

京都大学防災研究所 正員 村本嘉雄
大日本土木 K.K. 佐溝時彦

昨年度の年講では、貯水池の部分決壊時を対象として、開口部で常流になる場合の貯水池の水深と流出流量に関する特性直線近似解を示し、貯水池の流出実験からその適合性を明らかにした。本報告では、貯水池と開口部が一般断面形状の場合の部分決壊および全面決壊時の近似解法について考察した。また、実験結果から流出流量と水深との関係および全面決壊時における近似解の適用性について検討する。

1 貯水池決壊時の水理に関する近似解析

いま、断面積 A と水深 h が $A = Kh^m$ (K, m : 定数) の関係にある貯水池を考え、決壊時の水理をつぎの特性曲線表示による一次元の非定常流式を用いて考察する。

$$\omega^{\pm}: dx/dt = -u \pm C \quad (1) \quad -u \pm zmc = \text{const} \quad (2)$$

こゝに、 $C = \sqrt{gh/m}$ である。初期条件と境界条件は、

$$t=0: h=h_0, \quad x=0: Q=ah^n, \quad x=L: u=0$$

とする。ただし、 Q : 流出流量、 a, n : 定数である。

1.1 部分決壊時: 開口部で常流 ($0 < u < C$)、 $0 < \frac{a}{K} \sqrt{\frac{m}{g}} h_0^{n-m-\frac{1}{2}} < 1$ とし、特性直線近似を行うと、

$$\begin{cases} \frac{a}{K} \left(\frac{m}{g}\right)^{\frac{n-m}{2}} C_i^{z(n-m)} + zmc_i = zmc_{i-1}, & i = zr-1 \quad (x=0) \\ C_i = zmc_{i-1} - C_{i-2}, & i = zr \quad (x=L), \quad r=1, 2, \dots \end{cases} \quad (3)$$

となり、 C_0 から C_i が逐次計算され、貯水池の水深と流量の変化が求まる。

貯水池と開口部の断面形状が同じ場合には $z(n-m) = 1$ となり、(3)式は C_i の一次式になるので容易に解の一般式が得られる。前報では、幅 B の長方形断面 ($m=1$, $n=3/2$, $K=B$) について、 $a/\sqrt{g} = \mu$ と水深・流量の時間変化の関係を検討した。

一方、貯水池と開口部の断面形状が異なる場合には、(3)式は逐次計算する必要がある。例として、後述の実験のように貯水池が長方形断面、開口部が斜辺角 θ の三角形断面の場合 ($m=1$, $n=5/2$) では、(3)式は次式のようになる。

$$\gamma C_i^3 + zC_i = zC_{i-1} \quad (i = zr-1), \quad C_i = zC_{i-1} - C_{i-2} \quad (i = zr) \quad (4)$$

こゝに、 $\gamma = \sqrt{2} \alpha \cot \theta / Bg$, α : 流量係数である。

1.2 全面決壊時: 開口部で限界流 ($u=C$) と仮定し、図-1 に示すように特性曲線 $\omega^{\pm}$ だけを直線で近似すると、(1), (2)式より

$$\begin{cases} \omega^{\pm}: \tau/\tau_L = (zm+1)C - zmC_0 = L/\tau_L \quad (5) & -u + zmc = zmc_L \quad (6) \\ \omega^{\mp}: dx/dt = (zm-1)C - zmC_L \quad (7) & -u - zmc = -zmC_0 \quad (8) \end{cases}$$

となり、(5), (6), (8)式より上流側の $C_L \sim \tau_L$ の関係を求める。

$$\tilde{C}_L = (z/\tilde{\tau}_L + zm-1)/(zm+1) \quad (9)$$

が得られる。こゝに、 $\tilde{C}_L = C_L/C_0$, $\tilde{\tau}_L = \tau_L/\tau_0$, $\tau_0 = L/C_0$ である。

一方、(5), (7)式より $\omega^{\mp}$ 曲線は

$$dx/dt = \left(\frac{zm-1}{zm+1}\right) \left(\frac{x}{\tau} + zmC_0\right) - zmC_L \quad (10)$$

