

登別温泉水に浸漬したモルタルの化学・力学的特性に関する一実験

A study on chemical and mechanical characteristics of mortar immersed in Noboribetsu hot spring water

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 三浦泰人 (Taito Miura)
北海道大学大学院環境創生工学専攻 正会員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. はじめに

温泉地では硫酸イオンをはじめとする温泉水に含まれる様々な溶存イオンの影響により、コンクリート構造物が劣化するという被害が出ている。直接温泉水に曝される環境はもちろん、酸性化した土壌や温泉の蒸気により劣化するため、被害範囲は広く被害状況も多様である。さらに、劣化の程度は温度、乾湿の繰返し、流水の作用の影響を受ける。すなわち、典型的な複合劣化といえる。この複合劣化を考える上では、様々な劣化要因を抽出し、化学的及び力学的視点に立って、構造物の耐久性や美観を議論することが肝要である。もちろん、温泉地の複合劣化の研究は、地域ごとに劣化要因が異なるため、温泉地の複合劣化機構を統一的に論じるにはまだ長い道のりを要する。

本研究では、登別温泉の環境下におけるコンクリート構造物を対象としている。登別温泉の特徴として、湧出箇所によって溶存イオンが全く異なった泉質であることが挙げられる。既往の研究により、基本的な劣化性状は明らかにされている⁽²⁾が、未だその劣化機構は明らかにされていない。そこで本研究は、モルタルの温泉水への浸漬試験を行い、強度と劣化度との関係を明らかにする。さらに、塩化物イオンが化学劣化に及ぼす影響の有無を検討するとともに、硫酸イオン及び塩化物イオンの劣化機構を定量・定性的に評価する。

2. 実験概要

2.1 供試体条件

実験にはモルタル供試体を使用する。これは、コンクリート、すなわち、粗骨材を混入した供試体では、粗骨材の位置や大きさが溶存イオンの侵入に大きな影響を及ぼすためである。なお、本研究では、JISの規定により普通環境ではW/C<60%と定められているため、より劣化の影響が現れやすいと思われるW/Cの上限値を採用している。表-2にモルタルの使用材料と配合を示す。

表 - 2 モルタルの配合条件

単位水量 W (kg/m ³)	水セメント比 W / C (%)	細骨材率 S / a (%)	空気量 Air (%)	AE 剤使用量 AE/C (%)
175	60	41	5	0.044

2.2 実験条件

本研究では、登別温泉から採取した温泉水と人工的に作成した疑似温泉水を用意する。登別温泉水の溶存イオンは、コンクリート構造物に悪影響を与える硫酸イオンと塩化物イオンを含んでいる。使用する温泉水は、主に硫酸イオンと塩化物イオンが含まれる溶液 HS1(権現沢から採取) と、塩化物イオンが多量に含まれている溶液 HS2(3 号線から採取) を用いる。硫酸イオンと塩化物イオンに着目しているが、その他の溶存イオンの影響があると考えられるため、硫酸イオンと塩化物イオンの溶液 (疑似温泉水) をそれぞれ作製した。これは温泉水中の硫酸イオンと塩化物イオンの影響を浮き彫りにするためのものとする。硫酸溶

液は硫酸をイオン交換水で希釈して作製し、塩化物イオンの溶液は NaCl を同様にイオン交換水に溶かすことで作製した。本論文では、前者を溶液 AS、後者を溶液 AC と呼ぶ。以下に、これらの劣化外力の泉質成分を表 - 3 に示す。

供試体はΦ100mm×200mm の円柱供試体を作製し、脱型後 10 日間の湿布養生を行った。養生終了後、耐化学薬品性に優れるエポキシ樹脂で全面をコーティングし、供試体を高さ 100mm の位置でカットした (図-1 参照)。なお、切断面が浸透面となる。

