

**環境と防災に配慮したフレキシブルな下水道システムに関する研究**  
—汚水関連施設への雨水流入方策に対する提案・定量的評価と技術的・制度的課題—

奈良県  
摂南大学理工学部都市環境工学科

白柳 博章\*  
北村 幸定

## 1. はじめに

近年、水道・下水道・電気・ガス・道路といった社会的基盤施設ストックの膨大な蓄積とともにその老朽化の進行が危惧されており、それは、日常の快適な市民生活を脅かしつつある。また、東南海・南海地震や活断層地震による地震災害や、局地的豪雨による浸水被害等といった自然災害に関するリスクも増大し、更なるリスクが蓄積している。他方、社会的情勢をみると、少子高齢化や人口減少により、利用料金や税収の低迷といった財政状況の逼迫が予想され、今後、上下水道合わせて120兆円（下水道80兆円、上水道40兆円）を越えると考えられる日本全体の資産の適正な維持管理・改築更新の確実な実施に向けた事業推進等がこれからの大きな課題となっており、快適な市民生活の維持を図るためには、サービスレベル維持を鑑みつつ、事業体として施設の更新や維持管理の費用を最小化していく議論を進めることが、市民へのサービス向上と説明責任を果たす上でも重要となってきた<sup>1)</sup>。

しかしながら、下水道の事業体については、概ね市町村を単位としており、比較的小規模な所が多い。そのようなところでは、長期的な視点から下水道施設の更新や維持管理をどのように進めていくか、また限られた財源の中でどのようなサービスレベルを提供できるか、について定量的な検証を前提とした議論が進めにくく、短期的な視点にとどまりがちである。それゆえに、短期的・長期的な視点から施設の更新や維持管理に関するスキームを確立することは、事業体として施設のアセットマネジメントを実践する上で重要である<sup>2) 3)</sup>。

次に、下水道事業をとりまく社会的情勢をみると、少子高齢化や人口減少・海外移転等による経済活動の減退により、水道供給の需要ならびに工場排水の処理量の減少が続く中で、処理技術の向上も相まって、下水道事業における汚水関連施設の規模や処理能力に余剰が生じつつあるのが現状である。その一方で、集中豪雨の頻発により局地的な浸水被害等自然災害に関するリスクが増大しつつあるが、下水道事業における雨水排水対策は進んでおらず、処理能力が慢性的に不足している。これらの下水道事業の相反する事象は、言い換えれば都市における下水道システムにて使用されている地上・地下空間が有効に活用されていないことを示唆するものである。

そこで本研究では、都市における地下空間の有効活用を目指すべく、下水道システムのフレキシブルな運用、すなわち、汚水関連施設へ雨水を流入させる方策についての提案を行う。そして、本提案が環境面や防災面に対してどのような効果や影響をもたらすかを検討するとともに、下水道システム全体をマネジメントする上でそれらの施策を実行するための技術的・制度的課題について整理する。

具体的には、第2章にて、対象都市における下水道事業の現状と課題を述べたうえで、汚水事業と雨水事業がそれぞれ抱える問題点について整理する。

第3章にて、下水道事業の抱える問題点を踏まえ、本研究で提案する下水道システムのフレキシブルな運用について概説し、雨水排水処理において下水道システムを活用することの有益性について述べる。

第4章にて、第3章について水理面からのモデリングを行い、その効果と影響について概説する。

第5章にて、本研究で提案した下水道システムのフレキシブルな運用を対象地域にて実行した場合に、雨水排水処理能力の向上ならびに浸水発生確率の低下について定量的な評価を行う。

最後に、第6章にて、本研究のまとめを行うとともに、下水道システム全体をマネジメントする上で様々な課題について整理する。

## 2. 下水道事業の現状と課題

### 2.1 汚水事業の現状と課題

本研究で対象となるのは、関西地方にあるN市であり、可住地面積に対する人口密度が約7,000人/km<sup>2</sup>と高く、平坦な河川堤内地に位置している。

汚水事業において下水道普及率は99.3%（2013年4月1日現在）となっており、ほぼ完成に近い状態に至っている。また、人口は近年横ばい状況にあるが、生活環境の変化や工場排水の減少により、日平均・日最大の下水道処理量はともに年々減少している。

