

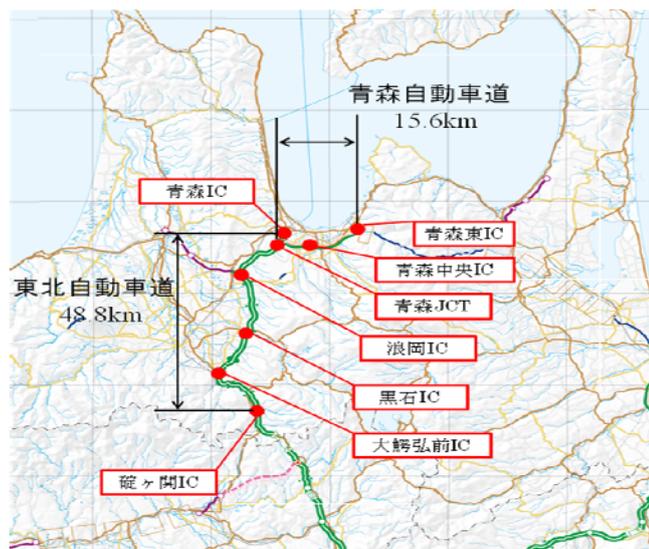
携帯回線を利用したLED標識による通行止め振分け作業の省略化

田口 雄平*1

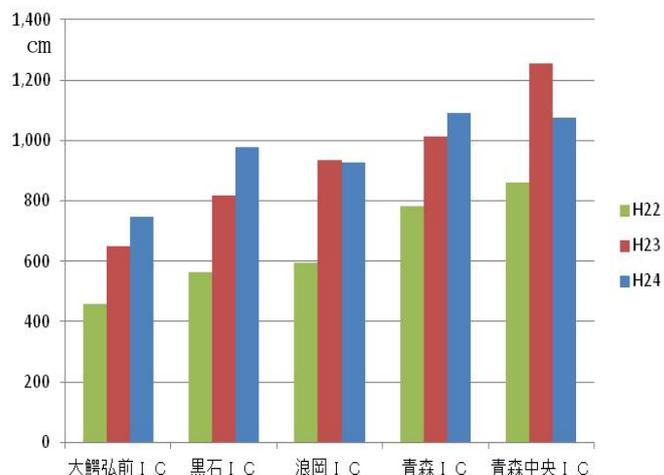
1. はじめに

（株）ネクスコ・メンテナンス東北 青森事業所は青森県平川市碓ヶ関から八甲田山の山裾を這うように緩やかに陸奥湾に向かい、縦断を下げつつ北上し、青森ICに至る48.8kmの東北自動車道と青森ICから分岐し、青森東ICに直結する15.6kmの青森自動車道の管内合計64.4kmの維持修繕業務を行っている。

冬季の気象は、北方的気象特性で、大陸から吹き込む北西の季節風が厳しく、その通り道には岩木山、八甲田山と約600mの津軽山地があり、これらの山々で迂回及び遮断されることにより、当管内の特に浪岡IC～青森東IC間に吹雪・豪雪をもたらす状況となっている。この区間に位置する青森ICは累計降雪量が約1000cmを記録するほどの豪雪地帯であり、視界不良などの気象やそれに関連する交通事故による通行止めが発生している。通行止めになると、お客さまへの情報提供として、A・B・C型情報板にて情報提供される。次に、当該区間へ一般車が流入しないように交通管理隊や高速隊が本線規制により強制流出が実施される。一方、端末ICでは上下線の片方が通行止めとなっていないために、通常どおり流入してくる車と、B型情報板で通行止めを知らずに流入して来る車があり、これらの車を誤流入防止のために振り分けをする必要がある。青森管内では長年にわたり、この作業をメンテ東北が担当し要員を配置してきたが、平成24年度の雪氷対策作業から携帯回線を利用した大型LED標識をIC料金所入口に設置することで、この振り分け作業の省略化を図ったので、その成果を報告するものである。



図一 青森管内位置図



図二 年度別累計降雪量

2. 振り分け作業の必要性和問題点

お客さまは高速道路を一般道と違い、冬期であっても除雪が行き届き、通行止めになることはないのではないかと思われる方や、ETCの普及によりIC入口では、カードを挿入する行為などで、B型情報板に気が付かないお客さまのため、誤流入を防止する為に振り分け作業が必要になる。

その振り分け作業とは、上下線の片方が通行止めとなっていない場合や一定の区間のみの通行止めとなる場合に料金所が閉鎖しない為、料金所の手前で一台一台確認をとり、通行止めではない本線方向へ進行させる車と通行止め区間を利用する予定だったお客さまをUターンさせるように誘導する作業である。

しかし、振り分け作業にも難点がある。それは通行止めの発生は突発的な時が多く、その都度現地に作業員を配置しないといけない為、初動に時間が掛かる。通行止め時のメンテ東北の役割は、吹雪・豪雪など気象による通行止め要因を早期に取り除くことである。したがって、本線路面の除雪や凍結の排除、IC・SA・PAのランプや駐車場、ICの料金所からアクセス道路側の作業があり、それらの優先度の高い方からの作業がある中、急遽振り分け作業の指示があると、何れかの作業が後回しになり、場合によっては通行止め時間の延長になる。また、振り分け作業は通行止めと同様に終了時間が読めない為、吹雪による通行止め時は、ホワイトアウトにより前方が見えない時に、料金所手前で一人立ちする作業で、過酷な環境である。

* 1 (株)ネクスコ・メンテナンス東北 青森事業所

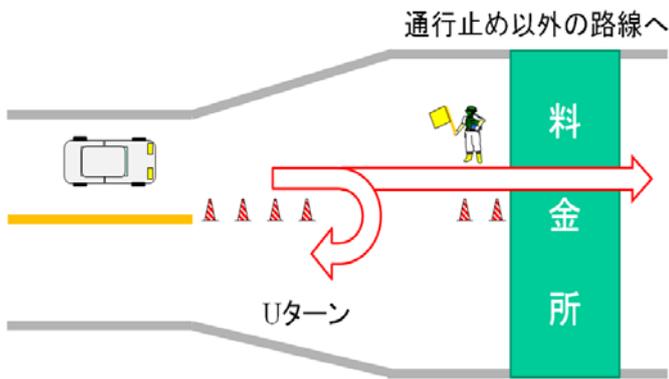


図-3 振分け作業

これらの問題を改善する為に携帯回線を利用したLED標識による情報提供に置き換えた。そこで求められる性能は遠くからでもドライバーの目線でしっかり写り、わかりやすい標識であること。遠方制御が素早く可能であること。表示する文字や内容が従来情報板の機能と同等以上であること。故障・トラブルに対する耐久性能があること。また、吹雪時でもLED標識表面に着雪がないこと等が挙げられる。これらの条件を必須として導入を考えた。

次にLED標識の設置箇所を図-4に示す。青森管内では大鰐弘前IC、黒石IC、浪岡IC、青森中央ICの各ICに1基ずつ設置している他に、下り線の大鰐トンネルの坑口に1基、下り線浪岡IC～青森ICの区間に2基と計7基設置している。ICに設置してある標識は普段でも使用しており、ETC挿入の確認等の標識で情報提供している。本線上の設置箇所は事故が多発している箇所や線形の悪いカーブやサグ部等の箇所ですべて車間や走行スピードに関する注意喚起をしている。

3. 結果

3.1 通行止め状況

図-5に延時間ごとの通行止め回数をまとめる。図を見ると平成24年度の当管内の通行止めは39回行っており、吹雪や事故による通行止めはその内の37回となっている。一回当たりの延通行止め時間は2時間未満の時もあれば、悪天候が長引いて10時間以上の通行止めとなる日もあった。延通行止め時間の平均は約7時間ほどである。今冬は10時間以上の通行止めが多く、本来ならば長時間の振り分け作業を行わなければならない為、非常に過酷な状況である。この携帯回線のLED標識を使用することで、振り分け作業を省略化でき、コスト削減や作業員の負担を減らすことが出来たといえる。また、限られた雪氷作業要員を振り分けに裂く必要がなくなり、除雪等作業に専念できることで除雪作業の初動から通行止め解除時間の短縮に繋がった。

延時間別通行止め回数

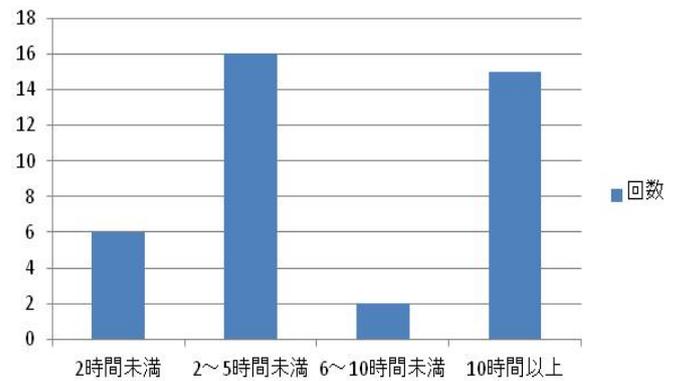


図-5 延時間別通行止め回数

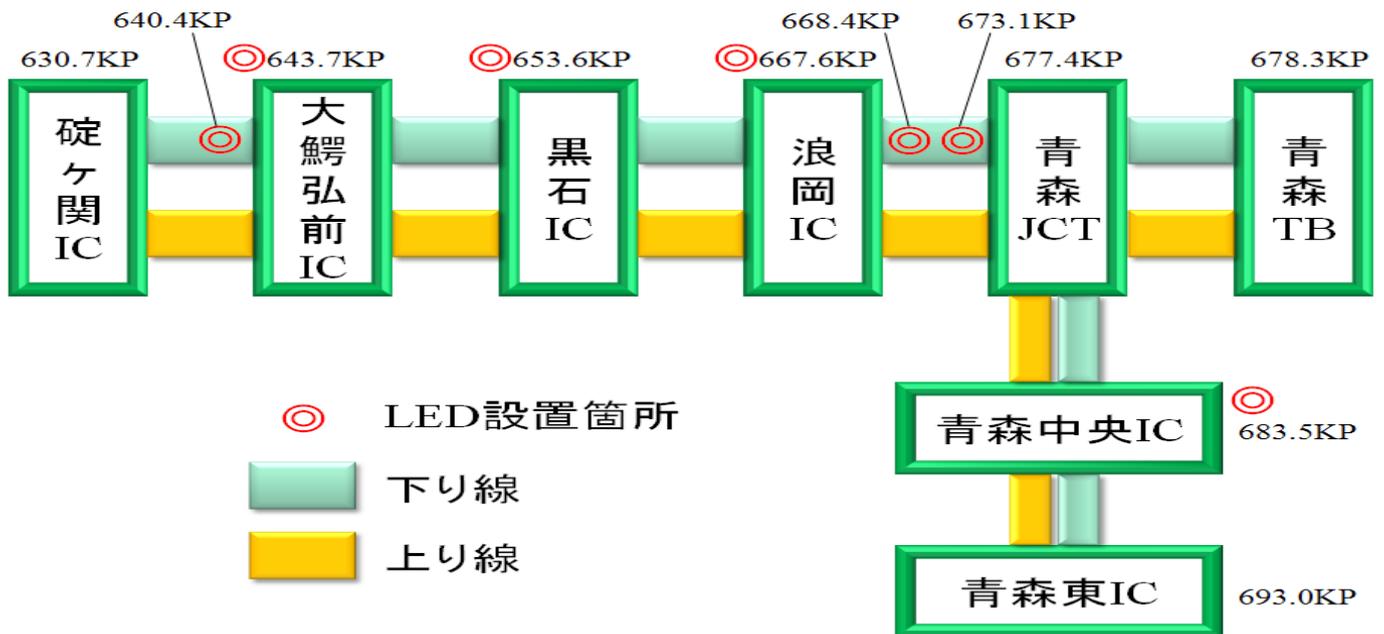


図-4 LED標識設置箇所

3.2 視認性

視認性においては標示面がドライバーの目線の高さであり、文字も大きい為、昼夜問わず視認性は良好であった。さらに吹雪時や日差しの強い時でもLED標識の字幕を視認出来、早期による状況把握が可能であった。また、標識上部に付属している黄色のLED標示は警告灯の役目を果たし、注意喚起の点で非常に役に立った。他には画面に表示できる文字数には限りがあるが、それを補うためにブリンク標示やアニメーションによる標示で対応が出来るので多岐の用途に利用出来ると思われる。

3.3 耐久性

平成24年度からLED標識を設置しているが、大きなトラブルは一度も無く、故障も無かった為、気象の変化に強いといえる。フレームに関しては、冬期間に凍結防止剤を散布することから錆びるのではないかと懸念していたが、錆びることはなく、特別にメンテナンスを施すという事象は無かった。また重量もある為、簡単に移動させることは出来ないが、強風時でも転倒することも無かった。

3.4 操作性

情報送信はノートパソコンと専用の端末に接続してある携帯電話から発信される。各ICに配置されているLED標識にも同じく携帯電話が装着されており、電話による発信・受信で情報伝達される仕組みとなっている為、迅速な対応が可能となった。このLED標識は決められた文字の標示に縛られることなく、自由に一マス16×16のドットを調整することができるので多岐の用途に対応出来る。さらに一度入力した標示も登録出来るため、当管内では緊急時に迅速な対応が出来るように予め区間等の標示を100パターン程度登録している。また、C型情報板は通行止めの区間を標示し、上下線の標示はしていないが、LED標識ではブリンク標示で上下線、区間、通行止めの標示も対応出来、さらにC型情報板に比べて具体的な標示も出来る。これら一連の操作は、一人でも行うことが出来ると同時に早期情報伝達が可能となった。さらに正確性・迅速性を向上させる為に、マニュアルを作成し、緊急時に誰でも操作できるような取り組みも実施した。



写真-1 日中の LED 標識設置状況



写真-2 夜間の LED 標識設置状況

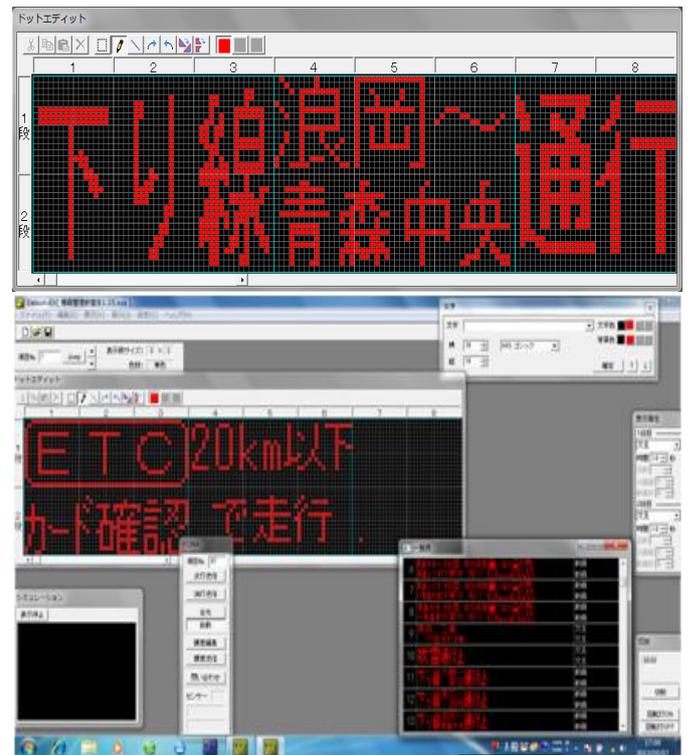


写真-3 LED 標識情報伝達の流れ

番号	表示内容	種別
14	下り線～青森中央IC通行止	動画
15	下り線～青森中央IC通行止	動画
16	上り線～青森中央IC通行止	動画
17	上り線～青森中央IC通行止	動画
18	上り線～青森中央IC通行止	動画
19	上り線～青森中央IC通行止	動画
20	大館～青森中央IC通行止	交互
21	大館～青森中央IC通行止	交互

写真-4 標示一覧表

表-1 作業比較

	振り分け作業	LED標識
初動時間	30～50分	5分
現地作業員人数	各IC1人	0人
金額	時間あたり1120円	時間あたり170円
(通行止め時間合計) 286時間分	320,320円	48,620円

3.5 作業比較

振り分け作業とLED標識による情報提供を比較してみると、表-1に示す結果となった。振り分け作業については通行止めの準備指令通達から各ICの料金所前に作業員を配置するまでおよそ30分という時間を要する結果となっているが、LED標識による情報提供は防災対策室に常駐している管理員によってスムーズに操作され、設置してある標識全ての標示を切り替えるのにおよそ5分という結果となった。その為、除雪作業や凍結防止剤の散布作業に取り掛かる時間が早まり、通行止めの早期解除が可能となった。

経済性に関しても効果があり、振り分け作業については各IC一箇所の時間当たりの金額が1120円となっており、LED標識による情報伝達のコストが時間あたり170円という結果となった為、コスト削減が達成出来たといえる。尚、H24年度冬季の通行止め時間合計が286時間であった為、本来ならば、過酷な環境での振り分け作業を限られた作業員で行っていたことになるが、LED標識の導入により、作業員の負担も軽減出来たと考えられる。

4. 課題

今回設置しての課題となる点も見つかった。それは、信号待ちで一気に流入してくる時である。これは青森中央ICで起こった事例であるが、このICにおいてはIC手前がすぐ交通量の多い交差点となっており、信号で待機しているお客さまが信号の切り替わりと同時に先頭車両に続き次々と後続車が流入してきた為、先頭車両やそれに続くお客さまがUターン出来ずに誤流入してしまうケースがあった。さらにカーブの上り勾配になっている為、完全に曲がり切ってからでないが目視確認をする事が出来ない。よって、LED標識の設置位置を信号待ちの状態からでも見えるような位置に移動することを検討しなければならない為、その地域や環境に適した配置を今後検討する必要がある。

他には、料金所前が無人となり人力による対応で無くなることである。これについては、苦情が無かったものの、お客さまに対しての高速道路の情報提供が間接的になる為、直接情報を聞き出したい方にとってはサービスの低下も考えられる。今後無人の状態でも誤流入及び不安にさせない為の標示を検討していく必要がある。

また、LED標識本体の重量が容易に移動できる重さではない為据え置きという形で設置しており、今冬は移動させることはなかったが、緊急時に移動させて使用したい場合に困難となる。ユニックを使用して移動させることも可能だが、その場合電源を供給できる場所を選定しなければならないことが分かった。

5. おわりに

振り分け作業省略化の為、携帯回線を利用したLED標識を平成24年度の雪氷対策作業より採用したが、課題で述べたとおり、当初これを実施することで料金所前が無人になってしまい、お客さま一人一人の質問に応えられないことを懸念していた。しかし、お客さまの声や料金所等への苦情がないことから、この省力化の取り組みは成果あったものと判断出来る。特に作業員を確保できたことや、初動に30～50分程度かかる欠点を考慮した場合サービスアップにも寄与したものと考えられる。これからの展開として、このLED標識を休憩施設にも設置を検討し、事故や通行止め、工事等の情報をお客さまに提供出来たらいいと考えている。さらに青森管内末端の休憩施設で、他管内の情報掲示するとサービスの向上に貢献できると考えられる。その為には、作業員や他管内との連携が重要になる為、これまで以上に一体となる必要がある。したがって、今後も効率的な標示を検討していき、お客さまが安全・安心・快適、そして便利に利用できる環境を提供することを第一とし、それに合わせて安全な雪氷作業が出来る職場環境の向上に努める計画である。

雪氷期における中分雪堤処理の効率化

西 信衛*1 五十嵐 祐貴*2 平沢 博宣*1 大倉 孝雄*3

1. はじめに

東日本高速道路(株)湯沢管理事務所の管理路線である関越自動車道 小千谷IC～水上IC間は、豪雪地帯として全国的に有名な魚沼・南魚沼地域を通過している。同管内の降雪量は新潟県内の高速道路路線随一である。湯沢管内の昨年度の年間累計降雪量は、最も多い箇所でも2,311cm(土樽基地)であり、「冬の関越自動車道」の交通を如何に維持・管理するかが重要な課題となっている。そのような状況の中で、高速道路本線上の除雪作業に伴い中央分離帯(以後、「中分」とする)に発生した雪堤の崩壊現象(以後、「雪堤くずれ」とする)への対応が特に問題となっている。雪堤くずれは、3月頃の終冬季においてはかなりの頻度で発生しており、さらに、雪堤くずれは追越車線をふさぐような形状になることから、重大事故に直結する可能性がある。実際にH23年度においては、雪堤くずれが原因と考えられる重大な交通事故も発生している。したがって、雪堤くずれが発生する前に雪堤を処理する事前対策的な作業を行うことが非常に重要となっている。

そこで、今回は、中分の雪堤くずれへの対応作業である「中分雪堤処理作業」について、現状作業の問題点を把握し、作業効率化について検討・試験した内容を報告する。

2. 中央分離帯の雪堤くずれ状況

実際に雪堤くずれが発生したときの状況を写真1に、H23年度の雪堤くずれの回数と積雪量・最高気温の関係を図1に示す。

図1より、雪堤くずれは積雪量が150cm以上、日最高気温が3℃以上になると、発生しやすい傾向にあることが分か

る。厳冬期である1月中であっても、近年の温暖化傾向により一時的に寒気が緩み最高気温が上昇したタイミングで発生していることがわかる。

前項でも記述したが、雪堤くずれの発生は重大事故につながる可能性が高いため、雪堤が崩壊する前に事前処理する作業が重要である。しかし、厳冬期であると気象条件による制約や、通常の除雪作業との兼ね合いから従来型の事前対策作業を行うことが難しい状況となっている。このような状況を鑑みても、中分雪堤の処理作業の改良・効率化がますます必要である。

