

# 酢酸系液状凍結防止剤によるスタック対策とその効果について

島 友昭\*<sup>1</sup>、小川 貴\*<sup>1</sup>、中地 章\*<sup>1</sup>

## 1. はじめに

近年、積雪寒冷地の一般道、高速道の坂道、ランプ部およびジャンクション部等での冬期交通障害として車両の登坂不能、いわゆるスタックが課題の一つとなっている。特に、大型車両がスタックした場合は、長時間にわたって交通障害を発生させる可能性があり、これを未然に防止する事が、強く望まれている。

関越自動車道の湯沢インターチェンジ（以下、湯沢IC）では、従来から除雪作業と凍結対策を組み合わせた冬期路面管理が実施されている。具体的には、除雪車両と薬剤散布車を組み合わせた梯団作業による効率的な冬期路面管理が実施されている。このような梯団作業による冬期路面管理によっても、気象状況、車両の通行状況等の因子の組合せによっては、冬期シーズン中に登坂不能となる車両が発生することがあった。さらに湯沢ICは、関越トンネルの直近のインターチェンジであり、スキー客などの車両も多く、スタック車両が発生した場合の影響が大きいことから、その対策が課題となっていた。このような状況の中、我々は高速道路での設置例が増えている酢酸系液状凍結防止剤の定置式自動散布装置を湯沢ICに設置し、登坂不能対策としての有効性について検証を試み、報告した<sup>1)</sup>。

酢酸系液状凍結防止剤によるスタック対策では、スタックの原因の一つと考えられる固着層が形成され難い事を報告、すべり摩擦測定においても効果のある事が示唆される結果であった。しかし、このすべり摩擦測定は、非接触方式であり、雪氷表面から一定の深さまでしか判別できないものであった。今回は、雪氷表面から一定の深さ以上の状態にも着目し検証を試みたので報告する。

## 2. スタック対策の概要

湯沢ICのAランプ（上り方面のONランプ）と本線との合流部の手前付近では、従来から大型車両が登坂不能となる事がシーズン中に何度か発生することがあった。そこで、この箇所の登坂不能対策として、酢酸系液状凍結防止剤の定置式自動散布装置（以下、自動散布装置）を設置した。図1、図2に、湯沢ICでの自動散布装置の設置状況を、図3に自動散布装置のイメージを示した。自動散布装置は、薬剤の噴射をコントロールする本体部、薬剤を貯留するタンク部、タンクの薬剤を噴射箇所へ送液するポンプボックス部、送液された薬剤を一時的に貯留する分離ボックス部、そして薬剤を路面に噴射させる2本のノズルを収納したノ

ズルボックス部などで構成されている。

薬剤の噴射は、気温により制御されており、設定温度より1℃気温が下回ると噴射を開始し、設定温度に達すると噴射を停止する仕組みとなっている。ノズルからの標準的な噴射は、1回の噴射時間が約1.2秒で、その噴射量は約50mlであり、2本のノズルで左右の轍部に薬剤を噴射する。薬剤の噴射量は、1時間当りの噴射回数をセットする事で、コントロールする仕組みである。また、遠隔システムも搭載されており、事務所のパソコンにて自動散布装置の監視、制御も可能となっている。



図1 湯沢ICと定置式散布装置の設置概要



図2 湯沢ICに設置した定置式散布装置

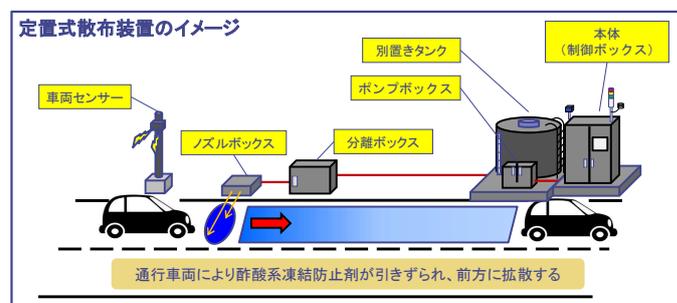


図3 湯沢ICに設置した自動散布装置のイメージ

使用する薬剤は、酢酸系液状凍結防止剤（以下、酢酸系薬剤）であり、酢酸カリウムと多価アルコールを主成分とする水溶液である。その特長は、第1に塩素を含まない成分から構成されており塩害の心配がない事、第2に凝固点が-4.3℃と低いことから高い凍結防止効果を発揮する事、第3に拡散性、定着性を増大させる成分を添加していることから、薬液が広く拡散し定着することで、その効果をさらにアップさせる事である。このような特性から、定置式自動散布装置の薬剤として特に優れた性能を発揮している。

