

林地残材などの未利用木質破砕材を活用した新しい木質舗装の開発とその評価

岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科 国際会員 ○吉村 優治
株式会社遠藤造林 遠藤 一美
西濃建設株式会社 宗宮 正和
株式会社エスウッド 角田 惇
河村 邦基

1. はじめに

わが国では森林は手入れされないまま放置され、荒廃した状態にあり、森林本来がもつ機能（土砂災害防止、水源涵養、生態系保全、二酸化炭素吸収など）を十分に発揮できていない。これを改善するためには、間伐などの森林整備を行う必要があり、さらには林地残材や間伐により発生した森林資源を有効利用する方法を確立させることが必要とされている。

筆者らはこれまでに林地残材や間伐材などの未利用木質破砕材を舗装として利用する方法を検討してきた。本論文では、非加熱・無溶剤タイプの水性アスファルトを使用した簡便でシンプルな木質舗装（以下、未利用木質破砕材舗装という）技術の開発およびその施工、さらには施工後のモニタリング結果について報告する。

2. 未利用木質破砕材舗装の開発

2.1 構成材料

未利用木質破砕材舗装の構成材料は、①未利用木質破砕材（写真-1）、②水性アスファルト（写真-2）、③粉末添加剤（写真-3）、④液体添加剤（写真-4）である。



写真-1 未利用木質破砕材



写真-2 水性アスファルト



写真-3 粉末添加剤



写真-4 液体添加剤

2.2 配合設計¹⁾

原木の状態において強制乾燥を行うと含水比 $w=0$ となるが、そのまま自然界に放置しておく「平行含水状態」と呼ばれる状態になり、その含水比 w は約 30% と言われている。2011～2014 年度の未利用木質破砕材舗装の使用木材の供給元である「いび森林資源活用センター」で過去に調査されたデータによれば、含水比は木の種類や伐採時期により広範囲（ $w=38\sim62\%$ ）¹⁾に分布していることが判っている。

このように木質破砕材は、自然素材のため、含水比は一定しないため、含水比の違いで混合状況（主にアスファルトの被覆）が変化すると考えられる。材料の含水比を種々変化させ減水方式及び加水方式試験¹⁾、崩落及び裁荷試験¹⁾により、未利用木質破砕材の基準含水比を 45% とした。表-1 に含水比 45% の未利用木質破砕材 10kg あたりの配合量を示す。

表-1 未利用木質破砕材（ $w=45\%$ ）10kg 当たりの配合量

材料名		質量 (kg)
未利用木質破砕材 ($w=45\%$)		10
混和材	水性アスファルト	10
	混和剤（粉末）	2
	混和剤（液体）	2

Development and evaluations of new woody pavements technology of unused wood crush materials such as forest remaining woods: Yuji Yoshimura (National Institute of Technology, Gifu College), Kazumi Endo (Endozourin Co.Ltd.), Masakazu Soumiya (Seino Kensetsu Co.Ltd.), Atushi Sumida (Swood Co.Ltd.), Kunimoto Kawamura

2.3 施工手順

未利用木質破砕材舗装の施工手順を以下に示す。

- ① 未利用木質破砕材に水性アスファルトを投入し、攪拌する（写真-5）。
- ② ①に事前に混合しておいた2つの添加剤を投入（写真-6）し、攪拌する（写真-7）。
- ③ 攪拌、混合した材料を路盤の上に設定した舗装厚の約2倍の厚さに敷きならす（写真-8）。
- ④ 養生シートまたは合板などを敷き、転圧を行う（写真-9）。
- ⑤ 施工完了（写真-10）。



写真-5 攪拌状況①



写真-6 攪拌状況②



写真-7 攪拌状況③



写真-8 敷きならし状況



写真-9 転圧状況



写真-10 施工完了

2.4 特徴

未利用木質破砕材舗装の主な特徴を以下に示すとおりである。

- ①約3時間で固まるので樹脂系木質舗装のように長期間養生を必要としない。
- ②アスファルト舗装を施工する際に発生する特有の臭いが発生しない。
- ③常温で施工可能である。

