

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者		氏 名（ふりがな）		所 属		役 職	
		武田 誠（たけだまこと）		中部大学		教授	
②研究 テーマ	名称	豪雨による都市浸水のモニタリングと対策支援技術の開発					
	政策 領域	[分野] 流域計画・流域管理課題分野			融合 技術	モニタリングシステム、下水道 内水位計測、都市浸水の物理モ デル、機械学習による都市浸水 の簡易予測	
		[公募課題]					
③研究経費 （単位：万円）		平成29年度	平成30年度	平成31年度		総 合 計	
※端数切り捨て。		245.7万円	252.8万円	なし		498.5万円	
④研究者氏名		（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏 名		所属・役職（※平成30年3月31日現在）					
矢神卓也		株式会社建設技術研究所・グループリーダー					
高橋俊彦		株式会社カジマアイシーティ・グループ長 プリンシパル					
⑤研究の目的・目標 （申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）							
本研究では、愛知県春日井市を対象に都市浸水のモニタリングを行い、都市浸水の現象把握や解析モデルの検証に重要となる浸水深や下水道内水位の観測データを収集する。また、都市浸水のメカニズムや浸水対策の効果を明示するための解析ツールの開発を行う。さらに、開発したツールの水防支援技術としての課題を抽出する。以下に示す5つが各テーマの研究目的である。 A)都市浸水のモニタリング：都市浸水の詳細な状況を把握するために、地表面浸水や下水道内水位の計測環境を整備し、都市浸水のモニタリング（リアルタイムおよび非リアルタイム）を行う。 B)内水氾濫の物理モデルの構築：事前の対策支援技術として、対象地域における内水氾濫の物理モデル（春日井市地蔵川流域を対象とした内水氾濫解析モデル：地表面はデカルト座標系の平面2次元不定流モデル、河川は1次元不定流モデル、下水道管渠はスロットモデルを考慮した1次元不定流モデル、マンホール部は連続式を適用し、堤防における越流、マンホールと地表面の水輸送を考慮した統合型内水氾濫解析モデル）を構築する。 C)雨水の移動の可視化技術の構築：浸水のメカニズムの理解を深めるための、雨水の移動の可視化技術を構築し、その活用を検討する。 D)機械学習(SVM)を活用した簡易浸水予測システムの開発：降雨時中の対策支援技術として、機械学習（SVM）を活用し、物理モデルの計算結果から得られる降雨と浸水の関係を明らかにして、簡易浸水予測システムを構築する。 E)春日井市水防関連情報表示システムを活用し、市内の浸水状況の把握を行う。さらに、春日井市職員と協議しながら、支援技術としての課題を明らかにし、改善を進める。							

⑥研究成果

本研究は次の5テーマ（「A 春日井市水防関連情報表示システムおよび下水道内水位計測を用いた都市浸水のモニタリング」「B 内水氾濫の物理モデルの構築」「C 雨水の移動の可視化技術の構築」「D 機械学習(SVM)を活用した簡易浸水予測システムの開発」「E 構築したシステム（A,B,C,D）の支援技術としての課題の抽出」）で構成されている。以下に得られた成果を示す。

A) 都市浸水のモニタリング

1. 観測概要

平成 29 年および平成 30 年に春日井市における都市浸水のモニタリングを行った。春日井市水防関連情報表示システム（建設技術研究所所有、図-1）では、春日井市地蔵川流域における降雨（流域内の観測値および XRAIN 雨量）、河川水位、浸水深（1 地点）が収集、計測されており、情報を蓄積した。さらに、平成 29 年と平成 30 年の、それぞれ 6 月～10 月に、マンホールで下水道内水位を計測した。図-2 に平成 29 年の観測地点を示す。平成 30 年は若干観測地点を変えている。観測地点は春日井市の職員が把握している浸水危険地域、および、水位計の設置作業の安全性を考慮して選定した。計測には JEF アドバンテックの高精度小型メモリー圧力計（2 分毎の計測を設定）を使用し、図-3 のようにマンホールの最も低いステップに固定した。よって、固定したステップよりも高い水位が計測される。

