

セメント改良土の異なる酸/温度環境下における
力学挙動に関する実験的研究

名古屋工業大学
名古屋工業大学
名古屋工業大学
名古屋工業大学
名古屋工業大学

学生会員
学生会員
非会員
正会員
正会員

○高木啓伍
岩田朋也
彭鵬
岩井裕正
張鋒

1. 研究の背景と目的

我が国に広く分布し、構造物の基礎地盤としてよく用いられている花崗岩は、頑丈ではあるが風化しやすい特徴があり、場合によっては土砂化されマサ土となり、強度が著しく低下する。軟弱地盤の対策としてセメント系固化剤を用いた浸透注入工法による地盤改良が行われてきている。事例として、東日本大震災の復興作業として住宅整備工事にもこの工法が採用された¹⁾。しかしこの工法は仮設構造物への適用が多く、長期安定性に関する定量的な評価は未だ不十分である。そこで本研究では、セメント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周辺環境の酸の強さ及び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三軸圧縮・クリープ試験により調べた。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カルシウム原子数濃度の変化を蛍光 X 線分析により調べた。

2. 試験概要

固化剤である高炉セメント B 種と水、マサ土を練り混ぜ、恒温湿潤環境下で 3 週間の気中養生を経た後、H100mm×φ50mm に成型し供試体を作製した。含水比は 27.1%、セメント添加率は 5%とした。供試体に酸と温度の影響を与えるため、pH を 4、5、7、水温を 20℃、50℃の条件で水中曝露を 1 週間行った。このセメント改良土供試体を用いて三軸圧縮・クリープ試験を実施した。

三軸圧縮・クリープ試験条件を表 1 に示す。試験にはセル内の温度制御が可能な高温中容量三軸試験機を使用し、一定の温度環境下で試験を実施した。三軸圧縮試験はひずみ制御で行い、三軸クリープ試験は三軸圧縮試験より得られた応力ひずみ曲線に一致するように手動で载荷する応力制御で行った。クリープ応力はピーク強度の 90%とした。

供試体に含まれるカルシウム原子数濃度の水中曝露前後での変化を把握するため、蛍光 X 線分析を実施した。試料採取の方法を図 1 に示す。曝露後の供試体を半分に切断し、表面から 5mm 間隔で採取し粉碎したものを、曝露前の試料と合わせてマイクロプレートに詰めて分析を実施した。尚、三軸試験で使用した供試体とは別の供試体から試料採取を行っている。

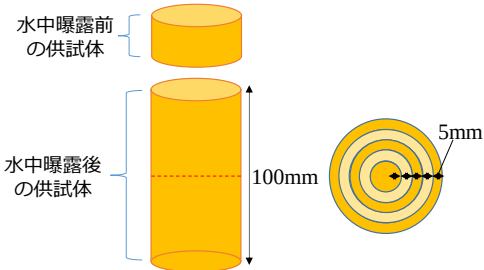


図 1 蛍光 X 線分析試料採取位置

3. 試験結果

3.1 三軸圧縮試験

三軸圧縮試験結果を図 2(a)~(d)及び図 3(a), (b)に示す。図 2(a)~(d)の各ケースにおいて酸の影響を比較すると、いずれの温度、拘束圧の条件においても、pH 値が小さくなるにつれてピーク強度も小さくなった。次に温度の影響に着目する。まず図 2(a), (b)を比較すると pH5、7 では温度が高くなるほどピーク強度は増加している一方、pH4 では温度によるピーク強度の変化は見られなかった。次に図 2(c), (d)を比較すると pH7 では同様の傾向を得られたが、pH4、5 の条件において温度のピーク強度への影響は小さい結果となった。次に拘束圧による影響を比較する。図 2(a), (c)から拘束圧の増加に伴いピーク強度も増加しており、より延性的な破壊挙動を示すことが確認できた。この傾向は図 2(b), (d)の比較からも確認できた。また体積ひずみに着目すると図 2(a)~(d)の比較より、pH 値が小さくなるほど正のダイレイタンスが生じにくくなり、その傾向は温度が高く拘束圧が大きくなるほど顕著である。

