

捨石堰の越流・透過流量に関する実験と解析

神戸大学大学院	学生員	○南條雅志
神戸大学工学部	正会員	道奥康治
㈱阪神電気鉄道	正会員	羽根田正則
岡山大学環境理工学部	正会員	前野詩朗

1.はじめに

不透過型の河川構造物が河川の縦断方向のつながりを分断するものとして非難を受けることが多くなっている中、本研究では、捨石を用いた透過性構造物である「捨石堰」について、水理設計を行うために検討してきた。道奥ら¹⁾は、捨石堰体内のみを流れる非越流型の流れについて、水位と流量の関係を定式化し、水深の指数関数に近似した流量算定式を提案している。本報告では、堰全区間において堰を越流する越流型流れについて、越流・通過流量の算定、流量に影響を及ぼす水理量について実験と理論解析より検証する。

2.水理実験

岡山大学環境理工学部に設置された長さ 5.0m×高さ 0.6m×幅 0.4m で勾配 $i=1/400$ において、平均粒径： $d_m=1.9, 4.1\text{cm}$ の二種類の石をそれぞれ長さ： $L=30, 60\text{cm}$ 、高さ： $W=10, 20\text{cm}$ の直方体に開水路に積み上げ、水路床勾配 $i=1/400$ のもとに実験を行った。自由水面が完全に堰天端を越えるように流量を調整しながら、水深、流速を計測した。流速はピトー管によって堰上中央断面の流速を計測し、水深はポイントゲージと画像から計測した。

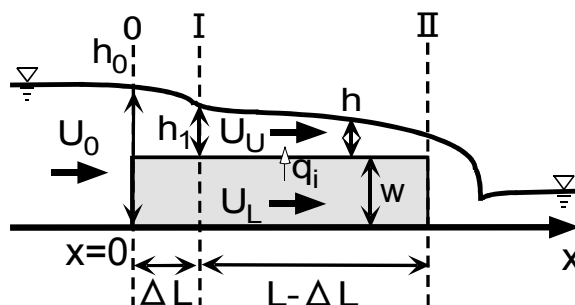


図-1 越流型流れの模式図

3. 理論解析

図-1 に越流型流れの模式図を示す。

(1) 急変流区間 (0-I 区間)：0-I 区間は、断面の一部が急縮となる段上りの急変流と考え、運動量保存則から F_0 と γ_1 の関係が得られる。ここで、 F_0 ：0断面における無次元流量、 γ_1 ：0断面とI断面の水深比である。また、無次元0-I区間長 $\Delta L/h_0$ については、解析的に求めることは困難であるため、関連水理量に関する次元解析を行い、経験式により求める。

(2) 堰区間 (I-II 区間)：I-II 区間に関しては、堰上部を粗度を持つ開水路流と堰体内を多孔質流との二層の流れに分けて考え、堰天端においての質量・運動量の輸送・交換を考慮した運動方程式を上下層それぞれについて立てる。これらと連続式を、無次元化し連立させて解くことで I-II 区間の水面形の理論解が求まる。

(3) 流量の解析：堰下流端において支配断面が現れ、微分方程式の特異点条件が適用される。無次元流量 F_0 は、堰下流端においての水面形の解の特異点条件から決定される。解析の流れを図-2 に示す。

