

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

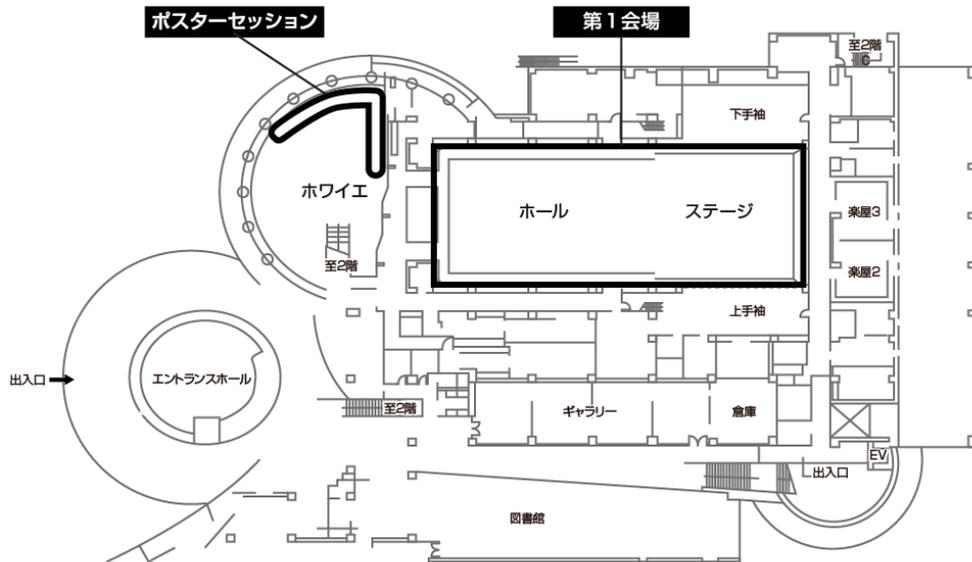
第35回ふゆトピア in 北広島 研究発表会 会場図

北広島市芸術文化ホール

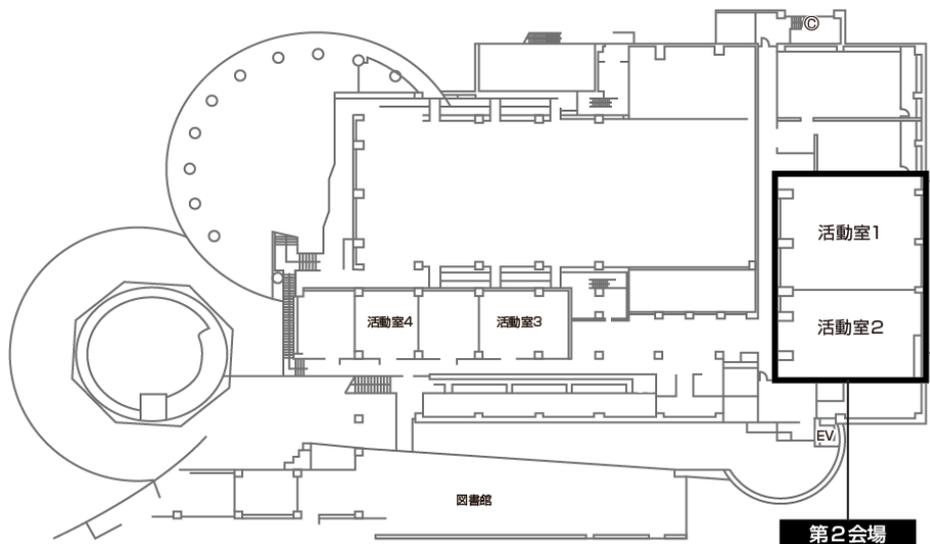
- 第1会場 (1階)
大ホール：研究発表会 (セッションⅢ)
- 第2会場 (2階)
活動室：研究発表会 (セッションⅠ、セッションⅡ)
- ポスターセッション (1階) ホワイエ

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Ⅱ【冬期に生じる災害対応・支援・復旧】（口頭発表論文）

No.	発表題名	発表者所属	発表者	頁
Ⅱ-1	AIを用いた雪氷システムの現地運用	中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店 施設安全管理部	柴田 拓海	1
Ⅱ-2	北海道支社管内における雪氷作業判断の高度化に関する取り組み ～雪氷作業現場マネジメント支援システム開発について～	株式会社ウェザーニューズ	東田 芳治	5
Ⅱ-3	車載型カメラの画像を用いた冬期道路維持管理の効率化	国土交通省 北海道開発局 釧路開発建設部 道路計画課	三村 北斗	9
Ⅱ-4	粒子ベース解析法による河川護岸に対する氷板衝突プロセスの数値解析 法について	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 寒地河川チーム	阿部 孝章	13
Ⅱ-5	国道38号における暴風雪時の立ち往生に関する取り組み	国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部 道路整備保全課	須田 優作	19
Ⅱ-6	国道5号小樽市張碓峠で発生したスタック対応 ～異常気象への備え～	国土交通省 北海道開発局 小樽開発建設部 小樽道路事務所	草島 広佳	23
Ⅱ-7	近年の立ち往生車両発生傾向に関する一考察 ～立ち往生車両分析ツールの活用～	開発技建株式会社 交通計画部	飯田 雅之	27
Ⅱ-8	遠赤外線融雪装置の試験運用について ～国道8号の登坂不能対策～	国土交通省 北陸地方整備局 金沢河川国道事務所	南 善導	33
Ⅱ-9	DXアプリを活用した持続的かつ効率的な大雪への対応	東日本高速道路株式会社 新潟支社 事業調整チーム	小宮 悟	37
Ⅱ-10	距離と時間に着目した豪雪時の運搬排雪の運用に関する一考察	北海道大学	中前 茂之	41
Ⅱ-11	既設道路防雪林の防雪機能向上に資する対策事例 ～下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料 (案)の公開～	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム	松島 哲郎	47
Ⅱ-12	スタック車両における『緊急脱出用具』の試行導入に向けた、フィールド 試験結果の報告	国土交通省 北陸地方整備局 北陸雪害対策技術センター	後藤 大地	53
Ⅱ-13	ETC2.0データを活用した冬期交通状況のモニタリングについて	国土交通省 北海道開発局 建設部 道路計画課	佐々木 優太	57
Ⅱ-14	「道の駅」での冬期災害対応力の向上に資する取り組み ー「道の駅」さるふつ公園での事例報告ー	国土交通省 北海道開発局 稚内開発建設部 道路計画課	林 貴博	61
Ⅱ-15	冬季オホーツク海の海水減少が引き起こす波の増大	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 寒冷沿岸域チーム	岩崎 慎介	65

セッションⅡ【冬期に生じる災害対応・支援・復旧】（応募論文）

No.	論文名	著者所属	著者	頁
Ⅱ-16	札幌駅交通ターミナルにおける冬期の防災拠点機能について	国土交通省 北海道開発局 建設部 道路計画課	伊藤 典弘 松本 一城 角張 弘幸	69
Ⅱ-17	冬期の悪天候時における道路情報の提供について	国土交通省 北海道開発局 建設部 道路計画課	伊藤 典弘 伍棲 和哉 藤原 拓也	73
Ⅱ-18	近年の北海道における吹雪強度の地域分布傾向	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪水チーム	菅原 邦泰 原田 裕介 西村 敦史	77
Ⅱ-19	豪雪地域における高速自動車道の視程障害対策及び滞留対策等の取組	株式会社ネクスコ・メンテナンス新潟 湯沢事業所	佐藤 博之 植木 和明 渡辺 淳平	81
Ⅱ-20	羽越河川国道事務所の関係機関との連携と協力による雪対策	国土交通省 北陸地方整備局 羽越河川国道事務所 道路管理課	尾近 博	85
Ⅱ-21	大雪時の道路交通確保対策に関する近年の実施状況 令和3年冬期以降の対応状況	国土交通省国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 建設経済研究室	原野 崇 小俣 元美	89
Ⅱ-22	風による雪の移動を考慮した融雪流出解析	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所	山田 嵩 柿沼 孝治	93
Ⅱ-23	エア一式遮断機の追加整備効果の検証	①中日本高速道路(株) 金沢支社 高速道路事業部 保全課 ②中日本高速道路(株) 金沢支社 高速道路事業部 保全計画課 ③中日本高速道路(株) 金沢支社 敦賀保全・サービスセンター保全計画課	①秋田 隼希 ②中島 賢治 ③長原 俊介	97
Ⅱ-24	2積雪地域分類図の作成 “道路構造令の解説と運用”に基づく積雪地域の分類法	開発技建株式会社 道路計画部	村上 雅紀	101
Ⅱ-25	除雪作業の技術継承と効率化をめざして ～除雪車両等に搭載したカメラを活用した取組～	①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 ②大東工業株式会社 維持事業部	①一場 勝幸 ①村岡 豊仁 ②稻荷山 智之	105
Ⅱ-26	令和4年12月長岡・柏崎地域の集中降雪による車両滞留検証と対策検討について	国土交通省 北陸地方整備局 長岡国道事務所	齋藤 勝博 小原 知実 山内 慎吾	109

AIを用いた雪氷システムの現地運用

山代 哲弘*1 村主 翔平*1 野口 七海*1
中村 貴男*2 長谷川 敬*3 柴田 拓海*3

1. はじめに

NEXCO中日本では図1のような流れで雪氷体制を構築している。雪氷体制構築にあたり、作業計画を立てるには、作業員のリソースや雪氷設備の配備状況、地形や気象条件等多岐にわたる知識をもとに、適切な人員配置と作業量を想定した体制判断が求められる。気象状況、気象予測によって、その判断を迅速に行い、必要な準備を開始しなければならないことから、個人の経験・技能差による影響が大きくなる可能性がある。そこでNEXCO中日本では作業計画を立てるための体制判断ツールとしてAIを用いた雪氷体制判断システムの開発を行っている。

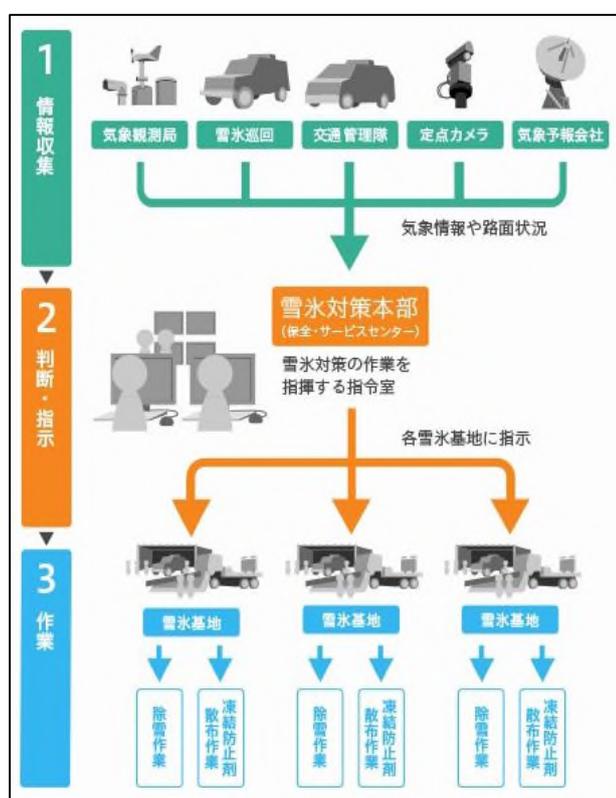


図1 雪氷体制構築のフロー図

2. AIを用いた雪氷体制判断システム

2.1 概要

このシステムは、予報業務許可事業者から得られる気象予測データや、NEXCO中日本管内を巡回する車両に取り付けた、路面を測定できるセンサから得たデータ(以後、このデータを「Vaisalaデータ」と記載)をAIシステムに学習

させ、過去の気象条件や路面状況を検索し、今後の天候に合わせた雪氷体制を提案するシステムである。

このシステムによって、これまで体制構築に必要であった知識や経験が豊富でなくても雪氷作業指示の支援を行うことができる。また、様々な情報が整理されて提案されるため、作業準備の効率化や現場で作業される方の休息時間の確保といった、現場行程管理においても効果が期待できると考えられる。

2.2 雪氷体制

このAIシステムの開発にあたり、雪氷体制の判断は、NEXCO中日本 金沢支社の敦賀保全・サービスセンターの雪氷対策要領をベースにシステム開発を進めた。体制の判断には、気温や降雪量、路面状況等が判断材料となり、それらの情報から体制及び人員・車両配置が決定する。体制には「平常」、「警戒(監視)」、「警戒(準備)」、「警戒(散布)」、「警戒(除雪)/緊急」の5パターンがある。

2.3 システム評価・検証

AIシステムを運用するにあたり、実際の精度がどれほどかを評価・検証した。使用したデータについては、2019年度から評価・検証を行ってきた敦賀保全・サービスセンターは2020年度から2022年度の3年分、金沢支社管内への展開を考慮して他3拠点の福井保全・サービスセンター、金沢保全・サービスセンター、富山高速道路事務所は2022年度の1年分の冬季の気象予報データとVaisalaデータ(直近30分以内、1時間以内、4時間以内、8時間以内)、2020年度から2022年度の実際に体制を組んだ際の雪氷体制実績データの3つである。

評価方法として、学習したAIモデルを用いて、2022年度のAI判定出力と実際の体制実績(以降、「実際体制」と記載)がどれほど一致したかを検証した。AIの学習方法は比較的少ないデータからも結果の分類や予測を立てることができる「ランダムフォレスト」を採用した。この「ランダムフォレスト」は表1のデータを組み合わせ、それぞれのデータ解析結果を持つ決定木を複数作成し、その多数決から答えを求めるものである。

*1 中日本高速道路(株)金沢支社 環境・技術管理部

*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 技術開発部

*3 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)金沢支店 施設保全管理部

表1 AI体制予測に用いられるデータ

気象予測データ	Vaisalaデータ
<ul style="list-style-type: none"> 最低気温 路面温度 (平均値) 3時間内最大降雪量 24時間降雪量 天候 (シフト時間の最頻値) 路面状態 (シフト時間の最頻値) 	<ul style="list-style-type: none"> 最大_水膜厚 最大_氷膜厚 最大_雪膜厚 最小_摩擦係数 最小_路面温度

表6 全4拠点合計の一致データ (84.5%)

合計		AIの予測				
		平常	警戒 (監視)	警戒 (準備)	警戒 (散布)	警戒 (除雪/緊急)
実際体制	平常	801	8		32	26
	警戒 (監視)	4	0			3
	警戒 (準備)	14	1	0	9	14
	警戒 (散布)				111	99
	警戒 (除雪/緊急)				28	401

2.4 課題

AI体制予測と実際体制がずれた結果について解析したところ、いくつかの原因が判明した。

赤枠の、実際体制が「平常」だが、AI体制予測は「散布」「除雪」と判断された原因は、天候の急変化であった。AI体制予測に用いる気象予報データは9:00と16:00発表のデータを使用しており、Vaisalaデータと合わせて表1のデータの中から重要度の高いものを判断基準として分析し、AI体制予測を出している。図2は用いるデータと予測精度を示したものである。この結果をみるとVaisalaデータが直近であるほど予測精度が高まる傾向にあるが、その反面Vaisalaデータが不足していた場合は天候の急変化に対応できず、今回の様な事象を招いてしまうこととなった。その対策としては、Vaisalaデータを現状以上に活用し、直近の路面状態や路面温度、摩擦係数との比較と現地の状態を把握することで気象予測の急変化にも対処できると考察する。なお直近2時間以内の精度が低い理由は、この時間帯のVaisalaデータが少ないためである。

表2 敦賀の一致データ (90.3%)

合計		AIの予測				
		平常	警戒 (監視)	警戒 (準備)	警戒 (散布)	警戒 (除雪/緊急)
実際体制	平常	295	2		8	3
	警戒 (監視)		0			
	警戒 (準備)			0	3	2
	警戒 (散布)				28	8
	警戒 (除雪/緊急)				24	147

表3 福井の一致データ (86.8%)

合計		AIの予測				
		平常	警戒 (監視)	警戒 (準備)	警戒 (散布)	警戒 (除雪/緊急)
実際体制	平常	148	1		12	7
	警戒 (監視)	1	0			3
	警戒 (準備)			0		
	警戒 (散布)				16	10
	警戒 (除雪/緊急)				1	67

表4 金沢の一致データ (76.1%)

合計		AIの予測				
		平常	警戒 (監視)	警戒 (準備)	警戒 (散布)	警戒 (除雪/緊急)
実際体制	平常	129	1		4	6
	警戒 (監視)	2	0			
	警戒 (準備)	8	1	0	2	3
	警戒 (散布)				29	34
	警戒 (除雪/緊急)				1	40

表5 富山の一致データ (81.8%)

合計		AIの予測				
		平常	警戒 (監視)	警戒 (準備)	警戒 (散布)	警戒 (除雪/緊急)
実際体制	平常	236	4		8	10
	警戒 (監視)	1	0			
	警戒 (準備)	9		0	4	9
	警戒 (散布)				39	47
	警戒 (除雪/緊急)				2	147

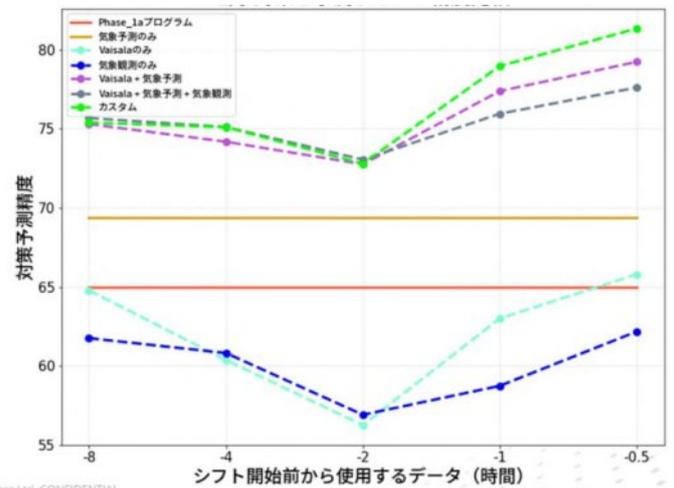


図2 用いるデータと精度の比較図

黄枠の実際体制が「除雪」だがAI体制予測は「散布」、あるいは実際体制が「散布」だがAI体制予測は「除雪」というように、微妙にずれる傾向になった原因は、Vaisalaデータを含めても降雪、水膜厚が増え始める箇所のAI体制予測は特性上、除雪と散布が入り混じってしまう為と、拠点ごとに実際体制の判断が異なることであった。図3から図6は実際体制が「散布」だがAI体制予測は「除雪」と予測された際の特徴を示したグラフで、Vaisalaデータを含めない状態を示したものである。■は実際体制もAI体制予測も「散布」であったプロットであり、降雪、水膜厚が小さい時に実施する傾向がみられた。●は実際体制もAI体制予測も「除雪」であったプロットであり、降雪、水膜厚が大きくなるにつれて実施する傾向がみられた。そして◆は実際体制が「散布」だがAI体制予測は「除雪」と予測されたプロットであり、このエリアでは特性上、除雪と散布の判断の紛れは多少なりとも発生してしまう。なお図のX軸の0は、全データの平均位置である。0より右に行くと降雪、水膜厚が増え始め道路状態は悪くなり、左に行くと良くなる。Y軸は雪を0として、上に行くとも雨より、下に行くとも晴れよりの天候になる。

また、敦賀と福井ではずれが少ないが、金沢、富山でずれが多いことから、この2拠点は天候、路面状態に関わらず、散布を選択する傾向があることがわかった。

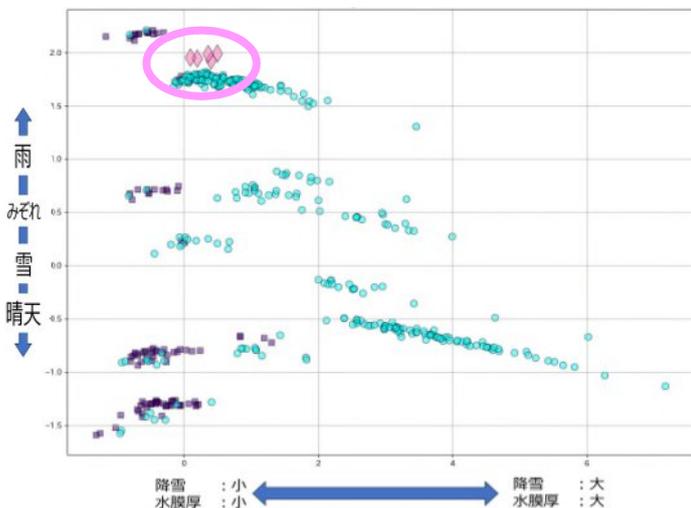


図3 敦賀 実際体制とAI体制予測 (除雪と散布)

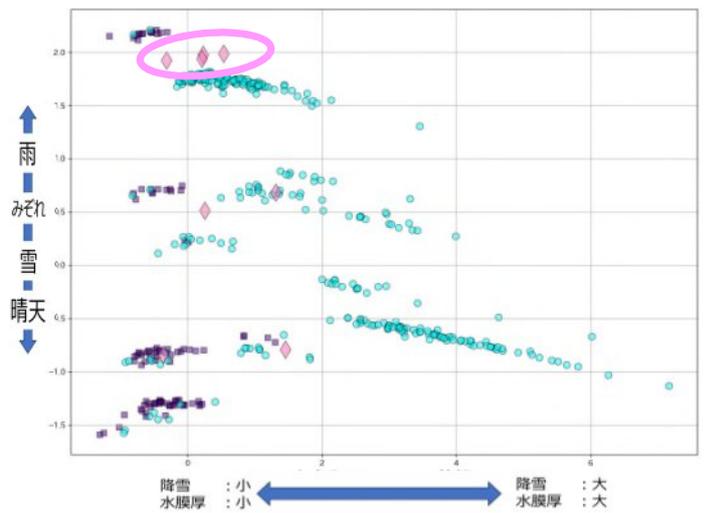


図4 福井 実際体制とAI体制予測 (除雪と散布)

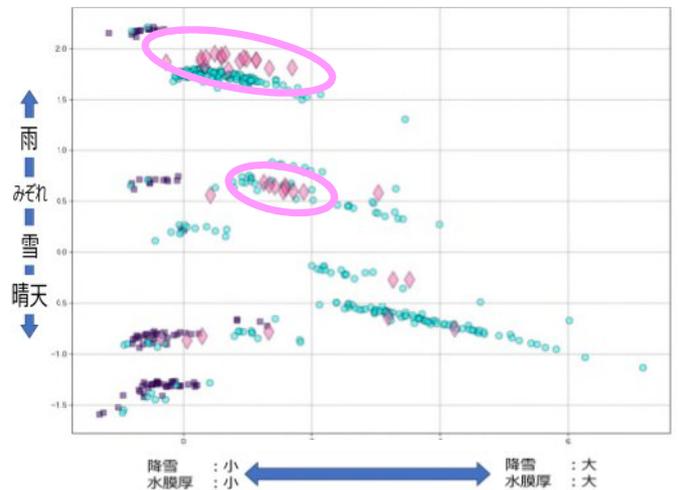


図5 金沢 実際体制とAI体制予測 (除雪と散布)

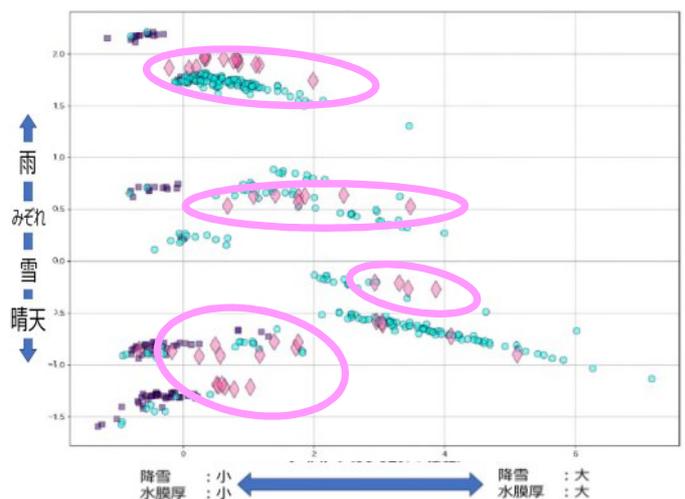


図6 富山 実際体制とAI体制予測 (除雪と散布)

次に図7は、実際体制が「散布」だがAI体制予測は「除雪」予測された際の特徴を示したグラフでVaisalaデータ（直近30分前）を含んだ状態を示したものである。なおこのグラフは4拠点分を含んだものである。Vaisalaデータを含まなかった際と同様に、実際体制もAI体制予測も■「散布」であったプロットは降雪、水膜厚が小さい時に実施する傾向がみられた。実際体制もAI体制予測も●「除雪」であったプロットは降雪、路面水膜厚が大きくなるにつれてを実施する傾向がみられた。データ数は減るが精度は上がる結果となったものの、Vaisalaデータを含んでも「除雪」と「散布」が入り混じり、実際体制が「散布」だがAI体制予測は「除雪」と予測される結果◆がみられた。しかしこの結果は金沢、富山が除雪より散布を選択する傾向が起因していると考えられる。その対策としては、拠点ごとの特性を考慮し4拠点別にAIを育てていく方が更に精度が上がると考察する。

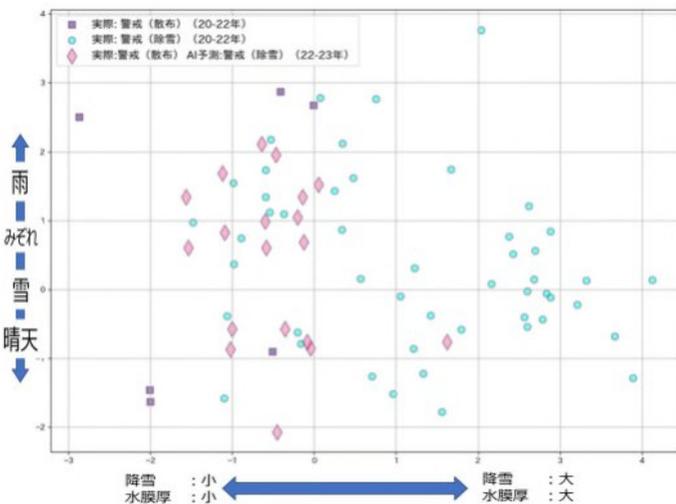


図7 4拠点の実際体制とAI体制予測（除雪と散布）
Vaisalaデータ（直近30分前）を含み

3. 対策と今後の展望

AIシステムの評価を行った結果、過去データが3年分ある敦賀では90%を超える一致率が得られた。高い精度を得た一方で天候急変時や、降雪、水膜厚が増え始めた際にAI体制予測と実際体制のずれも見受けられた。引き続き実際体制を毎年学習、蓄積させ、更に直近の路面状態を把握するべくVaisalaデータを現状以上に活用させていくが、今回は敦賀は3年分、他3拠点は1年分のデータを集約したAIを用いて4拠点分の評価・検証を行っていたため、今後は各拠点の特性を考慮して4拠点別にAIを育てていく方向で検証を続け、精度向上につなげていきたいと考えている。

そうすることで雪氷体制構築にかかる負担を軽減し、業務の効率化となり、それが高速道路の安全・安心・快適性の向上につながるといえる。

参考文献

- 1) NEXCO中日本、安全性向上3カ年計画の取組み状況、「vol.05 冬季の安全な通告を確保する雪氷対策。」
<https://www.nexco.co.jp/corporate/safety/torikumi/torikumi/vol05/>

北海道支社管内における雪氷作業判断の高度化に関する取り組み ～雪氷作業現場マネジメント支援システム開発について～

志賀 友彰*1 佐々木 広司*2 戸部 明 東田 芳治 赤澤 悠子*3

1. はじめに

北海道における高速道路は、広域分散型の点在する都市を結び（図1）、物流を中心とした地域産業の振興ならびに観光産業の活性化等に重要な役割を担っている。一方で、北海道は世界でも類を見ない豪雪地帯であり、約半年にも及ぶ豪雪、極寒の期間において、高速道路の安全性および確実性の確保が重要である。

また、我が国は少子高齢化が進展しているが、除雪や散布などの雪氷作業の従事者においても高齢化が進んでおり、雪氷作業の適切な判断ができる熟練者の不足が懸念されている。

以上を背景に、本研究は雪氷作業の非熟練者でもある程度均一な水準で判断を可能とするための支援をすることを目的としている。

帯広管内の十勝清水IC以東を除き、断続的に雪雲が流れ込み急な積雪や吹雪による視程不良が発生する。また、低気圧が接近する際には、全道において湿った重い雪が多量に降り、シャーベット路面となりやすく、冬タイヤ装着時においても事故の危険性が高まる。また、10月中旬から11月下旬にかけての初冬期は冬タイヤの装着率が低いため、多少の積雪や凍結により事故を誘発しやすいため、凍結防止剤散布を行って安全な路面状態を確保する必要がある。そのため、気象情報や巡回による現地状況を効率的に収集し作業計画を立てていく必要があるが、その判断は雪氷作業指示者の個々人の判断に任されるため、熟練と若手での判断の差が出やすく、且つその知識や技術の習得には時間を要するのが課題である。



図1. 北海道の高速道路ネットワーク

北海道における冬期の気象特性分布（図2）によると、冬型気圧配置が約半数以上を占めている事が分かる。この冬型気圧配置になると日本海に筋状の雲が発生し、

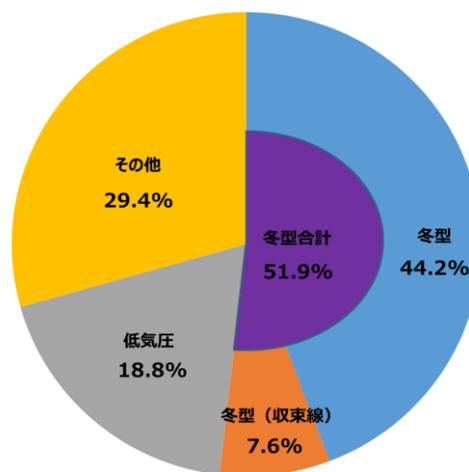


図2. 気象特性分布（R1～R5年度）

そこで、雪氷作業の熟練者のノウハウを形式化し、非熟練者がある程度均一な水準で雪氷作業の判断を行えるようにするための仕組み（雪氷作業現場マネジメント支援システム）を株式会社ネクスコ・メンテナンス北海道（以下、メンテ北海道）と株式会社ウェザーニューズ（以下、WNI）にて共同開発した。

