低平地における氾濫シミュレーション

佐賀大学理工学部　正　大串浩一郎
溝田工業（株）　正　北田　幸夫
佐賀大学理工学部　学　大中　将史

1．はじめに

台風や梅雨期の集中豪雨による都市部の浸水災害は、現在もなお多くの地域において発生している。流域の治水事業が徐々に進んでいる昨今、従来見られた洪水災害が減少しつつある一方で、急激な都市開発により災害の形態が変化し、ある地域では排水能力の低下によりむしろ浸水被害が増大している箇所もある。河川堤防の破堤や溢水などの外水による浸水被害も少しは見られるが、都市域においてはむしろ堤内地における内水の長期的な湛水による浸水被害が多く、内水の速やかな排除のための施設整備が早急な課題となっている。

これらの排水手段としてはポンプによる強制排水、下流水門開閉による自然排水等があるが、特に低平な都市域においては、外的条件、すなわち、主要河川の水位や近隣の海域の潮汐等を常に考慮に入れておかねばならない。このような外的条件を全て押さえた上で、低平な都市域において発生する浸水災害がどのような規模で、どの位続くのかを予め予測しておくことが治水計画上必要不可欠であると言える。また、将来起こりうる大きな水害に対して内水排除施設の整備を新たに計画する上で、最も有効で投資効果の大きい施策を見定めるためにも、浸水状況の予測が必要である。

低平地における浸水状況を精度良く予測するための一つの手法として数値シミュレーションがある。これと対極にあるのが水理模型実験であろうが、室内模型実験で扱う範囲には限界があるのに対し、数値実験では数多くの場合を想定していろいろな予測が行えるのが長所と言えるであろう。もちろん、数値実験だけでなく模型実験と組み合わせて定性的あるいは定量的な現象の把握が重要であるのは言うまでもない。

本研究では、以上のようなことから、特に数値実験に焦点を絞り、低平地における氾濫シミュレーションを数値実験により行い、如何に精度良く浸水状況を予測できるかについて考察する。

2．基礎式

非圧縮性流体の連続の式及びNavier-Stokesの方程式において静水圧近似を仮定し、水深方向に底面から水面まで積分し、水路底面勾配が小さいとすれば、平面２次元流れに関する基礎式が以下のように得られる。

$$\boldsymbol{U}_t + \boldsymbol{E}_x + \boldsymbol{F}_y + \boldsymbol{S} = \boldsymbol{0} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{U} = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad \boldsymbol{E} = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 \\ uvh \end{pmatrix} \quad \boldsymbol{F} = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix} \quad \boldsymbol{S} = \begin{pmatrix} 0 \\ -gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ -gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{pmatrix}$$

ここで、hは水深、u，vはx，y方向の流速、gは重力加速度、S_{0x}、S_{0y}、S_{fx}、S_{fy}はそれぞれ底面勾配と摩擦勾配のｘ方向とｙ方向の成分である。

3．数値計算法

低平地における浸水予測のためには、ドライベッド上の水の運動をシミュレートできる方が望ましい。ドライベッド上すなわち、水深が非常に小さい場合、流れ場には常流域だけでなく射流域が生じることもあるであろう。したがって、正確な浸水の予測計算のためには２次元の常射流混在流れの解析が可能である必要がある。Moretti(1979)は支配方程式をλ形式と言われる形式に変形し、特性曲線の方向の符号に基づき基礎式を離散化し、正しい信号の伝わり方を与えるLambdaスキームを提案した。このスキームにより常射流混在流れの解析が初めて可能になった。その後、Gabutti(1983)はLambdaスキームの拡張版であるGabuttiスキームを提案している。以上は陽解法であるが、陰解法としては流体力学で従来より用いられてきたBeam and Warmingスキーム(1976)を浅水流にFennema and Chaudhry(1987)が適用し、ダム崩壊流れのシミュレーションを行っている。このBeam and Warmingスキームにおいては、係数マトリックスの分離と特性の方向によるスイッチングにより常流と射流が混在する流れが解析可能となっている。

本研究では、従来より開水路流れで用いられてきた、Laxスキーム、2step Lax-Wendroff スキーム、MacCormackスキーム、Preissmannスキームなどと上述のスキームをまず１次元流れの計算において比較検討し、さらにその中の幾つかのスキームを２次元浅水流に適用し、氾濫予測能力を議論することにする。

