

特集 「技術研究所再整備」

底面給水システムによる緑化舗装「打ち水グラスパーク」

杉本 英夫 赤川 宏幸

Development of Greening Pavement – “UCHIMIZU GRASS PARK” –
by Underground Irrigation with Textiles

Hideo Sugimoto Hiroyuki Akagawa

Abstract

A greening pavement system –“UCHIMIZU GRASS PARK”– has been developed. This system is a modified version of previous greening systems and is suitable for use in car parks. The performance of the underground-irrigation equipment used in this system is investigated at small-scale test fields in north Saitama in order to clarify the effects of the greening pavement system on the mitigation of urban heat islands. Weather conditions and various meteorological variables, surface temperatures, moisture levels, and soil temperatures were determined. Surface temperatures were also measured using an infrared camera. The results are summarized as follows. 1) Surface temperatures of the greening pavement were significantly lower than those of asphalt pavement. 2) The underground-irrigation system adequately distributed water within a range of 2 m from the water supply pipes and maintained soil moisture levels that were suitable for plant growth even during dry summer periods. 3) One issue that needs to be addressed is further optimization of the amount of water to be supplied.

概 要

筆者らは、舗装面で緑地を増やすため、駐車場や道路を緑化舗装する技術を開発した。本研究では、底面給水システム稼働時の灌水管理の状態と熱環境の緩和効果を明らかにするため、ヒートアイランドの影響を受けている埼玉北東部地区の工場団地内に設けた小規模試験体を利用して調査を行った。調査は2年間行い、気象、土壌水分と温度、舗装面の温度測定および熱画像撮影を行った結果、次のことが分かった。新規に開発した給排水システムによって、1)緑化舗装は、アスファルト舗装に比べて表面温度が10℃以上低下した。2)高気温時の夏季で、点滴灌漑パイプの給水点から延長2mに渡り、植物に有効な水分を供給できる。3)今後の課題は、灌水量を低減するなどの技術改良である。

1. はじめに

緑地は都市のヒートアイランド現象の緩和に有効とされる。とりわけ、人の健康に配慮する視点から、体感温度に影響する輻射熱を制御する対策が、道路や駐車場等のアスファルト舗装でも進んでいる。最近、こうした問題の解決策の一つとして、居住地域の屋外にクールスポットを形成するため、シバなどの植物を使う緑化舗装の採用が増えている。一方、緑化舗装は、植物を健全な状態に保つために、灌水の不足や車両の通行に伴う踏圧への対策などの課題がある。

筆者らは、地面からの蒸発による熱的環境緩和に関する研究を進め、底面給水システムによる湿潤舗装の技術を開発している¹⁾。上述の課題を解決し駐車場に適した様式で、総重量2トン以上の中・大型車の踏圧にも対応した緑化舗装である。本研究ではその試験体を造り、熱環境緩和効果と土壌水分特性を確認した。ここでは、夏季の日中に高温が記録されることが多い埼玉北東部地区にある工場団地内に設けた小規模試験体について、2008年7月～8月および2009年7月～8月に行った夏季の調査結果を報告する。

2. 緑化舗装システムの概要

2.1 本開発技術の特徴

Fig.1に緑化舗装システムの断面図を示す。後に示すような従来型と異なり、駐車場の車路を含めた全域で植物が生育できるように、システムに土壌を使用している。植物やブロック表面から水が蒸発するので、舗装面が打ち水と同様の効果で冷えるため、ヒートアイランド対策に役立つ。

路盤に開粒アスファルト層を設ける構造なので、透水性舗装と同様に雨水浸透性がある。これにより、植物の根圏環境を良好にして、地下水の涵養、設計許容量を超えた豪雨時などに起こる道路の水没抑制等の効果が期待できる。

