

雪崩対策施設の損傷と維持管理のための点検の着眼点

松下拓樹*1 石田孝司*1 金澤 瑛*1

1. はじめに

雪崩対策施設が施工されてから数十年が経過し、風水雪による損傷や凍結融解などの影響による鋼材の腐食、基礎の浸食等による施設の劣化などが認められる雪崩対策施設が見受けられる^{1)~5)} (図1)。国立研究開発法人土木研究所雪崩・地すべり研究センター (以下、雪崩・地すべり研究センター) では、雪崩対策施設の維持管理のための点検に関する調査・研究を行っており、その基礎的な資料として活用するため、道府県における集落保全を主目的とした雪崩対策施設設置斜面の点検の実態に関するアンケート調査を実施した。その結果⁶⁾、課題として、点検の着眼点が不明、点検の客観性の確保、点検台帳の未整備を挙げる道府県が多く、客観的かつ的確な点検の実施および点検結果の整理に課題を抱えている実態が浮き彫りとなった。

本論文では、国内における雪崩対策施設の損傷事例と国内外における施設の維持管理のための点検に関する資料を収集し、雪崩対策施設の種類ごとに着目すべき損傷等とその要因となる現象と、損傷等による施設部位の変状レベルの判断について整理した結果を報告する。

2. 調査方法

2.1. 雪崩対策施設の損傷事例の収集

雪崩対策施設の損傷事例は、まず国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課を通じて、各道府県の雪崩対策事業担当者に依頼を行い、各道府県における雪崩対策施設の損傷事例および機能低下事例の提供を求めた。また、新潟県と北海道における雪崩対策施設の損傷事例について、雪崩・地すべり研究センター独自で調査および収集を行うとともに、過去に把握した事例の確認と整理を行った。

2.2. 雪崩対策施設の点検に関する資料の収集

雪崩対策施設の維持管理に関する点検の考え方や着眼点を整理するために参考とした主な要領や資料は、「砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)⁷⁾」、「砂防関係施設点検要領(案)⁸⁾」、「新潟県防災防雪施設点検要領(案)⁹⁾」、「新潟県シェッド・シェルター定期点検要領¹⁰⁾」、「Defense structures in avalanche starting zones¹¹⁾」(スイス、2007)、「ÖNORM-Regel 24807¹²⁾」(オーストリア、2010)である。これらの資料は、一般に入手できる資料である。道路の雪崩対策に関係する施設の点検については、この他にも各地域において取り組み^{1)~5)}が行われており、上記の資料以外

に、関連する担当部署に、雪崩対策施設の点検に関する資料の提供をお願いした。また、オーストリアの「ÖNORM-Regel 24807¹²⁾」はドイツ語で書かれているため、内容の把握にはこれを英語で解説した「The Technical avalanche protection handbook¹³⁾」を用いた。

2.3. 施設部位の損傷等による変状レベルと施設の健全度評価に関する資料の収集

損傷等による施設部位の変状レベルの判断に関して、上記2.2.の雪崩対策施設の維持管理のための点検に関する資料に加え、鋼構造物やコンクリート構造物、基礎構造物の維持管理に関する資料、橋梁や港湾など他の施設の維持管理や点検に関する資料^{14)~20)}を参考にした。

2.4. 雪崩対策施設の損傷等とその要因の整理の着眼点

雪崩対策施設には、雪崩予防施設(予防柵、吊柵など)と雪崩防護施設(減勢柵、防護擁壁など)がある。これらの施設で使用される材質や構造、設計で考慮される荷重は異なるので、施設の維持管理に関する点検において、雪崩対策施設の種類ごと、および部位や部材ごとにどこに着目して、どのような状況に注意すべきか等の着眼点をあらかじめ整理して



図1 雪崩対策施設の損傷例

*1 国立研究開発法人土木研究所 雪崩・地すべり研究センター

おくことが必要となる。さらに、季節によって、損傷等の原因となる現象が異なると考えられるため、点検時期や種類（定期、臨時）に対応した着眼点を意識することも大切であると考えられる。そこで、施設の損傷等とその要因の分類では以下の点に注意した。

- ・雪崩対策施設の種類ごとに整理する。
- ・施設の部位または部材ごとに整理する。
- ・点検の種類（時期や現象）を意識して整理する。

2.5. 対象とする雪崩対策施設の点検時期について

雪崩対策施設の点検には、大きく分けて無雪期と積雪期の点検があり、これらは点検項目や発見した異常に対する対応等が異なる。無雪期点検とは、地形、植生の状況や雪崩対策施設の状況等を把握することを目的として、積雪の無い時期に現地を点検することである。積雪期点検とは、斜面の積雪状況や施設の状況等を把握することを目的として、積雪期に現地を点検することである。本論文では、雪崩対策施設の状況を直接見ることができる無雪期の点検を対象とした。

3. 調査結果

3.1. 本論文で用いる用語について

収集した資料によって同じ事象に対する用語に若干の違いがみられるが、本論文では「砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)⁷⁾」と「砂防関係施設点検要領(案)⁸⁾」で用いられている用語を基本として、各資料を整理した。

3.2. 収集した雪崩対策施設の損傷事例について

収集した事例のうち雪崩対策施設の損傷または機能低下となった事例は、63件（延べ75事例）である。図2は、これら損傷事例の雪崩対策施設の種類の割合をみたものである。雪崩予防柵が53.3%と最も多く、次に吊柵（20.0%）が多かった。予防柵、吊柵、スノーネット、予防杭を合わせた雪崩予防施設全体では、77.3%であった。その他、減勢柵・防護柵が17.3%、防護擁壁が2.7%であり、これらを合わせて雪崩防護施設とすると20.0%であった。実際の雪崩対策では、斜面に設置する雪崩予防施設の数が多いが、今回の調査では雪崩防護施設の損傷事例も比較的多く収集できたと考えられる。

図3は、収集した雪崩対策施設の損傷を分類した結果である。損傷のうち最も多かったのは変形・破損（36.0%）で、移動・転倒（17.3%）、腐食（16.0%）がそれに続く結果となった。次に、基礎（コンクリート）のひび割れ・欠損（4.0%）、基礎の浮き上がり（4.0%）、基礎周りの洗掘（2.7%）、アンカーの引き抜け（1.3%）となり、雪崩対策施設の基礎に関わる損傷が12.0%であった。その他、ワイヤー破断が4.0%、ボルトや結合部の破損が2.7%、土砂・樹木の堆積が1.3%、樹木の絡まりが2.7%であった。

図4は、雪崩対策施設の損傷等の要因となった現象を分類した結果である。最も多いのが、雪圧・雪崩の34.7%で、これらは斜面積雪による偏荷重であったり、雪崩の直撃による衝撃荷重によるものである。次いで、落石・地すべりの20.0%、経年劣化の20.0%が雪崩対策施設の損傷等の要因として多い結果となった。これに次いで多いのが地震による損傷事例の4.0%で、これらは2004年10月の新潟県中越地震と2011年3月の長野県北部地震によるものである。その他の損傷要因として、流水（1.3%）、水の浸透・凍結（2.7%）、倒木・樹木の絡まり（6.7%）があり、損傷等の要因となった主要な

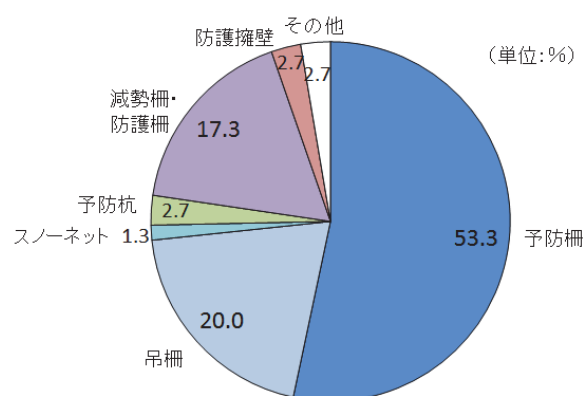


図2 調査対象とした雪崩対策施設の割合

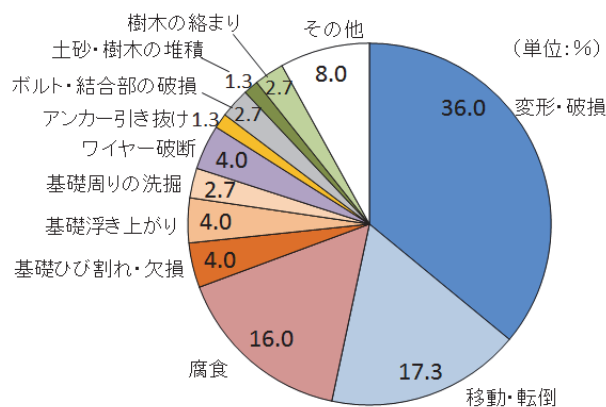


図3 雪崩対策施設の損傷種類の割合

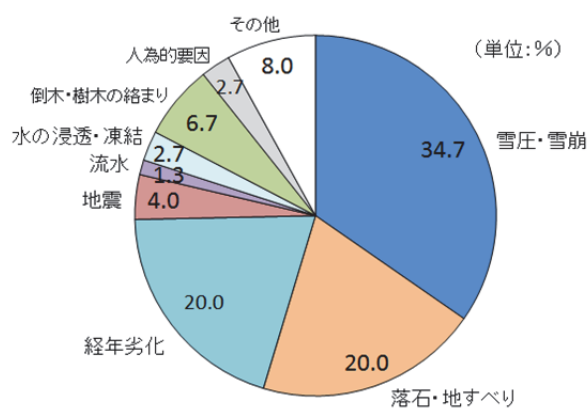


図4 雪崩対策施設の損傷等の要因の割合

現象を把握できたと考えられる。この他、人為的な要因と考えられる事例が2.7%あるが、以下に示す雪崩対策施設の損傷とその要因の分類では対象としなかった。

3.3. 雪崩対策施設の損傷とその要因の分類

雪崩対策施設の維持管理に関する点検において、施設のどこに着目して、どのような状態に注意すべきか等の着眼点をあらかじめ整理しておくことは重要である。国内における雪崩対策施設の損傷事例と国内外における点検に関する資料を収集し、雪崩対策施設の種類ごとおよび部位ごとに着目すべき損傷等とその要因となる現象について整理した。

表1～表7に、各雪崩対策施設（予防柵、吊柵、吊枠、予防杭・減勢杭、スノーネット、減勢柵・防護柵、誘導擁壁・防護擁壁）に対して、施設の部位ごとに着目すべき損傷等とその要因となる現象をまとめた。表1～表7より、損傷等の要因となる現象を集約すると、雪圧（大雪・雪崩）、落石・地すべり・土砂等の堆積（大雨・台風）、流水（大雨・台風）、疲労（強風・台風）、水の浸透・凍結、経年劣化、地震の7つの現象に分けられた。これにより、融雪直後の点検では、雪圧（大雪・雪崩）や水の浸透・凍結の欄に印（表中の●）が付いている部位の損傷を、一方で大雨後の異常時の点検では、落石・地すべり・土砂等の堆積（大雨・台風）や流水（大雨・台風）の欄に印（表中の●）が付いている部位の損傷を中心に着目することで、点検における事前準備や点検時の効率化に寄与するものと考えられる。このように、点検時期や種類（定期、臨時）に応じて着眼点を絞り込んでよい。その他の損傷等の要因となる現象としては、雪崩予防施設の支持面（斜面積雪を支える柵面やネット面）や雪崩防護施設に対する樹木や植生の絡まりや倒木、土砂等の堆積があり、これらはその他の欄に記載した。また、部位の結合部など雨水等が溜まりやすい箇所では、腐食などの劣化が進行する可能性が考えられるため、これもその他の欄に記載した。

表1～表7に示す雪崩対策施設の損傷分類では、スノーネットや雪崩予防柵など、構造が比較的複雑な施設は、その部位が多いため損傷等の分類の項目が多くなっている。一方、雪崩防護擁壁のように、規模が大きく比較的単純な構造の施設は損傷等の分類項目は少ない。しかし、各施設の部位ごとの損傷等を比較してみると、柵構造の箇所、基礎、ワイヤーやアンカーなど、各施設で類似する部位では共通する損傷等やその要因がみられる。そのため、施設ごとに整理するのではなく、構造的な特徴や部材の材質ごとに、その損傷等と要因を整理する方法も考えられ、より効率的に少ない資料を基に損傷等の把握ができる可能性がある。図5は、このような観点から、損傷等を部材ごと（鋼構造部、コンクリート構造部）、および部位ごと（基礎構造部、接合部、全体）に分けて、損傷等を整理したものである。例えば、鋼製の接合部に

表1 雪崩予防柵の損傷とその要因

予防柵の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
予防柵	全体	移動、転倒、変形	●	●					●
		支持面の著しい変形		●					●
	水平梁材(横バー)	変形、破損、脱落	●	●					
		腐食						●	
	主柱・支柱	変形、破損	●	●					
		腐食						●	
	基礎	移動、転倒	●	●					●
		浮き上がり、沈下	●			●			
結合部		基礎周りの洗掘	●						
		ひび割れ、欠損	●			●			
		ボルトの緩み、脱落	●	●		●			
		腐食						●	

表2 吊柵の損傷とその要因

吊柵の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
吊柵	全体	傾き、移動、転倒、変形	●	●					●
		支持面の著しい変形		●					●
	水平梁材(横バー)	変形、破損、脱落	●	●					
		腐食						●	
	主柱	変形、破損	●	●					
		腐食						●	
	ワイヤー	緩み、破断	●	●	●				
		腐食						●	
	枠組み(ベースプレート)	変形、破損	●	●					
		腐食						●	
アンカー		引き抜け、移動	●	●					●
		浮き上がり、沈下	●						
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	●		●			
		腐食						●	

表3 吊枠の損傷とその要因

吊枠の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
吊枠	全体	傾き、移動、転倒、変形	●	●					●
	枠組み	変形、破損	●	●					
		腐食						●	
	ワイヤー	緩み、破断	●	●					
		腐食						●	
	アンカー	引き抜け、移動	●	●					●
		浮き上がり、沈下	●						
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	●					
		腐食						●	

表4 予防杭・減勢杭の損傷とその要因

予防杭の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
予防杭 減勢杭	主柱・支柱	変形、破損	●	●				●	
		腐食						●	
	基礎	移動、浮き上がり、沈下	●						●
		基礎周りの洗掘		●					
	結合部	ひび割れ、欠損	●			●			
		ボルトの緩み、脱落	●	●					
		腐食					●		雨水等が溜まりやすい

表5 スノーネットの損傷とその要因

スノーネットの例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
スノーネット	全体	移動、転倒、変形	●	●				●	
		支持面の着しい変形		●					植生絡まり・土砂堆積
	ネット	変形、破損	●	●					
		腐食					●		
	支柱	変形、破損	●	●					
		腐食					●		
	基礎(台座)	移動	●	●				●	
		浮き上がり、沈下	●						
	ワイヤー	ひび割れ、欠損	●			●			
		緩み、破断	●	●	●				
	アンカー	腐食					●		
		引き抜け、移動	●	●				●	
結合部		浮き上がり、沈下	●						
		ボルトの緩み、脱落	●	●	●				
		腐食					●		雨水等が溜まりやすい

対しては、部材として鋼構造部、部位として接合部の損傷等に着目すればよく、同様にコンクリート基礎に対しては、コンクリート構造部と基礎構造部の損傷等に着目すればよいと考えられる。

なお、雪崩対策施設のうちスノーシェッドについては、今回の調査ではあまり多くの損傷事例を収集することができなかったが、「新潟県シェッド・シェルター定期点検要領¹⁰⁾」で詳しくまとめられている。

3.4 損傷等による施設部位の変状レベルの判断について

次に、3.3.で示した損傷等による施設の部位・部材の変状レベルの判断について整理した。雪崩対策施設の修繕等の対策を行う際には、点検によって対策施設の部位の損傷等の状態を把握し、その状態や程度に応じて施設の健全度を評価して対策を行う必要がある。雪崩対策施設の健全度評価に関しては、「新潟県防災防雪施設点検要領(案)⁹⁾」やオーストリ

表6 減勢柵・防護柵の損傷とその要因

減勢柵の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
減勢柵 (柵組工)	全体	ずれ、変形	●	●				●	
		構造の著しい変化(機能低下)		●					植生絡まり・土砂堆積
	水平梁材、横板、上弦材	変形、破損、脱落	●	●					
		腐食					●		
	主柱・支柱	変形、破損	●	●					
誘導柵 防護柵	基礎	移動、浮き上がり、沈下	●	●				●	
		基礎周りの洗掘		●					
	ワイヤー	ひび割れ、欠損	●			●			
		腐食					●		
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	●	●				
		腐食					●		雨水等が溜まりやすい

表7 誘導擁壁・防護擁壁の損傷とその要因

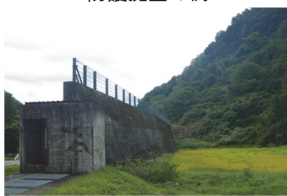
防護擁壁の例			損傷等の要因となる現象						
			雪圧(大雪、雪崩)						
			落石・地すべり・土砂等の堆積(大雨、台風)						
			流水(大雨、台風)						
			疲労(強風、台風)						
			水の浸透・凍結						
			経年劣化						
			地震						
			その他						
施設種類	部位	着目すべき損傷等							
誘導擁壁 防護擁壁	本体	ずれ、傾斜、沈下	●	●				●	
		構造の著しい変化(機能低下)		●					倒木・土砂堆積
	補助防護柵	ひび割れ、欠損	●	●			●		
		腐食					●		
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	●	●				
		腐食					●		雨水等が溜まりやすい



図5 部材と部位で分類した損傷等の種類

アの「ÖNORM-Regel 24807¹²⁾」の他、国土交通省の北陸地方整備局³⁾⁵⁾や東北地方整備局²⁾で先進的な取り組みが行われている。

損傷等の程度や状態について、資料によって損傷程度、損傷ランク、損傷区分などその呼び方は様々であるが、「砂防関係施設点検要領(案)⁸⁾」では、個々の施設の部位あるいは部位グループの損傷等による状態を変状レベルと定義している。また、維持管理のための点検に関する資料では、変状レベルを4段階以上に分類するものが多い^{9)～14)17)～20)}が、本論文では、「砂防関係施設点検要領(案)⁸⁾」準じて3区分を基本とし、これらを「a 対策不要」、「b 経過観察」、「c 要対策」とする。「a 対策不要」は、異常なしまたは軽微な損傷等がある状態、「b 経過観察」は、損傷等があるが現時点では機能低下や性能劣化に至っていない状態、「c 要対策」は、損傷等があり機能低下・性能劣化がある状態である⁸⁾。図6は、部位の変状レベルの判断の考え方を、損傷等の有無と機能低下や性能劣化が生じているか否かを着眼点として、フローで表したものである。ただし、図6のフロー(案)では、「c 要対策」のうち部位の機能低下や性能劣化が著しい場合があることも想定して、「c 要対策」を2区分(cとc+)とした。

表8は、図5で示した損傷等の種類ごとに、該当すると考えられる変状レベルの区分を示したものである。部位の変状レベルの判断が2区分になる場合と3区分になる場合がある。生じるとその施設の機能や性能に大きな影響を及ぼす損傷等に対しては「b 経過観察」の区分はなく、「a 対策不要」か「c 要対策」の2区分となる。このような損傷等には、施設全体の「移動・転倒」と「傾き・変形」、基礎構造部の「移動・転倒」や「浮き上がり・沈降」、「アンカー引き抜け」、接合部の「ボルトの緩み・脱落」、「ワイヤーの緩み・破断」が該当する(表8)。一方、損傷等が生じてもすぐに機能低下や性能劣化とはならない状況が想定される場合は、「a 対策不要」、「b 経過観察」、「c 要対策」の3区分となり、鋼

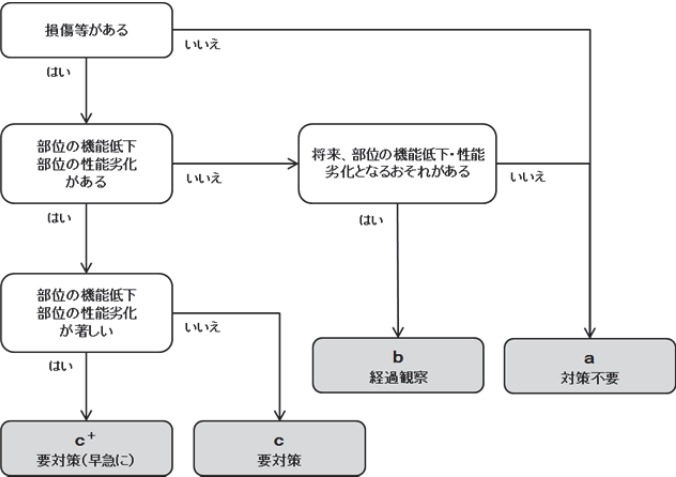


図6 施設部位の変状レベルの判断に関するフロー(案)

構造部の「変形・破損等」と「腐食」、コンクリート構造部の「ひび割れ」と「欠損」、基礎構造部の「洗掘」、施設全体の「樹木・植生の絡まり」と「倒木・土砂等の堆積」が該当する(表8)。

実際の損傷等とそれによる施設部位の機能や性能に対する影響は、施設の種類や部位の施設全体における位置などによって異なることも想定される。また、本論文で整理した基本的な考え方に加えて、損傷等による変状レベルそれぞれの具体的な参考事例⁸⁾があると実用的でわかりやすいが、今後整理していきたいと考えている。

4. 考察

本論文で示した雪崩対策施設の損傷等の種類と分類(表1～表7)は、国内外の事例や資料に基づいて整理したため、考えられる損傷を広く網羅する結果となっている。しかし、地域によっては希にしか起こらない現象もある。今回整理した表1～表7を参考に、各地域の特徴的な現象に即した損傷等の分類を行うことも大切であると考えられる。これらの表を基に点検時期や種類(定期、臨時)に応じて着眼点を絞り込んでよい。また、施設の各部位や部材の損傷等について、写真やイラストを活用して示すと損傷等の具体的なイメージをつかむことができ分かりやすい³⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁴⁾。

また、実際の変状レベルの判断(図6、表8)では、損傷等の程度や状態だけではなく、その損傷等による部位・部材の機能低下や性能劣化も判断しなければいけない。しかし、部位・部材の機能低下や性能劣化の判断は、多種にわたる雪崩対策施設の部位や部材によって異なることや、施設全体の状態や周辺環境などの現場条件によっても異なることがあるため、一義的に決めることは難しいと考えられる。よって、

表8 損傷等の種類と部位の変状レベル(案)

部材・部位		着目すべき損傷等	部位の変状レベル			備 考
			a 対策不要	b 経過観察	c 要対策	
部材	鋼構造部	変形、破損、脱落	●	●	●	
		腐食	●	●	●	要対策は、状況により細区分
部材	コンクリート構造部	ひび割れ	●	●	●	要対策は、状況により細区分
		欠損	●	●	●	
部位	基礎構造部	移動、転倒	●	—	●	
		浮き上がり、沈下	●	—	●	
		洗掘	●	●	●	
		アンカー引き抜け	●	—	●	
	結合部	ボルトの緩み、脱落	●	—	●	
		ワイヤー緩み、破断	●	—	●	
	全体	移動、転倒	●	—	●	
		傾き、変形	●	—	●	
		樹木・植生の絡まり	●	●	●	施設の種類による
		倒木・土砂等の堆積	●	●	●	施設の種類による

既往資料に基づいて本論文で整理した変状レベルの判断は、その基本的な考え方を示すものであり、実際の現場では損傷等が生じた部位の施設全体における位置や施設の状態なども考慮して判断しなければならない場合があることにも留意が必要である。さらに、損傷等による変状レベルそれぞれの具体的な参考事例⁸⁾があると実用的だが、これは今後の課題としたい。

5. おわりに

本論文では、雪崩対策施設の維持管理のための点検における着眼点として、国内の雪崩対策施設の損傷事例と国内外における点検に関する資料を収集し、雪崩対策施設の種類ごとおよび部位ごとに着目すべき損傷等とその要因となる現象、損傷等による部位の変状レベルの判断について整理した。

雪崩対策施設の点検について、その着眼点や客観的な判断を助ける項目の整理が行われている地域もあるが、各地域および各分野で取り組まれている雪崩対策施設の点検の考え方と着眼点を共有することは、これから雪崩対策施設の点検について整理しようとしている地域において大変有用であると同時に、すでに整理している箇所においても地域による多様性を見せる雪崩対策について他地域の取り組みを知ることは重要であると考えられる。

