

35. 屋上緑化・バイオスウェルの建設可能地の推定と導入による雨水流出抑制効果

尾崎 平^{1*}・永井 良汰²

¹関西大学環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3-3-35)

²関西大学環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3-3-35)

* E-mail: ozaki_t@kansai-u.ac.jp

近年、気候変動の影響による豪雨災害が頻発している。流域治水関連法が整備され、流域治水の重要性が示されている。グリーンインフラは、気温低減効果、空気質の改善、CO₂吸収や雨水流出抑制といった多機能性を有しており、その活用が注目されている。本研究では、グリーンインフラの一種である屋上緑化とバイオスウェルの建設可能地を、GISを用いて抽出し、屋上緑化とバイオスウェルの導入前後の内水氾濫解析から、雨水流出抑制効果を評価した。その結果、対象地域において、屋上緑化、バイオスウェルの導入可能量は、それぞれ排水区面積の約1%、0.1%程度であった。時間最大雨量52.3mm/hrの中央集中型のモデル降雨による氾濫解析の結果、導入による地上氾濫水の湛水量の削減効果は、2.5%程度であった。雨水流出抑制には、集水面積に対する導入面積の量が重要であることを指摘した。

Key Words : *climate change, green roof, bioswal, pluvial flood, urban runoff analysis*

1. はじめに

全国における時間降水量50mm以上の年間発生回数は226回(1976-1985年)から334回(2011-2020年)の1.5倍に増加している¹⁾。都市化による不浸透面の増加により、降雨時に雨水が地中に浸透せず、下水道への流入量が増加し、内水氾濫のリスクが高まっている。

流域治水関連法では氾濫を防ぐ方法として、流域における雨水貯留対策の強化が挙げられ、その中の1つの手段として、貯留浸透機能を有するグリーンインフラ(以下:GI)が注目されている²⁾。

雨庭の社会実装に向けた実践的シナリオの検討として石松³⁾が広島市デルタ市街地を対象地とし、GISデータとGoogle mapの空中写真判読により雨庭の建設候補地について標高、傾斜度、地下水位を評価指標として可視化した。雨庭の降雨流出特性の定量的評価として山田⁴⁾が京都学園大学太秦キャンパス内の雨庭を対象とし、雨庭の効果を貯留浸透率、流出率を用いて定量的に評価し日本における導入可能性を示している。

本研究では、A市B排水区を対象に屋上緑化と歩道部緑化(バイオスウェル)の建設可能地を、GISを用いて

抽出し、屋上緑化とバイオスウェルの導入前後の内水氾濫解析から、雨水流出抑制効果を定量的に評価することを目的とする。

2. 研究方法

(1) 対象方法

A市では1974年から2008年にかけて緑に関する土地利用(山林・農地・田・畑・その他の農地)は3,616km²から1,152km²に減少している。一方、住宅地は10,369km²から13,497km²に増加している。また、A市の下水道資料によれば、計画流出係数は1965年、2015年で、それぞれ0.57、0.72となっており、都市化により流出係数が増加している。すなわち、浸透面が減少し、不浸透面が増加することで、雨水流出に対して、厳しい環境に変化している。本研究ではA市のうち、B排水区を対象とする。B排水区的面積は、約600ha、流出係数は0.71、雨水の排除はポンプにより行われている。

(2) 屋上緑化とバイオスウェルの導入候補条件

既存の都市内に緑地を創出することは極めて困難であ

る。本研究では、都市の既存空間を活用し、建設可能な屋上緑化とバイオスウェルを対象とした。

屋上緑化の導入条件は建物高さが4階以上かつ屋根形状が陸屋根で、建築面積が91m²以上とした。バイオスウェルの導入条件は歩道の幅を車椅子の方や自転車が十分にすれ違える幅である2.0mに植栽帯の設置に必要な1.5mを合わせた3.5m以上とし、対象とする面積が40m²以上とした。以上の条件を満たさないもの、ならびに条件を満たしても建物間口や敷地への入口部分、横断歩道、バス停部分は建設可能地から除外した。

