各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域 を対象とした流出抑制効果に関する研究

巖島 怜¹・岩永 祐樹²・出田 一史³・佐藤 辰郎⁴・島谷 幸宏⁵

¹正会員 九州大学助教 持続可能な社会のための決断科学センター (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail: itsukushima@civil.kyushu-u.ac.jp

²正会員 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-13-26)

E-mail: iwanaga.river@gmail.com

³正会員 日本工営(株) 国内事業本部流域都市事業部 (〒819-0395 東京都千代田区九段北1-14-6)

E-mail: a7916@n-koei.co.jp

⁴正会員 九州大学助教 持続可能な社会のための決断科学センター (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail: sato@civil.kyushu-u.ac.jp

⁵フェロー会員 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

E-mail: shimatani@civil.kyushu-u.ac.jp

都市流域における各戸貯留及び土壌改良による流出抑制効果を調べるため、東京都善福寺川上流部のマンホール集水域を対象とし、流出モデルにより年超過確率1/100の4つの降雨波形を用いて対策前後のマンホール溢水量を計算した。その結果、(1)短時間集中型降雨では流域の広範囲で溢水がみられ溢水量も長時間継続降雨と比して大きいこと、(2)各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域の流出抑制効果は対策箇所毎に差異が見られるものの、長時間継続降雨では対策効果が高いこと、(3)流出抑制技術の導入は上流及び下流にも一定の効果をもたらし、背水によって溢水が生じている箇所では、上流域の溢水の削減効果も高いこと、(4)溢水量が大きい複数箇所を集中的に対策することで、効果的に下流の溢水を抑制可能であることを明らかにした。

Key Words : urban flood mitigation, on-site storage, soil improvement, small catchment area, overflow reduction

1. はじめに

土地利用の変化は流出構造を大きく変化させる¹⁾。特に、都市化はピーク流出量を増大させ、最小流量を低減し流量の変動性を高め²⁾、高流量の期間を減少させる³⁾ことが指摘されている。都市化により洪水流量が増大する要因として、舗装等による浸透能の低下、河道の直線化及び管路によるシステムの導入による洪水到達時間の減少が挙げられている^{4),5),6),7)}。都市型水害は世界的な課題であり、世界で233都市、6.63億人が高い洪水リスクにさらされていることが報告されている⁸⁾。日本では近年、局所的短時間降雨により都市型水害が全国で頻発している。短時間強雨(1時間降水量30mm以上)の発生回数は増加傾向であり⁹⁾、地球温暖化に伴う気候変動により都市型水害は増加するものと考えられる。また、都市化による洪水時の課題として合流式下水道の雨天時越流水

(CSO: Combined Sewer Overflow)がある。合流式下水道が接続する都市河川では洪水時に未処理の下水が流出し、水質の悪化や水環境の劣化が生じている¹⁰⁾。日本国内では約200都市が合流式下水道を採用しており、大きな課題となっている¹¹⁾。

欧米では、都市洪水の緩和、面的汚染源の負荷流出抑制を目的とした雨水管理の手法としてLID: Low-Impact Development^{12),13)}やGI: Green Infrastructure¹⁴⁾が導入されている。都市型水害対策として管路を再構築することは高コストであり代替の措置が必要であるとの認識¹⁵⁾から、街区単位を対象として雨水タンク、レインガーデン、透水性舗装、屋上緑化等により雨水を浸透させ、未処理下水の河川への流出防止、河川の氾濫防止を行っており、効果検証が進められている^{16),17),18)}。また、これらの対策方法は流出抑制だけでなく、景観の改善、レクリエーションの場の提供、省エネルギー、炭素固定、大気質の向上等

の効果が確認されており多機能な社会基盤として評価されている^{19),20),21)}.

日本国内でも「流域全体で雨水を保水・浸透・貯留する能力を強化する」流域治水の概念が有効であることが指摘されている²²⁾. 日本では、特定都市河川浸水被害対策法や100mm/hr安心プランなど都市型水害軽減のための法制度は確立され、雨水貯留浸透施設や浸透性舗装について技術開発及び効果検証が行われ^{23),24),25),26)}, 各行政機関で導入がみられるものの、都市型水害は依然として発生している. これは、より安価で導入が簡易な流域治水の要素技術開発が必要であること、技術導入の際の効果の定量評価が不十分であることが原因として考えられる. 特に、後者は河川の水位低減を主目的として整備を行う治水事業の評価技術が確立されているのに対し、都市型水害対策の実施によって、堤内地の小規模な氾濫や管渠からの溢水の低減効果を評価する手法や技術が確立されていないという課題がある.

