

第35回
ふゆトピア研究発表会
論文集

令和6年1月11日

2024 ふゆトピア・フェア in 北広島 実行委員会

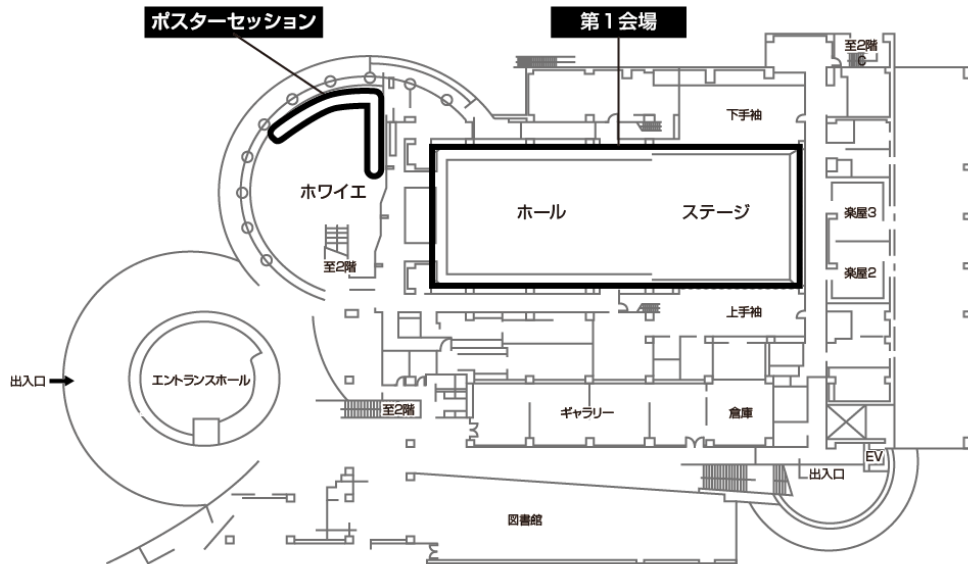
第35回ふゆトピア in 北広島 研究発表会 会場図

北広島市芸術文化ホール

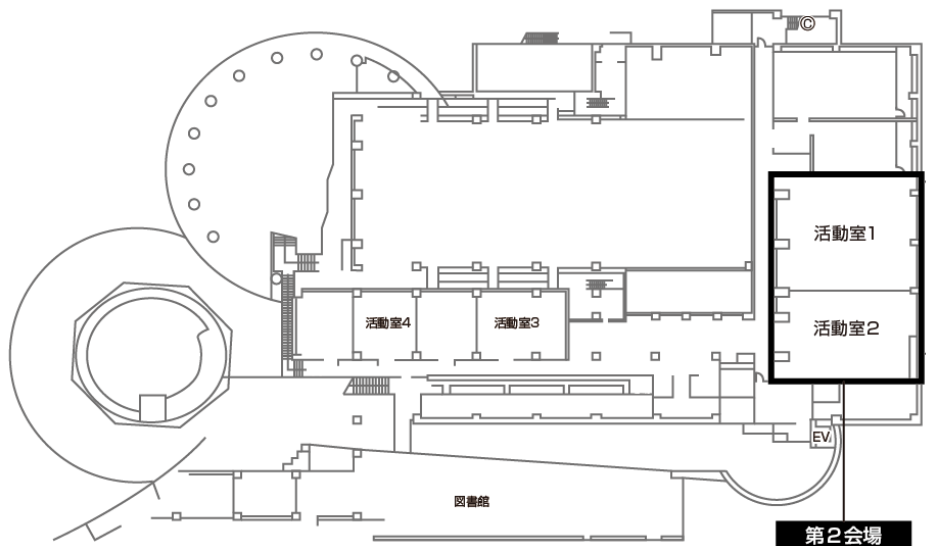
- 第1会場 (1階)
大ホール：研究発表会 (セッションⅢ)
- 第2会場 (2階)
活動室：研究発表会 (セッションⅠ、セッションⅡ)
- ポスターセッション (1階) ホワイエ

北広島市芸術文化ホール

1F



2F



第35回ふゆトピア研究発表会 プログラム概要

■日時：令和6年1月11日（木） 9：30～16：15

■会場：北広島市芸術文化ホール

	第1会場 [大ホール]	第2会場 [活動室]
9:00～ 9:30	開場・受付	
9:30～ 9:40	★開会挨拶 北海道開発局 建設部 道路建設課長 村上 睦	
9:45～ 10:45	セッションⅢ-① 『新たな技術を用いた冬期インフラ管理』 ≪4編≫ 座長：北海道開発局 建設部 道路維持課 特定道路事業対策官 長田 直樹	セッションⅡ-① 『冬期に生じる災害対応・支援・復旧』 ≪4編≫ 座長：北海道 建設部 建設政策局 維持管理防災課 課長補佐 田中 克宏
10:45～ 10:55	休 憩 (10分)	
10:55～ 12:10	セッションⅢ-② 『新たな技術を用いた冬期インフラ管理』 ≪5編≫ 座長：北海道開発局 建設部 道路維持課 特定道路事業対策官 長田 直樹	セッションⅡ-② 『冬期に生じる災害対応・支援・復旧』 ≪5編≫ 座長：北海道 建設部 建設政策局 維持管理防災課 課長補佐 田中 克宏
12:10～ 13:00	昼 食 休 憩 (50分)	
13:00～ 14:30	セッションⅢ-③ 『新たな技術を用いた冬期インフラ管理』 ≪6編≫ 座長：北海道開発局 建設部 道路計画課 道路調査官 松本 一城	セッションⅡ-③ 『冬期に生じる災害対応・支援・復旧』 ≪6編≫ 座長：北広島市 建設部 都市整備課 課長 藤本 悟
14:30～ 14:40	休 憩 (10分)	
14:40～ 15:55	セッションⅢ-④ 『新たな技術を用いた冬期インフラ管理』 ≪5編≫ 座長：北海道開発局 建設部 道路計画課 道路調査官 松本 一城	セッションⅠ 『地域性を活かした観光・産業振興、地域づくり』 ≪5編≫ 座長：北広島市 建設部 都市整備課 課長 藤本 悟
15:55～ 16:05	休 憩 (会場移動含む) (10分)	
16:05～ 16:15	★講評 北海道開発局 建設部 道路計画課 道路調査官 松本 一城 ★閉会	—

■論文発表時間

各発表 12分＋質疑応答 2分＋入れ替え 1分＝合計 15分（1題あたり）

第35回ふゆトピア研究発表会 論文目次

セッションⅢ【新たな技術を用いた冬期インフラ管理】（口頭発表論文）

No.	発表題名	発表者所属	発表者	頁
Ⅲ-1	四国地方の大雪時における冬期交通確保の向上に向けた取り組み～気象リエゾンによる気象情報収集の効率化と雪氷作業への活用～	西日本高速道路株式会社 四国支社	田村 健太	1
Ⅲ-2	高速道路の雪堤処理効率化に向けた共同研究	株式会社ネクスコ・エンジニアリング新潟	荒川 涼	5
Ⅲ-3	建物廃熱を利用した環境配慮型融雪システムの社会実装による検証	中日本高速道路株式会社 技術本部 高度技術推進部	大西 偉允	9
Ⅲ-4	スリップ・登坂不能対策を目的とした地中熱ヒートパイプ融雪工法の適用効果	株式会社興和	藤野 文志	13
Ⅲ-5	積雪寒冷地における電線類地中化の浅層埋設工法の実証試験	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 地域景観チーム	大部 裕次	19
Ⅲ-6	寒冷地域における低温ひびわれを抑制する改質アスファルト混合物～救急車搬送路の走行性改善～	大成ロテック株式会社 技術研究所	久野 晃弘	25
Ⅲ-7	大型除雪トラックにおけるキャビン乗降時の転落リスク低減策について	ネクスコ・メンテナンス東北 管理部 車両管理課	鈴木 開	29
Ⅲ-8	信頼度を用いた除雪機械の維持管理手法の検証について	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 技術開発調整監付寒地機械技術チーム	植野 英睦	35
Ⅲ-9	快適雪氷作業のための可搬型シューズクリーナーの開発と活用	中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋株式会社 岐阜道路事務所	下地 利幸	39
Ⅲ-10	準天頂衛星システムを活用した除雪車運転支援システムと自動運転化の開発について	株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道 土木事業部 土木技術部 交通環境課	高柳 琢司	43
Ⅲ-11	ロータリ除雪車投雪作業自動化に向けた実証実験～除雪現場の省力化に向けて～	国土交通省 北海道開発局 事業振興部 機械課	貫田 大輔	45
Ⅲ-12	除雪作業の遠隔操作における車両・作業内容別の適用性検討	東日本高速道路株式会社 北海道支社 技術部 技術企画課	高橋 亮介	49
Ⅲ-13	LiDAR活用による除排雪業務効率化と生産性向上のチャレンジ～降雪地でのモノづくり最前線を快適にする～	国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌道路事務所	歳桃 勇樹	53
Ⅲ-14	ICT・GISサービスを用いた冬期道路管理～皆で知識ゼロから始めるICT活用～	株式会社玉川組 建設部	舟見 群章	57
Ⅲ-15	i-Constructionを用いた冬季除雪作業における生産性向上の取組～留萌市における維持除雪作業の事例～	国土交通省 北海道開発局 留萌開発建設部 留萌開発事務所	岡田 大雅	61
Ⅲ-16	路面すべり推定AIによるすべり摩擦係数に応じた凍結防止剤の自動散布試験	国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 道路設計管理官付	石井 智博	67
Ⅲ-17	プロピオン酸ナトリウムを活用した凍結防止剤の検証報告	中日本高速道路株式会社	石田 篤徳	71
Ⅲ-18	雪氷作業判断を支援する冬期路面状態予測システム	株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北	館野 哲志	75
Ⅲ-19	国道8号福井市新保交差点における新たな雪氷対策について	北海道日油株式会社	中地 章	79
Ⅲ-20	画像処理による路面判別技術の車両への実装検証	株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道 技術統括部 技術開発室	東 忍	83

セッションⅢ【新たな技術を用いた冬期インフラ管理】（応募論文）

No.	論文名	著者所属	著者	頁
Ⅲ-21	浅層ニューラルネットワークによる路面凍結発生確率予測を用いた路面凍結防止対策の意思決定支援手法の提案	①いであ株式会社 社会基盤本部 国土保全事業部 ②いであ株式会社 社会基盤本部 道路橋梁事業部	①森近 守 ①齋藤 靖史 ①古堅 雄士 ②児玉 一郎	87
Ⅲ-22	次世代技術を活用した雪氷作業マネジメント	①中日本高速道路株式会社 保全企画本部 ②中日本ハイウェイ・エンジニアリング 名古屋株式会社 技術開発部	①宮澤 正隆 ①山本 貴文 ②中村 貴男	93
Ⅲ-23	無降水凍結に対する路面管理手法	ヴァイサラ株式会社 ウェザーセールス	片岡 創一郎	95
Ⅲ-24	暫定2車線通行区間の排雪処理について 空気圧縮機による排雪処理	西日本高速道路メンテナンス九州株式会社 保全事業本部 保全計画部 保全計画課	濱本 耕亮 徳島 翔太	99
Ⅲ-25	ラウンドアバウトエプロン端部の模擬除雪試験 ーラウンドアバウトにおける冬期道路管理手法の検討ー	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム	吉田 智 植野 英睦 飯田 美喜	101
Ⅲ-26	運搬排雪工区における排雪速度の分析	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム	飯田 美喜 吉田 智	105
Ⅲ-27	薬液量測定装置設置による業務効率化について	株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 仙台東事業所	相坂 祐樹	111
Ⅲ-28	凍結防止剤 塩化ナトリウム固結防止対策について	①株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 南東北総合事務所 ②株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 青森事業所	①大竹 晴也 ②小野 秀樹 ②吉田 隆紘	115
Ⅲ-29	門型標識着雪対策	①株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 北上事業所 ②東日本高速道路株式会社東北支社 秋田管理事務所	①鈴木 優崇 ①鶴田 悠斗 ②佐藤 信昭	119
Ⅲ-30	山内PAに新たに設置した通用路の活用報告について	株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 横手事業所	成田 俊也 伊藤 和明 佐々木 淳矢	121
Ⅲ-31	信頼性向上に向けた除雪機械整備の課題と対応について	国土交通省 北陸地方整備局 新潟国道事務所 防災情報課	藤巻 聡 中田 京之介	125
Ⅲ-32	冬期気象変動からみた消融雪施設の今後に向けて	日本地下水開発株式会社	富樫 尚仁 菅野 亜寿真 山口 正敏 福井 秀樹	129
Ⅲ-33	ロードヒーティング自動制御装置の測定データによる路面分析・気象観測への活用と移動体測定データとの融合	①山田技研株式会社 ②中日本高速道路株式会社 金沢支社	①岩橋 拓海 ②長原 俊介 ②秋田 隼希 ①酢谷 浩 ①徳永 透	133
Ⅲ-34	冬用タイヤ自動判別装置の実地検証 ～現場作業の安全性向上に向けて～	中日本高速道路株式会社	佐野 凌汰 大坂 中	139
Ⅲ-35	「除雪トラック操作技術の更なる向上へ」	中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸株式会社 保全事業部	水口 大司	143
Ⅲ-36	雪水車両の保守・整備に関する取り組みについて	中日本高速オートサービス株式会社 本社 事業部 事業課	出口 誠	147

四国地方の大雪時における冬期交通確保の向上に向けた取り組み ～気象リエゾンによる気象情報収集の効率化と雪氷作業への活用～

田村 健太*1 赤尾 敦翔*1 廣瀬 光太郎*2 岩井 佑樹*3 吉永 創*3

1. はじめに

四国的高速道路は、「四国8の字ネットワーク」と言われる四国4県を結ぶ道路網が整備され、各都市間の物流、空港・港湾アクセスさらには、本州四国連絡橋を介して近畿、中国地方との経済や生活活動の重要な交通インフラとしてネットワークを担っている。

西日本高速道路（株）四国支社（以下、NEXCOという。）は、約480kmの高速道路を管理している。特に、高知自動車道（以下、高知道という）の新宮IC～南国ICは非常に重要な路線であり、命の道とも呼ばれる。南海トラフ地震も踏まえた災害等、緊急時におけるネットワークの確保と安心して走行できるための維持管理が強く求められている（図1）。



写真1. 大雪時の高知道

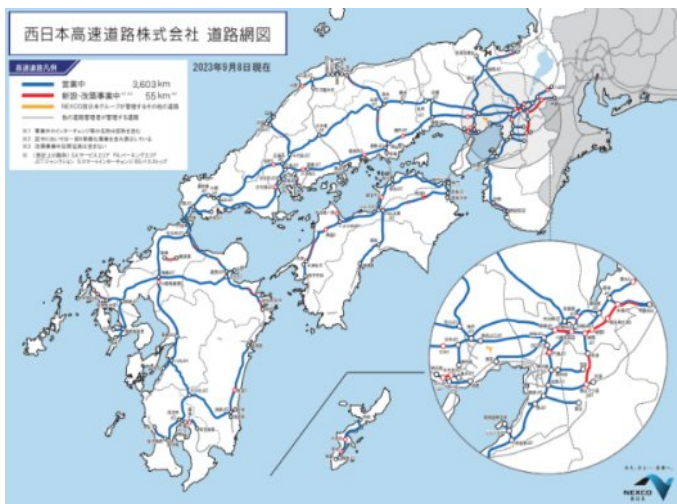


図1. 四国的高速道路ネットワーク

一方、四国地方は、台風や豪雨・大雪などの際に大きな影響を受ける独特の自然環境を持ち、特に強い冬型気圧配置となる際は、四国の山間部でも大雪（写真1:高知道の道路状況）となることがある。そのため、大雪による高知道の通行止めは、ネットワークの寸断につながり社会的影響が大きい。さらには、並行国道がない路線であるため、大規模滞留となる恐れもある。従って、的確なオペレーションを行うことで通行止めタイミングの最適化、早期通行止め解除を図ることが重要となっている。

2022年度の冬期は、例年より強力な西風が卓越する寒波が多くなった事もあり、全体として高知道西部、松山自動車道（以下、松山道という。）西部、徳島自動車道（以下、徳島道という。）西部の通行止めの多さが顕著（図2）であった。

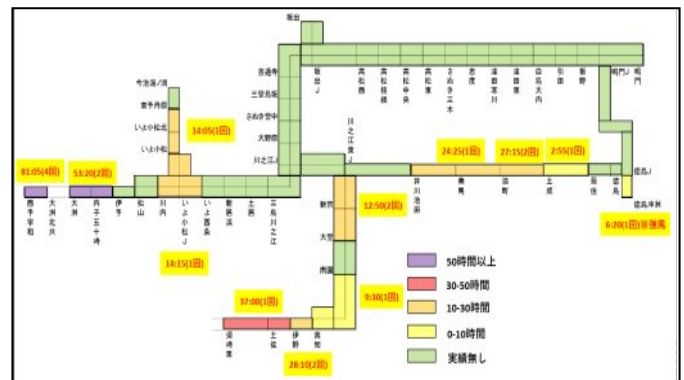


図2. 令和4年度の通行止め実績マップ

12/22-24(クリスマス寒波)にかけて、特に活発な雪雲が流れ込み、降雪頻度の低い高知道の高知 IC 以西でも40cmを超える大雪となり、予防的通行止めを実施した。本論文では、四国地方の気象特性に応じた雪氷対策の改善、効率化による冬期交通確保の取り組みや道路利用者向けの情報提供内容について紹介する。

* 1 西日本高速道路株式会社四国支社 保全サービス統括課
* 2 西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社
* 3 株式会社ウェザーニューズ

2. 冬期の気象と雪氷対策上の課題

(1) 冬期の気象

四国の地形的な特徴は、中央部を東西に貫く山地（四国山脈）があり、標高 1000m 級の急峻な山々が連なっている。さらには、愛媛県の最高峰である石鎚山(1982m)や、徳島県の最高峰である剣山(1955m)など 2000m 級の山を多く有している。山地を境として、南部は高温多雨の太平洋側気候で毎年台風等による水害が多発している。また、四国山地の冬の気象特性(図 3)は、本州の中国山地や吉備高原を超え、関門海峡を抜ける寒気が瀬戸内海の水蒸気を凍らせて、四国山地にぶつかるために雪が多いことも知られている。



図 3. 四国の気象特性（大雪）

図 4 は、強い冬型の影響を受け、記録的大雪となった 2022 年 12 月 24 日 0 時時点の解析積雪深分布図である。愛媛山間部では 70cm を超える積雪となっており、山陰や北陸など雪の多い地域に匹敵することがわかる。

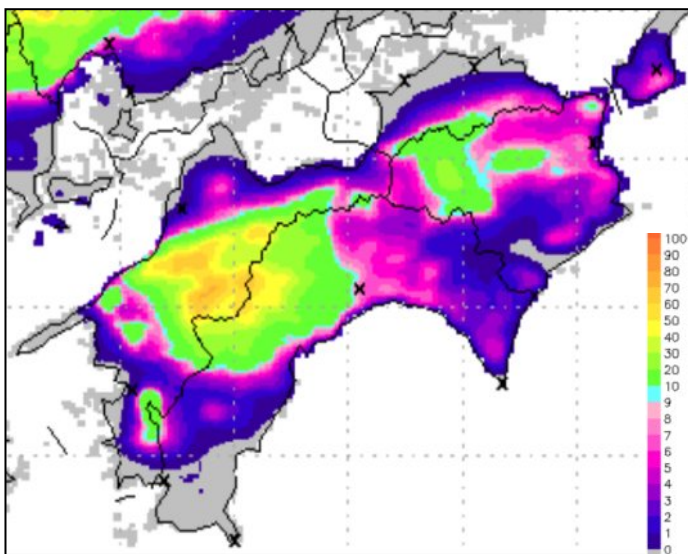


図 4. 解析積雪深分布図

(2) 雪氷対策上の課題

NEXCO では、除雪作業などの雪氷対策作業を行うにあたり、株式会社ウェザーニューズ（以下、WNI という。）から提供される朝・夕の気象予測を踏まえ、各雪氷基地の除雪体制構築や作業タイミングの判断を行っている。さらに、体制構築後は、気象レーダー画像及び本線の実況値を常に監視し、凍結防止剤の散布作業や除雪などの雪氷対策作業を行っている。防災対策室にある監視モニターには、WNI から提供される広域気象レーダー画像や四国支社で整備している路線上のライブカメラや気象観測局の値(写真 2)などがある。



写真 2. 防災対策室で監視しているモニター

一方で、四国地方で通行止め相当の大雪になるのは年に数回程度であるため、冬タイヤ装着は非常に低い地域でもある。そのため、事故を未然に防ぐための雪氷対策作業が必須となる。しかしながら、雪氷作業を行なっても、降り続く雪の影響で限界降雪量（除雪能力）を超える際には、躊躇なく通行止めにする場合がある。そのためには的確に気象情報を取得する必要がある。さらには、重要な路線を抱えることから、早期通行止め解除も大きなテーマである。

また、2020 年 12 月の関越自動車道や 2023 年 1 月の新名神高速道路での大雪による大規模滞留を踏まえ、大雪が予想される際には予防的通行止めを行う場合がある。そのため、NEXCO はリスクを踏まえた情報を前広に取得し、物流事業者やドライバーに情報発信する必要性がある。

3. 冬期交通確保の向上に向けた取り組み

(1) 気象情報収集の効率化

NEXCO が冬期交通確保のため、的確な雪氷対策を支援するために必要な事は、WNI から高頻度かつ精度の高い道路気象予測の提供を受ける事である。そのためには、高速道

路上の最新の気象観測実況値の収集が重要となる。それを実現するため、大雪による通行止め広報が必要となる事象や予防的通行止めが想定される大雪の際に、WNI 社員を NEXCO へ派遣（気象リエゾン）し、WNI 社員が防災対策室内で最新の気象情報やライブカメラ画像を確認し、気象情報をリアルタイムに提供(写真 3)する事で、NEXCO が的確に雪氷対策判断を行う事が可能となった。(類似論文、PIARC2023)。合わせて、通行止め解除の協議やそれに伴う広報も迅速に行うことが可能となった。



写真 3. 気象リエゾンの様子

(2) 雪氷作業の効率化

NEXCO では、WNI から提供される気象情報をもとに、体制判断や限られた台数の雪氷車両を最大限に生かすための雪氷対策作業の戦略を立案している。例えば、優先的に必要となる区間に除雪車を集中(写真 4) させる事で、通行止め時間の削減に努めている。



写真 4. 集中除雪の様子（高知県）

また、降雪量予測に対する一定の基準（通称：メルクマール）を設定する事で、十分なリードタイムを確保した通

行止め広報や予防的通行止め実施のための必要な体制確保、及び関係機関との緊密な連携を実施するようにしている。

一方、南岸低気圧による降雪時など、四国地方が全般的に機械能力を上回るような大雪となる際は、NEXCO 他支社からの応援も行うことで、作業の効率性を図り、早期通行止め解除に向けた対応を図っている。

4. 2022 年 12 月 23～24 日の事例

①気象概況

強い冬型気圧配置となり上空 5500m 付近で -36°C 以下、上空 1500m 付近で -12°C 以下の非常に強い寒気が南下したことで、四国全域で降雪となった(図 5)。また、上空の風が西寄りの風となったため、西日本では、瀬戸内や太平洋側を含む広範囲で断続的に雪雲が流れ込んだ(図 6)。特に、松山道や高知県では記録的な大雪となった。WNI が設置した土佐 PA の積雪深計によると、45cm という過去最大級の記録的積雪を観測した。この大雪の影響で、松山道、徳島道、高知県で広範囲に通行止めとなった。

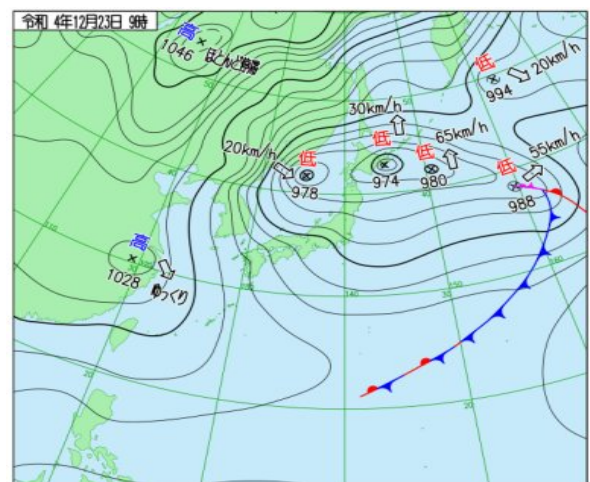


図 5. 天気図（2022 年 12 月 23 日 9 時）

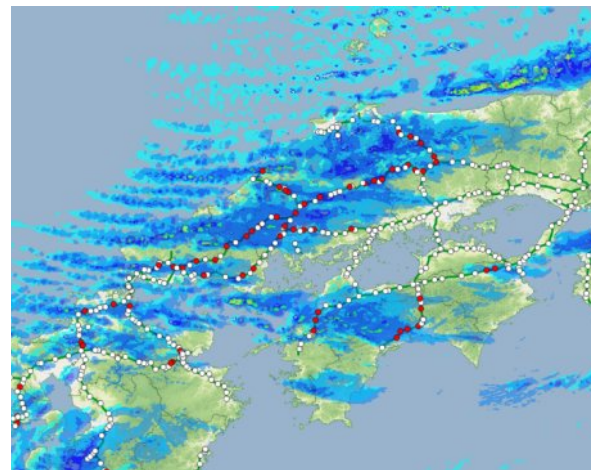


図 6. 気象レーダー（2022 年 12 月 23 日 5 時）

②気象情報収集

NEXCOは、事前の準備として、WNIから提供される支社全体の大雪の影響度を一目で把握できる降雪影響予測(図7)をもとにして、メルクマール超過予測が出ていたために、「予防的通行止め判断フロー」への移行を判断し、WNIリエゾン実施の調整や事前通行止め予告広報を実施した。

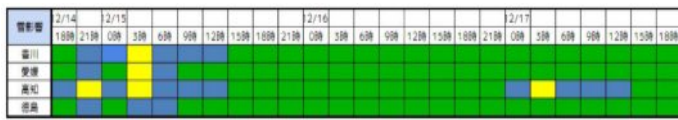


図7. 降雪影響予測(四国支社)

体制構築後、NEXCOは、本社・事務所・WNIリエゾン・地整リエゾンと常に情報共有を図り、降雪状況に応じた判断を行った。一方、WNIリエゾンは、防災対策室内の監視モニターを常に監視し、リアルタイムで最新見解を共有した。また、気象急変時の際にも、同様に、その状況を伝え、最新の気象予測を提供することで、NEXCOが柔軟に対応できるようフォローアップを行った(写真5)。合わせて、防災対策室から各高速道路事務所に対して見解を伝達する事で、同じ情報をリアルタイムに共有した。



写真5. 気象リエゾンでのアフターフォロー

③考察

図8は、本事例における予防的通行止めオペレーションについて時系列にまとめたものである。最新情報をリアルタイムに取得することで、雪氷対策作業や通行止め解除の戦略策定の判断がより迅速となった。それにより、メルクマール超過前の通行止め広報の実施、そして止めるべきタイミングで予防的通行止めを実施することが出

来たと考える。

メルクマール超過予測3h前から	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00
通行止め予告広報	黒								
現地状況確認		黒	黒	黒			黒	黒	
臨時予測事前確認			緑	緑	緑	緑	緑	緑	
総合判断項目CS確認				黒	黒	黒	黒	黒	黒
通行止め実施									黒

本社・事務所・地整リエゾン・WNIリエゾンと常に情報共有

図8. 当時の通行止めオペレーション

5. 次年度に向けて

激甚化する状況を踏まえ、その時々に対応した取り組みを行う必要がある。特に、気象会社に対しては気象予測の精度向上の追求を求め、NEXCOとしては、広報・注意喚起の仕方を見直す事での「滞留の備え」や情報収集や情報共有の仕方を見直す事での「早期通行止め解除に向けた取り組み」をより一層、各関係機関と詰めていきたいと考える。

さらには、WNIと共同し、より効果的な気象情報の活用に向けたNEXCO関係者向けの気象勉強会を開催して頂く事で、NEXCO内部での雪氷に関する知識の浸透を図る。これにより、冬期における安全・安心な高速道路を確保するための技術力を高めていきたい。

高速道路の雪堤処理効率化に向けた共同研究

荒川 涼*1, 岩崎 伸一*1, 杉原 幸信*2, 上村 靖司*2, 町田 敬*3

1. はじめに

2020年12月に発生した「関越道大雪に伴う大規模車両滞留」は記憶に新しく、この事象を境に高速道路の雪氷対策の強化・改善が急速に進められている。新潟県は国内屈指の豪雪地帯であり、我々、高速道路会社には冬季期間中の安定した車線確保が求められる。雪氷作業は『除雪作業』と『路面の凍結防止剤散布作業』が2本柱となり、冬季においても安全な交通空間が確保されているところである。このとき、『除雪作業』ではプラウを装着した除雪トラックや除雪ドーザー、除雪グレーダにより路面上の積雪を路肩に寄せる作業が行われる。次に、路肩に寄せた雪が道路の車線を圧迫してくるとロータリ除雪車を用いて道幅を確保する拡幅除雪が行われ、路肩に雪が積み上げられる。これらの作業が繰り返されると同時に、その間の自然積雪も加わり道路の路肩や中央分離帯に雪山が形成される。これが『雪堤』と呼ばれる。

堆積・成長した雪堤は思いがけず崩壊することがあり、高さのある雪堤が崩壊すると外側線を跨ぎ、通行車線を部分的に塞ぐ場合があり、一般車両の物損被害や交通事故に繋がる可能性がある(図-1)。このような事故を未然に防ぐためにも、適切なタイミングで効果的に雪堤を処理することが重要である。しかし、雪堤処理作業を実施するタイミングは熟練した作業員の経験則に依存しているのが現状である。そのため、雪堤処理の効率化を図るため、定量的な判断基準や新たな管理手法の提案、開発が期待されているところである。そこで、筆者らは2020年5月より新潟県内の高速道路を対象エリアとして“雪堤処理の効率化に向けた共同研究”を開始したところである。本研究を進める中で、取組む課題も変遷しているところではあるが、現時点での課題と期待される成果を表-1に示す。なお、本報告は取組む課題の内「雪堤の形成メカニズムと不安定化プロセスの把握」に係わる部分を中心に現段階での成果を報告するものである。



図-1 高速道路上で発生した雪堤崩壊

表-1 課題と期待される成果一覧

■取組む課題
□ 雪堤の形成メカニズムと不安定化プロセスの把握
□ 圧密・融解に伴う雪堤の形状・強度変化の現地観測と室内実験
□ 圧密・融解に伴う雪堤の形状・強度変化の数値解析
□ 崩壊しにくい雪堤形状や、飛散を抑制する崩壊過程制御、効果的・効率的な雪堤除去方法の検討
◆期待される成果
◇ 雪堤崩壊による通行車両への被害の未然防止
◇ 雪堤除去作業に掛かるコストの削減

これまでの膨大な日報記録を基に、過去の雪堤崩壊の発生傾向について、区間別、月別、構造物種別、道路構造種別といった様々な観点から分析を行い、雪堤崩壊が具体的にいつ、どこで、どのくらいの頻度で発生しているのかを調査した。以下にその結果を報告する。

今回、分析対象路線は新潟県内でも特に積雪量の多い地域を縦断している関越自動車道(水上IC～長岡IC)に設定した。また、2013年度～2019年度の7年度分の日報記録から、雪堤崩壊・処理の記載が209件抽出することができた。この209件のデータを基に、雪堤崩壊の傾向を分析した。ここでは特筆すべき2項目について記載する。

(1) 分析結果① 年度ごと・月ごとの発生傾向

まず、次頁の図-2に年度ごとの雪堤崩壊件数と年平均気温および年平均累積降雪量の関係を示す。なお、2013年度から2019年度までの分析に用いた日報には、1月から3月以外の月に雪堤崩壊が発生した記録は残っていなかった。そこで、年平均気温および年平均累積降雪量を、当該路線が位置する4地区(水上、湯沢、小出、長岡)のアメダスの気象データ(2014年から2020年まで

*1 ㈱ネクスコ・エンジニアリング新潟 土木事業部 (TEL: 025-244-8170)

*2 長岡技術科学大学 *3 町田建設㈱

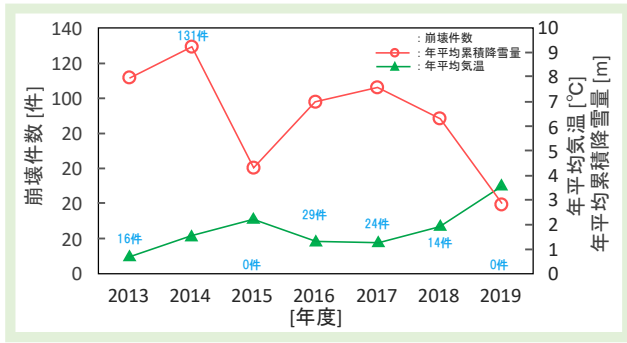


図-2 雪堤崩壊件数と1月から3月までの年平均累積降雪量および年平均気温の関係

年ごとの1月、2月、3月の平均気温および1月から3月までの累積降雪量)を抽出し、年ごとに算出した。図-2より、2014年度は雪堤崩壊件数が131件であり、他年度と比較して多くなっていることがわかる。一方、年平均累積降雪量が少ない2015年度と2019年度の日報からは雪堤崩壊が抽出されなかった。したがって、降雪量の多い年ほど雪堤崩壊の件数が増加するといえる。

また、図-3に2013年度から2019年度までの1月、2月、3月のそれぞれの月における雪堤崩壊件数と月平均累積降雪量および月平均気温の関係を示す。月平均気温と月平均累積降雪量は、図-2と同様に、4地区(水上、湯沢、小出、長岡)のアメダスの気象データ(2014年から2020年まで)を月ごとに平均して求めた。図-3に示す7年度分の集計・分析より、2月の雪堤崩壊件数が最も多くなっていることがわかる。気象データより、月平均累積降雪量がおおよそ2m以上、なおかつ月平均気温が1°C前後となる月に雪堤崩壊が発生しやすくなる傾向があることが読み取れた。

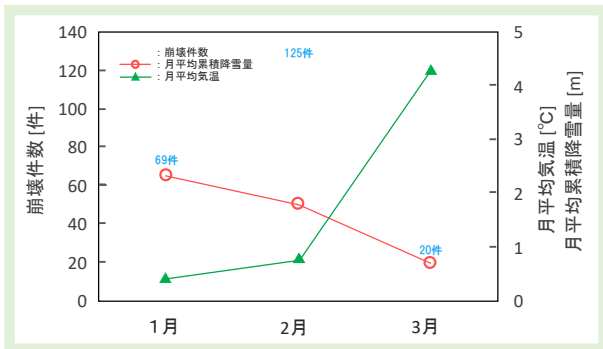


図-3 雪堤崩壊件数と月平均累積降雪量および月平均気温の関係

(2)分析結果② 道路構造・防護柵種別による発生傾向

図-4に道路構造種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数の割合を示す。単位距離あたりの崩壊件数に注目すると、全体の約5割が橋梁部、約3割が切土部、約2割が盛土部で発生しているという結果になった。橋梁部が最も多くなった原因として、橋梁ではその他の道路構造種別に比べて、車両の走行に起因する振動や吹きさらし環境による熱的な影響を受けやすいこと、路肩幅員

が狭いうえに壁高欄やフェンスによって背が高く幅の狭い雪堤が形成されやすいこと等が要因と推察される。

また、図-5に中央分離帯と路肩における雪堤崩壊件数を示す。雪堤崩壊の約70%が中央分離帯で発生しており、雪堤崩壊は中央分離帯側で発生しやすい傾向にあることがわかった。さらに、中央分離帯について防護柵種別でガードレールとガードケーブルのどちらで雪堤崩壊件数が多いのかを確認した。図-6より、中央分離帯の防護柵種別における単位距離あたりの雪堤崩壊件数は、ガードケーブルが65%、ガードレールが35%であった。したがって、中央分離帯の中でもガードケーブルが設置された区間の方が、雪堤崩壊が発生しやすい傾向であることがわかった。

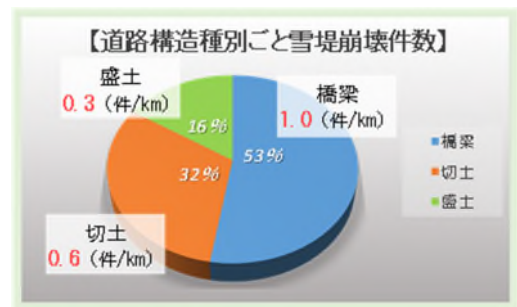


図-4 雪堤崩壊件数と道路構造種別の関係

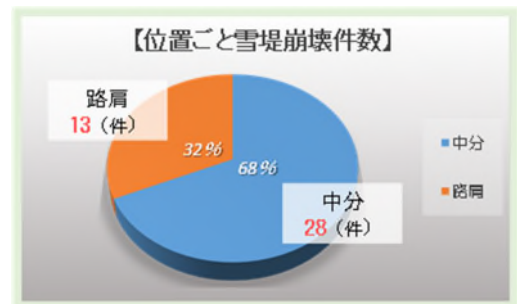


図-5 雪堤崩壊件数と発生位置の関係

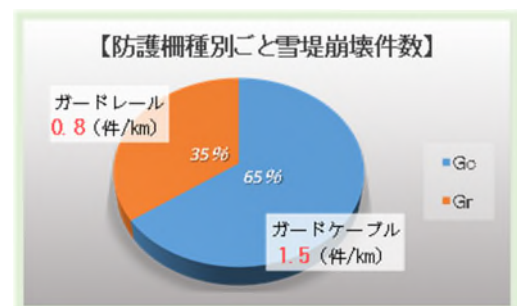


図-6 中分で発生した雪堤崩壊件数と防護柵種別の関係

2013年度から2019年度分の日報記録を分析したところ、雪堤崩壊が発生しやすい条件として①降雪量が多く、平均気温が高い年 ②降雪量が多く、気温が緩む2月 ③昼間と、気温が上昇した夜間 ④降雪量が多い地区 ⑤中央分離帯側(特にガードケーブル区間) ⑥橋梁区間等が明らかとなった。

2.2 雪氷作業従事者へのアンケート調査

(1) アンケートの内容

実際に雪氷作業に携わる方々の知見、感覚を数値化するためにアンケート調査を実施した。アンケート調査は東日本高速道路（株）新潟支社管内の雪氷作業従事者を対象に2021年12月に実施した。特筆すべき結果について、質問事項と回答結果を以下に記す。なお、回答者数は全526人であった。

(2) アンケートの結果

No1：【気温が高い日は、雪堤崩壊の規模が大きくなるか】

当質問に対する回答結果を図-7に示す。回答は肯定的な意見が約9割を占め、特に積極的に肯定である回答がうち7割を占めた。気温の高さと雪堤崩壊の規模に関連性があるという認知が確認できた。

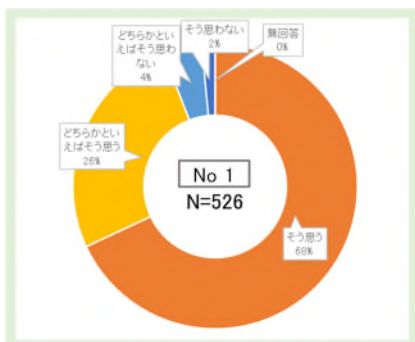


図-7 No1の質問に対する回答結果

No2：【橋梁区間は土工区間よりも雪堤崩壊が起きやすいと思うか】

当質問に対する回答結果を図-8に示す。肯定的な意見が約6割を占め、また積極的に肯定である意見がうち3割を占めた。橋梁区間が土工（その他）区間よりも雪堤崩壊が起きやすいとの認知が高い結果となった。この傾向は、前述した雪氷作業日報の分析結果（図-4）とも一致した。

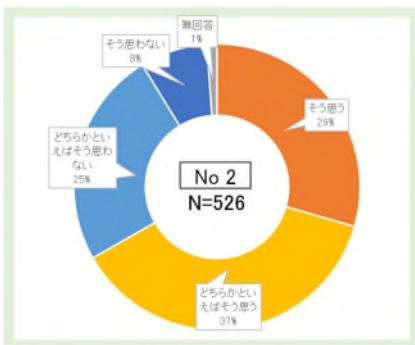


図-8 No2の質問に対する回答結果

No3：【盛土区間と切土区間では、盛土区間の方が雪堤崩壊が起きやすいと思うか】

当質問に対する回答結果を図-9に示す。肯定的な意見が約6割を占め、また積極的に肯定である意見がうち2

割を占めた。意見が二分していることや、雪氷作業日報の分析結果（図-4）とは傾向が異なる結果となった。

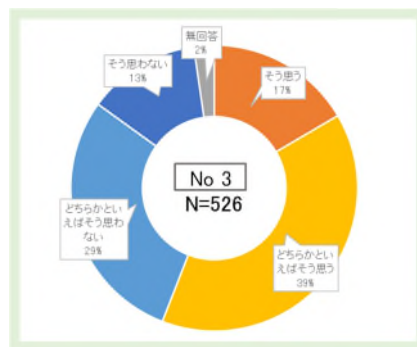


図-9 No3の質問に対する回答結果

アンケート調査結果では、一部で日報記録による雪堤崩壊発生状況と雪氷作業従事者の認知が一致しない項目も見られたため、今後は事象と現場感覚のズレを生み出す要因についても調査していきたい。

2.3 雪堤崩壊形態の類型化

雪堤崩壊のメカニズム解明に先立ち、崩壊現象の類型化を行った。類型化は高速道路上で発生した雪堤崩壊を撮影・観察し雪堤の形成過程と現地条件に注目し分類を行った（図-10）。各型が発生し易い現地条件のイメージを図-11に示す。現地で撮影された各型の崩壊状況を図-12に示す。分類によって崩壊メカニズムや要因が変化することが予想できるため、検討を進める上での留意点とした。

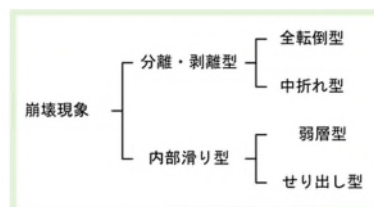


図-10 雪堤の崩壊現象の類型化

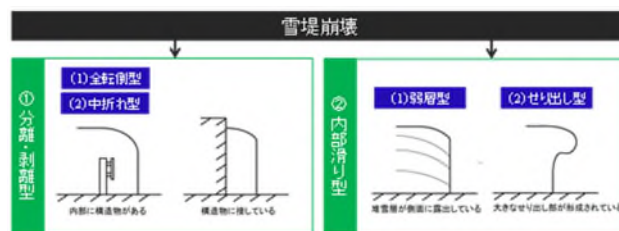


図-11 類型ごとの発生地点の傾向



崩壊分類	撮影年月日	撮影地点
①分離・はく離型	2021/01/25	関越道(六日町IC~大和SIC間)192.6KP付近
②内部滑り型	2021/01/25	北陸道(上越IC~大島SIC間)356.5KP付近

図-12 類型ごとの崩壊イメージ

2.4 高速道路上での現地調査

2020年度及び2021年度冬季期間中に高速道路本線上での現地調査を実施した。調査内容は、形成された雪堤の外観観測、各種物性値の計測を行い、結果から崩壊現象を誘発する要因・要素(メカニズム)の考察を行った。

(1) 現地調査内容

現地で計測した物性値の種類を表-2に示す。

表-2 調査対象と調査機器・方法一覧

物性値	調査機器・方法
①密度	角形密度サンプラー
②硬度	プッシュブルゲージ
③温度	サーミスタ温度計
④含水率	デノース式、遠藤式
⑤粒径	粒度ゲージ
⑥雪質	目視観察

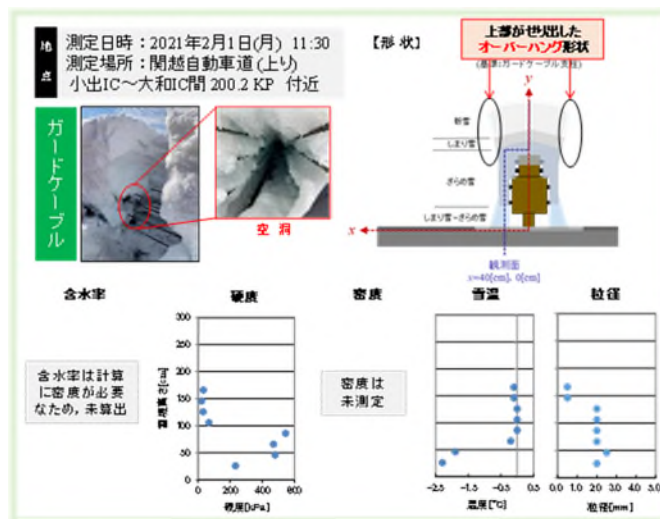


図-14 現地調査結果(ガードケーブル区間)

(2) 現地調査結果と崩壊メカニズムの一考察

これまでの現地調査結果の内、代表して特筆すべき結果を以下に示す。

中央分離帯の防護柵種別がガードレール区間(図-13)、ガードケーブル区間(図-14)ともに、防護柵の周辺で空洞が確認された。空洞内表面が氷状態となっていたことから、内部で融解・凍結が繰り返されていることがわかる。融解・凍結の要因は、防護柵支柱を介した熱伝導や、地熱の影響、また発生した空洞に空気が流れて融雪を促進するチャンネル融雪によるものと推察される。

ここまでの調査結果から、ガードレール区間の分離・はく離型(全転倒型・中折れ型共通)の崩壊メカニズムの一考察を行った。雪堤の形成過程から崩壊に至るまでのメカニズムを図-15に示す。

