

屋上貯留が雨水流出抑制効果及び熱環境緩和効果に与える影響に関する研究

中央大学大学院 学生員 ○ 礪貝 二郎
 中央大学理工学部 学生員 吉見 和紘
 中央大学大学院 学生員 此島 健男子
 中央大学理工学部 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

近年都市域には気候変動に伴うゲリラ豪雨と都市化に伴うヒートアイランド現象という2つの問題が存在する。近年の都市域における水害のほとんどを内水氾濫被害が多くを占めており¹⁾、雨水排水対策が急務である。既往の研究²⁾では管渠布設替え、ポンプ場の新設および地下貯留施設の新設整備とそれらの組み合わせの整備を行った場合の氾濫シミュレーションを行い、費用対効果を算出した。その結果、対象流域においては貯留施設の新設が最も雨水排水対策に効果的であることを明らかにした。しかし、現実では新規の地下貯留施設の新設は都市域において費用的・空間的に非常に困難であるといえる。

またもう1つの問題であるヒートアイランド現象においては、世界全体の平均気温は過去100年間で約0.74℃上昇しているが、東京では過去100年間で約3℃も上昇している。この原因としてはアスファルトやコンクリートによる地表面被覆の人工化、住宅やオフィスビル・交通機関から排出される人工排熱の増加、緑地や水面の減少にともなう都市形態の変化などが挙げられる。また、屋上面は地表面と比べ高温になりやすく、ヒートアイランド現象に悪影響を与えている³⁾。その対策として屋上緑化が行われているが、植物の生育には土壌やそれに付随する施設の設置・定期的な水やりや芝刈りといったメンテナンスが必要である。また、外来種の芝生が在来種の芝生を駆逐して生態系を破壊する恐れがある。

そこで本研究では、既存のビルの屋上にこのセラミックスを敷設することを提案する。屋上にセラミックスや芝生を敷設する屋上貯留には、雨天時は雨水を貯留することによる雨水流出抑制効果、晴天時はその貯めこんだ雨水が蒸発する際の気化熱による熱環境緩和効果が考えられる。つまり、屋上貯留により現在都市域で発生している2つの問題を緩和することが期待される。したがって、本稿では屋上での現地実験・観測、並びに流出氾濫解析を行うことにより、屋上貯留が効果的であるかを評価している。

2. 屋上実験・観測

2-1. 観測概要

観測場所は東京都港区にある9階建ての建物の屋上で、2010年7月下旬から熱観測と水収支観測を行っている。本稿では7月30日から8月30日を対象期間とする。熱観測では100mm程度の厚さの軽石状のセラミックスと芝生を5.0m×10mに敷設し、セラミックスと芝生と敷設なしで比較を行った。水収支観測は100mm程度の厚さの軽石状のセラミックス、40mm程度の厚さの平板状のセラミックス、50mm程度の厚さの円柱状のセラミックス、60mm程度の厚さのブロック状のセラミックス、土壌厚50mm程度の芝生を40cm四方に敷設し、深さ60mmの40cm四方のタンクと比較を行った。水収支観測の容器は断熱材である発砲ポリスチレン板を厚さ10cmで覆った上で、まわりをアルミテープで覆い、周囲の影響を受けないようにした。尚、各種セラミックスの吸水率は、軽石状セラミックスは0.60、平板状セラミックスは0.98、円柱状セラミックスは0.38、ブロック状セラミックスは0.35であり、芝生は吸水率0.48の土壌に高麗芝を張った。測定項目及び測定機器は表-1に示す。表面温度と各種気温、各種気象項目、質量計、熱流量は1分間隔で観測を行った。表面温度と各種気温についてはT型熱電対を用いて、日射や照り返しの影響が無いようにアルミ製のカバーをかぶせ、図-1に示すように表面温度と鉛直上空1cm、5cm、10cm、30cm、50cmの気温を測定した。水収支は質量計を用いて、重量を測定することにより、貯留量、蒸発量を算出した。各種気象項目は気象観測装置を用いて測定し、熱流量は屋上面上に地中熱流計を設置し測定を行った。また芝生は毎日午前6時に5mm程度自動灌水を行っている。

