

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02414

研究課題名(和文)内・外水氾濫リスク評価モデルの高度化とその水理実験・現地観測による検証

研究課題名(英文) Revision of simulation model of pluvial and fluvial inundation and its validation through hydraulic experiments and field observations

研究代表者

川池 健司 (Kawaike, Kenji)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：10346934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,300,000円

研究成果の概要(和文)：内部浸水が可能な建物模型を配置した氾濫実験を行ったところ、建物境界を詳細に表現した数値解析モデルでは比較的良好に実験結果を再現することができた。また、建物よりも大きいサイズの格子を用いて、建物を集合的に扱う解析モデルを新たに提案した。また、京都市の小栗栖地域を対象に、道路側溝を考慮した内水氾濫解析モデルを作成し、2013年浸水時の実測浸水深と解析結果を比較して良好な一致が見られた。さらに、氾濫流に含まれる土砂が堆積するモデルを作成し、長野市穂保地区に適用して2019年浸水時の計測データと比較したところ、浸水深はよく一致したものの、土砂堆積厚の再現精度については改善の必要があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在洪水浸水想定区域図の作成に用いられている解析方法では、建物内部は瞬時に氾濫して外部と同じ水深に達するモデルとなっているが、実験との比較によって、時間差をもった建物内部への浸水、かつ計算効率を考慮した新たなモデルを提案することができた。また、側溝を考慮した内水氾濫解析モデルや、氾濫流に含まれる浮遊砂の堆積モデルも提案することができた。いずれのモデルも、実験結果や現地での実測データを根拠に検証したものであり、その再現精度を保証するものである。これらの研究成果は、洪水ハザードマップの精度向上や、内水ハザードマップの普及、土砂・洪水氾濫リスク評価の普及に大きく貢献するものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Physical experiments of urban inundation were carried out with building models inside of which is also inundated. The numerical model with fine unstructured meshes precisely expressing the building boundaries reproduced the experimental results reasonably. A numerical model, which considers the effects of lumped buildings with coarser meshes, was newly proposed.

A numerical model for pluvial inundation considering the effects of side ditches was developed and applied to the Ogurisu area, Kyoto. The simulation results agreed well to the measured data of inundation depth at the disaster of 2013.

A numerical model for fluvial inundation and deposition of contained suspended load was developed and applied to the Hoyasu area, Nagano. Comparing the simulation results with the measured data at the disaster of 2019, it is found that the simulation results of inundation depth agreed well to the measured one, but the results of the thickness of deposition required additional model revision.

研究分野：防災水工学

キーワード：自然災害 減災 水工水理学 洪水氾濫 内水氾濫

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、激甚化、頻発化する豪雨災害への対策として、ハザードマップの作成・公表が進められている。洪水氾濫に関するハザードマップの普及はかなり進んできたものの、内水氾濫に対するハザードマップの作成はあまり進んでいない。それは内水氾濫を予測するための高精度で汎用性の高い数値解析モデルが確立されていないことと、モデル検証の難しさなどが原因として挙げられる。一方、普及が進んでいる洪水ハザードマップにおいては、浸水予測を行うモデルでは、建物内部の水位は瞬時にして外部と同じ水位に達するモデルが用いられていることや、建物のモデル化について十分な検証が行われていないことなどに、浸水予測における問題点があると考えられる。さらに、近年の洪水氾濫においては氾濫流に伴う氾濫原への土砂の流入と堆積が被害を大きくしている現象が見られるものの、その現象を数値解析で追跡してリスク評価を行うことまではあまりされていない。

以上のことから、ハザードマップの作成においては、浸水想定を行うモデルの開発・高度化ならびに検証による裏付けなどに課題が残されているといえる。

2. 研究の目的

本研究では、国が定める現在の浸水想定区域図作成マニュアルでは十分に反映されていないものの氾濫水の挙動に重大な影響を与えられとされる要素について、水理実験と現地計測データとの比較によって検証することを根拠として、数値解析モデルに反映することを試みる。すなわち本研究の目的は、豪雨による内外水氾濫リスクを適切に把握するための根拠ある数値解析モデルを開発することである。そのために本研究でクリアすべき目標は、以下の3点である。

