

## 技術報 都市型氾濫に対応した氾濫解析モデルに関する研究

都市型氾濫解析研究グループ

近年、気候変動の影響により、豪雨に起因する洪水災害は頻発化・激甚化している。このような状況を受け、河川管理者を主体とした従来の治水対策に加え、氾濫域を含む流域全体を一つの単位として捉え、流域内のあらゆる関係者が連携して水害の軽減を図る治水対策、いわゆる「流域治水」への転換が進められている。

本稿では、特定都市河川を対象とした流域水害対策計画の策定に資する都市浸水想定を提示するため、内水・外水を一体的に扱う氾濫解析モデルを構築した。さらに、本モデルを特定都市河川に適用し、解析結果の妥当性および有用性について検討した結果を報告する。

キーワード：流域治水、流域水害対策計画、都市浸水想定、内外水一体型氾濫解析モデル

### 1. はじめに

近年、気候変動の影響により、全国各地で大雨に伴う水害が頻発化・激甚化している。これまで比較的水害の少なかった地域においても、記録的な豪雨により河川水位の急激な上昇や堤防の決壊が発生し、甚大な被害が生じている。

こうした状況を踏まえ、令和2年7月には国の社会資本整備審議会より「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について」<sup>1)</sup>が答申された。これを受け、気候変動による降雨特性の変化等を考慮しつつ、特定都市河川流域における関係者一体となった水害対策を一層促進するため、特定都市河川法の改正が行われた。

この法改正により、流域水害対策計画には、従来の項目に加えて、都市浸水想定、都市浸水想定区域における土地利用に関する事項、浸水被害防止区域および貯留機能保全区域の指定方針を新たに位置付けることとされた。また、都市浸水想定区域における土地利用等の検討に際しては、従来は洪水による浸水と雨水出水による浸水を個別に設定していたが、法改正後は両者に対して同一の降雨を目標として定めることとされた。

これに伴い、法改正前に「都市洪水」と「都市浸水」として区別されていた洪水および雨水出水による浸水は、双方を包含する概念として「都市浸水」と再定義され、浸水被害対策の目標とされている。

本稿では、洪水と雨水出水が複雑に連動する都市部の氾濫現象を的確に再現し、都市浸水想定を作成に資する内外水一体型氾濫解析モデルを構築するとともに、これを特定都市河川に適用した事例について報告する。

### 2. 内外水一体型氾濫解析モデルの構築

本稿で構築した内外水一体型氾濫解析モデルは、中部大学・武田誠教授によって提案された氾濫解析モデル<sup>2)</sup>

を基礎としている。本モデルでは、降雨、河川、氾濫域および下水道における水理現象をそれぞれ適切にモデル化(表-1)するとともに、各モデル間を連成することで、流域全体の水循環を一体的に解析可能としている。

なお、本節では特に、氾濫域と下水道の相互作用に着目し、氾濫域からマンホールへの落ち込みおよびマンホールからの噴出、ならびにマンホールおよび下水道管渠内における水輸送のモデル化について述べる。その他の詳細については松尾ら<sup>3)</sup>を参照されたい。

表-1 内外水一体型モデルの構成

| 斜面流出モデル・氾濫解析モデル                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 流域全体の非定常挙動を考慮するため、Dynamic Waveモデルによる斜面流出計算を採用した。本手法は、連続式および運動量保存式に基づく不定流解析により、水位および流量を同時に求めるものであり、流れの慣性項や移流項を考慮できる点に特徴がある。<br>これにより、降雨強度の時間変化に伴う流出の立ち上がりや減衰、さらには斜面上の貯留効果を適切に表現することが可能となる。 |
| 河道・下水道解析モデル                                                                                                                                                                               |
| 河道および下水道内の水位・流量の非定常挙動を評価するため、一次元不定流解析に基づく計算手法を採用した。本手法は、連続式および運動量保存式を用いて断面平均の水位と流量を算出するものであり、洪水波の伝播や背水影響を適切に再現することができる。                                                                   |

