

大阪産業大学工学部 正員 重 光 世 洋

大阪産業大学工学部 正員○宮 島 昌 弘

1.はじめに 移動床水路床の流水抵抗は砂粒による表面抵抗、水路床に形成された河床波による形状抵抗、漸変流に起因されるエネルギー損失に対応する spill 抵抗、土砂の輸送に伴うエネルギー損失に相当する抵抗などによって構成され複雑な様相を示すことは周知のとおりである。これら各種抵抗を明らかにすることは今日河川技術者の重要な課題の一つである。本文は砂礫床矩形水路において河床が平坦でかつ砂粒の移動がほとんどない場合の表面抵抗について着目し、既往の二、三の実験資料を用いて、抵抗係数の表現式、砂礫の相当粗度に対して若干考察した結果について報告する。

2.抵抗則の表現式 固定境界を有する管路、開水路などに対して完全に発達した乱流の抵抗則は移動境界に対するものと本質的に異なるものではある。しかし、適切な条件下にあつては、固定境界に於ける管路の流れ抵抗則の展開に用いられた理論も固定または移動床開水路の抵抗に対する表現式の展開に用いることができよう。一定断面を有する管路または開水路に対する抵抗則は Prandtl-von Kármán の流速分布式により、完全に発達した乱流に対して、次式のように誘導される。

$$1/\sqrt{f} = Co + \frac{1}{k} \ln(R/ks) \quad (1)$$

ここに、 f : Weisbach の抵抗係数 ($= 8/C^2 = 8/(U/U_*^2)$)、 U : 平均流速、 U_* : 摩擦速度、 Co : 定数、 k : Kármán の定数 (清水では 0.4) R : 径深、 ks : 相当粗度である。上式を砂粒の移動のない場合の河床に対する抵抗係数 f_b について書き直すと次式のようにになる。

$$1/\sqrt{f_b} = 2.03 \log(a h/d) \quad (2)$$

ここに、 a : 定数で砂粒径の関数、 h : 水深、 d : 代表粒径である。

3.検討資料の取扱い範囲 検討に用いた資料は U.S.W. E.S. の実験値 (平均粒径 $d_m = 0.0205, 0.0304, 0.0483, 0.0506, 0.0525, 0.0541, 0.0586, 0.4077 \text{ cm}$, 水路幅 $B = 73.64 \text{ cm}$, エネルギー勾配 $I_e = 0.001, 0.0015, 0.0020$) と本研究の資料 ($d_m = 0.71, 1.23, 1.80 \text{ cm}$, $B = 50 \text{ cm}$, $I_e = 0.001, 0.02, 0.01$) で、いずれも等流条件下のものである。資料の取扱い範囲は Fig. 1 に示すような水理的に完全に発達した粗面乱流で、河床は平坦でかつ砂粒の移動がない場合である。固定境界に対する滑面乱流領域は $U_* ks/\nu < 5$, 粗面乱流領域では $U_* ks/\nu > 70$, この両者の間は遷移領域とされているが、本研究では $U_* d_m/\nu$ について、Fig. 1 に従つて実験値を整理すると Fig. 2 に示すようなほぼ平均径の一個関数で表わされる。このことは実験砂がほぼ均一な粒径を使用したものと考えられる。なお、同図に示す斜線部分は本検討資料の対象領域である。Fig. 1 に示すように抵抗係数が各種領域で変化状態が異なるのは、砂粒径が約 0.05 cm 以下のものに対して表われているが、 d_m がそれ以上のものに対しては平坦河床の領域内にあつては、 f_b はほぼ相対粗度 h/d_m の一個関数で表わされる。前者の典型的な例を Fig. 3 に、後者の例