3. 作業方法の検討

基本的に雪堤くずれを防止するためには、事前の雪堤処理(予防対策)が最も効果的である。従来の雪堤処理作業の流れを以下に示す；

- ① 除雪車フロントプラウに取り付けられている雪堤切りアタッチメントによる雪堤形状整形
- ② 該当区間の路肩側雪堤除去作業(次作業である中



写真1 雪堤くずれの状況

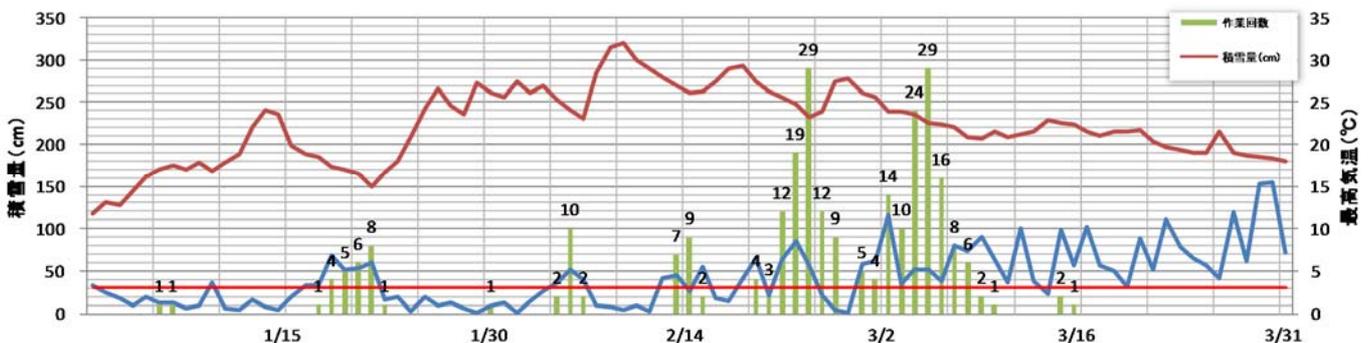


図1 H23年度 雪堤くずれと積雪量・気温の関係

る。したがって、2月末から3月中旬頃の終冬季において、特に注意が必要である。また、図1をみると、雪堤崩壊は、

分雪堤処理作業時、上下線ともに追越車線の規制を行う。その際、一般車が通行する幅員を確保す

*1 株式会社 ネクスコ・メンテナンス新潟 湯沢事業所(小出分室) 保全課

*2 東日本高速道路 株式会社 管理事業本部 SMH 推進チーム

*3 株式会社ネクスコ・メンテナンス新潟 技術管理部

るため)

③ 重機による中分雪堤処理作業

まず、①については、従来の雪堤切りアタッチメント（以降、「アタッチメント」とする）の構造では、「きのこ状」になった雪堤の笠の部分切る程度しかできず、効率的な雪堤処理とは言い難いものであった。②の路肩雪堤処理は、次作業である中分雪堤処理作業の前作業として行うものである。中分雪堤処理作業は上下線ともに追越車線規制を張って行うため、一般車が通行する幅員確保を目的として行う。中分雪堤処理を行う当日の朝までに実施し、路肩の余裕幅が確保できなければ、上下線の追越車線規制を行うことができないため、確実に実施することが必要がある。路肩の余裕幅を確保後、③の中分雪堤処理作業となる。本作業は、ダンプトラック（DT）、バックホウ（BH）、トラクタショベル（TS）およびロータリー（RT）を用いて、雪堤をくずし、運搬する。作業人員は、上下線合わせて30人以上

（従来型）



なければならない状況である。なお、本作業は気象条件による制約や他の雪氷作業との兼ね合いを考慮しなければならず、早急な対応が難しいため、計画的に作業を行う必要がある。そのため、降雪量が多く、通常除雪作業を必要とする厳冬期における作業はほぼ不可能である。

そこで、今回検討された方法が、「雪堤切りアタッチメント」を改良することにより、重機による中分雪堤処理（運搬排雪）の前段階である雪堤整形を効率よく施工することで雪堤くずれを防止するものである。今回は昨年度試験施工を行った結果をもとに報告を行う。

4. 雪堤切りアタッチメントの改良

4.1 改良内容

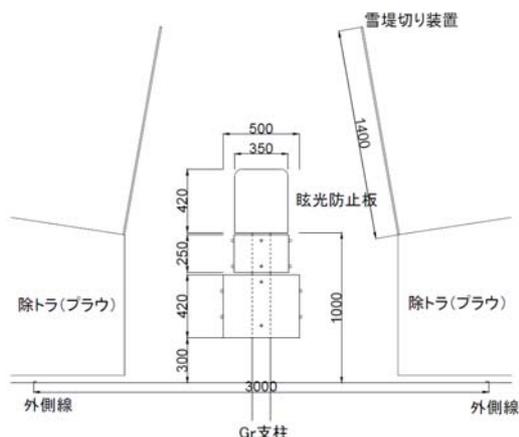
雪堤切りアタッチメントの従来型および改良型の写真を写真2に、設計図面を図2に示す。従来型のアタッチメントは、図2左に示す構造であり、雪堤処理の際に、中分側

（改良型）



写真2 雪堤切りアタッチメントの比較

（従来型）



（改良型）



図2 雪堤切りアタッチメントの比較

必要になり、1区間の雪堤を処理するには、1週間以上の時間がかかる。さらに、それを1シーズンに2~3回行わな

に寄りすぎると、プラウやサイドガード等がガードレール（Gr）やガードケーブル（Gc）に接触してしまう危険性が

あった。そのため、中分側に十分に寄ることができず、雪堤が「きのこ状」に成長してから、作業している状況であった。そこで、より効果的に雪堤処理が行えるよう、**図2 右**に示すような改良を行った。寸法等は図に示す通りである。特筆すべき点は、アームの取付けである。長さ 950mm のアームを取り付けることで、装置を 900mm ほど中分側に張り出すことが可能になった。これにより、従来の装置より、大量の雪堤を処理することができる。その上、より離れた位置から作業できるため、安全性の向上、運転手の負担軽減にも繋がると考えられる。また、シリンダーが伸縮するため、車内から装置の格納、角度の調節を行うことができる。

取付費用は、30 万円前後であり、追越規制内における中分雪堤処理作業（運搬排雪）1 日分と同程度の価格であるため、安価だといえる。また、取付けに関しても、既存の装置との取替えの場合、20～30 分程度で行えるため、非常に簡易である。

4.2 試験施工結果

試験施工の際の状況を以下に示す；

(前方写真)



- ・実施日：平成 25 年 1 月 29 日（火）
- ・箇所：上下 小出 IC～越後川口 IC
- ・使用車両：雪堤切り車+通常除雪車 3 台

実際に試験施工した状況が**写真 3**である。写真からも明らかのように、今回の改良で、従来の装置より大幅に施工性が向上した。以前は、「きのこ状」になった雪堤の、笠の部分処理する程度（雪堤整形）であったが、改良後は、眩光防止板の側面が露出する程度まで雪堤を削ることが可能となった。これにより、雪堤が「きのこ状」になる前に処理できるため、より効率的に雪堤くずれを防止することができると考えられる。また、作業範囲も広くなり、フロントプラウの右端を外側線（中分側）に合わせて走行しても、アタッチメントが雪堤まで十分に届くため、安全な作業が可能となった（以前は、プラウ右端が外側線の内側（中分側）まで入っていないと、雪堤に届かなかった）。しかし、自発光式デリネータ（以降、「デリ」とする）周辺は、装置の格納が必要になるため、処理しきれなかった雪堤が残ってしまうことになる。今後、検討が必要な事項である。なお、このときの作業速度は 10km/h 程度、除雪車に後続する一般車の滞留は 80 台程度で、梯団を解放してから 7～8 (後方写真)



写真 3 アタッチメントによる雪堤切り作業

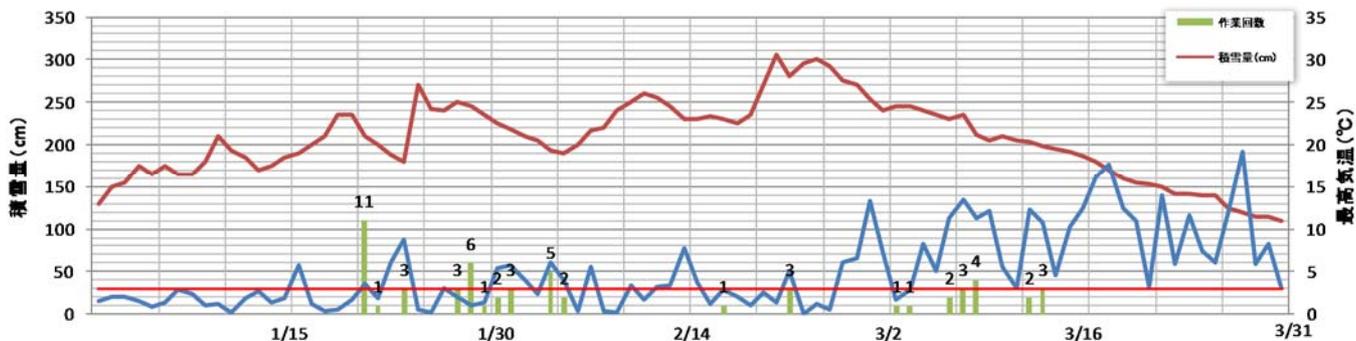


図 3 H24 年度 雪堤崩れと積雪量・気温の関係

分で解消した。

図 3 に、今年度の雪堤くずれの回数と積雪量・最高気温の関係を表したものを示す。図 1 に示した H23 年度の関係と比較すると、大幅に雪堤くずれ回数が減少していることがわかる。気象等の条件は一定でないため、一概に雪堤くずれ回数の減少が今回の改良型アタッチメントに起因するとは考えにくい。累計降雪量は H23 年度と同等で有ることなどを鑑みると、一定の割合で寄与していると考えられる。

5. まとめ

今回の改良型アタッチメントの試験結果以下に示す；

- ・従来型アタッチメントと比較して、大量の雪堤を処理でき、より効率的に作業を行うことができた。
- ・従来型アタッチメントと比較して、中分から離れた位置で雪堤処理できるため、安全性向上、作業員の負担軽減に繋がる。
- ・自発光式デリがある箇所では、アタッチメントを格納するため、周辺の雪堤が処理しきれない。
- ・H23 年度と比較して、H24 年度は、雪堤くずれ回数が大幅に減少した。改良型アタッチメントによる作業効率化が、一定の割合で寄与していると考えられる。

試験施工の結果より、本装置は、雪堤くずれに対し、十分な効果があることが確認できた。まだ改良すべき箇所はあるが、今後は本装置を計画的に用い、雪堤の成長の抑制に努めていく。

北陸道における跨道橋などの落雪対策

中澤正典*1

1. はじめに

福井保全・サービスセンター（以下「当HSC」という）が管理する北陸自動車道今庄IC～加賀IC間は、全国でも有数の多雪地帯である。そのため、冬季における雪氷対策作業は、道路の安全性・快適性の観点で最重要課題となっている。

管内には、跨道橋（OV）が4橋あり、その内1橋の上平吹OVは、今庄ICから武生IC間の極めて降雪量の多い山岳部に位置している。そのため、平成22年度豪雪時は、壁高欄の天端に堆積した雪塊が落雪し、走行中の一般車両に当たり、車両を損傷させるという事象が発生した（図-1・2）。したがって、事象発生以降は、当HSCでは落雪による第三者被害を防止することを目的として、OVの雪庇除去作業を実施しているが、危険な作業であること、作業に時間を要すること、事後対応になってしまうことなどの問題があった。このため、平成23年度より落雪事故防止、作業の安全確保、事前対応を目的として、着雪防止効果を期待した1)、下端フリーの滑雪シートを3種類の材料を用いて、試行的にOVに設置した効果について報告するものである。

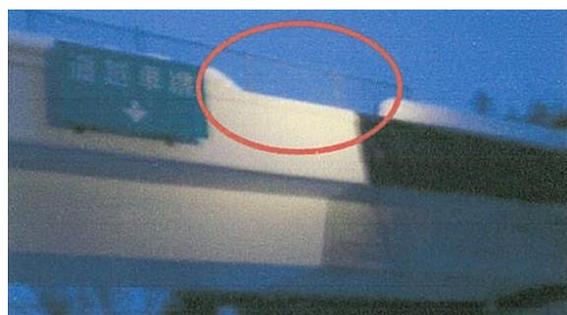


図-1 壁高欄天端からの落雪状況



図-2 車両の損傷状況

2. 材質・設置方法

シートの材質については、市販品の入手可能なものとし、横断幕等に使用されているターポリンを標準材料として、比較検討のためにその他の2種類の材料を含めた3種類について選定した。また、シートの固定方法は、下端をフリーにしてOVの落下物防止柵にロープ固定するもので、下端のバタつきにより早期の新雪段階で落雪することを期待した（図-3・4）。

- ・ A：ターポリン（40千円/枚）
厚み 0.38 mm 高さ 1.2m 長さ 8.0m
- ・ B：ターポリン（60千円/枚）
厚み 0.38 mm 高さ 1.2m 長さ 8.0m（フッ素加工）
- ・ C：ポリエチレン（30千円/枚）
厚み 0.38 mm 高さ 1.2m 長さ 8.0m（UVシート）

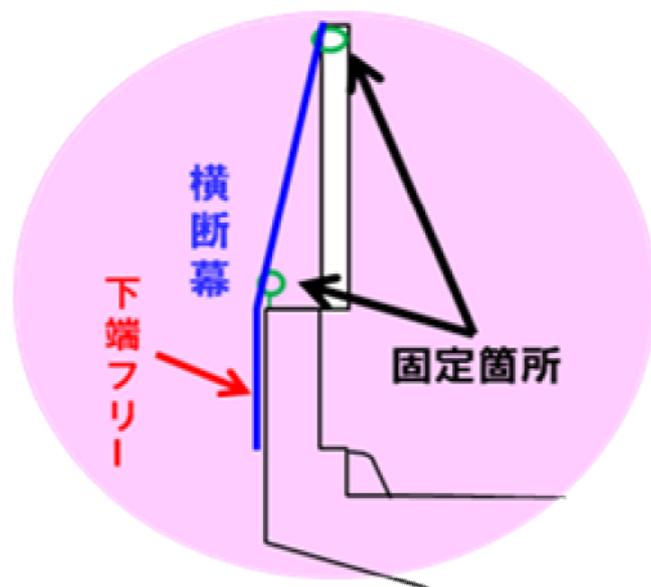


図-3 固定方法（概略図）

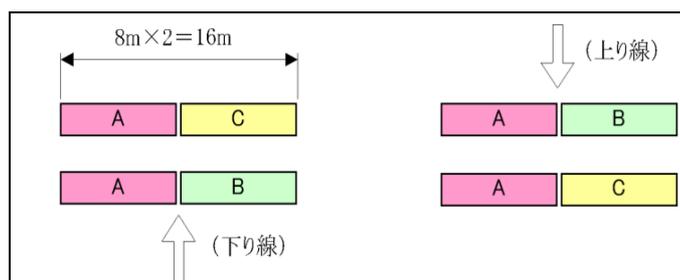


図-4 設置組合せパターン

*1 中日本高速道路(株) 金沢支社 福井保全・サービスセンター

3. 検証・結果

シートの設置有無により、壁高欄天端における積雪量の違いが明確に表れた(図-5)。これは、降雪中にシートに着雪する前に雪を滑落させることが出来たからと思われ、雪塊化したものが車線に落下する可能性は大幅に低くなった。なお、シート材質の違いによる着雪状況の違いは見られなかった(図-6)。このことから、経済的となるポリエチレンシートを使用しても問題無いと考えられる。

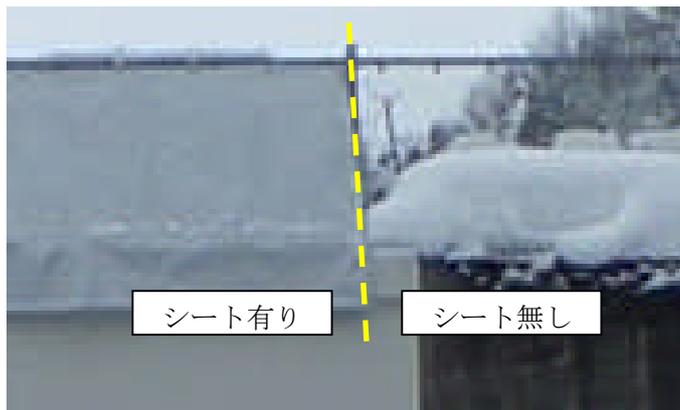


図-5 壁高欄天端における積雪状況

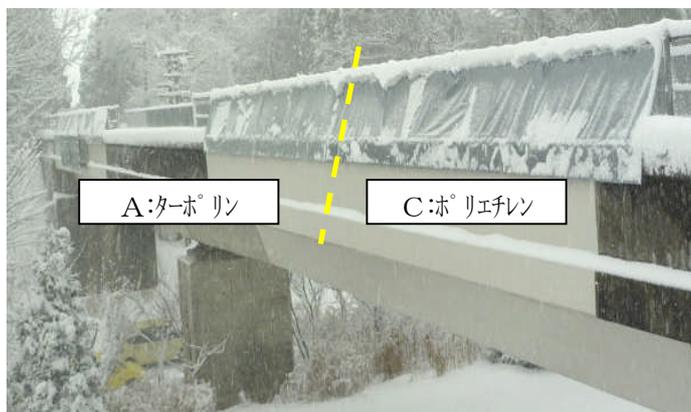


図-6 シートへの着雪状況

4. 今後の課題

図-6からもわかるとおり、落下物防止柵の上胴縁に10cm程度の雪庇が発生したことから、その部分においても、更なる対策が必要となった(図-7)。そこで、ポリエチレンシートを胴縁に巻き付けることにより滑雪効果を期待した(図-8)。設置後は、降雪により上胴縁に雪庇が発生することは無かったが、降雪量も少なかったため、次期雪氷期にも更に検証を進めていく予定である。



図-7 落下物防止柵の上胴縁の雪庇状況



図-8 落下物防止柵の上胴縁のシート設置状況

5. おわりに(今後の展望)

今回の滑雪シートによる落雪防止対策は、落雪作業時の危険性回避及び第三者被害への事前予防対策として、効果があることが確認できた。また、材料による着雪状況の違いも無かったことから、最も安価なポリエチレンシートを標準材質と考えて、問題無いものと思われる。更に落下物防止柵の上胴縁の雪庇についても、問題無いものと思われるが、引き続き、次期雪氷期に検証を行う。

今後は、今回の試行状況を基にOVのみならず、トンネル坑口・標識・情報板等の雪庇についても、同様の対策を実施できるよう検討し、お客様が安全に高速道路を走行して頂けるよう努めてまいりたい。

参考文献

- 1) 財)高速道路調査会:気象と雪氷対策に関する講習会テキスト, 2011.10

時間降雪量計の開発について

松木 洋明^{*1}

浦上 智行^{*2}

1. はじめに

高速道路に設置される気象観測設備のうち、時間降雪量計は、北陸自動車道（以下「北陸道」という）をはじめとした重雪氷地域において、冬期の道路交通確保に欠くことのできない重要な役割を占めている。

高速道路各社（以下「NEXCO」という）では従来、雪氷詰所に駐在する管理員が降雪量を手動で計測しており、これらの作業を改善するための自動化装置が平成7年頃から登場したが、製造業者の相次ぐ事業撤退で、部品調達、更新改修も困難となり、新たな時間降雪量計開発の必要性が高まった。

時間降雪量計の開発にあたっては、初・晩冬期、強風雪時の降雪を的確に判別、計測することが装置の信頼性にとって重要となる。

この課題を解決するためには、設計段階からの部材選定、機器配置、制御方法といったプロセスも大切であるが、なによりもフィールド検証が欠かせない。

このため、中日本エンジ名古屋（以下「当社」という）は約2年をかけ試作機の製作、フィールドでの冬期検証を行った。

本報文では、平成24年度の冬期に実施したフィールド試験の検証結果を中心に、開発への取り組みを報告する。

2. 現状と問題点

高速道路で計測する気象観測項目は、気温・路温、風向・風速、降雨・降水量といった主として道路交通管理上必要な項目を計測しているものが多い。

このうち、時間降雪量は、降雪板（受雪板）の降雪を1時間毎に計測するもので、雪氷期間中の警戒体制、薬剤散布、梯団除雪といった重要な判断に用いられる。

従来はこれを現地の雪氷詰所などで人力により計測を行っていた。【写真-1】

気象観測設備の機械化・自動化という時代の流れから、時間降雪量も同様に平成7年頃には製造業者数社において自動化装置として開発・製品化が進められ、北陸道をはじめとした、全国各地の重雪氷地域に順次設置・運用が進められた。【写真-2】



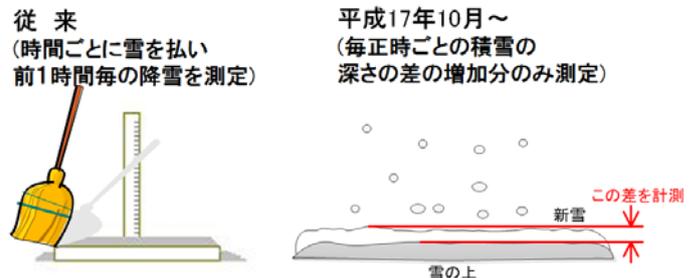
【写真-1 雪尺計】



【写真-2 時間降雪量計 (従来型)】

しかし、市場規模や保守メンテナンスの難しさ、同様の計測を行っていた気象庁の時間降雪量計測方法の見直し（平成17年10月～）などから、製造業者が相次いで事業撤退し、更新や新設、保守用部品の調達さえ困難な状況となった。こうした背景から、NEXCO中日本では新たな時間降雪量計の開発機運が高まり、当社はその要請に応えるべく開発をすることになった。

