

都市河川における下水道施設を考慮した 水循環に関する研究

浜田 晃規¹・島谷 幸宏²・渡辺 亮一¹・伊豫岡 宏樹¹・
皆川 朋子³・山下 三平⁴・森山 聡之⁵・角銅 久美子¹・山下 輝和⁶

¹正会員 福岡大学助手 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目19-1)
E-mail:hamadateruki@fukuoka-u.ac.jp

²フェロー会員 九州大学教授 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)
E-mail:shimatani@civil.kyushu-u.ac.jp

³正会員 熊本大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒860-0004 熊本県熊本市中央区黒髪二丁目39-1)
E-mail:minagawa@kumamoto-u.ac.jp

⁴正会員 九州産業大学教授 工学部都市基盤デザイン工学科 (〒813-8503 福岡市東区松香台二丁目3-1)
E-mail:samp@ip.kyusan-u.ac.jp

⁵正会員 福岡工業大学教授 社会環境学部社会環境学科 (〒811-0295 福岡市東区和白東三丁目30-1)
E-mail:moriyama@gisight.org

⁶特定非営利活動法人南畑ダム貯水する会 理事長 (〒814-0153 福岡市城南区樋井川五丁目34-2)

都市域では雨水は下水道を通じて速やかに河川へ放流するという雨水管理システムが構築された。このシステムは、降雨、土壌浸透、地下水涵養、基底流出といった流域が本来もつ水循環の一部を省略している。降雨を下水道で速やかに河川へ放出することは、洪水の抑制をすべて行政に委ねることにつながり、河川工事以外の治水に無関心となり、地域の防災力が向上しないことが懸念される。そこで本研究では、下水道を考慮した水循環モデルを作成し、降雨が地下を経由して河川に放流されていく過程を一般の方々に理解してもらうために水収支計算を行った。

Key Words :water cycle, sewage facilities, urban river, infiltration, base flow

1. はじめに

(1) 樋井川の取り組み

福岡市では御笠川が1999年と2003年に氾濫し、2009年には九州北部豪雨によって那珂川・樋井川が越水し、大きな被害をもたらした。都市部では貯留・浸透機能が低下し、局地的豪雨の際に雨水が短時間で河川に流れ込むことが都市型水害の原因となると指摘されている。対策として、貯留浸透施設や調整池の増設、河川改修などが行われているが、これらの方法は財政の圧迫や長期に渡る建設となるうえ、広大な土地を必要とし、住宅地が密集する都市域では困難な場合が多い。研究対象としている樋井川は、福岡市中心部を流れる流域面積30km²、流路延長約13kmの典型的な都市中小河川で、流域内には約19万人が暮らしている¹⁾。都市化率は約7割に達し、常にゲリラ豪雨に伴う都市型水害による浸水被害に注意が必要な流域である。我々は樋井川流域での洪水対策として流域に住む住民自ら雨水を貯留し、貯留した雨水を利用することで集中的に洪水が流出することを抑制する取組

を進めている。また、平成26年5月に雨水利用推進法が施行されたことでこの手法はさらに注目されている。

(2) 都市が抱える問題

都市域は水に関する多くの問題を抱えている。本来、都市に潤い、緑の回廊、人や生き物の賑わいをもたらすはずの河川は無機質化が進んでいる。雨水は地下に潜り可視化されず、予想もしない場所で氾濫が発生する。下水道と河川の洪水計画の整合は不十分で、河川を整備しても洪水は減少しない。地震が発生すると上水道の断水や下水道管の損傷により、生活用水やトイレに困窮するのが現状である。これらは、根本的な水管理システムの問題である。管で結ばれたシステムの非自立性・脆弱性、や縦割り行政などにより総合化が進まず、上水道、下水道、河川、ため池や農業用水すべての管理者が異なることで解決を困難にしている。地下に管が潜る中で非可視化、水問題の意識からの消失により問題が顕在化しないという悪循環に陥り、さらに解決を困難にしている。

