

# AI とハイパースペクトルカメラを活用した 建設材料性状の自動評価システムの構築 —ハイパースペクトル特性に着目した岩級区分の試み—

[研究代表者] 中村吉男 (工学部土木工学科)  
[共同研究者] 山本義幸 (工学部土木工学科)  
鶴田亮介 (㈱安藤・間)

## 研究成果の概要

岩塊はコンクリートの原料となる骨材やロックフィルダムの盛立材料をはじめ、道路、鉄道の路床、路盤、宅地造成あるいは各種護岸など、あらゆる土木工事に欠くことのできない材料の一つである。ダム工事における骨材や盛立材料は、原石山と称される堤体の近くの山体から採取することが多く、材料の採取計画は綿密な地質調査のもとに材料賦存量を推定し策定される。しかしながら、事前に広範囲の地山状態を深部にわたり詳細に把握することは今日の技術においては困難なことが多く、一般に工事の進捗に応じて材料採取計画を適宜修正する必要性が生じる。また、材料の判定には、個人差が出やすく安全側の観点から廃棄岩の発生が多くなる傾向にあり、加えて、高品質材料と低品質材料が互層で分布するなどの地形・地質状況によっては異種材料が混合して採取されることが少なからず生じる。更に、材料採取に伴い原石山には掘削斜面が生起し、残置される掘削斜面の長期的な安定性の確保という観点からも地山の性状を的確に判断すると言う作業は欠かせない。したがって、施工段階においては掘削斜面の安定性を確保しつつ、廃棄岩を減じて材料採取コストを抑え、安定した品質の材料を得る合理的な採取を行う上では、地山の状態を簡易に判定するシステムの構築が求められることとなる。

本研究は、材料採取に伴い変化する対象地山の状態を簡易的に判定する手法として、地山のハイパースペクトル特性に着目して岩級区分を試みるものである。具体的には、既往の評価法、すなわち、記述式（電研式）<sup>1)</sup>と要素組み合わせ式（土研式）<sup>2)</sup>の併用方式により岩級評価が行われた原石山の掘削斜面において、ハイパースペクトルカメラを用いた地山のスペクトル反射率を測定し、スペクトル反射率と岩級の相関を近傍成分分析により見出し、地山の岩級区分の自動判定システムの構築を目指すものである。

**研究分野：**地盤工学

**キーワード：**建設材料、岩石材料、岩級区分、ハイパースペクトルカメラ、近傍成分分析

### 1. 研究開始当初の背景

土・岩塊などを始めとした天然資材の評価を効率的に行うことを目的とした研究は、3D レーザースキャナーの反射強度画像を用いた画像処理による岩石マッピング<sup>3)</sup>や、不可視光線の波長帯の紫外線や赤外線、遠赤外線等も分光して記録できるハイパースペクトルカメラを利用したサンゴ礁の低質被度を推定や農業の生育状況と病虫害被害の可視化が試みられている<sup>4,5)</sup>。また、土木分野では人工知能の一種である深層学習の利活用が検討されており、様々な評価・分析における高度化、省略化が図られている。

### 2. 研究の目的

本研究は、電研式<sup>1)</sup>と土研式<sup>2)</sup>を併用した既往評価法により岩級区分された岩盤斜面を、ハイパースペクトルカメラで撮影し、得られたスペクトル特性と岩級の相関を近傍成分分析により評価し、岩盤性状を自動的かつ瞬時に把握するシステムの開発を目指すものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究対象とした岩盤の地形・地質特性

