

# セメント混合砂の再液状化に関する研究

地盤工学研究室

Purevsuren Munguntsetseg

指導教員 豊田浩史

## 1. はじめに

近年発生した地震において、過去に液状化が発生した地点と同じ地点で液状化現象が多数確認されている。それに伴いライフラインに多大な被害が発生した。

一般的には、液状化が発生することにより地盤内の水が排水され密になるため、強度は上がると考えられる。しかしながら、再液状化が確認された地点は、過去の地震よりも小さな地震を受けた地点であった。このことから、液状化を受けることにより、地盤のセメンテーションが破壊され、再液状化が発生しやすくなる可能性も考えられる。土の液状化強度に影響を与える要因としては密度や履歴効果、化学反応や年代効果などが考えられる。年代効果とは時間経過に伴って変形強度特性が変化する現象のことである。

本研究では、年代効果に着目する。そこで砂試料にセメントを微量添加することにより、セメンテーション効果を与え、年代効果を再現する<sup>1)</sup>。セメントを添加した年代効果再現試料について飽和非排水繰返し三軸試験を実施する。

本研究は、液状化による砂のセメンテーションの変化に着目し、年代効果再現試料の液状化特性、セメンテーション効果が液状化及び再液状化に与える影響や、再液状化のメカニズムを解明することを目的とする。

## 2. 試験方法

### 2.1 試験装置

本研究で用いる試験機は、局所変位計付き三軸試験機である。本試験装置は供試体上部のキ

ャップと供試体下部のペデスタルにベンダーエレメントを内蔵しており、供試体内部にsin波を発信し、非破壊でせん断波速度測定を行うことが出来る。また、本試験機を用いて三軸圧縮試験、局所微小ひずみ(LSS)試験、液状化試験が実施できる。

### 2.2 試験条件

本研究では豊浦砂及び早強ポルトランドセメントを用い、供試体は高さ 12.5cm、直径 5.0cm のものを指定した間隙比になるように漏斗堆積法で作製する。早強ポルトランドセメントは、普通ポルトランドセメントが7日で発現する強度を3日で達成する。強度の増加率が大きい3日以上養生期間をとる必要があると考え、本研究の供試体作製時において、セメンテーション供試体は4日間の水中養生(図-1)を行った。本研究で用いた豊浦砂の物性値および豊浦砂の粒径加積曲線をそれぞれ表-1、図-2に示す。

本研究では、セメント添加による影響を検討するために、セメント含有率  $C_c$  を 0.0%、0.3%、0.5%、1.0%の4ケースで実施する。

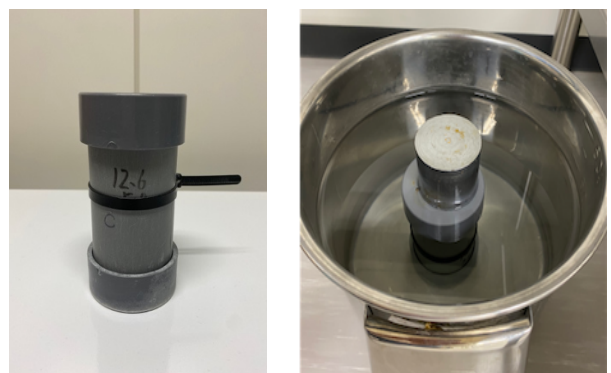


図-1 水中養生4日間

表-1 豊浦砂の物性値

土試料	豊浦砂
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.650
最小間隙比 $e_{min}$	0.597
最大間隙比 $e_{max}$	0.990
細粒分含有率 $F_c$ (%)	0
砂分含有率 $S_c$ (%)	100
礫分含有率 $G_c$ (%)	0

