

過熱蒸気処理スギチップを用いた舗装の温度測定

矢杉瑠美*¹・岩本頼子・清川陽子・酒井温子・伊藤貴文*²・増田勝則

2008年9月に奈良県森林技術センター内に施工された、無処理のスギチップ舗装(無処理チップ舗装)、過熱蒸気処理したスギチップ舗装(処理チップ舗装)、およびそれ以前に施工されたアスファルト舗装について、路面と路面から5cm下の位置で温度を測定した。

無処理チップ舗装と処理チップ舗装の路面温度は、日中は高いが、夜間は気温とほぼ同じまで低下した。一方、アスファルト舗装の夜間の路面温度は、気温よりも4~5℃高い状態が続いた。

また、路面下5cmでは、処理チップ舗装はアスファルト舗装に比べて、日の出以降の温度上昇が遅く、1℃の上昇に長時間を要した。このことから、処理チップ舗装はアスファルト舗装よりも熱伝導率が低いことが示唆された。

したがって、アスファルト舗装では舗装内部まで熱が伝わり、日中蓄えられた熱が夜間に放出し続けるのに対して、処理チップ舗装は蓄熱量が少なく夜間の熱の放出も少ないと考えられ、処理チップ舗装は、夜間のヒートアイランド化の軽減に寄与できる可能性が示された。

また、処理チップ舗装では、夏季の日中において接触体感温度がアスファルト舗装よりも低く、熱環境的に快適な歩行につながると予想された。

1. はじめに

戦後に植栽されたスギ、ヒノキを中心に、全国において人工林での蓄積量が増加しており、森林・林業基本計画等各種政策においても、新たな木材需要の創出に向けた取り組みが進められている。その中で、土木分野での利用として木質舗装がある。現在、主要な舗装材であるアスファルトコンクリートは蓄熱しやすく、都市部の気温がその周辺地域よりも高くなる「ヒートアイランド現象」の発生原因の1つと考えられている。木材は、蓄熱しにくいという性質があるため、チップ化して舗装材に活用することでヒートアイランド現象の緩和に寄与できる可能性があるが、舗装の施工時にはチップは砂やアスファルト乳剤と混合されることから、木質舗装の熱的性質は、実際の舗装材で温度測定を行い検証する必要がある。

一方、木質舗装は腐朽等により劣化しやすいことが課題であるが、これまで著者らは、木材に過熱蒸気処理を施すことで耐久性が向上することを見出し、この処理チップを骨材とした木質舗装材を開発した。各所で試験施工を行うとともに各種性能の確認を行っており¹⁻⁴⁾、その一環として5年間の野外暴露試験を行ったところ、生物劣化による顕著な被害は発生しなかった⁴⁾。

そこで、本研究では、木質舗装の普及を目指し、2008年9月に奈良県森林技術センター内に施工された、無処理または過熱蒸気処理したスギチップを用いた舗装、ならびにアスファルト舗装について温度測定を行い、スギチップ舗装の持つ熱的性質を調査したので報告する。

2. 材料および方法

2.1 材料

気乾状態にある無処理および220℃で24時間過熱蒸気処理をしたスギ板材(幅120mm×厚さ25mm×長さ3,000mm)をチップパーで粉砕し、図1のようなスギチップを得た。粉状になったものと長さが40mmを超えるものは取り除いた。気乾状態の無処理チップあるいは過熱蒸気処理チップを骨材とし、その他の原材料と共に表1のとおり配合し、舗装材を得た。それらを用いて、奈良県森林技術センター(奈良県高市郡高取町)において、ニチレキ株式会社により2008年9月に施工が行われた。舗装の厚さは約5cmであった。施工直後の様子を図2に、また約12年経過後の様子を図3に示す。以降、無処理チップを用いた舗装は、無処理チップ舗装と略し、過熱蒸気処理チップを用いた舗装は、処理チップ舗装と略す。