そこで、本研究では、小集水域としてマンホール単位の集水域を対象とし、流出抑制技術の評価手法や対策効果の定量評価を行うことを目的とし、マンホール集水域の家屋及び浸透域に雨水貯留浸透対策を実施した場合の対策効果を調べるため、現地観測及びシミュレーションモデルの構築を行った.

2. 方法

(1) 対象流域の概要

本研究は、東京都杉並区を流下する荒川水系善福寺川の最上流域70.9haを対象とする(図-1). 善福寺川流域の都市化は著しく、1956年には約50%, 1976年には約60%が都市化した流域である. 研究対象の集水域では、現在、約60%が非浸透域となっている. 1958年の狩野川台風や1966年の台風4号で大きな浸水被害が生じており、近年では2005年9月4日に時間雨量100mmを超過する降雨によって84ha, 3,588戸の浸水被害が生じている²⁷⁾. また、当該流域は1976年に下水道整備率が100%となっており、洪水時には雨天時越流水が流下するという課題を有している. 高橋らは当該流域の浸水特性を分析し、下水道の普及による台地上の窪地における浸水被害の減少、上流氾濫域の減少及び都市化の進展に伴う下流部での浸水被害の増大を指摘している²⁸⁾. 本研究では、小集水域を対象とするため、善福寺川上流域のマンホール単位の集水域に着目し、流出抑制対策の効果を検証する. 図-2に本研究で計算対象とするマンホール及び下水管渠網を示す. 597個のマンホール及び総延長約18,087mの管渠を対象とする.

図-1 研究対象位置図

図-2 計算対象とする下水道管渠網

図-3 観測期間中の降雨、流量データ

(2) 水文資料の収集

流出モデルの構築にあたり、善福寺川の2地点において水位観測を、流域内の1地点において雨量観測を実施した(図-1). 観測期間は2013年9月6日～2015年11月27日(欠測期間443日間を含む)である. 水位観測は“HOBO U20 Water Level Logger”, 雨量観測は“HOBO Data Logging Rain Gauge”により、5分間隔のデータを採取した. あわせて河川の横断形状を測量し、国土数値情報より5mメッシュのデータを用いて河床勾配($I=1/1500$)を求め、これらのデータにより、連続の式及びManning

式を用いて $H-Q$ 曲線を作成し、水位を流量に変換した。河岸はコンクリート護岸が整備されているが、河床はガマ等の草本が繁茂しているため粗度係数は0.025とした。

図-3に観測期間の雨量及び観測地点の流量（下流側）を示す。観測期間中における時間雨量の最大値は47.6mm/hr、連続降雨の最大値は2014年10月5日3時～10月6日11時の276.6mmである。時間10mm/hr以上の降雨は25回発生している。河川流量については、2014年7月24日に最大流量17.0m³/sを記録している。

(3) 流出モデルの構築

河川流量を再現する流出モデルの概要については、既報²⁹⁾にて報告済しているため、概要について記載する。

分布型流出モデルにより、越流現象の再現及び流域に貯留浸透施設を設置した際の越流量削減効果について解析を行った。計算には、InfoWorks ICM 4.0を用いた。このモデルは降雨波形や浸透に関するパラメータ、下水道管渠の構造等を変化させることで流出現象を再現するモデルである。

東京都下水道台帳³⁰⁾から得られたマンホールの地盤高と面積、下水道管渠の幅、高さ、上下流の管底高を、GISで作成した流域マップに設定し流出モデルを構築した。実測した降雨データを用いて、下水道管渠を流下する流量を再現した。なお各マンホールに集水される雨水の量は、流域をティーセン分割することで最寄りのマンホールに流入するように設定した。管渠内の流水の挙動については、管内の連続方程式(1)と運動方程式(Saint-Venant方程式)(2)を基本式として、不定流解析を行った。

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_b \right) = 0 \quad (2)$$

A : 管内流水断面積 (m²/s) , Q : 流量 (m³/s) , t : 時間 (s) , x : 距離 (m) , y : 水深 (m) , S_f : 摩擦勾配, S_b : 管路勾配, g : 重力加速度 (m/s²)

