

# 防滑材の飛散対策に関する基礎的研究

## —海外における事例紹介と室内基礎試験—

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地交通チーム ○佐藤 圭洋  
 同 上 秋元 清寿  
 同 上 徳永ロベルト

凍結防止剤の散布効果が現れにくい厳寒地域においては、焼砂と碎石を防滑材として散布している。散布した防滑材は、凍結した路面に定着せずに車両の走行などにより飛散することがあり、路面への定着性向上が課題となっている。凍結した路面に防滑材を定着させる手法として、熱水を混合した防滑材を散布している事例が海外にある。本報では、この散布事例を紹介すると共に、今後国内への導入可能性を検討するための基礎資料を得る目的で室内において基礎的な試験を行った。その結果、防滑材そのものを熱することや、加熱した水を使って湿式散布を行うことにより、氷と防滑材が付着し易くなることが明らかとなった。

キーワード：冬期維持管理、凍結路面対策、防滑材

### 1. はじめに

厳寒地域においては、温度低下とともに凍結防止剤の融水効果が低下するため、 $-8^{\circ}\text{C}$ 程度を凍結防止剤の下限温度として、それ以下の気温では防滑材を散布することが基本とされている<sup>1)</sup>。特にスパイクタイヤの使用規制以降は、非常にすべりやすい路面が出現しやすくなったこともあり、冬期の路面対策として砂や碎石等の防滑材が使用されている。

防滑材の散布方法としては、材料をそのまま散布する乾式散布及び材料に塩化カルシウム水溶液などを混合して散布する湿式散布があり、湿式散布は、乾式散布に比べ、凍結路面への付着性が高く、散布効果の向上に有効である<sup>2)</sup>。しかし、散布したこれらの防滑材は、時間経過とともに車両の走行などにより飛散し、その一部が路肩等に残留・堆積してしまうことがある<sup>3)</sup>。このため、海外においては、散布する材料に加熱した水を加えて散布することにより、防滑材の飛散対策を行っている事例がある<sup>4),5)</sup>。

本研究では、防滑材をより効果的に散布する手法として、湿式剤として用いる水の温度を上昇させて散布する加熱水混合式の海外の散布事例を紹介し、実際にその効果を確認するため、当研究所内低温試験室において、加熱した防滑材及び防滑材を加熱した水で湿式散布したときの氷への付着性を把握するための基礎試験を行ったので、その概要と結果について報告する。

### 2. 防滑材の加熱水混合式散布事例

ノルウェーの報告書に2001年に掲載された論文「New Sanding Methods in Norway」<sup>4)</sup>及び2004年に掲載された論文「Sand, Salt and Hot Water in Winter Road

Maintenance」<sup>5)</sup>によると、ノルウェーにおいて防滑材に加熱した水を混合して散布する（以下、加熱水混合式散布と記す）試験が行われた結果、この加熱水混合式散布手法は、防滑材の散布手法として効果が高く、碎石や砂の路外逸脱を防ぐのにきわめて有効な手法であると報告されている。

その概要を紹介すると、ノルウェー公共道路庁では1997年から冬期道路管理に関する研究計画をスタートさせた。その「冬期道路滑り止めプロジェクト」は冬期道路に高いすべり抵抗をもたらすために必要となる現実的、技術的、財政的な問題を扱うものであり、主な実施項目の一つは、様々なすべり抵抗の改良のための試験を実行することであった。

1998年～2000年の冬期において、ノルウェー公共道路庁はすべり抵抗の測定にさらなる知見を得るため、防



写真-1 加熱水混合式散布車（ノルウェー）、  
 [参考文献4)「Nordic Road & Transport Research  
 2001」より出典]

滑材の散布方法について試験を行った。乾燥した防滑材を散布する従来の方法と、防滑材に加熱した水を混合して散布する方法について試験した。

ノルウェーで当初試験に使用した散布車は、スウェーデン製の散布車を改良したフリクションメーカーと呼ばれる散布車であり、1998年度の冬期に初めて使われた。これは、トラックの荷台に散布機を載せ、2.5m<sup>3</sup>のタンクとヒーターは車体に固定したものであった。その後、2000年度の冬期に写真-1に示すようなヒーターと水のタンクが分離したもので、加水の有無が切り替え可能な散布車が用いられることとなった。