2.5 施工実績

施工実績は表-2 に示すとおりであり、すでに6回の施工を終えている。このうち施工 A～C は、平成 22 年度・23 年度（2010 年・2011 年）岐阜県地域材利用開発プロジェクト支援加速化事業に採択され、テーマ「ぎふ証明材を活用した新しい木質舗装技術の開発」について助成を得て実施したものである。B の 2011 年 7 月に岐阜高専中庭で行った施工については、写真-11 に示すように性能比較のために、2m×2m 毎に条件を変えて各種の舗装を施し、舗装内・舗装上に熱電対、路床最上部に水分計が設置されている（図-1 参照）。舗装①は従来の木質舗装であるエポキシ系木質樹脂舗装、舗装②はアスファルト舗装、舗装④～⑦が未利用木質破砕材舗装、舗装③はアスファルト舗装上に未利用木質破砕材舗装を敷設している。

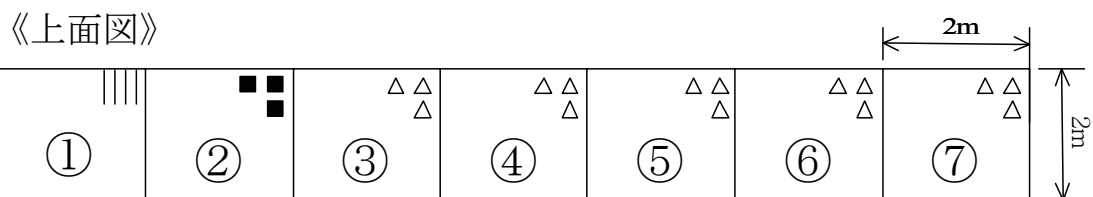
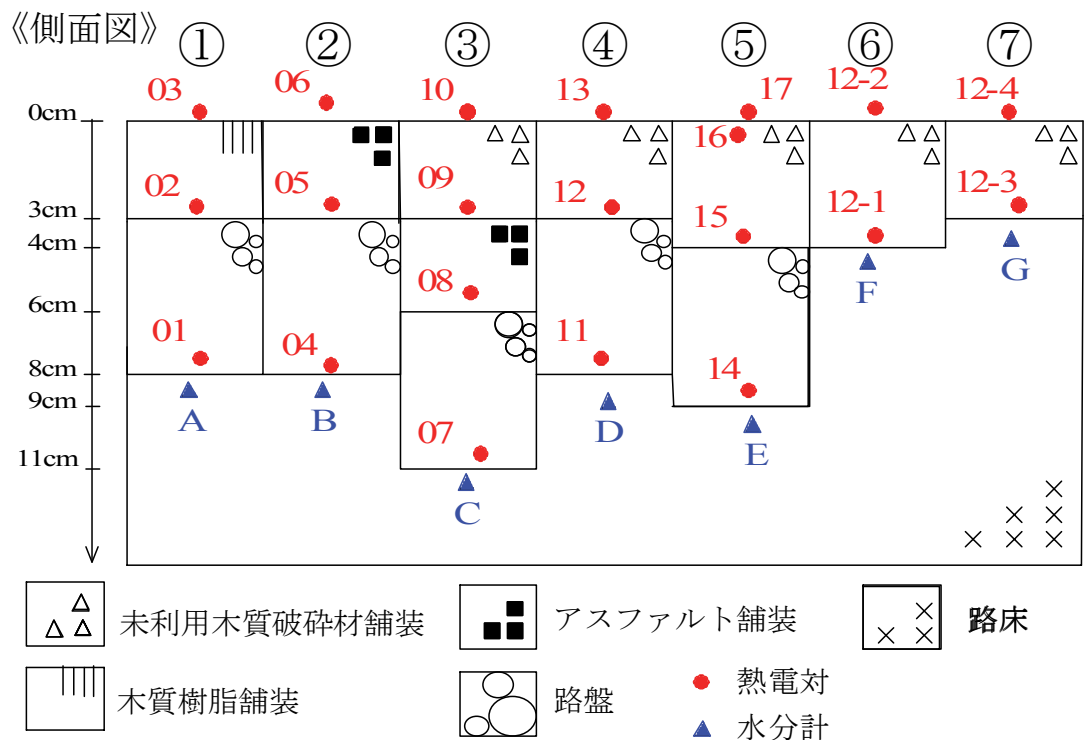
また、F の谷汲緑地公園内の施工は、2015 年 10 月 11 日（日）開催の第 39 回全国育樹祭の式典会場内の施工であり、未利用木質破砕材は揖斐郡森林組合から提供を受けたものである。



