

深層学習によるアーチダム表面変状の検出とその分布特性

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○栗飯原 稔、権神 侑貴、安野 貴人

1. はじめに

ダムにおいては竣工後 30 年を経過した頃から徐々に劣化や損傷が目立つようになることから、竣工後 30 年経過ごとに総合点検を実施し、ダムの健全性を評価することが定められている。大規模構造物であるダムにおいて、その劣化・損傷を客観的かつ定量的に記録することが健全性評価のための重要な課題のひとつである。

本論文では竣工後 60 年を経過した鳴子ダムにおいて、劣化現象のひとつであるポップアウトに着目し、UAV（ドローン）による撮影画像を基に、人工知能（AI）の一種である、深層学習（ディープラーニング）により抽出し定量化を行った。

2. 堤体の劣化状況

ポップアウトは、コンクリート表面近くに吸水率の高い低品質骨材が分布し、冬期に骨材中に浸入した水分が凍結



図-1 発生メカニズム

する際に膨張することで、表面のモルタル分を押し出すことにより発生すると言われている。鳴子ダムでは上下流面に、拳大～人頭大のポップアウトによる円形の欠損が確認されている。ダム建設時に使用した骨材（Gmax150mm）は、ダムサイト下流の河床砂礫を使用しており、品質管理により適合した骨材を使用していたものの、一部でやや低品質な骨材が混入していたものと見られる。既往の調査では、少なくとも昭和 58 年には堤体表面のポップアウトが確認された記録が残っている。平成 26 年と 27 年に撮影された写真を対比したと

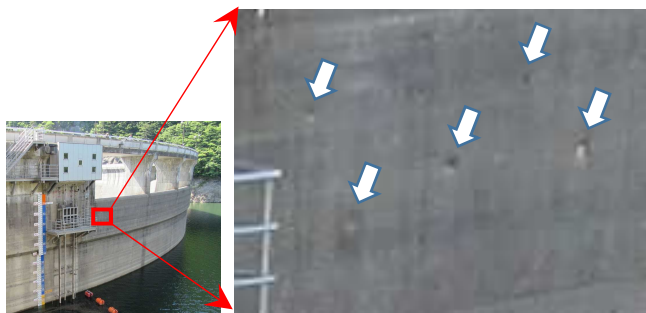


図-2 上流面ポップアウト生起状況

ころ、1 年間で新たに生起したポップアウトも存在することが確認されている。また、ポップアウトが生起した凹部奥側には、茶褐色の骨材が存在していることが多く、これらを物理試験を実施したところ、吸水率が高くやや低品質の骨材であることが明らかとなった。

3. UAV（ドローン）による写真撮影

撮影は UAV を使用して堤体に対して正対するように撮影した。カメラは 2,430 万画素（6,000×4,000）を使用した。画像 1 枚あたりの撮影範囲は横 12m×縦 8m とし、解像度は 2mm/画素とした。合成のためのラップ率は縦横 60%程度を確保することとし、上下流面合計で約 8,000 枚を撮影した。

画像は S f M 解析により 3 次元の堤体に合成した後、AI による検出のため、ドローン撮影画像と同じ解像度に分割し、検出用のデータセットに展開した。

4. ディープラーニングによる検出

堤体表面のポップアウトを自動抽出するために、深層学習ネットワークを用いた。SegNet と呼ばれるケンブリッジ大学のチームが 2016 年に開発した semantic segmentation のネットワークを使用した。この手法は、ピクセル単位で画像内の物体の形状、位置を検出できる。学習データは 100 枚作成し、パラメータを設定した。検出は $\phi 4\text{cm}$ 以上のポップアウトを対象とした。

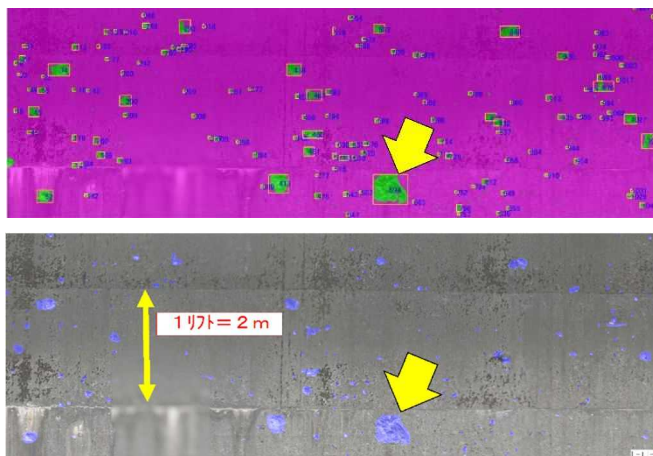
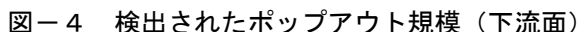


