

都市域の感潮河川における豪雨・高潮時の 内外水同時解析による浸水予測および減災対策に関する検討

Inundation prediction and disaster mitigation during torrential rain and storm surge by inner and river water simultaneous flood analysis in urban tidal river

18N3100032G 町田 果歩 (河川・水文研究室)
Kaho MACHIDA/ River Engineering and Hydrology Lab.

Key Words : urban river, inundation prediction, disaster mitigation, inner and river water simulation

1. はじめに

我が国において、人口や資産が多く集積している大都市は、河川の河口部や海沿いの低平地に集中している。これらの地域では、洪水発生時に高潮が同時生起することで、多大な被害が生じることが考えられる。さらに都市部においては、昭和時代初期に発展した地域が多いため合流式下水道が普及している地域が多く、洪水時に外水氾濫による浸水だけではなく、内水氾濫による浸水も同時に起こる可能性がある。これらの浸水被害の危険を住民に認知させる方法として、洪水発生時の浸水深を正しく把握するために、各自治体より公開されているハザードマップがある。現在公開されているハザードマップには、高潮、内水及び外水による浸水予測が別に計算され、被害を示しているものが多い。例えば、日本を代表する都市の一つである横浜市では、「内水ハザードマップ」と「外水ハザードマップ」は別々に解析されたものであり、それらは並べて表示することにより住民に公開されている¹⁾。しかし、都市部においてそれらの被害が同時に起こる可能性は十分に高く、同時に発生した際、ハザードマップに表示されているよりも深刻な被害が起こる可能性がある。そこで本研究では、都市域の感潮河川を対象として、洪水時において高潮を考慮した上で内外水を一体的に解き、浸水状況についての分析を行うことで、人的・経済的被害の軽減を図ることを目的とする。

2. 対象流域の概要

本研究では、都市部に位置し、洪水時に内外水および高潮による被害が同時に起こる可能性がある帷子川（流路延長17.3km、流域面積57.9km²）を対象とした（図-1）。帷子川は神奈川県横浜市に位置する二級河川であり、河口より約4.0kmの範囲において感潮域である。対象流域の下流域には横浜駅やみなとみらい地区が存在し、一度の浸水で多大な被害が起こることが予想される。流域内の合流式下水道使用割合は約3割であるのに対し、下流域の横浜市西区においては全域で合流式下

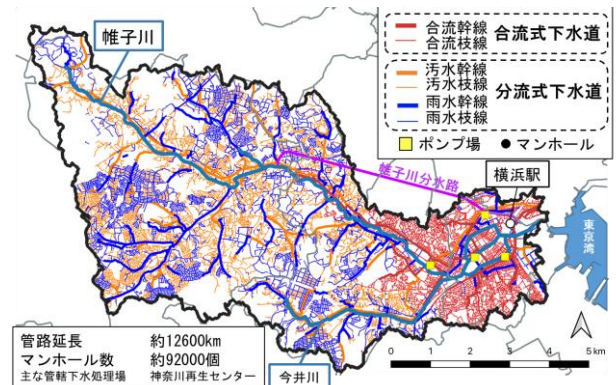


図-1 帷子川流域

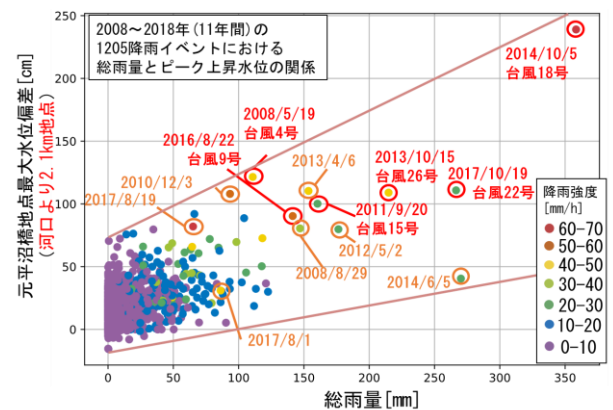


図-2 総雨量と最大水位偏差の関係
水位偏差が大きくなるイベントは台風性のイベントが多く、同程度の水位偏差でも総雨量に最大で約100cmの違いがある。

水道が使用されている。また、対象流域内にはポンプ場や放水路などといった施設が存在し、下流域の合流式下水道が使用されている地域では、ポンプ排水により雨水は河川へ流出している。