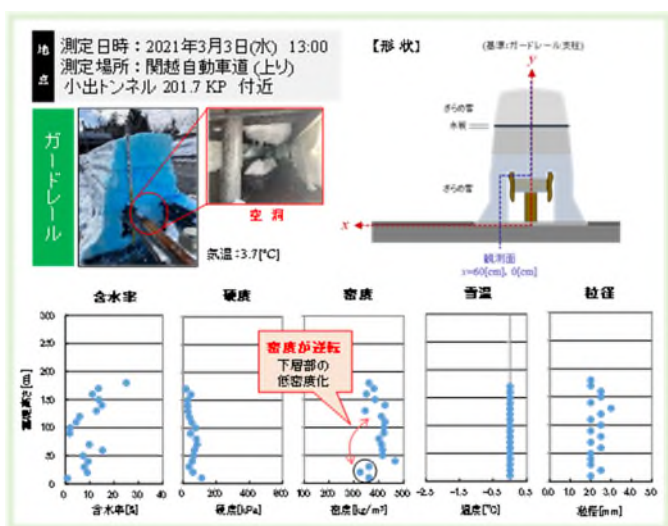


図-13 現地調査結果(ガードレール区間)

計測された物性値については、密度に注目した。自然堆積の場合、自然圧密により下層部から上層部にかけて密度が低下するのが一般的である。しかし密度が計測できたガードレール区間(図-13)では上層部の密度が下層部の密度を上回る逆転現象が確認された。これは、防護柵の影響で雪が積もりにくく、融解再凍結を繰り返すことで、均一な圧密を阻害している可能性が推察された。

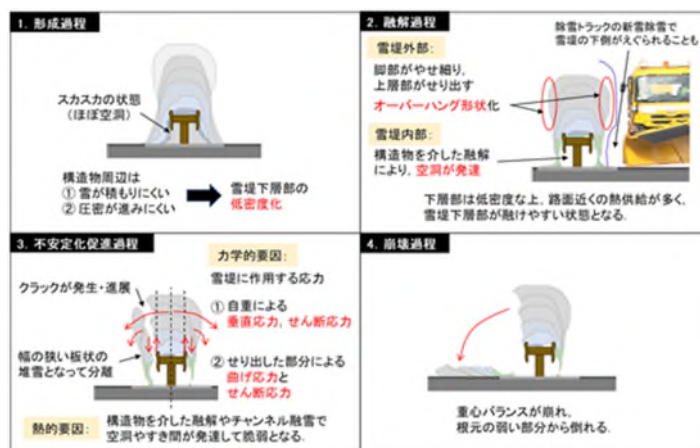


図-15 分離・はく離型の崩壊メカニズムの一考察

3. おわりに

雪堤崩壊による第三者被害発生を未然に防止するためにも、考察されたメカニズムを基に雪堤処理に関する定量的な判断基準や効率的な管理手法の提案、開発を進めていく。また、同時進行で行われている、室内実験や数値解析、効果的・効率的な雪堤除去方法の検討等の結果を踏まえて総合的に対策立案を進めていきたい。

雪堤崩壊現象の基礎的研究と対策立案は寒冷積雪地域の重要な課題と捉え、今後も邁進していく。

参考文献

- [1] 国土交通省 気象庁, “過去の気象データ検索”
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

建物廃熱を利用した環境配慮型融雪システムの社会実装による検証

大西 偉允*1 西原 嘉樹*2 中山 浩*3

1.はじめに

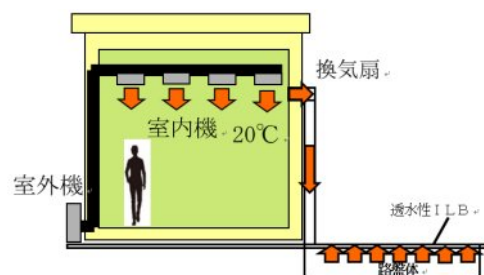
中日本高速道路株式会社（以下、NEXCO中日本）が管理する区間において、降雪量の多い岐阜県飛騨地方では、除雪・融雪に多大なる労力が必要となっている。既存の融雪システムは、設置コストや雪氷期毎のランニングコストが高いため、十分に普及しておらず、サービスエリア・パーキングエリア・管理施設で、お客さまや従業員の安全を確保しつつ、低コストで省エネルギーとなる融雪システムが求められている。

そこで、NEXCO中日本では、令和3年度より東海北陸自動車道松ノ木峠PA（上）において、中部電力株式会社との共同研究（以下、本研究）の取り組みとして、建物廃熱を利用した環境配慮型融雪システム（以下、廃熱融雪システム）の施工とフィールド性能評価を行い、良好な評価結果を得てきた⁽¹⁾。今回、廃熱融雪システムの社会実装を行うため、新たな導入箇所として、NEXCO中日本 高山保全・サービスセンター関係者通路及び、東海北陸自動車道 飛騨河合PA（下）に改良した廃熱システムを設置し評価検証を行った結果を報告する。

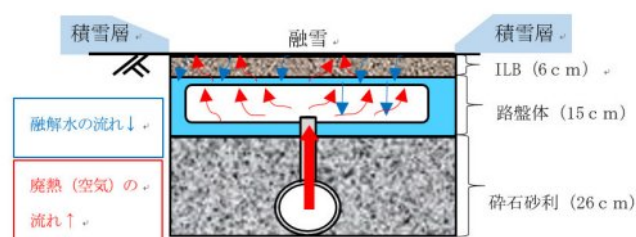
2. 建物廃熱を利用した環境配慮型融雪システムの概要

廃熱を用いた融雪システムは過去よりいくつか開発されている。本研究では、北海道で利用実績があるホクスイ設計コンサルなどが開発し基本特許を取得しているシステム（以下、既存システム）をベースにしている。本システムは、路盤体と呼ばれる樹脂製構造体を融雪エリアに設置し、その上部に通気性及び透水性のあるインターロッキングブロック（以下：ILB）を配置したものである⁽²⁾。（図-1）

本研究で扱う廃熱融雪システムは、より安価かつ高性能にするため、市販されている中空樹脂路盤体（物流パレット）とILBを用い、さらに路盤体内部への排温風の供給方法を工夫し、均一に廃熱を供給できるように改良したものである⁽³⁾。融雪エリアを掘り下げた後は路盤体およびILBを手作業で配置できるため、設置作業およびメンテナンスが比較的容易という特長がある。



(図-1) 廃熱利用融雪システム概要



(図-2) 地中断面図

地上に降り積もった雪はILBの蓄熱効果とILB目地から吹き出す温風により融雪される。融雪水はブロックから下部の路盤体および地面に流れるため、ブロック表面での凍結は発生しない。（図-2）

3. 検証方法及び施工状況

これまでの改良内容の検討の結果を踏まえ、高山保全・サービスセンターには幅1.8m×長さ9.9mと細長い形状であり融雪面積が19.8㎡、飛騨河合PA下りは幅2.2m×長さ3.6mの矩形であり融雪面積が7.92㎡の形状に設定し、面積の違うパターンになるよう構築した。定点カメラによる観測を行い、比較的降雪量の多い条件である降雪量3cm/hでの融雪性能を検証する。

検証を進めるにあたり、気象条件により結果が大きく左右されることを踏まえ外気温、降雪量、積雪量を気象庁の観測所データを採用することとする。岐阜県河合と白川の外気温可観測結果を(図-3)に示す。河合と白川の外気温度はほぼ一致することを確認し、降雪量、積雪量においては、河合観測所のデータを採用した。（図-4）

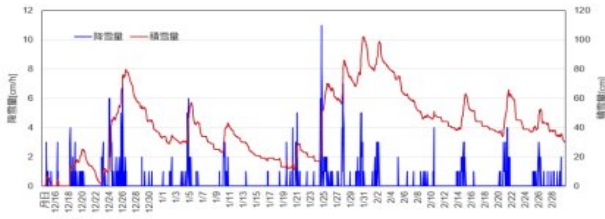
*1 中日本高速道路(株)技術本部 高度技術推進部

*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 高山道路事務所

*3 中部電力(株)技術開発本部 先端技術応用研究所



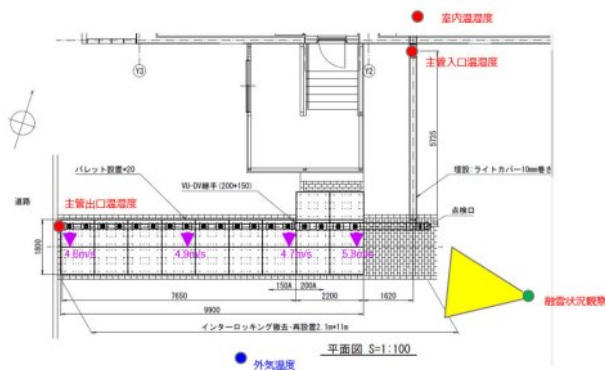
(図-3) 河合、白川の温度



(図-4) 河合の降雪量、積雪量

3.1 高山保全・サービスセンター

高山保全・サービスセンターの融雪配管平面図と計測点を(図-5)に示す。主配管は融雪エリアの端に設置され、地中から路盤体内部に廃温風を吹き出す形態となっている。全長9.9mの廃熱融雪設置後、排気吹き出し口の風速を測定した結果、各排気口の風速は終端部で4.6m/sであり、始端部で5.8m/sであった。



(図-5) 融雪配管平面図

(写真-1)、(写真-2)は廃熱融雪システムの設置完了の状況である。露出の縦配管以外は埋設されている融雪システムが設置されているかわからない外観である。



(写真-1) 外観全景



(写真-2) 縦配管外観

廃熱融雪システム内における温湿度を計測するため、温度計測センサーを主管入口に設置した状況(写真-3)、温湿度計を(写真-4)に示す。



(写真-3) 主管入口



(写真-4) 温湿度計

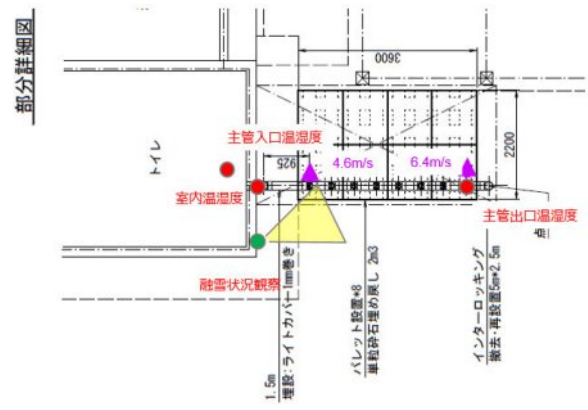
換気扇には風量を調整できるよう3段階の切り替えスイッチを採用し、主管風速、主管風量を測定した表を(表-1)に示す。本システムの前年度実績により、単位面積当たりの風量を30m³/h/m²以上にするこで、均一に融雪できることが検証されているため、風量設定として、初期設定にHighである単位面積当たりの風量を38.8m³/h/m²で設定することとした。また、定点カメラを設置し、24時間撮影し30分/回撮影を行うことで融雪能力の検証を行うこととした。

(表-1) 主管風速、主管風量

風量設定	主管風速 (m/s)	主管風量 (m ³ /h)	単位面積風量 (m ³ /h/m ²)
High	6.8	768.7	38.8
Middle	6.1	689.5	34.8
Low	1.5	169.6	8.5

3.2 東海北陸自動車道 飛騨河合PA(下)

飛騨河合PA(下)の融雪配管平面図を(図-6)に示す。全長3.6mの廃熱融雪システム設置後、排気吹き出し口の風速を測定した結果、各排気口の風速は終端部で6.4m/sであり、始端部で4.6m/sであった。(写真-5)、(写真-6)は設置完了時の状況を示す。



(図-6) 融雪配管平面図



(写真-5) 外観近景



(写真-6) 外観全景

換気扇には高山保全・サービスセンター同様に High、Middle、Low の3段階の切り替えスイッチを採用し、初期設定として、単位面積当たりの風量を 30 m³/h/m²以上を満たす、単位面積当たりの風量を 48.5 m³/h/m²(Middle) で設定することとした。風量設定と単位面積あたりの風量を(表-2)に示す。

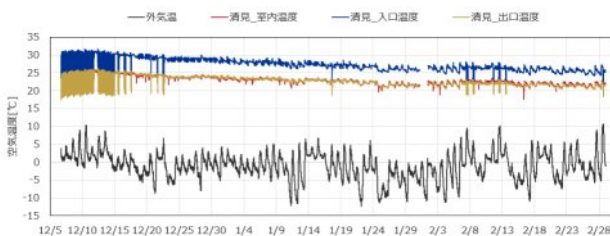
(表-2) 主管風速、主管風量

風量設定	主管風速 (m/s)	主管風量 (m ³ /h)	単位面積風量 (m ³ /h/m ²)
High	5.0	565.2	71.4
Middle	3.4	381.6	48.5
Low	1.2	133.2	17.1

4. 検証結果

4.1 高山保全・サービスセンター

2022/12/5 から 2023/02/28 の期間の外気温、室内主配管入口温度、主配管出口温度を(図-7)に示す。室内温度より主管入口が高温となっている原因は、室内の換気扇位置が天井付近にあるため暖かい空気が室内上部に滞留したためと考えられる。高山保全・サービスセンターは24時間全館空調されており安定した廃熱の供給が可能である。外気温が最高 10℃から最低気温-12℃と温度変化が激しいが、主管出口温度は外気温の影響を受ける事なく、約 25℃と安定した温度を維持している。このように、本システムの吹出口までは外気温の影響をほとんど受けないことを示している。



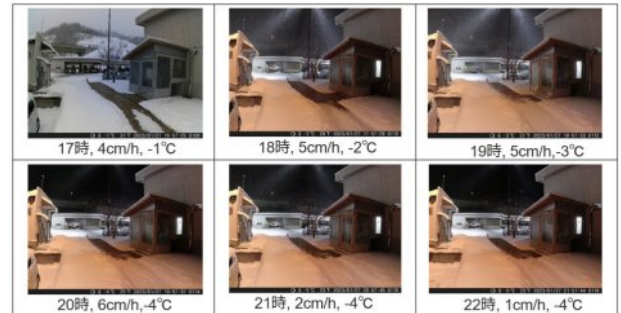
(図-7) 外気、室内主配管入口、主配管出口温度

各期間の配管入口、出口の平均温度を(表-3)に示す。配管に入ってから、熱ロスにより約 5℃程度排気の温度が低下することがわかる。

(表-3) 配管入口、出口の平均温度

	入口温度(℃)	出口温度(℃)	温度差(℃)
12/7~12/31	28.4	23.7	4.7
1/1~1/31	27.1	22.6	4.5
2/1~2/28	25.9	21.6	4.3

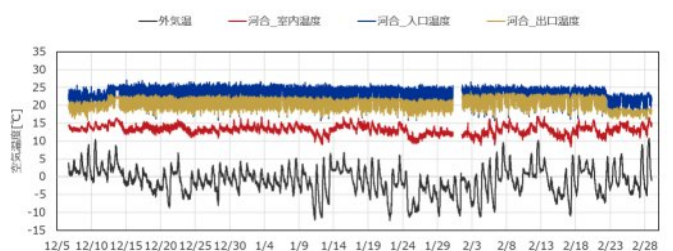
定点撮影で2023/01/27の17時から22時までの画像を(写真-7)に示す。20時台の時間降雪6cm/hで外気温-4℃においても十分な融雪能力を發揮していることが確認できた。1/27の24時間の降雪量は32cmであり、その状況でも問題なく融雪できていることがわかる。



(写真-7) 融雪状況定点写真

4.2 東海北陸自動車道 飛騨河合PA (下)

2022/12/5から2023/02/28の期間の外気温、室内主配管入口温度、主配管出口温度を(図-8)に示す。高山保全・サービスセンターと同様に、室内温度より主管出入口が高温となった。原因は同様と考えられる。また、高山保全・サービスセンターと比べると入口温度と出口温度の差が少ない。これは、河合の主配管の長さが短いため、出口温度の低下がわずかであったことを意味している。



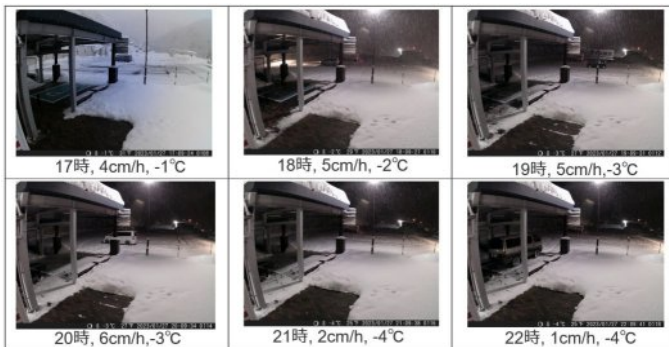
(図-8) 外気、室内主配管入口、主配管出口温度

各期間の平均温度を(表-4)に示す。高山保全サービスセンターと比べると配管長が短いため、温度低下は3℃前後であった。

(表-4) 配管入口、出口の平均温度

	入口温度(℃)	出口温度(℃)	温度差(℃)
12/7~2/21	23.5	21.1	2.4
2/22~2/28	21.8	18.4	3.4

定点撮影で 2023/01/27 の 17 時から 22 時、高山保全サービスセンターと同時間の画像を(写真-8)に示す。20 時台の時間降雪 6cm/h、外気温-3℃において十分な融雪能力を発揮している。



(写真-8) 融雪状況定点写真

4.3 使用電力量 飛騨河合 PA(下)

本システムは、建物からの換気廃熱を積極的に利用することで、空調負荷が増えて、空調エネルギーの増加が懸念された。そこで、2022年(導入前)と2023年(導入後)の冬季期間における飛騨河合PA(下)における電気使用量を比較した。2022年および2023年の電力使用量をそれぞれ(表-5)に示す。

(表-5) 2022年、2023年電気使用量 (kWh)

	回路名	1月	2月	3月	合計
2022年	LP-2	3,222	2,577	2,796	8,595
	動力	2,719	2,563	2,817	8,099
2023年	LP-2	3,258	2,596	2,761	8,615
	動力	2,826	2,724	2,711	8,261
使用量差	LP-2	36	19	-35	20
	動力	107	161	-106	162
差合計					182

飛騨河合PA(下)建屋の廃熱換気扇は電灯回路LP-2(AC)を使用している。導入後の2023年は2022年に比較してほとんど変化していない。動力回路は空調機電源として使用している。換気扇の利用による換気効果で建屋内部の熱が廃熱されることにより空調負荷が大きくなること懸念されたが、動力回路においても2022年と2023年の1月電力使用量の差は+107kWh、2月は+161kWh、3月-106kWhになる。3か月のトータルにおいても182kWhで、全体使用料のわずか1%の増加であり、本廃熱システムによる換気の影響はないと考えられる。

5. まとめ

高山保全・サービスセンター、飛騨河合PA(下)における社会実装を行い、定点カメラによる融雪性能の検証を行った。形状、面積の違うパターンで構築したが、いずれも時間降雪深3cm/hでも融雪可能であり、目標は十分に達成することができた。また、飛騨河合PA(下)において、廃熱融雪システムの導入前に比較して電気使用量は増えることなく、融雪ができたことから、環境配慮型である事が確認できた。

6. 今後の課題

本システムの融雪性能は、供給する空気温度、送风量、外気環境の影響を受ける。今回の検証では、風量変更による検証が出来なかったため、今後、様々な単位面積あたりの送风量での融雪性能の検証、検討が必要と考えられる。飛騨河合PA(下)の検証では、電力使用量に影響はなかったが、換気量を増加することで、融雪性能は向上するが、空調電力も増加することになる。したがって、適正な換気風量の選定が重要になると考えられる。今後はさらに4、5例の融雪パターンを検証し、どのような換気量、外気環境、融雪面積、融雪形状で高効率な融雪が可能か検証していきたい。

また、融雪能力の分析をすることで、最小限の廃熱量(最小の設備)で最大限の融雪能力を出すことでコスト削減を図ると共に、環境省による補助事業を有効活用し、環境に優しい廃熱融雪システムの普及を行っていきたい。

参考文献

- (1) 大西・西原・中山, 建物廃熱を利用した環境配慮型融雪の導入, ゆきみらい 2023 研究発表会講演論文, 2023
- (2) 平野・大内・藤江・米田, 排熱利用直接接触型空気吹出式融雪システムの実証試験, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2013 講演論文集, p.107-108, 2013
- (3) 中山・大西・西原・寺崎・鈴木, 排熱利用融雪システムにおける融雪性能評価 第2報配管・路盤体改良による効果, 2023年度日本冷凍空調学会 年次大会講演論文集, 2023

スリップ・登坂不能対策を目的とした地中熱ヒートパイプ融雪工法の適用効果

藤野 丈志*1・岡本 信寛*1・沼屋 賢一*2

1. はじめに

地中熱ヒートパイプ融雪工法は、熱源にも運転制御にも電気や燃料を必要としない、地中熱だけで稼働する道路融雪工法である。積雪と気温低下に対して自己制御運転する特徴から、車道や歩道の融雪に加え、除雪路線におけるスリップ防止と登坂不能車両対策を目的として施工をおこなっている。施工では、対策区間のすべてを融雪するのではなく、車両の制動ができる範囲に限定して融雪を行っているが、融雪能力をどの程度に設定すればよいか、配置をどのようにすればよいか試行中である。令和4年度、新潟県妙高市関川に融雪能力を変えた地中熱ヒートパイプ融雪工法を導入し、除雪と合わせた融雪効果を調査したので、その融雪効果とスリップ・登坂不能対策効果の検討結果を報告する。

2. 地中熱ヒートパイプ融雪の特性

地中熱ヒートパイプ融雪工法は、地中熱を融雪熱源とし、融雪および凍結防止対策を行う工法である。融雪と凍結防止が行なわれる原理を図1に示す。地中から舗装までヒートパイプが埋設されており、舗装よりも温度が高い深度範囲がヒートパイプの採熱部、舗装内がヒートパイプの放熱部となる。放熱部の温度が採熱部よりも低下すると、ヒートパイプ内部に封入されている作動液が蒸発するとともに潜熱を受け取り、放熱部へ蒸気の状態で移動する。放熱部では液化するとともに潜熱を放出し、舗装を温める。採熱部と放熱部の温度差が大きいほど、潜熱輸

送量が増加するので、舗装への熱出力が多くなり、放熱部が氷点下になることはない。このような特性から、地中熱ヒートパイプ融雪工法は、融雪や凍結防止が必要な時に、自動的に舗装を温めることができる。融雪および凍結防止のための熱エネルギーと制御にかかる電気等のエネルギーのすべてを地中熱エネルギーで賄うので、運用に電気や燃料を必要とせず、運用コストがかからない。

3. 除雪路線への適用状況

地中熱ヒートパイプ融雪工法は、降雪時や積雪時に加えて、除雪後に残雪がある間や、気温が低く凍結の危険性が高い間は高い熱出力が維持されるので、特別なセンサー設置や制御をしなくても運用できる。また、降雪量や残雪量が多く長時間稼働することになってもコスト増にはならないので、除雪路線での運用に適性が高い。ただし、融雪設備としてはイニシャルコストが高いため、対策範囲の全面ではなく一部を融雪することで、スリップ防止や登坂不能防止機能を持たせつつコストを抑えている。図2は除雪路線への導入事例である。車道の下り坂では、速度抑制舗装のように横断方向へ飛び飛びに設置したり、轍部分のみに設置したりしている。上り坂では、横断方向への設置のほか、登坂不能が起こった場所をねらい設置している。歩道では、バス停や通学路において歩行者転倒防止を目的として、除雪幅以下で最低限必要な範囲に設置している。視覚障害者誘導用ブロックを速やかに露出させることにも役立てられている。

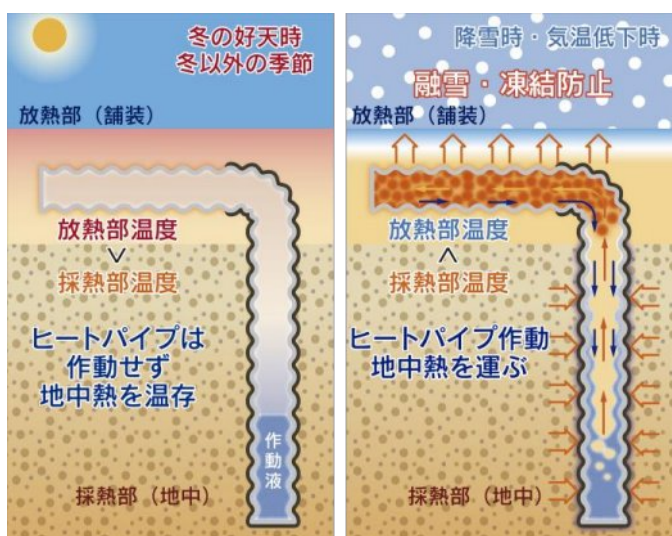


図1 地中熱ヒートパイプ融雪工法の動作原理



図2 除雪補助導入事例

*1 株式会社興和 *2新潟県上越地域振興局地域整備部

4. 除雪路線状況と導入設備

地中熱ヒートパイプ融雪工法の導入位置を図 3 に示す。新潟県妙高市にある一般県道池の平妙高温泉線の緩やかなカーブとともに 11% の勾配が続く下り側にあり、カーブ手前で車両の減速が必要な位置となっている。池の平妙高温泉線は、上信越自動車道と温泉及びスキー場をつなぐ観光道路かつ沿線居住者の生活道路であり、除雪による交通確保が行われている。しかしながら、冬期にスリップ事故や登坂不能車が発生する区間であり、令和 4 年 1 月には大型トラックのスリップによる死亡事故が発生した。このような背景から、除雪後に残る圧雪やアイスバーンがスリップ事故を引き起こす要因とならないように、除雪補助及び凍結防止対策として地中熱ヒートパイプ融雪工法を採用し、令和 4 年度の冬前に設置した。地中熱ヒートパイプ融雪設備の設置概要を表 1 に、設置平面図を図 4 に、施工状況を図 5 に示す。対策範囲は 11% の下り勾配区間のうち延長 21.0 m で、この中に地中熱ヒートパイプ融雪ユニットを 7 ユニット設置した。1 ユニットは採熱孔 1 本にヒートパイプを 3 本挿入したものである。融雪および凍結防止効果の比較を目的として、ヒートパイプのピッチ（ヒー

トパイプの埋設間隔) を 150 mm とした 150 mm ユニットの 3 ユニット (⑤⑥⑦)、200 mm とした 200 mm ユニットの 4 ユニット (①②③④) 敷設した。設計の熱出力は、200 mm ユニットの 110 W/m²、150 mm ユニットの 130 W/m² である。降雪密度を 70 kg/m³ とした場合の降雪強度に換算すると、1.7cm/h および 2.0 cm/h に相当する。



図 4 設置平面図



図 5 施工状況



図 3 路線状況および設備導入位置

表 1 設備概要

道路状況	下り急勾配(11%)カーブ手前
交通量 (H27 道路交通センサス)	1,259 台/24h 昼間 12 時間大型車混入率 11.4%
除雪	通常除雪路線 平常時除雪作業目標: 第 1 種区分 緊急時除雪作業目標: なし
施工面積	W 4.4 m × L 21.0 m = 92.4 m ²
地中熱ヒートパイプ 融雪面積	11.7 m ² (7 ユニット) 融雪面積/施工面積比 12.6%
1 ユニット融雪範囲	200 mm ユニット: W 0.6 m × L 3.0 m 150 mm ユニット: W 0.6 m × L 3.0 m
設計放熱量	200 mm ユニット: 110 W/m ² 150 mm ユニット: 130 W/m ²
採熱孔	SGP100A-21.5 m 採熱長さ: 21.0 m
ヒートパイプ	コルゲート型ヒートパイプ SUS304-Φ26.5mm-24.0 m/1 本 採熱部 21.0 m + 放熱部 3.0 m

5. 調査方法

5.1. 調査設備及び観測

融雪状況および凍結防止状況の確認と、熱出力の解析を行うため、カメラの設置と温度センサーの設置を行った。温度測定位置を図 6 に、観測機器および観測方法を表 2 に示す。地中熱ヒートパイプ融雪ユニットの放熱部温度と採熱部温度の測定は 150 mm ピッチのユニット⑦で実施した。観測期間は令和 4 年 12 月 23 日から令和 5 年 4 月 6 日までで、設備温度および気温の測定は、熱電対とデータロガーを使い 10 分間隔で行った。融雪および凍結防止状況の観測は自動撮影カメラを使い、1 時間間隔で撮影を行った。また、融雪状況および路面

温度の確認として、現地にて写真撮影とサーモカメラによる路面温度測定を令和5年1月6日5時25分からと、令和5年1月25日13時30分からの2回実施した。

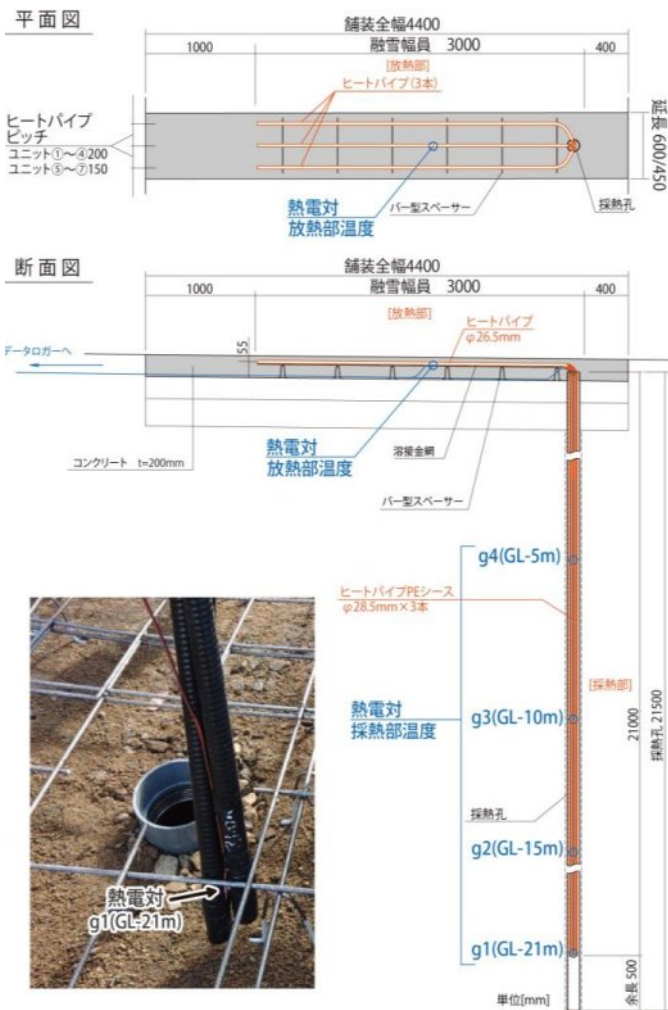


図 6 地中熱ヒートパイプ融雪ユニットと温度測定位置

表 2 観測機器および観測方法

	融雪・凍結防止状況	温度測定
機器名	ハイクカム LTG4G	サーミック 2300
観測項目	融雪状況	採熱部温度 4 点 (5, 10, 15, 21 m) 放熱部温度, 気温
観測間隔	1 時間に 1 回	10 分に 1 回
観測期間	令和 4 年 12 月 23 日～令和 5 年 3 月 31 日	

5.2. 熱出力と残雪量解析

舗装表面部の温度要素について図 7 に示す非正常熱伝導モデルを考え、熱出力と路面温度の推定をおこなった。計算は差分法の一つであるクラック・ニコルソン法により時間間隔 10 分で計算した。熱負荷は気温、風速、降雪および残雪の有無から熱伝達式より求めた。算出される推定路面温度は、融雪部分全体の平均であり、ヒートパイプの直上はより高く、ヒートパイプの間はより低い値となる。風速と降雪はアメダス関山を

使用し、熱伝達式およびヒートパイプ放熱部から路面への熱伝達係数は、路面消・融雪施設等設計要領¹⁾を参考として設定した。

路面上の残雪量は、熱出力および降雪データから次の式により求めた。

$$H_{t+1} = H_t + h\rho_h - Q / (\rho_r L) \quad [m]$$

$$(H_{t+1} < 0 \text{ のとき } H_{t+1} = 0)$$

h : 時間降雪深 [m] L : 氷の融解潜熱 [J/kg]
 H_t : 時刻 t の時の残雪深 [m] ρ_h : 降雪密度 [kg/m³]
 Q : 熱出力 [W/m²] ρ_r : 残雪密度 [kg/m³]

降雪密度は 70 kg/m³ と仮定して算出した。残雪密度は 100 kg/m³ とし、残雪深はその密度での換算値とした。なお、除雪は行われないものとしたが、放熱部温度と推定路面温度が急激に上昇するときに残雪量を 0 として計算を進めた。

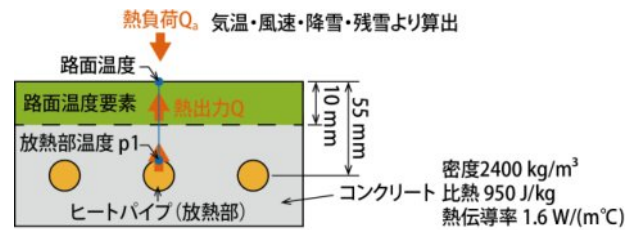


図 7 路面温度要素

6. 調査結果

6.1. 融雪状況

2 cm/h 前後の降雪が続いた時の融雪状況の例を図 8 に示す。降り始めは、強い降雪でも融雪部分は路面露出した (a)。降雪が続くと融雪部分にも積もり始めるが (b)、融雪能力を下回る降雪になれば路面露出し、道路積雪が増えると除雪され (c)、残雪を融雪した (d)。150 mm ユニットと 200 mm ユニットの融雪状況の差は、図 9 示すように、降雪時や除雪後の圧雪時において路面露出の差として確認できる時刻があったが、図 8 に示すように、どちらも完全に路面露出か積雪状態となり、大きな差がみられない時刻の方が多かった。

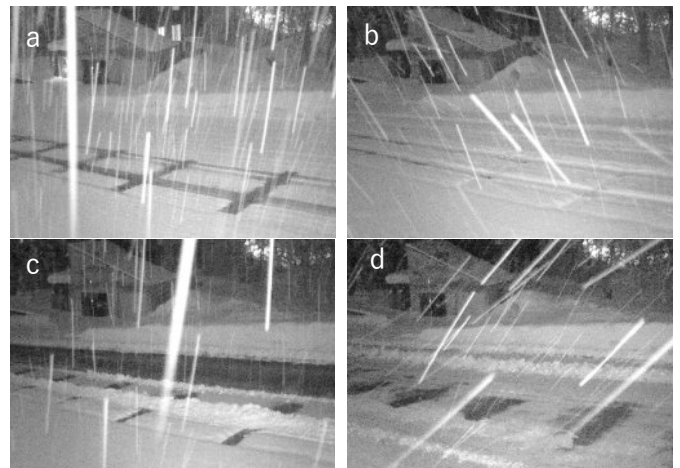


図 8 融雪状況

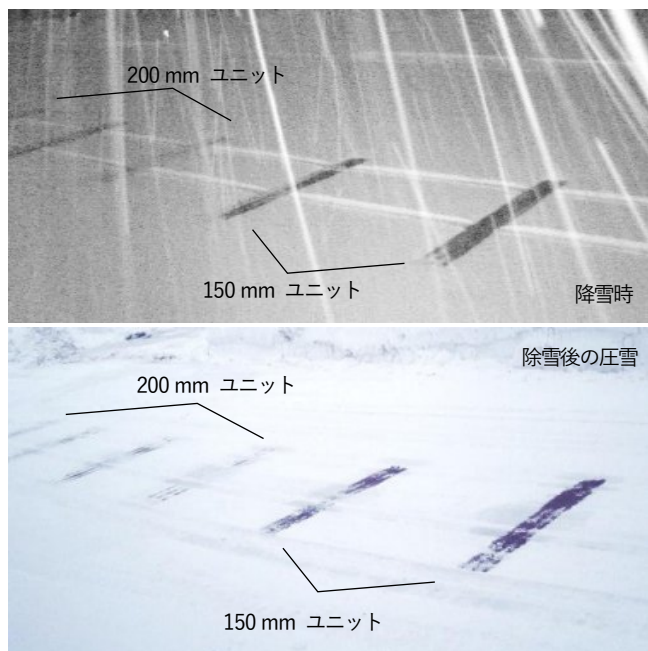


図 9 埋設間隔による融雪状況の差

6.2. 凍結防止状況

結露時と除雪後の凍結防止状況の例を図 10 に示す。凍結時の映像 (a) は、日中から夕方にかけて濡れ路面となり夜間に路面凍結する状況であったが、融雪部分は湯き路面へと変化していた。撮影時の気温は -6.8°C で推定路面温度は $+0.2^{\circ}\text{C}$ (熱出力解析結果による) であった。除雪後の映像 (b) は、夜間に強い降雪があり、気温は -5°C から -11°C まで低下した状況で、撮影時の気温は -10.6°C で除雪から約 2 時間後である。150 mm ピッチの方は一部路面が出ている状況であり、推定路面温度は -0.3°C という結果と合わせてみると、ヒートパイプ直上はプラスの温度で凍結していない可能性があり、ヒートパイプの間は凍結していたとみられる。200 mm ピッチの方はほぼ圧雪でおおわれ、凍結しているとみられる。

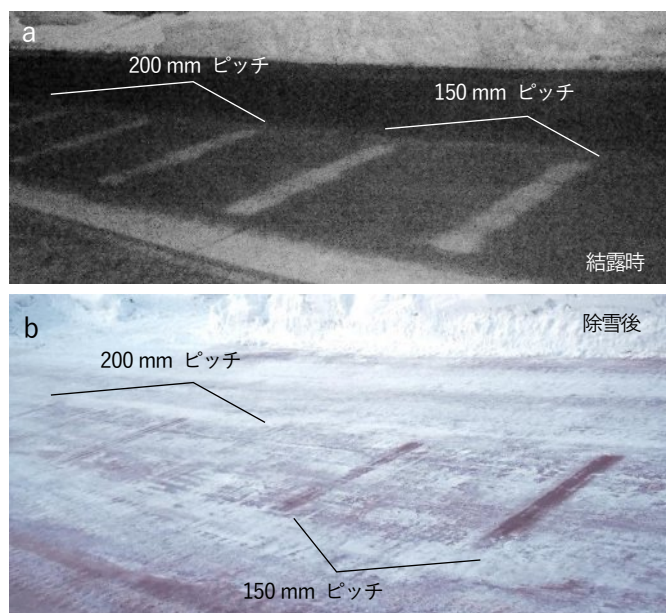


図 10 凍結防止状況

6.3. 路面温度状況

令和 5 年 1 月 6 日 5 時 25 分の観測時の路面融雪状況及びサーモグラフィによる路面温度測定結果を図 11 に示す。気温は -3.5°C で路面には 2~3 cm 程度の積雪があるが融雪部分は完全に路面露出している状況である。150 mm ユニットの路面温度は $+3.0^{\circ}\text{C}$ 前後、200 mm ユニットの路面温度は $+2.8^{\circ}\text{C}$ 前後であった。熱出力解析結果による 150 mm ユニットの推定路面温度は $+3.0^{\circ}\text{C}$ で観測結果とほぼ一致していた。

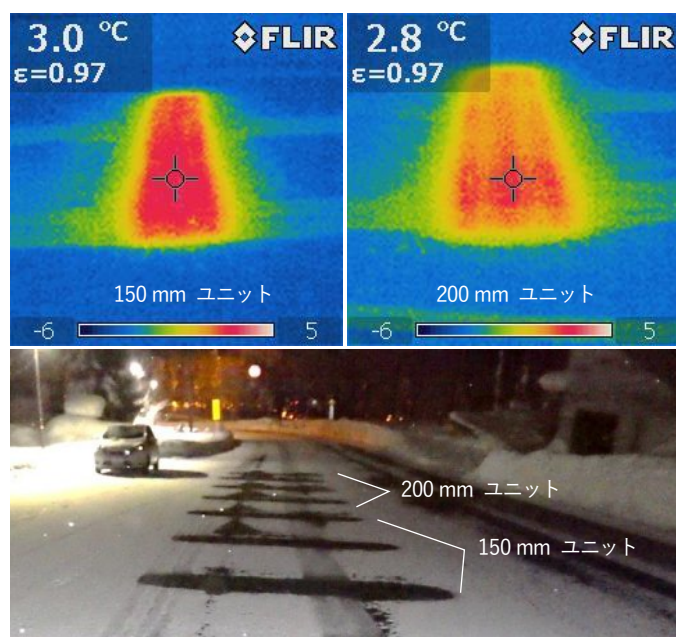


図 11 路面温度状況

6.4. 熱出力

150 mm ユニットの熱出力、路面温度、残雪量の解析結果を図 12 に、熱出力解析結果を表 3 に示す。気温が最も低下し、積雪が増加した期間を含む令和 5 年 1 月 20 日から 2 月 11 日までを示した。1 月 24 日から 25 日の残雪時の熱出力をみると、降雪開始時は 140 W/m^2 で、残雪がある間に採熱部温度が低下し、 120 W/m^2 まで低下した。この間の降雪量は 48 cm で残雪量は 10 cm 程度まで増加した。最も残雪時の熱出力が低下したのは 1 月 30 日から 31 日にかけての降雪時で約 110 W/m^2 であった。1 月 27 日夜から 1 月 29 日朝にかけて残雪量が最も多くなり、最大 20cm 程度と推定された。観測期間中の熱出力は $110\sim 145 \text{ W/m}^2$ と推定された。設計時の熱出力 $110\sim 150 \text{ W/m}^2$ に対し、実際の熱出力はおおむね一致していた。路面露出時は、気温が -5°C を下回り風速が $4\sim 5 \text{ m/s}$ のときに $140\sim 150 \text{ W/m}^2$

表 3 熱出力解析結果

ユニット		150 mm ユニット	200 mm ユニット
残雪時	設計値	$110\sim 150 \text{ W/m}^2$	$90\sim 120 \text{ W/m}^2$
	解析結果	$110\sim 145 \text{ W/m}^2$	$95\sim 125 \text{ W/m}^2$
気温低下時	解析結果	$140\sim 150 \text{ W/m}^2$	$120\sim 130 \text{ W/m}^2$

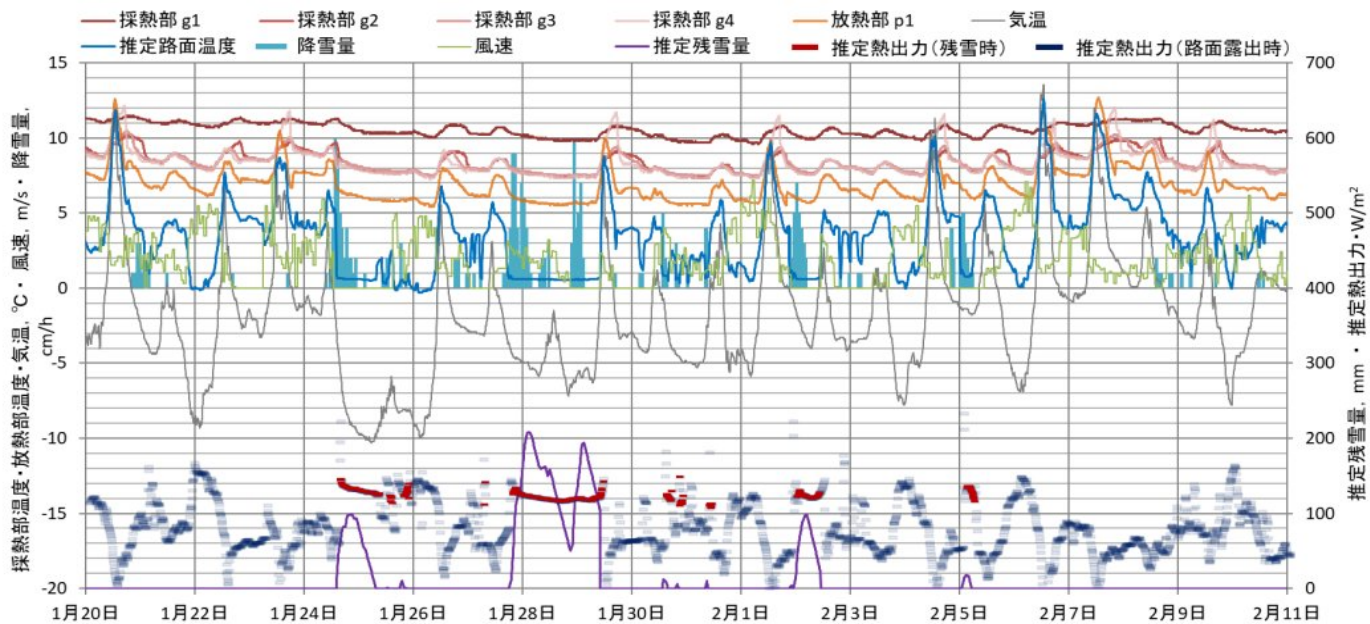


図 12 熱出力・路面温度・残雪量解析結果

まで増加した。ヒートパイプ放熱部から路面への熱伝達係数 (150 mm ユニット 21.6 W/m²°C, 200 mm ユニット 18.9 W/m²°C) から、200 mm ユニットの熱出力は残雪時 95~125 W/m² 気温低下時 120~130 W/m² と求められる。

7. 考察

7.1. 融雪効果

融雪能力の解析の結果、熱出力は 110~145 W/m² と推定された。この熱出力は降雪密度 70 kg/m³ として 1.5~2.2 cm/h, 36~53 cm/日の融雪能力に相当する。アメダス関山の累積 80%の降雪深 21.0 cm/day を上回り、大雪でなければ除雪がなくても 1 日の降雪を 1 日で融雪できる。これに除雪が加わることから、融雪能力としては十分であると考えられる。交通

確保の面から除雪路線に求められる融雪能力を考察する。除雪がなければ融雪場所まで行けないような大雪を融かす熱出力は必要なく、除雪後の残雪をなるべく速やかに融かし、凍結を防止するだけの熱出力があればよい。110 W/m² の熱出力で例えば密度 400 kg/m³, 2 cm の圧雪を融かすと、7 時間近くかかる計算となる。しかしながら、観測結果では図 13 に示すように、1 時間後には路面露出する場合や、降雪継続時でも 3 時間程度経過すると、圧雪が減少し融雪効果が現れている。除雪時に融雪部分の圧雪がはぎとられやすいことや、シャーベット状になるまで融雪が進めば車両通行により路面が露出する効果による結果と考えられる。観測を通して通行不能なほど積雪が残ったのは、除雪までの数時間のみであったことから、除雪補助としての融雪効果は十分であったと考えられる。

