

AI を用いた石礫の自動判読技術の開発

(株)オリエンタルコンサルタンツ

正会員 ○井川 忠

正会員 佐藤 厚慈

正会員 青山 哲司

1. 目的

砂防施設の施設設計にあたり、現行の「土石流・流木対策設計技術指針」では砂防堰堤計画地点の上下流各々200m の範囲で礫径調査を実施し、設計諸元を決定することとなっている。計測を実施する溪流は、土石流の発生箇所や土砂・洪水氾濫対策を実施する河幅の広い溪流条件下では、足場の悪い状況での作業、溪流数が多い場合は作業の長期化、また、溪流内に数千個の礫が存在する場合は人の目視によるため見落としや作業誤差が発生する。さらに土石流の調査は、流域の上流は滝などの急峻斜面が存在する場合も多く、直接人が視認できない場所に礫が分布することも想定される。近年、無人ヘリコプターの活用により、直接人が視認できない場所において高解像度の写真撮影によって、礫を把握することは可能となってきたが、数多くの礫が存在する場合は、判読に労力を費やすことから計測画像の効率的な処理が課題となる。本報告は、UAV 等を用いた高解像度の撮影画像を用いた礫径の判読作業について、生産性向上や作業者の安全性向上の観点から、人工知能（以下「AI」）を用いた自動判読技術の適用を試みたものである。

2. 教師データの取得

礫の自動判読を行うために、AI に数多くの礫撮影画像（以下、「教師データ」）を与える必要がある。教師データは、撮影高度が高い航空機による画像では解像度が低いため直径数mの礫でなければ判読できない。従って、本研究では溪流調査に用いられることが多い UAV による撮影画像を対象とした。撮影高度は航空法の許可が不要な 150m 未満のものを対象とし、撮影画像の礫質・形状・色彩・明度等が異なる条件の教師データを与えるものとした。

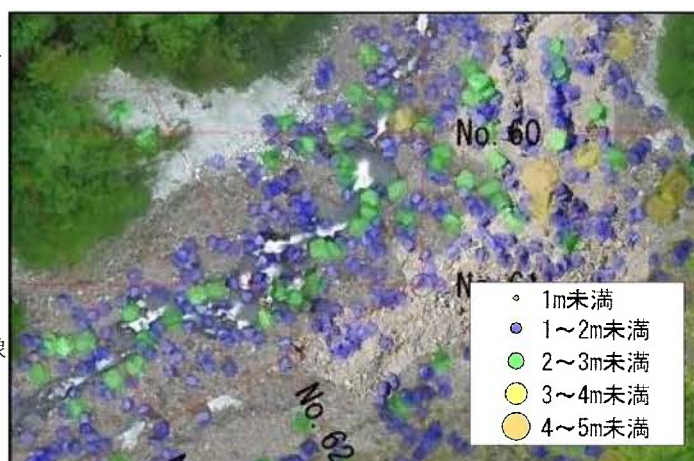


図-1 教師データの一例

3. 学習モデルの開発

(1) 学習モデルの選定

AI の学習モデルは複数存在するため、礫の自動判読に適するモデルの選定が必要となる。代表的な学習モデルは表-1 に示す4つの手法であり、本研究では認識したい物体を矩形で囲って検出する手法である物体検出（ObjectDetection）を採用するものとした。

(2) 学習モデルの開発手順

選定した物体検出手法を用いて、撮影した画像を深層学習アルゴリズムに読み込みし、モデルを生成させたのち推論の結果を出力するものとした。深層学習は与えた教師データに対して調整・反復学習を繰り返し行う原理であり、条件の異なる様々な教師データを用いて繰り返し演算処理を行うことで物体

表-1 学習モデルの選定

手法	概要	イメージ
領域分割 Segmentation	認識したい物体の領域をピクセル単位で分割	
物体検出 Object Detection	認識したい物体を矩形で囲って抽出	
分類 Classification	画像が予め設定した分類項目の何にあたるかを検出	
生成 Image generation	画像からその内容、状態をテキスト、さらにテキストから画像を生成	

