

EPMA 法による塩化物イオン量の定量と SEM による表層部の観察

太平洋セメント(株)	正会員	○原	健悟
太平洋セメント(株)	正会員	小川	彰一
(株)太平洋コンサルタント	正会員	小川	洋二
独立行政法人土木研究所	正会員	森濱	和正

1. 目的

構造物の耐久性を考える上で、構造物表面のコンクリート品質が重要となってくる¹⁾。本検討では、日向灘沿岸で30年以上経たA橋の橋脚および津軽海峡沿岸で70年近く経たB橋の橋脚のそれぞれ海側から採取した標準コア(φ100mm程度)を用い、EPMA法による塩化物イオン(Cl)浸透深さの測定とSEMによる表層部の組成観察を行った。

Cl濃度の定量には、標準コアをスライス法により測定し、推定した見掛けの拡散係数から寿命予測を行なう手法(JSCE-G573-2003, JSCE-G572-2003)がある。しかしながら、構造物に与える損傷が大きく、また、骨材の偏在が大きく影響する。EPMA法では骨材を識別し、ペースト中のCl濃度を定量する手法が提案されており²⁾、採取した標準コアを用いて、スライス法およびEPMA法によりCl濃度を定量した。さらにEPMA法では小径コア(φ25mm程度)を用い、EPMA法および小径コアの適用性を検証した。

2. 試験概要

2.1 試料概要

採取した標準コアから図-1に示すようにEPMA法の平板および小径コア3本を切り出し、残りの試料をスライス法の試料とした。

2.2 塩化物イオン量の定量

①EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析

分析方法は、JSCE-G574-2005に従い、Cl濃度は、コンクリート中および骨材を除去したペースト中の濃度を算出した。識別した条件は、 $5\% < \text{SiO}_2 < 30\%$ or $0.2\% < \text{SO}_3$ or $7.5\% < \text{CaO}$ を骨材、 $\text{SiO}_2 < 0\%$ or $\text{CaO} < 0\%$ を空隙とし、残りをペーストとした。

②スライス法

スライスした試料のCl量の測定は、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じ、Cl電極を用いた電位差滴定法により定量した。

2.3 電界放射形走査電子顕微鏡による組成観察

面分析に使用した試料の表面および表面から80mmの位置を観察試料とした。組成像の観察は、電界放射形走査電子顕微鏡(SEM)を使用し、未反応のセメント粒子は、付属のエネルギー分散型X線分析装置(EDS)により元素分布を測定し鉱物を特定した。

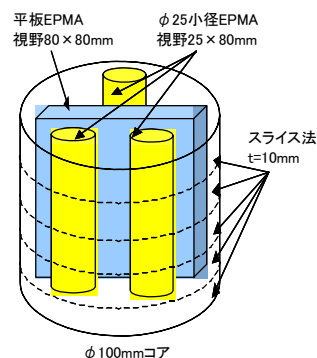


図-1 試料概要

3. 試験結果

3.1 塩化物イオン濃度分布

A橋およびB橋のCl濃度分布の比較を図-2に示す。また、表面から80mmまでの面分析の画像をそれぞれ図-3に示す。A橋は海岸から200mに位置し、海岸沿いには防砂林があり、外部からのClの浸入は認められない。

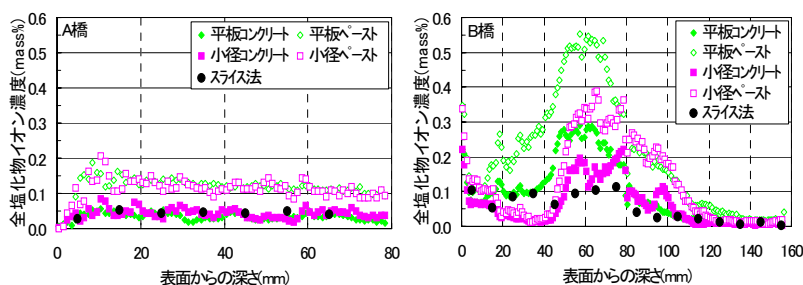


図-2 全塩化物イオン濃度分布

キーワード 塩化物イオン, 小径コア, EPMA, SEM, 炭酸化

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL 043-498-3928

Cl 濃度はコンクリート密度との積から推定すると約 1.0kg/m^3 と低いが、スライス法と EPMA 法による平板および小径コアの結果は精度良く一致した。また、骨材を除去した平板および小径コアのペースト中の濃度も一致している。炭酸