*1 東日本高速道路株式会社 北海道支社
*2 株式会社ネクスコ・メンテナンス北海道
*3 株式会社ウェザーニューズ

2. 当システムを構成するエンジンについて

熟練者のノウハウを形式化するために、平成29年度雪氷期に旧岩見沢管理事務所（現札幌管理事務所管内）にヒアリングを行い、判断に必要な情報や技術要素を抽出する作業を実施した。その結果、図3に示す複数の要素から判断を実施していることが確認できた。これらの情報の内、気象状況から自動的に雪氷作業の有無を判断できる手法の検討を実施した。具体的には、雪氷作業指示者が判断に利用している気象データを入力値として、作業種類・作業範囲を決定すると共に、機械学習を行うAIエンジン（以下、雪氷作業AI）の構築を行うこととした（図4）。

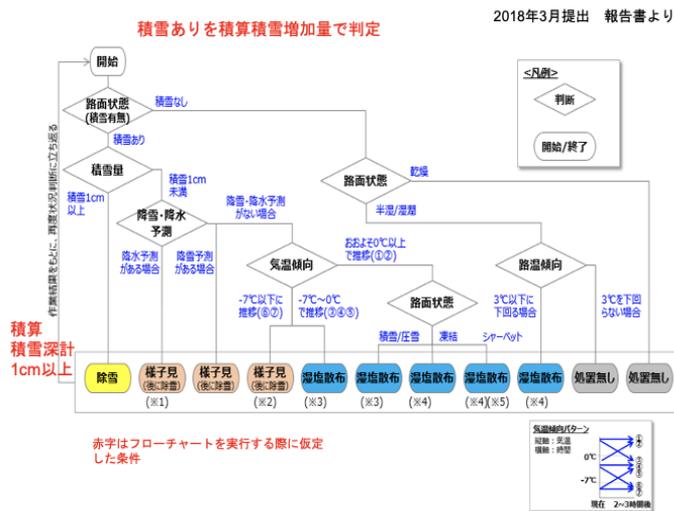


図3. 雪氷作業の判定フロー

(旧岩見沢管理事務所にてヒアリングした結果)

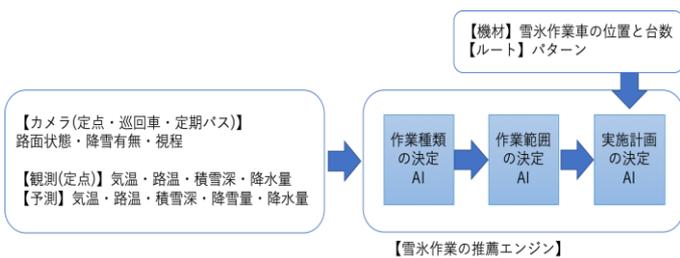


図4. 雪氷作業判断の自動化に向けたフロー

一方、巡回やカメラ監視により路面状態も判断の要素に含まれているが、その実況はオンラインによるデータ化がされていないことから、それを補完するため、東日本高速道路株式会社北海道支社における雪氷作業車のGPSデータ（以下、GPSデータ）を入手し、当時の作業データ（除雪、散布）も雪氷作業AIを構成する要素に入れることで、雪氷作業が必要な路面状態かを判定できるようにした。

雪氷作業AIを構築するにあたり、図5のフローの通り、WNIが所有するAIエンジンの「LAPLACE」に雪氷作業区間毎の気象実況や作業実況等の過去データを投入し、分析、検証、チューニングを繰り返した。これらを性能評価して最も性能が優れたものを雪氷作業AIとして運用実験に用いることとした。

なお、雪氷作業AIに学習させるGPSデータについては、気象以外の要素から判断して行う作業（通行止め中の除雪や散布、拡幅除雪等）については除外し、新雪除雪や降雨・降雪による凍結を防止するための雪氷作業を対象に性能評価と運用実験を行った。

また、1年毎に検証と投入データ変更等による改良を実施し、雪氷作業AIの精度向上を図った。その結果、令和4年度においてはLightGBMというAIモデルを用い、表1に示すデータを投入して運用実験を行うことで最も高精度な判定が期待できるものと性能評価された。特に日本海海上にある筋状雲や上空の風の実況解析値を反映することは、熟練者が前広に実況を把握して雪氷作業を判断していることに近いことを意味している。よって、令和4年度はこのAIエンジンを用いた支援システムにより運用実験を行った。

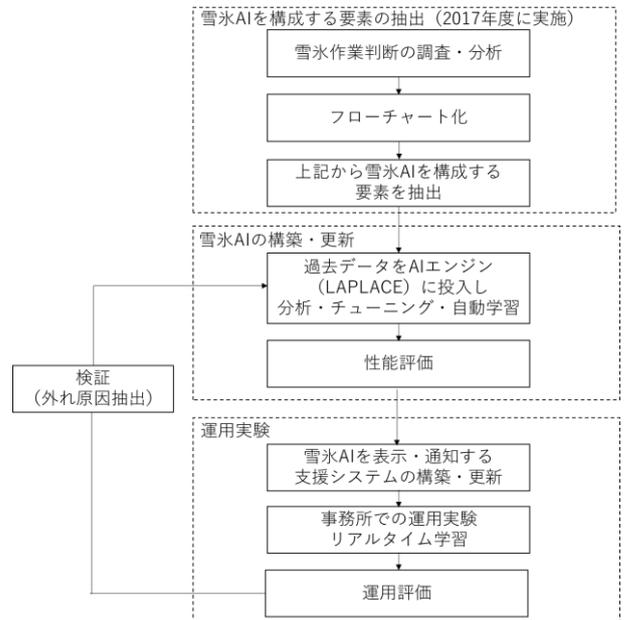


図5. 雪氷作業AIの構築と精度向上の流れ

表1. LAPLACEへの投入データ（令和4年度）

実験エリア	札幌(旧岩見沢管内)、旭川、帯広
AIモデル	LightGBM
投入データ	<ul style="list-style-type: none"> ・NEXCO観測実況(気温・路温・積雪深) ・NEXCO GPSデータ(雪氷作業実況) ・WNI解析実況(解析雨量) ・WNI予測(降水ナウキャスト:札幌管内のみ) ・気象庁観測実況(アメダス湿度) ・気象庁解析実況(850hPa風向・風速・気温)

3. 雪氷作業現場マネジメント支援システムについて

当システムは雪氷作業AIにて判定した結果をwebページ上に表示し通知することで雪氷指示者の判断を支援する仕組みである(図6)。

これは雪氷作業AIにて1時間後に行う作業(除雪・散布)を区間毎に推奨し音声と点滅にて通知するものである。また、オンラインで入手している気象データ及びGPSデータを図7の通り反映し、10分毎に最新の作業推奨を行うと共に、GPSデータで取得した作業内容を雪氷作業AIがリアルタイムで機械学習する。更に、GPSデータが雪氷作業中となっている場合は、作業推奨しない様にする事で、必要な時だけ通知し、雪氷作業指示者に対する視認性を高める工夫をした。このシステムを用いて、北海道支社管内の一部区間において運用実験を行った。



図6. 雪氷作業現場マネジメント支援システム



図7. 当システムによる各種判定と作業判定フロー

4. 雪氷作業AIの運用実験について

運用実験は北海道支社管内でも比較的降雪量の多い旧岩見沢管理事務所にて平成30年度から実施した。その後、日本海側に面しており気象特性が類似している旭川管理事務所にて令和2年度より実施し、日本海側の気象特性に合わせた雪氷作業AIの構築と検証を行った。また、当エンジンについては、毎年の検証とチューニングを行いながら、今後の汎用化を見据えたエンジンの補正を実施した上で、令和3年度からは太平洋側の帯広管理事務所でも当システムを使った運用実験を行った。

各事務所には雪氷作業現場マネジメント支援システムを閲覧できる環境を構築し、雪氷期間中において10分毎に最新の作業推奨を行い、実際の作業と比較することによる精度検証と、システムの視認性向上を実施した。

雪氷作業AIの精度検証における適中の考え方については、図8の通りである。作業推奨を行ってから1時間後に作業が行われる場合が本来の適中であるが、実際は準備や路面状況把握などによる開始時刻のずれがあるため、作業推奨時刻の30分前～120分後までは許容幅とし、その時間帯の中で作業が行われれば適中とした。

また、雪氷作業終了時刻から2時間先までを1回の雪氷作業としてカウントし、判定時刻の前後2時間で雪氷作業が行われなかった場合は「作業なし」とした(図9)。

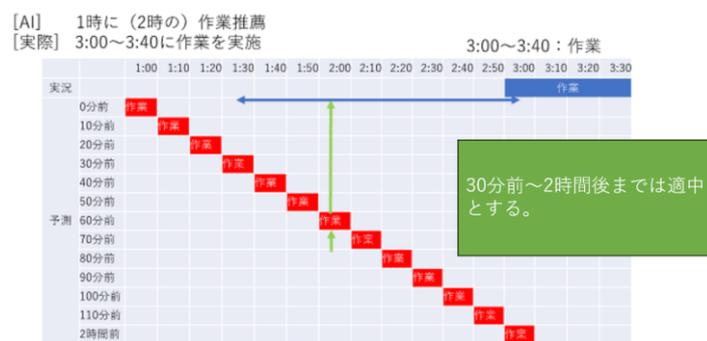


図8. 適中の考え方

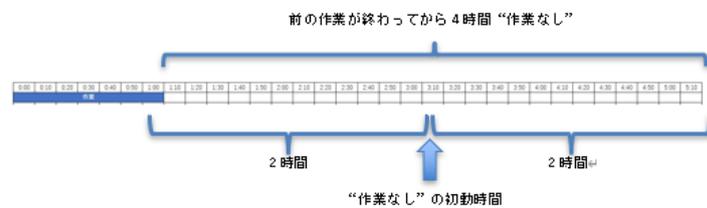


図9. 作業なしの場合の考え方

運用実験は令和4年10月16日から令和5年2月28日まで実施した。その事例数は表2の通りで、散布作業及び除雪作業は、全事例の10～20%程度の割合で実施された。

表2. 対象事例 (R4年度)

事務所	作業種別	作業あり事例	作業なし事例数	全事例数
札幌管理事務所 (旧岩見沢管内)	散布作業	509	2,879	3,388
	除雪作業	520	2,879	3,399
旭川管理事務所	散布作業	595	4,033	4,628
	除雪作業	909	4,033	4,942
帯広管理事務所	散布作業	557	4,507	5,064
	除雪作業	399	4,507	4,906

各事例については、図10に示した評価方法の通りに集計した。全事例の内、AとDに該当する場合を適中として適中率を求めた。また、作業なし判定の事例数が多数を占めることから、当システムによる貢献を示す指標として、作業ありと判定した事例（AとCの合計数）のみを抽出した適中率（予測あり適中率）も算出した。一方、作業なしと判定して作業が実施された場合は見逃し（Bに該当）とした。

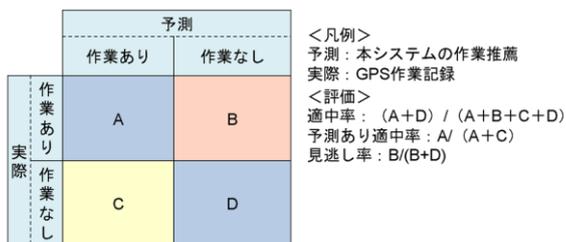


図10. 評価方法（分割表）

これらの評価結果は表3の通りである。令和元年度以降の各事務所における雪氷作業AIの精度を示しており、表中の黄色ハッチの箇所は、令和4年度が過年度の中で最も精度が高かったことを示している。

適中率は散布・除雪推薦とも各事務所で90%前後であり、特に札幌管内では過年度で最良であった。

また、予測あり適中率は、札幌及び旭川管内において、散布では65%以上、除雪では87%以上となり、除雪推薦については両事務所とも過年度で最良であった。

見逃し率においては札幌及び帯広管内で概ね7%以下となり両事務所とも過年度で最良であった。

表3. 評価結果

表中の値：％（黄色を付した部分は本年度業務において過去最高水準を達成した評価指標）

散布	札幌（旧岩見沢）			旭川			帯広			平均		
	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率
令和元年度	80.8	49.6	15.2	-	-	-	-	-	-	80.8	49.6	15.2
令和2年度	82.2	63.0	18.7	93.7	36.1	4.9	-	-	-	88.0	49.6	11.8
令和3年度	88.4	59.0	9.1	89.1	66.8	8.9	89.6	55.2	8.6	89.0	60.3	8.9
令和4年度	91.1	72.3	5.9	90.3	65.8	7.0	87.6	43.2	7.3	89.7	60.4	6.7

除雪	札幌（旧岩見沢）			旭川			帯広			平均		
	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率	適中率	予測あり適中率	見逃し率
令和元年度	88.7	44.0	6.7	-	-	-	-	-	-	88.7	44.0	6.7
令和2年度	88.4	72.3	12.6	83.8	44.3	3.1	-	-	-	86.1	58.3	7.9
令和3年度	91.8	77.1	6.7	87.7	75.1	11.4	93.8	68.5	5.8	91.1	73.6	8.0
令和4年度	92.9	89.8	6.7	86.0	87.6	14.1	92.6	57.3	5.5	90.5	78.2	8.8

特に札幌管内の精度が上がったのは、日本海（石狩湾や留萌沖など）の解析実況や降水ナウキャスト（予測）を雪氷作業AIに投入して学習したことにより、雪雲の発生とその後の動きを効率的に捉えたことが効果的だったと考えられる。また、AIによる過年度の学習効果も出ていと見られる。この気象特性は旭川管内でも類似しており、実況解析値を雪氷作業AIに投入したことによって、

予測あり適中率の向上に貢献している。更に、日本海側の事務所で構築したAIエンジンの汎用化を目指して試験導入した帯広管理事務所での適中率は90%前後を確保できた。

一方、帯広管内の予測あり適中率については除雪推薦で43%、散布推薦で57%と他事務所より低かった。また、旭川管内では他事務所よりも除雪推薦の見逃し率が高かった。

前者においては、見逃し率低減に重点を置いたチューニングを実施しており、降雪時の特徴について、やや過剰に判定する傾向があった（雪雲が日高山脈を超えると見込まれ作業ありと判定する）。後者については、陸上で雪雲が急発達する場合や、筋状雲の通過位置が想定と乖離することにより見逃しとなる傾向があった。

両事務所とも現状は実況値のみで雪氷作業の有無を判定している点が共通していたことから、予測を用いることが改善に向けた一助になる可能性がある。

5. まとめ

冬期の気象が厳しい北海道支社管内における道路維持管理において、これまで熟練者が実施してきた雪氷作業判断のノウハウを次世代に効率よく継承し、ある程度均一に判断できること目的として、AIを活用した雪氷作業現場マネジメントシステムを構築し、雪氷作業AIの改良と、札幌、旭川、帯広管理事務所に対して運用実験を行った。

その結果、雪氷作業AIの精度について、適中率は全ての事務所で概ね90%以上となり、汎用化を見据えて導入した帯広管理事務所でも高精度を確保できた他、札幌管内では予測あり適中率、見逃し率も含めて過去最良の結果を導くことが出来た。

一方、帯広管内の予測あり適中率が他事務所より低く、旭川管内は見逃し率が他事務所よりも高かった。両事務所の降雪特性をより効果的に捉える点が更なる精度向上への課題となっている。

6. 今後の展開にむけて

北海道支社管内の日本海側、太平洋側それぞれの気象特性に関わる事務所で運用実験を行った結果、雪氷作業AIを用いた判断において、ある程度適用できることが確認された。今後は運用実験で確認された課題解決を行っていきながら北海道支社管内の他事務所や、他支社での展開等についても視野に入れたAIの学習を進めると共に、現場での運用化やシステムの使用性向上についても深化させていきたい。

車載型カメラの画像を用いた冬期道路維持管理の効率化

三村北斗*¹、上田健一*¹、永田泰浩*²、大橋一仁*²

1. はじめに

1. 1. 背景

吹雪による道路交通への影響を最小限に留めるためには、時間変動が激しく局所的な特性を持つ吹雪を迅速かつ正確に把握する必要がある。北海道の国道において過去5年間（H30年度～R4年度）に吹雪を理由として通行止めが発生した回数を図1に示す。釧路開発建設部管内が55回と北海道内の吹雪を理由とする通行止めのうち28%を占め、道路交通への影響を及ぼしている。これまで吹雪は熟練技術者の経験に基づき、定性的に把握されてきたが、少子高齢化の影響により、道路管理者、道路維持工事受注者の人手不足が深刻とされ、熟練技術者の減少が予想される。このような課題に対し、日々の冬期道路維持管理の水準を保つため、車載型カメラ画像収集システムを活用し、吹雪を迅速かつ正確に把握する経験を客観的な数値で定量的に把握しデータの蓄積、若手技術者へ継承することで、継続的な冬期維持管理体制の水準確保に寄与するものと考えている。本論文は車載型カメラ画像収集システムによるこれまでの取り組みとその活用について報告するものである。

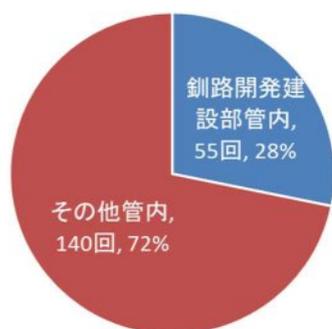


図1 吹雪による国道の通行止め回数の地域比較

1. 2. 車載型カメラ画像収集システムの概要

過年度の研究成果¹⁾で示された画像処理技術について、概要を示す。カメラで撮影した道路の画像について、図2のように、好天時はコントラストがはっきりしているが、吹雪によって視界が悪くなるとコントラストが低下し、白や灰色の一色に近づいていくことがわかる。北海道大学の萩原ら²⁾はこの画像のコントラストに着目し、画像処理によって人間の目の見やすさを評価する手法を開発し、人間の目が感じやすい領域のコントラストの大きさを画像

評価値WIPS (Weighted Intensity of Power Spectra) という数値で示し、その大小と、人間がその画像を見て感じる視界状況の関係が強いことを示した。図3に車載型カメラ画像収集システム（以下、「車載型カメラシステム」）を示す。車載型カメラ画像収集システムをフロントガラスの内側に設置した小型カメラから画像データを10秒間隔で記録し、画像毎に小型PCで画像評価値WIPSを計算する。画像、画像評価値WIPS、位置情報のデータを小型PCのmicroSDカードへ保存するとともに、携帯電話網に繋ぎ、サーバー一定間隔で送信するものである。



図2 カメラ画像のコントラストと視界レベルの関係



図3 車載型カメラシステムの使用機材

2. 車載型カメラ画像収集システムを活用した取り組み

2. 1. Webサイトによる吹雪状況の情報共有

吹雪発生時に巡回する道路パトロール車両の運転手と道路管理者は、主に電話やスマートフォンで撮影した画像、動画で吹雪状況を共有している。しかし、電話による情報共有は運転手の主観が混じる上、口頭のため吹雪状況を正確に道路管理者が把握するには限界がある。また、画像、動画は常時スマートフォンで撮影できるわけではなく、局所的な情報しか把握できない。そこで、車載型カメラシステムで取得した吹雪状況データを即時にWebサイトで配信する試行を令和元年度から行っている。サーバーに送信された画像のjpgデータと画像評価値WIPS、位置情報をまとめたcsvデータを活用し、視界状況データ（WIPS）を4段階に分類した上で即時にWebサイトで配信した。その配信画面を図4に示す。令和4年度は図5の区間

* 1 国土交通省 北海道開発局 釧路開発建設部 道路計画課

* 2 一般社団法人 北海道開発技術センター 地域政策研究所

を走行する6台の車両より吹雪状況データを配信した。



図4 吹雪状況データの配信画面

視程障害が発生している場合、事故が発生する危険がある。Webサイトで吹雪状況を情報共有することにより、維持工事受注者の安全確保、写真撮影の負担軽減にも繋がることがわかった。

表1 過年度に把握したWebサイトによる情報共有への意見

道路管理者	吹雪時の現地状況の伝達、把握が効果的、効率的に行える
	CCTV(固定)カメラのない場所を確認できるので良い
	通行止めの判断材料の1つとして活用できる
維持工事受注者	事故発生時に車載型カメラシステムのWebサイトにより状況把握ができる。
	吹雪状況把握時の写真撮影を停車せずに行えるため、安全
	口頭の説明では限界があるので画像があると視程状況を伝えやすい
	人手不足へ対応するため、パトロールカーではなく、除雪トラックに搭載してほしい

2.2. 除雪車による配信の可能性検討

表1のように維持工事受注者から、「人手不足へ対応するため、パトロールカーではなく、除雪トラックに搭載してほしい」との意見があった。そこで前述の図5に示したうち、一般国道272号KP85.64~KP100.81及び一般国道244号KP95.92~KP118.681の区間を走行する除雪車に車載型カメラシステムを搭載し、除雪車による吹雪状況データの配信の可能性を検討した。令和4年12月から令和5年2月の約3か月間にわたり除雪車に車載型カメラシステムを搭載した結果、吹雪状況データは問題なく配信できた。しかし、一般に、ドライバーの視点が高いほど、地吹雪時や地吹雪を伴った吹雪時には視程障害になりづらい。そこで、CCTVカメラ尾岱沼2（一般国道244号KP107.0）

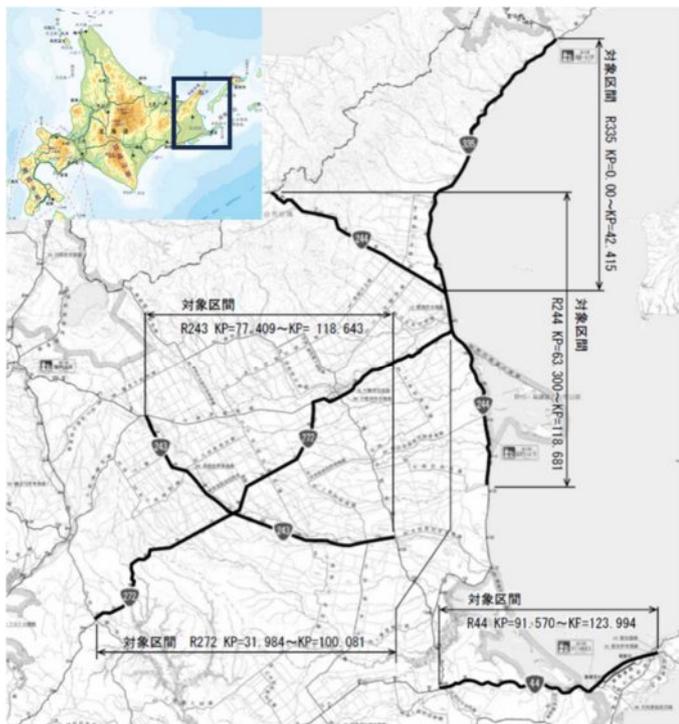


図5 対象区間

Webサイトによる吹雪状況の情報共有への意見を表1に示した。このWebサイトにより吹雪状況の円滑な情報共有が可能となり、冬期道路維持管理の効率化に寄与すると考える。また、「事故発生時に車載型カメラシステムのWebサイトにより状況把握ができる」との意見があり、吹雪状況の把握以外での活用方法も示唆された。加えて、「写真撮影を停車せずに行えるため、安全」との意見があった。こういった吹雪状況を道路管理者へ伝えるため、車を停車し、車外に出て吹雪状況を撮影していた。著しい

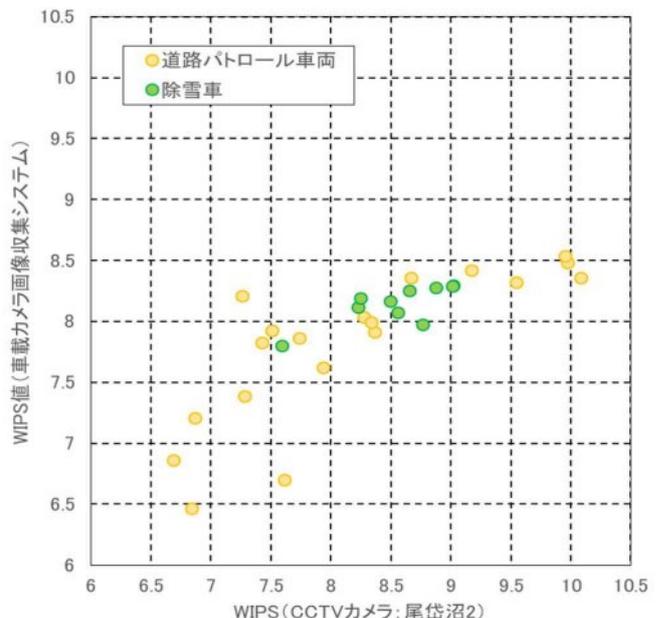


図6 CCTVカメラのWIPS値と道路パトロール車両および除雪車のWIPS値の比較(尾岱沼2)

表 2 車載型カメラシステムを道路パトロール車両に搭載した場合と除雪車に搭載した場合の特長

	道路パトロール車両	除雪車
走行タイミング	<ul style="list-style-type: none"> ・2日に1回のタイミングで1往復走行 ・平常時と暴風雪時のデータを蓄積できる →○冬期を通じた吹雪発生頻度の評価に適する →×暴風雪時のデータを集められない場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・降雪後や暴風雪時に集中的に走行 ・降雪後や暴風雪時のデータを集中的に蓄積 →○暴風雪時などのデータを集めやすい →×冬期を通じた吹雪発生頻度は評価できない
走行区間	<ul style="list-style-type: none"> ・2日に1回のタイミングで全線走行 →○全線を通じた吹雪多発区間の評価に適する →×暴風雪事例での局所的なデータ把握は難しい 	<ul style="list-style-type: none"> ・降雪区間や暴風雪区間を中心に走行 →×走行区間に偏りがあるため全線評価は難しい →○暴風雪区間内の局所的な区間の評価が可能
通行止め時のデータ	<ul style="list-style-type: none"> ・吹雪による通行止め前と解除直前に走行することが多く、通行止め期間中はあまり走行しない 	<ul style="list-style-type: none"> ・通行止め時も断続的に走行しており、最も吹雪が厳しい時間帯のデータを収集できる
情報配信	<ul style="list-style-type: none"> ・吹雪のない日も走行しており、良好な状況であることも知っておきたい対象者への配信に向いている 	<ul style="list-style-type: none"> ・暴風雪時や通行止め区間内の現地状況を知りたい対象者への配信に向いている

地点を走行した際の除雪車と道路パトロール車両のカメラ画像から視認性の比較を行い、図6に示した。横軸がCCTVカメラ尾岱沼2の画像のWIPS値、縦軸が当該カメラ地点を通過した際に車載型カメラシステムで撮影した画像のWIPS値を示している。道路パトロール車両におけるCCTVカメラと車載カメラ画像システムのWIPS値の散布図と除雪車のCCTVカメラと車載型カメラシステムのWIPS値の散布図は概ね同じような位置に分布していることがわかった。令和4年度の調査時点では、除雪車については悪天候時の吹雪データが少なく、分析が出来なかったため、CCTVカメラのWIPS値が7.5を下回るような著しい視界不良を確認出来なかった。引き続き除雪車によりデータを収集し、目線の高さの違いによる視界レベルへの影響を把握する必要がある。車載型カメラシステムを道路パトロール車両に搭載した場合と除雪車に搭載した場合の特長を表2に整理した。道路状況を日常的に把握し、蓄積データを元に、冬期を通じた発生頻度や、視程障害多発区間を把握するのであれば道路パトロール車両に、暴風雪時や通行止め発生時の道路状況を把握し、データを蓄積するのであれば除雪車への車載型カメラシステムの設置が良いと考えられる。

3. 定量データ活用による視程障害多発区間の把握

冬期道路維持管理において、定量的に吹雪による視程障害多発区間を把握するために、車載型カメラシステムからの過年度のデータに合算して分析することにより、風向別の視程障害多発区間の把握を試みた。今回は、一般国道243号KP95.0～KP107.0を対象とした。視程障害が発生した際の主風向により、北東系（北北東～東北東）と北西系（西北西～北北西）に分類し、風向別に視程障害多発区間を抽出した。風向は最寄り気象観測所の10分ごとの風向を参考に分類したため、同日の中で時間帯によって北東系、北西系のそれぞれに分類されることがある。2021年から2023年の吹雪状況データについて、北東系は延べ11日、北西系は延べ7日のデータを対象に各キロポストにおける視界レベルの発生割合を整理し、図7に示した。横軸は一般国道243号のキロポストを示しており、縦軸は各キロポスト（200m間隔）で蓄積した視界状況データの視界レベルの割合を示している。北東系を主風向とする吹雪時より、北西系を主風向とする吹雪時に視程障害が発生しやすいことがわかる。各キロポストで蓄積した吹雪状況データのWIPS値を風向別に平均した結果、北西

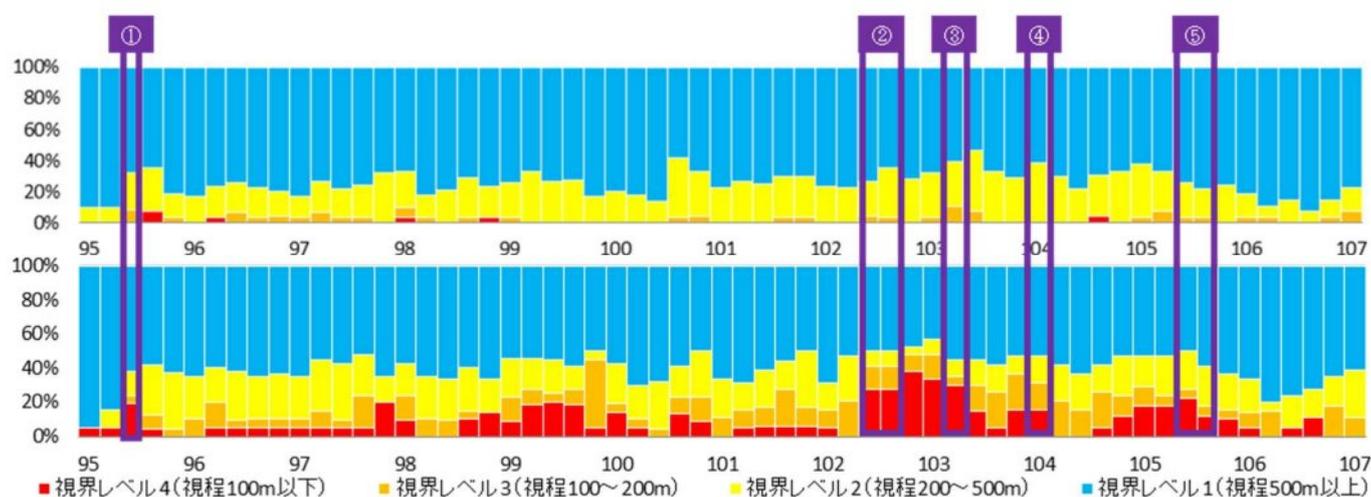


図 7 各キロポストにおける視界レベル発生割合(上:北東系、下:北西系)

系の吹雪時に視程が低くなりやすい区間として①KP95.4～95.5、②KP102.4～KP102.7、③KP103.2～103.3、④KP104.0～104.1、⑤KP105.4～105.5の5区間が抽出された。いずれの区間も北東方向には家屋や林帯等の遮蔽物が存在する一方で、北西方向には吹走距離の長い平坦地が広がっていた。②KP102.4～KP102.7の衛星写真を例として図8に示す。この結果から風向による視程障害多発区間の違いを把握することも可能と考える。

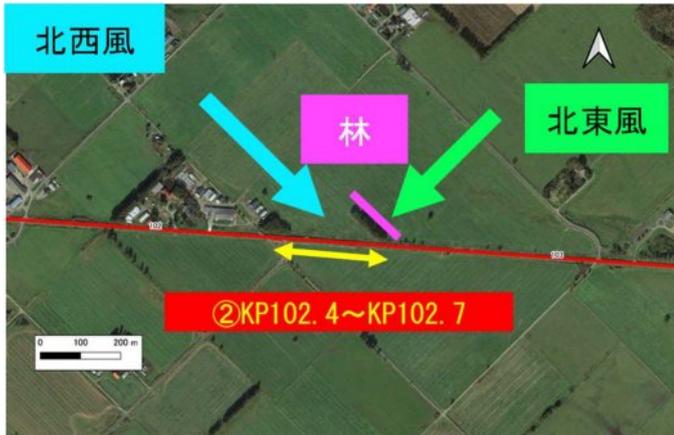


図8 一般国道243号 KP102.4～KP102.7の状況

4. まとめ

吹雪状況の迅速かつ正確な把握に向けて、車載型カメラシステムを活用した風向別の視程障害多発区間の把握、除雪車による吹雪状況データの配信を行った。除雪車による吹雪状況データの配信については、除雪車でも配信自体は可能であることが確認できた。しかし、悪天候時の吹雪データが少なく分析が出来なかったため、目線の高さの違いによる視界レベルへの影響点について確認出来ていないという課題を残した。風向別の視程障害多発区間の把握について、対象区間では北東系と比較して、北西系を主風向とする吹雪時に視程障害が発生しやすいことが定量的に明らかになった。加えて、北西系を主風向とする吹雪時に特に視程障害が発生しやすい区間を明らかにした。

5. おわりに

除雪車へ車載型カメラシステムを設置したことにより、道路パトロール車両のみならず、より多くの車両による吹雪状況データの配信が可能であることを確認できた。しかし、道路パトロール車両と目線の高さが異なる点については、引き続きデータを蓄積し、分析を続けたい。システムを使用するにあたっては、データの蓄積・吹雪状況の即時把握どちらのシーンで活用するかを事前に検討したうえで設置すると効果的だと考える。

蓄積したデータを定量的に分析することにより、若手



図9 技術伝承資料

技術者や事務所担当の後任者への技術の伝承、としての活用も期待される。技術の伝承については、図9に示す資料を作成した。作成にあたっては、管内図に吹雪視程状況の発生頻度に加えて、交通遮断器等の位置を示した。道路維持管理担当へヒアリングしたところ、「既存の交通遮断器の位置を明示した地図に視界情報が加わりより使いやすくなった。」との意見を把握した。今後、風向別に吹雪視程状況の発生頻度を整理することで、より活用される可能性が高まると考える。維持工事受注者の人手不足が懸念される中であってもデジタル技術を駆使し、冬期道路維持管理の体制の強化につなげていきたい。

【参考文献】

- 1) 葛田伊宏ほか：車載型カメラの画像を用いた吹雪時の視界状況データの活用，ゆきみらい2023in会津
- 2) Hagiwara, et.al.: Development of Visibility Assessment Methods with Digital Images under Foggy Conditions. (2004) : In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1862, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 95-108.

