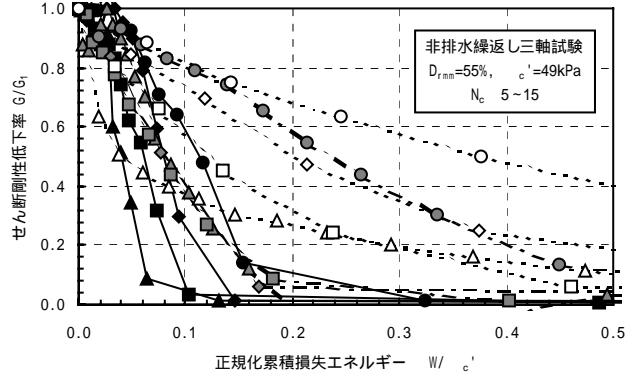
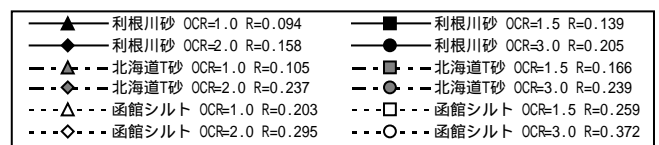


図-5 正規化累積損失エネルギーとせん断剛性低下率の関係