ただし、Photo1に緑化舗装の表面を示すように、大型のコンクリートブロックを採用し車両のタイヤで植物がつぶされることのないように緑地面積を制限している。

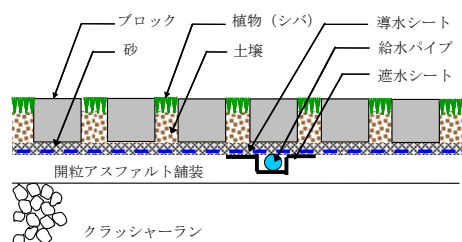


Fig. 1 駐車場仕様の断面
Cross Section of Watered Grass Car Park

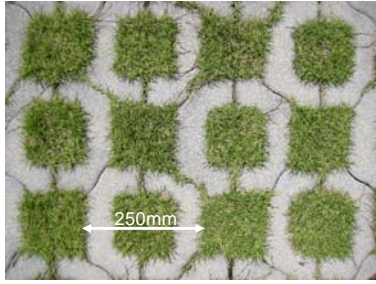


Photo 1 シバ舗装駐車場の表面
Surface of Watered Grass Car Park

2.2 従来技術の問題点

Table1に緑化舗装の比較を示す。緑化舗装では、植物を枯らさないために、植物を保護する対策を行う。対策には、植物の根を保護する資材を土に混ぜる土壌改良型、植物の葉を含めて構造体で保護する補強型がある。駐車場に採用される例は、歩行や車の通行を目的とするため、補強型が大半を示す。補強型は、土壌層厚が5~10mm程度で、その下層は締め固められて非常に透水性が悪い状態になるため、植物の生育は強い制約条件の下に置かれる。

Fig.2に従来技術の適用状況を示す。敷設場所は工事現場の集会場所で、一部は駐車場として利用されており、ほぼ毎日人が利用するという状況であった。大勢の人が利用した場合でも、舗装面での凹凸や穴の発生はなく舗装の機能は維持した。しかし、供用開始半年後には植物が衰退してしまった。こういった状況は、これまでの緑化舗装の現場で多く見られる。

Fig.3に従来技術の問題点を示す。従来の緑化舗装では車を止める場所に採用されることが多い。車が停車する部分は日陰になるので表面は熱くならないが、雨が降かからず植物の生育に必要な光と水の条件がよくない。また、舗装の表面を被う保護材の下は締め固められていて、透水性が非常に悪く、土壌の量が制限されるので根の生育環境として望ましくない。そのため、緑化舗装を施された駐車場の利用頻度が高い状況下で、強いストレスが与えられると、植物は急速に衰退する。

これら従来技術の問題点を解決するためには、1)土壌の水分条件、2)日照の条件、3)透水性の条件を改善する必要がある。こうした点を改善するため、2.1に述べたような仕様の新たな緑化舗装を開発することになった。

3. 測定条件

3.1 試験地の概要

試験体は、埼玉県久喜市の大林道路株式会社 機械センターの駐車場に設けた。この場所は工業団地内にあり、市街地と水田などの緑地が混在している。試験区を造成した2007年はいわゆる猛暑の夏で、8月には熊谷市がその夏最高の40.9℃を記録した。その時、久喜市では38.9℃であった。地域全体では高気候化が進み、過去20年間で熱帯夜日数が倍増している²⁾。

Table 1 緑化舗装の比較
Comparison of Greening Pavements

項目	土壌改良型		補強型	
	表層	締め固まり抑制材 踏圧軽減材 木材等	インターロッキングブロック プラスチック製マット 木材等	ポーラスコンクリート 金属メッシュ等
断面材料	クラッシュヤラン相当	砂	砂	砂 導水テキスタイル* 開粒アスファルト
		クラッシュヤラン相当	クラッシュヤラン相当	クラッシュヤラン相当
駐車条件	一般車両 (乗用車)			一般車両 (トラックも含む)
車輛走行	×	×	△	○ 大型バスも可
適用場所	駐車場 (駐車区画)		駐車場 (場内車路)	駐車場 構内道路

