

蛍光 X 線装置を用いた海洋コンクリート製再生骨材中の塩化物含有率測定に関する基礎的研究

東亜建設工業（株）正会員 ○田中 秀周

東亜建設工業（株）正会員 網野 貴彦

東亜建設工業（株）正会員 羽瀧 貴士

1. はじめに

近年、コンクリート用再生骨材の JIS 規格の制定、砕石および砕砂に含まれる微粒分量の規制値緩和など、建設副産物として発生するコンクリート塊の再利用、天然骨材の枯渇化に向けた対応が具体化してきている。しかし、これらの規格では、骨材中の塩化物含有率に対する上限値が設けられており（NaCl 換算で 0.04%以下）、塩化物を含む骨材の使用は認められていない。その一方で、港湾施設の補修・改修工事が増加することを考えると、塩化物を含むコンクリート塊をコンクリート用再生骨材として有効利用する技術も今後必要になるものと思われる。

本稿では、海洋コンクリート塊から製造した再生骨材（以下、海洋コンクリート製再生骨材と称する）の再利用技術の一環として、再生細骨材中の塩化物含有率測定法について検討した結果を示す。なお本研究では、骨材の塩化物含有率を迅速、簡易かつ適切に測定することを念頭において、1 試料の分析時間が約 2 分と短いエネルギー分散型蛍光 X 線装置¹⁾（以下、X 線装置と称する）を使用した。これは、製造した海洋コンクリート製再生骨材を一時保管せず、連続的に再生骨材の製造から再生骨材コンクリートの出荷まで行うことを想定してのことである。本研究では、物性の異なる数種の骨材に対して X 線強度と塩化物含有率の関係式を作成し、骨材中の塩化物含有率推定に対する本装置の適用性を検討した。

2. 実験概要

筆者らは、海洋コンクリート製再生骨材に含まれる塩化物のほとんどが細骨材中に存在していることを確認している²⁾。そこで本研究では、海洋コンクリート製再生骨材の塩化物量管理においては細骨材に対する検討が最重要と捉え、普通骨材の山砂と砕砂、再生細骨材 L、海中に約 80 年存置されたコンクリート塊から製造した海洋コンクリート製再生細骨材の計 4 種類を実験に供した。各骨材の諸物性値を表-1 に示す。また、検量線の作成にあたり、塩化物含有率をほとんど含有しない骨材 A, B, C に対しては、原砂の状態から骨材中の塩化物含有率が 0, 0.04, 0.1, 0.4%程度増加するように NaCl 水溶液を噴霧し 4 水準の試料を用意した。骨材 D は原砂の状態で既に塩化物を含んでいるため、そのままの状態で行った。なお、X 線強度の分析に際してはドリル粉のような微粉を通常使用するが、本検討では試料作成の簡便性を考慮し、粉碎やふるい分け等の粒度調整は行っていない。また、測定される X 線強度に骨材の含水状態が影響しないように、全ての試料を 105℃の乾燥炉にて絶乾状態にした。塩化物含有率は、JIS A 5002 構造用軽量コンクリート骨材 5.試験方法 5.5 塩化物に準拠して測定した（常温の蒸留水への 24 時間浸漬により、骨材から溶出した塩化物）。

3. 実験結果

図-1 に、同一試料から 9 サンプル採取したときの各 X 線強度の測定値をプロットした結果の例を示す。なお、骨材 A, B, C は塩化物含有率を 0.4%増加させた試料、骨材 D は原砂の試料に対する結果を示している。これによれば、X 線強度は平均値に対して 2σ の範囲に分布し、その変動係数は全ての骨材において概ね 4~8.5%であった。これにより、本手法において

表-1 検討に用いた骨材の諸物性値

項目	普通骨材		再生細骨材 L	海洋コンクリート製再生細骨材
	山砂	砕砂		
	A	B	C	D
表乾密度(g/cm ³)	2.61	2.65	2.32	2.35
絶乾密度(g/cm ³)	2.57	2.62	2.09	2.13
吸水率(%)	1.53	1.07	11.23	10.16
微粒分量(%)	0.90	5.50	4.21	6.30
塩化物含有率(%)	0.002	0.001	0.001	0.113

キーワード 海洋コンクリート、再生骨材、塩化物含有率、蛍光 X 線

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1 丁目 3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL 045-503-3741

は粉碎等の粒度調整を行わずに X 線強度を測定しても、そのばらつきは大きくないことが確認できた。

図-2 に、各骨材の X 線強度と塩化物含有率の関係を示す。なお、図中に示すプロット 1 点は、各試料の 9 サンプルの平均値である。これによると、骨材 A, B, C においては、X 線強度と塩化物含有率の関係は直線として近似できた。しかし、その勾配は骨材種類により異なることがわかった。また、骨材 D においてはばらつきが大きいようであった。この理由は明確ではないが、JIS A 5002 に準じた塩化物含有率は再生骨材中に浸透または吸着した塩化物までは抽出しきれていないことが考えられたため、全ての試料を 0.15mm 以下に粉碎し、粉末中の塩化物を硝酸水溶液中に溶出させることで全塩化物含有率を測定した。図-3 にその結果を示すが、全塩化物含有率との関係では、骨材種類によらず、直線で近似できるようであった。このことから、X 線装置の利用により、骨材種類に影響されない一つの式で、骨材中の全塩化物含有率を推定できる可能性が見出された。

