

スギチップの屋上敷設材への試み

岩本頼子・矢杉瑠美*¹・増田勝則・伊藤貴文*²

奈良県森林技術センター本館屋上に、屋上敷設材として試験施工した無処理および過熱蒸気処理したスギチップについて、屋上コンクリート床面の温度上昇抑制効果と、その経年劣化を 12 年間調査した。

チップの敷設は、夏季においては、コンクリート床面の温度上昇を 30℃程度抑制でき、かつ日変化を 2～4℃差に低減できたことから、ヒートアイランド現象の緩和に役立つ可能性が示唆された。また、この効果を保つには、敷設厚さは、少なくとも 100 mm 以上が必要であることがわかった。

さらに、無処理チップでは腐朽等の劣化により、4～6mm/年ずつ敷設厚さが減少したが、過熱蒸気処理チップでは 1～3mm/年ずつの減少であり、同処理が敷設厚さの維持に有効であることが実証された。

1. はじめに

2000 年に建設リサイクル法が制定されたことにより、「建設発生木材」の再資源化等が義務づけられた。国土交通省の平成 30 年度建設副産物実態調査によると、年間に解体工事等で発生し場外搬出される「建設発生木材」は 553 万トン、そのうち、507 万トンが再資源化されている。主に破砕施設に搬入され、その後、燃料利用（サーマルリサイクル）されるか、または、パーティクルボード、再生紙などに再資源化（マテリアルリサイクル）される。近年はバイオマス発電の普及により、未利用材、林地残材等を含めて、サーマルリサイクルに大きくシフトしているが、環境への負荷が小さいマテリアルリサイクルを経て、サーマルリサイクルする、多段階利用が望まれる。

著者らはこれまでに、建築解体材や林地残材等、利用率が低い木質バイオマスの有効利用法の開発を目的とし、過熱蒸気を熱媒体とした熱処理（過熱蒸気処理）による木質チップへの耐朽性付与を試みる¹⁾とともに、実験プラントを設計、稼働させ、連続的な処理が可能であることを実証してきた²⁾。また、舗装骨材や屋上敷設材といった土木環境資材としての利用について、実際に試験施工を行うことにより有効性を確かめ、用途に応じた性能評価を継続して実施してきた³⁻⁶⁾。

本研究では、2008 年 8 月に屋上敷設材として試験施工した、無処理および過熱蒸気処理したスギチップについて、屋上コンクリート床面の温度上昇抑制効果と、その経年劣化について調査した。また、チップ撤去前後における直下の階下の室温を比較し、チップ敷設による断

熱効果の検証を試みた。

2. 材料と方法

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 (120mm (W) × 25mm (T) × 3,000mm (L)) をチップパーで粉砕し、屋上敷設材として用いた。粉砕作業は、民間企業に依頼して行った。この際、粉状になったものと、幅と長さが 40mm を超えるような大きな形状になったものは、チップ製造時に除外された。

2.2 方法

2008 年 8 月に、奈良県森林技術センター本館屋上 (奈良県高市郡高取町吉備 1) にて、1mm メッシュのポリエチレン製ネットを敷いたうえに、スギ心材板材 (120mm (W) × 20mm (T) × 1,900mm (L)) により作製した正方形の枠を設置した。枠ごとにチップの種類（無処理あるいは過熱蒸気処理チップ）を変えて、100mm、150mm および 200mm の厚さになるように敷設した。さらに、5mm メッシュのポリエチレン製ネットで覆い、チップの飛散を防止した。なお、同条件の試験区を 2 区画ずつ設置した。図 1 に敷設作業風景と敷設後の外観、図 2 に試験区の配置と温度測定箇所を示す。

温度の測定には小型のデータロガーを使用し、外気温、チップを敷設した直下（コンクリート床面との間）、何も敷設していないコンクリート床面、敷設したチップの上面、およびチップ敷設直下の階下部屋の温度について、20 分ごとに連続的に自動記録させた。なお、チップ敷設

*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 敷設作業風景（上）と敷設後の外観（下）

直下の階下部屋における断熱効果を評価するため、部屋の直上にあたる区域では、設置した試験区外についても、過熱蒸気処理チップを 5mm メッシュのポリエチレン製ネットで包み、約 150mm の厚さになるように敷設した。