写真-11 岐阜高専中庭の各種舗装

表-2 未利用木質破砕材舗装の施工実績

	施工月	施工場所	
A	2010年8月	ながら川ふれあいの森（約100m ² ）	岐阜市三田洞日向
B	2011年7月	岐阜高専中庭（約20m ² ）	本巣市上真桑
C	2011年7月	羽島市運動公園（約240m ² ）	羽島市正木町大浦
D	2014年2月	羽島市運動公園（約370m ² ）	羽島市正木町大浦
E	2014年10月	羽島市運動公園（約280m ² ）	羽島市正木町大浦
F	2015年3月5日	谷汲緑地公園（約81.1m ² ）	揖斐郡揖斐川町谷汲名札



- ①：木質樹脂舗装3cm+路盤5cm+路床（以後「樹脂」）
 ②：アスファルト舗装3cm+路盤5cm+路床（以後「As」）
 ③：木質舗装3cm+アスファルト舗装3cm+路盤5cm+路床（以後「未利用3As」）
 ④：木質舗装3cm+路盤5cm+路床（以後「未利用3路盤」）
 ⑤：木質舗装4cm+路盤5cm+路床（以後「未利用4路盤」）
 ⑥：木質舗装4cm+路床（以後「未利用4路床」）
 ⑦：木質舗装3cm+草あり路床（以後「未利用3路床」）

図-1 岐阜高専中庭の施工条件（①～⑦）とモニタリング計器設置状況

3. 未利用木質破砕材舗装の評価

3.1 評価方法

日本道路協会の舗装設計施工指針²⁾を参考に、未利用木質破砕材舗装の性能を沈下、硬さ、温度特性、透水性、歩きやすさの5つについて評価する。評価方法として、沈下は水準測量から算出する沈下量、硬さは簡易支持力測定試験から得られる衝撃加速度 Ia (m/s^2)、温度特性はサーモグラフィによる表面温度計測および熱電対による舗装内の温度計測、透水性は水分計による路床上の含水比測定、歩きやすさはアンケート調査から得られる体感と滑り抵抗試験から得られるすべり抵抗値で評価する。

3.2 沈下

図-2 は、各種舗装の沈下量の経年変化である。水準測量では測量鉤は使用せず、各種 $2 \times 2m$ 舗装の中央部に白ペンキでマークした上にスタッフをたて計測していることから若干の誤差を含んでいるものに、この図から、未利用木質破砕材舗装の沈下は従来の木質樹脂舗装や一般的なアスファルト舗装と同程度であることがわかる。さらに、施工から時間が経過しても沈下量は増えておらず人の歩行などによる沈下の心配はないといえる。

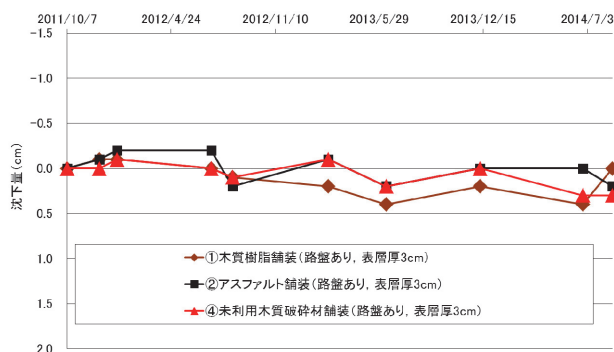


図-2 沈下量の経年変化

3.3 硬さ

予備調査により、衝撃加速度 Ia (m/s^2) は、表面温度や天候（雨の日や雨の翌日など）により変化することがわかっている。図-3 は各種舗装の Ia であるが、気候条件を一定にするため試験日が晴れの日の冬季のみのデータをプロットしている。

図-3 をみると、未利用木質破砕材舗装の Ia は $400m/s^2$ であり、一般的なアスファルト舗装の Ia は $1400m/s^2$ 程度である。また、従来の木質樹脂舗装やタータンと呼ばれる陸上競技用のウレタンゴムの Ia は $400m/s^2$ 程度、土や砂利といった路面の Ia は $600m/s^2$ 程度である。これらのことから未利用木質破砕材舗装は一般的なアスファルト舗装に比べ柔らかく、1/4 程度の硬さである。また、従来の木質樹脂舗装やウレタンゴムと同程度の硬さであり、土のグラウンドや砂利といった路面より柔らかい。