粒子ベース解析法による河川護岸に対する氷板衝突プロセスの 数値解析法について

阿部孝章*1 横山洋*1 大串弘哉*1

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地域においては河川周辺域に結氷が生じることが多い。冬期に生じていたこれらの河川結氷は春先の気温上昇により融解、または流量増加により破壊され、漂流する氷板として流下することが多い。更に河口域においては、潮汐の作用により漂流氷板が遡上と流下を繰り返すこともある。こうした氷板の存在に起因し、河道内で護岸が整備された箇所においてコンクリート護岸表面部分に損傷や摩耗が生じる場合がある。氷板の漂流以外にも、気温の低下に伴い再結氷や氷の固着、剥離が生じることも想定され、こうした寒冷地特有の護岸等構造物の損傷現象¹⁾は寒冷地の河川管理上の課題となっている。写真-1に示したのは寒冷地の河口域に設置されているコンクリート護岸が実際に損傷を受けた様子である。

氷と様々な構造物の相互作用に起因する構造物の損傷・劣化自体は世界中の様々な地域で認知され古くから

検討が進められている。同様に工学の様々な分野において例えば海洋構造物²⁾や沿岸構造物³⁾に対する氷の影響等が明らかにされてきている。しかしながら、河川域の氷の挙動や構造物への影響は一部の検討例を除きあまり明らかになってはいない。そのような背景を踏まえ、著者らの研究グループにおいては河川結氷の状況、遡上または流下する氷板について観測を実施し氷の諸元やコンクリート構造物に対する衝突力の評価を行ってきたが⁴⁾、漂流氷板の平面的な挙動、衝突時の接近速度や離脱時の挙動については、観測データが不足しており合理的な対策が困難であった。

そこで本研究では、氷の形状、物性や時期等の様々な条件に対応した構造物への影響評価手法とそれを考慮した護岸の設計法の確立に向け、実際に漂流氷板が観測される箇所における現地観測及び数値解析モデルの開発を行った。その上で、モデル適用性の検討を行ったことを報告する。

2. 手法

本稿で対象とした現地観測対象は図-1に示す網走川の河口から3.1 km地点とした。この地点は網走川の感潮区間であり、冬期から融雪期にかけて漂流氷板の流下や遡上が確認されている地点である。本研究の全ての実験及び観測は2018年から2019年にかけての冬期間に実施した。写真-2は、本稿で対象とする現地観測のための機器設置状況である。河道の上方に氷板の平面的な挙動を観測するためのビデオカメラ（WV-SPW631LJ, Panasonic社製）を単管により固定し、夜間の観測に対応するため

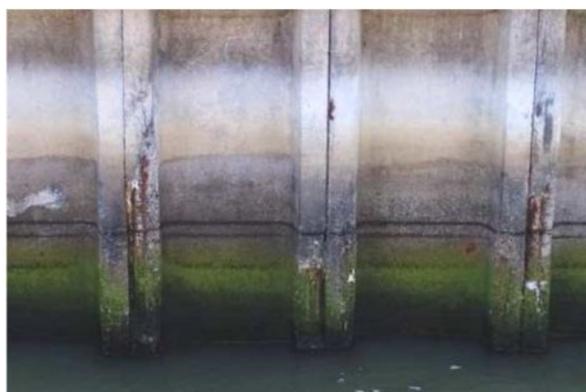


写真-1 北海道内河川におけるコンクリート構造物に対する損傷状況の概況



図-1 調査対象箇所図（地理院地図を元に作成）

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ



写真-2 ビデオカメラの設置状況

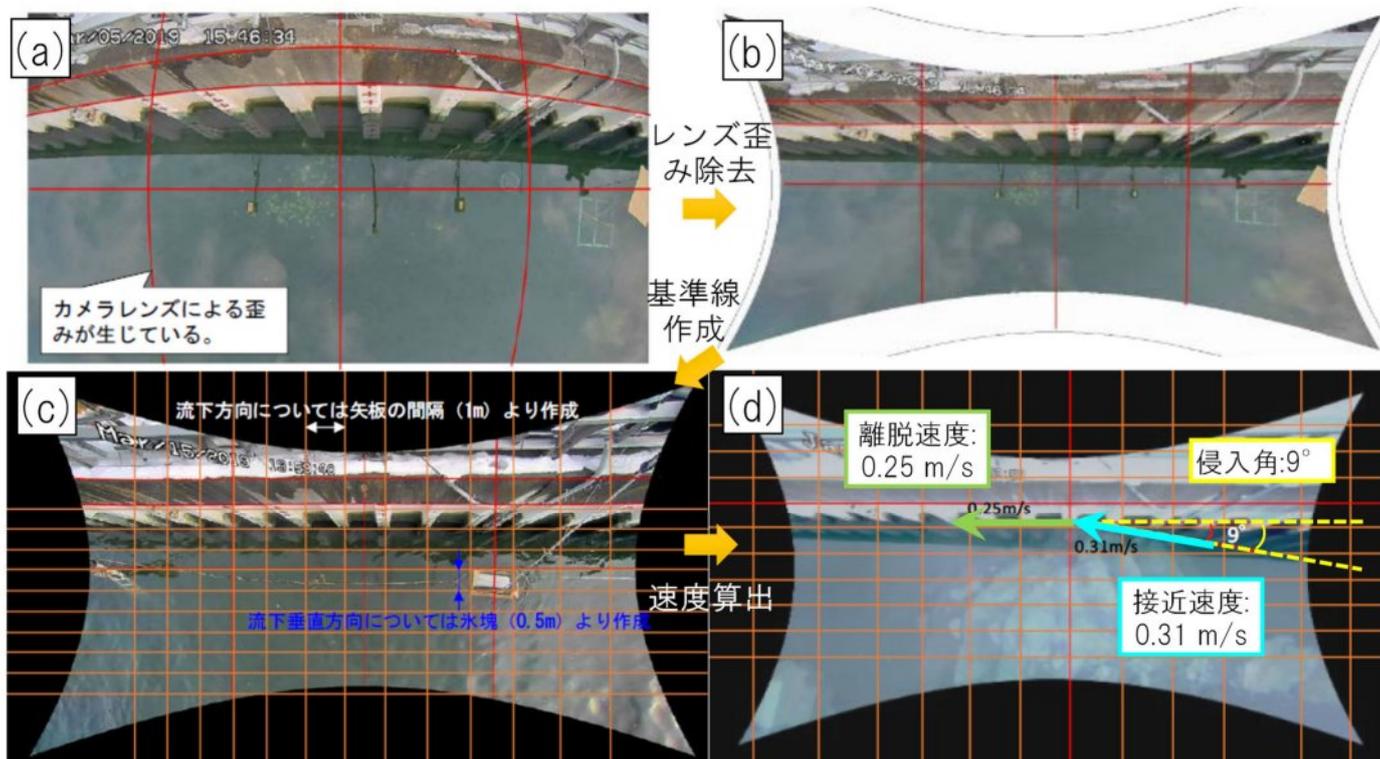


図-2 画像解析手順の概要

LED照明を上下流それぞれ1台ずつ設置した。尚、同地点において、氷板厚の計測や衝突力の評価など、多様な項目の現地観測も合わせて実施しており、詳細は別途寒地土木研究所月報⁹⁾において報告している。

氷板の衝突挙動に関する定量的な評価のため、2018年から2019年にかけての冬期間に得られたビデオカメラによる撮影画像から、護岸部への接近速度及び入射角度を算出した。衝突した河水の流下方向、横断方向のサイズについても同画像から算出した。ここで、ビデオカメラでは広角レンズを使用しているためレンズ歪みが伴う。そのため、ビデオカメラに付属の専用ソフトウェアによりレンズ歪みを補正し、先述の計測を行った。レンズ歪みの補正に関して作業手順を図-2に示した。元の画像(図-2(a))から歪みを除去して(b)ようになる。次に補正した画像に基準線を重ね合わせた(c)より、基準線との位置関係か

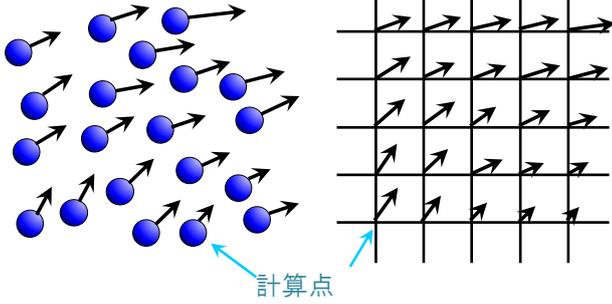
ら氷板の諸元を読み取った。撮影画像を切り出す前の画像をフレーム別に抽出し、河岸のコンクリート矢板護岸への衝突直前の速度(以降、接近速度と表記する)を計測した。その算定例が同図(d)で、縦の赤線を水平方向距離 $x = 0$ の基準線とした上で時系列的な位置の変化と速度を算出した。

次に数値解析手法の概要について以下に述べる。本稿では河川分野では比較的馴染みが薄く新しい「粒子法」という解析手法を基本的な解析手法として採用したため、その概要について述べる。粒子法とは、通常河川分野で河床変動計算や氾濫計算に用いられる格子法とは微分方程式の離散化に際して少し異なる定式化を行う。

図-3に示したのは、粒子法と格子法の比較を概念的に表したものである。連続体(流体や構造物)挙動の計算を時々刻々進めるという点では共通なのであるが、粒子

□粒子法(MPSなど)

□格子法(FEMなど)



- 計算時格子は用いず、時々刻々粒子は移動する
- 計算点は空間に固定されている

図-3 粒子法と格子法の概念の比較⁶⁾

法では計算点が空間に固定されておらず移動する。一方で様々な数値解析において広く用いられている格子法では格子(グリッド、メッシュ、セルなどとも呼ばれる)上に固定される。

粒子法は連続体の分離・合体や大変形問題に適用しても安定的に計算でき、格子法と比較して精度が低下しづらい。そのため本稿で対象とするような物体同士の衝突問題で破壊や損傷を伴うものについては、粒子法の方が適用が容易であり、解析上の破綻が少ない。このような利点から本稿では粒子法を基本的な解析手法として採用した。

連続体の粒子ベース手法としての粒子法には大きくSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法⁷⁾とMPS(Moving Particle Simulation)法⁸⁾の2種類が有名である。本稿では国内の研究者により開発され信頼性の高いMPS法を基本的な解析手法として採用した。尚、粒子法に関する参考資料として、著者らの研究グループによる河川構造物に対する津波衝突時の波力推定⁹⁾、漂流物を伴う津波衝突の解析事例¹⁰⁾が既報として存在するので必要に応じ参照されたい。

次に解析の基礎方程式と離散化について述べる。弾性体の支配方程式¹¹⁾は

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (\lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}) + \rho K_i \quad (1)$$

但し、 ρ は密度、 u_i は速度、 x_i は変位、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタ、 K_i は重力などの外力、 λ 及び μ はラメの定数で、次式のように表される。

$$\lambda = \frac{E\nu}{1-\nu^2}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2)$$

ここで E はヤング率、 ν はポワソン比である。ここで圧力と応力を用いて式(1)を表すことにすると

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \rho K_i \quad (3)$$

で圧力 $p = -\lambda \varepsilon_{kk}$ であり、

$$\sigma_{ij} = 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

である。ある計算対象粒子 i の近傍に存在する(即ち、相互作用計算を行う)粒子 j について、初期の相対位置ベクトル \mathbf{r}_{ij}^0 、計算過程での相対位置ベクトル \mathbf{r}_{ij} 、そして歪みによる変位ベクトル \mathbf{u}_{ij} は

$$\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i \quad (5)$$

$$\mathbf{u}_{ij} = \mathbf{r}_{ij} - R\mathbf{r}_{ij}^0 \quad (6)$$

と表される。但し式中の R は2次元の回転速度ベクトルである。これを鉛直成分と剪断成分に分割すると各応力は

$$\sigma_{ij}^n = 2\mu \frac{u_{ij}^n}{r_{ij}^n}, \quad \sigma_{ij}^s = 2\mu \frac{u_{ij}^s}{r_{ij}^0} \quad (7)$$

となる。MPS法では運動方程式中の微分演算子を粒子間相互作用モデルと呼ばれる独自の離散化モデルを用いて離散化することとなる。宋ら¹¹⁾のように圧力を粒子位置で計算する際にMPS法における発散モデル¹²⁾を用いると、

$$p_i = -\lambda \varepsilon_{kk} = -\lambda \operatorname{div} \mathbf{u}_{ij} = -\frac{D_s}{n_0} \sum_{j \neq i} \frac{\mathbf{u}_{ij}^n}{r_{ij}^n} \cdot \frac{\mathbf{r}_{ij}}{r_{ij}} w(r_{ij}^0) \quad (8)$$

のように算定することができる。ここで、 D_s は空間の次元数(ここでは $D_s = 2$)、 n_0 はMPS法における初期粒子数密度、 $w(r)$ はMPS法で標準の重み関数で、次式で表される。

$$w(r_{ij}) = \begin{cases} \frac{r_e}{r_{ij}} - 1 & (0 \leq r_{ij} \leq r_e) \\ 0 & (r_{ij} > r_e) \end{cases} \quad (9)$$

ここで、 r_e は計算粒子間の相互作用を制限する影響半径であり、計算粒子径 d_0 を用いて $r_e = 2.1d_0$ とした。通常、MPS法の計算において影響範囲は d_0 の2~4倍とされることが多いが、 d_0 の2.1倍としたのは宋ら¹¹⁾に従ったもので、計

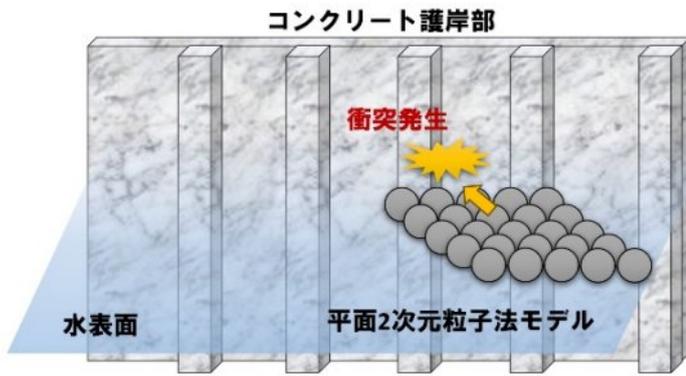


図-4 粒子法モデルによる衝突時の概念図

算コスト増大を防ぎつつ安定的に解析可能であることを確認したためである。

以上のような数値解析モデルを用い、現地に設置されたビデオカメラの映像に捕捉された氷板衝突プロセスのシミュレーションを行うため、平面2次元の数値解析領域を作成した。本モデルにおいては解析上固体間衝突作用のみを解いているため、氷板の周囲を取り囲んでいる流体(河川水)の厳密な取り扱いが行っていないことに留意されたい。今後水面を漂流する氷板の衝突プロセスの解析のためには流れ場の中の固体間衝突を適切に評価可能なモデルの開発が必要となる。

図-4は本稿における氷板衝突の粒子法によるモデル化の概念図である。図-5に示したのは、一例として3/28に捉えられた氷板のスナップショット及びそれを模擬した数値解析モデルの初期計算領域の比較である。初期粒子径(格子サイズに相当する、解析領域の解像度)は $d_0 = 0.1 \text{ m}$ であり、色分けにより粒子属性を示している。水色が氷板構成粒子、灰色及び赤色がコンクリート護岸構成粒子である。赤色は内部粒子であることを示している。

この種の構造解析における各粒子の物性値は数値解析の精度に大きく影響を与えるため適切に設定する必要がある。氷板の密度、ヤング率、ポアソン比はそれぞれ 900 kg/m^3 、 1.3 GPa 、 0.3 、コンクリート護岸部ではそれぞれ $2,000 \text{ kg/m}^3$ 、 200 GPa 、 0.26 のように設定した。計算時間間隔 Δt は $5.0 \times 10^{-6} \text{ s}$ とした。氷板衝突プロセスにおける接近、衝突、離脱の一連を含む8秒間のシミュレーションに要する時間は、2023年現在事務用途として標準的なCPU(4コア2.40 GHzプロセッサ)、メモリ16 GBを備えるノートPCで1ケース当たり約100分間であった。粒子法はその特性から連続体の局所現象の解析に適用されることが多く、その分解像度も細かくなり、計算時間が長くなる場合が多いとされていたが、最近のPC性能の発達により、少しずつではあるが実務適用が可能なレベルになってきたと言える。

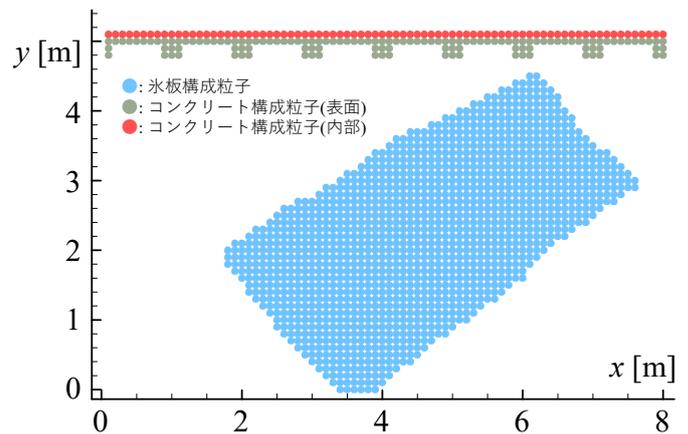


図-5 実画像と初期解析領域の比較図

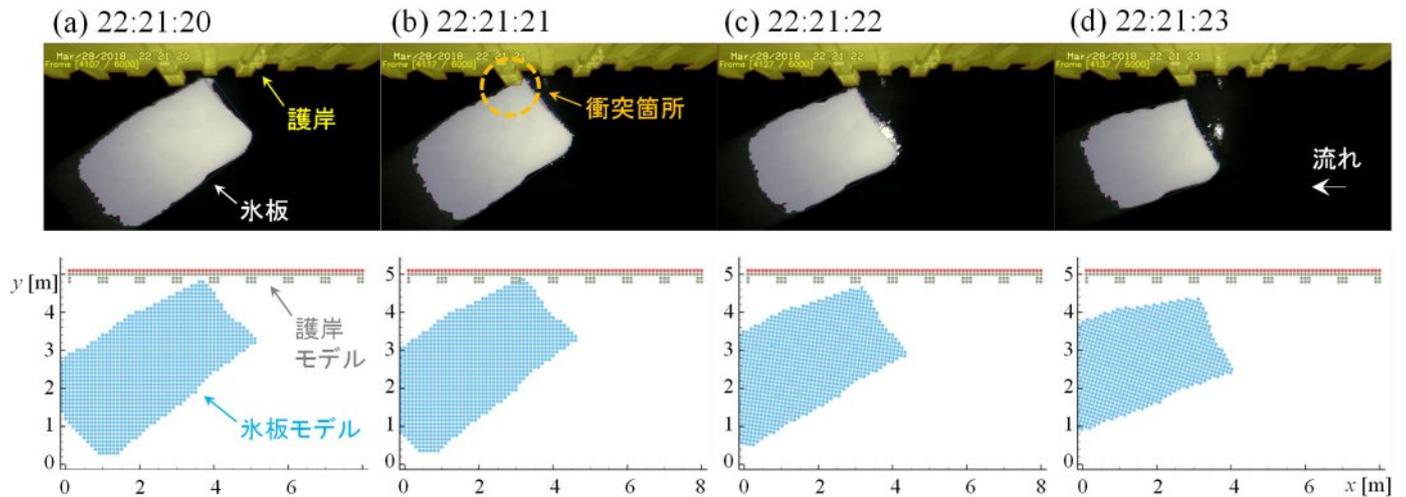
3. 結果及び考察

図-6に示したのは3/28の夜間に捕捉された単一漂流氷板の衝突プロセスに関する映像記録及び数値解析結果の比較である。接近速度を映像から読み取り、それを氷板構成粒子の初期速度として一様に与え、接近から衝突、離脱にかけての一連のプロセスを数値解析的に再現したものである。尚、映像記録及び数値解析結果ともに1秒おきのスナップショットを同図に示している。

図中では右が上流であり、はじめ上下流方向に傾斜しつつコンクリート護岸に衝突を起こした氷板は、コンクリート護岸部の突起部に接触し、接触点を起点としてわずかに回転角を有しながら回転を生じ、最終的に離脱する様子が現地映像記録より確認された。数値解析結果を確認すると、同様に傾斜角を有しつつ突起部に接近し、接触後、接触点を起点として回転を伴いながら、離脱していく過程が良好に再現されていると言える。全体として衝突プロセスが表現されているように見受けられることから、漂流する氷板とコンクリート護岸の衝突過程は、氷板構成粒子及びコンクリート護岸部構成粒子の間の固体間相互作用によって概ね決定されている可能性がある。

続いて同図(2)においては、約1週間後の4/4日中に観測された氷板衝突プロセスのスナップショットを示した。上段が現地映像記録、下段がその数値解析結果である。上述の3/28の氷板よりやや丸みを帯びた形状の氷板が観測

(1) 2018/3/28 22:21:20 ~ 22:21:23



(2) 2018/4/4 09:14:15 ~ 09:14:22

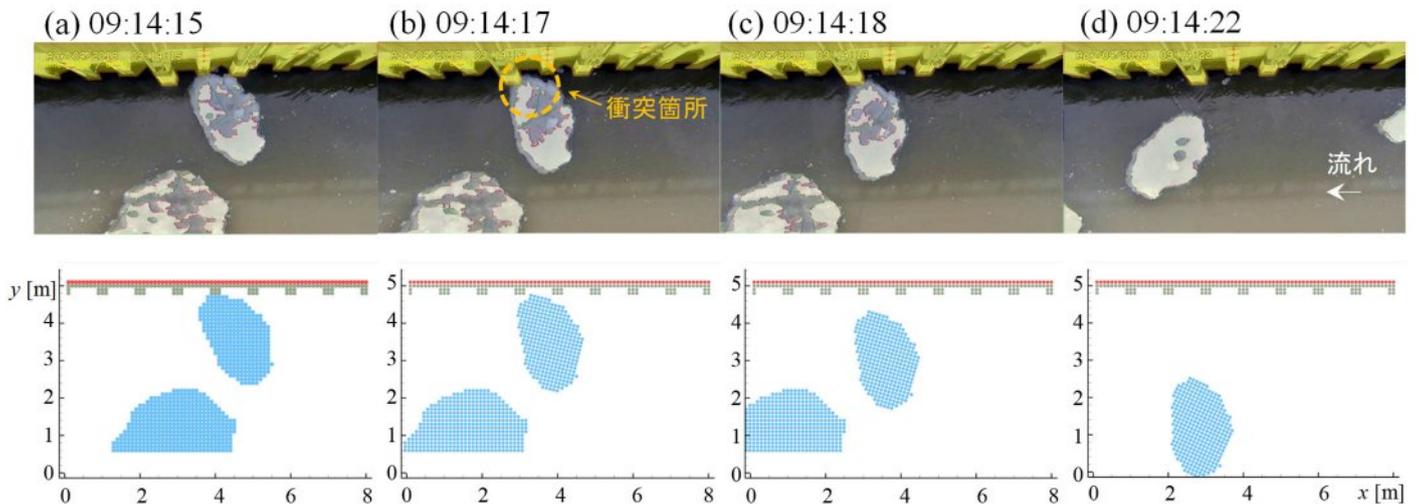


図-6 護岸に対する漂流氷板の衝突プロセスに関する映像記録と数値解析結果との比較 (3/28 及び 4/4)

されており、接近、衝突及び離脱過程が捉えられている。現地では衝突部を起点として3/28のケースよりも大きな回転を伴いながら離脱していく過程が捉えられている。一方数値解析結果においては、回転角及び離脱角はやや小さいものの、時系列的な氷板位置としては概ね良好に予測できていると言える。こちらも上述の結果と同様に、固体間の物性を表すパラメータを適切に設定することで、衝突プロセスを良好に再現可能であることが示唆されたと言えよう。

上記の結果を概括すると、現地映像記録のうち単一氷板の衝突プロセスにおいては、氷板輸送速度の初期条件や各固体の物性値を適切に設定することで、氷板衝突速度や衝突プロセスを適切に再現できる可能性があることが示唆された。本稿では大小各1種類の限られたケースの再現計算しか試行できていないものの、今後その他の観測データや異なる時期の氷板衝突プロセスに適用することで、数値解析モデルの信頼性向上を図ることができる

と考えられる。また、本稿では単一の氷板衝突プロセスの再現計算に適用しているのであるが、これが複数氷板の衝突プロセスに適用することとなってもモデル的な負荷はほとんど変わらない。今後も異なる事例への適用を通じてモデルの信頼性向上を図る予定である。

4. まとめと今後の課題

本稿では、河道内に設置されたコンクリート護岸部に対する氷板衝突プロセスを再現可能な標準的な数値解析モデルの構築を目的として、現地観測記録に基づく数値解析を実施し、モデルの基本的な性能の検証を行った。映像記録は実現象として氷板衝突プロセスを定量的に把握可能な資料として貴重であることは勿論であるが、モデル上もそのプロセスを大きな矛盾なく再現できることが確認された。

今後は、別途実施している凍害劣化を考慮した室内実験の3次元的な再現計算¹³⁾や、それらの知見を統合した上

で実スケールの氷板衝突プロセスの定量的な把握を行い、それを元にした護岸保護工の設計等実務上有用なツールとして活用できるよう開発を進めていく予定である。

謝辞：本研究では数値計算の際に戦略的基盤ソフトウェアの開発プロジェクト成果であるNEXST_MPS_Solid (Ver 0.1b, (c) MooSeop Song & Seiichi Koshizuka) プログラムを利用した。また、現地観測にあたり、関係機関にはフィールドの提供や観測条件設定等についてご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 滝口真澄, 大田見定, 澤田公男, 網走川下流部特殊堤に生じた変状の要因分析と対策について, 第56回(平成26年度)北海道開発技術研究発表会, 安-37, 2015.
- 2) 泉山耕, 若生大輔, 瀧本忠教, 氷荷重により海洋構造物に発生する振動について, 海洋開発論文集, Vol.16, pp.191-196, 2000.
- 3) 河合孝治, 牧田佳巳, 木岡信治, 寺島貴志, 竹内貴弘, 鋼矢板護岸に作用する流氷の接触圧力に関する現地計測, 海洋開発論文集, Vol.26, pp.909-914, 2010.
- 4) 横山洋, 伊波友生, 内藤勲, 前田俊一, 矢部浩規, 吉川泰弘, 複合劣化が生じた河川コンクリート構造物に対する河氷衝突外力の計測, 河川技術論文集, Vol.25, pp.175-180, 2019.
- 5) 阿部孝章, 横山洋, 大串弘哉, 凍害劣化を受けた河川コンクリート構造物周辺の河氷の挙動特性について, 寒地土木研究所月報, 第834号, pp.19-27, 2022.
- 6) 阿部孝章, 佐藤好茂, 伊藤丹: 樋門ゲートに対する河川津波波力評価技術の開発, 第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 安43, 2013.
- 7) Gingold, R. A. and Monaghan, J. J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.181, pp.375-389, 1977.
- 8) Koshizuka, S., Shibata, K., Kondo, M. and Matsunaga, T.: Moving Particle Semi-implicit Method, A Meshfree Particle Method for Fluid Dynamics, Academic Press, 306 pp., 2018.
- 9) 阿部孝章, 佐藤好茂, 伊藤丹: 樋門ゲートに対する河川津波波力評価技術の開発, 第56回(平成24年度)北海道開発技術研究発表会, 安43, 2013.
- 10) 阿部孝章, 吉川泰弘, 佐藤好茂, 船木淳悟: 河川管理施設周辺における津波漂流物群の数値シミュレーション, 寒地土木研究所月報, 2015年2月号, Vol.741, pp.24-32, 2015.

