

# 鉄道における克雪技術の現状

藤井俊茂

鉄道界では、雪害対策として、ハード・ソフト面の諸施策が講じられている。しかし、近年では列車の高速運転に伴って、列車の走行中に線路面上の雪が激しく舞い上がり、鉄道車両に付着して大きな塊に成長することがある。碎石が敷設された線路においては、この氷雪の塊が走行中に落下すると碎石を跳ね上げる。跳ね上がった碎石は高速度で鉄道車両自身や沿線の家屋に当たって被害を及ぼす。この種の雪害は、東海道新幹線で開業当初から発生した。また今日では、在来線でも列車の高速運転に伴い、この種の雪害が顕在化している。

本稿では、着氷雪に起因する雪害防止のための技術開発課題として現在取り組んでいるものの中から、鉄道車両の着氷雪量の計測技術、台車着氷雪量の低減対策、水分を含む雪の舞い上がり条件解明に絞って、それらの研究開発の現状を紹介する。

キーワード：防災、鉄道車両、高速運転、着氷雪、台車、雪の舞い上がり、散水、雪質

## 1. はじめに

### (1) 高速運転に伴う雪害

東海道新幹線は1964年10月に開業した。その線路構造は、ほぼ全線が盛土の上に碎石を敷いたものであり、また開業当初の最高速度はそれまでのほぼ2倍の210 km/hであった。東海道新幹線では、開業第一冬期に、鉄道車両（以下、車両）の下部面に置かれた各種の機器内に雪が侵入して、電気的な故障が機器に発生し、列車が走れなくなった。これに対しては、防水機能を向上させることによって問題が解決された。その後、高速運転時に、舞い上げられた雪が車両の下部面で付着・成長して塊となり、この塊が走行中に落下して線路の碎石を跳ね上げ、車両のガラス窓を破損させたり線路外の家屋を損傷させるという、新しい雪害が発生した。

近年では在来線においても、列車の高速運転化に伴って、冬期に同種の雪害がしばしば発生しており、問題となっている。

## 2. 高速運転時の雪害防止対策

高速運転時の雪害は、図-1の左側の流れで発生するものと考えている。また、流れの各段階において、各種の対策が考えられる。

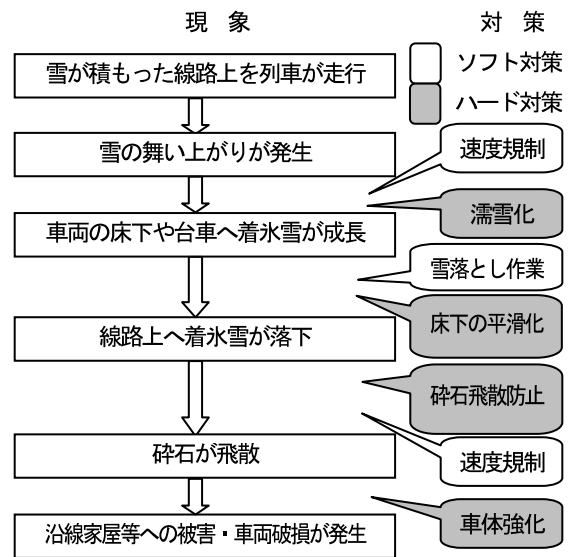


図-1 碎石飛散の発生プロセスと対策

東海道新幹線では、当初、雪の舞い上がり、あるいは着雪の落下による被害軽減をターゲットとして、列車の速度規制（徐行）を行なった。これは、有効な一方で列車ダイヤに遅れを生じさせることとなった。そこで、線路上の積雪へ散水して、雪粒どうしの粘着性を増加させて（濡れ雪化という）雪が容易に舞い上がらないように、積雪区間である関ヶ原地区を中心に、地上散水設備（スプリンクラ）が設置された。また、落雪対策として、碎石飛散防止用マットの線路への敷

設のほか、線路の除雪や停車駅での着雪落とし作業、分岐器の融雪装置設置、降雪や着雪状況の監視などを現在行なっている。

他方、高速運転を実施している北海道などの在来線では、線路の上に砂袋やネットを設置して碎石の飛び跳ねを抑えたり、あるいは車両下部の機器をカバーで覆ったり、さらには車両の窓ガラスに透明なフィルムを貼ってガラスが割れたときに散乱することを防ぐなどの対策のほか、冬期間に列車の運転速度を制限するという対策も採られている。

列車の速度を減じることは、着雪のあるときには有効だが、ないときには無駄である。そこで、車両に付着した氷雪量を計測し、大きな塊になっていなければ、速度を元に戻すことが考えられる。そのためには、付着した氷雪量計測技術や対策工の開発が必要となる。

