

Experimental on scattering of slush due to vehicle  
passage Second report

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-08-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤本, 明宏, 渡邊, 洋, 内藤, 知照, 福原, 輝幸 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10098/7691">http://hdl.handle.net/10098/7691</a>

2006年11月29, 30, 12月1日

CTC06-I-050

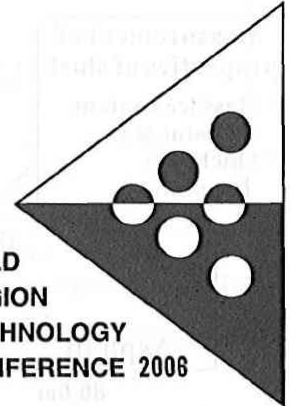
通過車両に伴うシャーベットの飛散実験  
～その2～

藤本 明宏 (福井大学大学院 工学研究科)  
渡邊 洋 (福井大学 特別研究員)  
内藤 知照 (福井大学大学院 工学研究科)  
福原 輝幸 ( )

Experimental on scattering of slush due to vehicle passage

—Second report—

A. Fujimoto (University of Fukui)  
H. Watanabe (University of Fukui)  
T. Naito (University of Fukui)  
T. Fukuhara (University of Fukui)



COLD  
REGION  
TECHNOLOGY  
CONFERENCE 2006

1. はじめに

従来、消雪散水量は路面消・融雪施設等設計要領<sup>1)</sup>を基に算定されてきた。この散水量は路面雪氷の融解熱量に換算して決定されるが、通過車両に伴う飛散は必ずしも適切に評価されているとは言い難い。そのため、特に低温度の河川水を利用した散水消雪区間では過剰散水になる場合があり<sup>2)</sup>、図-1のように散水は表面水となって道路上を流れる。これより対向車、歩行者および民家への水はね、道路沿道環境への塩害などの問題が生じている。このような背景から適切な散水量の決定には、飛散のより正確な評価が必要となる。

飛散はシャーベットのよう粒径が大きく氷粒子間の結合が弱い雪氷で起こる(図-2)が、飛散量や飛散距離を詳しく調べた報告は見当たらない。

筆者らは平成17年よりシャーベットの飛散について研究を行っており、普通車の通過に伴う飛散量とその空間分布を前報<sup>3)</sup>で述べた。しかしながら、前報では限られた雪氷条件下での結果に留まっており、定量的評価までには至らなかった。本論文では、前報の研究結果に昨冬実施した中型車による飛散実験を加えて、シャーベットの飛散を定量的に評価したので、ここにその成果を報告する。

2. 飛散実験と評価方法

2.1 概要

普通車による飛散実験(Exp-Nv)は平成17年3月1日に、中型車による飛散実験(Exp-Mv)は平成18年1月18日および19日の2日に亘り、それぞれ福井市で実施した。以下にExp-Mvの概要について述べる。なお、Exp-Nvの概要については前報<sup>3)</sup>を参照されたい。Exp-Mvは図-3に示すように助走区間150m、シャーベット区間5m、制動区間80mのアスファルト道路(計235m)で2tトラックを用いて行っ

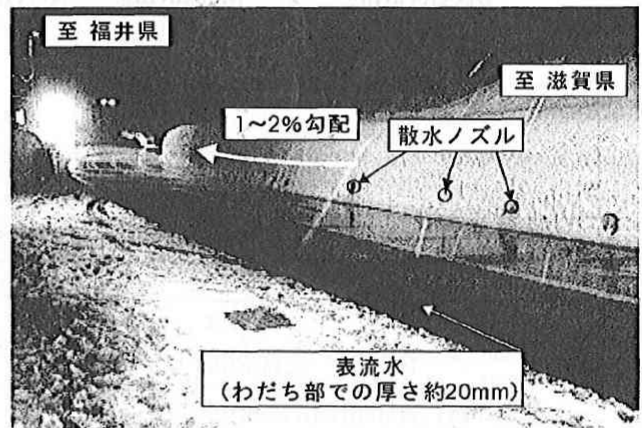


図-1 福井県敦賀市国道161号線地先における散水路面状況  
(2006年1月11日5:30, 山中雪寒基地前)

