

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20310110

研究課題名 (和文) 下水道による雨水排水機能の解明と内水氾濫解析モデルの実験的検証

研究課題名 (英文) Clarification of stormwater drainage function of sewerage system and experimental validation of numerical inundation model

研究代表者

川池 健司 (KAWAIKE KENJI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10346934

研究成果の概要 (和文)：

近年、豪雨によって頻発している内水氾濫を実験室で再現するため、内水氾濫実験装置を作成した。この装置を用いて内水氾濫を発生させ、数値解析モデルの結果と比較した。その結果、内水氾濫の発生の有無および浸水規模を規定する、地上と下水道管渠の雨水のやり取りを扱うモデルとして、従来の段落ち式と越流公式では両者の間の流量を過剰に評価してしまうことが明らかとなった。当面の措置として両公式中の流量係数の改正值を提案したが、今後は新たな定式化も視野に入れた更なる検討が必要と考えられる。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, an experimental setup of urban area with a sewer pipe and a rainfall supplier is prepared in order to reproduce urban inundation due to heavy rainfall, which is occurring frequently. Using this setup, experimental results are compared with simulation results of a numerical model. Consequently, the flow discharge between the ground surface and sewerage system is overestimated by the conventional interaction model using the step-down formula and overflow formula. Though corrected values of parameters of those equations are proposed as an alternative method, further consideration will be necessary in the future, including revision of the shape of the equation itself.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	8,600,000	2,580,000	11,180,000

研究分野：防災水工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：水災害、都市水害、内水氾濫、下水道、雨水排水

1. 研究開始当初の背景

短時間に局所的な豪雨に見舞われることによって、全国各地で内水氾濫が頻繁に発生している。内水氾濫による地域の危険性を把握するには、外力となる降雨強度を与えたと

きに、浸水域やその浸水深がわかるような浸水予測を行うことが重要であり、数値解析を行うことによってそれが可能になる。しかし、内水氾濫による浸水予測を難しくしているのは、降った雨のうちどれだけの流量が下水

道に排水されるのか、また氾濫時に下水道からどれだけの流量の雨水が噴出してくるのかを適切に評価することである。この流量の評価によって、内水氾濫の発生の有無および氾濫の規模が決定されるため、それを適切に評価することが重要である。これまでの数値解析では、この地上の氾濫水と下水道の中の雨水とのやり取りをどのようなモデルで評価するのがよいのか、あまり議論されてこなかった上、研究者によってその評価モデルが異なっていた。その理由は、地上の氾濫水と下水道管渠の中の雨水とを同時に計測したような現地計測データや実験計測データがほとんど存在しないためであると考えられる。したがって、地上と下水道の間の雨水のやり取りを評価する数値モデルの検証材料を取得することが重要な課題であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、豪雨時の下水道が果たす雨水排水機能に着目し、模型実験を通して以下の内容を明らかにすることである。

(1) 豪雨時の都市氾濫現象について下水道部分を含んだ模型実験を行うことにより、水害時に下水道が雨水を排水するメカニズムを明らかにする。

(2) 上記の模型実験において下水道管渠内の水位、ピエゾ水頭、地上氾濫水位などのデータを計測する。下水道を含んだ内水氾濫解析の数値解析モデルを構築して実験結果を再現し、その結果と実験結果とを比較することによって数値解析モデルの妥当性を検証する。

3. 研究の方法

下記の項目に基づいて研究を遂行した。

(1) 各地で発生した内水氾濫および下水道機構に関する調査

わが国の各地で短時間集中豪雨を原因とする内水氾濫が頻繁に発生しているが、下水道の整備された都市域で発生した事例について、詳細に調査する。すなわち、どのような降雨に対して、どの範囲が浸水し、どの程度の浸水深に達する氾濫が発生したのか、さらにはその都市域での下水道網や流末処理（ポンプ場、雨水吐きなど）の仕組み、下水道管渠網の諸元などについて資料を収集する。

