

混合砂礫の衝突による軟岩の洗掘機構

北見工業大学 ○学生員 大澤 亮介
 北見工業大学 正会員 渡邊 康玄
 北見工業大学 非会員 鯉目 淑範

1. はじめに

近年、全国的に河床低下が問題となっている河川が多く見られている。河床低下の進行により、橋脚の根入れ不足、護岸の浮き上がりなどの問題が生じており、既往の研究^{1,2,3)}より、その要因として流砂の摩擦と衝突による洗掘が指摘されている。

本研究では、混合粒径の砂礫による軟岩の洗掘機構に着目し、砂礫が混合粒径の場合に、均一粒径で得られた知見がどの程度異なるかを、実験的に明らかにすることを目的としている。

2. モルタルによる軟岩の再現

実験するにあたって、現地の軟岩を水路に設置することは困難なため、モルタルを作成し軟岩を再現することとした。石狩川上流部で実際に軟岩の洗掘が問題となっている箇所の軟岩の強度に近づけるため、水理模型実験に先立ち、W/Cを種々変更して供試体を作成し、一軸圧縮強度試験を行った。試験結果より、使用するモルタルの配合比をW/C=700(%)とした。また、全ての供試体は度を安定させるため、28日間の養生を施している。

3. 実験概要

実験に用いた水路は、幅 $B=0.3m$ 、河床勾配 $i=1/40$ 、水路長 $8m$ である。水路の下流端から $6m\sim 4m$ の水路底面にW/C=700(%)軸圧縮強度 $76(KN/m^2)$ のモルタルを設置し、計測区間とした。その上下流はベニヤ板を用いて、固定床とした。流量と通水時間は全てのケースで一定とし、上流から給砂する砂礫の粒径と流砂量を変化させた。予備実験として通水のみで2時間様子を見たが、通水のみでの洗掘はないことを確認している。給砂する砂礫の条件を表1に示し、水理条件を表2に示す。なお、Case4に関しては、3種の粒径をそれぞれ同一の割合で混合させた混合粒径である。また、砂礫の詳細な挙動を確認するために、ビデオ撮影もあわせて行った。

4. 実験結果

上流から給砂する砂礫の粒径及び、給砂量とモルタルの洗掘深との関係を見たものが、図1である。上流から供給される砂礫の粒径が大きいくほど、また給砂量が多いほど洗掘深が大きくなる傾向がみられる。ただし、給砂量に関しては、ある量を超えると洗掘深の増加の割合は、減少する傾向がうかがえる。混合粒径に関しては給砂量が同じ場合のCase1-2, Case2-2, Case3-2の洗掘深を平均した値と同程度の値となった。

表1 給砂する砂礫の条件

qb(m ³ /h) dm(mm)	0.0231	0.0058	0.0014
9.9	—	Case1-2	Case1-3
7.1	Case2-1	Case2-2	Case2-3
3.4	Case3-1	Case3-2	—
混合粒径(6.8)	—	Case4-2	—

表2 水理条件

Case	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case3-1	Case3-2	Case4-2
Q(m ³ /s)	0.0106							
H(m)	0.0303	0.0295	0.0268	0.0256	0.0261	0.0252	0.0284	0.0288
V(m/s)	1.1657	1.1965	1.3179	1.3797	1.3522	1.0045	1.2463	1.226
(m/s)	0.0786	0.0777	0.0746	0.0732	0.0738	0.0727	0.0765	0.0769
dm(mm)	9.9		7.1			3.4		6.8
qb(m ³ /hr)	0.0058	0.0014	0.0231	0.0058	0.0014	0.0231	0.0058	0.0058
通水時間(hr)	0.034375							