本研究で対象とした岩盤斜面は、沖縄県恩納村に建設中のロックフィルダム（安富祖ダム）における原石山の

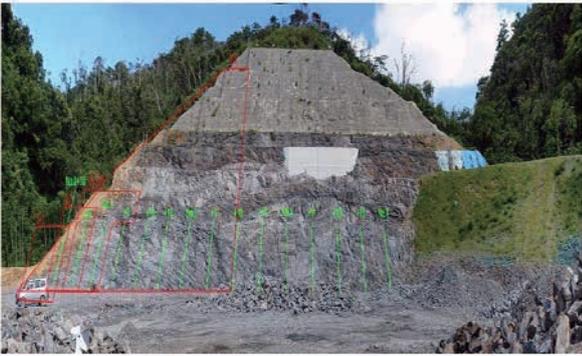


図-1 原石山の全景

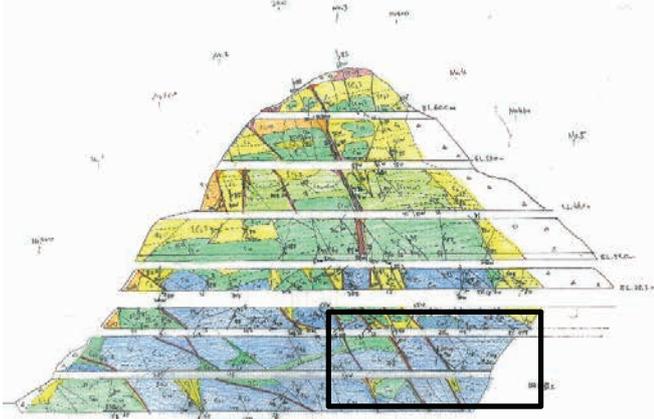


図-2 原石山の岩級区分

掘削斜面であり、その全景を図-1に示す。原石山に分布する岩盤は、新生代古第三紀国頭層群の嘉陽層砂岩を主体とした塊状～層状岩盤であり、地質構造は層理面が北方向に $10\sim 25^\circ$  緩傾斜する構造である。特に尾根中央に沿って西傾斜の断層がみられ、断層上盤側は割れ目が発達した破碎岩盤となっている(幅 $w$ =約 $1.0\text{m}$ )。一方、原石山に賦存する岩塊としての材料的な品質は、様々な地質現象(形成・破碎過程など)を受けた岩盤の状態に支配されることとなるので、掘削対象となる地山の優劣を岩級というカテゴリーで区分し、材料の採取が行われる。岩級区分は、岩盤の優劣を人為的に判断するものであり、「岩片の硬さ」「割目間隔」「割目の状態」より判断し、これらを規定するものとして記述式(電研式<sup>1)</sup>)と要素組み合わせ式(土研式<sup>2)</sup>)の併用により行われる。研究対象の原石山の岩級区分は、 $C_H$ 級、 $C_M$ 級、 $C_L$ 級、 $D$ 級に区分され、掘削斜面の岩級区分は図-2の通りとである。なお、紙面の都合上、本報では図中の黒枠で示した範囲を対象とした検討結果を報告する。

## (2) ハイパースペクトルカメラの概要

一般に使用されるカラーカメラは、人間の視覚的特性

に基づき RGB (Red,Green,Blue) など3種類のフィルターを用いて色彩の情報取得を行っている。色差計や分光計を用いることにより色彩の定量的な表現を高めることが出来るが、色差計や分光計は、一度にごく一部の領域しか測定できないため、被写体が広範囲にある土木工場の現場においては撮影に多くの時間を要する。これに対し、ハイパースペクトルカメラは、短時間で可視光線の波長帯の電磁波や、不可視光線波長帯の紫外線や赤外線、遠赤外線の電磁波を各波長帯に分光し記録(ハイパースペクトル画像)し、広範囲にわたる被写体のスペクトル反射特性を把握することができる。本研究では、波長範囲 $400\text{nm}\sim 1000\text{nm}$ のスペクトル反射特性の取得が可能である Spectral Imaging 社製のハイパースペクトルカメラ Specim IQを用いて撮影を行った。ここで、本研究で行う Specim IQを利用した岩級区分に関連する基礎事例として千円札の撮影を引用し紹介する。千円札に印刷されている「千」と「円」は人の目には同色(黒色)として判別されるが、ハイパースペクトルカメラによりスペクトル強度(反射率)を測定すると、図-3に示すように波長が $780\text{nm}$ 以降で大きく異なることが分かる。すなわち、「千」のスペクトルは反射率 $0.9$ 程度に対し、円のスペクトルは $0.3$ 程度を示し、近赤外線領域内での光の反射と吸収の特性を比較することにより、「千」と「円」の顔料の判別が可能となる。そして、このスペクトル特性の違いに着目すると、図-4に示すように「千」と「円」で使用されている顔料の分布を表示することが可能となる。

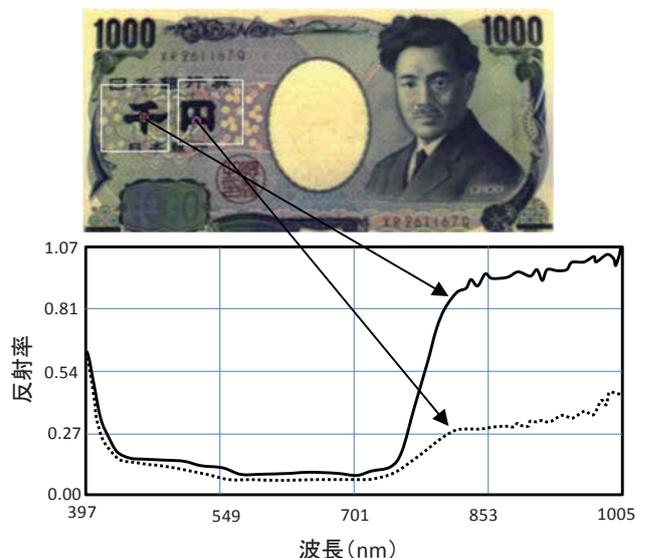


図-3 千円札における「千」と「円」のスペクトル強度



図4 「千」と「円」の顔料の区分

4. 研究成果

図-2 に示した黒枠の範囲の画像を、約 50×50 ピクセル(約 5×5mm) に分割し、分割ごとのスペクトル反射率と波長の関係を整理した。次いで、統計学の一つである近傍成分分析<sup>6)</sup> を用いて対象岩盤の特徴的なスペクトル反射率を呈する波長を抽出した。図-5 は近傍成分

