

冬期道路交通の安全確保のための落雪・着雪対策技術に関する研究・開発（その2）

A Study on Measures Against Snow Drops and Snow Accretion for Safety Ensuring of Winter Road Traffic(No.2)

近藤 泰光、奥田 広行

要 旨

冬期の福井県管理道路においては、道路空間上空に存在する構造物からの落雪・着雪対策が行われている。現在、人力による雪庇除去作業が行われているが、厳しい作業環境や社会的環境を背景に、今後の継続的な実施が危惧されている。そこで本研究では、人力による雪庇除去作業を補完できる、新たな落雪・着雪対策技術の開発を行うものである。具体的には、空気膜の膨張-収縮によって、膜上の雪庇を迅速に落下させるシステムの開発を行う。本稿では、福井県内の危険箇所近傍に実験モデルを設置し、屋外実験にて新工法の有用性を検証したので報告する。

キーワード：落雪対策、雪庇、空気膜

1. 研究の背景と目的

冬期の福井県管理道路においては、道路空間上空に存在する構造物（橋梁のトラス上弦材、ロックシェッド・スノーシェッド上部、トンネル坑口上部および道路標識・情報板等）からの落雪・着雪対策が行われている。現在、最も一般的な対策手法は、高所作業車を利用した人力による雪庇除去作業であるが、昨今の厳しい作業環境（作業に伴う労力・時間・コスト等）や社会的環境（人材不足・資材不足・予算不足等）を背景に、今後の継続的な実施が危惧されている¹⁾。冬期道路交通の恒常的な確保と道路利用者の安全・安心の確保を図るには、道路空間上空に存在する構造物の除雪、すなわち、雪庇の除去を目的とした持続可能な落雪・着雪対策手法・技術が望まれている。

そこで本研究は、人力による雪庇除去作業を補完できる、新たな雪処理・制御システムを用いた落雪・着雪対策技術の開発を行うものである。

本稿では、福井県内の危険箇所近傍に実験モデルを設置し、屋外実験にて新工法の有用性を検証したので報告する。

2. ケーススタディとする実橋と実験モデル

2 - 1 実橋の社会的背景と概要

現在、福井県が管理する橋長 15m 以上の道路橋は、816 橋あり²⁾、このうち建設後 50 年を経過した鋼橋（トラス・アーチ部が鋼材である橋梁を含む）は 26 橋で、20 年後に建設 50 年を経過する鋼橋は 192 橋ある³⁾。

一方、福井県は、全域が豪雪地帯（大野市、勝山市、池田町、南越前町東部の 2 市 2 町は特別豪雪地帯）に指定されており（図-1 参照）⁴⁾、上記 192 橋の鋼橋のうち、96 橋と半数が特別豪雪地帯に存する。

特別豪雪地帯に存する古い鋼橋の多くは鋼桁橋であるが、長大橋（本稿では橋長 100m 以上とした）に絞ると、19 橋のうち 11 橋と過半数が下路橋（通路部分が主構造の下部にある形式の橋）となっている。

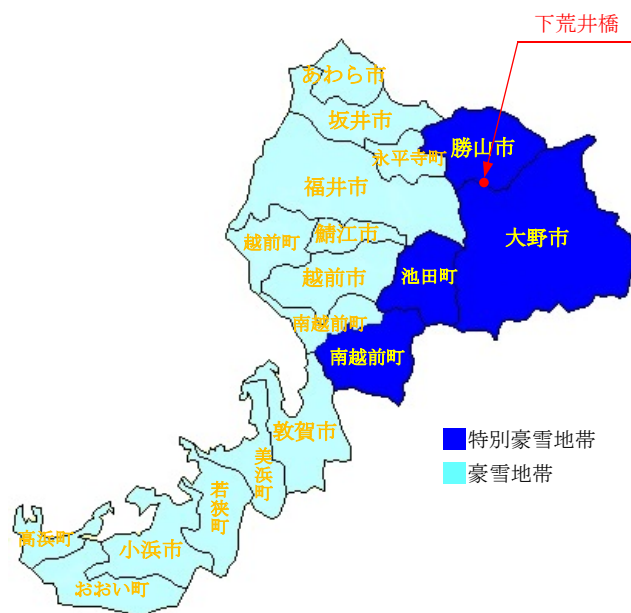


図-1 豪雪地帯指定図（福井県）⁴⁾を基に作成

このような古い下路橋は、構造的な特色から土木の産業遺産的な価値があったり、構造物としての美しさから地域の景観の一部であったり、ランドマーク的な機能も果たしているなど、文化的な価値をも付与されている場合があるため、道路管理者も容易に撤去・処分出来ない場合がある。

しかしながら、通路を一般に開放している特別豪雪地帯に存する下路橋においては、落雪による交通障害が交通事故として顕在化し、あるいはその危険性が潜在的にあるなど、交通安全上または防災上、落雪・着雪対策が必要な構造物の 1 つであると言える。

そこで本研究では、特別豪雪地帯に存する下路橋を対象に、落雪・着雪対策技術の開発を行う。具体的には、福井県管理道路にて落雪による被害が最も顕著な「下荒井橋」をケーススタディ²⁾とする。

下荒井橋は、勝山市と大野市の市境付近の国道 157 号（一級河川九頭竜川）に架かる特別豪雪地帯に存する下路橋である。勝山市と大野市とを結ぶ都市間道路に架かっているため、朝夕の通勤・通学時

