

## けい酸塩系表面含浸材を塗布したモルタルの硫酸劣化に関する一考察

金沢工業大学バイオ・化学部 正会員 ○大嶋 俊一 金沢工業大学大学院 学生会員 大溝 尚英  
 金沢工業大学工学部 正会員 宮里 心一 富士化学株式会社 正会員 西野 英哉  
 富士化学株式会社 正会員 黒岩 大地

## 1. 目的

けい酸塩系表面含浸材は化学的侵食に対する抑制効果はないと一般的に考えられているため、けい酸塩系表面含浸材を塗布した構造物における化学的侵食の影響についての検討はほとんどなされていない。一方、著者らの既往の研究により、モルタル供試体にけい酸塩系表面含浸材を塗布することで、硫酸劣化後でも透水抑制効果や形状が維持されることが示唆された<sup>1,2)</sup>が、その詳細は十分に解明できていない。そこで、本研究では、けい酸塩系表面含浸材を塗布したモルタルにおける硫酸劣化のメカニズム解明のために、モルタル内に侵入した硫酸イオンに着目し、硫酸イオンの侵入量や存在化学種に関する基礎的検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 供試体および使用材料

モルタル供試体は、普通ポルトランドセメントを用い、水/セメント比 0.55、砂/セメント比 3.0 の条件で、400×400×100 mm の型枠に打設した。24 時間湿潤養生を行った後、脱型し、水中養生を 6 日間行った。その後、100×100×100 mm の大きさに切断し、気中養生を 28 日間行った。型枠に触れていた面を除いた 4 面をエポキシ樹脂でシールした。また、用いたけい酸塩系表面含浸材は、けい酸 Na 系（乾燥固形分率 19.45%）とけい酸 Li 系（乾燥固形分率 17.17%）の 2 種である。塗布面をグラインダーで研磨後、2.0 g の含浸材を刷毛により塗布した。塗布と散水を二度繰り返した後、28 日間養生した。

### 2.2 実験方法

本研究では、新設構造物における予防保全を想定し、図 1 に示したように、けい酸塩系表面含浸材の塗布後に硫酸劣化させた。塗布後の試験体は pH1.0±0.2 の硫酸溶液に 7 日間浸漬させて硫酸劣化させた後、表面の酸を布で軽く拭き取り、20°C で 24 時間乾燥させた。その後、JSCE-K 572 「けい酸塩系表面含浸材の試験方法（案）」の含浸深さ試験を応用し、硫酸イオンの侵入量を測定した。測定方法は、深さごとに採取した粉体と純水を混合し、溶出した硫酸イオン濃度を ICP 発行分光分析法により測定し、遊離硫酸イオン量とした。また、採取した粉体を 0.1 mol/L 塩酸溶液に溶解した後、溶液中の硫酸イオン量を測定し、全硫酸イオン量とした。ここで、遊離硫酸イオン量とは、水に可溶性化学種の量であり、全硫酸イオン量とは水に可溶性化学種と難溶性化学種の合計量である。したがって、全硫酸イオン量と遊離硫酸イオン量との差から、難溶性化学種として存在する量を求めることができる。さらに、フェノールフタレインを用いた中性化深さ試験および細孔径分布測定を行った。細孔径分布測定では、表面から 5 mm の範囲で試料を切り出し、D-dry 処理後、水銀圧入法による測定を依頼した。

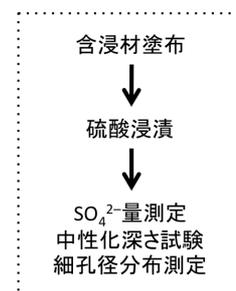


図 1 本研究における実験の流れ

## 3. 結果と考察

硫酸浸漬後の供試体を割裂し、硫酸により中性化した深さを測定したところ、無塗布の試験体では 1.7mm であったのに対し、Na 系含浸材を塗布した場合 1.1mm、Li 系含浸材では 0.9 mm の深さであり、けい酸塩系表面含浸材の硫酸による中性化抑止効果が確認できた。

表面からの深さごとの遊離硫酸イオン量（遊離  $\text{SO}_4^{2-}$ ）および全硫酸イオン量（全  $\text{SO}_4^{2-}$ ）の変化を図 2 に示す。また、全硫酸イオンに対する難溶性塩の割合を図 3 に示す。図 2 より、遊離硫酸イオン量は、無塗布の試験体と比較して、けい酸塩系表面含浸材、硫酸劣化、侵入抑制

