

2006 年度 TC 研究助成成果報告書

目次

石本 敬志	財団法人日本気象協会 北海道支社参与 「子供達の雪氷防災意識向上を継続的に支える試み」……………1
梅宮 弘道	山形大学 名誉教授 山形大学地域共同研究センター連携戦略研究員 「豪雪地帯の屋根雪処理を目指した垂木煙突の開発」……………19
小林 俊一	新潟大学 名誉教授 「画像処理による路面状況測定手法の基礎研究」……………27
佐藤 篤司	(独)防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター長 「雪庇崩壊時に発生するクラック音の測定に関する研究」……………31
長野 克則	北海道大学 大学院工学研究科 教授 「回転圧入鋼管基礎杭を用いたゼロエネルギー型 道路融雪槽の導入・普及について」……………35
福原 輝幸	福井大学 大学院工学研究科 教授 「降雨・降雪を受ける排水性舗装上の凍結防止剤の残留特性」……………41

研究代表者

石本敬志（財団法人日本気象協会北海道支社）

共同研究者

中村一樹、久保田敬二、三好真紀（財団法人日本気象協会北海道支社）

的場澄人（北海道大学低温科学研究所）

樋口和生（NPO 法人北海道山岳活動サポート）

1. 研究テーマ

子供達の雪氷防災意識向上を継続的に支える試み

2. 目的

これまでの雪対策は、主に克雪を目的として行われてきた。しかし、大雨や大雪の出現頻度は、今後も増えると言われ、克雪の考え方だけでは、防ぎきれないケースが多くなってきている。このような雪氷災害には、雪氷や寒さに関わる自然現象への理解に基づく、臨機応変な対応が求められる。

また、発生場所や規模の特定が不可能な地震に比べれば、大雨や大雪の発生は遙かに精度良く予測でき、詳細な情報に容易に接することができるようになりつつある。それらの情報を、個人の防災行動にどれだけ反映できるかは、普段から自然や防災情報への関心や理解が、どれほど深く広いかによって依存する。

このような自然に対する適応能力や防災情報への理解は、実際の体験から身につけていくものであるが、近年、特に冬に外で遊ぶ子どもたちの割合が減ってきていると言われている。

そこで、この研究では、次世代を担う子供達を対象に、雪や寒さに関わる基礎を、楽しく学びながら、雪氷を通して自然への理解を深め、雪氷防災意識向上のきっかけを作ることが目的とする。

3. 研究方法

雪国では身近な雪や氷に直接触れ、融点近くの雪氷物性が著しく温度や時間で変わることを実感し、子供達が、日々の生活との関連で雪氷や寒さに関わる自然現象を理解できるよう務める。

具体的には、以下のテーマを基に、冬期に野外でのイベント、屋内でのイベントをそれぞれ実施した。

- ・ 冬期の災害時の対処（厳冬期に屋外で安全に一夜を過ごすには？）
- ・ 南極、北極など世界各地での雪氷調査の紹介
- ・ 賢い雪とのつきあい方：気象情報の活用
- ・ 雪や寒さによる生活への影響：雪崩、雪かき

- ・ 野外雪氷観察方法の紹介、体験
- ・ 雪氷の基本物性：面白い雪氷実験
- ・ 野外での雪の楽しみ方

3.1 冬期の野外でのイベント企画及び実施支援

札幌市で開催された冬の野外イベントの企画に携わり、さらに、雪氷実験、積雪観察に伴う消耗品の経費等を負担し、その実施を支援した。詳細は、以下のとおりである。

3.1.1 イベント名

旭山冬のフェスティバル2007「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

3.1.2 主催

札幌市みどりの推進部、旭山記念公園市民活動協議会（登録団体は、旭山公園キッズ、旭山森と人の会、NPO 法人ねおす、藻岩山きこの観察会の4団体）

3.1.3 開催日時

旭山冬のフェスティバル2007「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

2007（平成19）年2月18日（日）10時～15時（スノーキャンドルは16時30分まで）

※関連行事

2月10日（土）10時～15時：イグルーづくり事前講習講習会実施

2月17日（土）～18日（日）：市民団体旭山公園キッズ単独で雪中泊体験実施

3.1.4 場所

北海道札幌市中央区界川4丁目 旭山記念公園（札幌市の広域避難場所に指定）

3.1.5 内容

○旭山冬のフェスティバル2007「冬を、雪を楽しんじゃえ！」

主催関連団体のスタッフとともに、以下の体験メニューを実施した。本研究共同研究者である中村と的場が、イグルー体験と雪と氷の実験を担当した。参加者は、子どもから大人まで合わせて約200名であった。

なお、このように厳冬期の公園でイベントを実施することは、食と住（寒さ対策）を考慮した一種の防災訓練の意味があると考えられる。

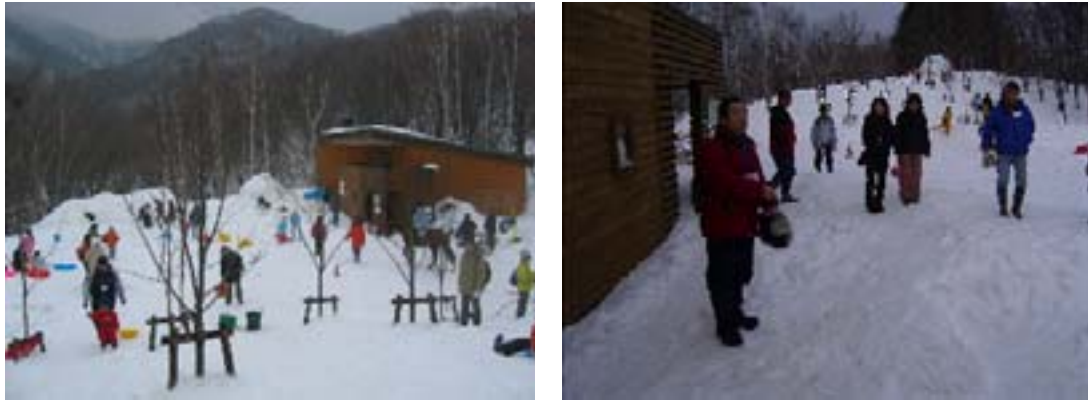


図1 会場の旭山記念公園森の家周辺と閉会式の様子

・イグルー体験

あらかじめ作成した2つのイグルーと1つのかまくらに実際に入ってもらい体験を実施した。中で昼食を食べている親子もいた。



図2 イグルー体験の様子

・雪と氷の実験・観察

旭川西高校の平松先生や、北大の学生らとともに、降雪、積雪の雪結晶観察、ペットボトルで雪の結晶を作る、過冷却実験、復氷の実験を実施した。長時間実験のコーナーに滞在する子どもが目立った。





図3 雪と氷の実験・観察の様子

その他に実施した内容は以下のとおりである。

- ・馬そり・雪中乗馬体験

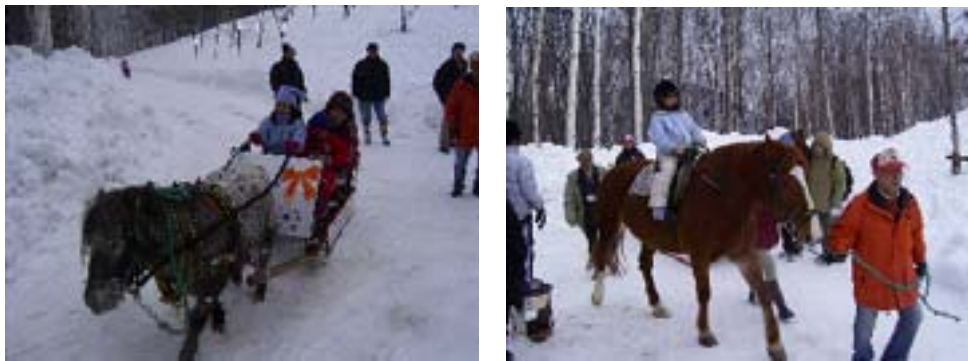


図4 馬そり・雪中乗馬体験の様子

- ・カンジキ作り myカンジキを作ろう！



図5 カンジキ作りの様子

- ・スノーシューオリエンテーリング・スノーシューツアーリングでモモンガを探そう



図6 スノーシューオリエンテーリングの様子

- ・ロディーと遊ぼう（ろば人形）



図7 ロディーと遊ぼうの様子

- ・雪玉でストラックアウト



図8 雪玉でストラックアウトの様子

- ・スノーキャンドルをしよう



図9 スノーキャンドルをしようの様子

○イグルーづくり事前講習講習会

旭山冬のフェスティバル2007「冬を、雪を楽しんじゃえ！」開催の1週間前に、フェスティバル本番に向けて、イグルーづくりの事前講習会を開催した。主催関連団体のスタッフとともに、本研究共同研究者である中村と樋口が企画を行い、当日は、NPO 法人北海道山岳活動サポート所属の山岳ガイド西邨氏を講師に招いて講習を実施した。参加者は大人と子ども合わせて約15名であった。



図10 イグルーづくり事前講習会

○雪中泊体験

旭山冬のフェスティバル2007「冬を、雪を楽しんじゃえ！」の前夜祭的な行事として、フェスティバル共催4団体のうちの1団体である旭山公園キッズが、雪中泊体験を行った。本研究共同研究者である中村と的場が企画を担当した。参加者は、子どもから大人まで合わせて約25名であった。

厳冬期に、積雪寒冷地で大地震が起きたことを想定し、余震で、建物の中に入れない中、地震直後の1日を生き延びる体験を実施した。内容は以下のとおりである。

- ・イグルー作成

イグルーづくり事前講習会で習得した技術を生かし、イグルーを作成した。



図 11 作成したイグルー

- ・かまくら作成

除雪車による除雪の雪山を利用し、かまくらを作成した。



図 12 除雪の雪山を利用したかまくら

- ・サバイバル飯炊き（サバメシ）体験

独立行政法人防災科学技術研究所の納口総括主任研究員らが考案したサバイバル飯炊きの方法（アルミ缶2つでコンロを作り、牛乳パックを燃料にして、ご飯を炊く方法）を実施して、夕食を作った。



