

平成 30 年 4 月 10 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 御中

研究概要書

研究課題：高速道路の「新設永久基礎構造物支持地盤の浸透固化工法による変形剛性の補強効果とその長期安定性」に関する研究

研究代表者：名古屋工業大学工学部 教授 張 鋒

共同研究者：名古屋工業大学工学部 助教 岩井裕正

1. 背景および目的

わが国に広く分布する花崗岩は、構造物の基礎地盤としてよく用いられる一方で風化を受けやすい。地盤改良工法の一つである浸透固化工法は仮設構造物に多く利用されているが、長期安定性に関する定量的な評価はまだ十分ではない。

そこで本研究では、深層風化を受けた地盤において、セメント系固化材を用いた浸透固化工法による改良地盤の長期安定性の把握を目的として、化学的風化の要因である酸の強さ、および周辺環境における地熱の影響に着目し、異なる pH と温度条件下で水中曝露したセメント改良土の力学特性や含有元素濃度への影響を一軸圧縮試験および蛍光 X 線分析により調べた。

2. 試験概要

2.1 試験試料概要

本試験で用いるマサ土の物理特性を表-1 および図-1 に示す。試験に用いるセメント改良土の配合を決定するため、ブリーディング試験と配合試験を実施した。ブリーディング試験では初期含水比のマサ土 400g に対する加水量を変えてモールドに詰め、湿潤環境下で 24 時間経過した後のブリーディングの様子を踏まえて練り混ぜ時の含水比を決定した。その結果、マサ土 400g に対する加水量 50g を採用した。次に配合試験により乾燥マサ土重量に対する高炉セメント B 種の添加率と変えて供試体を作製し一軸圧縮強さを調べた。このときの含水比はセメントの水和に用いられる水量¹⁾を踏まえて定めた。その結果を表-2 に示す。セメント添加率 5% の供試体において目標とした一軸圧縮強さ 600kPa を上回り、かつばらつきが他の添加率に比べて小さかったことから、本試験のセメント添加率を 5% と決定した。

表-1 マサ土の物理特性

初期含水比 w_0 (%)	8.24
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.641

表-2 配合試験結果

添加率 (%)	含水比 w (%)	養生方法	平均一軸圧縮強さ \bar{q}_u (kPa)
3	23.0	気中モールド 養生 7 日間	404
4	23.4		615
5	23.9		820

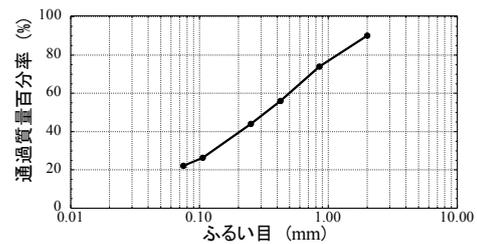


図-1 マサ土の粒度分布

2.2 水中曝露概要

本試験では気中モールド養生を 21 日間行ったセメント改良土供試体を、pH と水温の異なる条件下で 7 日間水中曝露を実施する。曝露中、セメント中の強アルカリの流出による pH の変動を抑えるため、曝露溶液をバッファー（緩衝溶液）にした。pH5 では酢酸と酢酸ナトリウムを 1:1 の物質質量比で、pH7 ではリン酸塩緩衝液原液 (0.25mol/L) 50mL に対して 0.1mol/L 酢酸 20mL の割合で、それぞれ配合した。また、水温を一定に保つために図-2 のように恒温槽に水を張ってトムボールを浮かべ、その中に脱気水槽を入れた。溶液を供試体内部にまで十分浸透させるため、脱気水槽内に負圧を与えた。



図-2 脱気水槽と恒温槽(本支援基金により購入)

3. 要素試験

3.1 試験条件

3.1.1 一軸圧縮試験

本研究では、気中モールド養生と水中曝露の日数を変えた 4 バッチ (A,B,C,D) 計 20 ケースの一軸圧縮試験を実施した。バッチごとに異なる水中曝露条件で水中曝露を実施した。さらに、7 日間ごとに一軸圧縮試験により気中モールド養生のみでの強度を調べるための供試体も作製した。このことにより、水中曝露の影響を受けないセメント改良土供試体自体の養生日数と強度増加と

の関係を知り、その強度の増え方をベースとして水中曝露による強度への影響を評価していく。

3.1.2 蛍光 X 線分析

本研究では、Batch A,B,C,D の供試体から pH 値と温度の異なる試料 4 個を対象に蛍光 X 線分析を行った。水中曝露直前、供試体を成形する際に生じた切り片を曝露前の試料とした。また、水中曝露後に一軸圧縮試験に用いた供試体を曝露後の試料とし、図-3 に示すように供試体の表面付近と内部部分の 2 か所からそれぞれ試料を採取した。これらの採取位置から得られた断片を削り、粉末状にしてマイクロプレートに詰めてから分析を行った。

