

湿潤舗装システム「打ち水ペープ」の開発（その1）

—— プロトタイプによる蒸発性能と熱的性能の評価 ——

赤川 宏 幸 小宮 英 孝
齋藤 隆 雄 宮川 保 之

Development of Wet Pavement System "UCHIMIZU-PAVE" (Part 1)

—— Evaluation of Evaporation Efficiency and Thermal Performance ——

Hiroyuki Akagawa Hidetaka Komiya
Takao Saito Yasuyuki Miyagawa

Abstract

Evaporative cooling on pavement has recently been developed in order to reduce the heat in summer in outdoor spaces. In this Wet Pavement System (UCHIMIZU-PAVE) all materials have capillary ability. Stored rain water is used and no motive power is required to supply water to the system. Appropriate bricks and a spun bond which have capillary ability are chosen. These materials suck up and spread water efficiently and wet the whole surface. The results of measurements in summer show that the wet surface is 10 degrees cooler than the dry surface, and more than 25 degrees cooler than asphalt surface. Water supply through the materials continues for several days. The results of measurement of the heat balance at the surface and construction of a 4m x 16m demonstration mock-up model are also introduced.

概 要

夏季における屋外の熱環境を改善する方法として、舗装表面からの蒸発効果を利用し、路面温度を下げる方法が挙げられる。ここで提案する湿潤舗装システム（打ち水ペープ）は、すべての構成材料について毛細管現象（揚水性）を利用したものである。すなわち無動力で自然給水できることと、雨水等を一時貯留して利用することを特徴としている。システムに最適な舗装材としてレンガを、導水材として不織布を選択した。1 m 角の試験体を用いて夏季に行った測定の結果、給水した状態の舗装表面温度は給水しない場合と比べて約1.0℃、アスファルトと比べて2.5℃以上低かった。また晴天日が続いても揚水性能は維持されることも確認した。秋季には3 m 角の試験体を用いて舗装表面の熱収支を測定した。また実際の舗装としての機能を評価するために、4 m × 16 mの実証モデルを施工したので併せて紹介する。

1. はじめに

舗道や公園、アミューズメント施設などの人が歩行したり、長時間滞留したりする場所では、夏の日射や照り返しによる暑熱環境が問題となる。街路樹等の樹木は日射を遮るためには効果的ではあるが、開放感の阻害と落ち葉などメンテナンス上の問題が残る。そこで、日射によって日中高温となる舗装表面の温度を下げるため、蒸発冷却効果を利用する方法が挙げられる。これまで、定期的な散水による方法や、舗装ブロックを改良し、ブロック内部により多く保水させて蒸発効果を継続させる方法などが研究されてきた^{1)~3)}。今回提案する湿潤舗装システムは、構成材料の毛細管現象を利用して、継続的、かつ無動力で舗装表面へと導水することを特徴としている。また貯留してある雨水を有効に利用し、蒸発冷却に必要な最小限の水量で「打ち水効果」を発揮できる経済的なシステムである。

2. 湿潤舗装システムの概要

2.1 システムの構成

基本システムの舗装断面は上から舗装材、サンドクッション、不織布、遮水シート、路盤であり、側方下部には貯水槽が設置される。不織布の端部は貯水槽内に垂らされ、貯留されている水に浸される。断面図をFig.1に示す。舗装材、サンドクッション、不織布は水の毛細管上昇（揚水性）の機能を持ち、これらによって水が舗装表面まで上昇する。

舗装材は基本的には材料厚さ（50～80mm程度）以上の揚水性があれば良く、吸水率は低くてもかまわない。採用する舗装材を検討するにあたり十数種のレンガ系、およびブロック系舗装材を試験した結果、無釉レンガは揚水高さ6.5～22cmと、どの製品もほぼ要求される揚水高さを満たしたが、施釉レンガやセメント製ブロックはほとんど揚水しなかった。したがって初期プロトタイプの