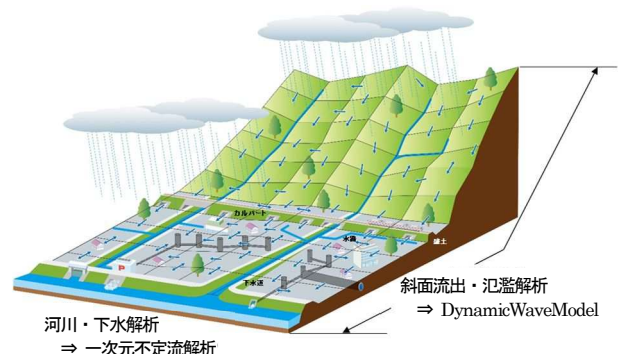


図-1 内外水一体型氾濫解析モデルのイメージ図

### (1) 氾濫域ー下水道の接続モデル

氾濫域と下水道の接続は、基本的に氾濫解析における単位格子とマンホールとの間で水の受け渡しを行う形で表現した。マンホール内水位が地盤高より低い場合には、氾濫域からマンホールへの落ち込み流量を算定し、マンホールの連続式に組み込む。一方、マンホールへの流入量がその許容容量を超過した場合、すなわちマンホールからの噴出が生じる場合には、超過分を氾濫域側の連続式へ反映させる。このとき、マンホール内水位は氾濫格子の水位と一致するものとして取り扱う。

### (2) 河川ー下水道の接続モデル

河川と下水道の接続については、接続対象となる河道内に河川水位と連動するマンホールを設置し、河川水位と上流側マンホール水位との差に基づいて管渠内の流量を算出する方法を採用した。

管渠内の流量は、マンホール間の水位差に基づくエネルギー勾配によって決定され、主として圧力流として評価される。これにより、下水道管路内における非定常な水輸送挙動を連続的に表現することが可能である。

ここで、河川水位が堤内地盤高（マンホール地盤高）を上回る場合には、逆流現象を考慮する必要がある。すなわち、河川水位がマンホール水位および地盤高を上回る条件下では、河川水が下水道網へ流入し、管渠を通じて堤内側へ伝播する。管渠内では圧力流として水が輸送され、地盤高の低いマンホールにおいては水位が地表面を超過し、噴出現象が発生する。

本モデルでは、このような河川からの逆流による内水氾濫、特にマンホールからの噴出による浸水拡大過程を、氾濫域モデルと管渠モデルを連成させることで連続的かつ動的に再現可能とした。

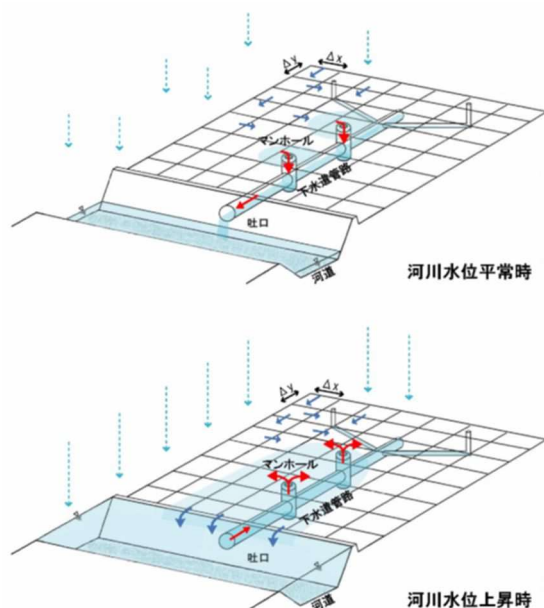


図-2 河川と下水道、氾濫原の接続イメージ

また、本手法は河川水位の時間変動を境界条件として直接反映できるため、洪水波の進行に伴う逆流開始時刻や浸水域の拡大過程といった時間的变化を適切に評価できる点に特徴を有する。

### (3) 流域排水モデル

本モデルでは、氾濫域と下水道との水の受け渡しはマンホール部で行うものとしているため、マンホールが存在しない格子においては直接的な接続が表現されていない。しかし、実際の流域においては、側溝や細管等を介して集水された雨水が下水道へ流入するため、これらの影響を考慮する必要がある。

本来であれば、こうした側溝や細管を含むすべての排水施設をモデル化することが望ましいが、全ての下水道管渠および側溝等排水施設を対象とすると、計算時間および計算容量の観点から現実的ではない。

一方で、下水道末端の排水過程を適切に表現できていない場合、マンホールが設置されていない格子では、氾濫原の地盤高に従って表面流として隣接格子へ水が移動し、結果として意図しない流下先へ流入することが考

