

# 山地河道における土砂移動特性に関する現地調査

箱石憲昭\* 福島雅紀\*\* 櫻井寿之\*\*\*

## 1. はじめに

ダム地点近傍は山間部であることが多く、山間部を流れる川の河道を山地河道と呼んでいる。この山地河道においては、図-1に示すように巨礫が点在し河床材料が2オーダー以上異なる粒径で構成されており、既存の流砂量式の適用が困難であることが指摘されている<sup>1),2)</sup>。



図-1 下久保ダム上流の山地河道

ダムからの土砂供給等による下流河道の変化に関する予測精度向上のためには、山地河道における土砂移動に関する知見の収集が必要であるが、現地調査の実績は少ない。

そこで、ダム近傍の山地河川において、河床材料にICタグ<sup>3)</sup>や低周波発信機<sup>4)</sup>といったマーカーを埋設して出水時における移動状況を調査した。その結果について報告する。

## 2. 調査地の概要

### 2.1 調査地の位置

調査対象箇所は、群馬県藤岡市と埼玉県児玉郡神川町の境界に位置する下久保ダム（利根川水系神流川）の貯水池末端部上流の延長約8kmの山地河道区間である。図-2に水位計設置箇所及びマーカー付礫敷設箇所を示す。図中の赤丸を付けた部

分に、ICタグ付礫および発信機付礫を点在させて敷設した。また、▲印は出水時の掃流力の変化を把握するために設置した自記式水位計の位置である。なお、図中のkm表示は調査のため設置した測線を示す。

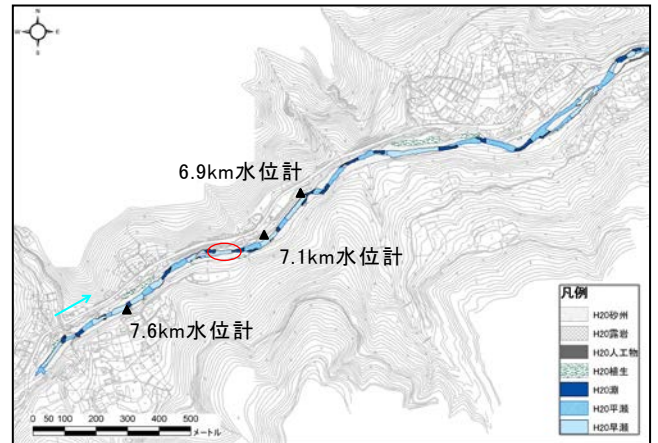


図-2 水位計設置箇所及びマーカー付礫敷設箇所

### 2.2 出水の発生状況

調査地における出水の発生状況を確認するため、下久保ダムの流入量を整理し、ピーク値が100m<sup>3</sup>/sを超える出水を図-3に示した。平均年最大流量は450 m<sup>3</sup>/s（図中の赤線）である。平成20年度から平成22年度にかけては1年に1回の割合で3回の小規模出水が発生している。

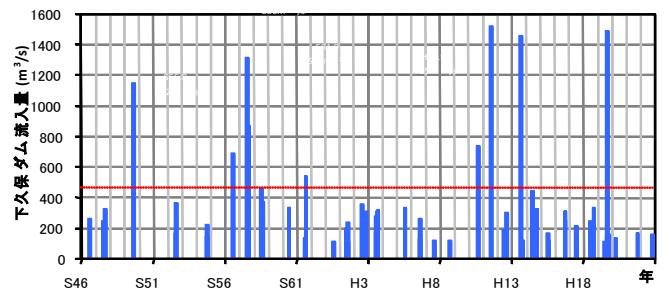


図-3 下久保ダム流入量から見た出水の発生状況

## 3. 調査内容

### 3.1 河川横断測量

平成20年12月に50m間隔、平成21年12月に100m間隔で横断測量を実施した。

### 3.2 河床材料調査

平成20年から平成22年にかけて、年1回の割合で線格子法<sup>\*</sup>による河床材料調査を実施した。格子間隔は最大粒径程度の1mとし、1km毎の水際付近で調査を行った。

### 3.3 礫の移動状況調査

出水に伴う礫の移動状況を調査するため、河床材料にICタグを埋め込み、7km測線付近の水際近傍に敷設した。事前に行った予備的調査の結果、ICタグの通信距離が0.4m程度と短く大規模出水後の追跡調査が困難と考えたため、通信距離が10mと長い低周波発信機を埋め込んだ礫も合わせて敷設した。低周波発信機は電波の特性から河床材料に埋没した場合でもその影響を全く受けることがなく、空中や水中と同様に通信距離が確保される。

