

急勾配流路における侵食速度に関する研究

九州大学大学院工学府 学生員 高岡広樹
 九州大学大学院工学研究院 正員 橋本晴行
 九州大学大学院工学府 正員 池松伸也
 九州大学大学院工学府 学生員 椎野 陽

1.はじめに

土石流の氾濫計算やダムの流入土砂量の予測などを行う場合、河床侵食量によって流砂量や流砂濃度が変化する。このため、侵食速度は重要なパラメータである。侵食速度に関しては、砂や礫を対象とした中川らの研究や、粘土を対象とした関根らの研究があるが、微細土砂を対象とした研究はほとんどなく、いまだ十分には明らかにされていない。

本研究では、黄河中上流域のような急勾配で微細土砂を含む流れを対象とし、急勾配移動床水路において、細砂・微細砂を用いて河床侵食実験を行い、河床侵食速度式を求め、考察した。

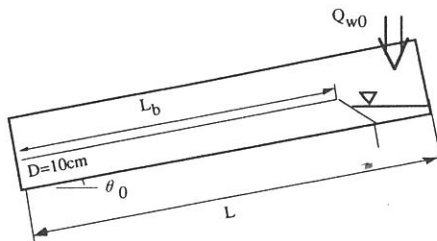


図-1 水路図

2.実験

表-1 実験条件

(1)実験方法

実験は水路勾配、河床材料、流路長をかせ3Case行った。まず、CaseA, Bの実験に使用した水路は全長L=700cm, 幅B₀=5cm, 10cmの可変勾配水路である(図-1)。水路勾配θ₀=6°, 10°, 14°, 18°, 移動床部の長さはL_b=570cmとした。河床材料にはほぼ均一な粒度分布を持つ平均粒径d=0.17mm, 比重σ/ρ=2.62の細砂, d=0.064mm, σ/ρ=2.64の微細砂を用いた。CaseCの実験に使用した水路は、全長L=1200cm, 幅B₀=20cmの水路である。水路勾配はθ₀=6°, 移動床部の長さL_b=1100cmとした。河床材料にはd=0.17mmの細砂を用いた。実験は、上流より一定流量Q_{w0}の水を所定の時間通水して行った。水と土砂を合わせた全流量Q_r, 流砂濃度C_rは、下流端で流れを採取することにより、水位、河床高の変化は側壁からビデオ撮影することにより測定した。通水後、ポイントゲージにより河床高を測定した。実験条件を表-1に示す。

	θ ₀ (°)	d(mm)	L _b (cm)	B ₀ (cm)	Q _{w0} (cm ³ /s)
CaseA	6, 10, 14, 18	0.17	570	5.10	400
CaseB	6, 10, 14	0.064	570	5	400
CaseC	6	0.17	1100	20	400, 4000

(2)侵食速度の算定方法

河床侵食速度の算出方法として2種類の方法を用いた。1つめの方法では、通水後の河床高のデータより、全区間における空間平均値を求め、初期河床高との差をΔzとする。測定幅ΔxはΔx=10cmである。ここで通水時間Tは給水を開始し、流れの先端が下流端に到達した時をstartとし、給水を止めた時をendとしているため、実際の通水時間よりは短い。そのため侵食速度 $\frac{\Delta z}{\Delta t}$ は過大評価となっている。また、全区間を対象としているので、上流端、下流端の影響を含んでいる。

2つめの方法では、水路中央部付近のx=325cm(下流端より245cm)における河床高の時間変化のグラフについて最小自乗法により直線近似を行い、その直線の傾きより侵食速度 $\frac{\Delta z}{\Delta t}$ を求めた。測定時間間隔は1secである。ここで通水時間Tは給水を開始し、流れの先端がその地点を通過した時をstartとし、給水を止めた時をendとしている。そのためこの方法では、空間平均による算出方法のような $\frac{\Delta z}{\Delta t}$ の過大評価や上流端、下流端の影響といった問題点を解消している。また全流量Q_r, 流砂濃度C_rは下流端における採水のデータにより通水時間Tによる時間平均で、水深hは下流端から50cmにおける水位、河床高の時間変化より平均値を求めている。ここで、 $v = Q_r / (Bh)$, $u_* = \sqrt{gh \sin \theta_0}$, d:平均粒径, Δz/Δt>0は侵食を示す。

3.実験結果と考察

図-2~4は算出した侵食速度を無次元化したものと流砂濃度との関係である。図中の実線は最小自乗法によってとめた回帰曲線である。ここで、meanは空間平均による算出方法、x=325cmは局所的な算出方法を示している。

図-2は河床侵食速度を平均流速で割った無次元量と流砂濃度との関係である。いずれも直線付近に分布しており、河床材料の違いや敷長の違いによる差異はみられない。どちらのグラフも流砂濃度が大きくなると、侵食速度の無

次元量は大きくなっている。また、流砂濃度が同じ場合、平均流速が大きいほど侵食速度は大きくなる。回帰曲線より実験式を求めると、

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{mean} = 0.0065 C_T^{1.4} v \quad (1)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{x=325cm} = 0.019 C_T^{2.6} v \quad (2)$$

