

日本大学工学部

正 員

高橋 遼夫

日本大学工学部

正 員

木村 喜代治

1. まえがき : 山地河川の流れは、一般的に相対粗度の大きな急勾配流れとして特徴づけられる。このような流れを対象とした報告は従来より種々なされて¹⁾いるが、なお多くの研究の積み重ねが必要と思われる。本報は、均一および混合砂礫固定床を有する相対粗度の大きな急勾配流れに対する抵抗則に関して、実験結果よりニ、三の検討を試みたものである。相対粗度の大きい流れを取り扱う場合には、水深の基準面の位置の選び方によってその結果の水量にかなり大きな影響を与える。従来の水深基準面を考慮した報告²⁾の多くは、対象としている水力条件、とくに路床勾配がそれ程大きく変化しないということもあり、固定した基準面によって取り扱いがなされている。一方、太田は、対数則を用い基準面を粗度粒径と路床勾配の間数と考える興味ある報告をしている。また、芦田⁴⁾は、粗度密度が小さくなると粗度要素間を流れる流量が重要な意味をもってくるので、基準面を粗度密度の高い場合よりも下方にとる必要があることを指摘している。本報では、実測値がManning式を満足するような位置を基準面に選ぶという方法が用いられ、基準面の位置と粗度間隙および路床勾配との関係、さらに粗度要素間を流れるいわゆる間隙流量との関連性が検討されている。

Table 1

2. 実験装置および方法 : 実験に用いた水路は、長さ6.5 m、幅15.0 cmのアクリライト製勾配可変のものであり、粗度要素としてTable 1に示す均一および混合

粒径の自然砂礫がほぼ一層密にはり付けられている。本報の代表値としては、体積等価球径(nominal diameter) d_n の値が用いられているが

実験Series	フルイ目開き(mm)	平均粒径(mm)	体積等価球径(mm)
I	12.7~15.9	14.3	16.0
II	11.1~12.7	11.9	13.4
III	6.73~7.93	7.33	8.23

均一粒径の抵抗則に対応する混合粒径の表現を検討するために、Series IV に対して d_n の加種曲線を求めたのがFig. 1である。なお、間隙流量の計測はSimons らが用いた方法を参考にした。

3. 実験結果および考察 : (1) 水深基準面の決定方法 ; 求める水深の基準面が、Fig. 2のように d_n 頂面から βd_n 下方にあると考え、予備実験の結果より得られた側壁の粗度係数を0.0083としてEinsteinの側壁補正法を用いて求められる底面に属する径深を R_b とすると、Manning式は次のように表わせる。

$$Q = \frac{1}{n_b} A_e R_b^{2/3} S_e^{1/2} \quad \cdots (1) \quad \text{ここに、} n_b: \text{底面の粗度係数, } A_e: \text{有効断面面積} (=b(R + \beta d_n)), S_e = \sin i.$$

式(1)を用いて実測値 Q と仮定した β より求まる $A_e R_b^{2/3} S_e^{1/2}$ との関係が原点を通る直線上に分布すれば、これが β の最適値となる。 $\beta = 0$ に対する Q と $A_e R_b^{2/3} S_e^{1/2}$ との関係の一例がFig. 3である。この図より、本報の流れに対してもManning式が適用され得ることが認められる。しかしながら、いずれの直線も原点を通らず、 $\beta = 0$ の位置を基準面と考えると水深が過小評価されていることになる。

これより、各Seriesに対して β を試算的に変化させて求めた最適な β の値を、 S_e および水路横断方向の粗度粒径の影響を表現する d_n/b との関係で近似してみると次式となる。なお、 d_n/b は d_n 頂面下方の間隙の大きさを表現しているとも解釈される。

$$\beta = 30 S_e^{0.55} (d_n/b)^{1.5} \quad \cdots (2) \quad \text{ただし、} b: \text{水路幅。}$$

