建物廃熱を利用した環境配慮型融雪の導入

大西　偉允＊1　西原　嘉樹＊2　中山　浩＊3

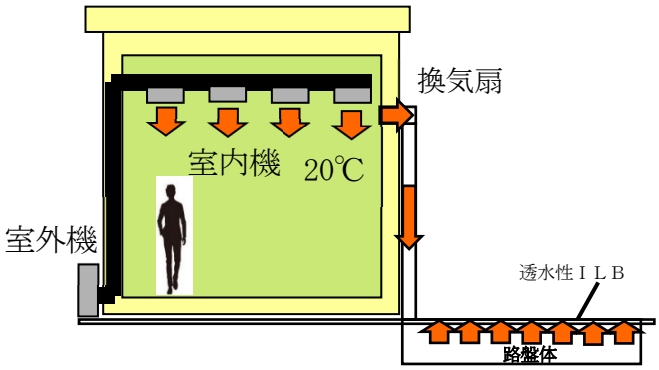
1.はじめに

積雪寒冷地の高速道路では、道路及び管理施設、休憩施設においても融雪設備を導入して融雪を行っている。融雪方式としては、主に電力ヒーティングケーブルやボイラ等により加熱された不凍液を用いる間接融雪、散水を利用した直接融雪などが用いられている。しかしながら、融雪用電力や化石燃料を利用するボイラは環境負荷が発生し、散水の使用は末端部での凍結などの課題があり、使用できる箇所が限定される。また、人力で除雪作業を行う場合、労働者の確保や運用面での課題が多く、安価かつ環境負荷のない融雪方式が求められている。本研究では、建物からの廃熱を路面下部に供給し、路面に敷設されたインターロッキングブロック（以下、ILB）から面的に温風を吹き出す「廃熱利用融雪システム」に着目し、国内で最も標高の高い、岐阜県高山市にある東海北陸自動車道　松ノ木峠パーキングエリア（以下、PA）（図－1）に約18m^{2}の融雪システムを構築し、融雪性能を評価した結果について報告する。

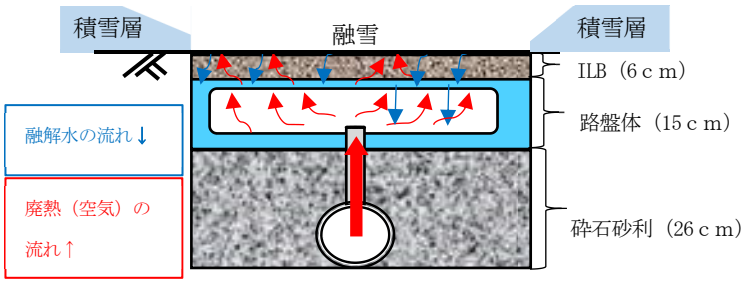
図－1　評価検証場所（松ノ木峠PA）

2．廃熱利用融雪システムの概要

廃熱融雪システムは過去よりいくつか開発されている。本研究では、北海道で利用実績があり、ホクスイ設計コンサルなどが開発し基本特許を取得しているシステム（以下、既存システム）をベースに、より安価で施工性の高いシステムに改良し、フィールド実験を行うこととした。路盤体と呼ばれる樹脂製構造体を融雪エリアに設置し、その上部に通気性のある透水性ILBを配置した融雪システムを用いたシステムの概要を示す（図－２）。この廃熱融雪システムでは、中空樹脂路盤体と市販されている透水性ILBを用いる。融雪エリアを掘り下げた後は路盤体および透水性ILBを手作業で配置できるため、設置作業およびメンテンナンスが比較的容易という特長がある。地上に降り積もった雪は透水性ILBの蓄熱効果と透水性ILBから吹き出す温風により融雪される。融雪水はブロックから下部の路盤体および地面に流れるため、ブロック表面での凍結は発生しない。（図－３）