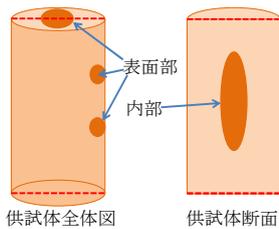


図-3 試料採取位置

3.2 試験結果

3.2.1 一軸圧縮試験

図-4 に曝露条件ごとの供試体の一軸圧縮強さの関係を示した。20□での水中曝露に着目すると、pH5 の水中曝露を 7 日間受けた Batch A の供試体の強度は気中モールド養生 21 日強度よりも大幅に低下しており、7 日強度よりも下回っていた。一方で pH7 の水中曝露を受けた Batch B の供試体では、気中モールド養生 21 日強度からの強度変化がほぼ見られなかった。曝露溶液が中性であったため酸の影響がなく、セメント中の金属イオンが溶出せずに強度が保たれたと言える。

次に 50□の水中曝露に着目すると、Batch C が pH5 での水中曝露であるにもかかわらず、曝露後の強度が気中モールド養生 28 日強度よりも大きくなることを確認された。水温が高温であったために常温に比べセメントの水和反応が速く進み、酸による金属イオンの溶出を上回る速さで水和が進行して強度が増進したのではないかと考えられる。pH7 の水中曝露を実施した Batch D でも同様に、水中曝露の影響を受けた供試体の強度が気中モールド養生のみの供試体強度を上回った。

3.2.2 蛍光 X 線分析

蛍光 X 線分析によって得られた、セメント改良土の強度増進に大きく寄与している Ca の濃度変化について図-5 に示す。pH5 の水中曝露を行った Batch A では、曝露後の供試体表面から採取した試料の Ca 濃度が曝露前よりも大きく低下していた。一方で、供試体内部から採取した試料では曝露前後での濃度変化は見られなかった。このことは供試体表面付近のセメント水和物に含まれる Ca が酸の影響により溶脱を受けたことを示しており、一軸圧縮強さの大幅な低下を裏付けている。Batch C においても、Ca 濃度変化に関しては Batch A と同様の結果が得られたが、強度は逆に増加している。温度条件が 50□であるためにセメント水和反応が加速され、酸による Ca の溶脱を

上回る速さで水和物が生成されたことにより強度が増加したと言える。pH7 の曝露条件で水中曝露を行った Batch B および Batch D では Ca の濃度低下が pH5 の条件に比べると小さく、酸の影響がない分、Ca の溶出量も少なくなった。

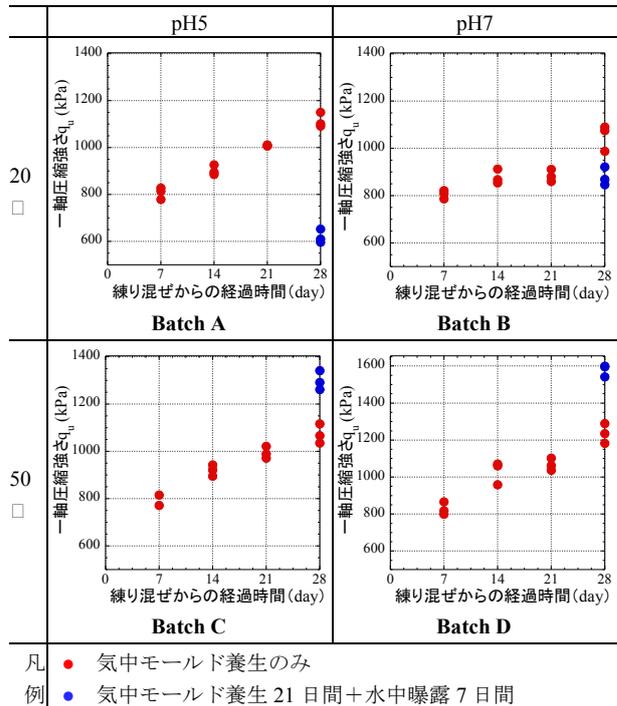


図-4 曝露条件ごとの一軸圧縮強さの変化

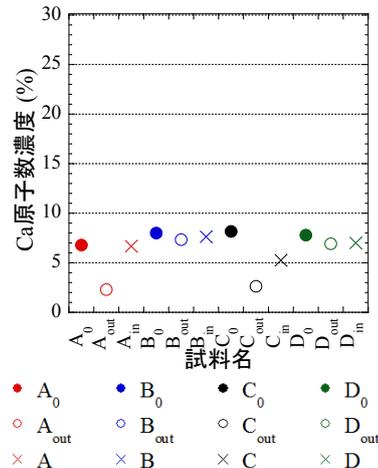


図-5 各試料における構成元素ごとの平均原子濃度

4. まとめ

- 常温である 20□での 7 日間の水中曝露においては溶液の pH 値がセメント改良土の力学強度に大きく影響することがわかった。
- 一方、高温である 50□での 7 日間の水中曝露時では pH 値に比べ、水温の強度変化に与える影響がより大きいこともわかった。
- 蛍光 X 線分析により水中曝露前後での供試体の元素濃度変化を調べた結果、セメント改良土の強度増進に大きく寄与する Ca が酸により溶出していることが確かめられた。

参考文献

セメント協会:セメント系固材材による地盤改良マニュアル, 第 4 版, p30, 2012