

徳島自動車道 鳴門JCT～徳島ICにおける路温特性

石川 明弘*1、横田 淳*1、足立 憲次*2、四宮 敬介*2、大本 英輝*2

1. はじめに

平成27年3月14日に、西日本高速道路四国横断自動車道の徳島IC～鳴門JCT（10.9km）が供用開始となった。高松自動車道と徳島自動車道が直結し、四国各地と鳴門大橋を通じた京阪神方面を結ぶ路線が2ルート選択できるようになり、通行止め時や渋滞時におけるルートの選択肢が広がった。また、将来発生が懸念される南海トラフ地震による津波発生時には、京阪神方面から徳島市・四国方面に直結する緊急輸送路としての機能や防波堤機能、津波一次避難場所としての機能を有する「命の道」としても重要路線となる。

一方、吉野川河口部を通過する徳島IC～鳴門JCT間には、橋長1181.6mの今切川橋（鋼18径間連続橋）が存在し、低温時の路面凍結の発生が懸念されている。徳島IC～鳴門JCT周辺は少雪地域であるため、通常、道路利用者は冬タイヤの装着等、冬道対策が十分でなく冬道運転にも習熟していない。したがって、少量の積雪や局所的な路面凍結に対しても、寒冷積雪地域以上にきめ細かい路面管理が必要である。このような与条件のもと、供用開始区間での路温分布や橋梁部での路温低下の程度について、調査を実施することとなった。

2. 調査方法

調査は以下の2つの方法により実施した。

①今切川橋と周辺気象観測所の気象比較

今切川橋と近隣の道路テレメータを対象に、連続気象観測値を比較し徳島IC～鳴門JCT間および今切川橋における時間帯別・天気別の気温・路温の違いを把握した。

- ・比較地点（図1）：今切川橋、徳島IC、大代古墳IC
- ・比較要素：気温、路温
- ・統計期間：平成27年12月1日～平成28年3月31日



図1 徳島IC～鳴門JCTと周辺気象観測所の位置

（地理院地図 <http://maps.gsi.go.jp/>使用）

②サーマルマッピング調査（移動気象調査）

徳島高速道路事務所管轄の道路パトロール車に、気象観測機器（図2）を搭載し、気象・位置データを取得しながら走行することで、気温・路温分布の調査と凍結要注意区間の抽出を行った。

- ・観測要素：気温、路温、位置情報
- ・観測インターバル：1秒毎

車速80km/hに対して約20m毎に相当、SDカードに収録

- ・観測期間：平成27年12月20日～1月27日
（日中18ラン、夜間16ラン）



赤外放射温度計(路温)



温湿度計



GPS、収録装置

図2 観測装置の搭載状況

*1 一般財団法人 日本気象協会、*2 西日本高速道路株式会社 四国支社

3. 調査結果

3.1 期間を通じた気温の比較

連続気象観測値から、今切川橋と土工部の徳島IC、山沿いの大代古墳IC（標高約20m）における期間を通じた気温の統計結果をまとめると、以下の通りとなった。

- ①今切川橋の雪氷期の平均気温は、大代古墳TNより0.7℃高く、徳島ICより0.9℃低かった。
- ②今切川橋の雪氷期の最高気温は、徳島ICより5.2℃低かったが、最低気温は徳島ICとの差が0.5℃と小さく、最高気温の地点差に比べ小さかった。

3.2 気温・路温の時刻変化

【気温】

今切川橋と徳島IC、大代古墳ICにおける統計期間内の時刻別平均気温の統計結果をまとめると、以下の通りとなった。

（図3）

- ①今切川橋の気温は、日中は徳島ICや大代古墳TNより低く、夜間は徳島ICとほぼ等しい。
- ②今切川橋は、日最低気温と日最高気温の差（日較差）が他の2地点より小さい。

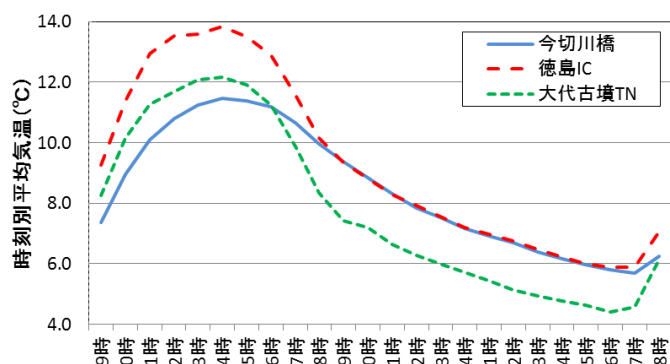


図3 今切川橋と周辺気象観測所の時刻別平均気温の比較

【路温】

気温と路温の連続観測が行われている今切川橋において、気温と路温（土工部、橋梁部）の時刻別平均値（図4）、気温と橋梁部路温との差の時刻変化（図5）および土工部と橋梁部との路温差の時刻変化（図6）をまとめると以下の通りとなった。

- ①日中の路温は、土工部・橋梁部とも気温に比べて大きく上昇する。また、日中の橋梁部の路温は土工部の路温より低い（図4）。
- ②深夜～早朝にかけて、路温（土工部、橋梁部とも）は気温とほぼ同じとなった（図4、図5：気温-橋梁部路温差がほぼ0℃）。
- ③正午過ぎから夕方にかけての橋梁部の路温は、土工部より平均値で3～4℃低くなった（図6）。

④午後から夕方にかけては土工部より橋梁部のほうが低温のため、低温時には土工部より夕方の早い時間帯から路面凍結となりやすい（図4、図6）。

⑤本年度の今切川橋において、深夜～早朝の時間帯で橋梁部の路温が土工部の路温より最も低かった事例では、土工部と橋梁部の路温差が2.1℃（平成28年1月25日1時、3時）となった（図6）。

土工部と橋梁部における路温の日変化の違いの原因として、以下の事項があげられる。

①日中の橋梁部の路温が土工部の路温より低くなる原因

- ・橋梁部は温度変化の小さい河川水に近く、路温上昇が低減される。

- ・日中の路面では気温より路温が高く、路面の熱量が風により大気中に運ばれる（顕熱輸送）が、橋梁部では中空の下部からも熱量が運ばれるため、土工部より路温上昇が低減される。

②午後～夜半の橋梁部の路温が土工部より早く低下する原因

- ・橋梁部は中空の下部からも熱量が大気中に放射されるため、土工部より路温低下が早くなる。

③夜間～早朝にかけての橋梁部と土工部の路温の違いは、構造や部材等によっても異なり、土工部より橋梁部の路温が低下しやすい橋梁もある（例：徳島自動車道吉野川橋）。

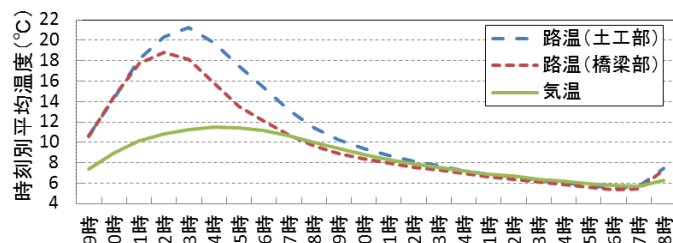


図4 路温（土工部、橋梁部）と気温の時刻変化

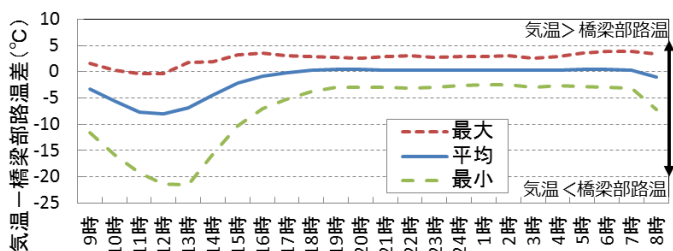


図5 気温と橋梁部路温との差の時刻変化

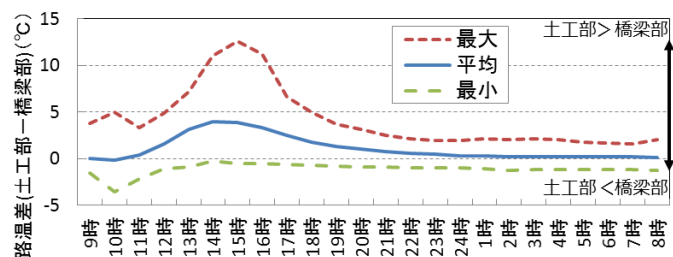


図6 土工部と橋梁部との路温差の時刻変化

3.3 天気の違いによる気温・路温変化

平成28年1月24日～25日にかけては、記録的な寒気と強い冬型気圧配置の影響で、四国地方の高速道路でも積雪や路面凍結により通行止めやタイヤ規制が実施され、徳島IC～鳴門JCT間でも降積雪となった。本事例において、天気の違いによる気温・路温の変化をまとめる。

【天気の変化】

1月23日日中に日本の南海上と日本海を低気圧が東進した。このため、23日日中は曇りやにわか雨となり、23日夜から24日夜にかけて降雪となった。近隣の徳島地方気象台では、24日1時頃から雪が降り始め、7時～10時と17時～24日10時には積雪を観測した（最深積雪：24日20時、2cm）。25日日中からは、次第に冬型気圧配置が緩み晴れ間が出た。

【気温の地点差】 図7

- ①日中に晴れた時の気温上昇は、土工部の徳島ICでは他地点より大きく、今切川橋では小さかった（図中①）。
- ②夜間から早朝にかけて晴れると、山沿いの大代古墳TNの気温低下は他より大きかった（図中②）。
- ③曇りや雨雪の場合、3地点の気温差は小さくなった（図中③）。

【今切川橋における気温と路温の変化】 図8

- ①曇りや雨雪が続いた23日夕方～24日早朝にかけては、気温と路温（土工部、橋梁部）の温度差が小さかった（図中①）。
- ②寒気が入り冬型気圧配置が強まった24日午前は、晴れ間も出たが雲が多かった。この時間帯の気温上昇は小さかったが路温は上昇し、橋梁部と土工部の路温差は小さかった（図中②）。
- ③冬型気圧配置が緩み始めて晴れ間が出た24日夜から25日未明にかけては、橋梁部の路温は最低気温（-4.2℃、24日22時）程度まで低下し（-4.6℃、25日2時）、気温が上昇し始めた早朝でも上昇しなかった。土工部の最低路温は-2.6℃と、橋梁部のほうが2.0℃低かった（図中③）。
- ④25日夕方には、橋梁部の路温が土工部より先に凍結に注意が必要な2℃以下となった（図中④）。

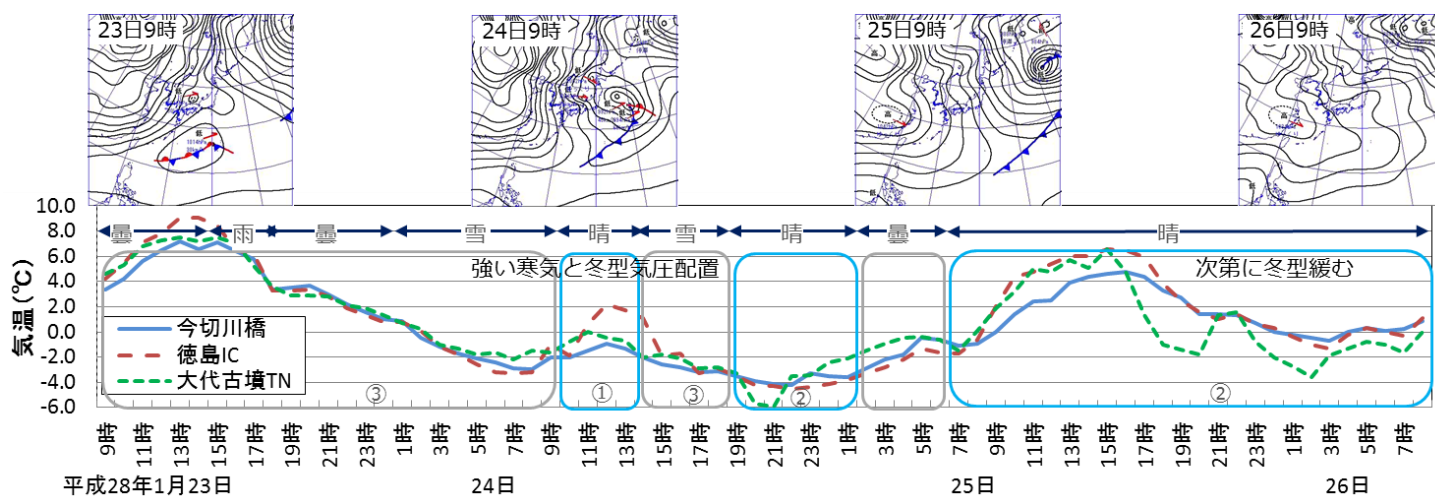


図7 今切川橋と周辺気象観測所の気温変化（平成28年1月23日～26日）

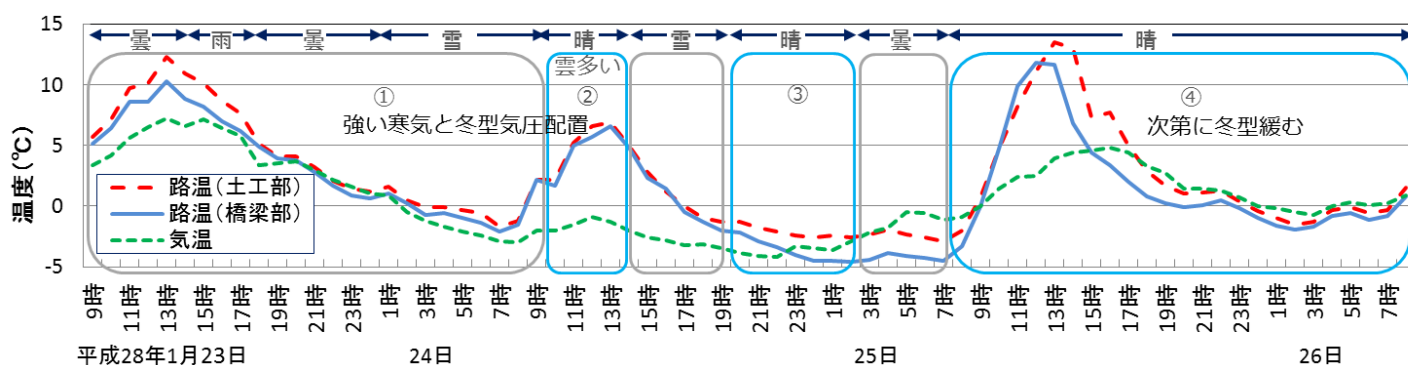


図8 今切川橋における気温と路温（土工部・橋梁部）の変化（平成28年1月23日～26日）

3.4 サーマルマッピング 調査の結果

サーマルマッピングの調査結果を以下にまとめる。

【平成28年1月24日～26日の温度分布】

記録的な強い寒気が南下した平成28年1月24日～26日の観測例を図9に示す。

気温：どの事例も区間内の気温差は2℃以内であり、1月24日（降雪、深夜）や26日の観測結果（晴れ、早朝）では気温差は0.3℃以下と小さかった。1月25日の事例では、富吉～米津や今切川橋～長岸橋では周辺に比べ気温がやや低い。

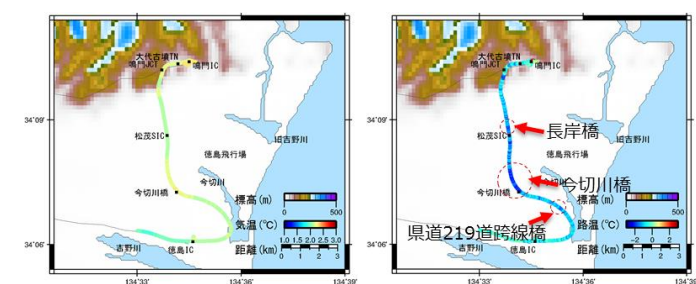
路温：どの事例でも、今切川橋の路温は周辺に比べて低い。また、距離は短いものの長岸橋や県道219号跨線橋（米津）～富吉、JR鳴門線跨線橋でも周辺より路温が低下した。気温に比べ路温は、道路構造等による地点差が大きい。

【日中と夜間の温度差分布】

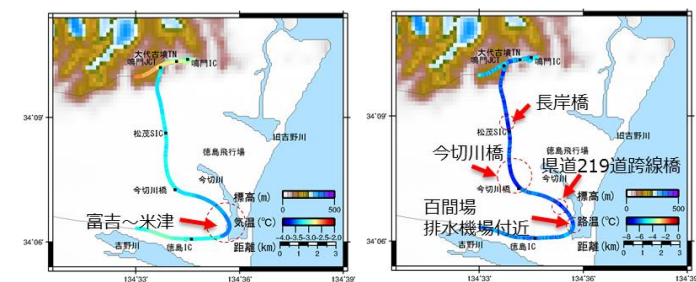
平成27年12月20日～1月27日（日中18ラン、夜間16ラン）における観測結果から徳島ICとの温度差を計算し、その結果を日中・夜間別に分類し、各事例を緯度経度毎に平均化した。その結果を図10に示す。

気温：日中夜間とも、今切川橋と徳島ICの気温差は0.1℃以内と小さかった。徳島IC～鳴門JCT間でも、気温差は±0.1℃以内と小さかった。

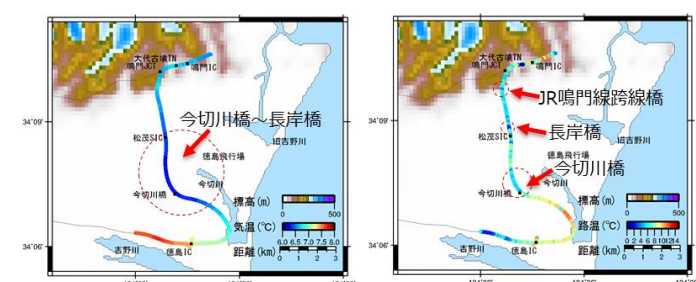
路温：日中夜間ともに、今切川橋や長岸橋では周辺に比べ路温が低く、どちらの橋梁とも徳島ICより日中で0.9℃、夜間で1.2℃低かった。また、距離は短いものの、夜間は県道219号跨線橋（米津）や百間場排水機場付近でも周辺より路温が低下し、徳島ICより0.8～0.9℃低かった。これらの地点では、徳島ICとの日中の路温差は0.5℃未満であり、夜間の路温は日中に比べ地点差が大きい。



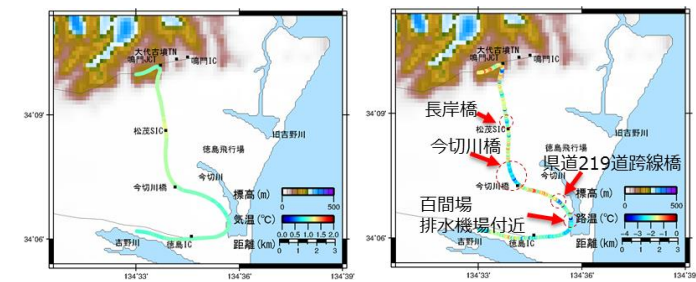
平成28年1月24日0時02分～0時18分（雪）



平成28年1月25日0時05分～0時28分（曇り）

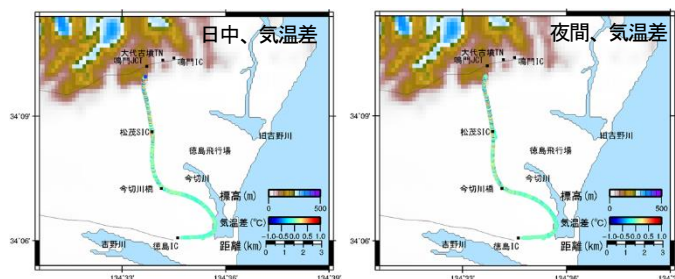


平成28年1月25日15時42分～16時03分（晴れ）

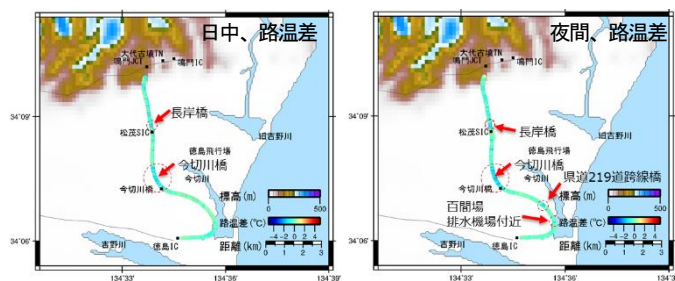


平成28年1月26日6時34分～6時46分（晴れ）

図9 1月24日～26日の温度分布の観測例（左：気温、右：路温）



徳島ICとの気温差分布



徳島ICとの路温差分布

図10 徳島ICとの日中・夜間別温度差分布（左：日中、右：夜間）

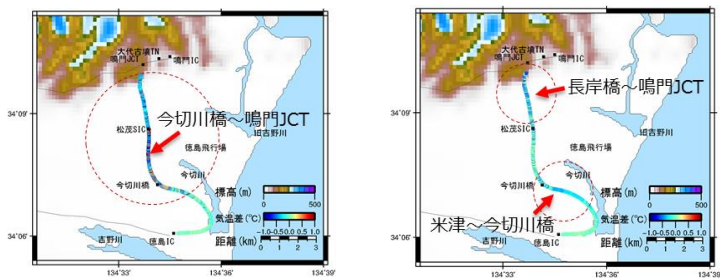
【天気別・日中夜間別の気温差分布】

天気別・日中夜間別に分類した観測結果から徳島ICとの気温差を計算し、各事例を緯度経度毎に平均化した。その結果を図11に示した。

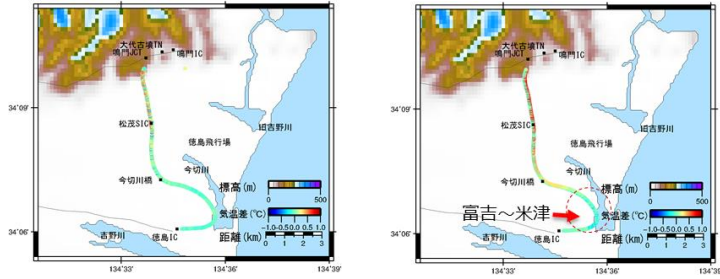
日中：晴れた日には、今切川橋～鳴門JCT間では徳島ICよりやや低温となる地点が多く、河川に近く最も低温の今切川橋～長岸橋では徳島ICとの気温差が1℃程度となった。曇りや雨の日は、徳島ICとの気温差は±0.5℃以内と小さくなる。

夜間：晴れた日には、米津～今切川橋や長岸橋～鳴門JCTでやや低温となり、最も低温の今切川橋周辺では徳島ICとの気温差が0.7℃となった。曇りや雪の日には富吉～米津でわずかに低温となっているが、最も低温の百間場排水機場

