

再生粗骨材中に含まれる塩化物イオンの移動に関する検討

(独) 北海道開発土木研究所 正会員 ○富田 豪紀 正会員 佐々木 慎一
正会員 田口 史雄 正会員 嶋田 久俊

1. はじめに

再生骨材を鉄筋コンクリート部材として用いる研究¹⁾はいくつか報告されているが、塩化物イオンを含んだ再生骨材を使用した場合の、新規セメントペーストへの再拡散については未だ十分検討されていない。そこで本研究では、塩害により劣化し、撤去されたコンクリート桁から再生粗骨材を製造し、その骨材を使用したコンクリート中の塩化物イオンが、周囲のセメントペーストへどのように移動するかの検証を行った。

2. 実験概要

再生粗骨材は塩害を受けたコンクリートを原料とし、ジョークラッシャーによる方法（以下、通常処理）と、ジョークラッシャー→アトリッションミル（磨鉱装置）→ジグ（比重選別）による方法（以下、高度処理）の2種類で製造した。使用した骨材の物理試験結果を表-1に示す。製造したコンクリート供試体は表-2に示すように、1:通常処理を使用したコンクリート供試体（以下、再生(通常)）、2:高度処理を使用したコンクリート供試体（以下、再生(高度)）、3:通常処理と普通粗骨材を1:1に混合したコンクリート供試体（以下、混合(通常+普通)）の3種類である。養生方法は標準養生で、材齢28日まで行った。

表-1 骨材の物理試験結果

骨材の種類		最大粒径	粗粒率	微粒分量 (%)	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	安定性損失率 (%)
普通	細骨材	20mm	3.32	0.3	2.70	2.68	0.89	1.91	71.3	4.1
	粗骨材		6.66	1.0	2.67	2.62	1.91	1.54	58.7	3.2
再生	粗骨材(通常処理)		6.73	0.6	2.43	2.27	7.03	1.26	55.6	58.9
	粗骨材(高度処理)		6.64	0.1	2.61	2.53	3.22	1.55	61.0	19.2
混合	粗骨材(通 50%、普 50%)		6.64	0.6	2.57	2.48	3.59	1.43	57.7	20.5

表-2 コンクリート供試体の配合

配合名	セメント	塩分量 (kg/m ³)	w/c (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (cc/m ³)	空気量調整剤 (cc/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)
					W	C	S	G				
再生(通常)	普通ポルト	3.4	50	44	147	294	843	966	735	1.47	6.9	5.1
再生(高度)		1.2			140	280	856	1054	560	3.50	9.0	5.1
混合(通常+普通)		1.7			145	290	847	1023	725	3.63	7.5	5.3

試験装置は、「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法(案)(JSCE-G571-2003)」²⁾で使用されているものを用いた。実験は、再生粗骨材中に含まれる塩化物イオンのコンクリート中での移動を確認するため、通電による電気泳動法（非定常）を実施した。ただし、印加条件は10Vとし、陰極側・陽極側ともに水酸化カルシウム飽和溶液を配し、外部から塩化物イオンを供給しない方法で行った。再生粗骨材中に含まれる塩化物イオンの移動状況・移動過程の確認は、通電途中の各段階（6、15、30時間）で、等倍元素マッピング、電子顕微鏡観察、拡大元素マッピング、EPMA分析により行った。

3. 結果および考察

非定常法試験終了後の等倍元素マッピングの結果を写真-1に示す。電気を駆動力とした場合、短時間(10V、30時間)で塩化物イオンが再生粗骨材の周囲から数mm程度、陽極側に移動、拡散することが判明した。また、再生(通常)、再生(高度)の再生骨材を形成している一部の原骨材（安山岩）の内部に、塩化物イオンが含有していると

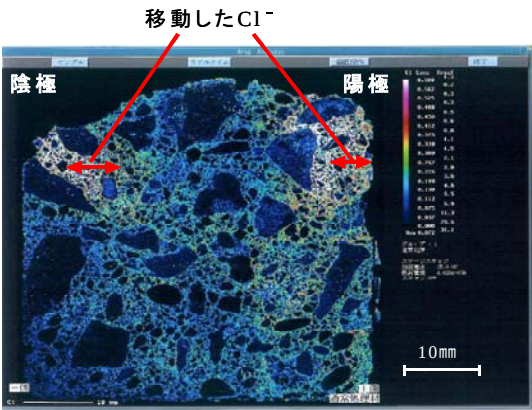
キーワード：再生粗骨材、塩化物イオン、拡散係数、電気泳動

連絡先：北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL.011-841-1719 FAX.011-837-8165