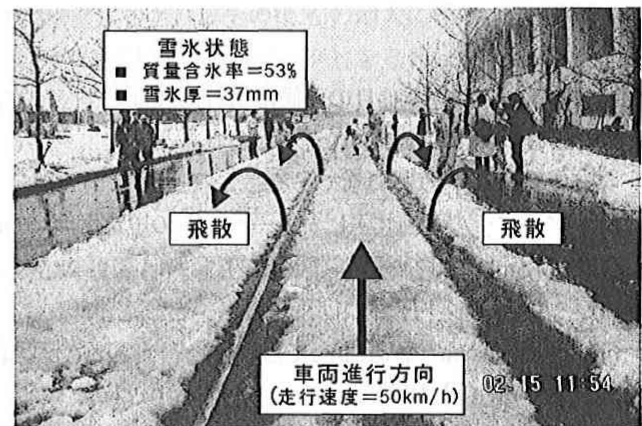


図-2 シャーベット路面における車両通過後の路面雪氷状況  
(2006年2月15日12:00, 福井県運動公園)

た。2tトラックは長さ5.2m、幅2.2m、高さ2.3mおよび重量3.5tで、そのタイヤはTOYO製の7.50R16(スタッドレス

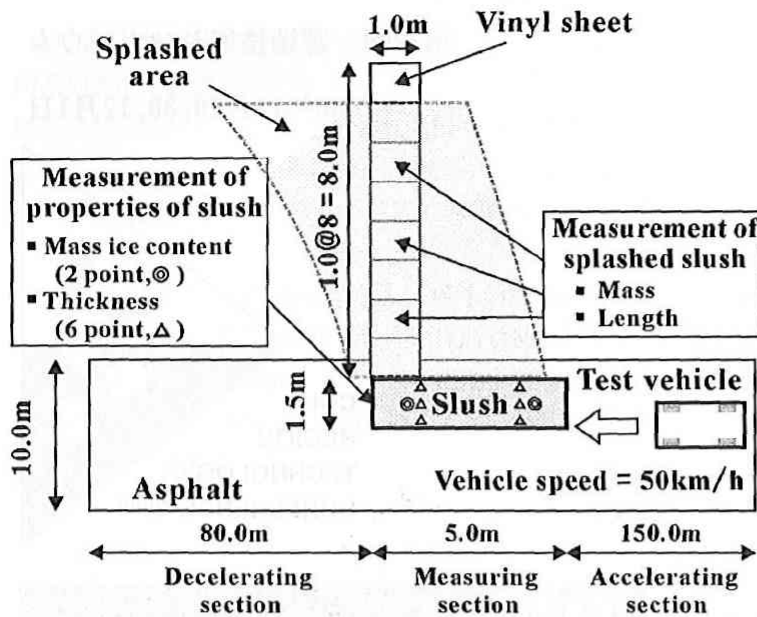


図-3 飛散実験 (Exp-Mv) の概要

表-1 測定項目一覧

測定項目	使用機器	測点	収集
気温・湿度	TRHセンサー	1	5分毎
シャーベット 厚	ノギス	6	飛散前
	含水率計	2	
残留 厚	ノギス	3	飛散後
シャーベット 含水率	含水率計	1	
飛散量	電子重量計	8	
最大飛散距離	メジャー	1	

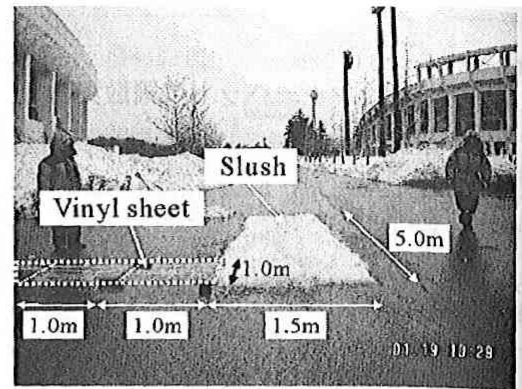
タイヤ)である。実験1日目の天候は晴れ、気温は3.5~7.3℃、実験2日目は曇り、気温は0.5~2.0℃であった。

