

切土道路における吹きだまり予測モデル開発に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 1

担当チーム：雪氷チーム

研究担当者：高橋丞二、金子学、小中隆範、
武知洋太、大宮哲

【要旨】

近年、切土構造の道路に生じた吹きだまりにより車両が立ち往生するなどの吹雪災害が発生している。このような吹雪災害の軽減に向けては、切土道路に発生する吹きだまりを事前に予測していくことが重要である。

そこで本研究では、切土道路において吹きだまりの発達過程とその際の気象条件について観測を実施した。切土道路に吹きだまりが発達する過程を分析し、道路風上側法面上の堆雪状況が車線上の吹きだまりの発達速度に影響を及ぼしていることを把握した。さらに、累計吹雪量と切土道路全体に発生する吹きだまり量との関係を分析し、車線上に発生する吹きだまり量を推定する手法について提案した。

キーワード：切土道路、吹雪、吹きだまり、吹雪量

1. はじめに

近年、切土構造の道路に生じた吹きだまりにより車両が立ち往生するなどの吹雪災害が発生している。このような災害軽減に向けては、道路通行止めや除雪出動などの道路管理をこれまで以上に適切に実施していくことが重要である。このためには切土道路に発生する吹きだまりを事前に予測していくことが必要と考えられる。しかし、切土道路の構造や気象条件の違いが道路上の吹きだまりの発達速度に及ぼす影響は定量的には明らかにされておらず²⁾、切土道路に発生する吹きだまりをリアルタイムで推定する手法はこれまで確立されていない。

そこで本研究では、切土道路に発生する吹きだまりの発達過程や吹きだまり量と吹雪量の関係について分析し、吹きだまりの推定手法について検討を行った。

2. 吹きだまり発達速度に関する調査

2.1 調査方法

調査では、北海道石狩市を走る石狩川近傍に位置する寒地土木研究所石狩吹雪実験場内(N43° 13', E141° 24')の切土道路において吹きだまりの発生状況を観測した(図 1)。調査対象とした切土は、法面勾配が概ね 1 割で高さ約 2m (測線 1) と 1m (測線 2) の 2 断面である(図 2、図 3)。なお、切土の風上には吹雪が十分発達する 200m 以上の吹走距離が存在する(図 1)。

調査は、吹雪が発生した 9 事例(表 1、図 4)を対象に行った。調査では、各事例の吹雪発生前、吹雪中、吹雪が終了した後各測線の吹きだまり深さを測定し



図 1 調査箇所

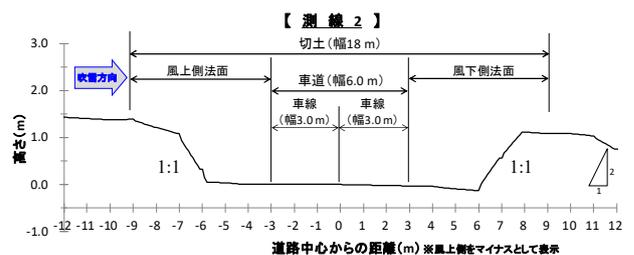
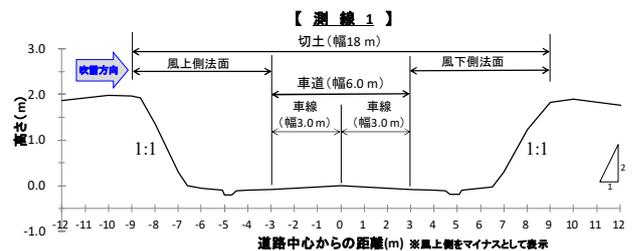


図 2 調査対象として切土道路の横断面

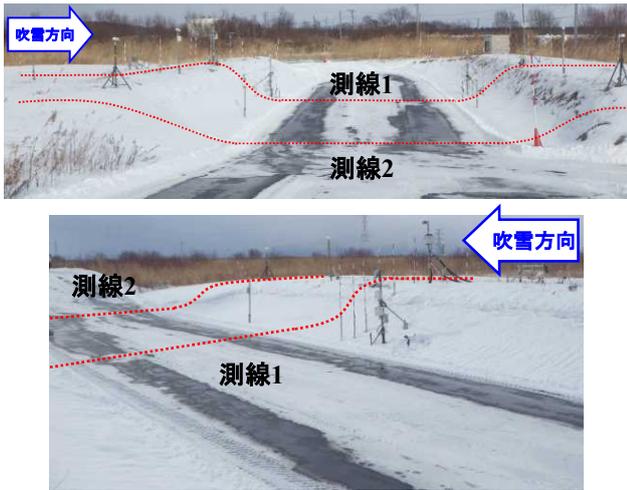


図 3 切土道路の調査測線

表 1 各イベントの気象条件

事例 No	日時		雪丘計測			気象条件		
	開始	終了	吹雪前	吹雪中	吹雪後	平均気温 °C	平均風速 ms ⁻¹	累計降雪量 m
1	2017/1/10 14:10	2017/1/12 13:50	1回	2回	1回	-8.3	7.3	0.11
2	2017/1/27 14:00	2017/1/29 8:50	1回	2回	1回	-3.9	9.6	0.08
3	2017/2/17 18:00	2017/2/18 13:00	1回	2回	1回	-5.7	10.5	0.08
4	2017/12/25 13:20	2017/12/28 9:40	1回	2回	1回	-5.9	11.0	0.23
5	2018/1/24 12:30	2018/1/27 9:43	1回	2回	1回	-7.3	7.6	0.29
6	2018/3/1 10:50	2018/3/3 9:23	1回	2回	1回	-1.2	9.7	0.29
7	2018/12/27 9:20	2018/12/30 12:02	1回	2回	1回	-5.1	9.6	0.44
8	2019/1/15 9:00	2019/1/19 10:05	1回	3回	1回	-5.0	8.8	0.20
9	2019/2/7 9:15	2019/2/9 9:30	1回	2回	1回	-11.5	7.2	0.12

※事例1～3での雪丘形状計測は測線1のみ
※累計降雪量は雪密度100kg/m³と仮定し、降水量より算出

吹きだまり量 (m³ m⁻¹) を算出した。また、調査時には 2D レーザースキャナを測線 1 の風上風下の法肩、測線 2 の風下側の法肩に設置し雪丘形状の変化も連続で記録した。

調査箇所の近傍には気温計、風向風速計、二重柵基準降水量計 (DFIR) が設置されており、調査時の地上の気温 (°C)、地上高 10m の風向風速 (ms⁻¹)、降雪量を把握した。さらに、高さ 0.5m、3m、7m に飛雪粒子係数装置 (新潟電機製:SPC-95) を設置し調査時における飛雪流量を併せて計測した。なお、飛雪流量とは単位断面積を単位時間に通過する雪粒子の質量である。



図 4 調査時の吹きだまり状況 (事例 4 (吹雪前後))

2. 2 調査結果

2. 2. 1 吹きだまりの発達過程と発達速度

吹雪前、吹雪中、吹雪後に計測した吹雪だまり深さより、測線 1 及び 2 の雪丘形状をイベント毎に整理した (図 5、図 6、図 7)。

図 5、図 6、図 7 より、事例 1～3 を除く事例 4～9 では小型車両の発進が困難になるとされる深さ 20cm³ 以上の吹きだまりが吹雪後の車道上で発生した。また、車道上での吹きだまりの発生状況を測線 1 と 2 で比較すると、例えば事例 4 の測線 1 では車道の中央線で吹雪後の吹きだまり深さが 10cm であったが、測線 2 では 47cm であった。このように、吹きだまりの発達速度が測線 1 に比べ切土高が低い測線 2 で速い傾向が見られた。

