

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23681038

研究課題名(和文)内水氾濫の発生要因の実験的解明と雨水貯留施設による浸水軽減効果に関する研究

研究課題名(英文)Experimental study on inundation due to heavy rainfall and its mitigation effects of storage facilities

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,200,000円、(間接経費) 2,160,000円

研究成果の概要(和文)：近年頻発している内水氾濫による浸水被害を精度よく予測するための数値解析モデルの開発を目的として、室内実験により得られたデータとの比較を通して、地上と下水道システム間の流量、および下水道システム内の水位を高精度で再現するモデルを開発することができた。また、内水氾濫対策として進められている各種貯留施設による浸水被害の軽減効果を評価するため、下水道管渠から貯留施設に分流する流量を精度よく評価する解析モデルとその流量係数を決定した。

研究成果の概要(英文)：The objectives of this study is developing a numerical model to predict inundation due to heavy rainfall with high accuracy. Comparison with experimental data enabled to develop a sophisticated model to evaluate interaction flow rate between the ground surface and sewerage system, and longitudinal water level profile along a series of sewer pipes and manholes. Furthermore, to evaluate mitigation effect of underground storage facilities, a numerical model was developed to estimate overflow rate over a vertical weir from a sewer pipe to those storage facilities.

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

キーワード：自然災害 減災 水工水理学 都市水害 内水氾濫

1. 研究開始当初の背景

全国各地で頻発する内水氾濫に対して、適切な予測モデルとその有効な対策を講じることが喫緊の課題である。

これまでの研究では、内水氾濫発生の有無およびその氾濫規模を規定する雨水排水機構の数値モデルは存在するものの、排水・逆流いずれの過程も流量を過大評価してしまうことが実験結果との比較により明らかになっていた。したがって、内水氾濫解析を行う上で最も重要な課題の一つは、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逆流してくるのかを、適切に評価するモデルを開発することであった。

また、内水氾濫対策として流域調節池などの貯留施設が設置されている地域もあるが、その規模と浸水被害軽減効果との関係については明らかになっていない。流域の持つ保水機能を回復させるために貯留施設を設置する場合、貯留施設による浸水軽減効果がどの程度あるのか、また目標となる治水安全レベルを達成するためにはどの程度の規模の貯留施設が必要なのか、といった事項を明らかにすることが求められる。

2. 研究の目的

本研究では、以下の2点を明らかにし、内水氾濫による被害軽減を目的とする。

(1) 内水氾濫解析モデルの高度化

市街地の地上部分と下水道管渠システムとの水のやり取りを適切に表現しうる数値モデルを開発する。また、マンホールや複数管渠の合流を伴う下水道管渠網内の雨水の挙動を十分な精度で取り扱うことができるよう、従来下水道解析モデルを改良し、パラメータ値の再設定を行う。

(2) 貯留施設による浸水軽減効果とその評価方法

雨水貯留施設の持つ効果を推定するために、下水道管渠から雨水貯留施設に分流する構造を調査し、その越流堰を越流する流量を適切に評価することのできる数値モデルを開発し、そのときの流量係数の値を実験との比較により決定する。

3. 研究の方法

下記の項目に基づいて研究を遂行した。

(1) 内水氾濫解析モデルの高度化

京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に設置されている内水氾濫実験装置(図-1、図-2)を用いて、実験装置上で内水氾濫を発生させ、内水氾濫解析モデルの検証用データを取得する。

つぎに、同ラボラトリー内に図-3に示すような下水道管渠とその接合部(マンホール)からなる水路を設置する。管渠は、それぞれ内径が5cmの円管、長さが4m、勾配が水平