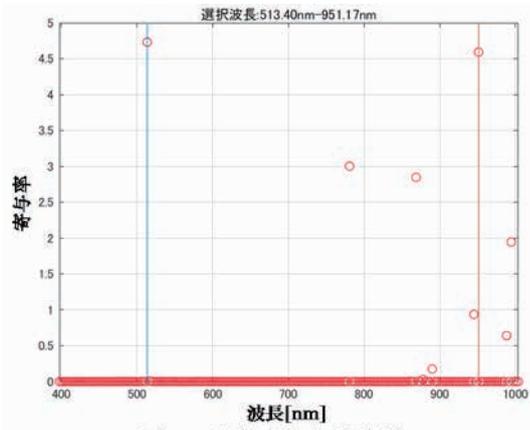


図-5 近傍成分分析結果

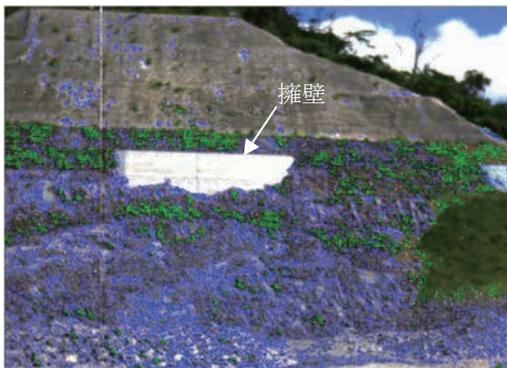


図-6 スペクトル特性に着目した岩級区分

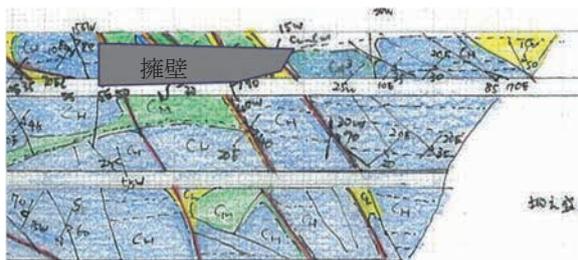


図-7 既往評価法における岩級区分

分析により得られた波長とスペクトルの特徴量を示す寄与率の関係を整理したものであり、513.4 nm と 951.17 nm が特徴的なスペクトル特性を呈する波長であることが分かった。この波長に着目し類似したスペクトル反射率を有する領域を区分すると、図-6 に示すとおりになる。図中緑色部が C<sub>M</sub> 級岩盤、青色部が C<sub>H</sub> 級岩盤を表している。また、図-7 は図-2 より対象領域の岩級区分を拡大したものであり、図-6 と図-7 の対比により、コンクリート擁壁の上部と下部にある C<sub>M</sub> 級岩盤や C<sub>H</sub> 級岩盤の分布状況はおおむね捉えることが出来ているが、線上に分布する破碎帯 (D 級岩盤) や C<sub>L</sub> 級岩盤については精度よく捉えることはできておらず、撮影方法の影響を含め、更なる精度向上を目指したいと考えている。

5. 本研究に関する発表

無し

謝辞

本研究を行うにあたり、梅林建設(株)の今田謙一氏と(株)アイコの吉田一也氏には現地調査にご協力いただいた。また、近傍成分分析を行うにあたり筑波大学の澁谷長史助教には細部にわたりご助言をいただきました。記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門、山海道、1964
- 2) 岡本隆一、安江朝光：ダムサイトにおける岩盤区分の試み、土木技術資料 Vol.8, No.9, 1966
- 3) 早野明:3D レーザースキャナーの反射強度画像を用いた画像処理による岩石マッピング-瑞浪超深地層研究所における適用事例、写真測量とリモートセンシング、Vol.49、No. 41993、pp.202-205、2010
- 4) 佐鳥新:作物・圃場情報に最適なハイパースペクトル・マルチスペクトルカメラの開発、計測と制御、Vol. 55、No. 9、pp.764-767、2016
- 5) 小田川信哉、武田知己、山野博哉、松永恒雄:ハイパースペクトルデータを用いたサンゴ礁底質被度推定手法の提案、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 36、No. 1、pp1-103、2016
- 6) Yang, W., K. Wang, W. Zuo. "Neighborhood Component Feature Selection for High-Dimensional Data." Journal of Computers. Vol. 7, Number 1, January, 2012.