(3) 屋上緑化とバイオスウェルの建設可能地の抽出方法

屋上緑化及びバイオスウェルの導入可能地の抽出には Arc GIS Desktop 10.8.1 を使用した。

屋上緑化の設置は陸屋根である必要があるため、陸屋根の形状判定が必要となる。その陸屋根の形状判定にはオルソ加工された GEOSPACE 航空写真 2500 (解像度 25cm, 2020年8月撮影)、建物ポイントデータ (2019年6月)、国土地理院の基盤地図情報 (2014年) を用いた。建物ポイントデータと基盤地図情報から4階以上の建物データを作成し、オルソ加工された航空写真と結合することで建物ごとのピクセルの RGB の最大輝度値を抽出し明度に変換したものでヒストグラムを作成した。陸屋根は明度差が少なく、明度の分布をヒストグラムで表現すると凸は1、傾斜屋根は2つ以上現れる特徴⁸⁾を利用し、屋根形状の判定を行う。ただし、陸屋根判定に用いる明度のヒストグラムの階級幅ならびに、凸の判定基準 (対象とするヒストグラムの階級と全体に占める割合) は、対象範囲からサンプルエリアを設定し、そのエリア内の建物42棟を対象 (教師データとして活用) に感度分析を行い設定した。感度分析は建物42棟に対して、4種の階級幅の明度のヒストグラムと凸の判定基準を設定し、総ピクセル数に凸の判定基準を乗算したものが各階級のピクセル個数の最大値とその前後の階級のピクセル個数を合計したものより大きい場合を陸屋根とした。この分析結果と実際の形状を照合し正解率、適合率、再現率、F値、偽陽性率を求め、各指標を基に階級幅0.05、凸の判定基準0.85の組み合わせを閾値とした。調査対象範囲内の42棟以外の建物でこの閾値を用いた陸屋根判定を行った。

バイオスウェルの導入可能地については歩道内の空地を可能地とし、導入条件を満たさない地点は可能地から除外した。残された地点は道路構成線から1.5mの範囲を建設可能地として、ポリゴンを作成した。

(4) 内水氾濫解析の方法

a) 解析モデル

氾濫解析モデルは、下水道施設と地上の氾濫水を同時に計算可能な InfoWorks ICM を用いる。詳細は、既往研究⁹⁾に示しているため、モデル化の要点のみ示す。このソフトは「有効降雨モデル」「地表面流出モデル」「管内水理モデル」「地表面氾濫計算モデル」から構成される。有効降雨モデルにより算出された有効降雨が地表面を流れ、地表面流出モデルによりマンホールへの流入量を算定する。これが管内水理モデルの入力データとなる。管内水理は、サンブナン式で計算され、管きよの流れを解析している。地表面氾濫計算モデルでは、浅水方程式を用いて、下水道から地表面へ溢れた水の流れを解析しており、管内水理計算と地表面氾濫計算は連動して行われる。

流出係数は、国土交通省の国土数値情報の都市地域土地利用細分メッシュ (100m) を用いて土地利用毎に流出係数を設定 (表-1) し、算出した。GI導入後の流出係数については、屋上緑化、バイオスウェルの導入により、建物 (C=0.6~0.75)、道路 (C=0.85) が、緑地 (C=0.20) に置き換わるとし、算定した。

氾濫計算のために必要な標高データには、国土地理院の基盤地図情報 (数値標高モデル) の5mメッシュを利用した。また、氾濫計算の粗度係数は、道路:0.043、街区:0.067とした⁸⁹⁾。

b) 対象降雨

対象とする降雨は地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF) の過去実験から得た降雨波形が図-1となる中央集中型の10年確率降雨 (総降雨量86.3mm, 時間最大雨量52.3mm/hr, 継続時間3時間) とした。

表-1 土地利用別の流出係数の設定値¹⁰⁾

土地利用種別	流出係数	土地利用種別	流出係数
田	0.20	鉄道	0.90
その他の用地	0.53	公共施設等用地	0.75
森林	0.30	空地	0.20
荒地	0.20	公園・緑地	0.18
高層建物	0.90	河川地及び湖沼	1.00
工場	0.75	海浜	1.00
低層建物	0.62	海水域	1.00
低層建物 (密集)	0.75	ゴルフ場	0.20
道路	0.85		