- 建物内部への浸水を考慮した地上氾濫流モデルの高度化と水理実験による検証
- 側溝・小規模水路の影響を考慮した内水氾濫解析モデルの高度化と現地計測による検証
- 氾濫原への土砂堆積モデルの高度化と水理実験による検証

3. 研究の方法

上記の課題 ~ について、下記のとおりの方で研究を進めた。

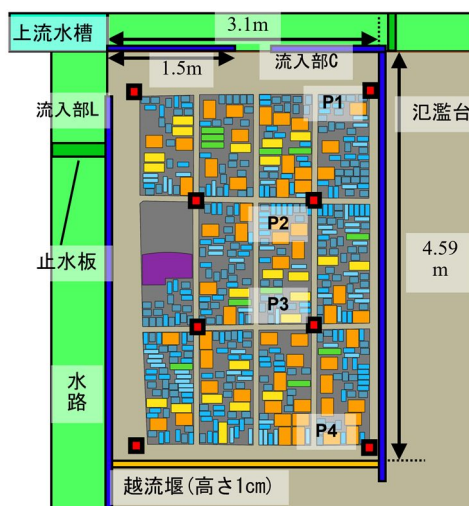
建物内部への浸水を考慮した地上氾濫流モデルの高度化と水理実験による検証

図-1のように、京都市の一部の街区の建物配置を再現して、100分の1の市街地模型を作成し、氾濫実験を行う。建物模型は、図-2に示すように下部に微小な穴が一定間隔で開けられて内部が浸水する仕組みになっている。氾濫台上の8か所で、浸水深の時間変化を計測する。

つぎに、3種類の数値解析モデルを用いて、実験結果の再現を試みる。(1) 非構造格子モデル：対象領域を細かい三角形格子に分割し、すべての建物境界を格子境界で表現する。(2) 国交省モデル：現在の洪水浸水想定区域図作成マニュアルに示されているモデルで、25mサイズの長方形格子を用い、建物の内部は瞬時にして外部と同じ水位まで浸水する。(3) 集合的建物浸水モデル：国交省モデルと同じ長方形格子を用いるが、格子に含まれる建物部分を集合的にまとめた仮想の建物を考慮し、格子の浸水深と建物内部の浸水深をそれぞれ定義してその間の氾濫水の交換を考慮する。ここで、非構造格子モデルと集合的建物浸水モデルにおいて、建物とそれ以外の部分の間の流量は、トリチェリの定理に従って計算される。

側溝・小規模水路の影響を考慮した内水氾濫解析モデルの高度化と現地観測による検証

従来の内水氾濫解析モデルにおいて、雨水が排水される過程について図-3のように改良を行い、解析モデルに反映させる。地上と側溝、側溝と雨水ます、雨水ますと下水管渠の間では、それぞれの水位に応じて堰の公式とオリフィス公式を適用する。



■：超音波変位計

図-1 市街地模型の概要

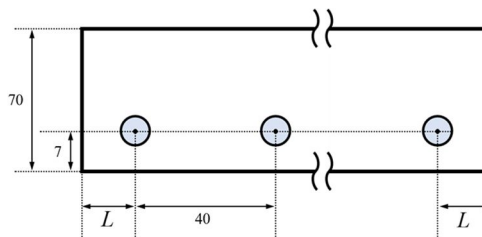


図-2 模型壁面浸水口の位置・寸法

(単位は mm)

