

早稲田大学大学院 学生員 角田 学
東洋建設(株) 正員 東 能利夫
早稲田大学理工学部 正員 吉川 秀夫

1. はじめに ダムの堆砂に関する研究は従来より数多く行われているが、流れが射流領域におけるダムの堆砂は充分に明らかにされておらず、解明すべき問題が残されている。また、ダムの堆砂勾配、特に山地急流部におけるダムの堆砂勾配は、大出水のときに大きく変化し、その後の小出水で元河床勾配の $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ に安定すると言われており、平衡状態を支配する要因が存在するように思われる。ここでは、以上のことを念頭におき、急流河川におけるダムの堆砂状況を直角三角形断面水路を用いて実験的に検討した結果の概要を報告する。なお、三角形断面水路を用いたこと理由は、①山地急流部では河谷がV字谷に近い形状をしていること、②堆砂にともなう流路幅の変化が追求できること、③側壁の影響が少ないこと、④上部からの写真撮影により現象が連続的に把握できることなどの利点があるためである。

2. 実験条件 実験条件および水路断面図をそれぞれ表-1、図-1に示す。また、実験開始前に水路全区間にわたりあらかじめ厚さ $l_0(=4\text{cm})$ に砂を敷き並べておき、与えられた流量に対して輸送可能な流砂量を求めておく。その結果として、本条件のもとでは次式が得られた。

$$\left. \begin{aligned} g_0 &= 0.0128^{1.23} [\text{砂A: 相馬砂, 粒径 } d_{50} = 1.16\text{mm, 比重 } 2.06] \\ g_0 &= 0.0148^{1.34} [\text{砂B: Xサライト, 粒径 } d_{50} = 0.905\text{mm, 比重 } 1.88] \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、 g_0 、 g はそれぞれ単位幅あたりの流砂量および流量 $[\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}]$ である。上式(1)に示すように、流量に対する流砂量の割合が大であるのは、掃流力が高く、流れが射流領域にあり、河床面が平坦であることに起因していると思われる。

3. 実験結果とその考察

3-1. 砂堆段丘について

ダムを設置すると、砂がダムクレスト水平面上の近傍に発生し、段丘状を呈して下流へ進行する。砂堆段丘の肩の平面形状は、図-2に示すように、水路断面(V字谷)の特性により幾何学的に段丘両端が先行した凹型の形状になる。このとき、砂堆段丘は各時点ごとに水中安息角を満たすように砂の移動を行いながら進行しており、砂の中央集中化現象が生じていることが観察された。さらに、砂堆段丘の肩はダムに近づくにつれて、水流の水通し部への集中化現象のために凸型の平面形状に移り、以後同形になる。(このときを満砂と呼ぶことにする)

3-2. 堆砂縦断面形について

満砂後、背砂現象はさらにすすむ。堆砂縦断面形状の上昇状況を図-3に例示する。同図からわかるように、本実験のような流れが射流領域の

表-1 実験条件

水路全長	9 m
水路勾配 S_b	$1/22$
水路幅 L_1	$45\sqrt{2}$
水通し幅 L_2	$14\sqrt{2}$
	$10\sqrt{2}$
水通し高 L_3	$13\sqrt{2}$
元河床高 L_4	$7\sqrt{2}$
	$5\sqrt{2}$
流量 Q	$0 \sim 10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

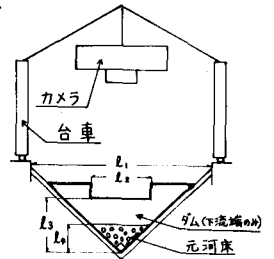


図-1 直角三角形断面水路

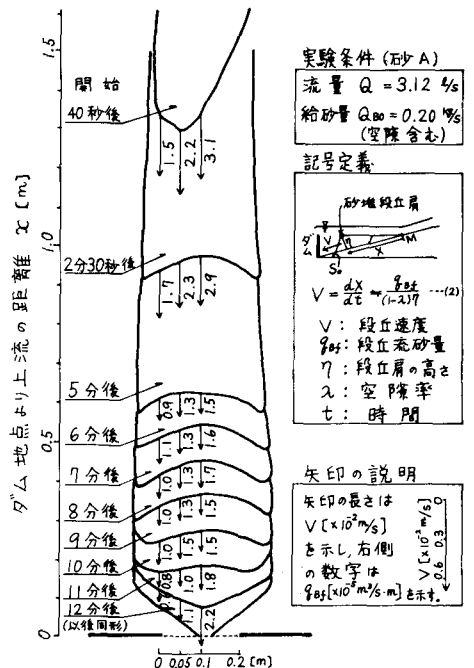


図-2 砂堆段丘肩の進行状況

場合には、堆砂縦断形状は直線に近似され、通常の二次曲線とは異なることが確認された。また、図-4は、清砂後ダム越流砂量と給砂量の比 ($Q_{8\%}/Q_{80}$) および河床勾配と元河床勾配の比 (S/S_0) が、いずれも一定値に近づく傾向にあることを示している。ここに、元河床勾配は堆砂の平衡状態を示す重要な支配要因の一つであることがわかる。

3-3. 平衡時における堆砂縦断形状

ここでは、断面の変化を考えた平衡時における堆砂縦断形状を求める。

・水流の運動の式 (記号は図-5参照)

$$-(S_0 - \frac{d\eta}{dx}) - \frac{d\eta}{dx} - \frac{dQ^2}{dx} \frac{1}{2g} + \frac{T_0}{\rho g R} = 0 \quad (3)$$

