

群馬県土木部 正員 ○布村明彦
京都大学防災研究所 " 村本嘉雄
" " 河田恵昭

1. 緒言 本研究は、砂礫河川における中小洪水時の掃流砂量を推定することを目的として、代表2粒径を用いた実験結果より、縦筋を伴う流砂現象の特徴を明らかにし、流砂幅、有効掃流力、縦渦と掃流力の関係および流砂量推定法について考察したものである。

2. 縦筋河床の掃流砂に関する実験 (i) 実験装置および実験方法: 実験水路は、幅50cm、高さ50cmおよび長さ21mであり、水と砂粒を同時に循環できるようにになっている。水路勾配は1/250に設定し、水路床に $D=2.45\text{ cm}$ のガラス玉を図-6のように1層配列し、流送される細砂としては $d=1\text{ mm}$ の一樣砂を用いた。(ii) 縦筋河床の流砂現象の特徴: 図-1は実験結果の1例を示したものである。この図から、縦筋の位置における流砂量は、それ以外での流砂量に比べて多く、数10倍になる場合もあることがわかる。さらに、縦筋の位置ではそれ以外の部分に比べて等流速線が疎になり、摩擦速度が相対的に小さくなる傾向が見出されるが、この原因として縦渦(2次流)の存在が考えられる。事実、糸による水路床近傍での流向測定の結果(図-1では実際の角度の4倍を示している)から、縦筋の位置で上昇流があると推定される。このように、縦筋河床では流砂量および水理量が横断方向に波状に変化し、流砂量が縦筋の部分に集中することが大きな特徴といえる。(iii) 流砂現象の支配要素: まず、水理条件として摩擦速度を推定する必要がある。図-1に示した摩擦速度は、径深を用いた平均摩擦速度 u_{*R} と流速分布から決定した摩擦速度 u_{*i} の河床横断方向の平均値が等しくなるようにして求めたものである。鉛直座標原点とガラス玉頂部と細砂面との中央($z=\Delta H/2$)に置くことが妥当であることがわかった。図-2は、縦筋の位置における無次元相当粗度とReynolds数との関係を示したものであり、細砂の堆積厚に関する初期条件の相違に関係なく、両者の相関が認められる。つぎに、河床条件として縦筋の細砂厚 δ と幅 b_s の無次元量および縦渦の個数 n についてまとめたものが図-3、4および5である。ここに、 $\delta=\Delta H/(D/2)$ であり、添字 i および m はそれぞれ個々の縦筋と河床横断平均を表し、 B は水路幅および水深である。図-3および4から、実験値はかたやバラツキが u_{*R} による顕著な変化は認められない。一方、図-5から $n=B/h$ の関係がほぼ成り立つことが見出され、従来の多くの実験結果と一致することがわかる。

3. 縦筋河床の流砂機構に関する考察 (i) 有効掃流力の算定: 図-6に示

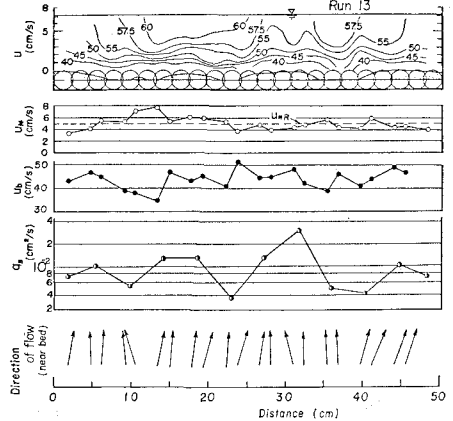


図-1 縦筋河床の流砂現象

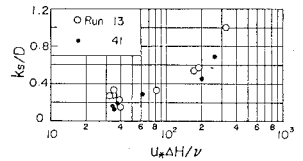


図-2 相当粗度

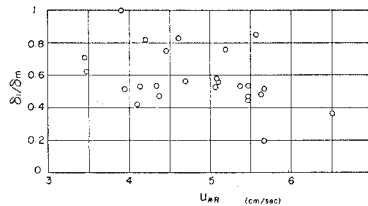


図-3 縦筋の細砂厚

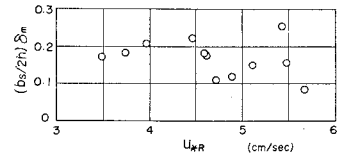


図-4 縦筋の幅

堆積厚に関する初期条件の相違に関係なく、両者の相関が認められる。つぎに、河床条件として縦筋の細砂厚 δ と幅 b_s の無次元量および縦渦の個数 n についてまとめたものが図-3、4および5である。ここに、 $\delta=\Delta H/(D/2)$ であり、添字 i および m はそれぞれ個々の縦筋と河床横断平均を表し、 B は水路幅および水深である。図-3および4から、実験値はかたやバラツキが u_{*R} による顕著な変化は認められない。一方、図-5から $n=B/h$ の関係がほぼ成り立つことが見出され、従来の多くの実験結果と一致することがわかる。

3. 縦筋河床の流砂機構に関する考察 (i) 有効掃流力の算定: 図-6に示

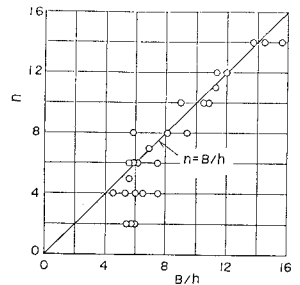


図-5 縦渦の個数

すような流れのモデル化にあたり、つぎのように仮定する。1. ガラス玉は不動であり、その背後では掃流力が零となる死水域が存在する。2. 死水域以外では有効掃流力が一様に作用する。いま、流れが等流で抵抗の線形性を仮定すれば、次式が成立する。 $\sum (1/2) \rho C_D U_0^2 S_a (D/2)^2 + C_e (A - A_d) = \tau_0 A$ --- (1) ここに、 ρ : 水の密度、 U_0 : 代表流速、 C_D : ガラス玉の抗力係数、 C_e および τ_0 : それぞれ有効掃流力と全掃流力、 A および A_d : それぞれ対象としている全底面積と全死水域面積および N : 面積 A の水底面に点在するガラス玉の個数である。図-6

