

無散水融雪設備のコスト縮減について

星田慎一

豊岡河川国道事務所 道路管理課 (〒668-0025 兵庫県豊岡市幸町10-3) .

北近畿豊岡自動車道は、雪寒地域の山間部を通る道路であるため、冬場の降雪・凍結の対策として除雪車両による機械除雪に加え、散水・無散水融雪設備の整備を行っている。本稿では、2017年3月に開通した八鹿～日高間（八鹿日高道路）で導入したコスト縮減を考慮した無散水融雪設備の効果検証を行った。無散水融雪設備のコスト縮減の内容と有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点と、完成した設備の継続調査の内容をまとめ報告する。

キーワード 無散水融雪設備、コスト縮減、融雪区間（段階融雪）、凍結防止区間（土工熱量）

1. はじめに

豊岡河川国道事務所が管理する北近畿豊岡自動車道（国道483号）は、丹波市から豊岡市に向けて延伸を続けている道路で、現在（2018.4.1時点）日高神鍋高原ICまで供用している。

北近畿豊岡自動車道は、雪寒地域の山間部を通る道路であるため、冬場の降雪・凍結の対策として、除雪車両による機械除雪に加え、散水・無散水融雪設備の整備を行っている。

なお、融雪設備の導入にあたっては、削減される凍結防止剤散布や除雪車両による除雪費用の低減、交通事故による経済損失の低減、凍結防止剤使用量の縮減による橋梁等の劣化抑制等、さまざまな要因によるライフサイクルコストの縮減を考慮し検討を行っている。

また、散水融雪設備の設置には、取水源として河川水や地下水の確保が必要となり設置場所が制限されるため、北近畿豊岡自動車道では、融雪設備の必要な34箇所が無散水融雪設備を採用している。

本稿では、2017年3月に開通した北近畿豊岡自動車道の八鹿日高道路で初めて導入した、コスト縮減を考慮した無散水融雪設備の効果検証を行った。

無散水融雪設備のコスト縮減の内容と有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点をまとめ報告する。

2. 無散水融雪設備について

(1) 無散水融雪設備とは

融雪設備は、大きく分けて河川水や地下水を道路に散

布し、水の熱と流雪効果で道路の雪を取り除く散水融雪設備と、道路に放熱器を埋め込み、熱で道路の雪を溶かさず無散水融雪設備の2種類に分類される。

無散水融雪設備の熱源は、温水や電熱利用、工場の排熱など、さまざまなものが利用されており、設置箇所の条件により、最も経済的な物が選定される。

北近畿豊岡自動車道では、降雪が多い区間について、本線部に地中熱を利用した無散水融雪設備を設置し、IC部に散水融雪設備、又は無散水融雪設備を設置している。

(2) 融雪範囲の考え方

北近畿豊岡自動車道で融雪設備は、降雪・凍結時の危険箇所に設置しており、具体的には、IC、トンネル坑口、橋梁の中で、道路線形や気象条件（降雪量や日照時間、気温等）を踏まえ設置箇所を選定している。

特にトンネル坑口については、坑口からどこまでを設置範囲とするかを定める必要があり、次のような考えで算定を行っている。

トンネル坑口の危険は、無雪路面から明かり部の雪路面へ路面環境の大きな変化が車両通行に影響を及ぼすためであり、融雪延長の算定にあたり、走行車両が安全に停止する動作に必要なすべり摩擦抵抗を確保することを考慮している。

つまり、降雪や凍結による事故を防ぐため、雨で濡れた道路と同程度の条件の滑り摩擦抵抗の範囲を融雪範囲として確保するという考え方である。

この時融雪範囲は、トンネル坑口部においては、前方の同一車線上に故障車などの対象物を認めた場合にブレーキを掛けて停止するために必要な距離であり、湿潤状態の路面の制動停止距離と同じと考えた。

表-1 湿潤状態路面の制動停止距離

設計速度 (km/h)	走行速度 (km/h)	制動停止距離 (m)	基準値 (m)
120	102	212.0	210
100	85	153.7	160
80	68	105.8	110
60	54	72.2	75
50	45	54.0	55
40	36	38.3	40
30	30	28.9	30
20	20	17.5	20

表-1に湿潤状態路面の制動停止距離を示す。北近畿豊岡自動車道の設計速度は80km/hであり、この条件に必要な基準値は110mである。これにトンネル内に吹き込む雪を溶かすための設置範囲10mを加え、120mをトンネル坑口部に必要な無散水融雪設備の設置範囲とした。

