

硫酸アルミニウムによる薬液から溶出する硫酸イオンの低減効果の評価

(株)大林組
芝浦工業大学大学院
(株)大阪防水建設社
富士化学(株)

正会員
正会員
正会員
正会員

○諸富 鉄之助, 三浦 俊彦, 照井 太一
稲積 真哉
本橋 俊之
笹原 茂生

1. はじめに

薬液注入工法における液状化対策等の本設注入では、中・酸性系薬液がよく使用される。しかし汎用的な硬化剤である希硫酸由来の硫酸イオン（以下、 SO_4^{2-} ）がコンクリート構造物へ悪影響を及ぼす懸念がある¹⁾。筆者らはこの影響についてこれまで検討し^{2)など}、改良体からの経時的な SO_4^{2-} 溶出について、液固比バッチ試験³⁾と移流分散解析を用いた評価手法を提案した。さらに養生条件や薬液種類による SO_4^{2-} 溶出への影響も評価した。その結果、特に溶出初期の SO_4^{2-} 濃度が大きいこと、条件によっては溶出を低減できる可能性があることを示唆した。

本検討では、薬液からの SO_4^{2-} 溶出を低減し得る材料の1つと考えられている硫酸アルミニウム（以下、硫酸Al）の効果を評価した⁴⁾。その中で、これまでは考慮していなかった離しょう水の影響や含有量についても検討した。

2. 試験方法

中・酸性薬液として、主材には5号水ガラス、硬化剤には希硫酸を使用した。実現場ではゲルタイム（以下、GT）を調整しやすくするため、硬化剤の一部にpH緩衝剤として弱酸が使用される場合がある。硫酸AlはpH緩衝剤としての効果がある上、アルミニウムが SiO_2 骨格構造の中に入り込み、電気的に SO_4^{2-} を吸着する効果を有することが知られているため、添加剤として使用した。

表1に試験ケースを示す。 SiO_2 濃度は7%とし、GTが施工に適した数時間～十数時間となるように希硫酸量を設定した。硫酸Al添加量はゼロと、緩衝剤としての使用を想定した0.05%と、 SO_4^{2-} の吸着効果を期待して過剰に添加した場合を想定した0.27%の3ケース（それぞれAlなし、Al標準、Al大とする）を設定した。希硫酸と硫酸Alに含まれる SO_4^{2-} の合計で SO_4^{2-} 濃度を計算した。

作液直後のpHを測定し、目視で粘性が変化した時点をGTとし測定した。その後密閉状態で7日間養生し、離しょう水について、重量と SO_4^{2-} 濃度を測定した。離しょう水を除いたゲル部分については、湿潤状態のまま2mm以下に破碎し、液固比（試料重量に対する液体重量）を5として攪拌し、1時間静置後に液中の SO_4^{2-} 濃度を測定した。

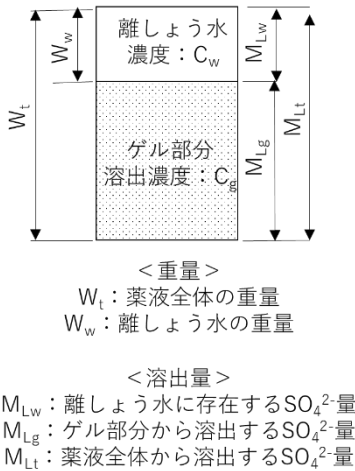


図1 各溶出量等の関係図

表1 試験ケースと配合、条件および試験結果（一部抜粋）

ケース	配合 (400mL 当り)						薬液条件			結果									
	A液		B液			計	SiO ₂ 濃度	SO ₄ ²⁻ 濃度	Al濃度	pH	GT	離しょう水				ゲル部分		全体	
	水ガラス	水	希硫酸	硫酸Al	水							発生量	SO ₄ ²⁻ 濃度	SO ₄ ²⁻ 溶出量	割合	SO ₄ ²⁻ 濃度	SO ₄ ²⁻ 溶出量	SO ₄ ²⁻ 溶出量	溶出率
	g	g	g	g	g		wt%	wt%	wt%	-	h	wt%	g/L	g/kg	%	g/L	g/kg	g/kg	%
Alなし	118	110	17.78	0	190	436	7	3.00	0	2.6	9.0	5	40	2.1	11	3.8	19	20	67
	118	110	17.55	0	190	436	7	2.96	0	3.2	4.3	7	39	2.7	12	4.4	22	23	78
Al標準	118	110	17.66	5.6	186	437	7	3.26	0.05	2.4	10.8	4	43	1.7	8	4.3	22	22	69
	118	110	15.51	5.6	186	435	7	2.91	0.05	3.1	6.0	7	39	2.9	15	3.7	19	20	69
Al大	118	110	16.16	28.0	170	442	7	4.12	0.27	2.5	12.0	3	55	1.6	6	5.6	28	29	70
	118	110	13.49	28.0	170	440	7	3.70	0.27	2.9	8.0	7	48	3.2	12	5.0	25	27	72

キーワード 薬液注入工法, 硫酸イオン, 溶出量, 硫酸アルミニウム, 離しょう水

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640
(株)大林組技術研究所 環境技術研究部 TEL 042-495-1014

3. 試験結果

表1に試験結果を示す。離しょう水については、発生量、 SO_4^{2-} 濃度（以下、 C_w ）、離しょう水とゲル部分を合わせた薬液全体（以下、全体）単位重量あたりに換算した離しょう水中 SO_4^{2-} 量（以下、 M_{Lw} ）、および全体から溶出した SO_4^{2-} 量（以下、 M_{Lt} ）に対する M_{Lw} の割合を示す。またゲル部分については、溶出した SO_4^{2-} 濃度（以下、 C_g ）および全体単位重量あたりに換算したゲル部分から溶出した SO_4^{2-} 量（以下、 M_{Lg} ）を示す。さらに全体について、 M_{Lt} および溶出率（含有量に対する溶出量 M_{Lt} ）を示す。これらの関係を図1に示す。