今後は、さらに健全度評価に関する考え方を整理した上で、本論文で示した結果をまとめ、無雪期における雪崩対策施設の維持管理に関する点検の考え方と着眼点について、「砂防関係施設点検要領(案)⁸⁾」を雪崩対策施設の点検に関して補完するという観点で整理していく予定である。これにより、どのタイミングで、どのような損傷等に着目し、そしてどのような対策(修繕、改善等)を行うことが効率的で効果的かの判断に寄与する資料を作成したいと考えている。

謝辞

雪崩対策施設の損傷事例の収集にあたり、国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課と各道府県の雪崩対策事業担当部署にご協力をいただきました。また、雪崩対策施設の点検に関する資料について、国土交通省北陸地方整備局から資料を提供していただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 町田 誠(2009)：雪崩対策施設の機能と効果を持続するための維持管理、日本雪工学会誌、Vol. 25、p. 276-279
- 2) 嶋津君雄・石川 功・阿部 力(2010)：「雪対策施設点検要領」の策定について、ゆきみらい研究発表会論文集、p. 260-263
- 3) 八橋義昭・小越範夫・松本喜裕(2010)：雪崩対策施設点検要領について、ゆきみらい研究発表会論文集、p. 294-

295

- 4) 田嶋史人(2014)：最近の道路雪害対策への取組について、平成26年度北陸地方整備局事業研究発表会
- 5) 窪 宗昭・中村圭弘(2015)：長岡国道事務所における防雪対策事業の取り組みについて、ゆきみらい研究発表会論文集(応募論文)
- 6) 桂 真也・秋山一弥(2014)：道府県による集落雪崩対策施設設置斜面の点検に関する実態調査結果について、平成26年度北陸地方整備局事業研究発表会
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課(2014)：砂防関係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部保全課(2014)：砂防関係施設点検要領(案)
- 9) 新潟県土木部道路管理課(2013)：新潟県防災防雪施設点検要領(案)、pp. 40
- 10) 新潟県土木部道路管理課(2014)：新潟県シェッド・シェルター定期点検要領、pp. 106
- 11) Margreth, S., (2007)：Defense structures in avalanche starting zones, Technical guideline as an aid to enforcement, Environment in Practice No.0704, Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland, pp.134
- 12) ÖNORM-Regel 24807 (2010)：Permanenter technischer Lawinenschutz -Überwachung und Instandhaltung, Ausgabe: 2010-06-01, (in German)
- 13) Rudolf-Miklau, F., S. Sauermoser and A. Mears (eds.) (2015)：The Technical avalanche protection handbook, Ernst & Sohn, pp. 408
- 14) 国土交通省道路局国道・防災課(2014)：橋梁定期点検要領
- 15) 一般社団法人日本鋼構造協会(2013)：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術(2013年度版)、pp. 371
- 16) 国土交通省道路局(2013)：総点検実施要領(案)【道路のり面工・土工構造物編】(参考資料)、pp. 32
- 17) 財団法人鉄道総合技術研究所(2007)：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 鋼・合成構造物)、丸善出版株式会社、pp. 208
- 18) 財団法人鉄道総合技術研究所(2007)：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 コンクリート構造物)、丸善出版株式会社、pp. 291
- 19) 財団法人鉄道総合技術研究所(2007)：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 基礎構造物・抗土圧構造物)、丸善出版株式会社、pp. 218
- 20) 国土交通省港湾局(2014)：港湾の施設の点検診断ガイドライン

車載式塩分濃度測定車による凍結防止剤散布状況の解析

米本浩也^{※1}、草野智之^{※1}、関真由子^{※2}

1. はじめに

平成26年度より金沢支社管内の巡回車に車載式塩分濃度測定器を試行導入し、雪氷巡回時に路面の残留塩分濃度の測定を行っている。

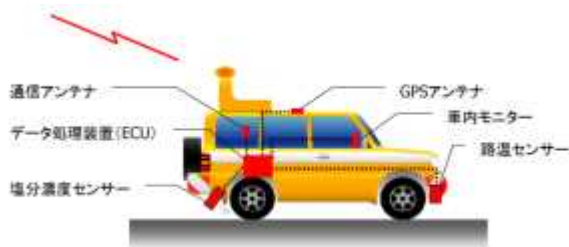


図1. 車載式塩分濃度測定車



写真1. 塩分濃度センサー



図2. 車載式塩分濃度測定車による測定結果

導入によって、巡回員が本線上に降車して行う手持ち式塩分濃度測定器による残留塩分濃度の測定の必要が無くなり、巡回作業を安全に実施することが出来るようになった。また、図2の通り、路面状況と残留塩分濃度を対比することができ、現場状況を把握しやすくなると共に、適切な雪氷対策作業指示を行いやすくなった。

しかし、雪氷巡回は路面の残留塩分濃度の測定以外にも気象状況や路面状況の確認、標識等への着雪状況の確認等を行うことから、様々な時間帯・方面に巡回に行く必要があり、凍結防止剤散布作業後の残留塩分濃度を継続的に計測することは出来ず、その減衰傾向を把握するには至っていない。

そこで、車載式塩分濃度測定車による凍結防止剤散布状況の解析を実施し、凍結防止剤散布作業後の残留塩分濃度を一定間隔で測定することにより残留塩分濃度の減衰傾向の把握、道路構造物単位等での残留塩分濃度の傾向の把握を行う。

2. 凍結防止剤散布状況調査の概要

(1) 実施日時

平成28年2月9日(火)・15日(月)・16日(火)の19時～翌7時頃

(2) 実施場所

北陸自動車道 武生IC～今庄IC間 本線部

(3) 測定間隔

凍結防止剤散布作業実施直後、1時間経過後、2時間経過後、3時間経過後の計4回

(4) 凍結防止剤散布作業実施状況

表1. 凍結防止剤散布作業実施状況

実施日	散布種別 [※]	作業開始時刻		備考
		【上り線】	【下り線】	
平成28年 2月9日(火)	①事前散布	19:40	20:00	1-2時間後に降雪
	②追加散布	翌0:10	翌0:30	0-1時間後に降雪
	③追加散布	翌4:20	翌4:40	
平成28年 2月15日(月)	④追加散布	21:35	21:55	降雪
	⑤追加散布	翌1:20	翌1:40	降雪
	⑥追加散布	翌4:40	翌4:55	降雪
平成28年 2月16日(火)	⑦追加散布	21:10	21:25	
	⑧追加散布	翌1:30	翌1:45	
	⑨追加散布	翌5:55	翌6:15	降雪

※事前散布:実施日当日の初回散布
追加散布:実施日当日の2回目以降の散布

(5) 実施日の天候状況等

①平成28年2月9日(火)

天候:雨～曇り～雪、路面状態:湿潤

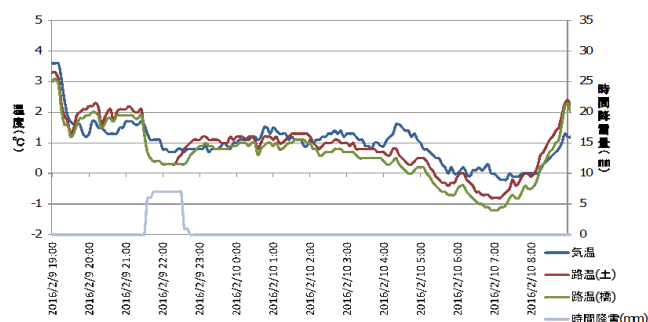


図3. 2月9日の気温、路温、時間降雪量

^{※1}中日本高速道路株式会社 金沢支社 保全・サービス事業部 保全チーム

^{※2}中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 道路技術部

②平成28年2月15日(月)

天候：雪、路面状態：湿潤～黒シャーベット～積雪

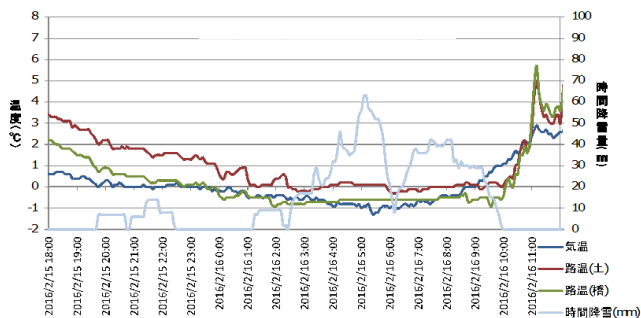


図4. 2月15日の気温、路温、時間降雪量

③平成28年2月16日(火)

天候：曇り～雪、路面状態：湿潤～乾燥～黒シャーベット～白シャーベット

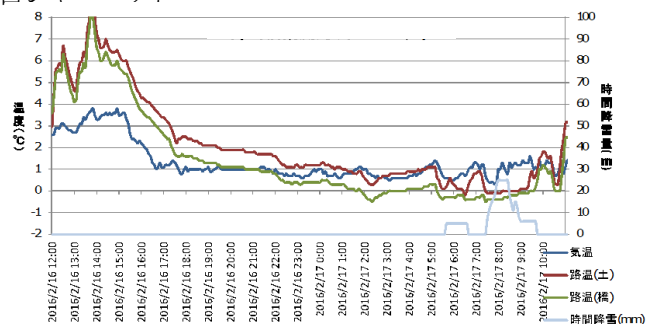


図5. 2月16日の気温、路温、時間降雪量

3. 車載式塩分濃度測定器のキャリブレーション

(1) 実施方法

車載式塩分濃度測定器と手持ち式塩分濃度測定器の測定結果を比較することで車載式塩分濃度測定器のキャリブレーションを行う。

(2) 実施日時

平成28年2月9日(火)の19時～翌7時

※初回の凍結防止剤散布状況調査時に手持ち式塩分濃度測定器の測定を行う。

(3) 実施場所

北陸自動車道 上り線南条SAノーズ間(72.3KP付近) 走行車線左轍部

(4) キャリブレーション結果

車載式塩分濃度測定器と手持ち式塩分濃度測定器の測定結果の比較を図6に示す。図6より、両者の測定方法では概ね同等の結果が出る事が確認する事が出来た。

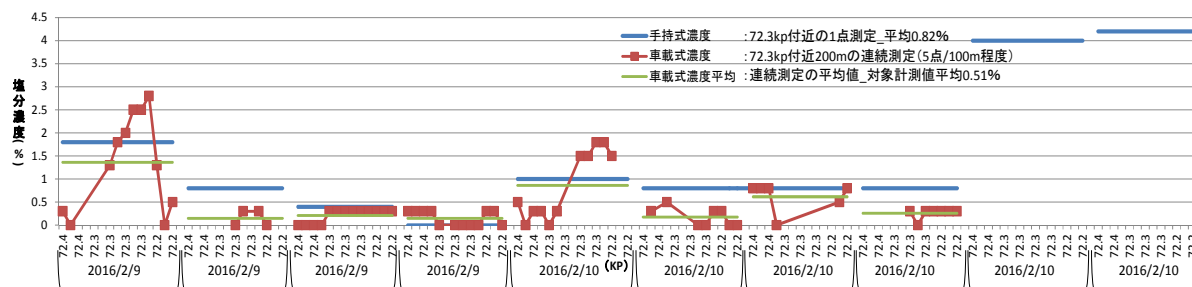


図6. 車載式塩分濃度測定器と手持ち式塩分濃度測定器の測定結果の比較

4. 残留塩分濃度の減衰傾向

(1) 解析方法

①凍結防止剤散布後の経過時間と残留塩分濃度を比較することで、残留塩分の時間当たりの減衰傾向を把握する。

②凍結防止剤散布作業後の降雪状況と残留塩分濃度を比較することで、降雪状況が残留塩分に及ぼす影響を把握する。

(2) 解析結果

①凍結防止剤散布後の経過時間と残留塩分濃度を図7に示す。

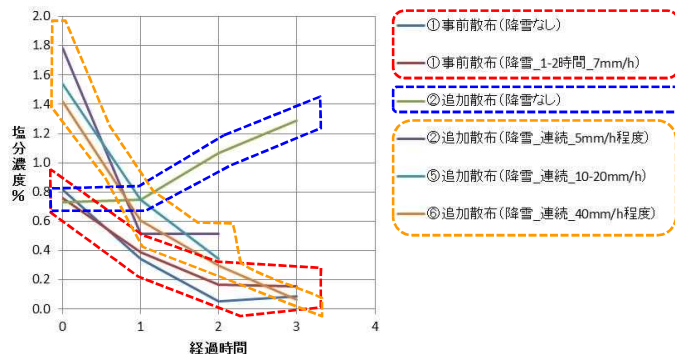


図7. 凍結防止剤散布後の経過時間と塩分濃度

図7より、事前散布では散布前の残留塩分が少ないため、散布直後の残留塩分濃度は1%以下と低く、時間の経過と共に塩分濃度は低下し、2時間経過後では0.2%以下となる(赤色)。追加散布では、散布前の残留塩分があるが、降雪なしの場合は降雪による濃度希釈がないため、塩分濃度は低下しない(青色)。降雪ありの場合は降雪強度に係らず1時間経過後では0.6%程度、2時間経過後では0.4%程度、3時間経過後では0.1%程度まで塩分濃度は低下する(黄色)。

②凍結防止剤散布作業後の累計降雪量と残留塩分濃度を図8に示す。

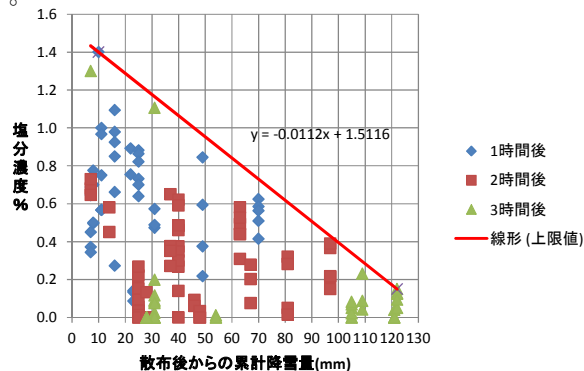


図8. 凍結防止剤散布作業後の累計降雪量と塩分濃度

図8より、経過時間に係らず、散布後からの累計降雪量と残留塩分濃度には反比例の傾向があり、散布後からの累計降雪量によって残留している可能性のある最も高い塩分濃度を推測することが出来る事が分かった。

5. 道路構造物単位等での残留塩分濃度の傾向

(1) 解析方法

①舗装種別（高機能舗装Ⅰ型・Ⅱ型、密粒度舗装）、道路構造物種別（切土、盛土、橋梁、トンネル）単位での残留塩分濃度を比較することで、道路構造物等が残留塩分に及ぼす影響を把握する。

(2) 解析結果

①密粒度舗装と高機能Ⅰ型舗装の残留塩分濃度の比較結果を図9に示す。

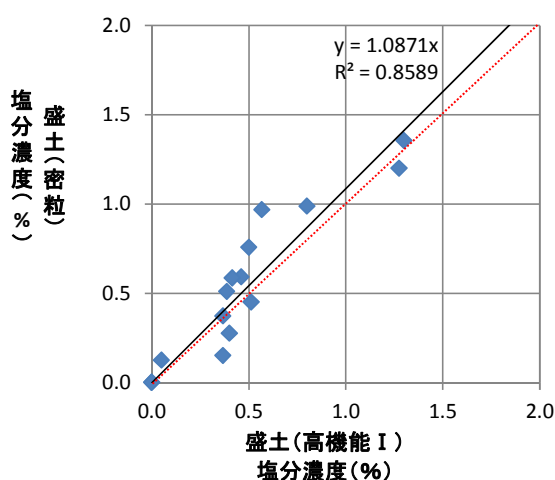


図9. 密粒度舗装と高機能Ⅰ型舗装の塩分濃度の比較

図9より、高機能舗装Ⅰ型に比べて密粒度舗装の残留塩分濃度はやや高い（約1.1倍）。

高機能Ⅰ型舗装とⅡ型舗装の残留塩分濃度の比較結果を図10に示す。

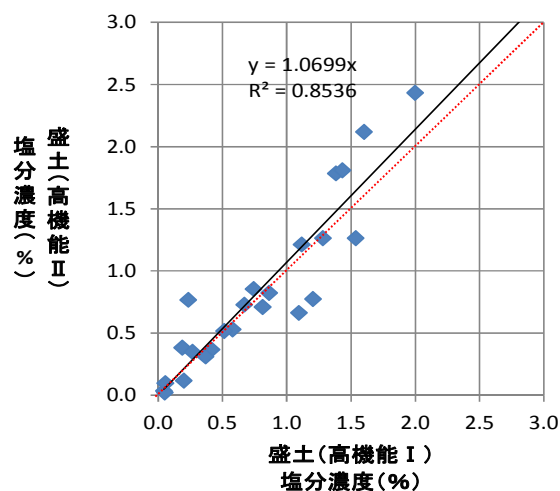


図10. 高機能Ⅰ型舗装とⅡ型舗装の塩分濃度の比較

図10より、高機能舗装Ⅰ型に比べて高機能舗装Ⅱ型の残留塩分濃度はやや高い（約1.1倍）。これは、表層内部を通水する高機能舗装Ⅰ型は、他の舗装種別に比べて塩分が流出しやすいためであると考えられる。

橋梁と盛土の残留塩分濃度の比較結果を図11、図12に示す。

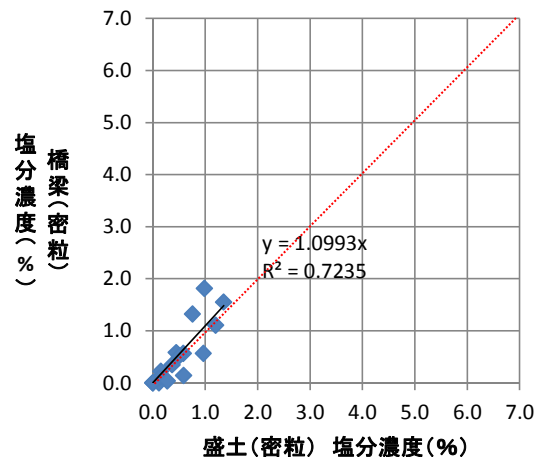


図11. 橋梁と盛土の塩分濃度の比較（密粒度）

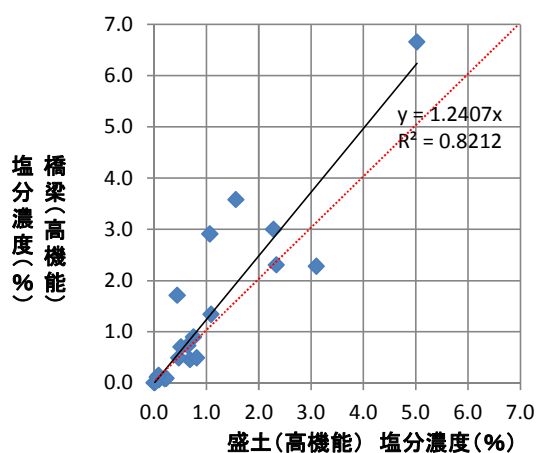


図12. 橋梁と盛土の塩分濃度の比較（高機能）

図11、図12より、盛土区間に比べて橋梁区間の残留塩分濃度はやや高い（約1.1～1.2倍）。これは、橋梁上の壁高欄が凍結防止剤の飛散低減に寄与している等、盛土区間に比べて塩分流出が起こりにくい環境にあるためだと考えられる。

6. 解析結果と今後の対策方針

(1) 残留塩分濃度の減衰傾向

事前散布では、散布直後の残留塩分濃度は1%以下と低く、時間の経過と共に塩分濃度はさらに低下することが分かった。現状の雪氷対策作業では、気温が低下する前に事前散布を行っているが、事前散布1回では路面凍結の抑制を期待出来る塩分濃度が発現しないことから、以下対策方針（案）を検討すべきと考える。

【事前散布作業の対策方針（案）】

- 1) 気温が低下する前に複数回の散布を行う。
- 2) 散布後、より短時間での塩分濃度の発現が期待出来る溶液散布を行う。
- 3) 散布量（ g/m^2 ）を増やし、発現する塩分濃度を高める。

降雪時の追加散布では、降雪強度に係らず1時間経過後では0.6%程度、2時間経過後では0.4%程度、3時間経過後では0.1%程度まで塩分濃度は低下することが分かった。現状の降雪時の追加散布は、降雪が多い場合を除き散布作業のみを行っているが、追加散布1回では路面凍結の抑制を期待出来る塩分濃度が発現しないことから以下対策方針（案）を検討すべきと考える。

【降雪時の追加散布作業の対策方針（案）】

- 1) 降雪前に複数回の追加散布を行い、発現する塩分濃度を高める。
- 2) 散布量（ g/m^2 ）を増やし、発現する塩分濃度を高める。
- 3) 除雪作業のタイミングと合わせて追加散布作業を行い、塩分濃度の低下を防ぐ。

また、散布後からの累計降雪量と残留塩分濃度には反比例の傾向があり、散布後からの累計降雪量によって残留している可能性のある最も高い塩分濃度を推測することが出来る事が分かった。現状の雪氷対策作業では、路面の残留塩分濃度を測定した後に凍結防止剤散布作業の指示を行っているが、残留塩分濃度の測定が十分に行えない場合も考えられることから以下対策方針（案）を検討すべきと考える。

【凍結防止剤散布作業（開始目安）の対策方針（案）】

- 1) 散布後からの累計降雪量を測定し、凍結防止剤散布作業の開始目安を設ける※。

※図8では、散布後からの累計降雪量によって残留している可能性のある最も高い塩分濃度を上限値とした。しかし、雪氷対策作業の実施判断は安全側に立つて行う必要があるため、上限値の精度向上や凍結防止剤散布作業の開始目安の考え方の確立を図る必要がある。（例：「上限値 $\times 0.8$ 」を残留している可能性のある最も高い塩分濃度とし、凍結防止剤散布作業の開始目安を設ける。）

（2）道路構造物単位等での残留塩分濃度の傾向

盛土区間に比べて橋梁区間の残留塩分濃度はやや高いことが分かった。現状の雪氷対策作業では、橋梁区間は他の区間に比べて路温が低下することから散布量（ g/m^2 ）をスポット的に増やす対策を行っている場合があるが、橋梁区間は他の区間に比べて塩分流出が起こりにくいことから、以下対策方針（案）を検討すべきと考える。

【構造物別の散布作業の対策方針（案）】

- 1) 構造物単位で散布量を変更するのではなく、塩分流出の発生状況に応じて、散布量を変更する。

7. 今後の課題

今回の解析では、解析を進めていく上で必要となる最小限の条件を有する範囲・期間の調査を実施した。そのため、必要となるデータにばらつきが見られ、今回得られた解析結果の精度が高いとは言えない。今後は、その検証及びその解析精度を高めていくためにもより広範囲・長期間の解析が必要である。

8. おわりに

車載式塩分濃度測定車による凍結防止剤散布状況の解析を実施し、凍結防止剤散布作業後の残留塩分濃度を一定間隔で測定することにより残留塩分濃度の減衰傾向の把握、道路構造物単位等での残留塩分濃度の傾向の把握を行うことが出来た。しかし、得られた解析結果の精度向上が必要であり、今後の雪氷対策作業の対策方針を決定するには至っていない。今後は、冬季交通確保に向けてより適切な凍結防止剤散布作業を行うために、解析結果の精度向上及び雪氷対策作業の対策方針の検討を進めていきたい。

NEXCO中日本金沢支社における雪氷予測と啓発活動について

柳澤敏彦*1 野口哲史*2 伊藤将司*3

1. はじめに

NEXCO中日本金沢支社（以下「当支社」と記載）においては、340.3kmの高速道路を管理しており、管理している路線等の内訳は下表（表-1）及び事業エリア（図-1）に示すとおりである。

表-1 管理路線及び延長

道路名	管理延長 (km)	備 考
北陸自動車道	258.7	
東海北陸自動車道	42.6	暫定区間
舞鶴若狭自動車道	39.0	暫定区間
計	340.3	

なお、これらの高速道路について、富山保全・サービスセンター（以下HSC）、金沢HSC、福井HSC及び敦賀HSCの4HSCで管理を実施している。



図-1 金沢支社の事業エリア

2. 各道路別の路線特性について

(1) 北陸自動車道（木之本IC～朝日IC）

滋賀県、福井県、石川県、富山県を通過する路線であり、橋梁やトンネルなどの構造物比率が約2割と低い。

しかし、敦賀HSC管内は大半が急峻な山間部で複雑な地形となっており、敦賀IC付近（標高約34m）から滋賀・福井県境付近の最高地点（標高約260m）までを約11km、最大縦断勾配4.49%の構造となっており、敦賀IC～今庄IC間21.5kmではトンネル比率が約4割と示すとおり、山岳道路であり最大縦断勾配は4.85%と極めて冬期には厳しい路線構造となっている。

