

平成29年度

近赤外線を用いた凍結および圧雪路面の評価について

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○中島 知幸
高橋 尚人
国立大学法人 北見工業大学 館山 一孝

本研究では、道路交通の支障とならず、雪氷路面の状態を評価可能な雪氷路面センシング技術の開発を目的に、平成28年度および平成29年度に、近赤外線を使用した野外および室内試験を実施した。本報告では、試験の方法と取得データを紹介するとともに、雪氷路面の状態を評価する手法について検討した。

キーワード：冬期路面管理、路面状態判別、近赤外線

1. はじめに

積雪寒冷地における基本的な凍結路面对策として、凍結防止剤が散布されているが、維持管理コストの縮減等の観点から、散布の一層の効率化が必要である。冬期路面管理マニュアル（案）では、「散布は、気象条件、路面条件等により適切な散布剤（材）、散布手法等を選定し、（中略）最小限の散布量で効果的な利用を図る」としている¹⁾。道路管理者は道路巡回、気象データの活用に取り組んでいるが、路面上の雪氷量を計測する実用的な技術がないため、散布の判断や散布量調整は、オペレータの経験に基づいて実施されている。

本研究では、道路交通の支障とならず路面状態を評価可能な方法として、近年、研究が進められている光学式センサーを用いた路面状態の評価に取り組む。本稿では、近赤外線を使用した、平成28年度に野外で実施した乾燥、凍結および圧雪路面の各種路面状態における計測試験と、平成29年度に低温室内で実施した圧雪路面の雪の厚さ別の計測試験の結果について報告する。

2. 野外計測試験

2.1 試験概要

野外計測試験は、2017年2月に、北見工業大学構内で夜間に実施した。

近赤外線を用いた計測システムおよび試験条件を写真1および表1に示す。測定対象の舗装路面として15cm×15cmの密粒度アスファルト舗装供試体を使用し、反射光の測定には可視赤外分光放射計を使用した。また、特定の同じ角度から光を照射・受光するための角度調整機能付きの測定用治具を使用し、可視赤外分光放射計の受光部と光源であるハロゲンランプ（50W）を固定した。

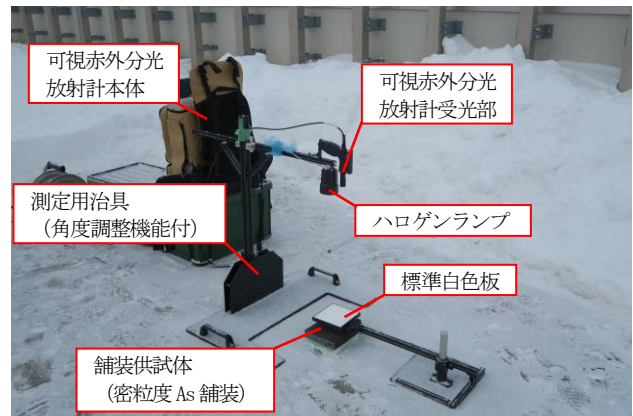


写真1 計測システム

表1 試験条件

日時	2017年2月1日17:35～ 2017年2月2日22:30	
場所	北見工業大学 第1総合研究棟屋上	
天候	曇り時々雪	
路面状態	乾燥、凍結、圧雪	
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体	
光源	ハロゲンランプ(50W)	
厚さ	氷膜	0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm
	圧雪	10mm、20mm
照射・受光角度 (水平を0°とする)	45°、55°、65°、75°、85°	

測定対象である凍結路面は、純水を使用して作製した（写真2）。氷膜の厚さはデジタル塗膜厚計で計測し、厚さを調整した（写真3）。また、圧雪路面の作製には、



写真2 作製した氷膜路面

写真3 氷膜厚の計測

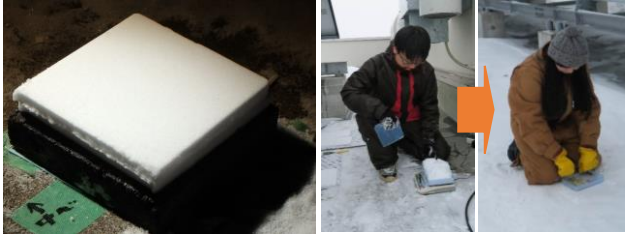


写真4 作製した圧雪路面

写真5 圧雪の作製
(左:重量計測, 右:押し固め)

