

II-279 急勾配水路における掃流砂量について

(株)建設技術研究所 正員 遠山正人
早稲田大学 正員 吉川秀夫
東京工業大学 正員 角田 学

1. はじめに 掃流砂量に関する研究は、従来より活発に行われ、多くの経験式、理論式が提案されている。しかし、これらの研究は、河床が緩勾配で、平衡状態の場合が大部分であり、急勾配でしかも非平衡状態の場合における研究は数少なく、充分には明らかにされていない。本研究では、従来の緩勾配水路の掃流砂量に、砂礫に与える重力の効果と便宜的に組み入れることにより、急勾配水路の掃流砂量を適切に表示できることを提案している。さらに、本手紙が逆勾配を含めたあらゆる河床勾配に対して、適用可能であることを示す。

2. 理論

2-1 有効な掃流力 図-1に示すような傾斜角 θ の斜面上を、定常運動している砂粒子に注目すると、流れ方向に対して次のような力のつり合い関係が成立する。

$$F_D + W \sin \theta = F_f \quad (1)$$

ここに、 F_D : 抗力、 W : 砂粒子の水中重量、 F_f : 揚力、 F_f : 摩擦力($=\mu_k(W \cos \theta - F_L)$)、 μ_k : 砂粒子の動摩擦係数 である。式(1)の左辺は、砂粒子を流送するのに有効な掃流力 T_e に対応するものであり、次式の関係が成立する。

$$T_e \cdot S' \cdot dx = \sum (F_D + W \sin \theta) \quad (2)$$

$$T_e = \sum F_D / S' \cdot dx + \sum W \sin \theta / S' \cdot dx \quad (3)$$

$$= (T_0 - T) + T_g \quad (4)$$

ここに、 T_0 : 通常用いられる掃流力($=rRI$)、 $T_0 - T$: 砂粒子が流体から受ける掃流力、 T_g : 単位面積当りの砂粒子に働く重力の流れ方向成分、 n : 面積($S' \cdot dx$)中に存在する粒子数、 S : 潤辺、 S' : 空隙を除いた潤辺、である。また、砂粒子が球形の場合、式(4)の T_g は

$$T_g = \frac{2}{3}(\sigma - \rho)gd \sin \theta \quad (5)$$

となる。ここに、 $\sigma - \rho$: 砂粒子の水中密度、 d : 砂粒子の直径、である。一方、式(4)の T は、流体が移動砂粒子以外の底面部分を押す単位面積当りの力であるが、ここでは、移動する砂粒子数は比較的多く、流体抵抗としての実質的に有効な空隙は存在しないものと仮定し、無視することにする。以上より、 T_e は、Laneと同様に斜面係数 K_1 (slope factor)の考え方をを用いることにより、

$$T_e = T_0 + T_g = T_0(1 + K_1) \quad (6)$$

ここに、 $K_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{C_s} \sin \theta$ 、 $C_s = \frac{u_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd}$ 、 u_* : 摩擦速度である。

2-2 段落部の掃流力 本研究では、非平衡時の流砂量を的確に得るために、水路下流端にあるダムを越流する流砂量に着目している。このように、段落部及び満砂後のダムを越流する流砂量に着目した場合、ダム越流地点の流速分布、圧力分布の変化により、ダム近傍の掃流力が増大することを考慮する必要がある。図-2を参照して、ダムの上流地点(断面I)とダム地点(断面II)の間に運動量保存則を適用する。

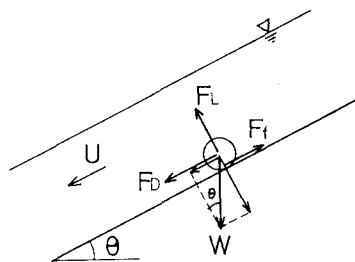


図-1 斜面上にある砂粒子に働く力

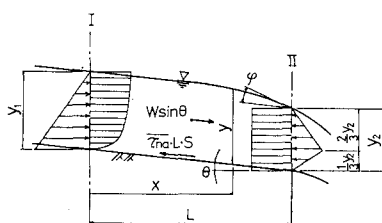


図-2 ダム近傍の速度分布・圧力分布

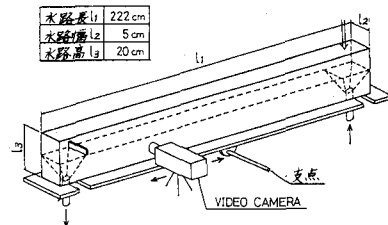


図-3 矩形断面水路

$$\int_{A_2} \rho U^2 dA - \int_{A_1} \rho U^2 dA = \int_{A_1} P_1 dA - \int_{A_2} P_2 dA + \int_0^L \tau B y dx - \int_0^L \{ (B+2y) \bar{\tau}_{na} \} dx \quad (7)$$