また、金沢HSC管内の石川・富山県境付近において、最大

縦断勾配5.00%となっており、これらの箇所・区間は冬期降雪時において登坂不能車両が発生するなど、冬期交通確保上の課題を有している。

(2) 東海北陸自動車道（白川郷IC～小矢部砺波JCT）

富山県、岐阜県を縦断する路線であり、大部分が暫定二車線区間となっている。この区間の構造物比率は約6割と高く、トンネル比率は4割を超える。なお、豪雪地帯を通過する白川郷IC～福光IC間の約28.5kmのうち、約7割の19kmがトンネル構造となっており、明かり部の橋梁にはロードヒーティングが設置されている。トンネル内への持込雪対策と路面凍結防止対策が主な課題であり、明かり部の約3.5kmの区間で縦断勾配3.00～4.8%と連続する区間での登坂不能車両対策も重要となっている。

(3) 舞鶴若狭自動車道（小浜IC～敦賀JCT）

福井県内を通過する暫定二車線の路線であり、平成26年7月に供用を開始した比較的新しい路線である。このため、建設段階からロードヒーティングや雪氷Uターン路、道路監視施設など事前対策に配慮した構造となっている。ほぼ日本海に近接・平行した路線であり、最急縦断勾配は4.00%である。

3. 当支社管内の冬期気象データ等について

表-2に平成26年度及び27年度各路線別の冬期気象データを一覧に取りまとめる。この一覧により、東海北陸道が冬期気象条件としては厳しく、舞若道が比較的降雪量が少ないことが判る。

表-2 冬期気象データ（ ）はH26年度値

	北陸道	東海北陸	舞若道
降雪日数	53日 (63日)	53日 (63日)	27日 (44日)
累計降雪量	372cm (627cm)	639cm (918cm)	151cm (321cm)
冬日日数	59日 (76日)	88日 (108日)	34日 (37日)
最低気温	-8.3℃ (-8.2℃)	-10.1℃ (-9.7℃)	-7.3℃ (-3.1℃)

なお、表-3に北陸道における各HSC管内別の冬期気象データと雪氷作業データを取りまとめる。

表-3 北陸道の各HSC別の冬期気象及び雪氷作業データ

	富山HSC [朝日～ 小矢部] 84.3km	金沢HSC [小矢部 ～加賀] 69.6km	福井HSC [加賀～ 今庄] 60.1km	敦賀HSC [今庄～ 木之本] 44.7km
降雪日数	35日 (47日)	53日 (63日)	31日 (51日)	33日 (58日)
累計降雪量	250cm (518cm)	372cm (627cm)	233cm (347cm)	249cm (711cm)
冬日日数	59日 (76日)	29日 (74日)	49日 (53日)	61日 (74日)
最低気温	-6.1℃ (-8.2℃)	-5.8℃ (-7.2℃)	-6.3℃ (-5.5℃)	-8.3℃ (-6.1℃)

※（ ）はH26年度値

4. 当支社管内の区間ごとの留意すべき冬期気象事象

当支社管内のHSC別の管理路線等の状況を表-4に示す。
また、地域毎の冬期の気象事象において、特に留意すべき現象を図-2に示す。

表-4 HSC別の管理路線等の状況

HSC	路線	区間と概ねの留意気象
富山	北陸道	朝日IC～小矢部IC ・朝日～富山:短時間強雪、あられ ・富山～小矢部:局地的大雪
	東海北陸道	小矢部砺波JCT～白川郷IC ・大雪
金沢	北陸道	小矢部IC～加賀IC ・小矢部～金沢東:短時間強雪 ・金沢森本～加賀:強風、あられ
福井	北陸道	加賀IC～今庄IC ・局地的大雪、あられ
敦賀	北陸道	今庄IC～木之本IC ・短時間強雪、あられ、濃霧
	舞若道	敦賀JCT～小浜IC ・ドカ雪



図-2 地域毎の冬期の留意すべき気象事象

4. 気象予測業務の実施について

当支社においては、冬期における交通確保のために除雪作業や凍結防止剤の散布などの対策を支社及び各HSCにおいて体制を構築して実施している。しかし、冬期の降雪期においては交通事故の発生が高く、特に初冬期において事故率が高くなる傾向である。

また、併せて気象急変に伴う降雪等により路面状況が悪化することによる登坂不能車が発生している。安全・快適な高速道路空間をお客様に提供するために、気象予測に基づき、除雪体制の事前構築を行い、適切な除雪作業などを速やかに対応できる体制を整えている。

なお、気象予測業務については、冬期の寒候期だけではなく、暖候期における降雨、台風予測を含めた年間を通した気象予測を行い、事前対応を含め適切な道路管理に資することを目的としている。

本報告においては、平成27年度における気象予測業務の概要等について以下に取りまとめる。

(1) 気象予測業務の実施項目

寒候期（11/1～4/15）及び暖候期（4/16～10/31）に区分して予測業務を行っており、体系的な内容は表-5のとおりである。

表-5 気象予測業務の実施項目

項目	内容
道路気象予測 ・寒候期 ・暖候期	定時・臨時・週間予測
	精度検証
	台風進路予測
オンライン気象 情報提供 ・寒候期 ・暖候期	気象情報・予測情報
	ネットミーティング
	データベース
屋外作業健康安全管理情報提供	

(2) 寒候期における気象予測業務概要

表-4に取りまとめた項目のうち、寒候期において予測を実施している概要について以下に記述する。

道路気象予測業務

■ 定時予測（11/1～4/15）

○予測区間 北陸道16区間（各HSC4区間）、東海北陸道2区間、舞若道 4区間に区分

○予測時間 10時30分及び16時

※12月15日～3月31日の間は、早朝予測として5時30分、深夜予測として23時にも予測

○内容

- ・予測区間の天気、気温、降雪深さ、最大風速及び気象概況
- ・予測時間は36時間後まで

表-6 定時予測イメージ例

※36時間先まで予測

事務所名	区間名	統計要素	気温等		要素	11日		
			16時～9時	10時～15時		実況	16	17
敦賀	○IC～○IC	降雪量	8	10	天気 降雪量	- 2	* 4	* 5
		最高気温	7	2	気温	2	2	1
		最低気温	-2	0	路温 風向	1 ←	1 ↑	-1 ↑
		最低路温	-2	0	風速	3	2	2

■臨時予測

以下の条件に該当する場合には、定時予測と同一の内容について随時臨時予測を行う。

- ・大雪及び暴風雪等の警報発表中の場合
- ・臨時予測を行うと判断される場合
- ・定時予測後に気象状況が急変し体制等の変更が必要となる場合

■週間予測

○予測時間 12時

○提供内容

- ・予測区間又は各HSC区分における向こう7日間の気象概況、天気、気温、降雪量。なお、予測単位は半日単位。

表-7 週間予測イメージ例

事務所名	区間名	項目	10日(土)		11日(日)		12日(月)	
			夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間
金沢	○IC～○IC	天気	● // *	*	☉ // *	☉	☉	●
		降雪量	1	5	10	0	0	0
		最低気温	1	0	1	0	2	4

5. 関係機関との情報連携体制の強化

当支社においては、大雪等により幹線道路等で除雪障害の発生、交通事故の頻発、大規模な交通渋滞等が懸念された場合に、国土交通省、県、市、県警察本部の関係機関が連携して道路交通の確保を図るために「情報連絡本部」設置について北陸3県で確立している。

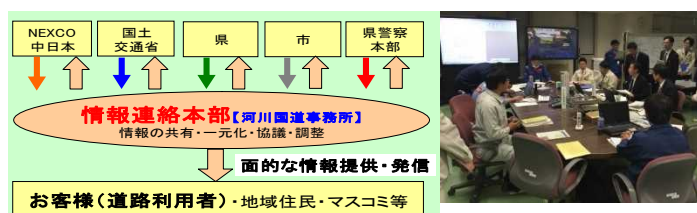


図-3 豪雪時等の情報連絡本部の体系イメージと状況写真

表-8 情報連絡本部の開設状況

県名	平成25年度	平成26年度	平成27年度
石川県	0回	0回	0回
富山県	0回	0回	0回
福井県	1回	6回	3回

6. 冬の安全啓発・情報提供の取組

(1) 冬期路面における事故の特徴について

- ①初冬期（12月）の降雪時において事故が多い傾向である。
- ②当支社管内では、北陸地域の内々交通が約7割、中京・関西以西との交通が約2割であるが、事故件数の比較では中京・関西以西のお客さま車両による事故は約2倍となっている。
- ③ 朝通勤時間帯（6時～9時）と夜間（20時～6時）の事故発生率は昼間の約2倍である。

これらの特徴により、以下の対策等を講じることが必要であると考えられる。

- ◆関西等の車籍車両への対応として木之本地区（木之本IC（下り）又は賤ヶ岳SA（下り））での冬用タイヤチェックを徹底する。また、重点的な安全啓発資料等の配布を行う。
- ◆朝通勤時間帯への事故対応として、より強調した啓発活動と各県が連携した警らを含む活動の実施。

(2) チラシによる啓発

- ・NEXCO中日本全体の「要注意箇所」を記載した「冬道走行に気をつけガイド」の配布
- ・「初冬期用啓発」及び「厳冬期用啓発」の2種類のチラシを各1万部作成し休憩施設や大口顧客等のお客さまへの配布



図-4 安全啓発のチラシ

(3) ホームページによる啓発

ホームページに「冬道ドライブガイド」などの情報を掲示している。



写真-1 ホームページのドライブガイド

(4) アイハイウェイによる雪道情報提供

11月からアイハイウェイ (<http://c-ihighway.jp>) により以下の情報を提供している。

- ・ 気象情報、雪氷対策作業
- ・ 3時間毎の降雪予測情報により大雪区間と降雪区間をルート上に表示し、視覚的に雪道情報を提供
- ・ 通行止めや緊急事象発生時には、テロップによる情報表示



写真-2 アイハイウェイによる雪道情報提供

(5) 冬タイヤ装着率向上を目的とした安全啓発

12月に初冬期に、高速道路の休憩施設で調査した冬用タイヤの装着率を記者発表し、マスコミを通じて広くタイヤ装着率向上に向けた安全啓発活動を継続している。

(6) 情報板及びハイウェイラジオによる啓発広報

高速道路本線の情報板及びハイウェイラジオに以下の啓発広報を実施している。

- ・ 初冬期における「冬用タイヤ」の早期装着へ向けた重点啓発広報
- ・ 大雪が予想された時には「出控え広報」など通行止め事象発生に伴うお客様への影響軽減に向けた広報を実施



写真-3 道路情報版による注意喚起

(7) 休憩施設における情報提供

休憩施設 (SA) において、気象状況や路面状況画像の提供を行っている。なお、名神のSAで北陸道及び有磯海SAで新潟県内の高速道路の雪道画像をライブ中継するなど、広域的な情報提供の取組も実施している。



写真-4 有磯海SA (下り) では新潟県内の雪道映像も提供

(8) 領収書での啓発

雪氷対策期間中において、現金により通行料金をお支払いの際に領収書に「冬期交通安全啓発文」を印字することにより啓発を行う取組も行っている。

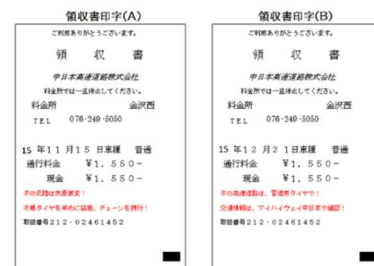


図-5 通行料金の領収書の「冬期交通安全啓発文」

7. まとめ

当支社においては、11月10日から4月15日までの153日間の長期を雪氷対策期間としている。除雪作業や凍結防止剤の散布においては、現況気象及び気象予測を基に適切な対応を行うべく当支社全体で取り組んでいるところである。また、北陸地方の高速道路をご利用されるお客様の地域特性や交通事故等の発生状況を踏まえ、タイヤチェックに加えて数々の啓発活動を行うなど、冬期の安全な交通確保に向けた取組を行ってきた。

更には、関係機関との情報共有連携強化やタイヤチェック時に高速警察隊の協力を得るなどの対応も実施している。

今後とも、高速道路ネットワークの効果を継続的・広域的に担保するため、通行止め事象を発生させないように気象予測精度を向上させるとともに、ハード的な冬期対策とご利用されるお客様のご理解とご協力を得るなど総合的な道路管理に資する施策などを継続して取り組んで行く予定である。

プローブデータを活用した冬期交通確保の検討について

久保 光晶*1 渡邊 俊彦*1 今井ひとみ*1

1. はじめに

各道路管理者においては、地域の社会経済活動や安全・安心な暮らしを支えるべく、除雪体制の強化や除雪機械の高度化などにより、冬期においても円滑な道路交通の確保に努めているところである。

しかし、道路利用者の雪への備えの不備（タイヤチェーン未装着等）が要因となり、登坂不能車等の立ち往生車両が後を絶たず、それに伴う渋滞・通行止めなどが通行に支障を与えている（写真-1）。



写真-1 登坂不能車による渋滞の例

現在の冬期道路管理は、気象情報、テレメータ（積雪計、気温計など）や道路パトロールをもとに冬期道路管理や雪害への対応が行われており、人手による監視のため異常事象の発見に時間を要し、異常事象に対する通行止めの措置などの対応が遅れるといったことが考えられる。一方、直轄国道に整備されたETC2.0プローブ情報を収集可能な路側機が運用されたことで、今後は、交通状況のリアルタイム収集や、道路交通状況の実態把握の迅速化・高度化・効率化が進んで行くことが予想される。

本論文では、冬期道路管理における課題に対し、プローブデータを活用した冬期道路管理におけるデータ分析の取り組みについて報告する。

2. 道路プローブデータの概要

ETC2.0プローブ情報は、自動車に搭載される「ETC2.0サービス対応車載器」と、路側に設置される「ETC2.0

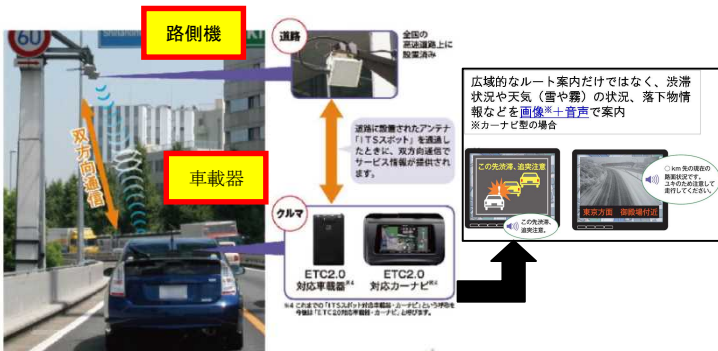


図-1 ETC2.0サービスの路車間通信の概要

プローブ情報収集可能路側機」との間で行われる通信により得られる、自動車の走行履歴データと挙動履歴データ（緯度経度・車両ID・時刻等）を基に作成されているデータのことである（図-1）。

データはリアルタイムで取得されているため、より迅速な事象の発見などへの活用も期待される。一般道路におけるETC2.0プローブ情報収集可能路側機の運用は平成27年度からで、機器の整備状況やETC2.0サービス対応車載器の普及状況から、特定の期間や路線に絞りと取得できるデータ数が少ない場合がある。

また、機器特性や個人情報保護の観点から出発地・目的地について秘匿処理があり、全ての経路情報が保存されていない場合がある。

ETC2.0プローブデータは、「走行履歴」と「挙動履歴」を取得しており、このデータを活用し、道路プローブデータ（DRM 区間別平均旅行時間・速度データ等）が作成されている。

3. プローブデータによる分析

(1) ケース分析の実施

冬期道路管理において、交通障害の発生した事象より、以下の4つのケースで検討を行った（表-1）。

表-1 ケース分析の体系（概要）

	分析視点	プローブデータの活用イメージ
ケース1	冬期走行速度低下箇所への対応に向けた現状分析	・降雪は交通容量の低下や登坂不能車を引き起こす。これらの状況を把握するため、速度低下により走行環境の悪化を推測することの検討に活用。
ケース2	年末年始のトリップ特性分析	・年末年始は少雪地域から冬タイヤ未装備の広域交通が混入し、交通障害が発生しやすく、広域的な情報提供が課題となる。このため、県境断面における通過交通の経路や利用する高速道路IC、立ち寄る道の駅などのトリップ特性を比較検討し、有効な情報提供箇所の検討に活用。
ケース3	高速道路通行止め時への対応に向けた現状分析	・高速道路通行止め時に並行道路で混雑が発生することをふまえ、主な迂回路の混雑区間や速度低下区間などボトルネック区間を抽出し、除雪水準の見直しや他の迂回路の検討などに活用。
ケース4	広域的な降雪に向けた現状分析	・除雪応援や通行止め等の準備作業を迅速に行うため、隣接工区の交通状況（速度状況）を常時把握し、速度低下や交通障害の早期発見に活用する。

(2) 分析内容と結果

■ケース1) 冬期走行速度低下箇所への対応に向けた現状分析

①モデルエリア・路線

新潟県上越市柿崎区～大潟区（国道8号）

・降雪時に登坂不能車が多発。その一方で、他の迂回路がなく、国道8号において著しい渋滞が発生する箇所。

②分析内容

a) 民間プローブ走行時間データ、テレメータデータ、

* 1 国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所

登坂不能車発生履歴、高速道路通行止め発生履歴を用いて、降積雪状況の違い、登坂不能車発生時、高速道路通行止め発生時による直轄国道の平均速度の変化について分析する。

- ・時間帯別降雪量と時間帯別平均速度の関係について、冬期交通障害発生時と非発生時別で分布図を作成する。
- ・ETC2.0プローブ走行履歴点群データより、冬期交通障害発生時の速度低下ポイントを把握。

b) 分析期間 平成25年12月～平成26年3月、平成26年12月～平成27年3月

③分析結果

- ・登坂不能車発生頻度の高い上下浜から九戸浜付近では、速度低下が見られる（図-2）。

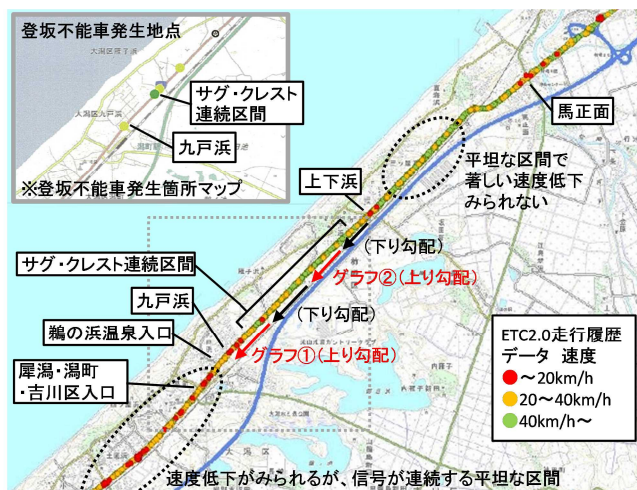
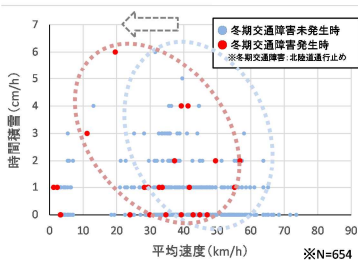


図-2 走行履歴地点速度状況図

- ・時間積雪量と平均速度の関係では、北陸道通行止め時の速度分布が全体的にやや低下の傾向を示した（図-3）。

但し、今回の分析期間には、登坂不能車発生時のデータがなかったことから、今後、登坂不能車発生日データを加えたさらなる分析が必要である。

①サグ部(上り勾配)→九戸浜・鵜の浜温泉入口



②サグ部(上り勾配)

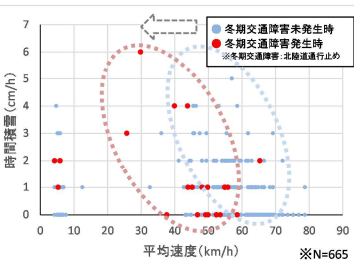


図-3 降雪量と平均速度の関係

④今後の展開

- ・登坂不能車発生の恐れがある条件（降雪量と速度等）から発生の危険度を予測する。

■ケース2) 年末年始のトリップ特性分析

①モデルエリア・路線

新潟・群馬県境断面（関越道・国道17号）

- ・高速道路と直轄国道が並走している。
- ・関東圏は北陸に比べて少雪地域である。

- ・大雪による長期間の通行止め発生事例がある箇所。

②分析内容

a) ETC2.0プローブ走行履歴情報を用いて、平常時（無雪期、冬期）と年末年始の県境断面通過交通の特性の違いを、以下の視点から比較分析する。

- ・到着地点（終点位置）とその範囲の把握
- ・県外トリップの出発エリアの割合
- ・主要沿道施設に

ち寄った県外トリップ数

- ・県外トリップが立ち寄った主要沿道施設（サービスエリア、スキー場等）

b) 分析期間

平成27年10月（平日）、平成27年12月～28年1月

③分析結果

- ・国道17号を利用したトリップのうち、関東方面から新潟県内に移動したトリップの到着地点の圏域を比較すると、年末年始の圏域が最も広いことが確認できた（図-4）。

・年末年始(12/27～1/4)は、国道17号及び関越道を利用して新潟県内に移動するトリップ数が増加（図-5）。

特に埼玉・東京方面からのトリップ数の割合が大きく増加している（図-6）。

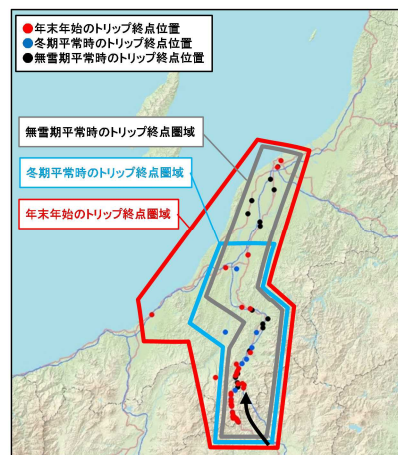


図-4 県外交通の到着地点圏域

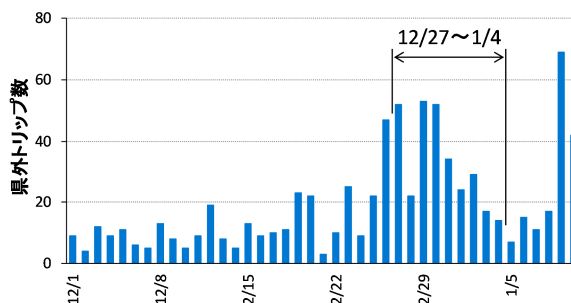


図-5 湯沢 IC・塩沢石打 IC 周辺の主要沿道施設を利用する県外トリップ数

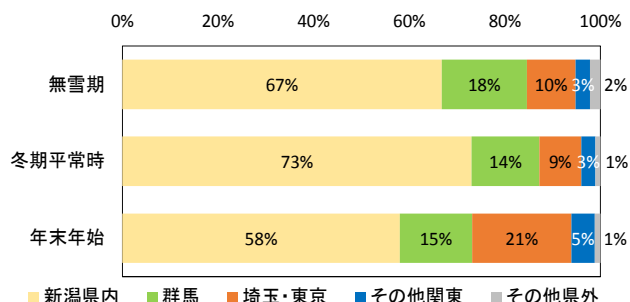


図-6 湯沢 IC・塩沢石打 IC 周辺の主要沿道施設利用者の出発エリアの割合

- ・高速道路・国道17号を利用する年末年始の県外トリッ

プが、新潟県内に入る前に立ち寄っている施設は、高速道路のサービスエリアやパーキングエリア、国道17号沿線のコンビニエンスストアが多いことが分かった（図-7）。

高速道路の施設では、広域の道路交通情報を提供している。国道17号においても、これら施設と連携し、広域の道路交通状況を提供する仕組みが必要である。



図-7 立ち寄り施設状況図

④今後の展開

- ・年末年始の冬期道路交通情報提供方策への反映方法
- ・トリップ特性を踏まえた情報提供エリア、提供位置、路線等の検討
- ・道路沿道施設と連携した情報提供（県外施設も含む）の分析に使用する。

■ケース3) 高速道路通行止め時への対策に向けた現状分析

①モデルエリア・路線

新潟県上越市・妙高市（国道18号）

- ・高速道路に並走する直轄国道や県管理道がある。
- ・高速道路通行止め時の並行路線速度低下や登坂不能車発生事例がある。

②分析内容

a) ・民間プローブ走行時間データ、ETC2.0プローブ情報、高速道路通行止め発生履歴を用いて、高速道路通行止め発生時（無雪期、冬期）における市街地部の平均速度と迂回交通の利用経路を把握する。

- ・迂回交通の利用経路（高速道路利用交通）
- ・迂回エリアの区間別平均速度（速度マップ）

b) 分析期間 平成26年10月～平成27年2月

③分析結果

・上信越道通行止め時に、無雪期で利用された迂回路は国道18号のみ。一方、冬期は国道18号の速度低下もあり、国道18号以外を迂回路として利用するトリップが見られる（図-8, 9）。

