

埋雪車両検知技術に関する基礎試験について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム

○石川 真大

住田 則行

大上 哲也

近年、大規模な吹雪により車両が埋雪し道路交通機能の回復に多大な時間と労力を要する状況が発生している。道路交通機能の早期の回復には、効率よく雪に埋もれた車両を見つけ出し、この車両を移動させる必要がある。本稿では、雪に埋もれた車両を検知する技術について、3種類の既存技術を用いてどれだけ車両検知の可能性があるか基礎試験を行った。この結果、積雪深に左右されるものの、検知可能であることを確認した。

キーワード：埋雪、検知、雪中

1. はじめに

積雪寒冷地である北海道は、広域分散型の地域社会であり、公共交通機関が網羅する範囲も限られている。そのため地域住民の生活は道路交通網に依存しており、特に冬期間は生活物資の輸送、救急搬送路として欠かすことのできない生命線である。しかし近年、大規模な吹雪により車両が埋雪するなど、道路交通機能が寸断されてしまう災害が発生している。このような災害が一度発生すると、吹雪が収束してから復旧活動を開始し、雪に埋もれた車両を1台ずつ探し、掘り出すため多大な時間と労力を要してしまう。そこで、本研究では雪に埋もれた車両を効率よく見つけ出す検知技術と、その車両を効率よく移動させる技術について検討を行っている。本稿では、そのうち雪に埋もれた車両を効率よく検知する技術について、既存の技術を用いた雪に埋もれた物体の検知に関する基礎試験を行ったので報告する。

伴う荒れた気象が発生しているのがわかる。交通障害の具体的な内容については様々であるが、吹きだまりに突っ込み立ち往生するケースが多く、車両が高さ2、3mの吹きだまりに埋雪するケースも見られた。

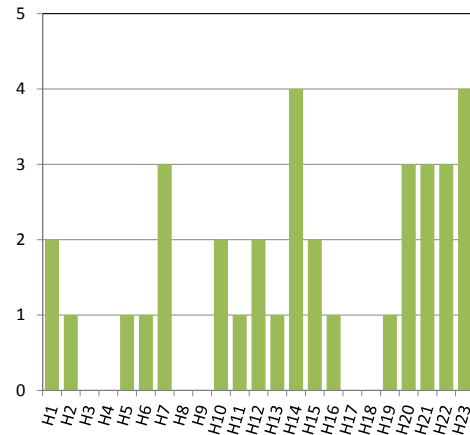


図-1 吹きだまり等の交通障害が発生した気象の観測回数

2. 過去に発生した吹きだまり災害

図-1 に示すのは、平成元年度から平成 23 年度までに吹きだまり等により交通障害が発生した気象（新聞記事で取り上げられる規模のもの）の観測回数である。なお、吹きだまり等には吹雪、大雪、雪崩も含まれている。吹きだまり等による交通障害は、1 回の気象観測に対して複数箇所が発生するケースが多いが、この図ではそれらをまとめて 1 回の気象観測回数として取り扱っている。この図から平成 20 年度以降は、毎年 3 回以上、交通障害を

3. 吹きだまり埋雪車両除去の現状

近年の吹雪や豪雪で発生した大規模な吹きだまり災害の場合、風雪が非常に強いために復旧作業を一時中断し、立ち往生した車両のドライバーを近くの待避場所に避難させ、復旧作業は、風雪が収まってから行われる。

典型的な吹きだまり災害では、先頭の車が吹きだまりで動けなくなり、後続の車が渋滞し数珠つなぎになった

状態で雪に埋もれてしまう。多少の積雪でも大型のロータリ除雪車であれば迅速に除雪が可能であるが、このような状況では、除雪幅が広い大型のロータリ除雪車では作業できず、除雪幅の狭い歩道用の小形除雪車や、ハンドガイド式の除雪機、もしくは、人力で埋雪した車両付近の除雪を行わなければならない。しかも、埋もれているのは一般ドライバーの財産である車両のため、損傷させないように注意深く作業を進める必要がある。これらの作業は、車両が数珠つなぎになった状態であることから、1台ずつ作業を進め、車両自らが動けるようになってから移動させなければならない。