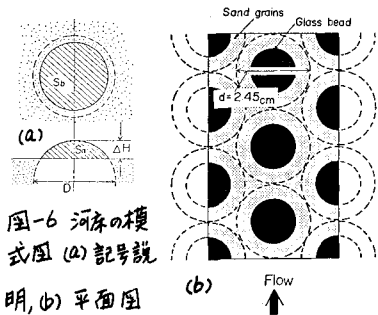


図-6 河床の模式図 (a) 記号説明, (b) 平面図

の模式図を参照すれば、 S_a および S_b はともに δ の関数によって表わでき、さらに A_d が S_b に比例すると仮定すれば、式(1)は結局つぎのようになる。 $\tau_{*e} / \tau_* = \{1 - (1/2) C_D U_0^2 (S_a / S_b) / p\} / \{1 - (C_1 + (\pi/2) \alpha_1 / S_b) / p\}$ --- (2) ここに、 $U_0 = U_m / \alpha_1$ および $p = (A/N) / (S_b D^2 / 4)$ である。式(2)中の定数 $C_1 = 1$, $\alpha_1 = 0.133$ とし、 δ による有効掃流力の変化を計算したものが図-7であり、ガラス玉の露出にしたがって有効掃流力が顕著に減少することがわかる。

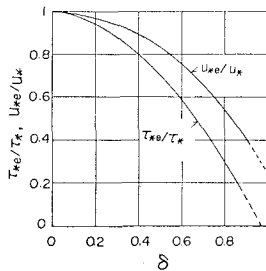


図-7 有効掃流力

(ii) 縦筋の評価: 2. エシレたように、縦筋は縦筋の形成と掃流力分布の変化をもたらし、流砂量に影響するものと考えられる。そこで、縦筋の位置での上昇流の流速を V_s とすると、運動量的な考察から、上昇流となる縦筋でのせん断応力 τ_1 と下降流が発生する位置での τ_2 は、それぞれ次式で与えられる。 $\tau_j = \rho (U_{*R}^2 \pm U_m V_s)$, $j=1$ (負符号), 2 (正符号) --- (3) ここに、 U_m は $z = (h/2)$ における平均流速である。

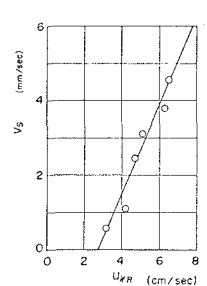


図-8 縦筋の流速

図-8は式(3)を計算した結果であり、今回の実験範囲では V_s は U_{*R} の増加とともに線形的に大きくなり、 U_{*R} の $1/20$ 程度であることがわかる。(iii) 流砂量に関する考察: 図-8は流速分布から求めた局所的な無次元掃流力 τ_{*ei} と無次元流砂量 q_{*ei} との関係を示し、芦田・道上式による一様砂の流砂量に比べて、 δ の増加とともに q_{*ei} が顕著に減少することがわかる。

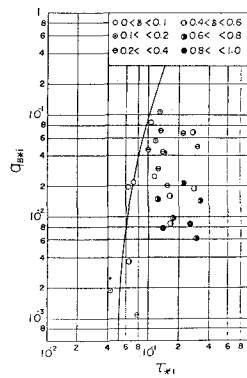


図-9 τ_{*ei} vs. q_{*ei}

図-9は図-8の実験値を式(2)を用いて再整理したものであり、流砂量計算の精度を考慮すれば、縦筋とそれ以外での流砂量も含めて実験値は計算値とある程度一致することが認められる。

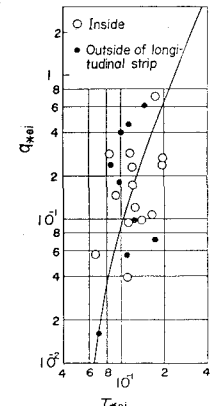


図-10 有効掃流力を考慮した流砂量

4. 縦筋河床における掃流砂量の推定 以上示した代表2粒径モデルを砂礫河川に適用すれば、掃流砂量の計算のフローチャートは図-9のようになる。図中、 $F(d)$ は河床砂礫の粒度分布、 d_c は移動限界粒径、 d_m および D_m は d_c 以下および以上の砂礫の平均粒径であり、 $g(d_m, D_m)$ はその割合である。このフローチャートに従って昨年9月上旬の野洲川の洪水時の掃流砂量を計算すると $0.223 \text{ m}^3/\text{m}$ となり、トレーサー法による実測値 $0.76 \text{ m}^3/\text{m}$ とある程度対応していることがわかった。1) 村本・河田・布村; 京大防災研年報, 1977 (投稿中)。2) 同: 関西工部局技術講演会, 1977。

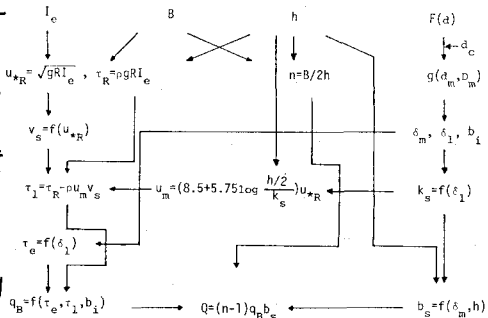


図-10 掃流砂計算のフローチャート