

グラウトを含む砂岩コア X 線 CT 画像の機械学習による材料識別の精度

山口大学	学生会員	○田川千尋
山口大学	正会員	中島伸一郎
ニュージェック	正会員	吉津洋一
関西電力	正会員	井関宏崇
京都大学	正会員	岸田潔

1. はじめに

X 線 CT は岩石試料内部の材質やき裂の分布を非破壊的に観察する有効な手段であるが、構成材料間の CT 値が似通っている場合には材料識別が難しい。本研究では、き裂にグラウト材が充填された岩石コアの X 線 CT 画像から、母岩、グラウト、空隙の材料識別を機械学習によって自動識別する手法を検討した。

2. 供試体および X 線 CT 撮像

重力式コンクリートダムである A ダムサイトの基礎岩盤には遮水性の確保のためカーテングラウチングが施工されている。本研究では、チェック孔から採取された砂岩コア (図-1 (a)) を  $\mu$ フォーカス X 線で撮像し、その CT 画像 (図-2 (b)) を画像処理ソフトウェアである ImageJ により解析を行った。CT 画像はボクセルサイズが  $53 \times 53 \times 58 \mu\text{m}$  で、CT 値は 8bit のグレイスケールである。この画像から母岩・き裂・グラウトを含む局所直方体要素 (図-1 (c)) を取り出して画像処理による材料識別に供した。

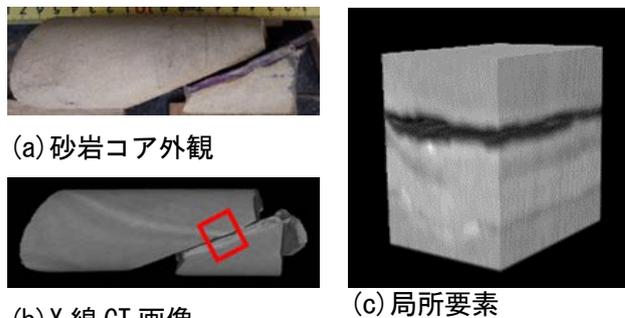


図-1 き裂にグラウトが侵入した砂岩コアの X 線 CT 画像と解析に用いた局所要素

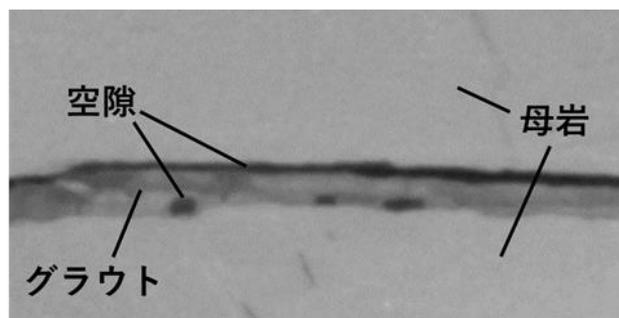


図-2 機械学習による材料識別実験に用いた X 線 CT 画像

3. 自動識別において手動識別が与える影響

画像識別には ImageJ の機械学習プラグインである TWS (Trainable Weka Segmentation) を用いた。TWS では画像の特徴検出と手動識別を同時並行で行う。元画像に対して画像処理を行う工程と手動で各材料(母岩・グラウト・空隙)に一定範囲の識別を与える工程で得られた結果をもとに識別器 (ランダムフォレスト) により自動識別を行う。本研究ではこの手動識別が自動識別の結果に与える影響について実験的に考察した。画像識別に用いた供試体断面画像を図-2 に示す。図に示すように母岩、グラウト、空隙の 3 つの材料が含まれている。グラウトは密度が均一ではなく部分的に母岩と同じ CT 値を持つ。空隙は連続した空隙とグラウ

ト中に含まれる円状の空隙の 2 種類がある。本研究で用いた特徴検出フィルタはデフォルト設定の Gaussian blur, Sobel filter, Difference of gaussian, Hessian, Membrane projections の 5 つである。Gaussian blur にはノイズ除去, Sobel filter, Difference of gaussian には輪郭抽出, Hessian には線抽出の効果がある。Membrane projections にはノイズ除去, 輪郭抽出の 2 つの効果がある。

第一段階では図-3 の黄色の枠線内の母岩、グラウト、空隙にそれぞれ適当な範囲の手動識別を与えた。ここで、手動識別を母岩は赤、グラウトは緑、空隙は紫の 50 ピクセル分の直線範囲とした。空隙に対する手動識別は図のように、画像を横断し連続している空隙に対

して与えた。

図-4 は、第一段階の手動識別に対する画像全体の自動識別結果を示す。赤色は母岩、緑色はグラウト、紫色は空隙を示す。図から円状の空隙も正しく空隙として識別がされていることから連続した空隙に与えた手動識別が正しい識別結果を導いたことがわかる。しかし、図内の黄色の点線で囲まれた部分、連続した空隙の上端に接している母岩部分とグラウト境界部の母岩が、グラウトと誤識別されていた。

第二段階では、グラウト・母岩間の誤識別を改善するため、グラウトの手動識別領域面積を2倍に増やした(図-5)。図-4 と図-5 を比較すると、母岩で 0.0%、グラウトで 0.2%、空隙で 1.1%の誤差があった。

