

石狩川上流部における粘板岩の摩耗現象に関する実験的検討

北海道大学 学生会員 ○及川 森
 北海道大学 正会員 清水 康行
 北海道大学 正会員 木村 一郎
 北海道大学 正会員 川村 里実

1. 背景

いま全国的に河川の河床形態の変化が大きな問題となっている。その中でもとりわけ最近注目視され始めたのが岩床河川の洗掘現象である。石狩川上流部では河床を覆っていた土砂が一掃され、随所で河床に岩が露出していることが報告されている。岩が露出した区間では、礫床河川区間よりも急激かつ局所的に河床変動していることも北海道開発局旭川開発建設部(以下：旭川開建)による調査により分かっている。

これにより橋などの構造物の土台が根入れ不足になり、護岸などの下部が抉れて欠落したりする。また河床の低下が地下水位の低下に繋がったり、河川環境を変化させ生態系に悪影響を及ぼしたりする懸念がある。

このように突発的な洗掘現象は、これまでの治水事業によって守られてきた住民の安全な暮らしを脅かすので、河床が無秩序に浸食されてゆくメカニズムを早急に解明する必要があると言える。

この問題に対する既往の研究が既に旭川開建が行われており、旭川上流部における現地実験により『岩盤河床の洗掘速度は単位幅流砂量に平均流速を乗じたものと相関がある』ということが分かっている。

2. 目的

実際に問題が起きた河川の洗掘状況を調査できることが、現地実験を行う一つの利点と言える。しかし将来的に、河床の著しい低下が報告された岩床河川の全てに実験水路を設けるのは工学的とは言えない。したがって、ある程度室内実験を行い、基本的な物理現象を解明し、河床岩質や粒径の変化による洗掘速度の違いを調べる必要がある。

もし室内実験が現地実験に取って代わることが可能になれば、室内実験の河床岩質や流速に基づく河床変動データを一般河川に適用できる。室内実験では、知りたい条件に合わせて河床岩質の変化、流速の調節が容易にできる。また、現地実験に比べて大幅にコストや労力の削減になるだけでなく、現地水路の設置に伴った環境破壊の懸念も避けられる。

したがって、室内における実験方法の確立し信憑

性を上げるために、まず現地実験を室内で再現し、整合性を確かめる。将来的にこれらの研究結果に基づいて効果的な対策が講じられ、河床低下による諸問題の解決に僅かでも役立てることを切に願う。

3. 実験概要

本実験では下の水槽(写真1)を用いて、河床材料を敷き砂礫を投入し流速を与え、河床の洗掘量を測定する。一度の給砂で済むように水路は循環型を採用した。底面は平坦床であり、直線実験水路のように上下流端の境界条件は無いので、流下方向に対して垂直にどの断面をとっても物理諸量は等しいと仮定した。また、天板が等速回転して水に動力を伝える。天板側面はともにアクリル製であり、底面は現地の岩をそのまま使うことは難しく、電動ドライバーを用いた貫入試験によって現地の岩と耐摩耗強度を合わせた石膏を敷いた。水深約3cm弱、幅10cm、外側面直径100cmである。なおこの室内実験水路では、現地実験水路や一般の河川における河床からサルテーション層上端までの部分を抜き出して再現している。

流砂として5, 10mmの単一粒径の川砂利を用いた。また、比重が約1g/cm³の中立粒子を作成して水路に流し、高速連続撮影を画像解析して粒子の通過高さ毎の流速を調べ、その流速分布から平均流速を得た。流砂を投入した場合、どのcaseも回転数によらず高さ毎に平均化した流速の一樣分布化が見られ、本実験ではこれを平均流速として取り扱う。流砂量は投入した粒径Dの砂礫数の内x%を無作為に選んでマーキングし、それが幅Bの水路の断面をある時間tで通過する個数N_xをカウントし、全体換算して求めた。このときq_bは式(1)で与えられる。

$$q_b = \pi \cdot (D^3/6) \cdot (100/x) \cdot N_x / B \cdot t \quad \dots (1)$$

4. 結果と考察

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
粒径(mm)	10	5	10	5	5	5	5	5
粒子個数	330	2541	910	1313	3936	4936	6936	7936
流砂量(m ² /h)	0.403	0.139	0.810	0.170	0.529	0.603	0.508	0.507
平均流速(mm/s)	757	655	903	946	1119	1054	1250	1043
稼働時間(h)	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.75	1	1
平均摩耗深(cm)	-0.0728	-0.0175	-0.0628	-0.0186	-0.0214	-0.0317	-0.0486	-0.0417
平均摩耗速度(mm/h)	1.46	0.35	1.26	0.19	0.43	0.42	0.49	0.4