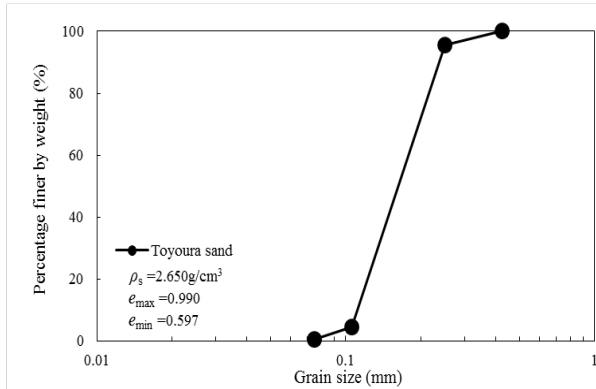


図-2 豊浦砂の粒径加積曲線

### 2.3 試験概要

本研究では、漏斗堆積法で供試体を作製し、三軸室に設置した後、二重負圧、脱気水の通水、等方予備圧密を行い、供試体を飽和させる。二重負圧法とは、所定の有効拘束を保ったままの状態、供試体に十分な負圧（真空）を与えて供試体内部の空気を吸い出す手法のことである。供試体が十分に飽和（間隙圧係数  $B \geq 0.95$ ）していることを確認した上で、供試体内部に背圧を載荷し、供試体に平均有効主応力  $p' = 50 \text{ kPa}$  で圧密を行う。その後、供試体に非排水繰返し載荷を行い、供試体の液状化試験を行う。また、平均有効主応力  $p' = 0 \text{ kPa}$  となった時点を目撃して液状化と判定した。載荷終了後に変形が残ることによる異方性を取り除くため、液状化した供試体の軸変位を元の状態（軸ひずみ  $\epsilon_a = 0$ ）に戻し、再度平均有効主応力  $p' = 50 \text{ kPa}$  で圧密を行う（再圧密）。本研究では、再圧密後に再液状化試験を行い、再液状化のメカニズムについて検討する。

### 2.3.1 再液状化試験

本研究で実施した再液状化試験は、任意の繰返し応力比で載荷を行う。再液状化過程においては、両振幅ひずみ  $DA = 5\%$  を液状化と判断した。再液状化試験から得られた繰返し載荷回数と繰返し応力比から液状化強度曲線を作成する。液状化強度比  $R_L$  は液状化強度曲線における繰返し載荷回数 20 回の際の繰返し応力比  $\sigma_d' / 2\sigma_c'$  とする。

### 3. 試験結果および考察

本研究で得られた結果について考察する。本研究では2種類の液状化を定義した。まず、一つ目は平均有効応力  $p' = 0 \text{ kPa}$  (図-3) となった時点を目撃して液状化と判断した。このとき、両振幅ひずみが1~2%程度であり、液状化の程度は小さい場合と定義する。二つ目は、両振幅ひずみ5% (図-4) に達した時点で液状化と判断し、液状化の程度は大きい場合と定義する。この両者の結果を比較検討する。

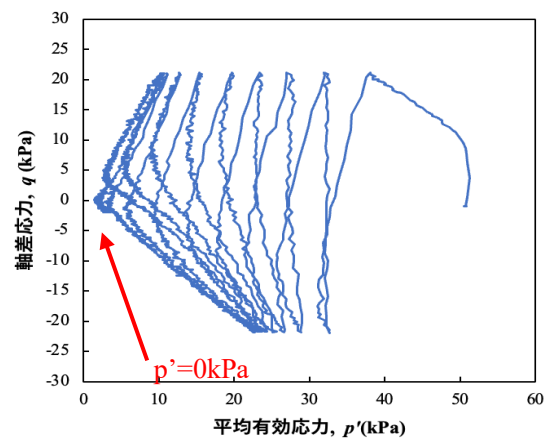


図-3 液状化の程度が小さい

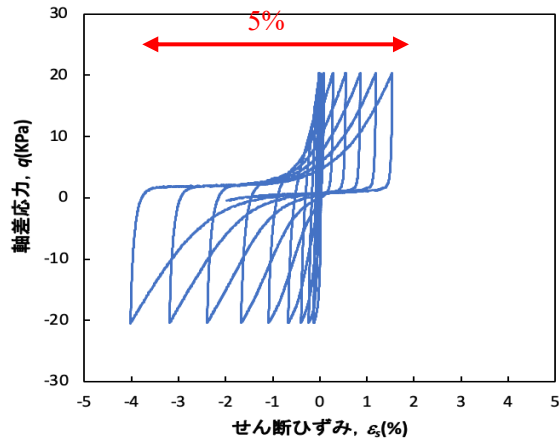


図-4 液状化の程度が大きい

### 3.1 セメント含有率と間隙比の関係

図-5 にセメント含有率と間隙比の関係を示す。液状化履歴が大きい方が、間隙比が小さくなっていることにより、再圧密時に大きく間隙比が減少したことが分かる。どちらのケースも、液状化により供試体は密になっている。