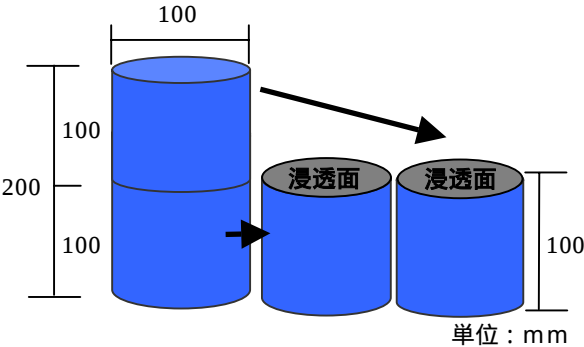


図 - 1 供試体作製方法

表 - 3 泉質成分表

溶液種類	pH	溶存イオン	濃度(mg/l)
HS1	2.28	SO4	409
		Cl	493
AS	2.16	SO4	329
HS2	6.57	Cl	8554
AC	10.65	Cl	9407

2.3 実験方法と目的

(1) 浸漬方法

モルタル供試体を 20L の溶液 HS1、HS2、AS、AC の中に 3 ヶ月間浸漬する実験を行う。実験開始時には、それぞれに 3 体浸されており、その化学的及び力学的特性の経時変化を調べるために 1 ヶ月ごとに 1 体回収される。浸漬場所は温度を 20℃と一定に保った恒温槽である。また、浸漬期間中、溶液の交換せず、pH 及び溶液中の硫酸イオン濃度と塩化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィーにより測定し、定期的に溶液の状態を確認している。

(2) 酸による劣化と曲げ強度の関係

溶液 HS1 と AS に浸漬した供試体の曲げ試験を行う。すなわち、供試体の浸透方向の深さごとに、5mm 間隔で切り出したモルタル片の曲げ試験を行う。対象とした深さは浸透面から 30mm であり、その区間から、70mm×30mm×5mm のモルタル片を 5 枚作製する。このモルタル片の曲げ強度を測定し、酸劣化と曲げ強度の関係を調べる。図 - 2 に試験の様子を示す。本研究ではこれに加えて、

化学分析を行うことで曲げ強度と水和物量との関係の定量化を試みる。対象とする水和物は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 、C-S-H である。定量化には TG/DTA と重液分離法を用いる。

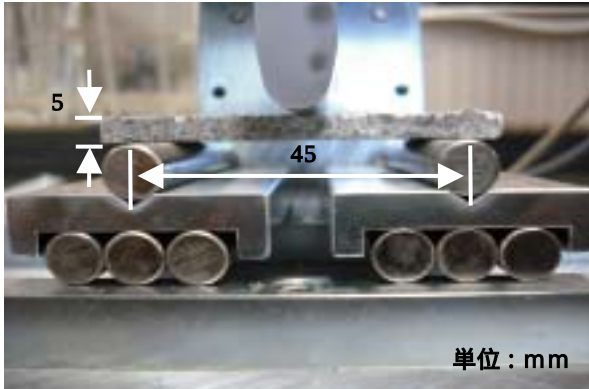


図 - 2 曲げ強度試験の様子

(3) 複合溶液中の塩化物イオンの挙動

1～3 ヶ月の浸漬時間ごとのモルタルにおける塩化物イオンの浸入量を求める。モルタル供試体中の塩化物イオン量は、JCI-SC5 にしたがって行うものとする。また、塩化物イオンの浸入量と浸入方向深さとの関係性を、上述の(2)と同様にして 5mm 厚に切り出して実験を行うことで明らかにする。また、複合溶液中において、塩化物イオンの浸入が水和物量にどのような影響を及ぼすのか⁽¹⁾を調べるために TG-DTA を行う。

