

京都大学工学部 正員 高棹琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
 京都大学工学部 正員 立川康人 京都大学大学院 学生員 ○原口 明

1. はじめに

近年の電子計算機の飛躍的な発展に伴って、流域の標高・河道位置等の数値地形情報をもとに、流域地形に即した流域場モデルが構築されるようになってきた。

本研究の目的は、流域地形に即した流域場の数値表現をもとに、そこでの雨水の流れを追跡する流出シミュレーションモデルを構築することである。流出シミュレーションモデルを構築し、仮想流域(流域面積 20924.3 m^2)に適用した結果を報告する。

2. 流域地形の数値表現

地表面の標高を数値的に表して地形を表現するモデルをDEM(Digital Elevation Model)と呼ぶ。地表面の標高データを利用し地形形状をモデル化する手法として、

1. 等高線図モデル (Counter Based DEM)
2. グリッドモデル (Grid Based DEM)
3. 三角形網モデル (Triangular Irregular Network DEM)

が従来より提案されている。

本研究では、流れのモデルと結合することを前提として流域場を実地形に忠実に表現する手法としては、地表面を面として近似する三角形網モデルが最も適していると考え、高棹らが開発した三角形網モデル[1]を用いて流域を表現した。本モデルでは、単に三角形要素で地表面を覆うのではなく、河道網構造および河道網に接続する斜面を認識できるデータ形式で流域場を表現している。

図-1は、仮想流域を三角形網モデルで3次元的に表現した結果である。

3. 流れのモデル

流れのモデルは斜面のモデルと河道のモデルからなる。まず、斜面のモデルについて述べることにする。実地形形状に即した雨水の流れをモデル化するためには、斜面勾配・斜面幅の変動を考慮した計算法が必要となる。

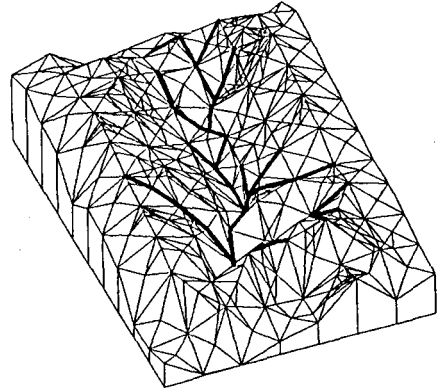


図-1 仮想流域の3次元表現

本研究では、斜面勾配・斜面幅の変動を考慮し、中間流と地表面流を統合的に表す流量流積関係式を用いたKinematic waveモデル[2]を用いた。ここで、流域斜面はA層と呼ばれる透水性の高い深さ一定の様な土壌層に覆われていると仮定する。

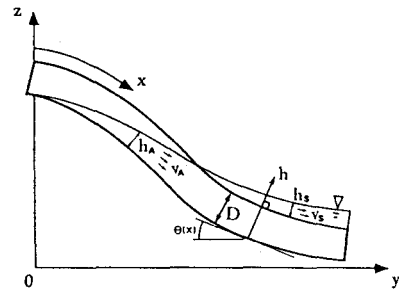


図-2 流れの模式図

分割斜面要素での表層付近の流れの模式図を図-2に示す。図中 x は斜面上端から落水線に沿って計る距離であり、 $b(x)$ は距離 x での斜面幅、 $\theta(x)$ は地表面勾配である。 y は水平方向の距離、 h は水深を表わす。この斜面要素は様な深さ D のA層に被覆されているとし、A層が不飽和である場所では雨水は直ちにA層に浸透するものとする。 q を単位幅当りの地表面に沿う流量とすれば、連続式・運動式はそれぞれ、

$$\partial h / \partial t + (1/b(x)) \partial / \partial x \{qb(x)\} = r(x, t) \cos \theta(x)$$

$$q = \begin{cases} \frac{k \sin \theta(x)}{\gamma} h, & 0 < h < d \\ \frac{\gamma}{\sqrt{\sin \theta(x)}} (h-d)^m + \frac{k \sin \theta(x)}{\gamma} h, & h \geq d \end{cases}$$

