

急こう配流水の棧型粗度の抵抗則について

立命館大学理工学部 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水深に比べて粒径が大きい。急こう配では緩こう配に比べて抵抗が大きいといわれるが、河床砂水きの形状や分布が複雑に関係するため、その評価法はいまだ十分でない。さきに著者の一人は、砂水き粗粒粗度を対象に実験を行ない若干の解析を行なったが、任意の配列の砂水きを対象にしたとき、シャヘイ係数のとりあつかいにおいて一般的取扱いに問題が残された。本報ではこの水きの特性を明らかにするために棧型粗度が流水に及ぼす抵抗特性を把握することが重要であると考え、棧型粗度の抵抗を取上げた。河床上のせん断抵抗力は抵抗の線型性が成立すると棧の抗力、表面まさつ力および棧のあいだの表面まさつ力の和であるとして、運動量の関係より抵抗則を求めた。結果的には表面まさつ抵抗力は棧型粗度の抗力に比べて無視できるとしたので、実験値の比較を行って取扱いの妥当性を検討した。

2. 実験 水路は長さ8m、幅20cmの鋼製矩形断面水路を、棧粗度として断面0.5cm×0.5cmの杭を底面全体に配置した。水面こう配は $\sin\theta = 0.082 \sim 0.244$ で4種類、流量を3.8ℓ～12.8ℓで5種類および棧間隔を2.5cm、5.0cm および10.0cmの3種類とした。また水路上流端より6.5mの地点において5断面で棧上および棧間の水深をポイントゲージによって測定し水面こう配は静圧管により、また水温をチェックした。開水路粗面においては基底のとり方が問題となるが、いま底面を基底として整理して平均流速と相対水深の関係を求めると図-1のようになる。同一こう配のデータについて対数則がなりたち、常数 A はこう配が急になるに従って小さくなる。若²⁾はこの現象を自由表面の影響として表わしている。これは粗度要素の効果もかさんでいると考えられるので以下のモデルで考察する。

3. 解析 山岡³⁾は後流の発達に解析に一手法を示し、平野⁴⁾は比較的大きい粗度が直線的な後流層をもつことを確かめている。図-2に示すモデルにおいても平野にならって1個の棧粗度が1:mの直線こう配のシャヘイ域をもつとすると棧粗面上の流れはくさび形の河床の上の流れとみなすことができる。棧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、この開曲面における運動量の式は次式であらわされる。

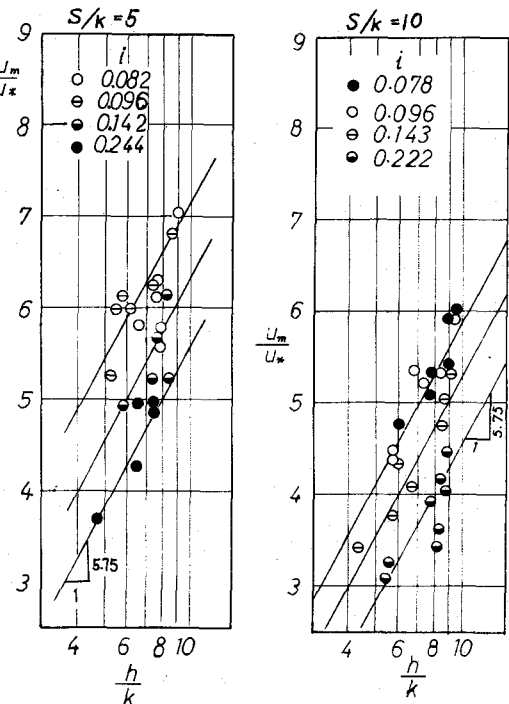


図-1 平均流速と相対水深

$$F = f_k + f_{s1} + f_{s2}$$

$$= \nabla \rho g \sin \theta + \frac{\rho g}{2 \cos \theta} \{ (e h_1)^2 - (e_2 h_2)^2 \}$$

$$+ \rho \left\{ (h_1 - k) \left(\frac{h_1 - k + b/m}{h_1 - k} \right)^2 U_1^2 - e_2 h_2 U_2^2 \right\}$$