となり、局所的に求めた侵食速度の場合の方が、図中の直線の傾きは急になった。

図-3は侵食速度を摩擦速度で割った無次元量と流砂濃度との関係である。図-2と同様に流砂濃度が大きくなると、無次元量も大きくなっている。

実験式を求めると、

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{mean} = 0.066 C_T^{1.3} u_* \quad (3)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{x=325cm} = 0.10 C_T^{1.4} u_* \quad (4)$$

となった。

図-4は侵食速度を $Q_i/(Bd)$ で割った無次元量と流砂濃度との関係である。流砂濃度が大きくなると、無次元量も大きくなる。実験式は

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{mean} = 7.8 \times 10^{-5} C_T^{1.1} \frac{Q_i}{Bd} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta z}{\Delta t}_{x=325cm} = 6.7 \times 10^{-5} C_T^{1.4} \frac{Q_i}{Bd} \quad (6)$$

となった。

いずれも実験式は $\frac{\Delta z}{\Delta t} \propto C_T^k$ (k:定数) という形となり、

中川らの式

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \delta_c \frac{C_\infty - C_T}{C_*} |u_* - u_{*ck}| \quad (7)$$

や関根らの式

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \beta u_* \left(\frac{u_*}{C_T} \right)^3 \quad (8)$$

と比べると、これらは流砂濃度が増加すると侵食速度は小さくなるが、本研究で求めた式は流砂濃度が増加すると侵食速度も大きくなるという全く異なる結果となった。これは、本研究では、流砂濃度を下流端における値を用いているからである。

4.おわりに

本研究では、急勾配移動床水路において河床侵食実験を行い、侵食速度と流砂濃度との関係について考察した。その結果、河床材料や移動床部の長さの違いによる差異は見られなかった。また、実験式を求め、既存の研究と比較した。その結果、全く異なる式形となった。今後の課題としては、求めた侵食速度式を用いて数値計算を行い、実験結果との比較が必要である。

参考文献

- 1) 高橋 保・中川 一・里深好文・奥村裕史・安本大地：混合砂礫床の侵食過程に関する研究，京都大学防災研究所年報，第41号，B-2，1998。
- 2) 関根正人・飯塚暢明・藤尾健太：粘性土の侵食速度予測にむけた実験的研究，水工学論文集，第46巻，2002。
- 3) 中川 一：土石流による地形変動とその解析，地形変動論，1998。
- 4) 江頭進治・芦田和男：土石流の流動機構，水工学論文集，第32巻，1988。

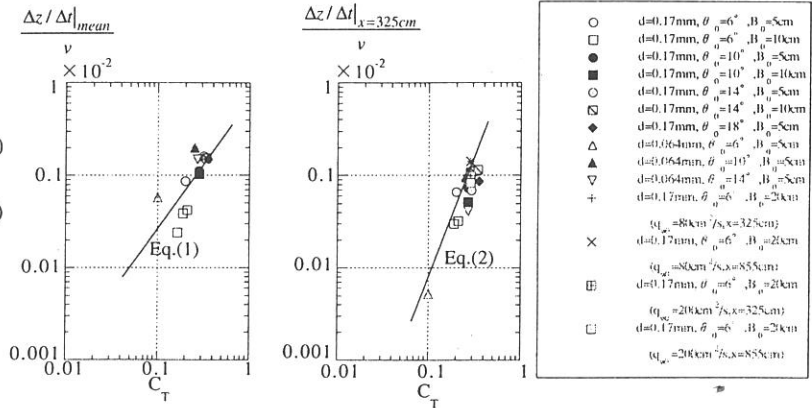


図-2 平均流速による侵食速度の無次元量と流砂濃度との関係

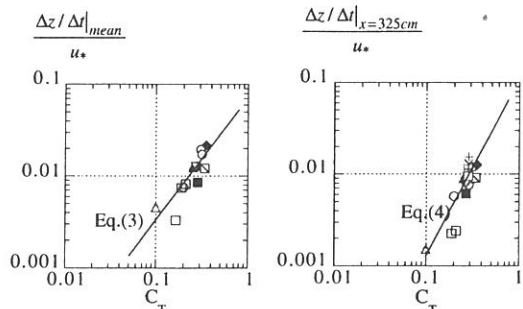


図-3 摩擦速度による侵食速度の無次元量と流砂濃度との関係

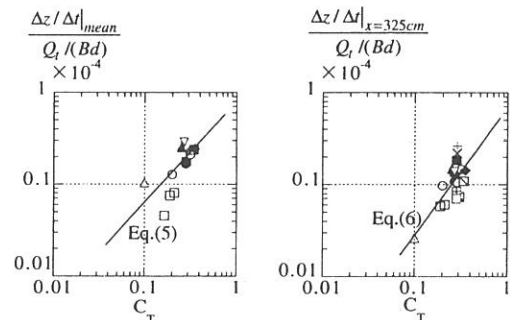


図-4 $Q_i/(Bd)$ による侵食速度の無次元量と流砂濃度との関係