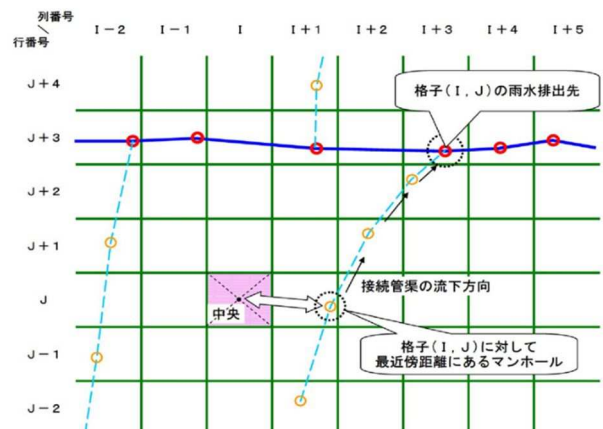


図-3 流域排水モデルの格子と排水先マンホールの関係

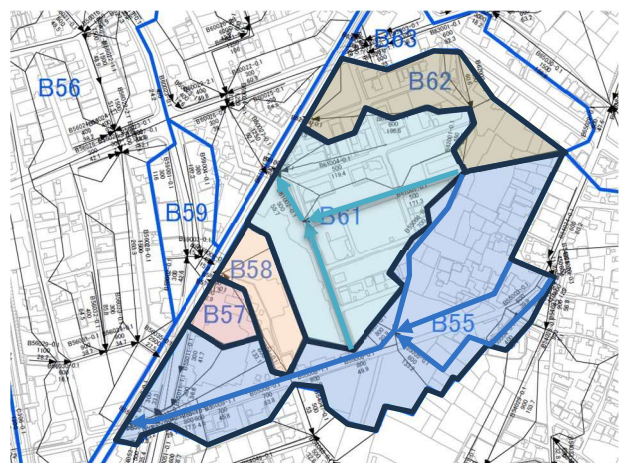


図-4 排水先下水道管渠と排水区を用いた集水エリアの例

えられる。このため、本来指定の系統を通して排水されるべき水量が他の下水道系統を圧迫する可能性がある。

この課題に対応するため、本モデルでは下水道への流入過程のうち、末端排水に関わる部分に限定して簡略化したモデル化を行った。なお、マンホールにおける噴出および氾濫域との水の受け渡しについては、前節で示した方法に従うものとし、本節では落ち込み流量が発生する格子の設定方法およびその処理に着目する。

具体的には、整備された下水道が計画規模に応じた排水能力を有するものと仮定し、下水道計画において定められた各排水区のデータを用いて、排水区ごとの集水領域を設定した。さらに、各排水区に属性情報を付与し、対応するマンホールの平面位置情報と関連付けることで、当該領域から排水能力に相当する水量をマンホールへ輸送する仕組みとした (図-4)。

ただし、マンホール内に当該排水能力に見合う受入れ余裕がない場合には、マンホールの空き容量に相当する水量のみを受け渡すものとし、それを超える水量については氾濫域側に残留させることで、水収支の整合を確保している。

### 3. 特定都市河川における適用事例

構築した内外水一体型氾濫解析モデルを用いて、二級河川境川・猿渡川 (特定都市河川) への適用を行った。

#### (1) 対象河川・流域の概要

境川および猿渡川は、平成 16 年 5 月に施行された特定都市河川法に基づき指定された河川であり、流域水害対策計画は平成 26 年に策定されている。特定都市河川指定時点における流域の市街化率は約 56%であり、トヨタ自動車やデンソー等の本社・関連工場が立地していることから、今後も市街化の進展が見込まれる流域である。

表-2 境川・猿渡川流域解析条件

| 項目     | 条件                   |
|--------|----------------------|
| 流域面積   | 267km <sup>2</sup>   |
| 格子サイズ  | 25m 標準地域メッシュ         |
| 対象降雨規模 | W=1/10 (63mm/hr)     |
| 対象降雨波形 | 中央集中型波形              |
| 河口潮位   | 朔望平均満潮位              |
| 対象河川   | 二級河川、準用河川等           |
| 地盤高    | 5mDEM 及び LP データ      |
| 空隙率    | DM から作成              |
| 盛土     | 主要道路、新幹線等            |
| 下水道    | φ 600mm 以上の管渠        |
| 水路     | 水路幅 2m 以上、延長 500m 以上 |

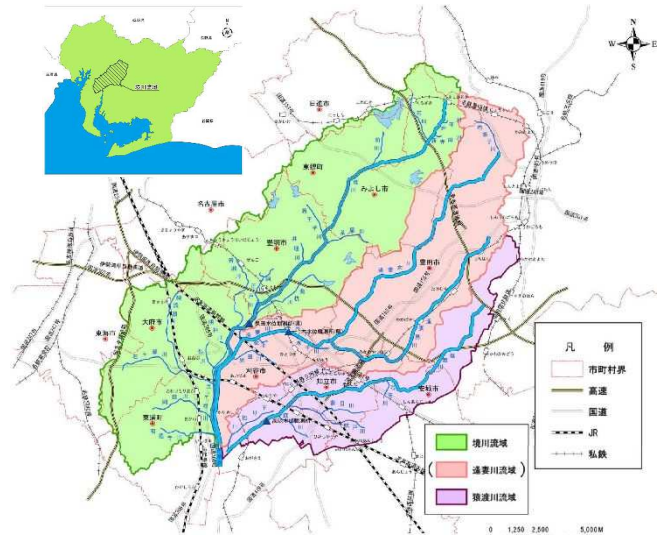


図-5 二級河川境川・猿渡川流域 (特定都市河川)

