

II-35

有限要素法による洪水氾濫追跡シミュレーション

○ 中央大学 学生員 梅津 剛
東北地建 吉尾 進
中央大学 正 員 川原 睦人

1. はじめに 本研究では、洪水現象に対する実用的な水理解析手法として、二段階陽的有限要素法を用いた、非定常流れ解析手法を提案している。本手法における特徴としては、移動境界法を導入することによって、有限要素分割で表された領域内部で、氾濫領域の時事刻々の変化を、内部の流れと同時に解析して行くところにある。この様な解析を行う目的には、氾濫形態の再現のみならず、ある洪水流量を上流部に仮定した場合における氾濫域の予測ということが考えられる。即ち、非定常現象の予測解析においては、下流部の流れは未知であるものとして取り扱う必要がある。本報告では、実問題を取り上げ、境界条件として観測値を用い、洪水氾濫現象の再現解析と予測シミュレーションを行うものである。

2. 基礎方程式 広域に渡った氾濫現象を可視的に捕らえるために、二次元平面上に解析領域を考え、河床摩擦と渦動粘性を考慮した、次の非保存型の浅水長波方程式を用いる。

$$\dot{u}_i + u_j u_{i,j} + g(H+\zeta+Z)_{,i} = \nu(u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} - \frac{g}{(H+\zeta)^{4/3}} \sqrt{u_k u_k} u_i \quad (1)$$

$$\dot{\zeta} + \{ (H+\zeta) u_i \}_{,i} = 0 \quad (2)$$

ここに、未知量は、平均流速 $u_i(x, y, t)$ 、水位変動量 $\zeta(x, y, t)$ である。 $H(x, y)$ 、 $Z(x, y)$ 、 g 、 ν は、それぞれ、水深、河床標高、重力加速度、渦動粘性係数を表わす。河床の摩擦係数として、Manning の粗度係数 n を用いるものとする。

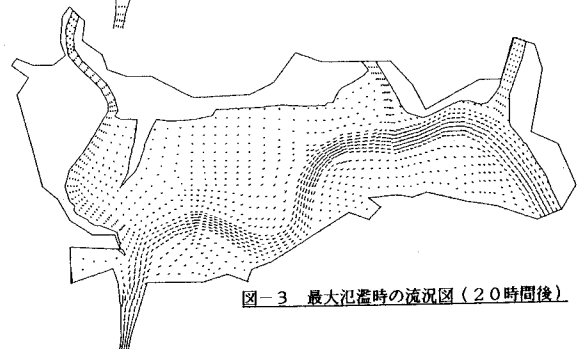
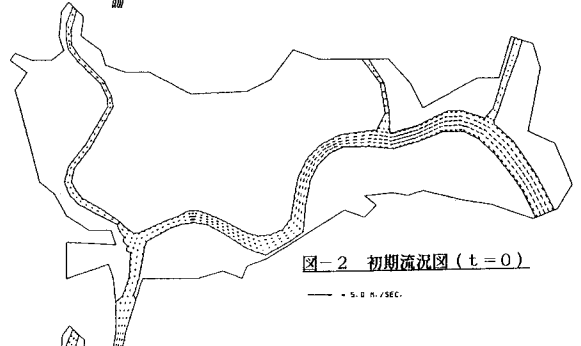
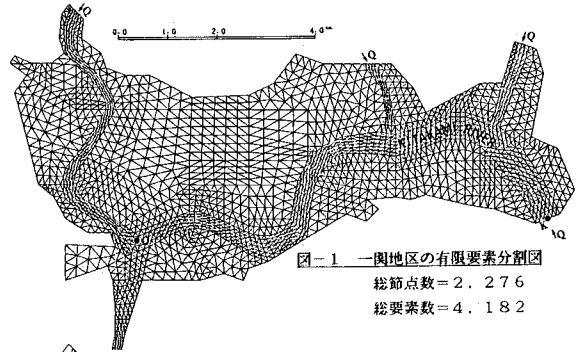
3. 数値解析手法の概要 基礎方程式(1)、(2)を、Galerkin法を適用して空間方向の離散化をおこなう。用いる有限要素の形状は三角形とし、形状関数は一次の内挿多項式とする。時間方向の離散化としては、テイラー展開における二次の項までが考慮されている二段階陽的解法を用いる。陽的解法は、逆行列を直接解かない手法であるため、多数の要素分割に適用可能であるが、疑似拡散現象の発生により解の精度に及ぼす影響が大きい。この対策として本手法では、連続式の右辺側質量行列にたいし、ランピングパラメータ e を導入した混合行列を用い、その発生を抑制している。渦動粘性係数 ν の選択については定性的な決定は難しく、経験的には流れの渦動粘性の効果が、局所的な流況と有限要素分割の細粗程度に関係することから、代表流速を $\sqrt{I_i}$ ($I_i(t)$: それぞれの要素における水面勾配)、さらに、代表長さを $\sqrt{A_i}$ ($A_i(t)$: それぞれの要素の面積) として、次式で仮定し、 ν_0 を選択する手法を用いている。

$$\nu_i = \nu_0 \times \sqrt{I_i} \times \sqrt{A_i} \quad (i=1 \sim \text{総要素数}) \quad (3)$$

