

近赤外スペクトル画像を用いたコンクリート表面の含水状態の推定 Monitoring of the Water Content at a Concrete Surface with Near-Infrared Spectroscopic Imaging

○横地 穰* 石神 暁郎* 長島 繁男* 緒方 英彦**
Minoru Yokochi* Akio Ishigami* Shigeo Nagashima* Hidehiko Ogata**

1. 研究背景

コンクリート中の水分は凍害、中性化、塩害、アルカリシリカ反応など種々の劣化現象に関与する。コンクリート標準示方書では、凍害や中性化などによる性能低下を生じる可能性のある構造物の点検項目として水分の供給状況（水掛かり、コンクリートの濡れ具合）の確認が挙げられており、コンクリートの含水状態の把握は、劣化予測など構造物の維持管理上重要である。特に、農業用のコンクリート開水路は水に触れる機会が多く水に起因する劣化が生じやすいため、その維持管理や劣化予測を行う上で含水状態は有用な情報となりうる。本研究では、近赤外の波長帯のスペクトル画像を取得可能なハイパースペクトルカメラを用いて、コンクリートの含水状態を推定する手法を検討した。

2. 材料と方法

近赤外スペクトル画像の撮影には、900–1,700 nm の波長範囲の測定が可能な Resonon 社のハイパースペクトルカメラ Pika IR を用いた。波長分解能は 5.6 nm で、上記波長範囲で 164 波長の撮影ができる。本研究では、このカメラを用いてコンクリート平板を対象とした室内試験と農業用コンクリート開水路を対象とした現地試験の 2 つの試験を実施した。その詳細を下記に示す。

2.1. 室内試験 室内試験では、JIS A 5371 に規定されるコンクリート平板（300×300×60 mm）を対象に近赤外スペクトル画像の撮影を行った。撮影対象のコンクリート平板は平板を撮影の 4 ヶ月前から水中に浸漬し、飽和状態に近い水分を保持するように調整した。気中で自然乾燥させ、様々な含水状態にあるコンクリート平板表面の近赤外スペクトル画像を取得した。撮影時に、質量を測定することによって平板の含水率の管理を行った。得られたスペクトルデータ（反射率）と含水率の関係を分析した。分析には多変量分析手法である部分的最小二乗回帰（PLS）を用いた。

2.2. 現地試験 現地試験では、北海道内のコンクリート開水路の側壁を対象に、通水が行われていない非灌漑期の 10 月に撮影を行った。凍害が原因とみられる変状が顕在化している区間と変状がみられない区間を選定し対象とした。撮影は太陽光を光源とし、十分に日照がある日に実施した。側壁表面が乾燥している状態での撮影に加えて、ローラー刷毛などを利用して側壁を人為的に濡らす処理を行った条件下でも撮影を行い、開水路の側壁で生じうる様々な水分状態を再現してデータを取得した。撮影時には、一般的なデジタルカメラでも同時に撮影を行い、近赤外スペクトル画像と可視画像（目視）で得られる情報を定性的に比較した。

*国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region PWRI

**鳥取大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University
キーワード コンクリートの性質、管理、近赤外分光法、ハイパースペクトルカメラ

3. 結果と考察

3.1. 室内試験 図1にPLSによって構築した、近赤外スペクトルデータからコンクリート平板の含水率を推定するモデルの予測値-実測値プロットを示す。交差検証によってモデルの精度を評価することとし、全データの30%を検証用データとした。学習データと検証データともに、モデルの精度を示す二乗平均平方根誤差(RMSE)は0.03%程度、決定係数は0.98程度で、過学習のない良好なモデルが得られた。0.1%程度の含水率の差を検出できることが示唆された。

含水率の推定における各波長の反射率の寄与度を示す回帰係数を見ると、水分子の分子振動に伴う近赤外線吸収帯付近(970nmや1450nm)で回帰係数の絶対値が大きかった(図2)。水分子の光学特性を反映しており、モデルの妥当性は高いと言える。