### 2.2 雨水事業の現状と課題

雨水事業において設定されている計画降雨量は5年確率で53.1mm/hr、10年確率で61.6mm/hrである。しかしながら2008年7月には時間最大降雨量76.5mm/hr、2010年8月には時間最大降雨量96.0mm/hrを記録するなど、近年10年確率を超える時間降雨量が見られ、たびたび内水氾濫の被害が発生する状況となっている。

台風や集中豪雨の頻発により、局地的な浸水被害等自然災害に関するリスクが増大しつつあるが、地形的な要因から雨水が流出しにくい状況である。さらに、人口密集地で狭隘な道路が多いことから、雨水排水・貯留施設の新設といった雨水事業は順調ではない。

### 2.3 N市における下水道事業の問題点

上記で述べたように、汚水事業については処理能力に余力を残している状態にある。すなわち、下水道（汚水）施設にて使用している地上・地下空間について余剰が生じている。反対に、雨水事業については、局地的な浸水被害等自然災害に関するリスクが増大している現状においても、満足に対応できていない状態にある。下水道（汚水）施設にて使用している地上・地下空間は不足しているが、浸水被害といった人命にかかわる事象について、安全・安心なるまちづくりを行っていくために、下水道事業が果たす役割として、この空間利用のギャップをできるだけ埋めていく努力が今後求められている。ここで、本稿で提案する下水道事業における空間利用の現状に関するイメージを図-1に示す。



図-1 下水道事業における空間利用の現状

## 3. 下水道システムのフレキシブルな運用の提案

### 3.1 概要

本研究で提案する下水道システムのフレキシブルな運用のイメージを図-2に示す。集中豪雨のような、雨水管

のみで処理できるような降雨量でないような状況となり、雨水の排水処理能力が限界になる状況が想定されるときに、污水管の処理能力余剰を利用し、雨水を污水管に流入させることにより、雨水の排水処理能力不足を緩和させ、内水氾濫被害などを抑制させるものである。

この運用は、污水と雨水を一緒にして河川に流す合流式ではなく、污水と排水処理能力を超えた雨水の一部を污水処理場へ流入させる分流式の利用拡大である。

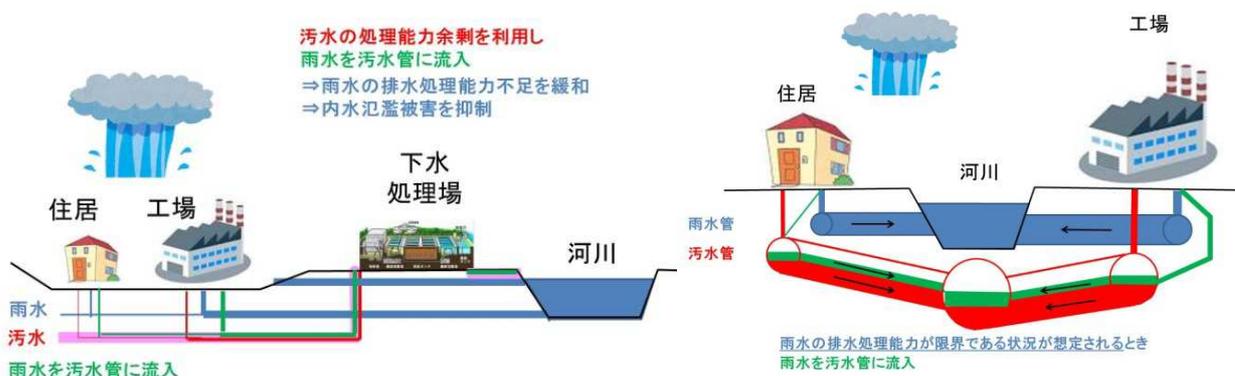


図-2 下水道システムのフレキシブルな運用のイメージ

### 3.2 効果と影響

この運用を行うことにより、雨水の排水処理能力不足を緩和させ内水氾濫被害を抑制する、という防災上での効果が期待される。図-3に示すように、従来であればある地域に対する雨水処理システムが1つだけであったものが、污水管を利用した雨水処理システムができることにより、雨水の排水処理能力を空間的・時間的に増加させることが可能であると考えられる。さらに、地域ごとの降雨量予測といった気象データと合わせた雨水の排水処理システムを構築することにより、局地的なゲリラ豪雨により発生する浸水被害を防止することが可能となると考える。

また、初期の降雨時には路面上の塵やほこりを含んだ濁水、いわゆるフラッシュ雨水管に流れ込んでいる。それを污水管で処理することにより、河川の濁水防止にもつながるものと考えられる。さらに、流量の少ない污水管における洗浄効果・臭気の防止効果といった環境面での効果も期待できる。

