

京都大学防災研究所

正員

芦田和男

○高橋 保

著者らは種々の境界条件下の洪水流の挙動を説明するために種々の実験を行なってきたが、下流水位一定の境界条件下における洪水流の挙動については、長さ150m、断面60×60cm、勾配1/500の水路において実験を行ないその結果の一部とすでに発表しているが、そのうちの顕著な特性と再記すると以下のものである。i) 加速度項が比較的大きな洪水においては、このような境界条件の作用領域では図-1でも明らかのように、洪水の最大流量に対応する定常水位よりも洪水位が高くなる場合がある。なお図-1に示した実験波形は表-1に示すものである。

表-1 実験洪水波形

実験番号	基礎流量 (%)	最大流量 (%)	継続時間 (min)	下流端水深 (cm)
2-1	5.0	31.5	7	16.0
2-2			9	
2-3			11	
2-4			26	
2-5			32	

ii) 水位ピークの伝播は非常に速く、実験を行なった洪水波形に対しては下流側に先に水位ピークが生成している。iii) このような境界条件下ではとくにプール面積が小さい場合には貯留量が少なくなり、したがって流量波形の伝播速度も非常に速くなるが水位ピークが流量ピークに先行する結果、境界条件作用領域内における水位-流量曲線のループは一般河道あるいは固定堰によるせき上げ領域でみられるものとは逆の回数を通くことになる。

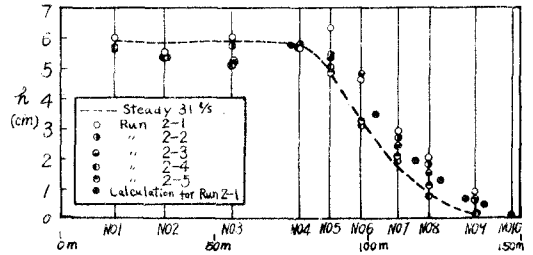


図-1 初期定常水位以上の水深の縦断変化

ここでは以上のような実験的事実の理論的な説明を試みるとともに、いかなる条件が満足されるときにどのような結果があらわれるかを検討し、さらにその場合の水深の近似的な求め方について考察を加えることにする。

さて堰近傍のせき上げのかなり大きな範囲における水面変動を考慮することにする。図-2の記号を参照して運動および連続の式を右幅の長方形断面として書くと、

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{1 - \frac{\partial^2}{\partial t^2}}{1 - \frac{\partial^2}{\partial x^2}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

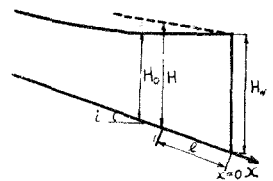


図-2 記号説明図

である。いま $H = H_1 + H_2 + \dots$, $Q = Q_1 + Q_2 + \dots$ (3)

$$\left. \begin{aligned} H_1, Q_1 \text{ に対して, } t=0 \text{ で } H_1 &= H_0(x), \quad Q_1 = Q_0 \\ x=0 \text{ で } H_1 &= H_0 (= \text{const.}), \quad Q_1 = Q_0(t) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

と仮定し、 $H_2, H_3, \dots$, $Q_2, Q_3, \dots$ に対しては、

$$\left. \begin{aligned} t=0 \text{ で } H_2 = H_3 = \dots &= 0, \quad Q_2 = Q_3 = \dots = 0 \\ x=0 \text{ で } H_2 = H_3 = \dots &= 0, \quad Q_2 = Q_3 = \dots = 0 \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

と仮定しよう。とき上げの大きい領域においては(1)式の右辺はほぼ1に等しくなるので1近似解としては、

$$H_1 = \xi x + H_W \quad \partial_1 = \partial_W(x) \quad \dots \dots \dots (6)$$

と考えてよいであろう。つぎにこの H_1 , ∂_1 を(1)式の右辺に代入して条件(4), (5)を満足する H_2 を求めるが、その際に $\xi x \ll H_W$ の範囲で考察していることに注目すると、 H_2 を x のべき級数に展開して2次項以下が ∂_1 項に比べて微小であることから、

$$\left. \begin{aligned} H_2 &\approx \left\{ \frac{2\partial_1}{3g\xi} - \frac{k}{2} \left(1 - \frac{g}{c^2\xi} \right) \right\} \frac{\xi}{H_W + k} - \frac{k}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{g}{c^2\xi} \right) \frac{6k^2\xi}{3k^2 + (2H_W - k)^2} \right\} x \\ \partial_2 &= - \int_0^x \frac{\partial H_2}{\partial t} dx \quad \text{ただし} \quad k^2 = -\partial_1^2/g \end{aligned} \right\} \dots \dots (7)$$

