

高い貯水性と路面温度低減効果を有する「ハイドロペイブ ライト™」の開発

長野 龍平 藤井 秀夫
(大林道路)

日野 良太
(エンジニアリング本部)

Development of “Hydropave Light™” with High Water Retention and Road Surface Temperature Reduction

Ryohei Nagano Hideo Fujii
Ryota Hino

Abstract

To meet the social needs for stormwater runoff control and heat island phenomenon mitigation, a pavement called “Hydropave Light™” was developed by combining permeable and wet pavements. Of the 160 rainfall events that occurred from June 2020 to January 2022 at the test site, only one rainfall event caused surface runoff because the pores of the Hydropave Light were saturated by rain, but no surface runoff occurred in the other rainfall events. Additionally, the road surface temperature of the wet pavement composed of Hydropave Light was 22.6°C lower than that of an asphalt pavement. The surface temperature of the porous concrete was 12.3°C lower than that of an asphalt pavement.

概要

雨水流出抑制およびヒートアイランド現象緩和に対する社会ニーズに応えるため、透水性舗装と湿潤舗装を組み合わせた舗装「ハイドロペイブ ライト™」を開発した。試験施工地において、2020年6月から2022年1月に発生した160降雨イベントのうち、ハイドロペイブ ライトの空隙が雨で飽和し表面流が発生したのは1降雨イベントのみであり、その他の降雨では表面流は発生しなかった。ハイドロペイブ ライトを構成する湿潤舗装の路面温度は、アスファルト舗装と比較し、最大22.6°C低下した。また、ハイドロペイブ ライトを構成する透水性舗装のポーラスコンクリートの表面温度は、アスファルト舗装と比較し、最大12.3°C低下した。

1. はじめに

2015年にパリで開催されたCOP21（国連気候変動枠組条約締結国会議）では、「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分に低く保ち、1.5°C以内に抑える努力をすること」が長期目標として合意された¹⁾。しかし、2021年に公開されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）第6次評価報告書では、「非常に強力な気候変動緩和策を実施したとしても2040年までに気温が1.5°C以上上昇し、対策が緩いと4.4°C上昇する」ことが記載されており²⁾、パリ協定の努力目標達成が既に厳しいことが示されている。日本の年平均気温が約4.5°C上昇した場合、猛暑日の日数は全国平均で19.1±5.2日増加することが予想されている³⁾。東京や大阪等の大都市では、地球温暖化に加え、都市化の影響によって、年平均気温が100年あたり2.0°Cから3.3°C上昇しており⁴⁾、暑熱緩和ニーズは高い。

道路統計年報2020⁵⁾によると、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、市町村道の実延長は総計約121万7500kmであり、このうち82.4%がアスファルト舗装およびセメント舗装である。これらの舗装は熱容量が大きい

ため、夜間においても十分に冷やされず、都市の温暖化の要因の一つとされている。また、これらの舗装は水密性に優れているため、路盤や路床に雨水が浸透せず、都市全体の透水および貯水能力を低下させている。そのため、都市部で豪雨が発生した場合、下水施設に一気に雨が流入し、浸水や冠水等の内水氾濫が発生するリスクがある。

これらの課題を解決する舗装として、次のような舗装が開発され導入されている。舗装表面に遮熱加工を行い路面温度の上昇抑制を図る遮熱舗装⁶⁾、ポーラスアスファルト混合物の空隙内に保水グラウトを注入して路面温度の低下を図る保水性舗装⁷⁾、路面の透水性を高めて路床への雨水浸透を図る透水性舗装⁸⁾等である。これらの舗装は単一の目的に対して確実な機能を発揮するが、例えば、暑熱緩和と豪雨対策のように、複数の目的に対してその機能を十分に発揮するとは言えない。

そこで著者らは、高い貯水性と路面温度低減効果をもつ「ハイドロペイブ ライト™」を開発した。本論文では、ハイドロペイブ ライトの特長を示すとともに、透水性舗装の透水性および貯水性、湿潤舗装および透水性舗装の路面温度を報告する。

