

(財) 砂防・地すべり技術センター ○松村 和樹
 建設省富士川砂防工事事務所 森山 裕二

1. はじめに

掃流砂礫の移動や分散過程について Stochastic Model を用いた実験的考察があり、一方、現地河川において、トレーサ（着色礫等）による調査も行われている。現地河川で行なわれた調査は洪水とのタイミングやトレーサの回収の困難さ等の問題から調査結果として残されているものは少ない。

ここでは、昭和56年9～10月にかけて行なわれた富士川支川の春木川における調査成果について検討を行ったので以下に報告する。

2. 調査の概要

調査は春木川流域内に5測線を設けて実施された。各測線に500個のトレーサを置き、S56.10洪水（流域平均日雨量150mm）後にトレーサの回収を行った。その回収率は測線-3の7.4%（37個）で、最小は測線-4の1.0%（5個）、平均で4.8%（回収個数119個）となっている。

春木川では流量観測が行なわれているが、S56.10洪水時に水位計の挙動に問題があり、他の洪水の復元計算で検討した流出解析手法を用いてS56.10洪水のハイドログラフを求めた。

3. 調査結果

掃流砂礫の移動距離の分布と河幅の関係を整理すれば図-1のようになる。

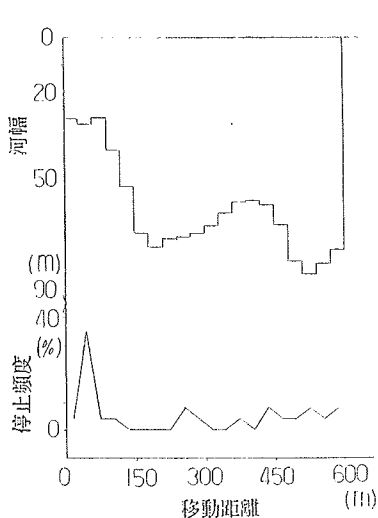


図-1 移動距離の分布と河幅
 (測線-1)

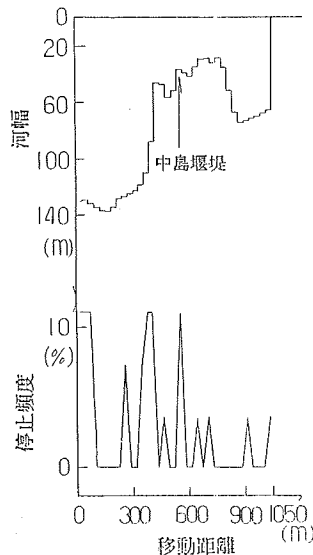


図-1 移動距離の分布と河幅
 (測線-2)

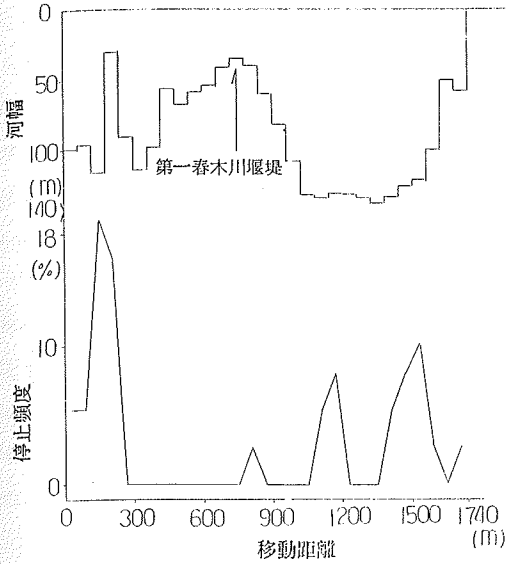


図-1 移動距離の分布と河幅(測線-3)

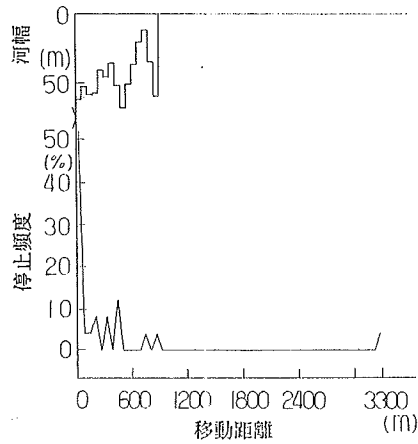


図-1 移動距離の分布と河幅(測線-5)