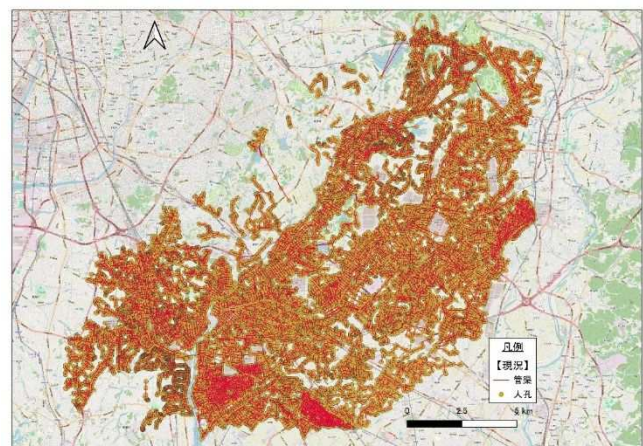


図-6 下水道管渠のモデル化状況 (R5 末現況)

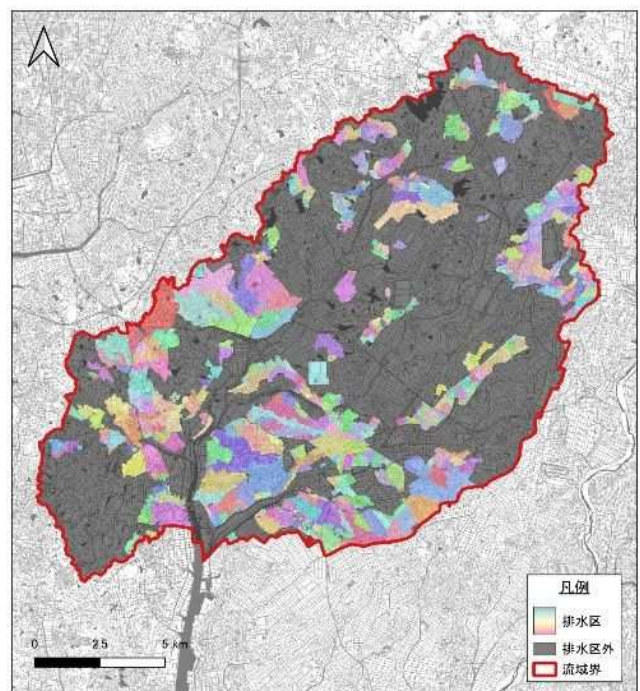


図-7 流域内下水道排水区の属性付与イメージ

## (2) 解析モデルの妥当性確認

モデルの妥当性を検証するため、境川流域において内水・外水がともに卓越した洪水事例である平成 12 年 9 月洪水（東海豪雨）時の浸水実績との比較を行った。

本モデルにおける計算外力は、年超過確率 1/10 規模の中央集中型降雨波形であるため、降雨条件が異なることから厳密な比較は困難である。しかしながら、実績浸水域と解析結果の浸水域は概ね一致しており、浸水発生箇所傾向を良好に再現していることから、本モデルの妥当性を確認した（図-8）。

## (3) 下水道管渠網の適用による浸水深の変化

下水道管渠モデルの適用有無による浸水深の違いを比較した（図-9）。その結果、下水道をモデル化した場合には、管渠周辺において浸水深が低減する傾向が見られた。一方で、下流域においては浸水深の増加も確認され、下水道網を通じた水の輸送・再配分の影響が現れている。

これらの結果から、下水道管渠を考慮することにより、都市域における浸水分布の再現性が向上し、本モデルにおける下水道表現の有効性が示された。

## 4. まとめ

本稿では、下水道を考慮した都市域における内外水一体型氾濫解析モデルを構築し、実流域への適用を行った。

解析結果は、都市域における洪水および内水氾濫の水理挙動を概ね適切に再現しており、内外水を一体的に評価するための解析モデルとして有効であることを確認した。また、本モデルの適用により、都市浸水想定的高度化に資するとともに、土地利用規制や浸水被害防止区域、貯留機能保全区域の指定方針の検討に必要な基礎情報を提供可能であることを示した。

