

# 積雪深二値制御を組み合わせた遠赤外線融雪装置のコスト削減効果 —トンネル坑口の落雪・雪庇対策への適用—

柴田 優作\*1・上村 靖司\*2・町田 敬\*3

## 1. はじめに

国道17号芝原トンネル新潟側坑口には、高さ3.8mのせり出し防止柵が設置されているが、柵の高さまで堆雪すると、斜面からの落雪が柵を越えて道路へ流出する恐れがある。そのため、従来は人力による除雪を実施してきた。

平成27年度より、この地点に降雪センサーや積雪センサーを搭載した遠赤外線融雪装置を設置し、平成28年度には各種センサーの運用改善を試みるなど、人力処理に対してコスト削減が可能か等の検証を実施してきた。平成29年度には長岡技術科学大学らとの共同研究体制を組み、積雪深二値制御による、更なるコスト削減効果を検証した。

本報告では、平成27年度以降に遠赤外線融雪装置のトンネル坑口で適用した成果や、各種センサーの運用改善を通じた、人力処理に対するコスト削減効果を報告する。



図1 坑口全景



図2 除雪作業状況



図3 降雪前の設置状況

(赤丸：融雪装置、右：斜面側 左：坑口側)



## 2. 融雪装置の概要

せり出し防止柵頂部に設置した遠赤外線融雪装置の概要を説明する。遠赤外線放射体から放射された遠赤外線は、雪に当たり吸収されることにより水分子を振動させて熱エネルギーに変換されて融雪をもたらす。可視光線や近赤外

線は雪や氷に吸収されにくく表面で大半が反射されるが、遠赤外線は吸収率の高いため、雪面から内部へ浸透する特徴がある。また、本装置は上から面的に照射するため、雪が積もった後からでも融雪効果が高い。

今回設置した遠赤外線融雪装置 (UFW-4000) の仕様を表1に示す。

表1 遠赤外線融雪装置の仕様

外形寸法	W884×D433×H370 (mm)
重量	約 12 kg
材質	本体：ステンレス 反射板：アルミニウム
最大出力	4000 VA (50/60 Hz) ※実負荷電流 20 A
使用温度	-20℃～+10℃
放射体	2000 W セラミック特殊コート ハロゲンヒーター 2本

## 3. 融雪範囲

遠赤外線融雪装置1台当たりの新雪 (雪密度：70から100kg/m<sup>3</sup>) の融雪能力の範囲を図4に示す。設置高さ3.0mの場合、時間融雪3.0cmに対応する融雪範囲は約3.0m×4.0mである。また、豪雪地帯では、設置間隔を狭めて重ね照射することにより遠赤外線量を増加させて平均融雪能力を高めることが可能である。一方、少雪地帯では設置間隔を広げて重ね照射による遠赤外線量を減らすこともできる。本検証では図5のように融雪装置を4台配置し、照射した。

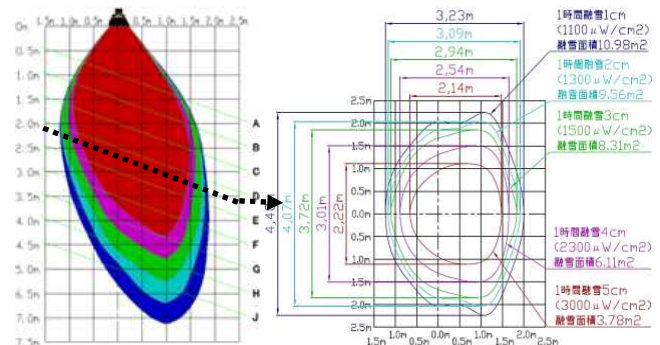


図4 融雪能力の範囲 (左：垂直 右：水平)

\* 1 長岡国道事務所 湯沢維持出張所 (〒949-6101 南魚沼郡湯沢町大字湯沢1802-5)

\* 2 長岡技術科学大学 (〒940-2137新潟県長岡市上富岡町1603-1)

\* 3 町田建設株式会社 (〒949-6407 南魚沼市島新田374)