### 3. スタック対策の状況

#### 3.1 スタック対策（その1）の状況

2016年2月10日、前述した自動散布装置を稼働させた状況での湯沢ICのAランプの路面状況の観察を行った。図4にAランプでの路面観察地点を示した。図5は、2月10日15:29時点の降雪が続いている状況での路面観察結果である。酢酸系薬剤の噴射箇所のみで、路面が露出している状況であった。



図4 Aランプの路面観察地点（地点①、②、③、④）

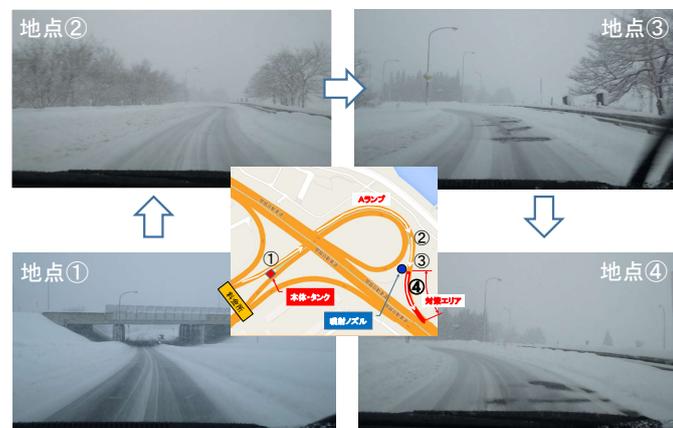


図5 降雪時の路面状況

図6は、2月10日16:31、降雪が止み除雪車による除雪作業が実施された直後の路面観察結果である。地点①と②は、酢酸系薬剤の噴射箇所の手前の路面状況で、除雪直

後ではあるが雪氷が路面に残った状況であった。地点③、④は、酢酸系薬剤の噴射箇所とそれ以降の薬剤が拡散した箇所の路面状況であるが、地点①、②とは異なり路面が露出している状況であった。

このように除雪作業後も除去できなかった雪氷部分（以下、固着層）の形成が、スタックを引き起こす要因の一つと考えられる。酢酸系薬剤が積雪層の下で凍結防止効果を発揮し、このような固着層が形成され難い状況を作った事で、酢酸系薬剤の噴射箇所の手前で、除雪後の路面の露出状況に差が認められたと考えられる。

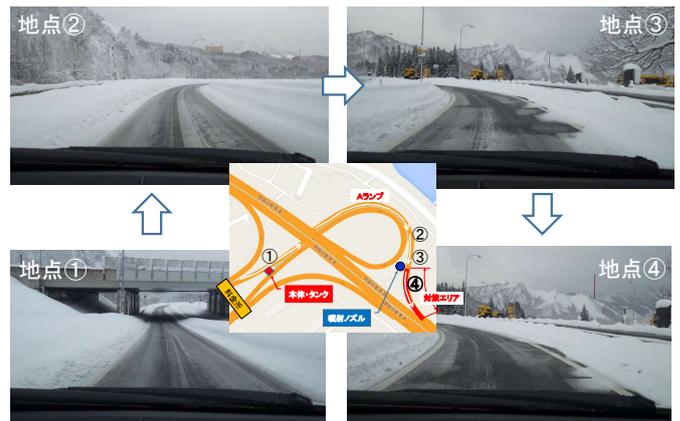


図6 除雪直後の路面状況

#### 3.2 スタック対策（その2）の状況

2015年度シーズンのスタック対策（その1）では、図4に示した対策エリアでのスタック車両は認められなかったが、対策エリアの手前でスタック車両が発生した。そこで、2016年度及び2017年度のスタック対策（その2）では、図7に示すように、散布箇所を増設しAランプ全体の対策が可能になるよう散布装置の改造を実施した。



