

春日井市における 内水氾濫解析モデルの活用と改良に関する研究

中部大学大学院 工学研究科 建設工学専攻 横倉昌信
指導教授 武田 誠

1. はじめに

近年、我が国では豪雨災害が頻繁に発生している。平成 21 年から平成 30 年の 10 年間における全国の水害被害総額は約 2.5 兆円で、そのうちの約 3 割が内水氾濫によるものである。浸水棟数の合計は約 33 万棟であり、そのうちの約 6.5 割が内水氾濫による浸水棟数である¹⁾。平成 30 年 7 月豪雨及び令和元年台風 19 号による豪雨では西日本を中心に全国的に広い範囲で記録的な大雨となり、東海地方では平成 30 年 6 月 28 日から 7 月 8 日までの総降水量が 1200mm を超える地域があるなど甚大な被害を受けた。また、令和 2 年 7 月豪雨では、内水氾濫による浸水被害は九州地方を中心に 20 府県 63 市町で発生し、住宅被害は全国で約 1.8 万戸であり、そのうち内水被害は 5.1 千戸であった。さらに、愛知県春日井市では、平成 23 年 9 月に発生した台風 15 号により甚大な被害を受けた過去がある。

このように内水氾濫は身近なものになっており、詳細な内水氾濫の発生メカニズムと対策の検討は喫緊の課題である。効果的な対策の検討のためには、都市における詳細な内水氾濫が表現できる解析モデルが必要となる。著者は、これまで、愛知県春日井市の南西部を対象に内水氾濫解析モデルの構築およびその活用について検討してきた²⁾。ここでは、この解析モデルをモデル 0 とする。モデル 0 は、都市の表面を 10m 格子で表現し地盤高を与え、河川および下水道のデータを整理して、その水理を解析する統合型氾濫解析モデルである。しかし、そのモデルには建物を考慮することができていなかった。

内水氾濫の場合、建物の屋根に降った雨は管を通じて下水道へ（春日井市の場合、道路側溝に流れて下水道へ）流れる。地上に降った雨は側溝に流れて下水道へ流下するが、屋根に降った雨の方が早く下水道へ流下することが考えられる。また、建物の存在により地上の浸水面積は低下することも考えられる。そこで、本研究では、建物の屋根に降った雨の取り扱いおよび建物が存在することによる氾濫格子の面積低下

を考慮し、それらの結果への影響を考察する。

中部電力株式会社は、スマートメータの活用として下水道内水位計測を展開し、春日井市と中部電力株式会社で締結された「ICT を活用した地域課題解決に関する連携協定」³⁾を進めている。また、水防法の改正⁴⁾では、水位周知下水道の指定と、雨水出水特別警戒水位の設定、水位情報の周知が示された。このような社会的な動きから、下水道内水位計測の重要性が認識され、計測の拡がり期待される。その場合の基礎資料として、浸水が生じている箇所や周辺の下水道内水位の変化を知ることは、今後の下水道内水位計測結果の活用に関与するものと考えられる。本研究では、浸水が生じる周辺の下水道内水位の変化を検討し、内水氾濫解析モデルの活用法を示す。

2. 内水氾濫解析モデル

河川は一次元不定流モデル、氾濫域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用いる。氾濫域では下水道を考慮し、マンホールでは氾濫格子からの流入出を考慮した連続式を用いた。下水道管渠の解析には、スロットモデルを考慮した一次元不定流モデルを用いる。本研究では建物に降った雨は流入可能距離（50m）以内の最も近いマンホールへ流入するとし、地上の降雨は流入可能距離（150m）以内にある最も近いマンホールに流入するよう落ち込み流量を設定する。さらに、落ち込み流量の最大値を単位面積あたり 500mm/h と設定し、最大値までは陸域の浸水量をマンホールへ流下させた。ただし、マンホールが満水になった場合は流入しないものとする。なお、500mm/h は河川水位の一致度から求めた武田らの結果⁵⁾を参考に設定した。さらに、建物を考慮した場合、地上の氾濫解析において、建物面積を解析格子から減少させた。連続式に使用する格子幅を 10m 格子のまま使用したものをモデル 1 とし、建物の面積による流入幅の低下を考慮したものをモデル 2 とする。モデル 1、モデル 2 と同じ条件で建物に降った雨

の流入可能距離を 100m に変更したものをそれぞれモデル 1.1, モデル 2.1 とした. モデル 1, モデル 2 の下水道内の粗度係数を 0.020 から 0.025 に変更したものをそれぞれモデル 1.2, モデル 2.2 とした.