さらに、未利用木質破砕材舗装の硬さを経年変化についてみると、施工から時間が経過しても大きく変化しておらず、硬さは保持しているとわかる。

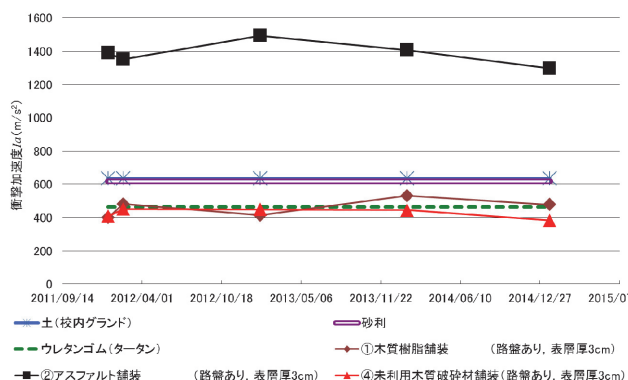


図-3 各種舗装の衝撃加速度 Ia (m/s^2) の経年変化
(冬で晴れのデータのみ)

3.4 温度特性

施工後、図-1 の未利用木質破砕材舗装のうち、未利用木質破砕材舗装が路床の上（路盤なし）へ施工された⑥、⑦に関して 2012 年度から植生（イワダレソウ）が発生し、舗装全体をターバン状に覆っている。植生の有無により、舗装表面の温度特性に差が出るのが予想できるため、ここでは未利用木質破砕材舗装を植生がある方を木質舗装（植生あり）、ない方を木質舗装（植生なし）と区別する。

3.4.1 各種舗装との比較（夏季）

図-4 は岐阜高専中庭（図-1 参照）での各種舗装のサーモグラフィによる表面温度計測の代表的な結果である。図-4 の各種舗装の表面温度をみると、木質舗装（植生なし）の表面温度は、一般的なアスファルト舗

