

II-332 小貝川洪水追跡数値シミュレーション

中央大学 学生員 ○梅津 剛
中央大学 正 員 川原 睦人

1. はじめに

昭和61年8月、台風10号による豪雨は、東関東地方を中心に各地に多大な被害を及ぼした。それは洪水による河川災害、内水氾濫など近年希な水災害であった。特に、利根川支流の小貝川河沿においては、越流7ヶ所、破堤2ヶ所、浸水面積5,138ha という大規模な被害をもたらした。現在、これらの被災に対し治水計画が検討されている中で、氾濫状況を数量的に把握することは、極めて重要なことである。本論では、茨城県石下町、小貝川右岸の破堤における氾濫の洪水追跡数値シミュレーションを報告する。氾濫流に対しては浅水長波方程式を適用し、数値解析法として二段階陽の有限要素法を用いる事とする。

2. 茨城県石下町の小貝川氾濫による被害経過

小貝川流域では、8月4日から6日にかけて、およそ300mm/day という雨量を記録し、各地で氾濫が相次いだ。5日の茨城県明野町の堤防決壊に続いて、翌6日10時には石下町長峰橋下流右岸において堤防が決壊、当初幅10mの破堤は激しい濁流に洗われ、約100mに広がった。破堤箇所には八間堀川の排水機場があり、氾濫水はこの排水路を逆に流れ、ほぼ八間堀川と小貝川の間を南下し、水海道市に至った。破堤地点が旧河道の用水路部分であったため、氾濫水が旧堤上の集落を直撃する形となって浸水を受けた。その後、東西に走る道路によって拡幅は止められ、氾濫は八間堀川とバイパス道路の間を流下した。

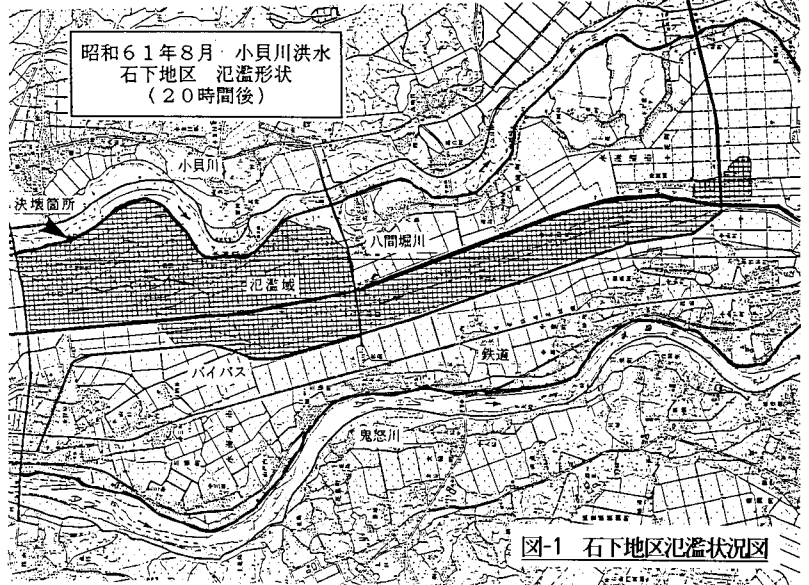


図-1 石下地区氾濫状況図

3. 支配方程式

解析領域は二次元平面内に設定し、氾濫流を可視的に捕える為に、本手法では鉛直方向に平均化した流速を用い、河水は非圧縮と仮定し、河床勾配を考慮した浅水長波方程式は、次のように導かれる。

$$\dot{M}_i + (U_j M_i)_{,j} + g \cos \theta \cos \phi (H + \zeta) (H + \zeta)_{,i} - g \Theta_i (H + \zeta) = A_i (M_{i,j} + M_{j,i})_{,j} - f U_i \quad (1)$$

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

ここに、 U_i は平均流速、 H は基準水深、 ζ は水位変動量であり、 M_i は単位幅当りの流量で次式である。

$$M_i = (H + \zeta) U_i \quad (3)$$

又、 A_i は渦動粘性係数、 f は摩擦係数で、 C をシェジエ数として、次式で表す。

$$f = \frac{g}{C^2} \sqrt{U_k U_k} \quad (4)$$

θ 、 ϕ は水平面と河床とが成す角度で、 Θ_i は次式を纏めたものである。

$$\Theta_i; \quad \Theta_1 = \sin \theta, \quad \Theta_2 = \sin \phi \quad (5)$$

4. 数値解析法概説

支配方程式(1),(2) に対し有限要素法を適用する。まず空間方向の離散化にはGalerkin法を用いて重み付き残差方程式を誘導する。解析領域を三角形要素で分割し、形状関数として一次の内挿多項式を使用する。時間方向の離散化には、時間変化に対しテイラー展開における二次項まで考慮される、二段階陽的スキームを適用する。以上の手続きで導かれた二段階陽的有限要素方程式¹⁾は空間微分項を取纏めて次のようになる。

