

AI 礫判読システムを活用した砂防施設箇所での巨礫調査事例

(株) 地圏総合コンサルタント ○中川 清森、佐藤 真、渋谷 伸昭
住友金属鉱山 (株) 岸本 恭暢

1. はじめに

土石流が発生し、巨礫が多く分布する箇所へ砂防施設を整備する場合、巨礫の分布が砂防施設の施工に大きく影響する。そのため事前に巨礫の分布状況（範囲・径・体積等）を把握することが設計・施工では重要となる。本件では、AI 礫判読システムを使って、UAV で撮影した写真から巨礫の分布範囲と径を抽出し、さらに河床材料調査結果を活用することで、地表下に存在する巨礫の体積を推定した事例について報告する。

2. AI 礫径判読システムでの巨礫の判読

(1) AI 礫径判読システム

巨礫の分布状況の把握を行ったのは、過年度に土砂・洪水被害が発生し、砂防事業として「遊砂地」の整備が計画されている河川を対象とした。

巨礫の判読には、AI 礫径判読システム「グラッチェ」(NETIS 登録番号 KT-220038-A (株)スカイマティクス) を利用した。AI 礫判読システムは、UAV で撮影した連続写真を、クラウド上にアップロードして、自動的にオルソ画像・DSM (高低差) 画像・三次元点群データ等の地形データを生成し、独自開発のアルゴリズムを用いて自動で石礫を抽出し、礫径を判定するシステムである。UAV による空撮実績を表1に示す。UAV は、汎用型のマルチコプターを利用し、搭載したカメラ (約1600万画素) で撮影した。飛行高度は40m とした。また、オーバーラップ率は85%、サイドラップ率は75%以上にて撮影した。

表-1 UAV の空撮実績

飛行時間 (分)	撮影枚数	撮影面積 (m ³)
40	743	95,000

(2) 礫径判読結果

AI 礫判読システムによる礫判読では、土嚢やコンクリートブロック、屋根など礫以外のものを礫と誤読することがあったため、それらは目視判読によって削除あるいは解析対象範囲から除外した。加えて、AI により抽出した礫の形が不自然なものは修正、AI が判読できなかった礫も目視判読によって追加した。

また、AI 礫判読システムでは、礫の短径と長径を自動判読するシステムであるため、抽出された短径と長径、それらの平均値を中径として、礫の体積を算出した。

AI 礫判読システムによる礫判読結果を、図-1に示す。

対象範囲で8,777個の礫を抽出した。最頻値は礫径0.3~0.4m の礫である。礫径1m 以上の個数は全体の5.7%であり、礫径1~2m の礫の体積が512m³で最も多くの体積を占めており、全体の42.0%である。