図 3(a), (b)の軸ひずみ-応力比関係のグラフにおいて限界応力比に着目すると、pH 値が小さくなるほど限界応力比が低下する傾向が見られた。温度の影響による違いは顕著に見られなかった。また、拘束圧が大きくなるほど限界応力比が低下する傾向も確認できた。

3.2 三軸クリープ試験

三軸クリープ試験結果を図 4(a)~(d)に示す。クリープ破壊に至ったケースは、pH7、20℃、0.1MPa の条件(図 4(a))と pH5、7、50℃、0.3MPa の条件(図 4(d))であった。今回の試験結果から pH7 の条件ではクリープ破壊しやすく、pH4 の条件ではクリープ破壊しにくい傾向が得られた。これは三軸圧縮試験結果(図 2(a)~(d))において、いずれのケースにおいても pH7 は脆性的な破壊挙動を示しているのに対し、最も強度の低い pH4 は延性的な破壊挙動であることが影響している可能性が考えられる。また軸ひずみ速度勾配について、20℃の条件(図 4(a), (c))では約 1.3 であるのに対し 50℃の条件(図 4(b), (d))では約 1.0 とい

表 1 三軸圧縮・クリープ試験条件				
pH	水温 【℃】	拘束圧 【MPa】	圧縮試験	クリープ 試験
4	20, 50	0.1, 0.3	载荷速度 0.1%/min	クリープ応 力はピーク 強度の 90%
5				
7				

う結果であり、酸や拘束圧による違いは見られなかった。このことから軸ひずみ速度に影響を与えるのは主に温度であり、高温であるほど軸ひずみ速度は大きいと推察される。

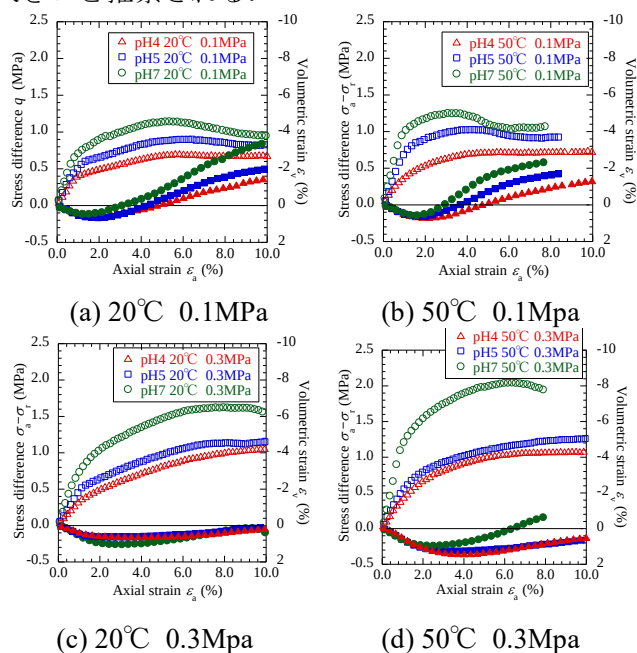


図2 三軸圧縮試験結果

(軸ひずみ-軸差応力, 軸ひずみ-体積ひずみ関係)

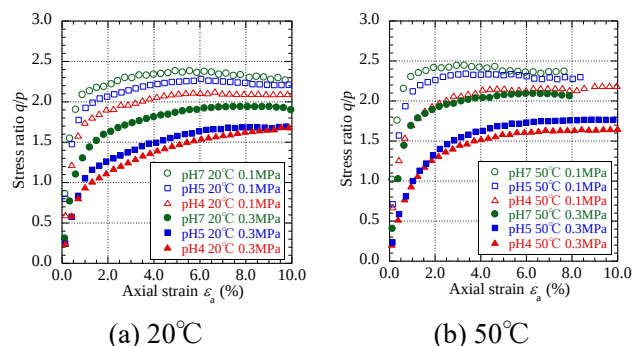


図3 三軸圧縮試験結果 (軸ひずみ-応力比関係)

