

# 融雪期の大雪と急激な温度上昇による全層雪崩の対策工について

伊藤 文夫<sup>\*1</sup>、佐藤 博則<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

### 1.1 概要

融雪期における季節はずれの大雪と急激な温度上昇によって、沢本筋および沢を包括する斜面から短時間で雪崩防護工および橋梁付近に大量のデブリが堆積し、さらに、その上部を本筋上流からの全層雪崩が滑落し橋梁上部に衝突した。これにより橋梁上部工が下流側に水平移動し、支承部が固定となり、主桁が変形した。

### 1.2 被災箇所・被災年月日

#### 1) 位置・路線名及び被災橋梁名

北海道河西群中札内村南札内 373 林班地先  
主要道道静内中札内線ペンケチャップ橋

#### 2) 被災年月日及び異常気象名

平成 24 年 3 月 30 日および 4 月 11 日の雪崩



図 1 被災箇所位置図

## 2. 地域の概要

中札内村は人口約 4,000 人で、北海道十勝の中南部に位置し、西側は日高山脈が連なり、山間部は日高山脈よりも国定公園に指定されている。この日高山脈から流れ出る十勝川の 3 大支流のひとつでもある、清流日本一の札内川によって形成された十勝平野に散居集落が広がっている。

被災橋梁「ペンケチャップ橋」が架けられている主要道道静内中札内線は、北海道新ひだか町（旧静内町）を起点とし、日高山脈を横断し、中札内村を終点とする全体延長 101km の北海道道で、急峻な地形を通過する山岳道路であり、随所に覆道、トンネル、橋梁等が介在するほか、未整備区間等があり、11 月上旬から 5 月下旬まで交通を閉鎖している区間もある。

札内川ダムの管理や帯広市、音更町、幕別町、芽室町、池田町、中札内村、更別村の水源管理のために欠かせない道路となっている。

## 3. 被災の状況

平成 24 年 5 月 2 日に静内中札内線の除雪踏査のため本路線に入ったところ、“ペンケチャップ橋”路面に雪崩あと（積雪）が確認された（写真 1）。

平成 24 年 5 月 3 日に現地測量および周辺調査や測量を実施したところ、山側の橋梁防護柵が大きく変形し、橋梁全体が谷側に 4cm 程度水平移動し、山側主桁も全体的に変形している状況であった。被災箇所近隣の上札内アメダスの観測では、3 月 24 日にかけて 24cm の降雪があり、29 日から高気圧に覆われ 12.4℃に達し、30 日には 8mm の降雨もあった。



写真 1 雪崩衝突状況全体撮影

さらに、4月3～6日には31cmの降雪があり、9～13日にかけて最高気温は11.2℃に達したものである。当該現場は平成10(1998)年にも被災しているが、当時の気象条件から、降雪量が多い日の後、気温が10℃程度まで上昇した場合、雪崩が発生しやすいことが判明している。

これにより、融雪期の大雪と急激な温度上昇により、沢本筋および沢を包括する斜面から短時間で雪崩防護工および橋梁付近に大量のデブリが堆積し、さらに、その上部を本筋上流からの全層雪崩が滑落し、橋梁上部に到達したと推察できる。よって、当該現場では、3月30日と4月11日頃の2度にわたる雪崩が発生したものと推察した(図2)。

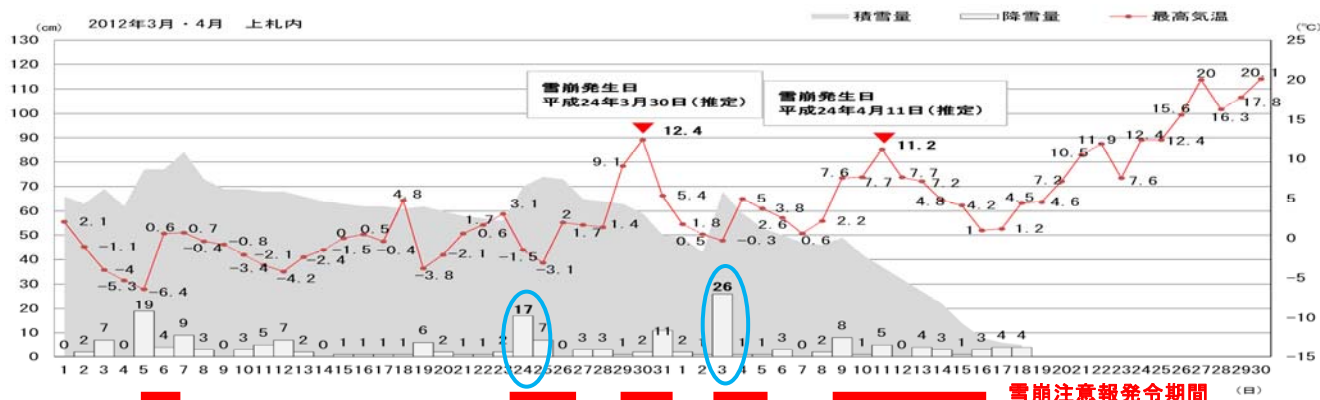


図2 気象データと雪崩発生日の推定

注) デブリ：雪崩は通常斜面のある場所で発生し、そこから下方に向かって落下していき、勢力の衰えたところで堆積する。この3つをそれぞれ「発生区」「走路」「堆積区」とし、堆積した雪をデブリと呼んでいる。

#### 4. 雪崩発生と被災の経緯

雪崩発生メカニズムを以下に説明する(図3)。

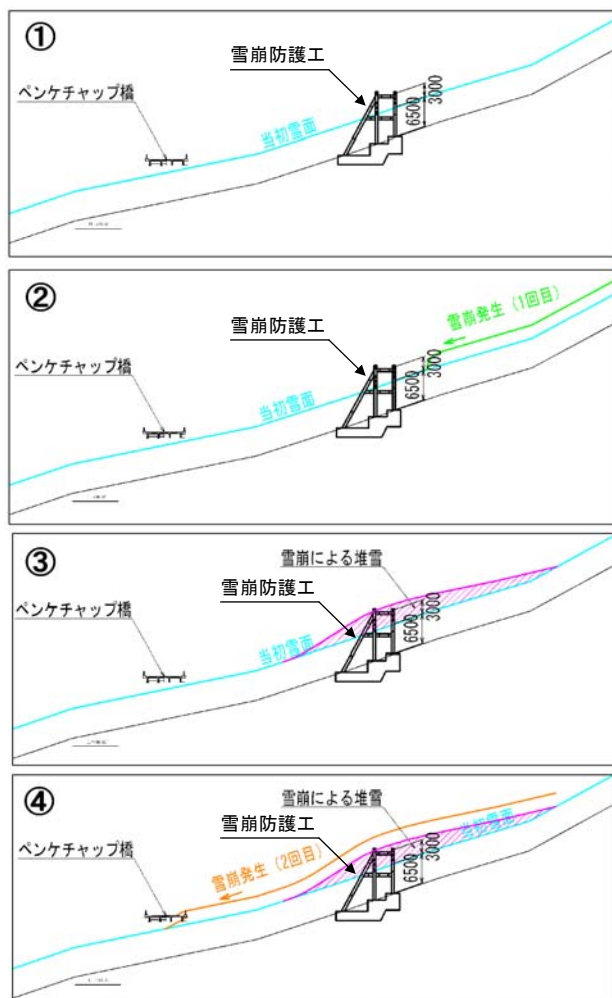


図3 雪崩発生メカニズム

- ① 当初雪面高は、厳冬期に幾度も繰り返す表層雪崩により、当初デブリ深さの実測値H=6.50mであったと推定した。また、気象庁の発表では、2012年3月までの4ヶ月間は、2001年以降11年ぶりの低温であったため、デブリ堆雪面が融けずに低下しなかったものと考えられた。
- ② 1回目(3月30日)の雪崩により、防護工の減勢部が埋もれたものと推定される。
- ③ 1回目(3月30日)の雪崩発生後、雪崩防護工付近のデブリ堆積推定ラインは、5月3日の実測雪面勾配とほぼ同様であることがわかった。
- ④ 2回目(4月11日)の雪崩が発生し、デブリ堆雪面上(防護工)を通過し、ペンケチャップ橋へ到達したと推定される。雪崩総厚はH10(1998)年被災時の実測値3.0mと雪崩速度算出式から求めた2.8mより、h=3.0m程度であったと推定した。

以上のことから、橋梁上部工に損傷を与えた雪崩の発生は4月11日と推定した。

## 5. 橋梁損傷規模

全体的に支点付近の変形が大きくなっている理由として、支承がほぼ健全な状態で荷重を受け止めたため支承が支点（固定）となり、伸縮装置部の抵抗がないこともあり、上部工が下流側に水平移動し、支承のピンチプレートや主桁に変形が生じたものと考えられた（図 4.5、写真 2）。なお、本橋は鋼桁であり、雪崩による外力は橋軸直角方向から作用したもので、橋梁の設計荷重とは作用方向が異なるため、面外方向の変形などに対する抵抗性は小さい。

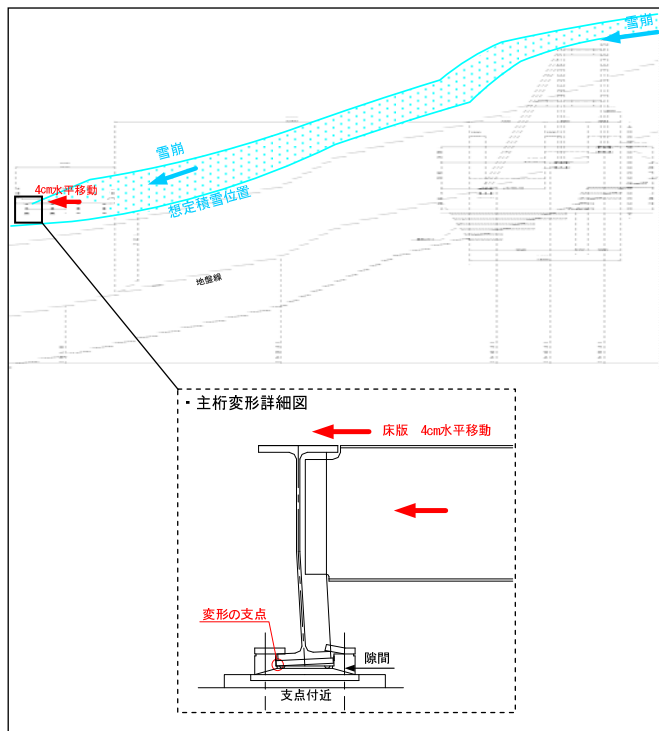


図 4 橋梁桁への雪崩影響図

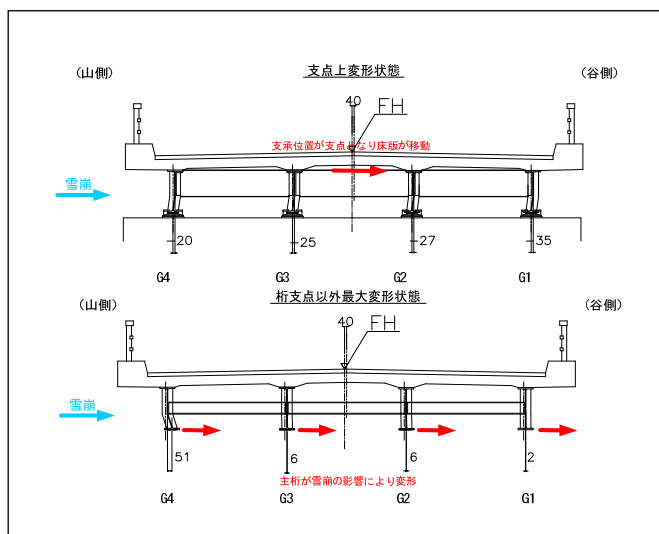
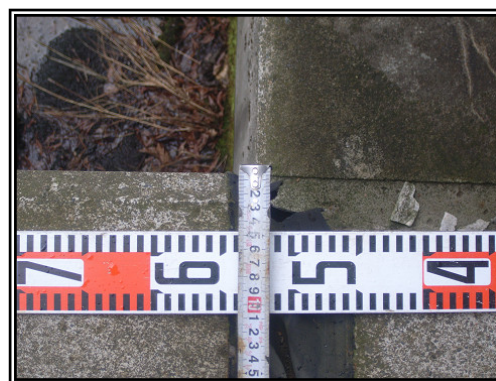


図 5 橋梁上部工変形状況断面図



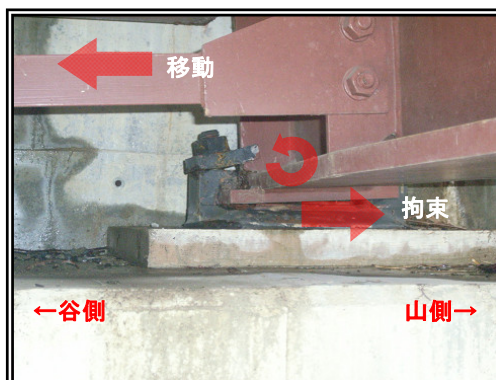
[山側防護柵変形]



[起点谷側移動状況]



[山側主桁変形]



[起点側支承変形]

写真 2 橋梁上部工損傷状況



## 6. 復旧工事の概要

支承のピンチプレートや主桁は全て変形しているため、被災した橋梁上部工（部材）の交換（架け替え）を行う（図 6）。舗装・モルタル・床版などを撤去後、上部工（主桁）の撤去・解体を行う。工場で製作済みの橋梁を撤去後に架設する。

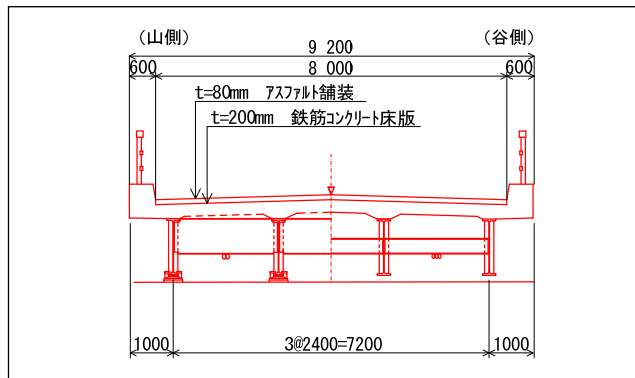


図 6 上部工復旧断面図

現橋で使用されている H 鋼や溝型鋼の変形は一部の部材であるため、鋼材再利用についても検討を行った。その結果、総合的な判断により新設部材を使用することとした。

- ・主桁を撤去し工場に搬入し矯正作業する場合、矯正作業費が高い。
- ・現在の上部工の変形は支承位置で止まっている状態である。上部工を再利用する場合は、撤去後（無応力状態となった後）に再度変形量などを計測する必要があるため、すべての鋼材を一度工場に持ち込む必要がある。
- ・上部工を再利用する場合は、撤去する場合に再使用できる状態で撤去しなければならない。
- ・再使用と新材を比較する場合、塗装塗替えを行う必要があり鋼材のブラスト作業が発生する。
- ・上部工と同様に防護柵も“取替”と“使用できるものは再利用”を比較した結果、取替の方が安価となる。
- ・新材とする場合は鋼材処分費が発生する。
- ・新設と再利用を比較した場合、再利用する場合は再使用のための検査や矯正作業に時間がかかるため、新設に比べ工期が長くなる。
- ・主要部材（応力部材）ではない排水管や排水桝、添架管のサポート類など変形がない場合は再利用する。

## 7. まとめ

今後は雪崩対策工法の検討が必要となる。

今回の雪崩による被災は、以下の内容が重なり発生したものである。

- 雪崩が 2 度、発生したこと。
- 沢からだけではなく、周辺斜面からの表層雪崩により、デブリ堆雪面が高かったこと。
- 融雪期が異常な低温であったため、デブリ堆雪の融解が進まなかったこと（過去 10 年の最低気温比較グラフ（図 7）から、2012 年は最も低温だったことがわかる）。

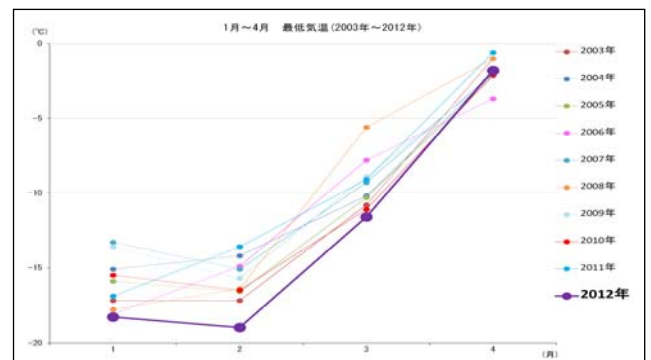


図 7 過去 10 年最低気温比較グラフ

当該箇所において同様の事象が重なれば、また同じように橋梁は被災することとなる。よって、雪崩対策としては、上記の事象が重なり合っても、橋梁が被災しない計画でなければならない。

ペンケチャップ沢の雪崩の規模はおおむね 3,000m<sup>3</sup> 程度のデブリ量より、中～大規模雪崩であると判断される。雪崩の走路区間の勾配は 20° 程度の急勾配で走路幅が狭く、沢を包括する斜面は広大で急峻であるため、雪崩の速度は速く雪崩層厚も大規模である。

雪崩対策工は、雪崩のエネルギーを減勢する対策工として、土石流対策で実績があるネット工の採用可否を検討している。

併せて、平成 24 年度の冬期間における雪況調査では、同等の全層雪崩が発生しなかったため、雪崩発生時の気象条件に該当する場合にパトロールを強化し、かつ維持管理面では、今回、確立した被災メカニズムに至る気象条件を鑑み、デブリ堆雪量が増加した場合の除雪の実施など、ソフト対策を継続し、柔軟に対応して行く考えである。

以上



# 積雪寒冷地におけるLED道路照明灯の実証実験について

佐藤 雅史<sup>\*1</sup>、湯浅 浩介<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

近年、道路維持管理においても省エネによる環境負荷の軽減、LCC(ライフサイクルコスト)の削減が求められており、このような社会要請を踏まえ、今後の導入が考えられるLED照明について北海道特有の積雪寒冷地での運用に向けた実証実験を平成21年度より行っている。

なお本実験は、北海道開発局、北海道、札幌市、(独)寒地土木研究所、照明学会北海道支部、特定非営利活動法人LED照明推進協議会で組織される「積雪寒冷地におけるLED照明現地試験検討会」と連携して実施している。

## 2. LED照明の特徴

LED照明は、「LED照明器具に関する課題と施工標準化の検討報告(平成23年10月)一般社団法人日本電設工業協会技術・安全委員会」の文献によると、①高信頼性・長寿命、②対環境性、③分光スペクトルと誘虫性、④色の再現性と演色性、⑤発光効率、⑥周辺温度特性、⑦高速応答性、⑧点滅制御での優位性、⑨対衝撃性、⑩低出力時の効率特性(調光時の効率性)、⑪小型でコンパクト、といった11の特性が挙げられており、特に、長寿命によるコスト削減が期待されている。

このような特徴を踏まえ、今後の北海道におけるLED照明の導入に向け、積雪寒冷地特有の気象状況における性能の検証を行った。

## 3. 実験概要

実験は、北海道帯広建設管理部が管理する「道の駅さらべつ」で行った(図3-1~2)。



図 3-1 実験箇所位置図



図 3-2 実験施設配置図

本実験の検証は、LED照明と通常の高圧ナトリウム照明について、冬期の見え方等の検証を次の視点で行った。

### 積雪寒冷地特有の気象状況下における性能検証項目

- 1) 積雪環境下での道路上の人または障害物の見え方
- 2) 降雪時の視線誘導としての見え方
- 3) 道路上の路肩堆雪の見え方
- 4) 冬期の灯具の着雪・着氷状況

## 4. 実験内容および結果

- 1) 積雪環境下での道路上の人または障害物の見え方

見え方の検証は、写真撮影のほか、補足調査として目視により「人」および「障害物」の見え方について3段階で評価した。

この結果、歩行者自身を照明する方式で天候の違い(冬期晴天・降雪)による見え方は、冬期晴天時の障害物の見え方に違いがあり、LED照明の視認性が優れているという結果が得られた。

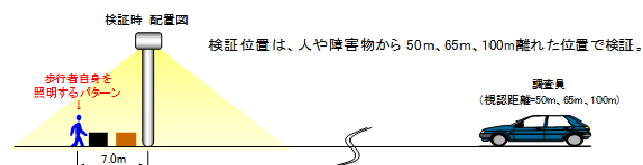


図 4-1 実験概念図

### 歩行者自身を照明する方式<sup>※</sup>

- ・人と障害物の配置…照明奥=7.0mの地点  
※H=1mの鉛直面照度が10ルクスの地点
- ・視認対象とする人の視認高…H=100cm
- ・視認対象とする障害物の視認高…H=10cm
- ・ドライバー視線高(写真撮影高)…H=120cm

※H19年道路設置照明基準・同解説に新たに記述された歩行者自身を照明する方式に準拠

<sup>\*1</sup> 北海道十勝総合振興局帯広建設管理部事業室道路課



図 4-2 評価する人 障害物の条件

表 4-1 評価結果

|         | 晴天時 |     |      | 降雪時 |     |
|---------|-----|-----|------|-----|-----|
|         | 人物  | 障害物 | 路肩堆雪 | 人物  | 障害物 |
| LED     | ◎   | ◎   | ◎    | ◎   | ◎   |
| 高圧ナトリウム | ◎   | ○   | ◎    | ◎   | ◎   |



LED 照明



高圧ナトリウム照明

図 4-3 冬期晴天時(H19 年基準)



LED 照明



高圧ナトリウム照明

図 4-4 冬期降雪時(H19 年基準)

## 2) 降雪時の視線誘導としての見え方

降雪時の視線誘導としての見え方\*は、2つの光源を離れた位置(現地で両光源を視認できる 165m~700m)から目視および写真撮影により見え方を評価した。

この結果、距離、天候の違い(冬期晴天・降雪)による視線誘導としての見え方は、すべての条件でLED照明の視認性が優れているという結果が得られた。

- ・検証地点は、700m から約 100m 間隔を基本として地形等による視認状況を踏まえ計 7 地点にて実施
- ・写真は運転手の目線高 (H=1.2m) で撮影
- ・写真撮影のほか、補足調査として目視により光源の見え方について 3 段階で評価
- ・調査は灯具に対して垂直に写真撮影および目視

※道路設置照明基準・同解説の「誘導性」より、評価は視線誘導標設置基準・同解説「視線誘導標の見え方試験」に準拠

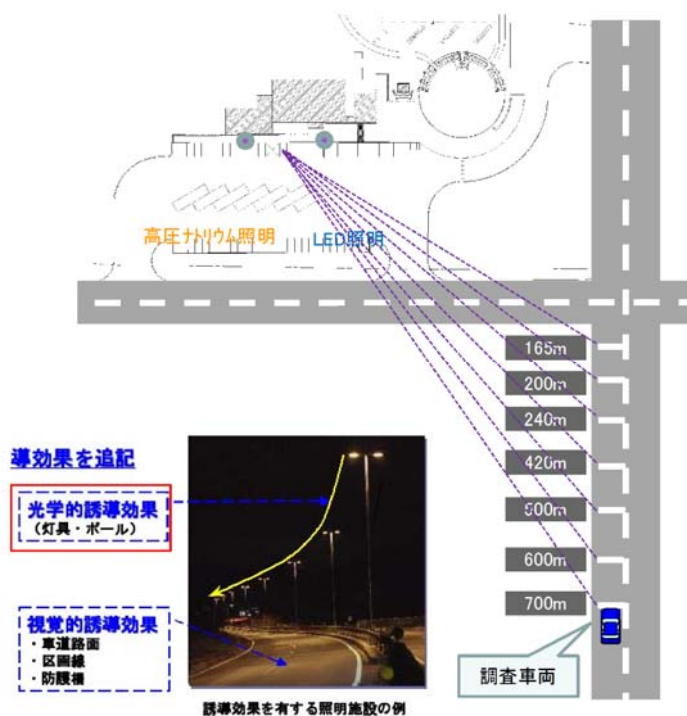


図 4-5 実験概念図

※視認距離 (165m、200m、240m、420m、500m、600m、700m) 7 パターンにより実験を実施

表 4-2 評価結果

|         | 晴天時 | 降雪時 |
|---------|-----|-----|
| LED     | ◎   | ◎   |
| 高圧ナトリウム | ○   | ○   |

評価基準 ◎:良い ○:やや良い △:あまり良くない



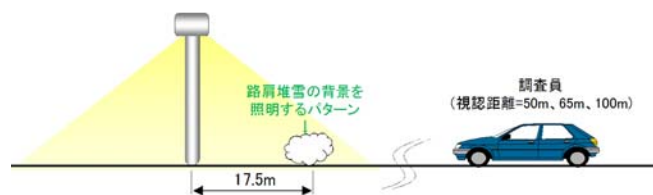
図 4-6 冬期晴天時



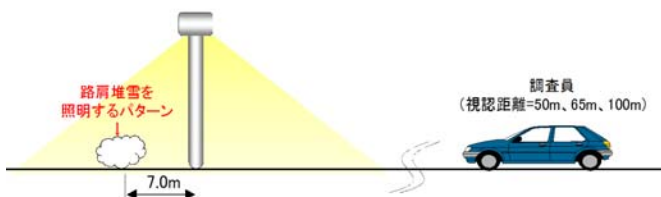
図 4-7 冬期降雪時

### 3) 道路上の路肩堆雪の見え方

路肩堆雪を照明する 2 パターンで冬期晴天時の見え方の検証は、LED 照明と高圧ナトリウム照明に大差はみられなかった。



※H19 年道路設置照明基準・同解説に新たに記述された歩行者自身を照明する方式に準拠



※S56 年道路設置照明基準・同解説に新たに記述されている歩行者の背景を照明する方式に準拠

図 4-8 実験概念図

- ・路肩堆雪の配置  
照明奥=7.0m の地点(路肩堆雪を照明)  
照明手前=17.5m の地点(路肩堆雪背景を照明)
- ・視認対象とする路肩堆雪の視認高…H=100cm
- ・ドライバー視線高(写真撮影高)…H=120cm

表 4-3 評価結果

| 照明方法                           | 照明区分    | 降雪時<br>(路肩堆雪) |
|--------------------------------|---------|---------------|
| 歩行者自身を照明する方式<br>※H19 年         | LED     | ◎             |
|                                | 高圧ナトリウム | ◎             |
| 歩行者の背景を照明する方式<br>※従来 (S56 年初版) | LED     | ◎             |
|                                | 高圧ナトリウム | ◎             |

評価基準 ◎:良い ○:やや良い △:あまり良くない



LED 照明



高圧ナトリウム照明

図 4-9 路肩堆雪を照明する方式(H19 年基準)



LED 照明



高圧ナトリウム照明

図 4-10 路肩堆雪の背景を照明する方式(S56 年基準)



4) 冬期の灯具の着雪・着氷状況

冬期における灯具の着雪と着氷（つらら）の発生状況を道路維持パトロール時に目視および写真撮影により確認した。

この結果、冬期における灯具の着雪と着氷（つらら）の発生状況は、本現場においてはLED照明と高圧ナトリウム照明に大差はみられなかった。

表 4-4 調査地の気象状況

| 年度  | 試験期間                  | テレメータによる観測値<br>(試験期間中の観測値) |       | テレメータ<br>観測所名 |
|-----|-----------------------|----------------------------|-------|---------------|
|     |                       | 降雪深<br>累計※                 | 平均気温  |               |
| H21 | H22. 2. 23～H22. 3. 23 | 69cm                       | -4.0℃ | 中札内           |
| H22 | H22. 11. 15～H23. 3. 4 | 146cm                      | -5.0℃ |               |

※降雪深累計は、アメダスデータとは集計方法が異なる



図 4-11 着雪状況

表 4-5 調査結果(着雪状況)

| 試験期間              | 観測<br>日数 | 年度  | 着雪発生日数<br>(発生割合%:発生日数/観測日数) |         |
|-------------------|----------|-----|-----------------------------|---------|
|                   |          |     | LED                         | 高圧ナトリウム |
| H22.2.23～H22.3.26 | 32       | H21 | 1～2(3%～6%)                  | 2(6%)   |
| H22.11.15～H23.3.4 | 51       | H22 | 1～3(2%～6%)                  | 1(2%)   |

表 4-6 調査結果(着氷状況)

| 試験期間              | 観測<br>日数 | 年度  | つらら発生日数<br>(発生割合%:発生日数/観測日数) |         |
|-------------------|----------|-----|------------------------------|---------|
|                   |          |     | LED                          | 高圧ナトリウム |
| H22.2.23～H22.3.26 | 32       | H21 | 0～1(0%～3%)                   | 2(6%)   |
| H22.11.15～H23.3.4 | 51       | H22 | 0～1(0%～2%)                   | 1(2%)   |

5. まとめ

LED照明と通常の高圧ナトリウム照明について、冬期の見え方等の検証を行った結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 積雪環境下での道路上の人または障害物の見え方  
・ 冬期積雪下（晴天時）においては、LED照明の方が視認性に優れていた。
- 2) 降雪時の視線誘導としての見え方  
・ 全ての視認距離においてLED照明の方が高圧ナトリウム照明に比べ視認性に優れていた。
- 3) 道路上の路肩堆雪の見え方  
・ 路肩堆雪を冬期積雪下（晴天時）に照明した見え方は、LED照明と高圧ナトリウム照明、ともに同程度の視認性であった。
- 4) 冬期の灯具の着雪・着氷状況  
・ 灯具の着雪・着氷状況は、LED照明と高圧ナトリウム照明、ともに同程度の着雪・着氷であった。

