

片切土における吹きだまりの発達過程と吹雪量の関係 -2017年度冬期における弟子屈町での観測事例- Relationship between the development of snowdrifts and the snow transport rate on a cut on one side - Observation in Teshikaga town during wintertime in FY2017-

武知洋太, 大宮哲, 高橋丞二, 小中隆範, 松澤勝
 (国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所)

Hirotaka Takechi, Satoshi Omiya, Joji Takahashi, Takanori Konaka, Masaru Matsuzawa

1. はじめに

近年, 切土道路において吹きだまりが発生し車両が立ち往生するなどの交通障害が発生しており, 切土道路に発生する吹きだまりをリアルタイムに予測することは重要と考えられる。しかし, 切土構造や気象条件の違いによる道路上への吹きだまりの発達過程については詳細が明らかとされていない。

本研究では, 片切土において吹雪による吹きだまりの発生状況を調査し, 吹きだまりの発達過程と気象条件との関係について分析を行った。

2. 調査方法

著者らは, 北海道弟子屈町(図1)の郊外にある高さ約2mの片切土(図2)で吹きだまりの発達過程を調査した。調査箇所の風上には, 吹雪が十分発達する500m以上の吹走距離が存在する(図1, 図2上)。

調査では, 片切土の風下側に第3種第1級の2車線道路¹⁾を想定し, 青線で示した計測線上の吹きだまり深さを観測した(図2上)。観測では, 図2に示すようにレーザーキャナ1台を設置し道路横断方向(測線1)の雪丘形状を1秒毎に連続計測した。さらに, 積雪深計1台を風上側の車線中心(測線2)に設置し1時間毎に計測した。観測期間は2017年11月20日から2018年3月30日とした。また, 併せてタイムラプスカメラとスノーポール9本を設置し測線2における吹きだまりの発達状況を20分毎に撮影した。

3. データ分析

(1) 分析対象

想定した道路上に吹きだまりが概ね存在しない状況から, 吹きだまりの発達が見られた図3に示す3つイベントを対象に分析を行った。なお, 2018年2月1日(イベントⅢの前)には, レーザーキャナの計測範囲の積雪を除雪した。



図1 調査箇所

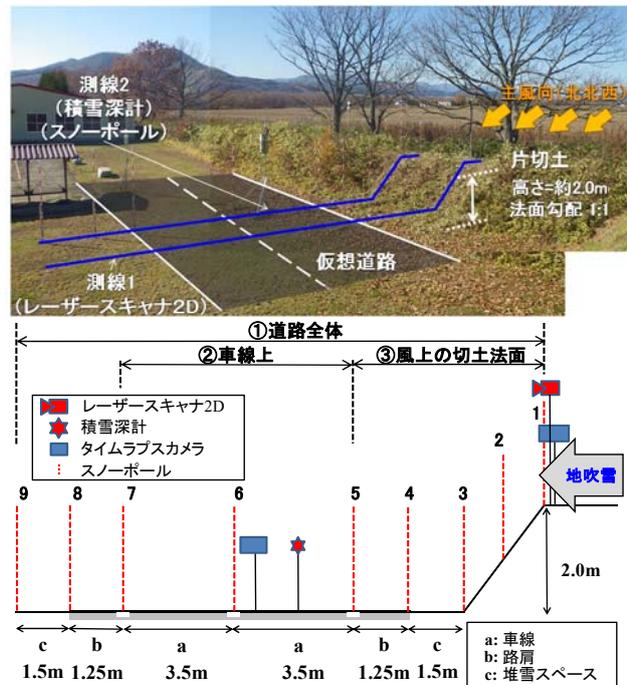


図2 調査箇所への計測機器の配置状況



図3 各イベントの吹きだまり状況

(2) 吹きだまり深さ

レーザースキャナの計測データより1時間毎の吹きだまり深さを整理し、吹きだまり深さに変化が見られた代表的な時刻の雪丘形状をイベント毎に示した(図4)。

イベントⅠ及びⅢでは、吹きだまりが最初に風上側の切土法面上で大きく発達し、その後に風上側の車線上でも増加が見られた。イベントⅢの雪丘は勾配がイベントⅠに比べると緩い傾向が見られるが、吹きだまりの発達する過程はイベントⅠとⅢで概ね類似していた。一方イベントⅡでは、吹きだまりの発生が始まった1月3日9時頃から、切土法面上のみではなく風上側の車線上にも吹きだまりの発達が見られた。その後、4日6時頃には風下側の車線でも吹きだまりが発達した。このように、イベントⅡではイベントⅠ・Ⅲに比べ吹きだまりが比較的広い範囲で同時に発生する傾向が見られた。この要因には各イベントの吹雪前に切土法面上に堆雪していた雪丘形状(勾配)の違いが考えられる。

