

II-247 時間的変化の急な流れに関する数値解析法

京都大学大学院 学生員 松岡 聡
 京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正員 99田 彰秀

1. はじめに; 本研究は、不連続部を有する時間的変化の急な流れに対する数値解析法について、二、三の検討を加えたものである。すなわち、筆者らが提案している二次内挿を導入した特性曲線法¹⁾(以下CH2法と記す)及び河川内を遡上する段波性津波の数値解析法として評価の高いLeap-frog法²⁾(以下LF法と記す)を用いて、水理実験の再現計算を行い、計算結果と実験値との比較により、これらの有効性、妥当性について考察する。

2. 基礎式および差分式; 対象とする流れの特性を考慮して次元運動量解析法を適用すれば、基礎式は次の連続式と運動量式によって構成される。なお、横流入量は存在しないものとする。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \text{-----(1)}, \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial Q}{\partial x} = Ag(S_0 - S_f) \text{-----(2)}$$

ここで、比力: $M = \frac{Q^2}{gA}$ 、 X : 水面から流木断面の圆心までの深さ、 X : 圧力分布係数、摩擦勾配: $S_f = \frac{m^2 Q^2}{A^3 R^3}$ 、 m : Manningの粗度係数、 $S_0 = \sin \theta$ 、 R : 径深、 β : 運動量係数である。なお、 $\beta = 1$ とする。

ここで用いるCH2法の差分式については、その詳細を文献(1)に譲る。一方、LF法の差分式は、図-1に示すような差分格子を採用して次式のように誘導される。

$$A_i^n = A_i^{n-1} - \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) (Q_{i-1/2}^{n-1/2} - Q_{i+1/2}^{n-1/2}) \text{-----(3)}$$

$$Q_{i-1/2}^{n-1/2} = \left[Q_{i-1/2}^{n-1/2} - \beta \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) \{ (VA)_{i-1}^{n-1} - (VA)_i^{n-1} \} - Xg \cos \theta \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right) \{ (R_0 A)_{i-1}^{n-1} - (R_0 A)_i^{n-1} \} + \frac{\Delta t}{2} S_0 (A_{i-1}^{n-1} + A_i^{n-1}) \right] / DA \text{-----(4)}$$

ここで、 $DA = 1.0 + \frac{\Delta t}{2} g \left\{ \frac{m^2}{A_{i-1}^{n-1} (R_{0i-1})^3} + \frac{m^2}{A_i^{n-1} (R_{0i})^3} \right\} |Q_{i-1/2}^{n-1/2}|$ 、 $(VA)_{i-1}^{n-1} = \left(\frac{Q_{i-1/2}^{n-1/2} + Q_{i-3/2}^{n-1/2}}{A_{i-1}^{n-1} + A_{i-2}^{n-1}}\right) A_{i-1}^{n-1}$ 、 $(R_0 A)_{i-1}^{n-1} = \frac{(A_{i-1}^{n-1})^2}{2 B_{i-1}^{n-1}}$ 、 $(R_0 A)_i^{n-1} = \frac{(A_i^{n-1})^2}{2 B_i^{n-1}}$

3. 数値解析結果とその考察; 計算例は、平均水路床勾配1/600、初期流量が4.15秒で、不連続部が下流から上流へ遡上するCASE22及び不連続部が上流から下流へ伝播するCASE23とし、CH2法及びLF法を用いて再現計算を行った。上流端及び下流端の境界条件は、実験より得られた水位ハイドログラフを与えた。初期条件は、下流端での初期水位と初期流量から不等流計算して設定した。なお、実験は文献(3)と同じ方法を行い、水位は上流端、上流端から2.0mの点(No.25)、4.0mの点(No.17)、6.0mの点(No.9)及び下流端の5箇所にて測定された。図-2、図-3はCASE22についてCH2法ならびにLF法を適用して求めた水位ハイドログラフである。図-2では、波先後方に現れている数値振動の振幅もすくやかに減衰し、No.9及びNo.17では一定値へ収束している。しかし、波先の伝播距離について、No.25地点で実験結果の方が計算結果よりも大きいために、二の影響が2.30秒付近の異常な水位の上昇となって現れている。すなわち、計算結果のピークが上流端に到達するまでに、上流端境界条件はピークをむかえ、それが流下し、その後両者が衝突して水位の上昇になったものと考えられる。また、図-3では図-2と同様に波先後方に数値振動を有し、その振幅はほとんど減衰の兆候もなく一定である。振動の平均値は、実験値とよー一致をみ

