

# 砂・シルト混合土の非排水繰返しせん断強度特性

山口大学大学院 学生会員 ○戸田 紘平 山口大学大学院 正会員 兵動 正幸  
 山口大学大学院 正会員 中田 幸男 太平工業株式会社 非会員 黒岩 友也  
 彦根市役所 非会員 上林 樹

## 1. まえがき

2000年鳥取県西部地震において竹内工業団地など埋立て地において液状化が発生した。また、2011年東北地方太平洋沖地震においても東京湾岸や利根川流域の埋立て地の広い範囲で液状化が発生し、戸建住宅等に大きな被害をもたらした。このどちらの液状化被害を起こした地盤に関しても細粒分を含む砂が多く、細粒分の存在が液状化に大きな影響を与えたと考えられる。本研究では、種々の混合割合から成る非塑性シルトおよび砂との混合土に対し一連の非排水繰返し三軸試験を行い、砂の非排水繰返しせん断強度に及ぼす細粒分含有率およびそれらの初期間隙比の関係を調べることを目的とした。

## 2. 試料及び試験方法

### 2-1. 試料の物理的性質

本研究では、細粒土試料として鳥取県西部地震の際に境港市竹内工業団地において液状化により噴出した非塑性シルト、粗粒土試料として粒度調整した三河珪砂を用い混合土試料を作製した。表-1に三河珪砂とシルトの物理的性質、図-1に混合土試料の粒度曲線を示す。混合土を  $F_c=0,10,20,30,50,60,80,100\%$  の細粒分含有率でそれぞれ混合し、初期含水比は  $w_i=10\%$  とした。

### 2-2. 供試体作製方法

供試体は、直径 5cm、高さ 10cm の円筒形モールド内で含水比 10% で鉄製のランマーを用いて所定のエネルギーとなるよう突固め作製した。突固めエネルギー  $E_c$  は  $E_c=(W_R \cdot H \cdot N_L \cdot N_B)/V$  により算出した。ここに、 $W_R$  はランマー重量(=0.00116kN)、 $H$  は落下高さ(m)、 $N_L$  は層数(=5)、 $N_B$  は 1 層ごとの突固め回数(回/層)、 $V$  は体積( $m^3$ )である。本研究では、 $H$  及び  $N_B$  を変化させ、 $E_c=22 \text{ kJ/m}^3$ 、 $504 \text{ kJ/m}^3$  の 2 種類のエネルギーで突固めることにより供試体を作製した。

### 2-3. 試験方法及び試験条件

飽和供試体作製方法は以下のとおりである。上記のように作製した供試体を三軸室内にセットし、メンブレン装着後 20kPa の負圧をかけて自立させる。この状態でノギスで供試体の直径と高さを測定し、その後、セルを水で満たし、負圧をセル圧 20kPa の正圧と置き換える。次に、供試体に二酸化炭素を注入し、さらに脱気水を通水して、飽和状態とする。この通水により、シルトや細粒分含有率の高い試料では、サクシジョンの消失によるコラプスによる体積収縮が起こるが、二重セル出ない限りこの体積変化を測定することができない。本研究においては、この後、セル水を落とし、供試体にさらに負圧で自立させて、ノギスで供試体の直径および高さを測定した。その後再びセル水を満たし、供試体を排水状態で所定の側圧を加えて、ビューレットに排水された間隙水の変化を測定して、圧密による体積変化を求めた。作製した各供試体に対して、空圧制御式繰返しせん断試験装置を用い、有効拘束圧  $\sigma'_c=100 \text{ kPa}$  の等方圧密状態において、周波数  $f=0.02 \text{ Hz}$  の条件下で非排水繰返しせん断試験を行った。本研究では、いずれの細粒分含有率においても両振幅軸ひずみ  $\epsilon_{DA}=5\%$  に至った状態を液状化と定義した。

表-1 試料の物理的性質

Sample	Fines content (%)	Clay content (%)	$G_s$	$I_p$	$D_{50}$ (mm)	$U_c$
Silica sand	0.0	0.0	2.652	NP	0.861	4.04
Tottori silt	98.0	6.0	2.665	NP	0.019	2.85

