

# PI-14 メッシュ間隔が変化するデジタルマップを利用した 二次元氾濫シミュレーションについて（その2）

住鉦コンサルタント（株） 山下伸太郎  
住鉦コンサルタント（株） ○大坪 隆三  
株式会社 海岸気象研究所 神成 佳男

## 1. はじめに

従来型の二次元氾濫シミュレーションにおいては、地形形状のモデル化には一般的にスタガードスキームを基本とした矩形メッシュが用いられており、河道周辺の微地形や土木構造物（砂防ダム、流路工、ボックスカルバート、など）を考慮したシミュレーション実施する場合、計算のモデル（差分法）上、計算エリア全域において土木構造物等の最小単位幅にメッシュ間隔を統一する必要がある。そのため、データ作成や計算実行に必要な以上の労力と時間を要することになる。

これまでは、上記問題の克服を念頭に置いて、計算エリア内の土木構造物（砂防ダム、流路工、ボックスカルバートなど）や局所的な微地形を効率よく評価するために、場所毎に適切なメッシュ間隔を設定し、そのメッシュ間隔が変化するデジタルマップ（以下、可変デジタルマップ）を利用した二次元氾濫シミュレーションプログラムの検討を行い、簡略化されたモデル地形における解析を実施した\*）。

本報告では次の段階として、より複雑な実地形モデルにおける解析を行い、従来型の計算結果と比較検討した。

## 2. 二次元氾濫シミュレーション（泥流）の概要

### 2.1 基礎方程式

流れの状態を表わす方程式は、流水の運動を表現する運動方程式と流水・土砂の収支を表わす連続式とからなり、流送土砂量は流砂量式あるいは土砂濃度式により表わされる。これらの方程式はベクトル方程式であり、二次元シミュレーションでは面的に独立な2つの軸（ $x$ 方向と $y$ 方向）を持っている。

$x-y$ 平面における二次元漸変流の運動方程式は次の各式で表される。

$x$ 方向運動方程式：

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T}$$

$y$ 方向運動方程式：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T}$$

ここに、 $M(=uh)$ 、 $N(=vh)$ ： $x$ および $y$ 方向の流量フラックス、 $u$ 、 $v$ ： $x$ および $y$ 方向の断面平均流速、 $Z_b$ ：河床面の地盤標高、 $\beta$ ：運動量補正係数、 $h$ ：水深、 $H$ ：水位（地盤高 $Z_b$ +水深 $h$ ）、 $g$ ：重力加速度、 $\rho_T$ ：流動層全体の密度、 $\tau_{bx}$ 、 $\tau_{by}$ ： $x$ および $y$ 方向の流れの抵抗力である。

また、水の連続式は次式のとおりである。

水の連続式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

### 2.2 可変領域の接続法

可変領域の接続法は、上述した基礎方程式の特に水の連続式を十分に満たされるようにした。以下にメッシュ間隔の細粗の2境界で計算を連続して進められる方法を紹介する。

2境界で時間  $step \Delta t$  は共通とする。メッシュ幅大のエリア内の値を  $\bar{M}$ 、 $\bar{N}$ 、 $\bar{\zeta}$  とし、メッシュ幅小のエリア内の値を  $\underline{M}$ 、 $\underline{N}$ 、 $\underline{\zeta}$  で表わし、すでに  $nstep$  までの値は求められているとする。まず  $n+1step$  のE点における $\zeta$ の値を求めるには、 ${}_{n+1}\bar{\zeta}_E$  を求める差分式をもとに、

$${}_{n+1}\bar{\zeta}_E : \bar{M}_B, \bar{M}_C, \underline{N}_A, \underline{N}_D$$