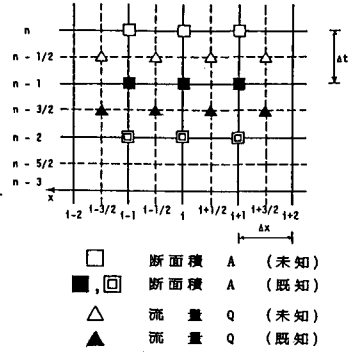


図-1 差分格子 (Leap-frog 法)

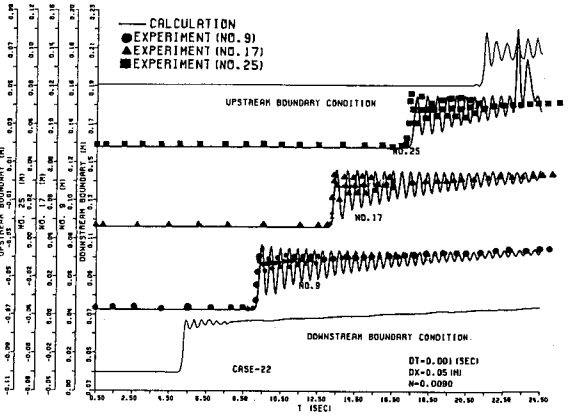


図-2 水理実験と数値シミュレーションとの比較 (CH2法)

しており、定性的には水理実験の再現ができたものと判断される。図-4, 5, 6はNo.9, No.17, No.25地点での不連続部分を拡大したもので、実験値, CH2法及びLF法による計算値が比較されている。今、不連続部における水位の変化率 $(\Delta h/\Delta t)$ 、実験値の波高よりオーバーシュートした高さの比をオーバーシュート度と定義すれば、これらの図より表-1が得られる。この表より、No.9, No.17では、 $(\Delta h/\Delta t)$ 、オーバーシュート度ともにLF法よりCH2法の方が再現度の高い結果でありと判断される。しかし、No.25を含めて比較すると判断は難しくなる。また、図-7及び図-8

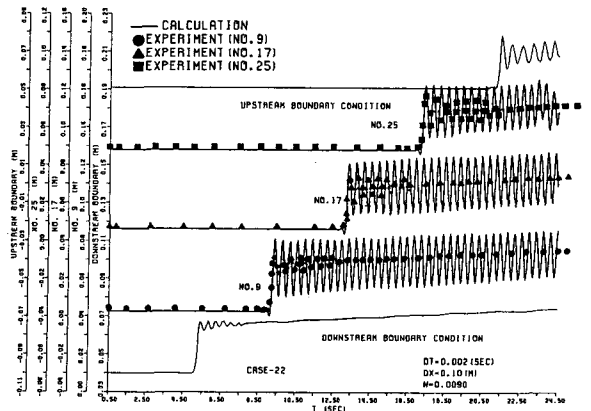


図-3 水理実験と数値シミュレーションとの比較 (LF法)