図-4 に、JIS A 5002 による塩化物含有率と全塩化物含有率の関係を整理した。これによれば、骨材 A～C と骨材 D では両者の関係が異なっていた。これは、海洋コンクリート製再生骨材の付着モルタル分に吸着または固定化した塩化物は容易には溶け出さないという特徴が現れた結果と考えられる。当初は本手法によりコンクリート中で鋼材腐食に直接関与すると考えられる可溶性の塩分量を合理的に管理できないかと考えたが、図-2～4 において海洋コンクリート製再生骨材の測定結果が異なる傾向を示したことから、さらなる検討が必要であると思われる。

5. まとめ

本稿では、X 線強度と骨材中の全塩化物含有率の関係式を、骨材種類に影響されない一つの直線式として表現できる可能性を見出した。今後、本実験に用いた以外の海洋コンクリート製再生骨材に対しても本式の適用可能性を検討する予定である。さらに、X 線装置にて分析する際の試料の製造方法、骨材の含水状態やサンプリング方法の確立なども検討していきたい。

謝辞

実験にご協力頂いたアワーズテック株式会社の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 金田ら：塩化物測定用ポータブル型蛍光 X 線装置の開発，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, pp.1095-1100, 2007
- 2) 宮坂尚樹ら：海洋構造物の撤去コンクリート塊から製造した再生骨材の品質に関する検討，土木学会，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，V-395, pp.789-790, 2005

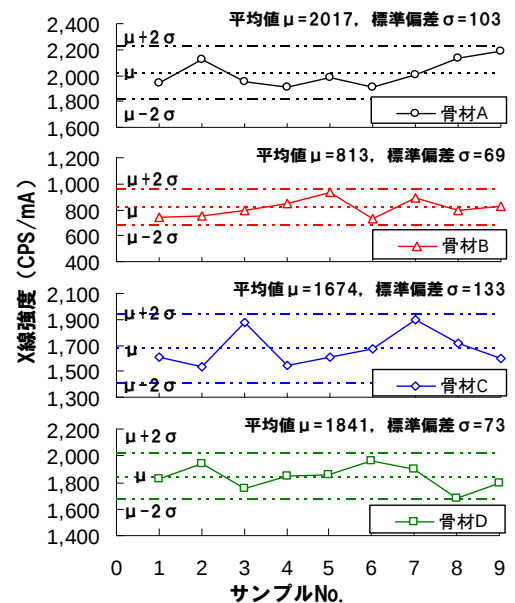


図-1 サンプル毎の X 線強度の測定値

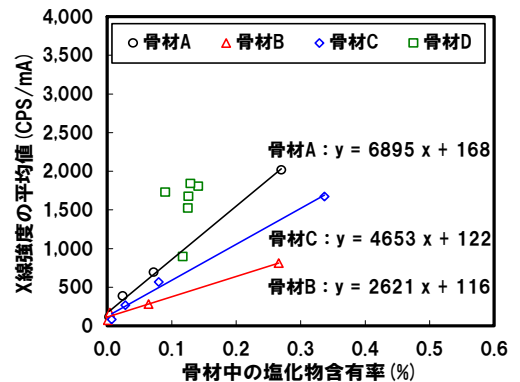


図-2 X 線強度と塩化物含有率の関係

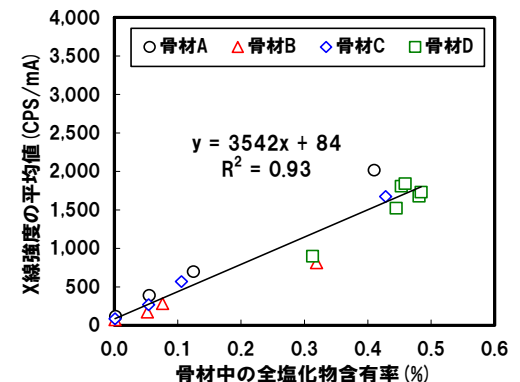


図-3 X 線強度と全塩化物含有率の関係

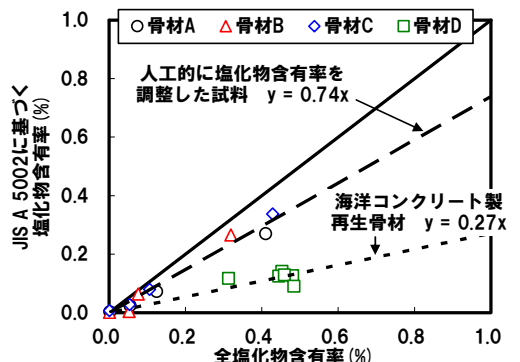


図-4 JIS A 5002 に基づく塩化物含有率と全塩化物含有率の関係