平成21年は主に粒径10cm～50cmの礫を対象として100個程度の礫にICタグを取り付けた。また、粒径164cmを最大として粒径50cm以上の礫数個にICタグを取り付けた。平成22年は、設置数量を平成21年の2倍とした。これは、通信距離が短く発見率の低いICタグの欠点を多量のICタグ付礫を敷設することで補うことを考えたためである。なお、ICタグの単価は低周波発信機の100分の1程度と安価である。

一方、低周波発信機に関しては、上述したコストの問題もあり設置数量は少ないものの、他の河川での利用実績を見ると<sup>4)</sup>、発見率はほぼ100%と高い。平成21年は、主に粒径10cm～50cm程度の礫を対象として42個の礫に低周波発信機を取り付けた。平成22年は電池が消耗し利用できなくなった発信機があったことから合計で28個となった。

低周波発信機の電池寿命は未使用のもので2ヶ月間程度であり、敷設後に発信機内の傾斜度センサーが礫の傾斜を確認すると電波発信を開始する。ICタグの寿命がほぼ永久的である点を考えると、電波到達距離の大きい低周波発信機を用いて一次調査を行うことで移動範囲を概略特定し、ICタグを用いて2次調査を行うことで多数の礫を対象とした調査が可能となると考えた。

なお、このような低周波発信機の特徴から、

ICタグ付礫が河床表層の比較的浮き石に近い状態で敷設したのに対して、発信機付礫は礫の頂部が見えない状態もしくはそれに近い状態で河床に埋設した。

礫の移動限界を把握するため、ICタグ付礫および発信機付礫の設置区間近傍の3箇所(7.6km右岸、7.1km左岸、6.9km左岸)に自記式水位計を設置した。記録は15分間隔とし、大気圧計も併設し大気圧補正を行った。

## 4. 調査結果

### 4.1 河川横断測量

比較的平坦な単断面河道であること、川幅は上流側で40m程度、下流側で60m程度であり、平均的な河床勾配は1/130程度であることが確認された。

### 4.2 河川材料

図-4に平成20年以降に実施した河床材料調査結果をすべて重ね合わせて示す。この図から、主材料がm1:5～100mm、m2:100～500mmであること、水裏部等には副材料のs:0.2～2mmが存在することを確認できる。

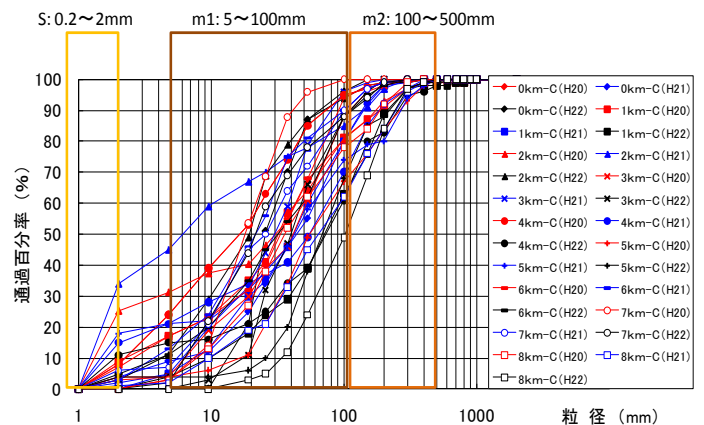
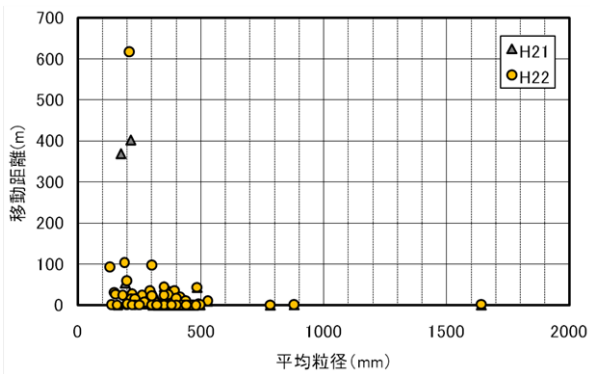


図-4 河床材料調査結果

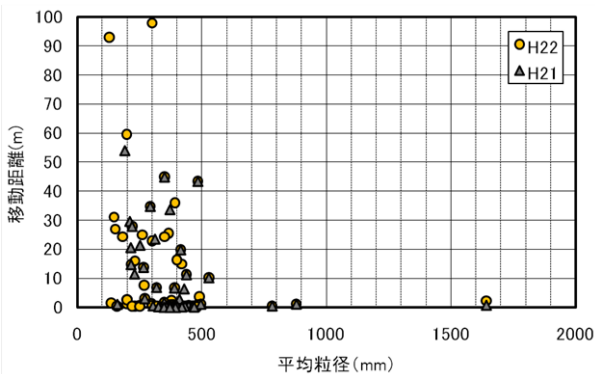
### 4.3 礫の移動状況調査

平成21年10月出水、平成22年11月出水のピーク流量はそれぞれ167m<sup>3</sup>/s、152m<sup>3</sup>/sとほぼ同規模の出水であり、自記式水位計データによると7km近傍では1.1mから2mの水位上昇が確認された。その結果、ICタグ付礫、発信機付礫とも移動し、それぞれの受信機を使って追跡調査を実施した。図-5および図-6には、それぞれICタグ付礫および発信機付礫の調査結果を平均粒径と移動距離との関係で整理した。なお、平成21年10月

