

近赤外分光法による PC グラウト中塩化物イオン濃度の推定

徳島大学大学院 賛助会員 ○溝渕晃大 徳島大学大学院 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 中日本高速技術マーケティング 正会員 野島昭二

1. はじめに

ポストテンション方式の既設 PC 橋梁において、グラウト充填不良に起因する PC 鋼材の腐食進行や破断事例が報告されており、効果的な対策が急務となっている。PC グラウト再注入等の対策を行うにあたって、未充填部分の Cl^- 濃度の把握が必要となるが、現場における測定手法は確立されていない。そこで、本研究では近赤外分光法により現場で迅速に PC グラウト中の Cl^- 濃度を推定する手法の可能性を実験的に検討した。

2. 実験概要

本実験で用いた PC グラウトの基本配合を表-1に示す。本配合は、1980 年頃に実施工で使用されていた配合を参考に設定した。セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm^3 ，比表面積 $3460 \text{ cm}^2/\text{g}$ ）を用い、

表-1 PC グラウトの配合

W/C (%)	単位セメント量 (kg/m^3)	混和剤 ($\text{C} \times \%$)	アルミ粉末 ($\text{C} \times \%$)
48	1256	0.25	0.007

リグニンスルホン酸化合物を主成分とする混和剤と膨張材としてアルミニウム粉末を添加した配合を標準(NA)とした。本研究ではアルミニウム粉末が吸光度スペクトルに与える影響を検討するため、アルミニウム粉末無添加の配合(N)の供試体も併せて作製した。さらに、 Cl^- 量が吸光度スペクトルに与える影響を検討するために初期混入 Cl^- 濃度をセメントに対する質量%で、0, 0.1, 0.3, 0.6, 1.0, 2.0 の 6 水準で準備した。

本研究で作製した供試体は 1 辺が 100mm の立方体 PC グラウト供試体、および $\Phi 50 \times 100 \text{ mm}$ の円柱グラウトの円柱断面中心部に供試体底面（暴露面）からのかぶりを 10mm となるように丸鋼 $\Phi 13 \text{ mm}$ を配した PC シース内模倣供試体（図-1 参照）の 2 種類とした。なお、丸鋼はかぶりに近い端部を長さ 10mm だけ残して、それ以外はすべてエポキシ樹脂を塗布した。立方体供試体は、28 日間または 91 日間の封緘養生を実施した後に、近赤外分光法による吸光度スペクトルの測定を行った。吸光度スペクトルは、供試体表面部分とドリル削孔（ $\Phi 24 \text{ mm}$ ）で採取したドリル粉末を用いて実施した。PC シース内模倣供試体は 14 日間の封緘養生終了後、図-1 に示した暴露面および相対する円形上面を残した側面部分にエポキシ樹脂を塗布した。この供試体に対して、 20°C 恒温室中で 10% の NaCl 溶液への浸漬を 4 日、その後乾燥（60%, R.H.）を 3 日の 7 日間を 1 サイクルとして塩水浸透試験を行いながら、暴露面表面の吸光度スペクトルと鉄筋の電気化学的腐食指標測定を実施した。近赤外分光法による吸光度の測定は、ASD 社製の可搬型分光装置（波長域：350～2500nm，サンプリング間隔：1.4nm）を用いた。測定には、 $\Phi 10 \text{ mm}$ の光源受光一体型接触プローブを測定表面に直接接触させて吸光度スペクトルを測定した。

3. ドリル粉末の吸光度スペクトルと波長 2266 nm における差スペクトルによる Cl^- 濃度推定

混入 Cl^- 量を変化させた材齢 28 日立方体供試体から採取したドリル粉末で測定した吸光度スペクトルを図-2 に示す。図-2

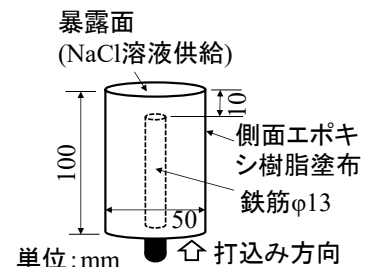


図-1 PC シース内模倣供試体の概要

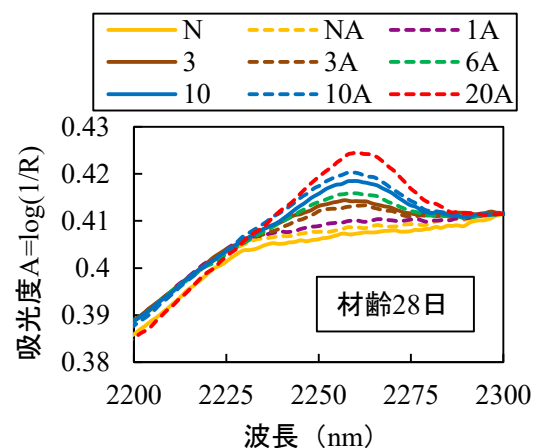


図-2 立方体供試体から採取したドリル粉末の吸光度スペクトル

に示した供試体名の凡例は、例として 10A は Cl^- をセメント量に対して 1.0% 混入し、アルミニウム粉末も混入した場合を示している。図-2 によると、材齢によらず波長 2266 nm 付近に明確な吸光度のピークが見られ、混入 Cl^- 濃度が大きいほどピーク高さが大きくなる傾向を示している。なお、同じ混入 Cl^- 濃度でアルミニウム粉末添加の影響を見ると、比較的 Cl^- 混入量が大きい”10”でアルミニウム粉末を添加することによって、吸光度スペクトルのピーク高さが若干大きくなっている。PC グラウトにアルミニウム粉末を添加すると、次式(1)に示す反応により水素が発生するとともに Al_2O_3 が生成する。一般にセメントの Al_2O_3 含有量は近赤外分光法で検出対象となっている FCI 生成に寄与することから、FCI 含有量を検出した可能性がある。

