

北海道大学工学部 正員 板倉 忠興

学生員 ○藍 秀明

学生員 穴吹 隆之

緒言 掃流による流砂量を求める為に理論的に導かれた流砂量公式が現在幾つか紹介されている。一方、実際に流砂量を測定する事に関しては多くの困難が伴うために、これらの流砂量公式の適合性については十分に検討する事ができない状態にある。

本研究は、河床観測による流砂量の測定方法に着目して、その適格な適用の方法を考察し、合わせて実験水路を用いて行った実験によってその精度を検討した。

1. 掃流流砂量

一般に流砂の連続式は(1)式で表わされる。

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_b}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここに、 q_b ；単位時間、単位幅当りの流砂量 λ ；砂の空隙率

y ；河床高 x ；流下距離

Simonsらは、¹⁾砂堆がその形を変えずに一定の速度で流下し、また、砂堆の谷間では流砂量が全く無いものと仮定して(1)式の積分を行い(2)式を得ている。

$$q_b = (1-\lambda) \cdot V_s \cdot \frac{1}{T} \int_0^T h dt \quad (2)$$

ここに、 V_s ；砂堆の移動速度 h ；砂堆の谷間からの砂堆の高さ

T ；或る地点を一つの砂堆が通過するに要する時間

ところで、河床に発生する砂堆は一般には必ずしも規則的ではなく、また、定常ではない。

その為に(2)式によつて実際に掃流流砂量を算定する場合に、式中の諸量を規定する仕方に関しては検討の余地がある。その点に関して著者らは、統計的な方法を試み、実験の結果と比較して検討を行った。

2. 実験

実験には長さ20m、幅1.0mの鋼製可変勾配水路を用いた。

水は水路と貯水槽との間を400 mm斜流ポンプによつて循環する。流量は幅120cmの全巾堰によつて定めた。水路の上流端には給砂装置があり、その給砂量は予備実験によつて検討を行い流砂量にほぼ等しい量の砂を供給している。流下した砂は実験終了後、貯水槽内で回収して計量した。水理量は砂堆(Dune)が発生するように定め、流量は20~40 l/s、水面勾配は3~4×10⁻³とした。表-1は実験条件の一覧表である。実験に使用した砂は $d_{50}=0.62$ mm、 $\lambda=0.405$ 、 $\rho_s=2.66$ の川砂であり、これを水路床に10~20 cmの厚さに敷きつめた。河床の変動はあらかじめ水路中央に埋設した標尺の読みを望遠鏡によつて観測した。(なお、使用した砂の粒径相積曲線を図-1に示した。)

Run	4	5	6	7, 8	9, 10	11, 12	13, 14	15	16	17	18	19	20
Q (ℓ/sec)	40	25	22	40	40	40	25	35	35	35	35	35	35
i (× 10 ³)	2.25	2.60	3.35	3.60	3.80	3.50	3.10	3.40	3.40	3.10	3.00	3.10	3.23
h (cm)	5.8	5.0	7.5	7.6	6.5	7.5	6.0	6.8	6.3	6.9	7.0	7.0	7.0
U ₀ (cm/sec)	3.39	3.41	4.63	4.56	4.56	4.72	4.04	4.54	4.33	4.16	4.25	4.32	4.41
F _h	0.90	0.71	0.35	0.61	0.77	0.93	0.54	0.63	0.71	0.62	0.60	0.60	0.60

3. 結果及び考察

河道中で縦断方向にいくつかの固定した観測点を設置し、それぞれの地点で同時に河床高の時間的な変動を観測する。その結果から得られた資料から(2)式によって河道の平均的な流砂量を算定しようとするものである。

(i) 砂堆の移動速度, V_s

2観測点間の距離(L)を、その観測点間の河床変動の相互相関が最大となるDelay Time (T_{max})で除した値を移動速度と考へた。

Lと T_{max} との関係は図-2に示すように直線的な関係にあり、この方法で V_s を測定できる事がわかる。

図-3は、 $R_{ij}(T)_{max}$ (相互相関係数の最大値)と T_{max} との関係を示したものである。図-3から $R_{ij}(T)_{max}$ の値はLや V_s に関係なく、単に時間だけに関係して減少して行へ事が解る。またその減少の状態は著者らの実験ではバラツキが大きい(3)式のような結果を得た。