(2) 下水道による雨水排水機能の実験的研究

豪雨時に都市域の下水道システムがどのように機能しているのか、下水道を含む模式化した都市域に実際に通水して調べるため、

京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に、内水氾濫実験装置を製作・設置する。製作を予定している実験装置は実スケールの20分の1の縮尺を想定している。装置には、2.0×10.0mの氾濫台が設けられており、氾濫台の下には直径が0.10m（実スケールで2.0m）の円形断面の下水道管渠が設置されている。氾濫台表面には下水道への取り込み口が空けられており、都市域に降った雨水はそこからさらに公共雨水ます、通水管を通して下水道管渠に流入する仕組みになっている。なお、道路の一方にある共同雨水ますは、道路側溝によってすべてつながっている。下水道管渠の下流端は貯留水槽に接続しており、可動堰で水槽内の水位を調節することによって下水道下流端でのピエゾ水頭を変動させることができる。また、下水道管渠には上流端から任意の流量を与えられるほか、地上の建物屋上部分に降った雨水が流入してくる仕組みになっており、さまざまな条件のもとで満管状態を発生させることができるようになっている。下水道管渠下流端の貯留水槽のさらに下流には三角堰のついた水槽を接続し、この越流水深を計測することによって下水道管渠下流端での流量を計測することができる。下水道管渠や共同雨水ます等の素材は、内部の水の流れが目視できるように、基本的に透明アクリル板で製作する。図-1に実験装置の写真を、図-2に実験装置の側面図と平面図を、図-3に実験装置の横断面図を示す。

この内水氾濫実験装置を用いて、各種データの計測を行う。実験条件は、降雨の強度、下水道管渠下流端でのピエゾ水頭、下水道管渠への横流入条件をさまざまに変化させた場合を想定する。実験中の計測項目は、地上部の氾濫水深、下水道管渠のピエゾ水頭、下水道下流端の流量等である。



図-1 実験装置の全容

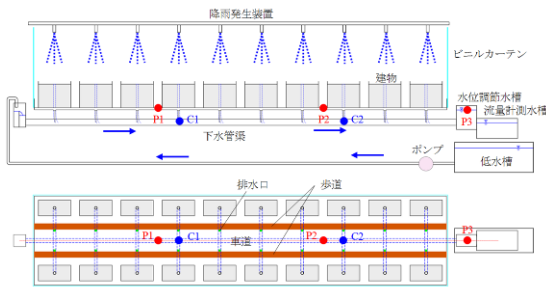


図-2 実験装置の側面図・平面図

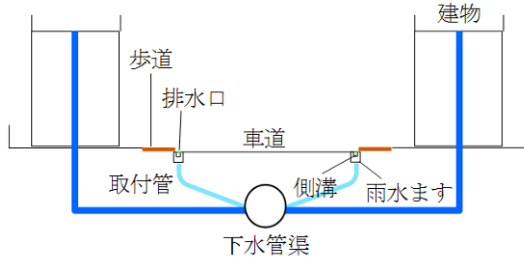


図-3 実験装置の横断面図

(3) 内水氾濫解析モデルの構築と適用

実験で得られたデータを再現するような内水氾濫解析モデルを構築する。

下水道管渠内の一次元不定流解析モデルについては、現在のところ“スロットモデル”を用いるのが最も一般的な手法となっている。しかし、とくに仮想のスロットの幅を決める際には粗密波の伝播速度という直感的には理解しにくいパラメータが導入されているほか、このモデルによって下水道管渠が満管状態になった時のピエゾ水頭が適切に表現されているのか、検討する。

また従来では、地上部と下水道管渠部を結合する部分に地上の氾濫水深に基づいた段落ち式が適用され、流入した雨水が瞬時に下水道管渠に取り込まれるという扱いをしてきた。そこで、このようなモデル化が適切なのかを検証する。

