

# 都市のヒートアイランド対策技術の開発

## —「打ち水ロード」と熱環境予測システム—

小宮英孝・光谷修平

都市においては、コンクリート建築物、アスファルト道路に代表される人工物や人工排熱によって、ヒートアイランド現象や砂漠化がおきていると指摘されているように、熱環境が悪化の一途をたどっていることはよく知られている。しかし、熱環境からみて適切な開発計画を立案すれば、上昇傾向にある夏季日中の気温を平均1°C以上、局所的には2~3°C低減できることが、明らかになりつつある。この観点から、地域熱環境を改善できるハード技術、並びにその適用効果を予測できるソフト技術が必要であると考え、技術開発を行ってきた。ここでは、そのなかで代表的な開発技術である「打ち水ペープ」「打ち水ロード」並びに「熱環境予測システム」について報告する。

キーワード：打ち水効果，ヒートアイランド，熱環境，道路，毛細管現象

### 1. はじめに

都市再開発や自然地の開発においては、緑地や裸地にかわって、住宅やオフィス、さらには道路といった人工物が建設されることや、建設後の人間活動による排熱によって、熱環境が悪化するといわれている。さらに、地域の集積である都市では、ヒートアイランド現象や砂漠化がおきていると指摘されているように、熱環境は悪化の一途をたどっていることはよく知られている。

しかし、熱環境からみて適切な開発計画を立案すれば、上昇傾向にある夏季日中の気温を平均1°C以上、局所的には2~3°C低減できることが、明らかになりつつある。つまり、地域開発では熱環境の視点も常に必要であり、さらに熱環境に配慮した地域が集積すれば、都市環境ひいては地球環境にも貢献できる。

この観点から、地域熱環境を改善できるハード技術、並びにその適用効果を予測できるソフト技術が必要であると考え、技術開発を行ってきた。ここでは、そのなかで代表的な技術である「打ち水ペープ」「打ち水ロード」並びに「熱環境予測システム」について報告する。

### 2. 地域熱環境計画技術

地域開発計画において熱環境向上に寄与する計画技術を、「形態」「素材」「エネルギー」に分類して、開発技術の位置づけをあきらかにしてみる。各々の計画方針と具体的な技術を表-1に示す。

「形態」とは、その地域の気象特性を考慮に入れたうえで、地形や建物、樹木などの形や配置を、適切にデザインすることによって、風の流れや日射を制御し

ようとするものである。具体的な計画技術としては、地形をうまく利用したうえで建物を適切に配置し都市の中に風を導く「風の道」、建築物の高層化や地下化による地表面の開放、強風や日射をさえぎる街路樹などが挙げられる。

「素材」とは、緑や水といった自然の素材を建物等の人工物のなかに量と質の両面から、うまく取り入れていくことがこれにあたる。水や緑はその蒸発効果によって、夏季の熱環境を調整していることは良く知られている。具体的な計画技術としては、運河や公園の配置、ビオトープ、池・噴水の設置及び冷却装置としての利用、人工地盤緑化、屋上・壁面緑化等が一般的であるが、後程紹介する湿潤舗装システムである「打ち水ペープ/ロード」は、自然素材の機能を道路に生かしたもので、この「素材」の技術として位置づけられる。

「エネルギー」とは、エネルギーの高効率な利用、自然エネルギーの有効利用、地域環境への影響の少ない排熱方法などがこれにあたる。具体的なハード技術としては、住宅の外断熱化、太陽光発電、風力発電システムの利用、コージェネレーション（熱併給発電）、地域冷暖房の利用、さらには排熱位置を高くするなど工夫があげられる。

