

ハイパースペクトルカメラを用いた土表面における含水状態の定量評価の試み

早稲田大学 学生会員 ○村瀬颯太, 学生会員 綱井裕史
早稲田大学 正会員 小峯秀雄, 正会員 王海龍, 正会員 伊藤大知

1. はじめに

炉乾燥法や電子レンジ法などの質量比に基づく含水比の測定法は計測に時間を要し、原位置での測定が困難であるという問題点がある。また近年は土工の生産性向上の需要が高まっているため、含水比の測定を原位置で迅速に測定できる手法の研究・開発が求められている。そこで著者らは、ハイパースペクトルカメラで撮影できる分光画像に着目し、面的に含水比を推定する手法を開発することを目標とした。本稿では、その試みとして、土の表面の光の反射と含水状態との関係を明らかにする。

2. 使用した装置と試料

ハイパースペクトルカメラは NH-8 (エバ・ジャパン社) を用いた。測定波長は 380~1000 nm, バンド数は 125, 解像度は 123 万画素である。図 1 は撮影の様子を示したものである。光を拡散する撮影室に、3 方向からハロゲンライトを照射し、試料に一樣に光が当たるようにした。ハロゲンライトは CHP-500 (キャスターライティングジャパン社) を用いた。本実験で使用した試料は、利根川産川砂 (以下、利根川砂), 神明木節粘土 (以下、木節粘土 SM), 利根川産川砂と神明木節粘土を約 3:1 で混合した試料 (以下、砂シルト混合土), AA カオリン (以下、カオリナイト系粘土 AA) の 4 種類である。試料は含水比を複数変化させて調整し、ステンレスシャーレに締固めずに投入した。図 2 は含水比を調整した試料の例 (試料: 木節粘土 SM), 表 1 は試料の基本的性質および撮影時の含水比を示したものである。



図 1 撮影の様子

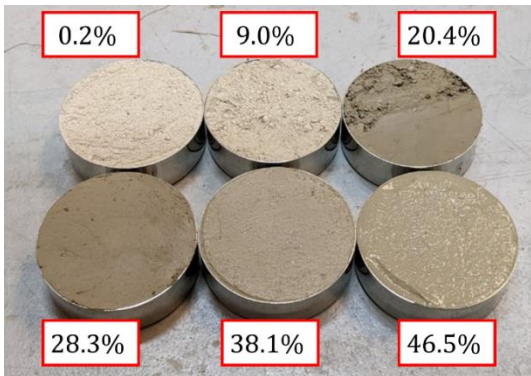


図 2 含水比を調整した試料の例 (木節粘土 SM)

3. 土表面の反射率と含水比の関係

土表面の分光画像から得られるスペクトルの値を、光を良く反射するグレーカードのスペクトルの値で除すことで、土表面の反射スペクトルを求めた。図 3 は算出した反射スペクトルの

表 1 試料の基本的性質および撮影時の含水比

試料名	土粒子の密度 (g/cm ³)	50%粒径 (mm)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	撮影時の含水比
砂シルト混合土	2.72	0.32	19.1	11.6	14 種類 (0.4, 0.5, 2.8, 4.7, 5.9, 8.5, 9.7, 11.7, 14.2, 14.4, 17.7, 19.9, 21.2, 24.6%)
利根川砂	2.81	0.52	NP	NP	6 種類 (0.4, 5.0, 10.8, 15.6, 20.7, 24.6%)
木節粘土 SM	2.66	0.0056	39.1	17.2	6 種類 (0.2, 9.0, 20.4, 28.3, 38.1, 46.5%)
カオリナイト系粘土 AA	2.62	0.0036	75.0	41.9	7 種類 (0.0, 13.6, 28.9, 44.1, 57.3, 72.1, 84.4%)

キーワード ハイパースペクトル, 分光画像, 塑性限界, 含水比推定

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 社会環境工学科 TEL 03-5286-2940

例（試料：木節粘土 SM）を示したものである。図 3 より，すべての波長において，含水比によって反射率の大きさが変化していることが分かる。また図 4 は波長 860 nm における反射率と含水比の関係を示したものである。図中に塑性限界 w_L と液性限界 w_P の値を併記した。今回はスペクトルの形状が，含水比によらず，相似性を有しているため，波長 860 nm の反射率を代表値として取り出した。図 4 より，塑性限界・液性限界を持つ 3 つの試料（砂シルト混合土，木節粘土 SM，カオリナイト系粘土 AA）は，含水比が増加するにともない，ある含水比までは反射率が減少し，それ以上になると反射率が増加するという傾向がみられる。そして，その極値は塑性限界にある可能性が示唆される。一方，塑性限界・液性限界が NP の利根川砂は，含水比が増加するにともない，反射率が単調に減少することが分かった。