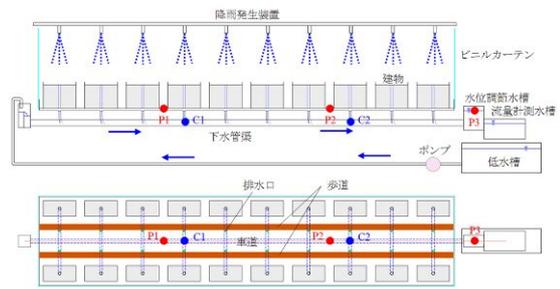


図-1 内水氾濫実験装置の側面図・平面図

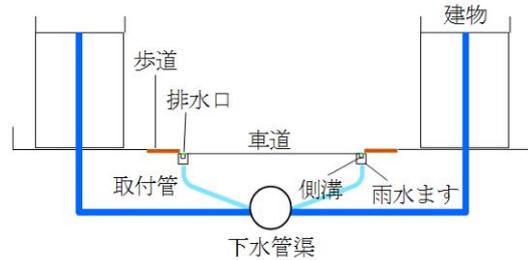


図-2 内水氾濫実験装置の横断面図

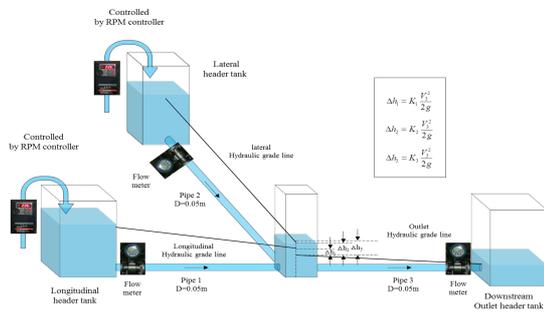


図-3 下水道・マンホール実験装置

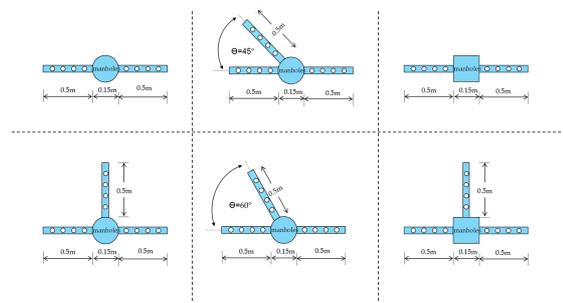


図-4 マンホール部分の模型

で、2本または3本の管渠が中央部分のマンホールを介して流下する構造になっている。マンホール部分は、フランジによって付け替えることができるようになっており、底面形状が円形のものと同正方形のもの、また2本の管渠が直線状に接続するもの、3本の管渠が90°、60°、45°の角度で接続するものがある(図-4)。

(2) 貯留施設による浸水軽減効果とその評価方法

大阪府寝屋川流域内に設置されている地下の流域調節池や下水道増補幹線への分流機構を調査したところ、詳細な構造は場所に

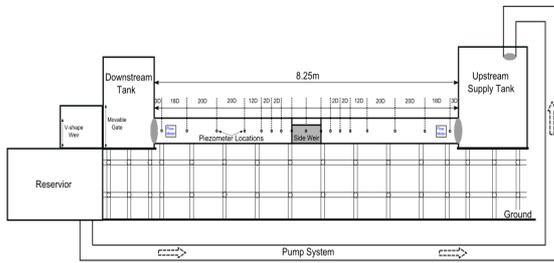


図-5 越流堰実験装置の側面図

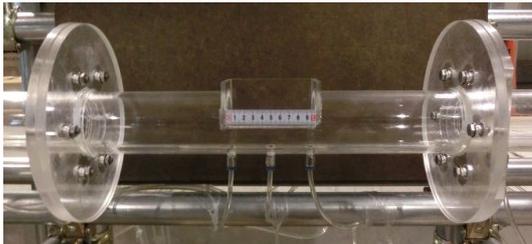


図-6 越流堰部分の模型

よって異なるものの、おおむね一部区間が開水路となっていてその区間に設置された堰を越流する構造になっていることがわかった。

そこで京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に、図-5のような実験装置を設置した。装置は、上流側水槽（整流槽）と下流側水槽（水位調節および流量計測水槽）の間に内径5cmの円管を接続し、ポンプによって水を循環させる構造になっている。円管の中央区間には、図-6のような越流堰があり、フランジによって堰長の異なる越流堰への取り換えが可能になっている。

この装置を用いて、上流からの流入流量を変化させたときの、円管内各地点での水位（圧力水頭）および越流堰からの越流流量を計測する。なお、越流堰は、高さは4cmで一定、長さは10cm、15cm、20cmの3種類とした。