2. 目的

都市域の生活インフラと流域管理システムの有機的統合システム構築をめざし、水と緑の回廊を擁する流域都市の構築を都市ビジョンとし、縦割り・分断化された水システムの脆弱性と非自立性を補完する横断的な水管理のサブシステムを構築する。流域内のすべての場所で雨水の貯留・浸透を行い、水循環を健全化させ、各機能を横につないだ多目的・分散型・自立型のあまみずシステムを構築する。特にここでは、下水道として地下に管が潜ることで水問題の意識から遠ざかることに焦点を当て、都市域での水循環に大きく影響する下水道網を考慮し、浸透域が増加した場合の雨水循環の可視化を試みる。

(1) 対象とする地域の地下地層の可視化

実際に暮らす地域がどのような地層から成り立っているかを収集したボーリングデータから示すことにより、あまみずの行き先について関心を集め、水循環モデルへの適用を図る。

(2) 水循環モデルの構築と地下水シミュレーション

下水道および地層モデルを作成し、長期間の基底流量変化について解析を行うことで浸透面積増加の効果を検証する。

3. 解析方法

(1) 対象河川および対象地区

a) 樋井川の概要

樋井川は、福岡市の西部を流れ博多湾に注ぐ本川延長12.9km、流域面積29.2km²の二級河川である。樋井川では平成21年7月の中国・九州北部豪雨を受け、樋井川床上浸水対策特別緊急事業として河川改修を行い、平成27年度をもって完了している。



図-1 対象河川流域図

b) 田島地区の概要

本研究では、中国・九州北部豪雨において特に被害の大きかった樋井川中流域に位置する田島地区とした。田

島地区は人口約1万人、家屋数4,800戸、面積1km²の人口密集地域である。このなかで、分流式下水道が整備されており、上流端から下流端が一つの下水道排水区で簡潔する田島下水道排水区(0.58km²)を計算対象領域として解析を行った。対象領域を図-2に示す。図中の枠線が田島地区を示し、着色領域は計算対象領域を示している。



図-2 流出解析対象領域



図-3 解析対象領域内の管路網

(2) 対象領域の地形

図-4は田島地区の標高を表している。この地区は図中青で示される低平地が橙で示される高台に取り囲まれている地形特性を持っており、高台に降った雨は急激に斜面をくだり、下水道雨水幹線に集まり、内水氾濫が生じる要因となっている。



図-4 解析対象領域内の管路網

(3) ボーリングデータ

対象領域内には8点のボーリングデータが存在しており、地層モデルの作成に利用した。ボーリング孔位置を図-4に○印で示す。また、ボーリング柱状図から地層を3次元化した図を図-6に示す。地層は、表層に埋土、粘土などが見られたが、概ね真砂土からなり、下層は花崗岩が大部分を占めるため、表層真砂土、下層が花崗岩の2層でモデル化した。モデル化に際しては、GSI株式会社製のGeoMap3Dを用いた。

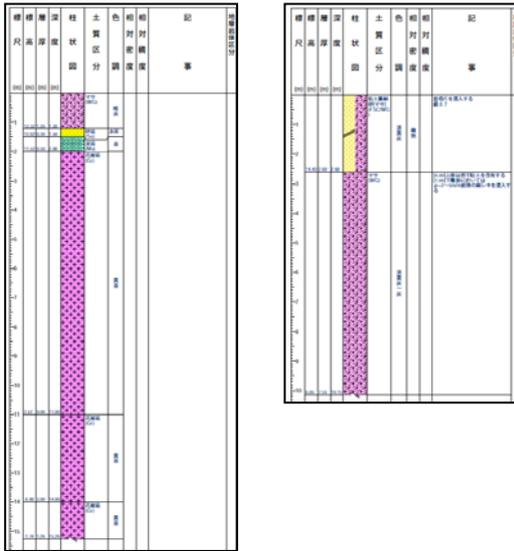


図-5 ボーリング柱状図(左:B-1, 右:B-8)