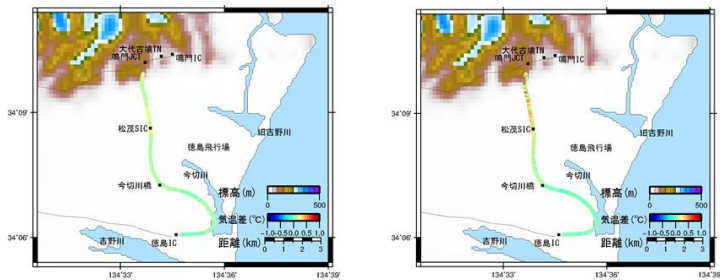
～富吉でも徳島ICとの差は0.4℃以下と小さかった。雨の日の気温差は0.2℃とさらに小さくなった。



晴れの事例



曇りの事例



雨の事例

日中における降雪時の観測事例はなかった。

雪の事例

図11 徳島ICとの天気別気温差分布（左：日中、右：夜間）

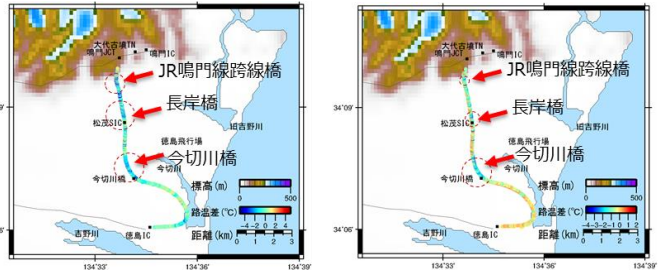
【天気別・日中夜間別の路温差分布】

天気別・日中夜間別に分類した観測結果から徳島ICとの路温差を計算し、各事例を緯度経度毎に平均化した。その結果を図12に示した。

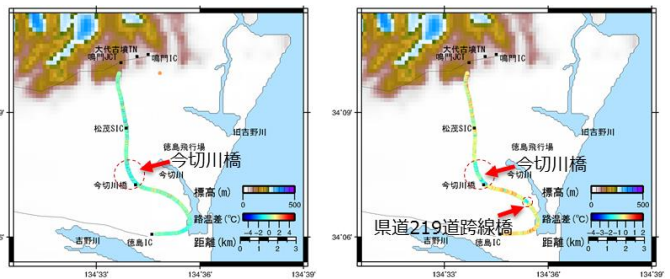
日中：晴れた日には地点毎の路温差が大きくなり、今切川橋や長岸橋、JR鳴門線跨線橋では徳島ICより1.5℃程度低温となった。曇りの日は、今切川橋が徳島ICより0.8℃低温となり、他地点と徳島ICの路温差は0.5℃以下となった。雨の日は、今切川橋と県道219号跨線橋（米津）で0.6℃低温となるにとどまった。

夜間：晴れた日の路温は、今切川橋や長岸橋、JR鳴門線跨線

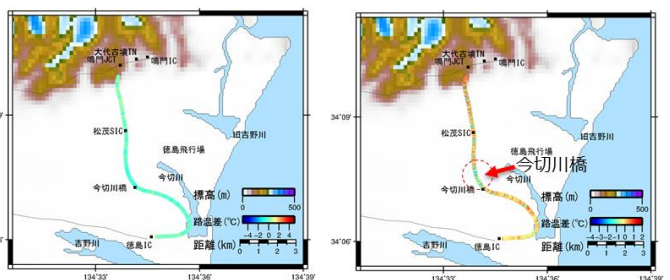
橋で徳島ICより1.5℃程度低く、雪の夜間は今切川橋や長岸橋、県道219号跨線橋（米津）、百間場排水機場付近、JR鳴門線跨線橋で1.1～1.5℃低かった。曇りや雨の日は地点による路温差は小さく、今切川橋で徳島ICより1.1℃の路温低下となった。



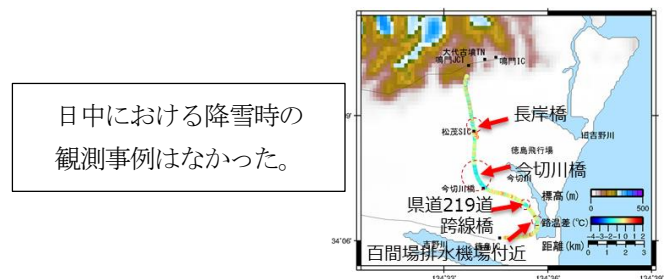
晴れの事例



曇りの事例



雨の事例



雪の事例

図12 徳島ICとの天気別路温差分布（左：日中、右：夜間）

4. まとめ

平成27年3月14日に供用開始となった、西日本高速道路四国横断自動車道の徳島IC～鳴門JCT間において、路面凍結発生が懸念される今切川橋の気温・路温特性と区間内の路温分布と凍結要注意地点の抽出を行った。

【気温特性】

- ①今切川橋の統計期間中（平成27年12月～平成28年3月）の平均気温は、山沿いの大代古墳TNより高く土工部の徳島ICより低い。
- ②今切川橋では、日中は徳島ICや大代古墳TNより気温が低く、夜間は徳島ICとほぼ等しい。そのため、今切川橋の橋梁部の気温日較差は、土工部より小さい。
- ③今切川橋～鳴門JCT間では、晴れた日中は徳島ICよりやや低温となり、河川に近く最も低温の今切川橋～長岸橋では徳島ICとの気温差が1℃程度となった。
- ④晴れた夜間は、米津～今切川橋や長岸橋～鳴門JCTでやや低温となるが、徳島ICとの気温差は小さい。
- ⑤曇りや雨の日中は、徳島IC～鳴門JCT間の気温差は、晴れた日中に比べてさらに小さくなる。
- ⑥曇りや雪の夜間は富吉～米津でやや低温となるが、徳島ICとの差は小さく、雨の日の気温差はさらに小さくなる。

【路温】

・今切川橋の土工部と橋梁部の路温の比較

- ①非常に強い寒気が南下した平成28年1月25日早朝には、橋梁部は土工部より2.0℃低温となった。統計期間で平均すると、深夜～早朝にかけては土工部・橋梁部とも路温は気温とほぼ同じとなり、日中は気温に比べ路温上昇が大きかった。
- ②統計期間で平均すると、午後の橋梁部の路温は、土工部より平均値で3～4℃低く、低温時には土工部より夕方の早い時間帯から路面凍結となりやすい。

・今切川橋と周辺の路温の比較

- ①路温は晴れた夜間や降雪時の夜間を中心として、日中より道路構造等による地点差が大きくなる。また、気温の地点差より大きくなる。
- ②日中夜間を通じて、今切川橋ともうひとつの橋梁部である長岸橋では、土工部である徳島ICより1～2℃路温が低下する。また夜間の晴天時や降雪時には、JR鳴門線跨線橋や県道219号跨線橋（米津）、百間場排水機場～富吉でも徳島ICより1～2℃路温が低下する。
- ③曇りや雨の日は、日中夜間ともに地点毎の路温差は小さい。

以上のように、徳島IC～鳴門JCT間の今切川橋や長岸橋では午後の橋梁部の路温が土工部に比べ3～4℃低く、低温時には夕方の早い時間帯から路面凍結に注意が必要である。また、

晴れた夜間や雪の夜間には、今切川橋や長岸橋より距離は短いものの、JR鳴門線跨線橋や県道219号跨線橋（米津）、百間場排水機場～富吉も路面凍結の要注意地点として抽出された。米津や富吉には盛土のり面を利用した津波避難施設が設置されている。

徳島IC～鳴門JCT周辺は少雪地域であり、道路利用者の冬道対策が十分でない。したがって、少量の積雪や局所的な路面凍結に対しても寒冷積雪地域よりきめ細かい路面管理が必要である。

なお、今回の調査期間において降積雪時の事例蓄積が十分ではなかった。そのため、降雪時の観測データをさらに蓄積し、路面への積雪の深さの違いによる路温低下の程度、積雪時の気温・路温分布の調査をさらに進めることが今後の課題となる。

住民協力による歩道除雪体制の確立にむけて

山田 理恵 *1

1. はじめに

石川県は本州日本海側のほぼ中央に位置し、東は富山、岐阜の両県、南は福井県に接している。地形は南北に細長く、北に向かって能登半島が日本海に突出しているのが特徴である。四季は変化に富み、特に冬には美しい雪の情景が演出されるが、この雪が時に我々の生活を脅かすこともあった。平成16年の石川県全域での記録的な豪雪や平成21年の七尾市を中心とした豪雪時には、雪による交通渋滞などの大混乱が生じた。これらの過去の集中豪雪を教訓にし、円滑な道路交通を確保するよう努めているところである。



写真1 平成21年の大雪時の様子
(雪により歩道が塞がれている。)

2. 石川県の除雪体制

本県では、冬期間における産業経済活動や通勤通学などの日常生活に支障をきたさないよう、また、北陸新幹線金沢開業に伴い、県外から訪れる観光客に、冬期間においても、安心して県内の魅力ある観光地を巡っていただけるよう、雪に強い道づくりを目指し、除雪作業に取り組んでいる。

過去の集中豪雪を教訓にし、「除雪体制の強化」「雪みちネットワーク路線の優先的確保」「関係機関との連携」「県民への速やかな情報提供」の4つの基本方針により、ゲリラ的豪雪にも強い除雪体制を構築している。

2. 1 除雪体制の強化

除雪体制を平常・注意・準警戒・警戒・緊急の5段階に細分化し、県内33箇所で定めた地域警戒積雪深や気象情報等を基に、速やかに体制を移行し強化を図ることとしている。

特に、準警戒体制に移行した場合には、「地域防雪連携本部」(図1)等を開設し、各関係機関からの情報の収集・伝

達・共有を図る体制としている。

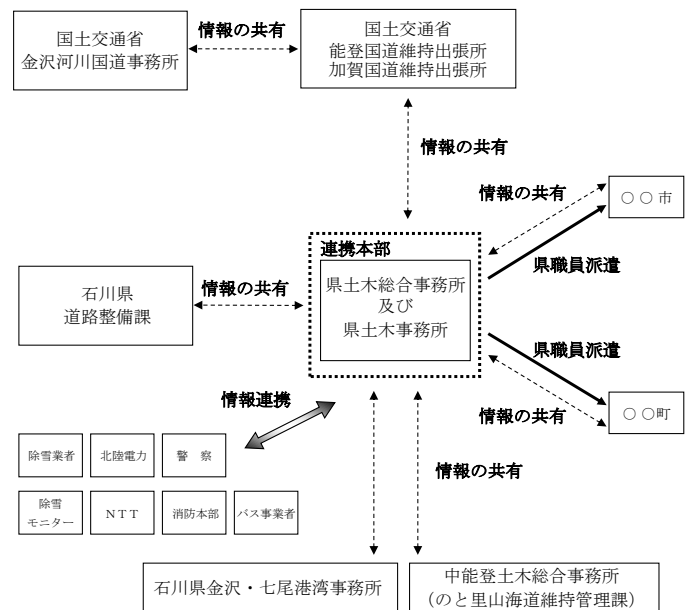


図1 地域防雪連携本部

2. 2 雪みちネットワーク路線の優先的確保

過去の大雪に伴う冬期交通の混乱を受け、幹線道路及びその代替道路、救急告示病院や消防署へのアクセス道路を雪みちネットワーク路線としてあらかじめ設定し、大雪時には優先的に除雪を行うこととしている。

2. 3 関係機関との連携

大雪時には、道路管理者(国土交通省、石川県、各市町、中日本高速道路(株))及び交通管理者(石川県警)間で連携して、優先的に雪みちネットワーク路線の確保を図り、状況に応じ、各道路管理者間の相互応援を行うこととしている。

また、「連携本部」において集約した情報を共有するとともに、これに基づき、渋滞対策、交通規制・事故対策、排雪対策についても調整・協議を行う。

2. 4 県民への速やかな情報提供

冬期の交通確保のためには、道路利用者への迅速かつ適切な道路情報の提供が必要と考え、県ホームページ「石川の雪みちなび」を開設し、県内の道路監視カメラによる道路画像及び、積雪センサーによる降積雪状況の提供を行うこととしている。

今年度は、パソコン版である「石川の雪みちなび」のスマートフォンによるアクセスが多くなってきていることに応じ、スマートフォン版を開発し、スマートフォンでの見やすさや

*1 石川県土木部道路整備課

操作性の大幅な向上を図った。これにより、いつでもどこでも気軽に雪みち情報にアクセスいただける環境を整えることができた。（図2）

また、降雪期前に、新聞やテレビ、チラシや自治体の広報誌等を活用し、雪みちネットワーク路線の周知、除雪体制、冬用タイヤの早期交換や路上駐車禁止などの啓発に努めることとしている。

3. 石川県の歩道除雪計画

冬期においても安全で快適な歩行空間を確保することは日常生活の維持を図るうえで極めて重要である。石川県では、車道除雪については建設会社等に全面的に委託しているが、歩道除雪に関しては地元住民の協力を得ながら実施することとしている。

歩道除雪は道路管理者ごとに独立して行うのではなく、地域の歩行者交通がネットワークとして面的に確保される必要があることから、地域に密着した行政主体である市町が中心となり策定した「雪みち計画」に基づき実施している。

雪みち計画の策定にあたっては、国、県、市町、地元区長および学校関係者等からなる協議会を立ち上げ、地元の意見などを踏まえ、人通りの多い通学路や公共施設周辺を中心として、歩道除雪の実施路線を決定している。

4. 雪みち計画の策定状況

現在、石川県内の19市町すべてにおいて、雪みち計画を策定済みである。また、街並みの形成や小・中学校の通学路の変更など、歩行者の利用実態が変化した場合には、随時計画を更新している。

また、計画を更新してからかなりの年数が経過している市町もあり、そのような市町へは、雪みち計画が地域の実態に即した計画となるよう、県から積極的に計画の更新を促している。今年度は5市町で計画の更新を行う予定であり、各市町で更新に向け作業を進めている。



写真2 住民協力によるの歩道除雪の様子



(1) 道路画像



(2) 積雪・気温情報

図2 雪みちなびのスマートフォン版

5. 昨年度の歩道除雪実績

昨年度は県管理の歩道延長1,036kmのうち、346kmの区間を歩道除雪区間に指定し、そのうち約40kmの区間で住民協力により除雪を実施した。表1は過去の歩道除雪の実施状況をまとめたものであり、降雪状況により除雪延長にばらつきはあるが、毎年、地元住民の方々に除雪活動に大きく貢献していただいている。

歩道除雪の実施にあたっては、県が保有する小型除雪機械を、市町を経由して地元へ貸出し、地元住民の協力を得ながら歩道除雪を進めている。また、この雪みち計画は国の同意を得ており、小型除雪機械の購入などに、国の支援が受けられることとなっている。

表1 住民協力による歩道除雪の実施状況

	小型除雪機の のべ出動回数	のべ除雪延長
平成27年度	59回	78km
平成26年度	80回	68km
平成25年度	41回	29km
平成24年度	74回	75km

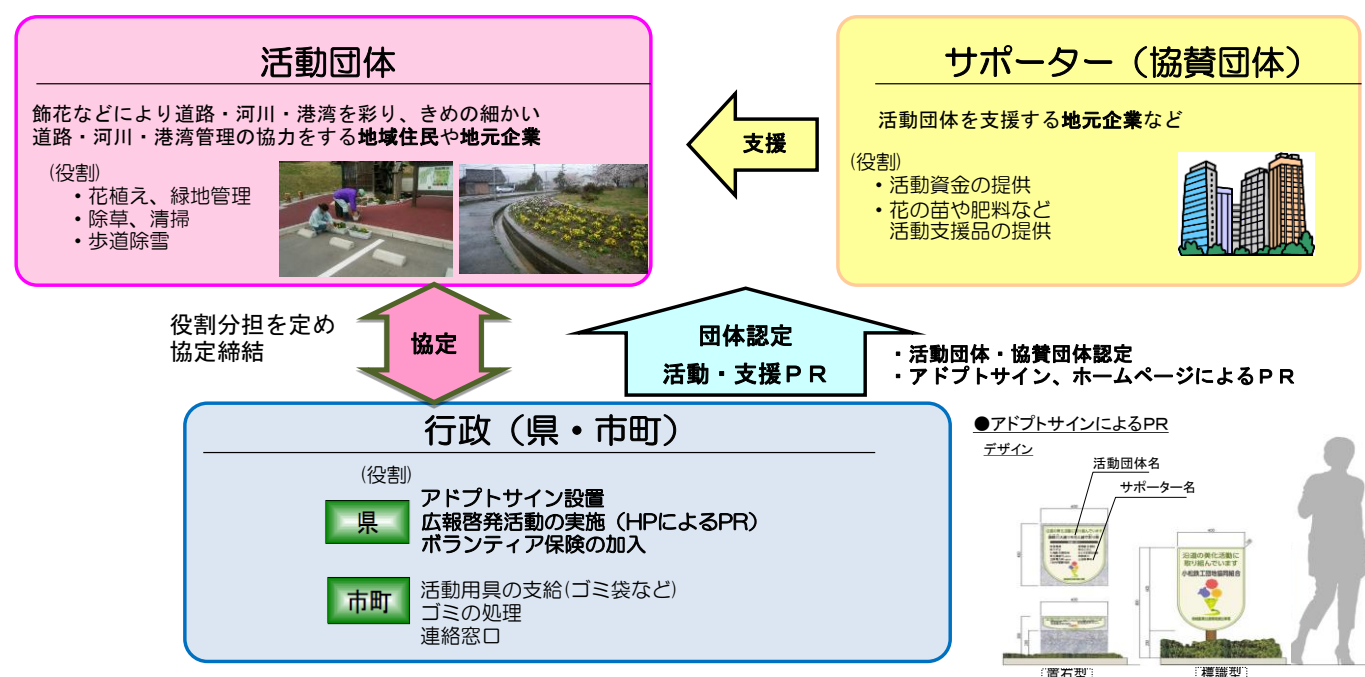
6. 道路アドプト制度の取り組み

平成22年度から、官民が一体となって道路の美化活動を行う「いしかわ我がまちアドプト制度」（図3）を実施している。これは地域住民や企業が、普段利用している道路の里親となって、自ら管理していくことで道路への愛着心をもってもらうことを目的としている活動である。

この活動では、地域住民に活動団体となっただき、地元企業にはサポーターとして資金や物品を援助していただいている。これまでに県内全体の道路活動団体として40団体を認定した。

アドプト活動は、主に春から秋にかけて掃除、清掃、美化活動などが中心であったが、冬期においても歩きやすい歩行空間の確保を図り、快適に道路を利用していただくことが重要であるとの観点から、平成27年度から新たなアドプト活動として、歩道除雪に取り組み、年間を通じた快適な道路環境づくりを目指していただくことになった。そのアドプト制度の一環として、昨年度は金沢市内の2団体が歩道除雪に取り組み、住民の協力により、快適な道路環境を生み出すことができた。今後とも、地域の皆様に参加いただけるよう積極的に働きかけるとともに、サポーターとなる企業には、社会貢献やイメージアップ戦略につながる制度であることをアピールするなど、さらなる普及に努め、地域と一体となって魅力ある道路景観の創出に努めてまいりたい。

●いしかわ我がまちアドプト制度【概要】



※アドプト制度
道路沿いなどの公共スペースを「養子」に見立て、住民や民間団体などが「親」となって清掃や緑化活動などを実施する仕組みのこと。

図3 アドプト制度の概要

7. 持続的な活動に向けて

石川県では、住民協力による歩道除雪体制を確立するために、様々な取り組みを進めてきたところであるが、今後もこの活動を持続可能なものにするため、幅広い世代の方々に、歩道除雪への理解や参加を促すことが必要であると考えている。若い世代はもとより、普段から児童の見守りを行うなど地域への愛着心が高い方や時間にゆとりのある方などに歩道除雪に取り組んでいただけるよう、積極的に働きかけることとしている。

また、アドプト制度を活用した歩道除雪については、地域から信頼され、地域とより良い関係を築くなど、社会貢献活動に繋がるということを、サポーターとなる団体などにアピールして参加を促すこととしている。

具体的な取り組みとしては、ホームページで活動団体やサポーターを紹介したり、商店街や町内会などへの協力依頼を行っているところである。多くの方々や企業に、冬期の歩道除雪を含めた年間を通じた活動に参加していただくよう、活動の有益性を広く周知することとしている。

8. おわりに

道路除雪は社会・経済活動に与える影響が非常に大きく、安全で確実な道路交通の確保がより一層求められるようになってきている。しかし、限られた予算の中で、これら全ての要求に対応していくことは困難であることから、除雪業務の円滑な推進にあたっては道路利用者や地域住民の理解や協力が必要不可欠である。

今後も、広く県民に除雪業務への理解と協力を得られるよう周知・PRにも積極的に取り組むとともに、道路管理者間で連携を図りながら、冬期の歩行空間の確保に取り組んでいく。

地震津波で発生する結氷・流水の河川遡上について

阿部孝章*1 吉川泰弘*2 矢部浩規*1

1. はじめに

積雪寒冷地域における雪や氷にまつわる問題は、土木工学の様々な分野で登場する。沿岸域における接岸した氷による害は、狭い場所でのアイスジャムや構造物前面でのパイルアップなど、構造物に損傷などの被害をもたらすため古くから寒冷な気候の国々において認知されてきた。それ故現象の解明や対策技術の検討については多くなされており、具体的なガイドライン等の策定に反映されている。

さて、日本列島は環太平洋造山帯の一部をなしており、地震津波の常襲地帯である。上記のような寒冷地における氷の害と、津波災害が重畳した場合の検討も従前よりなされており、これは過去1952年3月に発生した十勝沖地震津波が北海道太平洋岸の広い範囲で被害をもたらした¹⁾ためだと考えられる。例えば、佐伯ら²⁾や高橋ら³⁾による津波漂流氷板群の実験的な検討や木岡ら⁴⁾による氷板衝撃力に関する検討、氷板群が沿岸建築物周辺で津波により引き起こすアイスジャムに関する検討⁵⁾などがあり、その基本的な特性や挙動についてはかなりの程度まで明らかにされてきた。

そのような状況の中、2010年2月にチリ沖地震で発生した津波、2011年東北地方太平洋沖地震津波は、震源から遠く離れた北海道沿岸域に到達し、結氷した河川への遡上が発生した。矢野ら⁶⁾の報告によれば十勝川において巨大氷板の漂流が発生しているし、2011年の東北地方太平洋沖地震津波では、河川管理施設周辺において写真-1のように多数の漂流氷板痕跡が発見され、実際に施設等に損傷をもたらしたことが報告されている⁷⁾。こうした問題は近年によりよく河川管理上の課題として認識されることとなり、津波伝播の基礎メカニズムに関する検討⁸⁾や河川構造物に対する大規模津波の影響に関する検討⁹⁾などが開始され、徐々にその知見は蓄積されてきている。

冬期の津波来襲を想定した場合に、河川管理施設の操作等を決定するには、写真-1のような氷板漂流物が引き起こす施設への衝突やジャミング、水位変動等の様々なシナリオを想定することが求められている¹⁰⁾。しかし、樋門水路のような局所的な領域に來襲する多数の漂流物群の挙動についてはほとんど明らかになっていない。そのため結氷時の河川津波来襲時の施設操作を考える上でどのような想定を備えるべきかについて考え方が十分に整理されていないのが現状である。

