

石礫流による溪岸侵食のエネルギー的検討

中央大学大学院 学生会員 ○加藤 宏季
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

溪床・溪岸粒子は侵食され、運動を開始することにより位置エネルギーの一部が運動エネルギーに変換される。そして、粒子群が大きな運動エネルギーをもって流下することにより構造物の破壊等につながると考えられる。そのため、山地溪流部の侵食現象において個々の粒子と石礫流全体の挙動をエネルギー的に明らかにすることが重要である。

模型実験で粒子運動を追跡し、粒子に働く力を計測することは困難であるため、計算力学的なアプローチが期待される。Fukuoka et al.¹⁾により構築された resolved CFD-DEM 型モデルの Arbitrary Particle Multiphase(APM) 法では、流れ場は連続式と運動方程式(LES)、粒子群は個別要素法により解析される。また、粒子に働く流体力は粒子周りの流れ場を詳細に解くことで粒子周りの圧力分布、流速分布より算出する。流れ場の計算において、石礫は密度の異なる流体として取り扱っており、石礫部分においても流速分布だけではなく、圧力分布も得られる。このような枠組みの中で、水の粘性や乱れによるエネルギー散逸や、粒子衝突によるエネルギー散逸、粒子と水の相互作用によるエネルギー散逸は解かれている。すなわち、APM 法により得られる時空間的な三次元データを用いることにより、エネルギーロスを適切に考慮されたエネルギーの三次元分布が得られる。

本研究では、APM 法を用いた数値実験で得られた三次元データを用いてまず初めに、溪岸侵食の外力となる石礫流のもつエネルギーについて示し、次に石礫流流下時の溪岸粒子群離脱メカニズムをエネルギー的に検討する。なお、APM 法の詳細については文献¹⁾を参考にされたい。

2. 数値実験条件

数値実験水路は、水路長60m、幅8m、勾配20°の直線水路である。溪谷の粒度分布は最大粒径が1.0m、最小粒径が0.1mの連続的な分布を持つ非球形粒子群を用いた。すべての粒子の形状と密度は等しく、その密度は2650

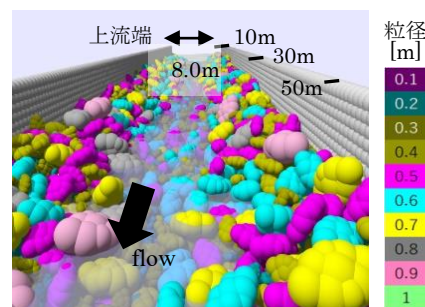


図-1 数値実験水路の初期状態

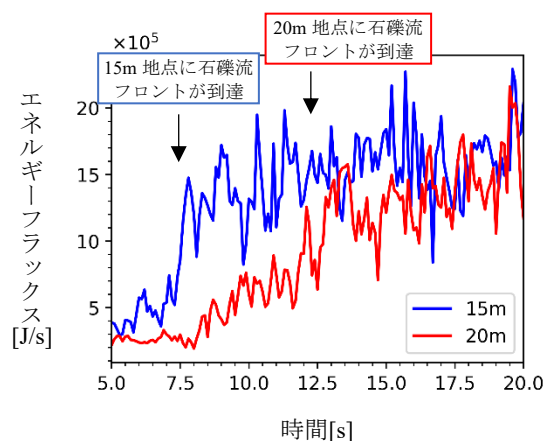


図-2 エネルギーフラックスの時間変化

kg/m³である。上流端境界条件として10.0[m³/s]の流量を与え続けた。図-1に、数値実験水路の初期状態を示す。

3. 石礫流の持つエネルギー

まず、侵食の外力条件となる石礫流のもつエネルギーについて示す。図-2に、15m地点と20m地点におけるエネルギーフラックスの時間変化を示している。石礫流フロントが約7.5秒時点で15m地点、約12.5秒で20m地点に到達している。そのため、約7.5~12.5秒において15m地点と20m地点におけるエネルギーフラックスの差が大きくなっていると考えられる。約12.5秒以降では、約13~16秒においてエネルギーフラックスの差が大きくなっており、この時間帯において、15~20m区間では石礫流の持つエネルギー散逸やエネルギー貯留量が大きくなっており、水際の溪岸粒子群の侵食がエネルギー的に影響を及ぼしていると考えられる。

キーワード 石礫流, APM 法, 溪岸侵食, 力学的エネルギー

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

4. 溪岸粒子群が持つ力学的エネルギーの変化

図-3 に、本研究で対象とする粒子群の 5 秒時点での様子を示す。本研究では、5 秒時点における石礫粒子の重心位置が $17.1 \leq x \leq 19.1[\text{m}]$, $1.3 \leq y \leq 3.3[\text{m}]$, $2.1 \leq z \leq 4.1[\text{m}]$ の範囲に存在し、静止している石礫粒子かつ、5 秒時点の粒子の持つエネルギーと 20 秒時点の粒子の持つエネルギーとの差の絶対値が 500J 以上の石礫粒子について着目している。図-3 より、粒子 A と粒子 B は互いに接している。粒子 I は粒子 A と接しているものの、周囲の粒子に比較して露出しており、噛み合わせは小さいと考えられる。また、着目粒子のうち、特徴的なエネルギー変化となった粒子 A, B, G, I は 5 秒時点において水際に存在しており、水際の粒子が侵食を受けやすいことを示唆している。

