

京都大学工学部	正 員	岩佐義朗
京都大学工学部	正 員	常松芳昭
京都大学大学院	学生員	○長尾貞夫

1. はじめに

これまでに、さまざまな洪水流解析法が提案されているが、その適用にあたっては、河道の断面形状や河道区間の単純化が必要とされることが多い。本文は、二、三の河道モデルにおいて洪水追跡計算を行ない、その洪水伝達特性を洪水流の変形、とくに最大水深の変化の面から考察し、それぞれのモデルの水理学的特徴を明らかにしようとしたものである。

2. 死水域幅をもつ一様水路

実際の洪水現象は複雑な河道内における流れであり、河道のモデル化にあたっては、実河道の不規則性に起因する河道の貯留効果を考慮に入れる必要がある。このため、高橋は、流れの連続方程式において、主流路断面幅と死水域幅との和を、運動量方程式において、主流路断面幅をそれぞれ水路幅として用いることを提案している¹⁾。これによれば、洪水流の基礎方程式はつぎのように書かれる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{B_m}{B_m + B_d} \frac{\partial Q'}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$i - (1 - \frac{Q'^2}{gh^3}) \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{gh} \frac{\partial Q'}{\partial t} + \frac{2}{g} \frac{Q'}{h^2} \frac{\partial Q'}{\partial x} + \frac{n^2 Q'^2}{h^{10}} \quad (2)$$

ここに、 h : 水深、 Q' : 単位幅流量、 i : 水路床勾配、 g : 重力加速度、 B_m : 主流路断面幅、 B_d : 死水域幅、 n : 粗度係数、である。ここで、

$\varphi \equiv B_m / (B_m + B_d)$ とおけば、これは河道の不規則による貯留効果を表わすパラメーターと考えられる。高橋は、適当な変数変換によって、一様水路における洪水流の無次元表示をえている²⁾。これと同様な手法を(1)、(2)式に対して用いると、図-1に示す上流端ハイドログラフに対して、下流地長 x における水深はつぎの式で表わされる。

$$h = h_m \left\{ 1 + \frac{27 \bar{F}_{peak}}{250 \varphi i g h_m} \left(-\frac{1}{Fr^2} + \frac{21 - 25 \varphi}{9} \right) x \right\} \quad (3)$$

ここに、 $Fr \equiv \sqrt{h_m / n^2 g}$; 最大水深に対応するフルード数、 $\bar{F}_{peak}$: 上流端における水位へ時間曲線のピークの曲率、である。(3)式において、 $\varphi=1$ といた式は単純な一様水路モデルに対するものである。図-2は、死水域幅をもつ水路モデルにおける洪水流の基礎式である(1)、(2)式をLax-Wendroff法によって数値積分して得られた結果、および、(3)式よりえられた結果を、パラメーター φ と下流水深のピークについて示したものである。図において、 P は $(h_m - h) / h_m$ で定義されるピーク水深の減衰率である。これより、両者いずれの方法によっても φ の減少(死水域幅の増大)とともに減衰率 P は擬似放物線的に増大すること知られる。また、(3)式はLax-Wendroff法

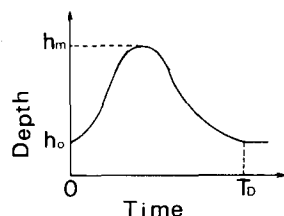


図-1 上流端ハイドログラフ

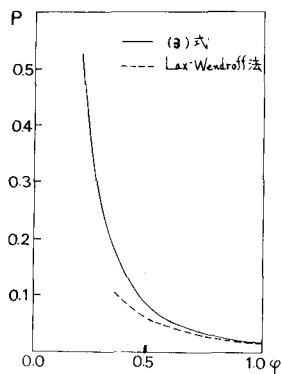


図-2 φ と P の関係

によるものよりも大きな減衰率を示していることがわかる。しかし、主流路幅と死水域幅とが、同程度までの範囲では、その差異はさきめて小さく、また減衰率そのものもあまり大きくないことが、理解される。つぎに、死水域幅をもつ一様水路と同様に、河道の貯留効果を表わすと思われる簡単な変断面水路モデル（死水域幅が周期的に変化する）についても、若干の数値計算を行ないその洪水伝達特性の解明を試みた。しかし、数値計算においては必ずしも安定な解が得られず、河道断面形状のパラメーターと洪水変形との間に明確な関連を見出すまでには至らなかった。