図 13 サバメシ体験の様子

・雪中スライド会実施

雪の壁にスライドを映写し、北極での雪氷調査の話を通じて、地球規模の環境変化について考えた。



図 14 雪中スライド会の様子

・雪中泊体験

作成したイグルーとかまくらに分かれて、雪中泊を体験した。

イグルー（大）：大人 2 名、小学生 3 名

イグルー（小）：大人 1 名、小学性 1 名

かまくら：大人 2 名、小学生 4 名

このほかに、旭山記念公園内施設の森の家に、大人、子ども合わせて 10 名ほどが宿泊した。この施設は、普段、市民団体の会合や公園利用者の休憩所として利用されているが、このイベントでは、寒さを感じた場合のエスケープ場所やトイレ、水確保の場として利用した。



図 15 雪中泊体験の様子

3.2 屋内でのイベント企画及び実施支援

札幌市で開催された屋内イベントの企画に携わり、さらに、雪氷実験に伴う講師の謝金、消耗品の経費等を負担し、その実施を支援した。詳細は、以下のとおりである。

3.2.1 イベント名

スノーフェア2007 ～雪を科学して遊んじゃえ！～

3.2.2 主催・共催・後援

主催：北海道立市民活動促進センター（財団法人北海道地域活動振興協会）

共催：NPO法人北海道山岳活動サポート

後援：（財）日本気象協会北海道支社、（社）日本雪氷学会北海道支部

3.2.3 開催日時

平成19年3月23日13時00分～3月25日16時00分

3.2.4 場所

北海道札幌市中央区北3条西7丁目道庁別館西棟1階 北海道立市民活動促進センター

3.2.5 内容

主催関連団体のスタッフとともに、以下の内容を実施した。多くの専門家に実験や講演をしていただいたほか、研究代表者の石本と、本研究共同研究者である樋口、的場、中村、久保田、三好が、実験補助や展示を担当した。参加者は、子どもから大人まで合わせて約100名であった。

○展示

- ・「様々な雪の表情（写真）」 樋口和生（NPO法人北海道山岳活動サポート）
- ・「雪崩講習会風景（写真）」 樋口和生（NPO法人北海道山岳活動サポート）
- ・「雪崩対策装備」 樋口和生（NPO法人北海道山岳活動サポート）



図16 様々な雪の表情・雪崩講習会風景・雪崩対策装備

- ・「南米パタゴニアでの氷河調査の紹介」 久保田敬二（(財) 日本気象協会北海道支社）



図 17 南米パタゴニアでの氷河調査の紹介

- ・「雪と流氷のふしぎ」 久保田敬二、三好真紀（(財) 日本気象協会北海道支社）



図 18 雪と流氷のふしぎ

- ・「雪氷体験活動の紹介」 中村一樹、石本敬志（(財)日本気象協会北海道支社)



図 19 雪氷体験活動の紹介

- ・「スノーヒュッテで雪中キャンプ」 秋田谷英次（北の生活館）



図 20 スノーヒュッテで雪中キャンプ

- ・「スノーランタンと雪の型抜き」 秋田谷英次（北の生活館）



図 21 スノーランタンと雪の型抜き

○科学実験 ～雪は天から送られた手紙～

- ・「アイスクリーム作り、雲を作る実験、水蒸気によるアルミ缶つぶし」 秋田谷英次（北の生活館）



図 22 アイスクリーム作り、雲を作る実験、水蒸気によるアルミ缶つぶし

- ・「雪と氷のふしぎ（ペットボトルで雪の結晶を作る）」 平松和彦（旭川西高等学校）、的場澄人（北海道大学低温科学研究所）



図 23 雪と氷のふしぎ（室内での実験）

- ・「六角形でいろいろな雪の結晶をつくろう！」 大鐘卓哉（小樽市新博物館開設準備室）、三好真紀（（財）日本気象協会北海道支社）



図 24 六角形でいろいろな雪の結晶をつくろう！

- ・「なだれをまねるー室内でなだれを体験ー」 飯田肇（立山カルデラ砂防博物館）
DVD で雪崩の発生の仕組みやピンポン玉を使った雪崩実験の様子を紹介した。
- ・「雪ハネパワーの科学」 須田力（北方圏体育スポーツ研究会）、森田勲（北海道医療大学）



図 25 雪ハネパワーの科学

- ・「サンタが贈る雪の切り紙」、「サンタが贈る雪崩実験」 山田高嗣（北海道栄高等学校）



図 26 サンタが贈る雪の切り紙・サンタが贈る雪崩実験

○講演

- ・「雪崩事故を防ぐために」 樋口和生（NPO法人北海道山岳活動サポート）



図 27 雪崩事故を防ぐために

- ・「雪のかがく」 秋田谷英次（(社) 日本雪氷学会北海道支部）



図 28 雪のかがく

- ・「北海道のお天気と雪」 久保田敬二（(財) 日本気象協会北海道支社）



図 29 北海道のお天気と雪

4. 関連会合への出席

以下の会合へ出席し、子ども向けの活動や環境問題に対する意見交換を行った。

4.1 ゆきみらい 2007 in 会津

- ・会議名 : ゆきみらい研究発表会
- ・主催機関 : ゆきみらい 2007 in 会津 実行委員会
- ・会議日時 : 平成 19 年 2 月 8 日～10 日
- ・場所 : 福島県会津若松市
- ・内容 : 雪に関する取り組みの研究発表と展示

研究代表者である石本と共同研究者の中村が、子ども達の雪氷防災意識向上の取り組みについて、過去の取り組み内容を発表するとともに、意見交換を行った。



図 30 ゆきみらい研究発表会会場の様子



図 31 展示会場の人工雪発生装置



図 32 展示会場の研究関連参考展示

4.2 名古屋大学 上田豊先生退職記念講演会

- ・会議名 : 上田豊教授退職記念講演会 (氷河研究シンポジウム)
- ・主催機関 : 名古屋大学
- ・会議日時 : 平成 19 年 3 月 24 日
- ・場所 : 愛知県蒲郡市
- ・内容 : 上田豊 (名古屋大学教授)、渡辺興亜 (元国立極地研究所所長)、中尾正義 (総合地球環境学研究所教授)、藤井理行 (国立極地研究所所長)、古川晶雄 (国立極地研究所)、門田勤 (海洋研究開発機構)、藤田耕史 (名古屋大学助教授)、内藤望 (広島工業大学講師)・坂井亜規子 (名古屋大学) の各氏による、ヒマラヤ、チベット、南極、北極域の氷河や国内の雪渓について研究発表

共同研究者である中村が、地球環境変動のセンサーである氷河研究のシンポジウムに出席し、映画「不都合な真実」でも取り上げられた名古屋大学の氷河研究について聴講した。さらに、子ども達への研究成果の伝え方について意見交換を行った。



図 33 講演会の様子

5. まとめ

研究助成金 50 万円を有効に活用して、関係会合に出席し、意見の交換と情報収集を行うことができた。さらに、子ども達の雪氷体験活動として、冬期の野外雪氷イベント、屋内雪氷イベントを各団体と連携して開催することができた。

その結果、多くの子ども達が、雪氷のおもしろさ、不思議さを体験でき、雪氷を通して自然への理解を深め、雪氷防災意識向上のきっかけを作ることができたと考えている。

今後は、研究の成果をホームページで公開して、継続的に雪氷体験の取り組みを普及することを目標とし、さらに研究を進めたい。

謝辞

本研究に対する助成のおかげで、多くの子ども達に雪氷のおもしろさを体験してもらうことができました。ここに感謝いたします。ありがとうございました。

豪雪地帯の屋根雪処理を目指した垂木煙突の開発

山形大学 工学部 名誉教授

山形大学地域共同研究センター連携戦略研究員 梅宮弘道

(キーワード)：豪雪地帯 屋根雪滑落 排煙・生活排気 末広サイクロン混合垂木ダクト

1. 研究の目的

豪雪地帯の屋根雪処理は今も人力に頼る場合が多いが、その労働は雪国に住む者にしか解からない重労働である。他方、屋根雪処理に転用できる余分なエネルギー源は、生活排熱を除いて存在しない。

本研究は、雪国の唯一の熱源、ストーブ排煙と生活排気を垂木ダクトに導き、野地板・波板屋根の温度を高め、屋根雪滑落を促進する垂木煙突の開発を目指すものである。

2. 垂木煙突の構造

一昨年建設した実規模実験棟を用い、研究を行なう。

屋根構造は、外からポリカーボネート波板・黒紙・野地板・垂木から成る。垂木の下面を構造合板で密閉すると軒から屋根最高部に至る垂木ダクトが屋根全面に形成される。さらに軒に「吸気マニフォールド」、屋根最高部に「排気マニフォールドと煙突」を設ける。これら作業は比較的容易な工事であったが、構造理解の為、以下に実験棟建設写真(図一1~10)を示す。

図一1 に垂木の写真を示す。垂木は屋根の荷重を梁に均等に分配する働きを受け持つ。一般には、垂木の上面に、野地板を張り、屋根下地とする。

図一2 に垂木ダクト底板張り作業の写真を示す。垂木底面に構造合板を張り、ダクト底面を形成する。

図一3 に、垂木ダクト底板シーリング作業写真を示す。垂木・梁の側面にシリコンボンドでシールし、煙が室内に漏れないようにダクトの気密性を出す。この段階でダクト内面をアルミ фольでコの字形に表面を張り、難着火表面を作る事も出来る。

図一4 に野地板張り作業の写真を示す。木工ボンドで垂木上面と野地板を密着させ気密性を出すように釘打ち固定した。垂木、底板、野地板に囲まれた矩

形空間が、煙の傾斜ダクトになる。なお、アルミフオイル・ダクトにする場合、アルミフオイルを垂木上面に張ってから野地板張りに移る。

図一5 に黒紙・ポリカーボネート波板張り作業の写真を示す。ポリカーボネートは、耐候性に優れその耐用年数は25年と見込まれる。雪との摩擦係数が小さく更に融水が界面潤滑油の働きをすることから、落雪屋根材として優れた素材である。

以上が垂木ダクト屋根の構造である。

3. 薪ストーブとの接続

豪雪山村の基本的な暖房熱源は薪ストーブである。薪ストーブは図一6に示すように、木工作業場の焼却炉に耐火煉瓦を内張して燃焼室の温度維持を図ることにより、空気供給量を最小限に絞りながら長時間連続燃焼を可能にした。いわゆるとろ火燃焼である。雪国の薪ストーブはとろ火連続燃焼が基本である。