化深さは $5\sim 20\text{mm}$ 程度とばらつきがあり、炭酸化フロントでは Cl および SO_3 の濃縮が認められた。

B 橋は海岸から約 50m と近く、Cl の浸透深さは $80\sim 135\text{mm}$ 程度であった。スライス法と EPMA 法およびペースト中の濃度分布は、一致しない結果となった。粗骨材には 40mm を超えるものがあり、骨材寸法により適切なコア径が存在すると思われる。炭酸化深さは 50mm 程度であり、A 橋と同様に濃縮が認められた。

3.2 表面および内部の組成

A 橋および B 橋の表面の組成像を写真-1 に示す。A 橋では、セメント粒子は少なく、白く表示されている粒子は、EDS による元素分布と形状からほとんどが高炉スラグ粒子であった。また、表面の組織は粗であり、セメント粒子は反応しているが、高炉スラグ粒子は、未反応のまま残存していた。このことは、高炉スラグ粒子の反応は、早期脱型および経年による乾燥などの影響を受けやすいと考えられる。

B 橋は、A 橋と比較するとさらに粗な組織であった。これら表面のコンクリート品質は劣化因子の浸透に影響すると考えられるが組成像からの評価手法については今後の課題である。

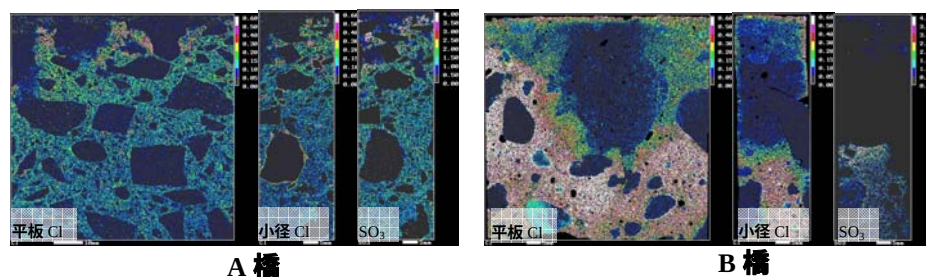


図-3 EPMA 面分析

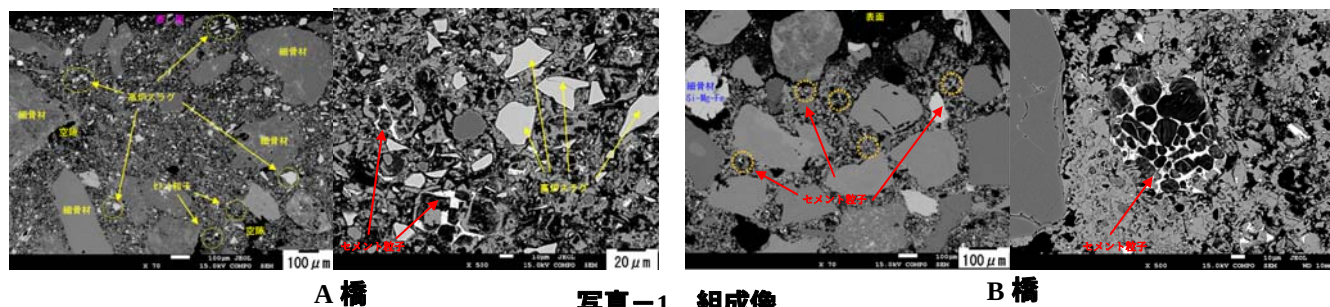


写真-1 組成像

4. まとめ

本検討結果から以下のことが明らかとなった。

- (1)低濃度領域の結果から EPMA 法および小径コアによる塩化物イオン量の定量への適用性が検証できた。また、骨材寸法により適切なコア径が存在すると思われる。
- (2)構造物表面の組成像を観察することで緻密さや水和物の状況を比較でき、劣化因子の浸入との相関を示唆する結果である。また、表面では未反応の高炉スラグ粒子が多く観察され、高炉スラグ粒子の反応は、早期脱型および経年による乾燥などの影響を受けやすいと考えられる。

謝辞

本研究は、土木学会小委員会 216 委員会の調査活動の一環として行ったものである。216 委員会の皆様には、この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1)コンクリート技術シリーズ「構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会（335 委員会）成果報告書」, 土木学会, 2007
- 2)森大介, 細川佳史, 山田一夫, 山本正義: コンクリート中の塩化物イオン濃度プロファイル測定への EPMA の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.867-872, 2004