しかしながら、雨水の排水処理能力が限界になる状況がいつなのか、を的確に予測できるか、といった不確実性や、適用方法によっては下水道の処理施設に多大な負担を強いる、といった問題が生じる可能性がある。また、雨水管と污水管を接続することによる臭気の拡散、地域住民に対する合意形成、システム構築による費用対効果、といった問題もあげられる。

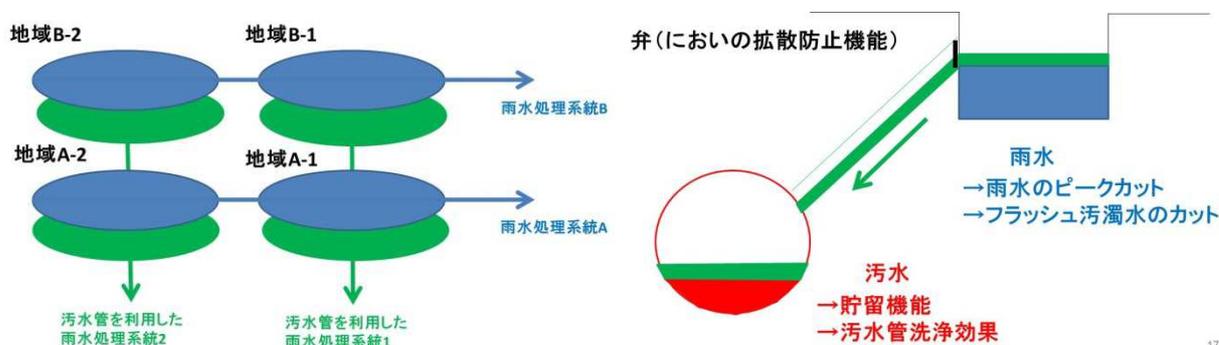


図-3 下水道システムのフレキシブルな運用による効果

#### 4. ハイドログラフによる考察

本章では、前章で述べた下水道システムのフレキシブルな運用について、ハイドログラフにより考察する。

##### 4.1 モデルの設定

モデルの設定のイメージを図-3に示す。他地域からの流入量に、対象地域への降雨による流入量を加えたものが、対象地域の最下流にある基準点からの流出量とする。なお、流入・流出量については、河川の流量と雨水管での処理量の合計、さらにフレキシブルな運用を行った場合にはそれに加えて污水管での処理量を合計したものとする。

##### 4.2 フレキシブルな運用がない場合の基準点での流入・流出量の考察

上記にハイドログラフのイメージを図-4に示す。他地域からの流入量=A, 対象地域への降雨による流入量=B, 基準点での流出能力=Cとする。

A+BがCを上回る場合には、基準点での流出量はCとなり、対象地域への降雨がはけずに浸水が始まる。A+BがCを下回る状態になったとしても、対象地域内での浸水により基準点での流出量はCのままであり、しばらくして基準点での流出量が低下していくことになる。

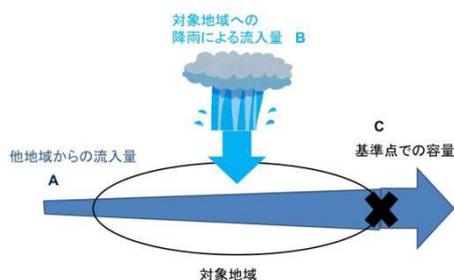


図-4 基準点と対象地域のイメージ

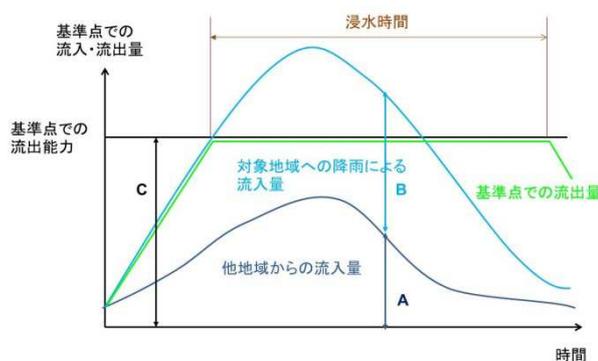


図-5 基準点での流入・流出量（フレキシブルな運用がない場合）

##### 4.3 フレキシブルな運用がなされた場合の基準点での流入・流出量の考察

上記におけるハイドログラフのイメージを図-5に示す。基準点での污水管の余剰能力=Dとする。

仮にA+BがCを上回るときに雨水を污水管へ流入させる運用を行うものとする、A+BがC+Dを上回るまでは浸水は発生せず、基準点での流出量はA+Bが確保される。A+BがCを下回るときに雨水を污水管へ流入させる運用を停止したとすると、污水处理場への流入量は斜線部で表される。