*1 現 奈良県 水循環・森林・景観環境部 奈良の木ブランド課

*2 現 京都府立大学

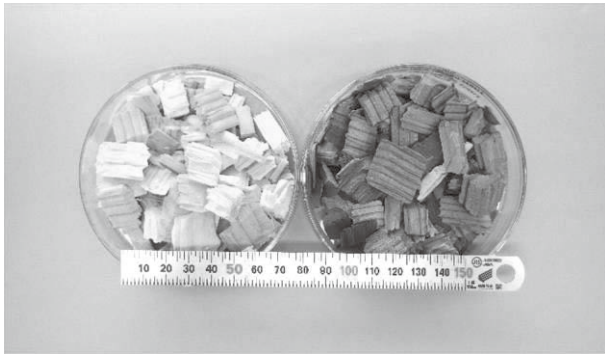


図1 舗装に使用したスギチップ(左:無処理、右:処理)

表1 木質舗装材の混合割合

材 料	重量(%)
スギチップ	25.0
粗目砂	39.1
普通セメント	7.1
硬化剤	1.8
顔料	1.5
アスファルト乳剤	25.5
水	適量
計(水を除く)	100.0



図2 施工直後の木質舗装材
(左:無処理チップ舗装、右:処理チップ舗装
撮影日:2008.9.25)



図3 施工後12年が経過した木質舗装材
(左:無処理チップ舗装、右:処理チップ舗装
撮影日:2021.1.26)

2.2 方法

2.2.1 センサによる温度測定

無処理チップ舗装、処理チップ舗装、および比較のために、奈良県森林技術センター内のアスファルト舗装において温度測定を行った。このアスファルト舗装は、両チップ舗装の施工前にすでに整備されていたものである。

舗装表面での測定は、耐水性の温度センサ(T&D社製フッ素樹脂被膜センサTR-5106)を用いて2008年10月より各舗装において2カ所で行った。このセンサの測定精度は、仕様書によると、 $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ の範囲で $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ である。センサは舗装表面に接して置き、20分または30分間隔で温度を測定し、小型のデータロガ(T&D社製TR-52S)で記録した。以下、これを路面温度と記す。

また、施工後11年が経過した2019年に、各舗装の熱的性質を多面的に把握するために舗装底部の温度測定を追加した。具体的には、路面温度の測定位置から水平方向に約5~10cm離れた場所に深さ約5cmの穴を開け、上記と同じ温度センサを穴の底まで差し込み、20分間隔で温度を測定した。以下、これを路面下5cmの温度と記す。穴を開ける際には、直径3mmのセンサと舗装の間にできるだけ隙間が生じないように、直径3.2mmのコンクリート用ドリル刃を使用した。

気温は、2008年10月から2017年7月までは奈良県森林技術センター内に設置された百葉箱で、その後は、路面温度の測定場所付近において高さ1.5mの位置に設置したセンサにより測定した。

2.2.2 サーモグラフによる温度測定

無処理チップ舗装、処理チップ舗装、およびアスファルト舗装が併設する箇所において、赤外線サーモグラフ(FLIR社製E53)を用いて、日中(14時ごろ)と夕方(18時ごろ)に温度測定を行った。また、処理チップ舗装およびアスファルト舗装において、15時ごろに各路面に同時に手のひらを約30秒間あて、その直後に手のひらの温度を測定した。測定はいずれも夏季の晴天日である2019年9月12日に行った。

3. 結果および考察

3.1 各舗装における路面温度の変化

図4に、最高気温が 35°C を超えた夏季の晴天の1日において、各舗装の路面温度と気温の変化を示した。ここでは、両チップ舗装施工後約1年経過時の2009年8月8日と、12年経過時の2020年8月21日の結果を示している。