3. コスト縮減について

(1) コスト縮減の導入背景

北近畿豊岡自動車道で導入している無散水融雪設備は、地中熱を利用する方式で、河川水や地下水をくみ上げる必要がなく、散水融雪設備等と比較して設置場所の制限が少ない。また、同じ無散水融雪設備でも、熱源に電熱を利用する設備に比べ、必要な電気が少なくランニングコストの面で有利な設備である。

しかしながら、採熱のため、トンネル内に送水管を埋設したり、地中の深層杭に送水管を設置する必要があるため、設備の初期投資が高額となる傾向にある。

北近畿豊岡自動車道が延伸していく地域は、降雪量が多い地域であるため、融雪設備の設置が今後も必要となることが予想される。

こうした背景の中、八鹿日高道路では、今後の建設費用を抑えるため、コスト縮減を考慮した無散水融雪設備の導入を行った。

八鹿日高道路でコスト縮減のために導入した方法として、本線の無散水融雪設備に段階融雪と土工熱量の考え方を導入することとした。

本稿では、初めて導入したコスト縮減型の無散水融雪設備の有効性について検証し、今後の導入に向けての注意点をまとめる。

(2) 段階融雪

段階融雪はトンネル坑口部に採用した方法である。図-1にトンネル坑口からの熱量の変化の様子を示す。

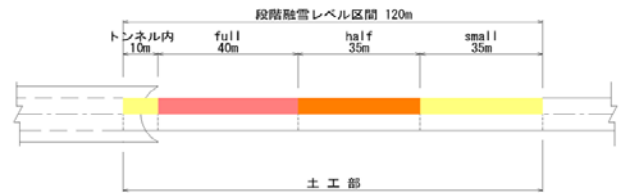


図-1 トンネル坑口の融雪レベル

段階融雪方式は、路面に与える熱量を、full(143W/m²)half(105.3W/m²)small(67.7W/m²)のエリアに分け、徐々に縮小していくシステムで、トンネル坑口部の路面状態を黒路面からシャーベット路面に段階的に変化させる。

過去の調査により、1cm以内の路面残雪の滑り摩擦抵抗は、湿潤路面と同程度であることから、最も熱量の少ないsmall区間においては、設置を予定している地域の設計降雪深に対し1cm残雪となる計算になっている。

融雪必要箇所の融雪熱量を安全性を保ちながら段階的に縮小していくことで、融雪システムの採熱部及び放熱部の規模を縮小しコスト縮減を行うものである。

(3) 土工熱量

土工熱量方式は橋梁部の融雪設備に導入した方法である。

一般的に橋梁部は土工部にくらべ凍結しやすく、橋梁前後は凍結しておらず橋梁のみが凍っている状態でスリップ事故が発生しやすいため、対策として橋梁に無散水融雪設備の設置を行ってきた。

今回導入した土工熱量の考え方は、従来の橋梁部だけ熱を与えて融雪するという方法ではなく、橋梁部の熱量に土工部の自然放熱量と同等の熱量を与え、橋梁の路面レベルを土工部の路面レベルと同等にするという考え方である。

土工部と橋梁部の路面レベルを同等とすることで、凍結防止剤の散布や機械除雪のタイミングを一致させることができ、除雪作業の回数を減らすことができる。

そのため、気温低下により橋梁部の冷却が土工部よりも早い場合には、橋梁部で放熱を行い凍結防止効果を発現するが、降雪等により土工部の冷却が進み積雪が始まると、橋梁部の放熱を停止し土工部と同様に積雪が始まるようになっている。

これにより、必要熱量が低減するため、採熱部及び放熱部の設置を減らすことができ、全体のコスト縮減を行うことができる。

(4) コスト縮減効果

上記の段階融雪と土工熱量を採用した無散水融雪設備について、イニシャルコストとランニングコストを合わせた総合的なコスト縮減の割合を試算した。その結果を表-2に示す。

表-2 融雪設備のコスト削減効果

		従来方式	コスト削減 採用方式
段階融雪設備 500㎡の設置コ スト (千円)	イニシャルコスト	110,800	80,300
	20年ランニングコスト	1,650	1,140
	合計	112,450	81,440 (従来比 72.4%)
土工熱量設備 500㎡の設置コ スト (千円)	イニシャルコスト	123,900	41,300
	20年ランニングコスト	1,650	900
	合計	125,550	42,200 (従来比 33.6%)

それぞれの設備の規模を500㎡あたりで比較した。これは、トンネル坑口設備の設置範囲が延長120m、設置幅3.5mとしているため、設置面積が420㎡となり、現実の設備規模に近い値で比較を行うために設定した値である。

