

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：54501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04609

研究課題名（和文）超微粒子セメント注入工法による谷埋め宅地の耐震対策

研究課題名（英文）Earthquake-resistant measures for reclaimed residential land by the micro-cement injection method

研究代表者

鍋島 康之（Nabeshima, Yasuyuki）

明石工業高等専門学校・都市システム工学科・教授

研究者番号：40263214

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：わが国では大きな地震の際に埋立地などにおいて液状化現象が発生し、広範囲にわたって被害が生じている。液状化対策として様々な地盤改良工法が提案されているが、本研究では通常のポルトランドセメント粒子よりも小さな微粒子セメントを用いて砂質地盤内にセメントグラウトを注入する地盤改良工法について検討を行った。

その結果、微粒子セメントを用いた地盤改良工法は通常のポルトランドセメントを用いた注入工法よりも高い浸透性を示し、広範囲にわたって地盤改良できることが分かった。また、低粘性グラウトと比較した結果、グラウトの粘性よりも粒径が小さいグラウトの方が注入工法としては優れていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わが国では大きな地震が発生する度に地盤の液状化現象が発生し、住宅などの構造物に大きな被害が発生している。本研究の成果は地盤改良工法の一つであるセメント注入工法をより効果的に活用するために注入するセメントグラウトの粒径が及ぼす影響について明らかにしており、セメントグラウトの粘性を低下させるよりも粒径を小さくした方が改良範囲が大きいことを実験的に示した。このため構造物直下の地盤を注入工法で改良する際には粒径の小さい微粒子セメントあるいは超微粒子セメントを用いた方が高い改良効果を見込めることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The liquefaction of sandy ground is usually occurred in the large scale earthquake. To prevent the liquefaction, there are many countermeasures to improve sandy ground. In this research, micro-cement grouting is carried out as the countermeasure. The micro-cement grouting is more effective than the regular cement grouting to improve wide sandy ground.

研究分野：地盤工学

キーワード：微粒子セメント 地盤改良 液状化対策 注入工法

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震では、地震動による直接的な被害だけでなく、二次災害として地盤の液状化による被害が生じた。その際、谷埋め盛土の滑動崩落等が発生し、住宅地等の既設構造物直下での液状化対策の必要性に注目が集まった。このため、住宅などの構造物がある地盤の液状化対策が必要となり、従来の大機花地盤改良工法よりも小規模で個別の案件に対して適用可能な地盤改良工法が求められている。

2. 研究の目的

本研究では住宅などの既設構造物直下において施工可能な液状化対策工法である注入工法に関して、効果的な注入工法を確立するため、セメントグラウトの改良を試みている。特に、通常の普通ポルトランドセメントよりもセメント粒子が小さい、微粒子セメント、超微粒子セメント、低粘性セメントグラウトおよび普通ポルトランドセメントグラウトを砂質地盤に注入することで、粘性の異なる注入材の性能を比較することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) カラム浸透試験の方法

① 試験の概要

普通ポルトランドセメント、低粘性セメントグラウト材の2種類のセメントを用いて、粒径の異なる複数の珪砂へ水頭差のみでの浸透実験を行い、粘性の違いによる浸透特性の比較を行う。

② 試験装置の作製

図1のような試験装置を作製する。直径52mmの透明なプラスチック製円筒カラムを用い、カラム内に下から順に金網、フィルター層（珪砂4号）、試験地盤となる珪砂を設置する。試験地盤は、珪砂6号、7号、8号を用いた。

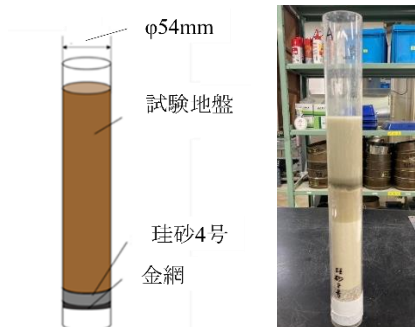


図1 浸透試験装置の概要

③ セメントミルクの注入

作製した試験装置に、セメントミルクを水頭差のみで注入する。セメントミルクの水セメント比は800%とし、セメント量の1.5%の分散剤を加えた。

④ 浸透範囲の計測

セメントミルクの浸透開始後10秒、20秒、30秒、1分、2分、5分、10分経過後の浸透範囲を、鋼尺を用いて測定する。

(2) 三次元注入試験の方法

① 試験の概要

珪砂6号を用いて土槽を作製し、普通ポルトランドセメント、低粘性セメントグラウト材の2種類のセメントを用いて注入試験を行う。地盤内にセメントが浸透し、改良体が形成される範囲を比較する。

