

電気泳動によるカルシウム溶脱試験

Ca Leaching Test from Mortar by Electro-Chemical Method

○森充広, 森丈久, 渡嘉敷勝, 中矢哲郎

MORI Mitsuhiro, MORI Takehisa, TOKASHIKI Masaru and NAKAYA Tetsuo

1. はじめに

農業水利施設を構成するコンクリートは、長期間水に曝される環境にあるため、これに起因するカルシウムの溶脱などのコンクリートの表層劣化現象が報告されている¹⁾。カルシウムが溶脱すると、溶脱した部分が脆弱になることが知られており²⁾、溶脱が流水によるコンクリート開水路の摩擦や補修材料の早期はく離などの一因となっている可能性がある。そこで、モルタルのカルシウム溶脱状況を再現するため、イオン交換水に浸漬したモルタルに電圧をかけ、カルシウムイオンを電気泳動によって加速溶脱させ、電子線マイクロアナライザ (Electron Probe Micro Analyzer : EPMA) によってその溶脱状況を確認した。

2. 実験方法

土木学会規準「JSCE-G 571-2007 電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法 (案)」に準拠した試験装置に、70mm×70mm×20mm のモルタル板を樹脂で円柱状に固めた供試体を取り付け、直流電圧を作用させた (Fig.1)。モルタル板は、土木学会規準「JSCE-K 511-2007 表面被覆材の耐候性試験方法 (案)」に記載された表面被覆材の付着強度を確認するための基板 (市販品) であり、配合は、JIS R 5201 に準拠して水セメント比 50%、砂セメント比 3 である。Fig.1 の陽極側、陰極側ともイオン交換水を満たし、30V の電圧で 28 日間および 60 日間電圧をかけた。さらに、電圧の相違による溶脱深さの差を確認するため、比較対象として直流電圧 60V で 40 日間電圧をかけた試験も行った。試験中は、イオン交換水の温度および各極側の pH を計測し、1 週間に 1 回をめぐりにイオン交換水を全交換した。また、比較のため、昭和 38 年に建設された幅 1.5m×側壁高 1.35m の現場打ちコンクリート水路底板から採取したコアを EPMA によって分析した。

EPMA によるカルシウム溶脱状況の分析は、土木学会規準「JSCE-G 574-2005 EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法 (案)」に従って実施した。試験終了後のモルタル板の中央部分を幅 10mm にカットし、その断面を鏡面仕上げして分析に供した (Fig.2)。

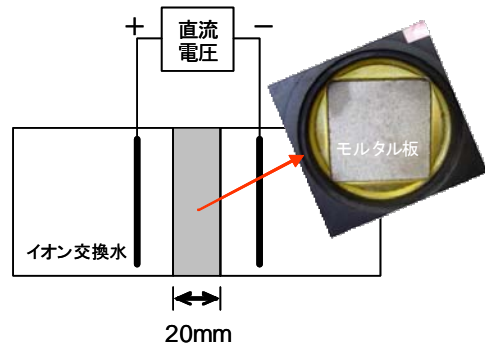


Fig.1 カルシウム溶脱促進試験装置
Ca Leaching Test by Electro-Chemical Method

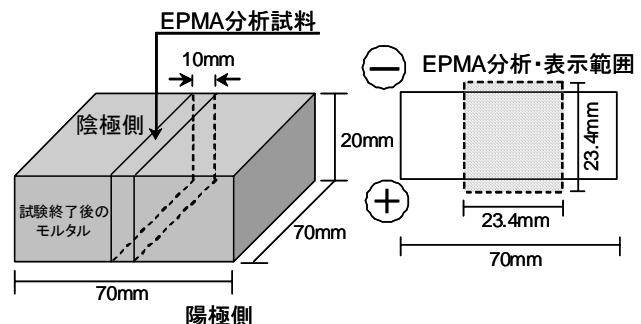


Fig.2 モルタル板の EPMA 分析および表示範囲
EPMA Analysis and Display Range of Mortar

3. 実験結果

30V の電圧を 28 日間および 60 日間作用させたときの溶脱深さの相違を Fig.3 に示す。存在する元素濃度が高いほど暖色系、低いほど寒色系で表示されている。数値は重量%濃度である。28 日間の供試体では、溶脱深さ 1.4mm、60 日間の供試体では溶脱深さ 1.6mm となり、直流電圧を作用させる期間が長いほどより深くまでカルシウムの溶脱が進行することが明らかとなった。

