

下水道管渠網の浸水はんらん解析と マンホール・はんらん域の取扱い

Storm Runoff Simulations with Surface Flooding in Urban Drainage Sewer Systems Considering
Pressure-Relaxation Effect in Manholes

渡辺政広*・栗原 崇**・右近雄大***・恩地研輔***

By Masahiro WATANABE, Takashi KURIHARA, Takehiro UKON, and Kensuke ONJI

It has been pointed out that in storm runoff analysis with surface flooding in urban drainage sewer pipe systems, pressure-relaxation effect in manholes governs flow properties of a pressurized flow and then cross-sectional area of manholes should not be ignored basically. According to this, a lumping method of the cross-sectional area, in which the flow properties do not change even if some of manholes are lumped, was developed by the authors and the usefulness of the method was demonstrated by numerical simulations.

In this paper a lumping method of surface flooding area, which is corresponding to the manhole lumping method, is presented and the adaptability of the method is examined by runoff simulations with surface flooding using SWMM.

Keywords : lumping, manhole, pressure-relaxation effect, surface flooding, urban drainage sewer system

1. はじめに

浸水はんらんを伴う下水道管渠網の流出解析において、解析対象流域とその下水道管渠網の規模が数 km^2 を上回るようになると、末端の枝線管渠まで取り扱う解析では計算に要する時間と費用が莫大なものとなってくる。このため、実用上の立場からあるいは経済上の観点から、1) 末端の枝線管渠網を無視して主要な幹線管渠網だけを対象として解析を進める、2) マンホールの水面積（すなわち、貯留作用）を無視して計算式の簡略化を図り計算時間を短縮する、3) マンホールを適当に間引いて下水管渠長を見かけ上長くして計算距離間隔 Δx と計算時間間隔 Δt を大きく採り計算効率を向上させる、などの方法・措置が採られてきている。

著者らは既に、開水路流れから地表面はんらんが発生するまでの間の圧力流れはマンホールの水面積（貯留作用）によって支配されているから、マンホール水面積の全てを無視したり多くを間引いたりすると、流出ハイドログラフに致命的な誤差が発生するであろうことを指摘¹⁾⁵⁾してきた。すなわち、基本的には、マンホールを無視したり間引いたりすべきではないと主張してきた。しかしながら、数～10 数 km^2 にも及ぶ流域

* 正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科
(〒790-77 松山市文京町3番)

** 正会員 工修 復建調査設計(株) 水工技術部河川技術課
(〒732 広島市東区光町2-10-11)

*** 学生会員 愛媛大学大学院 理工学研究科博士前期課程土木海洋工学専攻

とその下水道管渠網に対して何らの簡易化，簡略化を行うことなく詳細な解析を進めることは，計算機の性能が昨今では著しく向上してきているとは言え，実際上は不可能であると考えられる．こうした矛盾点・問題点を解消するため，著者らは，上述した簡易化に伴う解析誤差がほとんど現れてくることのないマンホール水面積のランピング手法⁵⁾を提案し，その有用性を数値実験を通じて明らかにしてきている．

本論文では，こうしたマンホール水面積のランピング法に伴って必要となってくる浸水はんらん域のランピング法を提案するとともに，本法の有用性について，各国で広く用いられている SWMM モデル⁶⁾を用いて数値実験的に検討した結果を述べる．

2. 浸水はんらん域の取扱い

マンホールより溢水したはんらん水の実流域における地表面上での挙動はかなり複雑なものとなつていよう．

ここでは，マンホールより溢水した流出水が，図 1 に示すように，マンホールを囲む面積 F_G のはんらん域内に水平貯留されると簡単化して取り扱う．

3. 浸水はんらんを伴う下水道管渠網の圧力流れの基礎式

浸水はんらんを伴う下水道管渠網の圧力流れの基礎式，すなわち，下水管渠での運動方程式と連続の式，およびマンホール地点での連続式のは，ラテラル・モデル¹²⁾を用いると，それぞれ以下のように表される．

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |V| V}{R^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c'^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$; c' = \sqrt{g \frac{L}{N} (\sin \theta) \frac{A_p}{A_l}} \quad (3)$$

$$F \frac{dH}{dt} = \sum (Q_{in}) - \sum (Q_{out}) \quad (4)$$

$$; \begin{cases} F = F_M & (H < H_G \text{ のとき}) \\ F = F_G & (H \geq H_G \text{ のとき}) \end{cases}$$

