

緑化舗装の改良とその効果

光谷修平¹・赤川宏幸²・大湊正幸³

¹正会員 大林道路株式会社 エンジニアリング部（〒131-8540 東京都墨田区堤通1-19-9）

²博（工） 株式会社大林組 技術研究所環境技術研究部（204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）

³ 東洋工業株式会社 開発室（〒760-0055 香川県高松市観光通1-2-14）

都市部における夏季の熱環境の悪化や都市型水害をもたらすヒートアイランド現象が問題視されている。ヒートアイランド現象の原因の1つとして地面を覆う舗装の影響があり、芝生と舗装を組み合わせる緑化舗装の採用が、その弊害を抑制する有効な対策の1つとして期待される。しかし、一般の舗装と異なり、緑化舗装は芝の生育に必要な水やり等の管理が必要となる。また、柔らかい芝による路面は、自転車や車いすの通行やハイヒール等での歩行には不向きである。このため、ヒートアイランド対策としての都市部への適用にはなんらかの改善を要する。そこで、今回、芝への灌水の自動化、歩行性や景觀面に優れたブロックタイプの緑化舗装を開発した。

キーワード：ヒートアイランド現象、緑化舗装、省力化、バリアフリー

1. はじめに

現在、わが国の大都市の多くで地球温暖化とヒートアイランド現象による双子の温暖化が顕在化し、夏季の猛暑や熱帯夜の増加といった生活環境の悪化に結びついている。また、ヒートアイランド現象によって短時間に発生する集中豪雨が、建造物や舗装で覆われた地表面を短時間で流下することで発生する都市型水害が頻発している。本論は、都市部におけるヒートアイランド現象の弊害を軽減するための対策として期待される緑化舗装の建設技術について報告するものである。

(1) ヒートアイランド現象

地球温暖化というまでもなく地球全体の問題である。その主な原因は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの増加にあり、現在、国連やG8等の国際会議の場でその削減に関する取り組み方が議論され削減目標が設定されている。舗装の分野においてもその達成に向け、加熱アスファルト混合物の加熱温度を下げる技術や、ICTを用いた施工効率の向上＝燃料消費減等により、温室効果ガスの排出量の削減に努めているところである。

これに対してヒートアイランド現象は、首都圏や京阪神のように大小の市街地が境目なく広範囲に連続して大都市圏が形成されているわが国に特有の問題といえる。その原因の一つとして、人工廃熱の多さ、高い建造物による風の道の遮断と並んで舗装等

で地表面が覆われることによる熱収支の変化があげられている。例えば東京都23区を対象として実施されたシミュレーション¹⁾では、「自然状態」（陸域がすべて自然表面、その約半分が樹木に覆われている場合）と「現況」を比較すると、対流顕熱が37%増加し、蒸発潜熱が58%減少し、さらに対流顕熱の30%に相当する人工顕熱が新たに加わって大気を直接暖める熱負荷が増大することで、気温が7.4℃上昇するとした結果（図-1）も示されている。

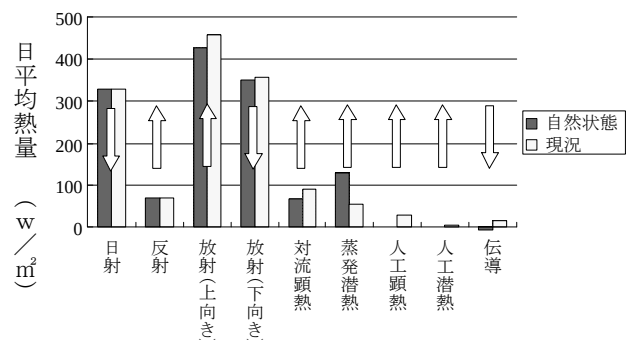


図-1 自然状態と現況の熱収支の比較の例¹⁾

ヒートアイランド現象という呼称が、都市部の気温が郊外に比較して高くなり、等温線を描くと島の形になることに由来しているのは周知のとおりである。夏季のヒートアイランド現象は、暑さを増幅させ「熱帯夜」の増加など住環境を悪化させるだけではなく、夕方の短時間に集中豪雨を誘発し都市型水害に結びつく場合もある。

