# 未来型の都市浸水リスク管理に向けて

Towards futuristic urban inundation risk management

キーワード:浸水リスク情報、管内水位、リアルタイムセンシング、モデルシミュレーション、既存ストックの活用

**古米 弘明**FURUMAI Hiroaki
東京大学大学院
工学系研究科 教授

## 1. はじめに

近年甚大な水害を伴う豪雨が頻発しており、多くの国民が気候変動の影響が顕在化していることを認識してきている。このようななか、令和元年10月に「気候変動を踏まえた治水計画のあり方」提言が公表され<sup>1)</sup>、気候変動による降雨量の増加を反映した治水対策への転換が図られている。

最も温暖化を抑える「RCP2.6 シナリオ (2℃ 上昇に相当)」を前提に将来の降雨量の変化倍 率を設定して、治水計画の目標を定めるととも に、頻発する豪雨による被害を軽減し、最小化 するための方策を検討することが求められてい る。

都市における浸水対策を担う下水道分野でも、令和2年6月末に提言「気候変動を踏まえた下水道による浸水対策の推進について」が公表された<sup>2)</sup>。本稿では、この提言のポイントを紹介しながら、将来に向けた都市浸水リスク管理のあり方、さらには、リアルタイムでのセンシング技術を活用することで既存ストックを最大限活用する方策、さらには事業体における都市浸水対策推進の方向性について述べたい。

#### 2. 気候変動を踏まえた都市浸水対策の推進

令和元年台風第19号においては、河川の氾濫等による被災とともに全国15都県140市区町村において内水氾濫による浸水被害が発生した。併せて、下水道施設そのものも被災し、市民生活に多大な影響を与えることになった。図-1に、過去10年間の水害被害額を示している。

全国の被害額合計は約1.8兆円で約4割が内水 氾濫であるが、東京都では約7割と内水氾濫対 策がより重要である。

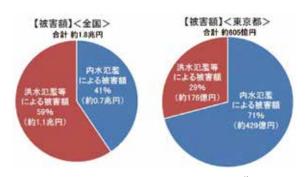


図-1 過去 10 年間の水害被害額 🖺

都市部における内水氾濫の頻発や浸水リスクが増大するなかで、大規模水害を防ぎ、その被害を軽減するために都市浸水対策を担う部局に何が求められるか。この問いの答えとして、下水道による都市浸水対策の推進に関する提言は、次の5つの施策を掲げている。

- 1) 中長期的な計画の策定の推進
- 2) 施設の耐水化の推進
- 3) 早期の安全度の向上
- 4) ソフト施策の更なる推進・強化
- 5) 多様な主体との連携の強化

ポイントは、まず気候変動を踏まえた中長期 計画の策定、超過降雨における施設の耐水化で ある。そして、都市浸水リスクを定量的に評価 して、「再度災害防止」に加え、計画的に「事 前防災」の整備を推進することが求められる。 そのためにも、従来型のハード対策に加えて、 ソフト対策や既存ストックを活用したより効率 的かつ効果的な浸水対策を展開することが必要 となる。その際に、多様な主体と連携すること できめ細やかな対策となりうる。

次節以降は、4)ソフト施策の更なる推進・強化に関連して、①内水ハザードマップ作成・公表・周知の加速化、②効果的なソフト施策の推進に焦点を当て、その課題を整理する。そして、著者らの都市浸水リスク管理に関する研究紹介をしながら、今後期待される施策の方向性について記載したい。

# 3. ソフト施策の更なる推進・強化

計画降雨を超過する豪雨時においても被害を 最小化させるためには、ハード整備とともにソ フト施策の更なる推進・強化が求められる。河 川・下水道部局は、防災部局や都市計画部局等 との連携によるリスク低減策を促進させるため にも、内水氾濫に伴う浸水リスク情報や水位・ カメラ画像など避難や水防活動につながる情報 を多様な手法で提供する強化策が必要である。 まさに、観測情報やデータを利用した都市浸水 対策の高度化が求められている<sup>3</sup>。

ここでは、浸水リスク情報の適切な提供として、内水ハザードマップの公表・周知と管内水 位観測情報の活用を取り上げたい。

## 3.1 内水ハザードマップの公表と周知

内水ハザードマップについては、「内水ハザードマップ作成の手引き(案)」 の策定・改定等により、その作成及び活用を促進するための環境整備が行われてきている。しかし、洪水ハザードマップに比べると内水ハザードマップの必要性についての認識が依然として低く、内水浸水想定区域を示すための情報が十分に揃っていないなどの課題がある。