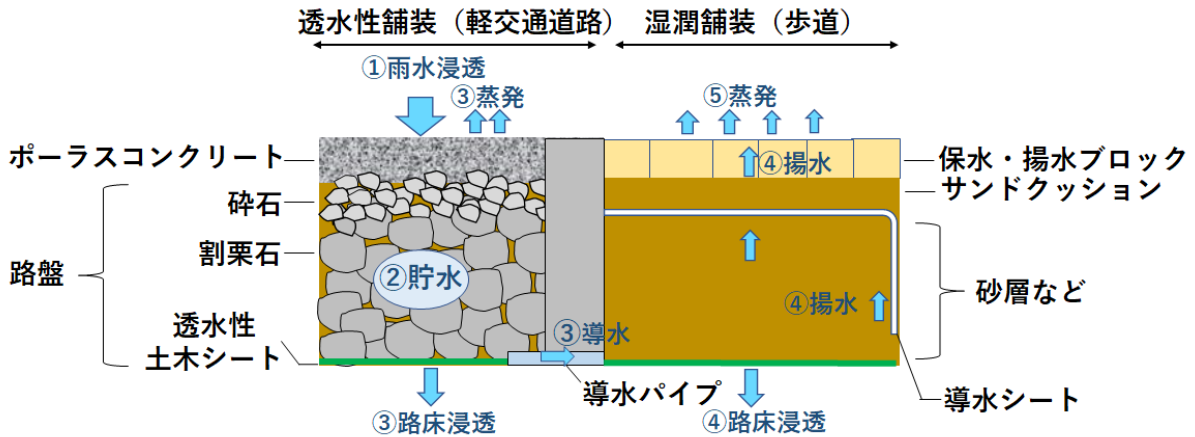


Fig. 1 ハイドロペイブ ライトの概念図
Composition of Hydropave Light

2. ハイドロペイブ ライトの特長

2.1 ハイドロペイブ ライトの構成

ハイドロペイブ ライトは透水性舗装と湿潤舗装(水の蒸発によって顕熱を潜熱に変換する舗装のうち、路面に保水性や揚水性を有するブロックを用いた舗装)を組み合わせた舗装である(Fig. 1)。透水性舗装は軽交通道路、湿潤舗装は歩道に施工される。なお、軽交通道路とは、大型自動車が侵入せず、主に普通自動車以下の通行(300台/日未満)および駐車場に使用される道路のうち、コンクリートの曲げ強度が 2.5N/m^2 以上の道路を指す。

透水性舗装の表層はポーラスコンクリート、路盤は砕石と割栗石で構成される。一般的な透水性舗装の路盤はクラッシャーランで構成され、その空隙率は10%であるが⁹⁾、ハイドロペイブ ライトを構成する透水性舗装の路盤の空隙率は約40%であり、高い貯水能力を持つ。

湿潤舗装の表層は保水性や揚水性を有するブロック、路盤は細目砂で構成される。路盤厚が大きい場合は、揚水性を補助するための導水シート(水を拡散させる能力が高いポリエステル製の織布)が路盤内の水平および垂直方向に敷設される。

透水性舗装と湿潤舗装の間には導水パイプが敷設してあり、透水性舗装の路盤に貯留された雨が湿潤舗装に導水される。

2.2 ハイドロペイブ ライト内の水動態および特長

透水性舗装の路面はポーラス状であり、雨は路盤内に迅速に浸透する。路盤内に浸透した雨は貯留され、次の3経路をたどる。すなわち、路床への浸透、透水性舗装の路面からの蒸発、湿潤舗装への導水である。このうち、湿潤舗装に導水された雨は路盤内に敷設した導水シートによる吸い上げや、細目砂やブロックの毛管現象によって揚水され、湿潤舗装の路面から蒸発する。

