

土砂・洪水氾濫業務における AI 技術を活用した河床材料調査の効率化に関する試み

応用地質株式会社 ○吉田拓海 中村晋 上野俊幸 堺史晶 関英理香 山田祐司
株式会社 OX 佐藤有

1. まえがき

土砂・洪水氾濫解析において、河床材料の粒径分布は、流れの抵抗や土砂輸送形態に直接影響し、解析結果の精度や再現性を左右するため、把握が不可欠である。また、一般的な河床材料調査と比較して、河川区間のみならず溪流・山地河道区間を含めた広範囲の粒径分布を捉える必要があり、その作業効率化が求められている。

近年、河床材料調査に AI 画像解析を導入する試みが各地で進みつつある。特に、UAV や SfM (Structure from Motion) 技術を用いて広範囲の河床表面形状を三次元的に取得し、その形状情報から自動的に粒度分布を推定する手法が提案されている (山本ら, 2023)。

著者らも、河床材料の動画データから三次元データを生成し、点群データに基づいて粒径を推定する粒径測定システムの開発を行っており、深度方向の推定精度に課題が残るものの、比較的大きな河床材料については、高い精度で検知できることを確認している。

本研究では、土砂・洪水氾濫により大きな被害のおそれのある流域を対象に、現地作業時間の短縮効果、粒径の精度の 2 点について従来の調査手法と比較し、AI 画像解析を用いた河床材料調査の有効性を検証することを目的とした。

2. 方法

本対象流域では、河床材料や勾配を考慮し、礫質主体の溪流部から細砂主体の中流域までを 6 つ (溪流区間 1, 山地河道 1, 溪流区間 2, 山地河道 2, 堰直下粗粒区間, 沖積河道) に河道区分し、複数箇所調査を実施した (図-1, 表-1)。格子法や容積法で行う従来の調査手法 (人力計測) は 11 箇所で行った。格子法による採取が可能である場合は、格子点直下の礫を 100 個採取し、長径・中径・短径を計測した。格子法が実施不可あるいは細粒分が多数を占める場合は容積法を実施した。

人力計測地点に対応するよう、AI 画像解析用の撮影を 10 箇所で行った (うち 6 箇所は、人力計測地点そばで取得)。撮影はデジタルカメラによる近接 4 分割撮影 (歪み防止) と 360° カメラを用いて 180° 方向を網羅する動画撮影を併用した (図-2)。水中の河床材料を撮影する場合は光の屈折を考慮し、近接 4 分割撮影のみとした。また、土石流発生・流下区間である溪流区間 1 は、細粒分主体であるため、画像解析の対象からは除外した。

撮影後は画像・動画データから SfM 処理で点群を生成し、正射画像上で色相・明度情報を用いたセグメンテーションを行った。格子点上に抽出された河床材料の長径および短径を測定し、粒径推定モジュールを介して三次元点群情報から深度方向の粒径推測を行った (図-3)。

3. 結果 (現地作業の短縮)

現地作業時間 (準備作業を含む) を比較すると、人力計測 (面格子法・線格子法) では 30~60 分を要したのに対し、AI 画像解析用の撮影は、区画整備および撮影のみで約 10 分と、作業性において優れている結果となった (表-1)。

土砂洪水氾濫解析の河床材料調査で求められる広範囲の粒度分布の把握を可能とすることから、有望な調査手段として位置付けられる。

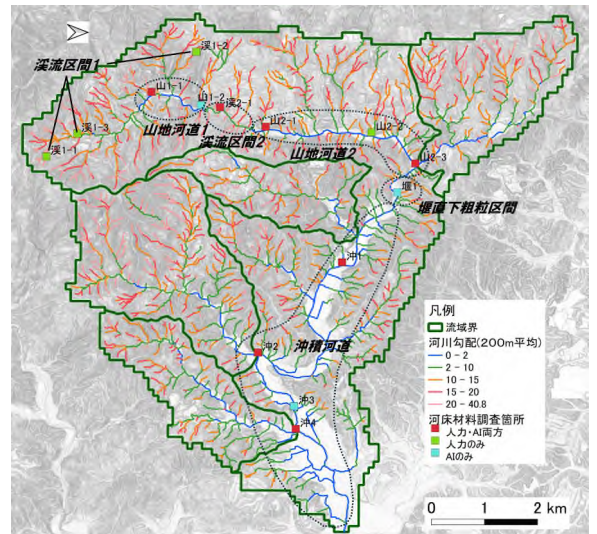


図-1 対象流域の調査地点と河道区分

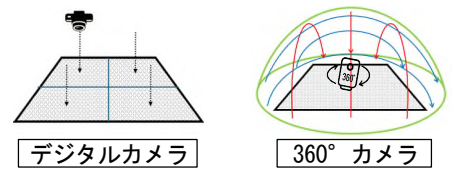


図-2 撮影方法

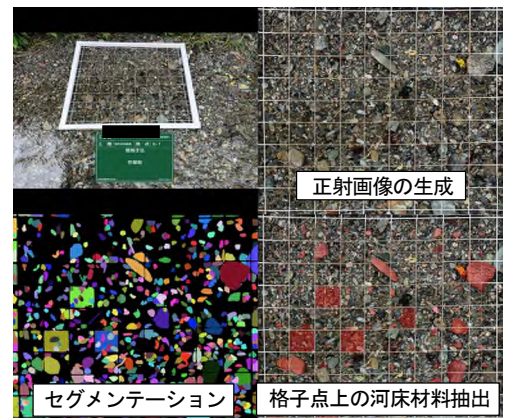


図-3 画像解析手順 (山 1-1)