図-2 に示されるように、過去に甚大な浸水被害が発生するなど、内水ハザードマップの早期作成が必要な 484 地方公共団体のうち 25 %が、既往最大規模降雨等による内水ハザードマップを公表していない。また、内水浸水により人命への影響が懸念される地下街を有する20 地方公共団体のうち、想定最大規模降雨による内水ハザードマップを公表しているのは2団体にとどまっている。

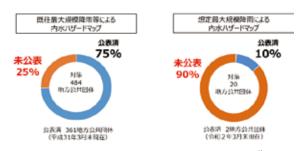


図-2 内水ハザードマップの作成状況 <sup>2)</sup>

未着手の自治体においては、過去の浸水実績を活用することを含めて内水ハザードマップの早急な作成、公開が求められる。本格的な内水ハザードマップの作成には、浸水シミュレーションを行うことが必要であるが、その基礎情報となる下水道施設や雨水流出抑制施設のデータの電子化が遅れている自治体ではその整備を戦略的に進めるべきである。

内水ハザードマップを作成する場合には、既往最大規模降雨などの単一想定ではなく、計画降雨を含む複数の降雨外力や、排水状況を支配する河川水位を適切に考慮することが望ましい。様々なシナリオによる浸水想定や浸水リスク評価を行い多層的な結果の公表が期待される。そして、公表に留まらず、内水浸水想定区域の住民による認知度を向上するための周知の取組が必須である。

# 3.2 管内水位観測情報の活用

効果的なソフト施策の推進のためには、豪雨時の管内水位や浸水状況等の観測情報及び施設運転・操作情報などの活用が求められる。管内水位観測情報を活用する代表的な施策として、「水位周知下水道」が挙げられる。これは、平成27年の水防法改正の目玉の一つとして創設された制度である。

この制度を適用した下水道は、法律に基づき、水位周知のためのシステムを構築し、水防関係者に水位情報を通知する必要がある。令和2年5月に全国で初めて、大規模な地下街を有する福岡市博多駅周辺地区において水位周知下水道が指定された。幹線水位の観測を行い、地下街や要配慮者利用施設の管理者に、設定された「内水氾濫危険水位」への到達情報を伝達することになっている。

横浜市でも、まちづくり計画「エキサイトよこはま22」に合わせて、新たな雨水幹線およびポンプ場の整備などハード対策に加えて、ICTを活用し下水道管等の水位情報提供が進められている。そして、溢水の危険性を予測し、地下街管理者等へ情報を提供する水位周知下水道の導入が検討されている。

これらは地下街などを有する大都市における 先駆的な取り組み事例であるが、地方都市においても管内水位や浸水深などの観測は推進すべき施策である。水位等の観測情報は浸水シミュレーションモデルの検定や検証にも役立ち、結果としてモデル精度向上にも生かすことができる。まさに一石二鳥の取組である。

## 4. 未来型の都市浸水リスクの管理の研究

著者らは、沿岸部に位置する都市低平地の排水区ならではの新たな浸水・氾濫予測モデルが必要であると考えていた。そして、河川砂防技術開発研究課題「沿岸低平地における河川、下水道、海岸のシームレスモデルに基づく実時間氾濫予測システムの構築(代表:佐藤愼司、2012-2014年度)」において、流出氾濫モデルに下水道システム、排水ポンプによる排水機能や沿岸部の水理特性をシームレスに統合したモデルを開発した<sup>50</sup>(図-3)。

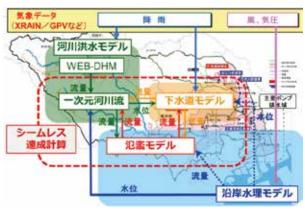


図-3 河川・下水道・海岸の各要素モデルを一体的した シームレスモデル

この成果を基盤として、2017~2019年度に は科学振興機構の未来社会創造事業で「都市浸 水リスクのリアルタイムの予測・管理制御」の 研究を実施した。そして、現在は東京大学社会 連携講座「未来型の都市浸水リスク管理・制御システム」(http://www.scpmirai.t.u-tokyo.ac.jp/)で、管渠の観測水位によって精度検証された都市浸水解析モデルの開発を進め、未来型の都市浸水リスク管理を目指している。以下に、未来社会創造事業における研究成果を一部紹介する。

