

# 液状化後の過剰間隙水圧消散に伴う変形特性に及ぼす影響因子の分析

高知大学 正会員 原忠 高知大学大学院 学生会員 ○坂部晃子  
 エイト日本技術開発 正会員 黒田修一 栗林健太郎  
 国土交通省四国地方整備局 非会員 平口正雄

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、埋立地や旧河道部などの若齢な地盤で液状化が生じた。千葉県浦安市では、非塑性な細粒分を多く含むシルト質砂が液状化し、平面道路上のおびたしい噴砂の堆積や埋設管の浮上、構造物基礎の不同沈下などが生じた<sup>1)</sup>。地震後の土木・建築構造物の健全性を保つには、液状化後の水平変位を精度よく推定する必要がある。液状化後の過剰間隙水圧の消散に伴う体積変化を調べた事例は、砂質土の液状化後の沈下特性については多くの事例が見られるが<sup>2)</sup>、シルトや礫を含む粗粒土の研究例は少ない<sup>3)</sup>。

本報では、高知県内の複数箇所から採取した試料を対象に繰返し非排水三軸試験を行い、液状化特性と液状化後の圧密特性を考察する。

## 2. 試料の物理特性

実験は高知県大方地区の氾濫平野の G.L.-3.0~3.8m, G.L.-8.0~8.8m より採取された試料（以下、試料 A-1, 試料 B-1 と称する）、および試験後に不攪乱供試体に等しい乾燥密度  $\rho_d$  になるよう再構成した攪乱試料（以下、試料 A-2, 試料 B-2 と称する）の二種類を用いた。図-1 に試料の粒度分布、表-1 に物理特性をそれぞれ示す。供試体の粒度組成にある程度のばらつきは見られるが、いずれの試料もシルト混じり砂質土である。試料 A と比べ、採取深度の深い試料 B は非塑性な細粒分を 20%以上含み、乾燥密度  $\rho_d$  も小さい。

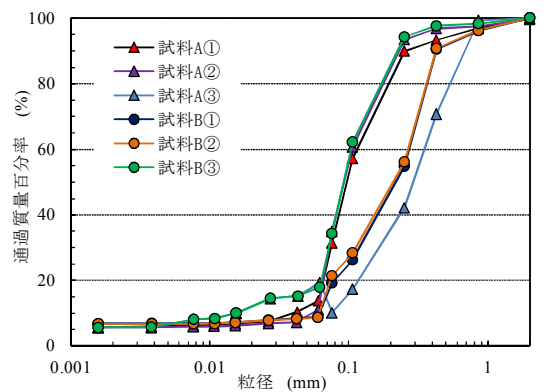


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理特性

| 試料名  | $\sigma_v'$<br>(kPa) | $\rho_s$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_d$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $U_c$<br>(%) | $F_c$<br>(%) | $I_p$ | $w$<br>(%) |
|------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|-------|------------|
| 試料A① | 49                   | 2.570                            | 1.530                            | 2.6          | 8            | NP    | 23.3       |
| 試料A② | 49                   | 2.568                            | 1.508                            | 2.2          | 7.6          | NP    | 23.5       |
| 試料A③ | 49                   | 2.551                            | 1.520                            | 6.0          | 7.0          | NP    | 23.3       |
| 試料B① | 98                   | 2.604                            | 1.270                            | 4.8          | 20.5         | NP    | 41.6       |
| 試料B② | 98                   | 2.615                            | 1.287                            | 8.6          | 21.6         | NP    | 36.7       |
| 試料B③ | 98                   | 2.603                            | 1.221                            | 5.6          | 34.3         | NP    | 42.7       |

## 3. 繰返し非排水三軸試験

繰返し非排水三軸試験は、直径 50mm, 高さ 100mm の小型供試体を用いた。不攪乱試料は凍結状態のまま試験機にセットした後、 $\sigma_c'=19.6\text{kPa}$  の負圧で半日程度解凍させた。再構成試料は、繰返しせん断後に炉乾燥した不攪乱試料に対して圧密後の乾燥密度  $\rho_d$  が不攪乱供試体のそれに等しくなるよう、試料 A では空中落下法、試料 B ではウェットタンピング法により作成した。間隙圧係数  $B$  が 0.96 以上であることを確認した後、現地の有効土被り圧 ( $\sigma_c'=49, 98\text{kPa}$ ) で等方圧密した。圧密終了後、0.1Hz の正弦波を非排水状態で加え両振幅軸ひずみ  $DA$  が 10%に到達するまで繰返し载荷した。