ここに f_k は棧の抗力, f_{s1} は棧の表面(1)まわつ力, f_{s2} は後流表面のまわつ力, ∇ 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_1 および P_2 は水圧, θ は水路底こう配である。単位長さあたりの棧粗度の数を n とすれば $n = 1/S$ である。 f_{s1} は f_k に含ませるものとし, 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 h_2 , 波長 λ の波形粗面上のまわつとして,

$$f_{s2} = \frac{\rho}{2} f_{s2} \frac{U_m^2}{2g}, \sqrt{\frac{8}{f_2}} = 2.0 \log \left(\frac{h}{R_s} \frac{R_s}{\lambda} \frac{R_s}{R_s} \beta_1 \right)$$

と表わされるものとする。 β_1 は抵抗則中の常数値である。 f_k は抗力係数 C_D を用いて, $f_k = \frac{\rho}{2} C_D \varepsilon k U_1^2$ 。ここに ε は棧のしゃへい係数, U_1 は棧の高さの速度である。 $U_1/U_k = 8.5 + 5.75 \log \beta_2 k/R_s$ 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 とすると

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

より, U_k は水路床より測定した水深を表わし, 連続条件を用いて(1)式をかきなおすと(3)式のようになる。

$$\frac{U_m}{U_k} = \frac{\nabla + \frac{e_1^2 - (e_2 h_2/h_1)^2}{2 \cos \theta \sin \theta} - \frac{1}{2} \varepsilon C_D k (8.5 + 5.75 \log \beta_2 k/R_s)}{\sqrt{\frac{1}{\varepsilon^2} \left[\frac{1 - (k + b/m)/h_1}{1 - k/h_1} - e_2 \frac{h_2}{h_1} \left(\frac{e_1 h_1}{e_2 h_2} \right)^2 \right] + \frac{2.0 \log \left(\frac{h}{R_s} \frac{R_s}{\lambda} \frac{R_s}{R_s} \beta_1 \right)}} \quad (3)$$

ここに $e_1 = 1 - (k/h_1 - b/mh_1)$, $e_2 = 1 - (k/h_2 - b/mh_2)$, $\varepsilon = b/mk$ および λ はしゃへい境界層の長さの換算係数である。

4. 実験比較 (3)式において, 未知数は C_D , m および R_s/λ である。従来の研究では, $f_{s2} < f_k$ より f_{s2} が無視されていることが多いのでここでも, まず f_{s2} を無視して測定値と(3)式の比較を行なった。図一三によると, 計算曲線は R_s/λ に関し必ずしも対数則を満足していないが, この原因は後流表面の抵抗をとり入れていることに起因しているものと思われる。この効果を入れるためには, 用いた係数をさらに合理的につめる必要がある。

参考文献: 1) 大同洋行: 不規則な粗度をもつ固定床水路の抵抗, 水24年4号 (土木学会)

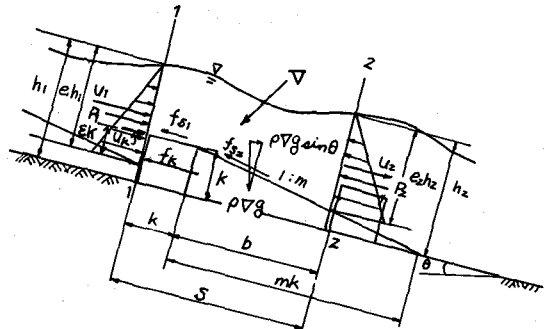
2) 山岡 勲: 河床上の矩形粗度から水路の抵抗に及ぼす効果の研究, 北海道開発局土木試験所報告 27, 昭和37年3月

3) 中野 孝元: 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 Vol. 31 No. 3

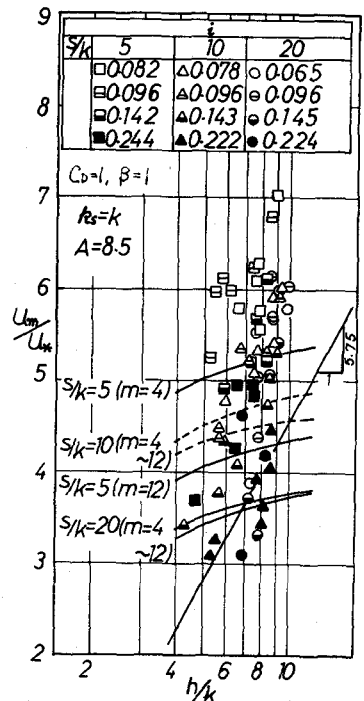
昭和49年10月

昭和37年3月

昭和54年2月



図一三 後流モデルおよび記号説明図



図一三 実験値および計算曲線