式(2)の実測値に対する近似度をみたのがFig. 4である。式(2)より理解されるように、水深基準面は S_e および d_n の増加に伴い粗

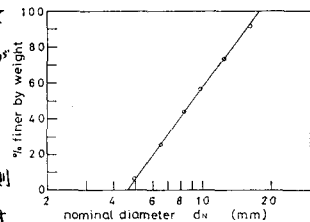


Fig. 1

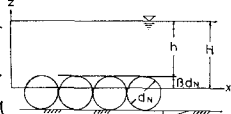


Fig. 2

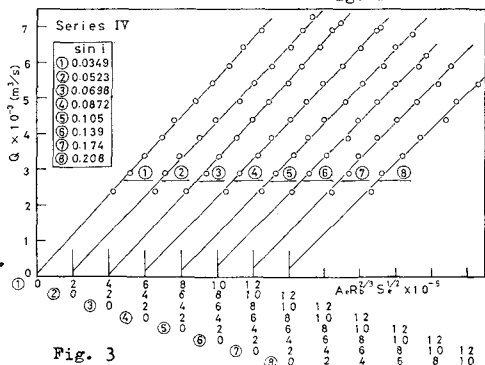


Fig. 3

度要素下方に移動することになるが、これは⁴⁾芦田らも指摘しているように、粗度要素間を流れる間隙流量に主に起因していると解釈される。すなわち、 dn および Se が大きくなるに従い、各々、間隙および間隙間を流れる流速が大きくなり、その結果、間隙流量の全流量に対する割合が増大し、実測値をManning式に適合させるためには基準面を下方に移動し、考慮すべき有効断面積を大きくとる必要があると考えられる。間隙流量と水深基準面の位置との相関をみるために、 dn 頂面下方の間隙流量 Q_0 の全流量に対する比率 Q_0/Q_{min} (ただし、 $Q_{min}=2.0 \times 10^{-3} m^3/s$)と β_{cal} との関係を示したのがFig. 5である。かなりのばらつきがあり、計測手法、精度上の問題もあるが、 β と Q_0 との相関は認められるようである。

(2) 流れの抵抗; 無次元粗度係数 $nb\sqrt{g}/R_b^{1/6}$ が、 $U_{nb}(\sqrt{gR_bSe})$, g , R_b (粗度の代表径), R_b , M , および ρ の間数であるとして次元解析を行うと、

$$nb\sqrt{g}/R_b^{1/6} = U_{nb}/U = \phi(U_{nb}^2/gR_b, R_b/R_g, U_{nb}R_b/L) \quad \dots (3)$$

となる。本報の流れにおいては、 $U_{nb}R_b/L$ は無視し得るものと考えられ従って、流れの抵抗は U_{nb}^2/gR_b および R_b/R_g の間数となるのが期待される。式(2)の基準面をもとに実験結果より算定された $nb\sqrt{g}/R_b^{1/6}$ と R_b/R_g の関係を示すとFig. 6となる。ここで R_g として、均一粒径に対しては基準面から dn 頂面までの高さを選んだ。一方、混合粒径に対しては基準面からFig. 1の65%粒径までの高さを選ぶと均一粒径の抵抗の分布とほぼ対応することより、この大きさが選ばれた。この図より、 R_b/R_g がほぼ20を境として流れの抵抗の分布傾向がやや異なることがうかがえる。

すなわち、 $R_b/R_g > 20$ においては、 nb がほぼ一定値に漸近するために、 $nb\sqrt{g}/R_b^{1/6}$ は R_b のみの間数となり、従って、 R_b/R_g の増加に伴って抵抗はゆるやかな減少傾向を示し、次式で近似し得ると思われる。

$$nb\sqrt{g}/R_b^{1/6} = U_{nb}/U = 0.133/(R_b/R_g)^{0.11} \quad \dots (4)$$

一方、 $R_b/R_g < 20$ では R_b/R_g の減少と共に抵抗はかなり急激に増大することがみられ、従来からの抵抗則との関連を考え次式の表現を試みる。

$$nb\sqrt{g}/R_b^{1/6} = U_{nb}/U = 1/[C + 5.75 \log(R_b/R_g)], \quad C = \phi(U_{nb}^2/gR_b) \quad \dots (5)$$