また、初期損失と浸透能は既往研究で報告されている下限値と上限値の間で流出現象の再現性が最も高いパラメータとして、屋根面（初期損失 0mm, 浸透能 0.01mm/hr）、道路面（初期損失 0.5mm, 浸透能 0.01mm/hr）、浸透域（初期損失 2.0mm, 浸透能 5.0mm/hr）とした。本モデルの妥当性は現地観測結果を用いて検証した。図-4に観測結果と流出計算結果（2013年10月15日出水）を示す。図-4における流出量の実測値は、下流側水位計より算出された河川流量から、上流側水位計により得られた流量を引くことで求めた。当該出水では2つのピーク流出がみられるが、実測と計算を比較し、1山目のピーク流出量及び生起時刻がほぼ合致していること、2山目のピーク流出量の誤差が10%未満であること、

図-4 2013年10月15日出水の再現計算結果

図-5(a) 1/100降雨波形（2013年10月15日）

図-5(b) 1/100降雨波形（2014年6月24日）

図-5(c) 1/100降雨波形（2014年10月5日）

総流出量が概ね合致していることから、当該モデルは妥当と判断した。

図-5(d) 1/100降雨波形 (2015年8月17日)

(4) 対象降雨の引き伸ばし

観測期間中の降雨のうち、比較的大きな降雨量が観測された短時間集中型 (2014年6月24日及び年2015年8月17日) 及び長時間継続型 (2013年10月15日及び2014年10月5日) を年超過確率1/100 (以下, 1/100と記述) の降雨量に引き伸ばし流出計算を行った。短時間集中型の2波形については60分雨量が最大となる観測期間を選定し1/100に引き伸ばしを行い、前後の降雨については観測値をそのまま用いた。長時間継続型の降雨は24時間雨量が最大となる観測期間を対象に1/100降雨に引き伸ばした。生起確率100年の降雨量は、東京都公表資料³³⁾により1時間97.4mm, 24時間327.4mmとした。引き伸ばし前後の降雨波形を図-5(a)~(d)に示す。

(5) 適用する流出抑制技術

オンサイトで雨水を貯留、浸透させる要素技術として、雨水タンク、浸透トレンチ、透水性舗装、浸透ます、浸透池等が挙げられている³²⁾。研究対象流域では家屋の屋根根面が25%を占めており、雨水タンクを各住宅に設置することは有効と考えられるため、流出抑制対策として採用する。設置する雨水タンクは、集水面積に一律0.1mの深さをかけた容量とした³³⁾。一方、当該流域では40%浸透域が残されており、浸透域の浸透能力を増大させることで流出抑制が可能である。筆者らは、既往研究において真砂土に体積割合で腐葉土30%を混入した場合に浸透効果が大幅に増大することを明らかにしており³⁴⁾流出抑制技術として採用する。腐葉土を混入させた場合の浸透パラメータは既報より初期浸透量243.3mm, 最終浸透能36.9mm/hrとした³⁴⁾。

3. 結果及び考察

(1) 生起確率1/100雨量による溢水量の算定

図-6(a)~(d)はそれぞれ、2013年10月15日出水、2014年6月24日出水、2014年10月15日出水及び2015年8月17日の降雨を生起確率100年の規模に引き伸ばし流出計算を

図-6(a) 2013年10月15日降雨の際のマンホール溢水量

図-6(b) 2014年6月24日降雨の際のマンホール溢水量

図-6(c) 2014年10月5日降雨の際のマンホール溢水量

図-6(d) 2015年8月17日降雨の際のマンホール溢水量

行い、流出抑制技術を導入しない場合の各マンホールからの溢水量を示したものである。当該モデルでは、氾濫計算は実施しておらず、生じた溢水は他のマンホールへ流入しない。ここでは、溢水開始から累積溢水量が減少に転じるまでの期間における溢水積算値を溢水量として定義する。2013年10月15日出水では、総溢水量 604.4m^3 、最も溢水量が多いマンホールで 58.1m^3 であり、溢水量は北側2箇所の下水管渠で著しかった。2014年6月24日出水では、対象とした流域の広範囲で溢水がみられた。総溢水量は $33,079.8\text{m}^3$ 、最も溢水量が多いマンホールで 414.4m^3 であった。溢水は北側において、2013年10月出水と同系統の水路に加え、西側の上流側の水路で多い傾向がみられた。2014年10月5日出水の溢水では総溢水量 65.0m^3 、最も溢水量が多いマンホールで 16.3m^3 であり、溢水の傾向は2013年10月出水に類似しており北側2つの下水管渠で著しかった。2015年8月17日出水では、2014年6月24日出水と同様に流域全体で溢水が見られた。総溢水量は $27,580.6\text{m}^3$ 、最も溢水量が多いマンホールで 403.3m^3 であり、出水は西側の下水管渠で著しい結果となった。短時間降雨強度の大きい出水では面的に溢水が発生し、かつ溢水量が多い傾向にあり、長時間継続する降雨では北側のマンホールで溢水が生じる他は氾濫現象はみられなかった。対象流域では40%程度浸透域が残されており、長時間降雨では浸透域の初期損失によって流出抑制が図られたものと考えられる。