ハイドロペイブ ライトの路盤内で雨が貯留されるため、豪雨時の流出量は減少する。また、透水性舗装の貯水容量を超える雨は排水されるものの、表面流出の開始

時間が遅れるため、例えば合流式下水道が整備されている都市では、豪雨時に雨が下水道へ一気に流入することを抑制できる。そのため、ハイドロペイブ ライトは雨水流出抑制効果を持つと言える。また、路盤から路床に雨を浸透させ、豪雨災害の発生を抑制するため、グリーンインフラ(自然の機能を活用し、課題解決や価値創造を図る技術や取組み)とみなすこともできる。

透水性舗装や湿潤舗装の路面から雨水が蒸発する際、熱が奪われるため路面や周囲の空気は冷える。そのため、ハイドロペイブ ライトは暑熱緩和効果も期待できる。また、ハイドロペイブ ライトは雨の路床浸透や大気中への蒸発を行うため、健全な水循環の維持に貢献する。

3. ハイドロペイブ ライトの試験施工

施工性の確認および舗装内の水動態把握のため、2020年1月16日から31日にかけて、埼玉県久喜市にある大林道路機械センターでハイドロペイブ ライトの試験施工を行った(Fig. 2)。

本章では、試験施工方法について記載する。使用機械や人工数等の施工性、コンクリート配合や施工管理基準等については、藤井・光谷(2021)¹⁰⁾を参照されたい。

施工した透水性舗装面積は 80.7m^2 である。割栗石および5号砕石を厚さ約250mmに敷き均し締め固めたのち、その上部に最大粒径20mmの骨材を用いたポーラスコンクリートを厚さ約100mm施工した。養生終了後、見栄え向上や舗装の欠け抑制のため、表面を研磨(粗面仕上げ)した。

湿潤舗装AおよびBの施工面積はそれぞれ 16.0m^2 と 10.0m^2 である。路盤に細目砂を詰めた枕土嚢を敷設し、締め固めたのち、細目砂を用いて土嚢表面の不陸整正を行った。湿潤舗装Aに限り、土嚢上に導水シートおよび導水管を路面に水平に敷設した。湿潤舗装Aでは導水シート上に、湿潤舗装Bでは枕土嚢上にサンドクッションとして細目砂を厚さ20mm敷き均し、ブロックを設置した。湿潤舗装Aには保水性、揚水性、透水性に優れたブロック

Aを、湿潤舗装Bには揚水性、透水性、遮熱性に優れたブロックBを使用した。なお、ブロックAは濃茶系、ブロックBは薄茶系のブロックを選択した(Photo 1)。ブロックの設置後、目地に5号(最大粒径1.18mm)以下の珪砂を詰めた。

ハイドロペイブ ライトは、湿潤舗装路盤に砂層を採用することを基本構成としているが、本試験施工では、管路破損が生じた場合の砂層路盤流出リスクを抑制するため、麻製の袋内に細目砂を詰めた枕土嚢で路盤を形成した。麻袋は目が細かく、毛管現象による揚水が期待されたため、導水シートは水平方向にのみ敷設した。

4. 試験施工地での性能評価

4.1 透水性舗装の経時的な透水性

4.1.1 目的と測定 透水性舗装では、供用開始後の経過時間に伴って空隙詰まりが発生する。既往研究では、施工後1年以内に現場透水量が舗装設計施工指針に示す基準値(1000ml/15s)を下回った例も報告されている¹¹⁾。

試験施工を行った大林道路機械センターは、自社のアスファルト工場に隣接しているため、降下ばいじん等が透水性舗装路面の空隙に詰まりやすい場所であると考えられた。また、試験地近傍にはケヤキ等の落葉樹が複数本植栽されており、落ち葉等が空隙に詰まるリスクも高かった。そこで、試験施工した透水性舗装の空隙詰まり状況を把握することを目的とし、次に示す測定を行った。

現場透水試験器を用いて、400mlの水が路面を透水する時間を各地点3回測定し、平均値を算出した。測定は2020年2月26日(試験施工後1か月)、2020年9月15日(試験施工後8か月)、2021年7月9日(試験施工後1年6か月)、2022年1月20日(試験施工後2年)の計4回行った。なお、1回目および2回目の試験では任意に設定した1地点で測定を行ったが、測定地点間で透水性にばらつきがある可能性も考慮し、3回目および4回目の試験時には3地点で測定を行った。

