

第Ⅱ部門 二次元格子に基づく下水道モデルの開発

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○山口 駿希
 京都大学大学院経営管理研究部 正会員 市川 温

1. はじめに

近年、都市域では短時間強雨の増加により内水氾濫が頻発しており、その一因として下水道の排水能力の不足が指摘されている。このため、氾濫リスクを適切に評価するには、下水道モデルと氾濫モデルを統合した高精度な予測手法の構築が求められる。今までにも多くの下水道モデルが開発されてきたが、大半は下水管をリンク、マンホールをノードとしたネットワーク構造に基づくモデル¹⁾である。しかし、このようなモデルでは、大規模かつ複雑な下水道網を計算機上に再現する作業に多大な労力を要するという課題がある。そこで本研究では、下水道網を二次元格子状でモデル化することを提案する。この方法により、下水道網の構造を簡潔に表現できるとともに、数値計算の手続きが単純化される。

2. モデル化の方法

下水道網を二次元の格子状にモデル化する。各格子セルにおいて、下水道の接続方向を数値(0~15)で表現し、セル単位で流れの計算を行う。接続方向は、セルの中心から見た上下左右の4方向に対応し、それぞれ上=1、右=2、下=4、左=8と定める。複数方向に接続されている場合は、それらの値を合計することで接続状況を一意に表現できる。たとえば、図-1に示すように4方向すべてに接続がある場合、その値は $1+2+4+8=15$ となる。このように、接続状況を数値で統一的に表現することで、下水道網の構造を簡潔に記述でき、かつ隣接セルとの接続関係を機械的に処理することが可能となる。

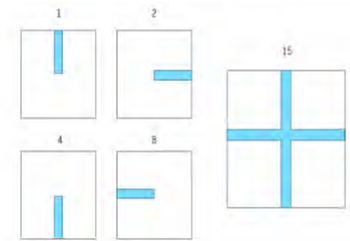


図1: 下水道の接続関係

下水道流れの計算には、一次元の局所慣性方程式と連続式にスロットモデルを組み合わせたものを基礎式として用いた。これらの方程式を離散化して、現在時刻の値から次時刻の値を逐次的に計算する。具体的には、表1に示すように、まず時刻 n の各種の水理量の値をもとに局所慣性方程式を用いて、時刻 $n+1$ の x, y 方向の流量を求める。次に、連続式を用いて時刻 $n+1$ の水量を計算し、そこから水深や通水断面積などを導出する。これらの手順を繰り返すことで、任意の時刻までの下水道内の流れを計算する。

表1: 計算ステップの概要

ステップ	内容	使用する式・変数
1	$Q_{x,j}^{n+1}$ の計算	局所慣性方程式 (x 方向)
2	$Q_{y,j}^{n+1}$ の計算	局所慣性方程式 (y 方向)
3	$V_{i,j}^{n+1}$ の更新	連続式
4	$h_{i,j}^{n+1}, A_{i,j}^{n+1}, R_{i,j}^{n+1}$ の計算	$h_{i,j}^{n+1}, A_{i,j}^{n+1}, R_{i,j}^{n+1}$
5	次のタイムステップへ進む	-

3. 大正区鶴町集水区の豪雨出水の再現

相良ら²⁾と同様に、1997年8月豪雨によって浸水被害を被った大阪市大正区鶴町集水区を対象領域とする。本研究では、簡略化のために管径が0.5m以上の下水管のみを解析対象とし、下水管の断面形状は一律に高さ0.8m、底辺0.8mの正方形断面と仮定した。また、すべての下水管について土かぶりを一様に2.5m、粗度係数は $0.011\text{s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ と設定した。図2に示すように、実際の下水道網には斜め方向に配置された管路も存在するが、4方向の接続方向のみでモデル化を行った。また、セルの大きさは x 方向、 y 方向ともに50mの正方形として、格子数は x 方向15個、 y 方向29個の計435個セルで構成された約 1km^2 の領域を対象とした。下流端にはポンプ場があり、最大吐出流量は $5.96\text{m}^3/\text{s}$ として、ポンプ場があるセルからはこの流量を上限として排水量が制限されるよう設定した。また図3のように実際の雨に基づいて1時間でシミュレーションを行いピエゾ水頭と浸水実績を比較した。