表-1 測定項目及び方法

評価項目	方法
風向・風速	気象観測装置
日射量	
気温・湿度	
降雨量	
表面温度・上空気温	熱電対
貯留・蒸発量	質量計
熱流量	地中熱量計

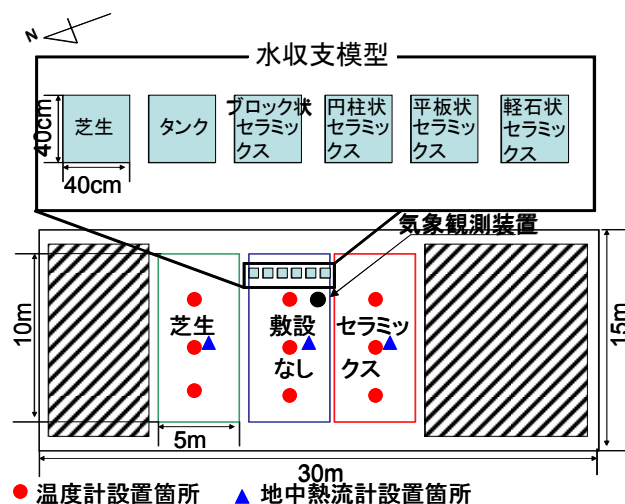


図-1 屋上平面図

2-2. 観測結果

2-2-1. 表面温度

図-2に対象期間中の降雨量、日射量、セラミックスと芝生と敷設なしの表面温度を示す。芝生は敷設なしの場合と比較して常に表面温度が低くなっている。それに対しセラミックスは、降雨後1週間程度は敷設なしの場合と比較して表面温度が低くなっており、芝生と同程度の温度低減効果を示している。しかし、降雨後1週間以上経過すると敷設なしの場合と比較して同程度の表面温度またはそれ以上に高い表面温度になっている。これは芝生には自動灌水が行われているため常に水を含んでいる状態に対し、セラミックスは貯めこんだ雨水を1週間程度で蒸発させているためだと思われる。降雨直後に着目してみると、セラミックスと芝生共に敷設なしの場合と比較して、表面温度

