

異常気象時の吹きだまり災害防止に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：雪氷チーム、寒地機械技術チーム

研究担当者：

（雪氷T）松澤勝、金子学、伊東靖彦、
武知洋太、渡邊崇史

（寒地機械技術T）牧野正敏、山崎貴志、
小宮山一重、中村隆一、
高松茂

【要旨】

積雪寒冷地の冬期道路では、吹きだまりにより多くの車両が立ち往生する吹きだまり災害がしばしば発生する。2008年の2月と4月に北海道の中部と東部で生じた事例では、自動車の走行困難に伴う多数の通行止めが生じ、豊浦町で吹きだまりに埋もれた車両で1名が亡くなった。こうした吹雪災害による被害の軽減に向けて、本研究では、現地観測による道路上の吹きだまり速度の解明や、車両の発進実験による自動車の走行限界の解明、車両停止時の車内の一酸化炭素濃度に関する実験による安全限界の推定を行ない、これらの成果をもとに吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指す方策の提案としてパンフレットを作成し、ホームページへの掲載により普及を図った。

キーワード：吹雪、吹きだまり、切土道路、停止車両、一酸化炭素

1. はじめに

北海道内の冬期道路では、吹きだまりにより多くの車両が立ち往生する吹雪災害がしばしば発生する。吹きだまり災害の防止に向けては、どの程度の速さで吹きだまりが発達し、車両の走行が困難となるのか、また、走行が困難となった車内では一酸化炭素の濃度がどのように上昇し、危険な状況となるのかを把握する必要があるが、何れもまだ明らかではない。このため、本研究では道路上の吹きだまり速度に関する観測や、吹きだまり時の自動車の走行限界に関する実験、車両停止時の車内の一酸化炭素濃度に関する実験による安全限界に至る過程の推定を行ない、これらの結果をもとに吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指す方策について検討することとした。

2. 道路上の吹きだまりの速度に関する観測

2. 1 観測方法

道路上の吹きだまり速度の解明に向けて、石狩吹雪実験場（図-1）内の盛土道路（盛土高さ約1.5m）と、切土道路（切土深さ約2.0m）において、吹雪時の吹きだまりの観測を行なった。停止車両による吹きだまり形状の変化について把握するため、道路単

独での吹きだまりに加え、風上側車線に車両を配置した側線についても、車両周辺の吹きだまりを観測した（図-2）。なお、吹きだまり形状については、道路中心線から風上側50mから風下側10mの範囲で、吹雪前と吹雪の途中2回、吹雪後の計4回の観測を行なった。また、積雪密度については、吹きだまり形状の観測に合わせ、道路中心線から風上側0m、2.5m、10mの3地点で密度サンプラーを用いて計測した。



図-1 石狩吹雪実験場位置図

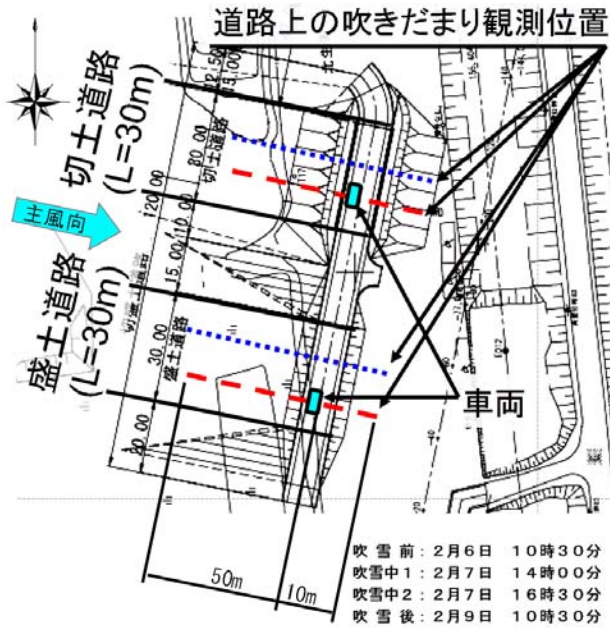


図-2 観測箇所配置図

2. 2 観測結果

吹雪前後及び吹雪中に、盛土道路と切土道路の車両を配置していない側線で観測した吹きだまりの形状を、図-3と図-4に示す。なお、吹きだまり形状の観測日時は、以下のとおりである。