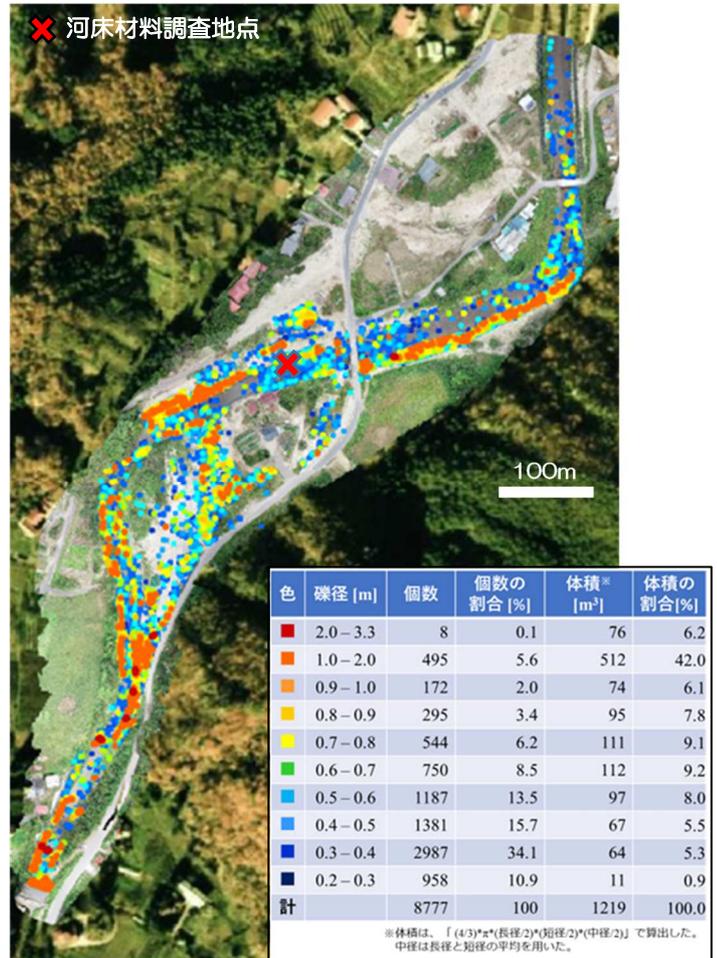


図-1 礫判読結果図

3. 地表下に分布する巨礫の体積推定

(1) 課題

砂防施設工事の支障となる巨礫については、重機によって小割りするか、あるいはクラックへ膨張剤を注入し静的破碎を施した上で運搬する必要がある。したがって、事前に施工範囲内の掘削深度も考慮した巨礫の体積を推定することは、施工費や工期を決定する上で重要であると考えられる。

前章にて示した通り、UAV を用いて撮影した写真から AI 礫判読システムにより礫の判読では、当該箇所の表面に分布する巨礫の体積は求まるが、空撮で映らない箇所や地表下の巨礫を考慮できていない。そこで UAV と AI による礫判読結果と近傍で実施した河床材料調査結果をもとに、地表下に存在する巨礫の体積を推定する方法について検討した。なお、ここで対象とした巨礫は礫径1m 以上とした。

(2) 相似比の算出

河床材料調査は図-1に示す地点 (×地点) で以下の方法により実施した。

- ① 4.0×4.0 m の範囲内で、表層に確認できる大礫の3軸を計測した。
- ② 表層土砂を除去せず、1.0×1.0 m の範囲で表層から50 cm 程度の深度まで土砂を採取し計測した。

UAV と AI を用いて判読した対象河川の表層に存在する礫の粒度分布を図-2に、河床材料調査を実施した地点の表層の礫の粒度分布を図-3に示す。ここで対象河川表層の粒度分布と河床材料調査地点の表層の粒度分布には相似比が成り立つと仮定した。

相似比は、図-2および図-3から d_{80} を求めて、対象河川表層の d_{95} を河床材料調査地点表層の d_{80} で除することで求めた(表-2参照)。

