アスファルト乳剤を併用した樹皮チップの 断熱性と透水性に関する研究

岸田 久徳1・中村 大2・川尻 峻三3

川口 貴之4・山口 滉平5・山下 聡6

¹正会員 ライト工業株式会社 北海道統括支店 (〒060-0006 北海道札幌市中央区北6条西18丁目1-7) E-mail:hisanori@raito.co.jp

²正会員 北見工業大学准教授 工学部地球環境工学科 (〒090-0857 北海道北見市公園町 165) E-mail:dnaka@mail.kitami-it.ac.jp

> ³正会員 北見工業大学助教 工学部地球環境工学科(同上) E-mail:skawajiri@mail.kitami-it.ac.jp

⁴正会員 北見工業大学准教授 工学部地球環境工学科(同上) E-mail:kawa@mail.kitami-it.ac.jp

⁵学生会員 北見工業大学 大学院工学研究科社会環境工学専攻(同上) E-mail:m1652200062@std.kitami-it.ac.jp

⁶正会員 北見工業大学教授 工学部地球環境工学科(同上) E-mail:yamast@mail.kitami-it.ac.jp

本研究では、建設工事等で伐採木から作製される樹皮チップにアスファルト乳剤を混合したのり面保護 材の断熱性能と排水性能を明らかにすることを目的として、積雪寒冷環境における屋外実験と、X線 CT スキャンを用いた内部構造観察および透水試験による性能評価を試みた.また、熱伝導解析を行い、樹皮 チップと同程度の断熱効果を発揮する際の断熱材厚さを推定し、樹皮チップと断熱材の費用比較を試みた. その結果、樹皮チップの敷設によって地表面における外気の影響による凍結深さや凍上量が低減できるこ とや、外気の影響を受けても透水性は大きく変化せず、融雪水や地下水の排水性を期待できることが明ら かになった.

Key Words: wood chips, asphalt emulsion, snowy cold region, heat insulating performance

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷環境にある斜面およびのり面 では、表層から lm 程度までの極表層部において冬期に 凍上・凍結現象が発生するため、のり面工や斜面安定工 の性能低下や被災事例が多数報告されている^{1),2)}.また、 融雪期には凍結融解に起因する切土のり面の崩壊や盛土 のり面の崩壊事例なども報告されており^{3),4},崩壊の発 生要因として間隙水圧の上昇および消散による影響や融 雪水が盛土内への浸透したことによる飽和度の上昇が影 響していると考えられている^{5,6}.

このような背景から,のり面の凍上等による崩壊対策 や春期の融雪水およびのり面に滲出する地下水の効率的 な排水・処理を目的として,薄型のふとんかごをのり面 と平行に敷設する特殊ふとんかご工の使用頻度が北海道 では高くなっている[¬]. また,近年では特殊ふとんかご に透水性断熱材を併用することによって断熱効果を付加 させた工法が適用された事例についても報告され[®],断 熱性能と排水性能を兼ね備えた凍上対策工に関する研究 開発の試みも増加している.

ところで、北海道における建設発生木材の排出量は全 国値の4099万トンに対して36.1万トンと比較的多く推 移しており、公共土木工事における伐採木や除根材の発 生比率も高い⁹.また、建設発生木材については依然と して焼却による縮減を行っているのも現状である¹⁰こと から建設発生木材のリサイクルを促進することも課題と されてきた.このため、近年では建設発生木材の有効利 用が試みられており、木材チップを植生基盤材にしよう したリサイクル型ののり面緑化工法を採用する事例も多 くなっている^{II)}.以上の背景をもとに筆者らは、建設工 事等で産業廃棄物となる建設発生木材をリサイクルして 木材チップを作製し、木材チップをのり面に被覆するの り面保護工を開発するという着想に至った.

