

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

塩沢雪害防止実験所の概要と 実験所を活用した研究開発

塩沢雪害防止実験所は、終戦間もなくの1948年に開所し、今年の1月に70年を迎えました。実験所は、鉄道では唯一の雪害の防止を目的とした実験施設であり、屋外の実験スペースのほか、低温環境を再現する低温実験室、縮尺模型を用いて排雪走行などを再現する試験装置などの設備があります。これまでに電線路の着雪現象をはじめとして、車両着雪や雪崩などの斜面災害など、冬期に鉄道設備で生じる現象の解明と対策に関する研究を行ってきました。ここでは、実験所での研究の歴史や試験装置の概要とともに最近の研究開発について紹介します。



飯倉 茂弘
Shigehiro Iikura
防災技術研究部
気象防災研究室
室長
【専門分野】 雪氷災害



高橋 大介
Daisuke Takahashi
防災技術研究部
気象防災研究室
塩沢雪害防止実験所
研究員
【専門分野】 雪氷調査、
雪氷実験

はじめに

JRの総延長約20,000kmのうち40%にあたるおよそ8,000kmが豪雪地帯（豪雪地帯特別措置法1962年制定^①参照）に敷設されています。また、2014年2月の関東・甲信地方の大雪のように、豪雪地帯の指定を受けていない地域でも、まれに大雪に見舞われることがあり、国内の鉄道では、程度や頻度の差はあるものの冬季には何らかの雪氷害を被っています。塩沢雪害防止実験所では、鉄道沿線の構造物はもとより、車両、電気、通信設備など、冬期に鉄道が被る雪氷害の減災・防災を目的とした実験や調査を行っています。

塩沢雪害防止実験所の歴史と実績

塩沢雪害防止実験所（**図1**）は、西は魚沼丘陵、東は越後山脈に挟まれた南魚沼市塩沢（旧南魚沼郡塩沢町）にあります。塩沢は、越後の雪の観察記録を中心に、雪国の風俗・習慣などを紹介している“北越雪譜”（江戸後期）の著者である鈴木牧之の生誕地であり、日本の雪国を代表する地域の一つです。この塩沢の年最大積雪深の平均値は217cm（**図2**）、冬期間の日降雪深を積算した累積降雪深の平均値は約1100cm、降雪日数の平均値は60日、冬期（12月～3月）の平均気温は0.8℃（いずれも実験所の観測記録より）と、

① 豪雪地帯特別措置法

恒常的な降積雪に見舞われ、産業の発展や生活水準の向上が阻害されている地域の産業の振興と民生の安定向上を図ることを目的として制定された法律（1962年制定）。北海道、東北、北陸、山陰の一部などが指定されています。



図1 実験所の風景

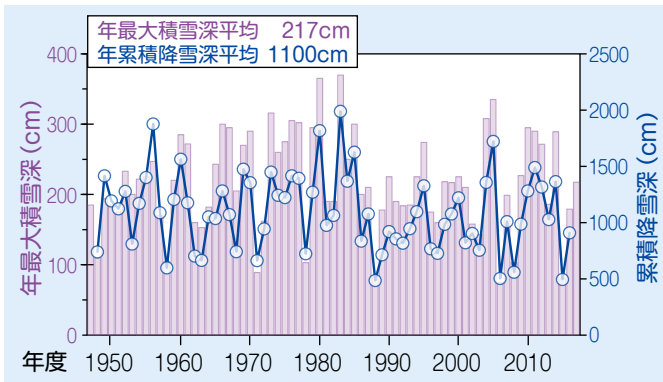


図2 塩沢雪害防止実験所の年最大積雪深



図3 実験スペースでの試験状況(散水時の雪の変質調査)

比較的気温は高いものの国内屈指の豪雪地帯にあります。

実験所は鉄道技術研究所の電気部門の実験施設として、雪国の上越線の電化計画にともなう送電線や通信線の雪害対策とその基礎研究を行うため、1948年1月に開所しました(当時は雪害防止塩沢電気実験所とよばれていました)¹⁾。

実験所の開所から約10年間は、電線への着雪現象やスリートジャンプ(着雪脱落時の電線の跳ね上がり)などの電線路の寒冷・雪害対策の研究や積雪の力学的特性に関する研究が中心に行われました。その後、1956年に防災研究室(当時)の所管になり、研究領域も鉄道の雪害対策全体へと移り変わりました。とくに、冬季の輸送障害として数多く発生していた雪崩に関する研究を精力的に行っており、土樽つちだる(新潟県南魚沼郡湯沢町)での人工雪崩実験を行うなど、斜面雪圧、構造物に作用する雪崩の衝撃力などに関する研究成果は鉄道技術研究所の資料や学会誌に多く残されています。これらの成果は、雪崩対策工の設計強度などの仕様の決定に貴重な資料を提供するとともに、雪崩の発生機構の解明にも貢献しています²⁾。さらに1965年以降は、東海道新幹線の着落雪に起因する雪害問題を解決するために軌道積雪のぬれ雪化による列車走行時の雪の舞い上がり防止対策の研究を、その後1972年以降は、軌道用散水消雪試験、スノーブラウの開発、貯雪式高架橋の開発、パンタグラフの雪対策、車両床下の着

