

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

(株)大林組	正会員	○諸富 鉄之助, 三浦 俊彦, 照井 太一
芝浦工業大学大学院	正会員	稲積 真哉
(株)大阪防水建設社	正会員	本橋 俊之
富士化学(株)	正会員	笹原 茂生

1. はじめに

薬液注入工法において、中・酸性系薬液は、耐久性を有する薬液材料として多くの実績がある。しかし反応材として用いられる硫酸は強酸性であり、改良地盤から硫酸イオンが溶出すると、中性化による鉄筋腐食や強度低下などのコンクリート構造物の劣化が懸念される¹⁾。筆者らはこれまで、硫酸イオン溶出について、従来の評価手法²⁾より、実際に近い条件かつ室内で簡便に評価できる手法を検討した³⁾(以下、前稿)。具体的には、液固比(試料重量に対する液体体積)を変化させた振とう溶出試験(以下、液固比バッチ試験)から解析パラメータを取得し、それを用いて移流分散解析により評価した。その結果、改良体から溶出する硫酸イオン初期濃度は、コンクリート構造物への影響が懸念される 3000 mg/L 以上⁴⁾となることがわかった。

本検討では、硫酸イオン溶出特性をさらに詳細に把握するため、養生による影響や硫酸イオン溶出量が小さいと言われている低硫酸型薬液についての評価を実施した。

2. 使用材料

中・酸性系薬液には、一般的な薬液(以下、通常タイプ)として2液性のシリカショット A(富士化学(株)製)を、添加剤の吸着作用により溶出する硫酸イオン量を低減できる薬液(以下、低硫酸タイプ)として独自に調合した2液性の薬液を用いた。A液が5号水ガラス希釈液、B液が硫酸希釈液である。薬液のシリカ濃度は一般的な配合である7%程度とした。それぞれの薬液の材料特性を表1に示す。また母材には足利山砂(粒径2 mm以上:20.7%, 0.075~2 mm:70.8%, 0.075 mm以下:8.5%)を使用した。

表-1 薬液の材料特性

薬液種類	-	通常	低硫酸
シリカ濃度(重量比)	%	6.1	7.2
硫酸含有率(重量比)	%	2.8	2.2

3. 試験方法

3.1 供試体作製 A, B液をそれぞれ作製し、攪拌機で攪拌しながら2液を混合した。モールド内に所定量の薬液を満たし、その上の高さ5 cmから含水比20%に調整した足利山砂を静かに投入した。通常、薬液注入工法の注入率(注入対象地盤体積に対する注入される薬液体積)は35%程度であるため、試験の注入率は40%とした。その後、7, 28日間密閉養生した。

3.2 溶出試験 液固比バッチ試験および解析パラメータ取得方法は前稿と同様である。液固比に応じた溶出濃度Cと液相存在量 M_L のグラフの傾きおよびy切片から、物質の吸脱着特性を表す分配係数 K_d および溶出ポテンシャルを表す関与総量 M_T を取得した⁵⁾。溶出操作後に、被検液の硫酸イオン濃度およびpHを測定した。

3.3 解析 解析手法も前稿と同様である。地盤中の物質移動について移流拡散現象を表現できる解析プログラム「HYDRUS-1D」を用いて、地下水が改良体に浸透し、溶出した硫酸イオンを含む浸透水がコンクリート構造物に接触する地点の濃度を評価した。モデルを図1に、条件を表2に示す。境界条件は、地下水流入側は流速一定、流出側は圧力水頭一定で濃度勾配は0とした。

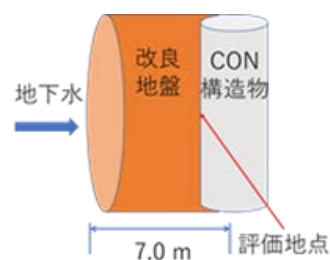


図-1 解析モデル

表-2 解析条件

条件	単位	ケース			
		1	2	3	4
薬液	-	通常		低硫酸	
養生	日	7	28	7	28
幅	m	7			
透水係数	cm/s	1×10^{-5}			
湿潤密度	g/cm ³	1.9			
動水勾配	-	1/100			