表 5-1 まとめ

| 調査項目       |                    | 照明区分    | 冬期（積雪） |     |      |             |     |     |    |      | 灯具の着雪、着氷状況 |
|------------|--------------------|---------|--------|-----|------|-------------|-----|-----|----|------|------------|
|            |                    |         | 晴天時    |     |      |             | 降雪時 |     |    |      |            |
|            |                    |         | 人物     | 障害物 | 路肩堆雪 | 視線誘導としての見え方 | 人物  | 障害物 | 雪山 | 路肩堆雪 |            |
| 冬期の見え方の検証  | 道路上の人や障害物、路肩堆雪の見え方 | LED     | ◎      | ◎   | ◎    | -           | ◎   | ◎   | -  | -    | -          |
|            |                    | 高圧ナトリウム | ◎      | ◯   | ◎    | -           | ◎   | ◎   | -  | -    | -          |
|            |                    | LED     | ◎      | ◎   | ◎    | -           | ◎   | ◎   | -  | -    | -          |
|            |                    | 高圧ナトリウム | ◎      | ◎   | ◎    | -           | ◎   | ◎   | -  | -    | -          |
|            | 視線誘導としての見え方        | LED     | -      | -   | -    | ◎           | -   | -   | -  | ◎    | -          |
|            |                    | 高圧ナトリウム | -      | -   | -    | ◯           | -   | -   | -  | ◯    | -          |
| 灯具の着雪、着氷状況 | -                  | LED     | -      | -   | -    | -           | -   | -   | -  | -    | ◎          |
|            | -                  | 高圧ナトリウム | -      | -   | -    | -           | -   | -   | -  | -    | ◎          |

評価基準 ◎:良い    ◎:やや良い    △:あまり良くない

今後、北海道特有の積雪寒冷地におけるLED照明の適用は、省エネによる環境負荷の軽減などの社会的な要請を踏まえながら、「積雪寒冷地におけるLED照明現地試験検討会」と連携して、引き続き導入に向けた検討を実施していきたいと考えている。

# 凍結防止剤の路面滞留効果向上による散布量低減に関する研究

近藤 泰光<sup>\*1</sup>、 金森 英二<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

### 1. 1 研究の背景と目的

現在、福井県においては自動車交通への極度の依存が顕著となっており、道路管理者にとって恒常的な道路交通の確保が重要な責務となっている。特に、近年においては、冬期においても夏期と同等のモビリティが求められる傾向にあり、同時に、冬期の路面管理手法の高度化が必要となっている。

また、自動車交通量の増大とタイヤ性状の変化に伴い、冬期の路面性状は大きく様変わりし、車両により踏み固められた圧雪がいわゆる「つつる路面」となり、実質上アイスバーン状態となって冬期特有の都市交通の麻痺や交通事故をもたらしている。このような「つつる路面」と呼ばれる非常に滑りやすい路面は、少量の降雪（または積雪）でも発生し、また、発生予測が困難なため、その対策が冬期道路管理上の大きな課題となっている。特に、朝方の通勤通学時間帯における都市間道路および都市内道路の凍結路面対策は、円滑な冬期道路交通を確保する上で重要な施策の一つといえる。

このような背景のもと、凍結路面対策として凍結防止剤の散布が行われている。しかしながら、凍結防止剤の散布は、冬期モビリティの確保といった面では大きな効果をもたらす一方、その大量散布は維持管理コストの増大、環境への負荷、道路利用者や土木構造物への悪影響をもたらすことなどが懸念されており、凍結防止剤の散布量低減策が検討され始めている。

そこで本研究では、凍結防止剤が路面に定着しやすい散布方式や、凍結防止成分が路面に滞留しやすい舗装施工技術により、散布ロスを低減できる手法を開発し、凍結防止剤の散布量の低減を図ることにより凍結防止剤散布に要するコスト縮減に寄与することを目的とする。

### 1. 2 福井県における凍結防止剤散布の現状と課題

現在、凍結防止剤を散布する方法には、①固形の凍結防止剤をそのまま散布する乾式散布、②凍結防止剤を水溶液にして散布する溶液散布、③固形の凍結防止剤を散布直前に溶液（NaCl<sub>aq</sub> または CaCl<sub>2</sub>aq）で湿らせて散布する湿式散布等があるが、福井県では、凍結防止剤を散布する専用車両を 29 台保有（平成 24 年度末現在）<sup>1),2)</sup> しており、その全てが乾式散布による使用を前提とした乾式散布車であり、乾式散布が広く行われている。

一般に、乾式散布の場合、凍結防止剤は粒状の固形剤

として納入され、散布車へは固形剤のまま積載し、回転円盤により路面に散布される。そして、乾式散布では粒状の乾燥状態の固形剤をそのまま散布するため、路面定着（付着）が弱く、散布直後の散乱および風や車両通行に伴う路外への飛散が生じやすいといった欠点がある。この散乱・飛散が散布ロスとなり、コストの増大や周辺環境への影響に繋がっている。

一方、湿式散布は、乾燥状態の固形剤を散布直前に溶液で湿らせて散布しているため散布ロスは減るが、同時散布する溶液は塩化ナトリウムの飽和水溶液である必要があるため、飽和濃度水溶液まで濃縮するための専用の溶液製造装置や溶液保管タンクが必要になり、経費や設備費負担が大きくなるという欠点があるため、福井県管理道路では行われていないのが現状である。

図-1 は、福井県管理道路における凍結防止剤の散布量と散布延長の推移を示したものである。散布量、散布延長ともに年々増加傾向にあり、凍結防止剤散布に要するコスト縮減が福井県の道路行政上の大きな課題となっている。

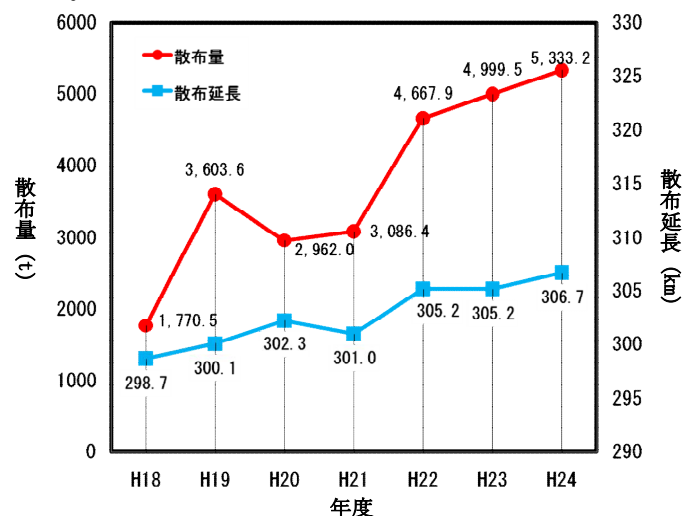


図-1 凍結防止剤の散布量と散布延長の推移

### 1. 3 本研究の概要と位置付け

本研究は、凍結防止剤の散布量低減に関するハード的対策の1つとして、乾式散布車でも簡易な改造で、比較的安価に、高い路面滞留（定着）効果が得られる手法を検討し、凍結防止剤散布に要するコスト縮減を図るための方策を補完するものである。具体的には、既存の乾式散布車に溶液タンクを新設し、定着剤を散布直前に水溶液液化し、その溶液を凍結防止剤（NaCl）と混合散布することで路面の滞留（定着）効果の向上を図る手法の検討

\* 1 福井県建設技術研究センター \* 2 福井県日野川水道管理事務所

と、坂道など凍結防止剤が定着しづらい路面に対しては、効果的な凹凸パターンにより凍結防止成分が路面に滞りやすくする手法の検討を行うものである。

2. 定着剤の選定と散布試験の実施

2. 1 溶解試験と定着薬剤の選定

本研究では、専用装置が無くても散布直前の簡単な攪拌で水に溶解し、薬剤コストも低廉な定着薬剤を選定した。

まず始めに、市販の増粘剤・乳化剤・糊料等から以下の要件を満たすものを定着薬剤の候補とする絞り込みを行った（第1選定）。

- ① 人体はもとより動・植物に対して影響がないもの、
- ② 土壌や河川等の自然環境に対して影響が少ないもの
- ③ 散布時の気象条件を想定して、冷水への溶解性に優れ、定着効果の即効性または持続性が期待できるもの（溶解後に十分な粘性が得られるもの）
- ④ 価格が安く、供給量が豊富で容易に入手できるもの
- ⑤ 貯蔵や運搬がしやすく取扱いに優れているもの
- ⑥ 水溶液が霧状に散布（ミスト散布）可能と思われるもの

次に、上記の要件を満たす材料の有無について、薬品メーカー等への聞き取り調査を実施した。その結果、デンプンやその加工剤（7種）、繊維主成分の天然セルロースを原料としたCMC-Na（カルボキシメチルセルロースナトリウム）（2種）、合成樹脂の一種であるPVA（ポリビニルアルコール）（4種）、パルプ製造時の副産物であるリグニンスルホン酸（2種）の15種類を有望な定着薬剤候補として選定した（第2選定）。

そして、15種類の薬剤を水温25℃の水道水に溶かし、その溶解性を確認した。その結果、デンプン類の一部とリグニンスルホン酸は、可溶ではあるが著しく多量に溶解させないと粘性が得られないこと、またPVAはママコ（通称ダマ、薬剤がよく溶けないで残る粒々の固まりのこと）が発生し、24時間攪拌継続後も改善しないことが判明したことから除外し、最終的に、定着薬剤の候補としてグアーガム2種（天然多糖類の1種）、キサンタンガム2種（多糖類の1種で、デンプンを発酵させて作られる）、CMC-Na2種の6種類を選定した（第3選定）。

最後に、定着薬剤候補6種類に対して、溶解試験を実施した（写真-1 参照）。溶解試験における検証項目は、表-1 に示すように、冷水への溶解性と定着性である。定着能力は接着能力と関連があり、一般的に接着能力の高い物質は粘度が高いと考えられるため、本研究では粘度を定着能力すなわち路面への定着性を表す指標とした。溶解試験の結果を表-2 に示す。なお、この試験結果は、



写真-1 溶解試験の状況

表-1 溶解試験における検証項目

| 指標の特性 | 溶解性を表す指標         | 定着性を表す指標       |                                                    |
|-------|------------------|----------------|----------------------------------------------------|
|       |                  | 即効性            | 持続性                                                |
|       | 定性的指標 A          | 定量的指標 B        | 定量的指標 C                                            |
| 測定項目  | 溶液の状態            | 粘性発現までの時間      | 粘度                                                 |
| 測定方法  | 目視               | ストップウォッチ       | ストップウォッチ<br>+粘度カップ                                 |
| 備考    | ママコ発生状況、溶け残りの有無等 | 攪拌で渦が消失するまでの時間 | 測定時期<br>⇒攪拌終了直後<br>〃 4 時間後<br>〃 24 時間後<br>〃 48 時間後 |

表-2 溶解試験結果

| 定着剤の種類    | 測定時期   | 溶液の状態<br>定性的指標 A | 粘性発現までの経過時間 (min)<br>定量的指標 B | 粘度 (sec)<br>定量的指標 C |
|-----------|--------|------------------|------------------------------|---------------------|
| キサンタンガム ① | 攪拌停止後  | 分散               | -                            | 7.40                |
|           | 4 時間後  | ↓                |                              | 7.48                |
|           | 24 時間後 | 沈殿               |                              | 7.65                |
|           | 48 時間後 | ↓                |                              | 7.74                |
| キサンタンガム ② | 攪拌停止後  | 溶け残りが浮遊          | 4                            | 10.34               |
|           | 4 時間後  | 沈殿               |                              | 10.27               |
|           | 24 時間後 | ↓                |                              | 9.91                |
|           | 48 時間後 | ↓                |                              | 10.19               |
| CMC-Na①   | 攪拌停止後  | ほぼ透明             | 4                            | 13.29               |
|           | 4 時間後  | ↓                |                              | 13.75               |
|           | 24 時間後 | 沈殿 (小)           |                              | 13.83               |
|           | 48 時間後 | 溶解               |                              | 13.99               |
| CMC-Na②   | 攪拌停止後  | ママコ発生            | -                            | 7.31                |
|           | 4 時間後  | ↓                |                              | 8.04                |
|           | 24 時間後 | ママコがゲル化          |                              | 8.18                |
|           | 48 時間後 | ↓                |                              | 8.27                |
| グアーガム①    | 攪拌停止後  | 分散               | 2                            | 11.47               |
|           | 4 時間後  | (コロイド状)          |                              | 13.42               |
|           | 24 時間後 | 沈殿 (大)           |                              | 12.65               |
|           | 48 時間後 | ↓                |                              | 13.04               |
| グアーガム②    | 攪拌停止後  | 分散               | 2.5                          | 10.05               |
|           | 4 時間後  | (コロイド状)          |                              | 10.67               |
|           | 24 時間後 | 沈殿 (大)           |                              | 10.43               |
|           | 48 時間後 | ↓                |                              | 10.47               |
| (参考) 水道水  | 攪拌停止後  |                  | -                            | 7.27                |
|           | 4 時間後  |                  |                              | 7.35                |
|           | 24 時間後 |                  |                              | 7.34                |
|           | 48 時間後 |                  |                              | 7.37                |



水温 5℃（冬季の水道水温）の水道水（福井市上水）に錠剤を投入し、攪拌機にて 15 分間攪拌した後のものである。

キサタンガムは、第3選定の際に、約 25℃の水道水に対しての溶解は確認できたが、冷水では溶け残りが確認された。また、添加量のわずかな違いで極端に粘性が変化する、単価が高いなど、実用面での課題が多い。

CMC-Na およびグアーガムは、単価が同等で溶解しやすくかつ粘性も比較的早期に発現するなど、両者の間で類似した結果が得られた。また、定着効果の持続性を表す粘度の時間的変化においても、値に著しい落ち込みは見られず、粘度が十分に保たれていることが確認できた。

しかし、グアーガムは昨今のシェールガス掘削用途としての需要が拡大し、近年は供給不足により価格が急騰しているため、現段階においては実用化した際の供給体制に懸念が残る。これに対し、CMC-Na は需要が安定しており、コスト面や供給面でも比較的安定傾向にある。そこで、実用面を考慮して、本研究では CMC-Na を定着薬剤として選定した（最終選定）。

## 2. 2 テンプレートを用いたパターン舗装の試験施工

一般的に、道路の舗装表面は平坦であるが故に凍結しやすく、また、凍結防止剤散布時には散布摩擦係数が小さくなるため凍結防止剤の飛散量が大きくなる。

そこで、路面を粗面化することで、すべり摩擦抵抗の向上と路面温度の上昇による路面の凍結防止効果を狙った舗装施工技術の 1 つにグルーピング舗装がある。これは、凍結防止剤の散布時に、散布した凍結防止剤が溝に入り込み飛散量を抑制できる効果もある。しかし、既設舗装面に施工する際には、硬化したアスファルト路面を専用機械にて切削する必要があるため施工費用が高くなるという欠点がある。

また、これとは別に、路面を粗面化する施工技術の 1 つに、ストリートプリントという景観舗装施工技術がある。これは、硬化したアスファルトを専用装置で加熱すると同時に、用意したワイヤーメッシュ製のテンプレートを専用プレートで転圧し模様をつけるものである。しかし、こちらも施工費用が高くなるという欠点がある。

そこで本研究では、凍結防止剤が路面に滞りやすくすることを目的に、安価に舗装の表面に溝などの空隙を設けることができる舗装施工技術を開発した。具体的には、舗装施工の締固めと同時に凹凸をつけるためのテンプレートを複数作成し、締固め機械でこれらのテンプレートにて路面に幾何学模様を型押しするものである。製作したテンプレートを写真-2 に示す。これらのテンプレートは、持ち運びや施工後の取外しなど、作業性の向上を図るため、また、軽量化と耐久性の両立を図るため、メタ

ルと繊維を組み合わせたハイブリッド構造とした。

次に、当センター構内に、製作したテンプレートを使用して、4 種類のパターン舗装を施工した。これらは、既存舗装上へ舗装面積 5 m<sup>2</sup>となる再生密粒度アスコン As(13) t=50mm をオーバーレイ施工し、中間部にパターン舗装を形成するものである（図-2 参照）。試験施工状況を写真-3 に、型押しテンプレートとパターン舗装の仕様を表-3 に示す。

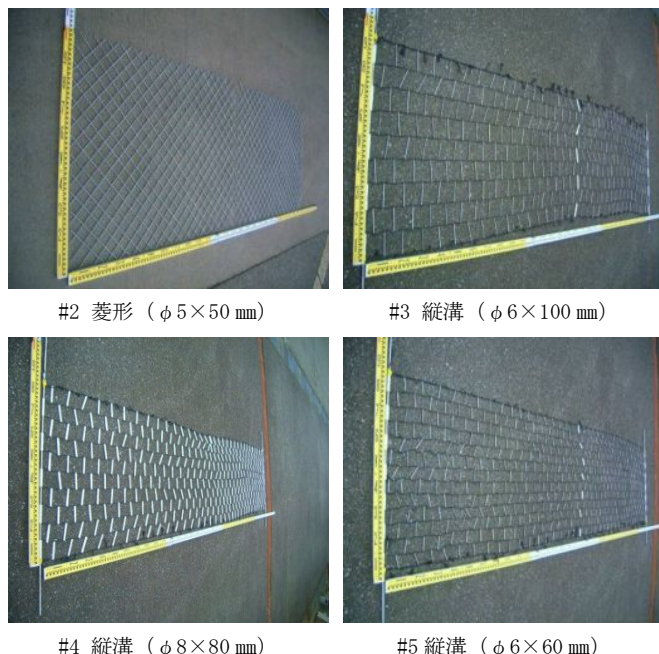


写真-2 製作したテンプレート

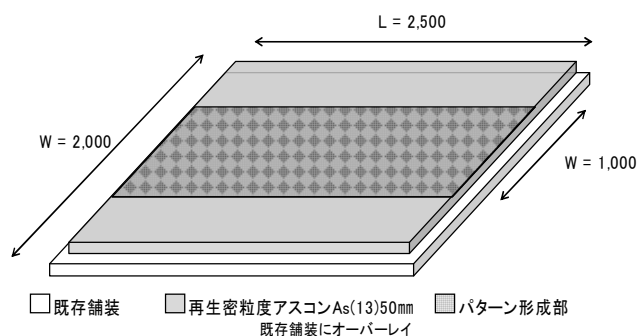
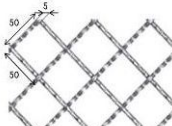
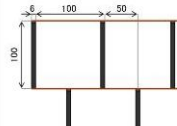


図-2 試験舗装構造図



写真-3 試験施工状況



|                     | #1   | #2                                                                                 | #3                                                                                 |
|---------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| テンプレートパターン          | ノーマル | 菱形: $\phi 5 \times 50\text{mm}$ 目                                                  | 縦溝: $\phi 6 \times 100\text{mm}$                                                   |
| 主材/副材               | —    | オールメタル                                                                             | メタル/繊維                                                                             |
| 材質詳細                | —    | クリンプ金網                                                                             | 鉄パイプ ( $\phi 6 \times 100\text{mm}$ )                                              |
| 副材 (主材繋ぎ)           |      |                                                                                    | ポリエステル (5mm)                                                                       |
| 設計図                 | —    |   |   |
| 製作品                 | —    |   |   |
| 型押し完了状態<br>(型跡)     | —    |   |   |
| 拡大                  | —    |  |  |
| 成型溝深                | —    | 7~9mm                                                                              | 6mm                                                                                |
| 舗装表面開痕率<br>(副材部は除外) | —    | 20%                                                                                | 6%                                                                                 |

### 2. 3 散布試験の実施

散布試験は、手押し式散布機を用いて行った。まず始めに、手押し式散布機に対して、散布機の回転円盤上に扇状に拡散噴霧が可能なスプレーノズルを配置し、凍結防止剤の散布に併せて定着溶液も散布できる構造とした。このミスト散布（霧化噴霧）により、上部ホッパーから回転円盤上に落下してくる凍結防止剤に対して、確実に定着溶液を付着させることができる。

また、手押式散布機には定着溶液を供給する機構が設けられていないため、定着溶液を供給するためのスプレー散水ユニットも同時に製作した。これは、タンク内に定着溶液を貯め、ポンプを介した圧送により、安定した定着溶液の散布が行えるようにしたものである。散布試験に用いた装置を写真-4 および写真-5 に示す。



A mobile water sprayer unit on wheels. It consists of a white plastic tank mounted on a white base with four black casters. A silver pump assembly is connected to the tank, featuring a pressure gauge and a red-handled valve. A spray wand is attached to the pump. The unit is used for pest control, as indicated by the caption.

- 110-

これらの装置を用いた散布試験は、実道における事前散布を想定して、路面濡れでの散布を原則とし、路面乾燥時には霧化散水により路面を湿らせた後に散布試験を行った。そして、路面凍結が予想される日の夕方（2月中旬～3月上旬までの期間の午後6時）に散布した。

定着溶液の同時散布により、その定着効果すなわち凍結防止成分がどれだけ路面に滞留しているかを検証する方法はいくつか考えられるが、一般的に凍結防止剤の効果時間は2～4時間とされていることから、本研究では散布後4時間経過後の路面残留塩分濃度の測定により検証することとした。なお、北陸地方における現在の標準散布量は、気温-3℃以上・密粒舗装の場合、乾式散布が20g/m<sup>2</sup>、湿式散布が15g/m<sup>2</sup>であるため、本研究における塩散布量はこれに準じるものとした。写真-6に散布試験状況のイメージ写真を示す。



写真-6 散布試験状況のイメージ

### 3. 散布試験の結果

実道における凍結防止剤の塩分濃度の測定方法としては、①人が道路上の液体を直接採取し塩分濃度計にて測定する接触型のものと、②車両や路側に塩分濃度センサーを設置して測定する非接触型のものが一般的であるため、本研究では、現在福井県管理道路にて広く行われている①の方法にて塩分濃度を測定した。残留塩分濃度の測定方法を表-4に示す。

また、定着溶液はその粘性から路面のすべり抵抗を減ずる懸念があったため、試験前と試験後に路面のすべり抵抗を測定し、その安全性も同時に検証した。なお、冬期路面のすべり抵抗の測定方法には様々なものがあるが、その測定は必ずしも容易なものではなく、測定機器も高価なものが多い。そのため、本研究では路面濡れの状態で、比較的容易にかつ安価に路面のすべり抵抗を測定できる振り子式スキッドレジスタンステスターを用いた。

表-4 残留塩分濃度の測定方法

| 測定時期            | 凍結防止剤散布の4時間後                                                                          |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 測定方法            | ①吸水紙に蒸留水を吸水<br>②舗装上に敷き、約5分静置<br>⇒路面の残留塩分を吸着<br>③吸水紙から絞り取った水の濃度を測定<br>④単位面積当たりの残留塩分を算定 |
| 吸水紙             | キムタオル 190mm×330mm                                                                     |
| 吸水蒸留水<br>(予め吸水) | 50cc<br>⇒吸水紙全体が湿潤した水量                                                                 |
| 塩分濃度計           | 融雪剤濃度計 PAL-03S                                                                        |

図-3は、パターン舗装路面における散布試験後の残留塩分濃度を定着溶液の散布割合ごとに表したものである。なお、定着溶液の散布割合は、実用面を考慮して塩散布量との重量比で表したものとなっている。

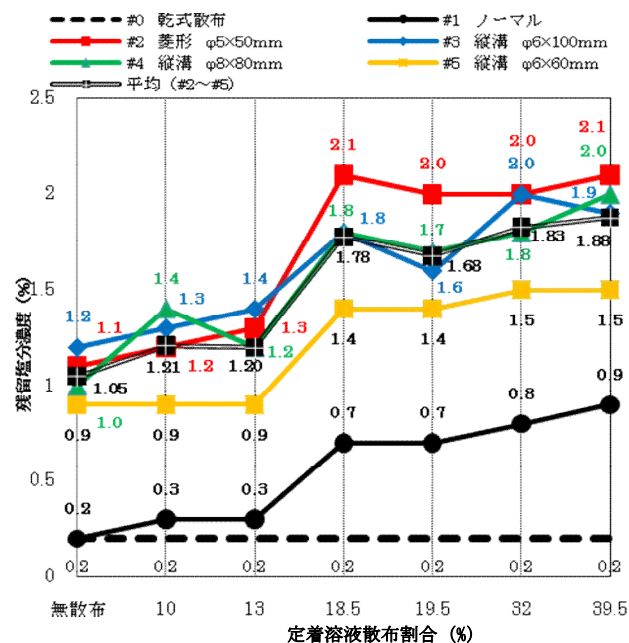


図-3 残留塩分濃度の変化

通常舗装路面において、定着溶液を散布しない従来の散布方式（#0 乾式散布）によるものと、今回の定着溶液同時散布方式（#1 ノーマル）によるものとを比較すると、以下の点が確認できる。

- ① 従来の乾式散布に比べて、今回の定着溶液同時散布の方が路面残留塩分濃度が高いことから、定着溶液によって凍結防止成分の滞留効果（定着効果）が高められたことが確認できる。
- ② 定着溶液同時散布の残留塩分濃度の変化割合から、凍結防止成分の滞留効果（定着効果）は、定着溶液散布割合18.5%以上でより高い効果が期待できる。



また、今回の定着溶液同時散布方式による通常舗装路面における散布試験結果（#1 ノーマル）と、パターン舗装路面における散布試験結果（#2～#5 各パターン）を比較すると、以下の点が確認できる。

- ① 通常舗装に比べて、型押しテンプレートによるパターン舗装の方が路面残留塩分濃度が高いことから、パターン舗装により凍結防止成分の滞留効果（定着効果）が高められたことが確認できる。
- ② 定着溶液散布割合の変化から、凍結防止成分の滞留効果（定着効果）は、定着溶液散布割合 18.5%以上でより高い効果が期待できる。
- ③ 今回の4パターン（#2～#5）の中で最も凍結防止成分の滞留効果（定着効果）が高かったのは#2 菱形（ $\phi 5 \times 50$  mm）で、逆に最も低かったのは#5 縦溝（ $\phi 6 \times 60$  mm）であった。このことから、凍結防止成分の滞留効果（定着効果）には、パターン舗装の溝幅や溝深、溝間隔、舗装表面開隙率などパターンの幾何学模様を表すいくつかの指標が影響していることが確認できる。

図-6 は、パターン舗装の違いによる散布試験前後の路面すべり抵抗の変化を表したものである。これから次のことが確認できる。

- ① 通常舗装、パターン舗装共に試験後に若干のすべり抵抗の低下が見られるが、大きな低下には至らず、定着溶液散布による路面のすべり抵抗の減少はほとんど生じないことが確認できる。
- ② 通常舗装に比べていずれのパターン舗装においてもすべり抵抗は高くなっている。このことから、本研究においてもグルーピング舗装のような路面の粗面化による凍結防止対策の有効性が確認できた。

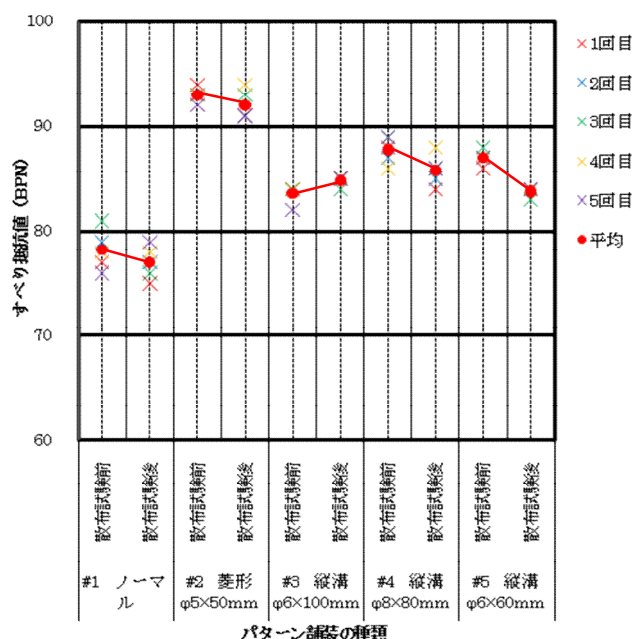


図-4 パターン舗装の違いによるすべり抵抗値の変化

## 4. まとめ

### 4. 1 本研究の成果

本研究では、福井県における凍結防止剤の散布状況を整理し、福井県の道路行政上の大きな課題となっている凍結防止剤の散布量低減策について検討を行った。具体的には、凍結防止剤が路面に定着しやすい散布手法の検討、および凍結防止成分が路面に滞留しやすくする手法の検討を行った。本研究の成果を整理すると以下の通りとなる。

- ① 各種薬剤から定着薬剤候補を選定し、水への溶解試験を実施した。その結果、CMC-Na が定着薬剤として最も適しており、CMC-Na（カルボキシメチルセルロースナトリウム）を定着薬剤として選定した。
- ② 定着薬剤を混合した溶液と凍結防止剤を同時に散布する手法にて散布試験を行った。その結果、定着溶液の散布によって凍結防止成分の路面滞留（定着）効果が高められることを確認した。また、定着溶液の散布による路面のすべり抵抗の大幅な減少は認められなかった。
- ③ テンプレートを舗装施工時に路面に型押しすることで、凍結防止成分の路面滞留効果を高めることができる舗装施工技術を開発した。そして、構内にて試験施工を行い、散布試験を行った結果、パターン舗装により凍結防止成分の路面滞留効果が高められることを確認した。

### 4. 2 今後の課題

本研究内容をより有用なものにするためには、実証試験を継続して行う必要がある。今後の課題を列举すると以下の通りとなる。

- ① 実車による散布試験によって、実用性を検証する必要がある。
- ② 実道における散布試験によって、実際の道路・交通状況における有用性の検証を行う必要がある。
- ③ パターン舗装に対して、耐流動性や耐摩耗性など耐久性を考慮した総合的な評価を行い、実用性の向上を図る必要がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの企業・団体の関係者にご協力・ご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 平成 24 年度道路雪対策基本計画（計画編）；福井県土木部，p. 43, 2012
- 2) 平成 24 年度道路雪対策基本計画（資料編）；福井県土木部，2012