また、吹きだまりは、場所によって3m近い積雪となっている場合もある(写真-1)。このような場合、通常、大型のロータリ除雪車で除雪し投雪を行うが、雪の中に車両が埋もれている可能性があるため、車両が無いことを確認してからでないと除雪をすることができない。そのため、現状は雪崩の遭難者を捜索するときに用いるゾンデ棒と呼ばれる長い棒状のものを雪中に突き刺し、埋もれた車両の有無を確認している。このように吹きだまりによる交通障害対応については人力に頼ることが多く、復旧には相当の時間と労力を要している。



写真-1 吹きだまり災害の状況

4. 埋雪物検知技術

吹きだまり埋雪車両除去の過程において、雪に埋もれた車両を見つけ出す必要があるが、雪に埋もれたものを検知する技術としては、すでに雪崩災害での捜索にも使われているビーコンがある。これは、457kHz という周波数の電波を用いて送信捜索を行うものである。実績もあり、多くの商品が販売されている。使用法は、使用者(登山者等)一人一人がそれぞれ雪崩ビーコンを携帯し送信モードに固定する。雪崩ビーコンは送信モードと捜索モードがあり、雪崩が発生した場合、行方不明者以外の雪崩ビーコンを捜索モードにして行方不明者の雪崩ビーコンから発信される信号を捜索する。デジタル方式と

アナログ方式がありアナログ方式では捜索可能範囲は約100m、デジタル方式では50m前後が一般的である。使用に当たっては訓練を要するが、雪中捜索の実績がある技術である。

一方、吹きだまりによる埋雪車両の捜索については、埋雪した車両側にこのようなビーコンは装着されていない。そこで、検知物に何かを装備しなくても良いもの、もしくは、検知物に送受信するための装備が必要なものなど複数の検知装置を用いて、雪中での検知、通信を確認する基礎試験を行った。試験に使用した機器を表-1に示す。

表-1 埋雪物検知機器

	<p>81.92 kHz</p> <p>m</p>
	<p>2.45 GHz</p> <p>LED</p> <p>m</p>
<p>R F I D I C</p>	
	<p>R F I D U H F</p> <p>953 MHz</p> <p>I C I C</p> <p>I C I D R F I D</p> <p>I C</p>

5. 試験概要

(1) 深層用金属探知機による雪中検知試験

試験の概要を図-2に示す。雪山の中に検知対象として直径0.6m、厚さ1.2mmの鉄製の円板を埋め、深層用金属探知機を用いて検知が可能であるかを計測した。深層用金属探知機の土中での探査深度が最大約6mであるため、雪中深度についても同程度まで行えることが望ましいが、基礎試験であることを踏まえ、石狩吹雪実験場で除雪堆積された雪山を試験フィールドとした。最大雪中深度は4mである。本試験では、鉄製円板の埋雪深度を変えて

計測を行う必要があることから安全面に考慮し、雪山をオープンカットし、その断面に決められた埋雪深度で鉄製円板を差し込む形とした。設定埋雪深度は、1m、1.5m、2m、3m、4mとし、計測範囲は雪山頂上上面 1.2m 四方とした。この範囲で 0.2m 刻みのメッシュ交点において計測を行った。なお、計測値は、深層用金属探知機のアナログメータの数値を読み取ったものである。

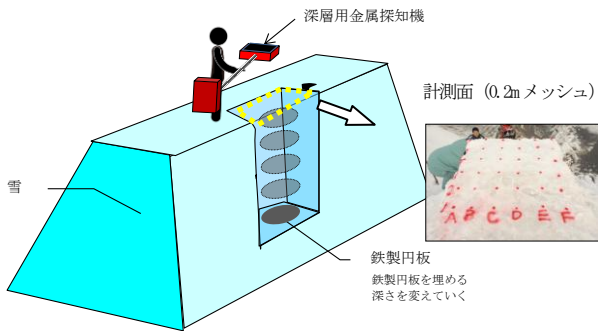


図2 深層用金属探知機による雪中検知試験概要

(2) 電磁探査機による雪中検知試験

試験の概要を図-3 に示す。電磁探査機と被検知者の間に雪を入れたアクリルケースを設置し、この雪の壁の厚さを変化させて検知状況を計測した。雪の壁は、0.05m、0.1m、0.15m、0.2m、0.3m、0.5m の厚さとし、これ以上の厚さを計測するために、前項の試験に使用した雪山で 1m、1.5m、2m、3m の雪厚さを設定した。なお、雪山を使用しての検知は、設定深さの雪中に上向きで電磁探査機を設置し、雪山上部に被検知者を位置させた。