#### 4.1 下水管内水位のリアルタイムセンシング

鶴見川ポンプ排水区内の5か所に、LTE通信のマンホールアンテナを設置して、2018年6月末から降雨時にはリアルタイムで1分間隔でのデータ収集をしている。センシングデータは、クラウドシステムに転送を行い、中継サーバを介して国立情報学研究所が運用する学術情報ネットワークSINET5と接続し、文部科学省委託事業「地球環境情報プラットフォーム構築推進プログラム」のデータ統合・解析システムDIAS内に設置されたサーバへアーカイブされている。

当該データは、独立したサーバに蓄積されているためデータの損失等の可能性が低く、冗長性を持ったアーカイブ機構が構築できている(図-4)。



図-4 マンホール水位データの転送システム

# 4.2 リアルタイム情報を活用したデータ同化手法

管内水位の観測値は、状況把握や今後の排水 氾濫の危険性を想定するために有効である。ま た、この観測値を用いて都市浸水解析モデルの 管内水位の計算値を補正することで、浸水予測 精度を向上させることも可能である。

その方法はデータ同化と呼ばれる。データ同 化は気象や津波の予測の分野ですでに導入され ている手法で、数値シミュレーションに実測 データを取り入れ、埋め込み、馴染ませて、実際に起こっている現象をもっともらしく推定するものである。

本研究では、リアルタイムの水位の観測データをモデルに馴染ませる手法として、様々な仮想降雨データシナリオに応じた排水区内の管路内水位空間分布のデータバンクを利用する方法を提案した $^{71}$ (図-5)。

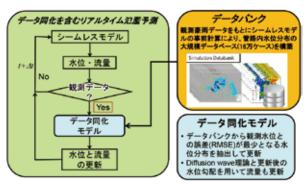


図-5 リアルタイム観測水位を用いたデータバンク型 データ同化システム

まず、観測豪雨データをもとに約16万ケースの仮想降雨データシナリオを作成して、それを入力値とするシームレスモデルの事前計算により、管路内水位分布の大規模データベースを構築した。そして、データ同化として、5か所の観測水位とデータベースの同地点の水位とを比較し、その自乗平均誤差が最も小さいシナリオにおける管路内水位空間分布に更新するという手法を開発した。

データ同化により、管路内水位の再現性が大幅に向上させた事例を図-6に示す。これは、鶴見川ポンプ排水区で過去に取得した水位データをリアルタイムに入手できたものと仮想して、実降雨データを外力として30分間隔にデータ同化を行い水位予測を行った数値実験の結果である。淡い線が観測水位であり、点線はデータ同化により再現性が向上できた結果となる。

図-6b) は、ポンプ所に隣接する地点での水位変化を示している。降雨強度の増加に対応して水位上昇が起こるとともに、ポンプが運転されることで水位が低下するなど水位が複雑に変動する傾向が見られる。データ同化なしのモデ

ル計算では、降雨後の水位立ち上がりの遅れがあり、それ以降の水位変動を再現できない。しかし、データ同化によって30分おきに観測値を反映したことから再現性は格段に高まっている。広範囲で複雑な下水道管路ネットワークを対象として、限られた観測データを活用して都市浸水解析モデルのデータ同化を実施した世界初の事例である。

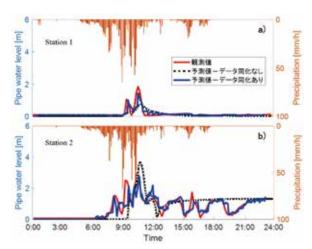


図-6 観測水位の時間変化(淡い線)とデータ同化前 (点線)と同化後(濃い線)の予測値の比較

#### 4.3 浸水予測の高精度化とリアルタイム制御

このデータバンク型データ同化システムと高速化された都市浸水解析モデルとを統合することで、リアルタイム制御の道筋が立つものと考えられる。具体的には、XRAINによるリアルタイム降雨情報や気象庁による高解像度降水ナウキャストや降水短時間予報の情報を入力とした数時間先までの浸水・氾濫の予測®を高精度化できれば、ポンプ所、ゲート、貯留施設のリアルタイム制御を検討することが可能となる。そして、降雨に応じて、既存ストックを最大限に活用する運転管理方法を構築することが期待される。

