

第II部門

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

京都大学大学院工学研究科	学生員	○清水 篤
京都大学工学部	非会員	高尾慧子
京都大学防災研究所	正会員	中川 一
京都大学防災研究所	正会員	川池健司
京都大学防災研究所	正会員	馬場康之
京都大学防災研究所	正会員	張 浩

1. 緒言

近年、我が国では都市部の内水氾濫の被害が目立っており、ハード対策に加えソフト対策の強化による流域全体を対象とした総合的な治水対策の必要性が高まっている。そこで、本研究ではより精度の高い内水氾濫解析モデルの構築を目指し、地上部から下水道管渠への排水経路が詳細に再現された水理模型実験を通して、数値解析モデルが下水道管渠内の流れや地上から下水道への雨水流出を適切に解析しているかを確認することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験模型

本実験装置は地上氾濫部、下水道管渠部、降雨部で構成されており、実スケールとの縮尺は 1/20 である。図 1 にその概要を示す。地上部は、四方を側壁で囲まれた 10.0×2.0 m の氾濫台であり、中央に道路が走り、両側に各 10 棟、計 20 棟の建物が設置されている。建物屋上部の降雨は屋上中央部の排水口より下水道管渠に流入する。地上の降雨は、道路の両側に 10ヶ所設置されたグレーチングより排水される。下水道管渠部は、全長 10.43 m, 内径 0.0935 m, 勾配は 877 分の 1 である。上流側集水域からの流入流量を想定して上流端からは任意の流量を与えることができ、下流端貯留水槽では可動堰で管渠下流端の水位を変化させることができる。降雨部は氾濫台上部のノズルによって、最大降雨強度 37.12 mm/h の雨を与えることができる。

2.2 実験条件

実験条件は降雨強度、管渠上流端からの流入流量、管渠下流端の水位によって決定される。本実験では管渠の開水路流れ、満管流れ、氾濫時の満管流れの 3つの状態を発生させ、管渠内のピエゾ水頭あるいは氾濫台の浸水深を計測する。実験条件を表 1 に示す。

3. 数値解析概要

本研究は下水道管渠と地上部の氾濫と両者の接続部分をモデル化した数値解析モデルの検証を行う。地上部はデカルト座標系で二次元氾濫解析を用いている^[1]。

3.1 下水道管渠解析モデル

下水道管渠内の流れは一次元不定流解析モデルにより解析する。下水道が管渠であることを考慮し開水路流れと満管流れを同一の方程式群で解析し得る Preissmann スロットモデル (図 2) を導入した。基礎式は以下に示す。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(uQ)}{\partial x} = -gA \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 Q|Q|}{R^{4/3} A} \tag{2}$$

$$B_s = \frac{gA_0}{a^2} \tag{3}$$

ここに、 A : 流水断面積, Q : 流量, q : 横流入流量, u : 流速, R : 径深, H : 水位, ($H = z + h$, z : 管底高, h : 水深), a : 圧力波伝播速度, B_s : スロット幅, A_0 : 流水断面積である。

3.2 地上部・下水道の相互関係

地上部と下水道との氾濫水の受け渡しは、道路側方のグレーチング及び建物屋上の排水口を通じて行われる場合と、氾濫水が下水道から地上部へ逆流する場合と考える。まず地上部から下水道へ排水される

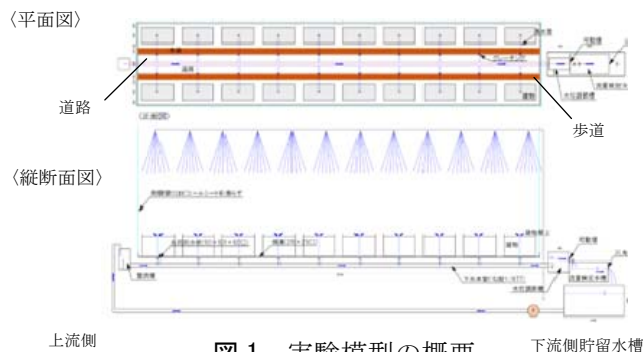


図 1 実験模型の概要

Atsushi SHIMIZU, Hajime NAKAGAWA, Kenji KAWAIKE, Yasuyuki BABA, Hao ZHANG and Akiko TAKAO
shimizu@uh31.dpri.kyoto-u.ac.jp

流量 q_{sew} は z_m : 地上地盤高, H_m : 地上部水位, H_j : 下水道管水位として段落ち式に従って以下の式から求める.

$H_l \leq z_m$ のとき

$$q_{sew} = \mu L_j h_m \sqrt{gh_m} \quad (7)$$

$z_m < H_l \leq H_m$

$$q_{sew} = \mu L_j h_d \sqrt{gh_d} \quad (8)$$

ここに, h_m : 地上部水深, h_d : 地上部と下水管の水位差, μ : 流量係数であり, $\mu=0.554$ とし, L_j : グレーチングの周回の長さである.

