

一様湾曲水路内の岩盤河床の流砂による摩耗に関する水路実験

Flume experiments on bedrock erosion due to abrasion by sediment in an annular flume

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学院
北海道大学大学院工学研究院助教
北海道大学大学院工学研究院教授

○学生会員 川崎峻平 (Shunpei KAWASAKI)
学生会員 Mamy Rija ANDRIAMBOAVONJY
正会員 Adriano C. De LIMA
正会員 泉典洋 (Norihiro IZUMI)

1. はじめに

近年、河道整備事業や砂防事業の発展による岩盤河床の露出及び侵食が全国的に報告されている。¹⁾

岩盤河床の侵食は、河川低下や河川構造物の機能低下などの問題を引き起こす。そのため岩盤河床の侵食の動態を理解することは重要な課題の一つである。岩盤河床の侵食は様々な侵食作用により起こるが最も一般的な作用は流砂による摩耗作用であることが知られている。²⁾

流砂の摩耗による侵食は、河床上を流れる砂礫などの粒子が岩盤河床に衝突することによって発生することから、岩盤河床の侵食を理解する上で、砂の堆積状態を理解することは重要である。岩盤河床の被覆率が大きすぎる箇所では粒子の衝突が河床を覆う砂礫により抑制されるため、被覆率が小さい箇所では摩耗する流砂の数が少ないため侵食が発生しにくくなる。²⁾被覆率とは岩盤河床が砂礫で覆われている面積の割合である。河川湾曲部では、水面付近と河床付近の遠心力の大きさの違いにより第一種二次流(以下、二次流と称する)が発生する。二次流は河床付近で湾曲部外岸から内岸方向へ流れ、河床付近の砂礫を湾曲部内岸方向へ輸送する。

田口³⁾らは一様湾曲水路を用いた室内実験を行い、二次流の土砂輸送によって発生する、水路横断方向においての被覆率、侵食の発生位置の変位を報告した。砂礫の堆積形状の変化は被覆率の値を変化させることから、岩盤河床の侵食の進行に伴い侵食発生位置もまた変化することが予想される。そこで、本研究では、一様湾曲水路を用いた岩盤河床の侵食の再現実験を行うことで、湾曲部における流砂の摩耗が発生したときの岩盤河床の変位を観察する。

また、本研究では、田口らの研究³⁾で用いていたセメントに比べ強度の小さい石膏を用いて岩盤河床を作成することで、石膏が短時間で岩盤河床の侵食を再現できるかを観察する。

2. 実験概要

2.1 実験目的

本実験は、岩盤河床に流砂の摩耗作用による侵食が発生したときの再現実験である。岩盤河床が侵食されたときの侵食発生箇所及び地形形状の変遷を観察することが本実験の目的である。

また、短時間ごとの計測を行うことで、岩盤河床の侵食の傾向を示す。

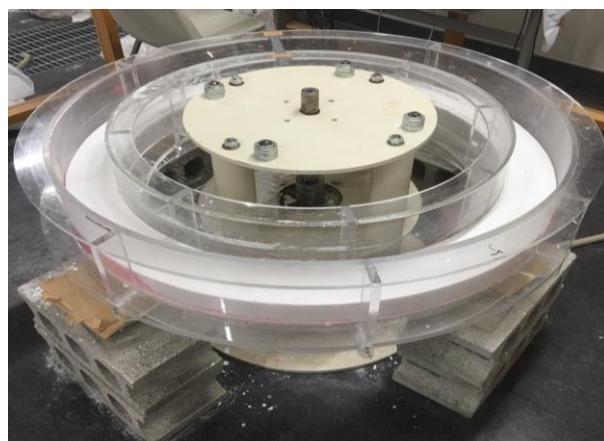


図-1 実験に用いた一様湾曲水路 (仮)

2.2 実験装置と実験手法

実験には、平均半径 45cm、水路幅 10cm、水路床から天盤までの高さ 11cm の一様湾曲水路を使用した。水路の側面と天盤はアクリル製である。この実験装置は水路に被せた天盤が回転することで動力を水全体に伝え、液体に流れを発生させる。水路の横断方向、流下方向に勾配はなく水平な状態が維持されたまま実験は実施された。また、及川らの研究報告⁴⁾を参考に、石膏を水路床に流し込み岩盤河床として使用することで、岩盤河床の侵食を流砂の摩耗作用のみによって引き起こしている。図-1 は実験に用いた一様湾曲水路に石膏の岩盤河床が投入された状態である。本実験は岩盤河床作成後、以下の手順で実施した。