図2に pH と GT の関係を示す。すべてのケースについて、pHが増加すると GT は減少し、数時間～十数時間となる pH は 2.5～3.2 であった。硫酸 Al 添加量が多いケースほど、同じ GT になる pH は増加した。

図3に pH と C_w 、図4に pH と M_{Lw}/M_{Lt} の関係を示す。図3から、すべてのケースで C_w は 39 g/L 以上であり、コンクリート構造物へ悪影響を及ぼす可能性のある SO_4^{2-} 濃度 3000 mg/L¹⁾よりも高い値を示した。 C_w は硫酸 Al 添加量が多いほど増加した。これは硫酸 Al による SO_4^{2-} 含有量の増加の影響であると考えられる。図4から、 M_{Lw}/M_{Lt} は 5～20% 程度であり、硫酸 Al 添加量との相関はなかった。ここから、薬液からの SO_4^{2-} 溶出を検討する際は、離しょう水中の SO_4^{2-} も無視できず、硫酸 Al 添加量が多いほど高濃度になることが分かった。

図5に pH と M_{Lt} 、図6に pH と溶出率の関係を示す。図5から、すべてのケースで M_{Lt} は 19 g/kg 以上であった。Al なしと Al 標準のケースでは、同程度の溶出量であったが、それらに比べて Al 大のケースでは大きかった。図6から、溶出率は 60～80%の値を示し、硫酸 Al 添加量との相関は見られなかった。ここから本検討で実施したケースにおいては、硫酸 Al を緩衝剤として使用しても SO_4^{2-} 溶出量は増加しないことが分かったが、硫酸 Al の SO_4^{2-} 吸着効果は明確には確認できなかった。Al 大のケースでは、効果的に SiO_2 骨格構造に入り込まず、離しょう水や液相の中に硫酸アルミニウムが残った可能性が考えられる。

4. おわりに

硫酸 Al の SO_4^{2-} 溶出低減効果について評価した。離しょう水中の SO_4^{2-} も無視できず、薬液全体からは含有量の 60%以上の SO_4^{2-} が溶出した。硫酸 Al を緩衝剤として使用する場合は、 SO_4^{2-} 溶出量は増加しないが、明確な SO_4^{2-} 吸着効果は確認できなかった。本検討では、養生7日、コロイダルシリカを使用しない配合など限定的な条件であったが、今後はより実現場に近しい条件での硫酸 Al の効果を検証したい。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの化学的浸食・溶脱に関する研究の現状，pp.124-125，2003
- 2) 諸富ら：薬液注入改良砂からの硫酸イオン溶出に及ぼす各要因の影響評価，土木学会全国大会第77回年次学術講演会，2022
- 3) 肴倉宏史，伊藤健一：「液固比バッチ試験」による汚染物質を保有する材料の吸脱着パラメーター取得法，第53回地盤工学研究発表会，pp.2167-2168，2018
- 4) 笹原茂生：シリカゲル生成過程におけるケイ酸構造の制御：アルミニウム添加と強磁場の効果，信州大学博士論文，2016

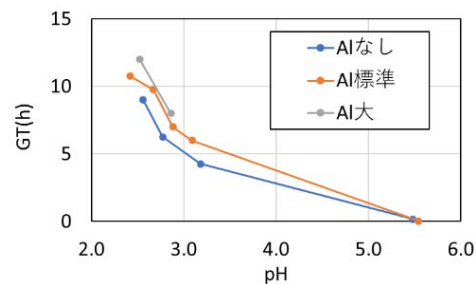


図2 pH と GT の関係

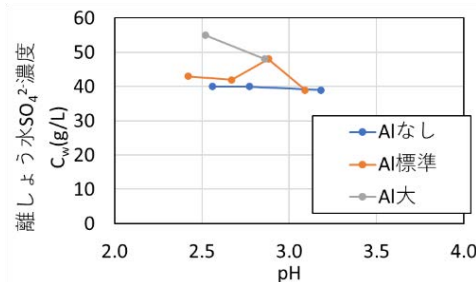


図3 pH と C_w の関係

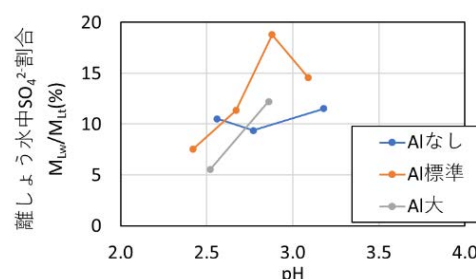


図4 pH と M_{Lw}/M_{Lt} の関係

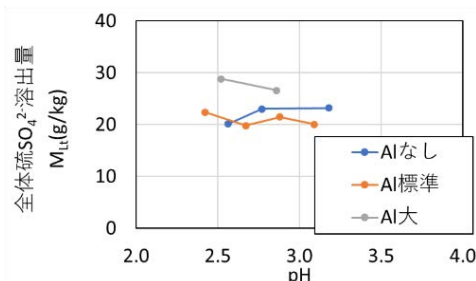


図5 pH と M_{Lt} の関係

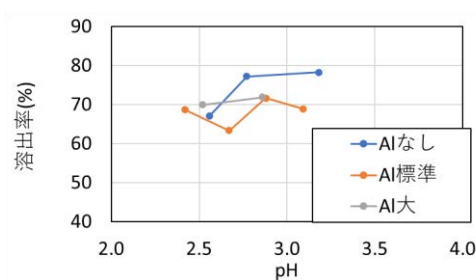


図6 pH と 溶出率 の関係