

## 中空ねじりせん断試験と繰返し三軸試験における液状化特性に関する研究 —軸ひずみ比と間隙水圧比の考察—

### Study on Liquefaction Characteristics of Hollow Cylindrical Torsional Test and Cyclic Triaxial Test —Consideration of Axial Strain Ratio and Pore Water Pressure Ratio—

○所義登<sup>1</sup>,山田雅一<sup>2</sup>, 安達俊夫<sup>2</sup>Yoshito Tokoro<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Toshio Adachi<sup>2</sup>

Abstract : The objective of this study is evaluating the difference of liquefaction characteristics of the cyclic triaxial test and hollow cylindrical torsional test. In this paper, the relation between liquefaction resistance and number of loading cycles are investigated by cyclic triaxial test and hollow cylindrical torsional test. Furthermore, this paper describes the results of consideration of axial strain ratio and pore water pressure ratio.

#### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、東北地方周辺の地域に様々な被害を及ぼした。関東地方では、東京湾岸東部の埋立地や利根川下流域などで液状化による建物の沈下や傾斜の被害も多くみられた。また液状化被害が生じた東京湾東部沿岸の埋立地では液状化の際の噴砂の中に非塑性の細粒土が確認された<sup>1)</sup>。既往の研究<sup>2,3)</sup>においては細粒土を含んだ砂と含まない砂では、液状化強度に大きな差異が生じるという報告がなされている。

一方で現行の簡易液状化判定法では繰返し三軸試験によるデータを採用しており、三軸試験は試験方法が容易で国内外で幅広く用いられているため実用性は高い。またもう一つの代表的な液状化試験として中空ねじりせん断試験があり、この試験は繰返し三軸試験と比べ地震時の地盤内の応力変形条件の再現性に優れていると言われている。試験方法の相違による液状化強度の検討は過去に研究報告があり、山下<sup>4)</sup>は中空ねじりせん断試験と繰返し三軸試験による液状化強度を検討している。しかし再構成試料に関しては細粒分を含んだ砂を用いての試験法の相違による検討は行われていない。本研究では細粒土が液状化特性に与える影響を明らかにするため、クリーンサンドに非塑性細粒土を含ませた砂に対して応力変形条件の再現性に優れている中空ねじりせん断試験と実用性の高い繰返し三軸試験で行い、試験方法の違いによる液状化特性を検討する。

#### 2. 試験概要

##### 2.1 試料

試料は豊浦砂と新潟砂に所定の細粒分含有率に相当するDLクレイを加えて混合した。供試体は中空ねじりせん断試験用は中空円筒供試体(外径 10cm, 内径 6cm, 高さ 10cm)を用い、繰返し三軸試験については円筒供試体(直径 5cm, 高さ 10cm)を用いた。またクリーンサンドにおいては空中落下法を、細粒土を含んだ供試体においてはドライタッピング法を用いて供試体を作製した。供試体作製時には両試験の供

試体の粗粒土のみの相対密度が 40%、新潟砂が 60%になるように調整した。図 1 に各細粒分含有率の粒径加積曲線と表 1 に豊浦砂と新潟砂の物性的性質を示す。

試料	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	最大間隙比 $e_{max}$	最小間隙比 $e_{min}$
豊浦砂	2.631	0.977	0.608
新潟砂	2.692	1.068	0.650

Table.1 Physical Properties of samples

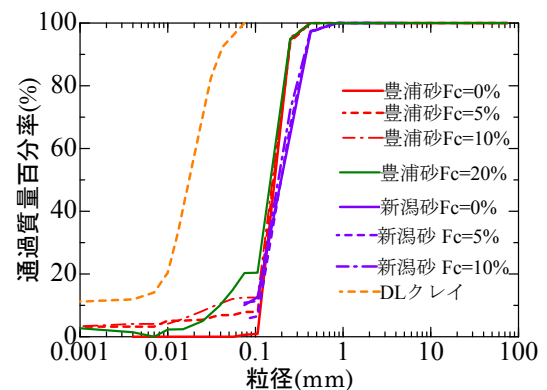


Fig.1 Grain size distribution of soils samples

##### 2.2 繰返し三軸試験

試験は一定応力振幅による非排水繰返し载荷で行った。供試体作製後、二酸化炭素及び脱気水を通し飽和させ、背圧を与え、間隙水係数  $B$  が 0.96 以上であることを確認した。有効拘束圧  $49\text{kN/m}^2$  で等方応力を载荷し、排水量がほぼ一定値に収束するまで圧密した。所定の一定のせん断応力振幅で、せん断ひずみの両振幅軸ひずみが 5% に達するまで非排水繰返し载荷を行った。

