

## 落水水流における石礫の落ち方(Ⅱ)

九州大学農学部 綿引 靖

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では落下石礫の質量と水平到達距離の関係、個別および集合の各落下の特質などを実験的に考察したが、ここでは、水平到達距離について、これを落下前の水流中での石礫の移動速度と関係づけて、水面下を流れる礫ばかりでなく水深より大きい礫についても考察し、またそれらの理論的性質についても検討する。

### 2. 実験方法

実験装置については前報<sup>1)</sup>に詳述したように、水路幅は28.5cm、落下前の水路の勾配は1:38、水路床は2次元粗度をつけたモルタル製固定床である。落下後は落差90cmの点で水平到達距離を測定することとした。水理量等の諸元は表-1に、また石礫の諸元は表-2に示す。流れは射流で、水路落下端の近傍では水深は小さ

表-1 水理量等の諸元

流量(l/s)	水深, 流速(cm, cm/s)		落下水脈の水平到達距離(cm)	
	等流部	水路落下端	内側	外側
9.97	3.7, 94.5	3.0, 116.5	42.0	51.5

表-2 石礫の諸元

分類名	粒径(cm)		質量(g)		平均	平均比重
	最小~最大	最小~最大	最小~最大	最小~最大		
A	4.0	~5.08	102.4	~182.5	127.4	2.61
B	3.0	~4.0	37.0	~94.7	66.1	2.60
C	2.54	~3.0	28.9	~56.0	39.6	2.60
D	1.91	~2.54	9.9	~31.9	18.5	2.62
E	1.59	~1.91	6.88	~14.8	10.9	2.60
F	0.952	~1.59	1.91	~6.28	3.26	2.61
G	0.476	~0.952	0.34	~1.14	0.66	2.62

くなるが、一方流速は増加し落下端では表-1のようになる。水深に比べA礫および一部のB礫は水面上に頂部を出して落下する。ここでは各粒径階の石礫約30個ずつを、個別に水路落下端の上流2mで流心部へ静かに落とし、その後落下端まで1.5mの区間を落下する時間を計測して移動速度を算出し、またその落下後は落下端からの水平到達距離を計測した。

### 3. 結果と考察

1)図-1は、石礫の質量と移動速度および水平到達距離との関係を示したものである。ここでは値のばらつ

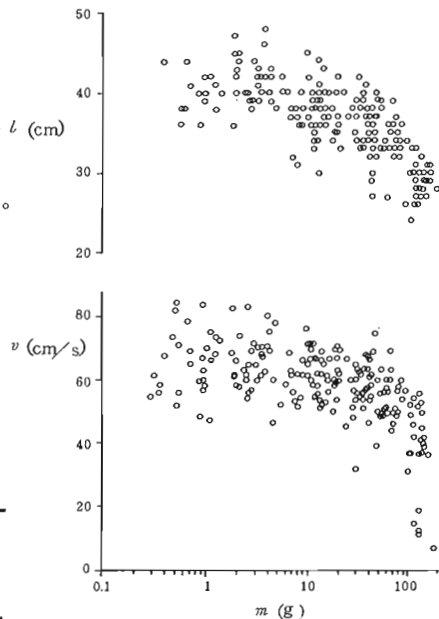


図-1 石礫の質量 $m$ と移動速度 $v$ および水平到達距離 $L$ との関係

きは大きく、これについては形状の差が最大の原因と考えられるが、質量が小さいほど移動速度および水平到達距離の両者が大きくなり、またその値はそれぞれ一定値に接近する傾向が見られる。水脈の到達点より遠くに落ちる礫は見られな

い。なお質量の小さい礫は水脈に含まれて落下するため、水平到達距離は判読しにくく欠測を生じたものがある。質量が大きく、水深より大きい礫では移動速度の非常に小さいものが見られるのが特徴的である。  
2)移動速度および水平到達距離が礫の流れ方向の投影面積に関連すると考え、礫を密度一定の球と仮定すると、水面下を流れる礫についての流れ方向の投影面積は、質量の $2/3$ 乗に比例する。そこで各粒径階礫平均の質量の $2/3$ 乗と移動速度および水平到達距離との関係を描くと図-2となる。ここでは、それぞれ直線関係が認められる。しかし水深より大きい礫の移動速度はこの関係から離れている。この場合、礫の流れ方向の投影面積(水面下の部分)は質量の $2/3$ 乗による値より小さいことを考慮すれば、より一層その傾向は顕著になり、従って全般にわたっては、上述の直線関係は成立しないといえる。

3)図-3は、石礫1個ずつについてその移動速度と水

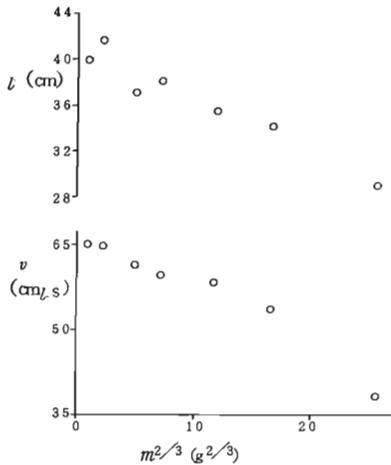


図-2 各粒径階礫平均の質量の $\frac{2}{3}$ 乗 ( $m^{\frac{2}{3}}$ ) と移動速度( $v$ )および水平到達距離( $l$ )との関係