4.1.2 透水性舗装の透水性 Fig. 3に透水試験結果を示す。施工後約2年を経過しても基準値を満たしており、十分な透水性が維持されていることが分かった。一般的なポーラスコンクリートでは最大粒径13mmの骨材を用いることが多いが、ハイドロペイブ ライトでは最大粒径20mmの骨材を採用しており、路面の空隙が大きい。そのため、微小な物質が空隙内で捕捉されず、空隙詰まりが低減したことが考えられた。

4.2 透水性舗装内の水位および湿潤舗装内の含水率

4.2.1 目的と測定方法 透水性舗装の路盤内の貯水効果とその効果持続時間、湿潤舗装の路盤内の含水率変動を評価することを目的とした。

透水性舗装内にハンドホールを6か所掘り、その内部に圧力式水位計を設置し、5分毎の圧力を測定した。データ回収後、後述する大気圧データを用いて水位データに変

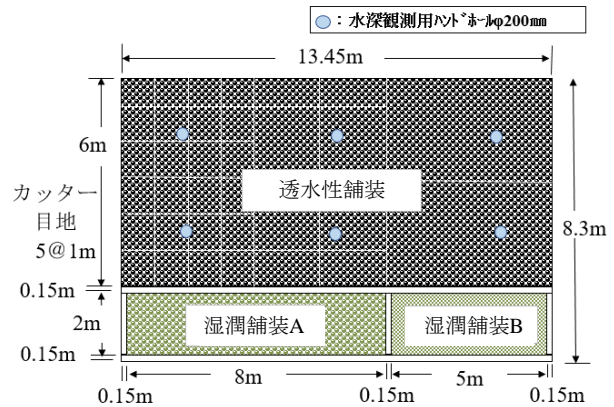


Fig. 2 試験施工平面図
Ground Plan of Test Construction



Photo 1 試験施工範囲
Test Construction Area

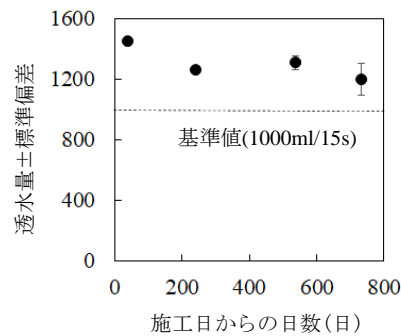


Fig. 3 路面の平均透水量
Average Permeability of Road Surface

換した。また、湿潤舗装Aの枕土嚢内の2深度×2か所、湿潤舗装Bの枕土嚢内の2深度×1か所において、TDR土壤水分計を設置し、5分毎の土壤水分値を測定した。設置深度は15cmおよび25cmである。

試験施工地の傍に転倒マス型雨量計を設置し、転倒マスの転倒時間を1秒毎にデータロガーに記録した。転倒マス型雨量計の隣には複合型気象計測ユニットを設置し、雨量、風向、風速、大気圧、蒸気圧、温度、相対湿度、飽差(飽和水蒸気量と絶対湿度の差)の5分毎の測定データをロガーに記録した。