温度測定の間は、敷設当初 2008 年 8 月から 2018 年 5 月までとした。さらに、2020 年 5 月（敷設後約 12 年経過時）に、屋上に敷設したチップを全て撤去したうえで、外気温、何も敷設していないコンクリート床面の温度、および直下の階下部屋の室温を連続的に測定し、敷設中との比較を行った。また、撤去時に、各試験区の敷設チップの厚さを、1 試験区あたり 4 か所で測定し、各条件 2 試験区の平均値を求めた。さらに、200mm の厚さに敷設した試験区 (T20-1、T20-2、C20-1、C20-2) の中央部から、それぞれ表層、中層、最下層のチップを採取し、目視および触診により劣化状況を観察するとともに、全乾法により含水率を測定した。

3. 結果と考察

3.1 敷設による温度上昇抑制効果

図 3 に、敷設後 1 年および 9 年経過時の典型的な夏季の 1 日の温度変化を示す。過熱蒸気処理チップ敷設直下

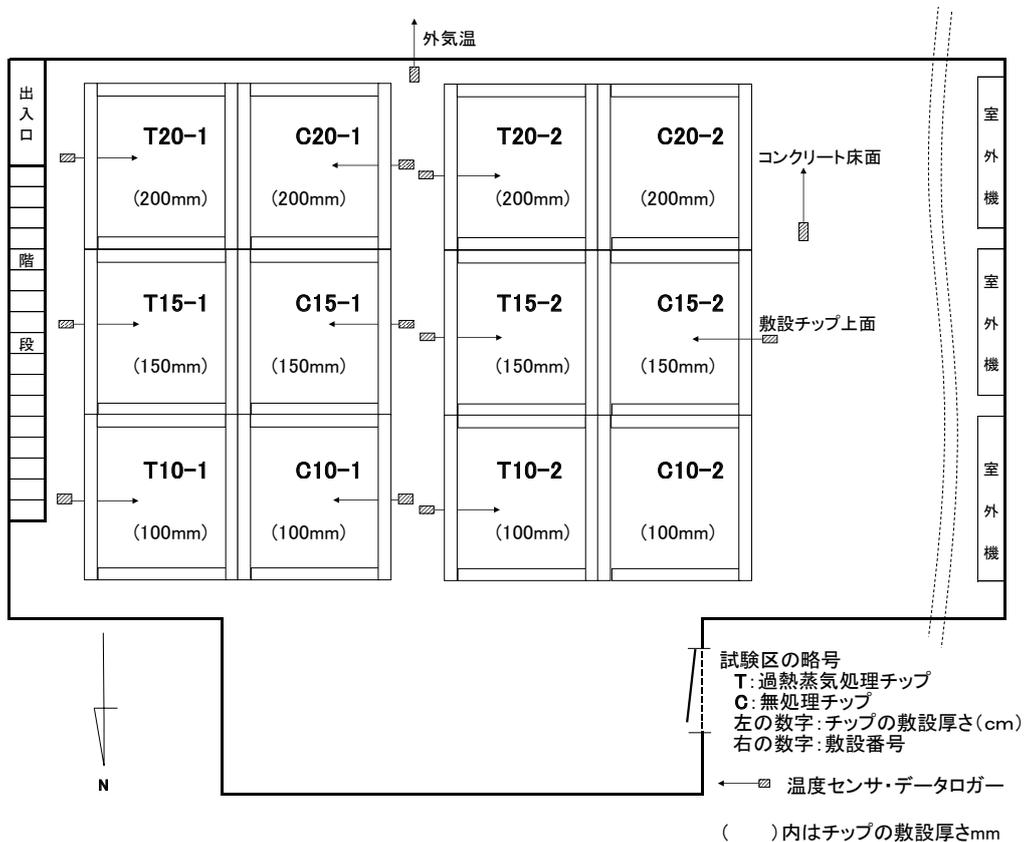


図2 試験区の配置と温度測定箇所

の温度は同条件の2試験区の平均値とした。敷設後1年では、この日、最高外気温が36°Cとなり、何も敷設していない屋上コンクリート床面は約60°Cまで上昇したのに対して、チップを敷設した直下のコンクリート床面では30~32°Cとなり、温度上昇が抑制された。また、チップを敷設することで、日変化(1日の最高温度と最低温度の差)も小さくなり、チップを敷設していないコンクリート床面では34°C差であったが、チップを敷設した場合は、過熱蒸気処理の有無に関わらず、200mmの厚さの敷設で約1.7°C差、150mmでは約2.3°C差、100mmでは約4°C差であった。一方、敷設後9年の状況について、