図－２　廃熱利用融雪システム概要



図－３　地中断面図

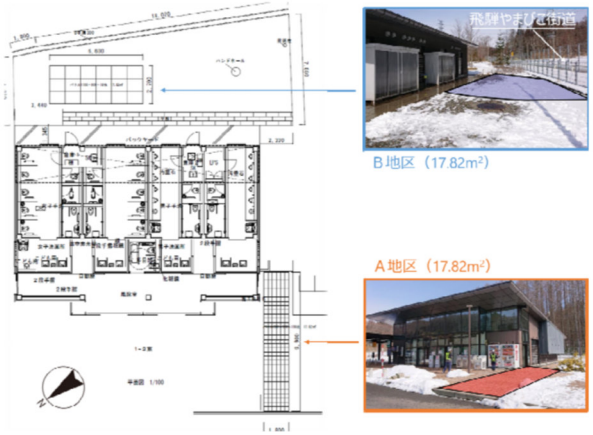
3.廃熱利用融雪システムの改良内容

廃熱利用融雪の性能は主に投入される廃熱風量、廃熱温度、透水性ILBの伝熱性及び透水性が影響する。このため既存システムを改良するにあたり、施工性及び性能の向上を目指して、以下の改良を検討した。

①中空樹脂路盤体の材料見直し
②配管構造の見直し
③市販品ILBの性能検証

＊1　中日本高速道路(株)技術本部 高度技術推進部
＊2　中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋（株）高山道路事務所
＊3　中部電力(株)技術開発本部 先端技術応用研究所

改良後の性能を検証するために松ノ木峠ＰＡにて既存システム（A地区）と改良した廃熱利用融雪システム（B地区）（以下、改良システム）の2箇所の検証フィールドを設置し比較を行った。



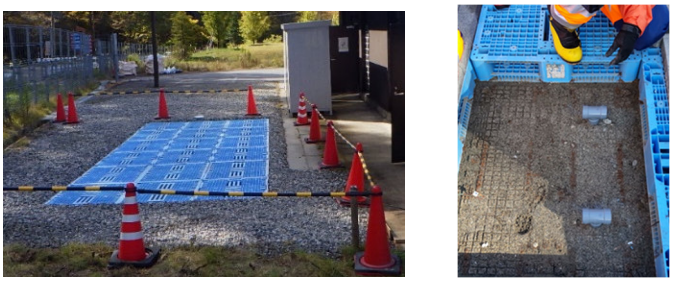
図－４　検証フィールド

３－１．中空樹脂路盤体の材料見直し

既存システムの中空樹脂路盤体（以下、路盤体）は、廃熱利用融雪専用の部材を用いている。上下分離構造となっており、路盤体内部に廃熱を送り込む配管の施工が容易となっている。（写真－１）しかしながら専用の路盤体を用いるため、材料費が割高となっている。

一方、改良システムでは、路盤体に物流で用いられるパレット（写真－２）を採用し、材料費を低減すると共に既存システムとは異なる配管系統とした。既存システムのように路盤体内に配管を配置する事が容易ではないため、配管の保温も兼ねて配管の本系統を地中埋設し、枝管をパレット内に突き出し、廃熱を送り込む系統とした。

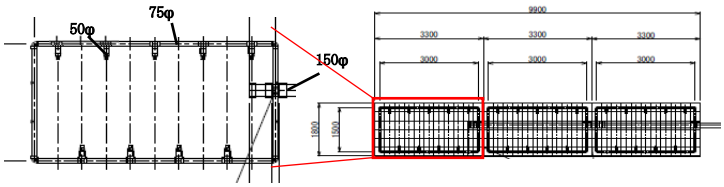
写真－１　既存システムの路盤体



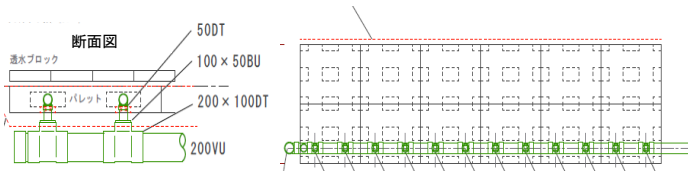
写真－２　物流パレットを用いた路盤構成

３－２．配管構造の見直し

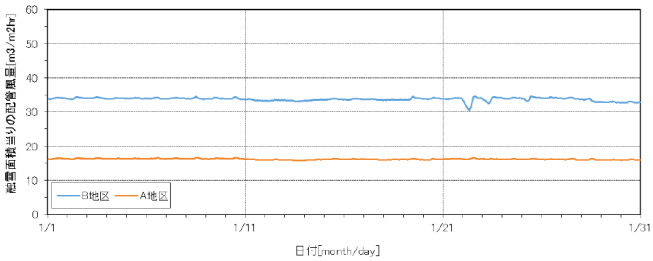
既存システムは、メイン配管150φから75φの配管を分岐させて、3ブロックに廃熱を送り込み、1ブロックあたり、50φの吹き出し口9箇所から廃熱を吹き出す方式（図－５）を採用している。一方、改良システムについては、配管の圧力損失を極力低減する事に主眼を置き、メイン配管を200φとし、メイン配管から100φの分岐及び50φの吹き出し口を設置する方式（図－６）とした。既存システムよりメイン配管から吹き出し口までの配管距離を短くする事により、配管による圧力損失を低減でき、配管から吹き出す風量を約2倍にする事ができた。（図－７）



