

建設省土木研究所 石川芳治 ○前田昭浩
(財) 砂防・地すべり技術センター 高浜淳一郎

1. はじめに

山地河川を対象にした氾濫シミュレーションや河床変動計算を精度良く行うためには掃流状集合流動の抵抗則や流砂量関数を明らかにする必要がある。掃流状集合流動は、図-1に示すように水流層と砂礫移動層からなる。砂礫移動層は両層のinterfaceに作用するせん断力と砂礫移動層内部に働いているbody forceの2つの外力を駆動力として流動していると考えられる。

江頭ら¹⁾や高濱ら²⁾の研究は掃粒状集合流動のモデルに基づいており、図-1に示すように固体粒子と水との2次元等流状態において、砂礫移動層に次の構成則を適用している。

$$\text{せん断力} \quad \tau = P_s \tan \phi + f(c) d^2 (du/dz)^2 \quad (1)$$

$$\text{圧力} \quad P = P_s + P_d + P_w \quad (2)$$

ここで(1)式の第1項は粒子の個体摩擦による降伏応力、第2項は粒子の非弾性衝突によるせん断力、及び粒子間隙水による乱れによるせん断力である。前者は速度勾配に依存せず、後者は速度勾配及び粒径の2乗に比例する形となっている。また、圧力は粒子骨格応力(P_s)、粒子衝突の際に保存されるエネルギーに対応する圧力(P_d)、及び間隙水圧(P_w)からなる。

このようなモデルにより掃粒状集合流動の抵抗則について評価を行う場合には、流れ内部での圧力の状態について調べる必要がある。そこで本研究では掃流状集合流動の流動機構検討のための基礎資料を得るために水路模型実験を行った。

2. 実験方法

実験には、幅20cm、長さ10mの矩形水路を用いた。平均粒径3mmの軽量骨材(比重1.55)及び砂を水路上流端から定常給砂し、流砂量、流量、水深を計測した。圧力はピト管を用いて計測し、動圧側、静圧側を差圧計に接続しデータレコーダで記録した。水路床勾配は軽量骨材を用いた場合に $i=1/40, 1/30, 1/20, 1/10$ とし、砂を用いた場合に $1/5$ として実験を行った。

3. 圧力分布

図-2に実験で用いた差圧計により得られた静水圧+位置水頭の水深方向の分布を示している。土砂を含まない流れ、河床勾配 $i=1/20$ (軽量骨材)の流れでは流動深から計算した静水圧+位置水頭の値とほぼ同じになっているが、河床勾配を $i=1/10$ (軽量骨材)と急にして砂礫移動層厚を大きくすると、サリションと粒子の層流運動の境界付近で計算した圧力より大きい値となっている。

4. 流砂量

図-3で(1)(2)式に示すような応力状態についてのモデルを適用した流砂量式³⁾による計算値(移動床としたときの値)と実験で得られた流砂量を比較した。軽量骨材を用いた実験のうち水路床勾配 $i=1/40, 1/30, 1/20$ については実験値の方が計算値より大きい。これは水路床上で粒子が滑ったことも考えられたため、 $i=1/10$ 及び砂を用いた実験($i=1/5$)では粗度板に用いた砂の粒径を変えてみた(平均粒径0.44mmから0.89mmに)。その結果 $i=1/10$ ではほぼ計算値と同じ、 $i=1/5$ で砂を用いた場合ではやや小さい結果となった。

5. まとめ

今回の実験は主に粒子を混入した流れで粒子が層状に流れている層の圧力分布（ピット管の静圧）を調べるために行った。その結果、砂礫移動層が薄い流れでは間隙の水圧については清水のものと変わらないと言う結果を得た。しかし、砂礫移動層が厚くなるとその層で間隙の水圧が清水のものより大きくなった。これは層流層厚が大きくなるとそこで乱れが閉じた流れとなって間隙流体の圧力は静水圧に流体の乱れによる過剰水圧を加えた値として表れるためと考えられる。

また、今回の実験では軽量骨材を用いた方が砂を用いた実験よりもサテ-ションが大きい流れが出来た。粒子が層状に流れている層では粒子は(2)式に示すような圧力によって支えられると考えられているが、サテ-ションの層では粒子同士の相互作用による圧力 P_s 、 P_a は減少する。この層で粒子が間隙水圧の勾配によって支えられるとすればサテ-ション層の間隙水圧勾配は静水圧勾配より大きくなる必要があるがこの実験ではそのような傾向は明瞭に現れなかった。