4.2.2 透水性舗装内の貯水状況 Fig. 4に透水性舗

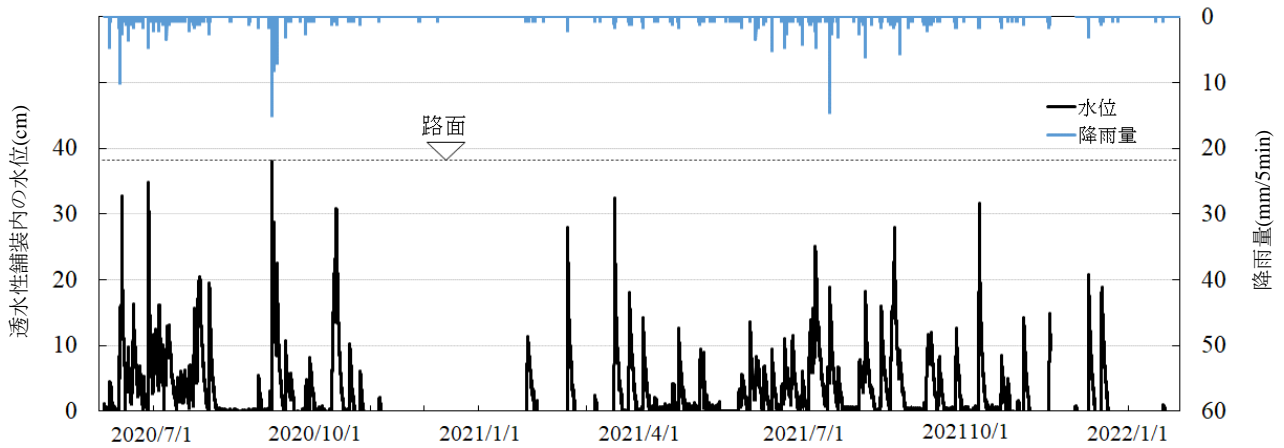


Fig. 4 透水性舗装の水位
Water Level of Permeable Pavement

装内の水位変化を示す。2020年6月から2022年1月までに発生した160降雨イベント(転倒マス型雨量計で降雨が観測された時間から、その後6時間以内に降雨が観測されなかった時間までを1降雨イベントと定義した)のうち、路盤の空隙のすべてが雨で満たされ表面流が発生したのは、2020年9月4日に発生した降雨イベント(総降雨量130.5mm, 最大5分間降雨量15mm)のみであった。同降雨イベントの降雨継続時間は1時間50分であり、短時間で猛烈な雨が発生したイベントであった。透水性舗装の表層と路盤の空隙率および施工厚を考慮すると、降雨強度に因らず総降雨量120mm程度までは貯水が可能である。一方、同降雨イベントは試験施工地の貯水可能容量を超える総降雨量であったことに加え、降雨継続時間が短く路床への浸透量が少なかったため表面流が発生したと推定される。なお、2021年7月10日にも5分間降雨量14.5mmの降雨が発生したが、総降雨量が32mmと少なかったため、雨は全て路盤内に貯留され、表面流は発生しなかった。

4.2.3 透水性舗装内の水位および湿潤舗装内の含水率変動 Fig. 5に、2020年10月7日から10日に発生した降雨イベントにおける、透水性舗装内の水位変化および湿潤舗装A内の含水率変化を示す。本降雨イベントの総降雨量は131.5mmであり、表面流が発生した降雨イベントと同程度の総降雨量であったが、本イベントでは表面流は発生しなかった。降雨継続時間が約3日間と長く、降雨中の路床への雨水浸透量が多かったことが理由として考えられる。

透水性舗装の路面は透水性が高いため、降雨発生後すぐに透水性舗装の路盤内の水位が上昇した。また、湿潤舗装路盤内の含水率も上昇した。

降雨終了後、約4日間をかけて水位が低下した。施工時に実施した現場透水試験の結果、路床の透水係数は $1.3 \times 10^{-5} \text{m/s}$ であった。これは一般的な関東ローム層の透水係数と同等である¹²⁾。そのため、関東ローム層が分布する関東地方でハイドロペイブ ライトを施工した場合、本試

