

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06563

研究課題名（和文）極超微粒子セメント浸透固化による液状化対策の実用化に向けた研究開発

研究課題名（英文）Development of permeation grouting using ultra microfine cement for liquefaction mitigation

研究代表者

塚本 良道 (Tsukamoto, Yoshimichi)

東京理科大学・理工学部土木工学科・教授

研究者番号：50253505

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：極超微粒子セメントを利用した地盤改良による液状化対策技術の検討を実施している。具体的には、室内小型三次元浸透固化試験装置を用いた一連の試験シリーズを実施し、適用可能な地盤条件と注入条件を検討している。適用限界を迎える細粒分含有率 $F_c=25\%$ の砂地盤について、セメントミルク注入後の途中通水を用いた浸透性の向上を検討し、浸透過程の観察も実施した。さらに、途中通水後にセメントミルクの再注入をする効果の検討も行い、良好な結果を得ている。細粒分の多い砂地盤における適切なセメントミルク濃度の選定については、改良体体積と形状を検討項目として、 $W/C=8$ のセメントミルクによる注入が効率的であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2011年東日本大震災を受けて、社会基盤施設のみならず、戸建て住宅などの小規模構造物の液状化対策技術の開発が急務となってきている。さまざまな用途に応じることができる、多様な技術の開発が期待されている。本研究では、既設小規模構造物に適用が期待される極超微粒子セメントを利用した浸透固化技術について検討を加え、その適用可能な地盤条件や最適な注入条件の模索を実施し、提示することができた。今後は、最近の地震被害が目立ち始めている火山灰質土による埋め立て地盤などへの適用の可否について検討を加えていくことが望まれる。

研究成果の概要（英文）：Permeation grouting by means of microfine cement was examined as a countermeasure against soil liquefaction. Multiple series of laboratory tests were conducted to investigate the possible range of soil conditions that this grouting method can be used as well as the optimum injection criteria. This grouting method is found to be applicable for sand deposits having fines content of up to  $F_c = 25\%$ . For such silty sand deposits, the use of water permeation following the microfine cement grouting was found to work as a good facilitator, and the process of cement and water permeation was monitored to disclose the mechanism and effectiveness of the use of water permeation. The re-injection of microfine cement following this water permeation was also examined and worked well. For sand deposits containing many fines, the optimum value of cement concentration was found to be  $w/c = 8$ , based on the results of the series of laboratory tests that have observed the volume and shape of grouted soils.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化対策 浸透固化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 2011年東日本大震災では、関東地方の広範囲な地域で発生した地盤の液状化現象により、社会基盤施設や戸建て住宅などに大きな被害が生じた。これを受けて、各自治体では液状化対策の検討を進めているが、液状化対策工法に求められる要件が増えており、様々な要件に見合った個別の液状化対策技術の研究開発が望まれている。
- (2) 小規模構造物の砂地盤の液状化によるめり込み沈下の抑制には、液状化層上面から厚さ3m程度の改良が有効であることがわかってきている。しかし、セメント混合表層改良を例にとると、現状では更地に適用可能であるが、既設の戸建て住宅の下3mを高品質で確実に改良できる有効な液状化対策技術は、未だ確立されていない。
- (3) 著者らは、既設建物下の局所的な地盤改良が可能で、狭隘な場所でも施工可能な高品質・高強度の液状化対策技術として、平均粒径1.4 $\mu$ mの極超微粒子セメントを利用したセメント浸透固化技術の実用化を目指してきている。しかし、適用限界を迎える細粒分の多い砂地盤について、有効なセメント浸透促進技術や、最適なセメント濃度の探索など、さまざまな技術的課題が山積している状況にある。

2. 研究の目的

極超微粒子セメントを利用したセメント浸透固化技術の向上を目指す。とくに、細粒分の多い砂地盤への適用性の向上を目指す。細粒分の多い砂地盤において本技術を適用すると、セメント粒子の目詰まりが生じ、過剰にセメントミルクを注入することになり、充填率が無益に上がってしまう一方、浸透距離はそれほど変化しないという傾向にある。これを解決するのに、セメント粒子の目詰まりの影響で、セメントミルクの浸透量が変化しなくなった段階で、セメントミルクの注入を一旦止めて、代わりに水の注入を行なう浸透促進技術の効果を検討する。また、細粒の多い砂地盤について、最適なセメント濃度の探索も行なう。

