

1 はしがき

河道計画において、断面内に余分の堆積、洗掘を許さないためには、縦断方向にだけでなく、横断方向にも平衡条件が必要である。安定な横断面については、従来より Regime Theory によって、水理量間の関係が示されているが、これらは、水理量が互に独立であるとして導びかれている。しかし、これらの関係は、流砂の運動式、流水の抵抗式および流路の形状と規定する式と連立に解くことによつて得られるはずである。問題は、流砂のある河道、すなわち、河岸部では掃流力が河岸の砂れきの限界掃流力を下廻り、中央部では流砂量がある状態の形状と何によつて規定するかである。本文は、結果としてこの問題に答へず、流路幅と水深の関係に経験式を用いて、上記の計算を行ない、水深、流路幅と流量との関係を導き、これらの関係が、従来提案されている、Regime 式の指数と同じ指数で表されることを示した。

2. 解析

流砂量式、抵抗式および水深と流路幅の関係式と組合せて、水深、流路幅と流量との関係を求める。

i) 流砂量式 流砂量 g_B ($= g_s / U_* d$) は、 $\tau_* (= U_*^2 / (s-1) g d)$ との間で

$$g_B = \alpha_1 \tau_*^m \quad (1)$$

と表わす。 g_B と τ_* との関係は、対数紙上で、必ずしも直線でないで、両者の関係を(1)式で表わすためには、 τ_* の範囲を区切つて、 α_1, m と定める必要があり、例へば、佐藤、吉川、芦田公式を用いると、 α_1, m は表 1 のような値をとる。流砂量 g_s と体積濃度 C で表わすと、流量 Q と g_s の関係は、流路幅と B として、次のように表現される。

$$Q = g_s B / C = \{ \alpha_1 g_s^{1/2} / (s-1)^m d^{m+1} c \} B h^{m+1/2} I^{m+1/2} = \alpha_2 B h^{m+1/2} I^{m+1/2} \quad (2)$$

ii) 抵抗式 平均流速を、 $U/U_* = E(R/R_s)^n$ とし、 $n = 1/6$ とすると

$$U = E(g_s^{1/2}/\kappa_s^{1/6}) R^{2/3} I^{1/2} \quad (3)$$

となる。若者の実験によると、流れが自己形成した流路では、 $R = \alpha_3 h$ の関係があるので、

$$U = \alpha_4 E(g_s^{1/2}/\kappa_s^{1/6}) R^{2/3} I^{1/2} \quad (4)$$

R_s は、 τ_* または Fr の関数であるが、必ずしも十分に関係づけられていないので、ここではとりあえず、

$$U = \alpha_4 R^{2/3} I^{1/2}, \quad \alpha_4 = \alpha_3^{2/3} E(g_s^{1/2}/\kappa_s^{1/6}) \quad (5)$$

とする。

iii) 流路幅と水深との関係 流路幅は、河岸と形成する砂れきの性質で変わるとされている。即ち、凝集性の有る物質からなるときは、凝集性のない材料に比して狭くなる。流砂のある河道を対象とすると、河道が一定の幅で平衡に達しているときは、河岸部では土砂の流送がなく、中央部のみに流砂が生じているとしなければならぬ。凝集性のある材料のとき、流路幅が狭いのは、流れの核構の違いだけでなく、抵抗力の差とみなされる。

流路の横断形は、流砂の有無に関係なく、流れの運動量とせん断抵抗との平衡で定められるべきものと思はれる。両岸部ではせん断力が、限界掃流力に等しく、中央部ではせん断力が限界掃流力を上廻る条件を満たす横断形状はまだ導いていない。もし、流路床にはたらくせん断力は限界掃流力と少し上廻る程度で、河床の形状は、全ての点で限界掃流力に対応する形状に近いという考え方とすると、深さと流路幅との関係は次のようになる。即ち、土屋は、河岸上に作用するせん断力は全ての点で限界掃流力にあるという条件で、河岸部の最大深 h_0 と、河床での幅 B_K の関係を求めたがこれらは、 $U_* d / \nu$ の関数であるといへば、 $h_0 / B_K \approx \alpha_5$ (6) と表わされ、 α_5 の値は、ほぼ 2.0 である。

また、ゆるい曲率を有する横断面の単位長さ面に作用するせん断力は、底面からひいた法線で囲まれる面積体の質量力と釣り合うという考え方で導いた Lundgreen のせん断力分布のもとに、中心で限界掃流力であるとした Parker²⁾の解は、 $2h_0/B = \mu [(1-r)/(1+r)]^{1/2} (1/\cos^2 r)$ 、ここに、 μ ：水きの静止摩擦係数、 $r = M\beta$ (β ：揚力係数)で、 r は定数であるから

$$h_0/B = \alpha_6 \quad (7)$$

と、一次式の成立つことを示している。

これに対して、実験値は、図1のように、(6)式または(7)式の成立するかとみなされる資料もあるが、 α の値は、(6)式および(7)式で与えられるものより大きい。さらに資料の殆んどは、図2の著者らの実験値 Simons の測定値、図3の Lane の収束値などにみられるように、

$$h = \alpha_7 B^n \quad (8)$$

の係数と示している。これは、掃流力が τ_b に近い場合でも、流路中央部に河道部分があることを示唆し、実験でも確かめられた。河道部の幅が、如何なる物理量で規定されるかは、今後の問題とし、ここには、(8)式で、 $n=2/3$ としての値を採用する。

