

都市型水害の被害軽減に向けた 下水道の降雨流出特性 Rainfall-runoff Characteristics in Sewage Systems to Mitigate Urban Flood Damage

都市人間環境学専攻 阪井 瑞季

Civil, Human and Environmental Engineering / Mizuki SAKAI

1. はじめに

都市域では、これまで公衆衛生を守るために下水道の整備が進められてきた一方、都市化の進行による流域の雨水貯留能力の減少や洪水到達時間の短縮により、内水氾濫や下水道工事事故といった水害が多く発生している。例えば、2008年に豊島区雑司ヶ谷で発生した水難事故¹⁾では、雑司ヶ谷幹線において、急な増水によって管内で作業をしていた作業員5名が流され死亡した。この事故の主たる原因は、突発的な局所的集中豪雨による急激な下水道水位の上昇である。また、下水道施設の能力を上回る豪雨がもたらす内水氾濫による被害の発生件数も多く、過去10年間の水害被害において、日本全国での浸水棟数の64%、東京都の被害額の71%が内水氾濫によるものである²⁾。大久保ら³⁾は図-1に示すように内水氾濫による浸水が発生した後に外水氾濫による浸水が発生することを明らかにしており、浸水深の小さな内水氾濫で油断しているところに急激に浸水深の大きな外水氾濫が発生することによって逃げ遅れる危険性がある。

これらの事故や災害の共通点は下水道水位が上昇することでありその対策として、下水道の施設管理に関しては例えば東京都⁴⁾は、雑司ヶ谷での事故を受け1滴でも雨が降れば工事を行わないことを定めている。内水氾濫に関しては、水位周知下水道の制度が作られている。この制度では内水により相当な損害を生ずるおそれがあるものとして指定した水位周知下水道について、内水による災害の発生を特に警戒すべき水位として内水氾濫危険水位を定め、水位周知下水道の水位がこれに達したときは都道府県知事または市町村長は内水氾濫危険情報を発表しなければならないとしている⁵⁾。しかし上原ら⁶⁾は、下水道では水位の上昇速度は極めて速いため管渠内水位の観測情報のみでは地下街からの避難に必要なリードタイムを確保することは困難であり、下水道水位だけでなく降雨観測情報を止水板設置のための情報とすることで避難時間を確保する方法を提案している。

以上のことから、内水氾濫危険情報の発表や下水道工事事故の予防に役立てるためには下水道水位を知る必要がある、さらに予測降雨も活用できれば十分に避

難時間を確保できると考えられる。また、常時の水位等観測情報の蓄積・活用は十分に進んでいない⁷⁾中、下水道水位を都市型水害の被害軽減に役立てるためには下水道水位についての分析が有用であると考えられる。そこで本研究では、水位周知下水道の推進により水位計が設置された箇所の一つである横浜駅の周辺を対象に、都市型水害からの避難時間確保に役立てることを目的として、予測降雨の精度評価を行い、下水道の降雨流出特性について分析を行った。

2. 気象庁の予測降雨の精度評価

(1) 降水短時間予報

a) 研究手法・対象期間

まず、1時間先から15時間先まで予測されている降水短時間予報⁸⁾に着目した。1滴でも雨が降った場合下水道工事を中止とする地方自治体もあり、降水の有無が下水道工事実施の可否の判断や作業員の避難の安全性確保にとって重要となることを踏まえ、数時間先を予測する降水短時間予報では予測降雨の降水の有無の適中率や見逃し率、空振り率について検討した。この精度検証には、水位計設置箇所に最も近い地上雨量計である横浜の地上雨量計による観測値を用いた。1時間先から6時間先までと7時間先から15時間先までとは予測手法が異なり、前者の場合は各1時間降水量が1 kmの空間解像度で予測され、後者の場合は各1時間降水量が5 kmの空間解像度で予測されている。そこで、横浜の地上雨量計による観測値と比較する予測値を一律に評価するため、6時間先までは横浜の地上雨量計の真上の格子を中心とした25個の格子の予測値の平均値を用い、7時間先から15時間先までは横浜の地上雨量計の真上の格子を用いた。降水有無の閾値については、1 mm以上を