【図-1】



【図-1 時間降雪計測方法の違い(気象庁)】

時間降雪量計の開発にあたっては、従来装置が有する基本性能を満足するとともに、強風雪時の捕捉率向上など従来装置で課題となっていた点を解決し、さらに小型化・低価格化をめざし開発を進めた。

以下に時間降雪量計の基本仕様【表-1】と課題点【図-2】を示す。

これらの課題の中で本装置で特に重要視した点は、

- (1) 雪払い能力向上
- (2) 降雪捕捉率の向上
- (3) 可動部の信頼性向上

である。

*1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社

名古屋支店 豊田道路事務所

*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社

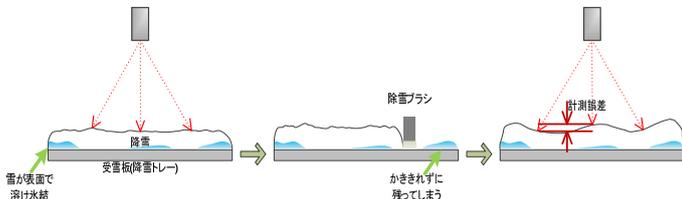
金沢支店 施設技術部 施設技術課

【表-1 時間降雪量計基本仕様比較】

	従来型(M社製)	新型(FS-250型)
測定範囲(※)	0~120mm/h	0~120mm/h
測定精度	±10mm(総合精度)	±10mm 以内
分解能	不明	1mm 単位
検出方式	センサ3点計測 による測距	光遮光による 高さ検出
除雪(雪払い)方法	降雪トレの横旋回	受雪板の90度反転
受雪板サイズ	600×600(正方形)	φ300(円形)
その他	専用支柱・制御架	集合柱取付可 (約56kg)

※ 120mm/hを越える降雪の場合には、自動的に除雪を行い降雪測定を継続する

(1) 受雪板に着雪した雪が溶け残って、計測誤差を生じる場合がある。(従来型での誤差)

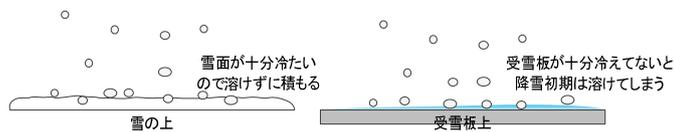


(2) 強風雪時、受雪板に積もった雪が風に流されてしまい、実際の降雪量より少なくなる。(乾雪で粒状の細かい雪粒のときなど)
(従来型での誤差)

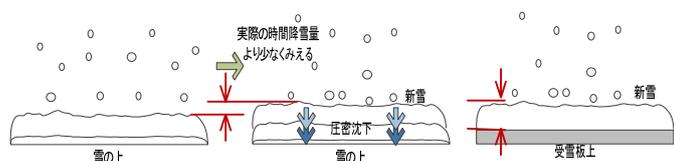


(3) 可動部が氷結固着してしまう可能性がある。

(4) 初冬期、晩冬期の雪・みぞれ・雨・霜といった判別が難しい。(積雪深差測定との誤差)



(5) 短時間で大量の降雪時など、実際の時間降雪量より少なくなる。(積雪深差測定との誤差)



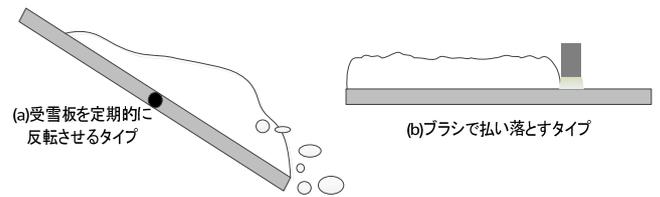
【図-2 時間降雪量計の課題点】

3. 原因究明と目標設定

課題点(1)に挙げる「雪払い能力向上」とは、時間降雪量計の基本機能である1時間毎の降雪量を正確に計測するための重要な機能であり、従来の装置では

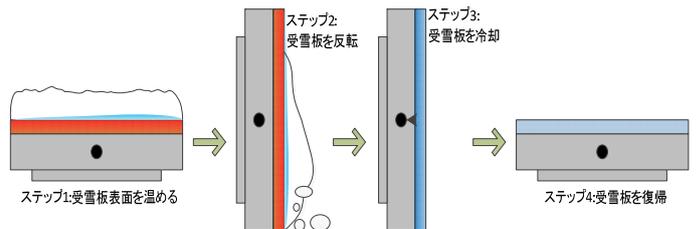
- (a) 受雪板を定期的に反転させて雪を落とす
- (b) ブラシ状の刷毛で受雪板上の雪を払い除ける

ことで実現してきたが【図-3】、湿雪や初・晩冬期の降雪の場合に、受雪板表面で融解した水分が再凍結することで、払い落としが確実にできずに計測誤差につながっていた。



【図-3 従来型の雪払い方式】

これを解決するために、受雪板の反転機能に加え温度制御により確実に雪が払い除けるよう構成を見直した。さらに受雪板を反転した際に、確実に雪が落下するよう受雪板の材質検討がされている。【図-4】【写真-3】本装置に課せられる目標としては、反転動作のタイミング、加熱・冷却時間とその組み合わせを各種実験から最適化し、より確実に払い落とし、かつ低消費電力で動作させることである。



【図-4 新型時間降雪量計の除雪動作概念図】



【写真-3 受雪板本体】

課題点(2)の「降雪捕捉率の向上」とは、強風雪時に受雪板に積もった雪が強風で流されてしまい実際の降雪よりも少なくなってしまう現象である。これを解決するために、助炭(フード)で受雪板を囲い風雪への対策を施す必要がある。ただし、これも単にフードを取り付けるだけでは、フードに着雪した雪が凍結し、受雪板の可動やセンサーの投受光を阻害してしまう。

本装置では、こうした問題が発生しないよう、着雪した雪が付着しないようなフード材料・塗装仕様が求められるとともに、受雪板のサイズとの組み合わせにおいて、最適なフードのサイズを考慮する必要があった。

【写真-4】



【写真-4 助炭(フード)部】

課題点(3)の「可動部の信頼性向上」については、この装置が冬期にフル運用されるものであるため、着雪や凍結、外気温に対しても確実に動作が継続できる機構、部品の選定、ヒーター類の適切な配置が求められる。

ただし、特殊な機構・部品を用いたのでは全体のコストアップを招き、将来の保守用部品調達にも不安を抱えることになるため、そのバランスが重要となる。

これらの課題を克服するべく平成 23 年度に約 1 年をかけ試作品製作と検証方法の検討を開始し、平成 23 年度の雪氷期間終期に、なんとかフィールド試験に着手できる体制が構築できたが、現地試験開始時には降雪がほとんどなく、十分な検証ができないまま雪氷期を終わることとなったため、翌、平成 24 年度に現地試験検証することとした。

4. 検証の立案及び実施

本装置は、雪氷期において確実に動作することが求められ、製品化にあたっては、何よりもフィールドでの動作検証が欠かせない。

仕切り直しとなった平成 24 年度のフィールド検証では、雪氷期間全体を通じて安定した計測・観察ができるようにフィールドの選定見直しを含めた検証体制の構築からスタートした。

北陸地域の湿性の高い雪は、機械装置が安定して稼働するには非常に過酷な環境であるが、動作検証という側面から考えれば、まさに最適な試験環境である。フィールドの設定にあたり、NEXCO 中日本 金沢支社管内の北陸道 敦賀地域(葉原気象局)と東海北陸道 五箇山地域(五箇山気象局)を選定した。敦賀地域は、海岸部に近く、雪質は湿性が高く、過去の観測から時間降雪量が多い地域であり、五箇山地域は標高が高く、比較的乾雪ではあるが本州有数の豪雪地域である。ここで検証すれば、日本全国どこに設置しても十分期待に応えることができると考えたからである。気象観測機器を製造する業者も富山県や福井県で検証することが多い。まさに、絶好のフィールドである。

検証ではまず、高速道路上に設置された従来装置の計測値と本装置の計測値を比較することで、本装置が実運用に対応できることを確認するとともに、雪払い能力、強風時、耐久性といった各課題に対して十分満足していることを、本装置を取り付けた支柱に共架した Web カメラにより 24 時間リアルタイムで確認できるようにした。これらのデータは NTT 回線を通して監視局に集約し比較検証を行った。【写真-5】



【写真-5 試験装置設置状況】

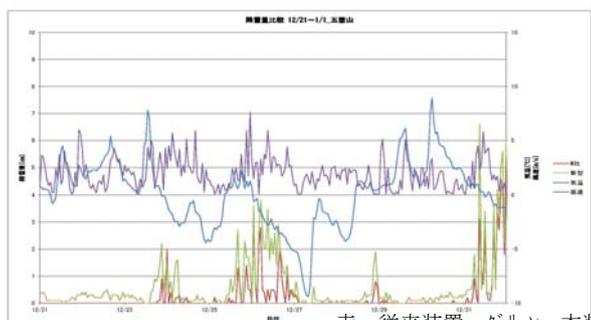
(左上：全景，右上：Webカメラ，下：Webカメラ映像)

5. 検証の結果と課題点の抽出

5. 1 従来機器との比較検証

【グラフ-1】が五箇山気象局における平成 24 年度の雪氷期間(平成 24 年 11 月初～平成 25 年 3 月末)で、特に降雪量の多かった 12 月～1 月のうち、2 週間の従来装置と本装置の降雪量計測値のグラフである。2 つの装置の降雪量のトレンドはほぼ近い値を示しており、本装置の機器障害時を除いた両者の雪氷期間を通じた計測値の相関係数は 0.87 であった。

降雪量計測精度については、フィールドの検証結果、実験室レベルでの計測精度試験（実験標準偏差 0.48mm）からも、従来装置と同等もしくはそれ以上の計測性能を有していることが確認できた。



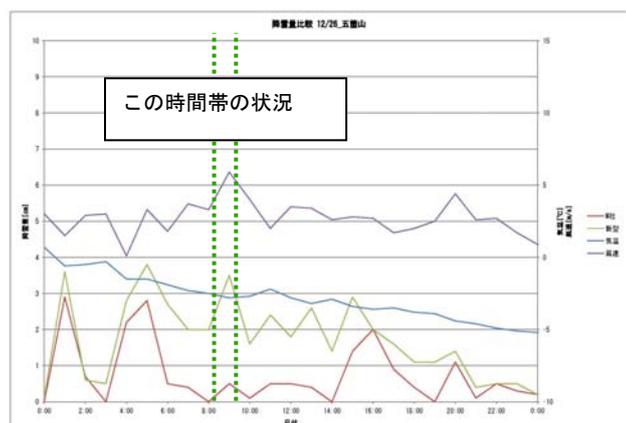
赤：従来装置，グリーン：本装置
紫：風速，青：気温

【グラフ-1 降雪量計測比較】

（上段：平成 24 年 12 月中旬，下段：12 月下旬）

両者の計測結果全体でみると、従来装置より本装置のほうが降雪量は高めに記録された。

本装置の降雪量が高めに記録されるのは、受雪板で確実に降雪を検知しているからであり、好適事例としては五箇山気象局の 12 月 26 日 AM 8 時台が挙げられる。従来装置では、ほとんど降雪を記録していないにもかかわらず、本装置では降雪量を計測しており、両者で計測結果に差が生じた。【グラフ-2，写真-6】



赤：従来装置，グリーン：本装置
紫：風速，青：気温

【グラフ-2 五箇山気象局 12 月 26 日状況】

Web カメラの映像でも降雪を確認できており、本装置がより正確に降雪を捉えていることが確認された。



降雪状況 12 月 26 日 8:03

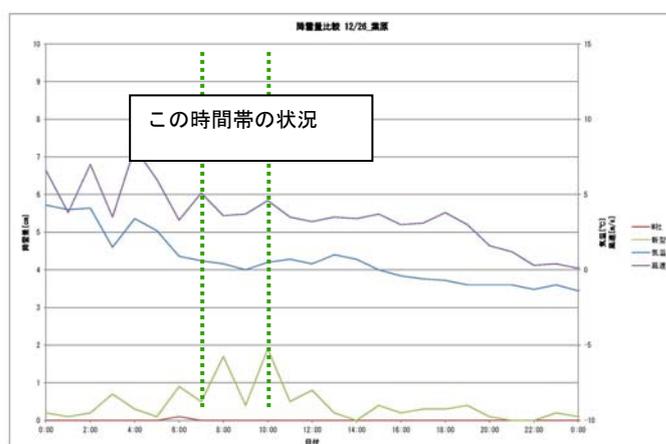


降雪状況 12 月 26 日 8:55

【写真-6 五箇山気象局 Web カメラ映像】

さらに、葉原気象局 12 月 26 日 AM 7～10 時台の状況、この日の気象は小雪であるが、風速が 4～5m/s あり、最も降雪量計測には不向きな状況であるが、Web カメラ上で受雪板上の降雪を捉えていることがわかる。

【グラフ-3，写真-7】



赤：従来装置，グリーン：本装置
紫：風速，青：気温

【グラフ-3 葉原気象局 12 月 26 日状況】



風が写真右（北西）から左（南東）へ流れている



【写真-7 葉原気象局 12月26日状況】

当初の想定どおり、このとき従来装置では降雪を検知できなかったが、本装置では確実に降雪を検知している。これはまさに助炭（フード）機能が發揮されていることを示している。雪氷期間中、このような事象が葉原気象局で5回、五箇山気象局で2回ほど確認されている。

一方で課題も見えてきた。課題点(1)にあった雪払い能力である。【写真-8】は葉原気象局1月3日AM7時の状況である。

Web カメラの映像で除雪後の受雪板の一部に着雪が残ったままとなっているのを確認した。この状態で、降雪・融解を繰り返すと、受雪板上で水分が凍結し、その上に積雪すると降雪量に誤差が生じる。本装置では、仮に凍結した場合でも、除雪後に計測センサーが毎回零点校正を実施するため、直ちに計測誤差を生じることはないが、凍結が繰り返されると、受雪板上の排雪が適切に行われずに、動作不良となる可能性があるため、これを解決するための方策を見直す必要に迫られた。



【写真-8 葉原気象局 1月3日状況】

また、課題点(3)に対しても何度かトラブルに見舞われた。葉原気象局で12月7日受雪板を反転させる機構部モーターがトルク異常を起こし、受雪板が復帰しない事象が発生、五箇山気象局でも1月4日計測用センサーの可動部軸が凍結により固着し軸ずれが発生、計測が継続できない事象にも見舞われた。

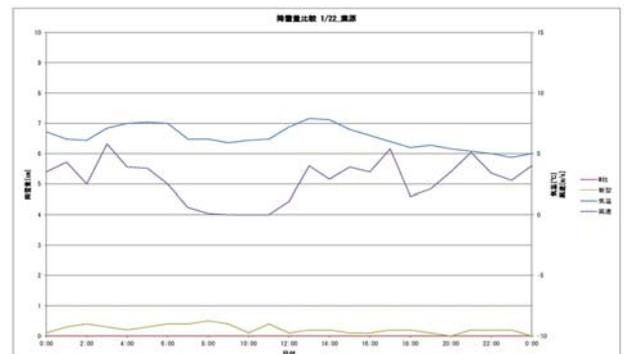
試作機には元々凍結を想定してモーター駆動異常時のリモート復旧機能や凍結防止用ヒーターを配置して対処していたものの、製品版では個々の装置に対して、リモート制御することは保守や運用面で現実的ではないため、これを全自動で対応しなければならない。

このため、障害発生時の自動復旧方法、警報出力機能の強化のほか、駆動部構造や材料の見直し、ヒーター配置構成を見直す必要に迫られた。

さらに、当初想定していなかった課題点も見えてきた。それは「雪氷始終期にみられる霜の検出」である。

【グラフ-4】は葉原気象局1月22日の状況である。Webカメラで観察すると降雪ではなく霜が成長していることを確認した。計測値では、わずかに数ミリ程度の検出値であるが、データが長時間にわたりふらつく現象が見受けられる。従来装置ではもちろん検出できない。

これは、本装置の検出能力が高いため、はじめて現象として現れた結果ではあるが、降雪ではないのに降雪量として検出されるのは装置に課せられる目的にとっては致命的である。



本装置(グリーン)が終日を通して数ミリ検出している

【グラフ-4 葉原気象局 1月22日の状況】



【写真-9 受雪板着霜状況例】

5. 2 改善方法と検証

見えてきた課題点に対し、一つ一つ対策と検証を実施した。受雪板の着雪対策に対しては、内部素子の配列見直しや受雪板表面処理の見直し、雪払い前後の温度制御と動作タイミングの見直しなどの対策を加えた。

またこれらの機能は、今後各地の気象条件に応じて柔軟に対応できるようソフトウェアにより設定可能としている。

駆動部の障害に対しては、機構部品、構造の見直し、駆動部保護用ヒーターの配置方法の見直し、障害発生時の自動復旧方法、復旧できなかった場合の処置方法の追加を実施した。

その他、各種荷重、腐食等の耐久性向上に向けた対策、点検時や障害発生時には現地で支柱に取り付けられたまま復旧させる必要があることから、保守性向上のための改良、意匠性の向上など製品化に向けた多数の改良を加えることとした。【写真-10】



【写真-10 時間降雪量計（製品版）】

さらに、問題となっていた霜に対する対策について、期間中に計測した霜の成長パターンからアルゴリズムを見出し、ソフトウェア上で対策を施すこととした。確実性を担保するために今回計測したデータを用い、シミュレーションも重ねた。

いずれも雪氷期間後半にかけて繰り返し検証を加え、製品版の詳細仕様を決定した。

6. 結果の考察

今回のフィールド検証により、本装置の高い降雪量検出能力と北陸地域の降雪状況にも耐えうる十分な能力を有することが確認できた。なによりも、実際のフィールドを使って検証できたことは、製品の信頼性にとって非常に価値ある結果であると考えられる。

7. おわりに

今回の製品開発にあたり NEXCO 中日本金沢支社、敦賀保全・サービスセンター、富山保全・サービスセンターにおけるフィールド提供をはじめとしたご指導、技術支援、開発に携わった機器製作メーカー、装置の設置や調整に係わって頂いた多くの方々のご協力に、この場をかりてお礼申し上げます。

高速道路における雪氷作業員の確保 (人員確保・技術向上・冬期交通の確保・アンケート)

川畑 秀昭

1. はじめに

1-1 アンケートより作業員数の結果

雪氷基地 18 基地に対して協力会社 12 社で雪氷作業を行っている、今回協力会社にいくつかの設問を行いアンケート方式で調査した結果を報告する。

最大召集での必要人数(常駐+召集)は 456 名となり、各協力会社への調査では合計 885 名になり現状では約 2 倍の人員の確保はできる。

2. 各協力会社アンケート結果

最大合計	456名	アンケート合計 885名
常駐	284名	
召集(TS等)	172名	

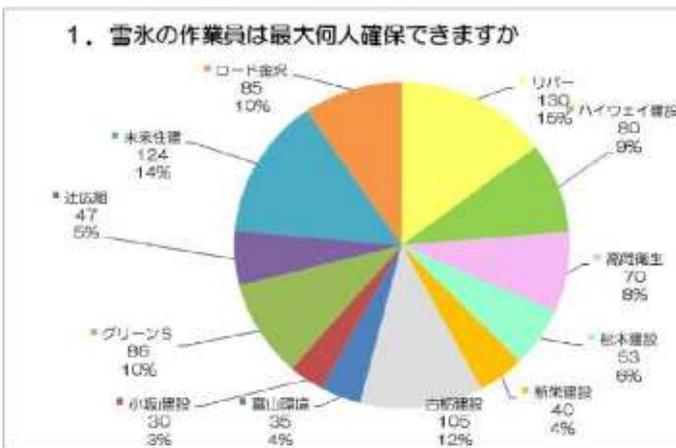


図-4

885 名の内に確実に確保できる人数は 711 名となった。常駐断面人数は 284 人/日であり現状では 2.5 倍の作業員は確実に確保できる調査結果である。

2-1 作業員の年齢構成

711 名の全体の年齢構成調査結果では 50 代～60 代で 48.4% となり約半分をしめている。

アンケート調査-2

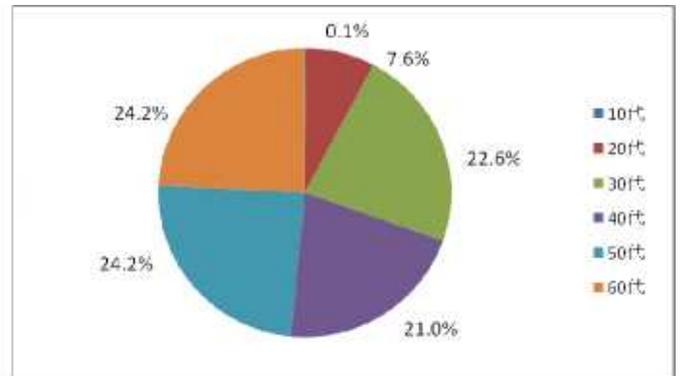


図-5

2-2 作業員(オペレーター)の経験値

確実に確保できる作業員数 711 名の内に高速道路の除雪のノウハウを持っているオペレーターの員数は 415 名の調査結果となった。

アンケート調査-3

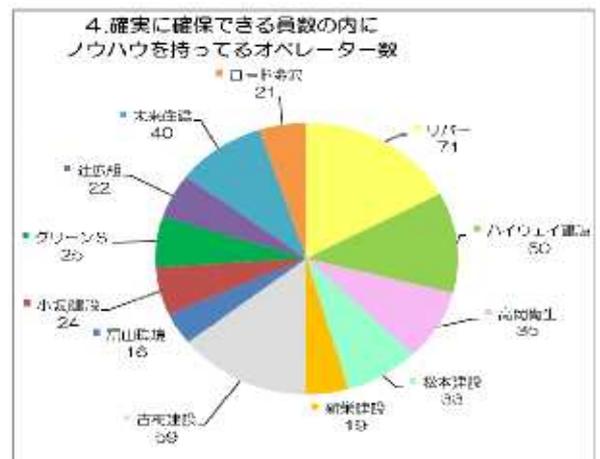


図-6

415 名の内の協力会社別経験年数値

アンケート調査-4

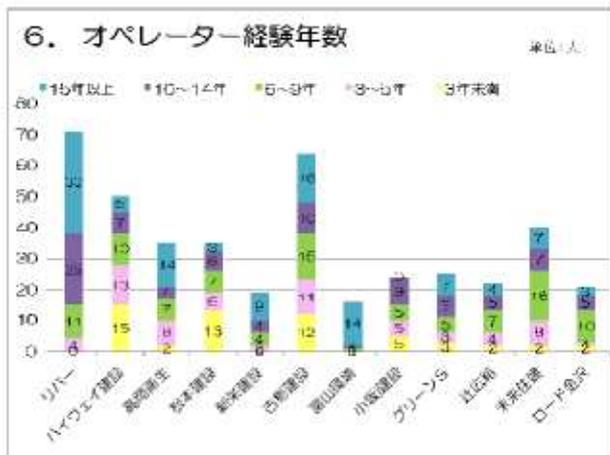


図-7

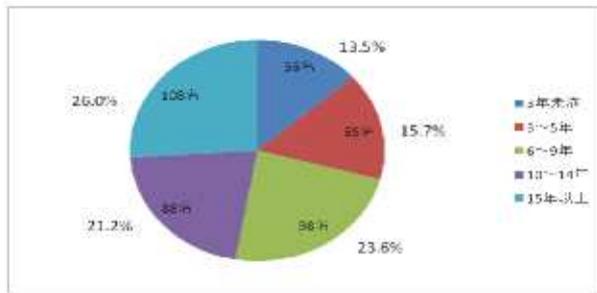


図-8

上記の表から見えるのは、オペレーターの経験年数は10年以上で約半数のを占めていて年齢50代以上のオペレーターの員数とほぼ同じであり、熟練オペレーターと言われる作業員は10年以上の勤務と考えられる。

