

II-165

複断面河道における洪水流の数値解析法について

脚 フジタ

正員 元岡 征志

広島大学

正員 常松 芳昭

中電技術コンサルタント 正員 金本 満

1. まえがき

現在、河道内の水位や流量の予測手法の中で、実用的でしかも精度が高いのは、一次元解析手法に基づく不定流計算法である。しかし、我が国に多く見られる複断面河道への適用については、従来の断面分割法では十分な精度が得られないことが明らかとなってきた。そこで本研究では、従来の不等流計算に用いる井田法による合成粗度係数を非定常流計算に取り入れた解析法とともに、新たに複断面河道のモデル化とそれに基づく洪水流の数値解析手法について検討を行った。

2. 複断面河道の洪水流の数学モデルと数値解析法

高水数を有する複断面水路の低水路と高水数の境界付近では、大規模渦の作用で運動量が横断方向に輸送される。従って、その相互干渉の度合いを鉛直に分割した断面の内部境界上に作用するせん断抵抗応力として評価し、各分割水路についてそれぞれ運動量保存則を適用した数学モデルを考える。その際、未知量として水位と流量を用いれば、両側に高水数を有するような複断面水路の運動量方程式は次のように表される。ただし、 Fr はフルード数である。

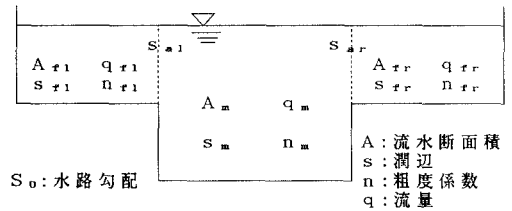


図-1 記号説明図

・低水路運動方程式

$$\frac{1}{g A_m} \left(\frac{\partial q_m}{\partial t} + 2 \frac{q_m}{A_m} \frac{\partial q_m}{\partial x} \right) = - (1 - Fr_m^2) \frac{\partial h}{\partial x} + S_0 Fr_m^2 - \frac{1}{\rho g A_m} (\tau_m s_m + \tau_{a1} s_{a1} + \tau_{ar} s_{ar}) \quad (1)$$

・高水数左岸側運動方程式

$$\frac{1}{g A_{r1}} \left(\frac{\partial q_{r1}}{\partial t} + 2 \frac{q_{r1}}{A_{r1}} \frac{\partial q_{r1}}{\partial x} \right) = - (1 - Fr_{r1}^2) \frac{\partial h}{\partial x} + S_0 Fr_{r1}^2 - \frac{1}{\rho g A_{r1}} (\tau_{r1} s_{r1} - \tau_{a1} s_{a1}) \quad (2)$$

高水数右岸側の運動方程式については、式形は高水数左岸側と同様であり、式(2)の第二添え字の l を r とすれば良い。ただし摩擦応力を式(3)、付加的なせん断応力を式(4)のように評価する。

$$\tau_m = \rho g \frac{n_m^2 q_m |q_m|}{A_m^2 R_m^{1/3}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tau_{a1} &= \rho f (u_m - u_{r1})^2 \\ \tau_{ar} &= \rho f (u_m - u_{rr})^2 \end{aligned} \quad (4)$$

(τ_{r1} , τ_{rr} についても同形式)

f : 境界混合係数

また、連続方程式については水位は横断方向にほぼ一定と考えられることや、比較的直線的な広幅水路を前提とすれば、全断面に関して水量の収支を考え、次のような式で与えられる。

$$B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (\text{ただし, } B = B_m + B_{r1} + B_{rr}, \quad q = q_m + q_{r1} + q_{rr} \text{である}) \quad (5)$$

以上に示した基礎方程式を4点Implicit法を用いて離散化し、Newton-Raphson法を適用し、収束条件を満たすまで反復計算すれば次時刻の水理量を求めることができる。以後、この方法を修正法と記す。