とろ火連続燃焼の際、排気ガス温度は、ストーブ煙突出口エルボーで約300℃。2mのドラフト煙突出口で約150℃である。この温度では、垂木ダクトの木質部分の低温炭化を引き起こしかねない。

垂木ダクト煙突入り口温度を下げる装置、末広サイクロン合流装置を図一7の写真を示す。室内床下は冬期間温度が低く、従って湿度が最も高い場所である。低温・高湿度の床下空気を強制的に吸い込み、末広サイクロン合流装置でストーブ排煙の流れに接線方向から合流させる。サイクロンによりほぼ5℃の冷たい空気が高温排煙の外側を包み込むように合流し、トタン製の末広ダクトで流速を落としながら垂木ダクト入り口マニフォルドに供給される。このような末広サイクロン混合により排煙温度は、70℃以下に降下する。排煙は温度70℃以下、相対湿度がほぼ100%の飽和混合排煙となって、垂木ダクトに送り込まれる事が確認された。

図一8 に中間ダクトファンの写真を示す。5℃の床下冷気は、中間ダクトファンで連続供給される。消費電力35Wの低騒音型シロッコファンである。

図一9 に垂木ダクト入り口マニフォルドの写真を示す。材料は建築合板(12mm ラーチ板)で垂木ダクト入り口を包み込む。サイクロン混合煙突を出た混合排煙は、このマニフォルドにより12本並列の垂木ダクトに等分配される。

図一10に 垂木ダクト出口マニフォルドおよび煙突の写真を示す。材料は入

り口マニフォルドと同じく、ラーチ板を用いた。垂木ダクト出口を包み込み、5℃の排煙を写真左隅の煙突に誘導する。

これら垂木ダクト煙突が作動していない場合、即ち薪ストーブを炊かない場合の積雪状況を図-11の写真に示す。屋根雪は2mを越す。人力による雪下ろし作業が大変な肉体労働になる事がこの写真からも理解される。

4. 薪ストーブの運転による垂木ダクト煙突の落雪効果

薪ストーブの連続運転による垂木ダクト煙突の落雪効果を確認する実験を2月11日から2日間にわたって実施した。

図-12 2月11日12:00 実験棟の初期状態を写真で示す。屋根雪が約50cm積もった状態であった。これ以降4時間おきに屋根最高部の積雪状況を写真撮影し、図-13~図-26に示す。

薪ストーブ排気を熱源として、屋根雪滑落の観察結果をまとめると

- 積雪50cm程度の屋根雪は、平均時速10(cm/h)で、滑落した。
- 図-26に示すように、零下5℃以下の気温では、滑落屋根雪は軒先で切れずにぶら下がり、軒に大きな垂直荷重を掛けると同時に屋根面に沿う分力で屋根雪を引き摺り落とす。
- 図-15以降の写真で解かる様に、落雪屋根面への新雪は滑落積雪と切断され、引っ張り力が働かずそのまま降り積もる。
- 図-23以降の写真で解かるように、寒気が緩むと、波板面で融解が進み、図-24の様に、溶けきる場合も発生する。
- 10cm以上の積雪で、滑落現象を繰り返す。
- 垂木ダクト煙突からの排熱供給により、屋根雪積雪は間歇的に滑落を繰り返し、雪下ろし作業を必要としない。

5. 垂木ダクト煙突内の結露水に関する考察

- 垂木ダクト煙突内結露水は木酢液に分類されるが図-9の垂木ダクト入口マニフォルドの接合部から褐色の水滴となって滴り落ちていた。
- 排気ガス成分の経時変化は、燃焼初期には過飽和水蒸気とタール成分が多いが次第に凝縮成分が低下して炭酸ガスを主成分とする乾燥空気に移行する。
- 垂木ダクト内の現象は木酢液の凝縮行程と乾燥行程の繰り返し現象である。

6. 研究結果

予備実験も含め山形県西置賜郡飯豊町小屋に置ける現地実験によると以下の事項が明らかになった。

1. 滑落性能

垂木煙突の運転により屋根雪の滑落性能が飛躍的に向上する。

2. サイクロンによる防火対策

○薪ストーブ排煙と室内換気とを末広サイクロンで混合する事により、排煙温度を70℃以下に抑える事は容易である。

○末広サイクロンの導入により火の粉が入り口マニフォールド前で消滅する。

3. 木酢液

結露水は木酢液に分類される。排煙成分は大部分が水蒸気でその他炭酸ガス、各種有機酸である。これらは飽和温度以下に下がれば垂木ダクト内で結露する。すなわち木酢液の生成である。木酢液は木材の防腐剤として昔から活用されてきた。それが垂木ダクトを流れ吸気マニフォールドから雫となって滴下するのであるから垂木ダクトは年々丈夫になる構造である。

4. その他の機能

垂木煙突は、夏季は食品乾燥に活用する事が出来る。また、薪の種類を選定すれば、食品燻製システムとしても活用する事が出来る。

総合すると、これまで火災を恐れる余り雪国の貴重な熱源である薪ストーブ排煙を活用する努力が無かった。生活しながら、その排熱で屋根雪を自然滑落させる建物は雪国の地域振興にも有効である。



図-1 垂木



図-2 垂木ダクト底板張り作業



図-3 垂木ダクト底板シーリング



図-4 野地板張り



図-5 黒紙・ポリカーボネート波板張り作業



図-6 レンガ内張り、とろ火連続燃焼、薪ストーブ



図-7 サイクロン合流煙突



図-8 中間ダクトファン



図-9 垂木ダクト入りロマンifold



図-10 垂木ダクト出口ロマンifoldおよび煙突



図-11 垂木ダクト煙突を作動させない時の積雪写真



図-12 垂木ダクト煙突の作動実験 (屋根積雪50cm)



図-13 垂木ダクト煙突の作動実験 2/11/12:00 経過 0:0h



図-14 垂木ダクト煙突の作動実験 2/11/16:00 経過 4:00h



図-15 垂木ダクト煙突の作動実験 2/11/20:00 経過 8:00h



図-16 垂木ダクト煙突の作動実験 2/12/0:00 経過 12:00h



図-17 垂木ダクト煙突の作動実験
2/12/4:00 経過 16:00 h



図-18 垂木ダクト煙突の作動実験
2/12/8:00 経過 20:00 h



図-19 垂木ダクト煙突の作動実験
2/12/12:00 経過 24:00 h



図-20 垂木ダクト煙突の作動実験
2/12/16:00 経過 28:00 h



図-21 垂木ダクト煙突の作動実験
2/12/20:00 経過 32:00 h

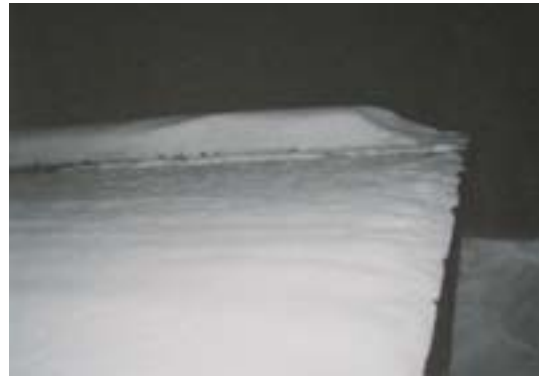


図-22 垂木ダクト煙突の作動実験
2/13/00:00 経過 36:00 h



図-23 垂木ダクト煙突の作動実験
2/13/4:00 経過 40:00 h



図-24 垂木ダクト煙突の作動実験
2/13/8:00 経過 44:00 h



図-25 垂木ダクト煙突の作動実験
2/13/12:00 経過 48:00 h



図-26 垂木ダクト煙突の作動実験
切れずに伸びていった屋根雪

画像処理による路面状況測定手法の基礎研究

新潟大学名誉教授 小林 俊一

1. はじめに

近年、モータリゼーションの発達により、自動車が増加の一途をたどっている。その反面、交通事故も増大し、特に冬季には凍結や除雪によるスリップ事故が多発している。路面の凍結や積雪は融雪装置により除去されるが、道路積雪状態の確認は路面温度計、気温計、降水検知器などによって行われている。しかし、これでは路面の状況を直接測定しているとはいえない。また、カメラで測定された画像を処理することによって積雪、凍結等の情報を得るシステムも開発されているが、積雪深の精密な測定はできない。一方、レーザーや超音波を用いる距離計を、積雪深測定に用いる例もあるが、従来はスポット状のレーザーを用いていたために積雪面の乱れに敏感すぎ、対象領域における平均的な積雪深測定には向いていない。超音波を用いる測定では、超音波に対する風や温度変化の影響が大きく、正確な積雪深測定が難しい。そこで、本研究では、レーザーを積雪面上に照射し、カメラで撮影した画像をコンピュータで処理することにより、積雪の状況を把握するシステムについて検討を行った。その際、単に照明で路面を明るくして撮影するだけでなく、レーザー光を用いて画像処理のためのパターンを能動的に作り出し、それを撮影、処理することで積雪深や雪の空隙率などの情報を積極的に取得するシステムを目指した。これまでのスポット状のレーザーを用いる方法に比べ、パターン状のレーザーを用いることで平均化処理が可能となることを期待した。基礎的な検討から、本システムによって積雪深等のパラメータを得られる可能性が示された。

なを本研究は、富山工業高等専門学校・高田英治准教授及び貴堂靖昭名誉教授、(独)防災科学技術研究所雪氷防災センター・佐藤篤司センター長、新潟電機株式会社との共同研究によって行ったものである。

2. 検討対象としたシステム

本研究において研究対象としたシステムの概略を Fig.1 に示す。積雪面を見込むレーザーから積雪面に対して斜めにレーザー光を照射し、表面での透過・拡散・反射の様子をカメラで測定する。積雪深の増加によって積雪面上のレーザー光像の位置が変化するので、その変化の様子から積雪深を測定することを試みた。レーザー光としては直線状のパターンのものを用い、積雪面上に線分が投影される仕組みとした。