第三段階では、図-6 のように、母岩とグラウトの境界、母岩と空隙の境界、円状の空隙など、特徴的な部位を含めて手動識別領域を設定した。その結果、図-7 のとおりおおむね正しく自動識別がなされた。図-7 の識別結果に対して、図-4 は母岩で 4.1%、グラウトで 31.2%、空隙で 1.1%、図-5 は母岩で 4.1%、グラウトで 31.5%、0.1%の識別誤差であった。

#### 4. まとめ

本研究では、TWS において手動識別が識別結果にどのように影響するのかを実験的に考察した。結果より、手動識別を与えた範囲と連続した材料には比較的正しい自動識別が行われた。また、連続していない部分の範囲でも、空隙のようにグラウト、母岩より CT 値が明らかに低い材料は正しく識別される場合が多い。自動識別の精度を上げるためには、手動識別を与える範囲に多様性が必要であることがわかった。

#### <参考文献>

- 1) グラウチング技術改定指針の概要,  
<http://www.nilim.go.jp/lab/fdg/kijyun/2003grouting.pdf>  
(2020/02/05 参照)
- 2) Ignacio Arganda-Carreras, Verena Kaynig, Johannes Schindelin, Albert Cardona, HS Seung: Trainable Weka segmentation: a machine learning tool for microscopy image segmentation, Neuroscience, 2014, 73-80

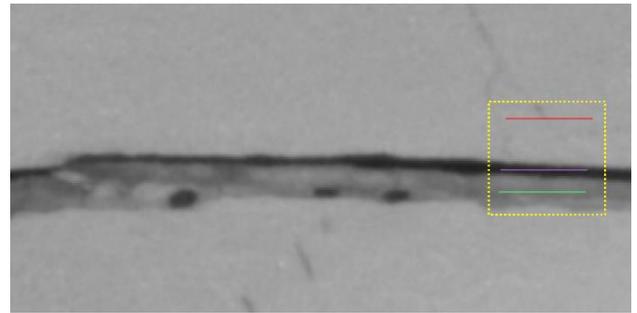


図-3 第一段階検討での手動識別範囲

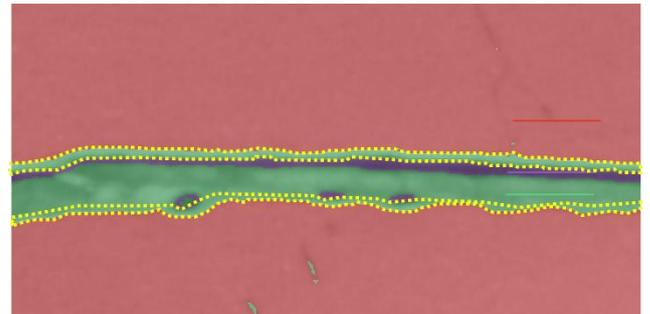


図-4 第一段階検討での自動識別結果

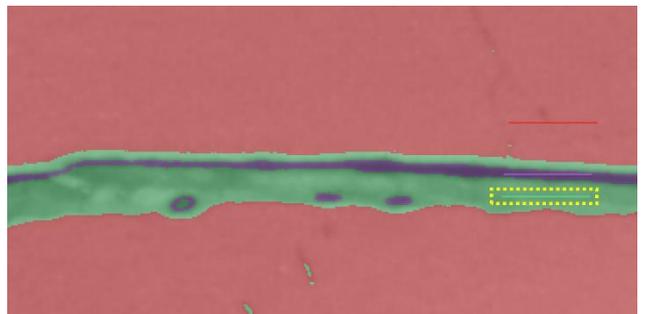


図-5 第二段階検討での手動識別範囲と自動識別結果

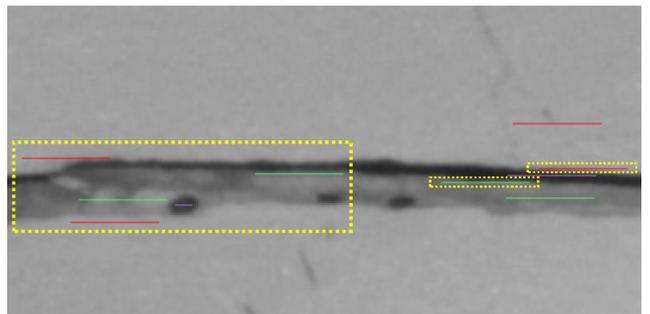


図-6 第三段階検討での手動識別範囲

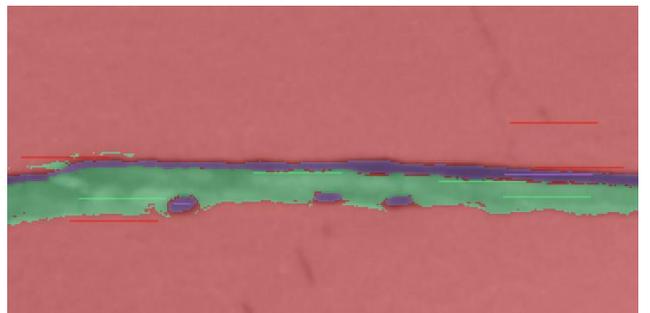


図-7 第三段階検討での自動識別結果