図-3 検出されたポップアウトのうち最大のものの（ $\phi 57.4\text{cm}$ 、堤体 5 ブロック下流面）

キーワード アーチダム、ポップアウト、維持管理、人工知能、深層学習、傾向管理

連絡先 〒980-0802 仙台市青葉区二日町 1-23 八千代エンジニアリング(株)北日本支店 TEL 022-261-2190

上記の手順により上下流面のポップアウトを検出した結果、約 31,000 箇所(φ4cm 以上)が抽出された。その大部分はごく小規模であり、一定数の過剰な検出も含んでいるものと考えられる。検出されたポップアウトの最大値は、φ57.4cm(堤体5ブロック下流面)であった(図-3)。上下流合計で φ30cm 以上は 112 箇所、うち φ40cm 以上は 14 箇所が抽出された。



φ30cm 以上のポップアウトは堤体下流面のやや左岸側に多く分布していることが明らかとなった。鳴子ダム の厳冬期には、左岸下流側は山陰により、一日中、日照がない状態となり凍結が促進される。また、左岸中位部には放流バルブが設置されており、この下位標高では僅かながら水分の供給があり、ポップアウトが生起しやすい環境下であったと考えられる。

これまでポップアウトの劣化調査には、双眼鏡等を使用し、堤体下流河床部または左右岸から目視によるスケッチを行い、概ねの位置を把握するなど労力がかかっていた。またポップアウトかどうか判断するのに調査者の技量・個人差が生じる。そのため、これまでポ

ポップアウトの数や、サイズ、分布を正確に把握することが困難であった。平成 21 年の目視によるポップアウト調査では、ポップアウトのサイズは記録されておらず、また、今回のディープリーニングでの検出結果よりも下位標高に多く分布するとの結果が得られていた。今回はドローンによる正対撮影を実施したのに対し、当時は目視の観測点の差異によるものと考えられる。

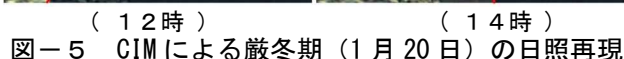
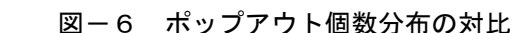


図-5 CIMによる厳冬期(1月20日)の日照再現



破線は 10 時 12 時 14 時の日照ラインを示す。

(左: $\phi 30\text{cm}$ 以上抽出、右: H21 目視調査結果)

ドローンによる正対撮影を行った画像を基に、人工知能（ＡＩ）の一種である、深層学習（ディープラーニング）によりポップアウトを検出した結果、客観的かつ定量的に評価できた。

今後、さらにダムを長期間にわたり健全性を確保しながら活用し続けるためには、このような劣化の記録を定期的 to 実施し、劣化の進行速度を把握することが重要である。これにより、適切な時期に、適切な補修工または対策工を講じることが可能になるものと考える。

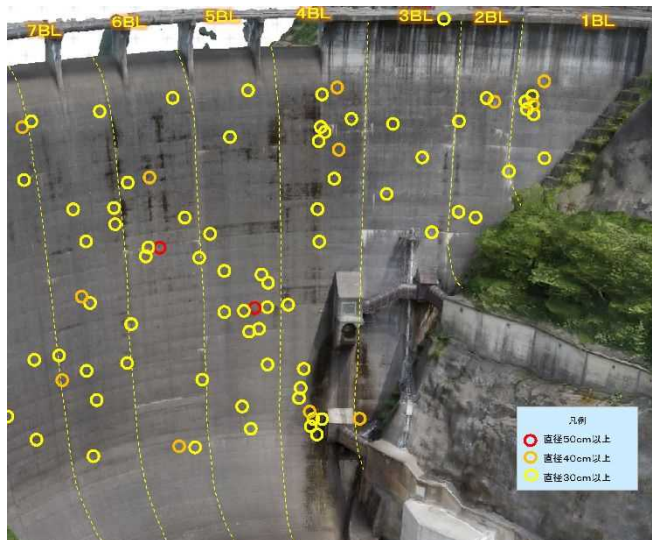


図-7 ディープリンングにより検出されたポップアウト位置（下流面：φ30cm 以上を抽出）