

京都大学防災研究所 正員 芦田 和男

正員 高橋 保

正員 ○沢田 豊明

1 まえがき 山地河川において、一般に河道はシュートとプールが交互にくり返えされる階段状の縦断形状を示しており、このような河道を砂礫が流送される時、流砂量は主としてプール内での輸送能力に支配される。このようなプール内における砂礫の輸送能力はプールの形状、とくにプールの規模に規定されていることが流砂観測および実験から明らかにされた。本文では、山地河道におけるプール内での流砂機構と土砂流出予測について述べている。

2 プール内における砂礫の挙動 現地の河道調査によって得られたプールの形状、砂礫の粒径、水理条件をもとにした実験を行い、プール内の砂礫の運動を観察した。その結果、砂礫の運動形態は図-1に示すような領域に分けられる。領域Ⅰでは落水水脈が河床面に衝突し、河床底面の砂礫をまき上げる。領域Ⅱでは河床からまき上げられた砂礫が浮遊し、その一部が領域Ⅲへ浮流され、残りの砂礫が沈降して斜面を形成し、その斜面の上層の砂礫が滑落して再び領域Ⅰに戻る砂礫の運動がある。領域Ⅲでは領域Ⅱから流出してきた砂礫が堆積・流送されて平坦な堆積面を形成している。なお、このような砂礫の運動の各領域はプールの容積が有限であるため、十分に発達しない場合もある。

3 プール内の堆砂形状と流砂量 プール内の堆砂形状とプール内から流出する流砂量を明らかにするために、アクリル製の水路を用い、側方から堆砂形状を観察した。その結果の一部は図-2に示されるようにプールの出口の高さで水平に数えならされた砂($d_m=1.06\text{mm}$)が、ほぼ相似形を保って洗掘されている。その洗掘されたプールの形状は、河床形状に関する諸量、 L_s , L_{su} , D_{su} , D_{sp} , ϕ_u および ϕ_b について、

$$\frac{L_s}{d_m} = 50 + \frac{7.52 D_o}{d_m} + \frac{0.421 (Z_b + \Delta h)}{d_m} \quad (1)$$

および $L_{su}/L_s = 0.47$, $D_{su}/L_s = D_{sp}/L_s = 0.293$, $\phi_u = 27.0^\circ$, $\phi_b = 26.8^\circ$ の関係が得られる。

一方、プールからの流砂量 g_{so} が底面B点における流速 U_b に支配され、また、 U_b は(2)式で得られるものとすれば、 Z_b , Δh などの実測値を用

$$U_b = k \cdot U_o / \sqrt{f_b / D_o}, \quad (f_b = (Z_b + \Delta h) / \sin \theta, k = \text{定数}) \quad (2)$$

いて計算される U_b/k と g_{so} との関係は図-3に示すとおりで、さらに、(3)式のように表わすことができる。

$$\frac{g_{so}}{\sqrt{(s-1)g d_m^3}} = 2.015 \times 10^{-6} \times \left\{ \frac{U_o^2}{(s-1)g d_m} \cdot \frac{D_o \sin \theta}{(Z_b + \Delta h)} \right\}^{6.62} \quad (3)$$

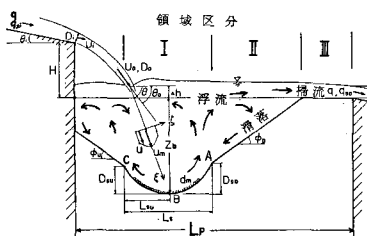


図-1 プール内の砂礫の運動

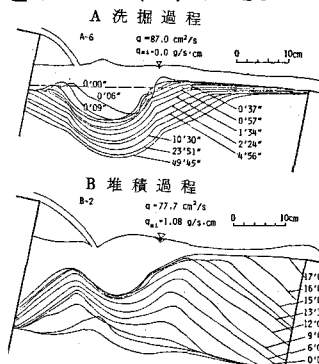
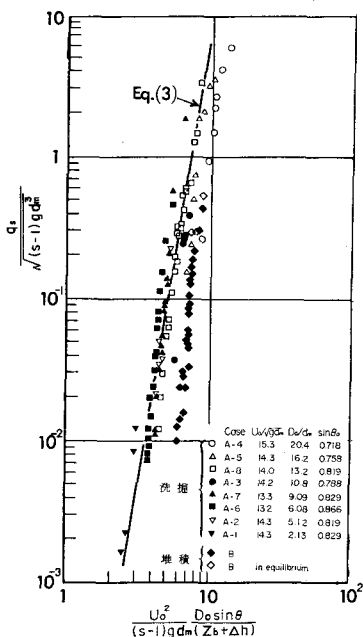


