

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題（タイトル）	雨水流出抑制と暑熱対策の両立
研究者名※	平山 由佳理
所属組織※	工学院大学 建築学部まちづくり学科 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

大林財団 2022 年度研究助成実施報告書

所属機関名 工学院大学
申請者氏名 平山 由佳理

研究課題	雨水流出抑制と暑熱対策の両立
(概要) 本研究は、自然を活用した解決策(NbS)により降った雨を公園で一時的に留め、時間をかけて浸透および蒸発散させていくことにより、雨水流出抑制と暑熱対策の両立を図ることを目的とした。全国に約 9 万箇所ある街区公園に着目し、開園後数十年経った街区公園において、土壌硬度、土壌浸透能、土壌水ポテンシャルと地表面温度の調査を行なった。その結果、ダスト舗装に草本が侵入した箇所では地表面温度の低下が見られ、また土壌表層の浸透係数が改善されたが、その下の土壌硬度は高く浸透量は多くないことから、流出抑制の効果は限定的であった。一方、植栽帯においては、日中地表面付近の水ポテンシャルが低下するものの翌朝には一部回復する現象が見られ、夜間に土壌内の水が表層に輸送されると推察された。今後、ダスト舗装においても地盤の保水力および侵入した植物の根の深さの影響等を明らかにしてゆくことで、雨水流出抑制と暑熱対策の改善に繋げていける可能性があると考えられた。	

1. 研究の目的
これまで日本の都市では、地面はなるべく舗装で固め、降った雨は短時間で排水する方針で治水対策が行われてきたが、集中豪雨の発生頻度の増加や一度に降る雨量の増加により、排水しきれない雨水が街なかで氾濫する現象が増加している。大きな都市においては地下に巨大な貯水槽を整備する対策を強化する自治体もあるが、多額の費用が発生するうえ掘削による環境への負荷も大きいことから、近年では降った場所で雨を一時的に溜める流域治水が重視されている。 一方で、現在導入されているまちなかの暑さ対策は、日射遮蔽や水の気化熱を利用したものが多く、水資源の確保は重要な課題となっている。そこで本研究では、豪雨と猛暑を繰り返す日本の気候特性を活かし、全国に約 11.3 万箇所ある都市公園、中でも約 9 万箇所ある街区公園に着目し、オンサイトで雨水を貯留して流出を抑制しつつ、表層や植物からの蒸発散を促し、暑熱対策に活用するための基礎的知見を得ることを目的とした。ただし、我が国の街区公園の多くは開園後数十年が経過し樹木等が成長している一方で、人の利用や管理の影響も受けており、現在の雨水の貯留・浸透機能については不明な点が多いことから、研究の初期段階として、本研究では街区公園内の雨水貯留・浸透機能の現状について調査を行なった。

2. 研究の経過

東京都八王子市、多摩市の公園管理者に雨水排水処理に課題を抱えている公園についてヒアリングを行なった上で、比較的小規模で、ダスト舗装と植栽帯を有する4つの公園を選定した。開園から数十年経った公園では出入り口近くに埋設された排水口に向かって水みちおよび水溜まりが形成されるケースや、ダスト舗装の上に草本が侵入する様子が見られた (Fig.1)。中でも開園から27年が経過し、降雨があると全体的に水溜まりが形成されるS公園は、ダスト舗装の上に草本が全面的に侵入していた (Fig.2)。全面的に草本に覆われていたのはS公園だけであったが、ダスト舗装上に水溜まりが頻繁に形成されることで、草本が侵入しつつある公園が他にも複数見られたことから、S公園は生態遷移の極限にあると考え^(注1)、詳細な調査を行なう公園として選定した。

