

刈羽から採取した砂の液状化強度特性

(独) 日本学術振興会 正会員 中村 公一
 長岡技術科学大学大学院 学生会員 高田 晋
 長岡技術科学大学 正会員 豊田 浩史

1. はじめに

平成 19 年 7 月 16 日午前 10 時 13 分頃に発生した新潟県中越沖地震では、主に砂丘や自然堤防堆積物からなる宅地において液状化の発生による被害が多くみられた。刈羽村稲葉地区周辺の地図を図 1 に示す。稲葉地区は中越地震時にも液状化が発生し、多数の家屋に被害が発生している。この付近は荒浜砂丘砂層（新期砂丘堆積物）の末端部に位置し、地下水位が高いことから、液状化が発生しやすいと考えられている。図 2 に図 1 に示した A-A'、B-B' の断面図を示す。図 1 に示す○に対応するポイントで被害が顕著であったが、図 2 中の○に対応している。各○地点の左側の斜面の斜度は、約 12 度であった。

本研究では、刈羽村稲葉地区（B-B' の断面の○付近）から採取した砂に対して繰返し非排水三軸試験¹⁾、繰返し定体積一面せん断試験を行った。また、繰返し定体積一面せん断試験では、初期せん断応力を載荷した状態からの繰返し試験も行った。

繰返し一面せん断試験の利点は、以下の点あげられる^{2),3)}。繰返し非排水三軸試験は、軸対称条件下で等方応力から軸方向に繰返し載荷するため、実際の地盤内での応力・変形状態とはかなり異なる。一方、一面せん断試験は実地盤と同様に一次元圧密・平面ひずみ条件に近いと考えられ、水平方向にせん断力を繰返し載荷できる。また、試験法が簡便ではあるが、ある面を強制的に変形させるため、ひずみを定義できないという欠点も有している。本研究では、採取した試料に対し、繰返し非排水三軸試験では豊浦砂との比較を行い、繰返し定体積一面せん断試験では斜面での液状化を考え、初期せん断応力を載荷した状態から繰返しせん断を行う。

2. 試験試料

試験に用いた試料は、刈羽村より採取した砂（以降、刈羽砂）の 2mm 通過分と、豊浦砂を用いた。図 3 に、各試料の粒径加積曲線、土粒子密度、最大最小間隙比を示す。図 3 より、豊浦砂は土粒子密度が 2.65g/cm^3 となっており、ほぼ中砂で構成された、純粋な砂であることがわかる。刈羽砂は豊浦砂と比べて、土粒子密度、最大最小間隙比ともに大きい値を示している。また、細粒分がほとんど含まれていない砂である。

3. 試験方法、試験条件

原位置の試料はほとんど固結していなかったため、原位置の相対密度 ($Dr=44\%$) と一致させるように、室内で再構成した。供試体作成方法は、三軸試験（直径 5cm、高さ 12cm）・一面せん断試験（直径 6cm、高さ 2cm）ともに乾燥堆積法によりモールドまたはせん断箱へ堆積させ、所定の間隙比となるように打撃により調整した。繰返し三軸試験は、供試体作製後二重負圧法により飽和作業を行い、試験条件は背圧 200kPa、平均有効主応力 $p'=100\text{kPa}$ 、軸ひずみ速度 0.12%/min、繰返し軸差応力 20kPa、23kPa、30kPa の 3 ケースを行った。繰返し一面せん断試験は、供試体作成後そのまま乾燥状態で試験を行い、試験条件は鉛直応力 $\sigma_v=100\text{kPa}$ 、せん断ひずみ速度 0.1mm/min、繰返しせん断応力 10kPa、15kPa、20kPa にて行った。また、繰返し一面せん断試験では、初期せ