外気温の温度推移が酷似する日で比較すると、チップを敷設した直下のコンクリート床面の日変化は、200mm、150mmの厚さに敷設した試験区では2~2.5°C差となり、敷設後1年と比べて僅かに増加したが、100mmの厚さの試験区では日変化は約6°C差となり、2°C程度増加した。

さらに図4に、敷設後1年および9年経過時の8月における、外気温の日変化と、各測定箇所の日変化の関係を示す。何も敷設していない屋上コンクリート床面は、年数が経過してもグラフの傾きは変わらなかった。それに対して、チップを敷設した直下のコンクリート床面については、年数が経過することでグラフの傾きが大きく

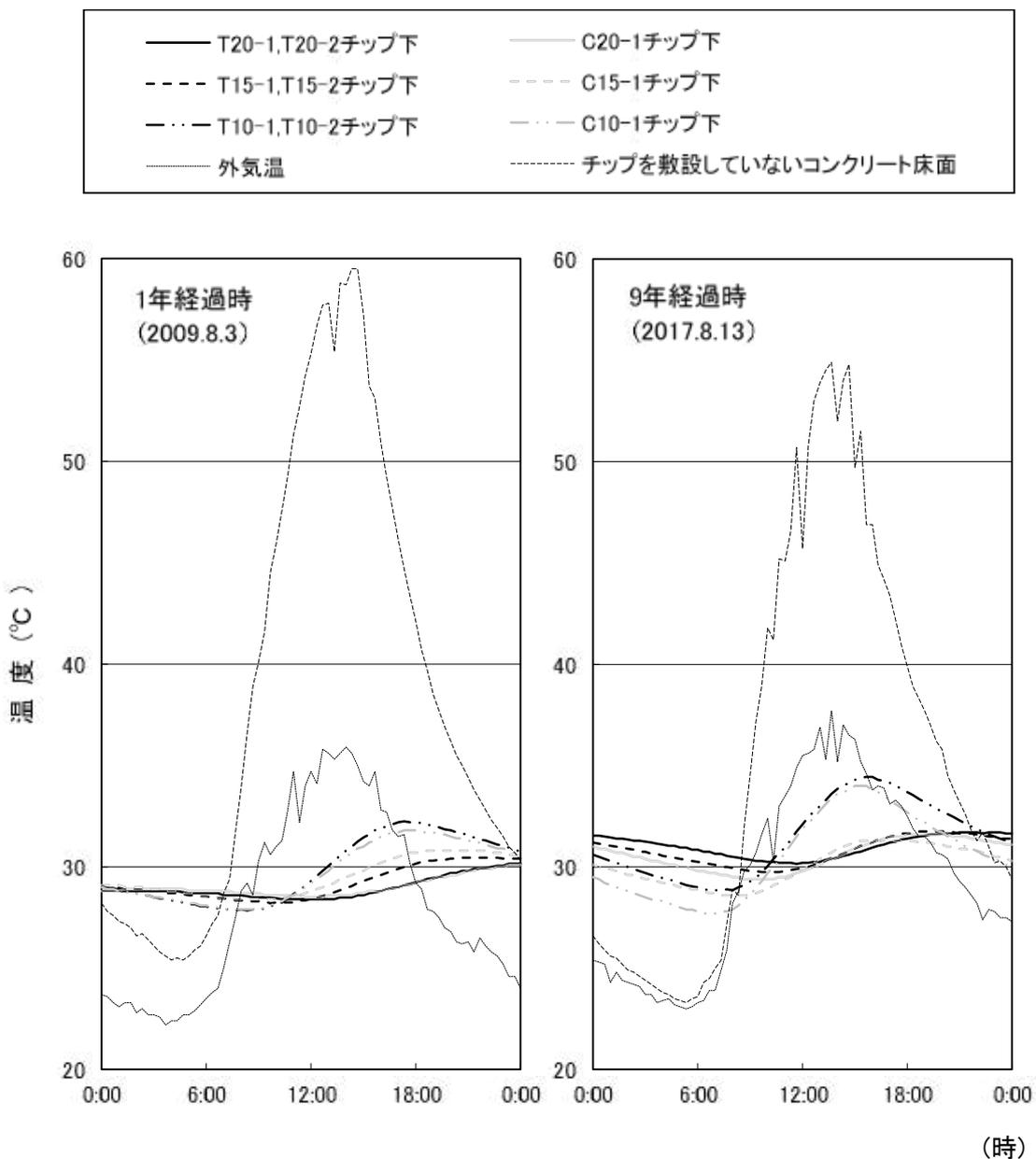


図3 典型的な夏季の1日の温度変化

なり、チップ敷設による温度上昇の抑制効果が低減していることが確認された。また、この傾きの増大は、チップの敷設厚さが小さいほど、また、過熱蒸気処理チップより無処理チップにおいて顕著であった。

図5に示すように、100mmの厚さで敷設した場合、撤去時(敷設後12年経過時)における敷設チップの厚さは、過熱蒸気処理(T10)で約75mm、無処理(C10)では約40mmにまで減少していたことから、上述した効果の低減は、敷設厚さの減少に起因するものと考えられる。チップ敷設による温度上昇の抑制効果を維持する、すな

わち、敷設時と同等の効果を10年以上維持するためには、少なくとも100mm以上の厚さを確保する必要があると考えられる。また、過熱蒸気処理(T10、T15、T20)では敷設した当初の厚さから約15~30mm減少していたのに対して、無処理(C10、C15、C20)では約50~80mm減少していた。1年あたりの減少量で見ると、過熱蒸気処理チップでは約1~3mm/年、無処理チップでは約4~6mm/年となる。厚さ減少の要因としては、チップの沈み込みや、気象劣化、生物劣化が考えられる。そのうち、沈み込みや、気象劣化は、過熱蒸気処理の有無に