から求める。同様に、

$${}_{n+1}\bar{\zeta}_{X''-Y''} : X'-Y', X''-Y'', X'''-Y''' \text{ 上の } \bar{M}, \bar{N}$$

$${}_{n+1}\bar{\zeta}_{X'''-Y'''} : X''-Y'', X'''-Y''', X-Y \text{ 上の } \bar{M}, \bar{N}$$

$${}_{n+1}\bar{\zeta}_{X-Y} : X'''-Y''', X-Y, \text{ および } X-Y \text{ の次の距離}$$

$$step \text{ 上の } \underline{M}, \underline{N}$$

から求め、 ${}_{n+1}\bar{\zeta}_{B-C}$  は  ${}_{n+1}\bar{\zeta}_E$  に等しいとし、 ${}_{n+1}\bar{\zeta}_{X-Y}$  は  $B-C$ 、 $X''-Y''$  上の  ${}_{n+1}\bar{\zeta}$  の平均値とする。

かくて全部の  ${}_{n+1}\bar{\zeta}$  の値が求められる。

次に、 ${}_{n+2}\bar{M}$ 、 ${}_{n+2}\bar{N}$  を求めるのであるが、たとえば  ${}_{n+2}\bar{N}$  については  ${}_{n+2}\bar{N}$  の差分式をもとに、

$${}_{n+2}\bar{N}_A : \underline{M}_A, (A \text{ 点の } nstep \text{ の } M \text{ 値、以下同様}), \underline{N}_A, \text{ と } {}_{n+1}\bar{\zeta}_E, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{A-1} (\text{図-1 の外})$$

から求める。同様に、

$${}_{n+2}\bar{N}_{X-Y} : \bar{M}_{X-Y}, \bar{N}_{X-Y}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{X''-Y''}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{B-C}$$

$${}_{n+2}\bar{N}_{X''-Y''} : \bar{M}_{X-Y}, \bar{N}_{X-Y}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{X''-Y''}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{X-Y}$$

$${}_{n+2}\bar{N}_{X'''-Y'''} : \bar{M}_{X-Y}, \bar{N}_{X-Y}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{X-Y}, {}_{n+1}\bar{\zeta}_{X''-Y''}$$

と順次求められる。かくて  $M, N$  は  $n, n+2, \dots, step$  毎の計算されてゆく。すなわち、流れ（流速） $M, N$  と水位  $\zeta$  とは交互の時間  $step$  で計算されることになる。