<sup>\*</sup>土木用語解説：面積格子法・線格子法

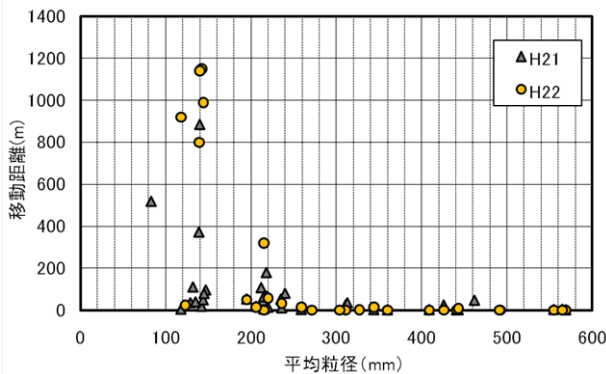


(a) 移動後発見されたICタグ付礫の全データ

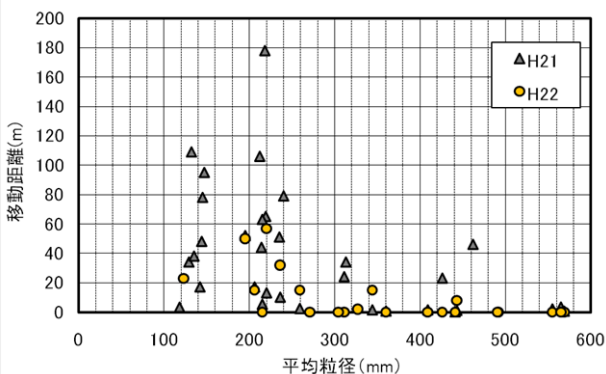


(b) (a)の縦軸を最大値100mとして拡大

図-5 ICタグ付礫の平均粒径と移動距離との関係



(a) 移動後発見された発信機付礫の全データ



(b) (a)の縦軸を最大値200mとして拡大

図-6 発信機付礫の平均粒径と移動距離との関係

出水と平成22年11月出水が同規模の出水であったことから、両年の結果を重ねて示した。移動距

離が100mを超え1,000mに達するもの、粒径が600mm以上のマーカ付礫もあったが、移動限界を確認する観点から範囲を限定して示した。

移動限界粒径を確認すると、ICタグ付礫の結果からは300mmから500mm程度、発信機付礫の結果からは200mmから500mmと判読でき、発信機付礫の方が多少動き難いように見える。これは前述した設置状況の違いによるものと考えられ、総じて判断すると移動限界粒径は500mm程度と判読された。

図-7は、一次元不定流計算によってピーク流量時の水理量の縦断分布を算定し、両出水の摩擦速度を比較した結果である。流量に大きな違いがないことから、摩擦速度はほとんど差がなく、マーカ付礫設置区間で、0.27m/sから0.38m/sの摩擦速度が生じたことを確認できる。図-8は修正Egiazaroff式により粒径ごとの移動限界摩擦速度を算定した結果である。上述した摩擦速度の範囲から判断すると、粒径185mmから625mmの河床材料が移動することとなり、上記で確認された500mmと同程度の値となった。