式(5)と U_{nb}^2/gR_b の関係を示したのがFig. 7である。ばらつきはあるが C は次式で近似し得る

$$C = 3.6 - 2.1 \log(U_{nb}^2/gR_b) + 1.8 \{\log(U_{nb}^2/gR_b)\}^2 \quad \dots (6)$$

式(5)、(6)と実測値とを比較したのがFig. 8である。

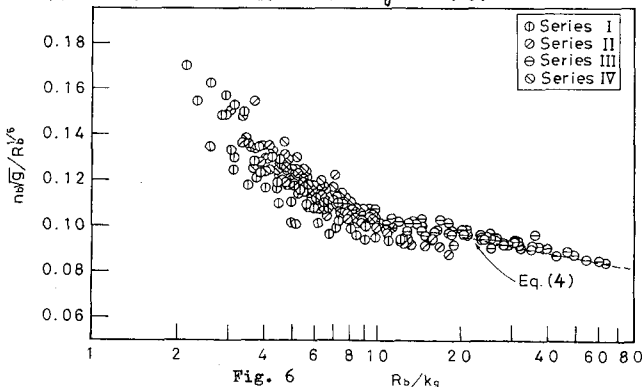


Fig. 6

- 1) 例えば、平野宗夫, 他, 新砂防, Vol. 32, No. 2, 1979.
2) Einstein, et al, Rev. of Modern Phys., Vol. 21, 1949.
3) 太田猛彦, 新砂防, Vol. 32, No. 3, 1980.
4) 芦田知男, 他, 京大防災研究所年報, 第16号B, 1973.

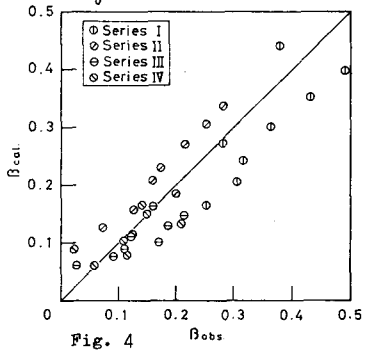


Fig. 4

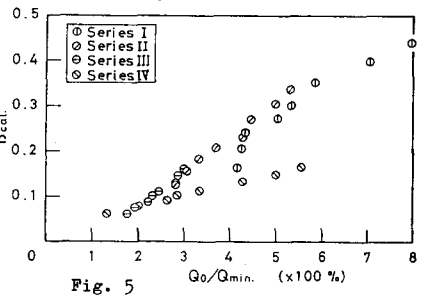


Fig. 5

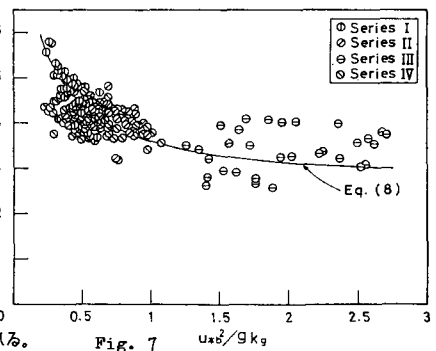


Fig. 7

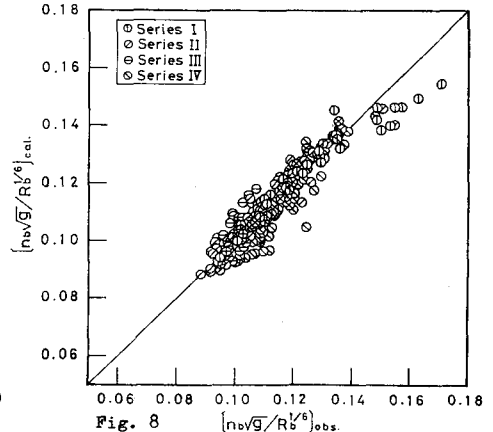


Fig. 8

- 5) Cheng, Ph. D. thesis, Utah State Univ., 1970.
6) Simons, et al, Proc. of ASCE, Vol. 105, 1979.5.
7) Einstein, Trans. of ASCE, Vol. 107, 1942.