

住鋳コンサルタント株式会社 山下伸太郎, ○大坪隆三
株式会社 海岸気象研究所 神成 佳男

1. はじめに

一般的な二次元氾濫シミュレーションでは、地形形状のモデル化には計算領域全体で等間隔の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(砂防堰堤、流路工、導流堤等)を考慮したシミュレーション実施する場合、計算領域全域において構造物等の最小単位幅を基本にメッシュ間隔を統一(以下、構造メッシュモデル)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、上記シミュレーション実施上の課題を念頭に置いて、計算領域内の構造物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、可変メッシュモデル)を利用したシミュレーションプログラムの検討を行った¹⁾。さらに、より複雑な実地形モデルにおいて流水のみを対象とした洪水氾濫計算を実施した²⁾。これらの検討から、解析結果の氾濫傾向は従来型と概ね同様な結果が得られるものの、メッシュ単位で局所的にみると水面形の不整合が見られ、メッシュ間隔が異なる2領域間の境界条件に課題を残した。

そこで、本発表ではメッシュ間隔が異なる2領域間の接合法の改良(境界条件の見直し)、並びに同手法を用いてより複雑な実地形モデルにおける土砂移動を考慮した土砂氾濫計算を実施し同モデルの適用性について考察した。

2. 可変メッシュ対応型シミュレーションモデルの概要

2.1 基礎方程式

流れの状態を表わす方程式は、一般的に流水の運動量の保存を表す運動方程式と流水・土砂の質量保存を表わす連続式とからなる。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右枠内の式で表される。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、 β : 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、 ρ_T : 流動層全体の密度、 τ_{BX} 、 τ_{BY} : xおよびy方向の河床面のせん断応力である。また、水および土砂の連続式は右枠内の式のとおりであり、 q_{BX} 、 q_{BY} はx及びy方向の流砂量である。

$$\begin{aligned} &\text{■x方向の運動方程式} \\ &\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_T} \\ &\text{■y方向の運動方程式} \\ &\frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_T} \\ &\text{■水の連続式} \\ &\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \\ &\text{■土砂の連続式} \\ &C_s \frac{\partial z_s}{\partial t} + \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} = 0 \end{aligned}$$

2.2 接合法の考え方

メッシュ間隔が異なる2領域間の接合は、上述した運動方程式並びに連続式が大格子と小格子の2境界間で満たされる必要がある。流れの方程式などの差分法で大格子と小格子の接合の方法としては2通り考えられる。1つは流れ(流量フラックス)で接合させる方法であり、もう1つは水位で接合させる方法である。

これまでは津波シミュレーション(高潮の計算)³⁾で用いられている手法を参考に前者を基本にする接合を試みたが、水面形に不連続が生じるなど連続式の整合に課題を残した。

そこで、本プログラムでは大格子と小格子の境界では水位を同じとして接合を行った。具体的には図-1に示した模式図のように大格子から小格子への流れの場合、大格子で計算された水位を大格子に接する小格子の境界条件とし、その水位を基に運動方程式より流量フラックスを計算し、その流量フラックスから次は連続の式により水位を計算するという方法をとった。

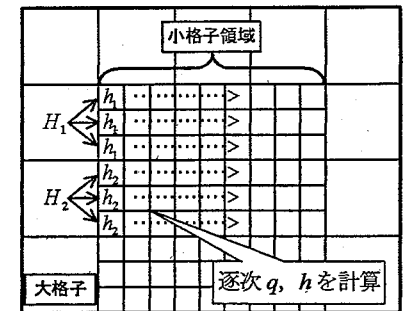


図-1 2領域間の接合(境界模式図)

3. 実地形における土砂氾濫計算

計算は砂防領域における実地形での適用性を評価するために、図-2に示すように50mメッシュ間隔の大格子領域に10mメッシュ間隔の小格子領域を内在させ、中流域にスリット部が小格子で表現可能なスリット堰堤(スリット4箇所)を配置した可変メッシュモデルを用いた。また、従来モデルとの比較として50m構造メッシュを用いた計算、並びに10m構造メッシュを用いた計算を実施した。なお、