ここに， V ：断面平均流速， H ：圧力水頭（水位）， R ：径深， L, n, A_p ：下水管渠の長さ（マンホール間の距離），Manning の粗度係数，断面積， N, A_l, θ ：取付管の接続本数（ L 当たり），断面積，接続角度（水平面とのなす角度）， c' ：取付管により規定される圧力波の伝播速度， H_G ：マンホール地点での地表面標高， F_M ：マンホールの水面積， F_G ：マンホールを囲む浸水はんらん域の面積， $\sum (Q_{in})$ ：マンホールへの流入流量の合計， $\sum (Q_{out})$ ：マンホールからの流出流量の合計， g ：重力加速度， t ：時間， x ：距離．

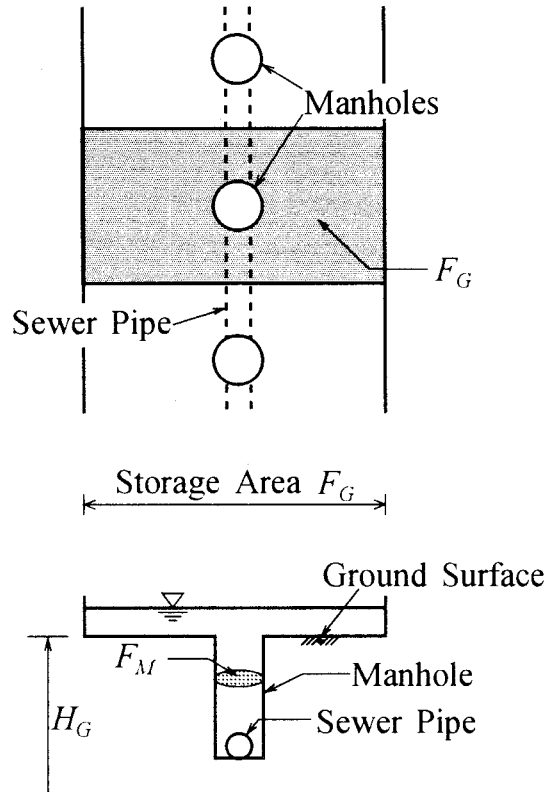


図 1 浸水はんらん域の取扱い

4. マンホールと浸水はんらん域のランピング法

4.1 マンホールのランピング法⁹⁾

マンホールの水面積（貯留作用）を無視した解析結果には致命的な誤差の現れる可能性が高いことを指摘してきているが、これは、マンホールの水面積が圧力流れの流出特性（伝播特性）を実質的に支配している重要な流出パラメータとなっているからである。したがって、原理的には、下水道管渠網のマンホールを全て「単に」無視したり多くを「単に」間引くような簡易化は行うべきではない。

これに対し、幾つものマンホールを間引いても解析精度を低下させることのないランピング法⁹⁾を提案した。図2（平面図）に示す17組のマンホールと下水管渠からなる下水管渠システム（STRG）を対象として、本ランピング法の概要を述べる。

すなわち、総計 17 個存在しているマンホールの中から合計 13 個を間引こうとすると、それらを単に間引く（SA-13）のではなく、間引いたマンホールの水面積をそれらの上流にあつて残存させるマンホールの水面積に加えるようにする（SB-13）。したがって、残存させる各マンホールの水面積は、この場合、本来の水面積の4倍あるいは5倍の大きさになる。

これまでの検討によれば、こうしたランピングを行えば、SBタイプの下水管渠システムにおける圧力流れの流出特性（伝播特性）は本来のSTRGタイプのそれと全体的にはほとんど変化することがない。

4.2 浸水はんらん域のランピング法

本論文では、上述のマンホールのランピングに合わせた浸水はんらん域（Storage Area : F_G ）のランピング法を提案する。ここでも、上述した17組のマンホールと下水管渠からなるSTRGタイプの下水管渠システムを対象として、本ランピング法の概要を述べる。なお、マンホール水面積のランピングは既に行われているものとする。