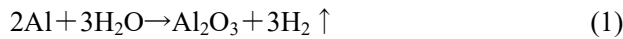


図-2 に示した各吸光度スペクトルに関して、波長 2266 nm における差スペクトル（次式 2 参照）と立方体供試体に混入した全 Cl^- 濃度の関係を図-3 に示す。これより、材齢にかかわらず両者の間には良好な線形関係が認められ、決定係数 (R^2) も 0.95 と高い精度を示している。

$$\Delta A_{2,266} = A_{2,266} - \left(Aa + \frac{Ab - Aa}{\lambda b - \lambda a} \times (\lambda_{2,266} - \lambda a) \right) \quad (2)$$

$\Delta A_{2,266}$: 波長 2266 nm の差スペクトル, $A_{2,266}$: 波長 2266 nm の吸光度, λa , λb : 波長 a(2230), 波長 b(2300)

4. 塩水浸透面の含水状況が吸光度スペクトルに与える影響

塩水浸漬と乾燥の繰返しを行った PC シース内模擬供試体暴露面表面の吸光度スペクトル測定結果を図-4 に示す。図-4 によると塩水浸漬開始直後 2266nm 付近に吸光度のピークが見られる。5 週目の塩水浸漬期間終了後の N 配合供試体について、吸光度スペクトルの経時変化を図-5 上図に示す。塩水浸漬終了後（図中の 0min）の供試体表面は湿潤状態であり、その後の気中保管時間の経過とともに表面は乾燥していく。図-5 上図によると、 Cl^- 濃度に対応する 2266nm 付近の吸光度は時間の経過とともに大きくなる傾向を示している。過去の検討において、モルタル表層の給水特性が波長 1425nm における吸光度の変化によって評価可能であることが報告されている。今回の PC グラウト供試体に関しても、図-5 下図に示したように、塩水浸漬終了直後は波長 1425nm 付近に大きな吸光度ピークが形成され、その後の時間経過とともに、ピーク高さは減少している。このように PC グラウトの含水状態の変化が吸光度スペクトルに影響を与えることから、現場での測定では、測定個所の含水状態への配慮が必要であると考えられる。

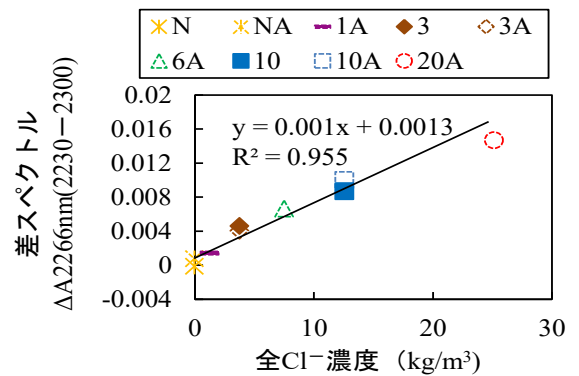


図-3 立方体供試体から採取したドリル粉末の差スペクトルと全 Cl^- 濃度の関係

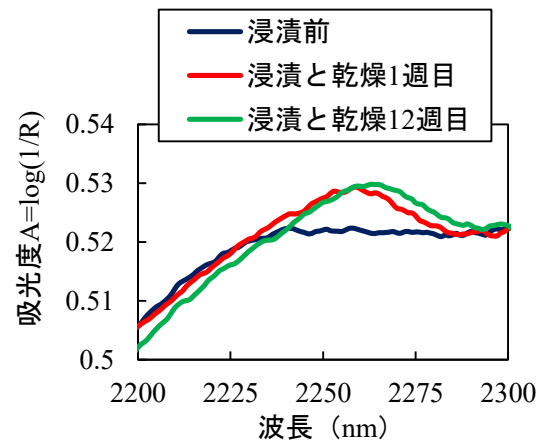


図-4 PC シース内模擬供試体暴露面表面の吸光度スペクトル

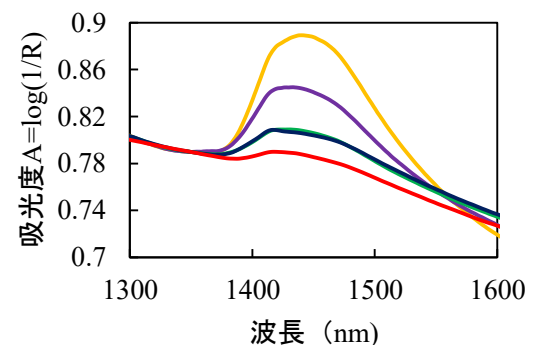
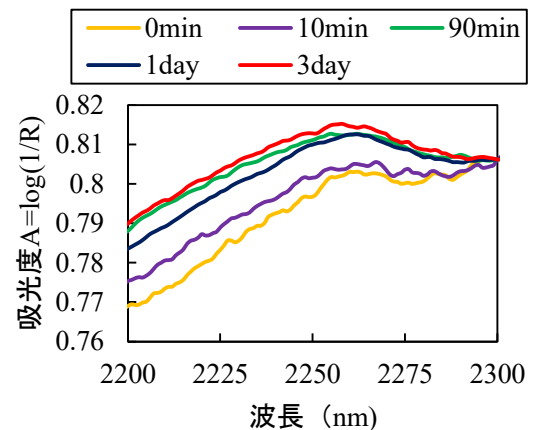


図-5 塩水浸漬終了後の時間経過に伴う吸光度スペクトルの変化