・このことから、速度が安定している無雪期に比べ、速度が不安定な冬期の方が迂回路として選択される路線が多い可能性があると言える。そのため、冬期における上信越道通行止め時には、迂回路の確保と誘導が重要となる。

④今後の展開

- ・高速道路通行止め時の迂回利用を考慮した除雪優先路線設定の検討

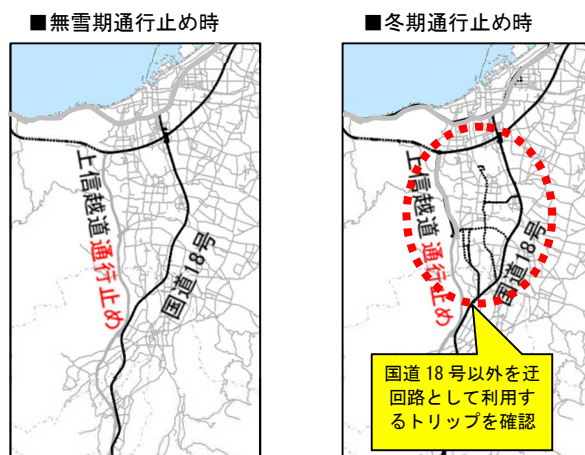


図-8 迂回利用経路図

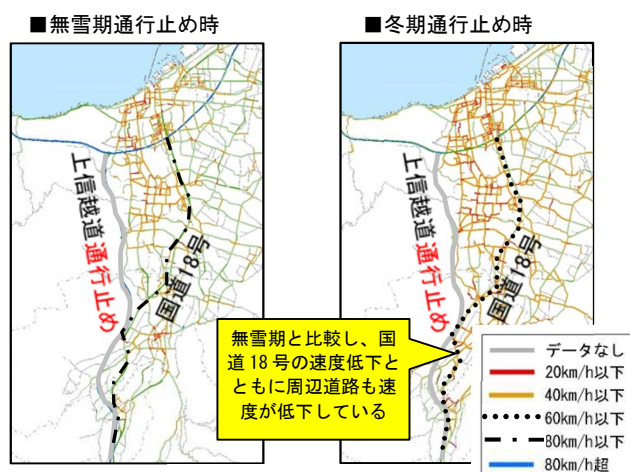


図-9 平均速度図

■ケース4) 広域的な降雪に向けた現状分析

①モデルエリア・路線

国道49号（新潟県阿賀町津川～福島県西会津町）

- ・両エリアとも多雪地域である。
- ・平成25年1月26日に福島県側での大雪による立ち往生が発生し、新潟国道側から応援除雪を実施している。（図-10, 写真-2）

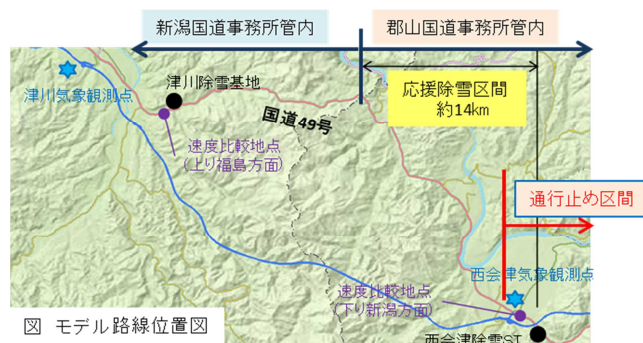


図-10 モデル路線位置図

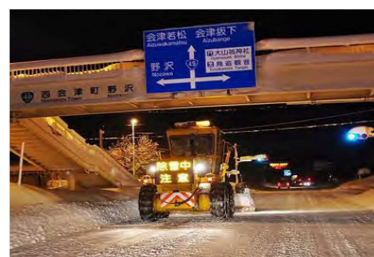


写真-2 応援除雪実施状況（H25.1）

②分析内容

a) ・民間プローブ走行時間データ、気象庁データを用いて、応援除雪実施時の時間降雪量と速度変化を整理する。
・参考として、ETC2.0プローブ情報を活用し、冬期降雪時の速度低下ポイントを把握する。

b) 分析期間 平常時が平成25年2月、応援除雪時が平成25年1月26日のデータを使用。降雪時の地点速度は、平成26年12月～平成27年3月のデータを使用。

③分析結果

・気象条件整理の結果、前日からの気象状況は平常時と異なる他、当日の降雪量・積雪深は津川側と西会津側で比較した場合、西会津側が多い（図-11）。そのため、走行速度は、西会津側で大きく低下している（図-12）。隣接工区であっても、降雪状況やそれに伴う速度低下状況に違いがあることを確認した。

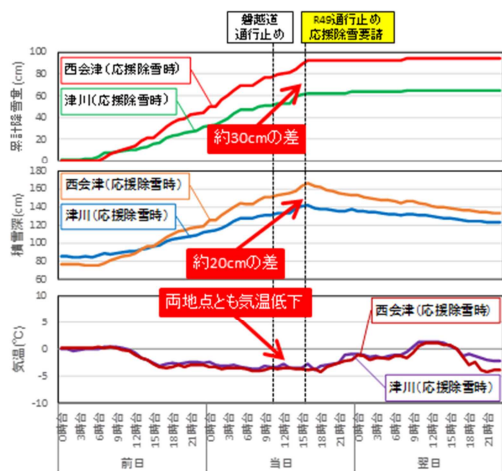


図-11 累計降雪量等気象状況（気象庁）

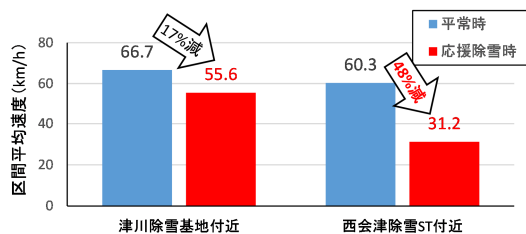


図-12 平均速度（民間プローブ）

・地形的に新潟県側が急カーブ・急勾配区間が多い区間で、速度低下の発生が確認された。一方、福島県側は局所的に速度低下が見られた（図-13）。

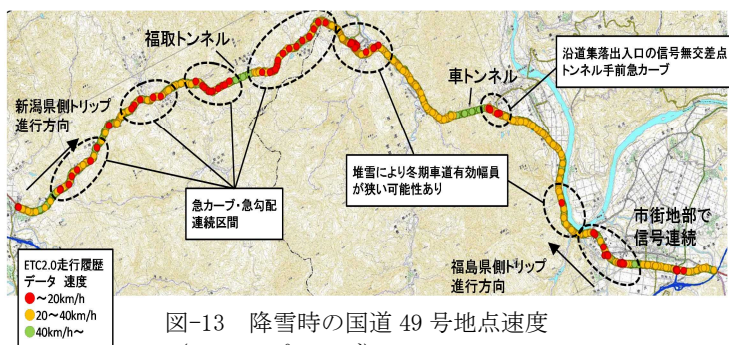


図-13 降雪時の国道49号地点速度（ETC2.0プローブ）

④今後の展開

- ・ETC2.0プローブを活用した冬期道路管理方策の検討
- ・点群データを活用した冬期速度低下箇所の抽出と対策検討
- ・隣接工区も含めたリアルタイム監視の検討

4. おわりに

今回の検討は、いずれもトリップの特徴等が見られ、今後の活用に向けた課題等について有効な分析であった。

また、今後の活用方法の具体的な検討内容は、以下のとおりである。

○活用の方向性設定

現在、ETC2.0プローブデータの活用方法は、「過去の実態分析」する他、要対策箇所の抽出など「今後に活用」する方法となっている。一方ETC2.0プローブデータは、リアルタイムで取得されていることから、今後、取得したデータを瞬時に処理するシステムなどが構築されれば、リアルタイムでの「実態把握」や「変化の把握」なども実施できる可能性がある。

○現場での活用シーンの設定

冬期道路管理においては、ETC2.0プローブデータをはじめとする各種データのリアルタイム化を見据え、「現場確認」や「事象の発生を予測」し「判断を支援」できる活用策の検討に繋げて行いたいと考えている（図-14）。

本検討で、プローブデータを活用し、過去に発生した異常事象を時間的・空間的な視点から分析した。今後は、交通障害発生時の事象を多方面から検証し、さらにデータを蓄積することにより、個別箇所での異常事象における指標の作成が可能になると考える。また、道路利用者の挙動や気象観測情報、交通量などのデータが速やかに入手可能となれば、道路障害発生の予測及び対応の判断における有効活用が期待できる。

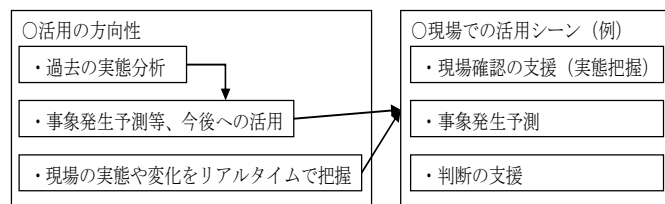


図-14 今後の活用の方向性と活用シーン

直轄国道に設置したETC2.0プローブ情報収集可能路側機の運用が平成27年4月からとなっているため、今後は、データ量の増加が見込まれる最新データを用いて、ケース分析の更新や、発生事象の発現状況等の確認などの新たな分析を行い、より実現性のある活用方法を検討する必要がある。

また、全国の分析事例や活用事例を収集し、新たな活用方法の検討を行うと共に、現場ニーズを把握し、分析およびその結果を踏まえた改善を継続的に行い、各道路管理者と連携を図りながら冬期の円滑な交通確保に努めて参りたい。

新型除雪グレーダの作業安全性に関する検討

本間 政幸*1、渡邊 俊彦*1、長谷川 崇*1

1. はじめに

道路除雪の主力機械である高速圧雪整正機（2人乗り4.3m級320ps、原型・除雪グレーダ）は、圧雪路面の整正を新雪除雪と同等の速度で作業できる機械として開発が進められ、平成元年に概ね完成型となった。しかし、第3次特定特殊自動車の排出ガス規制（平成23年10月1日適用開始、いわゆるオフロード法）の強化に対応するため平成24年度を最後に製造・販売が中止された。その後、排出ガス規制と、転倒時の運転室保護構造規格（ROPS）を取り入れた新型除雪グレーダ（1人乗り4.0m級220ps）（以下「新型除雪グレーダ」という。）の開発が進められ、平成27年度より市場に販売された。

新型除雪グレーダは1人乗りのため、高速圧雪整正機の助手が担っていた安全確認作業が困難となることや、エンジン出力の低下とブレード（除雪装置）の小型化に伴い除雪作業能力の低下が懸念された。このことから、新型除雪グレーダの除雪適応性を確認することを目的に条件の異なる除雪工区で、現地調査・検証を行い今後の新型除雪グレーダの導入に向けて作業の安全性、梯団除雪時の配置の考え方を検討したものである。写真-1に新型除雪グレーダの除雪状況を示す。



写真-1 新型除雪グレーダの現地調査・検証状況（先頭車両）

表-1 高速圧雪整正機と新型除雪グレーダの主な仕様

	高速圧雪整正機	新型除雪グレーダ（A社）
乗車人数	2人	1人
車両寸法 W×L×H	2,480mm×10,400mm×3,625mm	2,410mm×10,400mm×3,410mm
変速装置	マニュアル （MT）	オートマチック （AT）
定格出力	235kW （320ps）	163kW （221ps）
車両総重量	19,870kg （乗車定員2名含む）	18,485kg （乗車定員1名含む）
ブレード寸法 （推進角60°時除雪幅員）	横4,318mm×高さ920mm （3,735mm）	横4,010mm×高さ660mm （3,448mm）

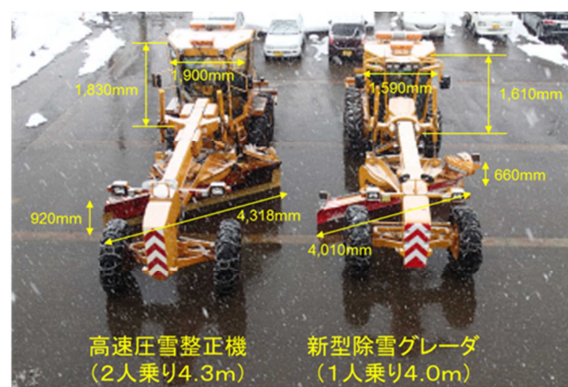


写真-2 高速圧雪整正機と新型除雪グレーダ

3. 安全確保対策の提案と調査体制

3.1 1人乗り除雪グレーダの安全性に関する検討委員会

高速圧雪整正機による除雪作業はオペレータと助手の2名で行っており、除雪の出来ばえ及び安全確認は助手の目視による確認要素が多かった。これに対して新型除雪グレーダはオペレータ1人で機械の運転、除雪装置の操作、除雪の出来ばえ、安全確認、梯団との連絡を行わなければならないため、平成26年に学識者及び交通管理者、道路管理者、除雪施工者等で構成する「1人乗り除雪グレーダの安全性に関する検討委員会」を設立し、「1人乗り除雪グレーダの安全性確保対策（案）」として表-2の提言を受けた。

この提言に基づき、除雪機械メーカーと調整を行い、平成27年度より導入する新型除雪グレーダの仕様に反映させた。

表-2 1人乗り除雪グレーダの安全確保対策（案）

委員会での提言事項

- ①オペレータの作業を補完するモニターカメラ等の追加
- ②作業中の視認性確保対策（エアコン、熱性入りミラー等）
- ③助手の代替えとして随伴車両の必要性検討

*1 国土交通省北陸地方整備局 北陸技術事務所

3.2 調査体制

委員会での提言事項と除雪作業能力低下の懸念から、新型除雪グレーダの除雪適応性を確認するため、複数の除雪工区で現地調査・検証を行うこととした。

調査は、委員会提言の仕様が反映され北陸地方整備局管内に平成27年度導入された新型除雪グレーダと、高速圧雪整正機を用いて、委員会の提言である安全性確保対策と、作業環境・運用方法、除雪作業能力について、2工区で現地調査を行うとともに、オペレータアンケート調査を同工区の10名に行った。また、平成27年度に新型除雪グレーダが納入された北海道開発局及び東北地方整備局の協力を得てオペレータアンケート調査を5工区9名に行った(表-3、図-1参照)。

表-3 調査協力地整及び工区名

	現地調査	アンケート協力人数
北陸地方整備局	妙高工区 二居工区	妙高工区6名 二居工区4名
東北地方整備局	—	神岡工区2名 大曲工区2名 横手工区2名 新庄工区1名
北海道開発局	—	月寒工区2名



図-1 調査工区の配置



写真-3 死角確認のためのモニター等の配置状況



写真-4 運転室内の状況

4.1 視認性の確認(委員会提言①)

視認性は、視界測定図による視界比較と、オペレータアンケートにより確認を行った。視界測定図は座姿勢で「直接目視視界」、「ミラー(後写鏡・補助確保装置)視界」、「モニターカメラ視界」を重ね合わせて作成した(図-1参照)。

全体的には新型除雪グレーダの視界は、運転室がコンパクト化されたことにより高速圧雪整正機の視界より向上している。しかし、前方視界はハンドル装置上部にある「ブレード押付圧表示装置」が視界を遮るため死角が増えており取付位置変更等が必要である。車体左右側面の視界はワイパーモータ部の死角があるが、少し頭を動かすことで視界確保できることから問題がないと判断した。(写真-5参照)

オペレータアンケートでも、多数は問題なく見えているという結果であったが、前方視界は「ブレード押付圧表示装置」の取付位置が悪く、視界を遮るという回答が多数あった。車体左右側面のワイパーモータの死角については、道路構造物等に接近して除雪する時に注意が必要であることがわかった。後方視界はモニターカメラでは見える範囲になるが、後進時は車両の距離感覚が目視でないと不安との意見があった。新型除雪グレーダは運転室内高が1,610mmと低く、オペレータが立ち上がれない構造となっている他、排出ガス対策により運転室後方のエンジンルームが大きくなったため、後方目視は難しい状況にある。(写真-4 右参照)

4. 安全性確保対策の有効性確認

新型除雪グレーダには、委員会の提言を受けて1人乗りでの安全性確保対策として写真-3に示すモニターカメラ(視界性確保機能)のほか運転室エアコン、外部ミラー(後写鏡・補助確保装置)には熱線入りミラー(曇り防止・着雪防止機能)を新規に取付けた。この対策を施したことによって、高速圧雪整正機の2名体制での安全確認と同等の視認性等が確保されるか検証を行った。(写真-4参照)

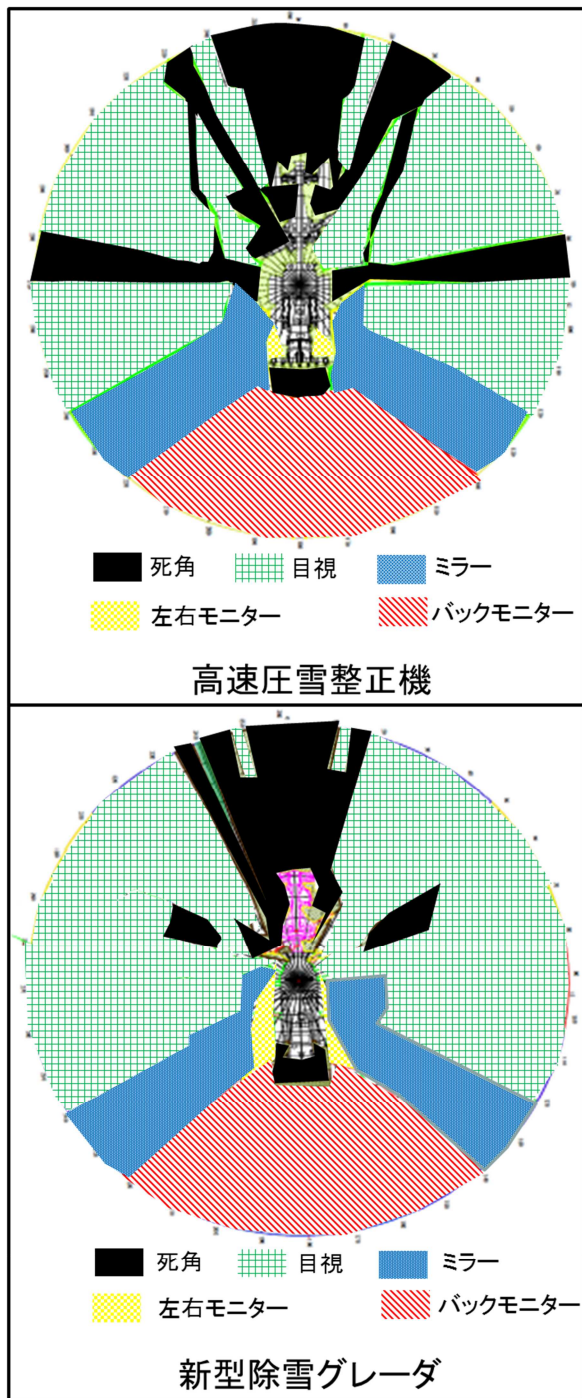


図-2 高速圧雪整正機と新型除雪グレーダの視界

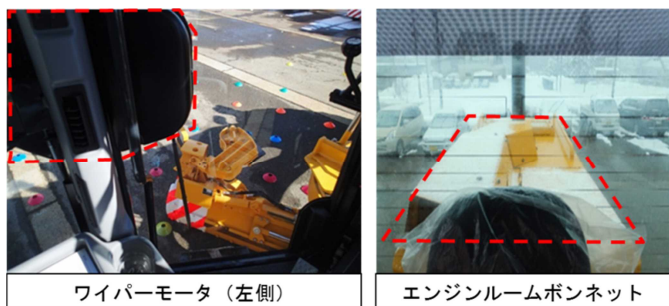


写真-5 新型除雪グレーダの視界障害内容

4.2 曇り防止・着雪防止機能の確認 (委員会提言②)

運転室内の曇り防止機能の調査は、ガラスの曇り状況を室内に設置したドライブレコーダ3台で撮影・観測し、オペレータへのアンケート・ヒアリングによる確認を行った。

調査の結果、曇り防止機能は効果を発揮しており、曇りが発生した事例もあったが、除雪作業にはほぼ問題ないレベルとの回答であった (写真-6 参照)。

着雪防止機能については熱線入り外部ミラーへの着雪はなく、モニターカメラについては着雪が発生した事例もあったが、ほぼ問題ないレベルとの回答であった。



写真-6 運転室内の結露状況 (新型除雪グレーダ)

4.3 随伴車両の必要性確認 (委員会提言③)

調査は新型除雪グレーダの後方に随伴車両を配置し、オペレータと随伴車の作業補助者は通信装置で通話できる環境を整備した (写真-7 参照)。

随伴車両の作業補助者からは、追い越し車両、後方の渋滞状況等の連絡が主にされており、新型除雪グレーダのオペレータが、除雪装置の操作に集中して追い越し車両に気づくのが遅れてしまった場合には補助作業者が通信連絡することで安全の確保にはつながると思われる。しかし、山間部では随伴車両後方から随伴車両と除雪グレーダの2台をまとめて追い越す車両が増えるため、事故の危険性が増すという意見もあった。オペレータヒアリングにおいては「随伴車両が必ず必要」という意見はなく、今回の結論として「随伴車両は不要」と判断した。

通信装置の性能については、見通しの良い直線部ではトンネル等の遮蔽物があっても約800m程度までは通話できたが、つづら折れ等の急カーブ・急勾配区間では約200m程度まで通話距離が短くなる傾向があった (写真-8 参照)。

オペレータヒアリングにおいては「随伴車両が絶対が必要」という意見はなく、梯団除雪を行う場合は梯団間で通信できたほうが良いという意見が多かった。このため、通信装置の改善策としてアンテナを指向性から無指向性に変えることにより、つづら折れ等でも通話ができるものとした。



写真-7 随伴車両の状況と通信装置の装着状況

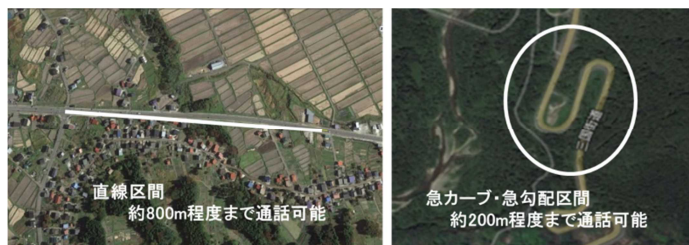


写真-8 道路地形と通信距離

5. 作業環境・運用方法運用方法・作業能力の確認

5.1 作業環境・運用方法運用方法の確認

新型除雪グレーダを単独及び梯団で組み合わせて除雪作業を実施し、オペレータから問題点等を調査した。

新型除雪グレーダは、高速圧雪整正機に比べてブレード面積が小さくなったため雪の抱え込み量が少なくなったことから、3台梯団の場合は先行車のウィンドローの影響を受けない先頭車両が望ましいという結果となった。なお、単独作業や梯団作業でも降雪量が多くなった時に雪の抱え込み量が多くなることから、作業効率が低下する結果となった（写真-9参照）。



写真-9 新型除雪グレーダの梯団除雪作業状況

5.2 除雪作業能力の確認

除雪作業能力は、高速圧雪整正機と新型除雪グレーダで除雪速度、除雪能力、圧雪除去能力等の確認を行った。

①除雪速度

除雪速度はGPSデータと、時間データから平均除雪速度を算出し、高速圧雪整正機と新型除雪グレーダの比較を行った。調査は妙高工区と二居工区の2工区で実施し、オペレータは熟練者と若手で運転した。（図-2参照）

調査の結果、両工区とも熟練者と若手による速度差はわずかであるが、上り坂とカーブが多い二居工区では除雪速度差が見られる。オペレータアンケート・ヒアリング調査では高速圧雪整正機に比べてさほど速度差は感じないという意見が

多数であった（平成27年度は少雪であったため次年度も引き続き調査・検証を行う予定である）。

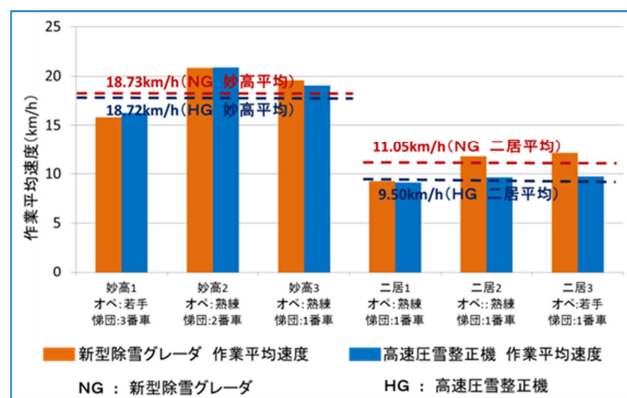


図-2 除雪速度の比較

②除雪能力・圧雪除去能力等の確認

高速圧雪整正機、及び新型除雪グレーダ製作者から提供された性能比較を表-4に示す。（試験結果はJCMAS T-500(除雪グレーダ性能試験方法)による。新型除雪グレーダのブレードは4.3mを装着。