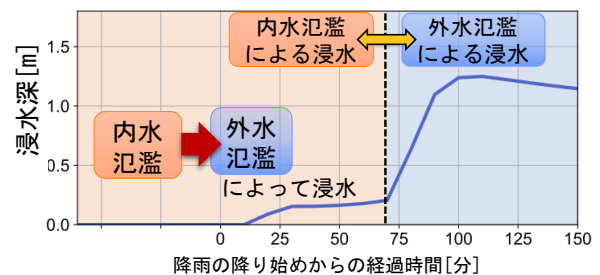


図-1 浸水深の時系列変化⁹⁾

「降水あり」、1mm未満を「降水なし」とした。用いた気象庁の天気予報の精度検証の検証指数は、総適中回数の全予報数に対する割合である適中率、「見逃し」回数の全予報数に対する割合である見逃し率、「空振り」回数の全予報数に対する割合である空振り率とした。対象期間は、2018年から2020年の、それぞれ出水期である5月1日から11月30日とした。

b) 結果

図-1に予測時間ごとの検証指数を示す。予測時間に関わらず予測精度はほぼ一定であることがわかる。見逃し率は2~3%程度であるため、降水短時間予報に基づいて下水道工事の実施を決定した場合に予期しない降水により事故発生に繋がる確率は2~3%程度であることがわかった。一方、空振り率は1~6%程度であるため、降水短時間予報に基づいて下水道工事の未実施を決定した場合に不必要に工事を中止する確率が1~6%程度であることがわかった。したがって、降水短時間予報を下水道工事の前日から当日にかけての工事実施の判断に役立てられる可能性が高いと言える。

(2) 高解像度降水ナウキャスト

a) 研究手法・対象期間

予測時間がさらに短く下水道工事実施時や内水氾濫発生直前の避難に活用できる可能性のある、5分先から60分先まで5分間隔で5分間降水量が予測されている高解像度降水ナウキャスト⁹⁾について、横浜の地上雨量計による観測値を用いて精度検証を行った。対象イベントは、横浜の地上雨量計で短時間で集中的に強い降水を観測した4イベントとした。また、30分先までと35分先から60分先までとで解像度が異なり、30分先までは250mの空間解像度で予測し、35分先から60分先までは1kmの空

間解像度で予測している。既往研究の結果¹⁰⁾より用いる格子の範囲による予測精度の差がほぼないことから、30分先までは横浜の地上雨量計の真上の格子を中心とした9個の格子の予測値の平均値を用い、35分先から60分先までは横浜の地上雨量計の真上の格子における予測値を用いて、予測時間ごとの観測値と予測値の比較を行った。

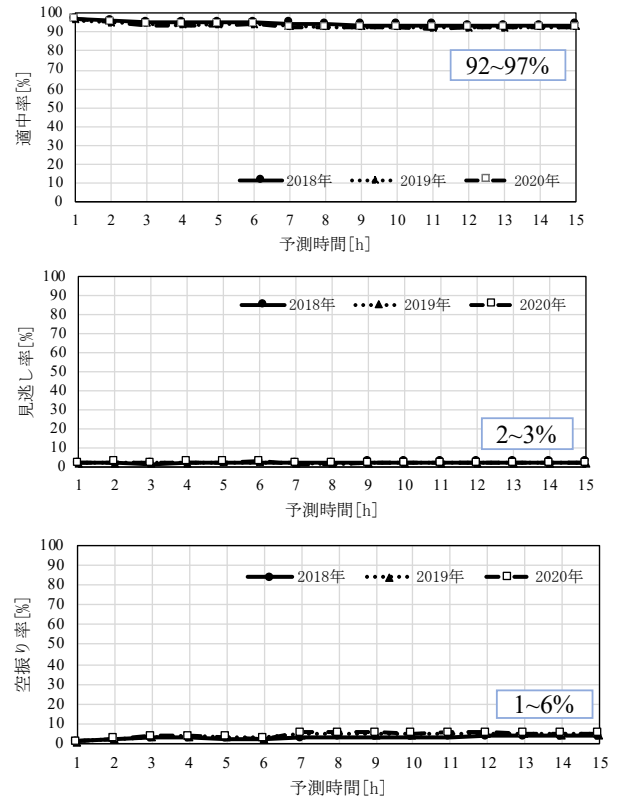


図-1 予測時間ごとの検証指数の推移 (上から適中率、見逃し率、空振り率)