② 試験装置の作製

ステンレス製の容器内に、図2に示す寸法の土槽を作製する。試験地盤には珪砂6号を使用し、8層に分けて敷き詰めた。土槽作製後、圧入ポンプと接続した注入ノズルを、注入口が深さ12cmとなるように土槽表面の中心に設置する。

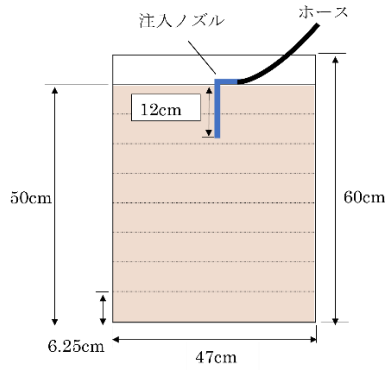


図2 土槽の寸法

③ セメントミルクの注入

セメントミルクを、ポンプを用いて鉛直下向きに土槽内へ注入する。注入条件を表1に示す。注入はセメントの種類を変えて3回ずつ行った。セメントミルクの水セメント比は800%とし、セメント量の1.5%の分散剤を加えた。

表1 セメントミルク注入条件

Case	注入材	試験地盤	攪拌時間	吐出量
A-1	低粘性 セメントグラウト	珪砂6号	3分	2.3L/min
A-2				
A-3				
B-1	普通ポルトランド セメントグラウト			
B-2				
B-3				

④ 改良範囲の測定

セメントミルク注入から2日後に改良体を掘り出した後、注入口の位置から深さ2cmごとに改良体の幅を測定し形状を把握する。また、改良体の最大幅と最大高さも測定する。

4. 研究成果

(1) カラム浸透試験の結果及び考察

珪砂6号に対する普通ポルトランドセメント、低粘性セメントグラウト材の浸透試験の時間経過による浸透範囲の変化を図3に示す。

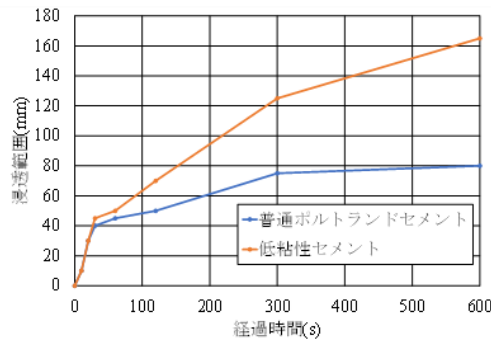


図3 珪砂6号に対する浸透範囲の変化

普通ポルトランドセメントと低粘性セメントグラウト材を用いたセメントミルクを比較すると、図2に示す通り、実験開始後60秒程度までは浸透速度に大きな差はみられないものの、それ以降、普通ポルトランドセメントは低粘性セメントと比較して浸透速度が小さくなっている。このことから、珪砂6号においては普通ポルトランドセメントを用いたセメントミルクと比較して低粘性セメントグラウト材を用いたセメントミルクの方が、浸透性能が高いことが分かる。

次に、珪砂6号よりも土粒子の直径が小さい珪砂7, 8に対して、セメントミルクはほとんど浸透せず、セメントミルクの成分はほぼ試験地盤の上端に残留していた。珪砂6号に対する実験ではセメントミルクが試験地盤内に浸透していることから、土粒子粒径の小さい珪砂7, 8号は間隙が小さいためセメント粒子が土粒子の間隙を埋め、写真1のようにセメントミルクが目詰まりし、試験地盤内に浸透しなかったと考えられる。