参考文献

- 1) 江頭進治、芦田和男、高濱淳一郎、田野中新：エネルギ-散逸機構に基づく流砂モデル、京大防災研年報第33号B-2p. p. 293-306
- 2) 高濱淳一郎、宮本邦明：急勾配水路における高濃度流れの抵抗則と流砂量について、平成4年度砂防学会研究発表会概要集p. p. 66-69
- 3) 石川芳治、石塚忠範、前田昭浩、高濱淳一郎：軽量骨材を用いた掃流状集合流動の水路実験、平成6年度砂防学会研究発表会概要集p. p. 179-182

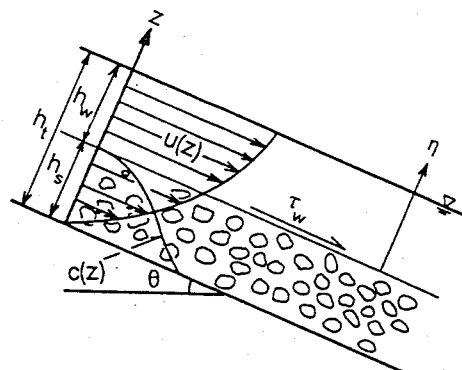


図-1 掃流状集合流動の模式図

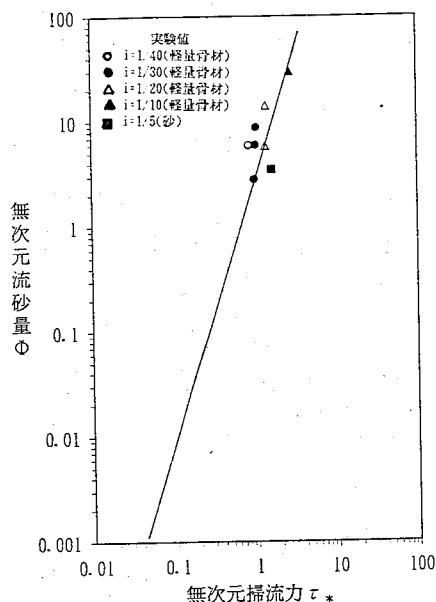


図-3 流砂量の比較(計算値と実験値)

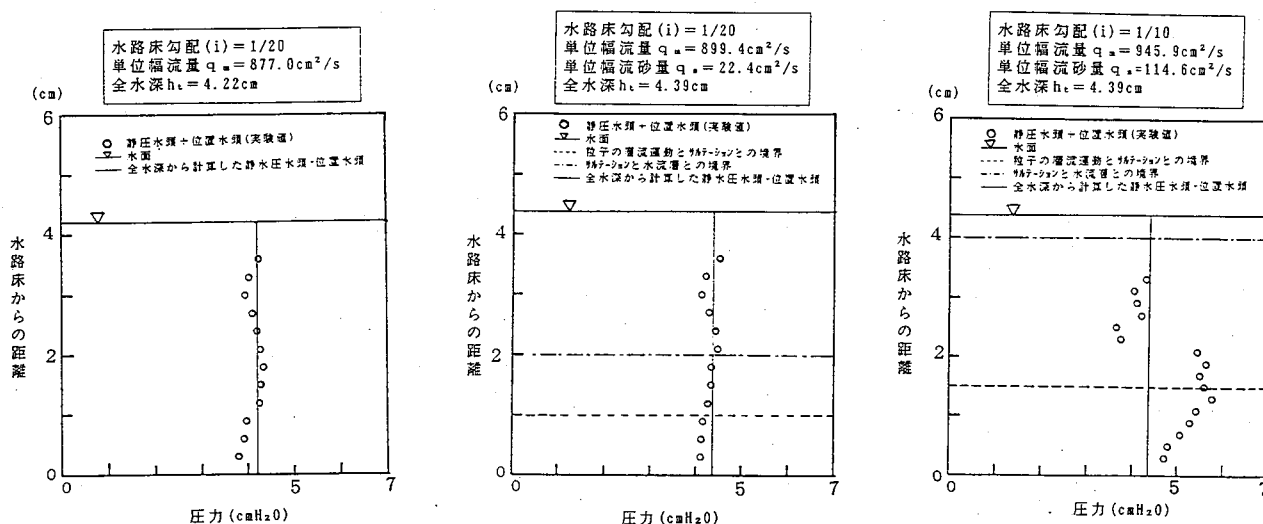


図-2 流れ中の静水圧の深さ方向の分布