

スペクトルカメラを用いた若材齢時のコンクリート強度推定に関する実験的検証

五洋建設 正会員 ○タク 思敏 坂元 秀行 前田 智之
山口大学大学院 正会員 吉武 勇 学生会員 青野 光

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリート脱型時に必要な強度は $2\sim3\text{N/mm}^2$ とされており、打込み終了後 20 時間前後の若材齢で型枠を取外していることが多い。若材齢時での脱型に必要な強度確認は、積算温度や低強度用のシュミットハンマーで確認する方法があるが、間接的評価となることやばらつきが生じるといった問題がある。一方、現在幅広い分野で活用されているハイパースペクトルカメラでは肉眼で分別できない情報を波長ごとに取得し、その特徴を識別することができる。本研究ではハイパースペクトルカメラを用いた若材齢時のコンクリート強度推定を目的に、コンクリート表面の反射スペクトルの変化を調査し、セメントの硬化過程での若材齢時における水和生成物とスペクトルデータ変化の相関性を分析した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および機器

本実験に使用した材料および機器は表-1 に示す。セメントの硬化過程におけるスペクトル変化を調べるために、種類の異なるセメントペースト供試体（15cm 立方体）を製作した。供試体を作製後、21 時間で脱型し水中養生を行った。分析に使用したハイパースペクトルカメラでは波長 400～1000nm の範囲で周波数 204 バンドごとのデータを得ることができる。光源は可視光域から近赤外域までの幅広い波長が含まれるハロゲンランプを使用した。

(2) 実験方法

本実験では、仕上がり面の状態による差および表面の水分量の差による影響を低減するため打設面を除く 5 面を湿潤状態で撮影した。撮影概要を図-1、撮影環境を写真-1 に示す。撮影条件による影響を低減するため、光量が調節可能な暗室で、供試体の左右からハロゲンランプを照らして撮影を行った。供試体の真正面から 70cm を離れた高さにハイパースペクトルカメラを設置し、ホワイトレフと供試体を同時に撮影した。材齢 1～3 日で撮影を行い、スペクトルデータを取得した。取得したスペクトルデータを k-means 法¹⁾により 6 クラスに分類して、図-2 に示すように供試体の表面をラベリングした。その後、供試体の 5 面から得られたスペクトルを平均化処理し、各材齢における代表スペクトルとした。

表-1 使用材料および機器

供 試 体 寸 法	15cm×15cm×15cm
供 試 体 の 種 類 (w / c : 40 %)	普通ポルトランドセメント
	高炉セメントB種
	早強ポルトランドセメント
脱 型 時 期	打設から21時間後
養 生 方 法	水中養生
撮 影 場 所	暗室
撮 影 箇 所	打設面以外の 5 面
撮 影 頻 度	材齢ごと（1、2、3日）
カ メ ラ	デルフトハイテック社製
	SPECIM IQ
使 用 光 源	ハロゲンランプ

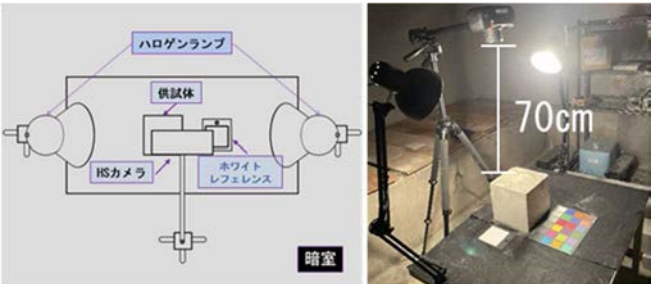


図-1 撮影概要

写真-1 実験環境

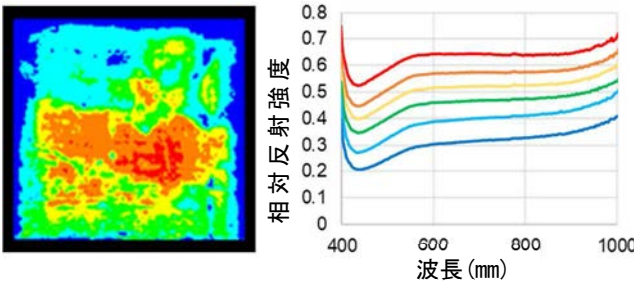


図-2 ラベリングと平均スペクトルデータの例
（普通セメント__材齢 1）日）

キーワード コンクリート、スペクトル、水和生成物、発現強度、分光法
連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設 土木技術部 T E L 03-3817-7531