以上のように分類したが、例えば街路樹は「形態」と「素材」の両方の機能を有しているなど、実際には

表-1 地域熱環境計画のための基本方針と技術<sup>1)</sup>

項目	形態	素材	エネルギー
基本的な計画方針	風の流れを制御 日射を適切にコントロール	緑・水に関し質と量の両面からの改善 適切な機能外皮の選定(吸水・反射・断熱)	省エネルギーの推進 自然エネルギーの有効活用 排熱方法の工夫
具体的な計画技術	高層化、地下化(地表面の開放) 風の道(建築形態・配置の工夫) 防風林、街路樹	運河、公園の配置 ビオトープ、池・噴水 人工地盤、屋上緑化 木造建築、外断熱 「打ち水ロード」	高断熱・高气密 太陽光・風力発電 コージェネレーション、 地域冷暖房 コミュニティビークル、 高い排熱位置

相互に関連しあっている。また、スケールの大きな地域や都市に影響を与えるには、ひとつひとつの技術だけでは不十分で、計画に合わせた的確な手法の組合せが必要である。

### 3. 打ち水ペープ（毛細管現象を利用した舗装面の冷却）

道路は土地利用に占める割合が多く、地域熱環境からみて、非常に重要な位置を占めている。環境面に配慮した道路技術としては、透水性舗装、排水性舗装が挙げられる。しかし、これらの技術は残念ながら、都市の水循環改善には貢献できるが、熱環境改善にはほとんど効果がないのが実状である。そこで、都市の熱環境、特に人が夏季に屋外で長時間過ごすときに問題となる暑熱環境を改善する手法が重要となってくる。

このような観点から、夏季の舗装面からの輻射熱と照り返しの低減を狙って開発された「打ち水ペープ」を図-1に示す。

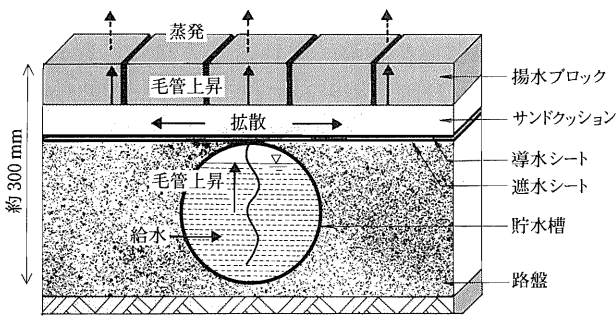


図-1 打ち水ペープの断面図

これは雨水などを舗装面より下部にある貯水部に貯めておき、舗装材やそれと貯水部をつなぐ導水シートなどの毛管現象を利用して、舗装の表面を湿潤させ気化熱により冷却するものである。

打ち水ペープの施工例を写真-1に、打ち水ペープを含む舗装表面の温度比較を図-2に示す<sup>2)</sup>。

同システムを用いると、夏季の日中では、水を供給しない場合と比べて約10°C、アスファルトと比べて約25°C表面温度が低くできる。これを体感温度(SET\* (Standard New Effective Temperature))に置換えると1.6~3.7°C程度の低減効果となる<sup>4)</sup>。一方、建物の屋上に緑化システムと組合わせて、あるいは単独で設置することにより、屋上から日射熱が室内に流入する量が大幅に低減できる(90%程度減)ので、ビル最上階での省エネルギー効果(15~20%減)も期待できる。また、人工地盤でも直下に居室がある



写真-1 打ち水ペープ施工例

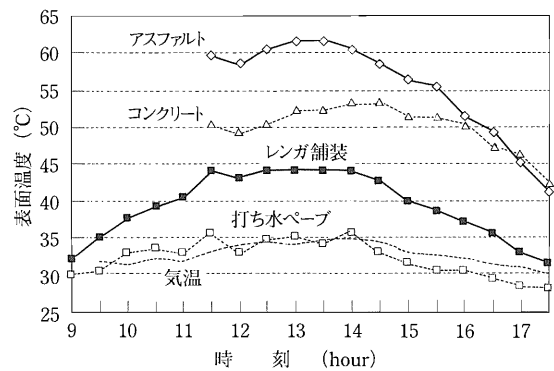


図-2 夏季日中における舗装表面温度比較

場合は、同様の効果が期待できる。

同様の考え方を、主に運動施設等に用いられる砂入り人工芝に適用したのが「打ち水ターフ」である。

すなわち、砂入り人工芝の表面を、湿潤させ、夏季の表面温度を下げ、暑熱環境を改善するシステムをテニスコートに採用した。ここでは、給水方式には点滴方式を採用している。打ち水ターフの断面を図-3に示す。また、夏季に測定した通常の砂入り人工芝テニスコートと打ち水ターフとの黒球温度差の変化を図-4に示す<sup>4)</sup>。日中の高さ1mにおける黒球温度の差は、最大6°Cに達し、これをSET\*に換算すると約3°Cの差となる。