図3に示すように、間引かれる各マンホールのはんらん域は隣接して残存するマンホールのはんらん域に加える。この際、本来の

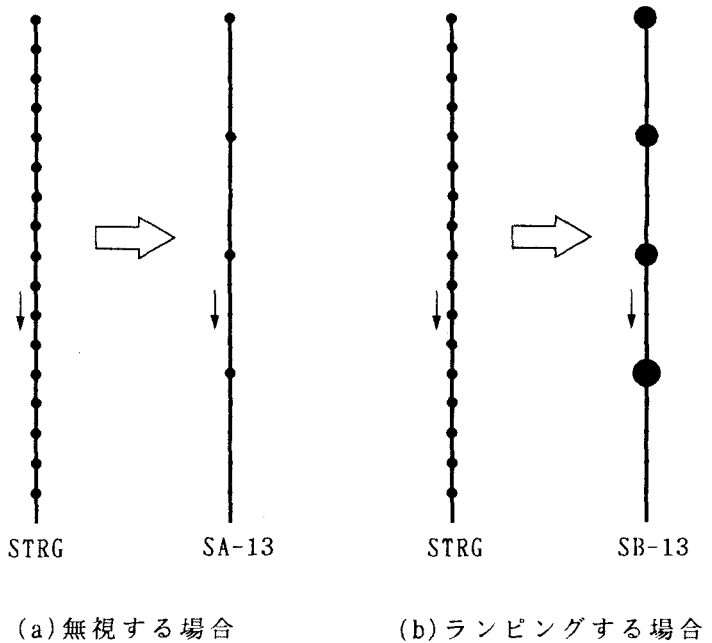


図2 マンホールのランピング

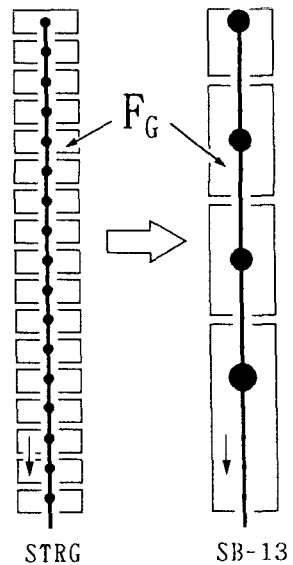
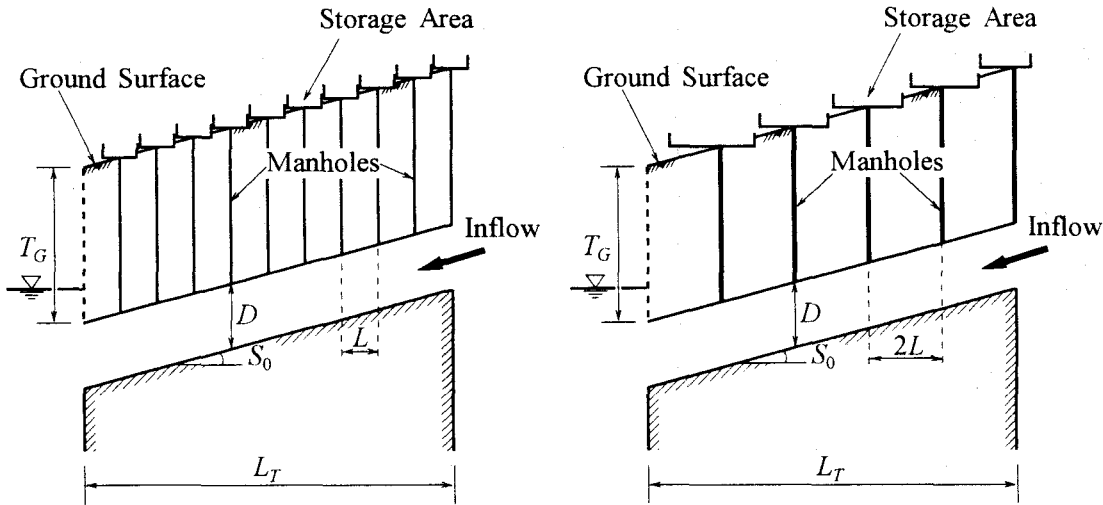


図3 浸水はんらん域のランピング

はんらん域の位置がほぼ変わらないよう残存するマンホールの浸水はんらん域に加えるようにする。また、残存するマンホールのマンホール深（地表面からマンホール底までの深さ）は、ランピング以前に各はんらん域が持っていたマンホール深を平均した値とする。