吹雪前：平成23年2月6日 10時30分
 吹雪中1：平成23年2月7日 14時00分
 吹雪中2：平成23年2月7日 16時30分
 吹雪後：平成23年2月9日 10時30分

盛土道路では、吹雪後まで明確な吹きだまりは発生しなかったが、一方、切土道路では道路中心線上で、観測開始から27.5時間後（「吹雪中1」）に高さ7cmの、吹雪後には18cmの吹きだまりを生じていた。なお、吹雪後の吹きだまり密度は盛土道路・切土道路とも平均で $210\text{kg}/\text{cm}^3$ となっていた。

次に、車両がある場合の盛土・切土道路での吹きだまり形状について、図-5、図-6にそれぞれ示す。車両周辺では吹きだまり形状が複雑になるため、道路上の吹きだまりを拡大して図示した。盛土道路では、吹雪後の車両近傍の吹きだまりの深さは10cm程度であったが、風下側車線には最大で深さ30cmの吹きだまりが発生していた。また、切土道路では「吹雪中1」の時点で、車両の風下側に深さ20cm、吹雪後には車両近傍に30cmの吹きだまりがそれぞれ発生していた。

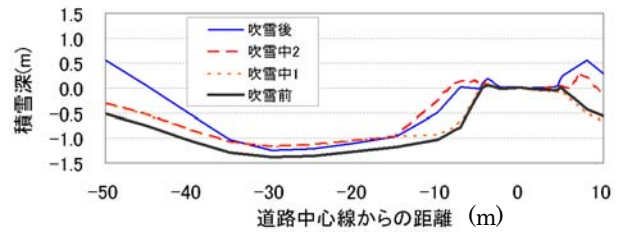


図-3 盛土道路における吹きだまり形状

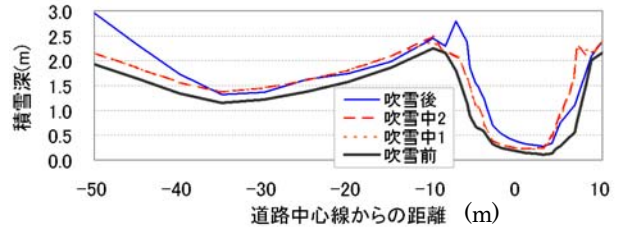


図-4 切土道路における吹きだまり形状

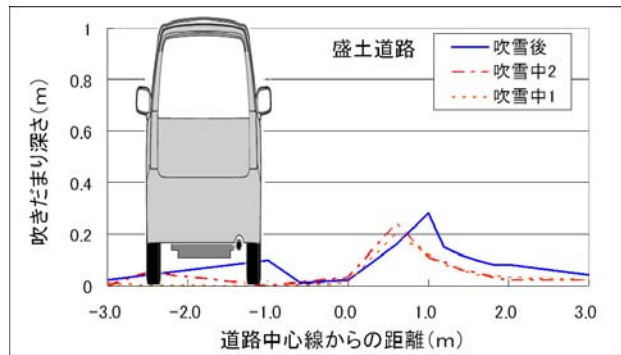


図-5 盛土道路の車両周辺の吹きだまり

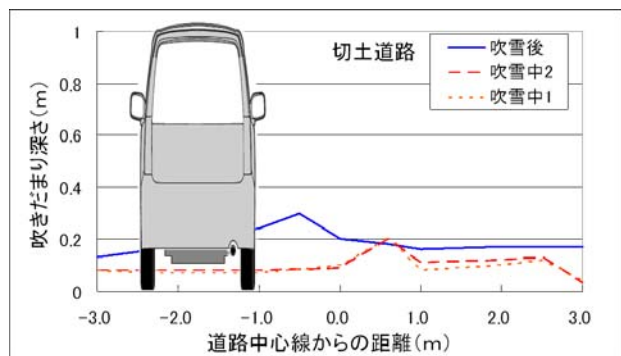


図-6 切土道路の車両周辺の吹きだまり

3. 吹きだまり時の自動車の走行限界に関する実験

3. 1 実験方法

吹きだまり発生時の自動車走行限界の解明に向けて、石狩吹雪実験場（図-1）内の道路で、平成21年度には積み上げた雪を用いた車両の発進限界に関する実験を実施した。試験には前輪駆動、自動変速機付きの軽自動車を使用した。積み上げた雪の場合、実際の吹きだまりよりも密度が高く、乱された雪であり、実際の吹きだまりと異なる懸念があったことから、平成22年度には切土道路上に実際に発