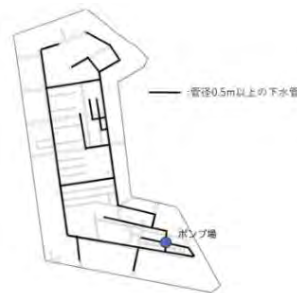


図2: 実際の下水道網

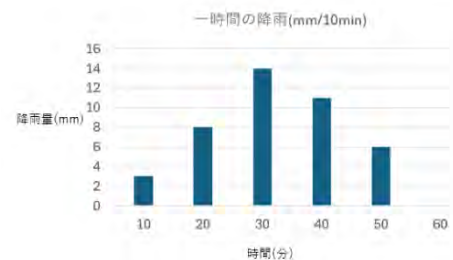
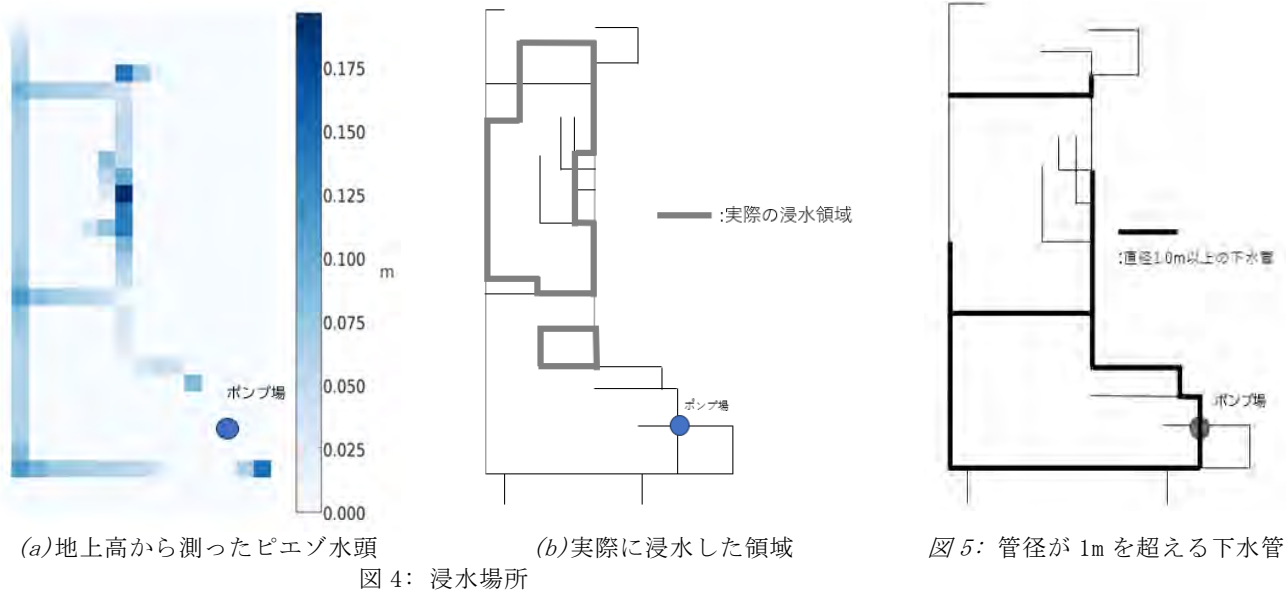


図3: 計算で用いた降雨強度

4. 計算結果と考察

図4に本モデルでのシミュレーション結果と実際の豪雨での浸水領域を示す。図4(a)は地表面から測定したピエゾ水頭が最大となった時刻における分布を示しており、図4(b)の実際の浸水実績と比較すると、シミュレーションではより広範囲にわたって浸水が発生していることが確認された。ピエゾ水頭の最大時刻は、与えた降雨がピークに達する時刻とほぼ一致しており、これは本モデルにおいて氾濫水深を考慮せず、雨水が即時に下水管へ流入するという仮定を置いたためである。降雨が収束するにつれて、下水道網全体の水位は次第に低下し、シミュレーション終了時点である1時間後には、すべてのセルで浸水が解消されていた。

また、ポンプ場周辺では排水が円滑に行われるため、他の地域に比べて水位が低く抑えられている一方で、北側や西側などポンプ場から離れた領域では、相対的にピエゾ水頭が高くなる傾向がみられた。本モデルではすべての下水管を一様断面と仮定しているが、実際には図5に示すように、直径1mを超える管も多く分布している。したがって、現実よりも断面積が小さく設定された箇所では、特にポンプ場から離れた地域において浸水が発生しやすい傾向が再現されている。また、シミュレーション中、降雨量の増加に伴ってポンプ場での排水流量も増加し、ピーク時には最大吐出流量である $5.96 \text{ m}^3/\text{s}$ に達していた。このことは、豪雨時における排水能力の限界が本モデルでも適切に再現されていることを示している。



5. まとめ

本研究では、大正区鶴町集水区を対象に、簡略化した下水道モデルを用いてシミュレーションを実施した。計算は概ね安定して実行され、基本的な挙動は再現できたものの、モデル内の仮定や構造の単純化により、実際の浸水範囲よりも過大に評価していることが明らかになった。今後の課題としては、まず管径を位置ごとに設定可能とし、下水管の方向も上下左右だけでなく斜め方向を含めることで、実際の下水道網に近い構造を再現する必要がある。また、幹線と枝線の区別を導入することで、管網の機能的構造も反映可能となる。さらに、河川やポンプ場の挙動をより正確にモデル化し、水の流入・流出を適切に再現することも求められる。加えて、下水道と地上の流れを統合的に扱う連成モデルを構築し、下水道への排水や逆流による噴出現象も表現できるようにすることが重要である。これらの改良を踏まえたうえで、過去の豪雨災害を対象とした再現シミュレーションを行い、モデルの適用性と予測精度の向上を図っていく必要がある。

参考文献

- 1) 川池健司,井上和也,戸田圭一,野口正人: 低平地河川流域での豪雨による都市 氾濫解析,土木学会論文集, No.761/II-67, pp.57-68, 2004.
- 2) 相良亮輔,錦織俊之,井上和也,戸田圭一: 流枝線下水道を考慮した市街地氾濫 解析, 水工学論文集, 第48巻, pp.589-594, 2004.