この散布車を用いてノルウェーで実地試験が行われ、試験条件は、加熱水温度が90～95℃、加熱水の量は散布する防滑材(砂)の重量の30%、防滑材(砂)の散布量は200g/m<sup>2</sup>であった。

試験結果によると、加熱水混合式散布方法で散布した防滑材は、乾燥した防滑材を散布する従来の方法に比べて効果が長時間に及び、すべり抵抗も高くなった。これは、散布した防滑材が短時間の間に氷を溶かし再度凍結することで、路面の表面がサンドペーパーのようにザラザラになり、滑りにくくする効果があるためである。加熱水混合式散布車から散布された防滑材は周囲の温度より高いため、路面の氷を溶かし、防滑材が路面に定着し易いと報告されている(図-1参照)。

### 3. 防滑材の室内基礎試験(ホットサンド試験)

#### (1) 試験目的

氷板上に散布した防滑材の定着性向上による飛散対策のため、砂や碎石の加熱や、加熱水を混合して散布したときの氷への付着状態を把握することを目的として、室内試験を行った。

#### (2) 試験概要

試験は当研究所内低温実験室で行った。本施設は、常温から-20℃まで1℃毎に温度設定が可能である<sup>6)</sup>。試験温度は、防滑材を使用する基準が-8℃程度以下とされている<sup>1)</sup>こと、室内温度の設定可能な最低温度が-20℃であることから、-8℃と-20℃の2条件とした。

現道に於ける防滑材の散布基準は、150g/m<sup>2</sup>～350g/m<sup>2</sup>とされている<sup>1)</sup>ことから、本試験における散布量はその最大値となる約350g/m<sup>2</sup>を基準として25gとした(散布密度≒375g/m<sup>2</sup>)。

計測時間は、散布してから温度が下がり、溶けた氷が再凍結するまでの時間として10分を設定した。

材料温度及び湿式剤(混合する水)の温度については、現状の散布と同様に加熱をしない状態(試験温度-8℃、-20℃)と、車両の排熱やボイラーで加熱することを想定した20℃、40℃、60℃、90℃(乾式のみ)とした。なお、加熱を行わない状態の試験ではマイナス温度では水が凍結してしまうので、湿式剤として混合する水の代

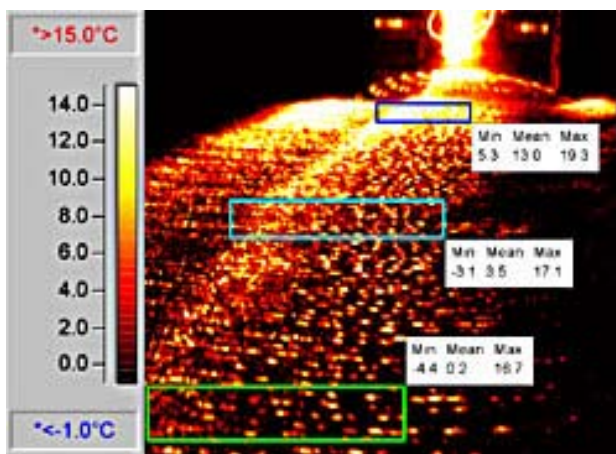


図-1 加熱水混合式散布による路面状況(サーモカメラによる温度分布)、

[参考文献4)「Nordic Road & Transport Research 2001」より出典]



写真-2 ホットサンド試験の室内試験状況

用として塩化カルシウム水溶液を用いた。

湿式散布の割合については、実際の散布で多く用いられている防滑材に対する重量比20%に当たる5g(5ml)を設定したが、砂については目視により湿式剤の量が十分ではないと判断し、10g(10ml)についても試験を行った。本試験室内の状況を写真-2に示す。

試験条件は下記に示す通りである。

実施日：平成20年11月19日～25日

実施場所：寒地土木研究所 多用途低温実験棟

対象材料：7号碎石、砂

試験温度：-8℃、-20℃

散布量：25g

計測時間：10分

材料温度：乾式散布(20℃、40℃、60℃、90℃、試験温度)

湿式散布(水：20℃、40℃、60℃、

塩化カルシウム水溶液：(濃度30%・試験温度))

湿式散布時の水・水溶液の量：5ml、10ml(10mlは砂のみ)

