雨水の移動の可視化に関する数値解析の試み

中部大学工学部都市建設工学科　正 会 員　武田　誠
中部大学大学院工学研究科建設工学専攻　学生会員○野々部竜也
中部大学工学部都市建設工学科　橋本善毅
中部大学工学部都市建設工学科　フェロー　松尾直規

1. はじめに

平成 23 年 9 月の台風 15 号の影響により，東海地方では断続的な大雨となり，春日井市では床上浸水 214 戸・床下浸水 183 戸，JR 高蔵寺駅の地下空間の浸水，アンダーパスの冠水などの被害[1)]が生じた．ここでは下水道排水能力を考慮した浸水解析モデルを構築し，平成 23 年豪雨による春日井市の浸水の再現を試みる．

また，浸水被害がある場合，その水が，いつ，どこから来たのかを明らかにすることは，内水対策において重要といえる．この種の解析事例として，佐山ら[2)]は T-SAS（time-space accounting scheme）を開発し，大規模洪水における時空間起源分析を行っている．本研究では，T-SAS のアイデアを浸水解析モデルに適用して，下水道，河川および地表面を流れる複雑な雨水の移動の可視化を行った．

2. 解析モデルおよび解析結果

解析モデルには武田らのモデル[3)]を適用している．地表面の浸水解析にはデカルト座標系の平面二次元不定流モデルを適用し，河川には一次元不定流モデルを，下水管にはスロットモデルを考慮した一次元不定流モデルを，マンホールでは連続式を考慮し，ここで氾濫域からの落ち込みや吹き出しをモデル化している．また，下水道の解析では対応する河川に自然流下させ，ポンプによる排水は取り扱っていない．

春日井市の地蔵川および八田川で囲まれた地域を計算領域とし，全域に春日井市役所で観測された降雨を与え，地蔵川の下流端では等流水深を与えて平成 23 年 9 月 20 日 12 時～22 時までの計算を行った．現在，八田川の河川データが整備できていないため，八田川につながる雨水吐では段落ちの流れとなっている．図-1 に計算で得られた 9 月 20 日 20 時における浸水の様子（分かりやすさを考慮して，50cm で区分した床上浸水と床下浸水）を示す．また，平成 23 年 9 月の豪雨災害の浸水域情報が整理できていないため，図-2 に過去の春日井市で生じた内水氾濫の地域[4)]を示す．本研究では，計算領域の西部における計算領域外への雨水の流下が考慮できておらず，地蔵川および八田川の流域のみを考察の対象とする．図-1 には，図-2 にみられる地蔵川沿いの浸水域が現れている．また，八田川流域では計算結果における浸水域が実績と比べて大きい．これは，解析では八田川への排水が十分に表現できていないことが考えられる．なお，現在，精度向上