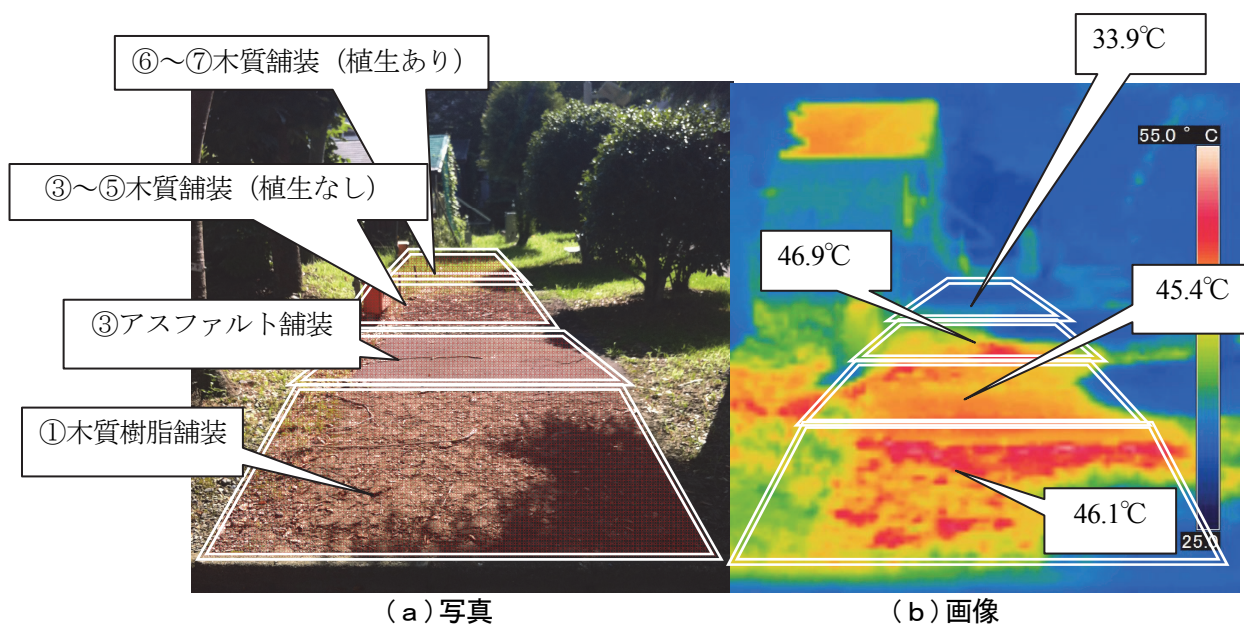


図-4 サーモグラフィによる表面温度計測結果（岐阜高専中庭）
（夏季 2014 年 8 月 20 日 9:00）

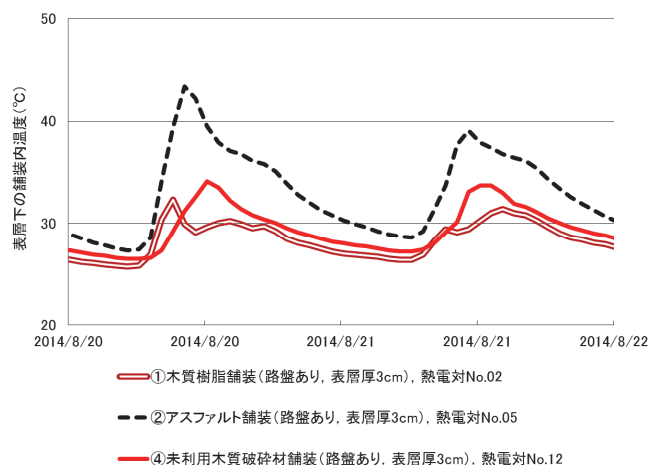


図-5 各種舗装の表層下 3cm の舗装内温度
（2014 年 8 月 20～22 日）

装や従来の木質樹脂舗装と同程度である。また、木質舗装（植生あり）の表面温度は 33.9℃と他の舗装に比べて約 10℃低くなっているが、これは草あり路床から発生した植生（イワダレソウ）があるためだと考えられる。

図-5 に、地中へと伝わる熱を確かめるため、各種舗装の熱電対による表層下 3cm の舗装内温度を示す。図-5 をみると、未利用木質破砕材舗装の表層下 3cm の舗装内温度は一般的なアスファルト舗装よりも温度が高くなる昼間に 10℃程度、夜間では数℃低くなっており、地中に熱を伝えることがわかった。また、木質樹脂舗装と同程度の温度を示す。

3.4.2 各種舗装との比較（冬季）

図-6 は岐阜高専中庭（図-1 参照）での各種舗装のサーモグラフィによる表面温度計測の代表的な結果である。図-6 の各種舗装の表面温度をみると、木質舗装（植生なし）の表面温度は、従来の木質樹脂舗装と同程度であり、アスファルト舗装の表面温度に比べ高くなっている。また、木質舗装（植生あり）の表面温度はアスファルト舗装と同程度であるが、夏季と同様に植生（イワダレソウ）があるためだと考えられる。

図-7 に図-5 と同様に表層下 3cm の舗装内温度を示す。図-7 をみると、未利用木質破砕材舗装の表層下 3cm の舗装内温度はアスファルト舗装に比べ表面温度は同程度であったのに対し、温度が下がる夜間に高くなっている。また、従来の木質樹脂舗装と同程度となっている。

3.4.3 まとめ

夏季、冬季の結果から未利用木質破砕材舗装の温度特性は従来の木質樹脂舗装と同程度であり、アスファルト舗装に比べ夏は熱を地中へと伝えにくいため涼しく、冬は地中の熱を逃がしにくく暖かいといえる。