# 路面積雪センサを応用したホーム屋根融雪制御システムの開発

## ～検知・監視能力を活かした鉄道分野への適用～

キーワード；新技術、省エネルギー、融雪、制御、センシング

山崎 三知朗＊1、長谷川 高志＊2、酢谷 浩＊3

### 1. はじめに

多雪地に所在する駅において、駅のホームに架かる屋根に積もった雪が張り出してできる雪庇が、列車の運行の障害となる。そのため、屋根融雪装置を軒先部分に設置し、雪庇の発生を防いでいる箇所が多くある。屋根融雪装置は様々な方式があるが、その一つに写真1に示すように電熱線を埋め込んだゴム製のマットを敷く方式がある。これらの屋根融雪装置は、降雪センサと気温センサによる自動制御を行っており、降雪した場合の他、融け残りがないように気温が低い場合でも運転している。しかし、安全第一の考えから、動作する気温の設定値を高めにしており、そのためシーズンの大半を連続運転している結果となっている。

そこで、融雪面の積雪状況を検知し、的確に運転・停止を行える融雪制御システムの開発に取り組んだ。検知方式は、道路の消・融雪装置向けに開発された画像処理方式を採用し、屋根向けに適用を行った。また、同方式を採用したことにより、画像監視についても鉄道分野のニーズに合うこととなった。融雪制御システムの開発は、新潟県内の駅の実設備を利用して行い、2シーズンにおける動作試験により、①確実に融雪できるか、②従来の制御方式に比べてどの程度運転時間が削減できるか、について検証を行ったので、以下に報告する。



写真1 雪庇防止のための屋根融雪装置

### 2. 開発した制御システム

#### 2-1 概要と特長

降雪検知や気温による制御では、融雪マット上に実際積雪があるか否かは把握できないため、的確な自動運転は行えない。最も良い制御方法は、融雪面に積雪があるかどうかを正確に検知して運転することである。そこで、福井県建設技術研究センターが道路の消・融雪向けに開発した、

積雪を画像処理により検知する方式の路面積雪センサをベースとして、融雪制御システムを開発することとした。路面積雪センサは、図1に示すとおりカメラで撮影した静止画をコンピュータに送り、コンピュータが画像を解析し、積雪ありと判定した場合には運転信号を制御盤に送信する仕組みで動作する。本センサは、これまで福井県内の道路10箇所に実用機を設置しており、降雪センサに比べて約1/3に運転時間を減らせる実測結果が得られている。なお、判定方法の詳細については、既報の報告書等を参照いただきたい。以下に、本センサの主な特長について述べる。

#### (1) 高い検知能力

点で検知する方式と異なり、画像処理により面で判定するため、実態にあった検知結果を得やすい。また、検知範囲を画面上の任意に設定できることや、運転を開始する積雪率（検知範囲の内、積雪している割合）を設定することができ、運用しながらより適切な設定に調整できる。

#### (2) 画像による監視機能

積雪判定のため取得した画像を利用し、監視カメラの代用となる現場監視機能を有している。鉄道分野において、特に積雪が増える夜間を含めて遠隔監視したいというニーズがある。監視画面の例を図2に示すが、本センサを設置することで、遠隔監視のニーズに応えることができる。なお、監視の他、異常が発生すると電子メールが送信され、迅速に異常を把握することが可能である。

#### (3) 安価なイニシャルコスト

カメラは高画質なものではなく、画像を定期的に転送できる機能を有すればよく、普及品で十分である。また、1台のコンピュータで多くの箇所を集中的に動作させるなど、コストの削減を図っている。その他、特殊な部品を使わないことで、故障時の急な手配や、製造中止などへの対応が容易となるような配慮をしている。

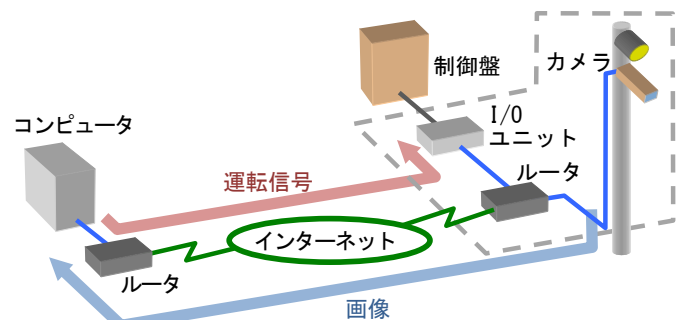


図1 路面積雪センサの仕組み

＊1 福井県建設技術研究センター、＊2 東日本旅客鉄道(株) 新潟支社 新潟建築技術センター、＊3 山田技研(株)



図2 監視画面 (Web 方式)

## 2-2 機器の設置

JR 東日本・越後湯沢駅（新潟県南魚沼郡湯沢町）を試験箇所として選定した。制御対象となる屋根融雪装置の仕様を表1に示す。ここに、図3に示す構成で機器を設置した。表2に主要機器の仕様を、写真2に全景、写真3～5に各機器の設置状況を示す。

また、駅ホーム向けの屋根融雪制御システムとしてカスタマイズした点について、以下に述べる。

### (1) 赤外線投光器の採用

道路では、カメラの撮影に必要な明るさが得られない場合にスポット照明を設置している。越後湯沢駅については、深夜は構内が消灯し照明が必須であるが、通常のスポット照明では、光が列車の運転に支障となる可能性がある。そこで、人間の目には見えない赤外線投光器を採用した。

### (2) 融雪マットへのペイント

積雪検知は、センターラインなどの白線を利用し、その周辺を判定する手法を採用している。融雪マット上には白線がないため、写真6に示すように黒い融雪マットの表面に幅20cm×5mの白線をペイントした。

### (3) フェールセーフ

下記①～④に示すような異常が発生した場合には、既設センサによる制御（以下、既設制御。）へ自動的に切り替わるフェールセーフの回路を組んだ。また、強制的に既設制

御へ切り替えられるよう、監視画面での遠隔操作の他、既設制御盤内に切換スイッチを設けた。このように、万一不具合が発生しても支障が出ないよう、安全面に考慮した。

- ①画像処理用PC～機器収納盤の通信が不通となった場合
- ②画像処理用PCがフリーズした場合
- ③カメラが画像を送信しない場合
- ④機器収納盤の電源が喪失した場合

表1 屋根融雪装置の仕様

| 項目 | 内 容                                               |
|----|---------------------------------------------------|
| 方式 | 電熱線入りゴムマット                                        |
| 面積 | 幅1m×長さ37m (1系統)                                   |
| 能力 | 200W/m <sup>2</sup> 、7.4kW (1系統)                  |
| 制御 | 降雪センサ：使用していない<br>気温センサ：5℃運転、7℃停止<br>検知終了後、2時間延長運転 |

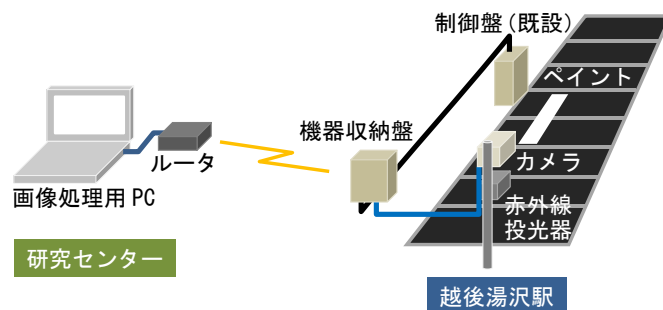


図3 装置の構成



写真2 全景



写真3 カメラ周り



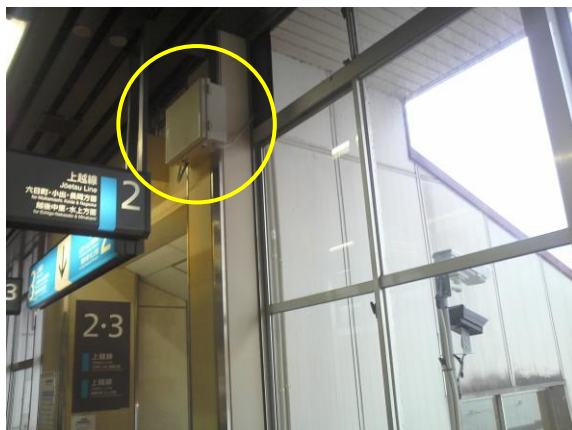


写真4 機器収納盤



写真5 画像処理用PC (研究センター内)

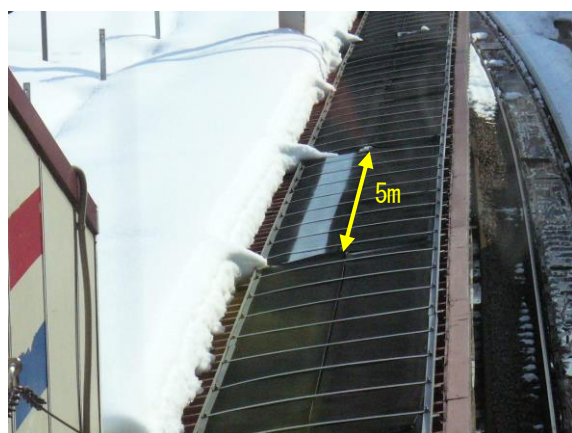


写真6 白いペイント

表2 主要機器の仕様

| 品 名      | 仕 様                             |
|----------|---------------------------------|
| カメラ      | 屋外用, 解像度:SVGA、FTP 転送            |
| 赤外線投光器   | 波長:940 $\mu$ m, 照射距離 90m        |
| 機器収納盤    | FOMA ルータおよび入出力回路収納              |
| 画像処理用 PC | CPU:Corei5(2.5GHz), OS:Windows7 |

### 3. 検証結果

#### 3-1 積雪検知の例

2011年度は、長さ37mある1系統のうち10m分を切り分けて本システムで制御し、それ以外は既設制御で運転することとした。写真7は、本システムのカメラが撮影した画

像に、本システムによる制御範囲と積雪の検知範囲を書き加えたものである。この検知範囲のうち、雪と検知した割合が多くなると運転を開始し、少なくなると停止する。

積雪を検知してから融雪を開始する場合、既設制御に比べて運転開始が遅れることの影響が懸念されたが、2011年1月16日より2012年3月31日まで試験を行い、保存された画像を確認したところ、本システムによる制御箇所に特に雪が貯まる現象はなく、既設制御と違いのない融雪ができていたことが分かった。

このように、問題なく融雪することが確認できたため、2012年度は1系統全部を本システムで制御することとした。カメラに近い部分を検知範囲とした方が、広く明細な画像データを扱えるため、より精度良く検知が可能と考えられる。そのため、検知範囲を手前に変更し、それにともない幅20cm×5mの白線を手前にペイントし直した。

写真8は、本システムのカメラが撮影した画像に、積雪を検知する範囲を書き加えたものである。写真8は積雪がない状況であるが、それを判定した結果が写真9である。検知範囲の中で、雪と判定した部分を赤、雪以外と判定した部分を青で着色しているが、雪がないため全面が青となっている。写真10は積雪した状況であるが、判定結果は写真11に示すように全面が赤で、全面を雪と判定している。写真12は積雪がある部分とない部分が混在している状況であるが、判定結果は写真13に示すように積雪している部分が赤、融雪マットが露出している部分が青になっており、的確に判定されている。写真14は、深夜で構内が消灯し、赤外線投光器の照射により撮影している画像で、その検知結果は暗い画像となっているものの写真15のように積雪が検知できている。このように、昼夜を問わずに検知できることが確認できた。

なお、写真14の画像は、そのまま監視用の画像として使われるが、赤外線投光器を使うことで十分監視に耐えられる画像が撮影できることを確認できた。



写真7 制御範囲と検知範囲 (2011年度)



写真 8 検知範囲 (2012 年度)



写真-12 撮影画像 (一部積雪)

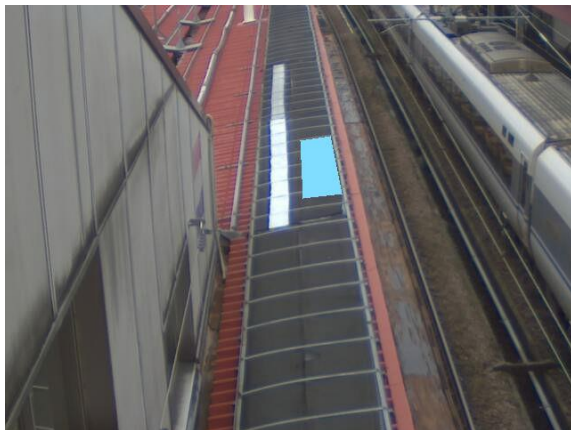


写真 9 検知結果 (積雪なし)

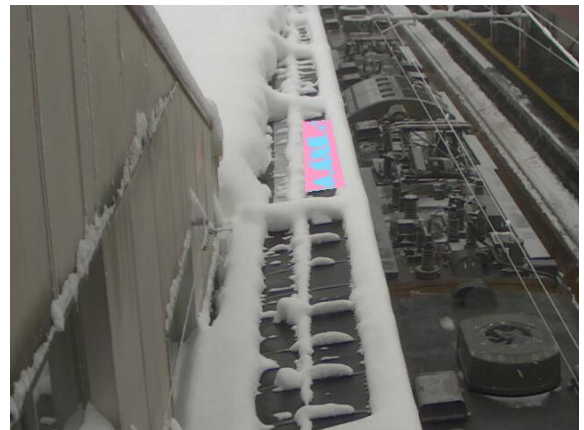


写真 13 検知結果 (一部積雪)



写真 10 撮影画像 (積雪あり)



写真 14 撮影画像 (夜間・積雪あり)



写真 11 判定結果 (積雪あり)

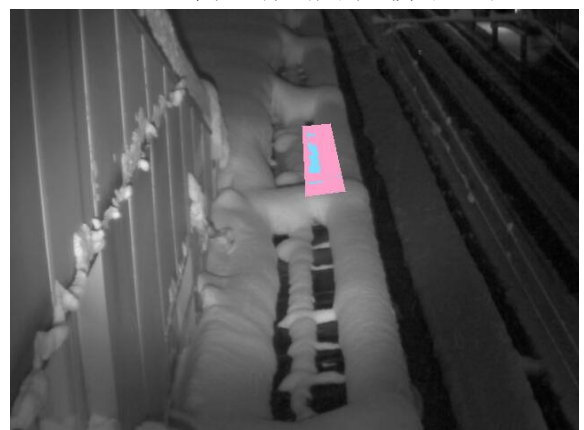


写真 15 判定結果 (夜間・積雪あり)



### 3-2 運転状況

本システムと既設制御との運転時間を比較するため、既設制御の運転信号を本システムに取り込んでおり、積雪検知による運転指令のデータと合わせて、画像処理用 PC に 5 分間隔で保存した。また、誤動作の原因となる検知精度について確認するため、撮影した画像についても保存した。

これらのデータを基に、2 シーズンについて検証を行ったので、その結果を以下に述べる。

#### (1) 2011 年度の運転状況

2011 年 1 月 16 日～2012 年 3 月 31 日の 76 日間について、検証を行った。運転時間をまとめたものを表 3 に示す。検証期間における既設制御の運転率は 91.6% となり、大半の時間を運転している状況であることが分かった。一方、本システムにより運転した部分の運転率は 35.1% で、既設制御に比べて 61.7% の運転時間を削減することが確認できた。特に、降雪が少なくなる時期である 3 月は、削減率が 86.4% と効果が高かった。

#### (2) 2012 年度の運転状況

2012 年 11 月 27 日～2013 年 2 月 19 日の 84 日間について、検証を行った。運転時間をまとめたものを表 4 に示す。ここで、2012 年 12 月に融雪マットの漏電が発生し、復旧するまでの 317 時間は 1 系統全てが運転不能となっていたため、この期間のデータは除外している。検証期間における既設制御の運転率は 93.6% となり、2011 年度と同様に大半の時間を運転している状況であった。一方、本システムにより運転した部分の運転率は 39.5% で、既設制御に比べて 57.7% の運転時間を削減することが確認できた。2011 年度の削減率よりも若干低いのが、これは研究開発期間の関係で 2 月 19 日までで検証を終えており、削減効果の高い 3 月が含まれていないためと考えられる。

#### (3) 検知精度の状況

画像と検知結果を突き合わせて検知精度と確認した。その結果、検知結果が誤ってしまうのは、融雪マットの表面に霜が付いた場合や、融雪マットが濡れていて太陽光が反射し、検出範囲付近が明るく映る場合であった。写真 16 に霜が付いて誤って検知した画像、写真 17 に反射により誤って検知した画像を示す。2011 年度では、運転時間 635 時間の内、霜による誤動作が 9 時間、反射による誤動作が 37 時間発生し、計 46 時間（運転時間の 7.2%）が検知結果の誤りによるものであった。解決策として、降雪センサと組み合わせて、降雪が無い状況で積雪を検知した場合には積雪ではないと判定する方法がある。しかし、完全に無くしても削減率が 2.7% 向上する程度であるので、許容するの一つの方法と考えられる。

なお、積雪が無い場合に誤って雪と検知することはあったが、積雪がある場合に積雪が無いという検知結果はなく、

危険を招く誤検知は起こらなかった。

誤って検知した場合以外に、通信の不調により既設制御に切り替わった場合にも誤動作は発生する。2011 年度は 86 時間が通信の不調により既設制御に切り替わっている。これは運転時間の 13.5% を占め問題であったため、通信の不調をきっかけに全体の処理が渋滞してしまう動作を回避するようソフト改良を行った。その結果、2012 年度においては 35 分間だけの発生に抑えられ、解決することができた。

表 3 運転時間の比較

| 月  | 期間内の時間   | 本システム             | 既設                  | 削減率   |
|----|----------|-------------------|---------------------|-------|
|    |          | 運転時間<br>(運転率)     | 運転時間<br>(運転率)       |       |
| 1  | 371 時間   | 186 時間<br>(50.1%) | 358 時間<br>(96.5%)   | 48.0% |
| 2  | 696 時間   | 365 時間<br>(52.4%) | 684 時間<br>(98.3%)   | 46.6% |
| 3  | 744 時間   | 84 時間<br>(11.3%)  | 616 時間<br>(82.8%)   | 86.4% |
| 合計 | 1,811 時間 | 635 時間<br>(35.1%) | 1,658 時間<br>(91.6%) | 61.7% |

※運転率＝運転時間÷期間内の時間

削減率＝1－本システムの運転時間÷既設の運転時間

表 4 運転時間の比較

| 月  | 期間内の時間   | 本システム             | 既設                  | 削減率   |
|----|----------|-------------------|---------------------|-------|
|    |          | 運転時間<br>(運転率)     | 運転時間<br>(運転率)       |       |
| 11 | 78 時間    | 6 時間<br>(7.7%)    | 67 時間<br>(85.9%)    | 91.0% |
| 12 | 427 時間   | 116 時間<br>(27.2%) | 375 時間<br>(87.8%)   | 69.1% |
| 1  | 744 時間   | 384 時間<br>(51.6%) | 724 時間<br>(97.3%)   | 47.0% |
| 2  | 448 時間   | 165 時間<br>(36.8%) | 422 時間<br>(94.2%)   | 60.9% |
| 合計 | 1,697 時間 | 671 時間<br>(39.5%) | 1,588 時間<br>(93.6%) | 57.7% |

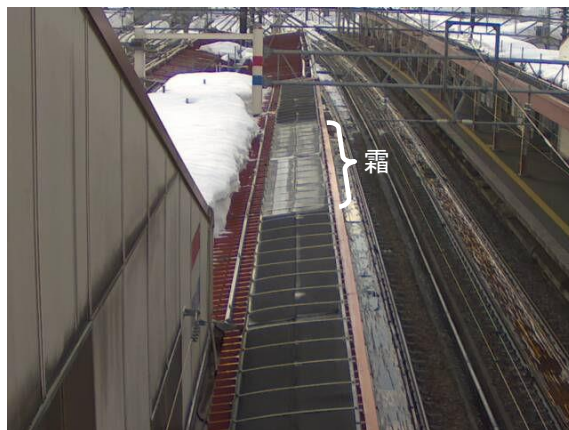


写真 16 誤って検知する例（霜）





写真 17 誤って検知する例（濡れによる反射）

#### 4. コストの試算

##### 4-1 電気料金の削減

通信異常への対応は解決できたため、それによる誤動作はなかったものとして除外し、2シーズンの検証結果を合計する形でまとめると、表5のとおり削減率は61.1%と求められる。

今回検証をおこなったホームの屋根融雪装置を1シーズン制御したと仮定した場合の、電気料金の削減額を求める。検証は1系統のみを制御したが、実際には反対側の軒先にも融雪マットが1系統取り付けられている。通常は、屋根を1単位として2系統をまとめて制御していることから、算出条件は下記とした。

- ・融雪設備の容量は2系統分の15.2kW
  - ・1シーズンを12月1日～翌3月31日の2,904時間
  - ・運転率は表5の値を採用
  - ・料金単価は、東北電力・融雪用電力Aの11.07円/kWh
- 既設制御での運転時間＝2,904×93.5%＝2,715時間  
 本システムでの運転時間＝2,904×36.4%＝1,057時間  
 削減される運転時間＝2,715－1,057＝1,658時間  
 電力削減量＝設備容量×削減される運転時間  
 ＝15.2kW×1,658時間  
 ＝25,202kWh

電気料金の削減額＝11.07円/kWh×25,202kWh  
 ＝278,986円

##### 4-2 インニシャルコストの回収

###### (1) 越後湯沢駅の場合

4-1で試算した電気料金の削減額を基に、越後湯沢駅におけるインニシャルコストの回収年を求める。本システムは、図4に示すとおり複数箇所をまとめて集中処理でき、1か所あたり概算で160万円のインニシャルコストとなる。一方、通信費およびシーズン前点検などのメンテナンス費を合わせたシステムのランニングコストは、1シーズンで約10万円と見込まれる。これらの条件から、インニシャルコストの回収年数は、以下のとおり試算される。

インニシャルコスト

$$\div (\text{電気料金削減額} - \text{システムのランニングコスト}) \\ = 160 \text{ 万円} \div (28 \text{ 万円} - 10 \text{ 万円}) = 8.9 \text{ 年}$$

2系統15.2kWの場合では、回収年数は8.9年となった。しかし、同一駅では同程度の融雪能力のものがまとめて設置されている場合が多く、融け方も同程度になるため一括した制御でもよく、その場合には回収年数が短くなる。

###### (2) 某駅の場合

4系統で電気容量が計62.5kWの融雪装置を制御する条件で試算する。この場合、越後湯沢と同様な計算により、電気料金の削減額は115万円となる。系統が多いことから監視専用にカメラを1台増設する計画とし、インニシャルコストを300万円、システムのランニングコストを15万円/年という条件で試算すると、回収年数は3年となる。

$$\text{回収年数 (62.5kW)} = 300 \text{ 万円} \div (115 \text{ 万円} - 15 \text{ 万円}) \\ = 3.0 \text{ 年}$$

表5 運転時間の比較

| 月  | 期間内の時間   | 本システム               | 既設                  | 削減率   |
|----|----------|---------------------|---------------------|-------|
|    |          | 運転時間<br>(運転率)       | 運転時間<br>(運転率)       |       |
| 12 | 427 時間   | 116 時間<br>(27.2%)   | 375 時間<br>(87.8%)   | 69.1% |
| 1  | 1,115 時間 | 557 時間<br>(50.0%)   | 1,082 時間<br>(97.0%) | 52.9% |
| 2  | 1,114 時間 | 479 時間<br>(43.0%)   | 1,107 時間<br>(99.4%) | 56.7% |
| 3  | 744 時間   | 84 時間<br>(11.3%)    | 616 時間<br>(82.8%)   | 86.4% |
| 合計 | 3,400 時間 | 1,236 時間<br>(36.4%) | 3,180 時間<br>(93.5%) | 61.1% |

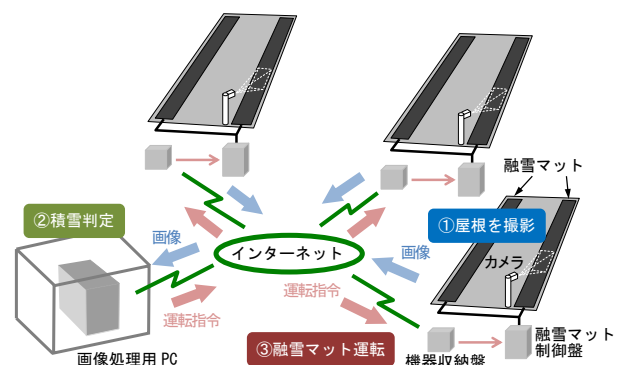


図4 集中処理による融雪制御

#### 5. まとめ

路面積雪センサを応用した融雪制御システムを開発し、越後湯沢駅において検証を行った。その結果、従来の降雪と温度による制御に比べ、運転時間を61.1%削減できることを実証した。電気料金の削減と合わせ持つ監視機能に十分なメリットがあること、電力消費削減の社会的要求があることから、今後融雪制御システムの導入を進めていきたい。

# プレキャスト散水ブロックの形状改良について

森田 竜成\*1

大塚 敏正\*1

## 1 はじめに

富山県西部の砺波市及び南砺市を管内とする砺波土木センターでは、平成25年4月1日現在、管理道路延長429kmのうち24%にあたる約104kmで消雪施設が設置されている。

この消雪施設のうち、設置後20～30年が経過したものについては、老朽化に伴う鋼管の腐食や目地部からの漏水、ノズルや保護コンクリートの破損等が顕著なことから、順次更新工事（リフレッシュ工事）を実施している。

近年リフレッシュ工事では、通行規制期間の短縮等を目的としてプレキャストブロックを利用するケースが増加しており、これに伴いブロックの形状や施工方法に起因するものと考えられる取付舗装の破損が多数見受けられるようになった。

取付舗装の破損は、消雪散水が逸失するばかりではなく、降雨や消雪水が路盤部へ流入することによる吸出しや凍結の発生、さらには車両の走行性が悪化する原因となる。

本報告は、取付舗装の破損対策として2種類のプレキャスト散水ブロックを試作し実際の工事に利用したうえで、取付舗装の破損状況を従来製品と比較することで、その効果について検証するものである。

## 2 リフレッシュ工事について

一般的に消雪施設は、狭隘な路線で住宅が連担しており、機械による除雪が困難な箇所設置されている。

以前の消雪施設は、散水ノズルを取り付けた鋼管を現場打ち鉄筋コンクリートで保護した構造であり、幅員の狭隘なところでは、通行車両は中央寄りに走行することから道路中央部に設置された消雪施設には、写真-1、2のような破損が発生しやすい。



写真-1 (内部鉄筋の露出)



写真-2 (目地部の破損)

リフレッシュ工事では、既設の施設を撤去したのち新たな施設を新設するものであるが、幅員の狭い路線において同様な現場打ちコンクリートで施工する場合には、コンクリートの養生期間中、片側交互通行もしくは通行止めの規制が必要となる。施工中の通行規制はもちろんのこと、夜間も含め終日の通行規制は、道路利用者への負担はもとより、地域住民の生活にも多大な影響を及ぼすことが懸念される。

このような箇所においては、工場で製作した図-1に示すプレキャスト散水ブロック (L=5.5m/本) を利用することで、施工中のみの規制とする方法を採用している。

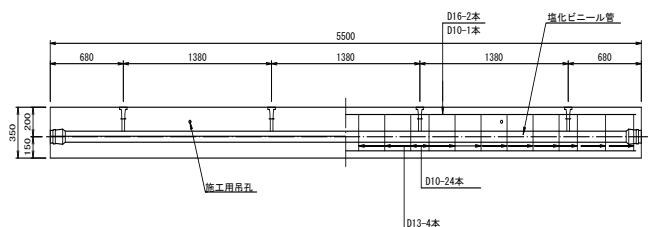


図-1 (プレキャスト散水ブロック側面図)

プレキャスト散水ブロックによる施工では、1日に設置できるブロックの延長分のみ既設構造物を撤去し、ブロックを設置した後埋め戻し、取付舗装までを行っている。

既設消雪はB350mm×H350mmのコンクリートであるため、その取り壊しと散水ブロック設置の施工性を考慮して、床掘幅は図-2のとおり450mmとしている。散水ブロックの基礎には、厚さ100mmの再生碎石を敷設する。また、当センターでは、床掘断面とブロックの隙間への埋め戻し材料として空練りモルタルを使用しており、既設消雪撤去後のいびつな断面への確実な充填と転圧不足によるブロック側部の沈下防止を図っている。

\*1 富山県砺波土木センター 工務第一課



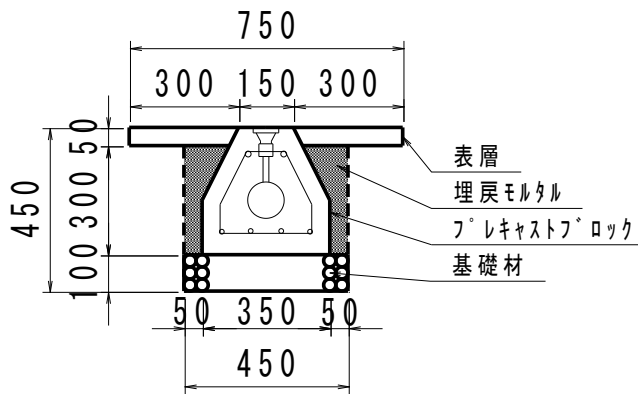


図-2 (施工断面図)

