

# 比較的高濃度に流砂を含む流れの勾配急減による堆積過程

九州大学大学院 工学研究科 学生員 高岡広樹  
九州大学大学院 工学研究科 学生員 Kichan Park  
九州大学大学院 工学研究科 正 員 橋本晴行  
九州大学大学院 工学研究科 正 員 高畑 洋

## 1. はじめに

急勾配の溪流が平地に達する溪流出口においては、扇状地が発達する。扇状地上を流れる河川は500前後の勾配を示すことが多いが、扇状地から平地に至る所では勾配は急減し、より緩やかな勾配へと変化していく。このような河道では比較的高濃度の流砂が生起し、勾配の変化に起因して河床変動を引き起している。本研究は、このような観点から、500程度の急勾配上流河道が緩勾配の下流河道に接続する水路を用いて、河床変動実験を行うとともにその数値計算を行い、勾配急減による河床変動機構を明らかにしようとしたものである。

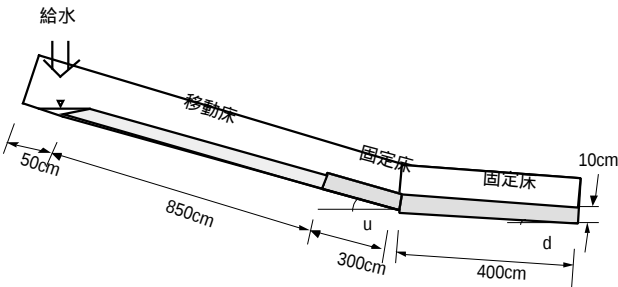


図-1 実験水路

## 2. 実験方法

実験に使用した水路は、長さ12m、幅15cmの急勾配水路の下流端に、長さ4m、幅15cmの緩勾配水路を接続した水路を用いた (図-1参照)。水路勾配はCaseA、CaseB<sub>0</sub>の場合、上流側水路を  $\theta_u=6^\circ$ 、CaseC、CaseDの場合、上流側水路を  $\theta_u=4^\circ$  とし、全ケースとも下流側水路を  $\theta_d=2^\circ$  とした。水路は、勾配の急減点より下流側に長さ4m、上流側に長さ3m、合計長さ7mの固定床部とその上流側に

表-1 実験条件

|                                        | CaseA | CaseB <sub>0</sub> | CaseB <sub>1</sub> | CaseB <sub>2</sub> | CaseC | CaseD |
|----------------------------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|
| 河床砂の平均粒径d(mm)                          | 0.84  | 0.17               | 0.17               | 0.17               | 0.84  | 0.17  |
| 単位幅供給流量 $q_{w0}$ (cm <sup>2</sup> /s)  | 117.1 | 117.7              | 40.0               | 70.0               | 119.0 | 120.1 |
| 単位幅供給砂量 $q_{sin}$ (cm <sup>2</sup> /s) | 0     | 0                  | 3                  | 3                  | 0     | 0     |
| 河床砂の比重 $\gamma_s/\gamma$               | 2.62  | 2.61               | 2.62               | 2.62               | 2.62  | 2.61  |
| 上流側水路の勾配 $\theta_u$                    | 6°    | 6°                 | 6°                 | 6°                 | 4°    | 4°    |
| 下流側水路の勾配 $\theta_d$                    | 1.89° | 1.92°              | 2°                 | 2°                 | 2.00° | 2.08° |

長さ8.5mの移動床部とで構成されている。移動床の河床材料にはCaseA、CaseCの場合、ほぼ均一な粒度分布を持つ平均粒径 $d=0.84$ mm、比重  $\gamma_s/\gamma=2.62$ の粗砂を用い、CaseB<sub>0</sub>、CaseDの場合、平均粒径 $d=0.17$ mm、比重  $\gamma_s/\gamma=2.61$ の細砂を用いた。敷厚は全ケースともに10cmとした。上流端からの単位幅当りの供給流量 $q_{w0}$ は $q_{w0}=117\sim120$ (cm<sup>2</sup>/s)とした。 $d=0.84$ mmの実験では固定床部に同じ粒径の粗砂を一樣に貼り付け、粗度とした。実験は4ケース行ったが、従来行われた実験条件CaseB<sub>1</sub>、B<sub>2</sub><sup>1)</sup>も合わせて表-1に示す。