4. 研究成果

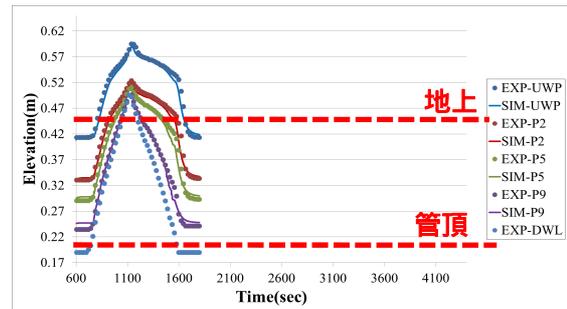
本研究で得られた成果を以下にまとめる。

(1) 内水氾濫解析モデルの高度化

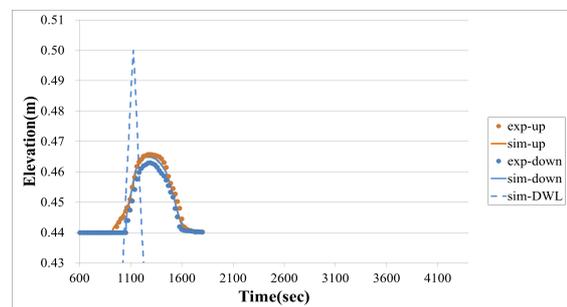
地表面に氾濫水を与えて排水される過程の実験を行い、下水道管渠に排水される流量を測定した。その結果、地上から下水道管渠への排水過程については堰の公式とオリフィス公式を用いることによって適切に再現することがわかった。両公式は、地上・下水道管渠の水位差と雨水ます（排水口）の長辺の比が0.5未満の場合は堰の公式を、0.5以上の場合はオリフィス公式を用いる。また、両公式の流量係数としては、それぞれ0.48と0.57を用いることで排水流量を精度よく再現することができた。

つぎに、下水道管渠の下流端の水位を上下

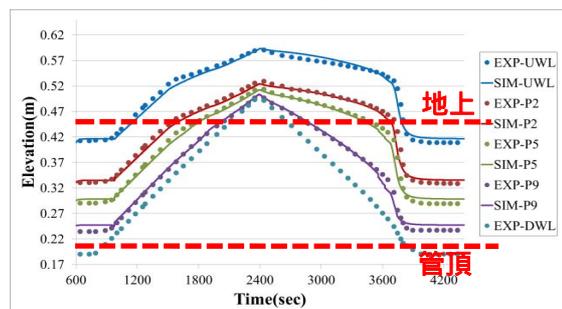
させることによって、下水道管渠からの逆流を強制的に起こして内水氾濫を発生させる実験を行った。地上の氾濫水深および下水道管渠各地点での圧力水頭の時間変化を計測した。その計測結果を数値解析結果と比較したところ、下水道管渠からの逆流流量にも上記の堰の公式とオリフィス公式を用いることによって、図-7に示すように、地上の氾濫水深や下水道管渠の圧力水頭の時間変化を精度よく再現することができた。



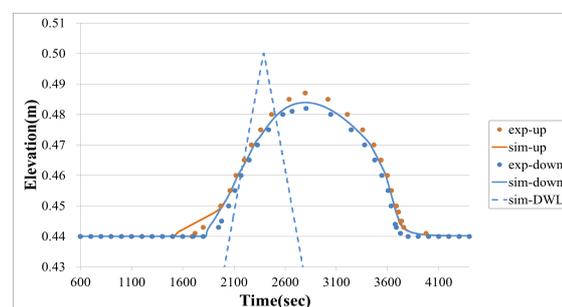
(a) 下水道管渠の圧力水頭（ケースⅠ）



(b) 地上の水深（ケースⅠ）



(c) 下水道管渠の圧力水頭（ケースⅡ）

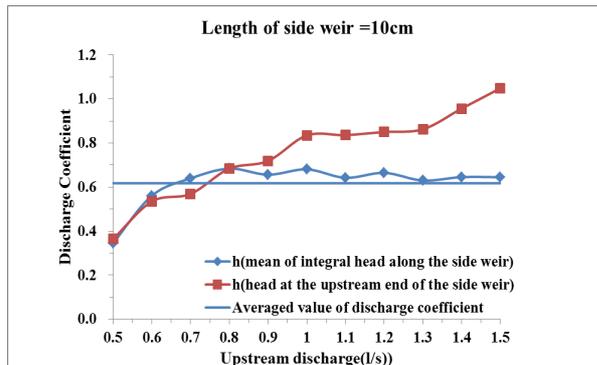


(d) 地上の水深（ケースⅡ）

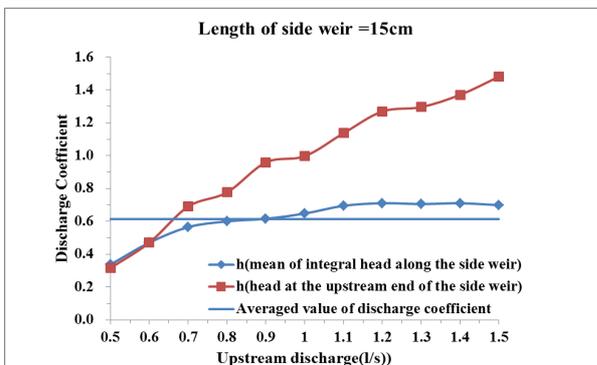
図-7 地上水深と下水道管渠圧力水頭の時間変化



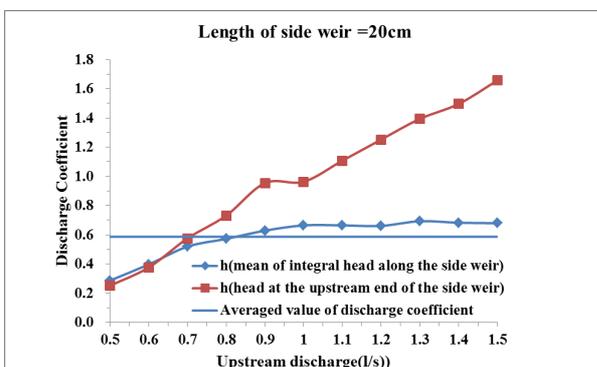
図-8 堰の越流



(a) 流量係数 (堰長 10cm)