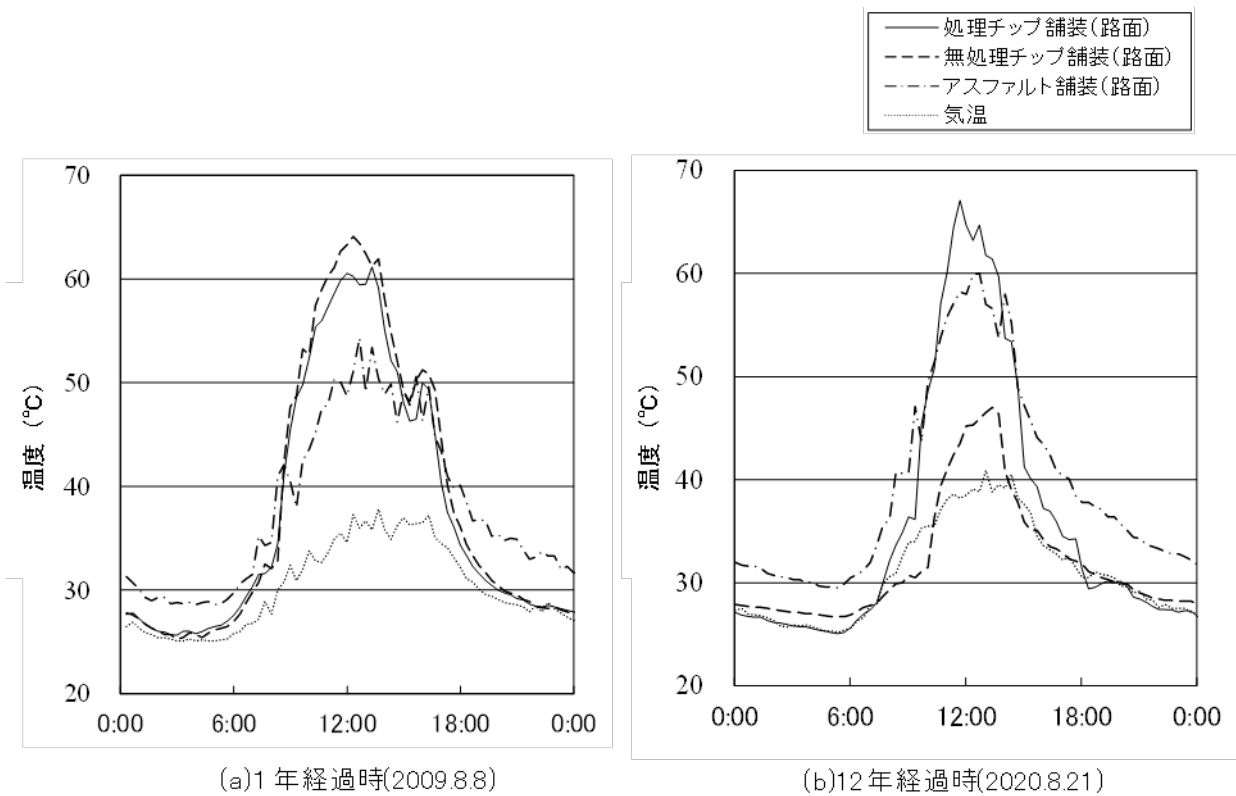


図4 夏季晴天時の路面温度の日変化

まず、1年経過時において、無処理チップ舗装と処理チップ舗装の路面温度はよく似た日変化を示した。また、両チップ舗装は、夜間はアスファルト舗装よりも温度が約5°C低い、逆に日中は約10°C高かった。さらに、気温と比較すると、両チップ舗装の路面温度は夜間は気温とほぼ同じであるが、アスファルト舗装の路面は夜間も気温より4~5°C程度高いことがわかる。以上の特徴は、茨城県つくば市における同様の調査結果と概ね一致した³⁾。これらの様子から、両チップ舗装の路面は、熱しやすく冷めやすいといえる。一方、アスファルト舗装は、日中蓄えた熱を夜間に放出し続けていることが示唆された。

次に、両チップ舗装施工後12年経過時の路面温度の日変化を1年経過時と比較すると、処理チップ舗装とアスファルト舗装の日変化は12年が経過しても、大きな違いは認められないが、無処理チップ舗装では、日中の温度上昇が少なくなった。

そこで、夏季の抽出した日の比較ではなく、12年間の経年変化を総合的に見るために、図5では、舗装ごとに、3年、7年、9年および12年経過時(2011、2015、2017および2020年の各8月)の気温と路面温度の関係を示した。処理チップ舗装とアスファルト舗装では、経年に

よる顕著な変化は見られないが、無処理チップ舗装では、気温に対する路面温度の上昇割合が低下していることが、この図5からも明らかになった。これは、図2と図3の比較からも推察されるように、12年間で無処理チップ舗装には徐々に草が繁茂し、温度センサが草に覆われ日陰になるとともに、植物の蒸散作用が路面温度に影響を与えたと考えられる。無処理チップが腐朽し保水性が高まった可能性もある。