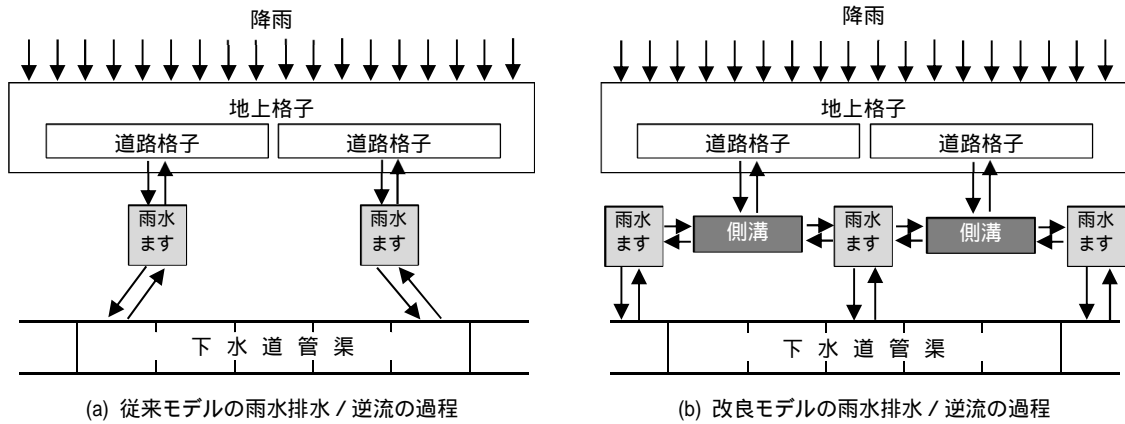


図-3 従来の内水モデルと改良内水モデルの概念図

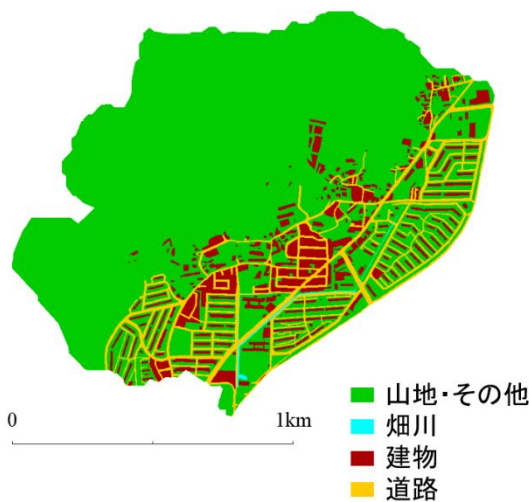


図-4 小栗栖の解析に用いた土地利用属性

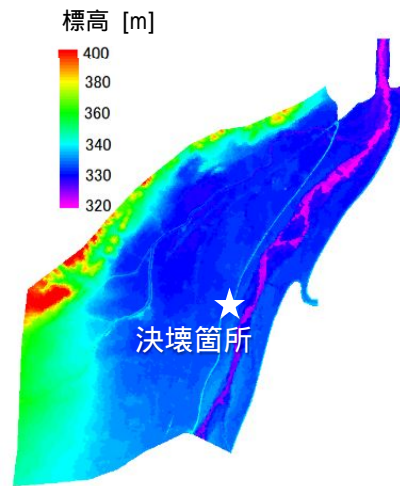


図-5 穂保の解析の対象範囲

このモデルを、2013年9月に浸水被害を受けた京都市の小栗栖地域(畑川流域)に適用する。図-4に示すように、対象領域を河川(畑川)、道路、建物、山地・その他に分類し、道路格子とそれ以外の属性の格子との境界に仮定の側溝を考慮する。氾濫外力は、2か所の地上雨量計で観測された実測降雨を与える。2013年9月の実際の災害時には小栗栖排水機場のポンプが4時間にわたって停止したが、その影響も考慮する。