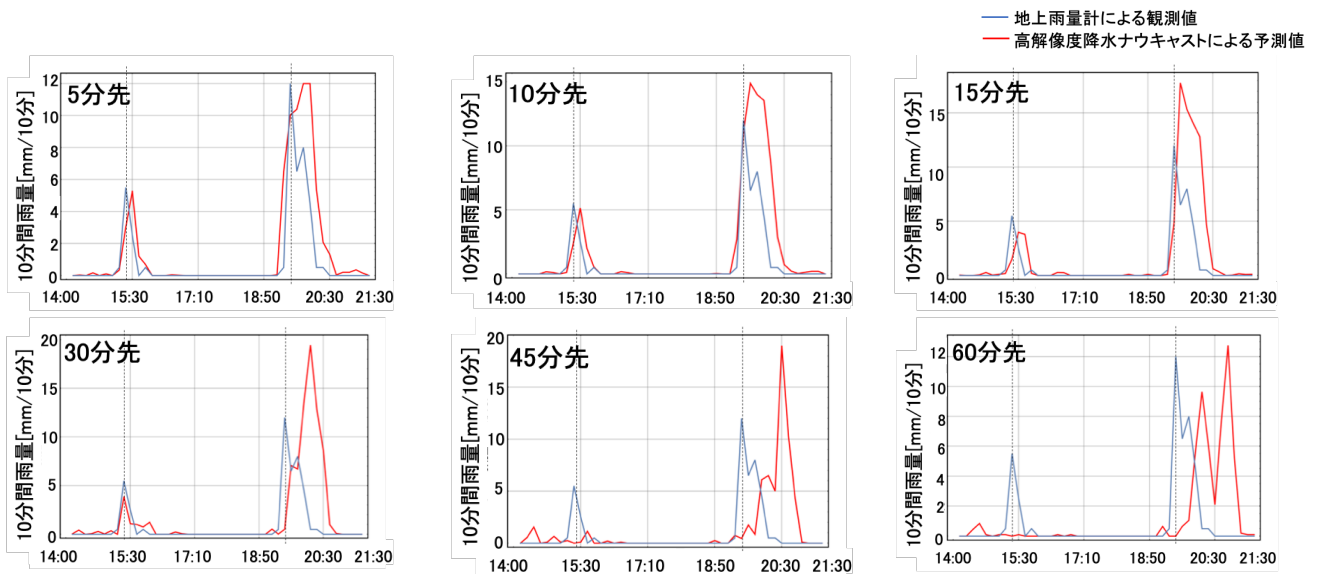


図-2 各予測時間における観測値と予測値の降雨波形 (10分先までは概ね予測できている。一山目に着目すると30分先まで概ね予測できている。)

b) 結果

4イベントで検証を行ったが、例として2019年9月3日の結果を図-2に示す。赤・青線は降雨波形を表しており、青線が地上雨量計による観測値、赤線が高解像度降水ナウキャストによる予測値である。予測時間が短いほど予測値の降雨波形が観測値の降雨波形と同様であることが読み取れる。このイベントでは10分先までは概ね予測できており、一山目に着目すると30分先まで概ね予測できていることがわかる。一方で、15分先以降は、波形のピーク値の過小・過大評価、また時間遅れの発生等により、観測値と予測値の降雨波形が一致しない。よって、高解像度降水ナウキャストの10分先までの予測値は、下水道工事実施時や内水氾濫発生直前の避難に活用できる可能性がある。なお、一般的なビル等の地下空間利用者が内水氾濫危険情報の発表から地上部への避難に要する時間の目安は5.7分とされている⁹⁾ため、少なくとも10分先まで正確に予測できる必要があると考えられる。

3. 下水道水位の流出特性についての分析

(1) 下水道水位の観測値の分析

下水道内の水位がどのような挙動を示すのか明らかにするため、下水道水位の観測値の分析を行った。地下街を有する横浜駅周辺の4箇所のマンホールには水位計が設置されている。図-3は水位計の設置場所を記した管路網図であり、図-4には一例として2021年7月2日0時から2021年7月3日23時59分のXRAINと4地点での観測値を示す。降雨強度が強くなると瞬時に下水道水位が上がっていることが分かる。また、無降雨時にも下水道水位は10cm程度変動しており、これはビルの汚水槽からの強制排水の影響であると考えられる。また、地点1のすぐ下流に地点2、地点3のすぐ下流に地点4があるが、地点1と地点2は同様な挙動を示しているのに対し、地点3と地点4は同様な挙動を示さないことがわかる。よって、すぐ下流の管路でも水位が同様な挙動を示すとは限らないと言える。

