河道－堤内地共存格子を用いた氾濫計算法について

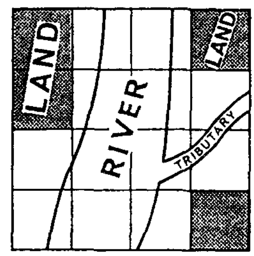
長崎大学工学部　学生員○中島隆信
長崎大学工学部　正　員　野口正人
長崎大学工学部　正　員　中村武弘

1．まえがき

豪雨時における浸水域予測計算との関連で、平面２次元流の計算が益々必要になってきた。とくに、都市域での氾濫解析を進めるうえでは、河川からの溢水とともに、マンホールからの下水道流の吹き出し等による影響も考慮しなければならない[1]。これらの問題に対処するため、既に著者らは、河道－堤内地共存格子を用いた氾濫計算法[2]を提案している。以下では、本モデルの数値計算上の問題点について考察する。

2．河道－堤内地共存格子を用いた氾濫解析法の概要

前述されたように、都市域での洪水流は複雑な経路を辿る。計算目的から言えば、都市域では可能な限り詳細な結果が得られることが好ましいが、一方では計算時間の制約があり、無制限に差分格子を小さくすることも出来ない。この問題を解決するために、通常の差分格子とは別に、図－１に示された河道－堤内地共存格子を導入して数値計算を進めることとした。本モデルの基礎方程式を示せば、以下のとおりである。



図－１　河道－堤内地共存格子の概念図

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial s}=q \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\frac{\eta}{g}\cdot\frac{\partial v}{\partial t}+\alpha\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{v^2}{2g}\right)+\frac{\partial}{\partial s}(h_R\cdot\cos\theta)-\sin\theta+\frac{\tau_b}{\rho g R}=0 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\frac{\partial h_L}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\xi_1 M^2/h_L)+\frac{\partial}{\partial y}(\xi_2 MN/h_L)=-gh_L\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_{xb}}{\rho} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\xi_2 MN/h_L)+\frac{\partial}{\partial y}(\xi_3 N^2/h_L)=-gh_L\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{\tau_{yb}}{\rho} \quad \cdots\cdots(5)$$

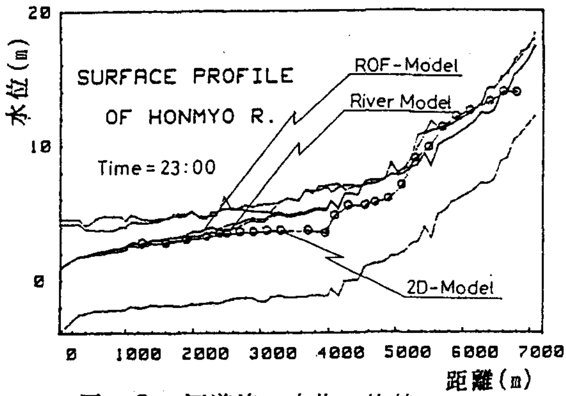
ここに、（１）、（２）式は河道流に対する式であり、（３）～（５）式は氾濫流に対する式である。河道－堤内地共存格子では、堤内地の氾濫流が（３）～（５）式に相当する基礎式を解いて求められ、河川流との相互の影響が越流公式により評価される。

本計算法は、適当な大きさの差分間隔で、より詳細な流況が得られるところに特徴を有している。しかし、河道－堤内地共存格子内の堤内地に対する運動量方程式を厳密に解くためには、堤防上の越流状態の違いによる運動量輸送についても正確に評価する必要がある。次節では、これらの問題に関して検討する。