本研究では、屋外の平地において樹皮チップとアスフ アルト乳剤を混合したものを試験的に敷設し、凍結深さ と凍結量を測定した。樹皮チップの敷設厚さは 0mm, 20mm, 60mmの3ケースで実施しており、この3ケース を比較することで樹皮チップを用いたのり面保護材の断 熱性能について検討を行っている。これに加えて、室内 においてもX線 CTスキャンによる木材チップ内部の空 隙構造観察と、定水位透水試験を実施して排水性能につ いても検討を行っている。また、屋外の計測結果を基に した熱伝導解析を実施し、その結果から従来工法である 断熱材と樹皮チップの費用比較についても試みた。

上記の検討から本研究で想定している樹皮チップの効 果は以下の断熱効果と透水性の確保である.今回の検討 では樹皮チップはアスファルト乳剤と混合してから敷設 しているため、樹皮チップは互いに緩く付着して大きな 空隙構造を形成し、空気を内包する構造となるため高い 断熱効果を期待できる.この断熱効果によって凍上量を 低減し、春先の融雪沈下によるのり面変状¹⁰を抑制でき る可能性がある.次に空隙構造はのり面に滲出する地下 水を排水することも可能にすると考えられるため、春期 の融雪水によるのり面の強度低下や融雪水に起因する崩 壊も抑制できるのではないかと期待できる.

2. 樹皮チップとアスファルト乳剤の概要

本研究における一連の実験では、主に樹皮をチップ状 にした樹皮チップを利用した.しかし,現場でのチップ の加工過程で木部も混合されているため厳密には全木チ ップではあるものの、目視確認の範囲ではチップの多く は樹皮で構成されていため、本研究では樹皮チップと判 断した.使用した樹皮チップの原材料は、実際の建設現 場において伐採された、針葉樹のスギとヒノキである. 通常、全木チップは原木の樹皮をバーカーで剥皮してか ら、チッパーで切削破砕して製造される. なお、本研究 において樹皮チップを利用した理由としては、今回の原 材料入手先の建設現場においては、木部については利用 方法が決定されているものの、樹皮部についての有効利 用先は乏しく、活用方法の検討が強く望まれていた. こ のような背景から今後は、樹皮部の有効利用方法につい て需要が高まると推察し、工学材料としての利用方法の 検討が必要であると考えたためである.

図-1 に実際に使用した樹皮チップの概況を示す. 図



図-1 本研究に使用した樹皮チップ

から確認できるように、形状は比較的不定形であり、大 きさについても大小様々である. また, アスファルト乳 剤は、東亜道路工業株式会社製のビューテックス乳剤を 使用した. ビューテックス乳剤は分解後に無色透明とな るゴム・樹脂系の脱脂乳剤であり、施工については通常 の乳剤と同様の手順で行うことが可能である.前述した ように、本研究では樹皮チップとアスファルト乳剤を混 合してから敷設するという施工方法をとっているが、こ れは粘性の比較的高いアスファルト乳剤を樹皮チップに 添加することで樹皮チップの風による飛散を防止するこ とができると考えたためである.加えて、アスファルト 乳剤と混合することによって樹皮チップがコーティング され、樹皮チップ自体の経年経過による腐朽を抑制でき る効果も期待できる. なお, 現時点における耐用年数 は 20 年程度を期待しているが、耐用年数にはアスファ ルト乳剤の耐用年数も大きく関係してくることから、ア スファルト乳剤と樹皮チップを混合した試料で耐候性試 験や経過観察を検討したいと考えている.

3. 屋外実験の概要

(1) 屋外実験フィールドの土質

本研究を実施した屋外実験フィールドは北海道北見市 の北見工業大学敷地内にある.このフィールドは過去に 様々な凍上に関する実験を行ってきた場所であり,地表 面から 50cm 程度の深さまでは北海道北見市内にて採取 された凍上性の高い風化火山灰で置換されている.図-2 に粒径加積曲線を,図-3 には締固め試験の結果を示す. この土試料の土粒子密度βは 2.442 g/cm³である.さらに, 地盤工学会基準¹³に準拠した凍上試験も実施した.図4 に凍上試験結果を示す.試験から得られた凍上速度は 0.389 mm/hourであり,地盤工学会基準に基づいて凍上性 判定を行うと「凍上性が高い」と判定される.