なお、図 4 には、マンホールとはんらん域のランピング法を模式的に示している。



(a) STRG タイプの下水管渠システム (b) SB タイプの下水管渠システム

図 4 マンホールと浸水はんらん域のランピングの模式図

4.3 マンホールおよび浸水はんらん域のランピング法の有用性に関する検討

(a) 検討に用いた下水管渠システムと流出シミュレーションの概要

図 3、表 1 および 2 に示す管渠径 0.5m、管渠延長 765m の下水管渠システムを検討の対象とした。

はじめに、STRG タイプの下水管渠システムをもとに、上述したランピング法にしたがって SB タイプの下水管渠システム (SB-13) を構成した。

次に、管渠システムの上流端から sine 型の洪水流入を、下流端で sine 型の水位変動あるいは水位一定の条件を与えて流出シミュレーションを行い、SB タイプの下水管渠システムでのシミュレーション結果を STRG タイプの下水管渠システムでのそれと対比して、本ランピング法の有用性を調べた (図 6 および 7)。

なお、表 1 に示す下水管渠システムの諸元は、愛媛県松山市の下水道管渠網での調査結果⁷⁾ (平均値) にもとづいて設定され

表 1 検討に用いた下水管渠システム (STRG) の諸元

Sewer Pipe	
Length (L)	45 m
Diameter (D)	0.50 m
Slope (So)	0.0054 m/m
Roughness (n)	0.015 s/m ^{1/3}
Number of Pipes	17
Length of Pipe System (TG)	765 m
Manhole	
Depth (D + TG) (No. 117 ~ No. 101)	2.42 ~ 2.74 m
Cross-sectional Area (FM)	0.90 m ²
Surface Storage Area (FG)	1,125 m ²
Ground Surface Slope	0.0050 m/m

表 2 各マンホールに付随する浸水はんらん域の面積

PIPE SYSTEM		MANHOLE NO. (UNIT:m ²)																
		101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
STRG	FM	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	FG	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125	1125
SB-5	FM	0.9	-	1.8	0.9	0.9	-	1.8	0.9	-	1.8	0.9	0.9	-	1.8	0.9	-	1.8
	FG	1687	-	1687	1125	1687	-	1687	1687	-	1687	1125	1687	-	1687	1687	-	1687
SB-9	FM	-	-	2.7	-	1.8	-	1.8	-	1.8	-	1.8	-	1.8	-	1.8	-	1.8
	FG	-	-	3937	-	2250	-	2250	-	2250	-	2250	-	2250	-	2250	-	1687
SB-13	FM	-	-	-	-	4.5	-	-	-	3.6	-	-	-	3.6	-	-	-	3.6
	FG	-	-	-	-	7312	-	-	-	4500	-	-	-	4500	-	-	-	2812

ている。また、流出シミュレーションには、現在、各国で広く用いられている都市域の雨水流出モデルである SWMM (Storm Water Management Model) ⁶⁾ モデルを採用した。

(b) 浸水はんらん域のランピング法 に関する検討

図 5 に示すように、マンホールからの溢水が発生する直前の初期状態 ($Q_{const} = 0.23\text{m}^3/\text{s}$, $H_{const} = 2.71\text{m}$) のもとで、下流端水位を一定 ($H = H_{const}$) に保って上流端より sine 型洪水 ($Q_{peak} = 0.45\text{m}^3/\text{s}$, $T = 30\text{min}$) を流入させて地表面はんらんが発生させ、はんらん域のランピングが流出ハイドロの浸水はんらん特性に及ぼす影響を調べた。検討結果の例を図 6 および 7 に示す。