作成には、揚水高さが22cmと最も高かったレンガを採用することとした。また、このレンガの吸水率を測定したところ平均7.7%であった。

サンドクッションは30mmとし、通常ブロック系舗装で用いられる、2.5~5mm以下の粒径のもので十分揚水することを確認した。

不織布は揚水能力が高く、さらに水平拡散速度の大きい材料を採用した。この不織布(ポリエステル製、0.7mm厚)は、下端部を水中に垂下した状態で水面からの揚水高さを測定したところ約22cmであった。

不織布の下に敷かれる遮水シートは、不織布中を毛細管上昇によって上がった水が路盤へ浸み出すのを防ぐもので、厳密な遮水が期待されるものではない。

2.2 システムの特性・長所

まず、舗装表面は毛細管現象で揚水された水で常に湿潤状態にあり、しっとりとした感触となっている。ただし、表層の材料を調整することにより(例えば、粗いテクスチャにして湿潤面を数十 μm 下げるなど)、濡れ具合を変えることは可能である。表面からの蒸発によって大気中へと水分が放出されると、連続的に毛細管現象が働き、次々と表面へと水を供給する。こうして蒸発量に応じて、失われた分だけ水を供給するので、必要最小限の水量で、最大限の冷却効果が期待できる。これまでの散水による方法や一定量の水を供給するシステムと比べても経済的である。

次に、本システムでは雨水を利用することを前提としており、若干の表面勾配を付けておくことにより、貯水槽内に雨水を導いている。また、毛細管現象の働くレンガ・ブロック系舗装なので、舗装材の表裏を通すような連続した空隙(オープンポア)があることから、雨水の浸透も期待できる。また目地には目地砂を入れており、舗装材と目地から浸透した雨水は、不織布によって効率良く貯水槽へと排水されるので、水たまり等の危険性も少ないものと思われる。

本システムの導入に適する場所は、街区の中で大きな面積を占める道路のうち歩道や公開空地の部分や、公園や広場などの面的に広がりがある所、遊園地などの人が長時間待ったり、滞留したりする所、さらに人工地盤上や建物屋上などである(Fig.2)。特に植栽に灌水システムがある場所では、水の供給が比較的容易に行える。

3. 基本システムの性能評価

3.1 実験概要

1997年8月から10月にかけて、1m角、および3m角の試験体を当社技術研究所内建物(東京都清瀬市)の屋上に作成し、蒸発冷却の基本性能、熱的性能を確認するための実験を行った。実験概要をTable 1に示す。断面構造の検討、表面温度の測定等を行ったが、熱収支の測定は秋季のみ行った。表面温度は放射温度計と熱電対の両方で行ったが、熱電対は表面が湿潤状態であるために接着