T_0 : 掃流力, A : 断面積

・流砂量式 $q_b/U_* d = K \cdot \psi^m \quad (4)$

$$\psi = \frac{U_*^3}{5g d}, U_* = \sqrt{\frac{T_0}{\rho}}, S' = \frac{\sigma - \rho}{\rho}$$

ここに、 K, m は定数であり、 $U_* \gg U_{*c}$ のとき、Kalinske-Brown式では $m=2$ 、藤原橋の式では $m=1.8$ ($\psi_{1/2}=1$)、Meyer-Peter-Müllerの式、Wilson式では $m=1.0$ である。

・河床の平衡条件式 (動的に安定とする)

$$q_b \cdot B = \text{Constant} \quad (5)$$

・流路幅の条件 (直線的に変化する仮定)

$$B/B_0 = B_1/B_0 - (B_1/B_0 - 1) \cdot x/L \cdot x/z_1 \quad (6)$$

・断面形の条件 (直角三角形断面とする)

$$B = 2z \quad (7)$$

以上(3)~(7)を x について整理し、 $m=1.8$ とすると、平衡時における堆砂縦断形状を与える式を得る。

$$\frac{x}{z_1} = \int_{\frac{z}{z_1}}^1 \frac{0.67 \times \frac{q_b}{z_1} \times (\frac{z}{z_1})^{3.3} [1 - Fr^2 (\frac{z}{z_0})^{0.012}] - 1}{\frac{n^2 Q^2}{2 \cdot z_1 \cdot g^{1/2}} \times (\frac{z}{z_1})^{2.012} - S_0} d(\frac{z}{z_1}) \quad (8)$$

ここに、 $Fr^2 = Q^2 / g \cdot (2z_1)^3 \cdot n^{1.3}$, n : マニングの粗度係数である。(8)式を用いた一例を図-5に示す。

同図より、run1の実験条件の場合、27分後堆砂縦断形状が動的に平衡状態に達しており、そのときの河床勾配は、図-4を参照すると、元河床勾配の約 $\frac{2}{3}$ を示していることがわかる。

4. 結語

本実験によると、掃流力が大きく、流れが射流領域でのダム堆砂縦断形状は直線を呈すること、および元河床勾配を重要な支配要因とすることが確認された。なお、本研究は文部省科研費総合Aの援助を受けた。また、泰山港務(財)建設(株)・福森清二両氏の協力を得た。〈参考文献〉1)村野ら:土木技術資料6-5, 1964, 2)石川:土木技術資料22-3, 1980, 3)土屋:京大防災研年報5-A, 1962

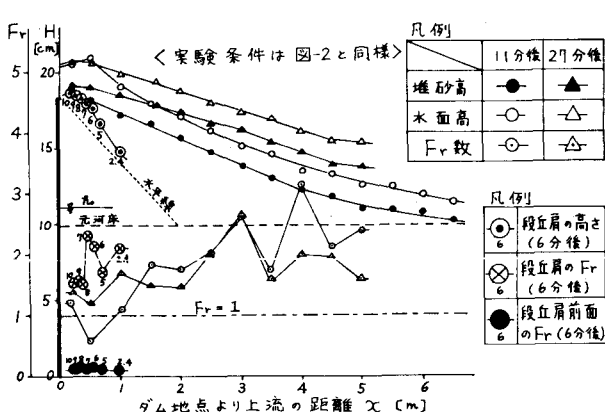


図-3 堆砂および水位縦断形状とFr数との関係

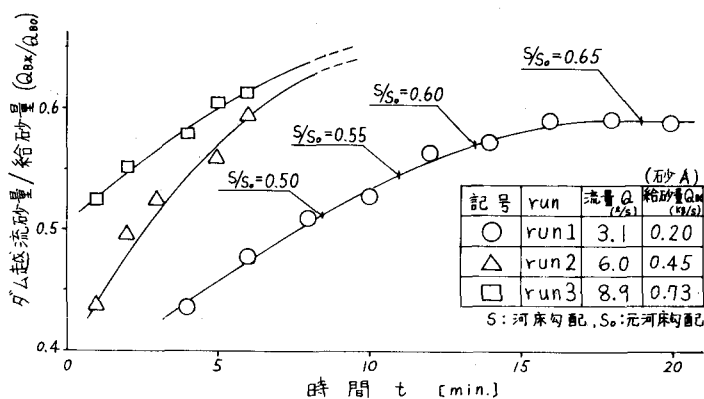


図-4 ダム越流砂量と河床勾配の時間的变化

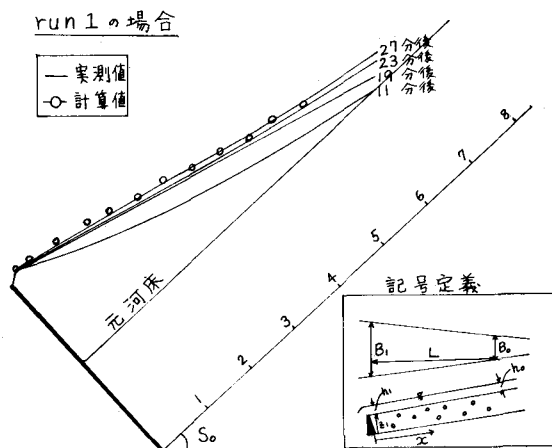


図-5 堆砂縦断形状の時間的变化