

非静水圧準三次元解析法 (Q3D-FEBS) と個別要素法(DEM)を組み合わせた 山地河川における巨石の始動の評価法に関する研究

国土交通省中国地方整備局岡山河川事務所 正会員 大野 純暉
 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所 山下 篤志
 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. 研究背景・目的

山地河川は、巨岩から砂まで幅広い粒度分布で構成され、洪水時に巨石が移動すると、周辺に堆積していた土砂の流出による下流域への土砂量の増大、生態系の変化等をもたらす。従って、山地河川の河床変動を考える上で、まず巨石の始動を評価することが重要となる。

著者らは詳細地形測量結果と観測水面形に基づいた非静水圧準三次元解析 (Q3D-FEBS) を行なうことによって、巨石に作用する三次元の流体力が求まり、山地河川の流下能力の評価を可能としてきた。しかし、流体力の評価のみでは、巨石の始動を評価することが困難であったり。

本研究では、実用的な山地河川の洪水流・河床変動解析法の確立を目指し、水深積分型でオイラー流の方程式群を用いた Q3D-FEBS に、ラグランジュ流の個別要素法(DEM)²⁾を組み合わせた巨石の始動解析法を提案する。さらに、提案した解析法を滝山川で実施した現地観測結果に適用し、解析結果と比較、検討することで、その適用性や今後の研究課題を示す。

2. 滝山川における洪水前後での巨石の移動状況

本研究では図-1(a)に示す滝山川の約 50m の範囲を対象に、R1 年, R2 年の各洪水前後で現地調査を行い、各洪水で移動した巨石を把握した。R2 年洪水では、流れの主流部に存在していた 1m 程度の大きさの巨石が 26 個流出したことが確認された。

図-1(c), (d)は、洪水で移動した巨石, 移動しなかった巨石の近景写真を示しており、移動しやすい巨石は、他の巨石に比べて周囲の石礫とのかみ合わせが弱い、河床から露出し流体力を受けやすい等の傾向にあった。

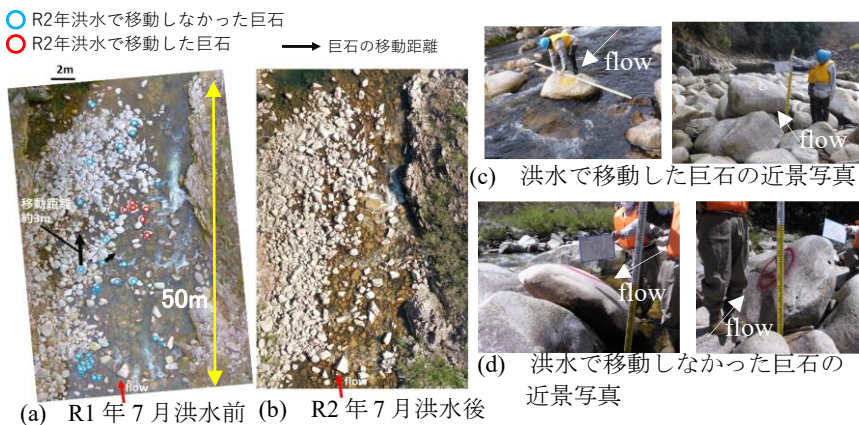


図-1 洪水前後における巨石の移動状況とその近景写真

3. 巨石の始動解析法の概要

本研究で提案する巨石の始動解析法の枠組みを図-2 に示す。本解析法は、現地調査により明らかとなった洪水で移動した巨石, 移動しなかった巨石を対象に、河床粒子や巨石形状を球と仮定し、Q3D-FEBS 法に DEM を組み合わせることで、巨石の始動を評価した。河床地形は 0.3m 間隔で計測した詳細地形測量結果を基に、河床粒子 (直径:0.3m) を配置させ、作成している。巨石に作用する流体力は詳

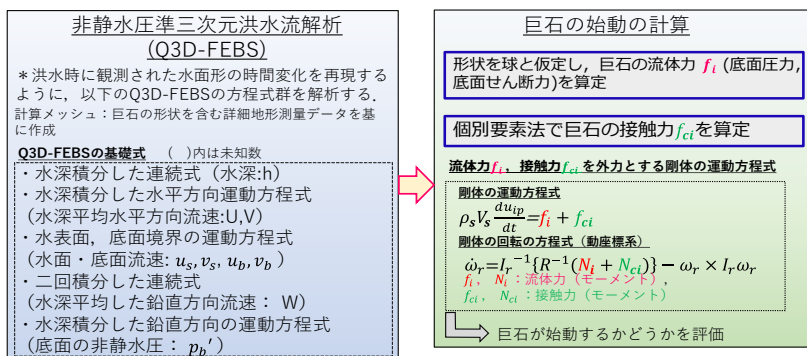


図-2 巨石の始動解析法の概念図

キーワード 巨石, 観測水面形, 詳細地形測量, Q3D-FEBS, 個別要素法

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

細地形測量結果と観測水面形に基づく Q3D-FEBS を用いて算出し、接触力はバネ、ダッシュポッド、摩擦スライダを物体間に配置させ評価した。その際に用いたパラメータは、対象区間が花崗岩質であることから、それに見合った値を用いた。