3. 解析条件

本研究では, 排水施設および貯水槽を考慮した. 図-1 に対象領域の地盤高と下水道管渠, 貯水槽, 排水箇所を示す. 降雨の情報は内水氾濫が発生した 2017 年 7 月 4 日の情報⁶⁾をティーセン法で区分した計算領域に, 各観測所の 10 分間雨量の観測データを与えた. 河川水位は, 地蔵川と八田川の下流に観測された水位を用いた. 図-2 に水位計設置箇所を示す. 水位計はマンホール内の最下部の足場に設置し, 水面から水位計までの深度を計測した. 図-3 にティーセン法を用いて区分した計算領域および雨量観測所, 落ち込み流量の範囲を示す.

4. GIS を用いた建物データの整理

本研究では阿部ら⁷⁾の研究を基に建物データを作成する. 建物データとして国土地理院の建物データを活用し, 建物面積および建物外殻長を求めた. さらに, 作業効率のため建物データを複数のエリアに分け, 格子幅を 10m に設定したインデックスフィーチャを作成し, クリップ機能を用いて建物データをエリアごとに分けた. その後, インターセクト機能を用いて建物一棟一棟を格子データで区分した. 区分された建物要素の面積と重心の座標を解析に活用した. GIS を用いた作業を行うことで, 解析に用いる建物情報が整理できることから, 他地域への適用も容易と考える.

5. 解析結果および考察

下水道内水位の比較として, 本解析結果, 現地観測結果, モデル 0 の結果の一部を図-4~図-6 に示す. 図-4~図-6 の赤色は現地観測による観測値であり, 設置高から上に水位が有るときに, はじめて計測される. したがって, 水位計設置高よりも下にある計算水位の妥当性は評価できない. 現地観測によって得られたデータと比較を行い, 本数値解析モデルの精度検証を行う. また, モデル 0 結果と比較し, 精度向上を図る.

下水道内水位のグラフから, 本解析モデルと現地観測の観測値からすべてのモデルにおいて, 初期の水位変動が一致し, 水位変動では概ね一致している地点が多い. 全体の建物を考慮していないモデル 0 と建物を考慮したモデル 1, モデ