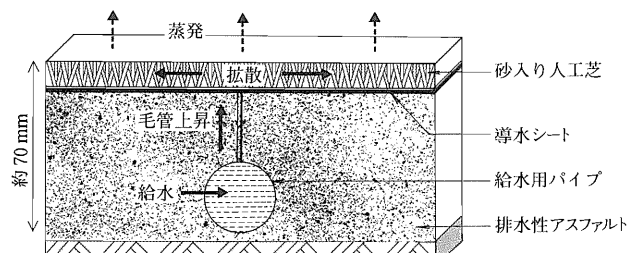
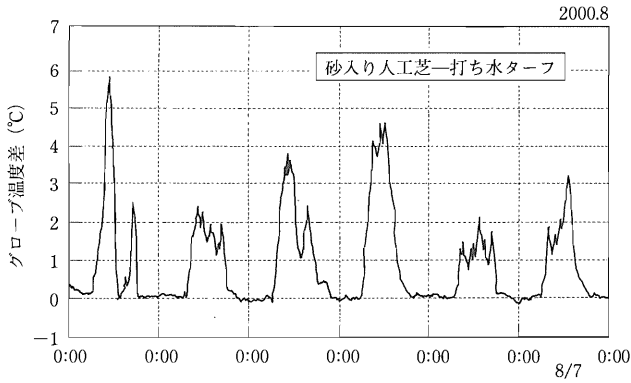


図-3 打ち水ターフの断面

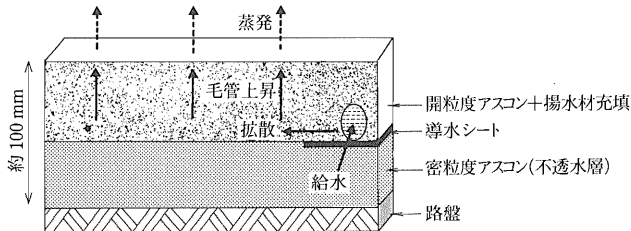


図—4 黒球温度の差の変化

#### 4. 打ち水ロード

打ち水ペープは、舗道を対象として考案された煉瓦ブロック舗装であることから、一般車道には不向きな欠点があった。一方、車道用の保水性舗装が開発されてはいるが保水量が限られていて、一般的には3日程度、特に表面温度の低減効果が明瞭に発揮できるのは、1~2日程度といわれている。そこで通常のアスファルト舗装で、打ち水ペープと同等の機能を有する舗装システムとして考案されたのが打ち水ロードである。

打ち水ロードの断面を図—5に示す。本体部分は、20%以上の空隙率を有する開粒度アスコン（アスファルトコンクリート）に、1.5mm以下の粒度を持つ毛管性能の高い砂を充填している。路面には、充填した砂が流失しないように透水性と水蒸気透過性のある特殊なコーティングが施してある。さらに、開粒度アスコンの下部には、水分が地盤に浸透してしまうのを防ぐために、密粒度アスコンを用い遮水している。