実験手順は以下のとおりである。

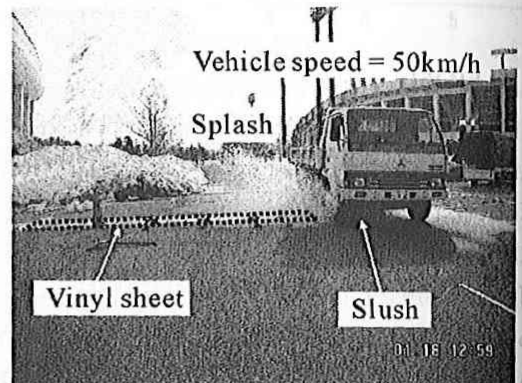
- (i) アスファルト舗装上にシャーベットの規定区間(5.0m×1.5m)を作成する(図-4(a))。
- (ii) シャーベット厚および質量含水率を測定する。
- (iii) 速度50km/hで試験車を走らせ、シャーベットを飛散させる(図-4(b))。
- (iv) シャーベットの飛散量および飛散距離、並びに残留シャーベット質量含水率を測定する(図-4(c))。

なお、シャーベットは密度 $\approx 400\text{kg/m}^3$ の雪を規定区間に均一に敷き詰めた後、水道水を加えて作成した。

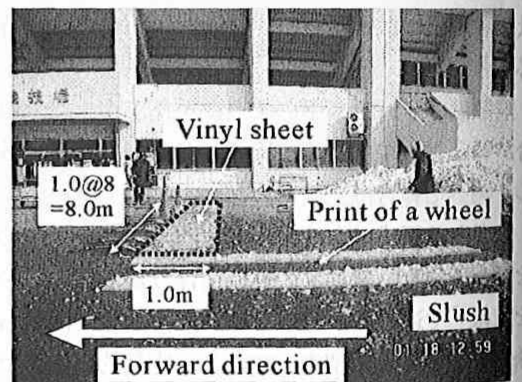
表-1は測定項目一覧を示す。飛散前のシャーベット厚はノギスを用いて6地点(図-3中の△)で、シャーベット質量含水率は2地点(図-3中の◎)で、それぞれ測定し平均値を採用した。飛散後にはわだちのシャーベット質量含水率を1点および飛散量と飛散距離をそれぞれ測定した。なお、飛散量と飛散距離の測定方法については本論2.2で詳



(a) 飛散前のシャーベット状況



(b) 飛散の様子



(c) 飛散後のシャーベット状況

図-4 飛散実験の様子

述する。また、シャーベット質量含水率の測定方法については前報<sup>3)</sup>を参照されたい。

実験はシャーベット厚と質量含水率を変えて、計19ケースとした。

## 2.2 飛散量と飛散距離の測定

実験に際して、シャーベット端から車両進行方向と直交に8.0mまでビニールシート(幅1.0m)を敷き(図-4(c)参照)、飛散シャーベットを収集する。飛散量は最小目盛0.1gの電子重量計で測定した。飛散距離はわだち外縁からの距離とした。

