

礫列河床における砂の洗掘・堆積と輸送量に関する実験

北海道大学大学院	学生会員	田中 航太
北海道大学大学院	正会員	中村 健作
北海道大学大学院	正会員	長谷川和義
水資源開発公団	正会員	竜澤 宏昌

1. はじめに

山地河川の礫列河床形態は山地行きからの土砂輸送と大きく結びついており、沢田ら¹⁾によって研究がなされてきたが未だ解明されていない難解な問題が多い。そこで礫列河床における土砂の流出機構を解明する基礎実験を行った。

2. 実験方法・実験条件

実験は長さ11m、幅30cm、深さ40cm、勾配1/10の片面アクリル板製の実験水路を用いた。実験砂礫にはTALBOT分布の $n=1/2$ 、 $d_{max}=5\text{cm}$ に従う混合砂礫(A砂礫)を用い、実験水路底面に水平に敷き詰めた後水締めを行った。流量6.7(l/sec)で通水を断続的に行い、その都度河床変化と末端流砂量およびその粒度分布を計測した。

3. 実験結果

じゅうぶん通水を行い末端流砂量がほぼ0のなったときの河床平面図が図-1である。河床の低部が黒色、高部が白色で表されるコンタ-図であるが、きれいなステップ・プールの発生しているのが認められる。各横断測線に沿って平均して得られた縦断面図が図-2である。ほぼ等間隔に大きな洗掘が発生しており、また水流の蛇行が認められたことから礫列形成過程において砂礫堆が発生したものと考えられる。

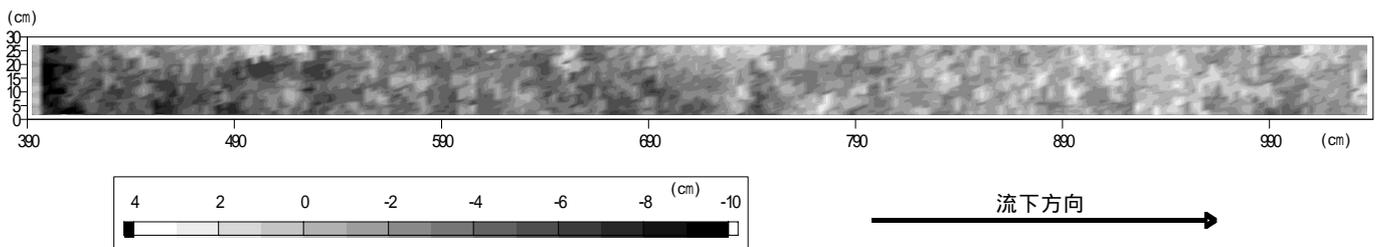


図-1 定常河床コンタ-図

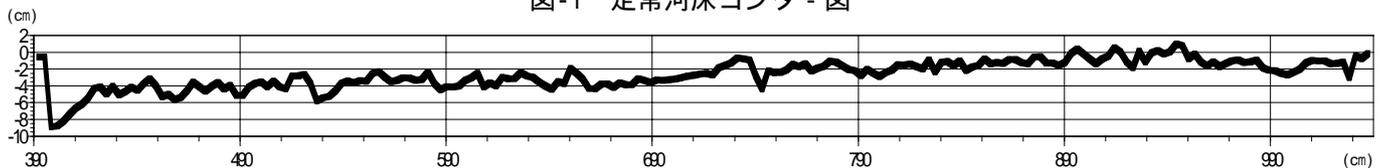


図-2 定常河床の横断方向平均図

竜澤・長谷川ら²⁾³⁾によれば礫列の理論波長・理論波高の推定式は右式で与えられる。理論値と写真-1に対応した計測データから読み取った実験値を比較するとよく適合している。比較を表-1に示す。

$$\text{理論波高推定式} \quad \Delta = 6.43 I^{5/6} h_c \quad (1)$$

$$\text{理論波長推定式} \quad \lambda = 3.36 \sqrt{6.48 \sqrt{I} - \frac{1}{3}} I^{-1/6} h_c \quad (2)$$

表-1 理論値と実験値の比較

	理論値	実験値	実験値の平均
(cm)	3.50	3.15 3.32 2.84 2.84	3.025
(cm)	23.90	180.0 210.0 210.0 210.0	20.25

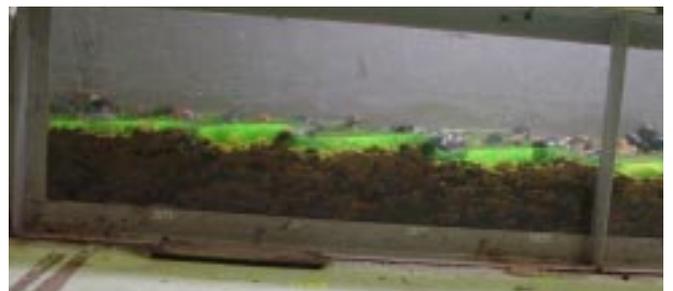


写真-1 定常河床時の写真

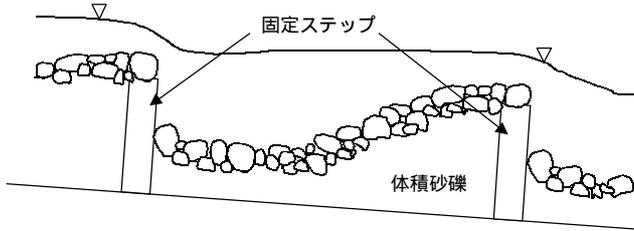


図-3 ステップ模型横断方向断面概念図

表-2 実験条件

	case-1	case-2
流量 (l/s)	1.5	5.0
河床勾配	1/10	1/10
実験砂礫 (mm)	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0
平均粒径 (mm)	0.75	1.5
比重	1.56	1.65
間隙率	0.422	0.4
限界無次元掃流力	0.4125	0.925
等流水深における無次元掃流力	1.61	1.777