横浜駅周辺地区は、過去に何度も洪水による被害が発生している地域であり、近年の例では平成16年台風第22号上陸時に帷子川の水位が天端近くまで上昇し、外水氾濫は発生しなかったものの、内水氾濫によって横浜

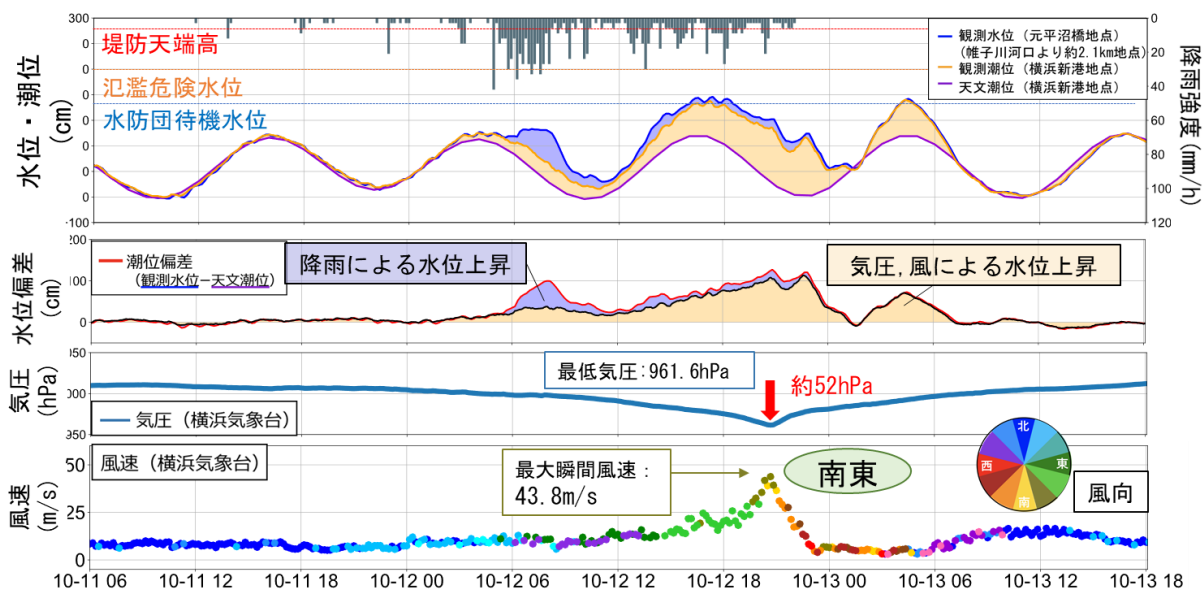


図-3 洪水時の河川水位上昇と気圧、風速及び風向の関係 (令和元年台風第19号上陸時)

感潮河川における洪水時の水位変化は降雨、気圧および風によって決まる。仮に令和元年台風第19号が満潮時に上陸していた場合、氾濫危険水位まで河川水位が上昇していた可能性がある。

駅西口周辺が浸水し、約60件の住家において浸水被害が起こった。さらに近年の事例では、令和元年9月の豪雨時に横浜駅地下街が浸水した。そこで本研究では、浸水被害をかつて何度も受けた横浜駅のある、横浜市西区に着目した。

3. 河川の水位上昇に影響をもたらす要因

感潮河川における水位上昇は、河口の潮位の影響を受けるが、その潮位は気圧および風の影響によって決まる。さらに降雨による影響も同時に受けることによって水位の上昇は起こる。図-2に帷子川元平沼橋地点(河口より約2.1km)の2008年から2018年の降雨イベントにおける最大水位偏差と流域平均総雨量の関係を示す。ここで、水位偏差とは河川の観測水位から河口の天文潮位を引いた値であり、気象の変化による水位上昇の値を示している。最大水位偏差が大きくなる降雨イベントは、台風性の降雨によるものが多いことがわかる。また、総雨量が100mm程度の降雨イベントに着目すると、同程度の総雨量のイベントでも水位偏差に最大で約100cmの差があることがわかる。この要因は、前述した感潮河川の水位上昇の特徴より、潮位による影響の差だと考えられる。