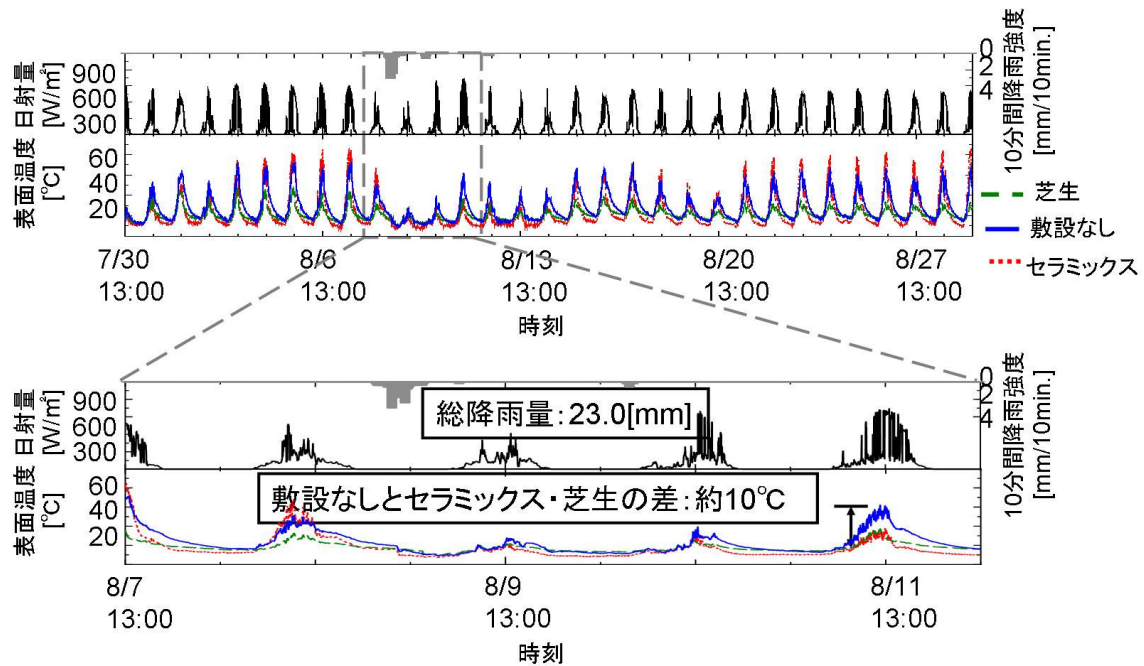


図-2 対象期間中の降雨量、日射量、表面温度の時系列

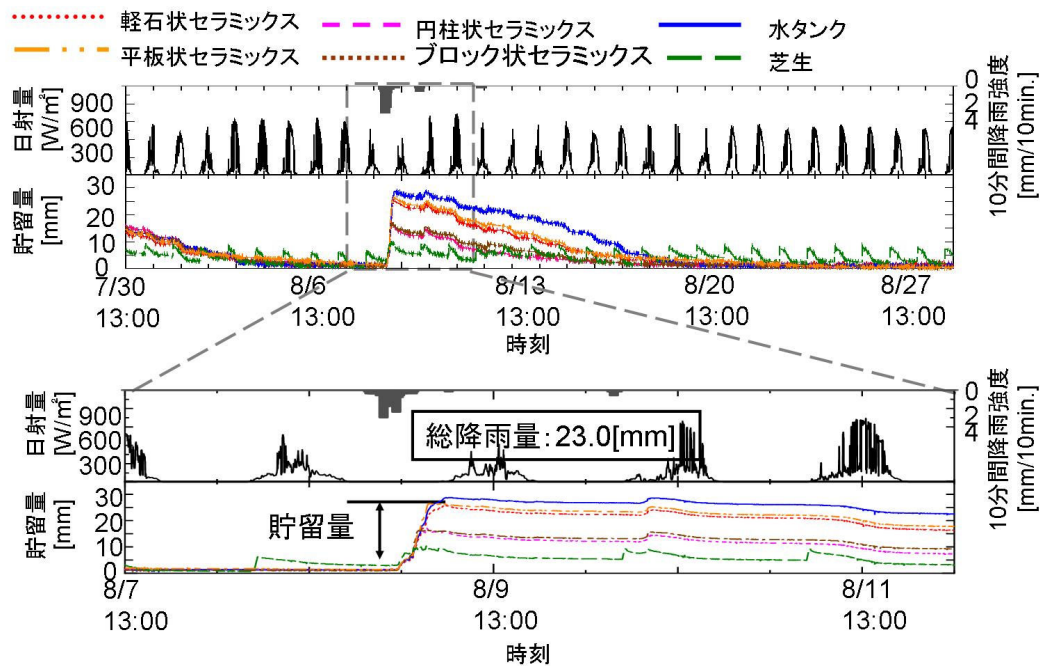


図-3 対象期間中の降雨量、日射量、貯留量の時系列

が約10℃低くなっており、熱環境緩和効果があることがわかる。また、日射の強い昼間と日射のない夜間の表面温度を比較すると、昼間は芝生がセラミックスと敷設なしの場合を比較して表面温度が低くなっているのに対し、夜間はセラミックスが芝生と敷設なしの場合と比較して表面温度が低くなっている。

2-2-2. 降雨に対する貯留量

図-3に対象期間中の降雨量、日射量、各種セラミックスと芝生とタンクの雨水の貯留量を示す。貯留量から各種セラミックス、芝生、タンク全てが雨水を貯留していることがわかる。さらに各種セラミックスとタンクで貯留した雨水は約10日間で蒸発する。総降雨量23mmの降雨に対する各種素材の貯留量を見ても、軽石状のセラミックスは約20mm、平板状のセラミックスは約21mm、円柱状のセラミックスは約12mm、ブロック状のセラミックスは約12mm、芝生は約3mm、タンクは約23mmの雨水を貯留している。芝生は自動灌水を行っているため、各種セラミックスと比較して多くの雨水を貯留することはできなかった。

2-2-3. 積算日射量と蒸発量の関係

図-4に降雨後からの日積算日射量と各種セラミックス、芝生、タンクの1日当たりの蒸発量を示す。降雨直後は1日当たり4mmから6mm程度蒸発しているが、各種セラミックスとタンクは徐々に蒸発量が少なくなっている。これは貯めこまれている雨水が徐々に少なくなっているためと思われる。毎日自動灌水が行われている芝生の蒸発量に着目してみると日積算日射量とほぼ同じ推移変動を示している。このことから日射の強い日に、より蒸発量が大きくなっていることがわかる。敷設物による蒸発速度の違いを見てみると、タンクが最も蒸発速度が早く、円柱状のセラミックスが最も蒸発速度が遅くなっている。

