第Ⅱ部門　　二次元格子に基づく下水道モデルを用いた内水氾濫計算

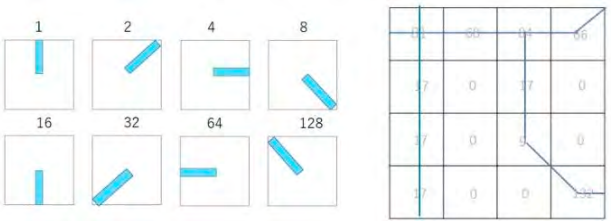
京都大学大学院工学研究科　　学生員　○山口　駿希
京都大学大学院経営管理研究部　正会員　　市川　温

１．はじめに

近年，都市域では短時間強雨の増加に伴い，内水氾濫の危険性が高まっている．内水氾濫には，地表流だけでなく，下水道の排水能力や管内水位が影響するため，下水道・氾濫モデルを連成した解析が重要である．従来の下水道モデル[1)]では，下水管をリンク，マンホールをノードとする一次元ネットワークモデルが広く用いられている．しかし，細い枝線を含む複雑な下水道網のモデル化には多大な労力を要する．そこで本研究では，下水道網を二次元格子上で簡略化し，ネットワークの記述と計算手順を単純化する手法を提案する．さらに，二次元氾濫モデルとの連成により，都市域の内水氾濫を再現し，本手法の適用性を検討する．

２．モデル化の方法

本研究では，対象領域を二次元格子に分割し，同一格子上で地表面流と下水道流を計算する．氾濫モデルでは，地盤高，粗度係数，建物占有率および流出係数を各格子に与え，建物による影響を考慮した局所慣性方程式と連続式[2)]に基づいて降雨に伴う地表水深と流量を計算する．各雨水桝は最寄りの下水管上に配置したものとして計算し，地表水は雨水桝を介して下水道へ流入する．また，下水道からの噴出は雨水桝およびマンホールを介して地表面へ戻るものとする．



図−1　下水道接続方向の数値表現

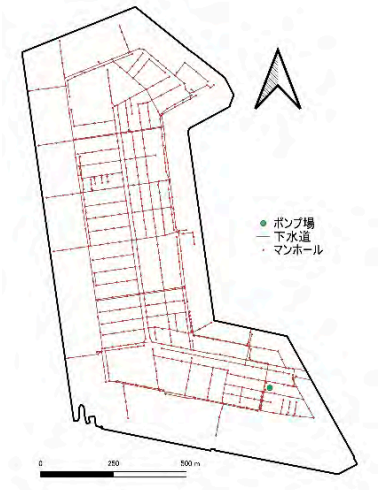
下水道モデルでは，下水道網を二次元格子上で表現し，各セルにおける下水管の接続方向を数値化する．図−1 に示すように，セル中心から見た 8 方向に，上方向から時計回りに 1，2，4，8，16，32，64，128 を割り当て，複数方向に接続する場合はその和により 0 から 255 の整数値で接続状態を表す．これにより，下水道網を簡潔に記述し，隣接セルとの接続関係を機械的に処理できる．下水道流れの基礎式には，局所慣性方程式，連続式およびスロットモデルを用いる．表−1 に示すように，各時間ステップでは，時刻 n の水位，流量，通水断面積から時刻 n+1 の各方向の流量を計算する．次に，連続式により各セルの水量を更新し，水量と貯留容量の関係から水深，通水断面積および径深を算出する．この計算を繰り返し，下水道内の流量と水位の時間変化を求める．

表−1　計算ステップの概要

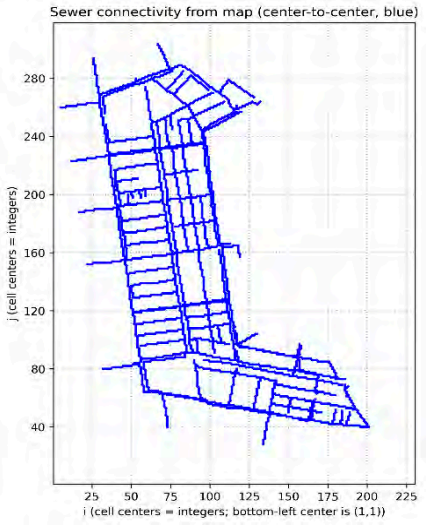
ステップ	内容	使用する式・変数
1	$Q_{x_{i-\frac{1}{2},j}}^{n+1}$ の計算	局所慣性方程式(x 方向)
2	1 と同様に y,u,v 方向の計算	局所慣性方程式(y,u,v 方向)
3	$V_{i,j}^{n+1}$ の更新	連続式
4	$h_{i,j}^{n+1}, A_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+1}, R_{i-\frac{1}{2},j}^{n}$ の計算	$h_{i,j}^{n+1}, A_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+1}, R_{i-\frac{1}{2},j}^{n}$
5	次のタイムステップへ進む	-

３．大正区鶴町集水区の豪雨の再現

相良ら[3)]と同様に，1997 年 8 月豪雨により浸水被害が発生した大阪市大正区鶴町集水区を対象領域とした．本領域は海および河川に囲まれており，領域外との水のやり取りは南東部に位置するポンプ場を介して行われる．本研究では，対象領域内の下水管を管径