(2) 屋外実験フィールドの概要

図-5 は本研究で使用した屋外実験フィールドの施工 過程の概略を示している.北見工業大学構内において上 述した凍上性が高い地山地盤を整地し(a)),各ケース における熱的な境界条件を明確にするため断熱材を埋設 した(b),c)).その後,後述する温度センサなどの計測 機器を埋設し(d)),所定密度なる量の樹皮チップをし きならし(e)),アスファルト乳剤を噴霧した(f)). アスファルト乳剤は噴霧を試みたものの,今回採用した 噴霧方法では樹皮チップとアスファルト乳剤との混合が 不確実であったため,所定量のアスファルト乳剤を噴霧 後に手で撹拌・混合を行った後(f)),表層が水平とな るように整形した(g)).

図-6 に屋外実験フィールドの様子と平面図および断面図を示す.前述したように実験は3ケースで実施しており、樹皮チップを敷設しないケースを Case1、樹皮チップを敷設厚さ 20mm で敷設したケースを Case2,敷設厚さ 60mm で敷設したケースを Case3 とした.また、Case2 および Case3 については、断熱材で仕切りを行った縦 1800mm×横 1800mmの領域に樹皮チップを敷設しており、それぞれのケース間で干渉および影響を出さないようにしている.仕切りに用いた断熱材は押出法ポリ



図-5 屋外フィールドの施工過程

スチレンフォームを使用しており,幅 1800mm×高さ 400mm×厚さ 50mm で深さは 300mm まで地中に埋設し ている. なお,いずれのケースも樹皮チップ敷設前にプ レートコンパクターで整地を行っている.

樹皮チップは縦1800mm×横1800mm×厚さ20mmが1 層となるよう敷設を行った.1層あたりの樹皮チップの 使用量は厳密に測定していないが,概ね0.06m³(小型土 のう袋で3袋程度)であり,初期含水率等の測定は行っ ていない.1層分の樹皮チップを積層した後にアスファ ルト乳剤を4L(1m²当たり約0.6L)散布し,人力による 混合を行っている.本研究での散布量については,通常 の舗装工事で採用されている量を試験的に採用した.今 後はのり面保護材としてより適切な散布量について検討 が必要であると考えている.また,人力での混合は本研



図-6 屋外試験フィールドの様子および平面図、断面図

究で試験的に実施したものであり、実際の現場において は施工性などを考慮して、ミキサーによる混合やベルト コンベアによる送り出し、吹付け機などによる機械施工 を行うことを念頭においている.なお、敷設した材料組 成は樹皮チップとアスファルト乳剤だけである.

以上のような手順を Case2 では1層分, Case3 では3層 分行い,各ケースにおける樹皮チップの敷設厚さが 20mm と 60mm になるよう管理を行った.なお,積雪に より地表面が雪で覆われると雪の断熱効果による影響が 大きくなるとの報告¹⁴があるため,屋外フィールドは図 -6 に示したように,積雪による断熱効果が実験結果に 影響を与えないよう全体をテントで覆った.また,積雪 の度に除雪を実施して常に樹皮チップ表面や地表面が雪 で覆われないようにした.

(3) 計測の概要

本研究では屋外実験フィールドの3ケースにおいて地 中温度,凍結深さ,凍上・融解沈下量を計測して,それ らの比較を行っている.図-6には,本研究で埋設した 計測機器の配置についても示している.

