

山岳河川を対象とした移動床実験による排砂門の効果の実務的検討

中部電力(株) 正会員○後藤孝臣
同 正会員 依田 眞

1.はじめに

山岳河川に存在する中小水力発電所の堰堤は、急峻な地形と多量の降雨の影響により、ほぼ満砂に近い状態でその運用が行われているのが現状である。このため、堰堤上流部の水位上昇や堰堤下流部の洗掘などの問題を発生させるため、堰堤排砂門により定期的、恒常的な排砂を行い対処している。本研究では、低堰堤をもつ水力発電所をケーススタディにとり、固定床、移動床の模型実験を通じて排砂門の効果の検討を行った。さらにその模型実験を通じて、河床変動計算を行い、山岳河川における河床変動計算の実用上の問題点について考察した。

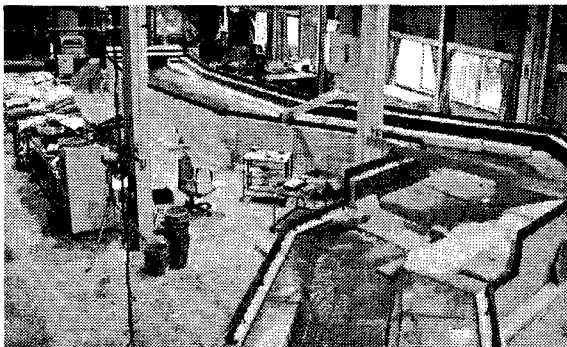


図1 模型概要図

2. 固定床模型実験

現河床の粗度をどのように評価するかは非常に困難な問題である。ここでは、現地河床砂礫について粒度調査を実施し、平均粒径 $d_m=25.2\text{mm}$ を得た。これを、フルード則より求められる模型の水深等から計算される無次元掃流力 (τ_*) が、現地無次元量と一致する様に、模型の粒径 (一樣粒径) を決定した。図1に模型の概要を示す。模型縮尺は 1/30 で作成し、河床部分は不飽和ポリエステル樹脂で固め固定床を作成した。なお、平均河床勾配は約 1/80.0 と急勾配であり、そのうち既設の堰堤より上流 400m 程度を模型として再現した。

表1 固定床実験時の通水諸量

Q (流量)	R (径深)	Ie (勾配)	u_* (摩擦速度)	τ_* (掃流力)	F (底面粗度)
36.6m ³ /s	0.6325	0.0136	0.2900	0.2064	0.1797
172.5m ³ /s	1.6109	0.0095	0.3869	0.3673	0.2389

表1に固定床実験時の通水状況の一覧表を示す。

3. 移動床模型実験

3.1 流砂量の検討

上記の固定床実験により、表1の無次元量を得たため、次に移動床実験を行った。まず、現地の洪水の状況を再現するために、給砂濃度の検討を行った。

一般に、現場を再現した移動床実験を行う場合、適切な給砂量を与えなければ、評価したい地点の河床部分を再現することは不可能となる。この現地では、1年の生起確立洪水流量によって現河床形態が形成されると仮定し、その時に平衡流砂量式が成立すると想定した。そこで、流砂量式は辻本²⁾の文献より以下の式を用いた。

流砂量式

$$\frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho-1)gd^3}} = A\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)^m \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right)^n \dots\dots(1)$$

ここに τ_* : 無次元掃流力, u_* : 摩擦速度, τ_{*c} : 限界掃流力, θ : 河床勾配, ϕ : 礫の内部摩擦角,

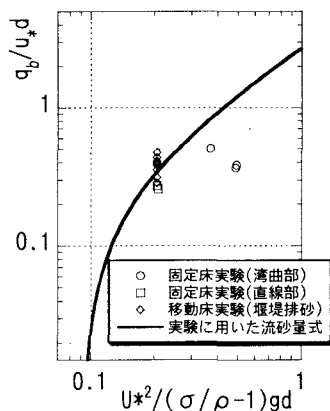


図2 無次元掃流力と流砂量の関係

q_B : 掃流砂量, u_{*c} : 限界摩擦速度, g : 重力加速度, d : 粒径である。 限界掃流力は, Shields 曲線より $\tau_{*c}=0.05$ を与え, (1)式において $m=n=1$ とし, 基本的に芦田・道上式を補正するような形で給砂濃度の検討を実施した。図2は, 無次元掃流力と通過土砂量の関係図である。ここでは, 無次元掃流力(τ_*)は上流側部分で, 通過土砂量(q_B)は, 土砂捕獲の都合により堰堤部分で評価した。同一流量で, 給砂濃度を3種類変え, 堰堤排砂量, 実験後の河床勾配などから考察した結果, (1)式において, $A=18.75$ とした場合が, この模型実験における最適な流砂量式と判断した。