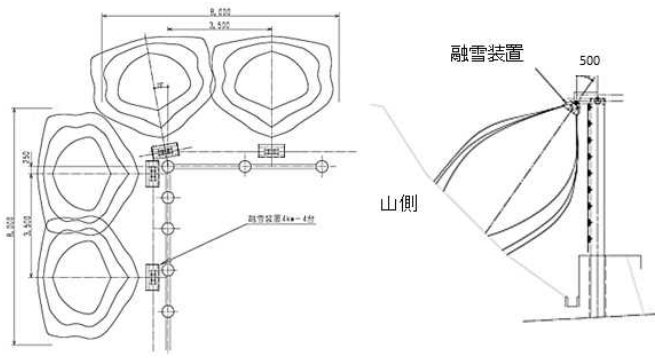


図5 遠赤外線融雪装置設置平面図及び断面図

#### 4. 平成27年度の融雪効果の検証 (降雪・積雪深センサー併用)

融雪システムの制御は、降雪センサーによる降雪検知に加え、OFF信号の受信後5時間の遅延稼働を行うように設定した。また、同時に積雪深センサーにより融雪範囲において積雪深1.0m以上で稼働するように設定した。その結果、融雪効果については、周辺の積雪深124cmに対して融雪範囲は、地表面が露出するまで融雪するなど、過度な融雪を行う場面も確認された(図6)。

融雪システムの稼働時間は、平成27年12月15日から平成28年3月18日の集計では、1,065時間(稼働率46.7%)であった。平成27年度冬期は、融雪範囲において積雪深センサーの制御高さ(地面から1.0mに設定)に積雪が達することがなかったため、降雪センサーのみでの稼働となった。



図6 平成27年度融雪状況(赤丸:融雪装置)

#### 5. 平成28年度の融雪効果の検証①(降雪センサー)

平成28年度には、1月の初期降雪時に遠赤外線融雪装置の融雪能力の検証を目的とした運用を実施した。運用方法としては、せり出し防止柵背面に2.5m程度積雪があった場合に降雪センサーのみの検知で稼働させ、検知後の遅延時間は、検知終了後1分間の最小設定で実施した。

図7に平成29年1月15日から18日の1回の降雪機会での稼働状況を示す。この降雪機会での合計稼働時間は2,890分であり、融雪機器と雪面距離が積雪により短くなったため、時間融雪能力が高まり、雪面に穴が開いた状態が10

時間程度で確認できる状態となった(図8)。

降雪終了時においては、堆雪ポケットとして、2,890分の稼働時間による融雪と圧密により、定点観測カメラから約150cmの積雪を減少させていたことが読み取れた。なお、積雪の値については、撮影画像からの読み取り値であり、詳細計測は実施していない。

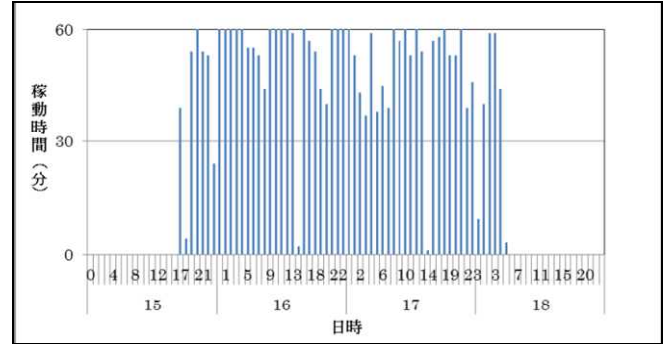


図7 H29/1/15~1/18の降雪センサーでの稼働状況

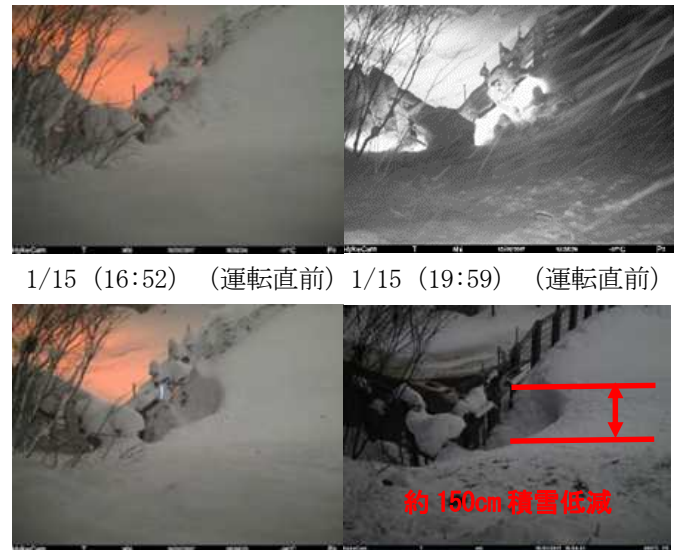
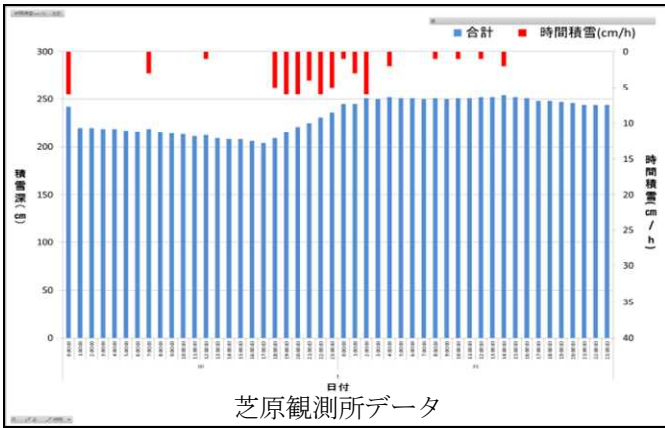