※「大型コンクリートブロック」が打ち水ガラスパークの仕様で、*印は底面給水システム材料



Fig. 2 従来技術の適用状況
Examples of Degradation of Past Greening Pavement



Fig. 3 従来技術の問題点
Problems with the Past Greening Pavements

3.2 試験の概要

測定の目的は、給水システムによる土壌水分の制御状況、および表面の温度低減の性能を調べることである。

Table2に試験区の概要を示す。試験体の緑化植物はコウライシバで、市場で流通する一般種と草丈が低い改良種(TM-9)を栽培した。土壌は黒土で、火山灰土に由来する関東地方の畑土に相当するものを使用した。土壌の層厚は80mmに設定することで、100mm厚の緑化ブロックに車のタイヤが載る場合でも、植物が踏まれない状態にできる。

Fig.4に試験区の全景を示す。敷地全体はアスファルト舗装で被われている。南面に2階建ての建物があるが、試験体への日当たりはよい。

Table3に測定条件、Table4に試験ブロックの保水性能を、Fig.5に試験区画をそれぞれ示す。1区画7.8m²で、合計5区画39 m²である。ブロックはコンクリート製で、標準タイプが密粒構造で非保水性であり、保水タイプおよび透水タイプが多孔質構造である。地面の勾配は1/100で、勾配の上流側に給水パイプを設置した。測定は、2008年7月～8月および2009年7月～8月の2つの期間行った。灌水は、給水時間で制御して6時～6時30分と18時～18時30分の2回に分けて行い、給水量は毎日5.7l/m²である。

表面温度の計測には熱電対を使用し、記録は10分間隔で行った。土壌水分はテンシオメータを用いて計測した。給水パイプから距離0.7mと2mの位置に設置し、ポーラスカップ部を深度5cmに埋めた。記録は10分間隔で行った。気象要素は、基本的に気象ステーションで測定し、データは10分間の平均値を記録した。

Table 2 試験区の概要
Outline of the Test Site

測定期間	2008年7月31日～8月6日 2009年7月7日～9月11日
測定場所	大林道路株式会社 機械センター (埼玉県久喜市)
試験体	施工年月 (2009年5月 シバ種変更と保水性ブロックを追加)
	面積 1試験区7.8m ² × 5, 計39m ²
	ブロック 緑化ブロック t=100 (東洋工業製)
	植物 コウライシバ (改良品種TM-9, 2009年～)
	土壌 黒土 (畑地の表土相当・黒ぼく土)
用途	構内駐車場として供用 (測定中は不使用)
給水量	5.7kg/m ² day (実効値)
給水時間	6:00～6:30, 18:00～18:30

4. 測定結果

4.1 ブロック舗装の温度変化

2008年7月～8月の測定結果として、Fig.6に風向風速・気温・相対湿度・降水量・日射量を示す。データは、2008年8月12日～15日の測定値である。この間、晴天が続き、最高気温35℃を示し、8月15日までの過去5日間の降水量は1mm以下であった。

Fig.7にブロック表面の温度変化を示す。ブロック表面の日最高温度は、8月14日で給水なしの場合、②標準タイプ



Fig. 4 試験区の全景
Test Site

Table 3 測定条件
Measurement Conditions

年	測定要素	試験区	測定高さ	測定器 (型式, メーカー)	サンプリング 間隔	平均化 時間
2008	ブロック表面温度	①～⑤	GL	熱電対 (タイプ φ0.32mm)	10min	-
	植栽根元温度		GL			
	クッション砂温度		-110mm			
	アスファルト表面温度		GL			
	土壌水分ポテンシャル		-70mm			
	温湿度	-	2m	テンシオメータ (大起理化, DIK-3023)	1s	10min
	風向風速 (超音波)	2m	自動気象ステーション (Vaisala, WXT510)	0.25s		
	日射量	GL	全天日射計 (Kipp&Zonen, CM3)	10min		
2009	ブロック表面温度	①～⑤	GL	熱電対 (タイプ φ0.32mm)	10min	-
	植栽根元温度		GL			
	クッション砂温度		-110mm			
	アスファルト表面温度		GL			
	土壌水分ポテンシャル		-			
	温湿度	-	1.2m	自動気象ステーション (Vaisala, MAWS201)	10s	10min
	風向風速	2m	1s			
	日射量	1m	10s			