有限要素分割は、予め氾濫の予想される領域上に地形・標高に従って作成され、全ての節点に基準平面からの地盤高を与える。本手法の移動境界手法は、この数値的に作られた地形の中で、次の諸判定によって行われる。毎回の時間ステップの中で、全要素に対し、3節点の水深 $(H+\zeta)$ の有無を判定する。この時、3節点全てが $(H+\zeta) < \varepsilon$ である要素は、その時間ステップの計算から除外される。即ち、重ね合わされる要素に組み入れないものとする。また、水際線上の要素に対しては、 $(H+\zeta) < \varepsilon$ である節点について、境界条件として、 $u_i = 0$ を与えるものとする。 ε は、水深の低位限界量で、微小な水深の発生による計算の不安定性を回避するものである。この手法は、要素及び節点の配置の規則性に関係のない、陽的解法のアルゴリズムに強く依存するものである。また、基本的に多数の要素を用いることを前提とした手法である。

4. 洪水氾濫解析 本論では、氾濫の発生しやすい岩手県一関地区を解析モデルとし、2種の実際に発生した洪水についての再現解析と、予測解析について行うものである。

図-1は用いる有限要素分割図と河川上流境界を表している。本報告では、大規模洪水モデルとして昭和62年8月洪水、中規模洪水モデルとして昭和61年洪水の実測データを、それぞれの境界条件としている。解析の手順としては、①氾濫前の条件によって、初期の流況を解析し、②再現解析として、上流側境界に観測流量を、下流側に観測水位をそれぞれ与えた解析を行う。③予測解析として、下流側境界では直接境界条件を与えない、自然境界条件のみで解析を行う。図-2、図-3は、大規模洪水モデルでの初期流況と最大氾濫時の流況を表している。図-4、図-5は、それぞれのモデルでの再現解析の水位計算値、予測解析の水位計算値、そして水位観測値を、時間を追ってプロットしたものである。



5. 考察 洪水の前半は良い一致が得られたが、後半において、特に予測解析では水位に食い違いがみられる。この理由として、有限要素分割等の数値モデルの精度が十分では無く、下流狭窄部の影響が解に反映しなかったものと思われる。しかしながら、2つのモデルが共に、同様の精度で計算されていることにより、実際問題における汎用性を期待することができると思われる。

参考文献

T. UMETSU, M. KAWAHARA "TWO-STEP EXPLICIT FINITE ELEMENT METHOD FOR THE FLOOD FLOW USING MOVING BOUNDARY TECHNIQUE", 7TH INT. CONF F.E.M FLOW PROB., Apl. 1989, HUNTSVILLE, USA

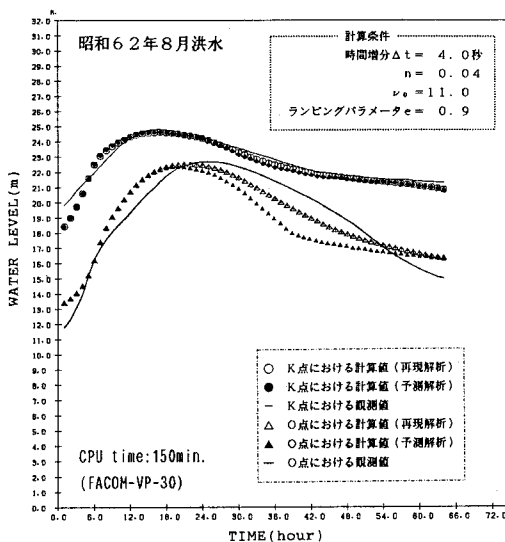


図-4 大規模洪水モデルの計算値と観測値との比較

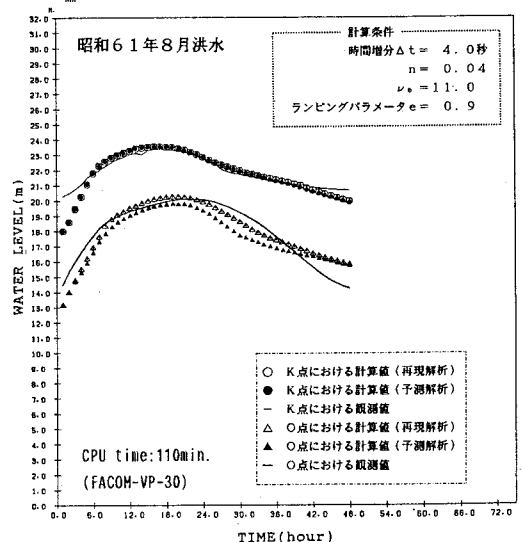


図-5 中規模洪水モデルの計算値と観測値との比較