2-3 アンケート結果

アンケート設問は全部で16問を行っていて設問1~設問6については上記でまとめたグラフである。ここで残り設問7~設問16の回答の報告を行う。

アンケート調査5 図-9

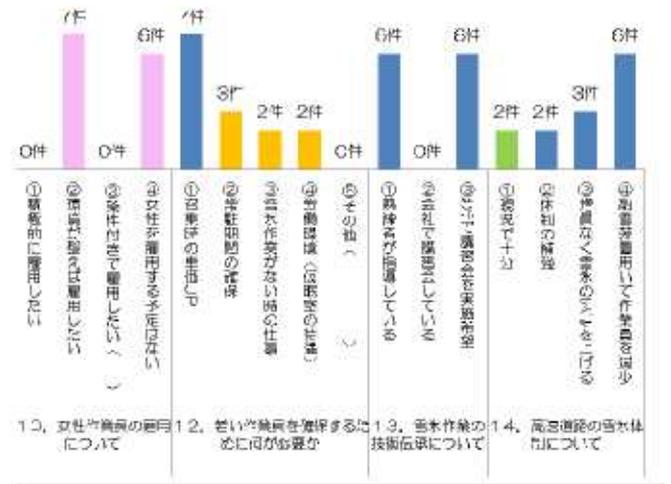
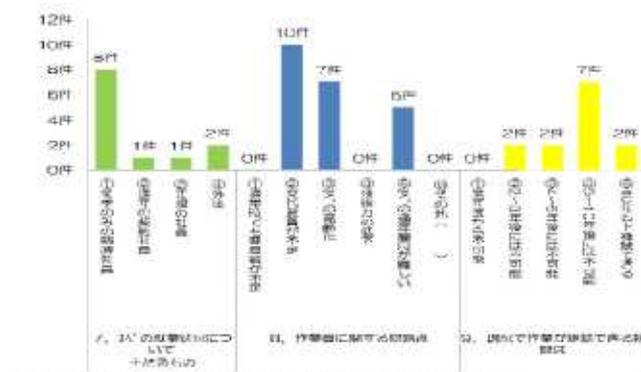


図-10

1、設問7より

オペレーターの就業状況は

- ① 冬季のみの臨時社員66%
- ② 正規社員(契約社員)17%
- ③ 外注17%

2、設問8より

作業員に関する問題点は

- ① 交代要員が不足45%
- ② オペレーターの高齢化32%
- ③ オペレーターの通年雇用が難しい23%

3、設問9より

現況が続いた場合除雪作業を継続できる期間は

- ① 5~10年後には不可能になる55%
- ② 10年以上継続できる15%
- ③ 4~5年後には不可能になる15%
- ④ 2~3年後には不可能になる15%

2~3年後には不可能になる、と回答した協力会社では今までは個人の紹介での雇用が多かった分新しい地域で会社としての雇用方法を開始する。

4、設問10より

女性作業員の雇用について

- ① 環境を整えば雇用したい54%

②女性を雇用する予定はない ……46%

5、設問 11 より

女性を雇用しない理由は

無回答が多かったのですが、セクハラ・パワハラの
問題、指揮が乱れる、環境が悪い、技術に劣る、有
資格者が少ない、などの意見が出た。

6、設問 12 より

若い作業員を確保する為には何が必要か

召集時の単価 UP ……50%

① 常駐期間の確保 ……21%

② 雪氷作業の無い時の仕事 ……14%

③ 労働環境の改善 ……15%

7、設問 13 より

雪氷作業の技術(ノウハウ)の伝承について

① 熟練者が指導して伝承されている ……50%

② メンテで作業技術の講習会を開催希望 ……50%

8、設問 14 より

高速道路の雪氷体制について

① 融雪装置を用いて作業の減少 ……46%

② 増員を伴わない範囲で雪氷のレベルを上げる ……23%

③ 体制の強化 ……16%

④ 現況で十分 ……15%

9、設問 15 より

雪氷作業において将来に向けた取組みは各協力会社 12 社
からそれぞれの取組みの意見が出た、主に出た意見を集約す
る。

① 勤務時間・作業内容の組替えを行いマンネリ化防止。

② 管理者、新人等の教育を率先して行っている。

③ 外注先の技術伝承を優先している。

④ 人員確保、オペレーターの若返り

⑤ 現状のレベルアップ

以上が現在、主に取組んでいる事で意見が多かった。

10、設問 16 より

雪氷作業員確保について自由意見

ここでは色んな意見が 20 題ほど出たが全協力会社からで
た意見を報告する。

①作業員の単価 UP、常駐期間の延長がなければ今後の
確保も難しい(賃金の確保と安定)

②年間を通じて仕事の確保があれば雪氷期間だけの依頼
ではなくなり人員確保ができる(生活の安定、収入の安定)

③体制決定時間を早めて欲しい。

16:30 の天候発表により体制判断の実施を行い 17 時、18
時からの召集時間が多く間に合わない。降雪予報が事前
に予測される時は判断を早めて欲しい。

④作業員の通勤車両の駐車場が不足。

3. アンケート結果の分析

3-1 分析

① 作業員の高齢化により基地では年配者が多くなり
若手が活躍する場なくなり意欲も減退している。

② 勤務環境も厳しく又単価が安いので若手には魅力
がなくなっている。

③ 人員確保には、環境の整備、単価の見直し、教育
体制の確立、雇用継続の確立が急務である。

④ 設備等の改善により危険作業の減少。

4. 技術伝承について

5-1 雪氷塾の開催

メーカー及び熟練 OP 講師による運転操作の研修を行う
H24 年度は圧雪処理作業の研修の実施

写真-1 研修状況

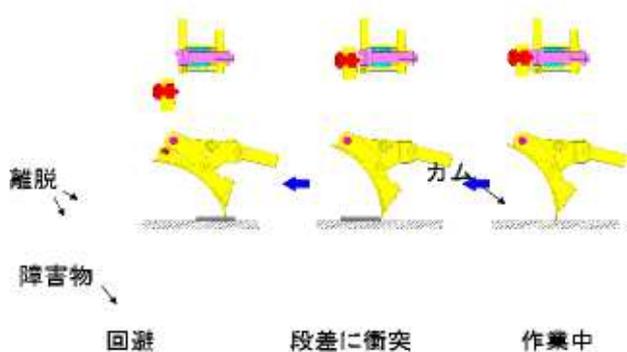


各管内毎に年4回の実施

写真-2 実施訓練状況



図-10 グレーダー操作



6. 終わりに

高速道路の冬期交通確保に向けて発注者と協力会社
共々三位一体となり地域の生活道路の役割となっている

高速道路は雪の通行止めは絶対に起こさない。

雪氷専門技術集団の構築を目指して行くものである。

最後にこの調査にご協力戴きました多数の関係者各位に感謝いたします。

新潟管内における視程障害予測情報の高度化に関する試行的取組み

北山 迪也*1 大田 寛*1 上石 勲*2 根本 征樹*2

1. はじめに

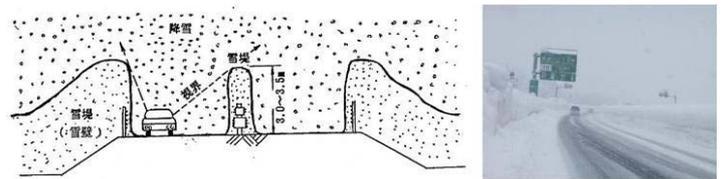
NEXCO東日本新潟支社管内における冬季通行止め量のうち、降雪視程障害に起因するものは50%以上に上っており、安全・安心・快適・便利な道路サービスの提供(図-1)を行う上で大きな課題の一つとなっている。本論文では、a)視程障害の発生状況とb)既往の対策工に関する再整理を行うとともに、c)効率的な道路運用を目指してH24年度冬期より開始した(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センターとの共同研究の内容、d)得られた成果と課題について報告する。



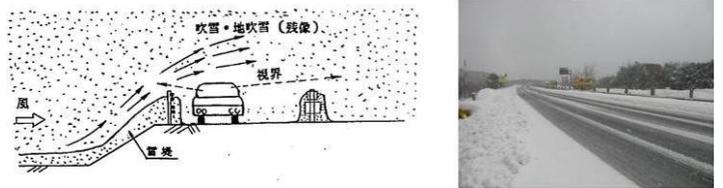
図-1 NEXCO東日本における雪氷作業の流れ



写真-1 視程障害の発生状況



(a) 山間部の路線



(b) 沿岸平野部の路線

図-3 視程障害発生概念

2. 視程障害の発生状況

近年の通行止め量を図-2に示す。暖冬であった平成18年から平成20年を除くと、通行止め量の約50%以上、多い年で80%以上が降雪視程障害に起因していることがわかる。

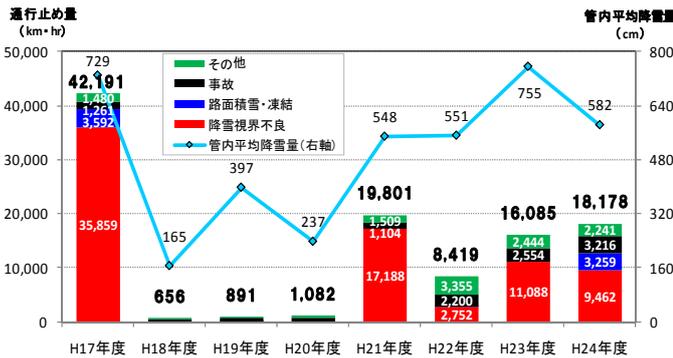


図-2 冬期(12月～3月)の通行止め実績の推移

3. 既往の対策工

視程障害の対策工の検討は、約20年前から現状調査、対策工の検討・決定、追跡調査という一連の調査を実施している。これらの調査内容について紹介を行う。

表-1 対策工の比較検討

地域	対策の種別	具体的な対策工	検討結果
山間部	降雪強への対策	道路照明	・有効な対策であるが、経済性に劣る。
		視線誘導施設(自発光デリニエーター)	・有効な対策と考えられる。 ・除雪による損傷や、雪堤内への埋没等の影響がない中央分離帯に設置。 ・路肩側よりも中央分離帯の方が電線路・ポールが1路線のため、経済的。
沿岸平野部	吹雪・地吹雪対策	防風林	・路傍植栽を路面からの高さ3～4m以上に育成するには年数がかかり、当面解決できない。
		防風柵	・4車線の路面の視界不良をクリアするには相当の工費がかかる。 ・運搬排雪が必要となる。 ・風向が道路直角方向でないとい効果が得られにくい。

*1 東日本高速道路(株)新潟支社道路事業部

*2 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター

管内の視程障害発生の特徴は山間部と沿岸平野部に大分される。山間部の路線は豪雪地帯に位置することから、日々の除雪作業に伴い路肩及び中分の雪堤が3m程度まで成長する(図-3(a))。降雪強度は最大で10cm/hを記録することが珍しくなく、この場合は雪堤と車線の区別がつかなくなる白一色化(ホワイトアウト)が発生する。

一方、沿岸平野部においては、高速道路は田園地帯を主に盛土構造で通過する。積雪量が山間部と比較して少ないことから、日々の除雪作業による路肩及び中分の雪堤はそれほど高く成長しない。しかし、高速道路が沿岸部に位置し強い季節風の影響を受け、周辺の田園に堆積した新雪が強風で舞いあげられ、地吹雪となって高速道路に降りかかり視程が低下するという特徴を有する(図-3(b))。

これらの調査分析をもとに各種対策工の比較検討が実施され(表-1)、自発光デリネータが効果的・効率的な対策工として導入されている。平成13年に実施された調査においても、自発光デリネータにより視程障害による通行止め回数は概ね減少していることが報告されている。

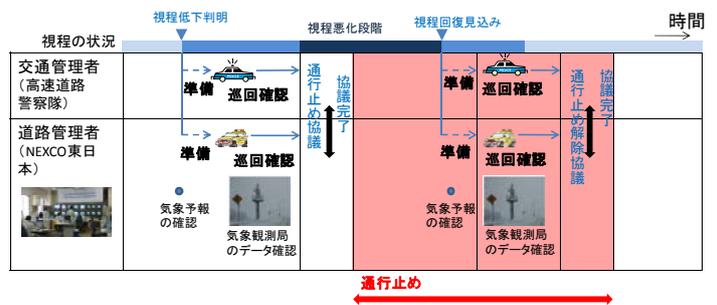
4. 防災科学研究所との共同研究

4-1. 概要

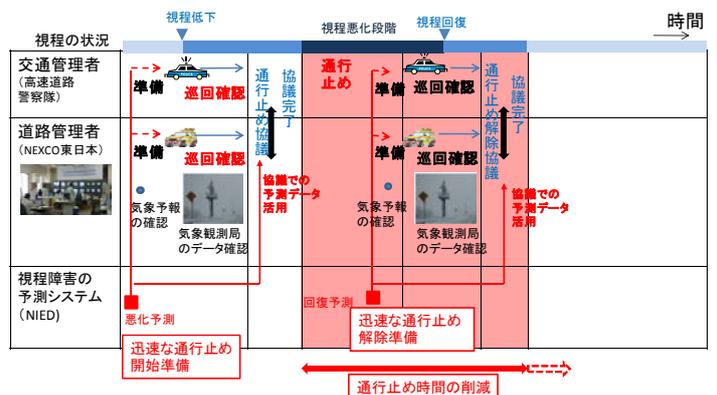
高速道路の長時間通行止めは物流や地域経済に大きな影響を与えるため、通行止め解除をいかに迅速に行うかが重要なポイントである。現在は、気象予測及び道路巡回による現地状況の報告等、人間の目に頼るところが大きいと言える。本線上には道路状況を把握するためのITV等の雪氷用カメラが設置されているが、道路上の高い位置からの映像である。実際のドライバー目線の視程は、路肩からの飛雪や路面での地吹雪並びに車両が巻き上げる雪煙により、ITVよりも悪くなる傾向がある。また、インフラ整備による対策は既に効果的な対策工である自発光デリネータが実施済みのため、さらなる対策には限界がある状況である。

そこで、平成24年度冬季から(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センターで開発された視程障害の予測システム(雪氷災害発生予測システム)²⁾を試験的に用いて、視程障害の予測、特に視程悪化の収束のタイミングに関する予測手法を確立し、交通管理者との情報共有等により効率的な雪氷巡回を行い、図-4に示すように、速やかな通行止め開始・通行止め解除の体制構築によって道路運用の効率化を目標とした取り組みを開始した。

本システムは、気象庁のアメダス(AMeDAS)とNEXCO等で計測された降雪深データを基に1日2回、向こう14時間の予測を行うものである。システム概要を図-5、予測の原理を図-6に示す。本システムでは、視程の予測値そのものが1.5kmピッチのメッシュデータとして地図上でアウトプットされる。



(a) 現況



(b) システム導入後

図-4 雪氷災害発生予測システム導入イメージ

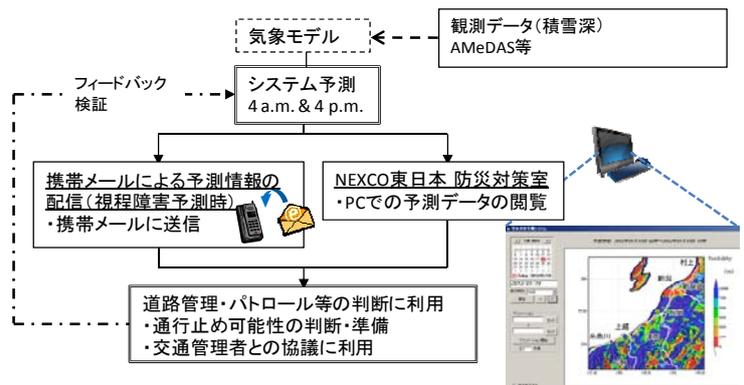


図-5 雪氷災害発生予測システムの概要

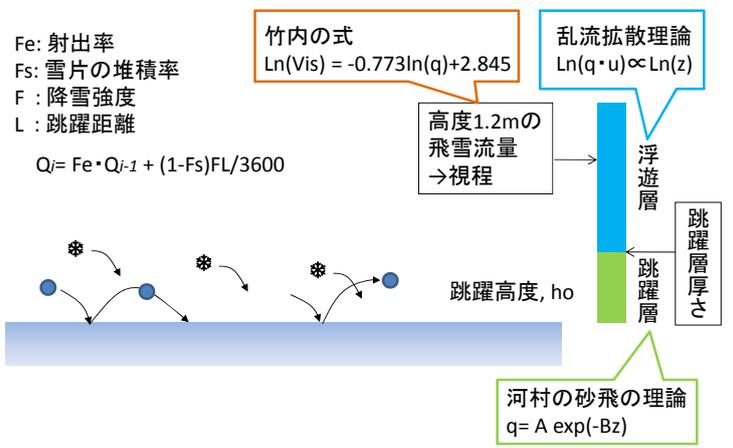


図-6 吹雪と視程の予測原理

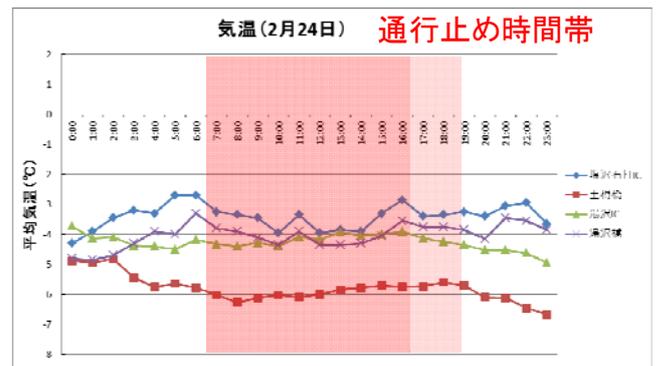
4-2. 事例検証

4-2-1. 山間部での事例

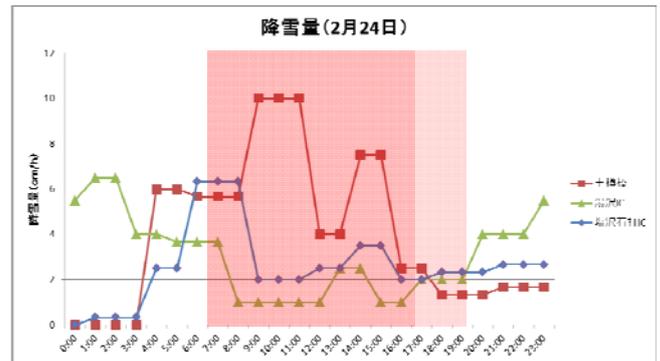
平成25年2月24日（日）において、関越自動車道の山間部区間において降雪視程不良により通行止めとなった。通行止めは約9～12時間に及び、休日に重なったこともあり観光客や物流に多大な影響が発生した。当日の通行止め開始時間は朝7時、解除時間は水上IC～湯沢ICで16:40、湯沢IC～塩沢石打ICで19:10である。図-7に当日の気象データを示す。本図から、気温は日中を通じて-3℃以下、降雪量は土樽橋で最大10cm/h、風速は概ね6m/s以上を記録しており、降雪視程障害が発生しやすい状況であったと言える。また、図-8に予測システムの視程障害予測データおよび通行止め区間を示す。朝4時の予測では、7時～8時にかけて視程100m以下の地域が劇的に拡大することが予測されている。これは図-7(b), (c)に示す降雪量・風速の時間変化と傾向が類似している。また、16時の予測に着目すると、17時には視程100m以下の地域が大幅に収束していることがわかる。こちらについても図-7の気象データの時間的変化と関係性を見取することができる。総括として、定性的ではあるものの、予測結果と通行止め開始・解除時間、並びに気象データの傾向に関係性を見出すことができるものと推察する。