Table 4 試験ブロックの保水性能
Water Holding Capacity of the Test Blocks

ブロック種類	試験区	気乾かさ密度 (g/cm ³)	保水量 (g/cm ³)	30分後 吸上げ高さ
標準	①②	2.08	0.137	14%
保水	③④	1.87	0.181	63%
透水	⑤	1.97	0.132	23%
保水性インターロッキングブロック	-	-	0.15以上	70%以上 コントロール 品質規格による規格値

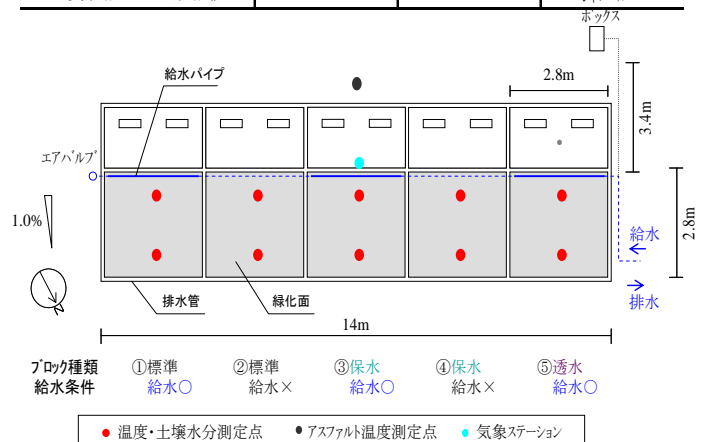


Fig. 5 試験区画
Model of Test Site

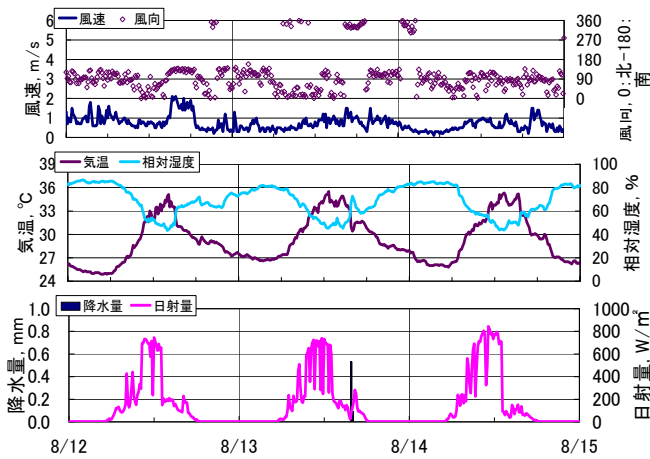


Fig. 6 風向風速・気温・相対湿度・降水量・日射量
Temporal Variations of Wind, Temperature, Humidity, Precipitation, and Incident Solar Radiation

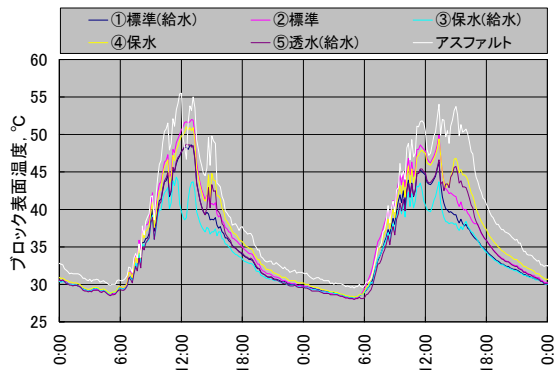


Fig. 7 ブロック表面の温度変化 (8/14-15)
Temporal Variations of the Block Surface Temperatures