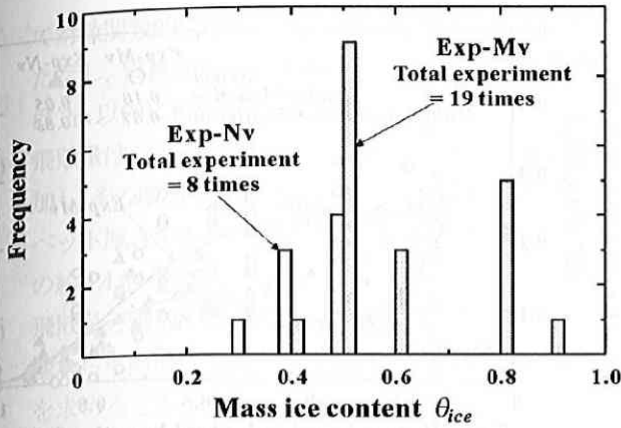


図-5 シャーベット質量含氷率の頻度分布

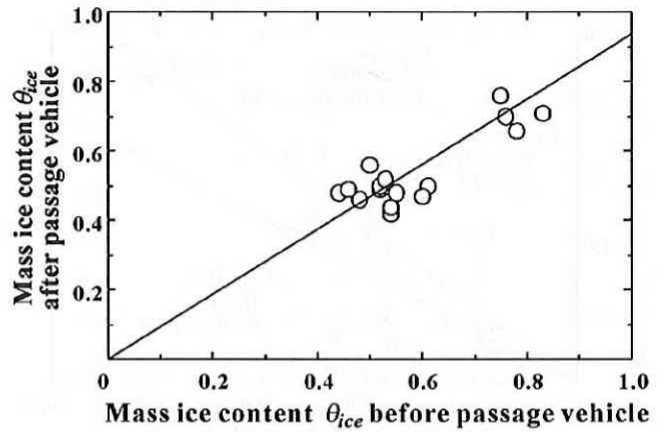


図-6 車両通過前と通過後のシャーベット質量含氷率の関係

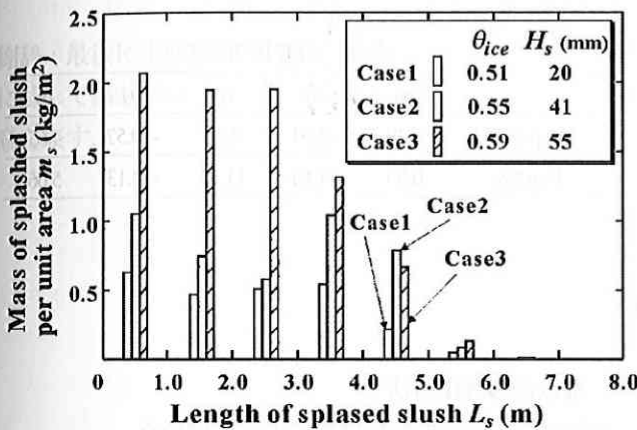


図-7 飛散密度の空間分布

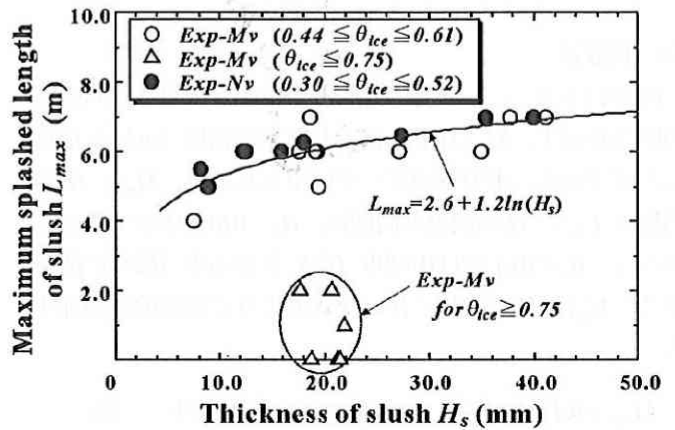


図-8 シャーベット厚と最大飛散距離の関係

### 3. 飛散実験結果

#### 3.1 シャーベット質量含氷率

Exp-Nv の質量含氷率 ( $\theta_{ice}$ ) の頻度分布は図-5 に示すとおりであり、0.25~0.35が1、0.35~0.45が3、0.45~0.55が4であった。他方、Exp-Mv の頻度は0.35~0.45が1、0.45~0.55が9、0.55~0.65が3、0.75~0.85が5、0.85~0.95が1であった。

図-6はExp-Mvの車両通過前と通過後の $\theta_{ice}$ の関係を示す。これより、 $\theta_{ice}$ は車両通過によって殆ど変化しないことが分る。

#### 3.2 飛散密度の空間分布

図-7は飛散密度の空間分布を示す。飛散密度  $m_s$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) は飛散収集ビニールシート単位面積 ( $1\text{m}^2$ ) 当りの飛散量を意味し、同図の縦軸に示す。横軸は飛散距離  $L_s$  (m) である。同図は中型車による 19 ケースの実験の中で、Case1 ( $\theta_{ice}=0.51$ , シャーベット厚 ( $H_s$ ) =20mm), Case2 ( $\theta_{ice}=0.55$ ,  $H_s=41\text{mm}$ ) および Case3 ( $\theta_{ice}=0.59$ ,  $H_s=55\text{mm}$ ) の3つの結果を示す。

Case1およびCase2の $m_s$ は $L_s=0\sim 1.0\text{m}$ の範囲で極大値(第

1ピーク)をとり、その後 $L_s$ の増大に伴って一旦減少した後、再び極大値(第2ピーク)をとり、ゼロに向かう。こうしたダブルピーク型に対して、Case3の $m_s$ は $L_s\leq 3\text{m}$ までは徐々に減少し、それ以降急減するためにシングルピークとなる。

