

## 捨石堰の越流特性

神戸大学大学院 学生員 ○羽根田正則  
 神戸大学工学部 正会員 道奥康治  
 神戸大学大学院 学生員 古澤孝明

**1. はじめに：**近年、環境に対する人々の認識と要請は、幅広く、急速に高まってきている。河川においても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 のような自然石で構築された「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、貯留効果も有するので、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、不透過構造である従来型の堰に比べると高い環境機能を期待できる。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：**捨石堰を越える流れの分類は、堰全区間で堰体天端より自由水面が高い「完全越流」、堰上流側では堰体天端より自由水面が高いが、堰区間途中で水面が堰体内に潜り込む「不完全越流」、堰体内のみを流れる「多孔質流」の三種類である。これらは、さらに下流側が常流と射流の場合に分類される。先に行った検討<sup>1)</sup>では下流から堰上げがない前者(C-flow)のみを対象にして多孔質流の疎通能と抵抗特性を明らかにしたが本報では下流側が常流になるケース(S-flow)も含めて水理特性を総合的に評価する。

**3. 実験装置と方法：**開水路に平均粒径  $d_m=1.9, 3.5\text{cm}$  の二種類の自然石をそれぞれ長さ  $L=30, 75\text{cm}$  にわたって直方体に積み上げて捨石堰を再現した。様々な水路床勾配  $i$  において、上流側水深  $h_0$  と上下流の水深差  $\Delta h$  を種々変化させるため、流量と下流側の可動堰を変化させた。そして、流量と上流側、下流側の水深を計測し、それらの関係を求めた。

**4. 水面形と流量の解析：**図-1 に示すように、0-I 区間は急縮流であるので運動量保存則より 0-I 区間の水深比  $\gamma_1 \equiv h_1/h_0$  は断面 0 における Froude 数  $F_0$  の関数として与えられる。I-II 区間については、乱流多孔質流なので Ward<sup>2)</sup> による管路の多孔質流の抵抗則を用いて一次元のエネルギー保存則を求める。上記のエネルギー保存則を無次元化し、断面 I における境界条件を与えて積分することにより水面形の理論解が  $\phi(F_1, \ell, \gamma_2) = 0$  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。下流側が常流の場合、II-III 区間は急拡流となるので 0-I 区間と同様に運動量保存則より II-III 区間の水深比  $\gamma_3 \equiv h_3/h_2$  は断面 II における Froude 数  $F_2$  の関数として与えられる。各区間において求めた関数形を連立させれば、 $F_0 = \phi(h_0/L, \Delta h/h_0)$  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. 理論と実験の比較：**図-2,3,4 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-2,3 より水路床勾配  $i$  の影響は無視でき、Reynolds 数  $Re$  の影響についても本実験の範囲においては小さいことが確認され、図-4 より無次元粒径  $d_m/h_0$  の影響は大きいことが確認で

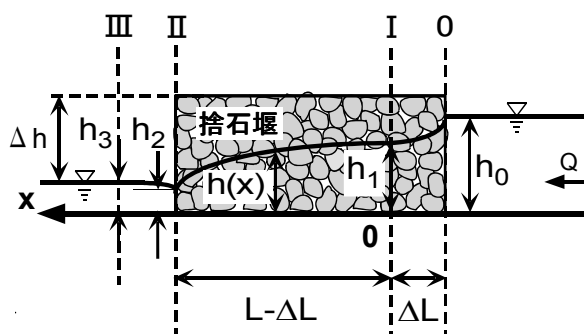


図-1 多孔質流れにおける諸量の定義

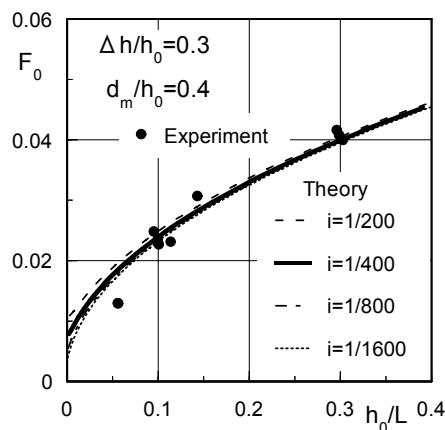


図-2 水路床勾配  $i$  の影響

キーワード：捨石堰、乱流多孔質流、水面形解析、堰流量

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 Phone: (078)803-6056, FAX: (078)803-6069

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、 $(i, Re)$ については実験条件の範囲で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-5 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、 $\Delta h/h_0$ がある程度大きくなると堰上げの影響をあまり受けなくなり、C-flow に近づいていくことが実験と理論から確認された。また、理論値と実験値が同様の傾向を示しており、本理論の妥当性が確認された。