また、雪の空隙率が多い場合には表面での光の拡散の寄与が大きくなり、測定されるパターンのばらつきの程度から雪質が測定できるのではないかと期待した。

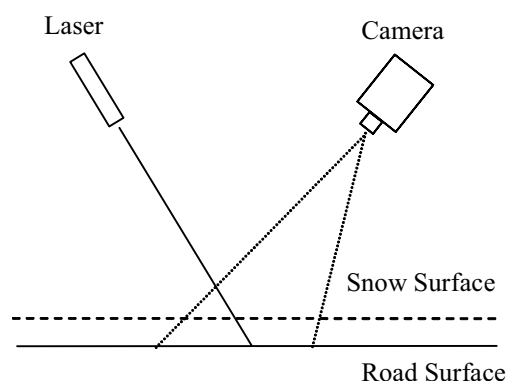


Fig.1 本研究で検討した測定体系

3. 積雪深測定可能性評価のための実験

3.1 実験方法

今回は基本的な可能性検討のため、独立行政法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄支所の人工降雪装置内で行った。降雪ステージ上に Fig.1 のように CCD カメラ、レーザーを配置

し、レーザー光を積雪面上に投影した。ここで CCD カメラは artray 社の ARTCAM-200SH (有効画素数 1630×1230) を用いた。レーザーは波長 635nm の半導体レーザーを用いた。このレーザーは、直線パターンを投影できる。トレイ (300mm×400mm×深さ 40mm) に人工降雪装置による降雪を充填し、昇降ステージに乗せた状態でステージを上下させ、高さの変化 ([cm]) とカメラで測定した直線の位置の変化 ([pixels]) の関係を調べた。測定は圧縮を加えない新雪、圧縮を加えた圧雪の 2 通りに対して行い、雪質の変化による結果への違いについても調べた。ここで、レーザー及びカメラから積雪面への高さは、約 140cm 程度であった。

処理の手順は、次のとおりである。

- (a)測定画像を 2 値化し、レーザー光のみを処理できるようにする。
- (b)レーザー光を表す直線に対し最小自乗法によるフィッティングを施し、回帰直線の切片の位置及び回帰直線に対する測定データのばらつきを計算する。設置にあたり、昇降ステージの上下が回帰直線の切片の変化に反映されるようにしておく。
- (c)昇降ステージの高さと回帰直線の切片の関係を調べる。
- (d)回帰直線の方程式を、レーザー光の照射位置に対応するピクセルの位置を (x_i, y_i) とし、回帰直線からのばらつき具合を次の値をもとに評価した。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (f(x_i) - y_i)^2} \quad (1)$$

3.2 測定結果

トレイに人工降雪装置で生成された新雪を圧縮しないように詰め、50mW のレーザーからの光を照射して測定を行った。測定時の積雪は密度が 0.037g/cm^3 であり、かなり空気を含んだものであった。Fig.2 に測定されたカメラの画像を示す。新雪へのレーザー光の拡散により、レーザーの直線がかなりぼやけていることが分かる。

Fig.2 の測定画像に対し、R のピクセル値が 140 以上とのしきい値による 2 値化を施した。その結果に対して最小自乗法を適用し、回帰直線を求めた結果を Fig.3 に示す。高さを変化させた測定結果について同様の操作を行い、昇降ステージの高さと回帰直線の切片の間関係を求めた結果を Fig.4 に示す。Fig.4 から積雪面の高さと切片の大きさの間に良好な線形性が成り立っていることが確認できる。また、式(1)に基づいて σ を計算したところ、レーザー光の積雪中への拡散による投影パターンのばらつきは、7.26pixels 程度であった。

密度 0.16g/cm^3 の圧雪にした状態でも同様の実験を行い、圧雪状態でも高さと切片の間に良好な線形性が確認できた。 σ は 5.77pixels 程度であった。

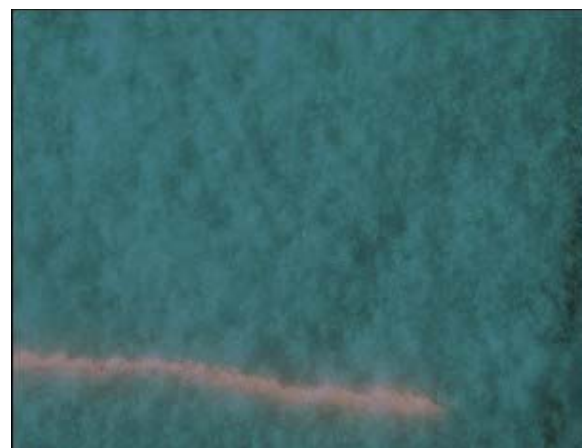


Fig.2 新雪へのレーザー照射時の測定画像

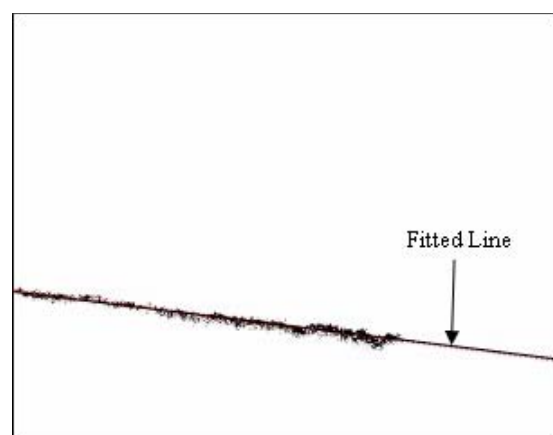


Fig.3 画像の 2 値化結果と回帰直線

以上の結果から、本研究で対象としたシステムにより、数 mm 程度の精度で積雪深を測定可能であることが確認できたといえる。

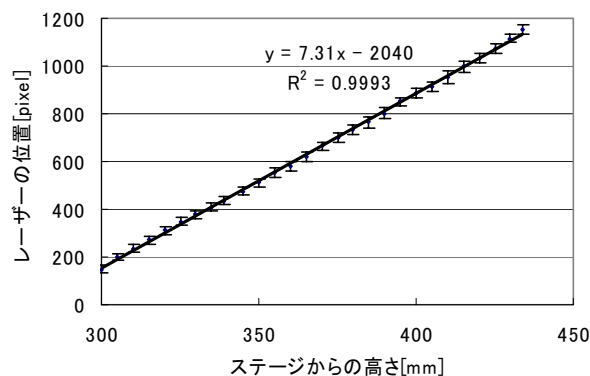


Fig.4 ステージの高さと回帰直線の切片の関係

4. 雪質測定の可能性について

3. で述べたように、新雪、圧雪で、式(1)の σ の値が異なることが分かった。これは、雪中への光の拡散の効果を表すものであり、 σ の値を指標として積雪表面の硬さ（空隙率）が測定できる可能性がある。そこで、ここでは雪の代わりとして直径のそろった発泡スチロール球を用い、実験を行った。

発泡スチロールの直径と式(1)の σ の間の関係を Fig.5 に示す。これを見ると、直径が大きいほうが σ の値が大きくなっていることが分かる。これは、直径が大きいほうが球と球の間に空間ができ、レーザー光が拡散しやすくなったためと考えられる。この結果から、今回の方法で σ を計算すれば、積雪表面の硬さについても測定可能であろうことが示された。

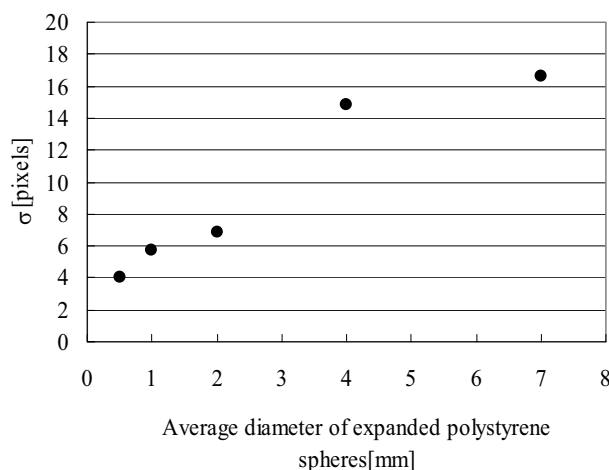


Fig.5 発泡スチロールの粒径と σ の関係

5. まとめと今後の課題

今回の研究により、提案したレーザーと画像処理を用いる方法でかなりの精度で積雪深測定が可能であることが示された。また、主に発泡スチロール球を用いた実験により、雪質測定についても可能性が示された。しかしながら、実際の積雪による実証は今後の課題として残された。また、今回は実験の容易さから赤色 LD を用いたが、運転者への影響を考えると、近赤外レーザーを用いた実証が必須である。さらに、今回の手法を用いれば、車のタイヤ跡など、細かい凹凸も測定できる可能性があるが、この場合には画像処理のための新たなアルゴリズム開発が必要である。今後、検討を行いたい。また、申請段階では路面に蛍光材を塗布することによる凍結測定法についても言及した。今回、波長変換の可能な特殊ガラスと、手持ちの LD 及び自作のレーザー駆動装置を用いた実験を試みたが、現状では評価できるまでにはいたらなかった。今後、システムの改善などさらに検討が必要である。

雪庇崩壊時に発生するクラック音の測定に関する研究

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 佐藤篤司

1. はじめに

雪崩災害は、尊い人命を奪い、建造物や森林等に壊滅的なダメージを与えており、現在でも雪国における大きな課題の一つとなっている。この様な現況のもと、雪崩災害の予知予防、減少を計るには、新しいセンシング技術とネットワーク技術を融合させた情報伝達システムの導入の実現が考えられる。すなわち、雪崩（特に全層雪崩）の発生情報を各地域の関係機関へ迅速に伝達し、災害等の未然防止や次の対策等に役立てることである。

本研究では、その一つである新しいセンシング技術によって、特に山頂付近の積雪斜面で生じる積雪破断時のクラック音を検知して雪崩等の予知情報を得る測定システムの構築を目指した。まず、センサの性能を知るための基礎実験を立山の室堂平に発生した巨大雪庇の地点で行い、良好な測定結果が得られた。この結果に基づいて、クラック音の新しい受信システムの構成に関して十分な検討を行い、北海道の朝日岳近辺で実用化への課題を見出す試験実験を行った。本システムは、気象条件や雪質等に若干の課題を有するが、実用化には十分期待できることが確認された。

本研究は、富山工業高等専門学校・貴堂靖昭教授、新潟電機株式会社との共同研究によって行い、サポーターとして富山大学極東地域研究センター・川田邦夫センター長が参加したものである。

