

## 半炭化処理木質舗装材の野外ばく露試験\*1

矢杉瑠美\*2・岩本頼子・清川陽子・酒井温子・伊藤貴文\*3・増田勝則・有山麻衣子\*4  
 中瀬吉行\*5・坂上典幸\*5・三上隆司\*5、吉田貴紘\*6

無処理または半炭化処理したスギチップを用いて所定の材料と配合し、ブロック型の舗装試験体を作製して野外で5年間ばく露し、耐朽性、耐蟻性および耐候性を評価した。

5年間のばく露後も、舗装試験体は概ね良好な状態で維持されていた。アスファルト乳剤が木チップをコーティングすることで、木チップへの腐朽菌およびシロアリの侵入を予防した。また、半炭化処理木チップを用いると、アスファルト乳剤とのなじみがよく、空隙が少なく引き締まることから、形状が維持されやすいと考えられた。一方、表層のアスファルト乳剤は紫外線劣化や歩行活動の摩擦により失われやすいため、長期使用にあたっては、トップコート処理を定期的に行う等の工夫が必要となる。さらに、この回数を減らすために、また木チップの腐朽を予防するために、木チップに収率81.3~88.4%程度の半炭化処理を行うことが有効である。半炭化処理木質舗装材は、ノンケミカルな処理により長期使用の見込める環境土木資材であり、今後の利活用が期待できる。

### 1. はじめに

戦後に植栽されたスギ、ヒノキを中心に人工林での蓄積量が全国的に増加しており、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、土木分野での利用の1つ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、骨材に石砂を用いているため、重く、蓄熱しやすい特徴がある。これに対して木材は軽く、また蓄熱しにくいという性質があるが、腐朽等により劣化しやすいことが課題とされている。

これまで著者らは、木材に減酸素雰囲気下で220~240℃の過熱蒸気処理を施すことで、油吸着性(疎水化)や耐朽性が発現することを見出した。そこで、これら不活性雰囲気下の熱処理技術(以下、半炭化処理と記す)を利用して、木質舗装材を開発し、各所で試験施工を行うとともに、各種性能の確認や野外ばく露試験を継続してきた<sup>1-4)</sup>。

本報では、耐朽性、耐蟻性および耐候性等の評価目的ごとに各地に設置したブロック型舗装試験体について、5年間の野外ばく露における劣化状況を報告するとともに、試験施工後4年および12年が経過した半炭化処理木質舗装の状況について報告する。

### 2. 材料および方法

#### 2.1 ブロック型舗装試験体のばく露試験

##### 2.1.1 材料

スギチップを試料として、バッチ式の過熱蒸気処理装置を用いて表1の処理条件で半炭化処理し、収率78.0%(以下、WL22と記す)、収率81.3%(以下、WL18と記す)、収率85.4%(以下、WL15と記す)、収率88.4%(以下、WL12と記す)とした半炭化処理木チップ4種を得た。それらと無処理(以下、WL0と記す)を合わせた5種類の木チップをそれぞれ骨材として、表2のとおり配合し<sup>1)</sup>、ブロック型の舗装試験体(300mm×300mm×約50mm)をニチレキ株式会社が作製した。作製にあたっては、合板で作製した型枠に配合した材料を流し込み、コンクリートブロックで軽くたたいてならし、硬化させた後、型枠を除去した。使用した木チップ(図1)は気乾状態の質量比で15%(体積比で約70%)であった。なお、表面保護および色調を整えるために路面に塗装を行うことがあるが(以下、トップコートと記す)、このブロック型舗装試験体には行わなかった。後述する各試験に供した試験体数は表1に示したとおりである。

\*1 本研究の一部は第71回日本木材学会年次大会(東京2021)において発表した。  
 \*2 現 奈良県 水循環・森林・景観環境部 奈良の木ブランド課 \*3 現 京都府立大学  
 \*4 現 奈良県 水循環・森林・景観環境部 景観・自然環境課  
 \*5 ニチレキ株式会社 \*6 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