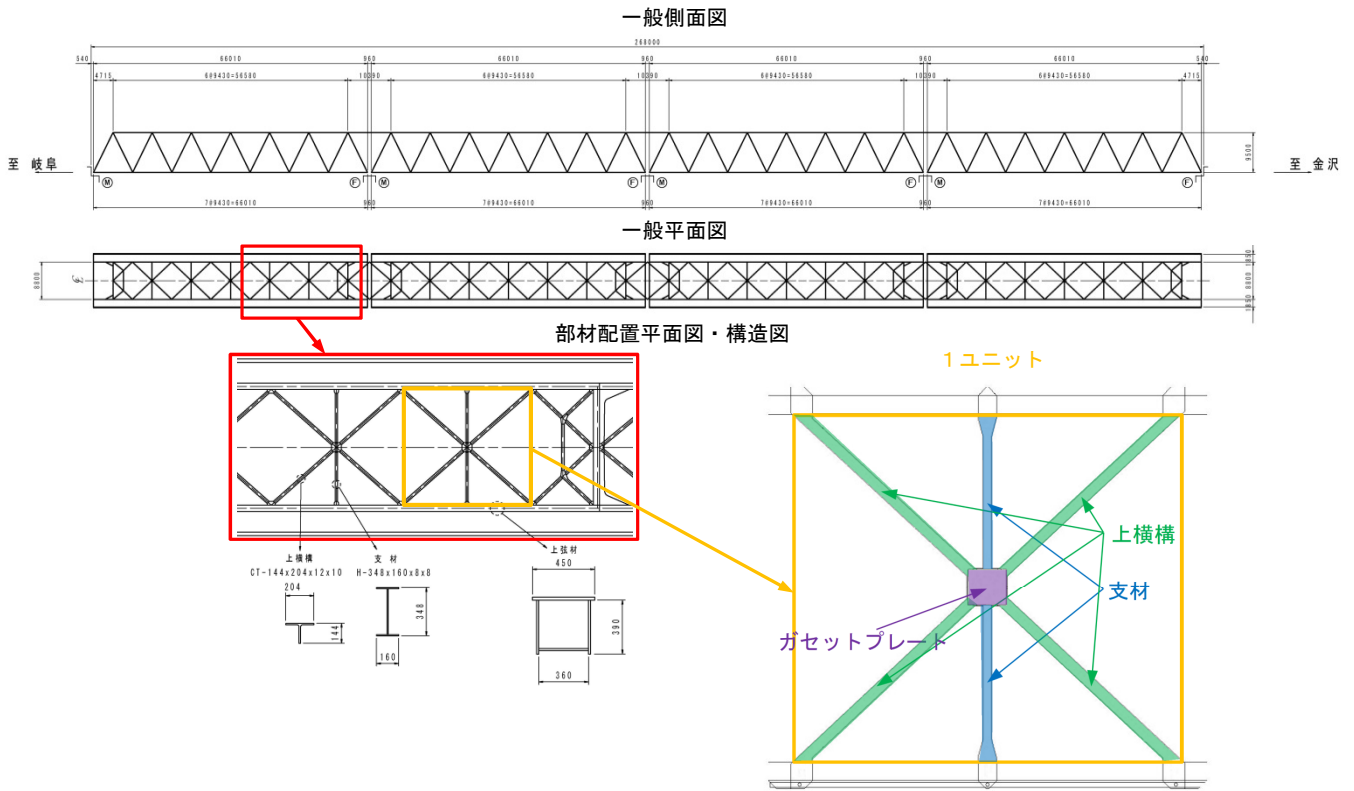


図-2 下荒井橋一般図

表-1 下荒井橋の諸元

橋梁名	しもあらいばし 下荒井橋
所在地	勝山市遅羽町下荒井
路線・河川名	国道 157 号・一級河川九頭竜川
完成年度	昭和 44 年
橋長 (m)	268. 0m
上部工形式	下路式 4 連単純平行弦トラス橋

間帯には橋上にて交通混雑が発生するなど、福井県管理道路としては 1 日を通して交通量が多い橋梁と言える (H22 交通センサス 15, 129 台/24 時間)。

当該橋梁を管理している奥越土木事務所の調査資料⁶⁾および聞き取り調査より、平成 2 年度から平成 27 年度までに発生した、落雪による事故発生件数は 42 件となっている⁽³⁾。橋梁の位置を図-1 に、一般図を図-2 に、そして諸元を表-1 に示す。

2 - 2 実験モデルの概要

本研究では、図-2 に示すように、落雪が頻発している実橋のトラス部材 (支材、上横構およびその交点のガセットプレート) 1 ユニット分を模した実験用のモデルを製作し、下荒井橋近傍の河川敷地内に設置し、モデル上の屋外実験を通して新工法の有用性を検証するというスタイルを採った。そして、新工法の信頼性やメンテナビリティ、社会的影響等を

管理者または行政サイドで総合的に評価していただいた後に、実橋での実証実験を行うという研究計画の基で実験を実施することとなった。

実験モデルの概要図を図-3 に示す。実験モデルは、架台と台座から構成され、架台は CT 形鋼、H 形鋼、およびプレートとし、SS400 (旧規格 SS41) 一般構造用圧延鋼材を使用 (一部木材を使用) し、上横構、支材およびガセットプレートを再現した。ただし、河川敷地の制約上、長手方向の寸法は約 2/3 (B 材 L=3m, A, C 材 L=4m) と約 1/3 (E 材 L=1.33m, D, F 材 L=1.6m) に縮小して再現した。また、鋼材は全て一般外面塗装 (Ra-Ⅲ系) を施し、実橋の現状を再現した。台座は、積雪にて架台が埋もれることがないように H=1.5m の高さを持たせ、同様の鋼材でコンクリート建込にて敷地内に固定した。設置状況を写真-1 に示す。