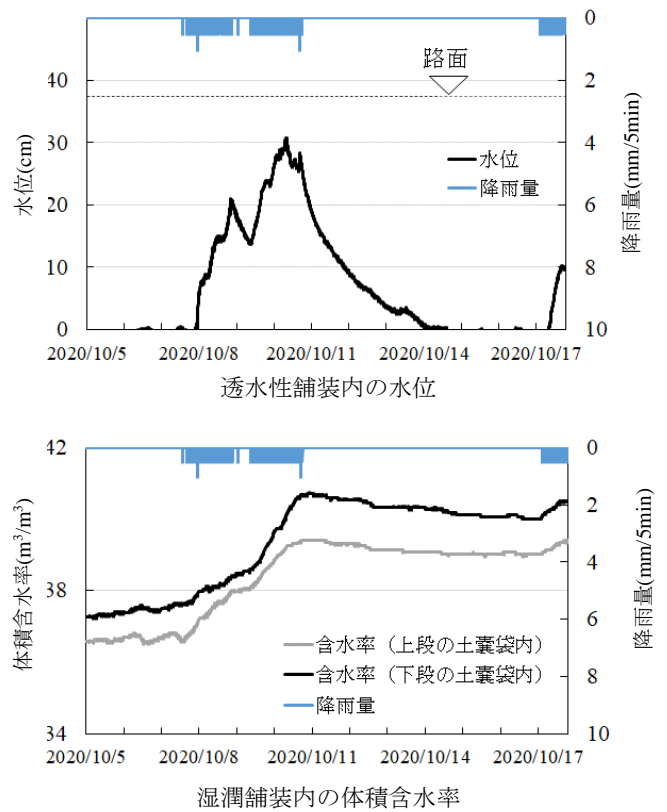


Fig. 5 降雨イベント内の水位および含水率変化
Water Level and Moisture Content Changes during Rainfall Events

験施工と同等の水位減少速度になると予想される。

降雨終了後、湿潤舗装内の含水率も緩やかに減少する傾向を示したものの、降雨前と比べると含水率が高い状態が維持されており、その状態は次の降雨が発生した7日後まで継続していた。

4.3 湿潤舗装の路面温度

湿潤舗装AおよびBの各3か所において、路面に設置し

たブロックの目地内（深度約20mmから30mm）に熱電対を埋設し、ロガーを用いて1時間毎の温度を記録した。また、試験施工地に隣接するアスファルト舗装の表面にも熱電対を埋設し、同ロガーで温度を記録した。

2020年8月17日から31日における各舗装の路面温度の経時変化をFig. 6上段に示す。夏場の日中はアスファルト舗装の路面温度が約60°Cに達するのに対し、湿潤舗装AおよびBの路面温度はアスファルト舗装と比較し、約10°Cから20°C低い結果が得られた。また、湿潤舗装Bの路面温度は湿潤舗装Aより約5°Cから10°C低下した。

試験期間中の大部分の時間帯において、湿潤舗装Bの路面温度は夜間を含めてアスファルト舗装より低く、その最大温度差は22.6°Cであった(Fig. 6下段)。

5. ポーラスコンクリートの表面温度測定

5.1 測定方法

供用中の大林道路機械センターの試験地では、透水性舗装の路面温度測定を実施できなかった。そこで、東京都清瀬市にある大林道路技術研究所の屋上にポーラスコンクリートの供試体を設置し、表面温度を測定した。測定期間は2021年8月11日から10月27日であった。

路盤内での貯水の有無による表面温度の違いを評価するため、側面および底面を断熱材で被覆したアクリル箱（縦200mm×横200mm×高さ250mm）上に縦190mm×横190mm×厚さ100mmのポーラスコンクリート（以下、ポラコンA）を設置した(Fig. 7)。アクリル箱とポラコンAの隙間にバックアップ材を詰め、同隙間からの蒸発を抑制した。

同アクリル箱内に、ポラコンAの下端約5cmまで水を貯めた。降雨時にはポラコンAを浸透した雨によってアクリル箱内の水位が上昇するため、1週間に1回の頻度でアクリル箱の下部に設置した水抜きコックを開き、水位を調整した。

未貯水時のポーラスコンクリートの表面温度を評価するため、ポラコンAと同サイズのポーラスコンクリート（以下、ポラコンB）を台上に設置した。また、比較のため、同サイズのアスファルトを別の台上に設置した。