キーワード AI, 物体検出, 礫径調査, 深層学習, 転写破砕

連絡先 〒151-0071 東京都渋谷区本町3丁目12番1号 株式会社オリエンタルコンサルタンツ TEL 03-6311-7863

検出の精度が向上するという原理である．従って，様々な色彩・形状が含まれたパターンの画像を認識させることが重要である．

(3) 深層学習アルゴリズムのための教師データ作成

礫は様々な形状やサイズがあるため，深層学習アルゴリズムに様々なバリエーションの礫を学習させる必要がある．礫検出に適した教師画像を選定するため，撮影場所や撮影高度を変化させながら，表2に示す学習モデルを作成した．低解像度の教師画像から1～2m以上の大きい礫を中心に学習し，中～高解像度の教師画像から，より小さい礫も認識するように学習させた．

(4) 深層学習モデルによる礫抽出結果

各学習モデルの作成にあたり学習時間が必要である．Ver. 01 で適切な学習時間を判定し，20～30 時間程度で十分な検出能力を得られることが分かった．Ver. 05 で教師データを組み合わせることで大小様々な礫を認識できた．Ver. 06 では認識率の向上のため，教師データを Ver. 05 と同一のまま，深層学習アルゴリズムのパラメータのみを礫向けに調整した．その結果，同一の教師データから礫検出数を向上させることができた．なお，本学習モデルの検出精度は，人が数えた目視判読の礫の個数に対して，判読礫径 1m 以上の場合，検出率 70%程度となった．検出した礫をサイズごと分類し，大きい方から赤，紫，黄色，緑で表示した．その例を図-3 に示す．

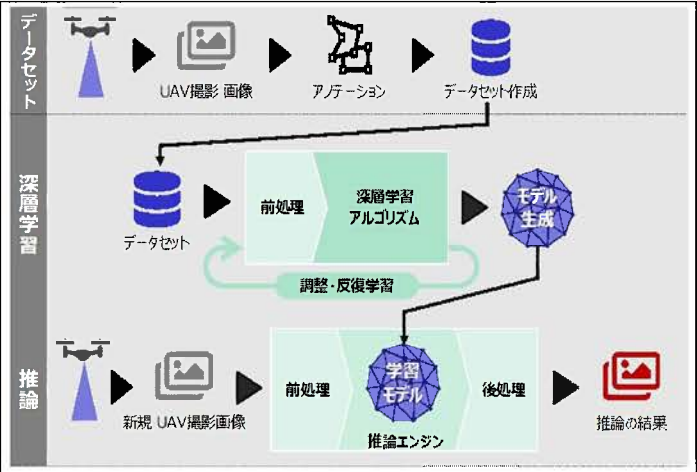


図-2 学習モデルの開発手順

表-2 学習モデルの概要

学習モデル	学習モデル概要	教師画像撮影場所
Ver.01	低解像度の礫画像による学習 高度130m撮影	場所A
Ver.02	高解像度の礫画像による学習 高度40m撮影	場所B
Ver.03	高～中解像度の礫画像による学習 高度40,60,80,100m撮影	場所B
Ver.04	Ver.03にVer.01の2m以上の礫を追加	場所A+場所B
Ver.05	Ver.03にVer.01の全ての礫を追加	場所A+場所B
Ver.06	教師データはVer.05と同一 学習アルゴリズムを礫向けに調整	場所A+場所B