3. 空気膜式雪処理システム

3 - 1 システム開発の背景

本研究・開発は、福井大学の福原・寺崎らが開発した、民家の屋根雪処理技術⁷⁻⁹⁾を基に、山崎らが行った屋根雪対策に関する一連の研究開発^{10), 11)}から得られた知見や成果を融合し、土木分野 (公共土木構造物) への適用・応用を目指すものである。

寺崎らは、室内および福井県大野市 (特別豪雪地

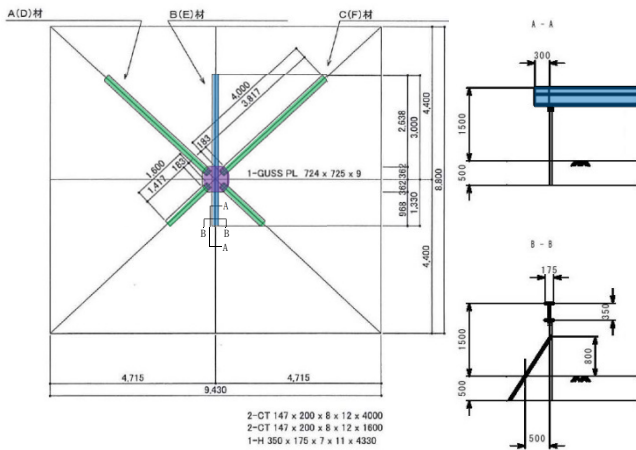


図-3 実験モデル概要図



写真-1 実験モデル設置状況

帯)での屋外試験等より、ビニール製のシートと雪塊間の摩擦力、および、凍着による付着力それぞれに及ぼす滑雪面の含水率の影響を調べ、その結果、①シートと雪塊間の凍着による付着力は、摩擦力よりもはるかに大きく(約11~90倍)、落雪抵抗(落雪方向に対して逆向きに働く力)は摩擦抵抗よりも付着抵抗の割合が大きいこと、②膜材の膨張-収縮による変形によって、膜材と雪塊間の付着力が失われ、雪塊が滑落しやすくなること、を明らかにしている⁹⁾。

一方、山崎は、屋根雪対策のコスト縮減と省力化の重要性に着目し、高齢者でも簡単に操作できる実

空気膜式雪処理システム

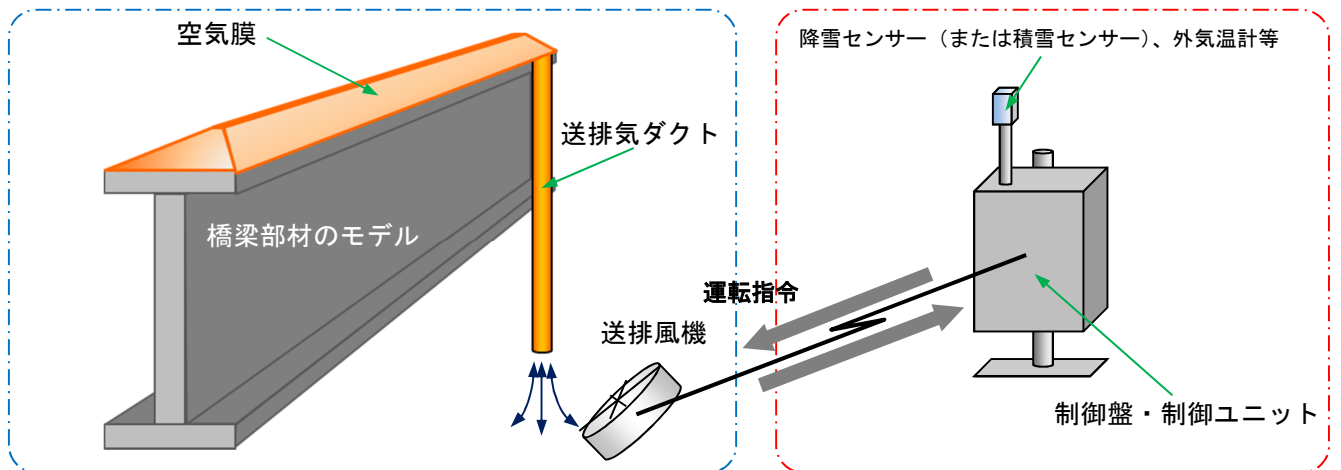


図-4 システムの構成イメージ図

用的な制御装置を導入した安価な屋根融雪システムを開発し、勝山市(特別豪雪地帯)の家屋を対象にしたモデル事業を通して、システムの有用性を示している¹⁰⁾。

また、山崎らは、新潟県南魚沼郡(特別豪雪地帯)の鉄道駅ホーム屋根を対象に、積雪センサーを用いた融雪自動制御システムを開発し、従来の制御方式に稼働時間を大幅に短縮でき(61.1%縮減)、確実に融雪できるシステムであることを示している¹¹⁾。

そこで本研究では、①雪塊との付着力が失われ、滑落しやすくなる膜材を使用した雪処理装置(以下、空気膜式雪処理システムと呼ぶ)を、まずは橋梁トラス部材への適用・応用を目指す、②施設管理者が容易に操作できる制御ユニットを導入した、空気膜の自動制御装置(以下、制御システムと呼ぶ)の開発を目指す、という2つの研究方針の基で屋外実験を実施した。