全ての供試体の表面に熱電対を設置し、ロガーを用いて5分毎の表面温度を記録した。

5.2 ポーラスコンクリートおよびアスファルトの表面温度

路盤内の貯水の有無による表面温度の差を評価するため、ポラコンBの表面温度からポラコンAの表面温度を引いた値をFig. 8上段に示す。路盤内の水が水蒸気へと相変化する際、潜熱として熱が表面から奪われるため温度が低下する。その低下量は約3°Cから5°Cであり、最大7.3°Cの温度差が生じていることが分かった。

アスファルトの表面温度からポラコンAの表面温度を引いた値をFig. 8下段に示す。日中の最大温度差は約4°C

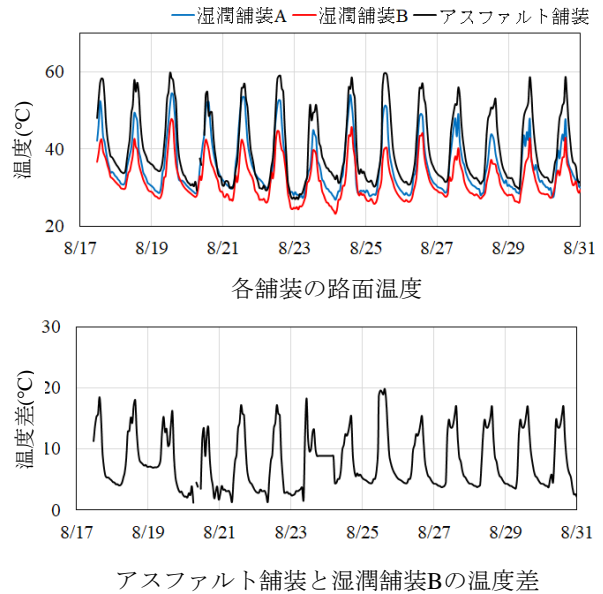


Fig. 6 路面温度
Road Surface Temperature

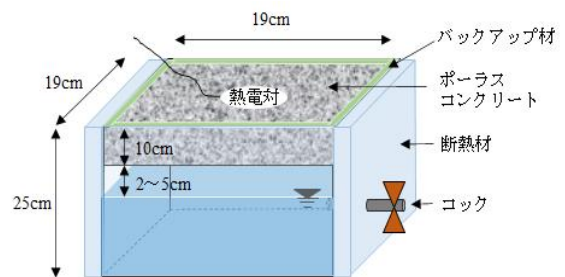


Fig. 7 表面温度測定
Surface Temperature Measurement

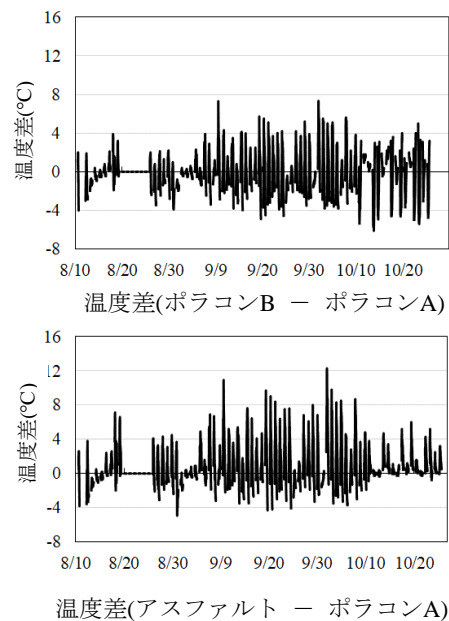


Fig. 8 表面温度差
Surface Temperature Difference

から8°Cであり、最大温度差は12.3°Cであった。

Fig. 9に9月10日および10月2日におけるポラコンAおよびアスファルトの表面温度変化を示す。午前中に気温が上昇するにつれ、ポラコンAとアスファルトの温度差が拡大し、およそ9:30から11:30に最大の温度差が生じた。アスファルトと比較すると、ポラコンAの方が同量の熱量に対する温度変化が小さく、午後気温が低下するにつれて、ポラコンAとアスファルトの温度差が解消される日が多かった。