W) 流路幅、水深と流量との関係。

(2)式に、(5)式 および(8)式を代入すると、水深および流路幅と流量との関係は、次のように表される。

$$h = \frac{\frac{1}{\frac{16}{3}(m+\frac{1}{2}) - \frac{1}{2}} \cdot \frac{3 - \frac{2}{3}(m+\frac{1}{2})}{\frac{16}{3} - \frac{1}{2}(m+\frac{1}{2})} \cdot \frac{2 - 1/(m+\frac{1}{2})}{\frac{16}{3} - \frac{1}{2}(m+\frac{1}{2})}}{\alpha_7 \frac{16}{3} - \frac{1}{2}(m+\frac{1}{2})} Q^{\frac{2 - 1/(m+\frac{1}{2})}{3 - \frac{2}{3}(m+\frac{1}{2})}} = P Q^M \quad (9)$$

$$B = (h/\alpha_7)^{3/2} = (P/\alpha_7)^{3/2} Q^{N/2}, \quad N = (3/2)M \quad (10)$$

上式中の、指数中の m は、 τ_b の大きさで、8から1の範囲で変化するが、(9)および(10)式の指数、 M 、 N の m についての変化は図4のとおりで、 m が変わっても $M=0.36$ 、 $N=0.52$ とほぼ一定である。これらの値は、従来より Regime 式において、 $h \propto Q^{0.36}$ 、 $B \propto Q^{0.5}$ とされている値と一致する。図5に著者らの実験値と示すが、これはすでに芦田らによ、てさらに広い範囲について示されているものである。 α_2 、 α_4 および α_7 の指数とそれと、 β_2 、 β_4 および β_7 とすると、 $\beta_2 \div 0.03$ 、 $\beta_4 \div 0.39$ 、 $\beta_7 = 0.54$ とこれら m についての変化は少ない。 τ_b の領域が変わっても、(9)および(10)式の係数、指数はそれほど変わらないとみることができ、 α_2 の値については、講義時に報告する

4. むすび、 流砂量式、抵抗則式および幅深さ比式を用いて、深さ、流路幅と流量の関係を求め、Regime 式と同じ関係が得られることを示した。また流砂の有無にかかわらず Regime 式はほに同じ値と示すので、幅、深さ比について、力学的釣り合いから求める必要がある。

- 1) 土屋、京大防研 Bulletin No.24. 1959, 2) G. Parker, J. Fluid. Mech. Vol. 89 Part 1. 1978 3) D. Simons, Proc. ASCE HY May 1960, 4) E. Lane, Proc. ASCE Nov. 1852 5) 芦田、新砂防 Vol. 28, No.2. 1975, 6) P. Ackers Proc. ASCE Vol. 90, HY 4 1964,

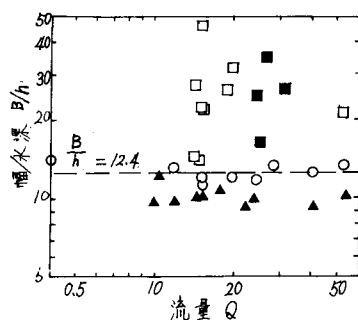


図1 のデ-7 4)

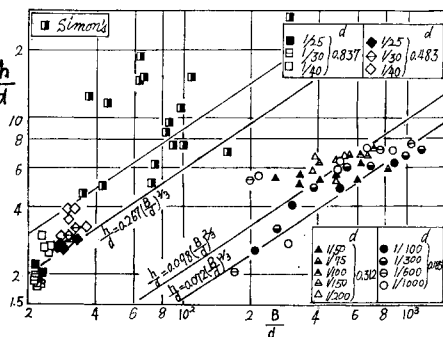


図2. 実験値および Simons のデ-7 3)

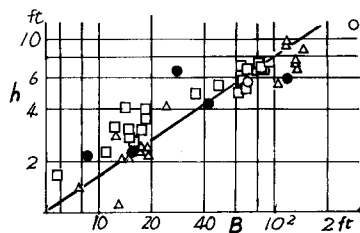


図3 Lane のデ-7 4)

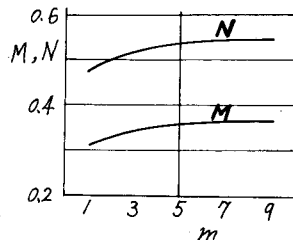


図4 M, N の値

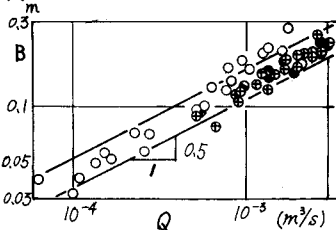


図5 B と Q の関係