また、検知状況は、アクリルケースを用いた場合は雪の壁の反対側にいる被検知者に合図にあわせて体の一部を動かしてもらい、雪山を使用した場合も同様に雪山上部にいる被検知者に体の一部を動かしてもらい（規定動作）ことで検知状況を確認した。

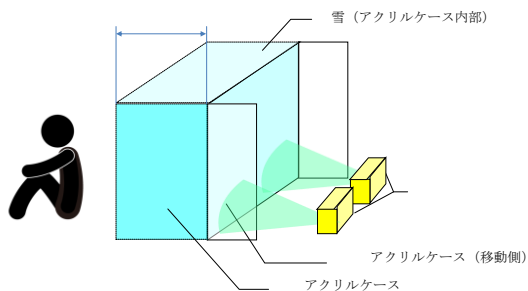


図3 電磁探査機による雪中検知試験概要

(3) RFIDによる雪中検知試験

試験の概要を図-4 に示す。IC タグを地面に置きその上に雪を被せ、その厚さを変化させて検知状況を確認した。雪の厚さは、0.05m、0.10m、0.15m、0.20m、0.25m とした。検知位置は、埋雪した IC タグを中心とし、そこから 8 方位で中心から離れていき、どの位置まで検知が可能かを

計測した。このときの検知高さは、埋雪された IC タグを基準に 0.35m、0.65m の 2 パターンである。なお、今回用いた IC タグの空気中での最大通信距離は約 1m である。

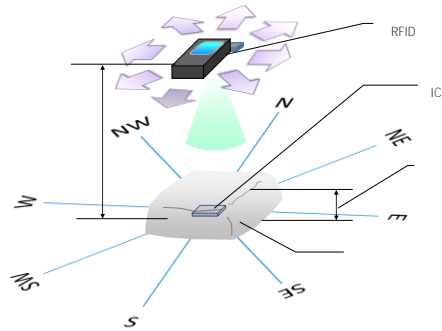


図4 RFIDによる雪中検知試験概要

6. 試験結果と考察

(1) 深層用金属探知機による雪中検知試験

図-5 に計測結果を示す。また、図-6 には図-5 における個々の計測値と隣り合う 4 つの計測値との差分を示した。これにより、検知反応があった部分と無い部分との境界で差分が大きく示され、検知物があつた場合、その輪郭を強調してみるができる。なお、計測値はレベルゲージの読みで最大値 100 となっているが、それぞれの設定埋雪深度毎に感度を最適に調整しないとレベルゲージを振り切ったり、全く反応しなかったりすることから、ここに示した 5 つの埋雪深度パターンでは、それぞれ感度設定が異なる。そのため、埋雪深度を変化させたときの計測値の比較は、この図からは行うことはできない。写真-2 に試験の状況を示す。