図-3に水位が上昇したイベントの一例として、令和元年台風第19号上陸時の河川水位と気圧、風速及び風向の関係を示す。同図より、横浜市周辺に台風が上陸したのは10月12日の20時ごろであるのに対し、降雨による水位上昇が最も大きかった時刻は約12時間前の10月12日の午前8時ごろであったことがわかる。水位偏差

が最大となった時刻には気圧が約52hPa下降しているが、1hPaの気圧の下降により約1cm海面水位が上昇することを踏まえると²⁾、残りの約50cmは風の吹き寄せ効果による水位上昇だと考えられる。また天文潮位との関係を見ると、台風が上陸し最も水位偏差が大きくなった時刻は干潮時であり、仮に満潮時に台風第19号が横浜に上陸していたら、河川水位は満潮時に最大水位偏差が足された値となり、氾濫危険水位(2.0m)のあたりまで水位が上昇していたことがわかる。さらにこの水位観測所地点の堤防天端高は2.8mであるが、上部分の約50cmはアクリル板による堤防であることを考慮すると、今後台風によって氾濫が起きる可能性は十分にあり、降雨だけではなく気圧や風の効果による高潮の影響も考慮して、河川水位および浸水範囲を想定する必要がある。

4. 内外水同時解析シミュレーション

(1) 内外水同時解析モデルの概要

国土総合技術研究所よりプログラム化されているNILIM2.0を使用した³⁾。本モデルは一次元不定流による河道モデル、kinematic wave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及び二次元不定流による地表面氾濫モデルを組み合わせた内外水の相互作用を考慮できるモデルである。また、降雨が河道に流出するまでの過程は山田らによって解析解が導出された合成合理式⁴⁾を用いた。今井川との合流地点より上流域においては4つの流域に分けて流域平均降雨を算出し、下流域においては合流式下水道が使用されてい