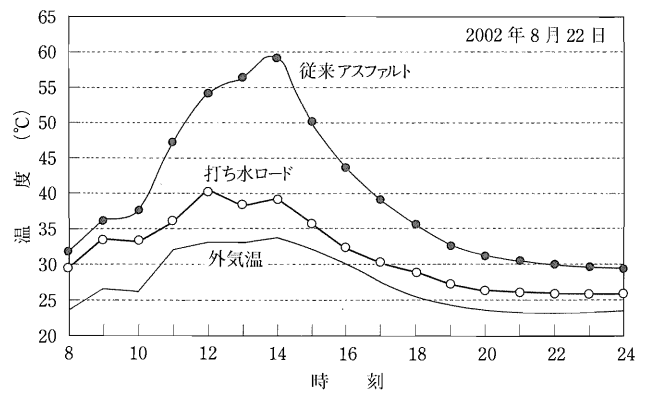
図—5 打ち水ロードの断面

給水は、中央分離帯等に設置が想定されている点滴方式の配管から行われ、まずその周辺部においては導水シートにより、その先は開粒度アスコン舗装に充填した砂によって水が拡散される。その後、水は砂の毛管現象によって舗装表面に達し、蒸発することで路面表面温度を低減するのは、打ち水ペープ/ターフと同様である。また、当然路面に降った雨水は、アスファルト舗装の空隙部に貯えられる。

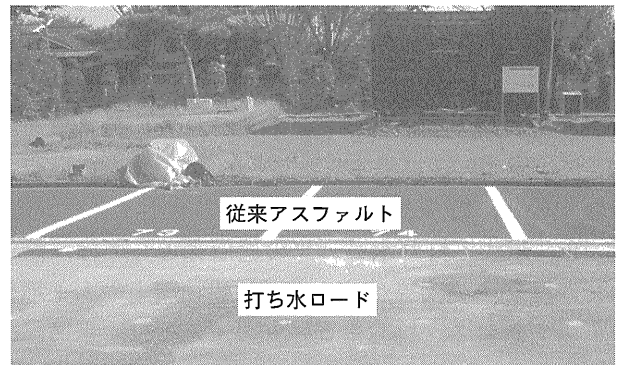
給水には、地下貯留槽に貯えた雨水や地下水、下水処理水、工業用水の利用が考えられる。これまで開発してきた打ち水ペープ/ターフと同様であるが、連続給水できる点が、また特に下面からの給水なので蒸発などによるロスが少ない点が特長である。また、給水の制御にはタイマや雨水センサを用いるので、適宜、必要最小限の給水を自動的に行えて経済的である。

さらに、開粒度アスコンに充填する砂に白っぽい砂を利用すれば、光の反射によって路面温度の上昇を抑制することもできる。

夏季日中における舗装表面の温度変化を図—6に、打ち水ロードの施工例とその熱画像を写真—2、写真—3に示す。



図—6 夏季日中における舗装表面の温度変化



写真—2 打ち水ロードの施工例



写真—3 打ち水ロードの表面温度（サーモカメラによる熱画像）

図-6 から、夏季日中における温度低減効果が 20°C 程度あることと、夜間においても 5°C 程度の温度低下がみられることがわかる。さらに熱画像（写真-3）から一様な温度低減効果も確認されている。

これまで紹介した打ち水ペープ/ターフ/ロードは、同一の考え方でシステム化されていることから、表面温度の低減効果等の熱性能も概略同様のものとなっている。これらを適材適所に用いることにより、暑熱環境の改善、省エネルギー、ヒートアイランド現象の抑制に、貢献できると考えられる。

### 5. 熱環境予測システム

これらのハード技術を適用した場合の地域の熱環境を予測することが次の段階として求められる。この目的のために、数値計算によって屋外の熱環境を予測し、わかりやすくビジュアル化できるようにしたのが熱環境予測システムである。

このシステムでは、まず 1 次元の熱収支モデルを用いて、典型的な夏季の晴天日における土地被覆材料（道路、植栽、建物外壁等）の表面温度、及び各表面からの大気への熱流の日変動を求める。次に、そこで得られた結果を境界条件として、対象地域に 3 次元熱流体解析モデルを適用し、建物配置、緑率などが考慮された地域の気温分布、風速分布を求める。これまでの計算は、スーパーコンピュータで行われるが、最終の出力処理にはビジュアルな表現を得意とする EWS（Engineering Work Station）が用いられる。以上が熱環境予測システムにおける作業の流れであるが、これを図-7 に示す。