(2) 貯留浸透技術を適用した場合の街区単位での流出抑制効果

a) オンサイトでの流出削減効果

上記の4洪水を対象に、氾濫が著しい管渠系統2箇所にて2.(5)で記載した流出抑制技術を適用した場合の流出抑制効果について計算を行った。対象とした管渠系統は、4洪水の全てで氾濫が生じた北側の管路及び短時間集中降雨で溢水量が多い西側の管路系統とした。

氾濫が生じた北側水路の水路系統図及び表層被覆の状況を図-7に示す。図-7において赤枠で縁取られた領域がN1～N3の集水域である。N1の集水域は浸透域と駐車場のみで構成された集水域であり、N2及びN3では屋根面と浸透域が同程度で集水域の大部分を占めている。ここでは、溢水量が多い集水域N1、N2及びN3のそれぞれで対策を行った場合と、3箇所全ての集水域で対策を実施した場合の効果調べた。

N1～N3の各集水域のみで対策を実施した場合の流出抑制効果を図-8(a)～(c)に示す。N1では貯留浸透の効果は少なく、特に短時間集中型の降雨では7～8%しか削減効果が見られなかった。一方、最も効果のあった2014年10月出水でも削減効果は28%であった。長時間継続降雨によっても浸透効果に差があるのは、2013年10月15日出

図-7 対策を実施する下水管渠網(N1～N2)

図-8(a) N1における対策効果

図-8(b) N2における対策効果

図-8(c) N3における対策効果

水では、降雨後期に降雨強度の強い雨が集中したため浸透効果が低減したものと考えられる。N2及びN3における流出抑制効果は類似しており、長時間継続型の降雨で溢水の大部分を削減可能であり、短時間集中降雨でも42%の削減効果がみられた。これらの対策箇所毎の流出抑制効果の差異が生じた要因として、N1では管径がN2およびN3より小さく流下能力が低いこと、N1は最上流部であり、背水により溢水が生じている場合には当該箇所における対策のみでは大きく溢水量を低下させられないこと、N2は集水面積が大きく貯留浸透効果が高いことが挙げられる。

次に、各出水において溢水が生じた北側の水路及び短時間降雨強度が大きい出水で溢水が確認された西側の流域を対象に街区単位（マンホールの集水域）で流出抑制対策を実施した場合の効果について検証を行う。氾濫が生じた西側水路の水路系統図及び表層被覆の状況を図-9に示す。図-9において赤枠で縁取られた領域がW1の集水域である。当該集水域の約60%は学校の校舎となっている。この校舎に500m³のタンクを設置した場合の流出抑制効果を図-10に示す。当該集水域は長時間継続降雨での溢水量は僅かであり、対策後は溢水が生じなかった。一方、短時間集中降雨においても対策効果は高く、80%以上の削減効果を示した。

b) 下流への削減効果の影響

次に、溢水が著しいマンホール集水域を対象とした対策の下流側への効果を把握するため、下流での溢水抑制量と集水面積の関係を調べた。

溢水量が大きい北側の管渠について、各々の集水域のみ対策した場合及びN1～N3の全てで対策した場合の計4ケースについて、集水面積と溢水量の抑制率（以下、カット率）を調べた。ここでカット率は流出抑制量（対策前の溢水量から対策後の溢水量を引いた値）を対策前の溢水量で除したものとする。また、効果を検証する集水域は下流域まで合計18,255m²とする（図-7における緑着色の管渠網）。図-11(a)にN1のみに対策を行った場合の下流への流出抑制効果を示す。長時間継続降雨（2013年10月15日降雨）におけるN1での対策は、N2を起点とする管渠との合流点の水位を低下させるため、集水域が大きいN2の溢水量を低減する効果がある。従って、N2を起点とする管渠の流入後であってもカット率が30%まで上昇している。下流側のカット率が高いことや対策を行った集水域での抑制効果が低いことは、下水管渠が背水によって溢水している可能性があることを示唆している。これより下流では緩やかにカット率が低下するが下流端でも25%程度溢水量を抑制している。短時間集中型降雨の場合、N1での抑制率は10%程度であり、N2への抑制効果も小さい。また、下流へのカット率の低減も大きく

