

基盤岩露出河床の侵食実験

Experiments on erosion of bedrock rivers

北海道大学 工学部環境社会工学科	○学生員	橋本夏姫 (Natsuki Hashimoto)
北海道大学 大学院工学研究院	正会員	泉典洋 (Norihito Izumi)
北見工業大学 工学部土木開発工学科	学生員	小松佑輔 (Yuusuke Komatsu)
北見工業大学 工学部土木開発工学科	正会員	渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe)
京都大学 防災研究所	正会員	竹林洋史 (Hiroshi Takebayashi)

1. はじめに

河川の形状は、地殻変動のような地球内部からの営力や気象や降水など地球外部からの営力に加えて、治水や利水のための河川改修など人為的な営力が複合的に作用して決定される。近代以降、機械による大規模工事が可能となって、河川環境は人為的な営力によって大きく変化するようになってきた。

我が国では1960年代から70年代にかけての高度成長期に、治水施設の建設や砂防事業の進展によって上流からの土砂供給が遮断されたり、大量の砂礫が建設用骨材として採取されたりした結果、河川の流砂環境は著しく変化した。近年では、場所によって河床低下の問題が深刻となっている。

旭川市街を流れる石狩川においても河床を覆っていた砂礫が流失し、基盤に存在していた軟岩が露出する区間が生じている。軟岩は強い流れによって侵食され易く、一度侵食されると流水や流砂が集中し更に侵食が進行する。このことが安定した河道縦断形状を保つことを困難にし、既設護岸の浮き上がりや河川構造物の根入れ不足などの問題を引き起こしており、河床低下の将来予測や対策工の施工が急務とされている。

基盤岩の侵食現象は、そのメカニズムや定量的な侵食速度など未解明な部分が多く、河床変動を考える上で取り扱いが課題となっている。そこで本研究では、軟岩に見立てたモルタルを用いた水路実験を行うことによって、流水中を輸送される砂礫による岩盤侵食のプロセスとその特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験水路

図1は実験水路の模式図であり、水路幅0.2m、水路長10mである。

図中、破線の矢印は流れの方向であり、AおよびBは軟岩を模したモルタルプレートを表している。それぞれ長さ1m、幅20cmであり、水路下流端より3.5mから5.5mの区間に2枚並べて敷かれている。モルタルの水セメント比は200%であり、針貫入試験により得られた強度は、Aで3335.8 KN/m²、Bで3066.8 KN/m²である。

モルタルプレートの上流および下流の区間では、水路床上に砂利(図中C)を敷き、その上に木製の板(図中D)を、モルタルプレートの区間と同じ高さになるように敷いている。

Eは砂利給砂位置で、後述のCase1の実験のみ下流端から7.3m地点、その他のケースでは6.5m地点で給砂

を行った。流量0.010047 m³/s、流速1.377m/sである。

水路勾配約13/1000 実験に用いた砂利の粒径は4.5mmである。

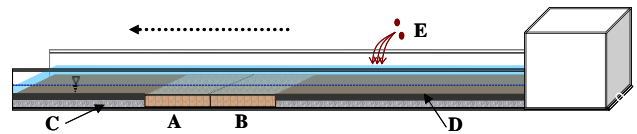


図1 実験水路の概要

3. 実験方法

一定流量を通水しながら一定量の給砂を行った。約30kg給砂したのち通水を中止し、その後再び同条件にて通水・給砂を行う。これを2~4回繰り返した後、河道縦断方向10cm毎、横断方向に2cm毎にモルタルプレート上面の水路側壁上からの深さをポイントゲージを用いて測定した。

給砂量(kg/h)を変化させて同様に実験を行った。表1は実験条件をまとめたものである。測定毎にモルタルは交換せず、Case3終了後まで同じモルタルプレートを使用している。

表1 実験条件

Case No.	給砂時間(h)	総給砂時間(h)	給砂重量(kg)	給砂量(kg/h)
Case1-1	1	0.01667	37.094	18.547
	2	0.03333		
Case1-2	1	0.01667	48.564	24.282
	2	0.03333		
Case1-3	1	0.01667	86.188	21.547
	2	0.03333		
	3	0.05		
	4	0.06667		
Case2-1	1	0.01667	89.69852	105.52767
	2	0.03333		
	3	0.05		
Case2-2	1	0.01667	88.53908	110.67385
	2	0.03333		
	3	0.05		
Case3-1	1	0.01667	91.971	222.36105
	2	0.03333		
	3	0.05		
Case3-2	1	0.01667	93.306	222.89423
	2	0.03333		
	3	0.05		
Case3-3	1	0.01667	92.091	225.22255
	2	0.03333		
	3	0.05		

4. 実験結果

図2は各回の測定終了後の河床縦断形状を表している。流下方向それぞれの地点において測定台車からの鉛直距離(深さ)の横断方向平均を取っている。Case1-1とCase1-2の線の間が実験Case1-2における洗掘量(cm)に対応している。

下流端から4.5m地点はモルタルプレートの接続部であり、実験が進むにつれて局所的に侵食されている。また5.3m地点、4.3m地点、3.6~3.7m地点でも侵食の激しい箇所が見られる。