### 4. 飛散量と飛散距離の定量的評価

#### 4.1 最大飛散距離

図-8はシャーベット厚 ( $H_s$ ) と最大飛散距離 ( $L_{max}$ ) の関係を示す。中型車の $L_{max}$ は $\theta_{ice}=0.61\sim 0.75$ を境として、大きく変化する。 $\theta_{ice}<0.61$ の $L_{max}$ は中型車(O)と普通車(●)に関係なく、 $H_s$  (mm) に比例して次式のように非線形に増大する。

$$L_{max} = 2.6 + 1.2 \ln(H_s) \begin{cases} \text{Exp-Mv, } 0.44 \leq \theta_{ice} \leq 0.61 \\ \text{Exp-Nv, } 0.30 \leq \theta_{ice} \leq 0.52 \end{cases} \quad (1)$$

一方、 $\theta_{ice}\geq 0.75$ では $L_{max}$  ( $\Delta$ ) は2.0m以内に留まる。

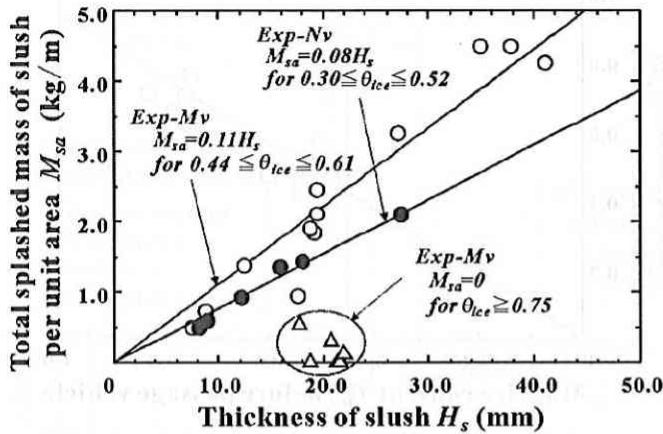


図-9 シャーベットの厚と単位幅飛散量の関係

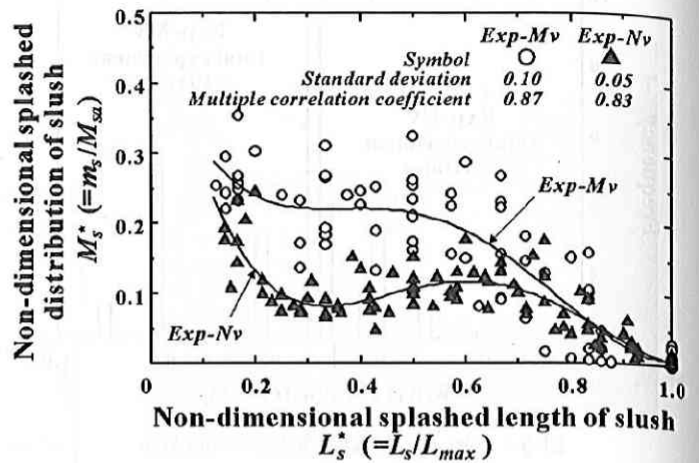


図-10 飛散密度の無次元空間分布

### 4.2 飛散量

図-9はシャーベット厚 ( $H_s$ ) と単位幅飛散量  $M_{sa}$  (kg/m) の関係を示す。 $M_{sa}$ は図-7に示した飛散密度 ( $m_s$ ) を積算した値である。中型車のデータに限られるが、 $M_{sa}$ と  $H_s$  の関係は  $L_{max}$  と  $H_s$  の関係と同様に、 $\theta_{ice}=0.61\sim 0.75$  で大きく異なる。 $\theta_{ice}<0.61$  では中型車 (○) と普通車 (●) に関係なく、 $M_{sa}$ は  $H_s$ の増加に伴い次式のように線形的に増加する。

$$M_{sa} = 0.11H_s \quad (\text{Exp-Mv}, 0.44 \leq \theta_{ice} \leq 0.61) \quad (2)$$

$$M_{sa} = 0.08H_s \quad (\text{Exp-Nv}, 0.30 \leq \theta_{ice} \leq 0.52) \quad (3)$$

$M_{sa}$ は同じ  $H_s$ の場合、中型車の方で相対的に大きい。一方、 $\theta_{ice} \geq 0.75$ では飛散し難いことから  $M_{sa}$  (△)は、 $H_s$ に依存せず  $\theta_{ice} < 0.61$ の  $M_{sa}$  (○)に比べて小さい。木下ら<sup>4)</sup>は含水率30%以上、すなわち  $\theta_{ice} \leq 0.7$ で飛散が生じると定義しており、これは本結果と概ね一致する。