(a) 鶴川河口・2011/3/14撮影



(b) 十勝川河口・2011/3/14撮影



写真-1 現地調査で確認された氷板漂流物

そこで本研究では、河川管理施設周辺において、氷板を代表とする漂流物群がどのような挙動を示すかと、それに伴う水位変動及び波力作用に関する検討を行うこととした。それにあたり、激しい自由水面変形を伴う津波衝突のような現象を柔軟に取り扱うことが可能な数値解析手法に着目し、これを基本的な解析手法として、実スケールを想定した漂流物群を伴う津波衝突の数値解析を実施した。特に津波の衝突形態や非結氷期との違いに注目して議論を進めることとした。尚、本稿は寒地土木研究所月報における河川津波漂流物の数値解析モデル構築の報告¹¹⁾と、土木学会全国大会において報告した最近の知見¹²⁾を合わせて報告するものである。

*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

*2 北見工業大学 社会環境工学科

2. 手法

まず、本研究で用いている数値解析手法について述べる。本研究で採用しているのは、はじめ Koshizuka ら¹³⁾により提唱され、水工学や海岸工学分野で比較的適用実績の多い MPS (Moving Particle Semi-implicitあるいはSimulation)法である。なお、MPS 法と類似の手法として Gingold ら¹⁴⁾が提唱した SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法がある。近年では離散化手法や計算の進め方に大きな違いは無くなってきており、どちらの手法も、徐々にではあるが実務においても様々な分野で普及が拡大している。

一般的な MPS 法の解法については越塚による参考書¹⁵⁾が詳しいのでここでは割愛するが、支配方程式は非圧縮性粘性流体の流れを記述する次の連続の式及び Navier-Stokes の運動方程式である。

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0, \quad \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (1)$$

ただし、 ρ は流体密度、 $\mathbf{u}$ は速度、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 $\mathbf{g}$ は重力加速度である。粒子法は計算メッシュを用いずに流れの解析を行う方法である。河川工学的な諸問題の解析にあたっては(1)式を水深積分したいわゆる浅水流方程式を用い、格子法(粒子法との対概念と考えた場合の、メッシュに基づく流れの解析法)により 1 次元あるいは 2 次元の解析を行うことがほとんど一般的である。しかし、格子法によって例えば河川を遡上する段波が水面上の構造物と相互干渉する場合や、漂流物を伴う津波現象などに適用するためには、特段の工夫や処理を要することから解析には困難が伴う。本研究の主な対象である氷板群の解析も自由水面変動と漂流物の複雑挙動が伴うことが想定されるため、そうした解析対象への適用性及び柔軟性から、粒子法を採用することとした。標準の MPS 法においては、基礎式において微分演算子を含む圧力項・粘性項がそれぞれ次のように離散化される。

$$\langle \nabla p \rangle_i = \frac{D_s}{n_0} \sum_{j \neq i} \frac{p_j - \hat{p}_i}{r_{ij}^2} \mathbf{r}_{ij} w(r_{ij}) \quad (2)$$

$$\langle \nabla^2 \mathbf{u} \rangle_i = \frac{2D_s}{n_0 \lambda} \sum_{j \neq i} (\mathbf{u}_j - \mathbf{u}_i) w(r_{ij}) \quad (3)$$

ただし、 p_i は粒子 i の圧力、 $\hat{p}_i$ は相互作用を計算する粒子が持つ圧力の最小値、 D_s は空間の次元数 (=2)、 n_0 は基準粒子数密度、 $\mathbf{r}_{ij}$ は粒子 j の粒子 i に対する相対位置ベクトル (大きさは $r_j = r$)、 $w(r)$ は重み関数、 λ は MPS 法のモデルパラメータであり、括弧 $\langle \cdot \rangle_i$ は MPS 法の粒子間相互作用モデルで離散化することを示している。

さて、Koshizuka ら¹³⁾による標準型の MPS 法は水工学の諸問題において複雑界面を伴う現象について多数適用されてきているが、内部圧力場の数値解に非物理的な振動を伴うとい

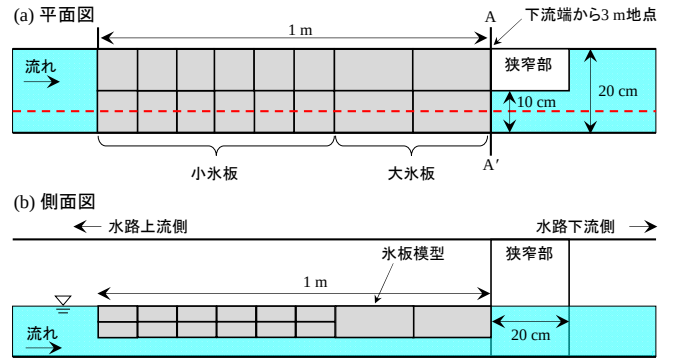


図-1 アイスジャム水理実験における狭窄部・氷板模型の位置関係の模式図

う問題が指摘されてきた。こうした問題に対して、近年 MPS 法の解を安定化させるスキームに関する研究が盛んに行われるようになり¹⁶⁻¹⁹⁾、そうした圧力攪乱はかなりの程度まで抑制可能であることが示されてきた。本研究では、そうした安定化された MPS 法の一つである CMPS-HS-HL 法¹⁶⁾を基本的な解析手法として採用した。また、氷板群の挙動を模擬するために、Koshizuka ら¹³⁾による簡易剛体モデルによって、剛体を計算粒子の集合体として見なすこととした。尚、本モデルの氷板群挙動追跡への適用性は、Gotoh ら²⁰⁾による検討事例があることを付記しておく。

3. 結果及び考察

3.1 アイスジャムに関する水理実験²¹⁾とその数値シミュレーション

吉川ら²¹⁾は春先の解氷期などに河道狭窄部で発生しうるアイスジャムに関する水理実験を実施した。アクリル製で延長 9 m、幅 0.2 m、勾配 1/500 の水路に、図-1 のように下流端から 3 m の位置から 0.2 m 区間に幅 0.1 m の狭窄部を設置し、始め狭窄部上流に大小 2 種類の氷板群を設置した。氷は比重 0.9、寸法は大きいものが長さ 20 cm、幅 10 cm、厚さ 3 cm、小さいものが長さ 10 cm、幅 10 cm、厚さ 1.5 cm である。狭窄部上流端 (図-1 (a) の A-A' 断面) から上流 1 m 地点、下流 1 m 地点の 2 箇所 で水位計測を行った。実験開始後、上流流量を徐々に増加させると氷が流下しアイスジャムが発生することとなる。本稿では、粒子法モデルによるこの実験の数値シミュレーションを実施した。解析にあたり可能な限り水理量は実験と同一とし、計算粒子径 $d_0 = 0.005$ m とした。図-1 (a) A-A' 断面の上流側 1.5 m 地点から下流側 1.5 m 地点までの計 3.0 m を解析対象とし、領域左端を $x = 0$ m 地点とした。鉛直 2 次元モデルで狭窄部の再現は困難であるため、図-1 (a) の赤破線の断面について解析を行うこととし、氷板下端が狭窄部に差し掛かった際に流下方向速度を 0 とし、狭窄部より下流に流下しないようにした。

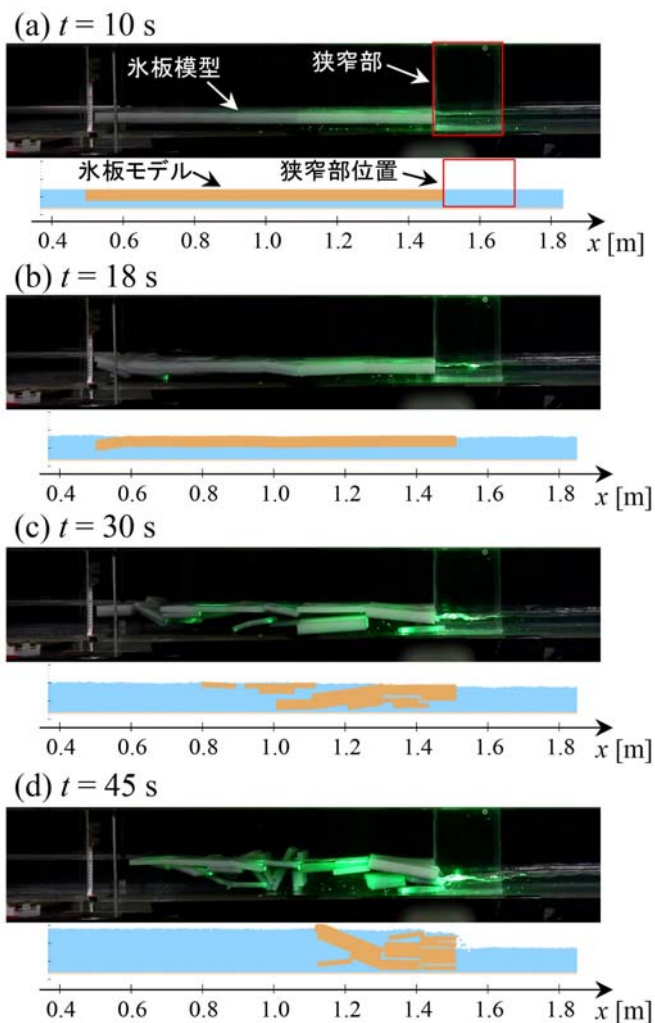


図-2 アイスジャム水理実験の様子（各時刻上段）及び解析結果との比較（同下段）

図-2に示したのは、アイスジャム水理実験の様子と解析結果との比較である。図-2 (a)は通水開始10秒後の様子で、氷板は整然と並んでいるが、図-2 (b)の時刻になると水理実験では氷板群の上流側で攪乱が生じ、上流側の氷板の一部が滞留氷板の下部に潜り込んでいる様子が確認された。解析結果においても、氷板群全体の配置は異なるものの、上流側氷板の流れによる攪乱が再現された。図-2 (c)の $t = 30$ sにおいては、水理実験では氷板群の配置は大きく乱れており流下が始まっているが、下段の解析結果でも氷板群は流下しながら狭窄部箇所で滞留が始まっている。図-2 (d) $t = 45$ sでは狭窄部付近で氷板同士が折り重なりジャミングが生じる結果となった。解析結果においても狭窄部直上流で閉塞が発生した。すなわち、実験においてもシミュレーション結果においても狭窄部上流で水位上昇が生じており、これは狭窄部によるアイスジャムに起因するものと考えられた。

図-3に示したのは、水理実験による2箇所の水位変動の計測結果と解析上得られた水位変動量との比較を示したもので

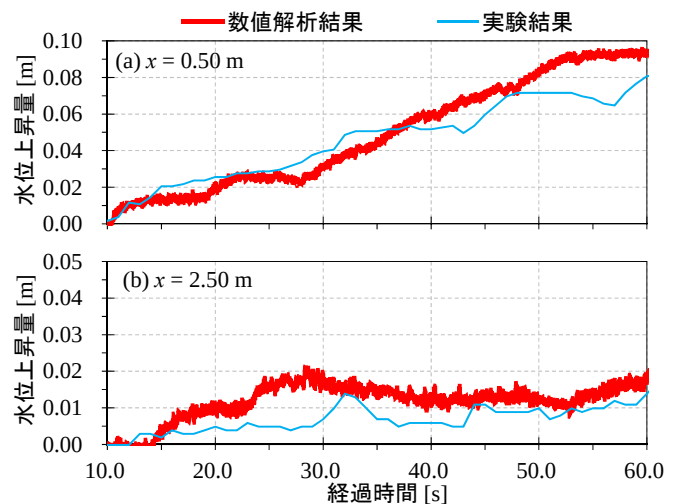


図-3 水位計測点における時系列の水位変動量

ある。図中の x は解析領域左端からの距離[m]に合わせて示している。上流側図-3 (a)について、実験値は上昇と下降を繰り返して全体として上昇する傾向であるが解析結果では上下変動はさほど明瞭でなかった。下流側図-3 (b)について、傾向は合致せずとも緩やかな変動傾向は概ね類似している。両地点とも解析を行った時間帯での上昇傾向及び上昇量は概ね類似しており、解析結果はある程度の妥当性を有していると考えられた。各氷板の挙動について、シミュレーションは完全に再現できているわけではないが、再現性の向上のためには河床部との摩擦の考慮、氷板同士の摩擦を適切にモデル化することが必須であるものと考えられる。

3.2 樋門ゲート前面部での氷板群挙動の解析

前項の検討において、安定化MPS法を用いた場合には、浮体群の挙動や水位変動傾向についてある程度妥当な結果が確認された。本項では、実際の治水施設の形状に基づく解析領域を作成し、氷板群を伴う河川津波の構造物周辺の挙動に関する解析を実施した。

本稿の検討で想定したのは、現地の樋門へ作用する氷板群を伴う津波の波力である。既存の樋門を参考にし、河床部、ゲート部、樋門操作台部の形状について実スケールでの再現を数値モデル上で行った。樋門形状に模擬した解析領域を図-4に示した。右側が河川管理施設を模した境界形状であり、施設操作台とゲート形状を再現した。左側に水深 H_0 の領域を設定してダムブレイクにより造波し、波と漂流物群をゲート全閉状態の施設に衝突させた。ダム側の初期水深 $H_0 = 2.3$ m、吐口水路初期水深 $h_0 = 0.3, 1$ m、氷板厚 $h_i = 0.1, 0.3$ m、水平方向の氷板延長 $L_i = 1, 3, 5$ mと変化した数値実験を行い、氷板のサイズにより施設に接近する津波の伝播形態と氷板群の漂流過程の変化について検討を行った。氷板比重は前項同様0.9とした。

図-5に示したのは、開水時と氷板が存在する場合における

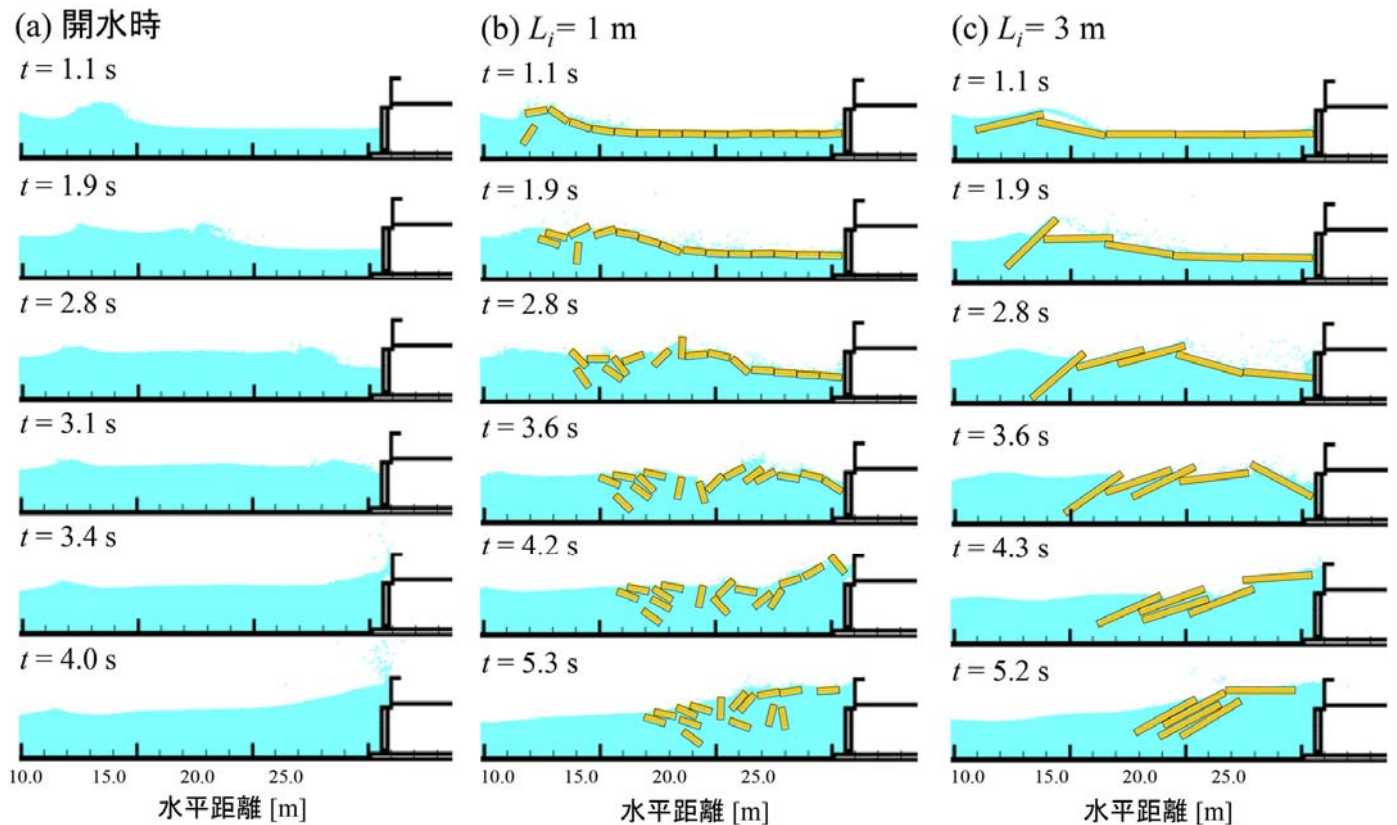


図-5 (a)開水時, (b) $L_i=1$ m, (c) $L_i=3$ mの場合における, 樋門ゲート前の津波衝突及び氷板漂流状況

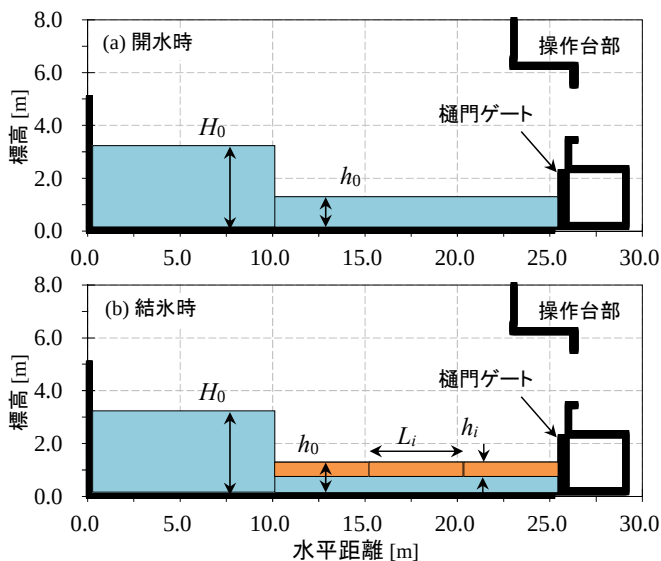


図-4 モデルとした解析対象領域の概念図

流況の比較である。 t はダムブレイクの拘束を解いて以後の経過時間である。 図-5 (a)の開水時を見ると, ダムブレイク開始後, 「マッシュルーム型」のジェットとなった段波が次第にゲートへ向かって接近し, $t=3$ s以降ゲートへ衝突し, $t=4$ sではゲート上部で飛沫を上げながら衝突を起こしている。

図-5 (b)には氷板サイズ1 mを伴う場合を示した。 橙色の粒子が氷板を構成する粒子を示しており, ひとまとまりの剛体を構成する粒子群については, 黒実線で輪郭を示している。

$t=1.1$ sの段階で, 氷板が段波に巻き込まれながら遡上を開始している。 開水時とは段波形状も異なる。 この時既に, 下流側から次々と押された氷板が押し出され, ゲート直近の氷板はゲートに接触している。 また, 氷板は激しく回転を伴いながら津波に取り込まれており, 群体として遡上している様子が確認された。 $t=3.6$ s～4.2 sにかけてゲートへの衝突が発生し, その後戻り流れとなった。

次に図-5(c)の3 mの場合であるが, やはり $t=1.1$ sの段階で, 下流から押された氷板とゲートとの接触が発生しており, 同時に段波が氷板を巻き込みながら遡上している。 この時, 氷板長が1 mのケースに比較して, 顕著な回転は伴わず, 水平に折り重なりながら, 輸送されているのが特徴である。

図-5 ($H_0=3$ m, $h_0=1$ m, $h_i=0.3$ m) の条件において, 氷板の有無による伝播状況の違いを検討するために図-6に示したのは水平距離 $x=14, 18, 22$ m地点で算出された時系列の水位変動である。 図-6 (a)より氷板の無い場合は段波状の波形が確認できるが, $L_i=1, 3$ mの場合には約0.2 m高い波高となって接近している。 これは前述の指摘の通り氷板の波への追従性が良いために図-5 (b)のような津波フロント内部での氷板の回転や重畳が発生し水位をやや上昇させたものと考えられた。 図-6 (b)は18 m地点のものである。 氷板サイズ3 mのケースにおいて振動が見られるのは図-5のように水面から飛び出した氷板で水位を検出したためと考えられた。 それを除けば概略的な傾

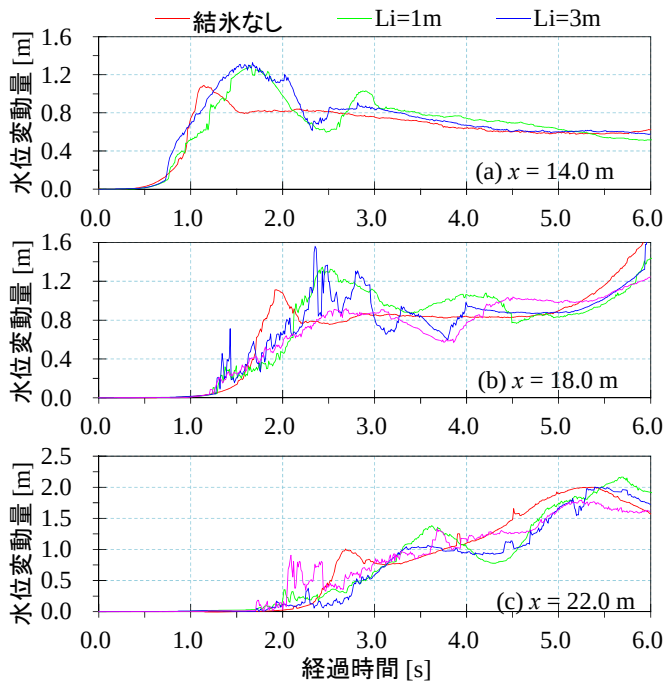


図-6 3地点における水位変動量の時系列変化

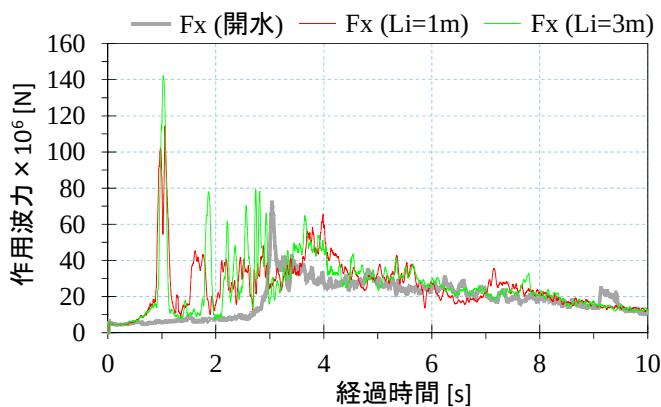


図-7 各ケースでの作用波力の時系列変化

向として開水時に比較するとフロントの波面勾配は小さくなっているが、本体部分 ($t = 2 \sim 3$ s) はやや波高が上がっている。図-6 (c) は 22 m 地点の水位変動であるが、若干の波形変化を生じているものの概略的な傾向について見れば大きな変化は見られない。しかし、 $L_i = 1, 3$ m で二山型の波形となっているのは、図-5 (b) $t = 4.2$ s、図-5 (c) $t = 4.3$ s のように水面近傍の氷板の影響によるものと考えられた。このように浮遊する氷板群は遡上する津波波形・波高を変化させるだけでなく、津波侵入を受けると同時にフロント付近に集積し、特に強い相互作用を生じることがわかった。

