

洪水観測水面形と詳細地形測量結果に基づく非静水圧準三次元解析 (Q3D-FEBS)による 巨石の移動限界

中央大学大学院 学生会員 ○大野 純暉

国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 正会員 兒子 真也

中央大学研究開発機構 正会員 竹村 吉晴

中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 目的

山地河川における洪水流・河床変動解析法の構築は、適切なダム操作や流域全体の河道計画を考えるために重要である。山地河川の河床材料は巨岩・巨石から砂まで粒度分布の幅が広く、特に巨岩・巨石の存在は、周辺の水位・流速分布や土砂移動に大きな影響を及ぼす。このため、山地河川における洪水流・土砂移動現象の解明には、巨岩・巨石の抵抗や巨石の移動限界を適切に評価することが必要となる。著者ら¹⁾は滝山川温井ダム上流部(写真-1)を対象として、ドローンを用いた詳細な地形測量を実施し、巨岩・巨石の形状や配置を考慮して観測水面形に基づく非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS)を行うことで、山地河川の洪水流解析を可能とした。しかし、巨石の移動については考察されていない。

本研究では、本手法をベースとした山地河川における洪水流・河床変動解析法の構築のために、滝山川温井ダム上流部における令和元年7月洪水を対象として、巨石の移動限界について考察する。

2. 令和元年7月洪水前後における巨石の移動状況の把握

写真-2のように、令和元年7月洪水(温井ダム流入量: 390m³/s)前後での巨石の移動状況を把握するために、令和元年12月に写真-1に示すサイトI、サイトIIの各区間で現地調査を行い、平成31年1~2月に実施した写真測量結果と照らし合わせることで、洪水で移動した巨石、移動しなかった巨石を明らかにした。その結果、サイトIでは巨石の前面で土砂が洗掘していたが、巨石の移動は見られなかった。サイトIIでは写真-2に示すように、1m程度の巨石が複数流出し、巨石4を核とするクラスターが崩れ、巨石4は2mほど下流へ移動した。

3. 巨石に作用した流体力の算出と巨石の移動限界の考察

本研究では前報¹⁾と同じく、平成31年1~2月に実施した写真測量結果を地形データとして与え、令和元年7月洪水時に観測された水面形時系列に基づくQ3D-FEBSによる洪水流解析を、写真-1に示す滝山川温井ダム上流部に適用した。解析流量ハイドログラフは温井ダム流入量ハイドログラフを説明し、解析結果の再現性を確認している(詳細な図面は紙面の都合上、省略する)。以下では洪水ピーク時の流れの解析結果を用いて、巨石に作用した流体力と巨石の移動限界について考察する。個々の巨石に作用する流体力 f_i は、巨石が含まれる計算格子(格子幅: 0.5~1m程度)における巨石の占有率を考慮して、式(1)を用いて算出した。



写真-1 滝山川温井ダム上流部の航空写真

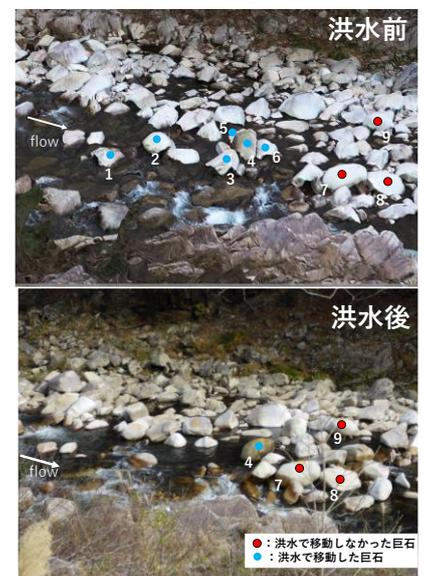


写真-2 令和元年7月洪水前後における巨石の移動状況(サイトII)

キーワード Q3D-FEBS, 観測水面形, 詳細地形測量, 巨石, 流体力, 移動限界

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

$$f_i = \iiint_{V_s} \frac{\partial\{\rho g(z_s - z)\}}{\partial x_i} dV_s + \iint_S (\tau_{bi} + p'_b \cdot n_i) ds \quad (1)$$

ここに、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 z_s ：水位、 τ_{bi} ：計算上の底面に作用するせん断力、 p'_b ：計算上の底面に作用する非静水圧、 n_i ： i 方向の単位法線ベクトル、 S ：巨石の投影面積、 V_s ：巨石の体積である。河床地形測量結果では、図-1に示す計算上の底面より下層の巨石の形状が把握できないため、形状を球と仮定し、現地調査で計測した巨石の長径、中径、短径の値を基に、 V_s を算出した。また、計算上の底面より下層では、底面せん断力、非静水圧は働かないものとした。

図-2は、サイトIIにおける底面圧力（水頭換算値）のコンター図と、洪水で移動した巨石と移動しなかった巨石に作用した流体力ベクトルを示す。青丸で示す洪水で移動した巨石に作用した全流体力（黒矢印）は、移動しなかった巨石に作用した流体力に比べて大きく、これには非静水圧成分による力（赤矢印）が大きく影響していることが分かる。また各巨石に作用したせん断力による力（紫矢印）は、どの巨石も極めて小さい。これは、巨石の移動を底面せん断力では評価できず、非静水圧を含む三次元流れを解析し、流体力を評価する必要があることを示している。本解析結果の課題は、固定床の条件で計算を行っている為、巨石2は下流側にある巨石3、4、6の影響を受けて、背後で圧力が高まり、流体力が流下方向に対して逆向きとなっている点である。