上記の条件で内水氾濫解析を行い、地上の12か所で計測された浸水深と解析結果とを比較する。

氾濫原への土砂堆積モデルの高度化と水理実験による検証

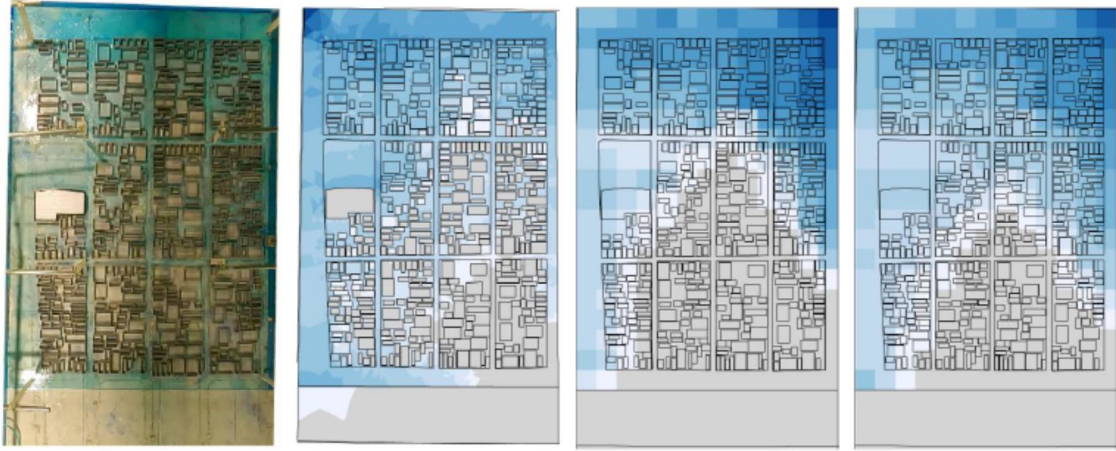
従来の洪水氾濫解析モデルに、河川の洪水流に含まれる浮遊砂濃度を考慮し、浮遊砂と掃流砂の形式による土砂の輸送と侵食・堆積過程を考慮した解析モデルを作成する。このモデルを、2019年10月に破堤氾濫の被害を受けた長野市穂保地区(図-5)に適用し、現地で計測された浸水深と土砂堆積厚と比較する。

4. 研究成果

上記の課題 ~ について、得られた成果は下記のとおりである。

建物内部への浸水を考慮した地上氾濫流モデルの高度化と水理実験による検証

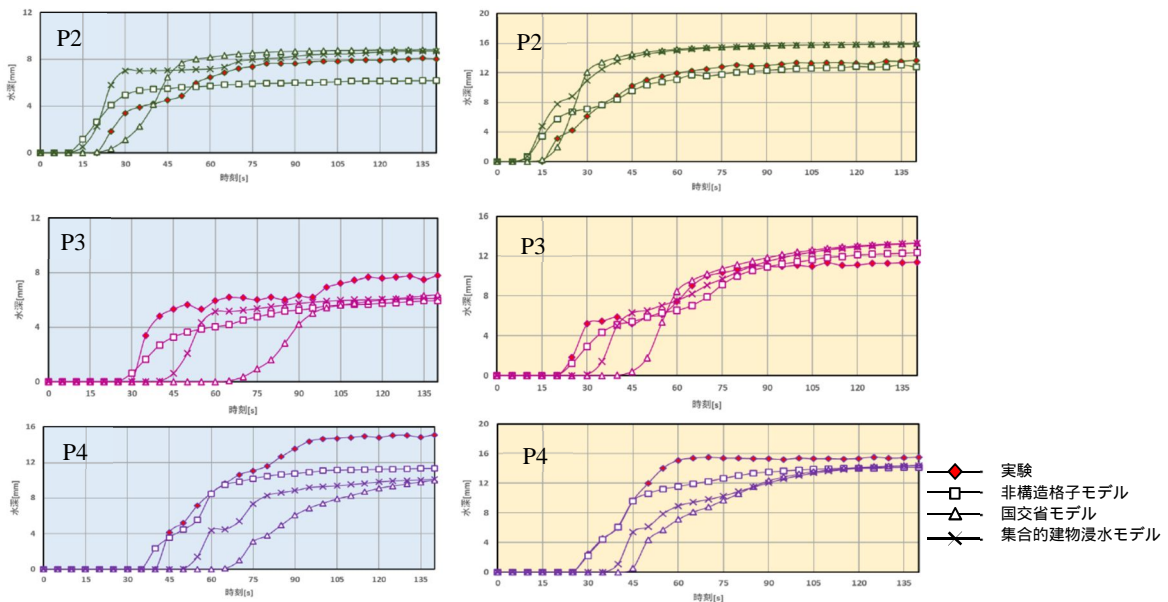
図-6に、実験と3種類の解析モデルの氾濫状況の比較を示す。また図-7には、図-1中の計測地点P2, P3, P4で計測した浸水深の時間変化を示す。3種類の解析モデルのうち、非構造格子モデルはすべての建物境界と道路境界を格子境界に一致させているため、道路を伝わって流れる氾濫水の様子が再現されており、最も実験に近い結果が得られた。それに対して国交省モデルと集合的建物浸水モデルは、氾濫水の伝播速度が遅い結果になったが、集合的建物浸水モデルは建物内部浸水の遅れ時間を考慮しているため氾濫水の伝播に寄与する水量が多くなることから、国交省モデルと比較して氾濫水が速く伝播する結果が得られた。このことから、建物内部への浸水の遅れ時間は、氾濫水全体の伝播状況に影響を及ぼすことがわかった。