固定床における土砂の堆積過程を調べるため、Video Cameraを用いて固定床部の水路の側面から河床高と水位を撮影した。

## 3. 計算方法

実験の結果を考察するため、1次元河床変動計算を行った。CaseA、Cの場合、計算に用いた運動方程式、全相の連続式、固相の連続式を次に示す。

ここに、 $q_t$  = 単位幅当流量(cm<sup>2</sup>/s)、 $h$  = 流動深(cm)、 $z$  = 河床高(cm)、 $B$  = 水路幅(cm)、 $q_s$  = 単位幅当流砂量(cm<sup>2</sup>/s)、

$$\frac{\partial q_t}{\partial t} + \frac{\partial (v q_t)}{\partial x} = -gh \frac{\partial (h+z)}{\partial x} - \frac{B+2h}{B\phi^2} (v^2) \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{h+z}{\phi} \right) + \frac{\partial q_t}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$C_* \frac{\partial (z)}{\partial t} + \frac{\partial (q_s)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

キーワード：高濃度浮流砂流 掃流状集合流動 勾配急減 堆積

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 TEL 092-642-3289 Fax 092-642-3322

$g$  = 重力加速度(cm/s<sup>2</sup>)、 $v$  = 流れのx方向流速(cm/s)、 $C_s$  = 最密充填濃度である。計算方法としてはMacCormack法を用いた。また、本計算に用いた掃流砂の流砂量式は次のようである<sup>2)</sup>。

$$\frac{q_s}{\sqrt{sgd^3}} = 4.7 t^{3/2} \left(1 - \frac{t_{*c}}{t_*}\right) \frac{1}{(a - I_f) \cos \phi} \quad (4)$$

ここに、 $t_{*c}$  = 無次元掃流力、 $I_f$  = 粒子間応力に関する関数で本計算では0.875、 $t_*$  = 無次元限界掃流力、 $I_f$  = 摩擦勾配である。詳しい計算条件は表-2で表わす。また、CaseB、Dの場合に用いた計算式を次に示す。

$$\frac{\partial q_t}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v q_t) = -gh \frac{\partial (h+z)}{\partial x} - \frac{B+2h}{B\phi^2} (v^2) \quad (5)$$

$$\frac{\partial (h+z)}{\partial t} + \frac{\partial q_t}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (ch) + \frac{\partial}{\partial t} (q_c) = w_0 (c_{be} - c_b) + \frac{\partial}{\partial x} \left( hD \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (C_* z) + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_s}{\partial x} + w_0 (c_{be} - c_b) = 0 \quad (8)$$

また、平衡時における基準点浮遊砂濃度 $c_{be}$ は式(9)より求め<sup>3)</sup>、底面における基準点浮遊砂濃度 $c_b$ は式(10)のようである。掃流砂量の計算は式(4)を用いた。

計算条件(0.35E C<sub>be</sub> £0.5995)

$$c_{be} = \tau_* \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\tau_*}{\tau_*} \right) + s C_u (1 - \eta_\delta) \frac{1}{(\alpha - \tan \theta_0) \cos \theta_0} \frac{d}{\delta_G} \quad (9)$$

$$\frac{c}{c_b} = \frac{\beta \kappa_*}{6w_0 (1 - \eta_\delta)} \left\{ 1 - \exp \left[ - \frac{6w_0}{\beta \kappa_*} (1 - \eta_\delta) \right] \right\} \quad (10)$$

計算は実験水路の固定床部を対象とし、固定床上端の流入流量 $q_{w0}$ は実験データを用い、流速係数は粗砂の場合 = 5、細砂の場合 = 10である(表-2参照)。また、最密充填濃度 $C_s$  = 0.6、限界掃流力 $t_{*c}$  = 0.05、空間格子間隔 $\Delta x$  = 10cm、閾値 $\Delta z$  = 0.02cm、分散係数 $D$  = 5.86 $hu_* / g$ とした。