図7 スタック対策（その2）噴射箇所の増設

### 4. すべり摩擦の測定

#### 4.1 すべり摩擦測定方法

次に定量評価を行うため、すべり摩擦測定を試みた。すべり摩擦測定の方法は、寒地土木研究所が示しているように<sup>2)</sup>、いくつかの方法が知られている。その一つに、加速度センサーを利用したすべり摩擦係数の測定がある。

この方法は、測定器を搭載した車両で、急制動をかけてタイヤをロック状態にして、すべり摩擦係数を測定するものである。当然であるが高速道路上で一般走行しながら、この方法で測定することは不可能である。そこで、本箇所採用したのは、VAISALA社製のDSC-111を使用した非接触式のすべり摩擦測定方法である。この方法は、3種のレーザー光を路面に照射し、その反射光を解析することで、水膜、氷膜、雪膜の厚さを測定、これらの厚さを一定のアルゴリズムによってすべり摩擦係数に換算して測定するものである。図8に示すように車両に搭載し、通常走行しながら非接触ですべり摩擦を測定することが可能である。但し、本方法はその特性上、雪氷表面より約1mmの深さのデータを取得する方法となっている。



図8 車両に搭載した測定器

この方法は、3種のレーザー光を路面に照射し、その反射光を解析することで、水膜、氷膜、雪膜の厚さを測定、これらの厚さを一定のアルゴリズムによってすべり摩擦係数に換算して測定するものである。図8に示すように車両に搭載し、通常走行しながら非接触ですべり摩擦を測定することが可能である。但し、本方法はその特性上、雪氷表面より約1mmの深さのデータを取得する方法となっている。

#### 4.1 すべり摩擦測定結果

2019年2月17日、断続的に降雪が続く状況で、すべり摩擦測定を実施した。降雪強度が強い時点での酢酸系薬剤を散布したAランプの路面状況を図9に示した。図10は、この時点でのAランプのすべり摩擦測定結果である。グラフ中の②、②'、③、④地点など、すべり摩擦の改善が認められた。これらの地点は、いずれも酢酸系薬剤の噴射箇所付近であるが、これらの地点の間では、低いすべり摩擦の値も観測された。尚、グラフ中の②'地点は本線橋下部の路面であり、降雪が遮られる箇所である。図11は、2月17日6:49、降雪強度が弱まった時点での酢酸系薬剤を散布しているAランプのすべり摩擦測定結果であるが、②、③、④地点など、すべての箇所ですべり摩擦の改善が認められた。但し、降雪強度が強い時点でのAランプのすべり摩擦は、酢酸系薬剤の散布箇所では高い値を示したものの、酢酸系薬剤の散布箇所の間では、低いすべり摩擦も測定されている。スタック対策（その1）の検証から、酢酸系薬剤の効果範囲では、その効果によって積雪層の下に固着層が形成され難い可能性が示されており、この図10の低いすべり摩擦係数の地点でも、同様に積雪層の下に固着層が形成されていなかったと推定される。しかしながら、非接触式すべり摩擦測定器は、雪氷表面から約1mmの深さのデータを取得しており、雪氷表面より1mm以上深い部分の状態は判別できない性質がある。よって、積雪層の下に固着層が形成されていなくても、今回の様な低いすべり摩擦になったと考えられる。



図9 降雪強度が強い時点での路面状況

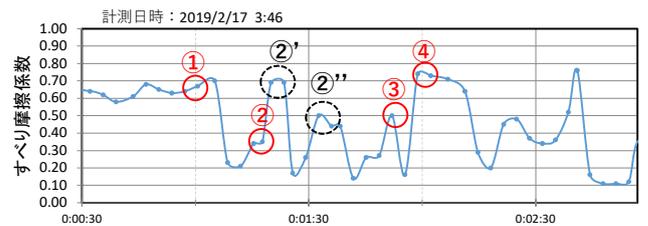


図10 降雪強度が強い時点のすべり摩擦測定結果

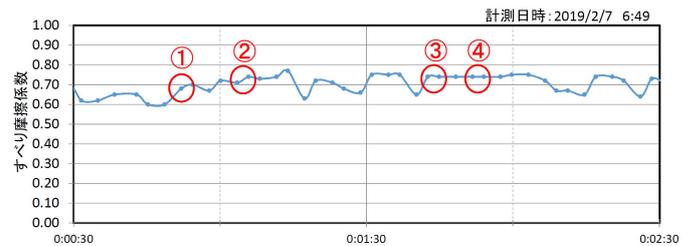


図11 降雪強度が弱まった時点のすべり摩擦測定結果

この様に酢酸系薬剤が引きずられた状況でも、降雪強度が強い場合は、酢酸系薬剤により改質された層の上部に積雪層が形成されることで、非接触式すべり摩擦測定の場合、場所によっては低い値になると考えられる。