表-1 調査地諸元および現地作業内容

河道区分	調査地略称	勾配 (°)	河床材料	堆積/侵食	移動床/固定床	人力計測 (11箇所・4名体制)		AI画像解析 (10箇所・2名体制)		備考
						試験方法	現地作業時間	撮影方法	現地作業時間	
溪流区間 1	溪1-1	20°	大転石・露岩	侵食	固定床	容積法	0:58	-	-	
	溪1-2	20°	大転石・露岩	侵食	固定床	容積法	0:47	-	-	
	溪1-3	10°~15°	大転石・露岩	侵食	固定床	面格子法	0:49	-	-	水中
山地河道 1	山1-1	0°~2°	砂・礫・一部露岩	侵食	移動床	面格子法	0:38	動画	0:06	水面
	山1-2	0°~2°	砂・礫・一部露岩	侵食	移動床	-	-	写真	0:08	
溪流区間 2	溪2-1	2°~10°	大転石・露岩	侵食	移動床	面格子法 (細粒分は容積法)	0:42	動画	0:06	水中
	山2-1	0°~2°	砂・礫	堆積	移動床	面格子法 (細粒分は容積法)	0:10	写真	0:08	
山地河道 2	山2-2	0°~2°	砂・礫	堆積	移動床	線格子法	0:31	-	-	水中
	山2-3	0°~2°	砂・礫	堆積	移動床	面格子法 (細粒分は容積法)	1:05	動画	0:06	支川合流点
堰直下粗粒区間	堰1	0°~2°	礫主体	侵食	移動床	-	-	写真	0:07	
	沖1	0°~2°	河床は小礫 高水敷は細粒分と小礫	堆積	移動床	面格子法 (細粒分は容積法)	1:01	動画	0:06	
沖積河道	沖2	0°~2°	河床は小礫 高水敷は細粒分と小礫	堆積	移動床	面格子法	0:31	動画	0:06	支川合流点
	沖3	0°~2°	河床は小礫 高水敷は細粒分と小礫	堆積	移動床	-	-	写真	0:08	水中
	沖4	0°~2°	河床は小礫 高水敷は細粒分と小礫	堆積	移動床	面格子法	0:33	動画	0:07	支川合流点

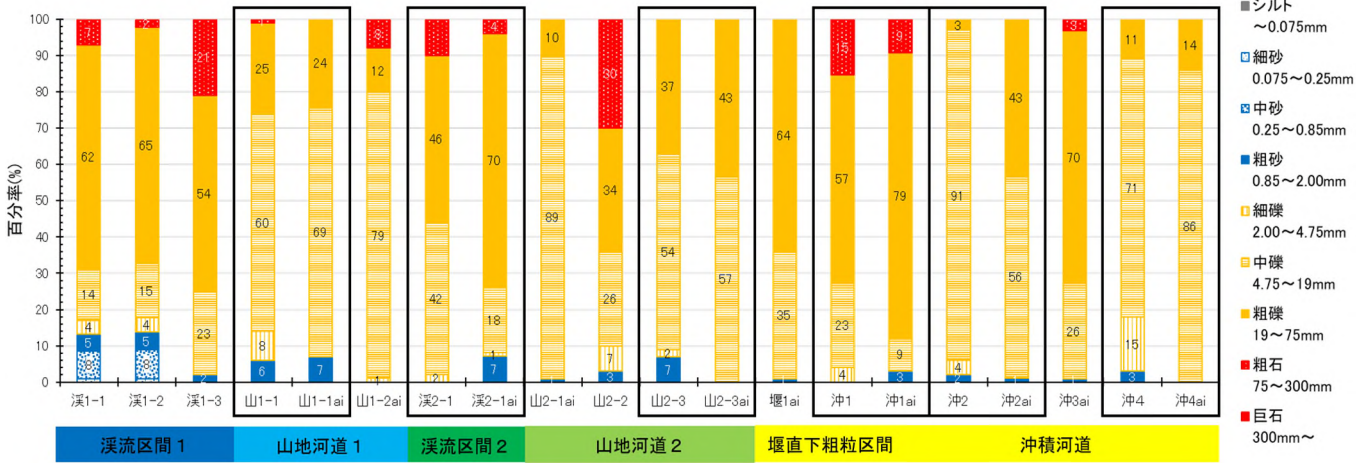


図-4 調査地点の粒径区分別の百分率（黒枠は同一調査地点を示す。）

4. 結果（推定した粒径の精度）

AI を用いた画像解析と人力計測の粒径分布を比較し、粒径区分別の百分率や粒径加積曲線を指標として精度を評価した。

今回、AI 画像解析と人力計測を同一地点で実施した箇所は6箇所であるが、AI 画像解析結果の方が、粒径が大きくなる傾向があった。また、山 1-1 や山 2-3 のように組成誤差が 10%未満で概ね一致する箇所もあれば、溪 2-1 や沖 2 のように組成が異なる箇所も確認できた（図-4）。しかし、河道区分ごとに比較すると、類似した粒径組成結果が得られたと評価できる。