例えば、台風19号における世田谷区や川崎市の内水氾濫は、多摩川の水位上昇に伴う河川水の逆流にも大きく影響を受けた。排水ゲートを適切に操作できれば浸水被害の軽減が可能であったものと考えられる。ゲート操作は経験だけでは困難である。水位観測とともに降雨予測に基づいて様々な操作シナリオのもとで浸水予測を行うことで、的確な判断が可能となるはず

である。

以上のように、管内水位のリアルタイムセン シングと浸水予測の技術が確立できれば、ス トックの最大活用や水位周知下水道制度の積極 的な導入の後押しにもなり、河川や防災部局と の浸水予測情報の共有にも貢献できると考えて いる。また、再現性の高いモデルを用いた施設 計画の見直し、さらにはまちづくりや民間と連 携した浸水防止計画立案などソフト対策の強化 にもつなげることが期待できる。

## 5. おわりに

近年、国や都道府県により河川への危機管理 型水位計の設置や洪水予測システムの整備が推 進されている。下水道分野においても水位観測 や浸水シミュレーションの活用が進みつつある が、本格的な実装には至っていない。その意味 でも、ICTやセンシング技術を活用した管内水 位や氾濫水位の観測を積極的に展開するととも に、観測データで検定や検証された都市浸水解 析モデルを構築する必要がある。まさに、事業 体において"管路内の水位センシングの常識 化"と"都市浸水解析モデルの検定・検証の推 進"を期待したい。

さらに、都市計画やまちづくり部局とも連携 して雨水流出抑制機能も有するグリーンインフ ラの充実などに努めることも期待される。そし て、大規模貯留施設だけでなく、都市浸水解析 モデルに分散型の施設として、既存の雨水貯留 浸透施設や新たなグリーンインフラを明確に位 置づけて、導入効果を定量的に評価することが 望まれる。

また、水位情報や浸水状況を把握すること は、河川部局、防災部局と連携した避難行動や 水防活動の促進に生かすことにも貢献できる。 このように、様々な主体による連携や協働を組 み合わせて、気候変動を踏まえた強くしなやか な、未来型の都市浸水リスク管理や雨水流出抑 制対策へとつなげることが求められる。

#### <引用文献>

1) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検

討会(2019): 「気候変動を踏まえた治水計画 のあり方」提言

https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\_blog/chisui\_ kentoukai/index.html

- 2) 気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する 検討会(2020): 「気候変動を踏まえた下水道 による都市浸水対策の推進について」提言 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/ mizukokudo\_sewerage\_tk\_000659.html
- 3) 渋尾欣弘, 佐貫宏, 李星愛, 吉村耕平, 田島 芳満, 古米弘明, 佐藤愼司(2017), 都市浸 水対策の高度化:社会課題の解決に向けた データ活用事例,情報管理,60,2,100-109 https://doi.org/10.1241/johokanri.60.100
- 4) 国土交通省水管理·国土保全局下水道部 (2016): 内水浸水想定区域図作成マニュアル

https://www.mlit.go.jp/river/shishin\_guideline/pdf/ souteizu manual.pdf

- 5) 佐貫宏、渋尾欣弘、李星愛、吉村耕平、田島 芳満. 古米弘明. 佐藤愼司 (2016). 様々な 氾濫因子を考慮した都市沿岸部の氾濫予測解 析、土木学会論文集 B2 (海岸工学), 72, 2, I\_517-522, https://doi.org/10.2208/kaigan.72. I 517
- 6) 渋尾欣弘, 古米弘明 (2019), IoT を活用し た河川・下水道のシームレスモデルによる リアルタイム浸水予測手法の開発, 下水道 協会誌, 56, 675, 32-34
- 7) 渋尾欣弘、呉連慧、田島芳満、山崎大、佐 貫宏、古米弘明 (2019), 管渠水位の事前計 算データバンクを用いたデータ同化による 浸水解析の精度向上とポンプ操作の感度分 析, 土木学会論文集 B1 (水工学), 75, 2, I 199-204

https://doi.org/10.2208/jscejhe.75.2\_I\_199

8) 渋尾欣弘, 李星愛, 佐貫宏, 吉村耕平, 田 島芳満, 佐藤愼司, 古米弘明 (2018), XRAIN と数値予測雨量の降水特性評価に基づく都 市浸水解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, 4, I 1381, I 1386 https://doi.org/10.2208/jscejhe.74.I\_1381