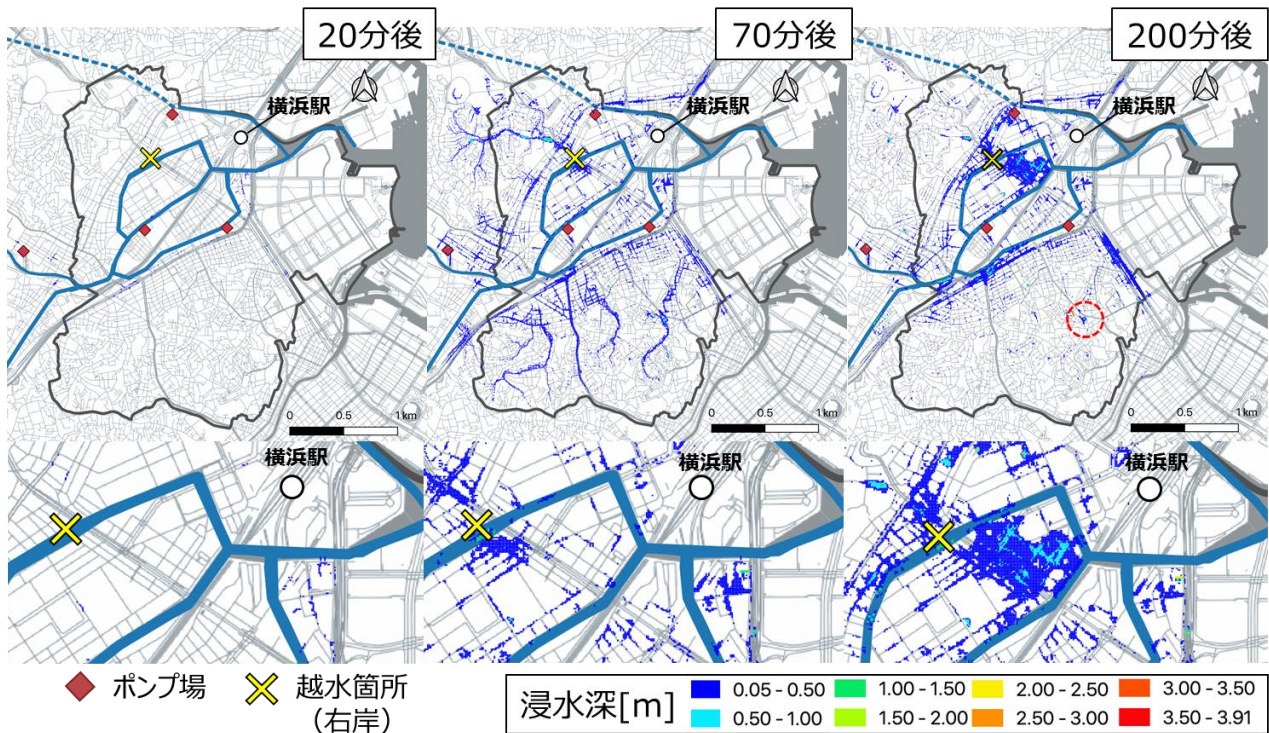


図-4 内外水氾濫解析結果

降雨開始から20分後に内水氾濫が起り、50分後に堤防から越水による外水氾濫が発生することで、横浜駅周辺での浸水被害特に大きくなる。

る地域であるため、人孔ごとにポロノイ分割によって求めた集水面積を与えることによって降雨流出を再現した。氾濫解析については、横浜市西区を5m格子のメッシュで分割し国土地理院数値標高データを用いて標高データを与えた。

(2) 外水氾濫解析および内水氾濫解析

内外水氾濫解析の前段階として、内水氾濫解析および外水氾濫解析を行い、それぞれのハザードマップと比較することによって精度の検証を行った。

外水氾濫解析については、堤防が十分に高いものとして河道水位解析を行い、河川水位が堤防高を超える地点を越水地点として設定した。また内水氾濫解析については、対象域にある全ての管路および対象流域内のポンプを解析に取り入れ実際の現象を再現した。

(3) 内外水同時氾濫解析

(2)で構築した内水氾濫モデル及び外水氾濫モデルを組み合わせ、内外水を一体的に解くことによって内外水同時解析を行った。図-4に内外水同時解析による浸水深の時系列変化を示す。75mm/hの降雨が1時間降り続いた際の河道水位解析結果より、図-4に示す×印の地点で50分後に河道水位が堤防高を超えることがわかり、この地点を越水地点とした。河口部には観測最大潮位

を与えることによって高潮の影響を考慮した。解析結果より、降雨開始から20分後に下水道管路で処理しきれなくなった水が人孔から溢れることがわかった。また50分後に堤防からの越水が起こると、内外水が同時に広がり、横浜駅周辺の店舗や商業施設が建ち並ぶ区域において、1m程度の浸水をするのがわかった。また、降雨開始から約70分後までは細い管路からの溢水により広範囲で50cm以下の浸水が起こっているのに対し、約200分後にはそれらの水が標高の低い川周辺や道路があるメッシュに集中していることがわかった。図中の赤点線で示している箇所では水深は最大となり、降雨開始から30分後に浸水が始まり、約3.5mの浸水が起こることがわかった。

5. 内外水氾濫による被害の想定

図-5に内外水氾濫が起きた際、浸水により家屋が受ける被害程度を地域別に示す。被害程度については内外水同時解析により求めた浸水深から想定した。地域の区分については国土地理院より公開されている用途地域データ⁹⁾を用いた。図-5に示すA,B,C地点はそれぞれの地域において最大浸水深が最も大きくなった地点である。商業地域においては最大で建物の2階軒下まで浸水し、他の2つの地域と比較して被害が大きくなること