図－５　既存システムの配管系統（A地区）



図－６　改良システムの配管系統（B地区）



図－７　既存・改良システムの風量比較

３－３．ILBの性能検証

ILBの性能検証は、厚み60mmの6種類の透水性ILB（試験体A～F）を用いて、熱伝導率、透水性、通気性を比較評価した。採用したILBは、最も熱伝導率の高かった試験体Bと透水・通風性能の高かった試験体Fとした。

３－３－１．熱伝導率

熱伝導率は迅速熱伝導率計(QTM-D3：京都電子工業社製)（写真－３）を用いて計測した。

今回用いた試験体での熱伝導率は0.85～1.6W/mKであり、試験体Bの熱伝導率が最も高かった。この差異は主に使用されている砕石の種類や量に影響すると考えられる。基本的に融雪時のILBは含水状態となるため、試験体の間隙を全て水で満たした飽和含水状態（空隙の空気が全て水

に置換された状態を想定）でも試験を行った。代表として試験体B、C、Fの飽和含水状態での熱伝導率を示す。いずれの試験体も乾燥状態から飽和含水状態になることで熱伝導率は1.4～2.3倍増加した。飽和状態でも試験体Bの熱伝導率が最も高く、試験体Fの増加率が最も大きい結果となった。特に試験体Fは粗い砕石のみで構成されているため、試験体内部の空隙が比較的多く、水分の熱伝導率の影響を大きく受けたと思われる。

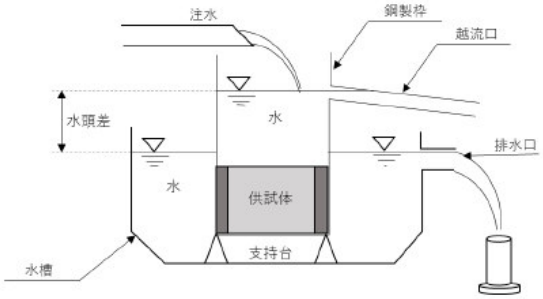
写真－３　迅速熱伝導率計での計測状況

表－１　熱伝導率の計測値（W/m/K）

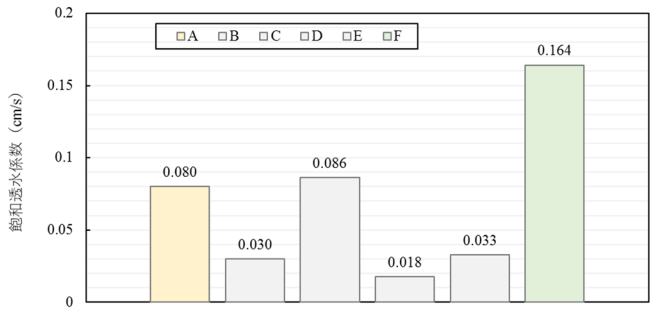
試験体	A	B	C	D	E	F
乾燥状態	1.12	1.60	1.38	1.22	0.85	0.97
飽和状態	-	2.50	1.93	-	-	2.25

３－３－２．透水性

一般的に透水性ILBの透水性能は飽和透水係数で評価し、JIS A 5371で基準値および試験方法が定められている。飽和透水係数の基準値として0.01cm/s以上が推奨されており、飽和透水係数が高いほど、融雪水の除去性能だけではなく通気性能もよいことが予想され、結果的に融雪性能も高いことが考えられる。本研究では、各ILBの透水係数をJISに従って試験を実施した。飽和透水試験の概要（図－８）、試験結果（図－９）を示す。供試体Fの飽和透水係数が最も大きく、その値は約0.164cm/sであり、基準値を大きく上回った。これは前述したように、試験体Fは下層の粗い砕石のみを用いて製作したためと思われる。