図-3 自動判読の抽出画像の例

自動判読結果の礫径グラフを図-4に示す。

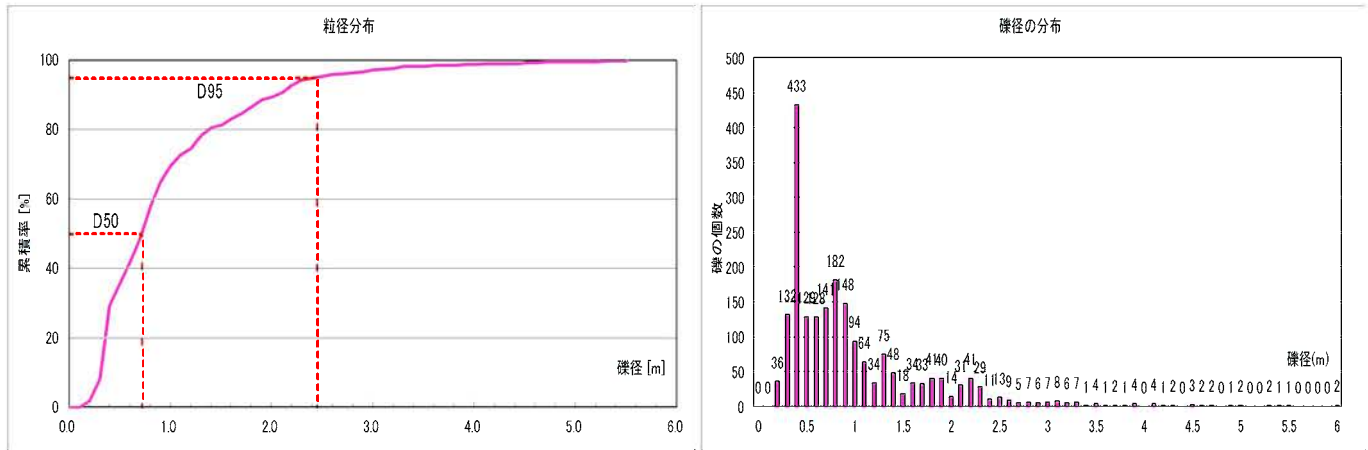


図-4 自動判読結果の礫径グラフ

4. 抽出精度の検証

認識した礫画像の検証には、実際に撮影画像内に計測棒（2m 赤白ポール）を設置し、演算時に1ピクセルあたりの大きさを設定した。また、地表での計測礫と演算した礫の対比検証を合わせて行うことで、自動判読結果との検証を行った。比較結果を図-5に示す。また、人力作業とAIの自動判読の比較結果を表-3に示す。

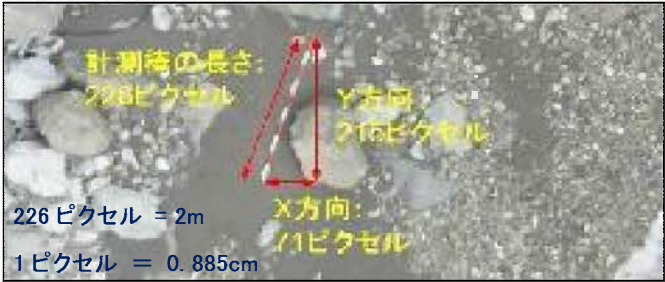


図-5 抽出画像の精度検証

5. 現場での活用検証

(1) 小型無人飛行機による空中写真撮影

砂防堰堤計画地点の石礫の分布を把握するため、小型無人飛行機による空中写真撮影を実施した。撮影条件は次工程で実施する空中写真を用いた自動判読に必要な条件として表-4に示す内容とした。表-4に示す条件で計測した各溪流の空中写真は、判読段階でひずみが無い状態の基図として用いるためオルソフォトを生成した。

表-3 人力作業とAIによる礫抽出の比較		
項目	人力作業	人工知能 (AI)
抽出可能な礫径	10cm～上限なし	30cm以上～上限なし ※解像度による
礫の認識率	100%	礫径100cm以上で70%以上
礫の誤検出率	定量評価困難 人による目視誤差	8.6% ※本開発実施段階
礫の抽出個数	400個 長時間	数千個 短時間

(2) 現地計測と空中写真判読のキャリブレーション

河床に堆積する石礫の大きさを確認する場合、石礫の長径と短径を計測することが一般的である。オルソフォトを用いて石礫の判読を行う場合、深度方向の高さを確認できないため、現地踏査による計測方法と同様に長径と短径を読み取る方法を採用した。空中写真の撮影範囲が広域である場合、写真内に撮影された石礫は数千個以上に及ぶ場合もあるため、全ての石礫を地表で実施する現地踏査と空中写真で対比するには非