(3) 吹きだまり量

吹きだまり量 (kg m^{-1}) は、吹きだまり形状の断面積 (m^2) に積雪密度 (kg m^{-3}) を乗じ、図2に示した①道路全体、②車線上、③風上の切土法面の3つの範囲で算出した。その結果は図5に示す。ただし、積雪密度は2016年度の報告²⁾を基に 130 kg m^{-3} と仮定した。なお、吹きだまりの深さや量は各イベントの初日0時以降に増加した量として整理した。

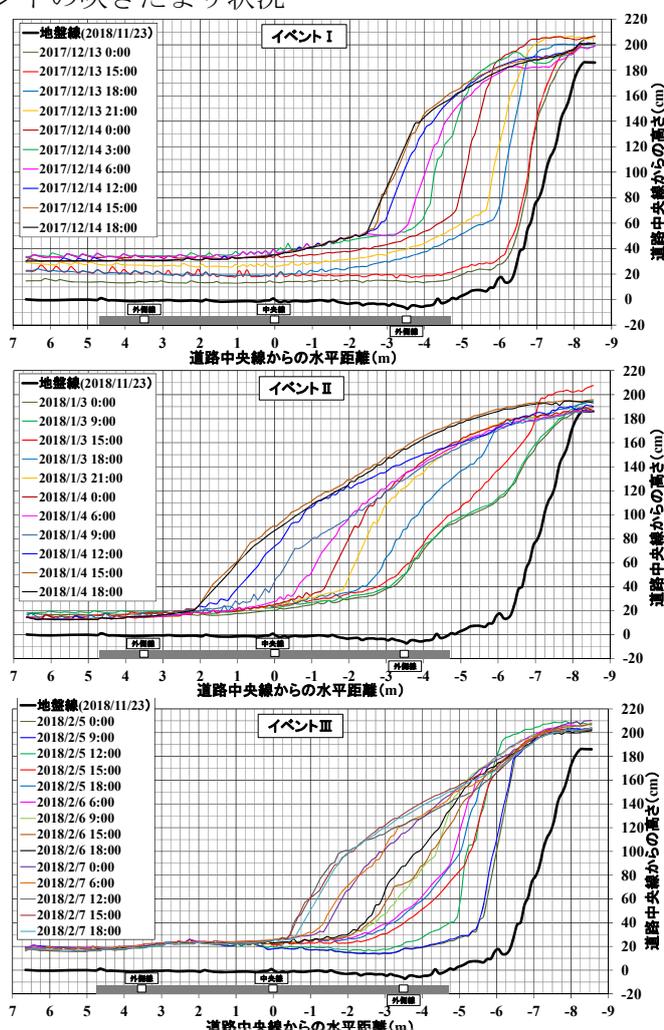


図4 各イベントの吹きだまり発達状況

(4) 気象条件と吹雪量

各イベントの気象条件を近傍の弟子屈アメダス(図1)の観測データより把握した(図5)。ただし、降水量については道路テレメータ(図1)の観測データからも把握し、降雪有無を調査時に撮影した静止画から判定した(図5)。イベントIで吹きだまりが発達した際、風速は $5.2\sim 15.7\text{ms}^{-1}$ であり、気温は $-1.8\sim 0^\circ\text{C}$ で比較的高かった。一方イベントIIでは、風速が $5.5\sim 11.5\text{ms}^{-1}$ でイベントIより小さく、気温は $-5.7\sim -1.8^\circ\text{C}$ でイベントIより低かった。イベントIIIでは風速が $3.9\sim 9.3\text{ms}^{-1}$ と他のイベントに比べ小さかった。ただし、気温は $-2\sim -13.8^\circ\text{C}$ で最も低温であった。

次に、以下の方法で吹雪量を推定した(図5)。はじめに地吹雪発生の有無を判別し、地吹雪発生と判別された場合に松澤ら³⁾らが示した式(1)によりその間の吹雪量を見積もった。なお、地吹雪の判別は竹内ら⁴⁾や雪氷調査法⁵⁾を参考に、降雪有無で区分した条件1、条件2により判定した。なお、吹雪量推定にはアメダスデータ(10分値)を利用した。ただし、降水有無の判定については、画像での判定結果を基本とし、画像の無い夜間などは、アメダス及び道路TMの降水量データが0mmでない場合を降雪有りとした。また、各高度の風速は対数則(雪面粗度: $1.5\times 10^{-4}\text{m}$)より求めた。

$$Q = 0.005 \times U_{1.2}^4 \quad \dots\dots (1)$$

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

【条件1(降雪有り)】: $T \leq -5^\circ\text{C}$ かつ $U \geq 5\text{ms}^{-1}$ 又は $-5^\circ\text{C} < T < 0^\circ\text{C}$ かつ $U \geq 6\text{ms}^{-1}$