が51.9℃、④保水タイプは50.9℃を示しいずれも、アスファルトの表面温度55.5℃との差は約5℃と小さかった。標準タイプは、水が移動する範囲は土壌だけなので、給水なしの条件ではブロック枠内の土壌は乾いてしまう。そこで、ブロックの表面温度はアスファルトの表面温度に近づき50℃以上を示したと考える。一方、給水ありの場合、①標準(給水)で49℃、③保水(給水)で44℃を示した。保水タイプでは、水が移動する範囲はブロックと土壌の両方になるため、ブロックの表面温度は土壌の温度に近づいたと考える。これの値は、アスファルトやブロックの給水なし条件に比べて7℃以上も低く、この傾向は他の日も同様であった。そこで、ブロックを使用した緑化舗装は温度を下げる効果があること、ブロックから蒸発量が増えればさらに温度を低下させられることを確認できた。

Fig.8に植栽土壌中の温度変化を示す。土壌の日最高温度は、8月14日で給水なしの場合、②標準タイプが49.5℃、④保水タイプは47.2℃を示し。一方、給水ありの場合、①標準(給水)で42℃、③保水(給水)で45℃を示し、保水した。8月14日の③保水(給水)で43℃、④保水で47℃を示した。そこで、給水がない場合は、保水タイプの方が標

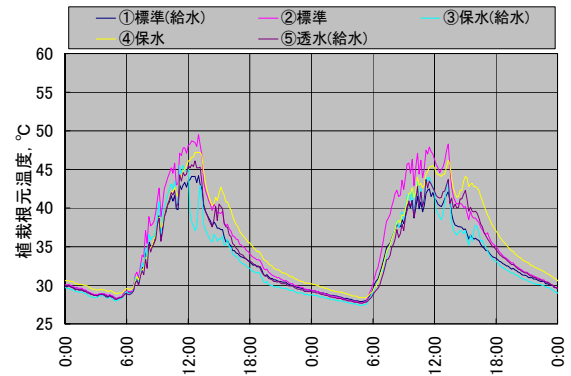


Fig. 8 植栽土壌中の温度変化 (8/14-15)
Temporal Variations of the Block under Temperatures

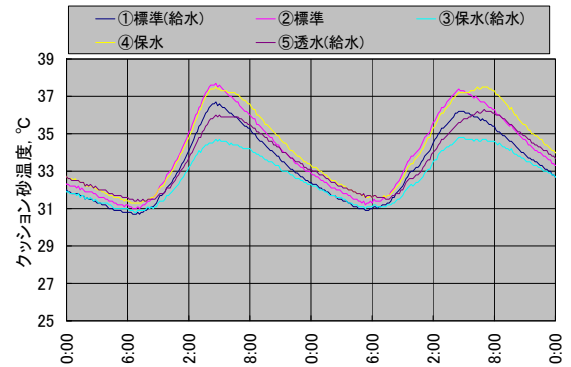


Fig. 9 ブロック下面の砂の温度変化 (8/14-15)
Temporal Variations of the Block under Temperatures

準タイプより温度を低下させられること、給水がある場合は、その逆になることを確認した。この原因は、土壌の温度変化の傾向が、ブロック表面の温度変化と似ていることから、ブロック内の水を介して、土壌に熱が伝わったと考える。これは、保水タイプの保水量が標準ブロックと同程度であるが、30分後の給水高さは4倍あり、ブロック内の水の移動は容易であることが関係している。

Fig.9にブロック下面の砂の温度変化を示す。砂の日最高温度は、8月14日で給水なしの場合、②標準タイプが37.7℃、④保水タイプは37.5℃を示した。そこで、給水がない場合は、ブロックの種類による砂の温度差がわずかであることが分かった。一方、給水ありの場合、①標準(給水)で36.7℃、③保水(給水)で34.7℃を示した。給水ありとなしを比較すると、③保水(給水)と④保水の差は約2℃であった。そこで、給水がある場合は、保水タイプの方が標準タイプより温度を低下させられることを確認できた。

Fig.10に標準タイプ区の温度比較、Fig.11に保水タイプ区の温度比較をそれぞれ示す。アスファルトの表面温度は、毎日50℃以上を示し、8月17日に降水の影響で下がった。標準タイプの表面温度は、給水がある条件でも50℃を示すが、保水タイプは44℃以下を保った。この時、保水タイプの温度低減効果は、ブロック下面のクッション砂の温度に強く現れた。標準タイプの砂の温度は、給水ありと給水なしの条件では差が僅かで、晴天が続いた8月12日から16日までの期間で最低温度は2℃高くなった。一方、保水タイ

