

地質調査効率化のための 自動亀裂検出システムの開発

和田 直史 [北海道科学大学/准教授(現:教授)]
鈴木 利実 [株式会社レアックス 開発部/部長]
立野 直樹 [株式会社レアックス 開発部/専門部長]

背景・目的

地質調査は構造物の建設や防災対策の基礎となる重要な工程であり、特にボアホールカメラ調査はダムやトンネル建設、地すべり調査などで広く用いられる。しかし、亀裂の特定作業は熟練技術者が目視で行っており、多大な時間と労力を要する。本研究では、AIを活用した自動亀裂検出システムを開発し、解析作業の省力化と高精度化を目指す。特に、ボアホールカメラで取得した孔壁展開画像に現れる正弦波状亀裂の高精度検出技術を開発する。地質調査の迅速化と高精度化により、土木工事の信頼性向上や災害リスクの低減、インフラ整備への貢献が期待できる。

内容・方法

本研究では、ボアホールカメラで撮影した孔壁展開画像から正弦波状亀裂を自動検出する技術を開発した。具体的には、深層学習(Vision Transformer)を用いて亀裂の有無を判定するとともに、Grad-CAMで得られたClass Activation Map(CAM)に対して正弦波状亀裂の形状推定を行った。

① 亀裂検出および形状推定の高精度化

形状推定の高精度化に向け、(1)CAMにおける候補領域の絞り込み、(2)複数CAMの形状推定結果に基づく適応選択の2つのアプローチを導入した。また、(3)画像生成

AI(Stable Diffusion)を用いたデータ拡張についても試行し、LoRAを活用した亀裂画像の生成手法を検討した。

② 現場評価のためのプロトタイプ開発

本研究の亀裂検出アルゴリズムを統合したソフトウェアプロトタイプを開発し、ITベンダーと協力して実装を行った。開発期間は3か月とし、技術者とともに検証を進めながら、システムの調整と改良に取り組んだ。

結果・成果

① 亀裂検出および形状推定の高精度化

(1)CAMにおける候補領域の絞り込み:従来のCAMは、亀裂以外のテクスチャに対しても反応し、誤検出の要因となっていた。そこで、本研究ではCAMのフィルタリング処理を導入し、候補領域を絞り込むことでノイズを低減した。具体的には、1次元のガウシアン重み関数を適用し、隣接画素の影響を考慮した処理を行った。その結果、形状推定精度が83.0%から90.4%に向上した(図1)。

(2)複数CAMの形状推定結果に基づく適応選択:同じ亀裂であっても異なる入力画像では正しく検出されるケースがあることを利用し、データ拡張手法を用いて複数の異なる孔壁展開画像を生成し、それぞれに対して形状推定を実施した。複数の結果の中から最も適切なものを選択することで、さらなる精度向上を実現し、形状推定精度を94.7%まで改善した(図1)。

(3)画像生成AIを用いたデータ拡張:Stable Diffusionを活用し、人工的な正弦波状亀裂画像を生成するデータ拡張の可能性を検討した。プロンプトのみでは所望の画像は得られなかったが、LoRAを用いた追加学習により、所望の亀裂画像に近い画像を生成できることを確認した。しかしながら、現時点では形状推定精度の向上には至らなかった。今後、ControlNetなどの補助情報を活用し、より細かい条件を反映させたデータ拡張手法の開発が必要である。