生した吹きだまりを切り取り整形して実験を行なった(図-7)。ここで、模擬吹きだまりの延長は2mとし、吹きだまりを走り抜けることが出来た場合について、発進可と判定した。

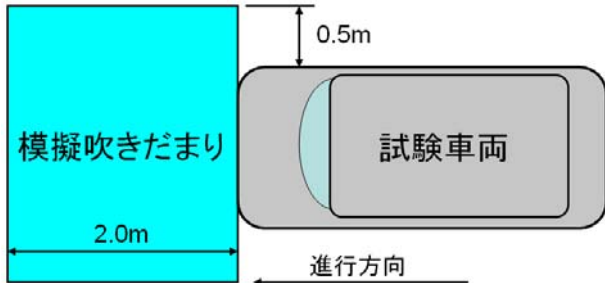


図-7 車両発進実験概要図

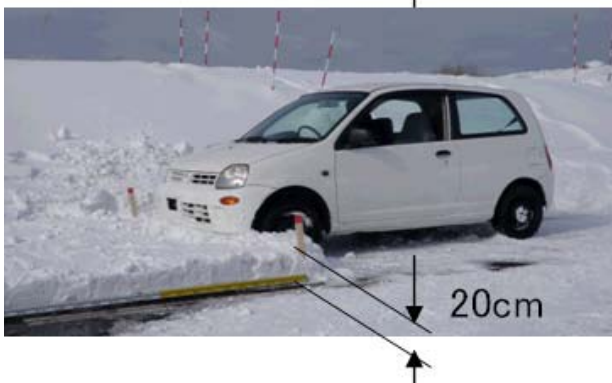


写真-1 発進実験状況(平成22年度)

3.2 実験結果

車両の発進実験の状況について写真-1に、また、平成21年度と平成22年度の発進実験の結果をまとめて表-1に示す。

模擬吹きだまりの雪の密度について見ると、平成21年度の雪を盛り上げた実験では400kg/m³以上であり、後述する今回観測した道路上の吹きだまりと比べて大きい値となっていた。また、平成22年度は実際の吹きだまりを切り取って行なったため、200kg/m³台と、実際の吹きだまりに近い値を示して

いた。

平成21年度の実験では吹きだまり深さ約15cmで発進が困難となったが、平成22年度の実験では深さ15cmまでは発進可能となっていた。本実験の結果、積雪密度によって車両の発進が可能な吹きだまりの深さが異なり、通常は深さ15cmを超える吹きだまりで、また、雪の密度が高い場合には深さ10cmを超える吹きだまりで、車両の発進が困難となり、自動車の走行限界に至るものと見られる。

表-1 発進実験結果

試験年度	吹きだまり深さ (cm)	発進の可否 (移動距離)	積雪密度 (kg/m ³)
H21	10	可	400
	15	不可(44cm)	410
	20	不可(14cm)	430
	25	不可	440
	30	不可	420
H22	15	可	270
	20	不可(18cm)	290
	30	不可(10cm)	290

4. 道路上の吹きだまり速度と自動車の走行限界

4.1 吹雪量に関する検討

道路上の吹きだまり速度を評価する際には、吹雪の程度を把握する必要がある。吹雪量を求めるには、吹雪量の鉛直分布と、吹雪量の時間的変動を把握する必要がある、直接的に求めることは難しい。このため、本報告では、実験場内で観測した風速データを高さ1mの値に換算し、以下の吹雪量Qと風速Uの経験式¹⁾(式-1)に代入して吹雪量を求めた。計算には10分平均の風速を用い、10分毎に算出した吹雪量を観測期間について合計し、累計吹雪量を推定した。

$$Q=0.005U_{1.2}^4 \quad \dots\dots \text{式-1}$$

吹雪量の経験式の適用にあたり、吹雪発生臨界風速を設定する必要があるが、ここでは既往文献²⁾を参考に、吹雪の発生条件を以下のように定めた(表-2)。なお、降雪の有無については、実験場内の観測データが無かったため、石狩アメダスの降雪量(1時間データ)から降雪の有無について判断した。