既設舗装版の撤去幅については、取付舗装の施工において所定の現場密度を確保するため、振動ローラによる適切な転圧ができるように幅 300mm の施工断面としている。

写真-3、4 はプレキャストブロックによる施工前と完成後の状況である。



写真-3(施工前)



写真-4(完成後)

### 3 取付舗装の破損について

プレキャストブロックを利用した消雪施設にあっては、近年、取付舗装の破損が顕著に見られる。

写真-5 は、平成 22 年度にリフレッシュ工事を行った箇所（車道幅員 5.5m、交通量約 3,500 台/日）における取付舗装の状況である。

ブロック天端から発生した破損が拡大し、車両の走行や振動によって塊となつてはがれた結果、写真-5 のような舗装状況になったものと考えられる。



写真-5 (取付舗装の破損)

このような状況になると、破損箇所から降雨や消雪水が路盤内に多量に流入し、路盤材料の流動化や間隙水の凍結融解により更なる舗装の破損が懸念される。また、破損周辺での車両の走行によって、破損の段差から生じる衝撃や振動が舗装や消雪施設に悪影響を及ぼすことになる。

道路の異常に対しては、日々のパトロール等により発見され次第処置しているが、プレキャストブロックの取付舗装の破損では、常温合材による応急措置も数日のうちに取れてしまうことが多い。

現在のところ、プレキャストブロックを使用した消雪施設の取付舗装を調査した結果、規模の大小はあるが 9 割以上の箇所で見られた。

### 4 製品形状変更の検討

取付舗装の破損原因としては、道路幅員や交通量もその一つと考えられるが、プレキャストブロックの形状や性状に着目すると、以下の問題点が考えられる。

- ① プレキャストブロックの断面は上部が台形状となっていることから天端では取付舗装厚が薄くなる。
- ② ブロック表面が滑面を呈していることからアスファルト合材とコンクリートの接着性が期待できない。

この問題点を解消する製品について検討を行った結果、以下の 2 種類について試行することとした。

なお、検討にあたっては、富山県内で主にプレキャスト散水ブロックを製作・販売されている A 社及び B 社に協力を依頼し、当センターで提案した形状の構造性能や製作方法及びコスト等についてアドバイスをいただいた。

一つには、従来製品と比べて取付舗装厚を減少させることなく施工することができるよう、図-3 に示す通りブロック天端を舗装厚の 50mm だけ切欠いた形状の製品である。

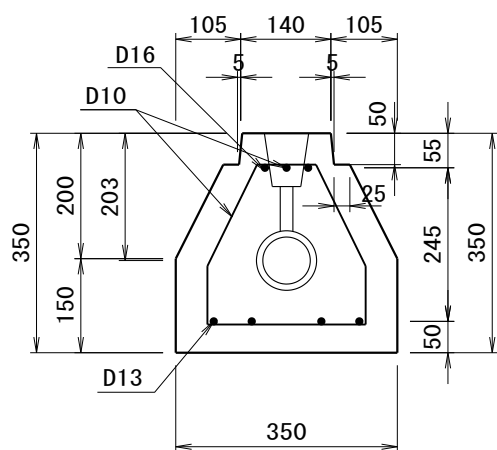


図-3(切欠タイプ)

従来製品の場合、舗装の施工では合材の骨材が 20mm トップであることから、ブロック天端部では目つぶしが必要とされていたが、切欠きタイプではその必要はないことや、転圧により均一な舗装厚が確保できること、さらには、舗装の厚み管理が容易になるなど、破損対策としての効果に期待できる。

また、製作においても従来品の型枠に切欠きを設けるための発泡スチロールを貼りつけるだけであることや、活荷重載荷による構造解析の結果、従来品と同じ鉄筋を配置することで許容応力度を満足することから、従来品と同じ単価で製造できる。

写真-6 は、実際の製作品を示す。

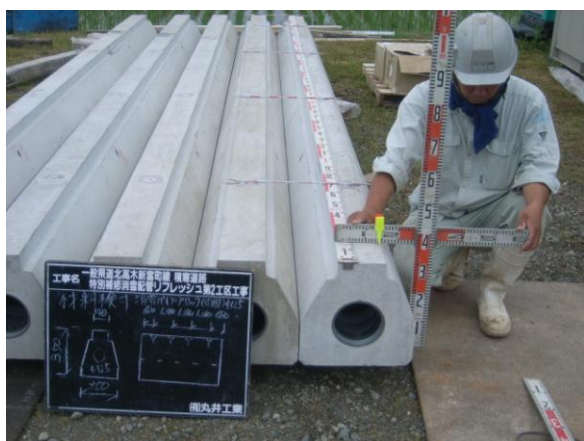


写真-6(切欠タイプ)

もう一つの製品は、ブロックと舗装の付着性向上を目的として、従来製品と同形状のブロックの天端に縞模様を設置したものである。図-4 に製品側面図を、図-5 に断面図を、また、写真-7 は実際の製作品を示す。

従来製品と比べ、ブロック表面に取付舗装厚の幅で凹凸を設けることでアスファルト合材との付着性能を向上させ、施工後初期段階における舗装の剥がれや滑り防止に寄与す

るものと考えられる。

製作にあたっては、従来品の型枠に縞鋼板の切板をつけることによりブロックに凹凸を設けていることや従来品と鉄筋量、鉄筋配置が同じであることから、製品単価も同じである。

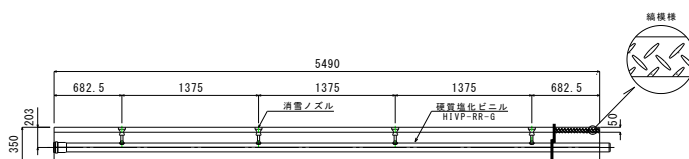


図-4(縞模様タイプ側面図)

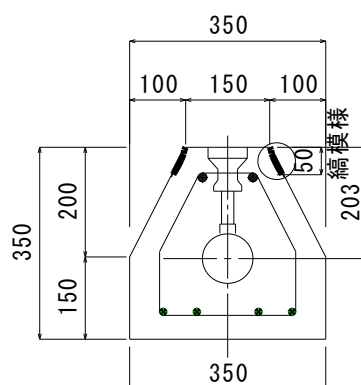


図-5(縞模様タイプ断面図)

このような 2 種類のブロックの効果を検証するため、平成 24 年度末にリフレッシュ工事を発注した 6 路線において、従来製品を含めた 3 種類のブロックを利用して施工を行った。



写真-7(縞模様タイプ)

なお、施工における新しいブロックの利用については仕様書に記載することなく、あくまでも受注者の任意事項としたうえで、従来からの取引先を優先とした。

ブロックの検討で協力いただいたA社では、3 種類の製品を製作されたが、B社では切欠タイプのみ製作可能であっ



たことから、B社との取引を優先される受注者の施工区間では、従来品と切欠タイプのみでの施工となり、全ての路線で3種類のブロックを設置することはできなかった。

## 5 新しいブロックの試行について

製品の比較にあたっては、ブロック以外の条件は同じものとする事で検証の精度が向上することから、同一路線で3種類を使用した現場で施工完了後の追跡調査を実施しており、工事概要は以下のとおりである。

|        |              |      |
|--------|--------------|------|
| 路線名    | 一般県道 北高木新富町線 |      |
| 箇所名    | 砺波市 林（はやし）地内 |      |
| 車道幅員   | 6.0m         |      |
| 交通量    | 7,520台/日     |      |
| 施工延長   | 600m         |      |
| ブロック内訳 | 従来製品         | 240m |
|        | 切欠タイプ        | 60m  |
|        | 縞模様タイプ       | 300m |

写真-8は施工箇所の全景である。



写真-8(施工箇所)

施工箇所は、住宅が隣接していることもあり非常に狭隘なため、写真-8でわかるように通行車両は中央寄りに走行することから、消雪施設にとっては、大変環境の悪い状況である。

現場作業に当たっては、通行止めもしくは片側交互通行による交通規制を行いながらの施工として、一日の作業終了後には規制を解除し交通解放した。

取付舗装については、作業スパン毎に仮舗装によって交通解放を行い、施工区間全てでプレキャスト散水ブロックを設置したのち、仮舗装を撤去して本舗装を行った。

本工事の取付舗装に携わった舗装業者に話を聞いたところ、「従来製品と比べ転圧作業では大差はないが、合材の敷

き均し易さや厚さ管理に手間がかからないということで従来製品よりも舗装が容易にできた」との意見であったことから、形状改良により施工性が向上したと言える。

一方、当該工事が完成したのは8月中旬であり、本稿の執筆時点では2カ月が経過したところである。

このため、現時点では各ブロックでの明瞭な違いや取付舗装の破損は確認できていないが、従来製品による施工箇所で見られた若干の舗装下がりや合材の剥がれを写真-9に示す。



写真-9(舗装異常の初期)

なお、試行ブロックにおける取付舗装には、現段階で施工直後と変化はないことを付け加えておく。

これまでの実績では、施工後1年程度の経過によって、取付舗装に明らかな異常が見られていることから、今後、数年は調査を継続したうえで、試行ブロックの効果を検証したい。

## 6 おわりに

豪雪地帯である本県の道路消雪は、冬期間の地域住民に安全で安心な生活を提供するための重要な施設である。

これからも適切な維持管理によって消雪施設を適正に稼働させていかなければならないが、消雪の効果は舗装の状態に左右されるため、舗装と一体で管理することが肝要である。

本稿で述べた取付舗装の破損は、道路を利用するうえでは些細なものと扱われがちであるが、大きな損傷はこのような小さな破損から始まることを忘れてはならない。

公共事業の維持管理においては、対処療发型から予防保全型の事業へ移行する中で、今回の取り組みは予防保全型の対策として検証を進めたい。

今回、ブロックの試行に快く協力いただいた製作会社には、この紙面を借りてお礼を申し上げるとともに、今後機会があれば追跡調査による検証結果を報告させていただきたい。

# 融雪施設の効率的な再生可能エネルギー活用について —必要熱量及びベース負荷の検討—

山口和哉<sup>\*1</sup>，片野浩司<sup>\*1</sup>，永長哲也<sup>\*1</sup>，齊藤要<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

北海道では、スパイクタイヤの使用が法律で禁止されてから多くの融雪施設が設置された。しかし、そのほとんどが電気を熱源としており、電気料金が道路管理の大きな負担となっている。そこで、H23年より札幌市内の既存融雪施設の路面状況、供給熱量、風向・風速等のデータを収集し、現状の供給熱量を明確にするとともに、降雪量や外気温度、風速から推測される必要熱量について比較検討を行ってきた。

H24年は必要熱量の推計データから、再生可能エネルギーを効果的に活用するための熱量について検討を実施するとともに、路面の融雪状況についてインターバルカメラ等を用いて調査を行った。また、北海道の中では、降雪量が少なく外気温度が低い道東地区の釧路市においても、融雪状況等の計測を実施したので報告する。

平均値を用いている。外気温度は平均 $-4.1^{\circ}\text{C}$ 、最低 $-13.4^{\circ}\text{C}$ 、最高 $7.3^{\circ}\text{C}$ であり、風速は平均 $1.5\text{m/s}$ 、降雪量は最大 $3.0\text{cm/h}$ であった。また、期間最大降雪量は $13\text{cm/day}$ であった。（時間降雪量 $\text{cm/h}$ は、1時間前の積雪深との差の正値とした。）

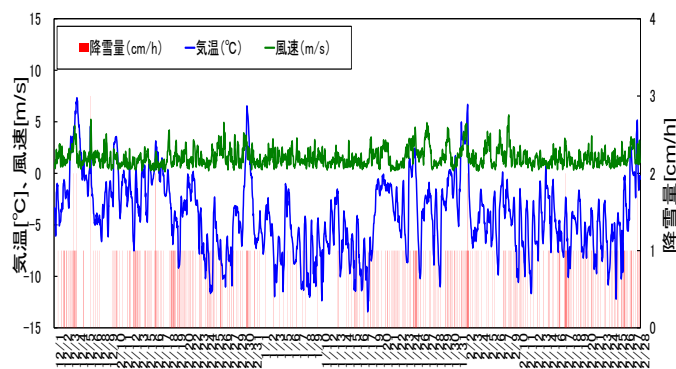


図-1 降雪量、外気温度、風速

表-1 降雪量、外気温度、風速

| 項目   | 気温<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 風速<br>( $\text{m/s}$ ) | 降雪量<br>( $\text{cm/h}$ ) |
|------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 期間平均 | $-4.1$                       | $1.5$                  | $0.2$                    |
| 期間最低 | $-13.4$                      | $0.2$                  | $0.0$                    |
| 期間最高 | $7.3$                        | $5.7$                  | $3.0$                    |

| 項目  | 平均<br>( $\text{cm/day}$ ) | 最大<br>( $\text{cm/day}$ ) | 期間合計<br>( $\text{cm}$ ) |
|-----|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 降雪量 | $4.2$                     | $13$                      | $379$                   |

## 2. 2路面状況

路面温度、外気温度、日射量及び風速の推移を図-2に示す。路面温度は、外気温度の上昇後、若干の時間遅れの後に上昇している。また、外気温度が低い状況であっても、日射量が大きい場合は、路面温度が上昇する傾向にある。観測期間では平均 $4.2^{\circ}\text{C}$ 、最低 $0^{\circ}\text{C}$ 、最高 $6.2^{\circ}\text{C}$ であった。

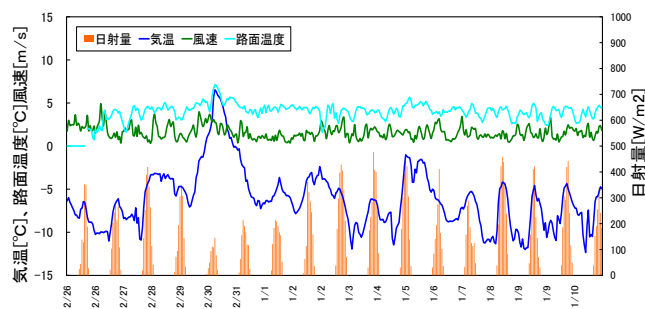


図-2 路面温度、日射量、外気温度、風速

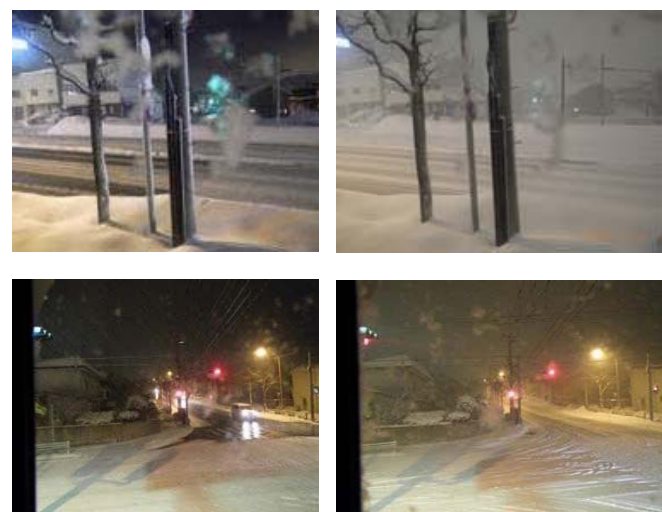


写真-1 融雪状況（上：札幌、下：釧路）

## 2. 実態調査結果

札幌市内の既存融雪施設の気温、風速、降雪強度、路面温度、供給熱量、路面状況について各計測値の推移を整理した。調査は電気式融雪施設を対象とした。

### 2. 1 外界気象条件

H24年12月からH25年2月末における外界気象条件の推移を図-1に示す。図中のデータは1時間毎のデータであり、10分間隔で計測したものについては、その1時間

\* 1 (独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム、\* 2 (独) 土木研究所寒地土木研究所 道東支所



表-2 路面温度、日射量、外気温度

| 項目                            | 平均  | 最低   | 最高  |
|-------------------------------|-----|------|-----|
| 路面温度<br>(°C)                  | 4.2 | 0.6  | 6.2 |
| 観測時の外界条件                      |     |      |     |
| 観測時日射量<br>(W/m <sup>2</sup> ) | -   | 0    | 231 |
| 観測時外気温<br>(°C)                | -   | -9.1 | 3.8 |

## 2. 3 供給熱量

観測期間の供給熱量の推移を図-3に示す。本システムは電熱線を使用しているため供給電力量＝供給熱量とし、面積あたり供給熱量は、融雪面積から算出している。

観測期間を通して100W/m<sup>2</sup>～最大250 W/m<sup>2</sup>程度で推移しており、平均166W/m<sup>2</sup>であった。日平均の供給熱量は87,356MJであり、仮に12月～2月の3ヶ月間にわたって供給するとした場合、合計供給熱量は7,862GJとなる。

図-4より、16時～21時に面積あたり供給熱量が低下しているが、これは融雪電力の契約上、電力供給が1日に2時間（15分×8）電力供給が停止するためである。

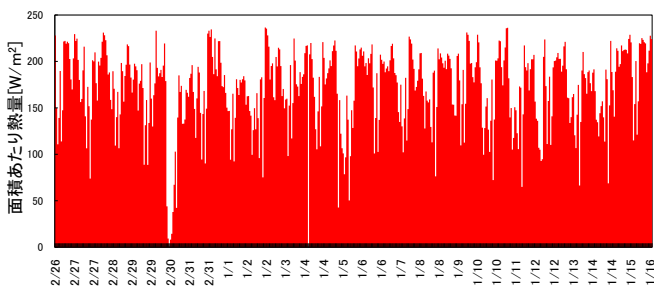


図-3 面積あたり供給熱量の推移

表-3 面積あたり供給熱量

| 項目    | 平均<br>(MJ) | 最低<br>(MJ) | 最高<br>(MJ) |
|-------|------------|------------|------------|
| 日供給熱量 | 87,356     | 57,025     | 108,043    |

| 項目        | 平均<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 最低<br>(W/m <sup>2</sup> ) | 最高<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 面積あたり供給熱量 | 166                       | 1                         | 236                       |

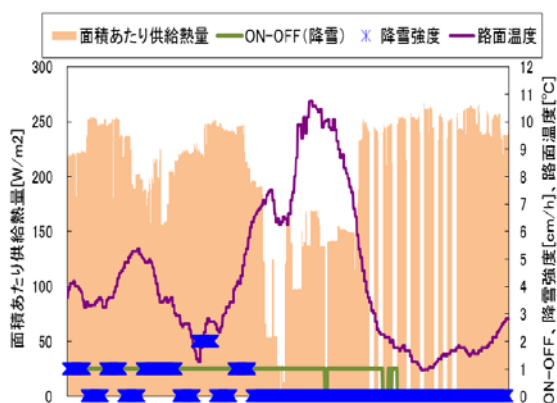


図-4 電気式ロードヒーティングの運転実績

## 2. 4 路面融雪状況

既存融雪施設における各種計測値と路面融雪状況の関係を整理し、気温、降雪、風速から算出される必要熱量

の推測値を基に、路面融雪状況を把握した。

以下の3パターンに分類し各路面融雪状況を解説する。

【路面融雪状況①】：供給熱量に対して必要熱量が小さい場合の路面融雪状況

- ・外気温度がプラスであり多少の降雪があるが路面は湿潤状態である。

【路面融雪状況②】：必要熱量と供給熱量が同等程度の場合の路面融雪状況

- ・外気温度が-9.1℃と低く、路面温度も2.8℃と低下している。断続的に降雪があり、路面はヒーティング部では湿潤状態であるが、一般部は凍結している。

【路面融雪状況③】：必要熱量に対して供給熱量が小さい場合の路面融雪状況。

- ・外気温度は-9.9℃と低く、風速も4.0m/sと強いため供給熱量に対して必要熱量が大きくなっている。路面温度は2.1℃まで低下している。ヒーティング左部では降雪がなかったことから乾燥状態となっている。また左部で一部凍結しているがこれは、一般部からの雪等のひきずりによるものと推測される。

以上のことから、札幌地区においては外気温度が低時間帯においても融雪の効果が発揮されていることがわかる。しかし、降雪が無く路面乾燥状態での熱供給については、改善の検討が必要と思われる。



図-5 路面融雪状況①

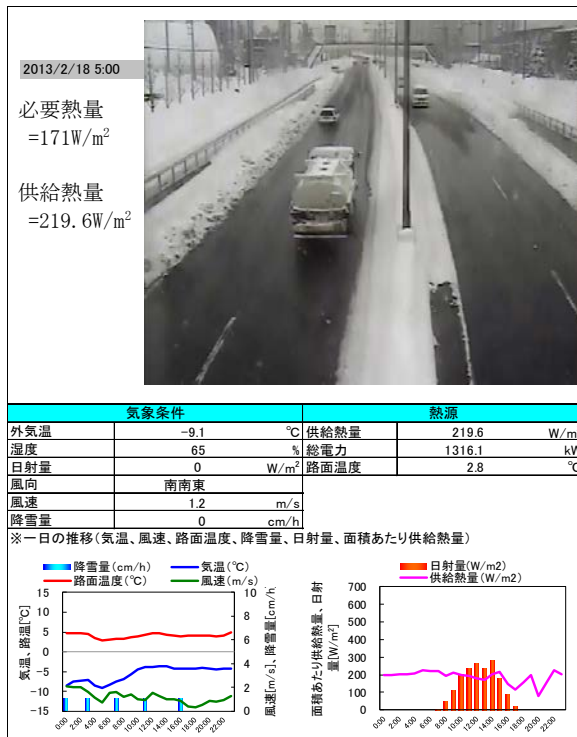


図-6 路面融雪状況②



図-7 路面融雪状況③

### 3. 必要熱量及びベース負荷

#### 3. 1 必要熱量

「設計必要熱量の試算方法」に従い、過去の気象条件から推計した必要熱量を年度別に図-7、8に整理した。ここでは気象条件から算出される必要熱量を12月～3月までを累積確率で整理した。累積確率とは調査期間中の必要熱量を小さい順に並べ替え、出現確率で表したもの

で、累積確率100%とは、この値以下になる確率が100%であることを示す。

設計必要熱量の計算方法については、一般的に、「降雪を融解するための熱量」と、「凍結を防止する熱量」のそれぞれを算出し、いずれかの高い方の熱量を採用する。

#### 【最大融雪熱量】

ここでの融雪とは、「路面全体が薄く雪で覆われている」状態までを許容するものとしている。

$$q_1 = \frac{q_s + q_m}{\eta} \quad (1)$$

$$q_s = P \cdot C \cdot h_s(t_m - t_0) \times 10^{-2} \quad (2)$$

$$q_m = P \cdot \delta \cdot h_s \times 10^{-2} \quad (3)$$

$P$ : 雪密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $C$ : 雪氷の比熱[kJ/kg・°C]、 $h_s$ : 設計最大降雪量[cm/h]、 $t_m$ : 融雪温度≒路面温度[°C]、 $t_0$ : 降雪温度≒外気温度[°C]、 $\delta$ : 雪・氷の融解潜熱[kJ/kg]

#### 【凍結防止熱量】

降雪がないときに、路面温度を0°C以上に保ち、凍結を防止するための熱量。

$$q_2 = \frac{q_h}{\eta} \quad (4)$$

$$q_h = a_t(t_m - t_0) \quad (5)$$

$$a_t = a_c + a_r \quad (6)$$

$$\begin{aligned} a_c &= 1.307\sqrt[3]{t_m - t_0} \quad (\text{無風時}) \\ &= 5.0 + 3.4v \quad (v \leq 5 \text{ m/s の時}) \\ &= 6.14v^{0.78} \quad (v > 5 \text{ m/s の時}) \end{aligned} \quad (7)$$

$$a_r = \frac{4.65}{t_m - t_0} \left\{ \left( \frac{273 + t_m}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_0}{100} \right)^4 \right\} \quad (8)$$

$a_t$ : 総合表面熱伝達率[kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]、 $a_c$ : 対流による表面熱伝達率[kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]

$a_r$ : 放射による表面熱伝達率[kcal/m<sup>2</sup>・h・°C]、 $v$ : 風速[m/s]



分析の結果以下の知見が得られた。

- ・融雪施設の運転条件としては、「融雪」と「凍結防止」では、「凍結防止」が圧倒的に多い結果となった。これは乾燥状態での必要熱量が計上されていることも要因と考えられる。
- ・必要熱量が設計容量である250 W/m<sup>2</sup>を越える時間も100時間～200時間程度発生している。
- ・設計容量である250 W/m<sup>2</sup>を越える時間帯は、明け方及び深夜に多く発生している。

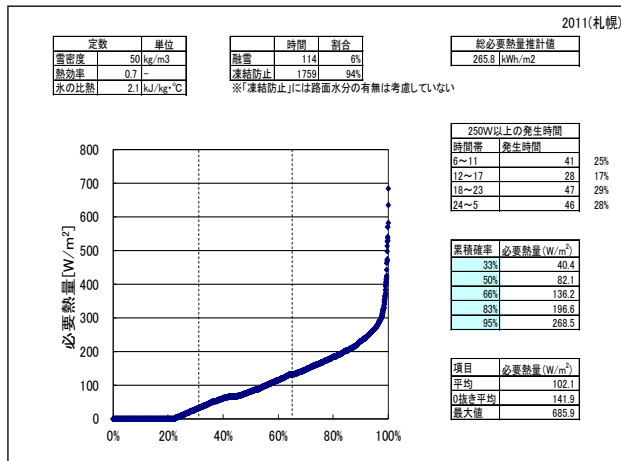


図-8 必要熱量と累積確率（2011年札幌）

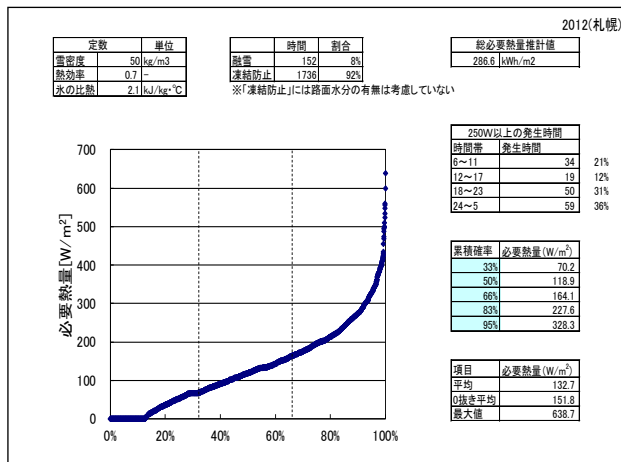


図-9 必要熱量と累積確率（2012年札幌）

### 3. 2 ベース負荷

再生可能エネルギーはロードヒーティングの熱源として活用することで、環境負荷低減、省エネ効果などが期待できる。しかし、需要の変動に対する応答性が比較的悪くなる傾向がある。導入にあたっては、一定の供給を長時間続けることで、システムの効率向上が期待でき、コスト面も有利と考えられる。このことから、融雪期間を通して発生時間が長い必要熱量を再生可能エネルギー供給熱量（以下「ベース負荷」という）として検討した。

具体的な設定方法は、

- ①必要熱量の累積確率は気象条件によって異なるため、検討にあたっては、過去5年分の必要熱量の推計結果を

用いた。

- ②必要熱量推計値を各年度毎に、累積確率の考え方で整理する。

- ③累積確率の必要熱量数パターンをベース負荷として設定する。

上記の方法に従い、過去5年分の必要熱量を表-4に示す。さらに、累積確率で整理した結果を図-10に示す。

この結果から、累積確率の高い側にベース負荷を設定すると、年間を通して必要な熱量に対して無駄となる熱量が多くなることがわかる。図-10の全平均値は、指数関数的に上昇しており、指数関数での近似によるR自乗値≒0.93となる。

よってここでは、確率が50%以下の必要熱量推計値をベース負荷の3パターンとして設置し、今後の採熱管設置本数やコスト比較を行うための、ベース負荷として検討を行うものとする。

表-4 必要熱量集計表（過去5年分）

| 累積確率 (%) | 2008年度 | 2009年度 | 2010年度 | 2011年度 | 2011年度 (厚別東) | 2011年度 (月寒) | 2011年度 (川沿) |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------------|-------------|-------------|
| 16.67%   | 35.9   | 37.0   | 29.4   | 55.4   | 50.1         | 46.5        | 48.3        |
| 33.33%   | 67.1   | 66.7   | 65.7   | 88.2   | 85.4         | 74.9        | 79.1        |
| 50.00%   | 88.6   | 93.6   | 90.2   | 132.8  | 127.3        | 107.6       | 111.6       |
| 66.67%   | 123.9  | 127.7  | 132.5  | 175.0  | 161.2        | 140.0       | 147.3       |
| 83.33%   | 168.1  | 188.2  | 201.7  | 222.2  | 197.7        | 176.4       | 188.7       |
| 100.00%  | 664.9  | 880.1  | 514.0  | 685.9  | 556.6        | 494.6       | 606.3       |

| 累積確率 (%) | 2012年度 (厚別東) | 2012年度 (月寒) | 2012年度 (川沿) | アメダス平均 | 全平均   |          |
|----------|--------------|-------------|-------------|--------|-------|----------|
| 16.67%   | 54.0         | 46.0        | 48.1        | 39.4   | 45.1  | → ベース負荷① |
| 33.33%   | 75.4         | 70.4        | 69.6        | 71.9   | 74.3  | → ベース負荷② |
| 50.00%   | 113.1        | 101.0       | 99.5        | 101.3  | 106.5 | → ベース負荷③ |
| 66.67%   | 147.8        | 129.3       | 131.3       | 139.8  | 141.6 |          |
| 83.33%   | 187.5        | 168.4       | 174.3       | 195.0  | 187.3 |          |
| 100.00%  | 370.1        | 366.4       | 402.4       | 686.3  | 554.1 |          |