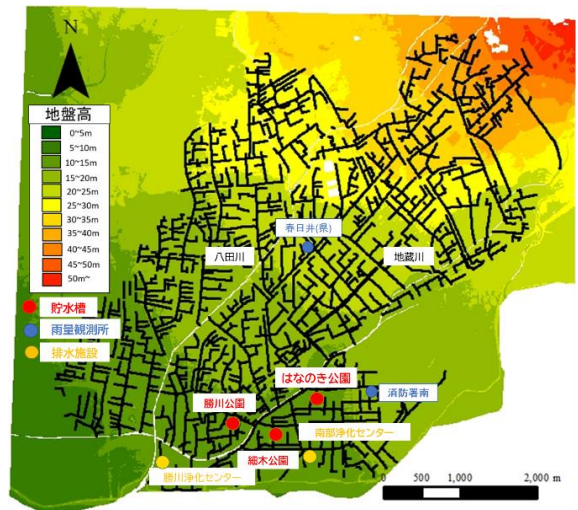


図-1 計算領域, 下水道管渠, 貯水槽, 排水箇所の情報



図-2 水位計設置箇所

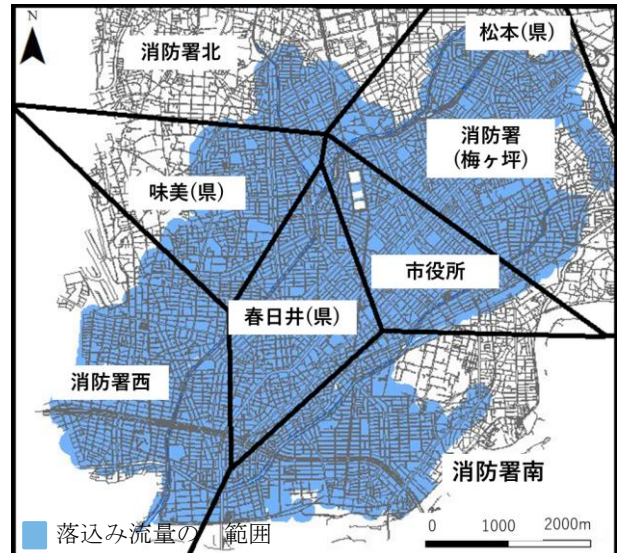


図-3 ティーセン法を用いて区分した計算領域・雨量観測所と落ち込み流量設定範囲

ル 2 を比較したが大きく違いは見られなかった. また, モデル 1 とモデル 1.1 での比較では大きな変化は見られなかったが, モデル 2 とモデル 2.1 の比較では A, F, G, I 地点でモデル 2 がモデル 2.1 に比べマンホール内水位が高くなっていることが確認された.

さらにマンホール内水位に見られる振動が粗

度係数が小さいからであると考え、粗度係数を0.02で解析を行ったモデル1, 2と粗度係数を0.025に増加させたモデル1.1, 2.2をそれぞれ比較した。モデル1.2はモデル1に比べ振動が穏やかになっていることが確認された。また、モデル2とモデル2.2との比較では、半数以上の地点で振動は穏やかになったが、反対に地点D, Fでは振動が激しくなってしまった。

モデル別の最大浸水深の一部を図-7~図-11に示す。モデル1, モデル2に比べモデル0は浸水範囲が小さく、浅い箇所が数カ所確認された(図の赤丸)。モデル1, 2は建物を考慮しているが、マ

ンホールから50m以内にある建物が考慮され、地上の面積が減少するため、浸水深が大きくなったと考える。また、建物からマンホールまでの流入可能距離を50mから100mに変更したモデル1とモデル1.1, モデル2とモデル2.1比較した場合、流入可能距離を100mにしたモデルで浸水範囲と浸水深が僅かに増加した(図の黄色四角)。これも流入可能距離を大きくしたことにより、考慮する建物の数が多くなり、地上の面積が小さくなったことが原因である。粗度係数を変化させた場合では、浸水深の大きな変化は確認されなかった。

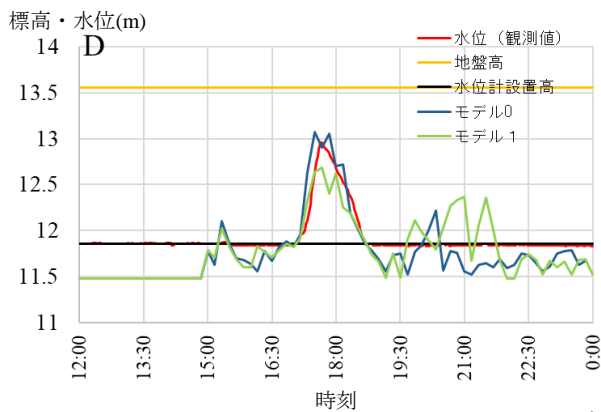


図-4 D地点の解析結果

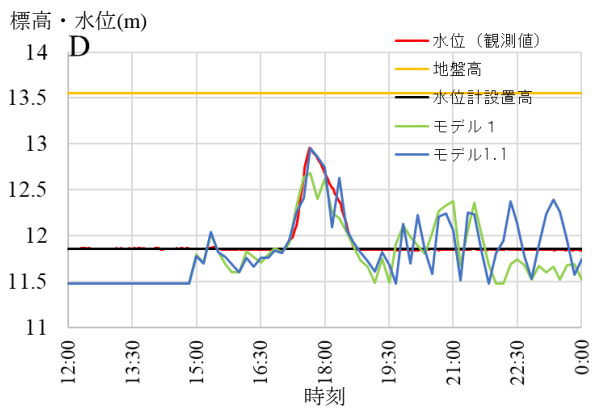
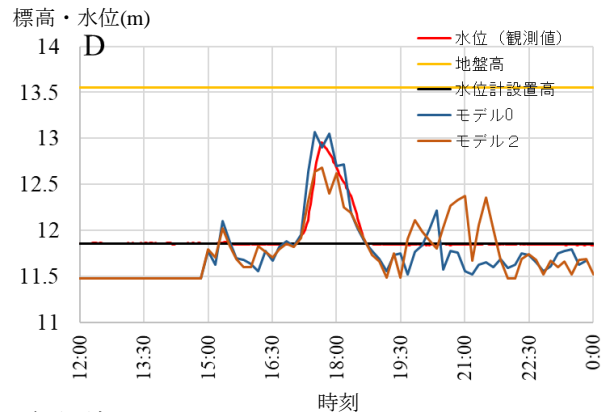