3. 研究の方法

- (1) 本研究では、細粒分の多い砂地盤への適用性の向上を目指し、図1に示す室内試験装置により、砂模型供試体の細粒分含有率  $F_c$  と注入材濃度  $c$  を変化させた、一連の試験シリーズを実施する。また、注入材の注入後の途中追い注水の効果や、さらにその後の注入材の再注入の効果などについて検討する。

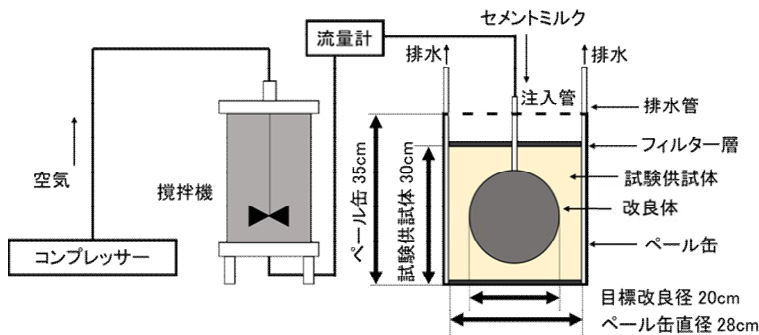


図1 室内浸透固化試験装置

- (2) 使用する砂試料は、東北硅砂7号と8号とし、細粒分含有率  $F_c=0, 5, 10, 15, 20, 25\%$  の砂試料とする。これらの試料について、下式に示すグラウタビリティ (GR) を計算すると、図2に示すようになる。細粒分含有率の増加にともない、極超微粒子セメントでは  $F_c=25\%$  で  $GR=12$  となり、浸透困難の領域を迎える。超微粒子セメントでは  $F_c=10\%$  で浸透不可の領域に至る。ここで、 $GR = D_{15}/G_{85}$ 、 $D_{15}$ : 砂の15%径(mm)、 $G_{85}$ : 注入材の85%径(mm)。

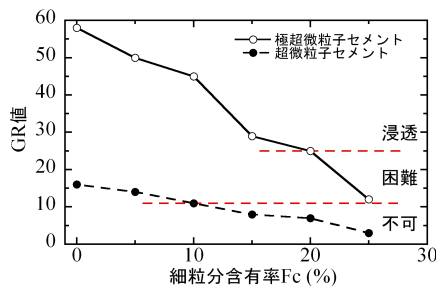


図2 GR 値 - 細粒分含有率  $F_c$

- (3) 注入材の濃度は  $w/c=8, 14, 16, 20$  の4ケース、注入量は適宜変化させた試験シリーズとした。

4. 研究成果

(1)改良体体積の計測結果から、最適な注入材濃度について考察する。図3に示すように、注入量を1000mlで一定とした場合、注入材濃度がw/c=8において、格段に大きな改良体体積が得られることが示された。次に、改良体形状から、最適な注入材濃度について考察する。表1に示すように、改良体の形状を球状に保持する観点からは、注入材濃度w/c=12において、細粒分含有率 $F_c=20\%$ に至るまで球状であることがわかる。

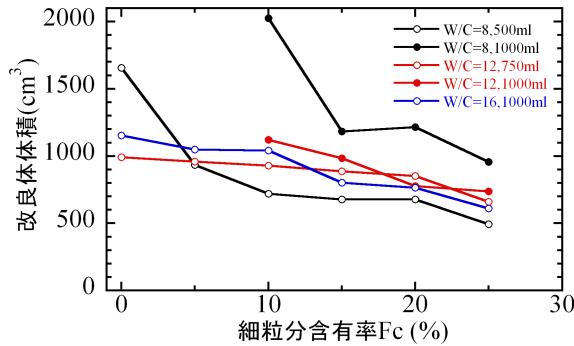


図3 改良体体積 - 細粒分含有率  $F_c$

表1 改良体の形状

$F_c$ (%)	注入ケース(w/c, 注入量)				
	8, 500ml	12, 750ml	16, 1000ml	8, 1000ml	12, 1000ml
0					
5	○				
10		○	○		
15					
20	×		×		
25		×	×		

○：球状 ×：複雑

(2)改良体体積  $V$  を注入材注入量  $Q$  で除した値を、注入効率比と定義し、注入の効率を検討した結果を、図4に示す。注入材濃度がw/c=8のとき、若干ではあるが、注入の効率の観点からも、良好な結果を得られることが示された。