4-2-2. 沿岸平野部での事例

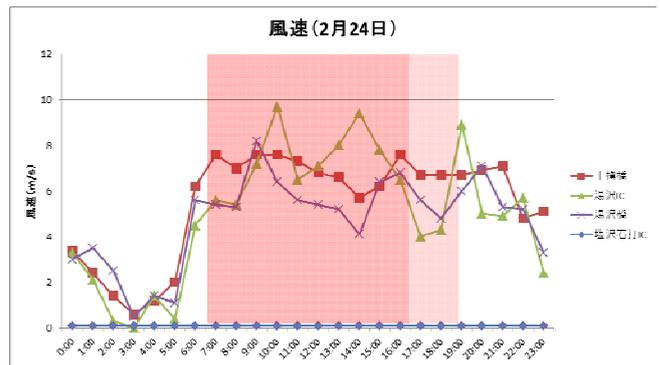
平成25年1月26日（土）において北陸自動車道を中心に長時間通行止めが発生した。通行止め区間を図-9に示す。4時の予測結果をみると、同日12時に視程悪化の地域が最大となり、その後縮小に向かうことが見て取れる。また、夕刻16時の予測に着目すると、視程悪化の地域は残っているものの19時以降は著しくその地域が減少することが判読される。当日は視程悪化の事象が夜間に及び、道路巡回による目視確認に時間



(a) 気温



(b) 降雪量



(c) 風速

図-7 平成25年2月24日の気象状況

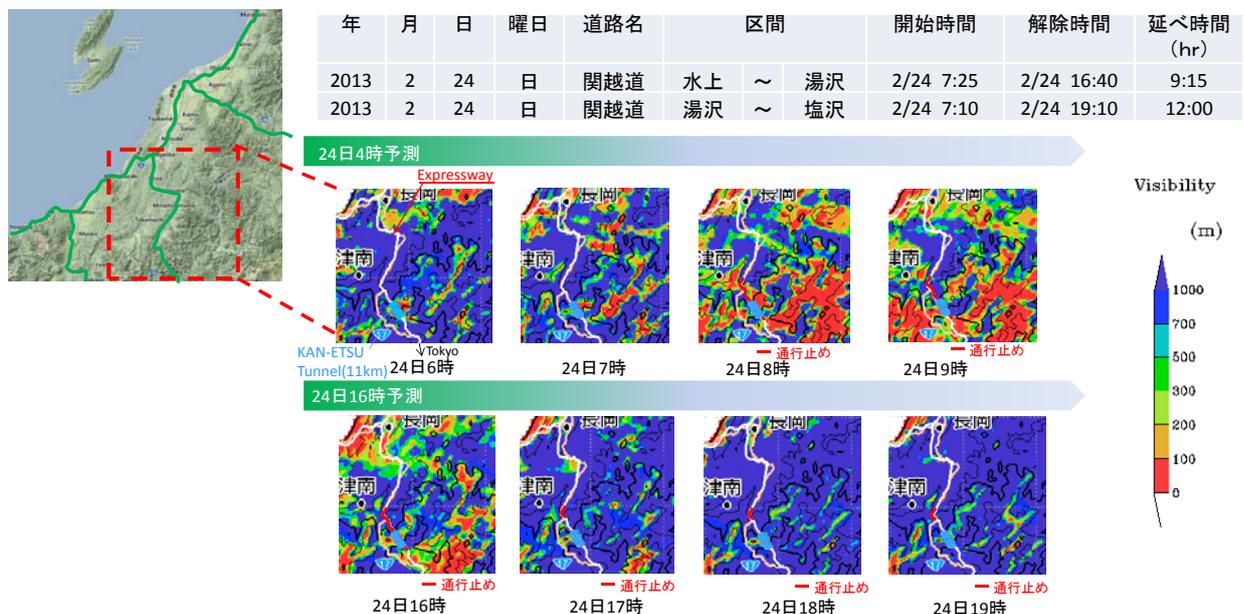


図-8 視程障害の発生予測状況

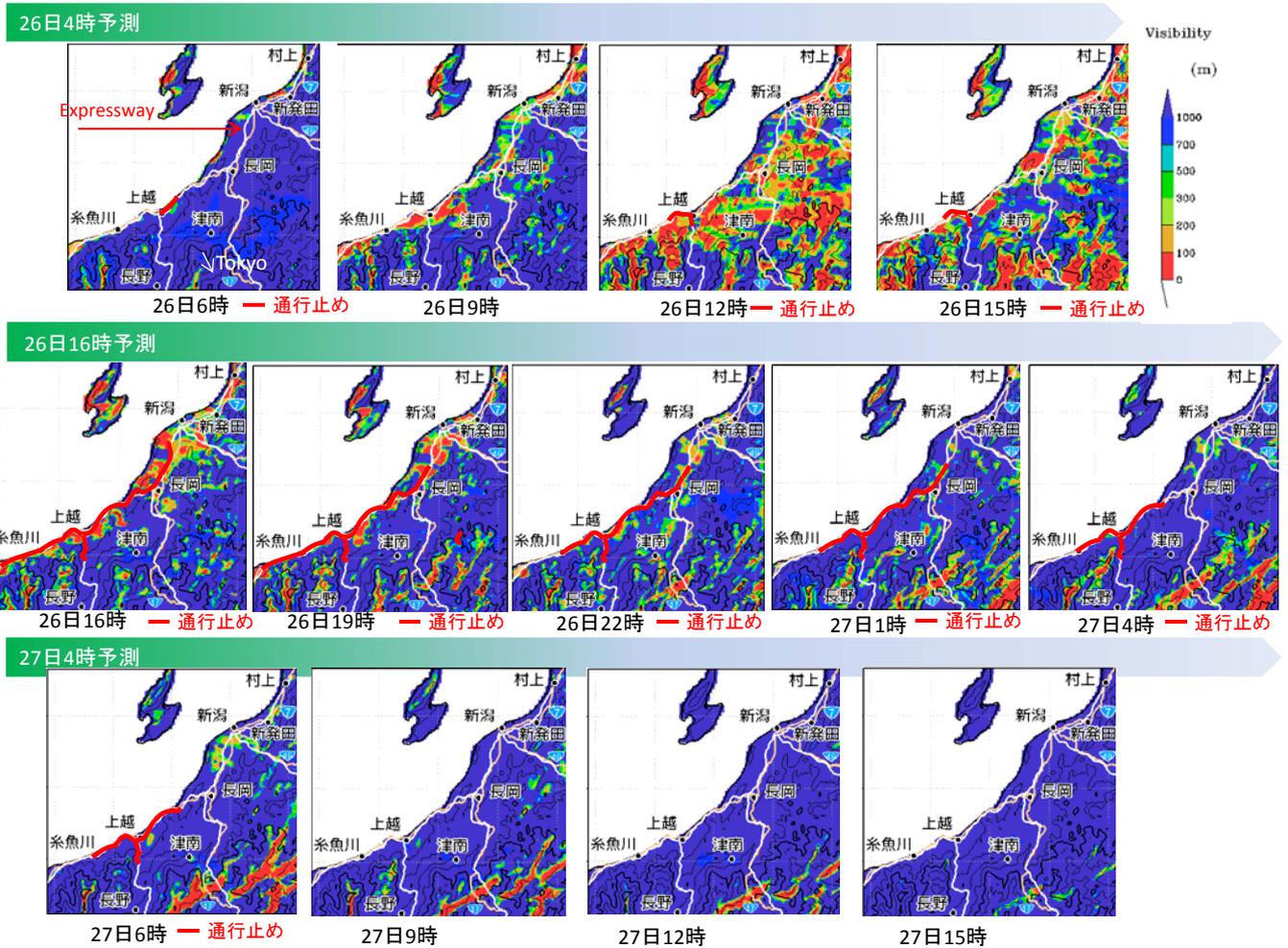


図-9 視程障害の発生予測状況

を要したことから、実際の通行止め区間と視程障害の発生時間・収束時間に時間差がみられたのではないかと推察する。

5. まとめ

高速道路の効率的な運用に向けて平成24年度冬期から試行導入した視程障害に関する予測システムについて、導入の成果を以下に列挙する。

- ・視程障害の予測分布が一目でわかり、経験的ではなく定量的に予測値を把握できることが検証できた。
- ・通行止めに関わる交通管理者等との各種協議に活用できる可能性があることが分かった。

また、明らかとなった今後の課題を以下に記載する。

- ・雪氷業務は当番制によるローテーションで行っているため、特定の技術者のみだけでなく、事務所の当番班長・班員に広く周知を図る必要がある。
- ・平成24年度冬期は視程障害の事象が少なかったことから、平成25年度冬期も引き続き本システムの事例検証を行い、雪氷体制構築判断のための一連のシステムとして確立できるよう、試行を引き続き行う必要がある。

今後は、視程障害事例での試行運用を重ねることにより通行止め判断基準の確立を行うとともに、速やかな体制構築による適宜的確な通行止め開始・解除の運用により通行止め時間の削減に期するよう更なる検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 独立行政法人 土木研究所 寒地土木研究所, 道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版), 平成23年3月
- 2) Sento Nakai, Takehi Sto, Atsushi Sto, Hiroyuki Hirashima, Masaki Nemoto, Hiroki Motoyoshi, Katsushi Iwamoto, Ryohei Misumi, Isao Kamiishi, Toshiichi Kobayashi, Kenji Kosugi, Satoru Yamaguchi, masaaki Ishizaka, A snow Disaster Forecasting System(SDFS) constructed from field observations and laboratory experiments, Cold Regions Science and Technology 70 (2012) 53-61

長良川 SA における「冬用タイヤ自動判定装置」を用いたタイヤチェック

堀 江 悟*1 宇佐見 純二*2

1. はじめに

東海北陸自動車道の冬期間の交通安全対策として、気象変化点である美濃 IC 以北で降雪があり、チェーン装着規制が実施された場合、少雪地域的美濃 IC 手前の長良川 SA (サービスエリア) に全車両を強制的に流入させ、タイヤチェック要員が目視によって冬用タイヤ、若しくはチェーン装着の有無を確認している(図1)。

しかしながらこの手法では、SA 内で車両を 1 台 1 台一旦停止させる必要があるため、タイヤチェック作業に時間を要し、交通量が多い場合には渋滞が発生する。また、深夜やタイヤチェック作業が長時間に及ぶ場合には、過酷な役務をタイヤチェック要員に強いる事になると共に、交代要員の確保やそのための費用も必要である。

こうした問題を解決するため、冬用タイヤの装着状況を機械的に判別する装置(以下、「冬用タイヤ自動判定装置」という。)の開発が中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋㈱、大同大学、電気通信大学、名古屋電機工業㈱らによって 2010 年度から行われている。[1]

中日本高速道路㈱岐阜保全・サービスセンターでは、この開発中の「冬用タイヤ自動判定装置」を使用したタイヤチェック作業を 2011 年度から長良川 SA において試行している。

本報告は、2011 年度の試行結果と、その結果を踏まえた 2012 年度の改善状況と結果について記すものである。

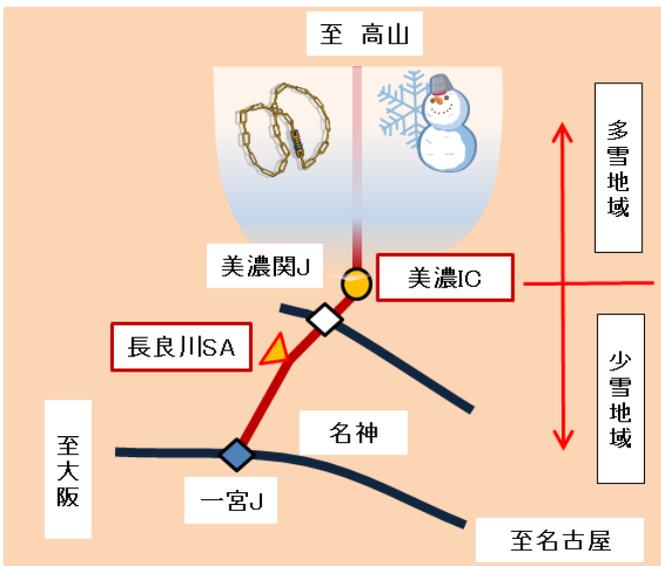


図1 位置図

2. 2011年度の取り組みと課題

車が走行する時に出るタイヤからの発生音(発生周波数)は、夏用タイヤと冬用タイヤのトレッドパターンの違いにより図2に示すように異なったものとなる。

そこでこの発生音をマイクロホンで集音してパソコンに取り込み、主体音(周波数)の違いを解析し、その解析結果から装着しているタイヤの種別を機械的に判別する装置が「“音センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」である。

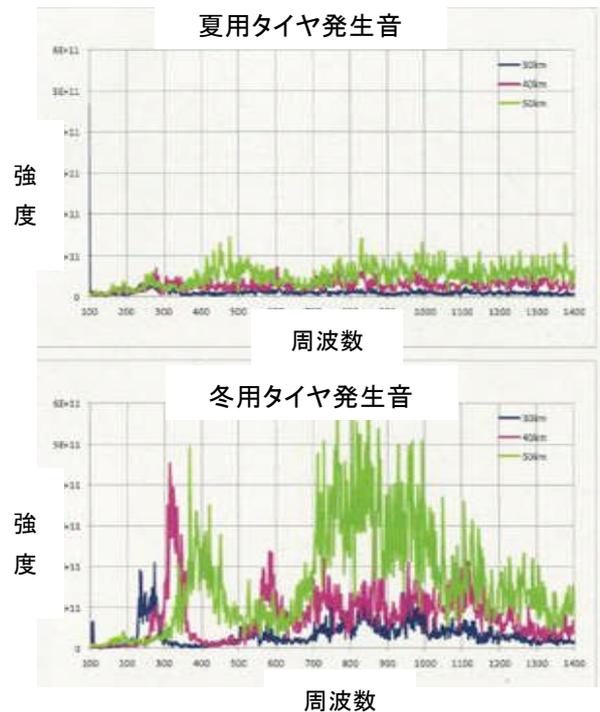


図2 夏用タイヤと冬用タイヤの発生音の周波数特性

チェーン装着規制時に行うタイヤチェック作業は、これまでタイヤチェック要員が目視にて実施してきた。

しかしながら、こうした作業は非効率であることから、この「“音センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」を使用したタイヤチェック手法を導入し、長良川 SA にて試行した。

長良川 SA における「“音センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」を使用したタイヤチェック作業は次のとおりである(図3)。

①長良川 SA の流入ランプ部の中間付近で車両の通過音を路肩に設置したマイクロフォンで集音する(写真1)。

*1 中日本高速道路株式会社 名古屋支社 岐阜保全・サービスセンター

*2 中日本ハイウェイ・メンテナンス中央株式会社 経営企画部

- ②通過音の周波数をパソコン（制御機）にて解析し、夏用タイヤか冬用タイヤかを判別する。
- ③タイヤ種別の判別結果を、進行方向に設置した2枚の可変表示板（判別結果表示板）にてお客様にお知らせし、車両を誘導する。
- ④冬用タイヤ車はSAをそのまま通過させ、SA利用車と夏用タイヤ車は、本線流入時にタイヤ種別とチェーン装着状況を確認し本線に流入させる。

なお、大型車については、タイヤの種類が多く、かつ積荷の状況が様々で判別精度が極めて低い事、また冬用タイヤの装着率が高いことから、自動判別の対象から外し、冬用タイヤ車と同じ誘導とした。



写真2 長良川 SA における「冬用タイヤ自動判定装置」を使用したタイヤチェック作業状況 (2011)

することから、この条件下の車両のタイヤ種別を判別していない。このため、実際にタイヤチェック作業を行った普通車に対して判別不能車両が約30%発生した。また、判別を実施した車両に対して夏用・冬用タイヤを正しく判別できたのは約75%であった。すなわち、判別対象車両の約50%しかタイヤ種別を正しく判別できなかった。

よって、更なる判別精度の向上を目指しての取り組みが必要であるとされた。

(2) SA内における交通運用

交通量が少ない時間帯においては、流入ランプを通過する車両の走行速度が速く、タイヤ種別の自動判別が確実に行われ、問題は少なかった。しかし、交通量が多い時間帯では、流入ランプを通過する車の走行速度が低下し、車頭間隔が短くなった事から、自動判別が出来ない状況が発生した。

よって、交通量が多い時間帯においても確実に自動判別を行なえるよう車両誘導の改善が必要であるとされた。

(3) お客様への情報提供

SA内では、自動判別場所から25m下流と68m下流に判別結果と誘導路を示す可変表示板をそれぞれ1枚ずつ、計2基設置し、お客様の車両をタイヤ種別ごとに誘導した。その結果、タイヤ種別が正しく判定されない場合には誤った情報をお客様に伝える事となり、表示板の手前で減速したり停止する車両が見られた。また、タイヤ種別が正しく判別されても表示板に示した内容に従って運転手が行動しない車も見られた。更に、交通量の多い時間帯では、表示板を見る車が複数台となり、行く先に戸惑う車が多数発生してSA内の交通が混乱した（写真3・4）。こうしたSA内での混乱が判別精度の低下を助長した。

「冬用タイヤ自動判定装置」を用いたタイヤチェック作業時のお客様への情報提供の手法について改善が必要であるとされた。

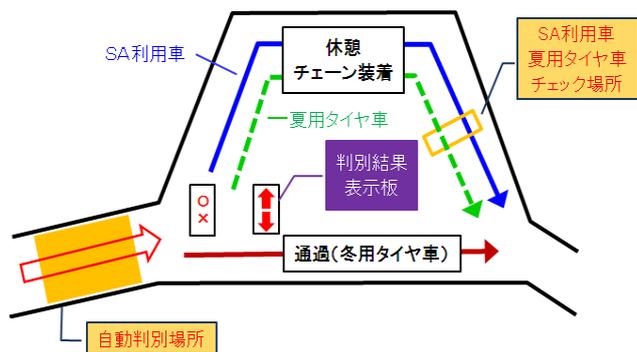


図3 長良川 SA における「冬用タイヤ自動判定装置」を使用したタイヤチェック作業状況図 (2011)

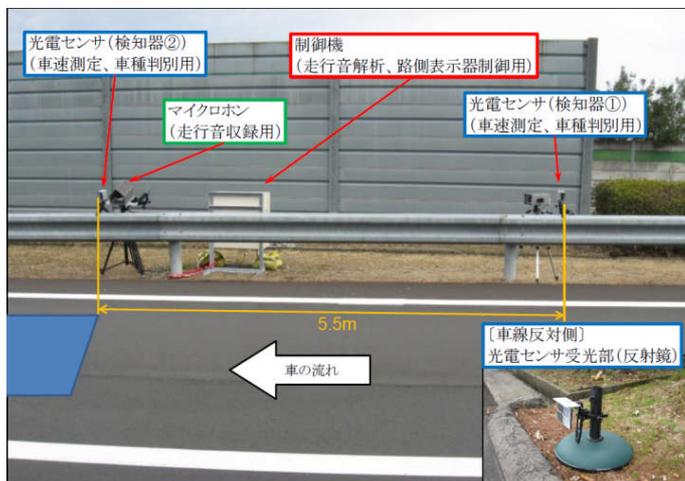


写真1 「冬用タイヤ自動判定装置」の機器構成

2011 年度冬期は、「音センサ」を用いた冬用タイヤ自動判定装置を使用したタイヤチェック作業を延べ3回（約38時間）、実施した。写真2に長良川SAにおけるタイヤチェック作業状況を示す。

実施の結果、3つの大きな課題が明らかとなった。

(1) 冬用タイヤの自動判別精度

「音センサ」を用いた冬用タイヤ自動判定装置では、その自動判別能力の限界から走行速度が35km/h以下、車頭間隔が2.0秒以下では、判別精度が低下



写真3 判別不能車両による混乱状況



写真4 行先不明車の発生による混乱状況



写真5 判定場所の路面への振動センサの設置状況

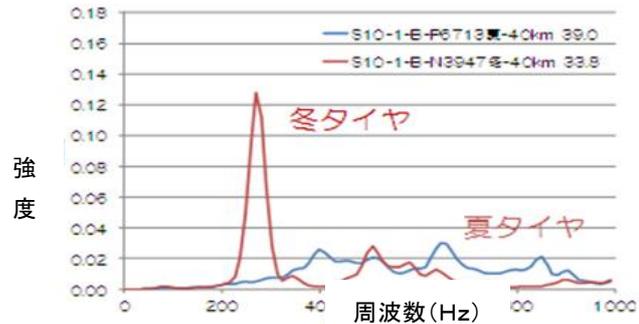


図4 夏タイヤと冬タイヤの路面に発生する振動特性

3. 2012年度の取り組み

2012年度の冬期については2011年度に明らかになった3つの課題の改善を目指して取り組んだ。

(1) 冬用タイヤの自動判別精度の向上

2011年度は、夏用・冬用タイヤの“発声音(周波数)”に着目して、タイヤ種別の判別を試みた。

2012年度は、夏用・冬用タイヤのトレッドパターンの違いから車両通過時に路面に発生する“振動(発生周波数)”が異なる点に着目し、タイヤ種別を判別する手法としての適応性を確認した。