使用機器：接触式温度計（2台）  
 試料容器（290×230×40mm：A=0.0667m<sup>2</sup>）  
 重量計（分解能1/100g）  
 電気ポット（2台）  
 メスシリンダー（5ml×2本、50ml×1本）  
 ホットプレート  
 材料散布用の容器  
 水温調整用の容器  
 試料を掃くためのハケ  
 試料撮影用のカメラ

試験は下記に示す順序で行った。

- ① 容器に常温の水道水 400cc を入れ、試験室内の温度を-5℃に設定し、水を凍らせた。
- ② 室内温度を試験温度に設定し、室内温度及び氷面温度が安定するまで半日程度置いた。以上により作製した氷を供試体とした。
- ③ 室内温度、材料温度、試料（氷）の温度を接触式温度計で測定した。
- ④ 乾式散布用の防滑材をホットプレートで十分に加熱した後、材料散布用の容器に移し、接触式温度計で温度を計測しながら室温で冷却し、所定の温度となった瞬間、素早く氷の供試体に散布した（写真-3参照）。
- ⑤ 所定量の水（5ml と 10ml）を入れたメスシリンダーを、熱湯を入れた水温調整用の容器に入れ、接触式温度計で温度を計測しながら温度調整を行い、所定の温度になった瞬間、素早く散布用の防滑材と混合して、氷の供試体に散布した。
- ⑥ 所定の時間が経過した後、室内温度、試料（材料、氷）温度を接触式温度計で測定した後、ハケで試料表面を掃いて、試料の状態を目視で確認し（掃いても材料が取れない：○、材料が一部取れている：△、掃くと材料が取れる：×）、試料表面から取れた試料の重量を測定した。

### (3) 試験結果

#### a) 乾式散布

表-1 に試験温度-8℃における乾式散布の試験結果、表-2 に試験温度-20℃における乾式散布の試験結果を示す。このように、乾式散布では散布時の材料温度が高ければ高いほど、氷の付着率が高くなった。

試験温度別に見ると、試験温度-8℃では、碎石は材料温度 20℃で半分以上が氷に付着し、材料温度 40℃以上では、ほとんど全て氷に付着した。一方、砂については、材料温度の上昇とともに、氷への付着量の増加が見られるが、60℃で全体の約 6 割、90℃でも全体の約 3 割が氷に付着しなかった。

試験温度-20℃では、碎石は 60℃で全体の約 9 割が氷に付着したが、それ以下の温度では、氷への付着量が少

なくなり、40℃では約 3 割、20℃では全く氷に付着しなかった。砂については、材料温度 90℃でも氷への付着



写真-3 散布状況

表-1 乾式散布（試験温度-8℃）の結果

散布材料		材料温度					
		20℃	40℃	60℃	90℃	-8℃ (試験温度)	
7号碎石 (25g)	目視判断	△	△	○	○	×	
	定着した 防滑材(g)	15.3	22.8	24.4	24.6	0.0	
砂 (25g)	目視判断	△	△	△	△	×	
	定着した 防滑材(g)	1.9	4.9	8.4	17.8	0.0	

上段：時間経過後(10分後)の試料の状態

○：掃いても材料が取れない  
 △：材料が一部取れている  
 ×：掃くと材料が取れる

下段：定着した試料の重量(g)

表-2 乾式散布（試験温度-20℃）の結果

散布材料		材料温度					
		20℃	40℃	60℃	90℃	-20℃ (試験温度)	
7号碎石 (25g)	目視判断	×	△	△	△	×	
	定着した 防滑材(g)	0.2	7.0	22.2	22.7	0.0	
砂 (25g)	目視判断	×	×	△	△	×	
	定着した 防滑材(g)	0.4	1.4	3.8	3.5	0.2	

上段：時間経過後(10分後)の試料の状態

○：掃いても材料が取れない  
 △：材料が一部取れている  
 ×：掃くと材料が取れる

下段：定着した試料の重量(g)