また、A+BがC+Dを上回った場合においても、(2)の場合に比べると浸水時間は軽減されることがわかる。

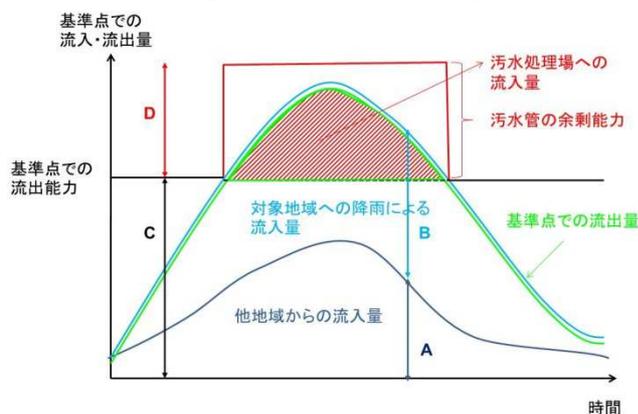


図-6 基準点での流入・流出量（フレキシブルな運用がなされた場合）

## 5. 対象地域における定量的評価

本章では、下水道システムのフレキシブルな運用を対象地域にて実行した場合に、雨水処理能力の向上ならびに浸水発生確率の低下についての定量的な評価を行った。

### 5.1 雨水処理能力の向上

本研究で対象とするのは、N市内の一部（面積0.8km<sup>2</sup>）でたびたび内水氾濫の被害が発生している地域である。

対象地域では、以前から53.1mm/hrの降雨に耐えうる雨水処理計画がなされていたが、6,700m<sup>3</sup>の雨水貯留施設により現在では61.6mm/hrに耐えうる雨水処理計画となっている。図-7に示すように、6,700m<sup>3</sup>のポケットにより対象地域とその上流地域での+8.5 mm/hr分の降雨量を処理できると考えられ、また雨水処理施設における流入量と排水処理能力を考慮すると0.618hrでポケットは満水となる。

汚水管の処理能力余剰を利用し、雨水を汚水管に

流入させることを考えた場合に、汚水処理にて汚水管の5割を使用していると仮定すると、対象地域における汚水管のポケットは1,020m<sup>3</sup>あり、末端での汚水管の流下能力は1,221m<sup>3</sup>/hrである。このポケットを満水にする時間が雨水処理施設と同値であるとした場合に、汚水管のポケットにより対象地域での+3.6 mm/hr分の降雨量を処理できると考えられる。すなわち汚水管の処理能力余剰を利用することにより、61.6mm/hrから65.2mm/hrへ雨水処理能力が向上することとなる。

### 5.2 浸水発生確率の低下

N市のアメダスデータ（1976-2000）に、独立行政法人土木研究所水災害研究グループ水文チームによるアメダス確率降雨解析プログラム<sup>4)</sup>を適用することにより、浸水発生確率を算出する。

このプログラムでは下記に示すFair式が用いられている。

$$r(T, t) = \frac{bT^m}{(t + a)^n}$$

ここで、 $r(T, t)$  : T年t継続時間確率降雨量 (mm/hr), T : 確率年 (年/回), t : 降雨継続時間 (hr)

a, b, m, n : 地域により設定されるパラメータ

(N市の場合 : a=0.13, b=38.35196, m=0.232421, n=0.6687551)

上式を用いて対象地域における運用前後での浸水発生確率を求める。前提として、1時間降雨量がある一定の値を超えた場合に浸水が発生するものとして、そのときの確率年の逆数 (1/T) を浸水発生確率とした。

その結果、運用前では0.0916回/年の浸水発生（1時間降雨量が61.6mm/hr以上）であったものが、運用後では0.0717回/年の浸水発生（1時間降雨量が65.2mm/hr以上）となった。すなわち下水道システムのフレキシブルな運用を対象地域にて実行した場合、浸水発生確率が21.7%低下する。