まず,地中温度の計測には,角木材にサーミスタ温度 センサの先端を固定して作製した温度計測ロッドを使用 した.地中の温度変化を計測する Casel では,埋設深さ を地表面から 1.0m とし,温度センサの設置間隔は深さ 方向に 0.2m とした.樹皮チップによる断熱効果を確認 するため,樹皮チップ以深における地山の温度変化を計 測する Case2 および Case3 については,埋設深さを地表 面から 0.8m とし,温度センサの設置間隔は深さ方向に 0.4m としている.なお,Case2 および Case3 については, 樹皮チップの表面にも温度センサを配置している.温度 センサの末端部分は集約して 4 チャンネル温度ロガーに 接続し,地表面から高さ 1.0m の位置に設置した計測ボ ックスに収納した.現地の外気温はこの計測ボックス内 に設置している温度センサで1時間間隔で計測を行って いる.また,凍結深さを目視で確認することを目的とし て,温度計測ロッド付近にはメチレンブルー凍結深度計 も埋設した.

凍上・融解に伴う変位については、定期的に水準測量 を行って計測している.具体的な設置箇所については図 -6 に示している.いずれのケースにおいても、地表面 に金属板を設置しており、その上にスタッフを立てて測 量を行っている. Case3 の測量時には金属板を覆ってい る樹皮チップを取り除いてからスタッフを立て測量終了 時には再び金属板を樹皮チップで覆っている.



(4) 屋外実験の結果および考察

図-7 に各ケースにおける地表面温度,凍結深さ,変 位量の経時変化を示す. 温度計測ロッドおよびメチレン ブルー凍結深度計は2016年11月4日から7日までの間 に埋設しており、樹皮チップの敷設は 2016 年 11 月 11 日に実施している. 図-7(a)より樹皮チップを敷設してい ない Casel では、寒気や暖気の影響を受けて地表面温度 が大きく上下動していることが分かる. これに対して, 樹皮チップを敷設した Case2 と Case3 では、寒気や暖気 に伴う地表面温度の上下動は小さい. この上下動の振幅 は、樹皮チップの厚さが厚くなるにしたがって小さくな っていく傾向が確認できる.特に,60mmの厚さで樹皮 チップを敷設した Case3 では、12月下旬においても概ね 0℃付近で推移していることがわかる. 図-7(b)の凍結深 さに着目すると、Casel では 2016 年 11 月 21 日頃より凍 結線が地中へと進行し始めていることが確認できる.樹 皮チップの厚さが 20mmの Case2 では、 凍結線の地中へ の進行開始は Casel より 9日遅れた 2016年 11月 30日で あった. 樹皮チップの厚さが 60mm の Case3 ではさらに 7日遅れて 2016 年 12月 7日頃より凍結線が地中へと進 行を始めている. 各ケースにおける最大凍結深さは, Casel では約 64cm, Case2 では約 42cm, Case3 では約 28cm であり、今回の屋外実験で設定した条件の範囲で は最大凍結深さを45%程度まで抑制することができるこ とがわかった.以上のように樹皮チップを敷設すること によって凍結線が地中へと進行する日付を遅れさせると

ともに凍結深さを低減できることが確認された. 一方,図-7(c)の変位量に着目すると,凍上が開始する



図-8 樹皮チップ厚さと Case 1 凍結開始日からの遅れ日数

日付については凍結深さと同様の遅れが生じているもの の,最大凍上量は Casel では約 8.9cm, Case2 では約 7.1cm, Case3 では約 7.6cm となり,最大凍結深さと比較 すると大きな差は見られない.この理由として,本研究 では水準測量を行うために熱伝導率の高い金属板を設置 しているが,これが樹皮チップ以深の地表面にも冷気を 伝達している可能性があり,局所的な凍上が起こってし まったものと考えられる.なお,目視による観察では概 ね凍結深さに応じた凍上量が確認できているため,樹脂 チップを用いた際の正確な変位量(凍上量)の測定方法 は今後の課題である.図-8 に樹皮チップの厚さと Casel の凍結開始日からの遅れ日数の関係,図-9 に樹皮チッ プの厚さと 2016 年 12 月 28 日時点における凍結深さの 関係を示す.両図ともに,樹皮チップの敷設厚さと