経験式により推定した累計吹雪量について、実験

場内で観測した風速・気温とともに図-8に示す。図中、前述した道路上の吹きだまり発達速度の観測時点を付記した。

その結果、累計吹雪量は約4300kg/m、吹雪の継続時間は約29時間と推定された。なお、当日は降雪を伴う吹雪となっており、風速は5~15m/s、気温は-8℃~0℃程度であった。

表-2 吹雪の発生条件の設定

気 温	吹雪発生臨界風速	
	降雪あり	降雪なし
0~-5℃	6m/s以上	11m/s以上
-5℃以下	5m/s以上	10m/s以上

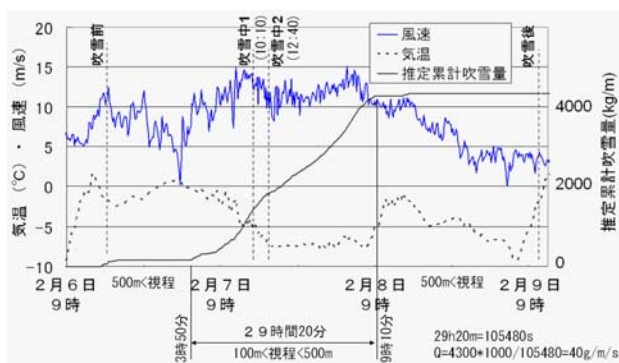


図-8 推定吹雪量・風速・気温

4. 2 吹雪量と自動車の走行限界の関係について

道路中心線上での吹きだまりの深さの観測値と、経験式により推定した吹雪量の関係について図-9に示す。今回の吹雪の事例では、盛土道路では吹きだまりは殆ど生じなかった。一方、切土道路では、車両の走行に支障となる吹きだまりが発生したため、観測値の回帰直線を図中に示した。切土道路では、吹雪開始から約1日後に、車両がある場合には推定吹雪量3060kg/m、車両がない場合には推定吹雪量3570kg/mの時点で車両の発進限界の吹きだまり深さ(15cm)に達した。

また、車両を配置した測線の道路上における吹きだまり深さの最大値と、推定吹雪量との関係について図-10に示す。車両の風下側に生じる吹きだまりの発達の速さにはばらつきが大きいものの、吹雪開始から約半日後に、盛土・切土を問わず推定吹雪量1850kg/mの時点で、車両の発進限界の吹きだまり(15cm)が道路上の一部に発生する(写真-2)。なお、文献によると吹雪により視程が20m程度に低下

した際には車両の走行が困難となるとされ³⁾、こうした場合には、盛土・切土を問わず、車両周辺に発生した吹きだまりによる交通障害が生じることが想定される。

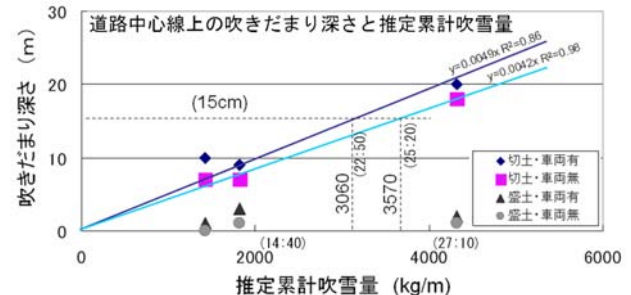


図-9 道路中心線上の吹きだまりと推定吹雪量

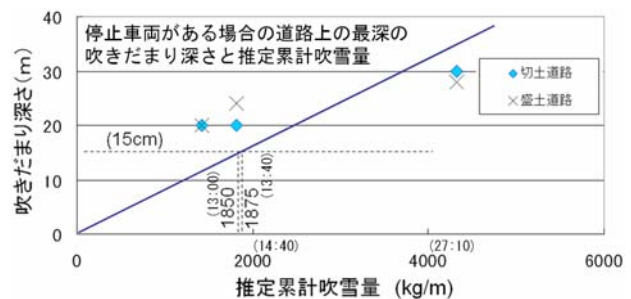


図-10 道路上の最深の吹きだまりと推定吹雪量



写真-2 車両周辺の吹きだまり状況

5. 車両停止時の車内の安全限界に関する実験

これまで述べてきたように、吹雪時には切土道路や、視程障害等により停止した車両周辺に吹きだまりが発達し、車両の発進が困難となる状況が発生する。さらに吹雪が継続した場合には、車両が雪に埋もれる事例も少なくない。停止した車両では、一般に暖房の必要からエンジンをかけたままの場合が多く、車内に流入した排気ガスにより乗員の人体に危険が生じる恐れもある。