表-4 空中写真の撮影条件	
項目	条件等
解像度	1cm以下
撮影高度	40m以下
撮影範囲	200m×1000m以内
オーバーラップ率	90%以上
サイドラップ率	60%以上
撮影範囲内の指標	撮影写真内にポール等の配置
計測目標石礫の規模	1.0m以上

常に労力が必要となる。本検討は、従来の方法で実施される礫径調査を簡略化し、現場での生産性を向上させることが目的であるため、比較的規模の大きい代表的な石礫を地上で計測し、オルソフォトとの対比検証を行った。石礫は現地で長径と短径の2辺を計測し、オルソフォト上でどの位置に該当するか事前に確認を行った。判読対象とした石礫の大きさは、工事段階で破碎処理を行う対象礫の規模を1m以上と想定し、オルソフォト内に存在する全てを抽出するものとした。空中写真判読の実施を前提としたことから、写真上で客観的な評価が

行えるよう、赤白ポールを持つ作業者を含めて撮影を行い、現地計測と空中写真の精度確認を行った。図-6 に空中写真判読ならびに地表での調査結果を示す。



図-6 施設計画地点のオルソフォト
及び地表踏査した石礫との対比確認

(3) AI 石礫自動判読システムを用いた調査結果

開発した AI 石礫自動判読システムを用いて、オルソフォトを用いた石礫の自動判読を実施した結果を図-7 に示す。判読した石礫の大きさは、検証に用いた石礫のサイズとスケールを一致させており、現地計測を行っていない石礫についても抽出が可能となった。計測した石礫は規模とともに位置座標についても抽出した。判読した石礫は砂防堰堤の掘削平面図内に該当する石礫として表示することで、工事発注段階の数量算出で見落としがちな転石破砕数量の算定に活用できる。

6. まとめ

近年多発する豪雨災害によって、全国各地で土石流災害が頻発している。土砂災害発生後の復旧にあたっては土砂移動現象の究明や砂防施設の設計・施工時の石礫調査は不可欠であり、安全かつ迅速な調査結果の確認が求められる。本システムは、UAVを活用して計測した空中写真画像からオルソフォトを生成し AI 技術によって、石礫の個数や位置情報を提供できる。本システムを用いることにより常に危険と隣り合わせの土砂災害の現場で安全・迅速かつ高精度の石礫の抽出が可能となった。今後、本システムの石礫のモニタリングや河床材料調査等、砂防領域の溪流管理という視点で幅広く活用するため、継続的に研鑽を行いたい。



図-7 AI 石礫自動判読システムを用いた判読結果

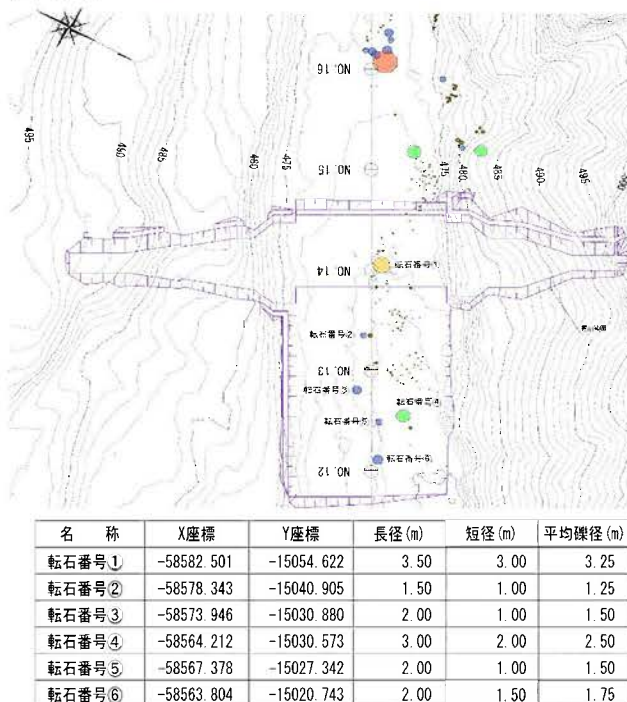


図-8 掘削範囲内の石礫の位置・規模の算定結果