

塩化物イオンを含む再生骨材の鉄筋コンクリートへの適用に関する検討

(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. はじめに

北海道地区のコンクリート構造物は、冬期に散布される塩化物系凍結防止剤の影響により、沿岸部だけでなく、内陸部に設置されている場合でも塩化物イオンを含有しているケースが見られる。このため、製造される再生骨材にも塩化物イオンが残存している恐れがあることから、再生骨材に含まれる塩化物イオンがコンクリート中の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、再生骨材中の塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および供試体の配合

今回使用した再生骨材の原料は厳しい塩害環境下にある北海道日本海側で約 30 年間供用された橋梁のコンクリート桁である。再生骨材は桁をジョークラッシャーで破砕する方法(通常処理)で製造した再生骨材(以下再生(通常))と、破砕に加え摩擦・比重選別を行う方法(高度処理)で製造した再生骨材(以下再生(高度))の 2 種類を製造した。

試験に使用した骨材の品質を表-1 に示す。細骨材には苫小牧樽前産の海砂を、粗骨材には製造した再生(通常)、再生(高度)を使用した。なお、製造した再生骨材はいずれも可溶性塩化物イオンの比率が 8 割以上を占めていた。

供試体の配合及び使用材料の塩化物イオン含有率より計算した供試体中の塩化物イオン量を表-2 に示す。配合は再生(通常)を使用した供試体(以下 R1-50)と再生(高度)を使用した供試体(以下 R2-50)の 2 配合とした。セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は 50%、目標スランプは 8 ± 2.5 cm、目標空気量は $4.5 \pm 1\%$ とした。

2.2 試験方法および試験項目

促進腐食試験用供試体の概要図を図-1 に示す。寸法は $100\text{mm} \times 250\text{mm}$ の角柱型とし、供試体中にはリード線を接合した $\phi 13\text{mm} \times 200\text{mm}$ の鉄筋を 2 本配置した。鉄筋の最小かぶりは側面から 20mm とし、打設面方向のかぶりは最小かぶりの 2 倍程度とした。養生は 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-」¹⁾ に準拠し、材齢 7 日まで封緘養生を行った。

促進腐食試験は JCI-SC3¹⁾ に準拠して実施した。乾燥期間(温度 12°C 、相対湿度 55%)は 4 日間、湿潤期間は 3 日間(温度 70°C 、相対湿度 99%)を 1 サイクルとし、それぞれの環境に供試体を移動した。また、併せて JSCE-E

表-1 使用骨材の品質

| 使用骨材 | 粗骨材 最大寸法 mm | 表乾 密度 g/cm ³ | 絶乾 密度 g/cm ³ | 吸水 率 % | 骨材重量に占める 全塩化物イオン 含有率 % | 骨材重量に占める 可溶性塩化物イオン 含有率 % |
|------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|
| 細骨材 | 海砂 | — | 2.70 | 2.68 | 0.89 | 0.0004 |
| 粗骨材 | 再生(通常) | 15 | 2.42 | 2.24 | 7.84 | 0.148 |
| | 再生(高度) | — | 2.60 | 2.52 | 3.34 | 0.051 |

表-2 供試体の配合

| 供試体 記号 | セメント | 水セメント比 W/C % | 細骨材率 s/a % | 使用骨材 | 単位量 (kg/m ³) | | | | スランプ cm | 空気量 % | 供試体中の 塩化物イオン量 kg/m ³ ** |
|-----------|------|--------------------|------------------|--------|--------------------------|-----|-----|-----|------------|----------|------------------------------------------|
| | | | | | W | C | S | G | | | |
| R1-50 | 普通 | 50 | 47 | 再生(通常) | 152 | 304 | 891 | 900 | 7.7 | 5.5 | 1.38 |
| R2-50 | ポルト | — | — | 再生(高度) | 141 | 282 | 914 | 992 | 9.5 | 5.8 | 0.55 |

**使用材料の塩化物イオン含有率より計算した値

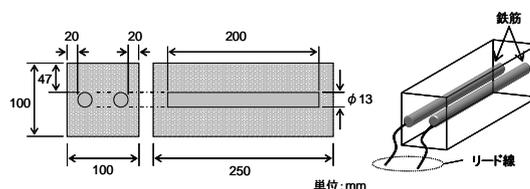


図-1 促進腐食試験用供試体概要図

キーワード：再生粗骨材、塩化物イオン、促進腐食試験、鉄筋腐食

連絡先：北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 3 4 号 TEL.011-841-1719 FAX.011-837-8165

601-2000「コンクリート構造物における自然電位測定方法」²⁾に準拠して鉄筋の自然電位を測定し、鉄筋腐食の開始時期の目安とした。試験法で基準とされている20サイクル時点では、腐食を示す自然電位の低下が一部供試体にしか見られなかったため、最も自然電位の低い各配合1供試体を割裂し、鉄筋腐食を確認した。残りの各配合2供試体については引き続き自然電位の測定を行ったが、自然電位の値に変化が見られないまま基準サイクルの3倍程度に達したため、64サイクルで促進を終了し、鉄筋腐食を確認した。