また、スプリンクラ散水をしている東海道新幹線では、雪の濡れ具合に対応した走行可能な最大速度を明らかにすることが、鉄道の定時性（安定輸送）の点で必要である。そこでこれらの研究開発を推し進めてきた。

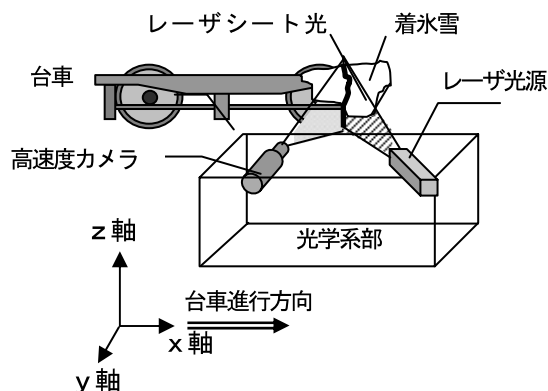
### 3. 高速運転時の雪害防止対策に関する研究開発

#### (1) 列車着氷雪量の計測技術

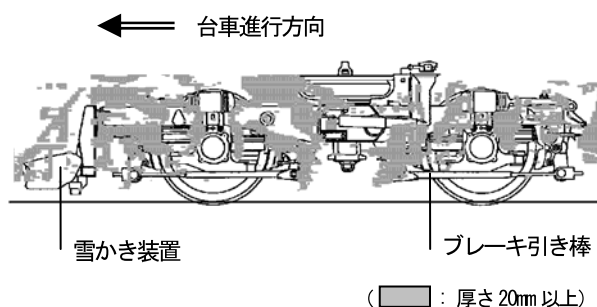
列車着氷雪量の測定では、安全上の点などから、非接触で、かつ短時間計測できることが不可欠である。開発中の着氷雪量計測方法は、主要駅のホーム下に設置したレーザシート光源と高速度カメラを用いた光切断法により、停止あるいは出発する列車の車両台車側面または床下機器側面の着氷雪体積を計測するものである。

計測に用いた光切断法は、シート状のレーザ光を被写体に照射したときに生じる、被写体の切断面形状に対応した反射光（光切断線像）の変形を観測することにより、三角測量の原理で被写体の形状を捉えて距離を求める手法である。この光切断法は、工場内のライン上で製品や加工品の外形や寸法のデータを取得するのに一般的に用いられており、鉄道分野においては、架線やレールの摩耗測定に採用されている。また、氷雪の測定では、磁気浮上式鉄道用のガイドウェイ（軌道）内に積もった雪の、ガイドウェイ横断方向の積雪深の分布を測定する装置にもこの手法が用いられている。

図一2は車両の台車側面に成長した着氷雪形状を光切断法で計測する状況を表したものである。台車の側方からレーザシート光を照射し、線路方向（x軸方



図一2 着氷雪量の計測方法



図一3 台車側面部の着氷雪分布

向)と鉛直方向(z軸方向)の面における線路直角方向(y軸方向)の凹凸を計測する。計測された着氷雪の体積データは、着氷雪状況を視認するためのカメラの画像とともに、インターネットを介して任意の箇所に配信される。

測定例として、図一3に、厚さ10mm以上の台車側面部の着氷雪分布をそれぞれ示す。

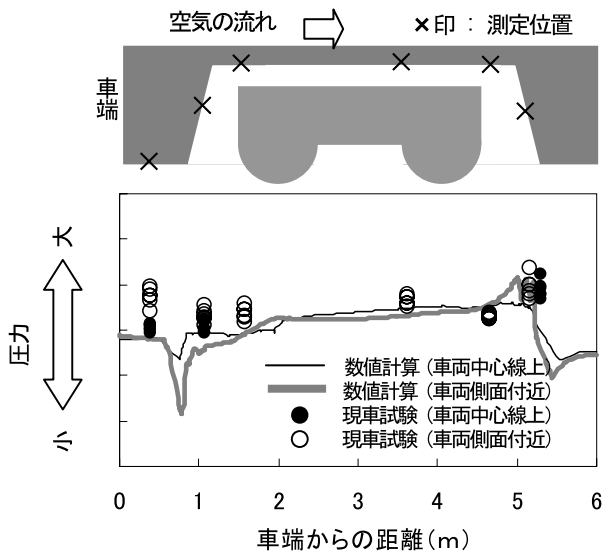
#### (2) 台車周辺部の着氷雪量低減対策

台車周辺部の着氷雪量低減対策では、列車走行時の台車周辺部の車体表面圧力および空気流れの測定と、数値シミュレーションを実施した。図一4に台車周辺部の車体表面圧力の比較結果を示す。