一方、図4および図5は、センサを取り付けた位置における温度測定の結果であるが、図6では、両チップ舗装施工後12年経過時のサーモグラフによる測定結果を示した。ここでは、同一箇所を同一日の14時ごろと18時ごろに測定しており、14時ごろの気温は32°Cで、路面温度は高い方から、処理チップ舗装>アスファルト舗装>無処理チップ舗装、18時ごろの気温は27°Cで路面温度はアスファルト舗装>処理チップ舗装≧無処理チップ舗装であった。この順は、図4(b)の日中と夕方の温度の傾向と概ね一致しており、図4および図5の結果は、センサによる測定位置のみならず舗装全体の特徴と捉えることができる。

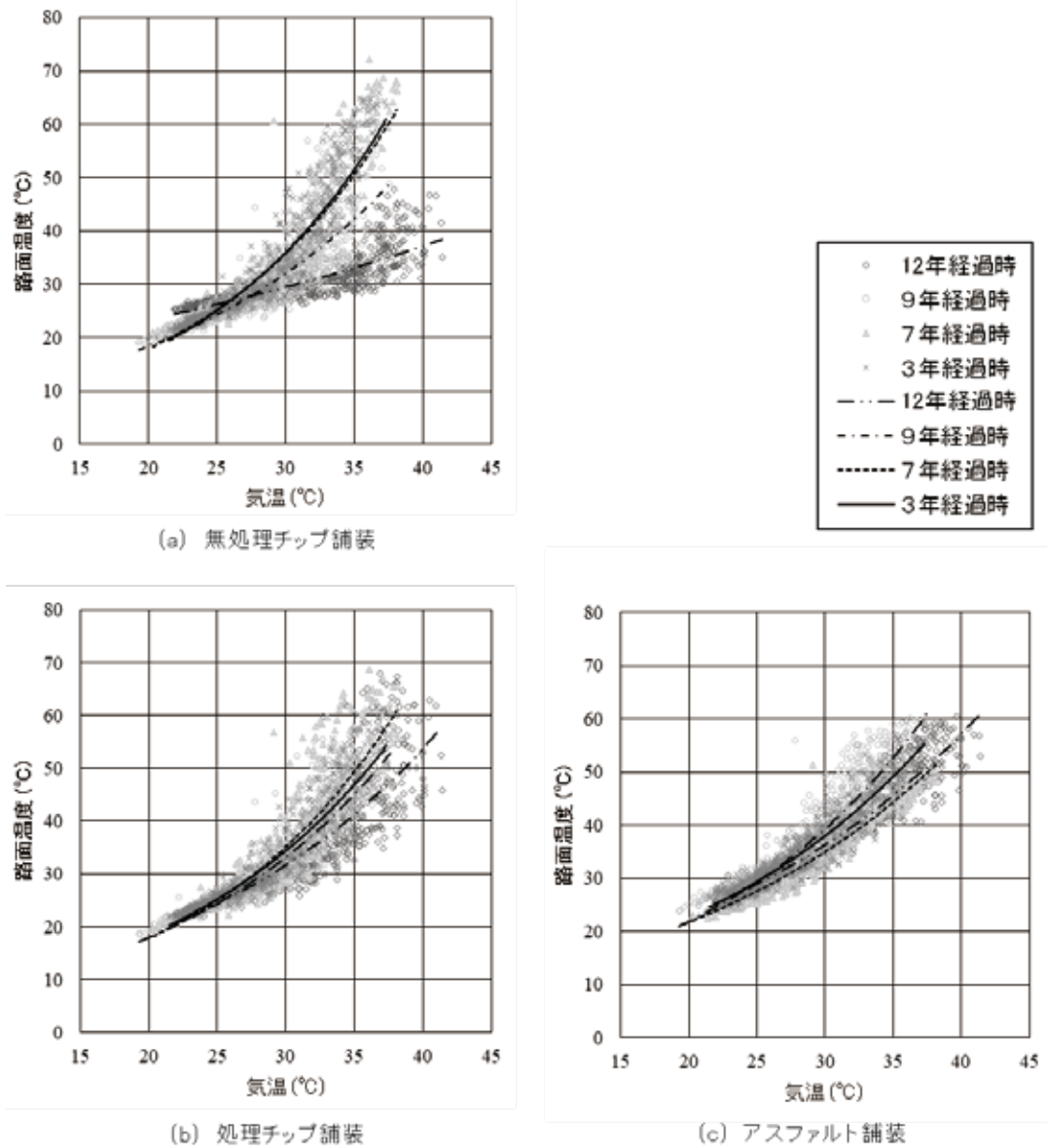


図5 両チップ舗装施工後3年、7年、9年および12年経過時（2011、2015、2017および2020年の各8月）における気温と路面温度の関係

3.2 各舗装における路面下5cmの温度の変化

3.1で、無処理チップ舗装の温度変化は、草等の影響を受けていることが示唆されたので、舗装そのものの特徴を把握するために、図7および図8では、処理チップ舗装とアスファルト舗装について、路面と路面下5cmの温度変化を示した。処理チップ舗装では、路面は最高67°C、路面下5cmは最高37°Cで、約30°Cの差があるが、アスファルト舗装では、路面は最高60°Cに対して、路面下5cmは最高47°Cとなり、約13°Cの差となった。このように、処理チップ舗装の方が、路面と路面下5cmの温度差が大きかった。

また、図9では、日の出の時刻である午前5時22分

ごろを基点として、処理チップ舗装とアスファルト舗装における温度上昇の様子を示した。路面ではいずれの舗装でも同様に温度が上昇したが、路面下5cmでは、処理チップ舗装はアスファルト舗装よりも温度上昇の開始が遅く、また1°C上昇するのに長時間を要した。路面下5cmの温度は、路面が受けた太陽の熱が下方向に伝わった結果であり、このことから処理チップ舗装は熱が伝わりにくいことが明らかになった。それに対して、アスファルト舗装では処理チップ舗装よりも熱伝導率が高く、舗装内部まで熱が伝わるとともに熱を蓄えることにつながったと考えられた。

