

(II-45) 複断面河道における洪水流の一次元数値計算

早稲田大学大学院 学生会員 宮島 弘樹
早稲田大学理工学部 学生会員 進藤 良則
早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登

1. はじめに

複断面河道では、一般に低水路と高水敷の粗度係数が異なるので、複断面河道の流れを一次元的に解析する場合には等価粗度を用いる方法が用いられる。ここでは、高水敷がゴルフ場、グラウンドなどとして利用されている複断面河道の河川の洪水流を等価粗度を用いる方法により一次元数値計算し、水位と流量の計算値と観測値を比較し、等価粗度による数値計算法の妥当性を検討し、また計算結果に基づいて洪水流の特性に関して考察した結果について述べる。

2. 複断面河道の洪水流の一次元数値計算のための支配方程式

開水路非定常流の一次元解析のための支配方程式は次のようである。

$$\text{連続方程式} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{gn^2 Q^2}{AR^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

ここで、 A は流水断面積、 H は水位、 R は径深、 Q は流量、 n はManningの粗度係数、 β は運動量補正係数、 g は重力の加速度である。

複断面河道における洪水流を一次元数値計算する場合には、粗度係数が断面内の場所によって異なること、および断面内の流速分布の非一様性が強まることに留意することが必要になる。粗度係数については断面内の平均の粗度係数（等価粗度係数） ne を求め、その断面の粗度係数とし、流速分布の非一様性については運動量補正係数 β を用いることによって対処することが行われる。

複断面河道の等価粗度係数 ne および運動量補正係数 β は、図-1に示すように、断面を粗度係数に応じて分割して扱い、それぞれ次式により算定する。

$$ne = \left(\sum_{j=1}^N h_j^{5/3} \Delta y_j \right) / \left(\sum_{j=1}^N \frac{h_j^{5/3}}{n_j} \Delta y_j \right) \quad (3)$$

$$\beta = \beta_h \left(A \sum_{j=1}^N \frac{h_j^{7/3}}{n_j^2} \Delta y_j \right) / \left(\sum_{j=1}^N \frac{h_j^{5/3}}{n_j} \Delta y_j \right)^2 \quad (4)$$

ここで、 h は水深、 Δy は分割された小断面の幅、 N は断面の分割数、下付添字 j は j 番目の小断面における値を表す。また、 β_h は水深方向の流速分布に対する運動量補正係数で、一般には $\beta_h = 1.0$ とする。

3. 複断面河道の洪水流の一次元数値計算

連続方程式(1)および運動方程式(2)を4点陰差分法により差分化し、河道断面を粗度係数に応じていくつかの小断面に分割し、式(3)および式(4)により求めた等価粗度係数 ne と運動量補正係数 β を用いて、差分方程式を解くことにより各断面の水位 H と流量 Q を求める。

初期条件は、初期流量に対して非定常流計算を行い、各断面における水位を計算し、それらを各断面の水位の初期値として与える。

境界条件は、上流端および下流端で水位あるいは流量を与える。

4. 計算例

高水敷がゴルフ場、グラウンドなどとして利用されている複断面河道のY川の約45kmの区間について、1982年8月の洪水を対象として、洪水流の数値計算を行った。計算では、図-2に示す計算対象区間の上流端Aと下流端Gで水位の観測値を境界条件として与え、低水路と高水敷の粗度係

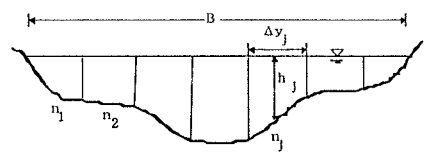


図-1 複断面水路の断面分割

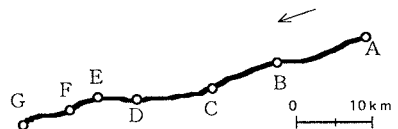


図-2 Y川概略図

数を調整して、水位についてはB、C、D、E、F地点、流量についてはA、C、D地点について、計算値と観測値が一致するようにした。その結果、低水路の粗度係数は流量が $200\text{m}^3/\text{s}$ 以下のときは0.040、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上のときは0.032とし、その間は直線的に変化するものとし、高水路の粗度係数はゴルフ場は0.032、グラウンドは0.025、草地は0.05とすると、図-3に示すように、水位と流量の計算値と観測値がほぼ一致することが示された。なお、低水路の粗度係数が流量によって変化するの、Y川の河床は砂で構成され、流量の小さいときは河床に砂澱、砂堆が形成されるが、流量が大きくなると、砂澱、砂堆が掃流されて河床が平坦化されることによるものと想定される。

