

ハイパースペクトルカメラによるフレッシュコンクリートの単位水量推定に関する検討

太平洋セメント(株) 正会員 ○工藤 正智
太平洋セメント(株) 正会員 小池 耕太郎

太平洋セメント(株) 非会員 星 健太
太平洋セメント(株) 正会員 早野 博幸

1. はじめに

フレッシュコンクリートにおける単位水量は重要な管理項目である。単位水量が設計値と異なる場合、ワーカビリティや強度に大きな影響を及ぼす。一方、一般的な単位水量の測定方法は抜き取り検査であるため、コンクリート製造時に全数検査するのは困難である。そのため、簡便な手法で単位水量を推定できれば、コンクリートの品質安定化につながるものと考えられる。ハイパースペクトルカメラ(HSC)は、近赤外線域で高分解能の波長情報を持った画像を撮影でき、スペクトル特性から測定対象の成分を同定できることが報告されている¹⁾。そこで本研究では、HSCを用いてフレッシュコンクリートを撮影し、構成材料やコンクリート表層の骨材がスペクトル特性に及ぼす影響を確認し、単位水量推定手法について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料および測定方法

使用材料として、水は上水道水(記号:W)、セメントは普通ポルトランドセメント(記号:C、密度:3.16 g/cm³)、細骨材は山砂(記号:S、表乾密度:2.57 g/cm³)、粗骨材は砕石(記号:G、表乾密度:2.64 g/cm³)、AE減水剤は標準形(リグニンスルホン酸系)、空気量調整剤はロジン系を用いた。なお、骨材は表乾状態で使用した。

使用したHSCは270×114×89mmと小型で、測定波長は近赤外域900~1700nmである。測定状況を図1に示す。測定では、HSCを支柱上部に固定し、下部に検討内容に応じた測定対象を静置させ、測定対象が移動すると同時にHSCで撮影した。なお、光源には一般的なハロゲンライトを使用した。

(2) 検討内容および測定対象

基礎的な検討として、コンクリート構成材料のスペクトル特性を把握するため、水、セメント、細骨材および粗骨材を測定対象とした。さらに、フレッシュコンクリートを測定対象とし、表層の骨材がスペクトル特性に及ぼす影響を確認するため硬化後のコンクリート表

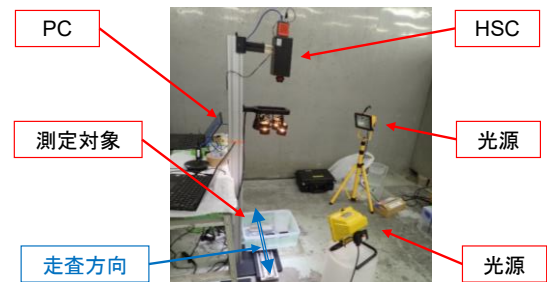


図1 HSCによる測定状況

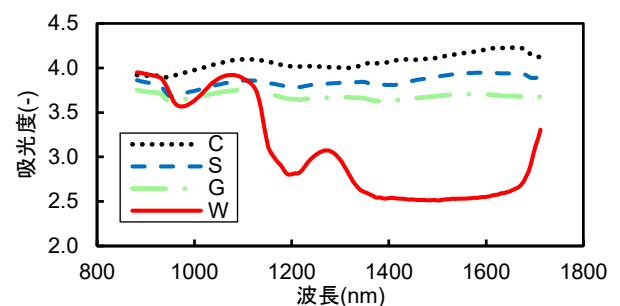


図2 各材料のスペクトル特性

面からの骨材深さ(0~20mm、計10点)をX線CT装置により測定した。その後、同座標のスペクトル特性を確認した。単位水量の推定手法を検討するため、W:146~198 kg/m³、W/C:35~65%の範囲で、様々な配合のフレッシュコンクリート計17水準を測定対象とした。

3. 実験結果

(1) 各材料におけるスペクトル特性の把握

各材料における波長と吸光度の関係を図2に示す。評価範囲は45×35pixel(約54×46mm相当)とした。図より、水では、970、1097、1212、1262および1692nm付近に吸光度のピークが確認された。これは、既往の研究¹⁾における吸収波長970nmと整合した。一方、水以外の材料では、スペクトル特性が類似し、930、1100、1300および1650nm付近にピークを示した。また、セメント、細骨材、粗骨材の順で吸光度が小さくなる傾向を示した。これは、セメントと骨材の主成分が一致することや、骨材の凸部に影が発生しており、反射する光の量が減少したためと考えられる。

キーワード フレッシュコンクリート、単位水量、ハイパースペクトルカメラ、重回帰式

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 TEL043-498-3902

(2) 表層骨材がスペクトル特性に及ぼす影響

吸光度のピークを有する波長における吸光度と骨材深さの関係を図3に示す。骨材深さ5mm以上では、波長に関わらず、骨材深さと吸光度に明確な相関は認められなかった。一方、表層付近の0~1mmでは、骨材深さが浅くなるに従い、吸光度が小さくなる傾向を示した。これは前項の結果から、他の材料より骨材の吸光度は小さいため、骨材による影響と推察される。しかしながら、骨材深さ0~20mmで、吸光度は同程度であった。すなわち、表層の骨材がスペクトル特性に及ぼす影響は小さく、骨材分布によらずコンクリートの吸光度を評価できると考えられる。