今後は、流域水害対策計画の高度化や流域貯留施設の

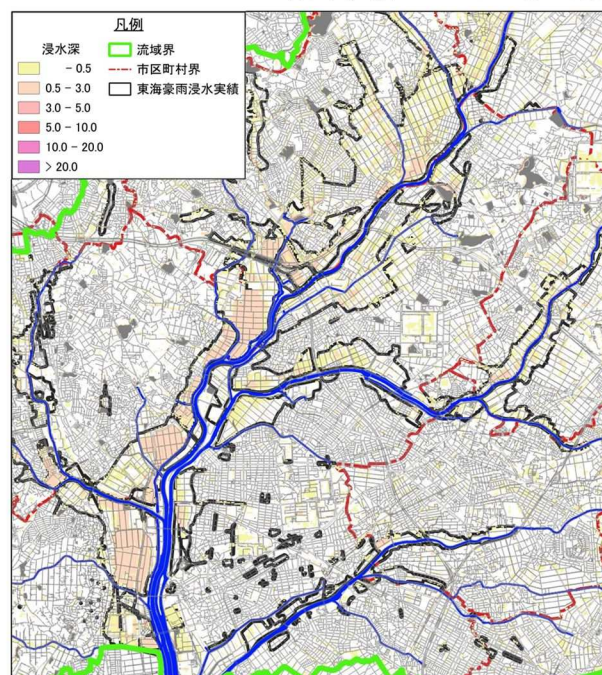
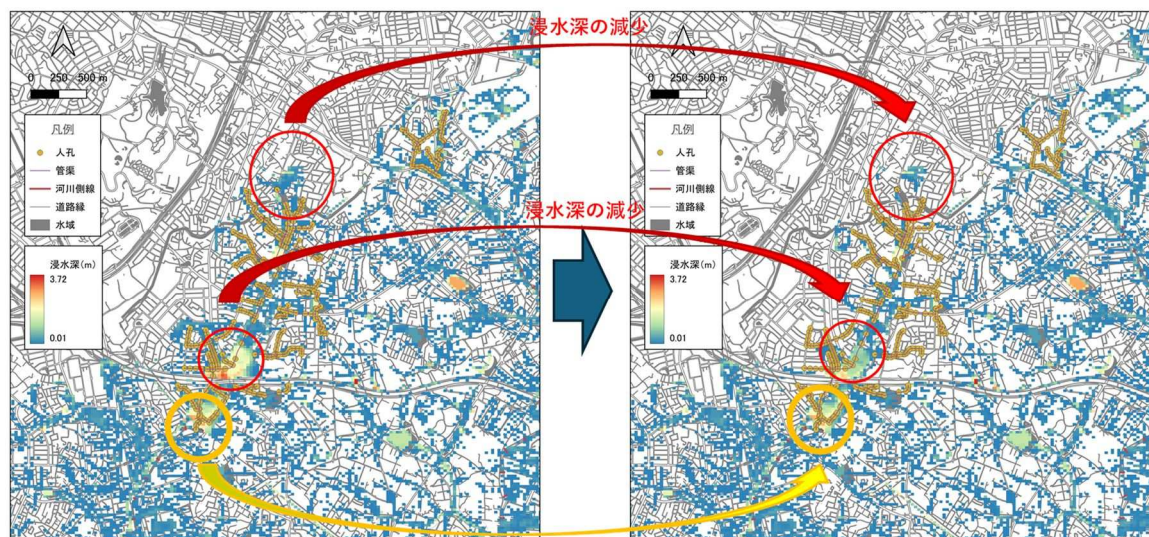


図-8 浸水状況の評価（東海豪雨実績浸水範囲との比較）

検討、大規模開発に伴う治水対策の検討等への適用を視野に入れ、実降雨データによる検証を通じた精度向上を図るとともに、多様な流域治水対策を評価可能なモデルの高度化を進める予定である。

## 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について 答申，2020。
- 2) 武田誠・ケンインヒ・村瀬将隆・中島勇介・川池健司・松尾直樹：大規模浸水における小河川と下水道の影響に関する数値解析的検討，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.73, No.4, I\_1447-I\_1452, 2017。
- 3) 松尾直規・武田誠：都市域における氾濫解析システムの適用と下水道流入モデルに関する検討，河川技術論文集第12巻，pp.97-102，2006。



二級河川境川流域浸水図（下水道モデルなし） 浸水深の増加 二級河川境川流域浸水図（下水道モデルあり）  
図-9 下水道管路網を考慮したことによる浸水深の変化