

II-265

移動境界を考慮した有限要素法による洪水氾濫流解析

中央大学 学生員 ○ 梅津 剛
 東北地建 正 員 藤沢 寛
 中央大学 正 員 川原 睦人

1. はじめに

河川流域における大規模な改修工事を計画する際には様々な検討が行われるが、洪水時における流況などを大局的に観察する場合に、数値解析法を用いることが考えられる。本研究では、河川の非定常流れ解析に対する数値解析手法として、浅水長波方程式を用いた二段階陽的有限要素法を提案している。その特徴として、解析領域を二次元平面上に捕えることにより、流れ場における現象の視覚的な表現が可能で、逆行列を直接解かない陽的解法であることから、膨大な要素分割に対処でき、また計算時間も実用的な範囲で押さえることができる、等があげられる。本報告では、このような解析法を用いると共に、そのアルゴリズムの簡便さから、水深の有無により水際線上にある要素を判断し、重ね合わせる要素数を変化させるという手法により水際線の移動境界を表現しようとする手法を取り入れている。この手法を用いることによって、流量の増減による河幅の変化を考えた、洪水氾濫流などの実際の自然現象を数値的に解析するものである。

2. 基礎方程式

河川の流れを、鉛直方向に平均化した流速と、水深とで表わす、つぎの浅水長波方程式を用いる。河水は非圧縮粘性流体と仮定し、未知量は、平均流量 M_i と水位変動量 ζ である。

$$M_i + (u_i M_i)_{,j} + g(H + \zeta)(H + \zeta + Z)_{,i} = \nu(M_{i,j} + M_{j,i})_{,j} - f u_i \quad (1)$$

$$\zeta + M_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで、流速 u_i は、 $u_i = M_i / (H + \zeta)$ として求められる。 ν は渦動粘性係数、 f は底面摩擦係数である。 f はマンニングの粗度係数 n を用いて、次式の形で与えるものとする。

$$f = g n^2 h^{-1/6} (u_k u_k)^{1/2} \quad (3)$$

ここに、 g は重力加速度、 h は要素内平均水深である。(1)式の左辺第3項(圧力項)中の z は河床の標高を与えるものである。従って、この項は水面の勾配による流体力を表している。

3. 有限要素法の適用

基礎方程式(1),(2)にガレルキン法を用いて空間方向の離散化を行ない、解析領域の分割には三角形一次要素を用いる。時間方向の離散化としては二段階陽的解法を適用する。最終的に導かれた有限要素方程式は空間微分項をとりまとめて Γ_1 、 Γ_2 として示せば、以下の形となる。

第一段階

$$\bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^{n+1/2} = \bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^n - \Delta t/2 [\Gamma_1 (M_{\beta i}^n, \zeta_{\beta}^n)] \quad (4)$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta}^{n+1/2} = \bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta}^n - \Delta t/2 [\Gamma_2 (M_{\beta i}^n)] \quad (5)$$

第二段階

$$\bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^n - \Delta t [\Gamma_1 (M_{\beta i}^{n+1/2}, \zeta_{\beta}^{n+1/2})] \quad (6)$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta}^n - \Delta t [\Gamma_2 (M_{\beta i}^{n+1/2})] \quad (7)$$

ここで、 $A_{\alpha\beta}$ は質量行列で、 $\bar{A}_{\alpha\beta}$ は $A_{\alpha\beta}$ の集中化行列であり、 $\tilde{A}_{\alpha\beta}$ は、

$$\tilde{A}_{\alpha\beta} = e \cdot \bar{A}_{\alpha\beta} + (1-e) \cdot A_{\alpha\beta} \quad (0 \leq e < 1) \quad (8)$$

で与えられる混合行列である。 e は混合の割合を与えるものでランピングパラメータと呼ばれる。 e の選択によって計算の安定性と人工粘性の軽減を計ることができる。

境界条件は、流量の与えられる境界 S_1 と、水位変動量が与えられる境界 S_2 とに分けられる。本解析では、河川の上流側では流量を与え、下流側では水位を規定する条件を用いている。また、本手法では、予め広域に渡って領域を有限要素に分割し、水位の有無を判定し計算する要素を変化させることによって、流水域の増減を表現する移動境界の手法を取り入れている。水際の要素に対しては、水深と認められる量 ε を定義して、水深($H+\zeta$)が ε 以下である場合は流量をゼロとし、微少水深による計算の不安定を回避している。