雪対策など、東北・上越新幹線の雪対策に関する各種の研究開発が数多く実施されました。とくに、東北・上越新幹線のスプリンクラー散水消雪方式やスノーブラウの開発などは精力的に実施され、現在もその成果が使われています。

実験設備

実験所には、気象や降・積雪の観測を行うための露場や、自然環境下での各種実物大試験を行うことができる実験スペースのほか、国内寒冷地の低温環境や雪に起因した列車走行によって生じる現象などを模擬する実験装置があります。

観測露場、実験スペース

観測露場では、気象や降・積雪に関係する要素を常時観測しているほか、冬季には、降・積雪の物理的性状の観測を行っています。屋外の実験スペースでは、各種測定器などの性能試験のほか、スプリンクラーなどの雪害対策設備の試験や評価など各種自然降雪環境下において実物大試験を行うことができます(図3)。

低温実験室

低温実験室は、-30から+10℃の範囲で安定した気温環境を再現することができる実験室です。ブレーキ装置の



図4 排雪力測定試験装置

凍結状況の再現や融雪器などの性能評価など、低温環境下で生じる現象、寒冷下で使用する機器の動作確認や性能評価試験を行うことができます。

排雪力測定試験装置

排雪力測定試験装置は、列車走行時のスノーブラウ(排雪器)による排雪や車両走行時の舞い上がり現象を再現する装置であり、全長60mのトラスビームと、そこに敷設されたガイドレール上を走行する台車とで構成されています。走行台車には、スノーブラウなど各種の模型を取り付けることができ、約20mにわたり最高速度40m/s(時速144km/h)で走行させることができます(図4)。

空気砲

空気砲は、列車からの落雪やバラスト(碎石)などの高速衝突現象を再現する装置であり、圧力タンク内に蓄圧した空気を一気に放出することにより、最大で質量3kgの物体を速度300km/hで射出することができます。

斜面積雪・融雪実験盛土

斜面積雪の融雪現象やグライド(積雪が地面との間で滑る現象)やクリー



図5 斜面積雪・融雪実験盛土

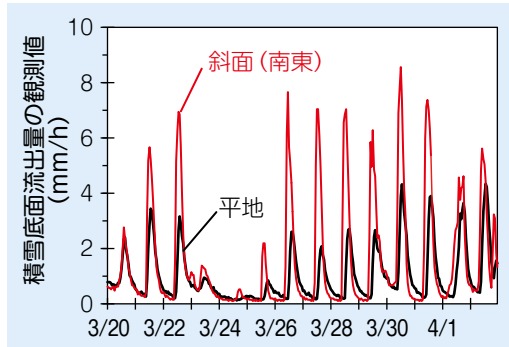


図7 斜面と平地の融雪量の違い

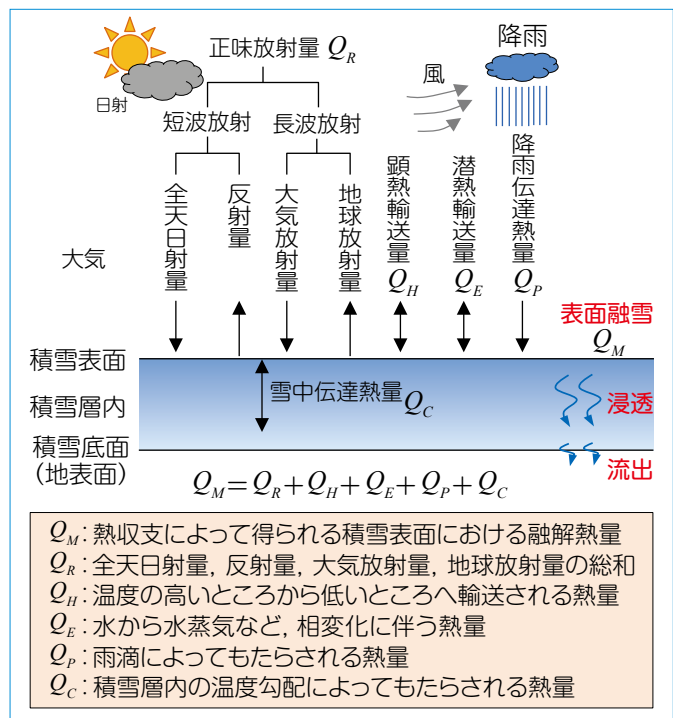


図6 積雪表面での融雪に関する熱の収支

ブ(荷重による積雪のゆるやかな変形)を観測するための高さ6mの盛土であり、南東と北西に斜面長10～12m、傾斜35度の斜面を有しています(図5)。実験盛土には、融雪量を測定するライシメーターや融雪に影響する放射収支量や斜面の積雪深を測定する積雪深計を備えています。

