

山梨大学土木環境工学科

○学生会員 稲垣 尊士

山梨大学土木環境工学科

正会員 砂田 憲吾

山梨大学土木環境工学科(株サンポー)

正会員 平林 桂

1. 目的

河川工学上、長期的な河床変動傾向を調べるもっとも一般的な方法は一次元河床変動計算である。このモデルは、粒径別流砂量と交換層の概念を導入することで幅広い粒度分布の河床材料を持つ河道の河床変動計算を扱うことが出来る。一方、河床低下傾向にある河川では河床にアーサーコートが形成されている事が少なくない。アーサーコートは、通常の河床よりも平滑化され石畳状になっているので、それ自身の限界掃流力を増大させたり、上流からの給砂があっても混合することなく下流へ素通りさせると考えられる。この性状は上記の一次元河床変動解析手法では再現できないので、適切なモデル化を行って一次元河床変動計算手法に取り入れることは河川工学上重要である。

本研究においては、水路実験を通じアーサーコートの形成度合いと限界掃流力との関係を把握するとともに、一旦アーサーコートが形成された河床に給砂を行い、河床材料と給砂との再混合および限界掃流力の低下が起こらないことを確認する。一方で、砂粒に作用する力の釣り合いから、河床の凹凸の程度と限界掃流力の関係を理論的に導き、実験値と比較してその妥当性について検討する。

2. 実験

実験は、水路床勾配 1/36、水路幅 0.595m の長方形断面直線水路で行った。河床材料は、粗砂(粒径 10mm)と細砂(同 1mm)の均一砂を 3:1 の比率で混合したものを用いた。実験ケースは表-1 の通りである。

表-1 実験ケース一覧

Case	通水方法 { $\tau_* \times$ 時間(min.)}	目的
0	0.05×15	通常時の河床凹凸測定
1	0.03×30	アーサーコートの形成 ↑ ↓
2	Case1 に 0.04×60 を重ねる	
3	Case2 に 0.05×60 を重ねる	
4	Case3 に 0.06×60 を重ねる	
5	Case4 に 0.07×60 を重ねる	

実験は、混合砂を水路底面より所定の高さまで敷き詰め、平坦に整形した後、表-1 に示した目標の τ_* が得られる流量を通水した。給砂は行なっていない。水路全体で細砂が見られなくなかつ粗砂の動きがおさまった時点で通水を一旦留め、水路の中央付近で 100 個の粗砂の標高を測定した。その後、再通水して細砂を給砂し、河床の砂粒の動きに及ぼす給砂の影響を目視により確認した。最後に、アーサーコートが破壊するまで流量を増大させ、水位縦断を測定し、これより無次元限界掃流力を算出した。

図-1 は、砂粒の高さを測定した結果をもとに、その存在確率をケースごとにプロットしたものである。

関根¹⁾は、一般の河床の凹凸状態がガウス分布に表示出来ることを示している。図-1 からわかるように、本実験においても同様にガウス分布に合致すると考え、アーサーリングの度合いを標準偏差 σ で示すことにする。

各ケースで確認された無次元限界掃流力 τ_{*c} と標準偏差 σ の関係を図-2 に示す。 σ が小さくなるにつれて τ_{*c} が大きくなる傾向を示すことが分かる。なお、アーサーコート形成後に給砂を行っても河床表面を素通りするだけで基本的にはアーサーコートと混合しないこと、及び限界

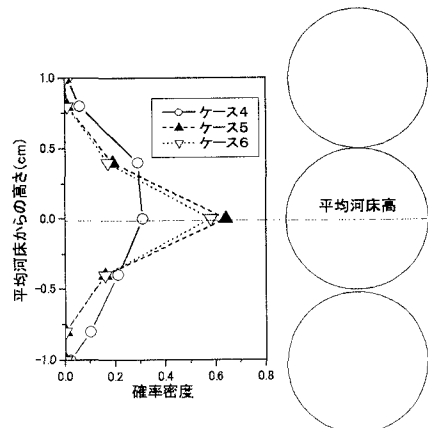


図-1 砂粒の重心の高さの存在確率(実測値)