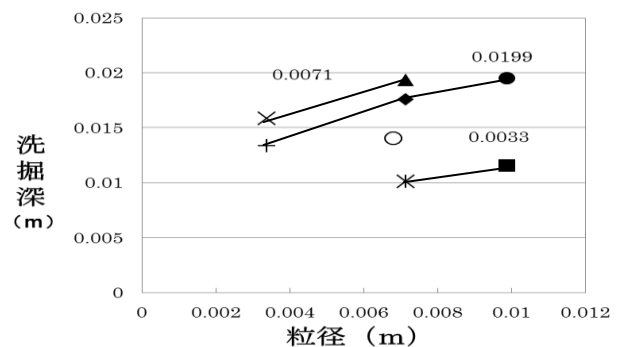
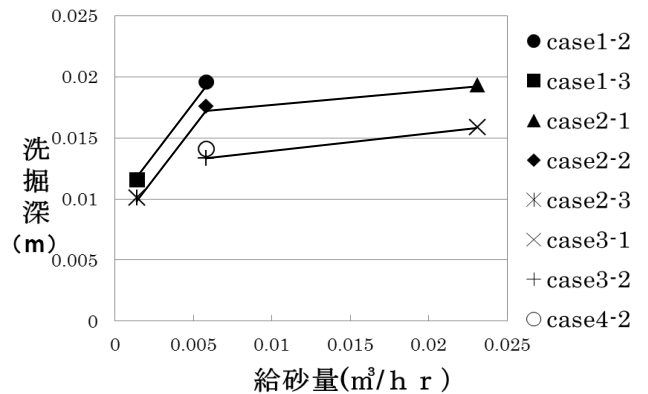


図1 実験結果

5. 砂礫の移動機構と洗掘の判定

既往の研究では、砂礫の跳躍距離と粒径を比較し、跳躍距離の方が大きければ跳躍、小さければ転動・滑動として、砂礫の移動機構の判別を行っている。本研究も、この関係を利用して、洗掘機構の判定を行った。砂礫の摩擦と衝突を判定するために、ビデオにより観測を行ったが、全てのケースで跳躍していた。また、前年と同様に跳躍距離を式から算出した。

$$L_s = \frac{1}{2} \left(s + \frac{3}{2} \right) \lambda_s A_r^2 \tau_* \times \left[(1+e) - \sqrt{(1-e)^2 - \frac{2(1-e)}{(3/4)\lambda_s C_D A_r^2 \tau_*}} \right]^2 \cdot d \quad (1)$$

ただし、 s :砂礫の水中比重、 C_D :抗力係数、 e : V_f/V_0 :砂礫の反発係数、 λ_s : $4H_s/L_s$ 、 H_s :跳躍高(m)、 A_r : u_b/u_* 、 d :粒径(m)、 v_f :砂礫が河床に衝突した後の速度、 v_0 :砂礫が河床に衝突する前の速度、 u_b :河床面の流速、 u_* :摩擦速度である。

式(1)より算出した結果とビデオにより観測を行った結果の比較を図2に示す。算出された跳躍距離は、測定された値をほぼ表現しており、正確な跳躍高(H_s)と砂礫の速度を知ることができる場合、式(1)で跳躍距離を正確に見積もることが可能であると判断される。

6. 衝撃を考慮した洗掘

今回の実験結果から、洗掘が「砂礫の衝突による影響のみである」とし、検討を行う。実験に使用したモルタルにガラス玉を落下衝突させて衝突実験を行い、損傷係数を直接計測した。この値を用いて式(2)より洗掘深を算出した値と、実際の洗掘深を比較したものが図3である。計算値と実測値は一致する結果を得た。

$$D = C_2 \sum \left(\frac{q_b T w v_0^2}{\pi d^3 L_s 2g} \right) \quad (2)$$

ここで、 D :洗掘深、 C_2 :損傷係数 (m^2/kgf)、 q_b :単位幅流砂量 (m^2/h)、 T :通水時間(h)、 w :砂礫 1 個当たりの荷重、 d :粒径(m)、 L_s :跳躍距離、 g :重力加速度 (m/s^2)、 v_0 :砂礫の衝突速度とする。

