

愛媛大学工学部 正 員 〇門田章宏

愛媛大学大学院 学生員 森 一庸

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一

1. はじめに

礫層河床において、平水時には表面流が存在せず、流量が増すと表面流が発生するということが特徴であるが、水面が河床より下部に存在する場合と、上部に存在する場合とで、流水抵抗に大きな違いが見られる。本研究では、礫層河床における流量と水位との関係を調べ、表面流が発生しない場合には礫層を流れる水の抵抗則を、表面流が発生する場合にはダルシーワイズバッハの摩擦係数 $\sqrt{8/f}$ について検討を行った。

2. 実験方法および条件

実験に使用した水路は、全長 7m、幅 15cm の可変勾配型循環式水路である。河床構成材料は平均粒径 1.48, 2.75, 3.5, 4.5cm のほぼ均一粒径の礫であり、この礫を下流端より上流に向かい約 6m、厚さ 15cm で敷き詰めた。また、河床勾配は 1/50(Run-A), 1/100(Run-B) および 1/200(Run-C) の 3 通りである。定常流になるように流量制御を行い通水し安定したときの水深を測定するとともに、その時点の流量を下流端で測定した。

3. 実験結果および考察

図-1 に実測による流量と水深との関係について示した。図中の実線は河床高を示したものである。粒径の大きさに関わらず Run-A~Run-C と同様に水深とともに流量が増加する。水位が河床高より下部にある場合については、水位の上昇による流量の増加が僅かである。しかし、水位が河床高よりも上部にある場合、水位の上昇による流量の顕著な増加が確認される。また、水位が河床高より下部にある場合、粒径が小さいほど流量に対する水位の増加が顕著である。これは同じ水位で粒径が小さい場合、流量が減少することとを示す。礫間流量は、空隙率に支配されるのではなく、水が実際に流れる通り道である河床を構成する礫の大きさと密接に関わっている流路の大きさにより支配されているのではないかと考えられる。次に、礫層間を流れる場合の抵抗則について調べる。Stephenson¹⁾は水面が礫層河床以下の場合の流速推定式について $V = n_p (S_0 g d_m / K')^{1/2} \dots (1)$, $q_m = V \times h \dots (2)$ で表した。ここに、 V :礫間流速, n_p :空隙率, S_0 :水面勾配, g :重力加速度, d_m :平均河床材料粒径, K' :無次元摩擦係数, q_m :単位幅当たりの礫間流量, h :水深である。また $K' = K + 800 / R_n$, $R_n = hV / n_p \nu \dots (3)$ であり, ν :動粘性係数である。係数 K は河床材料によって決定されるものでありここでは $K=2,3$ とした。図-2 の礫層間における実測流量との比較より、採取した砂礫を考慮して $K=3$ とした値が Stephenson による流速推定値との良好な一致を得ることができ、上式(1)~(3)で表される流速推定式が妥当であることが確認できた。さらに空隙率やレイノルズ数を補正することによりさらに高い精度の推定が行えると考えられる。次に、表面流が存在する場合の河床表層でのマンニングの粗度係数を検討するために、流量を表面流量と礫層流量の二つに分けて考える。礫層内の流量は表面が礫層高と等しい場合の流量で表し一定とし、礫層内流量を流量から差し引いた量を表面流量とする。図-3 は相対水深に対して摩擦係数 $\sqrt{8/f}$ との関係で示したものである。図中、相対水深が 10 以下の条件で適用可能な Hey の提案式 $\sqrt{8/f} = 2.03\sqrt{8} \log(\alpha h / 3.5d) \dots (3)$ および Bathurst の提案式 $\sqrt{8/f} = 5.62 \log(h/d_{84}) + 4 \dots (4)$ を併示した²⁾。ここで、 α は経験定数であり $\alpha=11.08 \sim 13.46$ の値をとる。相対水深が増すにつれ $\sqrt{8/f}$ の値が大きくなっていることが分かるが、粒径の大きさによって傾向の違いがみられる。比較的急勾配である Run-A,B の $d=3.5\text{cm}$ については、Hey の指摘と同様 $\alpha=11.08, 13.46$ 範囲内に収束している。また、 $d=4.5\text{cm}, 2.75\text{cm}$ については、Bathurst による提案式と良く一致していることが確認された。勾配が比較的急な場合は Hey と Bathurst による提案式との間に収束しており、これらの提案式の急勾配河川における妥当性がある程度確認された。勾配の緩い Run-C では提案式より値が過大になり、逆に対数則の式に近づいていることが分かる。これらの提案式が急

勾配河床を前提としたもので、緩勾配河床では対数則が有効であることを示している。ここでは、相対水深が4程度までのデータのみであり、より詳細な今後必要とされる。

4. おわりに

本研究では、礫層内を流れる場合と表面流が発生する場合とに分け、それぞれの抵抗則について検討した。今後、実際の山地河川を対象とし混合砂礫河床の流水抵抗についても考慮する必要がある。

参考文献 1) Stephenson, D. (1979) : Rockfull in hydraulic engineering. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 2) Bathurst,J.C.(1994) : At-A-Site mountain river flow resistance variation, Proc. Hydr. Engrg.,94 ASCE, Reston, Va., pp.652-656.