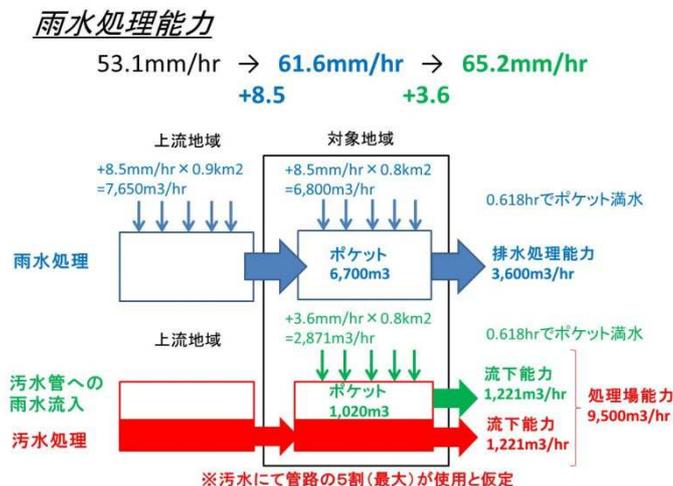


図-7 対象地域における雨水処理能力の向上

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、下水道事業をとりまく社会的情勢を鑑み、汚水事業については処理能力に余力を残している一方、雨水事業では局地的な浸水被害等自然災害に関するリスクが増大している現状においても、満足に対応できていない状態であることに着目し、都市における下水道システムに使用されている地上・地下空間が有効に活用されていないという問題点を指摘した。

その上で、都市における地下空間の有効活用を目指すべく、下水道システムのフレキシブルな運用、すなわち、汚水関連施設へ雨水を流入させる方策についての提案と技術的検討を行い、本提案が環境面や防災面に対してどのような効果や影響をもたらすかについて、ハイドログラフを用いて考察した。そして、対象地域にて上記の運用を実行した場合に、雨水処理能力が61.6mm/hrから65.2mm/hrへ向上するとともに、浸水発生確率が21.7%低下することを定量的に示した。

実務的な課題として、下水道事業は雨水事業・汚水事業とも都市計画決定の上でなされるものであり、関係法令、機関との調整、特に計画流量や区域決定の見直しが重要となる。その際には、雨水事業・汚水事業別々ではなく、下水道システム全体として、また都市システム全体といった広い観点から議論すべきである。

また、技術的な課題として、汚水関連施設へ雨水を流入させるため、処理速度の確保等にかかわる基準の策定や維持管理しやすいシステム、言い換えれば、処理場への流入負荷を軽減しつつも環境に配慮した処理・貯留システムの構築が必要であると考えられる。

今後は、本研究で提案した運用方法について、上記で述べた課題を克服すべく、浸水時間の軽減といった効果や汚水処理の負荷の増大といった影響について定量的に把握した上で、費用対効果<sup>9)</sup>の計測や運用方法の例示を行う。それにより、既存の雨水処理施設と汚水処理施設を最大限に活用した雨水排水処理システムIRSS (Intelligent Rainwater and Sewage Systems) の構築を行った上で、地域住民の合意形成を図るとともに運用を目指していきたい。

最後に、浸水被害といった人命にかかわる損害を最小限に留めつつ、安定した生活環境を長期間にわたって維持管理していくような、安全・安心かつ快適なるまちづくりをトータルで進めていくため、下水道事業が果たすべき役割を担っていくにあたり、本研究にて提案した方策が具体化され、新たな下水道システムのアセットマネジメントの一助になることを願っている。

### 【参考文献】

- 1) 宮坂典男・岩田雄三 (2008), 「社会資本における NPM 型マネジメントシステムの構築に関する研究」『季刊 政策・経営研究, 2008 vol4』
- 2) 国土交通省国土総合研究所下水道研究部下水道研究室 (2010), 「下水道管渠におけるストックマネジメント導入に関する検討調査」『国土交通省国土総合研究所平成 22 年度年報』
- 3) 貝戸清之・鎌田敏郎・大谷明・山中明彦 (2010), 「下水道コンクリート管渠のストックマネジメント」『下水道協会誌 Vol.47 No.577, pp.78-86,2010.11 』
- 4) 独立行政法人土木研究所水災害研究グループ水文チーム, アメダス降雨確率解析プログラム <http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm#PageTop>
- 5) (社)日本下水道協会 (2006), 『下水道事業における費用効果分析マニュアル(案), 2006.11』