これらを見ると、本ランピング法にもとづいて構成された下水管渠システムによ

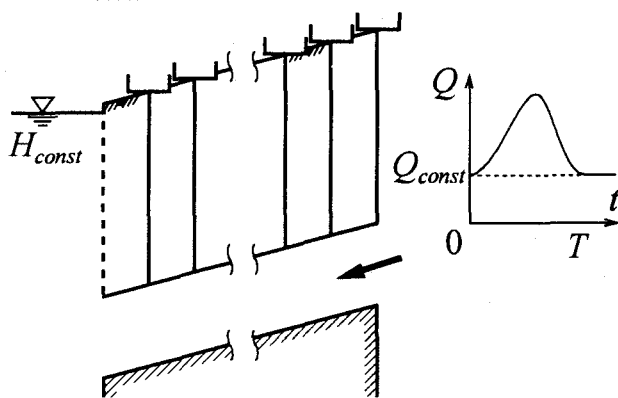


図 5 上下流端条件および初期状態

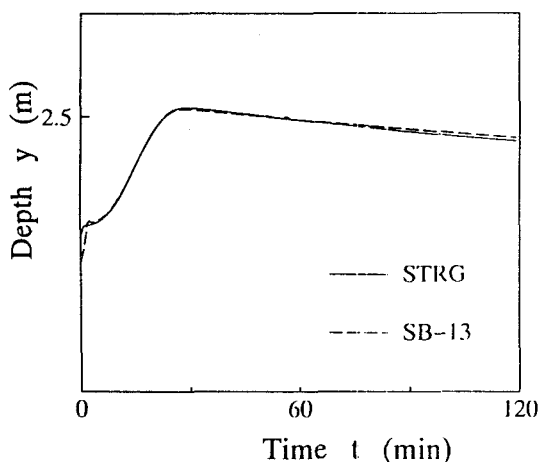


図 6 上流端水深ハイドログラフ

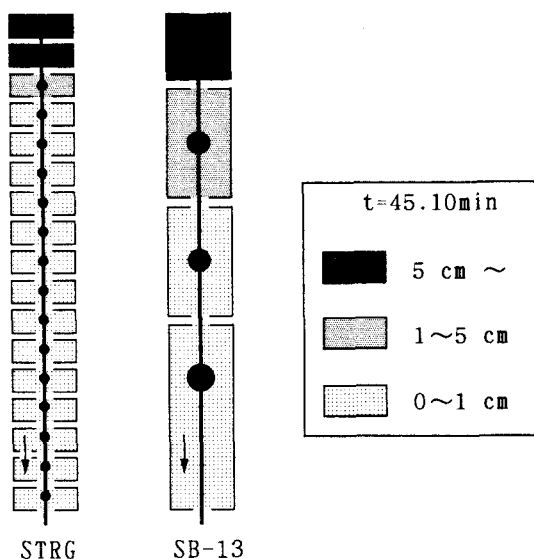


図 7 浸水はんらん状況 (はんらんのピーク時)

る流出シミュレーション結果（水深ハイドログラフ、流量ハイドログラフ、湛水深の場所的分布とその時間的变化）はいずれも **STRG** タイプの下水管渠システムにおけるそれらをよく再現しており、本法が有用であろうことが伺える。

(c) マンホールと浸水はんらん域のランピング法に関する検討

図 8 に示すように、下水管渠システムの全域で流出が圧力流れに移行した状況での初期状態 ($H_{const} = 0.55\text{m}$, $Q_{const} = 0.23\text{m}^3/\text{s}$) から、上流端から sine 型洪水 ($Q_{peak} = 0.45\text{m}^3/\text{s}$, $T = 30\text{min}$) を流入させ、下流端では sine 型の水位変動 ($H_{peak} = 2.71\text{m}$, $T = 2\text{hr}$) を与えて浸水はんらんの発生する流出シミュレーションを行い、マンホールと浸水はんらん域の両ランピング法が流出の浸水はんらん特性に及ぼす影響を調べた。検討結果の例を図 9 および 10 示す。

これらより、提案しているランピング法にもとづいて構成した下水管渠システムによる流出シミュレーションを行えば、水深ハイドログラフ、流量ハイドログラフおよび浸水はんらんの場所的分布とその時間的变化を解析精度をほとんど低下させることなく再現し得るのであることが伺える。