図-5 D地点の解析結果

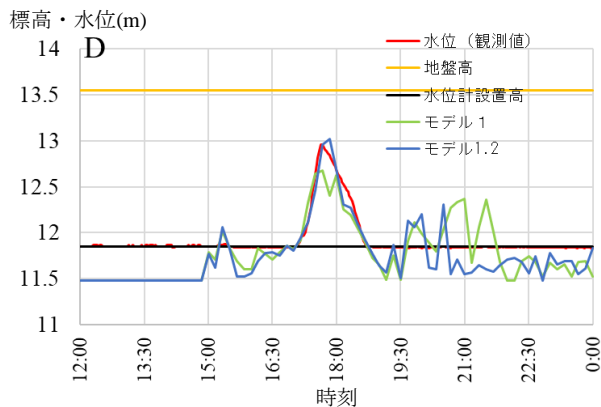
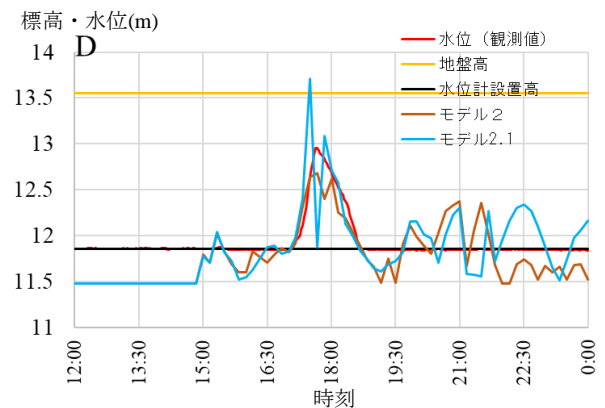
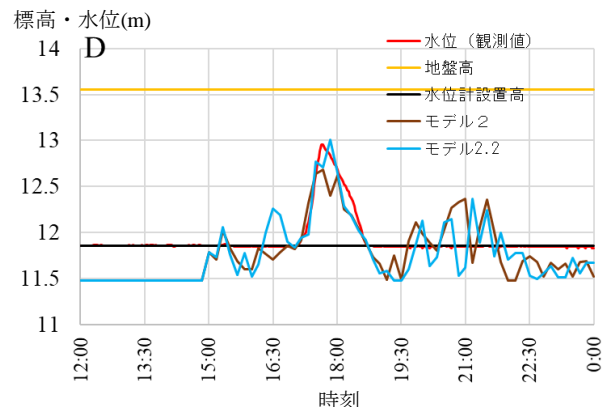