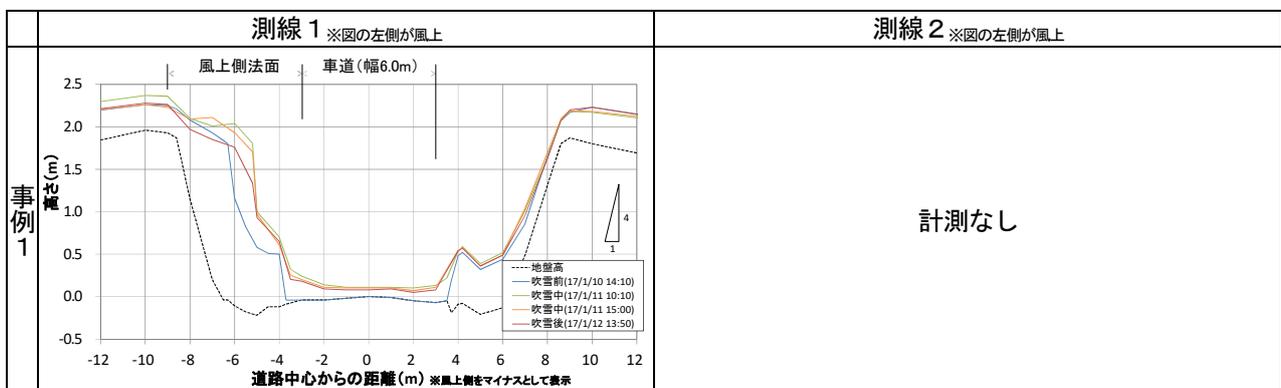


図 5 吹きだまり発生状況 1

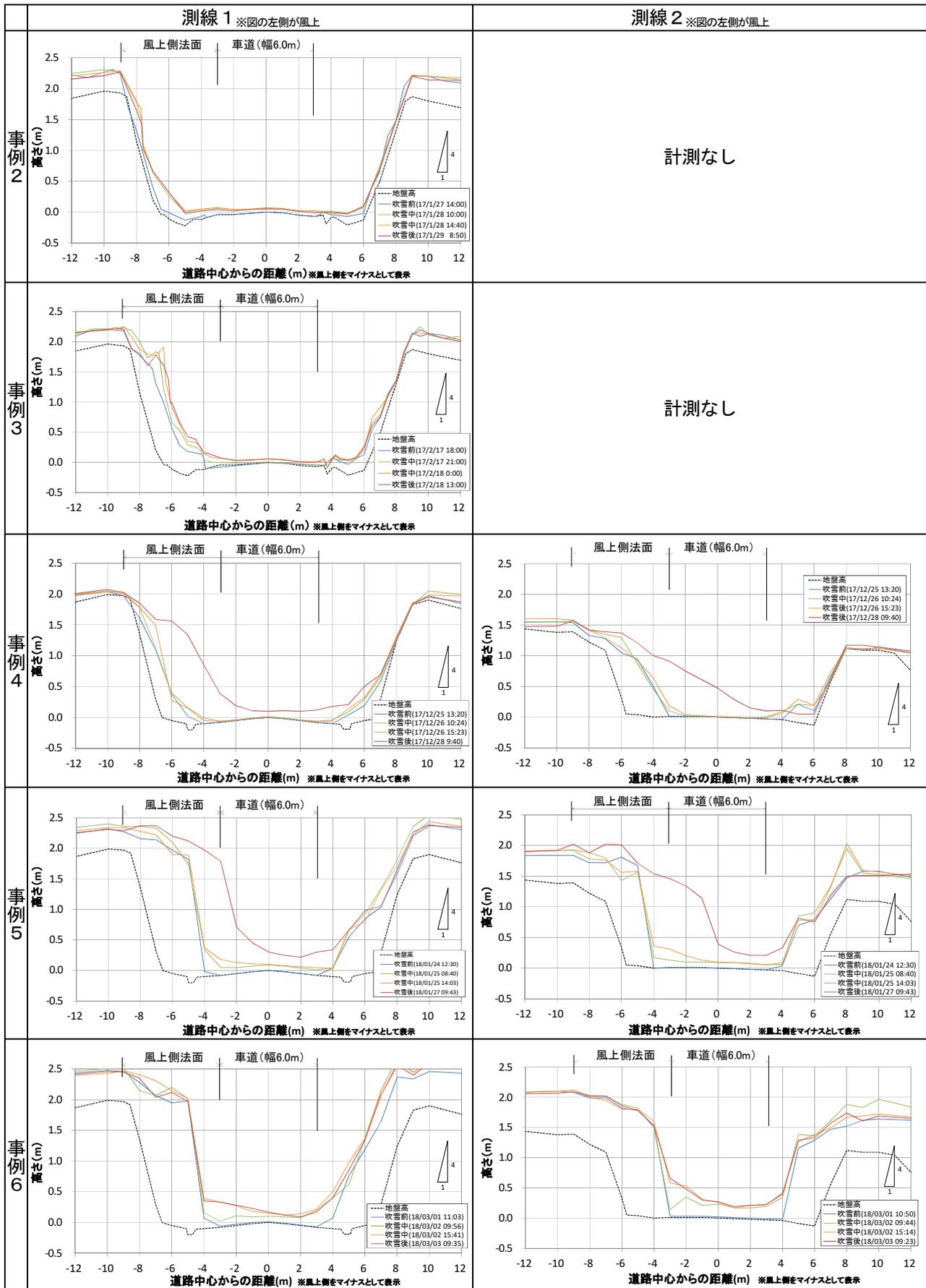


図 6 吹きだまり発生状況 2

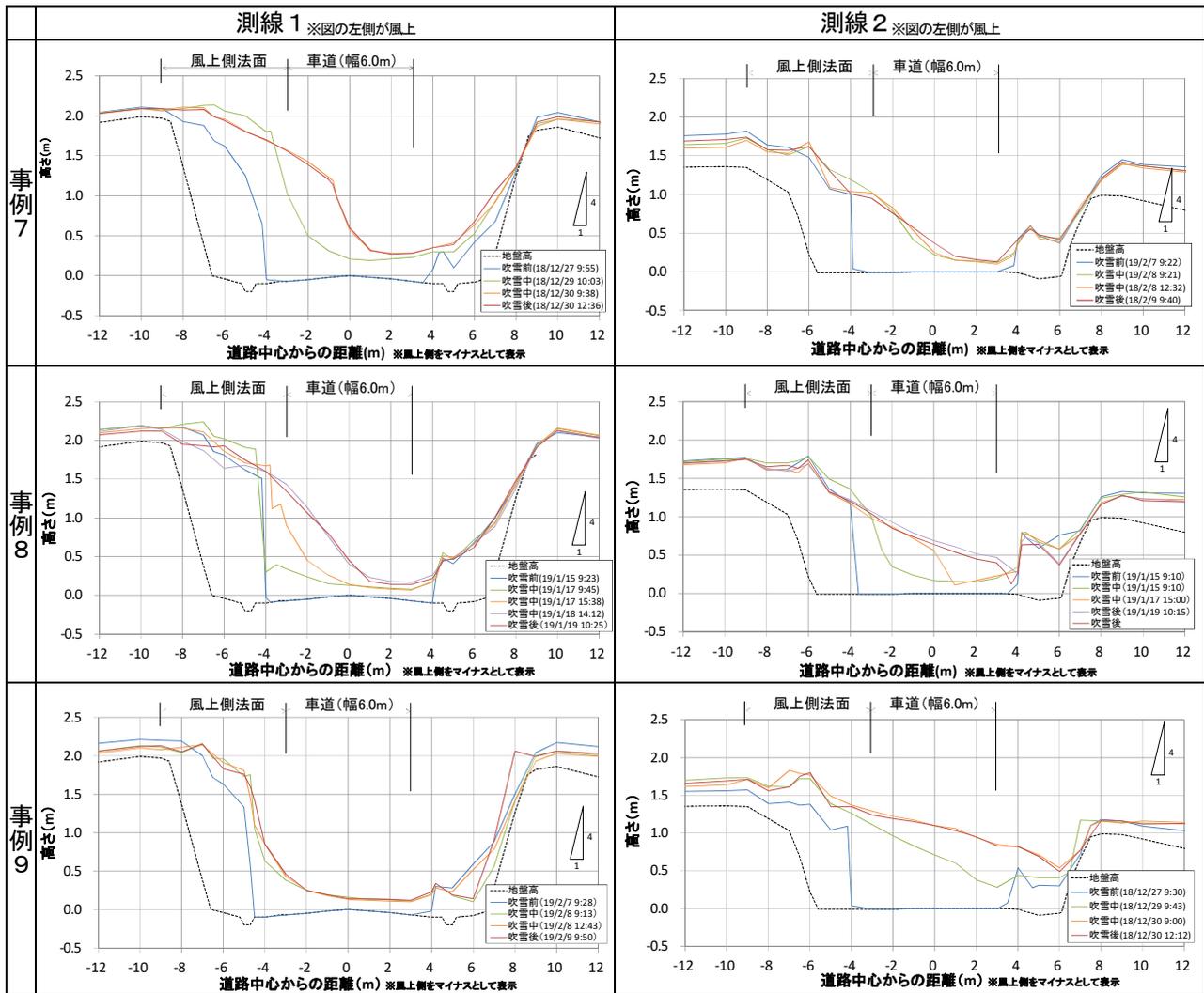


図 7 吹きだまり発生状況 3

ただし、風上側法面上の吹雪前における積雪状況を確認すると、事例4の測線1では積雪量が少なく風上の堆雪スペースに余裕が見られるが、測線2では既に法面上の堆雪量が多く風上の堆雪スペースにあまり余裕が見られない。このため車道上の吹きだまり発達速

度の違いには、このような吹雪前の風上法面上の堆雪状況の違いが影響していたことが考えられる。

そこで、吹雪前の風上法面の堆雪割合 p と車道上の吹きだまり発生割合 r の関係について分析した。

ここで、 p と r は以下の通り定義した (図 8)。

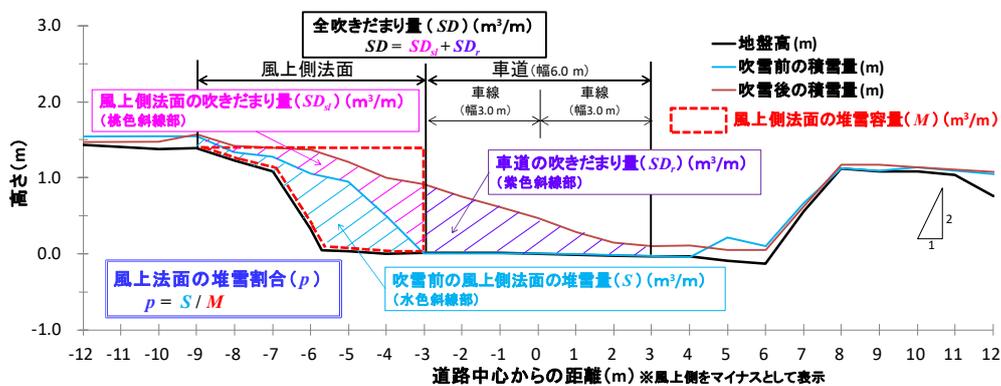


図 8 各種吹きだまり量と風上法面の堆雪割合 p の定義

- p : 吹雪前の風上法面上の堆雪割合 (S/M)
- S : 吹雪前の風上法面上の堆雪量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-1}$)
- M : 風上側法面の堆雪容量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-1}$)
- r : 車道上の吹きだまり発生割合 (SDr/SD)
- SD : 全吹きだまり量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-1}$) ($SDsl+SDr$)
(風上法面から車道までの吹きだまり量)
- SDr : 車道の吹きだまり量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-1}$)
- $SDsl$: 風上法面の吹きだまり量 ($\text{m}^3 \text{m}^{-1}$)

