

京都大学防災研究所 正員 芦田和男  
大阪府立工業高専 正員 大同淳之  
同 上 正員 ○坂本吉一

### 1. はしがき

混合砂れきよりなる河床の抵抗は、均一粒径の場合と同様な、流れの Stage の変化に伴う抵抗の変化の問題に加えて、篩分け作用の結果から生ずる河床に粗粒化による粗度の変化が問題になる。粗粒化の効果は、河床砂が全面的に移動するような場合には、その影響は相対的に小さいが、掃流力 $\tau_b$ が河床砂れきの限界掃流力 $\tau_{bc}$ にはほぼ等しいような場合には、その影響は大きくなる。この場合でも、 $\tau_b/\tau_{bc}$ の割合によって、表層砂れきの最大径がときには転動して、粗径の選別が十分行なわれる場合と、ある粒径以上のものが殆んど動かず、細粒のみの流出に止まるときでは、その影響の度合は異なる。前者では比較的均一な粒径の armor coat によって被れ、粗度はその粒径によって支配されるが、後者では、粗粒の突起がはなはだしく、抵抗は突起したれきの高さとその配列に支配されることになることが予想される。

本文は、いわゆる pararell degradation の状態から得られた抵抗係数の特性をのべたものである。

### 2. 実験の方法

実験は、幅 30 cm の水路で、図 1 に示す砂れきをしき、 $1/50$  のこう配で適当な水深で流砂が殆んどなくなるまで通水し、流れによって自然に水路床を形成せしめ、この水路床を用いて、水路床を形成した掃流力以下の掃流力の範囲でこう配と水深を適宜かえ、平均流速および流速分布を測定した。一つの実験が終わると、さらに水深を増やして同じことをくり返した。水路床はいわゆる pararell degradation の範囲で、河床の凹凸はかなり甚だしく、それぞれのケースにおいて、砂れきの一番高いところを結んだ線を基準として 1 cm ごとにはがられた横断および縦断方向の凹凸の平均値と標準偏差は表 1 に示すとおりである。水路の基準高さは、この平均値をもって 0 とした。

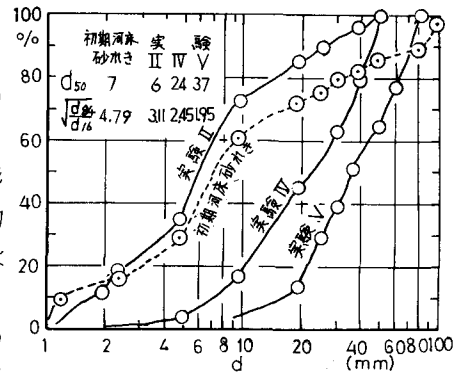


図 1 初期河床砂れきと各段階における表面の粒度分布

表 1. 水路床の凹凸の程度

|     | 横断方向      |          | 縦断方向      |          |
|-----|-----------|----------|-----------|----------|
|     | $\bar{x}$ | $\sigma$ | $\bar{x}$ | $\sigma$ |
| II  | 0.20      |          | 1.05      | 0.61     |
| III | 0.68      | 0.47     | 1.26      | 0.78     |
| IV  | 0.86      | 0.73     | 1.27      | 0.82     |
| V   | 1.40      | 1.07     | 1.90      | 0.86     |

### 3. 水深に比して粗度が大きな流れの流速分布

水深に比して、平均河床から突起する粗面要素の高い流れの流速分布は、河床よりある高さに、流速分布形のこう配が異なる点を生ずることが見出される。図 2 は、水深、こう配は異なるが、ほぼまっすぐ速度の等しい場合の流速分布の一例で、変曲点の位置  $z/\delta$  は、この例では 1.8 cm 付近にあらわれる。この場合、流速分布は変曲点より下層に対しては

$$u/u_* = A + \psi/n (z/\delta) \quad (1)$$

上層に対しては

$$u/u_* = A + (1/k)/n (z/\delta) \quad (2)$$

と表される。著者らがさきに比較的一様な砂れきをしき並べて測定した例に

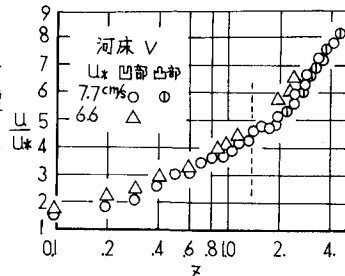


図 2 流速分布の一例 (この断面では図中点線の位置にれきの端部があり流速はその頭部かられきのあいだで測定された)

おいても変曲点が生ずることが見出されておりこの場合、 $\delta = 0.8d$ 、 $d$  は粒径、 $\psi = 0.87$ 、 $k = 0.4$  の値を得ている。 $\delta$  は、粗度要素の比較的大きい場合の後流の干渉領域と考えられるので、河床の不規則性が増せば大きくなるものと予想されるが、本実験で得られた結果では、どの場合にもほぼ、平均河床から  $1.4 \sim 1.8$  (m) 程度で、河床の表面の平均径の差異に対して大きな変化を示していない。これは、どの場合も同一地点における測定であるからむしろ当然かも知れない。 $\psi$  の値も、混合の度合がよくなるほど小さくなると考えられるが、この実験の範囲では、ほぼ一様に  $\psi = 0.87$  を用いてよいようである。流速分布は局所的な影響をも受けているものと思われるので、この値の一般性は、平均流速あるいは抵抗係数の整理から検討するのがよいであろう。