表1 木チップの半炭化処理条件と供したブロック型舗装試験体数

材料	処理温度 (°C)	処理時間 (h)	収率 (%)	試験体数(体)	
				野外試験	室内試験
WL <sup>※</sup> 22	240	5.5	78.0	-	1
WL 18	240	4.0	81.3	45	1
WL 15	240	2.5	85.4	-	1
WL 12	220	2.0	88.4	45	1
WL 0	無処理		100.0	45	1

※：重量減少(weight loss)率を意味する

表2 ブロック型舗装試験体の混合割合<sup>1)</sup>

材料	配合比 質量%	
	無処理 木チップ 使用時	半炭化処理 木チップ 使用時
木チップ	16.8	15.0
粗目砂	43.5	44.4
普通セメント	9.0	9.2
硬化剤	0.8	0.9
顔料	1.7	1.7
アスファルト乳剤	28.2	28.8
計	100.0	100.0



図1 ブロック型舗装試験体に使用した木チップ  
(左：無処理、右：半炭化処理)

2.1.2 方法

(1) 耐朽性評価

① 室内試験

舗装試験体 WL22、WL18、WL15、WL12 および WL0 の5条件について、実際の施工における耐朽性を予測するため、JIS K 1571:2010「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」を参考に、オオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*(Berk.et Curt.) Gilbn.&Ryv. FFPRI 0507) およびカワラタケ (*Trametes versicolor*(L.:Fr.) Pilat FFPRI 1030) を供試菌とする室内耐朽性試験を実施した。

各舗装試験体から、図2のように試験片(20mm×20mm×約50mm)を、6面のうち3面を切断面としてそれぞれ48体ずつ切り出し、そのうち24体はそのまま、残りの24体は切断面をエポキシ樹脂接着剤で封じて試験に供した。試験片は各供試菌に対して12体ずつとした。また、木材腐朽菌の活性確認のため、スギ辺材試験片(木口面20mm×20mm、繊維方向10mm)を各供試菌に対して12体ずつ同時に供試した。

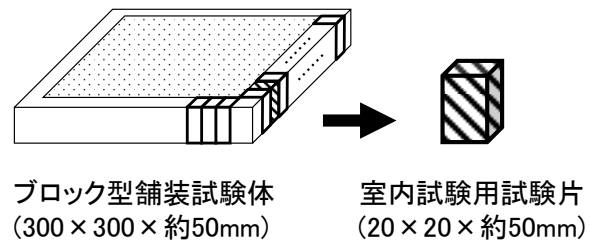


図2 試験片の採取位置

WL0は耐候操作を実施せずに、またWL0以外では耐候操作(攪拌水中8時間と60±2°C乾燥16時間を交互に10回の繰り返し)を実施した後、抗菌操作(各供試菌を繁殖させた培養瓶内に12週間静置)を実施した。そして抗菌操作前後における試験片の60°C乾燥重量から、腐朽による重量減少率を求めた。

② 野外試験

WL18、WL12 および WL0 の舗装試験体を、1条件につき15体ずつ、肥沃な草地である明日香試験地(奈良県高市郡明日香村川原)に、2016年3月に設置した。試験体は上面が露出する程度に埋設した。秋～冬季における年1回の調査時に、試験体周辺の草刈り作業を行った。直射日光の強い春～夏季は、試験体は繁茂する雑草に覆われた状態にあった。

約1年経過ごとの調査では、試験体表面の木チップを触診して腐朽状況を確認した。また、試験体に雑草が生育すると、亀裂等の原因になり、舗装材の耐用年数を縮める可能性があることから、試験体上面に生育した雑草および下面から貫通した雑草の合計本数を数えた。雑草の本数は条件ごとに平均し、1試験体あたりの本数を求めた。さらに、ばく露4年経過時に、1条件あたり4体の試験体を持ち帰って、ディスクサンダーを用いて二等分し、切断面の被害状況を触診と目視観察により調査した。

(2) 耐蟻性評価

WL18、WL12 および WL0 の舗装試験体を、1条件につき15体ずつ、イエシロアリの生息が確認されている

(国研) 森林総合研究所吹上浜試験地(鹿児島県日置市吹上町)に、2016年2月に設置した。試験体は上面が露出する程度に埋設した。また、イエシロアリの活性を維持するために、試験体の下面に接するように、トウヒ属、マツ属、モミ属の木材(以下、SPF材と記す)を埋設した。試験地周辺にはマツ等の樹木が群生しており、ほとんどの試験体の上面は直射日光が遮られた状態にあった。