(2) 舗装の影響

舗装がヒートアイランド現象やそれに伴う都市型水害の原因の1つとされている理由を以下に列挙する。

(a) 路面温度の上昇

わが国で多くを占めるアスファルト舗装は、自然な状態の地面と比較して、

①黒色のため日光の反射が少なく、且つ、炭素を多く含んでいるため太陽光線のエネルギーから熱を吸収し易い。

②保水し難く、太陽光線で加熱されていく過程において、蒸発潜熱による冷却作用が発現しない。

③植物で覆われた地面と異なり熱容量が大きく、路面で発生した熱が地下に蓄積され易い。

といった特性（図-2 参照）があるため路面温度が上昇し易い。わが国のアスファルト舗装は、一般に夏季の路面温度が最高 60℃に達するものとして設計されている。

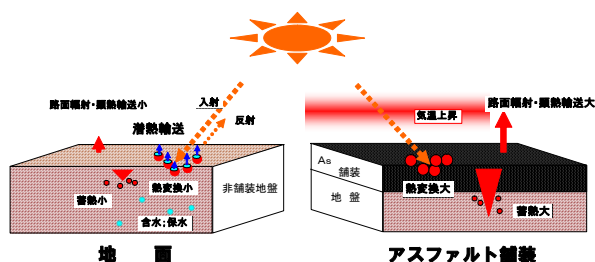


図-2 アスファルト舗装の熱特性

(b) 流出係数の増加

一般に降雨による雨水は、地中に浸透したり、草木に吸着されたり、蒸散したりするため、その流出量は降雨量より少なくなる。ところが、地面を平滑にして固める舗装の場合、地中への浸透は殆ど無く、吸着する量も僅かで蒸散する時間も少ない。このため、地表が舗装で覆われると、雨水の流出を抑制する作用が小さくなり、地表面を一気に流下させ、河川や排水路を氾濫させる都市型水害に結びくと考えられている。流出のし易さを表す指標としては流出係数が一般的である。流出係数は降雨量に対して地表を流下する雨水の割合を表し、例えば国土交通省²⁾は芝、樹木の多い公園舗装には 0.05～0.25 を道路には 0.80～0.90 を当てており、舗装された道路に降った雨水は、殆どそのまま河川等へ流下していると認識されている。

(3) 舗装としての対策と限界

路面温度の上昇を抑制する舗装技術として、

①ポーラスアスファルト舗装の空隙に保水性を有するセメントグラウトを充填することで蒸発潜熱による冷却効果を期待する保水性舗装

②舗装路面に近赤外線を反射する遮熱塗料を塗布することで、太陽光エネルギーの熱への変換を減じる効果を期待する遮熱性舗装

が開発されている。ただし、保水性舗装には晴天が続くと乾燥して蒸発潜熱による冷却効果が失われる。また、遮熱性舗装についても加熱速度は下がるものの一旦加熱されてしまえば冷却効果は期待できないといった課題がある。

他方、雨水の流出を抑制する舗装技術には、

③ポーラスアスファルト舗装他、透水係数の比較的高い材料で舗装全体を構築し、雨水を地中へ浸透させる透水性舗装

があり、その適用範囲の拡大が検討されている。ただし、透水性舗装は、激しい降雨の場合、雨水が舗装の空隙内の空気を十分押し出せず浸透性能が低下し、元来平たんな仕上げを前提としているため、降雨の流下を抑制しきれなくなる欠点がある。緑化舗装はこれらの限界を補完する技術として期待されるものであり、本件ではこれを都市部に適用できるよう種々の検討を行った。

2. 緑化舗装

以下、緑化舗装の特性を簡単に紹介する。

(1) 緑化舗装とは

緑化舗装は、道路路面を植物により部分的あるいは全面的に被覆する舗装と定義される。一般には芝が用いられ、主として駐車スペースや広場などに採用されている。

緑化舗装は、水分の蒸発潜熱他によって路面温度の上昇を抑制する。雨水が吸着・浸透するので、流出係数を低減する効果がある。さらには、景観性の向上、光合成や昆虫等の生育等、複合的な環境改善の効果が期待できる舗装といえる。