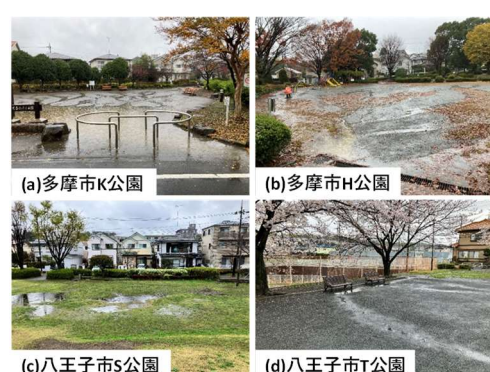


Fig.1 対象4公園の写真



Fig.2 S公園概要、晴天/雨天時の様子

測定時の写真を Fig.3 示す。第1段階として2023年6月に、4つの公園における公園全体の状況を把握するため、表面土壌硬度分布の測定を行った。第2段階として7月に、S公園において、地表面被覆別に不飽和透水係数、(以下、透水係数)と深度方向の土壌硬度の測定を行った。第3段階として10月に、水ポテンシャル(深さ10cm、20cm、30cm、ただし20cmはテンシオメーターによるpF値測定)、土壌温度(深さ1cm)、公園から下水本管へと繋がる集水枡の水位を計測した^(注2)。また全期間を通して公園から1.2km離れた建物屋上で降水量を測定した。



Fig.3 測定状況

(注1) 定期的に草刈りが行なわれる条件下での極限状態と考えた。

(注2) 排水枡の水位についてはデータに不明な点が残るため、本報の結果および考察からは除外した。

3. 研究の成果

1. 表面土壌硬度分布

表面土壌硬度は山中式土壌硬度計を用い、各地点で土壌貫入を 3 回行い（押込み深さ最大 40mm）、貫入量の平均値をその地点の硬度指数として、式(1)より土壌硬度に換算した。

$$P = \frac{100}{0.7952(40-X)^2} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、P:土壌硬度 (kg/cm²)、X:バネの縮長 (硬度指数, mm)

4 つの公園の表面土壌硬度分布を Fig.4 に、S 公園内の分布を Fig.5 に示す。全体的に植被で覆われた S 公園は土壌硬度が低いよりに分布し、ダスト舗装に草本の侵入がほぼ見られない K 公園は土壌硬度が高く、固く締まっている傾向が見られた。S 公園内は、「ノシバ」(Fig.2 地点 S-1 を含む) と、公園の外周を囲むように配置された「植栽帯」(地点 S-3 を含む) の土壌硬度は 2~7kg/cm² の範囲で分布し、萩原ら¹⁾の調査結果にある“緑が存在する土地”の範囲内であった。図面上「ダスト舗装」と表記されているエリア（現在は草本で覆われている）は 6~20kg/cm² となり、一般的なダスト舗装の土壌硬度（10~50kg/cm²）¹⁾に対して低い範囲で分布した。また、S 公園は中央の滑り台を中心として穏やかな丘状となっているが、山頂の滑り台付近は裸地となり、土壌硬度は 20~40kg/cm² と高い値を示した。滑り台の乗り降り口の土壌硬度が高いのは踏圧の影響であると考えられる。