(b) 越流係数 (堰長 15cm)



(c) 越流係数 (堰長 20cm)

図-9 流入流量と越流係数の関係

つぎに、下水道管渠・マンホール実験装置を用いて、下水道管渠の接続形態およびマンホールの底面形状を変化させ、上流側の管渠

から与える流量ごとに管渠内各地点での水位（圧力水頭）を計測した。下水道管渠の1次元数値解析を行い、計測結果との比較から、合流前後の流量比に応じて接合部での損失係数を決定した。これらの損失係数を用いることによって、マンホールによる複数管渠の接合部でのエネルギー損失を適切に再現することができた。

(2) 貯留施設による浸水軽減効果とその評価方法

図-8に、通水して下水道管渠内の水が堰を越流する様子を示す。

各堰長（10cm、15cm、20cm）について11通りに流量を変化させて、越流流量を計測した。これまでの研究により堰を越流する流量公式として De Marchi の式が用いられることが多いが、ここでもその式が適用できると考え、各流量に対する流量係数の値を算出した。ただし、式中で用いる水深について、De Marchi の式では堰の上流端における水深を用いているが、今回の実験結果でそれを用いて流量係数を計算すると、図-9中の赤線のような結果となった。図-8からもわかるように、本実験では、いずれのケースにおいても水面形が堰上流端から下流に向かって上昇する傾向にあった。そこで、堰区間の水深の平均値を用いたところ、図-9中の青線のような結果となった。後者の平均水深を用いた場合、流量係数としてはほぼ一定値の0.6が適用可能であることがわかった。

今後、この流量係数を用いることによって、数値解析において越流流量を再現することが可能であるか確認するとともに、De Marchi 式の適用性についてもさらに詳細に検討してみる必要がある。

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 3 件)

Lee, S., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H.: Study on Development of Sewer Pipe Analysis Model Considering Manhole Head Loss, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol.70, No.4, pp.1_97-1_102, 2014, 査読有.

Lee, S., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H.: Experimental Validation of Interaction Model at Storm Drain for Development of Integrated Urban Inundation Model, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol.69, No.4, pp.1_109-1_114, 2013, 査読有.

DOI: 10.2208/jscejhe.69.1_109

Lee, S., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Zhang, H.: Study on Inlet Discharge Coefficient through the Different Shape of Storm Drains for Urban Inundation Analysis, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol.68, No.4, pp.1_31-1_36, 2012, 査読有.
DOI: 10.2208/jscejhe.68.1_31

[学会発表](計 8 件)

Ko, D.: Experimental Study on the Discharge Coefficient for Side Weir with Pressurized Flow in Circular Channel, 平成 25 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2014 年 2 月 28 日.

Lee, S.: Urban Inundation Simulation Incorporating Sewerage System without Structure Effect, 平成 25 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2014 年 2 月 27 日.

Lee, S.: Study on Experimental Validation of Interaction Model among Sewer Pipe, Manhole and Ground Surface for Development of Integrated Urban Inundation Model, 35th IAHR World Congress, Century City International Convention Center, Chengdu, China, Sep. 10, 2013.

Lee, S.: Experimental Study on Hydraulic Behavior of Storm Water in the Sewer Pipe with Manhole for Urban Inundation Analysis, 平成 24 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2013 年 2 月 20 日.

Lee, S.: Experimental Study on Validation of Discharge Coefficient between the Ground Surface and Sewerage System, 18th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, ICC Jeju, Jeju Island, Korea, Aug. 22, 2012.

Kawaike, K.: Experimental Study on Urban Inundation due to Heavy Rainfall and Urban Drainage Considering a Sewer Pipe, 18th Congress of the Asia and Pacific Division of the International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, ICC Jeju, Jeju Island, Korea, Aug. 20, 2012.

Lee, S.: Experimental Study on Validation of Combined Model for Urban Inundation Analysis, 平成 23 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 京都大学宇治キャンパス, 2012 年 2 月 22 日.

Lee, S.: Experimental Validation of Inlet Discharge Coefficient through the Storm Drains for Urban Inundation

Analysis, EXTREME 2011, the IHP Symposium on Extreme Events "Meteorological, Hydrological and Tsunami Disasters: Social Adaptation and Future", Uji Campus of Kyoto University, Oct. 25, 2011.

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