図－８　飽和透水試験の概要

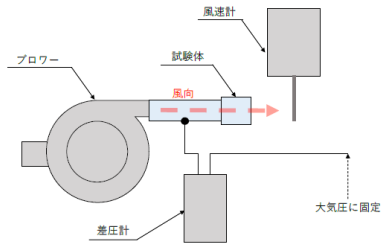


図－９　飽和透水試験 結果

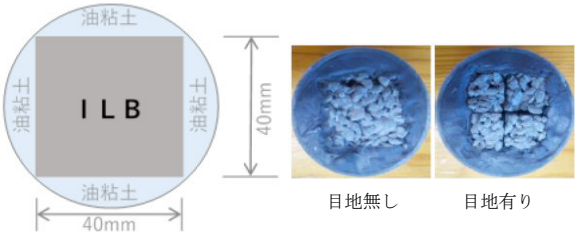
３－３－３．通気性

通気性試験は、図－１０に示す装置を用いて実施した。あらかじめ2種類の供試体を用意し、図－１１に示すように、目地無と目地有の形態で、内径56 mm×延長60 mm の塩ビ管に挿入した後に、油粘土で隙間を埋めて固定するとともに供試体側面を密閉した。ブロワーを起動して、供試体表裏の差圧を100Paから約600Paまで100Pa間隔で増加させ、適時風速を測定し。風速は試験体の表面5点の値を測定し，各点で6秒間測定した結果の平均値を各差圧時の風速とした。

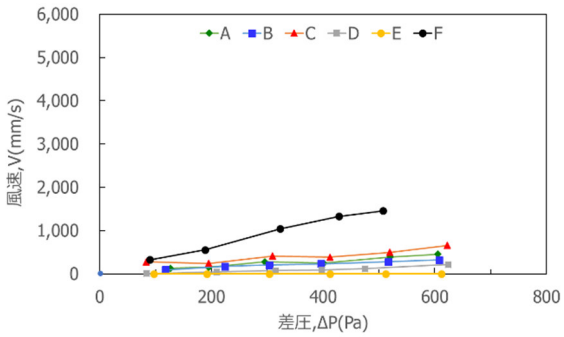
図－１２に目地無と図－１３目地有での風速と差圧の関係を示す。目地無では試験体Fの風速が最も大きく、差圧が300Pa以上においては他の試験体の2 倍以上の風速であり、通気性が高く、透水性能の結果と整合する。一方、目地有の条件では、試験体Eを除けば、実験値にばらつきはあるものの、いずれの試験体においても大差はない。これは目地中央の風速が試験体の空隙を通過する風速よりも卓越しているためである。このように目地があることにより、通過する風速はILB 内の通過風速の数倍～数十倍程度増加する。