【条件2(降雪無し)】: $T \leq -5^\circ\text{C}$ かつ $U \geq 10\text{ms}^{-1}$ 又は $-5^\circ\text{C} < T < 0^\circ\text{C}$ かつ $U \geq 11\text{ms}^{-1}$

Tは地上気温($^\circ\text{C}$)、Uは高度10mでの瞬間最大風速(ms^{-1})を示す。

4. 吹きだまりと吹雪量の関係

仮想道路の車線上における吹きだまり量と累計吹雪量の関係をイベント毎に示した(図6)。また、2016年度に行った同様の調査結果(武知ら²⁾)を併記した。イベントIでは、車線上の吹きだまり量は累計吹雪量が概ね 1000kgm^{-1} を超えた時点から増加が大きくなり、累計吹雪量が概ね 1700kgm^{-1} を超えると 250kgm^{-1} に達した(図6a)。この結果は2016年度の結果²⁾

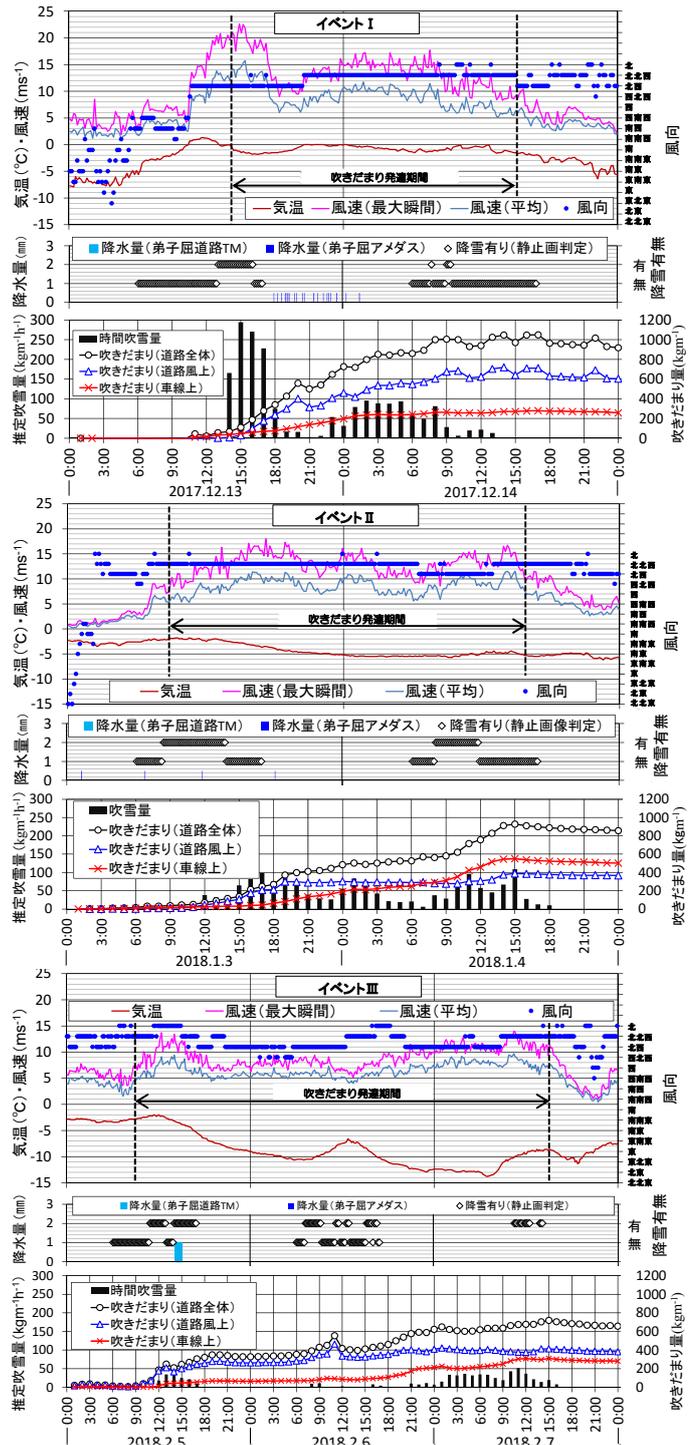


図5 各イベントの気象条件と吹雪量

とも概ね一致した。一方、イベントⅡ・ⅢではイベントⅠより速い各々 1000kgm^{-1} と 500kgm^{-1} を累計吹雪量が超えると吹きだまり量が 250kgm^{-1} に達した (図 6b), c)。