2. 計測結果

計測期間中 B 地点で 3 回(H29 7/4,8/18, H30 8/12)、F 地点で 2 回 (H30 6/29,8/12)、H 地点で 1 回(7/4)の地表面浸水（F 地点は 50cm 程度、その他は 20cm 程度）があった。なお、春日井市によると、H29 7/4 は B 地点に赴き浸水を確認しているが、8/14 は真夜中でもあり、把握できなかった。B 地点の H29 の下水道内水位を図-4 に示す。なお、計測期間中において水位変化があまり生じなかった観測地点(G,I など)もあった。これらは、設置箇所における雨水の集中の程度と、計測装置高と水位との関係によるものと考ええる。下水道内水位を計測することで、図-4 の情報を得た。計測を実施しない場合、現地のヒアリングにより地上の浸水が把握できたとしても、図-4 のような詳細な水位変化を知ることはできない。このような情報の蓄積が都市浸水の様子を知るためには、きわめて重要と考える。得られた成果から、次に示すいくつかの考察を加えて、春日井市における都市浸水の特徴を抽出した。



図-3 水位計の設置状況

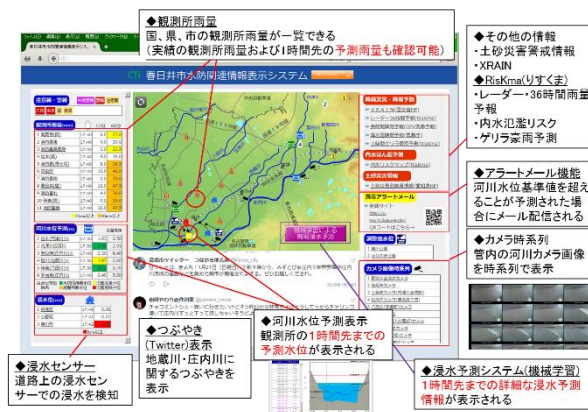


図-1 春日井市水防関連情報表示システム

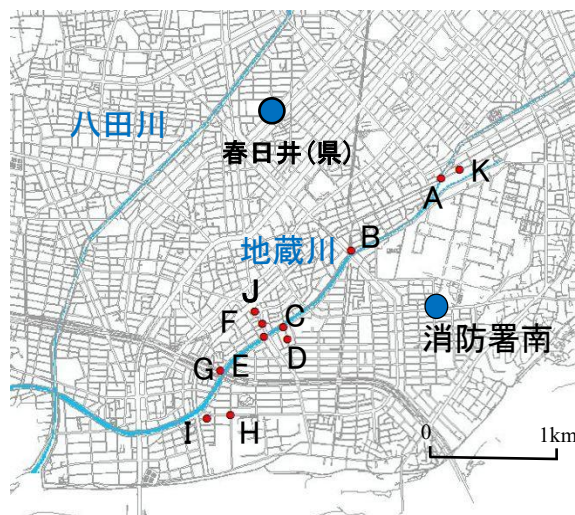


図-2 下水道内水位の計測地点

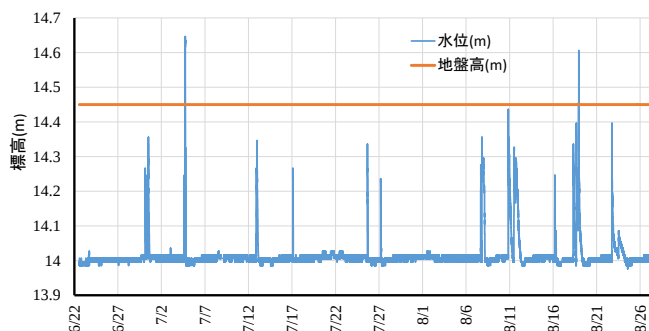


図-4 B 地点の下水道内水位(H29)

⑥研究成果（つづき）

3. 降雨と水位の関係

消防署南の降雨データとB地点の水位データを用いて、降雨(10分間雨量、時間降雨、日降雨)の最大値と最大水位の関係、降雨ピークと水位ピークの時間差を検討した。10分間雨量の最大値と水位最大値の関係を図-5に示す。時間雨量も同様であり、ある程度の相関がみられた。また、日雨量では相関がみられなかった。つぎに、10分間雨量ピークと水位ピークの時間差の検討から、小さな降雨では遅れ時間は小さいが、大きな降雨では20分～30分程度の遅れ時間となっていた。さらに、図-6のように、ある時間の10分間雨量と1時間先行雨量(ある時間より前の1時間累積雨量)と水位の関係を整理した。図-2の消防署南の降雨を用いた場合を図-7に示す。本図から、水位が低いデータは灰色エリアに固まっており、先行雨量が大きいと地盤高よりも水位が高く浸水している様子が分かる。ただし、本図から予測される水位の定量的な情報を得ることは難しい。そこで、半減期を考慮した実効雨量のピーク値と、下水道内水位のピーク値の関係を求めた。半減期を変えた場合の実効雨量