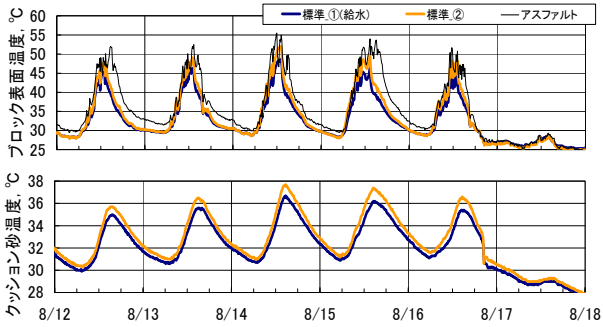


Fig. 10 標準タイプ区の温度比較 (8/12-18)

Temporal Variations of the Normal Block Temperature

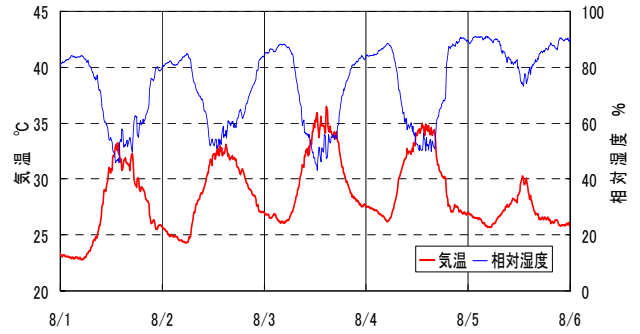


Fig. 12 気温・相対湿度

Temporal Variations of Temperature, Humidity

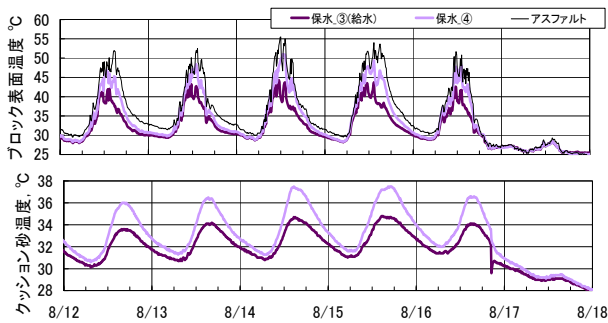


Fig. 11 保水タイプ区の温度変化 (8/12-18)

Temporal Variations of the Wet Block Temperatures

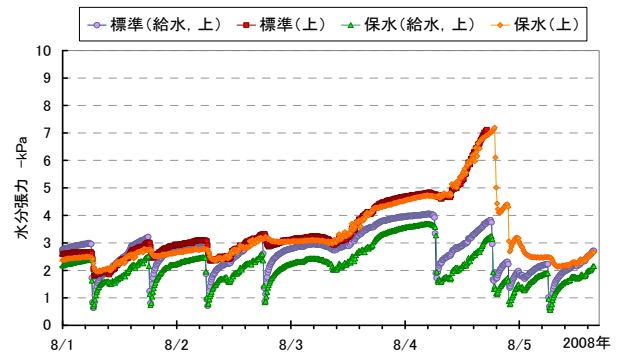


Fig. 13 給水条件下の土壌水分張力の比較

Comparison of Soil Moisture in Irrigation

ブの温度は、給水ありの方が給水無しの条件に比べて2°C低く、晴天が続いた期間の最低温度は1°C高くなった。そこで、保水タイプは蓄熱が進みにくいことが確認された。この結果より、緑化を組合せたブロック表面は、温度が低くなることが分かった。ブロックの種類による比較では、保水タイプの方が標準タイプより温度を下げる効果が高く、その差が7°C以上ある。そして、保水タイプでは、土中への熱の伝搬が小さくなり、蓄熱は進みにくいと考えられる。

