

異なる酸 / 温度環境下における浸透固化工法による補強地盤の 力学的特性に関する実験的研究

名古屋工業大学 学生会員 ○岩田 朋也
名古屋工業大学 非会員 大原 一哲, 彭 鵬
名古屋工業大学 正会員 岩井 裕正, 張 鋒

1. 研究の背景と目的

わが国に広く分布する花崗岩は非常に頑丈であるが風化を受けやすい。特に深層風化は支持基盤としての機能を失わせる危険性がある。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、永久構造物に利用されるケースが少なく、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けるセメント系固化工法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を一軸圧縮試験により調べた。また、強度変化の原因を考察するために、水中曝露前後の供試体片から採取した試料の含有元素を蛍光 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粒度分布を図-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、このときの含水比である 21.8% になるように実験を実施する。

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 種の添加率を変えて供試体を作製し一軸圧縮強さを調べた。このときの加水量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-1 に示す。セメント添加率 5.0% の条件において目標とする一軸圧縮強さ 600kPa を上回り、またばらつきも他と比べて小さかったことから、セメント添加率を 5.0% と定めた。

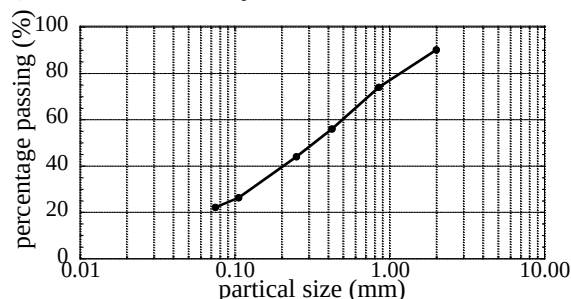


図-1 マサ土の粒度分布

表-1 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)
3.0	21.5	気中モールド養生 7 日間	312
4.0	21.4		502
5.0	21.6		677

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、水温、水中曝露期間を変えて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にした。表-2 に曝露溶液の成分を含めた水中曝露条件を示す。

また、水温を一定に保つために、恒温槽に水を張ってポリプロピレン製の球体を浮かべ、その中に脱気水槽を入れた。

表-2 水中曝露条件

pH	曝露溶液の成分	水温	曝露期間
3	クエン酸一水和物 0.1mol/L リン酸二水素ナトリウム 0.2mol/L	20	1 週間
		50	
5	酢酸 0.3mol/L 酢酸ナトリウム 0.3mol/L	20	1 週間
			3 週間
		50	1 週間
			3 週間
7	リン酸塩緩衝液 0.25mol/L 酢酸 0.1mol/L	20	1 週間
			3 週間
		50	1 週間
			3 週間

3. 試験条件

3.1 一軸圧縮試験

水中曝露を実施する供試体とは別に気中モールド養生のみによる強度を調べるための供試体も作製し、練り混ぜから 7 日間ごとに一軸圧縮試験を実施した。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による力学特性の変化を把握し、その上で水中曝露条件の違いによる影響を評価していく。

3.2 蛍光 X 線分析

水中曝露直前、供試体を成形する際に生じた断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-2 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試料を削り、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。

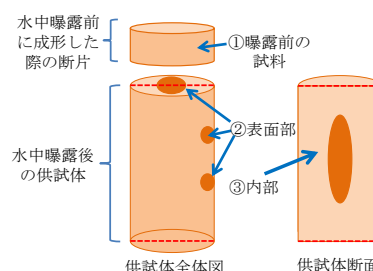


図-2 蛍光 X 線分析試料採取位置

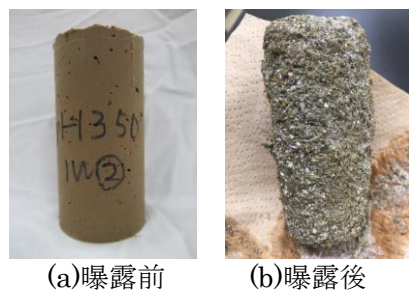
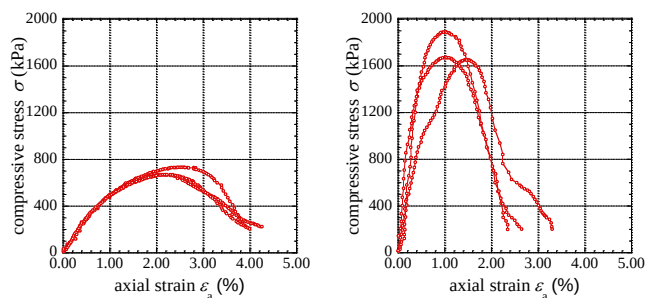


図-3 pH3 の供試体の水中曝露前後での様子

図-4 一軸圧縮試験結果
(a)pH5,水中曝露 3 週間 (b)pH7,水中曝露 3 週間

4. 試験結果

4.1 一軸圧縮試験

これまで得られた試験結果は水温が 50℃ のケースのみであり、それらについて考察していく。

pH3 の環境下においては 1 週間の曝露のみで図-3(b)のように触れるだけで容易に供試体に変形するような状態となり、一軸圧縮試験を実施することが不可能となった。