### 4.3 飛散密度の空間分布の無次元評価

飛散密度の空間分布を統一的に表現する目的で無次元化を試みた。無次元化は図-7の飛散密度  $m_s$  (kg/m<sup>2</sup>) を  $M_{sa}$  (kg/m) で除して行われ、これを無次元飛散密度 ( $M_s^*$ ) と称する。また  $L_s$ を  $L_{max}$ で除したものを無次元飛散距離 ( $L_s^*$ ) とする。図-10に示すように、データのばらつきはあるが、 $M_s^*$ は  $H_s$ に係りなく  $L_s^*$ の4次関数で与えられる。

$$M_s^* = \sum_{n=0}^4 a_n (L_s^*)^n \quad (4)$$

ここに、式(4)中の係数  $a_1 \sim a_4$ は表-2に示す値で与えられる。なお、中型車における重相関係数は0.87、普通車では0.83であった。また、中型車で  $M_s^*$ の標準偏差は0.10で、普通車では0.05であり、普通車より中型車でばらつきが大き

表-2 式(4)中の係数

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
Exp-Mv	0.48	-2.39	7.84	-10.57	4.65
Exp-Nv	0.59	-4.10	11.59	-13.13	5.06

い。

### 4.4 飛散量の算出方法

車両通過に伴う飛散量は次のように求める。

- (i) 式(1)より最大飛散距離 ( $L_{max}$ ) を求める。
- (ii) 式(2)あるいは式(3)より単位幅飛散量 ( $M_{sa}$ ) を求める。
- (iii) 式(4)より飛散密度の無次元空間分布 ( $M_s^*$ と  $L_s^*$ との関係) が得られる。
- (iv) 以上より、任意区間 ( $L_1 \sim L_2$ ) への飛散量 ( $M_a$ ) は次式により求まる。

$$M_a = M_{sa} \times \frac{\int_{L_1^*}^{L_2^*} M_s^* dL_s^*}{\int_0^1 M_s^* dL_s^*} \quad (5)$$

ここに、 $L_1^* = L_1/L_{max}$ 、 $L_2^* = L_2/L_{max}$ である。

## 5. おわりに

飛散実験を実施し、シャーベット厚および質量含水率と飛散量の関係や飛散分布を普通車と中型車でそれぞれ調べた。

その結果、以下の結論を得た。

- (1) 路面上のシャーベット質量含水率は飛散前と飛散後で殆ど変化しない。
- (2) 飛散密度の空間分布は式(4)のように無次元表示が可能である。
- (3) 最大飛散距離は4.0~7.0mの範囲にあり、シャーベット質量含水率が0.61未満ではシャーベット厚さに伴つ

## 第22回寒地技術シンポジウム(2006)

で対数関数的に増加し、普通車と中型車で大差はない。ただし、質量含水率が0.75以上になると最大飛散距離は2m以内に留まる。

- (4) 飛散量はシャーベットが厚くなるにつれて線形的に増加し、その増加率は中型車で大きい。例えば、同じシャーベット厚さであれば、中型車の飛散量は普通車のそれの約14倍となる。
- (5) 飛散量と飛散距離を無次元評価することで、わだち外縁から車両進行方向と直行方向の任意区間への飛散量を求めることが可能となった。

今後はさらに実験データを追加するとともに、飛散の空間分布であるダブルピークのメカニズムおよび走行速度と飛散量の関係についてより詳しく調べる。

謝辞：最後に本研究を実施するに当たり、試験場所の提供に関して福井県に多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 建設省北陸地方建設局監修：路面消・融雪施設等設計要領，（社）日本建設機械化境界北陸支部，2000。
- 2) 淡中明子，藤本明宏，渡邊洋，福原輝幸：散水消雪設備におけるシャーベット塊に作用する路面表流水の流体力，寒地技術論文・報告集，北海道開発技術センター，Vol.21，pp.642-646，2005。
- 3) 内藤知照，藤本明宏，渡邊洋，福原輝幸：車両通過に伴うシャーベットの飛散実験 ～その1～，寒地技術論文・報告集，北海道開発技術センター，Vol.21，pp.679-682，2005。
- 4) 木下誠一，秋田谷英次，田沼邦雄：道路上の雪氷の調査II，低温科学物理篇，Vol.28，pp.311-323，1970。