$$R_{ij}(T)_{max} \propto (T_{max})^{-\frac{2}{3}} \quad (3)$$

小宮²⁾はH管内の空気の流れから2個のHot-filmによって信号を取出して同様の取扱いを行った結果

$$R_{ij}(T)_{max} \propto (T_{max})^N$$

$N = -\frac{1}{2} \sim -\frac{1}{4}$ を得ている。

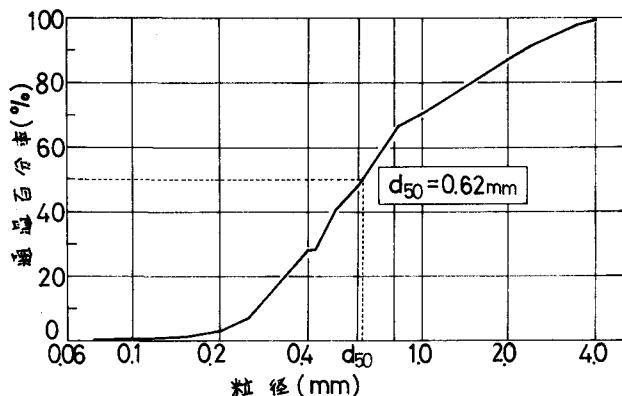


fig. 1

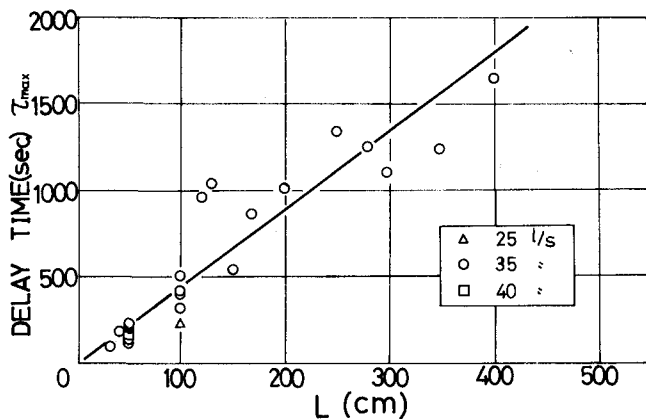


fig. 2

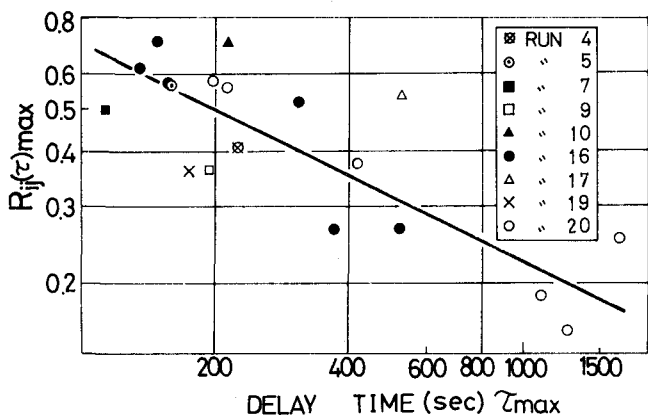


fig. 3

(ii) 砂堆の高さ

流砂では河床のどの部分が移動しているかと言う事は常に問題となる点がある。或る測点における時間的な河床変動の実測の例を図-4に示した。

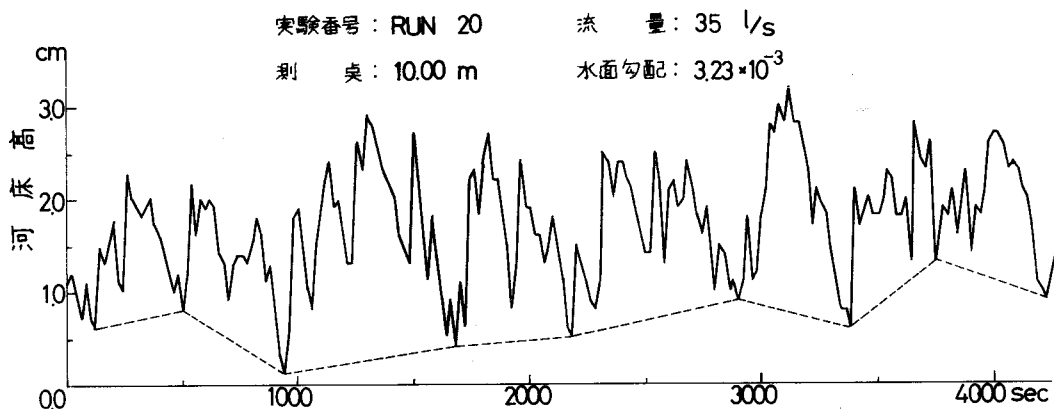


fig. 4 時間的河床変動曲線

図から明らかなように砂堆は規則的な形を保っている事はなく、その為に砂堆の谷から谷までの通過時間(T)も一定ではない。従って(2)式中の長に関する積分を行う場合に、砂堆の高さの基準点及びTの決定の仕方によって、この積分値も種々な値をとる事になる。そこで(2)式によって流砂量を算出する際に採用する値に關して著者は次の様な方法を試みた。