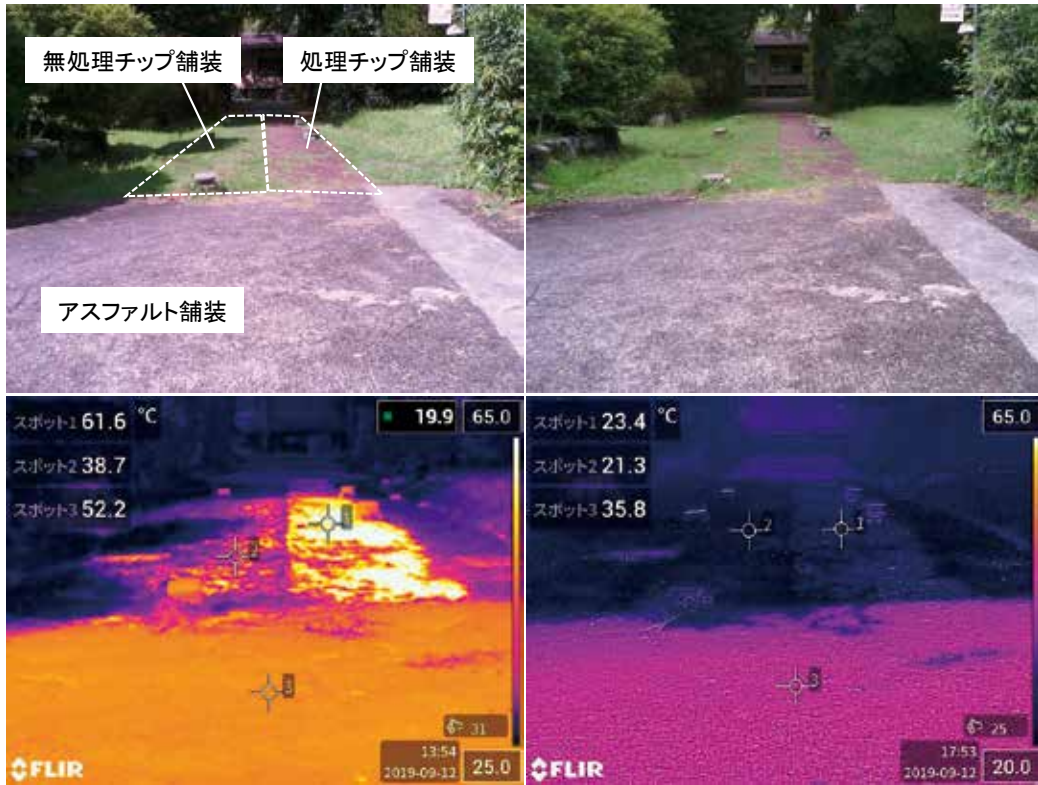


図6 14時ごろ（左）と18時ごろ（右）の路面温度（測定日：2019.9.12）

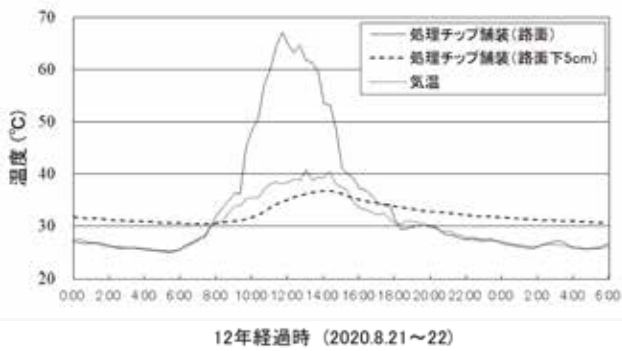


図7 夏季晴天時の路面および路面下5cmの温度変化（処理チップ舗装）

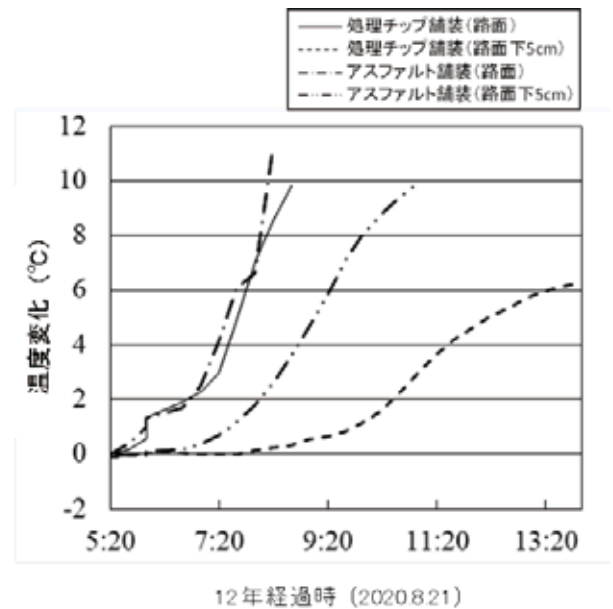


図9 日の出時刻を起点とした温度上昇の推移

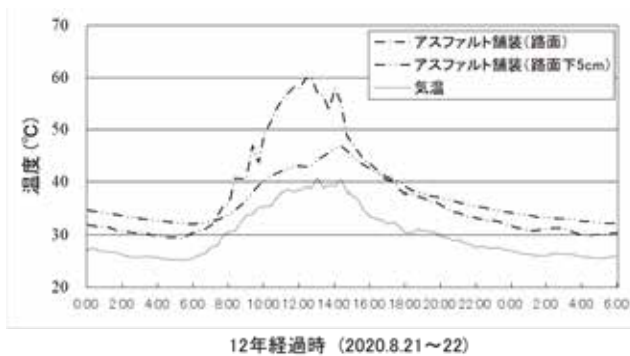


図8 夏季晴天時の路面および路面下5cmの温度変化（アスファルト舗装）

3.3 各舗装の接触体感温度

処理チップ舗装およびアスファルト舗装について、路面温度がそれぞれ 54.9℃、41.8℃である路面に手を触れたところ、図 10 のとおり、手のひらの温度はそれぞれ 34.7℃、37.0℃となった。つまり、手のひらの温度は、路面温度の高い処理チップ舗装よりも、路面温度の低いアスファルト舗装に触れた方が高くなっている。このことは、処理チップ舗装は路面温度は高いが、舗装内部からの熱の供給はアスファルト舗装よりも少ないことを示している。前述したように、処理チップ舗装は舗装全体の熱伝導率が低いために、太陽から受けた熱は路面だけに集中し、内部での熱の蓄積が少なかったと考えられる。

以上から、処理チップ舗装では、夏季の日中において接触体感温度がアスファルト舗装よりも低く、熱環境的に快適な歩行ができると考えられる。

4. まとめ

2008 年 9 月に奈良県森林技術センター内に施工された、無処理または処理チップ舗装、ならびにそれ以前に

施工されていたアスファルト舗装について温度測定を行った。得られた結果をまとめると以下の通りである。

無処理チップ舗装と処理チップ舗装の路面温度は、日中は高いが、夜間は気温とほぼ同じまで低下した。一方、アスファルト舗装の夜間の路面温度は、気温よりも 4～5℃高い状態が続いた。

