II-351　粗度係数の決定に関する一考察

建設省土木研究所　正　員○佐々木　健　一
〃　　　　　　　正　員　石　崎　勝　義

1. ま え が き

河道改修計画の策定等に際して用いられる不等流計算や不定流計算では，運動式にマニングの平均流速公式を適用することが多い。その場合，粗度係数 n は一般に既往洪水資料を用いて調整するが，観測値がない場合には標準的とされている値をよりどころとする他に方法がない。ところが，数値解析という観点に立って見ると，計算モデルの要素の中には粗度係数に影響すると考えられるものがあり，水理実験によって得られた値は一つの指標ではあるが，絶対的なものではないように思われる。本小文では計算モデルとして不定流計算を考え，粗度係数の値に関して若干の考察を試みる。

2. 安定条件による制限

開水路における不定流の基礎式は，運動式の抵抗項にマニング式を用いると次のようになる。

$$\frac{1}{g}\cdot\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{u}{g}\cdot\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{n^2\cdot|u|\cdot u}{R^{4/3}}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q \qquad (2)$$

u：平均流速　　q：横流入量
A：河道断面積　　R：径深
H：水位　　n：粗度係数
g：重力加速度　　Q：流量（＝A・u）

(1)式の第 1 項，第 2 項は他の項に比べてオーダーが小さいことが報告されている[1]ためにこれらを省略し，両式を次のように差分化する。

$$u_{i,j}=\pm\sqrt{\left|\frac{H_{i+1,j}-H_{i,j}}{\triangle x}\right|}\cdot\frac{R^{2/3}_{i,j}}{n_{i,j}}=\pm\sqrt{|I_{i,j}|}\cdot\frac{R^{2/3}_{i,j}}{n_{i,j}} \qquad \begin{cases} I>0\rightarrow u>0 \\ I<0\rightarrow u<0 \end{cases} \qquad (1)'$$

$$A_{i,j+1}=A_{i,j}+(Q_{i,j}-Q_{i-1,j})\cdot\frac{\triangle t}{\triangle x}+q_{i,j}\cdot\triangle t \qquad (2)'$$

木下によれば，幅の広い長方形断面水路における不定流計算の安定条件は次のようである。

$$\frac{5}{3}u<\frac{\triangle x}{\triangle t} \qquad (3)$$

一般には，安定条件よりも収束条件の方が厳しいため左辺は洪水時の流速の10倍以上の値が必要となるが，ここでは簡単のために a 倍とすると次のようになる。

$$\frac{\triangle x}{\triangle t}>au=a\cdot\frac{1}{n}R^{2/3}\cdot I^{1/2} \qquad (3)'$$

この式からわかるように，収束条件を満たす範囲内では，n は△t と比例関係にあり，△x に反比例する。従がって一度モデルを設定した後，△t を大きくするか△x を小さくするかして条件を満たさなくなった場合には n を大きくする必要がある。

3. 粗度係数に影響する要素

一般に，河道の粗度係数は河床の状態によって決まり，その値はおよそ n ＝ 0.015 ～ 0.04 の範囲にあるとされている。しかしながら，n を損失に関する係数と考えれば，その値に影響を及ぼすと考えられる要素として次のようなものを挙げることができる。

1）河道幅の急拡，急縮
2）河道内の構造物（橋脚，水制など）

3）河道の彎曲，段落ちなど

不定流の数値計算では，nは△x間の値を代表するわけであるから，上に挙げたような要素が△xの間に多く含まれてくればその点を考慮しなければならない。すなわち，lumpingの問題が起こってくるわけである。たとえば，ある△xでnを調整した後，安定の問題は考えないものとして，△xを½あるいは⅓にしたときに，nの値をそのままとして精度が向上するかどうかには疑問が残る。△xを大きくした場合も同様である。

このようにlumping の問題によって△xに伴ないnの値が変化するであろうことは予想できるが，大きくなるか小さくなるかはケースバイケースであり，断定はできない。

4. 流下時間に関する問題

この問題については，その影響が計算の結果に単独に現われないため推測の域を出ないが，Kinematic wave法や貯留関数法と同様に，不定流計算においても時間遅れの影響はあり得ないことではないと思われる。貯留関数法の場合，△xが大きくなるとその間の波の伝播に要する時間が無視できなくなるとして，遅れ時間T_ℓ を用いて入出力間の時間差を調節している。ところが，不定流計算にはいまのところT_ℓ の概念が導入されていないので対応のしかたが難しい。そこで視点を変えて，Kinematic wave法の等価粗度を見てみると，河道で普通用いられているような値とはオーダーが1桁程度異なっている。斜面流出モデルとしてKinematic wave 法が用いられるときは，等価粗度Nは単なる斜面の粗さを表わすのみでなく，到達時間の大小を表わすパラメータとしての意味をもっている。[2] 河道においてもその意味を失なわないとすれば，不定流計算の場合にもT_ℓ の投割を粗度係数に持たせることができる。換言すれば，洪水伝播による時間遅れが無視できないような△xをとった場合には，nを等価粗度と考えて，これを調整することによってこの問題に対応できるように思われる。

5. あ と が き

不定流計算に用いる粗度係数に関して考察した。結論としては，差分する際の△x の大きさによりlumping の問題，流下時間の問題などが予想されるが，それらを適当に調節するようなnを用いることが望ましいのではないかということである。その結果として，水理学に基礎を置く不定流計算が水文学的概念モデルに近くなるが，工学的に満足のいく精度であれば十分ではないかというのが筆者らの主張である。蛇足であるが，筆者らが中川の支川の大揚川に不定流計算を適用した結果，n＝0.07のときが最も実測値（水位）に近かった。

参 考 文 献

1）木下武雄「数値計算の応用と基礎，第8章　不定流計算への道」伊藤剛編

2）橋本健，長谷川正「土地利用変化を評価する流出モデル」土木技術資料 Vol.19　No.5