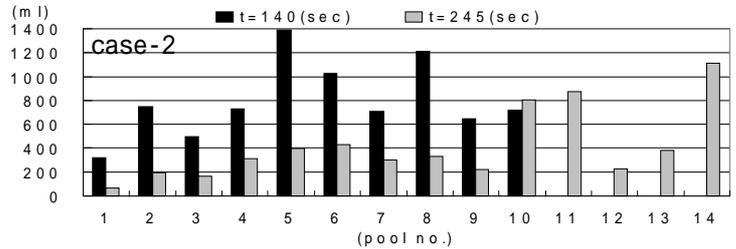
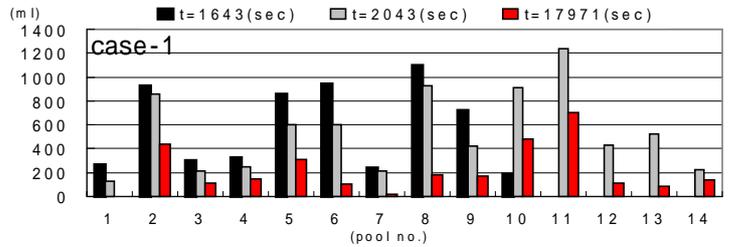


図-4 プール別堆砂量

$$\bar{\tau} = \frac{\rho g h_c h_0 \left\{ -z_m(1-\beta) - \frac{h_c}{2} \left(3 - \beta^2 - \frac{2}{\beta} \right) \right\}}{\alpha S \left(\frac{z_m}{h_0} \right)^\gamma - h_0 \lambda}$$

$\beta = \frac{h_0}{h_c}$: 比重 g : 重力加速度 h_0 : 等流水 z_m : 最大洗掘深 h_c : 限界水深 S : 単位幅堆積 λ : 波長

式(3) 平均せん断力式

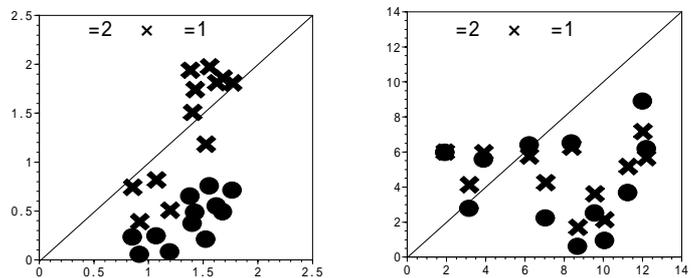


図-5 実験値と計算値の比較

4. 礫列河床における砂の流下実験

礫列河床上の砂の流下状態をより詳細に調べるために、新たな実験として高さ19cmのコンクリート製ステップ模型を河床底面に横断方向に14基設置し、A砂礫を水平に敷き詰めた後水締めをした後通水を断続的に行った(図-3)。実験条件は竜澤・林・長谷川³⁾による礫列の波長・波高推定式を用い算出した。その結果、自然に形成する礫列河床形態に類似した河床が得られた。この河床の最上段に貯砂プールを設置し、細砂を10リットル盛土し通水を行う砂の流下実験を試みた。この実験は2種類の粒径の異なる細砂を使用し2回行った。実験条件を表-2に示す。

時間ごとのプール別堆砂量を表したものが図-4にであるが、堆砂のピークは徐々に減少しながら下流方向に移動していくのがみてとれる。また洗掘の顕著であった2, 5, 8, 11番目のプール部に多く堆砂した。一方、洗掘の比較的小さい4, 7番目のプール部にはほとんど堆砂せず下流へ流されていった。

堆砂量と末端流砂量より流砂連続式を用いて算出した実験値を横軸にとり、神田らによる護床工下流部の局所洗掘に関する研究を参考にして平均せん断力式(3)を求め、芦田・道上式より流砂量を求めた計算値を縦軸にとって比較したものが図-5である。神田らは式(3)で $\alpha=4$, $\gamma=2$ として計算しているが $\alpha=1$ とした修正式も併せて載せた。case-1では実験値と $\alpha=1$ と修正した計算値では描点は45度線近傍によく集まっており比較的良好に一致しているといえる。しかし、case-2では描点の散らばりが大きくどちらの計算値も実験値とは合致しておらず、今後の改善が必要である。

5. 結果

- ・礫列の理論波長・理論波高推定式の適合性が確認できた。
- ・礫列河床形成過程においても砂礫堆状の起伏が発生し水流の蛇行が確認できた。
- ・流砂の先端部は拡散的ではなく、プール部で堆砂・流送を繰り返し順次下流へ移動していく。
- ・礫列河床上のせん断力を神田らの護床工モデルによって推定し、流砂量を推定した。結果は必ずしも十分なものではなく新たな検討が必要である。

参考文献

- 1) 沢田豊明・芦田和男・高橋保: 山地河道における掃流砂の流掃過程, 第25回水理講演会論文集, pp.507-514, 1981年
- 2) 長谷川和義: 溪流の淵・瀬の水理とその応用, 1997年(第33回)水工学に関する夏季講習会テキスト, 1997年
- 3) 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義: 溪流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性, 1998水工学論文集第42巻, pp.1075-1080
- 4) 神田佳一・森本龍助: 護床工下流部における局所洗掘穴内のせん断力と洗掘の軽減に関する研究, 1999年2月水工学論文集, 第43巻, pp.617-622