段階融雪設備で約3割、土工熱量設備で約7割のコスト削減効果が得られる結果となっている。

この削減の大部分は建設時のイニシャルコストの削減によるものである。

4. 実態調査及び効果の検証

(1) 実態調査の方法

今回の実態調査は、段階融雪区間を対象に a)路面状況調査 b)発熱量調査 c)除雪作業へのヒアリングの3つの方法により行うこととした。

なお、土工熱量区間については、①路面状況調査のうち目視による調査のみを行うこととした。

a) 路面状況調査

段階融雪区間について、融雪設備稼働時の路面状況を目視による状況の確認と、サーモグラフにより路面の温度を確認する。

また、土工熱量区間については、降雪時の状況を目視により確認した。

b) 発熱量調査

無散水融雪設備の送り出し水温と戻り水温を測定し、放熱量の算定を行った。

継続的に観測を続け、降雪状況の違いによる設備の発熱量の変化を分析した。

c) 除雪業者へのヒアリング

北近畿豊岡自動車道で除雪トラックや凍結防止剤散布車等の除雪車両により作業を行う除雪業者に対し、コスト削減を考慮した八鹿日高道路とそれ以外の区間の無散水融雪設備を比較し、除雪作業の違いが生じているかをヒアリングにより確認を行った。



図-2 段階融雪の目視状況

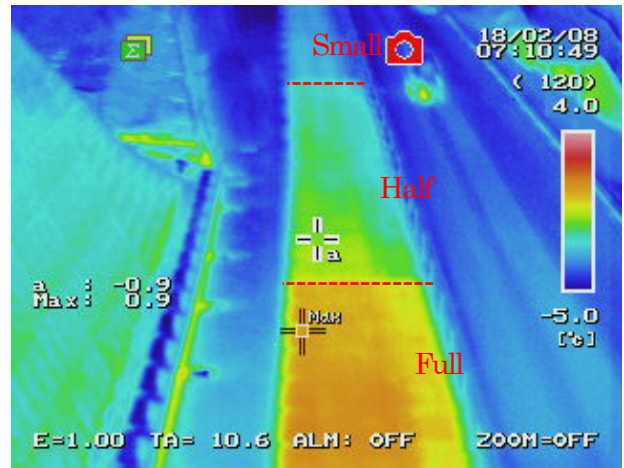


図-3 段階融雪のサーモグラフ

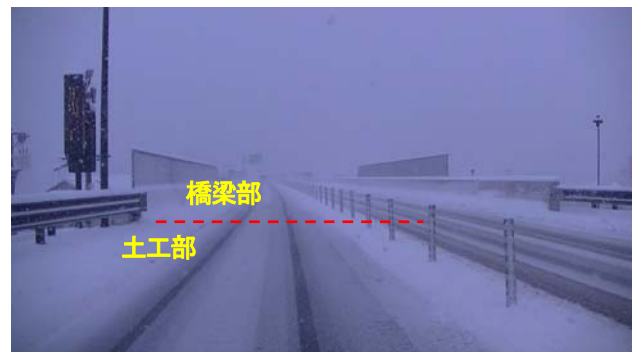


図-4 降雪時の土工熱量区間

(2) 効果の検証

a) 路面状況調査の結果

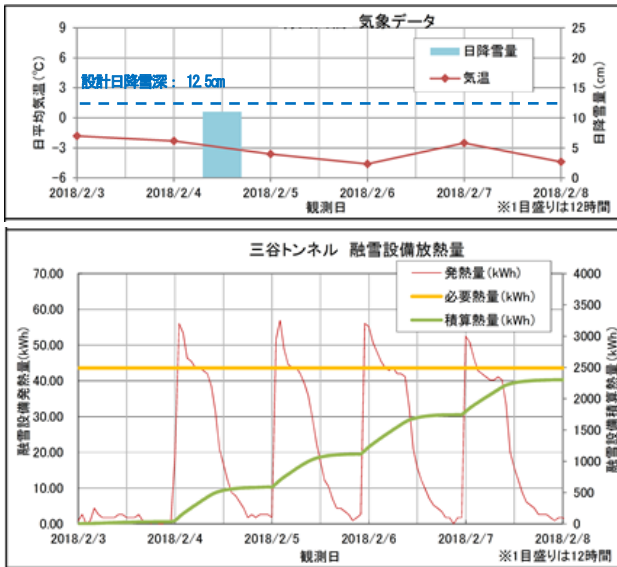
はじめに、図-2に降雪時の段階融雪区間の路面状況を示す。また、図-3に同じ箇所のサーモグラフを示す。