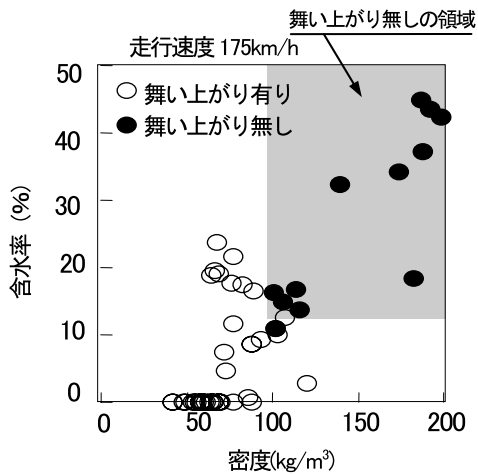
台車部品の複雑な形状に起因すると考えられる局所的な空気流れを除いて両者は概ね一致する。これらの手法を用いて、空気流れを考慮した台車周辺部の車体形状変更による着氷雪量の低減対策方法を開発する予定である。

#### (3) 濡れ雪の舞い上がり条件の解明

散水時における列車走行時の濡れ雪の舞い上がり発生の有無と雪質との関係性を調べる試験を行って、雪の舞い上がりの発生の有無を、列車の走行速度毎に求め、



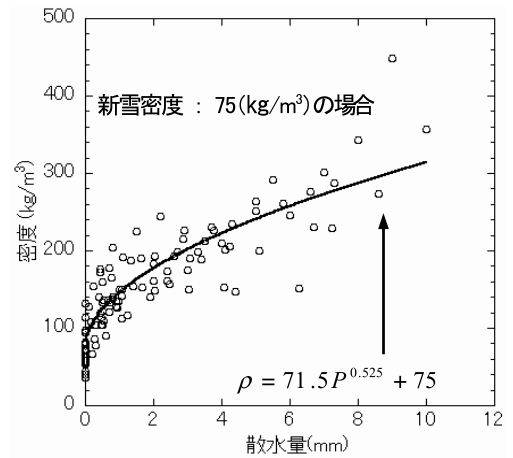
図一四 台車周辺部の車体表面圧力



図一五 雪質と舞い上がりの有無との関係  
(走行速度：175 km/h の場合)

これを雪の密度と含水率とで分類した。その結果、舞い上がりの発生の有無を決める境界線は、横軸（密度）と縦軸（含水率）に平行な2本の線で引くことができ（図一五）、走行速度が大きくなるほど、密度、含水率とも値が大きくなる領域に移動することを明かにした。

また、東海道新幹線で行われている一時間当たりの散水量5mm（散水強度5mm/h）の条件で、雪面に散水して雪質の変化状態を調べた。その結果、散水量が1mm程度に達するまでは密度、含水率とも急激に増加し、その後は徐々に変化することが分かり、それらは気象条件の影響を受けるものの、散水量と初期密



図一六 散水量  $P$  と密度  $\rho$  との関係  
(降雪強度：8 cm/h 以下、気温： $-4 \sim 2^\circ\text{C}$ 、  
散水温度：約  $5^\circ\text{C}$ 、散水強度：5 mm/h)

度のみを与えることで、散水後の雪の密度および含水率を大略推定する式を作成した。図一六に散水時における密度の変化状況とその概略推定式を示す。

今後、散水時の気象条件と散水強度が、含水率、密度に及ぼす影響を詳細に調べて、雪害時の列車速度の適正化に反映していきたい。

#### 4. おわりに

ここで紹介した研究開発成果の実用化はこれからである。今後、実用試験を重ねて、最終的には列車の高速運転に伴う雪害防止対策に成果を反映し、安全で安定した冬期の鉄道輸送に貢献できるよう、研究をより一層推し進めていきたい。

J|C|MA

#### 《参考文献》

- 1) 飯倉茂弘・河島克久・遠藤 徹・鎌田 慈・宍戸真也・藤井俊茂：台車側面の着氷雪量計測システムの開発，鉄道総研報告，21（2007）。
- 2) 飯倉茂弘・遠藤徹・藤井俊茂・井戸敦志・河島克久ほか：鉄道車両通過時の濡れ雪の舞い上がり及ぼす台車周辺形状の評価，寒地技術論文・報告集，20（2004）。
- 3) 河島克久・遠藤 徹・藤井俊茂：新幹線の雪の舞い上がりに関する基礎的研究，鉄道総研報告，8（1994）。

#### 【筆者紹介】



藤井 俊茂（ふじい としげ）  
（財）鉄道総合技術研究所  
防災技術研究部  
部長