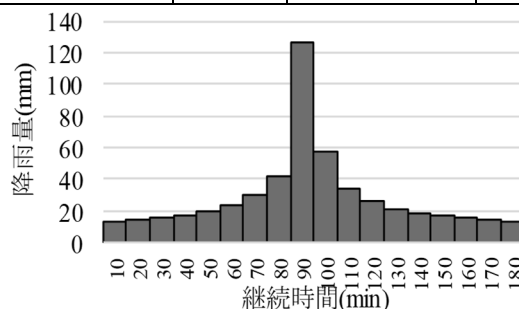


図-1 対象降雨

3. 結果および考察

(1) 屋上緑化とバイオスウェルの建設可能地と総合流出係数

対象エリアの屋上緑化の導入可能地を抽出した結果、建物数は 14,564 棟あり、4 階以上の建物数が 334 棟、陸屋根の建物数が 295 棟で可能地面積は 62,148m²であった。抽出した結果を図-2 に示す。また、バイオスウェルの導入可能地面積は 6,510m²であった。

上記の導入による流出係数の変化を求めた結果、屋上緑化とバイオスウェルの導入前、導入後の屋上緑化のみ、バイオスウェルのみ、両方、それぞれの流出係数は 70.93%、70.34%、70.87%、70.28%であった。

導入面積から対象排水区面積の 1%程度が緑地に転換されることになる。ただし、流出係数の変化をみてわかるとおり、対象エリアでは、両方の導入がなされた場合でも流出係数の差は 0.65 ポイント程度である。

(2) 氾濫解析結果

内水氾濫の解析結果を表-2 に示す。今回の対象降雨の場合、B 排水区に対して約 1%の緑の創出による雨水流出量の削減効果は、最大湛水量で 2.5%、浸水面積で 1.5%、最大湛水量を最大浸水面積で除した平均浸水深では 0.7%であった。今回の条件ではバイオスウェルの導入量が対象排水区に対して 0.1%程度であることから、その効果はほとんど見られず、屋上緑化による効果が支配的となっている。

軽減効果の特徴として、屋上緑化とバイオスウェル導入前に管渠の上流端で浸水が発生しているエリアに屋上緑化とバイオスウェルが導入された場合、浸水範囲が軽減されている。一方、下水道ネットワークの下流側に近いエリアで浸水が発生している場合、同エリアあるいは、その下流に屋上緑化とバイオスウェルが導入されても軽減効果はほとんど見られない。この理由について、自然流下である下水道の場合、上流側ほど集水面積が小さいため、屋上緑化とバイオスウェルの導入量が十分でない場合、集水面積に対する屋上緑化とバイオスウェルの導入面積の比が、上流端の方が大きく、下流側の方が小さくなり、上流端側ほど効果が出やすいためである。これらのことから都市における屋上緑化とバイオスウェルの導入が浸水に効果を与える要因は集水面積に対する屋上緑化とバイオスウェルの導入面積の多さである。よって、より多くの屋上緑化とバイオスウェルを集水域内に均等に導入すると都市全体での浸水の改善効果が見ることが

できると考えられる。



図-2 屋上緑化建設可能建物の抽出結果

表-2 屋上緑化とバイオスウェル導入前後の解析結果の比較

	最大湛水量 (千 m ³)	最大浸水面積 (ha)	平均浸水深 (m)
導入前	10.3	20.5	0.050
屋上緑化のみ	10.0	20.1	0.050
バイオスウェルのみ	10.3	20.5	0.050
両方	10.0	20.1	0.050
変化率 (両方)	-2.5%	-1.8%	-0.7%

(3) グリーンインフラによる雨水流出抑制の可能性

都市において、新たにみどりを創出することは、容易ではない。今回の導入基準、対象エリアにおいては、屋上緑化、バイオスウェルの導入により、1%程度の緑化がなされたことになる。この 1%について考察のための比較対象として、土地区画整理事業の公園敷地の確保をあげる。わが国では、土地区画整理手法により、道路、公園を始めとする公共施設の整備がなされてきた。土地区画整理事業運用指針 (平成 13 年、国土交通省) によ

れば、『施行地区内に必要な公園面積は、規則第9条第6号において「公園の面積の合計が施行地区内に居住することとなる人口について一人当たり3㎡以上であり、かつ施行地区の面積の3%以上となるように定めなければならない。』と規定している。』となっている。すなわち、公園という、まとまったみどりや屋上緑化やバイオスウェルを単純に比較はできないが、土地区画整理事業であっても、新たにみどりを創出できるのは3%ということになる（ほとんどの場合、収益確保の観点から3%を大幅に上回る公園の整備はなされない）。