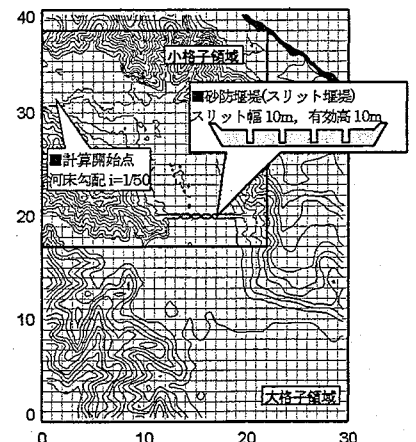


図-2 計算で用いた可変メッシュモデル

50m 構造メッシュを用いた計算では、スリット幅を表現することができないため、スリット部に位置するメッシュにおいてスリット幅に対応する H-Q の関係から流出量を調節する手法⁴⁾をとった。

また、ハイドログラフは流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ を 3 時間継続させた。流砂量式は M.P.M 式を用い、境界条件として土砂供給は単一粒径(1mm)の土砂を対象に平衡給砂した。

上記計算条件のもと可変メッシュ、並びに構造メッシュを用いた計算を実施したところ、図-3 から図-5 に示す計算結果となった。上流域から中流域にかけての小格子の計算では 10m 構造メッシュとの比較で、計算開始点直下の流出氾濫傾向に差異が生じたため、下流での土砂氾濫に若干の違いが見られるものの、主流路並びにスリット堰堤周辺域においては最大流動深の分布や氾濫範囲はほぼ同様の結果が得られた。また、課題となっていた水面形の不整合も解消された。

一方、スリット堰堤直下から下流域にかけての大格子での計算結果は、50m 構造メッシュの土砂氾濫、流出傾向と同様の結果が得られた。

また、今回の計算に要した時間は可変メッシュモデルで約 90 秒、構造メッシュモデル(10m)で約 160 秒となり、40%程度の計算時間の短縮ができた。

4. まとめ

可変メッシュ対応型シミュレーションモデルによる土砂氾濫計算を実施した結果、数々の土砂流出実績と整合性が図られている構造メッシュモデルとほぼ同等の解析結果が得られた。本モデルはメッシュ間隔の異なるそれぞれ地形条件に応じた精度で一括して土砂氾濫を解析可能と考える。

また、本モデルは、解析で必要とされる精度のメッシュ間隔を個別に指定しながら一連の計算が可能のため、タイプの異なる砂防堰堤の流出抑制効果の検証や谷出口直下に整備された流路工の形状を考慮した氾濫抑制効果の検証等を効率よく評価するのに有効であるといえる。

今後は、砂防流域特有の様々な地形条件で検証計算を実施するとともに、メッシュ間隔の異なりが 3 領域以上の計算を視野に入れた段階的なメッシュおとし(大格子→中格子→小格子)手法の検討等、同モデルの精度向上に努めていきたい。

参考文献

- 1) 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 年度砂防学会発表会概要集, p.390-391, 2000
- 2) 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)、平成 13 年度砂防学会発表会概要集, p.318-319, 2001
- 3) 伊藤剛(1971), 「数値計算の応用と基礎(水理学を中心として)」アテネ出版, 1章(高潮の計算)p.1-27
- 4) 火山泥流が高速道路に及ぼす影響について -東北自動車道を例にして-, 平成11年度砂防学会発表会概要集, p.278-279, 1999

