

GIS を用いた浸透能力マップの作成および分布型降雨流出モデルの構築

中村 衆栄
法政大学大学院工学研究科

岡 泰道 西谷 隆巨
法政大学工学部土木工学科

小寺浩二
法政大学文学部地理学科

都市型洪水の流出抑制対策として雨水浸透施設の導入が進められているが、抑制効果の定量化を始めとして、技術的課題が多く残されている。本研究では、地盤毎の浸透量および浸透施設設置に伴う効果を定量化することを目的として、土地利用を考慮した分布型流出モデルを構築した。流域を浸透能力の異なる土地利用ブロック毎に扱う必要から、浸透能力マップ作成のための支援ツールとして GIS ソフトウェアを用い、その有用性を確認した。さらに、数値標高地図より尾根線と河道網の描画を試み、納得できる結果を得た。

1. はじめに

都市型洪水の流出抑制対策として雨水浸透施設の導入が進められており、1995 年には、「雨水浸透施設技術指針（案）」[1]が刊行された。実用化に際しては、施設導入後のピーク低減効果の定量化といった課題が残されている。一方、地盤の浸透能力は、土地利用条件、土質・地質条件等によって数オーダーの差があり、その空間的分布が問題となる。このため、分布型の流出モデルと、何らかの、地盤の浸透を表現するマップが必要となる。

本研究では、土地利用を考慮した流出モデルにより解析を行い、浸透施設設置に伴う効果を定量化することを目的としている。また、浸透能力マップ作成の前段階として、GIS を用いて土地利用、地質、土質、浸透試験結果を整理した。対象は、鶴見川流域（235km²）とした。

2. 使用したソフトウェア

前回の報告[2]では、Arcview3.0a を用いて、流域空間データベース構築の1つの手法を示した。その際、データの入力には、デジタイザを使用した。今回も、PC ベース GIS ソフトウェアの有用性を確認する目的で、SIS4.1J を用いた。データ入力には、スキャナを使用した。サブウィンドウは、マップ、セッション、プロパティ、情報、凡例、テーブル、3Dより成り、Visual Basic によってカスタマイズが行える。

特長的な機能としては、幾何補正、タイリング、スナップグリッドがある。幾何補正は、画像データを仮定の弾性シートに貼り付けて、伸縮、回転を行う機能であり、タイリングは、データファイルの座標を自動判別して表示する機能である。ただし、ファイルがメッシュ命名規則と規定のフォーマットに従っている場合に限る。スナップグリッドは、作図や距離の目安にするために、仮定の格子を生成する機能である。

3. 降雨流出モデル

単位流域を土地利用別ブロックに細分化し、各ブロックを長方形斜面とその片側に付随した直線の河道と見なす（図1）、

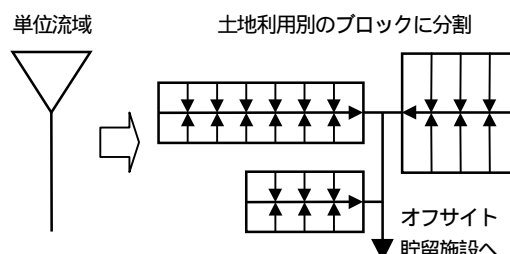


図1. 流域分割の例

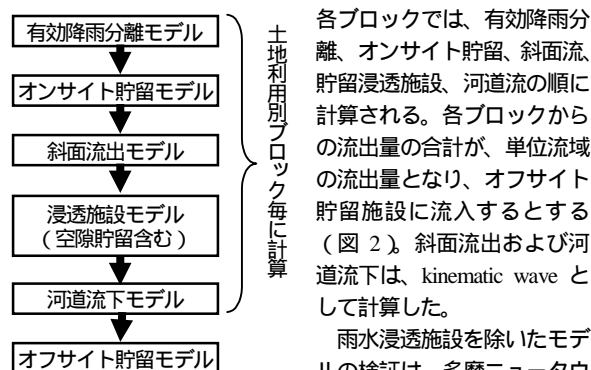


図2. 計算の順番

各ブロックでは、有効降雨分離、オンサイト貯留、斜面流、貯留浸透施設、河道流の順に計算される。各ブロックからの流出量の合計が、単位流域の流出量となり、オフサイト貯留施設に流入する（図2）。斜面流出および河道流下は、kinematic wave として計算した。