流入流量 2.8L/s のケース

(a) 実験 (b) 非構格子モデル (c) 国交省モデル (d) 集合的建物浸水モデル

図-6 実験結果と3種類の解析モデルによる解析結果の氾濫開始30秒後の氾濫状況の比較



(a) 流入流量 1.0L/s のケース

(b) 流入流量 2.8L/s のケース

図-7 計測地点 P2, P3, P4 の浸水深の時間変化

実領域への適用を考慮すると、非構格子モデルは格子サイズを小さくする必要があるので計算時間がかかってしまうため、すべての建物境界を考慮した格子分割は実用的ではない。それに対して集合的建物浸水モデルは、国交省モデルと同程度の格子サイズを用いつつ建物内浸水の影響も考慮することができるモデルであり、解析の正確さに加えて計算速度や格子分割の手間においても実用的なモデルであると考えられる。

側溝・小規模水路の影響を考慮した内水氾濫解析モデルの高度化と現地観測による検証

解析で得られた最大浸水深を、2013年9月災害の時の実測浸水深と比較したのが図-8である。図より、両者の結果はおおむね一致しているといえる。一部で再現精度が高くない点があるが、これらは建物の痕跡水深を計

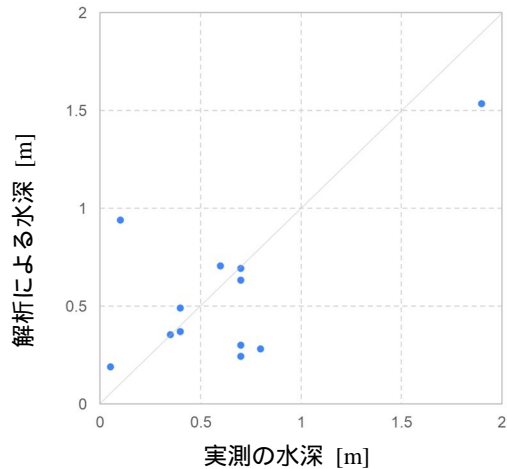
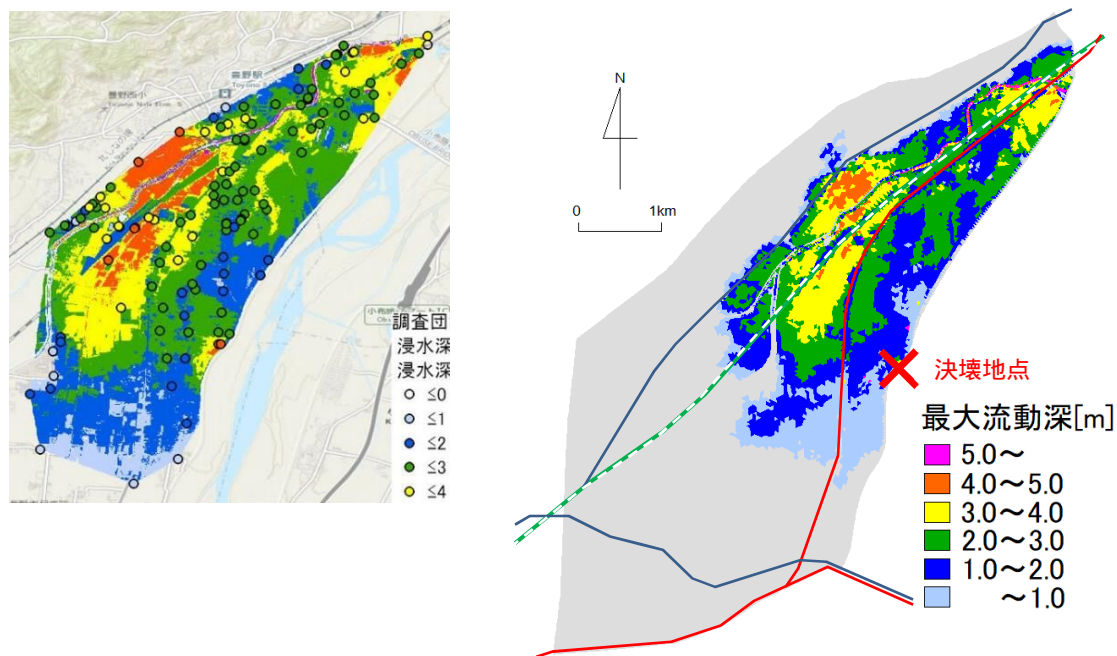