次に、構造物に対する外力をモデル内で測定するため、樋門ゲート部分を構成する固定境界壁粒子を、加速度は発生するが変位はしない粒子と定め、時系列的な加速度変化にゲートの質量を仮想的に掛けることで、ゲートに作用する波力を間接的に推定するという処理を行った。ゲートの質量は、正面から見て幅 2 m、高さ 2 m、厚さ 0.3 m の鋼製ゲートを想定し、

約 9.3 t とした。図-7 に示したのは、ゲートに対する時系列作用波力の変化である。開水時は、段波が到達した約 3 秒後に波力最大値を示している。一方、氷板が存在する場合は、上で指摘したように、下流側から押し出された氷板が接触した時に、ピークの波力が作用していることがわかる。また、開水時とは異なり、複数のピークを持つ波力時系列となっているのが特徴的である。また、概ね 5 秒後以降は類似した波力時系列変化であった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、2011 年東北地方太平洋沖地震津波発生時の北海道太平洋岸地域で痕跡として残された河道内氷板を元に、それらが治水施設に対してどのように接近するかについて数値解析的な検討を行った。モデル精度については事前に水理実験のシミュレーションを通じて確認をした上で、より実際の検討として、現地スケールを想定した樋門形状を再現し、氷板の諸元を変更した分析を行った。

その結果、本稿で与えた津波条件と漂流氷板が厚い場合には、サイズ (L_i) の小さい氷板の時は津波に追従して施設に接近し、サイズが大きい時は追従性が低い予測結果が得られた。この類推から、サイズの小さい氷板が散乱しているような状況、すなわち冬期の中でも結氷開始時期や解氷期においては、津波に追従して漂流氷板の接近が発生しやすくなると考えられる。また、氷板が密に滞留している場合などは、氷板群の端部で津波衝突が発生すると、直ちに構造物と氷盤の接触が起こり、津波衝突とは異なるタイミングで構造物への波力作用が発生する可能性が予見された。これは積雪寒冷地の津波防御を想定した施設設計にあたり、留意すべき事項の一つと言える。その一方で、既往の現地調査結果²²⁾から氷は実際にはサイズに分布を持つことが想定され、今後、サイズ分布をも考慮した水理実験や解析を実施し、治水施設等の設計や操作上で考慮すべき事項の整理を行うことが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 北海道大学十勝沖地震調査委員会, 十勝沖地震調査報告 1952 年 3 月 4 日, 1954.
- 2) 佐伯浩, 高橋良正, 三谷朋行, 津波による海氷盤の陸上への遡上機構に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp.796-800, 1994.
- 3) 高橋良平, 片山晃, 花田真州, 佐伯浩, 山下俊彦, 氷盤群の津波による陸上への遡上機構に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp.1236-1240, 1994.
- 4) 木岡信治, 竹内貴弘, 蟹江俊仁, 海氷の杭構造物への衝突破壊特性に関する実験的及び数値的検討, 土木学会論文集 A2 (応

- 用力学), Vol.69(2), pp.I_333-I_340, 2013.
- 5) 木岡信治, 森昌也, 遠藤強, 竹内貴弘, 渡部靖憲, 海氷群を伴った市街地への津波遡上特性に関する検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp. I_821-I_825, 2014.
 - 6) 矢野雅昭, 吉川泰弘, 石谷隆始, 高橋一浩, 2010年2月28日に発生したチリ沖地震津波の結氷河川における河川遡上に関する現地観測, 寒地土木研究所月報, Vol.693, pp.14-16, 2011
 - 7) 阿部孝章, 吉川泰弘, 矢野雅昭, 永多朋紀, 稲垣達弘, 桃枝英幸, 村上泰啓, 平井康幸, 2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の結氷河川における遡上状況及び氷板痕跡調査, 寒地土木研究所月報, Vol.705, pp.20-30, 2012.
 - 8) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 阿部孝章, 大久保敦, 河川結氷時における河川津波の圧力伝搬速度と圧力減衰特性, 河川技術論文集, Vol.19, pp.375-380, 2013.
 - 9) 佐藤好茂, 阿部孝章, 吉川泰弘, 伊藤丹, 氷板混合津波が橋桁に及ぼす波力特性に関する実験的研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I_851-I_855, 2014.
 - 10) 国土交通省 北海道開発局, 雪氷期の津波沿岸防災対策の検討報告書, 37p., 2013.
 - 11) 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の数値シミュレーション, 寒地土木研究所月報, No.741, pp.24-32, 2015.
 - 12) 阿部孝章, 吉川泰弘, 矢部浩規, 漂流物群を伴う遡上津波が河川構造物に及ぼす外力に関する数値解析的検討, 第71回年次学術講演会講演概要集, II-191, 2016.
 - 13) Koshizuka, S. and Oka, Y., Moving-particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear Science and Engineering, Vol.123, No.3, pp.421-434, 1996.
 - 14) 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.
 - 15) 越塚誠一, 粒子法, 計算力学レクチャーシリーズ5, 丸善, 144p., 2005.
 - 16) Khayyer, A. and Gotoh, H., Enhancement of stability and accuracy of the moving particle semi-implicit method, Journal of Computational Physics, Vol.230, No.8, pp. 3093-3118, 2011.
 - 17) Kondo, M. and Koshizuka, S., Improvement of stability in moving particle semi-implicit method, International Journal of Numerical Methods in Fluids, Vol.81 No.12, pp.1514-1528, 2011.
 - 18) 玉井佑, 柴田和也, 越塚誠一, Taylor展開を用いた高精度MPS法の開発, Transactions of JSCES, Paper No.20130003, 2013.
 - 19) 入部綱清, 仲座栄三, MPS法における勾配計算の高精度化とその応用, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.66, No.1, pp.46-50, 2010.
 - 20) Gotoh, H. and Sakai, T., Key issues in the particle method for computation of wave breaking, Coastal Engineering, Vol.53, pp.171-179, 2006.
 - 21) 吉川泰弘, 阿部孝章, 平井康幸, 河川津波に伴い発生した北海道鶴川のアイスジャム再現計算, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_416-I_420, 2012.
 - 22) 阿部孝章, 吉川泰弘, 佐藤好茂, 伊藤丹, 寒冷地河口域の津波発生時における氷板サイズ分布の推定に関する研究, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.70, No.2, pp.I_1471-I_1475, 2014.

北海道東部における道路防雪林の幹折れ要因について

阿部正明＊1，斎藤新一郎＊1，金田安弘＊1

1. はじめに

北海道東部の道路防雪林において大規模な幹折れ被害が確認された。本論では、幹折れ被害の状況を報告するとともに、気象データ、過去の幹折れ事例及び幹折れ樹木の年輪解析より被害要因について考察した。

2. 道路防雪林の概要

本道路防雪林は1997年度に造成され、道路延長990mで、林帯幅10mの道路防雪林である。造成時の林帯構成は、風上側に前生林として、列間1m、苗間（千鳥植え）0.5mでヤナギ類のサシ苗（H=0.3m）が3列植え、又はトドマツ、アカエゾトウヒが1列植えされていた。1m間隔を空けて、次列に、基本林帯として、列間2m、苗間（千鳥植え）1mでトドマツ（H=3.0m）が2列植えされ、3m間隔を空けて、列間1m、苗間（千鳥植え）2mでアカエゾトウヒ（H=3.0m）が2列植えされていた。更に、修景緑化として道路側に苗間3mでエゾヤマザクラが1列植えされていた。林帯の風上側には吹きだめ柵が設置され、柵高が4.0mであった。柵の下部1.3mは鋼製板で空隙なし、上部2.7mは10cm幅の木板を縦に張り付けた構造で空隙率が35%であった。柵の風上側は吹走距離200～300mの広大な牧草地が広がっている。

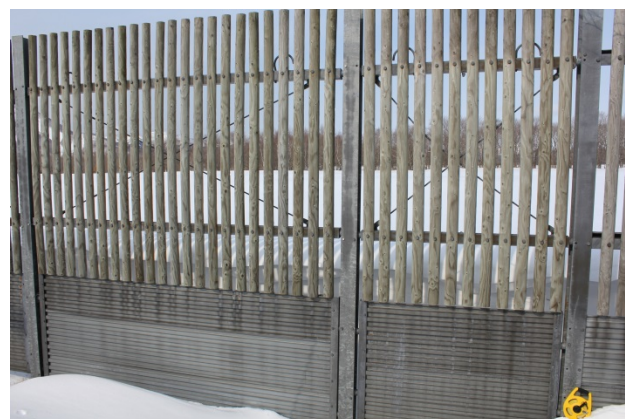


写真1 防雪林風上側の吹きだめ柵

柵から1列目のヤナギ、アカエゾトウヒ、トドマツには幹折れが認められず、2列目以降の樹木の幹折れが確認され、特にアカエゾトウヒの幹折れが顕著であった。

③同列で幹折れ発生の有無があること

同一区間の同列で幹折れ被害の大きい個所と小さい個所が認められた。

④被害が2009年5月以降の近年に発生していること

本道路防雪林の基本林は1997年に半成木（3m）を移植しているが、少なくとも造成から2009年までは大規模な幹折れ被害が確認されていない。

4. 幹折れ要因の考察

幹折れの要因として、風倒被害、除雪害、雪丘害が考えられた。各々について気象データ、過去の幹折れ事例及び幹折れ樹木の年輪解析より幹折れ要因を考察した。

4.1 風倒被害

樹木は樹種や生育状況にもよるが、最大風速で約22m/s以上、かつ、最大瞬間風速で約40m/s以上となった場合に幹折れしやすい¹⁾。観測データが記録されている2008年10月以降の調査地近傍のアメダスによる風速データをみると、幹折れしやすい条件を満たす風速は2009年2月21日の最大風速27.9m/s、最大瞬間風速40.2m/sのみ観測されているが、2009年5月時点では幹折れ被害が確認されていない。また、最大風速が2番目大きい36.6m/sが観測された2013年11月10日は、幹折れ発生した可能性のある期間であったが、風向が南向きであり、幹折れ方向と矛盾する。したがって、強風を要因とした幹折れの可能性は小さいと考えられる。

3. 幹折れ状況

本道路防雪林の幹折れ被害には、以下の特徴があった。

①幹折れの方向が一様に道路側に折れていたこと

幹折れ被害樹木は全て道路側に折れ、同一区間では、ほぼ同じ高さで折れていた。

②柵直近の1列目の樹木に幹折れが発生していないこと

＊1 一般社団法人北海道開発技術センター

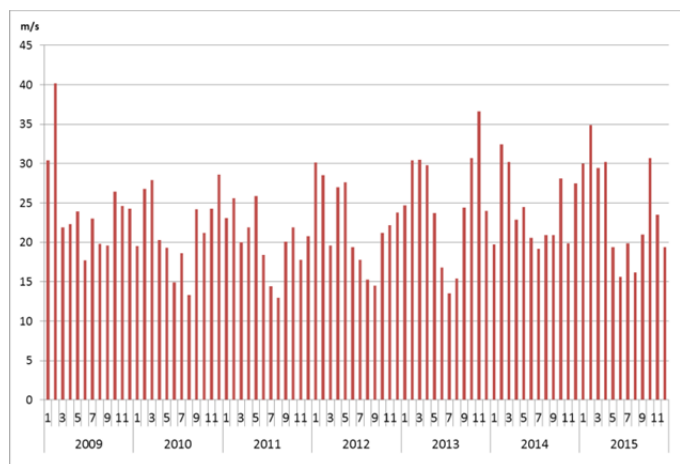


図2 最大瞬間風速（2009-2015）

4.2 除雪害

一般国道337号当別バイパスにおける除雪害の事例をみると、幹折れの方法は道路と反対方向に折れる場合が多い。また、除雪害は除雪方法にも依るが、道路から1.4m-4.4mの範囲における針葉樹において受けやすい²⁾とされ、本事例とは被害の位置が異なる。したがって、除雪を要因とした幹折れの可能性は極めて小さいと考えられる。



写真2 一般国道337号当別バイパスの除雪害

4.3 雪丘害

一般国道243号弟子屈町仁多及び一般国道335号羅臼町羅臼峠の道路防雪林の雪丘害事例をみると、風上側の柵から5m程度離れた位置で雪丘高が最大になり、その位置での幹折れ等の被害が大きかった^{3),4)}。これは本道路防雪林の幹折れと最大雪丘高の位置がほぼ一致している点からも類似性が高い。

また、2016年3月の観察において、柵から2列、3列目の樹木は道路側の片側樹冠の樹木が多く、雪丘に取り込まれた樹木が道路側に傾いていた状況が確認された。なお、道路側の片側樹冠については道路側の方が陽光を受けやすいためと考えられる。



写真3 一般国道243号弟子屈町仁多防雪林の雪丘害

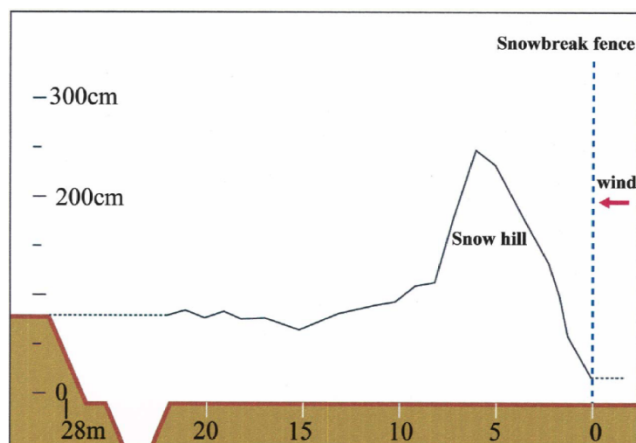


図3 一般国道243号弟子屈町仁多防雪林の雪丘形状



写真4 雪丘に取り込まれた防雪林

次に、本事例の特徴を踏まえて考察する。

①幹折れの方法が一樣に道路側に折れていた点

一般国道335号羅臼町羅臼峠の道路防雪林の雪丘害事例より、樹木又は支柱が道路側に傾いていたことが確認された。また、斎藤等の研究^{3),4)}によると、道路防雪林の雪丘害では、全て道路側への幹折れが報告されていた。したがって、雪丘害による幹折れは、本事例と同様に道路側に折れやすい傾向があると言える。



写真5 一般国道335号羅臼町羅臼峠の道路防雪林の雪丘害

②柵直近の1列目の樹木に幹折れが発生していない点

③同列で幹折れ発生の有無がある点

同列で隣り合わせであるが、被害の大きい地点と小さい地点における雪丘形状を図4, 5に示す。いずれも最大雪丘高は柵から4〜5m程度離れた位置に形成されていた。被害の大きい地点では最大雪丘高の位置での幹折れが顕著であった。また、被害の大きい地点の最大雪丘高が3.7m程度であるのに対し、被害の小さい地点の最大雪丘高が1.5m程度と約2mの違いがあり、雪丘による沈降力に大きな差があったものと推定される。両地点ともに柵直近の雪丘高が1m程度と低く、1列目の樹木に対するの雪丘害の程度は極めて小さいと考える。

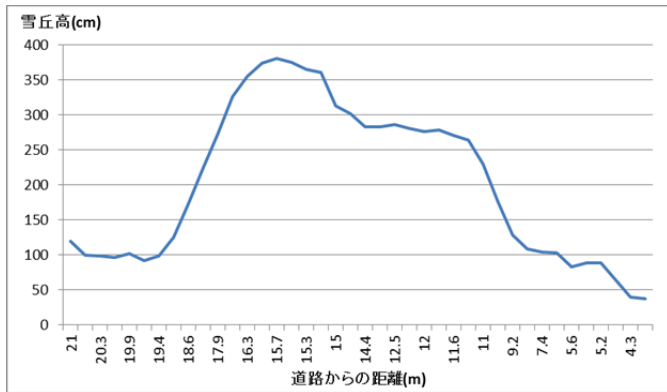


図4 被害の大きい地点での雪丘形状

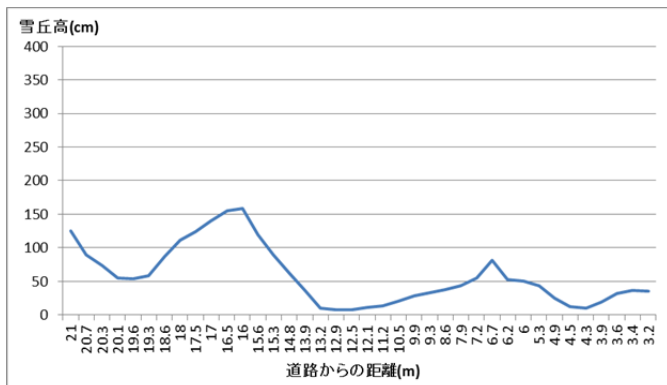


図5 被害の小さい地点での雪丘形状

④被害が2009年5月以降の近年に発生している点

調査地近傍の積雪深データをみると、2015年2月、3月の積雪は多いものの、幹折れが発生しはじめたと考えられる2010年-2015年の累計積雪については、幹折れが確認されていない2004年-2009年と同程度であった。また、本路線の吹雪や降雪による冬期通行止め履歴をみると、幹折れ確認前の2004年度-2008年度の方が、確認後の2009年度-2013年度の約2倍の通行止めが発生していた。したがって、幹折れの要因が、2009年冬期以降の気象変化によるものとは考えにくい。



図6 月別の累計積雪深（2004年-2015年）

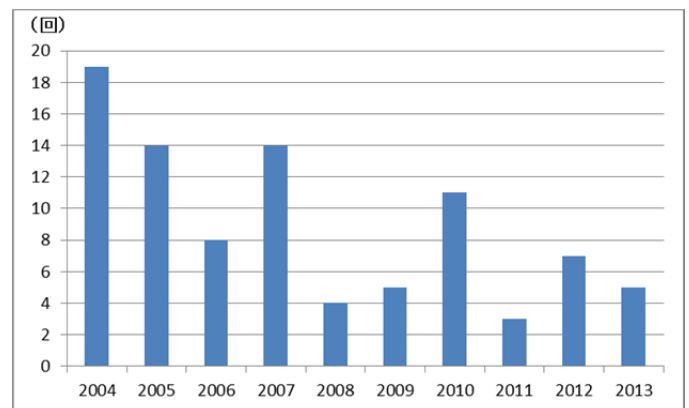


図7 通行止め回数（2004年度-2013年度）

次に、幹折れ樹木の年輪解析による幹折れ要因の分析を試みた。その結果、移植後6年目から2011年頃までと2013年頃にアテ材が確認された⁵⁾。アテ材とは、何らかの要因で樹木が曲がり、樹心が一方に偏って肥大成長したため、通常の材質とは異なる性質を持つ部分の材ことで、本件のケースでは2003年頃から雪丘等による幹曲りが発生していたと考えられる。また、アテ材は材として劣勢（弾力性が乏しい、根からの水を上昇させない等）のため、幹折れしやすくなる性質がある。したがって、幹折れ発生の数十年前から雪丘による幹曲りが繰り返されて、アテ材が形成され、樹木の成長とともに幹の柔軟性が失われ幹が折れやすくなり、近年になり幹折れが生じたものと推察される。

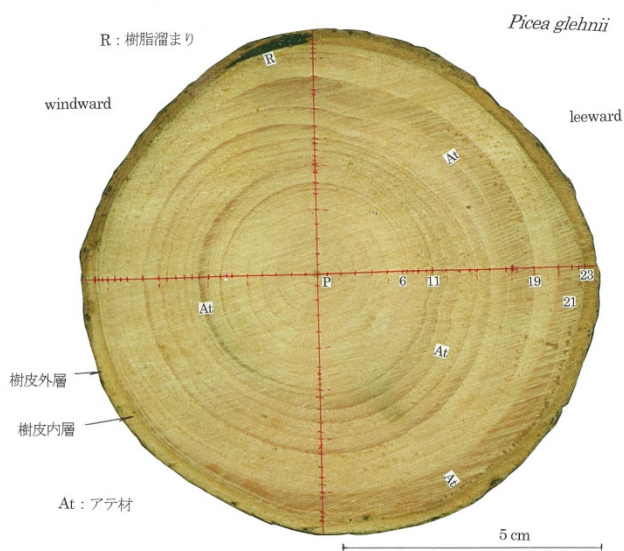


図8 アカエゾトウヒの幹の横断面にみられたアテ材
地上高1.30m, 年輪数23, 胸高直径9.7cm (2015秋)
P: 髓, 6: 移植, 11: アテ材の出現 (2003),
19: アテ材の終了 (2011), 21: 違う方向へのアテ材
の出現 (2013, 大きな傾き), 23: 幹の倒伏

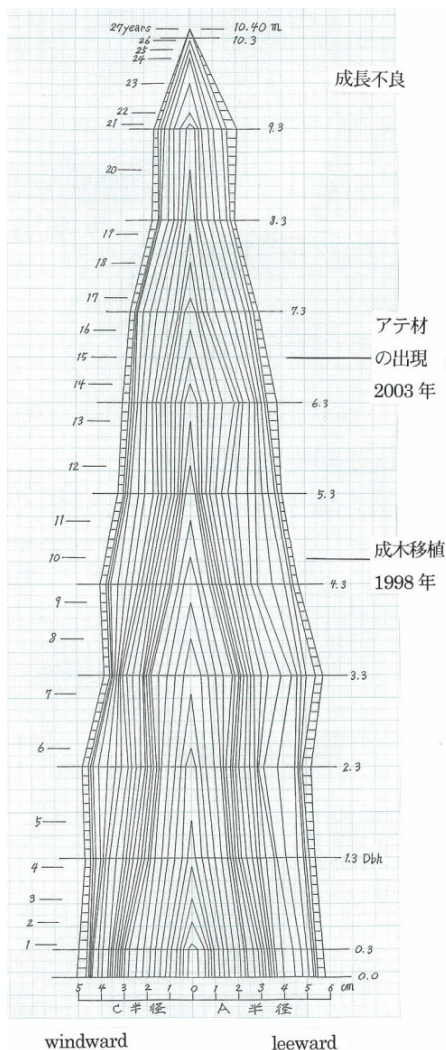


図9 アカエゾトウヒ樹幹解析図

樹齢: 27年生, 植栽後の樹齢: 17年生, 樹高: 10.40m

5. まとめ

- (1) 幹折れが発生した期間において, 幹折れの可能性が高い
最大風速約22m/s以上, かつ, 最大瞬間風速約40m/s以上の
強風が発生していない (幹折れ以前には1回発生)
- (2) 除雪害の可能性が高い道路から1.4m-4.4mの範囲での幹
折れ被害が小さく, 道路から離れた位置で幹折れが顕著
- (3) 他事例より, 除雪害は道路と反対方向への幹折れ, 幹曲
りが発生しやすい
- (4) 最大雪丘高の位置での幹折れ被害が大きく, 他事例の雪
丘害と類似している
- (5) 他事例より, 雪丘害による幹折れの方向は道路側である
- (6) 同列でも, 幹折れ被害の小さい位置では雪丘が小規模で,
被害の大きな位置では雪丘が発達していた
- (7) 柵直近の雪丘高は低く, 柵から1列目の樹木影響は小さい
- (8) 移植後6年目頃から近年まで, 雪丘害による幹曲りのため
と考えられるアテ材が出現し, 幹の柔軟性等が失われ,
折れやすい状態であった
- (9) 柵から2列目・3列目の樹木は道路側の片側樹冠が多く,
全て道路側に傾き, 雪丘に取り込まれている状況が観察
された