これらの図からトレーサの停止と河幅の関係は密接でないように推定されるが、各測線とも測線から短い距離(約300m以内)で停止しているトレーサが多い。

移動距離と粒径の関係を整理すれば図-2のようになり、移動距離と粒径の関係についても明瞭なものもなく、移動距離が長いものと短いものに分類される。

この現象について、沢井¹⁾は実験の観察から粗粒分の速度が細粒分のものより大きいことを指摘し、水山²⁾も粗粒分と細粒分の移動速度の差が見られないことを述べている。この現象は全粒子が活発に移動する状態で生じるものと考えられ、一般に認められる河川の分級作用とは矛盾しないと考えられる。

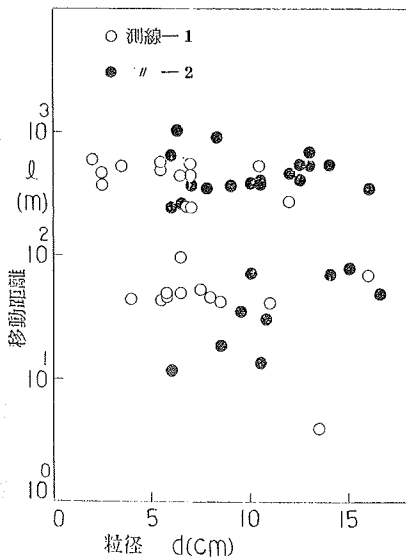


図-2 粒径と移動距離(測線-1.2)

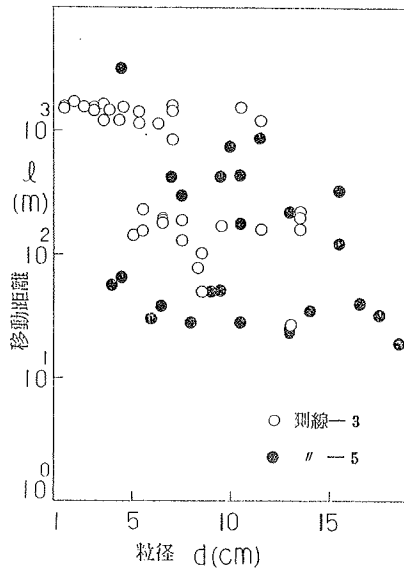


図-2 粒径と移動距離(測線-3.5)

4. 掃流砂礫の移動速度の検討

流水中を移動する砂礫の個々の運動は連続的でなく、粒子の単位で生じる離散的かつ確率的な運動であることは実験の観察から認められる。

Einsteinの掃流砂移動モデルでこの現象を模式的に表現すれば、図-3のようになる。砂礫の休止状態 (Rest period) と移動状態 (Moving period) の組み合わせで表現される。Moving period は Rest period に比べ非常に短いことから無視できるものとすれば、砂礫の移動は Rest period と Step length で階段状で表現される。

この図から、ある時間内の砂礫の平均速度 (\bar{V}_s) は次式で示される。

$$\bar{V}_s = \frac{Y_n}{S_n} = \frac{A \cdot n}{(t_m + t_r) \cdot n} = \frac{A}{t_r} \quad (1)$$

A ; 平均 Step length

n ; Step 数

t_m ; Moving period

t_r ; Rest period

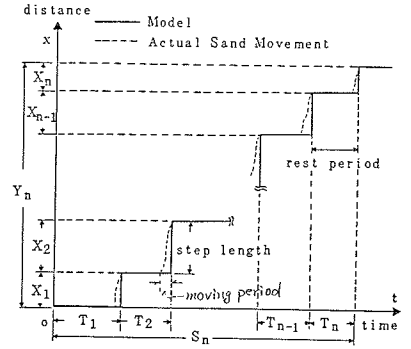


図-3 掃流砂移動モデル

Rest period の逆数の Pick up rate ($P_s = 1/t_r$) について中川、辻本³⁾ は次のような式を提案している。

$$P_s \sqrt{d / \{ (\sigma / \rho - 1) \cdot g \}} = F_o \cdot \tau_* \cdot \left(1 - \frac{\tau_* c}{\tau_*} \right)^3 \quad (2)$$