ここに、 $\bar{\tau}_{na}$: 断面I, II間における平均せん断力 ($\bar{\tau}_{na} = \tau_0 + \Delta \tau_{na}$)、 $\Delta \tau_{na}$: ダム地点のナップの影響による掃流力の増分、 B : 水路幅 (今の場合、等幅) である。ここで、次の4つの仮定を設ける。①断面Iの速度分布は対数則が成立する。②断面IIの速度分布は一様化される。③断面Iの圧力分布は静水压分布が成立する。④断面IIの圧力分布は三角形分布が成立する。以上、4つの仮定を用いて、式(7)に $\bar{\tau}_{na}$ について整理すると、

$$\bar{\tau}_{na} = \beta_1 \frac{\tau}{2} \frac{y^2}{yL} - \beta_2 \frac{\tau}{2} \frac{(y \cos \varphi)^2}{yL} + \alpha_1' \frac{\tau y^2}{2L} \cos \theta - \alpha_2' \frac{\tau y^2}{2L} \cos \theta + \frac{\tau}{2} (y_1 + y_2) \sin \theta \quad (8)$$

となる。ここに、 β_1, β_2 : 運動量補正係数、 α_1', α_2' : 圧力補正係数、 φ : 河床を基準としたダム地点の上側ナップの勾配である。掃流砂量は、主に底面せん断力に支配されるため、断面IIを通過するダム越流砂量は、式(8)から算定される掃流力の増分 $\Delta \tau_{na}$ だけ、断面Iを通過する流量より増大することになる。

3. 実験装置及び方法 実験水路は、図-3に示すような幅5cm、長さ2mのアクリル製矩形断面水路であり、水路中央部のヒンジにより勾配を自由に換えられることに特徴がある。使用した砂(相馬砂)は水路上部から供給され、流量は、水路下流端にあるダムを越流する砂量を、連続的に測定することにより算定した。また、ダム近傍の河床形状、水面形状をVTR撮影により記録した。

4. 実験結果及び考察 河床形状、水面

形、ダム越流砂量が時間的に変化する非平衡時のダム堆砂の一例を図-4に示す。同図では、河床勾配により4つのケースに分類している。

ケースAは河床が逆勾配である場合、ケースBは水平と元河床勾配の間にある場合、ケースCは元河床勾配と一致している場合、ケースDは元河床勾配より大きい場合を示す。以上、4つのケースについて、河床勾配、掃流力 τ と斜面係数 K_t との関係を示したのが図-5、水理量と流量とに擬似平衡状態が成立していると仮定して、従来の流量の無次元表示で示したのが図-6である。

図-6には、従来の掃流力表示 τ の場合(○印)、 τ に重力の効果 τ_g を組み入れた場合(●印)、さらにダム地点のナップの効果 $\Delta \tau_{na}$ を組み入れた場合(★印)を併記している。このように、砂粒子に与える重力の効果、ダムのナップの影響を考慮し、掃流力を流量に寄与する有効な掃流力 τ_e と表示すると、ダム越流流量と水理量との関係が、一義的な関係に近づくことがわかる。

5 結 語 以下に要約して示す。①河床が急勾配のときには、砂礫に働く重力の効果が大きく、掃流流量に影響を与える。②堰を越流する流量は、堰上流部の流量と比較して、大きく異なる傾向にあり、堰越流流量の測定には、この点に注意する必要がある。

本研究は、辛野 潔(現広島県庁)の協力を得た。また、文部省科学研究費総合研究Aの補助を受けた。ここに、謝意を表す。

参考文献 1) Lane: Trans. ASCE, 1955 2) 岩崎: 土木学会誌 38-6, 1953 3) 芦田ら: 新

ケース	Run	河床	水面	K_{ts} [cm ² /s ²]
ケースA	14	○	△	0.02
・B	6	○	△	0.64
・C	5	○	△	1.97
・D	15	●	▲	3.65

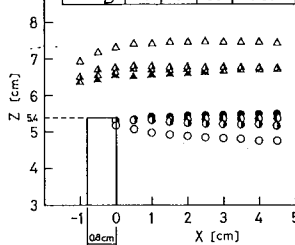


図-4 92m近傍の河床形状・水面形の例

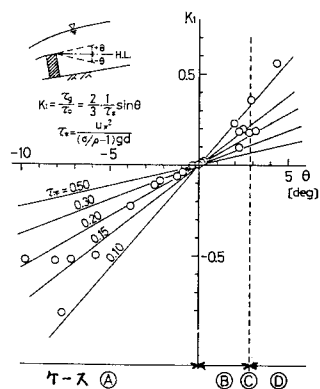


図-5 河床勾配と斜面係数 K_t

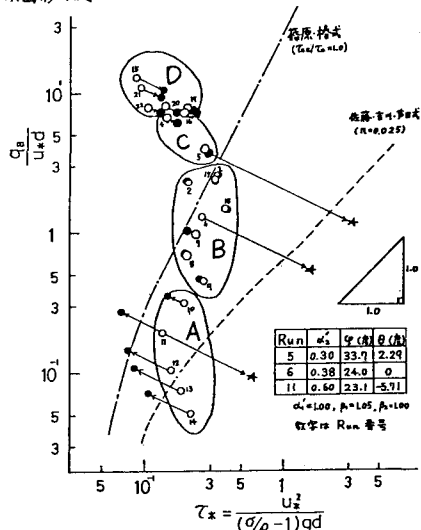


図-6 非平衡時の掃流流量