そこで、この様な状況を確認するため、更に検証を行ったので、次に報告する。

### 5. 推定されたモデルの検証

#### 5.1 検証の目的

非接触式すべり摩擦測定は、レーザーの反射光からすべり摩擦係数を算出している。そのすべり摩擦は、レーザーの性質上、雪氷表面から約1mmの深さの部分の値で

ある。よって、酢酸系薬剤が引きずられた雪氷路面において、降雪が続く状況で、非接触式すべり摩擦測定を実施し、その際の雪氷表面の下層部、すなわち非接触式すべり摩擦測定の測定範囲の下層部での雪氷状況を確認する事を目的に、本検証を実施した。

## 5.2 検証方法

検証は、図12に示す酢酸系薬剤の定置式散布装置が設置されている北海道美唄市の市道にて実施した。図13に、検証に使用した定置式散布装置を示した。



図 1 2 検証場所



図 1 3 検証時の定置式散布装置

検証は、酢酸系薬剤が引きずられた雪氷路面で、非接触方式の測定器と加速度方式の測定器ですべり摩擦測定を実施し、それらの測定

値の比較検討により行った。具体的には、降雪予報が出ている際に、定置式散布装置にて酢酸系薬剤を毎時間、所定散布量（時間当たり散布量約4.20）散布し、この酢酸系薬剤を引きずらせるため、車両4台で1時間毎に11回、周回を繰り返した。その後、降雪によりある程度の積雪

になった状況で、非接触式方式の測定器ですべり摩擦を測定、その後、直ちに加速度方式の測定器ですべり摩擦を測定した。非接触式方式の測定器は、VAISALA



図 1 4 加速度方式のすべり摩擦測定器

社製のDSC-111を使用、加速度方式の測定器は、VERICOM社製のVC4000PCを使用した。加速度方式の測定器を図14

に示した。尚、加速度方式での測定は、測定器を搭載した車両で約30km/hで走行し、測定箇所まで急ブレーキをかけタイヤをロックさせ、停止した時点で表示されるすべり摩擦係数を読み取った。

図15に、検証時の気象状況を示した。降雪が続いていた午前4時頃から6時頃に検証を実施した。

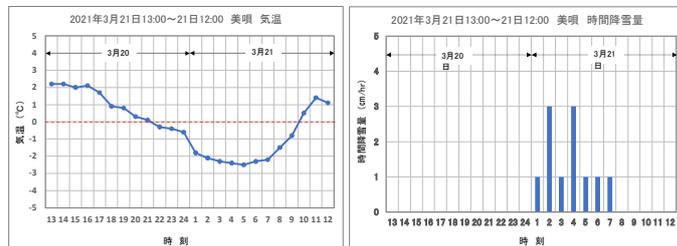


図 1 5 検証時の気象状況

## 5.3 検証結果

降雪が始まって約3時間後の午前4時頃の路面状況を図16に示した。非接触式方式と加速度方式の測定結果を図17に示した。非接触式方式、加速度方式ともに薬剤噴射前後のすべり摩擦係数に、明確な差は認められなかった。これは降雪が始まってから約3時間と降雪時間が少なかったため、薬剤噴射前後で路面状況に明確な差が表れなかったためと考えられる。但し、非接触式方式のすべり摩擦係数は、高い値と低い値が混在するものであったが、加速度方式では、非接触式方式と比較して各測定点での測定値はバラツキの小さいものであった。



図 1 6 AM4時頃の路面状況

次に午前5時頃の路面状況を図18に、この時点での非接触式方式と加速度方式の測定結果を図19示した。非接触式方式の測定では酢酸系薬剤の噴射箇所の手前のすべり摩擦が0.2以下であるのに対して、噴射箇所以降のすべり摩擦は0.2を上回る値であった。但し、噴射箇所から700mの範囲では安定して高い値ではなく、0.25から0.75とバラツキの大きい結果であった。加速度方式では、薬剤噴射箇所手前のすべり摩擦が0.2程度であるのに対して、薬剤噴射地点から500m地点までは、0.38~0.52と薬剤噴射箇所手前の値より高い値で安定していた。この様に薬剤噴射箇所前後での差が明確になったのは、降雪が始ま