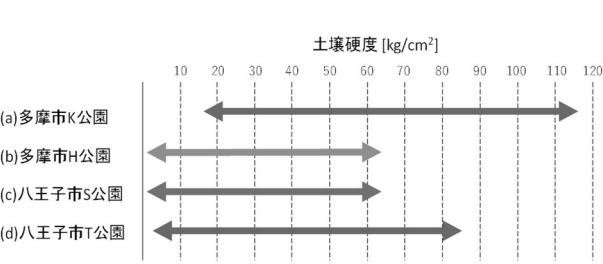


Fig.4 4 つの公園の表面土壌硬度

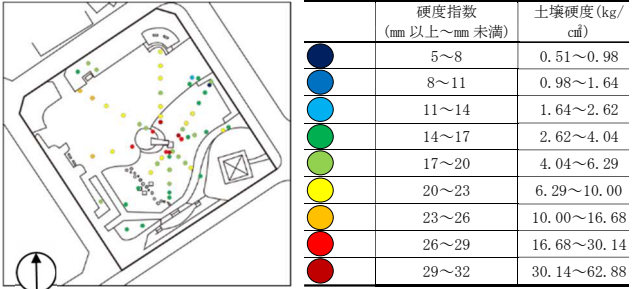


Fig.5 S 公園の表面土壌硬度分布

2. 透水係数

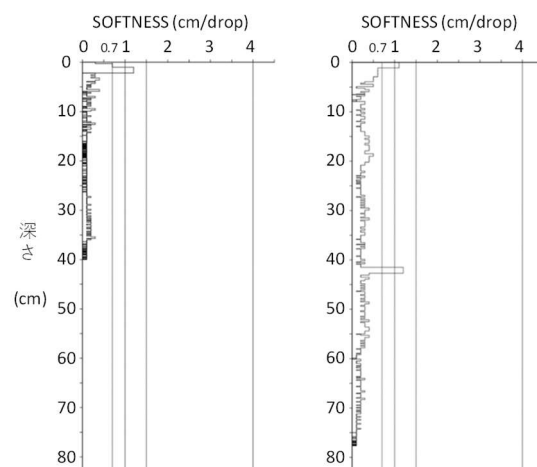
土壌表層の透水性評価にあたっては、従来の現場透水試験器に比べ持ち運びが容易かつ水の使用量が少量であることから、近年現場透水試験において使用されているインフィルトロメーターを使用した²⁾。インフィルトロメーター装置底部の焼結ステンレス製ディスクは多孔質になっており、地表面に置くことで下部チャンバーから水が地表面に浸潤していく。測定はサクション（圧力水頭, cmH₂O）を変えて 3 回行い、それぞれに対して Zhang の式³⁾より透水係数（m/h）を算出した。透水係数はノシバが最も大きい、続いてダスト舗装、植栽帯の順となった。地点 S-2 のダスト舗装の透水係数は一般的なダスト舗装の値（0.01~0.05 m/h）¹⁾より高いが、これは草本の侵入による影響が考えられる。地点 S-3 の植栽帯の透水係数は“緑が存在する土地”の透水係数（0.01~0.20 m/h）に対し小さめの値ではあるが、“緑が存在する土地”ではばらつきが大きいこと、また今回は植栽帯の中でも開けているところ、つまり踏圧の影響を受けている可能性がある箇所測定したことやや小さい値となったと考えられた。

Table1 S 公園の透水係数 (m/h)

地点	用途	Suction 1	Suction 2	Suction 3
S-1	ノシバ	0.487	0.209	0.309
S-2	ダスト舗装	0.083	0.075	0.083
S-3	植栽帯	0.046	0.046	0.080

3. 深度方向の土壌硬度

深度方向の土壌硬度は、落錘を一定高さ（50cm）から自由落下させ、貫入コーンを土壌に貫入させる長谷川式土壌貫入計を用いた。貫入作業を 200 回、もしくは貫入深 0.1cm が連続しそれ以上の貫入は望めないと判断し作業を中断するまでの結果を記録した。Fig.6 より、地点 S-2 のダスト舗装は、表層約 2cm までは柔らかいがその下の土壌は固いこと、地点 S-3 の植栽帯は、表層から 77cm の深さまで柔らかい土壌が断続的に見られる結果となった。



地点 S-2：ダスト舗装 地点 S-3：植栽帯

Fig.6 深度方向の土壌硬度

4. 土壌の水ポテンシャル

水ポテンシャルは単位体積あたりのポテンシャルエネルギーであり、浸透圧、重力、圧力、毛細管現象によるマトリック効果によって、水が移動するための駆動力を示す。水ポテンシャルの経時変化を見ると、降雨前、水ポテンシャルはダスト舗装より植栽帯の方が低く、またダスト舗装も植栽帯も表層に近い 10cm 深の方が 30cm 深より低い状況であった (Fig.7(a))。Fig.3(d)と(e)の土壌の様子に見られるように植栽帯の方が植物の根が多く、根による吸水によって水ポテンシャルが早く低下したものと考えられる。

10 月 8 日 20:20 から雨が降り始めると、ダスト 10cm 深、植栽帯 10cm 深、ダスト 30cm 深、植栽帯 30cm 深、の順に飽和域に達した。本結果より、植栽帯よりダスト舗装の方が雨水の浸み込み速度は速いが、浸み込み量は植栽帯の方が多いため、飽和域に達するまでの時間が 2 時間 40 分遅く、この時間が植栽帯による雨水の流出抑制効果になると考えられた。これは深度方向の土壌硬度の結果で植栽帯の方が柔らかい、つまり間隙を多く含むことに関係していると考えられる。

10 月 15 日に降水が終了すると、4 日後の 10 月 19 日以降、植栽帯 10cm 深、ダスト 10cm 深、植栽帯 30cm 深、ダスト 30cm 深の順に水ポテンシャルが低下した (Fig.7(b))。降水前と同様、土壌の間隙からの蒸発と植物の根の吸水による蒸発散のためと推察された。この時、テンシオメーターで測定した 20cm 深の pF 値も穏やかに低下したが、1 日の中で複数回記録した 10 月 23 日-25 日にかけて、午後に低い値となるものの翌朝には pF 値が 0.2 程度上昇する様子が確認された。