7.2. 除雪補助効果

スリップ防止の観点から、凍結防止効果を考察する。残雪がある間はスリップを防止することは困難であるが、残雪中でも融雪部分の路面は温められており、残雪(積雪)の断熱効果により路面は凍結しなかった結果、除雪時に路面露出しやすかったとみられる。熱出力解析の結果では、気温が-5°Cを下回り風速 4 m/s 前後の凍結の危険性が高いときでも路面温度は 0°C以上になっているとみられ、図 14(a)のように圧雪を除去する除雪時に路面露出している。その後の凍結防止状況では(図 14 (b), 図 10 下と同日)、150 mm ユニットのヒートパイプ直上で凍結していない状況が確認できる。設計における凍結防止に必要な熱量は 100 W/m² で、200 mm ピッチユニットでも熱出力はおおむね上回っているが、150 mm ユニットの熱出力 110 W/m² であれば、気温低下時の熱出力が 140 W/m² を超え、十分な凍結防止効果であると考えられる。

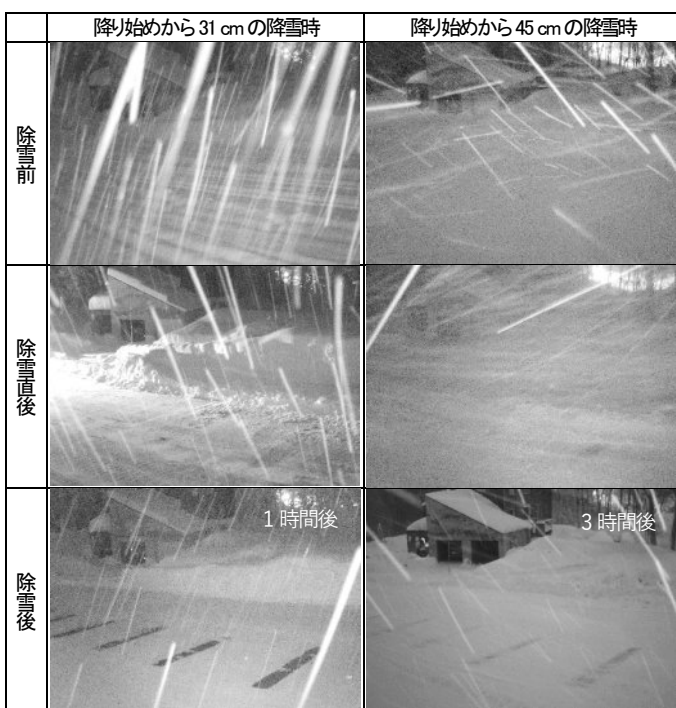


図 13 除雪前後の融雪状況

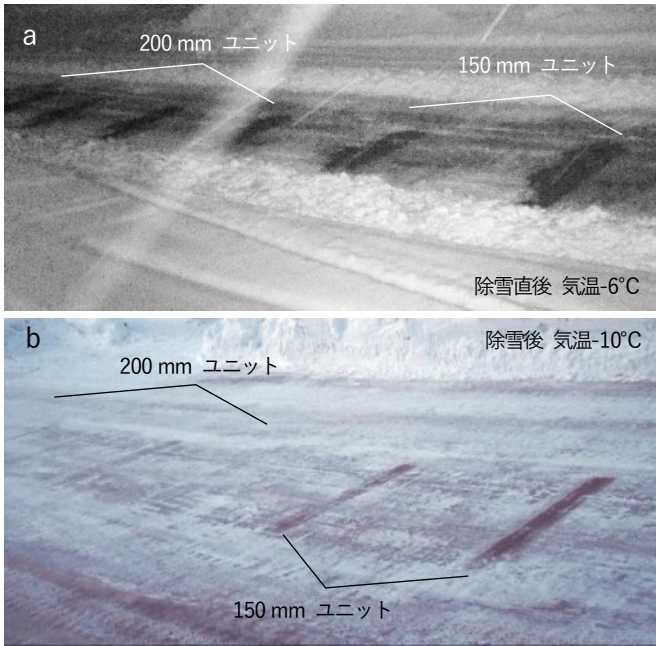


図 14 圧雪処理後の凍結防止状況

8. 最適解に向けて

これまでに地中熱ヒートパイプ融雪工法を適用した対策区間において、登坂不能対策では、登坂不能が起きたことのある場所に施工した例（図 15 a）でも、横断方向へ飛び飛びに施工した例（図 15 b）でも、融雪設備のある場所では登坂不能発生を防いだ。登坂不能となった車両は、融雪設備まで後

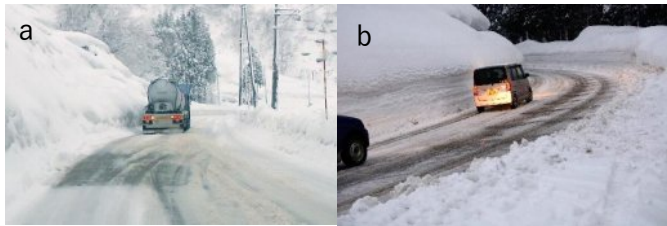


図 15 登坂不能防止状況

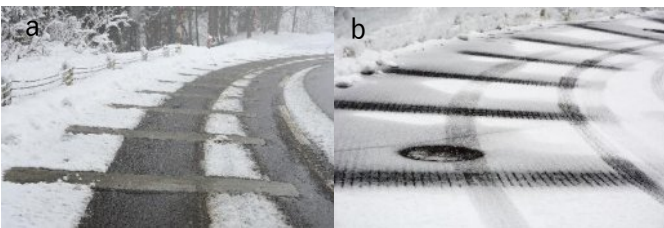


図 16 スリップ防止対策状況



図 17 積雪時の速度抑制舗装としての効果

退して再発進したり、その場でチェーンを履いて再発進したりした。スリップ防止対策では、融雪部分だけコンクリート舗装にし、無積雪期でも速度抑制舗装のように機能させた（図 16 a）が、その凹凸が除雪の障害になることがあったので、アスファルトでオーバーレイし、グルーピングをかける（図 16 b）工夫も行っている。本報告の事例では全面をコンクリート舗装に除雪のしやすさを確保した。調査対象の設備はカーブの手前に適用したが、図 17 に示す路面状況が、積雪時の速度抑制舗装として機能し、車両が安全な速度でカーブに侵入するようになることでスリップ事故防止につながる効果も期待される。対策区間の全面ではなく一部を融雪および凍結防止する対策方法では、道路状況や除雪状況に合わせた融雪設備の配置と熱出力が重要となる。車両侵入側は高熱出力にして強い降雪時でも路面露出させて速度抑制も狙い、カーブに近い側やカーブ内では熱出力を抑える代わりに広い面積にして、タイヤとの摩擦面積を増やす、という方法も考えられる。

9. おわりに

スリップ・登坂不能対策に、電源および燃料を必要としない地中熱ヒートパイプ融雪工法を適用することは、冬期道路維持のカーボンオフセットにも貢献できる。対策区間の一部を融雪することで、コストを抑えつつ対策延長を確保する本工法の最適な設計・施工にむけて、研究を続けたい。

参考資料

- 1) 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会（2008）路面消・融雪施設等設計要領

積雪寒冷地における電線類地中化の浅層埋設工法の実証試験

大部 裕次*1

1. はじめに

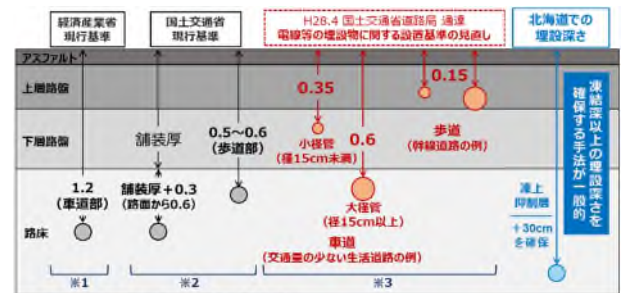
1. 1 積雪寒冷地における浅層埋設の課題

無電柱化は、電線・電柱による架空方式に換え、地中埋設管路による地中化方式などにより、景観や環境への影響の改善を図る取り組みである(写真-1)¹⁾。近年、全国的な気運の高まりを背景に、「無電柱化推進に関する法律²⁾(以下、無電柱化法という)」が平成28年に施行されており、全国的により多くの取り組みがなされるようになってきている。

無電柱化の推進に向けては、徹底したコスト削減が必須であり³⁾、現状主流である地中化方式の低コスト手法の一つとして、地中管路の埋設深さを従来基準より浅くする浅層埋設が有効である⁴⁾。そこで、国土交通省は、浅層埋設管路が道路に与える影響を試験し、平成28年に道路空間における埋設基準を緩和した(図-1)⁵⁾。しかし、北海道のような積雪寒冷地では、凍結や凍上の懸念から、全国基準よりも更に深い「凍結深」以上の深さを確保する必要があり、上述の試験のみでは不十分との認識から直ちには埋設基準の緩和に至らなかった。



写真-1 無電柱化（地中化）された道路景観



※1 経済産業省基準：「電気設備の技術基準の解釈」
※2 国土交通省基準：「電線、水管、ガス管又は下水道管を道路の地下に設ける場合における埋設の深さ等について」
※3 国土交通省道路局 通過：「電線等の埋設物に関する設置基準」の緩和について

図-1 埋設深さの基準の比較

(黒：全国基準、赤：H28.4 見直し、青：北海道運用)

1. 2 寒地土木研究所で実施した凍結試験の概要

前節で示した状況を踏まえ、寒地土木研究所では、以下のような調査と試験を行い、積雪寒冷地における浅層埋設の技術的課題と適用可能性を把握した。

岩田ら⁶⁾は、特に通信ケーブルといった電力ケーブルとは異なってほぼ発熱しない電線において、管路内滞留水が凍結した場合に体積膨張が通信性能に支障をきたす可能性があること、凍上による管路の不均一な押し上げや埋設部周辺の不等沈下が主な懸念事項であることを文献調査や現地調査により把握した。

以上を踏まえ、岩田ら⁷⁾、大竹ら⁸⁾は、屋内・屋外での供試体による凍結・融解試験を行ったが、管路内滞留水の凍結時の体積膨張で、引っ張りによる通信ケーブルの断線や、圧迫による通信障害が発生しないことを確認した。また、葛西ら⁹⁾は、北海道千歳市の水道施設管理用の埋設管路(従来埋設深さ120cmを60cmに変更)において、冬期間の道路高さの計測を行い、管路位置の路面に特異な変化が生じなかったことを確認した。

1. 3 浅層埋設実証試験の概要

凍結試験の結果を踏まえ、積雪寒冷地における埋設基準を緩和することを目的に、地中化方式を代表する電線共同溝を対象とし、平成30年度～令和2年度に実道での浅層埋設実証試験を行った。

なお、電線共同溝の埋設基準は、北海道無電柱化推進協議会が発行している電線共同溝技術マニュアル¹⁰⁾(以下、電共マニュアルという)で定められている。そのため、基準の改訂にあたっては協議会に参画する道路管理者や電線管理者の合意を得ることが必要であり、各管理者との連携・役割分担の基に試験を実施した。

*1 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 地域景観チーム

2. 浅層埋設実証試験の方法

実証試験の概要を表-1に示す。

実証試験箇所は北海道美深町で、道内でも特に冬の気温が著しく低く、置換厚120cmに及ぶ条件の厳しい地域を選定した(図-2)。試験期間は、平成30年度～令和2年度の3ヶ年とし、各年度の調査期間は12月～3月までの冬期及び春期とした。

試験の実施にあたっては、前述した北海道無電柱化推進協議会の下に設置された低コストワーキンググループ(以下、低コストWGという)に寒地土木研究所が参画して実施した。試験の実施にあたっては、寒地土木研究所が既往の知見を踏まえ全体の試験計画を立案し、管路の健全性を検証することを目的に、管路内温度と土中温度などの計測及び結果の評価・検証を担当した。また、道路管理者による舗装の健全性に関する舗装基面高さの測定と、電線管理者による凍結によるケーブルへの影響に関する確認試験が実施された。

2. 1 試験管路の概要

試験管路は、一般道道680号班溪美深停車場線の歩道部に、道路管理者である北海道が埋設した。

試験管路のパターンを図-3に示す。

歩道一般部区間は1区間35mとし、管路の埋設深さを変えた3パターンを構築した。また、一般部区間より舗装厚さが厚い重車両乗り入れ区間は1区間10mとし、同様に管路の土被りを変えた2パターンを構築した。

管路材料には、電共マニュアルで指定されている材料を使用し、管径は実現場において多く使われている電力φ130、共用FA管φ150、VE管φ54とした。

2. 2 温度計測の方法

管路内及び土中の温度測定模式図を図-4に示す。

管路内温度の測定には、熱電対センサーを、各区間端部の接続枠から各管種ごとに、それぞれ3mの位置に差し込んで設置し、データロガーで毎時温度を記録した。なお、熱電対が埋設管の内壁に接してしまうと壁面の温度を測定してしまうため、プラスチック製キャップをつけて先端の測定部分を養生した。

土中温度の測定は、地表面から10cm毎に120cmまで行うため、木の棒に熱電対センサーを10cm間隔で固定した土壤温度測定熱電対棒を作製し、これを歩道路床内に建て込んで設置し、同様にデータロガーで毎時温度を記録した。

表-1 実証試験の概要

実施期間	【試験管路構築】平成30年11月～平成31年1月 【調査期間】平成31年1月～令和3年3月
実施場所	北海道美深町 一般道道班溪美深停車場線
実施主体	北海道無電柱化推進協議会低コストWG (参加機関：北海道開発局、北海道、札幌市、寒地土木研究所、北海道電力(株)、NTT東日本北海道、NTTインフラネット(株)、北海道総合通信網(株)、(株)ジェイコム)
試験管路	試験管路(北海道が構築)： ・歩道一般区間35m×3パターン ・重車両乗り入れ区間10m×2パターン 使用材料： ・電力管：CCVP管φ130・φ75、角形FEP管□130 ・通信管：共用FA管φ150、VE管φ54
測定項目	①管路の健全性に関する測定(寒地土木研究所) ・管路内温度、土中温度、外気温(自記温度計による) ・管路内観察(管路内カメラによる) ②舗装構造の健全性に関する測定(北海道) ・舗装基面高さ30箇所(レベルによる) ③凍結による光ケーブルへの影響確認(NTT) ・光ケーブル：光損失、損失変動 ・メタルケーブル：導通試験、絶縁抵抗/耐力、静電容量、外観目視確認

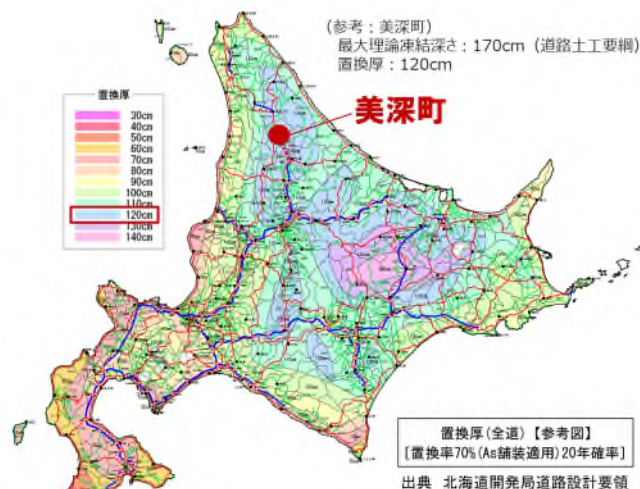
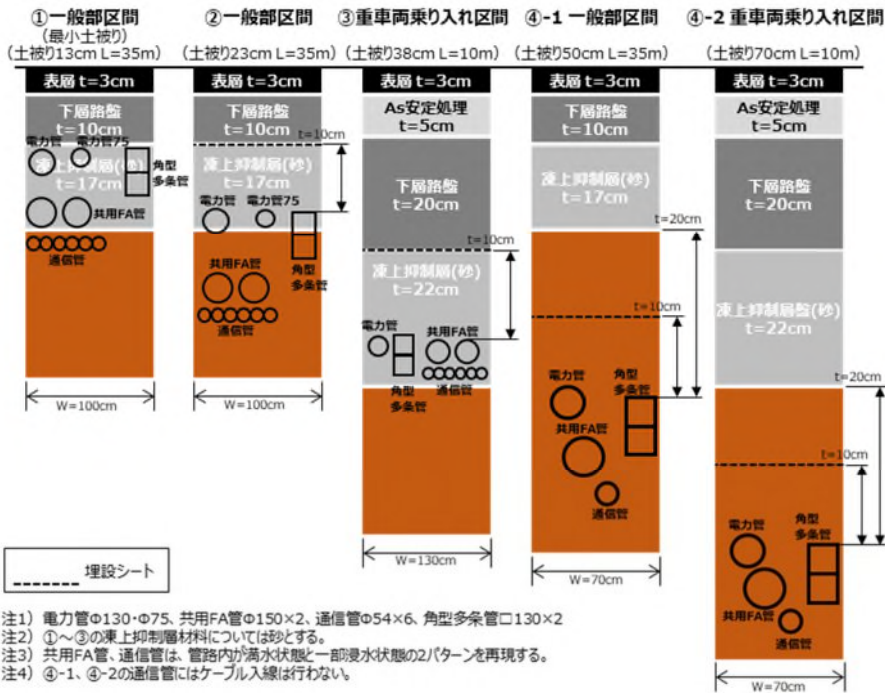


図-2 従来の埋設深さの参考値

3. 温度計測の結果

温度計測の結果を図-5に示す。なお、図-5は令和2年度の結果を例示しているが、計測した3カ年で同様な傾向であった。また、アメダス(美深)の日平均気温から過去20年平均値を算出し今回の結果と比較し、大きな差が無かったことを確認している。



①一般部区間 (最小土被り13cm)



②一般部区間 (土被り23cm)

図-3 試験管路パターン図と構築状況

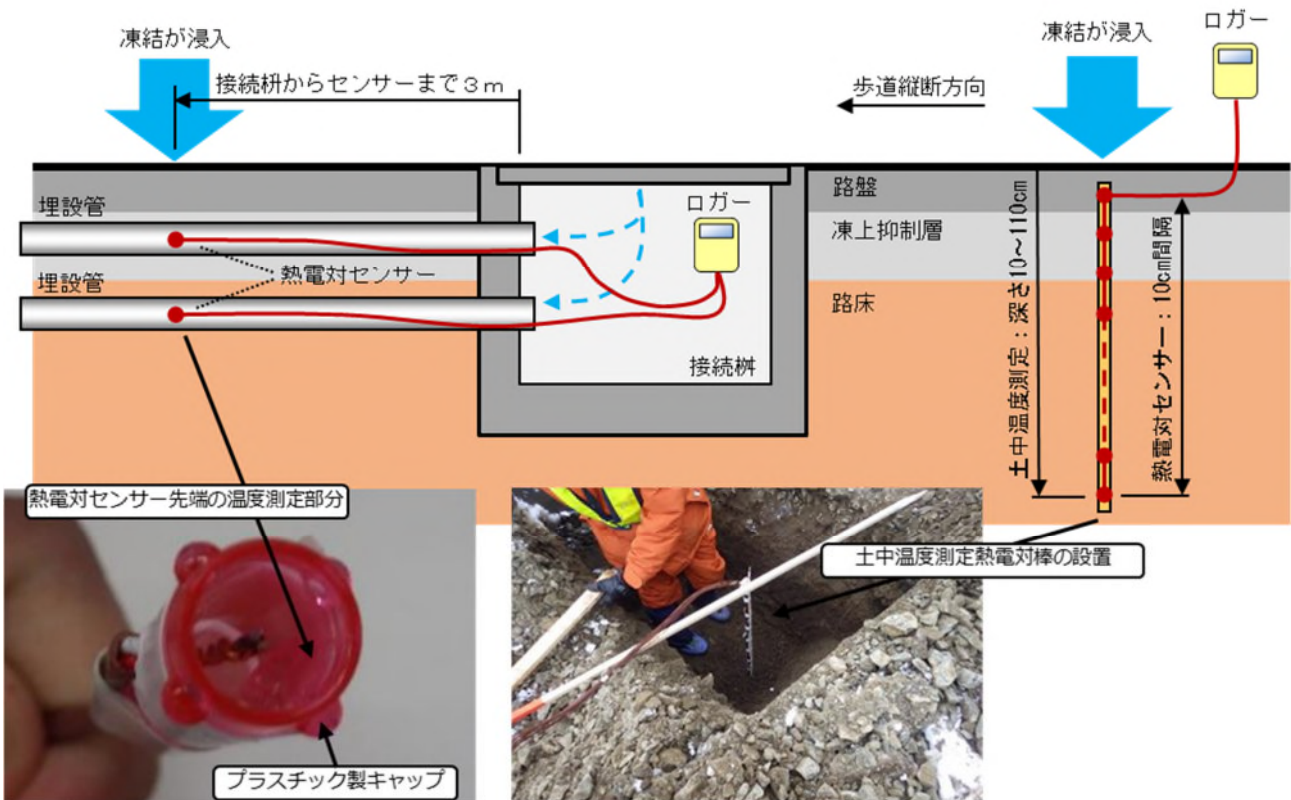


図-4 管路内及び土中の温度測定模式図

3. 1 土中温度計測の結果

土中温度は、例年気温が下がる1月下旬～2月上旬にかけて低下し続け、その後外気温の上昇とともに温度上昇に転じる傾向が見られた。日々の温度変化は、-60cmより深ければ長期間で緩やかに低下・上昇し、-50cmより浅ければ外気温変化の影響を受け日々低下・上昇を繰り返すことが確認された。計測期間を通じて、-60cmより深い地盤では氷点下になることは無かった。

3. 2 管路内温度計測の結果

路床内にある管路では、土中温度に追従し同等程度の温度となっていた。一方、下層路盤や凍上抑制層（砂）内にある管路では、外気温変化の影響を受け地盤温度より低くなることが確認された。

3. 3 結果の考察

これらの土中温度と管路内温度の関係から、歩道路床内に埋設される管路は、-60cmより深ければ土中温度に追従し管路内が氷点下になることはなく、凍結を考慮した管路の埋設深さとして-60cmとすることは問題無いものと考えた。

4. 低コストWGの議論による埋設基準の緩和

寒地土木研究所が実施した管路内及び土中温度の計測結果について、令和2年度に開催された3回の低コストWGに順次報告し、各管理者からの確認試験の結果報告を踏まえ、管路の埋設基準見直しの議論を行った。

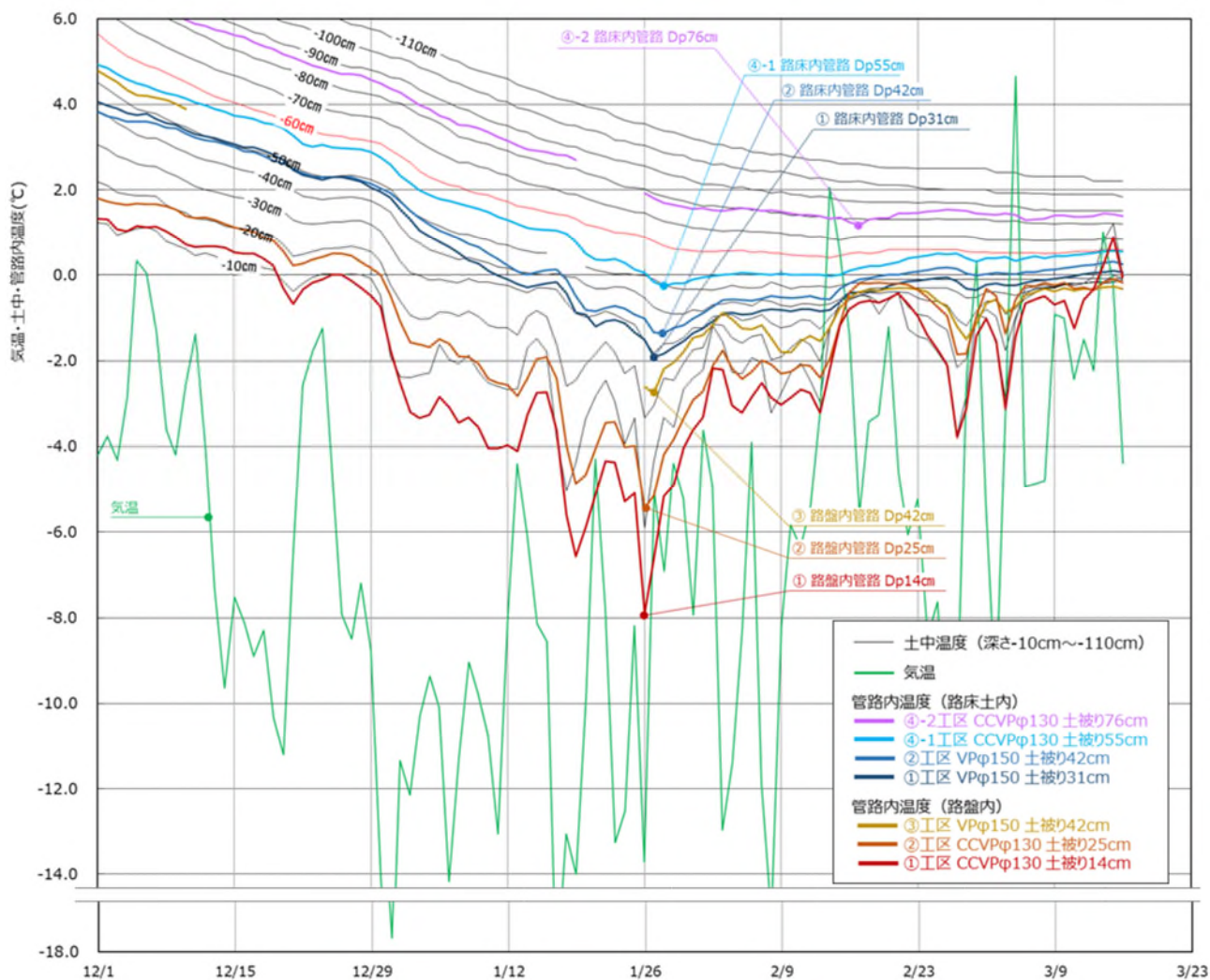


図-5 浅層埋設実証試験 温度測定結果 (令和2年度)

4. 1 各管理者からの確認試験結果の報告

道路管理者からは、歩道路面の高さについて、15断面×2列（管路埋設範囲と通常舗装範囲）の測定結果が報告された。測定の結果、2～17mmの上下動が見られたが、各断面においては2列どちらの点でも同等程度の動きとなっており、管路埋設範囲が突出して舗装面へ影響している結果は見られなかったことから、管理上問題になることは無いとされた。

電線管理者からは、管路内滞留水がある状態を想定した試験として、土被り-42cmの供用FA管φ150mmを満水にした状態で確認試験を行った。その結果、管路内滞留水は凍結したが、光ケーブルの光損失試験とメタルケーブルの電気的特性試験ともに問題が発生しなかったこと、また、ケーブル自体に損傷が見られなかったことが示された。ただし、VE管φ50における同様の試験では、通信の損失は発生しなかったものの、ケーブル外皮が一部損傷したため、これについては品質担保できないとの認識が報告された。

4. 2 実証試験結果を踏まえた埋設基準の緩和

本実証試験の結果を基に、低コストWGにおいて、埋設基準の緩和について議論した。

浅層埋設の対象管路は、通信管のうち最も浅い位置に埋設され、複数の電線事業者の通信ケーブルが混在し各者個別の凍結対策が難しい共用管である（図-6）。電線共同溝設計では、管路内に水が滞留しないように縦断勾配を設けるが、実現場においては完全に排除しきれないことがあるとの電線管理者の指摘があり、管路内に水があることを考慮し、凍結しない埋設深さが求められた。この埋設深さについては、土中及び管路内温度の計測結果から、管路が凍結しない深さとして考えられた-60cmについて、試験地と同等かそれより温暖な地域で採用することは問題無いとされた。

以上から、美深町と同等かそれよりも温暖な地域については、「供用FA管および1管セパレート管は、冬期の管路凍結を考慮した埋設深さとして、60cmとする」ことで合意された。ただし、特異な土質や気象など既往の知見から凍結・凍上の懸念がある場合は事前調査を行うこと、また美深町の置換厚120cmより深い地域においては、その地域における置換厚を用いるが、今後土中温度のデータを蓄積していくこととされた。

また、この埋設基準の緩和の議論については、低コストWGの結論として北海道無電柱化推進協議会に報告され、令和3年3月に電共マニュアルの第4.3版（図-6）¹¹⁾に反映された。

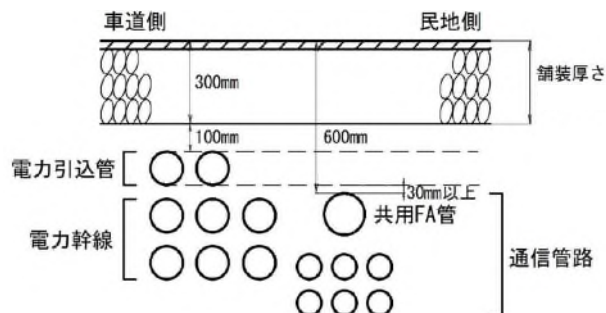


図-6 浅層埋設の設計事例

出展：改訂版電共マニュアル（第4.3版）¹¹⁾

5. まとめ

浅層埋設実証試験により、積雪寒冷地においても管路の浅層埋設が可能なることを明らかにし、関係者の合意を持って埋設基準の緩和をすることができた。以下、今回得られた知見についてまとめるとともに、浅層埋設の効果や今後の取り組みについて述べる。

5. 1 実証試験で得られた知見

- 管路内滞留水の凍結による光ケーブル等への影響については、過年度の試験で通信障害の発生は無く、今回の実証試験でも発生が無いことを確認した。
- 浅層埋設管路による路面への影響について、過年度の測定で、管路埋設範囲と通常範囲とに特異な変化が無かったことを確認しており、今回の実証試験でも、同様に影響が無いことを確認した。
- 今回の実証試験で管路内及び土中温度を測定し、歩道路床土内で路面から60cmより深ければ氷点下になることは無く、凍結を考慮した管路埋設深さとして60cmとすることは問題無いことを確認した。
- 北海道無電柱化推進協議会低コストWGにおいて実証試験の結果について議論し、今回の試験地である美深町と同等かそれよりも温暖な地域については、「供用FA管および1管セパレート管は、冬期の管路凍結を考慮した埋設深さとして、60cmとする」ことで埋設基準の緩和が合意された。

5. 2 浅層埋設の効果と今後の取り組み

- 管路の埋設深さが60cmになることで、掘削の深さを1m以下程度に抑えられることが可能となった（図-7）。これにより、従来の施工断面と比べ、土工量が減少することに加えて土留めが不要となり、大幅なコスト縮減と施工効率の向上が期待できる。

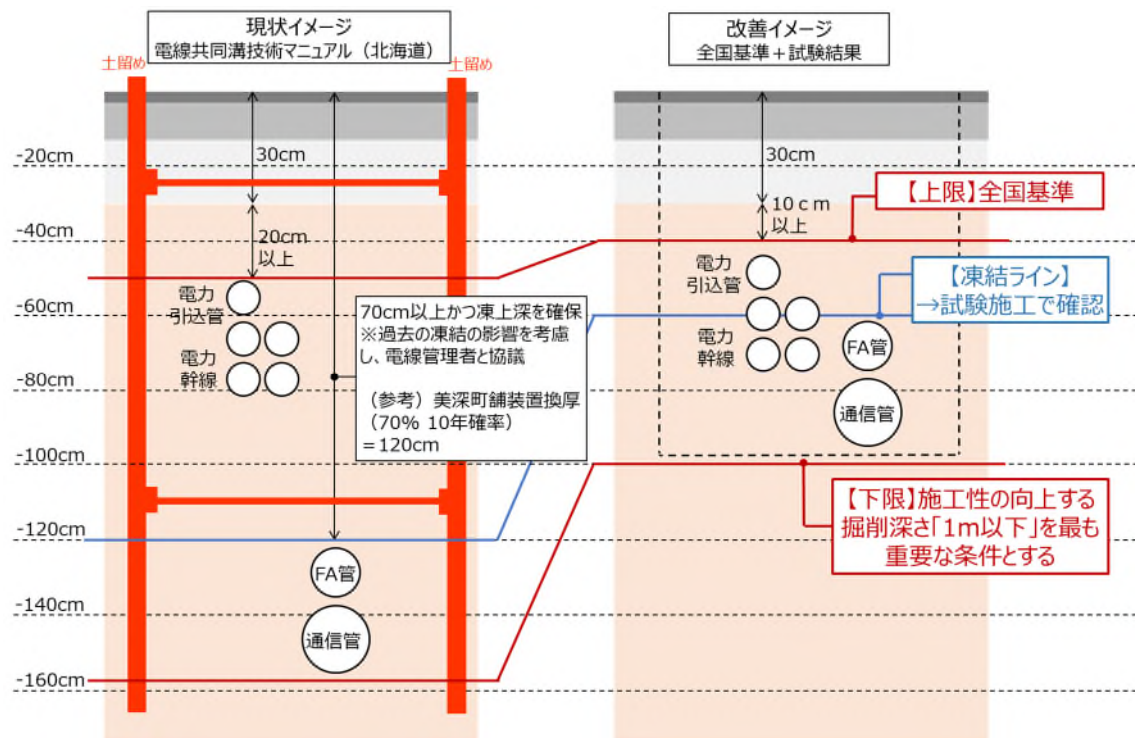


図-7 浅層埋設による施工の改善イメージ

- ・また、土留めが不要となることでの管路敷設の作業性の向上、掘削深さが浅くなることでの簡易な転落防止や断面開放による日々舗装復旧の回避などでも、施工効率の向上が期待できる。
- ・掘削深さが浅くなることで、管路条数が少ない郊外部などでは掘削断面を小さくすることが可能となり、トレンチャー掘削機械¹²⁾の採用が可能となる。これにより、施工スピードの向上が期待できる。
- ・浅層埋設の導入を契機に、新たな低コスト手法や材料の導入の議論が継続しており、今後も低コストWGの場や関係者と連携し、無電柱化の推進に貢献したい。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所地域景観チーム：地中化工法と整備手法の選定ポイント（案）、2019.6
- 2) 国土交通省：無電柱化推進計画、2021.5
- 3) 無電柱化の推進に関する法律、法律第112号、2016.12
- 4) 国土交通省道路局環境安全・防災課：道路の無電柱化低コスト手法導入の手引き（案）- Ver. 2 -、2019.3
- 5) 国土交通省北海道開発局：北海道開発局道路設計要領第2集道路付帯施設、2019.
- 6) 岩田圭佑、蒲澤英範、松田泰明、吉田智：電線類地中化における寒冷地での浅層埋設手法に関する技術開発、寒地土木研究所月報、No. 758、pp. 44-49、2016.7
- 7) 岩田圭佑、蒲澤英範、松田泰明、吉田智：寒冷地の浅層埋設を想定した光ケーブル管路滞留水の凍結実験と考察、寒地土木研究所月報、No. 767、pp. 38-42、2017.4
- 8) 大竹まどか、岩田圭佑、松田泰明、高橋哲生、蒲澤英範、吉田智：寒冷地域の電線類の浅層埋設実現に向けた管路内滞留水の凍結実験、寒地土木研究所月報、No. 782、pp. 2-9、2018.7
- 9) 葛西聡、松田泰明、高橋哲生、緒方聡、岩田圭佑、片野浩司、牧野正敏、澤口重夫、小林勇一、大竹まどか：電線電柱類の景観対策手法の選定と無電柱化施工技術に関する研究、土木研究所平成30年度成果報告書、pp. 21-22、2019.
- 10) 北海道無電柱化推進協議会：電線共同溝技術マニュアル、第4.2版、2020.3
- 11) 北海道無電柱化推進協議会：電線共同溝技術マニュアル、第4.3版、2021.3
- 12) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地機械技術チーム：ケーブル埋設用掘削機械（トレンチャー）を活用した施工の手引き（案）、2021.2

寒冷地域における低温ひびわれを抑制する改質アスファルト混合物

— 救急車搬送路の走行性改善 —

久野 晃弘*1 亀山 修一*2 ダン トウエット*1 インレスウェ*1

1. はじめに

北海道のような寒冷地域ではアスファルト舗装の横断方向に多数の低温ひびわれが発生している。低温ひびわれが発生する要因は、急激な温度低下によりアスファルト混合物層が急激に収縮し、応力緩和ができなくなるためである。また、アスファルト舗装の表層を施工する際に、施工基面にひびわれが残存していると早期にリフレクションクラックが発生することが多い。

ひびわれが舗装表面に生じると雨水が舗装体内に浸透し、路盤・路床の支持力は低下する。車両による繰り返し载荷によりひびわれの損傷は進行し、舗装表面の凹凸は大きくなる。舗装表面に生じた凹凸は車両通過時に振動となり車内に伝搬し、乗り心地を低下させる要因となっている。



写真1 低温ひびわれの例

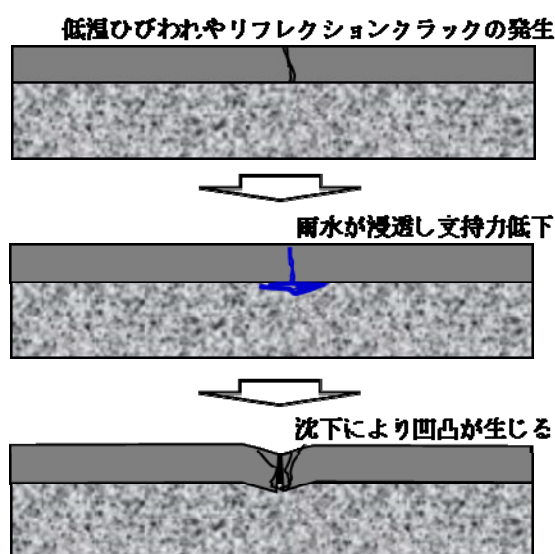


図1 走行性低下のメカニズム

重篤で緊急性の高い救急患者は救命救急センターへ搬送されるが、地方では救命救急センターの数は限られ、搬送距離が長くなる場合がある。搬送時間や搬送時の振動は搬送される患者の生存率に大きな影響を及ぼすことから、救急車両のドライバーは搬送時間を考慮しつつ凹凸の少ないルートを選定して走行している。このことから、救急車搬送路はできるだけ凹凸が小さくなるように維持管理されることが望ましい。

筆者らは、低温ひびわれやリフレクションクラックの発生を抑制することができる応力緩和性を大幅に改良した特殊改質アスファルトを開発した。

本文は、開発したアスファルト混合物の室内試験結果、試験施工によるひびわれの発生抑制効果の検証結果について紹介するものである。

2. 開発アスファルト混合物の性状

2.1 開発アスファルトの概要

開発アスファルトは、アスファルト混合物の特長の一つである応力緩和性やたわみ性を低温域から常温域の広い温度領域で保持した特殊アスファルト混合物である。低温時の低温ひびわれやリフレクションクラックの発生を抑制することができる。

利用目的に応じて使い分けるために開発したアスファルトは3種類である。3種類の開発アスファルトの概要を表1に示す。

表1 開発アスファルトの概要

開発アスの種類	特長、使用目的
A	・応力緩和性を改善したプレミックス型アスファルト ・低温域のひびわれ抑制対策
B	・応力緩和性および耐流動性を改善したプレミックス型アスファルト ・重交通に対応した低温域のひびわれ抑制対策
C	・応力緩和性を改善するプラントミックス型添加剤 ・小規模・緊急工事に対応

*1 大成ロテック株式会社技術研究所

*2 北海道科学大学工学部都市環境学科

(1) 開発アスファルトA (以下、開発アスA)

開発アスA混合物は、写真2に示すように柔軟性があり、ひびわれが生じにくい。塑性変形抵抗性も優れ、流動わだち掘れの発生も抑制することができる。

また、通常の改質アスファルト混合物と同様に製造・施工が可能である。



写真2 開発アスA混合物

(2) 開発アスファルトB (以下、開発アスB)

開発アスBは重交通道路の舗装にも対応できるように塑性変形抵抗性を強化したアスファルトで、アスファルト舗装の長寿命化を実現する。

(3) 開発アスファルトC (以下、開発アスC)

開発アスCは、ポリマー改質II型アスファルト (以下、改質II型アス) に添加することで、塑性変形抵抗性を有しながら、優れたたわみ性・応力緩和性を付加することが可能なプラントミックス型の添加材である (写真3)。

専用タンクやローリー車が不要なため、混合物製造工場の規模に関わらずたわみ性・応力緩和性を有したアスファルト混合物を製造することができるため小規模・緊急工事への対応も可能である。



写真3 開発アスCの外観

2. 2 開発アスAおよび開発アスBの混合物性状

密粒度アスファルト混合物 (13) に開発アスAおよび開発アスBを適用した混合物の性状を以下に示す。

(1) 塑性変形抵抗性

ホイールトラッキング試験¹⁾の動的安定度で混合物の流動わだち掘れ抵抗性 (塑性変形抵抗性) の評価した。

表2 ホイールトラッキング試験条件

試験温度	60℃
輪荷条件	0.63MPa
走行速度	42回/分

図2にホイールトラッキング試験の結果を示す。開発アスA混合物および開発アスB混合物の塑性変形抵抗性は一般的な改質アスII型混合物と同等である。

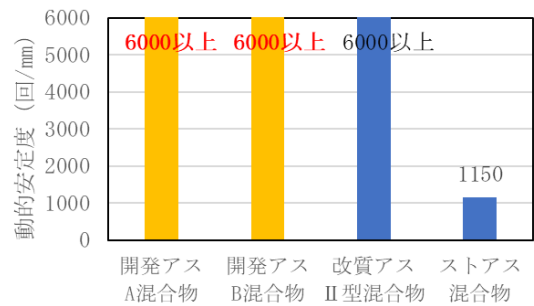


図2 ホイールトラッキング試験結果

(2) 疲労抵抗性

繰返し载荷によりアスファルト混合物に引張作用を加える曲げ疲労試験¹⁾で混合物の疲労抵抗性 (ひびわれ抵抗性) を評価した。曲げ疲労試験の試験条件を表3に示す。

表3 曲げ疲労試験条件

試験温度	5℃
ひずみ	400 μ
周波数	5Hz

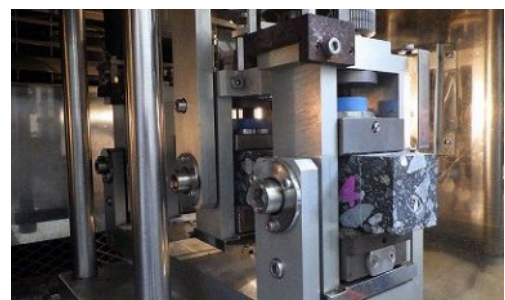


写真4 曲げ疲労試験

図3に曲げ疲労試験の結果を示す。開発アスA混合物、開発アスB混合物ともに試験温度5℃、ひずみレベル400 μの条件において、破壊回数が80万回を超え、改質アスII型混合物の50倍以上であり、疲労によるひびわれ抵抗性が優れている。



図3 曲げ疲労試験結果 (破壊回数)

(3) ひびわれ抑制効果

ゴム支床上にひびわれを模擬した基盤、評価対象混合物を舗設した試験体に車輪走行による载荷を加え、基盤の変形で混合物底面から生じるひびわれの貫通時間でひびわれ抑制効果を評価した。クラック貫通試験²⁾の試験条件を表4に示す。

表4 クラック貫通試験条件

試験温度	20℃
輪荷重	980N
トラッキング速度	42回/分
ゴム支床	硬度30、厚さ5cm

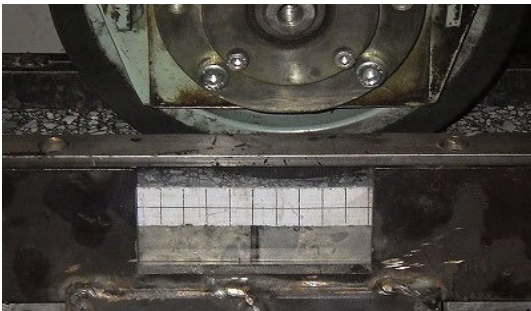


写真-5 クラック貫通試験

図4にクラック貫通試験の結果を示す。開発アスA混合物および開発アスB混合物の貫通時間は改質アスII型混合物より2倍以上長く、リフレクションクラックの発生を抑制する効果がある。

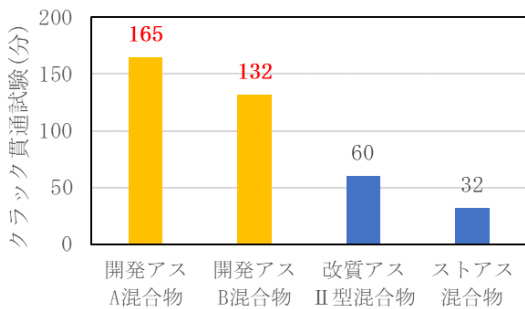


図4 クラック貫通試験結果

(4) 脆化点

温度を変化させて曲げ試験¹⁾を実施し、曲げ強度と温度の関係から流動領域と脆性領域の変曲点(脆化点)を求めた。脆化点より高温側では弾力的に変形に追従できる。

表5 曲げ試験条件

試験温度	-15~15℃
スパン長	20cm
载荷速度	50mm/分

図5に曲げ試験結果を示す。開発アスA混合物は改質アスII型混合物より脆化点が低温側に15℃低く、低温域におけるひびわれ抵抗性が優れている。

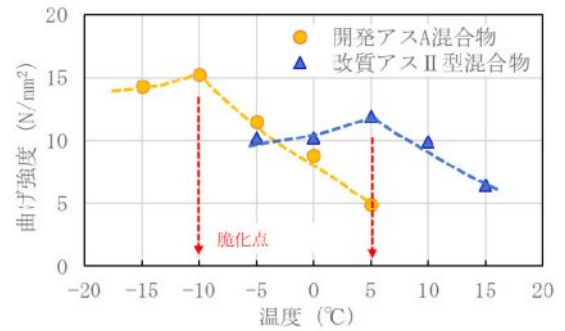


図5 曲げ試験結果(曲げ強度-温度)