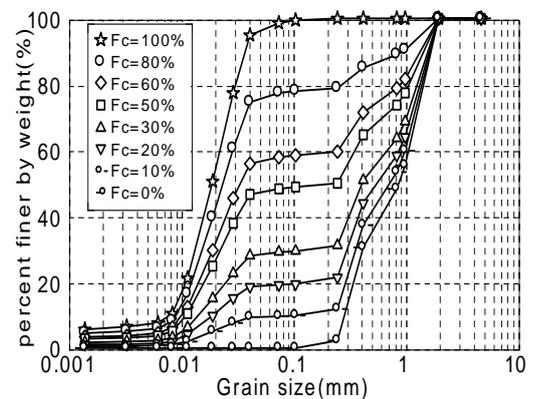


図-1 粒度曲線

### 3. 試験結果と考察

#### 3-1. 初期-通水後の間隙比の変化

図-2 にシルトと砂の混合土の初期,通水後の間隙比  $e$  と細粒分含有率  $F_c$  の関係を示す.低い突固めエネルギー  $E_c=22\text{kJ/m}^3$  で締固めた緩詰め供試体は  $F_c=30\sim 100\%$  では通水後に大きく間隙比が低下すること確認され,通水飽和によるコラプスの影響が顕著に現われている.一方,高い突固めエネルギー  $E_c=504\text{kJ/m}^3$  で締固めた密詰め供試体には通水による間隙比の変化はほとんど見られない.

#### 3-2. 非排水繰返しせん断挙動

図-3 に突固めエネルギー  $E_c=504\text{kJ/m}^3$  で作製した供試体の  $F_c=100\%$  および  $F_c=0\%$  の試料の有効応力経路および軸差応力-軸ひずみ関係をそれぞれ示す.図より,非塑性シルトは同一の突固めエネルギーで突固めた砂に比べ,容易に液状化に至ることがわかる.また,シルトは,ある平均有効主応力を境に,急激に平均有効主応力が低下し,その時点からひずみが急増して液状化に至ることが観察される.

#### 3-3. 各細粒分含有率の変化による液状化強度への影響

図-4 に  $E_c=22\text{kJ/m}^3$  で作製した供試体の各細粒分含有率の応力比  $\sigma_d/2\sigma_c$ ・繰返し回数  $N_c$  関係を示す.図より,低い突固めエネルギーで締固めた試料の非排水繰返しせん断強度は細粒分含有率の影響はあまり受けず,総じて低いことがわかる.図-5 に  $E_c=504\text{kJ/m}^3$  で作製した供試体の各細粒分含有率に対する非排水繰返しせん断強度  $\sigma_d/2\sigma_c$ ・繰返し回数  $N_c$  関係を示す.図より,非排水繰返しせん断強度は細粒分含有率の影響を大きく受けることがわかる.また,  $F_c=30\sim 100\%$  の領域では非排水繰返しせん断強度は低下している.図中,シルトは砂に比べ非排水繰返しせん断強度が低いことが認められる.図-6 に繰返し回数 20 回での非排水繰返しせん断強度  $R_{L(N=20)}$  と細粒分含有率  $F_c$  の関係を示す.図より,低い突固めエネルギーで作製した供試体の  $R_{L(N=20)}$  は細粒分含有率の違いによる変化はほとんどなく,ほぼ一定となることが確認できる.一方,高い突固めエネルギーで作製した供試体の  $R_{L(N=20)}$  は,  $F_c=30\sim 100\%$  では緩詰めのもと大きな違いはないが,  $F_c=0\sim 30\%$  では砂骨格の影響が支配し,非排水繰返しせん断強度  $R_{L(N=20)}$  が大きく増加していることが確認できる.

### 4. 結論

本研究では,シルトと三河珪砂の混合土に対して非排水繰返しせん断試験を実施した.シルトは繰返しせん断中に急激に平均有効主応力が低下し,液状化に至った.低い突固めエネルギーで作製した供試体は,通水飽和によりコラプス収縮を起こし,間隙比が大きく変化した.その変化は,  $F_c=30\sim 100\%$  のシルト主体領域において顕著であった.非排水繰返しせん断強度は,  $F_c=30\sim 100\%$  のシルト主体領域では突固めエネルギーに拘わらずほぼ一定となったが,  $F_c=0\sim 30\%$  の砂主体の領域では突固めエネルギーによる違いが大きく現われた.

