

神戸大学工学部

正会員

道奥康治

神戸大学大学院

学生会員

古澤孝明

神戸大学大学院

学生会員

○羽根田正則

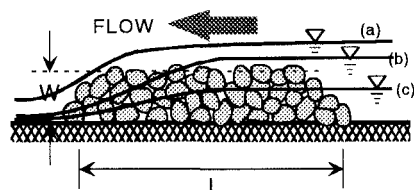
1. はじめに

従来の不透過型の堰やダムが、河川の生態系へ与える影響について議論が盛んである。本研究では図-1のような粗石で構築された「捨石堰」による堰上げ機能について検討する。捨石堰は流水疎通性を確保しながら、貯留効果も付するので、適切な水理設計を行えば堰機能を発揮できると思われる。透過構造であるため水質・生態系の縦断方向移動が可能であり、再曝気促進によって河川の自浄効果を向上させるなど、不透過構造の従来型堰に比べ環境機能が低いと思われる。本報告では捨石堰の越流量・疎通能や堰上げ効果などの水理特性を検討する。

2. 越流状態の分類

捨石堰における流れの分類は図-1のように表すことができる。

(a)堰の全区間で越流する「越流型」、(c)堰体内のみを流れる「非越流型」、(b)堰上流側では越流する流れであるが、堰区間途中で水面が潜り込む「遷移型」の三種類である。(a)と(b)は粗面開水路流と被圧多孔質流からなる二層流である。これらは、下流側が常流と射流の場合でさらに分類できる。本研究では、多孔質体の疎通能と抵抗特性を明らかにするため、(c)の非越流型の水理特性を検討する。



(a) 越流型, (b) 遷移型, (c) 非越流型

図-1 流れの分類

3. 実験装置と方法

堰の材料には平均粒径： $d_m = 1.9, 3.5\text{cm}$ の二種類の礫石を用いた。長さ： $L = 30, 75\text{cm}$ の二種類、高さ： $W = 15\text{cm}$ で開水路に直方体となるように積み上げた。様々な水路床勾配 i において堰下流側の水深を堰調節し、種々の Δh に対して、上流側水深 h_0 が一定となるように流量を調整しながら、水面が堰天端を超えないような条件で実験を行った。

4. 非越流型流れの水面形、越流量の解析

図-2からわかるように0-I、II-III区間はそれぞれ急縮流、急拡流となっており運動量保存則を用いて二断面間の水理量を関連づける。I-II区間については、乱流多孔質流であるのでWard¹⁾による管路の多孔質流の層流・乱流抵抗則を用いて水面形の一次元解析を行う。上記の抵抗側を用いると、I-II区間のエネルギー保存則は以下のようになる。

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{U^2}{2g} \right) + \frac{dh}{dx} - i + \frac{\nu}{gK} U_s + \frac{c}{g\sqrt{K}} U_s^2 = 0 \quad (1)$$

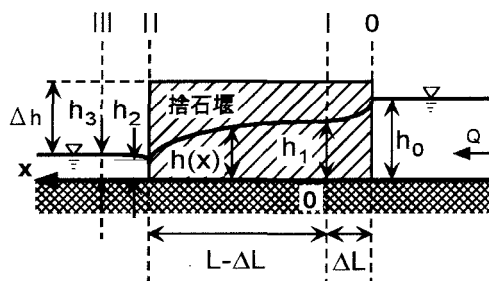


図-2 非越流型流れにおける諸量の定義

ここで、 U :実流速、 U_s :見かけの流速、 h :水深、 i :水路床勾配、 ν :動粘性係数である。係数 c は Arbhahirama²⁾らによって $c = 100 \left(d_m / \sqrt{K/\lambda} \right)^{-3/2}$ と与えられる。 λ は間隙率である。 $\sqrt{K}$ は開水路の径深に相当する長さスケ

ールである．ここでは，清水³⁾ら種々の実験結果を総合して $\sqrt{K} = 0.028d_m$ とする．式(1)を境界条件 $[x=0 \text{ で } h=h_1]$ の下に積分すれば，水面形の理論解が $\phi(F_1, \ell, \gamma_2) = 0$ のような関数形で得られる．ここで， F_1 ：断面 I における Froude 数， $\ell = (L - \Delta L)/h_1$ ：無次元堰長さ， $\gamma_2 = h_2/h_1$ ：水深比である．下流側が常流である場合，I-II 区間の水面形は下流側の背水の影響を受けるので，流量は h_0 だけでなく h_2 にも依存する．0-I 間と II-III 間の水深比， $\gamma_1 \equiv h_1/h_0$ と $\gamma_3 \equiv h_3/h_2$ は断面 0 および II における Froude 数 (F_0, F_2) の関数として，運動量保存則により与えられる．これらと上記の水面形の解を連立させれば， $F_0 = \phi(h_0/L, \Delta h/h_0)$ のような関数形が得られ，無次元流量 F_0 が無次元水深 (h_0/L) と無次元水位差 ($\Delta h/h_0$) の関数として算定される．