■左図:最大流動深分布図, 右図:最終土砂堆積深分布図

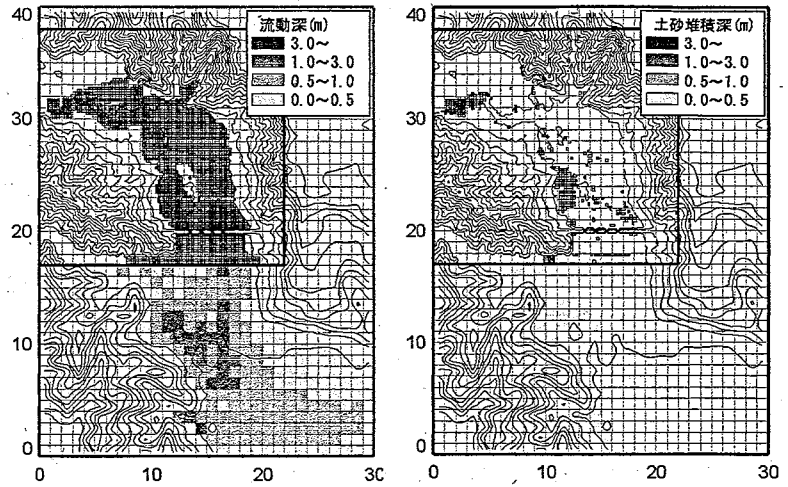


図-3 可変メッシュモデルでの解析結果(大格子 50m, 小格子 10m)

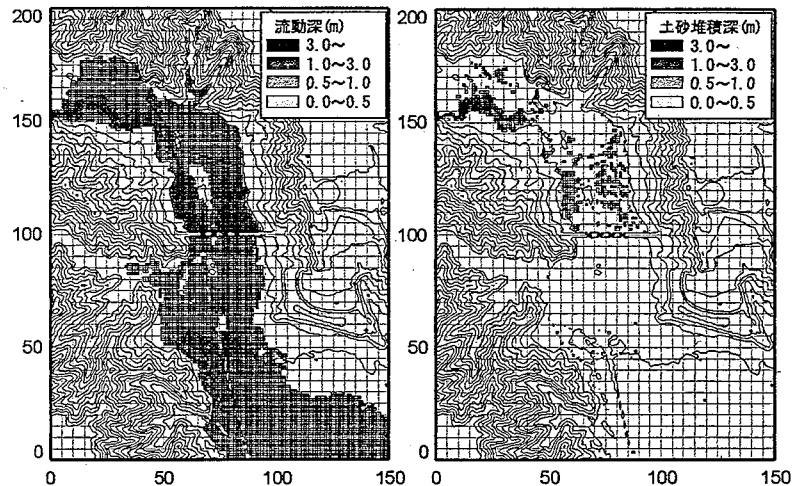


図-4 計算領域全体がメッシュ間隔 10m の解析結果(構造メッシュモデル)

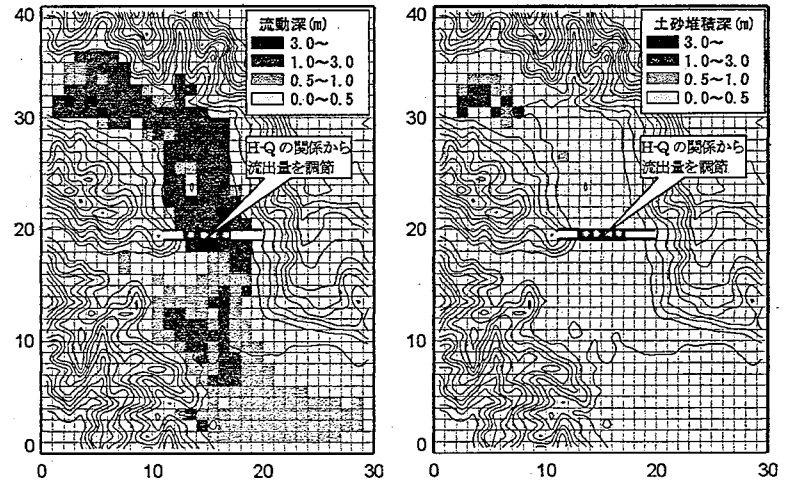


図-5 計算領域全体がメッシュ間隔 50m の解析結果(構造メッシュモデル)