2.3 開発アスCの混合物性状

密度度アスファルト混合物(13F)に開発アスCを適用した混合物の性状を以下に示す。

(1) 塑性変形抵抗性

図6にホイールトラッキング試験の結果を示す。開発アスC混合物の動的安定度は2,000回/mm以上であり、舗装計画交通量(台/日・方向)3,000未満の目標値1,500回/mmを満たし、優れた塑性変形抵抗性を有している。

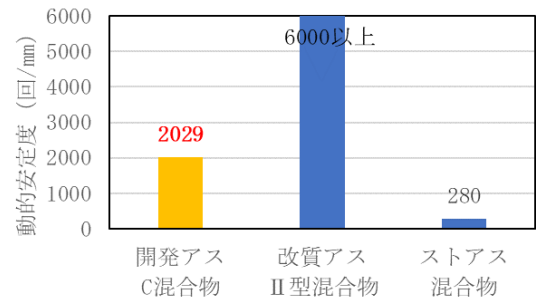


図6 ホイールトラッキング試験結果

(2) 疲労抵抗性

図7に曲げ疲労試験の結果を示す。開発アスC混合物は試験温度5℃、ひずみレベル400μの条件において曲げ疲労破壊回数が60万回以上であり、ストアス混合物に対して50倍以上であり、疲労によるひびわれ抵抗性が優れている。

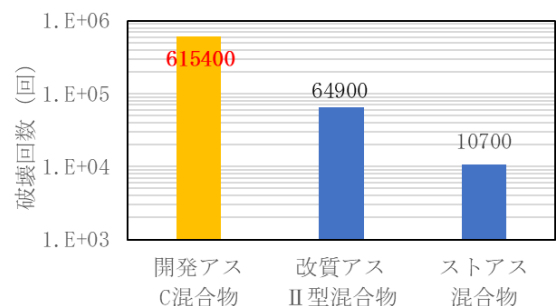


図7 曲げ疲労試験結果(破壊回数)

3. 試験施工によるひびわれ発生抑制効果の検証結果

北海道川上郡標茶町における舗装修繕工事において、一部区間に応力緩和性が高い開発アスA混合物を用いてひびわれの発生抑制効果の検証を実施した。なお、標茶町は最低気温が-25℃程度まで低下する地域である。

混合物の種類は密粒度アスファルト混合物（13F）で修繕方法は3cmのオーバーレイである。試験施工断面を図8に示す。

【断面図】

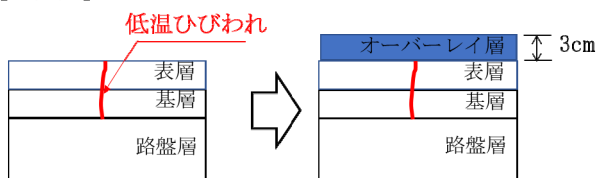


図8 試験施工断面（オーバーレイ）

施工直後から供用7年後までの路面性状（ひびわれ率、わだち掘れ量、平たん性）の経時変化を図9に示す。

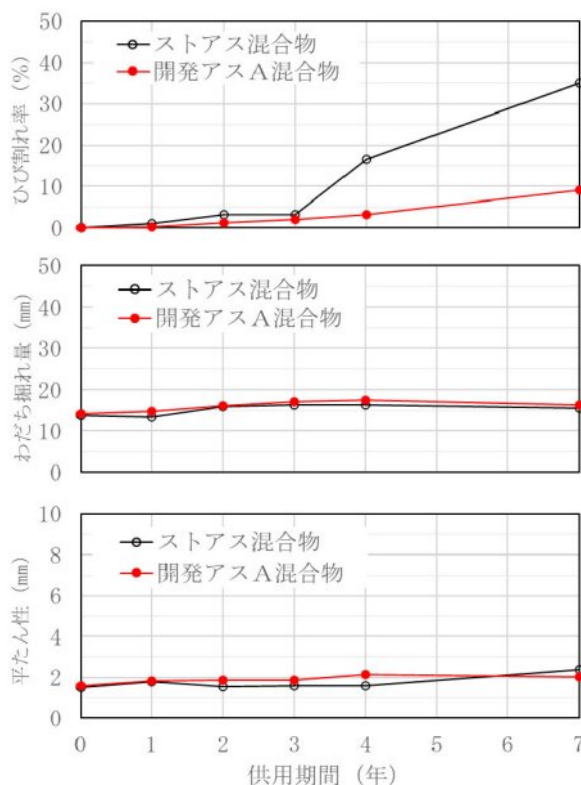


図9 供用性能の経時変化

開発アスA混合物のひびわれ率は年月の経過とともに徐々に増加しているが7年後でも10%未満である。一方、Stアス混合物は供用4年後から急激に大きくなり7年後には35%となった。

応力緩和性が優れている開発アスA混合物を用いることで、供用期間7年においてリフレクションクラックの発生を1/4程度に抑制する効果が確認できた。

わだち掘れ量および平たん性については供用期間7年で

はアスファルトの種類による差はなく、耐流動性についても問題ないことが確認された。

4. まとめ

4. 1 開発アスAおよび開発アスBの混合物性状

- ・動的安定度が6,000回/mm以上を示し、改質アスII型混合物と同程度の流動わだち掘れ抵抗性を有する。
- ・試験温度5℃、ひずみ400μにおける曲げ疲労試験による破壊回数が80万回以上で、疲労抵抗性は改質アスII型混合物の50倍以上である。
- ・クラック貫通時間が改質アスII型混合物の2倍程度長く、リフレクションクラックの発生を抑制する効果がある。
- ・流動領域が改質アスII型混合物より低温側に15℃低く、脆化点が-10℃と低温域におけるたわみ性が優れている。

4. 2 開発アスC混合物の混合物性状

- ・舗装計画交通量3,000台/日未満の目標値1,500回/mm以上を満足し、優れた流動わだち掘れ抵抗性を有している。
- ・試験温度5℃、ひずみ400μにおける曲げ疲労による破壊回数が60万回以上で、疲労抵抗性が優れている。

4. 3 試験施工によるひびわれ抑制効果の検証

- ・オーバーレイで修繕した箇所ひびわれ率は供用7年で比較工区の1/4程度と、リフレクションクラックを抑制することができる。
- ・わだち掘れ、平たん性は供用期間7年で大きな変化もなく、耐流動性についても問題はない。

5. おわりに

開発アスA混合物を用いた試験施工の追跡調査から、オーバーレイのように損傷箇所全域を対象とする修繕ではひびわれの発生を抑制する効果が確認できた。

寒冷地域で発生する低温ひびわれは数m~10m程度の間隔で発生する。低温ひびわれが発生している箇所のみ（幅0.5~1m程度）を部分的に打換えて損傷の再発を抑制することができれば、コスト縮減ができ、より広範囲の救急車搬送路の走行性を改善することが可能となる。

低温ひびわれ部のみでの小規模な補修工事にも対応可能な開発アスC混合物を用いて試験施工を行い、走行性の改善効果および持続性を検証する予定である。

【参考文献】

- 1) (公社) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、平成19年6月
- 2) 池田：室内試験によるひびわれ防止材の評価方法-試験方法を定めるまでの過程-、道路建設、pp. 61~67、1988. 8

大型除雪トラックにおけるキャビン乗降時の転落リスク低減策について

佐々木 由彦*1

1. はじめに

東北自動車道における雪氷対策作業はお客様が安心して走行できるよう24時間体制のもと様々な作業が実施される。中でも大型除雪トラック（以下、「除雪トラック」という。）で実施する梯団除雪と呼ばれる本線除雪（図-1）及び凍結防止剤散布作業は出勤頻度が高く、それ故に労災事故の発生が懸念される。本論文では梯団除雪で想定される労災リスクの中でもリスクレベルの高いキャビン乗降時の転落対策について報告する。



図-1 梯団除雪

2. 除雪トラックの現況

2-1 キャビン乗降ステップ高さ

図-2 に示す一般的な後輪駆動の大型トラックのキャビン乗降ステップは地上50cm程度の位置にある。一方、除雪トラックの場合は全輪駆動仕様のため、車高が高く約1.5mある（図-3）。



図 2 一般的な大型トラック

図-3 除雪トラックのステップ高さ

2-2 昇降設備の構成

除雪トラックの昇降設備は図-4 に示すように前輪横にある4段の昇降ステップとドア下のキャビン乗降ステップ（図-4 4段目②、以下、「乗降ステップ」という。）で構成される。

図-5 は昇降ステップの使用状況である。



図 4 昇降設備



図-5 昇降状況

2-3 昇降設備の取付け構造

図-6 に示す昇降ステップ部は格子状のスチール製でそれぞれがステーで連結された状態で車体に設置されている。一方、乗降ステップは長さ60cm、奥行17cm、高さ4cmのアルミ鋳造製で車体側3箇所、側面左右1箇所の計5箇所ですテーにボルト固定される。尚、昇降ステップは車両によって寸法が異なるが、乗降ステップは一律同サイズである。



図-6 昇降設備の構造

3. 転落リスク

3-1 転落リスクの根源

昇降ステップでは昇降時に、乗降ステップにおいてはキャビン乗り降り時にそれぞれ転落事象が想定される。中でも乗降ステップからの転落はその高さで不安定な体勢からより重篤な傷害を受ける可能性が高い。今回は乗降ステップ上における転落リスクの根源である乗降ステップの寸法・形状に着目し対策を講じた。

*1 (株) ネクスコ・メンテナンス東北 管理部

3-2 リスクの見積・評価

(1) 傷害の程度

図-3 の状態において手が滑り背中側から転落し頭部を地面に強打することが想定される。その場合ヘルメットを着用していても死亡する可能性が高い。

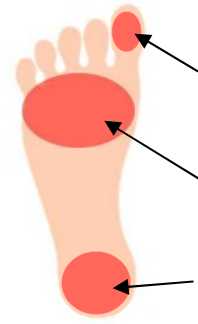


図-9 足裏のメカノレセプター分布箇所

(2) 転落の可能性要因

①乗降ステップの位置・寸法による危険な体勢

乗降ステップがキャビン側に約 7 c m 食込んだ位置 (図-7 点線部) に設置されている。さらに乗降ステップの奥行幅は 17 c m しかないことから図-8 に示すように乗降ステップ上では体がキャビンに接するため直立できず、手すりを掴んで後方に反った体勢となる。その際、最大で後方に約 13 度反る。



図-7 乗降ステップの設置位置



図-8 既設ステップ上での姿勢

②足の向きによる危険状態

足裏にはメカノレセプターと呼ばれる全身のバランスを保つセンサーがあり、図-9 に示すとおり前足部と踵に多く分布している。しかし既設乗降ステップ上では図-10 のように踵部分が完全に外側にはみ出し (10 c m) 踵のメカノレセプターは機能していない。さらに後方に反る体勢により、足の向きはステップ縁を支点に踵が斜め下を向き、これにより前足部の接地圧が弱まりここでもメカノレセプターの感度が低下し身体のバランスが取りにくい危険な状態になっている。



図-10 踵のはみ出し状況

③両手にかかる荷重

体重 70 k g の人が図-8 の体勢時に手すりを掴む両手にかかる荷重は約 16 k g となる。「高齢者対応基盤整備データベース (一般財団法人 人間生活工学研究センター) によると「両手でできるだけ努力すれば持てる重さ」は年齢・性別を問わず 6 k g 程度とされているが、これを大きく上回っており、手には大きな負担が生じ手の滑りの原因となる。

④乗降ステップ上での動作

乗降ステップ上ではキャビンへの乗降のため、手すりから手を放し、足の踏み替えや体の捻りなどの複雑な動作が生じ足を踏み外し易くなる (図-11)。



図-11 キャビン乗降状況

⑤キャビン乗降の頻度

除雪作業従事者は約 1,340 人 (R4 年度) おり、出勤に伴う乗降回数はひとシーズン当たり 8.6 万回 (往復で 1 回) 行われる。このことは非常に高い頻度で作業者が危険状態に暴露していると言える。

⑥その他の要因

除雪作業は降雪時に行われることから以下の転落要因にも常にさらされ、転落の可能性を高めている。

- ・雪・氷による手足の滑り
- ・夜間作業の暗さによる踏み外し
- ・連続作業での疲労による踏み外し など

⑦事事故事例の有無

乗降ステップからの重篤な転落災害は幸いにして見られないが、貨物トラックの荷台からの転落・墜落死亡事故は全国レベルで多数発生している。

(3) マトリックス表

以上のことからマトリックス表(表-1)により傷害の程度を「死亡」のカテゴリA、発生の可能性を「10年に1回」のカテゴリIIIと見積もった。

表-1 マトリックス表

	事故分類 労災事故	障害等のひどさ			
		視覚的	重大な	限定的	無視可能
		死亡	重傷	軽傷	不休
発生の可能性	カテゴリ	A	B	C	D
頻繁に起こる (毎年)	V	20	16	13	11
かなり起こる (5年に1回)	IV	19	15	12	7
たまに起こる (10年に1回)	III	18	14	8	4
あまり起こらない (20年に1回)	II	17	9	5	2
起こりそうもない	I	10	6	3	1

(4) リスク評価表

見積もったリスクレベルは「18(表-1)」となり、リスク評価表(表-2)では「受け入れられないリスク」と評価されるため早急な対応が必要となる。

表-2 リスク評価表

リスク評価	リスクレベル
受け入れられない	20~11
望ましくない	10~7
周知徹底の上、許容可能	6~4
許容可能	3~1

4. リスク低減の検討

作業者に傷害を与える根源である乗降ステップの改良によるリスク低減の可能性について検討した。

(1) 「傷害の程度」の低減

乗降ステップ高さ 1.5mは改善されないため、低減は困難である。

(2) 「転落の可能性」の低減検討

転落の可能性要素「④乗降ステップ上の動作」や「⑤キャビン乗降頻度」、「⑥その他の要因」を変えることは困難である。一方、転落を誘発する根源である「①乗降ステップの位置・寸法」の改善は表-3②, ③も連動し緩和され転落可能性の低減が期待できる。

表-3 転落の可能性要素と改善の可否

転落の可能性要素	改善の可否	備考
①ステップの位置・寸法	可	
②足の向きによる危険状態	可	①の改善に連動
③両手にかかる荷重	可	〃
④乗降ステップ上の動作	否	
⑤キャビン乗降頻度	否	
⑥その他要素	否	

5. 乗降ステップ改良の検討

(1) 拡張幅の検討

乗降ステップを拡張するに当たり「古瀬敏・遠藤佳宏・宇野英雄(1985). 安全性より見た階段の踏面・蹴上の最低寸法, 日本建築学会計画系論文報告集, 第356号・昭和60年10月」を参考とし安全な階段の踏面寸法は210mm以上、海外では280mmが望ましいとのことから、今回はそれをさらに10mmプラスした220mm、290mmの2タイプを製作することとした(図-12)。



図-12 拡張ステップ写真

(2) プロトタイプでの確認

計画した拡張寸法の妥当性を確認するため、図-13に示す既設ステップに拡張分を継ぎ足すプロトタイプを製作しオペレータに使用感を確認した。その結果 290mmタイプは踵が全てステップに収まり足裏全体で体重を支えることが可能であった。また、220mmでは踵のはみ出しはあるものの、踵の一部で体重を支えることが可能であり、安心感があるとの感想を得られた。図-13 赤丸部は参考で製作した昇降ステ



図-13 プロトタイプ設置状況

ップ部の拡張アタッチメントであるが、この部分の拡張は、張り出しにより昇降時に膝がぶつかるなどの支障があった。

(3) 拡張ステップの仕様

拡張ステップの仕様を決めるに当たり除雪トラックの純正部品はないため、スチール製のグレーチングタイプにて製作することとした。製作に当たり留意点は次の3点とした。①拡張幅は登録車幅内に収まること、②振動等により脱落しないこと、③表面は防滑仕様であること。尚、強度については荷重120kgに耐えうるものとした。

① 除雪トラックの車幅現況調査

ステップ拡張は現況から50mm～120mm車体外側に張り出しが生じる。車検登録の車幅内に収める必要があるため配置されている除雪トラックの調査を実施した。図-14に示すように車両フロントの除雪装置の端と後方の最大張り出し部を水糸で結び既設ステップとのクリアランスの計測を行った。結果は表-4に示す全台数308台中、220mmタイプは121台、290mmタイプは158台の合計279台に設置可能で全体の約91%が改善されることになる。

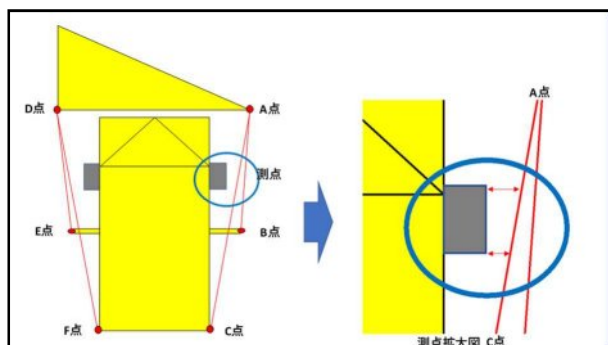


図-14 計測図

表-4 拡張ステップ設置台数

全台数	設置台数	A (290mm)	B (220mm)	NG
308台	279台	158台	121台	29台
	90.6%	51.3%	39.3%	9.4%

② 拡張ステップの脱落対策

プロトタイプで作製した拡張幅分のアタッチメント型では固定箇所が既設ステップの突合せ面の一方しか無いこと、既設ステップの外側に設置することにより受ける振動が大きいこと、また既設ステップへの穴あけ加工が必要になることから拡張ステップは図-15に示す振動に強い一枚物とし、固定は既設ステップ同様に正面3箇所、側方左右1箇所の計5箇所を既設ステーに堅固に固定する(図-15、図-16)。

③ 防滑・防錆仕様

表面はグレーチングメーカーで製品に施している防滑仕様をそのまま採用した(図-17)。防錆については

溶融亜鉛メッキとした。

④ 前方角部の斜め加工

拡張ステップの張り出した前方角部は斜め加工し、人がぶつかっても大きな傷害を受けないようにした(図-18)。

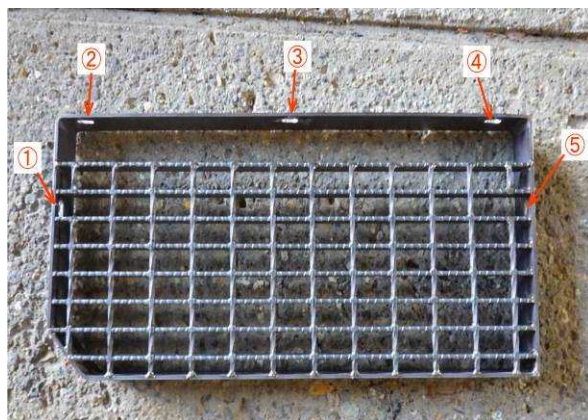


図-15 拡張ステップ図面 (290mm)



図-16 既設ステップステーボルト孔位置



図-17 表面防滑処理 (凹凸)



図-18 角部斜め加工状況

6. 拡張ステップの設置

設置作業はメガネレンチ等にて行い、脱着に要する時間は1枚当たり10分程度と軽微である。拡張ステップの設置後の状態を図-19に示す。

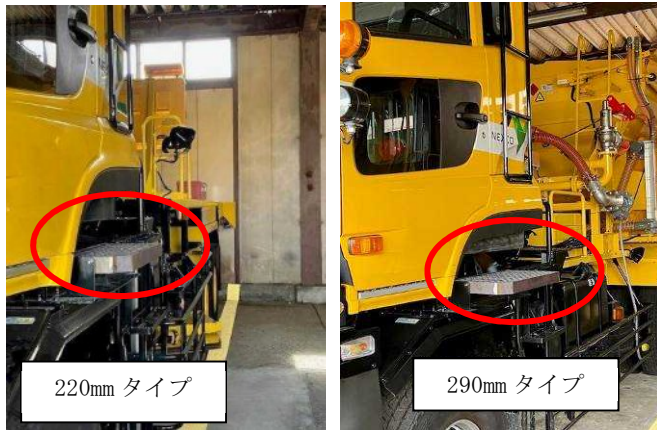


図-19 拡張ステップ設置状況

7. 拡張ステップの効果検証

7-1. 転落要素の改善

(1) 踵のはみ出し量の改善

図-20に示すように220mmタイプのはみ出し量は10cmから7cmと改善されたことで踵の一部がステップにかかり足首が水平に保たれた。これにより前足部の接地圧が得られたことで前足部と踵の一部のメカノレセプターが機能し、体のバランスが取りやすくなり安定した体勢となった。290mmタイプではステップに足が全て収まり前足部・踵ともに全く問題はない(図-21)。



図-20 拡張ステップ(220mm)の状態



図-21 拡張ステップ(290mm)の状態

(2) 反り角度等の改善

表-5に反り角度、両手にかかる荷重、踵のはみ出し量の一覧を示す。図-22に示すとおり220mm、290mmのいずれのタイプも反り角度が4~5度と約6割緩和され体勢の直立化がもたらされた。またそれに伴い両手にかかる荷重も5kg~6kgと半分以下に軽減されている。尚、290mmタイプでは手すりを掴まなくても自立が可能であった(その場合、踵のはみ出しあり)。

表-5 拡張ステップによる各数値一覧

種別	反り角度	両手にかかる荷重 (想定体重70kg)	踵のはみ出し量
既設ステップ (17cm)	13度	16kg	10cm
拡張ステップ (22cm)	5度	6kg	7cm
拡張ステップ (29cm)	4度	5kg	なし

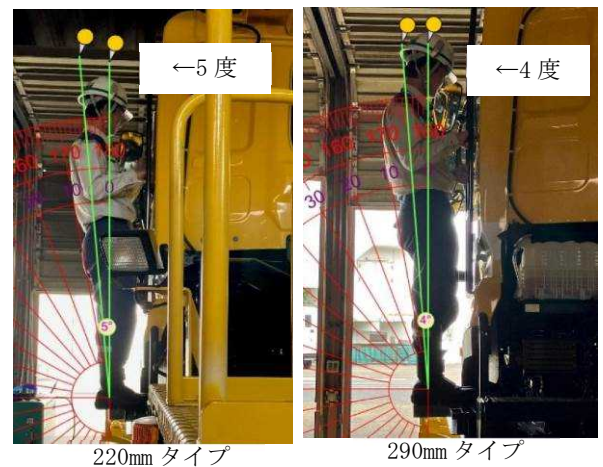


図-22 拡張ステップ上での体勢

7-2 転落リスクの再見積・評価

(1) 「傷害の程度」の再見積

拡張ステップにより乗降ステップ上での体勢の安定化がもたらされることで背中側から転落し、頭部強打により死亡する恐れは低くなる。傷害の程度をカテゴリB「重傷」に下げられることも考えられるが、乗降ステップ高さ1.5mは残存しており死亡する可能性を完全に排除できないためカテゴリA「死亡」のままとする。

(2) 「転落の可能性」の再見積

今回、ステップ拡張により不安定な体勢及び両手にかかる荷重の軽減が確認されたことで、初期見積の「たまに起こる(10年に1回)」から「あまり起こらない(20年に1回)」とした。

(3) リスクレベルの再評価

表-1のマトリックス表からリスクレベルは初期の18から17にワンポイント下がるが当社としてのリスクレベルは「受け入れられない」で変化はない。つまり落下する可能性は低くなったが、万が一転落した際に受ける重篤な傷害は残存したままである。従ってキャビンへの乗降は依然として高いリスクレベルとして作業

者全体で共有し注意を継続する必要がある。

8. 費用対効果

8-1 費用

(1) 材料費（概算）

表-6に材料費概算金額を示す。

表-6 材料費概算金額一覧表

タイプ	単位	数量	単価(円)	金額(円)
220mm	枚	276	5,500	1,518,000
290mm	枚	258	5,900	1,522,200
計		534		3,040,200

※金額は税抜き

(2) 設置費（概算）

全数設置費（y）は下記の計算式で算出する。
尚、除雪トラックは各基地に分散し配置されているため設置時の基地間移動時間を加味し1日当たりの稼働率を0.6とした。

$$y = ((A \times B) / C) \times D / e \quad \approx 390,000 \text{円 (税抜き)}$$

A：設置時間 10分/枚

B：ステップ枚数 534枚

C：稼働時間 480分/日（8hr）

D：労務単価 21,000円/日

（普通作業員，R5.3国交省労務単価，宮城県）

e：稼働率 0.6

※材料費+設置費（概算）：3,430,200円（税抜き）

8-2 安全性向上に係る作業員数と一人当たりの安全費
オペレータ及び助手の人数約1,340人（R4年度）であることから総額3,430,200円を1,340人で除すると、一人当たりの安全費は約2,600円/人となる。

8-3 除雪トラック一台当たりの安全費

今回設置台数は279台であることから総額3,430,200円を279台で除すると約12,300円/台となる。

8-4 拡張ステップの見込み耐用年数

拡張ステップの見込み耐用年数は溶融亜鉛メッキの耐用年数としてみる。耐用年数＝亜鉛付着量÷腐食速度×0.9で求められる（一般財団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会より）。表-7に耐用年数を示す。車両は冬期のみ使用で、稼働期も基本的には車庫に格納され洗車もまめに行われている。よって見込み耐用年数は「都市・工業地帯」の28年を妥当とする。これは除雪トラックの概ね10年～15年の更新サイクルを上回る。

表-7 環境別の見込み耐用年数

環境別	亜鉛付着量 (g/m ²)	腐食速度 (g/m ² /年)	耐用年数
都市・工業地帯	250	8.0	28
田園地帯	250	4.4	51
海岸地帯	250	19.6	11

8-5 費用対効果の考察

今回初期費用として3,430,000円となったが、耐用年数の28年間その効果が持続されると仮定した場合、作業員一人当たりにかかる安全費は93円（今回総額÷（1,340人/年×28年））に換算され非常に安価となる。また28年間で延べ人数37,000人以上の作業員の転落可能性を低減することが可能となる。さらに安全な職場の確立は企業として社会的・金銭的な損失を未然に防止することになるため費用対効果は大きいと考える。

9. まとめ

東北自動車道は多くの豪雪地帯や山間部を貫き各地域とつながっている。冬期高速道路の安全な路面を確保するためには急変する気象に臨機かつ迅速に対応していかなければならない。そのような厳しい作業環境下において労災事故の発生は短期的には現場検証等による作業中断を余儀なくされ、その間に発生する積雪等による路面悪化は交通事故を誘発し、お客様に多大な不利益を与えることになる。さらに事故多発による通行止めは交通インフラとしての機能を損ない、広範囲に悪影響を与える。また中長期的には切迫する作業員の高齢化や人手不足の観点から労災事故の多い危険な職場には人材が集まらず、その結果として安全な冬期高速道路の確保が困難となる。厚生労働省による「高齢者等の雇用の安定に関する法」では、高齢者は55歳以上とされている。当社においては雪氷対策作業従事者の約4割が50歳以上（令和4年度）で構成されており、今後ますます高齢化が進行していく中、高齢者の労災事故に多く見られる転倒・転落災害の防止は最優先事項となっている。雪氷対策作業の労災リスク低減は労働者の安全確保のみならず、円滑な物流、緊急時の物資移動・支援、沿線地域の生活基盤確保などに貢献し、高速道路の価値を最大限に生かすことへ直結する。従って我々はこれらの観点に基づき作業に潜在するリスク抽出と低減への取り組みを持続的に行っていく所存である。

信頼度を用いた除雪機械の維持管理手法の検証について

植野英睦* 1、山田充* 1

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期の円滑な道路交通の確保は、地域住民の生活にとって必要不可欠であり、確実な道路除雪体制が求められている。

しかし、道路管理者等が保有する除雪機械は近年、更新が停滞し老朽化が進行しており、除雪作業に支障をきたすレベルの重大な故障が発生している。これら重大な故障に伴う除雪作業停止日数は年々増加しており、道路除雪体制への影響が懸念される。

そのため、限られた予算の中、除雪機械の維持管理を効果的かつ効率的に行い、重大な故障に伴う除雪作業停止日数を抑制する必要がある。

本研究では、冬期の円滑な道路交通の確保に必要な道路除雪体制を維持するため、除雪機械の効果的かつ効率的な維持管理手法の提案に取り組んでいる。

その維持管理の指標となる除雪機械劣化度の定量的評価について、道路管理者が所有する除雪機械の稼働、故障データを収集し、FTA (Fault Tree Analysis: 故障の木解析) で抽出した 2 日以上稼働不能となった故障 (以下、「重大故障」という。) サンプルについてワイブル型累積ハザード解析を行い、算出した信頼度の適用性を、信頼度の目標値の設定手法や予防整備費用の算出・比較等の維持管理手法を検証した。

2. 除雪機械の故障データの整理

2.1 故障データの収集と解析データの整理

故障データは、各道路管理者が所有する除雪機械 (除雪トラック、除雪グレーダ、除雪ドーザ、ロータリ除雪車、小形除雪車、凍結防止剤散布車) 6 機種について以下のとおり収集した。

・国土交通省北海道開発局 (以下、「開発局」という。): 平成 19~令和 3 年度の故障データ延べ約 7,500 件。

・国土交通省東北及び北陸地方整備局: 平成 23~27 年度の故障データ延べ約 5,400 件。

このうち、本稿では過年度に整理した、開発局の平成 19~27 年度のデータ 4,808 件から障害物との接触など「外的要因による損傷」に関する故障データなどを除外し、次項に示す重大故障サンプル 1,029 件¹⁾ を解析対象とした。

2.2 FTA (故障の木解析) による重大故障サンプルの抽出

FTA により各機種の重大故障サンプルを抽出した。FT 図の作成にあたっては、重大故障サンプルのデータ件数が 5 件未満になるまで、故障サンプルの分類を細分化し抽出した。細分化は、建設機械整備標準作業工数表 (除雪機械編)²⁾ の作業項目区分に準じた、大、中、小項目単位で行った。

ロータリ除雪車「作業装置」の FT 図を図 1 に示す。FT 図のうち、楕円で表示した項目が重大故障箇所であり、除雪機械全体の重大故障箇所数は 92 箇所、除雪トラック、ロータリ除雪車、小形除雪車の順に多い結果となった (表 1)。

3. 除雪機械劣化度の定量的評価手法の検討

3.1 ワイブル分布について

ワイブル分布³⁾ は、スウェーデンの科学者ワイブルが材料強度の研究において、材料の破損確率を表す分布関数を提唱したもので、ワイブル型累積ハザード解析⁴⁾ は、この分布を用いた信頼性データ解析手法の一つである。

ワイブル分布には、次の 3 つのパラメータが使われる。

m : 形状パラメータ

η : 尺度パラメータ

γ : 位置パラメータ

m の値によって、ワイブル分布の形状も変化し、 $0 < m < 1$ の場合は故障率減少型の初期故障、 $m = 1$ の場合は故障率一定型の偶発故障、 $m > 1$ の場合は故障率増加型の摩耗劣化故障を表すこととなる。

η は、 m の値に関係なく不信頼度 (累積故障確率) $F(t) = 1 - e^{-t}$ (約 63.2%) となる観測値 t を基準化した際の寿命の尺度を表し、特性寿命ともいう。

表 1 重大故障箇所数

除雪機械	車体	作業装置	計
除雪トラック	23	14	37
除雪グレーダ	3	2	5
ロータリ除雪車	7	12	19
除雪ドーザ	8	1	9
小形除雪車	8	8	16
凍結防止剤散布車	3	3	6
計	52	40	92

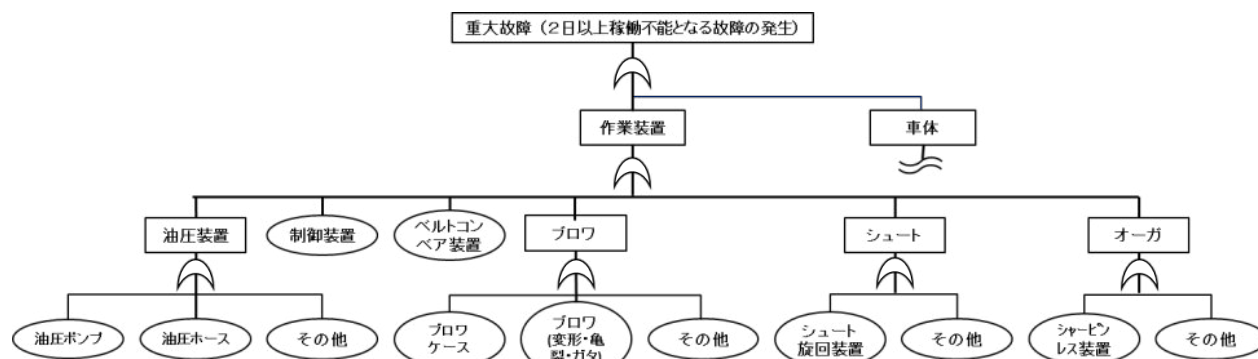


図 1 FTA 図 (ロータリ除雪車「作業装置」)

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

γ は、故障が始まる位置を表し、 $\gamma=0$ ならば最初から故障が起こり始め、 $\gamma>0$ は無故障期間があることを表すが、通常は $\gamma=0$ と考える。

この解析専用に市販されているワイブル確率紙^{*1}やワイブル型累積ハザード紙^{*2}、表計算ソフトウェア^{*3}を使用することにより、3つのパラメータを推定し、故障の種類（初期故障、偶発故障、摩耗劣化故障）や特性寿命、信頼度などが算出できる。

3.2 ワイブル型累積ハザード解析

抽出した除雪機械の重大故障箇所について、観測値を「走行距離」「稼働時間」及び「使用年数」として、ワイブル型累積ハザード解析を行った。

ロータリ除雪車の作業装置に関わる重大故障箇所の解析結果例を表2に示す。どの故障箇所においても $m>1$ であったことから、すべて摩耗劣化故障であった。

解析で得られた m 形状パラメータ、 η 尺度パラメータと、 t 観測値（走行距離、稼働時間及び使用年数）を次式の信頼度算出式に代入し、信頼度を算出、信頼度曲線図を作成した。

$$\text{信頼度 } R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m\right]$$

例として「オーガシャープレス装置」「シュート旋回装置」「ベルトコンベア」の信頼度曲線図を図2に示す。

「シュート旋回装置」において信頼度が10%下がって0.9になるのは、稼働5000時間経過時点で、保有台数の10%にあたる台数が重大故障を発生する確率を意味する。

このように、時間経過による装置等の劣化度が信頼度により把握可能となり、除雪機械の整備において、実施時期や整備箇所の選定など、除雪機械劣化度の定量的評価指標として活用できる可能性を確認した。

表2 ロータリ除雪車「作業装置」の解析結果例

中項目	故障箇所 小項目	ワイブルパラメータ					
		走行距離		稼働時間		使用年数	
		m	η	m	η	m	η
オーガ	シャープレス装置	2.271	89,405	2.283	14,744	3.375	32.4
	その他	1.950	85,129	1.687	17,727	2.902	29.6
シュート	旋回装置	2.626	72,842	2.986	10,780	2.997	33.5
	その他	2.711	72,545	2.711	10,673	3.363	34.4
プロフ	プロフ(変形・亀裂・カタ)	1.956	117,124	2.265	16,279	5.889	24.5
	プロフケース	3.233	69,503	2.968	12,046	2.129	54.0
	その他	2.730	72,214	2.533	11,830	3.417	33.7
ベルトコンベア	全て	2.312	29,331	1.513	11,195	1.434	39.4
制御装置	全て	2.672	71,777	2.440	13,846	2.845	34.0
油圧装置	油圧ホース	1.955	112,102	1.859	20,320	1.452	117.9
	油圧ポンプ	2.148	95,081	2.560	13,278	2.525	46.0
	その他	1.769	106,422	2.202	13,846	2.981	33.5

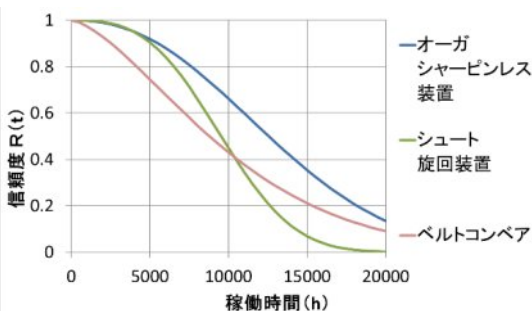


図2 ロータリ除雪車「作業装置」信頼度曲線図

4. 除雪機械劣化度の定量的評価による維持管理手法の検討

除雪機械劣化度の定量的評価指標としての信頼度について、目標値の設定手法や予防整備費用等の維持管理手法を検討し、指標としての適用性を検証した。

開発局において、管理している路線の優先順位づけを行い、路線の重要度によって信頼度の目標値の設定を検討した。

さらに、除雪機械101台が配置されている平成27年度の1開発建設部（内3事務所13除雪ST）を代表検証対象とし、路線の重要度によって信頼度の目標値を設定することで、整備の実施判断が可能な維持管理手法を検討し、シミュレーションを実施した。

4.1 路線の重要度の設定に関する検討

路線の重要度の設定にあたり、以下の2つの重要度を評価し、分類する方法を新たに検討した。

- ①路線が持つ機能や交通量を考慮した「交通機能」の重要度
- ②年間当たりの除雪作業日数を考慮した「除雪作業」の重要度

路線の重要度をA~Eの5段階で評価するマトリックス表を表3に示す。

交通機能の重要度は、除雪STが担当している路線・区間における「緊急輸送道路」及び「24時間交通量」を点数化し、それぞれを加算して4段階評価とした。

緊急輸送道路は、担当路線・区間の該当状況を踏まえ3段階で、24時間交通量は、平成27年度道路交通センサスの24時間交通量を3段階で、それぞれ加点した。配点表を表4、表5に示す。

表3 路線重要度を評価するマトリックス表

		除雪作業の重要度				
		高	3	2	低	
交通機能の重要度	高	4	A	A	B	C
	3	3	A	B	C	D
	2	2	B	C	D	E
	低	1	C	D	E	E

表4 緊急輸送道路の配点表

配点	緊急輸送道路
2点	担当路線・区間の総延長の半分以上が「第1次緊急輸送道路」
1点	担当路線・区間の総延長の半分未満が「第1次緊急輸送道路」
0点	担当路線・区間が「第2次緊急輸送道路」

表5 24時間交通量の配点表

配点	24時間交通量
2点	平均交通量が「10,000台/日以上」
1点	平均交通量が「4,000~10,000台/日」
0点	平均交通量が「4,000~台/日未満」

除雪作業の重要度は、降雪量が多く除雪作業の実施頻度が高い路線をより高く評価することとし、稼働実績から1年間の「平均作業日数」で4段階評価した。

平均作業日数は、一般除雪に用いられる除雪トラック・除雪グレーダを対象として、平成25～27年度の稼働実績を踏まえ、表6に示す区分表で配点した。

これらの検討を踏まえ、開発局の除雪STにおける路線の重要度の評価を行った結果を、表7に示す。

4.2 信頼度の目標値の設定に関する検討

次に、配置されている除雪機械に対する、信頼度の目標値の設定方法について検討した。

検討にあたっては、信頼度の目標値の設定に際し、信頼度の低下に伴う重大故障発生頻度について整理を行った。

この検討では、重大故障データで算出した故障箇所別の信頼度を用いた。信頼度の目標値の設定において、開発局が平成19年度～27年度に所有していた除雪機械の平均配置台数をもとに、信頼度が低下した際の重大故障件数の発生頻度を試算した。その結果を表8に示す。信頼度0.99の場合は、重大故障が開発局の開発建設部で1件程度発生し、0.97まで低下すると開発建設部で3件、事務所で1件程度、0.85で除雪STに1件程度発生すると推定される。

このように信頼度の目標値の設定により重大故障の発生頻度の推定ができる。このことから、開発建設部、事務所及び除雪ST単位での除雪体制や維持管理レベルを想定し目標値を設定することも可能となった。

試算結果を踏まえて、路線の重要度毎に信頼度の目標値を表9のように設定した。

表6 平均作業日数の配点表

配点	平均作業日数の配点表
4点	平均作業日数が「90日以上」
3点	平均作業日数が「60日以上」
2点	平均作業日数が「30日以上」
1点	平均作業日数が「30日未満」

表7 路線の重要度評価結果

総合評価	除雪ST数
A(最重要路線)	7
B(重要路線)	42
C(準重要路線)	61
D(一般路線①)	28
E(一般路線②)	9
計	147

表8 信頼度が低下した際の重大故障件数の発生頻度

除雪機械	除雪トラック	除雪グレーダ	除雪ドーザ	ロータリ除雪車	小形除雪車	凍結防止剤散布車	合計				
平均配置台数	508	99	87	146	120	84	1,039				
信頼度	重大故障件数(件)							重大故障件数(件/箇所)			
								開発建設部(10箇所)	事務所(34箇所)	除雪ST(147箇所)	
	0.99	5	1	1	1	1	1	10	1.0	0.3	0.1
	0.98	10	2	2	3	2	2	21	2.1	0.6	0.1
	0.97	15	3	3	4	4	2	31	3.1	0.9	0.2
	0.95	25	5	4	7	6	4	52	5.2	1.5	0.4
	0.9	51	10	9	15	12	8	104	10.4	3.1	0.7
	0.85	76	15	13	22	18	12	156	15.6	4.6	1.1
	0.80	101	20	17	29	24	16	208	20.8	6.1	1.4
	0.7	152	30	26	44	36	25	312	31.2	9.2	2.1
0.50	253	50	43	73	60	41	520	52.0	15.3	3.5	

4.3 維持管理手法のシミュレーション試行

信頼度の目標値を設定した維持管理手法を、予防整備費用のシミュレーションを行い検証した。

(1) シミュレーション設定条件

シミュレーションの試行にあたり、以下の条件を設定した。

①対象の除雪機械は、開発局の代表1開発建設部(内3事務所13除雪ST)の除雪機械のうち、平成27年度に配置されていた101台を対象とした。各事務所の除雪STにおける信頼度の目標値は、表10のとおりである。

②シミュレーションの実施期間は、平成27年度から30年間(平成27年度～令和26年度)とした。

③機械更新の時期は「建設機械等損料算定表(北海道補正版 北海道開発局)」⁵⁾の標準使用年数に基づき表11のとおり使用年数を設定した。

④信頼度は、重大故障データから推定した形状・尺度パラメータと、各除雪機械の年度末の稼働実績(走行距離又は稼働時間)を算定式に代入して算出した。なお、信頼度は走行距離と稼働時間のそれぞれの値のうち、低い値を採用した。

表9 信頼度の目標値

路線の重要度	信頼度の目標値	重大故障発生頻度
A(最重要路線)	0.97以上	道路事務所1台発生
B(重要路線)	0.95以上	道路事務所1.5台発生
C(準重要路線)	0.90以上	道路事務所3台発生
D(一般路線①)	0.85以上	除雪STで1台発生
E(一般路線②)	0.70以上	除雪STで2台発生

表10 除雪STにおける信頼度の目標値

事務所	除雪ST	路線の重要度	信頼度の目標値	配置台数
A	a①	B	0.95	24
	a②	A	0.97	6
	a③	C	0.9	6
	a④	D	0.85	2
B	b①	B	0.95	7
	b②	B	0.95	12
	b③	A	0.97	5
	b④	B	0.95	2
	b⑤	B	0.95	9
C	c①	C	0.9	6
	c②	B	0.95	9
	c③	D	0.85	4
	c④	C	0.9	9

表 1 1 除雪機械種類毎の標準的な使用年数

除雪機械	標準使用年数	シミュレーションに用いる使用年数
除雪トラック	15.5	16
除雪グレーダ	16.0	16
除雪ドーザ	13.5	14
ロータリ除雪車	15.0	15
小形除雪車	15.0	15
凍結防止剤散布車	11.0	11

⑤本シミュレーションの初年度の算出は、平成26年度以前においても予防整備が実施されていたと仮定し、平成26年度までの稼働実績から信頼度を算出し、その信頼度に基づく予防整備を定期的実施しているものとした。

⑥稼働実績は、信頼度の目標値を下回った時点で予防整備を実施したものとし、累積した稼働実績をリセットした。リセット後の稼働実績は、除雪機械の種類毎に各除雪工区の平均年間走行距離及び稼働時間を年度毎に加算した。

⑦重大故障箇所の予防整備費用については、整備業者・除雪機械メーカーに主な故障内容と想定される予防整備内容を提示したアンケートを実施し、想定される費用（労務費や部品費を含む）を算出した。

(2) 予防整備コストの算出

シミュレーション条件に基づき、現状（H27時点）の除雪機械の配置における30年間の総予防整備コストを算出した（図3）。30年間の総予防整備費用は133,644万円となり、年平均では4,455万円となった。さらに、予算に余裕がある年度において次年度以降の予防整備を前倒しで実施するコストの平準化についても算出し、総費用134,866万円、年平均4,495万円となり、各年度の予防整備費用の把握が可能となった。

続いて、信頼度目標値の変更による予防整備費用を算出した。信頼度の変更は、一律に0.95と0.90、路線の重要度を現設定（表10）から各1ランク下げた場合とし算出した。総予防整備コストを図4に示す。

この様に信頼度の違いによる予算規模の把握が可能となった。

また予防整備コストについて、事務所やST単位での年度毎、さらに機種毎に、相対的且つ定量的な把握が可能となった。

信頼度の目標値を設定した維持管理手法として、予防整備に必要な予算規模の把握や、予防整備の実施計画、予算に応じた予防整備や機械更新計画策定への活用、さらに予防整備費等を踏まえた除雪体制や維持管理レベルの設定が可能となるなどの効果が確認できた。

また、シミュレーション実施により以下の課題も確認できた。

予防整備を実施することで該当箇所の信頼度をリセットし、機械更新のタイミングを「建設機械等損料算定表」における「標準使用年数」に基づいて設定しているが、一律の考え方であり、機械全体の劣化度は不明である。機械本体の更新の判断資料として、故障箇所の信頼度を乗じるなど機械全体の信頼度について検討が必要である。

さらに、今回故障実績のみで信頼度を算出したが、予防整備を実施することで、解析により抽出した箇所へ故障が発生しなくなる状況も想定され、実績と全く違う箇所からの故障の発生も予想されるなど、故障状況の長期的な傾向