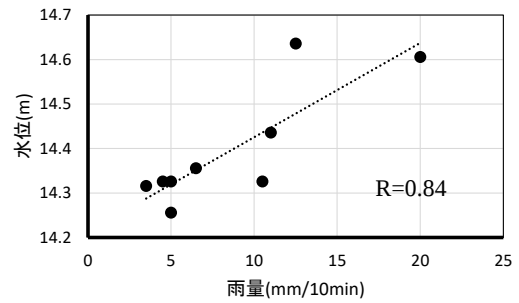


図-5 降雨と水位の関係

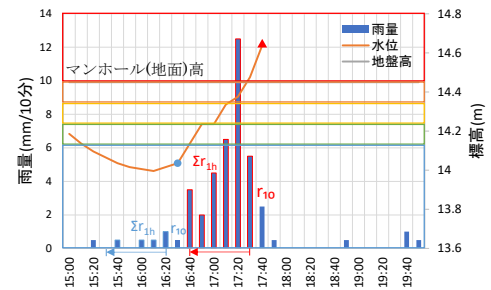


図-6 r_{10} と Σr_{1h} の定義

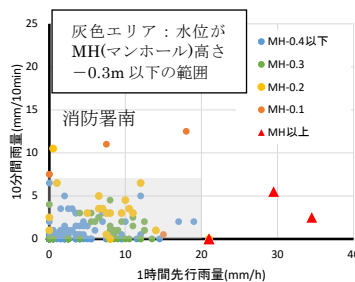


図-7 1時間先行雨量と10分間雨量と水位の関係

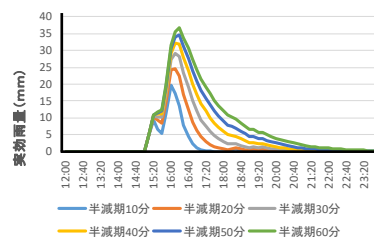


図-8 半減期の違いによる実効雨量

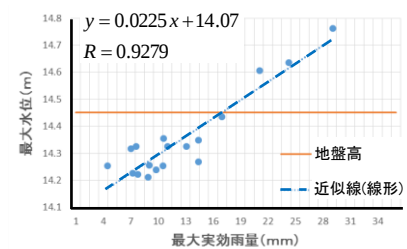


図-9 実効雨量の最大値と最大水位の関係

を図-8に、実効雨量の最大値と最大水位の関係を図-9に示す。図-9は半減期が30分の場合であり、相関係数も0.9279と高い値となった。この情報を活用することで、降雨から下水道内水位が求まる。この関係は、観測地点の浸水予測に活用できる。

B) 内水氾濫の物理モデルの構築

本研究では、内水氾濫の物理モデル(詳細は、⑤研究の目的・目標で示した)を活用する。ここでは、浸水が生じた平成29年7月4日を対象に、豪雨時の都市浸水解析を行い、解析値と計測値を比較した。計算条件を図-10に、計算値を図-11に示す。図-11からは、実際に浸水が生じているB地点では計算された水位のピーク値が観測値と同程度の値を示し、F地点、G地点では計算値は観測値に近い値を示したが、その他の場所では、計算値と観測値に値のずれが生じて