- ① 水と砂を投入し、天盤を回転させ実験を開始した。
- ② 数時間後、一度回転を止め、天盤を外し、河床の高さを測定した。
- ③ ②の操作が終了した後、堆積した砂を取り除き、岩盤河床の高さを測定した。
- ④ ③の操作が終了した後、水と砂を投入し実験を再開した。

本実験は、②から④の操作を繰り返し行い、合計 6 時間天盤を回転させた。

2.3 実験条件

本実験では、化学的な侵食、水流による物理的な侵食を無視できること、石膏が砂による摩耗で侵食され、石膏の粒子が流水中に出てきても、粒子が非常に細かいため石膏の粒子によって生じる石膏の侵食は無視できるこ

表-1 実験条件

Run No.	回転速度	回転時間		給砂量
1	40rpm	3h	(0h→3h)	2.5kg
2		3h	(3h→6h)	

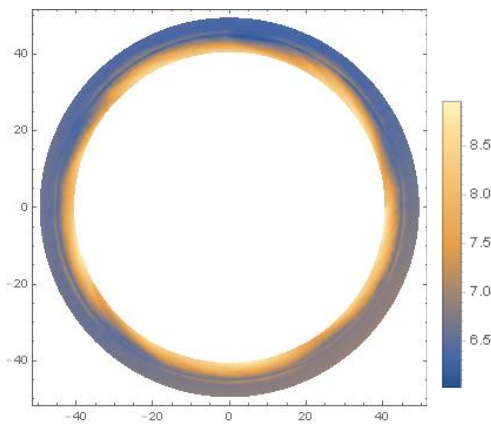


図-2 Run-1 終了後の砂の堆積している河床の様子

とから、岩盤河床として石膏を使用した。配合比は、石膏：水＝1：2 の重量比である。短時間で侵食を発生させるため石膏の強度が小さくなるように設定されている。実験開始前の石膏の円周平均の厚さは 6.6cm、水深 4.4cm である。表-1 に実験条件を示す。本実験は、侵食の進行を確認するために Run-1 と Run-2 に分けて行った。天盤の回転速度は 40rpm、回転時間は Run-1、Run-2、ともに 3 時間、合計 6 時間である。石膏の上に供給した砂の量は 2.5kg である。砂は平均粒径 0.515mm、密度 2.62g/cm³ の珪砂を使用した。

2.4 測定方法

測定にはレーザ変異測定器を使用した。湾曲部内側の側壁から 0.5cm の位置を起点とし、0.5cm 間隔で湾曲部外側の側壁に向かい 9.5cm の位置までの 19 箇所を測定位置として設定した。レーザ変異測定器を円周方向に対して動かすことで各測定位置の河床の高さを測定した。レーザの回転速度は 6rpm であり、円周 1 周につき 2000 地点の高さのデータが採取できる。各測定位置で 3 周ずつ測定を行い、その平均を各々の河床高の値とした。

3. 実験結果と考察

3.1 砂の堆積状態

図-2、図-3 は、それぞれ Run-1、Run-2 後の砂が堆積している河床の状態を表している。図-2、図-3 中の青色は河床の高さを比較したときに小さい箇所を表し、茶色は大きい箇所を表している。また、青色が濃くなるにつれて高さの値が小さく、茶色が濃くなるにつれて、大きくなることを表している。

河床付近の二次流の影響により湾曲部内側に近い箇所では砂州が発達している。田口らの研究報告³⁾によるとさらに岩盤河床の侵食が進行することで砂州の形状が円周方向に蛇行するようになり、横断方向に対する砂州の幅が局所的に広がってくることに伴い、砂州の湾曲内側に入る谷状の切込みが深くなると報告されている。Run-