図-9 対策を実施する下水管渠網(W1)

図-10 W1における対策効果

図-11(a) N1における対策効果

図-11(b) N2における対策効果

図-11(c) N3における対策効果

図-11(d) N1,N2,N3における対策効果

図-11(e) W1における対策効果

図-12 集水域全体を対象とした流出抑制効果

下流端では5%弱であった。

N2のみに対策を行った場合の下流への流出抑制効果を図-11(b)に示す。長時間継続降雨の場合、該当する集水域の溢水の大部分を抑制可能である。ただし、N1を起点とする管渠の流入によってカット率は大きく低下し、それより下流は同程度の数値で推移し、下流端でも溢水量の40%を抑制可能である。短時間集中降雨では、N2の集水域で40%抑制効果があり、N1を起点とする管渠の流入によって抑制率が低下するが低下の程度は長時間継続降雨よりも少ない。ただし、流域面積の増加に伴う抑制効果の低減は大きく下流端でのカット率は10%程度である。

図-11(c)にN3の集水域のみに対策を行った結果を示す。N2と同様に、当該集水域における長時間継続降雨に対するカット率は高く、2014年10月5日出水では溢水を全て抑制できた。N1を起点とする管渠の流入による抑制効果の低減は高く、カット率は半分程度となる。これは、N3集水域が下流に位置し、合流する管渠の集水域が相対的に大きいと考えられる。下流では溢水がみられなかったため、カット率は支管の合流以降一定値となった。短時間集中降雨ではN3における抑制効果は50%弱であり、長時間継続降雨と同様に支管流入後にカット率が半分程度に低減した。

N1、N2及びN3の全ての集水域に対策を実施した場合の抑制効果を図-11(d)に示す。図中の流域面積はN2を起点とした。長時間継続降雨の場合、N1を起点とする支管からの流入によってカット率が低下するが、N3流入後も80%と高い抑制率を示した。短時間集中降雨の場合も同様に、N1を起点とする支管からの流入によってカット率が低下するが下流端でも40%程度の溢水量抑制効果を有していた。個別の集水域の対策のみでは、カット率は大きく低下するが、溢水が大きい複数の集水域を集中的に対策することで下流側集水域に対しても抑制効果を持続させることが可能となる。

図-11(e)にW1の集水域に属する学校校舎に500m³の雨水貯留施設を設置した場合の流出抑制効果について、W1の上流集水域から支管が合流する下流端までの集水域(図-9における緑着色の管渠網)まで示した。長時間継続降雨のうち、2014年10月5日降雨で溢水はみられなかった。また、2013年10月15日出水で発生した溢水は全てカットされた。短時間集中降雨の際は上流側のカット率も大きく、最上流部の集水域でも50%程度流出抑制効果がみられた。下流側では集水面積に比例してカット率は低減し、下流端でのカット率は20%程度であった。溢水量が大きいW1において対策を行うことで上流側においても流出抑制を行うことが可能となった。

図-12は2013年10月15日出水を対象にN1、N2、N3、W1の全ての集水域において対策を実施した場合の、河川へ

の流出量の変化を示したものである。最下流域における流量低減効果はピーク時に $0.08\text{m}^3/\text{s}$ 、出水全体で $1,310\text{m}^3$ であった。小集水域を対象とした流出抑制効果は、対策箇所の上流では効果的であるが、河川水位に対して大きな低減効果は見込めないことが明らかとなった。

(3) 他技術とのコスト比較

これまで、小集水域を対象とした雨水貯留浸透施設の導入により、導入した集水域及びその上下流の流出を抑制可能であることを示した。本節では、これらの施設の導入の実現可能性を検討するため、導入コストに着目し評価を行う。比較対象として既存の大規模な地下調整池を取り上げる。表-1に貯留量 $10,000\text{m}^3$ 以上の大規模な地下調整池の事業費と貯留量を示す。 1m^3 あたりの単価は14万～45万程度であり、平均値は23.6万円/ m^3 中央値は19.9万円/ m^3 である。次に、各戸貯留を対象とした小規模な雨水タンクについて43社58製品の容量と価格を調べた結果を図-13に示す。大規模な貯留タンクでは設置コストがかかるため、貯留量の増加に伴い設置費用が増加する傾向にある。 1m^3 の貯留を対象とした場合は凡そ10万円/ m^3 であり、大規模な貯留浸透施設と比べて安価である。最後に、本研究で対象とした腐葉土を体積30%含有させた場合の単価を示す。間隙率67%を想定し、 1m^3 の貯留に 3m^3 の改良が必要とすれば、掘削単価 $3,000\text{円}/\text{m}^3$ 、腐葉土材料単価 $15,300\text{円}/\text{m}^3$ とした場合の直接工事費は $22,770\text{円}/\text{m}^3$ 、間接工事費込みでも $5\text{万円}/\text{m}^3$ 程度であり雨水タンクと比較しても安価であることがわかる。土壌改良による流出抑制効果に関する技術は未確立であり、表層等の処理が必要と考えられるが従来の貯留コストから大幅に削減可能である可能性が高い。また、小さなスペースでも導入可能であり、庭や植樹枿等導入箇所の候補が多いことも利点である。