量は非常に少なく、加熱して散布した効果はあまり見られなかった。

また、比較のために行った、加熱しない散布（材料温度-8℃及び-20℃）では、碎石と砂のいずれも全く氷に付着していなかった。

#### b) 湿式散布

表-3 に試験温度-8℃における湿式散布の試験結果、表-4 に-20℃における湿式散布の試験結果を示す。この

表-3 湿式散布（試験温度-8℃）の結果

散布材料		水・水溶液温度			
		水 20℃	水 40℃	水 60℃	水溶液 (-8℃)
7号碎石(25g)+ 水・水溶液(5ml)	目視判断	○	○	○	×
	定着した 防滑材(g)	25.0	25.0	25.0	0.0
砂(25g)+ 水・水溶液(5ml)	目視判断	△	△	△	×
	定着した 防滑材(g)	17.9	22.9	22.8	0.0
砂(25g)+ 水・水溶液(10ml)	目視判断	○	○	○	×
	定着した 防滑材(g)	24.9	24.7	25.0	0.0

上段:時間経過後(10分後)の試料の状態  
 ○:掃いても材料が取れない  
 △:材料が一部取れている  
 ×:掃くと材料が取れる  
 下段:定着した試料の重量(g)

表-4 湿式散布（試験温度-20℃）の結果

散布材料		水・水溶液温度			
		水 20℃	水 40℃	水 60℃	水溶液 (-20℃)
7号碎石(25g)+ 水・水溶液(5ml)	目視判断	△	○	○	×
	定着した 防滑材(g)	22.7	23.9	24.3	0.0
砂(25g)+ 水・水溶液(5ml)	目視判断	△	△	△	×
	定着した 防滑材(g)	5.5	11.7	11.9	0.0
砂(25g)+ 水・水溶液(10ml)	目視判断	△	○	○	×
	定着した 防滑材(g)	24.2	24.9	25.0	0.0

上段:時間経過後(10分後)の試料の状態  
 ○:掃いても材料が取れない  
 △:材料が一部取れている  
 ×:掃くと材料が取れる  
 下段:定着した試料の重量(g)

ように湿式散布では、湿式剤の水温と水量に大きく影響を受け、水温については高いほど、水量については多いほど、防滑材の氷への付着量が多くなった。

試験温度別に見ると、試験温度-8℃では、碎石は湿式剤の水温が 20℃でも全ての防滑材が氷に付着した。一方、砂については、湿式剤の量による違いが顕著であり、湿式剤の水量が 5ml（重量比 20%）の場合、湿式剤の水温が 20℃では全体の約 3 割が氷に付着しなかったが、湿式剤の水温が 40℃以上の場合と、湿式剤の水量が 10ml（重量比 40%）の場合には、ほぼ全量が氷に付着した。

試験温度-20℃では、碎石は湿式剤の水温が 20℃の場合、約 1 割が氷に付着しなかったが、湿式剤の水温が 40℃以上の場合には、ほぼ全量が氷に付着した。一方、砂については、湿式剤の水量が 5ml の場合には、湿式剤の水温が 60℃でも全体の約 5 割が氷に付着しなかった。これに対して、湿式剤の水量が 10ml の場合には湿式剤の水温が 20℃以上で、ほぼ全量が氷に付着した。

また、比較のために行った、加熱しない塩化カルシウム水溶液（温度-8℃及び-20℃）を湿式剤として用いた場

合には、碎石と砂のいずれについても全く氷に付着していなかった。

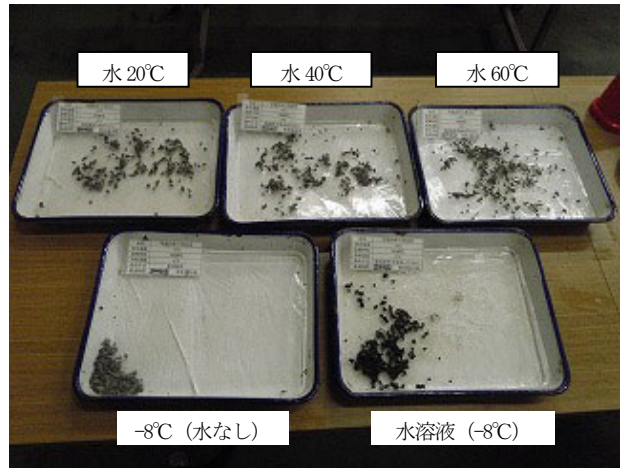


写真-4 時間経過後の試料の状態  
 (7号碎石、湿式散布(5ml)、試験温度-8℃)

