

各種溶液に浸漬したモルタルの化学・力学的特性について

北海道大学工学研究科 学生員 ○三浦泰人

北海道大学工学研究科 正会員 佐藤靖彦

1. はじめに

酸による中性化や塩害はコンクリート構造物に重大な被害を与えることが知られている。酸劣化・塩害などの問題をはらんだ複合劣化環境として温泉地が挙げられる。本研究では、湧出箇所によって溶存イオンが全く異なるといった特徴を有する登別温泉水を用い、化学・力学的な観点から劣化機構の解明に向けた基礎研究を行う。過去にセメントペーストを対象とした曲げ強度と水和物の関係が報告されている [1]。本研究ではモルタルを対象とし、登別温泉水と疑似温泉水を用いた浸漬試験を行い、劣化度（水和物の変化）と曲げ強度との関係を明らかにする。

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した。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。細骨材を使用しているため、骨材の影響を含む劣化現象を想定している。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-1 にモルタルの使用材料と配合を示す。

表-1 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製した疑似温泉水を用いる。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）と、塩化物イオンが多量に含まれている溶液（HS2）を用いる。本研究では主として硫酸イオンと塩化物イオンに着目しているが、温泉水中にはその他の溶存イオンが存在し、その影響を調べるため、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。本論文では、前者を溶液 AS、後者を溶液 AC と呼ぶ。これらの劣化外力の泉質成分を表-2 に示す。なお、溶液中の陽イオンの分析から HS1 はナトリウムを主成分とした硫酸塩溶液であることが分かっている。供試体には Φ100mm×200mm の円柱供試体を用いた。供試体脱型後、10 日間の湿布養生を行った後、供試体を高さ 100mm の位置でカットし、耐化学薬品性に優れるエポキシ樹脂で側面及び底面をコーティングした。この場合、切断面が浸透面となる。さらに本研究では、厚さ 5mm、長さ 70mm、幅 30mm のモルタル片を円柱供試体から切り出すことで作製（薄片供試体）し実験に供した。

表-2 泉質成分表

溶液種類	pH	溶存イオン	濃度(mg/l)
HS1	2.28	SO ₄	409
		Cl	493
AS	2.16	SO ₄	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 ヶ月間浸漬した。実験開始時には、円柱供試体をそれぞれ 3 体、また薄片供試体も 3 体浸されており、1 ヶ月ごとに 1 体ずつ回収される。浸漬場所は温度を 20℃と一定に保った恒温槽であり、溶液は静水状態とした。浸漬期間中は溶液の交換をせず、pH 及び溶存陰イオンをイオンクロマトグラフィーにより測定し、経時的に溶液の状態を確認している。

(2) 劣化因子と曲げ強度の関係

円柱供試体の浸透面から 70mm×30mm×5mm のモルタル片を 5 枚作製し曲げ試験を行う。写真-1 に試験の様子を示す。本研究ではこれに加え、化学分析を行うことで曲げ強度と水和物量との関係を評価する。対象とする水和物は、水酸化カルシウム（以下 Ca(OH)₂）、珪酸カルシウム（以下 C-S-H）である。水和物の定量化には TG/DTA と重液分離法 [2] を用いる。

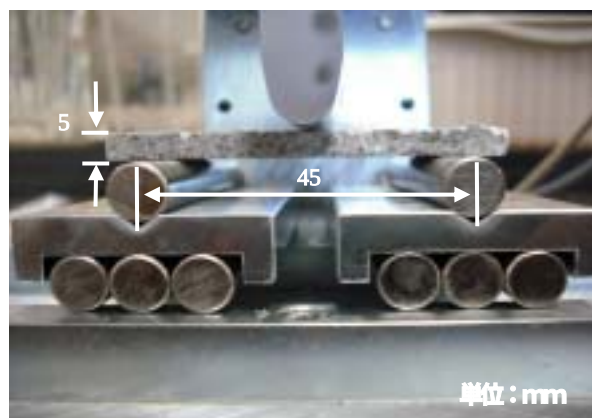


写真-1 曲げ強度試験の様子

キーワード 硫酸塩、塩化物イオン、複合劣化、水和物、曲げ性状

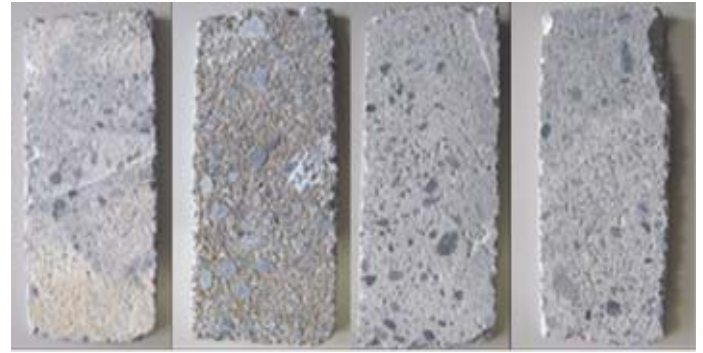
連絡先 〒060-8628 北海道 札幌市 北区北 13 条西 8 丁目 011-706-6181