4．1次元流れのモデル計算

1次元の台形断面開水路に流量126m³/sの水が流れている場合を考える。ｔ＝0sで下流端のスルースゲートを瞬間的に閉じる操作を行ったとき、その上流でｔ＝500s、1000s、1500s、2000s後に形成される水面形を各計算スキームで求めた。台形断面の底部の幅は6.1m、斜面勾配2/3、初期水深5.79m、河床勾配0.00008、Manningの粗度係数ｎ＝0.013、水路長5000mとし、上流端は簡単のため貯水池水深に等しいという条件を与えた。

その計算結果のうち３つの陽解法、１つの陰解法の結果を図－１から図－４に示す。Gabuttiスキームでは、波のフロントの振動が若干見られるが、フロントの数値拡散は４つの中で最も小さかった。

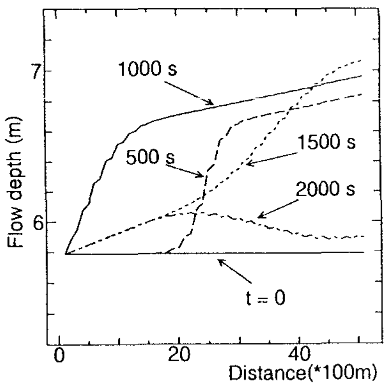
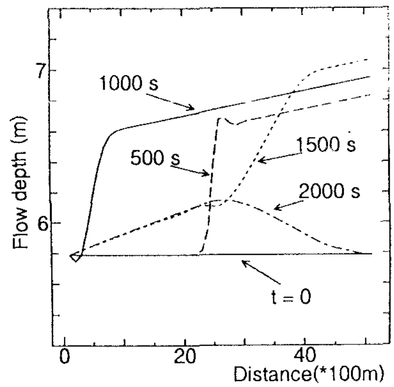
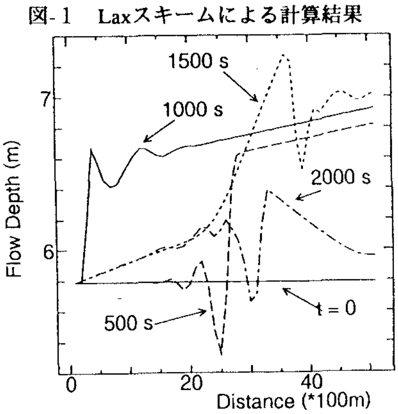


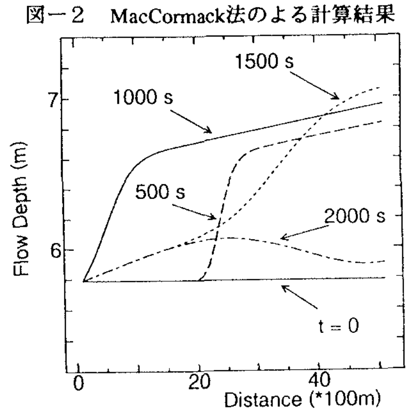
図-１　Laxスキームによる計算結果



図－２　MacCormack法のよる計算結果



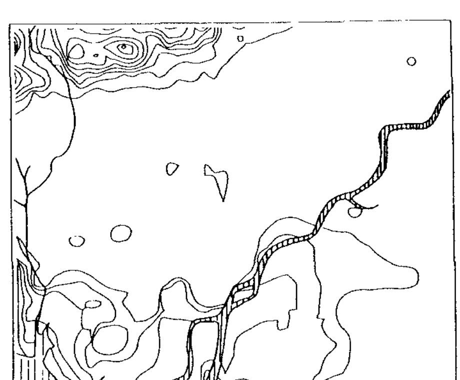
図－３　Gabuttiスキームによる計算結果



図－４　Preissmannスキームによる計算結果

5．２次元浅水流への適用例

１次元流れの結果を踏まえて、現在図－５のような２次元平面における氾濫シミュレーションの計算を行っている最中である。
計算スキームとしては、Gabuttiスキームと Beam and Warmingスキームを比較検討中である。
講演時にこれらの結果について発表予定である。



図－５　低平地の浸水予測計算領域

参考文献

1. Fennema,R.J. and Chaudhry M.H.: Simulation of one-dimensional dam-break flows, J. of Hydraulic Research, Vol.25, 1987.
2. Beam, R.M. and Warming, R.F: An implicit finite-difference algorithm for hyperbolic systems in conservation-law form, J. Comp. Phys., 22:87-110, 1976.
3. Gabutti, B.: On two upwind finite-difference schemes for hyperbolic equations in nonconservation form, Computers ans Fluids, 11, No.3:207-30, 1983.
4. Chaudhry, M.H.: Open-Channel Flow, Prentice Hall, 1993.