(2) 保護材

植物は、車や人の踏圧を繰り返し受け続けると生育できなくなる。また、踏圧で簡単に变形するため、繰り返し作用する交通荷重に耐えて、通行に適した路面状態（形状）を維持することができない。

このため一般的な緑化舗装は、十分な耐荷性を有する保護材を使って交通荷重を支え、植物を補強する構造となっている。写真-1 にブロック系保護材による緑化舗装の路面、写真-2 樹脂系保護材による緑化舗装の路面の各々一例を示す。



写真-1 ブロック系保護材による緑化舗装路面



写真-2 樹脂系保護材による緑化舗装路面

3. 自動給水システムの導入

緑化舗装内の植物の生育に必要な水は、降雨に期待する場合が多く、良好な状態を維持するためには、適宜、上面から散水などの方法で、日々‘水やり’が必要となる。一般の芝生や植栽の場合、スプリンクラ等を設置することで効率的な‘水やり’が可能となるが、舗装においてはスプリンクラや散布される水が通行の妨げとなるため不可であり、別な方式による自動給水システムの導入が必要である。

(1) 下面給水方式

前述、保水性舗装の一種に下面給水方式による湿潤ブロック舗装（図-3 参照）がある。

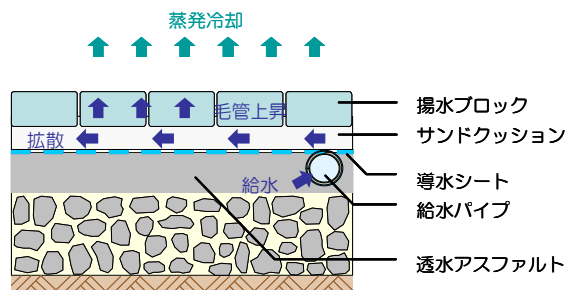


図-3 下面給水型湿潤ブロック舗装の構造

下面給水型湿潤ブロック舗装は、ブロックの下面

全体に敷き詰めた導水シート（写真-3：導水効果の高い特殊な布）と 3m 間隔に設置した点滴パイプ（写真-3：φ17 mm のフレキシブルパイプで 30 cm 間隔に設置された点滴器から一定量の水が排出される）で給水した水を導水シートで拡散し、微細な空隙を持たせた特殊なブロックを使用することで、毛細管現象によって路面に揚水して、蒸発潜熱で冷却効果を発現する舗装である。

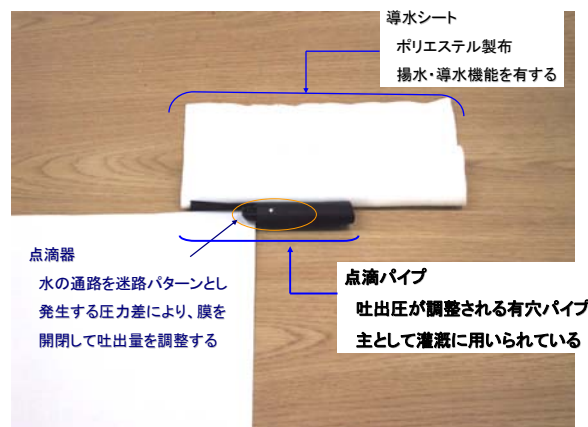


写真-3 導水シートと点滴パイプ

この下面給水方式は、スプリンクラのように路面に突起物が生ずることがなく、散水による通行妨害も起こらない。また、緑化舗装の場合、芝が根を使って吸水するので、下面給水型湿潤ブロック舗装のように毛細管現象を生ずる特殊なブロックを用いる必要がない。これらの理由から、緑化舗装に用いる自動給水システムに最適と判断し導入するものとした。