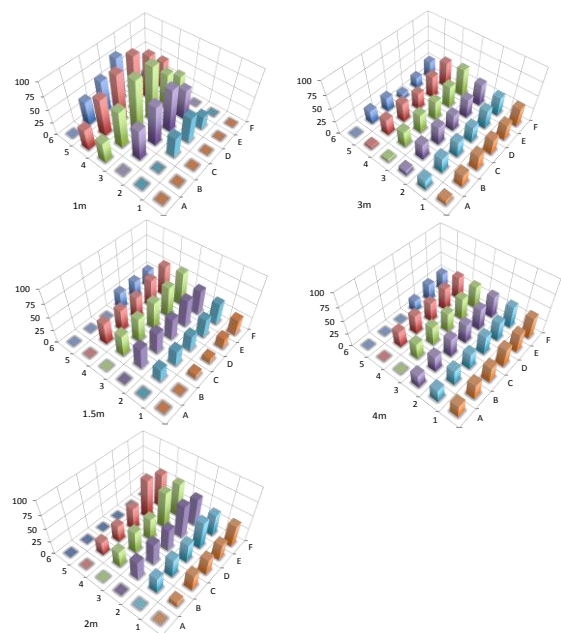


図5 深層用金属探知機による検知結果

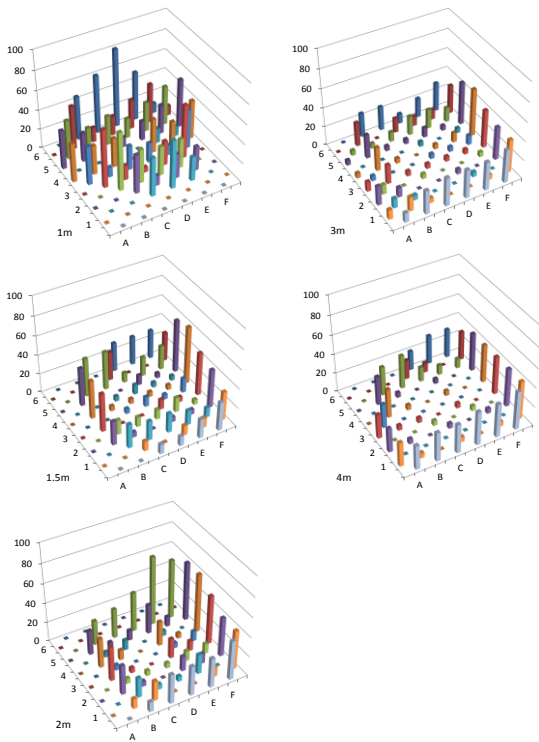


図6 深層用金属探知機による検知結果 (差分)



写真2 深層用金属探知機による試験状況

それぞれの埋雪深度について差分のグラフを見てみると、1mでは、円板の輪郭が認識できるほか、その内部に向かって計測値が高くなっていることがわかる。1.5mでは、輪郭の内側部分では差分が小さい値となっていることから、計測値に大きな変動が無いことが読み取れる。2m以上の埋雪深になると計測面の最も外側での差分が目立つようになるが、一番端のデータは、6×6メッシュの範囲外でデータのない部分とで差分が計算されているため、この部分に検知物の境界があるとは言い切れない。さらに、2m以上の埋雪深では探知機の感度設定も非常にシビアになってくるため、正確な計測値を求めるには操作及び読み取りの熟練が必要である。

今回の試験では、1.5mの深度までは対象物の検知が明確に読み取ることができたが、それ以上の深度では計測面範囲を広げる必要があり、計測自体にも習熟しなければならない。そのため、再度試験を行い、2m以上の深

度についての計測値精度を向上させるのが望ましい。また、今回行った3つの機器の内では最も深い埋雪深度まで検知することが可能であったことから、雪に埋もれた車両などの金属検知については有効な手段であると考えられる。

(2) 電磁探査機による雪中検知試験

表2に電磁探査機による雪中検知試験の結果を、写真3に試験の状況を示す。表中検知結果とは電磁探査機での検知結果で、2台使用しているため探査機1、2と記載している。また、雪空隙率とは本試験で壁を作っている雪の中にどれだけ空隙(空間)があるのかを示したものである。雪空隙率は、次の方法を用いて求めた。まず、既知の容積の器を壁となる雪に埋め満杯となった状態で質量を計測する。器の中には、雪(小さな氷の集合体)と空間があり、計測された質量は雪(小さな氷の集合体)の質量である。そこで、このときの温度(雪温)に相当する氷の密度¹⁾²⁾から体積を求める。器の容積は既知であるので、この容積から雪の体積を減じたものが空隙(空隙)の体積となる。最後に空隙の体積を器の容積で除する。電波は、一般に伝導体である水中および氷中では減衰するため、雪の空隙率と雪中の電波透過の関係は今後調査していくための参考値として掲載した。

表2 電磁探査機による雪中検知結果

雪被り厚	気温	雪温	雪密度	雪空隙率	検知結果		備考
					探査機1	探査機2	
0m	4.0℃	-0.2℃	kg/m ³		○	○	
0.05m	4.5℃	-0.2℃	687 kg/m ³	25.0%	○	○	
0.1m	5.1℃	-0.2℃	610 kg/m ³	33.4%	○	○	
0.15m	5.0℃	-0.2℃	590 kg/m ³	35.5%	×	○	
0.2m	4.0℃	-0.2℃	603 kg/m ³	34.1%	○	×	・反応が鈍くなる ・ゆっくりな動きだと検知しない ・早い動きの場合は検知した
0.3m	4.5℃	-0.2℃	558 kg/m ³	39.1%	○	○	・反応が鈍くなる ・早い動きの場合は検知した
0.5m	4.5℃	-0.2℃	603 kg/m ³	34.1%	○	○	・反応が鈍くなる ・早い動きの場合は検知した
1.0m	1.0℃	-0.9℃	723 kg/m ³	21.1%	△	△	・規定動作では検知しない ・立ち上がる動作で検知 ・壁で上層掘りこし動作で検知
1.5m	0.8℃	-0.9℃	723 kg/m ³	21.1%	×	×	・検知しない
2.0m	0.8℃	-0.9℃	723 kg/m ³	21.1%	×	×	・検知しない
3.0m	0.8℃	-0.9℃	723 kg/m ³	21.1%	×	×	・検知しない