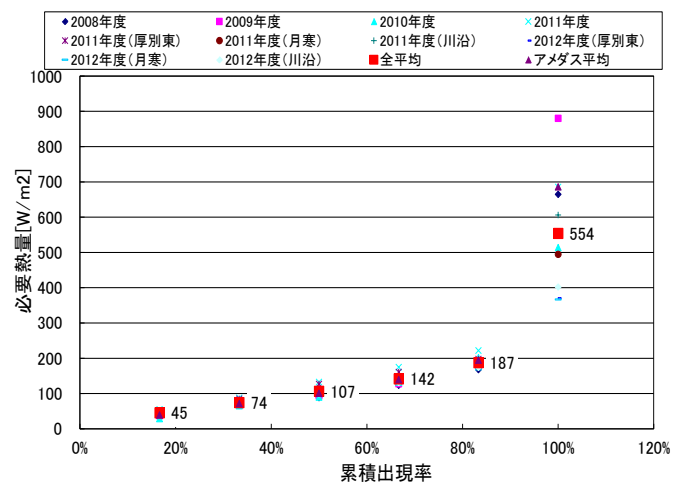


図-10 必要熱量と累積確率（過去5年分）

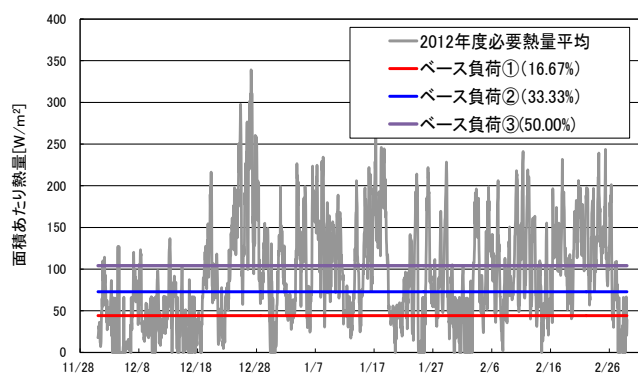


図-11 必要熱量とベース負荷

#### 4. 道東地方の融雪状況

少雪地域として、釧路市における融雪施設の調査・分析を行った。対象施設は、釧路市の釧路環状線に導入されている、電気式及びガス温水式の融雪施設である。

設備容量は電気式、ガス温水式ともに300W/m<sup>2</sup>であり、ガス温水式の熱源は天然ガスである。

##### 4. 1 外界気象条件 (釧路市)

H24年12月～H25年2月の気象条件を整理する。気象観測装置を釧路市内に設置し、外気温度、風速データを収集し、降雪強度は、気象庁アメダス釧路データで補完した。

外気温度は平均-4.7℃、最低-18.5℃と札幌市と大きな差はないが、風速は平均3.2m/s、最高22.9m/sと札幌と比べて3～4倍となっており、風速が極めて強いことがわかる。降雪量は平均0.4cm/dayであり、観測期間合計で38cmと、札幌と比べて1/10程度であった。

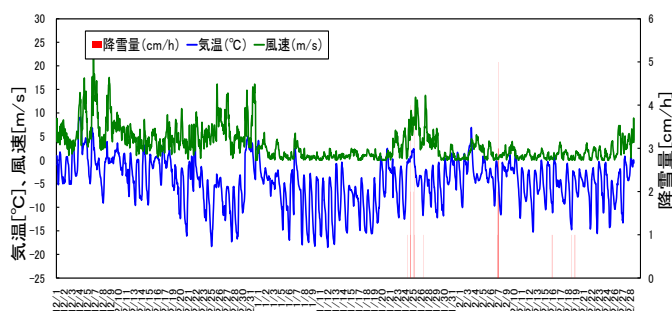


図-12 降雪量、外気温度、風速 (釧路)

表-5 降雪量、外気温度、風速 (釧路)

| 項目   | 気温 (°C)     | 風速 (m/s)    | 降雪量 (cm/h) |
|------|-------------|-------------|------------|
| 期間平均 | -4.7        | 3.2         | -          |
| 期間最低 | -18.5       | 0.0         | 0.0        |
| 期間最高 | 9.1         | 22.9        | 5.0        |
| 項目   | 平均 (cm/day) | 最大 (cm/day) | 期間合計 (cm)  |
| 降雪量  | 0.4         | 17          | 38         |

##### 4. 2 路面融雪状況 (釧路市)

札幌と同様に、既存融雪施設における各種計測値と路面状況の関係を整理し、気温、降雪、風速から算出される必要熱量の推測値を基に、路面状況を把握した。

以下の3パターンに分類し各路面融雪状況を解説する。

【路面融雪状況① (釧路市)】：施設容量に対して必要熱量が小さい場合の路面融雪状況

- ・外気温度がプラス2.4℃で、2cm/hの降雪があるが路面は湿潤状態であった。この後4cm/hの強い降雪があり、13m/sを超える風速となり外気温度もマイナスとなるが、ロードヒーティング部は湿潤状態であった。

【路面融雪状況② (釧路市)】：必要熱量が施設容量と同等程度の場合の路面融雪状況

- ・外気温度が-14.3℃で、1 cm/hの降雪があったが、ロードヒーティング部は湿潤状態であった。

【路面融雪状況③ (釧路市)】：必要熱量に対して施設容量が小さい場合の路面状況

- ・外気温度が-11.7℃で、1 cm/hの降雪があり、風速が4.1 m/sあり、必要熱量は437 W/m<sup>2</sup>と設備容量の300 W/m<sup>2</sup>を超えるものであったが、前日から降雪が無く、路面中央部は乾燥状態であった。

上記の抽出にあたっては、期間中の降雪量が少なく、乾燥状態も頻出するため、降雪後の水分が残っている時間帯を中心に抽出した。

また、観測期間中の路面状況写真を用い、路面乾燥状態も多く確認をした。乾燥している時間は、観測時間約1,080時間中、500時間程度あり、エネルギー供給中の乾燥状態も確認されている。

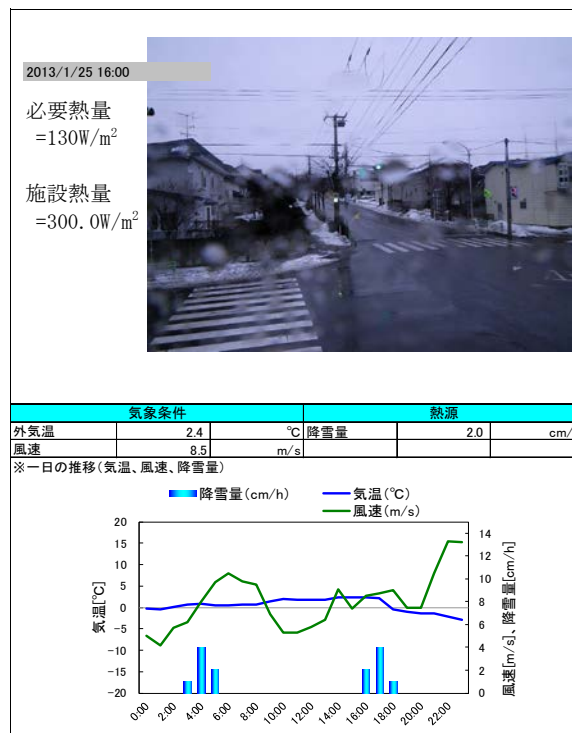


図-13 路面融雪状況① (釧路市)

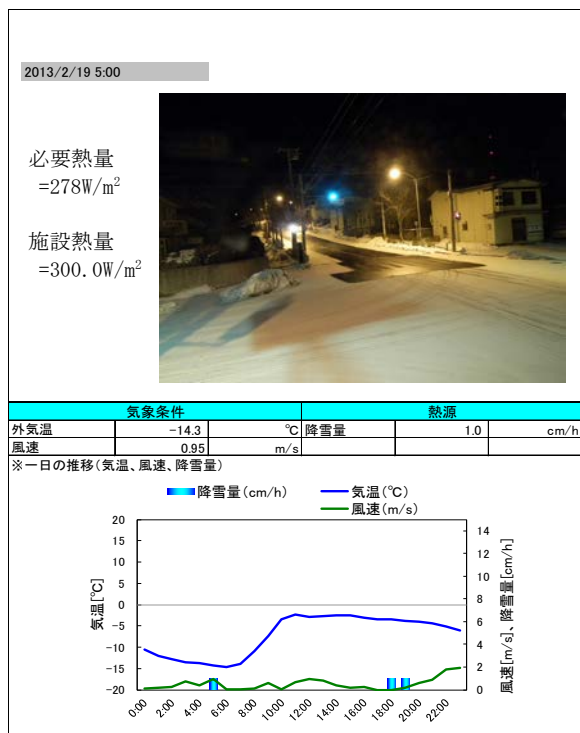


図-14 路面融雪状況②(釧路市)

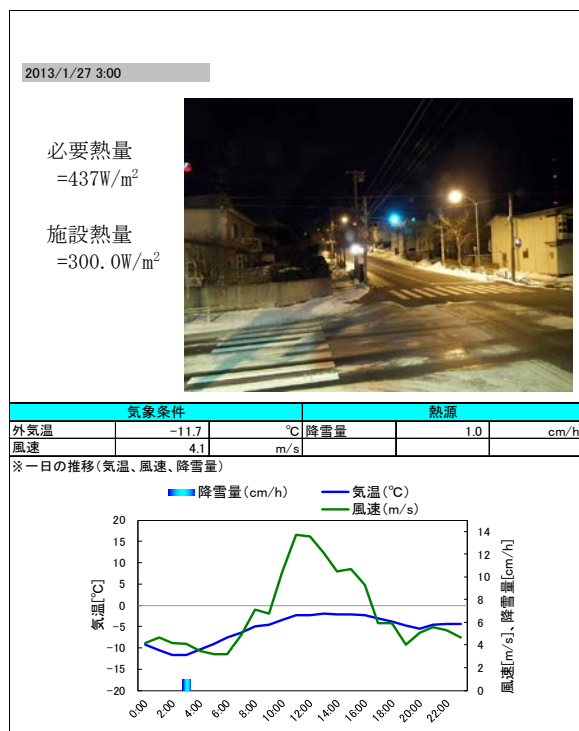


図-15 路面融雪状況③(釧路市)

## 5. まとめ

既存の融雪施設より路面温度、外気温度、日射量、供給熱量、融雪状況等のデータから、以下のことがわかった。

- ・日射量や外気温度、風速が路面温度に影響を与える。
- ・融雪電力の契約からインターバル稼働を行う時間帯があり、熱量が足りなくなる傾向がある。
- ・「融雪」と「凍結防止」では、「凍結防止」が圧倒的に多い結果となっている。これは乾燥状態での必要熱量が計上されていることも要因と考えられる。
- ・必要熱量が設計容量である250 W/m<sup>2</sup>を越える時間も100時間～200時間程度発生していることがわかった。

少雪地域である釧路市における路面状況の調査においては、路面乾燥が発生する時間が多く見受けられた。エネルギー供給中の乾燥状態も確認でき、路面上に設置してある湿潤センサーの設置位置や設置状況によるものが一因と考えられる。

融雪期間を通して発生時間の長い必要熱量を再生可能エネルギー供給熱量(ベース負荷)として検討し、3パターンを設定した。

今後は、3パターンのベース負荷を用い、採熱管設置本数や施設コストの比較を行うものとする。

## 参考資料

- 1) 北海道開発局：道路設計要領第5集電気通信施設 第4章ロードヒーティング設備 H25.4
- 2) (社)日本建設機械化協会：路面消・融雪施設等設計要領 H20.5
- 3) (社)日本建設機械化協会：除雪・防雪ハンドブック(防雪編) H16.12
- 4) 気象庁ホームページ：気象統計情報 観測地札幌

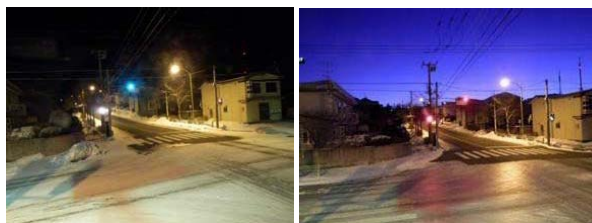


写真-2 路面乾燥状況(釧路市)



# 冬期歩道路面のすべり対策効果の評価に関する検討

井谷雅司<sup>※1</sup>，丸山記美雄<sup>※1</sup>，熊谷政行<sup>※1</sup>

## 1. はじめに

積雪寒冷地の冬期歩道路面では，積雪や路面の凍結により歩行者転倒事故が多発しており，特に高齢者が除雪が不十分な歩道を避けて車道を歩くことによる交通事故の危険性や，冬期の外出を控えがちになる等の問題も生じている．歩行空間の改善については，高齢者や移動制約者も含め，歩行者全般のニーズを踏まえた指針作り等がなされている．代表的な例として，「歩道等整備ガイドライン(案)」や「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」が挙げられる．これらは，主に夏期を対象とした内容となっており，積雪寒冷地特有の「つるつる路面(写真-1)」等に関してはロードヒーティング等の事例に触れているが，詳細な提案に至っているとは言い難い．積雪寒冷地では，冬期に歩行困難な路面が頻出しており，特に交通バリアフリーの観点からも高齢者・移動制約者等に対して歩道空間を改善する路面管理手法及び対策が求められている．

冬期歩道路面のすべり対策としては防滑材散布，凍結防止剤散布(塩化ナトリウム等)などが行われているが，その効果について定量的に評価された事例は少ない．そのため，歩行者にとって望ましい冬期歩道の路面性状を明らかにし適切な路面を提供するための路面管理手法について検討するための基礎的研究として，さまざまな冬期歩道路面に対して各種試験機器によりすべり抵抗値を測定した結果と歩行者が感じる主観評価の関係について実験・分析した．



写真-1 つるつる路面 (札幌市すすきの：夜)

## 2. 冬期歩道路面のすべり特性と主観評価

### 2.1 実験概要

#### 2.1.1 試験路面

構内試験フィールドに延長10m×幅1m，横断勾配2%(道

路構造令に準拠)の平坦な冬期歩道模擬路面を構築し，各種試験機によるすべり抵抗値測定および被験者による歩行実験(歩きやすさに関するアンケート評価)を実施した．試験路面の概要図を図-1に示す．

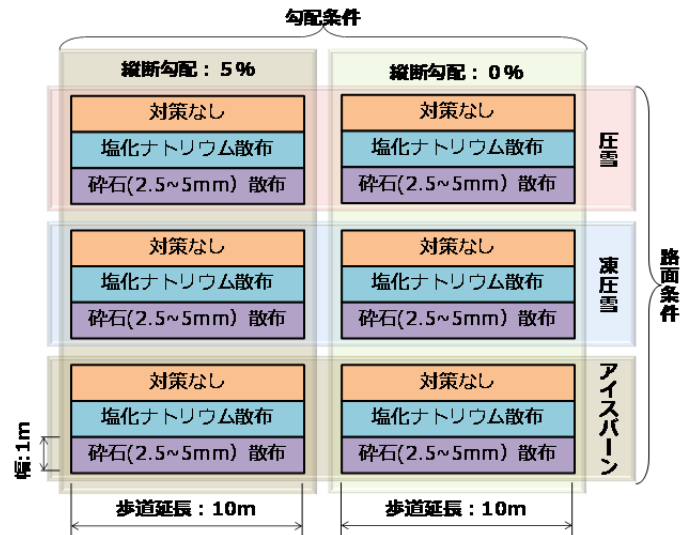


図-1 試験路面概要図

試験路面のパラメータは，3種類の雪質(圧雪，凍圧雪，アイスバーン)，2種類の勾配(0%，5%(道路の移動等円滑化整備ガイドラインに示されるすり付け部の縦断勾配の最急値))，3種類のすべり対策条件(無対策，塩化ナトリウム，砕石(2.5mm~5.0mm))とし，散布量は道路管理者による実際の散布量を参考に多め，少なめの2パターン(塩化ナトリウム:10,30g/m<sup>2</sup>，砕石:30,100g/m<sup>2</sup>)とした．

なお，試験路面の雪質は木下式硬度計(硬雪用)にて管理した．測定状況を写真-2に結果を図-2に示す．

雪硬度を路面別に見ると，圧雪，凍圧雪，アイスバーンの順に硬くなっている傾向が見られる．雪硬度の数値は，圧雪は60kg/cm<sup>2</sup>~80kg/cm<sup>2</sup>，凍圧雪は80kg/cm<sup>2</sup>~120kg/cm<sup>2</sup>，アイスバーンは160kg/cm<sup>2</sup>~250kg/cm<sup>2</sup>となっており，「除雪・防雪ハンドブック((社)日本建設機械化協会)」に示される硬度(表-1)を概ね満足する結果の路面が作成できた．



写真-2 雪硬度の測定状況

※1 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム

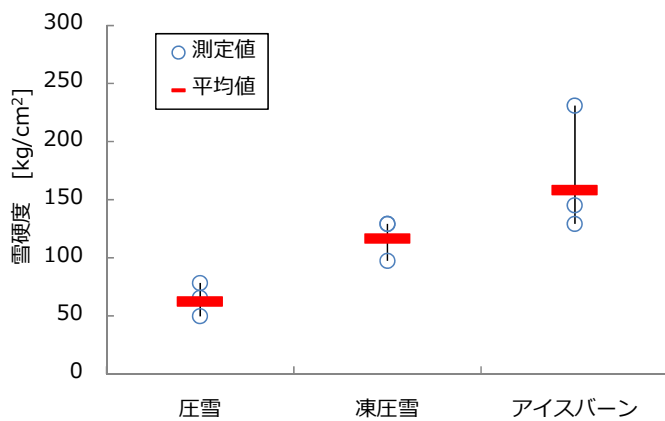


図-2 試験路面の雪硬度

表-1 雪質別の硬度の目安

| 種類      | 硬度                             |
|---------|--------------------------------|
| 新雪      | 数 $\text{g}/\text{cm}^2$       |
| しまり雪    | 数百 $\text{g}/\text{cm}^2$      |
| しまり雪（硬） | 数 $\text{kg}/\text{cm}^2$      |
| 圧雪      | 20～170 $\text{kg}/\text{cm}^2$ |
| 氷盤      | 90～300 $\text{kg}/\text{cm}^2$ |

### 2.1.2 すべり特性測定

試験路面作成後、各種路面条件においてすべり抵抗値の定量的な変化を測定することを目的に5種類のすべり測定機器（BPT, S-DFT, PPD, AMS（裏面に靴底を塗付）、OTTO）にてすべり抵抗値の測定を行った（写真-3）。測定は各路面にて3回行い平均値をその路面の代表値とした。



写真-3 試験に用いたすべり測定機

### 2.1.3 歩行実験

すべり抵抗値と歩行感覚の相関を調査するため、被験者による歩行実験を実施した。試験方法は、健常者20名（30代、40代の男女）が試験路面を歩行し、その際の歩行時間の測定及び「歩きやすさ」に関するアンケート調査を行った。アンケート項目を図-3に示す。各路面の見た目の印象、歩きやすさ、すべりやすさ、危険度、総合評価を7段階で評価する方式とした。被験者は試験路面を圧雪、凍圧雪、アイスバーンを無対策、碎石（多）、塩化物（少）、碎石（少）、塩化物（多）の順で歩行させ、歩行終了ごとにアンケートに記入してもらった。また、歩行時間はストップウォッチにて測定した。

さらに、高齢者による歩行をシミュレートするため、高齢者疑似ソールを装着した状態でも同様の調査を実施した（写真-4）。

また、靴の違いによる調査結果への影響を排除するため、被験者の靴は同一のものとした（写真-5）。

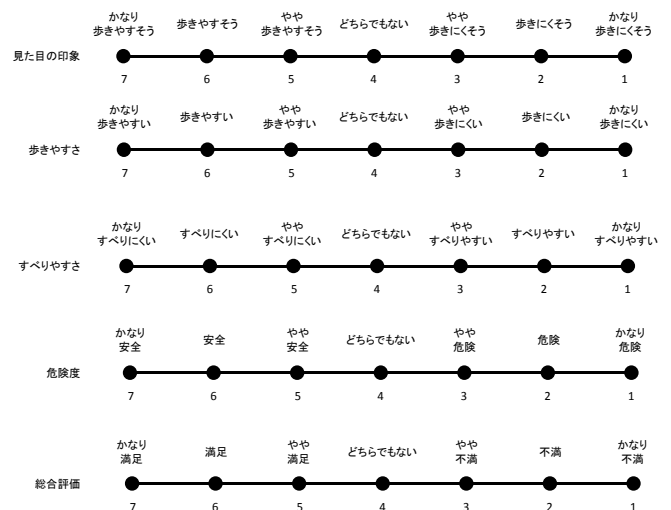


図-3 アンケート調査内容



写真-4 高齢模擬者の歩行状況



写真-5 試験に使用した靴

## 2.2 各種分析結果

### 2.2.1 被験者の属性

被験者の属性（性別、雪国在住歴、雪道をよく歩くか、調査靴のすべりやすさ）を確認した。図-4 に確認結果を示す。

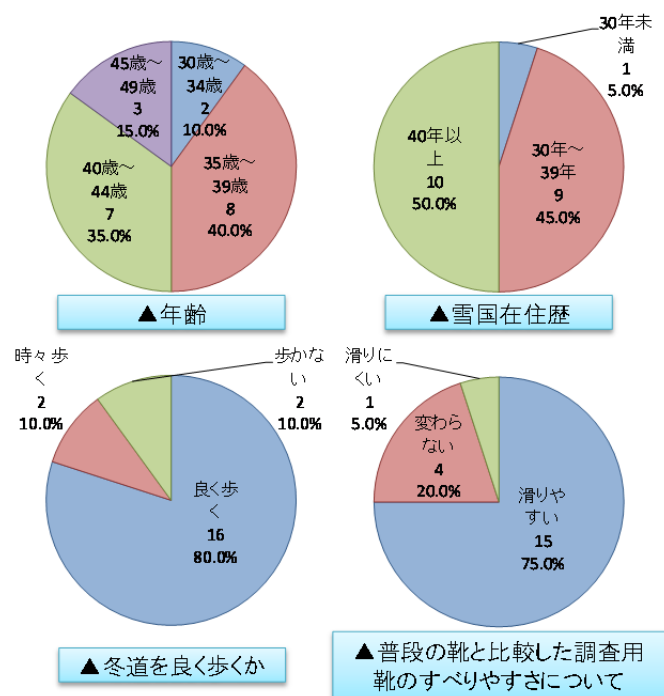


図-4 被験者の属性

#### 1) 年齢

被験者の年齢は、「35歳～39歳」が40.0%と最も多く、次いで「40歳～44歳」が35.0%であった。

#### 2) 雪国在住歴

被験者の雪国在住歴は、「40年以上」が50.0%と最も多く、「30年～39年」が45.0%と次いで多かった。

#### 3) 冬道をよく歩くか

被験者の冬道を歩く頻度は、「よく歩く」が80.0%と最も多く、「時々歩く」と「歩かない」が10.0%であった。

#### 4) 普段の靴と調査用靴のすべりやすさについて

被験者が感じる「普段の靴」と「調査用靴」のすべりやすさについては、「滑りやすい」が75.0%と多かった。

結果、雪国に長く在住し、普段よく歩く健常者に、比較的滑りやすい靴にて調査を行ったことがわかる。

### 2.2.2 被験者の主観評価結果

最も滑りやすい路面であるアイスバーンの試験路面のアンケート調査の結果（健常者）を図-5 に示す。

無対策の路面では歩きにくく感じる評価の回答者が半数以上を占めるが、砕石、薬剤の散布量を増やすと歩きにくく感じる回答は減少する傾向にある。

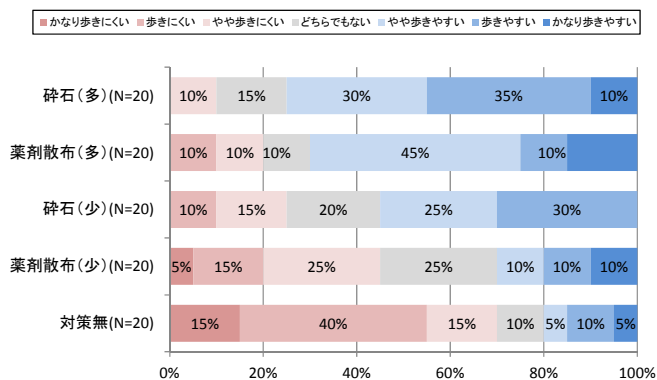


図-5 対策技術と主観評価の関係（アイスバーン）

### 2.2.3 路面縦断勾配と歩きやすさの関係

冬期歩道路面の縦断勾配の変化による歩きやすさへの影響が最も大きかった圧雪路面の分析結果を図-6 に示す。縦断勾配5%では歩きやすく感じる評価が減少する傾向にある。

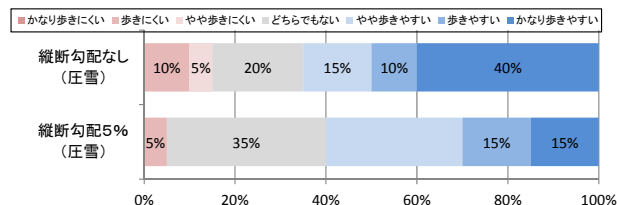


図-6 縦断勾配が主観評価に与える影響

### 2.2.4 健常者と高齢者模擬者の歩行速度

図-7 に例として最も滑りやすいアイスバーンにおける歩行時間の測定結果を示す。

塩化ナトリウム (10 or 30g/m<sup>2</sup>), 砕石 (30 or 100g/m<sup>2</sup>) を散布することにより歩行時間は短縮される傾向となる。高齢者模擬の歩行時間は健常者の1.5倍程度に増加する傾向である。過年度の調査においてロードヒーティング時(湿潤路面)の歩行時間は、7.5秒/10m程度との結果が得られているが、塩化物:30 g/m<sup>2</sup> 及び砕石:100 g/m<sup>2</sup> 程度散布することにより、健常者においては、ロードヒーティング時と同程度の歩行時間を確保できる結果となった。

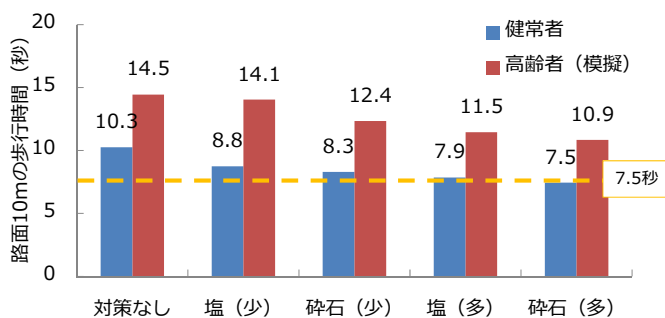


図-7 対策技術と歩行時間の関係（アイスバーン）



## 2.2.5 路面对策技術の主観評価分析

対策なしの路面と対策ありの路面について表-3 に示す歩きやすさの評価値に差があるかについて t 検定を実施し、どの対策技術が効果的なのか分析を行った(表-2)。健常者に対しては、凍圧雪、アイスバーンに対して塩化物、碎石の散布が有意であり、特に、アイスバーンでは散布量が少なくても有意な差が得られた。また、高齢者についてはいずれの路面においても、塩化物、碎石を多く散布しなければ有意差が得られなかった。この結果から、高齢者に対してはいずれの路面においても塩化物や碎石の散布量を多くしなければ対策効果が得難いことが推察される。

表-2 t 検定による対策効果の分析結果

| 被験者<br>(高齢者・健常者) | 路面<br>状態 | 対策<br>技術 | 平均値  |      | 平均値の差 | 両側P値     | 判定            |
|------------------|----------|----------|------|------|-------|----------|---------------|
|                  |          |          | 対策無  | 対策有  |       |          |               |
| 高齢者<br>(模擬)      | 圧雪       | 塩(少)     | 3.70 | 4.00 | 0.30  | 0.110    |               |
|                  |          | 碎石(少)    | 3.70 | 4.00 | 0.30  | 0.183    |               |
|                  |          | 塩(多)     | 3.70 | 4.90 | 1.20  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(多)    | 3.70 | 5.05 | 1.35  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  | 凍圧雪      | 塩(少)     | 3.85 | 3.85 | 0.00  | 1.000    |               |
|                  |          | 碎石(少)    | 3.85 | 3.80 | 0.15  | 0.453    |               |
|                  |          | 塩(多)     | 3.85 | 4.85 | 1.20  | 0.001 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(多)    | 3.85 | 5.05 | 1.40  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  | アイスバーン   | 塩(少)     | 3.30 | 3.55 | 0.25  | 0.282    |               |
|                  |          | 碎石(少)    | 3.30 | 3.80 | 0.50  | 0.086    |               |
|                  |          | 塩(多)     | 3.30 | 4.30 | 1.00  | 0.006 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(多)    | 3.30 | 4.75 | 1.45  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |
| 健常者              | 圧雪       | 塩(少)     | 5.30 | 5.50 | 0.20  | 0.259    |               |
|                  |          | 碎石(少)    | 5.30 | 5.40 | 0.10  | 0.725    |               |
|                  |          | 塩(多)     | 5.30 | 5.80 | 0.30  | 0.249    |               |
|                  |          | 碎石(多)    | 5.30 | 5.85 | 0.35  | 0.246    |               |
|                  | 凍圧雪      | 塩(少)     | 4.70 | 4.95 | 0.25  | 0.204    |               |
|                  |          | 碎石(少)    | 4.70 | 4.95 | 0.25  | 0.309    |               |
|                  |          | 塩(多)     | 4.70 | 5.45 | 0.75  | 0.024 *  | 有意水準5%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(多)    | 4.70 | 5.55 | 0.85  | 0.028 *  | 有意水準5%で有意差がある |
|                  | アイスバーン   | 塩(少)     | 3.00 | 3.90 | 0.90  | 0.012 *  | 有意水準5%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(少)    | 3.00 | 4.50 | 1.50  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  |          | 塩(多)     | 3.00 | 4.70 | 1.70  | 0.010 ** | 有意水準1%で有意差がある |
|                  |          | 碎石(多)    | 3.00 | 5.20 | 2.20  | 0.000 ** | 有意水準1%で有意差がある |