図 9は p と r の関係を、測線別に示したものである。図 9より、 r は p の増加に伴い増加する傾向が測線(切土高)に関係なく見られ、式(1)の関係式が得られた。

$$r = 0.73 \times p + 0.12 \quad \dots\dots(1)$$

これは、吹雪前に風上法面の堆雪割合が多い程、風上の法面上で吹雪を捕捉できるスペースが少なく車道上に吹きだまりが発達する速度が速いためと考えられる。このため、車道上に発生する吹きだまり量を予測する上では風上法面上の堆雪状況を式(1)の関係式などを基に考慮することが必要と考えられる。

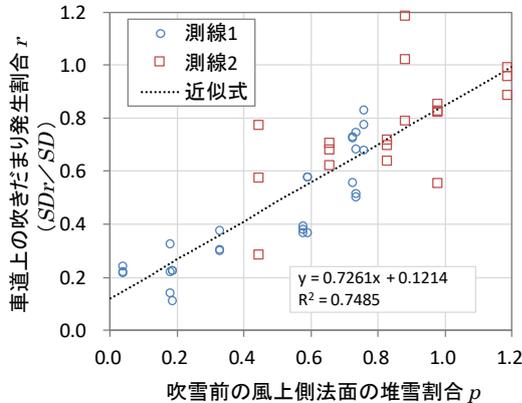


図 9 吹雪前の風上側の堆雪割合 p と車道上の吹きだまり発生割合 r

2. 2. 2 吹きだまりの発達速度と気象条件

(1)吹雪量の推定

吹きだまり発生には、吹雪量が大きく寄与していると考えられ、調査時の吹雪量を正確に把握することが重要である。なお、吹雪量は単位幅を単位時間に通過する雪粒子の質量である。

吹雪量を連続計測することは非常に難しく、吹雪量を見積もるための手法がこれまでに多く検討されている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし、これらの手法³⁾⁵⁾⁶⁾はいずれも各気象条

件における最大の吹雪量を評価するものであり、これらの手法で吹雪量を推定した場合には、調査時の吹雪量を過大評価してしまう恐れがある。一方、本調査では調査時に発生していた飛雪流量を高さ 0.5m、3m、7m において連続観測していた。そこで本調査では、実際に観測した飛雪流量より調査時の吹雪量を見積もった。

(2)吹雪量の推定方法

道路に発生する吹きだまりには、道路構造や防雪柵(高さ 5m)などが影響している。このことを考慮し、本分析では高さ 7m までの吹雪量 $Q_{7.0}$ ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$) を式

(2)の通り各高さの飛雪流量から台形近似により見積もることとした。

$$Q_{7.0} = (q_0 + q_{0.5}) / 2 \cdot 0.5 + (q_{0.5} + q_{3.0}) / 2 \cdot 2.5 + ((q_{3.0} + q_{7.0}) / 2) \cdot 4 \quad \dots(2)$$

ここで、 q_0 、 $q_{0.5}$ 、 $q_{3.0}$ 、 $q_{7.0}$ はそれぞれ雪面近傍と高さ 0.5m、3m、7m の飛雪流量 ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を示す。推定吹雪量の算出において $q_{0.5}$ 、 $q_{3.0}$ 、 $q_{7.0}$ には、それぞれ高さ 0.5m、3m、7m の SPC による計測値 $q_{\text{spc}0.5}$ 、 $q_{\text{spc}3}$ 、 $q_{\text{spc}7}$ を用いた。ただし、 $Q_{7.0}$ を推定するには、未計測の q_0 を別途推定することが必要である。

松澤ら⁷⁾は雪面から任意高さ z (m) までの吹雪量 Q_z ($\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$) と、高さ z の飛雪流量 q_z ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) の観測値を用い、式(3)の関係が成り立つと仮定し、 q_0 と q_z の関係を求めた。その結果、降水量 0.3mm/h 未満の場合、 z が 0.3-1.0m の範囲で式(4)の関係が得られている。よって本研究では、式(5)を用い q_0 を求め式(2)より $Q_{7.0}$ を推定した。

$$Q_z = (q_z + q_0) \times z / 2 \quad \dots\dots(3)$$

$$q_0 = k q_z \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 $k=0.63 z + 6.22$

$$q_0 = 6.5q_{0.5} \quad \dots\dots(5)$$

ただし、以下の条件により地吹雪発生の有無を判別し地吹雪が発生していないと判定された場合には $q_0 = q_{0.5}$ とし $Q_{7.0}$ を推定した。

【地吹雪判定条件】:

$$q_{\text{spc}0.5} - q_{\text{spc}7} > 0 \quad \text{かつ} \quad U \geq 5 \text{m s}^{-1}$$

ここで、 $q_{spc0.5}$ 、 q_{spc7} は高さ 0.5m、7m で SPC により計測された飛雪流量 ($g\ m^{-2}\ s^{-1}$)、 U は高度 10m での風速 ($m\ s^{-1}$) を示す。

(3)吹雪量と吹きだまり量との関係

切土道路に発生した吹きだまり量 SD と累計推定吹雪量 Q_{est} との関係を、各イベントの測線毎に分析した (図 10)。なお、累計推定吹雪量 Q_{est} は吹きだまり量の発生に要した時間に発生した吹雪量 $Q_{7.0}$ を累積した値である。

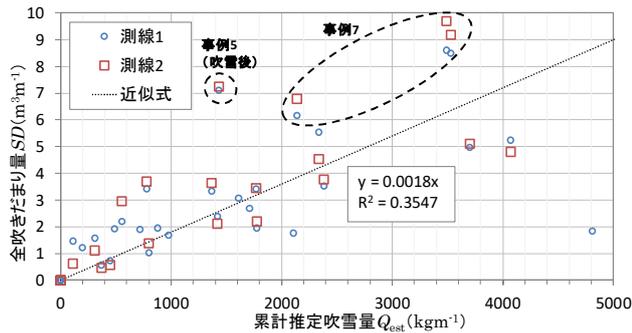


図 10 累計推定吹雪量 Q_{est} と吹きだまり量 SD

図 10より、全吹きだまり量 SD は推定累計吹雪量 Q_{est} の増加に伴い増加する傾向が見られ、近似式より式(6)の関係が得られた。ただし、累計降雪量が比較的多かった事例 5 及び事例 7 (表 1) では、 Q_{est} に対し発生した SD が式(6)の関係よりも多かった。

$$SD = 0.0018 Q_{est} \quad \dots\dots(6)$$

ここで、 SD : 全吹きだまり量 ($m^3\ m^{-1}$)、 Q_{est} : 累計推定吹雪量 ($kg\ m^{-1}$) である。

また、累計吹雪量と吹きだまり量との関係に測線 (切土高) による違い (影響) はあまり見られなかった。

3. 切土道路における吹きだまり予測モデル検討

3. 1 切土道路における吹きだまりの推定手法

車道上の吹きだまり発生割合 r と式(6)の関係式より、切土道路の車道の吹きだまり量 SDr ($m^3\ m^{-1}$) は式(7)の様に表すことができる。このため、風上側法面の堆雪割合 p を吹雪前に把握できれば、 SDr は式(1)、(7)の関係式を用いることで推定可能と考えられる。

$$SDr = 0.0018 \times Q \times r \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 Q : 累計吹雪量 ($kg\ m^{-1}$)、 r : SDr の全吹きだ

まり量 SD ($SDsl + SDr$) ($m^3\ m^{-1}$) に対する割合である。

そこで、本調査での観測事例における車道の吹きだまり量 SDr を、風上側法面の堆雪割合 p 及び累計推定吹雪量 Q_{est} を基に式(1)、(7)の関係式により推定し、実測値と比較した (図 11)。

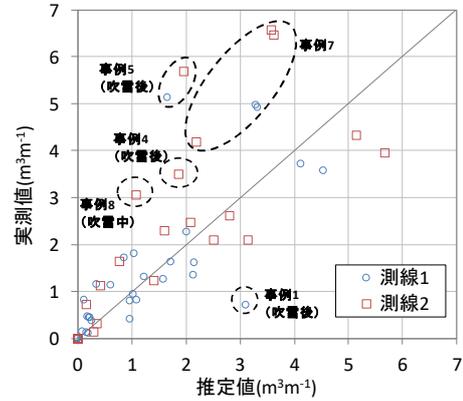


図 11 車道の吹きだまり量 SDr の推定

図 11より、 SDr の推定値は実測値と概ね一致する傾向が見られており、車道の吹きだまり量 SDr は風上側法面の堆雪割合 p と累計推定吹雪量 Q_{est} から推定することが可能と考えられる。ただし、推定値が実測値に比べ過少となる事例も見られた。これらの事例の気象条件 (表 1) を確認してみると、いずれも累計降雪量が比較的に多かった事例であり、特に測線 2 で推定値が過小となる場合が多かった。