4. 単位水量推定手法の検討

(1) ピーク波長の抽出

単位水量の異なるフレッシュコンクリートから、単位水量と相関がある吸光度のピーク波長を抽出した。抽出にあたり、多項式適合法により、スペクトルの平滑化と微分を行った。なお、評価範囲は220×190pixel(約264×250mm相当)とした。ピーク波長の抽出結果を図4に示す。図中の値は1水準の結果であるが、他の水準でも同様のスペクトル形状であることを確認している。図中の太点線で示す単位水量と相関が高かつピークが存在する波長は、970, 1320, 1430, 1530nm, および1620~1690nm付近であった。1430nm以上の一部の波長では、一般的な水の吸収波長 λ と整合しなかったが、既往の研究²⁾より、水素結合が存在する場合、ピーク波長が1430~1685nmにシフトすることが報告されている。したがって、練混ぜ後のコンクリートが水和反応中であり、化学結合に起因した吸光度のピークであると推察される。

(2) 重回帰による推定式の作成・検証

説明変数として、①では、前項で得られた単位水量と相関のある7波長の吸光度を用いた場合(推定式:波長)、②では、①に加え2波長の吸光度の積を用いた場合(推定式:交互作用)で、重回帰による推定式を作成し交差検証を行った。なお、前項の評価範囲を8分割し、6データを作成用、2データを検証用として、全28ケースの推定式を算出した。検証結果を図5に示す。図中の値は、各水準の平均値を示している。①波長の場合より、②交互作用の場合の相関係数が、0.942と高くなった。また、推定値が許容差以内に入る割合を正解率としたとき、②交互作用の正解率は、許容差 $\pm 10\text{kg/m}^3$

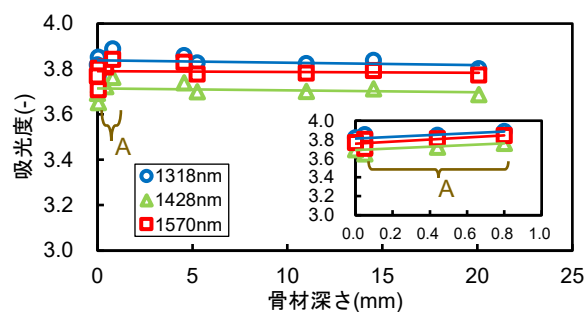


図3 骨材深さと吸光度の関係

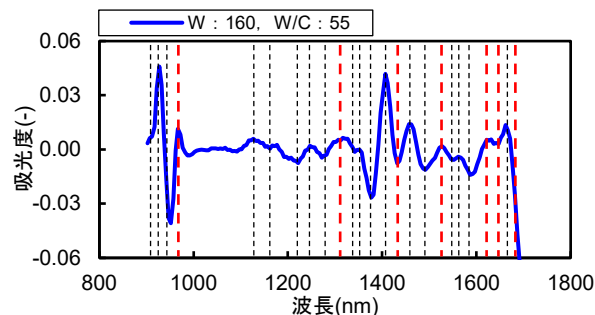


図4 相関のあるピーク波長の抽出

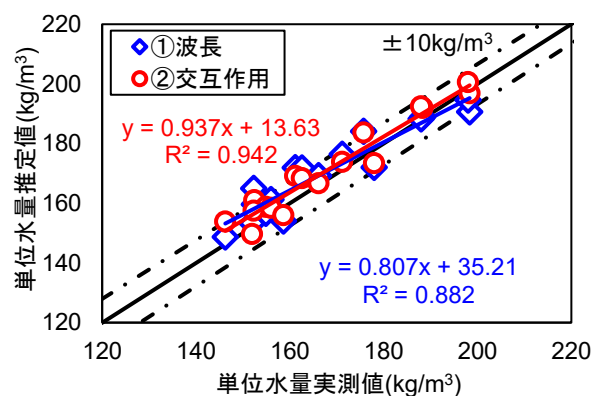


図5 吸光度を用いた推定式の検証

で84.5%, $\pm 15\text{kg/m}^3$ で96.4%となった。すなわち、複数波長の吸光度によりフレッシュコンクリートの単位水量を推定できる可能性があることが分かった。

5. まとめ

表層付近の骨材分布によらず、ハイパースペクトルカメラで得られる複数波長の吸光度に着目することで、フレッシュコンクリートの単位水量を推定できる可能性を示した。今後は骨材の含水状態が異なる場合や様々な構成材料を対象に適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) 小野秀史, 藤原康正, 嶋将志: ハイパースペクトルカメラによる火山砕屑物の含水比同定, 第68回砂防学会研究発表会概要集, P-176, pp.723-724 (2019)
- 2) 丸尾勝彦: 近赤外分光法による非侵襲血糖値測定の研究, 電気通信大学大学院博士論文 (2007)