ここで構築した内水氾濫解析モデルに、実験で用いた条件を与えて、実験で計測されたデータが再現されるかを検討してみる。モデルの中でパラメータが必要な場合には、実験の計測データを用いてその値を決定する。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

(1) 各地で発生した内水氾濫および下水道機構に関する調査

平成20年は各地で氾濫災害が発生したが、大規模な都市での内水氾濫災害は発生しなかつ

た。そこで、平成18年に発生した島根県松江市での内水氾濫災害について、降水量、河川水位、都市の浸水域・浸水深などの実績データとともに、松江市の下水道管渠の諸元や位置、整備状況などの情報を収集した。その結果、松江市の氾濫は豪雨による内水氾濫と下水道からの逆流による複合氾濫であったことがわかった。また浸水の状況は、下水道からの排水先である河川水位の影響を大きく受けることがわかった。

また、建設コンサルタントなどで下水道の業務に従事する技術者から、都市の雨水排水機構の概要や問題点についての情報を収集した。さらに、国内の各研究者が開発した内水氾濫解析モデルについて詳細に調査し、意見交換を行った。

(2) 下水道による雨水排水機能の実験的研究

模型を用いて、内水氾濫実験を行った。地上の降雨、下水道管渠の上流端での流量、下水道管渠の下流端での水位を変化させたさまざまな条件で実験を行った。その結果、かなり強い降雨(100mm/hr相当以上)を与えた場合でも、地上からの排水口、あるいは雨水ますで詰まって流下しにくくなる現象は見られなかった。また、下水道管渠の下流端の水位を上昇させた場合にのみ地上の内水氾濫が発生した。

次に、模型の下水道管渠の直径を半分の5cmとして、同様に地上の降雨、下水道管渠の上流端での流量、下水道管渠の下流端での推移を変化させたさまざまな条件で実験を行った。すると、上流側の一部で雨水が排水しきれなくなり、地上で内水氾濫が発生した。

以上のことことから、内水氾濫が発生する仕組みとしては、下流水位の堰上げや、上流域からの大量の雨水流入など、何らかの原因で当該地点のピエゾ水頭が上昇することによるものと考えられる。

(3) 内水氾濫解析モデルの構築と適用

段落ち式と越流公式によって地上と下水道管渠を結合させた数値解析モデルを構築し、模型実験の再現計算を行った。

まず定常実験で、下水道管渠を開水路状態で雨水が流下する場合と満管状態で流下する(ただし地上では氾濫は起こっていない状態)での実験結果と数値解析結果を比較した。その結果、図-4に示すように、数値モデルはいずれのケースにおいても、下水道管渠内の水位および管渠のピエゾ水頭を精度よく再現することができた。さらに、同じく定常状態

で地上が氾濫する場合の実験結果も、数値解析モデルによって精度よく再現することができた。したがって、本研究で用いた下水道解析モデルおよびスロットモデルの妥当性を示すことができた。

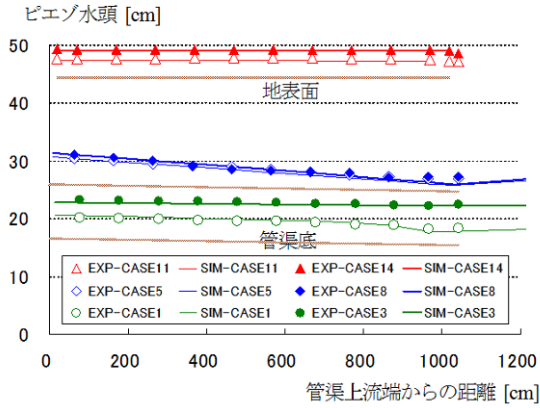


図-4 定常状態での実験結果と解析結果の比較

つぎに、非定常流の実験として、下水道管渠上流端からの流入流量を固定して、下水道管渠下流端の水位を上下に変動させる実験を行った。その結果、下水道管渠のピエゾ水頭が地表面の標高を越えた時点で下水道管渠から地上への雨水の噴出しが始まった。ただし、地上の氾濫水位は、ただちに下水道管渠のピエゾ水頭と同じ高さに達するのではなく、ピエゾ水頭の変動よりもかなりゆっくりとした速度で変動することがわかった。