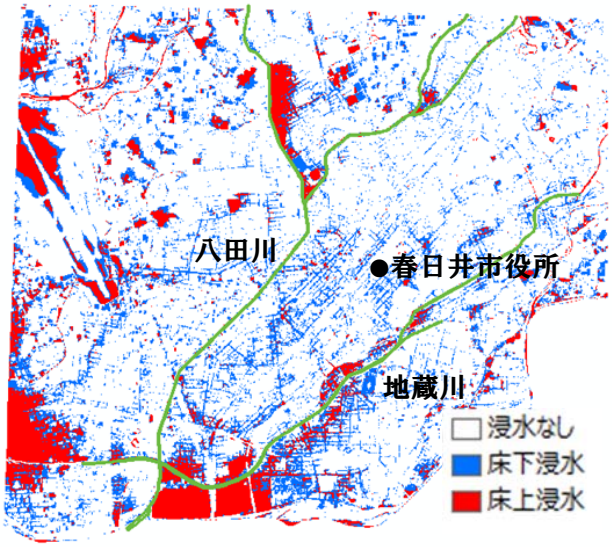

図-1　浸水深の解析結果（9 月 20 日 20 時の様子）

図-2　春日井市における過去の浸水実績図

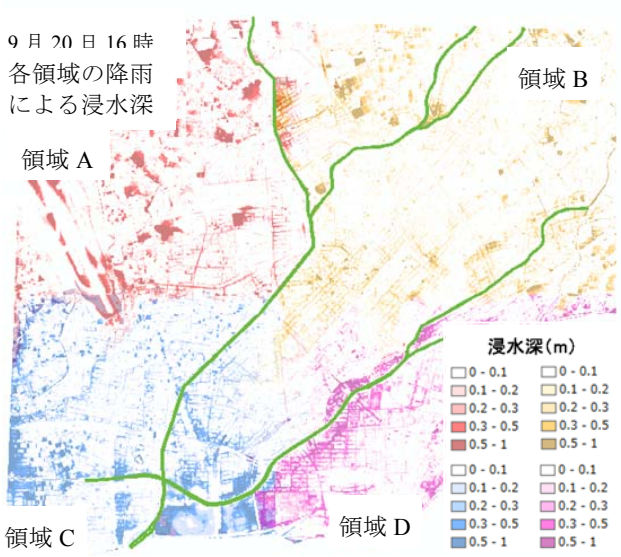

図-3　成分毎の浸水深の分布

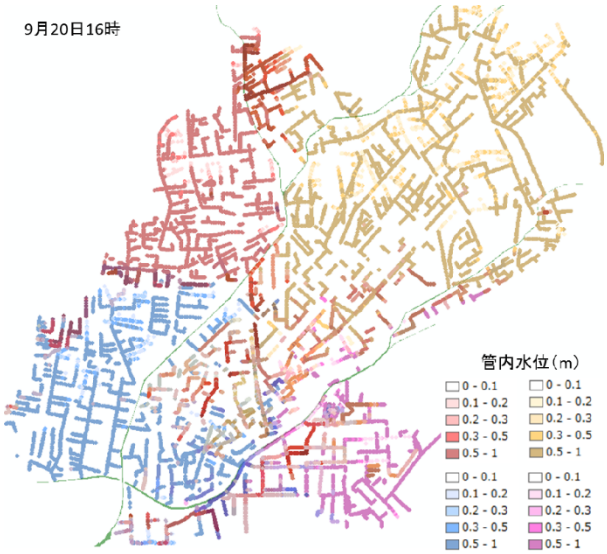

図-4　成分毎の下水道内の水深の分布

を目指して，解析に用いた河川や下水道の情報，下水道と河川の接続情報について，修正を行っている．

3.　雨水の移動の可視化

ここでの解析モデルは 2 で示したものを基礎とし，運動量方程式のモデル化は同様であり，連続式の取り扱いに特徴がある．解析では，雨水を時間または空間の成分に分け，上流を考慮しながら連続式により成分毎の水量を求め，計算格子における成分の水量を総合して総水量を算出し，水深を求めている．例として，地表面における連続式を示せば，以下のようである．

$$\frac{\partial V_{k_{i,j}}}{\partial t} = Q_{x_{i-1/2,j}} \frac{V_{k_{i+a,j}}}{V_{i+a,j}} - Q_{x_{i+1/2,j}} \frac{V_{k_{i+b,j}}}{V_{i+b,j}} + Q_{y_{i,j-1/2}} \frac{V_{k_{i,j+c}}}{V_{i,j+c}} - Q_{y_{i,j+1/2}} \frac{V_{k_{i,j+d}}}{V_{i,j+d}} + (r_k - v_{ok} - v_{ink})A_o \tag{1}$$

$Q_{xi-1/2,j} \geqq 0$の場合$a=-1$、$Q_{xi-1/2,j} < 0$の場合$a=0$　　$Q_{xi+1/2,j} \geqq 0$の場合$b=0$、$Q_{xi+1/2,j} < 0$の場合$b=1$

$Q_{y_{i,j-1/2}} \geqq 0$の場合$c=-1$、$Q_{y_{i,j-1/2}} < 0$の場合$c=0$　　$Q_{y_{i,j+1/2}} \geqq 0$の場合$d=0$、$Q_{y_{i,j+1/2}} < 0$の場合$d=1$

ここに，V_k：氾濫格子の成分 k の水量，V：格子内総水量，Q_x，Q_y：それぞれ x, y 方向の流量，r_k：成分 k の降雨，A_o：地表面の計算格子の面積である．v_{ok}：河川への単位面積当たり流出流量，v_{ink}：下水道への単位面積当たり流出流量であり，v_{ok} が正の場合は地表面格子における水量の比 V_k/V を，負の場合は対応する河川格子における水量の比 V_{rk}/V_r を用いて計算される．v_{ink} も対応する地表面格子やマンホールの水量の比を用いて同様に計算される．$V_{k_{i,j}}$ を求めて，格子内の成分による総和により $V_{i,j}$ を求め，格子面積で除することで水深が求まる．下水道やマンホール，河川でも同様に，流入水量の上流側格子の成分 k の水量と総水量の比を流量に掛けて，成分 k に関する連続式を計算する．その後，格子内で成分による水量の和をとって全水量を求め，断面積や水深を求める．計算領域を A～D に分け，その領域に降った雨水の移動の可視化を行った．図-3 に浸水深の分布を，図-4 に下水道内の水深を示す．本計算では格子内に複数の数値が存在することから，それらを透過して示している．これらの図から，それぞれの領域の雨水の移動が理解できる．

4.　おわりに

本研究では，下水道の能力を考慮した氾濫解析モデルを構築し，平成 23 年 9 月の春日井市の豪雨災害に適用し，地蔵川沿いの浸水の様子において計算値と過去の浸水実績との一致を示した．また，雨水の移動の可視化に関わるモデルを構築し，その検討の一例を示すことができた．しかし，八田川の水理を考慮していないこと，下水道データに不備があることなどから，今後は精度向上のための修正作業を進めていきたい．

参考文献　1)平成 23 年 9 月 20 日から 21 日の大雨（台風 15 号），春日井市：https://www.city.kasugai.lg.jp /bosai/bosai/018363.html（H27 年 12 月 10 日確認）2)佐山ら：大規模洪水氾濫の時空間起源分析に関する研究,土木学会論文集 B1(水工学)Vol.69, No.4, I_463-I_468,2013. 3)武田ら：都市域の内水氾濫モデルの検討と浸水時対策への応用について，土木学会論文集 B1(水工学) Vol.68，No.4，I_1015-1020，2012. 4)春日井まっぷ，春日井市 http://www2.wagamachi-guide.com /kasugai/（2015 年 12 月 10 日確認）