##### 2.3 中空ねじりせん断試験

試験は地盤内応力状態の再現性に優れた中空ねじりせん断試験装置を用いて、一定応力振幅による応力制御で非排水繰返し载荷試験を行った。供試体作製後、二酸化炭素及び脱気水を通し飽和させ、背圧を与え間隙水係数  $B$  が 0.96 以上であることを確認し、有効拘束圧  $49\text{kN/m}^2$  で等方圧密

を行った。圧密は排水量がほぼ一定値に収束するまで行う。圧密終了後、正弦波の一定応力振幅により载荷を行い、せん断ひずみの両振幅が 15%に達した後、ひずみ値がゼロクロスしたことを確認してから载荷を終了した。

### 3. 試験結果

図 2 に中空ねじりせん断試験と繰返し三軸試験の試験結果から得られた液状化強度曲線を示す。同図より両試験結果を比べると、豊浦砂の場合は  $F_c=0\%$  の液状化強度は両者でほとんど変わらず、また  $F_c=5\%$ 、 $10\%$  では中空ねじりせん断試験の液状化強度が高くなり、 $F_c=20\%$  では三軸試験の液状化強度の方が高くなった。一方で新潟砂の場合、液状化強度は  $F_c=0\%$  は中空ねじりせん断試験の方が高くなり、 $F_c=5\%$ 、 $10\%$  では明確な傾向は見られなかった。

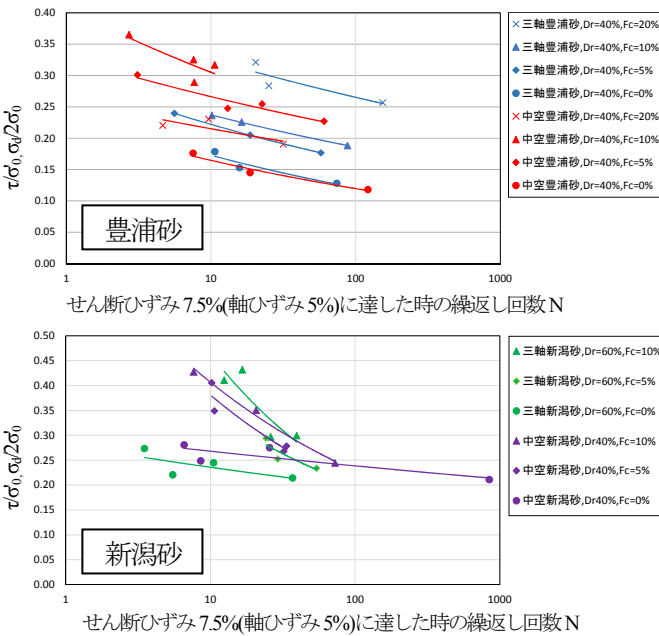


Fig.2 Relationships between stress ratio and number of loading cycles

### 4. 軸ひずみ比と間隙水圧比の検討

既往の研究<sup>4)</sup>では軸ひずみ比と間隙水圧比を用いることで、三軸試験結果から中空ねじりせん断試験結果を求めることができるという報告がなされている。軸ひずみ比とは、三軸試験時の両振幅ひずみ  $DA$  が  $5\%$  に達した時の圧縮側の軸ひずみ量の割合であり、また間隙水圧比とは、繰返し载荷 1 サイクルでの最初の半サイクルで残留する間隙水圧と第 1 サイクル全体で残留する間隙水圧との比である。図 3、図 4 にそれぞれ軸ひずみ比と間隙水圧比と、繰返し回数 20 回でせん断ひずみ  $7.5\%$  (三軸試験は軸ひずみ  $5\%$ ) に達した時の中空ねじりせん断試験と三軸試験の液状化強度の比の関係を示す。