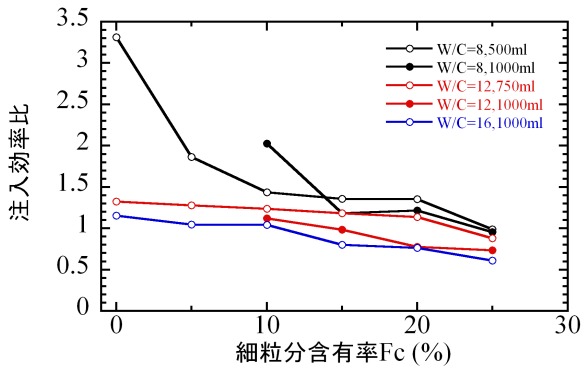


図4 注入効率比 - 細粒分含有率  $F_c$

(3)途中追い注水の効果を調べた結果を、図5に示す。細粒分含有率  $F_c=15\%$ の砂供試体について試験シリーズを実施した。注入材濃度がw/c=8の時のみ、途中追い注水により改良体体積の増加が生じ、低濃度(w/c=8以上)では、途中追い注水により、改良体固化に必要なセメント濃度以下まで希釈され、改良体体積は減少する結果となった。このことから、注入材濃度はw/c=8が望ましいことがわかる。

また、途中追い注水後に、さらに注入材の再注入を行なう効果について調べた結果を、図6に示す。細粒分含有率  $F_c=25\%$ の砂供試体について試験シリーズを実施した。改良体体積の増減からは、確定的な効果を示すことができなかったが、再注入の仕方次第で効果を発揮する可能性は示すことができたものと考えている。

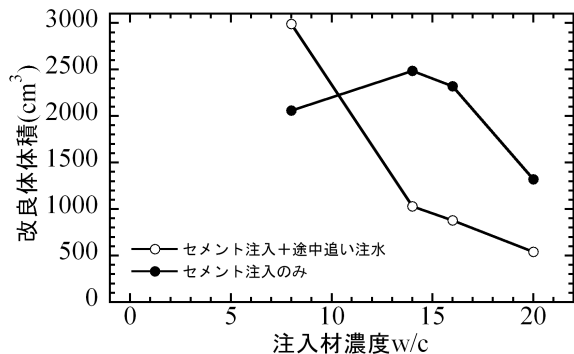


図5 改良体体積 (途中追い注水の効果)

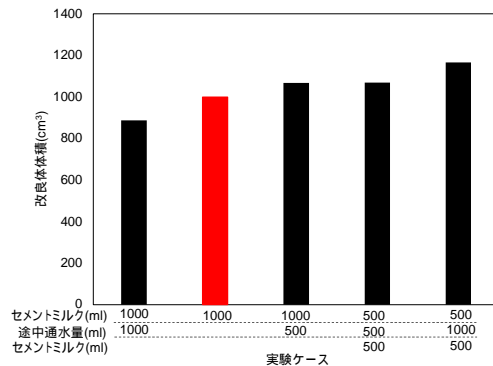


図6 改良体体積 (注入材再注入の効果)

<引用文献> 王サイ(2020)「極超微粒子セメントを用いた細粒分を含む砂質地盤の室内三次元浸透実験」、東京理科大学大学院修士論文。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hashimoto, K., Hyodo, T., Tsukamoto, Y. and Arai, Y.	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Examining strength characteristics of improved soil by permeation grouting of ultra microfine cement for soil liquefaction countermeasure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 橋本和佳、王維弘、塚本良道、兵動太一、荒井靖仁、木内浩二
2. 発表標題 極超微粒子セメント注入材の浸透促進効果の検討
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王維弘、橋本和佳、兵動太一、塚本良道
2. 発表標題 室内三次元注入試験における極超微粒子セメント注入材の浸透性
3. 学会等名 第53回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hashimoto, K., Wang, W., Hyodo, T., Tsukamoto, Y., Nishihara, S., Oji, S., Nishie, S., Seko, I.
2. 発表標題 Building up design basis for permeation grouting using ultra microfine cement to locally countermeasure against soil liquefaction
3. 学会等名 Proceedings of International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Vancouver, July 16 to 20, 2017（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本和佳・西原聡・王寺秀介・西江俊作・王維弘・塚本良道・兵動太一・金沢智彦
2. 発表標題 液状化対策のための極超微粒子セメントを用いた浸透固化工法における固化特性について
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 王維弘・橋本和佳・塚本良道・兵動太一・梶原沢・宇田川幹
2. 発表標題 高水セメント比の極超微粒子セメント注入材を用いた室内浸透試験
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	野田 翔兵  (Noda Shohei)  (30749289)	東京理科大学・理工学部土木工学科・助教   (32660)	
研究 分担者	兵動 太一  (Hyodo Taichi)  (80749078)	富山県立大学・工学部・講師   (23201)	