雨水浸透施設を除いたモデルの検証は、多摩ニュータウン内の永山流域（4.4ha）の観測結果を用いて行い、浸透施設モデル部分の妥当性は、昭島つつじヶ丘ハイイツにおける浸透施設導入地区（1.3ha）の観測結果から行った。

1) 有効降雨モデル

損失雨量は、土地利用状況により異なるため、各ブロック毎に初期損失および浸透量を降雨から差し引く。浸透は、Horton 型に従うものとした。

$$Q = Q_c + (Q_0 - Q_c) \cdot e^{-bt} \quad (1)$$

ここに、 Q_c : 終期浸透量、 Q_0 : 初期浸透量、 b : 低減係数。

2) 貯留モデル

流入量 I と流出量 O の差が施設に貯留される。貯留方程式は、以下を用いた。

$$S = kO^2 \quad (2)$$

ここに、 S ：貯留量、 k ：集水面積や孔径等によって決まる定数。

3) 浸透施設モデル

施設別の基準浸透量 Q_f は、次式で算定する。

$$Q_f = k_0 \times K_f \quad (3)$$

ここで、 k_0 ：透水係数、 K_f ：施設の比浸透量。 K_f は、施設の形状と設計水頭で決まる定数であり、簡易式[1]より求めた。

4. 浸透能力マップ

1つの地形区分面は、ほぼ同等の土質で構成され、浸透能力も同程度の値となると仮定する。統計的に有意になるように、できるだけ多くの試験結果を用いる必要があるが、特異値の混入を避ける。作業項目としては、地形区分毎に浸透施設設置の「適地」、「不適地」、「要調査地域」を区分、設置適地とした地形区分毎に、土質・地質関係を整理、浸透試験結果に基づき、各土質・地質の浸透能力の代表値を算定、の3項目がある。

に関連して、各地形区分とその位置付けを表1に示す。急傾斜地については、数値地図を用いて地図演算を行い、地域を特定した。

表1. 地形区分とその位置付け

地形区分	位置付け
急傾斜地崩壊危険区域	規制地
急傾斜地・極急傾斜地	
沖積地	不適地
2次堆積地	
盛土地	砂シルト質の浸透能以上の浸透能を有すれば適地
下末吉、立川・武蔵野面とその切・盛土地	切・盛土地では、浸透能に留意する必要有
多摩低位面とその切・盛土地	浸透能に留意する必要有
多摩高位面とその切・盛土地	不適地

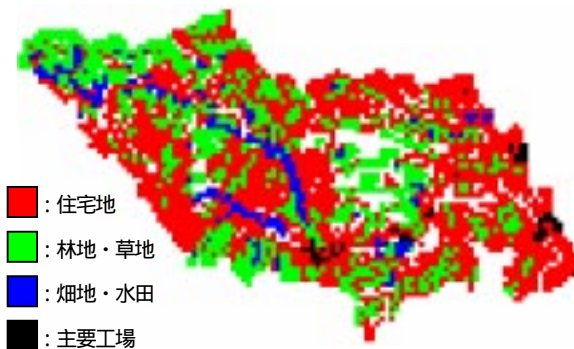


図3. 土地利用図

について、地質・土質図、浸水予想区域図、土地利用区分図[3]を整理した。これらの図は、紙地図として供給されることが多く、また、デジタル化されているソフトウェアによってフォーマットの制約を受ける。そこで、紙地図をスキャナで読み込んで、画像ファイルに変換して用いた。さらに、このファイルをGIS上に読み込み、幾何補正を施して基図上に重ねた。基図は、国土地理院発行の数値地図25000(画像)

を用いた。画像ピクセルのサンプリングは、以下の要領で行った。あらかじめ、250×250mのスナップグリッドを発生させる。ピクセルが含まれるグリッドを目視で判断し、塗りつぶす。これにより、無数の正方形ポリゴンが描かれ、それらを全て選択し、加算することで、1つのポリゴンとした。

浸透試験実施地点の内訳を、表2に示す。資料[4]に記載されている、鶴見川流域での地質毎の地点数は、古期ローム2、新期ローム5、二次堆積土3、沖積土5、その他5、合計20。資料[5]に記載されている結果は、新期ローム5、多摩低位面・平坦化地10、合計15。これらの試験結果から、各区分毎の浸透能力係数の代表値を算定した。

表2. 各資料の試験地内訳

土研資料[4]		関東地建資料[5]	
土木研究所構内	84	鶴見川	15
谷田部地区	21	神田川	13
筑波大穂地区	18	目黒川	7
豊平川	9	谷沢川	1
支笏	17	野川	10
黒目川	20		
鶴見川	20		
中川	50		
木曾川	7		