図-8 小栗栖の内水氾濫解析における実測水深と解析水深の比較

測しているため、地表面の標高において計測地点と解析格子の間で乖離があったものと思われる。これらの結果から、ここで作成した側溝を考慮した内水氾濫解析モデルの有効性が示された。

氾濫原への土砂堆積モデルの高度化と水理実験による検証

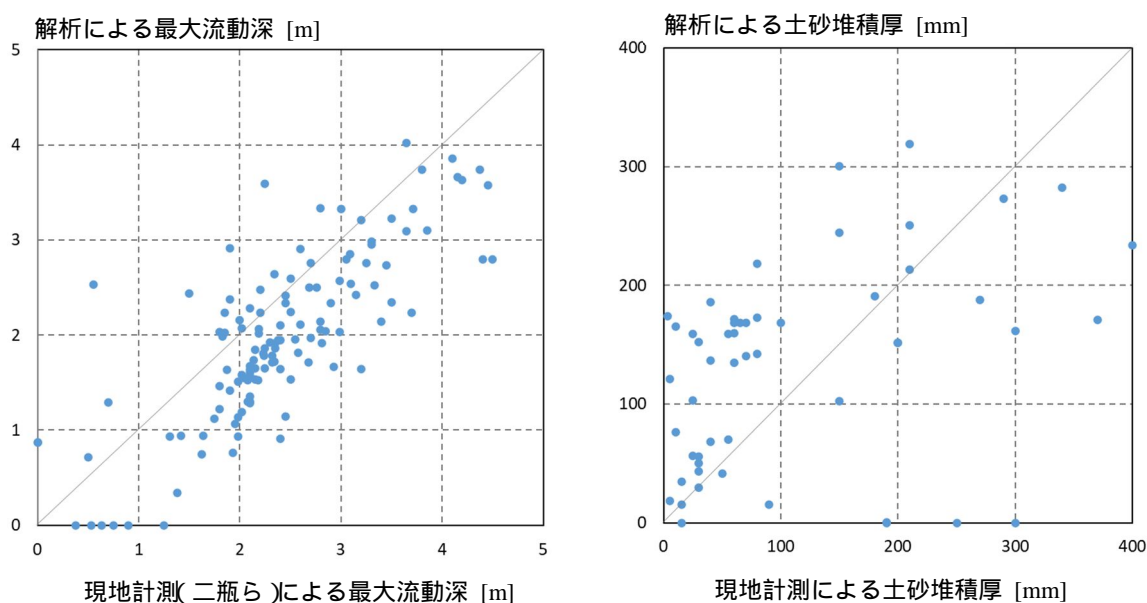
図-9 は、長野市を対象に行った解析結果のうち、最大流動深の分布と二瓶らによる推定流動深分布の比較である。また図-10(a)は、解析による最大流動深と、二瓶らによる現地での痕跡流動深の計測値との比較である。これらの結果より、最大流動深は精度良く再現されているといえる。一方、図-10(b)は解析による土砂堆積厚と現地計測結果との比較であるが、解析値は計測値を良好に再現できていないといえず、土砂の粒径を一樣粒径から混合粒径に変更するなどの解析モデルのさらなる改良が必要であることがわかった。