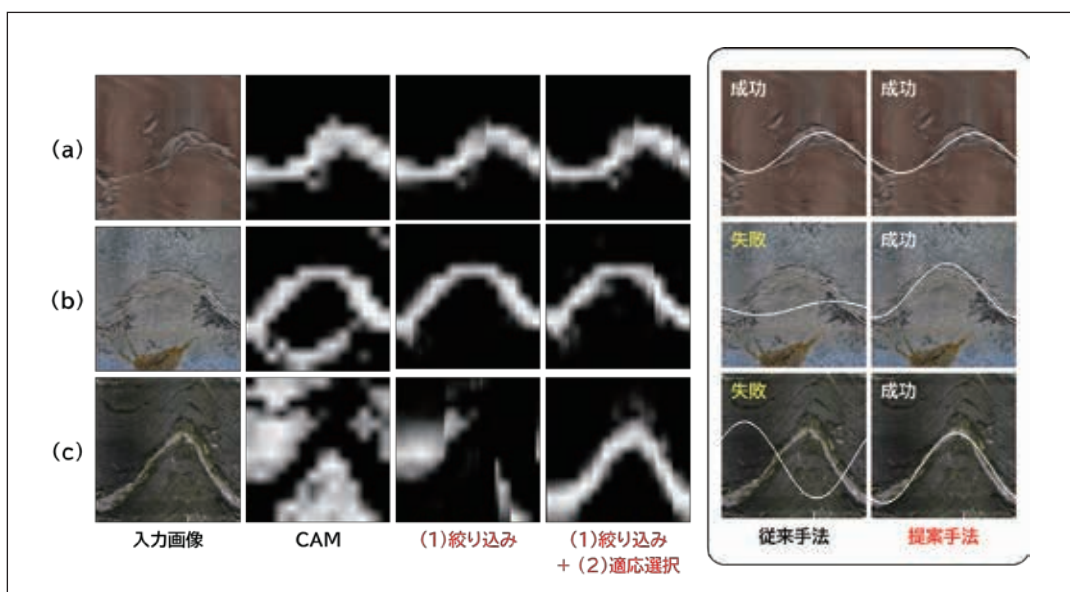


図1:形状推定におけるCAMの(1)絞り込み、(2)適応選択の導入による効果

②現場で評価するためのプロトタイプ開発

開発した亀裂検出アルゴリズムを統合し、現場での実用性を検証するためのソフトウェアプロトタイプを開発した。プロトタイプでは、縦長の孔壁展開画像を入力し、AIが自動で亀裂検出を行い、結果を画面に表示する機能を実装した。具体的には、(1)縦長の孔壁展開画像の表示、(2)亀裂検出結果の重畳表示、(3)亀裂情報(位置やパラメータ)の出力、(4)線の表示設定(色・太さ・透明度)といった機能を備えている(図2)。プロトタイプの開発はITベンダーと協力し、約3か月の期間で実施した。開発期間中に5回のミーティングを行い、システムの仕様調整と機能改善を進めた。最終的に、現場技術者による試用を実施し、実運用に向けた課題の洗い出しを行った。その結果、亀裂検出の精度や処理速度のさらなる向上が求められることが明らかとなり、今後の改良に向けた具体的な指針を得ることができた。

今後の展望

本研究では、従来の目視解析を補完・代替する高精度な亀裂検出システムの開発と実用化を目指している。今後は、開発したプロトタイプを現場で試用し、得られたフィードバックをもとに精度向上やユーザビリティの改善を進め、商用レベルの製品開発へとつなげる。また、技術の特許申請を行い、知的財産として権利化を進めることで、競争力の強化を図る。さらに、クラウドベースの解析サービスの開発を検討し、遠隔解析や長期的なデータ蓄積を可能にすることで、継続的な精度向上と実用性の拡大を目指す。

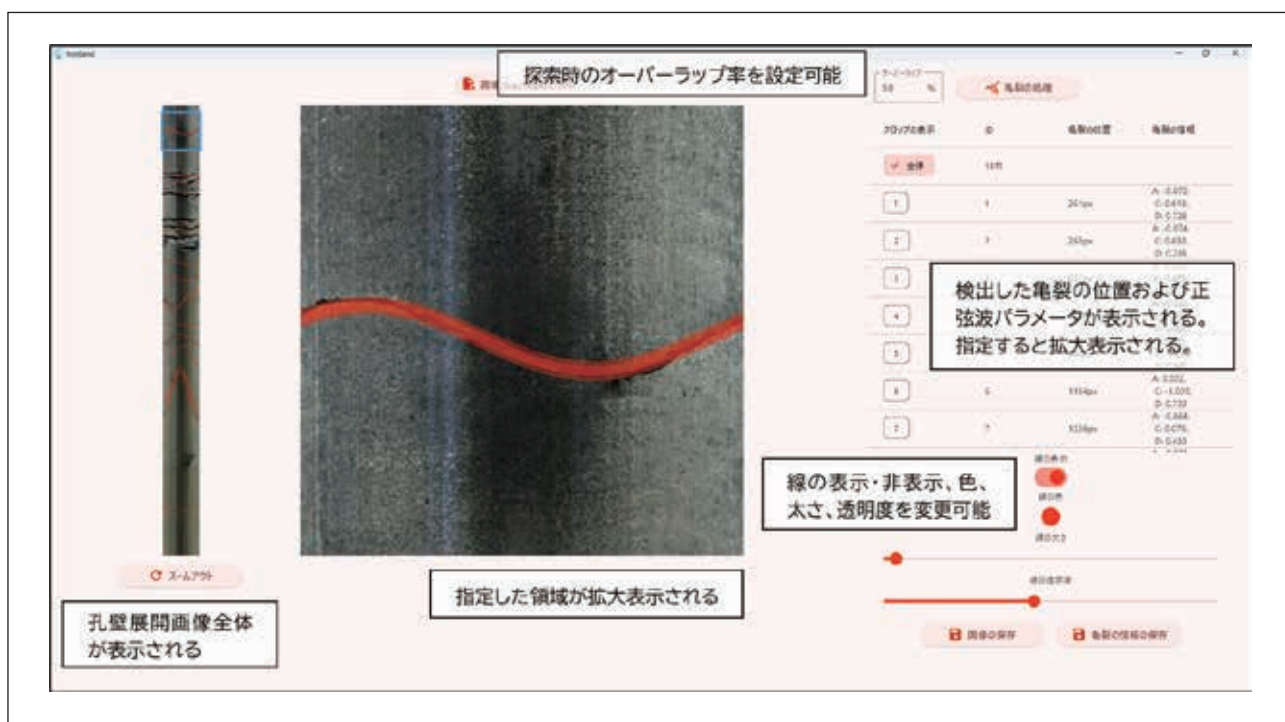


図2:亀裂検出ソフトウェアプロトタイプの外観と機能説明