図-6 D地点の解析結果



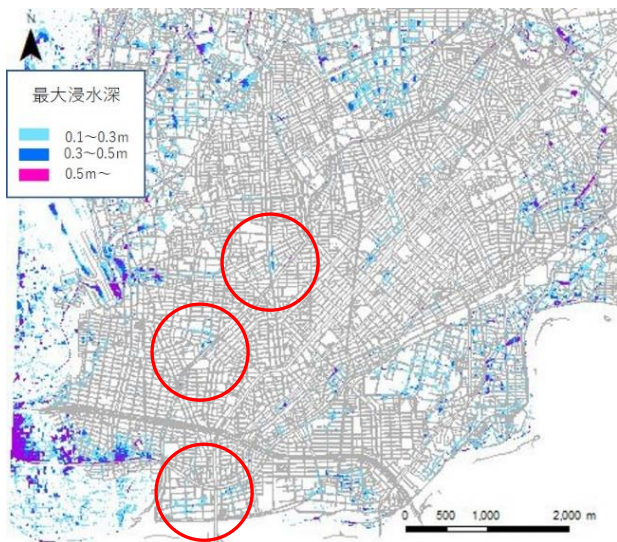


図-7 モデル0の最大浸水深

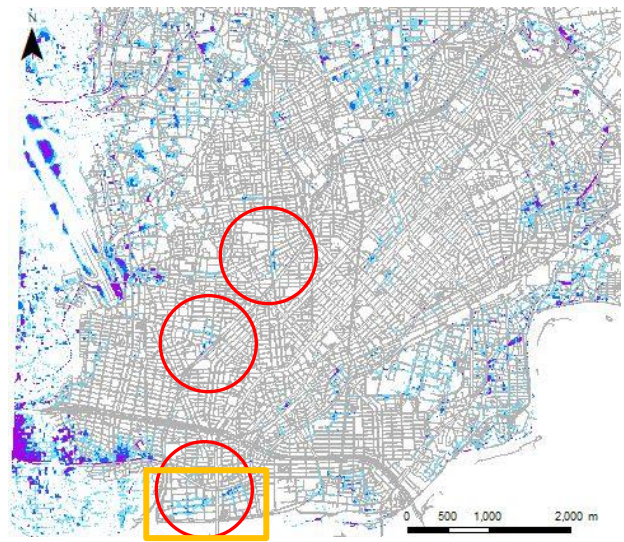


図-8 モデル1の最大浸水深

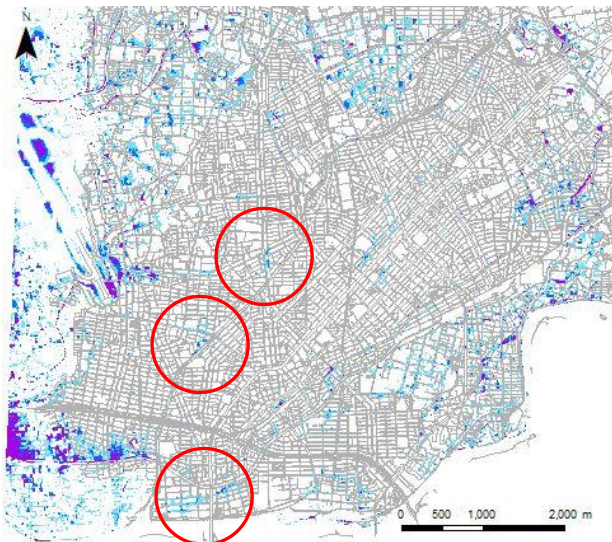


図-9 モデル2の最大浸水深

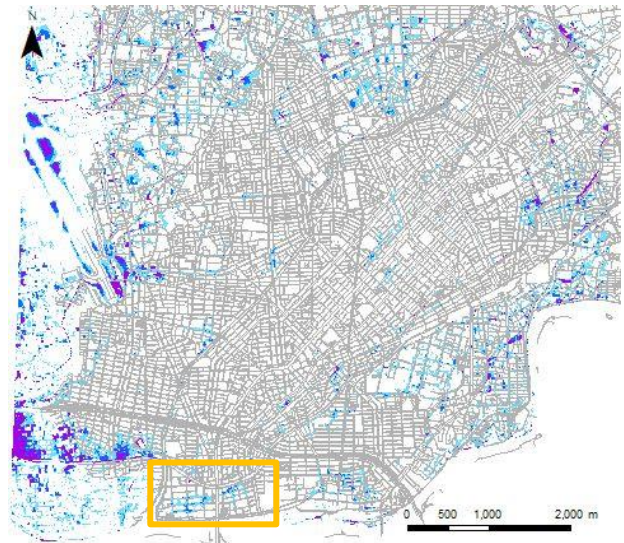


図-10 モデル1.1の最大浸水深

以上のことから内水氾濫数値解析モデルにおいて、建物を考慮したモデルと建物を考慮しないモデルの結果に用いた条件下では大きな違いはないと判断した。

6. 解析モデルの活用

(1) 検討の概要

現在、中部電力株式会社では、各家庭の電力状況を管理サーバーに伝えるスマートメータの活用として、下水道内水位を収集するシステムを検討している³⁾。これは、スマートメータの電波が土中を通過したことから考案された。現有のスマートメータのネットワークを利用して安価に情報収集ができることから、小河川、道路アンダーパスの水位計測への応用も期待される。このような技術革新は今後、下水道内水位計測の展開につながる。適切な計測場所の検討のためには、浸水箇所付近にある下水道内水位の