図-4 には、着目した溪岸粒子がもつ力学的エネルギーの時間変化を示す。力学的エネルギーの変化について同様の傾向を示した粒子 A と粒子 B を実線、粒子 G と粒子 I を破線、それ以外を点線で示している。図-5 には、着目粒子の重心位置の x 座標の時間変化を示している。図-4、図-5 より、粒子 A と粒子 B は一度力学的エネルギーが増加し、その後減少しているが、そのほかの粒子は力学的エネルギーが増加することはない。粒子 A と粒子 B それぞれがもつ力学的エネルギーは若干の位相差が生じており、粒子 A にエネルギーが蓄えられた後に粒子 B にエネルギーが蓄えられる。そして、粒子 A と粒子 B は共に約 18 秒時点において一体的に動き出している。また、粒子 A のもつエネルギーが増加している時間帯は 3 章で示した石礫流のエネルギーフラックスの空間変化が大きい時間帯に一致する。この時間帯において、石礫流が粒子 A に仕事をするることにより石礫流の持つエネルギーの減少量が大きくなっていると同時に、粒子 A のもつエネルギーが大きくなっていると考えられる。その後、エネルギーが大きくなった粒子 A が粒子 B に対して仕事をすることで、粒子 A と粒子 B は一体的に動き出していると考えられる。

周囲の粒子とほとんど噛み合わさっていない粒子 I は、約 8 秒時点において石礫流フロントが到達すると、一時的に運動をし、重心位置を少し下流側へ移動し、それに伴って力学的エネルギーを減少させている。その後 12 秒時点までは重心位置や力学的エネルギーを変化させおらず、約 12.5 秒時点で再び動き出しており、力

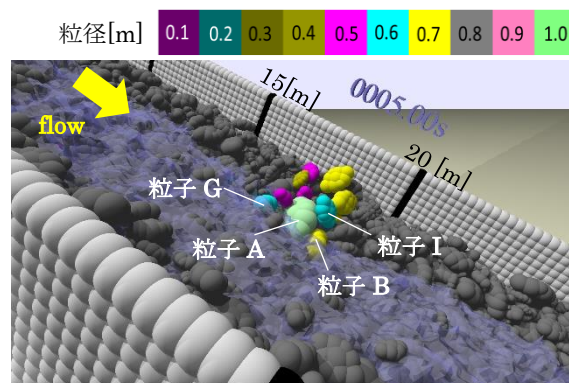


図-3 5 秒時点における本研究で対象とする粒子群の様子

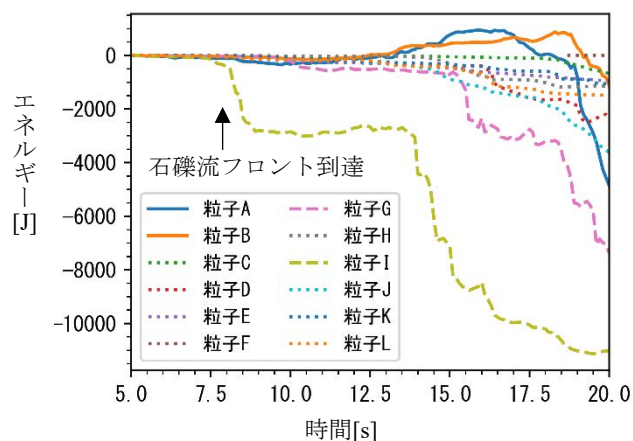


図-4 着目した溪岸粒子のもつ力学的エネルギーの時間変化

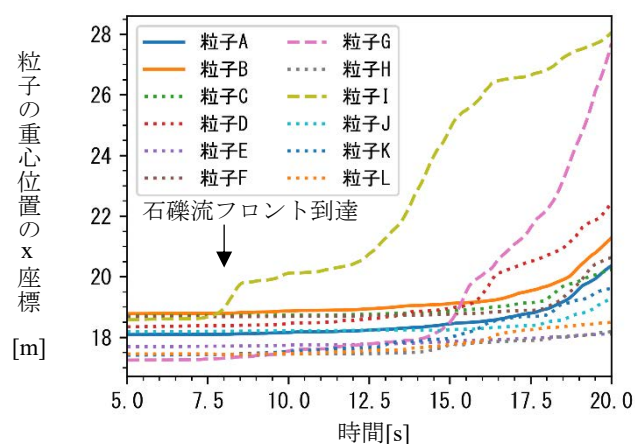


図-5 着目粒子の重心位置の x 座標の時間変化

学的エネルギーも減少し続けている。

5. まとめ

今後は、侵食時における石礫流のもつエネルギーの輸送やそのエネルギーがさらに多くの溪岸・溪床粒子群に伝達され、洗掘されるメカニズムを明らかにすることによって石礫流の移動過程をエネルギー的に把握することが重要である。

参考文献

- 1). Fukuoka, S. et al. : Effects of sizes and shapes of gravel particles on sediment transports and bed variations in a numerical movable-bed channel, 2014.