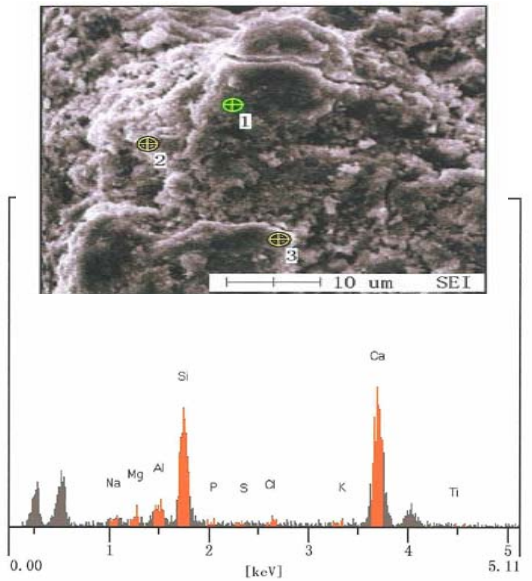
思われるものが確認できた。これにより、使用する再生粗骨材中の原骨材が、安山岩のような吸水率の高い岩種である場合、塩化物イオンは付着モルタルのみならず、原骨材からも供給され、移動してくる可能性があると考えられる。

再生骨材の界面から新規セメントペーストに向かって数mmの範囲を電子顕微鏡によって観察したところ、いずれの深度においても、セメント水和物は CSH ゲルを主体とするものであり、新たにフリーデル氏塩が生成した形跡はなかった。また、同箇所における拡大元素マッピングより、新規セメントペースト部に塩化物イオンの濃縮が確認された。以上のことから、塩化物イオンは CSH ゲルに吸着していることが判明し、かつ、再生骨材から新規セメントペーストへ通電によって移動した塩化物イオンの移動性状は、可溶性であると考えられる結果となった。

EPMA 分析の結果の一例を写真－2に示す。これにより、移動した塩化物イオンの距離と濃度を求めた。更に、通電によって塩化物イオンの移動状況が、時間に正比例すると仮定した場合の 30 時間後における到着距離をもとに、塩化物イオンの拡散係数を求めると、表－3に示すように、再生(通常) ($7.01 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$) > 混合(通常+普通) ($5.84 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$) > 再生(高度) ($2.34 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$) となり、塩化物イオン含有量の多い供試体ほど、拡散係数も大きくなるという結果となった。ここで求めた拡散係数は、電気を駆動力とした場合の拡散係数であり、見かけの拡散係数ではない。ただし、オーダー的には水セメント比 50%の供試体に対し、ある程度同等の結果であることが確認できた。これに加え、再生骨材を製造する前のコンクリート中における塩化物イオンの状態がほとんど可溶性であったという結果から、電気を駆動力とした場合とそうでない場合との塩化物イオンの移動性状は、どちらも可溶性の状態であつ CSH ゲルに吸着するものであると推測できる結果となった。



写真－1 等倍元素マッピング
再生(通常) 通電 30 時間後



写真－2 EPMA 分析
再生(通常)、通電 30 時間後
再生骨材界面から 3.2mm
新規セメントペースト中の CSH ゲル

表－3 再生骨材より移動してきた塩化物イオンの濃度および拡散係数

	再生骨材からの距離(通電30時間後)						拡散係数* ×10 ⁻⁸ cm ² /s
	0～1mm	1～2mm	2～3mm	3～4mm	4～5mm	5～6mm	
再生(通常)	2.3～1.6%			1.8～1.2%		1.2～0.4%	7.01
混合(通常+普通)	2.2～1.7%		0.7～0.6%	0.9～0.5%			5.84
再生(高度)	2.7～0.9%	1.3～0.8%	0.6～0.2%				2.34

* 塩化物イオンは時間に正比例して移動するとみなす

4. おわりに

今後は、再生骨材コンクリート中の鉄筋の腐食促進試験の結果を加えて、内在塩分の時間的・空間的な移動状況、鋼材の発生開始時期についてシミュレーション予測を行う。また、解体前のコンクリート中における塩分の状態を迅速に推定する手法についても明確にしていく必要があると考えている。

【参考文献】

- 1) 例えば 宮澤伸吾ほか、再生粗骨材を用いた鉄筋コンクリート部材の曲げ疲労特性、第 5 4 回年次学術講演会講演概要集、1999.9
- 2) 土木学会、コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向、コンクリート技術シリーズ、2003.9