新型除雪グレーダは定格出力が31%低下したことから、時間当たりの除雪能力は24%減、圧雪除去能力は40%減となっている（図-4、5参照）。また、除雪装置面積も33%小さくなったことから雪の抱え込み量が減少し、ブレードからこぼれることが懸念されるため、降雪の多い山間部、及び幅員が広い道路では機械配置を考える必要がある（図-6参照）

表-4 除雪性能

項目			高速圧雪 整正機 4.3m 級	新型除雪 グレーダ 4.0m 級	高速圧雪整正機 に対する差異		
仕様値	性能	最高速度(前進)	km/h	45.0(7 速)	48.5(8 速)	3.5km/h 早い	
		最高速度(後進)	km/h	41.9(8 速)	40.3(4 速)	1.6km/h 遅い	
		最大除雪幅 (60 度)	m	3.74	3.69	0.05m 狭い	-1.3%
		定格出力	kW	235	163	72kW 低い	-31%
	寸法・重量	全長	mm	9,625	9,765	140mm 短い	
		全幅	mm	2,480	2,410	70mm 狭い	
		全高	mm	3,700	3,410	290mm 低い	
		室内高	mm	1,830	1,610mm	220mm 低い	
		運転質量	kg	19,870	18,485	1,385kg 軽い	-7%
		フレーム(4.3m)	ブレード幅	mm	4,318	4,265	53mm 狭い
	ブレード高さ		mm	920	660	260mm 低い	-28%
	ブレード厚さ		mm	19	19	同	
	ブレード面積 (幅×高さ)		m ²	3.97	2.81	1.16m ² 小さい	-29%
	実測値	性能	時間当たり 除雪能力	t/h	5,540	4,195	1,345t/h 少ない
時間当たり 圧雪除去能力			t/h	1,960	1,173	787t/h 少ない	-40%
仕様値	フレーム(4.0m)	ブレード幅	mm	4,318	4,010	308mm 狭い	-7.1%
		ブレード高さ	mm	920	660	260mm 低い	-28%
		ブレード面積 (幅×高さ)	m ²	3.97	2.65	1.32m ² 小さい	-33%

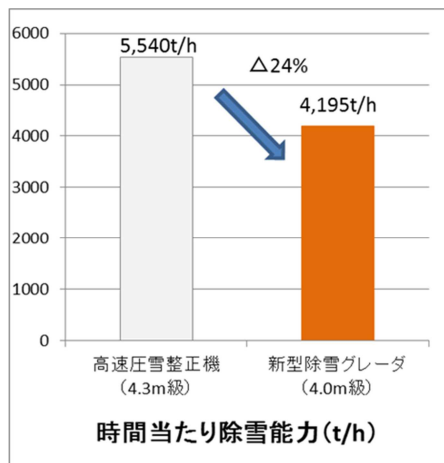


図-4 時間当たり除雪能力

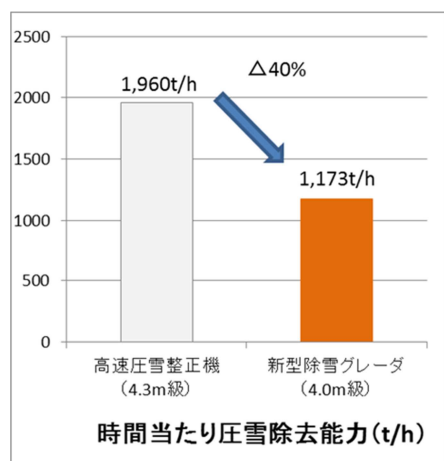


図-5 時間当たり圧雪除去能力



図-6 ブレードの寸法

6. 調査・検証結果のまとめ

新型除雪グレーダの調査・検証のまとめを表-6に示す。

視認性については、直接目視と、ミラー及びモニターカメラの補助確認装置により、目視との感覚の違いはあるが概ね確保できており、随伴車両は不要である。ただし、現場条件やオペレータの教育等を配慮して必要に応じ配置することは妨げない。また、通信装置も聞こえ方は良好で、無指向性アンテナとすることで通信状態も確保できる。

操作性については、オートマチックに変わったことにより変速操作が軽減されている。除雪性能の低下による雪の抱え込み量や、圧雪除去能力等の減少は避けられない課題であるため、今後除雪機械の配置計画に留意を要する。

除雪能力については、除雪装置面積が小さくなったため抱え込める雪が少なくなりブレードからウインドローがこぼれる懸念が指摘されている他、定格出力の低下による評価は今後確認する必要がある。

表-5 調査・検証結果のまとめ

①視認性	・従来機より視界は良好。ミラーによる視界も良好。但し、後進時の後方目視が悪くなっている。 ・押付力表示装置の位置は要検討。 ・ブレード左端の視認性の改善が必要。
②モニターカメラ	・後方カメラは必要。 ・左右後方カメラは、現状では有用性は低い。撮影範囲等の見直し要検討。
③曇り防止機能 カメラ着雪 対策機能	・窓ガラスの曇り、カメラへの着雪はわずかであり、また発生しても問題ない程度。
④随伴車両	・梯団時には、新型除雪グレーダが1人乗りになることに対する、山間部での随伴車両の追加は不要。 - 但し、工区によって交差点、登坂路、待避所などで後進作業があるので、場合に応じて誘導員が必要。
⑤通信装置	・通話状況は良好で、タイムラグは無い。 ・直線区間では800m程度まで通信可能。 ・山間部・曲線部では200m程度で支障あり（車体の向き、高低差の影響）。
⑥操作性	・オートマチックになり、変速操作が軽減される。
⑦除雪能力	・ブレードの雪の抱え込み量の不足から、ブレードからウインドローがこぼれることを懸念する意見がある。 ・圧雪除去能力の不足が懸念される。 ・工区により、除雪能力不足、十分な能力との意見の違いがある（平成27年度は少雪であったため再度確認が必要）。

7. 調査結果からの改良事項

オペレータの意見等の調査結果から、新型グレーダで除雪作業を行うにあたり改良すべき事項を聞き出し、製作メーカーと以下の内容について改良を調整している。

7.1 【視界改善】運転室内熱線ガラスの操作性改良

課題：熱線ガラスの作動は、熱によるワイパーゴムの張付き防止のため15分で切れる。再作動を怠ると曇りが発生する（高速圧雪整正機は再作動タイマーなし）。作動状況を示すパイロットランプは昼間外部からの光がまぶしくて判別しにくい。

改良：熱線ガラスの作動停止タイマーは残し、熱線操作ボタンを手元に、パイロットランプは見やすい位置に移動する。

写真-10に現在のパイロットランプ取付位置を示す。



写真-10 運転室熱線ガラスの作動確認位置

7.2 【視界改善】ブレード押付力表示装置の位置変更

課題：ブレード押付力表示装置が、高速圧雪整正機の取り付けていたものと比べ、縦型となり前方視界の大きな妨げとなっている。

改良：前方視界、及び除雪装置確認の妨げとならないように、ブレード押付力表示装置をステアリングコンソール左に移設する（写真-11参照）。



写真-11 ブレード押し付け力表示装置の位置変更

7.3 【通信改善】通信装置の仕様変更

課題：除雪能力の低下から新型除雪グレーダが先頭車両となることを想定して、指向性のアンテナを選定し後方に向けた設置となっている。そのため、子機の位置が平坦路で後方となる以外は聞こえ難くなる。

改良：山間部や、ヘアピンカーブなど道路線形・高低差がある所、梯団内の作業位置が変わっても通信が行えるように、無指向性アンテナに変更する（写真-12参照）。



写真-12 通信装置のアンテナ変更

7.4 【安全性改善】ブレードマーカの位置変更

課題：ブレードマーカは、ブレードを前傾にした状態で後方に見える角度になっているため、ブレードを立てるとブレードマーカが見えにくくなる。また、左側のブレードマーカは、ブレード左端より飛び出しているためトンネル内壁などに接触し壊れ易くなっている。

改良：ブレードマーカの位置を再度調整した（写真-13参照）。



写真-13 ブレードマーカの取付位置変更

8. おわりに

今回の調査で、新型除雪グレーダ（1人乗り）の作業安全性については、各種対策により確保できることが確認された。また、除雪速度は特別の大雪とならない限り支障なく除雪できることが確認できた。しかしながら、昼夜の寒暖差により圧雪路面の性状が変化しやすい北陸の気象状況下や、降雪量が多い地域で除雪を行うには、除雪能力や雪の抱え込み量の不足は否めないものがある。

今後は、新型除雪グレーダの除雪能力と、現場条件を考慮して除雪機械配備の考え方を整理・検討して行くものである。今回の調査にご協力いただいた東北地方整備局と北海道開発局の担当者、及び除雪試験・ヒアリングに関わった除雪作業請負者各位に紙面を借りて感謝申し上げます。

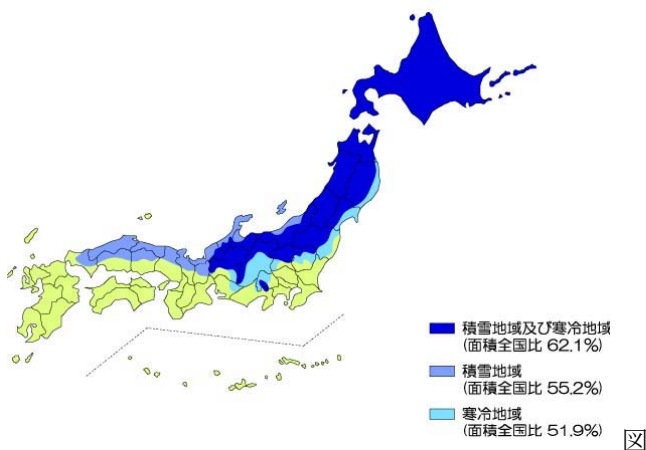
防氷剤の特性について

原口 征人*1 山下 修一*2 堀川 弘善*3 佐藤 巖*4

1. はじめに

冬期に積雪が多く寒冷な地域では、気象現象により交通機能に障害を与え、あらゆる生活や生産活動に影響を与えるので、昭和31年4月に「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法」（雪寒法）が制定され、積雪寒冷特別地域として指定されているのは図-1のとおりで、国土面積の約62%である。これらの地域は、気象変動が激しく、局部的気象変化であることが多く、気象を的確に予測し、道路の路面状態を周知させることは困難である。

特に冬季における降雪や気温の低下は、短時間、広範囲に路面が凍結し、路面の滑り抵抗が著しく低下し、道路の定時性が失われ交通機能がマヒすることがある。



-1 雪寒地域図

道路管理者は、基準以上の路面積雪になると交通機能を維持するために、除雪車により路面積雪を路側に寄せている。しかし、除雪車作業後の薄い氷盤、降雨後の気温低下、放射冷却による路面凍結の処理には機械対応では困難であることから種々の凍結路面対策が行われている。現在行われている対策の主なものは、滑止材散布、防氷剤散布、ロードヒーティングであり、温暖な地域では散水消雪が行われている。中でも滑止材や防氷剤の散布は経済的理由から一般的な凍結路面対策として採用されている。

滑止材には安価なことから天然の砂や砕砂が使用さ

れ、防氷剤には塩（えん）と言われる化学材料が使用されている。

防氷剤は、凍結防止剤、融雪剤、融氷剤、薬剤、防氷剤などと区々に呼ばれているが、本文では、材料に求められている性能が液体の水分子（一般的に水）を氷にしないこと（凍結防止）と氷を水にする（融氷）ことであることから防氷剤(De-icer)と呼ぶことにしている。

防氷剤は高価なことから材料の特性を理解し、効果的に使用することが大切である。本文は、散布作業関係者が防氷剤の特性や性能を理解するために必要な基礎的知識をまとめたものである。

2. 防氷剤の現状

防氷剤は、酸とアルカリの化合物で水に融解すると電解液になる「塩」と呼ばれる材料である（「塩」の代表的な材料は、混同されているが同じ漢字「塩」で「しお」と呼ばれる塩化ナトリウムである）。防氷剤として一般に使用されている塩は、①無機塩、②有機塩、③塩混合物等がある。

表-1 現行の各種防氷剤

区分	防氷剤	モル数	比率	①	②
無機塩	無水塩化ナトリウム	34.2	1.00	36	-21
	2水塩化ナトリウム	21.2	0.62		
	塩化カルシウム	20.4	0.60	130	-52
有機塩	ギ酸ナトリウム	29.4	0.85	70	-18
	酢酸カリウム	20.4	0.60	217	-60
塩混合	無機塩+無機塩	初期性能向上 融氷は比率			
	無機塩+有機塩	耐腐食性向上			
	防氷剤+滑止材	作業性経済性			

表中のモル数は、防氷剤重量1,000Gr当たりの数値

①溶解度 凝固点の溶解度

②凝固点（凍結温度） 飽和濃度の理論値

2. 1 無機塩

無機塩は、塩素化合物の塩化物塩で一般的に塩化ナトリウムと塩化カルシウムが使用されている。

*1 一般社団法人 北海道開発技術センター

*3 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構工業試験場

*2 一般財団法人 北海道環境科学技術センター

*4 ソリトン・コム株式会社

塩化ナトリウム（塩しお）は製造方法により岩塩、天日塩、せんごう塩がある。岩塩は地中や塩湖から掘り出した無水塩で防氷性能が一番優れている。天日塩は塩田で海水や地下水を蒸発させて作った塩で無水塩と2水塩があり、外観は明確に分からないが2水塩の防氷性能は無水塩の62%程度で塩化カルシウム並みである。せんごう塩は海水を釜で炊いて作った塩で高価なので防氷剤としては使用されない。

国内の無機塩防氷剤は、価格の面から輸入の天日塩が使用され、海外では岩塩が多く使用されている。

2. 2 有機塩

有機塩は、水に融解するカルボン酸塩で、ギ酸または酢酸とナトリウム、カリウムの化合物がある。有機塩は環境に優しく、再結晶率が高いので持続性が長いので作業費は安価であるが材料費は化学工場で生産するために高価である。

2. 3 塩混合物

塩混合物は、性能価格を向上させるために無機塩と無機塩、有機塩と無機塩、防氷剤と滑止材の混合物である。

無機塩と無機塩の混合物は塩化ナトリウムの初期効果を発揮させるために一般的には加湿散布をするが、加湿設備のない散布車では、6水塩である塩化マグネシウムを混合して塩化ナトリウムを早く溶かすために使用する。混合した塩化ナトリウム防氷剤の融氷性能は低下する。

有機塩と無機塩の混合物は、無機塩に有機塩を25%以上混合すると金属腐食が75%程度削減されるために使用される。過去に有機塩防氷剤の酢酸マグネシウムカルシウムに塩化ナトリウムを60%混合したCMA40が使用されたが、当時は専売法により塩化ナトリウム60%以上は一般には販売されたためであった。

滑止材に防氷剤を混合すると塩の混合した滑止材で塩の初期効果を上げたり、滑止材の固化を防ぐために使用されている。

防氷剤には、多種多様なものが有り、防氷剤の選択に必要な、性能や特性に関する多くの規格の試験方法がある。一般的な材料規格や性能規格としては、JIS（日本工業規格）、ASTM（米国試験材料協会規格）、AMS（航空宇宙材料規格）が公表されている。ヨーロッパでは、目的に適合した更に厳しい性能規格が適用されている。防氷剤は路面に散布され、河川に流失することから水質汚濁防止法に規定された「排水基準」を遵守しなければならない。これらの性能や規格は、発注者が購入仕様書を定めているが、この仕様書は材料仕様書である事が多

い。

3. 防氷剤に求められる性能

水は、1個の酸素原子と2個の水素原子が強力な共有結合した化合物である。水分子は、水素結合により他の物質とは異なる極性のある不思議な物質である。我々の生活領域の中で、固体や液体や気体に変化する。

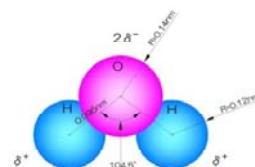


図-2 水分子

温度が100℃になると水分子の活動が活発になり水分子はバラバラの気体になり、温度が0～100℃の間では水分子同士が2次的に水素結合されると液体の水になる。0℃以下になると水分子が組織的に3次的に水素結合し、結晶と言われ固体の水になる。

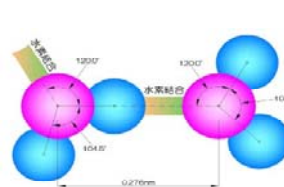


図-3 液体の水

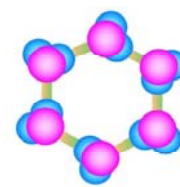


図-4 固体の水（氷）

防氷剤が溶けた電解液は氷の組織的な水素結合を切り離し0℃以下でも氷は電解液のイオンの働きに寄り液体になる。

凍結路面の表面は図-5のように、氷が舗装面に付着し、-15℃以上の氷の表面には水分子が上手く結合できないために疑似液体層と言われる薄い水の膜ある。-7℃以上になると水膜は厚くなり、滑りやすい路面になる。更に氷は、摩擦や圧力などにより氷が溶けているのでタイヤが滑り易い状態になる。氷盤が舗装に強力に付着すると更に滑りやすくなる。

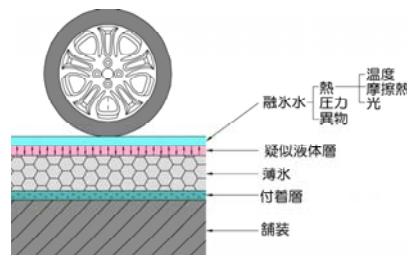


図-5 凍結路面の構造

凍結防止剤は、液体の水が氷にならないように凍結温

度を下げる（モル降下）働きをする材料である。凍結防止剤が1Kgの水に1モルの凍結防止剤が混入されると凝固点は -1.68°C 降下する。凍結防止剤は種類に関係がなく異物が水分子の中に入ると、温度が 0°C 以下になっても水分子は異物に邪魔されて水素結合できない。異物が多いほど水素結合ができないので水の凝固点（凍結温度）は低下する。

凍結防止剤にはエチレングリコールやグリセリンなどが用いられる。凍結防止剤は電解液にならないので氷を溶かすことはできない。

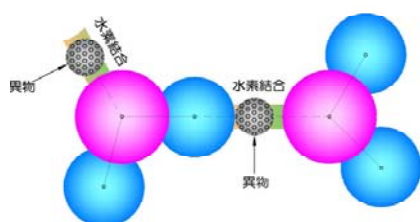


図-6 凍結防止剤の働き

防水剤は、液体の水に溶けるイオン結合の塩であから、防水剤は水にでようとイオン結合が解かれ、化合物はイオン粒子の状態になる。防水剤は散布時に加湿すると早く電解液になるので、加湿散布は重要な作業である。イオンは水分子より大きく強力な静電作用があるので近くの水分子を回転させるので、氷表面の水素結合が切断され氷はイオン液体（電解液）になり、氷の融解を加速する。

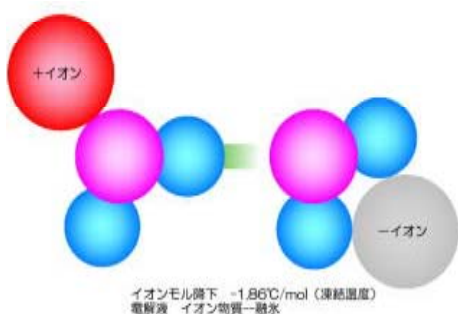


図-7 防水剤の働き

防水剤は、イオンの状態で氷を溶かすので、電離作用の大きい塩素イオンなどは、鋼材の腐食や土壌の固化など環境に種々の影響を与える。また、化学物質なので排水基準に定める有害物質が含むことがあり、持続効果を発揮する路上での再結晶もある。

防水剤は、融解すると陽イオン（カチオンcation）になるナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウムと陰イオン（アニオンanion）になる塩素や、カルボン酸の

化合物で、塩素と化合したものが無機塩で、カルボン酸と化合したものが有機塩である。

無機塩は、横方向に溶解するので氷は表面から融け、ウェットシャベットの状態になる。有機塩は、電解液になるときに防水剤の濃度と導電率の関係が図-10のように無機塩は濃度にあまり関係なく割合一定で融氷効果が大きく図-8のように拡散するが、有機塩は濃度が高い（防水剤の粒子に接する部分）と電解率が低くなり、防水剤は氷盤を舗装面まで貫入し、舗装面で、横方向に拡散して氷を舗装から剥離するので、ドライシャーベットの状態になる。ドライシャーベットの滑り抵抗が大きくなる。

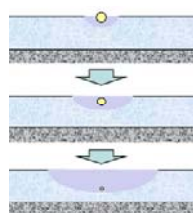


図-8 無機塩の融氷状態

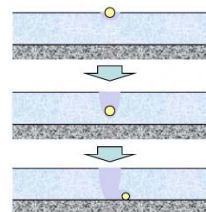


図-9 有機塩の融氷状態

防水剤の伝導率

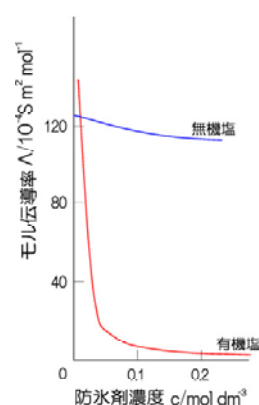


図-10 防水剤の導電率

塩化ナトリウム以外の防水剤は、化学物質であることから材料の特性を記入した材料安全データシート（SDS）が添付される。SDSで概略のことは分かるが、成分組成と化学反応過程を理解しないと効果的な使用は困難である。

4. 防水剤の特性試験方法

防水剤を効果的に使用するためには、特性を把握する必要がある、特性試験には、環境試験、性能試験がある。環境試験には、水質汚濁防止法に基づく排水基準、道路構造物に大切な腐食試験、自然に対する安全性試験がある。性能試験には、成分試験（組成成分、含有元素比率）、作業性試験（粒度試験 持続性試験）、貯蔵性試験（水分試験 固結性試験）、滑り抵抗試験等がある。

防水剤は化学物質なので、同じような材料でも成分組成で性能が大きく変わる。

例えば、塩化ナトリウムには、表-1に示すように無水塩化ナトリウムと2水塩化ナトリウムがあり、外観はあまり変わらないが、融氷性能は、2水塩化ナトリウムは無水塩化ナトリウムの60%程度ある。無関心だと今年の防水剤は効きが悪い程度で済まされることもある。

過去の例だが、カルボン酸塩防氷剤は製造方法によって組成成分が変化する。特に、成分に塩素や硫黄を僅か含んだだけで、金属腐食が大きく表れ、カルボン酸塩防氷剤は、防氷剤として使用できないと評価している。何れの場合でも蛍光X線などで組成成分を試験することにより簡単に分かる。

カルボン酸塩防氷剤の腐蝕性能を表-2および3に示す。汎用カルボン酸塩の場合には、②カルボン酸塩防氷剤が蒸留水の2倍の腐蝕を示している。腐蝕の原因は試験した防氷剤に僅かに、硫黄や塩素などのイオンになることが活発な分子が含んでいるためである。表-3の高純度カルボン酸塩防氷剤は蒸留水の0.1倍で大きく異なっている。蛍光X線分析ではカルボン酸構成物質以外は殆ど含まず特にイオン化の激しい物質は含んでいない。これらのことは外観での識別は困難である。

表-2 汎用カルボン酸塩

測定 年度	測定材料			
	①	②	③	④
2012	8.0	16.2	21.3	25.7
比率	1.00	2.03	2.66	3.21

表中の丸数字は試験材料である。

- ① 蒸留水
- ② カルボン酸塩
- ③ 塩化ナトリウム
- ④ 塩化カルシウム

化合物と混合物を誤解している例もある。酢酸ナトリウムが酢酸に臭いが有ると思っているが、これは未反応の物質が残っているため、この防氷剤は、酢酸ナトリウムと僅かな酢酸と水酸化ナトリウムの混合物である。

表-3 高純度カルボン酸塩

測定 年度	測定材料			
	①	②	③	④
2012	5.4	0.8	26.0	34.2
2013	7.9	0.7	23.8	29.4
2014	4.6	0.5	18.7	24.3
2015	6.8	0.4	22.0	26.4
2016	6.7	0.7	27.9	35.6
平均	6.3	0.6	23.7	30.0
比率	1.00	0.10	3.77	4.77