具体的には、判別対象車両の走行する路面に“振動センサ”を埋設し、観測された振動をパソコンに取り込み、主体振動(周波数)の違いを解析して、その解析結果から装着しているタイヤの種別を機械的に判別するというものである。

写真5に自動判別場所の路面への“振動センサ”の設置状況を、図4に時速40kmで走行した時に路面に発生する振動状況を示す。

図4から、夏用タイヤと冬用タイヤでは車両通過時に路面に生ずる振動(周波数)が異なる事が明らかとなった。また、“振動センサ”を用いた場合には、図5に示すように発生特性が短時間に、かつ明確に表れることも分かった。

よって、2012年度は“音センサ”と同様に夏用・冬用タイヤの違いを判別する事が出来、かつ“音センサ”による判別よりも短時間での判別が可能となる「“振動センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」を採用する事とした。

<時間波形>

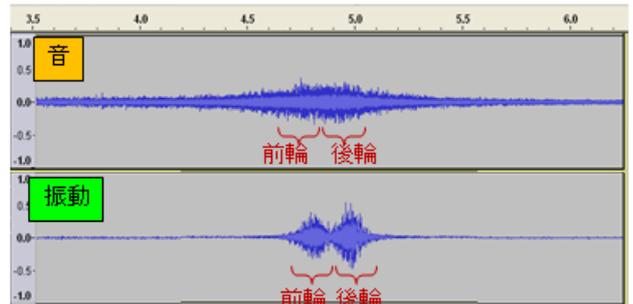


図5 冬タイヤの“通過音”と“通過振動”の特性

(2) SA内における交通運用の改善

2011年度は、長良川SAに引き込んだ大型車を除く全車両をタイヤ種別の判別対象とし、流入ランプ部にて判別を実施した。このため、交通量の増加とSA利用車等への案内不足から、立ち往生する車両が発生したり、速度低下や車頭間隔が狭くなったことが原因で、判別不能車や誤判別車両が数多く発生した。

2012年度は、駐車場入口部でSA利用車とSA通過車両を振り分け、更にSA通過車両を普通車と大型車に分別し、2011年度と同様に普通車のみを対象として、自動判別作業を行うこととした(図6)。なお、SA利用車と夏タイヤ車は、2011年度同様、本線流入部で人力によるタイヤチェックを実施した。

このため自動判別場所を、流入ランプ部からSA駐車場内の通路部に移動させた。

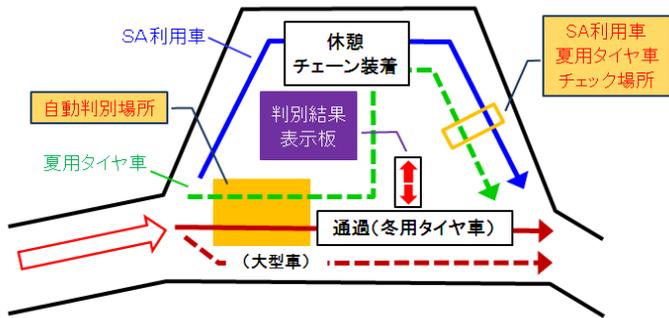


図6 長良川 SA における交通運用の改善



写真6 長良川 SA における「冬用タイヤ自動判定装置」を用いたタイヤチェック状況(2012)

(3) お客様への情報提供

2011 年度は、自動判別場所の進行方向に 2 枚の可変表示板（判定結果表示板）を設置し、お客様へのタイヤ種別の判別結果の伝達と誘導路の案内の 2 つの情報を同時に提供したためにお客様が混乱した。

2012 年度は、判別結果表示板は 1 枚として誘導路のみを表示することとし、併せて視認性の良い立看板でタイヤ種別ごとにお客様を誘導する事とした。

また、これらの設置間隔を 43m から 33m に 10m 短くし、1 台ずつ確実に誘導するようにした(図7)。

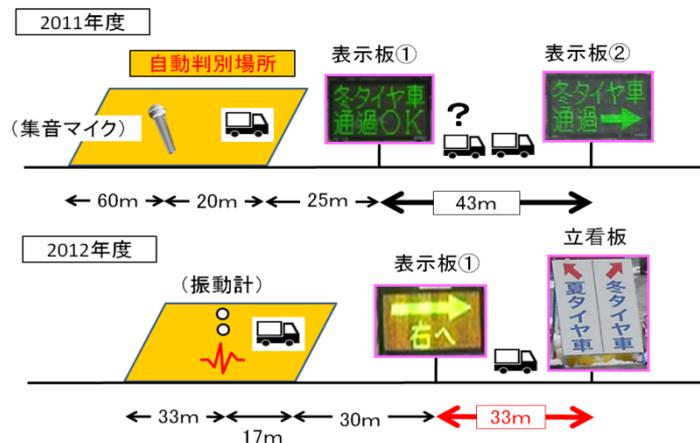


図7 長良川 SA における情報提供の改善

4. 2012 年度の実施結果

2012 年度冬期においては、美濃 IC 以北でチェーン装着規制が 7 回実施され、このうち 3 回、約 30 時間について「“振動センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」を使用してタイヤチェック作業を実施した。写真6に長良川 SA 通路部におけるタイヤチェック状況を示す。

2012 年度冬期への改善により次の事項が確認できた。

(1) 冬用タイヤの判別精度について

- 判別不能車両が約 30% から約 10% に減少した。
- 判別実施車両に対して判別精度が約 75% から 94% に向上した。
- 判別対象の全車両に対して、判別精度は約 50% から約 80% に向上した。

(2) SA 内の交通運用について

- SA 流入部で自動判別する車両を分別することで、通過車両の走行が円滑になり、SA 内の交通誘導に関するトラブルが減少した。また、この事が判別精度の向上に繋がった。
- 通過車両の通過速度の向上が見られ、判別処理能力の向上が図られた（自動判別：約 1,000 台/時、人力作業：約 400 台/人・時）。

(3) お客様への情報提供について

- お客様に与える情報を限定し（行先のみを表示）、情報提供手法を単純化することで、円滑な交通を確保できた。

(4) 使用センサについて

- “振動センサ”を用いた方が“音センサ”よりも判別精度が優ることが確認された。すなわち、「“音センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」では、車頭間隔 2 秒以上、走行速度 35km/h 以上でないと判別が出来なかったが、“振動センサ”を用いた場合にはノイズの影響を受け難く、車頭間隔 1 秒以上、走行速度 20km/h 以上であれば判別が可能であった。

5. おわりに

2012 年度においては、「“振動センサ”を用いた冬用タイヤ自動判定装置」を使用すること、そして SA 内の交通運用の改善等により 2011 年度の試行における 3 つの大きな課題をクリア出来た。

2013 年度の冬期に向けても引き続き細かな課題を解決しながら人によらないタイヤチェック手法を確立してまいりたい。

参考文献

[1] 谷寄徹也, 村部敏彦, 上田浩次, 鎌倉友男: 「冬用タイヤ自動判定装置の開発状況」, 高速道路と自動車, pp28-32, 2012. 12

新雪トラック除雪に於ける除雪機械の稼働分析に関する基礎的研究 除雪速度に影響をおよぼす要因

沼田 実*¹ 菅野 敏文*¹ 河村 有泰*¹

1. はじめに

冬期機械除雪管理は地域性の高い業務であり、的確な実施判断を行うことが必要不可欠である。一方、実際の現場ではどのような判断がなされているのだろうか。道の新雪除雪出動基準では、10cm以上の日降雪量が想定される場合に出勤することとなっている。しかしながら、筆者が行った稼働日報データの分析では、実際の機械除雪作業（特に新雪トラック除雪）に於いて、委託除雪業者の経験と推測によって出勤判断されている傾向が認められた。

本研究では、道道の新雪トラック除雪作業を対象に、その稼働記録に集積された各種データと気象観測データを組合せることで、除雪速度に影響を与える要因を分析した。加えて、除雪作業時間の標準的な作業時間を求めることで、新雪除雪に負荷の掛っている路線を特定し、新雪除雪工法の適正化の可能性についても検討を加えた。

2. 除雪車稼働分析の手順

除雪車の稼働分析に際し、平成14年度全道除雪車稼働記録原簿 CSV データの提供を受けた。これら稼働記録の内、ケーススタディーとして岩見沢地区の新雪トラック除雪を対象とし、同地区の交通センサスデータとアメダスによる降雪データを付加することで分析を行うこととした。以下に、除雪車の稼働分析フローを示す。

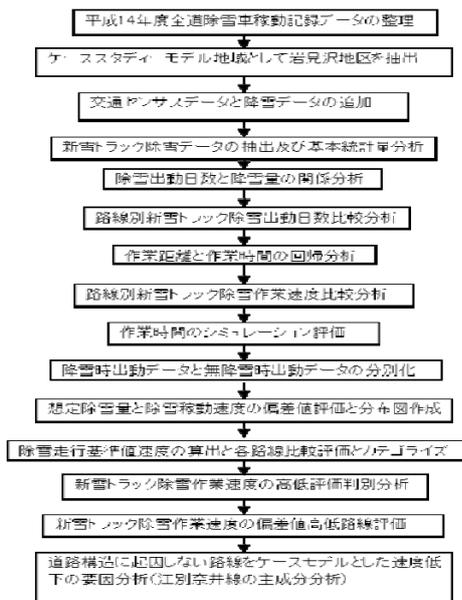


図2.1 稼働分析のながれ

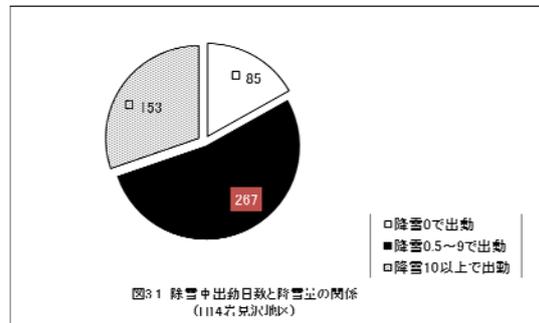
3. 新雪トラック除雪データの基本統計量分析

3-1. 除雪車の出動日数と降雪量の関係

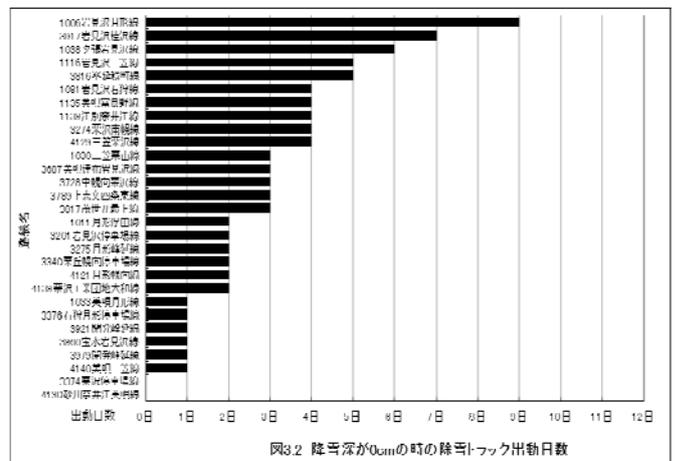
道道の新雪除雪を対象とした出動日数と降雪量との関係を分析した。

期間中の日降雪量 10cm 以上の出動日数は、同地区全路線を対象とした場合、延 153 日となり全出動日数の約 30%を占めている。

一方、日降雪量が 10cm 以下で出勤しているケースは全体の 7 割であり、特に無降雪記録での出動日数は延 85 日間となっている。



何らかの降雪が確認された日数 267 日間を除雪必要日数と考えた場合でも、稼働した全日数の約 17%は新雪除雪の対象とすべきであったかは疑問が持たれる。このことは、除雪を委託された側の出勤判断が曖昧であることを意味する。精度の高い降雪予測情報は適正な出勤判断基準となり、除雪事業に於いては重要な要素となり得ることから、今後も注視すべき課題のひとつであろう。また、各路線の出動日数分析では、出動日数の多い路線は降雪量に無関係に出勤している傾向が高く、詳細な追跡調査が必要と思われる。



*1 アリヤス設計コンサルタント(株) 雪対策 P. J. T. 011-233-4700

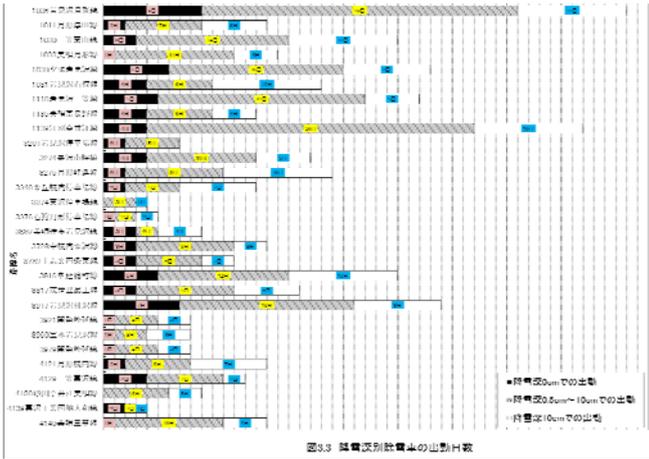


図3.3 盛岡近郊道路別除雪車の出動日数

3-2. 新雪トラック除雪の基本統計分析結果

① 作業計画延長

同地区の除雪計画延長は、延 8801km であり、日稼動計画延長は 0.1~30.5km となっている。これをメジアン中央値で示すと 13.3km となり、除雪トラック 1 台当りの日作業計画距離の代表値として示される。

② 稼動区間延長

一方、実際に稼動した作業区間延長を求めると 4637km となり、計画延長の 53% が実稼動されていることが解った。日稼動延長は 0.1~27.0km、メジアン中央値では 7.1km が求められた。これにより、同地区の除雪トラック 1 台当りの日稼動作業延長は 7.1km/台が代表値として表される。

③ 想定除雪量

想定除雪量は、新雪密度を 0.15g/cm³ と仮定し、9時 to 9時の日降雪量にプラウの幅 (2.35m に仮定) と作業距離を掛け合わせることで求めた。同地区全路線の新雪除雪想定量は合計で 2214 t/hr・km となり、これを 1 台当りのトラックに換算した場合、メジアン中央値から 2.7 t/hr・km・台の処理を行っていることが示された。

④ 除雪作業速度

作業速度は1.0~48km/hrの範囲で行われており、メジアン中央値から、その代表的速度として14.0km/hrが求められた。これにより、新雪トラック除雪の作業速度は 14.0km が基準値と考えられる (図3.4)。

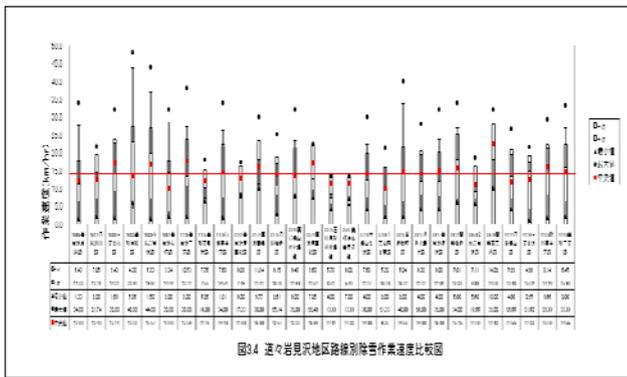


図3.4 遠く岩見沢地区道路別除雪作業速度比較図

4. 降雪時に於けるトラック除雪稼働分析

4-1. 想定除雪量と平均作業速度の偏差値評価

新雪トラック除雪の稼働分析を行う場合、気象観測記録から「降雪有」のデータを抽出する必要がある。偏差値評価は沼田^{*1}らが提唱した手法であり、所定の区域内で行われる除雪作業を路線ごとに評価することが可能となる。

ここでは、想定除雪量を新雪密度0.15g/cm³と仮定し、9時 to 9時の日降雪量にプラウの幅 (2.35mに仮定) と作業距離を掛け合わせることで求めることとした。

偏差値が高い除雪は、それだけ除雪量も大きく作業速度も高いことを意味する。これらの分析結果は、分布図として表記できる。第一象限にある作業は除雪量と作業速度が高い作業を示し、第三象限に表記される作業は逆に低い作業であることが視覚的に理解できる。

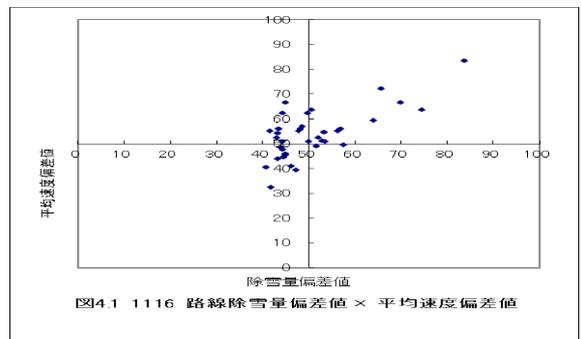


図4.1 1116 路線除雪量偏差値 × 平均速度偏差値

4-2. 新雪トラック除雪車の作業時間シミュレーションについて

国道に於ける新雪トラック除雪車の稼働時間分析 (年次稼働分析) から、作業時間 T_s は作業距離 L_s との相関性が高い ($r=0.9$) ことが既往の研究成果 (沼田) により得られている。ここでは、日報レベルの詳細なデータを基に、同様の分析を行った。日報データを基にした分析では、作業時間 T_s と作業距離 L_s との間には

$$T_s = 0.0616 * L_s + 0.2872 \quad (\text{相関係数 } r = 0.74)$$

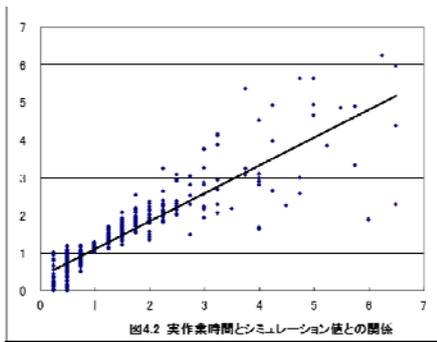
の関係が成立する。しかしながら相対的に乖離が多く認められ、作業距離 L_s から作業時間 T_s を推定するには、他の変量を考慮すべきと判断される。

作業時間に影響を与える要素を抽出するために、交通センサデータ、降雪データ、道路構造データ、作業データ等に加え、重回帰分析 (増減法) を行った。このとき、

$$T_s = 0.071 * L_s - 0.074 * \text{平均速度 } V_s - 0.069 * \text{往復回数 } R_n - 0.008 * \text{交差点数 } C_n + 1.448 \quad (r = 0.872) \dots (\text{式-1})$$

が成立する。

これにより、新雪トラック除雪作業時間 T_s は (式-1) によって、ある程度の予測が可能とされる。



4-3. 路線別除雪作業速度評価

除雪作業速度の高低評価の基準を偏差値50をひとつの基準に仮定し、50以上を高い路線、50未満を低い路線と設定した。これらの基準に基づきデータを分別し、詳細な分析を行った。

統計量の算出結果により、新雪トラック除雪の作業速度は14.0kmが基準値と考えられることが判明している。道道岩見沢地区路線別除雪作業速度比較図(図3.2)には、作業速度の最大値、最小値、中央値、標準偏差等を表記している。中央値をその路線の除雪作業速度の代表値とした場合、基準値14.0kmとの比較から、対象路線の作業速度の高低が視覚的に判別可能となった。

4-4. 路線別除雪作業速度シミュレーション

各路線の除雪作業速度の高低評価判別が可能であるかを、判別分析法によりシミュレーションした。判別式は、式-2として示した。

$$\begin{aligned} \text{判別関数式} = & 0.044 \times \text{区間延長} + 0.034 \times \text{車道部幅員} - 0.02 \times \text{交差点数} \\ & - 0.029 \times \text{除雪計画延長 (km)} - 0.051 \times \text{作業区間延長 (km)} \\ & + 0.008 \times \text{作業距離 (km)} + 0.495 \times \text{作業速度 (km/hr)} \\ & + 0.015 \times \text{往復回数} - \text{降雪深 (cm/台)} + 0.011 \times \text{想定除雪量 (t/hr \cdot km \cdot 台)} - 6.528 \quad \dots \text{(式-2)} \end{aligned}$$

式-2の算出値の正負により、除雪作業速度の標準偏差の高低評価を判別することが可能となる。このとき、シミュレーションの判別的中率は95.5%となった。

4-5. 除雪作業速度に影響を及ぼす要因分析

作業速度の偏差値評価から50未満の路線(135サンプル)と50以上の路線(116サンプル)に仕分けした結果、日によってどちらの区分にも該当する路線が存在する一方で、常に作業速度偏差値が低い路線や高い路線が存在していることが判明した。例えば、江別奈井江線はそうした路線であり、作業速度評価に影響を与える要因として道路構造が影響しているとは考えにくく、他の要因分析を行う必要がある

と考えた。そこで、江別奈井江線をケーススタディーとしてデータを抽出し、主成分分析を行った。その結果、第1主成分による寄与率が74.2%、第2主成分による寄与率が16.4%であることが解り、路線データに主たる特性が認められた。そこで第1主成分の固有ベクトルや主成分負荷量に着目し何が作業速度評価を左右するのかを分析した。