4.2 緑化面の土壌水分変化

4.2.1 2008年7月～8月の測定結果 Fig.12に気温・相対湿度を示す。8月1日～4日の期間、晴天が続き、8月3日に最高気温36.5°Cであった。夜間も気温が高く、最低気温が25°C以上であった。8月5日の最高気温は、降水の影響で日照が少なかったため30°C、最低湿度も73%であった。アメダス(久喜)より、降水量は3.5mmであった。

Fig.13に土壌水分の給水状況の比較を示す。図は給水パイプから近い方の、距離0.7mの位置にあるテンシオメータの値である。土壌水分は、水分張力を表す負圧(吸引圧)で示し、水分張力の値が-1kPaより低いと過湿、-100kPaに近いと乾燥の影響が懸念される。晴天が続いた8月1日～4日と降水があった8月5日以降の水分張力は、いずれも-1～4kPaの範囲であり、植物の生育に支障がない湿潤状態を示した。しかし、給水なしのケースでは、最高気温を記録した8月3日から降水があった8月5日までの間に、水分張力が-7kPaまで高くなった。また、標準タイプと保水タ

イプの水分張力を比べると、給水の有無によらずその差は僅かであった。

この結果より、給水ありのケースでは晴天が続いても湿潤状態を保つことができること、湿潤条件下ではブロックの違いの影響が小さいことが分かった。

4.2.2 2009年7月～8月の測定結果 Fig.14に日降水量と土壌水分の変化を示す。データは、2009年7月14日～24日の測定値である。降水量はアメダス(久喜)による。この間は、土壌への給水が期待できる降水量は7月24日の12mmのみであった。

水分張力は、給水ありの場合-3～-6kPaを示し、植物の生育に適する湿潤状態であった。一方、給水無しの場合、水分張力の最高値は7月21日に記録し、②標準タイプが-6kPa、④保水タイプは-37kPaを示した。この結果、夏季の高気温が一週間以上連続すると、給水がない緑化舗装の植物は、非常に強い水ストレスを受ける可能性のあることが分かった。このことから底面給水システムの利用は、緑化舗装に有効であることが確認できた。なお、給水がない条件で、保水タイプが標準タイプより乾燥が進まなかった原因は、ブロックから土壌に水が移動したためと考える。その様子をFig.15の水の動きに示す。

Fig.16に土壌の水分特性曲線を示す。この図を用いると、水分張力から土壌の保水量を求められる。土壌の保水量が最も低下した条件は、給水なしの標準タイプで体積含水率 $0.47\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ であった。この状態では、土の空隙の半分が水で占められている。植物はストレスを受けるが、土壌から