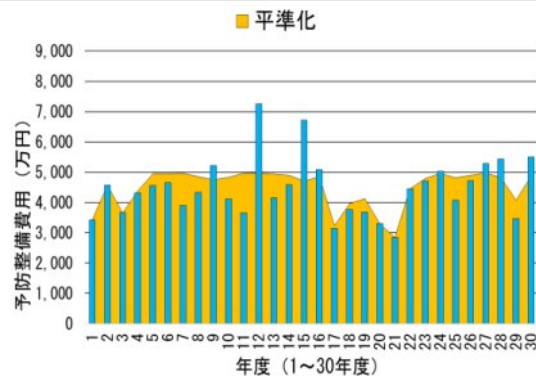


図3 年度毎の予防整備費用

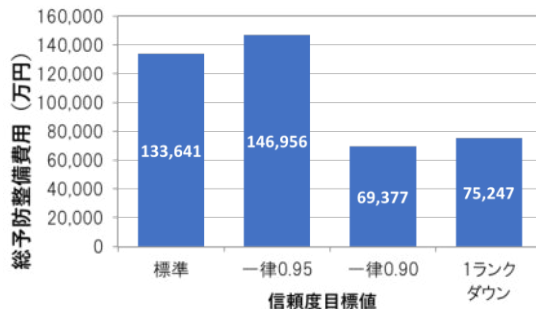


図4 信頼度目標値による総予防整備費用

が把握できなくなる可能性があり、定期整備により対処されている箇所の実績データも収集し、信頼度を算出することも必要である。

5. まとめ

ワイブル型累積ハザード解析より算出した信頼度を除雪機械劣化度の定量的評価指標として維持管理手法を検討した。その結果、次のことがわかった。

- ・信頼度の目標値により、予防整備費や路線の重要度等を加味した除雪体制や維持管理レベルの設定が可能となった。
- ・予防整備費が把握でき、予算の平準化など効率的な整備計画の立案が可能となった。

以上から除雪機械劣化度の定量的評価指標として、信頼度の適用の可能性を確認できた。

今後は、適切な機械更新の時期の判断等のため、機械全体の劣化度について検討していきたい。

- *1 日科技連出版社、日科技連ワイブル確率紙
- *2 日科技連出版社、日科技連ワイブル型累積ハザード紙
- *3 日本科学技術研究所、JUSE-StatWorks/V5

参考文献

- 1) 伊藤義和、植野英睦、幸田勝：除雪機械故障傾向の分析について-ワイブル型累積ハザード解析の試行-、第62回（2018年度）北海道開発技術研究発表会論文集
- 2) 建設機械整備技術委員会：建設機械整備標準作業工数表（除雪機械編）（平成22年度版）、2010
- 3) 益田昭彦、石田勉、横川慎二、信頼性データ分析、pp.68-75、日科技連出版社、2009
- 4) 同上、pp.129-131
- 5) 北海道開発局：建設機械等損料算定表 北海道補正版（平成30年度版）、2019

快適雪氷作業のための可搬型シューズクリーナーの開発と活用

下地 利幸*1 新宅 昭文*2 西原 嘉樹*3 井上 雅王*1

1. はじめに

中日本高速道路(株) 名古屋支社管内 東海北陸自動車道(以下:東海北陸道)は、冬季に積雪寒冷地域となり、厳しい雪氷作業が必要となる標高約400m~約1,100mに及ぶ白鳥IC~白川郷ICを管理区間に持つ路線である。(図1)

当該報告は、特に厳しい環境下で行う雪氷作業における作業環境改善を目的とした、可搬型シューズクリーナー(以下:「快適クリーナー」)の開発について報告を行うものである。



図1 東海北陸自動車道 概要図

2. 冬季の雪氷作業

東海北陸道は、高山保全・サービスセンター(以下「高山保全」)及び岐阜保全・サービスセンター(以下「岐阜保全」)、富山高速道路事務所が管理を行っており、高山保全ではもっとも標高が高く積雪量が多い区間を受け持っている。

下図に2022年度の凍結防止剤の散布割合を示す。

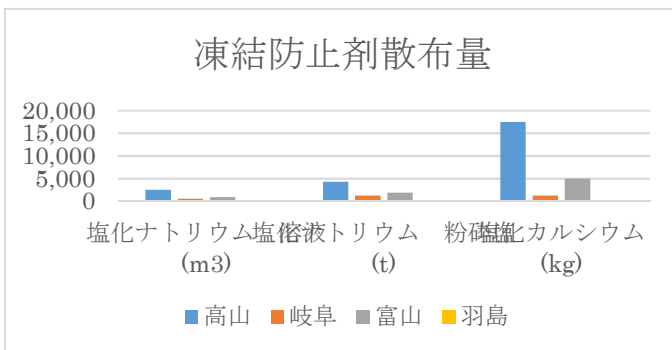


図2 凍結防止剤散布量

年間の雪氷等対応における塩化ナトリウム等剤の散布量は、高山保全で塩化ナトリウム溶液2,522m³、塩化ナトリウム粉砕4,280 t、塩化カルシウム17,475kgと最も多い。

路線敬称	事務所	塩化ナトリウム溶液 (m3)	塩化ナトリウム粉砕塩 (t)	塩化カルシウム (kg)
東海北陸	高山	2,522	4,280	17,475
北陸	富山	2,160	4,078	14,000
東名	飯田	1,528	2,308	0
北陸	金沢	2,240	4,058	14,000

図3 代表散布量/事務所

また、高山保全は、11月から4月末までの半年間、雪氷対策作業期間が設定されており、他事務所と比べても対策作業日数が多い事務所である。

2022年度の年間での凍結防止剤の散布等対応の出動回数を東海北陸道の名古屋支社管内で見ると、高山保全では99回/年(警戒態勢を除く)であり、その対応期間での、12月はほぼ昼夜において毎日稼働し、延べ17,000人・日が従事している。また、岐阜保全においても、約50回/年、延べ4,000人・日、と雪氷作業に多くの仕事量を費やしており、環境の改善が求められる。(表1・図4)

表1 体制回数/月

事務所	項目	4月	5月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
高山	昼夜	3	1	1	5	30	29	18	12	99
岐阜	昼	-	-	-	-	14	15	10	1	40
岐阜	夜	-	-	-	-	20	17	10	1	48



図4 散布等出動回数

*1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 岐阜道路事務所
 *2 中日本高速道路(株) 高山保全・サービスセンター
 *3 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 高山道路事務所

3. 雪氷作業の課題

雪氷作業の環境は凍結防止剤散布準備のため、薬剤庫にて、凍結防止剤が詰められたトンパックを開封し、塩化ナトリウムを砕きながら積込む。積込み時は、塩化ナトリウムの舞い上がり、作業員が全身に凍結防止剤まみれとなる。また、凍結箇所へ塩化カルシウムを手撒きする作業においても融雪剤が付着する。付着した凍結防止剤や融雪剤は吸水し、作業着がべたつき、汚れやすくなり、とても不快な状況となる。(写真1)



写真1 融雪剤の散布状況

雪氷作業が本格的なシーズンとなると、雪氷詰所や防災対策室への出入りも頻繁となり、長靴、衣服や身体に付着した雪や塩化ナトリウムを室内へ持ち込むことが多くなり、雪氷基地(詰所)内もべたついたり、汚れが付着しやすい状況となっていたことから対策が必要な課題であった。

そこで、快適な作業環境の改善として、高山保全では、作業服に付着した凍結防止剤を、エアーで効率よく払落す機能や、長靴に付着する凍結防止剤を洗い落とすことのできるシューズクリーナーを制作・整備した。(写真2)



写真2 ユニットハウス型シューズクリーナー

4. 可搬式シューズクリーナーの開発

【仮設ユニット】冬季間において、出入りの多い保全・サービスセンター正面玄関に仮設ユニットハウス

(写真-3)を設置し、内部にシューズクリーナーを設置し冬季に運用を行っている。



写真3 ユニットハウス

保全・サービスセンター事務所内には、防災対策室が設置されており、正面玄関入口からの防災対策室と、雪氷詰所との動線の中間のため、冬季の雪氷体制になると、出入りが頻繁になり、効率的に体や長靴についた雪を落とすことにより、建物内の汚れ、水分の持ち込みを防止して快適な執務環境とすることができた。

【常設設置】社員や関係者が通勤や出勤で最も多く使う通用口には、年間の利用が見込まれたことから、常設用シューズクリーナーを整備した。(写真4)(写真5)



写真4



写真5

冬季に駐車場からの事務所出入口(裏口)は駐車場所から距離があり、降雪時に体に付着した雪を払うこと、シューズ、長靴に付いた雪を洗浄すること、また、洗浄の際付いた水滴を吹き飛ばすことで建物内に雪や水分を持ち込むことを抑制することが出来ることから、建物内を清潔に保つために必須な設備となった。

夏季、中間期においても、点検員、管理隊、維持作業員の出入りに対して、日常の出入口にシューズクリーナーを整備することで靴の汚れを落とし、建物内を清潔に出来ている。

先行的に試行設置した保全・サービスセンター(管理事務所)では、年間の利用や不特定多数の利用が見込まれるが、雪氷作業基地では冬季のみ、かつ作業員のみでの使用となる。このことから、①できるだけ安価となるようにコストを考慮しつつ、②利用しない期間は工事現場などで活用できるように可搬式の快適クリーナーの開発を行った。

5. 可搬式シューズクリーナーの概要

洗浄水、圧縮空気を使用した寒冷地仕様のシューズクリーナーを内蔵したユニット型とし、移動式クレーン2t車で運搬設置を行いやすい設計とした。

5.1 快適クリーナー本体の仕様

仕様1) 体やシューズについての雪や水分を落とせる機能として、エアガン機能の有し、冬季に対応するため配管への断熱性能を高めるとともにヒーターを凍結防止し安定した利用を可能とした。(図5)

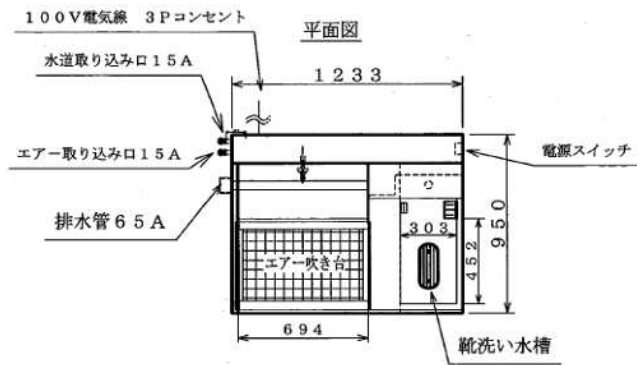


図5 シューズクリーナー平面図

仕様2) 靴洗い水槽はタイマー設定により一定時間で排水することが可能で、節水と水槽内水の凍結を防止する仕様とした。

仕様3) エア吹き込み台は洗浄したシューズ等を台の上に乗せ、エアーを吹き付けることにより水分を取り除くことができる仕様とした。

仕様4) また汚れたものは下部に落とされ、定期的に靴洗い層から排水と一緒に排水される仕様とした。

5.2 躯体サイズとポータビリティ

躯体サイズは、2tユニットの吊り荷重 2.63tに対応できるように総重量 350kg、平面寸法を 1900×1350、高さ 2300とした。(写真6)

また、出入口は3方向からを可能とし、設置する建物に対応できるようにし、給排水、電源もできる限り簡易に接続できるものとした。



写真6 2tユニットでの状況

設置を行った状況を以下写真に示す。



写真7 設置完了状況

写真手前にある小型コンプレッサーユニットを、別置きとすることで塩害からの被害に対応できるようにした。(写真8) コンプレッサーユニット内部にヒーターを設けることで圧縮空気によるタンク内結露の凍結を防止した。



写真8 ユニット内

5.3 エネルギー供給等

給水口、電源接続口、排水口、圧縮空気口を背面に集約した配置とし、他面を入口とする仕様とした。(写真9)



写真9 エネルギー供給面

また、接続は電源の接続端子による接続、コンプレッサーからの圧縮空気の接続アタッチメントによる接続、給水においても接続アタッチメントにより接続できるようにし、ユニット内の配線配管施工をなくすことによりスムーズな設置とした。

5.4 耐久性とメンテナンス

躯体の屋根はガルバリウム鋼板とし、雪止めの設置を行い、壁も同じガルバリウム鋼板で耐久性を高め、床は塩害に強く耐久性の高いポリプロピレン(写真10)を採用した。シューズクリーナー機械部のメンテナンス

を考慮し、機能部背面に点検口を設け、修理交換を容易にできるようにした。(写真11)



写真10



写真11

5.5 設置コストとリース料

仮設ユニットハウスにシューズクリーナーを設置した場合と、常設にポーチを建てシューズクリーナーを設置した場合、可搬型シューズクリーナーを設置した場合についてのイニシャルコスト、ランニングコストの比較を行った。

運用に際し、仮設ユニット、可搬型シューズクリーナーについてリース化できれば、「仮設ユニット」の初年度支出額は「常設設置」に比べ1/3程度に抑えることが期待でき、「可搬型シューズクリーナーにおいては1/10程度に抑えることが期待できる。

施工条件により、概算金額ではあるが、通期（常設）で使用する場合、例として10年以上常設すると、費用が安価で済むことが予想される。冬季以外に使用する又は、仮設にて使用する場合は可搬型シューズクリーナーの方がコストを抑えられる費用比較となった。

6. 快適クリーナーの活用

快適クリーナーは、冬季の一定期間の使用を前提としているが、開発目的と同様に、作業環境の改善として、他への活用も期待できるのではないかと考える。

建設現場などでは、碎石や砂利敷きの場面が多く、天候次第では、足元は汚れる環境下にある。(写真11)

通常、足場入口などに、足洗い場を設置(写真12)しているが、快適クリーナーは建設現場での環境改善の一因とできるのではないかと考える。



写真11



写真12

7. 利用者へのヒアリング

清見雪氷基地利用者（高山保全内）に対して、定置式での使用アンケートによるヒアリングを行った。(図6)アンケート結果の「満足度」では、ほぼ9割の回答で、

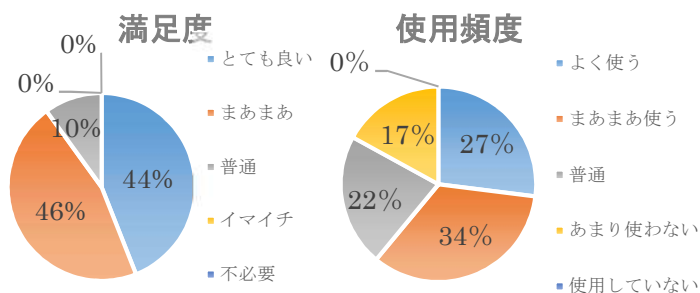


図6 満足度及び使用頻度

「まあまあ・とても良い」の回答を得ることができた。また、「使用頻度」においては、約6割が、よく使う・まあまあ使用する、つづいて約2割が普通に使用すると回答しており、あまり使わないが約2割で、使用していない人はいない結果であった。

更に改善点・その他自由コメントの代表する意見は以下の内容であった。

改善点・課題（自由コメント）
片足だけでなく両足で洗浄できると良い
暖房設置での乾燥室併用でも良い
冬以外の使用もしたい
使用後に地面が濡れてしまい、凍結して危険
その他意見（自由コメント）
全ての雪氷基地に設置すべき
暖房設置での乾燥室併用でも良い
規模が大きすぎる
年中あるとよい

多くのコメント意見では、設置を望む意見が多く確認できた。一方今回の定置式でのアンケートの意見では、規模が大きすぎるとの意見もあり、コンパクトな仕様となった快適クリーナーでの使い勝手が良ければ、活用に期待できると考える。

8. まとめ

雪氷対策作業は3Kに位置し、雪氷対策作業従事者は人口減少の中、高齢化や作業員確保等が困難であることから省力化、作業環境改善を行うことができた。

雪氷対策作業は限定された期間であることから改善への投資は消極的になる可能性がある。

そこで、今回雪氷対策作業環境改善の観点から冬季以外の利用も踏まえ、限定された期間であることから小型移動式クレーンで搬出、設置が可能になるシューズクリーナー考案した。

今後は雪氷対策作業機械や建設機械の清掃等にも利用できる機能も追加するなど、更なる利便性向上をより多くの方々の意見を踏まえて改良していき、誰もが働きやすい環境にすることで業界に貢献していきたい。

準天頂衛星システムを活用した除雪車運転支援システムと自動運転化の開発について

角田 大輔*1, 稲垣 颯馬*2, 高柳 琢司*3

1. はじめに

高速道路における除雪等の雪氷作業は、降雪による視界不良や夜間等の厳しい作業環境の下、熟練オペレータによる高度な技術と経験によって行われているが、熟練オペレータの高齢化や労働人口の減少により、技術伝承が困難な状況になりつつある。そこで、非熟練オペレータでも安全・確実に作業ができる環境を構築すべく、令和元年度から除雪車の自動化開発を行っている。

本報文は、ロータリ除雪車の自動化開発の完成に向けた各試験や検討について報告するものである。

2. 開発概要

準天頂衛星システム「みちびき」からのcm級測位補強信号とあらかじめ作成した高精度地図情報を組み合わせ、運転席に設置したモニタに正確な自車位置を表示し、運転操作を視覚的に支援するシステム（以下、ガイダンスシステムという。）を開発した。このガイダンスシステムから位置情報・測位情報を受け取り、ロータリ除雪車が自動で走行（以下、自律走行という。）し、除雪装置が自動で制御（以下、自動除雪という。）される仕組みである（以下、自律走行と自動除雪を総称し、自動運転という）。イメージ図を図-1に示す。



図-1 自動化開発イメージ図

3. 開発進捗

上記のガイダンスシステムは平成29年度に完成した。その後、令和元年度に除雪車メーカーと共同研究開発協定を締結し開発を進め、令和2年秋に夕張IC構内にあるテストコース（以下、夕張TCという。）にて自

律走行が確認でき、翌令和3年春に高速道路本線（以下、本線という。）での自律走行試験を成功させている。この結果を受け追加改良を実施のうえ、令和3年度秋～冬季および令和4年度冬季に本線での自律走行と自動除雪の試験を実施した。

4. 令和3年度秋季本線試験

令和3年11月に、道央自動車道 岩見沢IC～三笠ICを対象区間として試験を実施した。試験のポイントとしては、「①自律走行の精度確認」、「②自動除雪の稼働確認」、「③課題の抽出」を念頭に実施した。

「①自律走行の精度確認」においては、一部の区間で精度の低下がみられたものの、開発目標精度（誤差20cm以内）に収まっていることを確認できた。

「②自動除雪の稼働確認」では、仮想の地物（標識や橋梁のジョイントなど、除雪作業をする際に支障となる構造物の総称）に対し、自動で投雪回避の様子が確認できた。

また、①と②のいずれにおいてもオペレータの介入なく正常に動作していることを確認できた（写真-1）。

「③課題の抽出」については、跨道橋下等の衛星受信が不安定な環境下での精度低下が課題として抽出されたことから、衛星受信不安定環境下での精度の向上を検討することとした。



写真-1
試験中のオペレータ

5. 令和3年度冬季本線試験

11月の試験を受けて、雪氷期に除雪負荷を掛けた状態での試験を実施することとした。当試験では、(株)ネクスコ・メンテナンス北海道 札幌事業所が実施する雪氷作業に合わせて行うこととした。本線において車線規制を

*1 東日本高速道路(株) 北海道支社 技術部 技術企画課

*2 東日本高速道路(株) 北海道支社 道路事業部 施設課

*3 (株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 土木事業部 土木技術部 交通環境課

せずに試験を実施するため、一般車が走行中の本線において試験をしても問題ないか、事前に夕張TCで除雪負荷確認試験を実施した（写真-2）。結果、除雪負荷が掛かった状態においても精度に問題は無く、安全に本線試験が実施可能と判断された。



写真-2 夕張TCでの除雪負荷確認試験の様子

試験は、道央自動車道 岩見沢IC～美唄ICの2IC間で実施した。試験内容として、「①除雪負荷の掛かった状態での自律走行の確認」と「②除雪負荷の掛かった状態での自動除雪の稼働確認」を実施した（写真-3）。なお、試験中に精度低下など安全性に支障がある場合はオペレータが手動で介入することとした。



写真-3 令和3年度冬季本線試験の様子

「①除雪負荷の掛かった状態での自律走行の確認」については、当試験では概ね10cm以内の誤差に収まっており、開発目標精度を確保できていることが確認された。一方で以下に示す課題も得られた。

跨道橋下では秋季試験同様に精度の低下が確認されたため、ソフト上の自車位置把握ロジックの見直しを検討することとした。

また、乗車したオペレータより、自律走行可能な速度が遅いという意見があったため、上限速度の変更を検討することとした。

「②除雪負荷の掛かった状態での自動除雪の稼働確認」については、実作業時における雪質や積雪量に対して、投雪方向など調整可能にする必要があることから、それらの程度によって自動除雪のパターンを変更可能になるよう検討することとした。

6. 令和4年度冬季本線試験

令和3年度の試験で得られた課題に対し、令和4年度秋季までに改良を行った。跨道橋下での精度を向上すべく、ソフト上の自車位置把握ロジックを見直した。自律走行可能な速度は、従来の時速3～5kmから時速10kmまで対応可能とした。さらに、実作業時における雪質や積雪量に対して、自動除雪のパターンを変更可能とした。

令和5年3月には道央自動車道 岩見沢IC～美唄ICにて試験を行い、令和3年度冬季と同様に「①除雪負荷の掛かった状態での自律走行の確認」と「②除雪負荷の掛かった状態での自動除雪の稼働確認」を実施した

（写真-4）。試験により、課題の改善が確認され当初の目標を満たす結果となり、ロータリ除雪車における自律走行および自動除雪の技術の完成に至った。

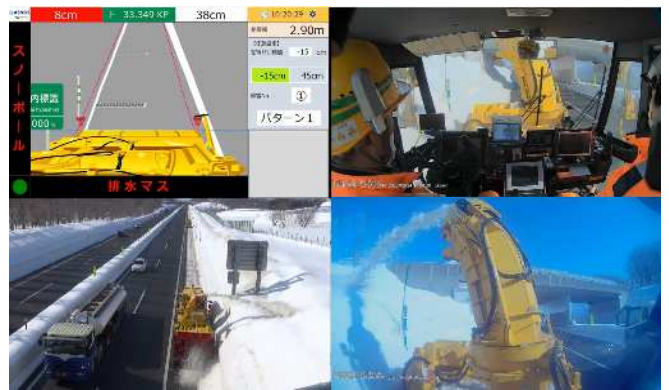


写真-4 試験中の車内外及びモニタの様子

7. おわりに

ロータリ除雪車の自動運転の技術は完成に伴い、令和5年度より現在の試験機を道央自動車道 岩見沢IC～美唄ICに導入し運用開始する予定である。以降は、昨今の社会情勢等鑑みながら、管内に順次導入・展開し除雪作業の省力化を図っていく計画である。

また、技術は完成したもののオペレータより改善要望をいただいているため、適宜オペレータへのフォローアップを行いながら、運用しながら改良・確認を続けていく。



ロータリ除雪車投雪作業自動化に向けた実証実験 ～除雪現場の省力化に向けて～

小野寺 敬太* 1、貫田 大輔* 1、諏訪 光星* 1

1. はじめに

建設現場では、技能者不足や就業者の高齢化などによる担い手不足が課題となっている。北海道の除雪現場においても除雪機械オペレータの確保や高齢化が課題となっている。(図-1)

また、積雪寒冷地特有の冬期災害が発生する北海道では、近年、大雪や暴風雪などの影響による国道の冬期間の通行止めが多く発生している。(図-2)

北海道開発局では、担い手不足や積雪寒冷地特有の課題解決に向け、i-Constructionの取組として、ロータリ除雪車の投雪作業自動化に向けた実証実験を進めている。



(図-1 除雪機械オペレータの状況)



(図-2 国道の冬期通行止め状況)

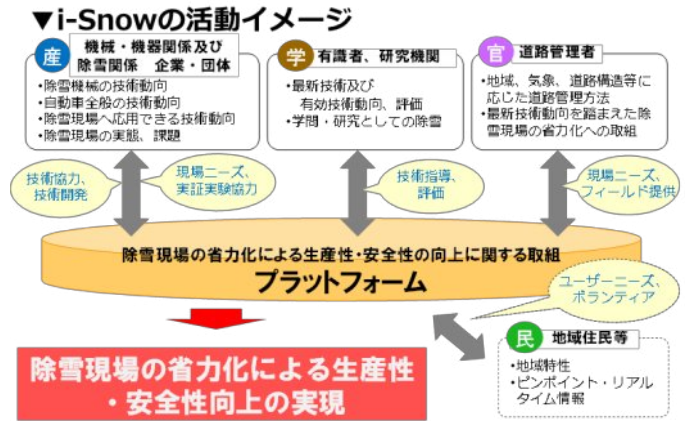
2. i-Snowこれまでの取組

2.1 活動概要

北海道開発局では、平成28年度に北海道におけるi-Constructionの取組として産学官民が広く連携し、除雪現場の省力化に関する様々な活動を行う場として、「i-Snow (除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に関する取組プラットフォーム)」を設立した。

i-Snowは、北海道における除雪関係者が除雪現場、除雪技術等に関する横断的な連携・情報共有・技術開発を

図ることで除雪現場の省力化を進め、生産性・安全性を向上させると共に、人口減少下でもヒトとモノの交流・対流を活性化できる産業構造、経済活動を維持・発展させるものである。(図-3)



(図-3 i-Snowの活動イメージ)

2.2 ロータリ除雪車での実証実験

i-Snowの取組として、北海道開発局ではロータリ除雪車の投雪作業自動化等の検討を進めており、実証実験を行っている。(図-4)



(図-4 ロータリ除雪車投雪作業の自動化)

* 1 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 機械課

実証実験は、平成30年度から令和元年度までは、一般交通もなく道路付属物の設置も少ない冬期通行止め区間内（一般国道334号知床峠）で行い、令和2年度以降は一般交通があり道路付属物の種類や数も多く設置されている一般道（一般国道38号狩勝峠）にて行っている。

投雪作業の自動化については、ロータリ除雪車にセンサー内蔵油圧シリンダー・GNSSアンテナ・3D-LiDAR等の機器を設置し、ブロワ・シュート・シュートキャップの各装置の自動制御（投雪方向や投雪距離）について検討を行っている。（図-5）



（図-5 自動化に関する設置機器）

2.3 令和4年度の実証実験

令和4年度の実証実験は、シュート投雪自動制御改良やみちびき不感地帯対策等を、前年度に引き続き南富良野町の一般国道38号狩勝峠を実施箇所とした。（図-6）



（図-6 実施箇所）

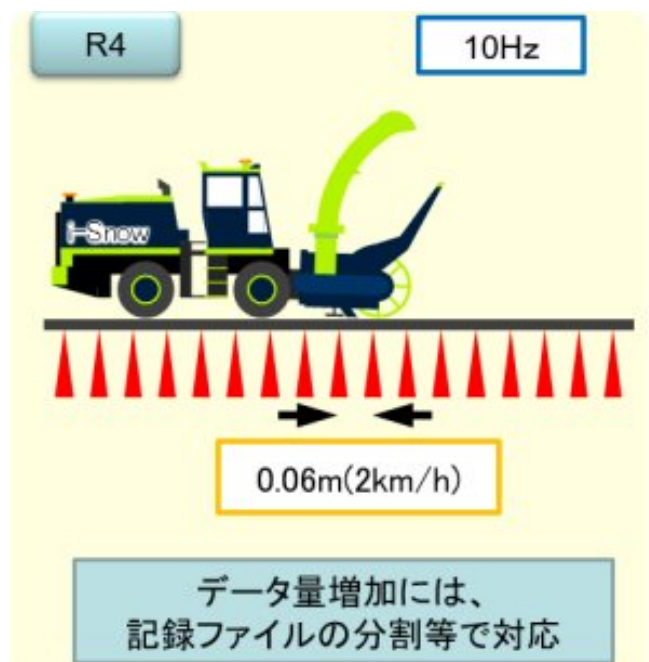
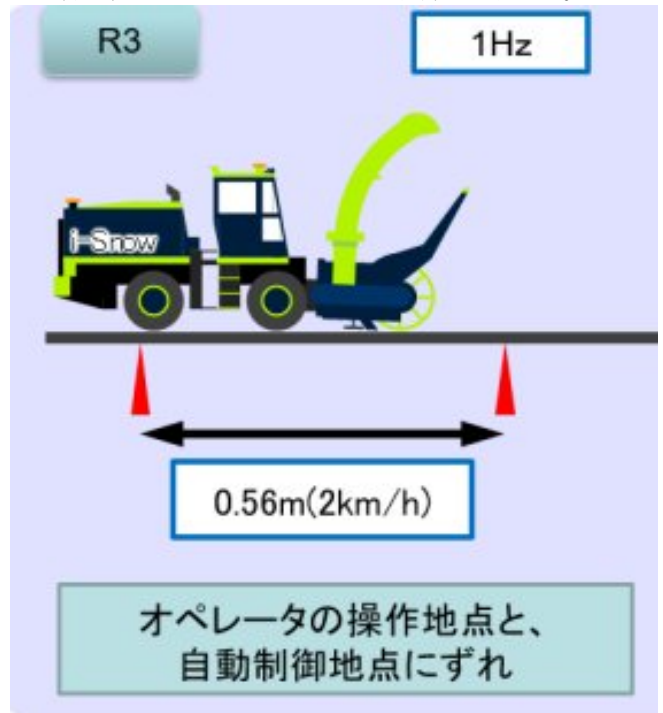
①シュート投雪自動制御改良（習い制御※）

前年度まで、データ取得間隔を1Hzとしていたが、ロータリ除雪車は作業速度が数km/hと極端に遅く、除雪オペレータの操作地点と自動制御地点にずれが見られたことから、データ取得間隔を1Hzから10Hzに改良し、習い制御データの取得とそのデータによる自動制御を行い、動作検証を行った。

データの取得が10Hzで記録されること、取得した習い制御データを用いた自動制御が問題なく動作することを

確認した。（図-7）

※習い制御とは、オペレータの実際の作業データを取得し、そのデータを使って自動制御を行うもの。



（図-7 データ取得間隔の改良）

②シュート投雪自動制御改良（機械操作の微調整機能）

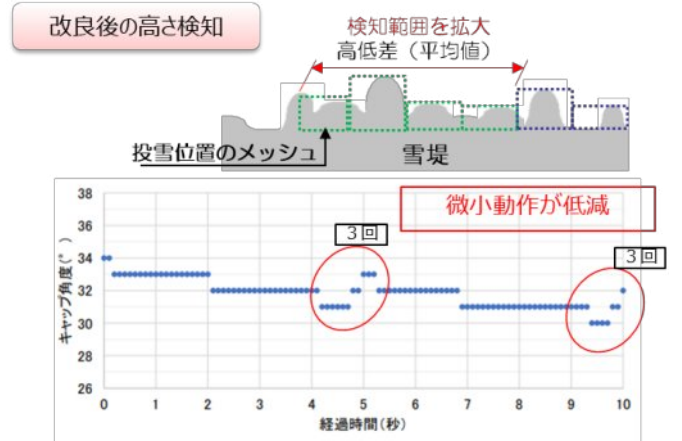
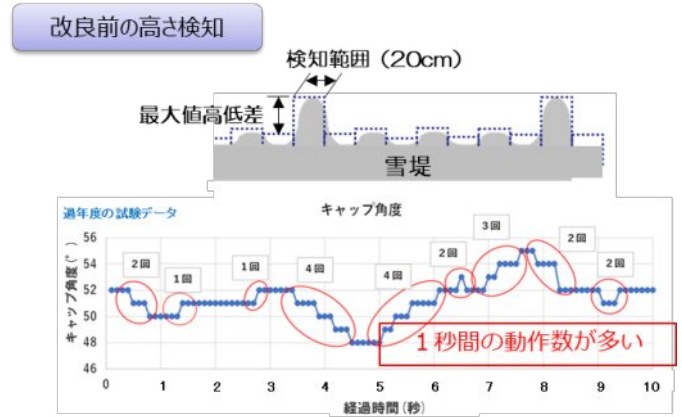
風向や雪質等の現地条件の変化により、自動制御中に投雪が道路付属物に接触する事例が見られたため、自動制御中においても、自動制御を解除せずに装置を微調整できる機能（ガイダンス装置にタッチキー機能を設置）を追加し、シュート等を微調整（補正）し投雪精度が向上することを確認した。（図-8）



(図-8 微調整機能の追加)

③シュート投雪自動制御改良 (雪堤高さ検知制御)

雪堤の頂上中央付近に自動制御で雪を積み上げるために、3D-LiDARで雪堤の高さを計測し投雪位置の制御を行う際に、シュートキャップが頻繁に動いてしまう事例が見られた。頻繁動作が長時間続くことにより、機械側に悪影響を及ぼす懸念があるため、計測メッシュと制御間隔を拡大し制御回数を抑制する改良を行い、頻繁動作が少なくなった事を確認した。(図-9)



(図-9 雪堤高さ検知制御の改良)

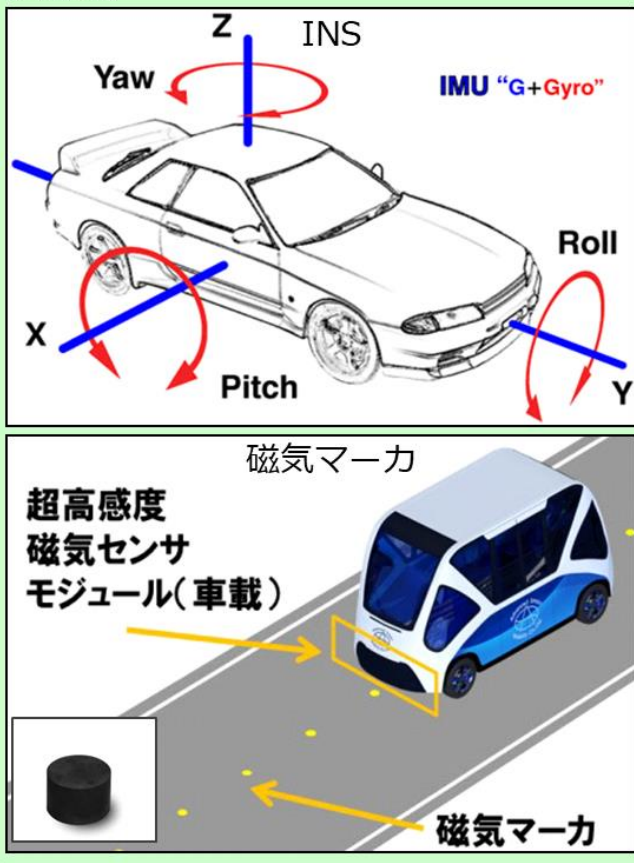
④みちびき不感地帯対策

ロータリ除雪車の自動制御を行う際に、準天頂衛星システム(みちびき)より車両の位置情報を取得しているが、トンネルや覆道、南側の急斜面、道路に覆いかぶさる樹木などにより、位置情報の受信状況が悪くなる場合があるが、そのような場合でも車両の位置を把握できるように検討を行った。

みちびきの受信状況が悪くてもしばらくは、INS(車両慣性航行システム)により位置情報を補完することが可能であるが、さらに走行を続けると位置情報の精度が悪くなるため、磁気マーカとRFIDを組み合わせたシステムによる位置情報の補完方法を検討した。(図-10)

みちびき不感地帯対策

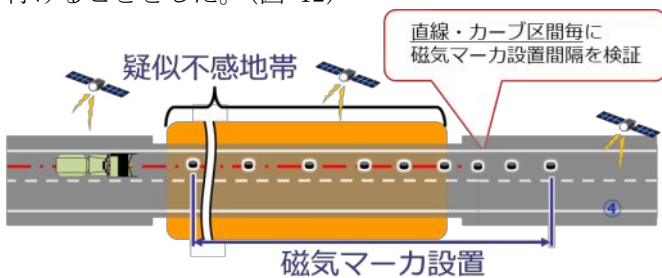
INS（車両慣性航法システム）、磁気マーカシステム等による精度検証



(図-10 みちびき不感地帯対策)

試験は、一般国道 38 号狩勝峠の直線区間やカーブ区間に、磁気マーカ及び R F I D を設置し検知状況の検証を行った。(図-11)

車両側のアンテナは、除雪作業時の影響を考慮し設置高さを極力高い位置とし、路面から 240mm の位置に取り付けることとした。(図-12)



(図-11 磁気マーカ及び R F I D 設置状況)



(図-12 車両側のアンテナ設置状況)

磁気マーカについては 9 割ほど検知できていたが、R F I D の検知率は 2 割～4 割と少なく、車両位置情報の補完作業には至らなかった。検知率が低かった原因は、アンテナの設置高さによるものと考えられるため、今後、適正な設置高さの検討が必要と考える。

3. まとめ

令和 4 年度までの実証実験で、自動制御の改良等を進め、一定の精度で除雪装置が動作することが確認できた。

令和 5 年度は除雪装置自動制御付ロータリ除雪車の実働配備を進め、様々な現場状況での適用性の検証や課題検討を行うほか、引き続きシュート投雪自動制御改良（車両停車時の挙動対策やブロワ装置の走行制御機能追加）、みちびき不感地帯対策について検討するとともに、自動操作対象機械拡大の検討（除雪トラック、小形除雪車）を行っていく。

また、実運用時に必要不可欠となるアフターサービスやメンテナンス体制の構築・除雪装置自動化導入マニュアルの策定等を進め、除雪現場の省力化による生産性・安全性の向上に向け、除雪装置自動化の取組を推進していく。

除雪作業の遠隔操作における車両・作業内容別の適用性検討

高橋 亮介* 1、市井 渡* 2、柏原 篤* 3、岡本 拓* 1

1. 開発概要とこれまでの開発

東日本高速道路(株)北海道支社では、働き方改革を見据えた雪氷対策作業の省力化・効率化ならびに労働環境向上を目的に、除雪作業の遠隔操作の研究と開発を行っている。

遠隔操作のしくみは、操作卓(操縦席)から通信回線により、離れたところにある除雪車に取り付けた装置に操作が連動して除雪車が稼働するものである。試験のイメージとして、令和3年に実施した状況を図1に示す。現場の映像については、除雪車に設置したカメラや、除雪車の周辺に設置して除雪車を俯瞰できるカメラの映像が操作卓のディスプレイに伝送される。

本格的な開発を始める前の初期段階として、令和3年の冬から春にかけて同一敷地内で100m程度の距離で除雪車を操作する2回の実証実験を行った。2回の実験では共通して、操作卓はコックピット型のもを使用し、バックホウの操縦席に人型のロボットを座らせてロボットの手の部分に操作を連動させた。

1回目の実証実験は、令和3年2月(1週間程度)に、道央自動車道の輪厚パーキングエリア敷地内に操作卓を配置し、併設のヘリポートでバックホウの基本的な走行や排土板操作を行った。

2回目の実証実験は、令和3年4月(2週間程度)に、江別西インターチェンジ付近の雪捨場(以下、江別西雪捨場)で実施した。この実験では、バックホウで雪山の上から日光や雨による雪融けを促進させるための溝を1日1本掘る作業を行い、最長で65m/日の作業を行うことができた。運用面では、操作卓や除雪車に設置した装置の起動と終了方法を事前に説明しておくことによりオペレーター自身で1日の作業を完結させることができた。

2回の実験の成功を機に、遠隔除雪作業の本格的な開発に取り掛かることを決めた。

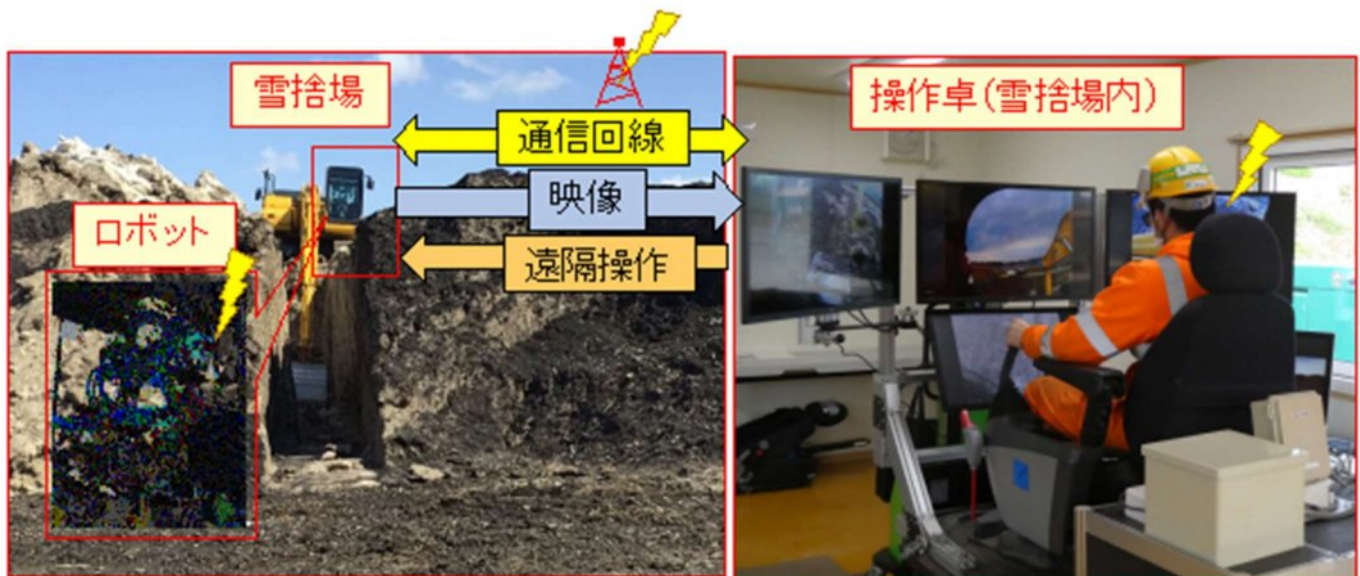


図1 遠隔操作のしくみ(令和3年4月の江別西雪捨場での実証実験)

* 1 東日本高速道路(株)北海道支社 技術部 技術企画課、* 2 ネクスコ・メンテナンス北海道(株) 工務部 工務課

* 3 ネクスコ・メンテナンス北海道(株) 札幌事業所

2. 本開発の内容

2.1 本開発の実証試験概要

本格的な実務への運用を目指した開発として、令和4年と令和5年の2回の雪氷期間において操作卓を札幌インターチェンジの敷地内に設置し、江別西雪捨場（遠隔操作距離6km）と札幌自動車道金山パーキングエリアに併設された雪捨場（以下、金山PA雪捨場、遠隔操作距離26km）に向けたバックホウとブルドーザーを使った遠隔操作の実証実験を行った（図2）。

なお、令和4年11月末に札幌インターチェンジ敷地内に雪氷センターが完成したため、令和5年の開発では操作卓を当該雪氷センター内に設置している。

令和4年は4月にバックホウを用いて積み上げられた雪山を崩す作業を、令和5年は2月からブルドーザーを使用して雪山を均す作業をそれぞれ試行し、遠隔操作に適した除雪作業の内容を検討した。

また、令和4年からは、除雪車に乗せる装置を直接操縦桿に連動させることにより、人型のロボットを座らせる必要を無くし、座席を空席とした。これにより、1台の除雪車両で従来どおりオペレーターが直接乗車して作業を行うことと、遠隔操作を行うことの双方が可能となった。

この装置はメーカーで開発した既製品であり、既に建設作業等でも使用実績のあるものである。しかしながら操縦桿への接続方法や治具は車種ごとに異なるため、使用する車両ごとに寸法等を調査計測して治具等の制作や取付け等の事前準備は必要である。

振動シートの操作と除雪車の動きが互いに連動するしくみを車両別に図3に示す。振動シートについては令和3年の開発のときに除雪車の振動が感じられると良いという意見があったため、操作卓の下部にサスペンションを設けて雪山の傾斜が分かるようにしている。

映像については操作卓に6画面のモニタを設けて、車載カメラによる車両周辺や車内の映像に加えて、車外からスマートフォンで除雪車両を撮影した俯瞰映像も映して遠隔操作に役立てている。

2か所の作業の切替えについては、令和4年は操作卓を2卓用意していたが、令和5年はタッチパネルによって2か所の操作の切替えが簡易にできるようにしており、これは他に類を見ない先進的な機能である

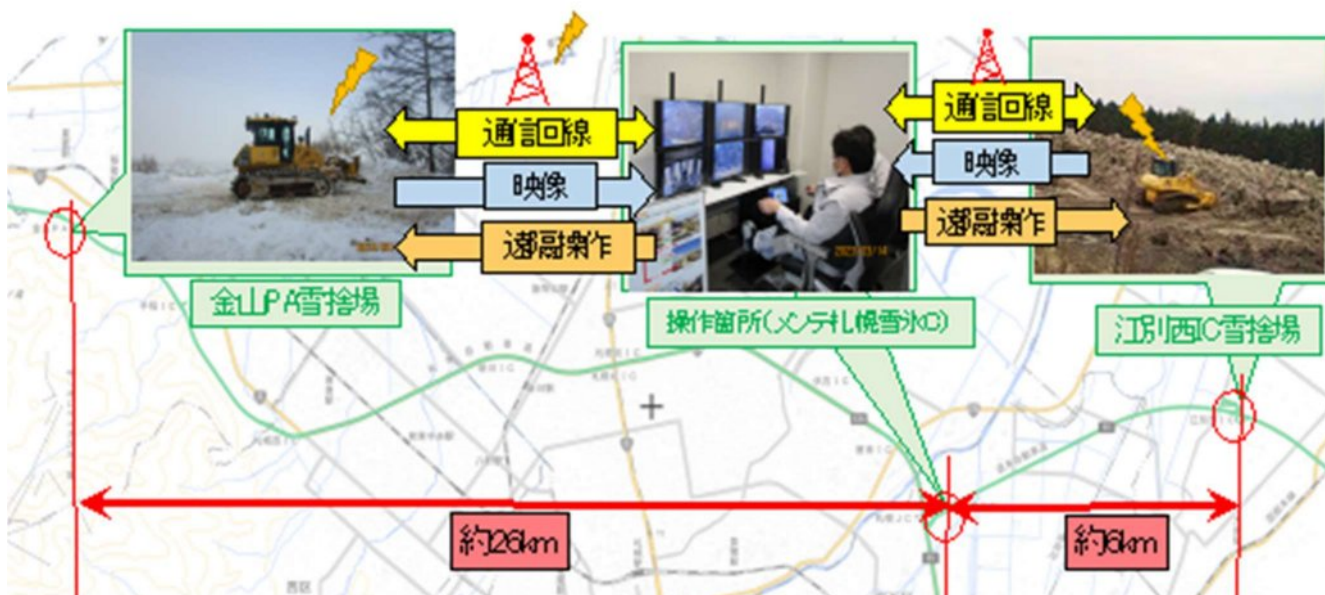


図2 操作卓と遠隔操作車両の配置イメージ（令和4年以降）

2.2 開発結果

2年間の開発を通して、令和4年のバックホウ、令和5年のブルドーザーともに基本的な走行、操作については行うことができることを確認した。特にバックホウにおいては、江別西雪捨場で1か月に16,000m³程度の掘削や金山雪捨場での溝掘りなどができ、実務に大いに活用できることを確認した。ブルドーザーについては、雪山の下のほうでの整地作業には使用できることを確認できたものも、雪山の斜路を作りながら雪を積み上げていくような本来雪捨場で期待される作業に活用するには課題が残った。除雪作業状況を図4に示す。