図-2 プール内の堆砂形状の変化

図-3 U_b/k と g_{so} の関係

また、堆積過程についても図-3に同様の関係が示されているが、その関係は(3)式からはずれている。これは堆砂形状が、洗堀過程と堆砂過程で若干異なっていることによるもので、堆積が進行してプールの堆砂形状が洗堀過程のそれに等しくなると(3)式に近づいている。

以上のように、プールの堆砂形状については落水水脈の厚さ D_0 、流砂量については落水水の速度 U_0 およびプール内の水深 $(Z_b + \Delta h)$ が支配的である。

4 山地河川における流砂量の予測

土砂生産地に近い山地河川において、流出土砂量は生産土砂量と河道貯留土砂量の変動量から求める必要がある。また、多くのプールが存在する山地河道は土砂の輸送および貯留の場として重要であって、単一のプールにおける流砂機構は前述したように水理条件 U_0 、 D_0 および河道条件 Z_b 、 Δh などの諸量によって説明される。しかし、実河川に上記の関係を直接適用するには、河道条件などの測定や計算の煩雑さなどの問題があって、簡易な実用式が望まれる。

プール内の河床堆砂形状は(3)式のように Z_b 、 D_0 、 d_m 、 L_s などによって与えられるが、プールの未堆砂容積 V_w (単位幅当り)もこれらの諸量によって求めることができる。図-4は、数種の流量の異なる実験結果にもとづき、 V_w と Z_b の関係を示したもので、その関係は(4)式のように表わすことができる。

$$V_w = 1.8 Z_b^2 \quad \text{----- (4)}$$

したがって、流砂量 Q_{so} は(3)および(4)式から、 Q および V_w の関数として、河道条件が与えられれば、(5)式のように従来の流砂関数に河道条件 V_w を加えた形で表現される。

$$Q_{so} = f(Q, V_w) \quad \text{----- (5)}$$

図-5は Q 、 Q_{so} および V_w の関係を観測値で示している。この図からも明らかなように、 V_w が大きくなるほど流砂量が減少し、流砂量がほぼ等しくとも V_w が大きいかほど流量が大きくなる傾向が認められる。このような V_w の変化の影響を考慮することによって、 Q の変化に対して Q_{so} の変化が小さく、また、出水ごとに流砂の傾向が異なるという図-6に示すような従来の観測結果も十分説明できる。

また、 V_w の変化量はプールからの流出土砂量 Q_{so} とプールへの流入土砂量 Q_{si} の差と考えられるので、これらの関係は(6)式のように表わすことができる。

$$dV_w/dt = (Q_{so} - Q_{si}) / (1 - \lambda) \quad \text{----- (6)}$$

山地河道のある地点の流砂量は上流のプール群によって支配されるが、河道条件を与えることによって、(5)および(6)式のくり返し計算によって数個の連続するプールにおける流砂量の時間的変動量も予測される¹⁾。

5 あとがき 以上本文では、山地河道に形成されるプールが砂礫の輸送および貯留にはたす役割について、主として単一のプール内での現象としてとらえてきた。今後は、このようなプールの内部機構を取り入れた河道システムにおいて、土砂流出の実用的な予測法について研究を継続する所存である。

最後に、本研究において渡辺弘昌氏の協力があつたことを記して謝意を表す。

参考文献 1) 芦田・高橋・沢田・渡辺：山地河道における土砂流送過程に関する研究，関西支部年報，1980.5.

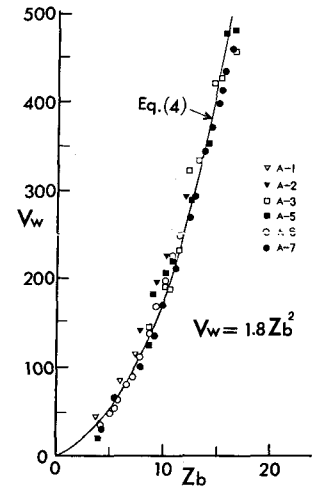


図-4 Z_b と V_w の関係

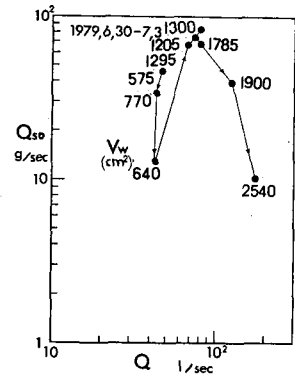


図-5 Q 、 Q_{so} および V_w の関係

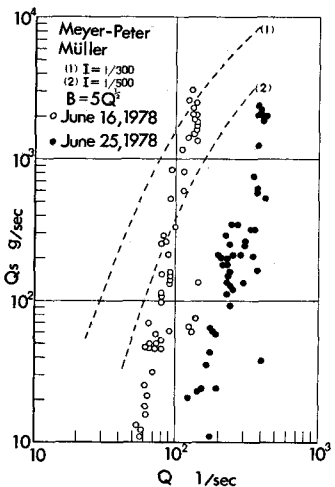


図-6 流砂観測の結果