両図より本研究の細粒分を含んだ砂の試験結果でも概ね軸ひずみ比と間隙水圧比と液状化強度比の関係に相関性があることが見受けられたが、豊浦砂の  $F_c=20\%$  は良い相関が

あるとは言えず、細粒分を多く含んだ場合、軸ひずみ比と間隙水圧比の適用の際には十分に留意する必要がある。また細粒分を含んだ砂の場合は軸ひずみ比よりも過剰間隙水圧比を用いた方が良いことが示唆された。

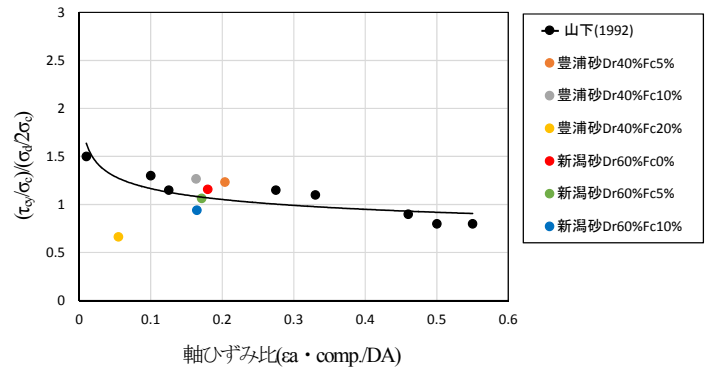


Fig.3 Relationships between ratio of cyclic strength and axial strain ratio,  $\epsilon_a \cdot \text{comp}/DA$

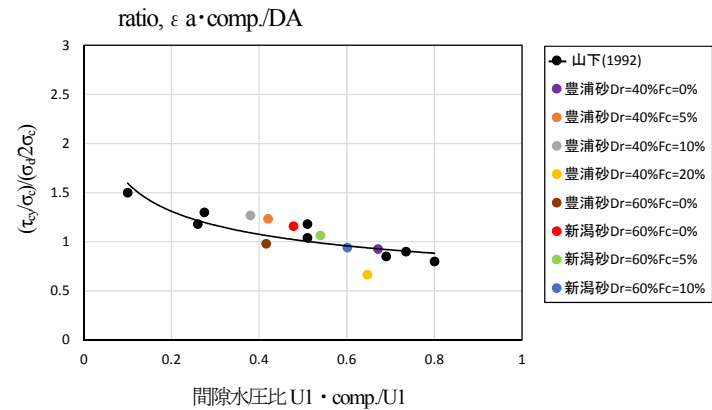


Fig.4 Relationships between ratio of cyclic strength and pore water pressure ratio,  $U1 \cdot \text{comp}/U1$

### 4. まとめ

非塑性細粒土を含む砂に対して、中空ねじりせん断試験と繰返し三軸試験の液状化特性について検討した。本報告をまとめると以下の通りである。

- ① 中空ねじりせん断試験と繰返し三軸試験の液状化強度を比較すると砂の種類により強度に大きな差異が生じ、また非塑性細粒分を含んだ砂では明確な傾向は見られなかった。
- ② 両試験の補正において、軸ひずみ比と間隙水圧比は細粒分を含んだ砂においても有効であった。しかし細粒分含有率  $F_c=20\%$  の場合は良い相関が得られなかった。

#### 〈参考文献〉

- 1) 日本建築学会:2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報,pp.535-536,2011
- 2) 石原研而, 柚川正人: 細粒分を含む飽和砂の液状化, 第 8 回土質工学研究発表会講演集, pp.323-326, 1973
- 3) 黄大振, 柳沢栄司, 菅野高弘: シルトを含む砂のせん断特性について, 土木学会論文集, No.463/III-22, pp.25-33, 1993.
- 4) 山下聡: 砂の繰返し载荷試験結果に及ぼす諸因子の影響と試験結果の適用に関する研究, 北海道大学博士論文 1992