

狭窄部の土砂調節機能に関する基礎的研究

- 名古屋大学大学院 工学研究科 学生会員 寺本敦子
- 名古屋大学大学院 工学研究科 正員 辻本哲郎
- 名古屋大学大学院 工学研究科 非会員 戸田世知

1. 研究の背景と目的

近年、河道計画を立てるにあたり、水系を一貫して土砂動態を把握することの重要性が認識されつつある。しかし、どのように水系を一貫した管理を行っていくかは、未だ確立されておらず、個々の現象をいかに考慮しながら管理を行っていくかは重要な課題である。本研究では、扇状地河道の土砂動態に大きく関わるであろう扇頂部に存在する狭窄部の土砂調節機能に着目し、そこで生じる現象と土砂流出について実験と一次元解析を用いて明らかにすることを目的とする。

ここでは、狭窄部を図-1のように sine curve によってモデル化して検討を行う。

2. 実験方法

実験には、幅 50cm、水路長 20m の矩形断面直線流路を用い、勾配を 1/200 とした。図-1 の半断面を考え、水路の真ん中に $L=3\text{m}$ 、 $B_0/B=0.5$ となる狭窄部を設置し、狭窄部の区間とその上下流 4m にわたり約 2mm の一様粒径砂を引き詰めた。その上下流は、表面に河床材料の砂を貼り付けた固定床に仕上げた。実験では、流量を $7500\text{cm}^3/\text{s} \sim 15000\text{cm}^3/\text{s}$ の間で $2500\text{cm}^3/\text{s}$ ずつ変化させた一定流量を通水する。時間毎の水位、河床変化量をはかることで狭窄部の現象を把握する。また、流量を段階的に変化させる実験も行い初期形状の違いによる狭窄部の応答の違いも検証した。

3. 狭窄部の現象

図-2,3 に流量 $10000\text{cm}^3/\text{s}$ 時の実験結果を示す。平坦河床から一定流量を通水した場合、狭窄部河床は最初の 10 分で急激に洗掘される。洗掘に伴い徐々に河積が確保され、上流での水位堰上げが緩和される。 $7500\text{cm}^3/\text{s}$ 以上の流量では、時間の経過とともに流路全体で砂が動いているが形状が変化しない動的平衡状態に到ることがわかった。このときの形状は、流量毎に一定の深さを持つ（図-4）。なお流量 $5000\text{cm}^3/\text{s}$ 時は、全体で流砂がなくなって形状が完全に決まる静的平衡状態となる。

次に、流量を段階的に変化させる実験を行った。まず、流量 15000 、 $7500\text{cm}^3/\text{s}$ を通水し、ほぼ動的平衡状態に到った後、流量 $10000\text{cm}^3/\text{s}$ を通水して狭窄部の応答を観測する。このとき、図-4 の矢印で示すように狭窄部の平衡最大洗掘深さは、流量増加時($7500\text{cm}^3/\text{s} \rightarrow 10000\text{cm}^3/\text{s}$)には流量 $10000\text{cm}^3/\text{s}$ の洗掘深さに、流量