(a) 二瓶らの計測による推定流動深分布

(b) 本解析による流動深分布

図-9 二瓶らの計測による推定流動深の分布と解析結果の比較



(a) 最大流動深

(b) 土砂堆積厚

図-10 現地計測と解析結果の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takeda Makoto, Sato Daisuke, Kawaike Kenji, Toyota Masashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Inundation Analysis of the Dike Breach of the Chikuma River Taking Drainage Process and House Damage into Consideration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 343 ~ 350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jdr.2021.p0343	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 DING Can, KAWAIKE Kenji, NAKAGAWA Hajime, YAMANOI Kazuki	4. 巻 40
2. 論文標題 Experimental investigation of suspended load deposition on paddy fields during fluvial inundation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 111 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24762/jnds.j.40.S08_111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 横倉 昌信, 武田 誠, 村瀬 将隆	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 春日井市における内水氾濫解析モデルの改良とその活用の試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_529 ~ I_534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 藤森健人・川池健司・山野井一輝・中川一	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 建物内部への浸水を考慮した氾濫実験と基礎的な数値解析モデル検証への適用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_673-I_678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤大介・武田誠・川池健司・豊田政史	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 排水過程および建物被害を考慮した千曲川破堤氾濫の数値解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_625-I_630
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Can Ding, Kenji Kawaike, Hajime Nakagawa, Kazuki Yamanoi, Rocky Talchabhadel	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 Investigation of the influence of paddy ridges on the suspended load deposition during inundation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_865-I_870
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 川池健司・武田誠・豊田政史・余川弘至・山野井一輝・中川一	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 氾濫流による土砂堆積に着目した千曲川決壊氾濫の現地調査と数値解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_883-I_888
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 武田 誠, 佐藤大介, 曾根原真秀, 豊田政史, 川池健司	4. 巻 78
2. 論文標題 破堤条件および建物の影響を考慮した千曲川における氾濫解析の精度評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_799~I_804
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_799	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川池健司, 藤森健人, 山野井一輝	4. 巻 78
2. 論文標題 実都市の建物配置と建物内浸水を考慮した水理模型実験と氾濫解析モデルの開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1(水工学)	6. 最初と最後の頁 I_805 ~ I_810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.78.2_I_805	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 佐藤大介, 武田 誠, 川池健司, 豊田政史
2. 発表標題 建物を考慮した千曲川破堤による浸水に関する数値解析的検討
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横倉昌信, 武田 誠, 大橋直人
2. 発表標題 春日井市における内水氾濫解析モデルの活用に関する研究
3. 学会等名 令和3年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤森健人・川池健司・山野井一輝・中川一
2. 発表標題 氾濫台模型実験と数値解析を用いた建物への浸水が氾濫過程に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤大介, 村山美月, 武田 誠, 川池健司, 豊田政史
2. 発表標題 千曲川破堤に伴う浸水および排水過程の再現計算
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤大介, 武田 誠, 川池健司, 豊田政史
2. 発表標題 令和元年台風第19号に伴う千曲川破堤氾濫の排水過程を考慮した数値解析
3. 学会等名 令和2年度土木学会中部支部研究発表
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横倉昌信, 武田 誠, 須賀俊介
2. 発表標題 建物を考慮した内水氾濫解析モデルの改良に関わる検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	山野井 一輝 (Yamanoi Kazuki) (30806708)	京都大学・防災研究所・助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	武田 誠 (Takeda Makoto) (50298486)	中部大学・工学部・教授 (33910)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関