以上のことから, 雪丘害の幹曲りによるアテ材の形成によ
り折れやすくなった道路側の片側樹冠の樹木の枝葉が, 雪丘
の発達とともに道路側に引っ張られて, 道路側へ傾いた状態
で樹木全体が雪丘に取り込まれ, 雪丘の沈降力により, 幹折
れに至ったと考えられる。

謝辞

本調査を進めるにあたり, (株) シーイーサービス正岡久
明氏及び釧路北部事業協同組合のご協力に対し, ここに記し
て感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2011: 沖縄におけ
る都市緑化樹木の台風被害対策の手引き. 国土技術政策
総合研究資料, No. 621, 236pp.
- 2) 阿部正明, 檜澤肇, 金田安弘, 中嶋清晴, 2013: 道路緑
化樹の除雪による影響に関する一考察. 北海道の雪氷,
No. 32, 58-61.
- 3) 斎藤新一郎, 対馬俊之, 1994: 道路防雪林の雪丘による
被害について一国道243号(弟子屈町仁多)における1事例
一. 北海道の雪氷, No. 13, 7-10.
- 4) 斎藤新一郎, 原文宏, 阿部正明, 1996: 羅臼峠の道路防
雪林の雪丘害について. 北海道の雪氷, No. 15, 28-31.
- 5) 斎藤新一郎, 阿部正明, 金田安弘, 2016: 北海道東部に
おける道路防雪林の幹折れについて (その2) 一幹折れ
木の年輪解析および再造成への提案一, 雪氷研究大会
(2016・名古屋) 講演概要集, 162

近年の暴風雪頻発地域にみる防雪柵の問題点と課題

金田安弘^{*1}，永田泰浩^{*1}，根本征樹^{*2}，竹内政夫^{*3}

1. はじめに

防雪柵の主な形式には吹きだめ柵、吹き止め柵、吹き払い柵があり、それぞれ開発されてから長い歴史がある。これまでの各種調査・試験研究成果や現道での知見等は、土木研究所寒地土木研究所により道路吹雪対策マニュアル¹⁾の中に取りまとめられ、これを基に、気象や地形条件、また道路構造等に応じて防雪柵が整備されてきた。

近年、北海道では暴風雪が頻発していることから、著者等は、暴風雪が頻発した北海道東部の中標津地域において、道路沿線の防雪柵の吹きだまり状況を観測した。その結果、期待したような防雪効果が発揮できていない事例が多数見つかった。これは、あるレベルまでの吹雪量では目立たなかった防雪柵の問題点が、暴風雪が頻発する環境下で浮かび上がったものと考えられた。

本報告では、暴風雪が頻発し吹雪量がかなり大きい状況下で、防雪柵の防雪機能が阻害されている状況、防雪柵の防雪能力を上回る吹雪量の下での柵周辺の吹きだまり状況など、問題が顕在化した防雪柵の設置事例を紹介し、あらためて防雪が抱える問題点と課題を整理した。

また、2014年度冬期は、毎週のように暴風雪に見舞われ暴風雪警報が発表される中、通行止めや臨時休校が相次ぎ、大きな暴風雪被害が出た。

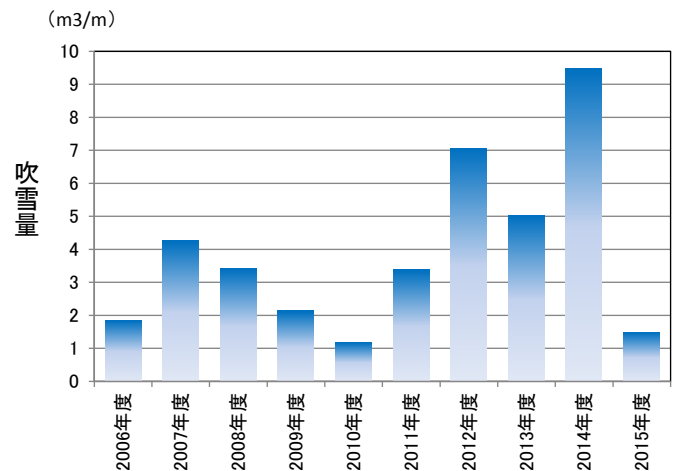


図1 根室中標津アメダスの気象データから推算した吹雪量。

2. 調査年

調査は2012年度冬期から2014年度冬期にかけて実施した。

根室中標津アメダスの気象データ（気温、風速）を基に推算した²⁾ 過去10冬期の吹雪量を図1に示す。なお、図1の吹雪量は、気象データからの推定値であること、気象データ、特に風速は同じ地域でも地点によって大きく異なる場合があるため、吹雪量の絶対値はあくまで参考値としてとらえる必要がある。

調査を実施した3冬期の吹雪量は、過去10冬期の平均を大きく上回り、2012年度冬期は過去10冬期平均の約1.8倍、2014年度冬期は約2.4倍の吹雪量であった。

2013年3月1日から3日にかけては、日本海から進んできた急速に発達した低気圧の影響で北海道の広い範囲で猛吹雪となり、JRの運休、通行止め、航空機の欠航が相次いだほか、中標津町では暴風雪による吹きだまりで死者5名を出すなど、大惨事となった。吹雪対策は防雪対策の充実により、吹きだまり対策から視程障害対策に比重が移っていると言われてきた中での吹きだまり起因の事故だったため、社会、住民に大きなインパクトを与えた。

3. 防雪柵の機能が阻害されている事例

以下に、防雪柵が柵周辺の状況によって本来の機能を発揮できていない事例を示す。

写真1は、吹き払い柵の風上側の樹林が吹き払い機能に影響を与えている事例である。風上側に防風林が延びており、



写真1 吹き払い柵の風上側の樹林が吹き払い機能に影響を与えている事例（2015年3月）。

*1 （一社）北海道開発技術センター、*2 （国研）防災科学技術研究所雪氷防災研究センター、

*3 NPO法人 雪氷ネットワーク

防風林に沿って流れてきた吹雪が吹き払い柵で止められ、柵風下側にピンポイントで大きな吹きだまりを形成させた。

この事例以外にも、吹き払い柵の風上側に落葉樹の灌木がある箇所で、柵風下側直近の堆雪量が大きくなっている場所が複数見られた（写真2）。

風上側のわずかな風の抵抗物が風速の低下をもたらし、吹き払い柵の吹き払い機能を低下させ、風下側の道路上に吹きだまりを形成させる。



写真2 吹き払い柵の風上側に灌木のある箇所で、柵風下側の堆雪量が大きくなっている。吹き払い機能が低下し、道路上に吹きだまったことがわかる(2015年3月)。

写真3は、吹き払い柵の風上側の地物が吹き払い機能に影響を与えた事例である。風上に伐採された樹木が野積みされており（写真4）、これが風の障害物となり、柵の風下側に巨大な吹きだまりを形成させた。

吹き払い柵風上側の障害物が、柵の吹き払い機能を低下させ、風下側に大規模な吹きだまりを形成させた事例で、この区間では吹き払い機能が全く機能していなかったものと考えられる。



写真3 吹き払い柵の風上側にある障害物が吹き払い機能に影響を与えた事例。吹き払い柵の風下側に巨大な吹きだまりが形成されていた（2014年2月）。



写真4 吹き払い柵の風上側に放置された伐採樹木。積雪期前に放置されたものと思われる（2014年2月）。

写真5には、風下側路側の雪堤が吹き払い機能に与えた影響事例を示す。雪堤がない場合（写真上）、吹き払い柵設置区間では路上を這うように吹雪が流れ、ドライバーの目線高さでは十分な視界が確保されている。一方、写真奥の柵のない区間の路上には視程障害が発生している。

風下側路側に雪堤がある場合（写真下）、柵側の車線は吹き払われているが、路上を流れてきた吹雪は雪堤に当たって舞い上がり、風下側車線には視程障害が発生している。



写真5 道路風下側路側の雪堤が吹き払い柵の吹き払い機能に与えている影響。上：雪堤がない場合、下：風下路側に雪堤がある場合。

写真6は吹き払い柵設置区間の風下側に樹林帯が広がっている事例である。樹林が路面上を流れてきた吹雪を止めるため、吹雪は空中に舞い上がり視程障害を発生させる。

以上のように、風上、風下とも、風の障害物になるものは全て、吹き払い柵の吹き払い機能の低下をもたらす。吹雪量あまり多くない場合は見逃されるような機能低下も、吹雪量が大きく、また除雪ができないまま長期間吹雪が継続する場合には、大きな障害となって問題が顕在化する。



写真6 吹き払い柵の風下側の樹林帯が吹き払い機能に影響を与えている事例(2013年3月)。

4. 防雪能力を大きく超えた吹雪量下での吹きだまり状況

写真7は、2014年度冬期の吹き払い柵設置区間の状況である。柵の風上側の積雪深はほぼ柵高に近く、また柵の風下側にも柵高に近い高さの吹きだまりが形成されている。地形形状としては両切土と同じであるため、暴風雪が長く続くと、柵トップと風下側の吹きだまりのトップを結ぶ線の近くまで、路上に吹きだまりが形成されたことが報告されている。この場合の路上の吹きだまり形状は、ほぼ平衡状態になっていたと考えられる。

写真8は、吹き払い柵自体が路上の吹きだまりの原因と考えられた事例である。道路風下側(右側)をみると、吹き払い柵のない区間(写真手前)の風下側はガードケーブルの上部が見えており、顕著な吹きだまりは形成されていない。

一方、吹き払い柵が設置されている区間では、柵の風上、風下とも大きな吹きだまりが形成されている。吹き払い柵は、見方によっては下部間隙を大きく開けた吹きだめ柵とも言える³⁾。通常、柵で吹き払われた雪は、柵から離れた位置になだらかな形状で吹きだまる。しかし、冬期間のある時期から、風上あるいは風下の堆雪量(吹きだまり量)が多くなると、吹き払い機能がだんだん損なわれ、吹きだめ柵のように機能するため、路上に大きな吹きだまりを形成するようになる。

写真9、10は防雪柵の機能がほぼ完全に失われた事例である。両事例とも、積雪初期には相応の防雪効果を発揮していたものと考えられるが、吹雪量があるレベルを上回ると、柵

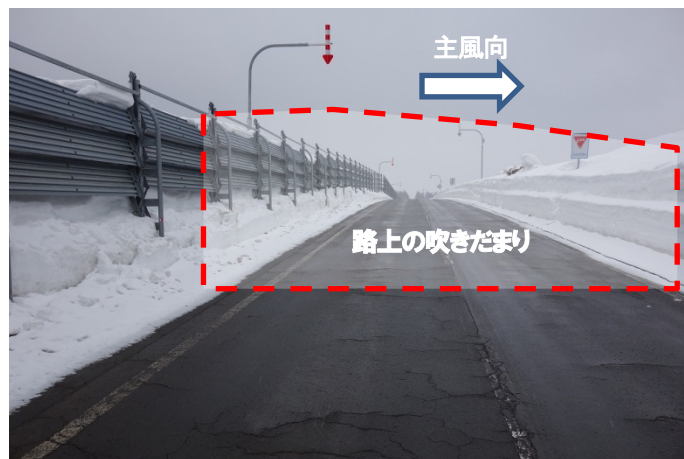


写真7 吹き払い柵の風下側と風上側にはほぼ柵高と同じ高さの吹きだまり(積雪)が形成された結果、道路は両切土のような状態となり、暴風雪が続くたびに、路上に巨大な吹きだまりが形成された(2015年3月)。



写真8 吹き払い柵未設置区間には顕著な吹きだまりは見られないが(写真手前)、吹き払い柵設置区間の風下側には大きな吹きだまりが形成されている(2015年3月)。

の能力を超え、場合によっては柵自体が吹きだまりを形成させる原因になる。



写真9 吹き払い柵。風上側の積雪深も柵高近くに達しており、吹き払い機能は完全に失われている(2015年2月)。



写真10 吹き止め柵。柵の防雪容量を超え、路上にも柵高近くまで、吹きだまりが形成された(2014年2月)。

5. まとめ(防雪柵の問題点と課題)

北海道東部での防雪柵の調査結果から浮かび上がった防雪柵の問題点は、以下の2点に集約される。

- 1)防雪柵(特に、吹き払い柵)の設置環境による機能低下
 - 2)極端に吹雪量が多い気象条件下での防雪柵の機能喪失
- 設置環境による機能低下は、特に吹き払い柵に多く見られた。吹き払い柵の設置条件を図2に整理した。吹き払い柵に必要なとされる広域での条件は、「吹雪発生の臨界風速を越える風速があること」、「風を収束させて路上を吹き払う機能を持った柵の構造を阻害するような吹雪量または降雪量がないこと」の2点である。この2つの条件が満たされないと、吹き払い柵は期待される防雪効果を発揮できない。吹き払い柵は、わずかな風の障害物や小さな地形変化に大きく影響を受けるため、その機能を発揮させるためには、設置環境条件のチェックが不可欠である。

最近、豪雨の増加など、雨の降り方が変化していることに対応した新たな視点での防災への取組みが検討されている⁴⁾。冬においても、例年は暴風雪の発生の少ない北海道東部で暴

風雪が頻発するなど、暴風雪の様相も従来とは変わってきた可能性がある。

通常であれば、柵高5mの吹き止め柵の防雪容量を吹きだまりが上回することは少ないが、2013・2014年度冬期の観測では吹き止め柵の防雪容量を超えたと推定される箇所が複数確認された(写真10)。

吹き払い柵、吹き止め柵とも、防雪能力を超えると、柵の風上および道路の風下に大きな堆雪(積雪・吹きだまり)が形成されるため、この状態で暴風雪が継続すると、柵自体が風の障害物となり、路上に大規模な吹きだまりを形成させる。

暴風雪の頻発により極端な吹雪量に見舞われる地域では、柵の設置の可否も含めて、路側の防雪柵が本来の効果を発揮し得ているかどうかを改めて検証する必要がある。

柵の能力を超える吹雪量に対応させるためには、柵を風上側に複数列設置して、何段階かで吹雪量をコントロールするのも1つの方法である。3種類の防雪柵には、それぞれ活用する上での制限がある(図3)。吹きだめ柵は、かつては広く使われていたが、用地の制限から設置は少なくなっている現状にある。暴風雪が頻発する地域では、例えば、吹きだめ柵で一旦吹雪を止め、吹きだめ柵が埋まった後は路側の吹き止め柵で止めるなど、タイプの異なる柵を併用して、トータルとして吹雪量をコントロールするような防雪対策を、今後、検討すべきと考える。

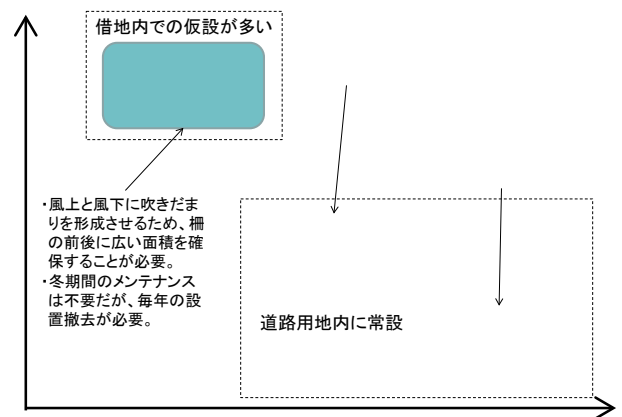


図3 防雪柵の種類と活用上の制限

参考文献

- 1) (独)土木研究所 寒地土木研究所(2011): 道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版)。
- 2) 日本雪氷学会北海道支部編(1991): 雪氷調査法, 244pp.
- 3) 竹内政夫(2003): 吹雪とその対策(3), 防雪柵の技術史, 雪氷, 65, 271-278.
- 4) 国土交通省HP(2015): 新たなステージに対応した防災・減災のあり方.

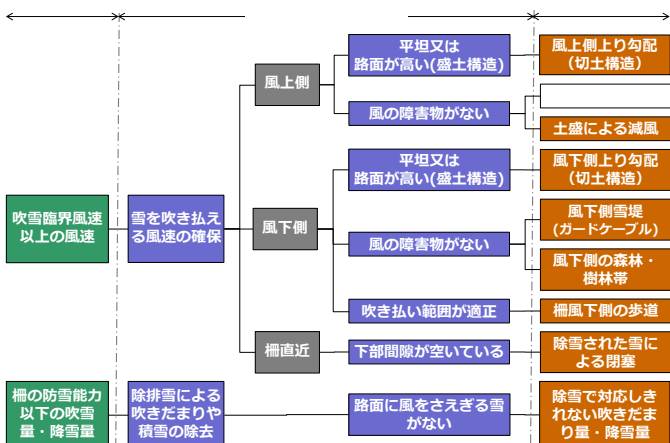


図2 吹き払い柵の設置条件と付随する問題点

NEXCO東日本グループの安全な冬期交通のための技術革新 -ICTを活用した雪氷対策の高度化技術の開発・活用-

皆方 忠雄 ・ 多田 暢彦 ・ 廣田 貴之 ・ 佐藤 征行 ＊1

1. はじめに

東日本高速道路グループ(以下、東日本グループという)が管理する高速道約3,800kmのうち、約6割にあたる2,200kmは年間降雪量が1mを超える重雪氷地域であり、冬期に安全で安心できる高速道路の交通の確保は、地域経済や日本経済の発展に貢献するうえでの重要課題である。

このための「雪氷対策」については、各地域の気象特性などに合わせて、除雪や凍結防止剤の散布による降・積雪への対策、防雪柵や自発光デリニエータなどによる視程障害対策に加えて、お客さまへの道路気象情報の提供により、安全な交通の確保に努めているところである。しかしながら、冬期に「雪氷」が要因となった通行止めが集中しているのが現状であり、また、高速道路を長期に保全し、お客さまに安心してご利用いただくためには、凍結防止剤の影響による腐食や凍結融解による損傷などへの対応も必要な状況にある。

そこで、東日本グループの研究・技術開発計画(以下、研究開発という)においては、「雪氷対策の高度化」を重点テーマのひとつとして、熟練技能者不足や応援除雪へ対応すべく全球測位衛星システム(GNSS)を使用した運転支援技術や、凍結防止剤自動散布システムなど、「雪氷対策」の効率化・高度化に資する新技術などの開発を鋭意進めているところである。

本報文では、東日本グループにおいて既に導入または開発中の雪氷対策技術と今後の研究構想について概説するものである。

2. ICT等を活用した雪氷対策の高度化

東日本グループの雪氷対策は、雪氷に精通した東日本グループの社員が情報収集から作業判断を行い、凍結防止剤散布作業や除雪作業、排雪・運搬作業などの実作業は熟練したオペレータの技能・経験により適時的確な作業が行われている。(写真1)

雪氷対策の確実かつ効率的な実施や、お客さまや作業従事者の安全確保などのため、情報収集や各種作業、雪氷対策施設の各分野においてICTを活用した研究開発を行っており、現場で実用している。その技術の一部を図1に示す。

特に、近年は雪氷車両の熟練技能者が高齢化や後継者不足などにより年々減少しており、これを補うための雪氷車両の



写真1 高速道路の雪氷対策作業

運転支援技術の開発が喫緊の課題であった。

そこで、汎用技術となっているGPS位置情報システムを活用して、雪氷車両のオペレータの経験不足のフォロー及び作業負担を軽減するための運転支援システムを開発し、社内標準仕様として全面導入している。

＊1 東日本高速道路(株) 建設・技術本部 技術・環境部

雪氷対策高度化チーム





機能を加えたシステムを平成25年度に開発した。このシステムは、橋梁部や要注意箇所の手前に来ると、GPS車両位置情報の車載端末機より音声で「交差道路です。速度を落としてください」「車線が減少します。プラウを格納してください」など、作業におけるの注意事項をガイダンスするものである。

また、当システムには雪氷車両の位置に対応して、道路情報板に「〇〇－〇〇除雪作業中」等の情報を自動標示する機能も統合されており、車両位置監視、オペレーター支援、情報提供をトータルで効率的にできるシステムとなっている。東日本グループでは平成26年度により社内標準として全事務所への導入を順次進めている。

このシステムを導入したことにより、下記の効果が得られており、経験の浅いオペレーターや他事務所への応援派遣時でも効率的かつ安全な除雪作業を可能としている。

- ① 隣接事務所等への応援除雪時に円滑な作業が可能となり、支社・事務所間の連携が強化
- ② 応援除雪時の作業速度が約5割向上(約15→約22km/hr)
- ③ オペレーターの作業負担が軽減
- ④ ヒューマンエラーの防止、機械操作の補助、除雪技術の継承にも有効

2. 2 路面状態による凍結防止剤最適自動散布システム

路面凍結を抑制する目的で塩化ナトリウムを主材料とする凍結防止剤を散布しているが、塩化ナトリウムは道路構造物の耐久性に影響を及ぼすため、散布量を最適化して構造物への影響を最小限にする必要がある。

そこで、開発した路面状態判別システム（CAIS¹⁾）より得られた路面判別データを基に100m毎にきめ細やかに凍結



-
- GPS
- Internet
- 路面状態判別システム搭載雪氷巡回車
- 凍結
- 必要箇所のみ散布で塩量削減
- 湿潤
- ① 路面状態判別システム搭載車で雪氷巡回
⇒WEBにてリアルタイムでDB構築
- ② 指令台でWEB交信
⇒事前に散布量を計算
⇒現場に積載量を指示
- ③ GPS位置把握システムにより100m毎に散布
⇒路面状態に合せた最適散布量
(自動散布装置でなければできない！)
- 路面状態に合せた剤散布量最適化

図3 凍結防止剤最適自動散布システムの概要

防止剤の最適な散布量を把握し、自動散布装置により散布区間・散布量を自動制御するシステムを開発した。

なお、本システムの詳細については、セッションⅠの「凍結防止剤最適自動散布システムによる冬期路面管理について」の報文を参照されたい。

3. 雪氷対策高度化プロジェクトの研究構想

今後はさらに、道路構造、除雪・排雪作業、凍結防止剤及び視程障害対策などに関するこれまでの研究や取り組みのレビューを行い、既往の概念に捉われない新たな技術の導入も視野に入れた研究・技術開発を推進することを目指す。

的として、今年度より「雪氷対策高度化チーム」を設置するとともに、グループ全体のノウハウや英知を結集した「雪氷対策高度化プロジェクト会議」を設置し、さらなる技術革新に取り組んでいる。

