

II-124 ダム堆砂のサイフォン式排除法に関する基礎的研究

岐阜大学 ○正員 田中 祐一郎

1. はしがき：ダムの堆砂は有効貯水量の減少だけでなく、下流部の河床低下や海岸侵食にまで顕著な影響が現れるようになり、その対策が急務とされている。従来 i) 砂防ダム等による流入土砂の減少、ii) 貯水池内での土砂排除、に分け対策が取られてきた。特にii) はイ) 背水終端付近に設置した貯砂ダムでの粗砂の陸上掘削、ロ) 湖内に流入した細砂の排除の二種の方法があり、美和ダム等で実行されている。ロ) としてはa) 排砂門による点排砂、b) 渦動管による線排砂、c) 浚渫船による排砂、が考えられている。しかしc) 以外は効果が少ないため実施された例は殆ど無い。Fig1は吉良¹⁾によるb)の方法での実験結果であるが、時間の経過と共に急激に排砂濃度は減少し、持続的に排砂できないことが判る。こうした現状から、本研究はサイフォンによる排砂の可能性を検討しようとするもので、船で吸い込み口を湖内移動させることにより、持続的な排砂が期待し得る。

2. サイフォンによる排砂実験：落差Hを3種、サイフォン管径Dを4種変化させた12種の実験を行った。予備実験として清水のみを流し、流量Qを測定し、流速V_w、損失水頭h_{lw}をあらかじめ求めた。これに3種の粒径の珪砂を流し、計36ケースの排砂実験を行った。通水時間、水と砂との体積、砂の乾燥重量を測定し、砂の密度ρ_s=2.65として砂の排出濃度C（体積濃度）および流量Q_m、流速V_mを算出した。

3. 実験結果：パイプによる土砂輸送についての実験結果よりDurand²⁾は次式を提案し、その有用性は広く認められている。

$$\phi = \frac{i_m - i_w}{C i_m} \text{ ----- (1) } \quad \phi = 175 \left(\frac{V_m \sqrt{C_D}}{g D} \right)^{-1.5} \text{ ----- (2)}$$

ここにi_w：清水時の動水勾配、i_m：砂混入時の動水勾配、g：重力加速度、C_D：沈降速度による粒子の抵抗係数である。このDurand式と実験値との適合性を調べたものがFig2である。実験値はかなり(2)式からはずれている。Durandの実験は浚渫船での性能を調べるため水平におかれた管内の土砂輸送を対象としており、サイフォンのように鉛直管が大部分である場合は粒子の挙動が重力の影響によりかなり異なることが考えられる。砂粒子を混入すると損失が増大し、その結果流速V_mは清水のV_wより減少する。砂粒子と水とを分離した流れのモデルを考え、V_mは次式となる。

$$V_m = V_w(1-C) - CW_s = V_w - C(V_w + W_s) \text{ ----- (3)}$$

ここに、W_sは砂粒子の沈降速度である。Fig3に(3)式による計算値と実験値との比較を示す。その適合性はかなり良いことが判る。

4. 吸い込み口の洗掘孔に関する考察：サイフォン内の粒子は管内はほぼ均一の濃度で等速運動をしているものと考えられる。

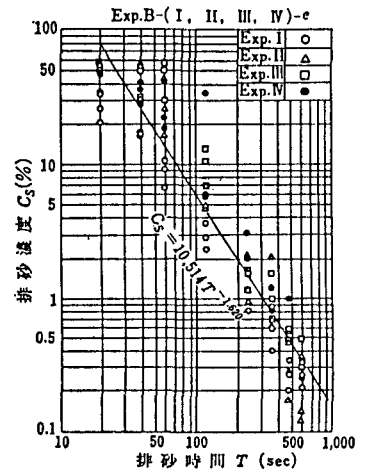


Fig1 渦動管実験でのCとTの関係

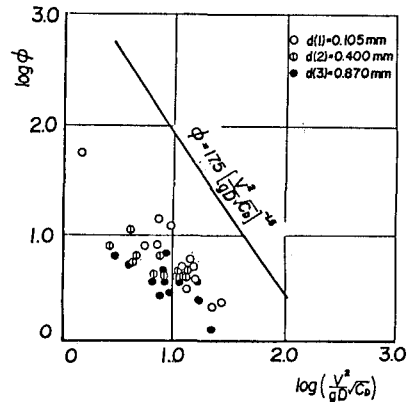
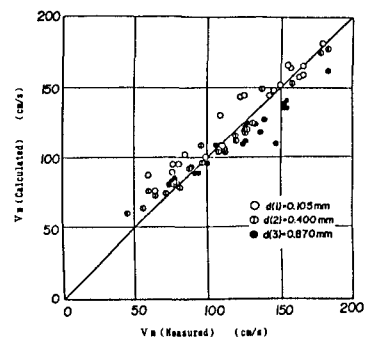


Fig2 実験値とDurandの式

Fig3 V_mの実測値と計算値の比較

実験中の観察によると、吸い込み口周辺に円錐状の局所的な洗掘孔が形成される。この洗掘孔の形成機構について以下のような簡単な考察を行う。吸い込み口付近の流れはFig4に示すように、3次元吸い込みポテンシャル流と考えると半径方向の流速 U_r は、 $U_r = D^2 V_m / 4r^2$ --(4)

