

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. 研究の背景と目的

新鮮な花崗岩は非常に硬く、構造物の支持基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セメント浸透注入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セメント浸透注入工法を実施し、改良地盤の長期安定性の把握を目的としている。化学的風化の要因である酸の強さ、及び周辺環境における地熱の影響に着目し、pHと温度、曝露期間を変えて水中曝露したセメント改良土の力学特性を一軸、三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

本試験ではマサ土を使用し、水と高炉セメント B 種を練り混ぜて供試体を作製する。水の量はブリーディング試験を実施し、マサ土に対して加水量を変化させ 24 時間放置しブリーディングの様子を観察した結果、マサ土 400g に対して加水量を 50g と選定した<sup>1)</sup>。次にセメント添加率を決める配合試験を実施した。添加率を変えた供試体を作製し一軸圧縮試験を実施した結果、ばらつきの大さきや目標とする強度 600kPa を得られているかどうかを踏まえてセメント添加率を 5% と決めた。

#### 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を、pH、水温、曝露期間を変えて水中曝露を実施する。水中曝露中、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、曝露溶液を緩衝溶液にした。表-1 に水中曝露条件を示す。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。

#### 2.3 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、練り混ぜから養生期間 7 日間ごとに変化させた試料の一軸圧縮試験を実施し、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た。これらの実験と水中曝露条件が異なる実験の結果を比

較することで、その影響を評価していく。一軸圧縮試験を実施するケースは先述の表-1 のものである。

表-1 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

### 2.4 三軸圧縮・クリープ試験

一軸圧縮試験同様、水中曝露条件の違いによる力学特性を把握するために三軸圧縮・クリープ試験を実施した。試験条件を表-2&3 に示す。クリープ応力は同じ条件下で実施した三軸圧縮試験で得られたピーク強度の 95% とした。50°C の条件では、試験前に三軸室内を温め、供試体を一様な温度にしてから実験を実施した。試験に用いられる PC 制御の三軸圧縮・クリープ試験機を図-1 に示す。



図-1 PC 制御の三軸圧縮・クリープ試験機

表-2 三軸圧縮試験条件

pH	水温(°C)	水中曝露期間	載荷速度(%/min)	拘束圧(MPa)
5	20	1 週間	0.1	0.1
	50			
7	20			
	50			

表-3 三軸クリープ試験条件

pH 値	温度(°C)	セル圧 (MPa)	クリープ応力 (MPa)
7	20	0.1	0.90
	50	0.1	1.36
5	20	0.1	0.75
	50	0.1	1.24

## 2.5 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、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、粉末状にして分析を行った。

## 3. 試験結果

### 3.1 一軸圧縮と蛍光 X 線分析の結果

pH3、50°Cの緩衝溶液で水中曝露を実施すると供試体表面が脆く崩れやすくなり、一軸圧縮試験を実施することが不可能となるほどボロボロになった。これは酸の影響による Ca の溶脱が起き、不溶性の塩が析出されると構造組織も破壊することが原因と考える。pH5、7 の一軸圧縮試験結果を温度ごとにまとめたものを図-2 に、pH5 の蛍光 X 線分析結果を図-3 に示す。

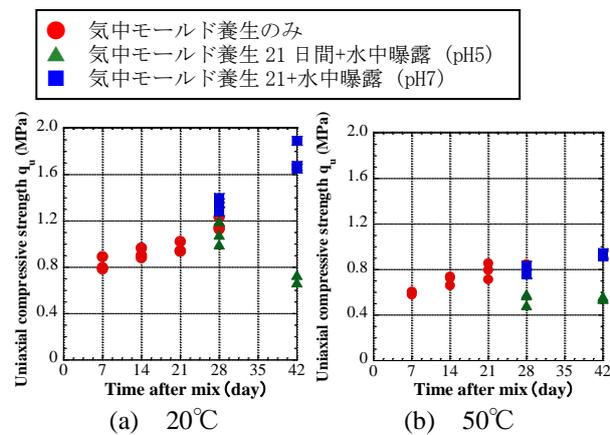


図-2 練り混ぜからの日時と一軸圧縮強さの関係

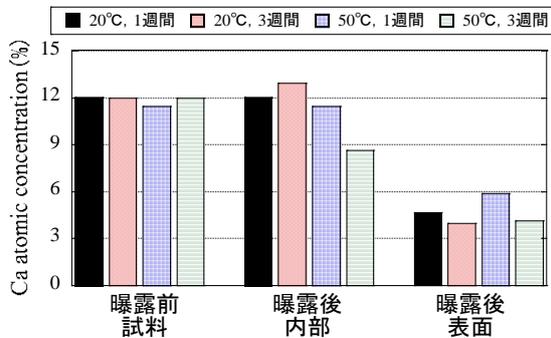


図-3 蛍光 X 線分析結果(pH5)