計算に用いた降雨と水位

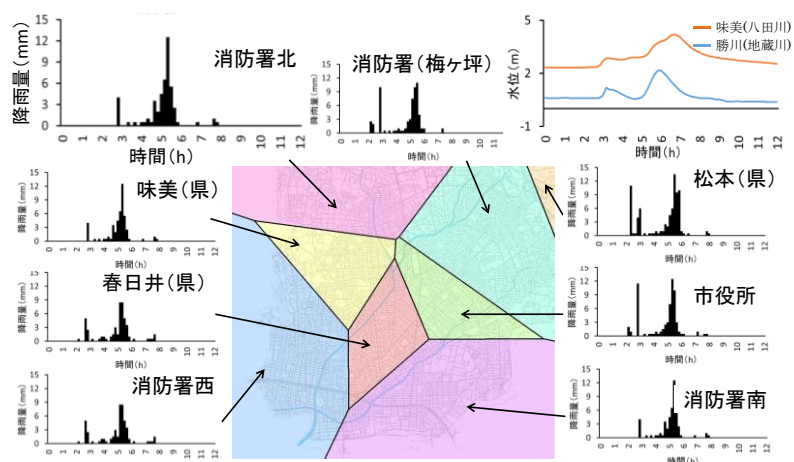


図-10 計算条件(平成29年7月4日の再現計算)

⑥研究成果（つづき）

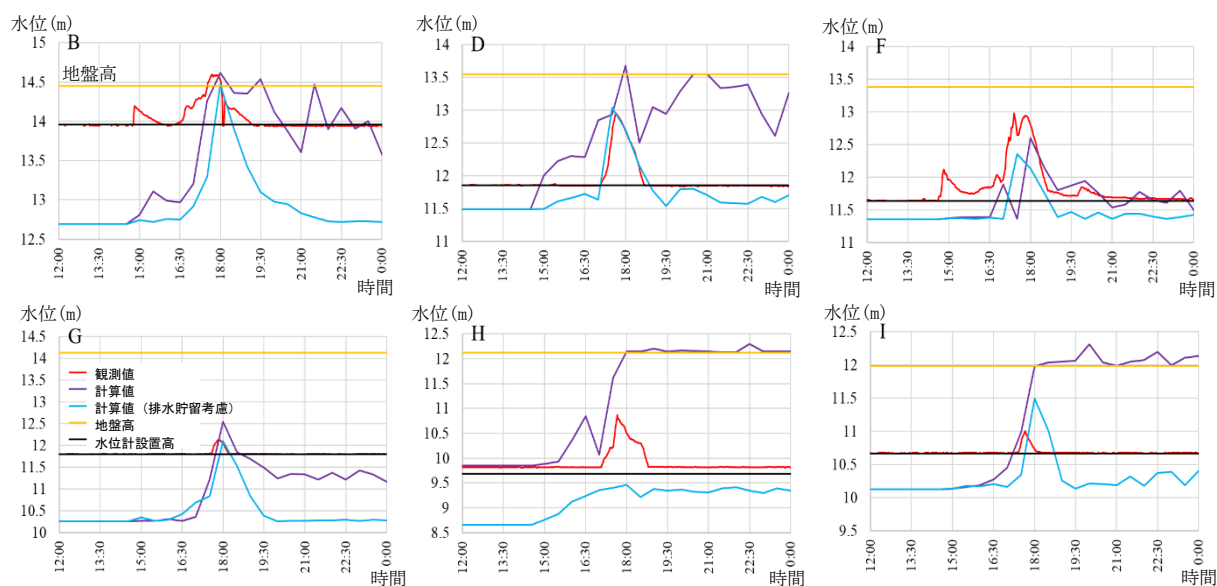


図-11 下水道内水位の計算結果と観測結果の比較

いる。これらは左岸流域に位置し、排水が十分でないと考えられる。そこで、下水道データを修正し、排水施設と貯水槽を考慮して解析を行った。図-11 の計算結果（排水貯留考慮）をみると、左岸流域の排水も表現されており、計算値も観測値に近くなっている。貯水槽の影響を受ける H 地点では計算値と観測値に差がみられた。今後、初期水位や貯水槽の堰高を検討し、解析精度を高めたい。このように解析モデルの妥当性が示されたが、十分ではなく今後も検討を進める予定である。