で表され、これを解くと

$$x = m(zm+1) \left(\frac{zm-1}{zm+1} C_0 - C_L\right) t + K_1 t^{\frac{zm-1}{zm+1}} \quad (K_1: \text{定数}) \quad (11)$$

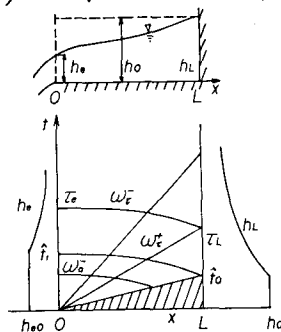


図-1 記号説明

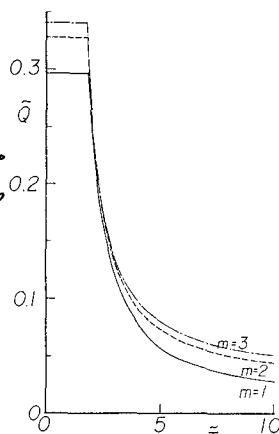


図-2 $\tilde{h}$ と $\tilde{\tau}$ の関係

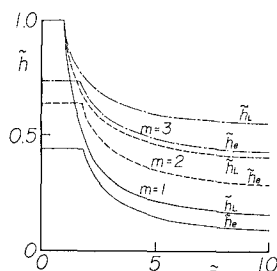


図-3 $\tilde{h}_e, \tilde{h}_L$ と $\tilde{\tau}$ の関係

となる。(11)式に $x=0: t=t_e, x=L: t=t_L$ の条件を用い, (9)式および $C_e/C_0 = \tilde{C}_e = \frac{2m}{2m+1} \tilde{C}_L$ の関係と考慮して下流端における $\tilde{C}_e \sim \tilde{C}_L (=t_e/t_0)$ の関係と求める, (12)

$$\tilde{C}_e = \left\{ 4m \left(\frac{2m+1}{2m} \right)^{\frac{2m+1}{2}} / \tilde{C}_L + 2m(2m-1) \right\} / (2m+1)^2 \quad (12)$$

が得られ, 以上より貯水池の上, 下流端の水理量はつぎのように表される。

$$\left. \begin{aligned} 0 < \tilde{C}_e < \left(\frac{2m+1}{2m} \right)^{\frac{2m+1}{2}} : \frac{h_e}{h_0} = \tilde{h}_e = \left(\frac{2m}{2m+1} \right)^2 \frac{Q}{KC_0 h_0^{2m}} = \tilde{Q} = \left(\frac{2m}{2m+1} \right)^{2m+1} \\ \tilde{C}_e \geq \quad : \tilde{h}_e = \tilde{C}_e^2, \quad \tilde{Q} = \tilde{C}_e^{2m+1} \quad \{ (12) \text{式} \} \\ 0 < \tilde{C}_L \leq 1 : \tilde{h}_L = 1, \quad \tilde{C}_L \geq 1 : \tilde{h}_L = \tilde{C}_L^2 \quad \{ (9) \text{式} \} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$m=1 \sim 3$ について $\tilde{Q}, \tilde{h}_e, \tilde{h}_L$ と $\tilde{C}$ の関係が図-2, 図-3

に示されている。

2 貯水池決壊に関する実験

実験には, $L=2m, B=50cm$ の長方形断面水槽を用い, 下流端条件は (1) 全断面開口 (R), (2) 高さ $5cm$ の全幅堰 (F), (3) $\theta=36^\circ$ の三角堰 (T) の三種であり, 手動による瞬時開口あるいは spring によるゲート上昇速度 $1 \sim 2m/sec$ の開口条件を与えた。図-4 ~ 図-6 に (1) ~ (3) の条件における下流端水深と流出流量の関係が定常流と比較されている。開口部での流れの条件は, (1) では限界流に近く, (2) と (3) では常流状態であり, 定常流との差は (2) の場合に若干現われているが他の場合には明瞭でない。一方, 初期水深と最大流出流量 Q_m について Ritter の式と比較すると図-7 のようであり, Q_m の実験値は (1) と (2) では Ritter 式より若干小さく, (3) では大きくなっている。

