

# 再生粗骨材中の塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響と鉄筋腐食の抑制対策に関する検討

(独)土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 正会員 ○下谷 裕司 正会員 吉田 行  
正会員 田口 史雄

## 1. 目的

積雪寒冷地のコンクリート構造物は、沿岸部では飛来塩分の影響を、内陸部では塩化物系凍結防止剤の散布の影響を受けており、このような構造物を取り壊して製造される再生骨材を利用するためには、再生骨材に残存した塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響を明らかにする必要がある。本研究では、塩化物イオンを含む再生粗骨材を使用した鉄筋コンクリート供試体について鉄筋の促進腐食試験を実施し、再生粗骨材の塩化物イオン濃度の違いが鉄筋腐食に及ぼす影響を検討した。また、一般的なコンクリートにおいて、外来塩分の浸透抑制効果が確認されている<sup>1)</sup>高炉セメントB種を再生粗骨材コンクリートに適用した場合の鉄筋腐食の抑制効果を検討した。

## 2. 試験概要

### 2.1 供試体の作製

再生粗骨材は、塩化ナトリウムの混入量を変えて作製した2種類のコンクリートブロックについて、乾式の破碎・摩砕処理をして製造した。表-1に本試験で使用した再生粗骨材の物理的品質と JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」<sup>2)</sup>(以下、「JCI-SC4法」と記す)に準じて求めた全塩化物イオン濃度を示す。再生粗骨材の品質は、JIS A 5022 付属書 1「コンクリート用再生骨材M」の品質相当であった。

表-2に再生粗骨材を用いたコンクリートの配合および JCI-SC4法により求めた塩化物イオン量を示す。セメントには普通ポルトランドセメント(以下、「普通ポルト」と略記する)に加え、鉄筋腐食抑制対策として塩化物イオン拡散抵抗性<sup>1)</sup>に優れる高炉セメントB種(以下「高炉B種」と略記する)を使用した。いずれのセメントを使用したケースについても、粗骨材には製造した再生粗骨材 R1・R2 を、細骨材には苫小牧樽前産の海砂を使用し、水セメント比は50%、目標スランブ  $8 \pm 2.5\text{cm}$  とした。

図-1に供試体の寸法を示す。供試体形状は  $100 \times 250\text{mm}$  の角柱形とし、 $\phi 1.3\text{cm}$  の丸鋼を2本埋設した。なお、各鉄筋の最小かぶり<sup>3)</sup>は20mmとし、ブリーディングの影響を考慮し、鉄筋を打設面に対し水平に配置した。養生は材齢7日まで封緘養生を行った。供試体数量は、普通ポルトを使用したシリーズは各配合7個、高炉B種を使用したシリーズは各配合6個とした。

### 2.2 試験方法

作製した供試体について、JCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験—乾湿繰り返し法—」<sup>2)</sup>に準拠し、湿潤期間(温度  $70^\circ\text{C}$ 、相対湿度 99%)3日間、乾燥期間(温度  $12^\circ\text{C}$ 、相対湿度 55%)4日間を1サイクルとした乾湿繰り返しによる鉄筋の促進腐食試験を実施し、所定のサイクルに達した時点で供試体を長手方向に割裂し、鉄筋腐食の有無を確認した。なお、腐食が生じた鉄筋については、その腐食程度を明らかにするため、腐食面積率測定を実施した。

また、再生粗骨材中の塩化物イオンの移動状況を確認するため、促進サイクル20サイクルで割裂した供試体のうち、塩化物イオン濃度の高い再生粗骨材 R2 を使用した供試体について、鉄筋下面(底面側)の界面を含むよう40

表-1 再生粗骨材の品質

粗骨材	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	全塩化物イオン濃度 (%)
R1	2.52	3.22	0.017
R2	2.44	4.54	0.042

表-2 コンクリートの配合および塩化物イオン量

配合名	使用セメント	水セメント比 W/C (%)	単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )				塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )
			水 W	セメント C	細骨材 S	再生粗骨材 G	
N-R1	普通ポルト	50	150	300	847	R1: 1094	0.21
N-R2						R2: 1068	
BB-R1	高炉B種	50	150	300	869	R1: 1069	0.23
BB-R2						R2: 1045	

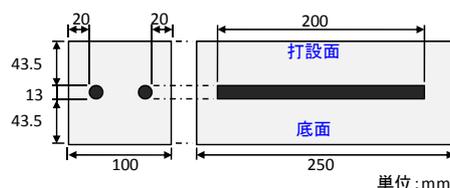


図-1 供試体の寸法

キーワード 再生粗骨材、塩化物イオン濃度、鉄筋腐食

連絡先 〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸一条三丁目1番34号 TEL 011-841-1719 FAX 011-837-8165