図8 降雪センサー制御による融雪状況

#### 6. 平成28年度の融雪効果の検証②(積雪深センサー)

図9に平成29年1月30日から31日の1回の降雪機会での降積雪状況と積雪深センサーの稼働状況を示す。積雪深が200cmに達すると融雪装置が稼働し、積雪深が200cmを下回って1分後に融雪装置が停止する設定とした。期間合計稼働時間は489分であった。この期間の積雪の増加は50cmであった。降雪終了後にも堆雪ポケットが確保され、落雪が発生してもせり出し防止柵を越えることなく融雪されたスペースに取り込まれている状況が確認された(図10)。

このように、積雪深センサー単独での制御においても、十分な融雪能力が確認された。



芝原観測所データ

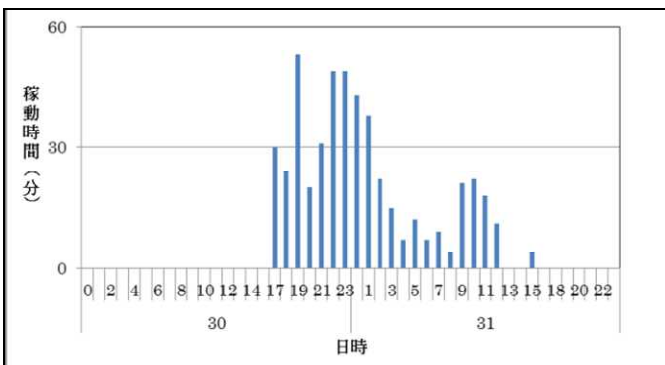


図9 H29/1/30～1/31の降積雪状況と積雪深センサーでの稼働状況



1/30 (14:55) (運転直前) 1/31 (6:00) (運転直前)



1/31 (16:53) (稼働中) 2/1 (10:57) (稼働後)

図10 積雪センサー制御による融雪状況

## 7. 平成29年度の高精度積雪センサー制御運用

平成29年度においては、長岡技術科学大学らと共同研究の体制を組み、同大学らが開発している高精度積雪深センサーを導入した上での更なる効率化に取り組んだ。

高精度積雪深センサーによる積雪深制御と当該センサーを含めた平成29年度の稼働時における機器設置状況を示す(図11及び図12)。同センサーは、1秒間に計15回の

積雪深二値の計測が可能であり、更に稼働ON/OFFの稼働判定を行う積雪深をそれぞれ設定することができる。平成29年度の運用に当たっては、積雪深制御の設定閾値を250cmで稼働ON、200cmで稼働OFFとし、上記ON/OFFの判定は1分毎とする運用にて効率化検証を行った。

上限値:積雪深250 cm (稼働ON) 下限値:積雪深200 cm (稼働OFF)

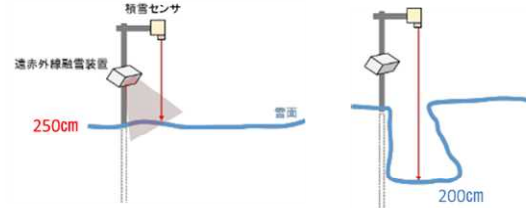


図11 高精度積雪深センサーによる積雪制御



図12 平成29年度の機器設置状況

なお、平成29年度の運用に当たっては、平成28年度まで採用していた積雪深センサーによる検証を平成30年1月26日まで行った後、それ以降に高精度積雪深センサーに切り替え検証を行った。図13に平成29年度の積雪深と融雪装置の稼働状況を示す。平成30年1月27日以降の高精度積雪深センサーによる実証の中で、当該期間を通して安定的な融雪実績と落雪危険性の排除が可能になったことが確認できた。