3. 2 吹雪量の推定手法

車線上の吹きだまり量を推定する方法を、3.1 節の通り吹雪量と風上法面上の堆雪割合から推定する方法を検討した。ただし、吹きだまり量は、一般には観測がされていない。このため、吹きだまり量を事前に予測していくためには、吹雪量を一般的な気象条件から推定することが重要となる。

吹雪量の推定式については、石狩市での観測結果を基に松澤ら⁹⁾が式 (8) の経験式を導いている。そこで、本研究では、式 (8) を吹雪量の推定手法に採用した。

$$Q = 0.005 \times U_{1.2}^4 \quad \dots\dots(8)$$

ここで、 Q は吹雪量 ($g\ m^{-1}\ s^{-1}$)、 $U_{1.2}$ は高度 1.2m での平均風速 ($m\ s^{-1}$) を示す。

ただし、式(8)は降雪を伴った吹雪が十分発達した条件下における吹雪量を見積もることを想定した式であ

る。このため、式(8)により吹雪量を見積もる際には地吹雪発生有無を判定し、地吹雪が発生している場合にのみ吹雪量を推定することが必要である。地吹雪の発生条件については、既往研究⁸⁾において降雪時と無降雪時に分けそれぞれ地吹雪の発生を一般的に入手可能な気温、湿度、風速、降水量などから判定する手法が提案されている。このため、本研究ではこの手法により地吹雪発生の有無を判定し、地吹雪発生と判定された場合にのみ吹雪量を見積もることとする。

さらに、地吹雪が発生する場合であっても風上に地吹雪を発達させる吹走距離と雪原に地吹雪を発生される雪粒子が十分に存在しない場合には式(8)により推定した吹雪量は過大評価となる恐れがある。そこで、さらに以下の方法を検討した。

吹雪の供給源となる降雪量（最大吹雪量）が風上の吹走距離の範囲に直前に積もった降雪量に一致すると仮定すると、最大吹雪量は式(9)の通り示すことができる。そこで、これを基に式(8)で推定した吹雪量が式(9)により見積もった最大吹雪量を超過する場合には、式(9)で見積もった最大吹雪量を推定吹雪量として補正することが必要と考えられる。

$$Q_{max} = S \times H \quad \dots\dots(9)$$

ここで、 Q_{max} は降雪量を基にした最大吹雪量 ($\text{kg m}^{-1} \text{h}^{-1}$)、 S は降雪量 ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$)、 H は吹走距離 (m) を示す。ただし、降雪量は降水強度 Ph (mm h^{-1}) から求めた。

この方法を採用することで、式(8)による推定吹雪量が過大評価となることを軽減できるものと考えられる。

4. 切土道路における吹きだまり推定手法の検証

冬期道路の道路除雪や通行止めの判断支援を目的に車線上の吹きだまり量を予測していくことを踏まえると、車線上に吹きだまりが発生するタイミングを正確に予測することが重要と考えられる。

そこで、3章で提案した吹きだまり推定手法を用い車線上の吹きだまり量の1時間毎に推定し、推定精度について検証を行った。

4. 1 推定精度の検証方法

4. 1. 1 検証データの現地観測

推定精度の検証のため、北海道石狩市 ($\text{N}43^{\circ} 13'$ 、 $\text{E}141^{\circ} 24'$) (図 1) 及び弟子屈町 ($\text{N}43^{\circ} 30'$ 、 $\text{E}144^{\circ} 27'$) (図 12) の切土構造の模擬道路において吹きだま

りの発生状況について観測を行った。

(1)石狩市内での観測

観測対象は、2章において調査対象とし石狩吹雪実験場内の切土道路の測線 1、2 (図 2、図 3) を観測対象とした。調査では、風上側と風下側法面の法肩、測線 2 の法肩に 2D レーザースキャナを設置し吹きだまり形状を連続して計測し行った。また、吹きだまり推定のため観測箇所の近傍において、気温、湿度、高さ 10m における風向風速、積雪深の計測を行った。なお、計測期間は、2017 年 12 月～2018 年 3 月、2018 年 12 月～2019 年 3 月とした。

(2)弟子屈町内での観測

観測対象は、切土構造の模擬道路を想定した図 13、図 14に示した切土道路とした。切土構造は石狩吹雪実験場の測線 3 と法面高さが概ね同程度の約 2m であり、勾配も同程度の 1:1 である。ただし、風下側には法面が存在しない片切土の道路である。調査では、風上側の法肩に 2D レーザースキャナを設置し吹きだまり形状を連続して計測し行った。また、吹きだまり推

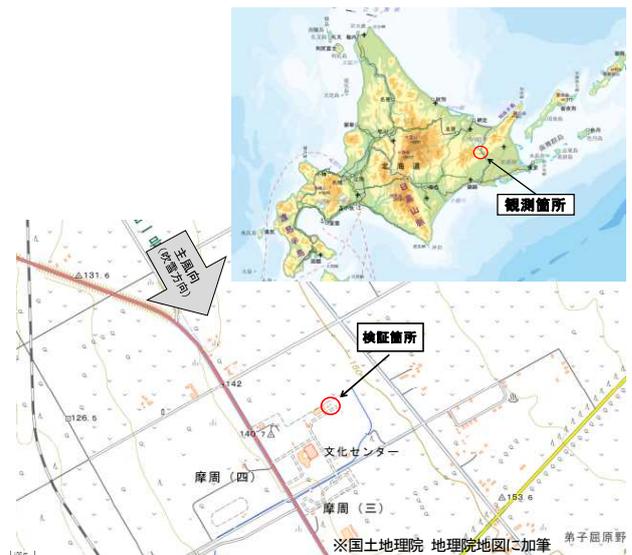


図 12 検証箇所 (弟子屈町)



図 13 検証対象とした切土道路とその風上の状況

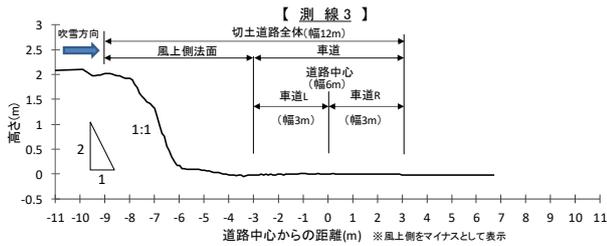


図 14 検証対象とした片切土道路の横断面

定のため観測箇所の近傍において、気温、湿度、高さ7mにおける風向風速、積雪深の計測を行った。なお、計測期間は、2017年12月～2018年3月とした。

(3)検証対象期間の抽出

(1)(2)において観測したデータを対象に、車線上に積雪が概ね無い状態から吹雪により吹きだまりの発生が見られた事例を基に、表 2に示す通り石狩で6事例、弟子屈で1事例の計7つを吹きだまりの推定精度を検証する期間として抽出した。ただし、検証事例4は2章において吹きだまり調査を実施した事例7に相当するが、吹きだまりが大きく発達した事例であったことから推定精度の検証対象とした。

表 2 検証対象とした吹きだまりの観測事例

検証箇所	検証事例 No	検証対象の測線No	日時		気象条件		
			開始	終了	平均気温 (°C)	平均風速 (m/s)	累計降雪量* (m)
石狩	1	測線1	2018/2/15 0:00	2018/2/16 10:00	-4.7	8.5	0.10
	2	測線1	2018/2/20 0:00	2018/2/22 3:00	-6.3	7.2	0.22
	3	測線1	2018/3/5 23:00	2018/3/7 8:00	-5.8	7.9	0.14
	4	測線1-2	2018/12/26 16:00	2018/12/30 11:00	-5.4	9.4	0.37
	5	測線1-2	2019/1/20 18:00	2019/1/22 16:00	-5.8	8.3	0.22
	6	測線1-2	2019/1/31 3:00	2019/2/3 6:00	-6.2	11.1	0.23
	7	測線1-2	2019/2/4 11:00	2019/2/5 13:00	-6.0	12.5	0.08
弟子屈	1	測線3	2017/12/13 9:00	2017/12/14 21:00	-1.2	9.0	0.12

*解析雨量(mm/h)データを基、雪密度を100kg/m³と仮定し算出

4. 1. 2 検証方法

(1)吹きだまり量の算出

推定した吹きだまり量を実際に発生していた吹きだまり量と比較するため、吹きだまり量を観測結果から以下の方法で算出した。

吹きだまり量を算出するため、最初に2Dレーザースキャナによる計測データから1時間毎の吹きだまり形状を整理した。吹きだまり形状(深さ)の1時間毎の変化から切土道路全体と車線上の吹きだまり量(SD、SDr)を算出した(図8、図15)。