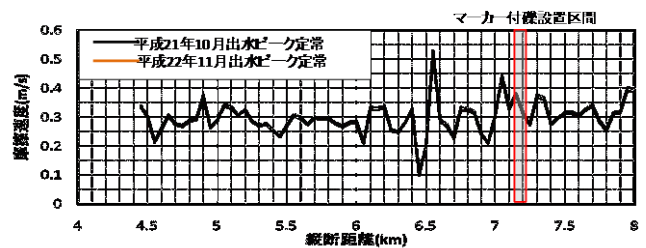


図-7 対象ピーク流量時の摩擦速度の縦断分布

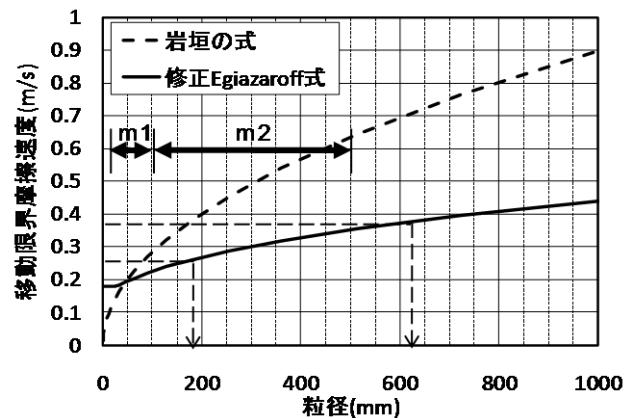


図-8 対象ピーク流量時の摩擦速度と移動限界粒径

図-9は、平成21年の調査で水深0.1mの地点で0.5m程度砂礫に埋没した状態で発見された発信



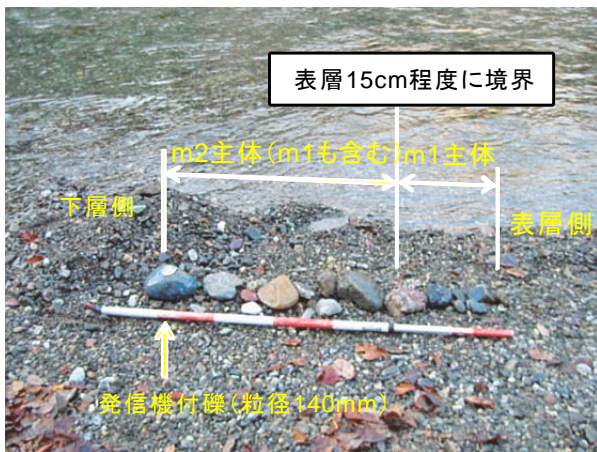


図-9 河床材料の鉛直方向の分級

機付礫を掘り起こした時に、出現した河床材料を深度ごとに並べて撮影した写真である。表層側が深度0m、下層側が深度0.5mを表し、深度0.15m程度より上層が材料m1で構成され、その下層が材料m2(材料m1含む)で構成されていた。図-8で示したように出水ピーク時には材料m2が活発に移動しており、洪水減水期に材料m1のみが移動する状態でこのような鉛直分級が形成されたと推測された。なお、沖積河道では礫と砂の鉛直分級が見られるが、礫の鉛直分級は幅広の粒度分布を持つ山地河道の特徴の一つと考えられた。

## 5. まとめ

主な結果を整理すると、以下ようになる。

マーカー付礫を用いた礫の移動状況調査により、山地河道における出水時の移動限界粒径を確認した。既存の粒径別移動限界算定式である修正Egiazaroff式を適用すると、比較的精度良く移動限界粒径を算定することができた。ただし、水深粒径比が30程度、河床材料の最大粒径が500mm

程度の条件で確認した結果であることを付記する。

河床の主材料は m1:5mm ~ 100mm、m2:100mm ~ 500mm、サブ材料は s:0.2mm ~ 2mm で構成され、幅広の粒度分布を持つ山地河道の特徴がよく現れていた。出水時に移動して埋没した発信機付礫の上層の砂礫の粒度分布を調査した結果、河床材料の鉛直分級が形成されていることが確認された。沖積河道においては砂と礫による鉛直分級が見られるが、山地河道においては m1 と m2 の鉛直分級が形成されることが示唆された。これは、山地河道において河床材料調査結果を整理する際に、あらかじめ把握しておくべき特徴であると考えられた。

## 謝 辞

下久保ダム流入量データの提供及び大気圧計の設置については、独立行政法人水資源機構下久保ダム管理所に協力いただいた。ここに記して、謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 岡部健士、肥本一郎：大径礫を伴う山地河床における流砂の有効掃流力に関する研究、水理講演会論文集、第30回、pp.247~252、1986。
- 2) 福岡捷二：石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋、水工学に関する夏季研修会講義集Aコース、(社)土木学会、pp.A-1-1~A-1-25、2008。
- 3) 角哲也、石田裕哉、佐竹宣憲：ICタグ技術を応用した砂礫移動に関するトレーサ調査手法の開発、水工学論文集、第51巻、pp.631~636、2007。
- 4) 福島雅紀、武内慶了、箱石憲昭：砂礫の敷設・供給が下流河道へ与える影響とその応答速度、河川技術論文集、土木学会、Vol.15、pp.477~482、2009。

箱石憲昭\*



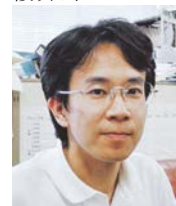
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム 上席研究員  
Noriaki HAKOISHI

福島雅紀\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官(前 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム主任研究員)、博士(工)  
Dr. Masaki FUKUSHIMA

櫻井寿之\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水工研究グループ水理チーム 主任研究員  
Toshiyuki SAKURAI