図-9 樹皮チップ厚さと2016年12月28日時点の凍結深さ

Casel の凍結開始日からの遅れ日数,凍結深さとの間に は、一定の対応関係が認められる.このように、施工現 場における n 年確率最大凍結深さに合わせて適切な樹皮 チップの敷設厚さを設定することができれば、のり面や 地盤への凍結の進行を適切に抑制できることが示唆され る実験結果が得られた.また、凍上量の低減特性に関し ては今後検討が必要であると考えられるものの本研究に よって樹皮チップとアスファルト乳剤を用いたのり面保 護材は断熱材として非常に有望な材料であることが確認 された.

4. 樹皮チップの内部構造観察および透水性評価 に関する室内試験

(1) 供試体の条件

屋外観察結果から今回の観測期間内では、樹皮チップ が断熱材として有望な材料であることが確認されたが一 方で、融雪期において融雪水の影響による斜面およびの り面内部の地下水位の上昇を考えると、樹皮チップの性 能には断熱効果に加えて、排水性も必要となってくる. そこで本研究では樹皮チップの排水性に関する基礎的な 検討として X線 CT スキャンを用いて樹皮チップの内部 構造について観察し、さらに屋外実験フィールド内にお いて外気温の変化を与えた供試体に対して透水試験を行 って、外気温の低下に伴う樹皮チップの堆積および空隙 構造と透水係数の変化について考察を行った.

X線 CT スキャン用の供試体は直径 60mm,高さ 100mm のアクリル製円筒内に透水試験用の供試体は直 径 50mm,高さ 51mm のステンレス製円筒内に所定の密 度(乾燥密度 $\rho_{H}=0.257$ g/cm³)となるように計量した樹皮 チップを投入したものである.なお,供試体の密度は



Case3 の屋外実験フィールド内の 5 地点で所定の体積 (高さ 2cm×幅 10cm×奥行き 10cm)に相当する箇所か ら樹皮チップを採取後,質量を計量の上で密度を算出し, 5 地点の密度を平均した値とした.なお,密度のばらつ きは平均値に対して約±0.07g/cm³であった.図-10 はそれ ぞれの試験に用いた供試体の状況を示している.上述の 方法で作成した供試体は 2016 年 12 月 1 日に Case3 の屋 外実験フィールド内に静置し,約 1 ヵ月後の 2017 年 1 月 6 日に屋外実験フィールド内から取り出して X線 CT スキャンによる内部構造の観察と透水試験を行った.試 験終了後には,再び Case3 の屋外実験フィールドに静置 した.

(2) X線CTスキャンによる内部構造の観察

本試験で用いた X線 CT スキャン装置はコーンビーム タイプのマイクロフォーカス X線 CT スキャン (SHIMADZU inspeXio SMX-225CT)である.なお、本試 験で使用した X線 CT スキャン装置の詳細については、 参考文献¹⁵⁾を参照されたい.また、本研究での CT スキ ャン条件を表-1 に示す.図-11 は X線 CT スキャンから 得られた 2016年12月1日および 2017年1月6日のアク リル円筒内の樹皮チップの三次元再構成画像の比較であ る.図-11 の三次元再構成画像では、スキャン画像から 取得した輝度データに対して閾値を設定して¹⁶樹皮チッ プのみを抽出した画像である.このため、無色透明箇所 は空隙である.なお、この閾値の妥当性については供試 体から実測した空隙率と閾値を用いてスキャン画像から 算出した空隙率が概ね一致していることで確認している. X線 CT スキャン内に供試体を据え付ける位置がわずか



図-11 X線CTスキャンから取得した三次元再構成画像

に異なるため、図-11 に示した 2016 年 12 月 1 日と 2017 年 1 月 6 日のスキャン領域は厳密には異なっている.こ のため、三次元構成画像には若干の違いはあるものの、 画像から確認できる同一の樹皮チップに着目すると、 2016 年 12 月 1 日と 2017 年 1 月 6 日の画像において樹皮 チップの堆積構造や空隙構造に極端な変化が発生してい る状況は確認できず、樹皮チップの外気温の変化に対す る内部構造の変化は比較的安定している状況が伺える。