(2)吹雪量の推定

車線上の吹きだまり量を推定においては、累計吹雪量が必要となる。本検証では、3.2節で示した方法により検証期間の吹雪量を推定した。

なお、推定に必要な気象条件は表3に示した

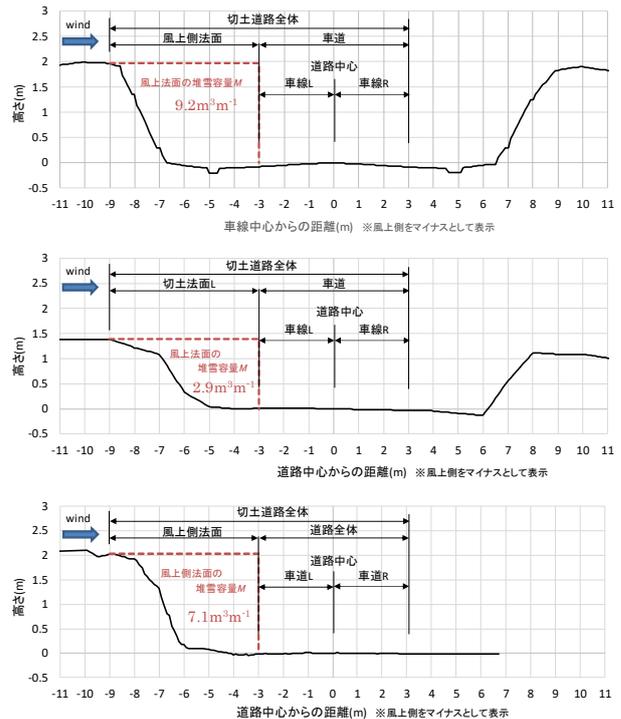


図 15 検証対象道路の横断面と風上法面の堆雪容量

表 3 推定に用いた気象データ

観測項目	観測方法		備考
	観測箇所		
	石狩市	弟子屈町	
気温	温湿度計	温湿度計	特別値
風向風速	風向風速計 (高さ10m)	風向風速計 (高さ7m)	特別値
積雪深	積雪深計	積雪深計	特別値
降水量	解析雨量	解析雨量	毎正時

データの特別値を用い、1時間毎の吹雪量を推定した。(3)風上法面の堆雪割合pと車道上の吹きだまり発生割合rの算出

車線上の吹きだまり量を推定するには、風上法面の堆雪割合pが必要となる。本検証では、図15の通り設定した風上法面の堆雪容量と2Dレーザースキャナで実測した吹雪前の風上法面の堆雪量を基に風上法面の堆雪割合pを1時間毎に算出した(図8)。次に、pの算出結果を基に式(1)によりrを設定した。

(4)吹きだまり量の推定

(2)項で推定した吹雪量を基に、切土道路全体に発生したと考えられる吹きだまり量SD(図15)を、式(6)により1時間毎に推定した。

またさらに、(2)項で推定した吹雪量と(3)項で設定した p により式(7)を用い車線上の吹きだまり量 SDr (図15)を1時間毎に推定した。ただし、降水強度 Ph (mm h^{-1})から車線上に発生する降雪量 S ($\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{h}^{-1}$)を別途算出し、推定した吹雪量 Q ($\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{h}^{-1}$)よりも降雪量の方が多い場合には、吹きだまり量は降雪量に一致するものと仮定し吹きだまり量を推定した。なお、降雪量は雪密度を 100kg m^{-3} と仮定し算出した。

4.2 検証結果

図16～図27は、検証対象とした各事例の全吹きだまり量、車線上の吹きだまり量の推定結果と観測結果を時系列図として示したものである。また、車線上の吹きだまり量を示した図には併せて風上法面の堆雪割合

の観測結果を合わせて図示した。

図16は、石狩の検証事例1での推定結果である。検証事例1では、全吹きだまり量の推定結果が事例の前半である2018年2月15日18時頃までは概ね観測値と一致した。ただし、事例後半では全吹きだまり量の推定値が実測値よりも小さい傾向が見られた。一方、車線上の吹きだまり量については事例前半に推定値に一致するような吹きだまり量の増加が観測値では見られず、推定値が過大となる傾向が見られた。これは、検証事例1では事例前半に発生した吹きだまりの大部分が車線上でなく風上法面上で発生しており、式(1)の関係との乖離があったことが原因と考えられる。