(2) 下水道水位の観測値と計算値を用いた分析

a) 研究手法

降雨と下水道水位の関係をより詳細に知るために、水位計が設置されている箇所を含む横浜市西区を対象に下水道水位の解析を行った。国土総合技術研究所によりプログラム化されているNILIM2.0¹¹⁾を使用し、Kinematic法による雨水集水モデル、Diffusion wave式による下水道管路モデルにより解析した。また、解析結果を観測値と比較し、妥当性を確認した。

b) 結果

降雨強度10～70mm/hの降雨を30分連続で与えた場合の解析を行い、例として水位計が設置されている地点2に

おける結果を図-5に示す。降雨強度が大きいほど下水道水位が大きくなることがわかる。このマンホールに接続している管路の管径は0.3mであることから、30mm/hまでは降り始めからの時間に関わらず満管にはならないが、降雨強度50mm/hの場合は降り始めから約4分で満管になり、降雨強度70mm/hの場合は降り始めから約3分で満管になる。また、どの降雨強度でも、同じ降雨強度の降雨を与え続けたにも関わらず、降り始めから約10分間は水位が緩やかに上昇し降り始めから10分以降は水位が一定となることが読み取れる。したがって、降り始めから10分間は累積の降雨量が水位に影響していると考えられ、下水道水位は降雨強度のみならず前10分間雨量と関係があることが推測できる。

そこで、2021年7月1日から2022年3月23日の間で特に強い降雨を観測した4イベントについて、時々刻々の降雨強度と観測水位、時々刻々の前10分間雨量と観測水位の関係をそれぞれ分析した。一例として、2021年7月2日0時から7月3日23時59分の地点2での結果を図-6に示す。この図から、降雨強度と前10分間雨量はともに下水道水

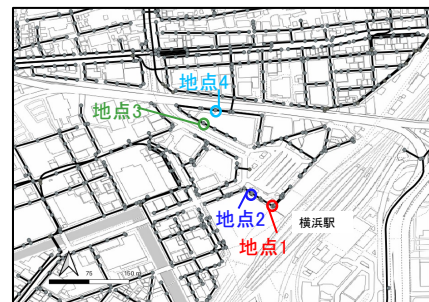


図-3 横浜駅周辺の下水道内の水位計の設置位置

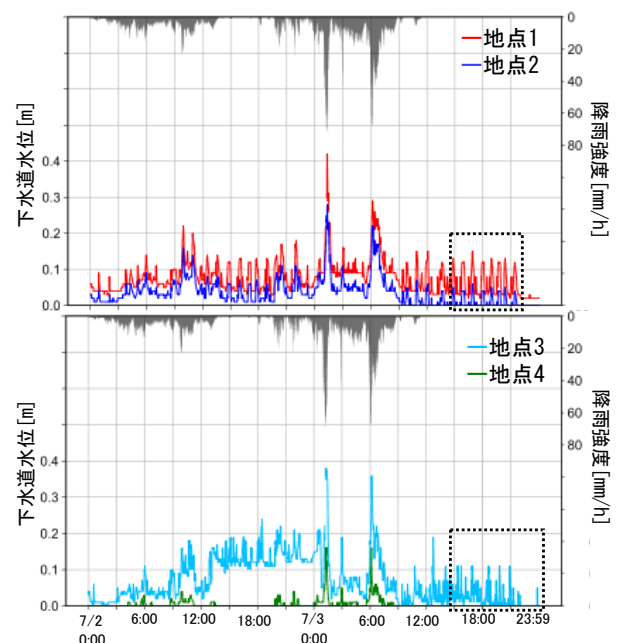


図-4 XRAINと水位計での観測値
(2021年7月2日0時～7月3日23時59分)
(すぐ下流の管路でも同様な挙動を示すとは限らない)

位と相関があり、また降雨強度よりも前10分間雨量の方が下水道水位と相関が強いことがわかる。全4イベント、全4地点においても同様の結果となった。以上のことから、下水道水位は降雨との相関が強く、降雨強度や特に前10分間降雨量が正確に予測できれば下水道水位が正確に推定できる可能性があることが示された。

