イオン交換樹脂を混和したPCグラウトの開発

埼玉大学大学院　学生会員　○今村　光希
埼玉大学　フェロー会員　睦好　宏史
埼玉大学　正会員　欒　堯
中日本高速道路（株）　正会員　真田　修

1. はじめに

現在多くのPC橋が存在するが，PCグラウトの未充填により塩化物イオンがダクト内に侵入し，PC鋼材が腐食して橋の安全性が問題となる場合がある．すなわちPCグラウトの未充填部に外部から侵入した塩化物イオンが残留することで鋼材腐食促進環境となっている．既往の研究によると，イオン交換樹脂(以下IER : Ion Exchange Resin)には，塩化物イオンを吸着する効果があることが知られている．本研究の目的は,塩害に対して効果的な再注入用PCグラウトを開発することである.既往の研究ではゲル型IERを用いていたが，本研究ではMR型IERを用いた．MR型はゲル型よりも多孔質であり，溶媒中においてはイオン交換反応速度が速いことが明らかとなっているが,これを混和したPCグラウト中で同様の結果を得られるかどうかは全く明らかにされていない．そこで本研究では，MR型IERを混和させた時の塩化物吸着効果及び最適なPCグラウトの配合を明らかにした．

2. 試験概要

本研究では､塩化物吸着試験及びPCグラウトの性能照査を行った．塩化物吸着試験では，塩化ナトリウムを付着させた鋼材(φ=12.6mm，L=11cm)の周囲に,MR型及びゲル型IERをそれぞれ混和したPCグラウトを打設した円筒形の供試体(φ=3cm，L=11cm)を作製した．養生期間(1，7，28日間)終了後に供試体を粉砕し粉末状にして，遠心分離器によりPCグラウトから各IERを分離した。その後キャピラリー電気泳動法により各IERが吸着した塩化物量を分析した．さらにMR型IERを混和したPCグラウトに関しては，電位差滴定法によりPCグラウト中の全塩化物量を測定した．実験要因は表-1の通りである．

表-1　塩化物吸着試験の実験要因

W/C (%)	樹脂の種類	樹脂添加率 (%)	イオン交換容量 (kg/m^3)	塩化物付着量 (kg/m^3)
45	－	0	－	3.33
	MR	3	3.36	
		7	6.86	
	ゲル	3	4.21	

表-2　PCグラウトに要求される性能と判定基準

照査項目	試験方法	判定基準
圧縮強度	圧縮強度試験 (JSCE-G531-2012)	材齢7日以降28日までに30MPa以上
流動性	レオロジー試験 (JSCE-F531-2013)	流下時間が14秒以下(60分後)
分離性	ブリーディング率試験 (JSCE-F532-1999)	ブリーディング率が0.3%以下 (3，24時間後)

表-1中の塩化物付着量とは,PCグラウトを打設する前に鋼材に付着させた塩化物量のことである．

PCグラウトの性能照査は，圧縮強度，流動性，分離性の3項目とした．各項目における試験方法及び要求される基準については表-2の通りである．流動性に関しては明確な基準が存在しなかったため，施工性を考慮し，レオロジー試験において練混ぜてから60分後のPCグラウトの流下時間が14秒以下(低粘性型）となることを本研究における基準とした．また分離性に関しては，簡易なポリエチレン袋法を採用し，試験を多く実施することでより多くの配合を検証することを目的とした．使用セメントに関しては，市販されているプレミックスタイプの超低粘性型PCグラウトを使用した．使用配合に関しては,水セメント比は41，43，45，47，49%とし，各水セメント比について樹脂添加率を0，1，2，3，4，5，6，7%として計40種類とした．

キーワード　塩害，イオン交換樹脂，再注入用PCグラウト，塩化物吸着効果，性能照査
連絡先　〒338-8570　埼玉県さいたま市桜区下大久保255　埼玉大学大学院理工学研究科　TEL 048-858-3565

3. 試験結果

図−1 は，各 IER が吸着する塩化物量を各材齢ごとに示したものである．図-1 から，材齢に関わらず MR 型 IER の方が多くの塩化物量を吸着することが明らかとなった．したがって，MR 型 IER は，自由水が少ない PC グラウト中においてもイオン交換反応速度がゲル型 IER よりも速いことが明らかとなった．