3. 水路連結部の取扱い

河道モデルの連結部の取扱い方には、上下両水路の特性パラメーターが線形変化する漸変部としての取扱い、および水路特性パラメーターが急に変化する急拡部、あるいは急縮部としての取扱いの二つが考えられる。ここでは、水路連結部を漸拡部（図-3）、および急拡部（図-4）として取扱う場合について述べる。まず、前者では流れの基礎方程式としてつぎの運動方程式、連続方程式を用いる。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + 2 \left(\frac{P}{\rho} \right) - \left(\frac{P}{\rho} \right)_{\text{const}} \right) = gA \left(i - \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^3} - \frac{Qg}{gA^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = -g \quad (5)$$

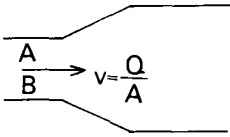


図-3 漸拡部としての水路連結部

ここに、 $P = \frac{1}{2} \rho g A R$ ；流体圧、 ρ ；水の密度、 A ；流水断面積、 R ；径深、 g ；横からの流入、流出（流出を正とする）、 Q ；流量、である。(4)、(5)式は保存則系を表わしているので、これはLax-Wendroff法によって直接解かれる。一方、後者の場合、運動量保存則は、断面ⅠとⅡの水の体積を V とすれば、つぎのような差分形式で書かれる。

$$\frac{1}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t} + \frac{\Delta x}{gV} \frac{\Delta}{\Delta x} (Qv + \frac{P}{\rho}) + \frac{\Delta x}{gV} (v \frac{\Delta v}{\Delta t}) + \frac{\Delta x}{gV} = \left(\frac{V_2}{V} i_1 + \frac{V_3}{V} i_2 \right) + \frac{P_{\text{wall}}}{\rho g V} - \left[\frac{n^2 v^2}{R^3} \right] \quad (6)$$

ここに、 $(K) = \frac{1}{2} K \Delta x$ 、 $P_{\text{wall}} = \frac{1}{2} \rho g R^2 (B_2 - B_1)$ 、 V_{2-3} ；Ⅰ-Ⅱ断面間の水の体積、である。右辺第2、第三項に(5)式を適用すれば次式を与える。

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta}{\Delta t} \left(\frac{V}{g} \right) + \frac{1}{[A]} \left[(Q) \frac{\Delta}{\Delta x} \left(\frac{V}{g} \right) + \frac{\Delta}{\Delta x} \left(\frac{1}{2} A h \right) \right] \\ & = \left(\frac{V_2}{V} i_1 + \frac{V_3}{V} i_2 \right) + \frac{h^2 (B_2 - B_1)}{2V} - \left[\frac{n^2 v^2}{R^3} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

上式は、断面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおける適当な諸量を求めれば、Lax-Wendroff法によって計算できる。実際に以上の式を用いていくつかの計算を行なった。図-5は上述の水路連結部をもつ河道モデルにおける計算結果の一例である。これによれば、上記の二つの連結部の取扱いは、流出波形にほとんど差異を生じないことがわかる。また、洪水の伝播速度、ピーク流量の減衰等についても、両者の取扱い方法の間に相違はみられなかった。したがって、フ

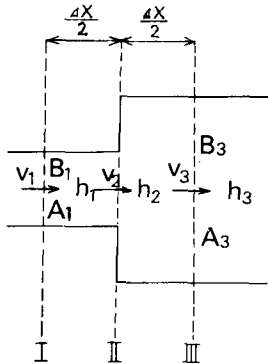


図-4 急拡部としての水路連結部

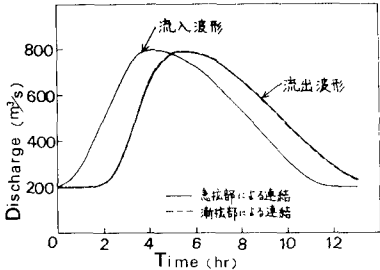


図-5 上流および下流端における流量時間曲線

コケラミンカの容易さ、計算時間、および計算の収束性と安定性の面を考慮すれば、一様水路間の連結部は漸変部として処理する方がよいようである。

1) 高橋 保；不規則断面水路の洪水流い、京大防災研究所年報 第13号B（昭和45年3月）

2) Takahashi, T.; On the Flood Waves in a Prismatic Open Channel, Bull. D.P.R.I., Kyoto Univ., Vol. 19, 1970