(3) 透水試験

図-12 は透水試験手順の概略図を示している.屋外実 験フィールドから室内に搬入された供試体は飽和化をす るため 24 時間ほど水槽内で養生を行った後,定水位透 水試験によって飽和透水係数 k_{st} を測定した.試験終了 後は 24 時間ほど重力脱水で供試体の含水比を低下させ, 再び屋外実験フィールドの所定の位置に静置した.**表**-2 は各期間における飽和透水係数 k_{st} のまとめである. 2016年12月1日から2017年1月6日までは外気温が連 続して 0℃を下回り(図-7参照),外的要因は変化して いるものの飽和透水係数 k_{st} には大きな変化が確認でき なかった.これは先述したように,樹皮チップの内部構 造に極端な変化が無いためと解釈できる.飽和透水係数 k_{st} の値については,例えば Creager の式^{ID}と比較すると 樹皮チップは $D_{20} = 0.3mm$ の中砂に相当しており,斜面 およびのり面表層に敷設した樹皮チップによって,融雪



表-2 飽和透水係数の変化	
試験実施日	$k_{\rm sat}$ (m/s)
2016年12月6日	2.81×10 ⁴
2017年 1月6日	2.87×104



図-13 透水試験終了後の供試体

期における表流水や背面地下水の円滑な排水が期待できる.一方で、図-13 は透水試験終了後の供試体の状況を示しているが、樹皮チップがステンレス円筒上部から突出したような形で露出しており、吸水膨張が発生していると考えられる.ステンレス円筒から露出した部分の樹皮チップを採取し、質量を計量して密度変化を算出したところ、ptは 0.04g/cm³程度低下する結果となった.このような吸水膨張が繰返し発生することによる密度低下によって、工学的性質が長期的には変化する可能性がある. 今後は融雪期における融雪水を適切に排出できる透水係数を浸透流解析などから推定し、樹皮チップに必要となる具体的な排水性能を検討する必要がある.

5. 実施工を見据えた費用の試算および比較

実際の現場施工において樹皮チップの利用促進を考え ると、一般的な工事で用いられる断熱材(押出法ポリス チレンフォーム)などの材料との価格比較を検討するこ とが必要となる.そこで熱伝導解析を行い、樹皮チップ と同程度の断熱効果を発揮する際の断熱材厚さを推定し、 この結果を基に樹皮チップと断熱材の lm²あたりの費用 試算を試みた.図-14 は熱伝導解析に用いた一次元有限 要素熱伝導解析モデルを示している.なお、解析には市 販の汎用有限要素解析ソフトである TEMP/W を用いた. 図-15 は解析結果の一例を示している.本研究の解析で は、まず Casel を対象として図-7 に示した実測値と解析 結果が整合するように、逆解析的に地盤内の熱伝導率を 推定した.なお、この際の図-14 に示した解析モデル下 端における境界条件は、他の研究 ⁹で定常的に計測して