4. 土表面の状態と光の反射の関係

図 5 は，図 4 で反射スペクトルが極値を持つ 3 つの試料（砂シルト混合土，木節粘土 SM，カオリナイト系粘土）における，土表面の状態と光の反射・透過の関係を，イメージとして示したものである。a)から d)は同一試料を用いて，含水比を増加させた時の表面の状態を表している。a)は乾燥状態，b)は塑性限界前の含水状態，c)は塑性限界から液性限界までの含水状態，d)は液性限界後の含水状態である。前節より，a)から b)にかけて反射率が下がり，c)から d)にかけて反射率が増加し，b)と c)の間に塑性限界があると考えられる。a)から b)にかけて反射率が下がる原因のひとつに，光が毛管水を透過することがあげられる。また c)から d)にかけて反射率が増加する原因のひとつに，自由水の表面で鏡面反射が生じることがあげられる。液性限界・塑性限界を持たない利根川砂は，c)や d)のように土粒子表面に水が吸着されないため，反射率が増加しなかったと考えられる。

5. まとめ

ハイパースペクトルカメラを用いて，土表面の反射率を求めることで，含水状態の定量が行えることが分かった。また含水比が増加すると，反射率は一度減少し，ある含水比で増加傾向に変わることで，その含水比は塑性限界である可能性があることが分かった。さらに土表面の状態と反射・透過のイメージを考察した。

謝辞：本研究の実験および結果の解釈の一部は，株式会社安藤・間の鈴木睦仁氏，山田淳夫氏，伊藤歩夢氏の支援により実施した。ここに感謝いたします。**参考文献：**1) i-Construction 委員会：i-Construction～建設現場の生産性革命～，i-Construction 委員会報告書，2016。

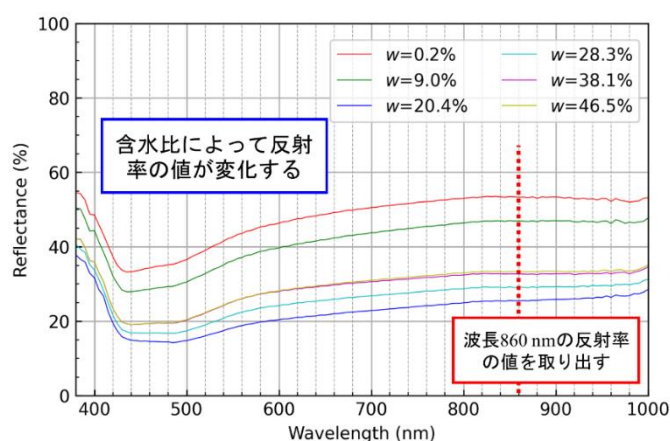


図 3 土表面の反射スペクトルの例（木節粘土 SM）

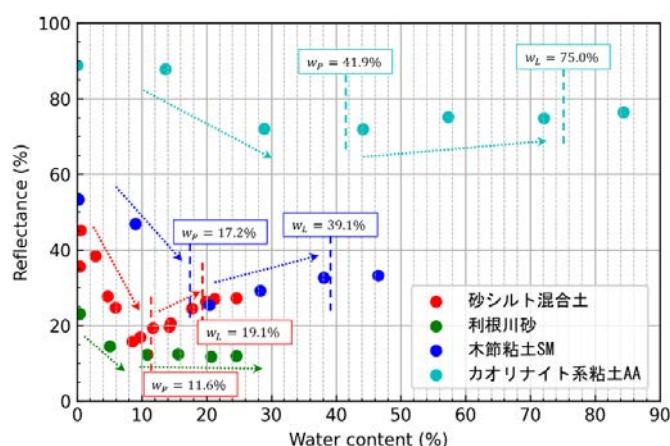


図 4 波長 860 nm における反射率と含水比の関係

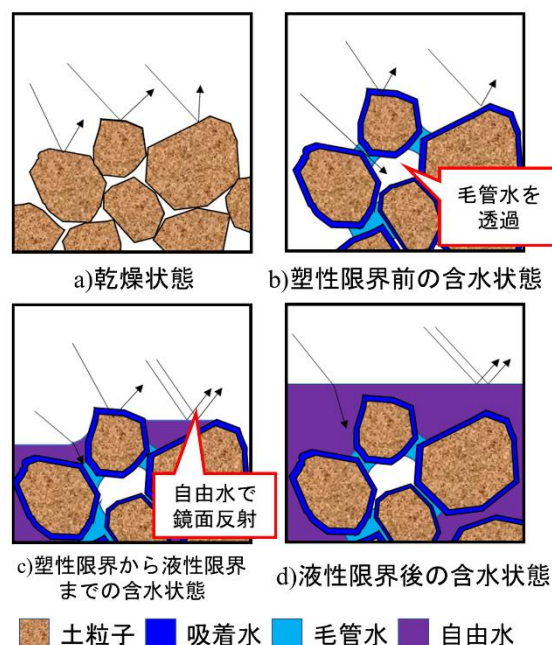


図 5 土表面の状態と光の反射・透過のイメージ（砂シルト混合土，木節粘土 SM，カオリナイト系粘土）