

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82627

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20456

研究課題名（和文）透水を用いたセメント固化処理土の長期強度変化メカニズムの解明

研究課題名（英文）Mechanism of long-term strength change of cement-improved soil due to water flow

研究代表者

佐藤 樹 (Sato, Itsuki)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・研究官

研究者番号：20965628

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、セメント固化処理土への加圧透水実験装置の開発と、セメント固化処理土の長期的な劣化メカニズムの解明を自標として、促進変質実験と海水曝露実験を行った。主な成果は以下の5つである。

高圧で同時に30供試体を実験できる新型加圧透水実験装置の開発に成功した。透水により固化処理土の透水係数が低下していくことが分かった。固化処理土において、透水に夜カルシウム溶出量と強度低下に正の相関があることが分かった。固化処理土の劣化は、海中の方が水中よりも進行が早いことが確認された。固化処理土の水中曝露による劣化を、曝露面からの距離、時間、強度の3つの軸で構成される空間内の曲面で表す式を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土木工事において、軟弱な地盤の性状を改良することは構造物の安定化を図る為に非常に重要であり、この目的で最も広く用いられている工法の1つが、土にセメント等の固化材を混ぜて土を強化する地盤改良工法である。これらの基礎技術開発はすでに進んでいる一方で、酸性雨、地下水、海水等の作用がセメント固化処理土の長期的な安定性に与える影響は十分に解明されていない。そのため設計、施工及び維持管理における技術的配慮事項が不明瞭なまま、暗黙知に支えられているのが現状である。その長期的な劣化機構が明らかとなれば、様々な土木構造物の長期的な維持管理の品質向上が期待できる。本研究は、その一助となるものである。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to elucidate the long-term degradation mechanisms of cement-solidified soil, focusing on accelerated alteration and seawater exposure experiments using a newly developed pressurized water permeability testing apparatus. Key findings include the development of a new apparatus capable of testing 30 specimens simultaneously under a water pressure of 200 kPa, identification of a decrease in the permeability coefficient of cement-solidified soil due to water permeation, and discovery of a positive correlation between calcium leaching and strength reduction. Further, it was observed that cement-solidified soil degrades faster in seawater than in freshwater. The study also proposes a formula to represent the degradation due to water exposure, modeled as a curved surface defined by distance from the exposure surface, time, and strength.

研究分野：地盤工学

キーワード：セメント固化処理土 地盤改良

## 様式 C-19, F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土木工事において、軟弱な地盤の性状を改良することは構造物の安定化を図る為に非常に重要であり、この目的で最も広く用いられている工法の1つが、土にセメント等の固化材を混ぜて土を強化する地盤改良工法である。我が国においては1950年代からセメントによる固化処理技術が用いられ始め、1970年頃からは地盤改良専用のセメント系固化材もセメント系各社から相次いで販売されるようになった。その後40年以上に渡りセメント固化処理土は、ダム、空港、高速道路、港湾などの重要構造物の建造や、放射性廃棄物の封じ込め処理、重金属汚染土壌の不溶化処理といった環境対策など、様々な場面で使われている。このように日本各地に存在するセメント等の固化材であるが、これらの基礎技術開発はすでに進んでいる一方で、酸性雨、地下水、海水等の作用がセメント固化処理土の長期的な安定性に与える影響は十分に解明されていない。そのため設計、施工及び維持管理における技術的配慮事項が不明瞭なまま、暗黙知に支えられているのが現状である。

そこで、本研究では、「セメント固化処理土の長期的な安定性確保のための設計・施工・維持管理における技術的配慮事項を具体化すること」を目的とし、固化処理土の長期強度について調査する。透水による固化処理土の養生・変質促進を行うことで、数十年単位の劣化を数か月スケールに短縮し、様々なセメント固化処理土の強度・化学的性質変化を計測し、セメント固化処理土の長期的な安定性の評価・予測手法を検討した。

### 2. 研究の目的

研究の最終的な目的は、透水試験装置を用いてセメント固化処理土の変質を促進させ、短期間で長期強度を再現し、長期水中暴露によるセメント改良土の強度変化メカニズムを明らかにすることである。