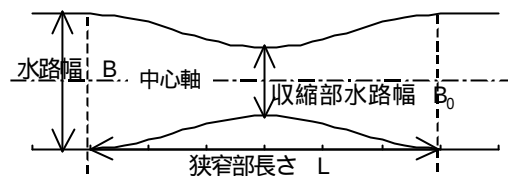


図-1 モデル化した狭窄部

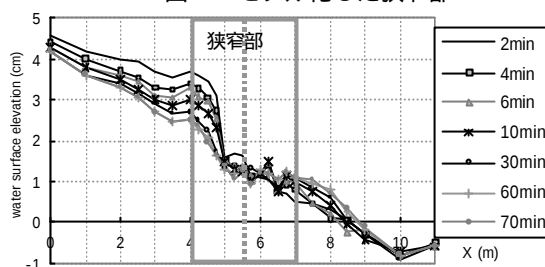


図-2 流量 $10000\text{cm}^3/\text{s}$ 時の水位時間変化

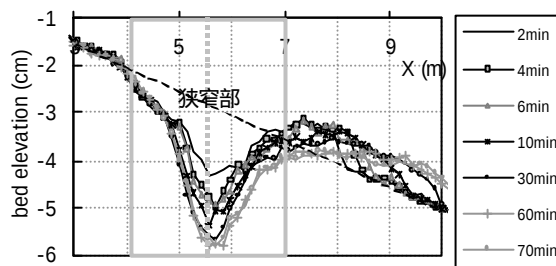


図-3 流量 $10000\text{cm}^3/\text{s}$ 時の河床高時間変化

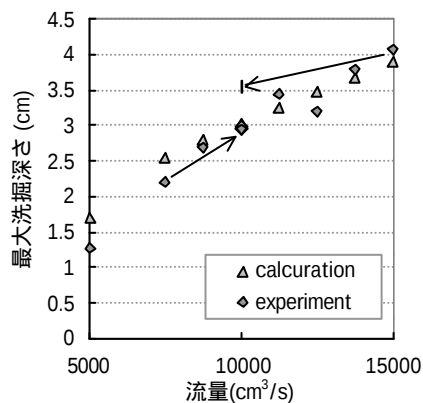


図-4 各流量平衡到達時の最大洗掘深さ

キーワード：狭窄部，土砂調節機能，一次元解析，動的平衡状態，最終洗掘深さ

連絡先：〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学工学研究科 Tel 052-789-3728 Fax 052-789-3727

減少時(15000cm³/s → 10000cm³/s)には、流量 10000cm³/s の洗掘深さに近づいて行くが洗掘部が完全には埋め戻されない。今回の実験では、給砂を行っていないため十分な土砂供給が無く完全に埋め戻されないが、後述の数値計算では、完全に埋め戻されることが確認された。

4. 一次元解析

実験の条件にあわせて一次元解析を行い、現象の再現を試みる。一次元解析では、非定常項を含む流れの連続式、運動方程式を解く流れの計算と、その解を用いて芦田・道上式により流砂量の評価を行い流砂の連続式を解く河床変動計算を繰り返し行い、各時間の流れと河床の状態を知る。

この計算で、狭窄部の現象はほぼ再現されており、図-4、図-5 に示すように最終形状も多少のずれがあるもののほぼ再現できている。

5. 平衡形状の重要性

上述したように段階的に流量を変化させた場合でも最終的には、その流量にあった狭窄部の状態に到ることが確認された。平衡形状より初期河床が掘れていれば、上流からの供給土砂は狭窄部の埋め戻しに使われ、通水当初には狭窄部から下流への土砂供給は無い。逆に掘れていない場合には、上流で水位が堰上がり狭窄部で洗掘された土砂が下流へ多量に供給される。両者とも平衡形状に到った後は、上流からの供給土砂量と同じだけ下流へ供給するようになる。このことから土砂流出を考える上で狭窄部の平衡形状が重要となる。

6. 平衡形状について

$$\frac{D_e}{h} \bigg|_{t^*=t^*c} = \frac{1}{a} (I) * \ln \left(\frac{t^*}{t^*c} \right) \quad (1)$$

一次元解析を断面収縮幅、流量、河床材料、河床勾配を変化させて行い、その結果から、平衡形状の予測を試みる。狭窄部の最終形状を流下方向に狭窄部長さ

L 、最終的な洗掘深さの流下方向変化を最終最大洗掘深さ D_e を用いて無次元化した結果、図-5 のようにその形状は、流量、河床材料、河床勾配によらず断面収縮率により決定されるものであることがわかる。