屋上緑化、打ち水ペープ/ロードの適用イメージを、図-8 に示す。打ち水ペープの適用先としては、舗道のほか広場、公園等が、さらには建物屋上や人工地盤上も考えられる。打ち水ロードの適用先は、車道、駐

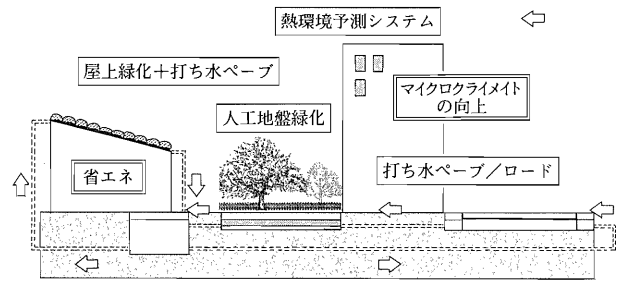


図-8 屋上緑化、打ち水ペープ/ロード適用イメージ

車場が中心となる。また、緑化システムや雨水利用等の水循環システムとの組み合わせが一般的である。

これまで示してきた緑化や打ち水ペープ/ロードの熱的効果は、建物やその周辺舗道のスケールで、輻射による体感温度の改善を狙ったものであるが、地域スケールで適用した場合の気温低減効果を熱環境予測システムを用いて、検討してみた。

具体的には、100 ha 規模の運河都市へ、打ち水ペープ/ロードを適用した場合の効果を求めた。運河都市の土地利用と地被割合の想定を図-9 に示す。

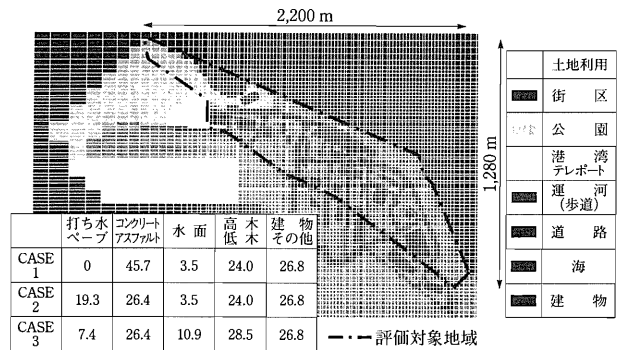


図-9 運河都市の土地利用と地被割合

本来、地域熱環境の改善は、当初述べたように多くの技術を導入して、その目的を達成するのが本筋である。これが「ケース 3」に相当し、運河、街路樹、打ち水ペープ/ロードがバランス良く用いられている。

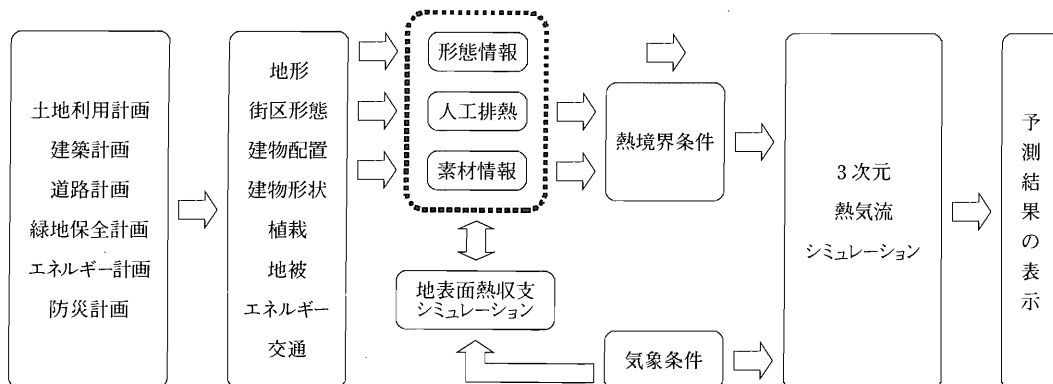


図-7 熱環境予測システムの流れ

また、打ち水ペープ/ロードに着目しその割合を20%と特化させたのが「ケース2」である。その比較対象の基準として、運河も打ち水ペープ/ロードもなく、かつ緑も少なく、逆にアスファルト、コンクリートの割合が高いもの(46%)を想定して、「ケース1」とした。