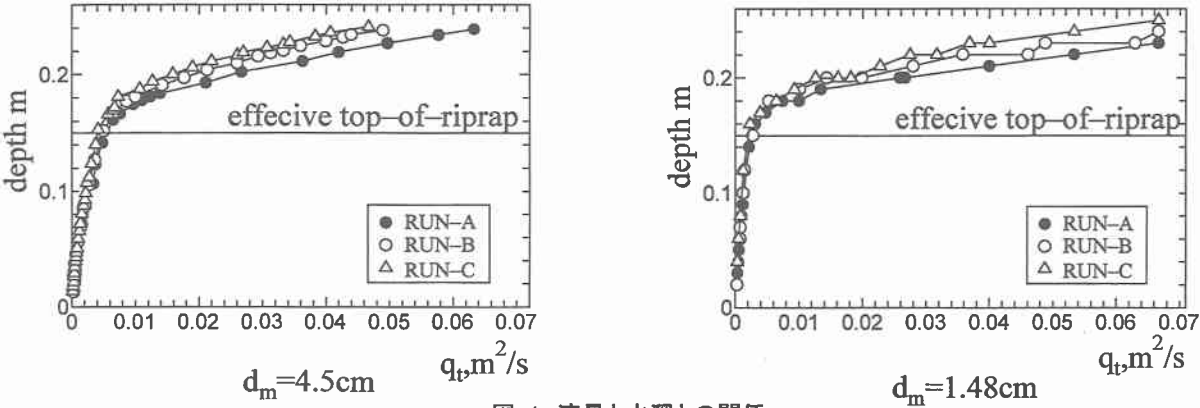


図-1 流量と水深との関係

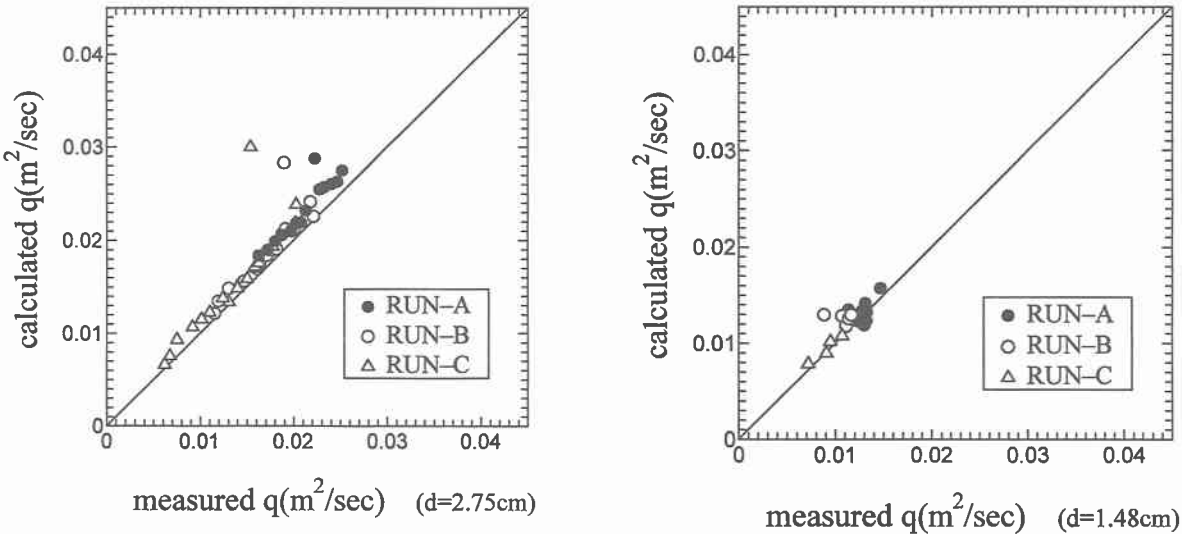


図-2 礫層内流量に関する実測値と計算値の比較

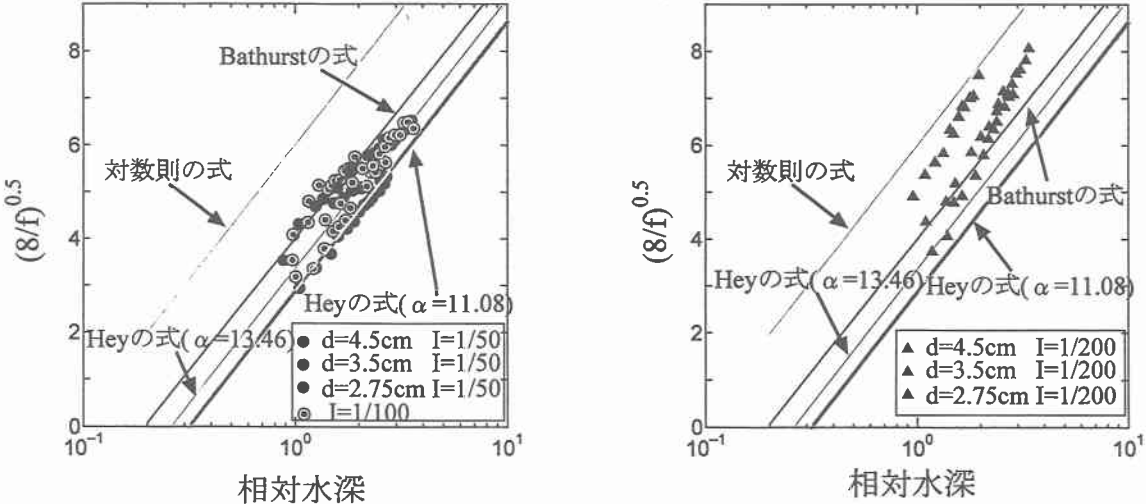


図-3 表面流に関する摩擦係数の実測値と計算値の比較