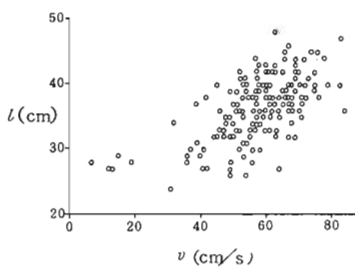


図-3 石礫の移動速度( $v$ )と水平到達距離( $l$ )との関係

させやすい水深と流速の関係があると考えられる。

4)石礫の移動速度と水平到達距離を理論的に考察する。水面下を流れる球状の礫について、これに働く流体力と抵抗力とが釣り合うことから、本実験のような緩勾配の場合は、勾配の影響を無視して礫の移動速度  $v$  を求めると、

$$v = V - \alpha \sqrt{d} \quad (1)$$

ここに

$$\alpha = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\sigma - \rho}{\rho} \frac{\mu_f}{C_D} g} \quad (2)$$

一方落体の運動の法則より、水平到達距離  $l$  は、

$$l = v \sqrt{2H/g} \quad (3)$$

以上において、 $V$  : 移動石礫に対する代表流速、 $d$  : 粒径、 $\rho$ 、 $\sigma$  : 水および礫の密度、 $\mu_f$  : 摩擦係数  $C_D$  : 抵抗係数、 $g$  : 重力の加速度、 $H$  : 落差

式(3)に式(1)、(2)による  $v$  を代入して  $l$  を求めることができる。式(2)中  $C_D$  は、本実験のように乱流の場合球状の礫を仮定すると 0.5 程度の定数となり他も定数であるから、 $\alpha$  は定数となる。また  $V$  には断面の平均流速が適用でき、これらに基づけば、移動速度および

水平到達距離との関係を描いたものである。ばらつきが大きいので直接の関連は少ないと判断される。移動速度が比較的大きい区域で比例関係が認められるが、その非常に遅い区域では、移動速度と水平

到達距離は比例しない。ここでは、大きい礫は水路中を流れにくくても落下端からは動き易いことを示しており、従って一定流量で礫を流動

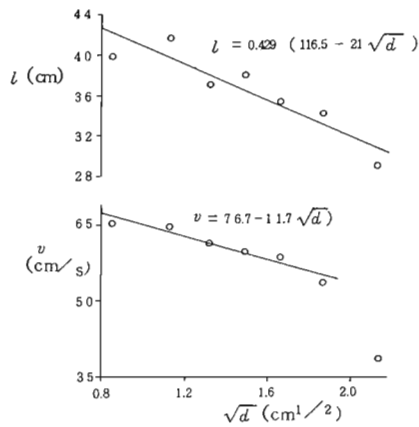


図-4 各粒径階礫平均の粒径の平方根( $\sqrt{d}$ )と移動速度( $v$ )および水平到達距離( $l$ )との関係

水平到達距離は、 $\sqrt{d}$  の関数で表わされる。そこで図-4には、各粒径階礫の平均の  $\sqrt{d}$  と移動速度および水平到達距離との関係を描いた。ここでは水深より大きい礫の特に移動速度の一例を除けば、それぞれの値は直線状に並ぶ。この図は、図-2の質量の $\frac{2}{3}$ 乗による表示と近似した傾向を示しているが、これは、質量の小さい区域で値が一定値に接近し、その差が小さいこと、質量の範囲があまり大きくないことなどの理由であると考えられる。移動速度は直線状の部分について図-4中の回帰式で示されるが、ここで式(1)によれば、右辺第1項は平均流速94.5でなければならないに拘らず、これに比べて小さくなっており、これを式(3)に用いても水平到達距離には適合しない。水平到達距離は水路落下端付近の瞬間的の流体力の影響を受けると考えて、式(1)の  $V$  に落下端の流速116.5を用い、式(3)から図-4の値の傾向に適合するよう式(2)  $\alpha$  の値を求めるとほぼ21となる。これが適正ならば、ここに式(1)~(3)が適用できることになる。式(2)中特に  $C_D$  および  $\mu_f$  すなわち礫の形状および水路床の状態に関する定数に左右されてこの値となる可能性が十分にあり、これについてはより具体的に検討する必要があるであろう。正確には、礫が回転するケースや落下端付近の流速分布をも考慮する必要が生じるかも知れない。水深より大きい礫は、近似的に上述の関係に適合しているが、若干はこれより離れる傾向を示している。大きい礫については、その移動自体が水面形を変化させることにも注目しなければならず、今後より多くのデータを用いた検討が必要である。

引用文献

- (1) 縮引 第: 日林九支研論 35, 275~276, 1982