そのため、今回の検討で得られた1%というのは、数字上は小さな数字であるが、緑化という点においては大きな意味を持つと思われる。しかしながら、氾濫解析による雨水流出抑制という点で判断すると、今回の条件では、その効果は限定的であった。屋上緑化やバイオスウェルは、小規模分散型の土地改変であるため、貯留施設や調整池のように劇的な改善効果が発現されるものではない。しかし、効果が小さいからといって、軽んじるべきものでもない。今回の検討においても、下水道ネットワークの下流端部での浸水軽減効果は、ほとんど見られなかったが、上流端においては、湛水量、浸水面積ともに軽減されている箇所が見られた。これは、上流部では集水面積が小さいことから、グリーンインフラにより流出抑制がなされると浸水を軽減する効果が見られるが、下流部では、集水面積が大きくなり、集水面積に対するグリーンインフラの転換面積の割合が小さいため、効果があまり期待できないためと考えられる。そのため、小規模分散型であっても、その導入量が増加することにより、浸水軽減の効果が期待できると思われる。

4. おわりに

本研究では、屋上緑化とバイオスウェルの建設可能地を、GISを用いて抽出し、屋上緑化とバイオスウェルの導入前後の内水氾濫解析から、雨水流出抑制効果を評価した。その結果、対象地域において、屋上緑化、バイオスウェルの導入可能量は、それぞれ排水区面積の約1%、0.1%程度であった。総降雨量86.3mm、時間最大雨量52.3mm/hr、継続時間3時間の中央集中型の降雨による氾濫解析の結果、導入による効果は、湛水量を指標とした場合2.5%程度の軽減に留まった。解析結果より、集水面積に対する導入面積の量が重要であることを指摘した。

本研究では雨水流出抑制の観点を主に議論してきたが、グリーンインフラの最大の特徴は、多機能性である。流

出抑制以外にも、気温低減効果、空気質の改善、CO₂吸収、憩いの場所などの機能がある。グリーンインフラはメンテナンスが大変という課題もあるが、逆に、地域としてグリーンインフラを維持することが、コミュニティの活性化にもつながり、様々な活動の拠点にもなり得る。現状、一般の方の景観に対する思いや認識は、災害・防災などに比べると低い現状にある。そのため、多くの地域で課題としてあげられる防災をテーマとし、防災まちづくりについて議論を始め、グリーンインフラなどを活用した地域資産の形成、地域価値の向上を多くの主体で議論し、他に誇れる景観形成や、住み続けられるまちづくりについて議論し、よりよいまちづくりへと展開していくことが重要である。

謝辞：本研究は科研費（20K05034）ならびに関西大学先端科学技術推進機構 気候変動に適応した健康まちづくり研究グループの助成を得て行った。

参考文献

- 1) 気象庁：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化、https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, 2021年8月1日閲覧
- 2) 国土交通省：流域治水関連法案 概要, <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001385278.pdf>, 令和3年6月8日閲覧
- 3) 石松一仁：雨庭の社会実装化に向けた実践的シナリオの検討, 景観生態学, 25巻1号, pp.33-41, 2020
- 4) 山田駿介, 柴田昌三：雨庭の降雨流出特性の定量的評価, 日本緑化工学会誌, 43巻1号, pp.251-254, 2017
- 5) 具源龍, 瀧澤重志, 加藤直樹：航空写真からの屋根種類判別と稜線認識に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 72巻611号, pp.99-105, 2007年
- 6) 尾崎平, 石垣泰輔, 戸田圭一：高密度商業地域における内水氾濫の脆弱要因に関する考察—2011年8月27日大阪の豪雨を対象として—, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, NO.4, pp.I_1009-I_1014, 2012.
- 7) 尾崎平, 石垣泰輔, 戸田圭一：降雨イベントの積算時間間隔と内水氾濫解析精度に関する考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, pp.I_1447-I_1452, 2015.
- 8) 川池健司・井上和也・林 秀樹・戸田圭一, 都市域の氾濫解析モデルの開発, 土木学会論文集 No. 698/II-58, 1-10, 2002. 2.
- 9) 武田誠・森田豊・松尾直規, 下水道システムを考慮した氾濫解析の治水対策への適用, 水工学論文集, 第51巻, 2007年2月.
- 10) 日本道路協会：道路土工—排水工指針, pp.20~21, 2007