「ケース2」と「ケース3」は、その結果にあまり差がなかったことから、「ケース2」と「ケース1」を比較した結果を図-10に示す<sup>5)</sup>。なお、気象条件としては、8月の代表日12時の値、すなわち風速2.7m/s、風向WSW(西南西)、気温32.9°Cを用いている。評価は気温で行っているが、地域熱環境評価では、道路等の高温域と緑や水等の低温域が形成される。

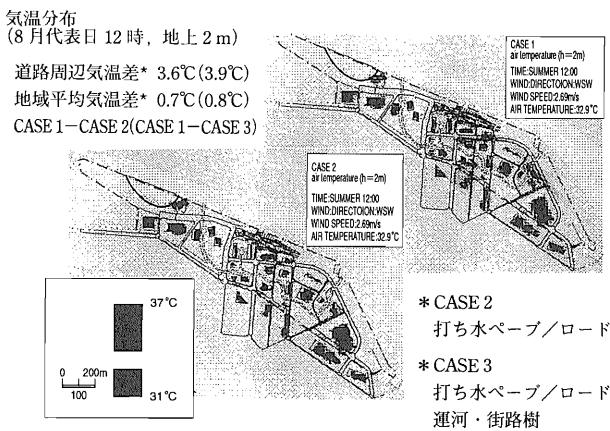


図-10 運河都市の熱環境評価結果

この高温域を比較してみると3~4°C程度の改善効果があらわれている。また、地域全体でも、平均0.7~0.8°Cという改善効果がみられる。この結果、緑化並びに打ち水ペープ/ロードを広域で利用すれば、かなりの気温低減効果が期待できること、また、高温域となりがちな道路部分においては効果がさらに高いことが確認された。

## 6. まとめ

本報文では、地域熱環境改善のためのハード技術、ソフト技術の開発の必要性を述べると共に、具体的に地域熱環境を改善できる技術を分類整理し、開発技術の位置づけを示した。さらに、開発技術である打ち水ペープ/ロードを紹介するとともに、その熱的効果すなわち暑熱改善効果や省エネルギー効果を明らかにした。最後に、熱環境予測システムを用いて、緑化や打ち水ペープ/ロードの適用が地域熱環境へ与える影響を定量的に明らかにした。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 小宮英孝, 赤川宏幸, 久保田孝幸: 環境共生型住宅のための地域計画技術, Reetec-21, Vol. 6, pp. 40-45, 1999. 9
- 2) 赤川宏幸, 小宮英孝: 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報告集, 第530号, pp. 79-85, 2000. 4
- 3) 赤川宏幸, 原田清貴: 毛细管現象による表面への連続自然給水を可能にした湿潤舗装システムの開発, 道路建設, No. 645, pp. 32-38, 2001. 10
- 4) 赤川宏幸, 小宮英孝: 湿潤舗装システム「打ち水ペープ」の開発(その3)—湿熱環境評価と実務への適用—, 大林組技術研究所報, No. 61, pp. 89-92, 2000. 7
- 5) 久保田孝幸, 小宮英孝, 他1名: 湿潤舗装システム「打ち水ペープ」の開発(その2)—地域熱環境計画における位置づけと臨海地域での適用検討—, 大林組技術研究所報, No. 59, pp. 89-92, 1999. 7

### 〔筆者紹介〕

小宮 英孝(こみや ひでたか)  
株式会社大林組  
技術研究所  
都市・居住環境研究室長



光谷 修平(みつたに しゅうへい)  
大林道路株式会社  
技術研究所  
調査試験室長