参考文献 1) 吉本憲正・兵動正幸・藤井照久・山本陽一・伊東周作: 2000 年鳥取県西部地震で液状化した細粒土の諸特性について,土木学会論文集, No.722/III-61, pp.85-96, 2002.

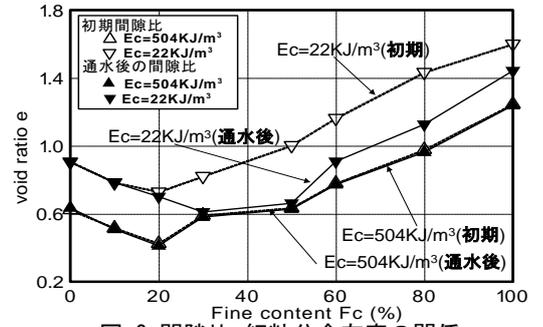


図-2 間隙比-細粒分含有率の関係

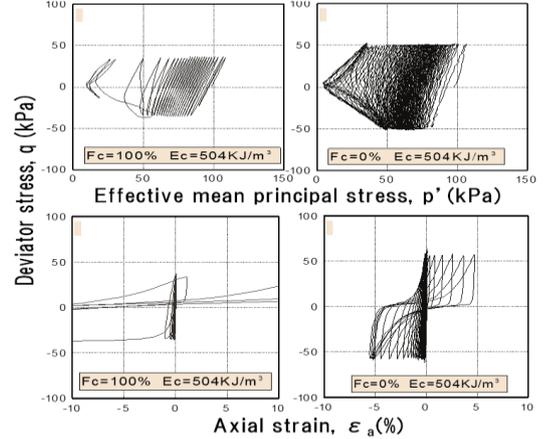


図-3 有効応力経路, 軸差応力-軸ひずみの関係

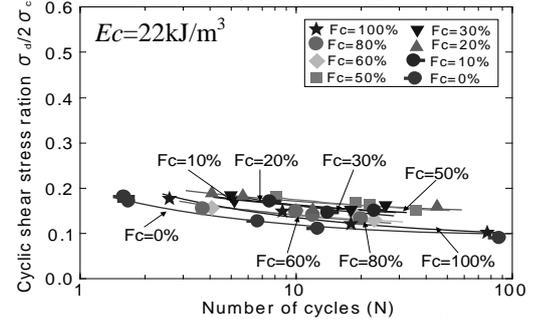


図-4 各細粒分含有率の液状化強度曲線

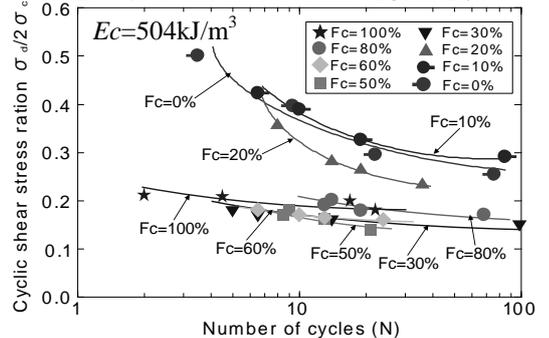


図-5 各細粒分含有率の液状化強度曲線

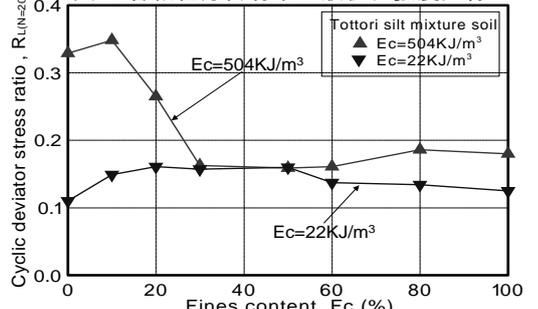


図-6 せん断強度-砂分含有率の関係