- 11) 宋武燮, 越塚誠一, 岡芳明: MPS法による弾性構造体の動的解析, 日本機械学会論文集A編, Vol.71(701), 16-22, 2005.
- 12) 越塚誠一: 粒子法, 計算力学レクチャーシリーズ5, 丸善, 144 p., 2005.
- 13) 阿部孝章, 横山洋, 大串弘哉, 凍害劣化したコンクリート護岸の劣化プロセスに関する実験及び数値解析的検討—3次元数値解析モデルを用いた劣化予測ツールの開発—, 第65回(令和3年度)北海道開発技術研究発表会, 管理5, pp.656~661, 2022.

国道38号における暴風雪時の立ち往生に関する取り組み

須田 優作*¹ 宮崎 和英*¹ 花山 聡矢*² 小松 麻美*³ 槌本 陽*³

1 はじめに

国道38号は北海道滝川市から釧路市に至る一般国道で、北海道の東西をつなぐ大動脈である。芦別市・富良野市境から南富良野町・新得町境に至る区間を北海道開発局旭川開発建設部富良野道路事務所が管理している。

平成30年3月国道38号では大雪・暴風雪に伴い立ち往生が発生している。また、近年の集中的な大雪による大規模な車両滞留や長時間通行止めが繰り返し発生していることから国土交通省は大雪による道路交通への影響を減らすために今後取り組むべき課題を検討する、有識者で構成される「冬期道路交通確保対策検討委員会」を平成30年2月に開催し、同年5月『大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ』を発表、その後令和3年3月に改訂が発表された。これらを受け、本稿は、立ち往生の対応事例と『冬期道路交通確保対策』の取り組み状況について報告するものである。

2 管内における暴風雪・大雪の気象状況と雪害状況

2.1 近年の気象状況

北海道では、平成30年3月1日から2日かけて日本海にあった低気圧が急速に発達しながら北海道を通過し、オホーツク海に達して強い冬型の気圧配置となった(図-1)。低気圧の接近、通過の影響により、沿岸部では全道的に雪を伴って、最大風速20メートル、最大瞬間風速30メートル以上の非常に強い風を観測し、暴風雪や大しけとなったほか、積雪が平年より多い状況の中、太平洋側を中心に50センチ以上の大雪となった。気象台からのプレスリリースでは「人命にかかわるような暴風雪や大雪となるおそれがあります。外出を控えるなど、危険を回避する行動をお願いします。」と呼びかけられ、更に北海道開発局と気象台が連携し、「数年に一度の猛ふぶき」と厳重な警戒を呼びかけた。旭川開発建設部管内では、国道38号樹海峠周辺で大雪となり、近傍の道路気象テレメータ(三の山)では本格的に雪が降り始めた1日9時から19時頃にかけて46センチを観測した。(図2)

2.2 雪害状況

国道38号樹海峠では大雪に伴う車両スタックとそれを原因とする立ち往生が1日19時頃に発生した。スタックした大型車1台(チェーン装着)が発生し、後続の大型車1台(チェーン未装着)が避けようと反対車線に出たところスタックし、両方向とも通行不可となり滞留が発生した(図3、写真1)。車両滞留は4km(90台)に及んだ。車両スタック及び立ち往生状況は以下のとおりである。

- ・発生箇所：国道38号 KP=91.1~97.2付近(上下車線)
- ・発生期間：平成30年3月1日19時00分~2日0時30分
※通行止め解除は天候回復後の3日7時00分
- ・発生規模：1日19時時点で約4km(上下線)、滞留車両90台
- ・被害等：人身・物損及び孤立集落なし

立ち往生が発生してから速やかに通行止めを行い、車両の救助や集中的な除雪により5時間30分で立ち往生を解消することができた。この間滞留車両の乗員の安否確認や救援物資の準備や配布を行い、人命を守る取り組みが実施することができた。一方で、本事例においても道内の東西をつなぐ複数の大動脈が同時に約1日半にわたり遮断され、社会生活や物流に大きく影響した。

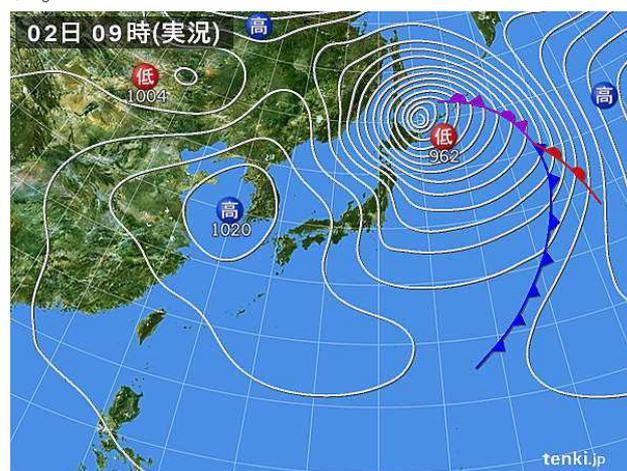


図1 平成30年3月2日9時の天気図

*1 国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部 道路整備保全課

*2 国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部 富良野道路事務所

*3 (一財)日本気象協会

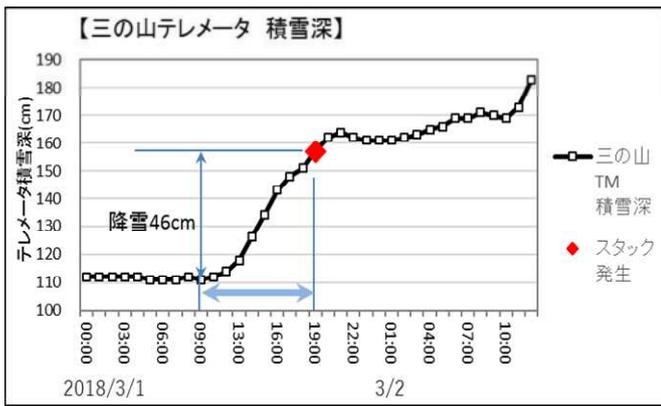


図2 道路テレメーター（三の山）の積雪深



図3 車両スタック発生箇所（国道38号）



写真1 国道38号 KP=92 付近の滞留状況（3月1日19時頃）

2.3 道路管理体制と車両スタックへの対応

国道38号の除雪等対応は1日昼過ぎから隣接する帯広開発建設部と連携して行った。1日19時頃、国道38号樹海峠の車両スタック及び滞留発生を受けて、20時15分に通行止めを開始。その後、22時00分に除雪ドーザーにて、スタック車両の牽引を開始し、22時30分に上り車線の滞留解消、2日0時30分に下り車線の滞

留を解消した。その後は天候の回復を待って、3日7時00分に通行止めを解除した（表1）。通行止めは36時間に及んだ。これら車両スタック対応状況についてはホームページで報道発表するとともに、SNS（旧Twitter）でも情報発信を行った。通行止め区間内に滞留車両に対しては、乗員の安否確認や救援物資の配給を行った（写真2）。救援物資は1日21時00分頃に現地到着、飲料水（500ml）200本、クラッカー40個、カンパン29缶、毛布30枚を配給した。安否確認は21時00分から徒歩で実施し22時55分に完了した。このように立ち往生車両は早期に解消できたが、通行止めは天候の回復を待ち3日7時00分まで続いたため、周辺の富良野市や南富良野町の道の駅やコンビニに多数の車両が押し寄せることとなった。こうした施設に入りきれない車両は国道内で滞留した。このように約1日半にわたり通行止め解除待ちの車両滞留があったものの、定期的なパトロールによって乗員の安否や物資の確認を行い、人的被害を防ぐことができた。また、2日昼過ぎには血液輸送車の緊急通過連絡を受け、除雪車と道路パトロール車で通行止め区間の血液輸送車の先導を行った（写真3）。

表1 国道38号 樹海峠での車両スタックへの対応

日時	対応内容
2018/3/1 18:15	スタック車両発生 の報告
19:00	徐々に滞留が発生
19:10	除雪ドーザー到着 作業開始
20:15	R38 樹海峠 通行止め (富良野市西達布～南富良野町幾寅)
20:25	救援物資 出発
21:00	救援物資 (飲料水、クラッカー、カンパン、毛布) 現地到着・配給開始、安否確認開始
22:00	除雪ドーザーにより、スタック車両の牽引開始
22:30	上り車線の滞留解消
22:55	滞留車両乗員の安否確認完了
2018/3/2 0:10	全スタック車両の脱出を確認
0:30	下り車線の滞留解消
15:00	血液輸送車の規制区間通過先導
2018/3/3 6:45	除雪作業完了
7:00	R38 樹海峠 通行止め解除
7:15	落合駐車帯の待機車両解消

係機関と連携した道路利用者への呼びかけなどについて検討し、数年に一度の暴風雪を想定した予防的通行止めを考慮したタイムラインの作成を行った。

写真2 救援物資の準備状況

IV 大雪時の道路交通確保に向けた新たな取り組み

1. 道路管理者等の取り組み

(1) ソフト的対応

○タイムライン（段階的な行動計画）の作成

○除雪体制の強化

○除雪作業を担う地域建設業の確保

○除雪作業への協力体制の構築

○チェーン等の装着の徹底

○集中的な大雪時の需要抑制

○集中的な大雪時の予防的な通行規制・集中除雪の実施

○立ち往生車両が発生した場合の迅速な対応

(2) ハード的対応

○基幹的な道路ネットワークの強化

○冬道を走行する際の準備

※大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ 概要
(冬期道路交通確保対策検討委員会) から抜粋 1)

写真3 血液輸送車の先導状況

3 大雪時の道路交通確保の課題と対応

今回の事例では、速やかに通行止めができるよう準備していたことから、立ち往生規模の拡大を最小限にとどめ、車両の救助や集中的な除雪により概ね数時間で立ち往生は解消することができた。この間、滞留車両乗員の安否確認や救援物資の準備や配布を行い、人命を守る取り組みを実施することが出来た。

一方で近年、全国的に大雪により大規模に車両が滞留し、通行再開までに数日間を要したケースが多数発生している。こうした状況を受けて、平成30年5月に冬期道路交通確保対策検討委員会において「大雪時の道路交通確保対策 中間とりまとめ」が発表された。提言では、大雪時の道路交通確保に対する考え方の転換が示されている。短期間の集中的な大雪時には、「人命を最優先に、幹線道路上で大規模な車両滞留を徹底的に回避すること」を基本的な考え方とした。この方針を受けた道路管理者等の取り組みとしては、タイムライン（段階的な行動計画）の作成や短期間の集中的な大雪時の行動変容の促進、予防的通行止めを躊躇なく行うためのトリガーの設定等を強化することとしている。これらを受け、北海道開発局、開発建設部、道路事務所では、予防的通行止めのトリガーの設定や関

4 大雪時の道路交通確保に向けた取り組み

(1) タイムライン（段階的な行動計画）の検討と作成

北海道開発局本局を主導に北海道において、大雪・暴風雪になる気象パターンを整理し、国道の通行止めをもたらす2011年から2020年までの過去10年分のデータから道央と道東を結ぶ主要幹線である国道38号狩勝峠、国道274号日勝峠、国道237号金山峠の通行止め実績と北海道付近を通過した急速に発達する低気圧（1日あたりの中心気圧の低下が20hPa以上）の低気圧の中心気圧と北海道にかかる等圧線の本数の関係を整理した結果、低気圧の中心気圧が976hPaに発達し、北海道にかかる等圧線の本数が5本以上になると通行止めとなる傾向であることがわかった。このことにより気象台や気象会社から発表される週間予想天気図などによる確認や各地方気象台から発表される荒天の数日前からの気象情報等を躊躇ない予防的通行止めのトリガーとして整理し、数年に一度の暴風雪が想定される場合において、予防的通行止めを行うタイムライン（段階的な行動計画）を作成した。（表2）2)

表2 タイムラインの要点

時刻	トリガー	具体的な行動内容
7日前～	週間予想天気図や短期注意情報	・気象情報の逐次収集 ・局内や関係する道路管理者との情報共有
3日程度前～	大雪に関する気象情報	・合同緊急発表の実施と通行止め情報の発信
1日程度前～	暴風雪警報に関する情報	・道路管理者合同オンライン会議の実施
3時間程度前～	気象情報(短文形式)	・予防的通行止めの開始 ・追出し作業等の実施
0時間	数年に一度の暴風雪	・予防的通行止めの完了 ・集中除雪の実施

(2) 気象会社から提供される情報

気象会社からの入手可能な情報を改めて整理し、タイムラインに併せた情報とし、7日前からの週間天気図や72時間降雪量予測等を専用のホームページにより、担当者等が誰でも閲覧可能なものに変更した。また、事前に暴風雪等の警戒する日がわかるように1か月予想天気図(図4)を毎週末にもらい、暴風雪対応への備えをすることにした。

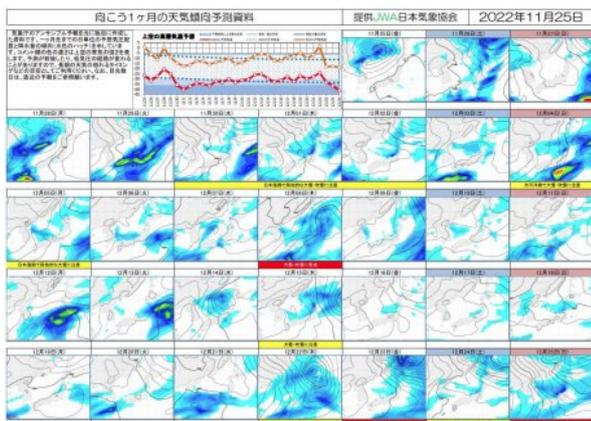


図4 1か月予想天気図((一財)日本気象協会提供)

(3) 道路管理者合同オンライン会議

冬期道路交通の確保のため、各管理区間の道路状況の情報共有や通行止め、迂回路の調整等を行うことを目的として令和3年度より実施している。国道の通行止めをもたらす低気圧(976hPa、等圧線5本)が北海道に接近し、大雪・暴風雪が予想される場合に北海道開発局、開発建設部、道路事務所、北海道、NEXCO東日本北海道支社が合同でオンライン会議を設置することとした。この会議は各機関の現場事務所等も参加し、通行止めの実施や解除に向けた調整を行う。この会議は荒天の3日程度前から開催することとし、気象の見通しや各道路管理者の通行止めの検討状況などについて、情報共有を行う。また、

各道路管理者で同時通行止めを行う場合には、日時や迂回路等の調整や通行止め解除予定などの情報共有を行っている。

(4) 防災訓練

大雪、暴風雪等の災害発生を想定し、災害対策基本法第76条の6に基づく車両移動に係わる手順の確認等を目的とした大雪・暴風雪時における車両移動訓練を実施している。訓練は、一般ドライバーから通報を受けた警察官が、立ち往生車両を発見し、救急隊、年間維持業者、開発局職員が急行し、多数の放置車両の移動を行う想定で行った。参加者は、旭川開発建設部、富良野道路事務所、年間維持業者、警察、消防、自治体等で40名。(写真4)



写真4 防災訓練の状況

5 おわりに

近年、冬期の気象は、急速に発達する低気圧の接近、通過などによって激しさを増す傾向にある。平成30年の事例では予防的通行止め、集中除雪に至る事象はなかったが、基準を上回る大雪の発生時、迅速かつ適切な対応ができるよう、引き続き関係機関との連携を強化し、合同訓練等を実施していきたいと考えている。当開発建設部においても立ち往生の予防と早期解決に向け、気象情報を有効に活用したタイムライン等をより充実させ、予防的通行規制の体制整備、道路利用者への迅速な情報提供を行うことで、冬期道路交通確保に万全を尽くす所存である。

参考文献

- 1) 冬期道路交通確保対策検討委員会 大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ(令和3年3月31日改訂)(国土交通省HP)
- 2) 曾川・武藤・坂(2021): 第65回北海道開発局技術研究発表会論文「暴風雪時における予防的通行止め実施に向けたタイムラインの検討」

国道5号小樽市張碓峠で発生したスタック対応 ～異常気象への備え～

草島 広佳*1 西條 克典*1 長谷川 健一*2

1. はじめに

一般国道5号は北海道の陸の玄関口函館市を起点とし、小樽市等を経て札幌に至る路線で、札幌及び道央地域と後志、道南を結ぶ主要幹線道路あり、後志地域のみならず道央、道南圏域の地場産業の活性化、発展に大きな効果をもたらしています。

このうち、小樽市は、北海道の物流の起点である小樽港があることや全国的にも有名な観光地であるとともに、札幌市との通勤・通学などの生活圏であるなど、小樽～札幌間は、北海道経済や都市圏の日常生活を支える極めて重要な大動脈となる交通網である。

国道5号の札幌～小樽間においては、平成13年までに全区間4車線化し、円滑な交通が確保された。

本稿では、近年の異常気象といえる局地的な悪天による交通障害が全国的に注目されているが、小樽市張碓峠における令和5年1月10日の局地的な大雪による大型車輛のスタック発生が発端となった通止め事案と発生後の対応について報告する。(図-1)



図-1 国道5号張碓峠の位置図

2. 当該区間の特徴

当該区間の国道は、札幌市と小樽市を直接結ぶ交通網の一つを担っている、国道のほかの交通網は、札幌自動車道とJR北海道の3系統となっている。

当該区間の交通網が遮断された場合は、地形状況もあり適切な迂回路がなく、約15倍もの距離となる広域迂回を余儀なくされる。(図-2)

したがって、当該区間は道内重要拠点を結ぶ交通網として安定的な通行確保は重要な課題である。



図-2 張碓峠の通行止め時の迂回路

3. 冬期の維持管理体制

本路線の維持管理は国道5号のうち小樽市から札幌市境界までの13.1kmを維持管理者が担っている。

冬期の除雪については、北海道開発局の降雪量による出動基準(5cm～10cm以上)以外にも午前2時から午前6時の通勤時間前であったり、路面や天候状況に応じて、除雪体制の確保・除雪作業を実施するなど札幌～小樽間の円滑な通行確保に取り組んでいる。

除雪ルートとしては、小樽市にある除雪機械基地より札幌方面に向かって除雪を行い、小樽方面へ戻ってくるルートで、1回の除雪に約3～4時間を要する。(図-3)



図-3 除雪ルート

*1 北海道開発局 小樽開発建設部 小樽道路事務所 *2 北海道開発局 小樽開発建設部 道路防災推進官

4. 当日の気象概要

1月10日(火)は、北海道の北方及び東方に2つの低気圧が停滞し(図-4)記録的な降雪となり5時~17時までの12時間降雪量は46cmとなり、1999年統計開始以来最大であった。特に7時~10時の通勤時間帯に降雪量が多く、短時間に集中的な降雪に見舞われた。(図-5)

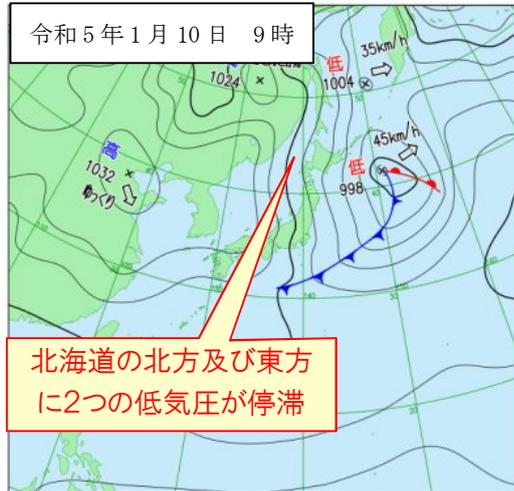


図-4 当日の天気図(気象庁HPより)

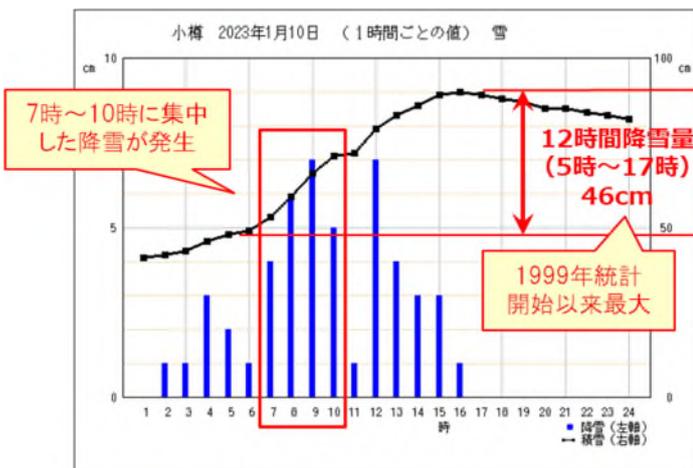


図-5 積雪量と積雪深(気象庁HPより)



写真-1 12:30の道路状況(CCTVカメラ)

当日の除雪は10日2時~7時のあいだに実施し通勤時間前に完了していたが、NEXCOの通行止めや降雪予測も考慮し、12時から再度除雪作業に向かう準備を行っていた。

道路と天候状況の時系列概要は以下の通りである。

- 9:00 NEXCO通行止め開始(余市IC~手稲IC)
- 10:13 気象庁大雪警報発令
- 10:35 NEXCO通行止め区間延長(手稲IC~新川IC)
- 11:40 車輜スタック発生
- 12:35 下り線(札幌向き)通行止め
- 14:00 全面通行止め開始
- 16:42 気象庁大雪警報解除
- 18:00 NEXCO通行止め一部解除(朝里IC~新川IC)
- 19:00 国道5号 全面通行止め解除

5. スタック発生

この局地的な異常気象(降雪)により、下り車線(札幌向き)を走行する大型セミトレーラー(タンクローリー)によるスタックが11:40に発生し1車線を塞いだ。

当初、維持業者は除雪車(梯団)を12:00出動させる準備をしていた。発生後には除雪車より先に到着していた維持作業班が人力除雪を行い、大型セミトレーラーを道路脇に寄せ通行幅をすぐに確保し、ドライバーへ除雪車到着まで待つよう指示した。しかし、その直後にドライバーがスタックから抜けようとして前進と後進を繰り返しているうち、ジャックナイフ形状となり2車線を塞いでしまったため、後続車が通過できず更なる渋滞が発生した。(写真-2)



写真-2 人力による除雪作業の状況

6. 通行止めによる集中除雪での対応

下り2車線(札幌向き)が渋滞したことにより、小樽側からの除雪車両がたどり着けない状況となったため、急遽、隣接する維持業者への応援を依頼し、札幌側より除雪ドーザを侵入させて牽引作業を行った。(写真-3)

スタック車輜の対応、先詰まりの渋滞、渋滞により除

雪車が現地に向かえないといった連鎖が生じたことで、上り車線（小樽向き）においても積雪によるスタック車両が発生して1車線を塞ぎ、3/4車線が閉塞する事態に陥った。



写真-3 牽引作業状況

このまま通行を確保しつつ除雪することは難しいと判断し、通行止めを行い集中除雪を実施することとした。

通行止め区間は、柂里（まさり）交差点～和宇尻（わうじり）交差点区間、通行止めは14:00から実施した。先に区間内に到着していた除雪ドーザーで除雪を行い、スタック車両及び滞留車の追い出しを行い、通行止め箇所一般車両をUターンや道道へ迂回させるなどして除雪車（梯団）を当該区間へ移動させて16:45に現地に到着、集中除雪作業を開始した。



写真-4 集中除雪作業の状況

この集中除雪作業により、19:00に通行止め解除に至った。この結果、小樽～札幌の生活圏内の移動を当日中に確保し、冬期帰宅困難者の発生を防ぐことができた。

7. 本事案の振り返りと再発防止にむけて

今回は、記録的な大雪により、国道（国土交通省）、

高速道路（NEXCO東日本）、市内の道路（小樽市）、鉄道（JR北海道）のいずれも交通機能が停止した。

国道をはじめ各種交通網は、国土空間の有効利用を図り地域を支える総合的な社会基盤である。一時的な通行止めであってもその影響は大きいことから、今後も引き続き安定的な通行確保への準備が必要である。特に行政は柔軟な対応が求められる。

そこで昨年度の経験を踏まえ、今冬において通行確保に向けた取り組みを実施することとしている。

① 「気象状況による除雪機械の事前配備」

気象庁とNEXCOと情報共有をすることで、気象によるNEXCO区間の通行止め予測などを参考に、路面状況を把握しつつ、除雪機械を張碓峠頂上や駐車帯に事前配備し必要に応じてループ除雪を行うなど有事に備える体制を取る。（図-5）



図-5 事前配備によるループ除雪



写真-5 CCTVカメラによる峠の集中監視

② 「隣接事務所との連携強化」

高速道路が通行止めになった際は、小樽道路事務所の道路情報管理室において集中的にCCTVカメラで路面や降雪状況を監視し状況を共有する。（写真-5）

同時に隣接事務所と除雪体制を確認するとともに応援除雪の事前連絡を実施。

札幌側の隣接する維持業者の応援をいただくことで、

①で事前配備した除雪車がループ除雪中にスタック車に向かえない状況であっても牽引対応が可能となる。

③ 「高速道路の緊急開口部を使った除雪車の移動」

張碓峠頂上に設置されている高速道路の緊急開口部に着目し、これを利用した除雪車の移動についてNEXCOと協議を行ったところ、NEXCO先導のもと高速道路を除雪車が走行し、緊急開口部を出口として張碓峠頂上へ除雪車を送り込むことが可能であることを確認した。

(写真-6)

なお、令和5年1月20日に除雪車を開口部から張碓峠頂上に移動させる試験走行を行い、問題なく利用できることを現地で確認している。(写真-7)



写真-6 NEXCO開口部位置図



写真-7 開口部での訓練状況

④ 地元警察との連携強化

悪天が想定される際に、地元警察と事務所の体制や警察の体制などを共有し、渋滞発生時の通行規制の協力など連携強化をはかる。

⑤ 情報提供の拡充。

渋滞中のドライバーにとって、情報収集の手段はラジオや携帯電話に限られることから、SNSでの情報発信は非常に重要となる。

本事案では、立ち往生している車両の状況や国道利用者の行動変化を促すために、情報発信を行った。

(写真-8) 今後は、除雪作業状況や解除予定の情報など、より多くの情報発信を行うことでドライバーの行動選択や安心感、信頼に寄与するものと考えている。



写真-8 X(旧ツイッター)による情報提供

今後も日常生活や経済活動は継続して維持される必要があり、そのためにも通行機能を確保することが重要であると考えている。

また、「様々な取組」の実施にあたっては、より効率的かつ迅速な対応や更なる早期の連携・情報共有が図れるよう、適切なタイミングで各取り組みを行いつつ、柔軟性をもった対応を進める所存である。

最後に、今後も予測が困難である突発的な異常事象への早期対応、道路利用者および除雪作業に従事する方々への安全を確保しつつ、引き続き冬期通行の確保に向け尽力してまいります。

近年の立ち往生車両発生傾向に関する一考察 ～立ち往生車両分析ツールの活用～

飯田 雅之*1 大塚 朋貴*2

1. はじめに

北陸地方整備局管内では平成 27 年度に長岡市、令和 2 年度に富山県や湯沢町、上越市、令和 4 年度に長岡市や柏崎市などで、大規模な立ち往生が発生している。

この背景の 1 つとして近年雪の降り方が変化してきていることが考えられる。年間降雪量（積雪及び積雪寒冷地域）を昭和と平成・令和時代で比較すると、約 2 割減少している。一方、降雪日 1 日あたり降雪量は近年増加傾向となっており、短期間集中降雪の傾向が確認できる。

（図 1 参照）

近年の立ち往生車両の実態把握やその要因分析に活用するためのツールとして、立ち往生車両分析ツール・マップ（以下、「分析ツール」とする）を作成した。本報告では、これを活用した冬期交通障害の発生状況や課題分析を実施した事例について報告する。

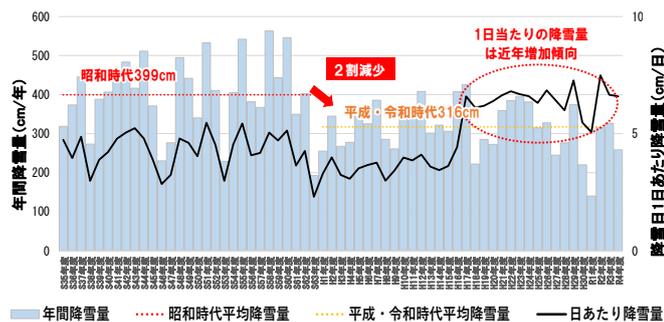


図 1. 積雪及び積雪寒冷地域の年間降雪量、降雪日 1 日あたり降雪量の変化

データ出典：気象統計データ（気象庁）

分析対象とした気象庁観測所：稚内、網走、倶知安、函館、札幌、釧路、青森、盛岡、秋田、仙台、新庄、山形、若松、長野、新潟、高田、富山、金沢、高山、福井、鳥取、松江

2. 立ち往生車両分析ツール・マップについて

本ツールの特徴を以下に示す。

- ①国土交通省で実施している立ち往生車両調査（立ち往生車両データ 1 件に約 30 項目のデータが記載）を用い作成した。また MICHI データや気象庁降雪データ、テレメータデータ等も加え、分析ツールでは計 48 項目のデータを扱うものとした。（表 1 参照）
- ②分析ツールは整備局、事務所、維持出張所、キロポスト

トで指定した区間や年度毎の集計を可能とした。

- ③立ち往生車両分析ツールは EXCEL で作成しており、事務所職員でも分析が可能である。
- ④立ち往生車両分析マップは、国土地理院地図の電子国土 WEB を活用しており、全国の立ち往生車両発生状況を地図上で確認できる。
- ⑤分析ツールを活用し、北陸地方整備局管内の H23～R3 年度までのデータを用い整理・分析が可能である事例を図 2、3 に示す。

表 1. 分析ツールで扱うデータ

分析項目		
年度	確認方法	その他記載内容
番号	車種	緯度
都道府県	タイヤ	経度
整備局	チェーン装着	勾配符号
事務所	チェーン携行	勾配延長(m)
出張所	交通状況	曲線半径(m)
年月日	通行止め開始時刻	車道幅員(m)
時間	通行止め解除時刻	路肩幅員(m)
路線	通行止め時間	登坂車線の有無
距離標	処理	信号交差点数
上下線	対策法の適用	交通調査基本区間番号
地先名	天候	24時間自動車類交通量
車線数	気温	1時間降雪(cm/3h)
除雪優先区間	注意報等	3時間降雪(cm/3h)
区間番号	路面状況	6時間降雪(cm/6h)
勾配(%)	路面状況(cm)	予防的通行規制区間



