

階段状河床波上の流れと粒子抗力

京都大学防災研究所

正員

芦田 和男

京都大学防災研究所

正員

江頭 進治

京都大学 大学院

学生員

○西野 隆之

1. はじめに、山地河道における流砂機構を議論していくためには、階段状河床波上の流れと掃流力分布に関する知見が不可欠である。本研究は、その一段階として、階段状河床波上の流れの抵抗に関する理論的考察を行っている。ついで、河床波上のせん断力を議論するための基礎となる平坦床における粒子の抗力について実験的考察を行っている。

2. 流れの抵抗則、河床波上の流れの抵抗は、河床波crest下流域の剝離渦によるエネルギー散逸と再付着点より下流域の粒子摩擦によるエネルギー散逸に依存しているものとする。剝離領域の抵抗係数を f_a とすれば、この区間では、主流のエネルギー散逸が剝離領域の乱れ(混合)の生成エネルギーに変換されていると考えられるから、エネルギーバランスより次式が、成立する。

$$\rho f_a / 8 \cdot v^3 a \Delta = \int_A -\rho \overline{u'w'} (du/dz) dA \quad (1)$$

ここに、 Δ : 波高、 $a\Delta$: 剝離長さ、 A : 剝離領域の面積

(1)式左辺は、単位時間あたりの主流の散逸エネルギー、(1)式右辺は、乱れの生成エネルギーである。ここで右辺各項を次のように近似する。

$$-\overline{u'w'} = k_1 v_w e$$

$$(du/dz) = k_2 v/h$$

$$A = k_3 / 2 \cdot a \Delta^2$$

ここに、 k_1, k_2, k_3 : 実験的に決定すべき定数、 v_w : 連行速度、 h : 平均水深

以上の結果を(1)式に代入すれば、 f_a は次式のように与えられる。

$$f_a = 4K (a/h) \cdot E \quad (2)$$

ここに、 $K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 、 $E = (v_w/v)$

再付着点下流域の抵抗係数を f_s とし、これが対数則に従うとすれば、 f_s は次式のように与えられる。

$$f_s = 8 / (6.0 + 2.5 \cdot \ln(h/k_s))^2 \quad (3)$$

ここで、波長を入とすれば、上述の議論より全抵抗係数 f は、 f_a, f_s を用いて次式のように表わせる。

$$f = f_a (a\Delta/\lambda) + f_s (1 - a\Delta/\lambda) \quad (4)$$

(4)式の適合性を調べるために、著者の実験及び西本の階段状河床波の実験データを用いて計算値と実験値

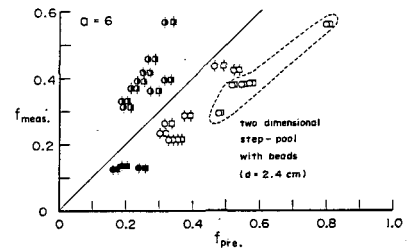


図1 抵抗則、計算値と実験値の比較
($a=6$)

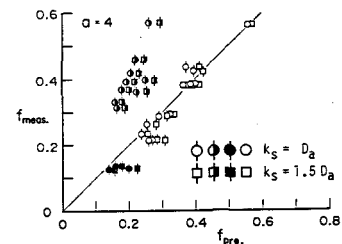


図2 抵抗則、計算値と実験値の比較
($a=4$)

Nishimoto's
 ○ super critical
 ● chute & pool
 ◆ sub critical
 Nishino's ○ super critical

の比較を行う。その結果が、図1, 図2である。これらの図は、それぞれ剥離長を 6Δ 及び 4Δ として比較したものである。前者は、2次元的な dunes に対応したもので、後者は、著者の実験から得られたものである。これらの図の比較によれば、剥離長を 4Δ とした図2の計算値が、実験値をよく説明している。なお計算において、相当粗度として粒径の1倍及び1.5倍が、採用されているが、図から分かるように τ に対する k_s の影響は顕著に表われない。

3. 粒子抗力 図3に示すように、直径2.4cmのビー玉を用いて、水路上流部に平坦床を、下流部に階段状河床波を作成した。ビー玉は2層敷つめられている。流体力の測定法は、次のとおりである。すなわち、流体力測定用の孔あき剛球を用いて、孔に作用する圧力を差圧計によって検出する。剛球を回転させることによって球面全体にわたって圧力を測定し、これを積分することによって粒子に作用する流体力を得る方法である。表-1は、このようにして得た、平坦床における

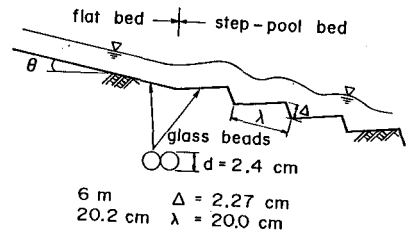


図3. 実験水路図

流体力の測定結果である。ここで F_D は、抗力を表わし、流体力の流下方向の成分である。 F_L は、揚力を表わしている。 τ は、 F_D と単位面積あたりの粒子個数 N との積で、理論上は、河床せん断力と一致すべき量である。実際には、表-1に示すように、 τ と τ' は一致せずその比 τ'/τ は2.6前後の値を示している。この様な系統的な相違が生じる原因として以下のことが考えられ

表-1. 平坦床における流体力

Run No.	F_D (dynes)	F_L (dynes)	τ (dynes/cm ²)	τ' (dynes/cm ²)	τ'/τ
2-1	4387.95	3761.19	312.62	795.97	2.55
2-2	3085.82	2441.19	209.72	559.768	2.67
2-3	1735.96	1897.22	118.58	314.904	2.65

る原因として以下のことが考えられ、すなわち、圧力測定球が、周囲のビー玉より突き出していたため、代表流速をとる水深が、周囲のビー玉がとる水深と比して浅く、代表流速が、周囲より大きな値をとる。その結果、抗力が周囲のビー玉の抗力よりも大きな値を示し、正しい河床せん断力 τ が得られていない。このことを、測定球近傍の流速測定結果に基づいて調べたところ、次のことが判明している。代表流速として粒子頂部より $0.35d$ (d は粒径) 下方の値を用いて、測定球と周囲のビー玉の代表流速比を調べたところ、 u_b'/u_b をそれぞれ測定球、ビー玉の代表流速とすれば、 $(u_b'/u_b) = 2.25$ 程度であった。この値は、 τ'/τ の値に近い値である。このことから、この考えが、ほぼ相違の原因を説明していると思われる。

4. おわりに 今回は、河床波上の流れの抵抗と平坦床での粒子抗力の考察を行った。現在、階段状河床波での粒子抗力の測定を行っているところであり、流れの形態と粒子抗力に関する興味ある結果が得られつつある。これについては講演時に述べる。今後、このような基礎的なデータに基づいて、階段状河床波上の流砂機構について検討を行ないたい。