約1年経過ごとに、試験体の上面、下面および側面においてシロアリ等による被害状況を目視観察した。また、ばく露4年経過時に1条件あたり4体の試験体を持ち帰って、ディスクサンダーを用いて二等分し、切断面の劣化状況を目視観察した。さらに、ばく露5年経過時に、一部の試験体の土砂や蟻道をブラシで除去し、シロアリの食害状況を目視観察した。一方、多くの試験体は経年とともに凹状に変形したため、変形量の計測を行った。すなわち、ばく露5年経過時に試験体上面の対角線上2か所にそれぞれ定規を当て、中央部における隙間を1mm単位で計測して条件ごとに平均した。

(3) 耐候性評価

WL18、WL12およびWLOの舗装試験体を、1条件につき15体ずつ、ニチレキ株式会社兵庫営業所構内(兵庫県姫路市飾磨区)のアスファルト舗装上に、2016年3月に設置した。このばく露場所では日光と雨が直接試験体上面にあたるが水はけは良く、また時間帯によっては周囲の遮蔽物により直射日光が遮られる環境であった。ばく露5年経過時に試験体上面の劣化状況を目視観察により確認した。

2.2 試験施工による総合評価

2.2.1 大和民俗公園での施工

スギ板材に対して、窒素雰囲気下でWL18相当の半炭化処理を行った後、それを切削して木チップを得た。これを表3のとおり配合して舗装材を作製し、大和民俗公園(奈良県大和郡山市矢田町)において株式会社ニチレキが2017年2月に施工を行った<sup>1,2)</sup>。施工前には、路盤に厚さ約100mmの砂利を敷設した。さらに舗装材を敷設した後、路面にトップコート、すなわち表面保護(耐久性の強化)と色むらをなくし均一な色調を整えることを目的として<sup>5)</sup>、アスファルト乳剤、硬化剤、顔料および水の混合物の塗布を行った。舗装はA、Bの2種類を施工し、舗装Aは長さ約30m、幅約1.2mとし、道に沿って縁石を配置し、舗装Bは長さ約18m、幅約1.2mとし、縁石は配置しなかった。日照条件については、舗装Aでは時間帯により木陰が発生する。舗装Bでも木陰

が発生するものの、舗装Aに比べて日当たり良好な環境となっている。この舗装材について、施工4年経過時に路面の劣化状況を目視観察した。

表3 大和民俗公園における半炭化処理木質舗装材の混合割合

材料	配合比 質量%	
	舗装A	舗装B
木チップ	20.3	20.3
粗目砂	41.6	41.6
普通セメント	7.6	4.8
硬化剤	1.9	4.8
顔料	1.6	1.6
アスファルト乳剤	27.0	27.0
計	100.0	100.0

2.2.2 奈良県森林技術センターでの施工

表4に示す配合比率で、無処理ならびに過熱蒸気処理を行ったスギの木チップを用いて、2008年に奈良県森林技術センター(奈良県高市郡高取町)で施工され、12年経過した舗装<sup>6)</sup>について、路面の劣化状況を目視観察した。なお、本舗装にはトップコートは行われていない。

表4 奈良県森林技術センターにおける木質舗装材の混合割合<sup>6)</sup>

材料	配合比 質量(%)
木チップ	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

3. 結果および考察

3.1 耐朽性評価

3.1.1 室内試験

図3に試験結果を示す。なお、一部の条件で重量減少率が負の値を示したが、これは試験片が内部に空隙を含む特殊な形状であり、抗菌操作中に試験片内部に菌糸が入り込み、試験後に菌糸および菌の生成物を除去しきれなかったため重量が増加したと考えられる。スギ無処理辺材の重量減少率は、オオウズラタケで58.5%、カワラタケで43.9%であり、菌の活性は高い状態にあったが、切