表4.1 新雪トラック除雪の速度偏差値高低評価比較路線分析一覧

速度低下路線度数分布表				高速度路線度数分布表			
路線名	度数	相対度数	累積相対度数	路線名	度数	相対度数	累積相対度数
岩見沢月形線	20	0.15	0.15	江別奈井江線	15	0.13	0.13
江別奈井江線	16	0.12	0.27	三笠栗山線	12	0.10	0.23
釜谷町線	10	0.07	0.34	夕張岩見沢線	11	0.09	0.33
岩見沢石狩線	8	0.06	0.40	岩見沢三笠線	10	0.09	0.41
夕張岩見沢線	7	0.05	0.45	美幌南線	6	0.05	0.47
岩見沢石狩線	7	0.05	0.50	釜谷町線	5	0.04	0.51
美幌月形線	6	0.04	0.55	月形峰延線	5	0.04	0.55
上志文四条東線	6	0.04	0.59	岩見沢月形線	5	0.04	0.59
三笠栗山線	6	0.04	0.64	岩見沢石狩線	5	0.04	0.64
月形峰延線	6	0.04	0.68	岩見沢三笠線	5	0.04	0.68
中幌向栗山線	5	0.04	0.72	栗山三笠線	4	0.03	0.72
美幌南線	4	0.03	0.75	美幌三笠線	4	0.03	0.75
美幌三笠線	4	0.03	0.78	美幌月形線	4	0.03	0.78
三笠栗山線	4	0.03	0.81	月形峰向線	4	0.03	0.82
月形峰田線	4	0.03	0.84	美幌月形線	4	0.03	0.85
岩見沢三笠線	4	0.03	0.87	中幌向栗山線	3	0.03	0.88
岩見沢三笠線	3	0.02	0.89	三笠栗山線	3	0.03	0.91
栗山三笠線	3	0.02	0.91	月形峰田線	3	0.03	0.93
栗山三笠線	2	0.01	0.93	岩見沢石狩線	2	0.02	0.95
美幌三笠線	2	0.01	0.94	開発峰延線	2	0.02	0.97
月形峰向線	2	0.01	0.96	開発峰延線	2	0.02	0.97
開発峰延線	2	0.01	0.97	上志文四条東線	1	0.01	0.97
石狩月形停車場線	1	0.01	0.98	砂川奈井江美幌線	1	0.01	0.98
砂川奈井江美幌線	1	0.01	0.99	美幌停車場線	1	0.01	0.99
美幌停車場線	1	0.01	0.99	美幌停車場線	1	0.01	0.99
岩見沢停車場線	1	0.01	1.00	美幌工業団地大和線	1	0.01	1.00

サンプル数 135 (左側), 116 (右側)

表4.2 江別奈井江線をケーススタディーとした主成分分析結果

固有値表	固有値	寄与率	累積寄与率
主成分No.1	183.893	74.2%	74.2%
主成分No.2	40.642	16.4%	90.6%

固有ベクトル	主成分No.1	主成分No.2
開始時刻	-0.007	0.656
終了時刻	0.056	0.629
1台分の降雪深	0.035	0.413
作業距離	0.996	-0.044
往復回数	0.029	-0.014
実作業時間	0.059	-0.023

第1主成分の固有ベクトル正值の大小から、除雪作業速度は作業距離に左右されていることが想定される。しかしながら、この主たる要因は他の路線でも同様な傾向を示すことから、次に第2主成分の固有ベクトルに着目した。このとき、開始時刻・終了時刻・除雪機械1台当たりが処理する降雪量が寄与していることが推定された。

したがって、作業効率を評価する上で開始時刻(終了時刻は開始時刻で説明可能と判断)に着目しデータを分別することが有効であると判断した。

そこで、江別奈井江線基本データの開始から終了までの

時刻に着目し検討した結果、朝のラッシュ時にまたがる様な作業では高速作業を実施しているため、基準値より高い評価となることが確認された。

一方、評価の低い作業では日中作業データが多く混入しており、除雪機械の除雪能力には余裕があることが認められる。逆に、深夜から早朝にかけての除雪作業では、除雪機械の除雪能力をフルパワー稼働させている様子が覗える。

これらの詳細な分析には、今後現地での稼働実態調査を実施することで確認を行うことが重要となる。

次に、作業速度評価高低が一方に偏っているケースとして栗沢南幌線及び開発茶志内線と美唄富良野線に着目した。前記2路線の作業では、作業速度評価が高い状態を示している。逆に美唄富良野線は低い評価値となっている。その原因究明の分析には、実際に路線構造や冬期除雪の実態調査を行う必要があり、今回の使用データの範囲では不明となっている。

5. 今後の研究と提案

除雪効率を客観的(数値)指標を基に評価し、適正化することは、除雪費用削減の可能性を検討することになる。

今回の研究により得た知見を基に、さらに詳細な調査や検討を加えていくことは、増大する除雪費用の健全化につながるものと考えられる。

以下は、今後の研究提案について筆者なりにまとめたものである。

1) 現地での新雪トラック除雪データの取得・分析

今回の研究成果により、岩見沢地区の道道の新雪トラック除雪作業速度は14km/hrである知見を得た。この速度を基準と仮定し、同地区内の新雪除雪作業速度が相対的に低い①美唄富良野線、逆に高い②栗沢南幌線、ほぼ同一の③江別奈井江線の3ケースをケーススタディとして、新雪トラック除雪を対象に稼働記録を取得・分析し、特性の違いやその原因を詳細に検討する必要がある。

2) 除雪作業時間に影響を及ぼす要因の特定化

今回の分析結果から得られた対象路線の標準作業速度と現地観測による実態速度を比較検討し、作業速度の高低評価を行う。さらに、それらに影響を与える要因が何であるかを特定する。

3) 作業開始時刻が及ぼす作業実施内容と作業時間の影響度評価

作業開始時刻の違いにより、除雪内容に変化があるかを現地観測により、その実態を調査するとともに、それらの実態を把握した上で、作業時間に及ぼす要因とその影響度等を分析・評価する。その上で、除雪車の出動・作業実施のタイミングの最適化を検討する。

4) 路線別除雪係数の検討

種々の分析結果から、路線の除雪作業時間低下要因を作業効率係数として数値化可能かを検討する。

5) 除雪アンケートの実施

対象地区の全路線を対象にその作業実態等を除雪業者からアンケート調査により取得し、作業出動条件を整理する。

6. 結語

除雪作業時間の予測は、除雪効率の客観的(数値)指標の基となるものである。特に速度評価は除雪の適正化を目指す上で重要な要素であり、除雪費用削減へもつながる有益な資料となる。作業開始時刻の違いが、除雪内容に変化を及ぼすものなのかは、現地観測による実態把握が必要である。

今回の研究にあたり、貴重なデータをご提供下さいました北海道建設部土木局の皆様へ、心より感謝申し上げます。

参考文献：沼田 実；除雪能力を考慮した除雪機械配置の適正化に関する研究、寒地技術論文・報告集3532、200、

多機能型排水性舗装の凍結抑制効果に関する一考察

山本 靖彦*1 齊藤 一之*2

1. はじめに

ポラスアスファルト舗装（以下、排水性舗装）は、路面の水はね防止や雨天時の視認性向上に優れた舗装として普及しており、特に自動車専用道路では表層に適用することによって、車両走行の安全面においても有効な舗装として評価されている。また、積雪寒冷地では、表面テクスチャ（路面の凹凸）を確保することで薄いシャーベットやブラックアイスバーンの抑制効果が見られるなど、「粗面系」と分類されて凍結抑制舗装としても期待されてきている¹⁾。

一方で、排水性舗装が長年供用されていくうちに、空隙詰まりによる排水機能の低下に加え、浸透した水分により下層にはく離が生じることや、修繕時に表・基層の打換えが必要になること等の不具合も顕在化してきている。

また、寒冷地では舗装体内に残った水分が気温の低下により氷結することで膨張し、舗装体が破壊するケースも見られている。この現象は2013年3月の北海道新聞でも紹介されており、特に札幌市内では路面状況が原因によるパンク処理の出動回数が前年同期比の1.5倍に増える等、車の運転にも支障を及ぼしていると報じられている。

このように寒冷地での排水性舗装は耐久性に難点があるため、排水機能等の効果は認められるものの採用が控えられる状況にある。また、排水性舗装は取込んだ水分を直ちに排出する構造のため、凍結防止剤を散布しても流出しやすく、密粒度アスコンなどに比べて散布回数が増える問題もある。

これら寒冷地における排水性舗装の問題点を解決し、新たな凍結抑制舗装及び寒冷地における排水性舗装の代替えとするために多機能型排水性舗装を開発し、2013年9月時点で約51,000m²の施工を行ってきている。

本報文は、この多機能型排水性舗装の実績工事における、凍結抑制機能の検証結果に関してとりまとめたものである。

2. 多機能型排水性舗装の概要

多機能型排水性舗装は、混合物一層の施工で、表面付近が寒冷地における排水性舗装（空隙率17%程度）と同等の排水機能を有し、下部は碎石マッシュアスファルト混合物（以下、SMA）と同等の防水性能を併せ持つ舗装である（図-1参照）²⁾。

このように一層内に防水機能を有するために下層への浸透水を防止し、路面性状の回復のための修繕の際には表層のみの打換えとなり、二層打換えを抑制できる。また、寒冷期に散布した凍結防止剤が容易に流出せず、表面付近の空隙と縦

溝に留まるため塩分残存率が高くなり、凍結抑制効果の持続性がこれまでの密粒度舗装や排水性舗装等に比べて向上する。

また、寒冷地においては路面から深い位置にまで空隙があると水分の凍結による破損が発生していることから、路面付近の排水層厚は10mm程度に抑えている。ただ、この厚さでは所定の浸透水量の確保が懸念されるため、排水機能の向上を目的として施工時において機械的に粗面仕上げとなるようアスファルトフィニッシャの改善を図っている。この専用アスファルトフィニッシャの使用により舗装表面に縦溝が形成され（写真-1参照）、排水機能の向上に加えてタイヤ/路面騒音低減効果や走行時の視認性向上等の新たな効果が生まれている^{3,4)}。

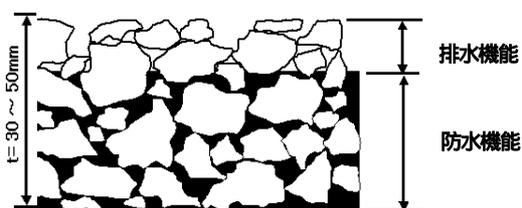


図-1 多機能型排水性舗装の構造イメージ

表-1 多機能型排水性舗装の目標値

項目	多機能型排水性 社内目標値	参考値	
		排水性舗装	SMA
マーシャル突固め回数 (回)	両面50回	両面50回	両面50回
マーシャル安定度 (kN)	5.0以上	3.43以上	5.0以上
残留安定度 (%)	75以上	75以上	75以上
カンタプロ損失量 (-20) ¹⁾ (%)	12以下	20以下	-
透水係数 ²⁾ (cm/sec)	1.0×10 ⁻⁷ 以下	1.0×10 ⁻⁷ 以上	1.0×10 ⁻⁷ 以下
動的安定度 (DS) (回/mm)	6,000以上	3,000以上	3,000以上
路面のキム深さ (MPD) (mm)	1.2以上	-	-
浸透水量 (ml/15sec)	800以上 ³⁾	1,000以上	-
すべり抵抗値 (BPN)	60以上	60以上	60以上

¹⁾ 寒冷地での使用の場合、一般地域での使用では20
²⁾ 加圧透水試験による
³⁾ 空隙率17%の排水性舗装の浸透水量相当



写真-1 縦溝粗面仕上げの例

* 1 (株)ガイアートT・K北海道支店、* 2 (株)ガイアートT・K技術研究所

3. 室内における凍結抑制効果の検証

多機能型排水性舗装の凍結抑制効果を検証するため、表-2に示す合成粒度の混合物を用い、図-2に示す検討フローに従って凍結防止剤残存率の確認試験を実施した。試験結果について、凍結サイクルと塩分濃度測定結果の関係を図-3に、凍結サイクルとBPN測定結果の関係を図-4に示す。

ここで、多機能型排水性混合物との比較を行うため、排水性混合物や寒冷地で使用されている細粒ギャップアスファルト混合物、機能性 SMA 混合物についても同様の手順で試験を実施した。

表-2 多機能型排水性混合物合成粒度

配合	通過重量百分率 (%)								
	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075
配合B (中央粒度)	100.0	97.9	77.7	31.7	22.2	17.6	14.2	10.3	8.5

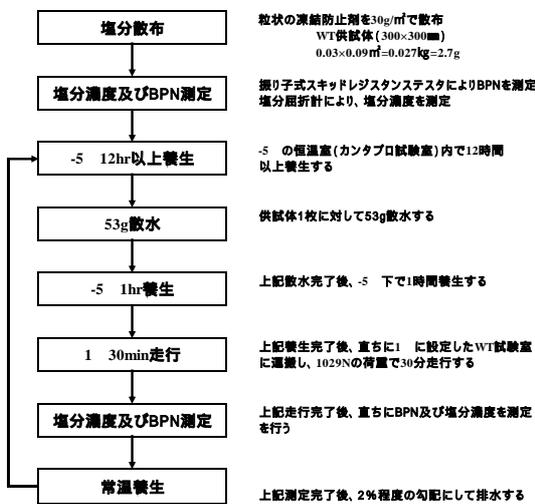


図-2 凍結抑制効果の検討フロー

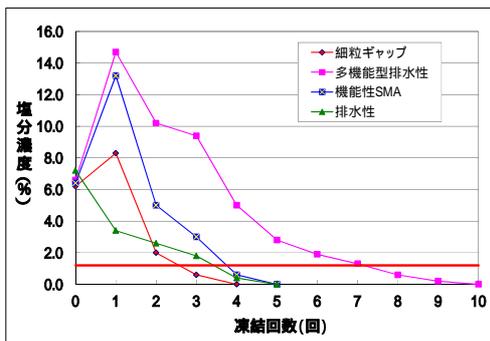


図-3 凍結サイクルと塩分濃度測定結果の関係

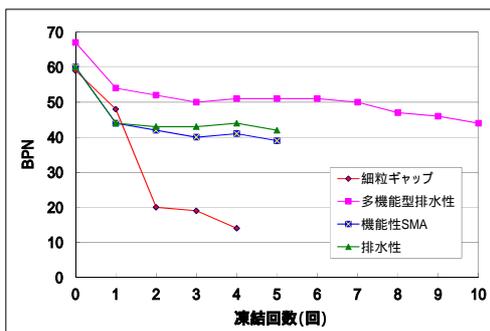


図-4 凍結サイクルとBPN測定結果の関係

図-3より、弊社の化学系凍結抑制舗装において現道にて凍結抑制効果が有効に得られる塩分濃度基準値1.2%を適用した場合、多機能型排水性混合物では8回目のサイクルで基準値を下回ることに対し、その他の混合物では3回目か4回目のサイクルで下回っている。

また、図-4より、細粒ギャップ混合物では塩分濃度が2%程度でも路面が凍結してBPNが低い値を示すことに対し、路面のキメが粗い排水性混合物及び機能性SMA混合物では一定のBPNを維持できている。特に多機能型排水性混合物では、塩分濃度基準値を上回っているサイクル中ではBPNが50程度の値を維持できていた。

以上のことから、多機能型排水性舗装は一般の舗装に比べて、凍結防止剤散布回数を半減することができ、走行安全性を図ることができると考えられる。

4. 札幌市豊平区における施工事例

4-1 施工直後の路面性状

寒冷地における多機能型排水性舗装の機能及び耐久性を検証するため、札幌市豊平区において施工を行った。施工の概要を以下に記す。なお、施工箇所は、勾配が約9%程度の坂道の頂点部付近であった。

施工日：2011年12月1日

施工場所：北海道札幌市豊平区西岡(図-5参照)

施工面積：284m²

施工厚さ：t=30mm(オーバーレイ)

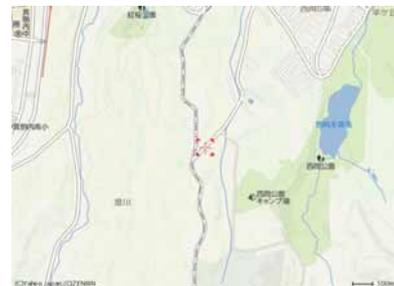


図-5 札幌市豊平区西岡施工箇所

先述の通り、勾配が大きい施工箇所であったが、施工後の縦溝粗面仕上げには問題がなかった(写真-2参照)。また、混合物及び施工後の路面性状は社内目標値を満足しており(表-3,4参照)、良好な施工が行えた。



写真-2 施工直後の路面状況

表 - 3 混合物性状試験結果

配合	通過重量百分率 (%)									
	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
配合A (上方粒度)	100.0	99.8	82.8	34.2	24.1		18.6	14.9	12.2	10.1
粒度範囲	100.0	100.0		40.0	29.5					12.5
		90.0		21.0	15.5					6.5
配合	標準マースハル		水浸マースハル			カンタブロ試験		透水係数		
	As量	安定度 (kN) (1/100mm)	フロー値	安定度 (kN) (1/100mm)	残留安定度 (%)	標準損失量 (%)	低温損失量 (%)	K ₁₅ (cm/sec)		
配合A	5.5	8.82	28	7.75	36	87.9	-	10.7	1×10 ⁻⁷ 以下	
社内目標値	5.0以上					75以上	12以下	12以下	1×10 ⁻⁷ 以下	

表 - 4 路面性状試験結果 (施工直後)

測定箇所	現場試験結果				
	路面のキメ深さ MPD (mm)	現場透水試験 浸透水量 (ml/15s)	すべり抵抗試験		
			BPN	DFTによる動摩擦係数	
			BPN ₂₀	μ ₄₀	μ ₆₀
上り線平均	1.381	1,136	-	0.34	0.31
下り線平均	1.448	993	-	0.31	0.30
平均	1.415	1,064	-	0.32	0.30
基準値	1.2以上	800以上	60以上		

4 - 2 実道での凍結抑制効果の検証

実道における多機能型排水性舗装の凍結抑制効果を検証するため、札幌市豊平区の施工箇所において凍結抑制効果の調査を実施した。

多機能型排水性舗装と比較対象の一般舗装 (細粒ギャップアスコン(13F)) に粒状の凍結防止剤を34g/m² で散布し、1, 2, 4, 6, 21時間後に路面の塩分濃度の測定を行った。塩分濃度の測定結果を、図 - 6に示す。

測定結果より、多機能型排水性舗装と一般舗装ともに散布直後に溶け出して塩分濃度が上がるが、積雪や車両走行等の影響を受け、一般舗装では急速に塩分濃度が低下する。これに対し、多機能型排水性舗装は表面付近の空隙や縦溝に凍結防止剤が残存することにより、塩分濃度は緩やかに失われていくことがわかる。

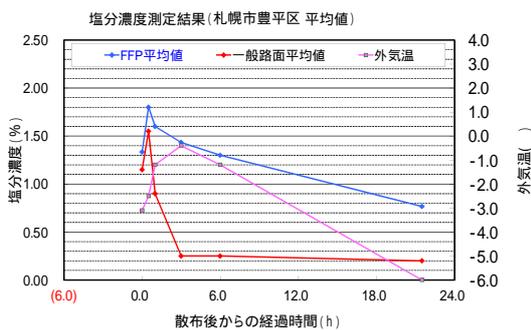


図 - 6 路面の塩分濃度測定結果

また、散布後の路面状況の変化を見てみると、写真 - 3は粒状の凍結防止剤散布後24時間経過後の路面であるが、一般舗装路面に積雪があることに対し、多機能型排水性舗装の路面にはほぼ積雪が見られない。

この路面状況は40時間も同様であり、路面を拡大してみると、写真 - 4の通り一般舗装は凍結しており2~3mmの氷版ができていることに対し、多機能型排水性舗装路面は凍結し

ておらず、凍結防止剤が残存していた。

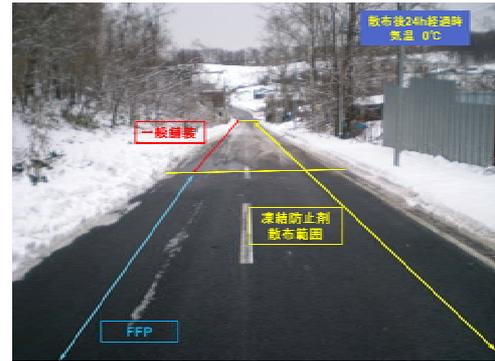


写真 - 3 散布後24時間経過時路面状況



写真 - 4 散布後40時間経過時路面状況

(左：一般舗装，右：多機能型排水性舗装)

さらに、散布後48時間経過時の路面では、一般舗装は路面が凍結してブラックアイスパーン状態となっているのに対し、多機能型排水性舗装では路面が凍結しておらず、骨材がはつきり露出していた (写真 - 5, 6参照)。

この状態は、77時間経過時まで同様な状態となることが確認されており (写真 - 7, 8参照)、現場においても凍結抑制効果 (塩分残存率) が高いことが確認された。

以上のことより、一般舗装に比べて多機能型排水性舗装は凍結防止剤の散布回数を減らせると考えられる。このため、冬期路面管理費を減らすことが可能となり、一般舗装に対して経済的に有利な舗装といえる。



写真 - 5 散布後48時間経過時路面状況



写真 - 6 散布後48時間経過時路面状況

(左：一般舗装，右：多機能型排水性舗装)

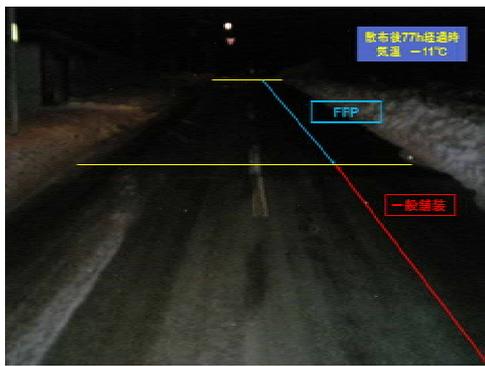


写真 - 7 散布後77時間経過時路面状況



写真 - 8 散布後48時間経過時路面状況

(左：一般舗装，右：多機能型排水性舗装)