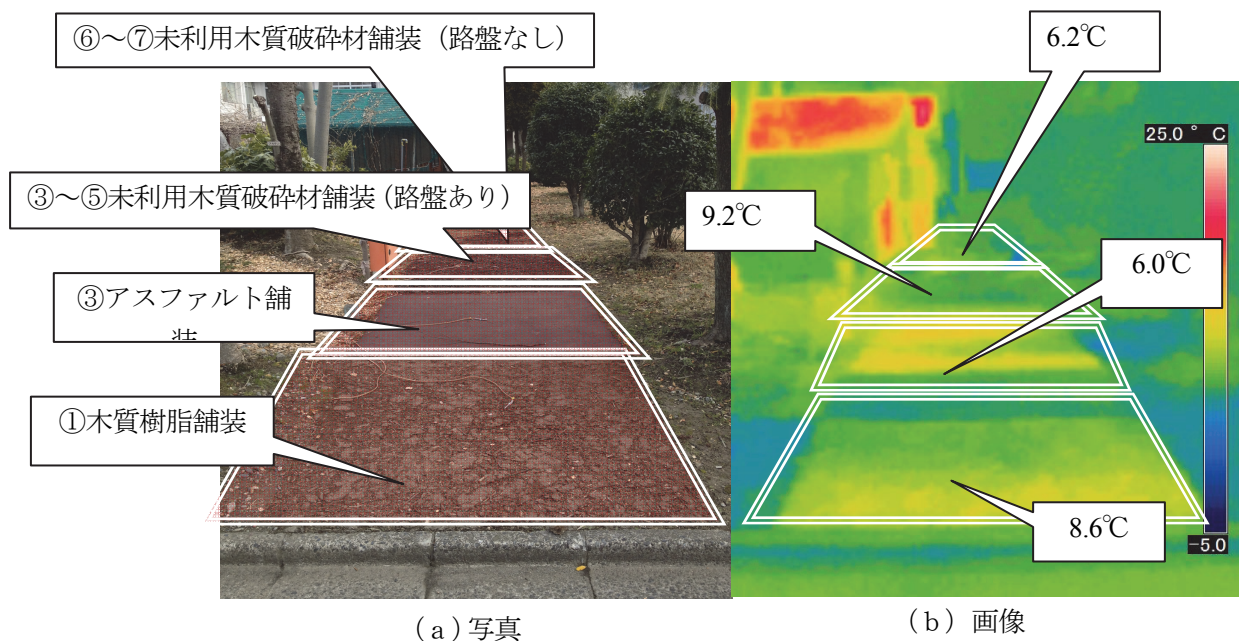


図-6 サーモグラフィによる表面温度計測結果（岐阜高専中庭）
（冬季 2013 年 1 月 23 日 12:00）

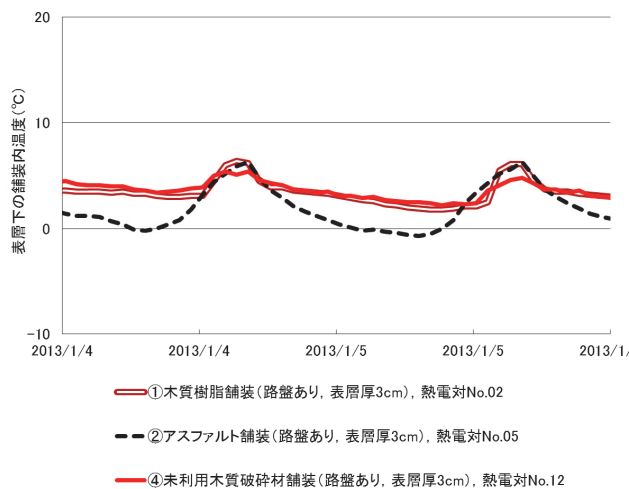


図-7 各種舗装の表層下 3cm の舗装内温度
（2013 年 1 月 4～6 日）

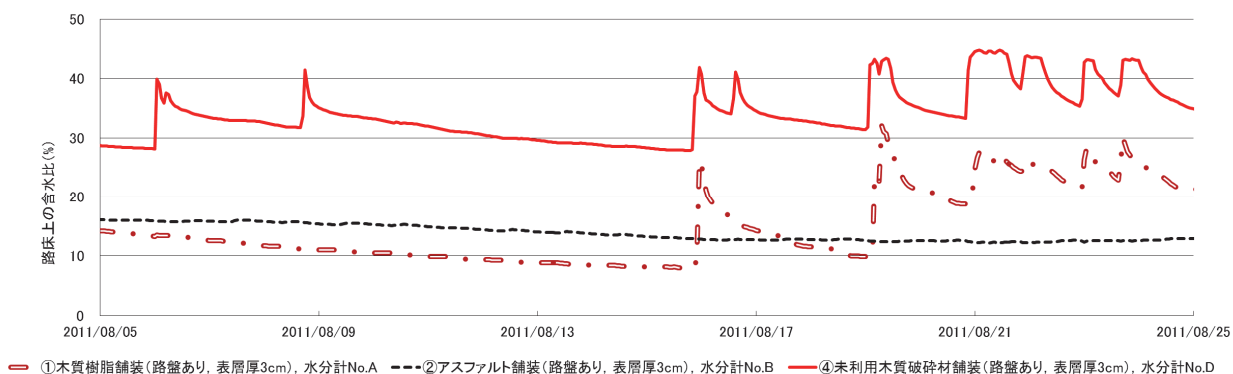


図-8 各種舗装の路床上の含水比（2011 年 8 月 5～25 日）

3.5 透水性

図-8 は各種舗装の水分計による路床上含水比測定の結果を示したものである。図-8 をみると、未利用木質破砕材舗装の路床上含水比はアスファルト舗装や従来の木質樹脂舗装より変動が多く、降雨を直ちに浸透させる透水性が高いといえる。

3.6 歩きやすさ

3.6.1 体感

2011～2014 年度で 832 人の方に高専祭やオープンキャンパス、中学生への環境総合学習の際に、岐阜高専中庭において、各種舗装を歩き比べてもらい、回答者には一番歩きやすい舗装 1 つを選んでもらった。また、未利用木質破砕材舗装を選んだ方には、その選んだ理由も回答してもらった。アンケート調査の結果を図-9 (a) (b) に示す。