ってからある程度の時間が経過し薬剤散布箇所手前の路面が滑り易い状況になったためと考えられる。また、非接触式方式と加速度方式の測定結果の傾向の差は、午前4時頃の測定と同様、非接触式方式は高い値と低い値が混在するものであったが、加速度方式では非接触式方式のような高い値と低い値が混在するような状況ではなかった。

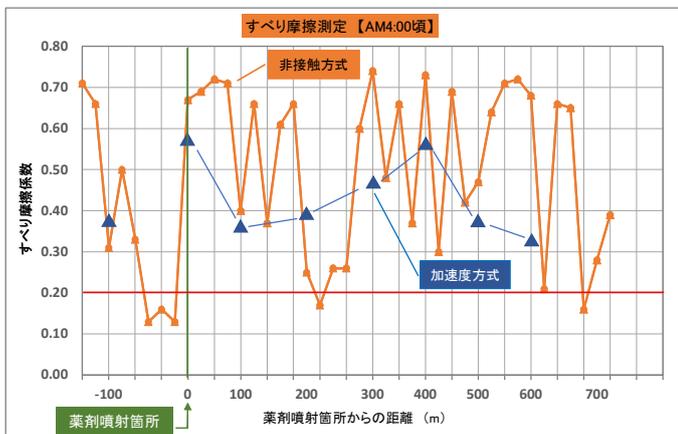


図 17 AM 4時頃のすべり摩擦測定結果



図 18 AM 5時頃の路面状況

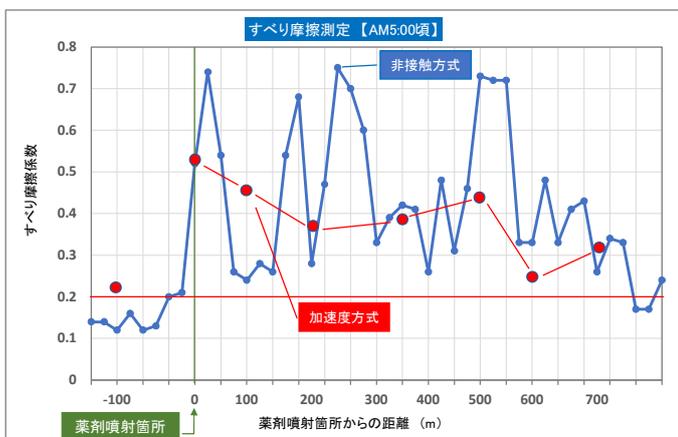


図 19 AM 5時頃のすべり摩擦測定結果

次に午前6時頃の路面状況を図20に、この時点での非接触式方式と加速度方式の測定結果を図21に示した。加速度方式では、薬剤噴射箇所手前のすべり摩擦は0.3以下の値であったが、噴射箇所以降0mから400mまでは、す

べり摩擦は0.3を上回る値で安定していた。一方、非接触式方式では、前述の午前4時頃、午前5時頃の傾向と同様にバラツキの大きい結果であったが、全体的に高い値を示す傾向であった。これは、図20の路面状況の写真からも判る様に、車両による周回を繰り返した事で、わだち部分の表面状態の変化が影響したものと考えられる。