2. クラック音受信システム

これまで、積雪層の崩壊によって発生するクラック音は超音波領域にあるとの定性的なことは判明していたが、定量的なことは報告されていなかった。近年、マイクロフォンの周波数特性が著しく改善され、超音波領域までカバーできるものが得られるようになった。このような新しいセンサを導入したクラック音受信システムの構成を図1に示す。このシステムは、クラック音発源地帯に複数個の受信装置を設置して、発生周波数の周波数領域と発生源の指向性を測定している。

3. 測定結果

基礎実験を行った巨大雪庇状態（立山）と試験実験の積雪状況（朝里岳）を図2に示す。基礎実験では発生周波数領域は、20 kHz から 100 kHz であることが確認された。試験実験では超音波発生源の明確な指向性は確認出来なかったが、各周波数に対するクラック音の波形を明確に確認することが出来た（図3．参照）。このような測定は、システムの制御プログラムの開発によって実時間測定を可能にしたものである。

4. まとめ

これまで、雪崩や雪庇の崩壊過程でクラック音の発生は知られていたが、その定量的解析は、皆無であった。本研究によって、クラック音の存在と周波数領域が明らかになったため、雪崩等の定量的解析に期待が持てると同時に雪崩発生の実用的予知システムの開発に弾みがつくものと考えられる。

今後の課題として下記の事項が考えられる。

発生周波数の雪質による依存度、クラック音捕捉可能領域の確認、積雪層の破断規模とクラック音の相関等が重要となる。

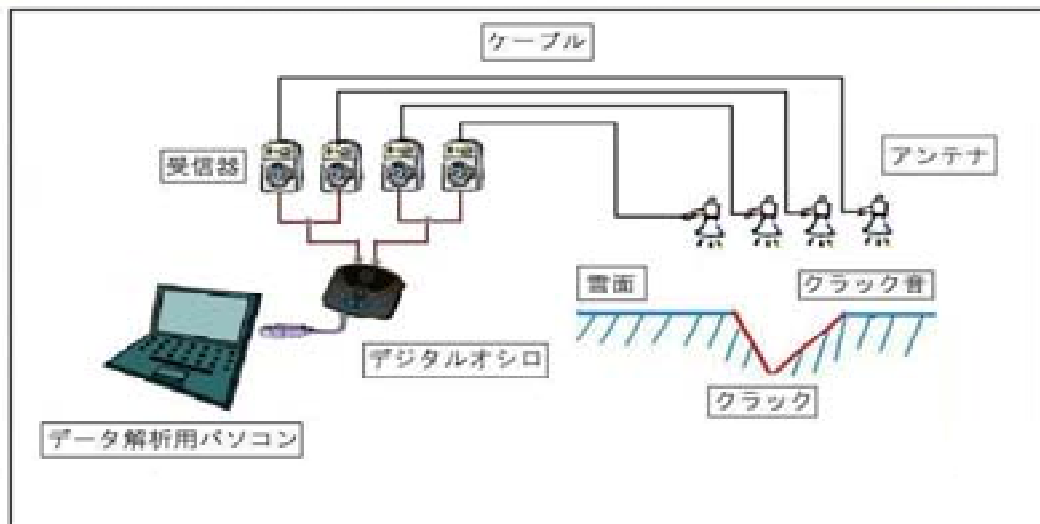


図1. クラック音受信システム



2-1 立山における雪庇状態



図 2-2 北海道の積雪とセンサーの配置状況

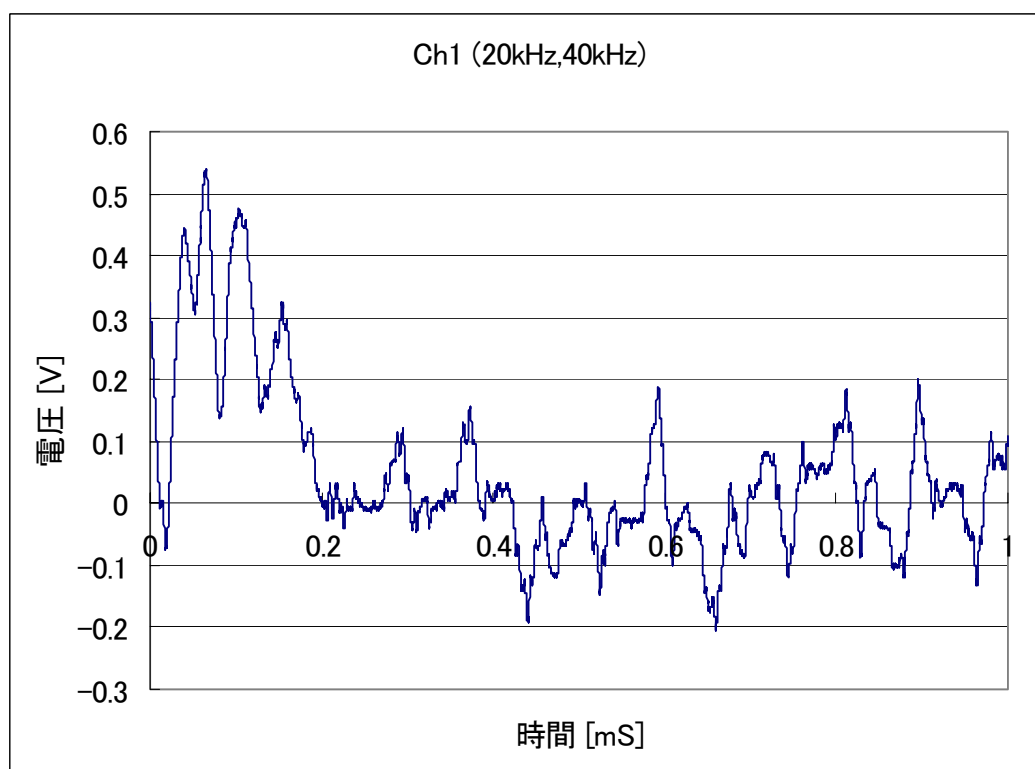


図 3. 受信したクラックに伴う超音波信号の一例

回転圧入鋼管基礎杭を用いたゼロエネルギー型 道路融雪槽の導入・普及について

北海道大学 大学院工学研究科 教授 長野克則

キーワード：道路融雪 地中熱 融雪槽 鋼管杭 ゼロエネルギー 数値計算

1. はじめに

積雪都市において、都市がスプロール化するにつれて雪堆積場は徐々に郊外に移り、排雪に関わる運搬費の高騰や燃料消費に関わるCO₂排出量は非常に大きなものとなっていると同時に、最近では融雪水の水質や初夏まで巨大な雪山が残存するなどの問題のため、河川敷や民有地での排雪場所の確保が難しくなっている¹⁾。市街地の道路除雪は、都市活動を維持するためには必要不可欠なものであり、また、住民の生命線の確保のために、未来永劫にわたり永続的に巨費を投入していかなければならないのは言うまでもない。このため、街区単位やコミュニティ単位でオンサイトに雪処理を行う方法の導入を考えていく必要がある。

著者らは、断熱鋼管を用いて地下に雪を高密度に貯蔵する実験を行ってきたが^{2),3)}、その経験から逆に地中熱を用いて雪を融かす地中融雪槽のアイデアを思い付き、図1、図2に示すような市街地においても安価に地下空間を構築できる回転圧入鋼管杭を利用した融雪槽 (Ground Snow Melting Tank, 以下GSMTと呼ぶ)を提案し、2004年度から札幌近郊で実証実験を行ってきた^{4)5),6)}。GSMTは自然エネルギーである地中熱を融雪に利用するもので、化石燃料を用いないことから、ゼロエネルギー型融雪槽と呼ぶことができる。一方、GSMTは融雪槽としてのみならず周囲地盤の熱容量と相まって将来的には冷熱貯蔵槽としても利用価値を見いだすことができるといえる。

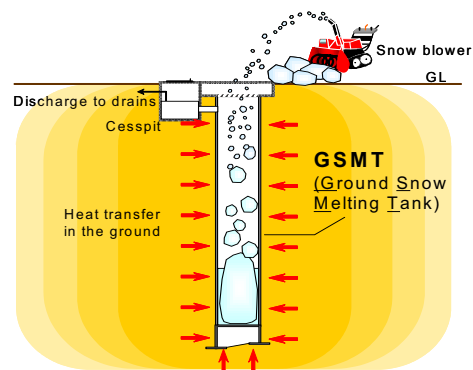


図1 地中熱を利用した融雪槽のコンセプト (Ground Snow Melting Tank, GSMT)

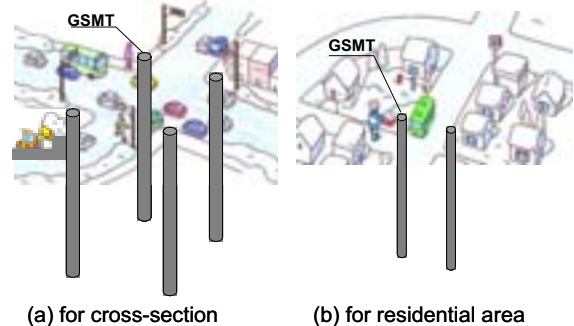


図2 GSMTの適用例 (a)道路交差点と(b)住宅地 (札幌市のホームページの図を基に長野作図)

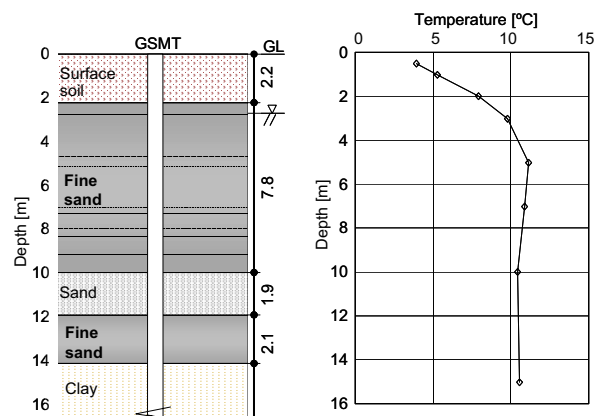


図3 地質柱状図と垂直温度分布(2005.12)

2. 平成 17 年度の実証実験の成果と課題

著者らは、GSMT の実証実験のために、平成 17 年 12 月、札幌市内中心部から北に約 15km の敷地において口径 1200mmφ、長さ 16.2m の鋼管基礎杭を回転圧入工法により敷設して、当節方法や融雪可能量に関する大規模実験を行ってきた。