そこで、吹きだまり発生時の車両を模擬した実験を行ない、停車中の車内における一酸化炭素濃度による危険性について検討した。

5. 1 実験方法

自動車排気ガスの成分には、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO₂)、炭化水素(HC)、窒素酸化物(NOx)等がある。この中では、一酸化炭素が最も人体への危険性が高いと言われている。

本実験では、車両の吹きだまりへの埋没状況を、排気管閉塞時、フロントグリル閉塞時、フロントワイパー下部閉塞時の3段階(写真-3)に想定し、各々の状況を車両周辺への投雪により再現し、車内の一酸化炭素濃度を計測した。実験には軽自動車と小型自動車の2種類の車両を用い、実験ケースは、車両の空調設定を外気導入と内気循環の2種類とした。なお、一酸化炭素濃度の測定は運転者の頭部を想定して、運転席ヘッドレスト位置とした。

計測時間は90分を基本としたが、一酸化炭素濃度が短時間暴露限度(400ppm)⁴⁾を超えた場合はその後15分経過時点か一酸化炭素濃度600ppm(1時間程度の暴露で人体に酸素不足の症状が生じ始める濃度⁴⁾)を超えた時点の何れか、またはエンジンが自然停止した時点で計測終了とした。

5. 2 実験結果(全ての窓を閉じた場合)

全ての窓を閉じた場合の計測結果について、車両の埋没状況毎に図-11~13に示す。

排気管閉塞時(図-11)では、軽自動車の場合、空調が内気循環のケースで一酸化炭素濃度の上昇が見られ、約50分で短時間暴露限度に達した。また、軽自動車の外気導入のケースと小型自動車では、一酸化炭素濃度の目立った上昇は見られなかった。なお、本稿にはグラフを掲載していないが、二酸化炭素濃度の上昇が全てのケースで見られたことから、車内には排気ガスが流入しているものと考えられる。



写真-3 実験状況

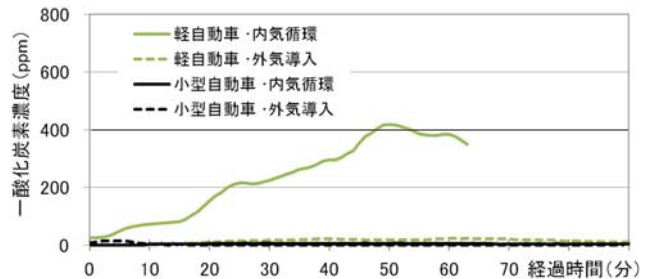


図-11 排気管閉塞時の一酸化炭素濃度

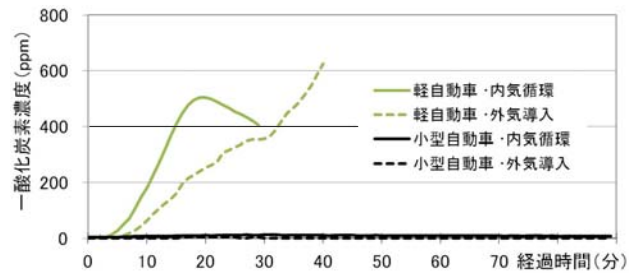


図-12 フロントグリル閉塞時の一酸化炭素濃度

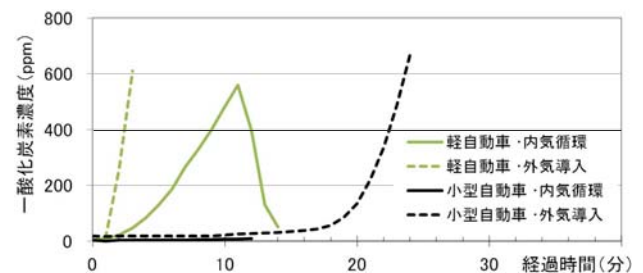


図-13 ワイパー下部閉塞時の一酸化炭素濃度

フロントグリル閉塞時（図-12）では、軽自動車の場合、空調が内気循環のケースで約15分、外気導入のケースで約30分で短時間暴露限度に達した。小型自動車では、一酸化炭素濃度の目立った上昇は見られなかったが、排気管閉塞時よりも二酸化炭素濃度が高く、車内への排気ガスの流入が排気管閉塞時よりも多かったと考えられる。