#### 4. 抵抗係数

$Z = \delta$  で、 $u = u_\delta$  として、平均流速を求め、これを用いて抵抗係数を求めると

$$h > \delta \quad \text{で、} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \frac{1}{k} \ln \frac{h}{\delta} - \frac{h-\delta}{h} \frac{1}{k} - \frac{\delta}{h} \psi + \frac{u_\delta}{u_*} \right\} \quad (3)$$

$$h < \delta \quad \text{で、} \quad \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ \frac{u_\delta}{u_*} + \psi \left( \ln \frac{h}{\delta} - 1 \right) \right\} \quad (4)$$

と表される。実験値を用いて、 $1/\sqrt{f}$  と  $\log_{10}(h/\delta)$  の関係を示したのが、図3であって、 $h/\delta < 1$  の範囲では  $\psi = 0.87$  のこの配を満足し、 $h/\delta \approx 1$  で、流速分布のこの配が折れて、上層のこの配が  $1/k$  ( $k = 0.4$ ) のこの配を示すことから、さきの流速分布の傾向が、平均的なものだと考えてよい。

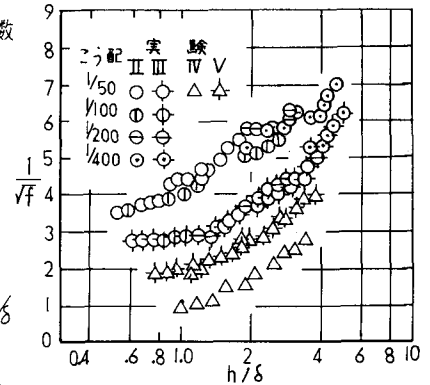


図3 抵抗係数

図3で  $f$  の値は、水路床の形態ごとにグループとなって分れている。 $f$  の値をきめるためには  $h/\delta = 1$  における  $f$  の値をきめる必要がある。この実験の場合は、水路床の不規則性が大きいことから、水路床に突起したれきの抗力と壁面摩擦力の和であろう。突起したれき1個あたりの水路面積を  $S$ 、その流れ方向の投影面積を  $F$  とすると、 $S$  についての抵抗は、 $f$  を水路全体の抵抗係数、 $f_w$  は壁面の摩擦係数、 $C_D$  をれきの抗力係数とすると、

$$S \times \frac{\rho}{2} f U^2 = \frac{\rho}{2} C_D F U^2 + \int_S \frac{\rho}{2} f_w U^2 ds \quad (5)$$

$$\text{で、これをかきなおすと、} \quad f = C_D / (S/F) + \frac{1}{S} \int_S f_w ds \quad (6)$$

となる。すなわち、水路全体の抵抗係数  $f$  は、突起したれきの配列によって抵抗が異なることを示している。固定粗度の場合、抵抗係数は、相対水深  $h/k$  と粗度の配列  $k/\lambda$ 、 $\lambda$  は粗度間隔、で規定される。この実験のようにほとんど砂が動いていない場合を対象とするときは、これと同じ考えでよいであろう。

図4は、縦断方向の凹凸の平均の高さを  $\lambda$  とし、河床の凹凸を平均高さが切る点の平均間隔を  $\lambda$  として、 $F/S$  の代りに、 $k/\lambda$  と  $(1/\sqrt{f})_{Z=\delta}$  との関係を示したものである。しがし一般には、ある与えられた粒径分布の砂れきとする凹凸を知ることは、むづかしいので、armor coat の粒径またはその分布がこの凹凸の度合を表わすものと考えられることから、できるなら、表面に露出した粒径の分布とむすびつけるのが望ましい。しがし、現在これについての十分な資料がないので参考までに、図4に表層の平均粒径と標準偏差との比を書き込んだ。必ずしも、良い指標とはいえない。これを普遍化するためには、さらに考察と実験を必要とするが、これは今後の課題としたい。

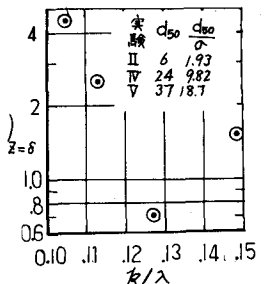


図4  $(1/\sqrt{f})_{Z=\delta}$  と  $k/\lambda$  の関係

1) 芦田和男, 大同淳三, 高橋保, 水山高久: 急勾配流水の限界掃流力に関する研究, 第17回水理講演会講演集, BB48.2

2) 芦田和男, 高橋保, 水山高久: 急勾配流水の抵抗と限界掃流力について, 関西支部年次学術講演会講演集, BB48.6