次に図17、図18は、石狩の検証事例2と3での推定結果である。検証事例2と3における全吹きだまり

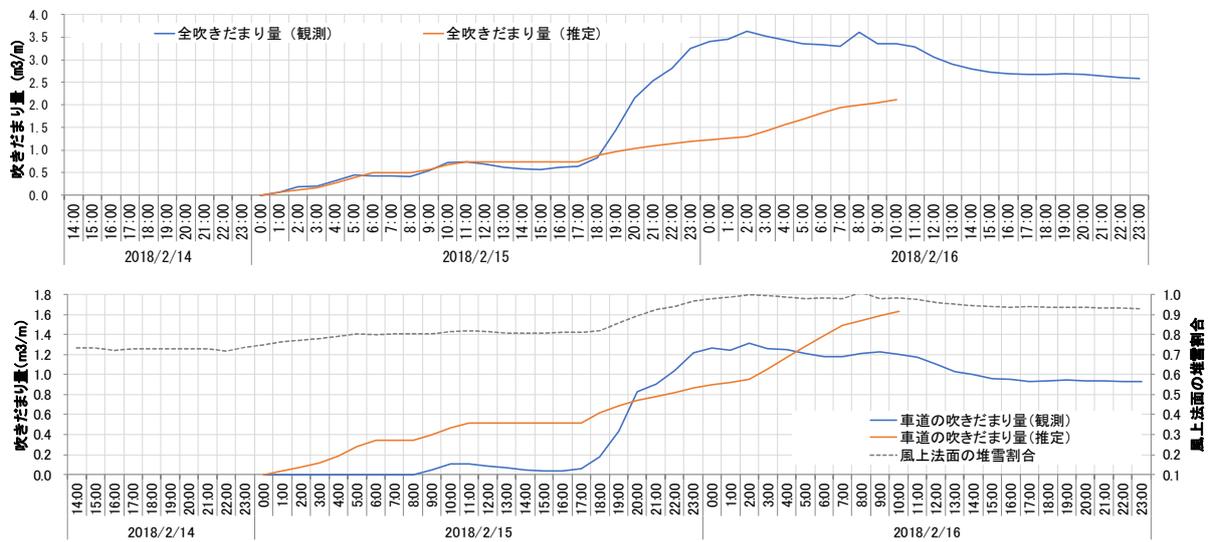


図16 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例1（測線1）】

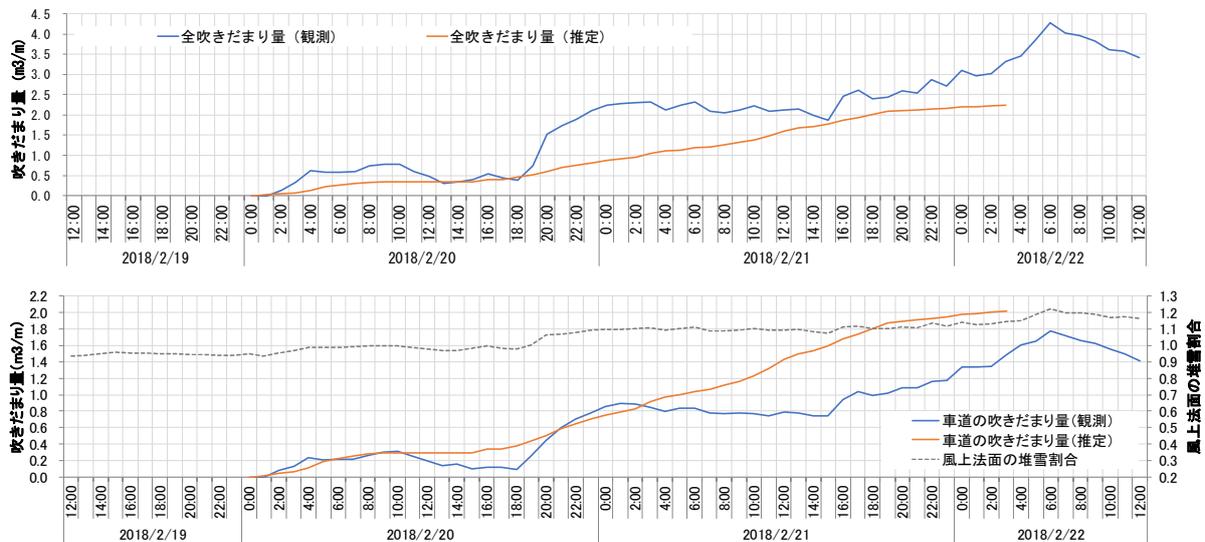


図17 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例2（測線1）】

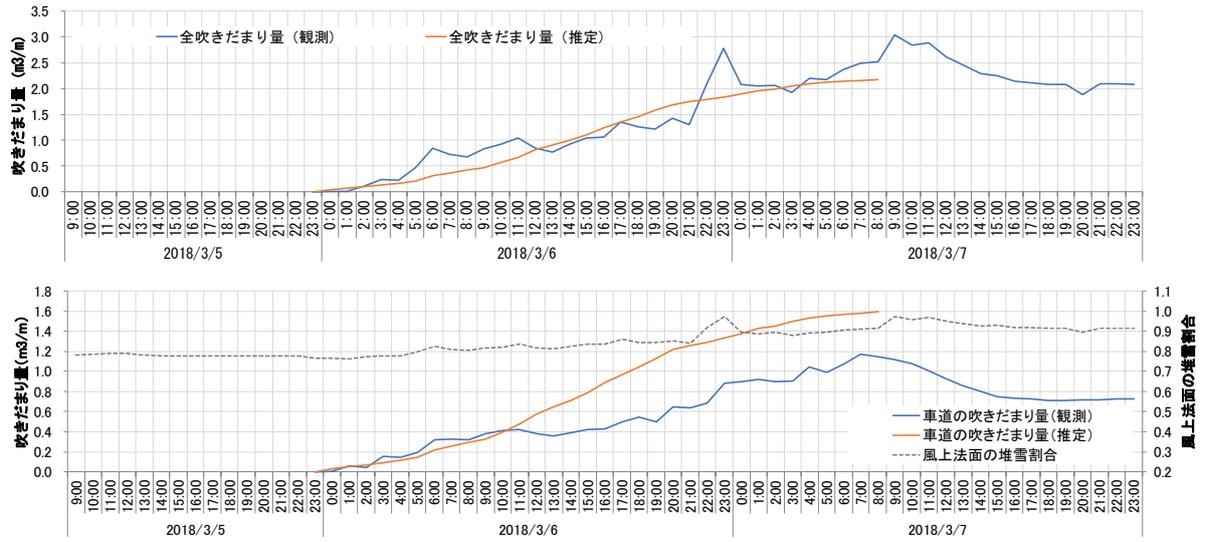


図 18 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 3 (測線 1)】

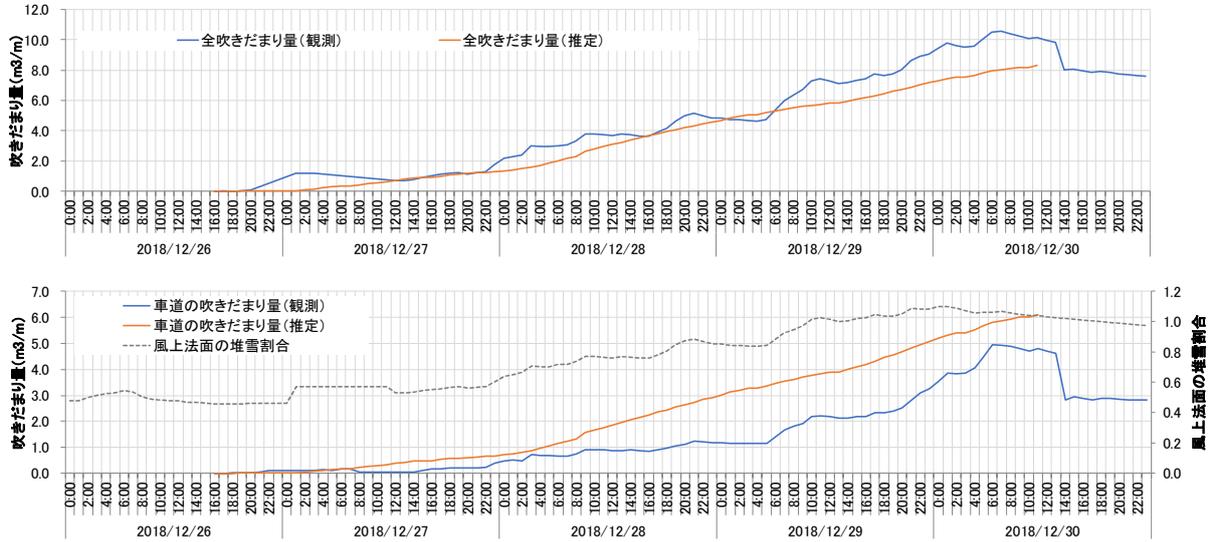


図 19 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 4 (測線 1)】

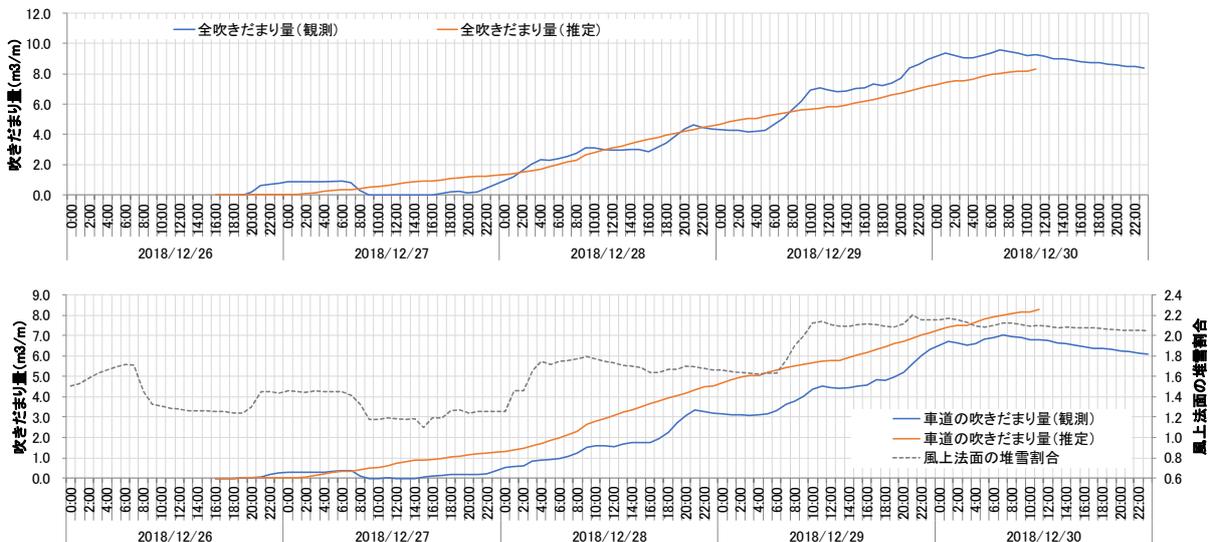


図 20 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 4 (測線 2)】

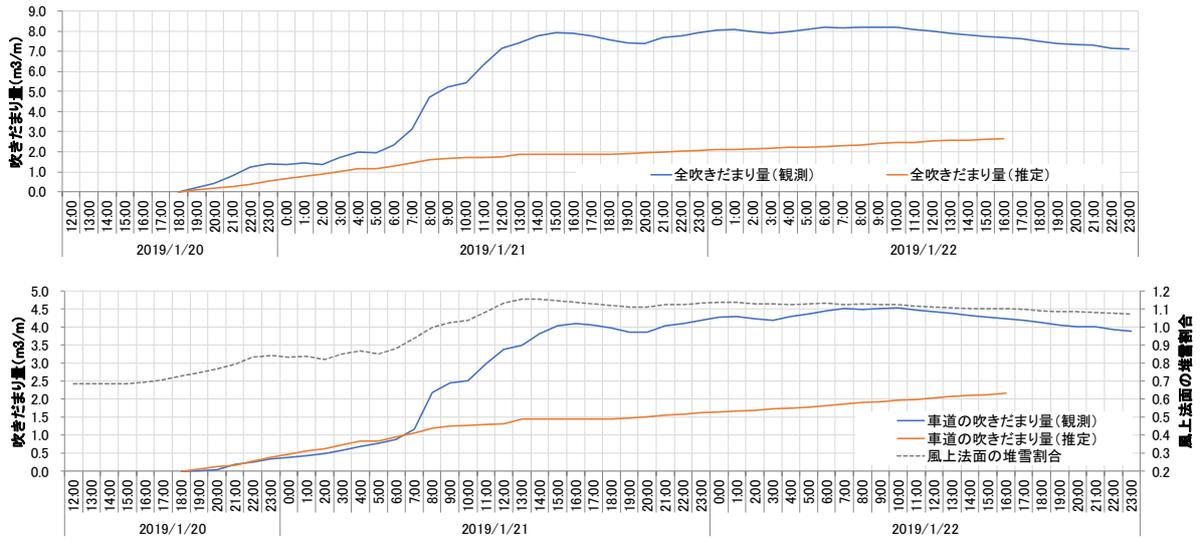


図 21 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 5（測線 1）】

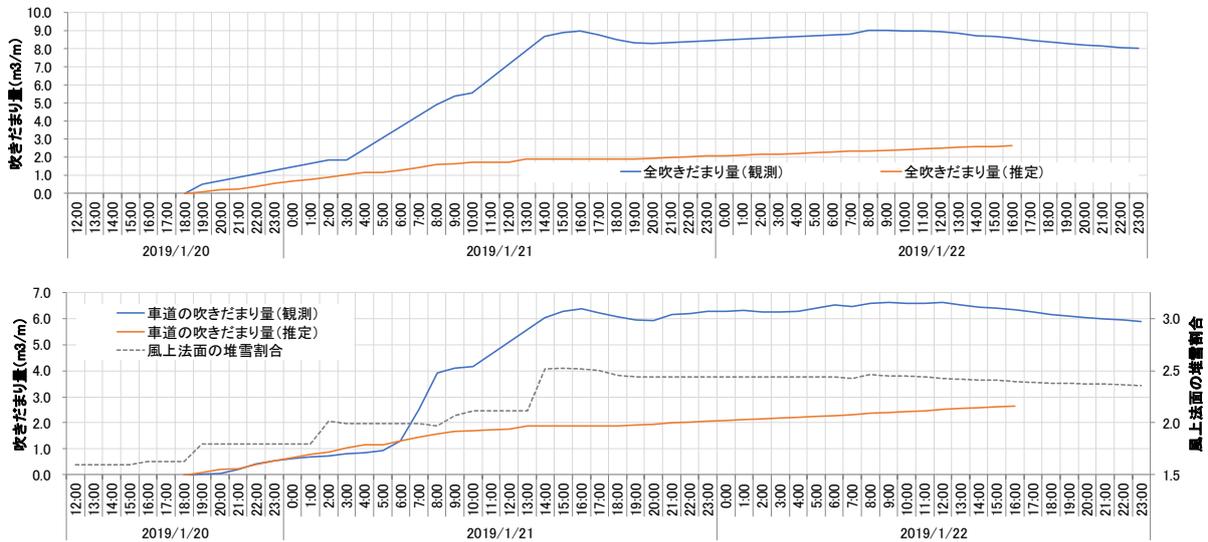


図 22 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 5（測線 2）】

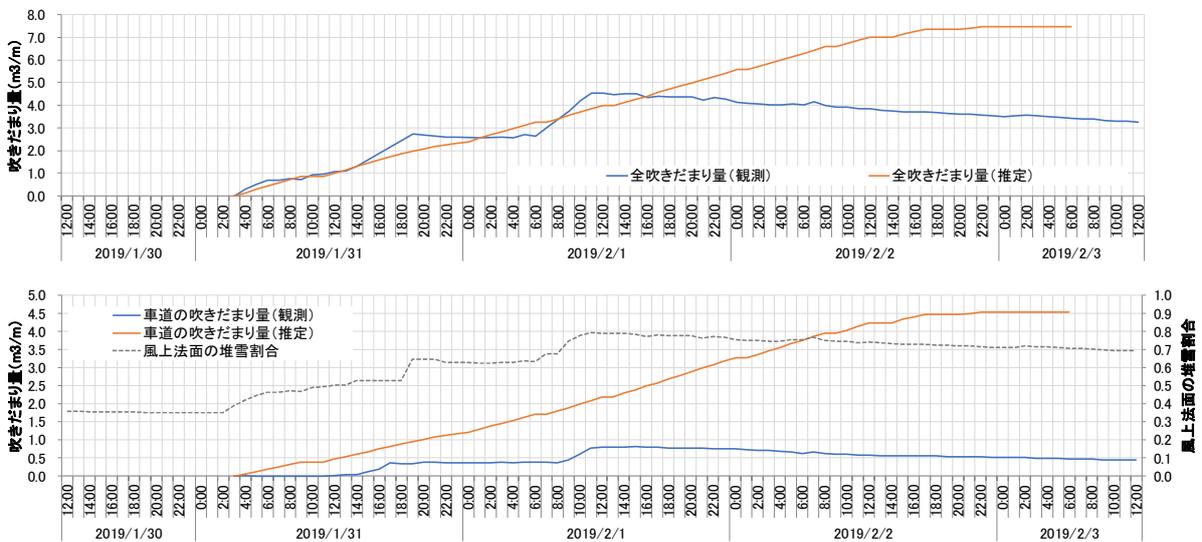


図 23 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 6（測線 1）】

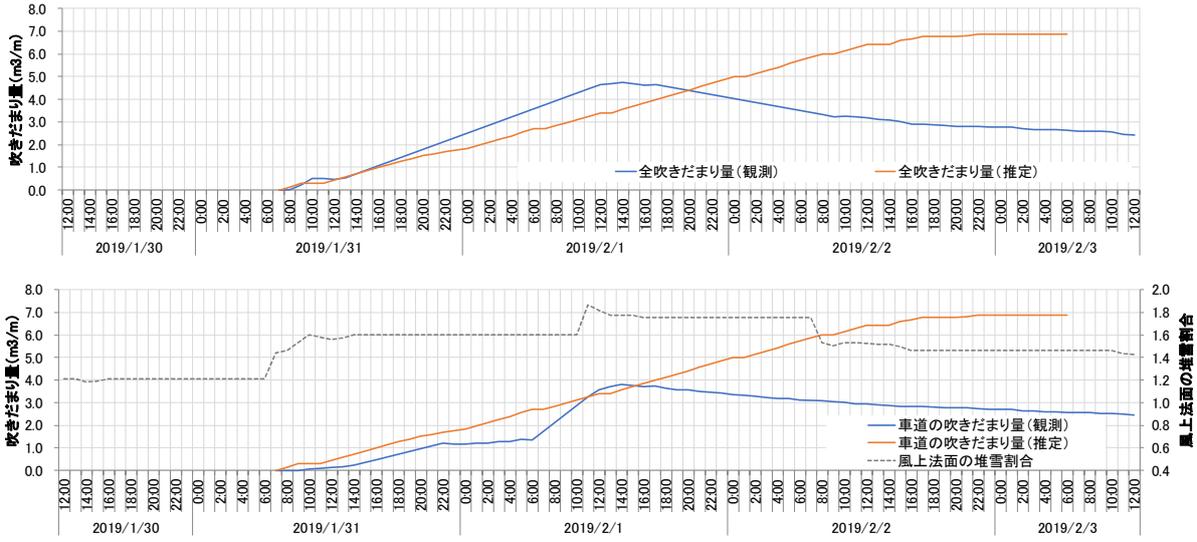


図 24 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 6（測線 2）】

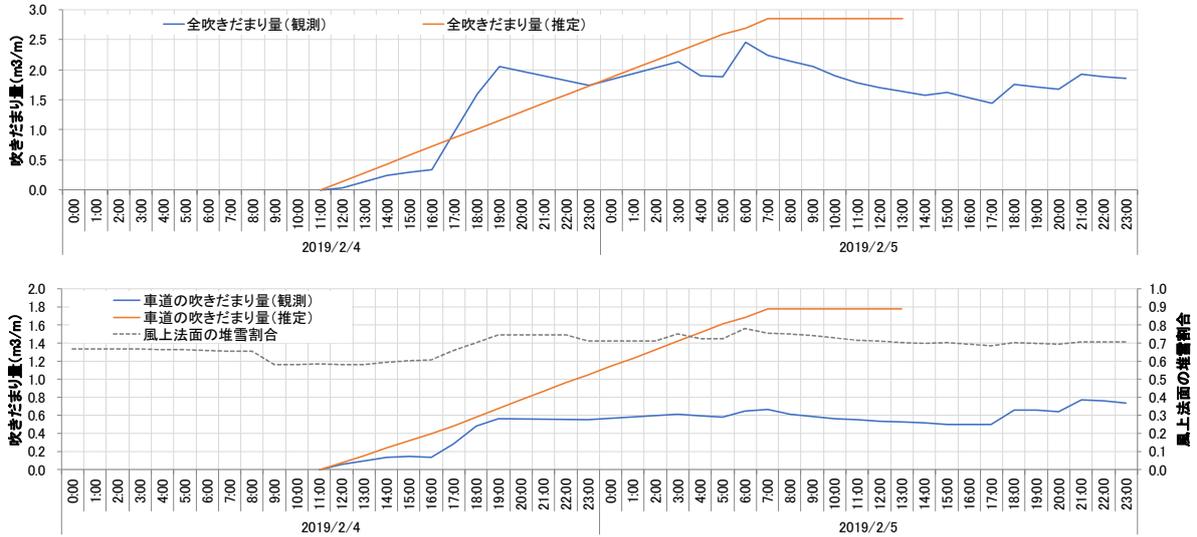


図 25 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 7（測線 1）】

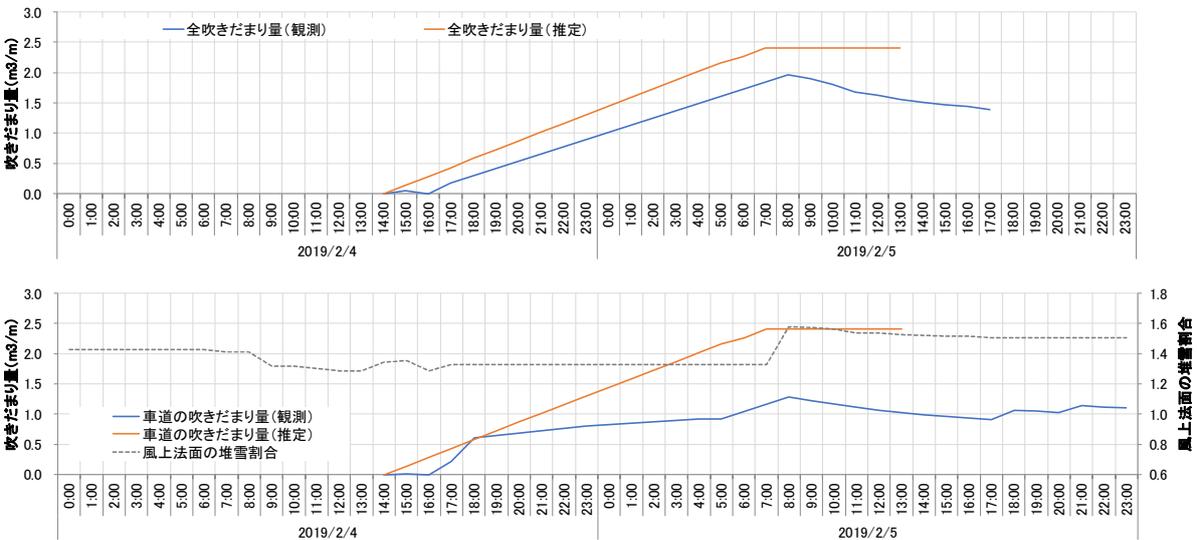


図 26 吹きだまり量の推定結果【石狩：検証事例 7（測線 2）】

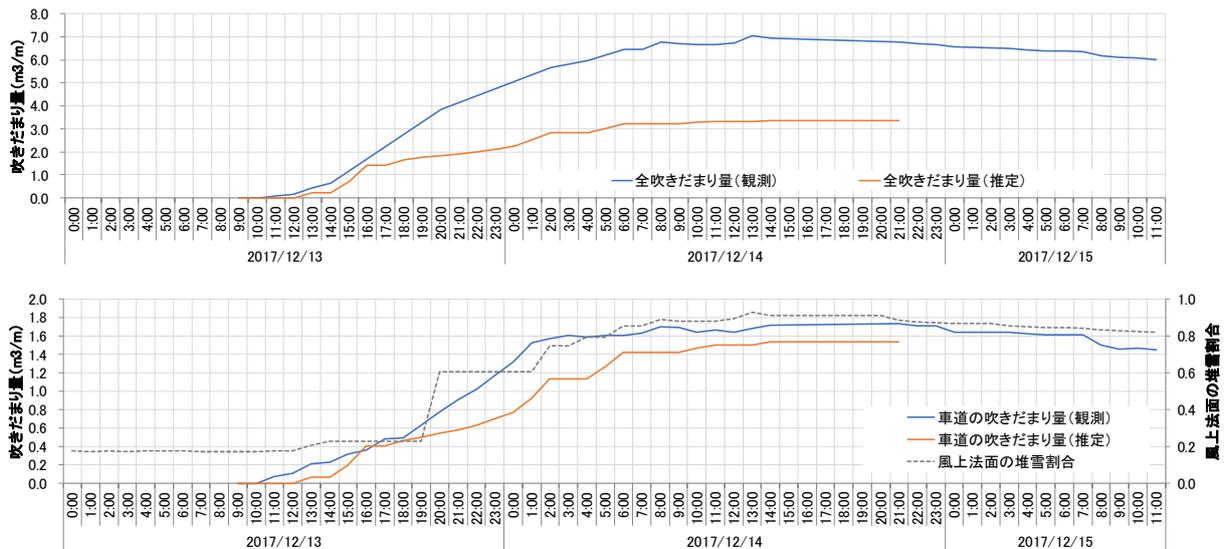


図 27 吹きだまり量の推定結果【弟子屈：検証事例 1 (測線 3)】

量の推定値が観測値と概ね一致していることが確認できる。ただし、検証事例 2 においては事例の途中で全吹きだまり量の推定値が実際よりも過小となる期間が見られた。また、車線上の吹きだまり量の推定値についても、事例前半においては観測値と概ね一致した。ただし、事例後半については推定値が観測値よりも大きい傾向が見られた。

図 19 及び図 20 は石狩の検証事例 4 (調査事例 7) での推定結果である。図 19 及び図 20 より、測線に関わらず全吹きだまり量の推定結果は観測値と概ね一致することが確認できた。また、車線上の吹きだまり量についても、推定値が観測値より若干大きい傾向が見られるものの車線上において吹きだまりが発達する状況を概ね推定できているとことが確認できた。