キーワード: 限界掃流力、アーサーコート、河床変動

連絡先: 山梨県甲府市武田 4-4-37 山梨大学工学部土木環境工学科

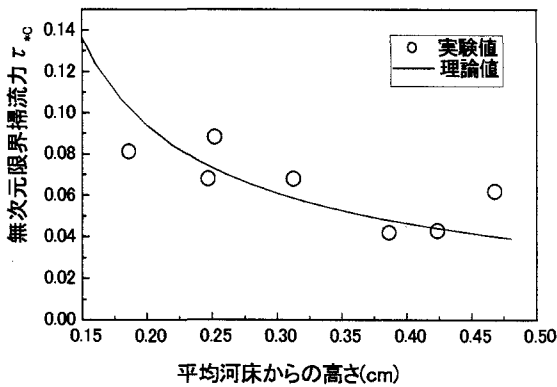


図-2 標準偏差σと無次元限界掃流力

掃流力が減少しないことが確認された。

3. モデリング

ここでは、アーマールコート化された河床の限界掃流力が増大する現象についてモデリングを試みる²⁾。

砂粒子に作用する力を静的なものと考えると、図-3のように表すことができる。

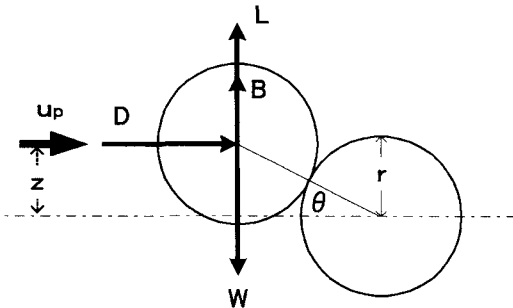


図-3 砂粒に作用する力

ここで、砂粒が流出する限界状態におけるモーメントの釣り合い条件を考える。

$$D \sin \theta + (L + B - W) \cos \theta = 0 \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A \cdot u_p^2 \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot A \cdot u_p^2 \quad (3)$$

$$\frac{u(z)}{u_*} = 8.5 + 5.75 \log \frac{z}{k_s} \quad (4)$$

ここに、 C_D : 抗力係数 ($=0.4$)³⁾、 C_L : 揚力係数 ($=0.34$)³⁾、 ρ : 水の密度、 $u(z)$: 流速、 A : 投影面積、 u_* : 摩擦速度、 k_s : 相当粗度、 r : 砂粒の半径、 z : 河床からの

高さ、 u_p : 砂粒の高さの流速、である。式(2)～(4)を(1)に代入し、若干の変形を行えば、

$$\tau_* = \frac{\frac{2}{3} \cdot r \cdot \sqrt{1 - \frac{Z^2}{4r^2}}}{\left(\frac{1}{4} \cdot C_D \cdot Z + \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot r \sqrt{1 - \frac{Z^2}{4r^2}} \right) \left(8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{Z}{K_s} \right)^2} \quad (5)$$

を得る。この式は、砂粒が移動限界にある状態での τ_* と Z との関係を与える。

次に式(5)を用いて移動限界状態における砂粒の移動確率の定義付けを行なう。ここでは、河床に存在する粒子のうち、何%の粒子が移動状態にあるかという視点で限界掃流状態を定義する。一般に限界掃流状態は $\tau_* = 0.05$ と与えられているので、これを式(5)に代入し Z を求めると $Z = 0.52 \text{ cm}$ となる。ここで、 $\tau_* = 0.05$ となるよう通水し、アーマールコートが形成されていない通常の状態(ケース0)に求められたガウス分布 $F(0, 0.1094)$ と対照すると、 $Z = 0.52 \text{ cm}$ に対応する確率は5.82%となる。これは河床表面に存在する全粒子中5.82%が移動している状態を表していると考えることができる。本研究ではこの状態を限界掃流状態と定義した。

次に、この定義に従いつつ、式(5)により無次元限界掃流力の理論値を求めた(図-2参照)。なお、 k_s は、無次元限界掃流力の実験値と理論値が最も合致した $k_s = 1 \text{ cm}$ ($=d$)としている。 k_s に実測値を用いないのは、実験時の水位が小さく鉛直流速分布を測定できなかったためである。図-2によれば、理論値は実験値によく合致していることがわかる。

4. 今後の検討課題

今後は、アーマールコートが形成されて河床面が平滑化される過程のモデル化を進め、今回の成果と合わせて一次元河床変動計算手法の改良を行なう。

参考文献

- 1) Sekime, M.・Kikkawa, H. (1992): Mechanics of Saltating Grains. II, J. Hy. Eng., Vol. 118, No. 4, pp. 536-558.
- 2) Egiazaroff, I. V. (1965): Calculation of Nonuniform Sediment Concentrations, J. Hy. Div. Vol. 91, HY4, pp. 225-247.
- 3) 池田・山坂・千代田(1986): 混合砂礫床一様湾曲水路の平衡横断形状と Sorting について、土木学会論文集, vol. 375, II-6, pp. 151-160.