

ハイパースペクトルデータを用いたコンクリート表面ひび割れ点検における正規化分光反射指数の適用性

東京理科大学 大学院土木工学専攻 学生会員 ○清本 貴哉
東京理科大学 理工学部土木工学科 フェロー会員 小島 尚人

1. はじめに

コンクリート点検支援に画像データを活用する研究に注目されて久くなる。一般に現場点検で使用する画像データは、デジタルカメラやビデオカメラを介して撮影され、RGB(赤、緑、青)波長域で観測される3バンドのデータ構成であるが、ここ最近、ハンディタイプのハイパースペクトルカメラの開発が進んでおり、様々な分野で多バンド構成のハイパースペクトルデータの利用に期待が寄せられている。ハイパースペクトルデータを用いて、コンクリート構造物表面の塩分濃度を推定する研究もあるが¹⁾、分光反射率から塩化物混入量を推定する上で限界があることが指摘されている。まず第1に、コンクリート表面のひび割れ分布、キメや粗さ等のテクスチャの分析精度について検討することが必要となる。ハイパースペクトルデータは、バンド数が多く、隣接するバンドの画像間相関が高いこと、さらには、コンクリート表面の場合、ひび割れやテクスチャ特徴の画像濃度値が近似することから、代表的な教師付き分類や教師無し分類手法等による画像分類にも限界がある。このような対象の画像特徴を強調したい場合、反射率が高いバンドと低いバンドを選定し、画像濃度値の差を正規化した「正規化分光反射指数(NDSI:Normalized Difference Spectral Index)の利用が期待できる。

そこで、本研究では、ハイパースペクトルデータから得られるNDSI画像を用いた場合のコンクリート表面ひび割れの検出精度について検討した。

2. 前提条件

(1) 本研究で使用したハイパースペクトルカメラ

青色と緑色波長帯域では、コンクリート表面の反射率が小さく、ほぼ同程度となり、NDSIに反映できない。本研究では、赤色域～近赤外域を数十バンドで観測できるハイパースペクトルカメラとして、BaySpec社のOCI-2000を採用した。スナップショット式で小型・軽量、観測波長帯は約600nm～1000nm、スペクトル分解能は約10nm～15nm、画素サイズは0.3mm/pixelであり、0.2mm幅のひび割れまでの検出を目標とする。

(2) 検討対象としたコンクリート表面

本実験では、計25バンドのハイパースペクトル画像を撮影した。取得した。バンド0～バンド11(602nm～699nm)が赤色波長帯域、バンド12～バンド24(713nm～867nm)が近赤外域に対応する。図-1にRC梁曲げ・せん断試験後の供試体表面を撮影したハイパースペクトル画像を示す。後述するNDSI画像を作成する上で使用したバンド7(661nm:赤色域)とバンド18(803nm:近赤外域)の画像である。文字AとBで指示したひび割れ幅はそれぞれ0.2mm、0.1mmである。この領域では、0.1mm～0.2mm幅のひび割れが近接しており、ひび割れ検出精度評価(後述)に適切な領域として選定した。

キーワード：ひび割れ、コンクリート表面、ハイパースペクトルデータ、正規化分光反射指数、Normalized difference spectral index(NDSI)
〒278-8510 千葉県野田市市山崎2641 東京理科大学理工学部土木工学科

3. NDSI画像

(1) 正規化分光反射指数

異なる物質はそれぞれ固有の分光反射特性を有し、特定の波長において特有の高い反射率と低い反射率を示す。このことを利用した指標がNDSIであり、式(1)で表される²⁾。

$$NDSI = \frac{x_i - x_j}{x_i + x_j} \quad (1)$$

但し、 x_i : i nmにおける反射率(高値側、最大値等)
 x_j : j nmにおける反射率(低値側、最小値等)

(2) ひび割れ教師領域の分光反射特性

0.1mm～0.2mm幅のひび割れを含めた教師領域を複数選定し、それぞれに対して分光反射率をグラフ化した。その結果が図-2である。横軸が波長帯、縦軸が反射率である。この図から以下のことが読み取れる。

①ひび割れ教師領域では、赤色域700nmまでは反射率が低い。RGB波長域でのデジタルカメラによる撮影ではひび割れ領域の識別が難しいことと整合がとれている。

②一方、近赤外域では、バンド14から反射率が大きくなり、バンド18をピークとして減少に転じている。図-1(a)のバンド7の画像に比べて、図-1(b)のバンド18が全体的に画像の濃度値が輝度が大きい(明るい)画像となっていることと対応がとれている。

以上の結果から、ひび割れ教師領域の反射率が高い画像と反射率が低い画像を選定して、NDSI画像を作成すれば、ひび割れとそれ以外の領域を識別できるものと期待できる。

(3) NDSI画像の作成

図-2の赤色線が平均値プロフィールである。これより、最小反射率がバンド7、最大反射率がバンド18となる。式(1)中の x_i 、 x_j に、それぞれバンド18とバンド7の画像濃度値を代入すればNDSI値となる。この値を0～9の10ランク