自然雪を使用した。雪の密度が $500\text{kg}/\text{m}^3$ となるように、重量を調整してプラスチック容器に入れ、乾き軟圧雪と乾き硬圧雪²⁾の中間となるように押し固めて作製した(写真4および写真5)。

試験手順について述べる。

- i) 85° の角度に光源および可視赤外分光放射計の受光部を設置し、舗装供試体(乾燥)からの反射光を計測する。
- ii) 舗装供試体上に標準白色板を設置し、反射光を計測する。
- iii) i)から ii)を3回繰り返す。
- iv) i)から iii)を 75° 、 65° 、 55° および 45° で計測。
- v) 舗装供試体(乾燥)を舗装供試体(凍結: 0.5mm 、 1.0mm 、 1.5mm および 2.0mm)に交換し、i)から iv)の計測を実施する。
- vi) 舗装供試体(凍結)を舗装供試体(圧雪: 10mm および 20mm)に交換し、i)から iv)の計測を実施する。

2.2 野外試験結果

近赤外線による凍結および圧雪路面の計測結果を図1に示す。横軸は波長、縦軸は反射率を示している。反射率は、可視赤外分光放射計で計測される、計測の基準となる標準白色板からの反射光に対する比率を示している。凍結および圧雪路面ともに、反射率は角度が直上に近づく程大きくなり、各角度間で波形の特徴は類似している。また、波長 1500nm および 2000nm 付近において、その他の波長帯よりも反射率が大きく低下している。凍結路面の 85° については、波形の形状はその他の角度の波形と類似しているが、反射率は計測した全波長で高い。この原因は、凍結路面の 85° の計測結果には、直接反射光が含まれているためと考えられる。

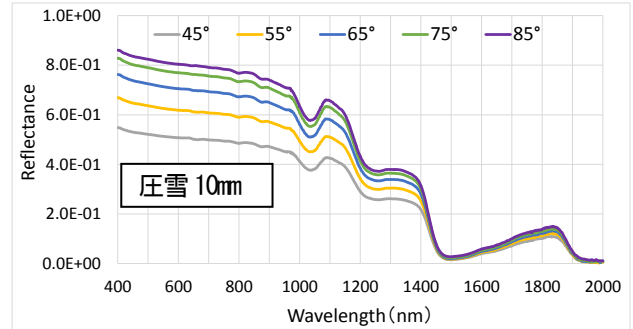
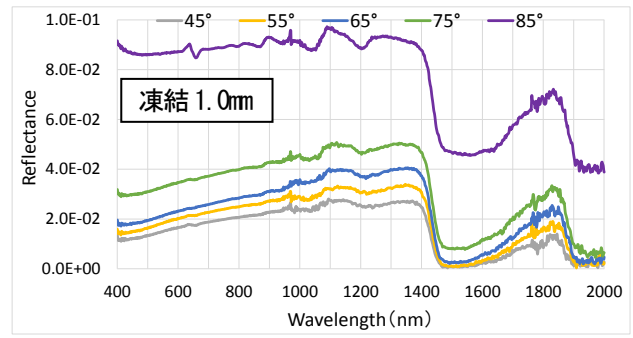


図1 凍結(1.0mm)および圧雪(10mm)路面の計測結果

次に 65° で計測した凍結および圧雪路面の計測結果を図2に示す。凍結路面では、波長が 1500nm 付近では計測した全ての氷膜厚で反射率は非常に低くなり、波長 1200nm から 1450nm 付近では、氷が薄くなる程、反射率が大きくなった。また、圧雪路面でも波長が 1500nm 付近で反射率は非常に低くなった。計測した 10mm および 20mm の雪厚では、雪が厚い方が反射率は大きくなったが、計測した雪厚は 10mm と 20mm の2点であるため、雪が厚い程、反射率が大きくなるかは不明である。