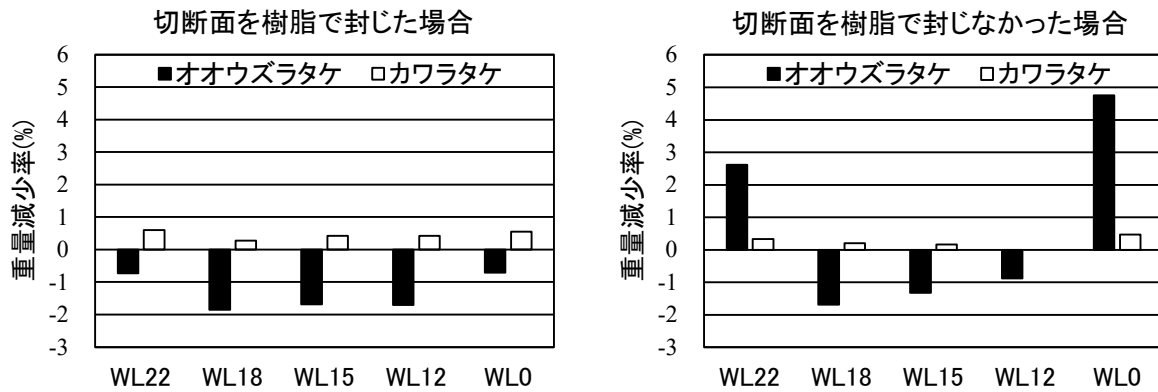


図3 室内耐朽性試験の結果

断面を樹脂で封じた試験片の重量減少率は、オオウズラタケではいずれの条件においても-0.7～-1.9%となり、腐朽による重量減少はみられなかった。また、カワラタケでは重量減少がみられたものの、その値はいずれの条件においても 0.3～0.6%の範囲であり、木チップへの処理の有無を問わず高い耐朽性を示していた。

一方で、切断面を樹脂で封じなかった試験片では、オオウズラタケにおいて、WLOの重量減少率が4.8%であったのに対し、WL22では2.6%、WL12～18では重量減少はみられず、半炭化処理による耐朽性の向上が確認できた。WLOは無処理辺材に比べて重量減少率が極めて低かったが、これはWLOの木チップはアスファルト乳剤によってコーティングされた状態であり、さらに露出面も6面中3面に限られたためと推測される。アスファルト乳剤が木チップをコーティングすることにより、耐朽性が向上することが明らかになった。

3.1.2 野外試験

明日香試験地に設置した試験体については、木チップの腐朽は、試験体のいずれの箇所、また、ばく露4年経過時の試験体の切断面においても確認されなかった。なお、一部の試験体が物理的に崩壊し、内部の露出がみられたが、そこでも腐朽は確認されなかった。また、いずれの観察においてもアスファルト乳剤が木チップをコーティングしており、木チップ自体の露出はみられなかった。3.1.1の室内試験の結果とあわせて考察すると、アスファルト乳剤のコーティングにより、木チップへの腐朽菌の侵入が物理的に阻止された可能性がある。

一方、明日香試験地においては、図4に示すように試験体への草の侵入がみられた。ばく露3年経過時(図4上段)では、矢印で示すように、上空から飛来した種子が試験体上面で発芽し生育した雑草や、地下茎を形成し、試験体下面から上面に貫通したスギナがみられたが、ば

く露5年経過時(図4下段)は、それらに加えてセイタカアワダチソウが試験体上面に貫通し、試験体が物理的に大きく崩壊する様子が確認された。表5にこれら試験体上面で確認された雑草の本数を示す。雑草の本数は、ばく露年数が増すごとに増加する傾向があったが、WLOとWL12は同程度であったのに対して、WL18ではそれらよりも少なかった。ここで、ブロック型舗装試験体の作製時について、無処理木チップを骨材とした場合には、かなりの量のアスファルト乳剤が流出した。一方、半炭化処理木チップの場合は、アスファルト乳剤とのなじみが良く、アスファルト乳剤は、流出せずに試験体内に保持され、固体間の空隙を充填しかつ木チップに一部吸収されたことで骨材どうしを固着でき、空隙が少なく引き締まった形状となった。これにより雑草の侵入の抑制につながったと考えられた。