図 21、図 22 は石狩の検証事例 5 での推定結果である。検証事例 5 では事例前半においては測線の違いに関わらず全吹きだまり量や車線上の吹きだまり量の推定値が観測値に一致したが、事例後半には推定値が観測値を大きく下回った。

図 23、図 24 は石狩の検証事例 6 での推定結果である。検証事例 6 では全吹きだまり量や車線上の吹きだまり量の推定値が観測値と事例前半においては概ね一致していた。ただし、事例後半では検証事例 5 とは逆に推定値が観測値を大きく上回った。これについては、2019/12/14 の 12 時以降は吹きだまり量の実測値が減少しており、吹きだまりが吹き払われていることや吹きだまり量の増加に伴う積雪の沈降現象などが影響していることが要因と考えられる。

図 25、図 26 は石狩の検証事例 7 での推定結果であ

る。検証事例 7 では測線の違いに関わらず全吹きだまり量の推定値は観測値とも概ね一致していた。ただし、車線上の吹きだまり量の推定結果については、検証事例の開始直後では推定値が観測値と一致するものの、その後は観測値があまり増加しないにも関わらず推定値が増加した。

図 27 は弟子屈の検証事例 1 の推定結果である。弟子屈での検証事例では、全吹きだまり量や車線上の吹きだまり量の推定値が事例前半において観測値と概ね一致していたが、事例後半では全吹きだまり量の推定値が観測値の半分程度と小さかった。

このように、石狩の検証事例 1、2、3、4 では全吹きだまり量や車線上の吹きだまり量が実際に増加する傾向を途中でバラツキは見られるものの概ね推定できていた。一方、石狩の検証事例 5、6、7 では、車線上の吹きだまり量の推定値が観測値と事例終盤で大きく乖離した。弟子屈の検証事例 1 においても、全吹きだまり量の推定値が観測値と事例終盤で大きく乖離した。後半で吹きだまり量の推定値が観測値と乖離が見られた。ただし、これらの検証事例においても事例前半においては吹きだまり量の推定値が観測値と一致した。

小型車両の発進が困難になるとされる吹きだまりの深さが 20cm 以上³⁾である。このため、車両が発進困難となる車線上 (幅 6m) の吹きだまり量は 1.2m³と仮定できる。道路の吹きだまり発生を予測する上では、車両が発進困難となる吹きだまりの発生を事前に予測できることが重要であり、車線上の吹きだまり量が概ね 1m³となることを推定できることが必要と考え

られる。

これらを踏まえると、本研究で提案した吹きだまり推定手法は車両の発進が困難となる様な車線上の吹きだまりの発生を推定できる可能性は十分にあると考えられる。ただし、石狩の検証事例6や弟子屈の検証事例1では全吹きだまり量の推定値が事例終盤には観測値の半分程度であり、吹きだまり量を推定する際に重要となる吹雪量の推定結果が過小であった可能性がある。このため、吹雪量の正確な推定方法について研究を進めていくことが、道路の吹きだまりを予測していく上では今後必要と考えられる。

5. まとめ

本研究では、切土道路の車線上に発生する吹きだまり量を予測するため、切土道路の吹きだまりの発達過程や吹きだまり量と吹雪量との関係について調査を行った。その結果、以下の事を明らかとした。

- 1) 吹雪前の風上法面の堆雪割合 p と車道上の吹きだまり発生割合 r の関係が明らかとなり、切土道路の車線上に吹きだまりが発生するタイミングやその量を予測する上では、吹雪前の風上側の切土法面上の堆雪状況を考慮することが重要であることを把握した。
- 2) 吹きだまり量 SD の高さ 7m までの吹雪量 $Q_{7.0}$ との関係が明らかとなった。
- 3) 以上の結果を基に、切土道路の車線上における吹きだまりの推定手法を提案し、その推定手法による推定結果の精度について検証した。