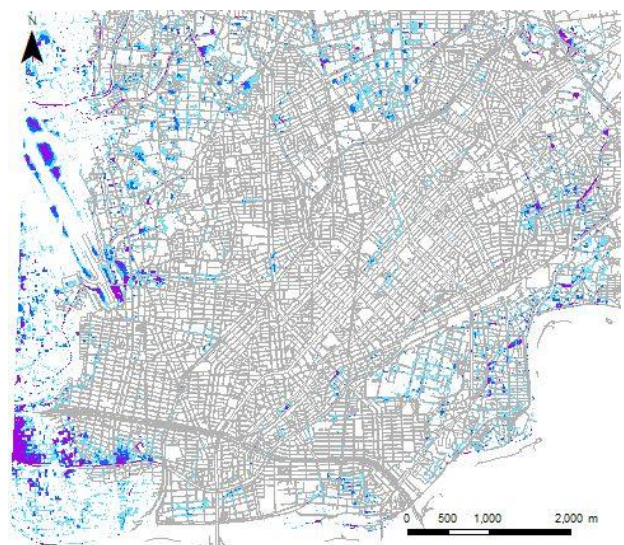


図-11 モデル1.2の最大浸水深

変化特性を知ることは大事な作業と考える。ここでは、時間雨量 60mm が 2 時間 (1h~3h) 継続

した場合を対象に、数値解析結果から得られる下水道（マンホール）の水位情報を考察する。

(2) 地上の浸水と下水道内水位の様子

図-12 に地上の浸水の様子（全域）を示す。図-12の結果から、浸水がみられる地域を3つに区分した。予測可能地域は、満管率が高くなった後に浸水が発生している地域であり、またマンホール内の水位が地盤高を超えてから浸水が発生しているため、マンホール内の水位の情報から浸水を予測することが可能である。予測不可能地域Ⅰでは、マンホールが満管になる前に地上の浸水が生じており、予測不可能地域Ⅱでは、マンホール内の水位上昇が急であり、マンホール内が満管になると同時に地上の浸水が生じているため、マンホールの水位情報から地上の浸水を予測することは難しい。

図-13 に浸水の様子を拡大して示す。本図には、最大浸水深と共に、地盤高からみたマンホール内水位の値を示す。図-13にあるA点とB点の地上の浸水とマンホール内の水位を10分毎の情報として図-14に示す。本図から、地上の浸水が始まる前に、マンホール内の水位が徐々に増加していることが分かる。マンホール内の水位変化

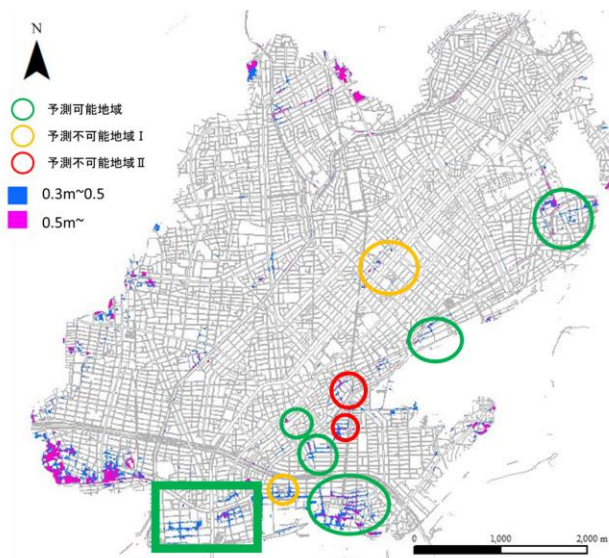


図-12 最大浸水深の分布

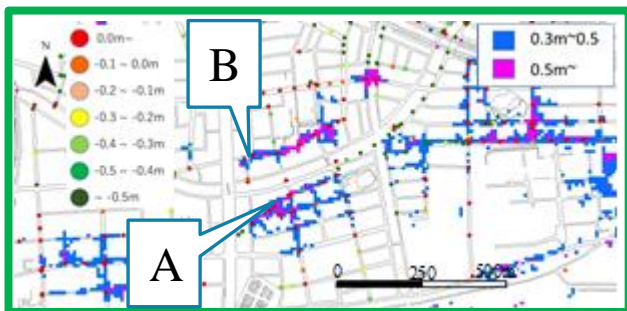


図-13 最大浸水深の分布（拡大図）と地盤からみたマンホール内水位の値

をみると、A点では振動が発生している。水位振動の要因として、マンホールから地上への吹き出しや、地上からの流入、さらに、満管状況になりスロットモデルによる影響や、河川との接続箇所における影響などが考えられる。

