

徳島大学 正会員 ○ 佐々木 丞治
 兵庫県庁 同上 中西良孝
 徳島大学 同上 杉尾拾三郎
 学生会員 岡部健士

1. 概 説：河床こう配が急で河床材料の粗大な急流河川の流れに対する抵抗法則を明らかにする目的で行なった基礎的実験研究である。実験結果を用いて Manning 公式などの指数型平均流則公式、摩擦係数 f 、相当粗度 k_s を用いる Prandtl、von Kármán の式、それらの流速分布式などの適用が論ぜられる。

2. 実 験 装 置 と 実 験 方 法：実験水路は長さ 14.6 m、幅 0.60 m、深さ 0.40 m の木製の可変こう配のものである。

図-1 に示すように、5～30 mm までの粒度の異なる 3 種の砂利を水路床にしき、流量とこう配の組み合わせを変え、合計 120 組の等流実験を行なった。とくに急流を対象とする意味で、こう配は最大 1/60 にまで変化させた。

河 床 状 態	水 路 考 配	流 量 (l/s)	実 験 回 数
滑 面	1/400, 1/200, 1/100, 1/80, 1/60	4, 8, 12, 16, 20, 24	30
第1種砂利 $d_1 = 5 \sim 10$ mm	1/400, 1/200, 1/100, 1/80, 1/60	8, 12, 16, 20, 24, 28	30
第2種砂利 $d_2 = 10 \sim 20$ mm	1/400, 1/200, 1/100, 1/80, 1/60	8, 12, 16, 20, 24, 28	30
第3種砂利 $d_3 = 20 \sim 30$ mm	1/400, 1/200, 1/100, 1/80, 1/60	8, 12, 16, 20, 24, 28	30

表 - 1 実 験 の 種 類

3. 指 数 型 平 均 流 速 公 式 の 適 用 性：側壁の影響を除いた河床の粗度係数 n_b の値を各砂利種ごとに算定して

みると、水路床こう配が急なものほど n_b は大きく、かつ砂利の粒径が大になるほど n_b は大となった。表-2 は測定結果の詳細を示す。

河 床 状 態	Data 数	n_b	n_b の 範 囲 $i = 1/400$	$i = 1/60$
第1種砂利 $d_1 = 5 \sim 10$ mm	21	0.021	0.0190 - 0.0199	0.0208 - 0.0213
第2種砂利 $d_2 = 10 \sim 20$ mm	24	0.023	0.0206 - 0.0221	0.0225 - 0.0237
第3種砂利 $d_3 = 20 \sim 30$ mm	30	0.029	0.0226 - 0.0243	0.0273 - 0.0301
滑 面	30	0.0079	0.0070	0.0090

表 - 2 各 砂 利 に お け る n の 範 囲

杉尾の指数公式 $v = K R^{0.012}$ に対しては、粒径 1 種に対しては 3 群と 2 群の中間、第 2 種は第 2 群、第 3 種は、こう配の急なものは第 2 群、緩やかなものは第 2 群と第 1 群の中間に落ちる傾向がみられたが、元来同式は移動床に対して提案されたものであるから、この結果から直ちに河床形を推定するのは適当ではない。河床形態区分に関しては、Garde⁽¹⁾らの提案した $S / (v^2 / g) \sim R / d_m$ 図、および杉尾の提案した $S \sim q / v d_m$ 図の両法を用いて検討した結果、ともに実験値の大部分が固定床の領域に含まれることがわかった。

4. 砂 利 層 上 の 流 速 分 布：Prandtl、von Kármán らが完全粗面の円管に対して提案した流速分布公式

$$V/V_n^* = 8.5 + 5.75 \log(Z/k_s) \quad (1)$$

が実験結果と比較された。ここに V は平均河床面からの深さである。図-1 は、 $k_s = d_m$ とみなしたときの流速分布結果の一部であるが河床面に近い部分を除いて実験結果はかなりよく式を満足しており、かつ水深こう配による変化はわずかであった。河床におこるものは、流速計の精度と流速計の発生に起因するものと推定される。