いる地表面から深さ 4m 地点における温度データを sin 関数でフィッティングして与えた. なお,この温度デー タの計測地点は本研究での屋外実験フィールドから 2m 程度離れた箇所である.以上の解析から推定した地盤内 の熱伝導率を用いて Case2 および Case3 についても逆解 析を行い,樹皮チップの熱伝導率(0.2KJ/day/m^oC)を推 定した.これらの熱伝導率を用いて,北海道北見市にお ける過去 20 年の気温データの平均値を外力条件として 地表面に与えて、樹皮チップと通常の十木工事で利用さ ている断熱材(押出法ポリスチレンフォームを想定して 熱伝導率は 0.12KJ/day/m/℃と設定)の厚さをパラメトリ ックに変化させた熱伝導解析を実施した. その結果とし て、凍結線の位置に着目した場合に、例として樹皮チッ プの敷設厚さを 10cm とした場合に相当する断熱材厚さ は6cmであった.ここで、それぞれの1m²あたりの材料 価格を比較すると、樹皮チップは4,100円/m²、断熱材は 3.120 円/m²となり、断熱材と比較すると樹皮チップの材 料価格は若干高い. また, 厳密には伐採木や除根材を樹 皮チップにする過程において切削破砕の費用も加わって くるが、現場において発生した樹皮チップを利用する場 合には新規の材料購入費の実質的な負担は無い. このと き,乳剤のみの価格は 500 円/m²となる.しかし,実際 には施工日数に応じた施工費などの他の費用が発生する ため、今後は効率的な施工方法の検討などを行い、より 現実的なコストの算出が必要であると考えている.一方 で、先述したように樹皮チップは透水性を有しているこ とや植生の活着が期待できるなど上記の価格差以上の工 学的な付加価値があると考えられる.

なお、今回の検討では木部を含む樹皮チップの断熱性 と透水性の基本的性質について屋外実験および室内実験 によって検討した.木部を含む樹皮チップについては、 原材料とする木の性質やチップ化の方法によって、木部 の混入量が変化する可能性がある.今後は、工学材料と しての樹皮チップの安定性を評価するために、木部の混 入量のバラツキや、混入量と工学的性質の変化の関係性 について把握することで、より現実的な施工が可能にな ると考えている.

6. まとめ

本研究では、屋外試験によって樹皮チップの断熱効果, 室内試験では樹皮チップの内部構造の観察と透水性の評 価および樹皮チップそのものの強度特性や地盤材料との 摩擦特性に加えて、熱伝導解析結果から 1m²あたりの費 用の試算および従来型の断熱材との費用比較を試みた. その結果、以下の結論が得られた.

(1) 屋外試験の結果より、樹皮チップを敷設することに よって地表面における外気の影響が低減され、凍結 深さおよび凍上量を低減できることがわかった.ま た、樹皮チップの敷設厚さと凍結開始日の遅れ日数、 凍結深さとの関係性を確認し、施工現場における n 年確率最大凍結深さに合わせて適切な樹皮チップの 敷設厚さを設定することができれば、のり面や地盤 への凍結の進行を適切に抑制できる可能性であるこ とが示唆された.

- (2) X線 CT スキャンによる内部構造の観察結果より、 外気の影響による樹皮チップ内の堆積構造や空隙構 造の変化は小さく、外気の影響を受けても樹皮チッ プの断熱効果は維持されているものと考えられる.
- (3) 透水試験の結果より、外気の影響によって樹皮チッ プの透水性は大きく変化しないことが確認された. さらに、樹皮チップの透水性は中砂と同程度である ことから、融雪期のおける表流水や背面地下水の円 滑な排水が期待できる材料であることが確認された. 以上のように樹皮チップは断熱材および排水材として 有望な材料であることが確認された.このため、今後は 長期的な耐候性や断熱効果の持続性、樹皮チップと土の

摩擦抵抗に関する強度試験,実施工における施工方法な どに着目した検討を行う必要がある.

謝辞

本研究の実施にあたり,元 北見工業大学工学部 4 年 生である外山大貴氏(現 ライト工業株式会社)と元 同 上大学院工学研究科 2 年生である川内谷勇真氏(現 JR 東日本コンサルタンツ株式会社)の協力を得た.末筆な がら記して深甚なる謝意を表す.