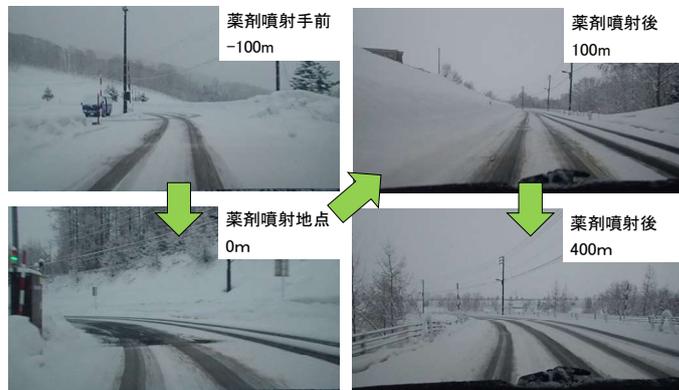


図 20 AM 6時頃の路面状況

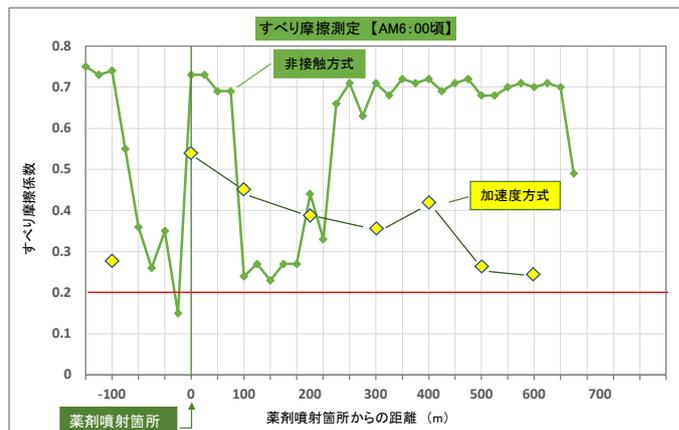


図 21 AM 6時頃のすべり摩擦測定結果

この様に降雪が続く状況での非接触方式と加速度方式での測定結果の差異は、3つの時間帯で概ね同様の傾向であり、非接触式方式は高い値と低い値が混在するものであったが、加速度方式では逆に高い値と低い値が混在するような状況ではなく安定していた。これは降雪が続く状況では、走行車両の影響により、積もった雪氷表面の状況に差が生じ易いため、非接触方式では、高い値と低い値が混在する状況となったが、加速度方式では、雪氷表面の影響よりもタイヤと雪氷路面との接点部分の影響から、バラツキの少ない傾向になったと考えられる。

### 5.3 測定方法の違いによる差異発生の推定イメージ

図22に測定方式の違いによる測定の推定イメージを示した。ここに示した改質層とは、酢酸系薬剤の効果により雪氷が固着層にならずシャーベット状に改質された層であるとイメージしたものである。降雪が続く状況の場合、積雪層の厚さにバラツキが生じるため非接触方式で

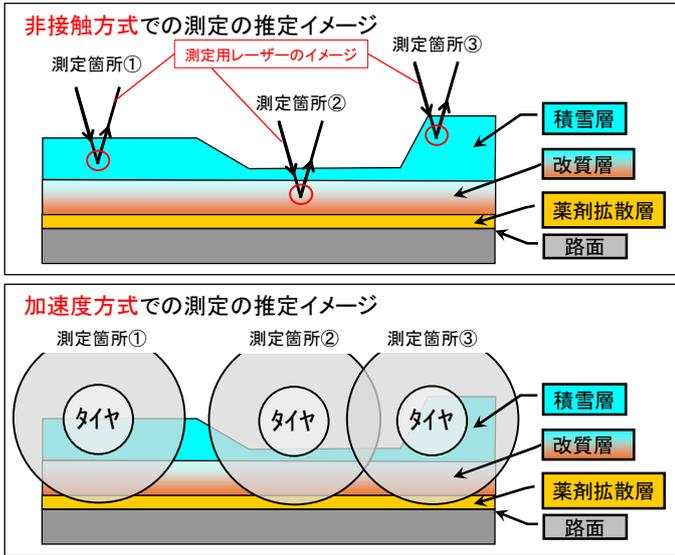


図2 測定方式の違いによる測定の推定イメージ  
 はレーザーが改質層に達する箇所と積雪層までしか達しない箇所が存在すると考えられる。そのため非接触方式では、すべり摩擦測定にバラツキが生じたと推定している。一方、加速度方式では雪氷表面よりもタイヤと路面近傍の接点部分を測定している可能性が高く、イメージに示したように改質層や薬剤拡散層のすべり摩擦を測定した可能性があり、非接触方式のようにバラツキのある積雪層の影響を受けず、高い値と低い値が混在するような傾向にはならなかったと推定している。