4. 解析結果と考察

図-3(a),(b)は巨石の始動解析前の巨石の位置と解析後の巨石の位置を示す。図-3(b)には、Q3D-FEBS で得られた R2 年洪水ピーク時における水深平均流速のベクトルをコンター表示で示している。計算対象とする巨石は球で表示しており、黒、青、水色の球は、それぞれ観測上移動しなかった巨石、R1 年洪水時に移動した巨石、R2 年洪水時に移動した巨石を示している。また、図-3(b)の白丸は、巨石の移動解析前の初期位置を示している。図-3(b)より、始動解析を 2 秒間行なうと、水深平均流速が 5(m/s)以上となる主流部に存在する巨石は 1 粒径以上移動しており、左岸側の低流速域では 1 粒径以下の移動を示した。左・右岸側に多く位置している移動しなかった巨石については、解析においても概ね移動しないことを再現している。本解析法では観測上移動した巨石、移動しなかった巨石を約半数程度、説明し得ている。現地観測結果を示す図-4(a)は、大きさ 0.7~1.5m 程度の巨石については、全体的に相対水深 4~6、無次元流体力が 0.3 以上となると動きだす巨石が多い。一方、図-4(b)に示す本解析結果では、多くの巨石が相対水深によらず動いており、無次元流体力が 0.3 より小さくても移動している巨石が多くある。これらの観測と解析結果の差異は、本解析では巨石や河床を構成する粒子形状を球と仮定しているため、粒子間のかみ合わせが十分反映されていないことや、実際に河床に埋まっている巨石は更に動きにくくなること等を表現できていないことが原因と考えられる。

さらに、下流側の石の存在の有無が巨石の始動にどの程度関係するかを解析により推算した。図-5 は、無次元流体力と下流側の石の存在による局所河床勾配との関係を示す。下流側に石があり局所勾配が負となる場合は、無次元流体力が 0.5 以上でないと巨石は動かず、無次元流体力 0.5 以上となると下流側の河床の状況に関係なく、巨石は移動することが示された。

4. 結論と今後の課題

本研究で新たに構築した巨石の始動解析法によって、無次元流体力が 0.3 以上となると巨石が動く可能性があることを示した。さらに、下流側に石等がある場合はその値が 0.5 以上とならないと、巨石が移動しないことが分かった。今後の主要な研究課題は本解析法の精度向上と、巨石~砂礫からなる山地河川の洪水流・河床変動解析法の構築である。

参考文献 1) 大野ら：水工学論文集, Vol.77, No.2, pp. I_631-636, 2021. 2) P.A.Cundall et al : Geotechnique, Vol.29, pp.47-65, 1979.

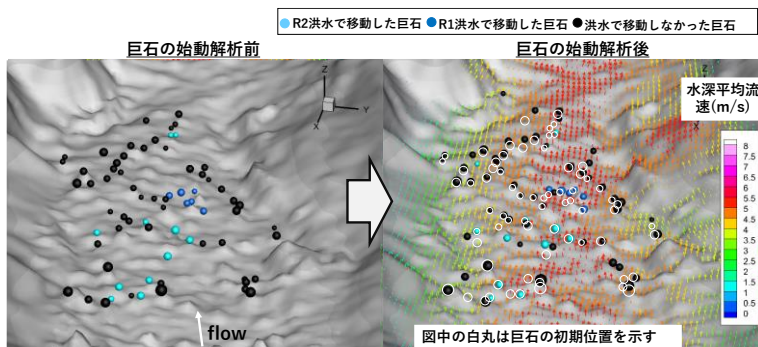


図-3 巨石の移動解析結果と R2 年洪水時の水深平均流速ベクトルとコンター図の重ね図

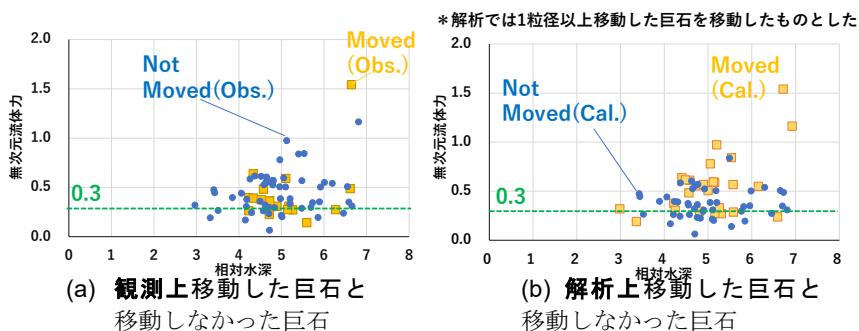


図-4 無次元流体力と相対水深の関係図

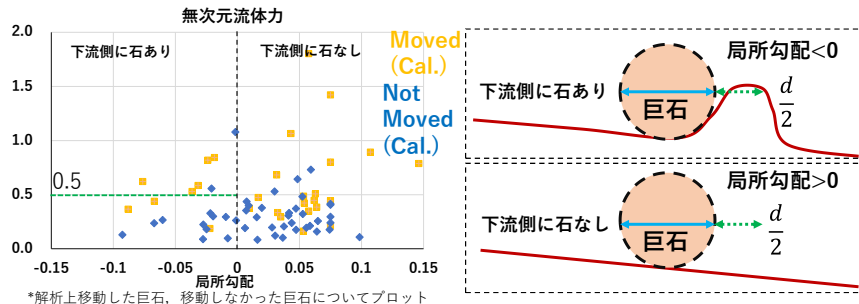


図-5 下流側の局所河床勾配と無次元流体力の関係