：鶴見川流域およびその周辺
：上記以外の関東ローム土
：その他

5. 尾根線と河道網の描画

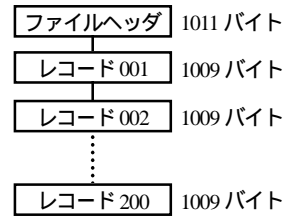


図4. ファイルフォーマット

本モデルは、小流域を長方形斜面に近似して計算する。このため、各流域の大きさ、形、平均勾配を求める必要がある。小流域分割の目安とするために、尾根線と河道網の描画を試みた。データは、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)を用いた。データファイルは、ファイルヘッダレコードと200個のレコードにより構成され、レコードは、それぞれ9バイトのコードと200個の標高値(各5バイト)より成る(図4)。200×200セルは、2万5千分の1図に相当する。

鶴見川流域は、「武蔵府中」、「溝口」、「東京西南部」、「原田町」、「荏田」、「川崎」、「座間」、「横浜西部」、「横浜東部」の9ファイルに相当し、標高行列は、領域全体で600×600セルとなる。これをケースAとする。さらに、2×2、3×3セルごとに平均値をとり、領域を300×300、200×200の行列に変換したものを各々ケースB、Cとする。

落水線を生成するアルゴリズムを以下に述べる。プログラムは、Fortranで記述した。図5の様に、3×3のカーネルウィンドウを考え、セルの標高値を周辺8個のセルの値と比較し、最低値を持つセルの方向および傾斜角度を定める。この作業を全てのセルについて行う。次に、各セルの方向をたどり、元のセルに到達するものをループと定義し、検索を行う。このノイズは、空間領域の離散化および数値化に起因して発生する。発生率は、ケースA、B、Cで各々、34.3%、16.0%、10.9%であり、平均値を取ることで発生率を抑えることがで

$i-1, j-1$	$i-1, j$	$i-1, j+1$
$i, j-1$	i, j	$i, j+1$
$i+1, j-1$	$i+1, j$	$i+1, j+1$

図5. 3×3 カーネル

きた。また、大きな河道箇所によく発生する傾向があった。そこで今回は、ループ構成セル全てに目印を付け、方向を持たない「窪地」と再定義した。続いて、セル位数を決定する。全ての最上流セルに位数 1 を与え、各セルの傾斜方向に位数を受け渡し、複数のセルから流入があ

る場合には、各々の位数を足し合わせる。各セルの位数は、この作業を領域全体で繰り返すことにより求められる。

位数 1 を持つセルは、尾根を形成すると考えられる。そこで、ケース A~C を重ね合わせ、セルの密度を考慮し、尾根線を描いた(図 6)。逆に、高位セルを抽出することで河道網が得られる。ただし、大きな河道周辺では、無意味な水系パターンが生まれている。そこで、先に抽出した「窪地」と高位セルを併せて「河道」とした(図 7)。ここでも、ケース A~C を重ね合わせ、セルの密度によって重みを付けた。実線で示される流域界と河道については、数値地図 25000(画像)を基に描画した。

6. 考察

雨水貯留浸透施設の設置効果を念頭に置き、分布型流出モデルを構築した。モデルの検証は、永山流域および昭島つづじヶ丘ハイイツの観測結果から行った。いずれもミクロ流域であるため、メソ、マクロと拡大した場合のスケール効果が明らかでなく、今後、実測値と併せて検討する必要がある。また、モデル上では、斜面を流下した雨水が全て浸透施設に流入する形式となっているが、降雨強度によって集水域が変化することも考えられる。場合によっては、寄与域の変動を表現し得るモデルも必要である。

GIS に空間データを入力する方法として、デジタイザあるいは、スキャナの使用が考えられる。デジタイザは、その本体に座標補正機能が備わっており、ソフトウェアによる幾何補正を必要としない。スキャナを用いる場合、データの精度は、その解像度に大きな制約を受け、さらに、幾何補正の際に一部のピクセルが失われることもある。ただし、元のデータと入力データがレイヤーを介して共存することになり、少なくとも、入力作業中に発生したミス特定することができる。今回、入力メッシュを粗くとったため、これらの問題を回避することができた。ただし、サンプリングを目視で行ったため、これに起因する誤差の評価をする必要がある。