次に、pH5,7 の水中曝露 3 週間の一軸圧縮試験結果を図-4、練り混ぜからの日数と一軸圧縮強さ、変形係数の関係を図-5 に示す。

pH5 の環境下において水中曝露 1 週間後の強度は気中モールド養生 28 日強度に比べて若干下回った。これはセメント改良土の強度増進に比べて、酸による強度低下の影響の方が大きかったため強度が低下したと考えられる。また水中曝露 3 週間後では強度が著しく低下した。変形係数に着目すると水中曝露 1 週間では変化はあまりみられなかったが、3 週間行くと低下した。pH5 の条件で水中曝露を実施すると期間が長くなると剛性が小さくなり、変形しやすくなると考えられる。

pH7 の環境下において水中曝露 1 週間後の強度は気中モールド養生 28 日強度に比べて上回り、また水中曝露 3 週間後ではさらに強度が増進した。これは水中の酸の影響に比べてセメントの硬化による強度増加の影響が大きかったためだと考えられる。また変形係数に着目すると水中曝露 1 週間後の値が気中モールド養生 28 日間に比べて大きくなっており、曝露期間を長くするとさらに剛性が大きくなった。

4.2 蛍光 X 線分析

セメント改良土の強度に一番影響を与える Ca の原子数濃度のグラフを図-6 に示す。

pH3 の水中曝露では曝露前と比べ、供試体の内部と表面(弱層部)のどちらも Ca の変化がほとんどみられなかった。これは図-3(b)で供試体表面に白い物質が見られることから、pH3 の曝露溶液中のクエン酸がセメント中の Ca と反応して生じる不溶性の塩が供試体表面に付着したため、曝露溶液への Ca の溶出

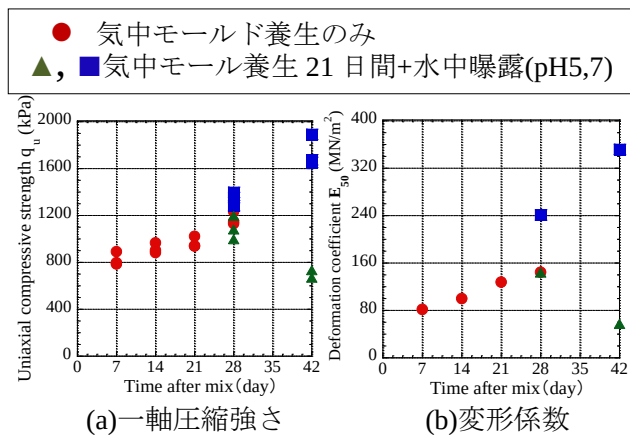
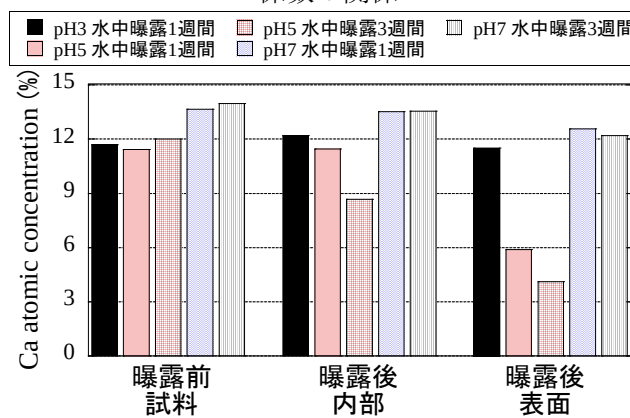
図-5 練り混ぜからの日数と一軸圧縮強さ、変形係数の関係
(a)一軸圧縮強さ (b)変形係数

図-6 各試料における Ca の平均原子濃度

がほとんど生じなかったことが原因と考えられる。

pH5 の水中曝露 1 週間の場合では供試体の内部では変化がみられなかったが、表面では減少していることが分かった。水中曝露 3 週間後では供試体の表面だけでなく、内部においても変化がみられた。これらのことより、Ca の溶脱が一軸圧縮強さの低下につながっており、水中曝露を 3 週間行くと供試体の内部にまで酸の影響を受けたため一軸圧縮強さが大幅に低下したと考えられる。

pH7 の水中曝露では供試体の表面、内部においても Ca の原子数濃度が 1,3 週間であまり変化がみられなかった。このことは、pH5 に比べると酸の影響が小さいため、Ca の溶脱がみられなかったといえる。

5. まとめと今後の課題

本論文では水温 50℃ において異なる pH 条件下でセメント改良土供試体の水中曝露を実施した。

- 1) pH3 の条件では強度増進に寄与していた Ca が酸により不溶性の塩に変化したため強度が低下した。
- 2) pH5 の条件では強度だけでなく変形係数も低下がみられた。
- 3) pH7 の条件では逆に強度増進がみられ、変形係数についても増進した。
- 4) セメント改良土において Ca の濃度が圧縮強さ、変形係数に大きく関係していることが分かる。
- 5) 今後は 20℃ での実験や三軸圧縮試験を行い、より内容を深めていきたい。

参考文献

- 1) 藤井欽二郎：結合水の状態と性質，セメント・コンクリート，No.469，pp.2-9，1986。