現在は、図4に示す研究開発計画の策定のうち、プロジェクトの研究構想（ステップ1）を取りまとめ、具体的研究・技術開発計画を立案（ステップ2）を行っているところである。研究構想については、雪氷対策の現況と課題を整理し、この課題解決を図るための研究開発テーマを、社会情勢や技術革新の動向などを鑑みながら策定することとした。

以下に、プロジェクトの研究構想の一部を紹介する。

3. 1 雪氷対策における課題の整理

雪氷対策の課題の整理については、下記の視点で行った。このうち、地域社会への影響が大きい②の長時間通行止めの要因を代表事例として述べる。

①現場で顕在化している課題

内容）実際に雪氷対策に従事している者の意見聴取

②雪に伴う長時間通行止めの要因

内容）過去3年間の12時間以上の通行止め全件を対象に発生要因、及び長期化の要因をシナリオ分析（発生要因は、一次・二次事象に分解）

③冬期間の全通行止めの要因（工事は除く）

内容）過去3年間の11月～3月までの通行止めデータ

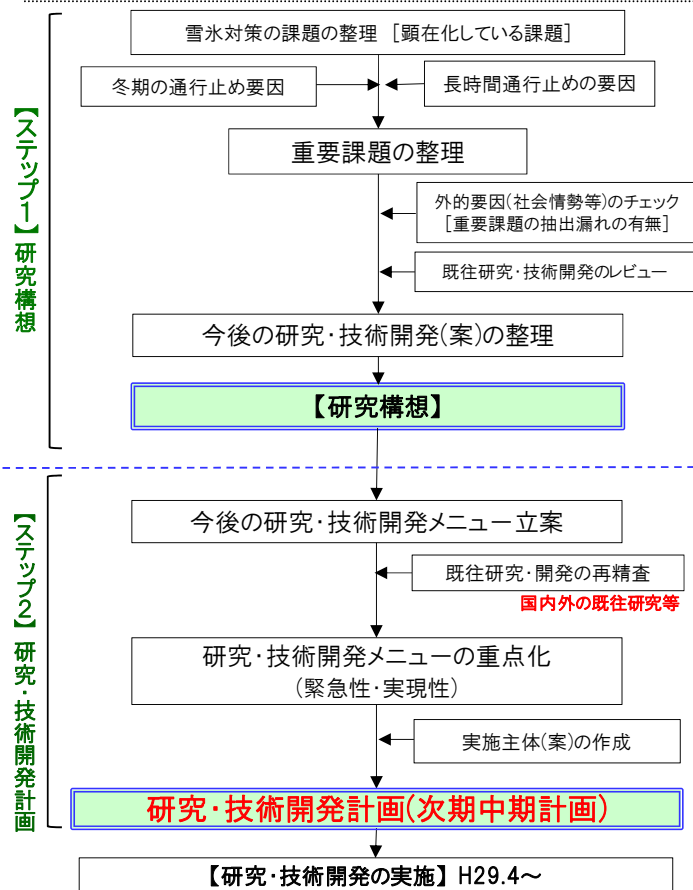


図4 雪氷対策高度化プロジェクトの計画策定フロー

【通行止めの発生要因】

一次事象) 強雪による路面悪化

強雪・強風による視程障害

気象予測の大きなズレ（短期集中降雪）



二次事象) 交通事故、登坂不能車の発生



【通行止め長時間化の要因】

①路肩拡幅作業の長時間化（ロータリー車の作業速度）

②路面の部分的な積雪・圧雪の除去作業、など

3. 2 研究構想の策定

3. 1で整理した課題のうち、東日本グループの研究開発の基本方針である『安全を最優先』と『雪に強い道づくり』に大きく寄与する課題を重要課題として下記の8項目を抽出し、この課題解決に向けた研究開発を行うこととした。

- I. 雪による通行止めの回避
- II. 通行止め長時間化の回避（早期解除）
- III. 冬期路面の安全走行（お客さまの安全）
- IV. 雪氷対策時の作業中事故の防止
- V. 労務員不足への対応（3K作業環境の改善）
- VI. 道路構造物の塩害対策
- VII. 雪害・凍害対策
- VIII. お客さまのニーズに応じたりアルタイムの情報提供

4. 今後の展開

現在は、上記の研究構想に基づき、具体的研究開発計画を立案している段階である。計画立案においては、第4次産業革命で推進される『IoT、ビッグデータ、ロボット技術、人工知能(AI)』の利活用や、国土交通省の生産性改革プロジェクトのひとつである『i-Construction』の雪氷分野での推進を図りながら、国内外の既往技術の活用・応用や、自社開発技術の機能向上・ローコスト化を図るとともに、先端技術を利活用して、従前の技術レベルでは解決できなかった新たな領域の研究開発にも積極的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 森永啓詩、花塚泰史、若尾泰通、2010：タイヤセンシングシステムによる路面状態判定。自動車技術会学術講演会前刷集、36-10号、5-8。

～ 少雪路線配備の除雪車を多雪路線で活用 ～

草野智之^{*1}、宮本 宏隆^{*2}

1. はじめに

本件は、平成27年度冬季に中日本高速道路(株)（以下、「NEXCO中日本」という。）管内の新東名において、新規供用した区間（以下、「配備元」という。）に新たに調達・配備された雪氷対策作業車両について、多雪・豪雪地域と少雪地域の雪氷対策作業車両稼働頻度の差による稼働率の向上と多雪・豪雪地域の雪による交通障害低減を目的として行った金沢支社管内（図1「金沢支社の所掌範囲」参照。）における多雪・豪雪地域での有効活用状況について報告を行うものである。

なお、新規に調達・配備された車種及び台数は、表1「新規調達・配備車両」とおりである。

図1 金沢支社の所掌範囲

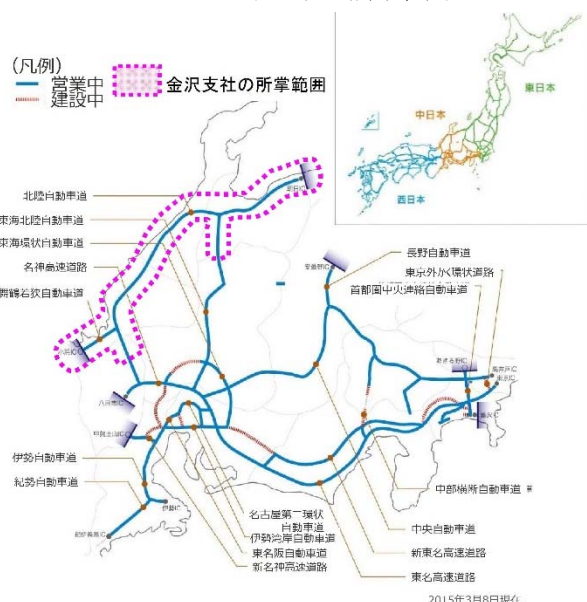


表1 新規調達・配備車両

種別	愛知県内	静岡県内	計（台）
除雪トラック	16	10	26
湿塩散布車	16	14	30
溶液散布車	10	0	10
標識車	18	10	28
計（台）	60	34	94

2. 有効活用先の選定

有効活用先（以下、「運用先」という。）を選定するに当たり、これらの車両について有効活用を図る上で以下の条件が検討された。

(1) 運用先の既存配備車両種別・台数

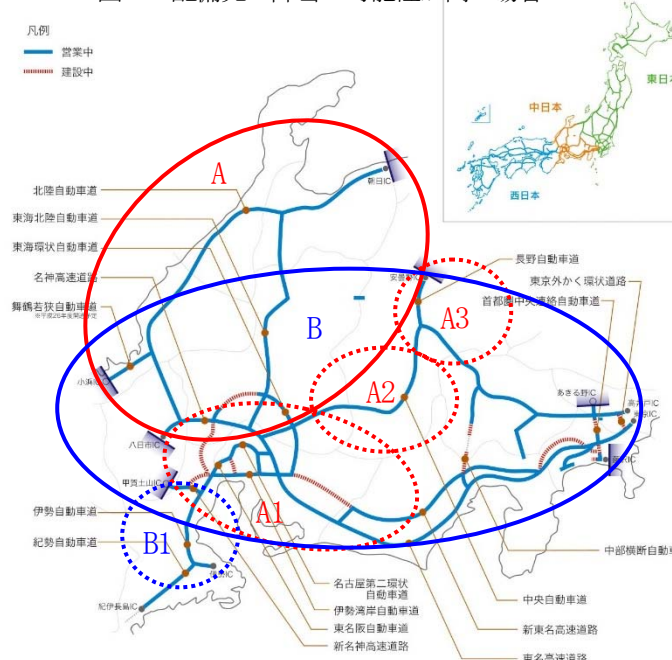
既存配備車両での除雪能力を大幅に超え、長時間の通行止め発生などの交通障害が過去に発生した区間を選定する。

(2) 気象パターン

降雪の可能性が高い気象パターンが配備先と運用先で重なる場合は、雪氷対策作業車両を必要とするタイミングが同一であることから重なることが少ない区間を選定する。

なお、NEXCO中日本において冬期に発現する気象パターンは、表2「気象パターンと降雪の可能性」及び図2「配備元の降雪の可能性が高い場合」、図3「配備元の降雪の可能性が低い場合」のとおり大別され、配備元において降雪の可能性が高い気象パターンは、強い冬型気圧配置と南岸低気圧(全域型)である。

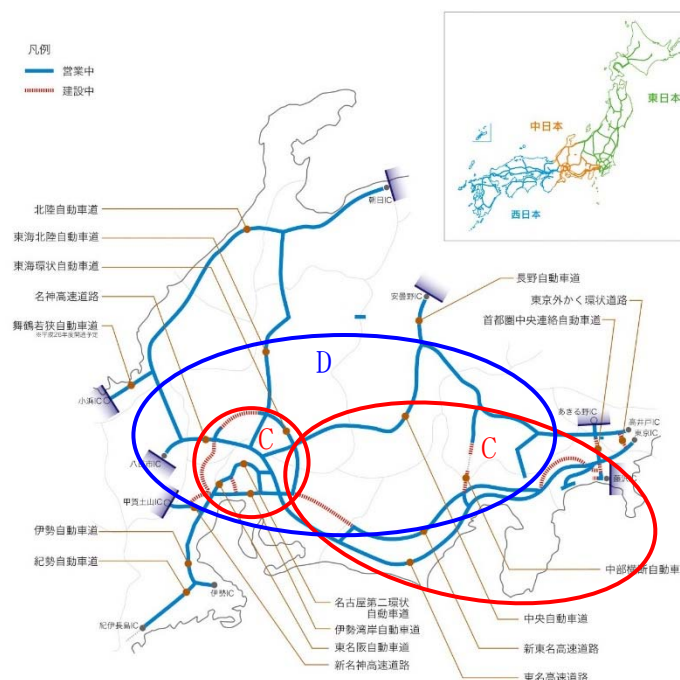
図2 配備元の降雪の可能性が高い場合



*1 中日本高速道路(株) 金沢支社 保全・サービス事業部 保全チーム

*2 中日本高速道路㈱ 東京支社 保全・サービス事業部 保全チーム

図3 配備元の降雪の可能性が低い場合



3. 運用先の決定と運用ルール

本編2の選定条件による検討結果から表3の配備元と運用先が決定された。

また、運用上のルールとして配備元が必要とした場合は、速やかに返却することとしている。

表3 有効活用車両の配備元と運用先

種別	配備元 静岡県	運用先① 福井県	運用先② 福井県
除雪トラック	6	6	
湿塩散布車 (プラウ付)	1		1
標識車	3	3	

※標識車は、編成の後尾警戒として使用。

4. 当初想定した運用先での運用方法

(1) 運用先①での運用

運用先①においては、通常1 I C間で3編成（3台／編成）にて、除雪作業を行っている。

ここに有効活用車両により、1 IC間に追加で1～2編成(1×3台/編成または、2×2台/編成)の追加運用が可能になったことにより、図5に示すとおり、除雪ローテーションサイクルは、1サイクル40分が30分に短縮され、管理上限としている降雪強度が7.5cm/hrから10cm/hrに対応できるようになった。

※2台／編成は、走行・追越車線部のみの除雪となることから通常は、車両配備上3台／編成が可能なI C間においての運用はしていない。

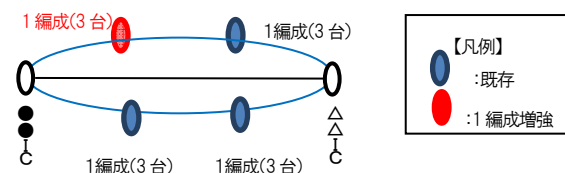
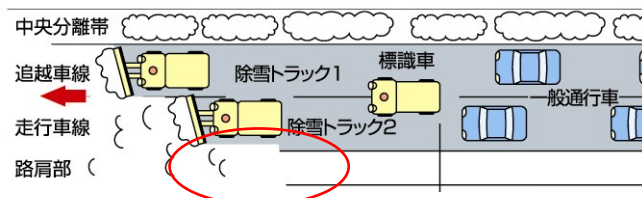


図4 配備先の降雪の可能性がある場合

(2) 運用先②での運用

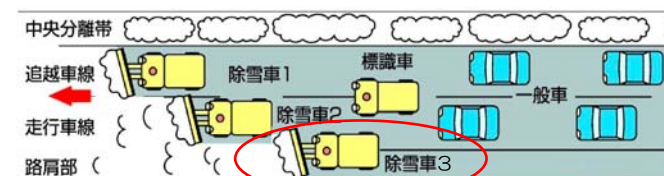
運用先②においては、図4に示すとおり通常1 IC間で1編成（2台／編成）にて、除雪作業を行っている区間がある。このため路肩部の拡幅除雪や付加車線部の除雪が隣接区間の編成を2回に1回組み込むことで対応を行っていた。

ここに有効活用車両を図6に示す除雪車3に充当することにより、3台／編成を構築することができ、常時の路肩部の拡幅除雪や付加車線部の除雪対応が可能となった。



※路肩部や付加車線部の除雪が車線部と同時に行えない。

図5 編成除雪（従来）



※路肩部や付加車線部の除雪が車線部と同時に行える。

図6 編成除雪（有効活用）

5. 当初想定した運用先での懸案事項

運用先において、現場作業従事者から事前に意見を徴収した結果、次に示すとおり、いくつかの懸案事項が挙げられた。その中でも特に積雪寒冷地域の雪氷対策経験が豊富な方からは、車両の能力不足を不安視された。

ここで、車両の能力を比較すると、運用先は、図7「積雪寒冷地域」に示すとおり、積雪寒冷地域であり、通常使用しているの車両スペックと積雪寒冷地域以外（配備元）の車両スペックに差があることが挙げられる。

従来から運用先で使用している車両と配備元に導入された車両の能力は、表4「車両能力比較」に示すとおり、差がある。



図6 積雪寒冷地域（引用元：国土交通省HP）

表4 車両比較

	運用先車両	配備元車両
気象条件	多雪・豪雪	少雪
プラウ形状	ワンウェイ ※路肩側に効率的に排雪が可能	三ツ折 ※除雪処理量が多くなると過負荷となり処理できない。
駆動	6×6 ※重作業が可能	6×4 ※除雪負荷が少ないところに適
回送幅	3.5m	3.1m
全長（作業時）	12.740m	12.000m
全長（回送時）	11.440m	10.860m

車両図面による差異を比較すると次のようになる。

（1）正面図・背面図の比較

図7「正面図・背面図の比較」において、運用先（左）と配備元（右）の車両を比較する。

運用先の車両は、圧雪処理用のグレーダー部分が車両幅3.5mとなる。

- ※① 圧雪処理を行う大きなトラックグレーダー
- ※② ニツ折のVプラウ（ワンウェイ）
- ※③ 三ツ折

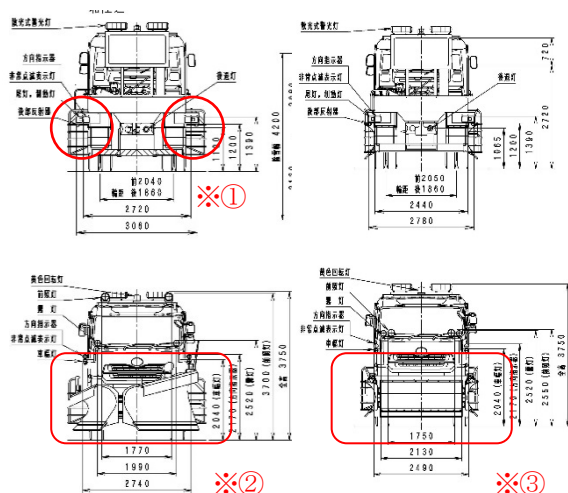


図7 正面図・背面図の比較

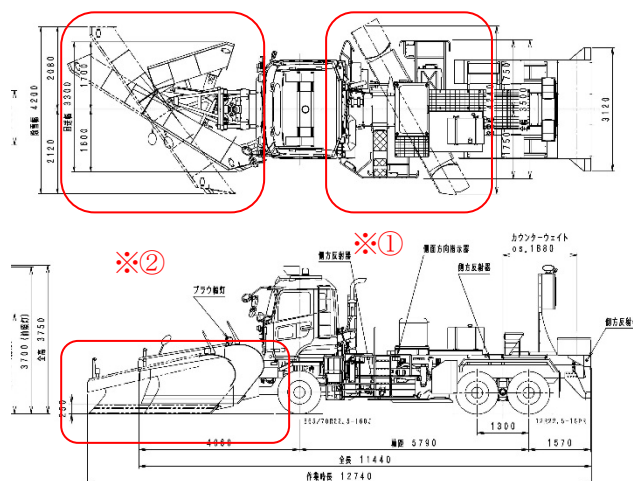


図8「側面図・上面図の比較（運用先）」

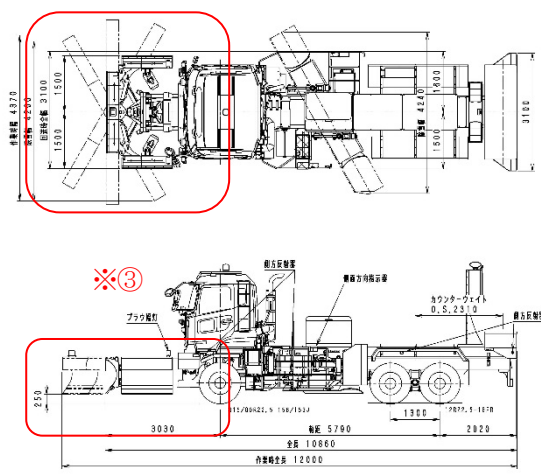


図9「側面図・上面図の比較（配備元）」

運用先の車両は、多雪・豪雪の気象条件に対応できるようにプラウ形状や駆動など、多雪・豪雪に適した専用の仕様となっている。

一方、配備元の車両は、少雪の気象条件に幅広く対応できる仕様となっている。

6. 今後の課題

昨冬期の運用先での運用方法で本編4に示す当初想定した運用の中で昨冬期に実施できたのは、運用先②での運用である。

その理由の大きな要因として、有効活用をはじめた初年度に当たる昨冬期（平成27年度）は、幸いにも近年で最も降雪量の少ない年であったことが挙げられる。

過去5ヵ年（H22～26年度）平均の降雪日数は、62日であるのに対し、昨冬期は、39日と過去5ヵ年平均の6割程度となり、過去5ヵ年の中で最も少ないH25の53日間と比較しても7割程度と暖冬であり、十分な検証を行うことができなかった。

その一方で配備元の気象条件は、例年並みであったことから当初に定めた運用ルールに従い、配備元が必要とした場合は、速やかに応援派遣（返却）を実施した。

このことは、意外にも有効活用車両運用の良い一面を得ることとなった。その理由は、次に挙げられる。

（１） 円滑な応援派遣の実施

従前から小雪地域（配備元）への応援派遣を行っていたが、派遣要請を受けてから、応援派遣調整を実施するため、多雪・豪雪地域（運用先）の気象予測に基づき応援派遣できる事務所や車両、作業従事者との調整を実施するため時間を必要としていたが、有効活用車両は、運用ルール従い返却することになっているので、調整の必要が最小限で済んだ。

（２） 応援派遣先までの円滑な移動

従前は、多雪・豪雪地域（運用先）の専用仕様の車両を応援派遣していたが、この車両は先に触れたとおり、車両幅が3.5mと高速道路の標準的な車線幅一杯の寸法であり、応援派遣時において交通規制（車線規制）実施区間やTNを回送移動する際も大変神経を使う状況（先導車と後尾警戒車を配置）であった。

その点、配備元の車両は、回送幅が3.1mであり、回送作業が比較的容易である。

7. まとめ

運用先の区間は、多雪・豪雪地域で山間部を通過し、数年置きに豪雪になることが知られており、概ね5ヵ年周期で雪による大きな交通障害が発生しているところである。当初、懸案していた三ツ折の除雪処理量の検証が少雪により、検証できなかったが、除雪ローテーションサイクルは、短縮されることから一定の効果は、期待ができると考えている。

小雪地域から多雪・豪雪地域への境界付近ということもあり、冬道の走行に不慣れなお客さまも多いことからご利用頂くお客さまに安心してご利用頂ける様、冬期の交通確保に引き続き活用していくため最適な運用を検討していきたい。

透明ヒーターを活用したWEBカメラ着雪対策の実地検証報告

森 雅則*1, 大廣 智則*1, 小林 智宏*2

1. はじめに

高速道路沿線上には、インターチェンジの代表地点や気象の変化点等にCCTV設備が設置されている。CCTV設備は、本線の交通状況や気象状況などをリアルタイムに把握することができる重要な設備である。

CCTV設備には、一体型巡回カメラとネットワークカメラ（WEBカメラ）がある。WEBカメラは、冬期間吹雪等で着雪し常時監視することが困難になる事象が発生していた。（写真－1）

WEBカメラに着雪対策を実施するには、透明なカバー面が曲面型のためワイパー等を設置できず対策が困難であった。

本稿では、透明ヒーターを用いたWEBカメラの着雪対策の検討および実地検証を行ったので報告する。



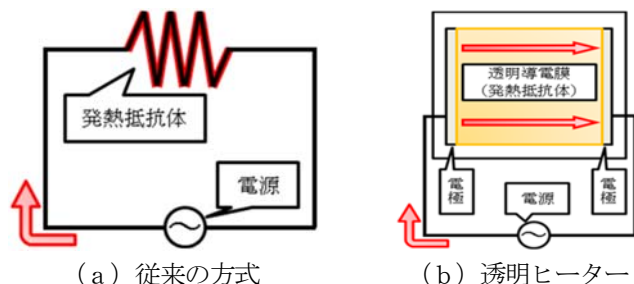
写真－1 着雪状況

2. 透明ヒーター

2. 1 透明ヒーターの原理

図－1に透明ヒーターの原理を示す。抵抗に電圧を加えることにより電流が発生する。電流は、電圧に比例し、抵抗に反比例する。いわゆるオームの法則である。また、抵抗に電流が発生した際、熱が生じる。その熱を利用したのがヒーターである。（a）