図3および図4はそれぞれ実験開始前およびCase3-3終了後のモルタルプレートの高さを表したものである。

上流側のモルタルプレートは実験開始前から4.9m地点を中心に高くなっていたが、実験終了後、その地点の上流および下流側の洗掘量が大きくなっているのが判る。

図5は横軸に給砂量(m³/s)、縦軸に洗掘速度(m/s)を取った図である。ここで洗掘速度Eとはそれぞれのケースにおける河床の時間当たりの侵食量を表したものである。この図から侵食速度Eは給砂量qに比例して増加していることがわかる。線形で近似すると、図7の破線のようになり、式で表すと次式となる。

$$E = 0.0102q - 2.0755 \times 10^{-8} \quad (1)$$

ここから、洗掘速度Eが0となる給砂量を算出すると

$$q = 2.0406 \times 10^{-6} [m^3/s] \quad (2)$$

となった。この値が限界給砂量であり、この量を下回る給砂量だと洗掘は起こらないと考えられる。

水路が砂礫で覆われていた場合、本実験の水力条件から芦田・道上式を用いて算出される掃流砂量は次のようになる。

$$q_{b*} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \quad (3)$$

$$q_b = q_{b*} \times \sqrt{sgd^3} \times 0.2 = 2.5069 \times 10^{-6} [m^3/s]$$

今回の実験での最大給砂量はCase3-3の $2.36 \times 10^{-5} m^3/s$ であり、芦田・道上式から予想される掃流砂量の約10倍の量を給砂したことになる。Case3より若干の堆積が起り始めたことから、岩盤が露出している河床上では、砂礫で覆われている河床上における掃流砂量の10倍程度の流砂量が生じ得、侵食速度も流砂量に比例して増加することが分かった。

5. 結論

岩盤の侵食速度は給砂量と線形の関係にあり、給砂量が増加すれば侵食速度も増加することが明らかとなった。また、岩盤が露出している河床と砂礫で覆われている河床では、前者が流し得る掃流砂量がかなり大きくなる可能性があることがわかった。実際には岩盤が砂礫で覆われると侵食量はある値以上増加せず逆に減少すると予想されるが今回の実験では限界値に達しなかった。限界の給砂量がどの程度かを解明することが今後の課題となる。

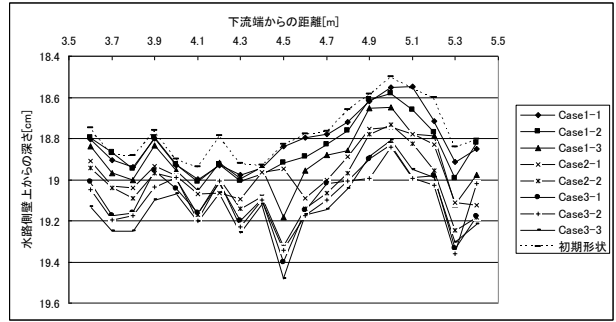


図2 侵食による河床縦断形状の変化

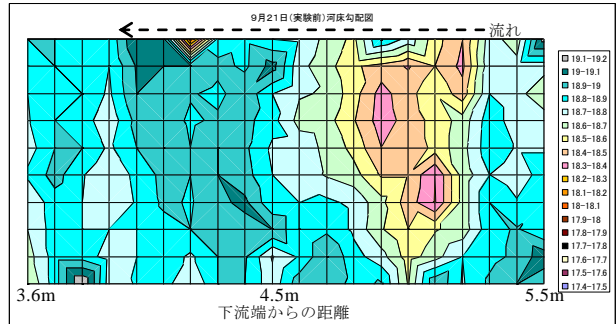


図3 実験開始前における河床高コンター

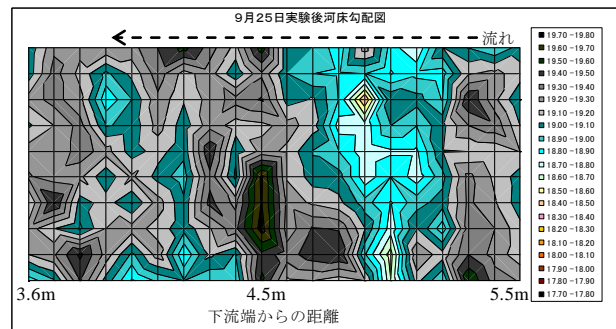


図4 Case3-3 終了時点における河床高コンター

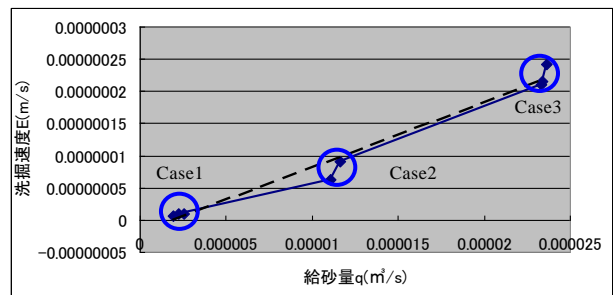


図5 給砂量qによる侵食速度Eの変化

参考文献

- 1) 旭川開発建設部治水課 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、2008
- 2) 清家拓哉、渡邊康玄、井上卓也：軟岩河床における洗掘機構に関する実験的検討、河川技術論文集、第16巻、2010
- 3) 芦田和男、江頭進治、中川一：21世紀の河川学、強度大学学術出版会、pp1-33、2008