C) 雨水の移動の可視化技術

物理モデルに T-SAS のアイデアを考慮し、雨水の移動の可視化技術を構築した。これにより、一つの都市浸水解析のなかで、ある地域に降った雨の移動を可視化することができる。ここでは、平成 23 年台風 15 号の豪雨災害を対象に、地蔵川の右岸流域と左岸流域に降った雨の移動を検討した。その結果、右岸流域は地盤勾配が大きく、地盤高の低い場所への雨水の移動も早いが、左岸流域は地盤勾配が小さく、右岸流域からの雨水が地蔵川を越えて左岸流域に広がっている様子も示された。また、雨水の移動の可視化技術を活用して、浸水の起源となる降雨エリアを特定した。図-12 に結果の一例を示す。本図から、ある時間において、緑色の地上の浸水部にある水の起源となる降雨エリアよりも、緑色の領域にある下水道に集まっている水の起源となる降

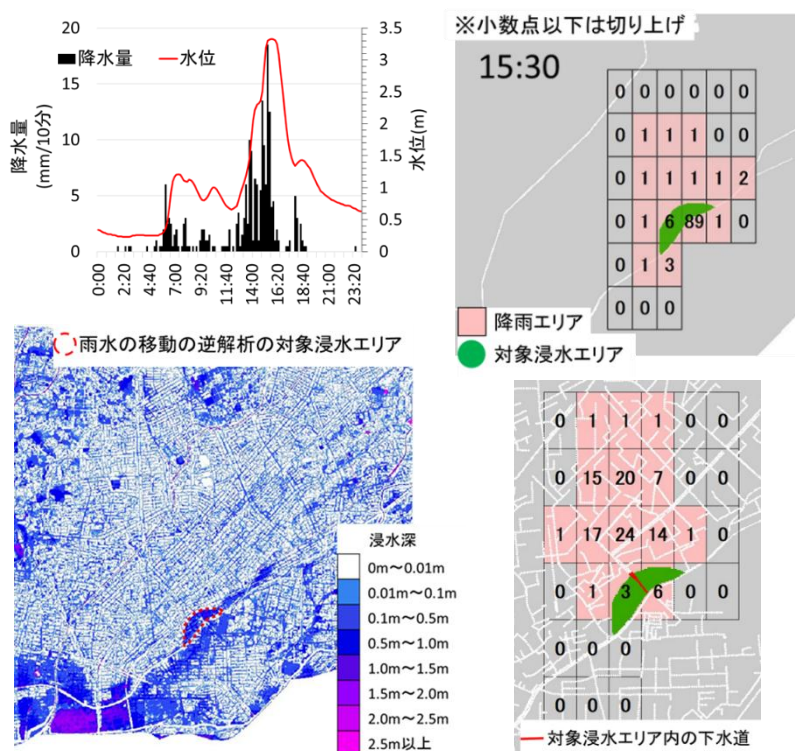


図-12 雨水の移動の可視化技術の一例：対象浸水エリア内の浸水と下水道内に集積した雨水の降雨エリアと雨水の割合（右上：浸水箇所、右下：下水道内）

⑥研究成果（つづき）

雨エリアが広く、下水道内の水は広い地域から集合して流れていることが分かり、その結果、排水が弱まり浸水が生じていることも改めて確認できた。

D) 機械学習 (SVM) を活用した簡易浸水予測システムの開発

春日井市地蔵川流域を対象とした簡易浸水予測システムについて、背景図と B)の解析モデルを活用した学習データを準備し、システムを構築した。春日井市職員が使いやすいように春日井市水防関連情報表示システムへ導入した。ここでは、各観測点の時間雨量から設定格子の閾値（20cm,50cm,1m など）以上の浸水の有無を予測する。現在までにシステム実装が達成できたが、精度検証ができておらず、今後の課題となった。



図-13 簡易浸水予測システム

E) 浸水対策支援技術としての課題の抽出

本研究では、都市浸水のモニタリングを第一の研究課題とし、その観測データを活用して、物理モデルを検証しながら、物理モデルの応用である、雨水の移動の可視化技術の構築および SVM を活用した簡易浸水予測システムの開発を行い、春日井市、庄内川河川事務所との協働により、得られた対策支援技術の課題を抽出した。

春日井市、庄内川河川事務所とは、各年度において、成果報告と議論を繰り返し、密に連携を取りながら研究開発を行った。その中で以下のコメントを受けた。

- 下水道内水位のデータは知りたい情報である。先行降雨と浸水の関係は理解できる。
- 現有の春日井市水防関連情報表示システムは必要な情報がまとまっており、降雨があるときの情報収集に活用している。降雨から浸水の有無を評価する検討は非常に有益と考える。
- 水防活動のためには、1時間先の浸水予測があれば非常にありがたい。