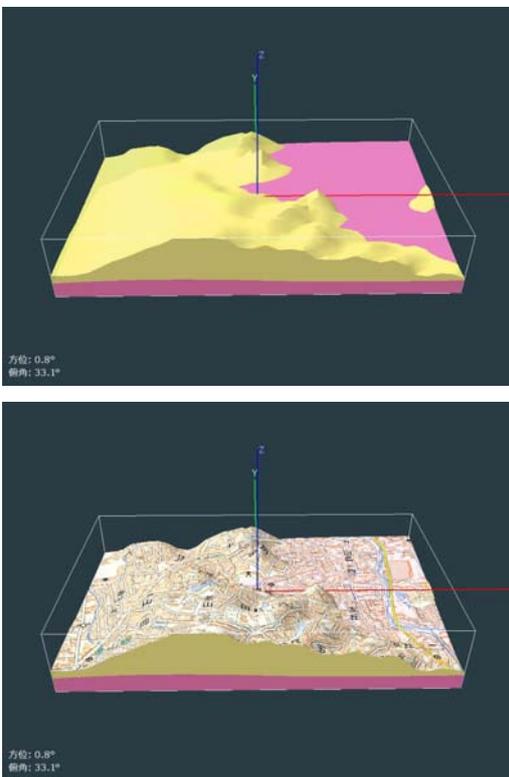


図-6 地層の三次元表示(上:地図なし, 下:地図あり)

(4) 下水道モデル

本研究の流出解析では、使用実績が多く都市域からの雨水流出現象および管路内の流況についても解析できる汎用流出解析ソフトであるMIKEを使用した。対象領域である田島排水区内の雨水管のモデル化を行い、1次元管渠モデル(MIKE URBAN)を採用し、表面流出モデルは下水道計画において一般に用いられるT-A法(時間一面積法)を用いた。

管内水理モデルは、表面流出モデルより算出された各管路内への流入量を用いて、質量および運動量保存則からなるサン・ブナン方程式により管路内の流れの解析を行っている。管路網は、雨水等の流入点であるマンホールと流水現象の起こる管路との組み合わせとしてモデル化を行い、合流、分水、越流(堰)、ポンプ等による流れの変化は、マンホールのみにおいて生じるものとしている。管路における流入量と流出量の差はマンホールの貯留量の変化として表現される。なお、実際にマンホールが無い場合は仮想のマンホールを設置し管路網を組んでいる。管渠の計算を行う上での境界条件としては、上流端では降雨量、下流端では管路出口に河川水位を与えた。なお管路出口はフラップゲートが設置されており、逆流は生じない条件としている。

(5) 水循環モデル

水循環モデルは、MIKE URBAN RDI(Rainfall Dependent Infiltration)機能を使用した。MIKE URBAN RDIはMIKE URBANの拡張機能で地表面流出解析、下水管網計算モデルと鉛直1次元の浸透、地下水位、基底流量変動を同時に計算することができる。地質比産出率、地下水面深度、対象降雨を初期条件として解析を行う。解析に使用する降雨量データは、気象庁より提供してある福岡市の降雨データで2007年1月1日から2011年12月31日までの5年間の日降雨量を使用した。また地質空隙率は九州地盤情報データベースの樋井川流域内のボーリング柱状図より評価し、比産出率0.3を採用。同様に、初期地下水面深度は3.0mとした。

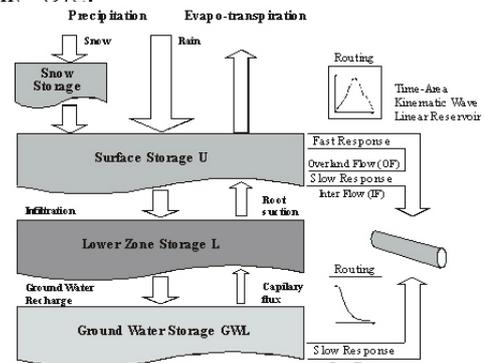


図-7 水循環モデル概念図²⁾

地下水の流れは、線形貯留理論に基づいて以下のように計算される。

$$BF = (GWLBF_0 - GWL) \cdot Sy \cdot (CK_{BF}) - 1 \quad \text{for } GWL < GWLBF_0 \quad (1) \text{式}$$

