

モルタルの凝結硬化過程の評価への近赤外分光法の適用

太平洋セメント（株） 正会員 ○ 星 健太 住吉 裕次郎
小池 耕太郎 森 寛晃

1. はじめに

コンクリートの施工では、表面仕上げ等の工程を適切な時期に実施することで品質が確保される。各工程の実施時期は、作業者の経験的な判断に依存しており、各人の技量で品質が変動する懸念がある。そのため、コンクリートの硬化過程の定量的指標として、貫入抵抗値等に基づき、工程の実施時期を判定しようとする試みがある¹⁾。

近赤外分光法は、農学や医学分野等で定量分析に活用される非破壊分析手法である。コンクリート分野では塩化物イオン量の推定等への適用が検討されてきた²⁾。近赤外波長域はセメント水和物の検出が可能³⁾ため、コンクリートの硬化に伴う水和物生成の定量が期待できる。また近年、近赤外分光計の小型化や低価格化が進んでおり、本手法はコンクリート施工と並行した計測に適すると筆者らは考えた。

本研究では、モルタルの近赤外線スペクトル計測から得られる吸光度と、同一モルタルの貫入抵抗値を比較して、近赤外分光法のモルタル凝結硬化過程評価への適用性を検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

結合材は普通ポルトランドセメント（C）を、細骨材は山砂（S）を、混和剤はAE減水剤（AD）を用いた。モルタル配合は、表1に示す4水準とした。

2. 2 モルタル供試体の作製

モルタルの練混ぜ、供試体作製および養生は、20℃、80% R.H.の恒温恒湿室にて行った。練混ぜには10Lホバートミキサを使用した。No.2,3,4について、練混ぜ後3時間は静置し、ブリーディングが発生しなくなるまで1時間毎に練返しを行った。その後、型枠（W11×D8×H2cm）にモルタルを流し込み、表面を均して直ちにラップで覆った。

2. 3 計測項目および方法

（1）凝結時間

表1 モルタル配合

No.	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)			AD (C×%)
			W	C	S	
1	35	1.8	252	717	1272	0.25
2	45	2.1	268	592	1224	0.2
3	55	2.8	262	474	1335	0.15
4	65	3.5	259	398	1408	0.1



図1 モルタルの近赤外線スペクトルの計測状況

JIS A 1147 に準じて凝結時間試験を行った。

（2）近赤外線スペクトルの計測

近赤外線スペクトルの計測には、Inno-Spectra 社製の近赤外分光計 S-G1（波長域：900~1700nm、分解能：2.6nm 計測領域：約φ8mm）を使用した。型枠側面の開口部（約φ1cm）に貼り付けたカバーガラス（厚さ約0.15mm）を介してモルタル供試体に近赤外光を照射し、その反射強度を分光計にて計測した（図1参照）。計測は、打込み後から材齢24時間まで5分間隔で行った。モルタルおよび標準白板（反射率：99%）の反射強度から、ランベルト・ベールの法則⁴⁾により吸光度を算出した。なお、吸光度はベースライン補正のため、予備検討にて水や水和物による吸収が小さいことを確認した波長1350nmでの値を0とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 吸光度および差スペクトル

代表的な材齢における吸光度および差スペクトルを、凝結始発終結時間とともに図2に示す。なお、図中の凡例は材齢である。また、差スペクトルとは、2本の吸光度スペクトルの差であり、図には最も小さい材齢と各材齢のスペクトル差を示した。1400~1450nmの吸光度は、水の吸収（1450nmを中心とするブロードなピーク）⁴⁾の影響と思われ、W/Cが

キーワード 近赤外分光法、吸光度、モルタル、凝結時間、貫入抵抗値、水酸化カルシウム
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 TEL043-498-3928