これらのことから、春日井市水防関連情報表示システムは頻繁に活用されていること、水防活動には1時間程度の予測情報が必要であることが改めて確認された。ただし、現地観測の結果からも明らかなように、降雨から浸水までの遅れ時間が20分～30分程度であることから、水防活動の実務者からの要求である1時間先の浸水予測のためには、降雨予測が重要であることを再確認した。

また、モニター動画の画像キャプチャー機能の要望があり、春日井市水防関連情報表示システムに導入した。産官学の密な連携により水防に関わる春日井市職員の要望に対応できた。

さらに、豪雨時の対策（市職員の現地対応）の実施の有無は、豪雨時に市職員で議論を行って決定している。この時には、職員による地蔵川流域の都市浸水の理解が不可欠である。そこで、春日井市の職員を対象に、本研究で得られた成果（現地観測結果、数値解析による雨水の移動の可視化、簡易浸水予測システム／春日井市水防関連情報表示システム）を紹介するセミナーを、平成30年11月29日に開催した。参加した春日井市職員は38名であった。このセミナーにおいて、過去の浸水被害の状況とその対策について、職員同士の情報共有ができた。

他地域への展開に関する提言

最後に、本研究活動を他地域へ展開するための重要な点をまとめる。

下水道水位計測の重要性：観測データを蓄積することで、降雨と下水道内水位との関係から、都市浸水の理解が深まる。また、降雨の予測から観測場所の浸水が予測できる。さらに、観測データは浸水解析の評価に活用でき、それにより、解析モデルの課題発見および信頼性向上につながる。現在、水位周知下水道の整備が進められているが、本研究はその参考例として活用できる。

研究成果を活用した職員研修：E)でも示したように、セミナーを開催し、都市浸水のモニタリングや浸水解析により得られた都市浸水のメカニズムを紹介すること、さらに、SVMによる簡易浸水予測システムなどの運用を議論することで、職員の水防活動に関わる知識が深まる。

実施体制の強化：本研究の産官学（建設技術研究所、カジマ ICT、春日井市・庄内川河川事務所、中部大学）の取り組みは、連携を密にとっており、内水氾濫の課題解決に対して有意義である。全国的にも同様なチームを作ることは可能なので、奨励して全国的な展開を進めるべきである。

⑦研究成果の発表状況

学術論文

村瀬将隆，武田 誠，松尾直規：雨水の移動の可視化技術を用いた都市内水氾濫の浸水特性に関する検討，土木学会論文集B1(水工学) Vol.74, No.4, I_1513-I_1518, 2018. (査読有)

村瀬将隆・武田 誠・矢神卓也・高橋俊彦・村松航希：春日井市における都市浸水のモニタリングと内水氾濫解析の検証，土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, I_1471-I_1476, 2018. (査読有)

国際学会発表：

Masataka Murase, Makoto TAKEDA and Naoki MATSUO: The examination on urban inundation due to heavy rain by using visualization for transport of rainwater, the 21th IAHR APD Congress 2018, pp.343-349, Yogyakarta, Indonesia.

学会論文

村瀬将隆，武田 誠，松尾直規：雨水の移動の可視化を用いた都市内水氾濫の浸水特性に関する検討，平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会，II-039, 2018.

村瀬将隆，村松航希，武田 誠，矢神卓也，高橋俊彦：春日井市における都市浸水の現地観測と数値解析，土木学会第 73 回年次学術講演会，II-022, 2018.

大矢航平，武田 誠，矢神卓也，高橋俊彦，村瀬将隆：春日井市を対象とした下水道内水位の現地観測，平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会，II—03, 2019.