また、井田法による合成粗度係数を非定常流計算に導入した場合の解析にも4点Implicit法を用いた。

3. 実験値と定常解析値の比較

前述の両解析手法の適用性や有用性を検討するため、水路長30 m、幅80 cmの可変勾配水路にアクリル性の素材を用いて全長5.5 m、幅40 cm、高さ6 cmの高水敷を片側に設置した複断面水路における実測値と両解析手法による計算値と比較した。得られた結果のうち、高水敷上に人工芝を張って低水路より粗度を大きくし、水深を高水敷の約1.5倍とした場合の水面形状を図-2に示す。計算区間が短いため両者の計算結果に顕著な差は現れていないが、修正法の計算値は内部抵抗を評価するためやや大きく計算されていることが分かる。また、任意断面における平均流速や流量については修正法による計算結果の方が井田法を用いた場合に比べてより実測値に近い結果が得られ、各分割水路の水量についても良好な結果が得られた。

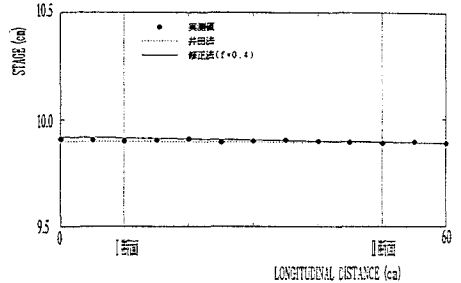


図-2 水面形状（実測値と計算値）

4. モデル水路における不定流解析例

モデル水路の断面形状については、複断面河道の基本形として両側に対称な矩形の高水敷を想定し、実河川の規模を考慮して、全幅は300 mとした。また、勾配が1/1000、高水敷の粗度係数が0.05、低水路の粗度係数が0.03の様な水路を仮定した。計算区間は10 kmとして、境界条件として上流端で初期ピーク型の流量ハイドログラフを与え、下流端では水位を固定した。その他の計算条件としては、 $\Delta t = 60$ (s)、 $\Delta x = 200$ (m)、重み係数 $\theta = 0.75$ を用いた。得られた結果のうち、上流から5 km地点における流量ハイドログラフを図-3に、水位ハイドログラフを図-4に示す。

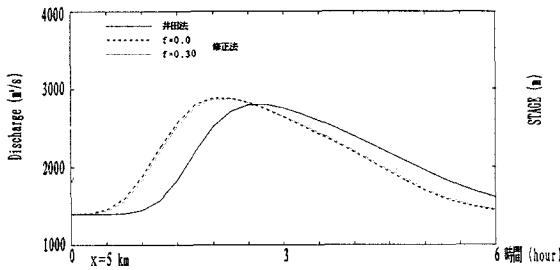


図-3 流量ハイドログラフ

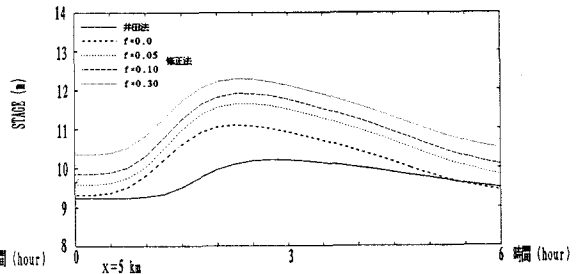


図-4 水位ハイドログラフ

流量ハイドログラフの結果を見ると、修正法における f の値による変化はほとんど無いが、井田法を用いた計算値と比較するとピーク流量の伝達時間に約20分のずれが生じている。これは井田法による計算値が全断面に関して水理水深を介して計算されるため、洪水の伝播速度が過少に評価されることが原因と考えられ、修正法の計算値の方がより実際の流況に近いと考えられる。また、水位ハイドログラフを見ると、井田法による計算値と $f=0.0$ を用いた修正法による計算値が、洪水の初期と終期でほぼ同じ値を示しているものの、流量変動時、さらには f の値の変化に伴って、井田法によるものとの差が顕著に現れている。なお、計算の安定性については神田らの提案する無次元量 κ について検討した結果、 κ は2.0前後であり、安定な解が得られていると考えられる。

5. おわりに

提案した解析手法（修正法）は、井田法を非定常流計算に用いる場合に比べて、せん断力の評価式に含まれる f の値が流れに対して適当に評価されれば、複断面河道の洪水流況に関してより実際の流況に近い結果が得られると考えられる。今後の課題としては断面形状等による流れの付加抵抗力の評価に加えて、高水敷内の灌木等の植生の抵抗特性への影響など、実際面への適用に当たっては検討すべき点が多く残されている。

<参考文献> 1) 神田・辻：低平地河川網における洪水流の特性とその制御，建設工学研究所報告，第21号，pp.105-132，1979。