電圧 60V の溶脱試験結果を Fig.4 に示す。表面から 5.3mm までのカルシウム溶脱が確認され、電圧 30V の結果と比較してさらに深部のカルシウムを溶脱させることができた。本試料について硫黄元素の分析を行った結果、カルシウムの溶脱とともに表層部分の硫黄濃度が低下し、カルシウム溶脱部と未溶脱部との境界に硫黄が濃縮して存在することが明らかとなった。これは、カルシウムの溶脱に伴って pH が低下し、固定化されていた硫黄化合物（エトリンガイドなど）が可溶性の硫酸イオンとして細孔溶液中に溶出し、それが濃度拡散によって内部に移動し、カルシウム未溶脱部で再び固定化されたためである³⁾と考えられる。

一方、現場打ちコンクリート水路底版から採取したコアの EPMA 分析結果を Fig.5 に示す。カルシウムの溶脱と硫黄の集積が認められた。長期間水に曝されることによって引き起こされる開水路コンクリートの溶脱と、今回適用した電気泳動による溶脱とは、メカニズムが全く異なるが、現地採取試料と促進試験で得られた試料とは、類似したカルシウムおよび硫黄分布を示した。

4. 今後の展開

カルシウムが溶脱したモルタル供試体の引張強度を測定するとともに、溶脱部の細孔径分布の変化を明らかにすることにより、脆弱化した表層部分の特性を詳細に把握する予定である。

謝辞:本研究推進にあたり、増川晋氏より種々のご指導を頂きました。また、EPMA 分析にあたり、ショーボンド建設(株)石神暁郎氏、加藤智丈氏、山崎大輔氏のご支援を頂きました。記してお礼申し上げます。

参考文献:1) 石神暁郎ほか: 農業用水路コンクリートに生じる摩耗現象と促進試験方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 27(1), pp.805-810 (2005), 2) 斎藤裕司ほか: 材料と配合の相違が電気化学的促進手法によるモルタルの変質性状に及ぼす影響, 土木学会論文集, 564, V-5, 155-168 (1997), 3) 小林一輔ほか: 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物, 硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮, コンクリート工学論文集, 1(2), pp.69-82 (1990)

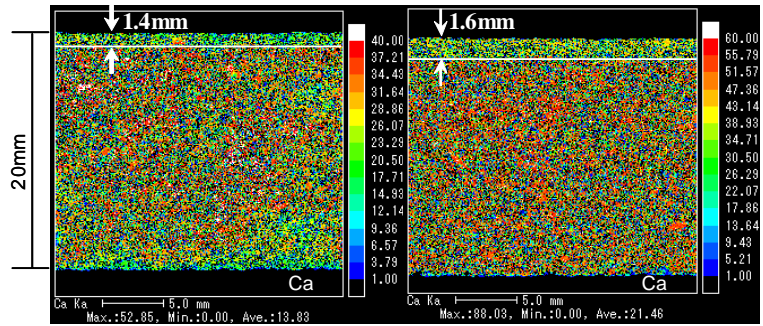


Fig.3 30V 通電期間による溶脱深さの相違 (左 28 日, 右 60 日)
Difference of Ca leaching depth according to applied time of 30V volts

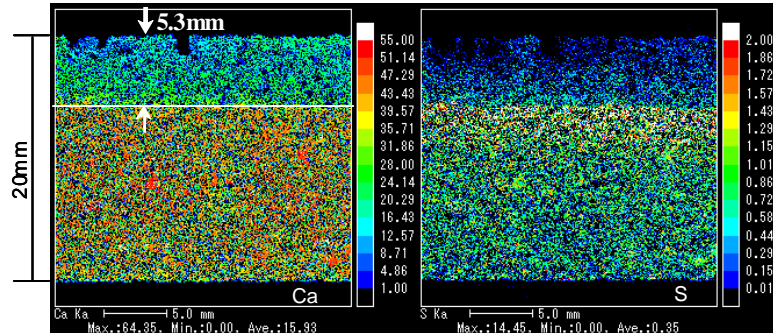


Fig.4 60V40 日間通電後のカルシウムおよび硫黄の分布
Leaching of Ca and S after the voltage of 60V volts was applied through 40 days

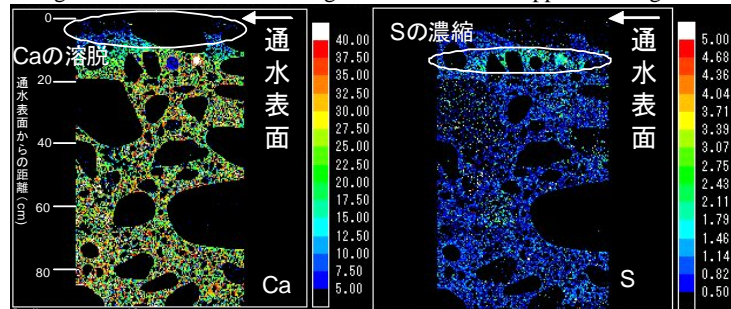


Fig.5 農業用水路におけるカルシウムおよび硫黄の分布
Leaching of Ca and S at the base concrete of agricultural canal