本研究にて開発する落雪・着雪対策技術は、①空気膜の膨張-収縮によって、膜上の雪底を迅速に落下させる「空気膜式雪処理システム」と、②空気膜の膨張-収縮を適時・適切に稼働・制御させる「制御システム」の2つのシステムから構成される。システムの構成イメージを図-4に示す。本稿では、「空気膜式雪処理システム」について報告する。

3-2 空気膜式雪処理システムの設計・製作

空気膜構造または空気膜材の建造物への適用あるいは応用は、建築分野にて体系化され発展しつつあるが、土木分野においても、防水防食を目的とした維持修繕、汚濁防止・防草を目的とした環境保全、被災防止・被害軽減を目的とした地域防災にて、主に土木資材として用途が拡大しつつあると言える。

土木用途としての空気膜材(あるいは空気膜システム)には、以下のような性能が要求される。

- 仮設材として用いるのでない限り、膜材は常設となる。そのため、紫外線暴露による劣化等に

長期間耐えうる耐候性や、長期間に渡って汚濁や水・光等を遮る遮蔽性が要求される。

- 膜構造を維持するための引張強度を持たせる高い気密性が要求される。
- 膜材の剥がれや捲れ、落下によって第三者に危害が及ばないような高い安全性が要求される。
- 低コストで加工しやすく、工期短縮に繋がる等の施工性と、軽量でかさ張らず輸送コストを抑えられる等の運搬性が要求される。
- 景観を損ねることなく施設利用者への影響（不安感、圧迫感など）を少なくできる意匠・造形デザイン（design または style）が要求される。

さらに、特別豪雪地帯のような積雪寒冷地での用途では、上記性能に加え、以下のような性能が空気膜材（あるいは空気膜システム）に要求される。

- 長期間耐えうる耐候性に加え、低温に耐え稼働しうる耐寒性が要求される。
- 外圧として作用する雪荷重に抗する内圧を維持する必要があるため、送風機の高い送風能力が要求される（空気膜構造の場合は別途消融雪対策が必要）。
- 積もった雪が止まりにくく滑落しやすい意匠・造形デザインが要求される。また、膜上の残り水が氷柱となって落下することのないようなデザインも要求される。

本研究にて開発する空気膜システムは、土木分野（公共土木構造物）への適用・応用を目指すものであり、特別豪雪地帯での雪処理システムとして運用を目指すものである。そのため、本システムには上記全ての性能が要求され、また、空気膜の膨張-収縮によって膜上の雪塊を落下させる構造とするため、以下の性能も満たす必要がある。

- 膨張-収縮の繰返し作用に耐えうる耐久性が必要である。
- 空気膜の膨張-収縮は、送排風機による膜への空気の送排風によって行われる。そのため、送排風機の高い送排風能力が必要である。また、膨張=送風、収縮=排風の適時適切な切替えも必要である。

本研究では、上記の要求性能を満たす膜材として、「雪処理システム開発研究会⁷⁾」（福井大学や福井太陽㈱らで結成された産学による研究会）にて開発された屋根雪処理システムの膜材と同等のものをを用いた。膜材の性能表を表-2 に示す。

使用した膜材は、図-5 に示すように、支材（H形鋼）および上横構（CT形鋼）の形状に合わせて裁断・縫製され、ロープで鋼材をラッキングすることで膜材を部材に固定出来るようにしてある。また、固定物の落下によって第三者に危害が及ばないよう、固定物にネジやビス、ピンなどの金具は用いないこと

表-2 膜材性能表 福井太陽㈱提供資料より作成

試験項目	試験結果	試験方法
防汚処理	アクリル (フッ素配合)	-
厚さ(mm)	0.52±0.04	JIS K-6404
質量(g/m ²)	590±30	JIS K-6404
引張強さ(N/cm)	457以上(タテ)× 408以上(ヨコ)	JIS L-1096
伸び率(%)	30以下(タテ)× 40以下(ヨコ)	JIS L-1096
引裂強さ(N)	78以上(タテ)× 88以上(ヨコ)	JIS L-1096
耐水性(mm)	1,000以上	JIS L-1092
耐もみ性	異常なし	JIS K-6404
耐寒性	-5℃異常なし	JIS K-6772
防炎性	防炎2級合格品	JIS A-1322