連絡先 〒920-8501 石川県野々市市扇が丘 7-1 TEL : 076-274-9266

験体に比べ、けい酸 Na 系表面含浸材を塗布した場合は少なくなったが、けい酸 Li 系では、大きく変わらない結果であった。また、全硫酸イオン量は、深さ 0-2mm において、無塗布では遊離硫酸イオン量とほぼ同じであるのに対して、けい酸塩系表面含浸材を塗布した場合は、遊離硫酸イオンの 2 倍程度であった。図 3 より、無塗布の場合、0-2 mm までの表層ではほぼ全ての硫酸イオンが遊離硫酸イオンとして存在する一方、けい酸 Na 系を塗布した場合、約 60%の硫酸イオンが難溶性塩として存在していたことに加え、10 mm までの深さにおける難溶性塩の割合が最も高かった。セメント中に含まれる成分や硫酸劣化における反応を考慮すると、硫酸との反応により生じた難溶性塩の主成分は硫酸カルシウム（セッコウ）であると考えられる。これらの結果より、無塗布の場合は、2 mm までの表層が硫酸カルシウムを生成する前に硫酸に侵食され、けい酸塩系表面含浸材を塗布した場合は、2 mm までの表層の一部が硫酸に侵食され、残りの部分で硫酸カルシウムを生成したと考えられる。しかし、深さ 4 mm 以上における全硫酸イオン量は、けい酸塩系表面含浸材を塗布した場合の方が、無塗布の場合よりも高く、中性化深さ以上に硫酸イオンが侵入した可能性が示唆された。この原因は不明であり、今後の検討課題である。

硫酸浸漬後の供試体について、表面から 5 mm における細孔径分布を測定したところ、無塗布では 180~360  $\mu\text{m}$  以上の大きな細孔による空隙率は 0.73%であったのに対し、けい酸 Na 系を塗布した場合、0.43%と低く抑えられていた（塗布も浸漬も行っていないブランク試料では 0.35%であった）。以上のことから、けい酸 Na 系を塗布した場合、硫酸との反応により生じた硫酸カルシウムが表層に残存することで、硫酸劣化による多孔化が進行しにくくなり、以前に報告したように透水抑制効果が維持された<sup>2)</sup>。その結果、透水による硫酸の侵入が抑制されたと考えられる。

けい酸 Li 系は、けい酸 Na 系の C-S-H ゲルの生成による緻密化と異なり、材料自身の固化による緻密化である。今回はアルカリ性である材料と硫酸が反応し、シリカゲルを生成したと考えられるが、その細孔に硫酸イオンが取り込まれるとともに、硫酸カルシウムを生じたため、深さ 0-2mm において無塗布よりも高い値を示したと考えられる。

#### 4. まとめ

けい酸塩系表面含浸材を塗布したモルタルにおける硫酸劣化について基礎的検討を行ったところ、けい酸 Na 系表面含浸材塗布後に硫酸劣化を受けた場合、硫酸との反応により生じた難溶性塩が表層に残存するため、無塗布の場合に比べて空隙率は小さくなった。そのため、透水抑制効果が維持され、透水による硫酸などの劣化因子の侵入抑制効果が得られたと考えられる。

#### 謝辞

本研究の一部は、平成 29 年度前田記念工学振興財団の研究助成および科学研究費助成事業（基盤研究(B)（研究代表者：宮里心一）17H03289）を受けて行ったものである。

#### 参考文献

- 1) 大嶋俊一ほか：化学的侵食に対するけい酸塩系表面含浸材の塗布効果に関する検討，セメント技術大会講演要旨，pp.298-299（2016）。
- 2) 大溝尚英ほか：けい酸塩系表面含浸材を用いた硫酸の侵入抑制効果に関する基礎的検討，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集第 5 部，pp.1009-1010（2017）。

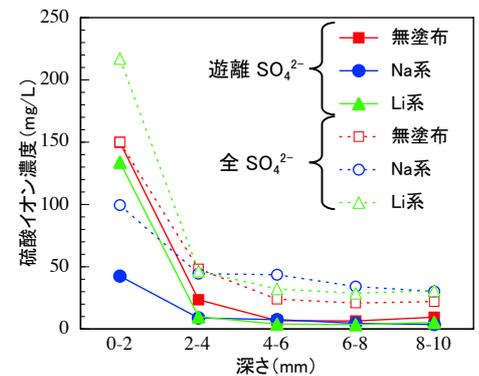


図 2 ケース A における硫酸イオン濃度の変化

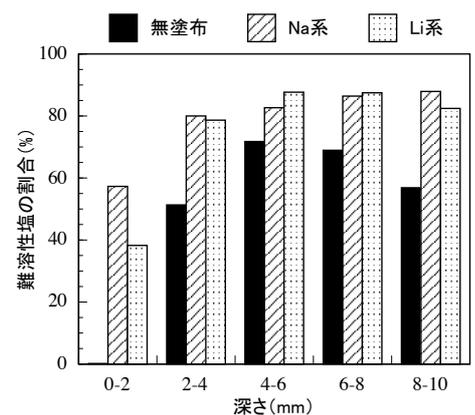


図 3 ケース A における難溶性塩の割合