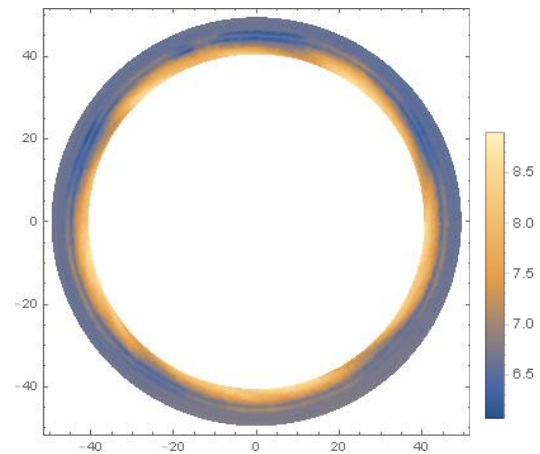


図-3 Run-2 終了後の砂の堆積している河床の様子

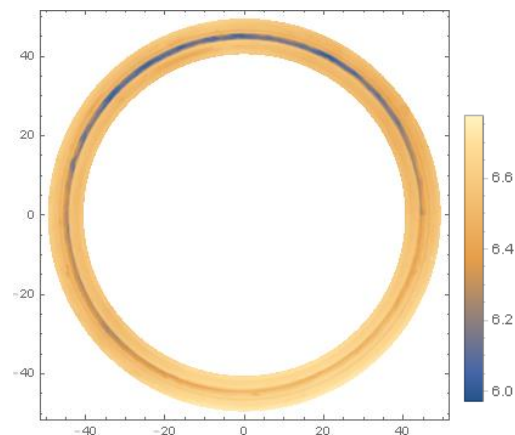


図-4 Run-2 終了後の砂を除去した河床の様子

1、Run-2 において、砂の回転時間は等しいが、Run-1 より Run-2 のときの侵食が進行していることから、Run-2 終了時の砂州の形状は円周方向の蛇行がより顕著に表れると予測される。しかし、図-2、図-3 は侵食の進行が不十分であり差異が不明瞭であるため、今後の課題として理解に努めていきたいと考える。

3.2 岩盤河床の侵食状態

図-4 は Run-2 終了時（回転開始から 6 時間後）の砂を除去した後の岩盤河床の状態を表している。図-4 より水路中央の岩盤河床の高さの値が小さくなっていることから局所的な侵食が発生していることが確認できる。また、図-3 より砂の堆積している測定位置と岩盤河床の侵食が発生していた位置の関係から、侵食の発生位置は砂の堆積している位置と岩盤河床が露出している位置の境界付近であることが確認できる。

Run-1 終了時には湾曲部内側の側壁から約 4cm から約 5.5cm の間で約 0.5mm から約 1.4mm の侵食が発生していることが確認された。Run-2 終了時には湾曲部内側の側壁から約 4cm から約 6.5cm の間で約 0.5mm から約 3mm の侵食が発生していることが確認された。Run-1、Run-2 はそれぞれ実験時間 3 時間であることより短時間で侵食を再現できていることがわかる。

田口らの研究報告³⁾では、長時間にわたり侵食を進行させた場合、横断方向に対し前後交互に侵食が進行していくと示している。今後の課題として、長時間侵食を進

行させ、侵食の発生位置が平衡状態に達した時の岩盤河床の状態の観察を考える。

4. 結論

本研究は岩盤河床が侵食されたときの侵食発生箇所及び地形形状の変遷に関する特徴を捉えることができた。本研究による結論は以下の通りである。

- ① 侵食が進行するにつれ横断方向に対する砂州の幅が大きい箇所と小さい箇所の差が大きくなる様子が確認された。
- ② 時間が経過するにつれて砂州の形状が変化する。また、横断方向に対して砂州の幅が小さい箇所と大きい箇所の差が大きくなる様子が確認された。

参考文献

- 1) 松本勝治、田代隆志、根本深：石狩川上流における河床低下について、国土交通省北海道開発局技術研究発表会資料、2009.
- 2) Sklar, L. S., and Dietrich, W.E.: A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load, Water Resour. Res, 40, W06301, 2004.
- 3) 田口真矢、小澤春貴、デリマアドリアーノ、泉典洋：一様湾曲水路における岩盤河床の侵食及び水成地形に関する実験的研究、水工学論文集、Vol. 61、I_847-I_852, 2017
- 4) 及川森、岩崎理樹、山口里実、清水康行、木村一郎：流砂の摩耗による岩盤侵食に関する実験的検討と数値シミュレーション、水工学論文集、Vol. 67, No. 4, I_751-I_756, 2011.