北海道大学 工学研究科 環境創生工学専攻 維持管理システム工学研究室

3. 実験結果と考察

3.1 外観変化

浸漬2ヶ月後の浸透面の外観を写真-2に示す。硫酸イオンを含有する溶液に曝露した場合にそれぞれ異なる外観変化が観察された。HS1に浸した供試体表面には析出物が生成し、ASの場合には、骨材の露出が顕著であった。一方、塩化物イオンを含有する溶液の供試体では浸漬前の供試体と比較して、HS2、AC溶液に浸漬したいずれの供試体においても空隙が増加、または粗大化していた。



HS1 AS HS2 AC
写真-2 浸漬2ヶ月後の浸透面の外観

3.2 化学分析と曲げ性状

浸漬2ヶ月での化学分析において、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の明らかな減少がみられたのは、HS1に浸漬した薄片供試体及びACに浸漬した円柱供試体の浸透面であった。一方、CSHの減少は、HS1に浸漬した供試体の浸透面及び薄片供試体にみられた。

水和物と曲げ強度の関係を図-1、2に示す。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損失が顕著であったHS1及びHS2に浸漬した薄片供試体の曲げ強度は、健全な供試体よりも若干低下していると思われる。しかしながら、CSHと曲げ強度との関係を示す図-2より、CSHの減少と曲げ強度に関連性があると結論付けるのは難しい。

さらに、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損失がみられたACとCSHの損失がみられたHS1の曲げ応力と試験機のクロスヘッドの移動量との関係を図-3、4に示す。水和物の損失が確認された供試体の曲げ性状が健全な供試体と比較して明らかに異なることがわかる。具体的には、CSHの損失はプレピークに、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損失はポストピークに大きな影響を及ぼす。これはモルタルの曲げ挙動に及ぼす影響が水和物の種類により異なることを示唆している。今回の実験では、CSHは曲げ剛性に、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は軟化性状及び曲げ強度に大きな影響を及ぼすこととなったが、今後はデータ数を増やし検討を深めたい。

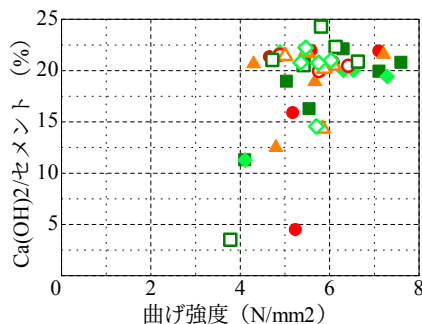


図-1 曲げ強度と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ との関係

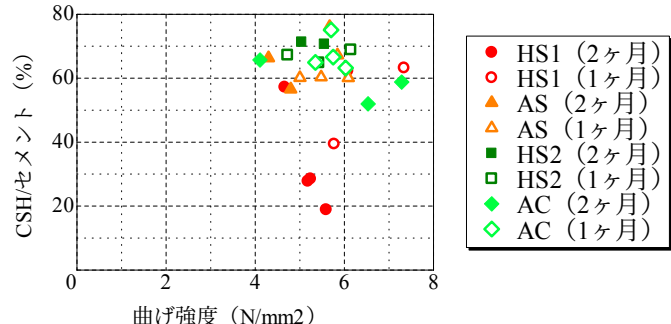


図-2 曲げ強度とCSHとの関係

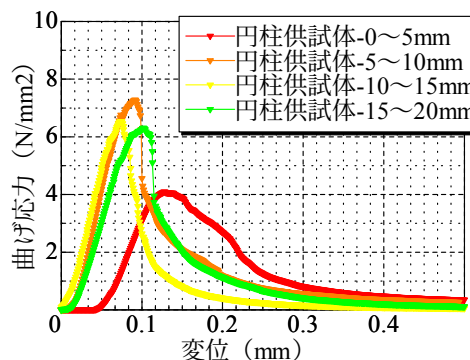


図-3 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 損失による曲げ性状の変化(AC)

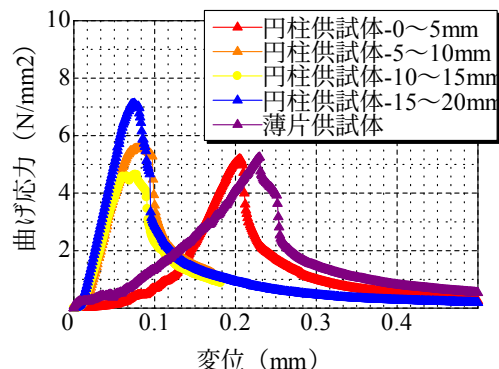


図-4 CSH損失による曲げ性状の変化(HS1)

4. まとめ

- (1) 酸劣化では硫酸塩溶液のみCSHの損失量が大きく、 NaCl 溶液では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の消失後にCSHの損失が開始されていた。
- (2) CSHの損失はプレピークに、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の損失はポストピークに大きな影響を及ぼす。これはモルタルの曲げ挙動に及ぼす影響が水和物の種類により異なることを示唆している。

5. 参考文献

- [1] 酸性雨成分の作用によるセメント硬化体の物性変化、久田真・松谷竜一、土木学会論文集、No.746/V-61,197-204,2003.11
- [2] コンクリート構造物の総合診断法、小林一輔、オーム社