

## (II-32) 急勾配固定床水路における礫の限界掃流力に関する研究

群馬大学大学院 学生員 村上 良太

群馬大学工学部 徳山 孔祐

群馬大学工学部 宮澤 一修

群馬大学工学部 正 員 江崎 一博

### 1. まえがき

砂礫の限界掃流力に関する研究は従来より移動床水路については数多く行われてきたが、固定床についてはあまり行われていない。しかし近年、排砂水路など人工水路における礫の挙動を知る必要があり、固定床についても研究を行う必要がある。本研究では水路勾配が 1/100、1/50、1/20 という急勾配の固定床滑面水路に置かれた礫の挙動について基礎的な実験を行った。このような急勾配水路における礫の挙動の最大の特徴は、礫が移動し始める時の水深が小さく、礫の一部が空中に露出した状態で動き出すという点である。このような状況について行われた従来の研究としては、移動床水路を対象としたものが 1, 2 あるだけで、固定床については従来ほとんど行われていない。そこで本研究では礫が移動を開始するときの礫の露出度に注目し力のつり合いの式をたて、無次元限界掃流力の式を導き、固定床滑面水路における実験式である Novak の式と比較し、また相対水深との関係について検討を行った。

### 2. 実験内容

本研究に用いた水路は全長 5,000mm、幅 200mm の透明なアクリル素材の長方形断面水路であり、水路のたわみなどを防ぐために数個のジャッキの上に鋼材を載せ、その上に水路を設置した。水路上端に水槽、整流板を設け安定した水流を保てるようにした。水路勾配は 1/100、1/50、1/20 の 3 ケースとした。対象とした礫は、JIS 基準ふるい目 19.1~25.4mm、38.1~50.8mm を通過する自然礫（前者を礫 A、後者を礫 B とする）を各 30 個、計 60 個を用いた。それぞれの礫について互いに直交する長軸 a、中軸 b、短軸 c、重量 W などを測定した。

実験方法は、礫の長軸 a に矢印をつけ、礫を上流短から 3,000mm 付近の所定に長軸 a を流下方向と平行に水路横断方向中央に 1 つずつ設置する。流量を徐々に上げていき礫が動き出す瞬間の水深 h を測定し限界水深  $h_c$  とした。

### 3. 礫移動開始時の力のつり合い式

開水路 2 次元流場における速度欠損則を用いて、水路床に単独に置かれた礫の抗力係数  $C_D$  の特性について考察する。

まず、速度欠損則は次の式で与えられる。

$$\frac{u-v}{u_*} = 2.5 + 2.5 \log_e \frac{y}{h}$$

上の式より  $u/v$  は次の式で与えられる。

$$\frac{u}{v} = 1 + 2.5 \frac{u_*}{v} + 2.5 \frac{u_*}{v} \log_e \frac{y}{h}$$

ここで、 $u$  : 水路床上高さ  $y$  の点の流速、 $v$  : 平均流速、 $u_*$  : 摩擦速度、 $h$  : 水深とする。

また抗力  $F$  を流速分布を考慮して次の式であらわす。

$$F = \frac{\rho}{2} \int_0^{h_c} C_D u^2 dA = \frac{\rho}{2} C_D v_c^2 \int_0^{h_c} \left( \frac{u}{v_c} \right)^2 dA$$

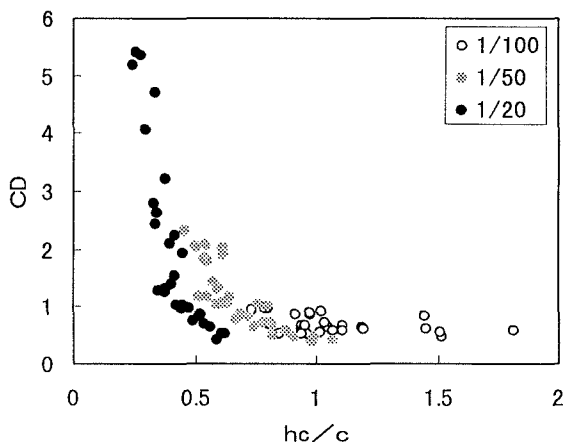


図1 抗力係数～相対水深

ただし抗力Fは礫移動開始時を対象としており  $v_c$ 、 $h_c$  は礫移動開始時の流速、礫移動開始時の水深である、また抗力係数  $C_D$  は d A に無関係であると仮定している。ここで礫を楕円体とみなし、上の2式より抗力係数  $C_D$  を求めた。