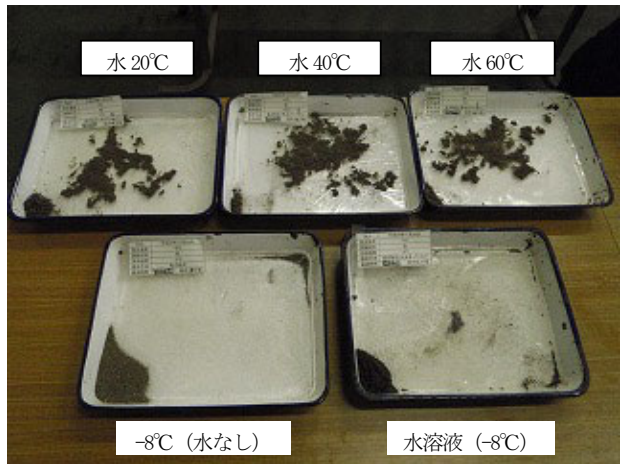


写真-5 時間経過後の試料の状態  
 (砂、湿式散布(5ml)、試験温度-8℃)

(4) まとめと考察

本試験の結果から、各試験温度において氷面に材料を十分に付着させるのに必要な温度(乾式散布:材料の温度、湿式散布:水の温度)は、表-5、表-6の通りとなった。

表-5 乾式散布時における付着に必要なとなる材料温度

散布材料	試験温度-8℃	試験温度-20℃
7号碎石	40℃	60℃
砂	90℃以上	90℃以上

表-6 湿式散布時における付着に必要なとなる水の温度

散布材料	試験温度-8℃	試験温度-20℃
7号碎石+水	20℃	40℃
砂+水(重量比0.2)	40℃	60℃以上
砂+水(重量比0.4)	20℃	40℃

a) 砂と碎石の比較

今回の試験では、乾式散布と湿式散布の双方について、砂よりも碎石の方が、氷への付着率が高くなった。この理由として、考えられるものを以下に示す。

- ① 碎石は粒子が大きく、粒子数が少ないのでほとんどの粒子が氷に接触するが、砂は、小さい粒子が重なった状態になるため、直接氷に接触しない粒子が存在すること。
- ② 粒子が小さくなると、体積に対する表面積の割合が大きくなるため、散布途中での温度低下が大きくなると考えられる。
- ③ 氷との付着は、粒子内部に蓄えた熱で、防滑材と接触した部分の氷がわずかに溶け、再び凍結するため生じるものである。蓄えた熱量は体積に比例するため、粒子が小さい場合には、熱量が不足すると考えられる。
- ④ 湿式散布の場合、碎石では湿式剤の量が 5ml で全体を湿らせることができたが、砂の場合には、約半分が乾燥状態のままとなり、全体を湿らせるためには 10ml が必要であった。そのため、湿式散布の効果が不十分なものとなった。

以上のことから、効率的に砂を散布するためには、できる限り砂同士が重ならない様に散布すること、散布の瞬間まで温度が下がらない様な措置を取ること、湿式剤の量を碎石の場合よりも多くすることが望ましい。

#### b) 乾式散布と湿式散布

今回の試験では、乾式散布の碎石や砂と、湿式散布の湿式剤である水を、同一温度に暖めて散布した場合、いずれも水を温めた方が氷への付着率が高くなった。この理由として、考えられるものを以下に示す。

- ① 氷への付着は、水が凍結することで生じるが、乾式散布の場合には、必要な水は氷を溶かさなければ得られないが、湿式散布の場合には防滑材と同時に水も散布するので、氷に付着させるための水をより多く得ることができる。
- ② 水は比較的比熱が大きく、また湿らせることによって碎石や砂の粒子が結びつき、実際に冷えた空気に触れる面積が減少すると考えられる。

以上のことから散布に当たっては、防滑材自身を加熱する乾式散布よりも、湿式剤を加熱する湿式散布の方が効果的であると言える。また今回の試験では、湿式散布において、砂を十分に湿らせることができない場合には、その効果が大きく減少することも明らかとなったことから、湿式散布に当たっては、加熱温度だけではなく、湿式剤の量も重要である。