3.2 排砂門の大きさの検討

排砂門の大きさがどの程度上流側河床に影響するか, また堰堤に堆砂した土砂をどの程度下流に排出できるか, 堰堤 図3 排砂門($H=3m, W=8m$)設置後の河床横断面形状模型に切り欠きを入れ検討を行った。図3は, 排砂砂門の高さ3m 幅8mを想定したときの河床横断面形状である。これは, 堰堤付近の湾曲部より少し上流の地点である。この結果から, 排砂門上流側付近の河床形態は, 上流の穏やかな湾曲部の影響を受け流路が右岸側に固定されるため, 排砂門の大きさを変更しても河床低下する範囲は限定されている。

4. 河床変動解析による排砂効果の検討

以上, 模型実験により排砂門の大きさや現地の流況等を把握してきた。次に, これらから得られたデータを基に1次元河床変動計算を実施しその効果を再確認した。なお, ここで用いる基礎式は以下の通りである。

流れの連続式と運動方程式

流砂の連続式

$$\frac{\partial}{\partial x}(Bhu) = 0, \quad \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{u^2}{gR} = 0, \quad \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x}(q_n \cdot B) = 0 \quad \dots\dots (2)$$

ここに h : 水深, u : 平均流速, z : 河床高, B : 河川幅, λ : 空隙率である。

また, 固定床実験で得られた摩擦損失係数 f を与え, また移動床実験により得られた河床幅(水面幅)を適用した。図4に解析結果による河床縦断と模型実験による河床縦断とを重ね合わせた図を示す。概ねその傾向は類似しており, 河床変動計算でも河川の概略的な排砂, 排砂門の効果などを検討するには実用上問題ないと思われる。しかし, 局所的な排砂効果の検討や, 湾曲部を評価した河床形状の検討などは, この様に1次元の解析結果から考察することは不可能であり, ここで得られた実験結果と河床変動の2次元解析を用いて排砂効果の検討を行うことが必要である。

5. まとめ

本研究では, 中部電力(株)が管轄する中小の水力発電所堰堤を取り上げ, 固定床・移動床の実験を行い, 排砂門の効果の検討を行ってきた。さらに解析を用いて実験結果との比較を行った。その結果, 模型実験は排砂門の大きさにより排砂効果の検討を考察するとともに, 1次元の河床変動計算でも概略的には考察可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 芦田和男, 大同淳之, 高橋保, 水山高久: 急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究, 京大防災研究所年報第16号B, 1973.4, pp.1-14.
- 2) 辻本哲郎, 細川送男: 急勾配水路における礫の限界掃流力と流砂量, 土木学会論文集, 第411号/II-12, 1989. 11, pp.127-134.
- 3) 高須修二, 太田達雄: 貯水池の排砂に関する河床変動計算, 土木技術資料 31-12(1989), pp.25-30.

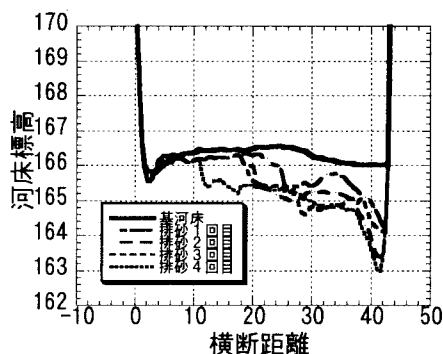


図3 排砂門($H=3m, W=8m$)設置後の河床横断面形状

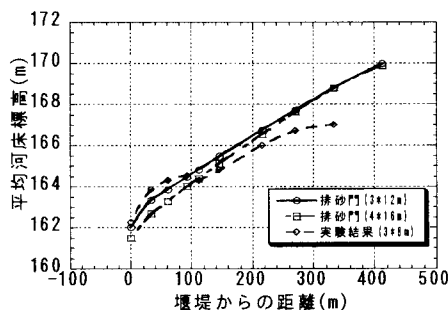


図4 排砂門の大きさの違いによる河床縦断形状