5. 理論と実験との比較

図-3,4,5 に各パラメータの変化に伴う ($F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0$) の変化を示す．図-3,4,5 より水路床勾配 i ，Reynolds 数 Re の影響は小さく，無次元粒径 d_m/h_0 の影響が大きいことが確認できる．そこで，($F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0$) の理論値と実験値の比較を行う際 (i, Re) については平均値をとってこれらの値を固定した．また， d_m/h_0 については ($F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0$) に及ぼす影響を無視することができないので， d_m/h_0 ごとに場合分けを行った．

図-6 に ($F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0$) の理論値と実験値の比較を示す．図より分かるように理論値と実験値が同様の傾向を示しており，本理論において仮定した理論式の妥当性が確認された．

6. むすび

上記の抵抗側を用いて堤体天端より水面が高い越流型や遷移型の場合にも実験・解析を行い，種々の流況と広範な水理条件に対する水面形・越流量の定式化を実施する予定である．

参考文献

- 1) Ward, J.C.: J. Hydr. Eng., ASCE, Vol.90, HY5, pp.1-12, 1964
- 2) Arbhahirama, A. et al.: J. Hydr. Eng., ASCE, Vol.99, Hy6, pp.901-911, 1973
- 3) 清水義彦：京大学位論文，1992 年

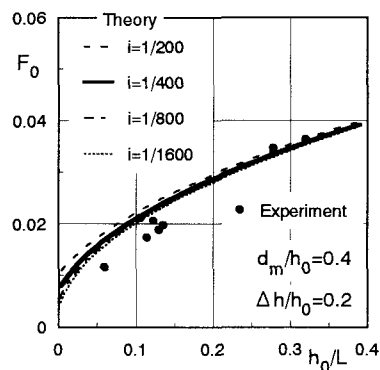


図-3 水路床勾配 i の影響

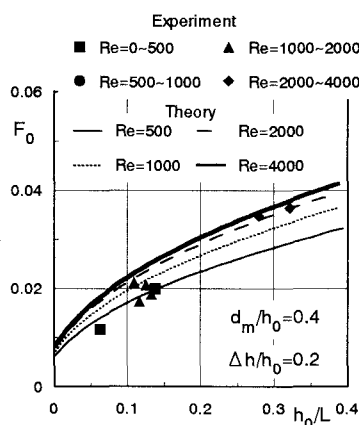


図-4 Reynolds 数 Re の影響

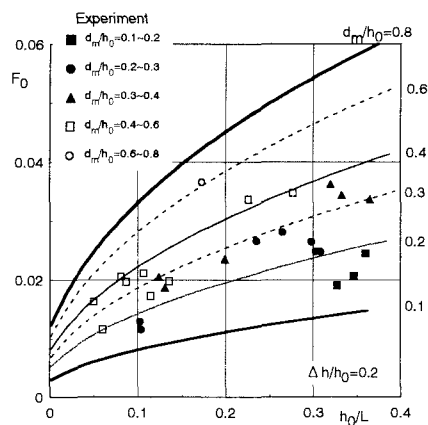


図-5 無次元粒径 d_m/h_0 の影響

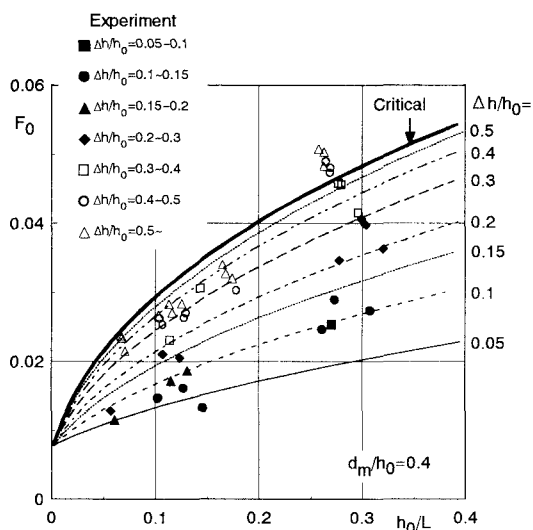


図-6 ($F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0$) の関係