この非定常実験について、数値解析モデルによって再現計算を試みた。その結果、解析モデルによって下水道管渠のピエゾ水頭の変動は適切に再現できていることがわかった。ただし、地上の氾濫水と下水道管渠内の雨水のやりとりを従来の段落式と越流公式によるモデルで解析したところ、図-5に示すように、地上の氾濫水位が管渠のピエゾ水頭にすばやく連動して上下する結果となり、実験で見られた現象とは異なっていた。実験結果と解析結果の比較から、従来の段落式と越流公式によるモデルでは、下水道管渠から地上への噴出し流量、ならびに地上から下水道管渠への排水流量を過剰に評価していることがわかった。そこで、これら両公式で用いる流量係数を試行錯誤的に調整してみたところ、従来モデルで用いていた流量係数の値よりも約1/10~1/100程度まで小さくしなければ実験結果に近い結果が得られないことがわかった。

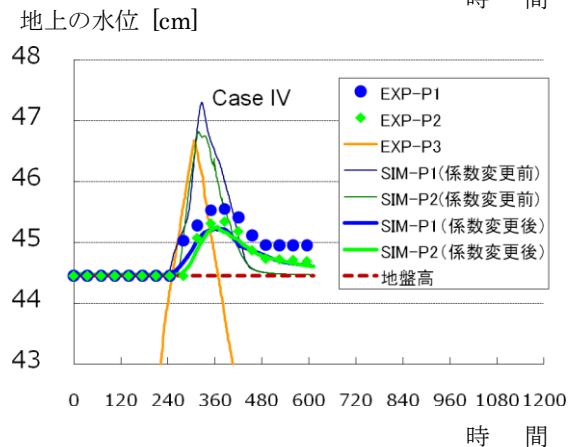
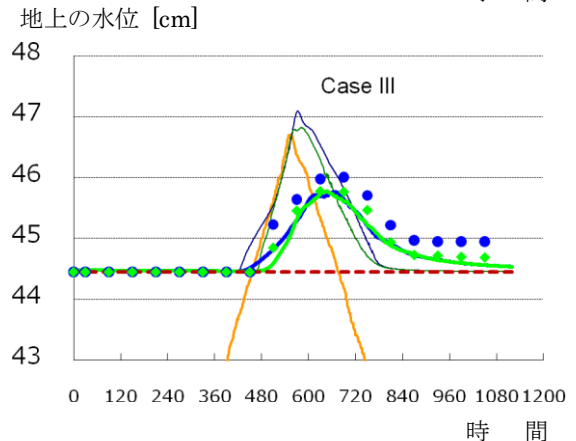
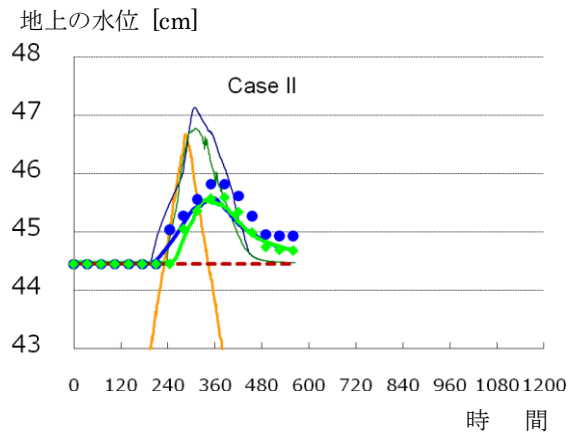
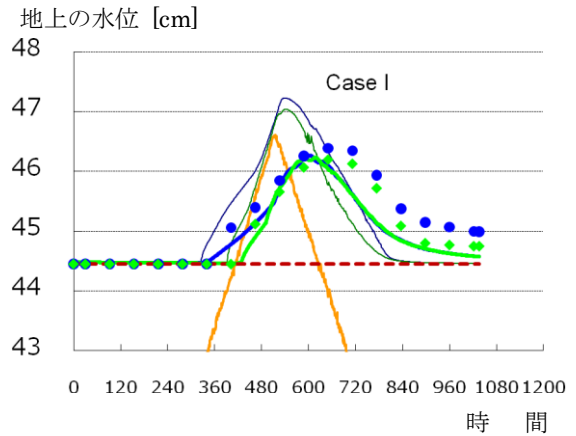