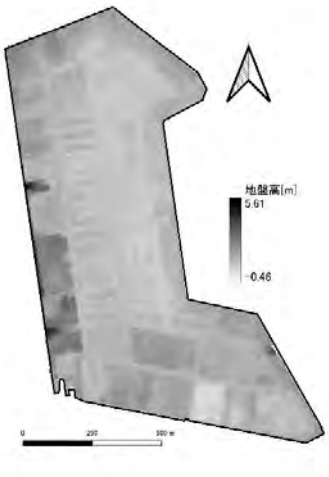
図−2　実際の下水道網



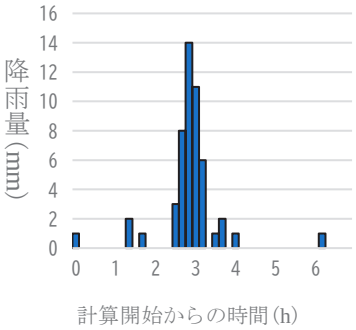
図−3　モデル化した下水道網

Shunki YAMAGUCHI, Yutaka ICHIKAWA
yamaguchi.shunki.55j@st.kyoto-u.ac.jp

によらず考慮し，下水管 664 本，マンホール 596 個を用いて計算を行った．氾濫モデルおよび下水道モデルの格子サイズはいずれも 5 m とし，地表面の計算格子数は 37189 個，対象領域面積は約 0.9 km^2 である．下流端のポンプ場では，ポンプ場に接続するセルから領域外へ排水するものとし，最大吐出流量を 5.96 m^3/s とした．また，実際の下水道網を図−2，二次元格子上で表現した下水道網を図−3，地盤高を図−4 に示す．降雨条件には 1997 年 8 月豪雨の降雨データを用い，図−5 に示す降雨に基づいて再現計算を行った．計算結果は，対象豪雨時の浸水実績と比較し，モデルの再現性を検討した．



図−4　地盤高

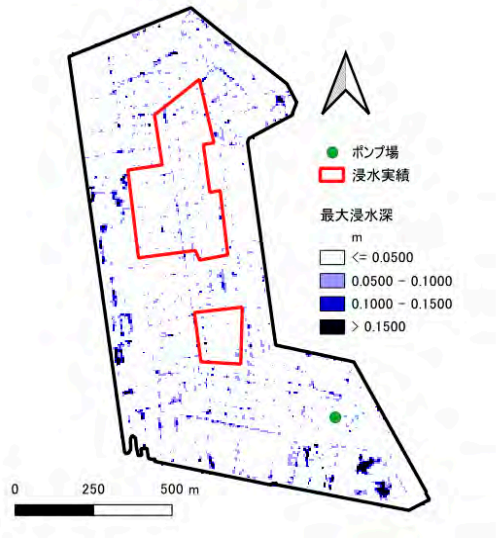


図−5　降雨量

4．計算結果と考察

図−6 に，本モデルで得られた最大浸水深分布と対象豪雨時の浸水実績を示す．計算結果では，浸水実績の範囲内で浸水が確認された一方で，実績では浸水が示されていない領域にも広範囲に浸水が発生した．降雨ピーク時にはポンプ場が最大吐出流量で排水していたものの，地表面に広範囲の浸水が残存した．この要因として，雨水桝から下水管への流入過程のモデル化や，雨水桝の流入周長の設定が影響した可能性がある．

一方，対象領域内の浸水分布に着目すると，特に西側および南西側において浸水深が大きくなる傾向が確認された．これは，図−4 に示すように当該地域の地盤高が周辺より低いことに加え，周囲に下水管が少なく，地表の水が十分に排水されずに貯留したためと考えられる．さらに，該当箇所は限られるものの，下水道網を二次元格子上に変換する際，同一セル内で同方向に重なる管路や複数のマンホールの一部を除去しているため，局所的な排水能力や接続関係の再現性に影響した可能性もある．



図−6　最大浸水深分布と浸水実績

5．まとめ

本研究では，下水道網を二次元格子上で表現した下水道モデルと二次元氾濫モデルを連成し，大阪市大正区鶴町集水区を対象に 1997 年 8 月豪雨の再現計算を行った．その結果，地表面から下水道への排水，下水道から地表面への噴出，およびポンプ場から領域外への排水といった，下水道と地表面流の相互作用に関する基本的な挙動を確認することができた．また，浸水実績範囲内においても浸水が確認され，本手法により対象領域内の浸水しやすい箇所を一定程度表現できる可能性が示された．一方で，計算結果は浸水実績と比較して浸水範囲および浸水深を過大に評価した．この要因として，本モデルでは，各雨水桝を最寄りの下水管上に配置して地表水の流入を計算しており，実際の雨水桝と下水管の接続関係や排水過程を十分に表現できていない可能性がある．今後は，雨水桝を介した流入過程をより現実的に表現するとともに，格子化に伴う管路・マンホールの表現方法を改善し，広域の豪雨災害を対象とした再現計算により，本手法の適用性を検証する必要がある．

【謝辞】

下水道網に関する資料を提供いただいた大阪市建設局の関係各位に謝意を表します．

参考文献

1) 北村諒馬，朝岡良浩，佐藤俊和，小山由美子：本川・支川・下水管網を一体化した河川合流部付近の内水・外水氾濫解析，土木学会論文集，Vol.80，No.27，論文 ID 24-27017，2024.
2) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 水防企画室，国土技術政策総合研究所 河川研究部 水害研究室：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第 4 版）.
3) 相良亮輔，錦織俊之，井上和也，戸田圭一：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.