次に、巨石の移動限界を評価する為に、図-3に示す洪水で移動した巨石、移動しなかった巨石の無次元流体力（流体力/水中重量）と相対水深（巨石の平均直径/水深）の関係について考察する。表-1は各巨石の平均直径の一覧を示す。図-3の青色のプロットで示す洪水で移動した巨石は、巨石2を除き、相対水深4.0以上、無次元流体力は0.1以上であることが分かる。今後は他の異なる条件下での洪水における巨石の移動状況を調べ、この移動限界の評価が有効であるかを検討する。

4. まとめと今後の課題

本研究では、現地観測データに基づく令和元年7月洪水前後における巨石の移動状況とQ3D-FEBSによる洪水流解析結果より算出した巨石に作用した流体力との比較により、巨石の移動限界について考察した。令和元年7月洪水時で移動した巨石は、相対水深4.0以上、無次元流体力は0.1以上であった。今後は、他の異なる洪水においても同様な検討を行い、巨石の移動限界の評価の精度向上を目指す。

参考文献 1) 竹村ら：河川技術論文集，第25巻，pp.267-272，2019.

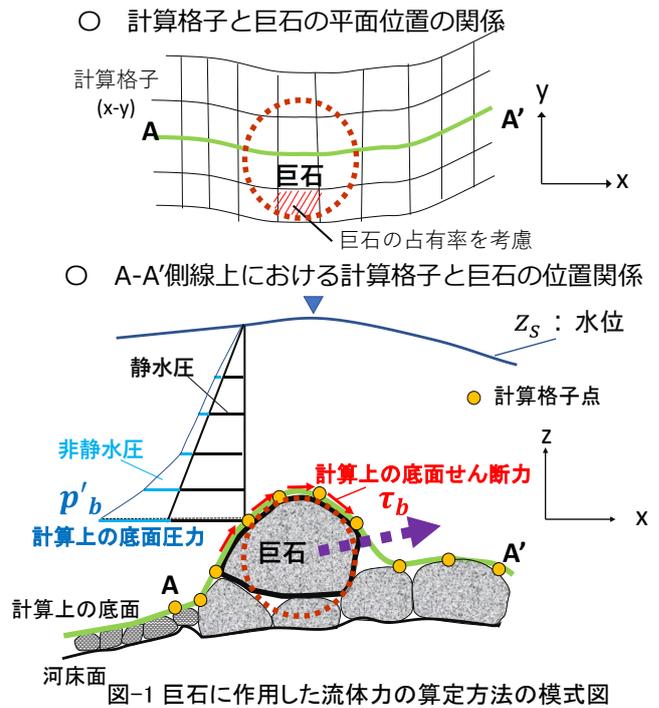


図-1 巨石に作用した流体力の算定方法の模式図

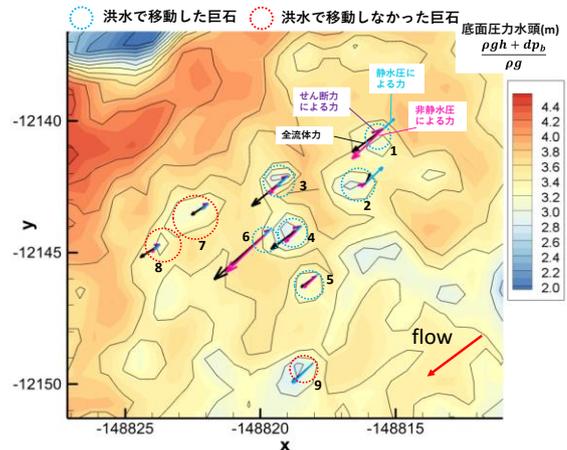


図-2 巨石に作用した流体力ベクトル (サイトII)

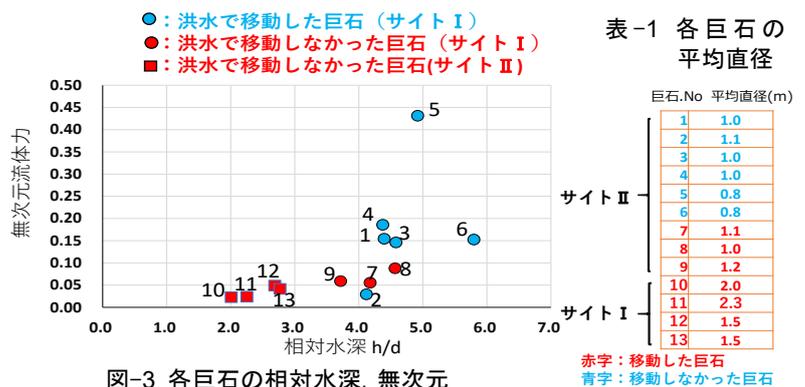


図-3 各巨石の相対水深、無次元流体力の関係

表-1 各巨石の平均直径

巨石.No	平均直径(m)
1	1.0
2	1.1
3	1.0
4	1.0
5	0.8
6	0.8
7	1.1
8	1.0
9	1.2
10	2.0
11	2.3
12	1.5
13	1.5

赤字：移動した巨石
 青字：移動しなかった巨石