薬液注入 硫酸イオン 移流分散解析

〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 自然環境技術研究部 TEL042-495-1081

表-3 液固比バッチ試験の結果

薬液	養生時間	液固比 2				液固比 5			液固比 20			液固比 100			分配係数 K_d	関与総量 M_T
		硫酸イオン		硫酸イオン		硫酸イオン		硫酸イオン		硫酸イオン						
		pH	溶出濃度 C	液相存在量 M_L	pH	溶出濃度 C	液相存在量 M_L	pH	溶出濃度 C	液相存在量 M_L	pH	溶出濃度 C	液相存在量 M_L			
-	日	-	mg/L	mg/kg	-	mg/L	mg/kg	-	mg/L	mg/kg	-	mg/L	mg/kg	L/kg	mg/kg	
通常	7	4.5	4400	8800	4.7	1700	8500	5.0	430	8500	5.7	88	8760	0.11	9300	
	28	4.8	5800	11600	5.0	1900	9500	5.3	450	9000	5.9	100	10000	0.19	10300	
低硫酸	7	4.7	5300	10600	5.0	2200	11000	5.4	480	9600	5.8	91	9100	0.17	11100	
	28	5.2	2900	5800	5.3	1500	7500	5.7	330	6600	6.0	68	6800	0.10	6700	

4. 試験結果

4.1 溶出試験 表3に液固比バッチ試験の結果を示す。まず通常タイプについて、7, 28日養生の間で、溶出濃度に大きな違いはなかった。次に低硫酸タイプについて、通常タイプと比べて養生7日のケースでは同程度の濃度であったが、養生28日のケースでは、濃度が減少した。よって低硫酸タイプの硫酸イオン低減には、28日程度の期間を要することがわかった。

溶出濃度 C と液相存在量 M_L の関係をプロットしたグラフを図2に示す。分配係数 K_d および関与総量 M_T は表3中に記載している。 K_d はケースによらずほぼ一定値をとることから、改良体の吸脱着特性は、薬液種類や養生条件の影響を受けないことがわかった。一方で、低硫酸タイプの養生28日のケースについては、養生7日と比べて M_T が小さい。ここから、低硫酸タイプの硫酸イオン溶出低減の原因は、吸脱着に関わる硫酸イオンの総量が減少するためであると考察できる。

4.2 解析 移流分散解析の結果を図3に示す。それぞれのケースにおける硫酸イオン濃度の経時変化を示している。いずれのケースでも改良直後の初期硫酸イオン濃度は大きな値を示している。低硫酸タイプの養生28日のケース4であっても、初期濃度 15000 mg/L 以上である。この原因は、分配係数 K_d が小さいため、多くの硫酸イオンが改良地盤の固相に吸着されず、間隙水中に溶出するためと考えられる。

5. おわりに

薬液注入改良地盤から溶出する硫酸イオン濃度を、液固比バッチ試験および移流分散解析により評価し、コンクリート構造物への影響があるという可能性を把握した。今後は、硫酸イオン溶出量を低減したリスクの小さい薬液材料の開発を実施していきたい。

参考文献

- 1) 館野ら：薬液注入材に含まれる硫酸塩による歩床コンクリートの劣化調査，土木学会第66回年次学術講演会，pp. 521-522, 2011.
- 2) 日本グラウト協会：薬液注入固結土の原位置長期耐久性確認試験報告書，pp. 61-74, 2006.
- 3) 諸富ら：薬液注入改良砂からの硫酸イオン溶出挙動評価，第56回地盤工学研究発表会発表講演集，12-5-4-07, 2021.
- 4) 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.
- 5) 肴倉ら：「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.

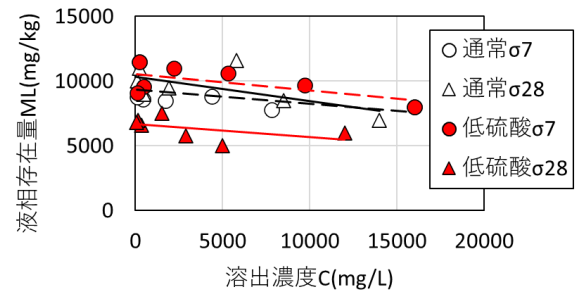
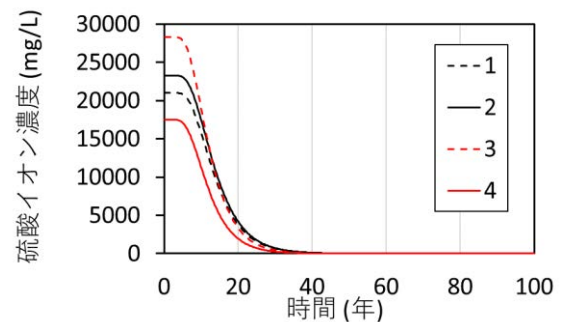
図-2 溶出濃度 C と液相存在量 M_L の関係

図-3 解析結果