表1 実験の物理条件と結果

河床高は 0.1mm 単位までポイントゲージの目盛を読み、断面方向は 0.5cm 間隔に測定した。

実験中は流砂が石膏河床底面上全域をサルテーションする様子が確認された。底面付近では二次流の影響で内向きの流速が僅かに発生しており、水路の内壁面側では外壁面側よりも天板の作用半径が小さく流速が遅いので、流砂が中心方向にやや集積し堆積する挙動が見られ、一度堆積するとそれらの粒子は長時間停止している。その影響で内側では洗掘がほとんど観測されなかった。一方外側では、視覚的に流砂が集中している所ほど洗掘が顕著であった。実験終了後、石狩川上流部でも見られる滞筋の発達を観測されたが、実験時間が短いため発達途上である。甌穴と見られる小さい穴も観測された。

5. 比較と検討

まず室内実験による全 case をプロットした図を示す。これらの中から粒径 5mm の case 限れば現地実験の近似直線と僅かに整合性が認められた。

現地実験と室内実験には、明らかに異なる手法で物理量を測定したり、仮定を置いたりしている箇所が見受けられたので、この室内実験の近似式の係数は次の 2 つの観点から補正を行わなければならない。

1 つ目は、室内実験では流砂量を直接的な目視による数え上げで計測する一方で、現地実験ではバケツで計量して投入した給砂量をそのまま流砂量としており、その際に間隙率を考慮していない点である。現地実験で砂を量り取ったバケツを埋めている砂礫が完全なる球体であることを仮定すれば、球体による空間最密充填率約 74% から、現地実験での砂礫 100 粒は多く見積もっても室内実験の砂礫 74 粒分にも満たないということが分かる。故に、室内実験の近似直線の傾きにこの逆数 74/100 を乗じる必要があり、近似直線の傾きは小さくなると考えられる。

2 つ目に、室内で用いた石膏が水による浸食をほとんど受けないのに対して、現地の粘板岩は流水による影響を受けていると考えられる。したがって、室内実験データを現地実験データへ換算したとき洗掘速度に水流による洗掘速度を加算しなければならない。現地実験のデータシートより無流砂で通水を行う予備実験 case0-2 の結果から、6 時間の通水時の平均河床洗掘深さが 0.002m であったので、流水による粘板岩の平均河床洗掘速度は 0.00033m/h となる。

故に、このとき近似直線の切片は 0.00033 だけ大きくなると考えられる。

ここで、室内実験、現地実験の洗掘速度係数をそれぞれ D_{indoor} 、 $D_{outdoor}$ とおけば補正前の室内実験の近似式は

$$D_{indoor} = 9 \times 10^{-8} \cdot q_b \cdot V + 0.0002 \quad \dots (2)$$

となる。したがって上記の通り、係数を補正した後の室内実験の近似式は

$$D_{indoor}' = \frac{9 \times 10^{-8} \cdot q_b}{100/74} \cdot V + 0.0002 + 0.00033 \quad \dots (3)$$

$$= 6.66 \times 10^{-8} \cdot q_b \cdot V + 0.00053 \quad \dots (4)$$

となる。一方現地実験の近似式は

$$D_{outdoor} = 5.00 \times 10^{-8} \cdot q_b \cdot V + 0.00060 \quad \dots (5)$$

であるから、このようにして係数を補正することにより整合性が向上した。

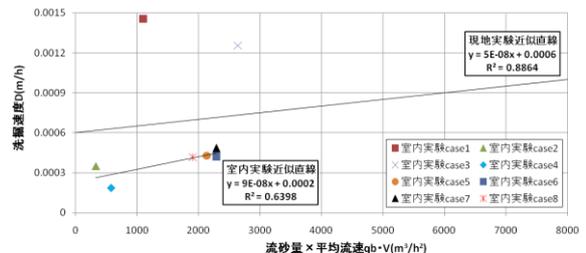


図 1 $q_b \cdot V - D$ 図

6. おわりに

今回の研究の要旨は以下の通りである。

- 現地実験の代替・補助として位置づけられる室内実験の手法を簡単な水路を用いて提案した。
- 粒径が 5mm の $q_b \cdot V - D$ 図において室内実験と現地実験の整合性を証明して見せた。

これらのことから、河床における露岩が見られない場合であっても、既に岩床の摩耗現象が卓越している場合であっても、石狩川だけにとどまらず、それ以外の全ての一般河川も対象として、現地実験を行う前にボーリング調査や露頭調査を行い、現地の泥質岩の強度を石膏で再現し、今回示したような室内実験を行う事で、露岩した場合の洗掘速度の予測がある程度立てられると考えられる。