図 1 刈羽村 断面位置

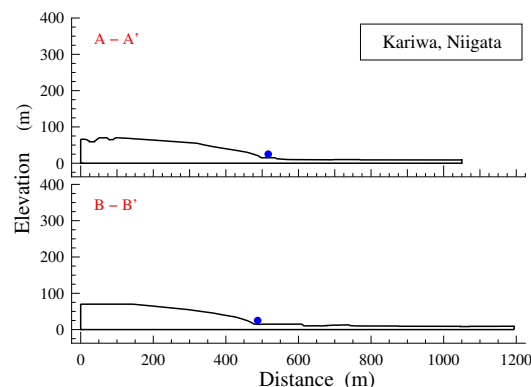


図 2 断面図

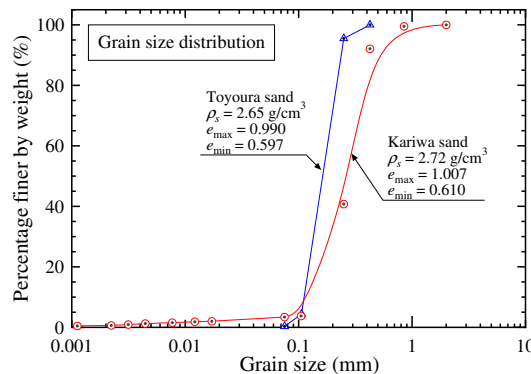


図 3 粒径加積曲線

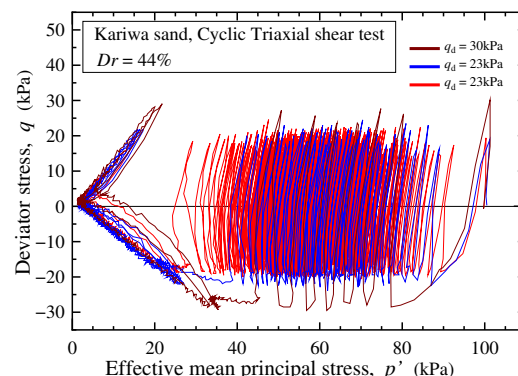


図 4 平均有効主応力－軸差応力関係（刈羽砂）

キーワード：液状化、繰返しせん断、砂質土

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 環境・建設系, E-Mail : toyota@vos.nagaokaut.ac.jp, Tel : 0258-47-9619

ん断応力を载荷した状態からの試験も行った。初期せん断応力は、 $\tau_i=10\text{kPa}$ と $\tau_i=20\text{kPa}$ とした。

4. 試験結果

(1) 繰返し三軸試験

刈羽砂の有効応力-軸差応力関係と軸ひずみ-軸差応力関係を 図 4 と 図 5 に示す。また、図 8 に刈羽砂と豊浦砂の $DA=1\%$ 時の液状化強度曲線を示した。図 4 より、最初の伸張载荷によって大きく間隙水圧が発生し、有効応力が減少している。図 5 にみられるように、供試体が一旦液状化すると急激にひずみが増大し、 $DA=1\%$ と同じ回数で $DA=5\%$ 以上に進展している。この挙動から刈羽砂は、豊浦砂と同様に $D_r=44\%$ では緩い供試体の液状化挙動を示す試料であることがわかる。図 8 より、相対密度が等しい場合、液状化強度は豊浦砂より刈羽砂の方が強いことがわかる。

(2) 繰返し一面せん断試験

刈羽砂の有効鉛直応力-せん断応力関係とせん断変位-せん断応力関係を 図 6 と 図 7 に示す。また、図 8 に繰返し変位振幅または残留(累積)変位が $\delta=1\text{mm}$ となった時を液状化とした液状化強度曲線を示した。図 4 と 図 6 より、繰返し一面せん断試験での応力径路は、繰返し载荷とともにサイクリックモビリティに至っている。また図 5 と 図 7 より、繰返し一面せん断試験でのせん断変位-せん断応力関係は、伸張方向に卓越する三軸試験とは違い、ほぼ対称な履歴曲線を示す。これは既往の研究結果³⁾と同様である。

図 6 より、 $\tau_i=10\text{kPa}$ ・ $\tau_i=20\text{kPa}$ は $\tau_i=0\text{kPa}$ と異なり、除荷側で大きく有効鉛直応力が低下する傾向にある。また、せん断応力が正負反転する $\tau_i=10\text{kPa}$ では、1 振幅での有効鉛直応力低下量が大きい。また、図 7 では、試験条件によって明確な差がでている、 $\tau_i=0\text{kPa}$ は上述のように正負ほぼ対称に変位が進展する。それに対し、 $\tau_i=10\text{kPa}$ ・ $\tau_i=20\text{kPa}$ は初期载荷の方向に変位が進展する。ここでせん断応力の反転がある $\tau_i=10\text{kPa}$ は、せん断応力の反転がない $\tau_i=20\text{kPa}$ より変位の進展がはやいことが図 7 からわかる。