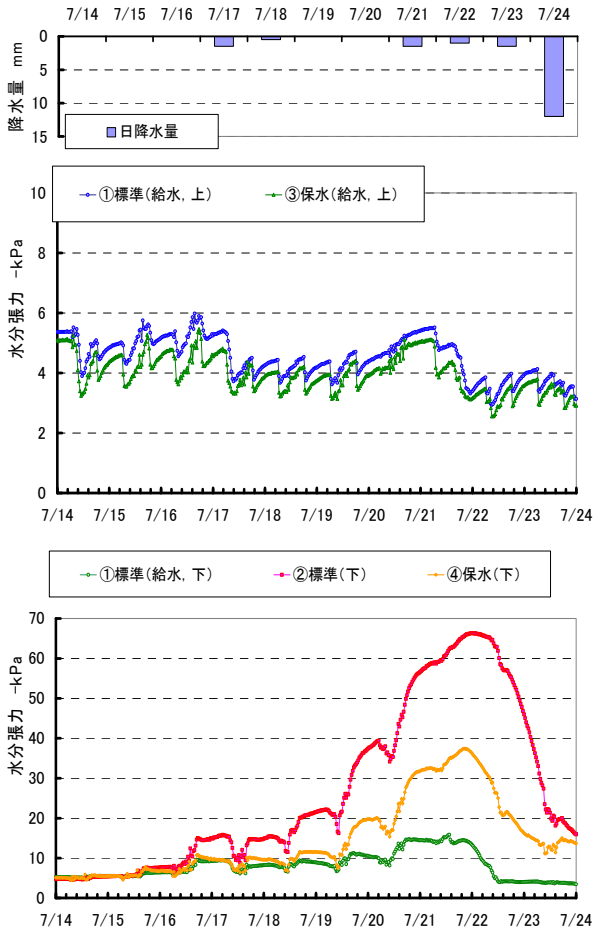


Fig. 14 降水量と土壤水分張力
Comparison of Soil Moisture in Irrigation and Rain

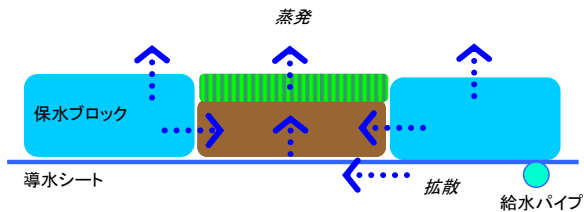


Fig. 15 水の動き
Movement of Water

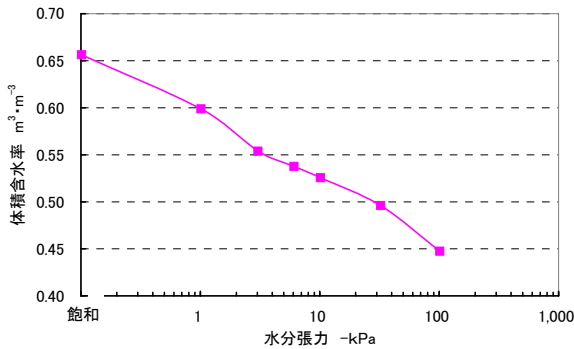


Fig. 16 土壤の水分特性曲線
Soil Water Characteristic Curve

水を得られる状態である。芝地の蒸発量は、底面給水システムの場合の目安として、貯水方式で約 $4\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ の観測例がある⁷⁾。今回の給水量 $5.7\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ はこれに比べると多いため、さらに給水量を減らすことが可能と考える。

この結果より、今回の観測で底面給水システムがブロックの性能を引き出せることが分かった。しかし、給水量の設定には課題があることが分かった。実用的なシステムとして完成させるためには、植物の生育状況を観察して適切な条件をする明らかにする必要がある。

5. まとめ

本報では、2008年と2009年の夏季に測定した温度変化と土壤水分の結果を報告した。

底面給水システムによる緑化舗装は、アスファルト舗装に比べて表面温度が 10°C 以上低下した。保水タイプのブロックは、その内部を水が移動するため、表面を効率よく冷やして、植栽土壌中の水分を適切な状態に保つ効果が高いことが分かった。

今後の課題は、植物の生育観察に基づく適切な給水量の設定など維持管理に係わる技術改良である。

謝辞

本研究の実施にあたり、大林道路株式会社と東洋工業株式会社より多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 赤川, 小宮: 表面を連続的に湿潤できる舗装体に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, 第530号, pp.79~85, 2000.4
- 2) 環境部温暖化対策課, 環境科学国際センター: 平成19年度ヒートアイランド現象対策事業報告書, 2007
- 3) 環境部温暖化対策課, 環境科学国際センター: 平成20年度ヒートアイランド現象対策事業報告書, 2008
- 4) 環境部温暖化対策課, 環境科学国際センター: 平成21年度ヒートアイランド現象対策事業報告書, 埼玉県, 2009
- 5) 杉本, 赤川: 底面灌水によるシバ舗装駐車場の土壌水分特性, 農業農村工学会, 大会要旨集, pp.110~111, 2010
- 6) 杉本, 赤川: 底面給水システムによる緑化舗装の熱環境に関する研究 夏季のブロック舗装表面の温度と緑化面の土壌水分, 日本建築学会, 大会要旨集, pp.841~842, 2010
- 7) 三小田憲司: 軽量盛土を用いた屋上芝生植栽の熱環境緩和効果に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第2号, pp.116~119, 1996.3