×40mm の分析面を作製し、EPMA（電子線マイクロアナライザー）により塩化物イオンの分布を分析した。

### 3. 試験結果

#### 3. 1 腐食面積率測定

図-2 に腐食面積率の測定結果を示す。いずれのセメントを使用したケースについても、コンクリートの塩化物イオン量が多いほど、鉄筋腐食面積率が増加しており、再生粗骨材の塩化物イオン濃度が高いほど、鉄筋腐食に及ぼす影響が大きいことが分かる。また、腐食を生じた鉄筋の腐食面は全て下面（型枠面側）であった。これは、コンクリート打設時に、骨材・セメント等の固形材料の沈下に伴って遊離水が上昇するブリーディングの影響により、鉄筋下面に遊離水が滞留し、この部分のコンクリート組織が粗になったことが影響しているものと考えられる<sup>3)</sup>。また、セメント種類別の腐食面積率を比較すると、塩化物イオン量が同程度の供試体であっても、高炉セメントB種を使用した供試体の方が腐食面積率が低かった。高炉セメントB種を使用した場合、一般的に塩化物イオン拡散抵抗性が向上することから<sup>1)</sup>、これによって再生粗骨材中の塩化物イオンの拡散移動が抑制され、鉄筋腐食が抑制出来たものと推測される。

#### 3. 2 塩化物イオンの分布

図-3 に EPMA により分析した塩化物イオンの分布を示す。なお、図中の枠は、再生粗骨材製造時に骨材表面に残存した旧モルタル分（以下、「付着モルタル分」と記す）に該当する部分である。既往の研究<sup>3)</sup>により、再生粗骨材中の塩化物イオンはこの付着モルタル分に含まれていることが明らかとなっているが、普通ポルトを使用した供試体においては、再生粗骨材の付着モルタル分と新規モルタル分の広範囲に均等に塩化物イオンが分布していた。この結果より、普通ポルトを使用した供試体においては、付着モルタル分に含まれる塩化物イオンの拡散移動が進行したものと考えられる。一方、高炉B種を使用した供試体の分析結果を見ると、塩化物イオンは主に再生粗骨材の付着モルタル分に集中しており、新規モルタル中にはほとんど塩化物イオンが分布していなかった。これは、付着モルタル分に含まれる塩化物イオンがほとんど拡散移動していないことを示しており、この結果より、セメントに水密性に優れる高炉B種を使用することで、再生粗骨材中の塩化物イオンの拡散が抑制され、鉄筋腐食が抑制できるものと考えられる。

#### 4. まとめ

本試験により、使用する再生粗骨材の塩化物イオン濃度の高いほど、鉄筋腐食に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。また、一般のコンクリートにおいて塩化物イオン拡散抵抗性が確認されている高炉セメントB種を使用することで、再生粗骨材中の塩化物イオンの拡散を抑制し、鉄筋腐食を抑制出来ることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 小林和一、岡林茂生：各種セメントの塩化物抵抗性に関する研究、セメント技術年報 No.29、pp.66～70、1975
- 2) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案)、pp.9～37、1991
- 3) 下谷裕司、吉田行、田口史雄：再生粗骨材の塩分濃度が異なる場合のコンクリート中の鉄筋腐食と腐食抑制対策に関する検討、第53回（平成21年度）北海道開発局技術研究発表会、2010

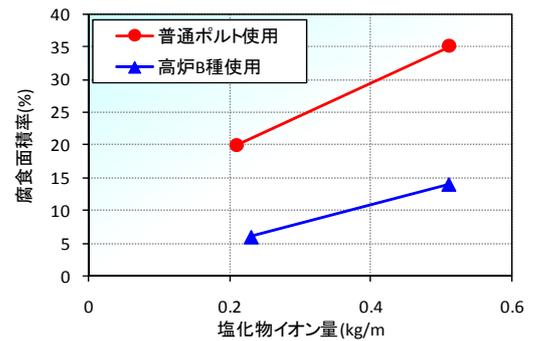


図-2 腐食面積率測定結果

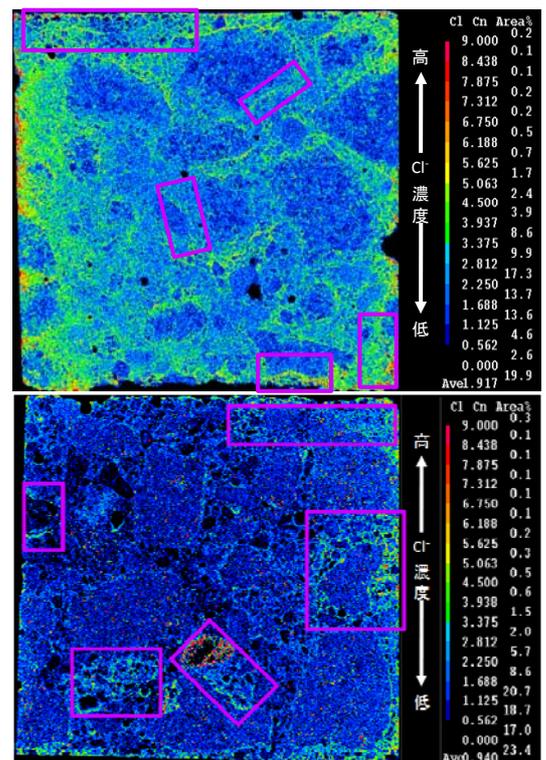


図-3 塩化物イオンの分布  
上：普通ポルト使用、下：高炉B種使用