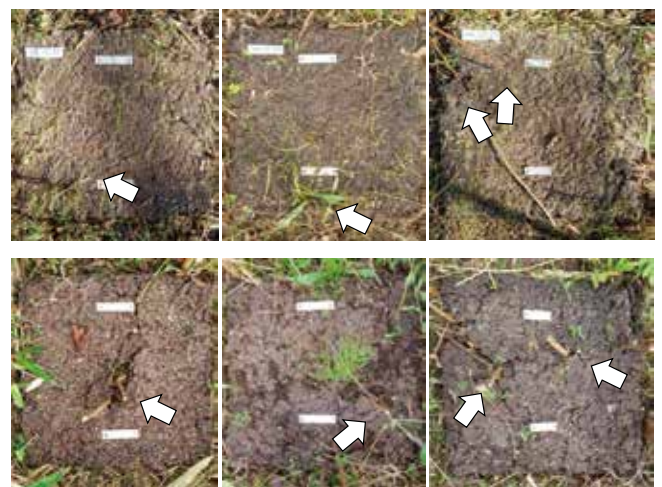


図4 ばく露3年経過(上段)および5年経過(下段)の試験体上面  
矢印は試験体に侵入した雑草を示す  
(明日香試験地 左からWL18、WL12、WLO)

表5 試験体上面に確認された雑草の本数

	1試験体あたりの雑草の本数(本)				
	1年目 (H28)	2年目 (H29)	3年目 (H30)	4年目 (R1)	5年目 (R2)
WL18	1.5	2.7	4.4	5.1	5.3*
WL12	3.9	3.6	5.7	7.1	9.1*
WLO	8.7	3.4	5.3	7.5	8.5*

※：4年目調査終了後に15個中4個を撤去

なお、本項では、短期間で耐朽性を判定するために試験体を直接土壌の上に埋設する方法を選択した。通常、木質舗装材の下には碎石を用いた路盤層が設けられ、草本類の根の伸長がある場合はあらかじめ除去されることから、本試験のように短期間で草本類が貫通することは想定されない。

### 3.2 耐蟻性評価

吹上浜試験地におけるばく露1年経過時に、特に試験体下面の固体間の空隙においてイエシロアリの侵入が確認されたため、舗装材の蟻害が疑われた<sup>3)</sup>が、ばく露2年経過以降、イエシロアリはSPF材では確認されたものの試験体では確認されなくなった。また、ばく露4年経過のいずれの試験体の切断面においても、目立った被害は確認されなかった。ばく露年数が増すごとに試験体下面の蟻道が年々増加し、図5に示すように、ばく露5年経過時には試験体下面のほとんどが蟻道に覆われ、かつ試験体直下のSPF材の食害が増加した。またばく露1年経過時にはなかった蟻害と思われる穴がみられた(図6矢印)ものの、著しい食害跡は確認されなかった。なお、試験体上面においては、苔類が被覆したのもあったが、概ねばく露開始時の健全な状態を保っていた(図7)。

これらより、試験体に付着した蟻道の構成成分の多くは試験体下面に埋設したSPF材である可能性が高いと考えられた。すなわち、イエシロアリは試験体の空隙を住処にしたり、一部食害することはあっても、試験体そのものを著しく食害するには至らなかったと考えられる。ただし、過去に別の配合比率の舗装材で行ったばく露試験では、無処理木チップ自体が蟻害を受けたと報告されている<sup>6)</sup>。一因として、これは、本報の試験体と比較するとアスファルト乳剤の空隙への充填が十分でなく、木チップが露出しやすい状態だった可能性がある。これらを踏まえ、舗装の製造時には配合比率に留意して、アスファルト乳剤が木チップを十分にコーティングし、かつ固体間を充填している状態が望ましい。



図5 ばく露1年経過(上段)および5年経過(下段)の試験体下面  
(吹上浜試験地 左からWL18、WL12、WLO 写真下半分はSPF材)



図6 吹上浜試験地におけるばく露1年経過(上段)および5年経過(下段)の試験体下面  
矢印はばく露5年経過時にみられた蟻害を示す  
(蟻道除去後 左からWL18、WL12、WLO)

