

立命館大学工学部 正 員 大同 淳之
立命館大学大学院 学生員 内藤 敏弘

1. はしがき 急こう配の自然河道は一般に水深に比べて粒径が大きく、相対的に抵抗が大きいいといわれる。たとえば神田・喜久里は粗面上の薄層流に関する研究で水路床こう配の増加と共に、抵抗係数 f の値が大きくなることを報告している。しかしながら、河床砂れきの形状や分布を考慮した評価法は、いまだ十分に解明されていない。さきに著者の一人は、砂れき粗粒粗度を対象とした実験において、若干の解析を行なったが、任意の配列の砂れきを対象にしたとき、しゃへい係数の一般的なあつかいに問題が残された。本研究ではこれらの特性を明らかにするために棧型粗度の抵抗特性をとりあげた。

2. 実験 実験は、長さ8m、幅20cmで矩形断面の鋼製可変こう配水路で行なった。水路底面全体に、棧粗度(断面0.5cm×0.5cm 桧棒)を配置し、流量、水面こう配、水深および棧の抗力などを測定した。棧間隔は、2.5cm、5cm および10cmの3種類とし、水路 upstream 端より6.5mの地点において5断面でポイントゲージを用いて、棧上・棧間の水深また静圧管により水面こう配をそれぞれ測定した。棧の抗力は、真鍮製棧(断面1.0cm×1.0cm)の上・下流面にそれぞれ直径0.8mmの小径を水深方向に5ヶづつ設けてマンロータで測定した。また抗力係数を求めるため棧頂前面の流速をピトー管により同じくマンロータで測定した。

3. 解析 山岡は後流の発達に解析に一手法を示し、平野⁵⁾は比較的大きい粗度が直線的な後流層をもつという仮定の下で計算を行なった。図-1に示すモデルにおいても平野⁵⁾にならって1個の棧粗度が1:mの直線しゃへいをもつとすると、棧粗面上の流はくさび形の河床上の流れとみなすことができる。いま棧粗度前面に十分近い検査断面の諸量に添字1および2をつけ、単位幅あたりのこの閉曲面に注目することにする。河床のせん断抗力は、抵抗の線型性が成立すれば、棧の抗力、表面まきつ力および棧のあいだの表面まきつ力の和であるとして、運動量の関係式より抵抗則を求めると、河床のせん断抗力を F とすれば⁶⁾

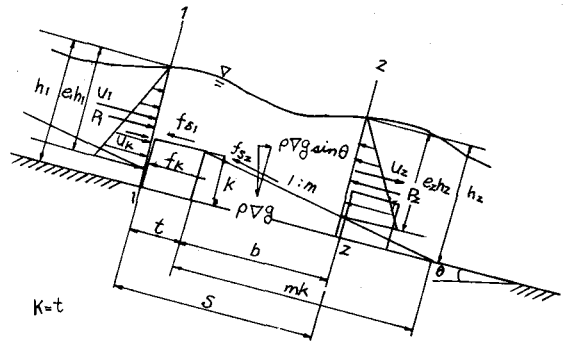


図-1 後流モデル

$$F = f_k + f_{s1} + f_{s2} = \rho v g \sin \theta + \frac{\rho g}{2 \cos \theta} \left\{ (e_1 h_1^2 - e_2 h_2^2) + P \left\{ (h_1 - k) \left(\frac{h_1 - k + b/m}{h_1 - k} \right) u_1^2 - e_2 h_2 u_2^2 \right\} \right\} \quad (1)$$

ここに f_k は棧の抗力、 f_{s1} は棧の表面まきつ力、 f_{s2} は後流表面のまきつ力、 V は閉曲面内の流水の体積、 e_1 および e_2 はそれぞれ有効水深を算出する換算係数、 P および P_2 は水圧、 θ は水路底こう配である。 f_{s1} は f_k に含まれるものとし、 f_{s2} は後流の形が棧中心で最も大きくなる波型であらわされることから、高さ k 、波長 λ の波形粗面上のまきつとして

$$f_{s2} = \ell_b \frac{f}{8} \rho U_m^2, \quad \sqrt{\frac{8}{f}} = 2.0 \log \left(\frac{h_m}{k_s} \frac{k_s}{\lambda} \frac{k_s}{k_s} \beta_1 \right)$$

であらわされるとする。ここで ℓ_b は波形粗面の長さ、 β_1 は抵抗則中の定数である。開水路粗面においては、基底のとりかたが問題となるが、適当な基底が選ばれ、そのときの流水の平均流速を U_m 、平均水深を h_m とすれば、連続の条件より、 $U_m h_m = e_1 h_1 u_1 = e_2 h_2 u_2$ がなりたつ。 f_k は抗力係数 C_D を用いて $f_k = \frac{\rho}{2} C_D k u_k^2$ ここに e は棧のしゃへい係数、 u_k は棧前面における代表流速であり $u_k/u_* = 8.5 + 5.75 \log \beta_2 k/k_s$