また、平衡状態での最大洗掘深さを等流水深を用いて無次元化した値 D_e/h は、その時の無次元限界掃流力を無次元掃流力で割った値 τ^*c/τ^* に関係することがわかった。これを式(1)のように定式化する。 $D_e/h|_{\tau^*c/\tau^*=1}$ は、収縮率 B_0/B の関数であり(図-7)、 $1/\alpha(I)$ は、 I の関数となっている(図-8)。図-9 は、 $(D_e/h)/(D_e/h|_{\tau^*c/\tau^*=1}(B_0/B))$ と τ^*c/τ^* の関係図であり、収縮率の違いによるばらつきを平均した解析結果と共に式(1)により算出された近似曲線を示す。このような作業によって、勾配、狭窄部流路形状、河床材料により各流量の平衡形状が予測できれば、土砂動態管理にとって有用となると考える。

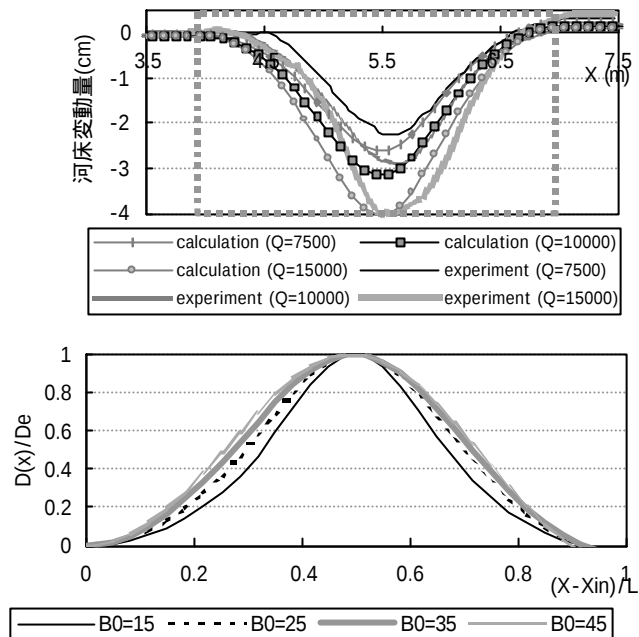


図-6 最終形状の無次元化

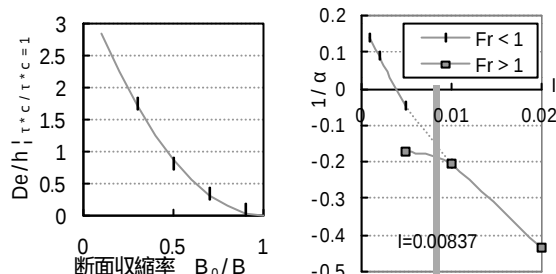


図-7 B_0/B - $De/h|_{\tau^*c/\tau^*=1}$ 関係 図-8 I - $1/\alpha$ 関係図

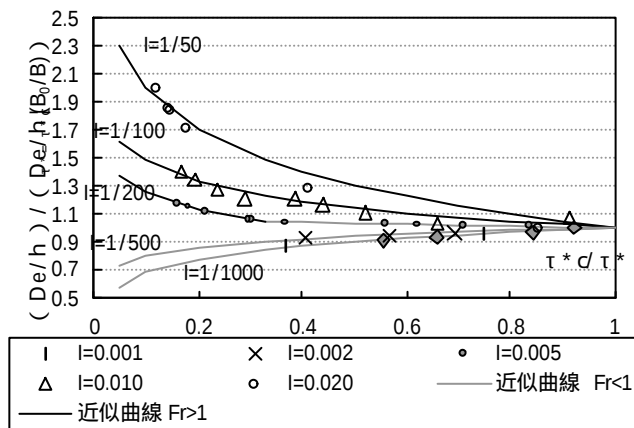


図-9 各勾配における τ^*c/τ^* と $(De/h)/(De/h|_{\tau^*c/\tau^*=1}(B_0/B))$ 関係