このことから、軟岩の損傷係数を把握することにより、水量によって洗掘深を算出することが可能である結果を得た。混合粒径においても、粒径のオーダーが異なる範囲では、その平均値を用いることによって洗掘深を算出可能である結果を得た。

7. おわりに

洗掘深は、粒径が大きくなり、単位時間当たりの給砂量が多い条件で大きくなる結果となった。また、すべての礫が跳躍して移動する場合は、混合粒径の洗掘深は平均から算出することが可能であるという結果を得た。本研究では、混合砂礫での実験を1ケースしか行わなかったが、今後は様々な混合砂礫で条件を変え、さらに検討を行う必要がある。

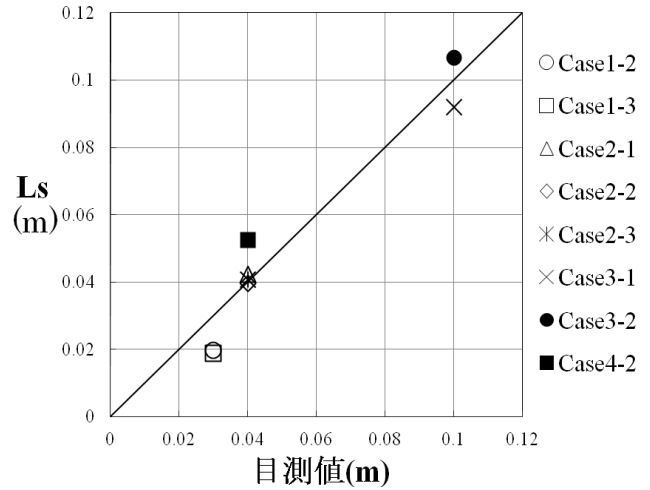


図2 跳躍距離 L_s (m)

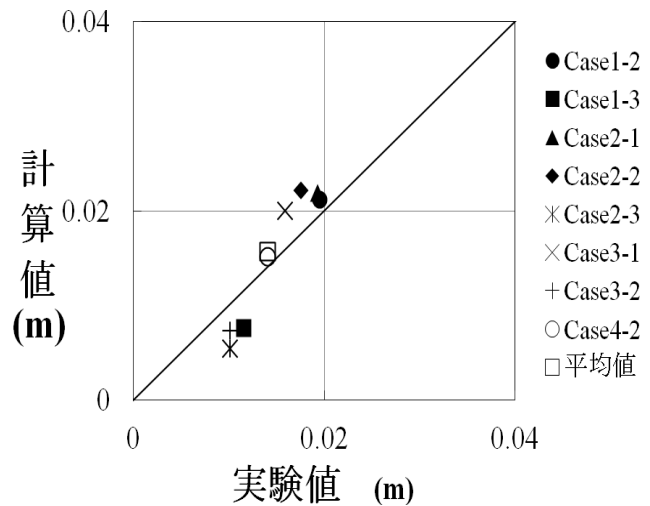


図3 洗掘深(m)の比較

参考文献

- 1) 小松佑輔, 渡邊康玄, 泉典洋, 竹林洋史: モルタルで擬似した軟岩の流砂の衝突による洗掘, 河川技術論文集, 第17巻, 2011
- 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) 井上卓也, 渡邊康玄, 齋藤大作, 根本深, 松本勝治, 江崎國夫, 濱木道大: 軟岩河床の洗掘を考慮した河床変動計算の開発, 河川技術論文集, 第15巻, 2009
- 4) 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
- 5) 日本材料学会編: 岩の力学基礎から応用まで, 丸善株式会社, pp.495, 1995
- 6) 土屋義人, 青山俊樹: 水流による砂れき saltation の機構(2), 京都大学防災研究所年報, 第13号B, pp.199- 216, 1970
- 7) 河村三郎: 土砂水理学1, 森北出版, pp.256~258, 1982
- 8) 石橋毅: ダム排砂設備の流下砂礫による摩擦・損傷に関する水理学的研究, 土木学会論文報告集, 第334号, 1983