透明ヒーターは、対象面に真空にて透明導電膜を成膜し、その両端に一對の電極を形成する。電極間に電気を流すことにより熱を発生させる。（b）



図－1 透明ヒーターの原理

2. 2 透明導電膜の成膜

写真－2にカメラカバーへの成膜の有無を示す。Aが成膜無、Bが成膜有である。人の目では、成膜の有無を判断出来ないほど、透明度が高いことが確認できる。



(A) 成膜無

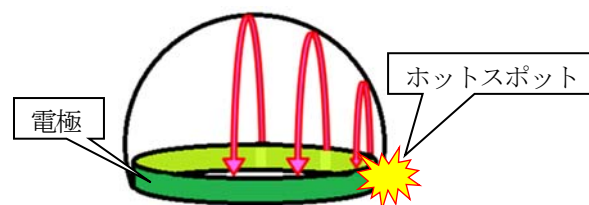
(B) 成膜有

写真－2 WEBカメラカバーへの成膜の有無

3. WEBカメラカバーへの透明ヒーターの成膜

WEBカメラカバー曲面全体に透明導電膜を成膜した。図－2に透明ヒーターを成膜する際の問題点を示す。平面で電極間の距離が均一であれば温度もほぼ均一になるが、WEBカメラは曲面のため、電極間の距離に違いが生じ、温度が均一にならない。

このため、温度制御が難しく、急激な温度上昇によりホットスポットが発生し導電膜が破損してしまうことがわかった。



図－2 透明ヒーターを成膜する際の問題点

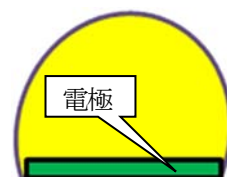
4. 実地検証手法および条件

4. 1 WEBカメラカバーへの成膜方法

WEBカメラカバーへの成膜は、前章での問題点を改善するため、以下の2種類の方法で行った。

(1) 全面ヒーター

図－3に全面ヒーターを示す。全面ヒーターは、電極をドームの淵に沿って成形し、ドーム全面に成膜を行った。図の黄色の部分成膜した部分である。



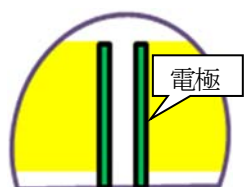
図－3 全面ヒーター

*1 株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道, *2 ジオマテック株式会社

導電膜のホットスポットを抑制するため、きめ細やかな制御が可能なPID制御（ON・OFFの連続制御）を採用し、専用の制御装置を作成した。ホットスポットが発生する可能性が高い箇所の表面温度で制御を行い、急激な温度上昇を抑え、ホットスポット発生を抑制する方法である。

（２） 帯状ヒーター

図－４に帯状ヒーターを示す。帯状ヒーターは、電極をカバーに対して直角に成形し、電極に沿って透明ヒーターを帯状に成膜したものである。図の黄色に着色した部分が成膜部分である。帯状ヒーターは、電極間の距離差を減少し、急激な温度上昇を抑え、ホットスポットの発生を抑制する。

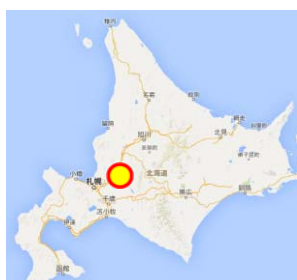


図－４ 帯状ヒーター

本手法は、クラックの発生を抑制することができ、サーモスタットでの制御が可能となる。サーモスタットは、PID制御のような大掛かりな制御装置が不要であり、省スペースで設置も容易である。

４．２ 実地検証箇所および期間

実地検証場所を図－５に示す。北海道の札幌市から高速で北に進んだ江別東インターチェンジから岩見沢インターチェンジ間にある栗沢バスストップにて行った。栗沢バスストップの主風向は、年によりバラつきがあるが、おおむね北西風である。また、降雪量が多く風が強い地域である。



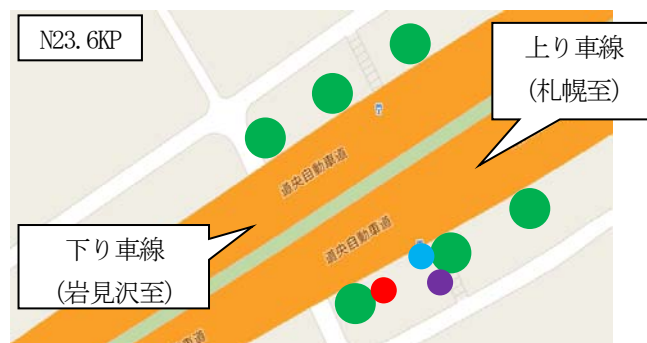
図－５ 実地検証場所

期間は、２０１６年１月２２日から３月２５日である。

４．３ 検証方法

検証には、遠隔WEBカメラを用いて静止画像を１分間隔でWEBサーバーに保存した。本装置は、遠隔でインターネットからリアルタイムにモニタリングが可能で、カメラの向きおよびズームの変更が可能である。本装置を検証に用いることにより、遠隔から着雪状況をモニタリングでき、過去の画像と比較することができる。

図－６にWEBカメラの配置図を示す。栗沢バスストップにある道路照明ポールにWEBカメラを３台設置した。３台それぞれに全面ヒーターを取り付けたものと帯状ヒーターを取り付けたもの、無対策なものとした。また、WEBカメラ内部に温度ロガーを設置した。



●：道路照明、●：全面ヒーター付カメラ、●：帯状ヒーター付カメラ、●：無対策カメラ

図－６ WEBカメラの配置図

５． 検証結果

（１） 全面ヒーター検証結果

写真－３にWEBカメラ内部からの映像を示す。設置当初は、温度上昇が見られ融雪していたが、その後、着雪が確認された。



写真－３ 着雪状況

写真－４に導電膜のクラック状況を示す。設置後成膜した導電膜にクラックが入ってしまい、ヒーター機能が動作せず、着雪したことを確認した。



写真－４ 導電膜のクラック状況

（２） 帯状ヒーター検証結果

表－１に１月２８日の着雪状況を示す。

表－１ １月２８日の着雪状況比較表

	①12:54	②14:57	③15:16
着雪対策有			
着雪対策無			

①12:54 時点では設置後ヒーター温度が上昇し融雪していたが、②14:57 時点では風雪が強くなると着雪した。しかし、着雪後２０分経過する風雪が弱まり③15:16 時点で

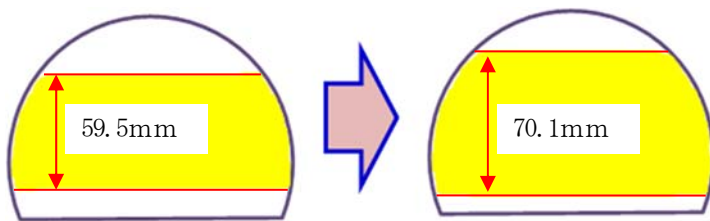
は、融雪した。つまり、着雪対策効果は得られているが、ヒーターの容量が足りないことが確認できた。

6. 帯状ヒーターの改良および検証結果

6. 1 帯状ヒーターの改良案

前章の経緯を受け、帯状ヒーターを改良した。

図－7に改良した帯状ヒーターを示す。着雪対策効果を高めるため、ヒーターの出力を18.3Wから35.3Wに変更した。また、成膜の高さを10mm程度大きくし、無対策箇所を小さくした。

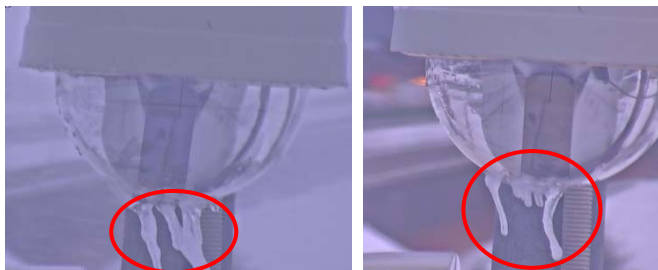


図－7 改良した帯状ヒーター

6. 2 検証結果

設置後ヒーター温度が上昇し、着雪対策効果が得られていることを確認した。風雪が強い状況であっても、着雪した雪がすぐに水滴になり融雪した。しかし、ヒーターにより溶けた雪がドーム下部に垂れ下がり、凍って氷柱になってしまう事象が発生した。（写真－5）

これは、帯状ヒーターがドーム下部にまで成膜していないため、溶けた雪が落ちる前に凍ってしまったためである。



写真－5 氷柱発生状況

7. まとめ

透明ヒーターを用いたWEBカメラの着雪対策の検討および実地検証を行った結果を以下に要約する。

- (1) 全面ヒーターは、制御装置を設けてもクラックが入り機能上問題があった。
- (2) 帯状ヒーターは、風雪が強い状態だと着雪していた。
- (3) 改良した帯状ヒーターは、風雪が強い状況であっても着雪対策効果が得られたが、氷柱が発生する問題が発生した。

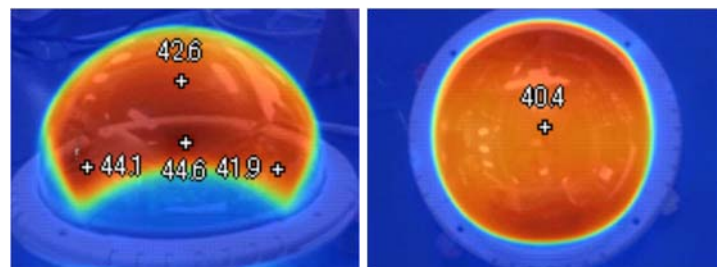
以上のことから、氷柱が発生する問題はあるが、改良した帯状ヒーターはWEBカメラの着雪対策として、有効であると考えられる。

8. 今後の予定

前章で述べた氷柱が発生する問題を改善するために、検討を行った。氷柱を発生させないためには、前章で述べた全面ヒーターのようにカバー下部にまで透明導電膜を成膜する必要がある。しかし、前述したとおり全面に透明導電膜を成膜するとクラックが入り、ヒーターとして動作しない。

そこで、電極を円弧上に成形し、側面部に切り欠きを入れて電極間の距離の均一化を図った。改良案の温度分布図を図－8に示す。温度分布図で確認できるように、温度差がほとんどない。電極の成形方法を変更し、電極間の距離を均一にすれば、安定したヒーター効果が得られ、着雪対策に有効と考えられる。

今年度、改良案にて実地検証を行う予定である。昨年度実地検証を行った栗沢バスストップに加えて、より降雪量および風雪が強く環境が厳しい旭川方面でも着雪対策効果の有効性を検証する予定である。



図－8 改良案温度分布図

ロータリ除雪車を通年活用する ーアタッチメント式路面清掃装置の現場導入ー

柴田 智也*1 澤田 孝幸*2

1. はじめに

昨今、公共事業費の縮減により、工事コストの縮減はもとより、機械の購入コストについてもより一層の縮減が求められ、限られた予算の中で十分な更新が行えず、使用年数の延伸による機械の老朽化とシーズン中の故障発生の増加が近年の課題となっていた。このため、北海道開発局では課題の解消のため、効率的な機械更新の取り組みとして1台の機械で複数の作業が可能な多機能型機械の導入を進めてきており、平成27年度には除雪機械全体の13%を占めるようになっている。

今回、非積雪期にロータリ除雪車を路面清掃作業に使用可能なアタッチメント式路面清掃装置が開発され、実機導入3号機である本機械が平成27年9月に函館道路事務所に納入され、年間維持除雪工事において使用されたところである。

平成28年度に初めて路面清掃作業を実施し、導入効果の検証を行ったので報告する

2. 機械概要

写真-1に機械全景、図-1に機械外観図を示す。

本機械の特徴は、ベース車両であるロータリ除雪車は、一般的なロータリ除雪車であるが、車両前方のロータリ装置部を路面清掃装置と交換し、車両後部に散水用の水タンクを装着することで路面清掃作業が可能となる点である。



写真-1 機械全景

(上：ロータリ除雪装置架装 下：路面清掃装置架装)

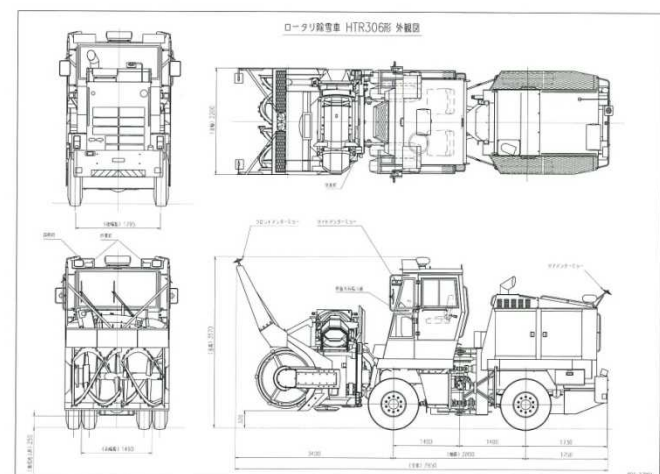
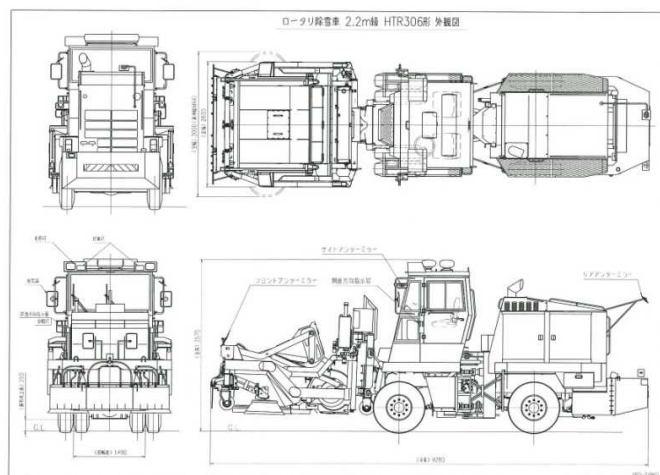


図-1 機械外観図

(上：ロータリ除雪装置架装 下：路面清掃装置架装)

作業装置の換装はロータリ除雪車の昇降ピン構造を流用しており、動力用プロペラシャフト、油圧ホース、電装配線の接続換えを行う必要があり、作業には整備工2名程度で約1日程度の時間を要する。

なお、取り外した装置は保管場所が必要となるため、同一箇所で行うことが効率的である。

*1 北海道開発局 函館開発建設部 函館道路事務所 *2 北海道開発局 函館開発建設部 施設整備課

本機械の主要諸元は以下のとおりである。

・ロータリ除雪装置架装時

形式	ツーステージ型	2.2m級
全長（作業姿勢）		7,950mm
全幅（装置含む）		2,200mm
全高		3,570mm
車両総重量		14,150kg

・路面清掃装置架装時

型式	アタッチメント方式フロントリフトダンプ式 両ガッタ、ブラシ式、散水機能付	
全長（作業姿勢）		9,280mm
全幅（作業時最大）		3,000mm
全高		3,570mm
車両総重量		17,130kg
ホッパ内標準塵埃収納容量		1.0m3
水タンク容量		900L
最大積載量		2,400kg

函館道路事務所に配備されていた4輪ブラシ式路面清掃車（以下：専用車）と諸元・性能を比較すると専用車の全長は7,240mmであり本機械は約2m長い。これは前方の作業装置の他に後方に散水用の水タンクを有しているためである。

また、塵埃収納容量は専用車がホッパ内容量2.5m3に対して標準塵埃収納容量1.2m3（ホッパ内容量にホッパ係数を乗じた換算値）、本機械がホッパ内容量2.7m3に対して標準塵埃収納容量1.0m3と専用車と同程度の能力を有している。但し水タンク容量に関しては専用車が1,900Lに対して本機械は900Lと約半分となっている。

表ー1 各種ホッパ収納容量比較

	アタッチメント式 路面清掃装置	路面清掃車 (4輪ブラシ式)	路面清掃車 (4輪操舵ブラシ式)
ホッパ容量(m ³) ※メーカー仕様値	2.7	2.5	2.0
ホッパ係数 ※国土省土木工事標準積算基準書	—	0.48	0.55
標準塵埃収納容量(m ³) ※上段:メーカー仕様書 ※下段:ホッパ係数による換算値	1.0 —	1.6~2.0 1.2	1.2 1.1
散水タンク容量(L) ※メーカー仕様値	900	1,900	900
最大積載量(kg) ※メーカー仕様値	2,400	3,500~3,900	1,900

土砂排出形式は、専用車がリヤリフトダンプ式で車両後方にダンプトラックを配置し土砂排出を行うのに対し、本機械はフロントリフトダンプ式のため、車両前方にダンプトラックを配置し土砂排出を行う。

土砂の掃き込み構造は専用車が主ブラシで掃き込んだ塵埃をベルトコンベアで持ち上げる方式に対して本機械は主ブラシで横から直接掃き込む方式となっている。

3. 施工概要

図ー2に工事箇所図を示す。



図ー2 工事箇所図

函館道路事務所管内では5つの維持除雪工事を行っているが、そのうち本機械は降雪期では3工事、非降雪期では2工事で使用した。

3-1. 除排雪作業

冬期では郊外部及び高規格道路での拡幅除雪作業、市街地での運搬排雪作業に使用した。

拡幅除雪、運搬排雪とも堆積した雪により必要な車道幅員および堆雪幅が確保されておらず、道路交通に支障をきたすおそれがある場合に実施され、頻度は天候にも依るが概ね年1回程度である。

3-2. 路面清掃作業

本機械を使用して路面清掃作業を実施した2工事とも人口集中地域（以下：DID区間）を含んでおり、路面清掃管理基準では清掃頻度は年6回以内となっているが、道路維持管理コストの縮減を図るため全区間において清掃頻度を年1回としている。

施工時期は融雪後の4月中旬から開始し、5月末迄を目処に実施している。

4. 施工状況

4-1. 除排雪作業

写真ー2に除排雪作業状況写真を示す。

左は高規格道路である函館江差自動車道での拡幅除雪作業、右は国道228号での運搬排雪作業時に撮影した写真である。

施工時期は1月下旬～2月上旬の厳冬期で、雪質は除雪により路肩に堆積した雪で固く締まっており、両作業とも実施時の雪堤高さはおよそ1.5mであるが施工結果は良好で、既存のロータリ除雪車と同等の仕上りの差異

はなかった。



写真-2 除排雪状況写真
(左：拡幅除雪作業 右：運搬排雪作業)

4-2. 路面清掃作業

ア. 高規格道路側道部

路面清掃作業は高規格道路である函館新道の側道部から開始した。側道部での作業は塵埃量は少ないが、一方通行であるため対向車両が無く、交通量も少ないことからオペレータの作業慣熟も兼ねて行われた。

写真-3にその時の作業状況写真を示す。



写真-3 作業状況（側道部）

オペレータは冬期に当該機械で除雪作業を行っていたことから機械の操作に関しては問題無く行われたが、装置の横から張り出すブラシを縁石に沿わせるといった清掃作業特有の操作に苦慮されていた。

施工結果は概ね良好であったが、装置から塵埃のこぼれ落ちが若干見受けられた。また、作業中後続車両が追い越し際も交わすことができ、現道上における土砂搬出作業も問題無く実施できた。

イ. 2車線道路（現道）

次に一般国道5号の2車線道路区間での作業状況写真を写真-4に示す。



写真-4 作業状況（2車線道路）

2車線道路上での路面清掃作業では全長の長いロータリ除雪車が一般交通へ影響を与えることが懸念されており、施工中に後続車両が続いた場合、特に大型車両がロータリ除雪車を安全に回避できるかに着目した。

結果、交通量が多い時間帯等は後続車両が連なることがあるものの、大型車両を含む後続車両は、対向車の交通状況に合わせ、問題無くロータリ除雪車を交わすことが確認できた。

また、2車線道路における現道上での土砂の排出作業はバスベイ部や駐車帯、除雪退避スペース等が利用できれば、交通への影響も無く作業が可能であるが、直線単路部で排出作業を行わなければならない場合もあり、交通安全に配慮した排出作業を心がける必要があった。



写真-5 土砂排出状況（2車線道路）

ウ. 4車線道路（現道）

続いて一般国道227号の4車線道路区間での中央分離帯側での作業状況について述べる。

中央分離帯側を清掃する場合、車両を右へ寄せての作業となるが、本機械は専用車と同様、運転席が車両左側にあるのでオペレータが右側のブラシを直接確認することができず、アンダーミラーとサイドカメラによる映像および助手による確認との連携により施工することとなる。

オペレータおよび助手が車両に不慣れな点もあるが、写真-6に示すとおり、助手が降車してブラシ位置を確認する場面もあり、アンダーミラーおよびサイドカメラ



の取り付け位置を再考する必要が発生した。

写真-6 作業状況（中央分離帯）

土砂の排出作業に関しては、中央分離帯の開口部を利用して行うことで左側車線に移動することなく作業を行うことができた（写真-7）。



写真-7 土砂排出状況（中央分離帯）

5. 現場施工性および課題

先述のとおり、本機械は実機導入3号機であり、先行導入された2台でも現場施工性を検証されてきたところではあるが、当事務所管内における現場施工性についても検証を行う。

5-1. 除排雪作業

表-2に平成26年度まで使用していたロータリ除雪車と平成27年度納入機械との主な諸元の比較を示す。

表-2 ロータリ除雪車としての諸元の比較

平成26年度まで使用機械		平成27年度納入機械	
7,720	全長(mm)	7,950	
2,200	全幅(mm)	2,200	
ジョイスティックレバー方式	操作系	ジョイスティックレバー方式	
184	出力(kw)	287	
2,300	排雪能力(t/h)	2,900	
シャーピン方式	オーガ安全装置	油圧シャーピンレス方式	

全長や操作方法に大きな変更点は無く、以前から操作していたオペレータからも、違和感無く乗り変わることができたとの回答を得た。また、機関出力の上昇に伴い、排雪能力が上昇したことから、ブローの雪詰まり回数が減少した他、作業能力に余裕ができ、オペレータの疲労軽減に繋がったと好評を得た。

5-2. 路面清掃作業

図-3に平成25年度から平成28年度までの函館道路事務所管内で施工された路面清掃作業施工延長および施工時間の実績を示す。

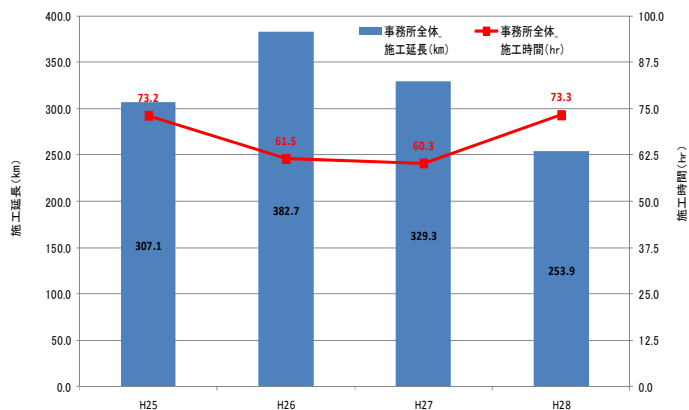


図-3 過去3ヶ年の作業実績比較

平成25年度から平成27年度までは専用車による実績で、堆積している塵埃の量や質により年度でバラツキはあるものの、3ヶ年の平均施工延長はおよそ340km、施工時間は65時間であった。

平成28年度に路面清掃装置を使用しての施工延長、施工時間は254km、73時間であり、過年度までの平均と比較して、施工延長で約26%減少、施工時間で12%の増加となった。