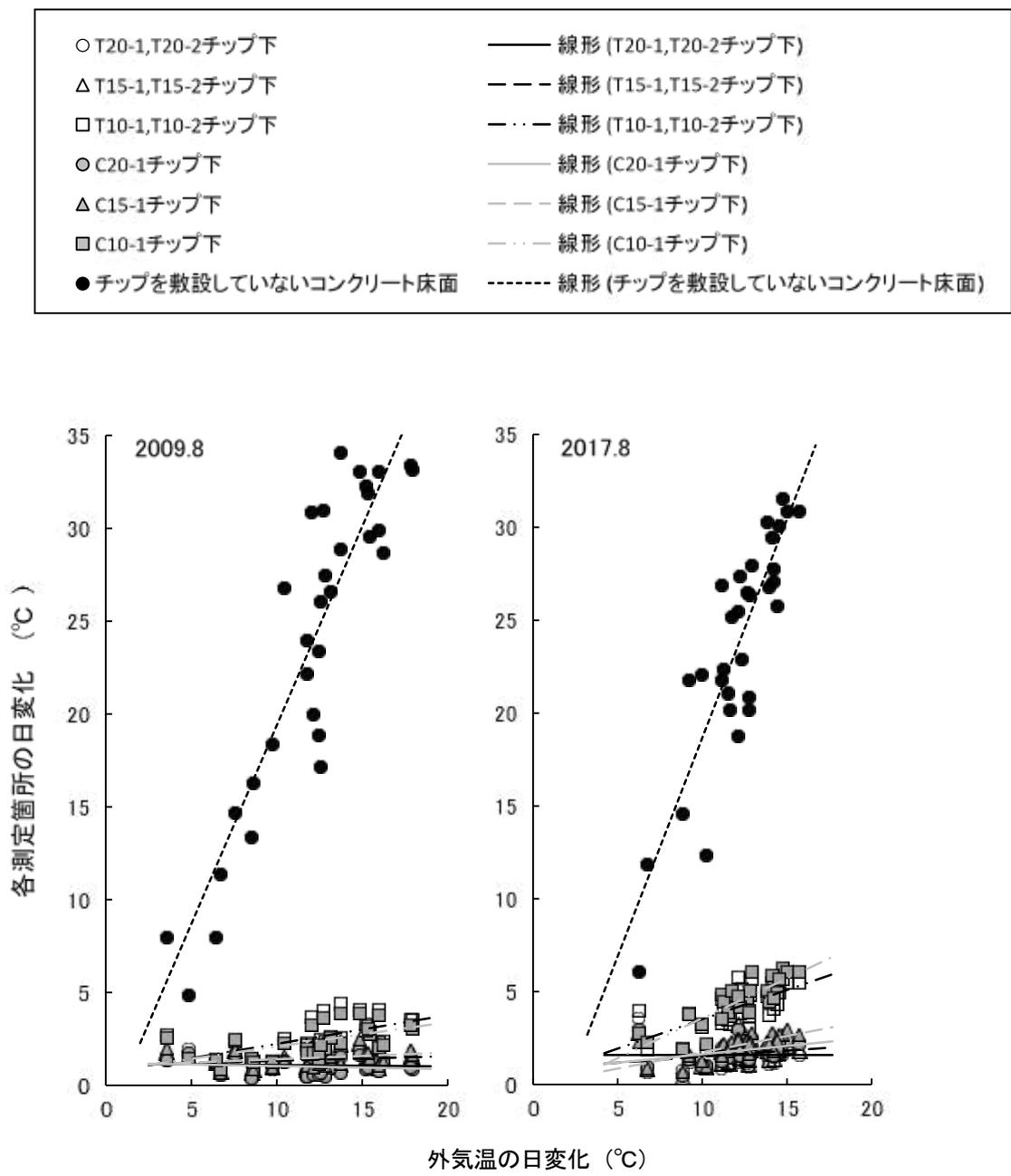


図4 外気温の日変化と各測定箇所の日変化の関係

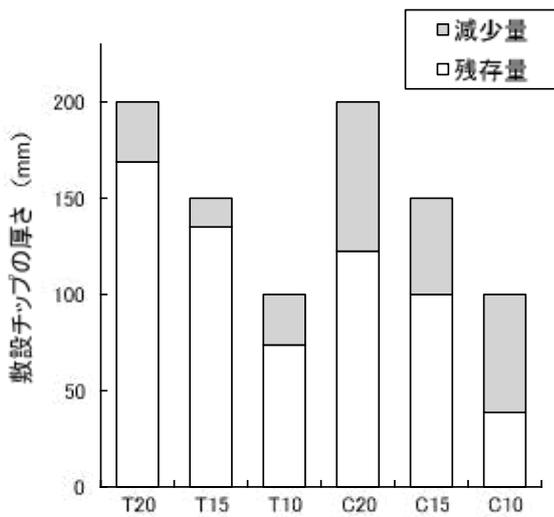


図5 敷設12年経過時のチップ厚さの減少

■+□ : 設置時の厚さ
□ : 12年経過時の厚さ

かかわらず生じることから、過熱蒸気処理と無処理の減少量の差は、生物劣化に対する抵抗性の差であると考えられる。また、3.2で述べるように、無処理チップのみに顕著な生物劣化がみられたことから、過熱蒸気処理による耐朽性向上が、厚さの維持に有効であることが確認された。

また、図6に示すように、コンクリート床面の温度は、蓄熱により、温度低下に時間がかかるとともに、外気温の最低値までは低下しない。一方、敷設チップ上面の温度は、屋上コンクリート床面と同じように上昇するものの、外気温の低下に伴い、速やかに外気温の最低値まで低下する。ヒートアイランド現象の要因の1つとして、コンクリートが日中に蓄積した熱を夜間になっても保持し、大気へ放出することによって夜間の気温の低下を妨げることが挙げられるが、チップの敷設はそれを抑制できる可能性がある。また、日中においても、敷設チップ上面の温度が上昇しても、コンクリートに比べてチップ(=木材)の熱伝導率が極めて低いこと、ならびに、チップは3.2で述べるように自由水を多く含み、水分の蒸発による熱の消費が多いことから、敷設チップ上面から大気へ放出する熱がコンクリートよりも少なくなると考えられる。

