

## EPMA による歴史的コンクリートの分析方法に関する研究

東京大学生産技術研究所 ○正会員 星野富夫 東京理科大学理工学部 正会員 辻 正哲  
セメント協会・研究所 高橋茂 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本健人

### 1. はじめに

100年以上も前に施工され現在も供用されている「函館 Dock」の躯体コンクリートの調査の機会があり、このコンクリートについての分析や各種の試験を行い、様々な角度からこのコンクリートについての検討を行った。

本報告は、EPMA により分析を行った結果を中心にとりまとめたものであるが、このコンクリートは凍結融解作用や海水の影響等を受けていることから、外観的な劣化は認められるもののコンクリートは入念な施工が行われたことから、セメント生成物等も確認されその健全性が認められた。

### 2. 実験概要

調査を行った「函館どつく」は、北海道の南部、函館湾に面した地点にあり、明治36年（1903年）に開業（工事着工：明治31年）して、現在でも年間数隻の進水や船舶の修理等を行っている。

**写真-1**は、Dockの外観とコアの採取位置を示したものであるが、このDockの渠底部の幅は、建設当初は20.640mmであったが2.000mm程度拡大された。

このDockの側壁は、**写真-2**に示すようなヤードで製造した600×900×1200mmのコンクリートブロックを縦方向、横方向に積み上げてあり、ブロックの間には敷きモルタルが充填されている。また、渠底部と側壁下段には場所打ちコンクリートが打設されている。これらのコアの採取は、ひび割れが認められない部分から採取したが、側壁の場合には、打ち継ぎ部分からも採取した。なお、コア採取に用いたボーリングマシンは、内径がφ100mmのものである。

EPMAの測定条件は、加速電圧20kV、試料電流1μAとし、拡大分析の場合の試料ダメージの影響を考慮してビーム径は1μmとした。

EPMAによる生成物や化合物の確認については、面分析結果から得られた元素を合成することにより判定が出来る<sup>1)</sup>と報告されている。ここでは、元素を赤、緑、青に割り付けて合成の色合いから判定するヤングの3原色説による合成を行った。

### 3. 実験結果と考察

**写真-3**は、渠底部の場所打ちコンクリートについてのEPMAによる塩素の分析結果を示したものである。左側がコンクリート表面部分であり、約9×9cmの範囲を分析



写真-1 Dockの外観とコア採取箇所



写真-2 コンクリートブロックの打設と養生  
(函館どつく社提供)

キーワード：歴史的コンクリート、EPMA、分析方法、塩化物、セメント生成物、

〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 TEL:03-5452-6391 FAX:03-5452-6392

しているが、表層部から1～2 cm は濃度が低く、中心に向かって塩分が高くなっている。表層部分は雨水で洗われることもあることからこのような分布を示すことは考えられる。

このコンクリートのモルタル部分におけるセメントや塩分の存在状態を確認するために、**写真－3**の試料中において、セメントの主要成分である Ca、Si、Al についての EPMA による拡大分析を分析1で行い、フリーデル氏塩は Ca、Cl、Al の元素について拡大分析2で合成判定を行った。なお、この種の分析の場合には、試料表面の不陸や勾配が影響をおよぼさないように小さな範囲の測定が効果的であることから分析範囲は約5×5mmとした。