表-2 相似比の算出結果

	d_{80} (m)	相似比
河床材料調査地点表層	0.115	1.00
対象河川表層	0.680	5.91

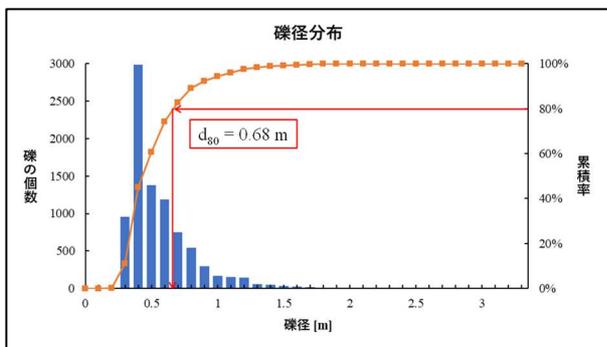


図-2 UAV と AI を用いて判読して対象河川表層の礫径分布

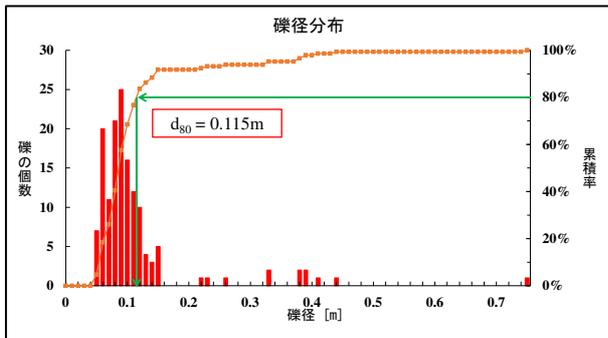


図-3 河床材料調査地点の表層の礫径分布

(3)地表面下の割増係数の算出

河床材料調査にて①の測定で得られた表層の礫を、UAV と AI を用いて判読した礫と近似的であると仮定した。そうした場合、②の測定で得られた下層の礫を、今回推定したい対象河川の地表下に存在する礫とみなすことができる。

したがって、河床材料調査地点において①の測定で得られた表層の礫の体積を A、②の測定で得られた表層+下層の礫の体積を B、対象河川において UAV と AI を用いて判読した礫径 1 m 以上の巨礫の体積を V_i 、割増係数を k とした時、対象河川の表層と地表下に存在する礫径 1 m 以上の巨礫の体積を kV_i と表現することができ、以

下の式が成り立つ(図-4参照)。

$$A/16 : B = V_i : kV_i$$

上式によって割増係数 k を求めることで、対象河川の表層と地表下に存在する巨礫の体積を推定することができる。

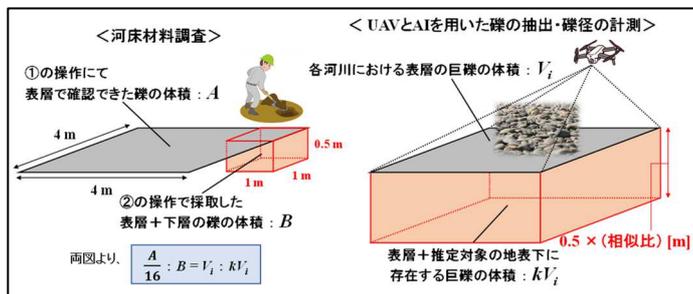


図-4 地表面下の割増係数推定イメージ図

対象河川と河床材料調査地点の相似比は5.91:1であるため、河床材料調査地点における礫径0.169 m (礫径 1m/5.91) 以上の礫が、対象河川における礫径1 m 以上の巨礫と等価であると考えられる。したがって、河床材料調査結果を用いた計算 (A および B の算出) では、0.169 m 以上の礫を計算の対象とする。この時、 $A = 0.468\text{m}^3$ 、 $B = 0.103\text{m}^3$ となり、 $k = 3.53$ と求まる。

(4)地表面下の巨礫の体積算出

対象河川においては、礫径1 m 以上の巨礫が表層および地表下 0.5×5.91 (相似比) = 2.955 m の深さに、3.53 (割増係数) \times 588 (表層巨礫の体積) = 2,076 m^3 存在すると推定することができる(表-3参照)。

表-3 地表面下の巨礫の体積算出結果

対象範囲 (m ²)	表層巨礫の体積 V_i (m ³)	割増係数 k	表層+地表面以下の巨礫の体積 $V_i \times k$ (m ³)
約83,000	588	3.53	2076

※UAVとAIで計測

また、下式を利用することにより、任意の地表面下 h (m)における割増係数 kh を求めることができる。

$$k_h V_i = V_i + (kV_i - V_i) \times \frac{h}{0.5 \times (\text{相似比})}$$

これに UAV と AI 礫径判読システム結果から構造物施工範囲における表層に分布する礫径1m 以上の巨礫の体積を求め、地表面下 h (m)における割増係数 kh を乗じることで必要な範囲・深度における礫径1m 以上の巨礫の体積を推定することが可能となる。

4. まとめ

UAV と AI 礫判読システム結果と河床材料調査結果を併用して地表面下に分布する巨礫の体積を推定する試みを行った。ただし、今回の結果は、地層区分などを考慮していないなどの課題がある。

今後は、実際の工事で発生した巨礫の体積の確認を行い今回の結果の妥当性の検証と精度向上を図り、砂防施設箇所での効率かつ適切な施工に寄与していきたい。