$U_b/U_* = 8.5 + 5.75 \log \beta_2 k/k_s$ をみたすものとする。 β_2 は理論的河床面からの高さの補正係数である。単位長さあたりの棧の数を n とすれば、 $n = 1/S$ より

$$\tau_o = nF = (f_k + f_{s1} + f_{s2})/S \quad (2)$$

U_* ghmI とし、連続条件を用いて式(1)から、次のような抵抗則をあらわす式が導かれる。

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{\frac{(\nabla/k^2) + \frac{(e h_1/k)^2 - (e h_2/k)^2}{2 \sin \theta \cos \theta \cdot \eta(h_1/k)} - \frac{C_D \varepsilon}{2} \{8.5 + 5.75 \log \frac{\beta_2 k}{k_s}\}}{\frac{l_1(b/k)}{\sqrt{4 \{ \log \frac{l_m k_s}{k_s \lambda} \beta_1 \}^2} - \frac{1}{\xi^2} \{ (\eta/k - 1) \frac{(\eta/k + b/mk)}{\eta/k - 1} \} \left(\frac{e_1}{e_2} \right) \left(\frac{h_1 h_2}{h_2 k} \right) \}}}} \quad (3)$$

ここに $e_1 = 1 - (k/h_1 - b/mh_1)$, $e_2 = 1 - (k/h_2 - b/mh_2)$, $\varepsilon = b/mk$
 $\xi = U_m/U_*$, $\eta = h_m/h_1$ および l_1 は換算係数である。

4. 抗力係数 $C_D = 2D/\rho k U_*^2$ で定義される抗力係数と $Re = U_* k/\nu$ の関係は図-2に示す。ここに D は再粒単位幅当りの抗力とする。図中において、平野5の実測値との比較を行なっている。この配および棧間隔の区別なでまず十分な比較は行なえないが、 C_D の値は Re 数に関係なく1.0前後に分布している。本実験によれば、同様に Re 数に関係なく、 C_D の値はこの配の増加に伴い、 $C_D = 2.5$ 近くまで及んでいる。しかし、この配が小さい間は平野5と同様に $C_D = 1$ 前後の値をとるものと思われる。よってグラフより、しゃへい係数 ε は、同一この配における $S/k \rightarrow \infty$ における抗力係数を $C_{D\infty}$ とすれば

$S k - \rho k C_D U_*^2 / 2 = \rho \varepsilon k C_{D\infty} U_*^2 / 2$ より $\varepsilon = C_D / C_{D\infty}$ で定義する。

5. 実験比較 図-3は、水路底を基面とし、棧中間部における水深と流速をそれぞれ、 h_m, U_m としたときの実測値である。従来の研究のように $f_{s2} < f_k$ とみなせるものとし f_{s2} の項を無視して実測値と式(3)の比較を行なった。 m を変数として、他の係数を一般的自形で代入して得られた計算曲線を図中の実線および破線で、その一節図を示した。実測のしゃへい係数をより得られる m の値は、この配および棧間隔の変化で変動する。(たとえば $\lambda = 0.0100$ において $S k = 5$ のとき $m = 9 \sim 10$, $S k = 10$ のとき $m = 17 \sim 21$, $S k = 20$ のとき $m = 20 \sim 27$) また計算曲線が示すように、急この配になるにつれて m の値はそれほど問題ではなく、他の項が効いてくるものと思われる。

諸係数の決定法が不十分であるが、後流が直線しゃへい域をもつものとして、 m の変化による抵抗則の変動を調べた。今後は、棧の抗力と他の抵抗項、とくに表面すくす抵抗の項との相関関係を明らかにし、砂粒粗度流の抵抗則を知る手がかりとした。

参考文献

- 1) 神田・喜久里; 粗面上の薄層流の抵抗則に関する考察, 建設工研報告, 20号, 1978.11.
- 2) 大同; 不規則な粗度をもつ固定床水路の抵抗, 土木学会第29回年講, 1974.10.
- 3) 平野・岩元; 粗度の大きい流れにおける抵抗と平均流速について, 新砂防, 110, 1979.2.

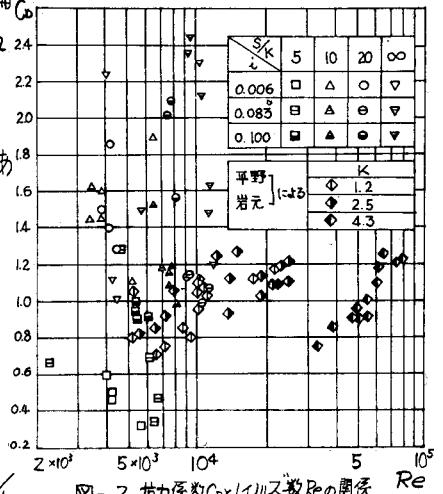


図-2 抗力係数 C_D とレイノルズ数 Re の関係

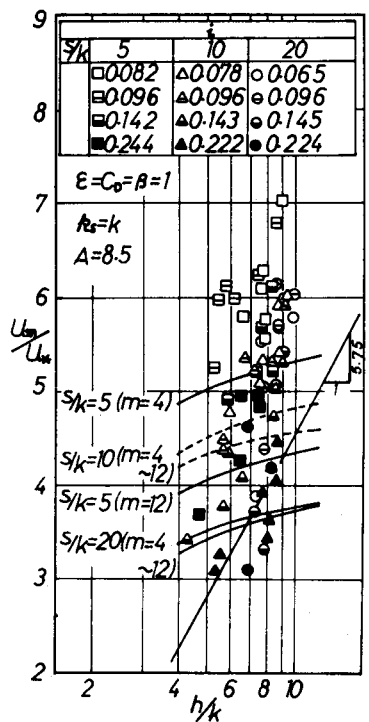


図-3 実測値と計算曲線