4. まとめ

本研究では、都市型水害からの避難時間確保に役立てることを目的とし、予測降雨の精度評価と下水道の降雨流出特性について分析を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 降水短時間予報の降雨の有無の適中率は92~97%であり、下水道工事の実施の有無の判断や作業員の避難の安全性確保に役立てられる可能性が高い。
- 2) 高解像度降水ナウキャストは10分先までは概ね予測できており、10分先までの予測値は下水道工事実施時や内水氾濫発生直前の避難に活用できる可能性がある。
- 3) 下水道水位の観測値の分析により、降雨強度が強くなると瞬時に下水道水位が高くなることがわかった。繋がっている下水道管路でも、同様な水位の挙動を示すとは限らない。
- 4) 降雨強度10~70mm/hの降雨を30分連続で与えた場合の解析を行い、降雨強度が強いほど下水道水位は高くなり、降り始めから約10分間は水位が緩やかに上昇しその後は水位が一定になることがわかった。
- 5) 時々刻々の下水道水位と降雨量に関して、降雨強度よりも10分間降雨量の方が下水道水位との相関が高いことがわかった。

参考文献

- 1) 東京都下水道局 雑司ヶ谷幹線再構築工事事故調査委員会：雑司ヶ谷幹線再構築工事事故調査報告書 平成20年9月1日。
- 2) 国土交通省：ガイドライン策定後における内水浸水対策の取り組み状況
- 3) 大久保里彩，小山直紀，山田正：都市域の感潮河川における内水・外水氾濫が浸水に与える影響に関する研究：第29回地球環境シンポジウム公演集,2021年9月
- 4) 東京都下水道局：雨天時における安全管理の強化について
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：水位周知下水道精度に係る技術資料（案）平成28年4月
- 6) 上原亮平，安藤哲也，木村誠：水位周知下水道の導入検討の一事例，技術報告集第33号，平成31年3月，AWSJ

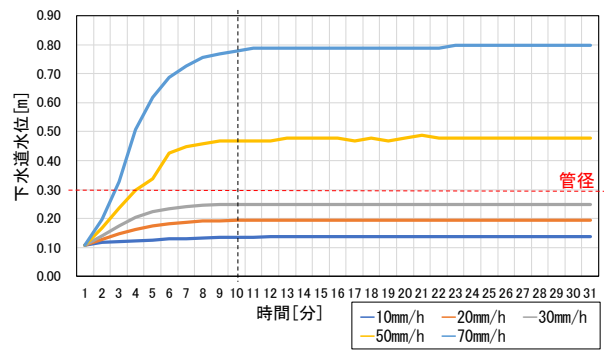


図-5 下水道水位の時系列変化
(降雨強度が強いほど水位は高くなる。降り始めから約10分間は水位が緩やかに上昇し、その後は水位が一定となる。)

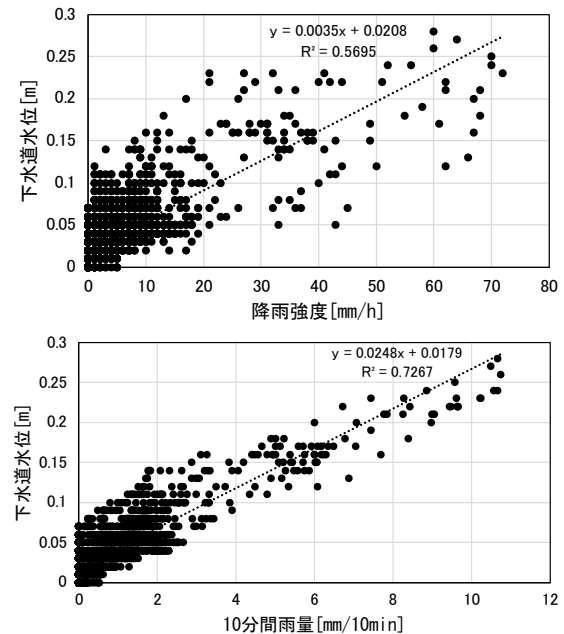


図-6 降雨強度、10分間雨量と観測水位の散布図
(降雨強度よりも10分間雨量の方が相関が高い)

- 7) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道管きょ等における水位等観測を推進するための手引き（案）平成29年7月
- 8) 気象庁：降水ナウキャスト，降水短時間予報
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/kotan_nowcast.html (入手2023.2.1).
- 9) 気象庁：高解像度降水ナウキャスト
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/highres_nowcast.html (入手2023.2.1)
- 10) 阪井瑞季，小山直紀，山田正：降水予測を基にした下水道流出情報の有効活用に向けた分析：土木学会論文集G(環境), Vol.78, No.5, I_291-I_298, 2022.
- 11) 国土技術政策総合研究所水害研究室：NILIM2.0都市氾濫解析モデル活用ガイドライン—都市浸水—，
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/ttn/ttn0202.htm> (入手2023.2.1)