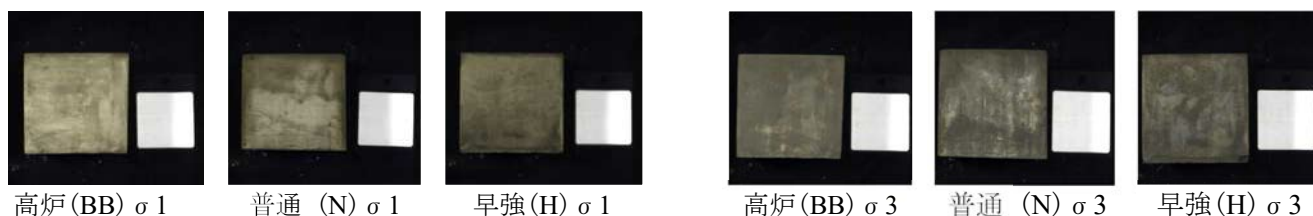


写真-2 各供試体写真

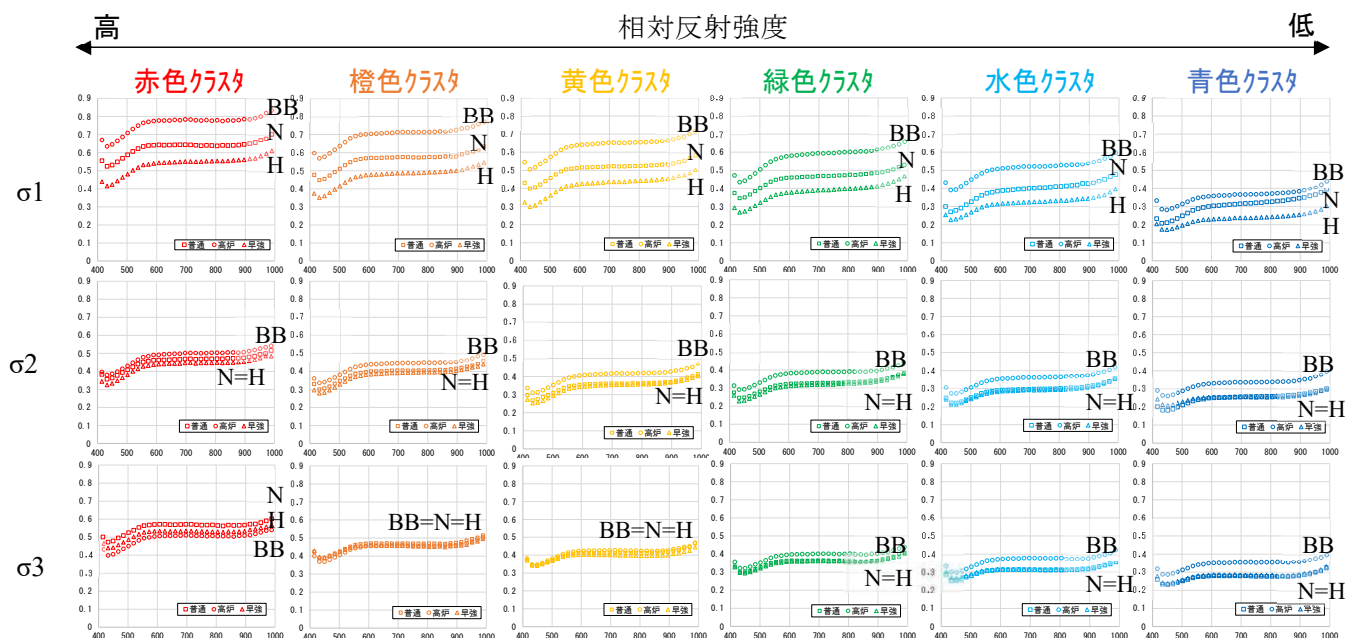


図-3 分析結果

3. 結果と考察

高炉(BB)・普通(N)・早強(H)で作製した各供試体の材齢3日($\sigma 1 \sim \sigma 3$)までの分析結果をクラスタごとに整理した結果を図-3、材齢1、3日の各供試体を写真-2に示す。材齢1日では供試体ごとのスペクトルの相対反射強度率に差(BB>N>H)がみられ、供試体の撮影面は相対反射強度率の高い方が明るいものとなっていた。スペクトルデータは対象物表面物質の特性により形状と反射率が異なった。セメント成分により供試体の水和反応の速度が異なり、コンクリート表面での水酸化カルシウムの生成状況の違いによるものと考えられる。コンクリート表面での水酸化カルシウムの密実な層があると比較的暗く、水酸化カルシウムの生成が少ない表面では明るくなることが知られているが²⁾、本検証でも同様の結果となった。材齢2日目からスペクトルの相対反射強度率の差異は徐々に小さくなり、撮影面も暗くなった。これは材齢進行に応じてコンクリート表面での水酸化カルシウムなどの水和生成物の成分差が少なくなったことも想定される。これより、スペクトル形状および反射強度率から水和生成物の生成量の差を判別でき、発現強度を推定する可能性が示唆されたものと考えられる。

4. おわりに

本実験結果から、3種類セメント供試体の若材齢時のスペクトル形状の比較を行い、水和生成物の生成量の差を判別できる可能性が示唆された。今後は山岳トンネルにおける覆工コンクリートの一般的な脱枠時間帯かつ相対反射強度の変化率が大きな $\sigma 1$ から $\sigma 2$ の時間帯を細分化し、スペクトル形状に着目した評価を目指すとともに、近赤外域(900nm～)スペクトルカメラを加えてスペクトル分析を行う必要があると考えている。

参考文献

- 1) Lloyd, S. P. Least square quantization in PCM. IEEE Transactions on Information Theory. 1982, 28 (2): 129–137
- 2) 住友大阪セメント(株)：ホームページ，コンクリート表面の変色，色むら，SOC-CTR-9704