4. 保護材の選定

緑化舗装に用いる保護材は、ブロック系と樹脂系に大別されることは前述のとおりである。そこで、両者を使った試験ヤードを構築して、その汎用性を比較した。その結果、

- ① 樹脂系保護材は緑化率が一見して芝生と同様のほぼ 100% となり、温度低減効果や雨水浸透効果はブロック系に勝る。
- ② 樹脂系保護材は 4 t トラックのステアリングによる‘据えきり’により、僅かながらも変形することが確認された。また、多少の差はあるものの紫外線の影響による脆化は避けられず、高温下においては軟化する。これら耐久性に課題がある。
- ③ 樹脂系保護材は緑化率がほぼ 100% となるた

め、冬枯れなどで芝が衰弱すると、路面から保護材が突出して、通行の妨げとなる。

- ④ ブロック系保護材は、面積的に約半分を占めるブロック面が等間隔に存在するため、冬枯れの時期においても、通行面での問題が少ない。

- ⑤ 4tトラックで急発進・急制動をかけてもブロックに目立った破損の発生は認められなかった。また、紫外線劣化の懸念も小さく、耐久性で樹脂系に勝る。

といったことが確認され、ブロック系保護材の使用を基本とするものとした。

5. 芝材の選定

我国で芝生として使用される芝の種類は、気候から野芝か高麗芝が一般的である。ともに暖地型芝生に分類され生育適温は 25～35℃である。このため、例えば関東地区に適用する場合は春（3～5 月）に張り付けて、生育適温期となる夏場に踏圧などを受けない養生期間がとれると、最も生育状態が良好となり匍匐茎（以後ランナーと称す）が縦横に発達し密度の濃い丈夫な状態となる。逆に秋や冬の休眠期に張り付けて、養生期間が少なく生育不十分のまま供用すると、葉や茎が弱いままに圧迫されランナーの発達も遅く、そのまま枯れてしまう場合も少なくない。このため、芝へのダメージを考慮すると、本方法は 3～6 月に施工して、生育適温期となる 6～8 月の間、立ち入り禁止とするなどの養生措置をとり、十分活性化させてから供用することが理想的である。

緑化舗装用として野芝と高麗芝の適用性を試験施工により比較した。

- ① 茎や根が太い野芝は施工時に扱い難く、太いことにより、施工や通行者から受けるダメージがむしろ残ってしまう傾向があった。
- ② 茎や根が細い高麗芝は施工時に扱い易く、施工や通行者からのダメージは、葉が切断されることで残りにくい傾向があった。

この結果、緑化舗装には野芝より高麗芝の方が、特に施工面から適当であると判断された。

6. 下面給水型緑化舗装の標準構造

図-4 に決定した標準構造を示す。使用するブロック材料は通行車両の荷重に耐える強度と、紫外線

劣化等を起こし難い材質のものとし、緑化率は 35%のものを採用した。点滴パイプは、地表面から 10～12cm の所に埋設し、踏圧による破損を防ぐ構造とした。緑化舗装の基盤は、滞水による根腐れを防止するため透水性舗装仕様のポーラスアスファルト舗装とした。また、点滴パイプをポーラスアスファルト舗装内に敷設するため、漏水対策として、給水パイプ周辺には遮水シートを敷いた。

緑化用の植物には、高麗芝を採用するものとした。客土の厚みは、植物の生育を最低限確保できるように、約 10cm とした。

給水システムは、雨水を溜める地下貯水槽の水を利用し、タイマーやセンサーを用いることで、一定量の水が自動的に供給されるようになっており、植物の生育に適量の水を与えることができる。