下水管水位が地上部水位を越えたときには, 越流公式に従って地上部への逆流流量 q_{up} を算出する.

$h_m/h_d \leq 2/3$ (完全越流) のとき

$$q_{up} = \mu_1 L_j h_d \sqrt{2gh_d} \quad (9)$$

$h_m/h_d > 2/3$ (潜り越流) のとき

$$q_{up} = \mu_2 L_j h_m \sqrt{2g(h_d - h_m)} \quad (10)$$

ここに, $h_d = H_m$ (下水管水位) - z_m (地上地盤高), μ_1, μ_2 : 流量係数であり $\mu_1=0.35, \mu_2=0.91$ とする.

4. 実験結果と解析結果の比較

表1の実験条件のうち, ここでは case3, case8, case14の実験結果と解析結果の比較を行う (図3). 全ケースとも実験結果と解析結果はよく一致していることがわかる. 管渠内の状態が開水路流れの場合 (case3) と満管流れの場合 (case8) の結果より, スロットモデルを用いた本モデルによる解析結果の整合性が確かめられた. case3, case8 とともに段落ち式によって雨水流入の影響が捉えられていると考えられる. case14 では, 管渠下流端水位の上昇に起因する逆流が越流公式によって適切に表されており, さらに降雨があっても地上の氾濫水位が適切に再現されていることがわかる.

5. 結論

本研究では, 定常状態の現象において, 本モデルが下水道管渠内の流れをほぼ正確に再現すること, また地上と下水道管渠を接続する段落ち式と越流公式が氾濫水の受け渡しを適切に表現していることが分かった. 今後は, 非定常状態においても両公式により氾濫水の受け渡しが再現できるかを検証する必要がある.

参考文献

[1] 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, 第53巻, pp. 817-822, 2009.

表1 実験条件

Case	上流端流量 Q_{up} (l/s)	下流端の ピエゾ水頭 H_{down} (cm)	降雨強度 r_e (mm/h)	下水管渠内の 流れの状態
1	0.7167	18.275	-	開水路
2	1.6275	22.042	-	
3	0.8538	22.356	29.07	
4	4.9905	29.573	-	満管
5	3.5983	26.895	-	
6	3.9584	26.106	-	
7	2.6991	27.873	29.07	
8	3.5983	27.202	29.92	満管+氾濫
9	0.6262	46.900	-	
10	1.0706	47.420	28.95	
11	0.6162	46.970	-	
12	0.6162	47.170	37.12	
13	1.6694	48.310	-	
14	1.6694	48.460	33.68	

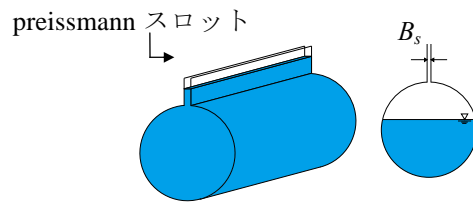


図2 スロットモデル

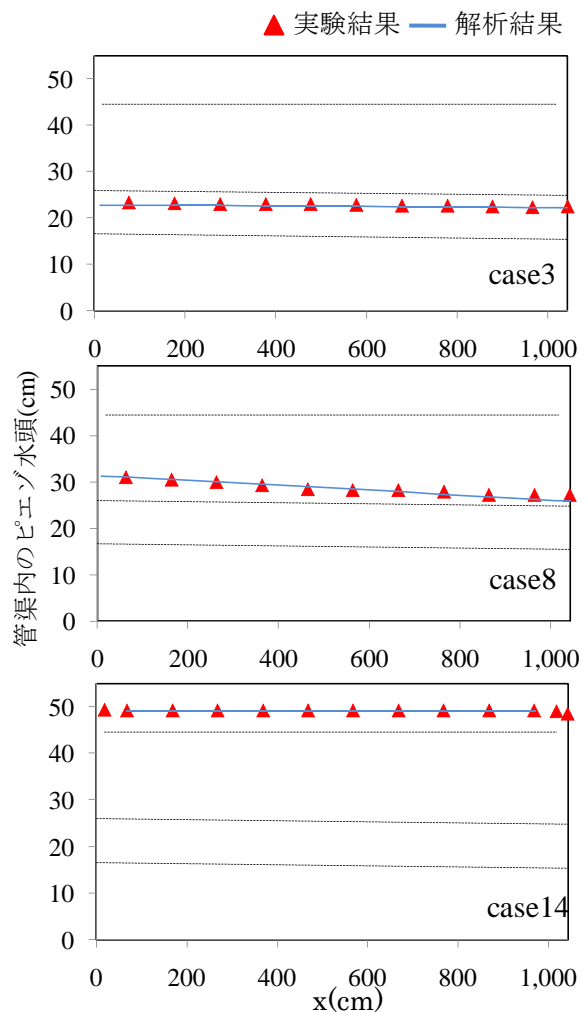


図3 実験結果と解析結果の比較