で与えられることがわかる。すなわちこの領域では2次近似解まででは水位変動がほぼ直線的であると考えてよいようである。

さて水位変動が直線的であるとすれば、洪水の最大流量に対する通常水深を H_3 として、 $\frac{\partial H_2}{\partial t} > \frac{\partial H_1}{\partial t}$ のとき洪水水深 H が H_3 より大きくなる。そのような条件を水位ピークに対して求めると、 $F_3 = \frac{\partial_2^2}{gH_3} < 1$ の場合に、

$$\frac{\partial_2^2}{H^3} + \frac{1}{g} \frac{c^2(1-F_3^2)}{1-\frac{c^2}{g}} \cdot \frac{1}{H} \frac{\partial \partial}{\partial t} > \frac{\partial_2^2}{H_3^3} \quad \dots \dots \dots (8)$$

となる。接近傍においては $\partial H/\partial x \approx 0$ であるので(8)式は、

$$\frac{\partial \partial}{\partial t} > \frac{g(1-c^2/g)}{c^2 H_W^2 (1-F_3^2)} \partial_2^2 \left(1 - \frac{\partial_2^2}{g^2} \right) \quad \dots \dots \dots (9)$$

となる。いま使用した実験水路において $H_W = 15 \text{ cm}$ の場合(9)式で二等辺三角形形状のHydrographを考えると其底流量 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、最大流量 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ であると継続時間が32分以下の場合には通常水位にくらべて洪水位が高くなくなることが導かれる。これは図-1中のRun 2-5に相当し実験値も通常流に近くなってゐる。実際の河川との対応をみるために単純な相似計算によって実験水路が幅 100 m に相当するものとするればこの境界を与えるHydrographのピークは約 $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ 、継続時間7時間に相当する。

つぎに水位ピーク時は水面勾配が最大であるから $\frac{\partial H}{\partial x}(\text{波}) = 0$ である。(1)式を x で微分すると ∂ に関する二次方程式が得られるが、簡単な考察により符号の異なる2根のうち正根が水位ピークに対応することがわかる。すなわち水位流量曲線のループが通常の場合とは逆になるわけである。

水位ピーク時の $\frac{\partial \partial}{\partial t}$ の値は、

$$\frac{\partial \partial}{\partial t} = H \left\{ \frac{g^2}{2c^2} \left(\frac{c^2}{g} - 1 \right) + \sqrt{ \left\{ \frac{g^2}{2c^2} \left(\frac{c^2}{g} - 1 \right) \right\}^2 + g \left(1 - \frac{g^2}{gH^3} \right) \frac{\partial \partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\omega} - \frac{H}{2g} \right) } \right\} \dots \dots (10)$$

のようになる。ここで ω は $\frac{\partial \partial}{\partial t} = \omega H$ の伝播速度でいるの条件下では $\frac{\partial \partial}{\partial t}$ より十分大であると考え得る。 $\frac{\partial \partial}{\partial t}$ の最大が ∂ ピークよりも以前にある通常の波形では丘上げ背水条件下で水位ピークが下流側に先に生起することから(10)式より説明される。またこの式より $\frac{1}{\omega}$ を $\frac{H}{2g}$ に対して省略し、流量波形が変形なしに伝播すると考えて両辺の等しくなる H を試算的に見出し、下の式によってその水深の生起してゐる下流からの距離を求めることができる。 $x = (H_W - H) \left\{ 1 - \left(\frac{H}{H_W} \right)^3 \right\} / \left\{ \frac{1}{c} \left\{ 1 - \left(\frac{H}{H_W} \right)^3 \right\} - \left(\frac{1}{gH} \right) \frac{\partial \partial}{\partial t} \right\} \dots \dots (11)$

図-1中の・印はこのようにして求めた H ピークの値で実験値とはあまりよくあっていないが大体の傾向は示しているものと思われる。

参考文献 (1) 芦田、高橋：洪水流に関する実験的研究，昭和年度河内支部講演概要