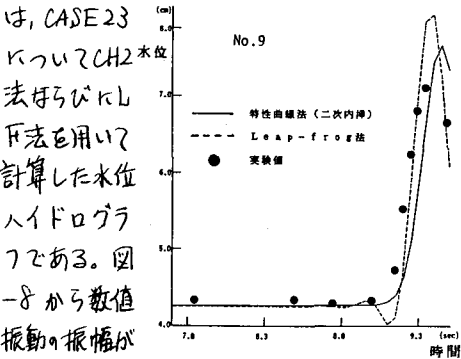


図-4 水理実験と数値計算との比較

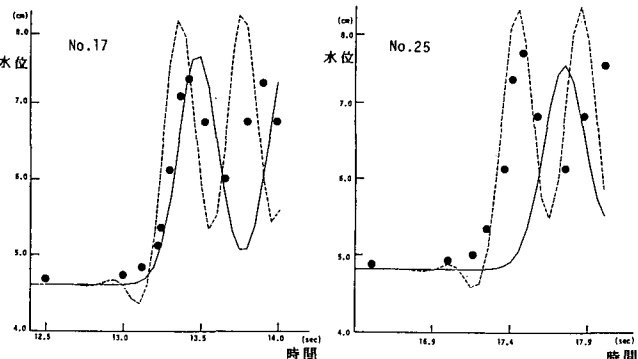


図-5 水理実験と数値計算との比較

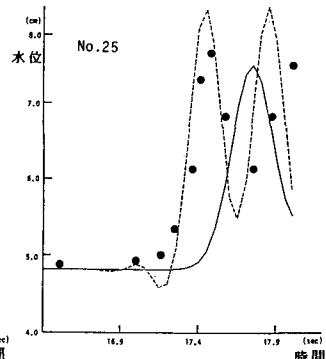


図-6 水理実験と数値計算との比較

もに減衰していく様子が見えがえる。なお、この事はCASE 22の計算結果と異なっている。同様に、 $1/500$, $1/50$ の場合についても数値解析を試みた。その結果、LF法では、CASE 23のような流れに対して、路床勾配が急になる解の振動が大きくなり、計算途中で負の水深が頻りに生じることが確認された。この原因は不連続的に急激に変化する境界条件にあると予想される。同様のことが豊田・成瀬⁴⁾によって入部渦于拓地の洪水流の解析で報告されている。

表-1 波先勾配とオーバーシュート度

	実験値	LF法	CH2法
No.9			
$\Delta h/\Delta t$	0.1608	0.2579	0.1714
オーバーシュート度	0.0	0.1380	0.0794
No.17			
$\Delta h/\Delta t$	0.1556	0.2186	0.1419
オーバーシュート度	0.0	0.1056	0.0432
No.25			
$\Delta h/\Delta t$	0.2151	0.2247	0.1182
オーバーシュート度	0.0	0.0783	-0.0170

4. おわりに；以上より総合的に判断すれば、CH2法の方がLF法より時間的变化の急な流れの再現性がよいと判断される。しかし、CH2法、LF法とも波先部の数値振動や伝播速度等に問題が残されており、さらに検討が必要である。

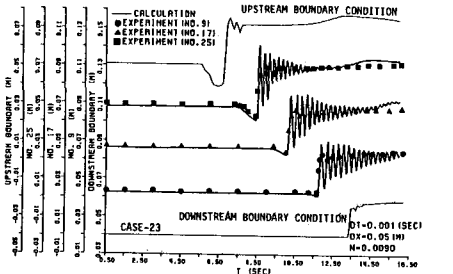


図-7 水理実験と数値シミュレーションとの比較 (CH2法)

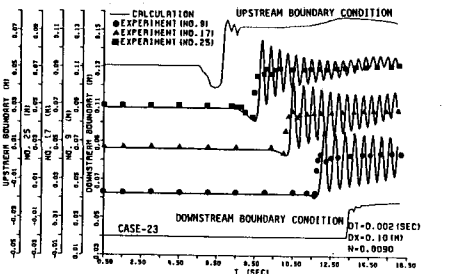


図-8 水理実験と数値シミュレーションとの比較 (LF法)

《参考文献》 1) 岩佐 97田；第29回水理講演会論文集，pp.663~668，昭和60年， 2) 後藤・首藤；第28回海岸工学講演会論文集，pp.64~68，昭和56年， 3) 岩佐 97田；京都大学防災研究所年報，第28号B-2，pp.429~441，昭和60年， 4) 豊田・成瀬；農業土木学会論文集，第53号，pp.13~20，昭和49年