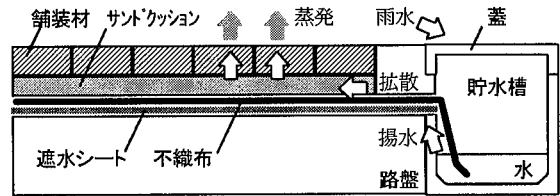


Fig.1 湿潤舗装システム断面図
Vertical Sectional View of Wet Pavement System

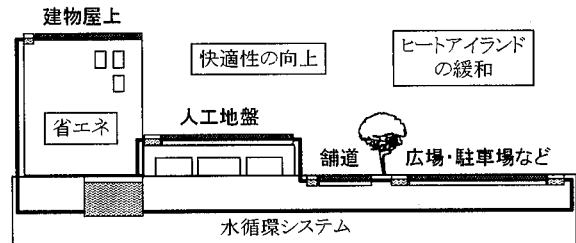


Fig.2 湿潤舗装システムの適用場所
Appropriate Places for Wet Pavement System

Table 1 測定概要
Outline of Measurement

夏季		1m×1m 試験体	
日時	1997.8.20, 1997.8.27~9.8		
項目	気温	T型熱電対 (0.2mm ϕ)	
	相対湿度	高分子抵抗式	
	供給水温	T型熱電対 (0.3mm ϕ)	
	表面温度	放射温度計 ($\epsilon=0.95$) 赤外線放射カメラ ($\epsilon=0.95$) T型熱電対 (0.3mm ϕ)	
蒸発量	蒸発計	蒸発皿直径 1.2m	
	湿潤舗装システム	分解能 0.05mm	貯水槽のゲージを読取
秋季		3m×3m 試験体	
日時	1997.10.18~10.24 (DRY) 1997.10.25~10.30 (WET)		
項目 (夏季+)	風向・風速	三杯式風速計	0-45m/s, 精度0.1m/s
		風向計	0-360°, $\pm 4^\circ$
	日射量	日射計, 精度 0.1%/°C	
	グローブ温度	黒球 (15cm ϕ) + T型熱電対 (0.2mm ϕ)	
	正味放射量	正味放射計, 精度 $\pm 5\%$	
伝導熱流束	熱流板, 精度 $\pm 5\%$		

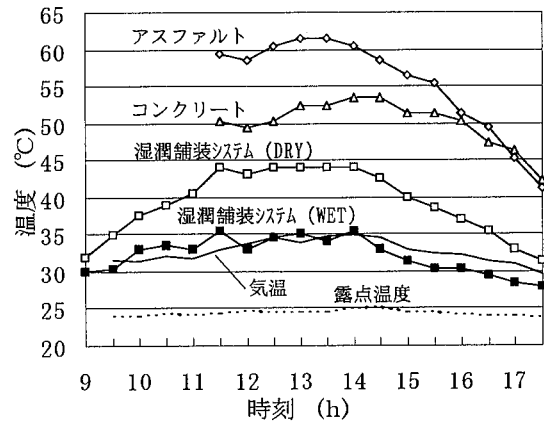


Fig.3 表面温度の日変化 (1997.8.20)
Diurnal Variations of Surface Temperature



Photo 1 1m×1m試験体
1m×1m Mock-up Model

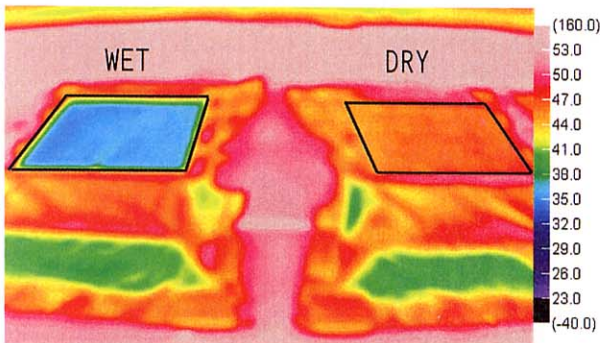


Fig.4 夏季日中の熱画像 (1997.8.20 14:00)
Thermal Image Taken by Infrared Camera

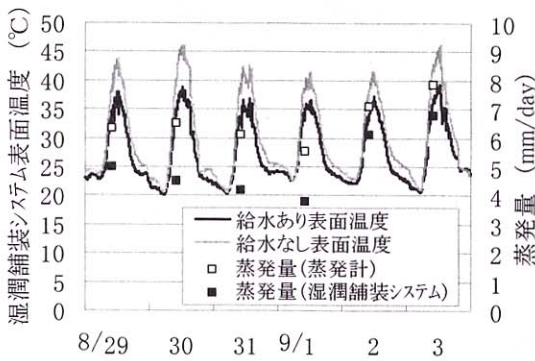


Fig.5 数日間連続した晴天日の表面温度と蒸発量
Surface Temperature and the Quantity of Evaporation for Successive Several Days

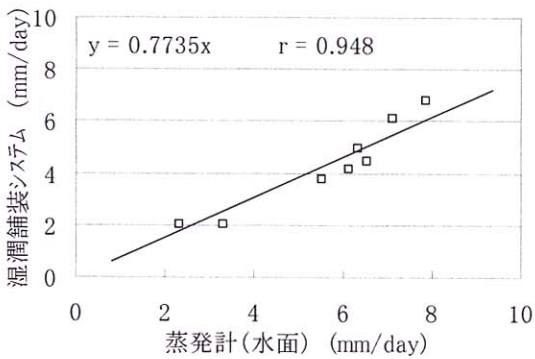


Fig.6 蒸発計(水面)と湿潤舗装システムの蒸発量の比較
Comparison of the Quantity of Evaporation Released from Water Surface and Wet Pavement System