3.2 敷設資材の劣化状況

図7に敷設後12年経過したチップの様子、図8にチップ撤去時(2020年5月)の含水率を示す。表層は、過熱蒸気処理(T20)、無処理(C20)ともに、紫外線劣化による目やせが生じると同時に、カビや大気浮遊物質の付着

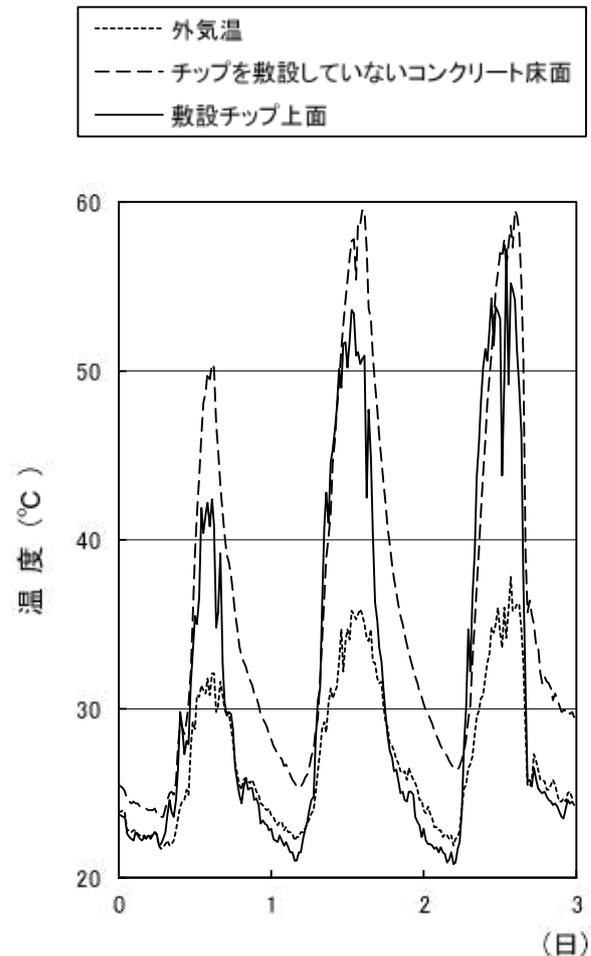


図6 敷設チップ上面とコンクリート床面の温度変化

により暗灰色化していたが、腐朽による軟化はみられず、含水率は約3%と極めて低かった。それに対して、中層および最下層のチップの含水率は、過熱蒸気処理(T20)では300~400%程度、無処理チップ(C20)では500~630%程度となり、いずれも、自由水を多く含み、飽水状態に近かった。そのため、無処理チップでは、最下層では細菌による分解等によりチップが著しく脆弱化しており、中層でも一部軟化しているものもあった。最下層で生物劣化が進行したことにより、敷設厚さが徐々に減少したと考えられる。しかしながら、過熱蒸気処理チップでは、最下層であっても軟化はほとんどみられず、過熱蒸気処理による耐朽性の向上が確認された。

また、無処理チップにおいては、最下層での細菌による分解等の他、表層直下で木材含水率が腐朽に適した範囲においては、木材腐朽菌による分解も進行したものと推察される。

3.3 敷設による断熱効果

図9に、チップ撤去前後の、夏季の3日における室温の変化を示す。外気温、ならびに何も敷設していない屋

上コンクリート床面の温度変化を併せて示した。撤去前は、外気温が 35℃を超える日が 3 日続いても、室温の最高温度は 30℃程度で維持されていたが、撤去後は、室温が 30℃から 32℃程度まで上昇した。これは、部屋上のコンクリートの蓄熱に起因するとみられ、チップ敷設による断熱効果が確認できる事象であると考えられる。

撤去後の測定を実施した 2020 年 6 月～8 月と、気温

の推移が似ている 2013 年について、各月の外気温、室温の最高値を比較した（表 1）。外気温、室温ともに、各月の日最高値の平均値をもって、その差を比較したところ、チップ撤去によって外気温と室温の差が 2℃程度減少する月もあるが、逆に増加する月もあった。気温差が増加した月（8 月）は、いずれの年も、極めて高温の真夏日が続き、降雨も少なかったことから、敷設による断熱