第一段階

$$\bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^{n+\frac{1}{2}} = \bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^n - \frac{\Delta t}{2} \left[F_1 (M_{\beta i}^n, \zeta_{\beta}^n) \right] \quad (6)$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta i}^{n+\frac{1}{2}} = \bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta i}^n - \frac{\Delta t}{2} \left[F_2 (M_{\beta i}^n) \right] \quad (7)$$

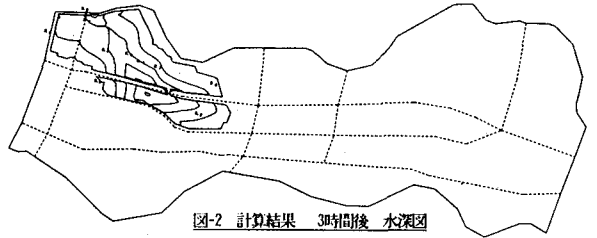


図-2 計算結果 30時間後 水涵図

第二段階

$$\bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta} M_{\beta i}^n - \Delta t \left[F_1 (M_{\beta i}^{n+\frac{1}{2}}, \zeta_{\beta}^{n+\frac{1}{2}}) \right] \quad (8)$$

$$\bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta i}^{n+1} = \bar{A}_{\alpha\beta} \zeta_{\beta i}^n - \Delta t \left[F_2 (M_{\beta i}^{n+\frac{1}{2}}) \right] \quad (9)$$

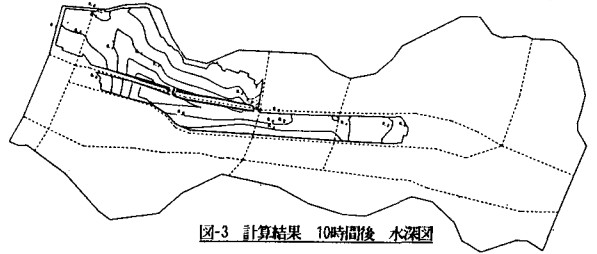


図-3 計算結果 10時間後 水涵図

ここに、 $A_{\alpha\beta}$ は質量行列、 $\bar{A}_{\alpha\beta}$ は $A_{\alpha\beta}$ の集中化行列であり、 $\bar{A}_{\alpha\beta}$ は混合行列で次式で表わせる。

$$\bar{A}_{\alpha\beta} = e \bar{A}_{\alpha\beta} + (1-e) A_{\alpha\beta} \quad (10)$$

ここに、 e はランピングパラメータと呼ばれ、この係数の選択により、陽的解法における人工粘性の軽減と計算の安定性を向上させる事ができる。

又、時間変化による水際線の移動を含めて解析を行う為に、予め氾濫が予想される領域全てに要素分割を施し、水深の有無によって重ね合わせる要素を調節し、解析領域を変化させてゆくという移動境界法¹⁾を適用している。

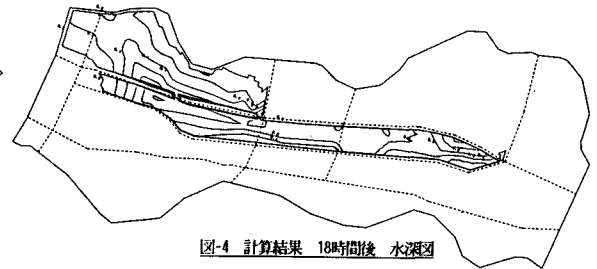


図-4 計算結果 18時間後 水涵図

5. 数値解析報告

計算結果を図-2～図-4に示す。与えた諸係数値は $c=30.0$, $Al=20.0$, $e=0.85$, 流入流量の決定には、氾濫経過時間により概略値を求めて決定している。時間的に氾濫流を追跡してみると、先ず、地形標高の低いと思われる八間堀川付近に向かって氾濫流が流れ始め、八間堀川の水路などにより堤防を通過し、その後、緩やかな地形勾配に従いながら流下していった様子が観察される。

<<参考文献>>

- 1) Kawahara, M and T. Umetsu; "Finite Element Method of Moving Boundary Problem for River Flow", Int. J. Num. Meth. Fluids, Vol. 6, 1986
- 2) Kawahara, M. H. Hirano and K. Inagaki; "Selective Lumping Finite Element Method for Shallow Water Flow", Int. J. Num. Meth. Fluids, 2, 89-112, 1982
- 3) 土木学会講演会 『1986年台風10号の災害の特徴』, 『小貝川流域の被災構造と治水』

最後に、本論文作成にあたって資料収集や解析などに協力して戴いた、小沢宏二氏に厚く感謝申し上げます。