3. 実験結果と考察

3.1 溶液の成分分析に基づく考察

浸漬実験 1 ヶ月終了までの、溶液の塩化物イオン濃度・硫酸イオン濃度・水素イオン濃度について測定した結果を図 - 3、図 - 4 に示す。図 - 3 から、溶液 HS1 中の両イオン及び溶液 AS 中の硫酸イオンは時間とともに緩やかに減少している。しかしながら、図 - 4 に示す水素イオン濃度をみるといずれの溶液に関しても著しく減少しており、特に溶液 HS1 の方がその傾向が大きい。溶液 HS1 (実際に汲み上げた温泉水) のみ容器内に黄色の沈殿物が確認された。溶液 HS1 の方が初期の反応が早いのは、温泉水に含まれるその他の溶存イオンの影響によるものと考えられる。溶脱現象は溶液 HS1 及び AS とともに起きているが、沈殿物の影響の分 HS1 の初期反応が早くなっている可能性がある。

3.2 曲げ強度に関する結果と考察

図 - 5 に 1 ヶ月水中に浸漬させた供試体の曲げ強度(図中の TM-1)と HS1 及び AS についての深さ方向の曲げ強度を示す。1 ヶ月の浸漬実験では、深さ方向で大きな差異は見られない。

4. まとめ

- (1) 溶存イオンとモルタルとの反応は確実に起きており、それが沈殿物または溶出という形で表れている。
- (2) 1 ヶ月の浸漬実験では、モルタルの曲げ強度の低下はみられない。

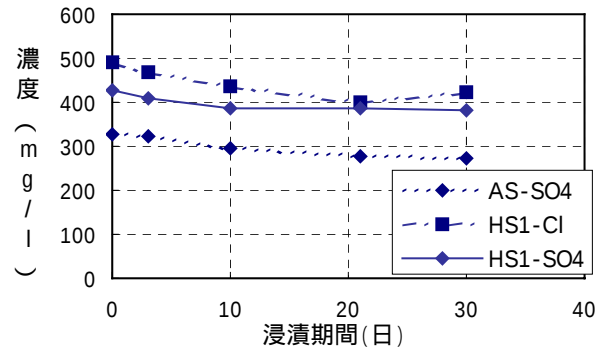


図 - 3 溶存イオン濃度変化

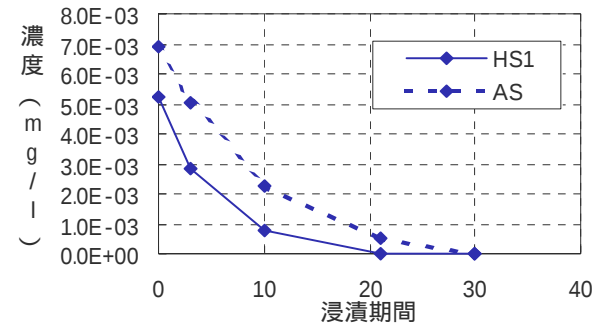


図 - 4 水素イオン濃度変化

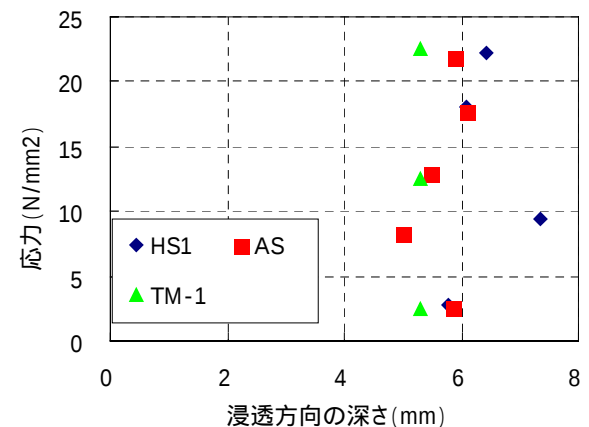


図 - 5 深さ方向の曲げ強度

5. 参考文献

- (1) 蔵重勲：塩化物イオン・炭酸水素イオン共存溶液中におけるセメント硬化体の溶脱挙動に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol29, No.1, 2007
- (2) 住吉啓介：登別温泉環境下に曝露したコンクリートの複合劣化機構に関する研究、北海道大学修士論文、2007