フロントワイパー下部閉塞時（図-13）では、軽自動車の場合、空調が内気循環のケースで約9分、外気導入のケースで約3分で短時間暴露限度に達した。空調設定が外気導入の場合、主にフロントワイパー下部から外気を導入しているが、ここが塞がった場合にはエンジンルーム内から流入することとなる。外気導入のケースでは、排気管出口から出た排気ガスが車両の下からエンジンルーム内に流入し、車内の一酸化炭素濃度が急速に上昇したものと考えられる。小型自動車では、空調が内気循環のケースではエンジンが自然停止し、一酸化炭素濃度の上昇が確認できなかったが、外気導入では約23分で短時間暴露限度を超えた。外気導入のケースでは、車内の酸素濃度の低下が認められたことから、車内の空気がエンジンに供給されエンジンが停止しなかったものと考えられる。なお、車内の酸素濃度は、約17分で酸素欠乏により頭痛や吐き気等の症状が現われる16%⁵⁾まで低下していた。

5.3 実験結果（窓の開閉による影響について）

一般に、一酸化炭素中毒を防ぐために窓を開けることが考えられるが、一部の窓を開けることにより、室内の一酸化炭素濃度がどのように変化するのかについて調査した。

軽自動車のフロントグリル閉塞時に、空調を外気導入とし、風上側または風下側の窓を5cm開けた場合の車内の一酸化炭素濃度について、全ての窓を閉じた場合と対比して図-14に示す。なお、試験は車内の一酸化炭素濃度が200ppmを超えた時点でエ

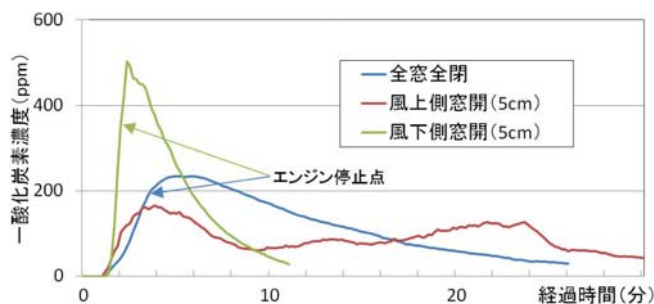


図-14 窓の開閉による影響について

ンジンを停止させ、一酸化炭素濃度の変化を調べた。

その結果、風上側の窓を開けた場合には、全ての窓を閉じた場合と比べて一酸化炭素濃度が低かったものの、風下側の窓を開けた場合には高い状況となっていた。その原因として、風上側の窓を開けた場合には車内の気圧が高まり排気ガスの流入を抑えたこと、風下側の窓を開けた場合には車内の気圧が低下し排気ガスが流入したことが考えられる。換気のため窓を開けた場合でも、一酸化炭素中毒を避けられるとは限らず、注意が必要である。

5.4 車両停止時の車内の安全限界に至る過程

さきに述べたように、吹きだまりの深さが発進限界の15cmを超えた時点で、停止車両が発生する恐れがある。こうした吹きだまりや視程障害による車両停止時には、雪により排気管（一般に排気管の高さは20~30cm程度）が塞がった場合、一酸化炭素中毒の危険性が生じ、一時間程度で車内の安全限界に至る場合があった。

こうした危険性は、車両が深く埋没するに従い増大し、数分で危険な状態に至る場合もあった。また、空調が内気循環となっても車内に排気ガスが流入するケースがあること、外気導入でもエンジンルームから排気ガスが流入するケースがあること、換気のために窓を開けた場合でも風向き等の条件により排気ガスが流入すること等が判った。

6. 吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指す方策の検討

雪に埋まった車両での一酸化炭素中毒を防止するには、エンジンを停止することが最も重要であるが、暖房等の必要からエンジンをかける場合には、排気管出口やフロントワイパー下部の開口部の閉塞にも注意することが必要である。