図 2. 立ち往生車両分析マップ（北陸地域抜粋）
（●：H23～R3 年度立ち往生車両）

*1 開発技建株式会社 交通計画部

*2 開発技建株式会社 調査計画部

登坂不能車発生状況 分析ツール

▼凡例
少 中間 多

気温、積雪深別	積雪深 (cm)												不明	計			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10~	15~			20~	25~	
5~													5	4	9	12	12
4																	
3	1	1					9									27	38
2		2	2			1	5	1	10						2	2	25
1	1	24	21	10	1	1							20		6	23	107
0	9	33	52	33	7	22	4	2				10	39		8	52	271
-1	2	32	44	44	3	22		1				28	20	7	26	97	326
-2		62	46	57		12		6	2			19	12		44	71	331
-3	7	23	44	12		10	1	1	12	6					3	22	141
-4	1	37	16	10	3	16	1								1	26	111
-5	3	6	1	1											7	12	30
-6		2	3	1												7	13
-7		2														4	6
-8																	0
-9																1	1
~10																	0
不明		23	33	2		4	1									264	327
計	21	240	264	175	16	94	6	9	2	1	71	121	7	97	624	1,748	

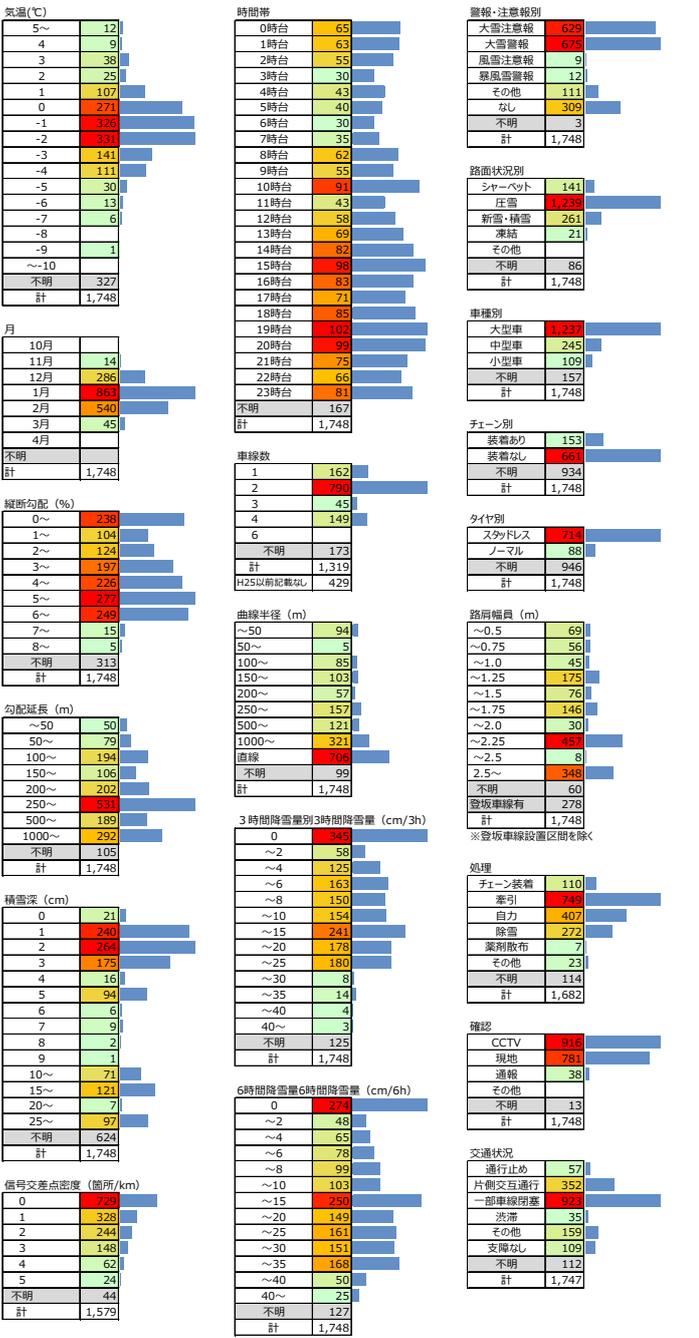


図3. 立ち往生車両分析ツール（一部抜粋）

3. 分析ツールからみた立ち往生車両発生状況の分析

3-1. 分析ツールで分析できる内容

分析ツールを活用し分析できる内容は多岐にわたる。その中の一例を以下に示す。

- ①立ち往生車両発生時期
立ち往生車両の年月日から、発生時期の特徴や多発時期を分析する。
- ②車種別発生状況
立ち往生車両の車種について、大型車・中型車・小型車毎に発生状況の分析をする。
- ③タイヤ・チェーン装着状況
立ち往生車両のタイヤやチェーンの装着状況から、その特徴を分析する。
- ④路面積雪深別の発生状況
立ち往生車両が発生した時点での路面積雪深から、立ち往生が発生する路面状況を分析する。
- ⑤気象状況（警報等発表状況）別の発生状況
立ち往生車両が発生した時点での気象状況（警報等発表状況）から、立ち往生が発生しやすい気象状況（発令基準の降雪量等）を分析する。
- ⑥路面状況別の発生状況
立ち往生車両が発生した時点での路面状況から、立ち往生車両が発生しやすい路面状況を分析する。
- ⑦車線数別の発生状況
立ち往生車両の発生した道路における車線数から、立ち往生車両が発生しやすい、大規模立ち往生に至りやすい車線数を分析する。
- ⑧縦断勾配別の発生状況
立ち往生車両の発生した道路の縦断勾配から、立ち往生車両の発生しやすい道路構造を分析する。

3-2. 立ち往生車両の発生状況の特徴

本検討では分析ツールを活用した立ち往生車両発生状況の分析事例として、北陸地方整備局管内で発生した立ち往生車両データを対象に分析を行った。近年の大規模交通障害を含む H29~R3 年度の 5 ヶ年 (N=902) と、大規模交通障害を含まない H24~H28 年度の 5 ヶ年 (N=646) の計 1548 件のデータを用い分析・比較を行うことで近年の立ち往生車両の傾向を分析した。

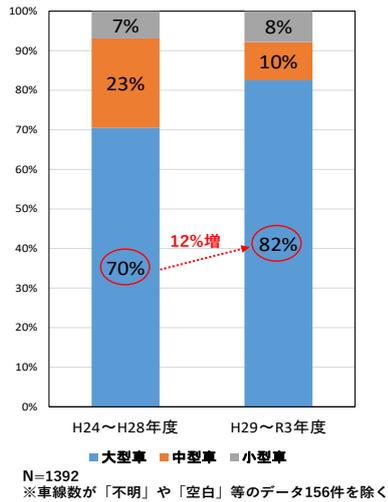
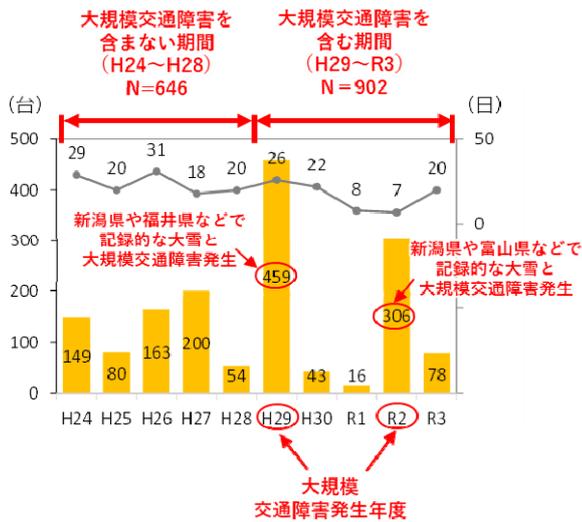


図 6. 車種別割合

図 4. 北陸管内 立ち往生車両発生台数と発生日数

(1) 発生時期

厳冬期となる12月中旬から2月中旬に立ち往生車両が多い傾向にあるが、初冬期や冬期終盤など厳冬期以外での立ち往生車両が発生しているのも特徴である。

最近 (H29~R3 年度) の傾向としては、11~1月中旬までの期間で59%の登坂不能車が発生している。H24~H28年度の11~1月中旬までの期間では38%となっており、近年は登坂不能車が発生する時期が早まる傾向にある。これは冬装備や体制が十分でない時期での集中降雪が要因の1つとして考えられる。

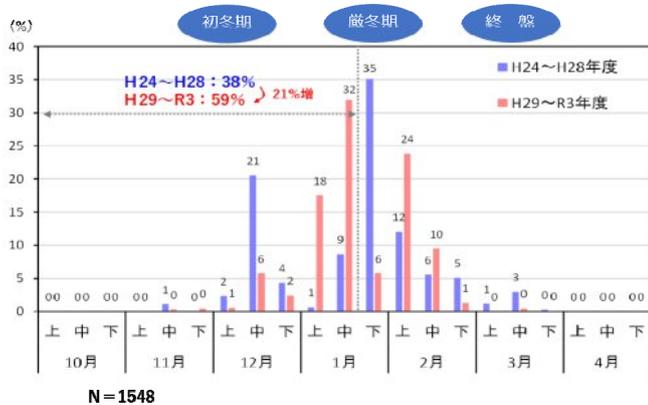


図 5. 立ち往生車両発生時期

(2) 車種

大型車での立ち往生車両が最も多くの割合を占め、次いで中型車、小型車の順で多く発生している傾向にある。

最近 (H29~R3 年度) の傾向としては、大型車の割合が82%を占めており、H24~H28年度よりも12%増加しているのが特徴である。後述する(3)も考慮するとスタッドレスタイヤ・チェーン装着状況が影響していると考えられる。

(3) 車種・タイヤ・チェーン装着状況の割合

各車種ともに一定数のノーマルタイヤやチェーン未装着車両が存在しており、特に大型車が多くなっている。

最近 (H29~R3 年度) の傾向としては、大型車のスタッドレスタイヤの割合は83%、チェーンの装着率は23%であり、H24~28年度と比較するとスタッドレスタイヤの装着率が17%、チェーンの装着率が10%上昇する傾向にある。冬期の道路利用者等に対する広報活動・啓蒙活動などが効果を発揮していると考えられる。一方で、いまだに大型車のノーマルタイヤが7~16%、チェーン装着なしが53~60%立ち往生車両に存在する状況である。

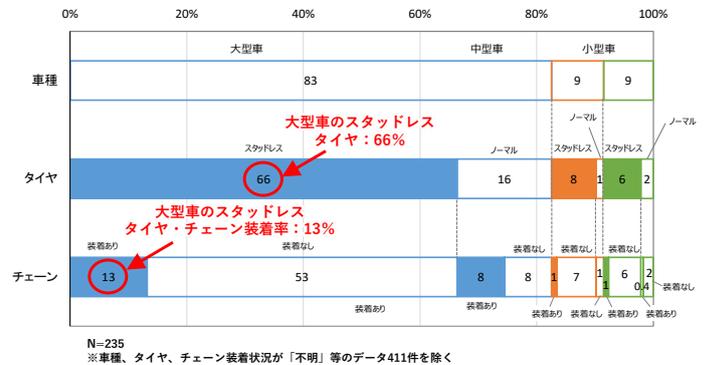


図 7. 車種・タイヤ・チェーン装着状況 (H24~H28 年度)

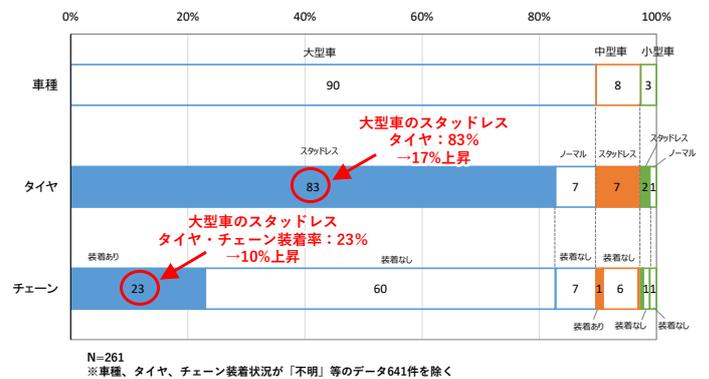


図 8. 車種・タイヤ・チェーン装着状況 (H29~R3 年度)

(4) 路面積雪深

路面積雪深 1～3cm での発生と、路面積雪深 10cm 以上での発生が多く確認された。10cm 以上の路面積雪量は大規模立ち往生の発生時など除雪対応が十分に取れない状況で発生していると想定される。

最近 (H29～R3 年度) の傾向としては、H24～H28 年度と比較して路面積雪量が 25cm を超えるような状況での発生が増加しているが、大規模立ち往生が影響していると考えられる。

路面積雪深 1～3cm の割合が 60% 前後となっており、比較的路面積雪量が少なくてもスタッドレスタイヤ・チェーン等冬装備が十分でない立ち往生車両が発生している状況が伺える。

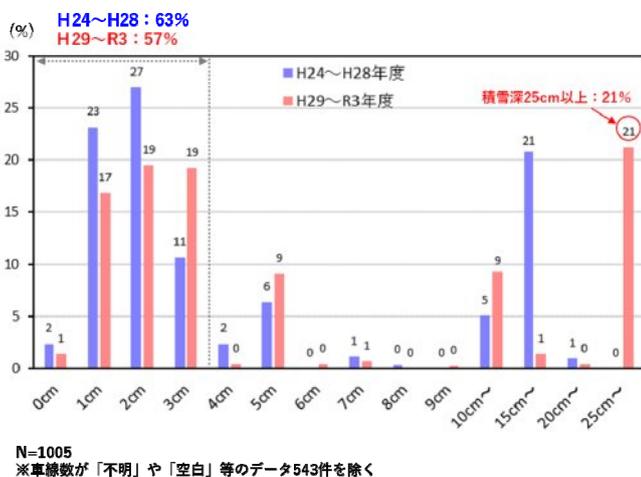


図 9. 路面積雪深の割合

(5) 気象状況 (警報等発表状況)

大雪注意報や大雪警報が発表された際に立ち往生車両が発生する割合が 72～77% 程度を占めている。一方で警報が発表されていない時点での立ち往生車両も 14～20% 程度確認された。

最近 (H29～R3 年度) の傾向としては、大雪注意報、大雪警報を合わせた割合が 72% であり、H24～H28 年度と比較しても傾向は変わらない。しかし、大雪警報との関連だけを見ると、H24～H28 年度は 32% であったのに対し、H29～R3 年度は 46% と 14% 増加している。これは、短期集中型の降雪が多くなってきていることが要因の 1 つとして考えられる。



図 10. 警報等発表状況の割合

※警報等発表の基準

大雪注意報 基準値 (北陸地域) : 6 時間降雪 15～35cm
: 12 時間降雪 30～55cm

大雪警報 基準値 (北陸地域) : 6 時間降雪 30～35cm
: 12 時間降雪 55～60cm

(各基準値は市町村により異なる)

(6) 路面状況

圧雪路面が 73～79% 程度を占め、次いで新雪・積雪やシャーベット状の路面が多い結果となった。

最近 (H29～R3 年度) の傾向としては、H24～H28 年度に比べて新雪・積雪での発生割合が 10% 増加する傾向となった。

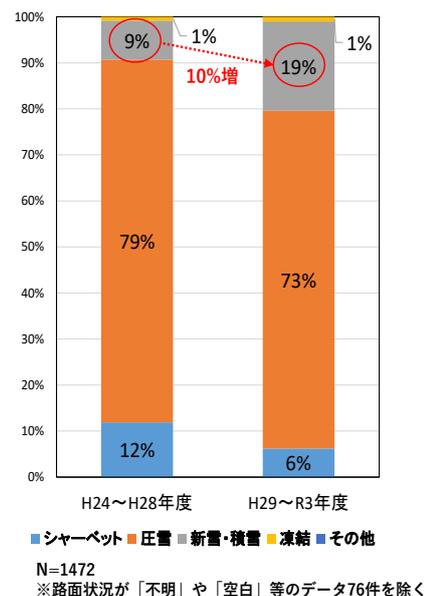


図 11. 路面状況別の割合

※その他：その他の注意報

(7) 車線数

2車線道路が全体の63~72%を占め、最も多い。

最近(H29~R3年度)の傾向としては、H24~H28年度に比べて2車線以下の発生割合が22%増加(1車線13%増加、2車線9%増加)しており、立ち往生車両が発生すると側方通過やUターン等が困難な道路構造での発生が顕著となっている。

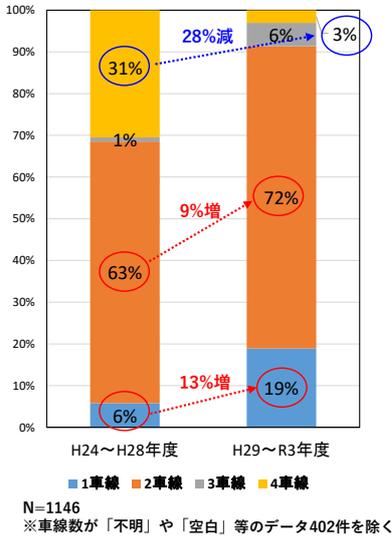


図 12. 車線数の割合

(8) 縦断勾配

急勾配区間(縦断勾配4%以上)の区間が52%~56%を占める。

最近(H29~R3年度)の傾向としては、急勾配区間(縦断勾配4%以上)の道路での発生割合が56%とH24~28に対して4%増加しており、発生傾向に大きな変化は見られない。

また、縦断勾配と信号交差点密度の関係を見ると、緩勾配区間(3%以下)においても信号交差点密度が1箇所/km以上では登坂不能車が35%発生しており、立ち往生車両が多く発生している傾向が確認できる。

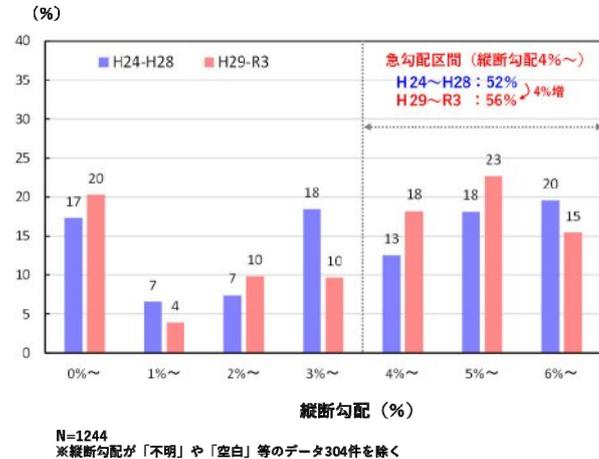


図 13. 縦断勾配の割合

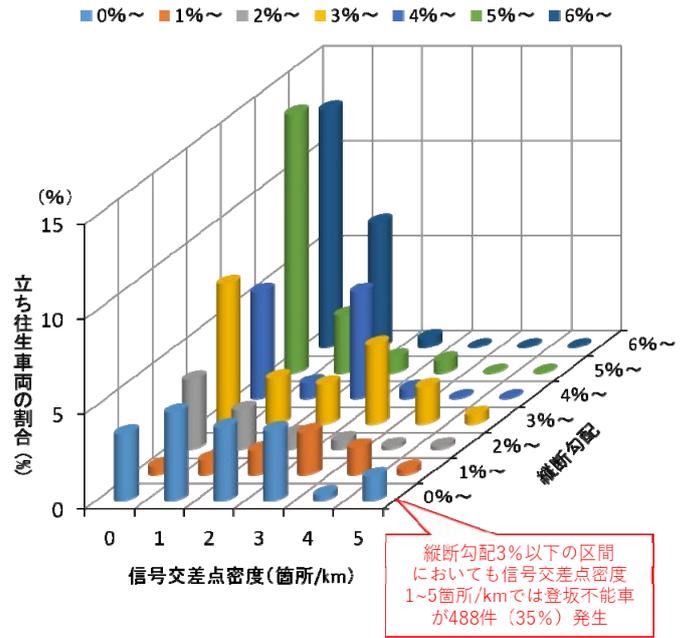


図 14. 縦断勾配×信号交差点密度別の登坂不能車発生状況 (H29~R3年度)

4. 立ち往生車両発生状況からみえる課題と対策(案)

分析結果から見える課題とその対策について、分析項目毎に以下にまとめる。

表 2. 課題と対策(案) その1

	課題	対策
発生時期	<ul style="list-style-type: none"> 立ち往生車両は厳冬期だけではなく、初冬期や降雪期終盤でも発生している。 近年は立ち往生車両が多発する時期が早まる傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> 降雪シーズンが始まる前から、それぞれの時期に応じた戦略的な広報・注意喚起の実施。
車種・タイヤ・チェーン装着状況の割合	<ul style="list-style-type: none"> 全体の70~82%が大型車の発生となっており、そのうちノーマルタイヤが7~16%、タイヤチェーン未装着が53~60%存在する。 立ち往生車両に占める大型車の割合は増加傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> 大型車も利用可能なタイヤチェーン装着環境の改善、整備。 簡易チェーンを活用した大規模立ち往生の抑制。

表 3. 課題と対策(案) その2

	課題	対策
路面積雪深	<ul style="list-style-type: none"> ・路面積雪深1～3cmが57～63%を占める一方で、路面積雪深10cm以上の発生も多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・路面積雪センサー等を導入した路面積雪深の管理、大雪時の除雪体制の確保（応援要請、梯団構成の分割等）。
気象状況(警報等発表状況)	<ul style="list-style-type: none"> ・大雪注意報や大雪警報発表時の立ち往生車両が72～77%程度を占め、特に大雪警報発表時が多い。 ・近年は大雪警報発表時の立ち往生車両が増加傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大雪警報等の発令基準となる降雪量を参考とした除雪体制・タイムラインの構築。
路面状況	<ul style="list-style-type: none"> ・圧雪路面での発生が最も多いが、新雪・積雪路面での発生も多い。 ・近年は新雪・積雪での立ち往生車両発生率が上昇傾向にある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・CCTV等の増設による路面管理、路面積雪センサーを導入した路面管理の実施。
車線数・縦断勾配	<ul style="list-style-type: none"> ・側方通過やUターンが困難な2車線道路での立ち往生車両発生が多く、63～72%を占める。 ・近年は車線数の少ない1車線・2車線道路での発生率が上昇傾向にある。 ・縦断勾配3%以下の比較的緩勾配な区間でも信号交差点密度が高い区間では立ち往生車両が多く発生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・立ち往生車両の多発区間前後でチェーン着脱場を整備し、注意喚起を実施。

5. おわりに

本報告では立ち往生車両分析ツール・マップを活用し、近年の立ち往生車両の発生傾向について分析を行った。その結果、立ち往生車両の特徴が把握できたことに加え、近年の傾向についても確認できた。今後も雪の降り方に応じて立ち往生車両の発生する傾向は変化していくことが予想されるため、引き続きの調査・分析が重要である。

また、当ツールを冬期道路管理に活用できるよう、更なるデータの蓄積や当ツールの活用方法などについて検討していきたい。

なお、本検討は、国土交通省北陸地方整備局北陸技術事務所の委託業務として検討した結果をまとめたものである。検討にあたり北陸地方整備局北陸技術事務所の担当者の皆様に、有益かつ適切なお助言並びにご指導を頂きました。この場をお借りして感謝の意を表します。

遠赤外線融雪装置の試験運用について

～国道8号の登坂不能対策～

南 善導・岩井 雅紀・二木 与裕・小林 智子*1

1. はじめに

近年、上り勾配区間において、急激な降雪により登坂不能車両が発生し、後続車が次々と立ち往生する大規模な交通障害が発生している。

金沢河川国道事務所管内では、国道8号の石川県と富山県の県境付近において、登坂不能車両による大規模な交通障害がたびたび発生している。この背景には、県境付近の上り線の道路縦断勾配が最大3.5%の長い上り坂になっていることや、山間地域でもあることから外気温および路面温度が平野部に比べ低いことが挙げられる。そのため、早急な消融雪設備の整備が必要と考えられるが、県境付近は融雪に必要な水源の供給が難しく、従来の消雪パイプによる融雪は困難であることが確認された。

そこで、本論文では降雪時における道路交通確保を目的とし、遠赤外線融雪装置の試験施工を行い(図1)、降雪時における路面の積雪状況および融雪効果を報告するものである。

(写真1). 複数の大型車が登坂不能状態になり、うち1台が上下車線を閉塞し、大規模な交通障害に至った。同様の事象を防ぐべく、対策が急務と考えられるため、今回の試験施工区間として抽出した。



写真1 大規模な交通障害



図1 位置図

2. 登坂不能対策

2.1 試験施工区間の抽出

降雪地域においては、以前から登坂不能車両による交通障害はたびたび発生しているが、近年は短期間の集中的な降雪の影響により交通障害が発生するケースがある。金沢河川国道事務所管内の国道8号津幡町坂戸地内においても、2021年1月8日に交通障害が発生している

2.2 対策工法の選定

今回は登坂不能車両対策に焦点をおき、供用区間への影響も考慮し、工期短縮にも着目した上で、対策工法の比較・検討を行った(表1)。その結果、当該区間は水源(地下水や河川水)の供給が乏しく、消雪パイプの施工は困難であることから、コストは中位であるが、短期間に施工可能な遠赤外線融雪装置を選定した。

表1 対策工法の選定

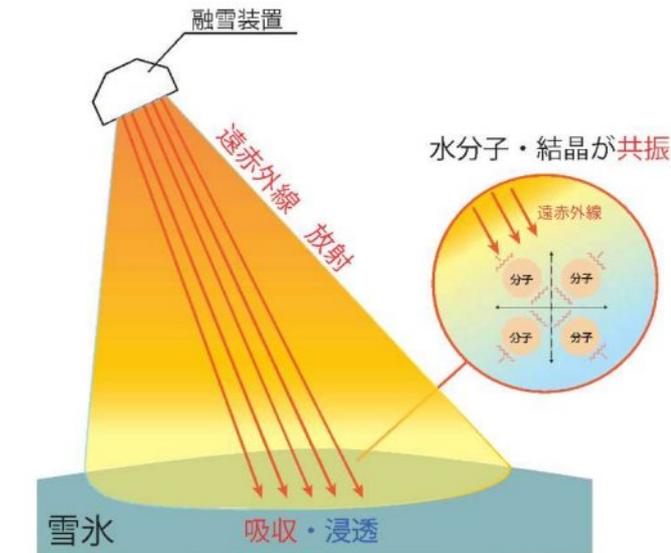
	消雪パイプ	スノーシェルター	遠赤外線融雪装置
概要	路面散水し消雪	積雪を防止	遠赤外線照射による融雪
コスト(1kmあたり)	低い	高い	中位
工事期間	長い	長い	短い
メリット	水源確保の条件下で低コスト	路肩の堆雪がない	熱源なしで融雪可能
デメリット	水源送水工事に長期間を要する	交通規制 施工方法が要検討	電力使用量が大きい
判定	—	—	○

*1 国土交通省 北陸地方整備局 金沢河川国道事務所)

2.3 融雪装置の概要と試験施工

(1) 装置の概要について

試験施工において使用する遠赤外線融雪装置（UMS-6000）の概要および製品の仕様を図2に示す。装置から放射された遠赤外線は雪（水分子）と接触することで吸収され、分子を振動させる際に発生する熱エネルギーによって融雪効果を発揮する。また、可視光線や近赤外線と比較して雪や氷に吸収されやすいため、内部へ浸透する特徴がある¹⁾。



【遠赤外線を放射】→【遠赤外線を吸収】→【雪・氷が共振】

■UMS-6000仕様

定格電圧	交流電源 AC200V（単相）
定格周波数	50/60Hz
定格消費電力	6000w
ヒーター	遠赤外線カーボンヒーター
使用場所	屋外
周辺温度	-20℃～+10℃
寸法	幅1014mm×奥行き595mm×高さ507mm（ブラケット含む）
重量	約29kg（ランプ含む）

図2 遠赤外線融雪装置の概要

(2) 試験施工範囲について

融雪装置は道路路面（G.L）から2.8mの高さに据付けを行った。また、上り線のための融雪範囲となるため、約60°の角度で設置している（図3）。施工区間は約70mであり、富山方面に向かう上り勾配区間（上り線）のみを融雪範囲としている（図4）。さらに、低圧受電の条件下で、灯具1基あたり6kw照射できるものを設置間隔（4mと6m）が異なる2パターンを準備し、合計14基による試験施工を行った（図5）。

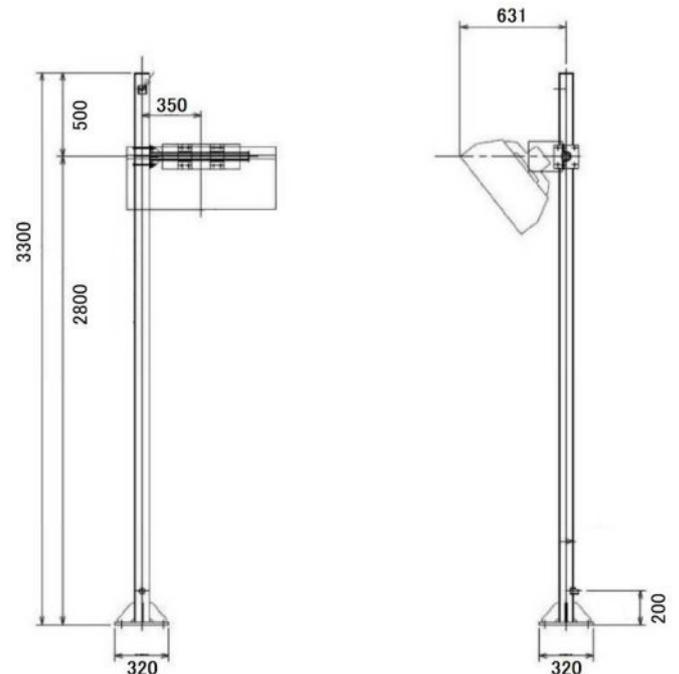


図3 遠赤外線融雪装置の構造図

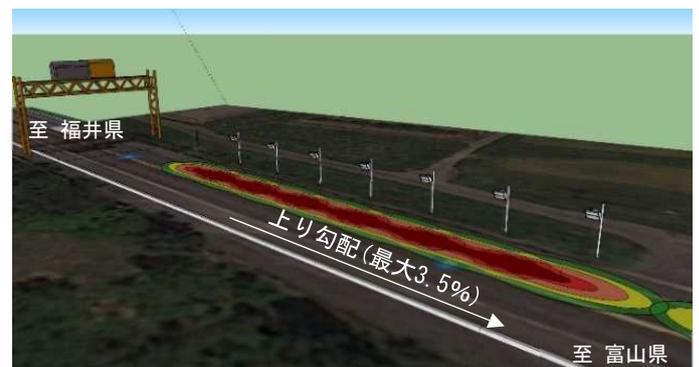


図4 融雪範囲のイメージ

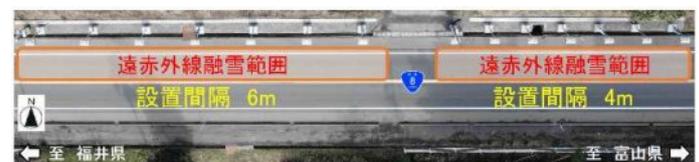


図5 試験施工区間の平面図

3. 融雪効果の調査

装置稼働時の路面の積雪状況および外気温・降雪量のデータ収集を行い、融雪効果を調査する。

3.1 調査内容

調査内容については、下記の(1)～(3)により実施し、結果を取りまとめる。

(1) 装置の稼働について

試験施工区間に設置した監視機器により、装置の稼働（運転・停止）履歴を記録。

(2) 積雪状況について

試験施工区間に設置した積雪深計測機器により、路面の積雪深および降雪状況を定量的に記録。

(3) 路面状況について

試験施工区間に設置した定点カメラにより、路面の積雪状況を記録。

3.2 融雪装置稼働状況

融雪装置の稼働状況を（写真2）に示す。融雪装置は正常に稼働しており、富山方面に向かう上り勾配区間（上り線）において融雪効果が確認された。



写真2 融雪装置の稼働状況
（上段：現地撮影 下段：CCTV画像）

3.3 路面状況の確認

稼働時の天候および外気温にも左右されるが、約1時間程度で路面の融雪が確認された。しかし、時間あたりの降雪が3～4cmを超える場合や、断続して降雪がある場合には路面全体に雪が残っており、装置による十分な融雪効果は得られない可能性が確認された（写真3）。