- ① 蒸留水
- ② カルボン酸塩
- ③ 塩化ナトリウム
- ④ 塩化カルシウム

5. まとめ

積雪寒冷地において連続的な交通機能を維持するためには、防氷剤の使用は効果的である。

防氷剤は、化学的知識を理解することにより防氷剤を使用した場合の凍結温度や融氷性能が分かる。従って、公表された性能試験方法と仕様書により、凍結路面の管理は経済的な運用ができるものとする。北海道は、地域が広く、多様な道路管理者と使用量が多いので、試験、規格、仕様書等の制定効果は大きいものとする。

【本論文様式】北陸自動車道における冬期の安全な交通確保を目指して

阿部 祐二*1

1. はじめに

北陸自動車道は、新潟県新潟市の中央JCTから滋賀県米原市の米原JCTへ至る、延長約476kmの高速自動車国道であり、福井保全・サービスセンターでは、北陸自動車道の今庄IC（福井県南越前町）～加賀IC（石川県加賀市）間60.1kmを担当し、道路や施設の保全・維持管理、改良をはじめ、交通管理、料金収受に関する業務を行っている。

福井保全・サービスセンター（以下、HSC）では、11月15日から4月15日までの153日間雪氷対策期間とし、高速道路交通警察隊や道路管理者及び関係機関と連携して、雪氷対策期間の重点課題である冬期の安全な交通確保を目指し、様々な取り組みを行っている。

平成27年度の雪氷対策作業は、冬用タイヤチェックや凍結防止剤の散布作業、除雪作業など約60kmの管理延長を総勢約110名の作業従事者及び46台の作業車両にて実施した。



図-1 福井保全・サービスセンターの管理エリア

2. 現況と問題点

北陸自動車道は冬期において厳しい条件下にあるため、冬期の安全な道路交通確保が第一命題となっており、山間部を通過する今庄IC付近は特に降雪量が多い区間であるため、関西圏や中京圏のノーマルタイヤ車によるスタック対策や雪路面による事故防止対策が課題となっている。

特に福井HSCは、ノーマルタイヤ車への対応として南条

サービスエリア（SA）（上り線）でチェーンチェックを実施している。平成26年度は、チェーンチェック時に停車させずにノーマルタイヤ車に対し今庄ICで降車するように呼びかけていたため、今庄ICで降りずに敦賀方面へ走行したノーマルタイヤ車が立ち往生し、通行止めが発生した。

この事象を受け、平成26年度中にチェーンチェックの対応を見直し、すべての車両を一度停止させ、1列で1台ごとのタイヤチェックを行った。対応見直し後、タイヤチェックを実施した結果、渋滞が約11km発生し、この渋滞により今庄ICから武生IC間で除雪ができず、路面状況が悪化し通行止め寸前の状況となった。



図-2 チェーンチェック体制の改善①

3. 対策の立案及び実施

これらの状況を踏まえ、平成27年度の雪氷対策作業では以下の事項の改善を行った。

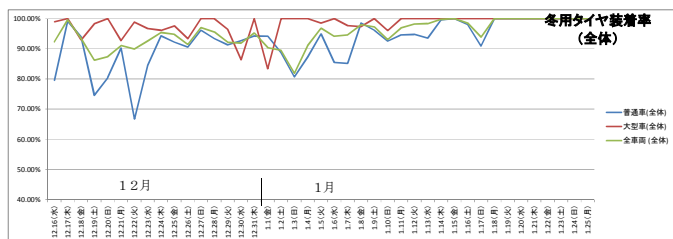
- ① 武生IC手前や南条SAでの効率的な冬用タイヤの広報活動
- ② 南条SAチェーンチェック体制の改善を実施
- ③ 雪路面に対する事故防止として雪氷対策作業

3.1 効率的な冬用タイヤの広報活動とチェーンチェック体制の改善

1月上旬の初冬季においては、冬用タイヤ装着率が低く、行楽やスキー客など、関西圏・中京圏からのノーマルタイヤで走行する車両が多い。そのため、ノーマルタイヤ車を武生ICで流出するように広報の取り組みを行った。

*1 中日本高速道路株式会社 金沢支社 福井保全・サービスセンター

表-1 タイヤ装着率



1) 「表-1 タイヤ装着率」にもあるとおり、1月に入っても、普通車及び大型車の冬用タイヤ装着率が90%を下回る結果が見られた。

このノーマルタイヤ車の事故による渋滞が問題となるため、簡易LED標識による情報提供に加え、タイヤ自動判別機による安全啓発活動を実施した。

簡易LEDによる安全啓発活動については、お客さまへの広報する簡易LEDの設置台数が少ないと考え、平成26年度に比べ9基増設することで広報の強化を行った。

タイヤ自動判別機については、南条SA（上り線）のオフランプに、舗装埋め込み型のセンサーを設置し、タイヤの振動でノーマルタイヤか冬用タイヤかを判別し、冬用タイヤ車には「冬の高速ご安全に」ノーマルタイヤ車には「冬タイヤ装着を！」のLED表示を点灯することで、お客さまへ自発的にチェーンをはめてもらうような広報の強化を行った。

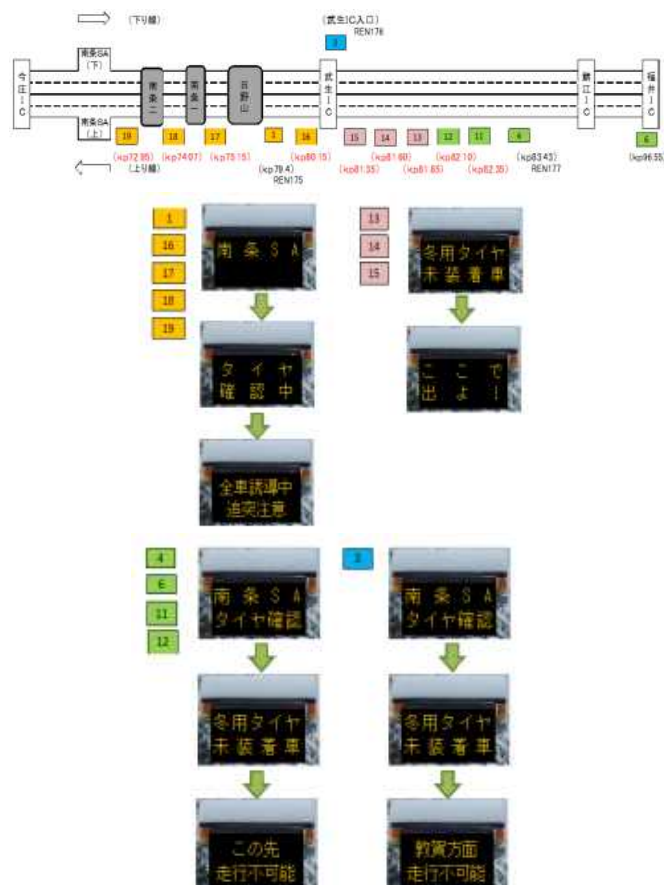


図-3 簡易LED標識による情報提供

チェーンチェック体制については、作業人員を昨年度から増員（8人⇒13人）し、1列チェックから2列チェックとすることで、チェック作業がスムーズに行えるようになった。



写真-1 タイヤ自動判別機と表示例

2) 初冬期の降雪時対策として、山間部を通過する車両に対し、今庄IC手前の南条SA（上り線）でチェーンチェックを行った。

平成26年度はチェーンチェックによる渋滞が約11km発生したため、平成27年度はチェーンチェックの情報提供強化及びチェーンチェック体制の見直しを行った。

チェーンチェックの情報提供強化については、鯖江IC～南条SA間に簡易LED標識を増設した。鯖江IC～武生IC間及び武生ICについては、「南条SAタイヤ確認」「冬用タイヤ未装着車」「この先走行不可」「敦賀方面走行不可能」の交互表示を行い、武生ICオフランプ付近では「冬用タイヤ未装着車」「ここで出よ!」の交互表示を行うことで、ノーマルタイヤのお客さまに対し、高速道路が利用できないことを強く促した。また、武生IC～南条SA間では、「南条SA」「タイヤ確認中」「全車誘導中追突注意」の交互表示を行った。

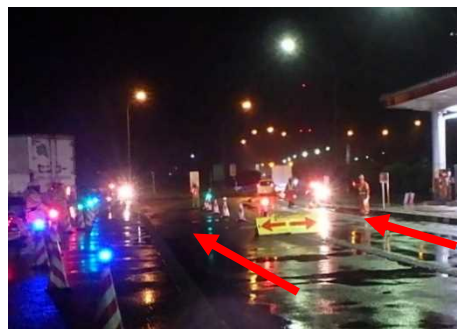


写真-2 2列によるチェーンチェック

また、高速隊が巡回時にチェーンチェックを行っているとときには南条SAへ立ち寄ってもらうことで、お客さまへのトラブルを未然に防ぐことができたと考えられる。





図-4 チェーンチェック体制の改善②



写真-3 高速隊立ち寄り状況

3. 2 雪路面に対する事故防止として雪氷対策作業

平成27年度の雪氷作業対策としては、他支社管内の雪氷車両を有効活用した。

武生IC～今庄IC間の除雪車両は武生基地に5台配置されており、除雪車3台と除雪車2台の2パーティで除雪を行っていた。除雪車2台の除雪時は、登坂車線及び路肩部の除雪が出来なく、本線のみ除雪となり課題があった。

そこで、平成27年度は、新東名愛知県区間の開通に伴い配備した散布兼用除雪トラックについて、会社全体の最適配置を鑑みて、東海地方に降雪がない期間は福井HSCに1台配置することで有効活用した。その1台を武生IC～今庄IC間の雪氷体制の強化を図り、3台2パーティになってことで、除雪作業時には登坂車線と路肩部の除雪が行えるようになった。

また、武生IC～今庄ICが降雪等少ない場合に他の区間の降雪が多い所への凍結防止散布にも使用し、冬季の交通確保が行えた。



図-5 雪氷車両の効率的有効活用

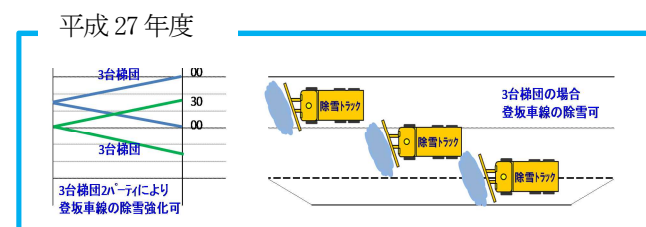
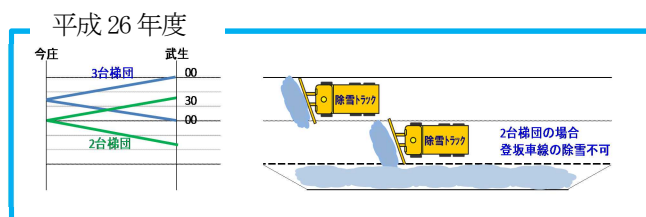


図-6 除雪状況比較図

4. 改善後の結果

冬季の安全な交通確保を目指して行った初冬期の広報対策及び雪氷作業対策結果を以下に述べる。

4. 1 初冬期対策結果

簡易LED標識による情報提供については、通常時には安全啓発情報を表示し、雪氷作業時及びチェーン規制時は規制情報を提供することにより、お客さまへの情報提供をすることができた。平成26年度と比べ、平成27年度はチェーンチェック実施時の情報提供の強化は効果があることが確認できた。

タイヤ自動判別機では冬用タイヤ装着啓発活動の他に冬用タイヤの装着率やその傾向を把握することが出来た。大型車は初冬期から冬用タイヤの装着率が高いが、普通車は平均気温が10度を下回ると冬タイヤの装着率が向上する。しかし、1月中旬以降に冬タイヤ装着率が向上するが、天候が良好時の連休においては、装着率が低下することが確認出来た。

チェーンチェックについては、平成26年度は700台/h rを超えると渋滞が発生したが、平成27年度は800台/h rを超えても渋滞が発生することがなかった。また、高速隊が立ち寄ることによりトラブルもなくスムーズなチェックを行うことができた。

4. 2 雪氷作業対策結果

雪氷作業対策として実施した有効活用車両の活用については、3台2パーティとなったことから、登坂車線及び路肩の除雪を行うことにより除雪作業が強化された。また、武生基地から今庄IC向けと鯖江IC向けに雪氷車両を同時に除雪できるようになり、効率的な除雪作業を行うことができた。

5. 今後の課題

チェーンチェック時の冬タイヤ装着率は、大型車は冬タイヤ装着率が高く、普通車の冬タイヤ装着率が低いため、今後は普通車に対する冬タイヤ装着の啓発活動が課題となった。

表-2 チェーンチェック時のタイヤ状況

チェーンチェック実施日	普通車(軽・普通)			貨物車(中型)			大型車(大型・特大)			大型車(トレーラー)			合 計	構 成 比		
	冬タイヤ	チェーン	なし	冬タイヤ	チェーン	なし	冬タイヤ	チェーン	なし	冬タイヤ	チェーン	なし		冬タイヤ	チェーン	なし
平成27年12月17日(木)	561	0	9	167	0	1	818	0	0	82	0	1	1,639	99.3%		0.7%
平成28年1月15日(金)	2459	0	13	387	0	0	1309	0	0	32	0	0	4,200	99.7%		0.3%
平成28年1月19日(火)	1,096	0	0	387	0	0	1309	0	0	32	0	0	3,258	100.0%		
平成28年1月23日(土)	1618	2	0	94	0	0	400	0	0	20	0	0	2,134	99.9%	0.1%	
平成28年1月24日(日)	1099	0	0	132	0	0	537	0	0	65	0	0	1,833	100.0%		
合 計	6,833	2	22	1,167	0	1	4,373	0	0	231	0	1	13,064	98.5%	0.0%	0.2%

ノーマルタイヤ車においては、チェーン規制が解除されるまで、南条SAでの待機又はスマートインターからの流出を促していた。しかし、スマートインターが6時～22時の時間限定運用であるため、ETC車の夜間流出及び非ETC車への対策が課題となった。

6. おわりに

平成27年度の冬期の雪氷対策作業については、平成26年度からの課題を踏まえ、改善した結果、概ね良好な結果となったと思慮される。

高速隊にご協力いただき、お客さまからの苦情やトラブルもなく、作業員の事故も起きなかった。

しかし、上記にも記載のとおり、今年度における課題が見つかった。普通車への啓発活動については、今年度も継続して簡易LED標識を増設して広報を強化する。

平成27年度は、有効活用車両を使用したことで、平成26年度と比較し、より効率的な雪氷対策作業を行うことができた。今後も有効活用車両を継続して使用できるように調整を図っていきたい。

今後も安心・安全な交通確保を目指して、雪氷対策作業を日々改善していきたい。

道路除雪で積み上げられた雪の強度 (主要因子を探るための予備実験)

河田剛毅*1, 池津和輝*2

1. はじめに

積雪地域では積雪そのものによる災害に加え、各種の除雪・消雪処理に伴う安全に関する問題が発生している。これらの中で私は道路除雪により路肩に形成される雪の壁(雪堤)が安全性に及ぼす影響と雪質の関連に着目した。雪堤のモデル図と雪堤の出来る工程を図1,2に示す。道路除雪は交通を円滑にするために必要であるが、最大高さ2[m]程度になる雪堤が別の危険な状況を生む。その一つが雪堤の崩れである。雪堤が崩れた場合、歩行者の妨げや、転落となり、また有効な道路幅の減少から車への被害や事故が発生する。雪堤の崩れが発生する原因として、自重により押し固められた雪が環境、異物の混入等の影響を受け脆弱になったことがあげられる。その事からあらゆる因子の中で最も崩れる影響となった主要因子を解明することを目的とした。そのため、雪堤を構成する雪を特徴づける砂利等の不純物の混入、積み上げ日が異なる雪層の境界、保存期間との影響をパラメータとして雪の力学的特性の評価を行った。

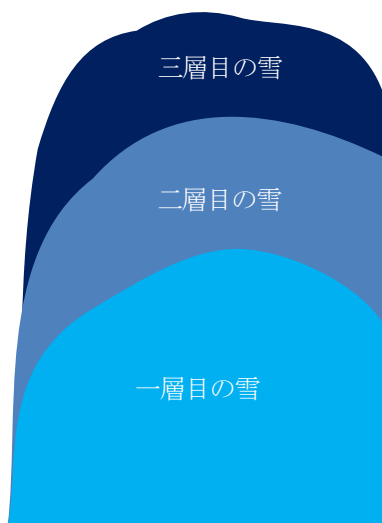


図1. 雪堤のモデル図

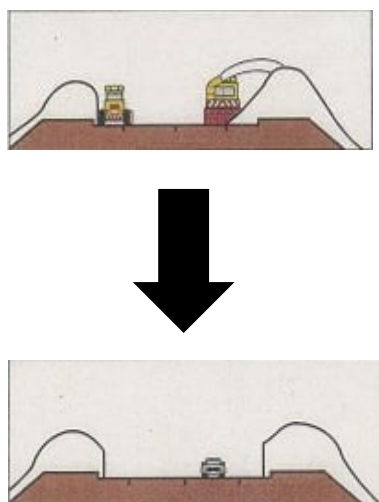


図2. 雪堤の出来る工程

2. 実験内容

2.1 雪層のひとつに対する強度評価

2.1.1 保存期間を変化させた場合

雪堤は作られてから、7-10日程で融けて無くなり、再度作られる。だが、中でも豪雪が続く事や気温0[°C]を下回る日が続く等環境により、10日以上雪堤が融けない事がある。現在では雪が長い期間保存されて強度や結晶構造が如何に変化

するか定かではない。本研究では保存期間による影響を調べる為7, 8, 14, 15, 30日保存した雪を用いたせん断強度試験を行った。使用する試料雪は温度0~1[°C]に保たれている低温室に高さ200[mm]、内径270[mm]、厚さ40[mm]の発泡パイプの中で試料雪を保存した。さらに断熱のため、四方を厚さ25[mm]の発泡板で覆い、発泡パイプと発泡板の間には水を充填した。

2.1.2 砂利混入の場合

一般に雪堤には不純物が多く混入している。凍結防止の際に撒かれる塩や消雪に使われる水等がある。その中でも特に砂利が多く混ざっていることがわかっている。また、一般的な雪堤は日を空けて雪が積みあげられて出来るので、複層構造になっている。そこで雪層のひとつに対して砂利の混入が力学的特性に与える影響を調べた。砂利は0.5[mm], 1.0[mm], 3.0[mm]の寸法を用意し、雪1000[g]に対して、砂利約75[g]を混入させた。また、混入量による影響も調べる為、砂利の混入量を増減させた試験も行った。実験終了後に試験片に混入している砂の重量を計測し砂利が均一に混入されているかチェックを行う。本研究で使用する試料雪は縦280[mm]、横400[mm]、高さ1000[mm]の大きさの断熱容器に充填し5[°C]に保たれている低温室で保存した。

2.2 積み上げ日が異なる雪層の強度評価

前述の通り、雪堤は複層構造になっている。その雪堤の境界が弱層となり、雪堤のバランスに悪影響を及ぼしている可能性がある。そこでそのような雪層の境目のせん断強度が保存期間による時間と自重による加圧力を変数としてどのように変わるかを調べた。使用する試料雪を作る手順として、5[°C]の低温室に縦200[mm]、横200[mm]、高さ600[mm]の大きさの断熱容器に一層目として高さ300[mm]まで雪を充填する。一週間経過後、1,2層目の境界がわかるようにチョークを粉末状にしたものを散布し、一層目と二層目の高さが合わせて600[mm]になるよう2層目を積み上げる。その後雪堤の自重による加圧力を考慮する為、充填した雪に約45[kg]の荷重をかけた。尚、荷重を雪に均一に掛ける為、重りと雪の間にビニール袋に入れた水をかませた。保存状態を図4に示す。

3. 実験方法

試料として用いる雪は天然のざらめ雪を基本とするが、その入手ができないときは製氷機による氷を削って作った粒子直径、形がほぼ等しい人工雪を用いる。

3.1 実験装置

*1 長岡工業高等専門学校

*2 長岡工業高等専門学校専攻科

3.1.1 せん断試験

せん断強度試験装置を図4に示す。試験片の変位量と、抵抗力はレーザー変位計とロードセルによって測定される。せん断試験は、試験片を挿入部に固定し、可動部をモーターで引っ張ることによってせん断強度を測る。

3.1.2 硬度試験

携帯式デジタルフォースゲージにより硬度を測定する。アタッチメントは直径1.5[cm]の円板を使用し、デジタルフォースゲージに取り付け、秒速10[cm]程の速さで1-2cm貫入させたところで止め、最大反抗力を測定する。

3.1.3 密度測定

保存した雪を縦100[mm]、横200[mm]、高さ300[mm]程度に切り出し、密度測定を行う。切り出した雪塊をビニール袋に入れ空気を抜き密封する。その後約0[°C]の水を入れた円筒容器にビニール袋に入れた雪塊を上からブロックを押し当て水中に沈める。事前に円筒容器の中の水の水位を測り、その後沈めた後の水位を測ることで、雪塊の体積を算出し、その体積と質量から密度を求める。

3.2 実験手順

実験の手順は雪層一つに対する強度評価、積み上げ日が異なる雪の強度評価共に同じであるが、後者は境界面に対してせん断強度試験、硬度試験、粒子観察を行う。

- (1). 試料雪を保存容器から取出し、密度測定を行う。
- (2). 試料雪から、縦100[mm]、横200[mm]、高さ60[mm]の試験片を切り出し、せん断強度試験を行う。尚、積み上げ日が異なる雪層の強度評価で使用する試料雪は1層目と2層目の境目が横100[mm]の辺りになるように試験片を切り出す。
- (3). 硬度試験を行う。
- (4). 粒子構造を評価するため、顕微鏡による粒子観察を行う。

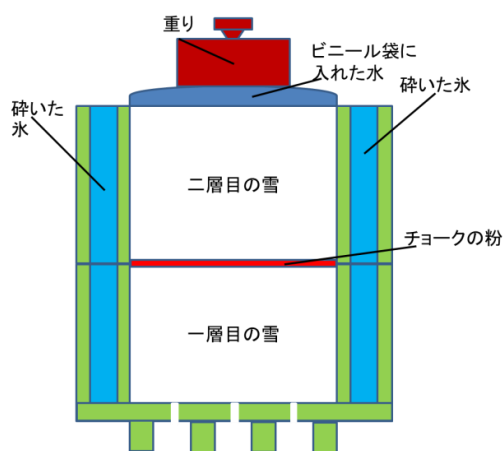


図3. 積み上げ日が異なる雪層の強度評価で用いる保存容器

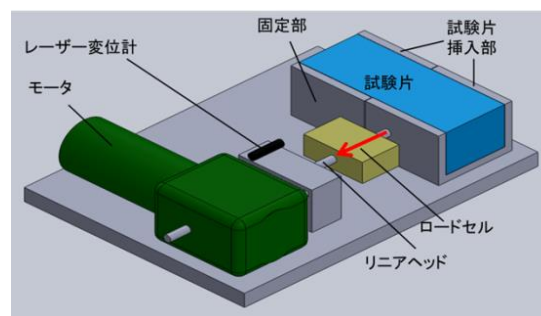


図4. せん断強度試験機

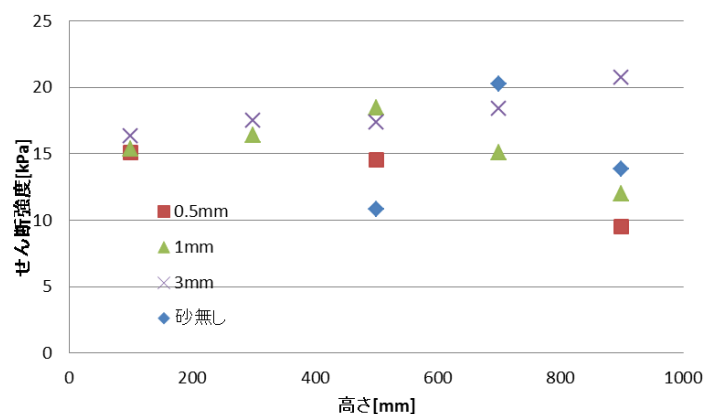


図5. 砂利混入に伴うせん断強度変化

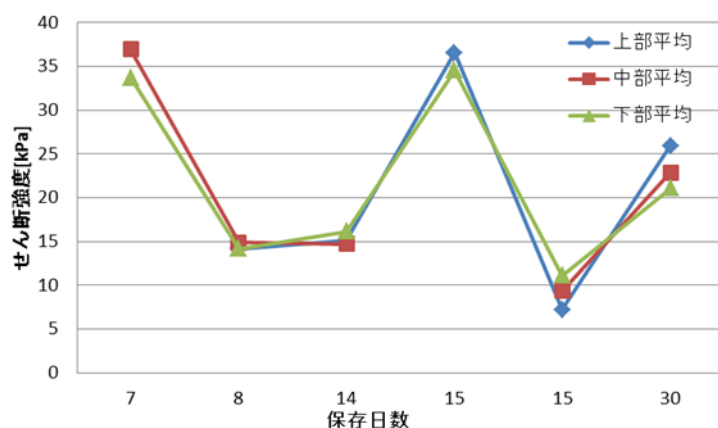


図6. 保存期間に伴うせん断強度変化

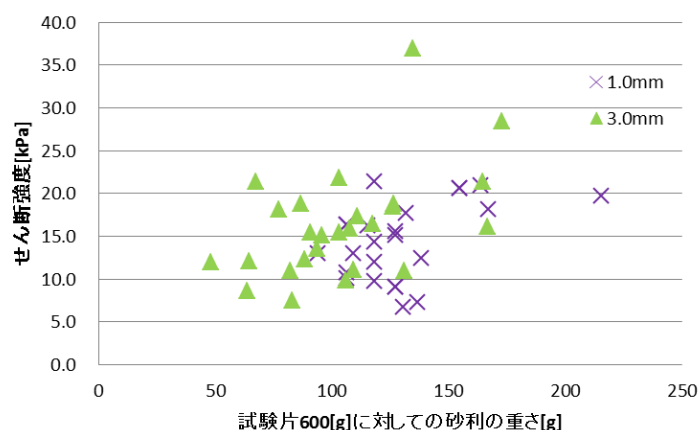
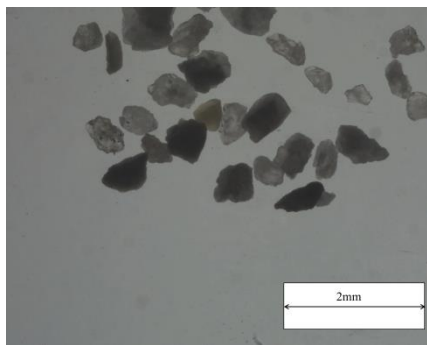
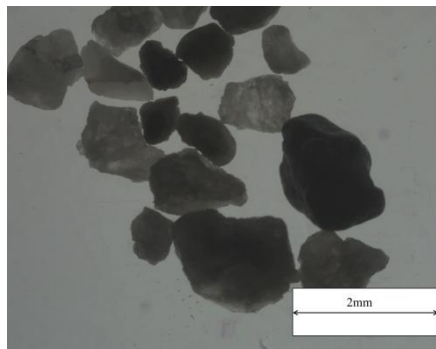


