

新しい非塩化物系凍結防止剤の融氷特性と植物に対する害に関する研究

佐藤賢治^{*1}、藤本明宏^{*1}、中島知幸^{*1}、徳永ロベルト^{*1}、
高橋尚人^{*1}、石田樹^{*1}、中島範行^{*2}

1. 研究の背景

積雪寒冷地域において、安全・安心な冬期道路交通の確保は重要な課題であり、道路管理者は凍結防止剤散布などの凍結路面对策を重点的に実施してきた。

凍結防止剤散布には、融氷特性や価格面に優れた塩化ナトリウム（以下、塩ナト）が主に利用されているが、反面、散布による道路構造物などの沿道環境への負荷が懸念されている。このため、沿道環境への負荷が小さい凍結防止剤の開発は重要な課題である。

2. 研究の目的

筆者らは、沿道環境への負荷が小さい凍結防止剤を開発するため、主に食品添加物として利用されるプロピオン酸ナトリウム（以下、プロナト）の実用可能性に関する研究を実施してきた。

筆者らは、これまで、凝固点、有害物質含有の有無、金属腐食性および路面すべり改善効果に関する散布試験を実施した。その結果、プロナトおよび塩ナトとプロナトの重量比8:2混合物（以下、混合物）は、塩ナトと比べて金属腐食性が抑えられかつ路面のすべり抵抗値を同程度に改善できることを確認したり。

本研究では、冬期道路管理におけるプロナトの利用・普及へ向けた検討の一環として、プロナトおよび混合物の融氷特性および植物の生育に与える影響を調べた。

3. 融氷特性に関する試験

3.1 試験概要

試験条件を表1に示す。融氷量試験は、寒地土木研究所内の低温恒温室で実施した。低温恒温室は、-25~0℃の範囲で温度制御が可能である。試験対象剤は、プロナトおよび混合物とした。また、比較用に従来凍結防止剤として使用されている塩ナトを対象とした。

試験実施手順を以下に示す。

- 試験対象剤を5gずつ重量計で量り、必要数取り分ける、
- バットに水道水200mlを入れ、室温-5℃の設定で水を凍らせる、
- 凍結後、室温を試験温度に設定し、室温および氷面温度が安定するまで養生する、
- 試験対象剤を氷表面に散布し、各経過時間後における融出水の質量（以下、融氷量）を計測する（写真1、2）。

融氷量は、吸水性の高い紙で融出水を吸い取った後、紙をカップに入れて重量計（最小表示単位0.1g単位）で計測した。融氷量は、同一条件につき3サンプル測定し平均化した。

表1 融氷量試験条件

試験容器	ステンレスバット L*W*H=185*140*27(氷面積:0.02m ²)
試験対象剤	塩ナト(純度99.5%) プロナト(純度99.0%以上) 混合物(塩ナト+プロナト 重量比8:2)
剤の粒径	0.3~1.0 mm(ふるいがけ)
散布量	5 g(250 g/m ²)
試験温度	-2、-5、-8、-15℃
経過時間	5、10、20、30、60、120、180、360分



写真1 薬剤散布状況



写真2 融出水の吸取り状況

*1 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所

*2 富山県立大学

3.2 試験結果

各試験温度における融水量の経時変化を図1に示す。

試験温度 -2°C の結果を述べる。全試験対象剤で経時的な融水量増加の傾向が、全試験温度中、最も顕著に表れた。特徴として、プロナトの融水量は、散布後30分まで塩ナトおよび混合物の融水量と比べて多かったが、散布後60分で逆転した。散布後360分の融水量は、塩ナト、混合物、プロナトの順に多い。

試験温度 -5°C の結果を述べる。 -2°C 同様、経時的な融水量増加の傾向が表れたが、増加の割合および試験対象剤毎の融水量差は小さくなった。また、 -2°C 同様、時間経過に伴う融水量の逆転が観られた。

試験温度 -8°C の結果を述べる。前述の試験温度と比べて、経時的な融水量増加の割合は更に小さくなり、散布後5分から散布後360分までの各経過時間における試験対象剤毎の融水量はほぼ同程度になった。

試験温度 -15°C の結果を述べる。全試験温度中、経時的な融

水量増加の割合は最も小さくなり、散布後 60 分からの融水量は全試験対象剤でほぼ同様だった。また、プロナトおよび混合物の融水量は、全ての経過時間で塩ナトの融水量をわずかに上回った。