\*p<0.10 \*\*p<0.05 p:両側t検定での平均値の差の有意確率

## 2.2.6 すべり測定法と歩きやすさの相関分析

湿潤路面及び乾燥路面における舗装のすべり測定法については各種提案されており、舗装性能評価法((社)日本道路協会)においてもBPTが記載されているが、冬期歩道路面におけるすべり測定は困難であり、確立されていると言えない。

本調査においても各種路面測定法にて測定したすべり抵抗値は、機種により値の傾向が異なる結果となった。そこで、被験者への歩きやすさに関するアンケート結果と各種測定機の相関分析を行い、歩行感覚に近いすべり抵抗を測定している機器を分析した。表-3 に分析結果を示す。

表-3 各路面のすべり抵抗値と歩きやすさの相関

| 測定機器 | 圧雪    | 凍圧雪   | アイスバーン |
|------|-------|-------|--------|
| OTTO | 0.63  | 0.27  | 0.96   |
| ASM  | 0.19  | 0.71  | 0.68   |
| PPD  | 0.89  | 0.89  | 0.95   |
| BPT  | -0.58 | -0.56 | 0.95   |
| SDFT | 0.85  | 0.26  | 0.61   |

PPD が各種路面において被験者の歩きやすさと相関が高く歩行者の感覚に近いすべり抵抗値を得ている結果となったが、気象条件や路面の平坦性、測定方法の改良等により異なる結果となることが想定されるため、今後も検討を進める必要がある。

## 5. まとめ

歩行実験による主観評価とすべり抵抗試験等により、以下の知見が得られた。

- (1) アイスバーン路面においては無対策の路面では歩きにくく感じる評価をする回答者が半数以上を占めるが、碎石、薬剤の散布量を増やすと歩きにくく感じる評価は減少する傾向にあることが判明した。
- (2) 圧雪路面において無対策の場合、縦断勾配が5%(交通円滑化ガイドラインの最急勾配)では歩きやすいと感じる評価が減少する傾向にあることが判明した。
- (3) 塩化物:30 g/m<sup>2</sup> 及び碎石:100 g/m<sup>2</sup> 程度散布することにより、健常者においては、ロードヒーティング時と同程度の歩行時間を確保できる結果となった。
- (4) 歩きやすさ評価に対する評価値の差に関する t 検定結果より、高齢者に対しては圧雪、凍圧雪、アイスバーンにおいては塩化物や碎石の散布量を多くしなければ対策効果が得難いことが推察される。
- (5) PPD 試験によるすべり摩擦力の測定結果は、各種路面において被験者の歩きやすさと相関が高く歩行者の感覚に近いすべり抵抗値を得ている結果となった。しかし、気象条件や路面の平坦性、測定方法の改良等により異なる結果となることが想定されるため、今後も検討を進める必要がある。

## 6. おわりに

今後は、路面性能評価について、被験者試験などの主観的評価試験をさらに詳細に分析し、主観評価値と定量的評価値の相関について分析を進め、より良い路面对策について検討を行う予定である。さらに、現場調査なども含め、路面对策に必要な路面性状を明らかにする。

## 参考文献

- 1) 舗装性能評価法別冊:(社)日本道路協会, 2008.3
- 2) 舗装設計施工指針:(社)日本道路協会, 2006.2
- 3) 防雪・除雪ハンドブック:日本建設機械施工協会, 2004.12
- 4) 改訂版 道路の移動等円滑化整備ガイドライン:大成出版社, 2008.2

# 冬期路面における粗面系舗装のすべり抵抗性に関する一考察

布施浩司、熊谷政行、安倍隆二 \*1

## 1. はじめに

積雪寒冷地で施工される凍結路面のすべり対策のひとつとして、表面を粗くしきめ深さを大きくした舗装による対策がある。きめ深さの大きい代表的なアスファルト混合物として排水性舗装があげられるが、北海道の国道などでは、チェーン装着車両の通行や凍結融解作用などによる破損(参照写真-1)などの課題を抱えている。

このため、積雪寒冷地では、耐久性が高く、すべり抵抗の効果が持続する舗装が望まれている。

これまでの研究から、きめ深さの大きさと砕石マシンの耐久性を併せ持つ機能性SMAを用いることで、剥離深さが小さく、耐久性が高くなることがわかっている。

本報告では、積雪寒冷地に適したすべり対策として望ましい舗装を提案することを目的に、北海道開発局の現道における排水性舗装の損傷の現状および機能性SMAに関する室内試験によるすべり抵抗値および耐久性の評価、苫小牧寒地試験道路や高規格道路において、すべり抵抗値や凍結防止剤の散布効果についての試験による性能比較を行ったので、その結果について報告する。



写真-1 排水性舗装の破損状況

## 2. 現道における実態調査

### 2.1 排水性舗装の実態調査

北海道の国道で施工されている排水性舗装は平成14年度より空隙率17%を標準とし、低温カンタブロ損失率は20%以下という規格値を設定している。平成13年度以前に施工された排水性舗装は、空隙率20%が標準となっていた。

排水性舗装の補修サイクル(札幌市内の国道)は、概ね5~7年程度となっている(表-1)。平成13年度以前(空隙率20%が標準)に施工された箇所は施工後6年程度経過で補修している状況が多く見られる。平成14年度(空隙率17%を標準)以降に施工した箇所においても、排水性舗装の破損が著しいため、施工後6年で補修している状況も確認された。

表-1 排水性舗装の補修時期

| 施工年次  | 施工箇所数<br>(工区) | 補修時期 |          |     |          |
|-------|---------------|------|----------|-----|----------|
|       |               | 補修無  | 5年後      | 6年後 | 7年後      |
| H12施工 | 6工区           | 2    | ※一部補修箇所有 | 4   | ※一部補修箇所有 |
| H13施工 | 9工区           | 3    |          | 4   | 2        |
| H14施工 | 9工区           | 4    | 2        | 3   |          |
| H15施工 | 8工区           | 7    | 1        |     |          |

※平成20年、23年調査に基づく

空隙率17%の排水性舗装の耐久年数と破損形態を更に把握するため、札幌市内の一般国道12号において、パッチングによる補修箇所および剥離等の破損状況箇所の調査を行い、300m区間ごとに各路線のはく離率とパッチング率の合計(以下、破損率)を集計した。今回の調査箇所は、平成17年度以降に施工した空隙率17%の箇所である。

一般国道12号の調査結果を図-1に示す。施工後4年までの破損率は低いが、施工5年後以降は増加している。なお、上り線、下り線による破損傾向の差はあまり見られない。

\*1 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム

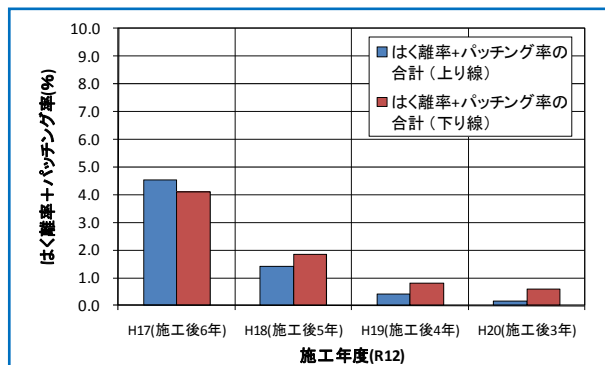


図-1 一般国道12号の破損状況（空隙率17%）

## 2.2 機能性SMAの施工事例箇所の調査

一般国道36号苫小牧市有明、1日通過交通量約35,000台の区間で平成14年に試験施工を行い供用後10年経過した機能性SMAの損傷状況を目視によって確認したが、目立った損傷は発生しておらず、現在でも健全な状態を保っていることが確認された(写真-2)。

また、その他の10年以上経過した機能性SMA箇所について平成24年度に調査した結果、表-2に示す箇所に示すように北海道内の多くの国道で機能性SMAが健全な状態で現存していることが確認できた。



写真-2 10年経過後の機能性SMA箇所状況

## 2.3 舗装種類毎の凍結防止剤実態及び路面状態の把握

現道の舗装種類別のすべり抵抗値を比較するため、平成21年度および22年度に一般国道230号における冬期RT3調査結果のデータから、当路線の排水性舗装施工箇所と一般舗装（細密粒度アスコン）箇所におけるすべり抵抗値を比較し分析を行った。

試験の測定頻度は平成21年度に42日間、平成22年度に45日間行っており、一日当たりの測定回数は4～8回行った。

その結果、排水性舗装箇所のすべり抵抗値(HFN)は一般舗装よりも高い傾向にあることが確認された(図-2参照)。

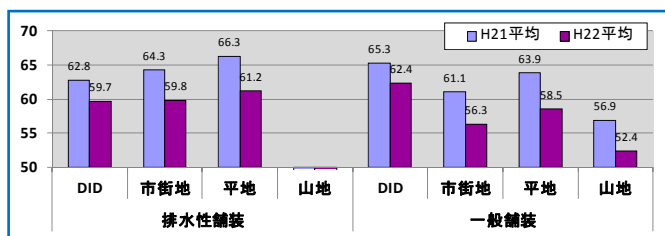


図-2 排水性舗装と一般舗装のすべり抵抗値の比較

## 3. 試験概要

### 3.1 室内試験

室内試験による耐久性に関する検証は、排水性舗装（空隙率17%）、機能性SMA、密粒度アスコンの3種類のアスファルト供試体を作成し、低温カンタプロ試験（-20℃）により検証した。

その結果、機能性SMAは排水性舗装と比較して、低温カンタプロ損失率は低く、耐久性が向上していた。

表-2 機能性SMA箇所における10年経過現存箇所例

| 路線名      | 開発建設部 | 施工箇所    | 施工年度  | 施工延長  | 合材種類   | わだち掘れ量(mm) | ひび割れ率(%) | 調査の時期 | 調査時の経過年数 | パッチング率(%) |
|----------|-------|---------|-------|-------|--------|------------|----------|-------|----------|-----------|
| 一般国道5号   | 小樽    | 小樽市張碓   | 平成12年 | 100m  | H型・繊維有 | 14.4       | 2.4      | 平成24年 | 12年      | 0.0       |
| 一般国道38号  | 帯広    | 帯広市石狩通り | 平成12年 | 1300m | H型・繊維有 | 13.5       | 4.1      | 平成24年 | 12年      | 0.5       |
| 一般国道36号  | 室蘭    | 苫小牧市元町  | 平成13年 | 1800m | H型・繊維有 | 11.3       | 4.0      | 平成23年 | 10年      | 0.0       |
| 一般国道36号  | 室蘭    | 苫小牧市本幸町 | 平成13年 | 600m  | H型・繊維有 | 9.3        | 7.6      | 平成23年 | 10年      | 0.0       |
| 一般国道38号  | 帯広    | 帯広市石狩通り | 平成13年 | 1000m | H型・繊維有 | 10.9       | 6.8      | 平成24年 | 11年      | 0.0       |
| 一般国道236号 | 帯広    | 帯広市市街   | 平成13年 | 200m  | H型・繊維有 | 6.0        | 2.9      | 平成20年 | 7年       | 0.0       |
| 一般国道12号  | 旭川    | 旭川市大町   | 平成14年 | 1000m | H型・繊維有 | 9.5        | 0.2      | 平成24年 | 10年      | 0.0       |
| 一般国道12号  | 旭川    | 旭川市末広   | 平成14年 | 4800m | H型・繊維有 | 9.5        | 0.2      | 平成24年 | 10年      | 0.0       |
| 一般国道36号  | 室蘭    | 苫小牧市日吉町 | 平成14年 | 1600m | H型・繊維有 | 15.0       | 5.2      | 平成23年 | 9年       | 0.2       |
| 一般国道38号  | 帯広    | 帯広市依田   | 平成14年 | 1100m | H型・繊維有 | 12.6       | 8.6      | 平成24年 | 10年      | 0.0       |

※ 調査は路面性状自動測定車で実施したデータである。

※ パッチング率は平成24年度に実施した目視調査の結果により算出した。



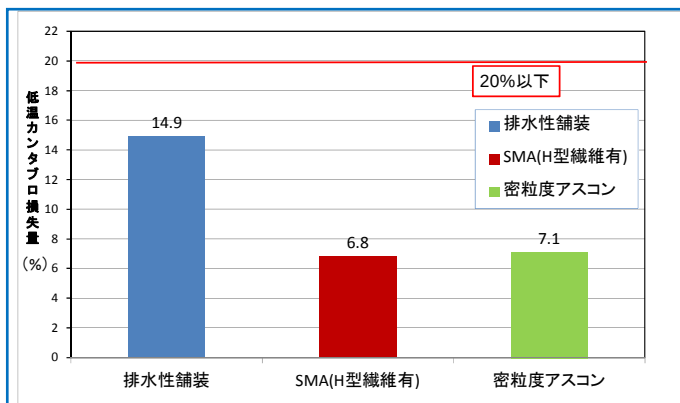


図-3 低温カンタプロ試験結果

### 3.2 舗装種類毎のすべり抵抗値の把握

#### 3.2.1 苫小牧寒地試験道路における調査

舗装種類別のすべり摩擦係数を調査するために、苫小牧寒地試験道路において、平成 24 年 2 月にすべり抵抗値の調査を行った。測定は D F テスタを用いて測定した。

路面の湿潤、ブラックアイス及び氷板は、散水車により厚さ 0.5～1.0mm の範囲の水膜を作成して測定した。

その結果、初冬期に見られる、ブラックアイス状態の路面においては、機能性 SMA は排水性舗装とほぼ同等の機能を有することが確認できた。また、湿潤、氷板の路面状態においては、機能性 SMA、排水性舗装、密粒度アスコンとも変わらない結果であった（図-4）。

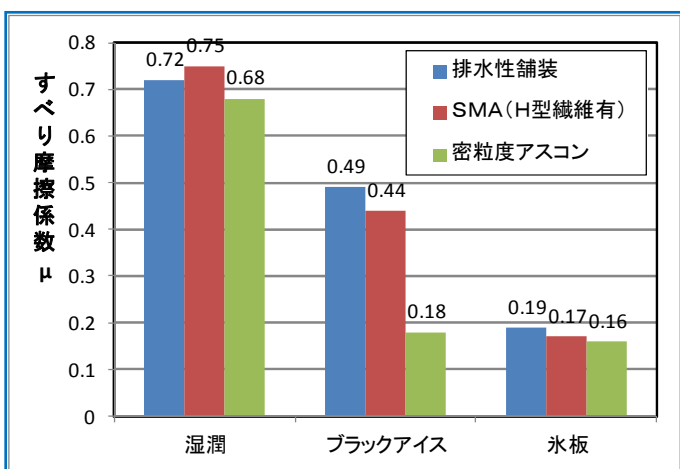


図-4 寒地試験道路のすべり摩擦係数測定結果

#### 3.2.2 高規格道路における調査

舗装種類別のすべり摩擦係数を調査するために、深川留萌道（留萌幌糠 IC～大和田 IC）の排水性舗装箇所と機能性 SMA 箇所において、平成 25 年 3 月にすべり抵抗値の調査を行った。測定は路面すべり測定車（RT3）を用いてすべり抵抗値を測定した。路面の状態は、湿潤とシャーベットの状態で比較した。

その結果、排水性舗装と機能性 SMA は湿潤およびシャーベットどちらの路面状態でも、すべり抵抗値（HFN）は変わらない結果となった（図-5）。

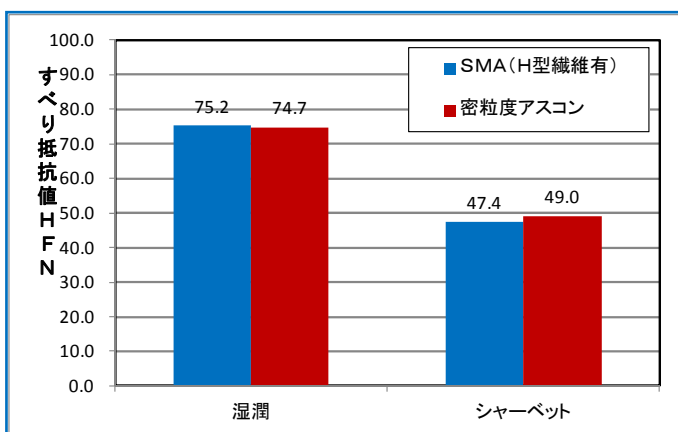


図-5 高規格道路におけるすべり摩擦係数測定結果

### 3.3 舗装種類毎の凍結防止剤散布試験

舗装の種類別の凍結防止剤等の散布効果を検証するため、当所所有の苫小牧寒地試験道路に施工している舗装、密粒度アスコン、機能性 SMA、排水性舗装空隙率 17%、排水性舗装空隙率 23% の箇所において、バス型すべり測定試験車および RT3 を用いたすべり抵抗値の測定を行った。

試験条件は各延長 100m の特殊舗装区間のうち起点から 50m ずつ散水車を用いて人工の凍結路面（写真-3 参照）を作成し、防滑材等を 20g/m<sup>2</sup> の量で散布した状態でダミー走行車を走らせて試験を行った。

測定頻度は「散水前、散布前（凍結後）、散布直後、ダミー車の累計 50 台、100 台、150 台、200 台、250 台、300 台走行」を 1 サイクル（1 日）としたものを 6 サイクル（6 日）行った。



写真-3 凍結路面状況

(左:密粒度アスコン 右:機能性SMA)

舗装種類別のすべり抵抗値と温度の時間変化の結果を図-6に示す。各舗装を比較すると防滑材等の散布前は各舗装体とも40前後のすべり抵抗値(HFN)になっているが、機能性SMAや排水性舗装などの粗面系舗装については、防滑材等散布後、ダミー車の走行台数が増えるに従って、すべり抵抗値が高くなっていく傾向が確認された。一方、密粒度アスコンについては、すべり抵抗値はダミー車の走行台数が増えてもあまり高くない傾向が見られた。

#### 4. まとめ

今回の試験結果をまとめると、現道における実態調査で、排水性舗装の平均的な寿命がおおよそ5~7年なのに対して、機能性SMAは10年以上健全な状況が保たれている箇所が多いことが確認された。

また、室内試験および高規格道路や苫小牧寒地試験道路の調査では、冬期路面におけるすべり抵抗値は、一般的な密粒系舗装よりも粗面系舗装はすべり抵抗値が高くなる傾向にあり、凍結防止剤等を散布することによる効果も、密粒系舗装よりも粗面系舗装は効果が高いことが確認された。

#### 5. 今後の課題

今回の報告では、機能性SMAは排水性舗装とほぼ同等の冬期路面に対するすべり抵抗値があり、耐久性の高い混合物であることが確認された。

引き続き、現道に各混合物の試験施工を行い、耐久性やすべり抵抗性の検証を行っていきたいと考えている。今回の試験結果からは、耐久性の高い粗面系舗装として、機能性SMAについてその効果を確認できた。今後はコストなどを考慮してアスファルトバインダー(H型、II型など)や配合設計の違いによる耐久性を検証し、使用目的や周辺環境、選定方法について提案していく予定である。

#### ・参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.6
- 2) 社団法人日本道路協会：舗装性能評価法，2006.1

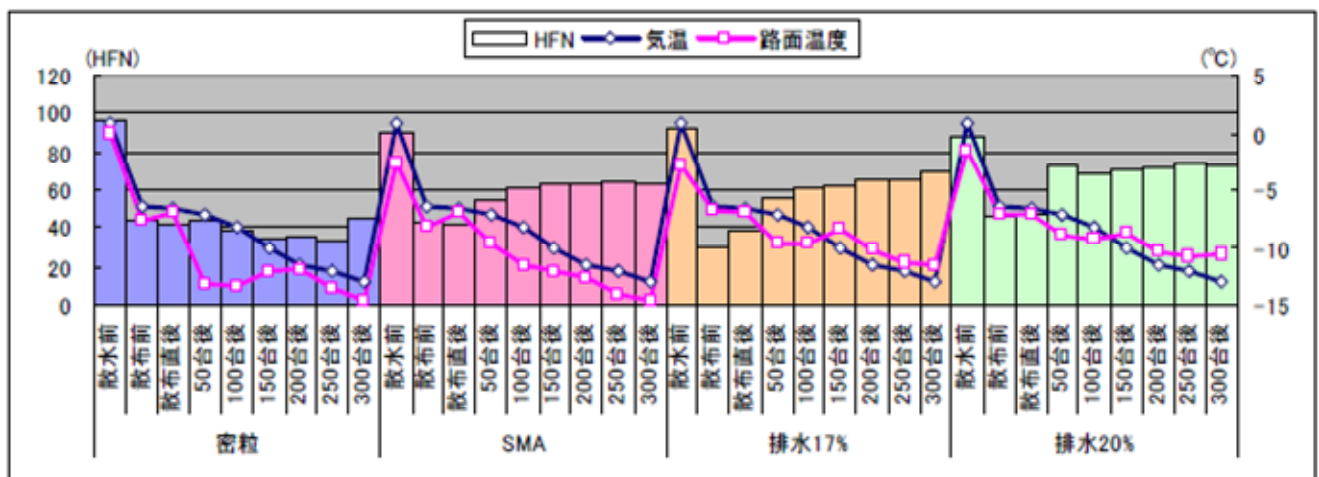


図-6 舗装種類別のHFNと温度の時間変化

# 路面状態と曲線半径に応じたドライバーの運転挙動計測実験

宗広一徳<sup>\*1</sup>、高田哲哉<sup>\*1</sup>、影山裕幸<sup>\*1</sup>、石田樹<sup>\*1</sup>、佐藤浩治<sup>\*\*2</sup>

## 1. はじめに

ドライバーが、安全かつ円滑な運転を確保するためには、道路線形、区画線並びにその他の道路付属物（標識や路面標示）を明確に認識できることが求められる。しかしながら、北海道のような積雪寒冷地においては、気象条件が道路の路面状態に対し、大きく影響を与えている。北海道においては、概ね11月～3月までの約5ヶ月間降雪に見舞われると共に、降雪した雪が車両の通行の度に圧縮され、路面状態は圧雪の条件になりやすくなる。したがって、ドライバーは、すべりやすい道路の走行を余儀なくされることから、安全な速度を維持しなければならない。特にカーブ区間では、ドライバーは対向車線へのはみ出しや路外逸脱を防ぐために、路面状態を考慮して適切な速度を判断しなければならない。

設計速度と曲線半径の関係は、米国道路交通運輸行政官協会（AASHTO）<sup>1)</sup>の幾何構造設計指針や「道路構造令の解説と運用」<sup>2)</sup>により示されている。道路線形と速度選択に関する米国の研究事例として、水平方向のカーブ区間におけるドライバーの運転挙動に関する研究がLamm<sup>3)</sup>らにより報告された。曲線半径と85パーセンタイル速度並びに道路設計用の横すべり摩擦係数値の関係はMcLean<sup>4)</sup>らが研究した。カーブ区間におけるシェブロンなどの道路付属物の選択ガイドラインについては、Pratt<sup>5)</sup>らによって検討された。日本の研究事例としては、高橋並びに佐藤<sup>6)</sup>が、直線区間及びカーブ区間を対象とし、降雪及び積雪による車両の走行速度の低下の実態を示した。さらに、Rama<sup>7)</sup>らは、フィンランドにおけるすべりやすい道路を対象とし、冬期気象条件と可変型速度規制・警戒標識の採用による車両の速度低減効果について示した。しかし、これまでに、カーブ区間における路面状態の変動、すなわち乾燥路面と圧雪路面を対象とし、ドライバーの視線挙動を含む運転挙動並びに速度選択に関する研究が行われた事例はない。

著者らは、2011年11月と2012年1月に、北海道東部の一般国道を対象とし、路面状態が乾燥路面と圧雪路面の条件の下で、カーブ区間におけるドライバーの運転行動と適切な速度の判断を明らかにするため、試験車両による運転挙動計測実験を実施した。試験車両には、運転挙動並びに視線挙動を記録するため、車両後部座席にデータロガーと車両前方に赤外線 CCD カメラを取り付けた。試験区間は2車線道路の片道約10.5kmであった。男性10人から構成される被験者ドライ

バーは、試験区間の様々なカーブ区間を自由交通流の条件の下で、試験車両を運転走行した。

## 2 実験の目的

本実験の目的は、次の2つである。

- (1) 秋期と冬期の昼間に実施した実験を通じ、路面状態が乾燥時と圧雪時におけるドライバーの運転挙動と速度の判断の違いを明らかにする。
- (2) カーブ区間の曲線半径及びカーブ断面の位置別のドライバーの運転挙動と速度の判断の違いを明らかにする。

## 3 実験方法

### 3.1 実験期間及び場所

実験は2011年11月と2012年1月に北海道東部地域に位置し、東西方向に延びる国道241号10.474kmの区間（KP23.916～KP34.390）にて実施した。試験区間の道路の横断面構成は、典型的な郊外部の2車線道路（車線幅員3.0m×2、路肩幅員1.0m×2、総幅員8.0m）である。縦断勾配は約3%である。試験区間の中に18箇所のカーブ区間を含んでおり、最小の曲線半径は54.5mであった。

### 3.2 実験ケース

実験ケースは、表-1に示す通り、秋期の乾燥路面状態と冬期の圧雪路面状態を対象とした。現地のすべり摩擦係数（縦方向）については、実験開始時にR=54.5mのカーブ手前において、試験車両に搭載している加速度計（Coralba）を用いて5回以上測定した平均値とした。視界については、実験担当者の目視により40m間隔で設置されているデリニエータをカウントすることにより測定した。結果として、秋期及び冬期ともに、天候は快晴、視界はクリアの条件となった。被験者ドライバーは、試験区間の道路（西→東、東→西）を2往復運転した。

表-1 実験ケース

| 時期 | 日付          | 開始時刻  | 終了時刻   | 路面状態 | すべり摩擦係数 | 視界  | 被験者数 | 各被験者の走行回数 |
|----|-------------|-------|--------|------|---------|-----|------|-----------|
| 秋期 | 2011年11月10日 | 9時00分 | 16時00分 | 乾燥   | 0.72    | クリア | 6    | 2         |
|    | 2011年11月11日 | 9時20分 | 13時20分 | 乾燥   | 0.75    | クリア | 4    | 2         |
| 冬期 | 2012年1月9日   | 9時50分 | 15時00分 | 圧雪   | 0.18    | クリア | 5    | 2         |
|    | 2012年1月10日  | 9時30分 | 15時30分 | 圧雪   | 0.22    | クリア | 5    | 2         |

\* 1 寒地土木研究所寒地道路研究グループ寒地交通チーム、\* 2 北海道開発局釧路開発建設部弟子屈道路事務所





(1) 秋期・乾燥路面



(2) 冬期：圧雪路面

写真-1 実験時の路面状態

### 3.3 被験者ドライバー

被験者は、普通運転免許を有する30代～40代の男性10名を対象とした。運転経験年数は10～29年であり、年間走行距離は約5,000～30,000kmであった。全員が、運転のための十分な視力を持ち、視覚に対する健常者であった。

### 3.4 試験車両

試験車両（2002年日産プリメーラ）に搭載した機器概要を図-1に示す。試験車両は、ヘッドライトをオフにした状態で運転した。試験車両のタイヤは、秋期がラジアルタイヤ（195/65 R15;ダンロップ製SP300）、冬期がスタッドレスタイヤ（195/65 R15;ブリヂストン製MZ03）を装着した。運転挙動計測用データロガー（DL-1；レーステクノロジー社製）を速度、加速度（縦と横）、距離、開始から終了までに要した時間を記録するため、車両の後部座席の中央に設置した。ドライバーの視線の動きを把握するため、赤外線CCDカメラ2台、前方向カメラ1台とデータ蓄積用PCで構成される視線計測システム（Smart Eye Pro System；スマート・アイ社製）を車両に装着した。

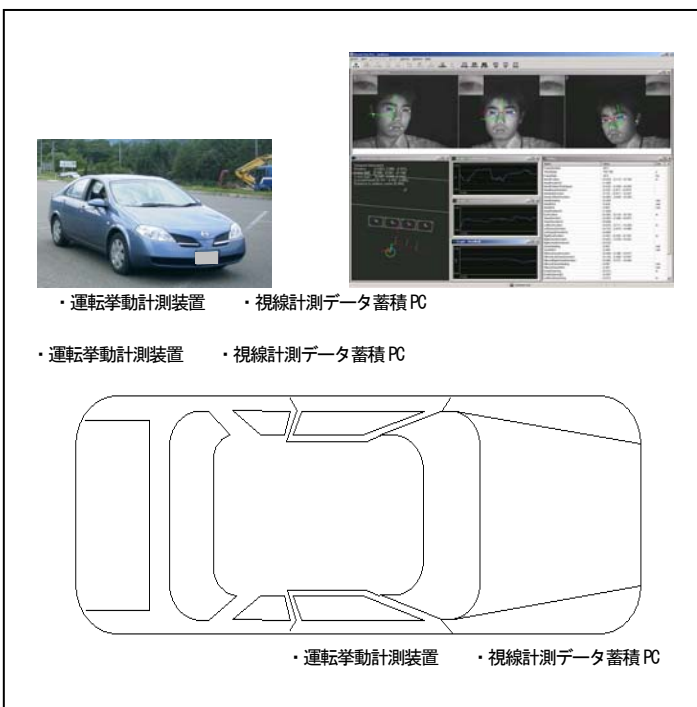


図-1 試験車両

### 3.5 データ記録

運転挙動計測用データロガーと視線計測システムを用いることにより、以下のデータを記録した。

- (1) 速度：データロガーにより、10Hz（1秒間に10個）で記録した。
  - (2) 加速度（縦と横）：データロガーにより、10Hzで記録した。
  - (3) ドライバーの視線：視線計測システムの赤外線CCDカメラを用いて決定し、データ蓄積PCに10Hzで記録した。
- 取得したすべてのデータ値は、試験区間内で得られたカーブの始まり（BC）、カーブの中央（CC）とカーブの終わり（EC）を対象とし、集計した。（図-2参照）