#### 4. まとめ

本研究では冬期の路面対策として用いられている海外の防滑材の散布手法に着目し、その効果を検証するため

に当研究所内低温試験室にて室内試験を行った。その結果、防滑材自体を加熱することや防滑材に加熱した水を混合して散布する手法の有効性が確認された。また、今回の調査で明らかになった散布に当たっての留意事項と併せて整理すると以下の通りである。

- ① これまでの散布方法では、防滑材（7号碎石、焼砂）に塩化カルシウム水溶液を混合して散布しているが、加熱した水を混合した防滑材の散布手法により散布後の定着性が大幅に改善されることがわかった。
- ② 乾式散布で碎石を散布する場合には、気温-8℃で材料温度 40℃以上、気温-20℃で材料温度 60℃以上で散布することが望ましい。砂については 90℃以上で散布することが望ましい。
- ③ 湿式散布では、湿式剤の割合を 20%とした場合、湿式剤の温度は気温-8℃で水温 40℃以上、気温-20℃で水温 60℃以上で散布することが望ましい。同様に湿式剤の割合を 40%とすると-8℃で 20℃、-20℃で水温 40℃以上が望ましい。
- ④ 乾式散布時と湿式散布時ともに、砂よりも碎石の方が氷に付着しやすいため、砂を散布する際には、散布時に熱が冷めない工夫が必要となる。
- ⑤ 乾式散布の碎石や砂と、湿式散布の湿式剤である水を同一温度で散布した場合、水を温めた方が氷に付着しやすいことから、防滑材自身を加熱する乾式散布よりも、湿式剤を加熱する湿式散布の方が効果的である。
- ⑥ 砂を十分に湿らせることができない場合、効果が大きく減少することから、湿式散布に当たっては、加熱温度だけではなく、防滑材全体を十分に湿らせる水量が必要となる。
- ⑦ 周囲の温度が低いほど散布した材料の温度が低下しやすいため、気温が低いほど散布する材料や湿式剤の温度は高くしなければならない。

#### 5. 今後の課題

##### a) 加熱方法、散布機械の検討

防滑材や水を加熱して散布するためには、現在使用している散布車の改良や、加熱方法を検討する必要がある。

##### b) 適切な散布量の検討

これまで散布した防滑材の散布基準は、車両の走行によって飛散することを前提に散布量が決められていた。氷への付着で定着率を上げることにより、散布量をどの程度低減できるか検討する必要がある。

##### c) 気象条件と効果持続時間との関係

定着した防滑材は低温時には路上に残留するが、気温が上昇すると飛散して効果がなくなると考えられる。散布後定着した防滑材が、温度上昇によって飛散する条件を調査する必要がある。

##### d) 車両走行の影響を考慮した付着状況

実際の散布では車両の走行があり、強い力で防滑材を路面から剥がし防滑材を飛散させると考えられる。本報告では車両走行の影響を考慮していないため、実道に近い条件で車両走行が防滑材の付着状況に及ぼす影響を調査する必要がある。

#### e) 路面状態と散布効果

実際の道路では様々な路面状態が出現する。今後試験散布等を行い、この手法が適する路面状態と適さない路面状態を明らかにする必要がある。

## 6. あとがき

本報告では防滑材を熱したり、散布時に水温を高くした水で防滑材を湿式散布する効果について述べた。しかし、本室内試験は基礎的な試験であり、本文中でも示した通り今後の課題も多い。今後は加熱方法や散布機械の検討や実道での散布試験を行うなど、検証を積み重ねていく。

### 参考文献

1) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル（案）、平成9年11月

- 2) 宮本修司、森田英俊、倉内圭、阿部英樹、舟橋誠、高橋尚人、浅野基樹：防滑材の再利用に関する試験調査、北海道開発土木研究所月報 No. 615、2004年8月
- 3) 舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹、河端淳一：精糖残渣（ライムケーキ）を使用した防滑材の散布効果試験、第20回ふゆトピア研究発表会、2008年2月
- 4) Norwegian Public Roads Administration: New Sanding Methods in Norway, Nordic Road & Transport Research, 2001
- 5) Norwegian Public Roads Administration: Sand, Salt and Hot Water in Winter Road Maintenance, Nordic Road & Transport Research, 2004
- 6) 交通研究室：凍結路面室内走行試験機の紹介、北海道開発土木研究所月報、No. 515、1996年4月