図-2は一定時間通水後の河床高の実験値と計算値を示している。ここで、x軸は水路の固定床部を表しており、勾配急減部をx=0として設定した。

#### 4. おわりに

河床材料として粗砂を用いた場合、河床高の実験値と計算値は良く一致した。しかしながら細砂を用いた場合、河床高のピークが計算では勾配急減部で発生したが、実験では勾配急減部から下流側に約3m離れて発生した。細砂の場合は非平衡性を考慮した計算法を今後検討する必要がある。

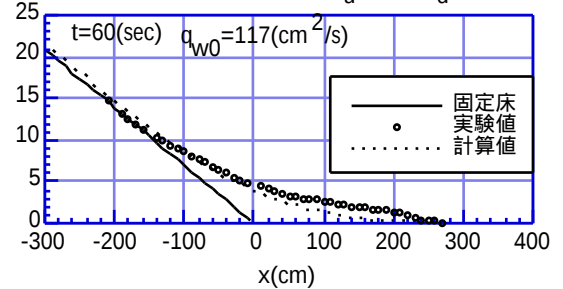
#### 参考文献

- 1) Kichan Park・橋本晴行・帯山武敏・平野宗夫,第54回年次学講演会講演概要集、第2部、-217,1999
- 2) 橋本晴行・平野宗夫,土木学会論文集, No.545、-36,1996
- 3) 平野宗夫・橋本晴行・寺中孝司,水工学論文集, 41巻, 1997

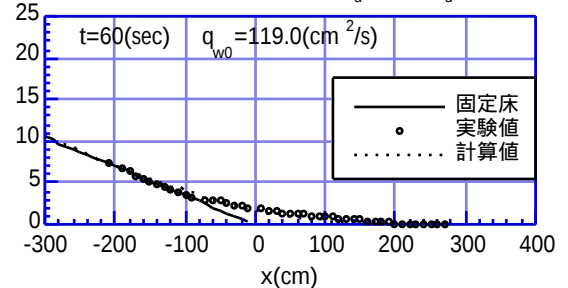
表-2 計算条件

|                    | 時間格子間隔    | 流速係数 | 固定床流入条件                       |
|--------------------|-----------|------|-------------------------------|
| CaseA              | t=0.08sec | =5   | $q_t=137\text{cm}^2/\text{s}$ |
| CaseB <sub>0</sub> | t=0.05sec | =10  | $q_t=220\text{cm}^2/\text{s}$ |
| CaseC              | t=0.08sec | =5   | $q_t=121\text{cm}^2/\text{s}$ |
| CaseD              | t=0.06sec | =10  | $q_t=180\text{cm}^2/\text{s}$ |

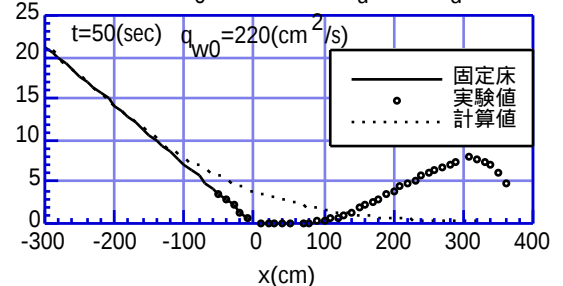
河床高z(cm) CaseA(d=0.84mm,  $u_* = 6\infty$ ,  $d_* = 1.89\infty$ )



河床高z(cm) CaseC(d=0.84mm,  $u_* = 4\infty$ ,  $d_* = 2.00\infty$ )



河床高z(cm) CaseB<sub>0</sub>(d=0.17mm,  $u_* = 6\infty$ ,  $d_* = 1.92\infty$ )



河床高z(cm) CaseD(d=0.17mm,  $u_* = 4\infty$ ,  $d_* = 2.08\infty$ )

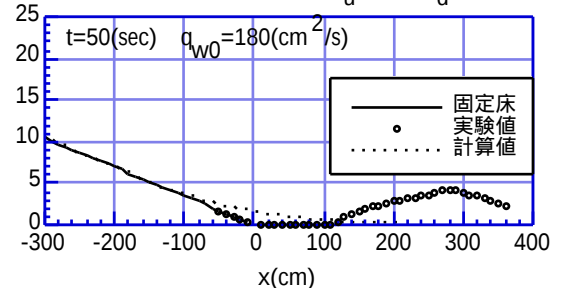


図-2 実験と計算結果