3.3 考察

以上の結果より、プロナトおよび混合物は、塩ナトと同様に温度が低下すると融氷性能が低下することを確認できた。また、プロナトの融水量は、散布直後において塩ナトおよび混合物の融水量を上回るが、 -15°C を除き、散布後60~120分で融水量が逆転することがわかった。さらに、混合物は、塩ナトと比べて360分経過後の融水量が同程度だった。

試験温度 -8°C および -15°C の極低温下では、散布後360分の融水量が全試験対象剤でほぼ同程度かつ融氷効果が極めて低下していることから、プロナトおよび混合物を凍結防止剤に使用する場合においても、塩ナトと同様、 -8°C 程度以上の気温条件下での散布が効果的である²⁾と考えられる。

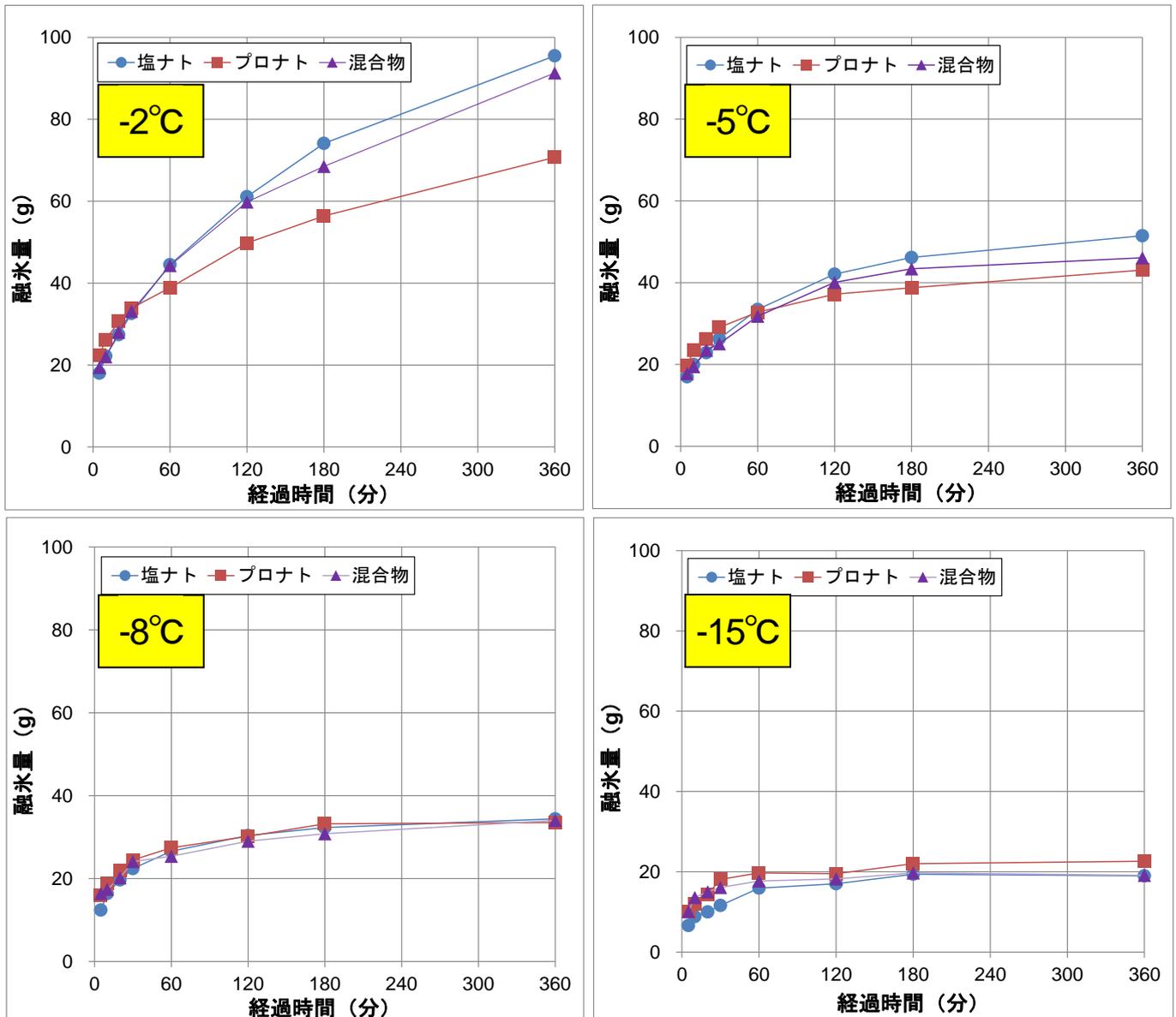


図1 融水量の経時変化

4. 植物に対する害に関する栽培試験

4.1 試験概要

プロナトが植物の生育へ与える影響を確認するため、植物に対する害に関する栽培試験の方法³⁾に準拠して、こまつなを供試植物とした栽培試験を実施した。

本試験では、こまつなの生育土壌へ混合する試験対象剤の種類および添加量を変え、それぞれの条件における発芽、葉長および生体重を調べた。

当該栽培試験は、肥料取締法によって、普通肥料を登録する際に義務づけられている。既往の研究では、明嵐ら⁴⁾、樋口⁵⁾がこれに準拠した試験を実施し、凍結防止剤がこまつなの生育に与える影響を評価している。

試験条件を表2に示す。本試験では、融氷量試験と同様に塩ナト、プロナトおよび混合物を試験対象剤とした。

試験方法について述べる。i) 供試土壌 500 ml に対して、N、P₂O₅およびK₂Oとして35 mgに相当する化学肥料の硫酸アンモニア、過りん酸石灰および塩化カリウムを施肥する、ii) 試験対象剤を1 mmのふるいを通して均質化し、施肥後の供試土壌に添加してよく混和した後、試験容器に詰める、iii) 土壌水分を最大容水量の約60%に調節し、こまつなの種子を試験容器あたり20粒播種する、iv) 後述する管理方法で栽培し、播種後21日目に収穫する。