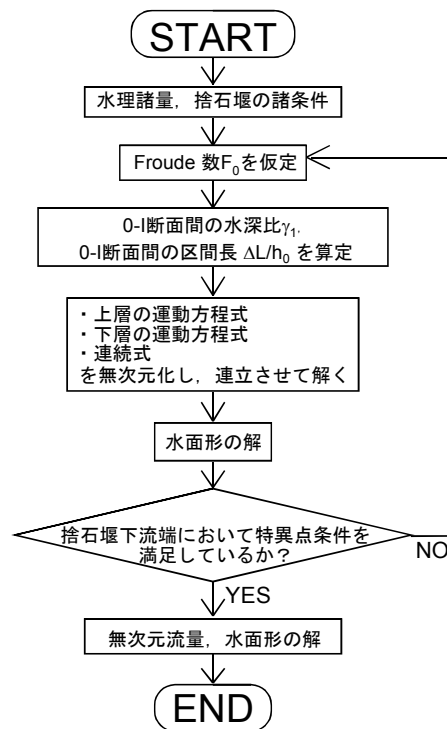


図-2 流量解析の流れ

キーワード：捨石堰、堰越流、流量算定

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

4. 流量の理論解

無次元流量 F_0 の理論解と実験値を比較し、本理論の妥当性を以下に検証する。

- (1) 無次元流量 F_0 と無次元堰高さ $w(=W/h_0)$ との関係：図-3 に無次元流量 F_0 と無次元堰高さ w との関係を示す。無次元堰高さ w の増加に伴い無次元流量 F_0 は減少する。理論値は実験値の傾向を良好に再現している。
- (2) 無次元流量 F_0 と Reynolds 数 Re との関係：図-4 に無次元流量 F_0 と Reynolds 数 Re との関係を示す。 Re がおよそ 10,000~20,000 以上の範囲では無次元流量 F_0 におよぼす Reynolds 数の影響はほとんどなくなり、堰体内の抵抗は主に乱流抵抗成分からなることが確認される。
- (3) 無次元流量 F_0 と無次元粒径 d_m/h_0 との関係：図-5 に無次元流量 F_0 と無次元粒径 d_m/h_0 との関係を示す。無次元粒径 d_m/h_0 に伴い無次元流量 F_0 が増加している。これは、堰体の間隙が粒径の増加に伴い、間隙の大きさが大きくなるためである。
- (4) 無次元流量 F_0 と間隙率 n との関係：実験では自然石を用いたために、粒径にともなう間隙率はそれほど顕著に変化しなかった。しかし、実際には石礫の他に各種コンクリートブロックなど、様々な間隙率を持つ透過性材料を用いる可能性がある。そこで、間隙率 n が無次元流量 F_0 におよぼす影響を理論値から検証する。図-6 に無次元流量 F_0 と間隙率 n との関係を示す。間隙率 n が大きいほど流量は増加し、その傾向は堰が短いほど顕著である。

- (5) 流量の理論値 Q_{TH} と実験値 Q_{EX} との比較：図-7 に全ての実験ケー

スに対して、理論値 Q_{TH} と実験値 Q_{EX} との比較を示す。理論値 Q_{TH} はやや小さめの値を示しているが、両者の一致度は広範な流量条件に対して良好であり、本理論解析の妥当性が確認される。

参考文献

- 1) 道奥・前野・古澤・羽根田：水工学論文集，第 46 巻，pp.487-492, 2002.