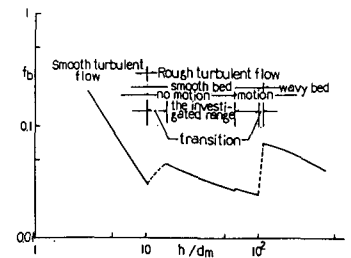


FIG. 1

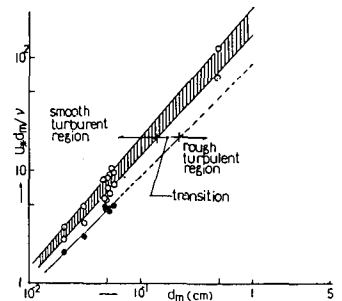


FIG. 2

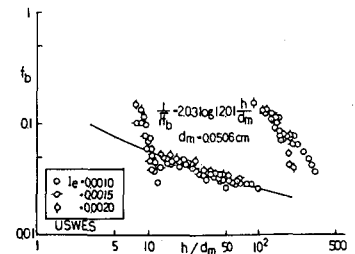


FIG. 3

をFig. 4に示す。Fig. 5は前述の検討対象領域内資料のみについて示した例である。Fig. 6は本実験の礫床水路に対する実験結果である。

4.抵抗則の係数 a の変化と相対粗度の関係 前述の検討領域の資料を用いて、 $f_b = f + (2h/B)(f - f_w)$ により求めた f_b を式(2)に示す抵抗則の定数と各種砂礫の平均粒径に対して、最小自乗法より推定した値を示したのがFig. 7である。ここに、 f_w は水路側壁の抵抗係数で、本検討では本実験の鉄製水路より求めた平均値として一律 $f_w = 0.02$ を使用した。實際上、U.S. W. E.S., 及びPaintal²⁾の実験値は $B/h = 5 \sim 100$ の範囲にあるので、 $f = f_b$ となっている。これにより、定数 a は河床砂礫径の変化に伴って変化することがわかる。粒径 $d_m = 0.05 \text{ cm}$ を境に d_m の増減に伴って a の値は減少する傾向を示す。平均的には定数 a は10程度となっている。

Keulegan³⁾がBazinの実験値より求めた定数 a は広矩形水路に対して $a = 11.1$ を得ているので、広矩形水路に対しての抵抗式は近似的に

$$1/\sqrt{f_b} = 2.03 \log(11.1 h/k_s) \quad (3)$$

として書き表わされる。Fig. 8は $11.1 h/k_s = a h/d_m$ において k_s/d_m を求め、これと d_m との関係についてプロットしたものである。この図により、粒径 $d_m = 0.05 \text{ cm}$ を境に、 d_m の増減に伴い k_s/d_m の値は増大の傾向にあることが推察される。

本実験の礫床水路について $a = 7 \sim 9$ 、 $k_s/d_m = 1.3 \sim 1.6$ と小さい範囲内に変化しているのは、比較的均一径のものを使ったためであろう。

なお、本実験の比較的粒径の大きい砂礫でかつ均一な粒径分布に近いものであつても、 d_m を用いるよりも、 d_{84} 程度を用いた方が各種粒径に関係なく、 f_b はほぼ h/d_{84} の一価関数で表わされることが検討されている。¹⁾

5.まとめ keuleganの均一粗度の固定床管路に於ける完全に発達した乱流に対して導いた抵抗則の表現式は流砂のない砂礫床水路に適用できる。本検討の範囲内では、相当粗度 k_s は粒径 d_m の関数で表わされるが、 k_s は概ね $(0.7 \sim 1.6) d_m$ の範囲にあるようである。

なお、本研究は限られた資料に基づいて考察したものであるので、定性的な評価にとどまっているに過ぎない。今後、混合砂礫の場合を含め、数多くの実験値及び実河川の資料を収集し、定量的に検討していきたいと考える。

最後に、本文の作成にあたり、資料の整理等で、大阪産業大学工学部学生、森浦光一、重村親徳、嶋坂城治、和泉義信君らの熱心な協力を得たことを付記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 重光・宮島：礫床水路の流水抵抗に関する実験的研究，昭和57年度，関西支部年講。
- 2) Paintal, A.S. : Concept of Critical Shear Stress in Loose Boundary Open Channels, Journal—I.A.H.R., No1, 1971.
- 3) Keulegan, G.H. : Laws of Turbulent Flow in Open Channels, Journal, Research of U.S.N.B.S., Vol. 21, Research Paper, 1938.

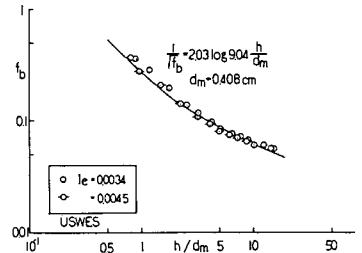


FIG. 4

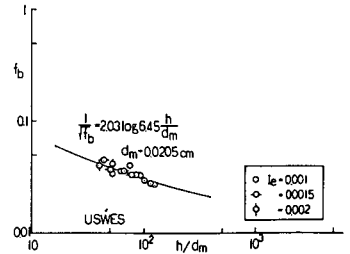


FIG. 5

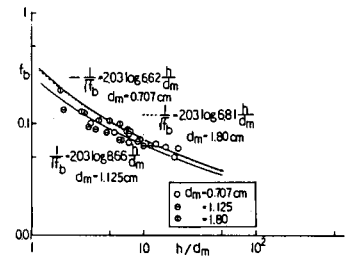


FIG. 6

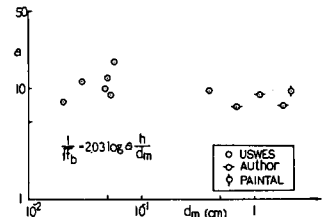


FIG. 7 RELATION BETWEEN a AND d_m

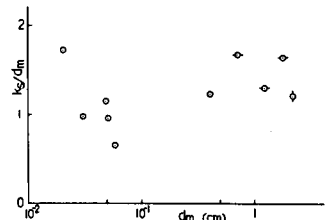


FIG. 8 RELATION BETWEEN k_s/d_m AND d_m