4. 結果

試験施工の結果、いずれの設置間隔においても初期降雪時には融雪効果が確認された。しかし、降雪が断続的に継続する場合や時間あたりの降雪量が多い場合には、十分な融雪効果が得られない可能性が確認された。今

後、収集したデータ（降雪量、外気温および路面状況）の精査するとともに融雪装置の適正な設置間隔や使用電力量に配慮した運用計画を検証していく予定である。

昨冬における、北陸地方整備局管内における令和5年1月20日頃から24日頃にかけての大雪に関する記者発表関連について図6に示す。2023年1月20日の午前11時の緊急発表直後は大雪に関するインプレッション数およびリツイート数が大幅に増加していることから、国民の関心が高かったことが伺える。また、遠赤外線融雪装置の試験施工についても同程度の反応があったことが確認された。

5. おわりに

大雪時の登坂不能車両による立ち往生は過去にも発生しているが、近年では対応が困難な程の急激な降雪が多くなっている。降雪時における道路交通確保は道路管理者の責務であり、通行止めによる集中除雪を実施しているものの、立ち往生の解消につながっていないのが実情である。

このような交通障害をなくしていくためにも、ハード整備だけでなく関係機関と連携を図りながら、ソフト面の強化も課題の一つと考えられるため、その両面からの対策を講じていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 柴田 優作・上村 靖司・町田 敬：積雪深二値制御を組み合わせた遠赤外線融雪装置のコスト削減効果ートンネル坑口の落雪・雪庇対策への適用ー，ゆきみらい，2019，新庄，研究発表会講演論文集

謝辞：今回、(株)日本海コンサルタント、町田建設(株)、石川建設工業(株)をはじめとするご関係者の皆様方のご協力を頂き、遠赤外線融雪装置の試験施工を行うことができました。深く御礼申し上げます。

■2023年1月24日 14:40
 路面積雪24mm, 気温-0.2℃



■2023年1月28日 18:50
 路面積雪17mm, 気温0.0℃



■2023年1月24日 15:40
 路面積雪0mm, 気温-0.3℃



■2023年1月26日 4:20
 路面積雪9mm, 気温-1.1℃



写真3 路面の融雪状況

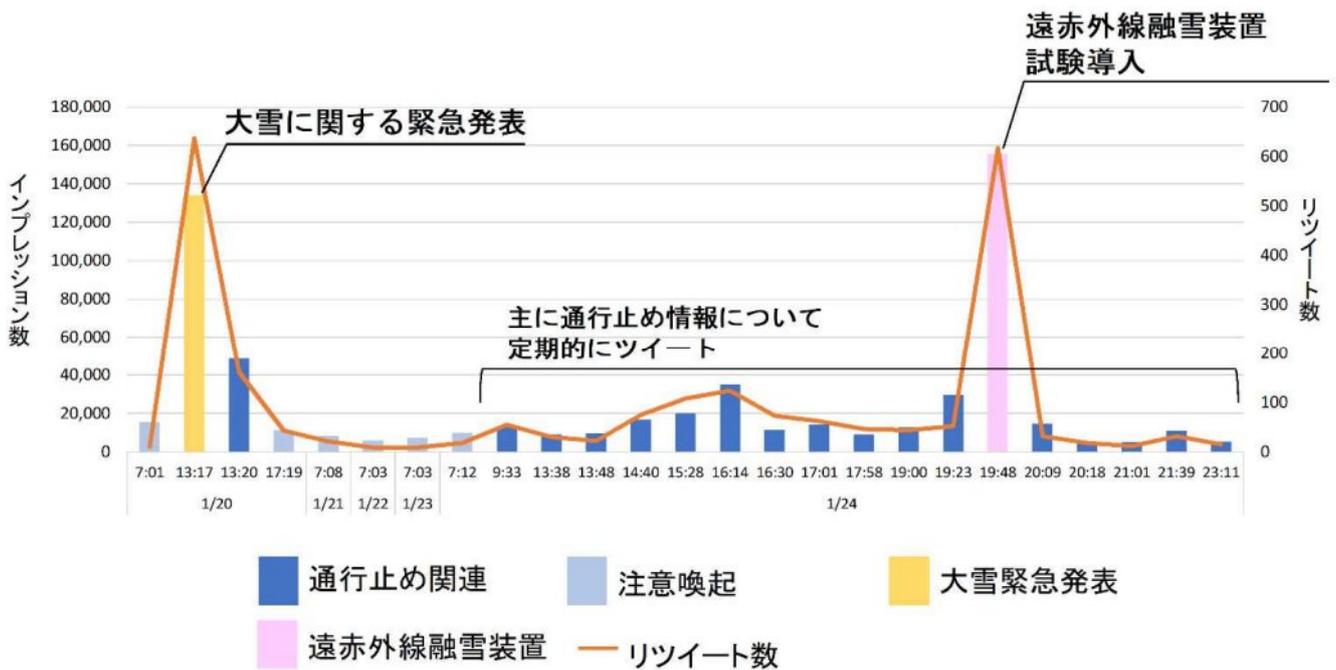


図6 2023年1月20日から1月26日にかけての大雪に関する記者発表関連について

DXアプリを活用した持続的かつ効率的な大雪への対応

小宮 悟*1

1. はじめに

昨今より多くの企業で自社業務や既存のサービスに変革をもたらすデジタル技術の開発・推進、すなわちデジタルトランスフォーメーション（以下、DX）が進められている。(株)野村総合研究所によるとDXは「企業が、ビッグデータなどのデータとAIやIoTを始めとするデジタル技術を活用して、業務プロセスを改善してだけでなく、製品やサービス、ビジネスモデルそのものを変革するとともに、組織、企業文化、風土をも改革」¹⁾ することと定義されており、NEXCO東日本も業務の生産性向上のため、AI技術やデータを駆使した業務改善を進めていく必要があった。

そこでNEXCO東日本新潟支社(以下、新潟支社)では、令和2年度に発生した関越自動車道(以下、関越道)での大規模滞留事象をきっかけにDXアプリを開発し業務効率化に取り組んできた。本稿は、DXアプリの開発経緯や導入効果、また今後の展望について報告するものである。

2. アプリ開発経緯

令和2年度に発生した関越道での大規模滞留時は、アメダス湯沢における観測データでは、24時間で113cm及び48時間で144cmの降雪を記録し、観測史上最高となった。この降雪により関越道塩沢石打IC～小出IC(上り)で約1,750台、湯沢IC～月夜野IC(下り)で約350台の計約2,100台が2日間に渡り高速道路上に滞留し、お客さまの命の危険もあるような状況であった。

この大規模滞留事象を受け、新潟支社内において事後振り返りを行ったところ、防災対策本部での課題が浮き彫りとなった。中でも特に大きな課題として認識したのは以下の2点である。

① 防災対策本部で把握した情報を現地と共有することが出来ず、防災対策本部の情報が、現地と異なっていることに気づけなかった

② 情報伝達手段も電話やメール、メッセージアプリなど様々であることから情報が散在し、統一した管理ができていなかった

3. アプリ概要

前項の課題を解決するために令和3年度に開発したのがDXアプリ「eSDXBOARD」(以下、eSDX)である。

アプリの開発にあたってはアジャイル開発手法を採用した。あらかじめ仕様を厳密に定めず、優先度の高い要件から少しずつ開発を進め、小さな開発単位で実装→テストを繰り返しながら開発を進める手法であるため、ユーザーの意見や要望を随時取り入れることができる。

従前、高速道路上で複数の事象が発生している際は、それぞれの現場から電話やメール、メッセージアプリ等で情報を入手し、防災対策本部のホワイトボードへ書込み、本社・他機関へ報告を行っていた。過去の大規模滞留事象では、この過程で情報が錯綜するなどして伝達誤りが発生し現場と情報が異なっていたことや、またそれに気づけなかったという問題が散見された。そこでeSDXの活用により情報を組織内で一元化し、雪氷対策従事者・機械等の配置状況・現場で発生した事故やその対応状況を概略地図上で可視化し、関係者全員での共有を可能とした。

画面構成は「全体図」「詳細図」「事象一覧」の3つである。図1は「全体図」である。新潟支社管内の路線やインターチェンジ名を概略地図上で確認することができる。図2は「全体図」を拡大した図である。赤い丸で囲っている数字が現在その区間で起きている事象数を示している他、各インターチェンジに接続する一般道路の規模や雪氷基地数も当該画面上で確認することができる。

*1 東日本高速道路株式会社 新潟支社 道路事業部 事業調整チーム



図1 eSDX 全体図



図2 eSDX 全体図(拡大)



図3 eSDX 詳細図

図3は「詳細図」である。詳細図では「どこでどんな事象が起きているか」「その事象の対応ステータスはどうか」等がアイコンで表示される。また、各路線の車線構造を表現したり、現地状況確認・滞留車排除のために必要なWebカメラや中央分離帯開口部の位置も各設備のアイコンを用いて落とし込んでいたりしているので、事象解決に向けた作戦をeSDX上で企てることができる。

令和3年度冬季にeSDXを使用した社員から上が

った課題や意見を踏まえ、令和4年度にはeSDXへ一部機能の追加を行い、より利便性の高いアプリへと改修した。例えば、新たに「事象一覧機能」(図4)を追加し、登録された事象が一覧で表示され後日の振り返りや事故分析が可能となるようにリスト化を行った。新潟支社管内の事象が一覧で表示されるが、フィルター機能もあるため管理事務所ごとに事象を絞り込むことも可能である。また隣接管理事務所でどのような事象が発生しているのかも並行して確認できるため、管理事務所間の情報共有・連携に活かすことができる。

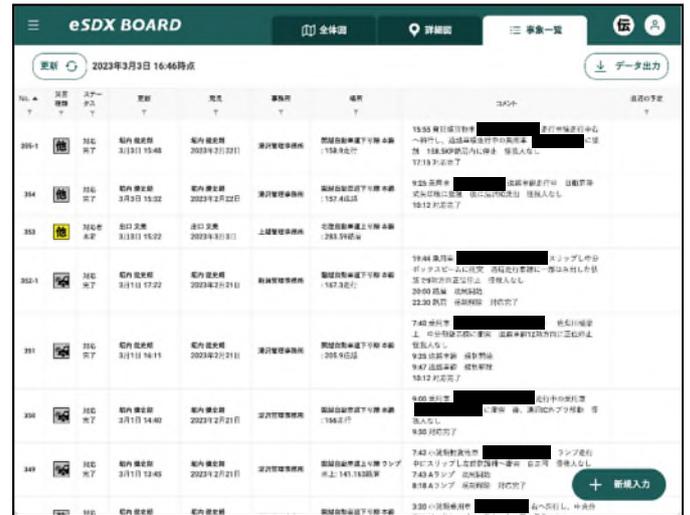


図4 eSDX 事象一覧機能

※車種名は加工処理を実施



図5 eSDX 事象一覧機能(時系列)

※一部情報は加工処理を実施

また、それぞれの事象に対し対応状況の進捗を示す時系列を登録することができるため、並行して複数事象の対応状況の進捗を閲覧・確認することができる。時系列は図5のとおりである。

各事象をタップすると当該画面が表示され、コメント登録ボタンからその事象に対する状況変化や進捗、解決に向けての見通しなどが追加でき、かつて防災対策本部のホワイトボード上に手書きしていた情報をeSDX上で一元管理し、関係者全員が閲覧することができるようになった。後述するが、各事象については

c s vファイルにて出力可能であるため、事故分析等にも活用することができる。

4. 活用効果

令和4年度に一部社員によるeSDXの試行運用を行った結果得られた活用効果については以下の3つのおりである。

(1) リアルタイムかつ一元化された情報の把握

令和4年度冬季においては道路管制センターからの無線や現場への派遣部隊からの情報をもとに防災対策本部にてeSDXに登録したため、リアルタイムかつ一元的な情報把握が可能となった。そのため、防災対策本部では管理事務所と同一の情報を以て現場への指示が可能になった。これにより隣接管理事務所同士の事象対応状況も確認できるため通行止め開始・解除の判断材料に役立てることができたというユーザーからの意見もあった。

事象一覧にてリアルタイムな事象対応状況を確認できるため、情報の一元化という観点から利便性の高いアプリであったと言える。

(2) オペレーションの構築・確認に向けた緻密な情報の共有

eSDXは会社貸与のタブレット上でも操作・閲覧が可能であるため、現場にタブレットを持参することで現場状況を速やかにeSDXに登録することができる。これまでは現場から管理事務所防災対策本部へ電話やメール、メッセージアプリ等を用いて情報共有後に、管理事務所防災対策本部にて情報を精査して既存の情報管理システムへ登録していたが、現場で状況を即時登録することが可能であることから緻密な情報までも速やかに共有することができる。

特に有事の際のオペレーションを構築・確認するには、現場情報をより細かく把握する必要があることから、現場においては、リアルタイムかつ緻密な情報を共有することができるeSDXの活用は有効であると考える。

(3) 過去事象データによる分析

eSDXに登録された過去事象データはc s vファイルとして出力することができるため、どのような場所でどのような事象が多い傾向にあるかなどの分析が可能である。令和4年度冬季におけるeSDXへの登録事象件数については令和4年12月から令和5年4月の間で449件あり、主には単独事故や雪堤・落下

物への衝突等による事象であった。

関越自動車道			上り	下り	計
水上IC	～	谷川岳PA	5	5	10
谷川岳PA	～	土樽PA	13	7	20
土樽PA	～	湯沢IC	13	13	26
湯沢IC	～	塩沢石打IC	6	5	11
塩沢石打IC	～	六日町IC	4	10	14
六日町IC	～	大和PA	7	5	12
大和PA	～	小出IC	4	2	6
小出IC	～	堀之内IC	4	7	11
堀之内IC	～	越後川口IC	6	7	13
越後川口IC	～	小千谷IC	2	6	8
小千谷IC	～	山谷PA	7	0	7
山谷PA	～	長岡南越路SIC	10	6	16
長岡南越路SIC	～	長岡IC	5	3	8
長岡IC	～	長岡JCT	1	5	6
計			87	81	168

図6 関越道の事象数一覧

当データでは図6のとおり積雪量が多く道路勾配のきつい関越道の山間部区間での事象が多い傾向にあるが、一方で山谷PA～長岡南越路SICの比較的降雪量の少ない区間においても事象が多いことがわかった。このことから、当該区間での事象内容を精査し、何かしらの注意喚起・安全対策が必要であるという課題が浮き彫りとなった。

今後もeSDXに事象を登録しデータを蓄積しながらより質の高い事故分析を行うことで、データに基づいた事故防止策の検討にも活用できると考える。

5. eSDXを応用した他アプリの開発

eSDXの基本機能を活用・応用し、管理瑕疵・事故に直結するポットホールが発生・補修状況を管理できる「ePDXBOARD」(以下、ePDX)も新たに開発した。

アプリ構成はeSDXと同様、「全体図」「詳細図」「事象一覧」の3つのタブであり、「どこで」「どのような」ポットホールが発生しているのか、またその対応状況を模式図上で可視化している。図7はePDXにおける事象一覧のタブである。ポットホール事象単位ごとに登録し、車線のどの部分に損傷が発生しているかや、その対応状況をアイコン等にて確認することができる。

令和4年度に基本機能部分を開発して一部組織で試

行運用を開始した。令和5年度には試行運用を経て得られた意見を取り入れ「経過日数一覧」という機能を追加した。これはポットホール発生日から初動対応が遅れている事象を自動集計し管理者に向けてアラートをあげる機能である。このことにより、点検作業員だけでなく管理者も随時損傷状況の把握ができるほか、ポットホールが発生しやすい箇所の可視化ができ今後の舗装補修工事の計画の材料としたり、ポットホールへの初動対応の遅れによる管理瑕疵発生を未然に防いだりするという効果が得られた。

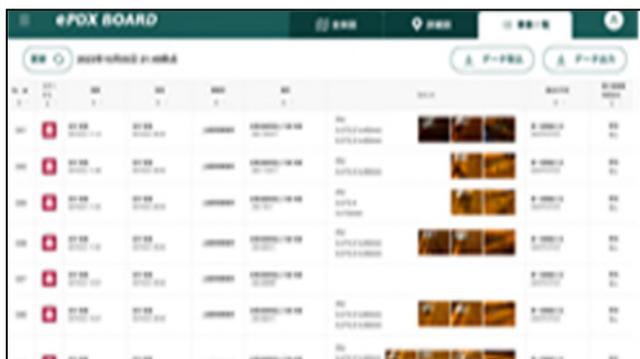


図7 e PDXにおける事象数一覧

従来、ポットホール事象の発生や対応状況の進捗管理は、高速道路上のあらゆる構造物の点検結果を登録している「点検管理システム」上で行っていた。この度のe PDXの開発により、e PDXと点検管理システムへ二重入力作業を要しないよう、シングルインプットによる自動連携機能を目指す工夫等も行っている。両システム間の自動連携にあたっては、昨今業務効率化のため多くの組織で導入されている“RPA” (Robotic Process Automation) を用いることとし、令和5年度内に運用開始予定である。

6. 今後の展望

令和5年度冬季の雪氷対策業務については、新潟支社管内では支社・管理事務所一体となってe S D Xを本格運用とする方針としている。しかし、これまで一部社員が試行的にe S D Xを運用してきたことから、支社・管理事務所に対してe S D Xの利便性・操作方法を浸透させられていなかった。そのため夏季のうちから社内に向けた説明会を実施したり、9月の防災訓練では各組織においてe S D Xへ事象登録の訓練を行ったりして操作に慣れてもらった。更に降雪時期に入る前にはあらためて操作方法やe S D Xの機能について知ってもらう研修の開催・マニュアル等の整備を進め、更にはe S D Xの運用ルールの通達を行うことで

操作スキルの平準化や支社内での意識向上を図っていく予定である。

「DX」の言葉がもてはやされ、あらゆる組織でDXの推進が行われているものの、要件定義があいまいだったり方針が二転三転したりするなどして開発が中止となり、莫大な損失を出してしまった企業が多く存在している。DXはあくまでも手段であり目的ではないということ意識し、何のためのアプリかということを常に念頭に置く必要がある。また、新たなアプリを導入した際、リリース後徐々にアプリの稼働率が下がり自然消滅していくというケースも散見される。

新潟支社がe S D Xを今冬季に実際に運用する中では、随時ユーザーが求めている機能を聞き取って改修要件に反映するほか、有事の際にもユーザーが直感的に操作しやすいUIにするなど、「何か事象が起きた際はまずe S D Xを閲覧・登録する」という意識を定着させることでアプリの稼働率を上昇させ、常に最前線のアプリであり続ける仕組みづくりを目指していく方針である。

以上を踏まえながら、新潟支社において持続的かつ効率的な雪氷対応につなげられるDXアプリの確立を目指し、お客さまに対して安心安全な高速道路空間を提供していく所存である。

7. 参考文献

1) (株) 野村総合研究所HP参照

<https://www.nri.com/jp/knowledge/glossary/lst/alphabet/DX>

距離と時間に着目した豪雪時の運搬排雪の運用に関する一考察

中前 茂之 堀江 進* 1

1 はじめに

世界に類を見ない積雪寒冷都市である札幌市において、冬期の道路除雪は社会経済を支えるために不可欠な対策で、年間 200 億円以上の予算を費やしている¹⁾。当該予算は降雪量に依存するものの、冬期道路の安全確保や利便性確保の観点からいわゆるサービスレベルの向上に伴い増加傾向にあり、巡って企業や市民の負担が増加していることとなる。この道路除雪費のうち、運搬排雪にかかる費用が概ね半分を占める²⁾が、運搬排雪の費用の枢要は、運搬する雪の量と運搬距離より求められ、工事費の積算も同様である。このため、運搬排雪費を減ずる方策は、運搬する雪の量を減ずるか、運搬距離を減ずることとなる。

令和 3 年度、札幌市は都市機能が麻痺するほどの記録的豪雪に見舞われた³⁾。この記録的豪雪により、運搬排雪費の増嵩はもとより、運搬排雪作業そのものに大きな影響が現れた。つまり、排雪の受け入れ先である堆雪場の不足に加え、排雪の運搬経路自体の排雪が進まないことから排雪作業全体が遅延し、都市機能の回復には大きな困難を要した。このことは、より遠方の堆雪場へ運搬する必要が生じ、運搬距離の増加のほか、排雪の運搬経路の渋滞により、運搬時間が増大し、運搬の効率が著しく低下したことが考えられる。その程度によっては、運搬効率の低下が実質的な運搬排雪費用に少なからず影響を与えていると考えるべきこととなる。

運搬排雪費の低減を議論する場合、雪の量は外的に決定されるとして、運搬排雪距離を減少させることが運搬排雪費の低減につながると考えられるが、特に令和 3 年度に札幌市が経験したような豪雪時の場合においては、これに加え運搬排雪にかかる時間も十分に考慮しなければならないと考えられる。つまり、運搬排雪費の工事費の積算においても、これまで、運搬する雪の量と運搬する距離をもって運搬排雪費の変数としてきたが、これに運搬排雪にかかる時間の状況について現状の整理や検討を加える必要があると考えられる。

そこで、本稿では、運搬排雪の距離と時間に着目し、令和 3 年度の運搬排雪の状況を前後の年（令和 2 年度と令和 4 年度）と比較することにより運搬排雪の運用について考察し、経費の低減に向けた方策を検討するための基礎的データの整理と考察を行うものである。

2 研究の方法

令和 2 年度から令和 4 年度の札幌市の運搬排雪データをもとに、全市 23 地区の業務毎に、豪雪による運搬排雪量、距離、時間、並びに待機・積込・雪捨等運搬排雪の 1 サイクルに均した速度（以下、旅行速度という。）をまとめ、比較検討する。

なお、運搬排雪は、その対象によって細分化されている。本研究では、幹線道路の運搬排雪、交差点部の運搬排雪、地区内生活道路の運搬排雪（パートナーシップ除雪）の 3 種に分類されたデータを用いた。

また、運搬排雪距離の短縮化や経費低減に寄与すると思われる地区内の公園等への排雪についてある町内会役員会メンバーへのアンケートを行い、地区内排雪に対する住民の意識（公園等への排雪に対する受容度合い、排雪を受け入れるために必要な対策や条件等）の一端を調査する。

3 運搬排雪量等の推移

3-1 運搬排雪量の推移

札幌管区气象台によると、令和 4 年度の累計降雪量は 389cm、記録的豪雪となった令和 3 年度は 475cm、令和 2 年度は 331cm、平年値は 456cm^{4) 5)} である。令和 3 年度は前後の年と比べると 1.2~1.4 倍程度年間の降雪量が多かった。

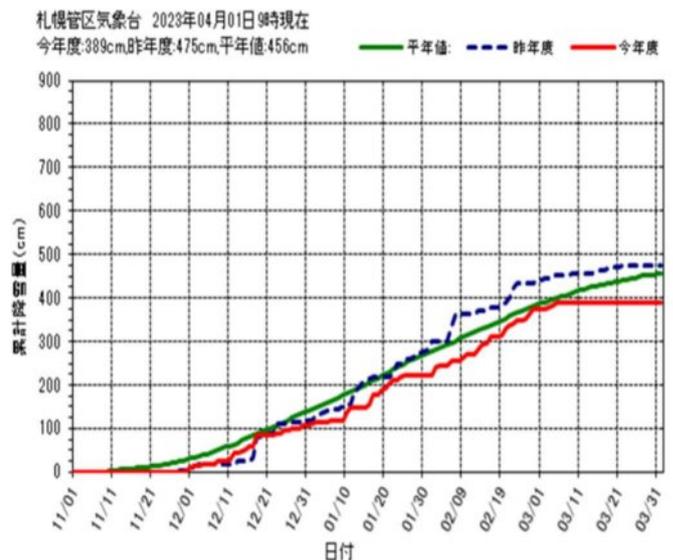


図-1 札幌市の年間累計降雪量

* 1 北海道大学 数理・データサイエンス教育研究センター

この3年間の運搬排雪量を市内の23地区について比較したものを図-2~4に示す。交差点の運搬排雪について、4番、8番、23番の3地区で令和3年度より令和2年度もしくは令和4年度の量が多くなっている(図-3)他は、ほとんどの地区において令和3年度の排雪量は前後の年に比べ増加している。これより、令和3年度の運搬排雪量が他の年に比べいかに増加しているかが分かる。

また、表-1に札幌市全体の運搬排雪量の推移を示す。これによると、幹線道路の運搬排雪とパートナーシップ除雪の運搬排雪量がそれぞれ約4割から半数程度を占め、交差点の運搬排雪が1割程度といった割合の傾向にあることが分かる。

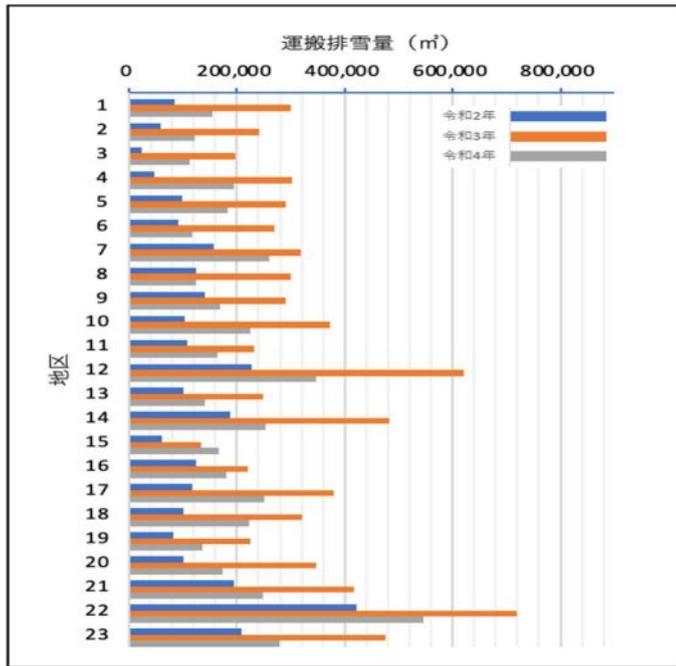


図-2 幹線道路の運搬排雪量

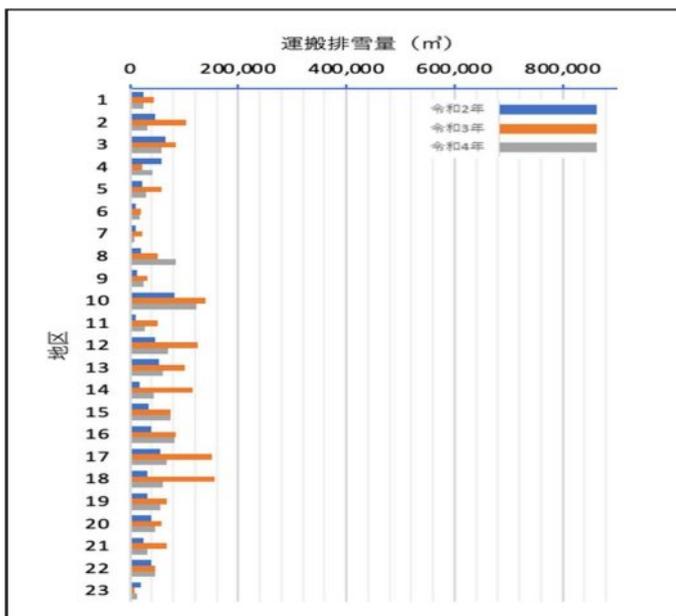


図-3 交差点の運搬排雪量

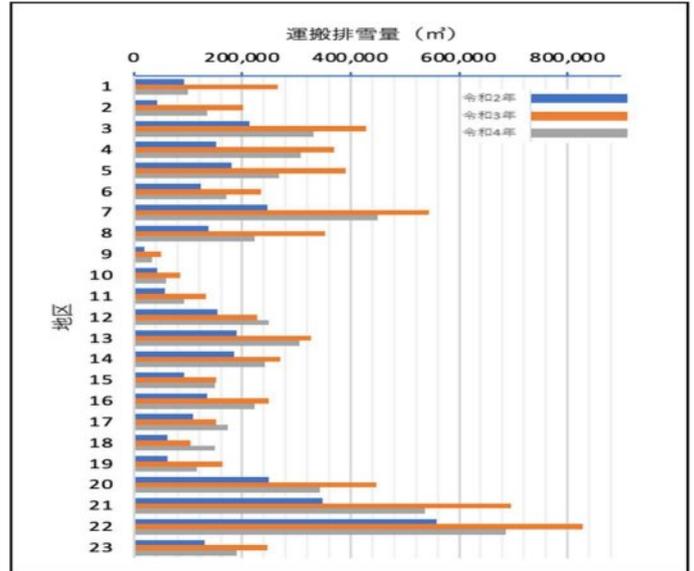


図-4 パートナーシップ除雪の運搬排雪量

表-1 札幌市全体の運搬排雪量の推移

	計	(m3)		
		運搬排雪	交差点排雪	パートナー
令和2年度	7,326,030	2,958,348	791,314	3,576,368
		40.4%	10.8%	48.8%
令和3年度	16,303,062	7,706,064	1,680,220	6,916,778
		47.3%	10.3%	42.4%
令和4年度	11,415,728	4,765,824	1,117,198	5,532,706
		41.7%	9.8%	48.5%