吹きだまりの深さが車両の走行限界に達した後、排気管が閉塞した場合、車内の一酸化炭素による安全限界に短時間で至る場合があることが判った。

一酸化炭素中毒は、自覚することが難しいことから、一酸化炭素を自動的に検知し、注意喚起を行なう対策が有効と考えられる。そこで、比較的安価な市販の一酸化炭素警報器（写真-4）について、車内での動作を確認した（図-15）。その結果、警報を発するタイミングに違いはあるものの、全ての警報器が一酸化炭素濃度の上昇とともに作動し、注意喚起に有効であることが確かめられた。但し、警報器には住宅用のものもあるため、車両への設置を想

定した機器を選定することに注意が必要である。

果をとりまとめたパンフレットを作成し、ホームページへの掲載により普及を図った。

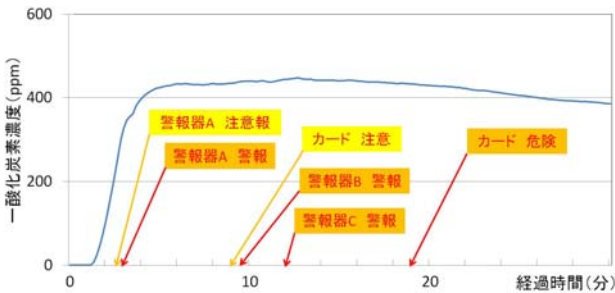


図-15 一酸化炭素警報機の動作状況

吹きだまり災害を防ぐには、適切な道路管理が重要であるが、道路管理だけでは対応が困難な気象条件も時には発生することがある。このような吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指すためには、吹きだまりの危険性について周知し、個々のドライバーの判断を支援することが重要と考えられる。

このため、吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指す方策として、道路上の吹きだまり速度や、自動車の走行限界、車両停止時の車内の安全限界に関する研究成果を取りまとめ、ドライバーの注意喚起を図るパンフレットを作成し、ホームページへの掲載により普及を図った(図-16)。

提案した方策は以下の2種類である。

「吹きだまりの基礎知識」

<http://northern-road.jp/navi/pamphlet/pdf/fukidamari.pdf>

「雪に埋もれた車の中は危険です」

http://kikai.ceri.go.jp/10_download/download.html

7. まとめ

本研究では、吹雪災害による被害の軽減に向けて、現地観測による道路上の吹きだまり発達の解明や、車両の発進実験による自動車の走行限界の解明、車内の一酸化炭素濃度に関する実験による安全限界に至る過程の推定を行なった。また、吹きだまり時の犠牲者ゼロを目指す方策の提案として、本研究の成



図-16 注意喚起パンフレット

参考文献

- 1) 松澤勝ほか, 2010; 風速と吹雪量の経験式の適用に関する一考察; 寒地技術論文・報告集, Vol.26, pp45-48.
- 2) 日本雪氷学会北海道支部, 1991; 雪氷調査法, pp19.
- 3) 福澤義文ほか, 1996; 吹雪時における車両の走行限界について, 土木学会第51回年次学術講演会論文集, pp794-795.
- 4) (財) 日本中毒情報センターHP
<http://www.j-poison-ic.or.jp/homepage.nsf>
- 5) 厚生労働省リーフレット「なくそう! 酸素欠乏症・硫化水素中毒」
<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/zenzen/040325-3.html>

A STUDY ON THE PREVENTION OF SNOWDRIFT-RELATED INCIDENTS IN ABNORMAL WEATHER CONDITIONS

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team :

Snow and Ice Research Team,
Machinery Technology Research Team

Authors :

MATSUZAWA Masaru, KANEKO Manabu,
ITO Yasuhiko, TAKECHI Hirotaka,
WATANABE Takashi, MAKINO Masatoshi,
YAMAZAKI Takashi, KOMIYAMA Kazusige,
NAKAMURA Ryuichi, TAKAMATSU Shigeru

Abstract :

Vehicles often become stuck on winter roads in cold snowy regions due to drifting snow. In central and eastern Hokkaido in February and April of 2008, drivers had difficulty navigating roads, and many routes were closed. In Toyoura Town, one person died in a car buried in drifted snow. To reduce damage caused by such drifting, this study was conducted to clarify snowdrift accumulation rates on roads based on field observation and limits of vehicle motion based on a vehicle-starting test. The safety limit with regard to carbon monoxide concentration in standing vehicles was also investigated. Based on the results of the study, a brochure outlining measures to reduce the number of victims of snowdrift incidents to zero was created and published on the Internet.

Key words :

blowing snow, snowdrift, cut road, standing vehicle, carbon monoxide