4. まとめ

本稿は、大規模降雨時に洪水が著しい小集水域を対象に雨水貯留浸透技術（各戸への雨水タンクの配備及び土壌改良による浸透域の浸透能改善）を導入した場合の流出抑制効果を、導入した集水域及びその下流におけるマンホール溢水量を用いて評価を行ったものである。得られた知見を以下に要約する。

- (1) 同一の確率規模の4つの降雨波形を対象に流出計算を行った結果、短時間集中型と長時間継続型ではマンホールからの洪水の程度や分布は大きく異なり、短時間集中型では流域の広範囲で洪水がみられ、洪水量も極めて大きい。
- (2) 各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域の流出抑制効果は対策箇所によって差が異なるものの、長時

表-1 大規模地下調整池の貯留量及び事業費

名称	事業者	貯留量 (m^3)	事業費 (億円)	1m^3 あたりの 単価 (万円/ m^3)
神田川・環状七号線地下調整池 ³⁵⁾	東京都	540,000	1,030	19.1
大州雨水貯留池 ³⁶⁾	広島市	15,300	45	29.4
御幸西調整池 ³⁷⁾	大阪府	20,000	28	14.0
布施駅前調整池 ^{38), 39)}	大阪府	12,000	24	20.0
古川地下調整池 ⁴⁰⁾	東京都	135,000	267	19.8
白子川地下調整池 ⁴⁰⁾	東京都	212,000	328	15.5
中鴻池調整池 ⁴¹⁾	大阪府	20,100	57	28.4
首都圏外郭放水路 ⁴²⁾	国土交通省	670,000	2,310	34.5
寺畑前川調整池 ⁴³⁾	兵庫県	19,400	90	46.4
金岡雨水貯留施設 ⁴⁴⁾	兵庫県	40,000	93	23.3
諏訪公園雨水調整池 ⁴⁵⁾	四日市市	20,400	39	19.1
東池袋雨水調整池 ⁴⁶⁾	東京都	14,000	19	13.6

図-13 雨水タンクの容量と金額

間継続降雨では対策効果が高い。

- (3) 対策効果は上流及び下流にも一定の流出抑制効果をもたらす。背水によって洪水が生じている箇所では、上流域の洪水の削減効果も高い。また、洪水量が大きい箇所を集中的に対策することで効果的に下流域の洪水量を抑制することが可能である。

- (4) 本研究で対象とした流出抑制技術の 1m^3 貯留に係る単価は安価であり、大規模な施設導入時には評価の対象としない小集水域の氾濫抑制が可能である。また、導入も比較的容易である。これらの技術と従来の河川水位低下を目的とした治水対策と組み合わせることで総合的に都市型洪水を抑制することが可能である。

謝辞：本研究は公益財団法人大林財団、国土交通省下水道技術研究開発公募（GAIAプロジェクト）及び国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）の援助を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) Fohrer, H., Haverkamp, K., Eckhardt, K. and Frede, H. G. : Hydrologic response to land use changes on the catchment scale, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Vol. 26, Issue 7-8, pp. 577-582, 2001.