また、既報において、ばく露2年経過時に試験体のへこみが確認されていた<sup>4)</sup>が、ばく露5年経過時でも同様の状態であった。ばく露5年経過時にこの変形量を計測したところ、WL18、WL12、WLOの順にそれぞれ平均値で4.0mm、3.4mm、6.2mmであり、半炭化処理を行った方が変形量は少ない傾向にあった。

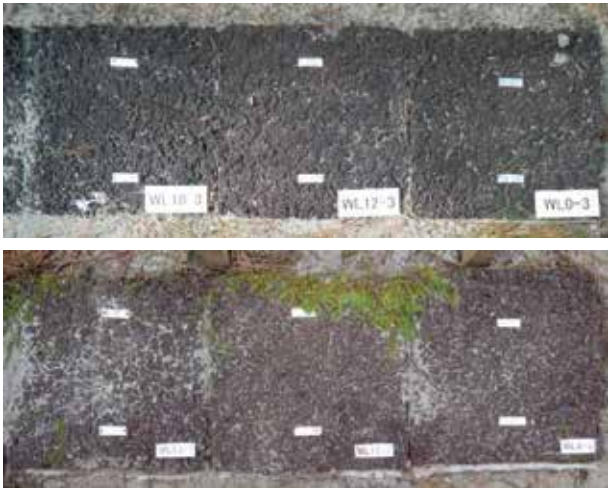


図7 ばく露1年経過（上段）および5年経過（下段）の試験体上面（吹上浜試験地 左からWL18、WL12、WL0）

3.3 耐候性評価

図8にばく露5年経過時の試験体を示す。処理条件を問わず、試験体上面においてアスファルト乳剤が一部劣化して失われ、木チップが露出していた。これによりWL0では木チップの腐朽、目やせが確認されたものの、半炭化処理を行ったWL12やWL18ではこれらは軽微であった。またWL0において、無処理の木チップが露出したことで、試験体上面の白色化が目立っていた。これら気象劣化を防ぎ、舗装を長寿命化させるためには、トップコート処理等により外的刺激から路面を保護することが望ましい。

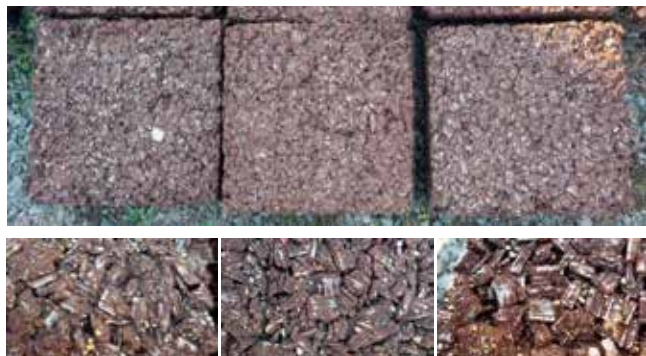


図8 ばく露5年経過の試験体上面（上段）とそれらの拡大（下段）（ニチレキ（株）兵庫営業所構内 左からWL18、WL12、WL0）

3.4 試験施工による総合評価

図9に、大和民俗公園に施工された半炭化処理木質舗装の様子を示す。施工後4年が経過しているが、いずれの舗装も健全な状態を維持しており、雑草の侵入、木チップの剥がれ、著しい腐朽は確認されなかった。しかし表層のアスファルト乳剤が一部失われて木チップが露出

している様子がみられた。これは特に、路面の中央部、および一日を通して比較的日当たりが良好な箇所で顕著であった（図10左）。また、これらの箇所の延長線上であっても、長時間日陰となる箇所では木チップは露出していなかった（図10右）。アスファルト乳剤の主成分であるアスファルトは、紫外線のあたるごく表層が劣化しやすいといわれている<sup>7,8)</sup>。本観察から、紫外線による劣化が引き金となって、歩行活動による摩擦で木チップの露出が進行していくと推察された。



図9 施工4年経過の半炭化処理木質舗装（上：舗装A、下：舗装B 撮影日：2021/2/11）



図10 施工4年経過の半炭化処理木質舗装路面（左：日なた、右：日陰 撮影日：2021/2/11）

次に、奈良県森林技術センター内の舗装<sup>6)</sup>の様子を図11に示す。いずれの舗装でも表層のアスファルト乳剤が一部失われて木チップが露出していた。特に無処理の木チップを用いた舗装で木チップの剥がれ、雑草の侵入が顕著であった。これは、3.1.2で述べたように、無処理木チップを用いた場合は、舗装材作製時にアスファルト乳剤の充填が少なく、それにより骨材が分離しやすく、また木チップが露出した場合に生物劣化が起こりやすいた