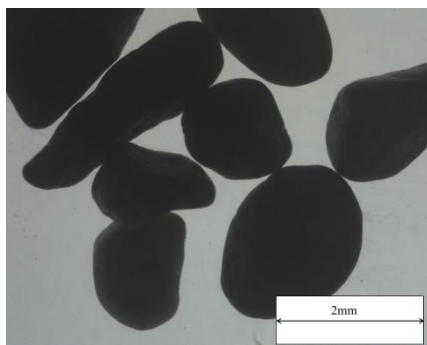
図7. 砂利混入度に伴うせん断強度変化



(a) 砂利寸法0.5mm



(b) 砂利寸法1.0mm



(c) 砂利寸法3.0mm

図8. 顕微鏡による各砂利の写真

4. 実験結果

以下、条件別に0.5[mm]、1.0[mm]、3.0[mm]の砂利を混入させた場合と砂利を混入させてない場合を「砂利0.5mm混入」、「砂利1.0mm混入」、「砂利3.0mm混入」、「砂利混入なし」とするまた、図の高さとは保存容器の上からの高さの場所から試験片を取り出したことを意味する。この高さにより受ける自重が変化する。

4.1 雪層一つに対する強度評価について

4.1.1 保存期間を変数とした場合

7, 8, 14, 15, 30日保存した雪を用いての実験で得られたせん断強度を図4に示す。保存期間に伴いせん断強度が変化していることがわかる。特に7日保存した場合はせん断強度が概ね37[kPa]と高く、8日・14日保存した場合は15[kPa]と低い結果になった。また、30日保存した際は、23[kPa]となった。雪は保存している間に融ける、固まる、結合のサイクルを行っていると考えられている。このサイクルにより保存期間毎に

せん断強度が変化している考えられる。

4.1.2 砂利混入の場合

各砂利寸法が混入している雪と砂利が混入していない場合の実験で得られたせん断強度を図3に示す。

初めに、砂利混入無しの特徴を説明する。せん断強度最少は10.5[kPa]、最大は20.2[kPa]であった。ばらつきがあるが、概ねせん断強度は15[kPa]だと推測できる。

二つ目に0.5mmの寸法の砂利を混入させた場合の特徴を説明する。最小のせん断強度は9.51[kPa]、最大で21.0[kPa]であった。高さが300[mm]から900[mm]でのせん断強度は概ね17[kPa]であるが、高さ100[mm]ではそれより低い値を取った。一般的な雪は保存している高さによる違いは出ない。しかし、砂利が混入している場合、自重により固くしまっている雪に対しては上記と同じだが、自重をほぼ受けてない上方の雪だと砂利の影響を十分に受け、せん断強度が低下していることがわかった。上方は砂利混入無しに比べ砂利0.5[mm]混入はせん断強度が低かった。砂利混入による影響が出ていると考えられる。しかし、下方では砂利混入無しの方がせん断強度が小さくなっている。自重を大きく受ける下方の雪では、砂利混入による影響は出ない。もしくは、砂利の混入によりせん断強度が大きくなっているかもしれない。

三つ目に、砂利の寸法1.0[mm]を雪に混入させた場合の特徴を説明する。最小のせん断強度は12.0[kPa]、最大で18.4[kPa]であった。砂利1.0[mm]混入の場合でも、自重をあまり受けない上方の雪のせん断強度が一番低い結果になった。砂利混入無しと比べると砂利0.5[mm]混入の場合と同様上方で砂利混入無しよりせん断強度は低くなっているが、下方では高くなっている。また、下方のせん断強度はさほどせん断強度に違いがない。

四つ目に砂利の寸法3.0[mm]を雪に混入させた場合の特徴を説明する。最少のせん断強度は16.3[kPa]、最大で20.7[kPa]であった。砂利混入3.0[mm]では、全てのせん断強度が16.0[kPa]以上となった。また、下方より自重をあまり受けない上方の雪のせん断強度が高い結果になった。これは砂利の寸法の大きさの違いによるせん断面の砂利の分布による影響が出ていると考えられる。砂利の混入量は重量で決めている為、0.5[mm]の砂利に比べ3.0[mm]の砂利の個数は少なくなっている。それにより、砂利3.0[mm]混入では試験片の中の砂利分布が不均一になってしまい、せん断面における砂利の量が少なくなってしまうと推測した。砂利混入無しと比べると、ほぼ砂利3.0[mm]混入のほうがせん断強度が高い結果になった。砂利の寸法が3.0mmの場合はせん断強度に変化は見られない。

続いて、砂利混入無しと各砂利寸法混入の比較を行う。上方では、砂利3.0[mm]混入を除いて、砂利混入無しより砂利を混入させた場合において、せん断強度が低下している。逆

に、下方では砂利混入無しの方がせん断強度は低い。これから、上方では砂利を入れることによりせん断強度は低下するが、下方では増加することがわかった。また、多少ばらつきはあるが、砂利の寸法が小さいほど、せん断強度が小さくなることがわかった。

顕微鏡により、各砂利寸法の写真を図8に示す。砂利は寸法が大きくなるにつれて角が取れている。砂利の寸法は0.5[mm]、1.0[mm]、3.0[mm]に分けているが各々若干小さい砂利や大きい砂利が含まれている。

今回硬度試験を試みたが、著者の試験の手順、試験環境に不備があったせいか数値が大きくばらついてしまった為、本研究での硬度試験に対する考察は割愛させて頂く。

4. 1. 3砂利混入量を変数とした場合

砂利混入変化によるせん断強度変化を図7に示す。図の横軸は雪1000[g]に対して、約75[g]を混入している場合100[%]としている。1.0[mm]の砂利の混入量を変化させた場合では、最少混入量75[%]に対してせん断強度は13.0[kPa]。最大混入量172[%]に対して19.7[kPa]であった。砂利の混入具合104[%]、109[%]の時にせん断強度は低い値を取っているが、ほぼ同等の混入具合の時でもせん断強度が高い値をとっているケースもある。3.0[mm]の砂利の混入量を変化させた場合では、最少混入量39[%]に対してせん断強度は11.9[kPa]。最大混入量138[%]に対して28.4[kPa]であった。こちらもせん断強度が低い値をとっているケースはあるが、ばらつきが多く一概には言えない。これらのことから砂利の混入量とせん断強度の関係性は無いという結論にいたった。

4. 2積み上げ日が異なる雪層の強度評価

境界面によるせん断強度試験の結果を図9に示す。一回目の最小せん断強度は24.3[kPa]、最大は45.3[kPa]となった。全体的にせん断強度は20[kPa]を超えており、境界面により、せん断強度が低下することは見受けられなかった。これは、雪堤における自重を考慮した圧力を加えた影響だと考えられる。雪堤の大きさは一般に2[m]前後である。その為本研究では、雪堤の高さ1[m]辺りの雪が受けている自重45[kPa]を保存している試料雪に加圧したので、その分試料雪が固くしまりせん断強度が増加したと考えられる。また、硬度試験を行った際こちらも高い値が出ている。続いて2回目の試験での特徴を説明する。二回目のせん断強度最小は9.2[kPa]、最大は46.2[kPa]となった。せん断強度46.2[kPa]、29.3[kPa]等高い数値もあるが、9.2[kPa]、11.5[kPa]等過半数の数値が20[kPa]を下回った。これは、境界によるせん断強度低下の低下が現れていると考えられる。しかし、一回目の試験では全体的にせん断強度は高かったため確証にはいたらない。今後の課題である。また、せん断強度試験最中のビデオ撮影より、境界面以外で割れが発生している、割れが曲がっている等の場合の数値は省いているので、境界面による試験を行っている事は

確かである。

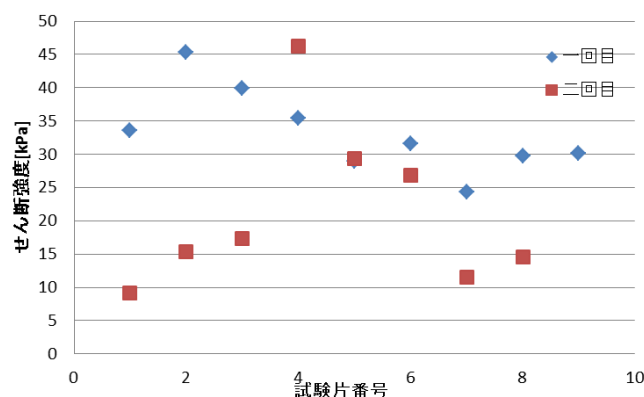


図9. 境界面におけるせん断強度

5. まとめ

雪害対策の一環として、道路除雪により形成される雪堤について不純物混入、保存期間に伴う雪質変化や複層構造によって形成される境界面等の様々な条件における雪の強度試験を行った。その結果得られた知見をまとめると以下の通りである。

- ・雪に砂利を混入させることにより、雪堤の上部の雪はせん断強度は低下する。雪堤の下部にあたる自重をかなり受ける雪は砂利を混入させてもせん断強度はさほど変わらない。また、一般的な雪堤に含まれている砂利は雪1000[g]に対して、約75[g]を混入している。本研究では、前述の混入具合とすると、砂利混入100[%]とした。砂利混入75[%]、170[%]等せん断強度試験を行ったが、混入具合とせん断強度に明確な関係は見受けられなかった。そして、保存日数によりせん断強度は大きく増減したが、関係性はまだ調査しきれていない。
- ・雪堤の複層構造に着目し、それらの境界面を模した試験片を作りせん断強度試験した。境界面によりせん断強度が低下した結果は得られたが、せん断強度が増加している事象もあり、まだ確証には至っていない。

6. 今後の展望

雪は、保存期間や自重の影響により、全く異なった性質の雪になってしまう。なので、保存期間、加圧力を変えるなど個々の条件によって如何に性質が変わるのか今後明らかにしていきたい。それと、積み上げ日が異なる雪層に不純物を混入させ、せん断強度が低下するののかも合わせて検証していく所存である。

参考文献

- 1) 携帯式荷重測定器による積雪硬度の測定と木下式硬度計との比較 佐藤威、阿部修、小杉健二、納口恭明 日本雪氷学会誌 雪氷 64巻1号(2002年1月) 87-95頁

新しい非塩化物系凍結防止剤の融氷特性と植物に対する害に関する研究

佐藤賢治^{*1}、藤本明宏^{*1}、中島知幸^{*1}、徳永ロベルト^{*1}、
高橋尚人^{*1}、石田樹^{*1}、中島範行^{*2}

1. 研究の背景

積雪寒冷地域において、安全・安心な冬期道路交通の確保は重要な課題であり、道路管理者は凍結防止剤散布などの凍結路面对策を重点的に実施してきた。

凍結防止剤散布には、融氷特性や価格面に優れた塩化ナトリウム（以下、塩ナト）が主に利用されているが、反面、散布による道路構造物などの沿道環境への負荷が懸念されている。このため、沿道環境への負荷が小さい凍結防止剤の開発は重要な課題である。

2. 研究の目的

筆者らは、沿道環境への負荷が小さい凍結防止剤を開発するため、主に食品添加物として利用されるプロピオン酸ナトリウム（以下、プロナト）の実用可能性に関する研究を実施してきた。

筆者らは、これまで、凝固点、有害物質含有の有無、金属腐食性および路面すべり改善効果に関する散布試験を実施した。その結果、プロナトおよび塩ナトとプロナトの重量比8:2混合物（以下、混合物）は、塩ナトと比べて金属腐食性が抑えられかつ路面のすべり抵抗値を同程度に改善できることを確認した¹⁾。

本研究では、冬期道路管理におけるプロナトの利用・普及へ向けた検討の一環として、プロナトおよび混合物の融氷特性および植物の生育に与える影響を調べた。

3. 融氷特性に関する試験

3.1 試験概要

試験条件を表1に示す。融氷量試験は、寒地土木研究所内の低温恒温槽で実施した。低温恒温槽は、-25～0℃の範囲で温度制御が可能である。試験対象剤は、プロナトおよび混合物とした。また、比較用に従来凍結防止剤として使用されている塩ナトを対象とした。

試験実施手順を以下に示す。

- 試験対象剤を5gずつ重量計で量り、必要数取り分ける、
- バットに水道水200mlを入れ、室温-5℃の設定で水を凍らせる、
- 凍結後、室温を試験温度に設定し、室温および氷面温度が安定するまで養生する、
- 試験対象剤を氷表面に散布し、各経過時間後における融出水の質量（以下、融氷量）を計測する（写真1、2）。

融氷量は、吸水性の高い紙で融出水を吸い取った後、紙をコップに入れて重量計（最小表示単位0.1g単位）で計測した。融氷量は、同一条件に付き3サンプル測定し平均化した。

表1 融氷量試験条件

試験容器	ステンレスバット L*W*H=185*140*27(氷面積:0.02m ²)
試験対象剤	塩ナト(純度99.5%) プロナト(純度99.0%以上) 混合物(塩ナト+プロナト 重量比8:2)
剤の粒径	0.3～1.0 mm(ふるいがけ)
散布量	5 g(250 g/m ²)
試験温度	-2、-5、-8、-15℃
経過時間	5、10、20、30、60、120、180、360 分



写真1 薬剤散布状況



写真2 融出水の吸取り状況

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所

*2 富山県立大学

3.2 試験結果

各試験温度における融水量の経時変化を図1に示す。

試験温度-2℃の結果を述べる。全試験対象剤で経時的な融水量増加の傾向が、全試験温度中、最も顕著に表れた。特徴として、プロナトの融水量は、散布後30分まで塩ナトおよび混合物の融水量と比べて多かったが、散布後60分で逆転した。散布後360分の融水量は、塩ナト、混合物、プロナトの順に多い。

試験温度-5℃の結果を述べる。-2℃同様、経時的な融水量増加の傾向が表れたが、増加の割合および試験対象剤毎の融水量差は小さくなった。また、-2℃同様、時間経過に伴う融水量の逆転が観られた。

試験温度-8℃の結果を述べる。前述の試験温度と比べて、経時的な融水量増加の割合は更に小さくなり、散布後5分から散布後360分までの各経過時間における試験対象剤毎の融水量はほぼ同程度になった。

試験温度-15℃の結果を述べる。全試験温度中、経時的な融

水量増加の割合は最も小さくなり、散布後 60 分からの融水量は全試験対象剤ではほぼ同様だった。また、プロナトおよび混合物の融水量は、全ての経過時間で塩ナトの融水量をわずかに上回った。

3.3 考察

以上の結果より、プロナトおよび混合物は、塩ナトと同様に温度が低下すると融氷性能が低下することを確認できた。また、プロナトの融水量は、散布直後において塩ナトおよび混合物の融水量を上回るが、-15℃を除き、散布後60～120分で融水量が逆転することがわかった。さらに、混合物は、塩ナトと比べて360分経過後の融水量が同程度だった。

試験温度-8℃および-15℃の極低温下では、散布後360分の融水量が全試験対象剤ではほぼ同程度かつ融氷効果が極めて低下していることから、プロナトおよび混合物を凍結防止剤に使用する場合においても、塩ナトと同様、-8℃程度以上の気温条件下での散布が効果的である²⁾と考えられる。

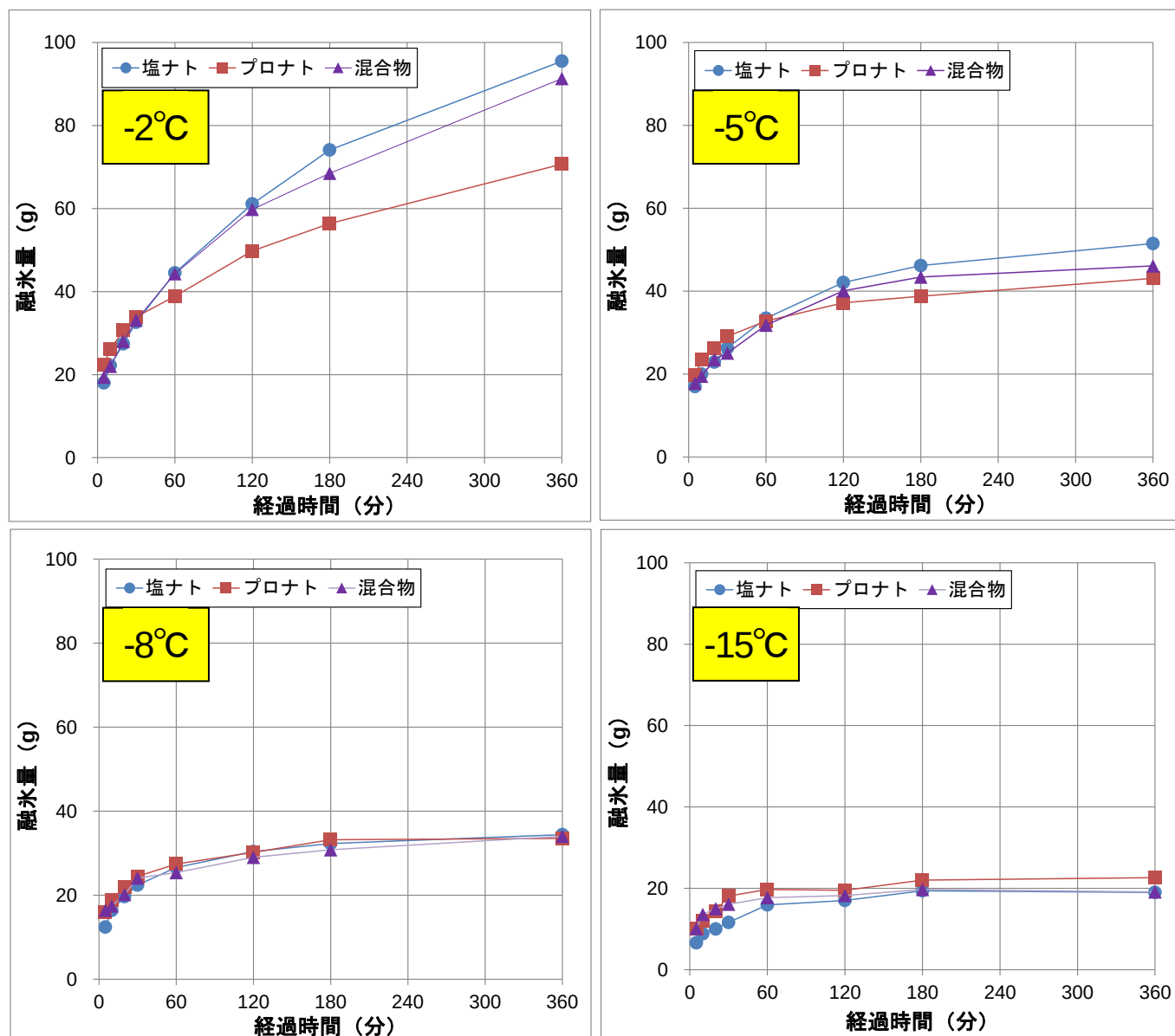


図1 融水量の経時変化

4. 植物に対する害に関する栽培試験

4.1 試験概要

プロナトが植物の生育へ与える影響を確認するため、植物に対する害に関する栽培試験の方法³⁾に準拠して、こまつなを供試植物とした栽培試験を実施した。

本試験では、こまつなの生育土壌へ混合する試験対象剤の種類および添加量を変え、それぞれの条件における発芽、葉長および生体重を調べた。

当該栽培試験は、肥料取締法によって、普通肥料を登録する際に義務づけられている。既往の研究では、明嵐ら⁴⁾、樋口⁵⁾がこれに準拠した試験を実施し、凍結防止剤がこまつなの生育に与える影響を評価している。

試験条件を表2に示す。本試験では、融氷量試験と同様に塩ナト、プロナトおよび混合物を試験対象剤とした。

試験方法について述べる。i) 供試土壌 500 ml に対して、N、P₂O₅およびK₂Oとして35 mgに相当する化学肥料の硫酸アンモニア、過りん酸石灰および塩化カリウムを施肥する、ii) 試験対象剤を1 mmのふるいを通して均質化し、施肥後の供試土壌に添加してよく混和した後、試験容器に詰める、iii) 土壌水分を最大容水量の約60%に調節し、こまつなの種子を試験容器あたり20粒播種する、iv) 後述する管理方法で栽培し、播種後21日目に収穫する。

試験対象剤の添加量は、1、2、4および8 gとした。本添加量は、仮に試験対象剤を土壌表面に散布し、その全てが土壌中に混入した場合、100、200、400および800 g/m²の散布量に相当する。この他、試験対象剤を添加しない土壌（以下、無添加）を比較のため用意した。また、植物の成長における個体差の影響を考慮して、それぞれ2サンプル（鉢）ずつ用意した。

試験期間中の管理方法について述べる。試験期間中の栽培温度は15～25℃の範囲とした。試験開始後約10日間は最大容水量の50～60%を保つように減水分を補給し、その後は作物の生育に応じて適宜給水した。なお、試験期間中の追肥および農薬散布は実施していない。管理状況を写真3に示す。

発芽調査は、こまつなの種子の発芽数（本）を目視測定した。葉長調査は、発芽したこまつなの草丈（mm）を測定し、結果をその合計値とした。生体重調査は、発芽したこまつな

の地上部を収穫し、結果をその生体重（g 鉢）の合計値とした。なお、各調査結果は、2 サンプル（鉢）の平均値を採用した。併せて、植物の生育に影響を与える様々な要素の中から水素イオン指数（pH）および塩化物イオン（Cl⁻）濃度を抽出し、こまつな採取後の土壌でそれぞれ調査した。

4.2 試験結果

試験結果を表3に示す。また、21日目（収穫前）の生育状況を写真4に示す。

発芽数について述べる。無添加は、7日目に20本全てが発芽した。塩ナトの1 gおよび2 gでは、7日目に19.5～20本発芽したが、4 gおよび8 gでは14日経過しても一切発芽しなかった。また、塩ナトの2 gでは、黄化の異常症状が観られた。プロナトの1 gでは、7日目に20本全てが発芽したが、2 g以上では14日経過しても一切発芽しなかった。混合物の1 gおよび2 gでは、7日目に20本全てが発芽したが、4 gでは、14日経過で2本しか発芽せず、8 gでは、14日経過しても一切発芽しなかった。