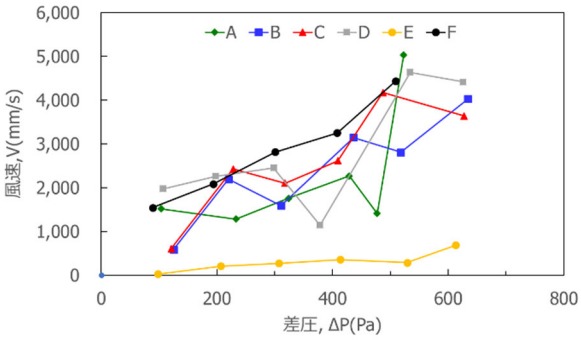
図－１０　通風性試験の概要



図－１１　通気性試験用供試体



図－１２　試験体(目地無し)の通風試験結果

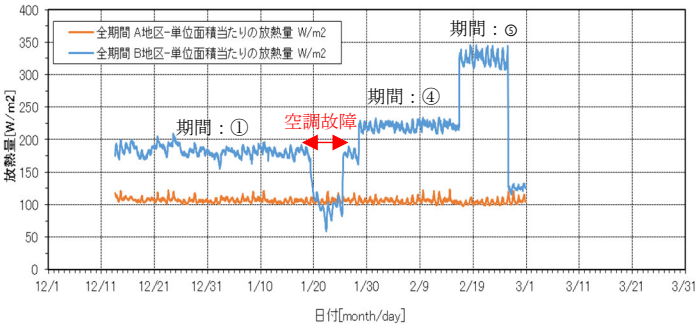


図－１３　試験体(目地有り)の通風試験結果

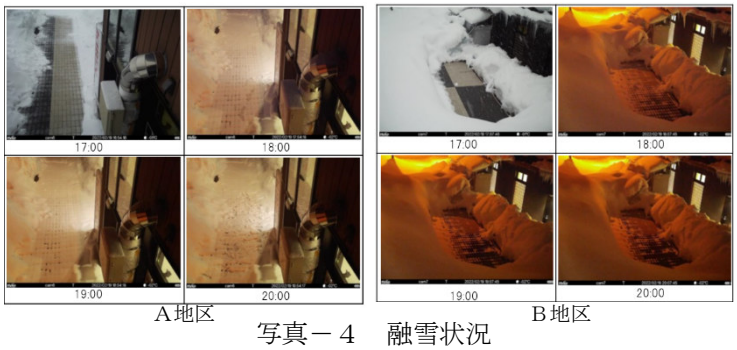
４.廃熱利用融雪システムの検証

これまでの改良内容の検討の結果を踏まえ、廃熱利用融雪システムの現地検証を2021年12月～2022年3月にかけて東海北陸自動車道　松ノ木峠PAで行った。

図－１４に加熱能力(放熱量)の経時変化を示す。本試験期間中のA地区の加熱能力は降雪日の平均気温-5.1℃から計算すれば、A 地区の単位面積当たりの放熱量 q は105W/m^2 となる。これは時間降雪深 1.0cm 相当の熱量であると考えられ、Web カメラの融雪状況と概ね一致する。すなわち、A 地区では時間降雪深 1.0cm 以下では融雪できるものの、それ以上の降雪では残雪が生じる。（写真－４）同様にB地区における期間①(初期設定)、期間④(風温変更)および期間⑤(吹き出し形状の変更)の単位面積当たりの放熱量q は179 W/m^2、218 W/m^2、325W/m^{2}となる。A地区同様にWebカメラの画像から判断した融雪状況と概ね一致する。時間降雪深が3.0cm以下の降雪であれば、概ね融雪する出来る事が確認できた。



図－１４　単位面積当たりの加熱能力(放熱量)の変化

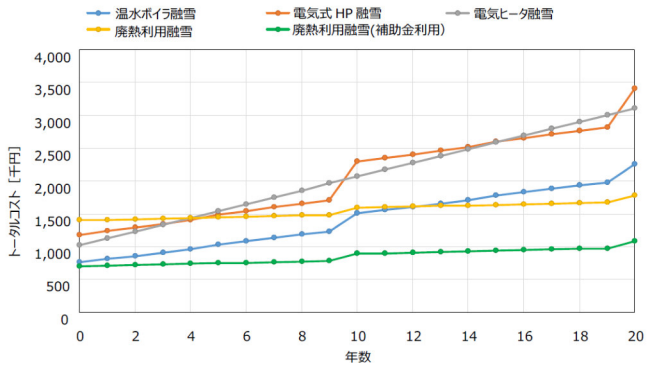


写真－４　融雪状況

５．ライフサイクルコスト

他の融雪方式と経済性を比較するため、ライフサイクルコストを試算した結果を図－１５に示す。廃熱利用融雪は土木工事や既存の建物の改修を含むため、初期コストが最も高くなる。廃熱利用融雪システムを導入する場合は新設時に予め導入を検討することが望ましく、初期コストを大幅に抑えることができ、システム導入が容易になると思われる。また、廃熱利用融雪システムは、現時点では、環境省や都道府県の補助事業対象となっており、イニシャルコストの 1/3～2/3 が補助される。

ランニングコストは換気扇の電力のみで済むことから優れており、10 年経過後には他の融雪システムの中で最も安価になる。また環境負荷も小さいこともメリットの一つであり、脱炭素化や SDGs にも貢献できると思われる。



図－１５　各融雪方法のライフサイクルコスト

６．まとめ

(株)ホクスイ設計コンサルなどにより開発された建物空調の廃熱を利用した融雪システムを配管構造、使用材料を見直すことで融雪能力を高める事に成功し、より利用価値の高いものする事ができた。

これからの事業活動には、より環境性の高い技術の導入が求められることから、他の融雪システムとの比較検証を行い、適用範囲を拡大していきたい。先ずは、弊社が管理する休憩施設等から導入を検討し、将来的には、高速道路外の一般的に建物にも適用範囲を広げていきたい。