上記の方法で求めた抗力係数  $C_D$  と相対水深  $h_c/c$  との関係を礫Aについて図1に示す。これより相対水深  $h_c/c$  は抗力係数  $C_D$  に大きく影響している。相対水深  $h_c/c$  が 0.7 より大きい範囲では抗力係数  $C_D$  はあまり変化なくほぼ一定の値をとる。0.7 より小さい範囲では、相対水深  $h_c/c$  の減少するにつれ抗力係数  $C_D$  が急激に増加している。礫Bについても同じ傾向を示したので省略する。

#### 4. 無次元限界掃流力

無次元限界掃流力

$$\frac{u_{*c}^2}{\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)ga}$$

砂粒レイノルズ数

$$\frac{u_{*c}c}{\nu}$$

Novak の式

$$F_d^2 = 0.065(R_e)^{-0.52}$$

$F_d^2$  : 無次元限界掃流力  
 $R_e$  : 砂粒レイノルズ数

の関係を礫Aについて図2に示し、固定床の実験式である Novak の式と比較した。

また、無次元限界掃流力  $u_{*c}^2/[(\sigma/\rho-1)ga]$  と相対水深  $h_c/c$  の関係を礫Aについて図3に示した。

Novak は限界掃流力は砂粒レイノルズ数の関数であると結論づけている。本実験と比較すると、水路勾配 1/100 のケースでは Novak の結果と比較的近い値をとるが、1/50、1/20 と急勾配になるにしたがって Novak の結果よりおおきな値をとっている。

無次元限界掃流力は水路勾配が 1/100 では相対水深  $h_c/c$  によらずほぼ一定の値をとるが、1/50、1/20 と勾配がきつくなるにつれ相対水深  $h_c/c$  の影響がより顕著になる。

図2、図3についても礫Bも同じ傾向を示したので省略する。

以上のことより、相対水深が 1 より大きい、つまり礫が完全に水没した状態では Novak の式と一致するが、急勾配で礫の一部が空中に露出した状態では Novak の式が適用できないと思われる。

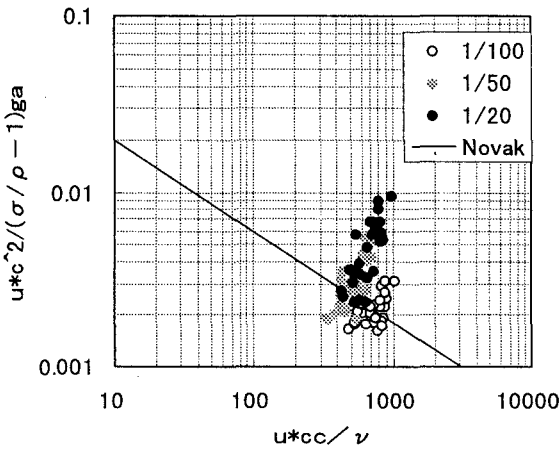


図2 無次元限界掃流力～砂粒レイノルズ数

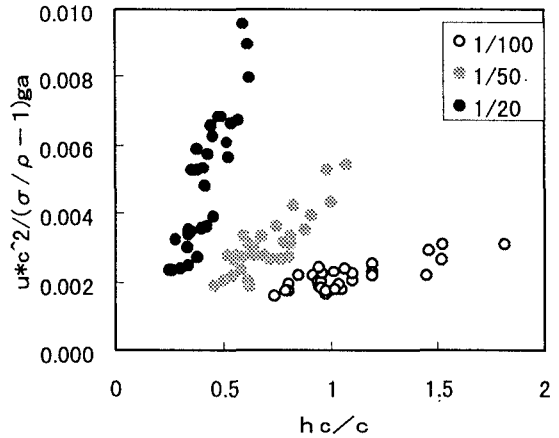


図3 無次元限界掃流力～相対水深

#### 参考文献

Novak.P:Sedient transport in smooth fixed bed channels.  
 Proceedings of A.S.C.E,Journal of the hydraulics division vol.101,  
 No.HY9,91975pp.1139~pp.1154