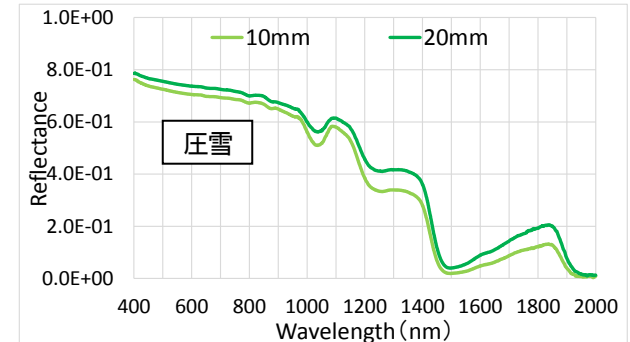
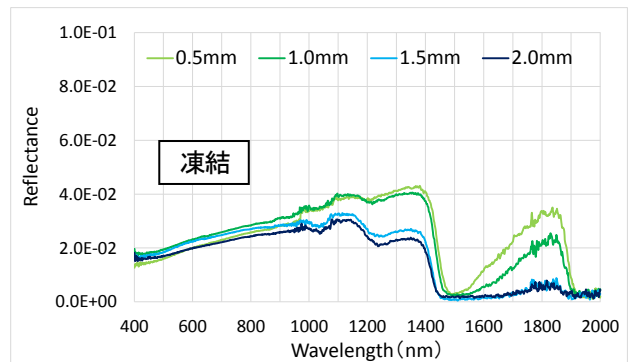


図2 凍結および圧雪路面 (65°) の計測結果

各路面状態の計測結果を比較するために、65° で計測した乾燥、湿潤（平成 27 年度計測³⁾、1mm）、凍結（1mm）および圧雪（10mm）路面の計測結果を図 3 に示す。圧雪路面の反射率は、乾燥、湿潤および凍結路面の反射率と比較して 10 倍程度と大きく、それぞれの路面状態で波形の形状が異なることがわかる。

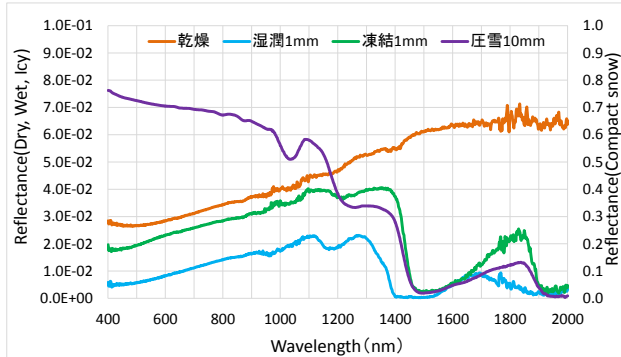


図 3 各路面状態の計測結果比較（野外、65°）

3. 室内計測試験

3.1 試験概要

圧雪路面の厚さ別の計測データを得るため、2017 年 10 月に、北見工業大学構内の低温室で計測試験を実施した。近赤外線を用いた計測システムおよび試験条件を写真 6 および表 2 に示す。野外で夜間に実施した計測試

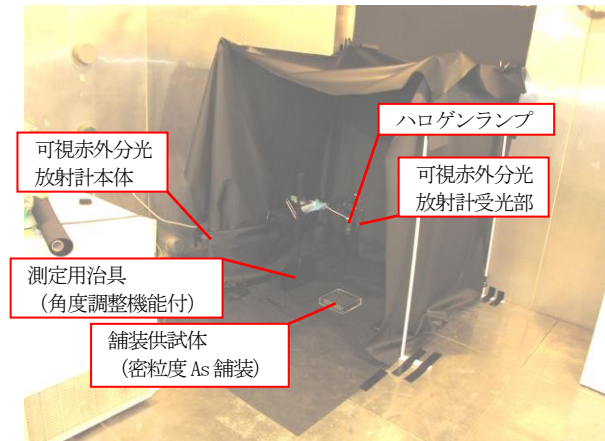


写真 6 計測システム

表 2 試験条件

日時	2017年10月10日 15:40～ 2017年10月12日 13:40	
場所	北見工業大学 低温室	
路面状態	乾燥、湿潤、凍結、圧雪	
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体	
光源	ハロゲンランプ(50W)	
厚さ	水膜	1.0mm
	水膜	1.2mm
	圧雪	5mm、10mm、20mm、30mm、40mm
照射・受光角度 (水平を0°とする)	45°、55°、65°、75°	