村瀬将隆，大矢航平，武田 誠，矢神卓也，高橋俊彦：春日井市における下水道内水位計測とその浸水予測への適用，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019. (発表予定)

山内林太郎，村瀬将隆，武田 誠，松尾直規，矢神卓也，高橋俊彦：排水施設と貯水槽を考慮した春日井市の都市浸水解析，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019. (発表予定)

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

春日井市におけるワークショップ：

本研究の取り組みの一つとして、「春日井市の都市浸水対策支援技術研究会」を実施した。参加した春日井市の職員（参加者38名）に対して、本研究の概要、成果などが説明された。

講演会における話題提供：

1) Nagoyaオープンイノベーション研究会（日時：平成30年10月24日、会場：名古屋工業大学）で講演を行い、本研究成果の一部（数値解析に関わる話題）を行った。（参加者：122名）

http://www.nipc.or.jp/sansien/nova/n_record.html

2) 建設コンサルタンツ協会九州支部 河川技術委員会の「河川技術セミナー（第2回）」（日時：平成30年11月7日、会場：TKP博多駅前シティセンター）で講演を行い、本研究に関する情報発信を行った。（コンサルタント企業を意識した情報発信、参加者：83名）

<https://www.jcca.or.jp/kyokai/kyushu/topics/topics2018.html>

<https://www.jcca.or.jp/kyokai/kyushu/topics/images/H30/181010oshirase.pdf>

3) 愛知県下水道協会総会（日時：令和元年5月17日、会場：一宮市役所）で話題提供を行い、本研究に関する情報発信を行った。（行政を意識した情報発信、参加者：63名）

⑨表彰、受領歴

報告すべき事項は無い。

⑩研究の今後の課題・展望等

第一に、本研究により、下水道内水位の計測情報が非常に有益であることを示した。これは、平成27年5月の水防法の改正による水位周知下水道の水位観測の推進とも合致する。しかし、本研究期間のみの計測では不十分である。下水道内水位計測をさらに継続して、データを蓄積し、都市浸水の対策立案に貢献したい。

第二に、解析モデルの高度化を検討する。本研究の成果において示した貯水槽のモデル化を再度見直し、改善するとともに、建物の屋根の考慮（屋根に振った雨水を直接下水道へ流すなど）を検討し、解析精度の向上を目指す。

第三に、SVMを用いた簡易浸水予測システムの精度検証を進め、課題を見極めて、改善を行う。これらは、第二の数値解析モデルの高度化にも関連するが、実務上、必要となる精度の検証も必要である。

第四に、本研究では、水防関連情報表示システム、SVMを用いた簡易浸水予測システムの有用性を検討している。これらを全国展開するための活動を推進したい。

第五に、内水氾濫が生じる場所では、大規模な浸水でなくても、小規模な道路冠水は毎年のように生じる。これらの対策のためには、地域の水防活動を担う市職員の学習が不可欠である。したがって、都市浸水の学習支援（セミナー開催など）も含めた対策支援技術の活用法の検討も進めていきたい。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

⑩でも示したように、本研究により、下水道内水位の計測情報は非常に有益であることを示した。このことから、内水氾濫が多発している場所で下水道内水位を計測し、データを蓄積することは、河川行政としても非常に重要である。近年の水害の様子を鑑みれば、大規模な洪水氾濫が生じなくても、内水氾濫が広がっている事例は多い。このための取り組みの基礎活動として、下水道内水位計測は重要であり、それを基に対策を進める必要がある。

春日井市の水防関連情報表示システムは、春日井市職員から高い評価を受けており、知りたい情報が一目でわかるよう配慮されている。このようなシステムの活用は、河川行政としても有益である。

研究代表者は市民や業界関係者（例えば、コンサルタントの技術者）に対する講演活動の経験はあるが、一つの市町村の職員に対するその地域の防災教育活動（防災知識の共有）の経験は無かった。本研究では、春日井市、庄内川河川事務所と密に連携し、職員の防災教育に寄与する活動も検討した。このような取り組みを、他地域へ広げることが重要であり、その活動が地域防災力の向上につながる。その参考例として、本研究の取り組みは重要と考える。

本研究の産官学（建設技術研究所、カジマICT、春日井市・庄内川河川事務所、中部大学）の取り組みは、連携を密にとっており、内水氾濫の課題解決に対して有意義である。全国的にも同様なチームを作ることは可能なので、奨励して全国的な展開を進めるべきである。

現在、水位周知下水道の整備が進められている。これは観測された下水道内水位を基に、地下街管理者などに情報を発信して避難などに役立てることを目的としている。本研究はその制度の普及のための参考例になるものと考え。その中で、本研究で示したように、下水道内水位の計測を行い、降雨と下水道内水位の関係を明らかにした上で、予測される降雨から対策を判断するよう、活用法を見直すことを提言する。