(3) 下水道内の観測水位の活用

図-14からA点の最大浸水深が60cmであった。道路冠水により車のマフラーに水が流入すれば

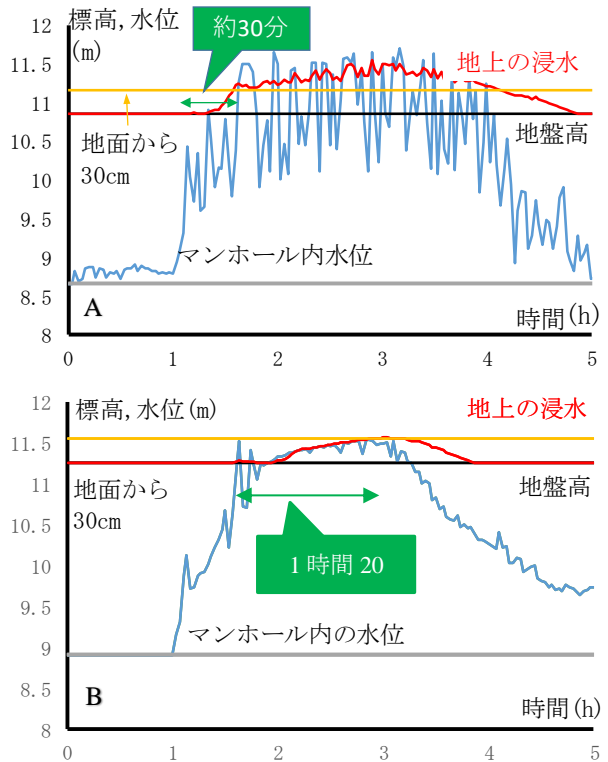


図-14 マンホール内の水位と地上の浸水

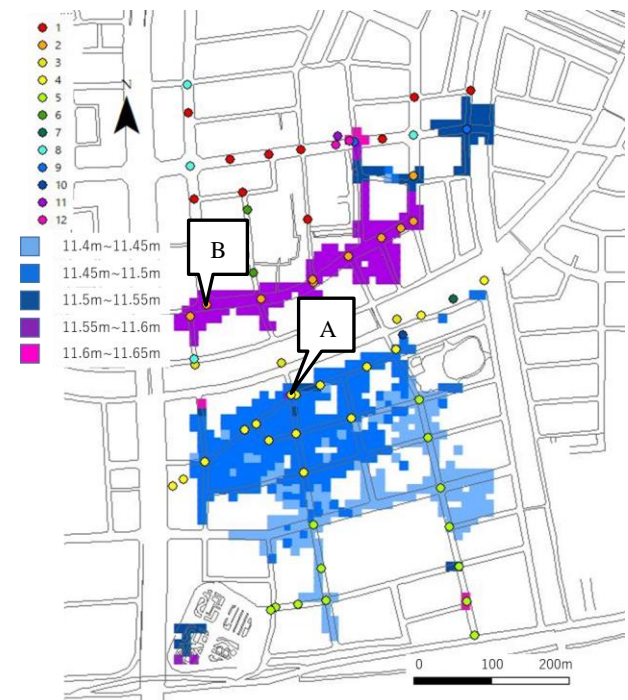


図-15 浸水を受けた場所の最大水位

車は停止することから、道路管理者は浸水時の交通整理を行うことがある。例えば、マンホール内に水位計を設置するならば、図-14 のような結果が得られる。地面から 30cm を車に被害を与える浸水深と仮定し、満管の 8 割を対策実施の判断水位と仮定すれば、その間には約 30 分の時間（リードタイム）がある。リードタイムは各降雨パターンとそれによる内水氾濫の特徴に依存するが、多数の数値実験を用いれば、降雨と下水道内水位の状況と浸水の状況の関係は明らかになると考える。また、必要な準備時間が 30 分よりも長いならば、降雨の予測を含めて議論する必要がある。