d ; 粒径

σ ; 粒子の密度

ρ ; 水の密度

g ; 重力加速度

τ_* ; 無次元掃流力

$\tau_* c$; 無次元限界掃流力

F_o ; 係数で中川等によれば $F_o = 0.03$

一方、平均 Step length (A) は粒径との関係で $A = 100d$ で表わされることから (1) 式は (2) 式を用いて次のように書き改められる。

$$\left. \begin{aligned} V_s / \sqrt{(\sigma / \rho - 1) g d} &= 100 F_o \cdot \tau_* \left(1 - \frac{\tau_* c}{\tau_*} \right)^3 \\ &= A_o \cdot \tau_* \left(1 - \frac{\tau_* c}{\tau_*} \right)^3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

係数 A_o は $F_o = 0.03$ を用いると $A_o = 3.0$ となるが、現地で得られたデータからこの式の適合性を検討する。

S56. 10 洪水の平均流量と各々のトレーサが停止した地点までの平均河床勾配を求め、平均移動速度と掃流力で整理したのが図-4である。

平均移動速度と掃流力は無次元で表示し、限界掃流力 $\tau_* c = 0.05$ を用いている。

この図中、一点鎖線は中川等の実験結果から得られた理論線である。砂礫の平均移動速度が(3)式の型で表現されるとして、平均的な係数を求めると $A_0 = 0.5$ となり、図-3の実線がそれにあたる。

$A_0 = 3.0$ の線は掃流力が大きい領域で調査プロットから離れ、 $\tau^* = 0.1$ 以上のプロットは中川等の式とは別の上限包括線があるようにも見える。

この点については、トレーサの回収率が悪く、さらに下流へ流送されたものもないとは言えないので断定はできない。

5. ま と め

- a. 全粒子が活発に移動する状態では粗粒子と細粒子の移動速度の差異はみられない。
- b. 掃流砂礫の平均移動速度はStochastic Modelで与えられる(3)式の型で表現が可能と考えられる。
- c. 砂礫の移動速度が掃流力等で表現できれば、連続式と組み合わせて流出土砂量の追跡が可能となり、砂防計画上への応用が考えられる。

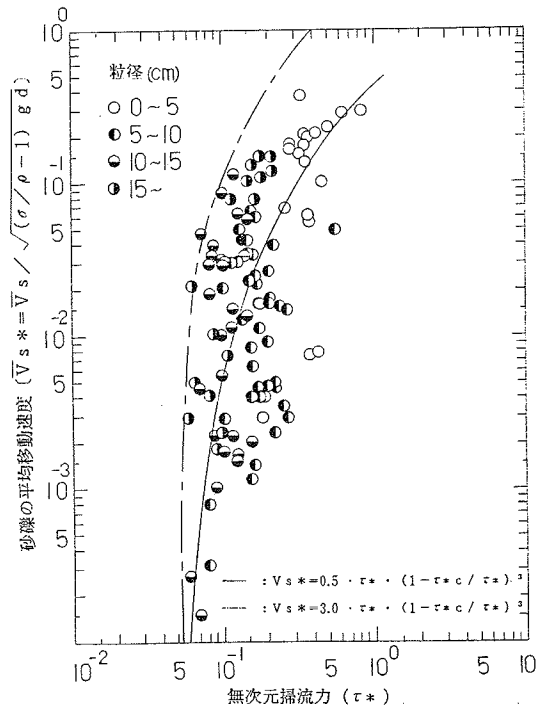


図-4 掃流力と砂礫の平均移動速度

— 参考文献 —

- 1) 沢井健二；掃流砂礫の分散過程に関する研究、京大防災研究所年報 第26号 B-26 S58
- 2) 芦田和男、高橋保、水山高久；山地河川の掃流砂に関する研究 新砂防107 S53
- 3) 中川博次、辻本哲郎；水流による砂礫の移動機構に関する基礎研究 土木学会論文集244号