4 - 3 施工後1年6ヶ月経過時の路面状況

施工後1年6ヶ月（二冬）経過時において、路面状態の確認を行った。路面の状況を、写真 - 9, 10に示す。

写真 - 10より、冬期のすべり止め対策として散布される砂により空隙詰まりを起こしている状況も見られたが、ポットホール等のような破損は起こしておらず、縦溝粗面の状態は維持されていた。



写真 - 9 1年6ヶ月経過時路面状況



写真 - 10 1年6ヶ月経過時路面状況

(左：上り線，右：下り線)

また、写真 - 11に示すように除雪作業における排土板ブレードによると思われる削り傷が見られたが、そこからの骨材飛散が広がっている様子は見られず、除雪作業に対する抵抗性が高いと考えられる。



写真 - 11 除雪作業で発生したと思われる削り傷痕

5 . まとめ

今回の調査の結果より、以下のことが言える。

室内における凍結抑制効果の検証結果により、一般的な舗装に比べて、高い塩分残存率とすべり抵抗性が確認できた。

実道における凍結抑制効果の検証より、密な路面と比べ、高い塩分残存率と凍結防止剤の効果持続性が確認できた。排水性舗装で発生するような、舗装体内からの破損を抑制できる。

除雪作業によるものと思われる削り傷痕から骨材飛散が拡散しておらず、除雪作業に対する抵抗性が高いと考えられる。

6 . おわりに

今回の凍結抑制検証結果により、室内での凍結抑制効果に加え、北海道札幌市豊平区の施工箇所における実道での効果も確認できた。今後、同箇所で行き続き調査を行うとともに、他の積雪寒冷地域における施工箇所においても多機能型排水性舗装の機能や耐久性について検証していくよう考えている。

〔参考文献〕

- 1) 社団法人土木学会 舗装工学委員会，舗装工学ライブラリー 6 積雪寒冷地の舗装（2011）
- 2) 齊藤：多機能型排水性舗装の開発，第12回北陸道路会議（2012）
- 3) 藤本ほか：フル・ファンクション・ペープ（FFP）の施工事例，第12回北陸道路会議（2012）
- 4) フル・ファンクション・ペープ - 多機能型排水性舗装 - ，土木施工（2013.1）

地中熱を熱源とした消雪施設の計画と稼働

山口正敏*1, 今田和彦*1, 加藤渉*1, 沼澤喜一*1, 堀野義人*1

1. はじめに

先の東日本大震災によって引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所事故をきっかけに、夏の冷房や冬の暖房によって生じる電力使用のピークを低く抑えるピークカット、また、電力使用の集中する時間帯をずらすピークシフトなど、日本国内における電力使用のあり方が見直されている。また、節電意識の周知もあり、現在では、原子力発電に頼ることなく電力供給が行われている状況にある。しかし反面、火力発電所の稼働増に伴う化石燃料の消費量増大に拍車をかけており、発電コスト上昇の一端にもなっている。化石燃料の大量消費に伴う多量の地球温暖化ガスの排出は、環境負荷の増大を招いていることは否定できない。このような状況を鑑み、特に近年は、太陽光や風力などの自然エネルギーを利用した発電による電力供給の取り組みも非常に多く見られる。

使用電力の約4割は熱需要として利用されていると言われている。これらの熱需要に対しては、直接の熱利用で対応することにより、大幅な電力使用量の削減につながり、前述のような環境負荷の低減に大きく寄与できることになる。再生可能エネルギーの一つに地中熱が挙げられるが、年間を通じて一定温度であるエネルギーを利用しない手は無い。特に、冬期の安全で快適な通行空間を確保するために、地中熱を熱源とした消雪施設の計画・施工が随所で見られる。地中熱を熱源とした場合には、地中の温度が一定であるものの、施設稼働に伴った地中熱交換器周辺部温度が変化するため、施設の最適設計に際しては、以下に示す様に、十分な検討が必要となる。

本報では、ボアホール型による地中熱交換器から構成された採熱孔を熱源とし、地中熱ヒートポンプを利用した無散水消雪施設計画の設計フローを示すとともに、実際の稼働状況についても例示する。

2. 施設設計フロー

地中熱を熱源とした無散水消雪施設計画のフローを図1に示す。(1)～(5)に示す各段階を踏まえて計画される。

2-1. 諸条件の整理・確認～基本事項の検討

はじめに、諸条件(例えば、計画対象範囲、舗装構成などの道路条件、当該地の気象データ等)を収集・整理する。次に、これらの諸条件をもとに、基本項目(単位面積当たり必要熱量、放熱管計画)を検討する¹⁾。ここまでのプロセスは、他の熱源を利用した無散水消雪施設の設計と同じである。こ

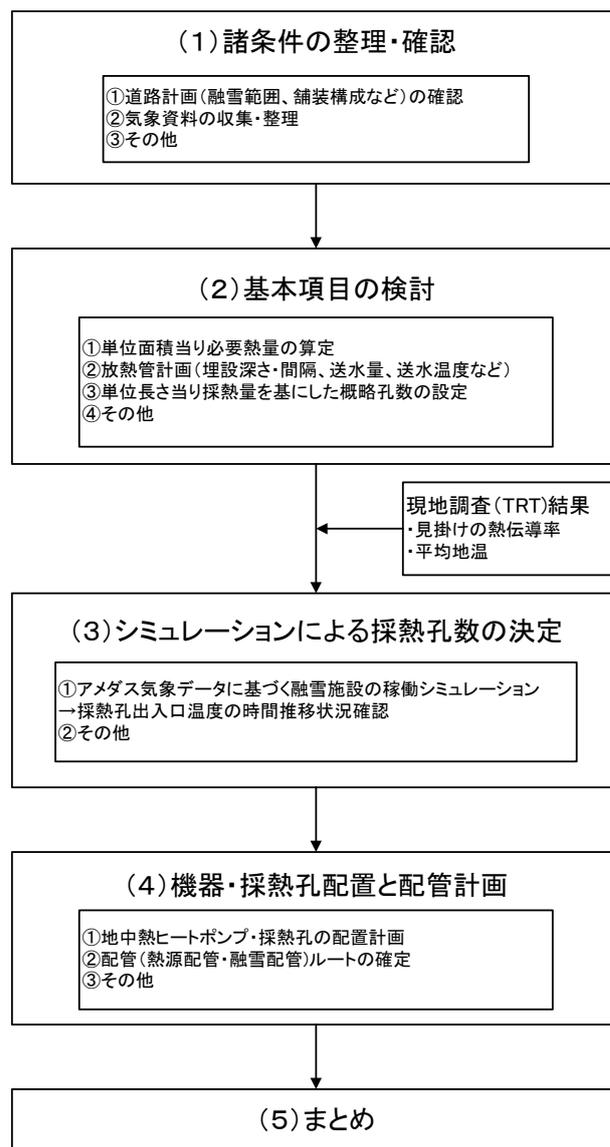


図1 地中熱ヒートポンプ方式による設計フロー

の段階で、負荷設備仕様(=地中熱ヒートポンプ加熱量)が確定するため、地中熱ヒートポンプの成績係数(COP=Coefficient Of Performance)を加味し、地中採熱量が(式1)により算定出来る。

$$Q_b = Q \cdot \frac{COP - 1}{COP} \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 Q_b : 地中採熱量[kW]
 Q : 地中熱ヒートポンプ加熱量[kW]
 COP : 地中熱ヒートポンプ成績係数[-]

*1 日本地下水開発株式会社

このようにして算定された地中採熱量をもとに、採熱孔数を見積もる。簡易的に既往の文献等を参照し、単位長さ当りの採熱量を想定し、必要となる地中熱交換器総延長を(式2)より求める。

$$L_b = \frac{Q_b}{q_L} \dots \dots (2)$$

ここで、 L_b : 必要となる地中熱交換器総延長[m]
 q_L : 単位長さ当りの採熱量[W/m]

この(式2)で求められた必要となる地中熱交換器総延長は、計画している設備で要求される負荷を賄うために必要となる地中での総延長である。一般的に、地温は地中深くなるにつれ3°C/100m程度の温度上昇が見込まれると言われていることから、消雪用熱源としては、地温が高いほどより効果的に採熱されることが期待できる。しかし、地中熱交換器として利用されるUチューブ仕様(製品長さ)やボーリングマシンの掘削能力等から、採熱孔1孔当りの深度は100m/孔で計画される場合が多い。これより、計画設備に対する概ねの採熱孔数は、(式3)にて求まる。

$$N_b = \frac{L_b}{l} \dots \dots (3)$$

ここで、 N_b : 概ねの採熱孔数[孔]
 l : 採熱孔1孔の深度(=100[m])

この概ねの採熱孔数は、あくまで想定した単位長さ当り採熱量が確保できる場合に、 N_b 孔で計画設備の負荷に対応できることを示しているのに過ぎない。日本のように複雑な地層構成を有した地中からの採熱は、主体となる地層や地下水の有無、また、その流れの程度により、採熱量は大きく異なる。

2-2. 現地調査

当該地における地下状況(平均地中温度、平均有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗等)を調べるために、熱応答試験(TRT=Thermal Response Test)が実施される。

現地でのTRT実施概要は図2に示すように、採熱孔完成後に数日間放置し、試験機と設置済みのUチューブを接続する。最初にエア抜きを兼ねポンプを運転させ、Uチューブ出入口がほぼ等しくなったことを確認する。このときの出入口温度を平均地中温度とする。その後、ヒーターで加熱(地中への熱インパクト)し、Uチューブ出入口温度データの記録を収集する。このUチューブ出入口温度データをもとに、平均有効熱伝導率を評価する。すなわち、地中に埋設されたボアホール型地中熱交換器に、実使用時と同等程度の一定流量を保ちながら熱媒体を循環させることで、実際の施設稼働時と同程度の一定の熱負荷を与える。この時の地中熱交換器の出入

口における熱媒体の平均温度の時間変化から、地中熱交換器周囲の地盤(地中)の平均有効熱伝導率および地中熱交換器の熱抵抗を推定する²⁾。詳細な実施方法等については、長野²⁾や既往文献³⁾も合わせて参照頂きたい。近年では、水平型熱交換器による採熱や、任意の深度における有効熱伝導率を評価する方法等の提案もあり、これらについては、藤井ら³⁾を参照されたい。基本的にボアホール型地中熱交換器で実施されたTRTにより評価されるのは、掘削した採熱孔深度全体に対しての平均地中温度および平均有効熱伝導率であり、局所的な値では無いこと、この現場試験データより評価された値から、採熱量がどの程度得られるかまでは、この段階で言及できないことに留意する必要がある。

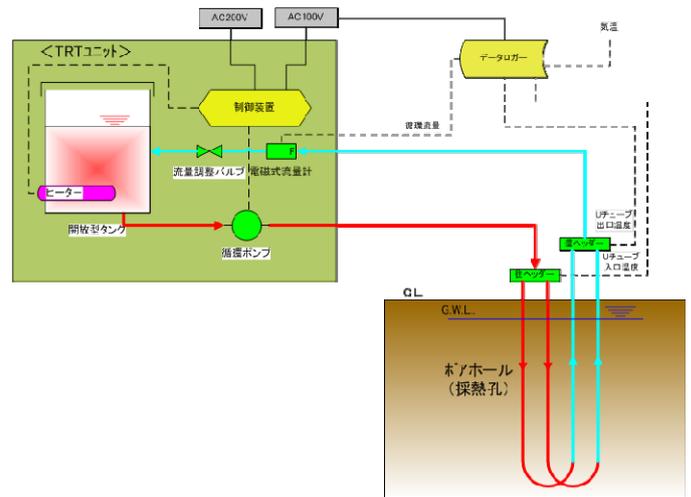


図2 TRT概要

地中熱を利用した設備計画を難しくしているのは、前述したように、設備稼働に伴う地中温度の変化状況が手動計算では対応できず、設備条件を満足出来るかの判定が出来ないことであると言えよう。よって、これに対応するためには、設備の負荷条件(負荷変動や稼働時間等)、当該地の地下条件(平均地中温度、平均有効熱伝導率)を加味したシーズンを通じてのシミュレーションにより、最適な採熱孔数を決定する必要がある。

2-3. シミュレーションによる採熱孔数の決定

採熱孔数の決定については、地中熱ヒートポンプ特性や施設稼働の推移状況などの判定条件を踏まえて決定される必要がある。これには、シミュレーションが必須であり、アメダス気象データ等を利用し要求する負荷変動を想定し、この時の地中温度変化をシミュレートする。初めに、アメダス気象データから、冬期間(12月上~翌年3月末)までの121日間を対象に、日毎の稼働時間を設定する(図3)。この日当り稼働時間は、無散水消雪施設の稼働条件としての平均的なシーズンの降雪および気温の変化等が加味された時間設定である。この時、地中熱ヒートポンプから採熱孔への循環液温度(=

採熱管入口温度) 変化は、図4の様にシミュレートされる。地中熱ヒートポンプの加熱能力は、この期間で最も低くなった採熱管入口温度 (=地中熱ヒートポンプの熱源ライン出口温度) の時に、必要とされる加熱量を満足する必要があるため(図5)、この時に、見積った採熱孔数が本設備計画を満足する孔数であると決定される。

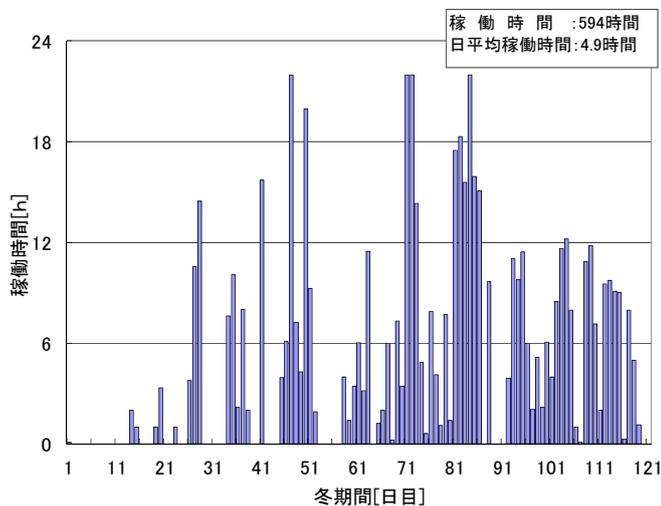


図3 (設計例) 日当り稼働時間の想定

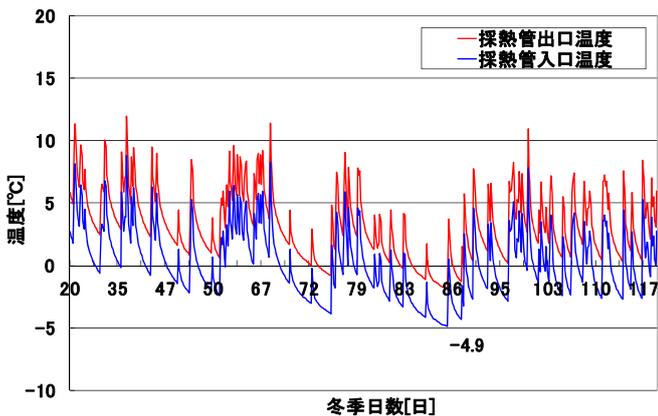


図4 (設計例) 採熱管出入口液温変化

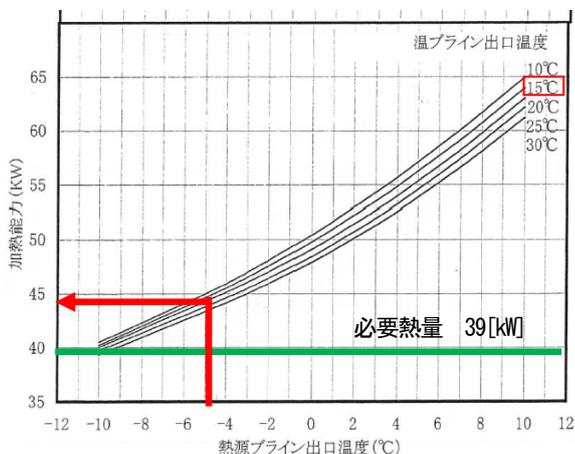


図5 (設計例) 加熱能力の判定

2-4. 機器・採熱孔配置と配管計画

採熱孔数の決定後、地中熱ヒートポンプや採熱孔の配置、配管ルートについて検討し、地中熱ヒートポンプ方式による無散水消雪施設仕様について取りまとめる。採熱孔数が複数となる場合には、計画地状況に応じて、孔間の離れを確保できるかなどの吟味も検討する必要がある。

3. 施設稼働の事例

3-1. 気象概況

施設稼働の一例として、秋田市内における地中熱ヒートポンプ方式での稼働状況を以下に示す。昨冬期(2012~2013冬期)は、降雪初期より短期的に集中した降雪が随所に見られ、加えて低温で推移したこともあり、最大積雪深も例年を3倍ほど上回る60cmを超える状況となり、近年に見られない大雪となった。観測は、2013.1.23~2013.3.24を対象に観測を行った。前述したように、秋田市では2012.12月中旬より降雪が見られ、観測前からも施設稼働が頻繁に行われていたものと考えられる(図6)。

3-2. 地中温度変化

図7には、採熱孔内に設置された深度100mにおける地中温度変化と採熱孔出入口温度差および流量をもとに算出した単位長さ当り採熱量の推移状況を示す。前述のように、例年以上に厳しい稼働条件であったことから、地中へ大きな負荷が発生した結果、地中温度がマイナス温度で推移する状況が見られた。ヒートポンプユニットの稼働が停止すると地中からの採熱も行われなくなるため、この時、地中温度が急激に上昇する状況が確認でき、当該地では、周辺地盤からの熱供給が絶えず行われているものと推測される。また、採熱孔内に埋設された温度センサーは、地中の熱交換器であるUチューブに沿わせて設置してあるため、観測対象期間において地中温度がマイナスで推移した期間において、仮に地中の凍結が起こっても、このUチューブの極近傍に限られるものと推察される。

単位長さ当り採熱量は、3月上旬までは平均して40W/m程度、3月以降に地中温度がプラス域で推移する頃になると同70~80W/mと大幅に増加する状況が見られた。周辺地盤からの熱供給が豊富で地中温度がプラス域で推移するような状況では、より多くの採熱が見込め、効率的な稼働を行うことが出来ると言える。

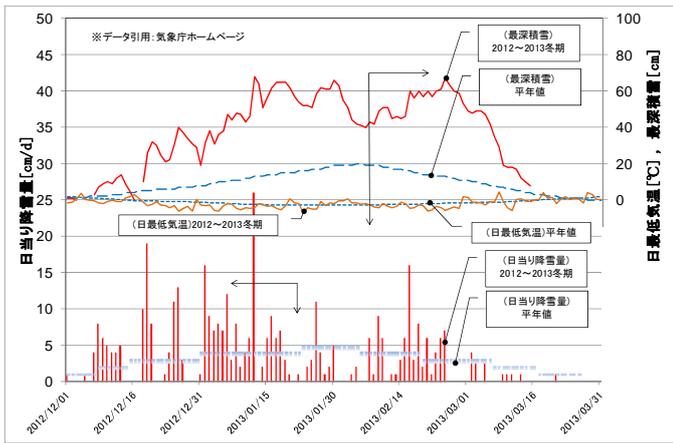


図6 気象推移状況

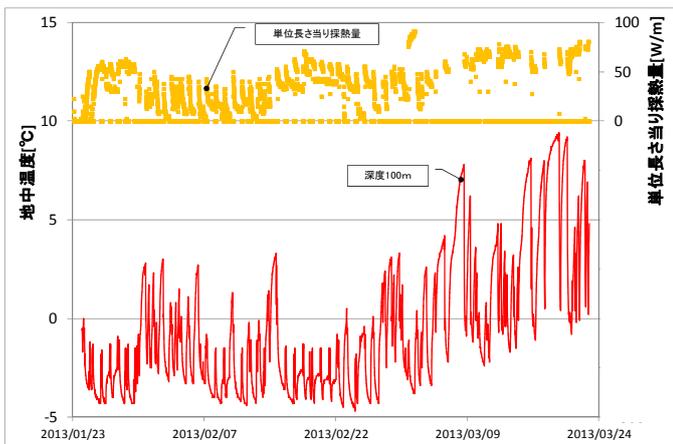


図7 地中温度および採熱量推移状況



図8 施設稼働状況

4. まとめ

本報では、近年、再生可能エネルギーとして注目を集めている地中熱を熱源とした無散水消雪施設設計画フローを紹介するとともに、実際に運用されている施設の稼働状況についての一例を示した。このような地中熱を利用した施設設計画・運用の一助となれば幸いである。

・参考文献

- 1) 路面消・融雪施設等設計要領，路面消・融雪施設等設計要領編集委員会 編集，(社)日本建設機械化協会北陸支部発行，平成20年5月
- 2) 長野克則，ボアホール型地中熱交換器に対する加熱法による熱応答試験の標準試験方法 Ver.2.0 (財)ヒートポンプ・蓄熱センター「地下熱利用ヒートポンプシステム研究会」IEA ECES (蓄熱実施協定) ANNEX21, 2011
- 3) 地中熱ヒートポンプ，北海道大学地中熱利用システム工学講座 著，(株)オーム社 発行，平成19年9月
- 4) 藤井光，駒庭義人，地中熱利用技術 7. サーマルレスポンズ試験の原理と解析法，調査事例，地下水学会誌 第53巻4号 PP391～400，2011年
- 5) 拡張アメダス気象データ1991-2000，(社)日本建築学会編集，(株)鹿児島TLO 発行，2005年8月
- 6) 山口正敏，沼澤喜一，地中熱ヒートポンプ稼働に伴う地下温度変化，雪氷研究大会 (2013北見)，PP90，2013年