試験対象剤の添加量は、1、2、4および8 gとした。本添加量は、仮に試験対象剤を土壌表面に散布し、その全てが土壌中に混入した場合、100、200、400および800 g/m²の散布量に相当する。この他、試験対象剤を添加しない土壌（以下、無添加）を比較のため用意した。また、植物の成長における個体差の影響を考慮して、それぞれ2サンプル（鉢）ずつ用意した。

試験期間中の管理方法について述べる。試験期間中の栽培温度は15~25℃の範囲とした。試験開始後約10日間は最大容水量の50~60%を保つように減水分を補給し、その後は作物の生育に応じて適宜給水した。なお、試験期間中の追肥および農薬散布は実施していない。管理状況を写真3に示す。

発芽調査は、こまつなの種子の発芽数（本）を目視測定した。葉長調査は、発芽したこまつなの草丈（mm）を測定し、結果をその合計値とした。生体重調査は、発芽したこまつな

の地上部を収穫し、結果をその生体重（g 鉢）の合計値とした。なお、各調査結果は、2サンプル（鉢）の平均値を採用した。併せて、植物の生育に影響を与える様々な要素の中から水素イオン指数（pH）および塩化物イオン（Cl⁻）濃度を抽出し、こまつな採取後の土壌でそれぞれ調査した。

4.2 試験結果

試験結果を表3に示す。また、21日目（収穫前）の生育状況を写真4に示す。

発芽数について述べる。無添加は、7日目に20本全てが発芽した。塩ナトの1 gおよび2 gでは、7日目に19.5~20本発芽したが、4 gおよび8 gでは14日経過しても一切発芽しなかった。また、塩ナトの2 gでは、黄化の異常症状が観られた。プロナトの1 gでは、7日目に20本全てが発芽したが、2 g以上では14日経過しても一切発芽しなかった。混合物の1 gおよび2 gでは、7日目に20本全てが発芽したが、4 gでは、14日経過で2本しか発芽せず、8 gでは、14日経過しても一切発芽しなかった。

21日目の葉長について述べる。無添加は、128 mmであった。プロナトの1 gでは、無添加と同程度の122 mmであり、塩ナトおよび混合物の1 gと2 gは、無添加と比べて低い値であった。生体重は、葉長とほぼ同様の結果であった。