- 2) Poff, N. L., Bledsoe, B. P. and Cuhaciyan, C. O. : Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems, *Geomorphology*, Vol. 79, Issue 3-4, pp. 264-285, 2006.
- 3) Brown, L. R., Cuffney, T. F., Coles, J., Fitzpatrick, F., McMahon, G., Steuer, J., Bell, A. H. and May, J. T. : Urban streams across the USA: Lessons learned from studies in 9 metropolitan areas, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 28, Issue 4, pp. 1051-1069, 2009.
- 4) 吉川勝秀, 吉野文雄, 中島輝雄: 流域の都市化に起因する洪水災害の変化, 水理講演会論文集, Vol. 25, pp. 263-268, 1981.
- 5) 石川忠晴: 雨水対策としての宅内貯留施設の普及可能性に関する調査, 環境システム研究, Vol. 22, pp. 333-341, 1994.
- 6) Maharjan, M., Pathirana, A., Gersonius, B. and Vairavamoorthy, K. : Staged cost optimization of urban storm drainage systems based on hydraulic performance in a changing environment, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 13, Issue 4, pp. 481-489, 2009.
- 7) Kundzewicz, Z. W., Hirabayashi, Y. and Kanae, S. : River floods in the changing climate-observations and projections, *Water Resources Management*, Vol. 24, Issue 11, pp. 2633-2646.
- 8) United Nations Economic & Social Affairs : World Urbanization Prospects the 2011 Revision, 2011.
- 9) 気象庁: 気候変動監視レポート, 2011.
- 10) Fields, R. : An overview of the U.S. Environmental Protection Agency's storm and combined sewer program collection system research, *Water Research*, Vol. 16, Issue 6, pp. 859-870, 1982.
- 11) 財団法人下水道新技術推進機構: 合流式下水道越流水(CSO)対策の研究, 下水道新技術研究所年報ダイジェスト, No. 23, 1996.
- 12) Dietz, M. E. : Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions, *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 186, Issue 1-4, pp. 351-363, 2007.
- 13) Burns, M. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R. and Hatt, B. E. : Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 105, pp. 230-240, 2012.
- 14) Miles, B. and Band, L. E. : Green infrastructure stormwater management at the watershed scale: Urban variable source area and watershed capacitance, *Hydrological Processes*, Vol. 29, Issue 9, pp. 2268-2274, 2015.
- 15) Pistocchi, A., Calzolari, C., Malucelli, F. and Ungaro, F. : Soil sealing and flood risks in the plains of Emilia-Romagna, Italy, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol. 4, pp. 389-409, 2015.
- 16) Ellis, J. B. : Sustainable surface water management and green infrastructure in UK urban catchment planning, *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 56, No. 1, pp. 24-41, 2013.
- 17) Fletcher, T. D., Andrieu, H. and Hamel, P. : Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art, *Advances in Water Resources*, Vol. 51, pp. 261-279, 2013.
- 18) Casal-Campos, A., Fu, G., Butler, D. and Moore, A. : An integrated environmental assessment of green and gray infrastructure strategies for robust decision making, *Environmental Science and Technology*, Vol. 49, No. 14, pp. 8307-8314, 2015.
- 19) Flynn, K. M. and Traver, R. G. : Green infrastructure life cycle assessment: A bio-infiltration case study, *Ecological Engineering*, Vol. 55, pp. 9-22, 2013.
- 20) Wolf, K. L. : Ergonomics of the city: green infrastructure and social benefits, *Engineering Green: Proceedings of the 11th National Urban Forest Conference*. Washington D. C.: American Forests, 2003.
- 21) Wang, Y., Bakker, F., Groot, R. and Wortch, H. : Effect of ecosystem services provided by urban green infrastructure on indoor environment: A literature review, *Building and Environment*, Vol. 77, pp. 88-100, 2014.
- 22) 島谷幸宏, 山下三平, 渡辺亮一, 山下輝和, 角銅久美子: 治水・環境のための流域治水をいかに進めるか?, 河川技術論文集, Vol. 16, pp. 17-22, 2010.
- 23) 藤村和正, 安藤義久: 都市流域における雨水浸透施設による流出抑制効果に関するシミュレーション, 水文・水資源学会誌, Vol. 11, No. 4, pp. 360-370, 1998.
- 24) 花木俊幸, Suharyanto, A., 杉尾哲, 出口近士, 今山清: 都市河川流域における雨水浸透施設による洪水流出制御の検討, 水工学論文集, Vol. 43, pp. 37-42, 1999.
- 25) 西山哲, 大西有三, 矢野隆夫, 北山迪也, 和田実: 透水性舗装の雨水浸透機能に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, Vol. 12, 2007.
- 26) 森石一志, 西山哲, 矢野隆夫, 小関裕二, 大西有三: 透水性能を有する景観舗装の雨水流出抑制効果, 土木学会論文集E1, Vol. 67, No. 3, pp. I-155-I-163, 2011.
- 27) 国土交通省記者発表資料, p.2, 2005, <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/051118/01.pdf> (2015.1.23 閲覧).
- 28) 高橋裕, 安藤義久, 前川忠生, 志村知昭: 東京都台地部中小河川の水害特性に関する史的考察(第2報), 日本土木史研究発表会論文集, Vol. 2, pp. 165-170, 1982.
- 29) 岩永祐樹, 巖島怜, 佐藤辰郎, 島谷幸宏: 流域治水による合流式下水道雨天時越流水の流出抑制効果に関する研究—東京都善福寺川を事例として—, 河川技術論文集, Vol. 21, pp. 455-460, 2015.
- 30) 東京都下水道局: gesui.metro.tokyo.jp/osigoto/daicyo.htm.
- 31) 東京都: 東京都豪雨対策基本方針(改定), 2014, <http://www.metro.tokyo.jp/INET/KEIKAKU/2014/06/70o6u100.htm> (2015.1.23 閲覧).
- 32) 公益社団法人雨水貯留浸透技術協会: 雨水浸透施設技術指針〔案〕調査・計画編, 2012.
- 33) 大阪府: 誰でもできる! 楽しい雨水利用!, <http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/4725/00112927/jirei.pdf>
- 34) Itsukushima, R., Ideta, K., Iwanaga, Y., Sato, Y. and Shimatani, Y. : Evaluation of infiltration capacity and water retention potential of amended soil using bamboo charcoal and humus for urban flood prevention, *11th International Symposium on Ecohydraulics*, 2016.
- 35) 国土交通省関東地方整備局資料: http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000001296.pdf (2015.1.23 閲覧).
- 36) 国土交通省中国地方整備局資料: http://www.cgr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000001296.pdf