施工延長の減少については、施工中に路面清掃装置に故障が発生し、その間、作業が行えなかったもともあり、次年度以降は過年度と同様の施工延長が確保できると考えられる。

一方、施工時間は過年度よりは増加しているため、作業速度は専用車と比べて低下している。しかし、先行で導入されている札幌開発建設部滝川道路事務所および旭川開発建設部旭川道路事務所での作業速度と比較しても大きな差は見られないことから本装置特有の傾向と思われる。

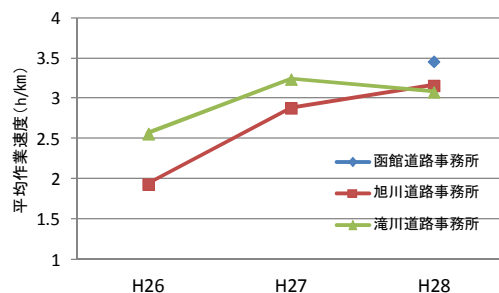


図-4 先行導入機との作業速度比較

また、先行導入された2機は年ごとに作業速度が増す傾向にあり、これはオペレータの作業熟練度の影響もあると考えられるので、本機も次年度以降は同様の傾向になると期待できる。

5-3. 課題

ベース車両としているロータリ除雪車は既存の一般的なロータリ除雪車であるため、除排雪作業において問題は特に無かったが、路面清掃作業時には以下に述べるような課題が見受けられた。

ア. サイドカメラの取り付け位置

本機械は運転席が左側にあるため、路肩側を清掃する際はブラシの目視による確認は可能ではあるが、高いキャビン内からは見えにくい。（写真-8左）。

また、専用車でも同様だが中央分離帯側を施工する際は、オペレータが直接確認できないため、先述のとおりアンダーミラーや助手による確認と連携して作業を行う

必要がある。（写真－8右）。



写真－8 施工中のブラシ確認状況

（左：左側ブラシ確認 右：中央分離帯施工時）

視認性を補完するため、現場導入2号機から路面清掃装置両側面にカメラが設置されたが、オペレータからはカメラ取り付け位置がブラシから遠く、張り出したブラシの先端部が確認できないといった声が聞かれた。



写真－9 側面カメラ取り付け位置

イ. 塵埃の取り残し、こぼれ落ち

塵埃量が多い箇所を施工している際、ガッタブラシによる堆積塵埃の掻き起こしは問題無いものの、メインブラシ後方に塵埃の取り残しおよびこぼれ落ちが発生した。



写真－10 塵埃取り残し状況

この現象はメインブラシで掃き込んだ塵埃が奥まで届かずにホップの入口付近で堆積してしまい、そのまま作業を継続すると塵埃がホップへは入らず機械で引きずっている状態となっていたためである。



写真－11 装置への塵埃堆積状況

塵埃の取り残し・こぼれ落ちは、先行導入された機械でも発生しており、一部改良が加えられ本機にも採用されているが、完全には解消されていない状態である。今後はさらなる改良を施していく必要がある。

6. 導入効果の検証

本機械の導入メリットはロータリ除雪車と路面清掃車を兼用化することにより、機械台数を減らすことで購入費や維持管理費を減らすことができる点と、機械を通年使用することで年間稼働を確保し、機械運転経費を減少させ、工事費を抑制させることができる点である。

但し、兼用化による機械運転経費は以下のようなメリット・デメリットが存在する。

- ・降雪期においてはベース車両であるロータリ除雪車を路面清掃作業でも使用することにより、年間標準運転時間が増加の運転日数、供用日数の増加よりも比率が大きくなり、供用日当たり運転時間、運転日当たり運転時間が減少、運転1時間当たり労務工数および機械損料が下がることにより、運転1時間当たり単価が減少する。

- ・非降雪期においてはベース車両がロータリ除雪車になることで、基礎価格が上昇、また、運転日数、供用日数の増加が年間標準運転時間の増加よりも比率が大きくなり、供用日当たり運転時間、運転日当たり運転時間が減少、運転1時間当たり労務工数および機械損料が増えることにより、運転1時間当たり単価が増加する。

そのため、ロータリ除雪車としての稼働が多く、路面清掃装置の稼働が少ない程、導入効果が期待できる。導入効果の検証にあたり、機械にかかわるインシヤルコスト（購入費）とランニングコスト（整備費・管理費）および工事費をロータリ除雪車の標準使用年数15年を用いたライフサイクルコストを算出した。なお、工事費は過年度における函館道路事務所の実績を採用した。

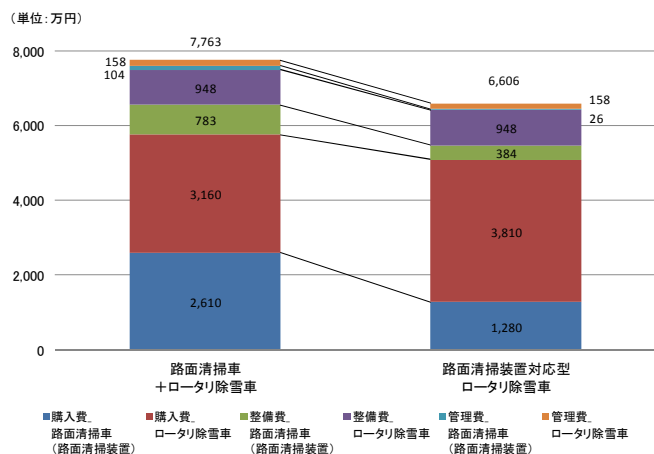


図-5 ライフサイクルコスト比較
(イニシャル+ランニングコスト)

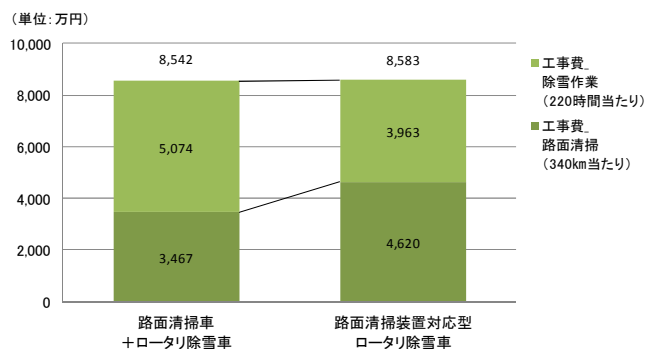


図-6 ライフサイクルコスト比較 (工事費)

機械関係のコストを比較した場合、現状の機械2台を購入から1台とアタッチメント装置の購入となるため、大幅に減少、維持管理費（整備費、管理費）もあわせて減少し、約15%の削減となる。

工事費で比較した場合、路面清掃工は現行比33%の増額となるもの、除雪工は22%の減額となる。路面清掃工の増額分と除雪工の減額分を相殺すると、全体の工事費としては、ほぼ同等の結果となった。これは、路面清掃車としての稼働に対してロータリ除雪車としての稼働の比率が低いためと考えられる。

しかし、購入費・維持管理費も含めて比較した場合、約7%のコスト削減となり導入した効果はあるといえる。

7. まとめ

導入効果を検証した結果、夏冬通年の施工により、工事費はほぼ同等であったが、購入費・維持管理費を含めたライフサイクルコストでは導入効果を確認することができた。

今年度は路面清掃工の施工において、塵埃の取り残し等の課題は発生したが、次年度の施工に向けて改良・検

証を行うことで、作業速度の改善など施工効率を向上させ、いっそうのコスト削減効果が期待できるようさらなる装置の改良を進めて行きたい。

参考文献

- 1) 新保貴広・高本敏志・中村隆一：ロータリ除雪車（路面清掃装置付）の実機導入・現場施工報告、北海道開発技術研究発表会、第57回（平成25年度）
- 2) 中村隆一・佐々木憲弘・坂口勝利：ロータリ除雪車を通年活用するアタッチメント式路面清掃装置の開発ー現場での適用性確認ー、北海道開発技術研究発表会、第54回（平成22年度）
- 3) 中村隆一・佐々木憲弘・坂口勝利：アタッチメント方式による路面清掃装置の開発ーロータリ除雪車を通年活用する提案ー、北海道開発技術研究発表会、第53回（平成21年度）

凍結防止目的の塩散布量最適化システム開発における IoT の活用

森山 守^{※1}、山田 圭一^{※1}、岩谷 一郎^{※2}、道上 剛幸^{※2}、藤中 伸紀^{※3}、澤 英知^{※3}、徳永 純一^{※3}
柿澤 至倫^{※4}、藤田 勝貫^{※4}、鈴木 武俊^{※4}、大塚 洋^{※4}、石原 啓^{※4}

1. はじめに

寒冷地域では、冬期間においても安全かつ快適な道路交通機能を確保する事が必要不可欠である。冬期においては路面の凍結防止を目的として、道路管理者は凍結防止剤の散布を実施し、道路の維持管理を行っている。しかし、この凍結防止剤は道路構造物へ塩害を及ぼすことが懸念され、その影響が近年顕著になってきている（写真1）。一方で、凍結防止剤を散布する費用は長期的には増加傾向にあり、道路管理予算抑制の動き等からも、より効率的な凍結防止剤散布システムの開発が望まれている。

図1に北陸地区の凍結防止剤散布状況を示す。



図1 北陸地区の凍結防止剤散布状況



写真1 塩散布による構造物の塩害

近年の技術開発により、路面温度センサーや塩分濃度センサーを雪氷巡回車両に搭載し、得られた情報から凍結防止剤の散布量を定めることが可能になってきている^{1),2)}。また、センサーを搭載した巡回車両を使用することによって、路面状況に関する情報は点情報から線情報になり、より詳細に把握できるようになってきている。しかし凍結防止剤は現状では、散布量の決定は作業員の経験と勘に頼るところが大きく、その散布量もインターチェンジ間ではm²当たり数十グラムといった一定量を散布するという方法しかとられておらず、路面状況に応じたきめ細かい対応による効率化と材料コスト削減の余地は大きい。

そこで、筆者らはセンサーにより取得した路面及び環境データをクラウド基盤に集積し機械学習を用いた解析を実行することで、センサー計測と同時に凍結防止剤の散布量の算出を行い、リアルタイムで作業車の端末に可視化した解析結果を伝達することで、凍結防止剤散布量を最適化するシステムの開発を行っている。本システムは、安全な道路環境、塩害による道路構造物の劣化軽減、散布作業の効率化によるコストの縮減等を実現するものである。また、熟練作業員の経験や勘に頼るところが大きかった凍結防止剤散布作業が、人為的なものからデータ解析等による一連のシステムで実施出来るようになり、これから雪氷作業を実施していく若手作業員に対して、適切に技術を継承していくことが可能になる。

さらに今後、クラウドに集積されていくビックデータを用いて機械学習を実施した AI.により、翌日以降の最低気温等から路面の凍結を予測するという予兆保全的考えも取り入れていき、より効果的・効率的な雪氷対策計

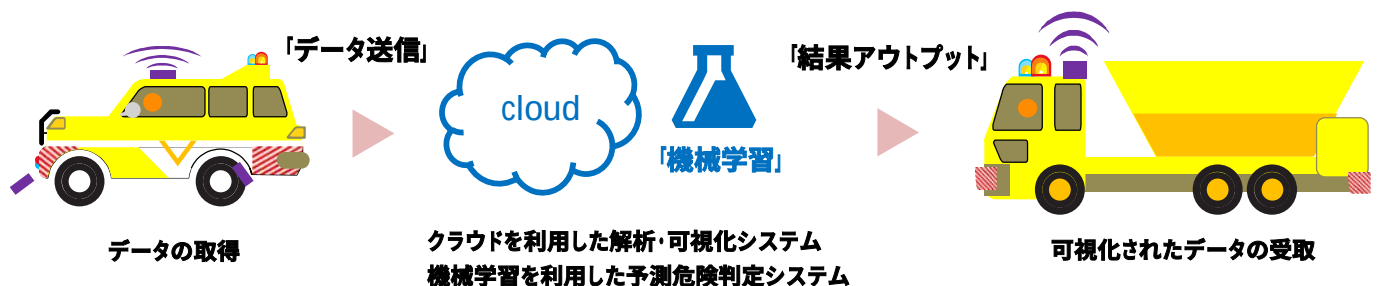


図2 システム概念図

※ 1 中日本パウェィ・エンジニアリング 名古屋 ※ 2 ケー・エフ・シー ※ 3 日本マイクロソフト ※ 4 エニアデックス

画立案に繋げることを目指している。本報告では、本システムの考え方、過去に取得したデータを用いたサンプルプログラムによる解析結果、及び今後の展望について述べる。

2. 塩散布量最適化システムについて

2.1 システム概念

図2は、センサーによるデータ取得から作業車端末に路面毎の散布量を可視化したアウトプットを送信するまでの塩散布量最適化システムの概念図である。このシステムは大きく分類すると以下の4つのフェーズに分けられる。

- ① データ取得
- ② データ送信
- ③ 解析
- ④ アウトプット

図3に、システムの手順を示す。

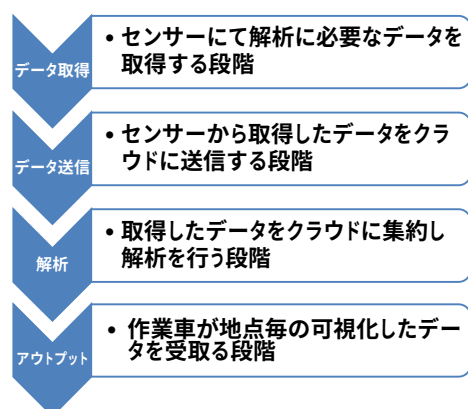


図3 塩散布量最適化システムの手順

2.2 データ取得

本システムでは、以下の3つのセンサーから取得するデータが必要になると考えている。

- ① 車載センサー
塩分濃度データ・路面温度データ・位置情報データ
- ② 気象センサー
気温データ・降雪量データ
- ③ 路面センサー
路面状況・積雪深さデータ

その他にも道路状況に関するパラメータが多くなれば機械学習による解析精度は上がると考えられるが、ここでは現状想定できる解析対象データをあげた。

車載センサーは、車両に搭載することができるもので、車両停止や車外測定が必要がないため、凍結防止剤の測定作業の安全性と作業効率が向上する。なお、センサーは1秒間隔で塩分濃度を計測できる。また、取得するデータの精度は、路面温度データに関しては、既往文

献²⁾等で良好な検証結果が報告されている。塩分濃度データに関しては、水分屈折率による測定方式のため、測定精度が高い³⁾。(図4)

2.3 データ送信

センサーで得たデータをクラウドに送信する。本シス



図4 車載式センサー³⁾

テムにおいてクラウドを利用する理由を、以下に示す。

・システムのリソース

パソコン解析レベルとは、桁違いのデータ量を高速に解析することが可能。(例えば、20CPU コア、RAM112GB といった高性能仮想マシンを時間単位で利用できる。)

・ユビキタス

現場と本部でアクセスが可能のように、利用者がどこからでもアクセスが可能。

・市場投入時間の短縮

ハードウェアを調達することなくシステム導入が可。

・段階的な拡張

小さいシステムから始めて、順次拡張が可能。

等、これらは今まで活用しきれなかった様々なデータを効果的に利用するIoTの発想である(図5)。

本システムで使用するクラウドの基盤は、マイクロソフトクラウド基盤であるAzureを使用している。本クラウドは、経済産業省が公開している「クラウドサービス利用のための情報セキュリティマネジメントガイドライン」に基づくクラウド情報セキュリティ管理基準において定められた要件を満たし、CSマーク(ゴールド)を取得している。

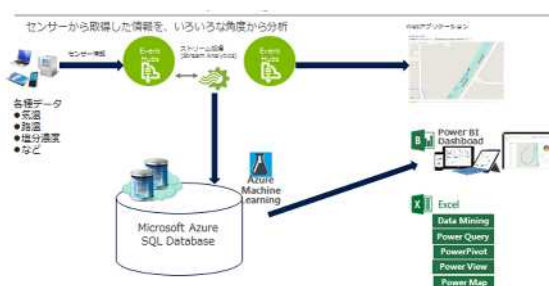


図5 ビックデータ分析

2.4 解析

凍結防止剤散布の最適算出は、凍結温度と凍結防止剤成分の濃度の関係曲線⁴⁾から導き出し、その結果に気温、天候及び計測後経過後流出量予測値等のパラメータから機械学習による補正量として換算する方法である。この機械学習による補正量は、データの集積により精度が高まっていく。

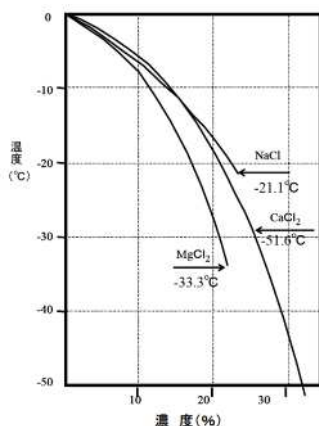


図6 凍結温度と凍結防止剤成分の濃度の関係⁴⁾

2.5 結果のアウトプット

センサーから取得したデータを解析し、路面毎の適正散布量として可視化したアウトプット結果を作業車の端末に送る。これら一連の処理は、リアルタイムで実行さ

れ、巡回車両による計測からタイムラグなく、作業車による凍結防止剤散布作業が実施できる。

図7に塩散布量最適化システムの全体図を示す。

3. 既存データによるシミュレーション結果

3.1 散布量追跡システム

前年の車載センサー計測データをクラウドに集積し、そのデータから塩散布量最適化システムのサンプルプログラムにより解析を行った。サンプルプログラムでは、過去に計測されたデータを、巡回車両が塩分濃度データと路面温度データを計測しているように模擬的にクラウドにデータを順次送りながら、画面上で解析結果がリアルタイムで表示されることを確認した。

図8に、散布量追跡システムのアウトプット例を示す。

サンプルプログラムでは、塩分濃度と路面温度データからその路面毎の危険判定を行っている。図8の地図上での、青色のプロットは塩分濃度が足りていることを示している。黄色はX(%)塩分濃度が足りていない、赤色はY(%)塩分濃度が足りていないことを示している。このように塩分濃度に関する凍結判定結果が可視化されて表現される。このプロットは今回100m毎に実行しているが、縮小及び拡張は可能である。また、プロットする地図の形式も変更が可能である。



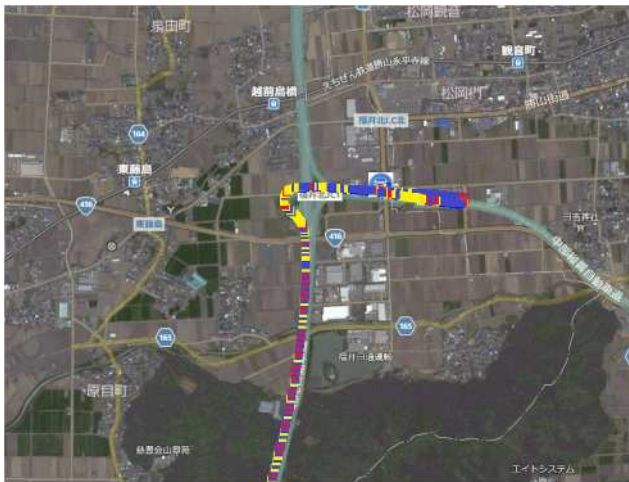


図8 散布量追跡システム結果例

3.2 散布量予測システム

前項と同様の過去データを用いて、機械学習による予測危険判定のシミュレーションを行った。図9に散布量予測システムのアウトプット例を示す。予想最低気温を変数として入力すると、機械学習により過去データからその地点の路面温度が予測され、その路面温度から予測危険判定が行われる。危険と判断した箇所に重点的に凍

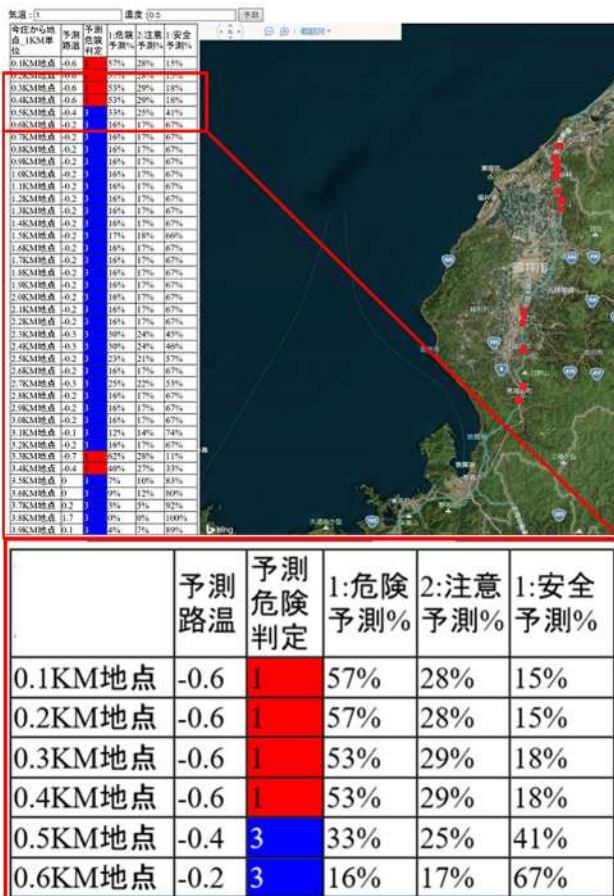


図9 散布量予測システム結果例

結防止剤を撒くべき地点として表示される。

判定では、地点毎に「1:危険予測、2:注意予測、3:安全予測」の確率(%)が算出され、その確率が高いものをその地点の予測危険判定結果としている。この予測は、前述したようにクラウドに集積されるデータ数が増加するにしたがって、精度が向上していく。危険判定のプロットの間隔や地図の形式も3.1節の散布量追跡システムと同様に変更が可能である。

機械学習で予測された結果は、過去1年分のデータで解析したものであるが、経験的に危険としている地点とほぼ一致していることを確認した。なお、ここでは、最低気温は1℃として入力している。

4. まとめと今後の課題

4.1 現時点までの成果

現時点までに得られた成果は以下のとおりである。

- ・クラウドにデータを送信し、クラウドから端末に可視化表現したデータをリアルタイムに出力した。
- ・過去1年分のデータを用いた機械学習による凍結危険判定予測の結果は、経験的に危険としている地点とほぼ一致した。

4.2 今後の課題

今後の課題として、センサーで計測されたデータをリアルタイムでクラウドに送信するプログラムを構築することが必要である。さらに、現場作業員の方を交え、予測する事象や可視化表現した表示方法等を明確にしていき、それを算出する解析ロジックを作成していく。システム作成後、実際の雪氷現場での実証実験を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 小泉倫彦, 田中潤一郎, 塚越慶一: 車載式塩分濃度計測システムを利用した冬期路面管理について
- 2) 北野隆弘, 畦地吾一, 和泉聡, 柳瀬優: 車載式塩分濃度センサーによる効率的な雪氷路面管理
- 3) 山田技研株式会社ホームページ, 2016.10.24(現在)
http://www.yamada-giken.co.jp/index.php?kbnkey=salinity&honbun_dv=1
- 4) 国土交通省. 国総研資料 第412号 凍結防止のメカニズム, 2016.10.24(現在)
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0412.htm>