表-2 令和2年度の排雪量に対する令和3年度と令和4年度の排雪量の比及び各年度の累計降雪量と令和2年度に対する比

地区	令和2年度				令和3年度				令和4年度			
	計	運搬排雪	交差点排雪	パートナー	計	運搬排雪	交差点排雪	パートナー	計	運搬排雪	交差点排雪	パートナー
1	1,000	1,000	1,000	1,000	3,051	1,000	1,700	2,000	1,237	1,000	1,000	1,000
2	1,000	1,000	1,000	1,000	9,773	4,100	2,200	4,700	1,937	1,100	1,000	1,000
3	1,000	1,000	1,000	1,000	2,205	9,700	1,200	2,000	1,805	9,900	9,900	1,000
4	1,000	1,000	1,000	1,000	2,772	9,400	9,700	2,000	2,112	9,200	9,700	2,000
5	1,000	1,000	1,000	1,000	2,447	2,000	2,000	3,100	1,811	1,000	1,000	1,000
6	1,000	1,000	1,000	1,000	2,204	1,000	2,000	1,000	1,237	1,200	1,000	1,000
7	1,000	1,000	1,000	1,000	2,115	3,100	1,000	2,000	1,704	1,000	9,700	1,000
8	1,000	1,000	1,000	1,000	2,200	2,000	2,000	2,000	1,933	1,000	4,200	1,000
9	1,000	1,000	1,000	1,000	2,119	2,000	2,000	2,000	1,200	1,100	2,000	1,700
10	1,000	1,000	1,000	1,000	2,444	3,400	1,700	2,000	1,800	2,100	1,000	1,000
11	1,000	1,000	1,000	1,000	2,209	2,100	4,900	2,000	1,804	1,000	2,100	1,000
12	1,000	1,000	1,000	1,000	2,220	2,700	2,000	1,000	1,506	1,100	1,000	1,000
13	1,000	1,000	1,000	1,000	1,200	2,400	1,000	1,700	1,427	1,200	1,200	1,000
14	1,000	1,000	1,000	1,000	2,222	2,300	6,200	1,000	1,209	1,300	2,400	1,000
15	1,000	1,000	1,000	1,000	1,900	2,100	2,100	1,000	2,006	2,700	2,100	1,000
16	1,000	1,000	1,000	1,000	1,906	1,700	2,100	1,000	1,602	1,400	2,100	1,000
17	1,000	1,000	1,000	1,000	2,402	3,100	2,700	1,000	1,709	2,100	1,200	1,000
18	1,000	1,000	1,000	1,000	2,200	3,100	4,900	1,700	2,211	2,100	1,400	2,000
19	1,000	1,000	1,000	1,000	2,209	2,700	2,100	2,000	1,709	1,600	1,700	1,000
20	1,000	1,000	1,000	1,000	2,119	3,400	1,000	1,700	1,444	1,700	1,100	1,000
21	1,000	1,000	1,000	1,000	2,209	2,100	2,000	2,000	1,444	1,200	1,100	1,000
22	1,000	1,000	1,000	1,000	1,100	1,700	1,100	1,000	1,200	1,200	1,100	1,000
23	1,000	1,000	1,000	1,000	2,204	2,200	9,400	1,000	1,200	1,300	9,400	1,000
平均	1,000	1,000	1,000	1,000	2,223	2,800	2,112	1,913	1,506	1,611	1,611	1,313
累計降雪量 (mm)												
対令和2年度比		321				476				389		
		1,000				1,44				1,10		

図-5 幹線道路の運搬排雪距離の推移

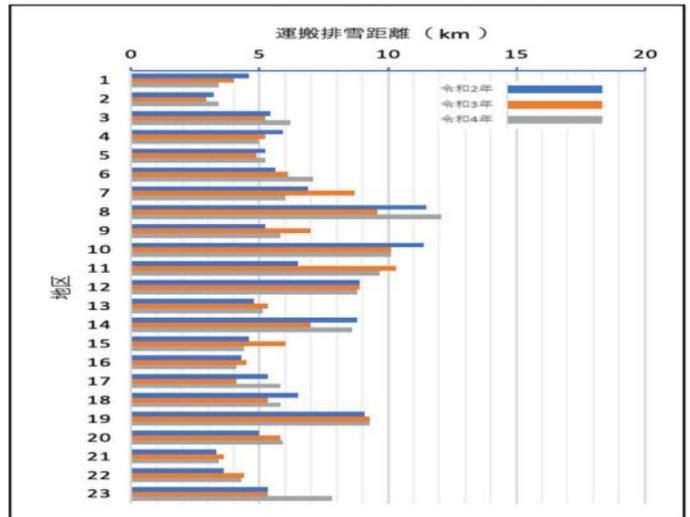


図-6 交差点の運搬排雪距離の推移

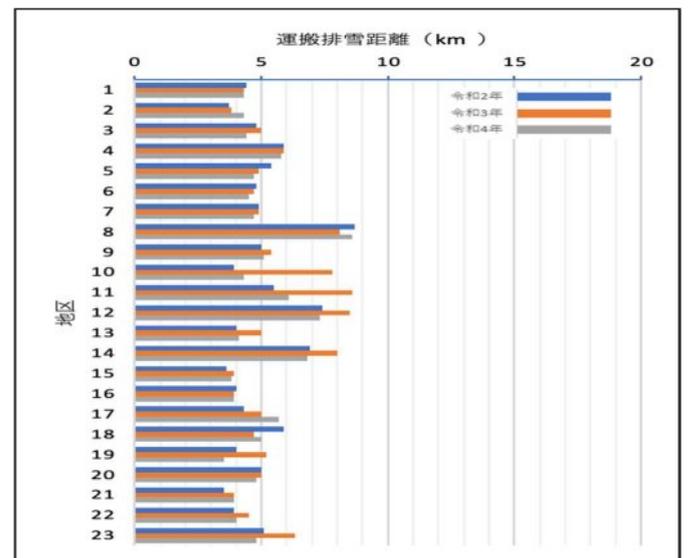


図-7 パートナーシップ除雪運搬排雪距離の推移

3-3 運搬排雪所要時間や旅行速度の推移

次に、運搬排雪の所要時間から推計した旅行速度を比較した(図-8~10、表-3 参照)。上に行くほど令和3年度の旅行速度が他の年度に比較して高く、右に行くほど3年間の平均旅行速度が高いこととなる。

23 地区のうち、令和3年度の旅行速度が令和2・4年の平均よりも低い地区が幹線道路の運搬排雪において18地区、交差点の運搬排雪について16地区、パートナーシップ除雪の運搬排雪について10地区であった。このため、特に幹線道路や交差点の運搬排雪において、旅行速度の低下による運搬効率の悪化が生じていた可能性が考えられる。

このうち、例えば、15 番の地区は令和3年度の旅行速度比が幹線道路、交差点、パートナーシップともに大きく伸長していることから、豪雪年の令和3年度においても

また、表-2 は各年度の排雪量を比較するとともに、累計降雪量を整理したものである。これによると、令和3年度の累計降雪量は令和2年度の1.4倍であるが、運搬排雪量は平均で2.2倍、多いところでは、4倍から8倍を超える量となっていることが分かる。(色分けは、濃い青：1倍以下→赤：4倍超へと倍率が高くなる。)

3-2 運搬排雪距離の推移

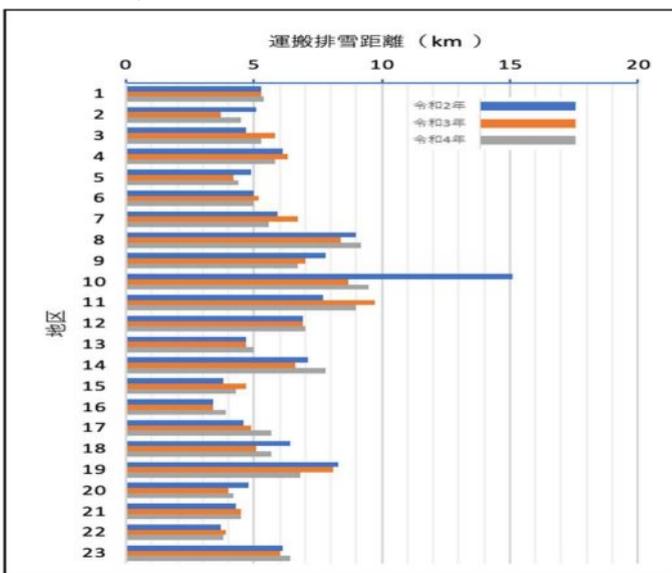
次に、運搬排雪距離の推移について整理する。各地区の平均運搬距離を以下の式によって求めた。

$$L = \frac{\sum S_i * L_i}{\sum S_i} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、Lは地区の平均運搬距離(km)、 S_i は、一つの運搬排雪記録における排雪量(m^3)、それに対応する L_i はその運搬距離(km)である。これを、23地区について整理した(図-5~7)。これによると、運搬排雪の平均運搬距離について、令和3年度が最大となったのは、幹線道路の運搬排雪で7地区、交差点の運搬排雪で8地区、パートナーシップは14地区である。それ以外の地区では、令和2年度もしくは令和4年度が最大となっている。

このうち、他の年度と比較して、幹線道路の運搬排雪では、10番の地区の令和2年度の距離が特に大きく(図-5参照)、交差点の運搬排雪では、23番の地区の令和4年度が大きかった(図-6参照)。

以上のように排雪量がほとんどの地区で増加した一方、運搬排雪にかかる平均運搬距離の増加は抑制されており、区外や遠方の堆雪場に加え、比較的距離の近い堆雪場の確保や受け入れ量の増強といった対策が取られたと推察される。



渋滞の影響を受けず、比較的効率よく運搬を行ったと考えられる。運搬先の堆雪場と排雪量を分析したところ、約75%は例年用いている堆雪場へ排雪しており、追加した堆雪場を含め、令和3年度の堆雪場は全て区内で確保していた。また、このうち令和3年度に新たに設けた堆雪場5ヶ所のうちに1箇所は同じ区の他の地区が排雪している堆雪場であった。

他方、例えば17番の地区（図-8、図-9）は、平均の旅行速度が低い上に、令和3年度はさらに速度が低下していることから運搬効率が他の地区に比べて著しく不利であると考えられる。

このように、地区によって運搬排雪の条件が大きく異なっていることが分かる。

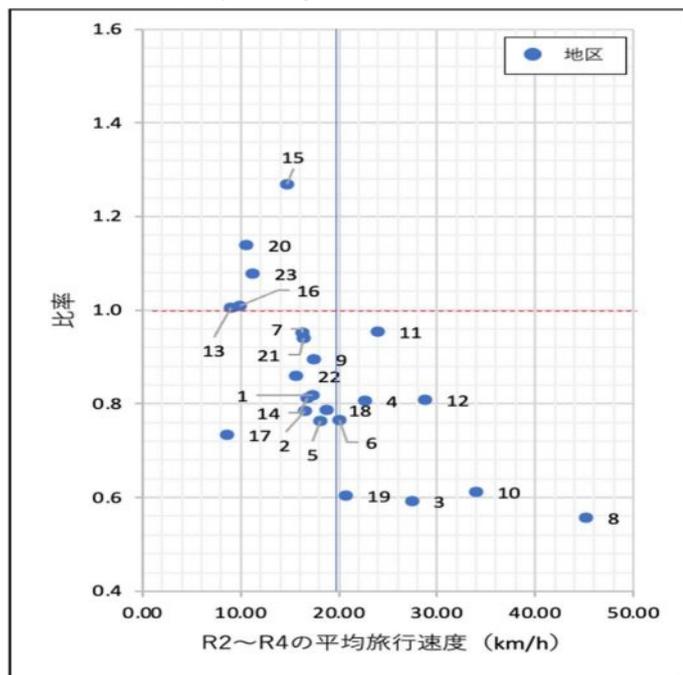


図-8 幹線道路運搬排雪の旅行速度の比

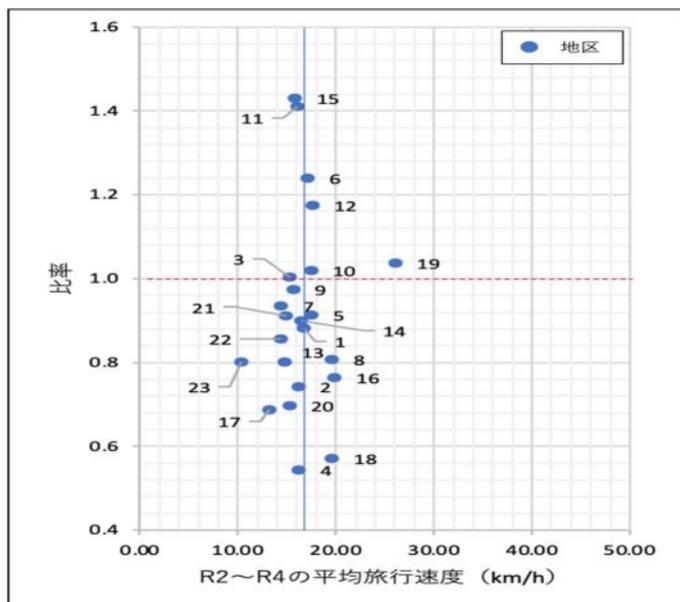


図-9 交差点運搬排雪の旅行速度の比

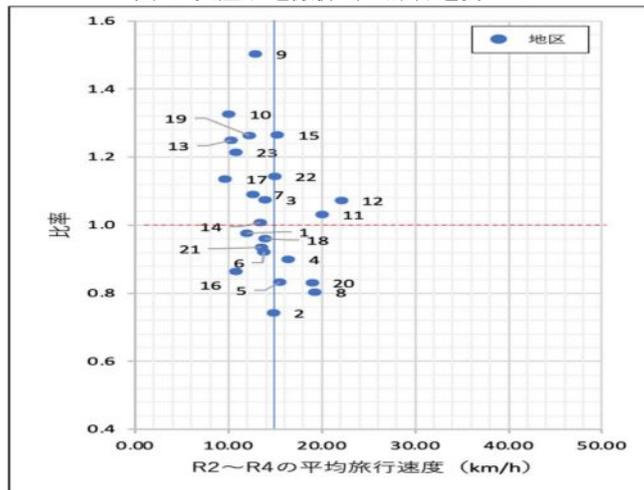


図-10 パートナーシップ運搬排雪の旅行速度の比

表-3 地区毎の旅行速度の比

地区	幹線道路	交差点部	パートナーシップ除雪
1	0.82	0.88	0.98
2	0.78	0.74	0.74
3	0.59	1.00	1.07
4	0.81	0.54	0.90
5	0.76	0.91	0.83
6	0.76	1.24	0.92
7	0.95	0.94	1.09
8	0.56	0.81	0.80
9	0.90	0.97	1.50
10	0.61	1.02	1.33
11	0.95	1.41	1.03
12	0.81	1.17	1.07
13	1.01	0.80	1.25
14	0.81	0.90	1.01
15	1.27	1.43	1.26
16	1.01	0.76	0.86
17	0.73	0.69	1.14
18	0.79	0.57	0.96
19	0.60	1.04	1.26
20	1.14	0.70	0.83
21	0.94	0.91	0.93
22	0.86	0.86	1.14
23	1.08	0.80	1.21

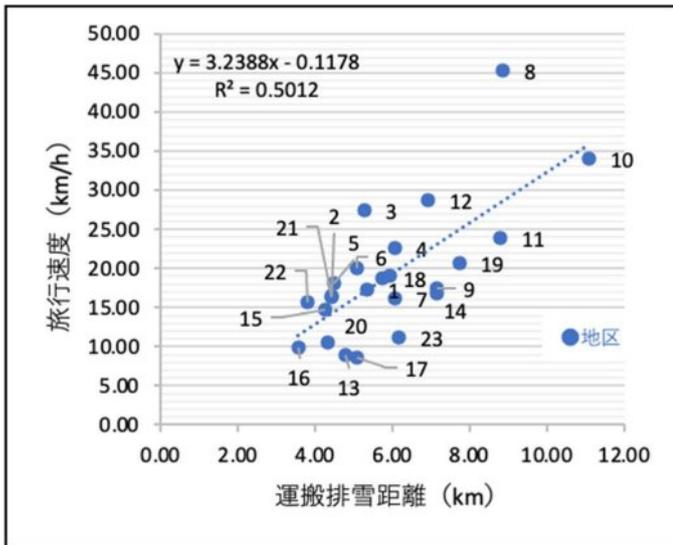


図-11 幹線道路運搬排雪の旅行速度と運搬距離

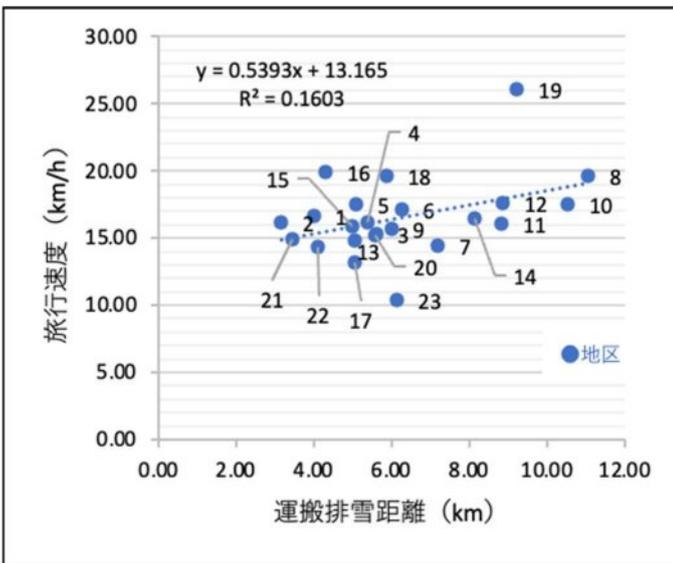


図-12 交差点運搬排雪の旅行速度と運搬距離

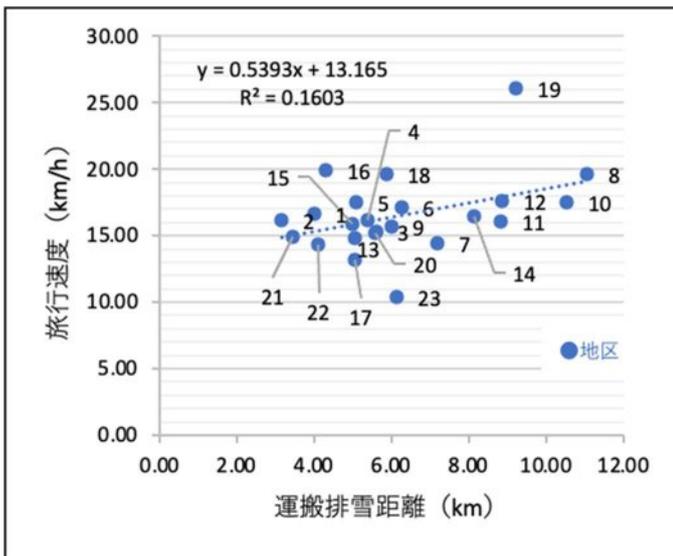


図-13 パートナーシップ除雪の旅行速度と運搬距離

4 地区内排雪に対する住民意識

先にも述べたように、令和3年度に記録的豪雪を被った札幌市は、都市機能が麻痺するような状態を「フェーズ3」と位置づけ、地区内の公園や学校のグラウンドを臨時の排雪場とすることとした¹⁾が、地区内の公園等は、整備当初から排雪を受入れる構造ではないことや、市民の冬期・早春の利用を制限することへの合意形成がなされていないこと、地区の公園等における安全確保や雪解け後のゴミ処理の方策等の課題がある。他方、地区内排雪は、運搬距離の短縮による経費縮減の可能性を秘め、財政効果やCO2削減など環境負荷軽減の効果も期待できる。このため、市民の地区内排雪に対する意識等データを収集する試みとして、市内のある町内会役員会メンバーにアンケート調査を行った(表-4)。

調査項目は、①公園を道路除雪の堆雪場とすることについて、②学校のグラウンドを道路除雪の堆雪場とすることについて、③除雪の水準と予算について、④その他属性等である。質問の内容は、公園やグラウンドを平常時/緊急時に堆雪場とすることについて意思を問うこととし、例としては、「(1) 小学校のグラウンドを緊急時に堆雪場とすべきだと思いますか」という問いに対し、「1 そう思う 2 どちらかと言えばそう思う 3 どちらかと言えばそう思わない 4 そう思わない」の4段階で回答する形式で行った。

アンケートの結果を表-5にまとめる。これによると、まず、公園については、緊急時と平常時では、緊急時の方が地区内排雪への賛同意識が高く、規模が大きい近隣公園への排雪賛同意識が高いことが分かる。他方、小中学校については、公園同様、緊急時>平常時、中学校>小学校と地区内排雪に対する賛同意識が高くなる結果であるが、公園よりも賛同意識は低いことが分かる。また、緊急時の近隣公園への排雪が1.96、同じく街区公園が2.38と「1 そう思う、2 どちらかともそう思う」の領域に平均値が位置するが、平常時の公園への排雪や小中学校への排雪については2.5より大きい値であり、比較的賛意が低いことが分かる。

表-4 地区内排雪に対するアンケート調査

実施時期	令和5年2月
調査対象	某町内会役員会メンバー
人数	13名
回答数	13名
回答率	100%

表-5 地区内排雪に対する意識

質問項目	回答の平均	標準偏差
近隣公園を <u>緊急時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	1.96	0.97
近隣公園を <u>平常時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	2.85	0.99
街区公園を <u>緊急時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	2.38	1.26
街区公園を <u>平常時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	2.92	0.86
小学校のグラウンドを <u>緊急時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	2.45	0.88
小学校のグラウンドを <u>平常時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	3.38	0.87
中学校のグラウンドを <u>緊急時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	2.35	0.85
中学校のグラウンドを <u>平常時</u> に堆雪場とすべきだと思いますか	3.38	0.87

5 考察とまとめ

まず、排雪量について、3章1節の交差点の運搬排雪では、4番、8番、23番の3地区は令和3年度が最大となっていないと述べたが、4番、23番については、幹線道路の運搬排雪量が増加しており、交差点排雪を幹線道路の運搬排雪に含めて作業したことが考えられる。また、8番については、令和4年度の交差点排雪量が増大している一方、幹線道路の運搬排雪量が増加していないことから、幹線道路の運搬排雪を抑制して交差点排雪を優先したと考えられる（以上、表-2参照）。つまり、3地区も例外ではなく全体として令和3年度の排雪量が最大と見做せる。

次に、運搬距離について、令和3年度が最大となったのは、幹線道路の運搬排雪で7地区に留まっていることから、それ以外の地区では、既存の堆雪場の容量拡大、地区内や近傍に堆雪場を確保等ができたと考えられる。一方、

運搬距離が増大した7地区については、区外など遠方への運搬を行ったと考えられる。

これらに加え、運搬時の旅行速度について地区毎に大きな違いが見られる。また運搬距離と旅行速度に一定の相関が見られ(図-11~13)、今回提示した回帰直線より下へ乖離する地区においては、一層運搬の条件が悪いと考えられる。例えば、17番の地区(図-11~13)は乖離が最も大きく条件の厳しい地区の一つと考えられ、積算においても運搬距離に加え、旅行速度や時間の概念を導入することもコスト削減の方策の一つと考えられる。

さらに、運搬距離を減少させる地区内排雪には市民の理解促進や様々な対策が必要と考えられる。

6 今後の課題

今回は23地区のデータをもとに検討したが、旅行速度など直接計測されないデータもあることからデータの追加や取得方法の見直しなどの課題がある。また、市民の受容意識については、今回は町内会役員メンバーといった限られた方々を対象に実施したが、今後は調査数を増やすとともに、受け入れの条件などに関する問を追加しより深い検討が可能となるよう努めたい。

謝辞

札幌市雪対策室御中には運搬排雪に関するデータを提供頂いた。また、某町内会役員の皆様には、アンケート調査にご協力頂いた。ここに記し謝辞とする。

参考文献

- 1) 札幌市：「大雪への備え」, 広報さっぽろ 11月号, 2022
- 2) 中前等：「除雪単価逓減則の市町村道への適用可能性と豪雪時の財源確保に関する研究」, 土木学会論文集 F4, 2014
- 3) 原：「昨冬の雪害を振り返って」, 広報さっぽろ 11月号, 2022
- 4) 札幌市：「札幌管区気象台の累計降雪量と積雪深」, https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/ac_snow/80.html
- 5) 札幌市：「累計降雪量の推移(札幌管区気象台)」
https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/documents/0307_kousetsu.pdf

既設道路防雪林の防雪機能向上に資する対策事例 下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料(案)の公開

松島哲郎*¹ 吉井昭博*¹ 櫻井俊光*¹ 西村敦史*¹

1. はじめに

近年、北海道では、厳冬期の暴風雪による通行障害や公共交通機関の全面的な運休も含め、多岐にわたる冬期災害が生じ¹⁾、それらの対策が求められている。

また、令和3年3月5日に公表された、第8期 北海道総合開発計画²⁾ (図-1) 『中間点検報告書³⁾』でも『雪害対策』の重要性が言及されている。

当チームでは、吹雪による視界不良発生時の安全性向上などの研究開発を行っており、それらは『強靱で持続可能な国土の形成²⁾』に資するものである。

それら防雪施設のうち、道路防雪林 (写真-1) は、道路の風上側、または両側に、冬期でも葉が落ちないアカエゾマツなどの常緑針葉樹を設置し、風速を弱めることで、吹雪時の視界不良を軽減する防雪施設である。

防雪林造成時は、苗木を密に植林するが、成木へと育成する際に、裾枝払い、間引作業など、定期的なメンテナンスが必要である。しかし、作業するタイミングを逸し、生育不良により下枝が枯れ上り、防雪機能の低下を招く場合がある。

これら育成不良による防雪機能の低下を防ぐための管理手法を、技術資料としてとりまとめたので報告する。

2. 防雪林に求められる機能

吹雪は、地表面に近い風ほど雪粒子の量が多く悪影響を及ぼす⁴⁾。よって、下枝が枯れ上がると、強風が吹き抜け雪が舞い上がり、道路まで運ばれることで、視界不良が発生し、車両の安全性が低下する (写真-2)。

防雪林に求められる機能は多いが、図-2の横断面⁵⁾に示すとおり、以下の2点に集約⁶⁾される。

- ✓ 防風機能：風を弱め、吹雪の発生を抑止
- ✓ 堆雪機能：雪粒子を林内や周辺に補足、堆雪

3. 生育不良が生じている事例

平成23年度改訂版『道路吹雪対策マニュアル⁶⁾』以前に整備された防雪林は、高い密度で植林された箇所が多い。

結果、写真-3に示すように、下枝に枯れ上がりが生じ、林帯が疎な状態になってしまう。図-3に一例を示すが、枯れ上がりが7.0mの高さまで達する場合がある。

4. 下枝の枯れ上がりの原因

常緑針葉樹の葉は寿命がある。光合成能力は、2年生葉が最大値を示し、徐々に低下する⁷⁾。さらに、枝先が隣同士の樹木と触れ合うことで、頂芽が衰弱し枯死する。



写真-1 国道に整備されている防雪林の全景 (令和3年1月撮影)



写真-3 下枝が枯れ上がり疎な林帯の一例



図-2 標準的な防雪林における堆雪状況横断面図⁵⁾



図-1 第8期 北海道総合開発計画の3つの目標²⁾

* 1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ 雪氷チーム

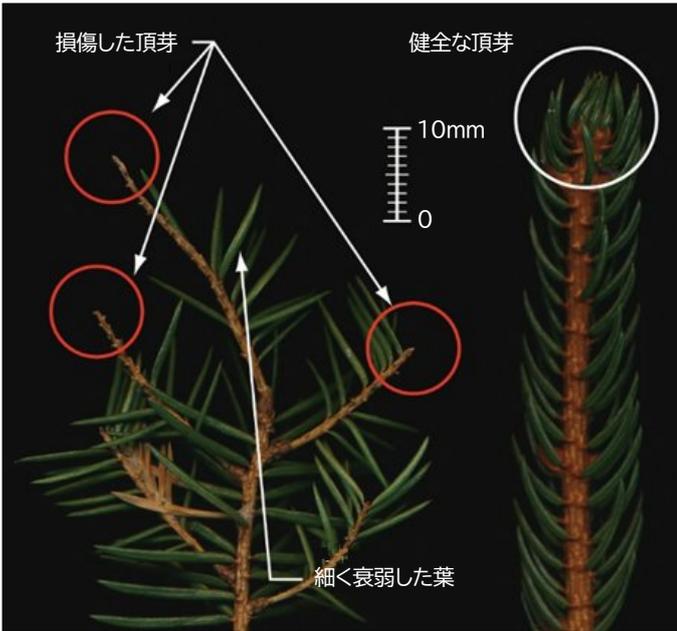


写真-4 損傷した枝先と健全な枝先の差異



写真-2 防雪林設置箇所の視界不良発生状況（令和3年1月）



写真-5 葉が落葉し枝のみが残る林帯内（令和3年2月）

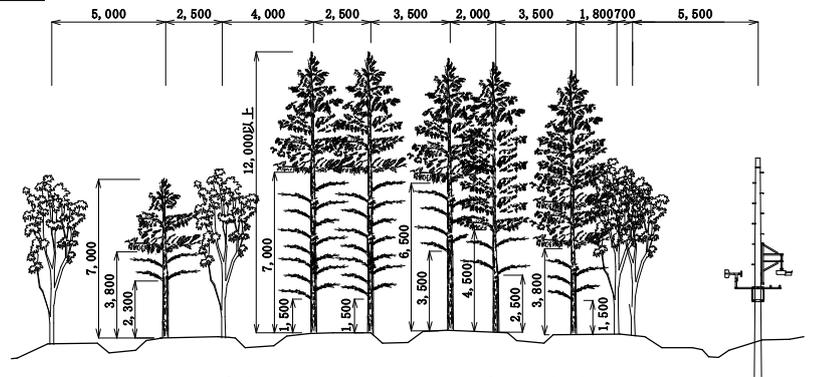


図-3 国道防雪林における枯れ上がり調査結果の一例

表-1 技術資料（案）の構成および内容

技術資料案の構成	内容
第1章 総則	
1. 目的	・本資料の目的を提示
2. 適用範囲	・補助対策、間引きを必要とする防雪林
3. 本技術資料案の構成	・本資料の構成を提示
第2章 防雪林の防雪機能の評価	
1. 下枝の枯れ上がりと防雪機能	
1-1. 防雪林の成長と防雪機能	・成長に従って防雪機能が変化
1-2. 下枝の枯れ上がりと機能低下	・下枝の枯れ上がりに伴う機能低下
1-3. 機能低下が懸念される防雪林	・機能低下が懸念される防雪林判別方法
2. 防雪林の機能評価	
2-1. 評価の概要	・調査および評価の概念、流れを解説
2-2. 防雪林風上側の風速の設定	・気象観測などで得たデータの解析方法
2-3. 林縁、林内の現地樹木調査	・防雪林の枯れ上がり状態の調査方法
2-4. 防雪機能の評価	・空隙率・風速による定量的な評価
2-5. 空隙率の調査	・ビデオカメラの撮影映像からの算出方法
第3章 管理手法の検討	
1. 検討の概要	・管理手法の検討の概要や流れを解説
2. 管理手法の選定	・防雪機能や、樹木調査結果より検討
3. 補助柵設置による機能低下対策	・柵の配置位置、仕様などを検討
4. 間引きによる機能低下抑制	・間引きの考え方や例を解説
資料編	
1. 検討の実施例	北海道：留萌・宗谷地方の2箇所を対象とした防雪機能の評価、管理手法の検討例 北海道天塩町で実施した補助柵の設置方法と留意点、図面、設計計算例、関連資料
2. 補助柵の併設例	