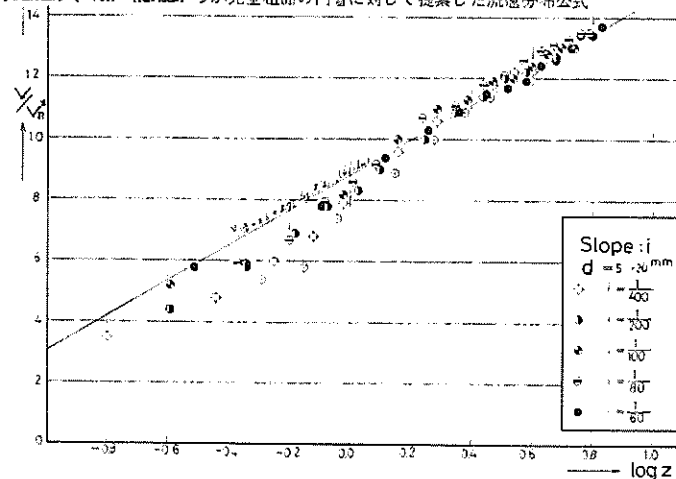


図 - 1 V/V_n^* と $\log Z$ の 関 係

5. 摩擦損失係数と Reynolds 数との関係:

摩擦係数 f' は (2) 式で示され、完全粗面円管流れに対しては、 Re 数が変化しても一定値となることが知られている。しかし、Bazin や Kirschmer (2) によると、大型粗度に対しては Re 数の増加とともに f' が減少している。

$$f' = 2gR_b S / V_m^2 \quad (2)$$

本実験においても類似の傾向が見られたが、(図-2) f' の値は Bazin がモルタルに砂利を埋込んだものよりかなり大きくなった。

Bazin が用いた砂利の大きさなどが不明のため、この原因は明らかでない。

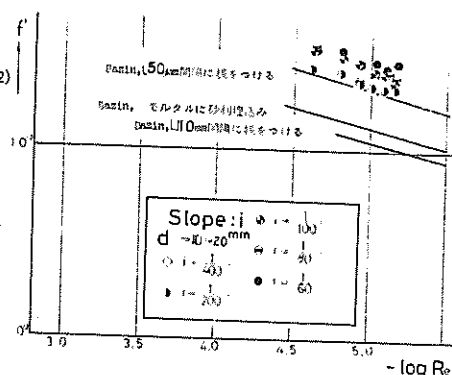


図-2 f' と $\log Re$ の関係

6. 相当粗度 k_s の検討: 完全粗面の開水路に対する Koulégan の平均流速公式

$$V_m / V_R = 6.0 + 5.75 \log(R/k_s) \quad (3)$$

に含まれる相当粗度 k_s に関しては、従来種々の解釈が行われてきたが、河床が固定床の場合には、

$$k_s = (0.5 - 4.0) \cdot d_m \quad (4)$$

と考えられている。(3)

図-3 は岩垣氏 (4) にならって k_s / d_m と掃流力関数 $\psi = RS / (\sigma/\rho - 1) \cdot d_m$ との関係を示したものであるが、 $\psi < 0.05$ の範囲に対しては粒径および水路こう配が変化しても k_s / d_m は大体一定値に近いことがわかる。

そこで各こう配ごとに k_s の値を平均して d_m との比をとると、実験値は

$$k_s = (0.73 - 1.32) \cdot d_m \quad (5)$$

の範囲に落ちつき、(4) 式よりもかなり範囲が狭くなる。しかも実験値の中にはほぼ $k_s = d_m$ とみなしうるものが多い。

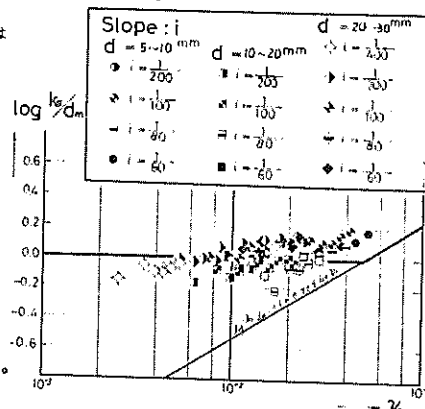


図-3 $\log k_s / d_m$ と ψ の関係

7. 結 言: 実験の範囲内では流速分布は河床の付近を除けば、対数分布にかなり適合する。したがって Koulégan の式 (3) は平均流速公式としては最っとも適切で、この際の k_s は砂利の平均粒径 d_m にほぼ等しいと考えて良い。ただし、大小の粒径の混合した河床に対しては今後の検討が必要である。

- 参考文献: (1) Garde, R. J., Rangoo Raju, K. G. ; "Regim Criteria for Alluvial Streams," Proc. A. S. C. E., HY6, 1963, pp. 153-164
 (2) 本間: 技術者のための流体力学; 丸善, 1967, P. 123
 (3) 横賀: 河川粗度に関する雑考; 土木技術資料, vol. No. 6, June, 1965, p. 265
 (4) 岩垣: 開水路水流の理論; 水工学の最近の進歩; 土木学会編, 1963, pp. 10-14