

II-20 霞堤開口部の流出特性

東北大学大学院 学生員○大森 隆
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

洪水時の急流河川において霞堤開口部から流出される水量を定量的に評価する。その手法として、水理実験、一次元解析法及び2次元数値計算を用いる。

2. 実験方法

実験は、図-1に示すような長さ6m、幅60cmの開水路に3m×90cmの氾濫域を設置して行った。水路実験条件は水路勾配(I)、控堤と本堤の為す角度(α)、控堤長(S)、開口幅(L)、流量(Q)をそれぞれ表-1の様に設定し、合計528ケース行った。氾濫域では水深が小さく表面張力の影響が大きくなる。そこで開口部から氾濫域にかけて厚さ0.5mmのコルクペーパーを一様に張り、それを事前に湿らせておくことでその影響を小さくした。流量は、開水路下流端で($Q-Q_w$)、氾濫域下流端で(Q_w)をそれぞれ測定した。

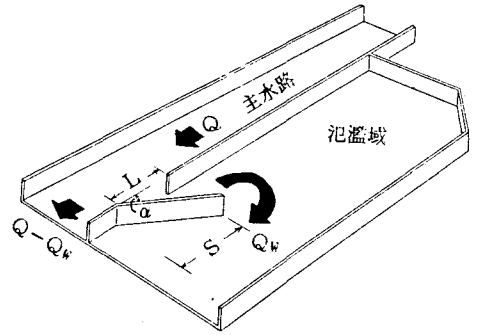


図-1 実験装置

3. 一次元解析

開口部からの流出量を一次元解析法により表わす。

開口部より1m上流側にさかのぼった地点の等流水深を代表水深(H)とする。本川流量(Q)の増加に伴い控堤先端から水が流出を始めるときの(H)を流出開始水深(H_0)とする。ここで図-2より H_0 を式(1)で表すと、流出量(Q_w)は式(2)の様に表現できよう。

$$H_0 = I \times S \quad (1)$$

$$Q_w = C \sqrt{g} \cdot L (H - H_0)^{3/2} \quad (2)$$

ただし、 Q_w :開口部からの流出水量(cm^3/s)、 C :流量係数、 g :重力加速度(cm/s^2)である。この式は横越流堰の式を参考にしたものである。控堤の影響で流れが変化する要素はすべて流量係数(C)の表現中に反映されるものとする。

実験値から $\alpha=15^\circ$ について未知量(C)を L/S の関数として表わすと図-3(a)となる。平均的には図中の実線のように係数を定める。同様に α が $30^\circ, 45^\circ$ の場合についても求め、全ての結果をまとめると図-3(b)となる。 $(L/S) > 2.0$ のとき、流量係数は

表-1 実験条件

I	1/100
α	15, 30, 45 ($^\circ$)
S	15, 30, 45, 60, 90 (cm)
L	15, 30, 45, 60 (cm)
Q	0.5~14.0 ($\times 10^3 \text{ cm}^3/\text{s}$)
計	528 ケース

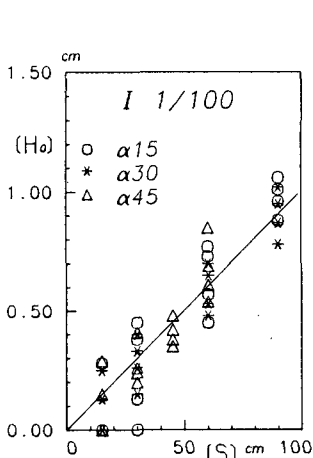


図-2 流出開始水深

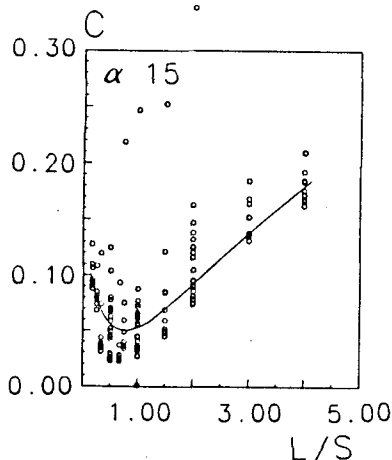


図-3(a) 流量係数

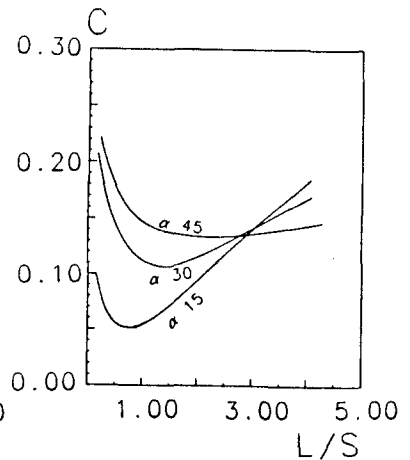


図-3(b) 流量係数

0.15 程度となる。これは同様の解析法で求めた横越流堰の流量係数が0.11~0.16であることを考えると、ほぼ妥当な値であろう。

式(1)、(2)と図-3の流量係数から求めた流出量(Q_w)と実験値を、 $\alpha=30^\circ$ の場合について比較したのが図-4である。図中の点線は、それぞれ実験値に対する ± 20 、 ± 40 、...、 $\pm 100\%$ の推定精度を示す。これらの図から一次元解析法による最大推定誤差は、 α が15、30、45°で、それぞれ100、60、40%であった。