3.2. 現地試験 乾燥状態(自然状態)の開水路の側壁においては、近赤外スペクトル画像と可視画像で得られる情報に大きな違いはなかった。また、変状の程度と近赤外スペクトル画像に明確な関係は認められなかった。

一方で、人為的に側壁を濡らした条件での撮影では、可視画像では濡れ色が見られないような水分条件においても、近赤外スペクトル画像を用いることで表面の濡れを捉えられていた(図3)。現段階では定性的ではあるものの、目視では確認できない水掛かりなどを、近赤外スペクトル画像を用いることで検出できる可能性が示唆された。

4. まとめと今後の展望

本研究では、コンクリートの含水状態のモニタリングに対して、近赤外スペクトル画像の利用の可否を検討し、有効に利用できる可能性を確認した。コンクリート平板を対象とした室内試験では、定量的に含水率を推定できた。一方、現地においては諸条件の制約から定性的な評価にとどまっており、汎用的に水分状態を評価できる手法の開発に向けて、さらなる試験・検討が求められる。

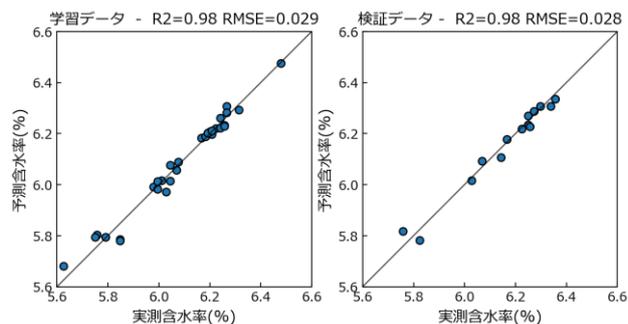


図1 構築した含水率予測モデルの予測値-実測値プロット
Fig.1 Predicted vs. observed plot of the obtained model

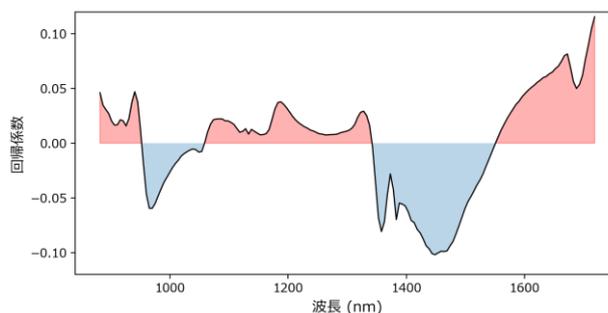


図2 構築した含水率予測モデルの回帰係数
Fig.2 Coefficient of the obtained model

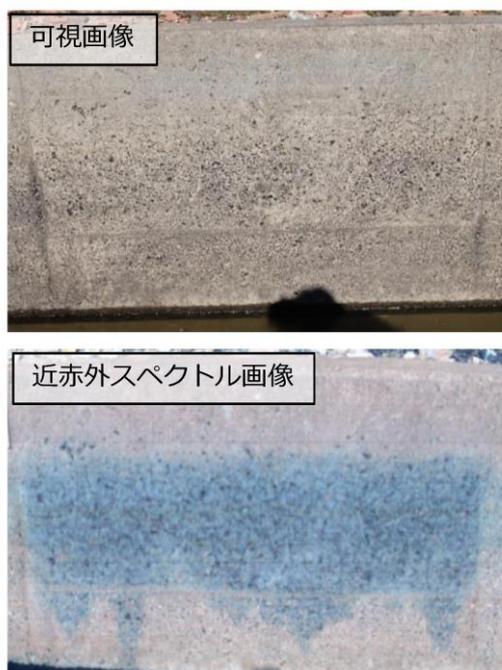


図3 湿らせたコンクリート開水路における可視画像(上)と近赤外スペクトル画像(下)の比較
Fig.3 Comparison between visible (upper) and NIR spectroscopic (lower) images of the concrete canal under wetted condition