

モルタル中の塩分形態が近赤外分光法の吸光度スペクトルに与える影響

徳島大学 学生会員 ○池田成美 徳島大学 正会員 上田隆雄
フジタ建設コンサルタント 正会員 山本晃臣 電気化学工業 非会員 七澤章

1. はじめに

塩害により劣化したコンクリート構造物中の Cl^- 濃度を推定する手法として、近赤外分光法を利用した方法に関する検討が進められている。これまでの検討により、コンクリート中のモルタル部分に光源からの光を照射することで、近赤外分光法により得られる吸光度スペクトルを利用してコンクリート中の Cl^- 濃度が推定できる可能性が示されている。これまでの検討では、初期混入した内在塩分を含む供試体を用いてコンクリート中のモルタル部分に近赤外光を照射することで、拡散された近赤外光の吸光度スペクトルを利用してコンクリート中の Cl^- 濃度が精度よく推定できることがわかっている。しかし、同じ Cl^- 濃度であっても塩化物の種類が異なる場合や外来塩分が浸透した場合は、内在塩分の場合に対して吸光度スペクトルが変化する可能性も考えられる。そこで、本研究では普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を用いたモルタル供試体を作製し、 NaCl および CaCl_2 の2種類の塩水浸漬試験を実施した後に、近赤外分光法によって Cl^- 濃度分布の推定と浸透状況の面分析を試みた。

2. 実験概要

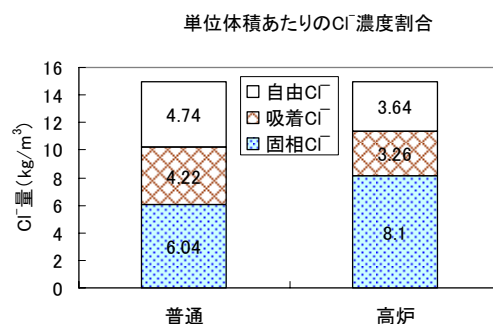
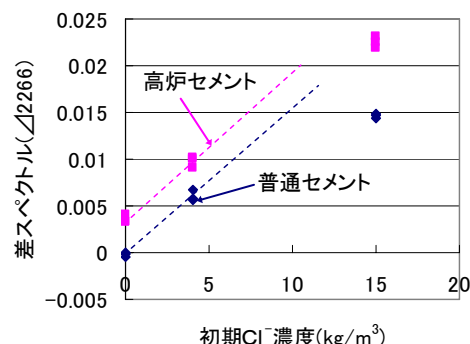
供試体は普通セメントと高炉セメントを用い、 $W/C=60\%$ 、 Cl^- 量 0, 4, 15 kg/m^3 となるように角柱モルタル供試体を作製した。また、 Cl^- 量 15 kg/m^3 のものは高圧抽出用に円柱モルタル供試体も作成した。さらに、普通セメント角柱供試体については、細骨材に標準砂を用いたものと砕砂を用いたものを作製した。その他の供試体は、標準砂を細骨材として使用している。

まず、内在塩分角柱供試体では、材齢4週間で初期 Cl^- 量 0 kg/m^3 の一部と 4, 15 kg/m^3 のものを直径 $\phi 25\text{mm}$ のドリルにより削孔を行い、0~10mm, 10~20mm および 20~30mm の粉末試料を各供試体から 60g 程度ずつ採取した。さらに、採取した粉末試料およびドリル削孔先端面の吸光度スペクトルを近赤外分光法で測定した。また、採取した粉末を用いて熱分析の DSC 法を行い、検量線を作成したのちにフリーデル氏塩含有量を調べた。円柱モルタル供試体は、材齢2ヶ月で高圧抽出を行い、 OH^- 濃度と Cl^- 濃度測定を行った。同時に水和停止を行い、その後、DSC 法により F 塩含有量を、TG-DTA 法により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量と結合水量を調べた。

次に、外来塩分角柱供試体では、初期 Cl^- 量 0 kg/m^3 のものを材齢2週間のうち、10% NaCl 溶液への塩水浸漬を3ヶ月と6ヶ月で行った。2供試体のうち、1体は5mm 間隔で表面から50mm の深さまで6箇所削孔し、ドリル削孔先端面を近赤外分光法で測定した。粉末試料については、深さ10mm 間隔で採取した。そして、採取した粉末試料を用いて近赤外分光法による吸光度スペクトル、全 Cl^- 濃度分布の測定を行うとともに、可溶性 Cl^- 濃度分布測定、フリーデル氏塩の分布を測定した。また、塩水浸漬後の供試体をカッターで切断し、切断面を5mm 間隔で深さ50mm まで近赤外分光法で吸光度スペクトルを測定し、吸光度スペクトルから全 Cl^- 濃度を重回帰分析で求めた。そして、EPMA 面分析の結果と比較した。

3. 内在塩分供試体

図-1 に円柱供試体の熱分析の DSC 法の結果を示す。この結果から、高炉セメントの方が固相 Cl^- 量の割合が大きいことがわかり、原因としては、高炉セメントの固定化能