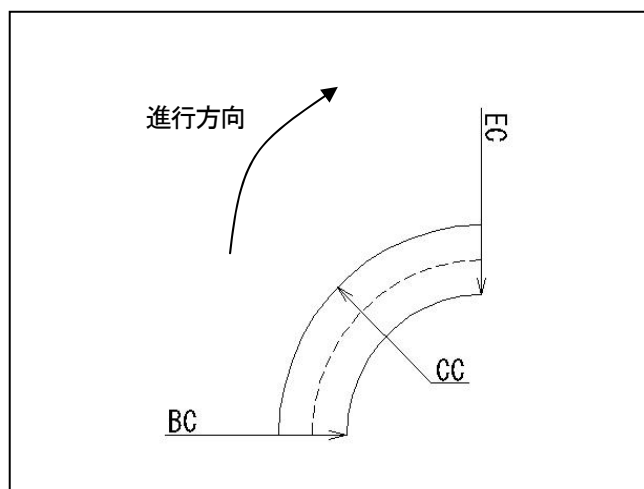


図-2 カーブ断面の位置

## 4. 調査結果

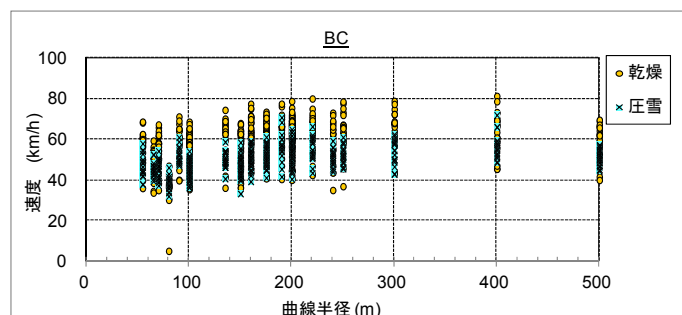
### 4.1 ドライバーの速度、横加速度

試験車両は、試験走行時に速度、加速度、ドライバーの視線計測を行った。取得データについて、カーブの曲線半径別の速度と横加速度について集計したところ、図-3を得た。路面状態は、乾燥状態と圧雪状態の2ケースである。さらに、データは、カーブ断面に応じて、カーブの始まり(BC)、カーブの中央(CC)、カーブの終わり(EC)別に集計した。

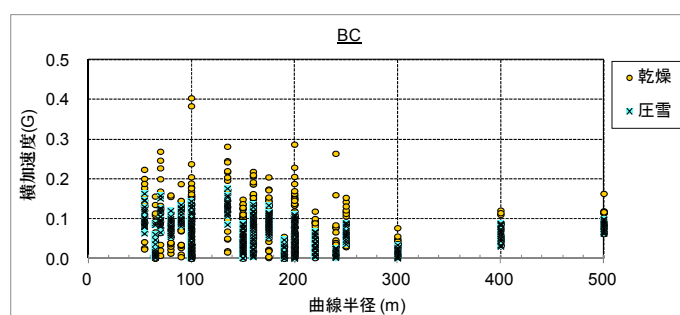
図-3から、カーブの曲線半径が大きくなると速度が高くなる傾向が見られた。これは、BC、CC、ECの各カーブ断面共に、同様の傾向が見られた。路面状態別にみると、圧雪時は、乾燥時と比べて、各カーブ断面ともに速度が低下する傾向が見られた。また、横加速度は、カーブの曲線半径が大きくなるとともに、BC、CC、ECの各断面において低下した。特に、カーブの中央であ

るCC断面において、曲線半径に応じて横加速度が低下する傾向が顕著に見られた。路面状態別にみると、圧雪時は、乾燥時と比べて、各カーブ断面ともに低下する傾向が見られた。

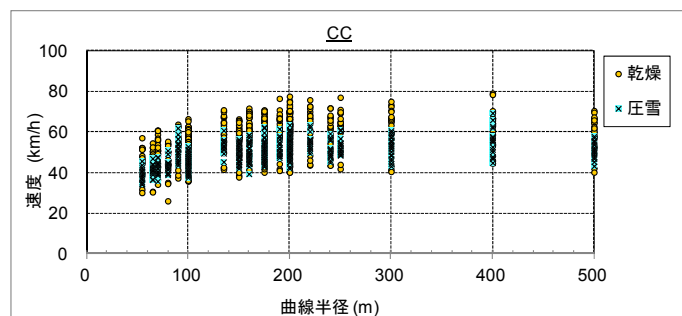
表-2は、図-3中の曲線半径54.5m、100m、200mのデータを対象とし、曲線半径と路面状態別の速度データの85パーセンタイル値、平均値、15パーセンタイル値、標準偏差を集計したものである。曲線半径54.5m、100m、200mの各カーブ断面ともに、路面状態が乾燥路面から圧雪路面になると、速度は低下した。カーブの曲線半径100mのBC、CC、ECの断面間の速度差は、乾燥並びに圧雪ともに約4km/hであった。曲線半径200mの各断面間の速度差は、乾燥及び圧雪共に1~2km/hであった。他方、曲線半径54.5mでは、各断面間の速度差は、乾燥時で約11km/h、圧雪時で約8km/hとなり、大きくなる傾向が見られた。



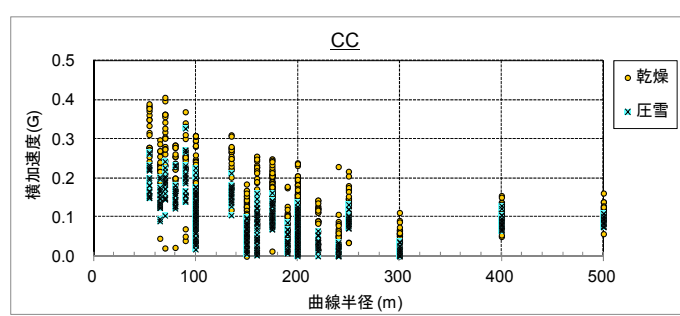
(1) BC : 速度



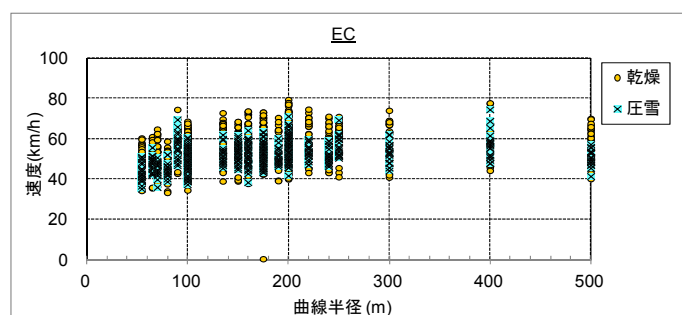
(2) BC : 横加速度



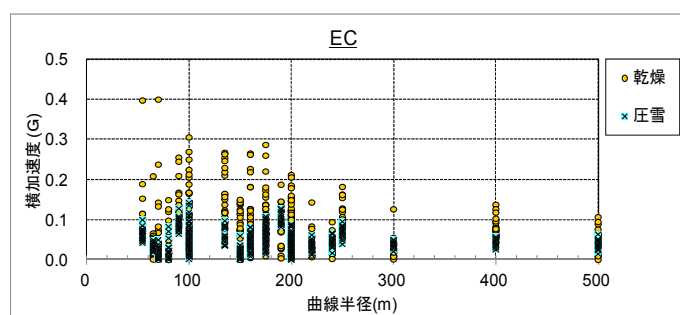
(3) CC : 速度



(4) CC : 横加速度



(5) EC : 速度



(6) EC : 横加速度

図-3 曲線半径と速度、横加速度(カーブ断面の位置別) (東一西)

表-2 路面状態別の速度選択（曲線半径、カーブ断面の位置別）（東→西）

|    |           | R=54.5m |      | R=100m |      | R=200m |      |
|----|-----------|---------|------|--------|------|--------|------|
|    |           | 乾燥      | 圧雪   | 乾燥     | 圧雪   | 乾燥     | 圧雪   |
| BC | 85パーセンタイル | 61.9    | 52.7 | 59.3   | 49.2 | 70.7   | 57.8 |
|    | 平均値       | 56.6    | 46.4 | 52.9   | 46.4 | 64.8   | 53.1 |
|    | 15パーセンタイル | 49.5    | 41.8 | 45.1   | 42.8 | 60.7   | 50.9 |
|    | 標準偏差      | 8.2     | 5.4  | 8.1    | 3.3  | 8.5    | 4.2  |
| CC | 85パーセンタイル | 52.0    | 41.5 | 60.7   | 51.0 | 69.5   | 58.2 |
|    | 平均値       | 45.8    | 38.8 | 53.4   | 45.6 | 64.2   | 53.9 |
|    | 15パーセンタイル | 39.3    | 35.2 | 46.8   | 41.1 | 60.6   | 50.0 |
|    | 標準偏差      | 7.0     | 3.1  | 7.5    | 4.1  | 8.2    | 4.1  |
| EC | 85パーセンタイル | 57.7    | 48.9 | 63.4   | 53.2 | 71.2   | 62.1 |
|    | 平均値       | 52.2    | 43.6 | 57.0   | 49.8 | 63.9   | 54.7 |
|    | 15パーセンタイル | 47.5    | 39.7 | 50.9   | 45.7 | 58.1   | 47.7 |
|    | 標準偏差      | 6.7     | 4.5  | 7.7    | 4.0  | 8.8    | 6.0  |

## 4.2 ドライバーの視線計測

試験車両に搭載した視線計測システムにより、運転走行時のドライバーの注視状況に関するデータを取得した。

写真-2は、カーブ進入手前におけるドライバーの注視点の位置について、前方カメラの画像と重ね合わせて可視化したもの

であり、夏期・乾燥路面と冬期・圧雪路面時のデータ取得事例を示している。

図-4は、カーブ走行時のドライバーの注視点の位置について、垂直方向（上下方向）の角度別に集計した結果である。対象カーブの曲線半径は54.5mである。BC、CC、ECの各断面ともに、乾燥路面と圧雪路面の間における明確な差は見られなかった。

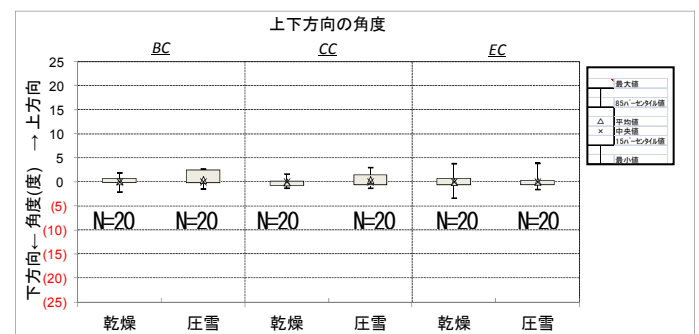
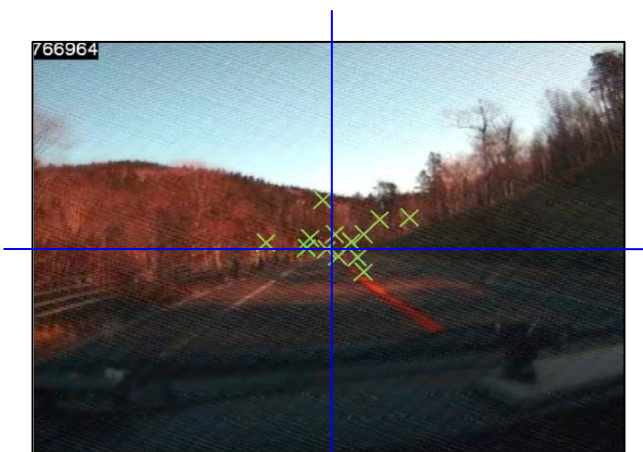


図-4 ドライバーの視線（上下方向）

## 5. 警戒標識の改良案

ドライバーがカーブ区間において走行性及び安全性を確保するためには、カーブ進入の手前で、路面状態に応じて適性速度へ低下させる必要がある。積雪寒冷地においては、春～夏～秋期までは、路面が通常乾燥しているが、冬期には圧雪や凍結などの非常にすべりやすい雪氷路面が発生しやすくなる。よって、冬期において、カーブ進入手前でドライバーに十分に速度抑制させることが安全性確保の観点から重要となる。

カーブ区間手前では、通常、カーブ警戒標識が設置されている。筆者らは、これに加えて補助標識として可変型安全速度表示を設置することを提案する（写真-3参照）。実験結果に基づき、路面状態及び曲線半径に応じてLED（発光ダイオード）による可変型安全速度を表示することにより、カーブ



(1) 秋期・乾燥路面



(2) 冬期・圧雪路面

写真-2 カーブ手前のドライバーの注視点の取得例



区間におけるドライバーの速度抑制につながると考える。



写真-3 警戒標識の改良案

## 6. まとめ

路面状態と曲線半径に応じたドライバーの運転挙動計測実験の結果、得られた事項をまとめると以下の通りとなる。

### (1) 乾燥路面並びに圧雪路面条件の下での運転挙動と速度の判断

10人の男性の被験者ドライバーが、自由流条件下で、速度と加速度を記録する運転挙動計測用データロガー及びドライバーの視線挙動を記録する視線計測システムを搭載した試験車両を運転した。カーブ区間で記録したすべての観測データによれば、冬期の圧雪路面時の平均速度は、秋期の乾燥路面時と比べ低下した。

カーブ区間の曲線半径が小さくなるに応じて、ドライバーが選択する速度は低下し、横加速度は大きくなった。曲線半径54.5m、100m、200mを対象とし、カーブ区間の断面別に始まり（BC）、中央（CC）、終わり（EC）に速度と横加速度を記録した。曲線半径100mと200mについては、各断面間のカーブ速度の変化は小さかった。他方、曲線半径の小さい54.5mの場合は、BCとCC、CCとEC間の速度差が、乾燥路面並びに圧雪路面において8～11km/hとやや大きくなった。また、冬期・圧雪路面時の横加速度は、秋期・乾燥路面時のものと比べ、低くなる傾向が見られた。

ドライバーの視線挙動として、注視点を取得し、前方カメラデータと重ね合わせた。注視点データの垂直方向（上下方向）の角度を集計したところ、乾燥路面時と圧雪路面時の明確な差は認められなかった。

本実験データの取得により、ドライバーは路面状況に応じて速度を可変する傾向があることを明確に示す結果となるとともに、適正な速度を判断の際考慮すべき事項として貴重な実験データとなった。

## (2) ドライバーの視線挙動の把握

視線計測システムによるデータの取得は、ドライバーの運転挙動を把握するために貴重なものと考えられる。しかし、限られた実験条件で、異なる路面状況間にドライバーの注視位置に有意差は見られなかった。例えば、曲線半径54.5mのカーブ区間のBC、CCとECにおけるドライバーの注視位置の垂直方向の平均角度を検出したところ、カーブ区間の各断面間の有意差は見られなかった。この視線データを取得する時に、著者らは「乾燥路面と圧雪路面条件の下で、ドライバーの視線の位置に差がある」という仮説を立てた。しかし、本実験の昼間条件下では、このような結果が明確には得られなかった。

## (3) カーブ警戒標識に可変型安全速度情報表示の提案

ドライバーは、特に小さな曲線半径のカーブに進入する前に、路面状況に応じて、速度を低下させる必要がある。路面は、通常、乾燥しているが、冬期に圧縮された雪に覆われて非常にすべりやすくなることから、積雪寒冷地においては、特に重要なことである。カーブ進入のための安全な車両速度は道路状況に依存することから、著者らは、路面状況に応じて、カーブの手前で通常のカーブ警戒標識に加えて、補助標識として安全速度を可変表示することを提案する。この方法は、積雪寒冷地における曲線半径の小さいカーブ区間において、速度抑制の観点から特に有効であることが期待される。

本提案に示したサイン導入に関する研究は、ドライバーに対し安全速度を提供する交通制御装置の重要性の観点からも、今後継続する予定である。本実験によって得られた乾燥路面と圧雪路面条件下の速度の判断に関するデータは、非常に貴重なものである。著者らは、カーブ区間における異なる路面状態別の安全速度表示のしきい値を決定するための基礎データとする予定である。

## 謝辞

本研究の実施に際し、北海道開発局釧路開発建設部道路計画課から助言を賜ったことをはじめ、本実験にご協力頂いた関係各位の皆様に対し、深く謝意を表する。

## 参考文献

- 1) AASHTO; A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington, D.C., 2011
- 2) 日本道路協会; 道路構造令の解説と運用、2004年2月
- 3) Lamm R., Choueiri E. M.: "Recommendations for Evaluating Horizontal Design Consistency Based on Investigations in the State of New York," Journal of The Transportation Research Board No. 1122, pp. 68-78, 1979
- 4) McLean J.: "An Alternative to the Design Speed Concept for Low

Speed Alignment Design,” Journal of the Transportation Research Board No. 702, pp. 55-63, 1979

- 5) Pratt Michael Paul, Bonneson James A.: “Assessment of Traffic Control Device Selection Guidelines for Horizontal Curves,” Journal of The Transportation Research Board No. 2122, pp. 36-44, 2009
- 6) 高橋毅、佐藤馨一;降雪及び積雪が車両走行速度に及ぼす影響について、第23回土木学会年次学術講演会講演概要、1968年10月
- 7) Rama P., Luoma J.: “Driver Acceptance of Weather-Controlled Road Signs and Displays,” Journal of the Transportation Research Board No. 1573, pp. 72-75, 1997

# 冬期道路管理における意思決定支援システムについて ー冬期道路マネジメントシステムの試行運用ー

切石亮\*<sup>1</sup>、川端優一\*<sup>1</sup>、藤本明宏\*<sup>1</sup>、徳永ロベルト\*<sup>1</sup>、高橋尚人\*<sup>1</sup>

## 1. はじめに

北海道では、冬期間においても安全かつ円滑な道路交通機能の確保は重要な課題である。そのため、道路管理者は道路の施設整備や除排雪・凍結防止剤等の散布といった冬期道路の維持管理を恒常的に施しているが、昨今の予算制約によってより効果的・効率的な冬期道路管理の実施が求められている。その中で、冬期道路管理の一環である冬期路面管理では冬期路面状態の予測・判断は適切かつ効率的な路面管理を目指す上で重要な要素である。

当研究所では、冬期路面管理の効率性向上のため、道路管理者に気象予測情報、路面凍結予測情報及び冬期路面すべり抵抗モニタリング情報を提供する意思決定支援システムとして冬期道路マネジメントシステムの試行運用を行っている。当該システムは、逐次改良しながら試行運用しており、現在も北海道における情報提供対象路線と地点の拡大、情報提供用の地図の操作性の向上等のインターフェースの改良を随時行い、道路管理者に情報提供を試行している。本稿では、当該システムの概要、情報の利用状況および今後の展望について紹介する。

## 2. 冬期道路マネジメントシステムの概要

冬期道路マネジメントシステムは、冬期路面管理支援システムおよび冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの2つのサブシステムで構成され、1つのGIS上において両システムの情報を総合的に提供する(図1~3)。冬期路面管理支援システムは平成17年度から気象予測情報および路面状態予測情報(詳細は2.2)の提供を、冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムは平成21年度から冬期路面すべり抵抗モニタリング情報(詳細は2.3)の提供を順次開始し、冬期道路マネジメントシステムは平成22年度より運用を開始した。

### 2.1 GIS (地理情報システム)

冬期道路マネジメントシステムでは、冬期路面管理支援シ

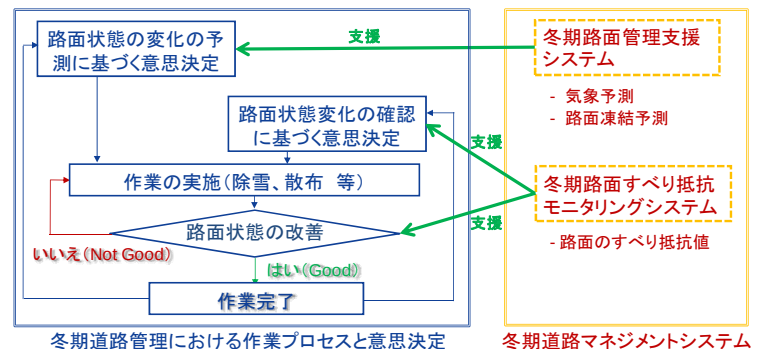


図1 冬期道路管理における意思決定支援システムの役割



図2 冬期道路マネジメントシステムの概要図



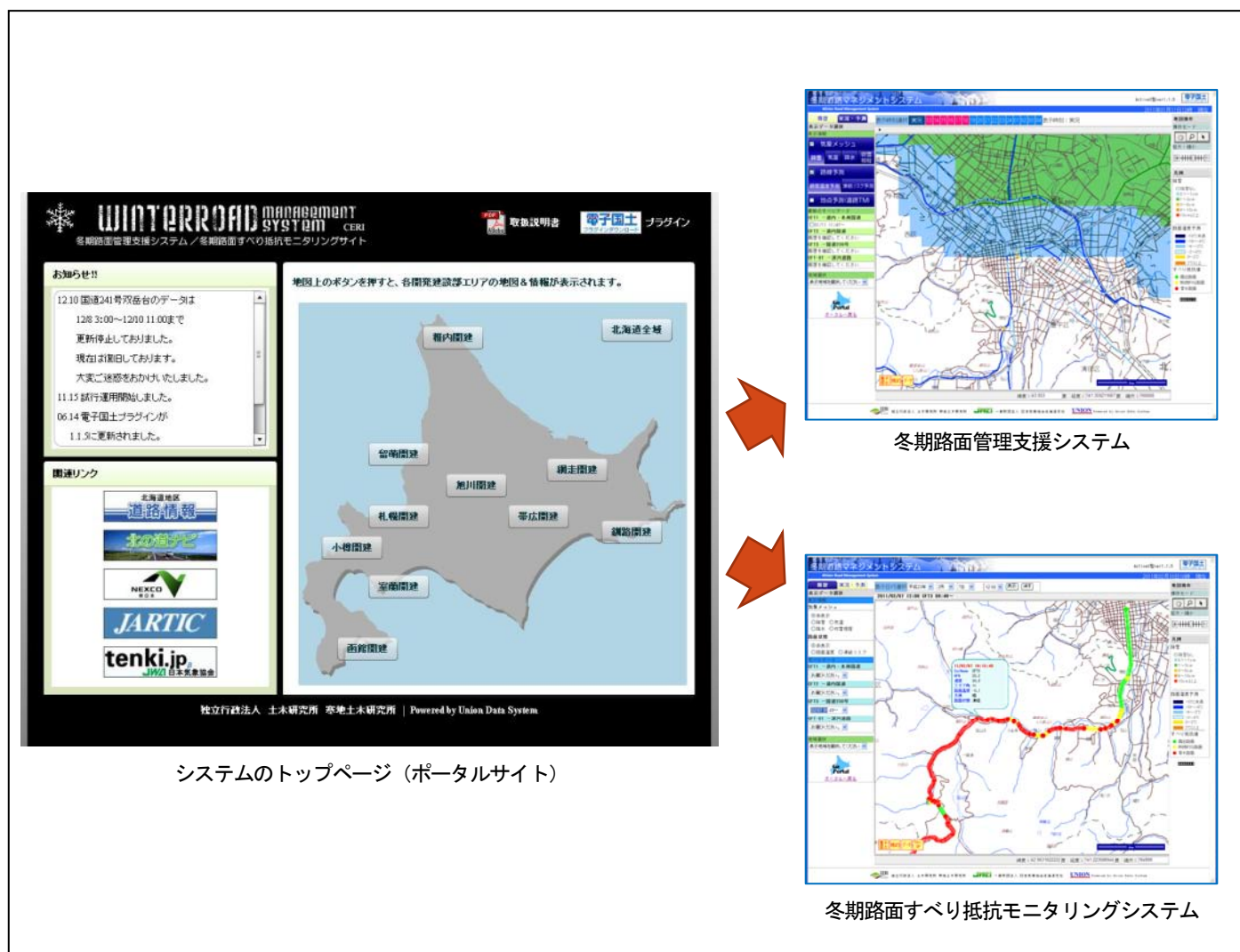


図2 冬期道路マネジメントシステム

システムおよび冬期路面すべり抵抗モニタリングシステムの情報を統合するプラットフォームとして、国土地理院が公開している電子国土Webシステム<sup>1)</sup>を背景地図として採用した。電子国土の他にも、背景地図として利用できるものは様々なものがある。しかし、その多くは有料のサービスや無料であってもボランティアにより作成されたものなど、費用やデータの信頼性、地図情報の更新頻度の点が懸念される。一方、電子国土は国土地理院が保有している情報を基に作成されていることから信頼性が高く、新たに開通した道路等の地図への反映も迅速であることから、筆者の知る限り当システムの背景として最適であると考えられる。

## 2.2 冬期路面管理支援システム

気象予測情報は、データの取得・集約、予測情報の作成、予測情報の発信というプロセスを経て提供される。データの取得は、沿道に設置した気象観測機器（道路管理者が所管している道路テレメータを含む）から気象観測データ・路面温度観測データを取得する。同時に、気象機関から日射量、雲量、湿度といった気象実況データや予測データを入手し、気

象予測情報、路線状態予測情報、定点情報の作成に用いている。

作成したデータは、冬期道路マネジメントシステムのサーバーに集約・提供されている。情報は、図4(a)～(d)に示す1kmメッシュの気象予測情報（時間降雪量・時間降雨量・気温・吹雪視程）、図5(a)、(b)に示す24路線・約570kmの区間における路線状態予測情報（路面温度・凍結リスク）、図6に示す道内120箇所の道路テレメータ地点における定点情報（路面温度・気温・降水量・風速・路面状態）を提供している。気象予測情報は最大6時間先、路線状態予測情報および定点情報は最大16時間先までの予測情報を提供している。また、数値的な情報だけでなく目視による路面状態の確認が可能なよう、CCTVカメラの画像も提供している（図7）。なお、路面温度の予測値は気象の予測値等を当研究所で構築した予測モデル<sup>2)</sup>が組まれたサーバーに入力することで得られたものである。これらの予測情報は、気象や路面状態の変化に対応した作業判断が適宜かつ迅速に行えるよう一時間毎に更新される。

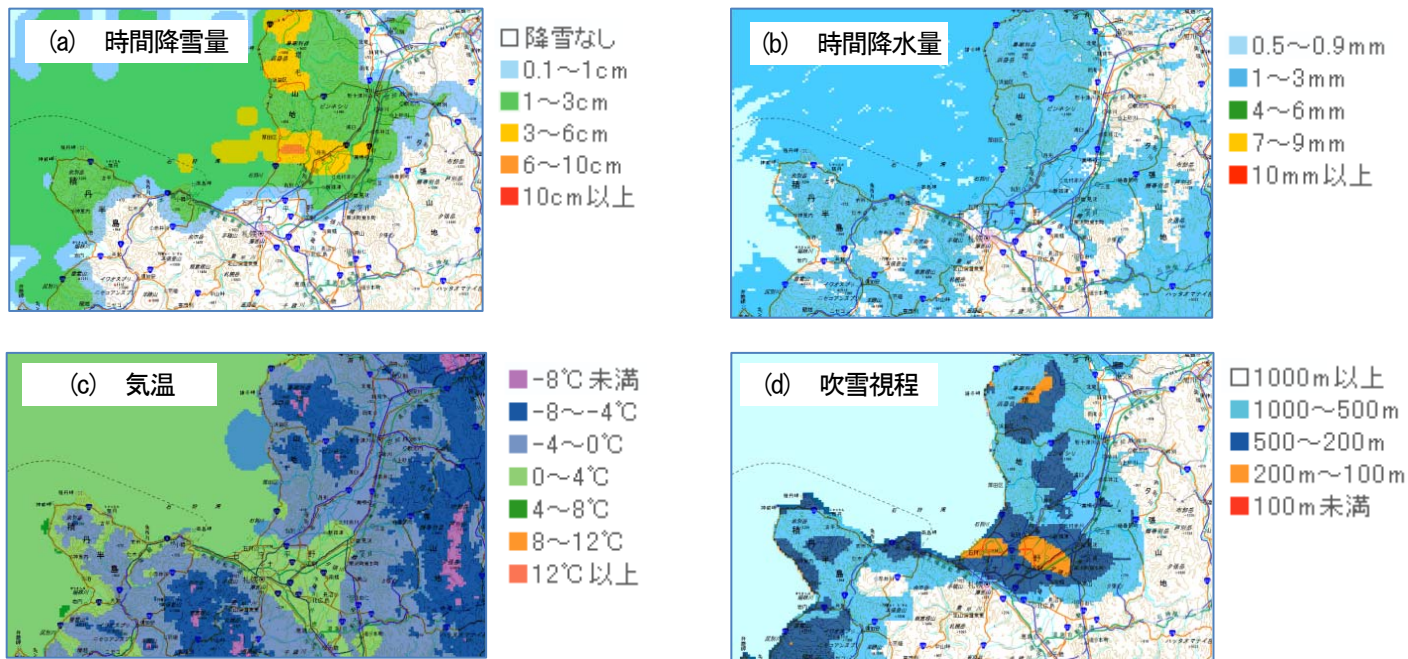


図4 気象予測情報

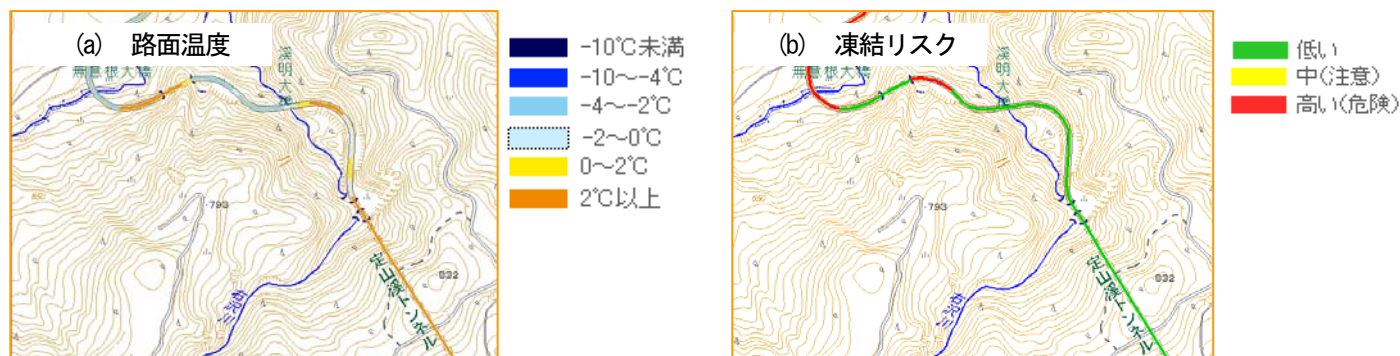


図5 路線状態予測情報

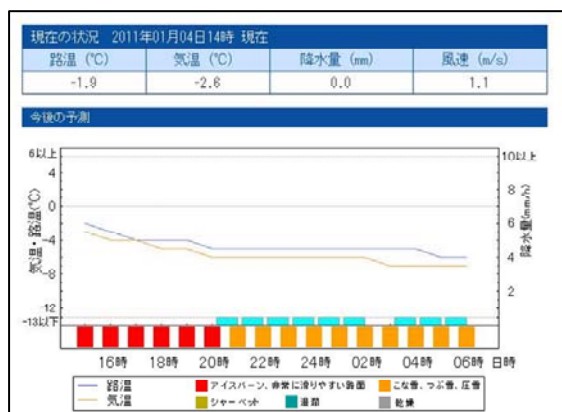


図6 定点情報



図7 CCTVカメラ画像

## 2.3 冬期路面すべり抵抗モニタリングシステム

冬期路面すべり抵抗モニタリング情報では、当研究所が保有している、連続路面すべり抵抗値測定装置（以下、CFT）を用いて計測したすべり抵抗値、走行速度、路面温度、外気温、天候、路面状態、路線番号、測点を提供している。