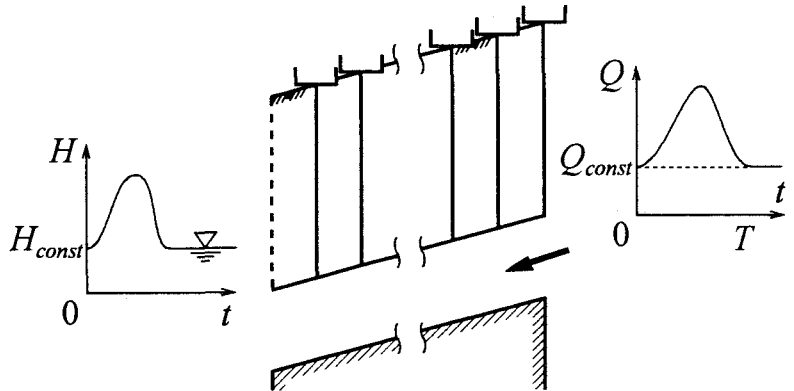


図 8 上下流端条件および初期状態

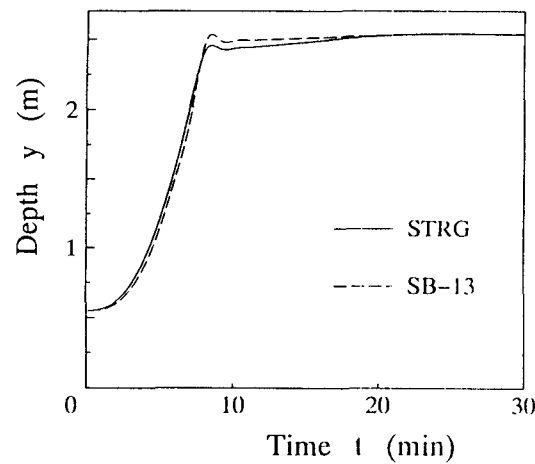


図 9 上流端水深ハイドログラフ

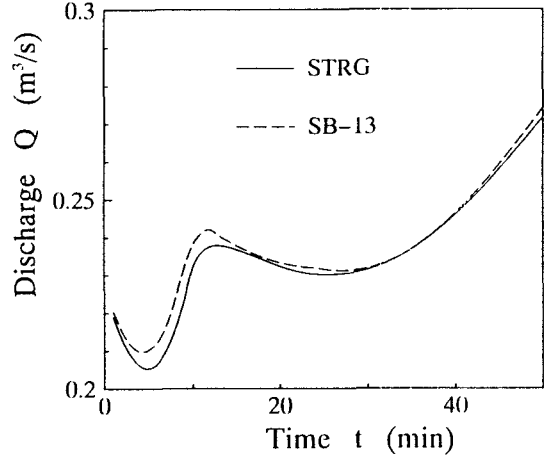


図 10 下流端流量ハイドログラフ

5. 結 論

本論文では、解析精度を低下させることなくマンホールと浸水はんらん域をランピングし得る方法を提示し、その有用性について、ある特定の下水管渠システムを対象として数値実験による検討を進めてきた。

その結果、本ランピング法によれば、管渠システムの全域にわたる水位および流量の変動状況、またラン

ブした区域に対する平均的な浸水はんらん挙動をよく再現することができるなど、本法を利用して大規模な下水道管渠網の浸水はんらん解析を実用的にかつ精度高く遂行しえる見通しが得られた。

最後に、今後はより普遍的な検討を進めてゆく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 渡辺政広・石丸久人：マンホールの圧力解放効果を利用したサーチャージ流出の実用的な解析手法，水工学論文集，第36巻，pp. 653-658，1992年。
- 2) Watanabe, M. and T. Kurihara : Practical simulation method of surcharged flow using pressure-relaxation effect in manhole, Proc. 6th Int. Conf. On urban Storm Drainage, Vol. 1, pp. 128-133, 1993.
- 3) 渡辺政広・栗原 崇・時尾嘉弘・藤田和博：下水道管渠網・地下河川網におけるマンホール・立坑の水理学的役割，水工学論文集，第38巻，pp. 525-530，1994年。
- 4) Watanabe, M. and T. Kanda : Surcharged flow parameters and SWMM simulations, Proc. 2nd Int. Conf. On Innovative technologies in Urban Storm Drainage, pp. 631-634, 1995.
- 5) 渡辺政広・栗原 崇・右近雄大・恩地研輔：都市下水道管渠システムの浸水はんらん解析におけるマンホールの水理学的役割とそのランピング手法，水工学論文集，第40巻，pp. 661-668，1996年。
- 6) Roesner, L. A. et al. : Storm Water Management Model, Ver. 4, Part B ; EXTRAN Addendum, USEPA/600/3-88/001b, 1988.
- 7) 渡辺政広・室田 明：都市域の流出解析（Ⅰ）一下水管渠網特性一，自然災害科学，8-2, pp. 9～22，1989年。