図-2 は，MR 型 IER を混和した PC グラウトが吸着した塩化物量と樹脂添加率の関係を示したものである．図-2 から，樹脂添加率の増加に伴い塩化物の吸着量が増加する傾向があることが明らかとなった．これはゲル型 IER を使用した既往の研究と同様の結果であり，ゲル型 IER の代わりに MR 型 IER を使用しても同様の塩化物吸着効果が得られることが明らかとなった．

PC グラウトの性能試験においては，IER を PC グラウトに混和させることで各性能にさまざまな影響を及ぼすことが明らかとなった．圧縮強度は樹脂添加率の増加に伴い低下する傾向が見られた．これは IER の強度がセメントの強度と比較して小さいためだと考えられる．また脂添加率の増加に伴い，流動性は悪化する傾向が見られる一方，分離性は良くなる傾向が見られた．これらは IER の持つ吸水効果のためであると考えられる．各要求性能を満足する配合を図示したものが図-3 である．図-3 から，水セメント比が 45%時に最も適用範囲が大きくなることが明らかとなった．

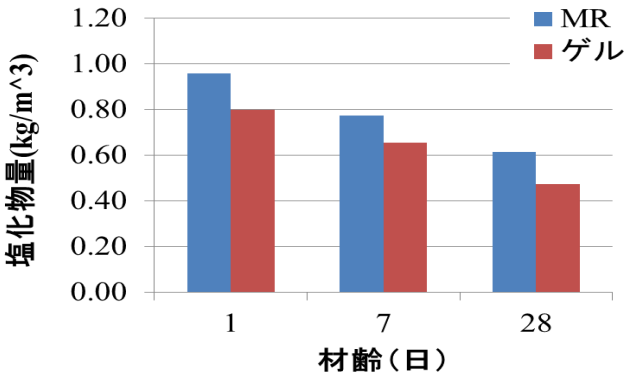

図-1 各 IER が吸着した塩化物量(樹脂添加率 3%)

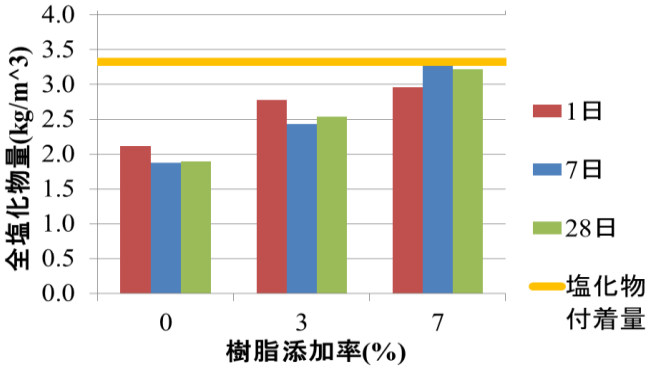

図-2 MR 型 IER を混和した PC グラウト中の全塩化物量

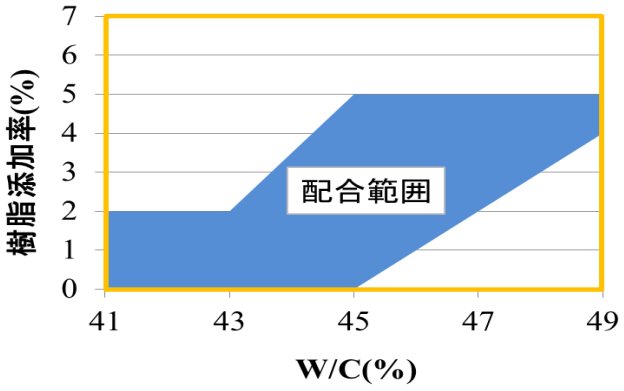

図-3 性能照査により得られた使用可能配合

4. 結論

ゲル型 IER と同様に，MR 型 IER を PC グラウトに混和させることで，塩化物の PC グラウトの塩化物吸着量を増加させることができ，さらに樹脂添加率の増加に伴いその量も増加することが明らかとなった．さらに，ゲル型 IER の代わりに MR 型 IER を使用することでより多くの塩化物を吸着することができ，塩害に対してより効果的な PC グラウトの開発の可能性が示唆された．

また MR 型 IER 混和の PC グラウトの実用化を考慮した場合，水セメント比を 45%とすることでその適用範囲が最も大きくなり，コンクリート内部の状況に応じて樹脂添加率を変化させることが可能であることが明らかとなった．

謝辞

太平洋マテリアルから PC グラウト材料を提供して頂いた．本研究は科学技術振興機構 A-STEP と中日本高速道路株式会社との共同研究で行ったものである．ここに記して感謝の意を表する．