験と条件を近づけるため、暗幕により暗室を作製し、暗室内で計測を行った。計測システムは野外試験と同様であるが、圧雪路面の作製には人工雪を使用した。雪の密度が 500kg/m³となるように、重量を調整してプラスチック容器に入れ、野外試験と同様に、乾き軟圧雪と乾き硬圧雪²⁾の中間となるように押し固めた。ほぼ圧力を加えることなく雪密度 500kg/m³に達したことから、野外試験の自然雪とは雪質に違いがあった。

3.2 室内試験結果

圧雪路面の厚さ別の計測結果を図 4 に示す。雪の厚さにより反射率に違いがある波長帯があるが、厚さ 30mm および 40mm については波形にほぼ違いがないことから、雪厚が一定以上の厚さでは、反射率は一定となると考えられる。また、野外試験では 2000nm 付近以外の波長において、雪厚 10mm と 20mm で反射率の違いがあったが、室内試験では 1000nm 以上の波長帯で反射率の差がない。雪質の違いが反射率に影響を及ぼす可能性がある。

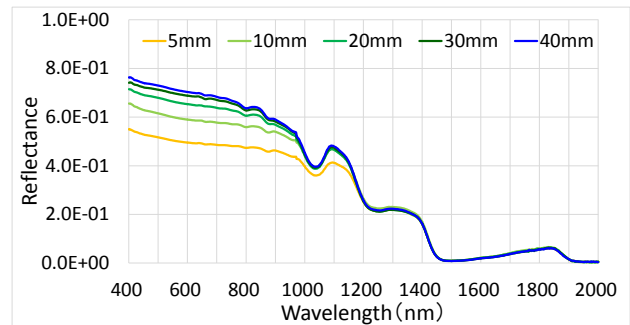


図 4 圧雪路面（室内、65°）の計測結果

次に、65° で計測した乾燥、湿潤（1mm）、凍結（1.2mm）および圧雪（10mm）路面の計測結果を図 5 に示す。圧雪路面の反射率は、乾燥、湿潤および凍結路面の反射率と比較して 10 倍程度と大きく、それぞれの路面状態で波形の形状が異なることがわかる。

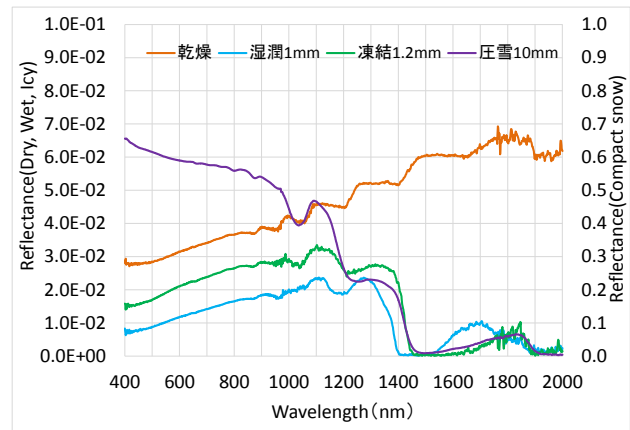


図 5 各路面状態の計測結果比較（室内、65°）

4. まとめ

近赤外線を用いて、乾燥、湿潤、凍結および圧雪路面を計測した。平成 27 年度の計測結果も加えて比較すると、乾燥、湿潤、凍結および圧雪路面では、反射率-波長の波形の形状が異なることがわかった。この形状の違いを判別できれば、路面状態の判別が可能であると考えられる。また、水分量（水膜厚、氷膜厚および雪厚）と反射率の関係では、厚さに応じて反射率が変化することが分かったので、今後、路面状態の判別手法の検討とともに、水分量の推定式の検討を進める予定である。

【参考・引用文献】

- 1) 北海道開発局, 1997: 冬期路面管理マニュアル(案)
- 2) 前野紀一, 成田英器, 西村浩一, 成瀬廉二, 1987: 道路雪氷の構造と新分類, 北海道大学低温科学研究所業績, 第 3099 号
- 3) 中島知幸, 高橋尚人, 舘山一孝, 2017: 近赤外線およびマイクロ波を用いた路面状態の評価について, 第 60 回北海道開発技術研究発表会