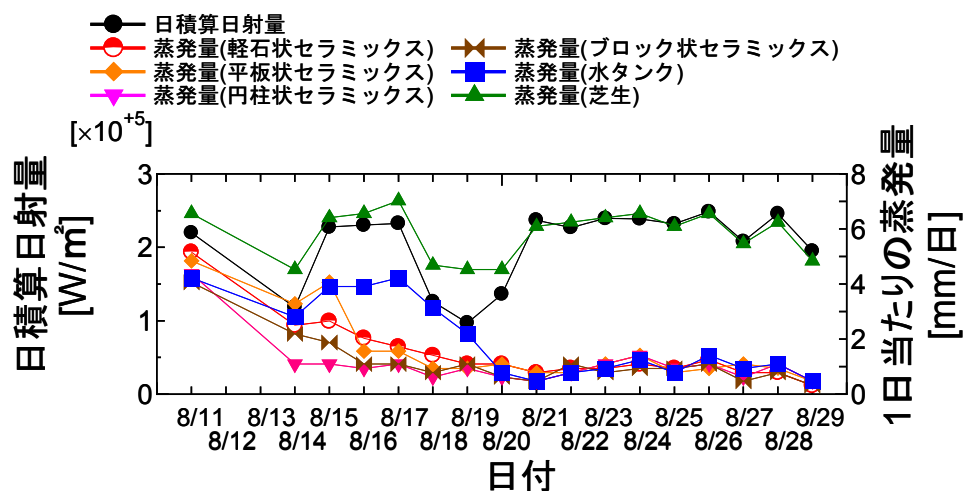


図-4 日積算日射量と1日当たりの蒸発量

3. 流出・氾濫シミュレーション

3-1. 計算条件

対象流域は江戸川区に隣接する千葉県浦安市の当代島第2排水区とする。この流域は流域面積10.27ha、人口867人の都市流域であり、地盤沈下の影響で、正常な排水処理をできない現状にある。計算に想定した降雨は東京都の降雨強度60mm/hr対応の降雨強度式を用いた。さらに降雨外力を1.1倍、1.2倍、1.3倍、1.4倍、1.5倍と増加した場合においても氾濫シミュレーションを行った。浦安市における降雨の生起確率は、1.0倍は8年、1.1倍は12年、1.2倍は20年、1.3倍は35年、1.4倍は50年、1.5倍は75年に対応する。降雨流出計算には実降雨のうち、表面流出としてマンホールや側溝に流入する流出量を求める地表面流出計算、管路内における流出過程を解析する管路流計算およびマンホールから雨水が溢れ出て湛水面積、湛水深を求める氾濫計算の3段階を統合し、土地利用形態ごとの流量を算出している。地表面流出計算は呉・山田モデルを、管路流計算は一次元不定流の基礎式を、氾濫計算は二次元不定流計算の基礎式を用いて計算を行った^{4),5)}。

3-2. 各種整備対策案の比較検討

対象流域において管渠布設替え、ポンプ場の新設および地下貯留施設の新設整備とそれらの組み合わせの整備、屋上貯留(セラミックスの敷設)の氾濫シミュレーションを行い、どの対策が最も雨水排水対策に効果的であるか比較検討を行った。屋上貯留は流域内にある屋上に対して100%、75%、50%、25%、10%に敷設し、屋上の積載荷重を考慮し敷設の厚さは30mm～180mm、実質10mm～60mmの降雨を貯留できるという条件で、それぞれ各種対策前後の氾濫浸水面積を算出した。

3-3. 費用対効果(B/Cから見た屋上貯留の効果)

被害額と整備前の被害額から整備後の被害額を差し引いた被害軽減額と降雨の確率年の結果を図-5に示す。ここで、どの対策が最も有効であるかを評価するため、各種整備対策の費用対効果を算出した。B/Cの算出方法は以下

の通りである。

$B = \{ (\Sigma (\text{整備前の被害額} - \text{整備後の被害額}) \times \text{降雨の生起確率}) \times \text{評価対象期間 (年)} \}$

$C = \text{整備費用} + \text{維持管理費}$

つまりBは、 $\Sigma (\text{整備前の被害額} - \text{整備後の被害額}) \times \text{降雨の生起確率}$ の算出により年平均被害軽減期待額を算出している。これに評価対象期間（整備施設の耐用年数）を乗じること対象期間の被害軽減期待額が算出される。被害額＝単位面積当たりの資産価値×浸水深ランク別被害率×湛水面積により算出した。Cは総費用であり、整備費用は表-2に示す通りである。毎年の維持管理費は整備費用の0.5%とした。尚、単位面積当たりの資産価値及び浸水深ランク別被害率は国土交通省河川局出典の「治水経済調査マニュアル」⁹⁾を参考にした。また、整備費用はこれにより算出された各種整備対策の費用対効果を図-6に示す。この結果より、効果的に排水対策をするためには雨水の貯留が有効であり、屋上貯留に関していえば敷設方法によっては地下貯留ほどの効果を上げることが明らかにした。