融雪熱量がfull, half, smallのエリアの違いが目視で確認できた。また、サーモグラフでもエリアの違いが確認できた。

これらに結果より、段階融雪は、当初の設計どおり路面状態を黒路面からシャーベット路面に段階的に変化させる性能を発揮していることが確認できた。

次に、図-4に土工熱量区間の降雪時の状況を示す。所期の性能を発揮し、土工部と橋梁部の路面レベルが同等になっていることが確認できた。

＜設計日降雪深以下の場合＞



＜設計日降雪深を上回った場合＞

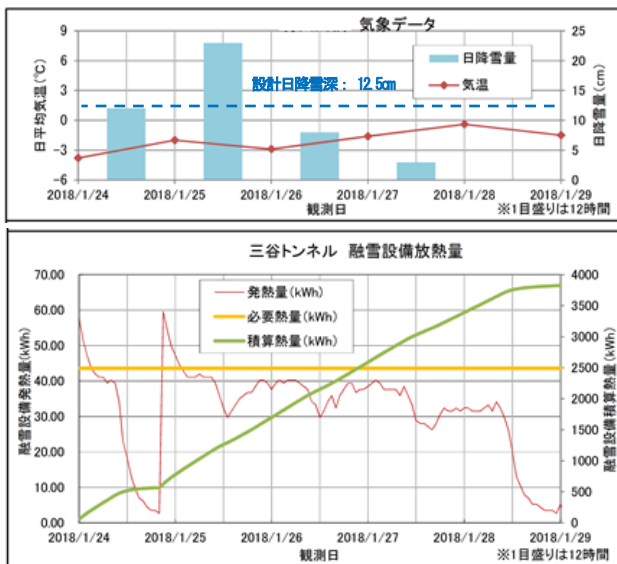


図5 融雪設備の発熱量の変化

b) 発熱量調査の結果

図-5に降雪状況の違いによる、設備の発熱量の違いを示す。

ここでは、降雪量が設計日降雪深(12.5cm)より少なかった場合と多かった場合で比較を行っている。

降雪が設計日降雪深より少ない場合、融雪設備の発熱量は必要熱量を確保出来ていたことがわかる。

一方、降雪が設計日降雪深を上回った場合、融雪設備は連続で運転を続けても発熱量が必要熱量を下回っていたことが確認できる。

この結果より、段階融雪設備は、設計日降雪深以下の状況においては適切に動作していることが確認できた。

c) 除雪業者へのヒアリングの結果

除雪作業員に対して行ったヒアリング結果を表-3に示す。

表-3 除雪業者へのヒアリング結果

	質問	回答
①	路面状態の違い	両区間とも融雪設備として機能を果たしている事が確認できた。
②	凍結防止剤の必要量の違い	従来と同等の散布を行っていたが支障はなかった。

この結果より、コスト削減を考慮した設備においても、除雪作業が増えたという結果は得られなかった。

5. 課題と今後の展望

(1) 無散水融雪設備のさらなるコスト削減の検討

今回導入した、コスト削減を考慮した無散水融雪設備は、従来の設備に比べインシヤルコストを削減できることが確認された。

しかしながら、散水融雪設備と比較して無散水融雪設備の建設費用は、依然として高額であるため、さらなるコスト削減に取り組んでいく必要がある。

例えば、トンネルの中央排水の利用や、下水処理場の廃熱利用など、採熱器の簡略化によるインシヤルコスト削減の検討が必要である。

また、現在の設備も除雪作業の削減を考慮したライフサイクルコストの削減を踏まえて設備の導入を行っているが、危険箇所にのみ設置している設備を連続化し、さらに除雪作業を削減するなど、さまざまな観点からコスト削減の方法を検討していく必要があると考える。

6. おわりに

今回得られた知見を以下に示す。

- (1) コスト削減を考慮した無散水融雪設備について、段階融雪の方法で約3割、土工熱量方式で約7割のインシヤルコスト削減が確認できた。
- (2) 完成したコスト削減を考慮した無散水融雪設備は、降雪時に想定していたどおりの能力を発揮していることが目視、サーモグラフによる路面状況調査及び発熱量調査の結果から確認された。
- (3) コスト削減を考慮した無散水融雪設備は、それ以外の区間の設備と比較し、冬期の凍結防止作業及び除雪作業において、大きな違いはないというヒアリング結果が得られた。

謝辞：論文を作成するにあたり，ご協力いただきました株式会社日本海コンサルタントのご担当者様，資料を提供していただいた株式会社モリモトのご担当者様，また，関係各位に感謝いたします。

参考文献

1) 社団法人日本建設機械化協会北陸支部：道路消・融雪設備の

- 設計技術
2) 社団法人日本建設機械化協会北陸支部：路面消・融雪設備等
設要領
3) 近畿地方整備局近畿技術事務所：道路消融雪設備の設計技術
4) 中央コンサルタンツ株式会社：八鹿豊岡南道路融雪設備予備
設計業務(H24年3月)