写真1 カラム浸透試験の様子

(2) 三次元注入試験の結果及び考察

改良体の例として Case A-1 および Case B-2 の形状を写真2 および写真3 に、最大幅及び最大高さの測定結果を表2 に、改良体形状の測定結果を図4 に示す。改良体の水平方向の最大幅を3回の試験の平均値と比較すると、表2 に示す通り、低粘性セメントグラウト材を用いた場合では14.5cm、普通ポルトランドセメントを用いた場合では12.2cmであり、低粘性セメントグラウト材を用いた場合の方がより改良範囲が大きいことがわかる。高さ方向に関しても、低粘性セメントグラウト材を用いた場合では15.2cm、普通ポルトランドセメントを用いた場合では12.3cmと、低粘性セメントグラウト材を用いた場合の方がより改良範囲が大きいことがわかる。この結果から、セメントミルク注入後に形成される改良体の大きさには粘性が影響すると考えられる。



写真2 改良体 (CaseA-1)



写真2 改良体 (CaseB-1)

表2 改良体の最大幅と最大深さ

セメント	Case	最大幅(cm)	最大高さ(cm)
低粘性	A-1	15.9	15.7
	A-2	12.2	15.2
	A-3	15.3	14.7
	平均	14.5	15.2
普通	B-1	11.7	14.1
	B-2	12.4	10.5
	B-3	12.4	12.2
	平均	12.2	12.3

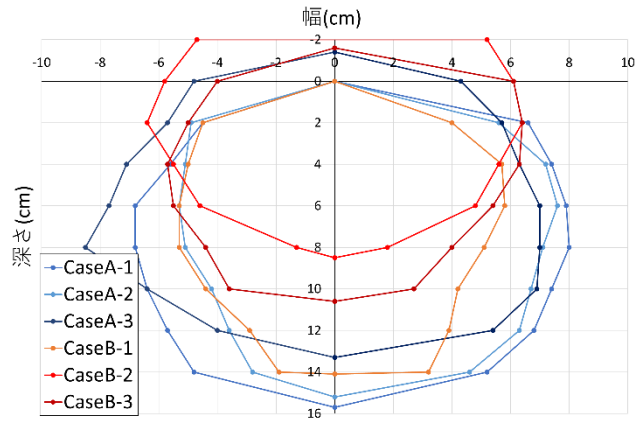


図4 改良体形状の比較

(3) まとめ

以下に、カラム浸透試験および三次元注入試験から得られた主な研究成果を述べる。

- カラム浸透試験において、珪砂 7, 8 号に対して、普通ポルトランドセメントを用いたセメントミルク、低粘性セメントグラウト材を用いたセメントミルクは目詰まりして浸透しない。
- カラム浸透試験において、珪砂 6 号に対して、普通ポルトランドセメントを用いたセメントミルク、低粘性セメントグラウト材を用いたセメントミルクは浸透し、その浸透性能は低粘性セメントグラウト材を用いたセメントミルクの方が高い。
- 注入試験による改良範囲は、普通ポルトランドセメントグラウトを用いた場合よりも低粘性セメントグラウトを用いた場合の方が大きい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 鍋島康之	4. 巻 1
2. 論文標題 微粒子系セメントの砂質地盤への浸透注入特性に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第14回地盤改良シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 133-136
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yasuyuki Nabeshima	4. 巻 2
2. 論文標題 Permeation of Ultra-Fine Particle Cement to Sandy Ground and Cement Stabilization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the Thirtieth (2020) International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 1734-1738
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Nabeshima Yasuyuki	4. 巻 DVD
2. 論文標題 Permeation of ultra-fine particle cement to sandy ground and cement stabilization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Society on Polar and Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 1-4
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 -

1. 著者名 Nabeshima Yasuyuki	4. 巻 DVD
2. 論文標題 Permeation of ultra-fine particle cement grout into sandy ground	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Structural and Civil Engineering Research	6. 最初と最後の頁 1-6
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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasuyuki Nabeshima
2. 発表標題 Permeation of Ultra-Fine Particle Cement to Sandy Ground and Cement Stabilization
3. 学会等名 The 30th International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 鍋島康之
2. 発表標題 微粒子系セメントの砂質地盤への浸透注入特性に関する研究
3. 学会等名 第14回地盤改良シンポジウム
4. 発表年 2020年～2021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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------