

非定常計算による上流ハイドログラフの推定方法について

京都大学工学部	正員	岩佐 義朗
京都大学工学部	正員	井上 和也
熊谷組	正員	栗林 東一
京都大学大学院	学生員	太田 正規

1. はじめに

通常の非定常計算では、境界条件を与え、初期状態を設定したのち、ハイドログラフの時間的および距離的な上流から下流への変形を求めるものが多い。ここではこれらと異なり、下流に現われたハイドログラフが、上流のどのようなハイドログラフによってもたらされたかを推定する方法について述べる。この問題は通常の問題と比べ、(i)下流端で $H \sim t$, $Q \sim t$ の二つが既知として与えられる、(ii)上流端の境界条件はない、の点で異なっており x と t を入れ替えれば、双曲型偏微分方程式の初期値問題に帰着される。

2. 基礎方程式とその特性曲線法による差分式

基礎方程式は、通常の一次元エネルギー解析法と同様、つぎの式で与えられる。

$$\text{連続式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1), \quad \text{エネルギー式} \quad \frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H_t}{\partial x} = -S_f \quad (2)$$

ただし、 $H_t = H + \alpha v^2/2g$ (全水頭, H : 水位), $S_f = m^2 v^2/R^{4/3}$ である。流れを常流とし、(1), (2)式を特性曲線に沿う表示に改めたのち、図1を参照として特性曲線の方に応じた差分をとれば

上流から下流へ向う特性曲線 ζ_+ ($(dx/dt)_+ = (\alpha + \beta)v/2\beta + C_0$, $C_0 = \sqrt{gA/\beta B}$) に沿って

$$\frac{1}{B_i^m} \left(\frac{A_i^m - A_{i-1}^m}{\Delta t} + \frac{Q_i^m - Q_{i-1}^m}{\Delta x_i} - \frac{g_{i-1}^m + g_i^m}{Z} \right) + \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v + C_0 \right)_i \left(\frac{\beta}{g} \frac{v_i^m - v_{i-1}^m}{\Delta t} + \frac{H_{t,i}^m - H_{t,i-1}^m}{\Delta x_i} + \frac{S_{f,i-1}^m + S_{f,i}^m}{Z} \right) = 0 \quad (3)$$

下流から上流へ向う特性曲線 ζ_- ($(dx/dt)_- = (\alpha + \beta)v/2\beta - C_0$) に沿って

$$\frac{1}{B_i^m} \left(\frac{A_i^m - A_{i-1}^m}{\Delta t} + \frac{Q_i^m - Q_{i-1}^m}{\Delta x_i} - \frac{g_{i-1}^m + g_i^m}{Z} \right) + \left(\frac{\alpha - \beta}{2\beta} v - C_0 \right)_i \left(\frac{\beta}{g} \frac{v_i^m - v_{i-1}^m}{\Delta t} + \frac{H_{t,i}^m - H_{t,i-1}^m}{\Delta x_i} + \frac{S_{f,i-1}^m + S_{f,i}^m}{Z} \right) = 0 \quad (4)$$

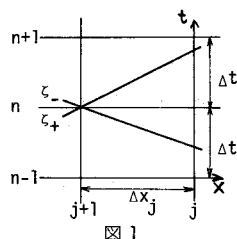
の2式が得られる。ここで非常次項を

$$\frac{g_{i-1}^m + g_i^m}{Z}, \quad \dots (5), \quad \frac{S_{f,i-1}^m + S_{f,i}^m}{Z}, \quad \dots (6)$$

としたのは、定常流計算との整合性を図るためである。つまり定常流では、 $\partial/\partial t = 0$ であり (3), (4) 式より

$$Q_i^m = Q_{i-1}^m + \frac{g_{i-1}^m + g_i^m}{Z} \Delta x_i \quad (7), \quad H_{t,i}^m = H_{t,i-1}^m - \frac{S_{f,i-1}^m + S_{f,i}^m}{Z} \Delta x_i \quad (8)$$

が得られ、これは不等流計算の標準逐次計算法にほかならない。(3), (4) 式において未知量は添字 $(i+1)$ がついたものである。ただし g は一般に x と t の関数で与えられており既知量としてよい。(3), (4) 式を連立的に解けば、 Q_{i+1} は直ちに求まるが、 $H_{t,i+1}$, $S_{f,i+1}$ については