6. 湯沢ICでの酢酸系薬剤の推定モデル

前述した湯沢ICでの非接触方式でのすべり摩擦測定では、図10に示した様に、酢酸系薬剤の効果範囲においても、その値にバラツキがあった。この時は降雪が続く状況での測定であったことから、今回の検証と同様の状況であったと考えられる。すなわち、それぞれの薬剤噴射箇所付近のすべり摩擦は高い値であったが、それぞれの薬剤噴射箇所以降では、低いすべり摩擦となる傾向になったのは、薬剤噴射箇所では、非接触方式のレーザーが改質層或いは薬剤拡散層まで達したのに対し、薬剤噴射箇所以降では積雪層までしか達しなかったためと考えられ、積雪層の下部には、改質層が形成されていた可能性が高かったと推定している。

以上の考察から、スタック対策（その1）での雪氷改質は、図23、図24に示す様に、酢酸系薬剤の噴射箇所手前では、積雪層の下に固着層が形成されたが、酢酸系薬剤の噴射箇所以降では、積雪層の下に改質層が形成されていたと考えられ、それが除雪後に路面の露出状況の差として現れたと考えられる。

7. まとめ

これまでの湯沢ICでの路面観察やすべり摩擦測定、

更には、今回実施した非接触方式と加速度方式でのすべり摩擦測定の比較検討によって酢酸系薬剤の効果モデルを推定した。すなわち、スタックの原因の一つは、雪氷による固着層の形成と考えられるが、酢酸系薬剤では、対策範囲に薬剤が引きずられる事で改質層が形成され固着層が作られ難い事から、スタック対策として効果を発揮する事ができたと推定している。

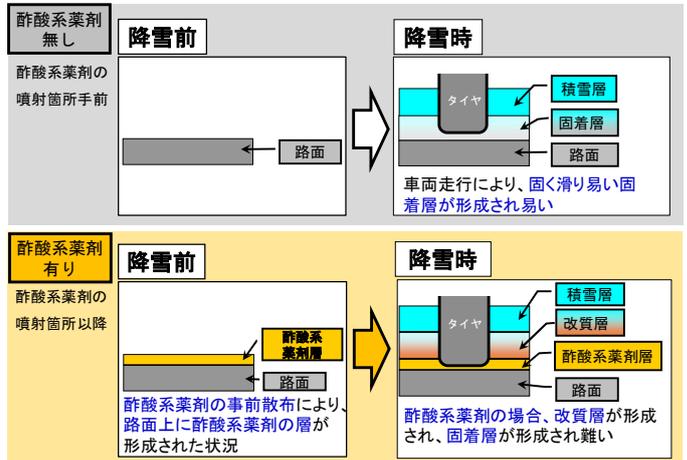


図23 酢酸系薬剤の効果推定モデル(降雪前と降雪時)

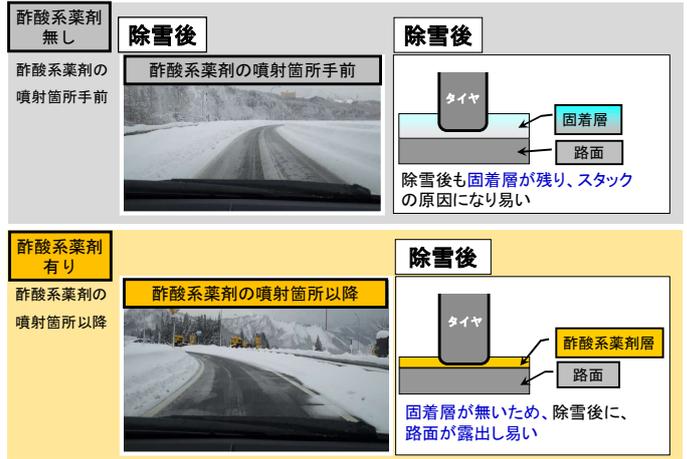


図24 酢酸系薬剤の効果推定モデル(除雪後)

但し、降雪が継続し雪氷表面が積雪層に覆われている様な状況では、非接触方式の場合、雪氷表面の積雪層の影響を受け易く、タイヤと接する部分の状態を正確には評価できていない可能性があった。今回設置したモデルも推定であることから、今後、湯沢ICにおいてすべり摩擦測定以外のあらたな検証も実施したいと考えている。

参考文献

- 1) 畠友昭、小川貴、中地章：関越道 湯沢ICにおける酢酸系液状凍結防止剤を用いたスタック対策について、第32回ふゆトピア研究発表会論文集、pp. 191-196
- 2) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期路面状態評価手法の比較試験について、寒地土木研究所月報第702号、pp. 50-55 2011