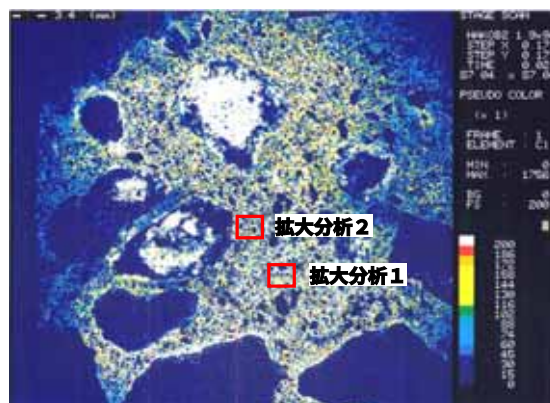
**写真－4**は、セメントの生成物を確認するために Ca、Si、Al の分析結果を合成させたものである。ここで、明瞭に白色を呈している部分は、この3つの元素が合成されていることを表し、セメントの化合物と考えられる。左上に「0.2mm」で表示されているのは間隔を示し、ここでは0.2mmであることから、当時のセメント粒子は0.2～0.5mm程度と相当に粗かったものも含まれていたと考えられる。このようにセメント粒子が粗かったことから結果的に100年以上もセメント粒子が残っていたものと推察される。この写真で中央部分が黒くなっているが、この部分はBSE（反射電子像）観察から空隙であることが確認された。

**写真－5**は、塩分の存在形態を確認するために、化学分析（JCI-SC5）で0.8%（Wt・NaCl換算）程度の塩分含有率が認められた箇所の EPMA 分析を行い、フリーデル氏塩の主要元素である Ca、Cl、Al を合成させたものである。この写真を見ると、CaとClが若干合成されて黄色化した部分が認められるものの3つの元素が合成されていないことから、この部分の塩分は遊離した塩分として存在しているものと考えられる。そこで、この部分の可溶性塩分を調べたところ、全塩分に対する可溶性塩分の割合は98%程度であり、固定化されていない塩分として存在していることが確認された。

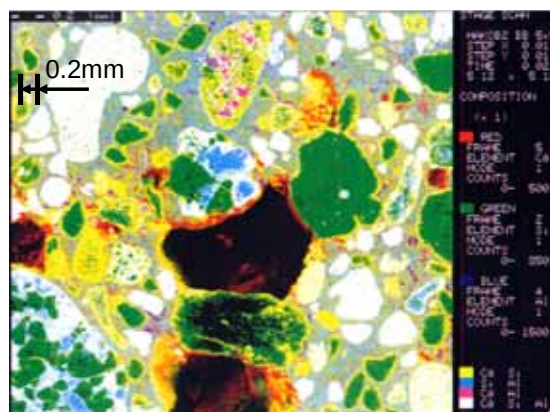
#### 4. まとめ

ここでは紙面の関係で1例しか報告できなかったが、側面のコンクリートブロックや打ち継ぎ部モルタルなどについても同様に EPMA の分析を行い、セメント生成物や塩分の状態を確認した。この EPMA の分析元素の合成による生成物や化合物の確認については、内外を通じて殆ど報告がないことから、信頼性を向上させるためにもデータの蓄積が必要と考えられる。

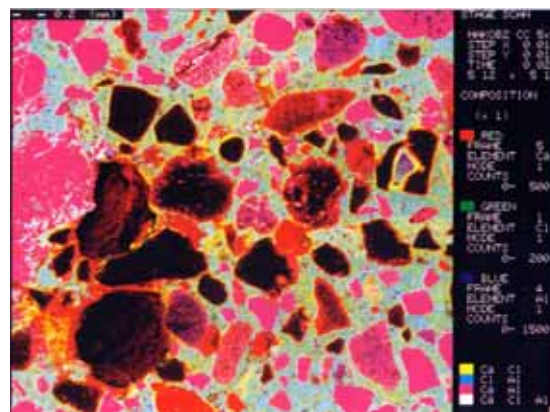
参考文献：1) 白土雅也、小林一輔、安 伸二：EPMA 面分析結果のカラーマッピング処理によるコンクリート中の元素の存在状態判定法、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18、No.1、pp.915-920、1996.6



写真－3 EPMAによる分析  
(分析元素：Cl、渠底部)



写真－4 EPMAの合成による分析  
(拡大分析1、合成元素：Ca、Si、Al)



写真－5 EPMAの合成による分析  
(拡大分析2、合成元素：Ca、Cl、Al)