### 2.3.1 連続路面すべり抵抗値測定装置<sup>3)、4)</sup>

連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuous Friction Tester：CFT）を図8に示す。CFTは、測定輪が車両の進行方向に対し1～2度傾いており、車両走行により発生する横力を計測する。CFTで計測されるすべり抵抗値は、装置開発者の名前からHFN（Halliday Friction Number）と呼ばれ、測定輪が空転する横力無負荷状態を0、乾燥した舗装路面（路面温度-17.8℃）における横力負荷を100とし、その間を100等分した



値である。

### 2.3.2 連続路面すべり抵抗値測定装置計測システム

CFTで計測したHFNを冬期道路マネジメントシステムにおいて利用するためには、HFNを記録して冬期道路マネジメントシステムのサーバーへデータを送る必要がある。そのため、CFT牽引車内に市販の車載PCを搭載して、データの記録を行っている。車載PCではHFNの他、CFT牽引車に搭載したGPS、温度センサ（路面温度、外気温）の情報を0.1秒毎に記録する。車載PCは情報を記録しながら、ワイヤレスのWiFiルータを用いて、リアルタイムにサーバーへデータを送信し、道路管理者への迅速な情報提供を行っている。

### 2.3.3 冬期路面すべり抵抗モニタリング情報の路面管理への活用

冬期路面すべり抵抗モニタリング情報は、図9に示すように詳細情報を吹き出しで表示している。平成23年度からは、CFT牽引車のGPSで収集した緯度・経度の情報から、サーバー内でマップマッチングの手法を用いて路線番号および測点を冬期路面すべり抵抗モニタリング情報に付加した。このことにより、道路管理における最も基本的な情報である測点と関連付けた路面状態の把握が容易となった。



図8 連続路面すべり抵抗値測定装置

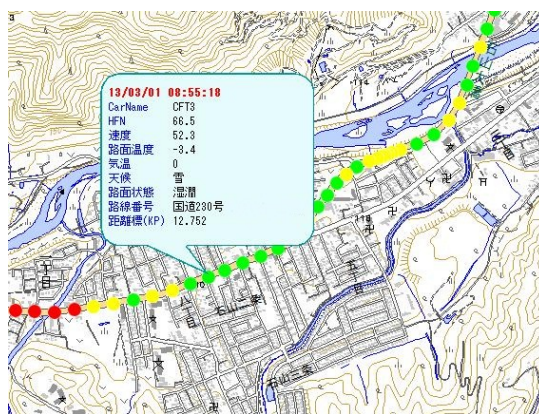
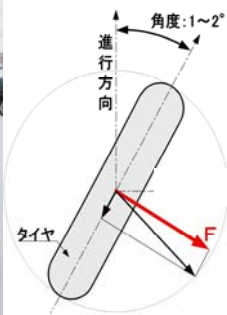


図9 路面すべり抵抗モニタリング情報

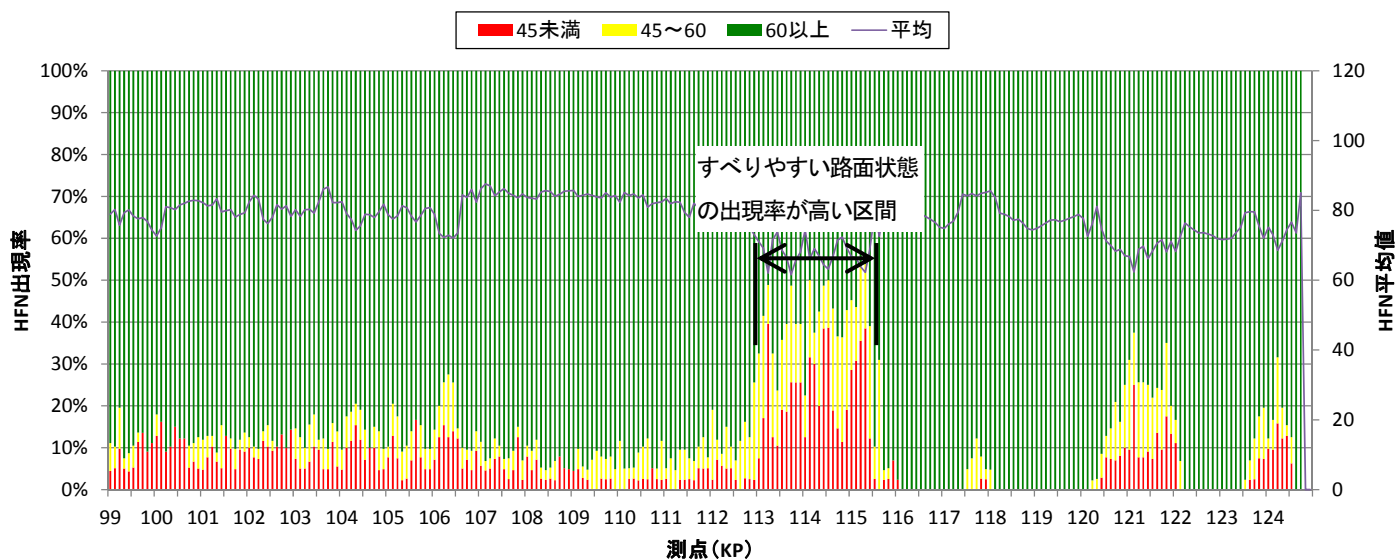


図10 区間におけるすべり抵抗値の出現率



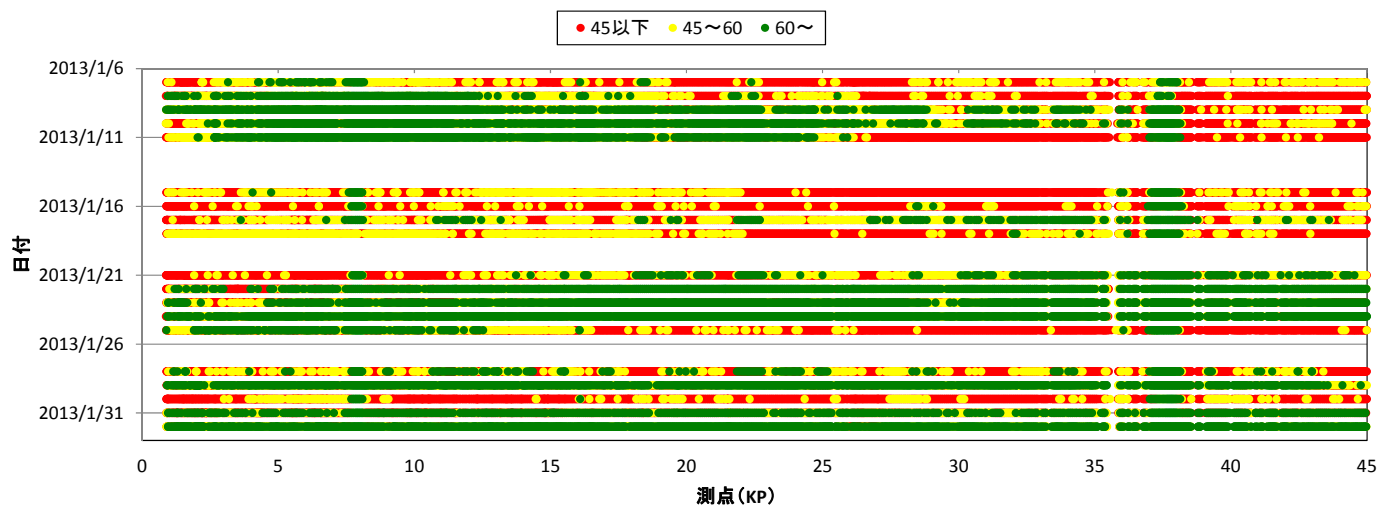


図 11 計測毎のすべり抵抗値の推移

### 3. 情報の利用状況

平成17年からの8シーズンにおける累計アクセス数は155,807件に達した。平成23年度、平成24年度はシーズンのアクセス数は約17,000件であった。

#### 3.1 気象とアクセスについて

図12に、ある事務所における平成25年1月の事務所所在地の日降雪量とアクセス数を示す。この図から、降雪量が多かった日にアクセス数が多かったことが判る。

#### 3.2 情報の閲覧内容について

図13に当システムで提供している情報の閲覧割合を示す。各情報のカウントは、端末からサーバーへの情報リクエストの件数をカウントしたものである。

この図から、時間降雪量が最も多く閲覧され、次いで路面温度が多い結果となった。この理由としては、除雪作業と散布作業の出動判断に時間降雪量および路面温度の情報を特に参考としているためと考える。

### 4. まとめと今後の展望

冬期道路マネジメントシステムを構築することで、客観的で科学的な気象予測情報や路面状態を容易に把握することが可能となった。しかしながら、当該システムは机上のPCに限定されていることから、多様な状況下における情報の取得を可能とするため、スマートフォンやタブレットデバイスなどへの対応を検討する予定である。

更に、図10および図11に例示したような路線、測点をベースとしたすべり抵抗値の集計や整理を、自動でかつ迅速に行うことが可能となった。このことから、路線のすべり特性の把握が可能となり、短期的な作業効果検証や長期的な意思決定根拠への活用方法の確立へ向けて検討を進める。

冬期の道路管理を行う事務所における情報の利用状況を調査した結果、降雪時にアクセス件数が増え、時間降雪量

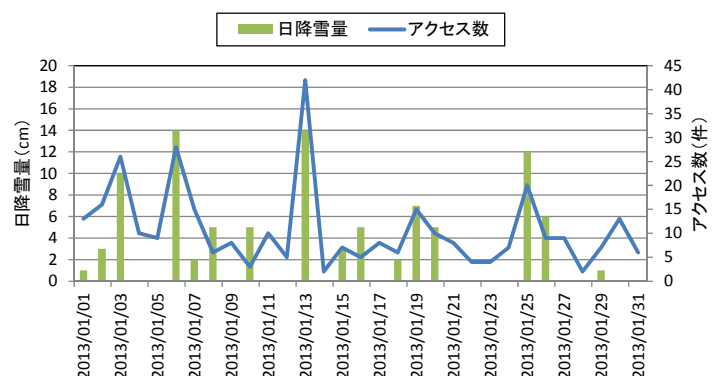


図 12 注意報・警報件数、降雪量とアクセス数

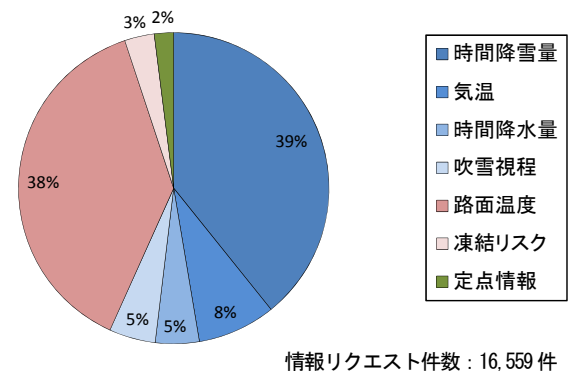


図 13 提供情報の閲覧割合

と路面温度が多く閲覧されていることが判った。更に効率的な情報提供へ向けた利便性向上を図るため、詳細な情報の利用状況に関する調査を進める予定である。

今後も情報提供の試行を継続しつつ、システム利用者の意見や、システムの利用状況を踏まえ、冬期道路管理における意思決定支援ツールとしての有用性を高めるべく、情報の質・量・提供方法についての検討を継続して進める所存である。これにより、科学的かつ客観的な情報に基づいた冬期路面管理作業の実施が可能となり、効率的かつ効果的な冬期道路管理に資するシステムとなるよう、更なる改善を図っていく所存である。

## 参考文献

- 1) 国土地理院：電子国土ポータル  
<http://portal.cyberjapan.jp/index.html>
- 2) 高橋尚人、徳永ロベルト、浅野基樹、石川信敬、岡村智明、2009：土木学会、土木計画学研究・論文集Vol.26、pp.901-911
- 3) Halliday Technologies Incorporated Web Page：  
<http://www.hallidaytech.com/>、2012
- 4) 舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、葛西聡、2007：冬期路面のすべり抵抗値計測試験について、北海道の雪氷No. 27、pp57-60

# 着色防滑材による圧雪路面のすべり止め効果と視認性向上効果に関する実道試験

川端優一<sup>\*1</sup>、切石亮<sup>\*1</sup>、藤本明宏<sup>\*1</sup>、徳永ロベルト<sup>\*1</sup>、高橋尚人<sup>\*1</sup>  
坂本多朗<sup>\*2</sup>、榎木利弘<sup>\*2</sup>、山崎達哉<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

冬期に降雪頻度および降雪量が多い地域では、強風が路上の積雪を舞い上げ、視程障害を発生させることがある。視程障害は、ドライバーの視界を妨げ、交通事故を誘発させる恐れがある。このため道路管理者は、視線誘導施設<sup>1)</sup>や防雪柵など、様々な視程障害対策に努めている。

滝川道路事務所では、冬期路面管理に用いられている防滑材に着色剤を混合させて散布する視程障害対策を考えた。この狙いは、圧雪路面の上に着色した防滑材(以下、着色防滑材と記す)を散布することで、圧雪にコントラストを発生させ、路面の視認性を向上させることにある。また、その後の除雪作業によって路面上の雪と着色防滑材が路肩に寄せられても、引き続き路肩の視認性確保に寄与すると考えられる。本研究では、圧雪路面に着色防滑材を散布する実道試験を行い、着色防滑材のすべり止め効果と視認性向上効果について調べた。本稿では、実道試験の概要とその結果について報告する。

## 2. 実道試験

### 2.1 試験概要

表1に、試験条件を示す。試験は、平成25年3月4日に一般国道451号で行った。一般国道451号は、北海道留萌市から北海道滝川市に至る、総延長119.2km(うち、実延長57.

6km)の国道である。

当日の天候は雪、路面状態は圧雪であった。本試験では、図1に示すとおり、試験対象区間(KP26.0~KP28.8)を3区間に分け、7号砕石単体(写真1)、7号砕石+塩化カルシウム水溶液(以下、CaCl<sub>2</sub>水溶液と記す)+黒着色剤(写真2)の混合および7号砕石+CaCl<sub>2</sub>水溶液+緑着色剤(写真3)の混合をそれぞれ散布(以下、それぞれ単体散布、黒着色剤散布および緑着色剤散布と記す)した。

着色剤には、入手しやすさ、扱いやすさ等を考慮し、本試験では墨汁と入浴剤を使用した。墨汁については、原料が炭なので環境負荷が少なく、さらに、日照時の雪氷の融解を促進させる効果も期待できる。CaCl<sub>2</sub>水溶液に対する着色剤の混合割合については、事前に混合物の濃淡を視覚的に検討し、その評価と概算費用を勘案して、本試験では0.3%とした。

表1 試験条件

|      |                                                                                         |                             |                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 試験月日 | 平成25年3月4日                                                                               |                             |                                                                                         |
| 天候   | 雪                                                                                       |                             |                                                                                         |
| 路面状態 | 圧雪路面                                                                                    |                             |                                                                                         |
| 試験場所 | 一般国道451号(KP26.0~KP28.8)                                                                 |                             |                                                                                         |
| 散布手法 | KP26.0~KP26.8                                                                           | KP27.2~KP28.0               | KP28.0~KP28.8                                                                           |
|      | 7号砕石+<br>CaCl <sub>2</sub> 水溶液+<br>黒着色剤<br>110g/m <sup>2</sup><br>水溶液割合20%<br>着色剤割合0.3% | 7号砕石<br>110g/m <sup>2</sup> | 7号砕石+<br>CaCl <sub>2</sub> 水溶液+<br>緑着色剤<br>110g/m <sup>2</sup><br>水溶液割合20%<br>着色剤割合0.3% |



図1 試験対象区間

\*1 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所

\*2 国土交通省北海道開発局





写真1 防滑材（7号碎石）



写真4 連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT）



写真2 黒着色剤



写真3 緑着色剤

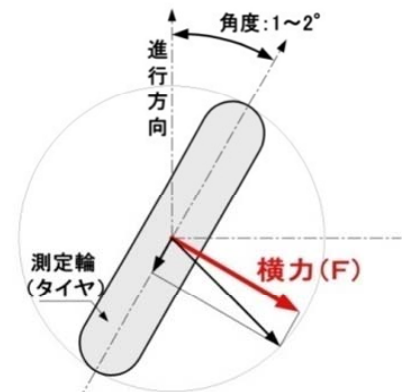


図2 すべり抵抗値の測定原理

また、7号碎石の散布量は $110\text{g}/\text{m}^2$ とした。

本試験では、防滑材散布前後のすべり止め効果を調べるため、連続路面すべり抵抗値測定装置をけん引した車両を用いてすべり抵抗値を測定した。また、視認性向上効果を調べるため、被験者が運転または同乗した車両（以下、被験車両と記す）を走行させ、被験者へのアンケート調査による主観的評価を行った。被験者は10名とした。試験は、防滑材散布前のすべり抵抗値測定、防滑材散布、防滑材散布後のすべり抵抗値測定、被験車両走行の順で行った。

## 2.2 測定装置

写真4に連続路面すべり抵抗値測定装置（Continuous Friction Tester:CFT）を、図2に測定原理を示す。当該装置は図2に示すように、車両後部に設けた測定輪を車両進行方向に対して $1\sim 2^\circ$ 程度の角度を与え、測定輪が回転する際に発生する横力からすべり抵抗値を測定することが可能である。すべり抵抗値とは、当該装置の開発者が独自に設定したHFN

（Halliday Friction Number）と呼ばれる値である。HFNは、通常0～100の範囲で変化し、すべり難い路面ほど高い値を、すべり易い路面ほど低い値を示す。なお、既往の研究により、HFNとすべり摩擦係数との相関関係が明らかになっている<sup>3)</sup>。

## 2.3 試験手順

以下に、試験の手順について述べる。

### 2.3.1 試験内容の確認

試験の実施にあたり、滝川道路事務所において試験内容の確認を行った。また防滑材と混合して使用する2種類の着色剤および防滑材散布作業に使用する凍結防止剤散布車2台の散布作業経路について確認を行った。

### 2.3.2 被験車両走行前の主観的評価

試験開始地点では、被験者に対して試験内容の説明を行い、引き続き被験車両走行前のアンケート調査を依頼した。アンケート調査では、被験者が冬道運転時に憂慮する事項として、道路の見通し距離、道路のすべりやすさ、道路の凸凹および道路の幅の4項目について順位付けを行った。

### 2.3.3 防滑材散布前のすべり抵抗値測定

試験対象区間に防滑材を散布する前に、CFTを走行させ、HFNを測定(写真5)した。

### 2.3.4 防滑材の散布

凍結防止剤散布車を2台用いて、試験対象区間の圧雪路面に、防滑材を散布(写真6)した。

### 2.3.5 防滑材散布後のすべり抵抗値測定

試験対象区間に防滑材を散布した後に、CFTを走行させ、HFNを測定した。

### 2.3.6 被験車両の走行

防滑材の散布による視認性向上効果を調査するため、試験対象区間（KP26.0～KP28.8）において5台の被験車両（写真



写真5 すべり抵抗値（HFN）測定状況



写真6 防滑材散布作業状況（黒着色剤散布）



写真7 被験車両走行状況

7) を1往復させた。

### 2.3.7 被験車両走行後の主観的評価

被験車両走行後に、路面状態、道路の見やすさ、ストレス感、安心感および走りやすさの5項目について、それぞれ7段階で評価を行った。

## 3. 試験結果

### 3.1 すべり止め効果

図3に黒着色剤散布、単体散布および緑着色剤散布の各区間におけるHFN測定結果を箱ひげ図で示す。以下に、箱ひげ図の見方について述べる。箱の下端は、全測定データの第1四分位（25%）を、上端は第3四分位（75%）を、箱の中の水平線は、中央値を示す。箱から上下に延びるひげの上下端は、箱の高さの1.5倍以内にある最大値あるいは最小値までの距離をそれぞれ示す。最大値以上あるいは最小値以下は、外れ値として「○」で示す。

HFNの中央値は、黒着色剤散布、単体散布および緑着色剤散布でそれぞれ40.6、34.6および32.3であり、黒着色剤散布が、他の散布手法よりも高い値を示した。

### 3.2 視認性向上効果

図4に被験者の属性を示す。被験者は全員男性で、かつ自家用車を所有し、冬道運転経験を有している。被験車両走行前に行ったアンケート調査結果を図5に示す。憂慮の度合い

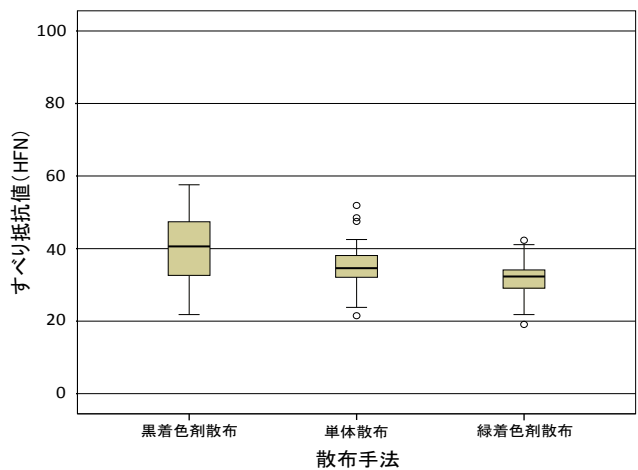


図3 すべり抵抗値（HFN）測定結果

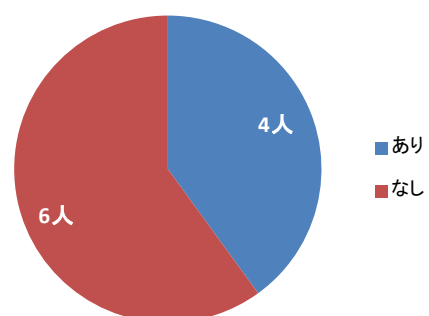
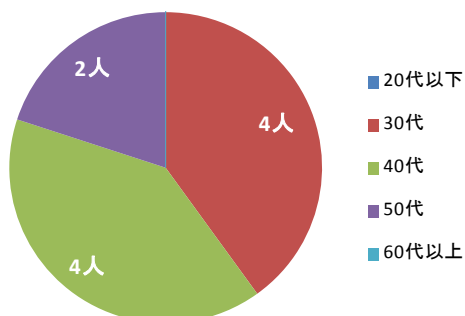


図4 被験者の属性（左：年代別 右：冬道事故経験）

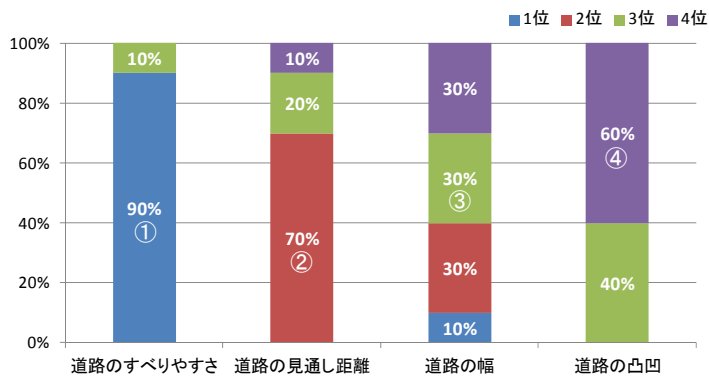


図5 冬道運転における憂慮の度合い

は、道路のすべりやすさが最も高く、最憂慮項目に選択した者は10名中9名であった。次いで道路の見通し距離、道路の幅と続き、道路の凸凹は最も少なかった。

図6に被験者による主観的評価結果を示す。評価した5項目は同図上表に示すように、路面状態、道路の見やすさ、ストレス感、安心感および走りやすさで、それぞれ7段階で評価した。評価した5項目の値は、10名の被験者による平均値である。黒着色剤散布は、すべての評価項目において、他の散布手法よりも高評価であった。また、少数ではあったが、自由回答として、「緑着色剤散布区間は、色素が見分けにくい状況であった」、「黒着色剤散布区間のみ、散布されていることがわかった」との回答が得られた。以上により、黒着色剤散布は圧雪路面の視認性を向上させることが判った。

#### 4. 試験結果の考察

実道での試験結果より、黒色着色剤散布の視認性向上効果を確認できた。また、他の散布手法に比べ、HFNも高い傾向を示した。仮に、本手法を工区内に適用した場合、水溶液1リットルあたり3.8円（直接工事費）のコスト増となるが、同工区のCaCl<sub>2</sub>水溶液使用実績（平成23年度）から、冬期のランニングコストは18万円弱で、新たな設備投資等のインシヤルコストを要せずに視認性が向上することを考えれば、交通安全上有効な手法と考えられる。

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、着色防滑材による圧雪路面のすべり止め効果と視認性向上効果を調べるため、一般国道451号において実道試験を行った。本試験は限られた条件ではあったが、着色防滑材散布区間のすべり止め効果は、黒着色剤散布のHFNが他の散布手法よりも高いことを確認した。

|         | (点)      |         |          |
|---------|----------|---------|----------|
|         | 1        | <-----> | 7        |
| 路面状態    | 非常に悪い    | <-----> | 非常に良い    |
| 道路の見やすさ | 非常に悪い    | <-----> | 非常に良い    |
| ストレス感   | 非常に感じる   | <-----> | 全く感じない   |
| 安心感     | 非常に不安    | <-----> | とても安心    |
| 走りやすさ   | とても走りにくい | <-----> | とても走りやすい |

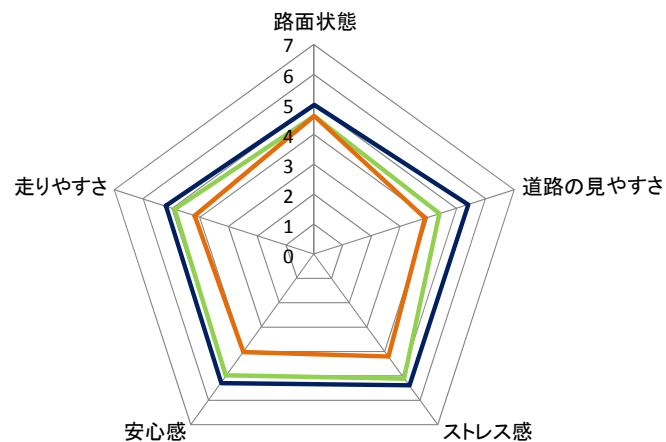


図6 被験者による主観的評価結果

墨汁による着色は、コスト負担が少なく、また、環境負荷が少なく、日照時の雪氷融解効果も見込めるため、現場で即取り組み可能な視認性向上対策として有効といえる。

着色剤については、滝川道路事務所が、交通量の少ない郊外の地域において、冬期の晴天時および降雪時に道路が白一色となり、見えづらくなることについて長年の課題としている。この課題を解決するため、今後も当該路線における検証を考えている。

#### 参考文献

- 1) (独)土木研究所寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）、1-2-15、平成23年
- 2) 舟橋誠、徳永ロベルト、浅野基樹：連続路面すべり抵抗値測定装置(RT3)の導入について、寒地土木研究所月報、No. 651、40-47、平成19年
- 3) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面状態評価手法の比較試験について、寒地土木研究所月報、No. 702、50-55、平成23年