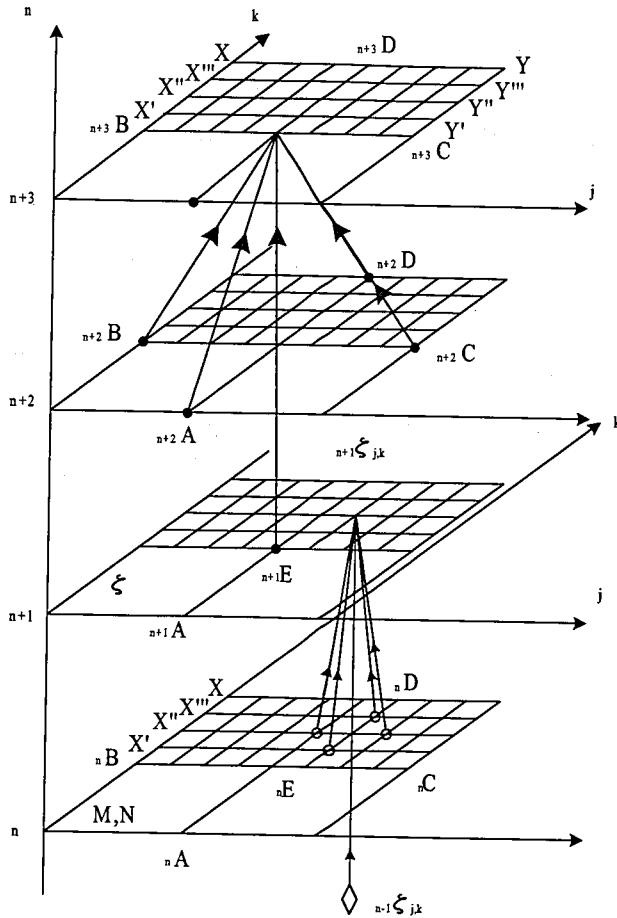


図-1 2領域の接続手法

#### 4. 可変デジタルマップを使用した解析例

現地地形モデルにおける可変メッシュ対応型二次元氾濫シミュレーションを実施した。

##### 4.1 計算条件

###### ①可変デジタルマップ（地形条件）

現地地形モデルは、谷出口直下に高速道路（盛土）があり、橋梁部で河道が閉塞されている現地地形を用いた。なお、メッシュ間隔は閉塞部周辺域を 5m、それ以外のエリアは 10m とした（図-2 参照）。

###### ②計算パラメータ（初期条件）

- ・マンニングの粗度係数：0.05
- ・計算刻み時間： $\Delta t = 0.1\text{sec}$

###### ③ハイドログラフ（境界条件）

ハイドログラフはピーク流量（水のみ）が 200m/sec の 2 等辺三角形形状とし供給時間を 180sec とした。

###### ④計算ケース

計算ケース一覧表

ケース	使用モデル	メッシュ間隔
1	従来型	10m
2	可変メッシュ対応型	5,10m

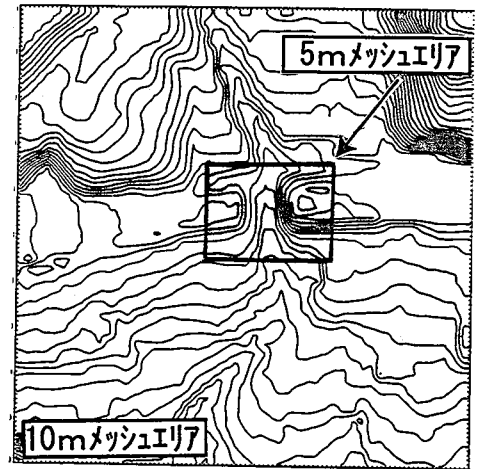


図-2 可変デジタルマップ

##### 4.2 計算結果

ケース 1・2 の計算結果の最大流動深分布状況をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。

全体的な氾濫傾向としては、ケース 1（従来型）と類似した結果となった。詳細にみると地形変化の著しい箇所や可変領域の接続部分において若干水面形の不整合が見られた。

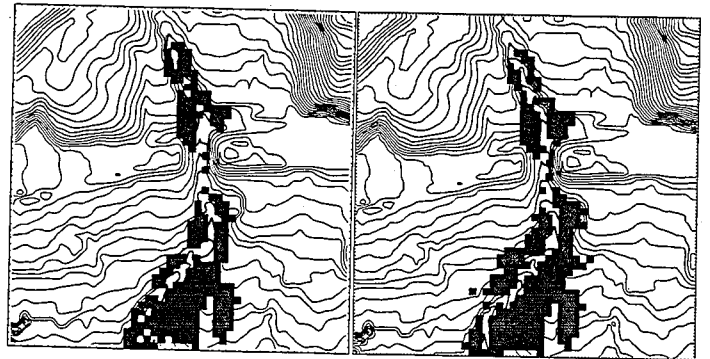


図-3 ケース 1

図-4 ケース 2

##### 5. 終わりに

本報告は可変メッシュ対応型（場所毎に適切なメッシュ幅を設定）二次元氾濫シミュレーションプログラムを作成し、より複雑な実地形モデルにおける解析を実施した。

現段階のプログラムは従来型の計算結果とメッシュ単位でマクロ的に比較してみると所々で水面形の不整合が見られ、可変領域の接続法などに問題を残す結果となった。しかしながら、氾濫範囲については従来型の計算結果と概ね同様の傾向が示され、実用化へ向けての可能性が示された。

今後は河床変動を考慮したモデルを加えたモデル構築を進めていく予定である。

##### [参考文献]

\*)山下伸太郎：メッシュ間隔が変化するデジタルマップを利用した二次元氾濫シミュレーションについて、平成 12 年度砂防学会研究発表会概要集 pp.390-391、2000