T20 表層



C20 表層



T20 中層



C20 中層



T20 最下層



C20 最下層

図7 敷設後 12 年経過したチップの様子

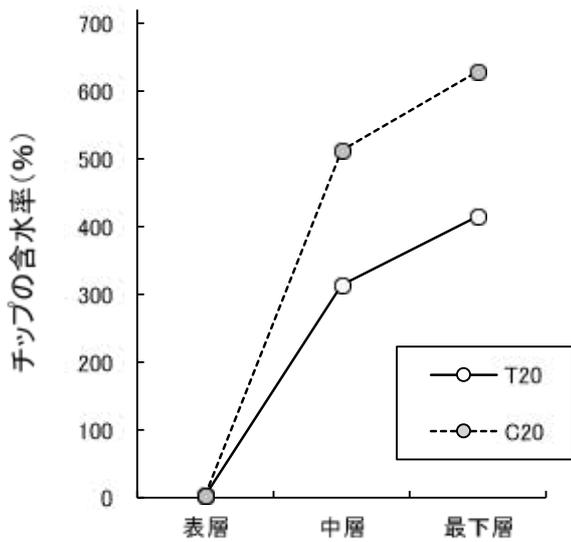


図8 撤去時(敷設後12年経過時2020年5月)におけるチップの含水率

効果が現れにくかったと考えられる。

4. まとめ

屋上敷設材として試験施工した、無処理および過熱蒸気処理したスギチップについて、屋上コンクリート床面の温度上昇抑制効果とその経年劣化について調査した。

その結果、処理の有無にかかわらず、夏季においては、コンクリート面の温度上昇を30°C程度抑制でき、かつ日変化を2~4°C差に低減できることがわかった。チップの敷設は、コンクリートの昇温、蓄熱を抑制することから、ヒートアイランド現象の緩和に役立つ可能性が示唆された。また、チップの劣化に伴い敷設厚さは減少し、効果が低減することから、10年以上効果を維持するには、少なくとも100 mm以上の厚さを確保する必要があることがわかった。さらに、過熱蒸気処理したチップでは耐朽性の向上が確認され、同処理が敷設厚さの維持に有効で