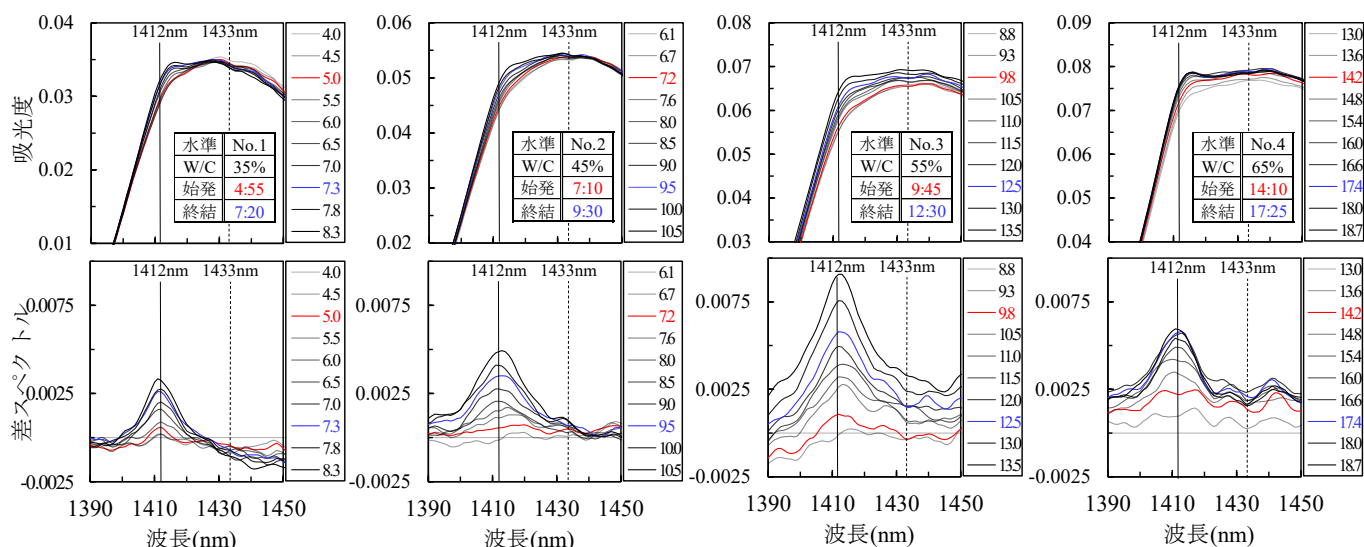


図2 吸光度および差スペクトルの経時変化

大きいほど吸光度の山が大きい。差スペクトルをみると、いずれの配合でも 1412nm において水酸化カルシウム（以下、CH）の吸収ピーク³⁾がみられ、時間経過とともに吸収ピークが増大していた。また、No.1 を除いて、差スペクトルが時間経過とともに全体的に上方にシフトする傾向がみられる。これは、ブリーディングにより水の吸収ピークがわずかに増大したためと推察される。

3. 2 凝結時間と近赤外線スペクトルの関係

CH は水和反応の誘導期の終了時期に析出し始め、この時期が凝結始発に対応するとされている。近赤外線スペクトルから、CH の影響を表す指標を抽出できれば、凝結時間を推定できる可能性がある。ただし、CH および水の吸収波長域は重畳しており、凝結過程では双方の影響で近赤外線スペクトルに変動傾向がみられた。よって、単波長（たとえば、1412nm）の吸光度や差スペクトルでは、CH のみの影響の評価が困難と考えられる。

そこで、図3に示すように、CH および水の吸収ピークの代表値として、それぞれ 1412nm および 1433nm での吸光度を取り出し、両者の差を取ることによって、CH の影響を表す簡易指標と見なすこととした。簡易指標が大きいほど、CH による吸収の影響が大きいことを意味している。図4に貫入抵抗値と CH の簡易指標の関係を示す。いずれの配合でも凝結始発時間の2~3時間前に、CH による吸収が認められる結果となった。凝結始発と CH による吸収の始まりが乖離した原因は検討する必要があるが、近赤外線スペクトルに基づく定量的指標により、モルタルの凝

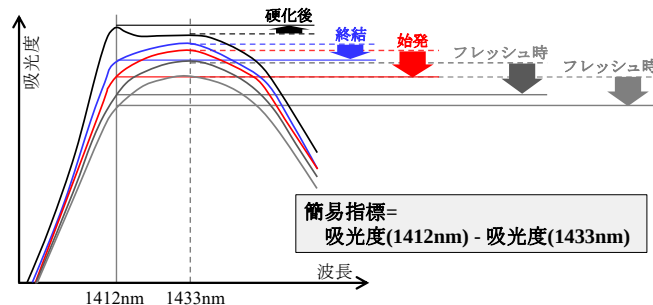


図3 水酸化カルシウムの影響を示す簡易指標の概念図

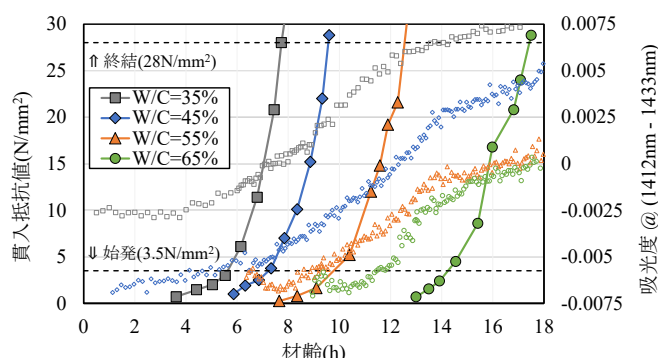


図4 貫入抵抗値と水酸化カルシウムの簡易指標の関係

結硬化過程を評価できる可能性があると考えられる。

4. まとめ

モルタルの硬化過程における近赤外線スペクトルと、同一材齢における貫入抵抗値を比較検討した結果、水酸化カルシウムの吸収ピークの変化を捉えることで、非破壊により凝結始発時間を推定できる可能性があると考えられた。

参考文献

- 1) 吉田玲ほか：床コンクリート施工の品質向上・省力化に関する検討，安藤ハザマ研究年報，Vol.8，(2020)
- 2) 山本晃臣ほか：近赤外分光法による実構造物の塩害劣化診断方法の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1 (2012)
- 3) D.Gastaldi et al：Near-infrared spectroscopy investigation on the hydration degree of a cement paste, Journal of Materials Science, Vol.45, No.12, pp.3169-3174 (2010)
- 4) 尾崎幸洋：近赤外分光法，講談社 (2022)