衰弱した枝先を写真-4の左側に示す。常緑針葉樹は、落葉した場所から、再度芽吹き、葉が生育することはなく、枝のみが残る状態となる（写真-5）。

さらに、積雪深よりも下に位置する枝は、雪の圧密で生じる沈降力で、枝が損傷する場合もある⁸⁾。

5. 技術資料（案）の概要と適用範囲

本技術資料（案）は、防雪機能の低下が懸念される防雪林に対して、補助柵設置などの応急的対策も含め、防雪機能を回復するための参考資料である。

過去の調査から得られた知見を、表-1に示す構成で『下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料（案）』と題して編纂した。

なお、本技術資料（案）は、国土交通省北海道開発局が整備、維持管理を行う、一般国道あるいは高規格幹線道路⁹⁾に付随した道路防雪林に適用する。

6. 技術資料（案）第2章：防雪機能の評価

『防雪林の防雪機能の評価』では、長い年月を経て樹木が成長し、形状が変化する防雪林で、その時々々の防雪機能を把握することを目的としている。

6. 1. 下枝の枯れ上がり

植栽後、成長に伴い樹高が高くなり、葉が張り巡らされることで、空間密度が向上し、防雪機能が発揮される。

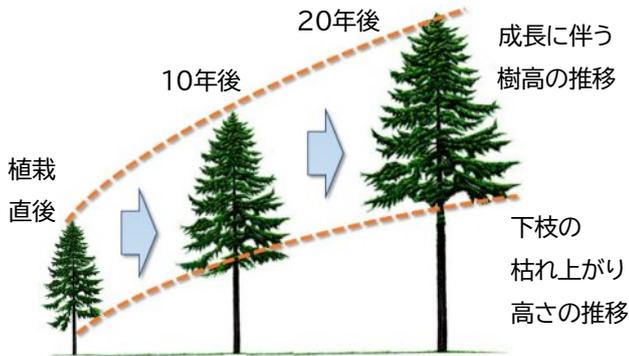


図-4 樹木の生長に伴う樹高と枯れ上がり高さの推移

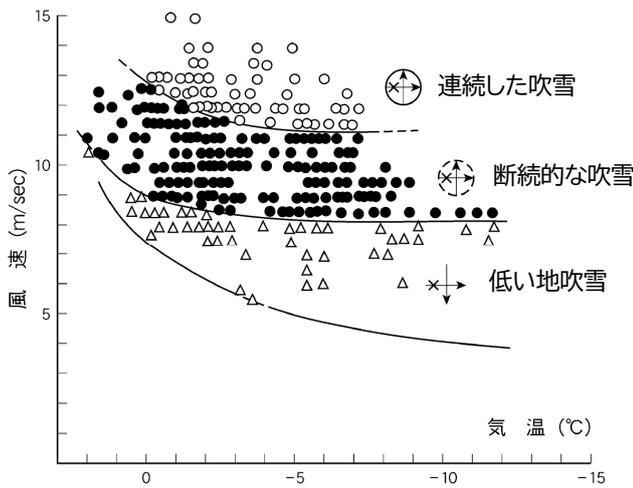


図-5 風速・気温と吹雪発生の有無¹²⁾



写真-6 樹高などの調査状況（令和2年6月撮影）

図-4に示すとおり、成長に不要となった下枝に枯れ上がりが生じ、空隙率が増加することで、防雪機能は減少に転じる。

既往調査結果¹⁰⁾では、樹種の違いによる下枝の枯れ上がり開始時期が示されている。アカエゾマツ18年後、ヨーロッパトウヒ12年後、トドマツ18年後である。

なお、樹高が6.0mに達すると、樹冠直径は2.0mとなり、樹冠が閉鎖、隣同士の樹木と触れ合うことで、枯れ上がりが始まる場合もある。

6. 2. 防雪林の機能評価

防雪林は、樹木の成長により防雪機能に変化するが、地吹雪による視界不良の発生は、降雪、風速、気温や、周辺の地形条件などから影響を受ける¹¹⁾。

概ね5km以内の距離に、国土交通省北海道開発局が設置した道路テレメーターが存在する場合は、既往計測データが活用可能である。

本技術資料（案）では『防雪林風上側の風速の推定』『空隙率』『林縁、林内の樹木育成状況』の調査結果から、防雪機能の評価を行う方法を示している。

風速などの気象データから鑑みられる吹雪発生有無を図-5¹²⁾に示す。道路吹雪対策マニュアル⁶⁾第1編4-1(3)に基づき、路線の重要性に応じた機能評価を行う。

空隙率は、一般的に市販されている民生用デジタルカメラやビデオカメラから得られる画像をトリミング後、白黒2値化、白黒各ピクセル数をカウントすることで、空隙率を算定する。

樹木調査は、樹木の樹高、下枝高さ、枯れ上がり高さ、枝張、幹周などを計測する。その際、近接する樹木の枝との干渉状況も確認する（写真-6）。

7. 技術資料（案）第3章：管理手法の検討

『管理手法の検討』では、下枝枯れ上がりを防ぐ樹木の間引き方法や、防雪機能が低下した場合、補助柵を設置することで風速を軽減する手法などを解説している。

7. 1. 間引きによる機能低下抑制

防雪林整備時は、高密度で植栽された箇所が多く、樹木の成長に伴い、隣の枝と干渉が生じてしまう。葉の枯死による下枝の枯れ上がりを防ぐために、間引きを行う必要がある。ただし、一度に多くの樹木を間引いてしまうと、周辺環境や、風況に変化が生じる^{13)、14)}。

図-6に、標準的な林帯幅を有する場合の間引き例を示す。初めに、道路側の林帯を1本おきに間引き、冬期間の視界不良発生状況や風況を確認する。その後、残りの半数を間引くなど、段階的に施工することが望ましい。

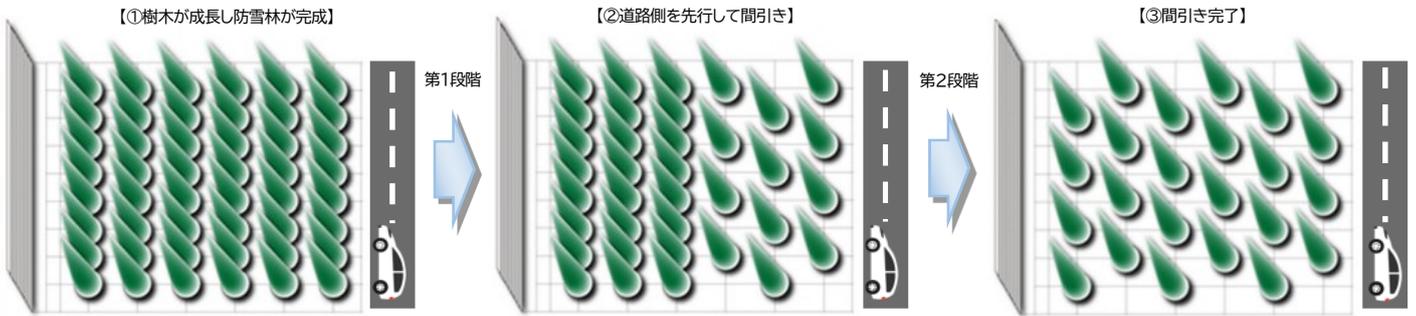


図-6 樹木成長後：千鳥配置で間引きを行う順番の一例

7. 2. 補助柵設置による機能低下対策

既往調査結果^{15)、16)}から得られた知見から、風上や林内に防風ネット柵などの補助柵を設置することで、視界不良を軽減できる。さらに、中低木の活用を含め、多様な植生の活用方法が検討されている^{17)、18)}。

本技術資料(案)では、写真-7に示す単管パイプと、一般的に市販されている防風ネットを組み合わせた補助柵を設置することで、風速が軽減された事例を示した。

8. 技術資料(案)：資料編

資料編では、道路テレメーターで計測された気象データから、吹雪発生の推定手法、防雪機能の評価事例、補助柵の設置検討事例を解説している。

本稿では、一般国道40号天塩町雄信内の防雪機能を検証した結果、視界不良の発生が危惧されたため、補助柵『防風ネット柵』の設置を行った事例を報告する。

8. 1. 雄信内防雪林の概要

図-7に示す道北地方に位置し、昭和56年度から平成16年度にかけて段階的に整備された防雪林である。近年、下枝の枯れ上がりが進行し、写真-8に示すとおり、防雪林整備箇所でも、視界不良が発生していた。

8. 2. 補助柵設置

詳細図を図-8、諸元を表-2、設置状況を写真-9に示す。設置位置は、強風で柵が傾斜しても問題が生じないよう、写真-10橙点線に示した林帯内中央部とした。



写真-7 林帯内に補助柵を設置した事例(令和3年2月撮影)

表-2 補助柵の諸元

幅高	3,050mm
スパン	2,000mm
ネットサイズ	1,900* 900mm 1,900*1,800mm
材質	ポリエチレン
規格	ラッセル網
目合	1.8~2.7mm
充実率	50%
ネット色	ブラック
加工	ターポリン補強
縦引張強さ	1,380N
横引張強さ	1,690N
設計風速	30m/s



図-7 雄信内防雪林の位置
(国土地理院Webサイトより引用)

その結果、風速が約14%減、飛雪流量を約30%軽減することができた。柵に雪が付着、吹きだまりが発生し、雪粒子を補足していることが確認された。



写真-8 視界不良発生状況(令和3年2月撮影)

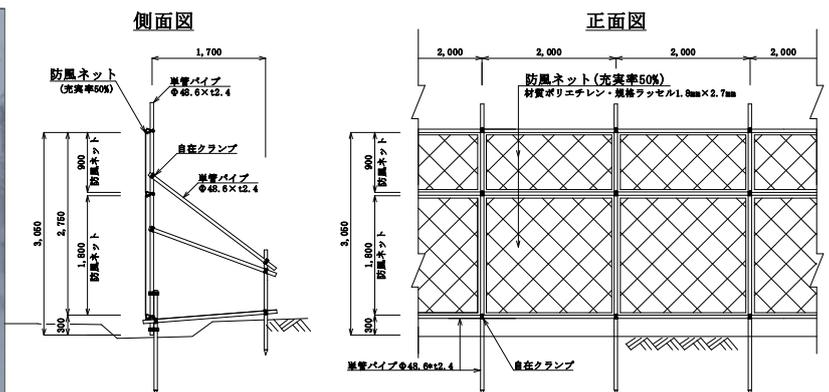


図-8 雄信内防雪林に設置した補助柵の詳細図



写真-9 補助柵の設置状況 (令和3年5月撮影)



写真-10 林帯中央：補助柵の設置位置 (令和4年3月撮影)

9. 技術資料 (案) : インターネットでの閲覧方法

本技術資料 (案) は、誰でも容易に閲覧できるように、令和5年3月に、図-9に示す、当研究所寒地道路研究グループWebサイトに、PDF全編を無償で公表した。

ロボット型検索エンジンに対するWebサイトの最適化 (SEO:Search Engine Optimization) にも配慮しており、GoogleやYahoo!Japanなどの検索サイトで『防雪林 技術資料』と入力すると、図-10に示すダウンロードページが1番上位、次に『道路吹雪対策マニュアル⁶⁾』のダウンロードページが、2番目に表示される。

なお、ダウンロードページには、『防雪柵開口部の対策施設に関する技術資料 (案)』も掲載している。

新たに開発した配置で副防雪柵を設置することで、防雪柵開口部における視界不良発生の抑制や、急激な視界の悪化、ホワイトアウトが緩和され、道路利用者の安全性向上に資する技術である。詳細は、松下¹⁹⁾から報告されているため参照されたい。

10. おわりに

本技術資料 (案) は、長年にわたる現地調査から得られた知見である。今後、多種多様な分野の新技术をマッシュアップすることで、本技術資料 (案) をリビジョンアップしたい。

積雪寒冷地における、激甚化・多様化する冬期災害の軽減や、安全・安心な社会基盤インフラの『ストック効果²⁰⁾』の最大化に資する取り組みは、地域が持つ価値創造力の強化に結びつくことが期待される。

今後、本技術資料 (案) が、道路維持管理の参考となり、視界不良などの冬期交通障害が減少することで、道路利用者や地域の方々々の安全性が向上し、やがて地域の豊かさの醸成に結びつくことを願う。

謝辞:

本稿で報告した技術資料を作成するにあたり、以下の機関の方々にご尽力いただいた次第である。この場を借りて、お礼申し上げ、深く感謝の意を表す。

- 現場提供、各種資料提供：
 - ✓ 北海道開発局 留萌開発建設部 羽幌道路事務所
 - ✓ 同 稚内開発建設部 浜頓別道路事務所
- 補助柵設置作業、除雪作業：
 - ✓ (株) 鹿児島建設 (本社：天塩郡天塩町)
- 気象観測機器設置・計測・資材準備等：
 - ✓ (株) 雪研スノーイーターズ (本社：札幌市)
 - ✓ (株) 北水エンジニアリング (本社：札幌市)
 - ✓ (株) ホクエイ 営業第2本部 ノースプラン部 (本社：札幌市)



図-9 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ Webサイト
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/index.htm>



図-10 技術資料PDFダウンロードページ

<https://www2.ceri.go.jp/news3/archives/000150.html>

参考文献：

- 1) 北海道総務部危機対策局危機対策課：災害・被害の発生情報、令和4年2月20日からの暴風雪等による被害状況等について、Webサイト、2022。
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/141821.html> (令和5年10月閲覧)
- 2) 国土交通省：北海道総合開発計画について、Webサイト、2016。(令和5年10月閲覧)
https://www.mlit.go.jp/hkb/hkb_tk7_000059.html
- 3) 国土審議会北海道開発分科会計画推進部会：第8期北海道総合開発計画中間点検報告書、2021。
- 4) 竹内政夫・石本敬志・野原他喜男：吹雪量と飛雪量垂直分布、雪氷37巻3号、pp.114-121、1975。
- 5) 寒地土木研究所：「吹雪から道路を守る防雪林」パンフレット、2017。
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/panf-201707-snowbreakwoods.pdf> (令和5年10月閲覧)
- 6) 寒地土木研究所：道路吹雪対策マニュアル(平成23年度改定版)第2編 防雪林編、2011。(令和5年10月閲覧)

https://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual/

- 7) 小池孝良：樹木生理生態学、朝倉書店、264pp、2004。
- 8) 阿部正明・斎藤新一郎・佐藤金八：道路防雪林の下枝の枯れ上がりについて～事例からみた対策、北海道の雪氷、No.36、pp.73-76、2017。
- 9) 国土交通省北海道開発局建設部道路計画課：新広域道路交通ビジョン・新広域道路交通計画、Webサイト、2021。
https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/dou_kei/s1o5pa0000005j4r.html (令和5年10月閲覧)
- 10) 寒地土木研究所・(株)雪研スノーイーターズ：道路防雪林の生育と植栽基盤に関する調査業務報告書、2013。
- 11) 福澤義文：吹雪による視程障害のリスクポテンシャルに関する研究、独立行政法人北海道開発土木研究所報告、第118号、2002。
- 12) 松澤勝：吹雪時の視程推定手法とその活用に関する研究、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所報告、第126号、2006。
- 13) 山崎貴志・住田則行・中村隆一：風洞実験による道路防雪林の間引き管理に関する検討、第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会、2014。
- 14) 太田広・幸田勝・伊藤義和・住田則行：道路防雪林の防雪機能を維持するための間引き管理に関する研究、平成29年度土木学会全国大会第72回年次学術講演会、講演概要集、2017。
- 15) 齋藤勉・植野英睦・山崎貴志：下枝の枯れ上がった防雪林の補助対策設置位置の違いにおける風洞実験による風況把握について、寒地土木研究所月報、No.838、pp.10-15、2022。
- 16) 原田裕介・高橋渉・櫻井俊光：補助工法が導入された道路防雪林の効果検証に向けた現地観測～2020年3月一般国道44号浜中町茶内防雪林の事例、第64回(令和2年度)北海道開発技術研究発表会、pp.425-430、2021。
- 17) 櫻井俊光・伊東靖彦・松澤勝：多様な植生を活用した吹雪対策とその付加価値～米国のLiving Snow Fenceに関する調査研究から、第61回(平成29年度)北海道開発技術研究発表会、2018。
- 18) 寒地土木研究所：「新たな樹種構成や複合的施設配置による防雪林の機能確保・向上技術に関する研究」パンフレット、2022。
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/panf-202207-bousetsurin.pdf> (令和5年10月閲覧)
- 19) 松下拓樹：「防雪柵開口部の対策施設に関する技術資料(案)」について、寒地土木研究所月報、No.844、pp.42-47、2023。
- 20) 国土交通省総合政策局公共事業企画調整課：インフラストック効果のピックアップ情報、Webサイト、2020。
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/stock/index.html> (令和5年10月閲覧)

スタック車両における『緊急脱出用具』の 試行導入に向けた、フィールド試験結果の報告

後藤 大地* 1

1. はじめに

近年、大雪による大規模な車両滞留が発生し、通行再開や滞留車両の救出に数日間を要するケースが多発している。国土交通省道路局が設置した冬期道路交通確保対策検討委員会による『大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ（2021年3月改訂）』において、ドライバーに対し冬用タイヤやチェーンの装着を徹底すべきとの提言がなされている。

このような背景のもと、引き続きドライバーに対して冬用タイヤ・チェーンを装着した走行を強く呼びかける一方で、除雪作業の支障となるスタック車両を早急に移動させる手段として、国土交通省道路局と北陸地方整備局は、2022年10月12日にスタック車両における『緊急脱出用具』の募集を記者発表した。

北陸技術事務所には、全国的な雪害対策の研究や開発を進め、成果や知見を情報発信する北陸雪害対策技術センターが設置されている。当センターでは、応募のあった各社の緊急脱出用具について、2023年2月21日～22日にフィールド試験を実施し、応募時のカタログデータや試験結果から、緊急脱出用具としての性能を確認した。その後、応募用具一覧及び個表のとりまとめを行った。

本稿では、スタック車両における『緊急脱出用具』のフィールド試験結果等を報告するものである。

なお、この試験は、企業や製品の技術を認定や推奨するためのものではない。

2. 応募用具一覧

『緊急脱出用具』を募集した結果、表-1に示す7種類の用具の応募があり、それらについてフィールド試験を実施した。このうち、製品化されているものは6種類、現在開発中のものは1種類である。

応募用具を種類別に分類すると、ホイールの穴を利用して金属製のチェーン等を装着するワンタッチチェーンタイプが5種類、布製のカバーをタイヤに被せて装着する布製タイヤカバータイプが2種類である。

3. フィールド試験の実施

3.1 試験場所

フィールド試験は、図-1に示す国道49号の野村待避場（新潟県東蒲原郡阿賀町野村地先）において、国道からの出入り口を封鎖し、一般車両が流入しない状況下で実施した。（写真-1）

表-1 緊急脱出用具の応募用具一覧

用具種類	A社 布製タイヤカバー	B社 ワンタッチチェーン	C社 ワンタッチチェーン	D社 ワンタッチチェーン
写真				
用具種類	E社 布製タイヤカバー	F社 ワンタッチチェーン	G社 ワンタッチチェーン	
写真		 	 開発中	

* 1 国土交通省 北陸地方整備局 北陸雪害対策技術センター

3.2 試験条件

試験コースは、縦断勾配+3%のフィールドに、図-2のようなトレンチ（溝）を作成した。トレンチの深さは5cm、10cm、15cmの3パターンを設定した。

作成したコースのトレンチ（溝）に駆動輪を落とし込み、タイヤが空転したスタック状態を再現して、脱出を試みる試験を実施した。



図1-1 フィールド試験場所

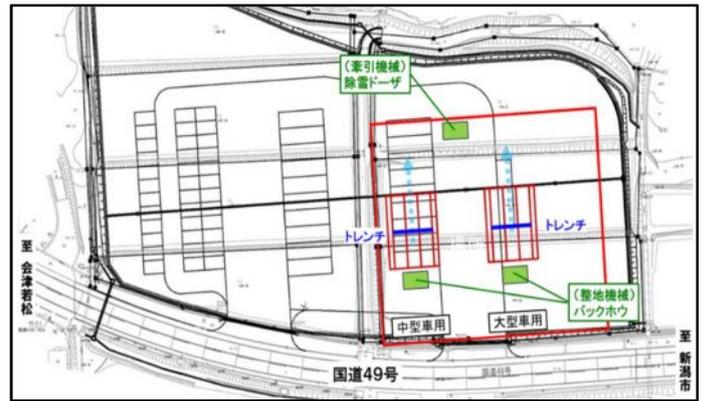


図1-2 フィールド試験場所



写真-1 フィールド試験場所

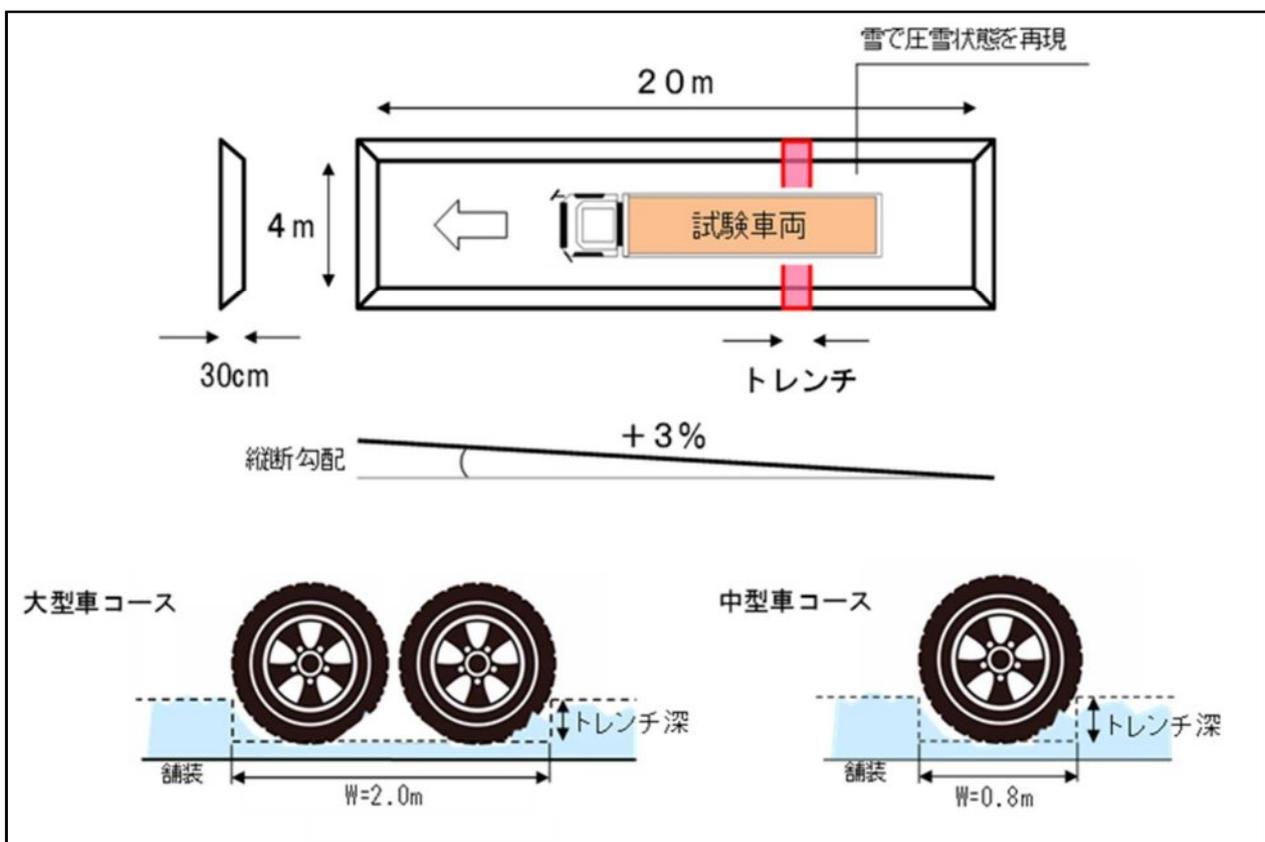


図-2 試験コース概略図とトレンチの構造

試験車両は写真-2に示す、立ち往生発生頻度の高い大型トラックと中型トラックを手配した。

また、試験車両はスタッドレスタイヤを装着し、後輪にトラクションが掛からず空転しやすい様に、空荷の状態試験を実施した。試験車両の運転は、用具を応募した各社にて運転手を手配して実施した。



写真-2-1 試験車両（大型車）



写真-2-2 試験車両（中型車）

3.3 試験内容

フィールド試験では、スタック車両に対して、緊急脱出用具の装着時間、脱出可否等を調査した。(写真-3)

装着時間は、スタック車両のドライバーに対して、緊急脱出用具を渡した時間を開始とし、緊急脱出用具の装着が完了するまでの時間を計測した。

脱出可否は、設定したトレンチ深さに対して、緊急脱出用具を装着した状態で脱出の可否を確認するとともに、脱出に要した時間を計測した。

なお、各社の試験実施前に、気温、路面温度、圧雪硬度、雪質等についても測定した。



写真-3 フィールド試験状況

4. フィールド試験の結果

確認項目は、試験当日の気象状況や、試験車両の詳細、トレンチの硬度・深さ・幅の実測値、用具装着時間、脱出可否等とし、確認項目の詳細は、図-3に示す調査表のとおりである。

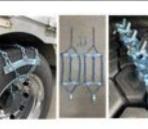
試験月日		試験時間	~	応募者			
用具名		品番		装着個数/輪			
天気		気温		積雪温度			
車両種別		車両重量 (車両総重量)		タイヤサイズ			
縦断勾配							
トレンチ	設定値		雪質		雪質		
	硬度	R/C/L	平均	R/C/L	平均	平均	
	実測値	深さ	右側	左側	平均	右側	左側
		幅	右側	左側	平均	右側	左側
用具装着時間	装着時間	分	秒	分	秒		
	状況	問題なし	工夫が必要	問題なし	工夫が必要		
	工夫内容						
脱出効果	脱出可否	時間	分	秒	時間	分	秒
		成功	失敗	成功	失敗		
	特記事項						

図-3 フィールド試験調査表

フィールド試験における脱出可否一覧表を表-2に示す。5cmのトレンチにおいて、脱出ができた用具は14事例中8事例であり、10cmの場合は6事例、15cmの場合は2事例であった。

表-2 緊急脱出用具の脱出可否一覧

凡例 ○：脱出成功 ×：脱出失敗 -：未実施

用具種類		A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
写真								
脱出可否	大型車	5cm	×	○	-	○	○	○
		10cm	×	○	○	×	○	○
		15cm	-	○	×	-	×	×
	中型車	5cm	×	○	○	×	○	-
		10cm	-	×	×	×	-	○
		15cm	-	-	-	-	○	×

用具装着による脱出の可否は、路面状況、運転手の技量（雪道への慣れ）により変化するが、半数以上の事例で10cm以上は脱出できないという結果となり、圧雪による凹凸が5cmを超えると、緊急脱出用具を用いても脱出が困難になることが分かった。

トレンチ深さ5cmにおける、用具装着から脱出が完了するまでの時間についてまとめたグラフを図-4に示す。ただし、C社とG社の大型車については、応募者の意向により、10cmから試験を開始したため、データは省いている。

用具装着から脱出に要する平均時間は、約3分30秒であった。用具装着時間の平均は約3分、脱出に要する平均時間は約30秒であった。

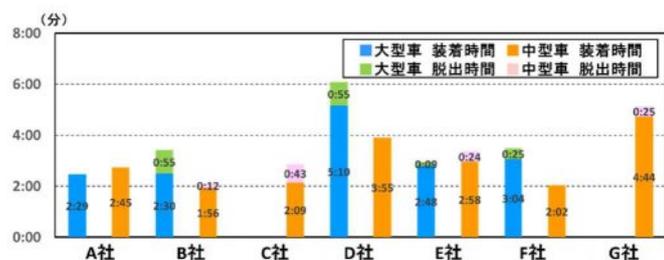


図-4 用具装着から脱出が完了するまでの時間 (5cm)

各社が脱出できた最大深さにおいての、用具装着から脱出が完了するまでの時間をまとめたグラフを図-5に示す。

用具装着から脱出に要する平均時間は、約4分であり、最短で2分、最長でも6分程度で脱出するという結果となった。用具装着時間の平均は約3分、脱出に要する平均時間は約1分であった。

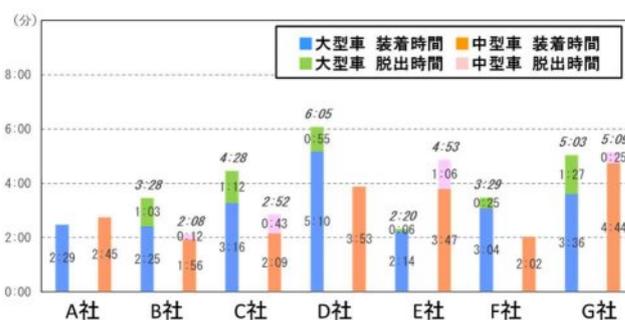


図-5 用具装着から脱出が完了するまでの時間 (5~15cmのうち最大の脱出トレンチ深さ)

なお、確認結果については、北陸地方整備局 北陸技術事務所ホームページに公表した。

また、試験映像については、北陸技術事務所YouTubeチャンネルに公開した。

5. まとめ

今回のフィールド試験では、用具タイプに差があるものの、用具装着から脱出が完了するまでの時間は、最長でも6分程度であり、立ち往生の早期解消が期待されることが分かった。

本試験は、現道ではない試験フィールドで行ったものであり、気象条件や道路状況、運転手の技量（雪道への慣れ）によって、脱出の可否と脱出時間は変化する。

また、本試験は、一定の条件下における結果であることから、すべての条件下による緊急脱出用具の性能を確認するものではない。

『緊急脱出用具』について、今回の結果を踏まえ、直轄国道では引き続き現場での活用を図ることとしており、除雪作業の支障となるスタック車両の速やかな移動に向けた取り組みを進めていく。