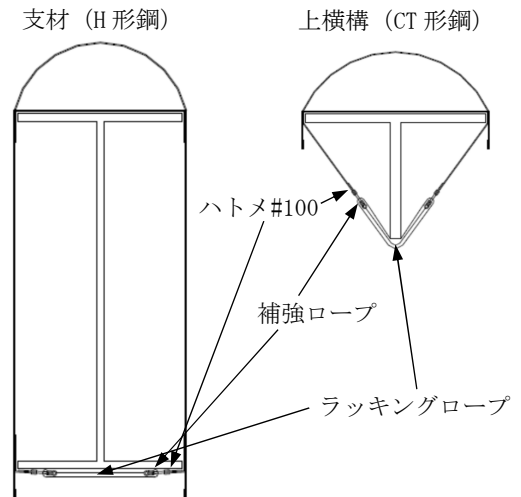


図-5 膜材の部材への取付案

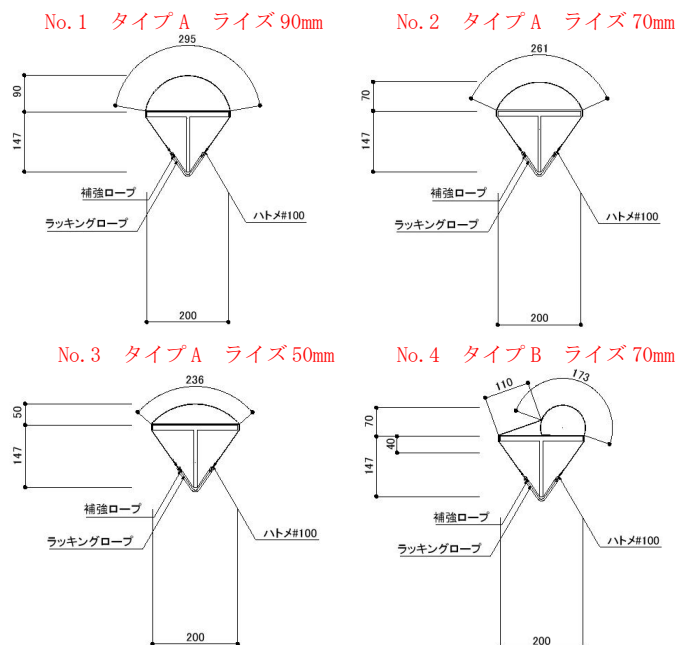


図-6 空気膜断面図

とした。

膜材と固定物で構成される空気膜は、接続されたダクトからの送排気によって膨張-収縮する。本研究では、膜構造が違う2つのタイプ、そして、ライズ(空気膜の膨らみ高さ)の違いによる計4種類(H形鋼はタイプAライズ70mmとした)の空気膜を製作した。図-6に、今回製作した空気膜の断面図を示し、写真-2にタイプAとタイプBの試作品を、表-3に特徴を示す。なお、表-3中のタイプCは、今回は製作まで至っていない。

本研究では、空気膜の端部に接続する送排気ダクトは、φ30の塩ビ製のフレキシブルホースを用いた。また、送排風機として、実験では、交流100V・消費電力550W(商用電力対応製品)、風圧5.5kPa、風量3.8m³/分のブロワを用いた。写真-3に、今回用いたブロワを示す。

今回、使用または製作した空気膜、送排気ダクト、およびブロワ(送排風機)よりなる一連の雪処理装置を、本研究では「空気膜式雪処理システム」と称し、モデルの架台上に取り付けて実験を行い、その有用性を検証した。

4. 実験モデルによる屋外実験の実施

4 - 1 屋外実験実施の背景

本研究は、平成27年度から平成29年度までの3箇年に渡り、「空気膜式雪処理システム」と「制御システム」による新たな落雪・着雪対策技術の開発を行うものである。

まず、本研究に着手する事前に、福井県土木部内に設置された技術審議会研究部会にて、研究の内容や計画の妥当性について審議していただいた。次に、外部有識者による評価委員会にて、総合的に本研究を評価していただき、最後に、研究部会および評価委員会での意見や要望、質問や評価結果に基づき、事務局(福井県土木部土木管理課)より、以下のような研究の方針(方向性)や研究のスタイルが示された。

- 用途を橋梁に限定せず、トンネル坑口上部やロックシェッド・スノーシェッド上部からの落雪防止対策にも応用できるようにすること
- 気象条件により、どういう形状のものが良いのかを検討し、現場条件に合ったもの(現場サイドで使用しやすいもの)にすること
- 職員の手間でできるような仕組みにすること。省力化を心掛けること
- 従来のものより、イニシャルコスト・ランニングコストともに低く抑えられるものになるようにすること
- 結論ありきの取組みではなく、推進していく中で新たな技術上、実用上の課題も明確にできる

タイプ A



萎んだ状態(排風完了)



膨らんだ状態(送風完了)

タイプ B



萎んだ状態(排風完了)



膨らんだ状態(送風完了)

写真-2 試作した空気膜

表-3 膜材のタイプ別分類

番号	空気膜のタイプ	イメージ図	特徴
1	タイプ A 通常タイプ	膨張収縮 落雪の方向	<ul style="list-style-type: none"> ・構造が単純で製作が容易 ・萎んだ後の納まり具合が悪い ・膨張収縮に時間を要する
2	タイプ B 偏心タイプ	膨張収縮 落雪の方向	<ul style="list-style-type: none"> ・萎んだ後の納まり具合が悪い ・膨張収縮に要する時間が最も短い ・斜辺方向への落雪が期待できる
3	タイプ C 棧付タイプ	膨張収縮 落雪の方向	<ul style="list-style-type: none"> ・萎んだ後の納まり具合が良い ・通常タイプに比べて膨張収縮に要する時間が短い ・棧による雪割りが期待できる



写真-3 ブロワ(送排風機)

ような取組みとすること

- 実験の後にオペレーションの研究に進むというスタイルをとること

- 繊維産地の技術を活かした対策に結び付けること

示された研究方針に基づき、下荒井橋近傍の河川敷地にて3年間、実験モデルによる屋外実験が可能となるよう、河川敷地管理者（奥越土木事務所）から占用許可をいただいた。屋外実験を行った実験フィールドを写真-4に示す。

4 - 2 屋外実験の実施計画

本研究・開発は、学術的視点および基礎研究を担う福井大学〈福原・寺崎研究室〉(学)、ビジネス的視点および製品開発を担う福井太陽㈱〈開発製造課〉(産)、地域社会的視点および応用研究を担う福井県〈建設技術研究センター〉(官)の連携、すなわち産学官共同研究によるものである。そのため、屋外実験フィールドをお互い共有し、しっかりとした合意形成のもと、協働にて実験を進めていくことが重要となる。そこで、表-4に示すような実施計画の基で屋外実験を行った。