図 8 に、繰返し定体積一面せん断試験より得られた液状化強度曲線を示す。図 8 に示すように、繰返し定体積一面せん断試験の方が、繰返し三軸試験より強い液状化強度が得られた。初期载荷がある条件の $\tau_i=10\text{kPa}$ ・ $\tau_d=10\text{kPa}$ 、 $\tau_i=10\text{kPa}$ ・ $\tau_d=20\text{kPa}$ は初期载荷がない条件と比較して、液状化強度曲線の傾きが緩くなる。特に繰返し振幅が小さいときは、液状化判定まで多くの繰返し载荷を必要とするが、繰返し振幅が大きくなると、初期せん断なしより少ない繰返し回数で液状化に達する。

5. 結論

以上の検討により、稲葉地区の斜面においては、繰返しせん断応力が正負反転するような大きな地震のもとでは、平地より液状化強度が弱くなることが考えられる。

参考文献

- 1) 土質試験の方法と解説—第一回改訂版—, 地盤工学会, pp.635-654, 2000.
- 2) 大島, 他: 繰返し定体積一面せん断試験機の試作, 第 33 回地盤工学研究発表会, p.719-720, 1998.
- 3) 大島, 他: 砂の繰返し定体積一面せん断試験と繰返し非排水三軸試験の比較, 第 33 回地盤工学研究発表会, p.721-722, 1998.

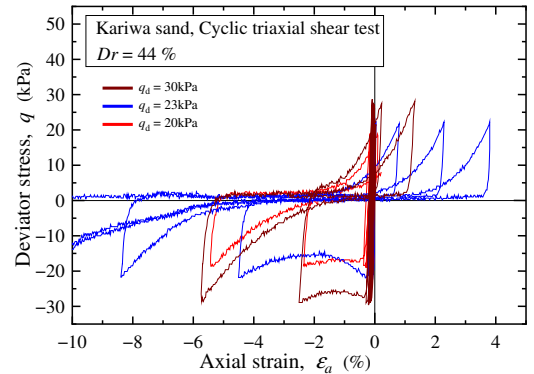


図 5 せん断ひずみ-体積ひずみ関係 (刈羽砂)

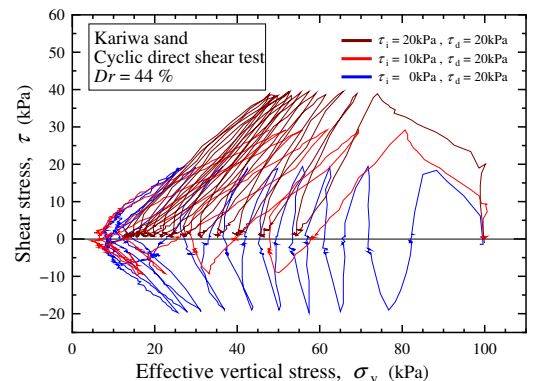


図 6 有効鉛直応力-せん断応力関係 (刈羽砂)

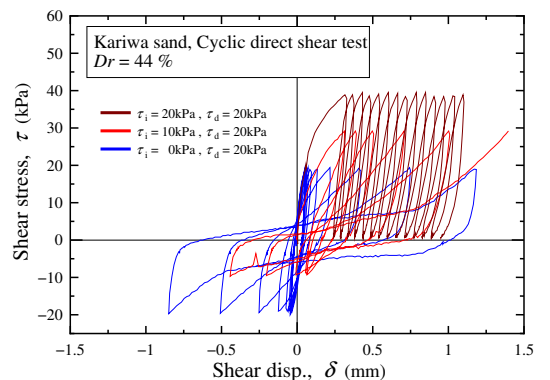


図 7 せん断変位-せん断応力関係 (刈羽砂)

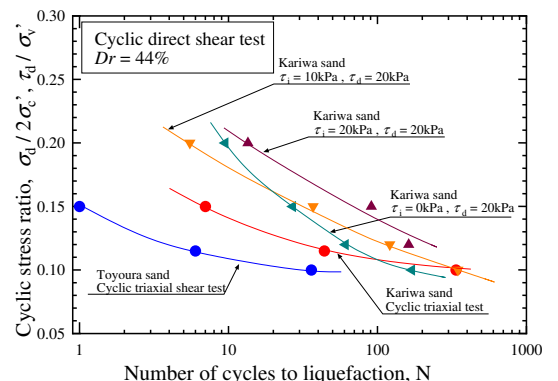


図 8 液状化強度曲線 (繰返し非排水三軸, 繰返し定体積一面せん断試験)