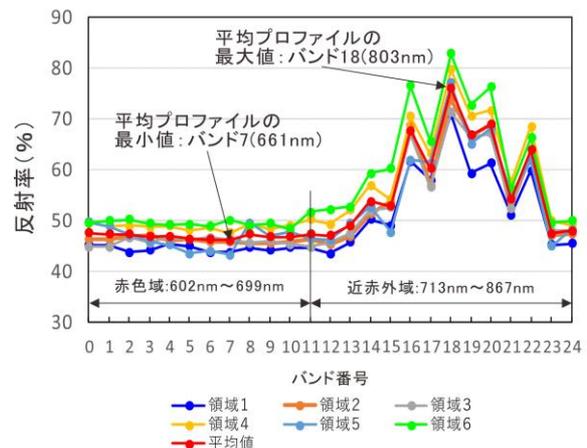
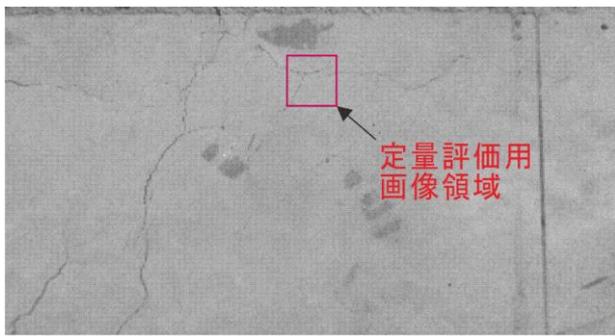
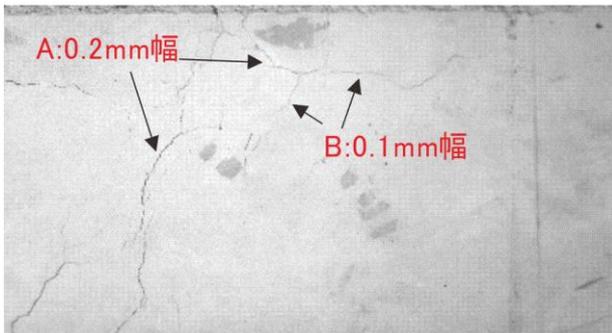


図-2 分光反射特性：0.1mm～0.2mmひび割れ教師領域



(a)Band 7 : 661nm (Red)



(b)Band 18 : 803nm (Near-infrared)

図-1 ハイパースペクトル画像 Band7 : コンクリート表面



(a)評価用基準画像 (b)NDSI画像
図-4 ひび割れ判定精度評価用基準画像と NDSI 画像

として画像化した結果が図-3である。図-3の中央部をみると、撮影時のハロゲンランプ照射の影響が現れていることが判る。

4. ひび割れ検出精度

(1) 評価用基準画像の作成

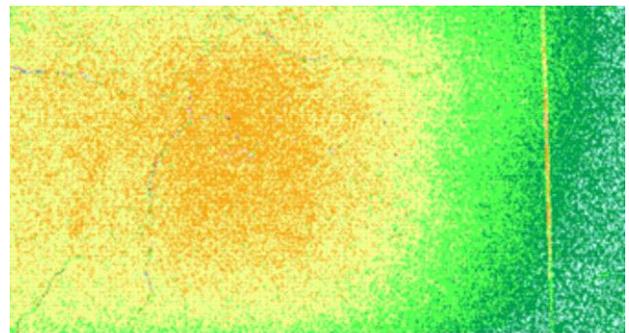
図-1(a)内で枠で指示した領域が定量評価用領域である。クラックゲージで0.1mm~0.2mm幅のひび割れを判読し、評価用基準画像データを作成した結果が図-4(a)である。NDSI画像上で、ひび割れはランク5とランク6に分類されていたため、これらの画素を黒色、それ以外の画素を白色として二値化した。その結果が図-4(b)である。

(2) ひび割れ判定精度

図-4(a)と図-4(b)を照合して計算される判別効率表を表-1に示す。この表から計算される評価精度として、本研究では、以下の代表的な評価指標を用いた²⁾。

①プロデューサ精度(PA: Producer's Accuracy) : 判別効率表の縦方向で計算する正当率。教師データのクラス別信頼度を表す。

②ユーザ精度(UA: User's Accuracy) : 判別効率表の横



-1 ← NDSI → +1

図-3 NDSI 画像

表-1 判別効率表

		Reference		Total pixels	User's accuracy: UA
		Crack	Non-crack		
NDSI	Crack	18	4	22	82%
	Non-crack	19	359	378	95%
Total pixels		37	363	400	
Producer's accuracy PA		49%	99%		

Note) Overall accuracy = 94.3%

方向で計算する正当率。分類結果の各クラス別信頼度を表す。

③総合精度(OA: Overall Accuracy) : 判別効率表の対角要素の総和をサンプル総数で除した値。対象全画素の何割が正しく判別されたかを表す。

表-1を見ると、OAが94.3%であり、NDSI画像上のひび割れ画素の判定精度は保証できる。UAも82%と高く、コミッション誤差(ひび割れでない教師画素がNDSI画像上ではひび割れと誤判定される割合)が少ないことが判る。

しかし、PAは49%と低く、ひび割れである教師画素が「ひび割れでない」と誤判定(オMISSION誤差)された結果である。これはハロゲンランプ照射影響であり、撮影時の課題として指摘できる。

5. まとめ

本研究の内容は、以下の2点にまとめられる。

①複数のひび割れ教師領域に対する分光反射率のプロファイル分析の結果、赤色域から近赤外域の境界で反射率が立ち上がり、反射率の差があることが確認された。

②この結果のもとにバンド 7(661nm:赤色域)とバンド 18(803nm:近赤外域)を選定し、NDSI 画像を作成した。判別効率表を通して、NDSI 画像から0.2mm幅のひび割れを90%以上の総合精度で検出可能であることが確認できた。

③ハロゲンランプ照射の影響が NDSI 画像上に現れ、コミッション誤差が大きくなるといった問題があることが判った。

今後の課題として、ハロゲンランプ照射影響低減策、教師領域別・有効バンド選定問題に取り組む予定である。

参考文献

1)金田尚志 魚本健人 : マルチスペクトル法を用いたコンクリート構造物の塩害調査、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、pp.1709-1714、2003。
2)(一社)日本リモートセンシング学会編:基礎からわかるリモートセンシング、(一社)日本リモートセンシング学会、理工図書、全319頁、2013。