通信状況については、バックホウについては距離を延長させても遠隔操作が可能であることが確認できた。ブルドーザーでは、周囲が開けている江別西雪捨場では問題なく通信できたが、手稲山の山麓部にある金山雪捨場

は斜面沿いにあるため、通信の負荷がかかりやすく、映像が一部届かないという課題が見られた。

視野については、バックホウでは雪山崩しや溝掘りといった比較的同じ方向を向いて作業を続けることが多いため、ディスプレイの画面で充足するが、ブルドーザーでは雪山の上を様々な方向を向き、周囲の他の車両に気を配ることも多いため、オペレーターからは視野が少なく不安があるという声もあった。

遠隔操作と従来どおりオペレーターが乗車して行う作業の切替えについては、バックホウでは治具の固定開放が不要であるが、ブルドーザーでは10か所程度の固定開放が必要となり、やや作業が煩雑になることもわかった。

これらのことから、現時点においてはバックホウ作業の遠隔操作が、より運用しやすいことが明らかになった。



図3 操作卓と除雪車の装置が連動するしくみ

3. 今後の展望

これまでの開発を経て、次冬期以降の開発や運用において期待される作業としては、これまで行ってきたバックホウによる春期における雪捨場での雪山崩しや溝掘りを引き続き行うことや、休憩施設周辺の雪底等の除去などに活用したいという声が現場から出ている。次の雪氷シーズンに向けて関係者と十分な議論を行って遠隔操作を除雪作業に役立てていきたい。



図4 遠隔操作による除雪作業状況
(上) バックホウ (令和4年)
(下) ブルドーザー (令和5年)

LiDAR活用による除排雪業務効率化と生産性向上のチャレンジ ～降雪地でのモノづくり最前線を快適にする～

歳桃勇樹*1、黄瀬雅巳*1、白井紀之*2

1. はじめに

異常気象が多発する昨今では記録的大雪や交通機関が麻痺するような現象に遭遇しやすい状況である。そうした中で人口減少及び生産労働人口減少により、世界的にも豪雪都市と言われる札幌市において、今までの当たり前が通用しなくなっている事を強く感じている。

こうした背景の中、ICT技術の導入で高精度となった機器を活用することにより、冬期の除排雪作業における省人化や施工ステップ改善による安全性の向上および生産性向上へ、チャレンジする取組を展開する事は必然であり、冬期除排雪作業での人力による計測など、作業スピードが向上しない作業については、従前の取組の見直しが必要であると考えた。

そこで、札幌市近郊での冬期の除排雪作業において、iPad及びiPhoneを用いてLiDAR機能（Light Detection And Ranging：光を用いたリモートセンシング技術で、レーザー光の反射を利用して、物や地形の距離を読み取ることが可能）を活用し、施工範囲や積雪量算出などを行い、作業の安全性向上および、効率化と生産性向上に繋がった継続取組事例を紹介する。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

○工事内容

夏期(道路清掃工・道路除草工・応急復旧処理工他)
冬期(道路除雪工・運搬排雪工・人力除雪他)

○工事場所

R231号 札幌市北区北34条～石狩市八幡町
KP= 0.032 ～ KP=19.309
R337号 当別町蕨岱～生振3線
KP=69.894 ～ KP=85.000
石狩市新港南2～札幌市手稲山口(小樽市界)
KP=87.141 ～ KP=99.557

※全体図は図 1 参照

○工期等

工 期 令和4年4月1日～令和5年3月31日
発注者 国土交通省 北海道開発局
札幌開発建設部 札幌道路事務所
受注者 一二三北路 株式会社



図 1 全体図

* 1 北海道開発局 札幌開発建設部 札幌道路事務所、* 2 一二三北路(株) 維持工事部

3. 施工上の課題

冬期において、除雪により路肩などに堆積した雪を排雪する際に、堆雪量確認（写真1）やダンプトラックの積載量確認を行う（排雪量1,000m³につき1回の検量を行っている）。従前は人力で検尺などを行い、堆雪量確認やダンプトラックの積載量を算出する方法であったが、一定の人員確保のほか、路上や高所作業が発生するため、安全性が低くなる場合があった。



写真1 堆雪量確認（人力検尺）状況（従前）

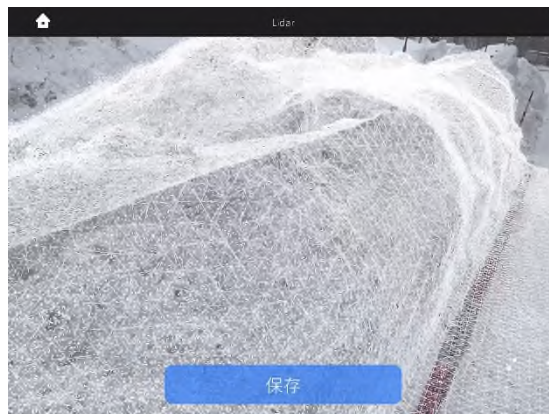


写真2 点群データ採取状況

4. ICT機器を使用した施工

こうした課題から、堆雪ボリューム算出などICT機器を活用し、降雪期におけるリスクを回避しながら生産性向上に関する取組について、以下の技術を活用してチャレンジ施工を行った。

- 4.1 LiDAR機能活用による点群データ取得
- 4.2 点群データ活用による堆雪量の算出
- 4.3 ダンプ積載管理へのチャレンジ

4.1 LiDAR機能活用による点群データ取得

従前は人力で検尺し算出していた堆雪量について、省人化や安全性向上の観点から、iPhone13Proに搭載されたLiDARを活用し、点群データを取得した。

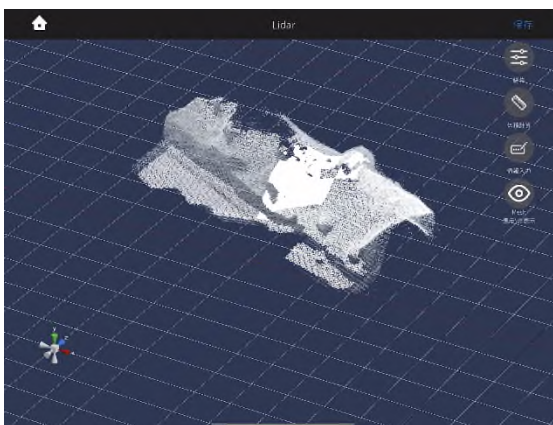


図2 堆雪箇所点群データ

LiDARで取得した点群データは、今回は体積算出を行うため3次元での解析を実施し数量算出を行った結果、高精度に数量算出できる事が確認できた。（図3）



図3 3次元解析による数量算出結果

点群データを活用して堆雪量を算出する事が可能となった結果、従前に比べ作業人員が約80%削減された。さらに、取りまとめ作業においても、2.5時間の作業時間削減が見込まれた。

従前			
工程	作業時間	人員数	合計時間
堆積量の計測	30分	5名	150分/計測地点あたり

↓

NorthCan（3次元点群処理ソフト）活用

工程	作業時間	人員数	合計時間
堆積量の計測	3分	1名	3分/計測地点あたり

表 1 路肩堆雪量算出における作業時間

以上から、とりまとめを含めた生産性向上による省人化および、現場作業の安全性向上につながる事が確認できた。

4.3 ダンプ積載管理へのチャレンジ

前述4.1及び4.2の取組活用により、生産性向上などが実現されたことから、排雪時のダンプ積載量確認にも適用し、施工ロスの減少へ向けたチャレンジ施工を行った。

従前では4名程度がダンプトラックの荷台にて検尺を行い、積載量を算出していた。（写真3）今回は1名がiPhone13Proを導入してLiDAR機能活用にて点群データを取得し、積載量を算出した。（写真4）

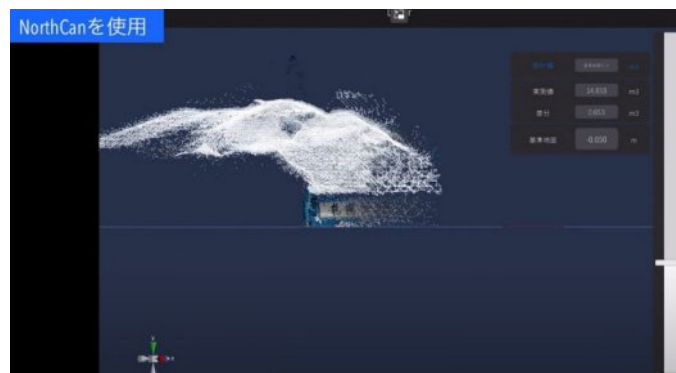


写真3 積載量確認状況（従前）



写真4 積載量確認状況（チャレンジ施工）

今回活用したLiDAR機能の精度確認をするために、取得した点群データの検証を行った。その結果、ダンプトラック積載量が概ね14㎡である事が確認できた。（図4）



設計値	基準体積入力	m3
実測値	14.653	m3
差分	0.653	m3
基準地面	-0.050	m

図6 点群データ検証積載量確認

また、従前に比べ作業人員が80%ほど削減されるとともに、安全性の向上が見込まれる。また、取りまとめ作業においても2.5時間の削減が見込まれた。

表 1 ダンプ積載量算出における作業時間

従前			
工程	作業時間	人員数	合計時間
ダンプ積載量の計測	30分	5名	150分/1台あたり

↓

NorthCan（3次元点群処理ソフト）活用

工程	作業時間	人員数	合計時間
ダンプ積載量の計測	3分	1名	3分/1台あたり

5. 施工上の留意点

5.1 作業条件

当該施工時は昼間であったが、夜間施工においても同様の結果を得ることができるか、施工精度の検証が必要である。また、降雪時においても同様の精度を確保できるかの検証も必要になる。

また、ダンプトラックの積載量確認について、今回はダンプトラックの荷台に乗って確認を行ったが、さらなる安全性向上に向けて、定点カメラ等を活用することで荷台に乗らずに確認できる手法を検討中である。

6. まとめ

LiDAR機能を用いた堆雪量算出を行った結果、従前と比べて約2.5時間の省力化が図られた。また、路上や高所での作業時間が短縮され、安全性の向上にも寄与することができた。

7. 今後の活用効果について

ICT機器の進化に伴い、高い精度で現場活用できる事が確認できた。また、アプリケーション活用により従前の施工方法や品質管理の改善に結びつく事が考えられる。

さらに、全体的に計測手間削減で省人化が実現し、施工効率と安全性の向上が見込めた他に、電子データを作業所内外で共有する事で、手戻りの無い円滑な施工が実現できる事を確認した。

現代社会のスマホ所有率向上と、電子機器の機能（精度）向上に伴い、AIや5Gなどのデジタル技術を活用することで、DX（デジタルトランスフォーメーション）の中で施工プロセス全体が変わる、新たなるツールの創出の一助になっていくと考える。

このように、建設DXを活用する事により、関係者の生産性が向上し、近江商人の活動理念である「売り手よし（受注者）・買い手よし（発注者）・世間よし（地域住民）」の、いわゆる「三方良し」の精神に繋がり、公共工事を通じて、三方に利益をもたらす可能性が高いと考えられる。

8. おわりに

異常気象発生が当たり前になりつつある昨今では、こうした状況下においても平常を保つことが重要であり、こうした技術の活用で高効率かつ無事故・無災害で完成する事が考えられる。これらは、ICT活用の中で、何をどのように使うかというようなアイデアの創出となるアプローチが非常に大切であると感じた。

そうした活動から、工事全体が効率よく円滑に進み、さらに数量算出などの手間削減により施工ロスの減少にも繋がったと考えると共に、安全性向上及び省人化と生産性向上に大きく貢献できるツールとして考える。

最後に、技術提供を頂いた株式会社ネクステラスの皆様へ感謝いたします。

ICT・GISサービスを用いた冬期道路管理 ～皆で知識ゼロから始めるICT活用～

舟見 群章*1

1. はじめに

人口減少と少子高齢化の急速な進展に伴って生産年齢人口が減少する中、建設業において技術者の確保が困難となっており、建設産業の担い手確保・育成に向けて、建設業等の働き方改革の実現は急務となっている。弊社、道路維持工事においても、作業員の減少・高齢化が問題となっており、本工事ではICT・GISツールを活用した冬期道路管理の生産性向上の取り組みを行っている。

本論文では本工事で実践している取り組み事例を紹介する。

2. 皆で知識ゼロから始めるICT活用

作業従事者の皆が知識の有無にかかわらず始められるICT・GISを用いた道路維持管理を行うにあたり、道路維持管理における多種多様で、かつ膨大な情報を時や場所を問わず共有し、閲覧を可能とする手段を模索した。

「必要な時に、必要な情報を、より簡単に」をテーマに試行を重ねた結果、現在では普及率が9割を超えたスマートフォンを使用し、常用率が高い大手インターネットサービス会社が提供するウェブサイト作成ツール・クラウドストレージサービス・ウェブマッピングアプリケーションを採用し道路管理情報の共有手段とした。

一般に馴染み深いICT・GISサービスやアプリケーションを採用することで、隔てなく、皆が容易にアプリケーションを操作することができ、従来ではPC等で扱っていたICT技術を作業現場で手軽に活用した道路維持管理が可能となったため、情報伝達・情報共有の簡潔化、生産性や作業従事者技術の向上、カーボンニュートラルの促進に繋がりました。「誰もが・いつでも・何処でも・マニュアル無しで・簡単に」そして、なによりも楽しくICT・GIS技術を活用することで多様性を有した、より高度な道路維持管理を実現した。



図-1 ICT活用イメージ

3. 道路情報の共有・閲覧手順

(1) 共有手順

閲覧者各々の作業用アカウントを作成し、情報管理者が共有権限の設定を行うことで権限を付与した情報の共有が可能となる。

なお、共有権限は各々の情報で個別に付与することが可能で、関係者のみに限定公開でき、権限の付与されていないユーザーはファイルにはアクセス不可能である。

(2) 閲覧手順

閲覧者がICT・GISツールに登録したユーザーアカウントでログインすることで必要に応じた道路情報が閲覧可能。

また、教育の場等で作業従事者が使用する携帯端末のトップ画面にアプリケーションのショートカットアイコンを熟練者と作成しておくことで、情報閲覧手順を簡略化し作業従事者のICT恐怖症の克服を図っている。

4. 働き方改革、生産性向上への取り組み

(1) ICTツールの活用

働き方改革、生産性向上への取り組みとして、冬期道路管理に関する全ての知識や情報（表-1）を時や場所を問わず閲覧可能とするため、弊社、維持工事作業所における独自のホームページ（図-2）を作成し、維持工事に関わる情報を集約、共有しており、「道路維持情報の引き出し」とし、あらゆる情報を閲覧する入口として活用している。

ホームページ（図-2）上では様々な冬期道路管理に関する多種多様な情報（表-1）を“閲覧権限を有する者”がタップするだけで時間や場所を問わずに閲覧でき、経験の浅い従事者でも必要な情報をホームページ（図-2）からいつでも引き出せるため、不慣れな作業においても十分なパフォーマンスを発揮でき、熟練者にも更なる技術の向上、過去作業の再確認が容易に行える。

また、冬期の附属物管理においては、過年度の定期巡回工や調査作業で得た附属物情報や点検データをクラウドサービスに蓄積、分類分けしてデータベースとして活用しており、ホームページ（図-2）に附属物データベースの入口を作ることで、雪で埋まってしまった附属物位置の特定や附属物情報を容易に閲覧可能で、現在では弊社維持工事において必須アイテムとして定着している。

*1 株式会社 玉川組



図-2 ホームページ画像

路線情報
道路カメラ
維持工事事務所、作業・行事予定表
道路事務所・維持工事事務所非常時当番連絡表
冬期道路維持管理情報
工事配番表
実施作業フォトアルバム
舗装欠損箇所報告
道路附属物情報
連絡体制表
維持工事作業手順
写真管理手順
書類作成手順
維持台帳図・その他図面
作業状況動画・機械説明動画・関連動画
附属物、その他施設・調査状況・植樹管理マップ
管内距離標マップ
作業実施基準
その他資料
気象情報等の外部リンク

表-1 ホームページ掲載情報

(2) GISの活用

大手インターネットサービス会社が提供するウェブマッピングプラットフォームのコンシューマ向け地図アプリケーションに日々の道路維持作業で判明した道路情報、附属物情報及び点検結果情報、調査依頼情報など様々な道路情報の位置データ及び状況データを登録し(GIS的な活用)地図上に登録データを反映させることにより、道路情報の“見える化”を行い、作成したマップをホームページ上やSNSアプリケーションにリアルタイムで情報共有することによりICT・クラウド型GISサービスを活用した効果的な道路維持管理を行ってきた。

また、日常ツールを使用し簡単に道路情報を見ることができると、利用者はICT技術を活用している感覚が薄く、データを用いた作業に馴染みのない従事者でもICTに対しての苦手意識なく利用している。

5. 冬期の道路管理におけるICT・GISの活用事例

(1) 発注者との情報共有

情報共有ツールとして、発注者が閲覧容易な国産のSNSアプリを採用し、日々の業務連絡、発注者からの作業依頼・現場状況写真及び動画・道路情報マップ等をグループ参加メンバー全員で即時共有し、冬期の道路管理で活用している。

突発的な事象発生時には大手インターネットサービス会社が提供しているクラウドサービスの写真管理アプリケーションにて共有アルバム(図-3)を作成し、情報共有を行っており、共有アルバムにはテキスト入力が可能のため、作業種別や時系列ごとに写真を分類でき、アルバム編集作業では位置情報や動画、調査結果マイマップやクラウドサービスの共有フォルダURL等が掲載可能で、より明確に情報を伝達することができる。



図-3 共有写真アルバム

(2) 道路距離標マップを活用した作業報告(図-4)

冬期作業において道路距離標マップ(図-4)をモバイル端末で共有することにより、路線距離標管理(キロポスト)に不馴れなオペレーターにも作業範囲や事象発生箇所を路線距離標より作業報告できる。

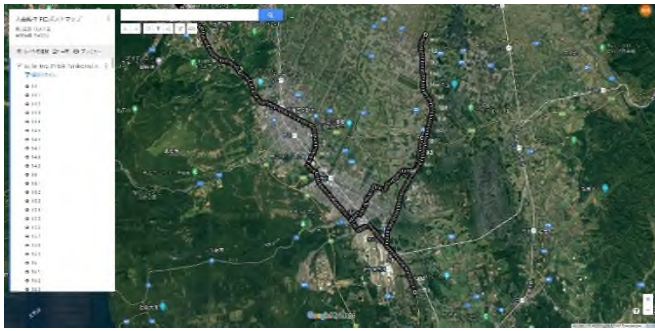


図-4 キロポストマップ

(3) 維持台帳図マップによる境界把握 (図-5)

冬期道路で発生しやすいポットホール補修作業にて交差点内など他工区との境界が積雪で判別しづらい際などは維持台帳図マップ (図-5) を活用し、現在位置と比較して境界線を見定めることができ、作業範囲の特定ができる。



図-5 維持台帳図マップ

(4) 除雪作業における指示事項・注意喚起

除雪作業における注意事項・指示事項を地図上に“見える化”してオペレーターへ伝達し、いつでも閲覧可能にしておくことで、オペレーターは視覚的に注意喚起箇所・指示事項箇所を認識できるため、より、指示内容の理解を深めることができる。

(5) 吹き溜まり危険箇所共有

事前に吹き溜まりの発生しやすい箇所を共有しておくことで、気象状況に応じた重点除雪箇所としての除雪作業手順・除雪範囲が確認でき、積雪前の道路状況確認をしながらの明確な指示が行える。

また、各箇所に過去発生事例の共有フォトアルバムのURLを掲載し、地図上で過去の事例から気象条件に合わせた今後の除雪体制を検討できる。

(6) 集水樹マップによる水切り作業 (図-6)

あらかじめ、排水樹位置、滞水危険箇所を地図上に表示しておくことで冬期間、雪氷で隠れてしまった集水樹を現在位置と比較し的確に探し出すことができ、滞水危険箇所は巡回員やオペレーターと情報共有しておくことで事前の滞水対策を行える。



図-6 集水樹マップ

(7) 除雪作業要望箇所の情報共有

過去の除雪作業に対する意見があった箇所を地図上で集約し、頂いた意見を反映したマップを作成して共有することにより、除雪業務における質の向上に繋げている。

(8) 道路カメラによる路面状況確認

冬期間のみ限定公開される道路カメラを閲覧できる入口をホームページ上に設置することで場所を選ばずに道路状況の把握ができ、迅速な降雪、凍結対応ができる。

(9) 除雪作業及び機械操作手順等説明 (図-7)

従前、除雪機械運転業務の技術伝承は機械を熟知したオペレーターに同乗して機械説明を受けるか、除雪機械取扱説明書や操作マニュアルを講読し、機械知識を得ていたが、現在では前記に述べた手法と共に、大手インターネットサービス会社が提供するオンライン動画共有プラットフォームのオンライン動画配信サービスアプリケーションを活用し、除雪機械説明、除雪機械操作マニュアル、除雪作業動作説明等を分類ごとに動画作成しホームページ上で共有することで、いつでも、どこでも、多様な作業状況や様々なニーズに合わせた除雪機械説明や作業の手順動画を閲覧できる環境を構築し、皆に有益と判断できる動画等を共有していくことで更なるスキルアップを目指している。



図-7 維持工事業所独自の限定公開動画コンテンツ

(10) 除雪体制図及び緊急時連絡体制図

除雪及び緊急時連絡体制情報をホームページ上に掲載することで、電話帳に未登録な相手や施設であっても携帯端末で掲載されている連絡先を直接タップすることで直接電話発信ができるようになっており、業務連絡や緊急連絡が滞りなく行えるよう備えている。

6. ICT・GISの活用における効果

(イ) スマートフォンで即時、冬期道路維持管理に必要な全ての情報やスキルを得ることができるため、作業従事者のスキルアップが図られ、担い手育成の教育時間短縮や作業コストの縮減につながり、生産性が格段に向上した。



図-9 教育時間減少グラフ

また、ホームページを公開して3年が経過し、令和5年10月現在、表示回数が2万5千回を超え、1日あたり15回以上閲覧されている。

アクセス数に起伏がなく一定に伸びているため、皆のICT活用の常用性が見受けられる。

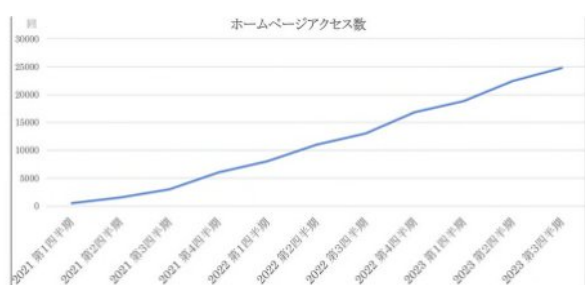


図-9 ホームページアクセス数推移グラフ

(ロ) 作業報告において必要な現在位置のキロポストをその場で共有マップにて確認可能なため、付近に添加されているキロポストの確認作業が不要となり、1日あたり移動距離削減量=0.6km移動時間≒6分・CO2排出量≒0.1tを削減し、作業効率も格段に向上した。

(ハ) 舗装欠損箇所や道路点検データの見える化により、損傷や変状が発生しやすい区間が明確になり、より効果的な維持メンテナンス計画を図れるようになった。

(ニ) 附属物点検結果をデータベース化して情報を蓄積し、一覧管理、共有することで冬季間に詳細確認が困難な附属物や施設でも過去データから分析と対策を講じ、維持管理の基礎情報とすることができる。

また、附属物情報を共有し直接的な確認作業が減少したため、1年間で移動距離削減量=877km・移動時間削減量=19時間・CO2削減排出量=0.1tが削減できた。

(ホ) 作業予定箇所、調査結果報告を“見える化”し共有することにより、現場確認作業の減少、移動時間の減少、作業効率の向上、ペーパーレス化が実現されており、

カーボンニュートラルやコスト削減に貢献している。

(ヘ) 伝達に必要な道路情報をクラウドサービスや地図上に反映させることで視覚的に情報を伝達可能なため、現場作業従事者や発注者、第三者へ道路情報を説明する際、より理解を得ることが可能となった。

(ト) データの取り扱いに慣れていない作業従事者でも日常ツールを活用した日々の作業の中で情報に触れる機会が多くなるため、自然とデータ恐怖症の克服が可能である。

7. まとめ

従来のGIS活用方法においてのマッピングデータは一般には扱わずらく、PC等スペックが高い端末が必要とされており、図面やデータの扱いは専門知識を有した技術者でなくては扱えないという固定概念があった。

しかし、今回の取り組みにあたり、誰もが手軽に操作しているスマートフォンで馴染みのあるICT・GISサービスアプリケーションを活用し、道路情報の“閲覧手順の簡素化・見える化・データの携帯化”の促進を実践することで現場作業でのICT技術の常用化が図られ、今までにない新たな手法での道路維持管理が可能となっている。

ICT・GISサービスを用いて様々な情報を共有することにより「容易で、かつ効果的」な冬季道路維持管理スキルのサポートシステムと成り得ており、地域情報を有していない従事者や経験の浅い従事者でも十分なパフォーマンスを発揮できる。また、多様なデータを蓄積することにより、道路履歴、作業手順の引継ぎ事項が容易に継承でき、新しい担い手育成に関しても強力なサポートシステムになりうると確信している。

参考文献

- 1) Google (Google サイト、Googleマイマップ、Google Drive、Googleフォト、Gmail、YouTube) , <https://about.google/products/>
- 2) 第65回(2021年度)北海道開発技術研究発表会 ICT・クラウドサービスを用いた道路維持管理～道路附属物のID統一から創める年維持技術者の働き方改革の志向～
- 3) 第66回(2022年度)北海道開発技術研究発表会 ICT・GISサービスを用いた冬季道路管理～皆で知識ゼロから始めるICT活用～

【i-Construction を用いた冬季除雪作業における生産性向上の取組】

- 留萌市における維持除雪作業の事例 -

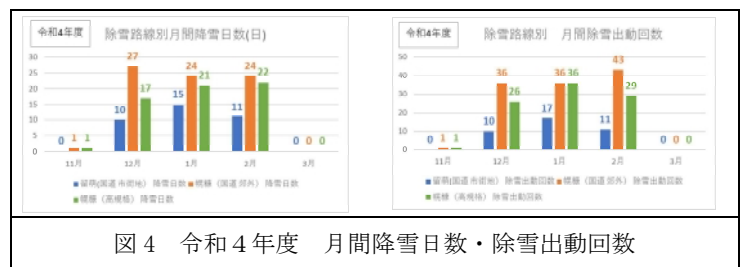
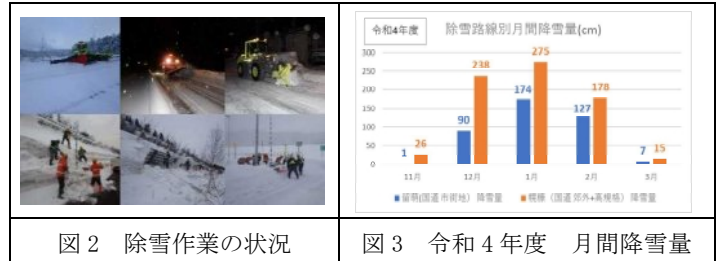
岡田 大雅*1 中岡 大介*1 漆館 直*2

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の生産性向上を目指す i-Construction と統合イノベーション戦略（H30.6.15 閣議決定）を受け、「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」が展開されている。令和4年度の上記プロジェクト、技術 I：「AI・IoT を始めとした新技術等を活用して土木または建築工事における施工の労働生産性の向上を図る技術」に採択された堀口組コンソーシアムの取組み「AI・IoT を活用した除雪作業の生産性向上」を、「深川留萌自動車道 留萌市 留萌道路維持除雪外一連工事」（図1 参照）において試行した。本編は、除雪作業における i-Construction の取組みとしての生産性改善効果と除雪作業の安全性対応方策について報告するものである。



業者にとっては肉体的、精神的負担が非常に大きい。以上の状況から当事務所においては除雪経費の削減、建設業では除雪作業の効率化が喫緊の課題と言える。



2. 現状分析

【除雪事業の課題】

道路交通確保に使用される代表的な道路除雪機械として、除雪ロータリ、除雪トラック、除雪グレーダ、除雪ドーザ、凍結防止剤散布車、小型除雪車がある。それらの除雪機械は操作に熟練が必要であり、高齢化とともに後継者不足が大きな課題になっている。将来の道路除雪体制を維持するためにも、除雪機械の操作容易化や安全配慮に加えて、作業者のメンタルヘルスへの対応が求められる。

【北海道留萌地方の現状】

北海道留萌地方は全国でも有数の豪雪地域で、地域の物流や医療搬送機能維持のための除雪作業（図2 参照）は、深夜の見回りから早朝にかけての除雪、昼夜の排雪作業と常態的な長時間作業にあり、最盛期には休日取得も難しい現状である。

令和4年度は年間降雪量が732cm、月間で最大275cmほど降り（図3 参照）、除雪出动回数も月間で最大43回（図4 参照）と1日2回（昼夜）の除雪出动もあることから作

3. 課題抽出と対策

現状分析と除雪業者へのヒアリングでは、以下の課題が確認された。

- ① 早朝2時からの雪見巡回の身体的負担
 - ② 30人に及ぶ除雪部隊の体制確保
 - ③ 排雪量を把握する際の人力測量の手間
 - ④ 熟練者と未熟練者の技能差による作業効率低下
- これらの課題に対し除雪作業の効率化、及び安全な職場環境の実現に向けて4つの除雪作業改善を試行した。

- (1) 遠隔臨場による雪見巡回の解消
- (2) デジタルツインによる除雪作業の省力化
- (3) 写真計測による排雪量算定手間の解消
- (4) メンタルヘルス対応による技能向上

4. 除雪作業改善の取組み

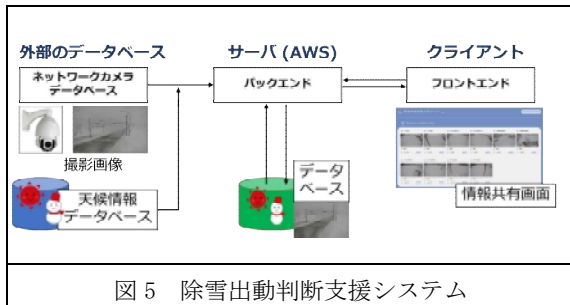
4.1 遠隔臨場による雪見巡回の解消

1) 除雪出动判断支援システム

遠隔からの見回りを可能とするため、市街地と郊外の除雪路線にそれぞれ12台のネットワークカメラと3台の

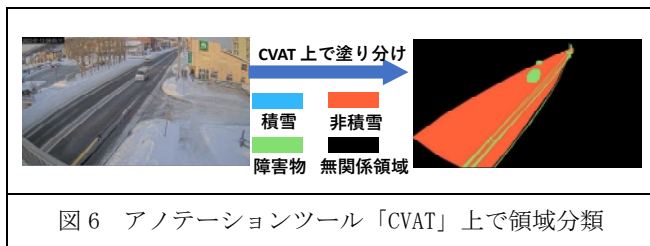
*1 北海道開発局留萌開発建設部留萌開発事務所道路課 *2 株式会社堀口組 DX 推進室

積雪深計で路面映像を取得するとともに、ウェザーニューースからの気象予測、現在・過去の気象データと実際の除雪出動判断データを集積し、深層学習を行う「除雪出動判断支援システム」（図 5 参照）を構築し、除雪情報を可視化・共有化した。



2) 深層学習を用いた積雪路面評価

雪見巡回で判断している積雪路面の画像解析結果から、深層学習を踏まえた積雪状況の予測を行った。深層学習をするうえで、収集映像 752 枚に対する積雪状況についてセマンティックセグメンテーションで特徴区分を行い、それぞれの映像をアノテーションツール（CVAT）上で領域分類した結果（図 6 参照）と推論結果による除雪出動判断の精度を検証した。



4. 2 デジタルツインによる除雪作業の省力化

1) デジタルツインによる時空間表現

デジタルツインの世界では、リアルタイムで現在の状況を反映できるだけでなく、過去に取得されたデジタル情報（例えば時系列に合った映像やセンサー情報）を蓄積し、それを 3 次元点群などの情報として GIS 上で再現することで高度な予測技術などが可能となる。

2) 3 次元データの取得

除雪重機作業の熟練運転者と未熟練者との技能差を解消するために、夏場の道路走行映像から 3 次元データ（点群）を再構築し、冬場の現実空間とのデジタルツインにより除雪作業の疑似体験ができる環境を創出している。3 次元モデルの再構築では、軽車両に 4 台のアクションカメラと 2 台のレーザーセンサを搭載（図 7 参照）して撮影した動画（連続撮影速度/秒速 120 フレームの 4K ビデオ）が活用できる写真計測手法^{[1][2][3]}を用いた。



3) 3 次元点群の重ね合わせ

写真計測で 3 次元点群化した仮想空間とレーザーセンサによる路面性状情報を整合させた。夏場の空間と、冬場の空間を重ね合わせ（図 8 参照）、除雪作業の VR（仮想空間）を利用したシミュレーション（図 9 参照）により除雪重機の操作などの技能向上を図った。



4) デジタルツインの試行効果

(1) 除雪ロータリ

従来の作業手順は、縁石の位置を確認できるように、一度薄く雪山上部を排雪した後、縁石まで雪山を排雪する 2 工程を要するのに対して、デジタルツインの活用により、一度で縁石付近まで排雪が可能になり 1 工程を削減できた。

(2) タイヤバックホウ

従来、作業員 2 名を要して既設構造物を確認しながらタイヤバックホウで雪山を排雪していたのに対し、デジタルツインでの確認作業により作業員が不要となり、タイヤバックホウの確認時間に要する待ち時間が解消でき

た。

4. 3 写真計測による排雪量算定手間の解消

1) 排雪量算定手間の解消

排雪作業における排雪量測定は、車載カメラ映像から再構築した夏場と冬場排雪前の点群を、自動位置合わせを行い重ね合わせ、その高さの差分を拾い出し算定した（図 10 参照）。なお、冬場においては、従来困難とされていた白色の雪の特徴点を捉えるために、コントラスト強調を試行することで 3 次元化を可能にし、5 人で 1 日かかっていた測量を 1 人で行えるようになり、省力化をすることができた。

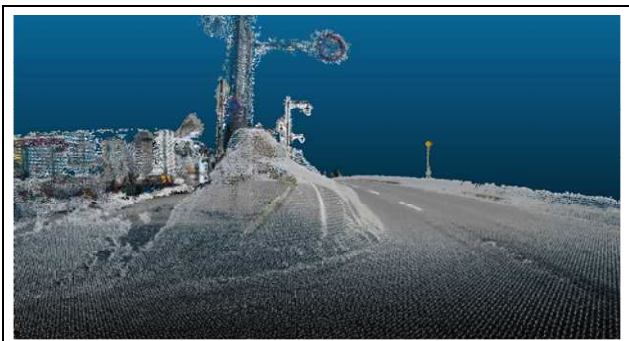


図 10 夏場と冬場排雪前点群位置の重ね合わせ

2) 排雪積載量の算定

排雪ダンプトラックの積載量測定は、ワンマンでの写真計測による実車と空車の 3 次元モデルから差分を求める手法で計測した。これにより従来現地にて 4 人で行われていた人力測量と荷台上での危険作業を解消できた（図 11 参照）。



図 11 ダンプ積載排雪量の算定

5. メンタルヘルス対応による技能向上

通信機能を有する生体センサー（Vitalgram®CT2）（図 12 参照）を用い、除雪運転者の熟練度の違いによる動作変化や心電、心拍などのバイタル変化を測定し、動作特性を数値化した。加えて建設業労働災害防止協会（以下建災防）が開発した「ヒヤリハット」の背後要因（作業負荷、心身の状態、コミュニケーション、働きがい等）とレジリエンス能力について分析する「新ヒヤリハット報告」を感性センサーとして活用し、遠隔臨場で除雪作業者のレジリエンス能力を評価し、除雪作業でのメンタルヘルスへの対応による作業効率効果を確認した。

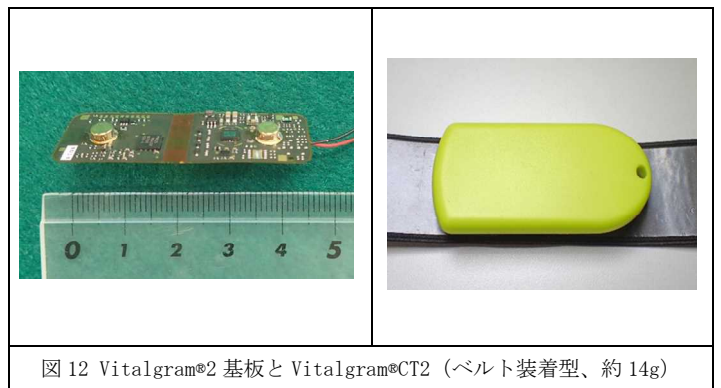


図 12 Vitalgram®2 基板と Vitalgram®CT2（ベルト装着型、約 14g）

5. 1 実験計画

実験では、除雪重機操作における停止作業（図 13 参照）に対して重機オペレータ〈4 名〉に生体センサーを取り付けて、オペレータの動作、心拍数、心拍変動などを測定し、作業動作の特徴と作業動作でのストレス傾向について計測した。

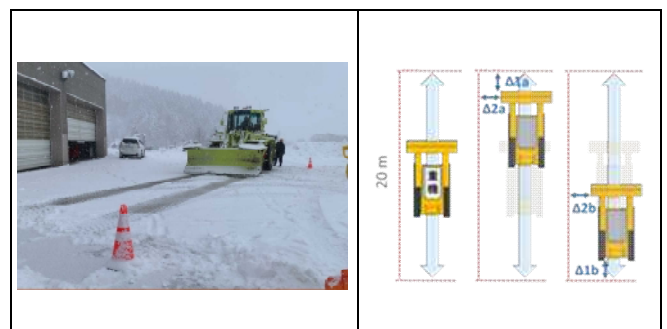


図 13 除雪技能実験と実験パターン

図 19 未熟練者の心拍変動 LF/HF

5. 2 生体センサー測定

1) 加速度

加速度においては、熟練者の場合、縦方向の動作として体を沈ませながら重機操作（図 14 参照）しているのに対して、未熟練者は沈ませる動作（図 15 参照）が確認されていない。

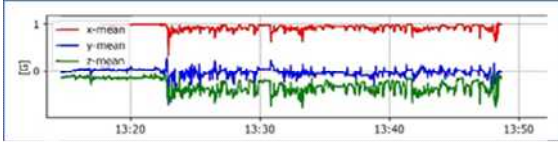


図 14 熟練者の加速度

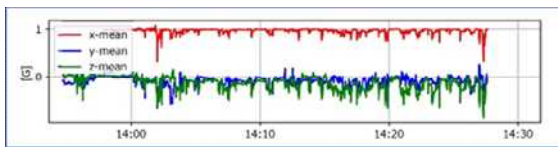


図 15 未熟練者の加速度

2) 心拍数

心拍数では、熟練者が 80（図 16 参照）を基準に変動しているのに対して未熟練者は 100（図 17 参照）を基準に変動している。

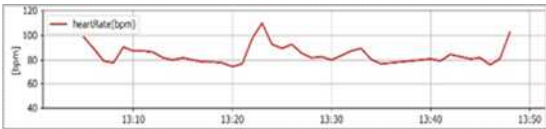


図 16 熟練者の心拍数

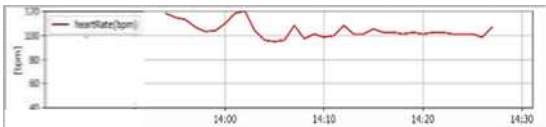


図 17 未熟練者の心拍数

3) 心拍変動 (LF/HF)

熟練者（図 18 参照）に比べて未熟練者の心拍変動（図 19 参照）が高く緊張状態が続くことが確認された。

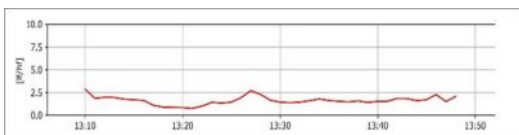
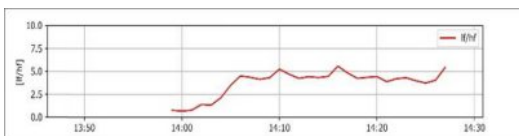


図 18 熟練者の心拍変動 LF/HF



5. 3 停止距離精度測定

重機操作における停止精度（表 1 参照）では、後方停止において熟練者の 20cm 程度の誤差に対して未熟練者が 60cm 程度の誤差と、熟練度による技能差が表れている。

表 1 停止線までの距離測定（停止誤差）(cm)

	前差 ($\Delta 1a$)	後差 ($\Delta 1b$)	後差 ($\Delta 1b$)	後横差 ($\Delta 2b$)
熟練者	0	20	11	5
	0	18	28	1
	0	15	24	1
平均	0	17.67	21.00	2.33
未熟練者	10	96	13	24
	3	42	35	33
	0	32	125	33
平均	4.33	56.67	57.67	26.67

5. 4 停止時間測定 (秒)

重機操作における停止作業にかかる時間を比較してみると、熟練者に比べて未熟練者が 2 割程度長くなるなど（図 20 参照）、精度と同様に技能差が表れている。

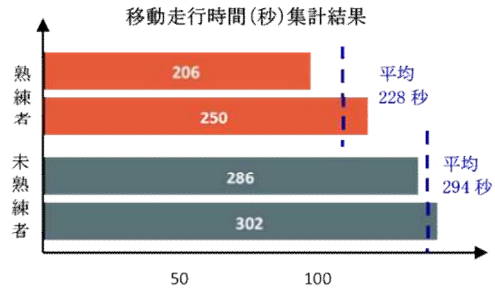


図 20 停止操作での操作時間

6. レジリエンス能力の評価

6. 1 新ヒヤリハット報告

建防災方式「新ヒヤリハット報告」（図 21 参照）は、「ヒヤリハット」を撲滅すべき「危険の芽」として捉えるだけでなく、「事故・災害に至らずリカバリーできた成功体験」でもありと位置付け、その背後要因（作業負荷、心身の状態、コミュニケーション、働きがい等）とともに、事故・災害に至らずリカバリーできた背景等を分析し、現場、職種単位で災害防止に必要なレジリエンス能力（人間力、現場力）を測定するものである。

除雪関係者のメンタル状態を把握することを目的に、

日々の除雪作業終了時に作業員30名を対象として、記録を行った。



図 21 新ヒヤリハット報告入力装置

6. 2 調査結果

新ヒヤリハット報告の記録結果を集計分析すると、以下のとおりとなった。

1) 職場環境評価

〈1〉全国平均との比較

職場環境においては、「仕事のコントロール（裁量度）」から「ワークエンゲージメント（WE；従業員のメンタル面での健康度）」までの項目で全国平均より良好であった（図 22 参照）。除雪職場の熱意や活力などのメンタル面での健康度が高いと考えられる。また、除雪作業の作業員のフォローアップが功を奏して、身体的負担でもある疲労感、抑うつ感、身体愁訴（違和感を口で表現すること）が少なく、作業員同士の負担削減風土が形成されていると推定される。

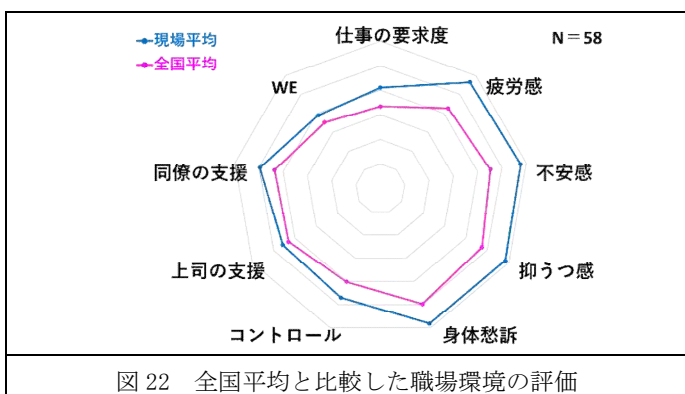


図 22 全国平均と比較した職場環境の評価

〈2〉職場内の経験年数別比較

経験年数別では、年数が上がるほど「仕事のコントロール（裁量度）」が高い傾向にあり、年配の作業員のモチベーションの高さが確認される。また「ワークエンゲージメント」の観点では、経験年数 20～30 年が最も高く、子供の教育など生活面での負担が大きい経験年数 10～20 年が相対的に低くなっていることが推察できる（図 23 参照）。