図-2, 3 は、繰返し応力比  $\sigma_d/2\sigma_c'$  が類似した試料 A, B の有効応力経路を、偏差応力  $q$  のほぼ等しい供試体同士で比較したものである。図-2 に示す不攪乱試料では、平均有効主応力  $p'$  が载荷開始後から緩やかに減少し、両振幅軸ひずみ  $DA$  が 10%に達した時点でほぼ 0 に達している。図-3 の再構成試料では、载荷開始後に  $p'$  が大きく減少し、それ以降は繰返し载荷回数の増加に伴う  $p'$  の低減は小さくなり、サイクリックモビリティが見られる。

図-4 は、繰返し非排水三軸試験結果を両振幅軸ひずみ  $DA$  が 5%に達したときの繰返し応力比  $\sigma_d/2\sigma_c'$  と繰返し载荷回数  $N_c$  の関係で整理したものである。不攪乱試料はいずれの試料も  $N_c$  の変化に伴う  $\sigma_d/2\sigma_c'$  の増減が大きく、液状化強度曲線は試料により大きく異なる。それに対し、再構成試料は  $N_c$  の違いによる  $\sigma_d/2\sigma_c'$  の変化が少なく、 $F_c$  が異なる場合であっても試料による強度差は小さい。 $N_c=10$  で定義した液状化強度  $R_{L10}$  で比較した

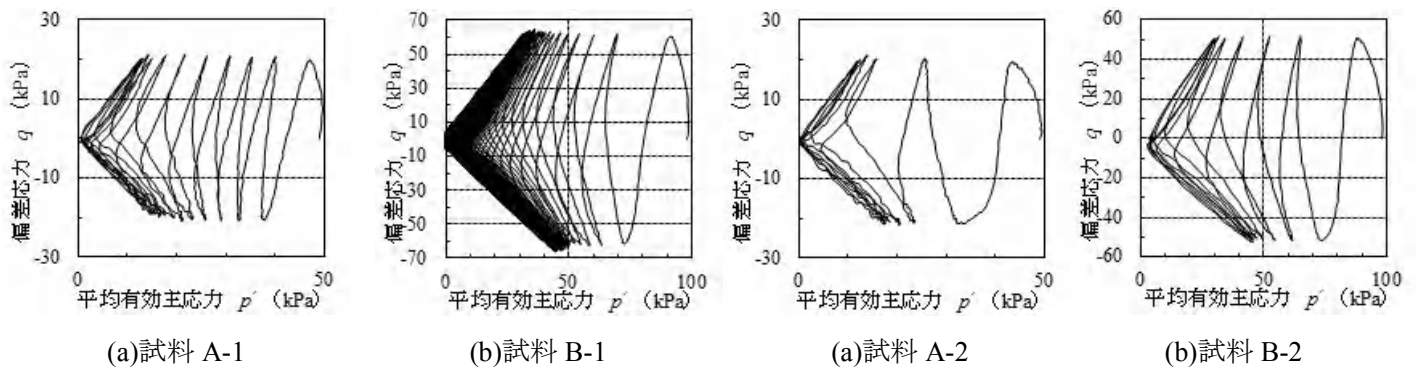


図-2 有効応力経路の比較（不攪乱試料）

図-3 有効応力経路の比較（再構成試料）

場合、 $F_c$ を多く含む試料 B-1 が  $R_{L10}=0.51$  と最も大きく、再構成試料では  $R_{L10}=0.22$ ，試料 A は不攪乱試料と再構成試料では  $R_{L10}=0.20$  と類似の値を示した．各試料とも再構成試料は，不攪乱試料と  $\rho_d$  が等しいにも関わらず  $R_{L10}$  が大きく異なった．これは，繰返しせん断を受けたことでセメンテーションによる粒子間の結合力が失われ，不攪乱試料で見られた年代効果が発揮されなくなったためと推測される．