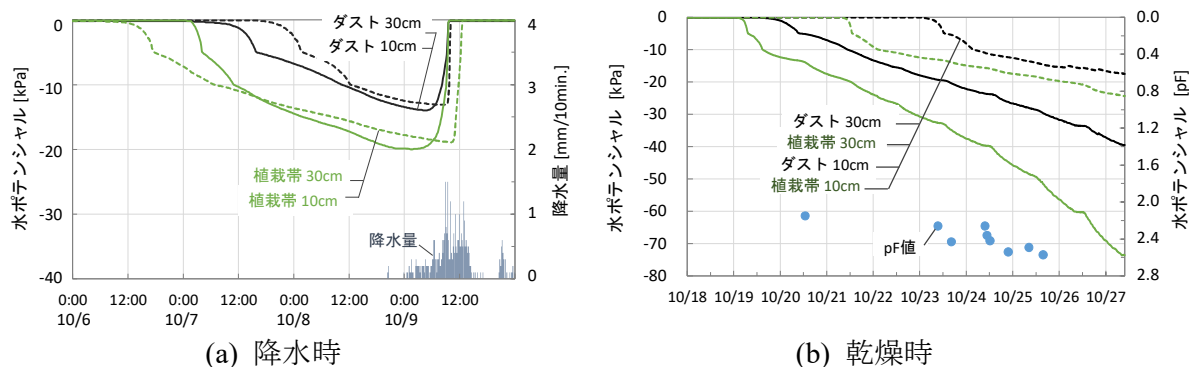


Fig.7 降水量と水ポテンシャル

5. 土壌温度

Fig.7 の期間を含む 10 月 5 日～10 月 27 日までの降水量と土壌温度の経時変化を Fig.8 に示す。測定部分は植被を取り除き、土壌表面を整えた状態で測定した。降雨前、そして降雨終了後 3 日目あたりから、日中の土壌温度はダスト表面の方が植栽帯の表面より 3℃ほど高くなる傾向が見られた。

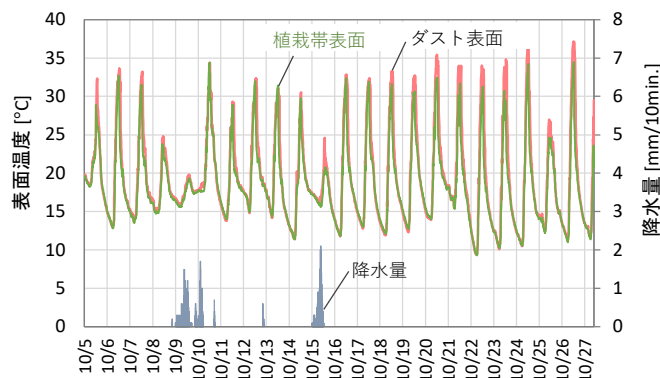


Fig.8 降水量と地表面温度

6. 土壌硬度、水ポテンシャルと土壌温度の関係に関する考察

土壌温度の測定期間中は、日最高気温が 17～28℃と低く、地点間の温度差は大きくなかったが、降雨終了後 3 日目あたりからダスト舗装表面の温度が植栽帯より高くなる傾向が見られたのは、Fig.7(b)で土壌の水ポテンシャルが低下し始める時期に近い。このことから、土壌内の水ポテンシャルの低下により蒸発散量が減少したことが一因となったと考えられる。今後より気温が高い時期に測定することで、降雨後の土壌の表面温度低減効果を明らかにしていきたい。

さらに、前述した通り 10 月 24 日（降雨終了から 1 週間後）頃の pF 値が、降水がないにもかかわらず翌日の朝に上昇した傾向が見られたが（Fig.7 (b)）、これは日中の蒸発散により低下した土壌表層に、夜の間の下層より水が移動している可能性があると考えられ、円井ら⁴⁾が保水性ブロックで確認した「濡れ戻り」と同様の現象が起きていると推察された。