計算によって求めた落水線は、図 7 の様に地図上の河道と一致した。また、図 6 の様に尾根線が表現され、各河道の集水域が判別できた。アルゴリズムについて、平坦な地域では、起伏の大きい上流域に比べて多くのノイズが発生したが、標高値の平均を取ることで、ある程度の解決ができた。ただし、ループの扱いがまだ不十分であり、対話形式のアルゴリズムも必要である。

一般に、GIS ソフトウェアは、市販の数値地図の読み込みが可能な場合が多く、また、フォーマットが公開されていれば、データの書き換えは、容易に行える。標高行列の書き換えは、複数のソフトウェア間でデータを受け渡す方法として有効な手段と考えられる。

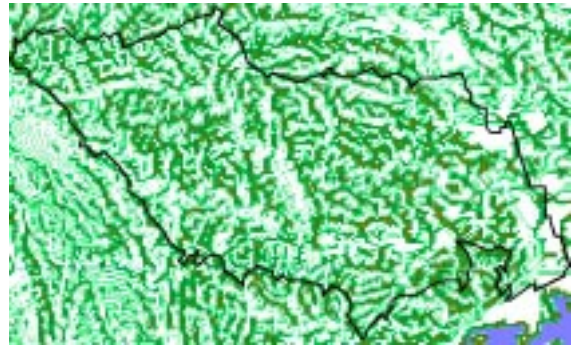


図 6. 尾根線

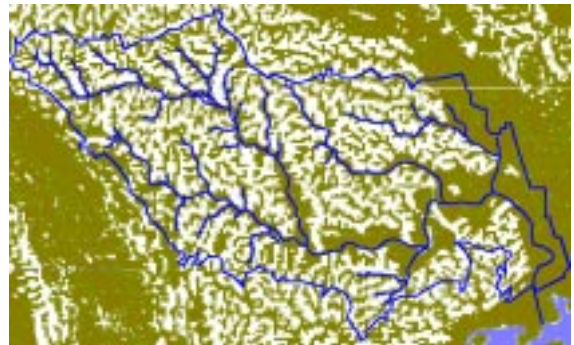


図 7. 河道網

7. 結論

- (1) GIS を用いて浸透能力マップ作成を試みた。スキャナを用いることで、データフォーマットによる制約を回避できた。GIS は、作成支援ツールとして有用である。
- (2) セル位数の概念を導入し、落水線網の表現を試みた。ノイズ全てを解消することは、できなかった。平均標高値を用いることでループの発生を抑えた。
- (3) 数値標高データから尾根線と河道網を描画した。納得できる結果を得たが、他の流域でアルゴリズムの検証を行う必要がある。

【参考文献】

- [1] 雨水貯留浸透技術協会編: "雨水浸透施設技術指針(案)調査・計画編", 1995.
- [2] 中村衆栄他: "水文学における GIS の活用法に関する基礎的研究", 法政大学計算科学研究センター研究報告, 11 巻, 1998.
- [3] 大塚昌利他: "首都圏における都市化と水収支・水文環境の変化の地理情報システムによる分析", 平成 6 年度~8 年度科学研究費補助金研究成果報告書, 1997.
- [4] 山本晃一他: "浸透型流出抑制施設の浸透能力把握手法に関する調査報告書", 土木研究所資料, 2126 号, 1984.
- [5] 建設省関東地方建設局京浜工事事務所: "鶴見川流域浸透能比較調査業務報告書", 1984.

キーワード.

流出モデル , 浸透能力マップ , 地理情報システム , 雨水浸透施設

Summary.

Distributed Runoff Modeling with Infiltration Capacity Map using GIS

Hiroei NAKAMURA

Civil Engineering Major, Division of Engineering, Graduate School, Hosei University

Yasumiti OKA Takanobu NISHIYA

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

Koji KODERA

Department of Geography, Faculty of Letters, Hosei University

Recently the storm water infiltration system is gradually becoming an important part of measures to cope up with increased storm runoff. This paper describes simplified modeling methods to evaluate basin-scale effect of storage and infiltration systems for flood control. As the model developed here considered soil properties of various land use, *infiltration capacity map* which describes the distribution of field infiltration capacity is required. The result shows that GIS software is useful for integrate the map for runoff analysis, such as soil type, land use, and watershed. In addition, ridges and channel networks are figured using digital elevation data, and the result compares fairly good with observed data.

Keywords.

Runoff model , Infiltration capacity map , GIS (Geographical Information System) , Infiltration facilities