そして、屋外実験は「短期集中降雪時 (h=30cm/日以上) に落雪事故が発生していることが多い」という調査結果を反映し{注釈(3)参照}、短期集中降雪が予想される場合に実施することを原則とした。実施基準は、福井県の除雪実施計画(福井県の場合は各土木事務所長が策定)にて定められている、職員の除雪待機基準を参考にし、以下の通りとした。

- 前日17時の時点で、(下荒井橋が存する)奥越地方に大雪注意報発令(12時間降雪の深さ25cm以上)の場合に、当日7時~12時までの任意の



写真-4 屋外実験箇所

時間帯で3時間程度実験を実施する。

なお、今年度は、モデル橋での屋外実験のみを実施することとした。

4 - 3 屋外実験の実施

前節の実施計画に基づき、実験当日の実施体制は表-5の通りとした。3節に記述した「空気膜式雪処理システム」を、図-7のようにモデル上に取り付け配置し、新たな橋梁モデル2基(図中緑と黄にて示した。産学協働による製作・設置)も含めて実験を行った。なお、ブロウを用いた送排風による空気膜の膨張-収縮は、長尺部(長手方向縮尺約2/3の部分)で栈毎に行い、短尺部(長手方向縮尺約1/3の部分)で基礎データの計測を行った。また、今回の実験ではガセットプレート上に空気膜は設置していない。基礎データの解析を含む基礎研究内容および結果については別の機会に譲り、本稿では、主に空気膜の膨張-収縮による落雪性能について記述する。実験開始前(積雪なし)の実験フィールドの状況を写真-5に示す。

表-4 屋外実験実施計画

実験対象	内容	項目	方法	頻度	担当
モデル橋	現地気象観測	気温、風速、相対湿度等	気象ステーション(気象観測機器)	常時観測(30分間隔)	福井大学
		積雪深	現地計測(ノギス)	参集時	福井県
	空気膜式雪処理システムの実験記録	雪密度、雪氷含水率、および膜上の積雪深	現地計測(専用サンプラー、雪氷含水率計、およびメジャー)	参集時	福井大学* 福井県
		実験映像記録	現地にて記録(ビデオカメラ)	参集時	福井大学* 福井県
		実験前後の映像記録	静止画記録(ネットワークカメラ)	常時観測(15分間隔)	福井県
	その他天候、動作時間、必要動作回数など	現地計測	参集時	福井大学* 福井太陽* 福井県	
実橋	実橋での実証実験	効果の検証、信頼性の確認、および安全性の確認など	除雪作業時に実験	除雪作業時	福井県
	モデル橋と実橋との比較	着・冠雪画像等	静止画像(雪みち情報ネットワーク)	適時	福井県

※初期の動作確認・計測を担当

表-5 屋外実験実施体制 福井大学寺崎特命助教案を基に作成

実験対象	事前準備	実験本番
モデル橋	(1) 現地到着後、全員で除雪し、作業場を確保する (2) 実験者 A: ①気象ステーションのデータ回収および空気膜の状況確認、および②基礎データ（雪密度、雪氷含水率等）の確認・記録と保存 実験者 B・C: 基礎データ（雪密度、雪氷含水率等）の計測 実験者 D: 基礎データ（雪密度、雪氷含水率等）の計測補助 (3) 実験者 A: ビデオカメラの準備とアングル確認（全景） 実験者 B・C: ビデオカメラの準備とアングル確認（側面または断面） 実験者 D: プロワの準備	(1) 実験者 A: ①実験監督（合図・号令、トラブル対応）、および②ビデオカメラ撮影（全景） 実験者 B・C: ビデオカメラ撮影（側面または断面） 実験者 D: プロワによる送排気 (2) 実験終了後、残雪深と残雪面積を測定 (3) 次の部材に移行し、実験本番(1)・(2)を繰り返す (4) 全員で後片付け

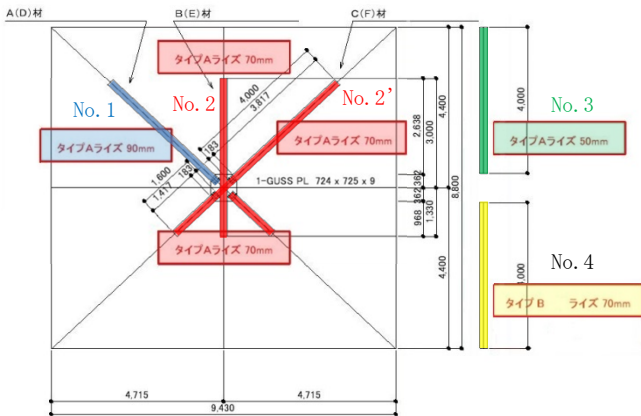


図-7 空気膜配置図

実験は、実施基準に基づき計5回実施した。現地気象観測結果を表-6に示し、実験開始直前（積雪あり）の実験フィールドの状況を写真-6に示す。

4-4 屋外実験結果

今回の実験結果を表-7に示す。各計測項目の内容は以下の通りである。

- 雪表面温度…モデル上に取り付けた空気膜上の雪の表面温度
- 雪中温度…モデル上に取り付けた空気膜上の雪の内部温度
- 界面状態…空気膜材と空気膜上の雪が接している境界の雪の状態
- 空気膜表面温度…空気膜材の表面温度
- 鋼材表面温度…モデル鋼材の表面温度
- 落雪時間（=送風時間）…空気膜に送風を開始し、完全に空気膜が膨張し落雪し終わるまでの時間
- 落雪率…モデル上に取り付けた空気膜上の雪の落下割合