促進腐食試験終了後、腐食鉄筋についてその進行程度を確認するため、腐食面積率測定(腐食部分の表面積/鉄筋全体の表面積)を実施した。また、腐食鉄筋を含んでいた一部の供試体について塩化物イオンの分布を明らかにするためEPMA(電子線マイクロアナライザー)による元素マッピングを実施した。

3. 試験結果

鉄筋の腐食面積率測定の結果を図-2に示す。この結果、塩化物イオン含有率の高い再生(通常)を用いたR1-50では腐食面積率にバラツキがあるものの、全供試体中の鉄筋に腐食が見られた。一方R2-50では1供試体中の鉄筋にしか腐食が見られなかった。また、いずれの供試体においても腐食面は鉄筋下面であった。これはブリーディング等によって鉄筋下面に脆弱部が生じ、塩化物イオンに加え水・酸素等の腐食因子が供給されやすかったためと考えられる。

次に、20サイクル時点で鉄筋が腐食したR1-50-1供試体と64サイクル時点で鉄筋が腐食したR2-50-2供試体を対象とし、腐食鉄筋を含んでいた断面についてEPMA元素マッピングを実施した結果を図-3に示す。いずれの供試体においても分析面全体の総塩化物イオン量は、表-2に示した計算上の塩化物イオン量とほぼ一致していた。また、両者の結果を比較するとR1-50-1供試体の方が全体的な塩化物イオン含有率が高く、R1-50で全供試体中の鉄筋に腐食が見られたことと併せて考えると、再生骨材中に含まれる塩化物イオンが腐食の主要因となっている可能性が高い。

また、塩化物イオンの分布を見ると、R1-50-1供試体では骨材を除く分析面全体に塩化物イオンが分布している。本試験で用いた再生骨材は可溶性塩化物イオンの比率が高いことから、再生骨材中の塩化物イオンが周囲の新規モルタル分に移動したものと推測される。一方R2-50-2供試体では、比較的長いサイクルまで促進を行ったにも関わらず、左下に塩化物イオンが集中している。この分布の差の原因については今後詳細に検討を行う必要がある。

4. まとめ

本研究により塩化物イオンを含む再生粗骨材を鉄筋コンクリートに使用した場合、鉄筋腐食が生じる可能性があることが明らかとなった。これは、再生骨材中の塩化物イオンが周囲の新規モルタル分に移動し、腐食に影響したことが原因だと考えられる。今後は再生骨材に含まれる発錆限界塩分量を特定する必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人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)、p.9-12、1991
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔基準編〕土木学会基準および関連基準、p.175-176、2005

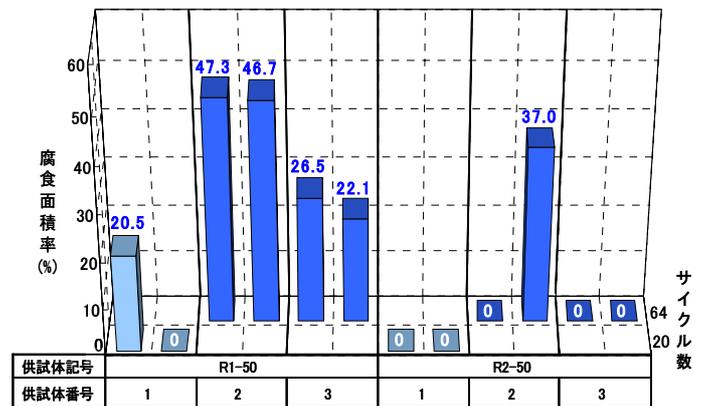


図-2 腐食面積率測定

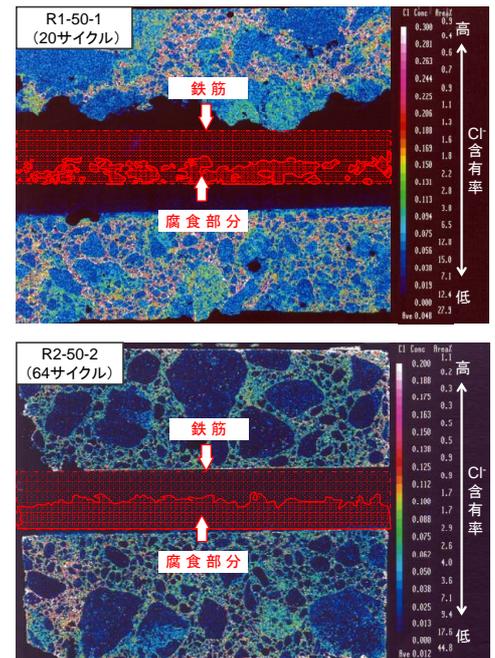


図-3 EPMA 元素マッピング結果

上：R1-50-1 供試体 (20 サイクル)
下：R2-50-2 供試体 (64 サイクル)