図-1 Cl^- の平衡関係図-2 差スペクトルと初期 Cl^- 濃度の関係

力が高く、モノサルフェートの生成量が多いためと考えられる。さらに、モルタルの差スペクトルと初期混入 Cl^- 濃度との関係を図-2に示す。これによると、 Cl^- 濃度が小さい範囲においては両者の間に線形関係が認められるが、濃度が大きい範囲になると、差スペクトルの増加割合が低下する傾向が認められる。このことから、既往の検討でも指摘されているように、近赤外分光法では、モルタルの含有する全ての Cl^- を検出しておらず、固定された Cl^- のみを検出している可能性が高いと考えられる。また、高炉セメントの方が吸光度スペクトルの値が大きいのは、前述したとおり固定化能力が高いためだと考えられ、熱分析の結果と一致する。

4. 外来塩分供試体と内在塩分の比較

塩水浸漬 3 ヶ月供試体と内在塩分供試体のドリル粉末から得た差スペクトルと粉末中の全 Cl^- 濃度の関係を図-3に示す。図において、塩水浸漬供試体と内在塩分供試体を比較すると、普通セメント、高炉セメントともに両者の間に線形に近い関係が見られるが、内在塩分と外来塩分では、差スペクトルに与える影響に大きな違いは無いと言える。また、普通セメント NaCl 砕砂は、他の供試体と使用細骨材が異なるものであり、挙動が少しずれていることがわかった。以上のことより、内在、外来の塩分形態の違いよりも細骨材の違いが吸光度スペクトルに与える影響の方が大きいということが分かった。

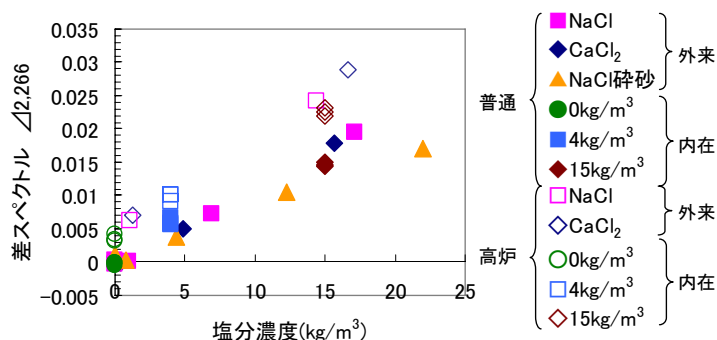


図-3 塩水浸漬 3 ヶ月供試体と内在塩分供試体の差スペクトルの比較

5. 塩分浸透状況の面分析

近赤外分光法により切断面を 5mm 間隔で測定した吸光度を説明変数、JIS 法にしたがって測定した全 Cl^- 濃度を目的変数とし、式(1)に示した重回帰分析を行った。そして、重回帰分析で得られた a, b, c, d および e を用いて、5mm 間隔で測定した吸光度の各測定値から式(1)にしたがって 5mm 間隔の全濃度を算出した。

外来塩分 3 ヶ月の供試体の面から得た吸光度スペクトルより求めた全 Cl^- 濃度分布を図-4に、EPMA 面分析画像を図-5に示す。両者を比べると、浸透深さが 15~20mm 程度になっている。また、濃度においても、0~10mm 箇所近赤外分光法では平均 17.5kg/m³、EPMA 画像の場合平均で 17kg/m³ ほどと推測され、近い値が求められた。このことから、浸透深さ、濃度とも似た分布になっており、近赤外分光法で密な吸光度測定を行うことでモルタル部の全 Cl^- 濃度の分布が表現できることが示された。

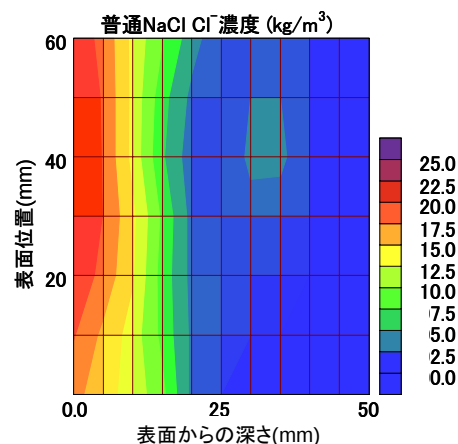


図-4 吸光度スペクトルより求めた Cl^- 濃度分布

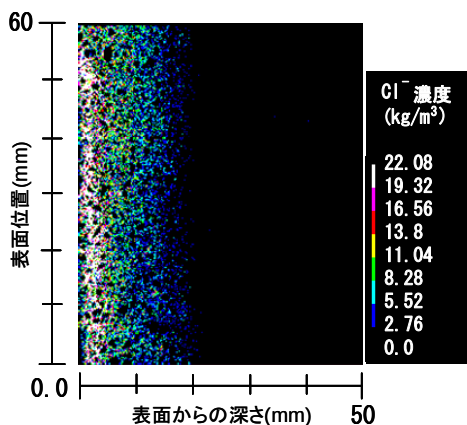


図-5 EPMA 面分析画像

$$C_{total} = a + b \cdot A_{2,230} + c \cdot A_{2,252} + d \cdot A_{2,266} + e \cdot A_{2,300} \quad (1)$$

ここに、 C_{total} : 全 Cl^- 濃度(kg/m³)

a, b, c, d, e : 切片および定数

A : 各波長(nm)における吸光度