- go.jp/chiki/Kensei/jyutaku/jirei/001oozuchosuiti.pdf
(2015.1.23 閲覧) .
- 37) 大阪府資料 : <http://www.pref.osaka.lg.jp/ne/sougoutisui/miyukinisi.html> (2015.1.23 閲覧) .
- 38) 大阪府資料 : <http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/469/00081975/fuseekimaekouenn.pdf> (2015.1.23 閲覧) .
- 39) 一般財団法人関西情報センターHP : <http://www.kiis.or.jp/region/project/higasios/higao5.html> (2015.1.23 閲覧) .
- 40) 東京都資料 : <http://www.zaimu.metro.tokyo.jp/syukei1/20150730daikibopurojekuto.pdf> (2015.1.23 閲覧) .
- 41) 大阪府資料 : <http://www.pref.osaka.lg.jp/ne/sougoutisui/nakakounoike.html> (2015.1.23 閲覧) .
- 42) 国土交通省関東地方整備局資料 : http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000053312.pdf (2015.1.23 閲覧) .
- 43) 兵庫県資料 : <https://web.pref.hyogo.lg.jp/governor/documents/000103507.pdf> (2015.1.23 閲覧) .
- 44) 兵庫県 : 第1回神崎川圏域河川整備計画懇談会資料, <https://web.pref.hyogo.lg.jp/hs04/documents/000082413.pdf> (2015.1.23 閲覧) .
- 45) 四日市市上下水道局 HP : http://www.city.yokkaichi.mie.jp/~yk-water/03_intro/index02-7.html (2015.1.23 閲覧) .
- 46) 東京都下水道局資料 : http://www.asianhumannet.org/db/datas/11_sewerage/higashi_ikebukuro_jp.pdf (2015.1.23 閲覧) .
- (2016. 1. 25 受付)

STUDY ON OUTFLOW CONTROL EFFECT OF ON-SITE STORAGE AND SOIL IMPROVEMENT FOR SMALL WATERSHED

Rei ITSUKUSHIMA, Yuki IWANAGA, Kazufumi IDETA,
Tatsuro SATO and Yukihiro SHIMATANI

A runoff model was applied to investigate outflow control effect of on-site storage and soil improvement for improving infiltration capacity. We calculated overflow amount of each manhole before and after measures at the Zenpukuji river in Tokyo using four types of hyetograph (occurrence probability 1/100). The result of simulation suggested the following: 1) large overflow amount and wide area of overflow was occurred in short term concentration rainfall, 2) effect of on-site storage and soil improvement was high in long term rainfall, although depression effect was different for each points, 3) effect of countermeasures was constant for short distance upstream and downstream from the measures point and reduction effect for upstream was high at place occurring overflow due to backwater, 4) effectiveness of countermeasures could be enhanced to intensively-introduce runoff control measures for sites overflow volume was large.