平成 17 年度は、実際の方法を想定し小型除雪機を用いて、数日毎に常に雪が満杯になるように投入した場合の融雪能力について定量的に評価を行い、その結果、1) 本 GSMT で 3 日毎の頻度で定期的投雪では、41 日後の積算の融雪量は約 12.5 t であり、初期投雪量の約 2.5 倍の処理量となること、2) GSMT 内に常に雪がほぼ満たされた状態で行われた今回の融雪能力に関する実験結果は、無限円筒熱移動理論解から計算した融雪能力、および積算融雪量と良く一致することから、本理論式より GSMT の雪処理量の推定ができること、3) GSMT 内に常に雪が満たされるように投雪した場合には、札幌においては、口径 1200 mm φ、長さ 30m の GSMT2 本で、片側 2 車線の交差点の一角、または住宅 6 軒分の雪処理ができることがわかった。地盤温度が 16℃ の場合には、同条件において GSMT1 本あれば、ほぼ十分であることが予測された。また、次年度の研究課題として、より効率的な運用のためには融雪槽に一度に投入できる雪量の増加と融雪量の増大が必要であり、そのためには、下部の融雪水を汲み上げて行うシャワーリングが投雪・融雪に効果的と考えた。また、種々の融雪方法や GSMT を用いた冷熱貯蔵・冷熱利用などを検討できるシミュレーション・ツールの開発やそれを用いた最適システム設計が急務であり、同時に、より簡便な施工方法や GSMT 構築のコストダウン、設計指針書などの整備も重要であることを論じた。

2. 平成 18 年度の実験について

2.1 実験概要

平成 18 年度の実験も、昨年度と同様の実用規



写真 1 全旋回回転圧入機による鋼管杭の埋設



写真 2 散水の様子



写真 3 GSMT への初期充填の際の投雪方法



写真 4 2 回目以降の投雪方法
(除雪機による投雪)

模の口径 1200mmφ、長さ 16.3m、内容積 18.4m³ の GSMT 実証実験施設を用いた。図 3 に本地点の地質柱状図を示す。図からわかるように、地層は深い位置まで全て砂層からなる。実験開始時の地下水位は GL-2.6m であった。なお、地下水流れはほとんどないことがわかっている。地中温度は 3m より以深では 1 月でも 10℃ 以上を保っており、不易層 (10m 以深) の地盤温度は 10~11℃ であった。また、深さ 1m 地点でも地温が 5℃ である。

写真 1 は GSMT の融雪槽本体となる鋼管基礎杭を全旋回圧入機による地中に埋設している状況である。底部はコンクリートで遮水している。融雪水が上端まで達した場合はオーバーフロー管により外部へ排出されるようになっている。

今回、GSMT には図 2 にあるように底から約 2.5 m 地点に水中ポンプを設置して、下部に溜まった融雪水を強制的に汲み上げ、GSMT 上端部に設置したリング状のシャワーリング配管を通じて、円周部方向から中心部に向かっての散水をできるようにした。

2. 投雪時に散水を行う場合の定期満杯投雪実験

3.1 実験条件

GSMT が満杯になるよう 3~5 日毎に、定期的に投雪を繰り返す実験を行った。初期充填はフレコンバッグにより(写真 3)、2 回目以降の投雪には一般的な除雪機(写真 4)を用いる。表 1 は実験条件を示す。Exp.1, Exp.2 とともに、同じ 1200mm φ の GSMT を用いた。Exp.1 は 2006 年に行われた散水を行わない条件であり、Exp.2 は本年 1 月から行われた投雪時に散水を行う条件である。図 4 に示すように、毎回投雪前には GSMT 内の水位が 3.1 m または 5.5 m になるまで水中ポンプを用いて排水を行い、そのときの排水量を計測する。地中から得た熱量の全てが雪を溶かすために使われたと仮定して、この排水量から融雪能力および融雪量を推定する。また、投雪は排水後に GL 位置まで行う。

3.2 融雪能力と融雪量

表 1 定期満杯投雪における実験条件

条件	口径 [mm]	水位 [m]	散水の有無	実施期間
Exp.1	1200	3.1	無	2006.1.10~2006.2.25
Exp.2	1200	5.5	有	2007.1.9~2007.2.17

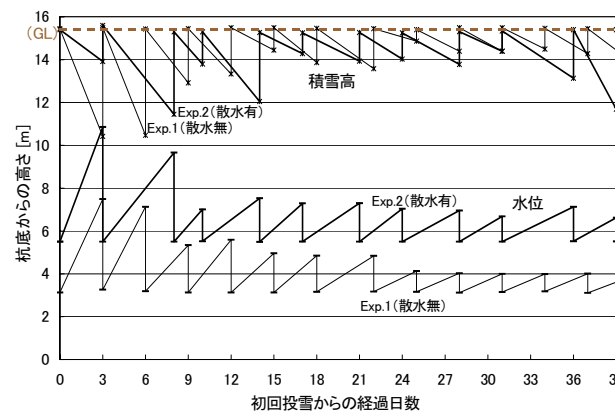


図 4 各条件における水位と積雪高さの変化

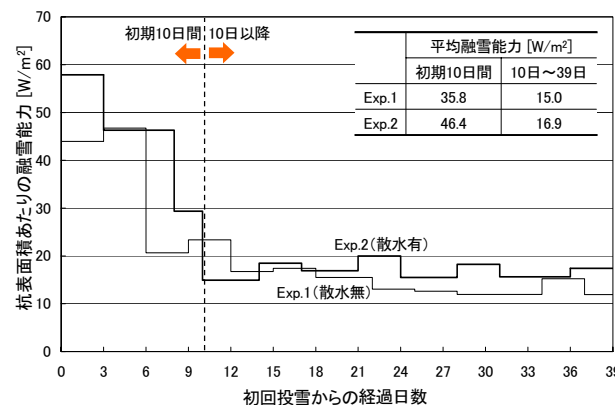


図 5 融雪能力の変化と平均融雪能力

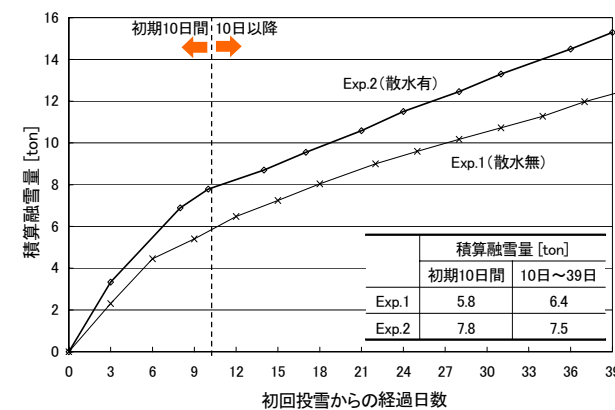


図 6 融雪量の変化と積算融雪量

図5は各条件における杭表面積当たりの融雪能力の変化を示す。図には、初期10日間とそれ以降の平均融雪能力も表した。今回の条件においては、全体的に散水を行ったExp.2の方が高い融雪能力を示す様子が確認できる。初期10日間の平均融雪能力で比較すると、Exp.1では 35.8 W/m^2 であったのに対し、Exp.2では 46.4 W/m^2 となり30%程度高くなった。10日以降には両条件とも融雪能力が低下し一定値に近づくが、この場合にもExp.2の方が7%程度高い値を示した。

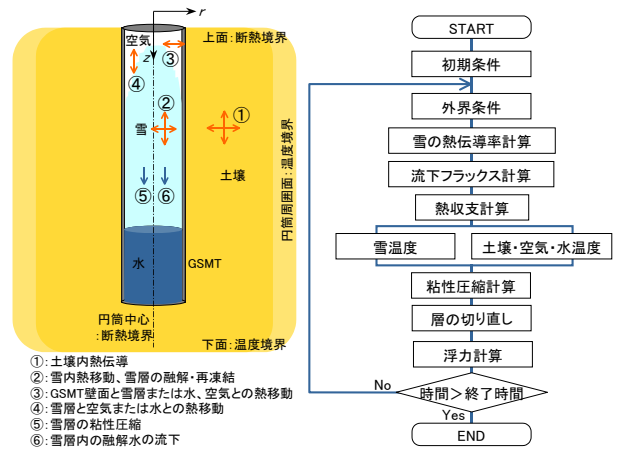
一方、図6は各条件の融雪量の変化を示し、同様に初期10日間とそれ以降の融雪量についても示した。図6で示した融雪能力の違いにより、融雪量も散水しながら投雪したExp.2の方が大きくなった。両者の融雪量増加の勾配は初期ほど大きく、10日経過後辺りからは差が小さくなった。39日間の合計でExp.1では12.2 ton、Exp.2ではその約1.3倍の15.3 tonの雪を溶かすことができた。これは、同じGSMTを用いて散水無の条件下での昨年度の実験と比較して約22%多い結果であった。

4. 定期満杯投雪時のGSMT内の融雪挙動

4.1 計算プログラムの概要

次に、既報において開発されたGSMT内の融雪挙動計算プログラムを改良し、定期的に満杯まで投雪する時の融雪特性について検討する⁵⁾。図7の左図は、この計算プログラムの扱う熱および物質移動を模式的に表したものであり、同右図は計算のフローを示す。積雪層内では、雪の融解と再凍結の他、水中の浮力による浮きや、重力による融解水の浸透、粘性圧縮等を考慮している。

計算はGSMTの径(r)方向と深さ(z)方向の二次元円筒座標系に対して行う。計算領域はGSMT表面から r 方向、 z 方向にそれぞれ10mとした。GSMT内の計算メッシュは r 方向に100mm、 z 方向に200mmとした。上面と円筒中心は断熱境界とし、 r 方向と z 方向の各外表面では温度境界を与える。GSMTの内表面では、内部の近接メッシュが雪か水か空気かにより熱伝達率を変更する



【熱・物質移動の模式図】 【プログラムのフロー】

図7 GSMT内融雪挙動計算プログラムの概要

表3 計算条件

条件	散水の有無	水位 [m] (杭長に対する比率 [%])
Case1	無	0.0 (0)
Case2	無	3.0 (19)
Case3	無	6.0 (38)
Case4	有	6.0 (38)