部分決壊条件のうち, (3) については前報と同様に (4) 式 ($\alpha=0.306$) が最も適合するが, (2) については $\mu=0.4 \sim 0.5$ となり, 夏役波の扁平化が著しくあり, (3) 式の適用範囲はむしろ $\tilde{C}_0$ に限られ, それ以降では, 貯水池水位を水平とした貯留モデルで表わすことができることが示された。一方, 全面決壊条件 (1) について, (13) 式 ($m=1$) と実験値との比較が図-8 ~ 図-10 に, 近似解および (1), (2) 式の数値解と実験流量の比較が図-11 に示されている。近似解は $\tilde{C} \rightarrow \infty, \tilde{h}, \tilde{Q}$ が 0 であるので $\tilde{C}$ が大きくなると実験値を上まわるようになるが, この範囲では貯留モデルで近似できる。また, $\tilde{C}_L \leq 1$ では, 数値解, 近似解ともに流量を過大評価しており, 図-7 の結果とあわせて初期流出過程に関する検討が残されている。

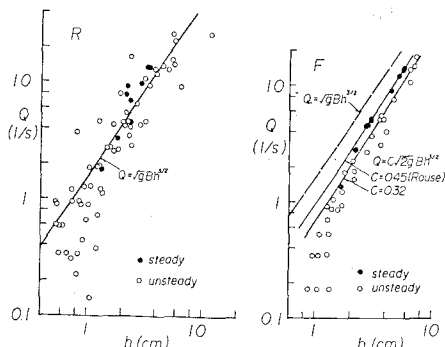


図-4 Q と h_e の関係

図-5 Q と h_e の関係

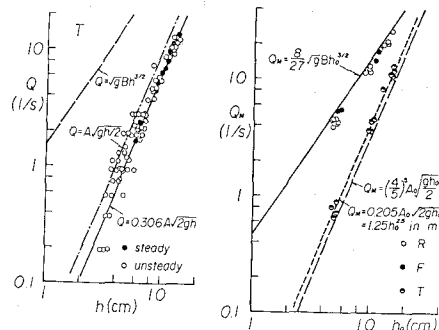


図-6 Q と h_e の関係

図-7 Q_m と h_0 の関係

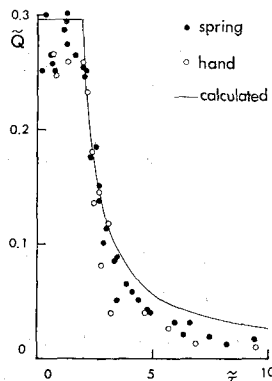


図-8 $\tilde{Q}$ の計算値と実験値の比較

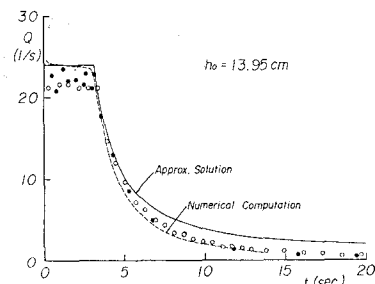


図-9 $\tilde{Q}$ の計算値と実験値の比較

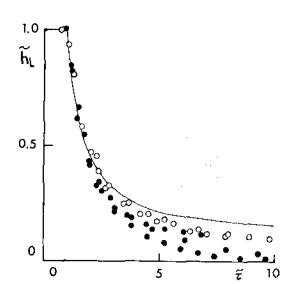


図-10 $\tilde{h}_e$ の計算値と実験値の比較

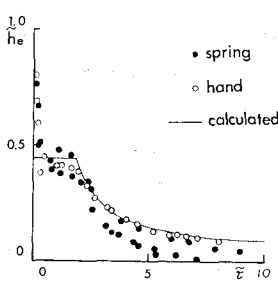


図-11 $\tilde{h}_e$ の計算値と実験値の比較