今後は、吹きだまり量の正確な予測に向け、沿道環境や気象条件に応じた吹雪量の推定手法について検討していくことが必要である。

参考文献

- 1) 吾田洋一、松澤勝、伊東靖彦、横山博之、山田毅：えりも町での吹きだまり調査報告、雪氷研究大会（2010・仙台）講演要旨集、p.62、2010.
- 2) 金子学、松澤勝、渡邊崇史：切土・盛土道路における吹きだまり発達と車両の発進が困難となる吹きだまり深さに関する検討、第25回ゆきみらい研究発表会論文集2013（CDROM）、2013.
- 3) 渡邊崇史、金子学、松澤勝：車両が発進困難となる吹きだまり深さに関する実験と吹きだまり発達速度に関する観測、寒地土木研究所月報、No.712、pp.39-43、2012.
- 4) 小林大二：みぞによる地吹雪量の測定、低温科学 物理編、

27、pp.99-106、1969.

- 5) 松澤勝、金子学、伊東靖彦、上田真代、武知洋太：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、26、pp.45-48、2010.
- 6) 大宮哲、武知洋太、高橋丞二、松澤勝：降雪時における吹雪量推定式の提案—降雪強度と風速による吹雪量の算定—、雪氷研究大会（2018・札幌）講演要旨集、p.273、2018.
- 7) 松澤勝、武知洋太、大宮哲：任意高さの飛雪流量とその高さ以下の吹雪量の関係、雪氷研究大会（2017・十日町）講演要旨集、p.280、2017.
- 8) 武知洋太、大宮哲、大久保幸治、原田裕介、高橋丞二、松澤勝：気象条件を用いた吹雪時の視程推定手法の精度改善に向けた分析—北海道と青森県における観測結果より—、寒地土木研究所月報、No.805、pp.58-65、2020.

A STUDY ON AUTOMATIC STEERING SUPPORT SYSTEM FOR SNOW REMOVERS
A STUDY ON DEVELOPMENT OF SNOWDRIFT PREDICTION METHOD ON CUT
ROAD

Research Period : FY2016-2019

Research Team : Cold-Region Road Engineering
Research Group
(Snow and Ice)

Author : TAKAHASHI Joji
KANEKO Manabu
KONAKA Takanori
TAKECHI Hirotaka
OMIYA Satoshi

Abstract : In recent years, stranding of vehicles in snowdrifts and other traffic hazards have been reported in relation to road sections with a cut during snowstorms. Therefore, it is important to predict the formation of snowdrifts on such cut road sections. The study examined the development process of snowdrifts and the relationship between the amount of snowdrifts on a cut road section and the transport rates. The snowdrift estimating method on cut road sections was proposed by the results of the study.

Key words : Cut road, Blowing snow, Snowdrift, Snow transport rate