研究開発

実験所での積雪観測や実験設備を用いた研究のなかで、現在取り組んでいる2つの研究課題を紹介します。

はじめに、融雪期の斜面災害の防止・軽減に向けた研究の一環として、沿線の気象データから災害の要因となる融雪量を推定するモデルの開発について

☞ ライシメーター法

ライシメーター (lysimeter) とは、積雪(や土壌)の水分変化量や底面からの流出水量を測定する装置であり、積雪の底面(や地中)に集水容器を設けて、それより上の積雪(や土壌)から流出する水量を流量計または雨量計で測定する方法をよび、積雪底面からの流出水量を測定するものを、積雪ライシメーターとよびます。

紹介します。無積雪期に斜面災害の要因となる降雨の量は、沿線の雨量計やレーダーによって比較的容易にその情報を得ることができ、その量を指標として警備の発動や運転規制などによる安全管理を行っています。一方で、多雪地域で春先に発生する斜面災害は、降雨に加えて斜面上に積もった雪から連続的に生じる融雪水が生じ、それが地中に浸透することが発生要因の一つと考えられています。融雪量は、その量を直接測るライシメーター法(☞参照)や降水量と積雪重量の変化から融雪量を求める積雪重量法などがありますが、いずれも大きな観測用地の確保や保守が必要であり、延長の長い鉄道での融雪量情報の入手方法として、これらの方法は適用しにくいと考えられます。そこで比較的容易に得られる気象要素から融雪量を推定する手法を検討しました。融雪水は、主に積雪表面で生じ、それが積雪層内を流下して積雪底面から流出した後、地中内に浸透します。この課題では、積雪表面での融雪現象と積雪層内を流下する現象に分けて、それぞれでモデルを作成し、両者を連携させて融雪量を求めます。

積雪表面の融雪現象は図6に示す熱の収支で説明することができます。実験所の気象観測や平地や実験盛土に設置した積雪ライシメーターによる融雪量観測の結果から、同じ時期でも平地と斜面では融雪量が大きく異なることを示すとともに(図7)、評価地点の緯度経度や標高、斜面角度や向きといった斜面情報を考慮し、気象庁のアメダスなどで観測されている気温、降水量、風速、日照時間の4つの気象要素から図6に示す熱の収支の各項を推定して積雪表面での融雪量を推定するモデルを作成しました。また、融雪水の流下モデルについても、積雪の深さと流下時間との関係を観測により求め、積雪表面で生じた融雪水が底面から流出するまでに要する時間を考慮しています³⁾。作成した融雪量の推定モデルによる融雪量と斜面に設置したライシメーターによる融雪量とを比較した結果を図8に示します。推定値と実測値の関係にはばらつきはあるもののRSME(平均二乗誤差)が0.7mm/hで1時間融雪量を再現できることがわかりました。現在、この手法の精度向上を図るとともに地盤災害の発生抑止の

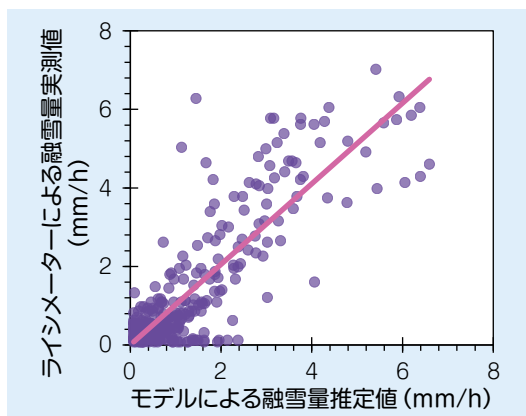


図8 融雪量の推定値と実測値との比較

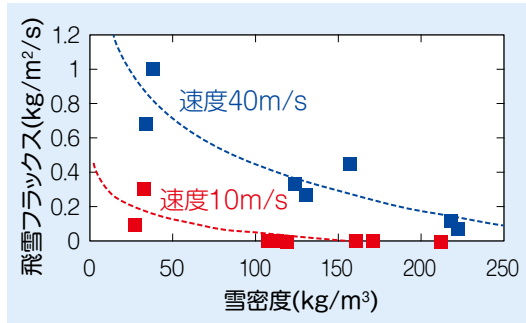


図10 雪密度および走行速度と舞い上がり量 (飛雪フラックス)