図-13 の A 地点と B 地点を含む地域の、10cm 以上の浸水深を受けた場所の最大水位を図-15 に示す。本図は、最大水位を 5cm ごとに色分けし、さらにマンホールの解析で得られた水位変動からグループ化されるマンホールを示した。図-15 から、A 地点と B 地点の浸水位は概ね広い範囲で同様の値となっている。内水氾濫は雨水の集中により生じることから、ある程度の範囲で水位は同一になると考えられる。これまでの検討から、例えば、A 地点や B 地点で水位計測が実施できれば、図-14 に示したように浸水予測のための貴重な情報となり、その範囲は図-15 に示した青色あるいは紫色の範囲で活用できる。なお、下水道内水位を計測することで、降雨と水位との関係を求めることが出来ることから、観測データの蓄積による浸水予測の高度化も期待できる。

7. おわりに

(1). 本研究の成果

本研究では愛知県春日井市の南西部を対象とし、建物を考慮した内水氾濫解析モデルの構築を実施した。解析を行ううえで、地盤高や河川、排水施設に加え、実際に存在する小さな下水道システムや側溝などを考慮し、マンホールが無い氾濫格子から 150m 以内に、建物を考慮するため建物から 50m 又は 100m 以内にある最短距離のマンホールに雨を流入するよう落ち込み流量を設定した。また、建物データは国土地理院の建築物データを格子状に区分して活用した。モデルの精度検証においては、現地観測で得られた情報を活用し、下水道内水位の一致度からモデルの妥当性を示した。モデルの精度向上においては、モデル 0, モデル 1, 2, 1.1, 2.1, 1.2, 2.2 の下水道内水位、最大浸水深を比較した。建物からの流入可能距離が 50m の場合の最大浸水深と旧モデルの最大浸水深は同様な結果が確認された。建物からの流入可能距離を 100m にした場合では最大浸水深は僅かに大きく、浸水箇所も

増加した。また、下水道内水位の変動が激しいため、粘性係数を大きくし、比較した。一部で変動が穏やかになる下水道が確認されたが、粘性係数だけが振動の原因でないことが示された。

中部電力株式会社が実施しているスマートメータの活用事例を紹介し、下水道内水位計測の進展の可能性を示した。そこで、数値解析結果を活用して、下水道内水位計測が実施できた場合の地上の浸水予測に関わる想定を行った。対象とした場所では、地上の浸水よりも 30 分早く下水道内水位が上昇していることから、浸水予測に対する計測の効果が得られるものと期待される。

(2). 今後の課題

本研究では、建物を考慮した内水氾濫解析モデルの構築をしたが、解析値が観測値に達していない地点が見られた。そのため、道路の側溝や建物の雨どいなどを細かくモデル化することでより観測値に近い値が得られると推測する。

落ち込み流量の上限値はその場所の下水道整備状況によって異なることが考えられるため、計算領域全域で一定の値を用いた点は、今後検討したい。

下水道内数の振動に関しては、粘性係数以外の要因を追求する必要がある。

浸水の予測では、より細かくデータを出力することにより、浸水の予測可能性を検討したい。また、マンホール内の水位が満管に近くなる時間と床上浸水が生じる時間の差が 20 分程度あることから、降雨の予測も想定して浸水の予測を検討したい。

参考文献

- 1) 平成 21 年から平成 30 年の 10 年間における水被害
国土交通省、水管理・国土保全
<https://www1.mlit.go.jp/8088/mizukokudo/sewerage/content/001378231.pdf>
(参照 2023-1-20)
- 2) 横倉昌信：春日井市における内水氾濫解析モデルの高度化とその活用、中部大学工学部都市建設工学科、卒業論文、2020。
- 3) ICT を活用した地域課題解決に関する連携協定、中部電力株式会社、春日井市、2019-11-19
https://www.chuden.co.jp/publicity/press/3272080_21432.html (参照 2021-1-20)。
- 4) 国土交通省：水防法等の一部を改正する法律の一部試行等について、2015、https://www.mlit.go.jp/river/suibou/pdf/suibouhou_kaisei_sekou_20150719.pdf
(参照 2023-1-30)
- 5) 武田 誠・高橋俊彦・長尾佳幸・平山康典・松尾直規：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-I_1020,2012。
- 6) 村松航希：春日井市における都市浸水の現地観測と数値解析、中部大学工学部都市建設工学科、卒業論文、2017。
- 7) 阿部将也：建物への流入・流出を考慮した氾濫解析モデルも検討、中部大学工学部都市建設工学科、卒業論文、2018。