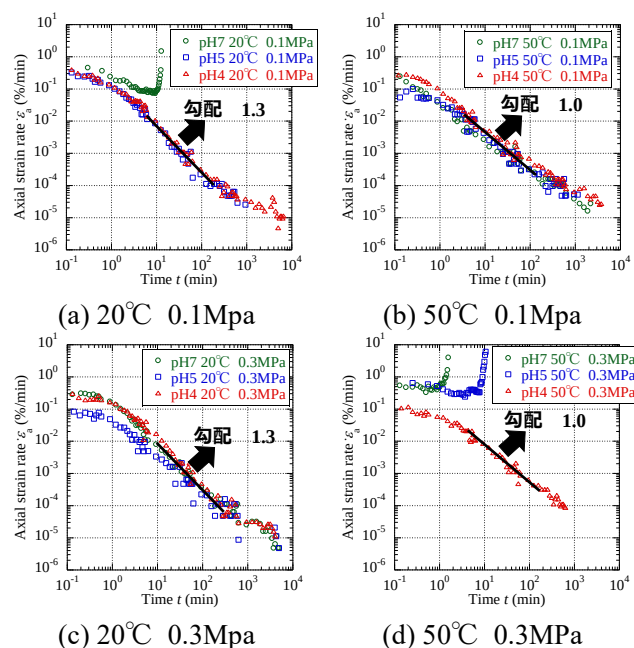


図4 三軸クリープ試験結果

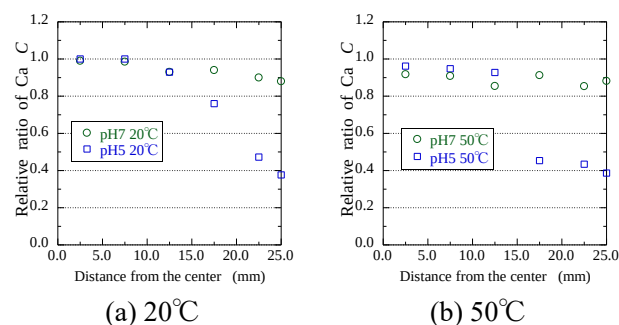


図5 蛍光X線分析結果

3.3 蛍光X線分析

蛍光X線分析の結果を図5(a), (b)に示す。曝露前のカルシウム原子数濃度に対する曝露後のカルシウム原子数濃度の比として、カルシウム相対濃度 C と定義した。これまでに実施した pH5, 7 の条件について考察する。酸の影響に着目すると、pH7 の条件では表面から内部にかけてカルシウム相対濃度に大きな変動は見られないのに対し、pH5 の条件では中心から 15mm より外側にかけてカルシウムの溶脱が著しく、特に最表面部でのカルシウム相対濃度は中心部の 0.4 倍にまで下がる結果となった。また温度の影響に着目すると、pH5, 7 の両条件において 50°C の条件の方がカルシウム相対濃度値の低下が著しく、特に pH5 の条件ではカルシウム相対濃度が激しく変化している。つまり酸が存在する環境下では、高温時の方が供試体の劣化は進みやすいと考えられる。しかし、三軸圧縮試験結果では高温になるほどピーク強度が増加するという一見矛盾しているような結果となっているが、これは 50°C の条件では強度低下の原因であるカルシウムの溶脱と同時に、強度増加につながるセメントの水和反応も活発に行われ、1 週間の水中曝露では水和反応により生成された水和物が多く供試体内部に残ったことが原因と考えられる。今後は未実施である pH4 の条件に加え、水中曝露期間を長くした条件も並行して分析を行い、比較・検討を行っていく。

4. 結論

- ① ピーク強度は、pH 値が大きく、温度が高く、拘束圧が大きいほど大きくなる傾向が確認できた。しかし温度については、ピーク強度がその影響を受けないケースも存在した。
- ② 体積ひずみに着目すると pH 値が小さくなるほど正のダイレイタンスが生じにくくなり、その傾向は温度が高く拘束圧が大きくなるほど顕著である。
- ③ 限界応力比は pH 値が小さくなるほど、拘束圧が大きくなるほど低下する。温度の影響は小さい。
- ④ 軸ひずみ速度は高温であるほど大きくなり、酸や拘束圧の影響は小さい。
- ⑤ pH 値が小さいほど、温度が高いほど酸の内部への進行速度は大きくなり、カルシウム溶脱が著しい。

参考文献

- 1) 福田：耐震工事・復興工事における地盤改良について：一般社団法人セメント協会 資料3