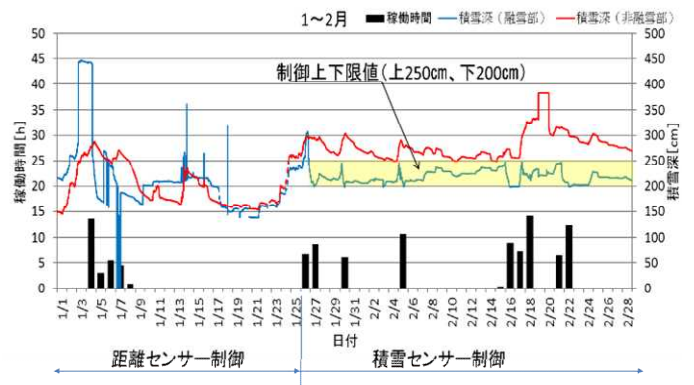


図13 平成29年度の積雪深と融雪装置の稼働状況

## 8. 平成27から29年度の融雪装置の検証結果の比較

平成27から29年度における融雪装置の稼働状況と融雪装置の運用設定を示す（図14及び表2）。平成27から29年度の融雪装置を用いた一連の検証を通じて、トンネル坑口での融雪効果や落雪危険性の排除を確認することができた。

平成27から平成28年度前半においては、降雪感知後即降雪センサーを稼働する方法で融雪効果の検証を行い、融雪効果は確認できたものの莫大な稼働時間を要していた。しかし、平成28年度後半から、積雪深センサーを導入し、積雪深の1つの値で制御する方法で融雪効果の検証を行い、十分な融雪効果を発揮しながら大幅に稼働時間を削減することができた。

更に、平成29年度からは高精度積雪深センサーを導入して積雪深の上限値及び下限値の2つの値で制御することで、十分な融雪効果で更に稼働時間を削減することに成功した。平成27年度には、1,073時間であった稼働時間が、平成29年度には109時間となり、約1/10にまで縮減することができ、大幅な融雪装置運用の効率化を達成することができた。

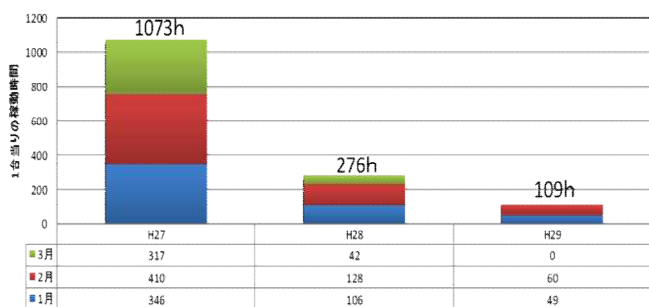


図14 融雪装置の稼働状況（平成27から29年度）

表2 融雪装置の運用設定（平成27から29年度）

時期	積雪センサー	降雪センサー
H27年度	積雪が100cmを超えた場合稼働 （※少雪のため100cm超はなし）	降雪を感知して即稼働 降雪が終わって5時間後に停止
H28年度	H29.1.15 から H29.1.20	なし
	H29.1.20以降	積雪が200cmを超えた場合稼働 積雪が200cmを下回って1分後に停止
H29年度	上限値250cmで稼働ON 下限値200cmで稼働OFF （※高精度積雪センサーを搭載）	なし

次に、コスト削減の観点では、平成29年度の融雪装置の稼働を通じ、従来の人力処理を行う場合の約20～40%程度にコストを削減することができた（表3）。融雪装置は設置等の際の機器の費用等に高額な初期投資がかかるものの、長期的な運用を前提にすれば、融雪装置運用の効率性は高いと考えられる。

表3 人力処理と融雪装置のコスト比較

人力処理による費用	融雪装置の電気料金(H29年度)
以下の仮定を前提とした場合、 <b>約30～60万円</b>  （処理作業員 4～8人 雪崩監視員付き 半日作業 上記を年間5回実施）	H29年度の実績は <b>約12万円</b>  従来の人力処理を行う 費用の概ね <b>20～40%程度</b> にコスト縮減

## 9. 今後の運用に向けて

平成27年度の設置以降の3年間に渡る運用改善等を通じて、遠赤外線融雪技術のトンネル坑口での適用や、従来の人力処理に対するコスト削減効果を確認することができた。従来の人力処理に伴う作業員への落雪等の事故リスクを排除しているという安全性の観点も含め、融雪装置の有効性を立証することができたと考える。

今後に向けては、更なる大雪に対しての落雪危険性の排除や融雪装置の電力契約の見直し、センサーの運用改善等を通じた更なるコスト削減に関する検証等、引き続き検証事項があることから、新たな融雪装置の設置箇所の拡大なども視野に入れ、引き続き産学官連携の下、本検証を継続する方針である。

謝辞：本稿における遠赤外線融雪装置の開発や、一連のコスト削減効果等の立証は、(株)興和、(株)ユニ・ロットの協力を得て実施された。ここに感謝の意を表す。