6. まとめ

雨水流出抑制およびヒートアイランド現象緩和ニーズに応えるため、透水性舗装と湿潤舗装を組み合わせた「ハイドロペイブ ライト」を開発した。ハイドロペイブ ライトの開発にあたり、透水性舗装の路盤内に貯留された雨が湿潤舗装に導水され、蒸発する際に周囲から熱を奪う仕組みを考案した。

ハイドロペイブ ライトの機能に関して、得られた知見を下記に示す。

- 1) 透水性舗装の路面の透水性は大きく低下せず、施工後2年経っても基準値を満たしていた。
- 2) 2020年6月から2022年1月に発生した降雨は、1降雨イベントを除き、ハイドロペイブ ライトの路盤内で全て貯留された。
- 3) 湿潤舗装Bの路面温度は夜間を含めてアスファルト舗装より低く、最大温度差は22.6°Cであった。
- 4) 路盤内で貯水していない場合と比較し、貯水時のポーラスコンクリート表面温度は最大7.3°C低下した。
- 5) アスファルト舗装と比較し、路盤内で貯水時のポーラスコンクリート表面温度は最大12.3°C低下した。

以上の結果から、ハイドロペイブには高い貯水性と路面温度低減効果があることが明らかとなった。また、国土交通省でも議論されているグリーンインフラの一技術として活用できると考えられる。さらに、水循環という観点でも有用な技術である。そのため、今後も本技術に関する知見を蓄積するために、湿潤舗装からの蒸発量評価や、湿潤舗装AとBに温度差が生じたメカニズムの解明等を行っていく。

参考文献

- 1) UNITED NATIONS,“PARIS AGREEMENT”,
https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreem

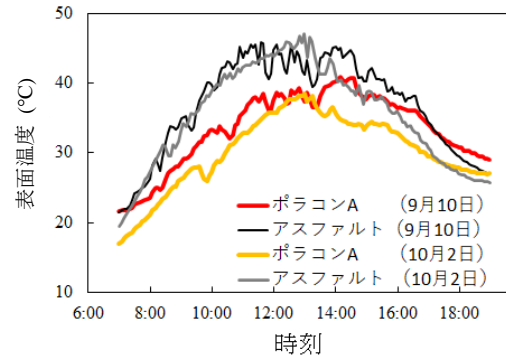


Fig. 9 表面温度変化
Change in Surface Temperature

- ent.pdf (参照 2022-09-16)
- 2) 文部科学省・気象庁,“IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳(2022年5月12日版)”, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WG1_SPM_JP_20220512.pdf, (参照 2022-05-29)
- 3) 文部科学省・気象庁：日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書, 2020.12
- 4) 気象庁,“都市化率と平均気温等の長期変化傾向”, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr_1-1-1.html#ex3(参照 2022-08-29)
- 5) 国土交通省,“道路統計年報2020”, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2020tokei-nen.html>(参照 2022-08-29)
- 6) 吉中, 他：路面温度のヒート抑制を目的とした機能性舗装に関する一検討, 土木学会舗装工学論文集, No. 6, pp. 29-38, 2001.12
- 7) 徳本, 他：舗装体の温度上昇を抑制する保水性舗装材の開発について, 土木学会舗装工学論文集, No. 3, pp. 191-200, 1998.12
- 8) 吉田：透水性コンクリート, 石膏と石灰, No. 202, pp. 53-57, 1986.5
- 9) 公益財団法人 日本コンクリート工学会：性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会 報告書, p. 99, 2015.6
- 10) 藤井・光谷：短時間豪雨対応雨水循環システムの試験施工, 大林道路技術報, No. 45, pp. 1-6, 2021.5
- 11) 社団法人 セメント協会 舗装技術専門委員会：供用5年を経過した車道用ポーラスコンクリート舗装, セメント・コンクリート, No. 736, pp. 7-13, 2008.6
- 12) 公益社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針(案)調査・計画編, p. 84, 2006.9