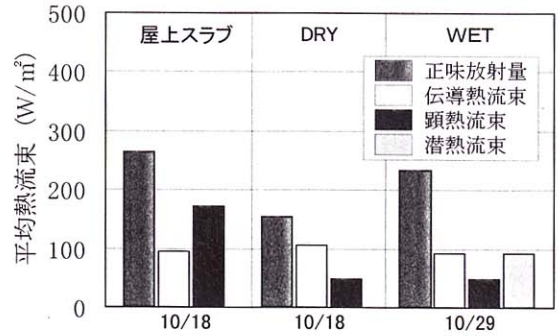


Fig.7 9:00~15:00の平均熱流束の比較 (秋季)
Comparison of Mean Heat Fluxes during Daytime (9:00~15:00, Autumn)

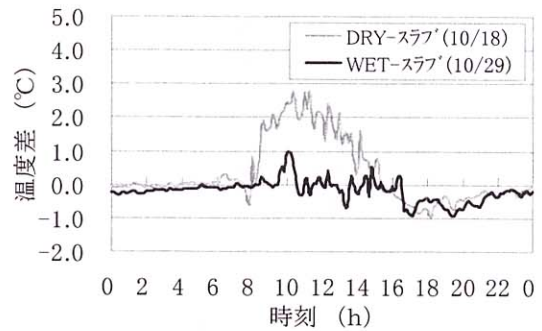


Fig.8 高さ50cmにおけるグローブ温度の比較 (秋季)
Comparison of Globe Temperature on the Dry and Wet Surface (50cm Height, Autumn)



Photo 2 4m×16mの実証モデル (技術研究所内)
4m×16m Demonstration Mock-up Model (in T.R.I.)

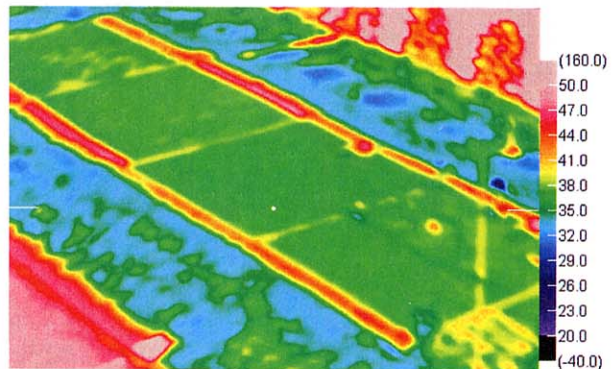


Fig.9 夏季日中の熱画像の一例 (1998.8.23 12:50)
An Example of Thermal Image of Mock-up Model in Summer Daytime

方法が難しく、測定値の信頼性は低いと思われる。また同時に赤外線放射カメラで熱画像と温度を得ている。舗装表面からの蒸発量は貯水槽の水位変化から一日単位で算出している。

3.2 実験結果および考察

Fig.3は日中ほぼ快晴であった1997年8月20日の湿潤舗装システム(給水あり,なし)とアスファルト舗装路面,屋上コンクリートスラブの表面温度の日変化を示す。同じシステムでも給水あり(WET)となし(DRY)では,最も暑い12~14時に約10°Cの差が見られ,その冷却効果が確認された。またこの時,アスファルトは60°C以上にもなり,WETとの差は25°C以上にも達したことが分かる。またPhoto 1, Fig.4は1m角試験体の写真と8月20日,14:00のWETとDRYの熱画像である。

