

中空ねじりせん断試験を用いた過渡荷重下における砂の液状化特性

東京電機大学 正会員 石川 敬祐、名誉会員 安田 進

東京電機大学大学院 学生会員 ○坪井 稜太

1. 目的

1964 年の新潟地震では新潟市の広い範囲で液状化が発生し、液状化現象が広く知られるきっかけとなった。現在多くの既往研究では一様な調和波である正弦波荷重に対する土の液状化特性の評価に重点が置かれているため、地震波荷重の特性を評価するための実験的な検討は限られている。また、液状化発生メカニズムに関しては石原ら¹⁾は繰返しせん断応力と有効応力の比である有効せん断応力比が過去の履歴の最大値を超えることで塑性ひずみが生じ、過剰間隙水圧も発生する一方で有効せん断応力比が増加しても履歴の最大値を超えなければ塑性ひずみが生じず、過剰間隙水圧も発生しないと仮定している。そこで本研究では複雑な地震波を単純化した過渡荷重に置き換えた繰返しねじりせん断試験を行い、その波形形状が作用した際に生じる過剰間隙水圧やその程度を明らかにすることで地震波荷重のような複雑な不規則波では認識されにくい非一様荷重下での砂質土の液状化特性を解明することを目的とした。

2. 液状化試験概要

試料には、瑞浪珪砂を用い、繰返し非排水せん断試験を実施した。供試体形状は外径 100mm、内径 60mm、高さ 100mm の中空円筒形である。供試体は空中落下法により作製し、相対密度は供試体作製時に $D_r=50\%$ となるようにした。供試体作製後 CO_2 で供試体空隙部を置換し、供試体体積の 2~3 倍の脱気水を通水した。次に背圧を 200kN/m^2 かけ、B 値が 0.95 以上に達したことを確認し、30 分間の圧密を行った。拘束圧は 100kN/m^2 の等方応力条件とし、液状化の判定は両振幅せん断ひずみが 7.5% に至った時とした。載荷波形は図 1 に示すように 1~15 波まで振幅が漸増する波形を用い、15 波以降は一様な正弦波を用いた。過渡荷重の振幅は正弦波の試験より求まる液状化強度比 R_{L20} を基準として振幅 A の指数 n を 0.1、0.75、2.0、10 と 4 段階変化させた 4 種類の波形を用いた。

3. 試験結果の考察

図 2 に一様な正弦波で行った中空ねじりせん断試験の両振幅せん断ひずみ $\gamma_A=7.5\%$ に至るまでの繰返し回数と繰返しせん断応力を有効拘束圧 σ'_c で正規化した繰返しせん断応力比の関係を示す。液状化強度比 R_{L20} は液状化強度曲線の繰返し回数が 20 回の時の繰返しせん断応力比と定義している。図 2 より、瑞浪珪砂の液状化強度比 R_{L20} は 0.169 であった。図 3、4 に繰返しせん断応力を有効拘束圧で除した有効せん断応力比と繰返し回数の関係、過剰間隙水圧比と繰返し回数の関係を示す。図 3、4 より有効せん断応力比が繰返し履歴の最大値を超えることで過剰間隙