或る測点における観測資料からその自己相関関数を求め更にその時間スペクトル密度を算出する。この時間スペクトル密度が最大となる時間間隔にできるだけ近い間隔の谷間と谷間とを直線で結び、これを基準としてその直線から上の部分に対して(2)式の積分を行う。図-4中の破線はその状態を示している。すなわち砂堆の高さとしては図-5の破線を基準として、それから上の部分全体の平均値を採用する。図-5は図-4の資料から自己相関関数を計算した例である。

自己相関係数の有意性については(4)式による Andersonの方法によって棄却検定を行った。³⁾

$$R_{ii}(T_i) \geq (-1 \pm N\alpha\sqrt{N-L-2}) / (N-L-1) \quad (4)$$

N; 資料個数

L; T_i までの資料数

$N\alpha$; 精度

($\alpha=95\%$, $N\alpha=1.96$)

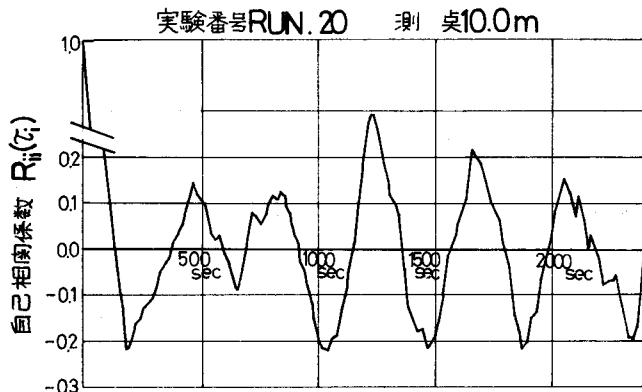


fig. 5

以上のような方法により(2)式中の移動速度及び砂堆の高さを規定して流砂量を算定し、実験結果と比較した結果を図-6に示した。

図-6のように、上述の方法によって算出した流砂量の計算値は、ほぼ実測値の-50%~+50%の範囲となる事を知った。

以上は、固定した観測点における河床変動の観測資料から流砂量を推定する一方法について述べたものであるが、「砂堆の高さ」に関しては問題が残されている。これは河床砂礫の掃流運搬の根本的な問題の一つでもあり、今後も究明されなければならない課題である。又、今回取扱った資料は水路の中央で観測されたものであり、砂堆の三次元的な取扱いについても今後継続して研究を行っていく予定である。

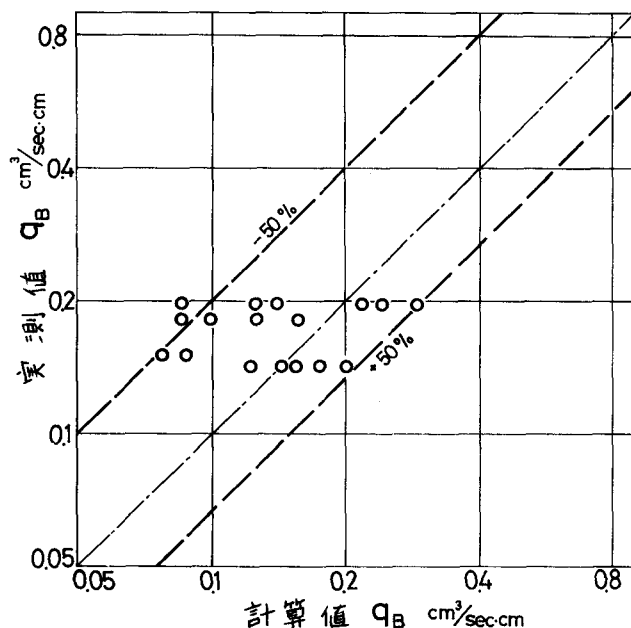


fig 6

終りに、本研究について絶えず懇切に御

指導下さった岸力教授に深く感謝の意を表します。

尚、本研究は文部省科学研究(特定研究)「石狩川流域における流出と土砂の移動過程の関連に関する基礎的研究-I. H. D. 計画に基づく石狩川の研究」(代表者、北大、岸力教授)の一部である。

参考文献

- 1) Simons, D. B., Richardson, E. V. and Nordin, C. R. : Unsteady movement of Ripples and Dunes Related to Bed-Load Movement, Proc. of 11th, I. A. H. R., 3.29, 1965.
- 2) 小宮勤一 : II-3 相関を利用した流速測定, 磯部孝編, 相関関数およびスペクトル, PP. 182 ~ 190, 1968. 東京大学出版会
- 3) Roesner, L. A. and Yevjevich, T. M. : Mathematical Models for Time Series of Monthly Precipitation and Monthly Run-off, Hydrology Papers, No. 15, Colorado State Univ. Oct. 1966
- 4) 石崎勝義, 岡沢邦明 : 河床形状観測による河川流砂量の測定方法, 土木技術資料 第10巻 第6号, PP 23 ~ 26, June 1968