また、路面下 5cm では、処理チップ舗装はアスファルト舗装に比べて、日の出以降の温度上昇が遅く、1℃の上昇に長時間を要した。このことから、処理チップ舗装はアスファルト舗装よりも熱伝導率が低いことが示唆された。

以上から、アスファルト舗装では舗装内部まで熱が伝わり、日中蓄えられた熱が夜間に放出し続けるのに対して、処理チップ舗装は蓄熱量が少なく夜間の熱の放出も少ないと考えられ、処理チップ舗装は、夜間のヒートアイランド化の軽減に寄与できる可能性が示された。

また、処理チップ舗装では、夏季の日中において接触体感温度がアスファルト舗装よりも低く、熱環境的に快適な歩行につながると予想された。

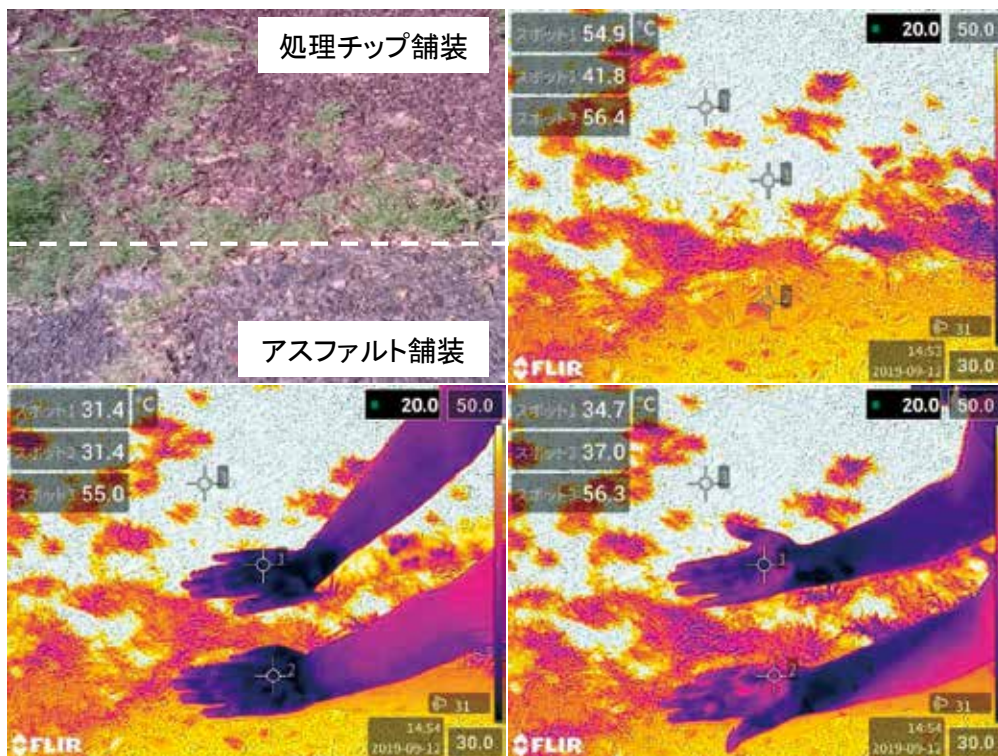


図 10 路面に触れた直後の手のひらの温度
(測定日時：2019. 9. 12 15 時ごろ)

謝辞

本研究は江間忠木材・江間忠合板研究助成プロジェクトの助成により開始したものです。末筆ながら、深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 伊藤貴文, 酒井温子, 土井正, 藤平真紀子: 過熱蒸気処理による木質チップの高耐朽化と土木資材としての性能評価. 江間忠木材・江間忠合板研究助成プロジェクト研究完了報告書(2011)
- 2) 今村博之ほか編: “6章 木材加工と抽出成分”. 木材利用の化学. 東京, 共立出版株式会社, 1983, 76-88.
- 3) 吉田貴紘、久保島吉貴、上川大輔: 半炭化処理木質舗装材の特徴—路面温度測定からの考察. 第70回日本木材学会大会(鳥取)研究発表要旨集, Q17-P3-14(2020)
- 4) 矢杉瑠美ほか10名: 半炭化処理木質舗装材の野外ばく露試験. 奈良県森技セ研報. 50, 33-40(2021)

(2021年4月9日 受理)