Fig.5は夏季の良く晴れた6日間の湿潤舗装システムの給水あり,なしの場合の表面温度(ただし熱電対での測定結果であり,放射温度計の結果よりも温度差が小さくなっている)と,蒸発計の一日の蒸発量と湿潤舗装システムの蒸発量の測定結果である。このように降水の無い晴れた日が一週間程度継続しても,本システム表面からの蒸発量は水面(蒸発計)からの蒸発量に対してその割合が低下せず,冷却効果が継続していることが分かる。

Fig.6は蒸発計からの蒸発量と湿潤舗装システムからの蒸発量を比較したものである。このシステムでは,水面の70~80%程度の蒸発性能があることを示している。

Fig.7は秋季のコンクリートスラブ表面,湿潤舗装システムDRY,およびWETの日中(9:00~15:00)の熱収支を示す。潜熱流束は舗装表面からの蒸発量から算出し,顕熱流束は,正味放射量-(伝導熱流束+潜熱流束)から算出したものである。DRYはアルベド(日射反射率)が約0.5と高いために,正味放射量,顕熱流束が屋上スラブ(アルベド約0.35)に比べて小さくなる。WETは表面が湿潤し若干色が濃くなり,アルベドが約0.4と低くなるので,屋上スラブと同程度の正味放射量となる。DRYと比べると,正味放射量の増加分が蒸発潜熱とほぼ相殺され,顕熱流束は同程度となる。この結果は秋季のものなので,本来の目的である夏季の議論はできないが,アルベドの差がシステムの熱特性を大きく左右することと思われる。

Fig.8は舗装面からの高さ50cmの位置で測定したグローブ温度(DRY,WET)とスラブ上のグローブ温度との差を示したものである。この時グローブ球の下面に対するレンガ面の形態係数は約0.7である。Fig.8からDRYとWETとの差は日中1.5~2.5°Cとなることが分かる。夏季の場合,この差はさらに大きくなるものと思われる。また舗装上の人間に対する輻射熱と反射日射のバランスは,アルベドの違いによって大きく左右される。白色系(高アルベド)では表面温度が下がり輻射熱は減少する

が,逆に反射日射量が増える。黒色系(低アルベド)ではその逆となり,トレードオフの関係となる。

4. 実証プラントの概要

1997年夏,秋には1m角,および3m角の試験体で蒸発冷却の基本性能,熱的性能を確認したが,1998年夏には,舗装としての機能を確認するために4m×16mの実証モデルを当社技術研究所内に施工した。Photo 2はその全体写真である。実証モデルは4m×4mの工区を東西に4つ並べたもので,それぞれ舗装材の種類,断面構成,不織布の垂下方式を変えて施工してある。貯水槽は南北両側に設け,双方とも一部に排水桝を設置してあるので,片側,および両側からの給水が可能である。給水試験においては,全ての工区で蒸発冷却機能が働くことが確認された。Fig.9は赤外線放射カメラによる熱画像の一例である。なお,この実証モデルの施工と性能評価については,現在継続中の試験項目もあるので,次報に掲載する予定である。

5. まとめ

構成材料の毛細管現象のみを利用した揚水機構により,舗装下部から水を無動力で供給できる湿潤舗装システム「打ち水ペープ」を考案し,蒸発冷却の基本性能と熱的性能の評価を行った。構成材料の内,舗装材としてレンガ系ブロック,および揚水・導水材として機能する不織布を選択することにより,蒸発冷却機能を継続的に維持できるシステムを構築した。夏季日中の表面温度は,同じシステムで水を供給しないDRYの条件と比べて,約10°C低くなることが分かった。また,舗装表面からの蒸発量は水面と比べて70~80%と高く,その効率の良さが確認された。

今後は実証モデルを用いた舗道としての機能評価や,熱的性能の評価を基に,実施物件への適用を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 深沢,他:路面温度上昇抑制機能を有する舗装体の研究,土木学会年次学術講演会講演概要集V,p.102~103,(1996)
- 2) 尾崎,他:保水性セラミックタイルによる熱環境改善効果,地盤工学研究発表会,p.2625~2626,(1997)
- 3) 谷本,他:都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発,日本建築学会大会学術講演概要集D-2,p.125~126,(1998)