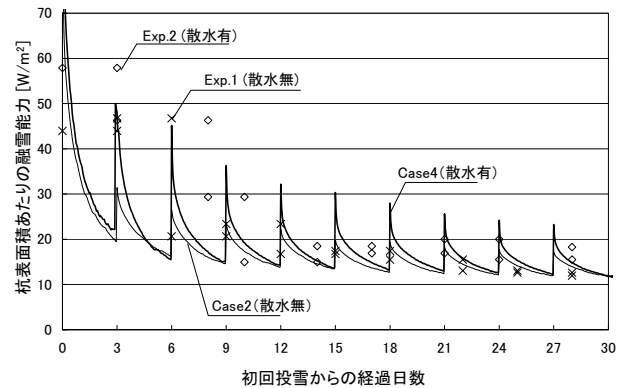


図8 Case2、Case4における融雪能力の変化

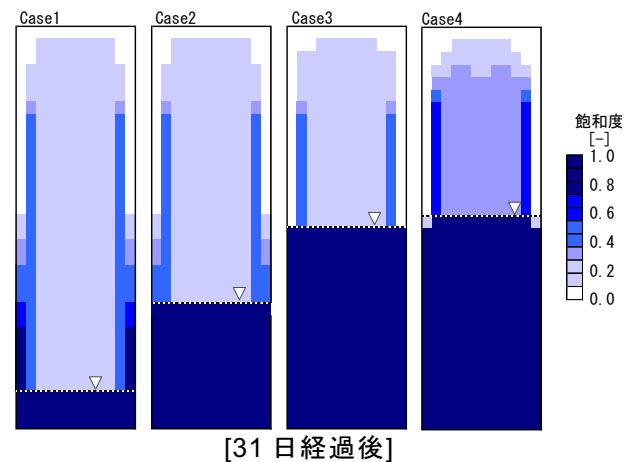


図9 各条件におけるGSMT内の飽和度の分布

4.2 計算条件

表 3 に Case1~Case4 の各計算条件を示す。実験と同様に口径 1200 mm ϕ 、長さ 16 m の GSMT を用いることとする。Case2 は Exp.1 と同程度、Case4 は Exp.2 と同程度の条件とした。土壌の有効熱伝導率は 1.6 W/m/K、熱容量は 3000 kJ/m³/K、初期地中温度は 10°C とした。計算期間は 1 月 1 日からの 30 日間とする。その間 3 日に一度の割合で設置水位まで排水し、その後満杯まで投雪することとする。雪密度は 450 kg/m³ とした。散水を行う場合には、新たに投雪する部分の含水密度を飽和時の 80%に増加させ、それに応じて水位より低い部分の含水密度を減らすこととした。

4.3 30 日間の融雪能力の比較

図 8 は、実験と同等の条件を与えた Case2 と Case4 における融雪能力の変化を示す。図中のプロットは図 5 に示した実験結果を表す。図より、10 日目以降には、計算結果は実験から得られた融雪能力に近い傾向を表し、比較的良い再現性が示されたといえる。ここで、計算においても散水を行った Case4 の方が最も高い融雪能力を示すことがわかる。Case4 における 30 日間の総融雪量は 9.39 ton であり、Case1 と比較して約 15%、同じ水位で散水を行わない Case3 と比較しても約 8%増加した。

4.4 散水の有無による GSMT 内融雪挙動の比較

図 9 は、31 日経過後の各条件における GSMT 内の飽和度の分布の計算結果を示したものである。散水を行いながら投雪する Case4 について着目すると、投雪直後の水位が Case3 に比べ低くなっているが、これは散水を行うことを模擬して水位以下の水を上部へ移動させたためである。これにより、GSMT 内の飽和度は他の 3 条件に比べ全体的に高くなっており、そのために積雪内の熱伝導率が上昇し、Case3 に比べて高い融雪能力が得られる結果が得られたと考えられる。ただし、計算における散水の水温はほぼ 0°C であった。

5. まとめ

本報告で得られた知見を以下に示す。

- 1) 鋼管杭融雪槽 (GSMT) の上部から散水を行いながら、3~5 日に一度定期的に満杯まで投雪するとき、39 日間で約 15.3 ton の雪を溶かすことができた。これは、同じ GSMT を用いて散水無の条件で行った昨年度の実験と比較して約 22%多い結果であった。
- 2) GSMT 内の融雪挙動を計算する数値解析において、計算による融雪能力の傾向は実験結果を比較的良く再現した。また、今回の計算においては、定期的に水位を 6 m に保ちながら、散水も同時を行いながら満杯まで投雪する case4 の条件において最も高い融雪能力が示された。

謝辞：本研究を遂行するあたり (株) 新日鐵エンジニアリング・佐伯英一郎氏、中村靖氏、(株) 藤原環境科学研究所・藤原陽三氏、葛隆生氏、北海道大学大学院工学研究科・武田清香氏、中村真人氏、寺島崇史君、工事関係者から多大なご協力を賜った。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 札幌市: 札幌市の雪対策 : <http://www.city.sapporo.jp/kensetsu/yuki/index.html>, 2007
- 2) 長野克則, 他2名: 冷熱利用のための雪の貯蔵時における圧縮に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, 562, pp.31-37, 2002
- 3) 長野克則, 他 4 名: 雪の大規模高密度貯蔵に関する屋外実証実験, 日本建築学会計画系論文集, 566, pp.51-56, 2003
- 4) 武田清香, 長野克則, 他 3 名: 回転圧入鋼管杭の適用による地中熱利用型融雪槽に関する研究 (その 1) 融雪量の理論的推定と実証実験の結果について, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp2117-2120, 2005
- 5) 林達也, 長野克則, 武田清香, 嶋倉一実: 回転圧入鋼管杭の適用による地中熱利用型融雪槽に関する研究 (その 2) 数値解析による融雪促進法の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, pp2121-2124, 2005
- 6) 武田清香, 長野克則, 寺島崇史, 中村靖: 回転圧入鋼管杭を用いたゼロエネルギー融雪槽に関する研究 その 3 実用化にむけた実証実験, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会論文集, pp139-142, 2006

降雨・降雪を受ける排水性舗装上の凍結防止剤の残留特性

福井大学大学院工学研究科建築建設工学専攻・教授

福原 輝 幸

1 はじめに

排水性舗装は騒音対策やハイドロプレーニング現象の抑制および水はね緩和などの雨天時の交通安全対策として、近年積雪寒冷地において普及してきている。

排水性舗装における冬期路面管理は、密粒舗装のそれと同様に機械除雪と凍結防止剤散布が一般的である。しかしながら、凍結防止剤の散布時期や量および持続性については密粒舗装でさえ現状で不明な点がある。特に排水性舗装については、凍結防止効果を十分に発揮しないまま溶液が浸透流出する懸念がある。

そこで、筆者らは密粒舗装と排水性舗装を用いて塩化カルシウム (CaCl_2) 溶液散布後の降雨および降雪に伴う CaCl_2 溶液濃度の低下を室内実験より調べ、前報¹⁾で報告した。特に CaCl_2 溶液は気温が低下するほど氷化が進行すると同時に濃度が高くなるため、凍結防止剤の持続性には濃度に加えて舗装表面の CaCl_2 残留量 (以下、残塩量) の評価が重要であることが分かった。

本論文では、排水性舗装における CaCl_2 溶液の濃度変化をさらに詳しく調べるとともに、残塩量の測定方法および測定結果の一部を報告する。

2 実験内容

Fig. 1 は低温恒温室内で行った実験の概観を示す。本実験は①常温の環境下で CaCl_2 を散布した排水性舗装に雨を降らす実験 (降雨実験)、②氷点下で雪を降らす実験 (降雪実験)、の2つに分けられる。Table 1 に降雨実験および降雪実験の条件を示す。

2.1 降雨実験

降雨実験の手順は以下の通りである。

- (i) 6体の排水性舗装上 (W 0.30×L 0.30×H 0.025m) に粉末もしくは溶液の CaCl_2 をそれぞれ散布する、
- (ii) 15分間隔で規定量の淡水を霧状降雨として与える、
- (iii) 次の降雨前に、舗装表面、舗装内部および舗装外部に流出した CaCl_2 溶液濃度および質量をそれぞれ測定する (測定方法は2.3を参照)、
- (iv) 降雨 (淡水供給) と CaCl_2 溶液濃度および質量測定は開始から75分間 (計6回の計測) とする、
実験条件として、室内温度は約 5°C 、 CaCl_2 固形散布量は $60\text{g}/\text{m}^2$ 、溶液散布量は濃度 15% で $400\text{g}/\text{m}^2$ (固形に換算すると $60\text{g}/\text{m}^2$)、降雨強度は 0.5, 1.0, 1.5mm/h とした。なお、 CaCl_2 溶液散布および降雨には噴霧器を用いた。

Table 1 実験条件

	項目	単位	降雨実験	降雪実験
環境条件	気温	$^\circ\text{C}$	5	-5
降雨	強度	mm/h	0.5, 1.0, 1.5	5, 10, 15
	密度	kg/m^3	999	100
薬剤条件	種類	—	CaCl_2	
	散布量	—	固形: $60\text{g}/\text{m}^2$	
	散布濃度	—	溶液: 15%, $400\text{g}/\text{m}^2$	
ケース			6	6