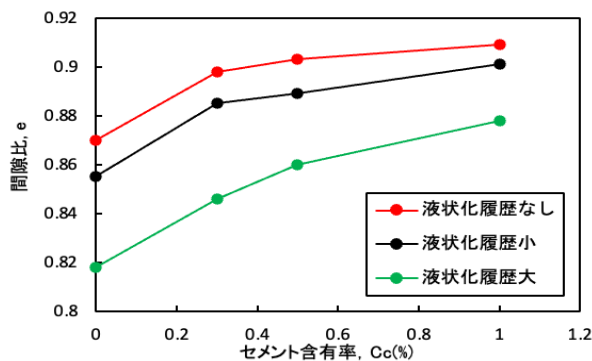


図-5 セメント含有率と間隙比の関係

### 3.2 液状化強度と再液状化強度

図-6～図-9 液状化の程度の違いによる液状化曲線をセメント分含有率ごとに示す。

まず、液状化履歴が小さい場合の液状化・再液状化曲線を比較する。図-6 よりセメントなしの場合では、液状化曲線と再液状化曲線がほぼ同じであるが、図7～図9にあるように、セメントを添加していくと、再液状化強度は液状化強度より大きくなっていくことが

わかる。セメントなしの場合を除き、間隙比減少による液状化強度の増加が、セメンテーション破壊による液状化強度低下より大きかったと思われる。

次に、液状化履歴が大きい場合の液状化・再液状化曲線を比較する。液状化の程度が大きい場合では、セメント含有率 1.0%以外のすべてのケースで、液状化曲線よりも再液状化曲線のほうが下側にあり、再液状化強度が小さくなっていることが分かる。図-9 のセメント含有率 1.0%では、液状化曲線と再液状化曲線はほとんど変わらない結果となった。これらの結果より、セメンテーション破壊による液状化強度低下が、間隙比減少による液状化強度の増加より大きかったと思われる。

このように、液状化程度の違いにより、再液状化強度が変化する結果が得られ、液状化による供試体の密実化とセメンテーションの破壊が密接に関係し合っていると考えられる。

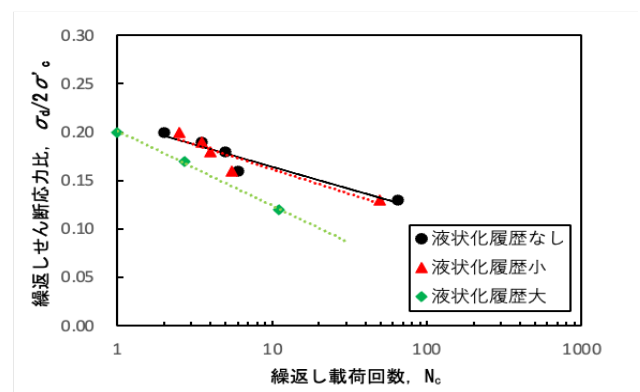


図-6 液状化曲線 (C<sub>c</sub>=0.0%)

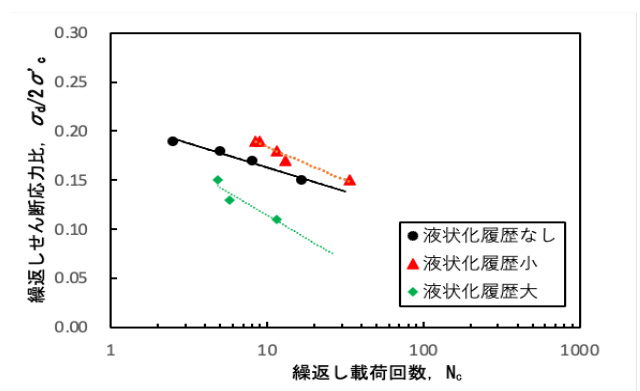


図-7 液状化曲線 (C<sub>c</sub>=0.3%)