本研究期間内では、セメント固化処理土への加圧透水実験装置の開発と、セメント固化処理土のカルシウム溶脱量と一軸圧縮強さの関係について明らかにすることを目標とした。また、海水曝露による影響についても検討することとした。

### 3. 研究の方法

本研究では、促進変質実験と海水曝露実験を行った。

促進変質実験とは、改良土に対して人工的に透水圧を加えて透水させることで、改良土の土中の変質現象を促進させる実験である<sup>1)</sup>。改良土の雨水や地下水への曝露による変質(主に強度低下)は本来数年～数十年単位で起こる現象であるが、促進変質実験では数か月で同様のレベルまで変質させることが可能である。本研究では、数か月の間、セメント改良土の供試体に透水圧を加え続けて水を流し、供試体のCaの溶脱を促し、変質させた。透水後、それぞれ一軸圧縮試験を実施し、Ca溶脱量との関係を調べた。なお促進変質実験は、高橋らの既往研究<sup>2)</sup>の手法に則って実施した。

海水曝露実験では、28日養生後の改良土を海水環境に曝露し、一定期間ごとに針貫入試験を実施して強度の変化を調べた。

### 4. 研究成果

(1) 主な成果として、新型加圧透水実験装置の開発がある。図1に写真を示す。この実験装置では、最大200kPaの透水圧で透水実験が可能であり、同時に30本の供試体を透水することができる。これまでは1回の実験で最大3供試体しか実験できなかったため、この実験装置の開発により、実験データの取得速度が飛躍的に上昇した。

(2) 図2の左に示すのは、促進変質実験における透水量とCa溶脱量の関係である<sup>1)</sup>。Ca溶脱量は、排水の質量とイオン濃度から計算して求めた。両者には明確に相関があることが分かった。一方で、図2の右に示すのが透水日数とCa溶脱量の関係であり、相関を確認できなかった。これは供試体ごとに透水係数は異なり、透水日数を長くしても透水量が多くない供試体があるためである。これらから、Ca溶脱量と相関がある因子は透水量であると結論付けられた。図3に示すのは、透水期



図1 新型加圧透水実験装置

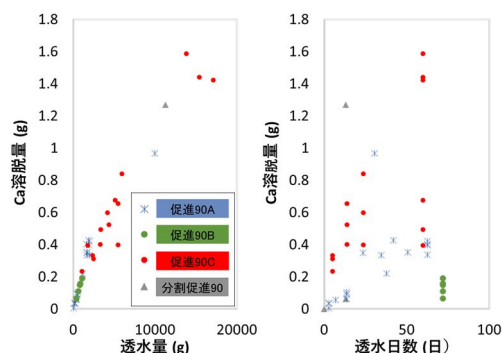


図2 透水量および透水日数とCa溶脱量

間全体での各供試体の透水係数であるが、透水日数が増えるほど透水係数が低下する傾向があった<sup>1)</sup>。原因は定かではないが、使用した改良土の透水中の材齢が50~150日程度であったことから、透水中もセメントの水和反応が進み間隙構造の緻密化が進行した可能性がある。

- (3) 図4に示すのが、促進変質実験における一軸圧縮強さとCa溶脱率の関係である<sup>1)</sup>。Ca溶脱率は、本研究で用いたセメントの質量のうちCaOの質量は54.6%であることから、元々1つの供試体に含まれていたカルシウムの質量を計算し求めた。ばらつきはあるものの、Ca溶脱率が上がるほど、一軸圧縮強さが低下する傾向にあることを確認できた。図4には、全プロットからフィッティングした近似直線を表記してある。
- (4) 図5に示すのが、海水曝露したセメント固化処理土の針貫入試験の結果である。針貫入試験においては、グラフの傾きがその地点での一軸圧縮強さと相関する。グラフからも分かる通り、海水曝露によりセメント固化処理土表面からの劣化の進行が見受けられた。曝露90日においては、劣化深さが12mmに達しており、これは水中曝露(図6)に比べて格段に劣化の進行が早かった。
- (5) セメント固化処理土の水中曝露による劣化を、曝露面からの距離、時間、強度の3つの軸で構成される空間内の曲面で表す式を提案した(論文投稿予定内容のため詳細は省略)。