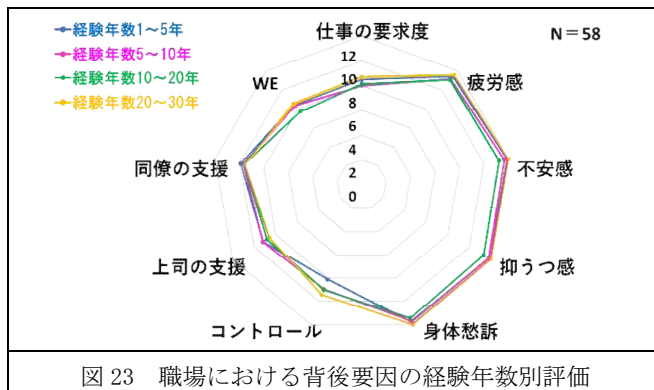


図 23 職場における背後要因の経験年数別評価

2) レジリエンス評価

〈1〉全国平均との比較

除雪の職場では、事故災害につながらなかったことを「偶然」と捉えるのではなく、理由があるとの認識をする集団特性が表れていた（図 24 参照）。

また「安全带等保護具」「警告ブザー」の外的要因に助けられたとの意識が弱く、「周囲に注意」「周囲からの声掛け」が徹底されており、職場のコミュニケーションの良好さが推察できる。総じて、除雪作業で困難な問題や危機的な状況に遭遇しても、組織として「回復力」「弾性（しなやかさ）」があり、立ち直りの速い集団と判断される。

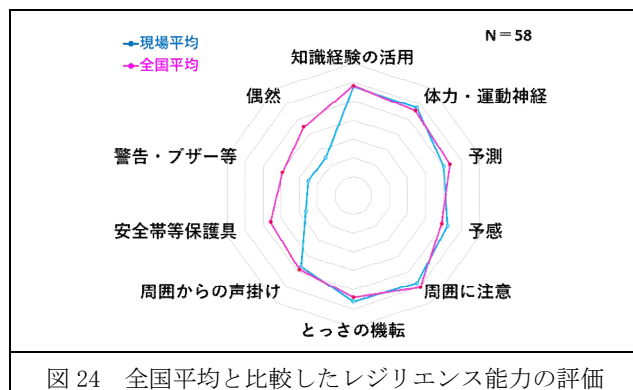
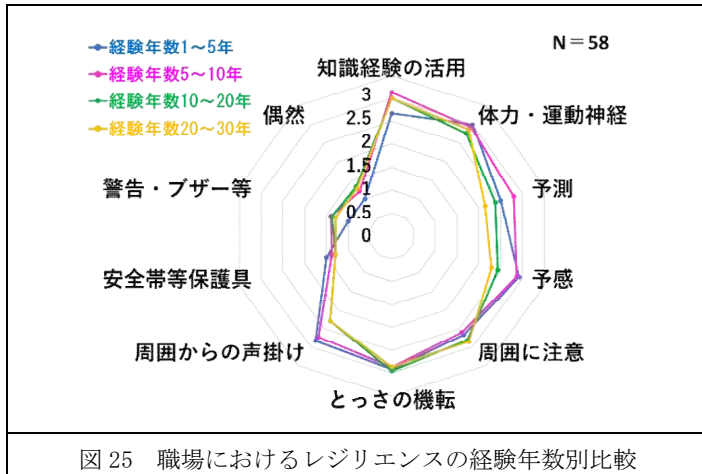


図 24 全国平均と比較したレジリエンス能力の評価

〈2〉職場内の経験年数別比較

経験年数 10～30 年の職員は「知識経験の活用」「周囲に注意」が高く、周囲に注意しながら、災害を回避するレジリエンス能力の高さが想像できる（図 25 参照）。

また、経験年数 1～5 年は「周囲からの声掛け」「予測」「予感」が高く、知識経験の活用が少なく、危険な場面では、仲間からの声掛けサポートで助けられているものと推察できる。



作業に従事しながら、使命感をもち、会社全体でモチベーションを高めている職場風土が確認された。また、職場の中で、経験年数別にそれぞれのレジリエンス能力の差異が分析され、経験年数によるリスクに対する対応能力の違いが確認された。

- ③ 除雪部隊の組織的なモチベーションの高さとコミュニケーションの良さは、未熟練者に対しては熟練者の技能伝承を可能にするものと考えられる。技能向上が実現すれば安全性とともに作業効率性が高まると推察され、未熟練者のストレス低減にも効果があると考察される。

7. 改善効果

7.1 生産性向上効果

除雪作業の業務分析から、改善項目を評価し AI/IOT の活用で効率化を図ることで除雪作業の負担が軽減されることが確認された。従来の測量作業と比べ、写真計測を活用したことで大幅な削減を可能にした（表 2 参照）。

表 2 改善効果

試行内容		削減効果 (一冬当り)	
		削減人工	削減率
(1)	遠隔臨場による雪見巡回	7.9	81%
(2)	デジタルツインと除雪シミュレーション	87.3	60%
(3)	写真計測による排雪量の把握	7.8	94%
	写真計測による積載量の把握	18.8	95%

7.2 レジリエンス能力向上効果

除雪作業で実施した新ヒヤリハット報告を活用したレジリエンス能力向上効果についてまとめた。

- ① 熟練者と未熟練者には、技能差が要因になって生産性と安全性において差異が表れていた。さらに、技能面で劣る未熟練者は、熟練者に比べ、除雪作業を通じて心拍数や心拍変動の高さから緊張状態が続くことが確認された。熟練者の運転動作や周囲の確認方法などを未熟練者が学ぶことで、作業効率の向上とともに安全性が高まることが期待される。
- ② 新ヒヤリハットからは「除雪作業」という高ストレス

8. まとめ

今回の試行により、雪国の宿命ともいえる除雪問題を取り上げ、AI や DX 化による作業改善とともに、働く人たちのメンタル面での特性を捉えてレジリエンス能力の向上を図ることで、総合的な除雪作業の効率化を実現した。

今後、本試行の成果を日常業務にも適用し、より実用性が高く、働く人の負担やストレスが少ない新しい働き方が実現できると期待する。

最後に、これらの成果は、(株)堀口組のコンソーシアムを構成する北海道大学金井理教授、山下倫央准教授をはじめ北海道産学官研究フォーラムや映像活用 CIM 研究会による産学官連携の協力があったからと確信される。協力いただいた関係者のみなさまには感謝の意を表します。

参考資料

[1] 金井 理、阿久津 啓、森谷 亮太、西川 充、漆館 直、須田 清隆：“スマートフォンとクラウドを活用した施工現場の効率的 3 次元写真計測システムの開発”、日本写真測量学会北海道支部第 38 回学術講演会要旨集、p25-34 (2020)

[2] 可児憲生、柳瀬ひろし、漆館直、須田清隆 “映像による遠隔臨場を活用した移動レスな施工環境の創造-遠隔臨場の実験的な取り組み-”、JACIC 情報 122 号、p82-86 (2020)

[3] 須田清隆、金井理 “新型コロナ禍での i-Construction と働き方改善-中小建設業でのリーマンマネジメントと労働改善試行-”、JACIC 情報 124 号、p10-16 (2021)

路面すべり推定AIによるすべり摩擦係数に応じた凍結防止剤の自動散布試験

大廣 智則*1, 金子 雅之*2, 齊田 光*1, 伊東 靖彦*1

1. はじめに

冬期間、積雪寒冷地域では、凍結路面の発生を抑制するための凍結防止剤散布作業は重要な役割を果たしている。北海道の国道では、凍結防止剤を路線全線に散布するのでは無く、予め凍結路面が発生しやすい箇所や凍結が発生した場所に交通障害の程度が大きくなる区間を重点管理エリアとして設定し、これらの箇所・エリアにおいて気象予測等に基づいた事前散布（凍結予防）や現場での目視確認による事後散布（雪氷融解）を実施している¹⁾。このため、現地でのオペレータによる路面状態の判断が重要となる。

これまで筆者ら²⁾が開発してきた凍結防止剤散布支援システムによる凍結防止剤の散布方法は、事前に要散布箇所等の重点散布区間を設定し、散布車搭載のGNSSの緯度経度から位置を特定して、要散布箇所手前でオペレータへの情報提供とともに、要散布箇所前で凍結防止剤を自動で散布してきた。重点散布区間の全てが凍結などの散布が必要な路面であれば、散布車のオペレータは、散布停止等の設定変更が不要であるが、乾燥など散布が不要な路面であれば、設定変更が必要となる。このシステムは前方を視認しながら設定変更が可能な音声散布機能²⁾を完備するなど安全に十分留意しているが、路面状態によっては人が介在した動作変更が必要なため、散布作業の完全な自動化について課題があった。

路面状態を定量的に計測し、自動化に資する機械については、例えば、徳永ら³⁾は、乗用車で牽引する連続路面すべり抵抗測定車⁴⁾を用いて一般国道で計測を行い、冬期路面状態を連続的・定量的に把握できることを示した。しかし、牽引式は装置が大掛かりとなり、安全パトロールが目的の雪氷巡回車には適用できない。大廣ら⁵⁾は、タイヤ内面の加速度センサにより自動で100m 区間毎に路面状態の判別とそこへの適切な凍結防止剤自動散布を可能としたスマート凍結防止剤散布システムが提案している。しかしながら、システムの導入や運用コストから北海道の高速道路での運用に留まっている。一方、齊田ら⁶⁾が開発した路面すべり推定AIは、車載カメラ映像から路面のすべり摩擦係数（以降、 μ ）を精度良く、簡単・安価に推定することが可能なことが報告されている。

本研究では、路面状態を機械が判別し、人が介入しない自動化システムにするために路面すべり推定AIに着目した。

車載カメラ映像から路面の μ を推定し、重点散布区間の散布の必要性を自動で判断する機能を加えて、凍結防止剤を自動散布する凍結防止剤散布支援システムを開発した。また、路面すべり推定AIのによる路面の μ の精度について検証を行い、課題を抽出した。さらに、それら課題を解決するために学習用データを追加して再学習した精度検証結果を示す。

2. 凍結防止剤散布作業支援システム

本システムは図1に示すように3つの散布支援ツールで構成する。これらの散布支援ツールは、インターネットを介したWEBサーバで連携している。まずSTEP1、対象路線の凍結防止剤散布パターン（散布箇所・散布量・散布向き等）をシステム管理者が帳票形式もしくは地図にマッピングして作成する。次にSTEP2、GNSSでの計測により凍結防止剤散布車の道路上の位置を特定し、要散布箇所手前で散布条件を図中に示すように運転手手前のモニターに表示し、併せて警告音によって散布することをオペレータに知らせる。さらにSTEP3、凍結防止剤を事前に設定した散布パターンに従って自動で散布方法（散布箇所・散布量・散布向き等）を可変して散布する。また、道路やその背景を視認しながら路面状態の変化に応じて運転手やオペレータの発声に応じて設定変更が可能な音声散布機能も備えてある。

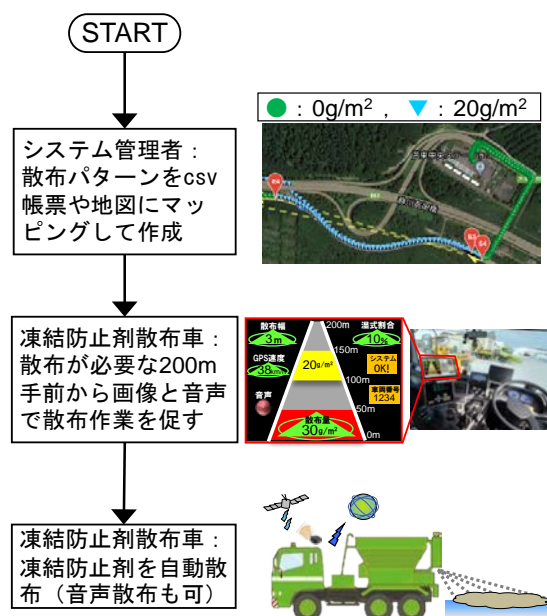


図1 凍結防止剤散布作業支援システム

* 1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

* 2 国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 道路整備保全課

3. 路面すべり推定AIの μ を散布判断に加えた凍結防止剤散布支援システムの開発

図2は、路面すべり推定AI (図2(a)) の μ を凍結防止剤散布支援システム (図2(b)) の判断支援ツールに加え、それを実行するための路面すべり推定AIの μ を加えた自動散布方法 (図2(c)) を散布フローとして示している。路面すべり推定AIの μ を加えた自動散布方法は、散布車のオペレータが、図2(c)に示す散布パターンボタンを選択した後に、AI路面ボタンを選択すると実行される。

路面すべり推定AIによる車両カメラ映像からAI学習済みモデルによってリアルタイムに μ を推定する方法を図2(a)に示す。2020年7月～2023年3月に札幌・苫小牧近郊の一般国道・市道および首都高速道路で日中約751万枚、夜間約743万枚の μ と路面画像を紐付けたデータを取得した。これらの中から μ 実測値0以上0.1未満、0.1以上0.2未満、…、0.9以上1.0未満のデータを各30万個無作為に抽出し、合計300万個のデータを用いてAI学習済みモデルを作成した。

路面すべり推定AIの μ を凍結防止剤散布支援システムの散布判断に加えた散布フローを図3に示す。このシステムでは重点散布区間以外は散布しない。散布車が重点散布区間に入り μ が0.5以下の場合散布する。一方、重点散布区間であっても μ が0.5よりも大きい場合は散布しない。

4. 路面すべり推定AIシステムの検証

μ に応じた自動散布を試行導入するため、路面すべり推定AIシステムの検証を行った。

4.1 検証期間と場所

検証は、令和5年3月9日に行った。場所は、国土交通省北海道開発局 (室蘭開発建設部苫小牧道路事務所) が所管する一般国道235号の約2km区間 (苫東中央IC出口 (KP6.5) ～苫小牧寒地試験道路入口 (KP4.8) とした。

4.2 検証機器

検証には寒地土木研究所が所有する連続路面すべり抵抗計測車⁴⁾を用いた。計測した値はすべり抵抗値のため、齊田ら⁶⁾の式に基づいて路面の μ に換算した。また、図2に示す路面すべり推定AIの μ を散布判断に加えた凍結防止剤散布支援システムを連続路面すべり抵抗計測車に搭載し、連続路面すべり抵抗計測車が計測した路面の μ と路面すべり推定AIが推定した路面の μ を同時収録した。

4.3 検証結果

路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値と連続路面すべり抵抗計測車による路面の μ の実測値の比較を図4に

示す。図4は赤色の破線が路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値を、青色の実線が連続路面すべり抵抗計測装置による路面の μ の実測値の時間変化を示している。



図2 路面すべり推定AIの μ を散布判断に加えた凍結防止剤散布支援システムの散布フロー

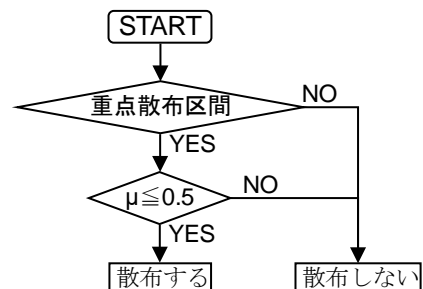


図3 路面すべり推定AIの μ を散布判断に加えた散布フロー

図4によると、路面すべり推定AIの推定値は連続路面すべり抵抗計測装置の実測値よりも路面の μ の値が小さく算出された。これは、この路線の舗装路面が凍結防止剤の散布等により通常よりも白を基調とした色が強いことが原因と考えられる。なお、図4の苦東中央IC出口付近の画像は、Ramprasaathら⁷⁾のGrad-CAMを使用して μ 推定時の重要度を示している。赤色の部位は黄・緑・青色の部位よりも重要度が高いとAIが判断していることを示し、この図から、AIは画像の中央付近から下側を中心に μ 推定していることが確認できる。

5. 再学習した路面すべり推定AIシステムの検証

5.1 再学習モデルの作成

3章で取得した μ と路面画像を紐付けたデータについて、 μ 実測値0以上0.1未満、0.1以上0.2未満、…、0.9以上

1.0未満のデータを各3万個無作為に抽出し、白色を基調とした色調補正を行った。次に、3章で構築したAI学習済みモデルに学習させるために無作為に抽出した300万個のデータに色調補正を行った30万個のデータを追加し、合計330万個のデータを用いて再学習させ、AI学習済みモデルを作成した。

5.2 検証結果

再学習した路面の μ の推定値と連続路面すべり抵抗計測車の実測値の比較を図5に示す。図5の緑色の一点鎖線は再学習した路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値の時間変化を示している。苦東中央IC出口付近のカーブ区間の路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値は連続路面すべり抵抗計測装置の実測値よりも路面の μ の値が小さい。これは、路面すべり推定AIの μ を推定するエリ

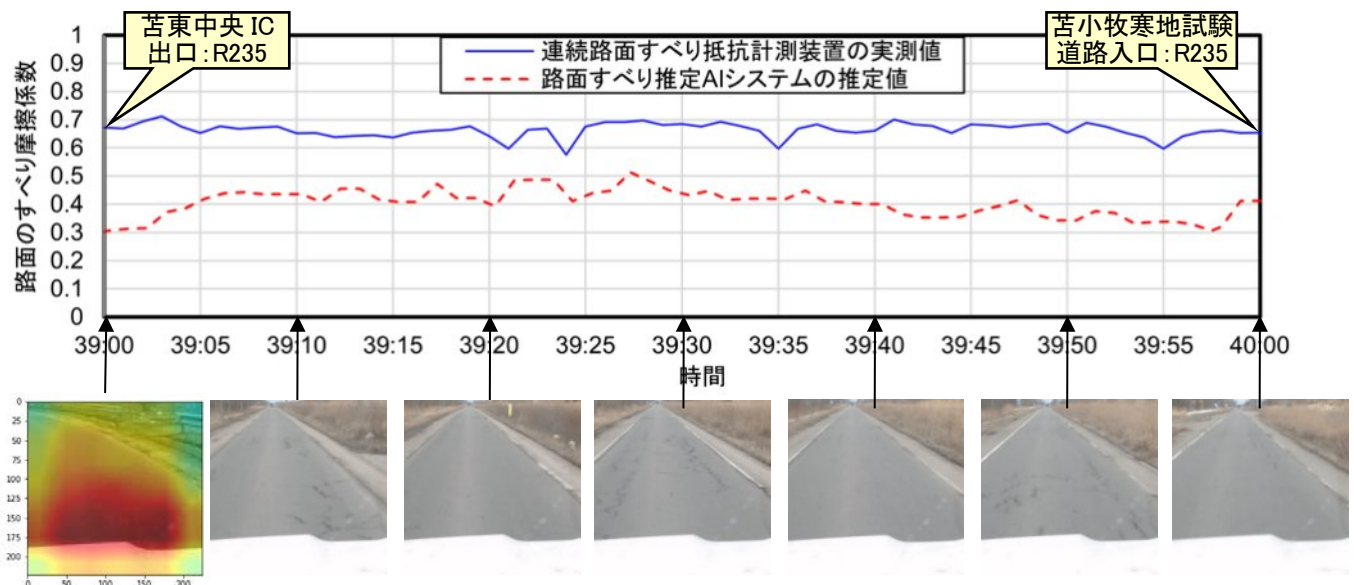


図4 路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値と連続路面すべり抵抗計測車による路面の μ の実測値の比較

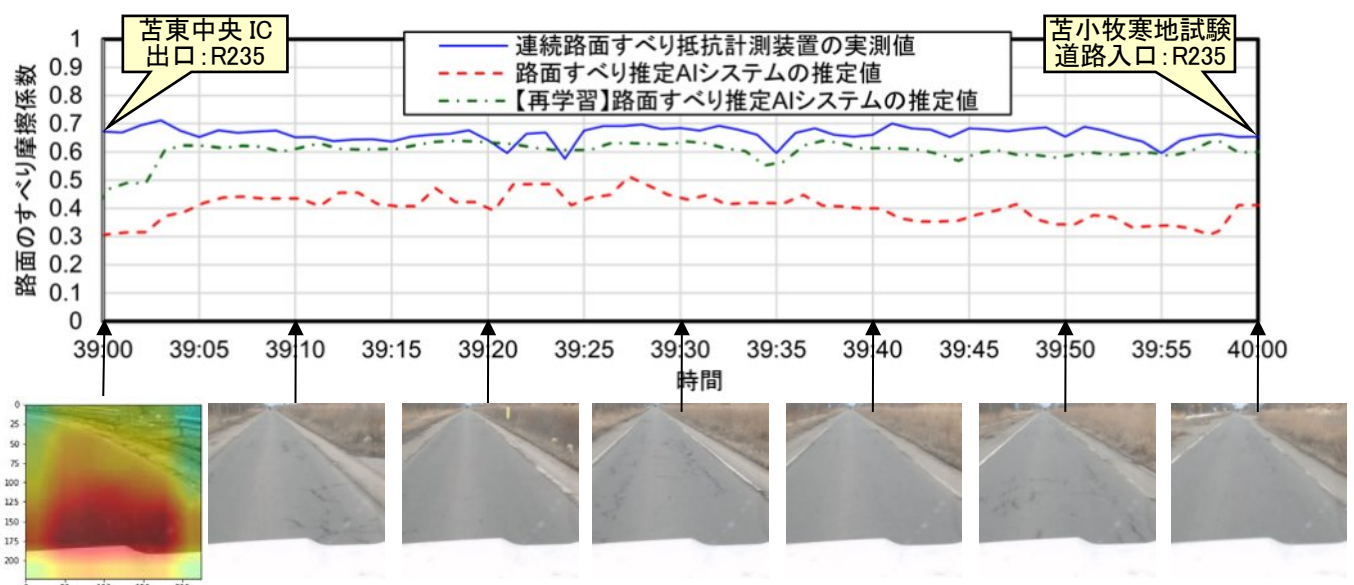


図5 再学習した路面の μ の推定値と連続路面すべり抵抗計測車の実測値の比較

アが直線区間は、路面であることに對し、カーブ区間は路肩が推定エリアに入ってしまったことが原因と考えられる。このため、カーブ以外の路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値は実測値に近づけることが出来た。

6. まとめ

μ を散布判断に加えた凍結防止剤散布支援システムによる凍結防止剤の自動散布は、設定変更させる作業が不要となり、ワンマン化でも運転に集中して安全に確実に凍結防止剤を散布することが可能になると考えている。本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ・凍結防止剤散布支援システムに路面のすべり推定AIの μ に応じて凍結防止剤を自動散布する機能を構築した。
- ・AIの推定値は連続路面すべり抵抗計測装置の実測値よりも路面の μ の値が小さく算出された。これは、この路線の舗装路面が通常よりも白を基調とした色が強いことが影響していると考えられる。
- ・白色を基調とした色調補正した画像を集めて再学習させて検証した結果、路面すべり推定AIによる路面の μ の推定値は連続路面すべり抵抗計測装置による実測値に近づけることが出来た。

今後、ワンマン化でも安全で確実な凍結防止剤散布作業が可能な自動散布システムを確立するため、現場での課題を抽出し、改良していく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：安全で円滑な冬期道路交通を確保します！～頻発する暴風雪を踏まえた今冬の取組について～，2020。
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat000001yy4k-att/splaat0000020es8.pdf>（令和5年10月確認）。
- 2) 大廣智則，齊田光，村上健志，伊東靖彦：凍結防止剤散布支援システムの試行運用による効果検証，寒地技術論文・報告集，Vol.38，pp.119-124，2016。
- 3) 徳永ロベルト，舟橋誠，高橋尚人：すべり抵抗値活用による冬期路面管理技術の高度化に関する研究，北海道開発技術研究発表会，vol.52，ふー04，2009。
- 4) Halliday Technologies Inc, 2010。
<http://www.hallidaytech.com>（令和5年10月確認）。
- 5) 大廣智則，萩原亨，花塚泰史，高倉清，中村広美：道路管理者と協調した凍結防止剤散布の低減に資するスマート凍結防止剤散布システムの開発，日本雪氷学会誌「雪氷」，第82巻，6号，pp.299-316，2020
- 6) Saida et al, 2023: Road friction coefficient estimation system using road surface images and a convolutional neural network, Proceedings of the XXVIIth World Road Congress,

2023.

- 7) Ramprasaath R. Selvaraju et al : Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization, arXiv preprint arXiv:1610.02391, 2016.

プロピオン酸ナトリウムを活用した凍結防止剤の検証報告

石田 篤徳*¹ 中島 範行*² 高橋 尚人*³ 近江 克哉*⁴

1. はじめに

NEXCO 中日本の管理する約 2,200 km の高速道路のうち、開通後 30 年を超える区間は約 6 割に及び、構造物の老朽化が進行している。高速道路ネットワークを健全な状態で次世代に引き継ぐために、着実に点検し、計画的な維持・補修・補強を行っていく必要がある。



図1 開通後の経年数別路線図

一方、冬季になると安全な交通確保の為に凍結防止を目的とし、塩化ナトリウム(以下、「塩ナト」という)をはじめとした凍結防止剤を散布している。そのため、ガードレールなどの道路付属物、橋梁等のコンクリート構造物に顕著な塩害がみられる。

NEXCO 中日本では、道路構造物の長寿命化によるライフサイクルコスト低減を目的として、寒地土木研究所の研究協力のもと、富山県立大学および札幌市立大学と共同で塩ナトに替わる新たな凍結防止剤の適用性の検討を行った。

2. これまでの取り組み

(1) プロピオン酸ナトリウム

新たな凍結防止剤としてプロピオン酸ナトリウム(以下、プロナトという)に着目した。凍結防止剤に用いられる塩ナトと比べると高価ではあるが、凍結温度(凝固点)は大きく変わらない。コストを考慮して、プロナトと塩ナトを 9 : 1 の比率で混合を前提とし研究している。



図2 プロナト

(2) 過年度までの試験結果

2017年よりプロナトの試験散布を東海北陸道、北陸道で行い下記の検証を行った。

1) 金属腐食防止効果

プロナトの金属腐食防止効果を確認する試験を実施した結果、プロナト混合 (9 : 1) の場合、塩ナトのみにに対し腐食量が概ね1/2程度になることを確認した。

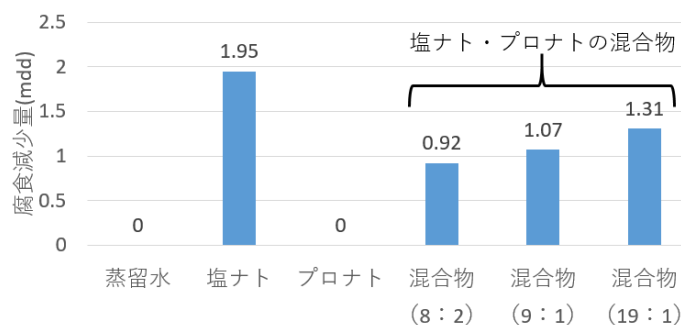


図3 金属腐食性試験結果

2) 散布効果(路面状態)

プロナト混合散布区間と塩ナト散布区間において、散布効果の差を示すような結果は認められず、プロナト混合散布によって路面のすべり抵抗値が低下することはないことを確認した。

3) 作業性

溶液作成する際の作業性を作業員へのアンケート調査にて確認した。プロナトは塩ナトと比較して投入し難いということではなく、溶解性も高いことを確認した。また、作業時にプロナト特有の臭気を感じるが大きな影響はないことを確認した。

4) 環境への影響調査

プロナト混合散布区間において、周辺環境へ与える影響を確認するため、水質・臭気を調査した。プロナトによる著しい影響は確認されなかった。

5) コンクリートへの影響調査

コンクリートのASRへの影響を調査するため、構造物のコア抜き試験及び、反応性骨材を用いたモルタルバー法試験を実施した。プロナト単体による使用はASRを促進させる結果となったものの、使用する混合比率である9 : 1であれば、塩ナトによる影響とほぼ同等であることを確認した。

※1中日本高速道路株式会社 ※2富山県立大学 ※3札幌市立大学

※4中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社

3. 構造物への影響検証

プロナト混合散布が道路構造物に与える影響を検証するため、鉄筋コンクリート供試体の暴露試験、複合サイクル試験を行った。

(1)鉄筋コンクリート供試体の暴露試験

プロナト混合散布区間および塩ナト散布区間ごとに、高速道路本線路肩および高架橋下の路面排水流末に鉄筋コンクリート供試体を5か所ずつ設置し、3年間の追跡調査を実施した。



図4 暴露試験供試体設置状況

1) 自然電位法による腐食度調査

自然電位法による腐食度調査とは、鉄筋の電位を測定することにより鉄筋コンクリート中の鉄筋の腐食度を非破壊で推定する試験である。

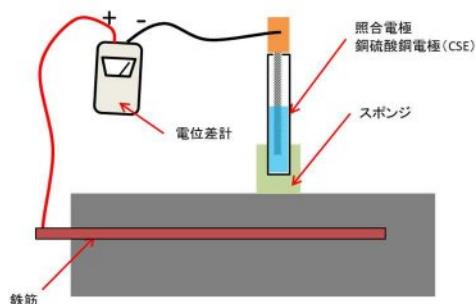


図5 自然電位測定

暴露したコンクリート供試体に対して自然電位を測定したところ、かぶり10mmの鉄筋において、塩ナト区間の方がプロナト混合散布区間と比べて電位が卑(-)になる傾向が確認され、-0.35V以下の腐食が発生している可能性が高い傾向となった。

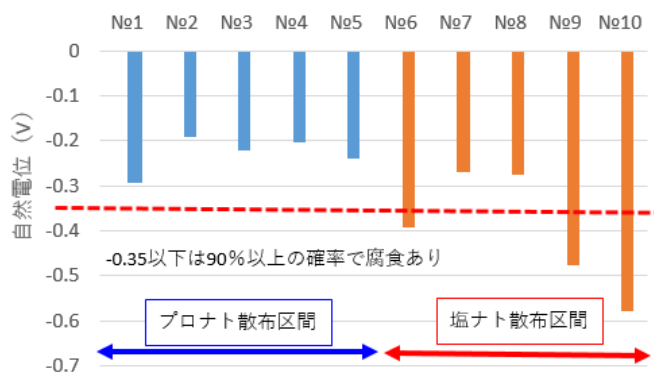


図6 自然電位測定結果(かぶり10mm)

2) 塩化物イオン量の推移

2カ年暴露した供試体からコアを採取し、塩化物イオン量を測定した。プロナト混合散布区間では9:1の混合散布となるため、塩化物イオンの散布量は1割程度しか変わらないものの、浸透量としては散布量の差以上に、プロナト混合散布区間が少ない結果となった。また、本線路肩と高架下の設置箇所による差については、明確な傾向は確認できなかった。

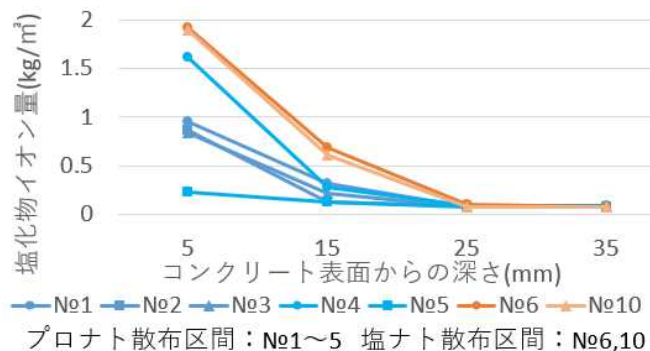


図7 暴露供試体塩化物イオン量

3) プロピオン酸イオン量の推移

塩化物イオン量と同様に、供試体からコアを採取し、プロピオン酸イオンを測定した。プロピオン酸イオンについては、プロナト混合散布区間の各供試体から確認され、2年間のプロナト混合散布により、供試体にプロピオン酸イオンが浸透したことを確認した。

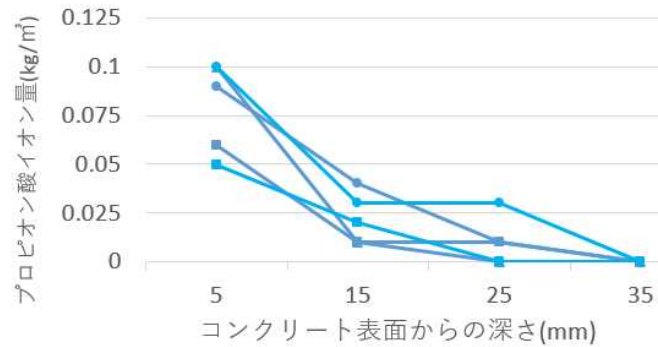


図8 暴露供試体プロピオン酸イオン量

4) 暴露試験の考察

暴露試験では、プロナト混合散布区間の方が自然電位試験においては腐食が少ない傾向であった。また、塩化物イオン量がやや浸透が少なく、供試体にプロピオン酸イオンが浸透していることが確認できた。

(2)鉄筋コンクリート供試体による複合サイクル試験

鉄筋コンクリート供試体による複合サイクル試験は、最大18カ月間の塩水噴霧試験を実施し、6カ月、12カ月、18カ月時点で供試体を取り出し、塩化物イオン量、プロピオン酸イオン量、鉄筋腐食状況を測定した。

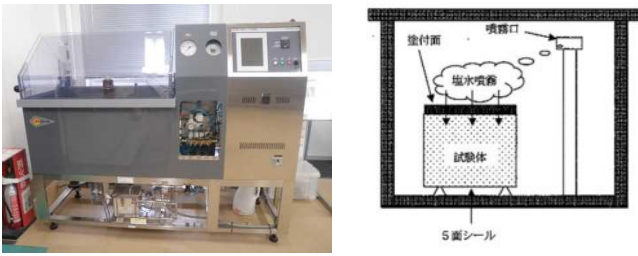


図9 複合サイクル試験機

1) 複合サイクル試験

複合サイクル試験は、鉄筋コンクリート供試体に対して1日噴霧、2日間乾燥、水1日噴霧、3日間乾燥の計7日間の1サイクルで噴霧試験を実施した。

溶液については温度40℃の5%の塩ナト溶液(以下、塩ナト噴霧)と、塩ナトとプロナトの混合溶液(比率9:1)(以下、プロナト噴霧)を用いた。

複合サイクル試験に使用する鉄筋コンクリート供試体は、縦150mm×横150mm×長さ200mmで、純かぶりが10mm、30mm、50mm、80mmとなるように4本の鉄筋を配置した。供試体は試験対象面以外をエポキシ樹脂系の塗料を塗布し、試験対象面を上面にして設置した。

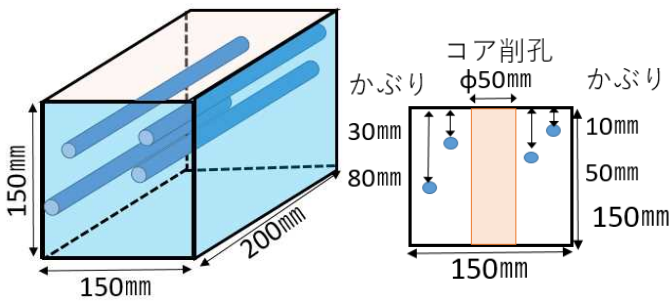


図10 鉄筋コンクリート供試体イメージ図

2) 塩化物イオン量

塩化物イオン量は、供試体からコアを採取し、深さ方向に10mmごとに測定した。塩化物イオン量は、塩ナト噴霧、プロナト噴霧共に、表層の10mm地点での塩化物イオン量は同程度であるが、30mm以深においては、塩化物イオン量がプロナト噴霧は少なくなる傾向がみられた。50mm以深では塩化物イオン量が1/2以下となる結果が得られた。なお、この傾向は6カ月、12カ月、18カ月ともに確認された。

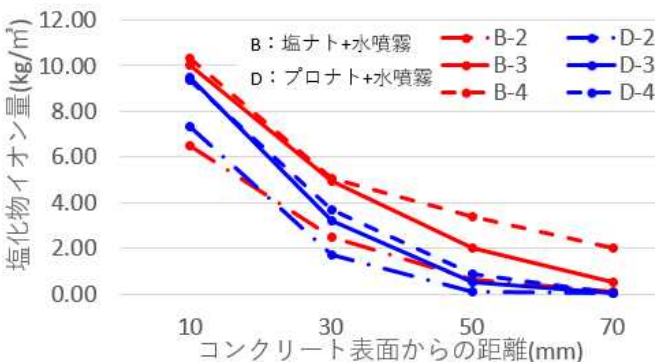


図11 複合サイクル試験塩化物イオン量

3) プロピオン酸イオン量

プロピオン酸イオン量について、コア法により深さ方向に10mmごとにスライスし測定した。プロピオン酸イオンは供試体の表面付近に留まる傾向がみられた。

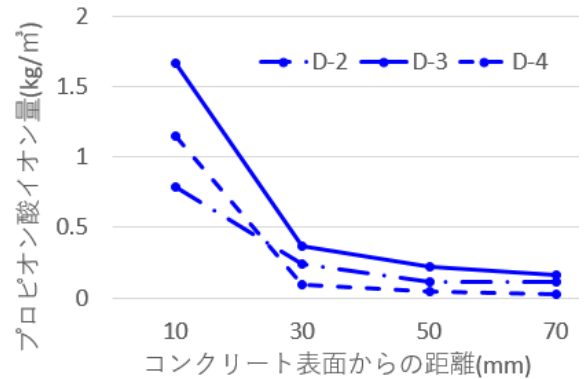


図12 複合サイクル試験プロピオン酸イオン量

4) 鉄筋腐食抑制効果

供試体から取り出した鉄筋をJCI-SC3「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法9.測定」に準拠し、腐食面積率を算出した。

12カ月時点では、塩ナトと比較してプロナトは30mm以深で鉄筋の腐食が抑制されており、かぶり30mmにおいては、鋼材腐食発生限界1.93kg/m³を超える塩化物イオン量3.19kg/m³でも腐食が抑制されていることを確認した。

一方、18カ月時点では、明確な腐食抑制効果は確認できなかった。理由としては、図13に示すように、18カ月にわたる試験により、供試体にひび割れが発生し、その影響により腐食が拡大したと考えられる。

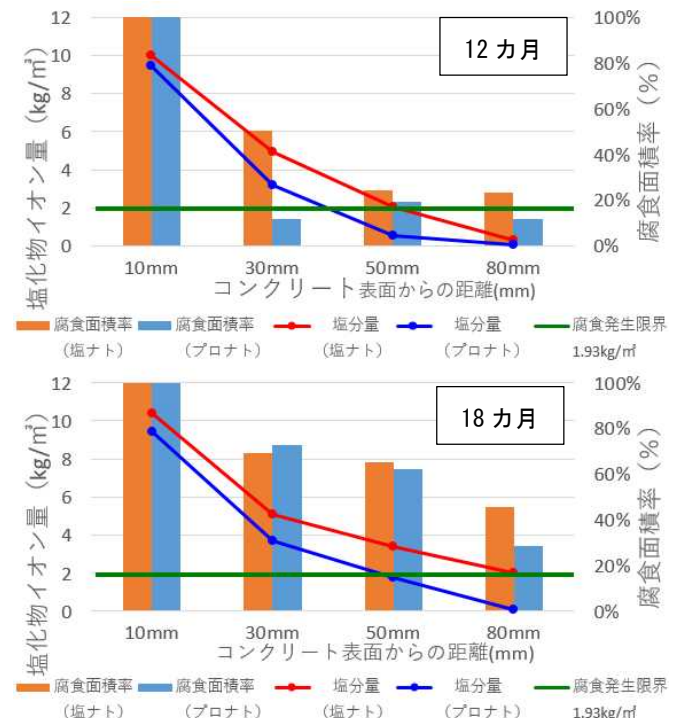


図13 12,18カ月時点の腐食面積率、塩化物イオン量

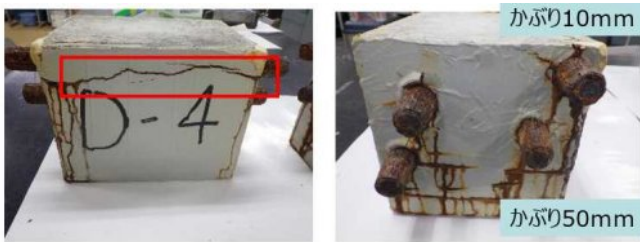


図14 供試体ひび割れ発生状況

5) 塩化物イオン量の拡散

塩化物イオン量については、塩ナト噴霧と比較してプロナト噴霧は深層における塩化物イオン量が少なくなる傾向が見られた。この結果を基にフィックの拡散係数を算出すると表1のとおりとなる。

表1 塩化物イオン拡散係数

試験期間	6カ月		12カ月		18カ月	
	塩	プロナト	塩	プロナト	塩	プロナト
供試体	B-2	D-2	B-3	D-3	B-4	D-4
拡散係数 ($\times E-07$)	2.25	1.09	1.64	0.83	1.04	0.81

12カ月時点までは、拡散係数が塩ナト噴霧の1/2程度となっている。18カ月については表層における塩化物イオン量が飽和した影響により、差が小さくなったと考えられる。この結果から、プロナト混合散布により、コンクリート中における塩化物イオンの拡散が抑制される効果があると考えられる。

6) 鋼材腐食発生限界塩化物イオン量について

12カ月時点まではプロナト混合散布の供試体は腐食発生限界である $1.93\text{kg}/\text{m}^3$ を超過していても腐食面積が小さい結果が確認された。このことから鋼材の腐食発生限界が $3.19\text{kg}/\text{m}^3$ 程度であると考えられる。

4. ライフサイクルコストの検討

これまでの試験結果をもとにプロナトを散布する効果と費用を検証しライフサイクルコスト(LCC)を算出した。算出に当たっては、プロナト試験散布区間である北陸道 富山IC~立山IC間を対象とした、

1) LCC計算の条件

・凍結防止剤散布費用

塩ナトの散布費用及びプロナトの散布費用については、過去の散布量平均及び納入価格から算出した。

・拡散係数

コンクリート中の塩化物イオンの拡散係数を設定し、プロナトの効果により49%低減すると仮定した。

・鋼材の腐食発生限界

鋼材の腐食発生限界を $3.19\text{kg}/\text{m}^3$ と仮定した。

・腐食発生限界までの到達年数の推定

上記の拡散係数及び腐食発生限界を用いて、フィッ

クの拡散方程式により到達年数を推定した。

・進展期の期間の推定

潜伏期が終了すると鉄筋に錆が発生し、腐食ひび割れが発生する。期間は、5年間と設定した。¹⁾

・加速期における補修までの年数

進展期が終了すると鉄筋浮きやはく離が発生する。補修の実態として、浮き・はく離の単位面積率が10%程度で実施されていることから、10%に到達する年数を算定し²⁾約19年とした。

・補修費用の算出

橋種ごとに対象面積を算出し、補修費用を算出する。補修費用は m^2 あたり600千円と仮定した。

2) LCCの算出

今回検討した区間において供用後43年の区間に対し、散布開始後100年間のLCCを算定した。塩ナト散布1.0に対し、プロナト混合散布1.4という結果であった。これは、当該区間の橋梁が占める割合が低いためであり、同条件で比較すると橋梁比率が58%を超える程度からLCCの面で有利となることがわかった。

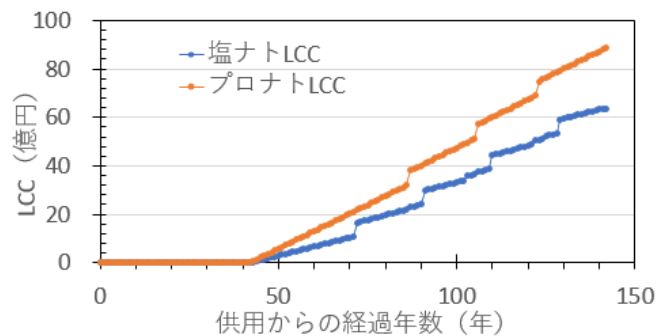


図15 LCC検討結果

5. まとめ

これまで、道路構造物の長寿命化によるLCC低減を目的として、プロナトを用いた凍結防止剤の導入検証を行ってきた。複数年にわたる試験散布や室内試験を経てプロナトの有効性、金属腐食防止効果を確認した。LCCを検証したところ、対象区間に橋梁比率が58%を超える程度からLCCの面で有利になることがわかった。今後はLCCを踏まえ有効な活用方法を検討し、新たな凍結防止剤を導入していきたい。

参考文献)

- 1) 平野誠志、宮里心一、山本恵理子、武内道雄：凍結防止剤が散布されるRC道路橋の塩害進展メカニズムの解明、コンクリート工学年次論文集、Vol.29、No.1、pp.1005-1010、2007
- 2) 熊谷和夫・高橋秀樹・青山實伸：北陸地方の橋梁けた端部のコンクリート部材の損傷特性と劣化推移、土木学会論文集 No.798/VI-68、pp.31-39、2005

雪氷作業判断を支援する冬期路面状態予測システム

中嶋健壮* 1, 大久保湧生* 1, 佐藤裕明* 2, 舘野哲志* 2,
丹治和博* 3, 吉田直人* 3

1. はじめに

雪氷作業判断の意思決定は、気象予測や雪氷巡回による情報等を基に道路管理者等が経験に依拠して行っている。しかし、経験に基づく判断は主観的となり、経験が浅い場合には判断が難しい。したがって、現状の路面状態を正確に把握し、将来の雪氷路面の発生範囲と時刻を正確に予測することが可能となれば、道路管理者が雪氷作業判断の意思決定を行う上での支援となる。

東日本高速道路(株)東北支社では、以上を実現するために、「冬期路面状態予測システム（以下、予測システム）」を開発した。

2. 冬期路面状態予測システムの構成

予測システムの構成は、情報収集機能、予測機能、情報提供機能から成り立つ（図-1）。

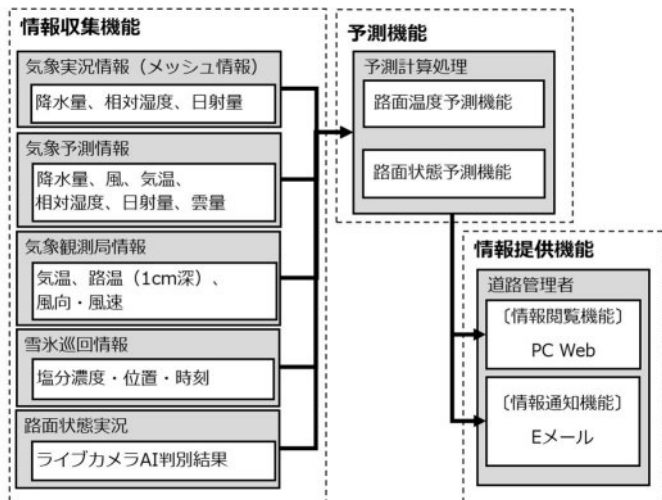


図-1 冬期路面状態予測システム構成

情報収集機能は、実況値と予測値を収集する機能である。実況値には気象実況値の他に、路面状態実況値や残留塩分濃度計測値が含まれ、初期の予測や補正に活用される。予測値は気象予測情報を指し、将来の路面状態予測計算に使用される。