山地河道 2 の粒径加積曲線では、礫以上の粒径区分は概ね一致していることが確認できる（図-5）。そのうち、流速のある水面下で線格子法を行った山 2-2 については、流水により細粒分が流失しやすいことや、水面下であるため格子点直下の細かい河床材料を取り上げにくかったことから、同一河道区分と比較して大粒径が占める割合が増加したと考えられる（図-4、図-5）。また、沖積河道区間においては、沖 1 と沖 3、沖 2 と沖 4 の粒径組成が同じ傾向を示した。これは、沖 2 と沖 4 の調査位置が支川合流点であり、本川河道の沖 1 と沖 3 よりも堆積土砂の細粒分の割合が高くなることが理由として考えられる（図-4）。

さらに、40%~90%粒径の曲線形が最も一致した山 1-1 の比較結果を示す（図-6）。中砂から粗礫に相当する概ね 10 mm から数十 mm 程度の粒径帯は、画像上で個々の輪郭が明瞭であり、粒子同士の識別が容易なため、AI 画像解析手法が最も高い精度を発揮するとされている。山 1-1 は流れのない水面で調査した箇所であり、高い相関を得ることができたのは、河床材料が水に濡れており色相の識別が容易であったからだと推測される（図-3、図-6）。

5. まとめと展望

今回、土砂・洪水氾濫解析における河床材料調査の作業効率化を目指す試みとして、人力計測と並行して AI を用いた画像解析を実施し、以下の結果を得ることができた。

- ・現地作業時間は、従来の人力計測手法の 1/6~1/3 であり、作業時間の削減をはかることができた。
- ・河道区分ごとの粒径分布は、人力計測結果と概ね同様の傾向を示し、特に水面下の調査では高い相関が得られた。

システム精度向上に向けての課題としては、格子内の粒径が小さいと格子全体がセグメンテーションされてしまう場合があること格子点直下の粒径取得ができないことが挙げられるため、そのミスを事前に検知できるようなシステム改良が必要となる（図-3）。

今後の展望としては、画像解析で抽出した河床材料と同じ河床材料を人力計測で採取・計測した場合の粒径別整合率の確認を行い、深度方向の粒径推定精度向上を目指す取り組みを考えている。また、人力計測箇所に対する AI を用いた画像解析の調査地点数を増やし、今回得られた河道区分ごとの粒径分布の類似性についてさらに分析を続けていきたい。

【引用文献】

山本亮介・鈴木準平（2023.6）3D スキャナや UAV-SfM で取得した 3 次元形状データ解析による河床表層材料の粒度分布調査、河川技術論文集、第 29 巻

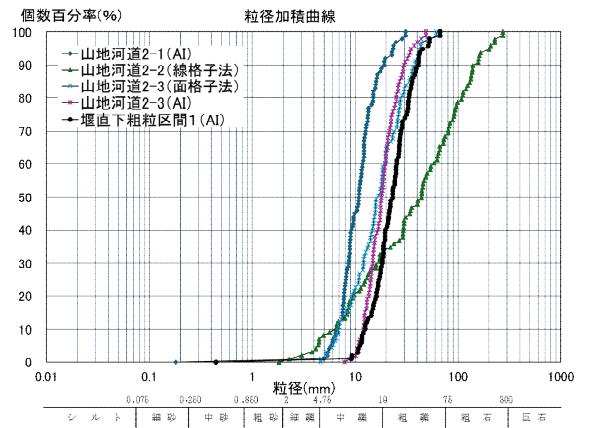


図-5 粒径加積曲線（山地河道 2）

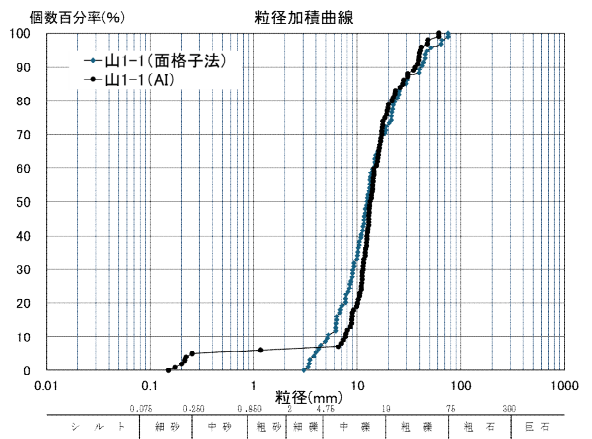


図-6 水面実施箇所の粒径加積曲線（山 1-1）