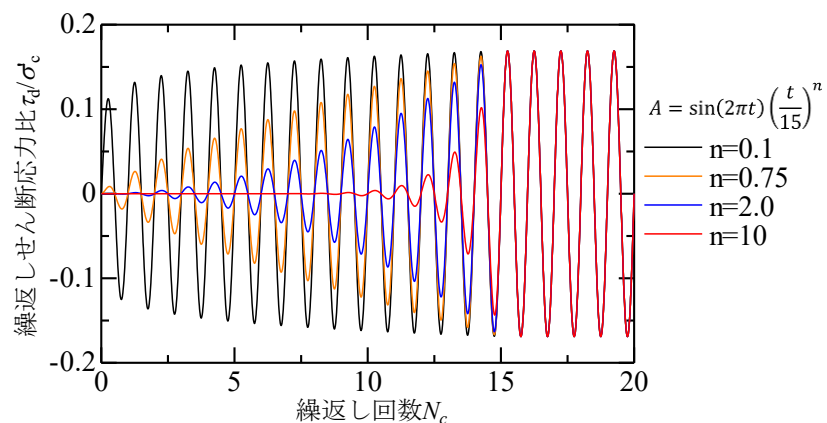


図 1 載荷波形

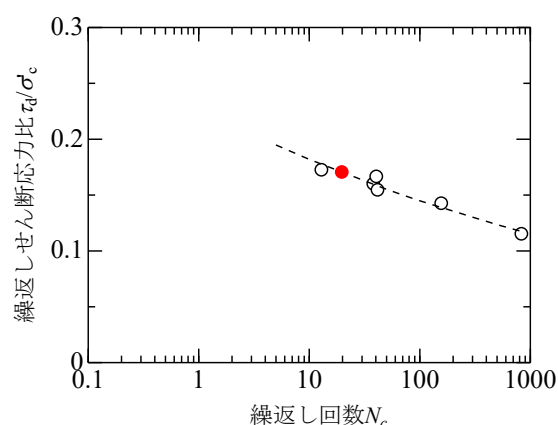


図 2 瑞浪珪砂の液状化強度曲線

キーワード 過剰間隙水圧, 中空ねじりせん断試験, 過渡荷重

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学 TEL 049-296-5819

水圧が発生していることから石原ら¹⁾の仮定と一致することが改めて確認された。そして $n=10$ の繰返し回数 15 回付近など有効せん断応力比が繰返し履歴の最大値を大きく超えると過剰間隙水圧は大きく上昇し、20~40 波の有効せん断応力比が微増する場合だと過剰間隙水圧の上昇量も小さくなると考えられる。図 3、4 より指数 $n=0.75\sim 10$ にかけて、有効せん断応力比は漸増波形が正弦波に変化する 15 波を境に増加傾向が鈍化する傾向が見られる。

図 5 に波形形状と 15 波から液状化、過剰間隙水圧比 0.2 から液状化、過剰間隙水圧比 0.6 から液状化に至るまでの繰返し回数の関係を示す。各試験で両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA}=7.5\%$ に至った回数は $n=0.1$ で 29.6 回、 $n=0.75$ で 35.7 回、 $n=2.0$ で 60.7 回、 $n=10$ で 43.2 回となった。図 5 より 15 波から液状化に至るまでの繰返し回数は指数 n が増加すると多くなるが、 $n=10$ では $n=2.0$ より 17 波早く液状化に至った。過剰間隙水圧比 0.2 から液状化に至るまでの繰返し回数に関しても同様な傾向が見られた。過剰間隙水圧比 0.6 から液状化に至るまでの繰返し回数に関してはどの波形条件でも同程度の繰返し回数で液状化に至ることがわかる。この時、図 3、4 に注目すると過剰間隙水圧比が 0.6 程度まで上昇して正弦波の一定応力振幅を受けると有効せん断応力比が著しく増加していることがわかる。 $n=2.0$ では漸増波形の後に液状化強度比 R_{L20} 相当の正弦波を 45 波加えることで両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA}=7.5\%$ に至り液状化した。これは、一様に漸増する波形の履歴を受けた場合に供試体の粒子構造の再構成が生じることで強度が増加していると考えている。一方で $n=10$ では図 3 からわかるように 15 波付近まで有効せん断応力比の変化は非常に小さいため、繰返しせん断履歴を受けていない状態に等しく、粒子構造の再構成による安定化に至らなかったと考えられる。

4. まとめ

本研究では瑞浪珪砂を用いて正弦波と 4 種類の漸増波形による液状化試験を行い、過剰間隙水圧の発生過程を比較した。有効せん断応力比が繰返し履歴の最大値を超えることで過剰間隙水圧が発生していることを再確認した。指数 n が増加すると液状化に至るまでの繰返し回数が増加する結果となった。繰返しせん断応力が一様に漸増する波形の履歴を受けた場合、粒子構造の再構成が生じることで過剰間隙水圧の上昇が鈍化して液状化しにくくなると考えられる。

【参考文献】1) Ishihara, K., Tatsuoka, F. and Yasuda, S.: Undrained deformation and liquefaction of sand under cyclic stresses, *Soils & Foundations*, Vol.15, No.1, Mar.1975.