pH7 の条件では温度によらず一軸圧縮強さは増加した。蛍光 X 線分析によると Ca の溶脱が表面部・内部ともにみられず、酸の影響を受けなかったため強度が増進されたと考えられる。pH5 の条件下では、20°Cにおいて、水中曝露を 1 週間実施した後の強度は大きく低下し、その後の強度は変化しなかった。50°Cの条件では水中曝露 1 週間後は強度の変化はみられず、3 週間後では大幅に低下した。以上のことから曝露温度が高くなるとセメントの水和反応が促進されるものの、酸による Ca の溶脱反応も活発になり強度低下が生じることが分かった。

### 3.3 pH5、7 の三軸圧縮・クリープ試験の結果

図 4 に三軸圧縮試験の軸差応力・軸ひずみ関係と体積ひずみ・軸ひずみ関係を示す。どの条件に

おいてもピーク強度を迎えた後、強度は減少した。ピーク強度は一軸圧縮強度より大きくなる。50°C の条件の方が 20°Cの条件に比べて初期剛性が大きく一軸圧縮試験結果の結果と同様な結果となった。また、曝露温度が高い方ほど初期剛性が大きくなり、体積変化も顕著に表れる。

図に 20°Cの温度環境下に三軸クリープ試験で得られた軸ひずみ速度経時変化を示す。pH7 の場合はクリープ試験が 1 週間を経過しても遷移過程と加速過程(クリープ破壊を判断する切っ掛け)が見られない。一方、pH5 の場合はクリープ試験が六日を経過した時点で遷移過程と加速過程が見られ、確実にクリープ破壊が起きていることがわかった。すなわち、酸の強い環境下では、クリープ破壊が起きやすい結果となった。今後、異なる温度の条件下で試験ケースを増やし、その影響を調べていく。尚、いずれの実験においても 2 回ずつ実施しており、再現性は取れている。

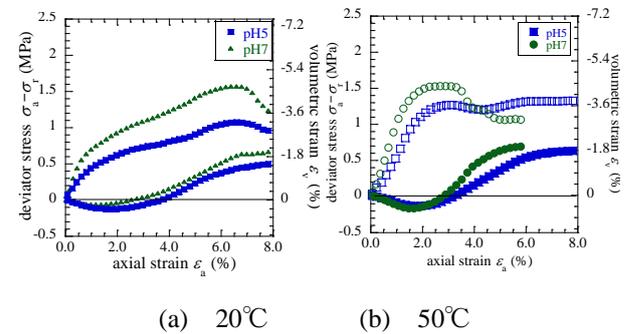


図-4 三軸圧縮試験結果

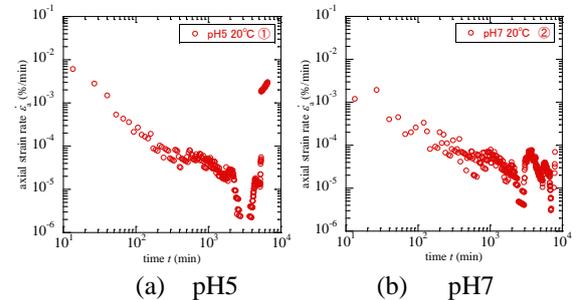


図-5 軸ひずみ速度経時変化 (20°Cクリープ試験)

## 5. 結論

pH3 の条件では不溶性の塩が供試体表面に析出し、脆く崩れやすくなる。pH5 の条件では長期的にみると周辺温度に関係なく強度低下する。pH7 の条件では強度増加が期待され、周辺温度が高いほど強度増加率は大きくなる。

三軸圧縮試験については、曝露温度が高い方ほど初期剛性が大きくなる。一軸圧縮強度に比べ、拘束圧がかかるとピーク強度は大きくなる。酸が弱いほど、ピーク強度は大きくなり、せん断膨張は顕著になる。20°Cの場合、酸の強い環境下では、クリープ破壊が起きやすい。三軸圧縮・クリープ試験では、いずれにおいて 2 回ずつ実施しており、実験結果の再現性は取れている。

## 参考文献

大原一哲：新設永久基礎構造物に用いられた浸透固化工法による補強地盤の長期安定性に関する実験的研究、名古屋工業大学工学部卒業論文、2017