参考文献

- 1) (社) 地盤工学会北海道支部,凍上対策工と調査・ 設計法に関する研究委員会:斜面の凍上対策の調 査・設計マニュアル, pp.4-13, 2016.
- 2) 石垣幸整,三上登,川口貴之,中村大,川内谷勇真, 川尻峻三,山下聡:リサイクルプラスチック製の独 立受圧板を用いた地山補強土工の凍結融解挙動,ジ オシンセティックス論文集, Vol.31, pp.127-134, 2016.
- 3) (社)地盤工学会北海道支部,斜面の凍上被害と対策に関する研究委員会:斜面の凍上被害と対策のガイドライン,2009.
- 西村聡志,尾留川晴好,蛯澤秀則:一般国道 230 号 中山峠災害の復旧工事について,国土交通省北海道 開発局第57回北海道開発技術研究発表会,2013.
- 5) (社) 日本道路協会:道路土工-切土工・斜面安定 工指針(平成21年度版), pp.183-185, 2009.
- 6) 伊藤佳彦,倉橋稔幸,日下部祐基,宍戸政仁,大日 向昭彦:融雪期の道路斜面災害についての考察-国 道 230 号を例として-,日本応用地質学会北海道支 部・北海道応用地質研究会平成 25 年度研究発表会 講演予稿集,No.33, pp.15-18, 2013.
- (社)日本道路協会:道路土工-切土工・斜面安定 工指針(平成21年度版), pp.186-187, 2009.
- 8) 野上敦,林憲裕,佐藤厚子:断熱材を併用した特殊 ふとんかごによる切土のり面の凍上対策,地盤工学 会北海道支部技術報告集, Vol.56, pp.297-300, 2016.
- 9) 北海道地方建設副産物対策連絡協議会:北海道地方 における建設発生木材リサイクル促進行動計画, pp.4-5, 2011.
- 10) 北海道地方建設副産物対策連絡協議会:北海道地方 における建設発生木材リサイクル促進行動計画,

pp.6, 2011.

- 11) 兵庫利勇,前田俊一,佐藤厚子:北海道におけるリ サイクル型法面緑化工法の適用性について,平成23 年度北海道開発技術研究発表会,2012.
- 上野邦行,芮大虎,中村大,伊藤陽司,山下聡,鈴 木輝:植生保護法面の凍結・融解過程における挙動 特性,地盤工学ジャーナル, Vol.5, No.3, pp.413-424, 2010.
- (社) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, JGS 0172-2009 凍上性判定のための土の凍上試験方法, 2009.
- 14) 古田陽子,西川純一,渡邊栄司,鈴木輝之:盛土法 面の方位と凍結に関する実験,第38回地盤工学研 究発表会講演集,pp.337-338,2016.
- 15) 三鍋佑季,川尻峻三,川口貴之,中村大,山下聡: 締め固めた砂質土の X 線 CT スキャンから得たサク ションおよび配位数と力学特性の相関,土木学会論 文集 A2(応用力学), Vol.71, No.2, pp.497-507, 2015.
- 16) 奥村真彦, 滝克彦, 齊藤泰洋, 松下洋介, 青木秀 之: CT 値ヒストグラムに基づく複合材料の大局的 構造評価法の検討, 日本金属学会誌, Vol.79, No.10, pp.497-503, 2015.
- 17) Creager,W.P.,Justin,J.D.,and Hinds,J.:Engineering for Dams,Vol.III,Earth-fill,Steel and Timber dams,John Wiley & Sons,Inc.,N.Y.,PP.645-649,1945.

(2018.8.31 受付)

STUDY ON HEAT INSULATION EFFECT OF BURKE CHIP COMBINED WITH ASPHALT EMULSION

Hisanori KISHIDA, Dai NAKAMURA, Shunzo KAWAJIRI, Takayuki KAWAGUCHI, Kohei YAMAGUCHI and Satoshi YAMASHITA

In this study, we will clarify the adiabatic performance and drainage performance of surface protection material by mixing asphalt emulsion to wood chips made from logged trees.

Field measurements in snowy cold environments and internal structure observation and permeability test using X-ray CT scan were performed. Heat conductivity analysis was also conducted to compare the costs of wood chips and insulation.

As a result, it is possible to reduce the freezing depth and freezing amount due to the influence of the outside air on the ground surface by laying wood chips. The permeability of wood chips did not change significantly, and drainability to snowmelt water and groundwater was maintained.