4. 数値解析例

本論文では、岩手県一関地区における昭和62年8月に起こった洪水の、本手法による数値シミュレーションについて報告する。

この洪水に関する資料は、8月17日10時より、20日1時までの64時間の観測水位値と、それに基づいて算出された流入流量値である。境界条件は、3支川と北上川上流端箱石地点に流量を与え、下流側諏訪前地点に水位変動量を与えた。計算条件としては、微小時間増分量 $\Delta t=3.0$ 秒、マングの粗度係数 $n=0.04$ 、 $\varepsilon=0.1m$ を用いた。図-1は解析領域を示している。図-2～図-4は計算された流況を時間を追って表したものである。図-5は、観測記録と解析結果のそれぞれの水位を、上流部、下流部、狐禅寺水位観測所の3地点において、時間経過に従い比較したものである。

4. おわりに

洪水全般における氾濫形態を時間を追って解析し、またそれを可視的に観察できるという意味で、本手法は有効な数値解析法であると思われる。



図-1 解析領域平面図

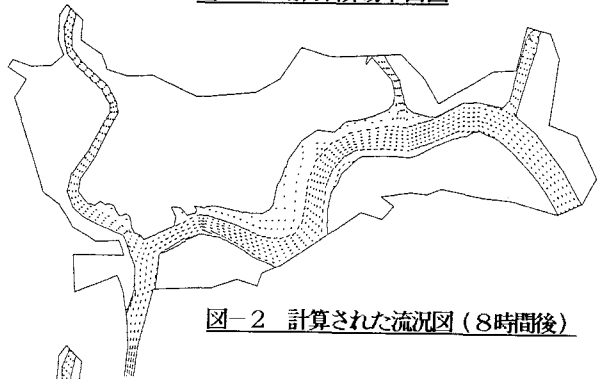


図-2 計算された流況図(8時間後)

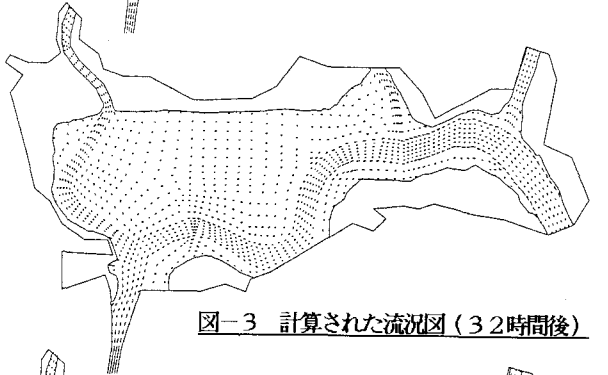


図-3 計算された流況図(32時間後)

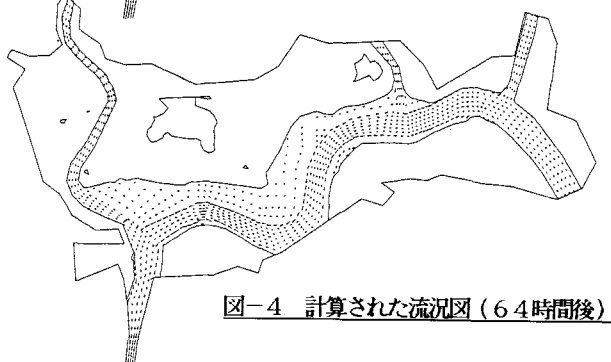


図-4 計算された流況図(64時間後)

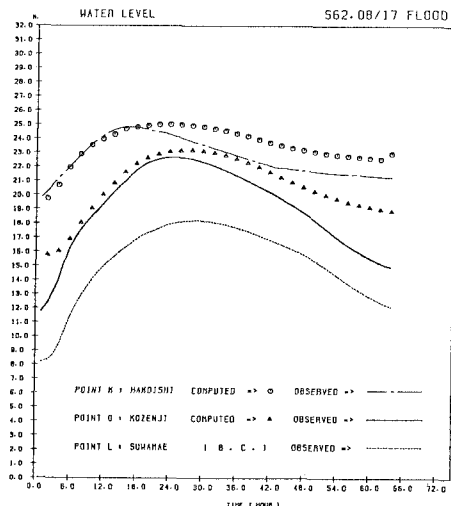


図-5 観測値と本手法による計算値との比較