図-5 非定常状態での実験結果と計算結果の比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 川池健司、清水篤、馬場康之、中川一、武田誠：下水道を含めた氾濫模型実験による内水氾濫解析モデルの検証、水工学論文集、査読有、第 55 巻、2011、pp. S_985-S_990
- ② 川池健司、中川一、今井洋兵：都市域の雨水排水過程に着目した内水氾濫解析モデル、水工学論文集、査読有、第 53 巻、2009、pp. 817-822
- ③ ポカレルパラメソル、松尾直規、武田誠：地球温暖化に伴う海面上昇と降雨規模の変化を考慮した沿岸都市域の内水氾濫解析、沿岸域学会論文集、査読有、第 21 巻、2009、pp. 49-57
- ④ 武田誠、山中威士、霧生元道、松尾直規：都市内水氾濫解析における複雑な下水道管網のモデル化に関する検討、河川技術論文集、査読有、第 15 巻、2009、pp. 393-398
- ⑤ Makoto Takeda, Takeshi Yamanaka, Motomichi Kiryu and Naoki Matsuo: The inundation analysis model considering the complex sewer pipe network in urban area, Conference on Urban Drainage Modeling, 査読有、第 8 巻、2009、U-P10

[学会発表] (計 6 件)

- ① Kenji Kawaike: Numerical modeling of inundation disasters in urban area, A one-day Workshop on Prediction, Management and Mitigation of Water and Sediment Related Disasters, Nov. 22, 2010, Tribhuvan University, Nepal
- ② Kenji Kawaike, Yasuyuki Baba and Hajime Nakagawa: Numerical Simulation Models for Debris Flow and Inundation Flow, Asia-Africa Science Platform Program, Oct. 28, 2010, Kangwon National University, South Korea
- ③ 清水篤、中川一、川池健司、馬場康之、張浩、高尾慧子：地上からの雨水流出を考慮した下水道管渠モデルの実験的検証、土木学会関西支部年次学術講演会、2010年5月22日、京都大学吉田キャンパス
- ④ Kenji Kawaike, Hajime Nakagawa and Yohei Imai: Numerical Simulation of Inundation Flow Considering Effects of Drainage Process of Stormwater in Urban Area, APD-IAHR, Feb. 22, 2010, University of Auckland, New Zealand
- ⑤ Kenji Kawaike and Hajime Nakagawa: Numerical Modeling of Stormwater

Drainage Process in Urban Area and its Integration to Inundation Flow Model, World City Water Forum, Aug. 21, 2009, Songdo ConvensiA, South Korea

- ⑥ Kenji Kawaike, Hajime Nakagawa and Yohei Imai: Numerical Simulation of Inundation Flow Considering Stormwater Drainage Process in Urban Area, ICWFM2009, March 16, 2009, Bangladesh China Friendship Conference Center, Bangladesh

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川池 健司 (KAWAIKE KENJI)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：10346934

(2) 研究分担者

馬場 康之 (BABA YASUYUKI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：30283675
武田 誠 (TAKEDA MAKOTO)
中部大学・工学部・准教授
研究者番号：50298486
(H22：連携研究者)