#### 4. 液状化後の沈下特性

液状化後の沈下特性を把握するため，一部の供試体で繰返し非排水三軸試験後に再圧密試験を行った．試験は両振幅軸ひずみ DA を 10% まで繰返し载荷し，過剰間隙水圧がほぼ 100% まで上昇した状態から行っている．図-4 は液状化後の有効拘束圧が 49kPa に至るまでの体積ひずみ  $\varepsilon_a$  と有効拘束圧  $\sigma'_c$  の関係を整理したものである．試料 A, B ともに初期圧密段階から緩やかに  $\varepsilon_a$  が変化している． $\sigma'_c=49\text{kPa}$  における  $\varepsilon_a$  は 1~3% であり，既往の研究の浦安埋立土不攪乱試料<sup>4)</sup>とほぼ等しいが，攪乱採取された河床砂礫<sup>3)</sup>より大きい．不攪乱試料と再構成試料による  $\varepsilon_a$  の差は浦安埋立土より小さい．

#### 5. まとめ

高知県大方地区より採取した不攪乱試料を用いた一連の三軸試験結果から，液状化や液状化後の沈下特性に関して以下の主要な知見が得られた．

- 1) 不攪乱試料の液状化強度は採取深度や細粒分含有率の違いにより大きく異なる．
- 2) 再構成試料の液状化強度は，圧密後の乾燥密度が等しい不攪乱試料に比べ小さい．
- 3) 繰返しせん断後の体積ひずみ量  $\varepsilon_v$  は，本研究で用いた試料では不攪乱，攪乱の差異は生じない．
- 4) 液状化後の沈下特性は試料の粒度組成に大きく依存する．

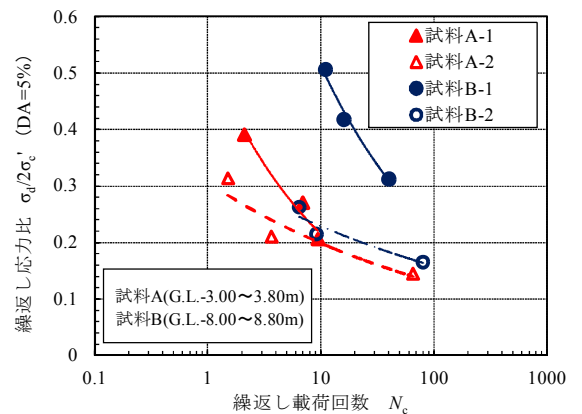


図-4 液状化強度曲線(DA=5%)

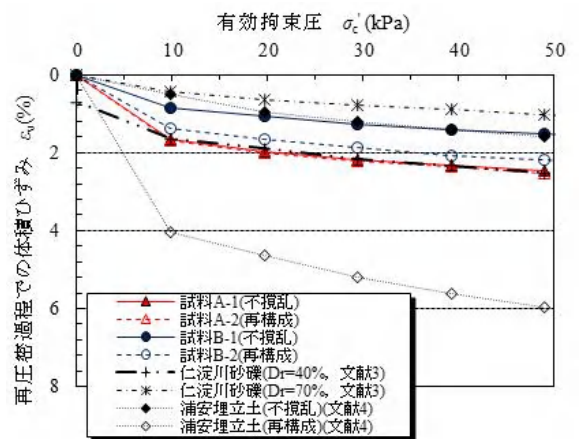


図-5 繰返しせん断後の圧密特性

#### 参考文献

- 1) 原忠：地盤災害と構造物の関係，木材工業，Vol.66，No.11，pp.492-497，2011．
- 2) Ishihara, K. and Yoshimine, M. : Evaluation of settlement in sand deposits following liquefaction earthquakes, Soils and foundations, vol.32, No.1, pp.173-188, 1992．
- 3) 原忠，畑山諒人，李圭太，岡嶋義行，岡林福好：礫質土の液状化強度と液状化後の変形性，第 48 回地盤工学会研究発表会発表講演集，pp.595-596，2013．
- 4) 原忠，坂部晃子，畑山諒人，沼田淳紀，三村佳織：東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化，東北地方太平洋沖地震で液状化した浦安埋立土の動的特性，平成 25 年度地盤工学会四国支部技術研究発表会，2013．