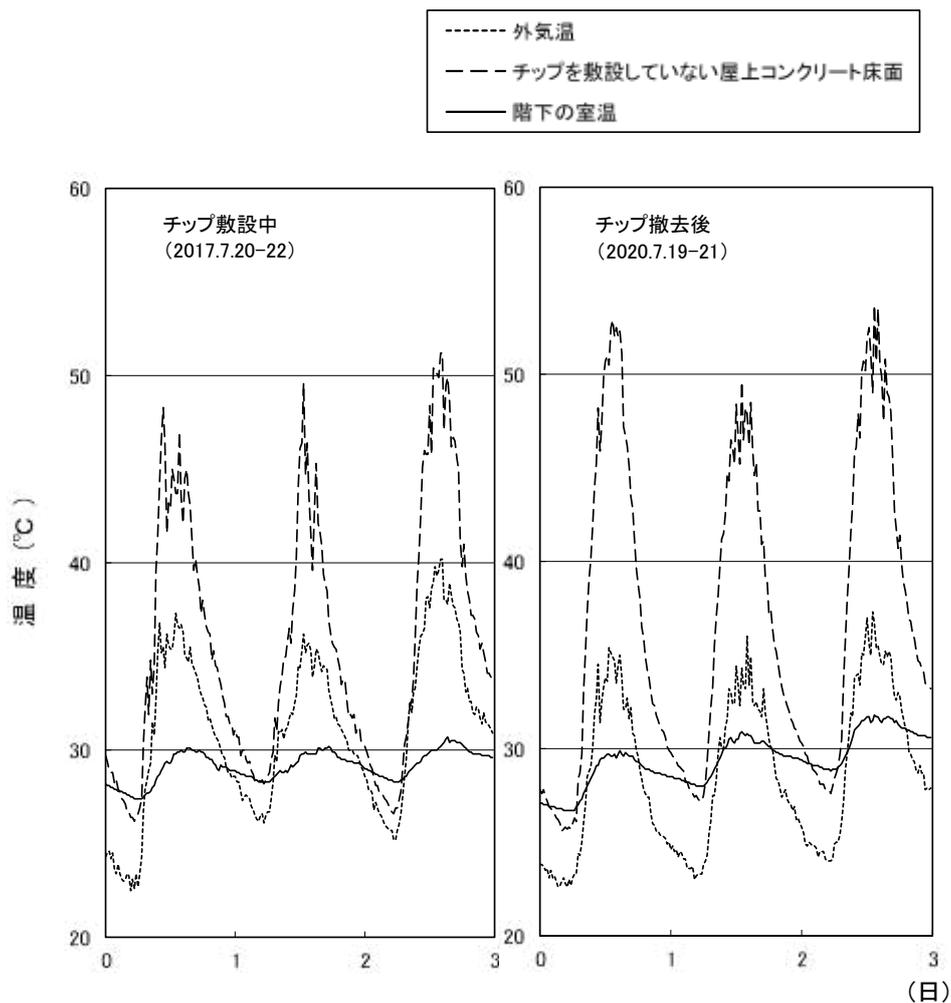


図9 夏季の3日の温度変化

表1 夏季における最高気温* (°C)

		6月	7月	8月	9月	
チップ敷設中 (2013年)	外気温	平均	30.2	35.0	36.3	31.3
		標準偏差	3.9	2.7	4.1	3.1
	階下の室温	平均	26.4	30.7	32.6	29.6
		標準偏差	1.6	1.5	1.7	1.1
		外気温と室温の差	3.8	4.3	3.7	1.7
チップ撤去後 (2020年)	外気温	平均	30.3	30.2	37.9	31.2
		標準偏差	3.7	4.1	1.6	3.7
	階下の室温	平均	28.3	28.1	33.6	29.9
		標準偏差	1.7	2.0	1.3	2.4
		外気温と室温の差	2.1	2.1	4.4	1.3

* : 日最高値の平均値

あることがわかった。

また、チップ撤去後の階下の室温について、撤去前との比較を行った結果、限定的ではあるが、チップ敷設による温度上昇の低減がみられた。

以上の結果から、木質チップは屋上コンクリート床面の温度上昇抑制のための屋上敷設材として有効な材料であり、かつチップを過熱蒸気処理することで長期使用が可能な敷設材として利用できることが実証された。

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, 増田勝則: 過熱蒸気処理による木材への耐朽性付与. 奈良県森技セ研報. 38, 45-51 (2009).
- 2) 伊藤貴文: 過熱蒸気処理による木材竹の改質とそれをWPCのフィラーとする試み. 第26回木質ボード・木質複合材料シンポジウム 木材・プラスチック複合材部会第8回定期公演会要旨集. 日本木材加工技術協会関西支部編. 京都, 2010-3, 日本木材加工技術協会関西支部. 2010, 57-69.
- 3) 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

での性能評価. 江間忠木材・江間忠合板研究助成プロジェクト成果概要報告書 (2011)

- 4) 増田勝則, 有山麻衣子, 伊藤貴文, 古田裕三, 三上隆司, 吉田貴紘: 半炭化チップ舗装における木材の熱処理条件の検討. 第35回年次大会論文要旨集. 日本木材加工技術協会編. 神戸, 2017-9, 日本木材加工技術協会. 2017, 90-91
- 5) 増田勝則, 有山麻衣子, 矢杉瑠美, 伊藤貴文, 中瀬吉行, 三上隆司, 吉田貴紘: 半炭化チップ舗装の野外ばく露試験. 第34回年次大会論文集. 日本木材保存協会編. 東京, 2018-5, 日本木材保存協会. 2018, 128-129
- 6) 吉田貴紘, 久保島吉貴, 上川大輔, 佐野哲也, 増田勝則, 有山麻衣子, 愛須未紀, 矢杉瑠美, 伊藤貴文, 三上隆司, 中瀬吉行, 竹内健二: 半炭化処理による高性能木質舗装材の製造・利用実証. 第13回バイオマス科学会議発表論文集. 日本エネルギー学会編. 仙台, 2018-1, 日本エネルギー学会. 2018, 45-46

(2021年3月4日 受理)