となる。Fig5に示すように、粒子の動き始める点Aでは、

$$\text{流れ } U_r \text{ による抵抗力: } F_d = \pi C_d d^2 U_r^2 / 8 \text{ -----(5)}$$

$$\text{重力による抵抗力: } R = \pi d^3 (\rho_s - \rho) g \mu \text{ -----(6)}$$

とが釣り合っている。上式における μ は粒子の静止摩擦係数であって、簡単のため $\mu \approx 1$ と仮定する。A点の座標を $r=r_0$ とし $s=(\rho_s/\rho)-1$ とすると、上の3式より r_0 は次のようになる。

$$r_0 = D (C_d V_m^2 / 12 s g d)^{1/4} \text{ -----(7)}$$

単位時間、単位巾当たりの流砂量を(8)式と仮定し、流砂の連続式(9)に代入すると、洗掘孔の形状は近似的に(10)式で与えられる。

$$q_s = \alpha U_r^\beta \text{ ----(8)} \quad \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_s}{\partial r} = 0 \text{ -----(9)}$$

$$z = 2\alpha\beta (D^2 V_m / 4)^\beta r^{-(2\beta+1)} t / (1-\lambda) \text{ -----(10)}$$

上式は $r \rightarrow \infty$ で $z=0$ となるが、 $r=r_0$ で $z=0$ となるように基準面の補正を行うと次のように書ける。

$$z = 2\alpha\beta (D^2 V_m / 4)^\beta t \{ r^{-(2\beta+1)} - r_0^{-(2\beta+1)} \} / (1-\lambda) \text{ (11)}$$

となる。A点にあった砂粒子がB点に至る時間を t_L とすると、 t_L 時間内にパイプ中心での洗掘深さ z_c は次のようになる。

$$z_c = \frac{2\alpha\beta}{1-\lambda} \left(\frac{D^2 V_m}{4} \right)^\beta t_L \left\{ \left(\frac{D}{2} \right)^{-(2\beta+1)} - r_0^{-(2\beta+1)} \right\} \text{ (12)}$$

流砂量を(8)式のようにおいたから、単位面積当たりの運動している粒子数を n 、その運動速度を V_s とすると、

$$V_s \propto \frac{\alpha}{n d^3} U_r^\beta = \frac{\alpha}{n d^3} \left(\frac{D^2 V_m}{4} \right)^\beta r^{-2\beta} \text{ -----(13)}$$

と表せる。AB間を近似的に直線と仮定すると t_L は、

$$t_L = (z_c^2 + r_0^2)^{1/2} / V_s \text{ -----(14)}$$

Fig5に示すように、洗掘孔を $0 \leq r \leq D/2$ の部分V1と $D/2 \leq r \leq r_0$ の部分V2に分けると、V1, V2は、

$$V1 = \pi z_c (D/2)^2 \text{ ----(15)} \quad V2 = \pi \int_0^{z_c} r^2 dz \text{ -----(16)}$$

と求められるから、全体積Vは、 $V = V1 + V2$ -----(17)

となる。 t_L 時間内にサイフォンに吸引される混合体の体積 V_m は、Fig6 濃度の計算値と実験値の比較

$$V_m = Q t_L = \pi t_L (D^2 V_m / 4) \text{ --(18)} \quad \text{土砂の空隙率を } \lambda \text{ とすると、平均濃度は次のように計算できる。}$$

$C_k = (1-\lambda) V / V_m$ ----(19) Fig6は(19)式による計算値と実験値の比較を示したものである。 α, β の値は実験に合うように決定するが、多くの仮定を用いており、その適合性は十分でない。今後は洗掘孔付近の砂の挙動を明らかにする実験を予定している。

5. むすび：以上サイフォンを利用したダムの排砂の可能性について若干の検討を行った。予備放流の期間を利用してこうした排砂の可能性は十分存在すると思われるが、まだ多くの問題を残している。最後にご協力頂いた本学の寺田智秋君に謝意を表す。参考文献 1)吉良八郎、ダムの堆砂とその防除、森北出版 1982, 2)Durand,R, Basic Relation of the Transportation of Soil in Pipe, Proc. I.A.H.A. 1953

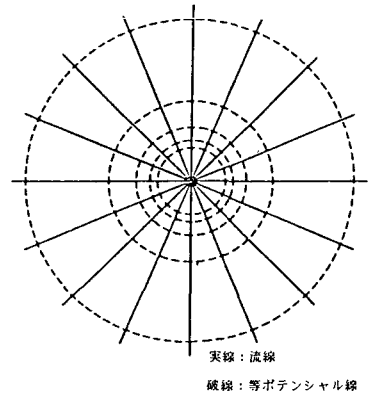


Fig4 3次元吸い込み

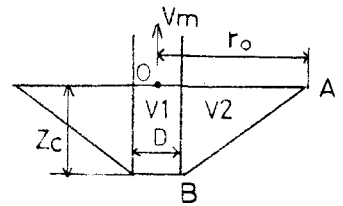


Fig5 洗掘孔のモデル