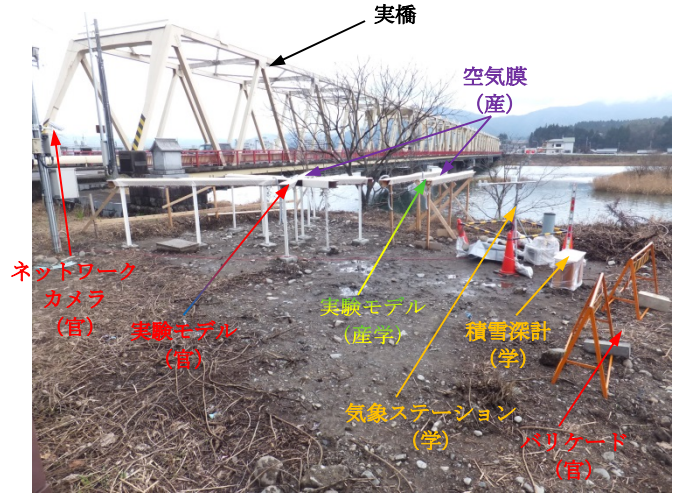


写真-5 屋外実験箇所の状況 2015/12/24 撮影

表-6 現地気象観測結果

実験回数	実験日	天候	気温 (°C)	積雪深 (cm)
1	2016/1/15	くもり	3.0	9.7
2	2016/1/21	晴れ	5.7	22.1
3	2016/1/26	晴れ	2.8	32.0
4	2016/2/17	くもり	2.6	20.1
5	2016/3/1	くもり	2.2	16.3



写真-6 屋外実験箇所の状況 2016/3/1 撮影

表-7 計測結果

空気膜の状態に関する計測項目						
計測項目	1回目(2016/1/15)	2回目(2016/1/21)	3回目(2016/1/26)	4回目(2016/2/17)	5回目(2016/3/1)	平均
雪表面温度(°C)	2.5	1.9	2.1	3.2	1.2	2.2
雪中温度(°C)	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
界面状態	融解	融解	融解・凍着混合	融解	凍着	-
空気膜表面温度(°C)	5.5	6.6	5.3	5.1	4.7	5.4
鋼材表面温度(°C)	5.6	6.8	5.5	4.9	2.5	5.1
落雪状況に関する計測項目						
計測項目	1回目(2016/1/15)	2回目(2016/1/21)	3回目(2016/1/26)	4回目(2016/2/17)	5回目(2016/3/1)	平均
落雪時間(sec) No.1	7	6	8	4	5	6.0
落雪時間(sec) No.2	4	3	4	4	4	3.8
落雪時間(sec) No.2'	4	4	6	3	4	4.2
落雪時間(sec) No.3	3	3	3	4	3	3.2
落雪時間(sec) No.4	3	積雪無し	3	3	3	3.0
平均	4.2	4.0	4.8	3.6	3.8	4.1
落雪率(%) No.1	91.39	97.12	100.00	97.69	97.76	96.79
落雪率(%) No.2	93.59	99.73	97.48	99.53	97.32	97.53
落雪率(%) No.2'	94.26	99.03	95.49	92.51	99.80	96.22
落雪率(%) No.3	92.39	98.81	99.20	97.19	97.77	97.07
落雪率(%) No.4	100.00	積雪無し	100.00	100.00	100.00	100.00
平均	94.33	98.67	98.43	97.38	98.53	97.52

$$\therefore \text{落雪率} = 1 - \frac{\{\text{落下せずモデル上に残った雪の量(残雪量)}\}}{\{\text{モデル上に積もった雪の量}\}}$$

今回の実験結果の考察より、以下の点を指摘できる。

- 界面状態が融解・凍着に関わらず、全ての膜材タイプで落雪率90%以上を達成している。特に、No.4{タイプB(偏心タイプ)ライズ70mm}においては、膜上の雪は全て落雪し、残雪が生じないという結果が得られた。これより、今回開発した膜材およびシステムは、空気膜の膨張によって雪塊との付着力を無くし、膜上の雪を滑落しやすくさせることを確認できた。
- No.1~No.3の落雪時間の比較より、空気膜のライズの違いによって落雪時間に差が生じているのが確認できた。(実験回数と膜タイプの種類が少ないため)統計的な考察は出来なかったが、(ある一定のライズ量までは)ライズが低いほど落雪時間は短くなる傾向にあることが推察できた。また、No.4{タイプB(偏心タイプ)

ライズ70mm}は、No.2, No.2' {共にタイプA(通常タイプ)ライズ70mm}に比べて落雪時間が短く、ライズが同じであっても偏心させることにより落雪時間を短縮できることが分かった。

また、落雪状況の観察結果より、以下の点を指摘できる。

- No.4{タイプB(偏心タイプ)ライズ70mm}は、斜辺方向のみの落雪が確認できた。すなわち、落雪方向を一方向に人為的にコントロールできることが分かった。

今後の課題としては、以下の点が挙げられる。

- 今回は、積雪深約10cm以上という気象条件のもとでの実験となったが、実用面を考慮すると積雪深約10cm未満でのシステム稼働が望ましいものと思われる。また、膜上の積雪量が少なく、気温も低い場合には、雪の膜への凍着度合いがさらに高くなるものと考えられ、システムの落雪性能の検証を十分に行うには、屋外実験