次に、風上側の車線中心の吹きだまりの深さと累計吹雪量との関係をイベント毎に示した (図 7)。また、図 6 同様に 2016 年度の結果²⁾を併記した。ここで小型車が発進できる上限の積雪深 15cm ⁶⁾に着目し、吹きだまり深さと累計吹雪量の関係を見るとイベントⅠでは累計吹雪量が概ね 1000kgm^{-1} で吹きだまりが 15cm に達した (図 7a)。これは、2016 年度の結果²⁾とも概ね一致した。一方、イベントⅡではこれより少ない累計吹雪量 $300\sim 700\text{kgm}^{-1}$ で吹きだまりが深さ 15cm を超過した (図 7b)。イベントⅢでは累計吹雪量 200kgm^{-1} で吹きだまりが深さ 15cm を超過した (図 7c)。

このように道路の車線上に発達する吹きだまりの累計吹雪量に対する速度がイベントⅡ・ⅢではイベントⅠ及び 2016 年度の結果²⁾に比べて速い。ここで、各イベントの吹雪前における風上の切土法面上の堆雪量 (m^3m^{-1}) (図 2)に着目すると、堆雪量がイベントⅠでは $0.36\text{m}^3\text{m}^{-1}$ と少なく、イベントⅡ・Ⅲでは $2.48\text{m}^3\text{m}^{-1}$, $1.72\text{m}^3\text{m}^{-1}$ と多かった。また 2016 年度の事例²⁾では $1.01\text{m}^3\text{m}^{-1}$ であった。また、切土法面上の堆雪量が吹雪前に最も少なかったイベントⅠの吹きだまり量 (図 5) を見てみると、他の 2 イベントに比べ吹きだまり量が道路全体で最も多いが車線上で最も少なく、道路全体の吹きだまりに占める車線上の吹きだまりの割合が最も少ない。これは風上の切土法面上の堆雪が吹雪前に少ない場合、堆雪が吹雪前に多く存在する場合に比べ飛雪が風上の切土法面上に多く捕捉され車線上には吹きだまりが発生しにくいことを示している。これらのことから、車線上における吹きだまり発達速度には風上側の切土法面上における吹雪前の堆雪状況が大きく影響していると考えられる。

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のタイミングや量をリアルタイムに予測するには、累計吹雪量や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明らかとした。

【参考・引用文献】

- 1) (公社) 日本道路協会, 2015:道路構造令の解説と運用
- 2) 武知ら, 2017: 片切土における吹きだまりの発達過程に関する調査—2016 年度冬期における弟子屈町での観測事例—, 北海道の雪氷, **36**, 137-140.
- 3) 松澤ら, 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, **26**, 45-48.
- 4) 竹内ら, 1986:降雪時の高い地吹雪の発生限界風速, 昭和 61 年年度日本雪氷学
- 5) 日本雪氷学会北海道支部, 1991: 雪氷調査法, **19**
- 6) 渡邊ら, 2012: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, **712**

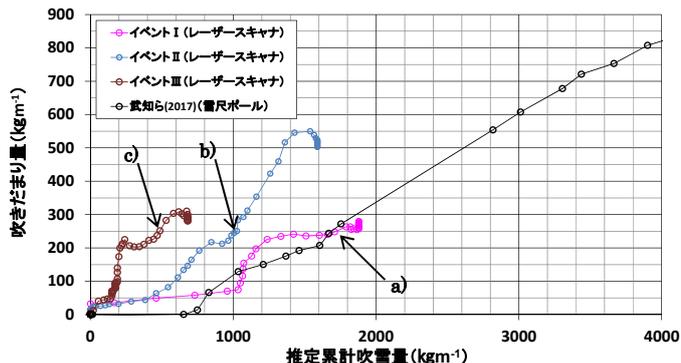


図 6 車線上の吹きだまり量と推定累計吹雪量

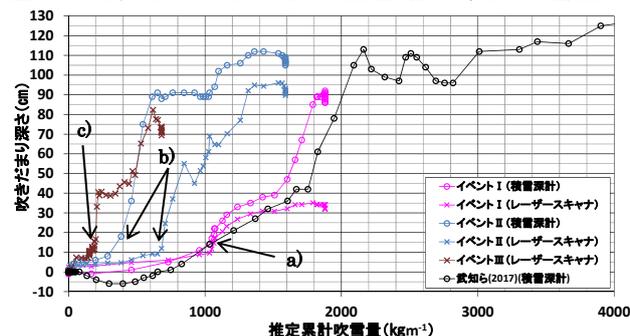


図 7 風上側車線 (中心) の吹きだまり深さと推定累計吹雪量