ここで、

BF：基底流量

GWL：地下水位

GWLBF₀：基底流が生じる最大水深

Sy：比産出率

CK_{BF}：貯留時間係数

蒸発量の算定はペンマン法により行った、気象データは降雨量と同じく2007年1月1日から2011年12月31日までの5年間の福岡気象台の日データを用いた。

(6) 蒸発量の算定

蒸発量の算定はペンマン法により行った。気象データは降雨量と同じく2007年1月1日から2011年12月31日までの5年間の福岡気象台の日データを用いた。

表-1 蒸発量算定諸係数

項目	設定値	単位	備考
アルベドA	0.16		公園
地表面射出率ε	0.95		森林
気象台緯度	33.58167	°	
風速測定高度	34.6	m	
ポルツマン定数σ	4.9E-09	MJ/m ² /k ⁴ /d	
空気の定圧比熱	1010	J/kg/K	

4. 解析結果

(1) 地下水面解析結果

2007年1月1日から2011年12月31日の5年間で解析を行い、初期条件として流域での各年の日降雨量及び蒸発位を与え解析を行った。以下に地表面からの地下水の深度ならびに降雨量との関係の解析結果を示す。図-8に示すように雨季と乾季に地下水面変動を繰り返す。また地下地層を浸透した雨水が河川などの系外へ流れ出る基底流量は浸透域が30%から40%に上がると、13.3%の上昇が見積もられた。このことより河川の維持流量の増加が見込まれ河川生態系や景観の向上が期待される。蒸発量は5年間平均が1081mmであり、5年間平均降雨量1649mmの大よそ65%に相当する。現実には降雨は下水道によって速やかに河川へと排出されるので蒸発により循環する水の量は大幅に減少されると考えられる。

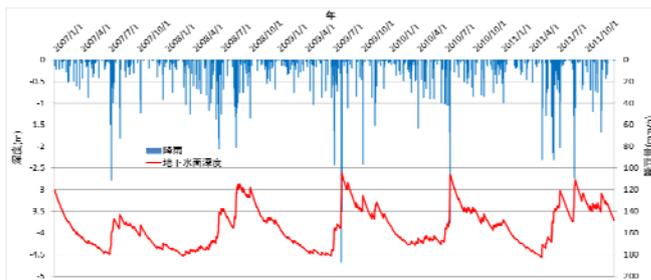


図-8 降雨量と地下水位変動



図-9 浸透域変化による基底流量変動

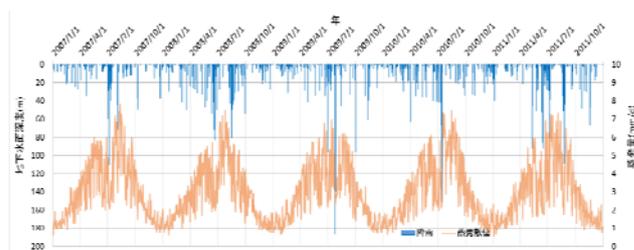


図-10 降雨量と蒸発量変動

5. 今後の課題

対象領域では、ボーリング孔は埋め戻されており、継続的な地下水位の観測ができていない。そのためモデルの妥当性検証まで至っていないのが実情であり、定性的な議論に留まっている。継続的な地下水位データ取得のため公民館などを通じ、地域の素掘り井戸の情報を探す予定である。

謝辞：この研究の一部はJST-RISTEX(研究代表者:島谷幸宏)による助成で行われた。ここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 福岡県：樋井川水系河川整備基本方針, pp.2, 2013.
- 2) DHI : MOUSERDIReference, pp.12, 2016

(2017.8.25 受付)

STUDY ON WATER CYCLE CONSIDERING SEWAGE FACILITIES IN URBAN RIVER

Teruki HAMADA, Yukihiro SHIMATANI, Ryoichi WATANABE, Hiroki IYOOKA,
Tomoko MINAGAWA, , Sanpei Yamashita, Toshiyuki MORIYAMA,
Kumiko KAKUDO and Terukazu YAMASHITA

In urban areas rainwater management system was constructed in which rainwater is discharged to rivers promptly through sewers. This system omits some of the water cycle inherent in catchments such as rainfall, soil infiltration, groundwater recharge, and basal drainage. It is concerned that releasing rain quickly to a river at sewer will lead to restraint of flood control to the administration as a whole, indifferent to flood control other than river construction and the disaster prevention capability of the area will not improve. Therefore, in this study, a water circulation model considering sewerage was prepared and water balance calculation was done to let general people understand the process of rainfall being discharged to the river via underground.