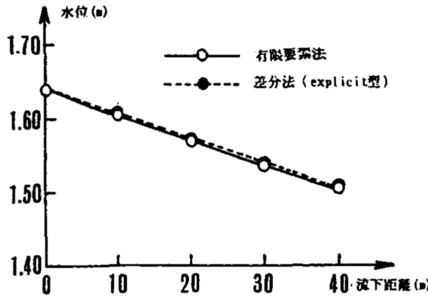
3．河道－堤内地共存格子を用いた氾濫解析法の計算精度

提案されたモデルに対しては、パラメータの同定などの目的で、計算結果を実測値や他の代表的モデルによる計算値と対比しておく必要がある。図－２は、河道－堤内地共存格子を用いた氾濫解析法により求められた河道流の水位を、通常の２次元氾濫解析ならびに１次元不定流解析による水位と比較したものである。本図より明らかなように、全体的な傾向は３者に共通しているが、通常の２次元解析では等価粗度係数の見積りが難しく、細部では他の二つの結果と異なっている。当然のことながら、河道－堤内地共存格子を用いた氾濫解析法の計算結果は不定流解析のものに似通っており、戻り流れを評価できる長所を有している。

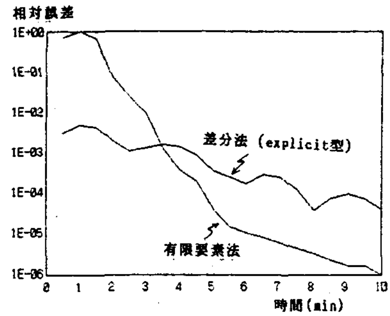
一方、河道－堤内地共存格子内の氾濫流計算を進める場合には、厳密には前節で述べられた問題が生じる。この点について計算精度の評価を行うため、対象領域の幾何形状の違いを容易に勘案できる有限要素法によ



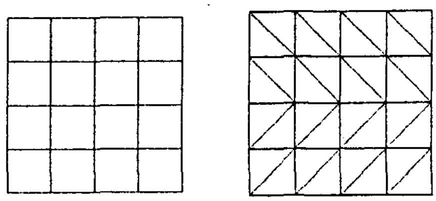
図－２　河道流の水位の比較



図－４　計算水位



図－５　相対誤差



(a)　差分格子　　(b)　有限要素

図－３　計算領域

り（３）～（５）式を解き、先のものと比較検討することとした。なお、紙面の都合で、離散式の説明は省略する。ここでは簡単に、図－３に示された長方形領域を対象にして、差分法ならびに有限要素法を用いた計算が行われた。定常な境界条件のもとで求められた水位（図－４）に対する相対誤差を表せば、図－５のようである。本図より明らかなように、有限要素法による計算では逆行列を計算して解を求めるため、急速に相対誤差が零に近づく。因みに、相対誤差が10^{-3}、10^{-4}になるCPU時間は、それぞれ、有限要素法で1.97、2.47秒、差分法（explicit型）で1.51、3.03秒であった。これより、高精度で計算するためには、時間方向の離散化をimplicitで行ったものの方が有利であるが、実用計算の範囲では両計算法による計算時間に大差ないことが分かる。

４．あとがき

本論では、２次元氾濫解析の一つである河道－堤内地共存格子を用いた計算法について検討した。冒頭でも述べられたように、２次元氾濫流の計算は広く行われるようになり、最近も１９６６年のフローレンス洪水に対する数値解析結果が報告されている[3]。ところで、１次元流の解析に対して、欧米諸国ではPreissmann法が好んで用いられるが[4]、各種計算法による結果の相互比較をすることは、実用上からも重要なことと言える。これらに関しては、今後とも引続き検討したい。

参考文献

1)Nakamura,T.,Y.Iwasa and M.Noguchi(1990):Simulation Analysis of Urban Storm Runoff,Proc. 5th International Conference on Urban Storm Drainage (in printing).
2)Iwasa,Y.,M.Noguchi and T.Nakamura(1987):Simulation of Urban Storm Drainage Involving River and Overland Flows, Proc. 22nd IAHR Congress, Part D, pp.208-213.
3)Gallati,M. ang G.Brachi(1989):Simulation of a Levee-Breaking Submersion of Planes and Urban Areas,HYDROCOMP'89,Elsevier,pp.117-126.
4)Samuels,P.G. and C.P.Skeels(1990):Stability Limits for Preissmann's Scheme, Jour. HY, ASCE (in printing).