4. まとめ

本稿では、内水氾濫被害が多い都市流域での内水氾濫被害軽減のため、一時的な雨水の屋上貯留を提案し、現地実験・観測及び流出氾濫解析により評価をした。また、屋上貯留のもう1つの効果であるヒートアイランド緩和効果についても現地実験・観測により評価を行った。以下に得られた知見を述べる。

- 1) 現地実験より屋上貯留に用いたセラミックスと芝生共に雨水流出抑制、熱環境緩和両方に効果があることを示した。
- 2) 芝生には植物の生育のために毎日自動灌水を行っているため、セラミックスと比べ熱環境緩和効果が大きいのにに対し、セラミックスは芝生に比べより多くの雨水を貯留することができるため雨水流出抑制効果が大きいことを示した。
- 3) 雨水流出抑制効果について見ると、水を貯めるだけのタンクが最も雨水を貯留し、蒸発速度も最も早いいため非常に効果的であることを示した。
- 4) 日射が強い日ほど、より多くの雨水が蒸発することを示した。
- 5) 屋上貯留を行った際の氾濫シミュレーションにより費用対効果を算出し、他の整備項目と比較することによって、屋上貯留が非常に効果的であることを示した。

謝辞：本研究の遂行にあたり、「雨水流出抑制・ヒートアイランド緩和に係る研究の有識者委員会」の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：水害対策を考える
- 2) 荒川貴志，石塚丈晴，此島健男子，呉修一，山田正：都市流域における効果的な雨水排水計画の提案，土木学会第64回年次講演会講演概要集，CS11-017，pp.423-424，2009
- 3) Goward.S.N: Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island, Physical Geography 2, pp.19-33, 1981
- 4) 土屋修一，土肥学，海野修司，山田正：管路網水理解析による都市洪水流出特性に関する研究，土木学会水工学論文集，Vol.46，pp.259-264，2002
- 5) 呉修一，山田正，吉川秀夫：表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究，土木学会水工学論文集，Vol.49，pp.169-174，2005
- 6) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル，2005

表-2 各種対策の整備費用

整備メニュー	整備費用
管渠敷設替え	3.12[千万円]
ポンプ場の新設	12[億円]
地下貯留施設の新設	3.3[億円]
屋上貯留(雨水30mm貯留)	5[千円]×敷設面積[m ²]

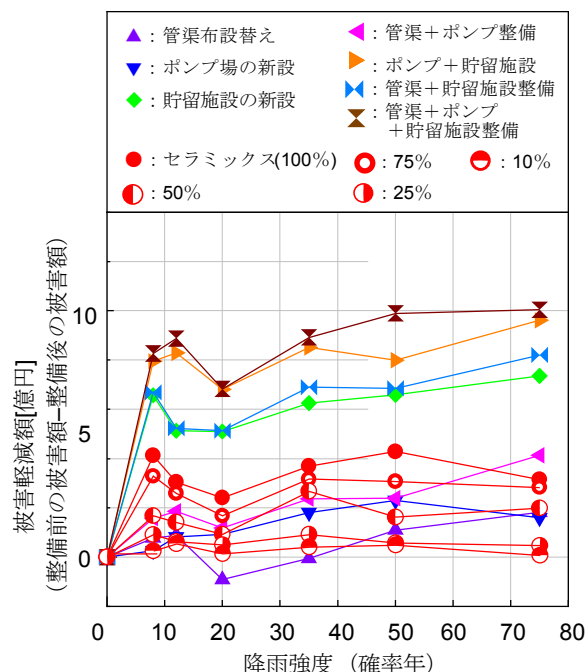


図-5 降雨規模別の被害軽減額

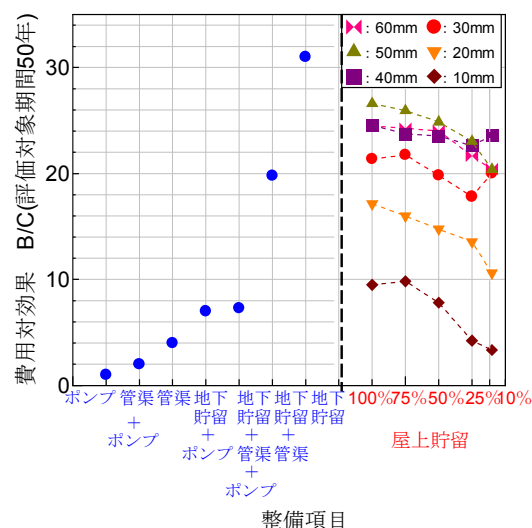


図-6 各種整備対策の費用対効果