図-9 (a) をみると、未利用木質破砕材舗装を 61%が一番歩きやすいと回答し、その理由（複数回答あり）として、図-9 (b) をみると柔らかいと感じた人が 79%を占めている。

このことから、未利用木質破砕材舗装は他の舗装に比べ柔らかく歩きやすいといえる。

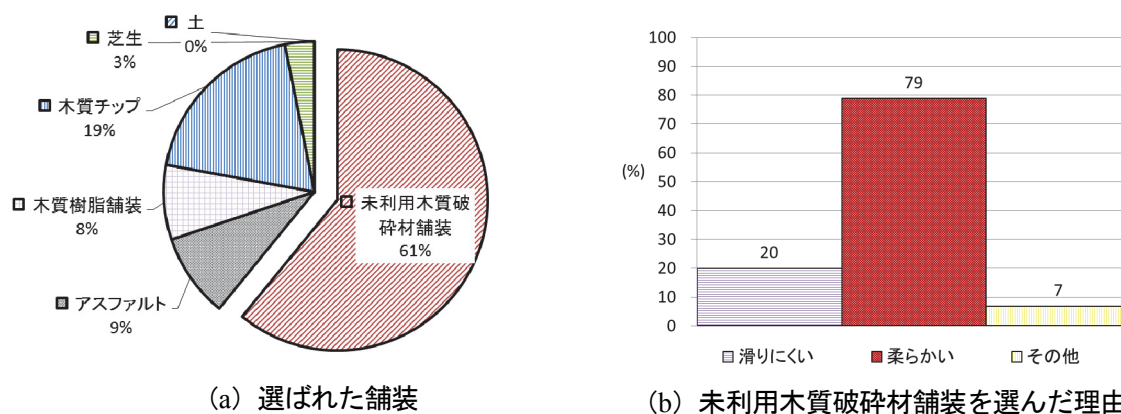


図-9 アンケート調査結果 回答割合
(2011～2014 年)

3.6.2 滑り抵抗試験

歩道において、歩行者が安全で快適な歩行を確保する必要があるため、人の歩行に近い仕組みである写真-12 に示す携帯型すべり試験機（(株) 東北測器製 ONO・PPSM）を用い、すべり抵抗値（C.S.R'）を用いてすべり抵抗について検討した。試験はゴム製のすべり片（ゴムシート：硬さ（A 形）72～80、厚さ 3～6mm（一般の靴底を想定））上に質量 20kg（鉛直荷重 196N）の重錘をセットし、最大引張荷重を測定することにより、式（1）によりも求まる値であり、通常の静止摩擦係数である。

$$C.S.R' = \text{最大引張荷重 (N)} / 196 \text{ (N)} \quad \dots (1)$$

C.S.R' は実際の人の歩行動作に伴うすべりを最も適切に表現できる評価指標と考えられており、歩道において歩行者がすべりやすさを感じない C.S.R' は 0.6 以上が基準となっている³⁾。

岐阜高専中庭にて、乾燥状態と湿潤状態で試験を行った（図-10）。図-10 には図-3 と同様に、アスファルト舗装、従来の木質樹脂舗装やタータンと呼ばれる陸上競技用のウレタンゴムなどの測定結果も併記しているが、未利用木質破砕材舗装の C.S.R' は乾いた状態、濡れた状態ともに歩道の基準である 0.6 を満たしており、