4. 2次元数値計算による検討

推定精度を上げるために、オイラーの式と連続の式を基礎方程式とした数値計算をおこなった。圧力は静水圧分布と仮定し、鉛直方向に積分して得られる浅水理論を支配方程式とする。これをStaggered leap-frog法により差分化する。

計算条件

計算領域は横220cm、縦155cmで、 $dx=dy=1.0\text{cm}$ 、 $dt=0.0015\text{s}$ である。初期条件は、開口部を閉じ開水路内に等流を流した状態とし、 $t=0.0$ で開口部を開いた。その後流れが定常になるまで、図-5のように17秒間、11,333ステップ分計算した。この図において、 Q_w は開口部上流の断面を通過する流量から開口部下流の断面を通過する流量を減じて求めた。流出量の推定誤差は、実験値と比べ15%である。

計算結果を開口部での水深分布として示したのが図-6である。静水圧分布を仮定したモデルにも係わらず、控堤でジャンプする状況がよく再現できている。次に染料によって可視化した流れ(図-7(a))と、計算による2mm毎の等深線・流速分布(図-7(b))とを示す。開口部から氾濫域にかけての水の拡がり方が大きく異なることが分かる。

5. おわりに

霞堤開口部から流出する水量を水理実験及び理論から推定した。一次元解析法でもかなり再現できるが、最大推定誤差が時として100%に達することがあった。2次元数値計算では15%にとどまる。

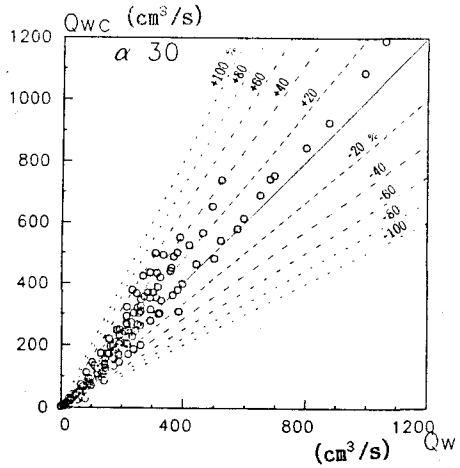


図-4 流出量推定精度

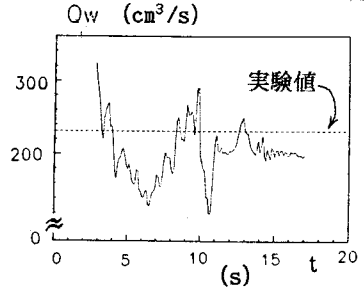


図-5 数値計算の(Q_w)時継変化

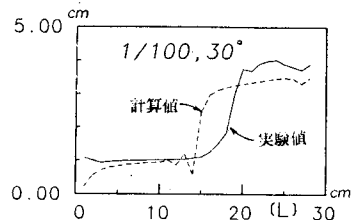


図-6 開口部水深

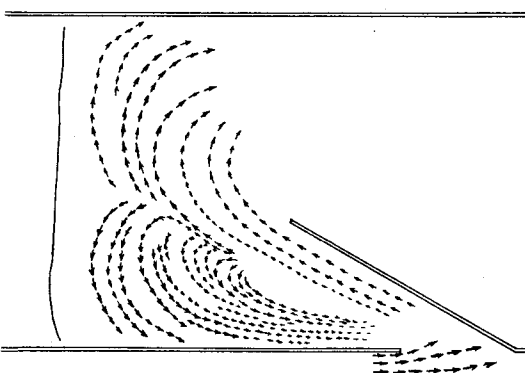


図-7(a) 染料による可視化流れ

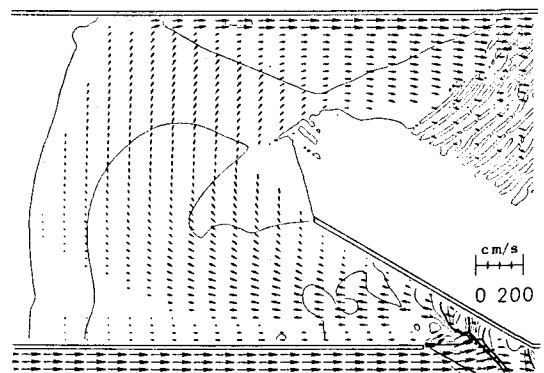


図-7(b) 計算による等深線・流速分布