の実施基準や実験開始時間を変更するなど実験実施計画から見直す必要があり、実用性を高めるため、システムのオペレーション（システム稼働のタイミングや制御手法など）に関する研究を行う必要があるものと考えられる。

- 今回の実験では、ガセットプレート上に空気膜は設置しておらず、この部分の落雪性能の検証が行われていない。落雪事故は、この部分からの落雪によってもたらされている可能性も否定できないという管理者サイドでの見解もあることから、今後はこの部分の膜構造およびオペレートに関する検討も必要と思われる。
- 今回は、実験結果からの落雪性能の検証に限定したが、今後はコストの試算など実用面での（既存工法との比較を含めた）検討（前稿（参考文献1）参照）をさらに詳細に行う必要がある。また、学術的視点やビジネス的視点からの検討も取り入れた包括的・体系的な考察も必要であると思われる。

5. まとめ

本稿では、福井県管理道路にて、落雪による被害が最も顕著な下荒井橋をケーススタディとし、当該橋梁近傍に実験モデルを設置し、屋外実験にて新工法の有用性を検証した。具体的には、4つの異なるタイプの空気膜材をモデルに取り付けた「空気膜式雪処理システム」の落雪性能の検証を行った。

本研究より得られた成果は以下の通りである。

- 「空気膜式雪処理システム」と「制御システム」の2つのシステムから構成される新たな雪処理システムを開発・提案した。そして、屋外実験より、全ての空気膜材タイプで落雪率90%以上を達成し、本工法の有用性を確認できた。すなわち、本工法の公共土木構造物への適用・応用が可能であることを示すことができた。
- 屋外実験より、空気膜材の構造（ライズや偏心など）や意匠・デザインによって、落雪性能が向上することを確認できた。

今後の課題を列挙すると、以下の通りである。

- 「空気膜式雪処理システム」の実用面での検討の継続に加え、「制御システム」の開発・研究を行う必要がある。
- 冬期道路交通を取り巻く地域社会環境は厳しさを増す傾向にあり、地域社会の課題解決には産学官の強い連携が必要である。今後は更に産学官の強い連携・協力・協働のもと、屋外実験を推進し、実践力が求められる昨今の研究分野においても寄与できるものになりたい。

謝辞

本研究は、福井県の（県単）雪対策技術開発調査研

究事業（平成27年度～平成29年度）でなされた。本研究を進めるにあたり、福井県土木部道路保全課、および福井県奥越土木事務所勝山道路維持管理部から資料を提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

注釈

- (1) 豪雪地帯対策特別措置法においては、豪雪地帯とは「積雪が特にはなほだしいため、産業の発展が停滞的で、かつ、住民の生活水準の向上が阻害されている」地域と位置付けられ、そのうち、「積雪の度が特に高く、かつ、積雪により長期間自動車の交通が途絶する等により住民の生活に著しい支障を生ずる地域」を特別豪雪地帯と位置付けられている。また、平成24年3月には、配慮規定（恒久措置）として、除排雪の体制の整備（人口減少・高齢化等による除排雪の担い手不足に対応した地域における体制の整備）が追加されている。
- (2) ケーススタディとは、事例研究法のこと、社会的調査・研究の代表的なアプローチ方法の1つである（対照的な方法としては統計的方法が挙げられる）。すべての事象を網羅することができない場合に、一つまたは複数の事例を取り上げて、推論が当てはまっているか、傾向が確認できるかを確かめる⁵⁾方法のことである。
- (3) 参考文献6)では、気象データとの相関をもとに、当該橋梁における落雪事故発生の特徴として、以下の点を挙げている。
 - ・落雪事故は、AM10:00 から PM3:00 の昼間に集中している。
 - ・落雪事故は、1シーズンに複数回発生している。
 - ・積雪深40cm以上の場合に、落雪事故が発生している場合が多い。
 - ・短期集中降雪時（h=30cm/日以上）に落雪事故が発生している場合が多い。

参考文献

- 1) 冬期道路交通の安全確保のための落雪・着雪対策技術に関する研究・開発（その1）；福井県建設技術研究センター平成27年度成果報告
- 2) 橋梁の長寿命化に向けて；福井県ホームページ、〈URL: <http://www.pref.fukui.jp/doc/hozen/kyouryou.html>〉
- 3) 福井県における鋼橋の付着塩分量に関する調査研究；福井県建設技術研究センター平成26年度成果報告
- 4) 豪雪地帯指定図（福井県）；全国積雪寒冷地帯振興協議会ホームページ、〈URL: <http://www.sekkankyo.org/hukui.html>〉
- 5) フリー百科事典Wikipedia；「ケーススタディー」より引用
- 6) （県単）道路防災対策工事調査設計業務委託報告

書；福井県奥越土木事務所, 2013

- 7) コストかけず雪下ろし;日刊工業新聞, 2013. 3. 4
- 8) 低コスト屋根雪処理システム;建築設備と配管工事, pp. 46-50, 2013. 9
- 9) 寺崎寛章他, 空気膜を利用した屋根雪処理装置の開発と課題;福井雪技術研究会論文報告集, No. 8, pp. 14-18, 2015
- 10) 安価な屋根融雪システムによる屋根雪対策;福井県建設技術研究センター平成 24 年度成果報告
- 11) 駅ホームにおける屋根融雪制御システムの開発;福井県建設技術研究センター平成 24 年度成果報告