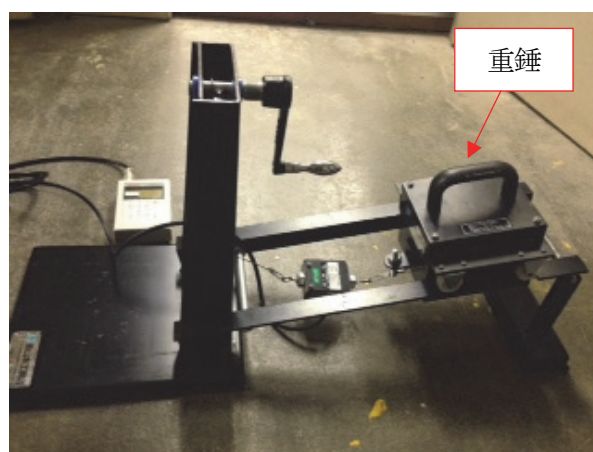
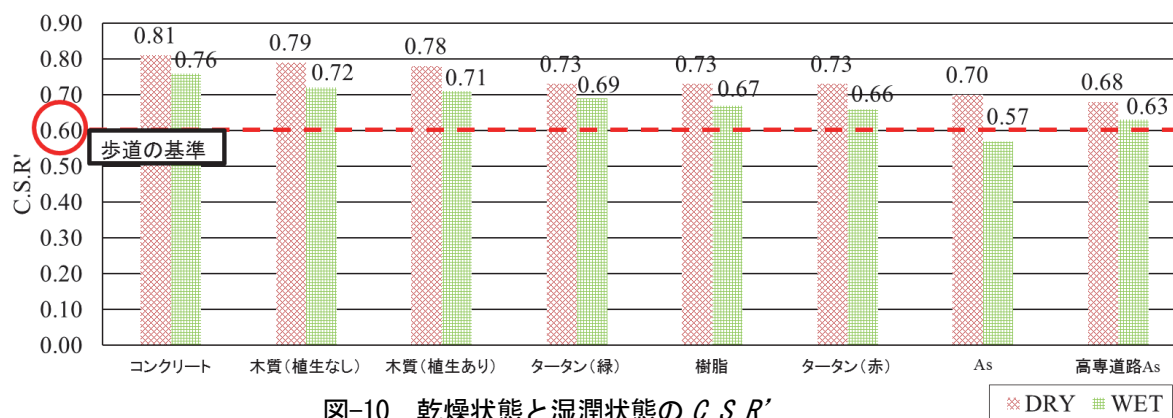


写真-12 携帯型すべり試験機



濡れた状態においても、アスファルトの乾いた状態と同程度の値を示した。したがって、未利用木質破砕材舗装は路面状態に関係なく、すばりにくく安全な歩行が可能であるといえる。

4. おわりに

森林の本来もつ機能（土砂災害防止、水源涵養、生態系保全、二酸化炭素吸収など）を十分に発揮させるために、間伐などの森林整備を行う必要があるが、それにより発生した間伐材などの資源を有効活用する方法は、大きいものや形の良いものに限られており、ほとんどは焼却処分や林地残材として山に放置されている。したがって、この未利用木質破砕材（林地残材や間伐により発生した資源）を有効活用する方法を確立すれば、森林整備が進み、森林の機能を十分に発揮させることができる。

本研究では、森林本来の機能を発揮させるために森林整備を推進するべく、森林資源の有効利用の一つの方法として、水性アスファルトを用いた林地残材などの未利用の森林資源を利用した未利用木質破砕材舗装を提案し、沈下量・硬さ・温度特性・透水性・歩きやすさについて評価を行った。

その結果、未利用木質破砕材舗装は柔らかく滑りにくいことから公園や病院、福祉センター、林間といった遊歩道などに設置する歩道として十分に利用できることがわかり、森林資源の有効な利用方法の一つとして確立できた。さらに、夏には涼しく、冬には暖かいという温度特性は地球温暖化防止や凍上抑制効果などが期待できる。

今後も継続的な調査を行い、舗装の劣化状況を把握する予定である。

謝 辞

本研究に関係する表-2 の施工 A~C の未利用木質破砕材舗装は平成 22 年度・23 年度岐阜県地域材利用開発プロジェクト支援加速化事業に採択され、テーマ「ぎふ証明材を活用した新しい木質舗装技術の開発」について助成を得て実施したものです。

また、アンケート結果は、平成 25 年度・26 年度土木学会中部支部調査研究委員会（森林整備および森林資源の有効利用を核とした地域デザイン研究委員会）の活動、環境教育を目的とした地産地消型マイクロリサイクルシステムの構築と啓発活動—持続可能な循環型社会を担う人材育成と地域貢献を目指して—（平成 25~29 年度科学研究費補助金（基盤研究(C)、課題番号：25350274）の一部により、円滑に遂行できました。

ここに記して、心から感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 宗宮正和・吉村優治・河村邦基・角田惇：「ぎふ証明材（林地残材）を活用した新しい木質舗装技術の開発」成果概要、平成 23 年度岐阜県・地域材利用開発プロジェクト支援加速化事業成果概要、2012.2/20.
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装設計施工指針 www.road.or.jp/event/pdf/hosou02.pdf (2014.9.29 閲覧)
- 3) 小田勝也・上田倫大・他 4 名：海岸施設における利用者のすばりに関する評価方法とすばり対策に関する研究、海岸工学論文集、第 51 巻、pp.1251~1255、2004.