4.3 考察

プロナトの1 gは、無添加と同程度の生育だったが、2 g以上で一切発芽しなかった。この要因の一つには、土壌のpHが考えられる。こまつなはpH5.5~6.5程度の微~弱酸性の土壌を好適とする⁶⁾ため、無添加でpH5.2、1 gでpH6.4の微~弱酸性土壌が、プロナト2 g以上の添加でpH7.7~9.3程度の弱アルカリ性土壌になったことにより、発芽が阻害されたと考えられる。

塩ナトおよび混合物の1 gは、無添加と比べて葉長および生体重とも7~8割程度だった。これは、いずれも塩ナトがこまつなの生育を阻害したと考えられる。ただし、混合物の

表2 栽培試験条件

試験容器	ノイバウエルポット d*H=113*65（表面積0.01m ² ）
試験対象剤	無添加土壌 塩ナト（純度95%以上） プロナト（純度99%以上） 混合物（塩ナト+プロナト 重量比8:2）
剤の粒径	1.0 mm未満（ふるいがけ）
土壌添加量	1, 2, 4, 8 g
室内温度	15~25℃



写真3 管理状況

表3 こまつな栽培試験結果

調査内容	経過日数	無添加	塩ナト				プロナト				混合物 (塩ナト+プロナト(重量比8:2))			
			1g	2g	4g	8g	1g	2g	4g	8g	1g	2g	4g	8g
発芽数(本)	7日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0
	10日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0
	14日	20.0	20.0	19.5	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	2.0	0.0
葉長(mm)	14日	90.0	70.0	38.0	0.0	0.0	81.0	0.0	0.0	0.0	90.0	63.0	5.0	0.0
	21日	128.0	97.0	53.0	0.0	0.0	122.0	0.0	0.0	0.0	105.0	85.0	9.0	0.0
生体重(g/鉢)	21日	7.73	6.29	1.13	0.00	0.00	7.87	0.00	0.00	0.00	5.42	4.52	0.26	0.00
pH	21日	5.2	5.1	5.3	5.5	5.3	6.4	7.7	8.6	9.3	5.3	5.5	6.1	6.5
塩化物イオン濃度(mg/g)	21日	0.016	0.800	1.900	4.400	9.200	0.017	0.034	0.039	0.026	0.860	1.700	4.200	6.900
異常症状		なし	なし	黄化	発芽不良	発芽不良	なし	発芽不良	発芽不良	発芽不良	なし	なし	発芽不良	発芽不良



写真4 21日目(収穫前)の生育状況

1gおよび2gでは、塩ナトの同添加量と比べて、一部を除き葉長および生体重が良好だったことや、わずかであるが4gで発芽したのは混合物のみであること、さらに塩ナトの2gで観られた黄化の異常症状が混合物の2gでは観られなかったことから、塩ナト単体よりも相対的に塩ナトの量が少なくなる混合物の方がこまつなの生育に対して害が少ないと考えられる。

今回、こまつなを対象に試験を行ったが、実道への適用を検討する場合には、土壌条件や植生の多様性を考慮して、試験条件を設定することが望ましい。

5. まとめと今後の課題

本研究では、融氷量試験および栽培試験を実施し、プロナトおよび混合物の融氷特性および土壌添加量によるこまつなの発芽、葉長および生体重などの生育状態の違いを確認した。

融氷量試験から、以下のことを確認した。

- (i) プロナトは、塩ナトと比べて融氷の即効性がある
- (ii) 混合物は、融氷効果が塩ナトと同程度である
- (iii) プロナトおよび混合物の融氷効果は、塩ナトと同様、温度の低下とともに弱まる

栽培試験から、以下のことを確認した。

- (i) 混合物は、塩ナトと比べてこまつなの発芽、生育に与える害が小さい

今後は、プロナトの実用化や普及を進めるために、実道での散布を想定した施工性の検討等を実施する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤ら：新しい非塩化物系凍結防止剤の環境性能と路面すべり抵抗改善効果について、寒地土木研究所月報、No.753、pp.34-38、2015
- 2) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)、p.16、1997
- 3) 昭和59年4月18日農蚕第1943号農林水産省農蚕園芸局長通知
- 4) 明嵐ほか：非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書、2003
- 5) 樋口壯太郎：廃棄物処理処分に伴い排出される副生塩のリサイクルシステムの構築に関する研究、2013
- 6) 財団法人日本土壌協会：土壌診断によるバランスのとれた土づくり、p.12、2008.