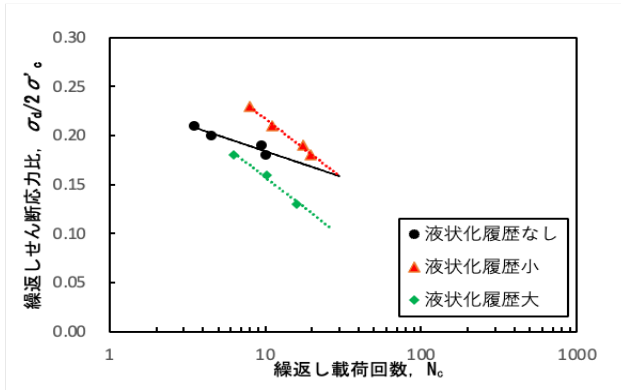


図-8 液状化曲線 ( $C_c=0.5\%$ )

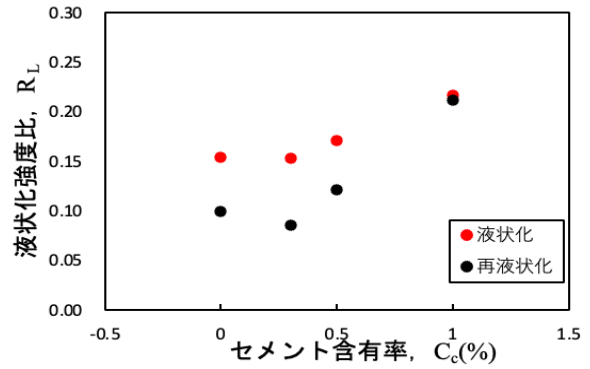


図-11 液状化の程度が大きい場合

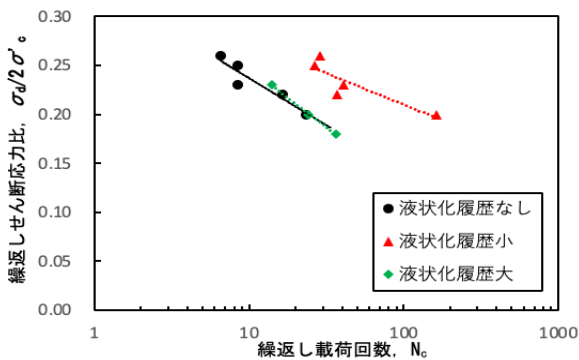


図-9 液状化曲線 ( $C_c=1.0\%$ )

以上の液状化強度曲線より求めた液状化強度比のグラフを図 8~9 に示す。液状化の程度が大きく、セメント含有率が小さいケースの再液状化強度比はかなり小さくなっていることがわかる。これには、供試体の変形、特に液状化にともなう供試体上部のネッキングの影響も考えられる。今後、ネッキングが小さくなる中密の供試体での実験も行う必要がある。

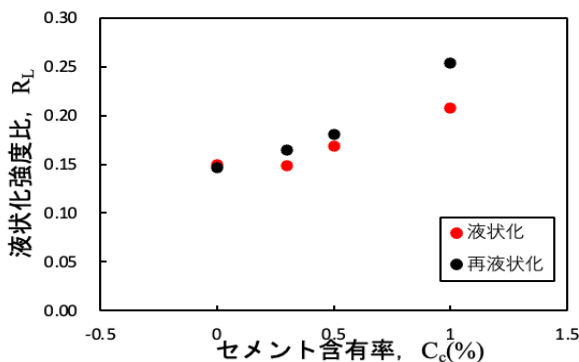


図-10 液状化の程度が小さい場合

#### 4. まとめ

- 1) 液状化の程度が小さい場合は、セメント混合砂供試体の液状化強度より再液状化強度のほうが大きかったため、液状化の程度が小さい場合は再液状化は起こりにくいと考えられる。
- 2) 液状化の程度が大きい場合は、液状化強度より再液状化強度のほうが小さいため再液状化は起こりやすいと考えられる。

#### 5. 今後の展望

今後は、液状化による密実化の影響とセメンテーションの破壊の程度を定量的評価できるようにする必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) 平川亮太:セメンテーション及び微小繰返せん断履歴が砂の力学特性に与える影響, 長岡技術科学大学修士論文, 2017.