以上の成果を下記にまとめる。

- ・ 200kPaの透水圧で同時に30供試体を実験できる新型加圧透水実験装置の開発に成功した。
- ・ 透水により固化処理土の透水係数が低下していくことが分かった。
- ・ セメント固化処理土では、カルシウム溶出量と強度劣化に正の相関があることが分かった。
- ・ セメント固化処理土の劣化は、海中の方が水中よりも進行が早いことが確認された。
- ・ セメント固化処理土の水中曝露による劣化を、曝露面からの距離、時間、強度の3つの軸で構成される空間内の曲面で表す式を提案した。

今後は透水の動水勾配を上げ、より高い溶脱率でのデータ取得を目指すとともに、長期曝露実験における水浸供試体の力学特性との関係を検討する予定である。また、海水曝露実験に関しても、化学分析を含め、更なる実験と解析を進めていく予定である。

引用文献

1) 佐藤樹, 高橋英紀, 宮下千花, 三原一輝: セメント改良した関東ロームの促進変質実験による力学特性の評価, 第78回セメント技術大会講演要旨

2) 高橋 英紀, 後藤 友亮: 透水による固化処理土の強制的な変質促進への取り組み, セメント・コンクリート, 905号, pp. 46-51, 2022年7月

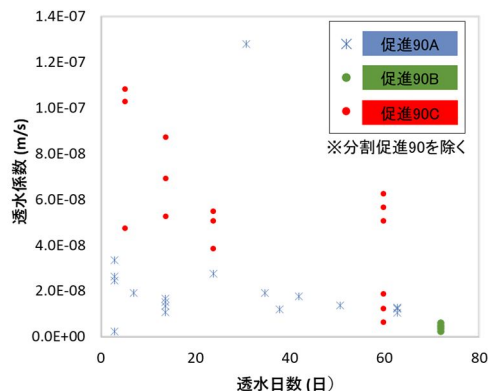


図3 透水係数と透水日数

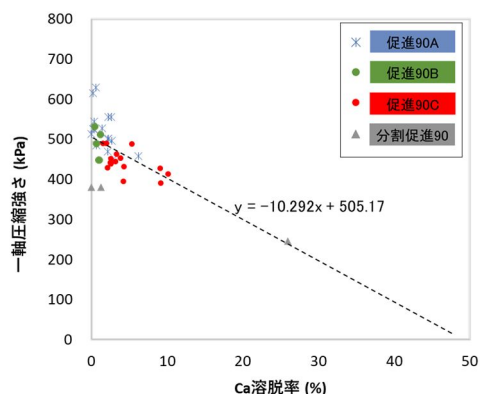


図4 一軸圧縮強さとCa溶脱率

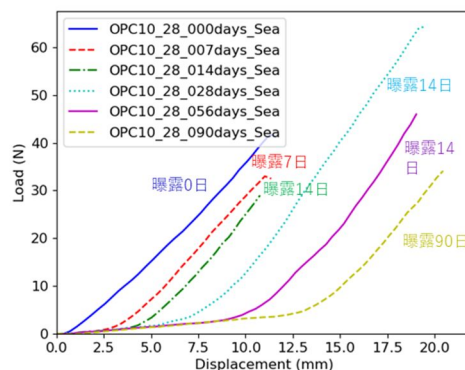


図5 針貫入試験結果(海水曝露)

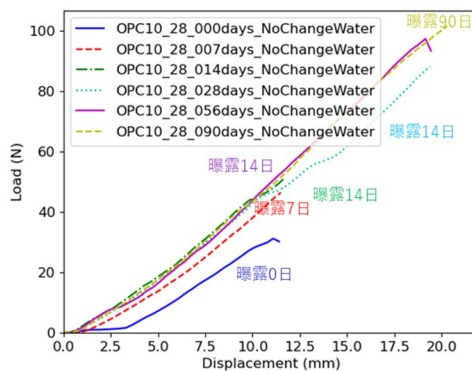


図6 針貫入試験結果(水中曝露)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤樹, 高橋英紀, 後藤友亮
2. 発表標題 長期水中曝露によるセメント固化処理土の劣化特性
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤樹, 高橋英紀, 宮下千花, 三原一輝
2. 発表標題 セメント改良した関東ロームの促進変質実験による力学特性の評価
3. 学会等名 第78回セメント技術大会講演要旨
4. 発表年 2024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
---------	---------