写真3 電磁探査機による試験状況

この結果、確実に検知可能な雪の厚さは 0.1m でありそれ以上 1m の厚さまでは、体の一部を動かす速度を速くするなどの動作条件が必要であった。そして、これ以上の厚さでは検知することはなかった。また、検知しやすい動きは、電磁探査機との距離が変化する方向の動きであった。

電磁探査機を用いた埋雪車両検知の可能性については、車両が金属で覆われているため、車両内部の人間の動きを検知できるかどうかによる。電磁探査機の出す電磁波は金属を透過することはできない。ただし、車両には金属部以外のガラス部分もあるため、これらの部分を透過しての車両内部人物の検知が可能であれば、吹きだまり災害等で車両内に人が閉じ込められても人体の動きを検知できる可能性はある。

(3) RFIDによる雪中検知試験

図-7 に RFID を用いた雪中検知試験の結果を、写真-4 に試験状況を示す。計測高さは、埋雪された IC タグからの垂直距離を示しているため、計測高さ 0.65m、雪被り厚 0.25m のときには雪の表面から 0.40m の高さで計測していることとなる。

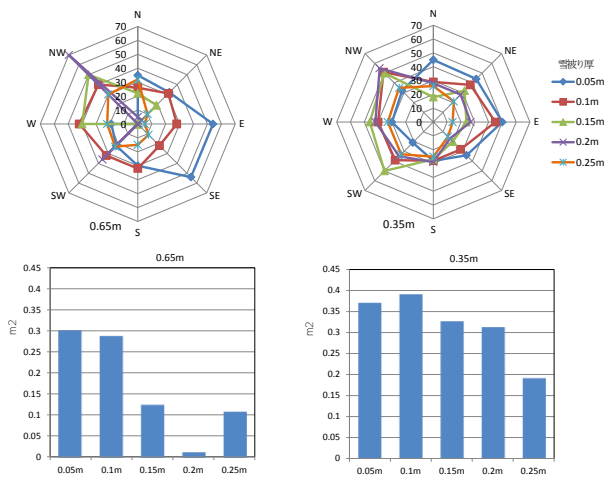


図-7 RFIDによる雪中検知試験結果
(上：検知範囲 下：検知面積)



写真-4 RFIDによる試験状況

まず、検知面積について、計測高さ 0.65m、0.35m 双方において雪被り厚が大きくなると小さくなる傾向が見られた。また計測高さによる検知面積の比較では、雪被り厚 0.05m のときの計測高さ 0.65m では、0.35m の時の 80% に減少し、雪被り厚 0.25m のときの同じ条件では約 57% に減少していることから、雪被り厚が大きくなると検知高さにも影響を及ぼすことがわかる。なお、計測高さ 0.65m、雪被り厚 0.2m のときに一部、不検知が見られたがこの原因については不明である。

RFID を用いた埋雪車両検知の可能性について、今回の試験では、雪中においても検知が可能であることはわかったが、検知積雪深度については、使用する IC タグによって大きく変わるものであるため、様々な種類の IC タグについて試験を行い調査する必要がある。

IC タグについては非常に安価であることから、吹雪等で吹きだまり災害が発生し、車両をその場に放置して待避しなければならぬときに車両毎に貼り付けておけば、吹雪が収まってから車両を検知できる可能性がある。

7. まとめ

雪に埋まった物体の検知技術については様々な試みが行われているが、身近な機器を使用した検知の可能性を探った試験等は少ない。そこで、今回 3 種類の機器を使用して、埋雪した物体の検知試験を行った。

この結果、検知ということだけに注目すると、すべての機器で検知可能であった。しかし、検知可能積雪深度や検知範囲には差があり、埋雪の状態によっても検知結果が変化する可能性がある。今後は、実車を実際に雪に埋めた状態での検知試験を行い、検知性能を確認するとともに、周囲条件等が検知に与える影響についても検討していく予定である。

最後に、本研究では埋雪車両除去技術についても検討を進めており、昨今、局地的に発生している吹きだまり災害に関する有益な情報提供をお願いしたい。

参考文献

- 1) 前野紀一、福田正己：雪氷の構造と物性：古今書院：1986
- 2) (社)日本雪氷学会：雪と氷の事典：朝倉書店：2005