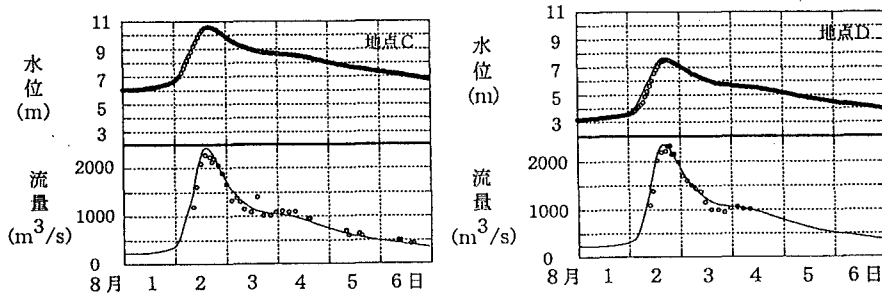


図-3 水位および流量の計算値と観測値の比較 (—— 計算値、・ 観測値)

計算結果に基づいて、Y川の1982年8月の洪水の特性について考察すると、次のようになる。

流下に伴うピーク流量の低減の様子を示すと、図-4のようになり、約45km流下する間にピーク流量は $2,560\text{m}^3/\text{s}$ から $2,300\text{m}^3/\text{s}$ に減少する。

洪水ピーク流量の各地点への到達時間を示すと、図-5のようになる。図-5によると、洪水のピーク流量は45kmの区間を6.5時間で流下し、この間の平均の伝播速度は $1.9\text{m}/\text{s}$ である。なお、洪水ピーク時の流量の伝播速度 ω および流速 v は場所によって変化する、 $\omega=1.6\sim 3.0\text{m}/\text{s}$ 、 $v=1.1\sim 2.1\text{m}/\text{s}$ であり、 ω/v は $1.4\sim 1.6$ となる。すなわち、洪水のピークは流速よりもはやい速度で伝播することになり、洪水流は波動的な性質を持つことが認められる。

地点Dにおける洪水時の水位と流量の関係を示すと、図-6のようになる。図-6によると、洪水時の水位と流量の関係はループを描くことがわかる。

5. おわりに

複断面河道における洪水流を一次元解析法により解析し、水位と流量の計算結果と観測値を比較した結果、計算値と観測値がほぼ一致する結果が得られ、複断面河道における洪水流は一次元解析法により解析し得ることが示された。

最後に、貴重な資料を提供して下さいました関係各位に謝意を表します。

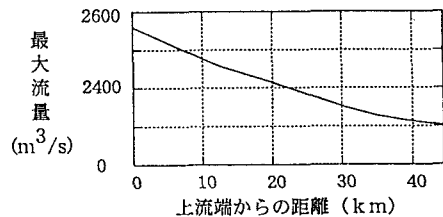


図-4 最大流量の低減

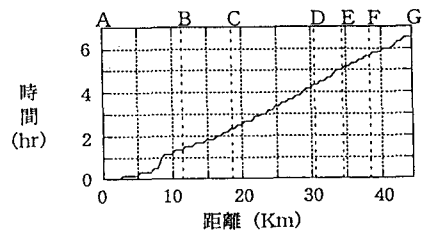


図-5 ピーク流量の到達時間

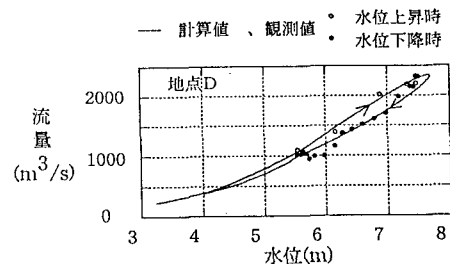


図-6 洪水時における水位と流量の関係