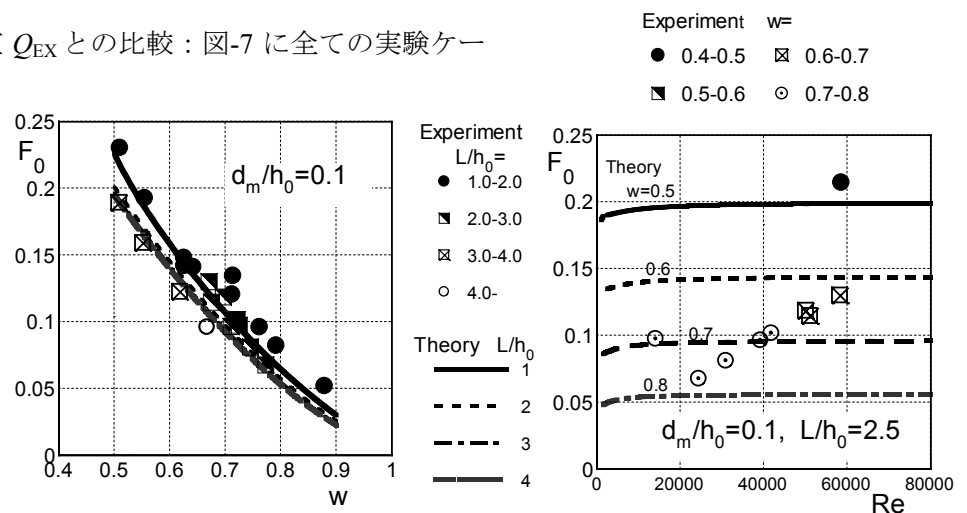


図-3 無次元流量 F_0 と無次元堰高さ $w(=W/h_0)$ の関係

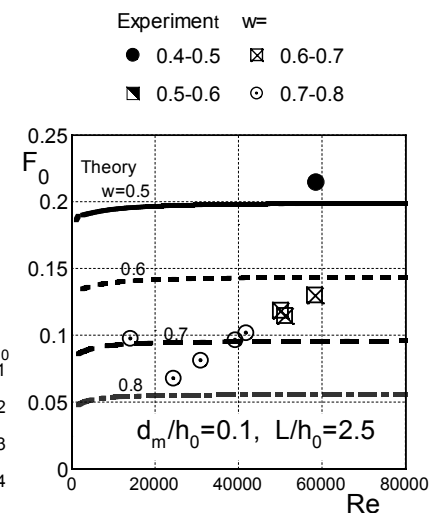


図-4 無次元流量 F_0 と Reynolds 数 Re の関係

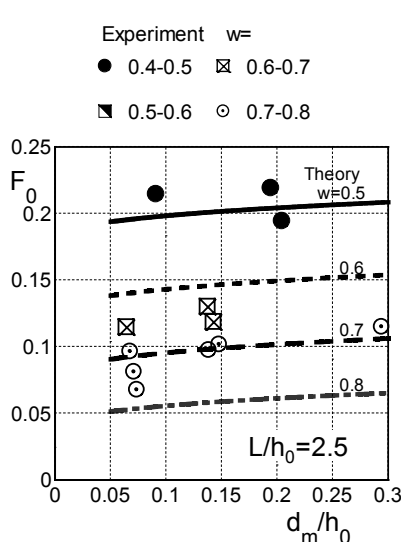


図-5 無次元流量 F_0 と無次元粒径 d_m/h_0 の関係

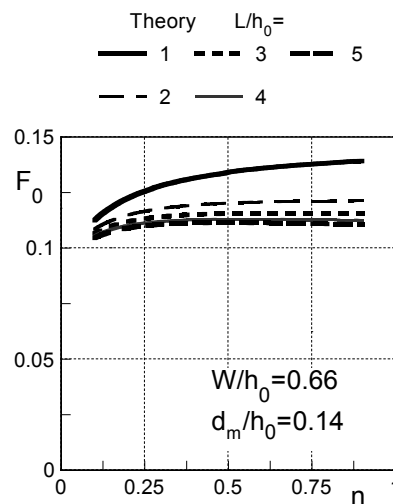


図-6 無次元流量 F_0 と間隙率 n の関係

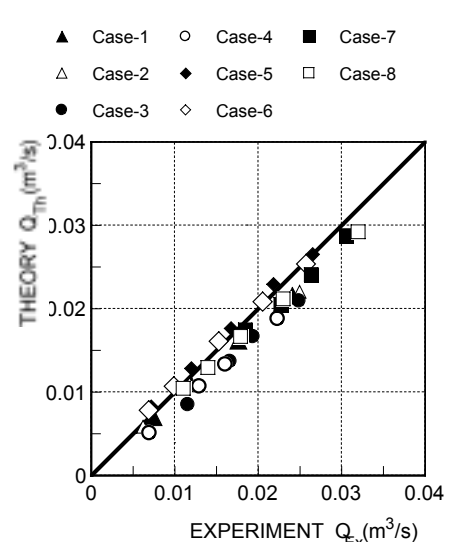


図-7 流量の理論値 Q_{TH} と実験値 Q_{EX} との比較