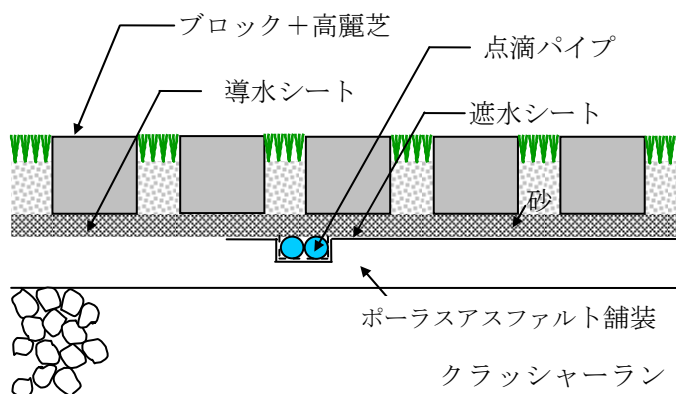


図-4 下面給水型緑化舗装の標準構造

7. 下面給水システムの有効性

下面給水システムの有効性を確認するため、システム有、システム無の試験ヤードを構築し、6 月～8 月の 2 ヶ月間の生育の差を確認した。

(1) 下面給水システム有り

根の長さが 12cm で根付きが良く、芝の生育も良好（写真-4,5 参照）である。これは、給水が芝や土壌を効果的に潤しているためと考えられる。

(2) 下面給水システム無し

根の長さが 8cm で根付いてはいるが、芝の生育は約半分程度（写真-6,7 参照）である。これは、自然給水のみが芝土壌を潤す状況であり、夏場の雨の少ない環境により成長が抑制されていると考えられる。



写真-4 下面給水システム有りの根の様子



写真-5 下面給水システム有りの葉の様子



写真-6 下面給水システム無しの根の様子



写真-7 下面給水システム無しの葉の様子

8. 路面温度上昇抑制効果

下面給水システムを使った緑化舗装の温度上昇抑制効果を検証するため、前述試験ヤードで1日の路面温度の変化を隣接したアスファルト舗装と比較した。結果を図-5に示す。観測当日の温度変化はシステムの有無に関わらず最大13℃程度の抑制効果が認められた。

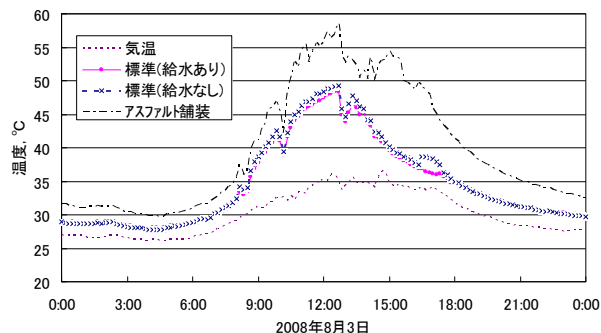


図-5 試験ヤードで観測した路面温度

また、これとは別の箇所で撮影した、隣接する一般のブロック舗装との熱画像の差を写真-8,9に示す。部分的にはあるが最大20℃程度に達する温度差が生じている。



写真-8 熱画像撮影箇所の状況

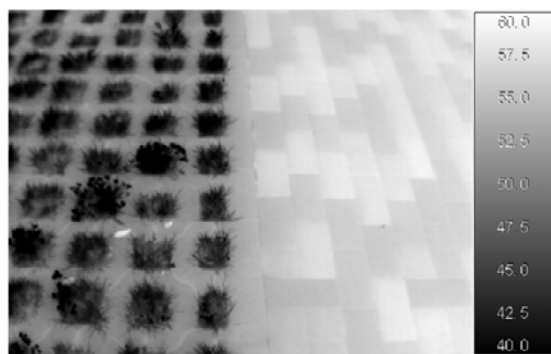


写真-9 一般のブロック舗装との温度差

これらのことから、緑化舗装は保水性舗装等と同
等以上の路面温度上昇抑制効果があることが判った。

9. 歩行性の改善

緑化舗装を都市部に適用する場合、ハイヒールで
の歩行や車いすでの通行にも配慮する必要がある、
路面凹凸の大きさに起因する歩行性の悪さが問題と
なる。

そこで緑化舗装の一部の芝を、形状を工夫するこ
とで着脱を容易とした小型ブロックに置き換えるこ
とで、平たんな歩行帯を任意に設けることを可能と
した。また、この着脱ブロックのバリエーションを
色や柄の他、LED内蔵型など豊富に揃えることに
より、利用者が自由に路面の模様替えを楽しめるも
のとした。工法の概念を図-6 に工法の有効性を検
証するために構築した試験ヤードの様子を写真-10
に示す。