観点から融雪量と降雨量とを指標にした融雪期の斜面災害警戒情報の提供手法の開発に取り組んでいます。

つぎに、車両着雪に起因する障害の発生抑止・軽減を目的とした研究について紹介します。積雪のある軌道上で列車が走行すると、軌道上の雪が舞い上がり、それが車両床下などに付着します。このような着雪が高速走行中に落下すると、沿線設備や車両に障害を及ぼすことがあります。これらの障害の発生を未然に防ぐ方法として、着雪の成長を抑制するとともに、着雪の成長量に基づいた雪落としや速度規制などのソフト対策を実施することが有効です。この課題の一環として、沿線の気象データから着雪量を推定する手法の開発に取り組んでいます。着雪量の推定は、①気象データから軌道上の積雪表層の雪密度を推定し、②雪密度と列車走行時の雪の舞い上がり量との関係、および③舞い上がり量と着雪成長速度との関係を定式化し、これら3つの手法を連携させて計算することで、

向けて事例解析を行っています。また、雪密度と舞い上がりとの関係については、排雪力測定試験装置による模型走行試験(図9)により得られた雪密度と舞い上がりとの関係から、雪密度が小さいほど、また走行速度が速いほど舞い上がり量が多くなることを確認し(図10)、線区や走行速度は限られますが、現車試験により、雪密度を指標とした舞い上がり量推定方法、および舞い上がり量と駅部での着雪量(厚さ)の実測値との関係を定式化して、沿線の気象データを用いた着雪量推定方法を提案しました⁴⁾。

現在、実験的なアプローチで着雪が発生・成長する条件を定式化し、数値計算を専門とする部署とともに実験結果によって得られた着雪条件を組み入れた着雪量数値計算手法の開発に取り組んでいます。一連の研究を進めることで着雪量推定手法の一般化を目指し、駅部での雪落とし作業の必要性を判断できる情報提供システムの構築を目指しています。

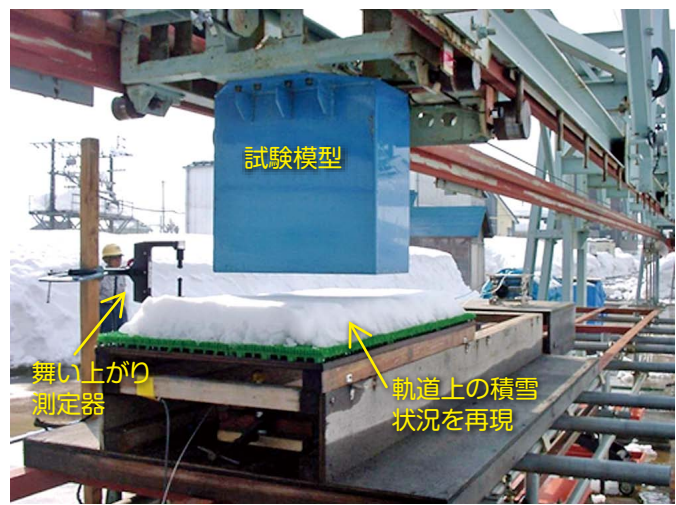


図9 舞い上がり試験の状況

気象データから着雪量を推定するものです。雪質の推定については、塩沢やこれまでに観測をした鉄道沿線の気象・積雪観測の結果から気温と全天日射量とを用いた推定方法を提案し、定式化に

おわりに

塩沢雪害防止実験所は、今年(2018年)の1月に開所から70周年を迎えました。ここでは、塩沢雪害防止実験所の概要とともに、長年実験所でおこなわれてきた研究や調査の概要と、近年実験所の試験設備を用いて実施した研究課題の一部を紹介しました。

現在、北陸新幹線金沢・敦賀間や北海道新幹線新函館北斗・札幌間の建設が進められています。これらの線区はいずれも豪雪地帯であり、また、新幹線ではこれまでにない寒冷地域を走行します。着雪量の抑制や推定手法の開発など、高速鉄道の冬期輸送のさらなる安全・安定性の向上に向けた課題や、鉄道沿線の雪氷害の軽減・防止、さらには気候の変化にともなう雪氷害をも視野に置いて、分野横断的に研究課題に取り組んでいきます。RRR

文献

- 1) 防災研究室：防災研究室30年の歴史、鉄道技術研究所速報、No.79-132、63pp、1979
- 2) 河島克久、遠藤徹：雪氷機関めぐり(財)鉄道総合技術研究所塩沢雪害防止実験所、雪氷、Vol.60、No.1、pp.55-58、1998
- 3) 佐藤亮太、飯倉茂弘、高橋大介、鎌田慈、穴戸真也：積雪底面流出量推定モデルの融雪期斜面への適用、鉄道総研報告、Vol.31、No.5、pp.5-10、2017
- 4) 鎌田慈、高橋大介、栗原靖、横倉晃、飯倉茂弘：軌道上の雪質を考慮した車両台車部の着雪量予測手法、鉄道総研報告、Vol.29、No.1、pp.11-16、2015