で表される。式中、 $r(x, t)$ は位置 x 、時間 t での鉛直方向の降雨強度、 γ は A 層の有効空隙率、 k は A 層の透水係数、 d は見かけの A 層厚 γD 、 n は Manning の粗度係数、 $m = 5/3$ である。

計算は変数変換を行った後、差分解析法 (One-Step の Lax-Wendroff スキーム) を用いた。

河道も斜面のモデル同様に、河道勾配・河道幅の変動を考慮した地表面流のみを対象とする Kinematic wave モデルを適用する。

4. 仮想流域への適用

三角形網モデルの最大の利点の一つは、実際の地形形状に即した雨水の流れ方向を表現できるという点にある。雨水が斜面を流下・流集していく過程を取り扱えるので、河道区分の一部を構成する三角形要素から始めて、各三角形要素にその雨水が流れ込む三角形要素を次々とたどって行くことによって、その河道区分の一部への斜面流出に寄与する地域を求めることができる。

したがって、雨水の流れをできる限り忠実に再現するためには、その河道区分の一部への流出寄与域をできるだけ実際の斜面特性に忠実に表現することが重要である。本研究では斜面特性の算定の容易さから、個々の流出寄与域について一塊の三角形群を矩形近似する方法をとった。

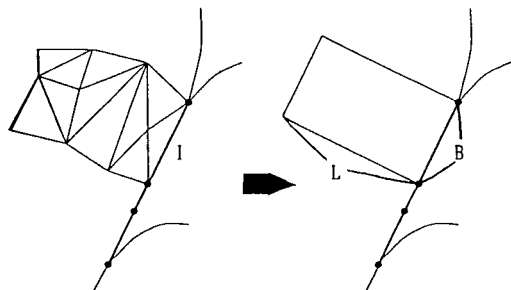


図-3 斜面の矩形近似

図-3 は、三角形網モデルを矩形近似した模式図で、図中の黒丸は、河道を構成する頂点であり、図中の三角形網モデルは、リンク I に寄与する流出寄与域の一つである。具体的な矩形近似の方法は以下の通りで

ある。各三角形要素を水平面に射影した面積をそれぞれ求め、その総和 F を計算する。その総和 F を河道に接している三角形の一边 B (射影した長さ) で除して矩形の射影斜面長 L を求める。また、斜面勾配は、各三角形要素の勾配を各三角形要素の面積で重みをつけて平均した値を採用した。

このような斜面近似の後、流出計算を行った。入力降雨は、空間的には一様で、継続時間が 10 時間で降雨強度 10mm/h の矩形降雨 (CASE 1) と継続時間が 10 時間で、ピークの降雨強度が 20mm/h である 2 等辺三角形のもの (CASE 2) を考えた。使用したパラメータを表-1 に示す。流出計算を行った結果を図-4 に示す。図-4 は、仮想流域の最下流端における流出ハイドログラフである。

表-1 流れのモデルのパラメータ

	斜面	河道
A 層厚	100(mm)	—
透水系数	1.4(cm/sec)	—
有効空隙率	0.15	—
粗度係数	0.2(sec/m ^{1/3})	0.05(sec/m ^{1/3})

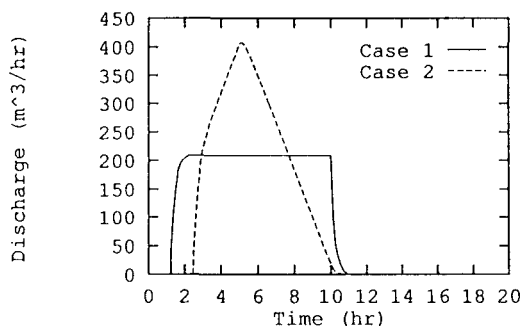


図-4 流出計算結果

5. おわりに

流域地形形状に即した流出シミュレーションモデルを構築した。今後の課題として、斜面形状の近似手法の改良・実流域への適用が挙げられる。

参考文献

- [1] 高樺・椎葉・立川・大江：T I N-D E M データ形式を用いた流域場情報システムの開発，水工学論文集，第 36 巻，pp. 677-684，1992。
- [2] 高樺・椎葉・立川：流域微地形に対応した準 3 次元流出モデル，京都大学防災研究所年報，第 31 号 B-2，1988。