予測機能は、情報収集機能から入力されたデータを利用して、路面温度、路面状態を予測する機能である。予測機能のアルゴリズムについては、図-2に示す通りであり、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所と一般財団法人日本気象協会が共同開発した「固定観測点及び

路線における路面状態推定システム[1]」を基にしており、逐次補正と残留塩分濃度を考慮した路面状態予測を追加している。

情報提供機能は、予測機能から得られた予測結果をWeb画面表示し提供する機能である。

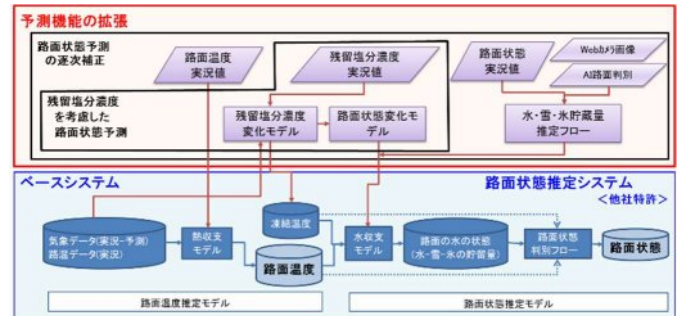


図-2 予測機能のアルゴリズムの概要

3. 予測機能（路面状態推定システム）

予測システムのベースシステムである路面状態推定システムは、路面温度推定モデルと路面状態推定モデルから成り立っている。

路面温度推定モデルは熱収支モデル（図-3）が基礎となっており、気温・風速などの気象観測値、交通量を入力条件として、路面上での大気・地中との熱交換量を解析して、路面温度を推定するものである。

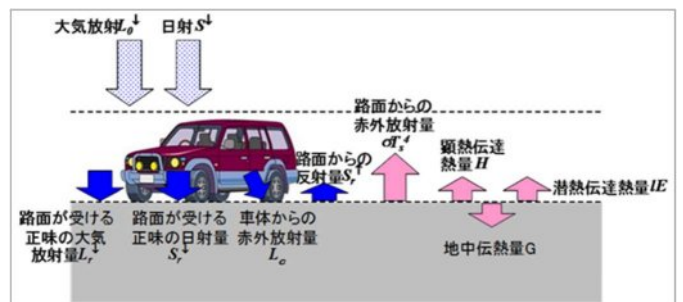


図-3 熱収支モデルの概念 [1]

路面状態推定モデル（図-4）は、水収支モデルと路面状態判別フローから成り立っている。

* 1 東日本高速道路(株)東北支社 * 2 ㈱ネクソコ・エンジニアリング東北

* 3 一般財団法人日本気象協会

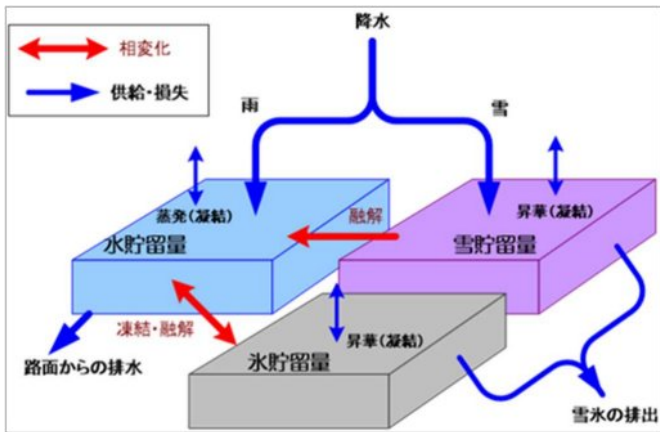


図-4 路面状態推定モデルの概念 [1]

水収支モデルでは、路面上のH₂Oを水、雪、氷の3つ形態に分類し、それぞれの路面上に残る水、雪、氷の貯留量を評価している。水の相変化は、降水・気温等の気象条件だけでなく、道路交通・除雪・排水等の影響を受け、複雑に変化する。

水収支モデルにより算出された水貯留量、雪貯留量、氷貯留量の割合から、路面状態判別フローにより路面状態を「乾燥」、「湿潤」、「シャーベット」、「積雪」、「凍結」の5つのカテゴリに分類する。

4. 予測機能の拡張

冬期の道路では、除雪や凍結防止剤散布などの雪氷作業を実施するため、路面状態推定モデルによる路面状態の推定結果は、雪氷作業の影響を受け、異なる結果を示すことがある。

そこで、路面状態推定モデルに「逐次補正」および「残留塩分濃度考慮」のアルゴリズムを取り入れ、推定精度の向上を試みた。

(1) 逐次補正（気象実況値）

逐次補正は、路面状態のモニタリングにより、雪氷作業による路面状態の急変を推定結果に反映するものである。また、気象実況値の逐次補正を取り入れることにより、気象予測の初期時刻での予測誤差を補正することが可能となった。

(2) カメラAI補正（路面実況値）

予測システムの更なる予測精度向上のために、高速道路に設置されているWebカメラ画像をAIで路面状態を判定し、そのAI判別結果を路面実況データとして活用する手法を導入した（以下、カメラAI補正）。対象地点は以下の条件を満たすものとした。

- ・Webカメラ設置個所が気象観測局に近い
- ・Webカメラ画像が主に高速道路本線の路面を映しており（SA・PAは対象外）、路面状態を正確に判定できる。

(3) 残留塩分濃度考慮

凍結防止剤を散布することにより、路面上の水分の凍結温度が低下する。そのため、残留塩分の有無および残留塩分濃度が路面状態の変化を左右する。当初は、路面温度が凍結温度を下回った場合、路面に水分があれば、すべて凍結するとしていた。しかし、実際には、路面温度が凍結温度を下回った場合、水分の一部が凍結し、水と氷が共存する状態となる。そこで、この状態を表現できるように、残留塩分濃度を考慮した路面状態推定を行うアルゴリズムを作成した。

残留塩分濃度を路面状態の推定に反映するためには、残留塩分濃度の実況値を測定する必要がある。東日本高速道路(株)東北支社管内では道路巡回車に残留塩分濃度測定器を搭載している。（図-5）。



図-5 車載式塩分濃度測定システム [2]

残留塩分濃度は、気象条件や時間によって変化する。そこで、残留塩分濃度変化モデルを作成し、数時間先の残留塩分濃度予測を行った。

次に、推定した残留塩分濃度から路面上の水と氷の量を補正する路面状態変化モデルを作成し、路面状態の推定が可能となった。

5. 冬期路面状態予測システムの運用

2021年冬期の試行時の精度検証により通常路面か雪氷路面の判別精度が約80%と実用レベルに達したと考え、2022冬期に東日本高速道路(株)東北支社管内で運用を開始した。運用期間は、12月から翌3月までとし、気象観測局地点を対象とした点予測とした。運用時の予測表の一例を表-1に示す。

表-1 予測結果表の一例

地点	要素	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時
郡山	路面温度(°C)	6.1	4.9	2.9	2.0	1.3	0.8	-0.5	-1.2	-0.7
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結
堺橋	路面温度(°C)	4.9	3.6	2.5	2.0	1.5	-0.1	-1.0	-1.6	-1.1
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結	凍結
釈迦堂川橋	路面温度(°C)	5.1	3.0	2.6	2.2	0.9	-0.1	-0.4	-0.6	0.0
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結	凍結
隈戸川	路面温度(°C)	6.3	3.6	3.0	2.5	1.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.2
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結	凍結
阿武隈	路面温度(°C)	4.7	2.2	2.1	1.8	0.5	0.0	-0.4	-0.8	-1.0
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結	凍結
三坂川橋	路面温度(°C)	2.1	0.5	0.4	0.2	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.5
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	シャーベット	シャーベット	シャーベット
新風越TN東	路面温度(°C)	3.1	1.5	0.2	-0.3	-1.2	-1.8	-2.3	-2.6	-2.7
	路面状態	湿潤	湿潤	湿潤	凍結	凍結	凍結	シャーベット	シャーベット	シャーベット

6. 精度検証

路面温度、及び路面状態の精度検証の結果を以下に示す。

(1) 路面温度

予測システムによる日最低路面温度の推定値と放射型温度計による実測値を比較した(図-6)。2つの値に大きなバイアスが無いことから、予測精度は高いといえる。一方、路面温度の日変化をみると午後の時間帯は路面温度が実測値より高い(危険側)の傾向があったため、地中熱伝導量のパラメータの調整を行った。この調整により、午後の時間帯の平均誤差(ME)が+2°C前後と危険側予測になっていたが、調整によりMEが±0°C前後かマイナスの値に改善し、危険側予測が解消された(図-7)。

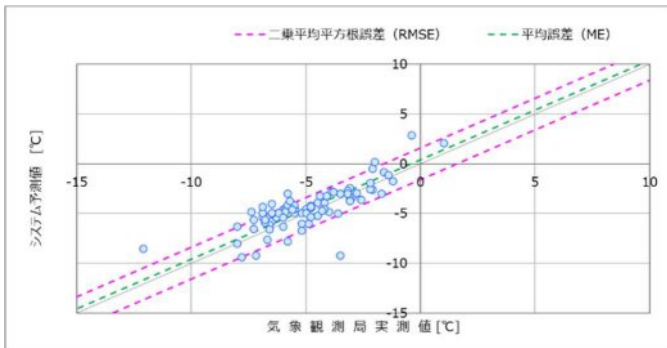


図-6 路温の予測値・実測値の比較(2021冬期)



図-7 時刻別平均誤差(2021・2022冬期)

(2) 路面状態

路面状態の精度検証では、予測システムによる推定結果(予測)とWebカメラ画像を用いて目視判別した結果(真値)を比較した。

検証では、通常路面と雪氷路面の判別精度を表す一致率と、それぞれの路面状態の判別精度を表すカテゴリ一致率の2通りで行った(表-2)。

表-2 精度検証区分

	路面状態				
	通常路面		雪氷路面		
一致率	乾燥	湿潤	シャーベット	積雪	凍結
カテゴリ一致率	乾燥	湿潤	シャーベット	積雪	凍結

2022冬期において、一致率は84.9%と高い精度が確認され、通常路面と雪氷路面の判別において実用的な結果であることが示された。ただし、5つの路面区分のカテゴリ一致率は53.7%と、詳細なカテゴリ別ではやや課題が残る結果であった。

2022冬期の一致率とカテゴリ一致率を表-3に示す。また、カテゴリ別の精度を図-8に示す。真値でシャーベットと分類されたデータの内、積雪と予測したデータが多く見られた。

表-3 路面状態推定精度(2022冬期)

判定	路面区分	真値(Webカメラ画像目視判定)					合計	
		通常路面		雪氷路面				
シ	通常路面	乾燥	356	86	1	1	6	450
		湿潤	118	191	8	4	2	323
テ	雪氷路面	シャーベット	34	10	103	28	52	227
		積雪	1	0	150	98	4	253
		凍結	153	4	19	6	49	231
予	合計	662	291	281	137	113	1484	

一致率: 84.9%

カテゴリ一致率: 53.7%

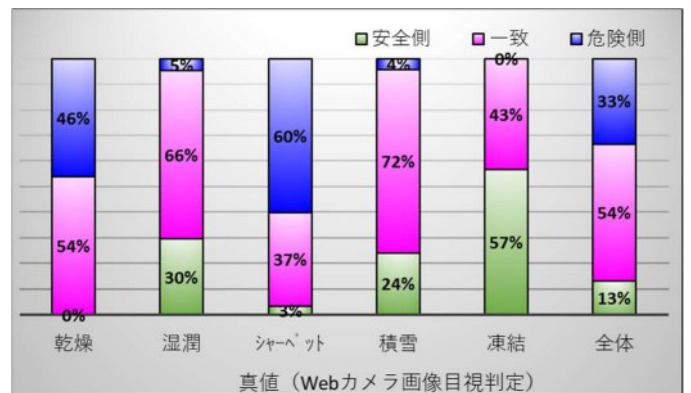


図-8 路面状態推定精度(2022冬期)

7. 課題と対応

(1) 降水量の実況推定値の扱い

路面状態において、真値は「乾燥」であるのに対し、予測が「シャーベット」や「積雪」、「凍結」の雪氷路面と誤った予測が多数みられた。この誤差の主な要因は、「解析降水量メッシュ情報」が「0.0mm」以上であれば、路面を湿潤にするために有効な降水があったものと処理したが、実際には十分な湿潤状態にはならず、むしろ乾燥路面に近かったことが挙げられる。この問題に対処するため、解析降水量メッシュ情報における

「0.4mm」以下の降水量は、路面を十分な湿潤状態にしないと考えると「0.0mm」として扱うことで、路面状態の誤予測を軽減することを試みた。この修正により、予測の精度向上が期待できる。

(2) カメラAI路面判別の精度の影響

上記の対処後も予測が「凍結」で真値が「乾燥」である誤差が残った。この誤差の原因は、以下の要因が考えられる。

- ・カメラAI判別の誤判定
- ・気象予測の誤差

それぞれの誤差要因を検証した結果、気象予測の誤差が主要因であり、次にAI路面判別の誤判定による影響であることが分かった。

今後の課題としては、AI路面判別精度の向上により更なる予測精度向上が見込まれる。

8. まとめと今後の展望

予測システムの精度向上のため、AIによるWebカメラ画像を用いた路面状態の逐次補正、及び残留塩分濃度を反映した路面状態予測を実施した。通常路面と雪氷路面の判別率は約85%になり、実用レベルに達したと考える。雪氷作業の確実化および効率化が期待されることが示された。

近年、各種モニタリングシステムが開発されてきており、今後も新たな技術が開発されていくと考えられる。これらのモニタリング値を取り込むことにより、支援システムの精度向上が期待できる。

東日本高速道路(株)東北支社は、今後も高度な雪氷技術の研究と開発に取り組み、冬期道路管理を支援していく所存である。

〈参考文献〉

- [1] 高橋尚人, 徳永ロベルト, 浅野基樹, 石川信敬 (2007), 冬期路面管理支援システムの構築と運用, 寒地土木研究所月報第652号
- [2] https://www.yamada-giken.co.jp/products/salinity_sensor

国道8号福井市新保交差点における新たな雪氷対策について

大野 正博*1、小川 貴*1、畠 友昭*1、中地 章*1

1. はじめに

近年、積雪寒冷地の一般道、高速道の坂道、ランプ部およびジャンクション等での冬期交通障害として車両の登坂不能、いわゆるスタックが課題のひとつとなっている。

福井市内の国道8号では、従来から除雪作業と凍結対策を組み合わせた冬期路面管理が実施されている。具体的には、除雪車両と薬剤散布車との組み合わせによる効率的な冬期路面管理である。このような冬期路面管理においても、気象状況、車両の通行状況等の因子の組合せによっては、冬期シーズン中に車両の登坂不能などが発生していた。国道8号の福井市新保交差点でも過去にスタック車両が発生しており対策が望まれていた。更に本交差点は、北陸道の福井北ICとも近いことから非常に交通量が多く、スタック車両が発生した場合の影響も大きいことからその対策が課題となっていた。

このような状況の中、近年一般道や高速道での設置例が増えている酢酸系液状凍結防止剤の定置式自動散布装置を本交差点付近に設置し、雪氷対策としての有効性について検証を試みたので報告する。



図1 国道8号福井市新保交差点の周辺地図

2. 対策箇所と新しい雪氷対策の概要

雪氷対策は、新保交差点に向かって上り車線（金沢方面に向かう車線）約230m、下り車線（敦賀方面に向かう車線）約200mの範囲である。対策範囲を図2に示した。

図3に新保交差点に設置した定置式散布装置のイメージを示した。定置式散布装置は、液状薬剤の噴射をコントロールする制御ボックス部、薬剤を貯留するタンク部、タンクの薬剤を噴射箇所へ送液するポンプボックス部、送液された薬剤を一時的に貯留する分離ボックス部、薬剤を路面に噴射させる2本のノズルを収納したノズルボックス部、

更に通行車両を検知するための車両センサーなどで構成されている。薬剤の噴射は、気温により制御されており、設定温度より1℃気温が下回ると噴射を開始し、設定温度に達すると噴射を停止する仕組みとなっている。ノズルからの標準的な噴射は、1回の噴射時間が約1.2秒、その噴射量は約50mlであり、2本のノズルで左右の轍部に薬剤を噴射している。その時間当りの噴射量は、時間当りの噴射回数を設定する事で、コントロールする仕組みとなっている。更に遠隔システムが搭載されており、出張所のパソコンにて定置式散布装置の監視、制御も可能となっている。



図2 新保交差点の雪氷対策範囲

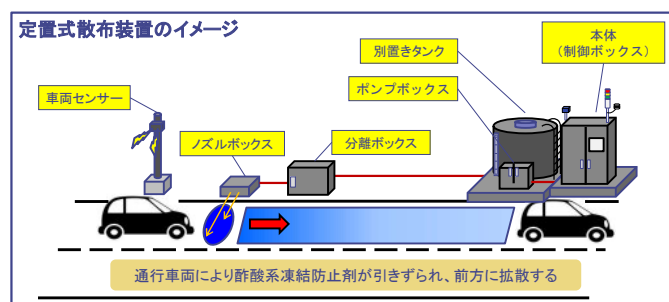


図3 新保交差点に設置した定置式散布装置のイメージ

使用する薬剤は、酢酸系液状凍結防止剤（以下、酢酸系薬剤）であり、酢酸カリウムと多価アルコールを主成分とする水溶液です。その特長は、第1に塩素を含まず、且つ生分解性の高い成分から構成されていることから塩害の心配がない事、第2に凝固点が-4.3℃と低いことから高い

*1 北海道日油株式会社

凍結防止効果を発揮する事、第3に拡散性、定着性を増大させる成分を添加しており、薬剤が広く拡散し定着することで、その効果をさらにアップさせる事である。この様な特性から、定置式散布装置の薬剤として特に優れた性能を発揮している。塩素系薬剤と酢酸系薬剤の特性比較を表1に示した。

表1 塩素系薬剤と酢酸系薬剤の特性比較

薬剤	塩素系薬剤	酢酸系薬剤
成分	塩化ナトリウム	酢酸カリウム(主成分) 多価アルコール(添加剤)
状態	粒状	液状
最低凝固点	-21℃	-43℃
速効性	△ 溶解時間を要する	◎ 液体のため優れている
凍結防止効果	○ 低温時、効果減少	◎ 低温時でも優れた効果
持続性	△ 風により飛散する事有り	◎ 添加剤により効果持続
環境等への影響	△ 金属、コンクリート、自然環境への影響は無視できない	◎ 金属、コンクリート、自然環境への影響は極めて小さい
貯蔵性	△ 長期保存の場合、吸湿への配慮が必要	◎ 長期保存可能

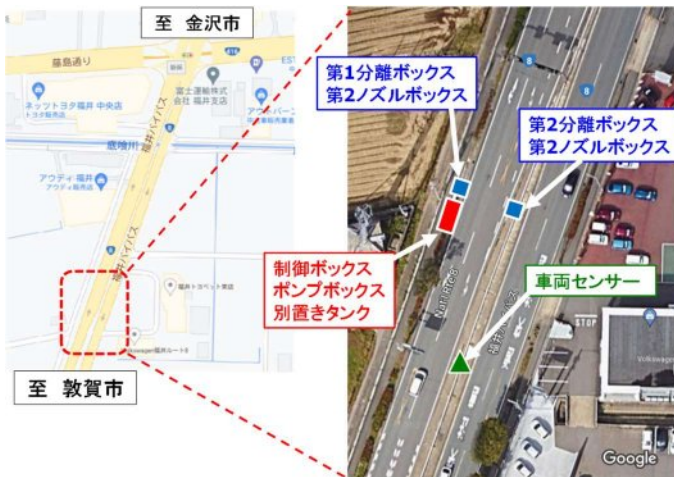


図4 上り線の設置位置



図5 上り線の定置式散布装置の設置状況

定置式散布装置の上り線の設置位置と設置状況を図4、図5に示した。歩道部に制御ボックス、タンク、ポンプボックスを設置、更に歩道側車線に薬剤を供給するための第1分離ボックスと第1ノズルボックスも設置した。これらのユニットは、歩行者の往来に支障が無いように配置

された。中央分離帯には、中央分離帯側の車線に薬剤を供給するための第2分離ボックスと第2ノズルボックス、及び車両センサーも設置された。下り線も上り線と同様に定置式散布装置を配置した。

3. 定置式散布装置の運用方法

定置式散布装置の運用は、遠隔システムを活用して行われた。気象予報により降雪が予想される場合でも降雪強度が弱い事が予想される場合は、定置式散布装置を稼働させず、通常除雪作業と薬剤散布車両による薬剤(塩化ナトリウム)散布のみで対応した。一方、降雪強度が強い事が予想される場合のみ、遠隔システムにて定置式散布装置を自動運転で稼働させ、通常除雪対策(除雪と散布車両による薬剤散布)に加えて、酢酸系薬剤の散布を実施した。

4. 散布装置設置箇所での効果検証

定置式散布装置の導入箇所での効果検証を実施した。効果検証にあたっては非接触式すべり摩擦測定器(VAISALA社製のDSC-111)を使用した。この方法は、3種のレーザー光を路面に照射し、その反射光を解析することで、水膜、氷膜、雪膜の厚さを測定、これらの厚さを



図6 車両に搭載した測定器

を一定のアルゴリズムによってすべり摩擦係数に換算して測定するもので、車両に搭載し通常走行しながら非接触ですべり摩擦を測定することが可能となっている。

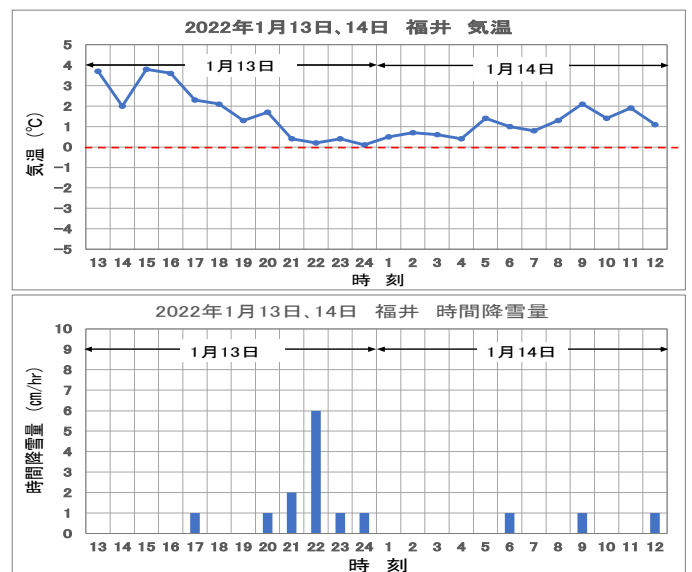


図7 2022年1月13、14日福井市の気象状況

2022年1月13日から14日の気象状況を図7に示した。13日の夜間から気温が低下し、降雪も確認された。

路面観察は、図8に示した範囲で実施した。上り線の場合、消雪パイプの散水による融雪を実施している丸山高架橋があり、その次に開発交差点、酢酸系薬剤の噴射箇所、新保交差点の順になっている。

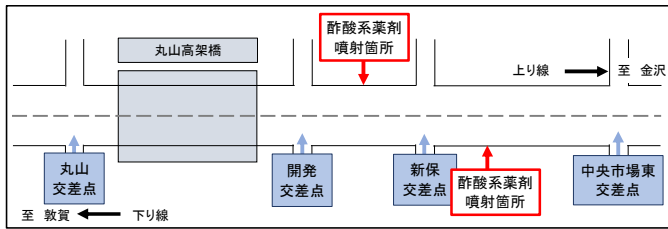


図8 路面状況の観察範囲

1月13日23時頃の路面状況を図9に示した。消雪区間の丸山高架橋では路面が露出、その後の開発交差点付近で路面状況が悪化、酢酸系薬剤噴射箇所付近で路面状況が改善されて新保交差点にまで至っている。



図9 2022年1月13日23時頃の上り線路面状況

その際のすべり摩擦測定結果を図10に示した。消雪区間の丸山高架橋ですべり摩擦係数は0.7前後と高い値を示し、その後、開発交差点付近で0.4前後に低下し、酢酸系薬剤の噴射箇所付近で0.7以上に上昇して新保交差点以降までその高いさが維持される状況であった。この状況は、路面観察結果とほぼ一致する傾向であった。



図10 2022年1月13日23時頃の上り線すべり摩擦測定

16日から17日の気象状況を図11に示した。16日の午後から気温が低下し、降雪も確認された。

その際のすべり摩擦測定結果を図12に示した。消雪区間の丸山高架橋ですべり摩擦係数は0.7以上と高い値を示し、その後、開発交差点付近で0.3前後に低下し、酢酸系薬剤の噴射箇所付近で0.7以上に上昇して新保交差点以降までその高さが維持される状況であった。この結果は、1月13日の結果とほぼ一致する傾向であった。

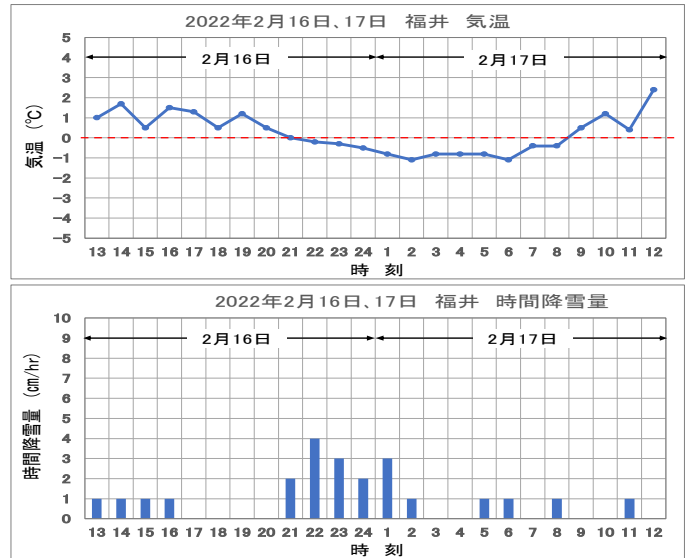


図11 2022年2月16、17日福井市の気象状況



図12 2022年2月16日23時頃の上り線すべり摩擦測定

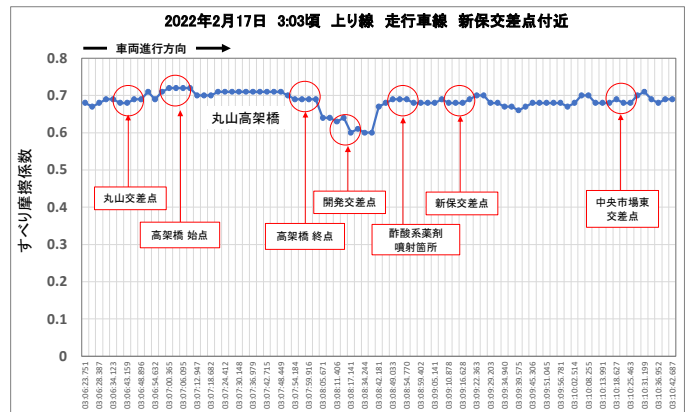


図13 2022年2月17日3時頃の上り線すべり摩擦測定

その後、継続して17日1時頃から7時頃にかけてすべり摩擦測定と路面観察とを実施した。その際の代表的なす

べり摩擦測定結果を図13に示した。図10、図12のすべり摩擦測定結果と比較すると開発交差点付近から噴射箇所付近で顕著な差が認められない状況であった。よって、この時間帯は路面観察を中心に評価を進めた。上り線の3時頃の路面観察結果を図14に示した。図14の消雪区間後の開発交差点付近で路面状況がかなり悪化し、酢酸系薬剤の噴射箇所付近で路面状況が改善される傾向であった。下り線でも酢酸系薬剤の噴射箇所手前では路面状況が悪化、酢酸系薬剤の噴射箇所以降で改善される傾向であった。

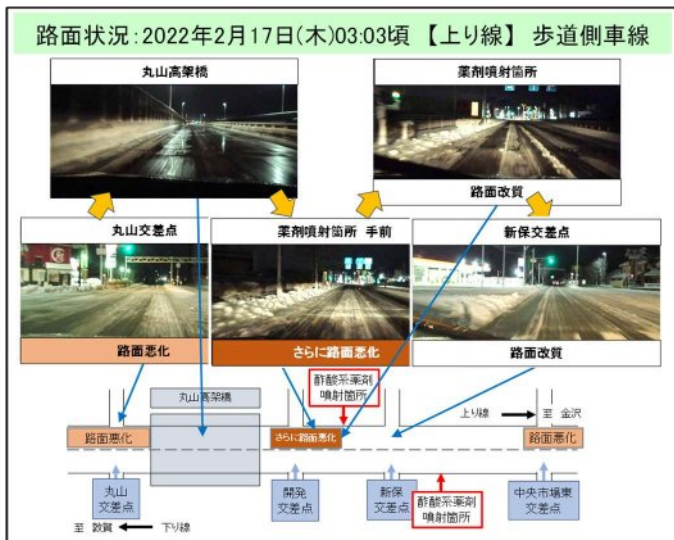


図14 2022年2月17日3時頃の上り線の路面状況

その後、7時頃まで路面観察を継続、その際の路面状況を図15、16、17に示した。図15の酢酸系薬剤の噴射箇所手前の路面で雪氷路面の凸凹が確認できる。この凸部は雪氷が路面に固着している状況と推定しており、これを固着層と定義した。この固着層の形成が路面状況を悪化させる要因の一つと考えている。図16の酢酸系薬剤の噴射箇所以降の路面では、このような固着層は確認できず、これは酢酸系薬剤による路面改質効果によるものと推定している。図17では再び固着層が認められることから、酢酸系薬剤の有無が固着層の形成に影響している可能性が高い。

5. まとめ

本箇所での路面悪化の傾向として、開発交差点付近から路面が悪化、その路面の悪化は新保交差点付近まで継続されたと考えられる。ここで述べる路面悪化とは、固着層の形成と推定しており、固着層の形成がスタック発生の要因の一つになったと推定している。

本対策箇所にて定置式散布装置を導入し酢酸系薬剤を散布した事で新保交差点付近のすべり摩擦が改善された。また路面が改質され固着層の形成も抑制されており、路面悪化要因の対策として有効に機能した可能性が高いと推定している。但し、路面の改質については、見た目

の定性的な評価が中心となっている事から、今後、新たな手法により定量的評価を加えたい。さらにスタックの原因の特定や種々の気象条件での評価も必要な事から今後も継続的な検証を実施する予定である。

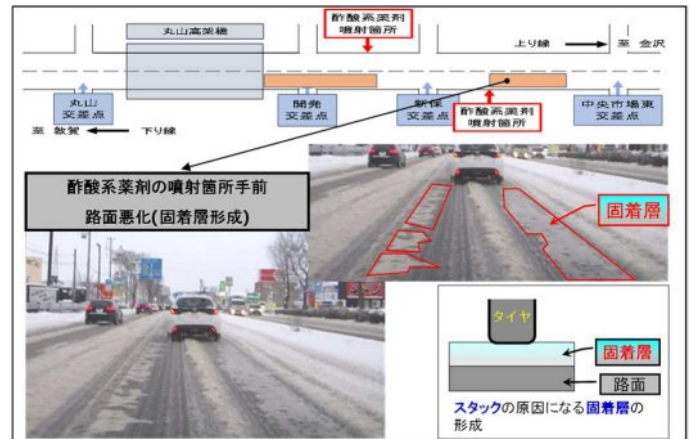


図15 2022年2月17日7時頃の下り線の路面状況(その1)

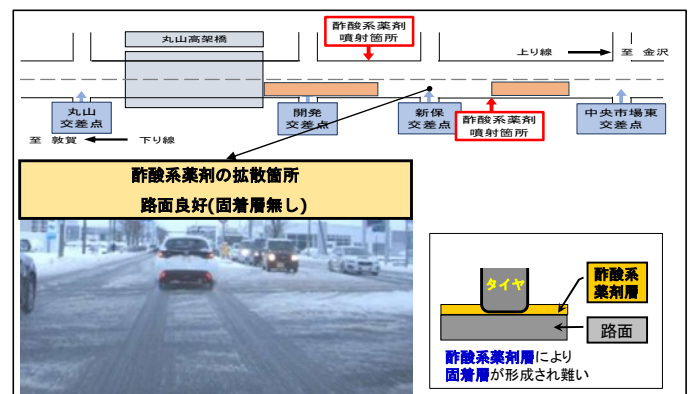


図16 2022年2月17日7時頃の下り線の路面状況(その2)

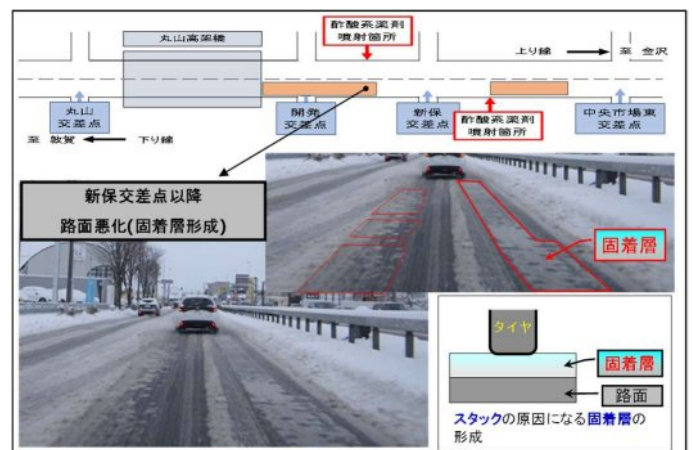


図17 2022年2月17日7時頃の下り線の路面状況(その3)

最後に本報告をまとめるにあたり、国土交通省近畿地方整備局福井河川国道事務所様、並びに福井国道維持出張所様には、大変お世話になりました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

画像処理による路面判別技術の車両への実装検証

東 忍*1

1. はじめに

高速道路は、地域の社会、経済、人々の暮らしを支える重要な公共インフラであり、除雪作業や路面凍結防止作業は、お客様へ安全・安心で快適な走行環境を提供するため、欠かすことのできない重要な作業である。

凍結防止剤散布作業を自動化することで、作業の効率化と凍結防止剤散布量を低減させることを目的に、タイヤ内面に設置した加速度センサーが、道路に接地（道路を蹴り上げる状態）の振動波形を計測することで、路面状態を判別する路面状態判別システム（CAIS）と判別結果により算定される凍結防止剤散布内容、散布量を凍結防止剤散布車に送信する凍結防止剤自動散布装置を組み合わせた、凍結防止剤最適自動散布システム（ISCOS）をH26 から導入している。

昨年度（令和4年度）の凍結防止剤削減量は約2,000t、約4,000万円の削減金額である。図1に凍結防止剤最適自動散布システム（ISCOS）を示す。



現状の課題として、路面状態判別システムについてタイヤを使用しているため、走行軌跡上の判定であり、4車線道路の追越車線の判定が出来ない。追越車線を含む自動判別システムの高度化のため、道路状況の識別性能向上を目的に静止画像を用いた路面状態判別検証と車両への実装検証をおこなった。

2. 路面状態判別・検証方法

路面状態判別検証方法として、車載カメラから取得した道路（路面）静止画像から、画像識別器を用いて路面状態を面的に識別する。画像識別器の構築には、ディープラーニングの手法であるCNN（畳み込みニューラルネットワーク）を用いた。CNNの識別モデルは後に車両実装する際、計算量を少なくできるMobile Netsを使用した。図2に画像識別器の構築状況を示す。

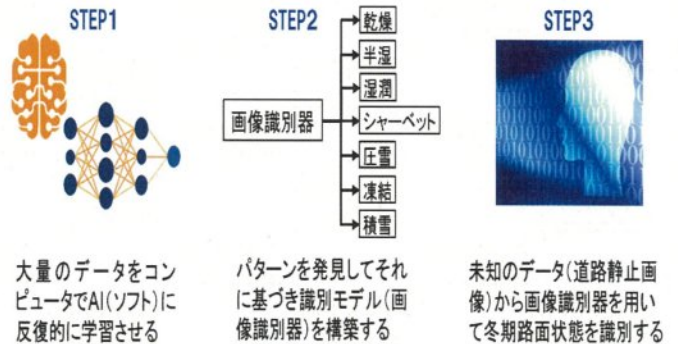


図2 画像識別器の構築状況

学習静止画像データは2020年の雪氷巡回車の車載カメラから静止画像の撮影をおこない（札幌自動車道、旭川紋別自動車道、道東自動車道）、3713枚の画像データを使用している。分類としては、①乾燥（304枚）②半湿（831枚）③湿潤（599枚）④シャーベット（478枚）⑤圧雪・凍結（積雪）（1501枚）の分類となっている。図3に各道路状況を示す。



① 乾燥

② 半湿

図1 凍結防止剤最適自動散布システム（ISCOS）

*1（株）ネクスコ・エンジニアリング北海道



図3 各道路状況

3. 判定精度検証

学習静止画像データを基に画像識別器を構築し、五分割交差検証にて精度確認をおこなった。図4に画像識別器結果を示す。横軸が各路面条件正解ラベルで、縦軸が正解ラベルに対しての識別結果を示している。精度（正答率）は0.835である。

		予測					TOTAL
		①乾燥	②半湿	③湿潤	④シャーベット	⑤圧雪・凍結 (積雪)	
正解ラベル	①乾燥	213	30	61	0	0	304
		70%	10%	20%	0%	0%	
	②半湿	87	696	46	2	0	831
		10%	84%	6%	0%	0%	
	③湿潤	2	169	418	8	2	599
		0%	28%	70%	1%	0%	
	④シャーベット	0	25	100	337	16	478
	0%	5%	21%	71%	3%		
⑤圧雪・凍結 (積雪)	1	1	28	34	1437	1501	
	0%	0%	2%	2%	96%		
TOTAL		303	921	653	381	1455	3713
							83.5%

図4 5分類での画像識別器結果

(精度 (正答率) = 0.835)

結果としては、正解ラベルが乾燥、湿潤、シャーベットに関する予測正答率が約70%と全体の正答率に対して低い結果となった。正解ラベルが乾燥・半湿に関しては、予測結果が乾燥、半湿、湿潤にほぼ収束しており、湿潤については、半湿・湿潤に収束している。

原因としては、学習静止画像データの乾燥、半湿、湿潤についての路面状況が測定状況（測定時、日射状況）により近似しているデータが一定数ありそのことにより正答率を押し下げていると考えられる。

正解ラベルがシャーベットに関しては、予測結果が湿潤・シャーベットに収束しており、この原因についても前述と同様と考えられる。正解ラベルが圧雪・凍結（積雪）に関しては、ほぼ正答している。画像データの枚数が他の正解ラベルより多くこのことが、全体の正答率の上昇に寄

与している。

4. 実際の凍結防止剤散布状況による判定精度検証

凍結防止剤最適自動散布システムを長年運用して、各路面状況によりきめ細かく凍結防止剤散布量を変動できることよりも、安全面に考慮して道路状況が乾燥以外の条件の場合は凍結しやすい橋梁部を除いて、一定量の凍結防止剤散布にて対応する運用になっている。このことから、判定基準としては単純に『撒く』『撒かない』の判定の場合①乾燥 ②半湿+湿潤 ③シャーベット+圧雪・凍結（積雪）の3分類で充分であるため、図4の5分類→3分類での判定精度の検証をおこなった。図5に3分類での画像識別器結果を示す。

		予測			TOTAL
		①乾燥	②半湿+湿潤	③シャーベット+圧雪・凍結 (積雪)	
正解ラベル	①乾燥	213	91	0	304
		70%	30%	0%	
	②半湿+湿潤	89	1329	12	1430
		6%	93%	1%	
③シャーベット+圧雪・凍結 (積雪)	1	154	1824	1979	
	0%	8%	92%		
TOTAL		303	1574	1836	3713
					90.7%

図5 3分類での画像識別器結果

(精度 (正答率) = 0.907)

精度（正答率）は0.907である。特に②半湿+湿潤について正答率が上昇し、全体の正答率の上昇に寄与している。実使用でも十分な精度が出ていると考えられる。

5. 車両への実証検討

5. 1. 学習静止画像データ

3章、4章の画像識別器結果を踏まえて、学習静止画像データを用いた実車両での精度検証をおこなった。

データセットの構築に用いた画像については、2021年の雪氷巡回車から静止画像の撮影を行い（札幌自動車道、道央自動車道、道東自動車道）、16575枚の画像データを使用している。分類としては、①乾燥（2755枚）②半湿+湿潤（6000枚）④シャーベット+圧雪・凍結・積雪（7820枚）の3分類としている。車載カメラより得られた画像（1920×1080pixels）の路面部分を切り出し、学習・識別する識別器を構築し、その精度を確認する。切り出すサイズは車載カメラより取得した画像サイズに合わせて700×280pixelsとした。図6に識別器へ入力する解析窓の設定について示す。識別器はMobile Netsを転移学習させて構築した。



図6 実車両でのカメラ設置状況

図7に学習静止画像データ3分類での画像識別器結果を示す。図5の結果と比較してほぼ同等の精度（正答率）になっている。

		予測			
		①乾燥	②半湿+湿潤	③シャーベット ト+圧雪・凍 結・積雪	TOTAL
正解ラベル	①乾燥	2257	467	31	2755
		82%	17%	1%	
	②半湿+湿潤	223	5503	274	6000
		4%	92%	5%	
	③シャーベット ト+圧雪・凍 結・積雪	74	457	7289	7820
	1%	6%	93%		
TOTAL		2554	6427	7594	16575 90.8%

図7 学習静止画像データ3分類での画像識別器結果
(精度(正答率) = 0.908)

5. 2. 実走行画像データ

実車両データは北広島管内の札幌南～新千歳空港間を常時走行している車両を用い、検証期間は2023年2月1日～2023年2月28日とした。図8に実車両でのカメラ設置状況を示す。走行100m毎での画像を取得しているが、判定枚数が1日に約4000枚となり、解析時間が大きくなってしまいうため、KPの小数点1位が0区間（8.0KP、9.0KP・・・）での解析をおこなっている。

識別器へ入力する解析窓の設定は追い越し車線側に設定している



図8 実車両でのカメラ設置状況

実車両からの雪氷巡回走行時の取得画像を目視にて路面状態判別をおこなった結果、8748枚の画像データに対して、①乾燥（1656枚）②半湿+湿潤（4489枚）④シャーベット+圧雪・凍結・積雪（2603枚）の3分類枚数となった。

5. 3. 実走行画像データによる判定精度検証

5. 2. 章で取得した実車両画像データ3分類での画像識別器結果について図9に示す。図7での画像識別器結果と比較して、精度（正答率）が6割程度（0.597）とかなり下がっている。

		予測			
		①乾燥	②半湿+湿潤	③シャーベット ト+圧雪・凍 結・積雪	TOTAL
正解ラベル	①乾燥	430	1185	41	1656
		26%	72%	2%	
	②半湿+湿潤	634	3460	395	4489
		14%	77%	9%	
	③シャーベット ト+圧雪・凍 結・積雪	288	983	1332	2603
	11%	38%	51%		
TOTAL		1352	5628	1768	8748 59.7%

図9 実車両画像データ3分類での画像識別器結果
(精度(正答率) = 0.597)

正解ラベルが乾燥について正答率がかなり低く、半湿+湿潤の予測結果が多くなっていた。また、シャーベット+圧接・凍結・積雪についても半分程度になっておりこちらについても半湿+湿潤の予測結果が多くなっていた。

半湿+湿潤に誤認される想定原因として、①正解ラベルが乾燥条件でも、走行条件（上り、下り）によって日射により路面が異なる。図10に2023年2月21日の25.0KP（恵庭インター付近）（左：上り、右：下り）を示す。画像識別器結果として左が半湿、右が乾燥になっている。左画面については日射による照り返し面が半湿に誤認されている可能性がある。



図10 2023年2月21日(25.0KP)状況
(左：上り、右：下り)

②天候条件によって、誤認される可能性がある。図11に下り25.0KP状況（左：2023年2月21日、右：2023年2月

24日)を示す。画像認識結果として左が乾燥、右が半湿になっている。左側日射が無い場合、日射のある場合に比較して全体的に暗くなり、車内画像の映り込みもあり誤認されている可能性がある。



図1-1 下り25.0K P状況
(左:2023年2月21日、右:2023年2月24日)

③路面環境によっても、誤認される可能性がある。図1-2に下り21.0K P (2023年2月21日)を示す。正解ラベルは乾燥であり、画像認識結果は湿潤になっている。切土上に針葉樹の分布があり、日射によって影が道路上に表示されている。



図1-2 下り21.0K P状況 (2023年2月21日)

①②③の他、道路舗装面による誤認等(高機能舗装、密粒舗装)も可能性がある。図1-3に高機能舗装、密粒舗装状況を示す。実走行時の誤認識を減らすためには、学習静止画像データを全体路線からの取得ではなく、走行路線での学習静止画像データの取得、取得カメラデータの解像度UP、車内反射の無い取付位置の設定、特殊路面環境下での学習データの設定等が必要と考えられる。



図1-3 高機能舗装(左)、密粒舗装(右)状況

また、凍結防止剤最適自動散布システムに組み入れる場合、正解データが乾燥以外(湿潤、凍結等)で、画像識別器結果が乾燥になる場合は危険側の運用になるため、その範囲に対しての正答率は極力高くなるように設定する必要がある。

6. まとめ

凍結防止剤最適自動散布システムの高度化のため、道路状況の識別性能向上を目的に静止画像を用いた路面状態判別に対して車両への実証実験をおこなった。学習静止画像データでの精度(正答率)は90%以上あり、十分な精度があるが、実車両での走行画像データによる判定精度は60%程度にとどまり、特に正解ラベルが乾燥、シャーベット+圧接・凍結・積雪時の画像識別器結果の精度がかなり低く、画像識別器結果が半湿+湿潤に移行している傾向があった。

移行している主な理由としては、①日射による照り返し面による誤認 ②天候条件によつての誤認 ③路面環境による誤認(道路上への影等) ④道路舗装面による誤認等が考えられる。今後については上記可能性を踏まえた、学習静止画像データの作成、実運用を踏まえた危険側の運用にならない条件設定をおこない、実用化進捗をおこなう。