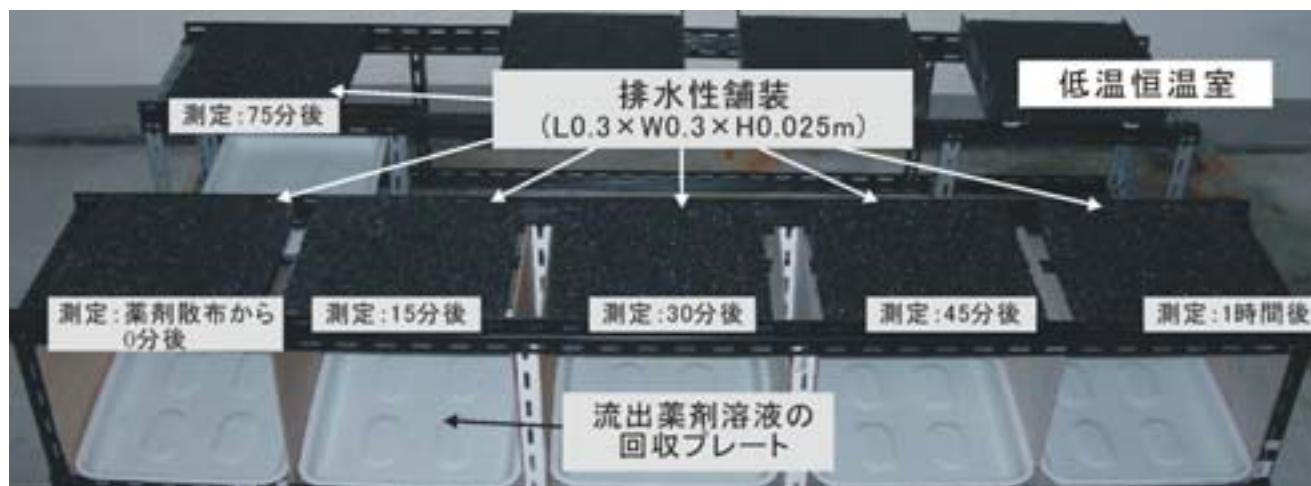


Fig. 1 実験概観

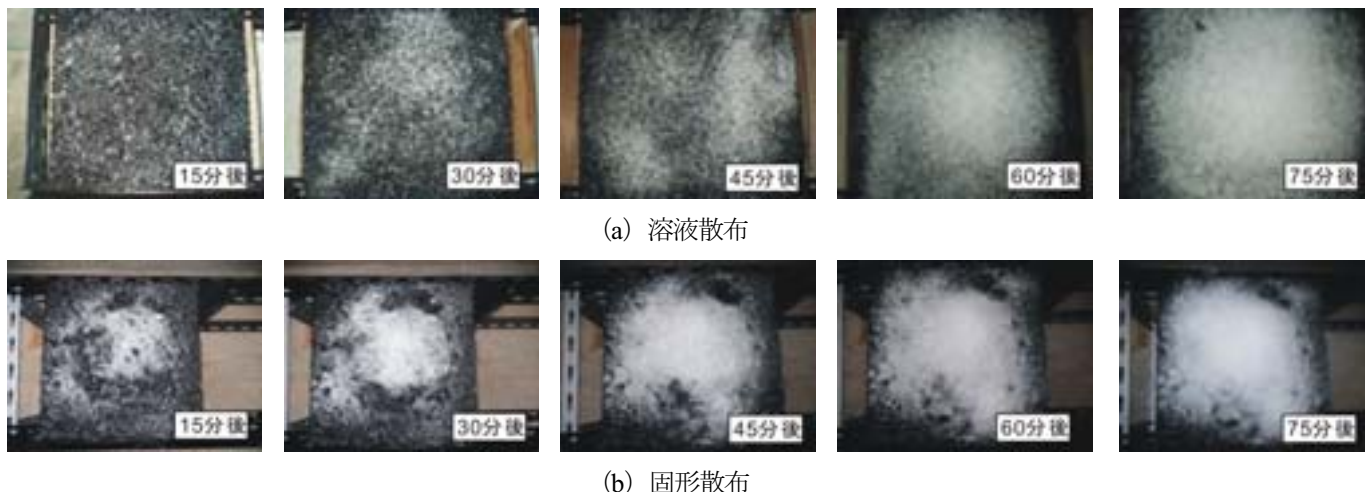


Fig. 2 積雪および融雪状況

2.2 降雪実験

降雪実験では、室内温度約 -5°C の環境下で、アイスライサー(削氷器)で作成した人工雪(密度 $\approx 250\text{kg/m}^3$)を舗装上に与える。降雪は密度 100kg/m^3 で5, 10, 15mm/hとする。その他の実験手順および条件は降雨実験と同じであり、降雪は15分間隔に行った。

2.3 溶液濃度および質量の測定

舗装表面に残留する CaCl_2 溶液を吸水性の高い紙(ティッシュペーパー)で吸い取り、舗装表面の CaCl_2 溶液濃度は濃度計で、残塩量は重量計で、それぞれ測定した。

舗装内部の CaCl_2 溶液濃度および質量は、規定量の淡水で舗装内部に浸透した溶液を流し出し、希釈された溶液の濃度および質量測定から算出した。

舗装外部に流出した CaCl_2 溶液濃度と質量は排水性舗装下方に設置したプレートで回収することで得られる。

3 実験結果

3.1 融雪状況

Fig. 2 (a) に溶液散布, (b) に固形散布後の積雪および融雪状況(降雪強度 $=10\text{mm/h}$)を示す。降雪回数が増す毎に残雪は明確になる。溶液散布では全体的に融雪するのに対して、固形散布では融雪は不均一となりやすい。

3.2 濃度変化

Fig. 3 は降雨に伴う舗装表面の CaCl_2 溶液濃度(C_n)の時間変化を示す。図中のプロットは白抜きが溶液散布、塗りつぶしが固形散布を表しており、降雨強度(V_r) 0.5mm/h を丸(\circ, \bullet), 1.0mm/h を三角($\triangle, \blacktriangle$), 1.5mm/h を四角(\square, \blacksquare)でそれぞれ示す。固形と溶液の散布形態による C_n の低下に明確な違いは見られず、 C_n は初期の15%から経過時間 t とともに指数関数的に低下する。

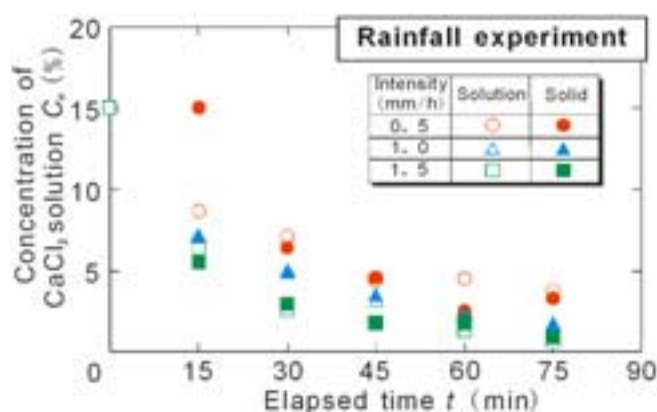


Fig. 3 降雨に伴う CaCl_2 溶液濃度の時間変化

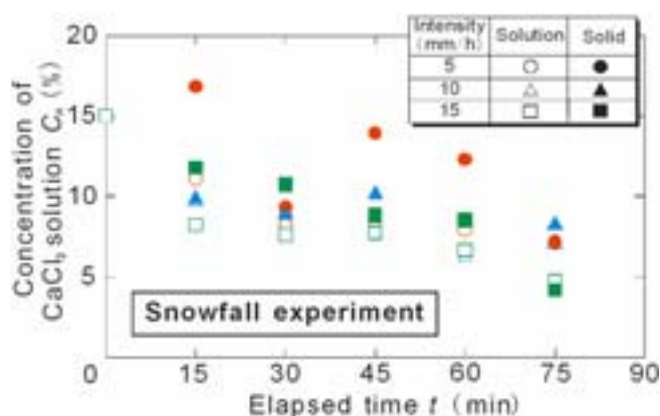


Fig. 4 降雪に伴う CaCl_2 溶液濃度の時間変化

また、 V_r が増すほど C_n の低下は顕著となる。最終($t=75\text{min}$)の C_n は $V_r=0.5\text{mm/h}$ で約4%, $V_r=1.5\text{mm/h}$ で約1%となる。

Fig. 4 は降雪に伴う CaCl_2 溶液濃度(C_n)の時間変化を示す。固形および溶液散布ともに C_n は降雪に伴い低下し、 -5°C における CaCl_2 溶液の凝固点に対応する濃度(約7%)に漸近する。固形散布では CaCl_2 粉末を均

一に散布することが難しく、測定濃度にばらつきが表れた。

Fig. 5 は降雪実験における舗装表面の残塩量 (CaCl₂) の時間変化を示す。残塩量は舗装表面の溶液回収が難しく、値にばらつきが生じたものの、経過時間に関わらず概ね 15~30g/m² の範囲にある。これより CaCl₂ 散布時を除けば、CaCl₂ 溶液は舗装内部へ浸透 (排水) せず、舗装表面に保持される。これは CaCl₂ 溶液が舗装上の雪に吸収され、表面張力による保水効果によって骨材間に付着したためと推測される。

4 おわりに

本研究では排水性舗装を用いて、溶液および固形の CaCl₂ を散布した後の降雨および降雪に伴う CaCl₂ 溶液濃度の低下と残塩量の変化を室内実験より調べた。

その結果、以下のことが分かった。

- (1) 散布形態 (溶液と粉末状の固形) による CaCl₂ 溶液濃度の低下に明確な違いは見受けられず、濃度は指数関数的に低下する。
- (2) 積雪時における舗装表面の残塩量は、散布時の舗装内部への浸透を除けば、その後は舗装の保水効果によって時間的に殆ど変化しない。

今後は降雨、降雪に伴う残塩量の変化を定量的に評価するために、排水性舗装の浸透メカニズムを解明する。

参考文献

- 1) 藤本明宏・渡邊洋・福原輝幸：排水性舗装における降雨降雪に伴う凍結防止剤の濃度変化と融雪状況に関する実験的研究，寒地技術論文・報告集，Vol. 21，pp. 672-675，2005.

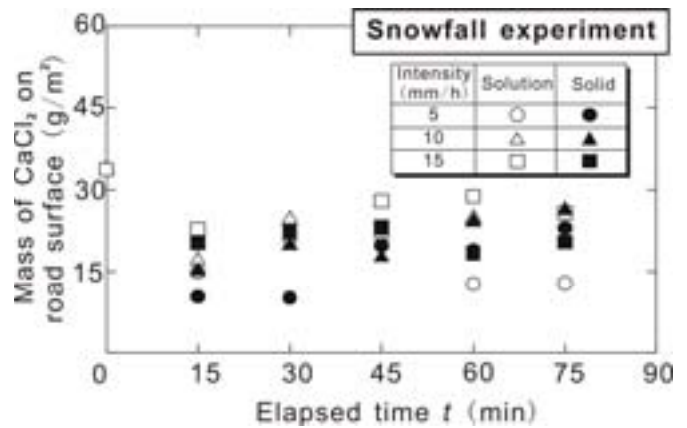


Fig. 5 降雪実験における残塩量