繰り返し計算法、すなわち不等流計算における標準逐次法と同様の方法をとらなければならぬ。またこのような計算の CFL 条件は、 $\Delta t > \Delta x / |v \pm c|$ である。

3. 数値計算例

淀川の 6524 出水において、この(3)、(4)式に基づく計算法(以下、ここではこの方法を遡上計算法と呼ぶ)を試みた。対象区間として図2に示すように、枚方、模尾山、加茂、納所を境界とする区間をとり、それぞれに境界条件として $H \sim t$ を与え、まず通常の非定常計算を行なった。そのうち、下流地帯として淀を選び非定常計算の結果として得られた、

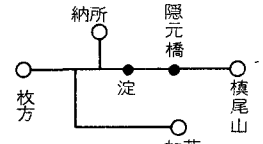


図 2

$H \sim t$ 、 $Q \sim t$ を新たに遡上計算のための下流端条件として宇治川に沿って遡上させた。この計算結果を、模尾山地帯などにおいて、すでに非定常計算で得られている $H \sim t$ および $Q \sim t$ と一致するかどうかを検討した。図3は淀での $H \sim t$ 、 $Q \sim t$ であり、図4、図5は遡上計算値と非定常計算値とを、隠元橋、模尾山で比較したものである。水位、流量とも若干の不一致がみられるが、ピーク値ならびにピーク出現時刻においては、ほぼ満足な結果が得られ、この遡上計算法は上流のハイドログラフを推定する場合に、有効な手法であるといえる。なお計算時間は、

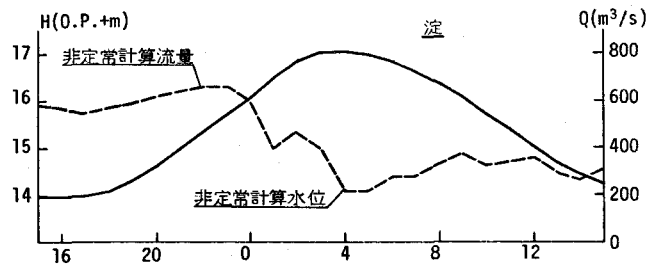


図 3

9月17日15時から18日15時までの24時間とし、各種の資料は文献によった。

4. 考察

上述のような、ハイドログラフの遡上計算をする他の方法としては、上流でのハイドログラフを数多く想定し、試行錯誤的に計算を行なう方法が考えられるが、労力が大きく有効的な手法ではない。この遡上計算法は、このような

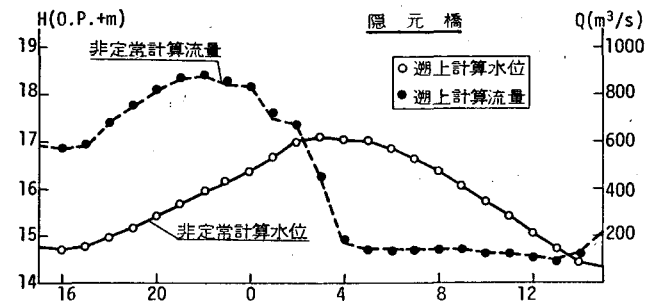


図 4

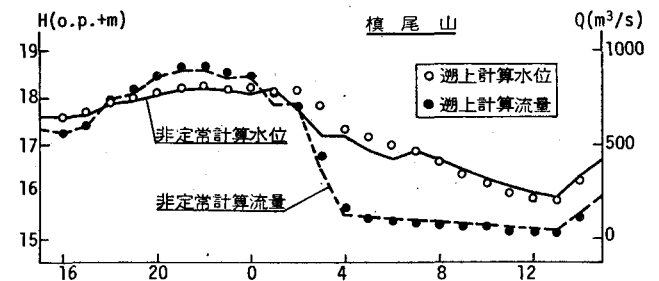


図 5

案を改めたものであり、ダム下流における洪水制御問題や水面こう配を無視しない野水池における流入ハイドログラフの推定問題などにも応用しうるものと考えている。

1). 6524 出水の解析 : 近畿地方建設局