めと考えられる。

これらより、木チップがアスファルト乳剤によりコーティングされていること、かつその状態が保持されることが舗装の長寿命化には重要であることが明らかになった。路面の仕上がりを均一にするため<sup>5)</sup>、通常の施工時にトップコートが行われるが、無処理木チップを用いた舗装の長期使用にあたっては、メンテナンスとしてトップコート処理を定期的に行うことが有効である可能性が高い。一方で半炭化処理木チップを用いる場合は、舗装材作製時に、より多くのアスファルト乳剤となじむため骨材どうしを強く固着でき、さらに、木チップ自体にも耐朽性が付与されるため、トップコート処理によるメンテナンスの頻度を減らすことが期待できる。



図 11 施工 12 年経過の舗装<sup>6)</sup> (上) とそれらの拡大 (下) (左：無処理木チップ使用、右：過熱蒸気処理木チップ使用 撮影日：2021/1/26)

#### 4. まとめ

無処理または半炭化処理したスギチップを所定の材料と配合し、ブロック型の舗装試験体を作製した。それらを野外で 5 年間ばく露して、耐朽性、耐蟻性および耐候性を評価した。

5 年間のばく露後、いずれの試験体においても顕著な被害は確認されず、概ね良好な状態が維持されていた。アスファルト乳剤が木チップの表面をコーティングすることにより、木チップへの腐朽菌およびシロアリの侵入を予防することが確認された。さらに、半炭化処理した

木チップを用いると、骨材どうしが固着されて空隙が少なく引き締まった形状となった。なお、肥沃な草地に直接試験体を埋設した場合は、雑草の貫通がみられ、一部の試験体が崩壊したことから、施工時には草本類を除去し、砕石を用いた路盤層を設けることが必須である。

舗装の長期使用にあたっては、表層のアスファルト乳剤は、紫外線劣化や歩行活動の摩擦により失われやすいため、トップコート処理を定期的に行うことが望ましい。さらに、この回数を減らすために、また木チップが露出した場合に腐朽を予防するために、木チップに収率 81.3～88.4%程度の半炭化処理を行うことが有効である。

近年環境志向が進み、温室効果ガスの排出に配慮した脱炭素社会にも関心が集まる中、半炭化処理木質舗装は、ノンケミカルで処理した木チップを活用した長期使用の見込める環境土木資材であり、今後のさらなる利活用が期待できる。

#### 謝辞

本研究の一部は、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。また一部は、平成 27-29 年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 (27014C)「半炭化処理による高性能木質舗装材の製造技術開発」(共同実施者 森林総合研究所、東北工業大学、ニチレキ株式会社、有限会社地域資源活用研究所)により行われました。関係各位に深く感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) 吉田貴紘ほか 11 名：半炭化処理木質舗装材の試験施工と性能評価。第 36 回年次大会論文要旨集。日本木材加工協会編。東京，2018-10，日本木材加工技術協会。2018，47-48。
- 2) 吉田貴紘：半炭化処理による高性能木質舗装材の製造・利用技術開発。木材工業，73(9)，346-351。
- 3) 増田勝則ほか 5 名：半炭化木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。
- 4) 増田勝則ほか 6 名：半炭化木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。
- 5) 鈴木秀敏：ウッドチップ新用途「こんなに役立つ木のチップ」，財団法人林業科学技術振興所，8-

23(1999)

- 6) 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)
- 7) 竹村健: アスファルトの劣化に関する研究(I)―劣化機構および劣化度推定に関する実験―, 北海道開発局土木試験所月報, 114, 1-7(1962)
- 8) 山口勝之, 佐々木巖, 明嵐政司: アスファルト材料の紫外線劣化とカーボンブラック添加効果. 土木学会舗装工学論文集, 8, 251-260(2003)

(2021年3月25日 受理)