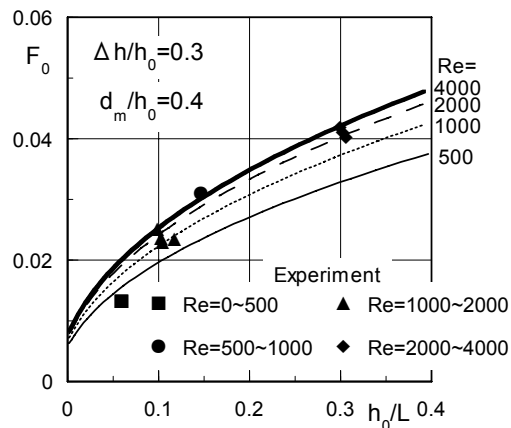


図-3 Reynolds 数  $Re$  の影響

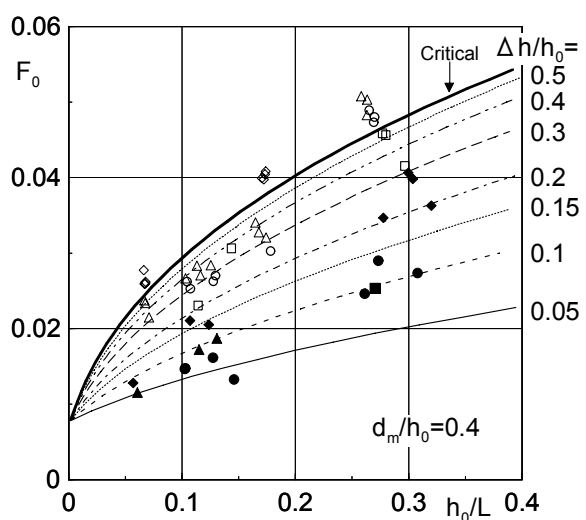
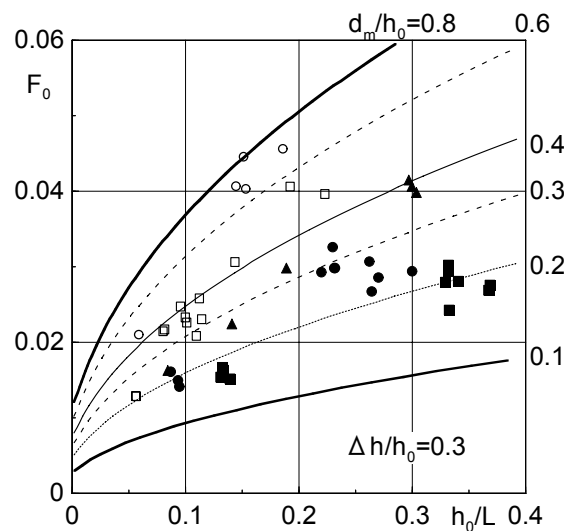
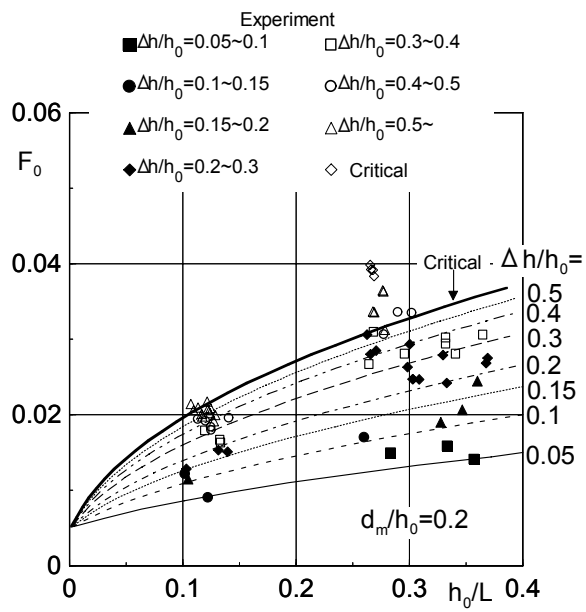
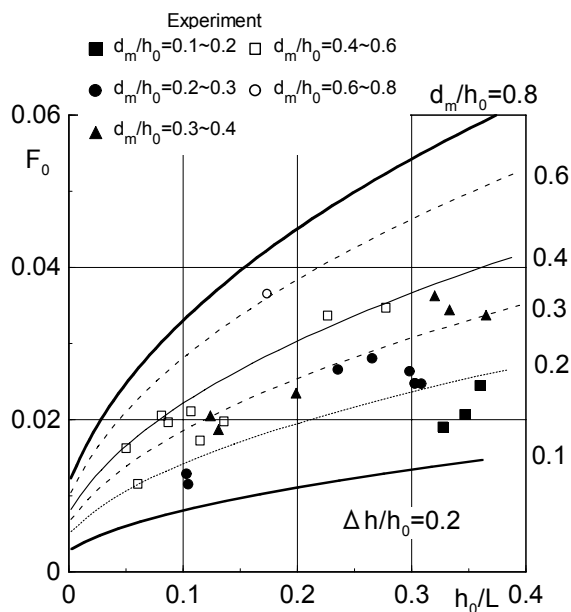


図-4 無次元粒径  $d_m/h_0$  の影響

図-5  $(F_0 \sim h_0/L, \Delta h/h_0)$  の関係

**6. むすび：**多孔質流においてより広範囲のパラメータで実験・解析を行うとともに、完全越流，不完全越流の場合についても実験・解析を行い，種々の流況に対する水面形・越流量の定式化を実施する予定である。

**参考文献：**

- 1) 道奥康治, 福岡達信, 古澤孝明: 捨石堰における通過流量特性, 水工学論文集, 第 45 巻, pp391~396, 2001.
- 2) Ward, J.C.: J. Hydr. Eng., ASCE, Vol. 90, HY5, pp. 1-12, 1964.