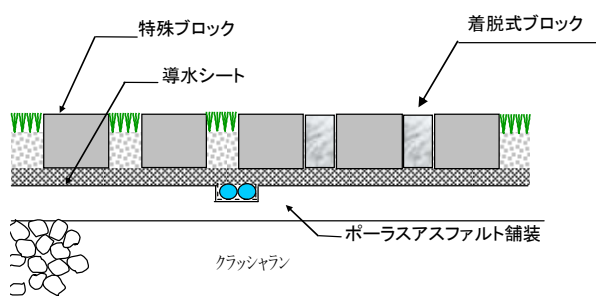


図-6 着脱式ブロックを組み合わせる方法



写真-10 試験ヤードを用いた車いす実験

舗装評価法³⁾では、歩道の平たん性を25cm間隔で
測定して得られる高さデータの標準偏差 σ 0.5を図-
7に照らして評価することとされている。

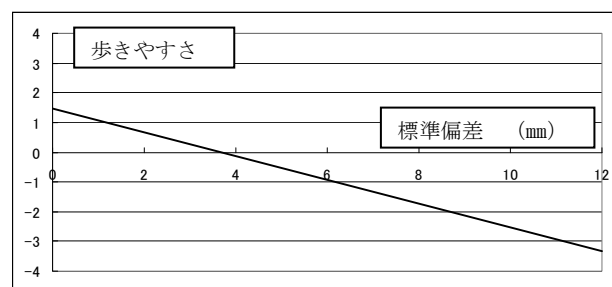


図-7 路面高さの標準偏差（平たん性 σ 0.50）

と歩きやすさの関係

そこで小型プロファイラを用いて、緑化舗装と着
脱ブロックによる歩行帯の路面凹凸を計測した結果、
緑化舗装が11.41mmで歩きやすさが-3.09とかなりあ
るき難いと感じられる結果となったのに対して、着
脱ブロックによる歩行帯は2.53mmで歩きやすさが
-0.46で特に歩き難さを感じないレベルにまで改善
されることが確認された。

また、車いすを走行させた場合に感じる振動を重
力加速度で測定した結果、緑化舗装が0.228Gとな
ったのに対し、着脱ブロックによる歩行帯は0.090G
と大きく改善されることが判った。

10. 今後の課題

都市部に人口が集中するわが国において、生活の
利便性を損なわずに環境を保全する技術を都市部に
展開することが急務であり、特に、ヒートアイラン
ド現象の対策技術のニーズは高い。現に、省エネに
よる廃熱量の削減への取り組みが始まっている他、
風の道の確保や保水性舗装、遮熱性舗装の導入など
多角的な対策が進められている。

本件、緑化率35%の緑化舗装は、植物を使用する
ことで、熱環境対策として有効である。また、短時
間に発生する集中豪雨を考えた場合、芝生の流出係
数を0.20、舗装された道路の流出係数を0.90とする
ならば、本工法は単純に0.45となり、さらに路面の
凹凸による粗度係数の増加も見込まれることから、
流出時間のピークを遅らせ、都市型水害対策として
も有効であると判断される。しかし、いずれの場合
も広範囲に適用しなければその効果は明確に現れな
い。本論では、都市機能として求められる利便性を
損なわずに緑化舗装の適用範囲を拡大する方法とし
て着脱ブロックを使う方法を紹介した。ただし、こ
の方法を用いても全面的なバリアフリーを達成でき
る訳ではなく、利用者のコンセンサスを得て、い
ろいろな制約を容認してもらう必要がある。

「環境」の重要性をどこまで共有できるのかによって、さらにいろいろなレベルの技術を用意する必要があると考える次第である。

以上

参考文献

- 1) 環境省：平成13年度ヒートアイランド対策手法調査検討業務報告書，2001
- 2) 国土交通省：流出雨水量の最大値を算定する際に土地使用形態ごとの流出係数を定める告知，特定とし河川浸水被害対策法，平成16年国土交通省告示第521号
- 3) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法別冊，2008