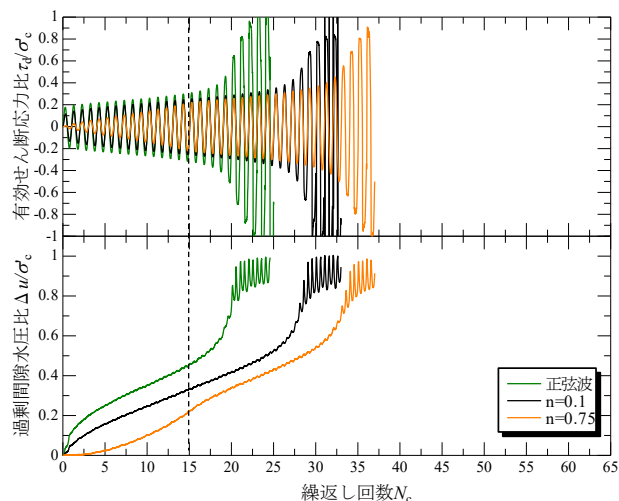


図 3 非排水繰返しせん断試験結果
(正弦波、 $n=0.1$ 、 $n=0.75$)

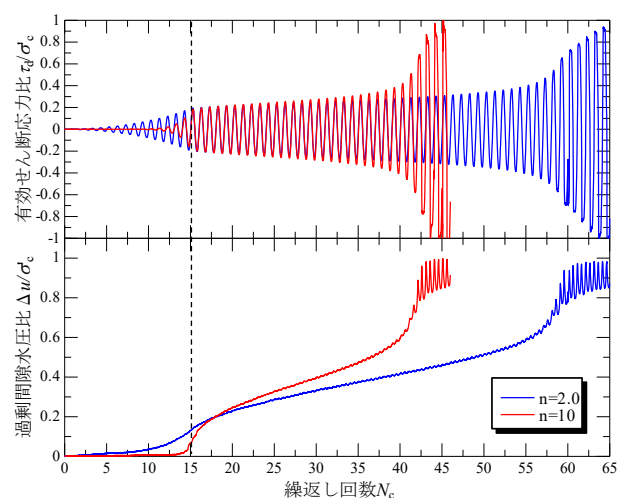


図 4 非排水繰返しせん断試験結果
($n=2.0$ 、 $n=10$)

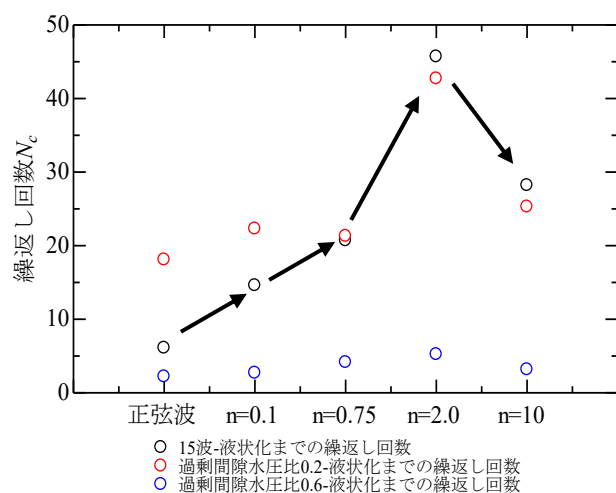


図 5 波形形状と繰返し回数の関係