21日目の葉長について述べる。無添加は、128 mmであった。プロナトの1 gでは、無添加と同程度の122 mmであり、塩ナトおよび混合物の1 gと2 gは、無添加と比べて低い値であった。生体重は、葉長とほぼ同様の結果であった。

4.3 考察

プロナトの1 gは、無添加と同程度の生育だったが、2 g以上で一切発芽しなかった。この要因の一つには、土壌のpHが考えられる。こまつなはpH5.5～6.5程度の微～弱酸性の土壌を好適とする⁶⁾ため、無添加でpH5.2、1 gでpH6.4の微～弱酸性土壌が、プロナト2 g以上の添加でpH7.7～9.3程度の弱アルカリ性土壌になったことにより、発芽が阻害されたと考えられる。

塩ナトおよび混合物の1 gは、無添加と比べて葉長および生体重とも7～8割程度だった。これは、いずれも塩ナトがこまつなの生育を阻害したと考えられる。ただし、混合物の

表2 栽培試験条件

試験容器	ノイバウエルポット d*H=113*65（表面積0.01m ² ）
試験対象剤	無添加土壌 塩ナト（純度95%以上） プロナト（純度99%以上） 混合物（塩ナト+プロナト 重量比8:2）
剤の粒径	1.0 mm未満（ふるいがけ）
土壌添加量	1, 2, 4, 8 g
室内温度	15～25℃



写真3 管理状況

表3 こまつな栽培試験結果

調査内容	経過 日数	無添加	塩ナト				プロナト				混合物 (塩ナト+プロナト(重量比8:2))			
			1 g	2 g	4 g	8 g	1 g	2 g	4 g	8 g	1 g	2 g	4 g	8 g
発芽数(本)	7日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0
	10日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0
	14日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	2.0	0.0
葉長(mm)	14日	90.0	70.0	38.0	0.0	0.0	81.0	0.0	0.0	0.0	90.0	63.0	5.0	0.0
	21日	128.0	97.0	53.0	0.0	0.0	122.0	0.0	0.0	0.0	105.0	85.0	9.0	0.0
生体重(g/鉢)	21日	7.73	6.29	1.13	0.00	0.00	7.87	0.00	0.00	0.00	5.42	4.52	0.26	0.00
pH	21日	5.2	5.1	5.3	5.5	5.3	6.4	7.7	8.6	9.3	5.3	5.5	6.1	6.5
塩化物イオン濃度(mg/g)	21日	0.016	0.800	1.900	4.400	9.200	0.017	0.034	0.039	0.026	0.860	1.700	4.200	6.900
異常症状		なし	なし	黄化	発芽不良	発芽不良	なし	発芽不良	発芽不良	発芽不良	なし	なし	発芽不良	発芽不良



写真4 21日目（収穫前）の生育状況

1 gおよび2 gでは、塩ナトの同添加量と比べて、一部を除き葉長および生体重が良好だったことや、わずかであるが4 gで発芽したのは混合物のみであること、さらに塩ナトの2 gで観られた黄化の異常症状が混合物の2 gでは観られなかったことから、塩ナト単体よりも相対的に塩ナトの量が少なくなる混合物の方がこまつなの生育に対して害が少ないと考えられる。

今回、こまつなを対象に試験を行ったが、実道への適用を検討する場合には、土壌条件や植生の多様性を考慮して、試験条件を設定することが望ましい。

5. まとめと今後の課題

本研究では、融氷量試験および栽培試験を実施し、プロナトおよび混合物の融氷特性および土壌添加量によるこまつなの発芽、葉長および生体重などの生育状態の違いを確認した。

融氷量試験から、以下のことを確認した。

- (i) プロナトは、塩ナトと比べて融氷の即効性がある
- (ii) 混合物は、融氷効果が塩ナトと同程度である
- (iii) プロナトおよび混合物の融氷効果は、塩ナトと同様、温度の低下とともに弱まる

栽培試験から、以下のことを確認した。

- (i) 混合物は、塩ナトと比べてこまつなの発芽、生育に与える害が小さい

今後は、プロナトの実用化や普及を進めるために、実道での散布を想定した施工性の検討等を実施する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤ら：新しい非塩化物系凍結防止剤の環境性能と路面すべり抵抗改善効果について、寒地土木研究所月報、No.753、pp.34-38、2015
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)、p.16、1997
- 3) 昭和59年4月18日農蚕第1943号農林水産省農蚕園芸局長通知
- 4) 明嵐ほか：非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書、2003
- 5) 樋口壮太郎：廃棄物処理処分に伴い排出される副生塩のリサイクルシステムの構築に関する研究、2013
- 6) 財団法人日本土壌協会：土壌診断によるバランスのとれた土づくり、p.12、2008.

近赤外線およびマイクロ波を用いた路面状態評価について

中島知幸*1、高橋尚人*1、舘山一孝*2、高瀬雄麻*3、星野聖太*3

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、路面上の雪水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、平成27年度に実施した、近赤外線およびマイクロ波を使用した野外試験について報告する。

2. 光学式センサーに関する既往研究

路面状態の評価に用いられる光波等は、①可視光(およそ380nm~780nm)、②近赤外線(およそ780nm~2500nm)および③マイクロ波(1mm~1m程度)に分類される。

① 可視光を用いた路面状態評価に関する研究

村田ら²⁾はCCTVカメラ画像の輝度やエントロピーの範囲等を解析して路面状態を判別する技術開発に取り組んだ。CCTVカメラ画像を用いるので装置を低コストで用意できるが、可視光であるため、道路照明がある地点でしか夜間の路面判別ができない。Alimasi³⁾らは可視光源の反射光を解析し路面状態を判別する技術開発に取り組んだ。周辺光の干渉を受けないよう覆いを必要とし、受光部を路面に近づける必要があるため受光部が汚れやすい。

② 近赤外線を用いた路面状態評価に関する研究

水や氷が特定波長の近赤外線を吸収する性質を用いて路面状態判別する研究が進められている(Jonssonら⁴⁾、堤ら⁵⁾、Casselgrenら⁶⁾)。太陽光の影響を補正することが必要になるが、装置は低コストである。

③ マイクロ波を用いた路面状態評価に関する研究

地球の水環境の衛星観測などに用いられてきた。路面判断では、渡邊ら⁷⁾、高橋ら⁸⁾がマイクロ波の輝度温度と放射率を用いた路面判断技術の開発に取り組んできた。

マイクロ波放射計は高価だが、太陽光の影響を受けない。

以上より、技術の汎用性・実用性に優る近赤外線およびマイクロ波を対象として検討を行った。

3. 路面計測試験

3.1 試験概要

本試験は、2015年8月31日~2015年9月1日の夏期2日間と2016年2月1日~2016年2月3日の冬期3日間、北見工業大学第1総合研究棟屋上で実施した。近赤外線およびマイクロ波を使用して、同条件で計測を実施した。

近赤外線およびマイクロ波放射計を用いた計測システムをそれぞれ写真1および写真2に示す。測定対象の舗装路面として40cm×40cmの密粒度アスファルト舗装供試体を使用し、反射光の強度測定には可視赤外分光放射計およびマイクロ波放射計を使用した。また、近赤外線の計測では、特定角度で光を照射および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、光源はハロゲンランプ(50W)を使用した。水膜厚および氷膜厚の計測には、NASA水膜厚計(写真3:左)および塗膜厚計(写真3:右)を使用した。可視赤外分光放射計とマイクロ波放射計の仕様を表1に示す。

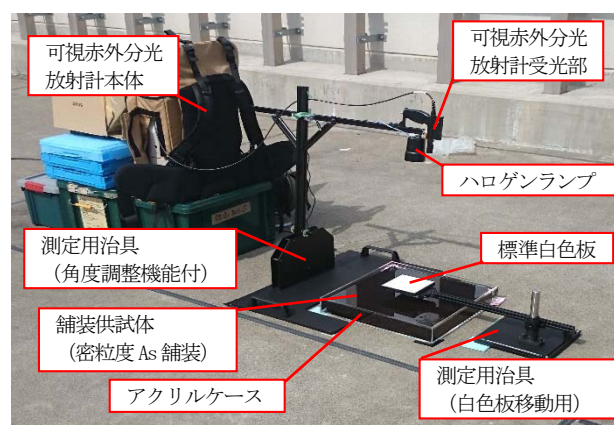


写真1 計測システム(近赤外線)



写真2 計測システム(マイクロ波)

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 *2 北見工業大学 *3 北見工業大学大学院



写真3 膜厚計（左：NASA水膜厚計、右：塗膜厚計）

表1 放射計仕様

装置名	使用波長
近赤外線放射計	350nm～2500nm
マイクロ波放射計	6GHz、18GHz、36GHz（冬期のみ使用）

3.2 夏期試験（乾燥路面と湿潤路面）

夏期試験では、乾燥路面および湿潤路面の計測を昼間および夜間に実施した。試験条件を表2に、試験状況（マイクロ波）を写真4に示す。湿潤路面の作成には純水、濃度3.5%NaCl水溶液および濃度8.0%NaCl水溶液を使用し、水膜厚を維持するために、アクリルケース内に舗装供試体を設置し、純水を順次追加した。また、計測条件を合わせるために、乾燥路面の計測でもアクリルケース内に舗装供試体を設置した。

表2 計測条件（夏期試験）

日時	2015年8月31日19:30～2015年9月2日11:30		
場所	北見工業大学 第1総合研究棟屋上		
天候	晴れ時々曇り		
路面状態	乾燥、湿潤（純水、濃度3.5%NaCl水溶液、濃度8.0%NaCl水溶液）		
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体		
水膜厚	0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm		
近赤外線	光源	ハロゲンランプ（50W）	
	照射角度	（水平から）45°、55°、65°、75°、85°	
	受光角度	照射角度と同じ	
マイクロ波	周波数	6GHz、18GHz	
	受光角度	（水平から）35°	



写真4 夏期試験状況（マイクロ波）

近赤外線による試験手順について述べる。

- 85°の角度に光源および可視赤外分光放射計受光部を設置し、舗装供試体からの反射光を計測する。
- 供試体上に標準白色板を設置し、反射光を計測する。

- i)からii)を75°、65°、55°および45°で計測する。
 - 湿潤路面（純水、濃度3.5%および8.0%NaCl水溶液）の水膜厚0.5mm、1.0mm、1.5mmおよび2.0mmで計測する。
- 次に、マイクロ波による試験手順について述べる。
- 6GHz、18GHzのマイクロ波放射計を設置し、舗装供試体を観測する。
 - 湿潤路面（純水、濃度3.5%および8.0%NaCl水溶液）の水膜厚0.5mm、1.0mm、1.5mmおよび2.0mmで観測を実施する。

3.3 冬期試験（乾燥路面および凍結路面）

冬期試験では、乾燥および凍結路面の計測を夜間に実施した。試験条件を表3に、試験状況を写真5に示す。

近赤外線による試験手順について述べる。

- 85°の角度に光源および可視赤外分光放射計受光部を設置し、舗装供試体からの反射光を計測する。
- 供試体上に標準白色板を設置し、反射光を計測する。
- i)からii)を75°、65°、55°および45°で観測する。
- 凍結路面（純水）の氷膜厚0.5mm、1.0mm、1.5mmおよび2.0mmで計測する。

次に、マイクロ波による試験手順について述べる。

- 6GHz、18GHzおよび36GHzのマイクロ波放射計を設置し、舗装供試体を観測する。
- 凍結路面（純水）の氷膜厚0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mmおよび3.0mmで観測を実施する。

表3 計測条件（冬期試験）

日時	2016年2月7日17:50～2016年2月8日20:00		
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(純水)		
計測対象路面	密粒度アスファルト舗装供試体		
氷膜厚	0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm		
近赤外線	光源	ハロゲンランプ(50W)	
	照射角度	(水平から)45°、55°、65°、75°、85°	
	受光角度	照射角度と同じ	
マイクロ波	周波数	6GHz、18GHz、36GHz	
	受光角度	(水平から)35°	



写真5 冬期試験状況（近赤外線）

4. 試験結果

4.1 近赤外線による乾燥路面の計測結果

夜間および昼間の乾燥路面の計測結果を図1および図2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。夜間の反射率は角度依存性が高く、角度が大きくなるにつれて大きくなる。また、各角度間で波形は類似している。一方、昼間の計測結果は、夜間の計測結果と波形の形状が異なる。この要因は、大気中の水分等により、地表付近では太陽光が殆ど存在しない1400nm付近において、夜間の計測結果と類似していることから、太陽光の影響と考えられる。

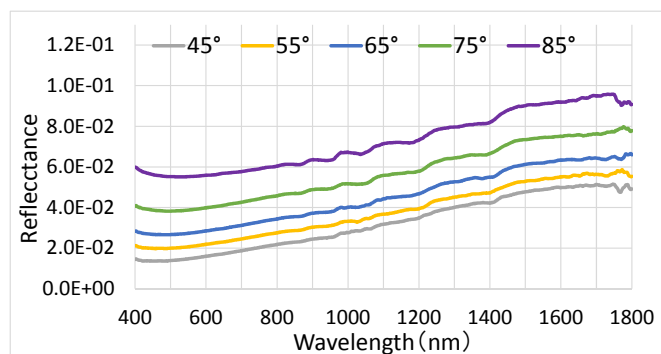


図1 乾燥路面(夜間)計測結果

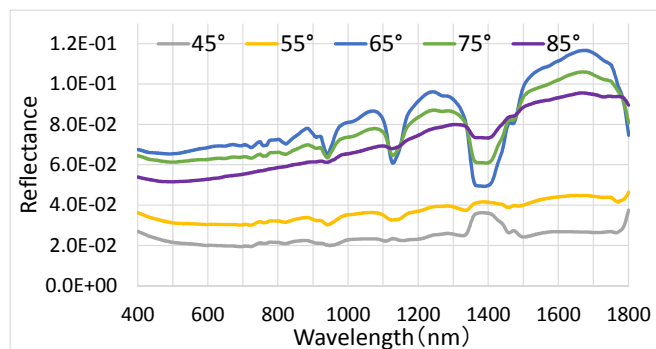
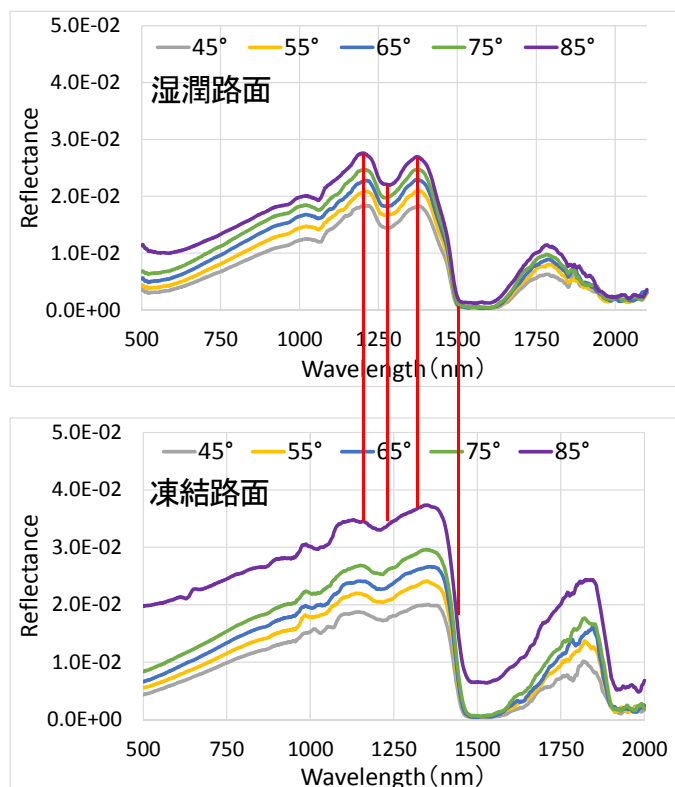


図2 乾燥路面(昼間)計測結果

4.2 近赤外線による湿潤路面および凍結路面の計測結果

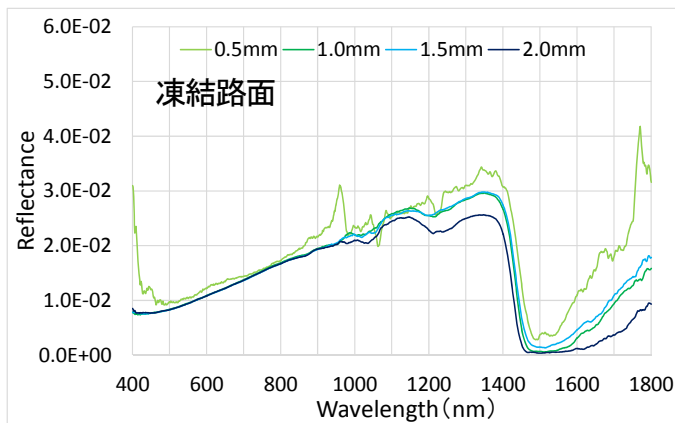
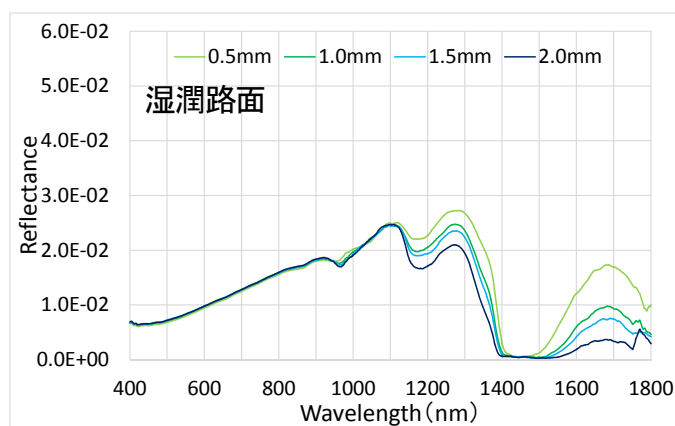
夜間の湿潤路面および凍結路面の計測結果を図3に示す。湿潤路面および凍結路面では、乾燥路面と同様に角度依存性が高く、角度が大きくなるにつれて反射率が大きくなり、各角度間で波形は類似している。しかし、図1に示す乾燥路面の波形と、図3に示す湿潤および凍結路面の波形は、明らかに形状が異なる。また、湿潤路面と凍結路面の波形についても、山や谷といった極値の存在する波長や1400nm付近の吸光作用のある波長が異なり、波形の形状が異なる。

次に、夜間に75°で計測した湿潤路面および凍結路面の膜厚別の計測結果を図4に示す。湿潤路面および凍結路面ともに、膜厚が異なる場合に、反射率が異なる波長が存在する。



(上：湿潤路面、下：凍結路面)

図3 湿潤および凍結路面(夜間、純水 1.0mm)計測結果



(上：湿潤路面、下：凍結路面)

図4 湿潤路面および凍結路面(夜間、75°、純水)計測結果

4.3 マイクロ波による乾燥路面および湿潤路面の計測結果

マイクロ波を用いた乾燥路面および湿潤路面の計測結果を図5に示す。ここで、マイクロ波の周波数は6GHzと18GHzであり、Vは垂直偏波、Hは水平偏波である。横軸は水膜厚、縦軸は放射率を示す。放射率はマイクロ波放射計で計測できる輝度温度を、舗装供試体の温度で除したものであり、物体および状態固有の値を示す。図5から、水の有無により、放射率が大きく変化していることがわかる。また、水膜厚が増加すると、放射率は減少するが、水膜厚1.5mmでほぼ増減なし、もしくは増加に転じている。

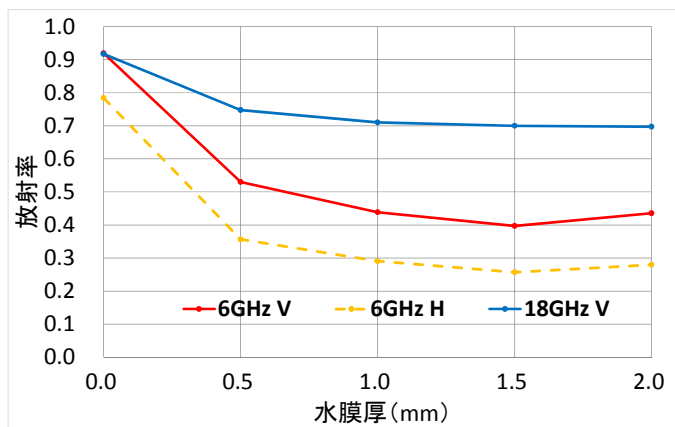


図5 湿潤路面(夜間、純水1.0mm)計測結果

4.4 マイクロ波による乾燥路面および凍結路面の計測結果

マイクロ波を用いた乾燥路面および凍結路面の計測結果を図6に示す。マイクロ波の周波数は6GHz、18GHzおよび36GHzである。氷の有無により、6GHz、18GHzおよび36GHzの水平偏波(H)で放射率が変化している。また、氷膜厚が増加すると、18GHzおよび36GHzの水平偏波の放射率が増加するが、36GHzの水平偏波では氷膜厚1.4mmで減少に転じている。

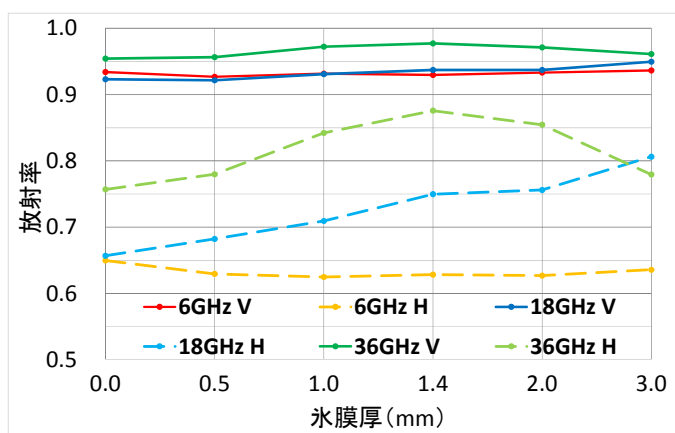


図6 湿潤路面(夜間、純水1.0mm)計測結果

5. まとめ

近赤外線およびマイクロ波により、乾燥、湿潤および凍結

路面を計測した。

近赤外線では、昼間の計測結果は太陽光の影響が大きく、補正方法の検討が必要になるため、まず夜間の計測結果を用いて検討を行った。夜間の計測結果では、乾燥、湿潤および凍結路面は、反射率-波長の波形の形状が異なるため、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、湿潤路面および凍結路面では膜厚が変化すると反射率が変化する波長があることから、水膜厚および氷膜厚についても推定できる可能性がある。

マイクロ波では、水および氷の有無による放射率の変化が確認できたことから、路面状態の判別が可能であると考えられる。また、水膜厚および氷膜厚が変化すると、放射率が変化する周波数があることから、水膜厚および氷膜厚についても推定できる可能性がある。

今後、圧雪路面の試験を実施し、今回得られたデータについて詳細な解析を進める予定である。

参考文献

- 1) 北海道開発局、1997：冬期路面管理マニュアル(案)
- 2) 村田藤麿、吉田 健一、上原麻子：画像情報を活用した路面判別技術に関する基礎研究、第18回ゆきみらい研究発表会、2006。
- 3) Nuerasimuguli ALIMASI、高橋修平、日下稜、大久保雅文：光学式路面凍結検知システムの開発(4)-2012年陸別地域の路面観測-、北海道の雪氷、No.31(2012)、pp69-72、2012。
- 4) Patrik Jonsson、Torgeir Vaa、Felix Dobslaw and Benny Thömborg、Road condition imaging - model development、Transportation Research Board 94th Annual Meeting、2015。
- 5) 堤大祐、波通隆、堀武司、長尾信一、渡辺伸央、村上康之、磯田和志、池上貴志樹：近赤外光吸収画像による水・氷の検知に関する研究(第二報)、北海道立工業試験場報告 No.298、pp145-150、1999。
- 6) Johan Casselgren : Road Surface Characterization Using Near Infrared Spectroscopy、doctoral thesis、Luleå university of technology、2011、<http://www.opticalsensors.se/roadeye.html>
- 7) 渡邊直樹、榎本浩之、舘山一孝、山本朗人、田中聖隆、高橋修平、岩本明子、佐々木亮介、ヌアスムグリ・アリマス：マイクロ波放射計を用いた路面状態自動判別システムの開発、雪氷、73(4)、pp213-224、2011。
- 8) 高橋尚人、徳永ロベルト、切石亮、山本朗人、田中聖隆、榎本浩之、舘山一孝、高橋修平：マイクロ波放射計を用いた冬期路面のすべり抵抗値評価に関する研究、第27回寒地技術シンポジウム、pp115-119、2011。