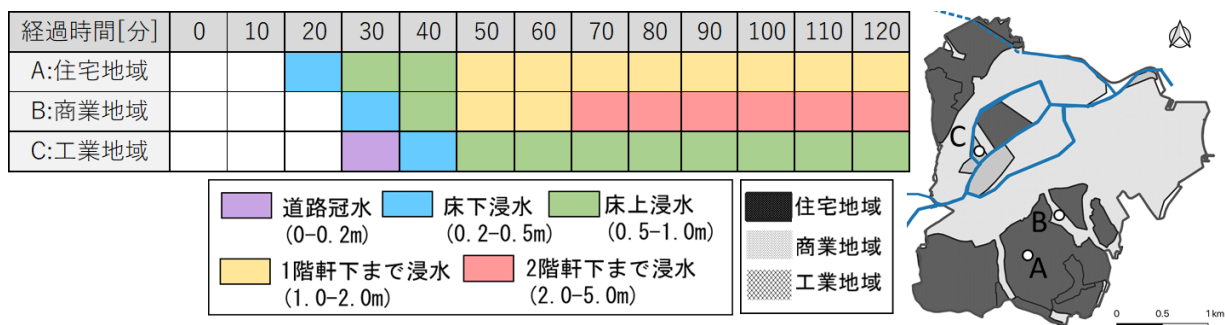


図-5 地域別の浸水による被害の時系列変化

対象地域を3つの地域に区分し浸水による被害を見ると、住宅地域で最初に浸水が起こり、最大浸水深については商業地域で最も大きくなった。

がわかった。また、住宅地域においては浸水開始時間は約20分と、他の地域と比較して最も早いことがわかった。

図-6に、横浜駅周辺のある地点における浸水深の時系列変化を示す。図の概形としては2つの山に分かれており、これは内水氾濫による浸水と外水氾濫による浸水を示している。降雨開始から約40分後に内水氾濫により浸水が始まり、約90分後に外水氾濫によってさらに浸水深が大きくなることがわかった。外開き扉の場合は26cm以上、内開き扉の場合は47cm以上の水深によりドアが開かなくなるとされており⁹⁾、横浜市には多数の地下施設が存在することを踏まえると、外水氾濫発生前に地下施設からの避難が困難になる可能性が十分にあるといえる。つまり内外水同時解析をすることにより、外水氾濫解析のみでは再現できない被害を想定することができ、このことは都市域における住民の避難行動について分析を行う際に大変重要である。

6. まとめ

本研究では、都市部の感潮河川による水害について被害を想定し、減災対策についての考察を行う為に、高潮を考慮した上で内外水を一体的に解き、解析結果の分析を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) 内外水同時解析結果より、横浜市西区において洪水および高潮が同時生じた際に、横浜駅周辺において浸水が起こることがわかった。内水氾濫による浸水が起こった後に外水氾濫による浸水が起こり、内水については細い管路から溢れ時間とともに標高の低いところに集中していくことがわかった。
- (2) 内外水氾濫解析により求めた対象地域を3つに区分して浸水による被害を想定すると、はじめに住宅地域で浸水が起こり、浸水深については商業地域において最も大きくなることがわかった。また時系列の浸水深の変化に着目すると、内水氾濫による浸水と外水氾濫

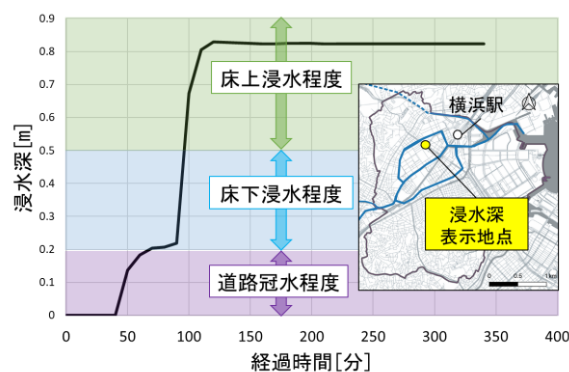


図-6 横浜市周辺における浸水深の時系列変化
内水氾濫により道路冠水程度まで浸水し、その後外水氾濫により床上浸水程度まで浸水する。

による浸水が2段階に分かれて起こることがわかった。また内水氾濫による浸水と外水による浸水開始時刻に約50分の差があることより、内外水同時解析をすることにより、どちらか一方の解析のみでは再現できない被害を想定できることがわかった。これらを踏まえて計画を行い、避難システムの構築を行うべきである。

参考文献

- 1) 横浜市：西区浸水（内水・洪水）ハザードマップ、<https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/kasen-gesuido/gesuido/bousai/naisuihm.html>
- 2) 気象庁：潮汐・海面水位の知識、<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kai-you/db/tide/knowledge/index.html>
- 3) 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/tnn/tnn0202.htm>
- 4) 渡邊暁人，笹田拓也，渡辺直樹，山田正：合成合理式の理論的導出，水工学論文集，Vol.56，pp.499-504，2012
- 5) 国土地理院：国土数値情報用途地域データ、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A29.html>
- 6) 国土交通省：地下空間における浸水ガイドライン、http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/sai-gai/tisiki/chika/