また Fig.9 のように水みちに沿って侵入した草本が表面温度を下げる効果が明らかである一方で、S 公園の草本で覆われたダスト舗装の中でも土壌硬度が高く、植被が薄い（草本の種類が異なる）部分では、周辺の草本に覆われていた部分との間で 6℃程度、表面温度に差が見られた（Fig.10）。土壌硬度と植生の関係もまた土壌温度に影響を与えると考えられることから、今後も雨の降り方や気温、日射量が異なる期間の測定データを蓄積、整理し、雨水流出抑制と暑熱対策の両立に向けた重要拠点として、街区公園内の対策手法の検討を継続してゆく。

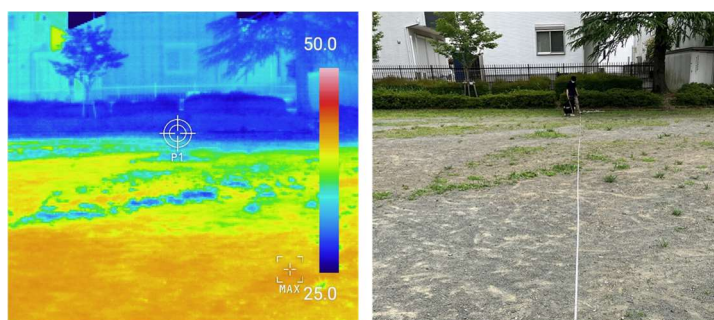


Fig.9 H 公園内の草本の侵入と表面温度（6 月 8 日 11:30）

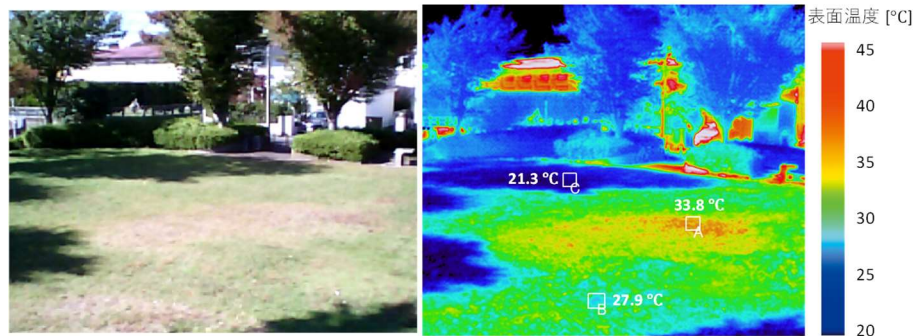


Fig.10 S公園内ダスト舗装の地表面温度分布（10月24日 12:15）

参考文献

- 1) 萩原崇, 大塚理人: 緑地の新たな保水性評価手法について-表面土壌の簡便な透水係数調査法の提案-, 水循環 貯留と浸透, vol.118, 42-46, 2020
- 2) 小川大輝, 酒匂一成, 伊藤真一: 携帯型ミニディスクインフィルトロメータによる現場透水係数の推定に関する一考察, 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 97-102, 2020
- 3) R. Ahang: Determination of Soil Sorptivity and Hydraulic Conductivity from the Disk Infiltrometer, Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.55, 633-639, 1991
- 4) 円井基史, 梅干野晃, 浅輪貴史: 毛管吸水性能を有する保水性舗装の含水状態と表面濡れ状態を考慮した熱・水収支モデルの開発その3, 日本建築学会環境系論文集, 75, 577-584, 2010

4. 今後の課題

本研究は、開園後数十年経った街区公園内の土壌硬度、雨水浸透能および地表面温度について調査を行なった。中でも、全国に約9万箇所ある街区公園に着目し、雨水流出抑制と暑熱対策の両立を図る一案として、ダスト舗装への草本の侵入効果について評価した。結果、草本が侵入した箇所では地表面温度の低下が見られ、また土壌表層の浸透係数は改善されたが、その下の土壌硬度は高く浸透量は多くないことから、流出抑制の効果は大きくなかった。ダスト舗装上に水溜まりが形成される箇所についても水深は数mm程度であり一時的な流出抑制とはなるが、数十mm/hという集中豪雨のオーダーに対しては小さく、やはり流出抑制においては浸透機能の改善が重要であると考えられた。

一方、植栽帯においては、日中地表面付近の水ポテンシャルが低下しても明け方には部分的に回復する現象が見られ、夜間に土壌内の水が表層に輸送されると推察された。今後、ダスト舗装においても地盤の保水力および侵入した植物の根の深さの影響等を明らかにしてゆくことで、雨水流出抑制と暑熱対策の改善に繋げていける可能性があると考えられた。